



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล
สำหรับประเทศไทยโดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติของ
ความเชื่อมโยงระยะไกลในระบบมหาสมุทรกับบรรยากาศ

โดย ปัทมา สิงห์รักษ์ และคณะ

กุมภาพันธ์ 2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล
สำหรับประเทศไทยโดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติของ
ความเชื่อมโยงระยะไกลในระบบมหาสมุทรกับบรรยากาศ

คณะผู้วิจัย

1. ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์
2. ดร.อัศมน ลิ้มสกุล
3. ดร.दनัย ทิพย์มณี

สังกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตภูเก็ต

ชุดโครงการ การจัดการความเสี่ยงจากความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

ศึกษาความเป็นไปได้ในการพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาลสำหรับประเทศไทย โดยใช้กลไกความเชื่อมโยงระยะไกลในระบบมหาสมุทรกับบรรยากาศเป็นตัวทำนาย เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์คือสถิติเชิงเส้นแบบพหุ ที่เรียกว่า canonical correlation analysis หรือ CCA ซึ่งมีหลักการสำคัญคือหารูปแบบความเชื่อมโยงระหว่างตัวทำนาย ได้แก่ อุณหภูมิน้ำทะเลในเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย กับตัวถูกพยากรณ์ ได้แก่ ปริมาณฝนรายสามเดือนในประเทศไทย ที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่และเวลามากที่สุด โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศและฐานข้อมูลแบบกริดระหว่างปี พ.ศ. 2494 ถึงปี พ.ศ. 2557 เมื่อได้โมเดลสถิติดังกล่าวแล้ว ทำการทดสอบความสามารถของโมเดลในการพยากรณ์ฝนโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยวิธี cross-validation ผลการศึกษาพบว่าโมเดลมีทักษะการพยากรณ์โดยรวม ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของทักษะจากทุกสถานีทั่วประเทศอยู่ในเกณฑ์ต่ำ โดยทักษะของโมเดลมีความแตกต่างในแต่ละช่วงเวลาของปี โมเดลมีทักษะการพยากรณ์สูงในช่วงต้นปี ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน จากนั้นทักษะการพยากรณ์ลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูฝน อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเป็นรายสถานีและรายภูมิภาคพบว่าโมเดลสามารถพยากรณ์ได้ดีในฤดูฝนในบางสถานีและบางภูมิภาค (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง 0.3–0.5) โมเดลทำการพยากรณ์ฝนบริเวณภาคกลางของประเทศได้ดีเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่นๆ สำหรับภาคใต้โมเดลสามารถพยากรณ์ฝนได้ดีขึ้นอีกครั้งในช่วงปลายปี ปัจจัยที่ส่งผลให้การพยากรณ์ฝนทำได้ดีในช่วงต้นปีก่อนเข้าสู่ฤดูฝน เกิดจากอิทธิพลของความเชื่อมโยงในระยะไกลระหว่างระบบมหาสมุทรกับบรรยากาศที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เอนโซ ซึ่งมักพัฒนาอย่างสมบูรณ์ในช่วงปลายปี โดยในปีเอลนีโญ ปริมาณฝนรวมรายฤดูกาลในช่วงก่อนฤดูมรสุมจะมีค่าต่ำกว่าปกติ ขณะที่ในปีลานีญา ปริมาณฝนรวมรายฤดูกาลในช่วงก่อนฤดูมรสุมจะมีค่าสูงกว่าปกติ ความสามารถของโมเดลในการพยากรณ์ในช่วงฤดูฝนที่ไม่ค่อยดีนัก อาจเกิดเนื่องจากความแปรปรวนของฝนในช่วงฤดูการนี้มีสูงมาก ประกอบกับเป็นช่วงที่ปรากฏการณ์เอนโซมักอยู่ในช่วงกำลังพัฒนา ทำให้อิทธิพลของความเชื่อมโยงในระยะไกลไม่โดดเด่น การประยุกต์ใช้เทคนิค CCA ในการพยากรณ์ฝนรายฤดูกาลในช่วงฤดูฝนด้วยอุณหภูมิน้ำทะเลจึงยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยพิจารณาวิธีการเชิงสถิติอื่นๆ รวมทั้งเทคนิคการย่อยส่วนผลการพยากรณ์ฝนรายฤดูกาลจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของอากาศ

Abstract

The potential of using ocean-atmosphere teleconnections to forecast seasonal rainfall over Thailand is investigated. This study employs multivariate linear statistical method called canonical correlation analysis (CCA) in seasonal rainfall forecast model construction. Using tropical sea surface temperature (SST) in the Pacific and Indian Oceans of the earlier periods as predictors, CCA identifies patterns of 3-month total rainfall variation that are most associated with SST variations. Monthly SST and rainfall datasets from 1950–2014 are used. Forecast skills of the CCA model are evaluated using cross-validation design. Results show that nationwide-average model forecast skills are generally modest. Skill levels vary according to time of year being highest during pre-monsoon period from February through April, then decline during peak southwest monsoon period. Nevertheless moderate skills (correlation coefficient of 0.3-0.5) are found in certain stations and regions during wet monsoon seasons. Central region exhibits higher predictive skill compared to other regions. Southern region shows secondary maximum in model skill at end of year. The source of predictive skills in pre-monsoon seasons is related to the El Nino-Southern Oscillation (ENSO) phenomena which are fully-developed during northern winter. El Ninos are associated with nationwide suppressed rainfall while La Ninas are associated with enhanced pre-monsoon rainfall. Low predictive skills during wet seasons could arise from higher rainfall variance as well as weaker teleconnections of developing phase of ENSO cycle during these seasons. Application of CCA model using SST as predictors for seasonal forecast during monsoon season is therefore still a challenge. Further investigation on other statistical methods including statistical downscaling of seasonal forecast from dynamical models should be explored.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทั้งในระหว่างการดำเนินการวิจัย และต่อร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ กรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้การสนับสนุนข้อมูลสำหรับการทำวิจัย International Research Institute for Climate and Society (IRI) ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ให้การสนับสนุนเชิงเทคนิคการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกด้านต่างๆในการทำวิจัย นางสาวพิภทรา แซ่ชิน และ นายพงษ์สิทธิ์ ผลสมบูรณ์ ผู้ช่วยวิจัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ.....	iii
Abstract.....	iv
กิตติกรรมประกาศ.....	v
สารบัญเรื่อง.....	vi
สารบัญตาราง.....	viii
สารบัญรูป.....	xii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 กรอบแนวคิด.....	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารงานวิจัย.....	4
การคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลด้วยโมเดลทางสถิติ.....	4
บทที่ 3 ระบบที่ใช้สำหรับการคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลในปัจจุบัน.....	12
3.1 ระบบการคาดหมายลักษณะอากาศราย 3 เดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา.....	12
3.2 ระบบการคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลของศูนย์ Asia Pacific Economic Cooperation Climate Center (APCC).....	14
3.3 ระบบการคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลของศูนย์ European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).....	51
3.4 ระบบการคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลของ National Centers for Environmental Prediction (NCEP).....	69
3.5 ผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา.....	84
บทที่ 4 วิธีการศึกษา.....	100
4.1 ข้อมูล.....	100
4.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล.....	123
บทที่ 5 ผลการศึกษา.....	130
5.1 ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาของปริมาณฝนสะสมรวมรายฤดูกาลบริเวณประเทศไทย.....	130
5.2 ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาลในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย.....	142
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความแปรปรวนของปริมาณฝนรวมรายฤดูกาลกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายเดือน.....	147
5.4 ผลของโมเดลสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลด้วยเทคนิค Canonical Correlation Analysis (CCA).....	157

	หน้า
บทที่ 6 วิจัยและสรุปผลการศึกษา.....	173
6.1 วิจัยผลการศึกษา.....	173
6.2 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	173
6.3 แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	174
บรรณานุกรม.....	175

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบฤดูกาลที่ใช้ความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นตัวทำนาย.....	10
3.1 โมเดลทางคณิตศาสตร์ของศูนย์และสถาบันต่างๆ ในภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก ที่เข้าร่วมกับระบบการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2008).....	17
3.2 ข้อมูลจำเพาะสำหรับ Hindcast/Forecast ของโมเดลของศูนย์และสถาบันต่างๆ ที่เข้าร่วมกับระบบการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2008).....	18
3.3 ตัวแปรของ Hindcast/Forecast (ที่มา: APCC, 2008).....	19
3.4 สถานะของระบบทวนสอบ Automated Deterministic Forecast Verification System ของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2010).....	37
3.5 สถานะของระบบทวนสอบ Automated Probabilistic Forecast Verification System ของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2010).....	43
3.6 Contingency Table ขนาด 2x2 แสดงจำนวนเหตุการณ์ที่สังเกตและคาดการณ์ในแต่ละหมวดหมู่ของเหตุการณ์ binary และ joint/marginal probability.....	45
3.7 ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของ grid-point anomaly correlation สำหรับตัวแปร พื้นที่และระยะเวลาล่วงหน้าต่างๆ ที่คำนวณในช่วง 12 start dates คอลัมน์สุดท้ายแสดงจำนวนกรณีของเดือนเริ่มต้นที่ ACC ของ System-4 มีค่าสูงกว่า System-3 สำหรับค่าคะแนนที่คำนวณในแต่ละ start date (ที่มา: Molteni et al., 2011).....	63
3.8 ผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในรูปกราฟิกแบบต่างๆ ที่จัดทำโดยศูนย์ ECMWF.....	65
3.9 รายละเอียดโดยย่อของแต่ละองค์ประกอบของระบบ Climate Forecast System เวอร์ชันที่สอง (CFSv2) ของ NCEP.....	73
3.10 ประเภทและรายละเอียดของข้อมูลของระบบ CFSv2 (ที่มา: Saha et al., 2013)...	75
3.11 ปฏิทินการจำลองย้อนหลังของ CFSv2 จัดเรียงตามวันที่เผยแพร่ทุกเดือนของ CPC (แหล่งของข้อมูล: Saha et al., 2013).....	76
3.12 การคาดการณ์ลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ.2554) ออกประกาศ วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2554.....	84
3.13 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554.....	85
3.14 ปริมาณฝนตรวจวัดเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	85
3.15 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554.....	85

ตารางที่	หน้า
3.16 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	86
3.17 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	86
3.18 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554) ออกประกาศ วันที่ 30 กันยายน พ.ศ.2554.....	87
3.19 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554.....	87
3.20 ปริมาณฝนตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	88
3.21 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2554.....	88
3.22 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	89
3.23 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	89
3.24 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555) ออกประกาศ วันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ.2554.....	90
3.25 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555.....	90
3.26 ปริมาณฝนตรวจวัดเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	91
3.27 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555.....	91
3.28 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	92
3.29 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543).....	92
3.30 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555) ออกประกาศ วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2555.....	93
3.31 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555	93
3.32 ปริมาณฝนตรวจวัดเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553).....	94
3.33 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555.....	94
3.34 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553).....	95

ตารางที่	หน้า
3.35 อุณหภูมิต่ำสุด ตรวจวัดเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553).....	95
3.36 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555) ออกประกาศ วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2555.....	96
3.37 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555...	97
3.38 ปริมาณฝนตรวจวัด หน่วย: มม เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553).....	97
3.39 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555.....	97
3.40 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553).....	98
3.41 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553).....	98
3.42 สรุปผลเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความผิดพลาดรายภาคของผลการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศ 5 ฤดูกาล (เมษายน 2554 – ธันวาคม 2555) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา.....	100
4.1 แหล่งข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ภายใต้ National Hydrological and Meteorological Services (NHMs) ที่ได้ถูกรวบรวมสำหรับการจัดทำฐานข้อมูล APHRODITE (ที่มาของข้อมูล: http://www.dwd.de).....	103
4.2 ค่าดัชนี Ocean Nino Index (ONI) คำนวณจากค่าผิดปกติของอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลจากชุดข้อมูล ERSST.v3b บริเวณ Nino 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W) เฉลี่ยทุกสามเดือน ดัชนี ONI มากกว่า 0.5 (สีแดง) แสดงช่วงที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ ค่าน้อยกว่า 0.5 (สีน้ำเงิน) แสดงช่วงที่เกิดปรากฏการณ์ลานีญา (ที่มาของข้อมูล: http://www.cpc.ncep.noaa.gov).....	121
5.1 สัดส่วนความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลที่สามารถอธิบายได้ด้วย EOF โหมดที่ 1 และ 2.....	133
5.2 สัดส่วนความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล จากชุดข้อมูล ERSST ที่สามารถอธิบายได้ด้วย EOF โหมดที่ 1 และ 2.....	143
5.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF ในโหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) จากฐานข้อมูลฝน GPCC กับอนุกรมเวลาของดัชนีของปรากฏการณ์เอนโซในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ระหว่างปี ค.ศ. 1970-2007).....	155

ตารางที่	หน้า	
5.4	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF ในโหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) จากฐานข้อมูลฝน GPCC กับอนุกรมเวลาของดัชนีของปรากฏการณ์เอนโซในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ระหว่างปี ค.ศ. 1970-2007	155
5.5	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF ในโหมดที่ 1 ของ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมปีถัดไป (NDJ) จากฐานข้อมูลฝน GPCC กับอนุกรมเวลาของดัชนีของปรากฏการณ์เอนโซในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ระหว่างปี ค.ศ. 1970-2007 (ตัวหนา แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ $p \text{ value} < 0.05$).....	156
5.6	ทักษะของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลโดยใช้อุณหภูมิ น้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ แสดงด้วย correlation coefficient สำหรับแต่ละสถานีในภูมิภาคต่างๆของประเทศในช่วงฤดูฝน.....	163
5.7	ทักษะของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลโดยใช้อุณหภูมิ น้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ แสดงด้วย correlation coefficient เฉพาะของสถานีในภาคใต้ฝั่งตะวันออก.....	164

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความเชื่อมโยงระยะไกลของระบบภูมิอากาศซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากแรงขับเคลื่อนหรือเงื่อนไขในบริเวณขอบเขตด้านล่างของบรรยากาศ โดยส่งผลต่อความผิดปกติของภูมิอากาศในพื้นที่อื่นๆ ผ่านการกระจายตัวของความร้อน ความชื้น และโมเมนตัม.....	2
2.1 แสดงองค์ประกอบโดยทั่วไปของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล.....	6
2.2 ความเชื่อมโยงระยะไกลของปรากฏการณ์เอ็นโซในช่วงปรากฏการณ์เอลนีโญ ที่มา: www.cpc.ncep.noaa.gov	8
2.3 ความเชื่อมโยงระยะไกลของปรากฏการณ์เอ็นโซในช่วงปรากฏการณ์ลานิญา ที่มา: www.cpc.ncep.noaa.gov	9
3.1 ขั้นตอนและรายละเอียดของระบบการคาดการณ์ลักษณะอากาศของประเทศไทย ราย 3 เดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา.....	13
3.2 ศูนย์และสถาบันต่างๆ ในภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก ที่ให้ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับระบบการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาลของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2013a).....	16
3.3 ขั้นตอนและระเบียบวิธีการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าด้วย multi-climate model ensemble system และตารางเวลาการทำงานรายเดือนของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2013b).....	20
3.4 ขั้นตอนโดยย่อของวิธี Multiple Regression Method (MRG) (ที่มา: APCC, 2013a).....	24
3.5 แผนภูมิเค้าโครงระบบคาดการณ์ superensemble ที่นำเสนอชุดข้อมูลใหม่ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลเดิมโดยการลดข้อผิดพลาดความแปรปรวนที่เหลืออยู่ในแต่ละโมเดล (ที่มา: APCC, 2013a).....	26
3.6 (a) นิยามเส้นแบ่งขอบเขตของ tercile โดยใช้ฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็น (PDF) ของการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว และ (b) การคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นสำหรับต่ำกว่าปกติ (P_B) ใกล้ปกติ (P_N) และสูงกว่าปกติ (P_A) (ที่มา: APCC, 2013b).....	30
3.7 ตัวอย่างแผนที่ APCC probabilistic multi-model forecast สำหรับอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อน (มิถุนายน-สิงหาคม) ในปี ค.ศ. 2007 สีต่างๆ ที่แสดงในแผนที่แสดงเปอร์เซ็นต์ของ (a) Above Normal (b) Near Normal และ (c) Below Normal ส่วน (d) เป็นแผนที่รวมแสดงพื้นที่ที่ผลการคาดการณ์ในแต่ละกลุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นจากการทดสอบความเชื่อมั่นของการคาดการณ์ด้วย Person's chi-square test (ที่มา: APCC, 2013b).....	31

รูปที่	หน้า
3.8 ค่าเฉลี่ยในรอบ 21 ปีของ R สำหรับฝน (a, c) และอุณหภูมิ (b, d) และสำหรับ 20-ensemble member model และ 5-ensemble member model (c, d) ในขณะที่ จำนวนของปีที่ R มากกว่า 1 สำหรับฝน (e) และอุณหภูมิ (f) สำหรับ 5-ensemble member model (ที่มา: Min et al., 2009).....	34
3.9 ค่า Anomaly Correlation Coefficient (ACC) ของฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 จาก โมเดลที่เข้าร่วม MMEs และประมาณด้วยเทคนิค deterministic (SCM, MRG, SPM และ SEE) (ที่มา: APCC, 2010).....	38
3.10 ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ที่ 500 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 จากโมเดลที่เข้าร่วม MMEs และประมาณด้วยเทคนิค deterministic (SCM, MRG, SPM และ SEE) (ที่มา: APCC, 2010).....	38
3.11 Ensemble spread ของฝน อุณหภูมิและ geopotential height ที่ 500 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 (ที่มา: APCC, 2010).....	39
3.12 แผนที่ความแตกต่างระหว่าง SCM และข้อมูลตรวจวัดของฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ที่ 500 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 (ที่มา: APCC, 2010).....	40
3.13 แผนที่ยอด BSS สำหรับอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 (ที่มา: APCC, 2010).....	44
3.14 แผนภาพหลักของ ROC โดยความน่าจะเป็นของผลการคาดการณ์ทั้งหมด ถูกจัดเป็นหมวดหมู่ตามค่าความน่าจะเป็นของผลการคาดการณ์แต่ละผลการคาดการณ์ที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่า threshold ที่กำหนด เพื่อคำนวณ false alarm rate และ hit rate และ plot ค่าที่คำนวณได้ (จุดสีแดง) ลงใน ROC diagram.....	45
3.15 ROC curve ของอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 (ที่มา: APCC, 2010).....	46
3.16 ROC score ของอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 (ที่มา: APCC, 2010).....	47
3.17 Reliability diagram และ frequency histogram ของอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 (ที่มา: APCC, 2010).....	48
3.18 ตัวอย่างผลคาดการณ์ลักษณะฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ด้วย deterministic APCC-MME ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับช่วงระยะเวลา พฤศจิกายน-ธันวาคม 2013 ถึง มกราคม 2014 และ ช่วงระยะเวลา กุมภาพันธ์-มีนาคม-เมษายน 2014.....	49

รูปที่	หน้า
3.19 ตัวอย่างผลคาดการณ์ลักษณะฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ด้วย probabilistic APCC-MME ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับช่วงระยะเวลา พฤศจิกายน-ธันวาคม ค.ศ. 2013 ถึงมกราคม ค.ศ. 2014 และ ช่วงระยะเวลา กุมภาพันธ์-มีนาคม-เมษายน ค.ศ. 2014.....	50
3.20 องค์ประกอบหลักของระบบ ECMWF Seasonal Forecast System-4.....	55
3.21 รายละเอียดขององค์ประกอบ data analysis/assimilationของระบบ ECMWF Seasonal Forecast System-4.....	56
3.22 รายละเอียดของโมเดลควบคุมของระบบ ECMWF Seasonal Forecast System-4	57
3.23 คะแนนทักษะของผลการจำลองอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณ Nino3 และ Nino3.4 ในอดีต 30 ปีด้วย System-4 (สีแดง) และ System-3 (สีน้ำเงิน) ซึ่ง System-4 ได้ลดความผิดพลาด (เส้นทึบ) แต่เพิ่ม ensemble spread (เส้นประ) (ที่มา: Molteni et al., 2011).....	60
3.24 Mean Square Skill Score (MSSS) against climatology สำหรับ System-4 (สีแดง) System-3 (สีน้ำเงิน) Meteo-France (สีเขียว) และ Met Office (สีส้ม) ในช่วงระยะเวลา 1989-2002 สำหรับ Nino3 และ Nino3.4 โดยค่าคะแนน persistence แสดงด้วยเส้นสีดำ (ที่มา: Molteni et al., 2011).....	60
3.25 ensemble mean anomaly correlation ของอุณหภูมิใกล้ผิวพื้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม System-4 และ System-3 คือ ภาพบนและภาพล่าง ตามลำดับ (ที่มา: Molteni et al., 2011).....	61
3.26 ensemble mean anomaly correlation ของฝนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม System-4 และ System-3 คือ ภาพบนและภาพล่าง ตามลำดับ (ที่มา: Molteni et al., 2011).....	62
3.27 Reliability diagram สำหรับอุณหภูมิผิวพื้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม ที่สูงกว่า upper tercile ในพื้นที่ทวีปยุโรปด้วย System-3 (รูปซ้าย) และ System-4 (รูปขวา).....	63
3.28 องค์ประกอบหลักของระบบ Climate Forecast System (CFS) ของ NCEP	72
3.29 โครงสร้างและการออกแบบการจำลองย้อนหลังของ CFSv2 (ที่มา: Saha et al., 2013).....	74
3.30 โครงสร้างและการออกแบบของระบบปฏิบัติการของ CFSv2 (แหล่งของข้อมูล: Saha et al., 2013).....	77
3.31 Bivariate anomaly correlation (BAC) x100 ของ CFSv2 (รูปด้านซ้าย) และ CFSv1 (รูปทางด้านขวา) ในการคาดการณ์ MJO ในช่วงระยะเวลา 1999-2009 ซึ่งแสดงในรูปของ WH (Wheeler and Hendon) index โดยใช้สองโหมดแรกของ EOF ที่วิเคราะห์ในลักษณะเชิงตัวแปรร่วมระหว่าง zonal wind และ outgoing longwave radiation ผลของการคาดการณ์จากทั้งสองระบบได้ผ่านการปรับความผิดพลาดเชิงระบบ (systematic error correction) เส้นสีดำแสดงระดับ 0.5 ของ BAC (ที่มา: Saha et al., 2013).....	79

รูปที่	หน้า
3.32 Anomaly correlation ของค่าเฉลี่ยรายสามเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลระหว่างโมเดลพยากรณ์และข้อมูลตรวจวัด a) 3 เดือนล่วงหน้าของ CFSv2 b) 6 เดือนล่วงหน้า CFSv2 c) 3 เดือนล่วงหน้า CFSv1 และ d) 6 เดือนล่วงหน้า CFSv1 (ที่มา: Saha et al., 2013).....	80
3.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยรายสามเดือนของผลการคาดการณ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (องศาเซลเซียส) a) ข้อมูลตรวจวัด b) 3 เดือนล่วงหน้า CFSv2 ลบด้วยข้อมูลตรวจวัด c) 6 เดือนล่วงหน้า CFSv2 ลบด้วยข้อมูลตรวจวัด d) 3 เดือนล่วงหน้า CFSv1 ลบด้วยข้อมูลตรวจวัด และ e) 6 เดือนล่วงหน้า CFSv1 ลบด้วยข้อมูลตรวจวัด (ที่มา: Saha et al., 2013).....	81
3.34 การประเมิน anomaly correlation ในรูปฟังก์ชันของเดือนเป้าหมาย (แกนนอน) และเดือนคาดการณ์ล่วงหน้า (แกนตั้ง) ด้านซ้าย คือ CFSv1 ส่วนด้านขวา คือ CFSv2 รูปแถบแสดงอุณหภูมิที่ความสูง 2 เมตรรายเดือนบริเวณพื้นดินของซีกโลกเหนือ รูปแถวล่างแสดงปริมาณฝนรายเดือนบริเวณพื้นดินของซีกโลกเหนือ และรูปแถวล่างแสดงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณ Nino3.4 (ที่มา: Saha et al., 2013).....	82
3.35 Reliability diagram ของการคาดการณ์เชิงความน่าจะเป็นด้วย CFS ซึ่งผลการคาดการณ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ Nino3.4 มีค่าในช่วง upper (สีแดง) middle (สีเขียว) และ lower (สีน้ำเงิน) tercile ของการกระจายตัวของค่าเฉลี่ยระยะยาวของข้อมูลตรวจวัด สำหรับหนึ่งเดือนล่วงหน้า (แถบบน) สี่เดือนล่วงหน้า (แถวกกลาง) และแปดเดือนล่วงหน้า (แถวล่าง) ภาพด้านซ้าย คือ CFSv1 และภาพด้านขวา คือ CFSv2 สำหรับระยะเวลา 1982-2009 (ที่มา: Saha et al., 2013).....	83
3.36 สถานีข้อมูลตรวจวัดฝน อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดรายภาคที่ใช้เปรียบเทียบกับความถูกต้องของผลการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา.....	99
4.1 Flowchart ของอัลกอริทึมสำหรับการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติ และการประมาณค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบกริดของฐานข้อมูล APHRODITE (ที่มาของข้อมูล: Yatagai et al., 2012).....	102
4.2 จำนวนสถานีรวมรายปีที่ใช้ในการจัดทำฐานข้อมูลฝนแบบต่าง ๆ ของ GPCC (ที่มาของข้อมูล: http://www.dwd.de).....	105
4.3 การกระจายตัวของสถานีตรวจวัดฝนสะสมรายเดือน ซึ่งจำนวนสถานีทั้งหมดเมื่อเดือนกรกฎาคม 2011 เท่ากับ 67,283 สถานี (ที่มาของข้อมูล: http://www.dwd.de).....	105
4.4 ขั้นตอนในภาพรวมของการควบคุมคุณภาพและประมวลผลของฐานข้อมูล GPC.....	106
4.5 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา (4–25°N, 90–112 °E) ในประเทศไทย และพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน.....	107
4.6 พื้นที่ที่มีข้อมูล (สีแดง) และพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน (เขียวและน้ำเงิน) บริเวณประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีนในภาพรวมในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951 ถึง ค.ศ. 2007 ของฐานข้อมูล APHRODITE.....	109

รูปที่	หน้า	
4.7	พื้นที่ที่มีข้อมูล (สีแดง) และพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน (เขียวและน้ำเงิน) บริเวณประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีนในภาพรวม ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951 ถึง ค.ศ. 2010 ของฐานข้อมูล GPCC.....	109
4.8	ลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวในช่วงระหว่างปี ค.ศ.1951-2007 จาก ฐานข้อมูล APHRODITE ของปริมาณฝนสะสมรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน).....	110
4.9	ลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวในช่วงระหว่างปี ค.ศ.1951-2010 จาก ฐานข้อมูล GPCC ของปริมาณฝนสะสมรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน).....	110
4.10	ลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 จาก ฐานข้อมูล APHRODITE ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือน พฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือน กันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	111
4.11	ลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 จาก ฐานข้อมูล GPCC ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือน พฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือน กันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน(SON).....	112
4.12	ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1969 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปี ถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือน สิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	113
4.13	ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1969 จากฐานข้อมูล GPCC ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือน สิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	114
4.14	ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1971 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปี ถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือน สิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	115
4.15	ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1971 จากฐานข้อมูล GPCC ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือน สิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	116
4.16	ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1987 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปี ถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือน สิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	117

รูปที่	หน้า
4.17 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1987 จากฐานข้อมูล GPCC ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	118
4.18 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1999 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	119
4.19 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1999 จากฐานข้อมูล GPCC ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	120
4.20 ขอบเขตของพื้นที่ที่ใช้ในการหาค่าดัชนี Nino 3 Nino 4 และ Nino3.4 ที่มา: www.ncdc.noaa.gov	121
4.21 แสดงขั้นตอนการเตรียมข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายฤดูกาลของฐานข้อมูล APHRODITE และ GPCC ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงร่วมระหว่างพื้นที่และเวลาด้วยเทคนิค EOF.....	125
4.22 แสดง Lead time ระหว่าง predictor และ predictand.....	127
4.23 ขั้นตอนการสร้างโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ฝนล่วงหน้า โดยเทคนิค canonical correlation analysis (CCA) (ที่มา: Barnston, 1994).....	129
5.1 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล APHRODITE ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ปีถัดไป (DJF)....	134
5.2 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล APHRODITE ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM).....	135
5.3 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล APHRODITE ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA).....	136
5.4 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล APHRODITE ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	137

รูปที่	หน้า	
5.5	โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล GPCP ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ปีถัดไป (DJF).....	138
5.6	โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล GPCP ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM).....	139
5.7	โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล GPCP ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA).....	140
5.8	โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล GPCP ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	141
5.9	โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป correlation coefficient ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 ของ (a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ (d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	144
5.10	โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป correlation coefficient ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 2 ของ (a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ (d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	145
5.11	อนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาลระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 และ 2 ของ (a) และ (b) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (c) และ (d) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (e) และ (f) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) (g) และ (h) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	146
5.12	แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 0 เดือน 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ตามลำดับ.....	149

รูปที่	หน้า	
5.13	แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม (MAM) กับอุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 2 เดือน (บน) ปี ค.ศ. 1951-2010 (ล่าง) ปี ค.ศ. 1981-2010.....	150
5.14	(บน) แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized PC coefficient ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับอุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 2 เดือน (ล่าง) แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (regression coefficient) ระหว่างอุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 2 เดือน ซึ่งเป็น predictor กับอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทยช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ซึ่งเป็น predictand.....	151
5.15	แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับอุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 0 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ.....	152
5.16	แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับอุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 0 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ.....	153
5.17	แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม (NDJ) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับอุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 0 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ.....	154
5.18	ทักษะของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลโดยใช้อุณหภูมิน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิกเขตร้อนล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ โดยแสดงค่าเฉลี่ยจากจำนวนสถานีทั้งประเทศและจำแนกเป็นรายภาค.....	158
5.19	ปริมาณฝนสะสมรายสามเดือน หน่วย มิลลิเมตร (บน) อ.เมือง จ.แพร่ (ล่าง) อ.เมือง จ.สงขลา.....	158

รูปที่	หน้า	
5.20	ทักษะรายสถานีของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลโดยใช้อุณหภูมิ น้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์.....	160
5.21	แผนที่แสดงทักษะของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลโดยใช้อุณหภูมิ น้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ ด้านซ้าย: ชุดข้อมูล GPCC ด้านขวา: ชุดข้อมูล APRHODITE.....	165
5.22	รูปแบบของอุณหภูมิ น้ำทะเลที่ใช้เป็นตัวพยากรณ์ (predictors) ที่สัมพันธ์กับรูปแบบของปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือน (predictands) ที่ได้จากโมเดลสถิติ CCA (บน) ช่วงต้นฤดูฝนเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน (AMJ) (กลาง) ช่วงกลางฤดูฝนเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน (JAS) (ล่าง) ช่วงปลายฤดูฝนเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON).....	172

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

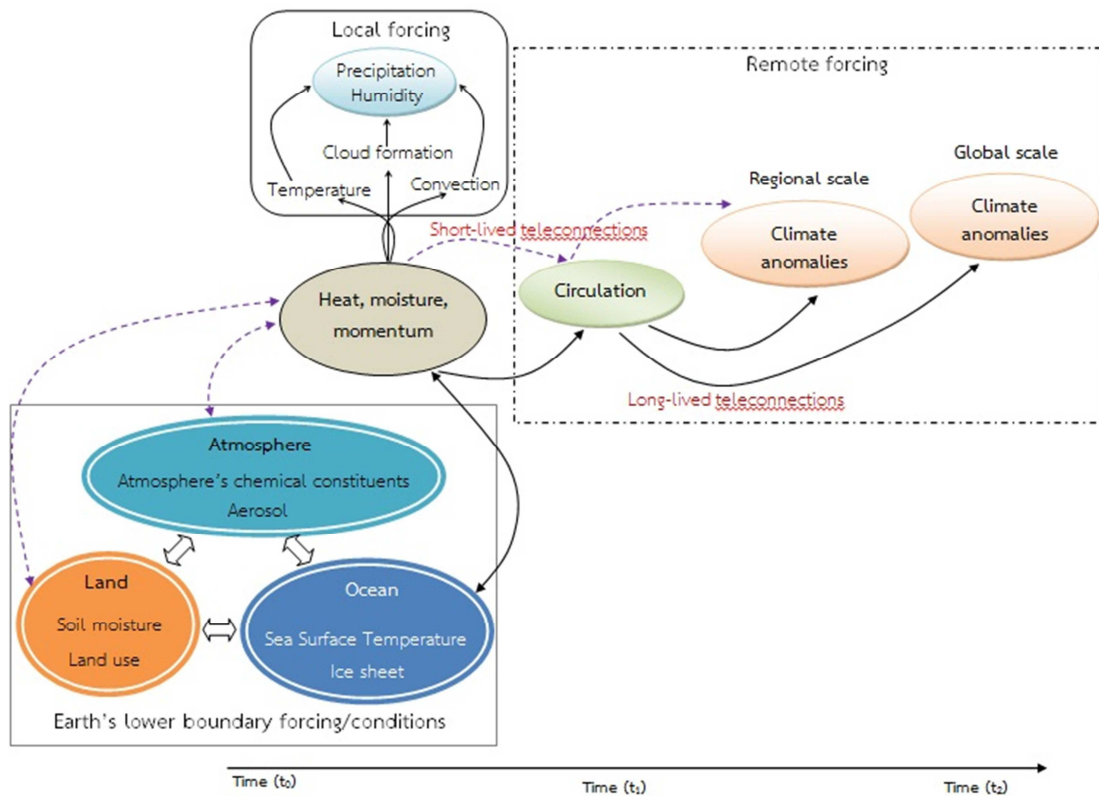
ความแปรปรวนของปริมาณฝนส่งผลกระทบต่อสังคมไทยโดยเฉพาะด้านเกษตรกรรม การจัดการน้ำ และพิบัติภัยทางธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม ภัยแล้ง ดังนั้นความสามารถในการคาดการณ์ฝนล่วงหน้า จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนและการจัดการ เพื่อหลีกเลี่ยงหรือบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น การพยากรณ์อากาศมีหลายคาบเวลา สำหรับระยะสั้น (1-5 วัน) นั้น ความแปรปรวนของฝนขึ้นอยู่กับตัวแปรภายในของระบบบรรยากาศเป็นหลัก การพยากรณ์จึงต้องอาศัยข้อมูลจากการตรวจวัดอากาศ ณ เวลาก่อนหน้า ประกอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งความถูกต้องของการพยากรณ์จะลดลงตามเวลาที่ผ่านไป อย่างไรก็ตามการคาดการณ์อากาศล่วงหน้าในคาบเวลาที่ยาวนานกว่าก็ยังคงมีความจำเป็น สำหรับการพยากรณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล (3-6 เดือน) นั้น สามารถเป็นไปได้ โดยอาศัยองค์ความรู้ด้านความเชื่อมโยงระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร โดยเฉพาะปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO, El Nino-Southern Oscillation) ในมหาสมุทรแปซิฟิก และปรากฏการณ์อินเดียเนียนโอเซียนไดโพล (Indian Ocean Dipole) ในมหาสมุทรอินเดีย โดยลักษณะเด่นของปรากฏการณ์ทั้งสอง คือความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ขับเคลื่อนความแปรปรวนในระบบบรรยากาศ นอกจากนี้ลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของความเชื่อมโยงระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากปรากฏการณ์ดังกล่าว มักมีพัฒนาการที่ใช้ระยะเวลานาน (3-6 เดือน) จึงเป็นที่มาของการนำมาใช้เป็นตัวพยากรณ์ในการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาล ซึ่งจะมีลักษณะเป็นการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศโดยรวมว่ามีลักษณะผิดปกติไปจากปกติมากน้อยเพียงไร โดยทั่วไประเบียบวิธีที่ใช้ในการพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล ประกอบด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติและการทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบควบคู่ของบรรยากาศกับมหาสมุทร สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิคทางสถิติ เนื่องจากเป็นวิธีที่ซับซ้อนน้อยกว่า มีค่าใช้จ่ายน้อยและให้ผลใกล้เคียงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทบทวนรายละเอียดและความน่าเชื่อถือของระบบและวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันสำหรับการพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาลของประเทศไทย
2. เพื่อวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระยะไกลของความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่อความแปรปรวนของปริมาณฝนในประเทศไทย
3. พัฒนารอบแนวคิดและโครงสร้างของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล

1.3 กรอบแนวคิด

การพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาลพัฒนาขึ้นมาจากองค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์พื้นฐานด้านความเชื่อมโยงระยะไกล (teleconnections) ของระบบการไหลเวียนในบรรยากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับระบบมหาสมุทร แรงขับเคลื่อนที่สำคัญที่สามารถส่งผลต่อความผิดปกติของระบบภูมิอากาศในคาบเวลาฤดูกาล เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าบริเวณขอบเขตพื้นผิวโลกที่ส่งผลต่อด้านล่างของชั้นบรรยากาศ ได้แก่ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ตลอดจนความชื้นในดิน ความผิดปกติของระบบภูมิอากาศและมหาสมุทรเขตร้อนสามารถส่งผลกระทบต่อพื้นที่อื่นๆ ซึ่งอยู่ห่างไกลได้ ผ่านการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของความร้อน ความชื้นและโมเมนตัม ซึ่งส่งผลต่อระบบการไหลเวียนในบรรยากาศ (รูปที่ 1.1)



รูปที่ 1.1 ความเชื่อมโยงระยะไกลของระบบภูมิอากาศซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากแรงขับเคลื่อนหรือเงื่อนไขในบริเวณขอบเขตด้านล่างของบรรยากาศ โดยส่งผลต่อความผิดปกติของภูมิอากาศในพื้นที่อื่นๆ ผ่านการกระจายตัวของความร้อน ความชื้นและโมเมนตัม

รายงานการวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย การสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาลในบทที่ 2 และการทบทวนวิธีการที่กรมอุตุนิยมวิทยาใช้สำหรับการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาลในปัจจุบันในบทที่ 3 จากนั้นในบทที่ 4 เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้

ในการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระยะไกลของความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่อความแปรปรวนของปริมาณฝนในประเทศไทย และโมเดลทางสถิติในการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาล บทที่ 5 นำเสนอผลการศึกษา และบทที่ 6 วิจัยและสรุปผลการศึกษา ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

บทที่ 2

ทบทวนเอกสารงานวิจัย

การคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลด้วยโมเดลทางสถิติ

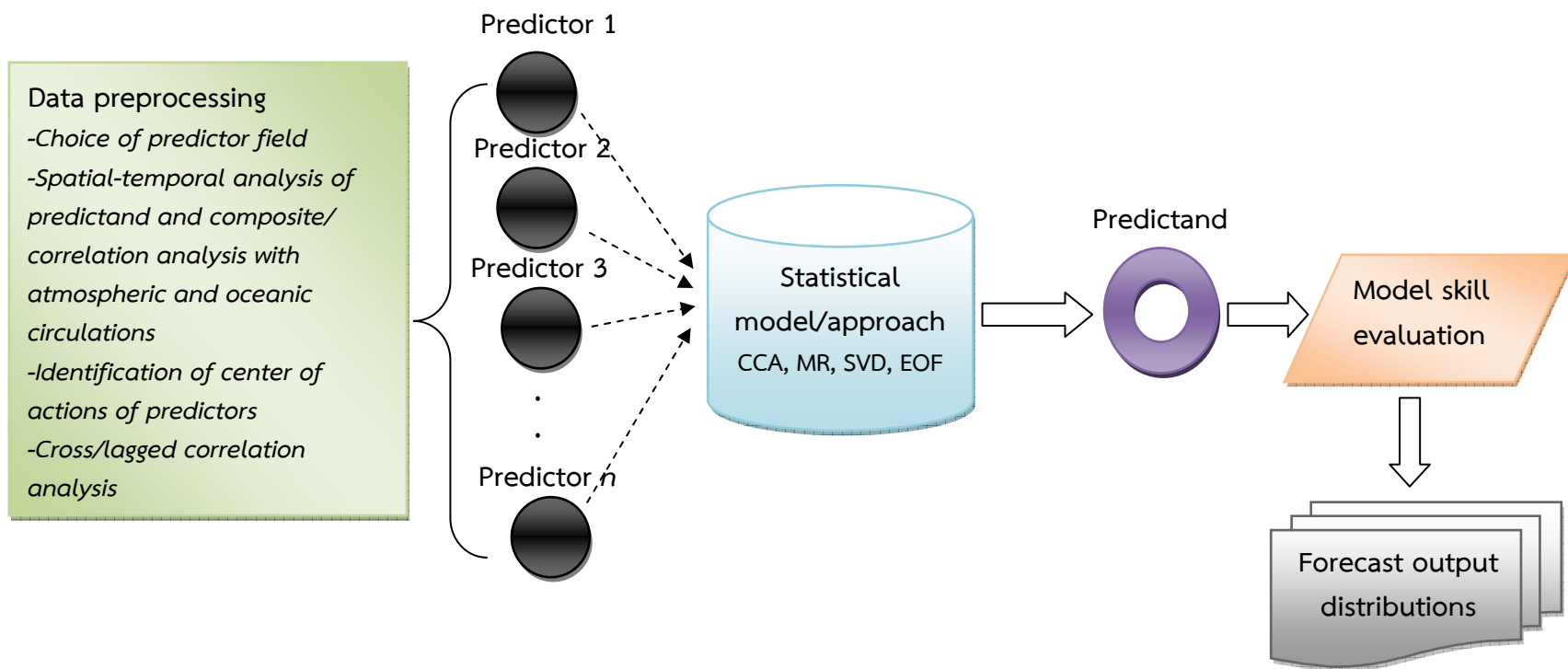
การพยากรณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล (3–6 เดือน) ด้วยโมเดลทางสถิติ (statistical seasonal forecasting model) อาศัยแนวคิดพื้นฐานในบริบทของความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างแรงขับเคลื่อนหรือเงื่อนไขในบริเวณขอบเขตพื้นผิวโลก (Earth's lower-boundary forcing and conditions) รวมถึงสัญญาณเริ่มต้นบางประการทางภูมิอากาศ (atmospheric precursor) ในฐานะตัวทำนาย (predictor) และตัวแปรภูมิอากาศที่ต้องการพยากรณ์ (predictand) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง predictor และ predictand มักถูกวิเคราะห์จากข้อมูลตรวจวัดที่รวบรวมตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน โดยปกติแล้ว ผลการพยากรณ์ถูกนำเสนอในรูปความน่าจะเป็นตามฤดูกาลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในระยะยาว (Hansen et al., 1984; Namias, 1985; Hastenrath, 1990; Chu and He, 1994; Mason et al., 1996; Goddard et al., 2001) ทั้งนี้ โมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาลนั้น ได้ถูกพัฒนาจากองค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์พื้นฐานด้านความเชื่อมโยงระยะไกล (teleconnection) ซึ่งเป็นความผิดปกติของภูมิอากาศและมหาสมุทรที่สัมพันธ์ซึ่งกันและกันกับพื้นที่อื่นๆ ที่มีระยะทางห่างไกลและพึ่งพากันเชิงพื้นที่ในสเกลขนาดใหญ่ (large-scale spatial dependency) ของระบบภูมิอากาศผ่านแรงขับเคลื่อนจากภายนอก (remote forcing) ที่มีแหล่งกำเนิดจากแรงขับเคลื่อนหรือเงื่อนไขในบริเวณขอบเขตพื้นล่างของชั้นบรรยากาศ (Bjerknes, 1969; Wallace and Gutzler, 1981; Washington et al., 2000; Alexander et al., 2002; Panagiotopoulos et al., 2002; Chase et al., 2007) โดยความเชื่อมโยงระยะไกล นับมีบทบาทสำคัญในระบบภูมิอากาศโลก ซึ่งสะท้อนถึงกระบวนการควบคู่ระหว่างระบบการไหลเวียนสเกลขนาดใหญ่ของบรรยากาศชั้นบน และความแปรปรวนระยะสั้นของภูมิอากาศผิวพื้น ความเชื่อมโยงระยะไกล มักมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิและหยาดน้ำฟ้า รวมทั้งตำแหน่งและความแรงของกระแสลมกรดและเส้นทางพายุ (Wallace and Gutzler, 1981; Trenberth and Hurrell, 1994; Hurrell, 1996; Wang et al., 2000; Alexander et al., 2002; Panagiotopoulos et al., 2002) นอกจากนี้ ความเชื่อมโยงระยะไกล ยังส่งผลต่อความผิดปกติของลมฟ้าอากาศที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน และคงอยู่เป็นระยะเวลานานในภูมิภาคต่างๆ ของโลก (Trenberth and Hurrell, 1994; Alexander et al., 2002; Panagiotopoulos et al., 2002)

องค์ประกอบที่สำคัญของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ predictor, statistical model/approach และ predictand (รูปที่ 2.1) ความสัมพันธ์เชิงเส้นจำเพาะระหว่างตัวทำนายและตัวแปรภูมิอากาศที่พยากรณ์ รวมทั้งสมการถดถอย method of analogues, singular spectrum analysis (Keppenne and Ghill, 1992; van den Dool, 1994; Knaff and Landsea, 1997) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ถูกนำมาใช้บ่อยในโมเดลสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้า ในขณะที่บางโมเดลสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าใช้ความแปรปรวนร่วมหรือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายๆ ตัวแปร ณ เวลาใดเวลาหนึ่งล่วงหน้า

ที่กำหนด ซึ่งอัลกอริทึมที่นิยมใช้ประกอบด้วย canonical correlation analysis (CCA), singular value decomposition (SVD) และ combined empirical orthogonal functions (EOFs) (Graham et al., 1987; Barnston and Ropeleski, 1992; Bretherton et al., 1997) โดยโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาลเกือบทั้งหมด ได้ถูกออกแบบเพื่อพยากรณ์ตัวแปรภูมิอากาศใดตัวแปรหนึ่งเท่านั้น ซึ่งบ่อยครั้งมักใช้พยากรณ์หยาดน้ำฟ้าและอุณหภูมิ (Brankovic et al., 1994; Mason et al., 1996)

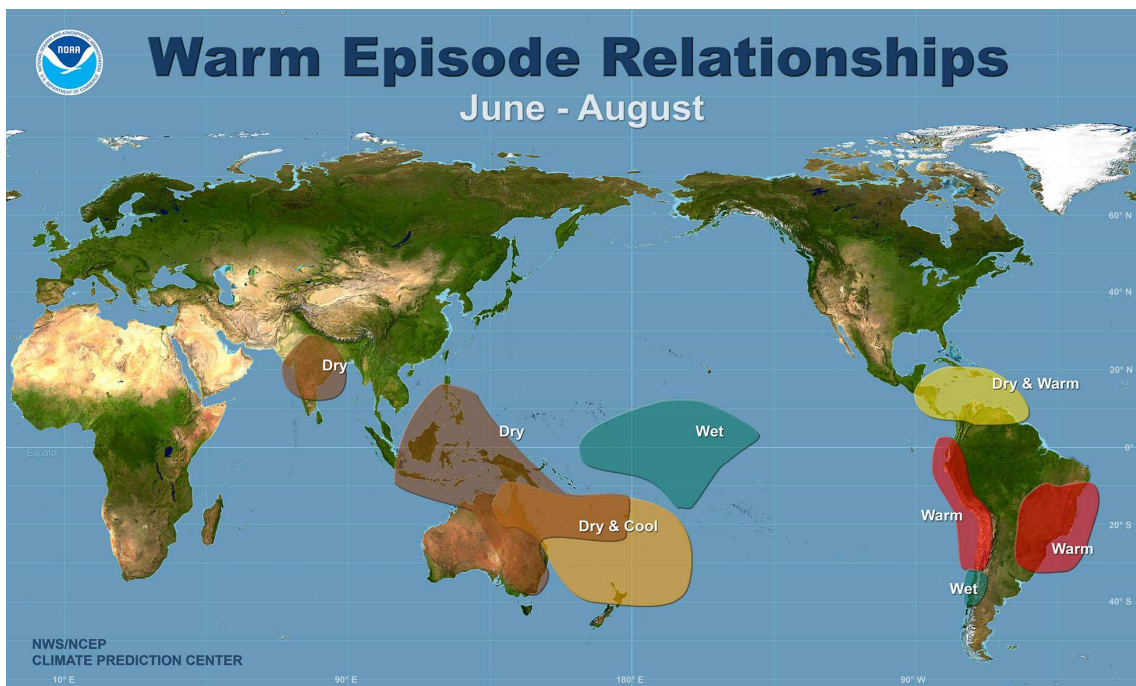
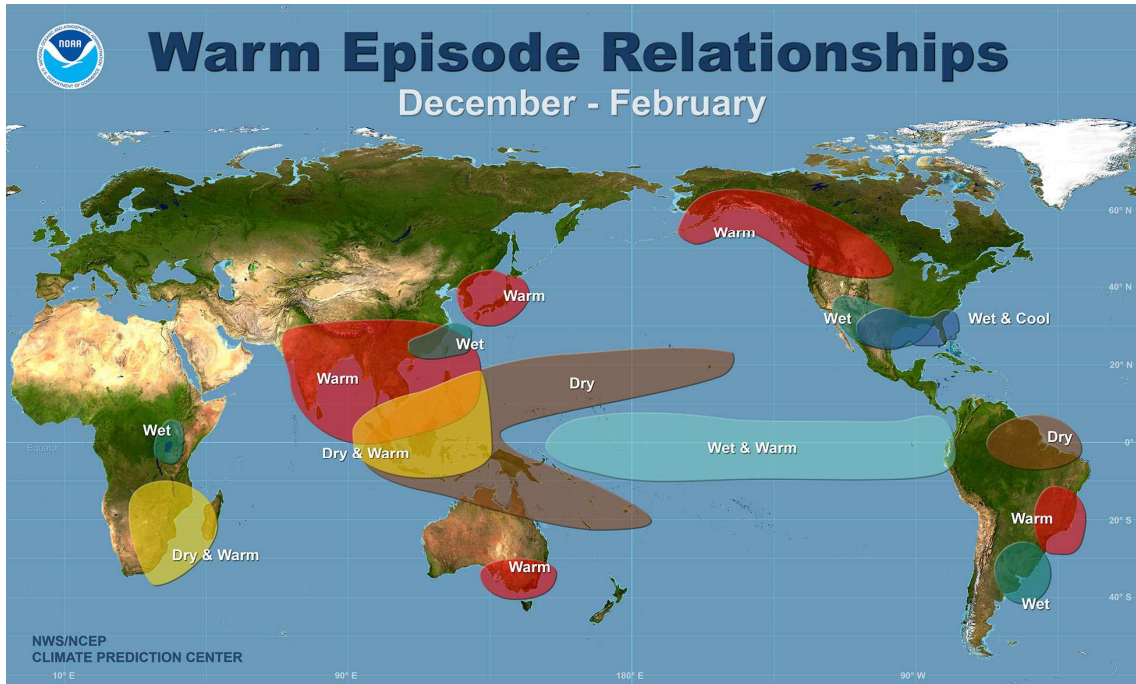
ภายใต้กระบวนการที่อธิบายความสามารถในการพยากรณ์ระบบบรรยากาศอันเนื่องมาจากสัญญาณแรงขับเคลื่อนจากภายนอก ศักยภาพของทักษะการพยากรณ์ จึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างสัญญาณแรงขับเคลื่อนจากภายนอกต่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเองภายในบรรยากาศ (WCRP, 2008) ความแปรปรวนหลักของแรงขับเคลื่อนจากภายนอก ส่วนใหญ่เกิดจากความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature; SST) รองลงมา ได้แก่ สัญญาณตามฤดูกาลของแรงขับเคลื่อนจากภายนอกอื่นๆ เช่น ความชื้นของดิน การใช้ประโยชน์ของที่ดิน แผ่นน้ำแข็งและองค์ประกอบทางเคมีของบรรยากาศ รวมถึงละอองลอย (Goddard et al., 2001; Goddard and Hoerling, 2006; WCRP, 2008) ทั้งนี้ การพยากรณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบฤดูกาลด้วยเทคนิคทางสถิติ รู้จักกันในนาม ‘second kind หรือ 2-tier’ ซึ่งผลการพยากรณ์ ถูกประมาณจากอิทธิพลของเงื่อนไขเฉพาะในบริเวณขอบเขตด้านล่างของโลกต่อบรรยากาศ (Goddard and Hoerling, 2006; Landman et al., 2012)

ในพื้นที่เขตร้อน บรรยากาศและมหาสมุทร มีปฏิสัมพันธ์แบบควบคู่โดยตรงมากกว่าพื้นที่อื่น และความแปรปรวนภายในของบรรยากาศ มีค่อนข้างน้อย (Gill, 1980; Campbell et al., 1983; Livezey, 1990) ด้วยลักษณะทางกายภาพนี้ ทำให้การพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบฤดูกาลที่เกี่ยวข้องกับแรงขับเคลื่อนของขอบเขตผิวพื้น มีศักยภาพสูงในบริเวณเขตร้อน (Mason et al., 1996) ส่วนการพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบฤดูกาลในพื้นที่นอกเขตร้อน มีศักยภาพค่อนข้างต่ำกว่าเนื่องจากความไม่เสถียรตามธรรมชาติแบบยุ่งเหยิง (inherent chaotic instability) ที่สูงของบรรยากาศในบริเวณนอกเขตร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงฤดูหนาว (Roads, 1985; Barnston and Livezey, 1987; Palmer and Anderson, 1994) แม้กระนั้นก็ตาม ความสามารถการพยากรณ์ในพื้นที่นอกเขตร้อนอย่างน้อยที่สุดในช่วงฤดูหนาว อาจขึ้นอยู่กับความสามารถในการพยากรณ์บรรยากาศในเขตร้อน (Bengtsson et al. 1993; Barnston et al., 1994) เนื่องจากรูปแบบการไหลเวียนของบรรยากาศในระดับ planetary-scale ในบริเวณเขตร้อน มีอิทธิพลต่อระบบการไหลเวียนของบรรยากาศในพื้นที่นอกเขตร้อน ผ่านการเชื่อมโยงระยะไกลที่นำโดยพลวัตของ Rossby wave (Ropelewski and Halpert, 1987; Livezey, 1990; Palmer and Anderson, 1993)



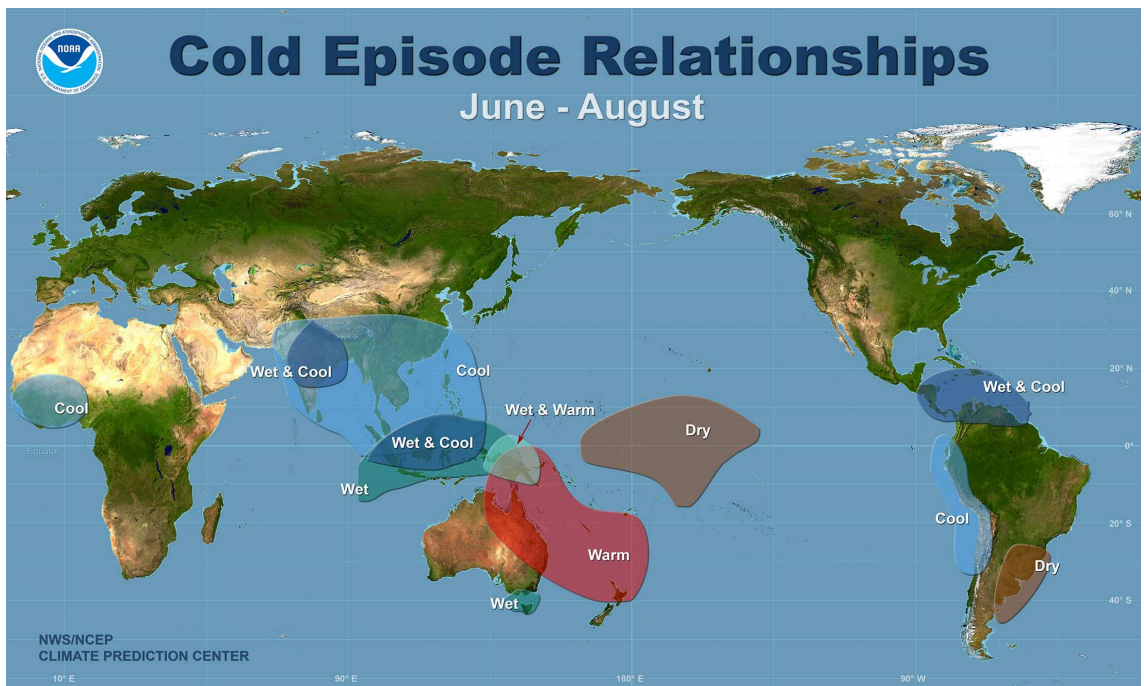
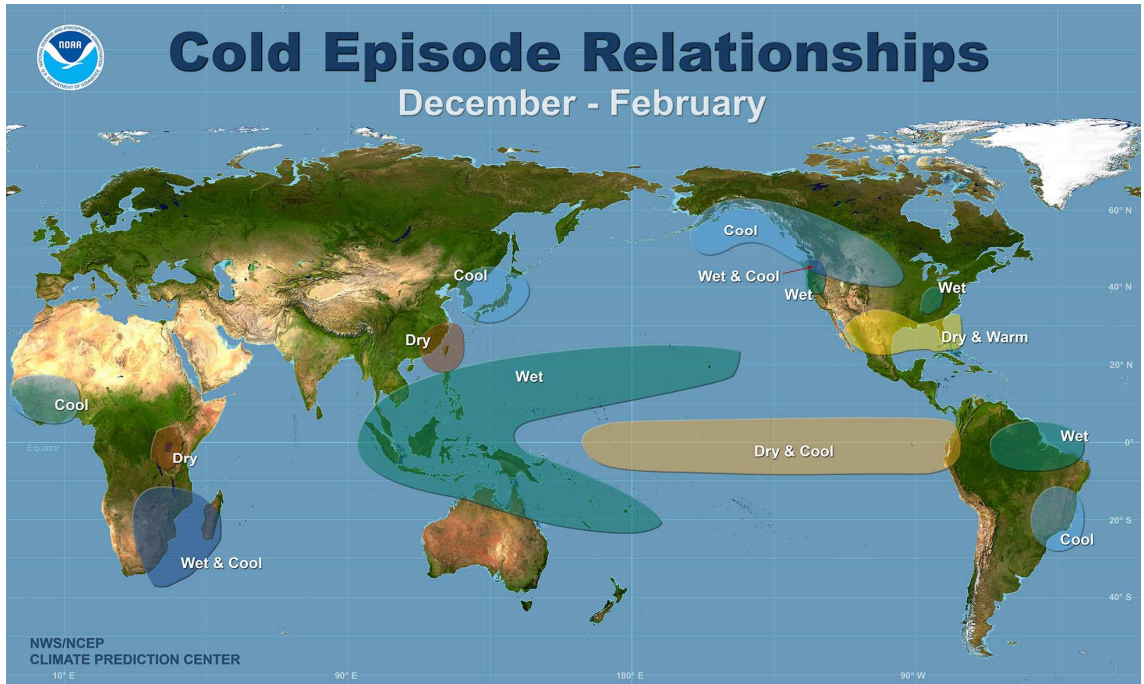
รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบโดยทั่วไปของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศสว่างหน้าในคาบเวลาฤดูกาล

การศึกษาที่ผ่านมาของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบฤดูกาลส่วนใหญ่ อาศัยแรงขับเคลื่อนจากความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งเป็นแหล่งความแปรปรวนพื้นฐานที่แสดงถึงแรงเฉื่อยหรือหน่วยความจำในบริบทของปริมาณความร้อนในมหาสมุทร ซึ่งสภาวะผิดปกติสามารถคงอยู่เป็นระยะเวลาหลายวันถึงหลายปีก่อนที่จะสลาย และสามารถพยากรณ์ได้ในระดับที่น่าพอใจด้วยเทคนิค 2-tier dynamical model โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลทั้งจากข้อมูลตรวจวัดหรือข้อมูลจากแบบจำลอง ในฐานะตัวแปรอิสระ ได้ถูกใช้เป็นตัวทำนายทั้งหมดหรือส่วนใหญ่ของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในพื้นที่ Sahel (Bah, 1987; Folland et al., 1991; Barnston et al., 1996; Ward, 1998; Thiaw et al., 1999) ฝั่งตะวันออกของทวีปแอฟริกา (Mutai et al., 1998) แอฟริกาใต้ (Klopper et al., 1998; Landman and Klopper, 1998; Mason, 1998; Mattes and Mason, 1998; Landman and Mason, 1999) ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิล (Ward and Folland, 1991; Uvo et al., 1998) หมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกและรัฐอะแลสกา (Barnston and He, 1996; Yu et al., 1997) ประเทศออสเตรเลีย (Casey, 1998) ทวีปยุโรป (Johansson et al., 1998) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Barnston, 1994) และประเทศแคนาดา (Shabbar et al., 1997) ทั้งนี้ ตัวทำนายของโมเดลพยากรณ์ทางสถิติส่วนใหญ่ เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งเป็น center of action ที่สำคัญของปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO, El Nino-Southern Oscillation) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงควมคู่ระหว่างมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิก และความผันแปรของซีกโลกใต้ (Philander, 1990) โดยความเชื่อมโยงระยะไกลที่เกิดจากปรากฏการณ์เอนโซ มีส่วนสำคัญต่อความผิดปกติของหยาดน้ำฟ้าและอุณหภูมิ รวมทั้งสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่เขตร้อนบริเวณอินโด-แปซิฟิก (รูปที่ 2.2 และ 2.3) (Ropelewski and Halpert, 1987; Trenberth, 1991; Diaz et al., 2001; Alexander et al., 2002; Juneng and Tangang, 2005; Cai et al., 2010; Kenyon and Hegerl, 2010) จากผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า โมเดลพยากรณ์ มีทักษะสูง และสามารถคาดการณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้าได้เป็นระยะเวลาสั้น ในพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลสูงจากปรากฏการณ์เอนโซหรือพื้นที่ที่มีการเชื่อมโยงระยะไกลอย่างเข้มข้นกับปรากฏการณ์เอนโซ เช่น พื้นที่ Sahel แอฟริกาใต้ ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิลพื้นที่เขตร้อนบริเวณอินโด-แปซิฟิก (Mason et al., 1996; Goddard et al., 2001) ตัวอย่างของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบฤดูกาลที่ใช้ความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นตัวทำนาย ดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ความเชื่อมโยงระยะไกลของปรากฏการณ์เอลนีโญในช่วงปรากฏการณ์เอลนีโญ

ที่มา: www.cpc.ncep.noaa.gov



รูปที่ 2.3 ความเชื่อมโยงระยะไกลของปรากฏการณ์เอลนีโญในช่วงปรากฏการณ์ลานีญา

ที่มา: www.cpc.ncep.noaa.gov

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในคาบฤดูกาลที่ใช้ความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นตัวทำนาย

แหล่งข้อมูล	พื้นที่ศึกษา	Predictor	Predictand	Statistical model
Barnston et al. (1996)	Africa	quasi-global SST	3-month total precipitation	canonical correlation analysis (CCA)
He and Barston, (1996)	Tropical Pacific Islands	quasi-global SST	3-month total precipitation	CCA
Shabber and Barnston (1996)	Canada	quasi-global SST	3-month total precipitation	CCA
Yu et al. (1997)	U.S. Affiliated Pacific Islands	SST in the Pacific Ocean	seasonal rainfall variation	CCA, principal component regression (PCR)
Landman and Mason (1999)	South Africa	SST in the Atlantic and Indian Oceans	summer rainfall	CCA
Wang and Ting (1999)	United State	tropical Pacific SST	seasonal mean precipitation	singular value decomposition (SVD)
Drosowsky and Chambers (2001)	Australia	SST in Indian and Pacific Oceans	seasonal rainfall	rotated principal component
Folland et al. (2001)	Northeast Brazil	tropical Atlantic and Pacific SST	rainy season rainfall	multiple regression, linear discriminant analysis

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

แหล่งข้อมูล	พื้นที่ศึกษา	Predictor	Predictand	Statistical model
Hwang et al. (2001)	Far Eastern Asia	quasi-global SST	3-month total precipitation	CCA
Singhrattna et al. (2005)	Thailand	global SST	summer (August-October) monsoon rainfall	linear regression, local polynomial-based non-parametric method
Zheng and Frederiksen (2006)	New Zealand	tropical Pacific SST/ central Indian Ocean SST/ local New Zealand SST	winter/summer rainfall	variance decomposition approach
Korecha and Barnston (2007)	Ethiopia	global SST	June-September rainfall	multivariate statistical techniques
Omogbai (2010)	Nigeria	global SST	June-September rainfall	principal component analysis

บทที่ 3

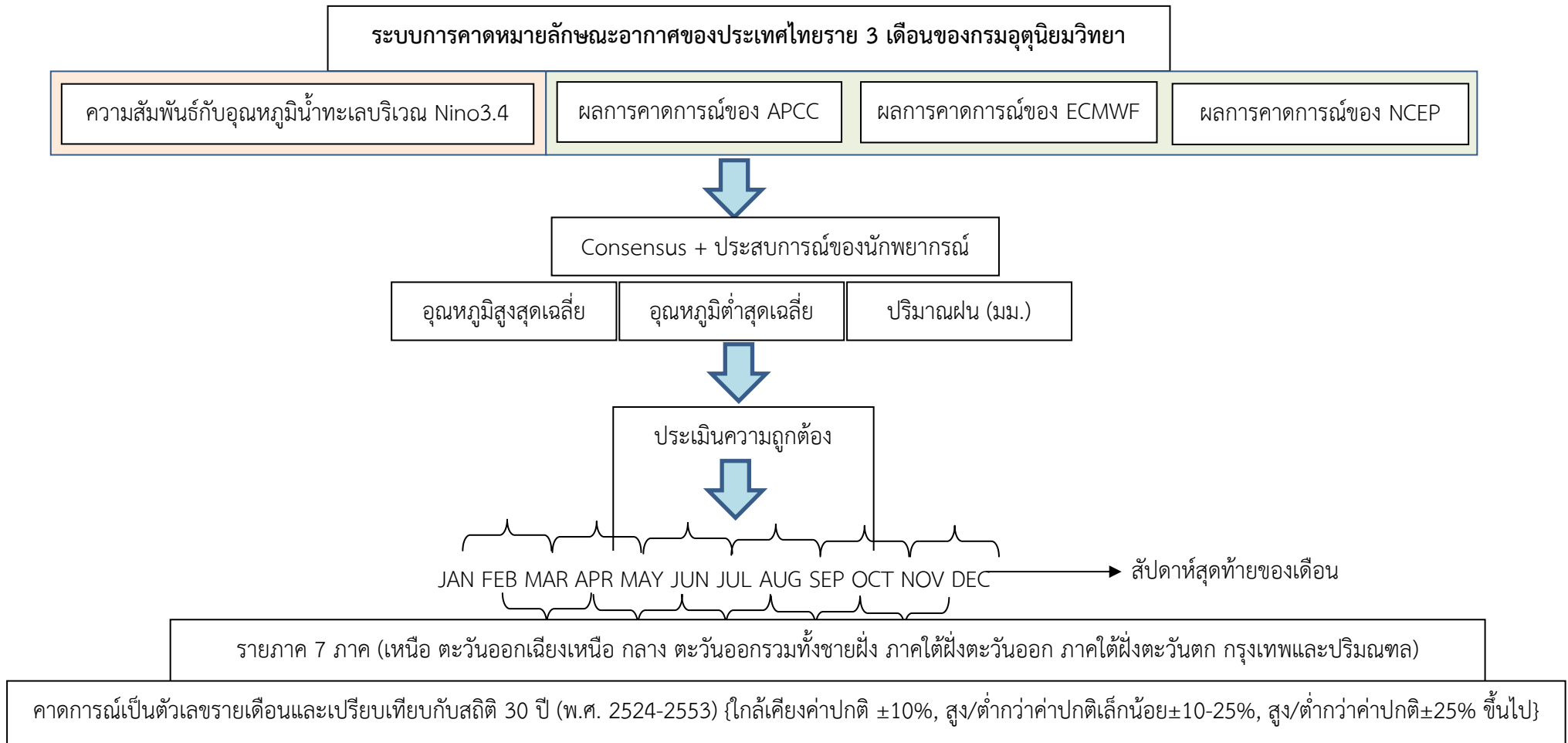
ระบบที่ใช้สำหรับการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาลในปัจจุบัน

3.1 ระบบการคาดการณ์ลักษณะอากาศราย 3 เดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา

วิธีการที่กรมอุตุนิยมวิทยาใช้ในปัจจุบันสำหรับการคาดการณ์ลักษณะอากาศของประเทศไทย ล่วงหน้ารายฤดูกาล (3 เดือน) เป็นระบบผสมผสานที่ใช้ผลการคาดการณ์ล่วงหน้าจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ของ Asia Pacific Economic Cooperation (APEC) Climate Center (APCC), European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) และ National Centers for Environmental Prediction (NCEP) มาวิเคราะห์ร่วมกับผลการคาดการณ์เชิงสถิติ จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศในประเทศไทย และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณ Niño 3.4 โดยผลการคาดการณ์ล่วงหน้าจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาระดับภูมิภาคต่างๆ และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติดังกล่าว เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการจัดทำข้อมูลคาดการณ์ ลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยรายฤดูกาล บนพื้นฐานจากการพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูล ผลการคาดการณ์ล่วงหน้าจากทั้งสี่แหล่งควบคู่กับประสบการณ์ของนักพยากรณ์ ทั้งนี้ ตัวแปร ภูมิอากาศที่ได้คาดการณ์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงรายฤดูกาลประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยและปริมาณฝน โดยคาดการณ์เชิงตัวเลขรายเดือนและเปรียบเทียบกับสถิติ 30 ปี (พ.ศ. 2524–2553) แล้วระบุเป็นเกณฑ์ ดังนี้

- ใกล้เคียงค่าปกติ $\pm 10\%$
- สูง/ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย $\pm 10\text{--}25\%$
- สูง/ต่ำกว่าค่าปกติ $\pm 25\%$ ขึ้นไป

ผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน จะออกประกาศในสัปดาห์สุดท้ายของเดือนและทำการอัปเดตทุกๆเดือน โดยผลการคาดการณ์ สรุปเป็นรายภาค 7 ภาค ดังนี้ เหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ กลาง ตะวันออกรวมทั้งชายฝั่ง ภาคใต้ฝั่งตะวันออก ภาคใต้ฝั่งตะวันตก และกรุงเทพและปริมณฑล สำหรับการประเมินความถูกต้องนั้น กรมอุตุนิยมวิทยา ได้เริ่มมีการวิเคราะห์มาประมาณ 2 ปี ซึ่งความถูกต้องประมาณ 50% ทั้งนี้ ได้ประเมินผลคาดการณ์ว่าถูกหรือผิด โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดโดยตรง เช่น ผลการคาดการณ์ให้ผลว่าเดือนนี้มีฝน 100–140 มม. แต่จากข้อมูลตรวจวัด พบว่ามีฝนตกจริง 200 มม. ถือว่าผลการคาดการณ์ผิด ขั้นตอนและรายละเอียดของระบบการคาดการณ์ลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและรายละเอียดของระบบการคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา

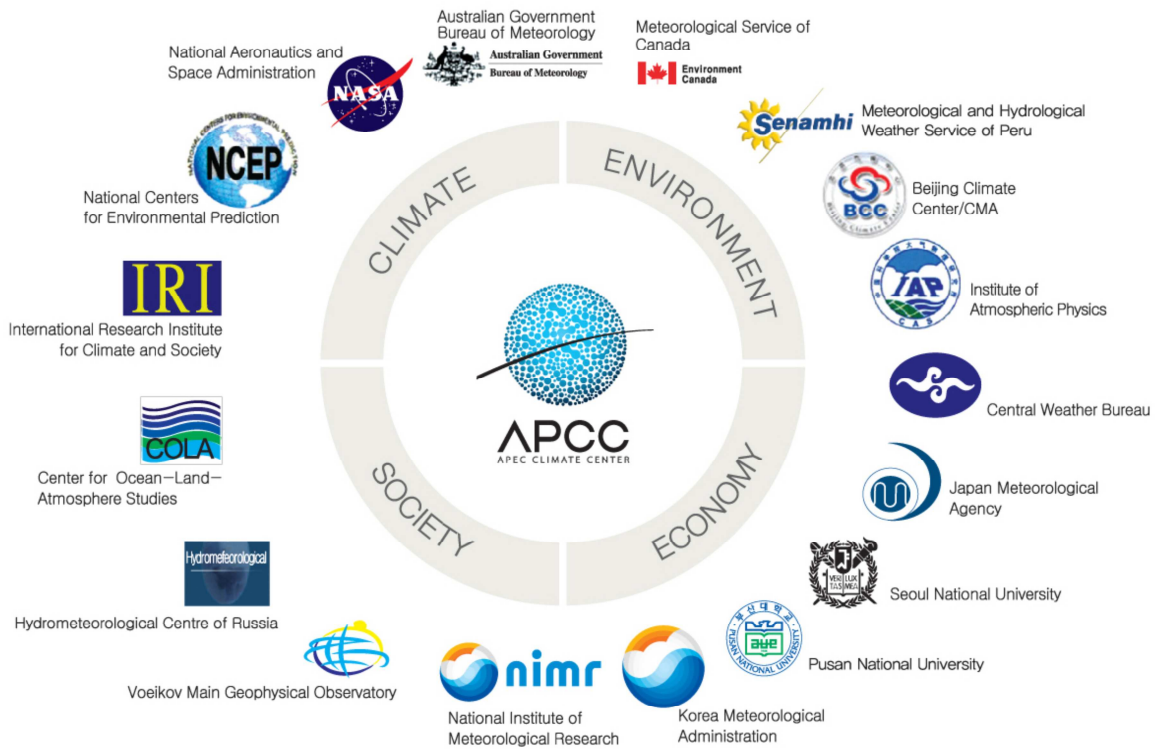
3.2 ระบบการคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลของศูนย์ APCC

ระบบการคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลของศูนย์ APCC ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการประมวลผลจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญและมีชื่อเสียงของศูนย์และสถาบันต่างๆ ในภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก (APEC) ด้วยระบบ APCC multi-model ensemble (MME) operational forecasts ซึ่งศูนย์และสถาบันที่เข้าร่วม APCC-MMEs มีจำนวน 17 หน่วยงาน ประกอบด้วย 1) Australian Bureau of Meteorology (BoM), 2) Canadian Meteorological Center, 3) Beijing Climate Center (BCC), 4) Institute of Atmospheric Physics of China (IAP), 5) Japan Meteorological Agency (JMA), 6) Korea Meteorological Administration (KMA), 7) National Institute of Meteorological Research of Korea (NIMR), 8) Seoul National University (SNU), 9) Pusan National University (PNU), 10) Meteorological and Hydrological Weather Service of Peru (SENAMHI), 11) Main Geophysical Observatory of Russia (MGO), 12) Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environment Monitoring, 13) Central Weather Bureau of Chinese Taipei (CWB), 14) Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA), 15) International Research Institute for Climate and Society (IRI), 16) National Aeronautics and Space Administration (NASA) และ 17) National Center for Environmental Prediction (NCEP) (รูปที่ 3.2) (Min and Kryjov, 2006; APCC, 2008; Min et al., 2009; APCC, 2013a) วิธี MMEs ได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความแม่นยำในการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้า (e.g., Krishnamurti et al., 2000; Wang et al., 2009; Lee et al., 2011) แนวคิดพื้นฐานของ MMEs คือ การหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติของแต่ละโมเดล และลดความไม่แน่นอนที่เกิดจากโมเดลเชิงพลวัตของบรรยากาศและมหาสมุทร และการกำหนดตัวแปรเสริมทางฟิสิกส์ของกระบวนการ ที่ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ในระดับสเกลที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของกริด (sub-grid scale) โดยการใช้ผลจากโมเดลที่เป็นอิสระต่อกันและมีทักษะการคาดการณ์สูงหลายแบบจำลองรวมกัน เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่เชิงเฟสของภูมิอากาศที่เป็นไปได้เพิ่มมากขึ้น (Krishnamurti et al., 2000; Lee et al., 2013) ทั้งนี้ ผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ทักษะการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศล่วงหน้าของ MMEs มักสูงกว่าทักษะการคาดการณ์ของโมเดลเพียงแบบจำลองเดี่ยว ลักษณะสำคัญของโมเดลทั้งหมดของศูนย์และสถาบันต่างๆ ในภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก ที่เข้าร่วมกับระบบการคาดหมายลักษณะอากาศล่วงหน้าของศูนย์ APCC ดังสรุปในตารางที่ 3.1-3.3 ผลของโมเดลเหล่านี้ อยู่ในรูปของ ensemble ของการคาดการณ์ลักษณะตัวแปรภูมิอากาศในระดับโลก (Min et al., 2009) ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3.1) ข้อมูลคาดการณ์ล่วงหน้าของโมเดลแต่ละโมเดล มี ensemble จำนวนตั้งแต่ 4 ถึง 51 สมาชิก ในขณะที่ ข้อมูลจำลองในอดีต (hindcast) มี ensemble จำนวนตั้งแต่ 4 ถึง 24 สมาชิก (ตารางที่ 3.2) ตัวแปรภูมิอากาศที่ถูกคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงล่วงหน้าโดยโมเดลส่วนใหญ่ ประกอบด้วย Prec., T850, Z500, SLP, T2m, U850, V850, U200, V200 และ OLR (ตารางที่ 3.3) ผลการคาดการณ์จากศูนย์และสถาบันต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น จะถูกรวบรวมและประมวลผลด้วยวิธีการและแผนงานเชิงศาสตร์และศิลป์ (state-of-the-art scheme) เพื่อสร้างและผลิตผลการคาดการณ์ทางสถิติที่มีความสอดคล้องร่วมกัน (a statistically consensual forecast) ทั้งนี้ ผลการคาดการณ์ของศูนย์ APCC ไม่เพียงแต่ให้

ความสำคัญต่อขนาดและระดับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของตัวแปรภูมิอากาศที่มีการพยากรณ์เท่านั้น แต่ยังคงคำนึงถึงความน่าจะเป็นของผลการจำลองเหล่านั้นอีกด้วย

ขั้นตอนแรกของการจัดทำข้อมูลคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าของศูนย์ APCC เป็นการรวบรวมข้อมูลต้นฉบับของโมเดลเชิงพลวัตทั้งข้อมูลคาดการณ์ในอนาคตและข้อมูลจำลองในอดีต จากผู้ให้บริการผลและข้อมูลของโมเดลจากประเทศต่าง ๆ ที่เป็นสมาชิกเอเปค หลังจากนั้น ข้อมูลแบบจำลองทั้งหมด จะผ่านกระบวนการทำให้ได้มาตรฐานด้วยการปรับข้อมูลคาดการณ์ให้อยู่ในฟอร์เมตเดียวกัน ซึ่งแต่ละไฟล์ ประกอบเพียงตัวแปรเดียวในหนึ่งเดือน สำหรับหนึ่งสมาชิกของชุดการประมวลผลแบบจำลองร่วม (ensemble) สำหรับขั้นตอนถัดไป เป็นการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลคาดการณ์ ทั้งนี้ เฉพาะข้อมูลคาดการณ์และข้อมูลสังเกตการณ์ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลแล้วเท่านั้น จะถูกจัดเตรียมเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับ APCC-MMEs ศูนย์ APCC ดำเนินการจัดทำและผลิตผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศราย 3 เดือน ทุกๆ เดือน โดยประยุกต์ใช้เทคนิคเชิง deterministic 4 วิธี และเทคนิคเชิง probabilistic 1 วิธี (APCC, 2013a)

ตั้งแต่เดือนมกราคม ค.ศ. 2008 เป็นต้นมา ศูนย์ APCC ได้ออกประกาศผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าแบบ rolling 3-month ทุกเดือนโดยออกประกาศล่วงหน้า 1 เดือน และเผยแพร่ผลการคาดการณ์ให้ประเทศสมาชิกเอเปค ล่วงหน้า 10 วันก่อนถึงเดือนที่จะคาดการณ์ลักษณะอากาศ (APCC, 2013a) นอกจากผลการคาดการณ์แล้ว สถานการณ์ปัจจุบันของลักษณะภูมิอากาศและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทวนสอบ (verification) ผลคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศด้วยระบบ APCC-MMEs จะถูกเผยแพร่ผ่านทาง bulletin และเว็บไซต์ของ APCC รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการจัดทำและผลิตผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศ รวมทั้งขั้นตอนการเผยแพร่ผลการคาดการณ์ของศูนย์ APCC โดยสรุป ข้อมูลโมเดลของทุกแบบจำลองที่เข้าร่วมจะถูกรวบรวมในช่วง 10 วันแรกของเดือนก่อนถึงฤดูกาลพยากรณ์ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกประมวลผลให้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีฟอร์เมตเดียวกัน พร้อมทั้งตรวจสอบคุณภาพข้อมูลตั้งแต่กลางสัปดาห์ที่สอง ตั้งแต่กลางสัปดาห์ที่สอง ถึงกลางสัปดาห์ที่สาม ดำเนินการการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าด้วยระบบพยากรณ์ APCC-MMEs หลังจากนั้น จะจัดทำ APCC outlook ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 วัน โดย APCC outlook นี้ จะเผยแพร่ทุกๆ เดือนหลังจากได้ปรึกษาหารือและอภิปรายกับคณะทำงานของ APCC สำหรับ climate outlook (APCC, 2013a) ลักษณะภูมิอากาศในระดับโลกและภูมิภาค จะถูกแปลและอภิปรายผลตามลักษณะและรูปแบบที่ขึ้นอยู่กับผลการคาดการณ์ โดยข้อมูลเชิงตัวเลขของผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศ สามารถดาวน์โหลดได้จากศูนย์บริการข้อมูลของ APCC (APCC Data Service System (ADSS) Server; <http://cis.apcc21.net>) นอกจากนี้ ข้อมูลทวนสอบผลการจำลองในอดีตสำหรับช่วงเวลาของการคาดการณ์และข้อมูลการทวนสอบการคาดการณ์แบบ real time ซึ่งมีความล่าช้าประมาณ 1 หนึ่งเดือน ยังสามารถดาวน์โหลดได้จากศูนย์บริการข้อมูลของ APCC ส่วนวิธีการและตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินทักษะการคาดการณ์ด้วยเทคนิค deterministic และ probabilistic ของระบบ APCC-MMEs เป็นเทคนิคส่วนใหญ่ที่เสนอแนะโดย World Meteorological Organization (WMO) สำหรับ WMO standardized verification system for long-range forecasts (WMO, 2002)



รูปที่ 3.2 ศูนย์และสถาบันต่างๆ ในภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก ที่ให้ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับระบบการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาลของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2013a)

ตารางที่ 3.1 โมเดลทางคณิตศาสตร์ของศูนย์และสถาบันต่างๆ ในภูมิภาคเอเชีย-แปซิฟิก ที่เข้าร่วมกับระบบการคาดหมายลักษณะอากาศล่วงหน้าของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2008)

Member Economies	Model designation	Organization	Model Resolution
Australia	POAMA2.4	Bureau of Meteorology Research Centre (BMRC)	T47, L17
Canada	CanCM3	Meteorological Service of Canada (MSC)	T63
China	Coupled GCM	Beijing Climate Center (BCC)	T63, L16-AGCM, L30-OGCM
	IAP9L-AGCM	Institute of Atmospheric Physics (IAP)	5° long. x 4° lat., L9
Chinese Taipei	Spectral	Central Weather Bureau (CWB)	T42, L18
Japan		Japan Meteorological Agency (JMA)	T95, L24
Korea	GCPS	Seoul National Korea University (SNKU)	T63, L21
	GDAPS T106	Korea Meteorological Administration (KMD)	T106, L21
	METRI AGCM	Meteorological Research Institute (MRI)	5° long. x 4° lat., L17
	PNU CGCM V1.0	Pusan National University (PNU)	T42, L18
Peru	NCAR CCM3	SENAMHI	T42, L18
Russia	SL-AV	Hydrometcenter of Russia (HCR)	1.40625° long. x 1.125° lat., L28
	MGOAM2	Voeikov Main Geophysical Observatory (MGO)	T42, L14
USA	COLA AGCM v2.2.6	Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA)	T63,L18
	ECHAM4.5	International Research Institute for Climate and Society (IRI)	T42, L19
	GMAO	NASA Goddard Space Flight Center (NASA)	288x181, L72 and 720x410, L40
	CFSv2	National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	T126, L64

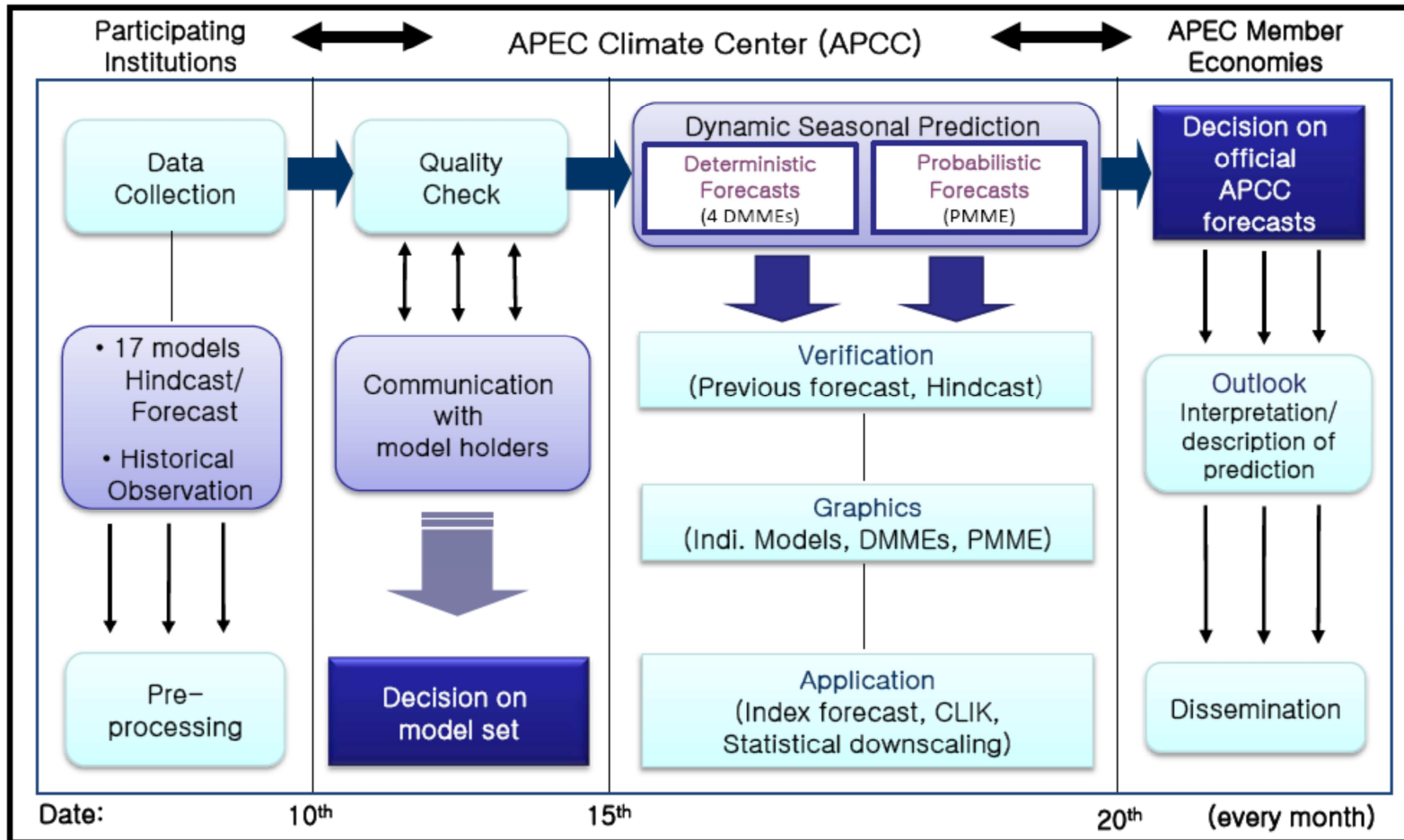
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะสำหรับ Hindcast/Forecast ของโมเดลของศูนย์และสถาบันต่างๆ ที่เข้าร่วมกับระบบการคาดหมายลักษณะอากาศล่วงหน้าของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2008)

Model/Organization	Hindcast			Forecast
	type	period	Number of ensemble members	Number of ensemble members
1. POAMA2.4/BMRC	SMIP	1960-2010	10	10
2. CanCM3/MSC	SMIP	1981-2010	10	10
3. Coupled GCM/BCC	SMIP	1983-2004	8	8
4. IAP9L-AGCM/IAP	-	1979~2004	7	7
5. Spectral/CWB	SMIP/HFP	1981-2005	10	10
6. JMA	HFP	1979-2008	5	51
7. GCPS/SNKU	SMIP/HFP	1979~2005	4	4
8. GDAPS T106/KMD	SMIP/HFP	1979~2007	20	20
9. METRI AGCM/MRI	SMIP/HFP	1979 – 2002	10	10
10. PNU CGCM V1.0/PNU	CMIP	1979 – 2009, (Jan.-Jun.)	10	10
11. NCAR CCM3/ SENAMHI	-	1982-2001	-	12
12. SL-AV/HCR	LAF	1981-2010	10	20
13. MGOAM2/MGO	SMIP-2	1979 ~ 2004	6	10
14. COLA AGCM v2.2.6/COLA	AMIP	1981 ~ 2002 (for the DJF case)	10	10
15. ECHAM4.5/IRI	AMIP	Jan1979 – Dec2005	24	24
16. GMAO/NASA	-	-	9	10
17. CFSv2/NCEP	SMIP/HFP	1982-2009	20	20

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรของ Hindcast/Forecast (ที่มา: APCC, 2008)

Model	Prec	T850	Z500	SLP	T2m	U850	V850	U200	V200	OLR
1. POAMA2.4	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
2. CanCM3	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	
3. Coupled GCM	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	
4. IAP9L-AGCM	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
5. Spectral	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	-/+
6. JMA	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	
7. GCPS/SNKU	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
8. GDAPS T106	+/+	+/+	+/+	+/+		+/+	+/+	+/+	+/+	
9. METRI AGCM	+/+	+/+	+/+							
10. PNU CGCM V1.0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
11. NCAR CCM3		+/+	-/+		+/+	+/+	-/+	-/+	-/+	
12. SL-AV	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	
13. MGOAM2	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+			+/+
14. COLA AGCM v2.2.6	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-
15. ECHAM4.5	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
16. GMAO	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
17. CFSv2	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+

Prec=Precipitation, T850=850hPa Temperature, Z500=500hPa Geopotential height, SLP= Sea level pressure, T2m= Surface (2m) air temperature, U850=850hPa Zonal velocity, V850=850hPa Meridional velocity, U200=200hPa Zonal velocity, V200=200hPa Meridional velocity, OLR= Outgoing longwave radiation



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนและระเบียบวิธีการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าด้วย multi-climate model ensemble system และตารางเวลาการทำงานรายเดือนของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2013b)

3.2.1 เทคนิคและระเบียบวิธีจัดทำและผลิตผลคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาลของ APCC-MMEs

ศูนย์ APCC จัดทำและผลิตผลคาดการณ์ลักษณะอากาศราย 3 เดือน ครอบคลุม 3 ตัวแปร ซึ่งประกอบด้วย ฝน อุณหภูมิที่ 850 hPa และ Geopotential height ที่ 500 hPa พร้อมทั้งตัวแปรภูมิอากาศอื่นๆ ที่จำลองในอดีต โดยประยุกต์ใช้เทคนิค deterministic และ probabilistic จำนวน 5 วิธี ดังนี้

1. Simple Composite Method (SCM)
2. Multiple Regression Method (MRG)
3. Synthetic Superensemble Method (SSE)
4. Stepwise Pattern Projection Method (SPM)
5. Probabilistic MME (PMME)

3.2.1.1 Simple Composite Method (SCM)

SCM เป็นระเบียบวิธีการคาดการณ์จำเพาะ (deterministic forecast scheme) ซึ่งแสดงโดยค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean) ของผลการคาดการณ์ที่คำนวณจากการเฉลี่ยที่ให้ค่าน้ำหนักเท่ากัน (equally weighted average) ของแต่ละโมเดลของ MMEs (APCC, 2008; 2013b; APN, 2008) เทคนิค SCM มีสมมุติฐานที่ว่าแต่ละโมเดล เป็นอิสระต่อกันและมีความสามารถในการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศล่วงหน้าในระดับภูมิภาคได้ค่อนข้างดี ดังนั้น เราจึงสามารถคาดหวังว่าผลการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศล่วงหน้ามีรูปแบบที่น่าเชื่อถือด้วยวิธีการ composite อย่างง่ายจากผลการคาดการณ์จากโมเดลต่างๆ วิธีการนี้ ยังคงรักษาพลวัตของโมเดล เนื่องจากการกรองเชิงพื้นที่อย่างง่าย (simple spatial filter) สำหรับแต่ละตัวแปรที่ตำแหน่งแต่ละกริด (APCC, 2013b; APN, 2008) นอกจากนี้ SCM ยังประกอบด้วยทั้งข้อดีและข้อจำกัดพื้นฐานของการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง ซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์บรรทัดฐานเปรียบเทียบทักษะสำหรับเทคนิคอื่นๆ ของ MMEs ทั้งนี้ SCM สร้างผลการคาดการณ์ร่วมจากข้อมูลที่ได้ปรับแก้ข้อผิดพลาดแล้ว (bias-corrected data) ดังนี้

$$s_t = \bar{O} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_{i,t} - \bar{F}_i) \quad (1)$$

โดย $F_{i,t}$ = ผลคาดการณ์ของโมเดล i ณ เวลา t ในขณะที่ \bar{F} และ \bar{O} = ค่าเฉลี่ยระยะยาว (climatology) และค่าตรวจวัด ตามลำดับ และ N = จำนวนโมเดลของ MMEs ดังนั้น ผลลัพธ์ของ SCM เป็นการคำนวณจากการรวมค่าผิดปกติจากค่าเฉลี่ย (anomaly) ของผลการคาดการณ์ของโมเดลที่ได้ปรับแก้ข้อผิดพลาดแล้ว ซึ่งการปรับปรุงทักษะของวิธีการนี้ เป็นผลมาจากการลบความผิดพลาดและลดสัญญาณรบกวนของภูมิอากาศ (climate noise) โดยการเฉลี่ยผลคาดการณ์ทั้งหมด (APCC, 2013b; APN, 2008) ค่าเฉลี่ยรวมของแบบจำลองที่คำนวณด้วยวิธีการนี้ ให้ค่าน้ำหนักเท่ากันคือ $\frac{1}{N}$ สำหรับแต่ละโมเดลในบรรดา N แบบจำลองที่เป็นสมาชิกของ MMEs

3.2.1.2 Multiple Regression Method (MRG)

MRG เป็นวิธีที่ MMEs ถูกถ่วงน้ำหนักด้วยค่าสัมประสิทธิ์เชิงประจักษ์ (empirically weighted MME) ที่คำนวณจากสมการถดถอยเส้นตรงเชิงพหุ (multiple linear regression) (Krishnamurti et al., 2000; Yun et al., 2003) ผลการคาดการณ์ด้วยวิธีดั้งเดิมของ multi-model superensemble (Krishnamurti et al., 2000) คำนวณจากข้อมูลที่ได้ปรับแก้ข้อผิดพลาดแล้ว ดังนี้

$$S_t = \bar{O} + \sum_{i=1}^n a_i (F_{i,t} - \bar{F}_i) \quad (2)$$

โดย $F_{i,t}$ = ผลคาดการณ์ของโมเดล i ณ เวลา t ในขณะที่ \bar{F}_i = ค่าเฉลี่ยรายเดือนที่เหมาะสมของโมเดล i ในช่วงระยะเวลาที่ใช้ฝึกอบรมแบบจำลอง (training period) ส่วน \bar{O} = ข้อมูลตรวจวัดเฉลี่ยรายเดือนในช่วงระยะเวลาที่ใช้ฝึกอบรมแบบจำลอง a_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ประมาณจากขั้นตอนการลดข้อผิดพลาดให้น้อยที่สุดในช่วงการฝึกอบรมแบบจำลอง และ n = จำนวนโมเดลของ MMEs ผลการคาดการณ์ด้วย multi-model superensemble ในสมการที่ 2 ไม่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากความผิดพลาดเชิงระบบของโมเดลที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากพจน์ $(F_{i,t} - \bar{F}_i)$ ในสมการได้อธิบายและพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยระยะยาวรายฤดูกาลของแต่ละโมเดลอยู่แล้ว (APCC, 2008; 2013b; APN, 2008) ทั้งนี้ ค่าน้ำหนักของแต่ละค่าในตำแหน่งกริดแต่ละกริดของแต่ละโมเดลของ multi-model superensemble ถูกประมาณด้วยเทคนิค point-wise multiple regression บนพื้นฐานช่วงระยะเวลาที่ใช้ฝึกอบรมแบบจำลอง ซึ่งเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (covariance matrix) ถูกสร้างขึ้นจากค่าผิดปกติที่ได้ลบวงจรรอบฤดูกาลออกแล้ว (F') (APCC, 2008; 2013b; APN, 2008)

$$C_{i,j} = \sum_{t=0}^{Train} F'_{i,t} F'_{j,t} \quad (3)$$

เมื่อ $Train$ แสดงถึงช่วงระยะเวลาที่ใช้ฝึกอบรมแบบจำลอง ส่วน i และ j แสดงโมเดลที่ i และ j ตามลำดับ เป้าหมายของสมการถดถอยนี้ เพื่อแสดงชุดข้อมูลฟังก์ชันเชิงเส้นตรงของข้อมูลนำเข้า ซึ่งเราสามารถสร้างชุดสมการพีชคณิตเชิงเส้นได้ ดังนี้

$$C \cdot x = \bar{A}' \quad (4)$$

โดย $\bar{A}' = \sum_{t=0}^{Train} O'_t F'_{j,t}$ คือ เวกเตอร์ขนาด $n \times 1$ ของความแปรปรวนร่วมของข้อมูลของแต่ละโมเดลที่เราต้องการหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ส่วน A' = ค่าผิดปกติของข้อมูลที่ได้ลบวงจรรอบฤดูกาลออกแล้ว ในขณะที่ C = เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ขนาด $n \times n$ และ x = เวกเตอร์ขนาด $n \times 1$ ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า จากวิธีการดั้งเดิมของ superensemble ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย สามารถประมาณจาก Gauss-Jordan elimination with pivoting (APCC, 2008; 2013b; APN, 2008) โดยเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม C และ A' ถูกจัดเรียงในรูปของเมตริกซ์ทแยงมุม (diagonal matrix) C' และ A'' และได้ผลลัพธ์จากการแก้สมการเป็นเวกเตอร์ ดังนี้

$$X^T = \left(\frac{\bar{A}''_1}{C'_{11}}, \dots, \frac{\bar{A}''_n}{C'_{nn}} \right), \quad (5)$$

เมื่อ T แสดงการทรานสโพสของเมตริกซ์

อย่างไรก็ตาม การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี Gauss-Jordan elimination ระหว่างโมเดลต่างๆ ไม่แข็งแรงเชิงตัวเลข (numerical robust) ปัญหาที่ปรากฏเมื่อองค์ประกอบของเมตริกซ์ในตำแหน่งทแยงมุม มีค่าเป็นศูนย์ เพราะขั้นตอนการแก้สมการที่เกี่ยวข้องกับการหารด้วยค่าในตำแหน่งทแยงมุมของเมตริกซ์ ภายใต้อัลกอริทึมดังกล่าว ไม่มีวิธีการจำเพาะในการแก้สมการ และเมตริกซ์ความแปรปรวนถูกเรียกว่าเอกพจน์ (singular) โดยทั่วไป วิธี Gauss-Jordan elimination ไม่ถูกแนะนำให้ใช้สำหรับแก้ปัญหาสมการถดถอย เนื่องจากปัญหาเอกพจน์ที่มักประสบบ่อย ในทางปฏิบัติ เมื่อตรวจพบเอกพจน์ของเมตริกซ์ superensemble forecast จะถูกแทนด้วย ensemble forecast

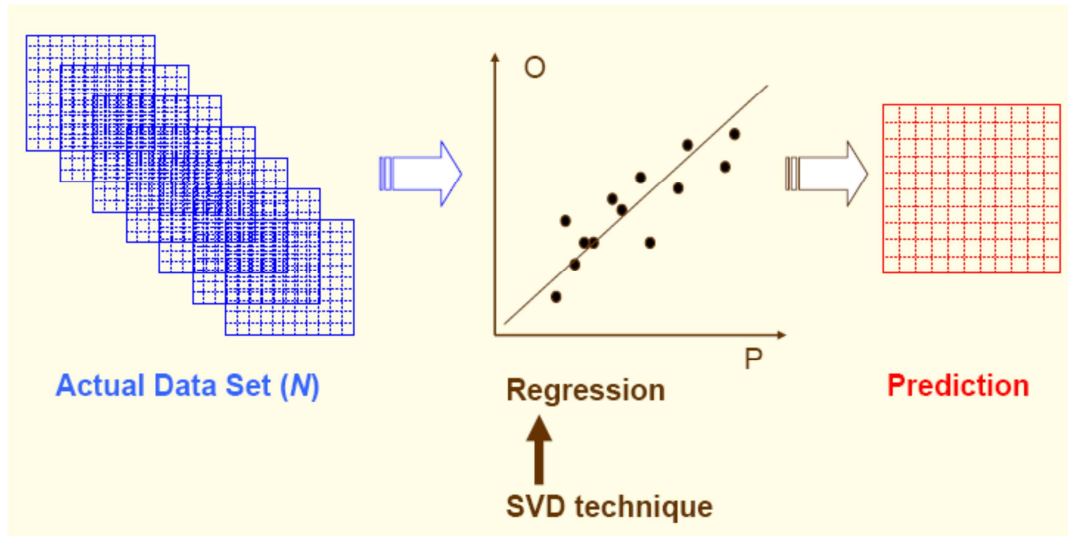
เทคนิค Singular Value Decomposition (SVD) มักถูกประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับชุดของโมเดลต่างๆ ซึ่ง SVD ของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม C คือการแยกเมตริกซ์เต็มเป็นเมตริกผลลัพธ์ 3 เมตริกซ์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม C สามารถเขียนในรูปผลรวมของผลคูณด้านนอกของเมตริกซ์คอลัมน์ U และเมตริกซ์แถวทรานสโพส V ดังนี้

$$C_{i,j} = (UWV^T)_{i,j} = \sum_{k=1}^n w_k U_{ik} V_{jk} \quad (6)$$

เมื่อ U และ V = เมตริกซ์ขนาด $n \times n$ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สัมพันธ์เชิงตั้งฉาก (orthogonality) ต่อกัน และ W = เมตริกซ์ทแยงมุมขนาด $n \times n$ ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นจำนวนจริงที่มีค่าเป็นบวกเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เนื่องจากเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม C เป็นเมตริกซ์จตุรัสสมมาตร ดังนั้น $C^T = VWU^T = UWV^T = C$ จากข้อเท็จจริงนี้ พิสูจน์ให้เห็นว่า เวกเตอร์ด้านซ้ายและด้านขวา U และ V มีค่าเท่ากัน ดังนั้น วิธีที่ใช้นี้ ยังสามารถเรียกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) ซึ่งการแยกเมตริกซ์เต็ม สามารถใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ดังนี้

$$x = V \cdot \left[\text{diag} \left(\frac{1}{w_j} \right) \right] \cdot (U^T \cdot \bar{Q}') \quad (7)$$

ทั้งนี้ โมเดล point-wise regression ด้วยการประยุกต์ใช้ SVD ช่วยแก้ปัญหาเอกพจน์ของเมตริกซ์ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยได้ด้วยวิธี Gauss-Jordan elimination รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนโดยย่อของ MRG



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนโดยย่อของวิธี Multiple Regression Method (MRG) (ที่มา: APCC, 2013a)

3.2.1.3 Synthetic Superensemble Method (SSE)

SSE เป็นเทคนิคเชิงผสมระหว่าง MRG และฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ (Empirical Orthogonal Function; EOF) เพื่อกรองฐานข้อมูลให้ความแปรปรวนของข้อผิดพลาดที่คงอยู่ในฐานข้อมูลให้เหลือน้อยที่สุด (Yun et al., 2005) แม้ว่าจะมีการปรับปรุงระเบียบวิธีการอย่างต่อเนื่องของทั้งโมเดลเชิงพลวัตและสถิติ แต่ทักษะการคาดการณ์ของโมเดลดังกล่าว ยังคงค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ MMEs ยังต้องพึ่งพาความสัมพันธ์เชิงสถิติจากการวิเคราะห์ข้อมูลตรวจวัดในอดีต (Chang et al., 2000) ซึ่งหมายความว่า ผลการคาดการณ์ของ MMEs ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของโมเดลแต่ละโมเดล

ในบริบทการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศรายฤดูกาลแล้ว การศึกษาจำนวนมากที่ผ่านมา (Krishnamurti et al., 1999, 2000; Pavan and Doblus-Reyes, 2000; Kharin and Zwiers, 2002; Peng et al., 2002; Yun et al., 2003; Palmer et al., 2004) ได้อภิปรายเทคนิคและระเบียบวิธีการต่างๆ ของ MMEs ที่ใช้สำหรับการคาดการณ์ความผิดปกติของลักษณะภูมิอากาศ เช่น the ensemble mean, the unbiased ensemble mean และ the superensemble forecast ซึ่งสามารถนิยามด้วยสมการ ดังนี้

$$E_b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - \bar{O})$$

$$E_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F}_i) \quad (8)$$

$$S = \sum_{i=1}^N a_i (F_i - \bar{F}_i)$$

เมื่อ E_b = the ensemble mean, E_c = the unbiased ensemble mean และ S = the superensemble ในขณะที่ F_i คือ ผลของโมเดลที่ i จากโมเดลทั้งหมดจำนวน N แบบจำลอง \bar{F}_i คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนหรือรายฤดูกาลของโมเดล i ในช่วงระยะเวลาที่ใช้ฝึกอบรมแบบจำลอง \bar{O} คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนและรายฤดูกาลของข้อมูลตรวจวัดในช่วงระยะเวลาที่ใช้ฝึกอบรมแบบจำลอง และ a_i =ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของโมเดลที่ i โดยความแตกต่างของวิธีการเหล่านี้ เกิดจากข้อผิดพลาดของค่าเฉลี่ย (mean bias) และการถ่วงน้ำหนัก ทั้ง unbiased ensemble mean และ superensemble จัดเป็นค่าเฉลี่ยที่ไม่มีข้อผิดพลาด เนื่องจากได้รวมค่าเฉลี่ยระยะยาวรายฤดูกาลของโมเดลแล้ว แต่การถ่วงน้ำหนักที่ต่างกันของ superensemble ทำให้ unbiased ensemble mean และ superensemble มีความแตกต่างกัน ประเด็นหลักของการคาดการณ์ด้วย superensemble คือ ข้อมูลที่ใช้ฝึกอบรมแบบจำลอง ทั้งนี้ ทักษะของการคาดการณ์ด้วย superensemble ในช่วงการพยากรณ์ สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ เมื่อการนำเข้าของ MMEs ถูกปรับแก้ความถูกต้องทางสถิติเพื่อลดความผิดพลาดของโมเดล (APCC, 2008; 2013b; APN, 2008)

รูปที่ 3.5 แสดงแผนภูมิค่าโครงอัลกอริธึมของระบบคาดการณ์ superensemble ที่ถูกนำเสนอซึ่งชุดข้อมูลใหม่ ถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลเดิม โดยการหารูปแบบเชิงพื้นที่ที่สอดคล้องกันระหว่างการวิเคราะห์ข้อมูลตรวจวัดและโมเดลแต่ละโมเดล จริงๆ แล้ว ขั้นตอนนี้ เป็นการแก้ปัญหาการถดถอยเชิงเส้นตรงในปริภูมิของฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ (Empirical Orthogonal Function; EOF) ชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ด้วย EOF filtered นี้ ถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของ MMEs สำหรับการคาดการณ์ ensemble/superensemble ซึ่งขั้นตอนการคำนวณเพื่อสร้างชุดข้อมูลใหม่ อธิบายในรายละเอียดไว้ด้านล่าง

ข้อมูลตรวจวัด (O) และข้อมูล MMEs (F_i) สามารถเขียนในรูปผลรวมเชิงเส้นตรงของ EOFs ซึ่งอธิบายความแปรปรวนในเชิงพื้นที่และเวลา ดังนี้ (APCC, 2008; 2013b; APN, 2008)

$$O(x, t) = \sum_n \tilde{O}_n(t) \phi_n(x) \quad (9)$$

$$F_i(x, T) = \sum_n \tilde{F}_{i,n}(T) \phi_{i,n}(x) \quad (10)$$

เมื่อ $\tilde{O}_n(t)$, $\tilde{F}_{i,n}(t)$ และ $\phi_n(x)$ คือ อนุกรมองค์ประกอบหลัก (Principal Component; PCs) และ EOF โหมดที่ n ของข้อมูลตรวจวัดและผลคาดการณ์จากโมเดล ตามลำดับ PCs ในสมการ 9 และ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงในสเกลเวลาของรูปแบบเชิงพื้นที่ ระหว่างช่วงระยะเวลาการฝึกอบรมและช่วงระยะเวลาทั้งหมดของการคาดการณ์ ดังนั้น ตอนนี้ เราสามารถประมาณรูปแบบที่สอดคล้องกันระหว่างข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลคาดการณ์ซึ่งมีวิวัฒนาการตามอนุกรม PCs ของข้อมูลตรวจวัดที่

ใช้ฝึกอบรมแบบจำลอง โดยความสัมพันธ์เชิงถดถอยระหว่างอนุกรม PCs ของข้อมูลตรวจวัดและจำนวน PCs ของแต่ละโมเดลคาดการณ์ เขียนได้ ดังนี้

$$\tilde{O}(t) = \sum_n \alpha_{i,n} \tilde{F}_{i,n}(t) + \varepsilon_{i,n}(t) \quad (11)$$

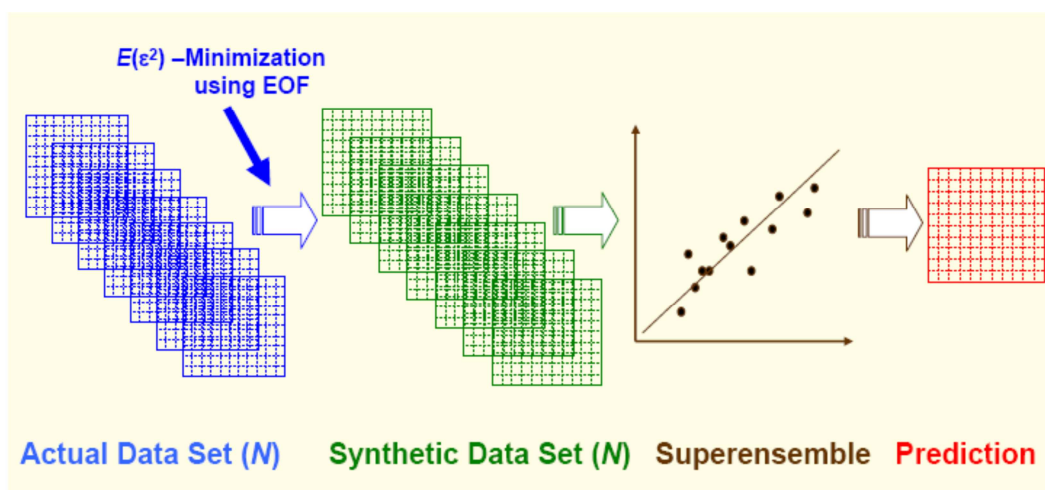
จากสมการ 11 อนุกรมของข้อมูลตรวจวัด สามารถแสดงในรูปของผลรวมเชิงเส้นตรงของอนุกรมตัวทำนาย (predictor) โดยสมการถดถอย ถูกวิเคราะห์ในโดเมนของ EOF เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ($\alpha_{i,n}$) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ($\alpha_{i,n}$) เป็นค่าที่ทำให้ข้อผิดพลาดที่เหลืออยู่มีค่าน้อยที่สุด เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ถูกสร้างขึ้นมารวมกับอนุกรม PCs ของแต่ละโมเดล โดยเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เป็นค่าความผิดปกติจากค่าเฉลี่ยที่ได้ลบวงจรรอบฤดูกาลออกแล้ว หลังจากประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแล้ว อนุกรม PCs ของฐานข้อมูลใหม่ เขียนได้ดังนี้

$$\tilde{F}_i^{reg}(T) = \sum_n \alpha_{i,n} \tilde{F}_{i,n}(T) \quad (12)$$

ฐานข้อมูลใหม่นี้ สังเคราะห์ขึ้นจากอนุกรม PCs และ EOF

$$\tilde{F}_i^{syn}(x, T) = \sum_n \tilde{F}_{i,n}^{reg}(T) \phi_n(x) \quad (13)$$

ฐานข้อมูลใหม่ที่สร้างขึ้นจากเทคนิค EOF-filtered ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับระบบคาดการณ์ MMEs และ superensemble คุณสมบัติที่สำคัญของฐานข้อมูลใหม่ คือ การลดข้อผิดพลาดของความแปรปรวนที่เหลืออยู่ระหว่างข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลของแต่ละโมเดลลงให้น้อยที่สุด ซึ่งข้อผิดพลาดของความแปรปรวนที่เหลืออยู่ ถูกลดลงให้น้อยที่สุดด้วยวิธี least square approach



รูปที่ 3.5 แผนภูมิเค้าโครงระบบคาดการณ์ superensemble ที่นำเสนอชุดข้อมูลใหม่ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลเดิมโดยการลดข้อผิดพลาดความแปรปรวนที่เหลืออยู่ในแต่ละโมเดล (ที่มา: APCC, 2013a)

3.2.1.4 Stepwise Pattern Projection Method (SPM)

เทคนิค SPM เป็นเวอร์ชันปรับปรุงของ Coupled Pattern Projection Method (CPPM) ที่ศูนย์ APCC ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยการย่อส่วนเชิงสถิติ (statistical downscaling) ที่ผลการคาดการณ์ด้วยระบบแบบควบคู่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง ถูก project ลงบนข้อมูลตรวจวัดที่จุดเป้าหมาย (APCC, 2008; APN, 2008) SPM นับเป็นเทคนิคใหม่เทคนิคหนึ่งของ APCC-MMEs ที่ MMEs ผ่านการสอบเทียบจากการปรับหรือแก้ไขโมเดลคาดการณ์เชิงเดี่ยว (Kug et al., 2008) ข้อแตกต่างหลักระหว่าง SPM และ CPPM คือ ระเบียบวิธีการคัดเลือก pre-predictor และทางเลือกที่เหมาะสมภายหลังการคาดการณ์ ทั้งนี้ พบว่า เทคนิค SPM มีทักษะการคาดการณ์ที่ดีในพื้นที่ที่ทักษะของแต่ละโมเดลโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำ (APCC, 2008; APN, 2008)

ระเบียบวิธีการของ SPM ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1) การคัดเลือก pre-predictor 2) pattern projection และ 3) optimal choice of prediction ขั้นตอนแรก เป็นการคัดเลือก pre-predictor ที่เหมาะสมด้วยวิธี cross-validated correlation สำหรับช่วงระยะเวลาที่ใช้ฝึกอบรวมแบบจำลอง ตัวพยากรณ์ ถูกสร้างขึ้นโดยการเลือกตัวพยากรณ์ประมาณ 100 ค่าที่ตำแหน่งกริดที่แตกต่างกันซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างดีกับตัวถูกพยากรณ์ (predictand) ส่วนขั้นตอนที่สอง เป็นการสร้างรูปแบบความแปรปรวนร่วมระหว่างข้อมูลคาดการณ์และข้อมูลสังเคราะห์ แล้วทำการคาดการณ์โดย project รูปแบบการคาดการณ์ลงบนรูปแบบความแปรปรวนร่วมด้วยสมการ

$$X_p(t) = \sigma_Y \sum_i \frac{COV(i) \cdot X(i,t)}{\sigma_x^2(i)} \quad (14)$$

โดย X_p =ค่าพยากรณ์ใหม่สำหรับตัวถูกพยากรณ์ ณ เวลา t σ_Y =ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวถูกพยากรณ์ $COV(i)$ =รูปแบบความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวถูกพยากรณ์และตัวพยากรณ์สังเคราะห์ $X(i,t)$ =ตัวพยากรณ์ที่กริด i และเวลา t และ σ_x^2 = ความแปรปรวนของตัวพยากรณ์ที่กริด i ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการประเมินถึงตัวถูกพยากรณ์ที่ถูกคัดเลือก มีทักษะพยากรณ์แต่ละกริดหรือไม่ โดยใช้ double cross validation ที่ค่า threshold ของระดับความสัมพันธ์ที่กำหนด เพื่อสร้างผลคาดการณ์ MMEs สุดท้าย วิธี multi-model composite ถูกประยุกต์ใช้ประมวลผลคาดการณ์ของโมเดลทั้งหมด

3.2.1.5 Probabilistic MME (PMME)

Probabilistic Multi-model Ensemble Seasonal Climate Prediction System (PMME) ได้ถูกพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้เป็นระบบปฏิบัติการสำหรับคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าทีศูนย์ APCC ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006 (Min and Kryjov, 2006) ซึ่งวิธีการ องค์ความรู้พื้นฐานเชิงวิทยาศาสตร์ รวมทั้งการประเมินการทวนสอบของระบบ ได้อธิบายในรายละเอียดโดย Min et al. (2009)

3.2.1.5.1 Probabilistic Multi-model Ensemble Operational Forecast

ระบบปฏิบัติการสำหรับคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้ารายฤดูกาลของศูนย์ APCC ออกประกาศและเผยแพร่ผลการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็น (probabilistic forecast) โดยได้แบ่งเกณฑ์ในรูป tercile probability ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ ต่ำกว่าปกติ (below normal; P_B) ใกล้ปกติ (near normal; P_N) และสูงกว่าปกติ (above normal; P_A) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยระยะยาว ทั้งนี้ เกณฑ์การแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มของแต่ละโมเดลนี้ ถูกนิยามบนพื้นฐานของโอกาสการเกิดในบริบทการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของแต่ละกลุ่ม ซึ่งมีโอกาสการเกิดเท่ากัน คือ 33.3% สำหรับช่วงระยะเวลาการจำลองในอดีต ทั้งนี้ Gaussian approximation ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณ tercile probability (Kharin and Zwiers; 2003; Boer, 2005; Min et al., 2009) ซึ่งความน่าจะเป็นของผลการคาดการณ์ในแต่ละกลุ่ม เป็นผลรวมของจำนวนสมาชิกของโมเดลที่พยากรณ์ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลในกลุ่มนั้นๆ โดยสูตรความน่าจะเป็นแบบเต็มที่มีการถ่วงน้ำหนักด้วยรากที่สองของขนาด ensemble ของแต่ละโมเดล สำหรับระเบียบวิธีการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นของศูนย์ APCC ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นของแต่ละโมเดล โดย lower (x_b) และ upper (x_a) tercile ประมาณได้ดังนี้ $x_b = \mu - 0.43\sigma$ และ $x_a = \mu + 0.43\sigma$ ตามลำดับ ซึ่ง μ และ σ คือ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่จำลองในอดีต การคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นของแต่ละกลุ่ม ถูกประมาณในแง่สัดส่วนของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม (cumulative probability) ของกลุ่มตัวอย่างคาดการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละกลุ่ม ส่วนขั้นตอนที่สอง เป็นการรวมผลการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นในแต่ละกลุ่มของแต่ละโมเดล

การประมาณด้วย Gaussian approximation อาศัยสมมุติฐานที่ว่า ตัวแปรมีการแจกแจงตามทฤษฎีแบบปกติ ($T \approx N(\mu, \sigma)$) และการเบี่ยงเบนจากการแจกแจงแบบปกติในบางครั้ง อาจเกิดจากขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก แนวทางของวิธีการนี้ ไม่ใช่เทคนิคใหม่แต่เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้ในการศึกษาจำนวนมากในอดีตที่ผ่านมา (e.g., Leith, 1973; Madden, 1976; Zwiers, 1996; Kharin and Zwiers, 2001; Kharin and Zwiers, 2003) ข้อมูลจำลองในอดีต ถูกใช้ประมาณขอบเขตของ tercile (x_a, x_b) ส่วนข้อมูลคาดการณ์ในอนาคต ใช้ประมาณความน่าจะเป็นของแต่ละกลุ่มของ tercile ด้วยวิธีการนี้ เราคาดว่าฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็น (probability density function; PDF) ของทั้งข้อมูลจำลองในอดีตและคาดการณ์ในอนาคต มีรูปแบบ Gaussian PDFs

ทั้งนี้ การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลจำลองในอดีตและคาดการณ์ในอนาคต ถูกประมาณด้วยตัวแปร μ และ σ ซึ่งประมาณจากจำนวน ensemble ของข้อมูลจำลองในอดีต ซึ่งขอบเขตด้านล่างและด้านบน ที่กำหนดความน่าจะเป็นออกเป็น 3 กลุ่มที่มีโอกาสการเกิดเท่ากัน คือ $x_b = \mu - 0.43\sigma$ และ $x_a = \mu + 0.43\sigma$ (รูปที่ 6) ความน่าจะเป็นของ tercile ประมาณด้วยสมการ 15, 16 และ 17

$$P_x(B) = \Pr ob[x \leq x_b] = \int_{-\infty}^{x_b} f(x) dx \quad (15)$$

$$P_x(N) = \Pr ob[x_a < x \leq x_b] = \int_{-\infty}^{x_b} f(x) dx - P_x(B) \quad (16)$$

$$P_x(A) = \Pr ob[x_a < x] = 1 - P_x(B) - P_x(N) \quad (17)$$

โดย $f(x)$ = Gaussian probability distribution function:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (18)$$

รูปที่ 6 แสดงถึงความน่าจะเป็นของตัวแปร x ในพื้นที่ใต้โค้งเส้นปกติ 3 พื้นที่ภายใต้เงื่อนไขที่มีโอกาสความน่าจะเป็นเท่ากัน ซึ่ง 33.3% และ 66.7% ของควอร์ไทล์สะสม (cumulative quantile) ถูกกำหนดให้เป็นขอบเขตจำกัดด้านล่างและด้านบน ของเส้นโค้งฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงระยะยาว วิธี Chi-square (χ^2) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อรวมผลการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นทั้ง 3 กลุ่ม (P_B, P_N, P_A) ในแต่ละตำแหน่งกริด ด้วยสมการ

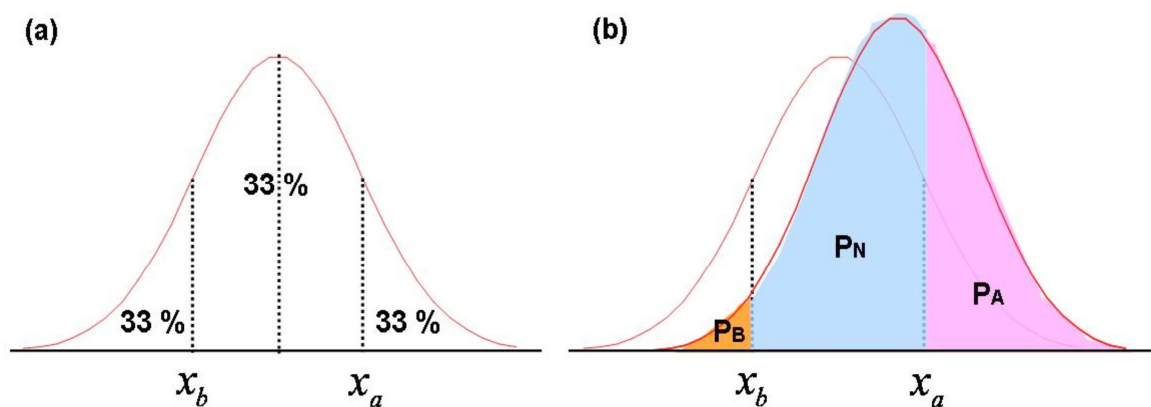
$$\chi^{2*} = \sum_{i=1}^3 (O_i - E_i)^2 / E_i \quad (19)$$

เมื่อ O =observed frequency และ E =expected frequency ซึ่งมีค่าเท่ากับหนึ่งในสามของขนาด ensemble ภายใต้ null hypothesis (H_0) ที่มีสมมุติฐานว่าผลการคาดการณ์มีลักษณะไม่แน่นอนเนื่องจากความน่าจะเป็นของข้อมูลมีการแจกแจงสม่ำเสมอแบบ Chi-square ที่มี degree of freedom=2 ซึ่งมีรูปแบบไม่แตกต่างจากการกระจายความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงระยะยาวในทางกลับกัน ผลการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นของแต่ละกลุ่ม มีความแน่นอนและความน่าจะเป็นสูงสุด ในกรณีที่ null hypothesis ถูกปฏิเสธที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) ที่ถูกกำหนดที่ 0.05 หรือน้อยกว่า

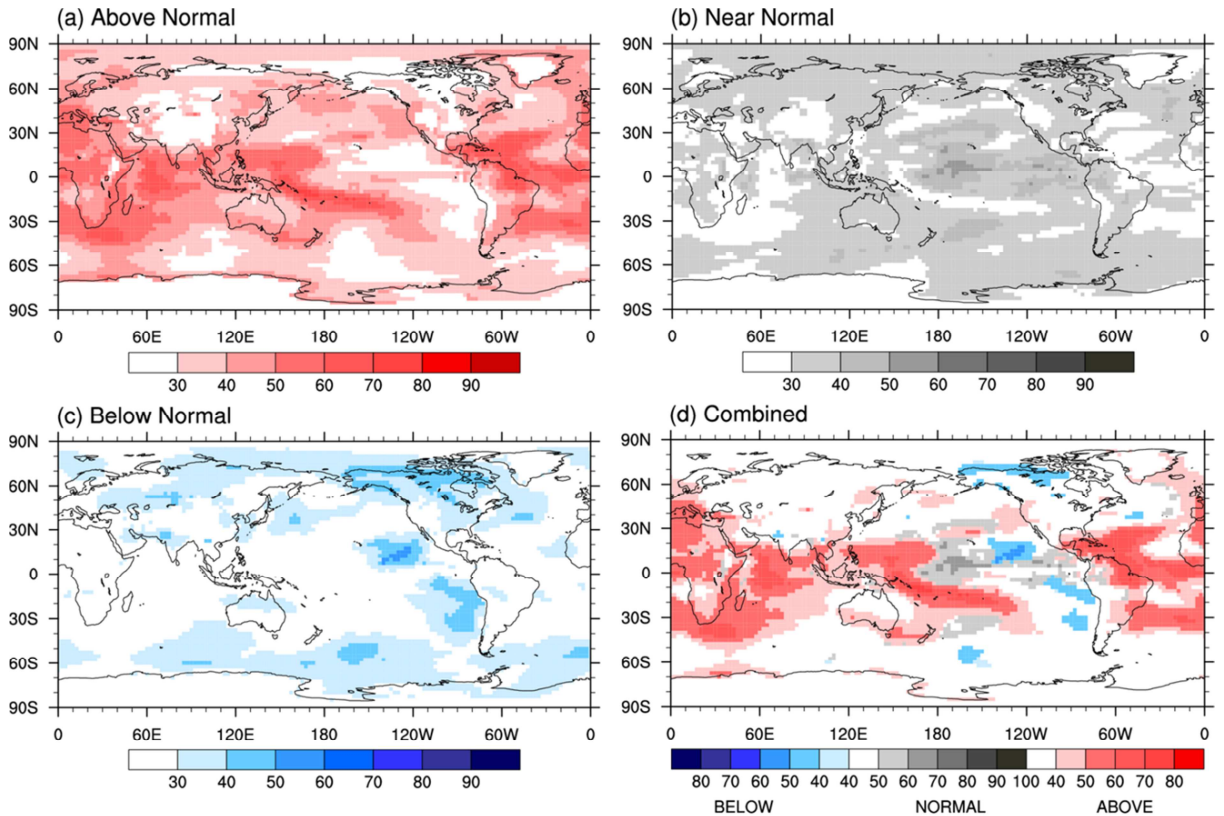
ตัวอย่างแผนที่ของผลการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นรายฤดูกาลของอุณหภูมิ ที่เผยแพร่โดย APCC แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งแผนที่แสดงความน่าจะเป็นของการคาดการณ์ทั้งแบบแยกรายกลุ่มและแบบรวมทั้งกลุ่ม แผนที่รวม แสดงพื้นที่ที่ผลการคาดการณ์ในแต่ละกลุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นจากการทดสอบความเชื่อมั่นของการคาดการณ์ด้วย Person's chi-square test ด้วยวิธีต่างๆ ในขณะที่พื้นที่สีขาว แสดงพื้นที่ที่การกระจายความน่าจะเป็นของข้อมูลคาดการณ์ ไม่แตกต่างจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงระยะยาว สำหรับแผนที่รวมในแต่ละตำแหน่งกริด ความแตกต่างทางสถิติระหว่างการกระจายความน่าจะเป็นของข้อมูลคาดการณ์และการแจกแจงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ถูกทดสอบด้วยวิธี Pearson' chi-square test ซึ่งมีสูตรคล้ายกับสมการที่ 19 ดังนี้

$$\chi^{2*} = n \sum_{j=1}^3 \frac{(P(E_j) - 0.333)^2}{0.333} \quad (20)$$

เมื่อ n = จำนวน ensemble ของแต่ละโมเดล $P(E_j)$ = ความน่าจะเป็นของการคาดการณ์ของเหตุการณ์ j และ 0.333 = expected (climatological) probability ของเกณฑ์ที่แบ่งออก 3 กลุ่ม



รูปที่ 3.6 (a) นิยามเส้นแบ่งขอบเขตของ tercile โดยใช้ฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็น (PDF) ของการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว และ (b) การคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นสำหรับต่ำกว่าปกติ (P_B) ไกล่ปกติ (P_N) และสูงกว่าปกติ (P_A) (ที่มา: APCC, 2013b)



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างแผนที่ APCC probabilistic multi-model forecast สำหรับอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อน (มิถุนายน-สิงหาคม) ในปี ค.ศ. 2007 สีต่างๆ ที่แสดงในแผนที่แสดงเปอร์เซ็นต์ของ (a) Above Normal (b) Near Normal และ (c) Below Normal ส่วน (d) เป็นแผนที่รวมแสดงพื้นที่ที่ผลการคาดการณ์ในแต่ละกลุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นจากการทดสอบความเชื่อมั่นของการคาดการณ์ด้วย Person's chi-square test (ที่มา: APCC, 2013b)

3.2.1.5.2 Multi-model combination

การพัฒนากระบวนการแบบ PMME จากชุดของ model ensemble มีแนวทางที่เป็นไปได้อยู่ 2 แนวทาง คือ แนวทางแรก เป็นการรวมผลคาดการณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยตรง (Barnston et al., 2003; Doblas-Rayes et al., 2005) ส่วนแนวทางที่สอง คือ ความน่าจะเป็นของการคาดการณ์ถูกคำนวณแยกสำหรับแต่ละโมเดล แล้วค่อยนำความน่าจะเป็นของการคาดการณ์มารวมกันทีหลัง (Min et al., 2009) เนื่องจากความไม่สอดคล้องกันระหว่างน้ำหนักของแต่ละโมเดล ในฐานข้อมูลจำลองในอดีตและคาดการณ์ในอนาคตของ APCC ดังนั้น แนวทางที่สอง จึงเป็นวิธีที่สามารถใช้สำหรับ operative APCC probabilistic forecast system (Min et al., 2009) ซึ่งผลรวมความน่าจะเป็นของผลการคาดการณ์ของทุกโมเดล คำนวณจากสูตรความน่าจะเป็นรวม

$$P(E_j) = \sum_{i=1}^M P(mdl_i) P(E_j | mdl_i) \quad (21)$$

เมื่อ P = ความน่าจะเป็นของการคาดการณ์ $E_j =$ เหตุการณ์ j [ต่ำกว่าปกติ (Below Normal) หรือ ใกล้ปกติ (Near Normal) หรือสูงกว่าปกติ (Above Normal)] $mdl_i =$ โมเดลที่ i และ $M =$ จำนวนโมเดล ในสมการนี้ $P(E_j|mdl_i)$ เท่ากับ ความน่าจะเป็นของการคาดการณ์เหตุการณ์ E_j ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดของโมเดล i ส่วน $P(mdl_i)$ เท่ากับ ความน่าจะเป็นแบบไม่มีเงื่อนไข (unconditional probability) ของโมเดล i ซึ่งในบริบทนี้ หมายถึง การให้น้ำหนักแก่โมเดลแต่ละโมเดล

ฉะนั้น ทางเลือกการให้น้ำหนักแก่โมเดล จึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่าง 1) ความผิดพลาดมาตรฐาน (standard error) ของ individual model ensemble mean ซึ่งมีค่าเท่ากับ 68% ของช่วงความเชื่อมั่นของความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่างซึ่งเกี่ยวข้องกับ model ensemble spread ของแต่ละโมเดล (Särndal et al., 1992) และ 2) ความแตกต่างของโมเดลแต่ละโมเดลที่เกิดจากทั้งความต่างจากสูตรของโมเดลและความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง ถ้าความแตกต่างระหว่างการคาดการณ์ของแต่ละโมเดล น้อยกว่าหรือสามารถเปรียบเทียบได้กับความผิดพลาดมาตรฐานของโมเดล การให้น้ำหนักโมเดลที่เหมาะสม มีสัดส่วนเชิงผกผันกับ squared standard error ของการคาดการณ์ของแต่ละโมเดล (Taylor, 1997) ในกรณีที่ ความแตกต่างระหว่างการคาดการณ์ของแต่ละโมเดล มากกว่าความผิดพลาดมาตรฐานของโมเดล ผลการคาดการณ์ของโมเดลสามารถให้น้ำหนักเท่ากัน (Min et al., 2009) จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างความผิดพลาดมาตรฐานของโมเดลและความแตกต่างระหว่าง model ensemble mean บนพื้นฐาน cross-validated hindcast ในช่วงระยะเวลา 21 ปี ความผิดพลาดมาตรฐานของแต่ละโมเดลในแต่ละปี นิยามได้ดังนี้

$$\varepsilon_{\mu} = n^{-1/2}\sigma \quad (22)$$

เมื่อ σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ model spread และ n = จำนวน model ensemble ทั้งนี้ ความแตกต่างระหว่าง model ensemble mean สามารถแทนได้ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ unbiased intermodal ของ model ensemble mean ของแต่ละโมเดล

$$\sigma_{mm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (\mu_i - \mu_{mm})^2}{M-1}} \quad (23)$$

โดยที่ $M =$ จำนวนของโมเดล $\mu_i =$ ensemble mean ของโมเดล i และ $\mu_{mm} =$ ค่าเฉลี่ยของแต่ละ model ensemble mean สำหรับโมเดลแต่ละโมเดล เราสามารถคำนวณสัดส่วนค่าเฉลี่ยรายปีและค่าเฉลี่ยในรอบ 21 ปี (R) ระหว่าง ε_{μ} และ σ_{mm} โดยค่าเฉลี่ยของสัดส่วนเท่ากับ

$$R = \left[\frac{\varepsilon_{\mu}^2}{\sigma_{mm}^2} \right]^{1/2} \quad (24)$$

ตัวอย่างแผนที่การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยในรอบ 21 ปีของ R สำหรับ 20 และ 5 ensemble member models ที่เข้าร่วม MMEs ของโมเดล 7 โมเดลที่มีขนาด ensemble ตั้งแต่ 5

ถึง 20 แสดงในรูปที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์ สรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้ 1) R ของทั้งอุณหภูมิและฝน สำหรับ 5-ensemble member model มีค่าสูงกว่า 20-ensemble member model 2) R ของฝน มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิ 3) ความผิดพลาดมาตรฐานของทั้งอุณหภูมิและฝนในมหาสมุทรแปซิฟิก บริเวณเส้นศูนย์สูตร มีค่าน้อยมาก ซึ่งผลคาดการณ์ของโมเดลในบริเวณดังกล่าว สามารถรวมกันได้ โดยให้น้ำหนักที่เท่ากัน และ 4) สำหรับพื้นที่นอกเส้นศูนย์สูตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งซีกโลกทางด้านเหนือของเส้นศูนย์สูตร ความผิดพลาดมาตรฐาน มีค่าที่สามารถเปรียบเทียบได้กับหรือสูงกว่า intermodel standard deviation ซึ่งหมายความว่า การให้น้ำหนักโมเดลแต่ละโมเดลเพื่อรวมโมเดลที่มีขนาด ensemble ต่างกันในพื้นที่นี้ ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความผิดพลาดมาตรฐานไม่สามารถละลายได้ นอกจากความแปรปรวนเชิงพื้นที่แล้ว ค่า R ยังแสดงลักษณะความแปรปรวนเชิงเวลา ซึ่งจำนวนปีที่ $R > 1$ ในพื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่นอกเส้นศูนย์สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง 7-14 ปี ซึ่งหมายความว่า จำนวนปีที่ความผิดพลาดมาตรฐานมากกว่า intermodel standard deviation มีค่าสามารถเปรียบเทียบได้กับจำนวนปีที่ความผิดพลาดมาตรฐานน้อยกว่า intermodel standard deviation การศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าควรมีวิธีที่เหมาะสมในการเลือกค่าน้ำหนักให้กับระบบคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าของโลกในภาพรวม วิธีการหนึ่ง คือ เลือกค่าน้ำหนักของโมเดล บนพื้นฐานของสัดส่วนเชิงผกผันของความผิดพลาดสูงสุดของความน่าจะเป็นของการคาดการณ์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดมาตรฐาน ตามนิยามในสมการที่ 22 และเขียนใหม่ได้ดังนี้

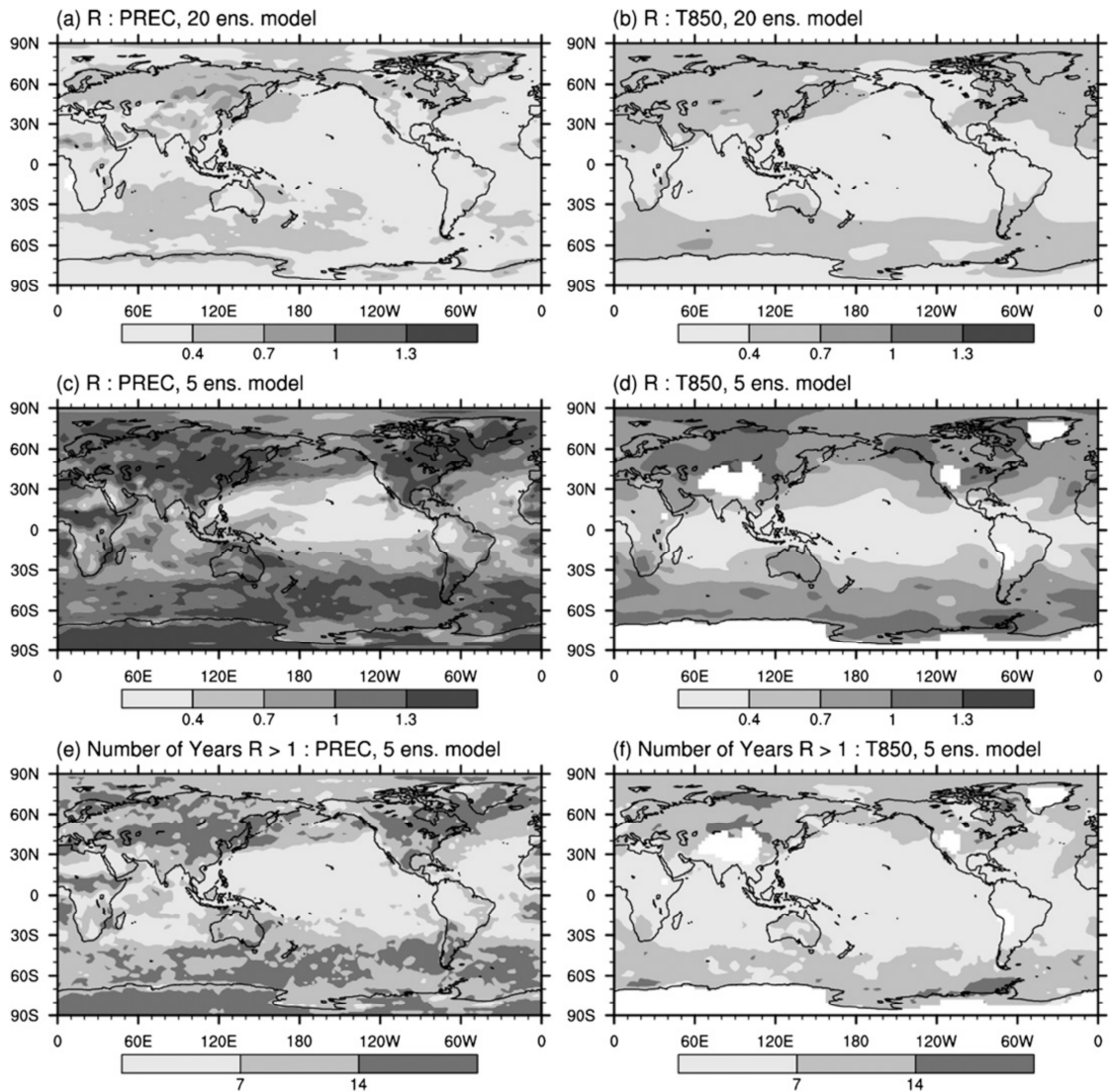
$$\varepsilon_p = f(x) \varepsilon_\mu \quad (25)$$

เมื่อ $f(x)$ = Gaussian PDF (สมการ 18) และ $|x - \mu| < \varepsilon_\mu / 2$ สำหรับความผิดพลาดมาตรฐานของ ensemble ที่มีขนาด 5 ถึง 31 พจนัยกำลังในสมการที่ 18 มีค่าอยู่ในช่วง 0.98 ถึง 0.9999 ซึ่งสามารถแทนเป็นค่าคงที่ในสมการ 25

$$\varepsilon_p = \frac{\text{constant}}{\sigma} \varepsilon_\mu = \frac{\text{constant}}{n^{1/2}} \quad (26)$$

ดังนั้น เรากำหนดค่าน้ำหนักให้มีสัดส่วนเท่ากับรากที่สองของขนาด model ensemble (n_i) สำหรับการคาดการณ์ของแต่ละโมเดล ซึ่งเมื่อคำนึงถึงข้อเท็จจริงที่ว่า ผลรวมของค่าน้ำหนักของโมเดลมีค่าเท่ากับ 1 สูตรสุดท้ายของการคาดการณ์สำหรับเหตุการณ์ j คือ

$$P(E_j) = \left(\sum_{i=1}^M n_i^{1/2} \right)^{-1} \sum_{i=1}^M n_i^{1/2} P(E_j | mdl_i) \quad (27)$$



รูปที่ 3.8 ค่าเฉลี่ยในรอบ 21 ปีของ R สำหรับฝน (a, c) และอุณหภูมิ (b, d) และสำหรับ 20-ensemble member model และ 5-ensemble member model (c, d) ในขณะที่ จำนวนของปี ที่ R มากกว่า 1 สำหรับฝน (e) และอุณหภูมิ (f) สำหรับ 5-ensemble member model (ที่มา: Min et al., 2009)

3.2.2 วิธีทดสอบและประเมินผลการคาดการณ์ของ APCC-MMEs (MME/PMME)

3.2.2.1 Automated Deterministic Forecast Verification System

ศูนย์ APCC ได้พัฒนาวิธีการทดสอบผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้าของวิธี deterministic MME ด้วยเทคนิคที่เสนอแนะโดย World Meteorological Organization (WMO) สำหรับ standardized verification system for long-range forecasts (WMO, 2002) และได้อัปเดตข้อมูลการทดสอบอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ (APCC, 2010) ซึ่งสถานะของระบบทดสอบสำหรับ deterministic MME ดังสรุปในตารางที่ 4

Deterministic Forecast Verification score

a) *Anomaly Correlation Coefficient (ACC)* เป็นความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างค่าผิดปกติจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลคาดการณ์ (Jolliffe and Stephenson, 2012) ซึ่งนิยามได้ดังนี้

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^N w_i (f_i - \bar{f})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N w_i (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^N w_i (o_i - \bar{o})^2}} \quad (28)$$

ACC แสดงถึงความเหมือนกันเชิงพื้นที่ระหว่างแผนที่ข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลคาดการณ์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง 1.0 ในกรณีที่ผลคาดการณ์มีความสมบูรณ์ที่สุด ค่า ACC จะเท่ากับ 1 ตัวอย่างการทดสอบผลการคาดการณ์ฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายนของปี ค.ศ. 2009 จากโมเดลที่เข้าร่วม MMEs และคำนวณจากเทคนิค deterministic (SCM, MRG, SPM และ SEE) ด้วยวิธี ACC แสดงในรูปที่ 3.9

b) *Root Mean Square Error (RMSE)* เป็นวิธีที่วัดความถูกต้องของผลการคาดการณ์ (f) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด (o) ซึ่งสมการใช้คำนวณ RMSE คือ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{i=1}^N w_i (f_i - o_i)^2} \quad (29)$$

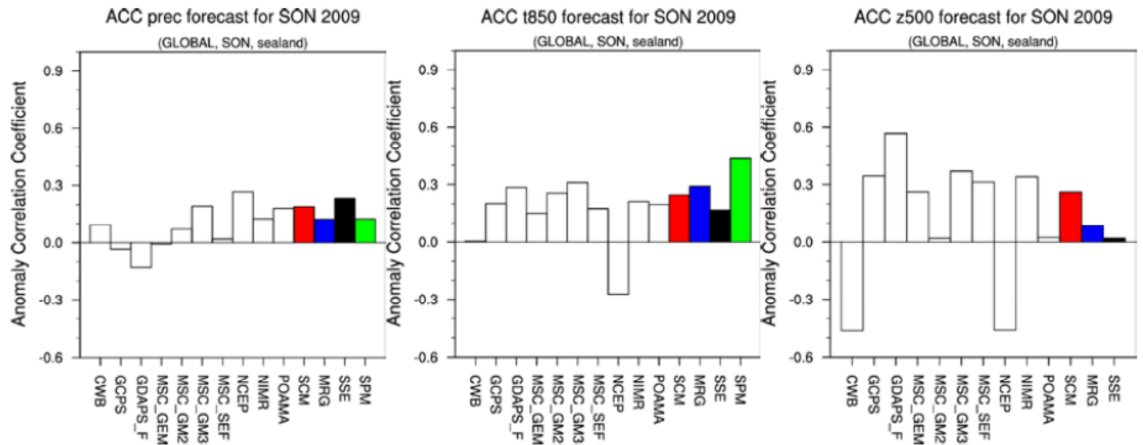
เมื่อ w =ค่าน้ำหนักเชิงเส้นรู้ง W =ผลรวมของ w และ i =ตำแหน่งกริด RMSE แสดงผลรวมความแตกต่างระหว่างแผนที่ผลการคาดการณ์และแผนที่ข้อมูลตรวจวัด ปกติ ค่า RMSE มากกว่าหรือเท่ากับ 0 ในกรณีที่ผลคาดการณ์มีความสมบูรณ์ที่สุด ค่า RMSE จะเท่ากับ 0 ตัวอย่างการทดสอบผลการคาดการณ์ฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายนของปี ค.ศ. 2009 จากโมเดลที่เข้าร่วม MMEs และคำนวณจากเทคนิค deterministic (SCM, MRG, SPM และ SEE) ด้วยวิธี RMSE แสดงในรูปที่ 3.10

c) *Spread of Ensemble Member* ในกรณีที่ผลวิเคราะห์การทวนสอบไม่แตกต่างกัน สถิติจาก ensemble member ค่าเฉลี่ยระยะทางจากค่าเฉลี่ยของ ensemble member (ensemble mean error) ควรต้องเท่ากับค่าเฉลี่ยระยะทางของแต่ละสมาชิกของ ensemble (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ spread) ตัวอย่างแผนที่ ensemble spread ของฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ที่ 500 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 แสดงในรูปที่ 3.11

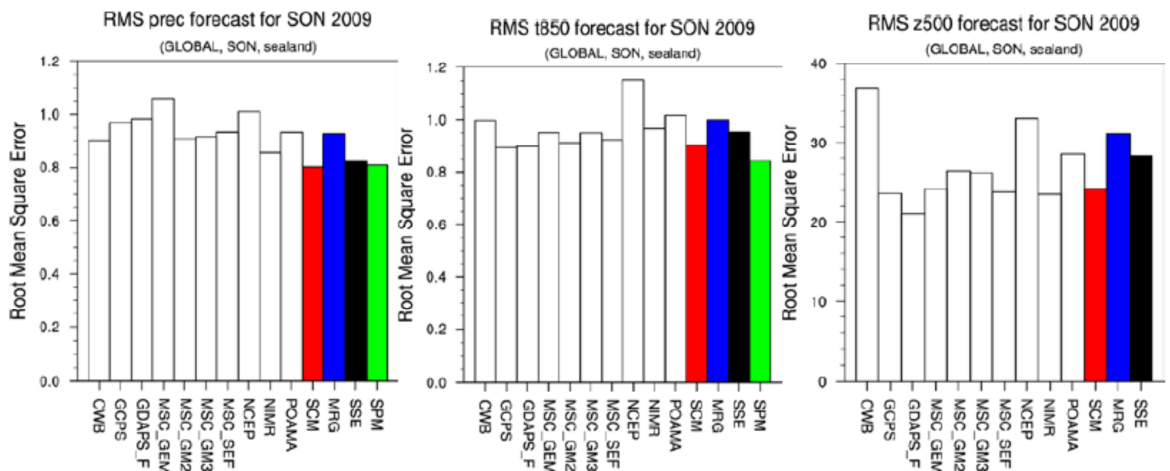
d) *Difference between Model and Observation* เป็นแผนที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าความผิดพลาดจากค่าเฉลี่ยของผลคาดการณ์ที่คำนวณจากโมเดลแต่ละโมเดลและเทคนิค deterministic (SCM, MRG, SPM และ SEE) ลบด้วยค่าความผิดพลาดจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัด รูปที่ 3.12 แสดงแผนที่ความแตกต่างระหว่าง SCM และข้อมูลตรวจวัดของฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ที่ 500 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009

ตารางที่ 3.4 สถานะของระบบทวนสอบ Automated Deterministic Forecast Verification System ของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2010)

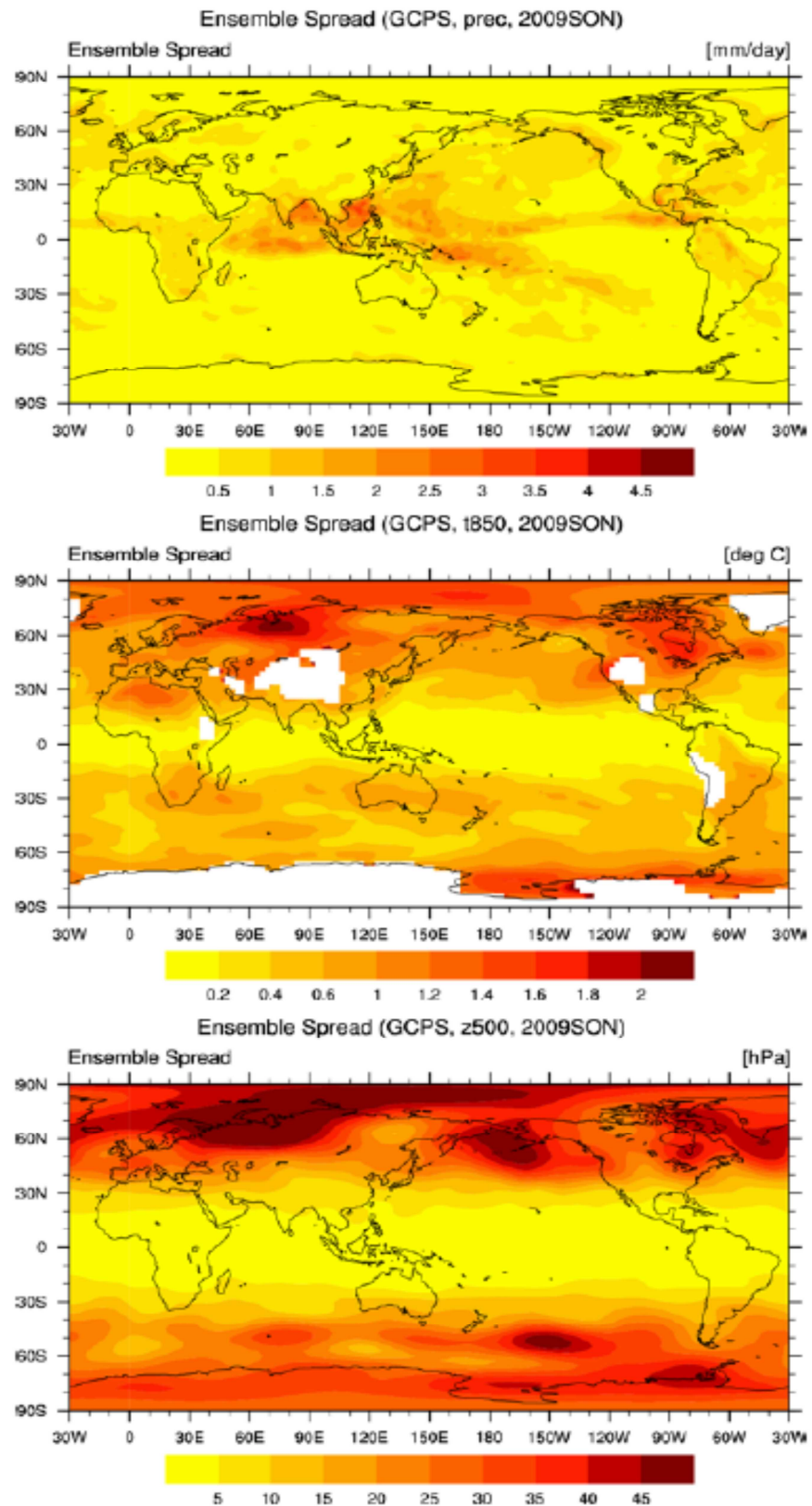
Parameter	Issue	Hindcast	Verification score	Region
1. Temperature 2. Precipitation 3. Geopotential height ที่ 500 hPa 4. Sea Surface Temperature for APCC 1-tier MME prediction	3-month lead time	Usually, 1983-2003 but it depends on hindcasts of participating models	1. Anomaly Correlation Coefficient (ACC) 2. Root Mean Square Error (RMSE) 3. Ensemble Spread 4. Difference Map between models and observation	1. Globe 2. Tropics (20° S to 20° N) 3. Northern Extra-tropics (20° N to 90° N) 4. Southern Extra-tropics (20° S to 90° S) 5. East Asia (90° E to 150° E, 20° N to 50° N) 6. South Asia (60° E to 130° E, 10° S to 30° N) 7. Northern Eurasia (25° E to 190° E, 40° N to 80° N) 8. North America (190° E to 310° E, 10° N to 75° N) 9. South America (270° E to 330° E, 60° S to 10° N) 10. Australia (110° E to 180° E, 50° S to equator)



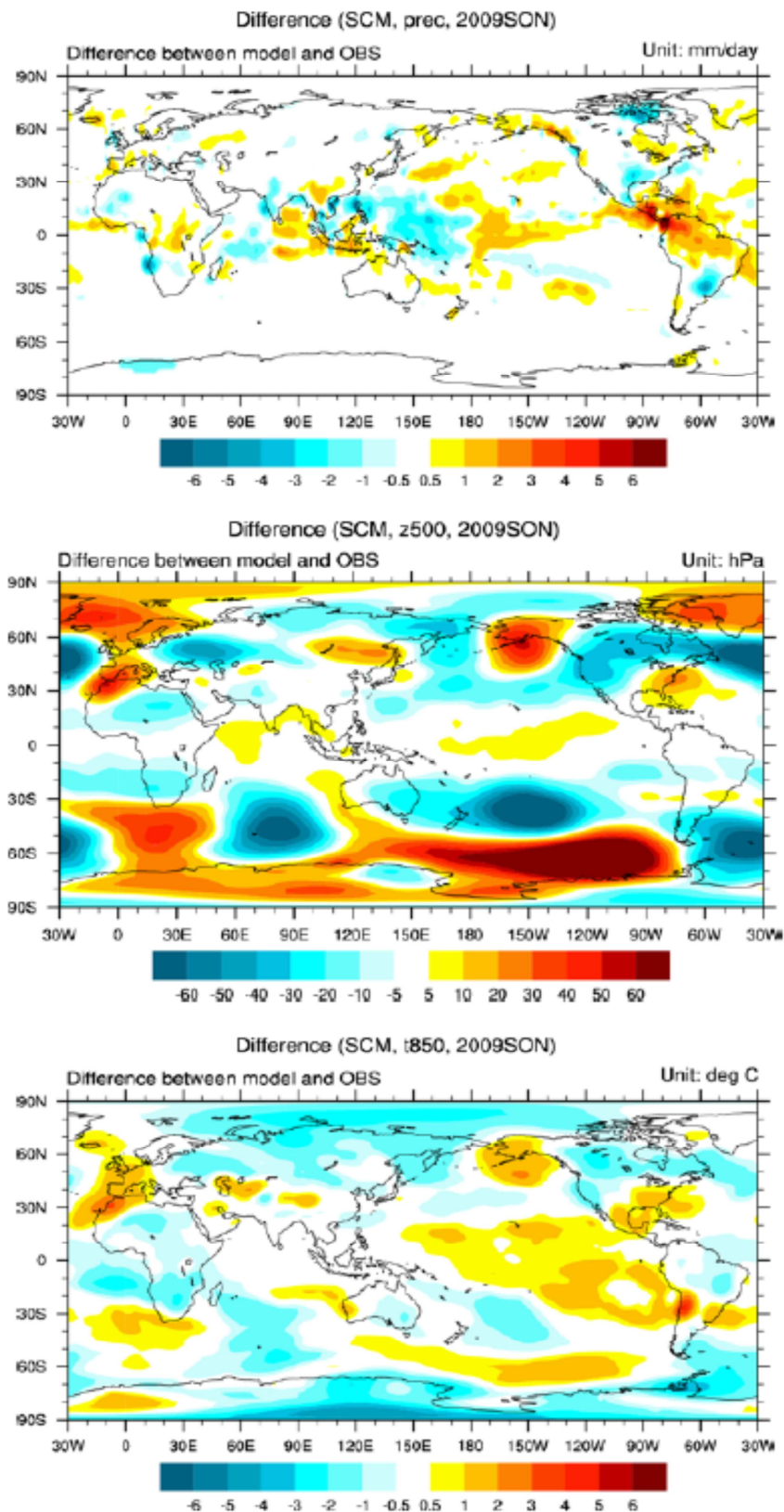
รูปที่ 3.9 ค่า Anomaly Correlation Coefficient (ACC) ของฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 จากโมเดลที่เข้าร่วม MMEs และประมาณด้วยเทคนิค deterministic (SCM, MRG, SPM และ SEE) (ที่มา: APCC, 2010)



รูปที่ 3.10 ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ที่ 500 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 จากโมเดลที่เข้าร่วม MMEs และประมาณด้วยเทคนิค deterministic (SCM, MRG, SPM และ SEE) (ที่มา: APCC, 2010)



รูปที่ 3.11 Ensemble spread ของฝน อุณหภูมิและ geopotential height ที่ 500 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 (ที่มา: APCC, 2010)



รูปที่ 3.12 แผนที่ความแตกต่างระหว่าง SCM และข้อมูลตรวจวัดของฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ที่ 500 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2009 (ที่มา: APCC, 2010)

3.2.2.2 Automated Probabilistic Forecast Verification System

ศูนย์ APCC ได้พัฒนาวิธีการทวนสอบผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศของวิธี PMME เพื่อติดตามคุณภาพของผลการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็น และอัปเดตข้อมูลการทวนสอบประกอบกับ Outlook ด้วย score และเทคนิคที่เสนอแนะโดย World Meteorological Organization (WMO) สำหรับ standardized verification system for long-range forecasts ภายใต้กรอบการแลกเปลี่ยน score การทวนสอบของ WMO (WMO, 2002) ซึ่งสถานะของระบบทวนสอบสำหรับ PMME ดังสรุปในตารางที่ 3.5

Probabilistic Forecast Verification Score

a) *Brier Score (BS)* ตัวชี้วัดการทวนสอบที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับการประเมินความถูกต้องของการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็น โดยค่าคะแนน คือ ผลรวมความต่างในรูป mean square error ของความน่าจะเป็นของผลการคาดการณ์ด้วยโมเดลและจากข้อมูลตรวจวัด (Jolliffe and Stephenson, 2012) ซึ่งแสดงด้วยสมการได้ ดังนี้

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i)^2 \quad (30)$$

เมื่อ f_i = ความน่าจะเป็นของการคาดการณ์สำหรับผลการคาดการณ์ i , o_i = ผลลัพธ์ของการคาดการณ์ i ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดได้เพียง 2 ทาง คือ 1=เกิด และ 0=ไม่เกิด และ n = จำนวนของเหตุการณ์ BS มีค่าอยู่ในช่วง 0 สำหรับการคาดการณ์ที่สมบูรณ์แบบที่สุดถึง 1 สำหรับการคาดการณ์ที่แย่ที่สุด โดยปกติ BS จะคำนวณเชิงเปรียบเทียบเทียบกับค่า score ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่ใช้เป็นระยะเวลาอ้างอิง ถ้าความน่าจะเป็นในระยะยาวใช้เป็นช่วงเวลาของการอ้างอิง BS จะแสดงถึงทักษะการคาดการณ์แบบความน่าจะเป็นต่อเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งที่จะเกิดขึ้นหรือไม่เมื่อเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นในระยะยาว ในรูปของ BSS (Brier Skill Score) (Jolliffe and Stephenson, 2012)

$$BSS = 1 - \frac{BS}{BS_{ref}} \quad (31)$$

โดยที่ BS_{ref} = ความน่าจะเป็นในระยะยาวของตัวแปรที่คาดการณ์ BSS มีค่าอยู่ในช่วง 0 สำหรับการคาดการณ์ที่แย่ที่สุดถึง 1 สำหรับการคาดการณ์ที่สมบูรณ์แบบที่สุด ตัวอย่างแผนที่ของ BSS ของอุณหภูมิต่ำที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 แสดงในรูปที่ 3.13

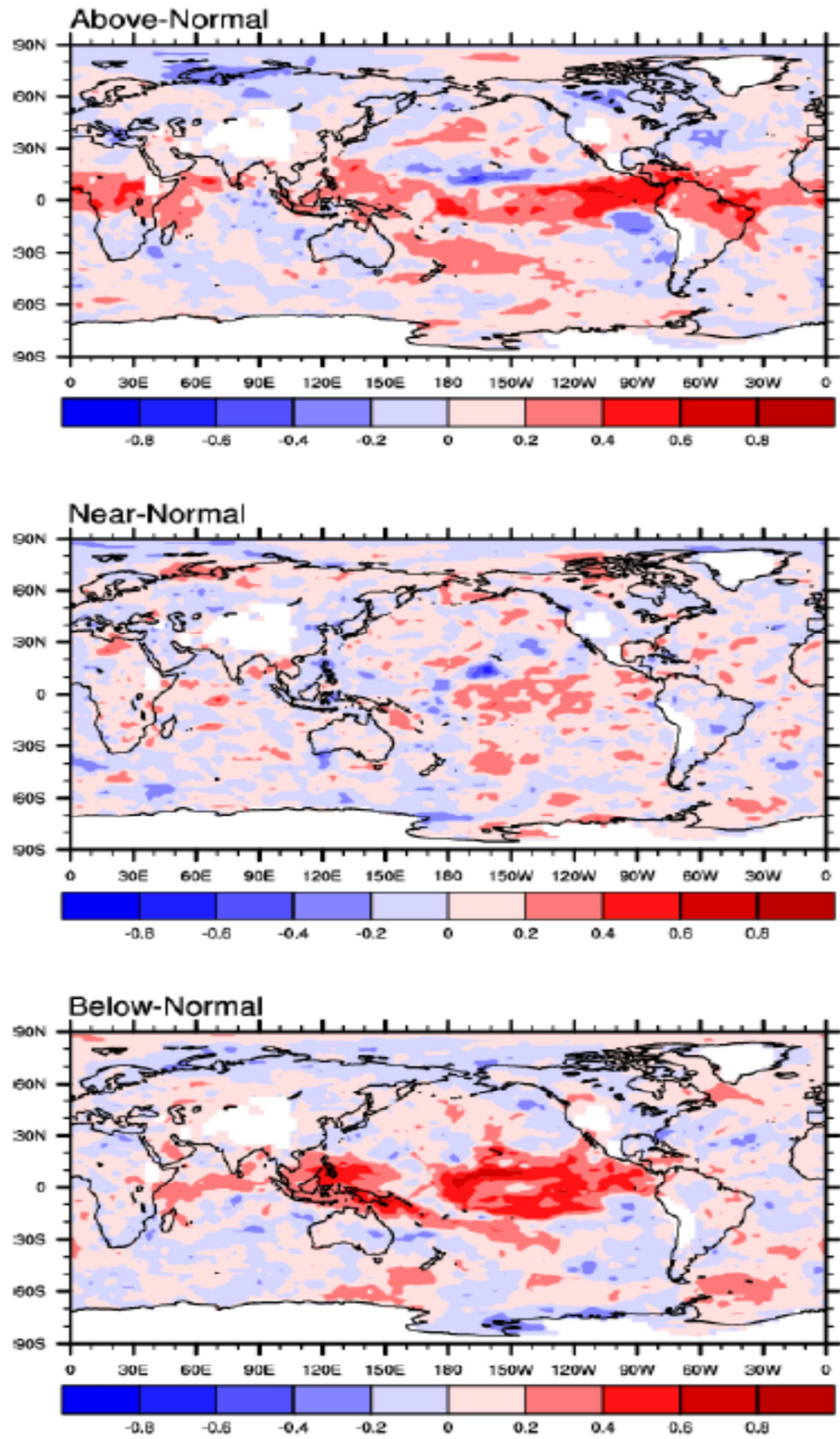
b) *Relative Operating characteristics (ROC) Curve/Score* เป็นวิธีการทวนสอบทักษะการคาดการณ์ที่ถูกจัดเป็นหมวดหมู่ (categorical forecast) ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก Signal

Detection Theory (Jolliffe and Stephenson, 2012) วิธีการ ROC มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของระบบที่นำไปสู่การตัดสินใจ ในกรณีของการพยากรณ์ลักษณะภูมิอากาศล่วงหน้า การตัดสินใจอาจจะเกี่ยวข้องกับความเหมาะสมในการใช้ข้อมูลดังกล่าวสำหรับวัตถุประสงค์ใด วัตถุประสงค์หนึ่ง (WMO, 2002) ROC มักคำนวณจาก contingency table (ตารางที่ 3.6) ที่แสดงค่า hit rate และ alarm rate ของผลคาดการณ์ที่เหตุการณ์ถูกจัดหมวดหมู่ออกเป็นไบนารี ซึ่งผลลัพธ์มีโอกาสเกิดได้เพียง 2 ทาง คือ เกิดหรือไม่เกิด ROC สามารถทดสอบผลการคาดการณ์ทั้งด้วยวิธี deterministic และ probabilistic ซึ่งผลคาดการณ์ที่ถูกจัดเป็นหมวดหมู่ จะใช้ในการคำนวณค่า hit rate และ false alarm แล้ว plot ลงใน ROC diagram ที่แสดง false alarm rate (FR) ด้วยแกน x และ hit rate (HR) ด้วยแกน y (รูปที่ 3.14) มุมซ้ายบนของ ROC diagram $\{(F,H)=(0,1)\}$ แสดงถึงผลการคาดการณ์มีความสมบูรณ์ที่สุด (no false alarms, only hits) หากผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงมุมซ้ายบนของ ROC diagram แสดงว่าระบบคาดการณ์นั้นมีทักษะการคาดการณ์สูง ส่วนมุมซ้ายล่าง $\{(F,H)=(0,0)\}$ แสดง no hits or false alarms ซึ่งหมายถึงระบบไม่เคยเตือนถึงเหตุการณ์ที่เกิด ในขณะที่มุมขวาบน $\{(F,H)=(1,1)\}$ แสดงถึงระบบที่เตือนเหตุการณ์อยู่เสมอ (รูปที่ 3.14) เส้นทแยงมุม $F=H$ แสดงถึง zero skill ซึ่งบ่งชี้ถึงระบบคาดการณ์พยากรณ์ให้ผลถูกหรือผิดมีโอกาสเท่ากัน (สำหรับเหตุการณ์ binary เท่ากับ 50%) โดยปกติ พื้นที่ใต้ ROC curve ถูกประมาณเป็น ROC score ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดย ROC score =0.5 แสดงถึงระบบคาดการณ์นั้นๆ ไม่มี skill หากระบบคาดการณ์มีทักษะของการพยากรณ์ ค่าที่ plot ลงบน ROC diagram ควรอยู่บริเวณด้านบนซ้าย กรณีที่ระบบคาดการณ์ สามารถพยากรณ์ได้สมบูรณ์ ROC score เท่ากับ 1 ตัวอย่างของ ROC curve และแผนที่ ROC score ของอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 แสดงในรูปที่ 3.15 และ 3.16

c) Reliability diagram and frequency histogram เป็นกราฟอย่างง่ายแสดงค่าระหว่างความถี่ของผลการคาดการณ์ที่สังเกตและความน่าจะเป็นของการคาดการณ์ โดยช่วงของความน่าจะเป็นของการคาดการณ์ถูกแบ่งออก k อันตรภาคชั้น (เช่น 0-5%, 5-15%, 15-25%) ซึ่งขนาดความกว้างของแต่ละอันตรภาคชั้น มักแสดงด้วย histogram (Hartmann et al., 2002) วิธีทดสอบนี้ ใช้แสดงถึงความน่าจะเป็นของการคาดการณ์ ว่ามีความสอดคล้องกับความถี่ของผลการคาดการณ์ที่สังเกตมากน้อยเพียงใด ซึ่งมักแสดงในรูปร้อยละที่ความน่าจะเป็นของการคาดการณ์เกิดขึ้นจริง ความน่าเชื่อถือของผลการคาดการณ์ แสดงด้วยเส้นกราฟที่มีระยะทางใกล้กับเส้นทแยงมุม ซึ่งกรณีที่เส้นอยู่ห่างจากเส้นทแยงมุม บ่งชี้ถึง conditional bias หากเส้นกราฟอยู่ด้านล่างของเส้นทแยงมุม แสดงถึงการคาดการณ์ให้ผลเกินจริง (ความน่าจะเป็นสูงกว่าปกติ) ในทางกลับกัน หากเส้นกราฟอยู่เหนือเส้นทแยงมุม บ่งชี้ถึงการคาดการณ์ให้ผลต่ำกว่าเกินจริง (ความน่าจะเป็นต่ำกว่าปกติ) ทั้งนี้ ความถี่ของการคาดการณ์ในแต่ละความถี่อันตรภาคชั้นที่แสดงใน histogram อธิบายถึงความ sharpness ของผลการคาดการณ์นั้นๆ ตัวอย่าง Reliability diagram และ frequency histogram ของอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 แสดงในรูปที่ 3.17

ตารางที่ 3.5 สถานะของระบบทวนสอบ Automated Probabilistic Forecast Verification System ของศูนย์ APCC (ที่มา: APCC, 2010)

Parameter	Issue	Verification score	Region
1. Temperature ที่ 850 hPa 2. Precipitation	1. 3-month rolling (i.e., monthly 3-month) season 2. 1-,2-, and 3-month leadtimes	1. Brier Skill Score (BSS) 2. Aggregated ROC (Relative Operating Characteristics) curve 3. Area under of the ROC curve (AROC) 4. Aggregated reliability diagram and frequency histogram	1. Globe 2. Tropics (20° S to 20° N) 3. Northern Extra-tropics (20° N to 90° N) 4. Southern Extra-tropics (20° S to 90° S)

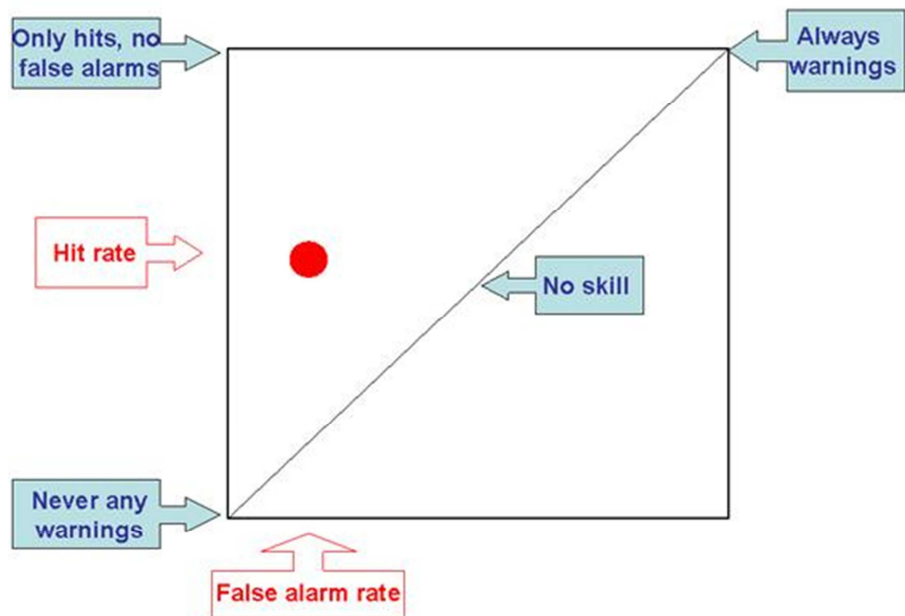


รูปที่ 3.13 แผนที่ของ BSS สำหรับอุณหภูมิตที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 (ที่มา: APCC, 2010)

ตารางที่ 3.6 Contingency Table ขนาด 2x2 แสดงจำนวนเหตุการณ์ที่สังเกตและคาดการณ์ในแต่ละหมวดหมู่ของเหตุการณ์ binary และ joint/marginal probability

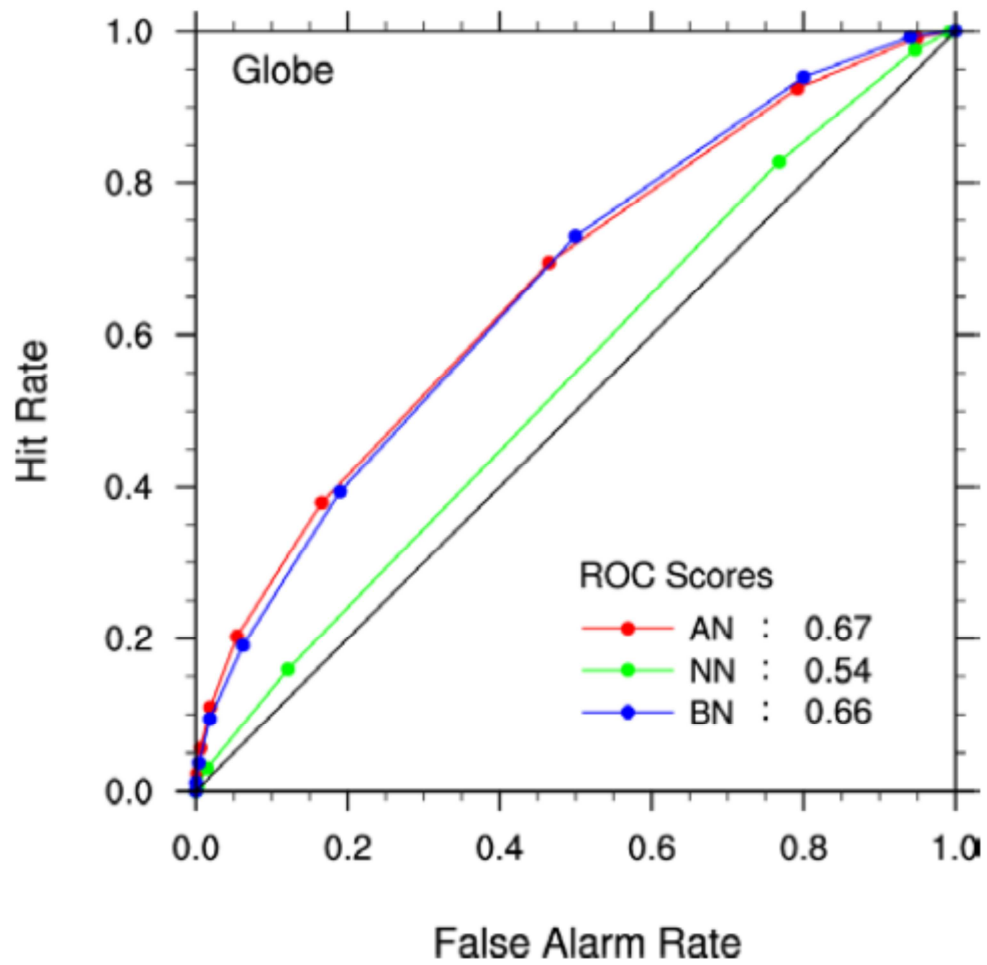
Event forecast	Event observed		Total
	Yes	No	
Yes	a (Hits)	b (False alarms)	a+b
No	c (Misses)	d (Correct rejections)	c+d
Total	a+c	b+d	a+b+c+d=n

Event forecast	Event observed		Total
	Yes ($x=1$)	No ($x=0$)	
Yes ($\hat{x} = 1$)	$p(\hat{x} = 1, x = 1)$	$p(\hat{x} = 1, x = 0)$ (False)	$p(\hat{x} = 1)$
No ($\hat{x} = 0$)	$p(\hat{x} = 0, x = 1)$	$p(\hat{x} = 0, x = 0)$	$p(\hat{x} = 0)$
Total	$p(x = 1)$	$p(x = 0)$	1.0

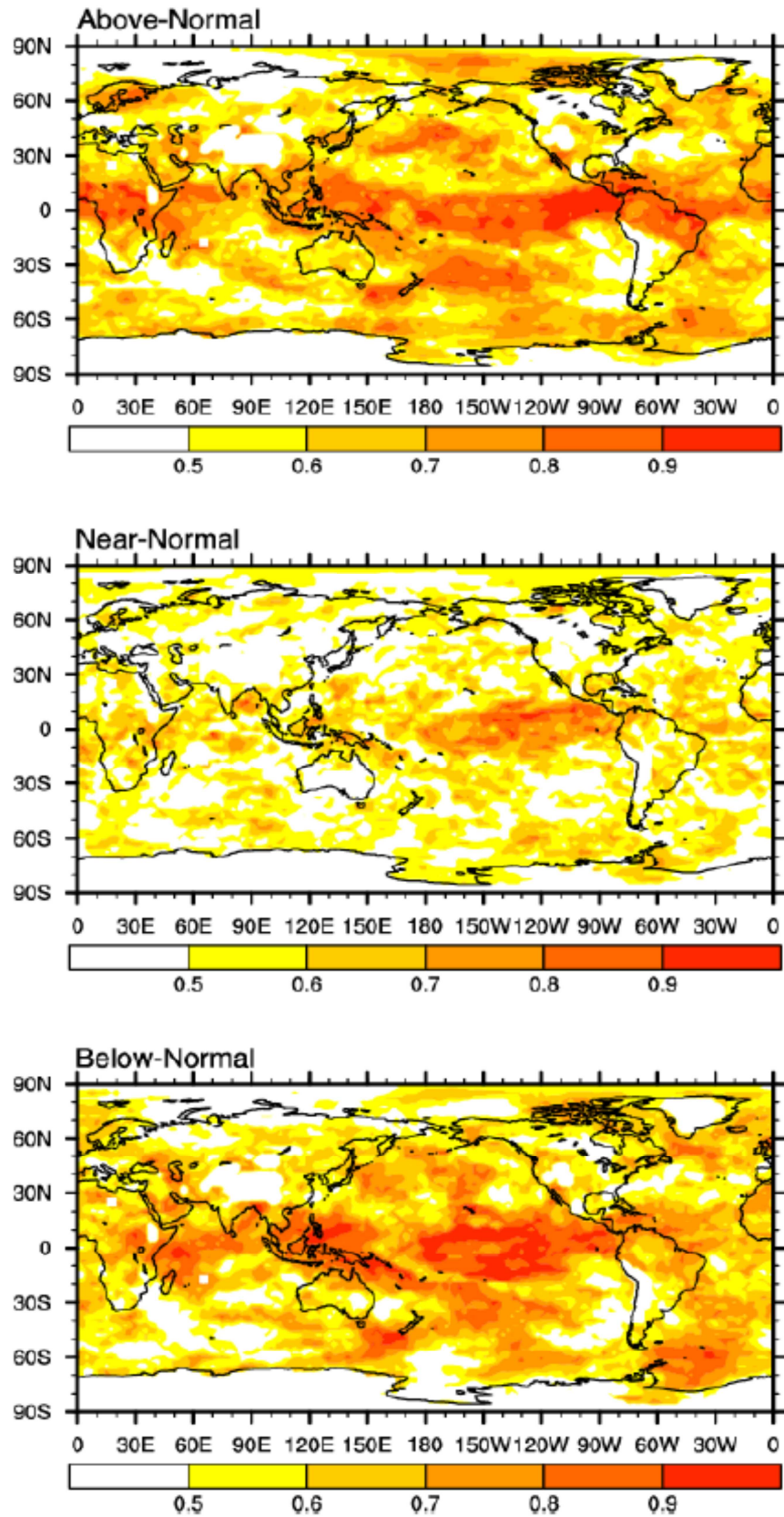


รูปที่ 3.14 แผนภาพหลักของ ROC โดยความน่าจะเป็นของผลการคาดการณ์ทั้งหมด ถูกจัดเป็นหมวดหมู่ตามค่าความน่าจะเป็นของผลการคาดการณ์แต่ละผลการคาดการณ์ที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่า threshold ที่กำหนด เพื่อคำนวณ false alarm rate และ hit rate และ plot ค่าที่คำนวณได้ (จุดสีแดง) ลงใน ROC diagram

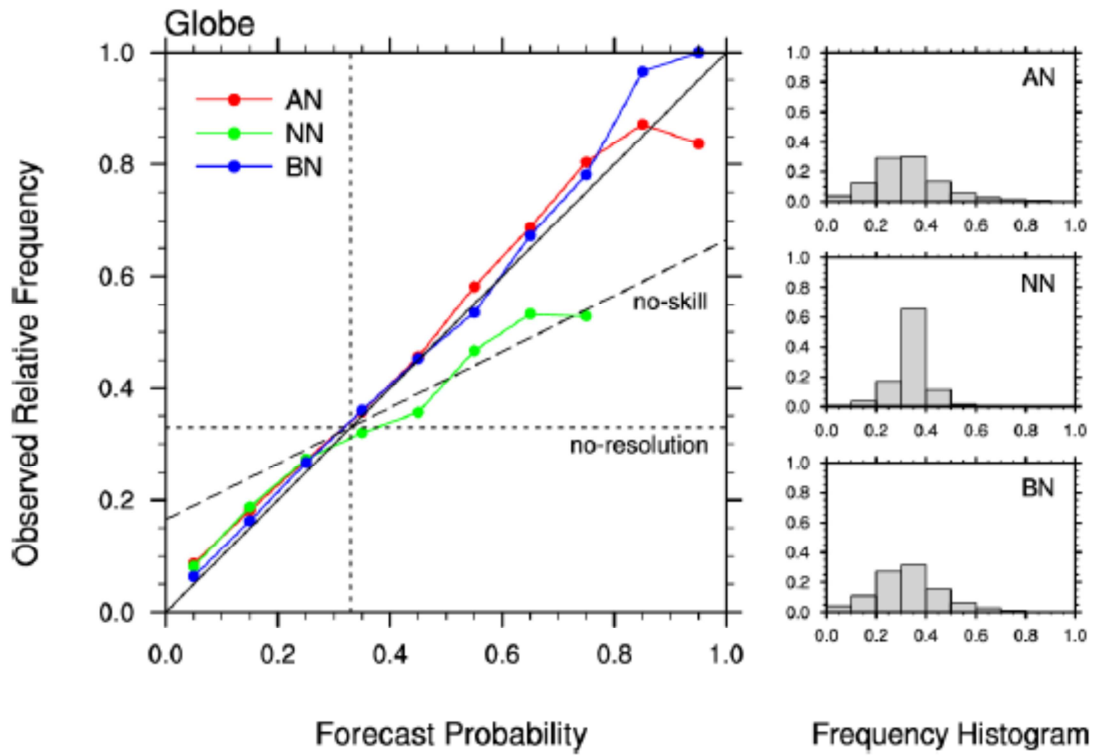
ROC Curve : T850, SON (1981-2003)



รูปที่ 3.15 ROC curve ของอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 (ที่มา: APCC, 2010)



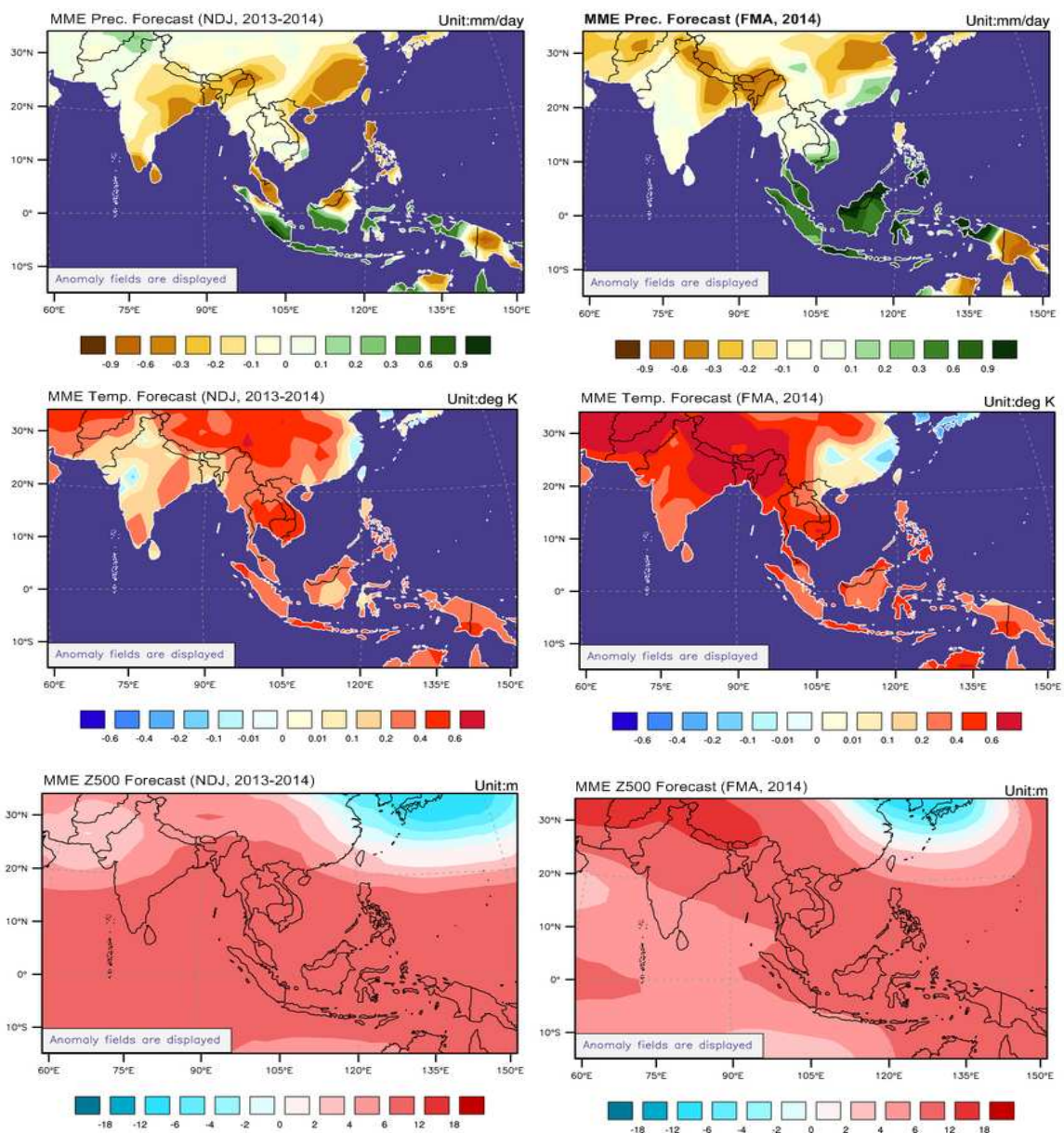
รูปที่ 3.16 ROC score ของอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 (ที่มา: APCC, 2010)



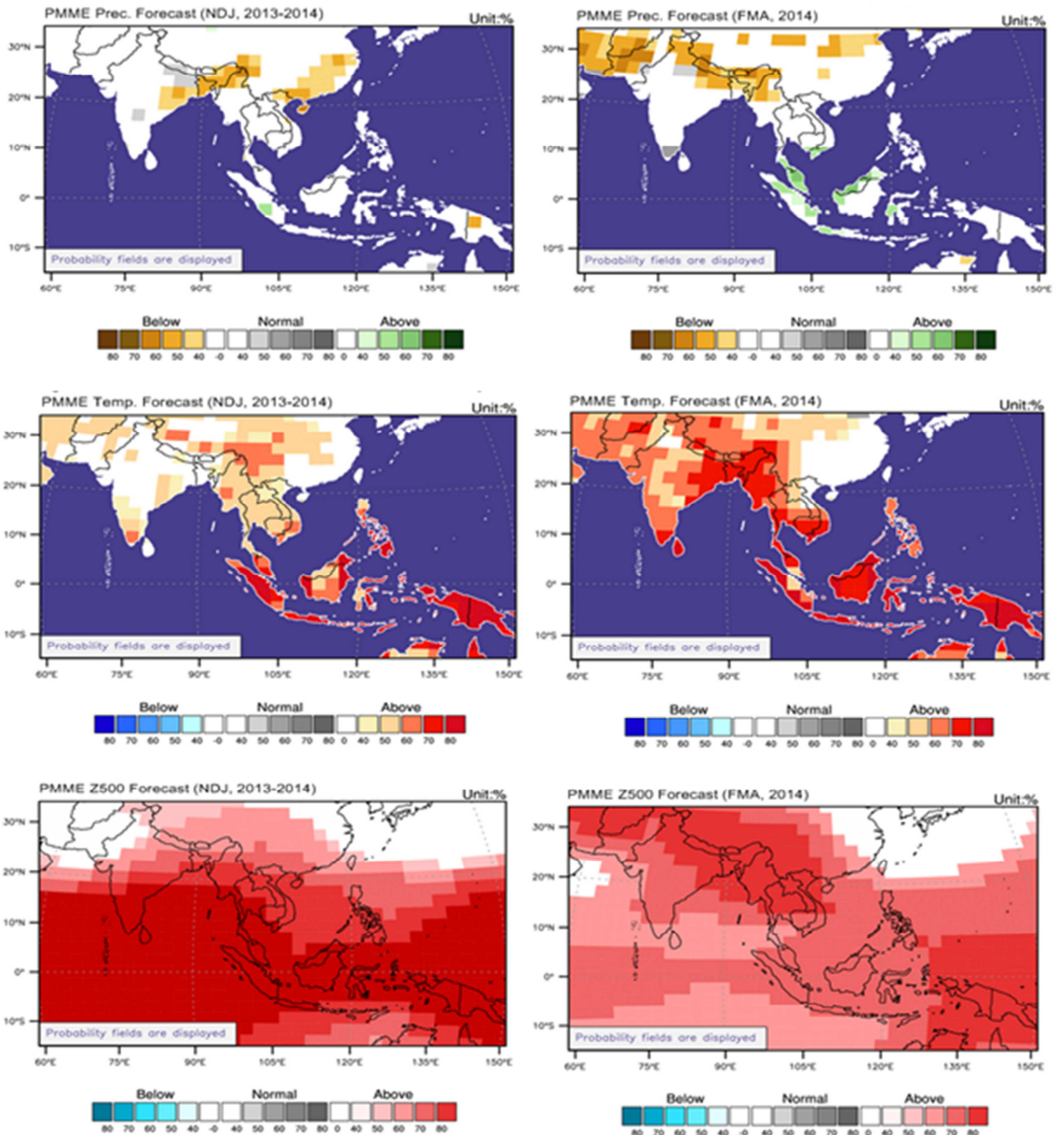
รูปที่ 3.17 Reliability diagram และ frequency histogram ของอุณหภูมิที่ 850 hPa สำหรับการคาดการณ์ในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน ในระหว่างปี ค.ศ. 1981 ถึง 2003 (ที่มา: APCC, 2010)

3.2.3 ตัวอย่างผลคาดการณ์ลักษณะอากาศราย 3 เดือนด้วยวิธี deterministic/probabilistic APCC-MMEs

ตัวอย่างผลคาดการณ์ลักษณะฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ด้วย deterministic/probabilistic APCC-MMEs ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับช่วงระยะเวลา พฤศจิกายน-ธันวาคม 2013 ถึง มกราคม ค.ศ. 2014 และ ช่วงระยะเวลา กุมภาพันธ์-มีนาคม-เมษายน ค.ศ. 2014 แสดงในรูปที่ 3.18 และ 3.19



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างผลคาดการณ์ลักษณะฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ด้วย deterministic APCC-MME ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับช่วงระยะเวลา พฤศจิกายน-ธันวาคม 2013 ถึง มกราคม 2014 และ ช่วงระยะเวลา กุมภาพันธ์-มีนาคม-เมษายน 2014



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างผลคาดการณ์ลักษณะฝน อุณหภูมิและ Geopotential height ด้วย probabilistic APCC-MME ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับช่วงระยะเวลา พฤศจิกายน-ธันวาคม ค.ศ. 2013 ถึงมกราคม ค.ศ. 2014 และ ช่วงระยะเวลา กุมภาพันธ์-มีนาคม-เมษายน ค.ศ. 2014

3.3 ระบบการคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลของศูนย์ European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

ศูนย์ ECMWF ได้เริ่มดำเนินการคาดหมายลักษณะภูมิอากาศล่วงหน้ารายฤดูกาลตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1997 ด้วยโมเดลแบบควบคู่ระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทรซึ่งรู้จักกันในนาม ECMWF seasonal forecast System1 (System-1) และได้พัฒนาเป็น System-2 และ System-3 ตามลำดับในปี ค.ศ. 2001 และ 2007 (Anderson et al., 2007; Stockdale et al., 2011) หลังจากปี ค.ศ. 2011 ศูนย์ ECMWF ได้เปลี่ยนเป็น System-4 ซึ่งเป็นระบบใหม่ที่มีองค์ประกอบหลักประกอบไปด้วย 1) ชุดข้อมูลภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ที่ตรวจวัดจริง 2) ระบบวิเคราะห์และ assimilation ข้อมูลตรวจวัดเพื่อประมาณสถานะเริ่มต้นของมหาสมุทรและบรรยากาศและสร้างชุดข้อมูลนำเข้า (perturbation) สำหรับจำลองด้วยโมเดลควบคู่ 3) โมเดลการไหลเวียนของโลกแบบควบคู่ระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร (global coupled ocean-atmosphere general circulation model) และ 4) ระบบการทวนสอบและการสร้างผลิตภัณฑ์ของผลการคาดการณ์ (รูปที่ 3.20) (Molteni et al., 2011)

สถานะเริ่มต้นของมหาสมุทร (initial ocean condition) สำหรับโมเดลสมุทรศาสตร์ ถูกเตรียมด้วยระบบ NEMOVAR (Variational Ocean Data assimilation System) ซึ่งเป็นระบบที่วิเคราะห์ตัวแปรเชิงพหุสามมิติ ที่ใช้ข้อมูลอุณหภูมิและความเค็มที่ตรวจวัดจริงที่มีอยู่ทั้งหมด รวมทั้งการประมาณแรงขับเคลื่อนพื้นผิวจากการพยากรณ์ระยะสั้นของศูนย์ ECMWF (รูปที่ 3.21) การวิเคราะห์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและผลการตรวจวัดระดับความสูงจากดาวเทียม เพื่อสร้างค่าประมาณที่ดีที่สุดสำหรับสถานะเริ่มต้นของมหาสมุทร ทั้งนี้ 5 member ensemble ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ perturbed version ของการขับเคลื่อนด้วยลม เพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างความไม่แน่นอนของสถานะของมหาสมุทร (Molteni et al., 2011) การวิเคราะห์สมุทรศาสตร์ด้วย NEMOVAR มีอยู่สองแบบ คือ 1) reanalysis stream (ORA-S4) ซึ่งเป็นการเตรียมข้อมูลสถานะเริ่มต้นสำหรับการสอบเทียบการจำลองในอดีต และ 2) real-time analysis ซึ่งเป็นการสร้างข้อมูลสถานะเริ่มต้นสำหรับ ensemble predictive system (EPS) และการพยากรณ์รายฤดูกาลแบบ real time ก่อนที่จะเริ่มพยากรณ์ด้วยโมเดลควบคู่ การวิเคราะห์สมุทรศาสตร์ ยัง perturb ด้วยการเพิ่มการประมาณความไม่แน่นอนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสำหรับสถานะเริ่มต้น สุดท้าย สถานะเริ่มต้นที่แตกต่างกันของมหาสมุทรที่จัดเตรียม มีทั้งหมด 51 member ของ ensemble forecast

สำหรับโมเดลสมุทรศาสตร์ใน System-4 ได้ใช้ NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) ซึ่งเป็น state-of-the-art modelling framework สำหรับงานวิจัยและการปฏิบัติการด้านสมุทรศาสตร์ การพยากรณ์รายฤดูกาลและการศึกษาด้านภูมิอากาศ (Madec, 2008) แทน HOPE (Hamburg Ocean Primitive Equation model) NEMO มีความละเอียดแนวนอนประมาณ 1° และมีชั้นตามแนวตั้ง จำนวน 42 ระดับจากเดิมเพียงแค่ 29 ชั้น (รูปที่ 3.22)

องค์ประกอบของบรรยากาศสำหรับโมเดลควบคู่ที่ใช้ใน System-4 คือ โมเดล ECMWF-IFS (Integrated Forecast System) เวอร์ชัน 36r4 ซึ่งมี 91 ระดับตามแนวตั้ง โดยระดับบนสุดของโมเดล อยู่ชั้นบรรยากาศมีโซสเฟียร์หรือประมาณ 74 กิโลเมตร และความละเอียดเชิงแนวราบใช้

สำหรับการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้ารายฤดูกาล มีค่าเท่ากับ TL255 (ประมาณ 80 กิโลเมตร) ทั้งนี้ วิธีการกำหนดตัวแปรทางฟิสิกส์ (physical parameterization) ซึ่งประกอบด้วย เมฆ ฝนและผิวพื้นดิน ถูกคำนวณบน N128 gaussian grid ที่มีขนาดกริดเล็กลงเท่ากับ 0.7° โมเดลของบรรยากาศ ใช้วิธี two time-level semi-Lagrangian สำหรับการจำลองพลวัตซึ่งมี time step เท่ากับ 45 นาที ทั้งนี้ โมเดล IFS 36r4 ถูกปรับด้วยการตั้งค่าที่ไม่ได้เป็นมาตรฐานเพียงเล็กน้อย ซึ่งประกอบด้วย การใช้โมเดล FLAKE ซึ่งเป็นโมเดลใหม่ของทะเลสาบ เพื่อสร้างข้อมูลอุณหภูมิและน้ำแข็งสำหรับการแก้ปัญหาของทะเลสาบ (Balsamo et al., 2011) และการปรับแก้ฟิสิกส์บางประการของบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ โดยแอมพลิฟายด์ในภาพรวมของ non-orographic gravity wave drag ลดลง ส่งผลให้วิวัฒนาการ quasi-biennial oscillation (QBO) หรือความผันผวนกึ่งคาบเวลาของลมบริเวณเส้นศูนย์สูตรระหว่าง easterlies และ westerlies ของบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ในเขตร้อนและสภาพภูมิอากาศของชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ มีลักษณะที่ปรับปรุงดีขึ้น ไอโซน ถูกกระตุ้นในฐานะ prognostic variable ที่สังเกตเป็นปัจจัยสำคัญในการให้พลังงานที่ทำให้ไอโซน active ส่วนความแปรปรวนเชิงเวลาของก๊าซเรือนกระจกและวัฏจักรดวงอาทิตย์ (solar cycle) ถูกกำหนดโดยใช้การคำนวณของ IPCC scenario สำหรับค่าในอนาคต และข้อเสนอแนะในรายงานสังเคราะห์ฉบับที่ 5 ของ IPCC (Molteni et al., 2011) นอกจากนี้ ละอองลอยจากภูเขาไฟ (volcanic aerosol) ยังรวมอยู่ในระบบพยากรณ์ ซึ่งกำหนดเป็นค่าประมาณสำหรับพื้นที่ซีกโลกเหนือ พื้นที่ซีกโลกใต้และเขตร้อน พร้อมทั้งลักษณะการกระจายตัวในแนวตั้ง โดยค่าที่กำหนดนี้ เป็นข้อมูลของเดือนก่อนที่การพยากรณ์จะเริ่ม การระเบิดของภูเขาไฟ ไม่ได้ตรวจจับการเกิดล่วงหน้า แต่ระบบพยากรณ์ อธิบายผลกระทบหลังจากเกิดการระเบิดแล้วได้ในระดับหนึ่ง

ชั้นบรรยากาศและมหาสมุทร ถูกควบคุมโดยใช้ OASIS3 coupler ที่พัฒนาโดย CERFACS (รูปที่ 3.22) ซึ่งเป็นการประมาณค่าในช่วง (interpolation) ด้วยวิธี Gaussian ระหว่างกริดของชั้นบรรยากาศและมหาสมุทรสำหรับช่วงเวลาควบคุม 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่อนุญาตให้แก้ไขปัญหาเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องวงจรรอบวัน โดยวิธี Gaussian จัดการกับความแตกต่างของชายฝั่งระหว่างโมเดลสมุทรศาสตร์และโมเดลบรรยากาศได้อย่างอัตโนมัติ

System-4 ใช้สองแบบแผนสำหรับ stochastic physics ซึ่งได้แก่ 3-time level SPPT scheme (SPPT3) และ stochastic backscatter scheme (SKEB) (Palmer et al., 2009) การกำหนด SPPT3 และ SKEB มีลักษณะเหมือนกันกับ medium-range EPS โดยการเลือกใช้ SPPT3 ใน EPS ได้มาจากการทดลองกับระบบคาดการณ์ภูมิอากาศรายฤดูกาล ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุแอมพลิฟายด์การ perturbation ในคาบเวลายาวนานที่เหมาะสมสำหรับการใช้บูรณาการทั้งช่วงระยะกลางและฤดูกาล medium/seasonal range integration) ทั้งนี้ SPPT3 มีประสิทธิภาพพิเศษในการกระตุ้นการผันแปร (divergence) อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ของปรากฏการณ์เอนโซในระบบการคาดการณ์ด้วยโมเดลควบคุม ซึ่งทำให้ spread ของการคาดการณ์ปรากฏการณ์เอนโซด้วย System-4 มีค่าขนาดใหญ่อย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ System-3

3.3.1 สถานะเริ่มต้นสำหรับระบบควบคู่ (Initial conditions for the coupled system)

สถานะเริ่มต้นของบรรยากาศสำหรับ control forecast หรือ unperturbed มาจากข้อมูล ERA Interim สำหรับช่วงระยะเวลา ค.ศ. 1981 ถึง 2010 และจากข้อมูลการวิเคราะห์การดำเนินงานของ ECMWF สำหรับระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคมของปี ค.ศ. 2011 ทั้งนี้ สถานะเริ่มต้นของผิวพื้นดิน ได้รับการจัดการพิเศษ โดย HTESSSEL ซึ่งเป็นโมเดลพื้นผิวดินที่ใช้ใน Cy36r4 จำลองแบบ offline สำหรับ re-forecast หรือ hindcast ด้วยข้อมูลขับเคลื่อน (หยาดน้ำฟ้า แสงอาทิตย์ อุณหภูมิใกล้ผิวพื้น ลมและความชื้นสัมพัทธ์) จาก ERA Interim (รูปที่ 3.22) ผลการทดลอง พบว่าการขับเคลื่อนโมเดล HTESSSEL ด้วยวิธีนี้ สามารถสร้างข้อมูลสถานะเริ่มต้นของความชื้นดินและหิมะปกคลุมได้ระดับดี โมเดล HTESSSEL ถูกจำลองบนความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ T255 ซึ่งสอดคล้องกับทั้งข้อมูลขับเคลื่อนจาก ERA Interim และความละเอียดที่ต้องการสำหรับสถานะเริ่มต้นของผิวพื้น

ensemble สำหรับแต่ละการคาดการณ์ล่วงหน้าหรือจำลองในอดีต ถูกสร้างขึ้นจาก ensemble ของสถานะเริ่มต้นโดยใช้ stochastic physics โดยการวิเคราะห์สมุทรศาสตร์สามารถสร้าง 5 member ensemble ซึ่งแต่ละสมาชิกถูกขับเคลื่อนด้วยความไม่แน่นอนของตัวอย่างลมและสถานะเริ่มต้นของมหาสมุทรที่ระดับความลึก รวมทั้ง sub-sampling observation coverage หลังจากนั้น การวิเคราะห์สมุทรศาสตร์ จะถูกเพิ่มเติมด้วยการ perturbation ด้วยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและไต้ผิวน้ำ ดังนั้น สถานะเริ่มต้นของมหาสมุทร จะเป็นตัวแทนความไม่แน่นอนหลักของสถานะของมหาสมุทร สำหรับ singular vector ในเขตร้อนของบรรยากาศ ถูกคำนวณจาก operational EPS machinery โดยใช้ 36r4 operational setting ซึ่งการ perturbation ถูกประยุกต์กับตัวแปรของอากาศชั้นบน ส่งผลให้การเติบโตของ Z500 spread ในรอบ 10 วันแรกของการพยากรณ์ มีความถูกต้องในระดับที่น่าพอใจ และเหมาะสมกับความจำเป็นสำหรับระบบการคาดการณ์ล่วงหน้ารายฤดูกาล อย่างไรก็ตาม System-4 ไม่มีการ perturbation สำหรับสถานะเริ่มต้นของผิวพื้นดิน

การจำลองลักษณะอากาศในอดีตหรือ hindcast ของ System-4 จัดทำโดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 ของทุกๆ เดือนในช่วงเวลา 1981-2010 ซึ่ง ensemble size มีขนาด 15 member เพิ่มจาก 11 member ใน System-3 เพื่อช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นทางสถิติ ผู้ใช้งานสำหรับระบบพยากรณ์แบบ real-time สามารถนำข้อมูลในส่วนนี้ไปใช้ประโยชน์ในการสอบเทียบผลการคาดการณ์แบบ real-time ของตนเองได้ หลังจากได้เริ่มใช้ System-4 ได้มีแผนรัน ensemble member ในการจำลองลักษณะอากาศในอดีตเพิ่มเติม เพื่อการสุ่มตัวอย่างลักษณะของทักษะระบบการคาดการณ์ที่ดีขึ้น

การคาดการณ์ล่วงหน้ารายฤดูกาล ประกอบด้วย 51 member ensemble เช่นเดียวกันระบบการคาดการณ์ล่วงหน้าช่วงระยะกลางและรายเดือน (medium-range/monthly EPS) โดย ensemble ถูกสร้างขึ้นจากการรวม 5-member ensemble ของการวิเคราะห์สมุทรศาสตร์ ด้วยการ perturbation ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ผ่านการกระตุ้นด้วย stochastic physics วันเริ่มต้นของการคาดการณ์ คือ วันที่ 1 ของแต่ละเดือนและคาดการณ์ล่วงหน้าอีก 7 เดือนนับจากวันเริ่มต้น ข้อมูลและผลผลิตของ System-4 จะเผยแพร่ทุกๆ วันที่ 7 ของเดือน นอกจากการคาดการณ์ล่วงหน้ารายฤดูกาลที่ผลิตทุกๆ เดือนแล้ว ศูนย์ ECMWF ยังจัดทำผลการคาดการณ์ในช่วงรอบปี (annual-range

forecast) 4 ครั้งต่อปี ซึ่งวันเริ่มต้นของการคาดการณ์ ได้แก่ วันที่ 1 ของเดือนกุมภาพันธ์ มิถุนายน กันยายนและพฤศจิกายน โดยมีช่วงระยะเวลาของการคาดการณ์ เท่ากับ 13 เดือน การคาดการณ์ ในช่วงรอบปี ถูกปรับเป็นส่วนขยายของการคาดการณ์ล่วงหน้ารายฤดูกาล ซึ่งใช้ชุดโมเดลเดียวกันแต่มี ensemble size น้อยกว่า วัตถุประสงค์หลักของการคาดการณ์ในช่วงรอบปี เพื่อจัดทำ outlook ของเหตุการณ์เอลนีโน ในปัจจุบัน การคาดการณ์ในช่วงรอบปี ยังอยู่ในสถานะของการทดลอง มากกว่านำมาใช้ระบบปฏิบัติการจริง

โดยสรุปแล้ว System-4 ได้รับการพัฒนาและมีก้าวหน้าประสบความสำเร็จในหลาย ประเด็นซึ่งรวมถึง

- ความพร้อมและความสมบูรณ์ของชุดข้อมูล state-of-the-art reanalysis (ERA Interim) ที่ใช้เป็นข้อมูลแรงขับเคลื่อนของฟลักซ์สำหรับมหาสมุทรและสถานะเริ่มต้นของบรรยากาศ

- วงจรมือใหม่ของ IFS ที่ปรับปรุงการจำลองความแปรปรวนภายในฤดูกาลของเขตร้อนและลด ความผิดพลาดในพื้นที่นอกเขตร้อน

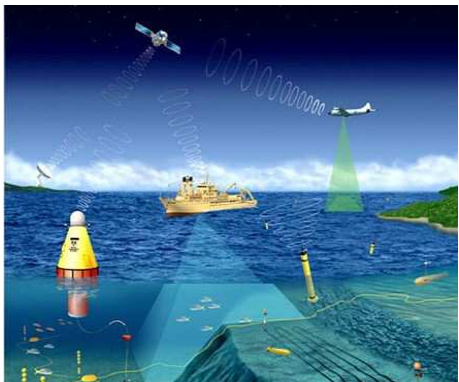
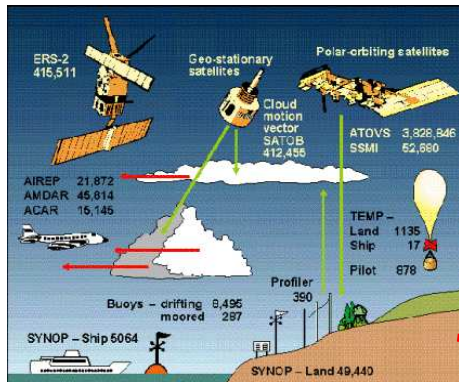
- ความละเอียดเชิงแนวราบและแนวตั้งซึ่งช่วยแสดงกระบวนการและแรงขับเคลื่อนของชั้น บรรยากาศสตราโตสเฟียร์ที่ดีขึ้น

- ชุดการจำลองลักษณะภูมิอากาศในอดีตมีระยะเวลา 30 ปี ซึ่งมีจำนวน ensemble เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ System-3 (15 & 11 ensemble)

- จำนวน ensemble ของระบบปฏิบัติการเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ System-3 (51 & 41 ensemble) ซึ่งเทียบเท่ากับจำนวนของการคาดการณ์ระยะกลางและรายเดือน (medium-range/monthly ensemble)

- สถานะเริ่มต้นของตัวแปรผิวพื้นดิน มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น

- การจำลองความไม่แน่นอนที่เกิดจากโมเดลมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น และสามารถแสดงอย่าง ง่ายต่อความไม่แน่นอนของ sea-ice



Current state of the atmosphere

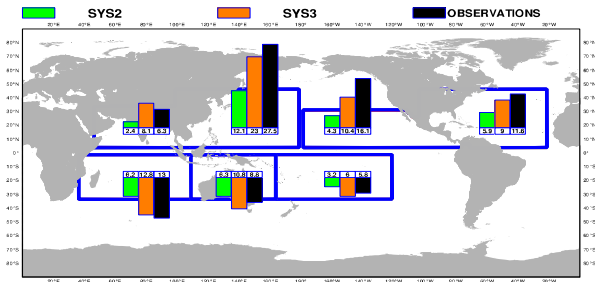
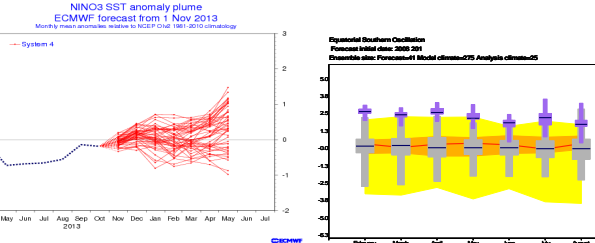
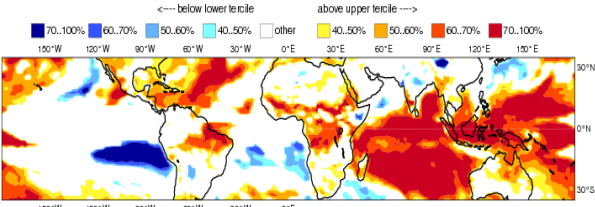
Atmospheric model

Coupler

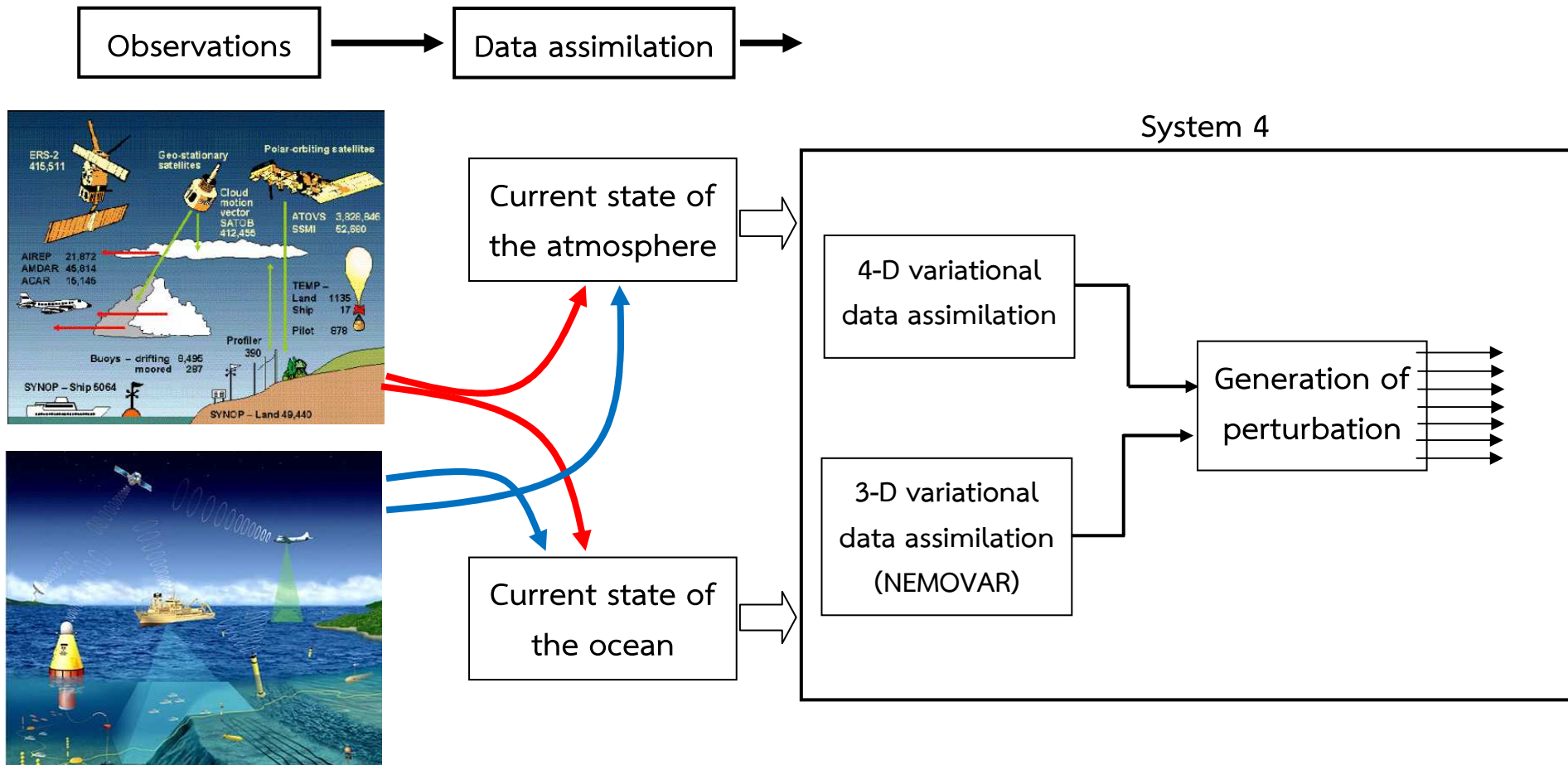
Oceanic model

Current state of the ocean

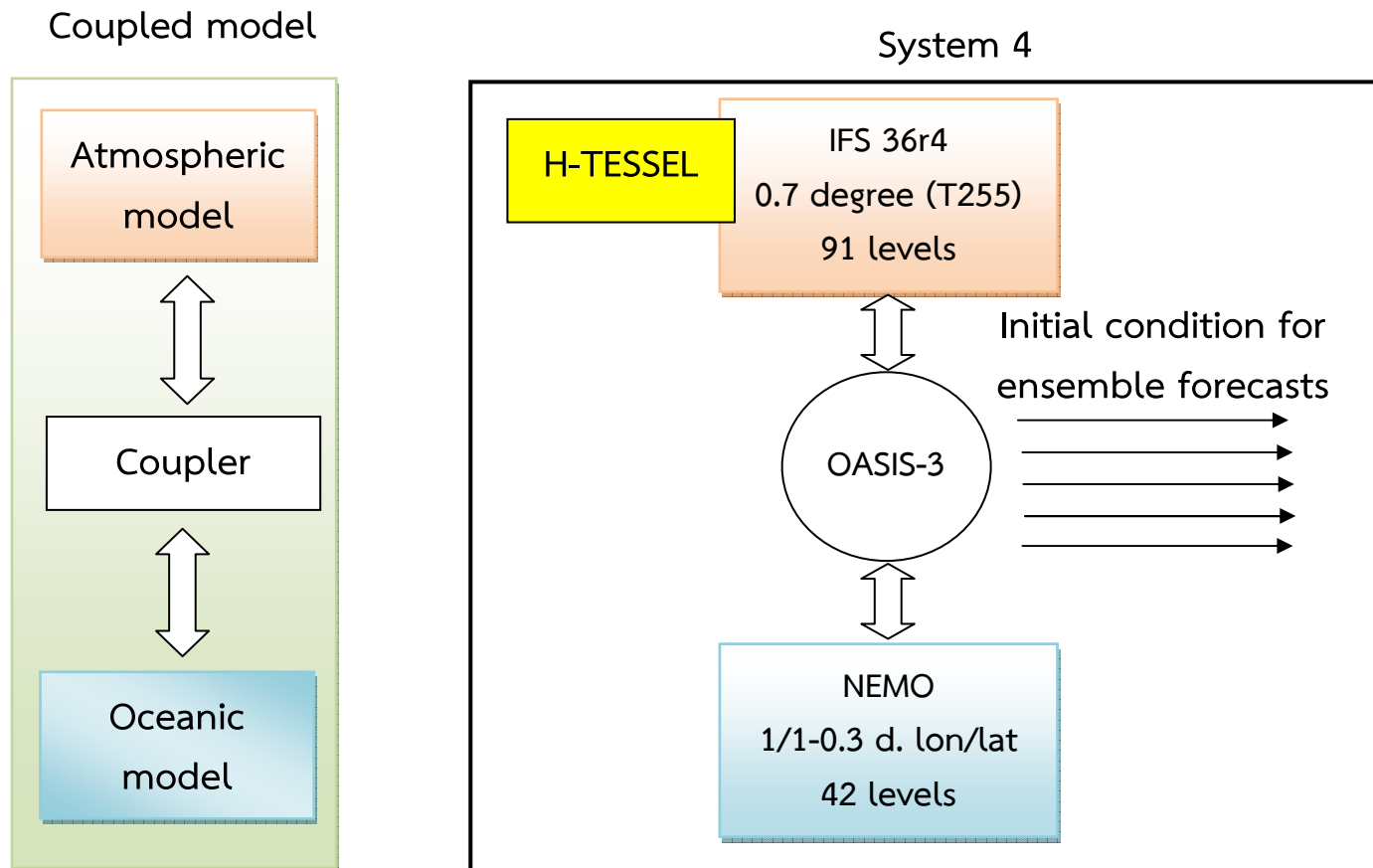
ECMWF Seasonal Forecast System 4
Prob(most likely category of 2m temperature)
Forecast start reference is 01/11/13
Ensemble size - 51, climate size - 450



รูปที่ 3.20 องค์ประกอบหลักของระบบ ECMWF Seasonal Forecast System-4



รูปที่ 3.21 รายละเอียดขององค์ประกอบ data analysis/assimilationของระบบ ECMWF Seasonal Forecast System-4



รูปที่ 3.22 รายละเอียดของโมเดลควบคู่ของระบบ ECMWF Seasonal Forecast System-4

3.3.2 ระบบประมวลผลหลังการจำลองและผลิตผลการคาดการณ์ (Post-processing and product generation)

ระบบประมวลผลหลังการจำลอง ได้ถูกออกแบบเพื่อปรับแก้ความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้า ตัวอย่างเช่น ความผิดพลาดเฉลี่ยของโมเดล ถูกประมาณในรูปแบบฟังก์ชันของเวลาล่วงหน้า (lead-time) และเดือนตามปฏิทินจากความแตกต่างระหว่างค่าการจำลองในอดีตและข้อมูลตรวจวัดในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งที่ใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงสำหรับค่าดัชนีเอลนีโญ เช่น Nino 3 โดยความผิดพลาดนี้ จะถูกใช้ปรับแก้ผลโมเดลเพื่อสร้างค่าสมบูรณ์ของผลการคาดการณ์และอ้างอิงกับค่าเฉลี่ยในระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง เพื่อแสดงผลความผิดปกติของผลการคาดการณ์ (forecast anomaly) ทั้งนี้ในปัจจุบัน ข้อมูล NCEP OIv2 ในช่วงระยะเวลา ค.ศ. 1981-2010 ใช้เป็นช่วงปีฐานในการอ้างอิง (base period)

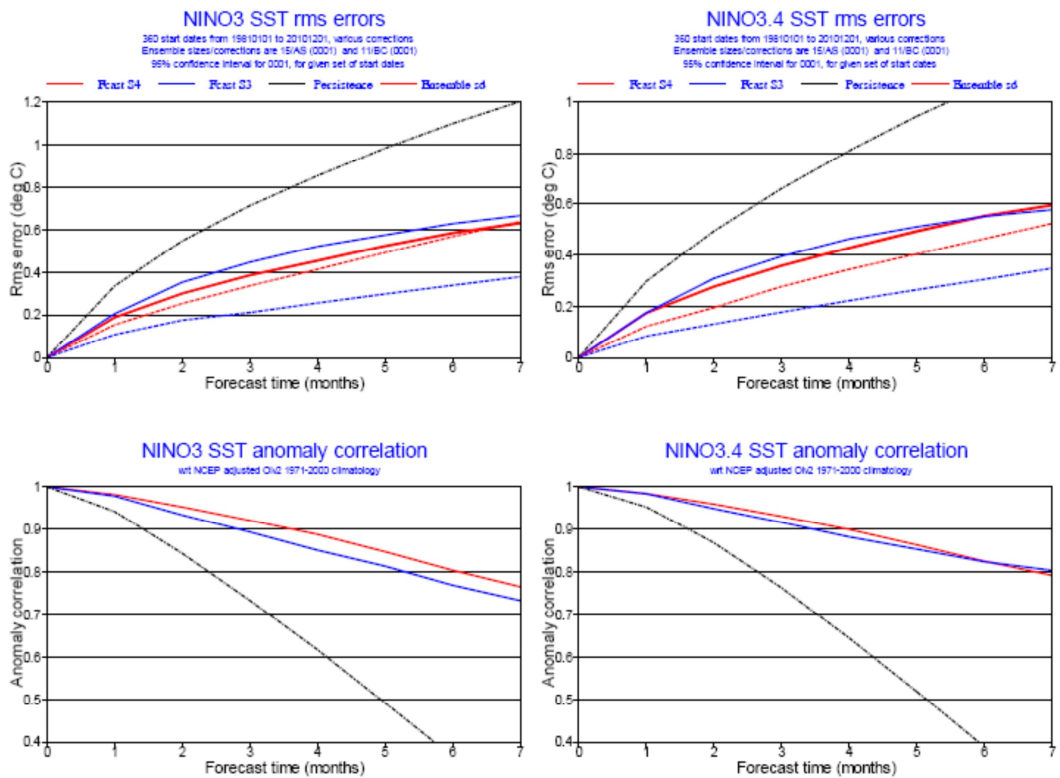
ความผิดพลาดของตัวแปรภูมิอากาศที่ถูกคาดการณ์ทุกตัวแปร ได้หักลบออกโดยพิจารณาเฉพาะความผิดปกติของโมเดลที่เกี่ยวกับสภาพเฉลี่ยของโมเดลซึ่งไม่ได้คำนึงถึงค่าเฉลี่ยที่แท้จริง กล่าวโดยเฉพาะเจาะจงคือ ค่า ensemble ของผลพยากรณ์ ถูกเปรียบเทียบกับค่า ensemble ของตัวแปรภูมิอากาศที่ใช้อ้างอิง โดยความแตกต่างระหว่างโมเดลพยากรณ์และโมเดลภูมิอากาศ ถูกประเมินและแสดงในรูปกราฟ ข้อดีของวิธีนี้ ก็คือไม่ต้องพึ่งพารฐานข้อมูลตรวจวัด แต่มีข้อเสียที่ขาดทางเลือกเกี่ยวกับช่วงระยะเวลาปีฐานของภูมิอากาศ สำหรับการสอบเทียบการจำลองในอดีตของ System-4 ใช้ช่วงระยะเวลามาตรฐาน 30 ปี (ค.ศ. 1981-2010) ซึ่งคาดว่าไม่น่าจะเป็นประเด็นปัญหาสำหรับการประยุกต์โดยส่วนใหญ่

3.3.3 ค่าคะแนนทักษะของ System-4

3.3.3.1 ค่าคะแนนของปรากฏการณ์เอลนีโญและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลอื่นๆ ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนทักษะในรูปแบบของ Root Mean Square (RMS) error และ Anomaly Correlation ของผลการจำลองอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณ Nino3 และ Nino3.4 ในอดีต 30 ปีด้วย System-4 และ System-3 โดยสรุปพบว่า ผลการจำลองด้วย System-4 ได้ลดความผิดพลาดแต่เพิ่ม ensemble spread (รูปที่ 3.23) ส่วนรูปที่ 3.24 แสดง Mean Square Skill Score (MSSS) against climatology ในสองพื้นที่สำคัญของเอลนีโญที่จำลองด้วย System-3, System-4 และโมเดลอื่นๆ ของทวีปยุโรป ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับรูปที่ 3.23 กล่าวคือให้ผลการจำลองอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ดีกว่าอย่างชัดเจนในพื้นที่ดังกล่าว

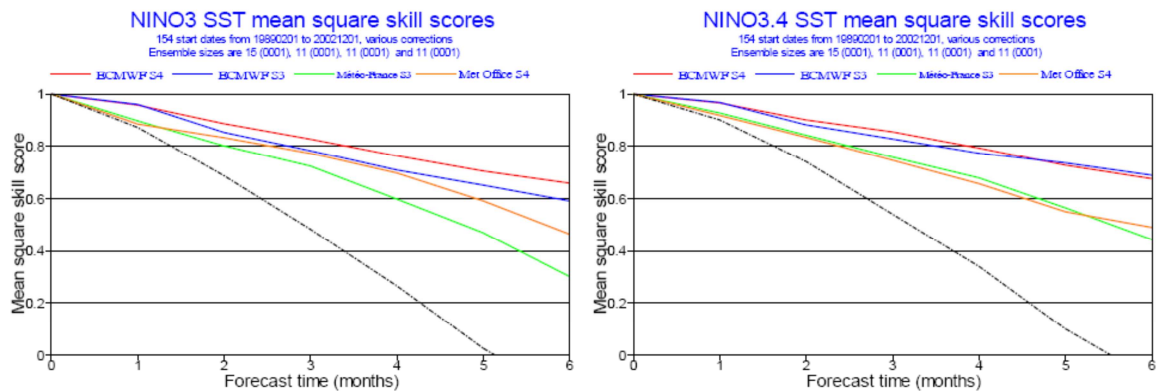
3.3.3.2 ค่าคะแนนของตัวแปรลมฟ้าอากาศ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ensemble mean และ ERA interim ของอุณหภูมิใกล้ผิวพื้นที่จำลองด้วย System-4 และ System-3 ซึ่งเริ่มในเดือนพฤษภาคมและทวนสอบในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (รูปที่ 3.25) แสดงให้เห็นว่าทักษะการคาดการณ์อุณหภูมิใกล้ผิวพื้นที่โดยรวมของ System-4 มีระดับที่สูงกว่า ซึ่งความแตกต่างที่เห็นชัดเจนในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกและตอนกลางของทวีปแอฟริกา ส่วนการคาดการณ์ฝนในช่วงเวลาเดียวกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งบนภาคพื้นทวีป ให้ค่าทักษะ

การคาดการณ์ที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิใกล้ผิวพื้น (รูปที่ 3.25 และ 3.26) ทั้งนี้ ผลการคาดการณ์เหนือมหาสมุทรให้ผลที่สอดคล้องกันในพื้นที่กว้าง โดย System-4 ให้ค่าที่ดีขึ้นเหนือมหาสมุทรแอตแลนติกบริเวณเขตร้อนและมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก จากแผนที่ในรูปที่ 3.25 และ 3.26 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างที่จำกัดของผลคำนวณการทวนสอบ ซึ่ง noise ตามธรรมชาติในระดับท้องถิ่นของแต่ละกริด ส่งผลให้ยากในการเปรียบเทียบเชิงปริมาณระหว่าง System-4 และ System-3 ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ทักษะการคาดการณ์ที่คำนวณในรูป ACC สำหรับการจำลองในอดีต 30 ปี ที่เริ่มต้นในแต่ละเดือนปฏิทินและคำนวณค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่แบบถ่วงน้ำหนักสำหรับพื้นที่เขตร้อนและพื้นที่นอกเขตร้อน ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.7 ให้ภาพทั่วไปที่ชัดเจนขึ้น โดยสรุป พบว่า System-4 ให้ผลคาดการณ์ล่วงหน้าในรอบ 1 เดือนถึง 4 เดือนสำหรับตัวแปรภูมิอากาศต่างๆ ที่ดีกว่า System-3 ทั้งในพื้นที่เขตร้อนและนอกเขตร้อน นอกจากนี้ รูปที่ 3.27 แสดง Reliability Diagram ที่คำนวณจาก System-3 และ System-4 สำหรับอุณหภูมิผิวพื้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคมที่สูงกว่า upper tercile ในพื้นที่ทวีปยุโรป ที่คาดการณ์จากวันที่ 1 พฤษภาคม ซึ่ง Brier Skill Score บ่งชี้ถึง System-4 มีความน่าเชื่อถือและละเอียดที่สูงกว่า System-3 ในพื้นที่ดังกล่าวและพื้นที่อื่นในฐานระบบการคาดการณ์อากาศล่วงหน้าแบบความน่าจะเป็น



รูปที่ 3.23 คะแนนทักษะของผลการจำลองอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณ Nino3 และ Nino3.4 ในอดีต 30 ปีด้วย System-4 (สีแดง) และ System-3 (สีน้ำเงิน) ซึ่ง System-4 ได้ลดความผิดพลาด (เส้นทึบ) แต่เพิ่ม ensemble spread (เส้นประ) (ที่มา: Molteni et al., 2011)

รูปที่ 3.24 Mean Square Skill Score (MSSS) against climatology สำหรับ System-4 (สีแดง)

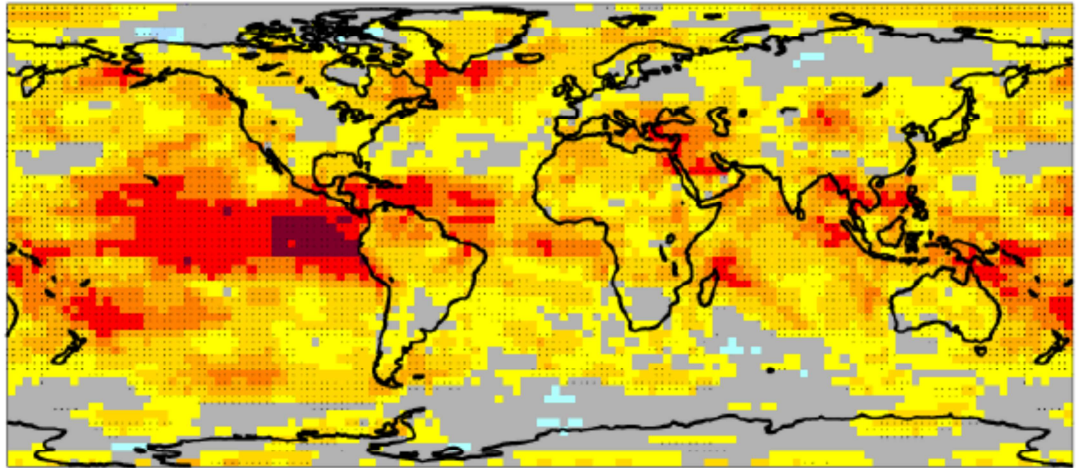
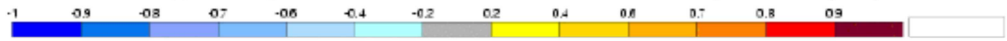


System-3 (สีน้ำเงิน) Meteo-France (สีเขียว) และ Met Office (สีส้ม) ในช่วงระยะเวลา 1989-2002 สำหรับ Nino3 และ Nino3.4 โดยค่าคะแนน persistence แสดงด้วยเส้นสีดำ (ที่มา: Molteni et al., 2011)

Near-surface air temperature

Hindcast period 1981-2010 with start in May average over months 2 to 4

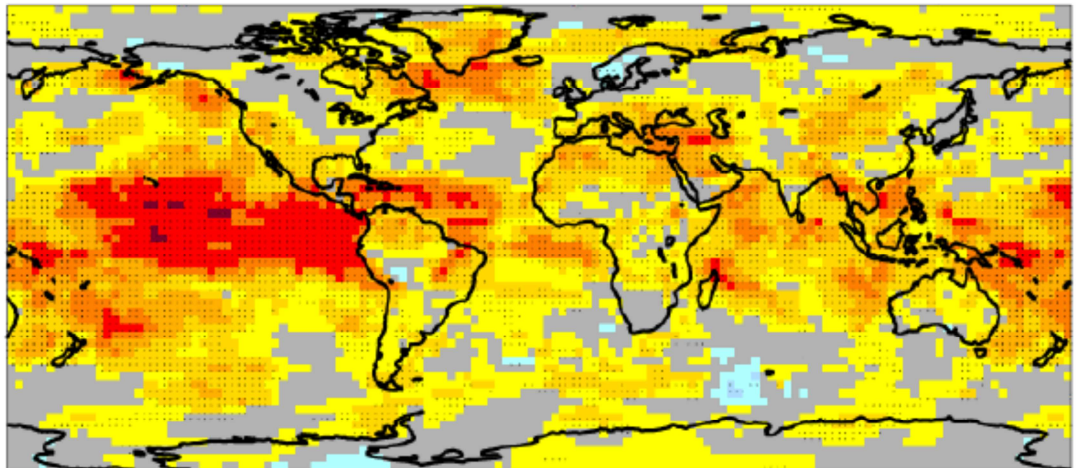
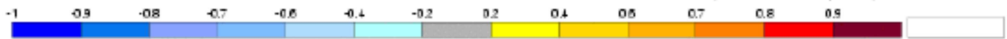
Black dots for values significantly different from zero with 95% confidence (1000 samples)



Near-surface air temperature

Hindcast period 1981-2010 with start in May average over months 2 to 4

Black dots for values significantly different from zero with 95% confidence (1000 samples)

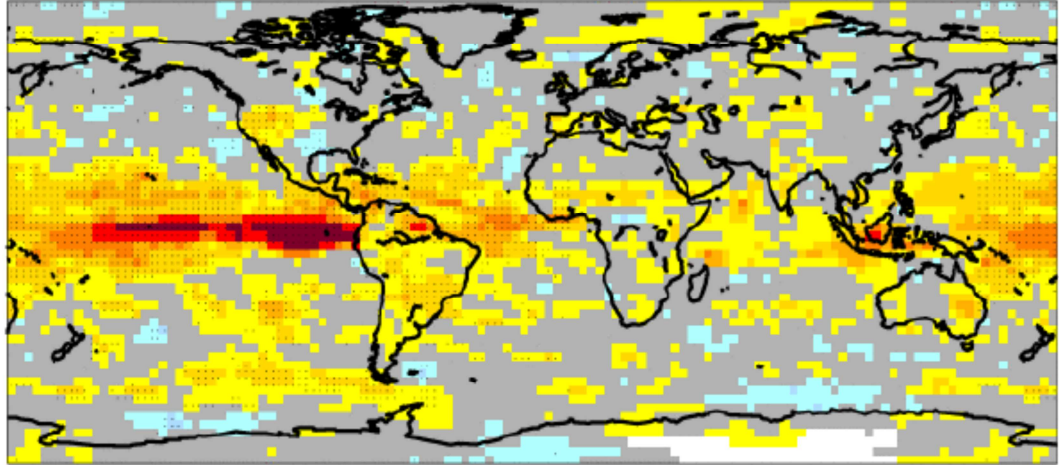
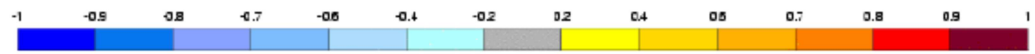


รูปที่ 3.25 ensemble mean anomaly correlation ของอุณหภูมิใกล้ผิวพื้นในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงสิงหาคม System-4 และ System-3 คือ ภาพบนและภาพล่าง ตามลำดับ (ที่มา: Molteni et al., 2011)

Precipitation

Hindcast period 1981-2008 with start in May average over months 2 to 4

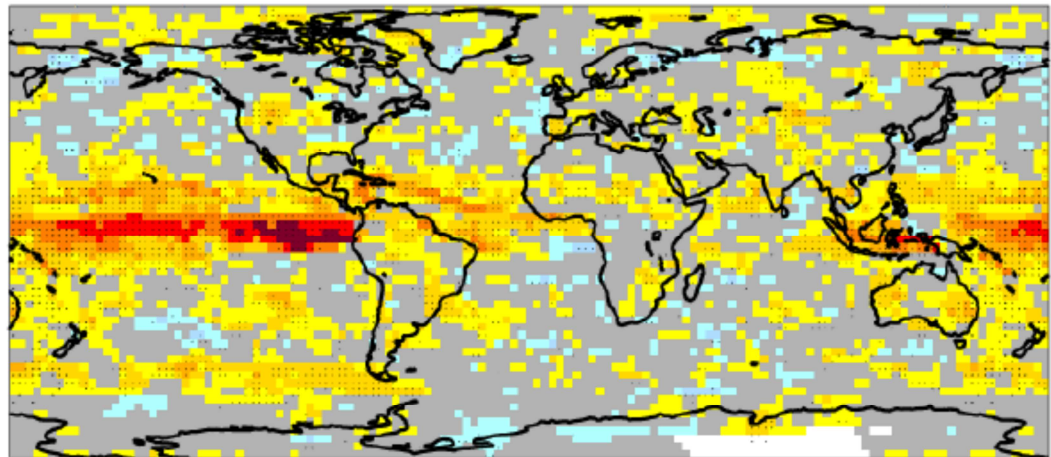
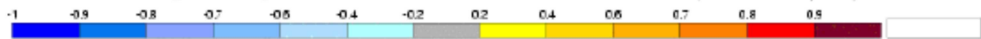
Black dots for values significantly different from zero with 95% confidence (1000 samples)



Precipitation

Hindcast period 1981-2008 with start in May average over months 2 to 4

Black dots for values significantly different from zero with 95% confidence (1000 samples)

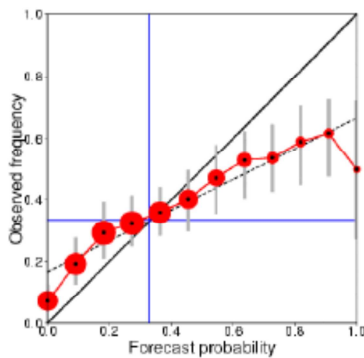


รูปที่ 3.26 ensemble mean anomaly correlation ของฝนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม System-4 และ System-3 คือ ภาพบนและภาพล่าง ตามลำดับ (ที่มา: Molteni et al., 2011)

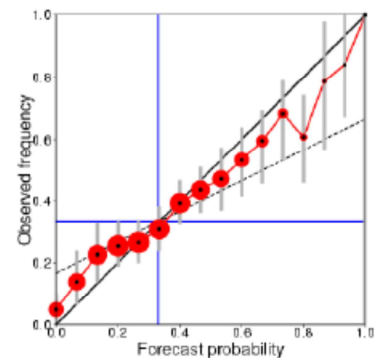
ตารางที่ 3.7 ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของ grid-point anomaly correlation สำหรับตัวแปร พื้นที่และระยะเวลาล่วงหน้าต่างๆ ที่คำนวณในช่วง 12 start dates คอลัมน์สุดท้ายแสดงจำนวนกรณีของเดือนเริ่มต้นที่ ACC ของ System-4 มีค่าสูงกว่า System-3 สำหรับค่าคะแนนที่คำนวณในแต่ละ start date (ที่มา: Molteni et al., 2011)

Field	Lead (months)	S3 mean	S4 mean	S4 wins
Tropics T850	1	0.573	0.605	12/12
Tropics T2m	1	0.601	0.635	12/12
NH Z500	1	0.246	0.270	7/12
NH T850	1	0.266	0.306	10/12
NH T2m	1	0.345	0.375	10/12
Tropics T850	4	0.443	0.509	11/12
Tropics T2m	4	0.431	0.492	12/12
NH Z500	4	0.167	0.221	11/12
NH T850	4	0.192	0.249	11/12
NH T2m	4	0.240	0.287	10/12

Reliability diagram for ECMWF with 11 ensemble members
Near-surface air temperature anomalies above the upper tercile
Accumulated over Europe (land and sea points)
Hindcast period 1981-2010 with start in May average over months 2 to 4
Skill scores and 95% conf. intervals (1000 samples)
Brier skill score: 0.031 (-0.045, 0.094)
Reliability skill score: 0.943 (0.891, 0.965)
Resolution skill score: 0.089 (0.056, 0.133)



Reliability diagram for ECMWF with 15 ensemble members
Near-surface air temperature anomalies above the upper tercile
Accumulated over Europe (land and sea points)
Hindcast period 1981-2010 with start in May average over months 2 to 4
Skill scores and 95% conf. intervals (1000 samples)
Brier skill score: 0.092 (0.007, 0.162)
Reliability skill score: 0.986 (0.950, 0.994)
Resolution skill score: 0.106 (0.056, 0.173)

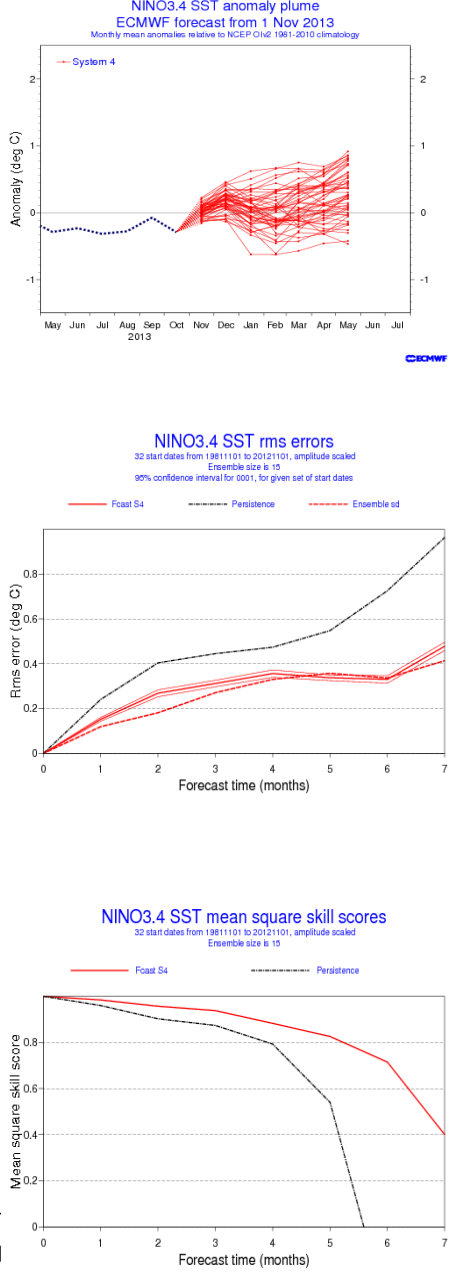


รูปที่ 3.27 Reliability diagram สำหรับอุณหภูมิผิวพื้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคมที่สูงกว่า upper tercile ในพื้นที่ทวีปยุโรปด้วย System-3 (รูปซ้าย) และ System-4 (รูปขวา)

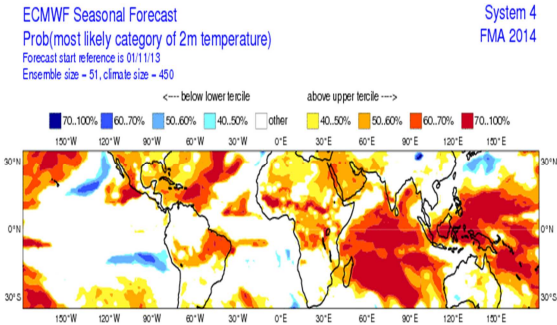
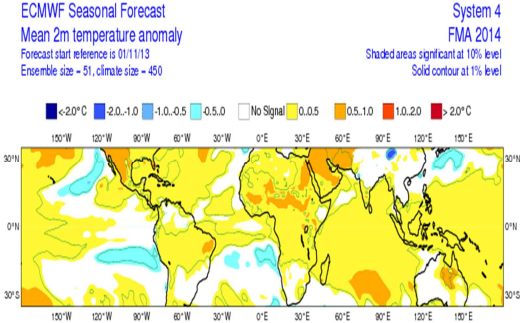
3.3.4 ผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้ารายฤดูกาลของศูนย์ ECMWF ในรูปกราฟิก

ผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้ารายฤดูกาลที่จัดทำโดยศูนย์ ECMWF แบ่งออก 2 กลุ่มหลัก คือ 1) ชุดผลผลิตในรูปกราฟิกที่ออกแบบเพื่อแสดงลักษณะสำคัญของผลการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในรูปแบบที่ง่ายต่อกันเข้าใจ ซึ่งผลผลิตในรูปกราฟิกแบบต่างๆ ที่หลากหลายนี้ นำเสนอให้เห็นมุมมองที่แตกต่างกันของผลการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในอนาคต ทั้งนี้ ผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้ารายฤดูกาลในรูปกราฟิกแบบต่าง ๆ สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของศูนย์ ECMWF (<http://www.ecmwf.int/>) ตารางที่ 2.8 สรุปผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในรูปกราฟิกแบบต่างๆ ที่จัดทำโดยศูนย์ ECMWF และ 2) ชุดข้อมูลเชิงตัวเลขซึ่งประกอบด้วยข้อมูลผลลัพธ์จากโมเดลพยากรณ์โดยตรงและผลและข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์และคำนวณจากผลลัพธ์จากโมเดลพยากรณ์เพิ่มเติม ข้อมูลดังกล่าว สามารถเข้าดูรายละเอียดและดาวน์โหลดได้บางส่วนสำหรับผู้ใช้งานที่สนใจนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายจาก <http://www.ecmwf.int/> สำหรับประเทศหรือหน่วยงานที่เป็นสมาชิก ECMWF สามารถเข้าถึงได้โดยตรงทุกข้อมูลจากศูนย์ข้อมูลของ ECMWF และสามารถดาวน์โหลดข้อมูลคาดการณ์ภูมิอากาศแบบ real-time ทั้งนี้ ชุดข้อมูล real-time ที่ระบุใน Catalogue of ECMWF Real-Time Products ถูกกำหนดให้ใช้ในเชิงพาณิชย์ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายหากดาวน์โหลดข้อมูลนั้นๆ ทั้งนี้ ชุดข้อมูลคาดการณ์ทั้งหมด ตลอดจนผลการจำลองในอดีต ที่ถูกเก็บรวบรวมและเผยแพร่ที่ ECMWF Data Service

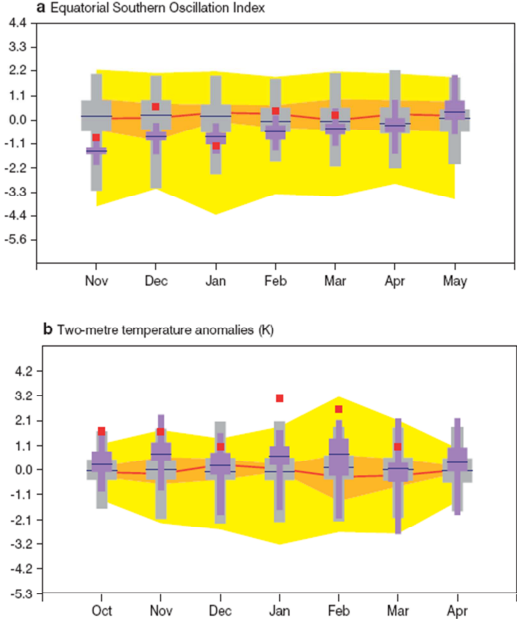
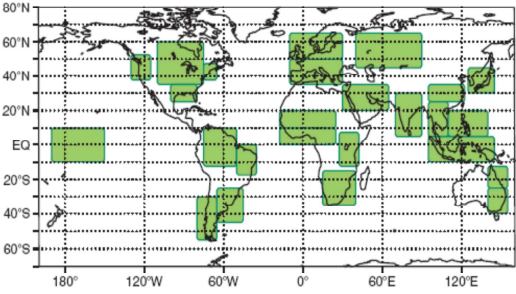
ตารางที่ 3.8 ผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในรูปกราฟิกแบบต่างๆ ที่จัดทำโดยศูนย์ ECMWF

ECMWF Seasonal Forecast Graphic Product	Brief explanation
<p>1. Nino plume</p>  <p>The figure consists of three vertically stacked line graphs. The top graph, titled 'NINO3.4 SST anomaly plume', shows monthly mean anomalies from May 2013 to July 2013, with a red shaded area representing the ensemble spread. The middle graph, 'NINO3.4 SST rms errors', plots RMS error (deg C) against forecast time (months) for Fcast S4, Persistence, and Ensemble sd. The bottom graph, 'NINO3.4 SST mean square skill scores', plots the mean square skill score against forecast time (months) for Fcast S4 and Persistence. The skill score for Fcast S4 remains above 0.5 for most of the period, while Persistence drops below 0.5 after 4 months.</p> <p>ด้วย พื้นที่</p> <p>และ MSSS ซึ่งเดือนเริ่มต้นคาดการณ์ คือ เดือน พฤศจิกายน 2013</p>	<p>เป็นกราฟิกเชิงเส้นแสดงผลการคาดการณ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลรายฤดูกาลและรอบปีในบริเวณ Nino3, Nino3.4 และ Nino4 โดยค่าเฉลี่ยความผิดปกติของผลการคาดการณ์รายเดือนของแต่ละ ensemble member แสดงด้วยจุดสีแดงและผลการทวนสอบ (หากมี) แสดงด้วยเส้นประสีน้ำเงิน การคาดการณ์เริ่มต้นวันที่ 1 ของเดือน ซึ่งค่าความผิดปกติรายเดือนของเดือนนั้นๆ คือ ค่าแรกที่ใช้พล็อตกราฟ ส่วนข้อมูลตรวจวัดก่อนการคาดการณ์ แสดงด้วยจุดสีน้ำเงิน นอกจากนี้ ผลการทวนสอบของการจำลองในอดีต ยังได้แสดงประกอบกับ Nino plume ในรูปกราฟของ RMS error และอนุกรมของ MSSS</p>

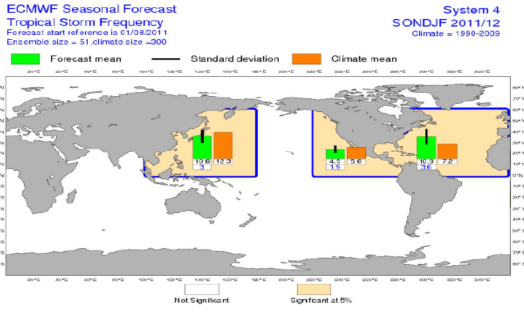
ตารางที่ 3.8 (ต่อ) ผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในรูปแบบกราฟิกแบบต่างๆ ที่จัดทำโดยศูนย์ ECMWF

ECMWF Seasonal Forecast Graphic Product	Brief explanation
<p>2. แผนที่ (Spatial map)</p>  <p>ตัวอย่างผลการคาดการณ์อุณหภูมิที่ความสูง 2 เมตร ล่วงหน้า 3 เดือน (กุมภาพันธ์-เมษายน 2014) ในพื้นที่ Global Tropics ซึ่งแสดงในรูปแบบ Tercile</p>  <p>ตัวอย่างผลการคาดการณ์อุณหภูมิที่ความสูง 2 เมตร ล่วงหน้า 3 เดือน (กุมภาพันธ์-เมษายน 2014) ในพื้นที่ Global Tropics ซึ่งแสดงในรูปแบบ ensemble mean</p>	<p>เป็นแผนที่แสดงผลที่คาดการณ์จากโมเดลในรูปแบบค่าผิดปกติจากค่าเฉลี่ยรายฤดูกาล ซึ่งแต่ละแผนที่จะระบุระยะเวลาของการคาดการณ์ เช่น DJF 2011/12 คือ ผลการคาดการณ์ในช่วงสามเดือนตั้งแต่เดือนธันวาคม 2011 ถึงกุมภาพันธ์ 2012 พร้อมกับวันเริ่มต้นในการคาดการณ์ และจำนวนโมเดลที่ใช้ประมวลผลการคาดการณ์ในรูปแบบ ensemble ทั้งนี้ มีชุดจำลองในอดีตทั้งสิ้น 450 ชุด (15 member ensemble ในช่วงระยะเวลา 30 ปี) สำหรับแต่ละตัวแปร โดยแต่ละระยะเวลาล่วงหน้า และแต่ละวันเริ่มต้นตามปฏิทินที่คาดการณ์ ในแต่ละกริด ชุดจำลองในอดีตทั้งหมด 450 ชุด ถูกวิเคราะห์เพื่อแสดงค่าในรูปแบบ 1) tercile, 2) ensemble mean, 3) probability of exceeding median, 4) probability of highest/lowest 20%, 5) probability for lower third of the distribution, 6) probability for middle third of the distribution และ 7) probability of upper third of the distribution ของอุณหภูมิที่ความสูง 2 เมตร ความดันเฉลี่ยที่ผิวน้ำทะเล ฝน อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ในพื้นที่ Tropics, East Asia, Africa และ South America สำหรับ lead time 1, 2, 3, 4 เดือน ตามลำดับ</p>

ตารางที่ 3.8 (ต่อ) ผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในรูปแบบกราฟิกแบบต่างๆ ที่จัดทำโดยศูนย์ ECMWF

ECMWF Seasonal Forecast Graphic Product	Brief explanation
<p data-bbox="288 405 456 439">3. Climagram</p>  <p data-bbox="288 1149 850 1328">ตัวอย่างของ Climagram สำหรับ equatorial Southern Oscillation Index และค่าผิดปกติของ อุณหภูมิที่ความสูง 2 เมตร ที่เฉลี่ยในพื้นที่ (35° N-50° N, 10° W-30° E</p>  <p data-bbox="288 1749 826 1883">การกระจายตัวของพื้นที่ที่คำนวณ Climagram สำหรับค่าผิดปกติของอุณหภูมิที่ความสูง 2 เมตร และฝน</p>	<p data-bbox="896 405 1409 869">Climagram แสดงอนุกรมเปอร์เซ็นต์ไทล์ของ ผลคาดการณ์ของตัวแปรภูมิอากาศในรูปแบบ probability density function (pdf) พร้อมด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ของค่าเฉลี่ยระยะยาวของ โมเดลและข้อมูลตรวจวัด ทั้งนี้ Climagram ถูกสร้างขึ้นทั้งดัชนีความแปรปรวนของสภาพ ภูมิอากาศซึ่งรวมถึง Southern Oscillation, Pacific North American (PNA) Pattern และ North Atlantic Oscillation (NAO) และค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิและฝน</p> <p data-bbox="896 909 1409 1473">กราฟ Climagram แสดงค่า median ช่วง ระหว่าง lower/upper tercile และช่วง ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 สำหรับ ข้อมูลตรวจวัด ค่าทั้งสองช่วงแสดงด้วยแถบสี ส้มและสีเหลือง ส่วนเส้นทึบแสดงค่า median ข้อมูลคาดการณ์ แสดงด้วย box และ whisker ที่มีสีและขนาดต่างกัน (box และ whisker สีเทาและขนาดใหญ่ แสดง ค่าเฉลี่ยระยะยาวของโมเดล ส่วน box และ whisker สีม่วงและขนาดเล็กแสดงผล คาดการณ์ล่วงหน้ารายฤดูกาล) ข้อมูลทวน สอบ (หากมี) จะแสดงในรูปแบบสี่เหลี่ยมสีแดง</p>

ตารางที่ 3.8 (ต่อ) ผลผลิตการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าในรูปแบบกราฟิกแบบต่างๆ ที่จัดทำโดยศูนย์ ECMWF

ECMWF Seasonal Forecast Graphic Product	Brief explanation
<p>4. Tropical storm forecast</p>  <p>ตัวอย่างผลการคาดการณ์ความถี่ของ Tropical storm ในช่วงเดือนกันยายนถึงกุมภาพันธ์ 2011/12</p>	<p>เป็นผลผลิตที่แสดงผลการคาดการณ์ลักษณะ synoptic ที่คล้ายกับ Tropical storm ซึ่งบ่งชี้ถึง Tropical depression ที่มี warm core structure และ threshold strength โดยอัลกอริทึมเพื่อติดตามการเกิด Tropical storm ถูกประยุกต์ใช้กับข้อมูลอากาศส่วนบนในรอบ 12 ชั่วโมงที่จำลองจากแต่ละโมเดล เพื่อระบุตำแหน่งและเส้นทางของ tropical storm ที่เกิดขึ้นในแต่ละมหาสมุทร ทั้งนี้สถิติเกี่ยวกับเส้นทางของ tropical storm สามารถเปรียบเทียบระหว่าง forecast ensemble และค่าเฉลี่ยระยะยาวของผลคาดการณ์จากโมเดลของเวลาใดเวลาหนึ่งในปีนั้นๆ ซึ่งผลที่คาดการณ์แสดงในรูปจำนวน tropical storm และ track density</p>

3.4 ระบบการคาดหมายลักษณะอากาศรายฤดูกาลของ National Centers for Environmental Prediction (NCEP)

NCEP ได้นำ Climate Forecast System เวอร์ชันแรก (CFSv1) มาใช้ปฏิบัติการเพื่อคาดหมายลักษณะภูมิอากาศล่วงหน้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 (Saha et al., 2006) CFSv1 เป็นระบบ quasi-global, fully coupled ocean-land-atmosphere dynamical seasonal prediction ที่มีองค์ประกอบสำคัญ ดังนี้ 1) R2 NCEP/DOE Global Reanalysis สำหรับจัดเตรียมเงื่อนไขเริ่มต้นของชั้นบรรยากาศและพื้นดิน (Kanamitsu et al., 2002) 2) Global Ocean Data Assimilation System (GODAS) สำหรับจัดเตรียมเงื่อนไขเริ่มต้นของมหาสมุทร (Behringer, 2007) 3) NCEP's Global Forecast System (GFS) สำหรับจำลองภูมิอากาศที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำ (T62L64) และ 4) Modular Ocean Model version 3 (MOM3) forecast model จาก Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) องค์ประกอบหลักของระบบ Climate Forecast System (CFS) ของ NCEP ดังแสดงในรูปที่ 3.28

หลังจากนั้น NCEP ได้พัฒนาระบบการคาดการณ์ภูมิอากาศล่วงหน้าอย่างต่อเนื่องและในปี ค.ศ. 2011 ได้นำ Climate Forecast System เวอร์ชันสอง (CFSv2) มาใช้ปฏิบัติการแทน CFSv1 โดย CFSv2 นี้ เป็นเวอร์ชันอัปเดตเกือบทุกด้านขององค์ประกอบหลักทั้ง 4 องค์ประกอบที่กล่าวมาเบื้องต้น (data assimilation และระบบโมเดลพยากรณ์) (Saha et al., 2013) นอกจากนี้ CFSv2 ยังมีสิ่งใหม่บางประการ ซึ่งประกอบด้วย การอัปเดตระดับชั้นดินเป็น 4 ชั้นใน soil model, interactive three-layer sea-ice model และการกำหนดระดับความเข้มข้นในอดีตของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เหนือสิ่งอื่นใด CFSv2 ได้ถูกออกแบบเพื่อปรับปรุงความสอดคล้องระหว่างสถานะของโมเดลและเงื่อนไขเริ่มต้นที่สร้างจากระบบ data assimilation รายละเอียดโดยย่อของแต่ละองค์ประกอบของ CFSv2 ดังสรุปในตารางที่ 3.9 ทั้งนี้ ได้ใช้เวลาเกือบ 7 ปีในการพัฒนา CFSv2 ให้เสร็จสมบูรณ์ด้านต่างๆ ต่อไปนี้

- ดำเนินการทดสอบที่กว้างขวางของการตั้งค่ารูปแบบ atmosphere-ocean-sea-ice-land model รวมทั้งการตัดสินใจเรื่องความละเอียดของแบบจำลอง

- สร้าง coupled atmosphere-ocean-sea-ice-land reanalysis ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1979-2011 จากระบบใหม่ที่เป็นผลพวงจาก Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) เพื่อใช้สร้างเงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับการคาดการณ์ย้อนหลังของ CFSv2

- ดำเนินการคาดการณ์ย้อนหลังกับระบบใหม่โดยใช้เงื่อนไขเริ่มต้นที่เตรียมจาก CSFR ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1982-2011 เป็นต้นไป และสอบเทียบการคาดการณ์แบบ real time ในสเกล subseasonal และ seasonal

- ติดตั้ง CFSv2 เพื่อใช้เป็นระบบปฏิบัติการการคาดการณ์ลักษณะอากาศล่วงหน้า

สมรรถนะการคาดการณ์ย้อนหลังของ CFSv2 สามารถแบ่งออกเป็น 4 คาบเวลา ดังนี้

-ช่วงเวลาที่สั้นที่สุดที่สนใจ คือ subseasonal ซึ่งส่วนใหญ่มุ่งไปสู่การคาดการณ์ Madden-Julian Oscillation (MJO) และการคาดการณ์ลักษณะอื่นๆ โดยทั่วไปในคาบเวลา 2-6 สัปดาห์ บริเวณประเทศสหรัฐอเมริกาและส่วนอื่นๆ ของโลก

-ช่วงเวลาต่อไป คือ การคาดการณ์รายฤดูกาลถึง 9 เดือนล่วงหน้า ซึ่งระบบได้ถูกออกแบบสำหรับการคาดการณ์ในคาบเวลานี้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ การคาดการณ์ทั้งในและรอบฤดูกาล ได้มีการเปรียบเทียบที่แม่นยำระหว่างทักษะของการคาดการณ์ด้วย CFSv1 และ CFSv2 ที่ถูกประเมินในช่วงเวลาเดียวกันในการคาดการณ์ย้อนหลัง

-ช่วงเวลา 2 คาบสุดท้าย คือ decadal และ centennial ซึ่งให้ความสำคัญน้อยลงกับทักษะการคาดการณ์ แต่มุ่งเน้นเกี่ยวกับพฤติกรรมทั่วไปของโมเดล เพื่อขยายการบูรณาการสำหรับการศึกษาสภาพภูมิอากาศ

3.4.1 การออกแบบการจำลองย้อนหลังและการพยากรณ์แบบ real time

3.4.1.1 Nine-month retrospective prediction

การจำลองย้อนหลัง 9 เดือน มีเงื่อนไขเริ่มต้น ณ เวลา 0, 6, 12 และ 18 ของวงจรรอบวัน สำหรับทุก ๆ 5 วัน ซึ่งเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม ณ เวลา 0 ของทุกปีในรอบระยะเวลา 29 ปี (1982-2010) (รูปที่ 3.29) โดยในแต่ละปี มีการจำลองย้อนหลังทั้งสิ้น 292 ชุด ซึ่งในช่วงระยะเวลา 29 ปี มีการจำลองย้อนหลังทั้งหมด 8468 ชุด ผลการจำลองนี้ ใช้สำหรับสอบเทียบความแม่นยำของระบบปฏิบัติการคาดการณ์รายฤดูกาลและคาบเวลาที่ยาวนานกว่าฤดูกาลของ Climate Prediction Center (CPC) ข้อมูลจากการจำลองเหล่านี้ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.10 สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของ National Climatic Data Center (NCDC) ทั้งนี้ ภูมิตินการจำลองย้อนหลังนี้ มีความสอดคล้องกับภูมิตินตารางการปฏิบัติงานของ CPC ในแต่ละเดือนที่นำผลการจำลองไปสอบเทียบและประมาณทักษะการพยากรณ์ (ตารางที่ 3.11) ในแต่ละเดือนมีขนาด ensemble เท่ากับ 24 ยกเว้นเดือนพฤศจิกายนที่มีขนาด ensemble เท่ากับ 28 โดย smoothed calibration climatology ได้ถูกจัดเตรียมสำหรับค่าพยากรณ์เฉลี่ยรายเดือน และอนุกรมของแต่ละตัวแปรสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ NCDC (ตารางที่ 3.10)

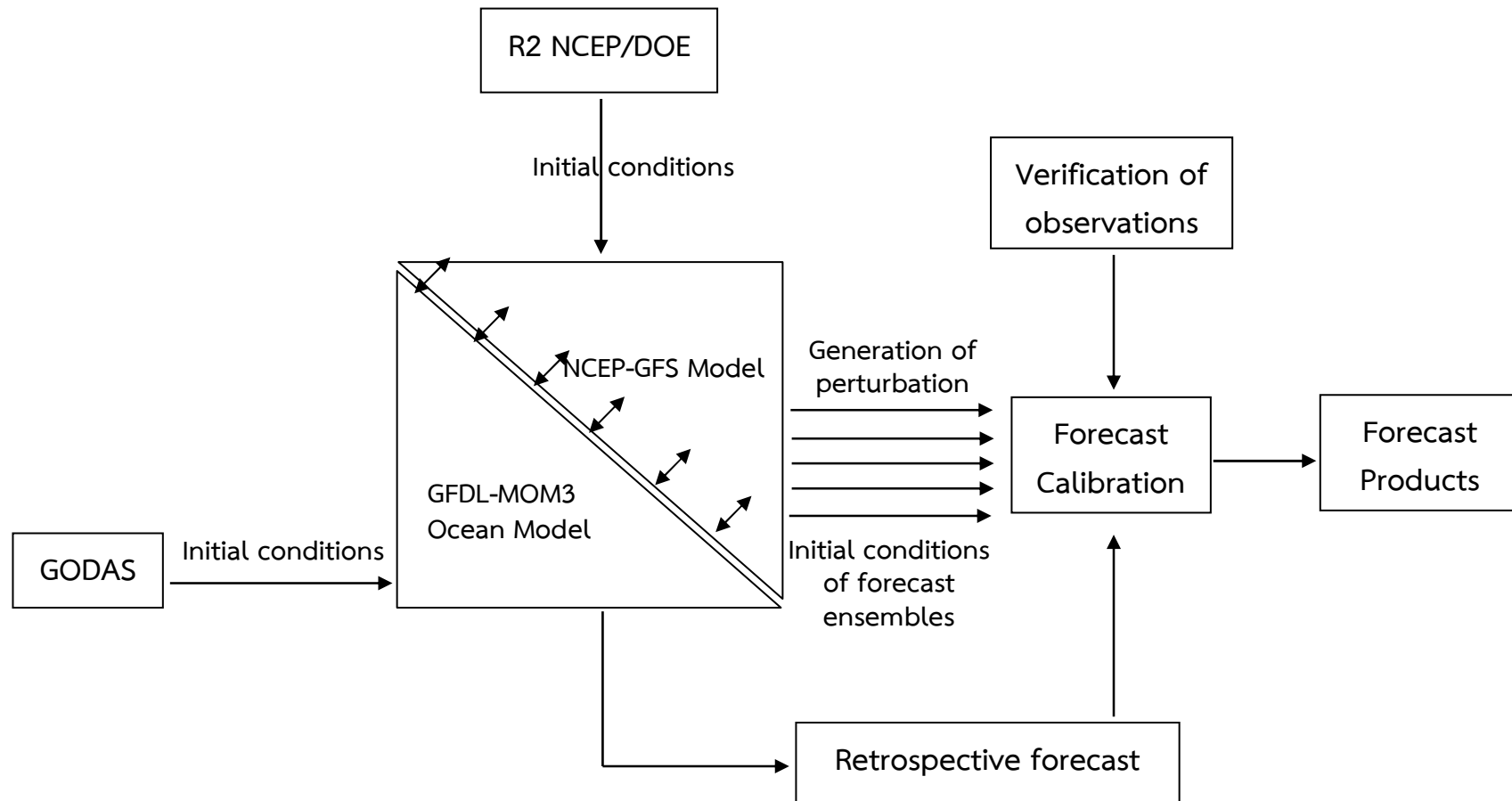
3.4.1.2 First season และ 45-day retrospective forecast

การจำลองย้อนหลังแบบนี้ ใช้เงื่อนไขเริ่มต้นทุกเวลาในวงจรรอบวัน (0,6,12,18Z) ของทุกๆ วันในรอบระยะเวลา 12 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม 1999 ถึงเดือนธันวาคม 2010 (รูปที่ 3.29) ซึ่งผลการจำลอง มีชุดจำลองต่อปีเท่ากับ 365×4 (1460) ในขณะที่ ในช่วงระยะเวลา 12 ปี มีชุดจำลองทั้งสิ้น 17520 ชุด โดยการจำลองแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) การจำลองย้อนหลังแบบเพียงฤดูกาลเดียว (single 1 season; 123 วัน) ซึ่งใช้เงื่อนไขเริ่มต้น ณ เวลา 0 ในวงจรรอบวันของทุกๆ 5 วัน ในช่วง

ระยะเวลา 12 ปี (1999-2010) (รูปที่ 3.29) ผลการจำลองนี้ ใช้สำหรับสอบเทียบความแม่นยำของระบบปฏิบัติการคาดการณ์ฤดูกาลแรกสำหรับการคาดการณ์ทางอุทกวิทยา เช่น ฝน การระเหย น้ำท่า การไหลของน้ำในลำธาร และ 2) การจำลองย้อนหลัง 45 วัน (1 เดือน) ซึ่งใช้เงื่อนไขเริ่มต้น ณ เวลา 6, 12 และ 18 ของทุกวันในรอบระยะเวลา 12 ปี (1999-2010) (รูปที่ 3.29) ผลการจำลองนี้ ใช้สำหรับสอบเทียบความแม่นยำของระบบปฏิบัติการคาดการณ์ในคาบเวลา 3-6 อาทิตย์ของการไหลเวียนในเขตร้อนที่เกี่ยวข้องกับ MJO และ PNA โดย smoothed calibration climatology ได้ถูกจัดเตรียมสำหรับอนุกรมพยากรณ์ของแต่ละตัวแปร ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ NCDC (ตารางที่ 3.10)

3.4.1.3 Operational configuration

เงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับการจำลองย้อนหลังของ CFSv2 ถูกจัดเตรียมจาก CFSR ในขณะที่การปฏิบัติการพยากรณ์แบบ real time สร้างเงื่อนไขเริ่มต้นจากการปฏิบัติการแบบ real time ของ Climate Data Assimilation System version2 (CDASv2) การรวมฐานข้อมูล CFSR และ CDASv2 ได้รับการดูแลเป็นพิเศษในแง่ cutoff time เดียวกันสำหรับข้อมูลนำเข้าในองค์ประกอบชั้นบรรยากาศ มหาสมุทรและผิวพื้นใน data assimilation system ดังนั้น ระบบใหม่นี้ จึงมีประโยชน์มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ CFSv1 ซึ่งมีความล่าช้าเพียงไม่กี่วัน เนื่องจากเงื่อนไขเริ่มต้นของ CFSv2 ถูกจัดเตรียมแบบ real time อย่างสมบูรณ์ ลักษณะดังกล่าว ทำให้เป็นไปได้ที่ใช้ CFSv2 สำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้าภายในฤดูกาล (1 ถึง 6 อาทิตย์ล่วงหน้า) โดยการปฏิบัติการของ CFSv2 มีการจำลองทั้งหมด 16 run ต่อวัน (4 run ณ เวลา 0, 6, 12 และ 18 ของวงจรรอบวันสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 9 เดือน 3 run ณ เวลา 0 ของวงจรรอบวันสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้ารายฤดูกาล และ 9 run ณ เวลา 0, 6, 12 และ 18 ของวงจรรอบวันสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 45 วัน (รูปที่ 30) ข้อมูลการพยากรณ์แบบ real time สามารถดาวน์โหลดจากเว็บไซต์อย่างเป็นทางการของ NCDC (ตารางที่ 3.10)



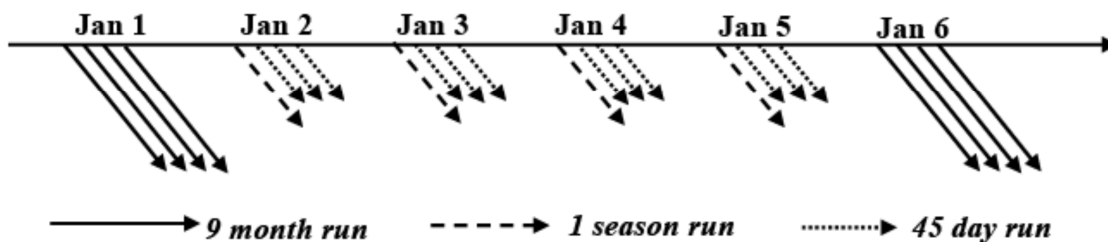
รูปที่ 3.28 องค์ประกอบหลักของระบบ Climate Forecast System (CFS) ของ NCEP

ตารางที่ 3.9 รายละเอียดโดยย่อของแต่ละองค์ประกอบของระบบ Climate Forecast System เวอร์ชันที่สอง (CFSv2) ของ NCEP

Attribute	Brief discription
1. Atmospheric model (NCEP-GFS)	T126 (100 km)/64σ hybrid layer, Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) longwave/shortwave parameterization, virtual temperature as the prognostic variable, convective gravity wave drag, variable CO ₂ , prognostic clouds & liquid water, Noah land surface model
2. Oceanic model (GFDL-MOM3)	Quasi-global domain (74°S to 64°N), 1° zonal resolution and 1/3° meridional resolution within 10° of the equator and gradually increasing until becoming fixed at 1° poleward of 30° S and 30° N, vertical grid of 40Z-levels with 27 layers in the upper 400 m and bottom depth around 4.5 km, an interactive 3-layer sea ice model, an interactive land model with 4 soil levels.
3. Sea ice model	Interactive 3-layer (2 layer of sea ice and 1 layer of snow) sea ice model, 5 categories of sea ice thickness representing different type of sea ice, fully implicit time-stepping scheme allowing longer time steps, improved numerical method for Hibler's viscous-plastic (VP) model and computationally efficient, suitable for fully coupled models.
4. Land surfacemodel	4 soil layers (10, 30, 60, 100 cm), frozen soil physics included, add glacial ice treatment, two snowpack states, surface fluxes weighted by snow cover fraction, improved seasonal cyce of vegetation, spatially varying root depth, runoff and infiltration account for sub-grid variability in precipitation & soil moisture, improved thermal condition in soil/snow, higher canopy resistance, improved evaporation treatment over bare soil and snowpack.

ตารางที่ 3.9 (ต่อ) รายละเอียดโดยย่อของแต่ละองค์ประกอบของระบบ Climate Forecast System เวอร์ชันที่สอง (CFSv2) ของ NCEP

Attribute	Brief discription
5. GODAS	Modified 3D variational technique including vertical variation in the error covariances, forced with weekly fluxes of heat, surface buoyancy fluxes, and wind stress vector from NCEP Reanalysis-2.
6. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)	Updated 6-hourly global analysis series from 1979–present, which fixes the known processing errors in the NCEP–NCAR reanalysis (R-1) and uses an improved forecast model and data assimilation system.
7. Coupling	30 minutes
8. Reforecast	24/month (seasonal), 124/month (week 3-6).
9. Analysis resolution	27 km



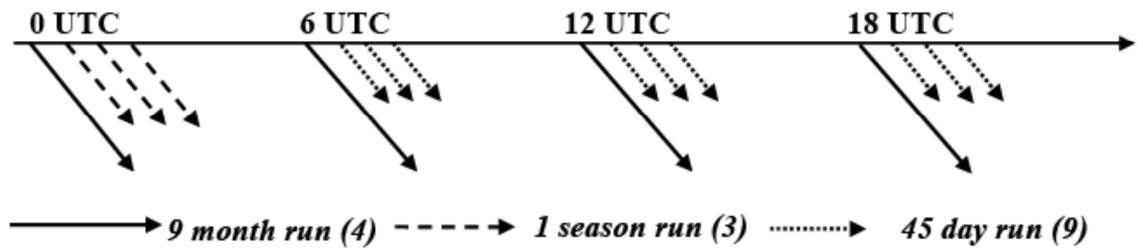
รูปที่ 3.29 โครงร่างและการออกแบบการจำลองย้อนหลังของ CFSv2 (ที่มา: Saha et al., 2013)

ตารางที่ 3.10 ประเภทและรายละเอียดของข้อมูลของระบบ CFSv2 (ที่มา: Saha et al., 2013)

Type of data	Details
1. Real time operational data	Initial conditions and forecast made at each cycle of each day. 7-day rotating archive available at: http://nomads.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/cfs/prod/
2. Selected data from the CFSv2 retrospective forecasts	Seasonal and sub-seasonal forecast data for the period 1982-2010. Available at http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#cfs .
3 Smoothed calibration climatologies	Forecast monthly means and time series of selected variables and available at http://cfs.ncep.noaa.gov .
4. Small amount of CFSv2 forecast data	Forecast data for 2011-present available at http://cfs.ncep.noaa.gov/cfsv2/downloads.html .
5. Decadal runs	Some monthly mean and 3-hourly time series data from NCEP decadal runs available at http://esgf.nccs.nasa.gov/esgf-web-fe/ .
6. CMIP runs	Monthly mean data from 3 CMIP runs available at http://cfs.ncep.noaa.gov/pub/riad0/cfsv2/cmipruns .

ตารางที่ 3.11 ปฏิทินการจำลองย้อนหลังของ CFSv2 จัดเรียงตามวันที่เผยแพร่ทุกเดือนของ CPC (แหล่งของข้อมูล: Saha et al., 2013)

Mid Jan release (24 members) 12 Dec. at 0,6,12,18Z 17 Dec. at 0,6,12,18Z 22 Dec. at 0,6,12,18Z 27 Dec. at 0,6,12,18Z 1 Jan. at 0,6,12,18Z 6 Jan. at 0,6,12,18Z	Mid Jul. release (24 members) 10 Jun. at 0,6,12,18Z 15 Jun. at 0,6,12,18Z 20 Jun. at 0,6,12,18Z 25 Jun. at 0,6,12,18Z 30 Jun. at 0,6,12,18Z 5 Jul. at 0,6,12,18Z
Mid Feb. release (24 members) 11 Jan. at 0,6,12,18Z 16 Jan. at 0,6,12,18Z 21 Jan. at 0,6,12,18Z 26 Jan. at 0,6,12,18Z 31 Jan. at 0,6,12,18Z 5 Feb. at 0,6,12,18Z	Mid Aug. release (24 members) 10 Jul. at 0,6,12,18Z 15 Jul. at 0,6,12,18Z 20 Jul. at 0,6,12,18Z 25 Jul. at 0,6,12,18Z 30 Jul. at 0,6,12,18Z 4 Aug. at 0,6,12,18Z
Mid Mar. release (24 members) 10 Feb. at 0,6,12,18Z 15 Feb. at 0,6,12,18Z 20 Feb. at 0,6,12,18Z 25 Feb. at 0,6,12,18Z 2 Mar. at 0,6,12,18Z 7 Mar. at 0,6,12,18Z	Mid Sep. release (24 members) 9 Aug. at 0,6,12,18Z 14 Aug. at 0,6,12,18Z 19 Aug. at 0,6,12,18Z 24 Aug. at 0,6,12,18Z 29 Aug. at 0,6,12,18Z 3 Sep. at 0,6,12,18Z
Mid Apr. release (24 members) 12 Mar. at 0,6,12,18Z 17 Mar. at 0,6,12,18Z 22 Mar. at 0,6,12,18Z 27 Mar. at 0,6,12,18Z 1 Apr. at 0,6,12,18Z 6 Apr. at 0,6,12,18Z	Mid Oct. release (24 members) 8 Sep. at 0,6,12,18Z 13 Sep. at 0,6,12,18Z 18 Sep. at 0,6,12,18Z 23 Sep. at 0,6,12,18Z 28 Sep. at 0,6,12,18Z 3 Oct. at 0,6,12,18Z
Mid May release (24 members) 11 Apr. at 0,6,12,18Z 16 Apr. at 0,6,12,18Z 21 Apr. at 0,6,12,18Z 26 Apr. at 0,6,12,18Z 1 May at 0,6,12,18Z 6 May at 0,6,12,18Z	Mid Nov. release (28 members) 8 Oct. at 0,6,12,18Z 13 Oct. 0,6,12,18Z 18 Oct. at 0,6,12,18Z 23 Oct. at 0,6,12,18Z 28 Oct. at 0,6,12,18Z 2 Nov. at 0,6,12,18Z 7 Nov. at 0,6,12,18Z
Mid Jun. release (24 members) 11 May at 0,6,12,18Z 16 May at 0,6,12,18Z 21 May at 0,6,12,18Z 26 May at 0,6,12,18Z 31 May at 0,6,12,18Z 5 Jun. at 0,6,12,18Z	Mid Dec. release (24 members) 12 Nov. at 0,6,12,18Z 17 Nov. at 0,6,12,18Z 22 Nov. at 0,6,12,18Z 27 Nov. at 0,6,12,18Z 2 Dec. at 0,6,12,18Z 7 Dec. at 0,6,12,18Z



รูปที่ 3.30 โครงร่างและการออกแบบของระบบปฏิบัติการของ CFSv2 (แหล่งของข้อมูล: Saha et al., 2013)

3.4.2 ทักษะการคาดการณ์ของ CFSv2

3.4.2.1 การคาดการณ์ในฤดูกาล (Subseasonal prediction)

รูปที่ 3.31 แสดงทักษะของ CFSv2 ในรูปของ bivariate anomaly correlation (BAC) (Lin et al., 2008) สำหรับการคาดการณ์ MJO ซึ่งแสดงในรูปของ Wheeler and Hendon (2004) (WH) index โดยใช้สองโหมดแรกของ EOF ที่วิเคราะห์ในลักษณะเชิงตัวแปรร่วมระหว่าง zonal wind และ outgoing longwave radiation ที่ชั้นบนสุดของบรรยากาศ ผลการคาดการณ์จากทั้งสองระบบ ได้ผ่านการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงระบบ (systematic error correction) ด้วยวิธีที่อธิบายโดย Zhang and Van den Dool (2012) ผลการศึกษาพบว่า BAC ของ CFSv2 มีค่าสูงกว่าระดับ 0.5 ในช่วงสองถึงสามสัปดาห์ ในขณะที่ BAC ของ CFSv1 ที่มีค่าสูงกว่า 0.5 ปรากฏเพียงหนึ่งสัปดาห์เท่านั้น ซึ่งทั้งสองโมเดลให้ค่าทักษะการคาดการณ์ในรอบฤดูกาลและรอบปีที่เหมือนกัน โดยให้ค่าทักษะการคาดการณ์สูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายนและพฤศจิกายน-ธันวาคม และมีค่าทักษะการคาดการณ์ต่ำสุดในช่วงกรกฎาคม-ตุลาคม จากผลการศึกษา พบว่า CFSv2 ให้ค่าทักษะการคาดการณ์ที่สูงกว่า CFSv1 ตลอดทั้งปีซึ่งให้ค่าทักษะการคาดการณ์สูงถึง 30 วันล่วงหน้า โดยการปรับปรุงเงื่อนไขเริ่มต้นของบรรยากาศในเขตร้อนและความสอดคล้องระหว่างเงื่อนไขเริ่มต้นและโมเดลที่ใช้สำหรับพยากรณ์ เป็นสาเหตุหลักส่งผลให้ CFSv2 มีทักษะการคาดการณ์ที่ดีขึ้น

3.4.2.2 การคาดการณ์รายฤดูกาลล่วงหน้าถึง 9 เดือน (Seasonal prediction out to 9 months)

Anomaly correlation ของค่าเฉลี่ยรายสามเดือนของผลคาดการณ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลล่วงหน้า 3 และ 6 เดือน แสดงในรูปที่ 3.32 โดยผลการพยากรณ์ถูกทวนสอบด้วยข้อมูลตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล Olv2 (Reynolds et al., 2002) ผลการวิเคราะห์ พบว่า ทั้งสองเวอร์ชันของ CFS ให้ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความสัมพันธ์ที่เหมือนกัน ซึ่งมีทักษะการคาดการณ์ค่อนข้างสูงในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกและส่วนอื่นของโลก (รูปที่ 3.32) ในภาพรวมแล้ว ทักษะการคาดการณ์ของ CFSv2 ได้รับการปรับปรุงในบริเวณนอกเขตร้อนซึ่งมีค่าเฉลี่ยของ

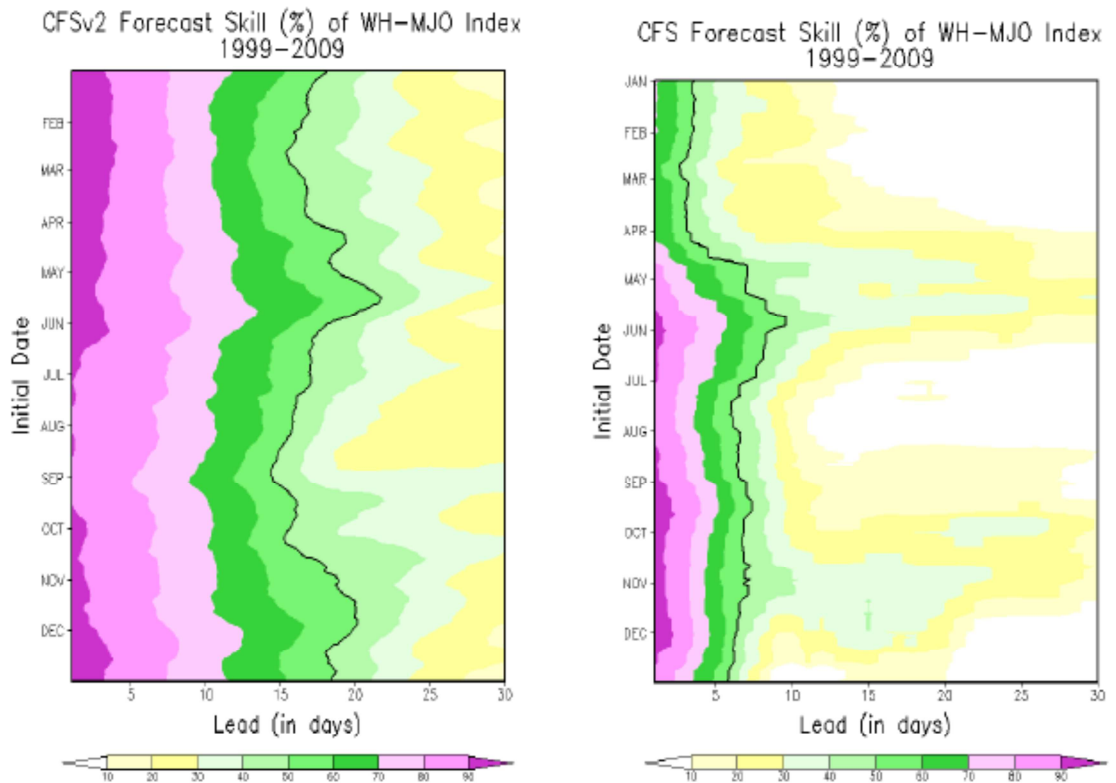
anomaly correlation ในบริเวณ 20S/20N ถึงขั้วโลก เท่ากับ 0.34 (0.27) สำหรับ 3 เดือน (6 เดือน) ล่วงหน้า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของ anomaly correlation ของ CFSv1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.31 (0.24) (รูปที่ 3.32)

รูปที่ 3.33 เปรียบเทียบแอมพลิจูดความแปรปรวนระหว่างปีของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลระหว่างข้อมูลตรวจวัดและผลการคาดการณ์สำหรับ 3 และ 6 เดือนล่วงหน้า ความแปรปรวนสูงสุดปรากฏในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งมีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์เอลนีโญ โดยพบว่า ทั้งสองเวอร์ชันของ CFS จำลองความแปรปรวนที่เข้มข้นกว่าข้อมูลตรวจวัดเกือบทุกพื้นที่ของโลก (รูปที่ 3.33) CFSv2 สามารถจำลองแอมพลิจูดที่สมเหตุสมผลเมื่อเปรียบเทียบกับ CFSv1 ยกตัวอย่างเช่น ความแปรปรวนที่เข้มข้นในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกที่จำลองด้วย CFSv1 ถูกลดลงอย่างมาก และความแปรปรวนในบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือที่จำลองด้วย CFSv2 สามารถเปรียบเทียบได้กับข้อมูลตรวจวัด (รูปที่ 3.33b และ 3.33c)

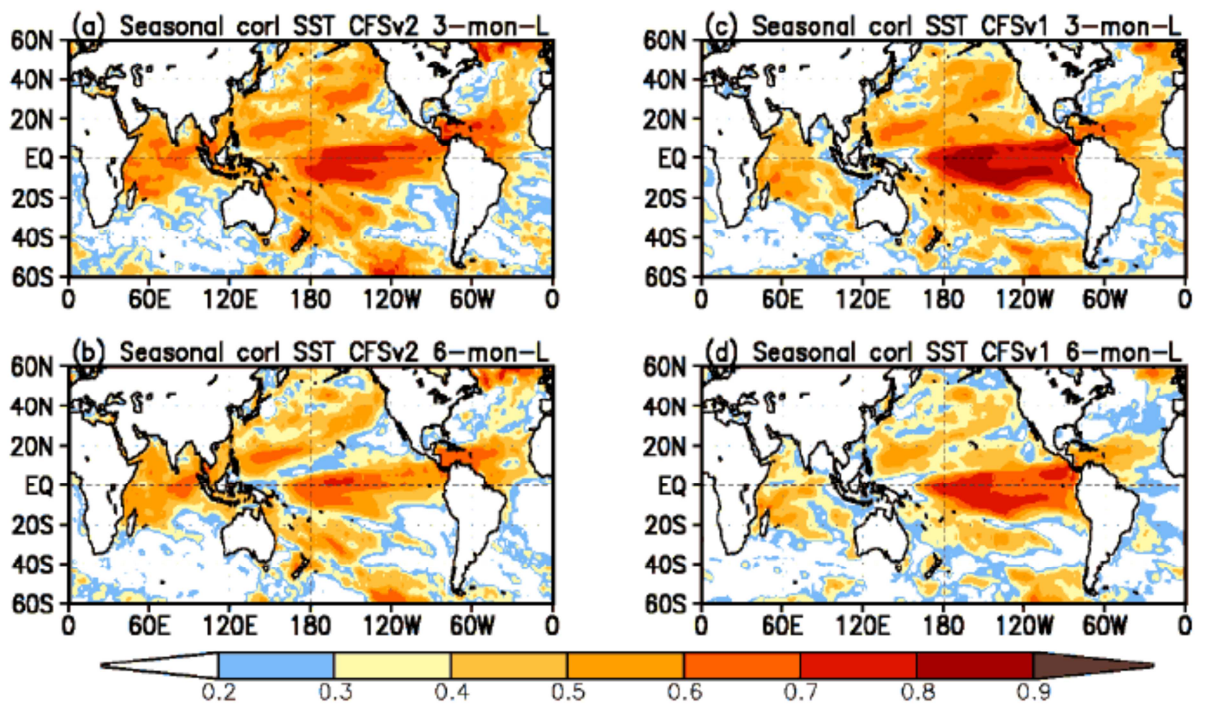
รูปที่ 3.34 สรุปทักษะคาดการณ์รายเดือนในรูปฟังก์ชันของเดือนเป้าหมาย (แกนนอน) และเดือนคาดการณ์ล่วงหน้า (แกนตั้ง) ของปริมาณฝนและอุณหภูมิที่ความสูง 2 เมตร บริเวณพื้นดินของซีกโลกเหนือ ซึ่งเป็นค่า anomaly correlation ที่ถูกประเมินทุกปีในช่วงเวลา 1982-2010 รูปแถบบนแสดงถึงผลการคาดการณ์อุณหภูมิด้วย CFSv2 ซึ่งมีการปรับปรุงอย่างสูงสำหรับทุกเดือนล่วงหน้า และทุกเดือนเป้าหมาย เมื่อเปรียบเทียบกับ CFSv1 โดยมีหลักฐานความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 3.34) สาเหตุหลักเชื่อว่าน่าจะมาจากการเพิ่มข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์ในเงื่อนไขเริ่มต้น และการจำลองย้อนหลัง รวมทั้งการลดความผิดพลาดจากความชื้นของดิน สำหรับปริมาณฝน ทักษะการคาดการณ์รายเดือนในบริเวณพื้นดินของซีกโลกเหนือ ยังอยู่ในระดับต่ำ ซึ่ง CFSv2 ให้ค่าจำลองไม่แตกต่างจาก CFSv1 ส่วนการคาดการณ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ณ จุดกริดภายในพื้นที่ Nino3.4 ซึ่งภาพรวมแล้ว ทักษะไม่แตกต่างกันระหว่าง CFSv2 และ CFSv1 แต่รูปแบบตามฤดูกาล มีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ทักษะการคาดการณ์ ลดน้อยลงที่หลายๆ เดือนล่วงหน้าสำหรับเดือนเป้าหมายในช่วงฤดูหนาว แต่กลับมีค่าสูงกว่าปกติในเดือนเป้าหมายในช่วงฤดูร้อน โดยปกติแล้ว CFSv2 ให้ค่าผลการจำลองในบริเวณเส้นศูนย์สูตร ที่ดีกว่า CFSv1

3.4.2.3 การทวนสอบเชิงความน่าจะเป็นของผลการคาดการณ์รายฤดูกาลล่วงหน้า

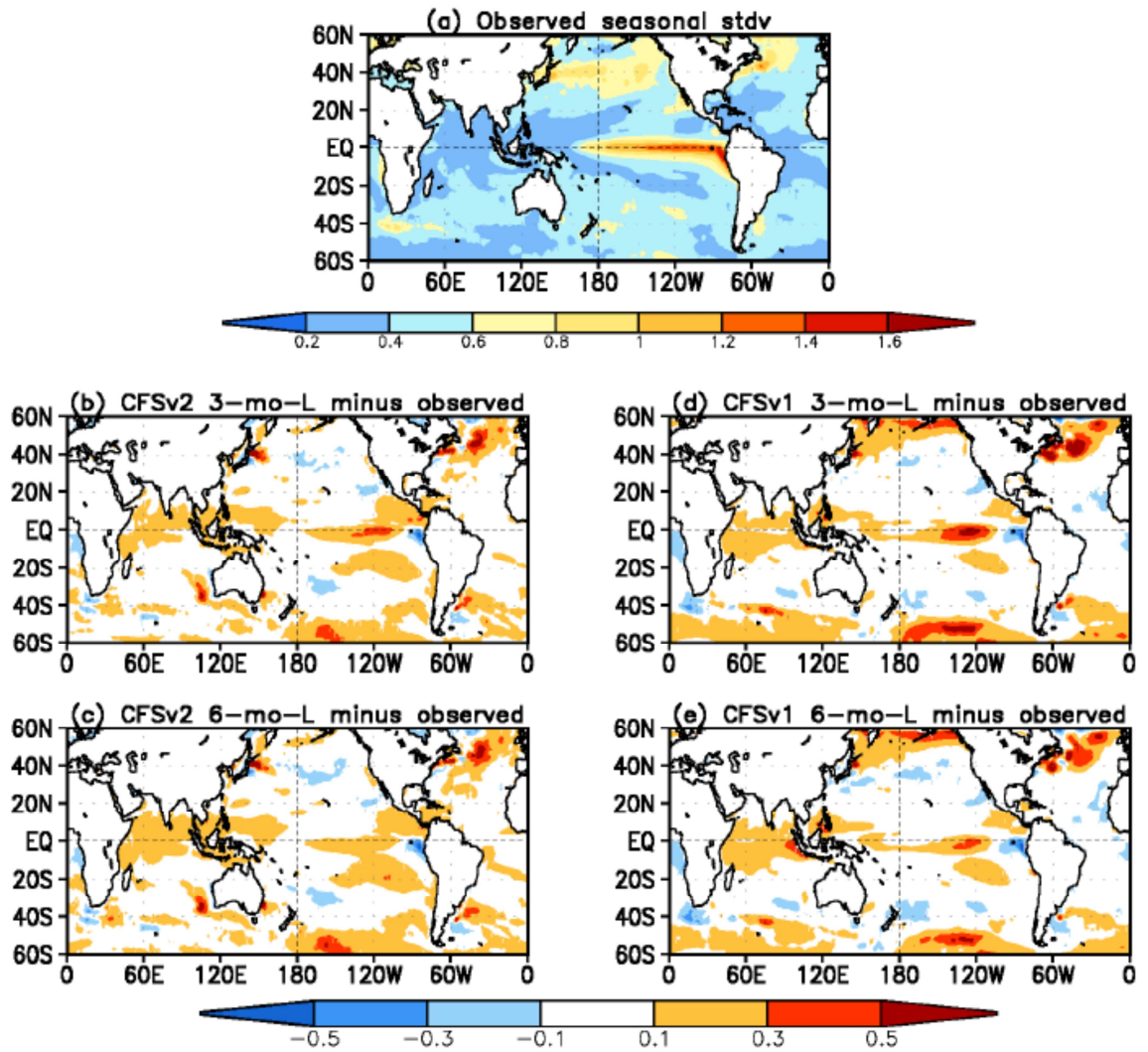
รูปที่ 3.35 เปรียบเทียบความน่าเชื่อถือสำหรับการทวนสอบเชิงความน่าจะเป็น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการคาดการณ์ที่มีความสมบูรณ์ (เส้นสีดำที่ 45 องศา) พบว่า CFSv2 มีการปรับปรุงจาก CFSv1 โดยผลการคาดการณ์ด้วย CFSv2 มีความน่าเชื่อถือมากกว่า CFSv1 แม้ว่าสมาชิก ensemble ของ CFSv2 ถูกลดลงเหลือ 15



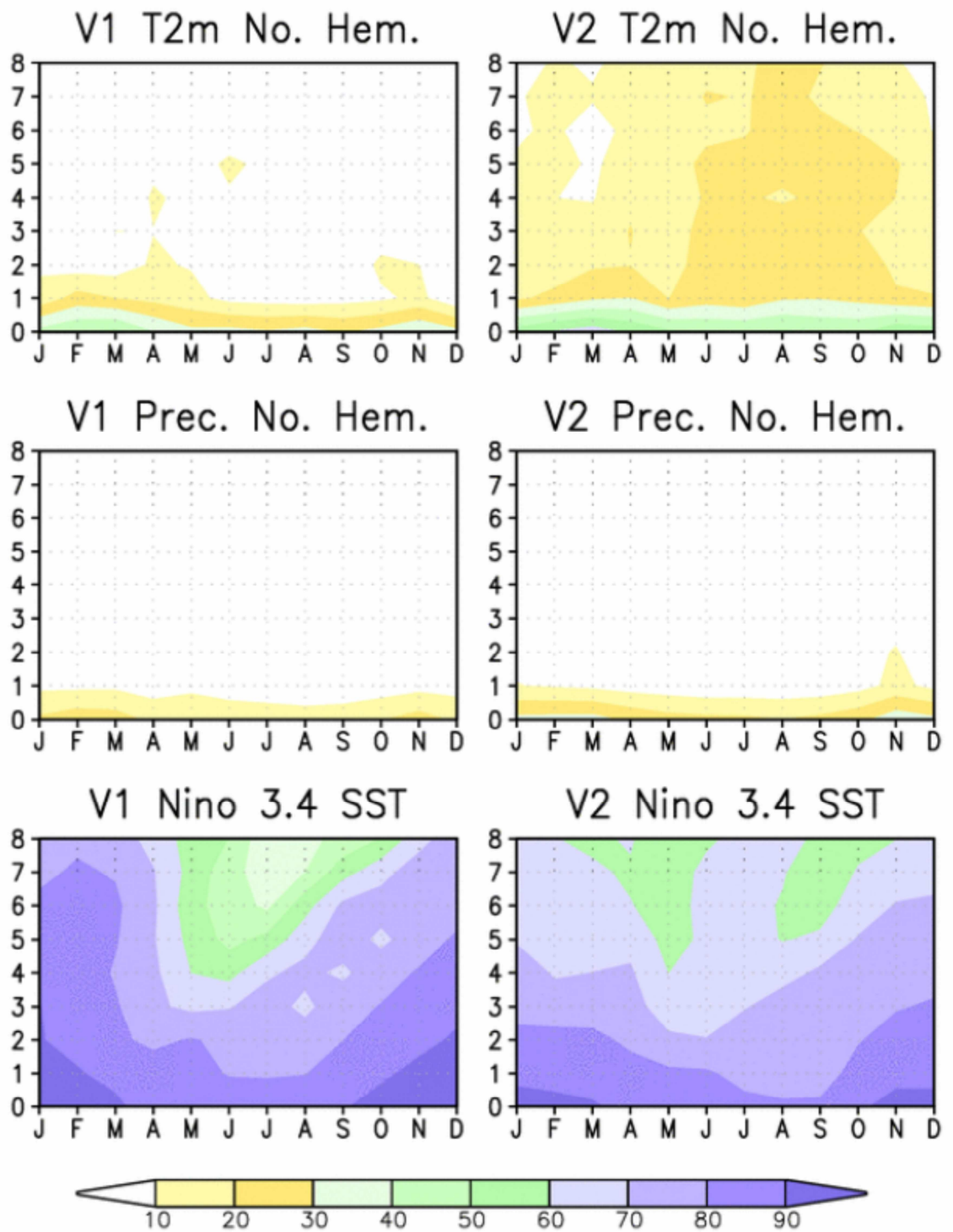
รูปที่ 3.31 Bivariate anomaly correlation (BAC) x100 ของ CFSv2 (รูปด้านซ้าย) และ CFSv1 (รูปทางด้านขวา) ในการคาดการณ์ MJO ในช่วงระยะเวลา 1999-2009 ซึ่งแสดงในรูปของ WH (Wheeler and Hendon) index โดยใช้สองโหมดแรกของ EOF ที่วิเคราะห์ในลักษณะเชิงตัวแปรร่วมระหว่าง zonal wind และ outgoing longwave radiation ผลของการคาดการณ์จากทั้งสองระบบได้ผ่านการปรับความผิดพลาดเชิงระบบ (systematic error correction) เส้นสีดำแสดงระดับ 0.5 ของ BAC (ที่มา: Saha et al., 2013)



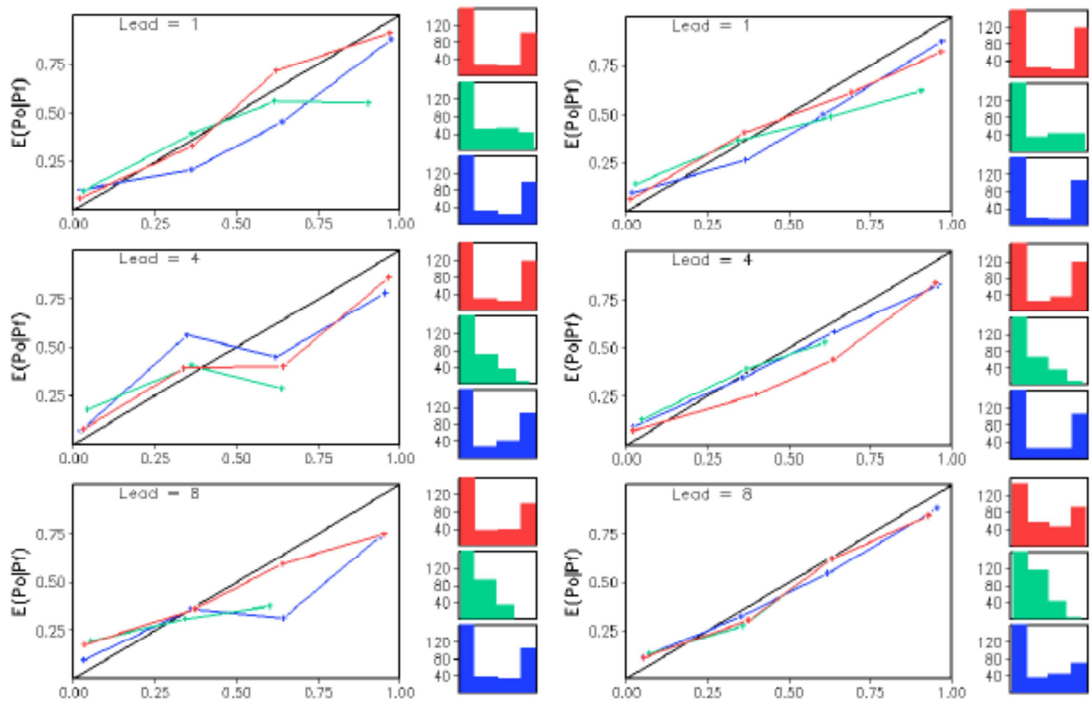
รูปที่ 3.32 Anomaly correlation ของค่าเฉลี่ยรายสามเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลระหว่างโมเดลพยากรณ์และข้อมูลตรวจวัด a) 3 เดือนล่วงหน้าของ CFSv2 b) 6 เดือนล่วงหน้า CFSv2 c) 3 เดือนล่วงหน้า CFSv1 และ d) 6 เดือนล่วงหน้า CFSv1 (ที่มา: Saha et al., 2013)



รูปที่ 3.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยรายสามเดือนของผลการคาดการณ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (องศาเควิน) a) ข้อมูลตรวจวัด b) 3 เดือนล่วงหน้า CFSv2 ลบด้วยข้อมูลตรวจวัด c) 6 เดือนล่วงหน้า CFSv2 ลบด้วยข้อมูลตรวจวัด d) 3 เดือนล่วงหน้า CFSv1 ลบด้วยข้อมูลตรวจวัด และ e) 6 เดือนล่วงหน้า CFSv1 ลบด้วยข้อมูลตรวจวัด (ที่มา: Saha et al., 2013)



รูปที่ 3.34 การประเมิน anomaly correlation ในรูปฟังก์ชันของเดือนเป้าหมาย (แกนนอน) และเดือนคาดการณ์ล่วงหน้า (แกนตั้ง) ด้านซ้าย คือ CFSv1 ส่วนด้านซ้าย คือ CFSv2 รูปแถบบนแสดงอุณหภูมิที่ความสูง 2 เมตรรายเดือนบริเวณพื้นดินของซีกโลกเหนือ รูปแถวกกลางแสดงปริมาณฝนรายเดือนบริเวณพื้นดินของซีกโลกเหนือ และรูปแถวล่างแสดงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณ Nino3.4 (ที่มา: Saha et al., 2013)



รูปที่ 3.35 Reliability diagram ของการคาดการณ์เชิงความน่าจะเป็นด้วย CFS ซึ่งผลการคาดการณ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ Nino3.4 มีค่าในช่วง upper (สีแดง) middle (สีเขียว) และ lower (สีน้ำเงิน) tercile ของการกระจายตัวของค่าเฉลี่ยระยะยาวของข้อมูลตรวจวัด สำหรับหนึ่งเดือนล่วงหน้า (แถวบน) สี่เดือนล่วงหน้า (แถวกลาง) และแปดเดือนล่วงหน้า (แถวล่าง) ภาพด้านซ้าย คือ CFSv1 และภาพด้านขวา คือ CFSv2 สำหรับระยะเวลา 1982-2009 (ที่มา: Saha et al., 2013)

3.5 ผลการคาดการณ์ลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตัวอย่างการคาดหมายลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือนของกรมอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลองภูมิอากาศและวิธีทางสถิติ 5 ฤดูกาล (เมษายน 2554 – ธันวาคม 2555) ดังแสดงในตารางที่ 3.12-2.41 โดยได้นำข้อมูลฝน อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่ตรวจวัดจากสถานีผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยา (รูปที่ 3.36) มาเปรียบเทียบกับความสอดคล้องและถูกต้องของผลการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน ซึ่งผลการเปรียบเทียบ ดังสรุปในตารางที่ 3.41

ตารางที่ 3.12 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ.2554) ออกประกาศ วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2554

ภาค	ตัวแปร	ผลการคาดการณ์			ข้อมูลตรวจวัด		
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
เหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	34-36	33-35	32-34	34.6	33.6	32.4
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	21-23	23-25	23-25	23.0	24.3	24.7
	ปริมาณฝน (มม.)	60-100	170-220	140-170	111.1	232.7	211.0
ตะวันออกเฉียงเหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	34-36	33-35	32-34	34.9	33.9	33.1
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	23-25	23-25	23.3	24.7	25.1
	ปริมาณฝน (มม.)	80-110	170-220	170-220	82.4	194.9	186.2
กลาง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	34-36	33-35	32-34	35.4	34.7	33.4
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	24-26	24-26	24.4	24.8	25.0
	ปริมาณฝน (มม.)	80-120	150-200	130-170	88.0	197.6	128.3
ตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งชายฝั่ง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	33-35	32-34	31-33	33.4	33.9	32.6
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	24-26	24-26	24-26	24.9	25.6	25.7
	ปริมาณฝน (มม.)	90-130	220-270	230-280	160.5	184.8	283.6
ภาคใต้ตะวันออก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	32-34	32-34	32-34	32.2	33.6	33.2
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	23-25	23-25	24.4	25.0	25.1
	ปริมาณฝน (มม.)	80-110	130-170	100-130	53.0	144.9	143.9
ภาคใต้ตะวันตก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	32-34	31-33	31-33	33.2	33.9	32.4
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	23-25	23-25	24.3	24.8	25.2
	ปริมาณฝน (มม.)	150-200	310-360	290-350	108.2	259.3	232.7
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	33-35	33-35	32-34	33.8	34.2	33.0
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	24-26	24-26	24-26	25.9	26.4	26.5
	ปริมาณฝน (มม.)	90-120	170-220	130-170	139.6	268.8	346.1

ตารางที่ 3.13 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554

ภาค	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
เหนือ	สูงกว่าค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
กลาง	สูงกว่าค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันตก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	สูงกว่าค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

ตารางที่ 3.14 ปริมาณฝนตรวจวัดเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: มม

ภาค	เม.ย.		พ.ค.		มิ.ย.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554
เหนือ	67.1	111.1 (66)	174.4	232.7 (33.5)	153.3	211.0 (37.7)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	89.2	82.4 (-7.7)	182.2	194.9 (6.9)	205.8	186.2 (-9.5)
กลาง	72.9	88.0 (20.7)	145.3	197.6 (36.0)	126.0	128.3 (1.8)
ตะวันออก	100.7	160.5 (59.4)	216.7	184.8 (-14.7)	289.0	283.6 (-1.9)
ใต้ฝั่งตะวันออก	73.4	53.0 (-27.8)	144.4	144.9 (-0.3)	118.2	143.9 (21.7)
ใต้ฝั่งตะวันตก	147.4	108.2 (-26.6)	310.9	259.3 (-16.6)	357.9	232.7 (-34.9)
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	72.9	139.6 (91.6)	194.1	268.8 (38.5)	140.9	346.1 (145.6)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.15 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554

ภาค	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
เหนือ	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
กลาง	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออก	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันตก	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

ตารางที่ 3.16 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	เม.ย.		พ.ค.		มิ.ย.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554
เหนือ	37.0	34.6 (-6.6)	34.9	33.6 (-3.7)	32.9	32.4 (-1.6)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	35.8	34.9 (-2.5)	34.2	33.9 (-0.9)	33.0	33.1 (-0.3)
กลาง	37.1	35.4 (-4.7)	35.4	34.7 (-2.0)	33.9	33.4 (-1.5)
ตะวันออก	34.6	33.4 (-3.5)	33.7	33.9 0.7)	32.4	32.6 0.5)
ใต้ฝั่งตะวันออก	33.4	32.2 (-3.6)	33.3	33.6 (0.9)	32.7	33.2 (1.6)
ใต้ฝั่งตะวันตก	34.2	33.2 (-2.8)	32.6	33.9 (4.1)	31.7	32.4 (2.3)
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	35.1	33.8 (-3.7)	34.4	34.2 (-0.7)	33.4	33.0 (-1.2)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.17 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	เม.ย.		พ.ค.		มิ.ย.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554
เหนือ	23.4	23 (-1.5)	24.2	24.3 (0.5)	24.2	24.7 (1.9)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	24.1	23.3 (-3.2)	24.5	24.7 (0.8)	24.6	25.1 (2.0)
กลาง	25.0	24.4 (-2.4)	25.1	24.9 (-0.9)	24.8	25.0 (0.7)
ตะวันออก	25.4	24.9 (-2.1)	25.4	25.6 (0.7)	25.2	25.7 (1.8)
ใต้ฝั่งตะวันออก	24.3	24.4 (-0.3)	24.6	25.0 (1.5)	24.5	25.1 (2.4)
ใต้ฝั่งตะวันตก	24.2	24.3 (0.6)	24.4	24.8 (1.6)	24.4	25.2 (3.3)
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	26.1	25.9 (-0.7)	25.9	26.4 (2.1)	25.7	26.5 (3.0)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.18 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554) ออกประกาศ วันที่ 30 กันยายน พ.ศ.2554

ภาค	ตัวแปร	ผลการคาดการณ์			ข้อมูลตรวจวัด		
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
เหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	29-31	28-30	32.1	32.1	30.0
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	21-23	18-20	14-16	22.3	19.2	17.0
	ปริมาณฝน (มม.)	150-200	20-50	<10	130.9	11.4	0.7
ตะวันออกเฉียงเหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	29-31	28-30	30.6	31.5	28.5
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	21-23	18-20	15-17	22.9	20.7	16.7
	ปริมาณฝน (มม.)	140-190	10-30	<10	188.8	5.8	0.1
กลาง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	30-32	30-32	32.3	33.0	30.5
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	22-24	20-22	18-20	23.9	22.1	19.4
	ปริมาณฝน (มม.)	180-230	20-40	<10	159.1	9.3	0.5
ตะวันออกรวมทั้งชายฝั่ง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	30-32	30-32	32.3	33.7	31.6
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	22-24	21-23	20-22	24.5	23.8	21.5
	ปริมาณฝน (มม.)	220-270	40-70	15-30	295.5	17.1	4.0
ภาคใต้ตะวันออก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	29-31	29-31	31.5	31.3	29.6
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	22-24	22-24	24.1	23.9	23.2
	ปริมาณฝน (มม.)	220-270	350-400	250-300	257.5	320.7	322.7
ภาคใต้ตะวันตก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	30-32	30-32	31.6	32.3	31.3
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	22-24	22-24	23.8	24.1	24.0
	ปริมาณฝน (มม.)	320-370	190-240	60-100	342.9	175.8	81.1
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	31-33	30-32	30-32	32.8	34.0	31.7
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	21-23	20-22	24.8	25.5	22.6
	ปริมาณฝน (มม.)	200-250	30-50	<10	242.6	0.3	0.2

ตารางที่ 3.19 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554

ภาค	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
เหนือ	สูงกว่าค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	สูงกว่าค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
กลาง	สูงกว่าค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออก	สูงกว่าค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ใต้ฝั่งตะวันตก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ

ตารางที่ 3.20 ปริมาณฝนตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: มม

ภาค	ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554
เหนือ	119.9	130.9 (9.2)	33.0	11.4 (-65.5)	8.3	0.7 (-91.5)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	112.2	188.8 (68.3)	17.0	5.8 (-65.8)	3.9	0.1 (-97.4)
กลาง	169.4	159.1 (-6.1)	35.8	9.3 (-74.0)	5.3	0.5 (-90.6)
ตะวันออก	233.2	295.5 (26.7)	60.9	7.1 (-88.3)	7.9	4.0 (-49.5)
ใต้ฝั่งตะวันออก	256.0	257.5 (0.6)	415.9	320.7 (-22.9)	245.1	322.7 (31.7)
ใต้ฝั่งตะวันตก	137.5	342.9 (149.4)	192.6	175.8 (-8.7)	68.1	81.1 (19.1)
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	228.9	242.6 (5.9)	46.5	0.3 (-99.4)	6.1	0.2 (-96.7)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.21 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554

ภาค	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
เหนือ	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย
กลาง	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ตะวันออก	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ใต้ฝั่งตะวันออก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันตก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

ตารางที่ 3.22 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย
ในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554
เหนือ	31.9	32.1 (0.6)	30.8	32.1 (4.2)	29.7	30.0 (1.0)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	30.9	30.6 (-1.0)	30.0	31.5 (4.9)	29.0	28.5 (-1.8)
กลาง	31.9	32.3 (1.2)	31.2	33.0 (5.6)	30.9	30.5 (-1.2)
ตะวันออก	31.8	32.3 (1.5)	31.7	33.7 (6.4)	31.3	31.6 (0.9)
ใต้ฝั่งตะวันออก	31.1	31.5 (1.3)	29.8	31.3 (5.0)	29.3	29.6 (0.9)
ใต้ฝั่งตะวันตก	31.1	31.6 (1.6)	31.0	32.3 (4.2)	31.2	31.2 (0.2)
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	32.0	32.8 (-2.5)	31.5	34.0 (7.9)	31.0	31.7 (2.1)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.23 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ.2554 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย
ในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554
เหนือ	22.4	22.3 (-0.3)	19.3	19.2 (-0.7)	15.7	17.0 (8.4)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	22.5	22.9 (1.9)	19.5	20.7 (6.1)	16.4	16.7 (1.8)
กลาง	23.5	23.9 (1.6)	21.4	22.1 (3.4)	18.6	19.4 (4.2)
ตะวันออก	23.8	24.5 (2.9)	22.5	23.8 (5.6)	20.7	21.5 (3.8)
ใต้ฝั่งตะวันออก	23.6	24.1 (2.1)	23.2	23.9 (3.1)	22.3	23.2 (4.1)
ใต้ฝั่งตะวันตก	23.5	23.8 (1.1)	23.3	24.1 (3.5)	22.7	24.0 (5.7)
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	24.6	24.8 (0.9)	23.3	25.5 (9.4)	21.1	22.6 (7.2)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.24 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555) ออกประกาศ วันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ.2554

ภาค	ตัวแปร	ผลการคาดการณ์			ข้อมูลตรวจวัด		
		ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
เหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	29-31	30-32	33-35	30.0	31.8	34.6
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	14-16	14-16	16-18	17.0	16.8	17.8
	ปริมาณฝน (มม.)	<10	<10	5-15	0.7	11.8	6.3
ตะวันออกเฉียงเหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	28-30	29-31	32-34	28.5	30.1	33.3
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	15-17	15-17	18-20	16.7	19.4	20.1
	ปริมาณฝน (มม.)	<10	<10	10-20	0.1	39.8	5.0
กลาง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	31-33	33-35	30.5	32.5	34.5
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	19-21	19-21	21-23	19.4	22.2	22.8
	ปริมาณฝน (มม.)	<10	<10	5-15	0.5	14.0	21.8
ตะวันออกรวมทั้งชายฝั่ง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	31-33	32-34	31.6	32.4	33.5
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	20-22	20-22	22-24	21.5	23.4	24.2
	ปริมาณฝน (มม.)	<10	5-15	15-30	4	45.7	51.6
ภาคใต้ตะวันออก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	29-31	29-31	30-32	29.6	30.1	31.5
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	22-24	21-23	22-24	23.2	23.3	23.8
	ปริมาณฝน (มม.)	250-300	40-70	20-40	322.7	360.2	28.7
ภาคใต้ตะวันตก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	31-33	33-35	31.3	31.8	33.4
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	22-24	22-24	22-24	24.0	23.6	23.7
	ปริมาณฝน (มม.)	60-100	15-30	15-30	81.1	145.4	76.6
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	30-32	31-33	32-34	31.7	32.9	33.6
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	20-22	20-22	22-24	22.6	24.6	25.6
	ปริมาณฝน (มม.)	<10	5-15	10-20	0.2	20.2	26.2

ตารางที่ 3.25 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555

ภาค	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
เหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
กลาง	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันตก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

ตารางที่ 3.26 ปริมาณฝนตรวจวัดเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: มม

ภาค	จ.ค.		ม.ค.		ก.พ.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	8.3	0.7 (-91.5)	6.2	11.8 (89.2)	11.7	6.3 (-46.0)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	3.9	0.1 (-97.4)	4.3	39.8 (830.1)	18.6	5.0 (-73.2)
กลาง	5.3	0.5 (-90.6)	5.9	14.0 (135.9)	12.4	21.8 (76.3)
ตะวันออก	7.9	4.0 (-49.5)	15.1	45.7 (201.9)	31.0	51.6 (66.6)
ใต้ฝั่งตะวันออก	245.1	322.7 (31.7)	72.1	360.2 (399.6)	44.9	28.7 (-36.1)
ใต้ฝั่งตะวันตก	68.1	81.1 (19.1)	27.9	145.4 (421.6)	26.1	76.6 (193.4)
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	6.1	0.2 (-96.7)	10.1	20.2 (99.5)	18.4	26.2 (42.4)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.27 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555

ภาค	จ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
เหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย
กลาง	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันตก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

ตารางที่ 3.28 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	จ.ค.		ม.ค.		ก.พ.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	29.7	30.0 (1.0)	30.9	31.8 (3.0)	32.7	34.6 (5.9)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	29.0	28.5 (-1.8)	30.2	30.1 (-0.4)	31.7	33.3 (5.0)
กลาง	30.9	30.5 (-1.2)	32.3	32.5 (0.5)	33.7	34.5 (2.5)
ตะวันออก	31.3	31.6 (0.9)	32.0	32.4 (1.3)	32.1	33.5 (4.5)
ใต้ฝั่งตะวันออก	29.3	29.6 (0.9)	29.9	30.1 (0.5)	30.2	31.5 (4.4)
ใต้ฝั่งตะวันตก	31.2	31.3 (0.2)	32.3	31.8 (-1.7)	32.7	33.4 (1.9)
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	31.0	31.7 (2.1)	32.0	32.9 (2.9)	32.1	33.6 (4.7)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.29 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	จ.ค.		ม.ค.		ก.พ.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	15.7	17.0 (8.4)	15.2	16.8 (10.4)	16.5	17.8 (7.9)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	16.4	16.7 (1.8)	16.4	19.4 (18.1)	18.5	20.1 (8.5)
กลาง	18.6	19.4 (4.2)	18.7	22.2 (18.4)	20.5	22.8 (11.0)
ตะวันออก	20.7	21.5 (3.8)	20.7	23.4 (13.1)	22.2	24.2 (9.0)
ใต้ฝั่งตะวันออก	22.3	23.2 (4.1)	21.9	23.3 (6.3)	21.9	23.8 (8.6)
ใต้ฝั่งตะวันตก	22.7	24.0 (5.7)	22.1	23.6 (6.6)	21.9	23.7 (8.0)
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	21.1	22.6 (7.2)	21.4	24.6 (14.7)	22.8	25.6 (12.5)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.30 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2555) ออกประกาศ วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ.2555

ภาค	ตัวแปร	ผลการคาดการณ์			ข้อมูลตรวจวัด		
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
เหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	32-34	31-33	31-33	32.9	31.8	31.9
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	23-25	23-25	24.5	24.2	24.0
	ปริมาณฝน (มม.)	140-180	160-200	200-250	135.3	191.2	201.9
ตะวันออกเฉียงเหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	32-34	32-34	31-33	32.9	32.7	32.2
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	24-26	23-25	23-25	25.1	24.6	24.4
	ปริมาณฝน (มม.)	190-240	180-230	230-280	144.9	151.3	242.8
กลาง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	33-35	32-34	32-34	33.6	33.2	33.0
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	24-26	24-26	24-26	25.1	24.6	24.5
	ปริมาณฝน (มม.)	120-160	130-170	160-200	122.4	159.1	151.3
ตะวันออกเฉียงรวมทั้งชายฝั่ง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	31-33	31-33	31-33	33.0	32.4	32.5
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	24-26	24-26	24-26	25.9	25.2	25.4
	ปริมาณฝน (มม.)	250-300	230-280	270-320	251.1	326.9	215.8
ภาคใต้ตะวันออก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	32-34	32-34	32-34	33.5	33.3	33.7
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	24-26	24-26	24.9	24.7	24.6
	ปริมาณฝน (มม.)	100-140	90-130	90-130	107.7	103.1	97.3
ภาคใต้ตะวันตก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	31-33	31-33	31-33	32.4	31.8	32.3
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	24-26	24-26	24.3	23.9	24.2
	ปริมาณฝน (มม.)	300-350	280-330	330-380	396.0	432.9	475.4
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	33-35	32-34	32-34	34.1	33.4	33.5
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	24-26	24-26	24-26	26.9	26.2	26.0
	ปริมาณฝน (มม.)	140-180	140-180	160-200	135.2	236.4	194.4

ตารางที่ 3.31 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2555

ภาค	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
เหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
กลาง	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ใต้ฝั่งตะวันตก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

ตารางที่ 3.32 ปริมาณฝนตรวจวัดเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

หน่วย: มม

ภาค	ม.ย.		ก.ค.		ส.ค.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	159.1	135.3 (-14.9)	176.4	191.2 (8.4)	229.7	201.9 (-12.1)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200.0	144.9 (27.5)	207.6	151.3 (-27.1)	261.6	242.8 (-7.2)
กลาง	128.9	122.4 (-5.1)	141.6	159.1 (12.4)	165.7	151.3 (-8.7)
ตะวันออก	277.4	251.1 (-9.5)	295.8	326.9 (10.5)	325.9	215.8 (-33.8)
ใต้ฝั่งตะวันออก	118.7	107.7 (-9.2)	127.0	103.1 (-18.8)	138.1	97.3 (-29.6)
ใต้ฝั่งตะวันตก	331.0	396.0 (19.6)	350.1	432.9 (23.7)	421.3	475.4 (12.8)
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	165.2	135.2 (-18.2)	166.4	236.4 (42.1)	203.9	194.4 (-4.7)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.33 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555

ภาค	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.
เหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
กลาง	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออก	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	ใกล้เคียงค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ใต้ฝั่งตะวันตก	ใกล้เคียงค่าปกติ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

ตารางที่ 3.34 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	ม.ย.		ก.ค.		ส.ค.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	33.1	32.9 (-0.7)	32.3	31.8 (-1.5)	32.0	31.9 (-0.2)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	33.2	32.9 (-0.8)	32.6	32.7 (0.4)	32.0	32.2 (-0.6)
กลาง	34.1	33.6 (-1.5)	33.5	33.2 (-0.9)	33.1	33.0 (-0.3)
ตะวันออก	32.9	33.0 (0.4)	32.3	32.4 (0.2)	32.1	32.5 (1.3)
ใต้ฝั่งตะวันออก	33.0	35.5 (1.5)	32.7	33.3 (1.9)	32.5	33.7 (3.6)
ใต้ฝั่งตะวันตก	32.0	32.4 (1.1)	31.6	31.8 (-0.5)	31.5	32.3 (2.6)
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	33.7	34.1 (2.7)	33.2	33.4 (0.6)	33.0	33.5 (1.6)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.35 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	ธ.ค.		ม.ค.		ก.พ.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	24.4	24.5 (0.5)	24.1	24.2 (0.5)	23.9	24.0 (0.5)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	24.8	25.1 (1.3)	24.5	24.6 (0.6)	24.3	24.4 (0.5)
กลาง	25.0	25.1 (0.6)	24.6	24.6 (0)	24.5	24.5 (0)
ตะวันออก	25.4	25.9 (1.8)	25.1	25.2 (0.4)	25.1	25.4 (1.4)
ใต้ฝั่งตะวันออก	24.7	24.9 (0.7)	24.4	24.7 (1.4)	24.4	24.6 (1.0)
ใต้ฝั่งตะวันตก	24.5	24.3 (-1.0)	24.3	23.9 (1.5)	24.4	24.2 (0.6)
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	26.1	26.9 (3.2)	25.7	26.2 (1.9)	25.5	26.0 (1.8)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.36 การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน (เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2555) ออกประกาศ วันที่ 25 กันยายน พ.ศ.2555

ภาค	ตัวแปร	ผลการคาดการณ์			ข้อมูลตรวจวัด		
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
เหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	31-33	30-32	29-31	33.5	33.3	32.2
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	22-24	19-21	15-17	23.0	22.6	19.3
	ปริมาณฝน (มม.)	100-140	20-40	<10	76.2	41.2	3.6
ตะวันออกเฉียงเหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	31-33	30-32	29-31	32.8	33.4	32.3
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	22-24	19-21	16-18	22.9	22.7	20.3
	ปริมาณฝน (มม.)	80-120	10-20	<10	46.7	39.3	2.2
กลาง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	32-34	31-33	30-32	33.5	33.7	33.5
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	24-26	21-23	19-21	23.9	23.8	22.2
	ปริมาณฝน (มม.)	160-200	30-50	<10	142.7	50.6	3.2
ตะวันออกเฉียงรวมทั้งชายฝั่ง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	31-33	31-33	31-33	33.2	33.2	33.7
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	22-24	20-22	24.5	24.6	23.5
	ปริมาณฝน (มม.)	190-240	40-70	<10	175.7	158.7	12.6
ภาคใต้ตะวันออก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	31-33	30-32	29-31	31.7	31.1	31.1
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	23-25	22-24	24.0	24.1	23.6
	ปริมาณฝน (มม.)	220-270	350-400	200-250	180.7	346.0	363.0
ภาคใต้ตะวันตก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	31-33	31-33	31-33	32.3	32.5	32.1
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	23-25	23-25	22-24	23.6	23.8	23.3
	ปริมาณฝน (มม.)	330-380	170-210	50-80	165.5	242.2	119.4
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	32-34	31-33	30-32	33.7	33.5	33.8
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	24-26	23-25	20-22	25.9	25.8	25.3
	ปริมาณฝน (มม.)	190-240	30-50	<10	188.0	116.7	19.4

ตารางที่ 3.37 คาดหมายฝนสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555

ภาค	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
เหนือ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ใกล้เคียงถึงต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
กลาง	ใกล้เคียงถึงต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ
ตะวันออก	ใกล้เคียงถึงต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงถึงต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันออก	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
ใต้ฝั่งตะวันตก	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	ใกล้เคียงถึงต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย	ใกล้เคียงค่าปกติ	ใกล้เคียงค่าปกติ

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

ตารางที่ 3.38 ปริมาณฝนตรวจวัด หน่วย: มม เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

ภาค	ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	121.0	76.2 (-37.0)	31.6	61.2 (30.2)	8.5	3.6 (-57.5)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	117.0	46.7 (-60.1)	18.9	39.3 (8.1)	3.6	2.2 (-39.2)
กลาง	169.5	142.7 (-15.8)	34.9	50.6 (45.1)	5.3	3.2 (-39.7)
ตะวันออก	230.4	175.7 (-23.7)	53.7	158.7 (195.6)	8.3	12.6 (-51.7)
ใต้ฝั่งตะวันออก	259.6	180.7 (-30.4)	389.3	346.0 (-11.1)	257.5	363 (-41.0)
ใต้ฝั่งตะวันตก	346.6	165.5 (-52.3)	185.6	242.2 (-30.3)	78.0	119.4 (-53.1)
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	248.0	188.0 (-24.2)	48.7	116.7 (-139.4)	7.0	19.4 178.2)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.39 คาดหมายอุณหภูมิสูง-ต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2555

ภาค	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
เหนือ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ตะวันออกเฉียงเหนือ	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
กลาง	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ตะวันออก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ใต้ฝั่งตะวันออก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
ใต้ฝั่งตะวันตก	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย	สูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย

ค่าปกติ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

ตารางที่ 3.40 อุณหภูมิสูงสุดตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	32.2	33.5 (4.2)	31.2	33.3 (6.7)	30.0	32.2 (7.4)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	31.3	32.8 (4.9)	30.6	33.3 (9.3)	29.4	32.3 (9.7)
กลาง	32.2	33.5 (4.0)	31.7	33.7 (6.3)	33.1	33.5 (7.7)
ตะวันออก	32.1	33.2 (3.3)	32.2	33.2 (3.2)	31.7	33.7 (6.3)
ใต้ฝั่งตะวันออก	31.3	31.7 (1.3)	30.2	32.5 (7.7)	29.6	32.1 (8.4)
ใต้ฝั่งตะวันตก	31.3	32.3 (3.3)	31.4	32.5 (3.7)	31.4	32.1 (2.1)
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	32.3	33.7 (3.7)	32.0	33.5 (4.6)	31.4	33.8 (7.7)

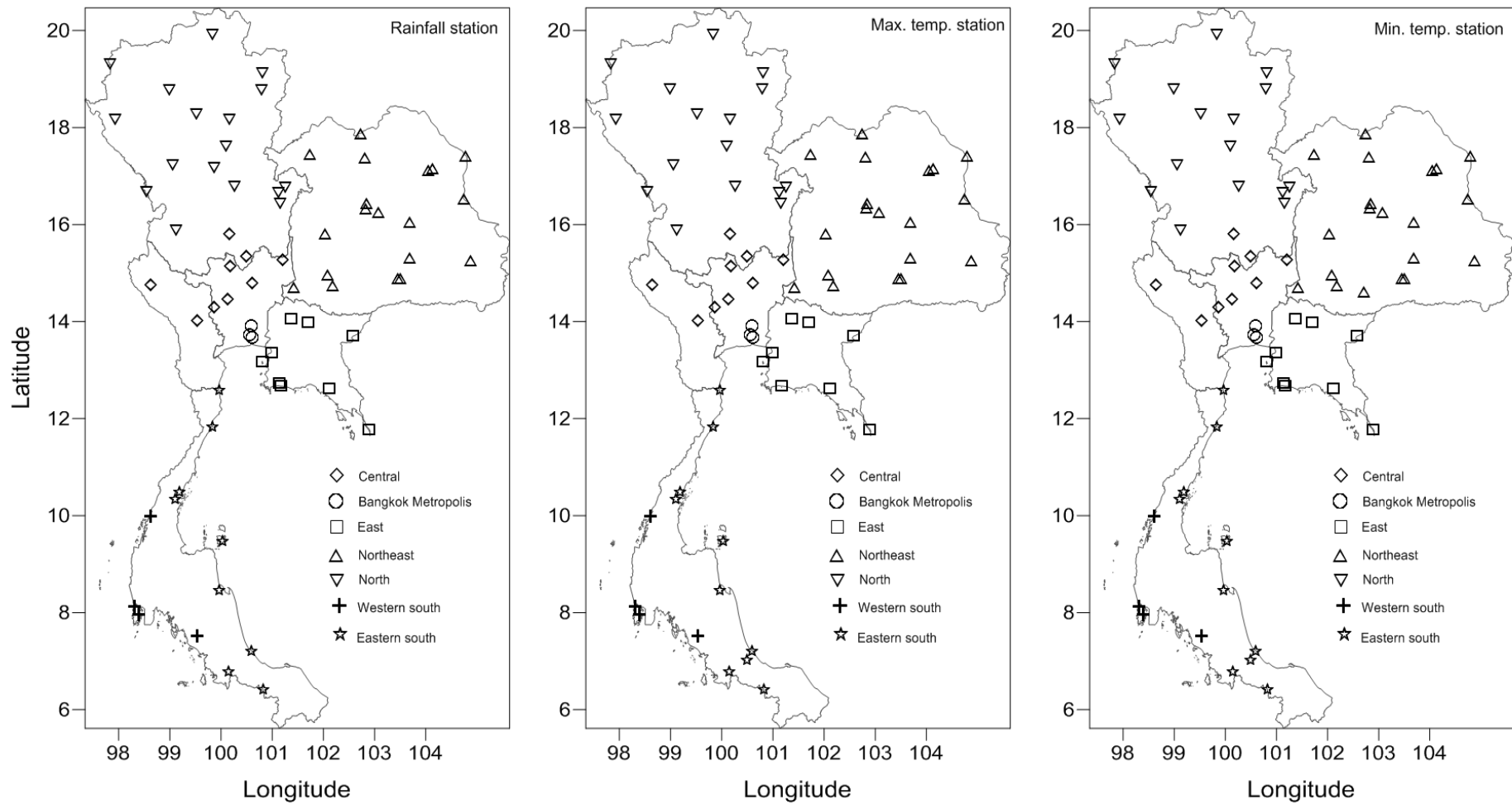
ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.41 อุณหภูมิต่ำสุดตรวจวัดเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2555 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)

หน่วย: องศาเซลเซียส

ภาค	ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.	
	ค่าเฉลี่ย	ปี 2554	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555	ค่าเฉลี่ย	ปี 2555
เหนือ	22.6	23.0 (1.8)	19.6	22.6 (15.3)	16.1	19.3 (19.6)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	22.7	22.9 (1.0)	19.9	22.7 (13.9)	16.9	20.3 (20.4)
กลาง	25.0	25.1 (0.6)	24.6	24.6 (0)	24.5	24.5 (0)
ตะวันออก	24.0	23.9 (0.6)	22.9	23.8 (3.8)	21.1	22.2 (5.1)
ใต้ฝั่งตะวันออก	23.8	24.0 (0.9)	23.4	24.1 (2.9)	22.6	23.6 (4.6)
ใต้ฝั่งตะวันตก	23.7	23.6 (0.3)	23.5	23.8 (1.1)	23.0	23.3 (1.2)
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	24.8	25.9 (4.3)	23.9	25.8 (8.0)	21.8	25.3 (15.9)

ค่าในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.36 สถานีข้อมูลตรวจวัดฝน อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดรายภาคที่ใช้เปรียบเทียบความถูกต้องของผลการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 3.42 สรุปผลเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความผิดพลาดรายภาคของผลการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศ 5 ฤดูกาล (เมษายน 2554 – ธันวาคม 2555) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา

ภาค	ตัวแปร	จำนวน คาดการณ์ ถูกต้อง (ครั้ง)	จำนวนคาดการณ์ ผิดพลาด (ครั้ง)	จำนวน คาดการณ์ ทั้งหมด
เหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	10 (66.7%)	5 (33.3%)	15
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	10 (66.7%)	5 (33.3%)	15
	ปริมาณฝน (มม.)	6 (40.0%)	9 (60.0%)	15
ตะวันออกเฉียงเหนือ	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	10 (66.7%)	5 (33.3%)	15
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	9 (60.0%)	6 (40.0%)	15
	ปริมาณฝน (มม.)	9 (60.0%)	6 (40.0%)	15
กลาง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	11 (73.3%)	4 (26.7%)	15
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	10 (66.7%)	5 (33.3%)	15
	ปริมาณฝน (มม.)	7 (46.7%)	8 (53.3%)	15
ตะวันออกเฉียงรวมทั้งชายฝั่ง	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	10 (66.7%)	5 (33.3%)	15
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	9 (60.0%)	6 (40.0%)	15
	ปริมาณฝน (มม.)	2 (13.3%)	13 (86.7%)	15
ภาคใต้ตะวันออก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	13 (86.7%)	2 (13.3%)	15
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	13 (86.7%)	13 (86.7%)	15
	ปริมาณฝน (มม.)	6 (40.0%)	9 (60.0%)	15
ภาคใต้ตะวันตก	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	13 (86.7%)	2 (13.3%)	15
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	12 (80.0%)	3 (20.0%)	15
	ปริมาณฝน (มม.)	3 (20.0%)	12 (80.0%)	15
กรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	12 (80.0%)	3 (20.0%)	15
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	4 (26.7%)	11 (73.3%)	15
	ปริมาณฝน (มม.)	4 (26.7%)	11 (73.3%)	15
ค่าเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°ซ)	11.3 (75.3%)	3.7 (24.7%)	15
	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°ซ)	9.6 (64.0%)	5.4 (36.0%)	15
	ปริมาณฝน (มม.)	5.3 (35.3%)	9.7 (64.7%)	15

บทที่ 4

วิธีการศึกษา

4.1 ข้อมูล

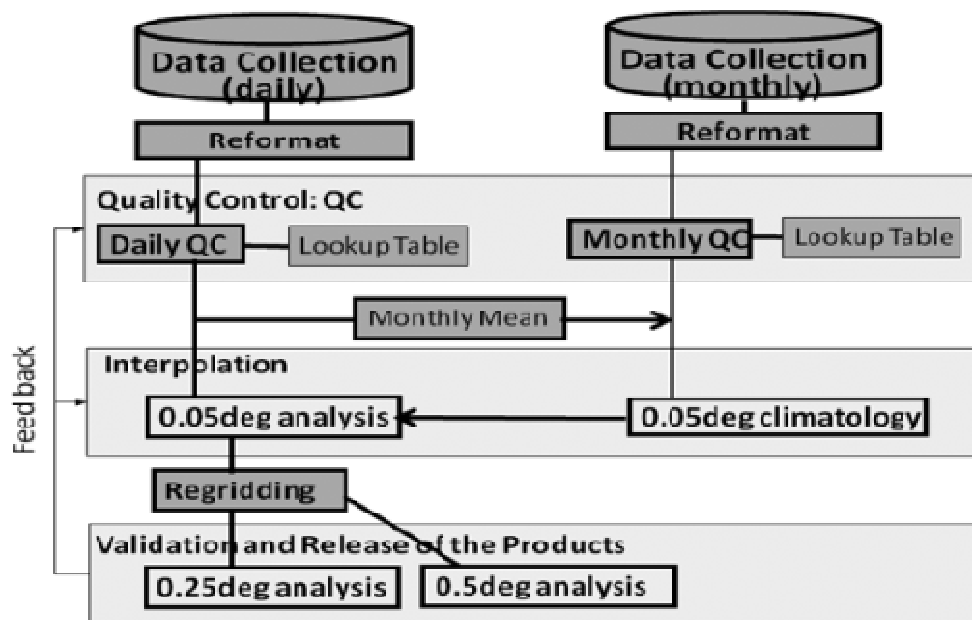
4.1.1 ฐานข้อมูลฝนและอุณหภูมิน้ำทะเลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ปริมาณฝนรายเดือนจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ผ่านกระบวนการควบคุมคุณภาพของข้อมูลแล้ว จำนวน 44 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย ใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2494 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2557 (ค.ศ. 1951–2014) ระยะเวลา 64 ปี

การศึกษานี้ยังใช้ฐานข้อมูลมาตรฐานแบบกริดในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาของปริมาณฝนสะสมรายฤดูกาลในพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน ซึ่งข้อมูลแบบกริดเป็นแหล่งข้อมูลที่มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ความแปรปรวน และมักผ่านกระบวนการควบคุมและตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity) เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนสถานีตรวจวัดผิวพื้น ที่มีการกระจายตัวไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่และข้อมูลที่ขาดหายและความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลมักปรากฏในอนุกรมของข้อมูลอยู่เสมอ ฐานข้อมูลแบบกริดที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ฐานข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายวัน ฐานข้อมูลภายใต้โครงการ Asian Precipitation-Highly-Resolved Data Integration Towards Evaluation of Water Resources (APHRODITE's Water Resources) โดย Meteorological Research Institute และ Research Institute for Humanity and Nature ของประเทศญี่ปุ่น และฐานข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือนแบบกริดของ Global Precipitation Climatology Center (GPCC) ซึ่งดำเนินการโดย German Weather Service (Deutscher Wetterdienst; DWD) และอยู่ภายใต้การอุปถัมภ์ขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization; WMO)

APHRODITE เป็นฐานข้อมูลฝนสะสมรายวันที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (0.5° และ 0.25°) ครอบคลุมระยะเวลา 57 ปี (ค.ศ. 1951–2007) ซึ่งมีโดเมนของข้อมูลหลัก ๆ ประกอบด้วย Monsoon Asia, Middle East และ North Eurasia ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้พัฒนาฐานข้อมูล APHRODITE เป็นข้อมูลฝนสะสมรายวันที่ตรวจวัดผ่านเครือข่ายสถานีอุตุนิยมวิทยาพื้น (rain-gauge weather observation network) ซึ่งแหล่งของข้อมูล ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) Global Telecommunication System (GTS)-based data, 2) ข้อมูลที่ได้ถูกรวบรวมผ่านโครงการหรือหน่วยงานอื่น ๆ ก่อนหน้านี้ และ 3) ข้อมูลที่ได้รวบรวมจากประเทศต่างๆ ในทวีปเอเชียโดยตรงผ่านโครงการ APHRODITE (Yatagai et al., 2012) ทั้งนี้ แหล่งข้อมูลปริมาณฝนที่ใช้ในการสร้างชุดข้อมูล APHRODITE นั้น มาจากแหล่งข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ ภายใต้ National Hydrological and Meteorological Services (NHMs) ที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ real-time ซึ่งรวมไปถึงข้อมูลฝนภายใต้ข้อตกลงของ WMO ที่ได้ส่งผ่านเข้าสู่ระบบ GTS เพื่อใช้ในการพยากรณ์ด้านต่างๆ อัลกอริทึม (algorithm) ที่สำคัญในการพัฒนาฐานข้อมูล APHRODITE ประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูลและแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของดิจิทัล การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแต่ละสถานีด้วยมือ การตรวจสอบ

คุณภาพข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติ (objective statistical approach) และการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) เพื่อจัดทำข้อมูลให้อยู่ในกริด สำหรับ flowchart ของอัลกอริทึมในภาพรวมที่ประยุกต์ใช้สำหรับพัฒนาฐานข้อมูล APHRODITE ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยแหล่งข้อมูลที่ได้จากหน่วยงานภายใต้ NHMs สำหรับการก่อสร้างฐานข้อมูล APHRODITE แสดงในตารางที่ 4.1 ปัจจุบันทางโครงการ APHRODITE's Water Resources ได้เปิดตัวฐานข้อมูล APHRODITE เวอร์ชันใหม่ (APHRO_V1101) สำหรับพื้นที่ใน 3 โดเมนที่กล่าวมาข้างต้น บนเว็บไซต์ <http://www.chikyu.ac.jp/precip/> ให้ผู้สนใจนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาวิจัย สำหรับการศึกษานี้ ได้ดาวน์โหลดฐานข้อมูล APHRODITE เวอร์ชัน APHRO_V1101 สำหรับโดเมนมรสุมเอเชีย ความละเอียด 0.25° เพื่อดำเนินการสกัด ตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ศึกษาในประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีนในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.1 Flowchart ของอัลกอริทึมสำหรับการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติ และการประมาณค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบกริดของฐานข้อมูล APHRODITE (ที่มาของข้อมูล: Yatagai et al., 2012)

ตารางที่ 4.1 แหล่งข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ภายใต้ National Hydrological and Meteorological Services (NHMs) ที่ได้ถูกรวบรวมสำหรับการจัดทำฐานข้อมูล APHRODITE (ที่มาของข้อมูล: <http://www.dwd.de>)

Area	Nation	Organization
East Asia	China	China Meteorological Administration
	Japan	Japan Meteorological Agency
	Mongolia	National Agency for Meteorology, Hydrology and Environment Monitoring
	South Korea	Korea Meteorological Administration
	Taiwan	Central Weather Bureau
Southeast Asia	Cambodia	Ministry of Water Resources and Meteorology
	Indonesia	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
	Laos	Department of Meteorology and Hydrology
	Malaysia	Malaysian Meteorological Department
	Myanmar	Department of Hydrology and Meteorology
	Philippines	Philippine Atmospheric Geophysical and Astronomical Services Administration
	Thailand	Thai Meteorological Department
		Royal Irrigation Department
Vietnam	National Hydrometeorological Service	
South Asia	Bangladesh	Bangladesh Meteorological Department
	Bhutan	Hydromet Services Division, Ministry of Economic Affairs
	India	India Meteorological Department
	Nepal	Department of Hydrology and Meteorology
	Pakistan	Pakistan Meteorological Department
	Sri Lanka	Department of Meteorology
Central Asia	Kazakhstan	Kazhydromet
	Kyrgyzstan	Main Hydrometeorological Administration
	Uzbekistan	Uzhydromet
West Asia	Iran	Iran Meteorological Organization
	Israel	Israel Meteorological Service
	Saudi Arabia	Ministry of Water and Electricity
	Turkey	Turkish State Meteorological Service

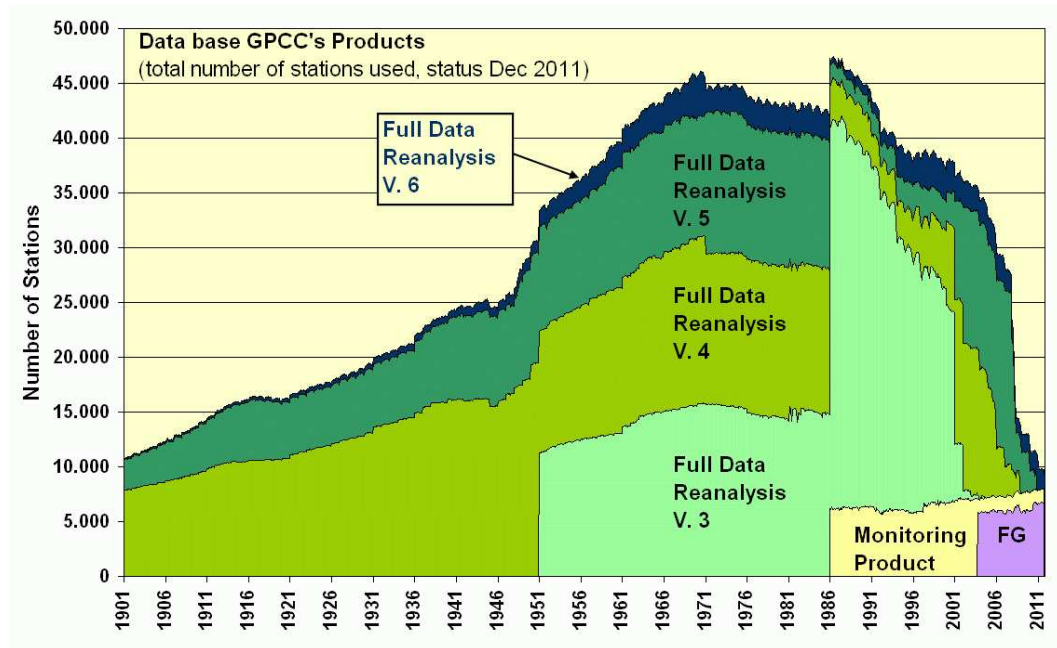
ฐานข้อมูล GPCC เป็นข้อมูลฝนสะสมรายเดือนแบบกริดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินของโลก ที่ได้พัฒนาและจัดทำจากข้อมูลสถานีตรวจวัดผิวพื้นดินมากกว่า 67,000 สถานี ซึ่งประมาณค่าลงบนกริดสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, $1.0^\circ \times 1.0^\circ$, $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ และ $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ตามลำดับ (Schneider et al., 2011) ข้อมูลฝนส่วนใหญ่ที่ใช้พัฒนาและจัดทำฐานข้อมูล GPCC ประกอบด้วยปริมาณสะสมรายเดือนที่รวบรวมจากแหล่งข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ ภายใต้ NHMs ผ่าน WMO-GTS ฐานข้อมูลฝนที่จัดทำโดย GPCC มีสองประเภทหลัก ๆ คือ

1) ฐานข้อมูลแบบ near real-time เป็นข้อมูลที่มาจาก 3 แหล่งหลัก ๆ คือ ปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ได้มาจากรายงานสรุปสภาพภูมิอากาศ (synoptic weather report) ที่ DWD ประเทศเยอรมันนี, National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Predictions (NOAA/NCEP) ประเทศสหรัฐอเมริกา และปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่สกัดมาจาก CLIMAT-bulletin ที่ได้รับที่ DWD, Japan Meteorological Agency (JMA) and United Kingdom Meteorological Office (UK Met. Office) ฐานข้อมูล ประกอบด้วย 7,000-8,000 สถานี เช่น GPCC First Guess Product

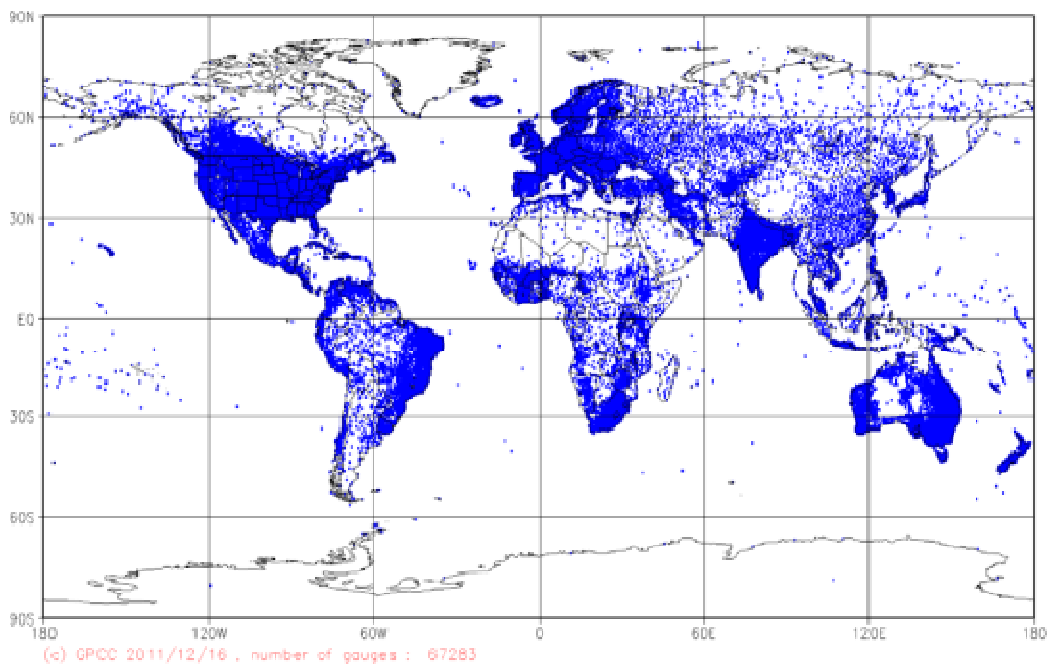
2) ฐานข้อมูลแบบเต็ม เป็นข้อมูลที่รวบรวมเพิ่มเติมโดย GPCC จากเครือข่ายของสถานีตรวจวัดที่หนาแน่นภายใต้ NHMs ของ 190 ประเทศ ซึ่งการรวบรวมข้อมูลได้รับการสนับสนุนของ WMO ความล่าช้าของการส่งข้อมูลอยู่ระหว่าง 1-5 ปีหรือมากกว่า (รูปที่ 4.2) เนื่องจากเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผลข้อมูลของเจ้าของข้อมูล นอกจากนี้ ข้อมูลระดับภูมิภาคและระดับโลกอื่น ๆ เช่น Global Historical Climatology Network (GHCN), Climate Research Unit of University of East Anglia (CRU), Food Agriculture Organization (FAO) และ Global Energy and Water Exchange Project (GEWEP) ได้ถูกนำมาผนวกรวมกันในฐานข้อมูลนี้ด้วย ดังนั้น GPCC ได้รวบรวมข้อมูลฝนรายเดือนที่ตรวจวัดในพื้นที่ที่ครอบคลุมทั่วโลก (รูปที่ 4.3)

ข้อมูลที่รวบรวมได้จากแหล่งต่างๆ ผ่านการตรวจสอบ ประมวลผลเบื้องต้นและจัดฟอร์แมตใหม่ซึ่งขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น ประกอบด้วย การประเมินคุณภาพข้อมูล การตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและเปรียบเทียบข้อมูลจากแหล่งต่างๆ การประมาณค่าจากสถานีเป็นกริดและคำนวณค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Schneider et al., 2011) (รูปที่ 4.4) สำหรับการศึกษานี้ได้ดาวน์โหลดฐานข้อมูลฝนสะสมรายเดือนที่วิเคราะห์ใหม่แบบเต็ม (full data reanalysis) เวอร์ชัน 6 เพื่อดำเนินการสกัด ตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ศึกษาในประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีนในขั้นตอนต่อไป

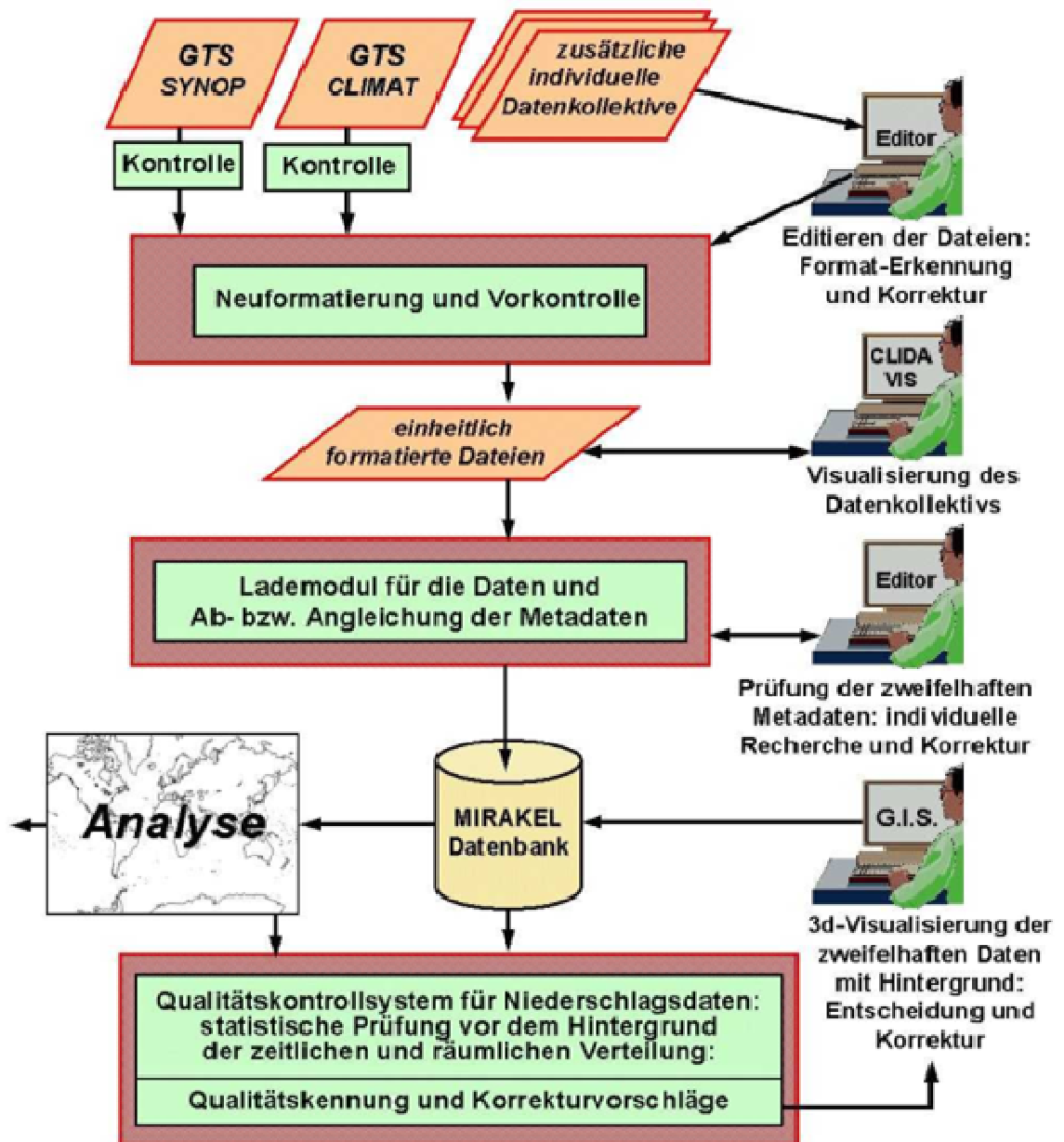
สำหรับข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature; SST) นั้น ได้ใช้ชุดข้อมูลจาก National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Extended Reconstructed SST (ERSST) ซึ่งเป็นข้อมูล SST รายเดือนระดับโลกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1854 ถึงปัจจุบันที่ถูกพัฒนามาจากฐานข้อมูลล่าสุดของ International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS) โดยเทคนิคทางสถิติที่ได้ปรับปรุงเพิ่มเติม ช่วยในการสร้างข้อมูลขึ้นใหม่จากข้อมูลที่มีจำนวนน้อยและกระจัดกระจายและจัดการข้อมูลที่ขาดหายไป (Smith et al., 2008) ERSST มีความละเอียดเชิงพื้นที่ $2^\circ \text{ long.} \times 2^\circ \text{ lat.}$ การศึกษานี้ได้ดาวน์โหลด ERSST ฐานข้อมูล <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.html#detail> ซึ่งการพัฒนาและปรับปรุง ERSST เวอร์ชัน 3 ได้บรรยายในรายละเอียดโดย Smith et al. (2008)



รูปที่ 4.2 จำนวนสถานีรวมรายปีที่ใช้ในการจัดทำฐานข้อมูลฝนแบบต่าง ๆ ของ GPCC (ที่มาของข้อมูล: <http://www.dwd.de>)



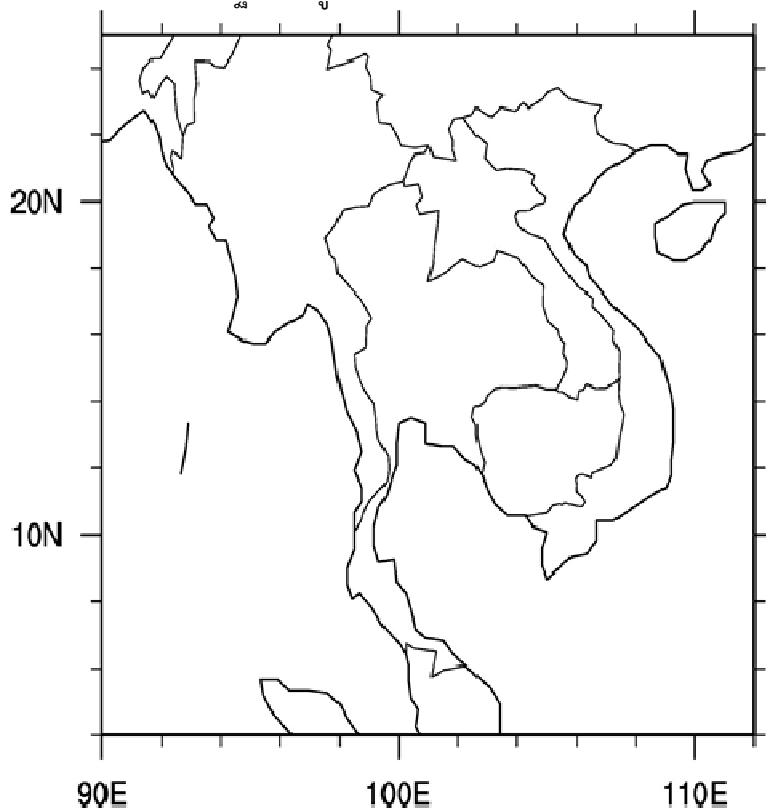
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของสถานีตรวจวัดฝนสะสมรายเดือน ซึ่งจำนวนสถานีทั้งหมดเมื่อเดือนกรกฎาคม 2011 เท่ากับ 67,283 สถานี (ที่มาของข้อมูล: <http://www.dwd.de>)



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนในภาพรวมของการควบคุมคุณภาพและประมวลผลของฐานข้อมูล GPCP

4.1.2 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงระหว่าง predictand (ปริมาณฝนสะสมรายฤดูกาลในประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน) และ predictor (อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย) มีโดเมนตั้งแต่ 4-25° N, 90-112° E (รูปที่ 4.5) ซึ่งครอบคลุมประเทศไทยและพื้นที่ส่วนใหญ่ของคาบสมุทรอินโดจีน ทั้งนี้ พื้นที่ศึกษาได้ถูกปรับให้โดเมนมีขนาดเล็กลงเล็กน้อย ซึ่งเท่ากับโดเมนของโครงการการเปลี่ยนแปลงรอบทศวรรษและระยะยาวของลมมรสุมฤดูหนาวเอเชียตะวันออกเฉียงและอิทธิพลต่อคาบสมุทรอินโดจีน เพื่อจำกัดพื้นที่ศึกษาเฉพาะพื้นที่ในคาบสมุทรอินโดจีนเท่านั้น รวมทั้งเพื่อหลีกเลี่ยงความแปรปรวนที่ผิดปกติ (anomalously large variance) ที่เกี่ยวข้องกับ cyclonic circulation บริเวณเกาะ Borneo ตลอดจนขยายช่วงระยะเวลาของฐานข้อมูล APHRODITE กลับไปจนถึง ปี ค.ศ. 1951 เนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพของฐานข้อมูลเบื้องต้น พบว่า มีข้อมูลขาดหายในบริเวณเกาะ Borneo ระหว่างปี ค.ศ. 1951-1954 ในฐานข้อมูล APHRODITE



รูปที่ 4.5 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา (4–25°N, 90–112 °E) ในประเทศไทย และพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน

4.1.3 วิธีการตรวจสอบคุณภาพของฐานข้อมูล

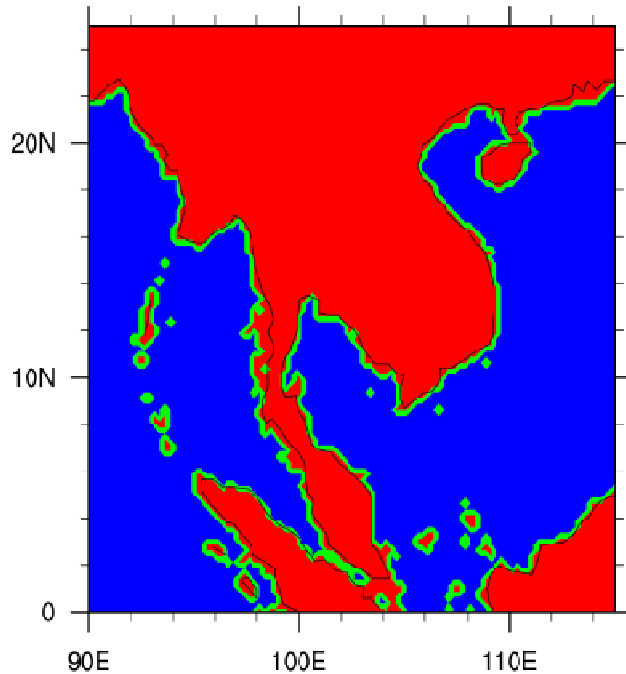
เนื่องจากข้อมูลฝนและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลทั้งจากฐานข้อมูล APHRODITE, GPCC และ ERSST ได้ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลตามขั้นตอนต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการจัดทำฐานข้อมูลภูมิอากาศและมหาสมุทรมาตรฐานระดับโลกแบบกริดมาแล้วอย่างเข้มข้น ดังนั้น การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลในพื้นที่ศึกษาที่สกัดจากทั้งสองฐานข้อมูลและในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทร

อินเดีย เป็นเพียงการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานเท่านั้น โดยมุ่งเน้นการตรวจสอบข้อมูลที่มีการสูญหายในแต่ละกริดทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา รวมทั้งตรวจสอบค่าสถิติเบื้องต้นในรูปค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ในแต่ละกริด เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าสถิติเบื้องต้นดังกล่าว

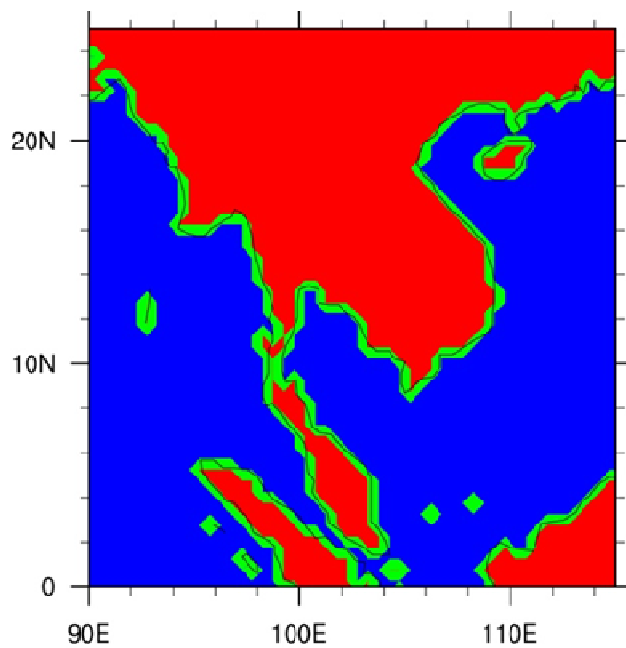
4.1.4 คุณภาพของฐานข้อมูล APHRODITE และ GPCC และค่าสถิติเบื้องต้น

ผลการตรวจสอบข้อมูลขาดหายไปในแต่ละกริดของฐานข้อมูล APHRODITE ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน พบว่า ข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือนของฐานข้อมูล APHRODITE มีครอบคลุมทุกกริดในพื้นที่ศึกษาในช่วงระยะเวลาระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 โดยข้อมูลที่ขาดหายไปมีสัดส่วนที่น้อยมาก (รูปที่ 4.6) เช่นเดียวกับข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือนของฐานข้อมูล GPCC กล่าวคือ มีข้อมูลครอบคลุมทุกกริดในประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีนในช่วงระยะเวลาระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 โดยในแต่ละกริดมีความต่อเนื่องของอนุกรมข้อมูลเป็นอย่างดี มีจำนวนของข้อมูลที่ขาดหายไปมีเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 4.7) นอกจากการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลแล้ว ค่าสถิติเบื้องต้นในรูปค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณฝนสะสมรายเดือน และปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลได้ถูกคำนวณในแต่ละกริด เพื่อแสดงลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าสถิติเบื้องต้นดังกล่าว รูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (long-term average of monthly mean precipitation) ของฐานข้อมูล APHRODITE และ GPCC ในภาพรวมแล้วพบว่า ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละกริดในพื้นที่ศึกษามีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนรายเดือน มีค่าสูงในบริเวณพื้นที่เขตแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศพม่า และพื้นที่ตะวันออกเฉียงเหนือที่ติดกับประเทศลาว ทั้งนี้ ฐานข้อมูล APHRODITE แสดงลักษณะเชิงพื้นที่ที่ละเอียดกว่าฐานข้อมูล GPCC เนื่องจากขนาดกริดของฐานข้อมูล APHRODITE มีขนาดเล็กกว่า รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 แสดงลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (long-term average of seasonal mean precipitation) ของฐานข้อมูล APHRODITE และ GPCC โดยแบ่งเป็น 4 ช่วง ได้แก่ เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ตามลำดับ จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 พบว่า ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลของแต่ละกริดในบริเวณพื้นที่ศึกษา มีการผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล โดยที่ปริมาณฝนมากที่สุดเกิดขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และรองลงมาคือช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ซึ่งเป็นช่วงที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมรสุมฤดูร้อนเอเชียมีกำลังแรงและพัดพาเอาไอน้ำและความชื้นเข้ามาในประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน ทำให้เกิดฝนตกชุก ส่วนในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) ภาคใต้บริเวณฝั่งอ่าวไทย มีปริมาณฝนสูงกว่าพื้นที่อื่น เนื่องจากอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ รูปที่ 4.12 ถึงรูปที่ 4.19 แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในปี ค.ศ. 1969, 1971, 1987 และ 1999 ของฐานข้อมูล APHRODITE และ GPCC จากดัชนี NIÑO ซึ่งนิยามและคำนวณจาก SST เพื่อใช้ติดตามเหตุการณ์เอนโซ (รูปที่ 4.20) พบว่า ปี ค.ศ. 1969 และ ค.ศ. 1987 เป็นปีที่อยู่ในช่วง warm หรือ El Niño phase ของเหตุการณ์เอนโซ ในขณะที่ ปี ค.ศ. 1971 และ ค.ศ. 1999 ตรงกับปีที่เกิดเหตุการณ์ cool หรือ La Niña phase ของเหตุการณ์เอนโซ (รูปที่ 4.21) ผลการเปรียบเทียบ พบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย

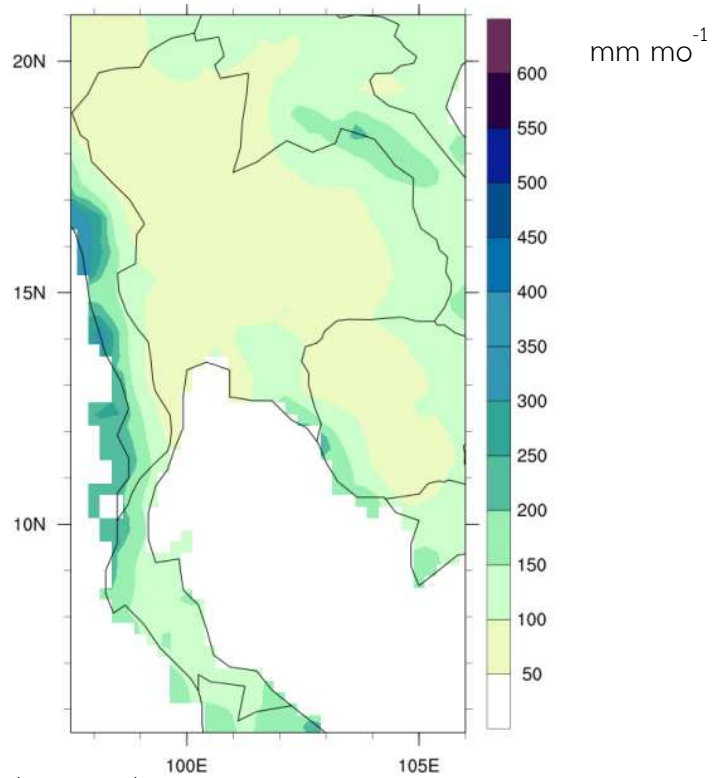
และพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน มีลักษณะที่แตกต่างกันระหว่าง warm และ cool phase ของเหตุการณ์เอนโซ โดยปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วง cool phase มีค่าสูง ขณะที่ในช่วง warm phase มีค่าต่ำ



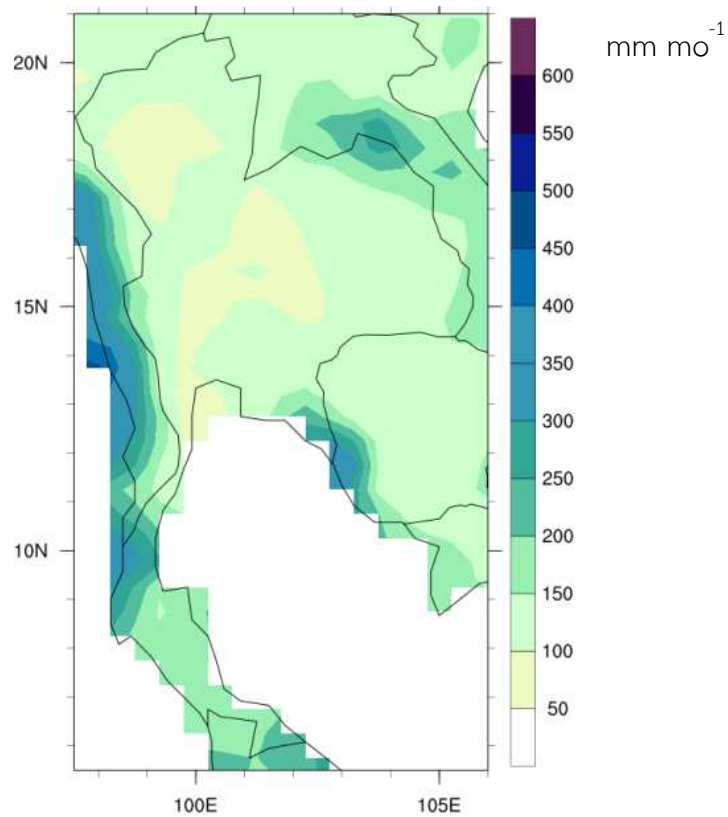
รูปที่ 4.6 พื้นที่ที่มีข้อมูล (สีแดง) และพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน (เขียวและน้ำเงิน) บริเวณประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีนในภาพรวม ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951 ถึง ค.ศ. 2007 ของฐานข้อมูล APHRODITE



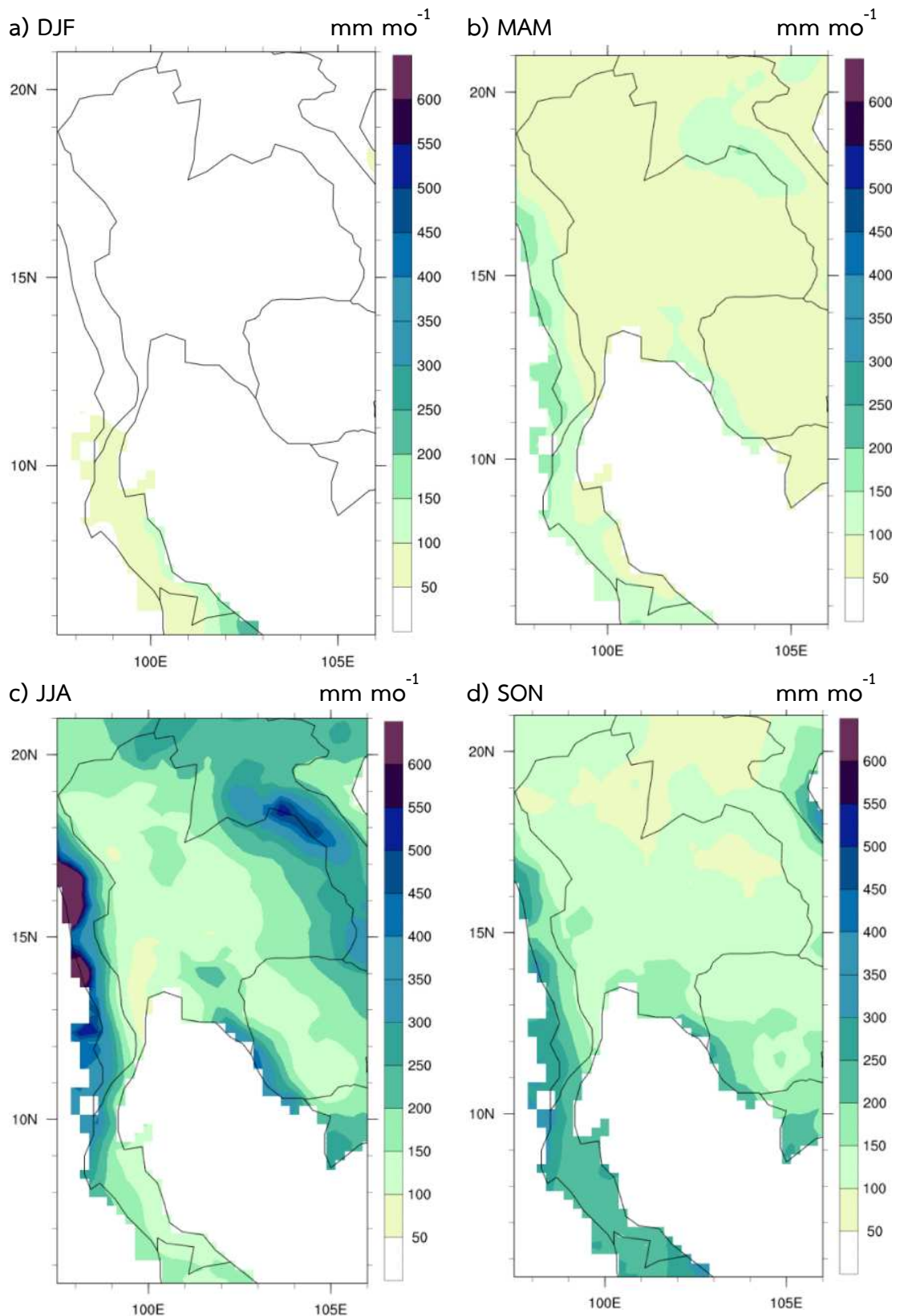
รูปที่ 4.7 พื้นที่ที่มีข้อมูล (สีแดง) และพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน (เขียวและน้ำเงิน) บริเวณประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีนในภาพรวม ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951 ถึง ค.ศ. 2010 ของฐานข้อมูล GPCC



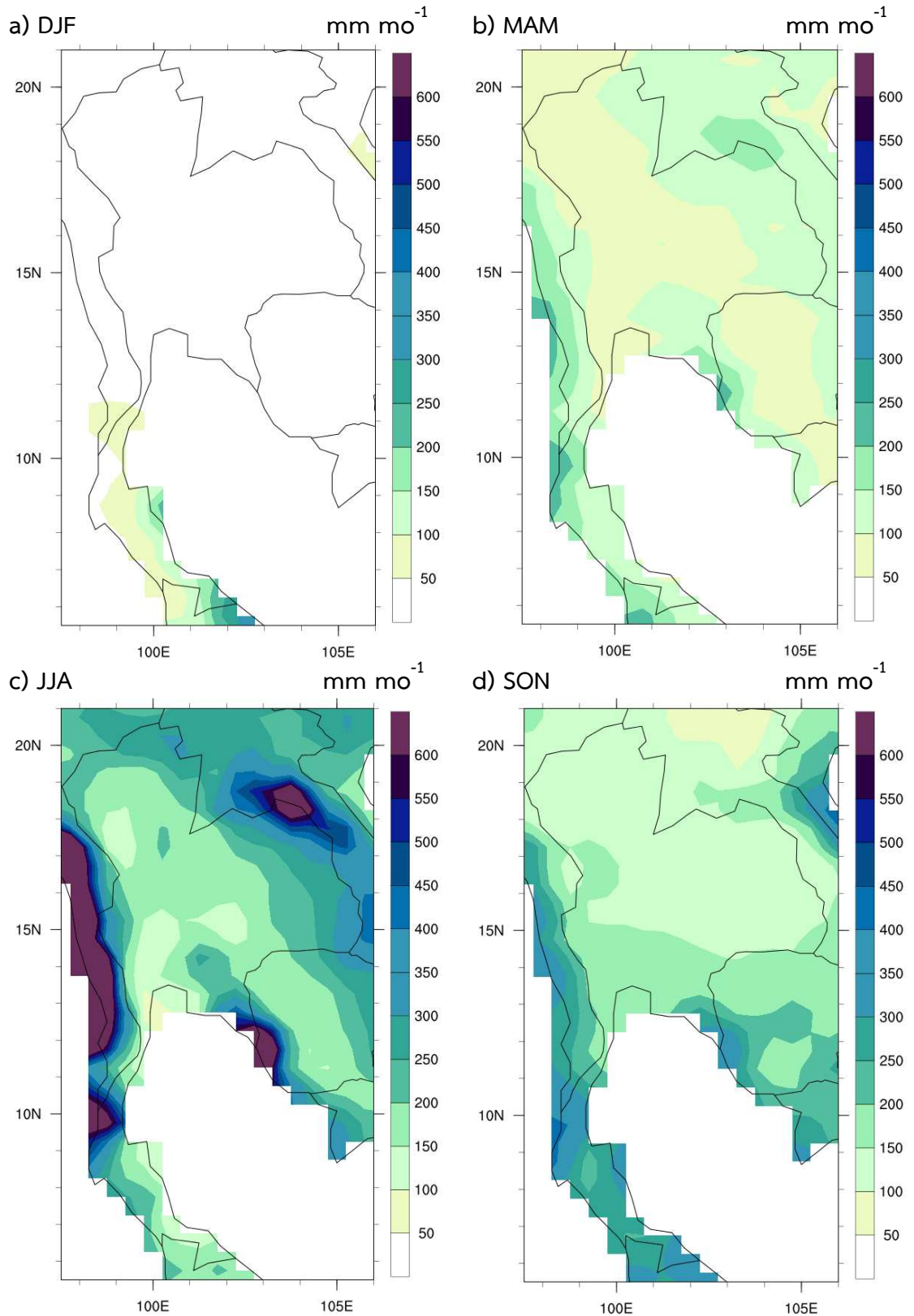
รูปที่ 4.8 ลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวในช่วงระหว่างปี ค.ศ.1951-2007 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของปริมาณฝนสะสมรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน)



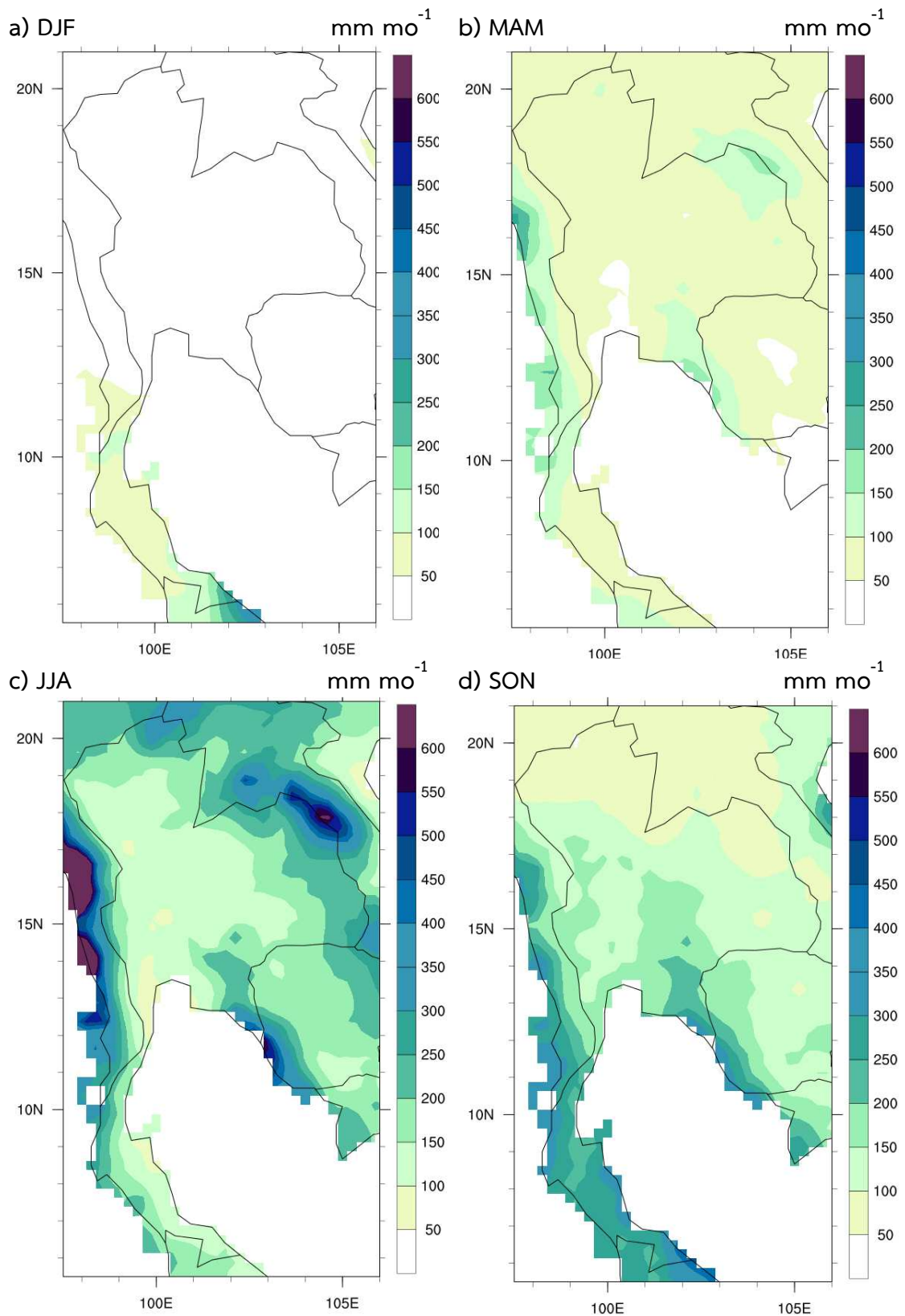
รูปที่ 4.9 ลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวในช่วงระหว่างปี ค.ศ.1951-2010 จากฐานข้อมูล GPCC ของปริมาณฝนสะสมรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน)



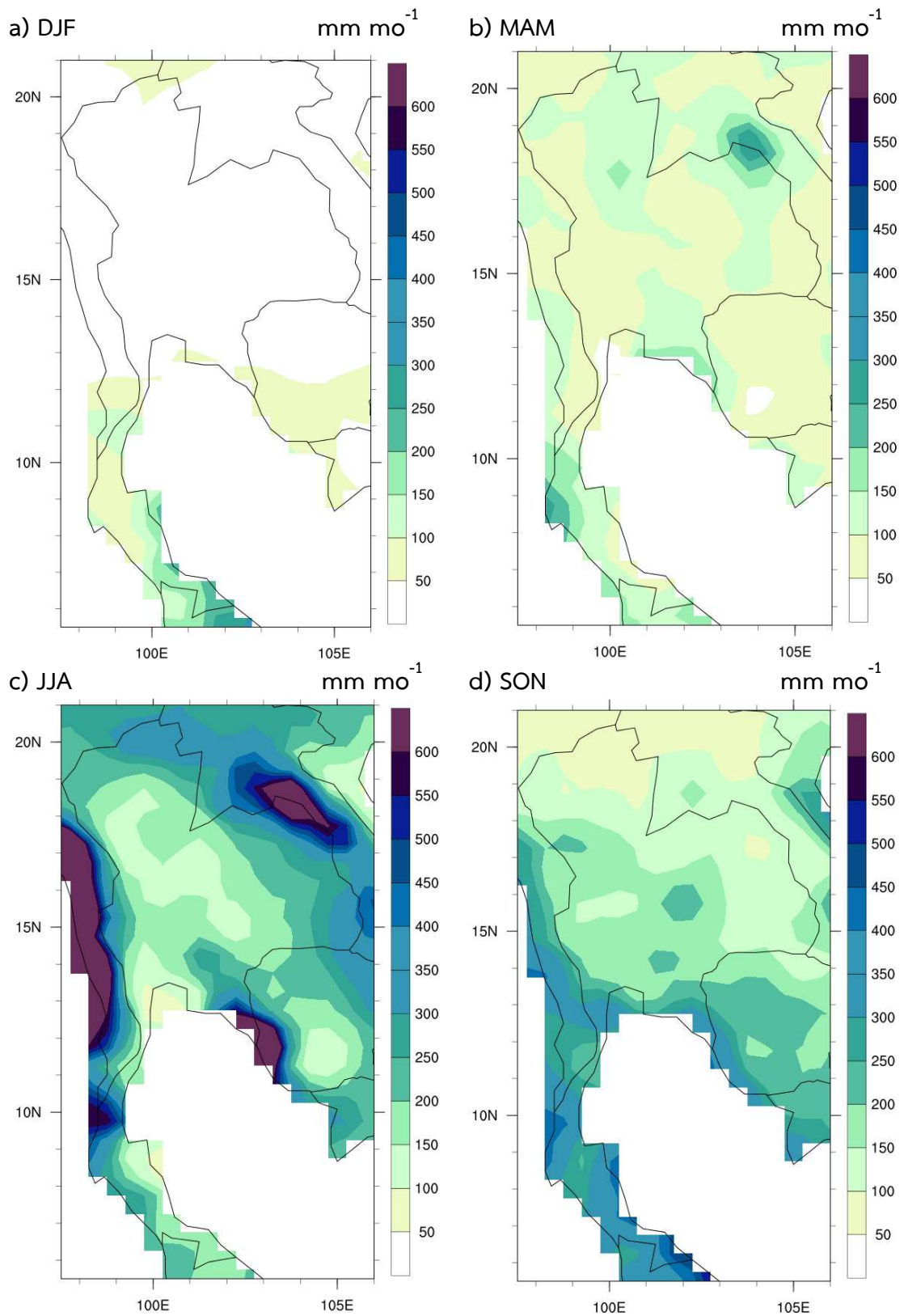
รูปที่ 4.10 ลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



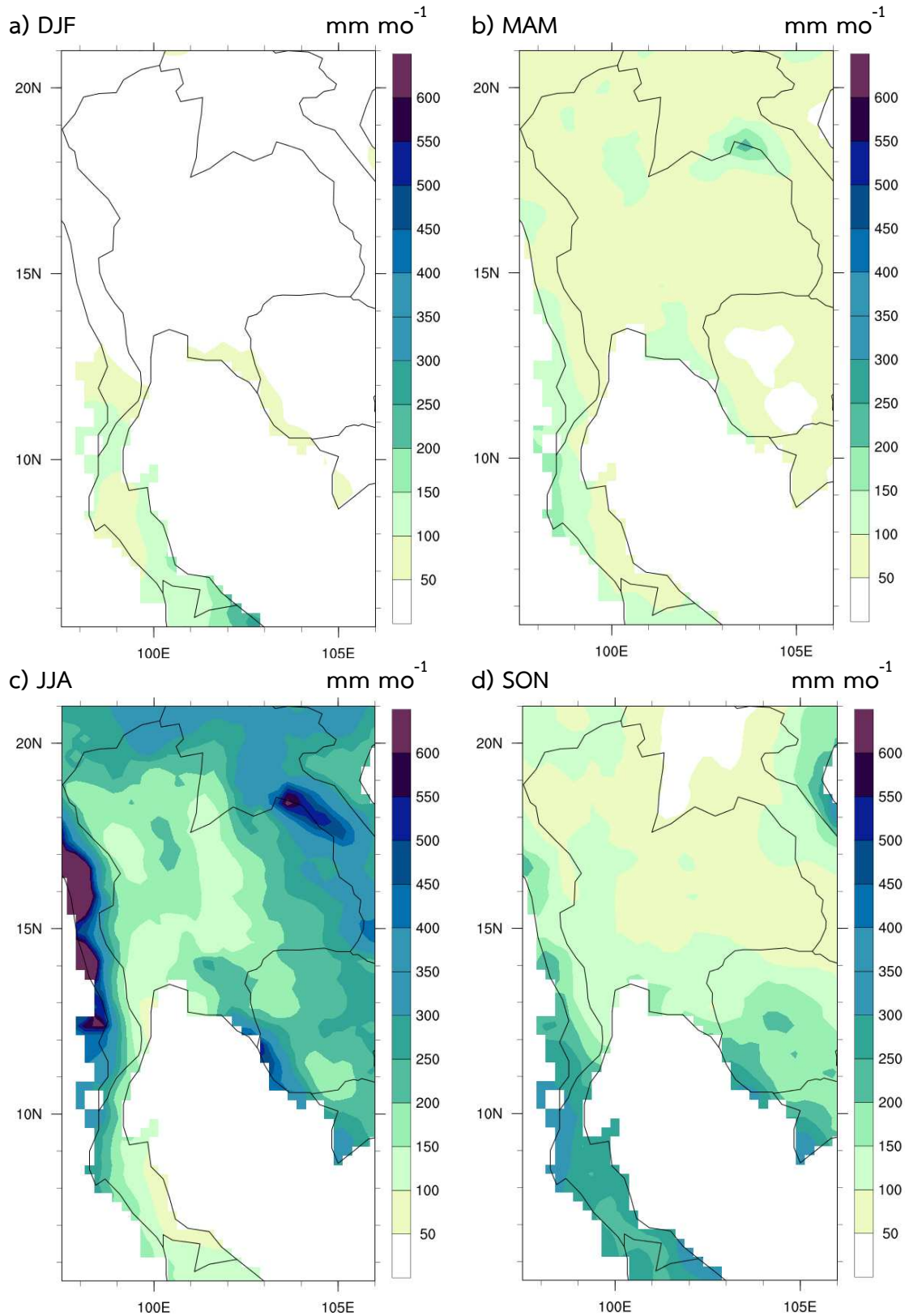
รูปที่ 4.11 ลักษณะเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยระยะยาวในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 จากฐานข้อมูล GPCC ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



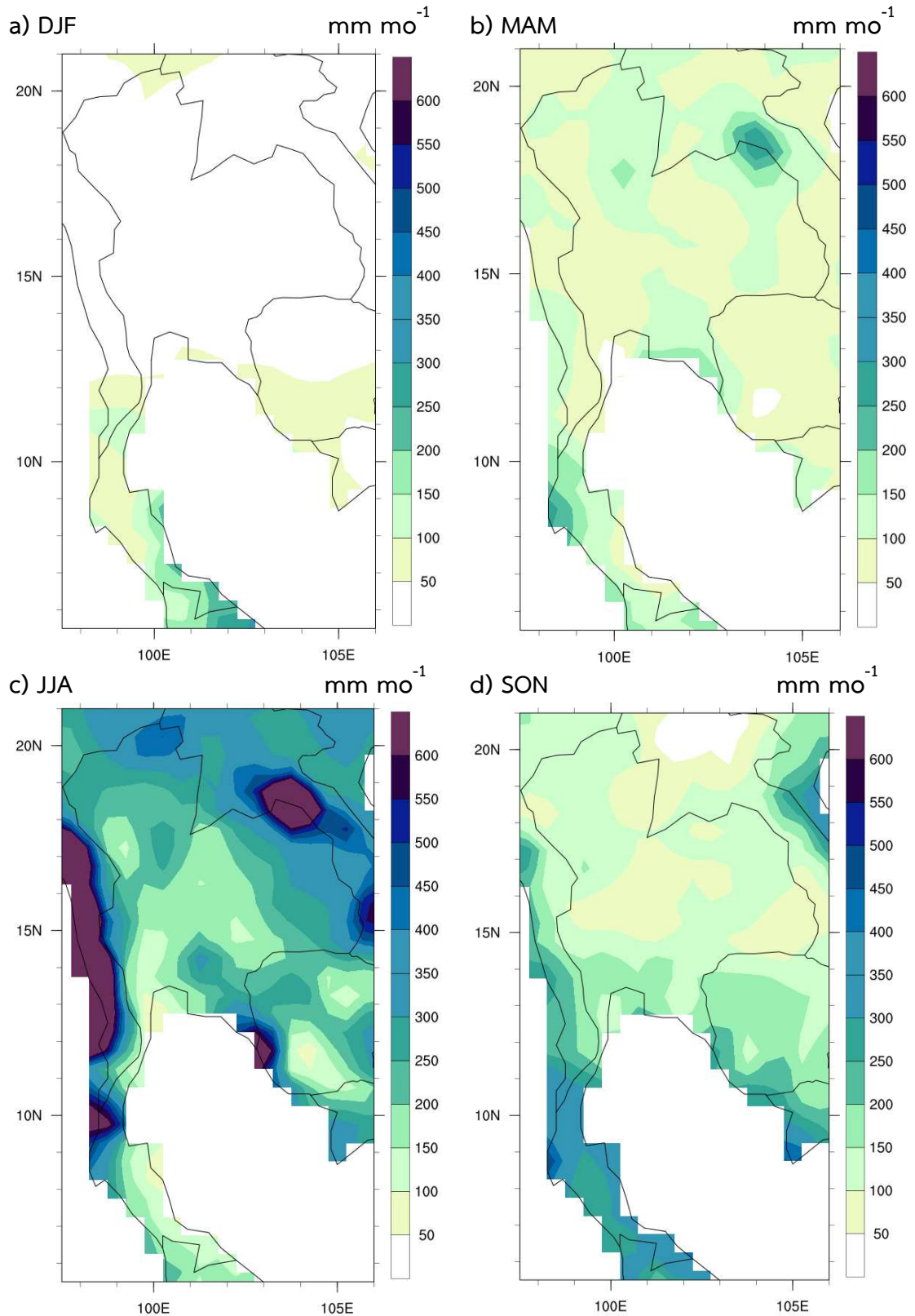
รูปที่ 4.12 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1969 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



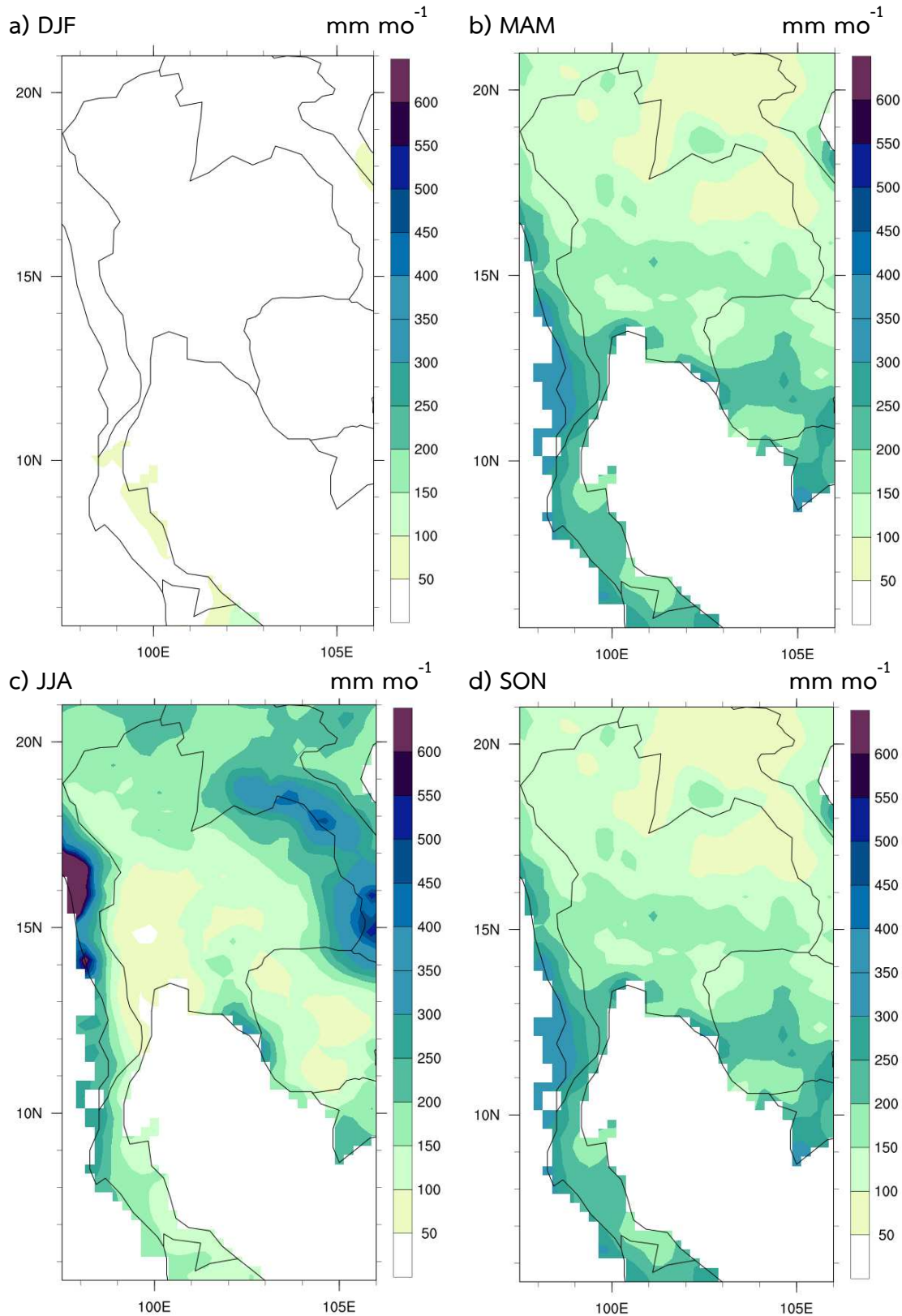
รูปที่ 4.13 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1969 จากฐานข้อมูล GPCP ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



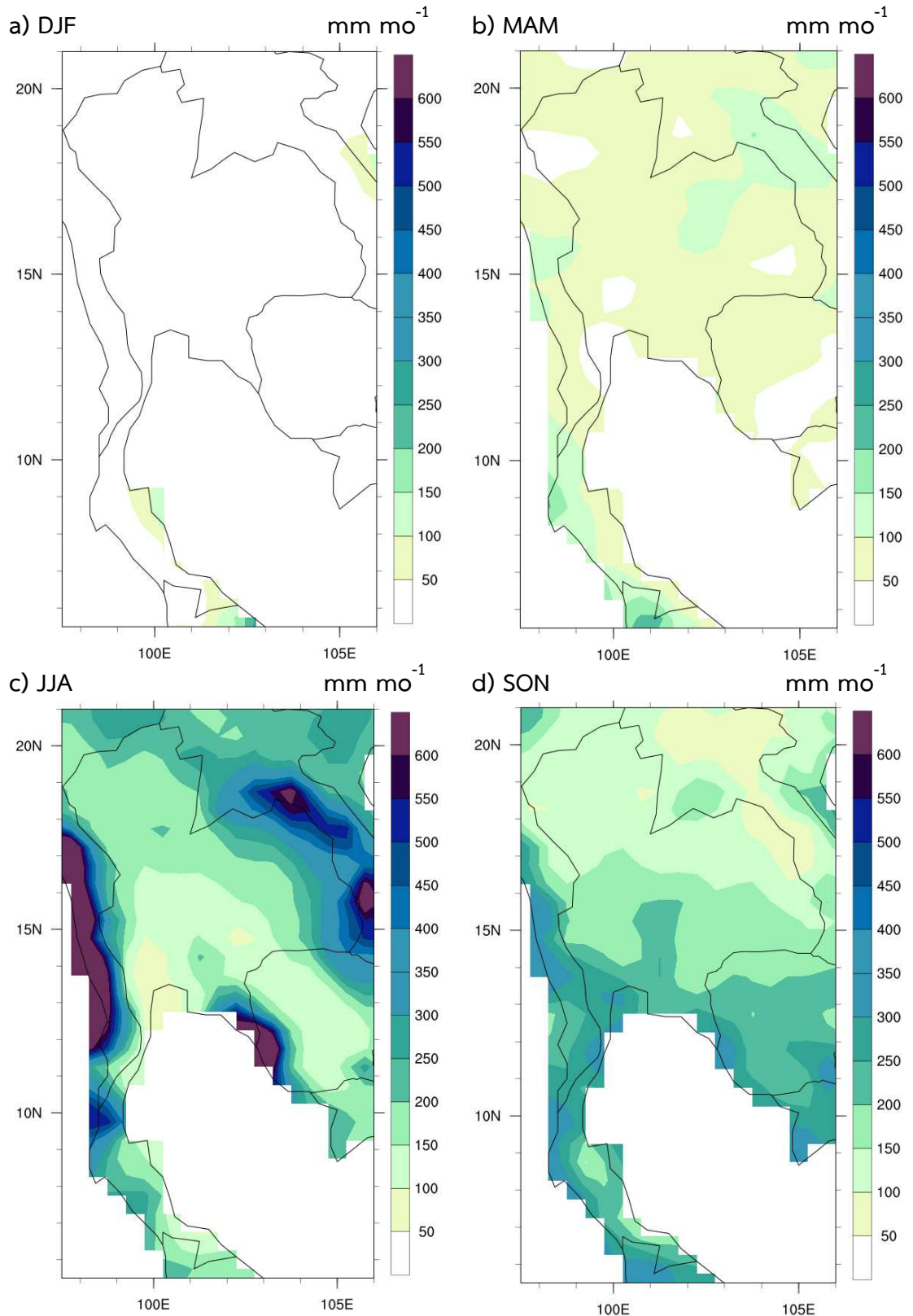
รูปที่ 4.14 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1971 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



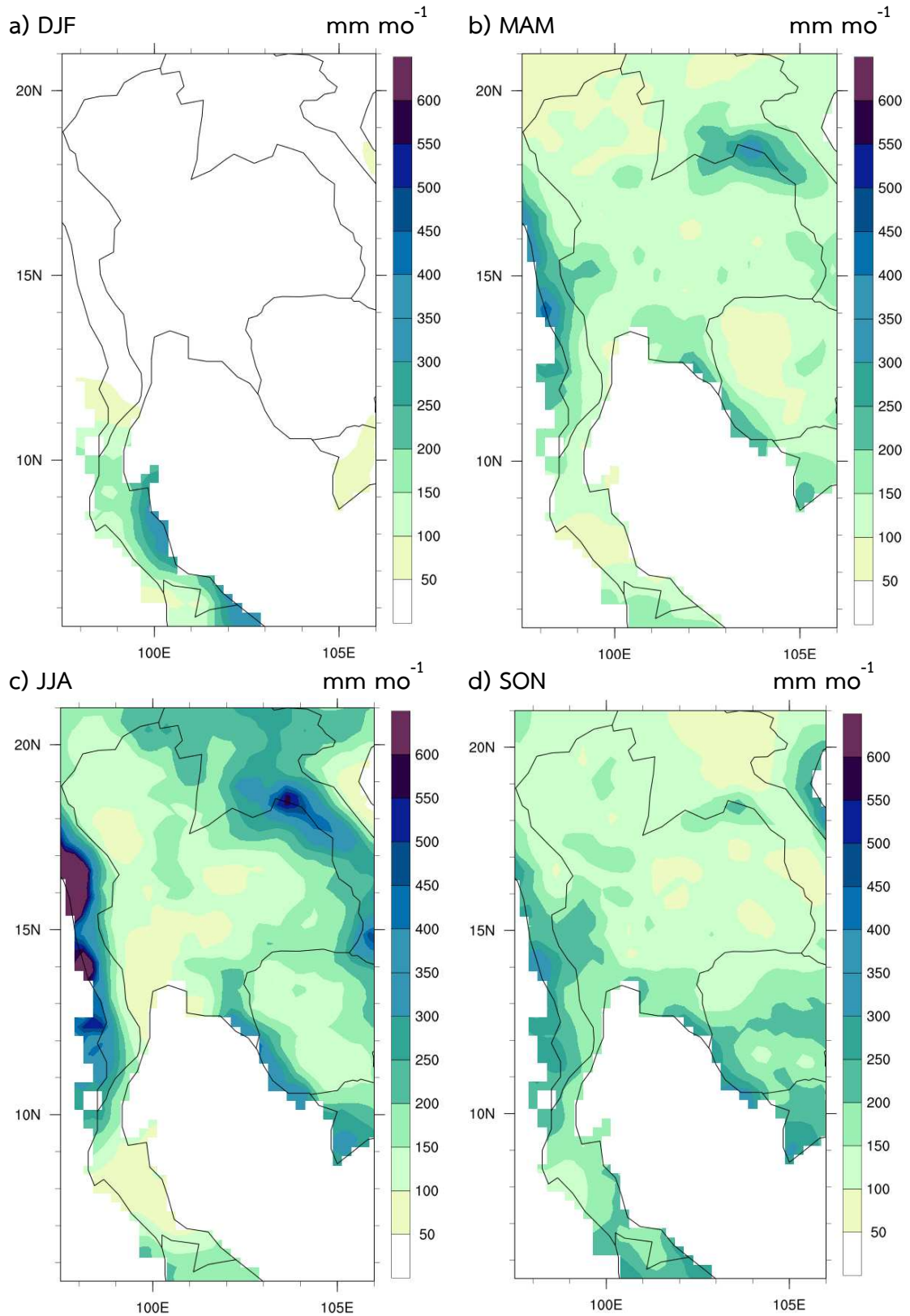
รูปที่ 4.15 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1971 จากฐานข้อมูล GPCP ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



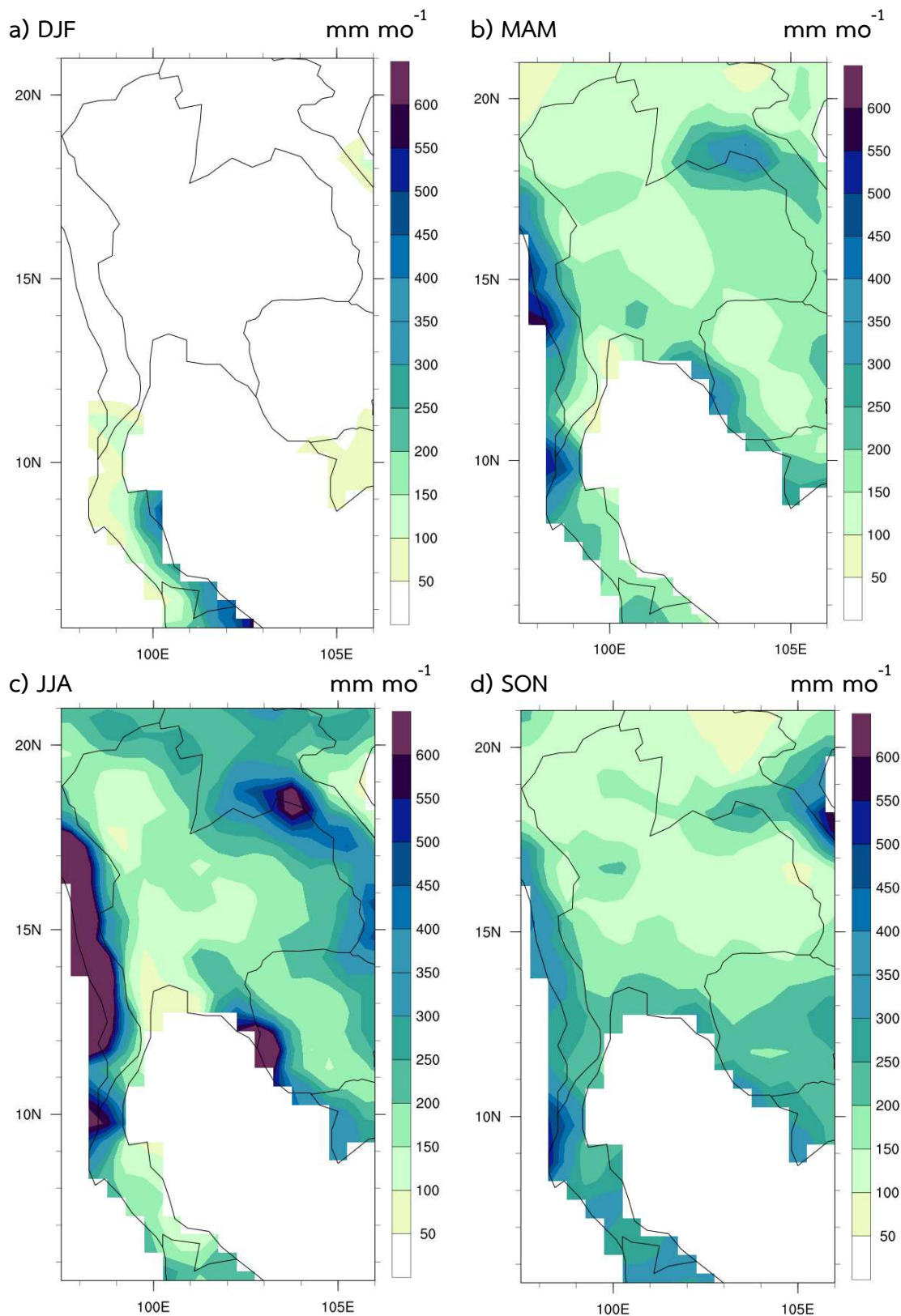
รูปที่ 4.16 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1987 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



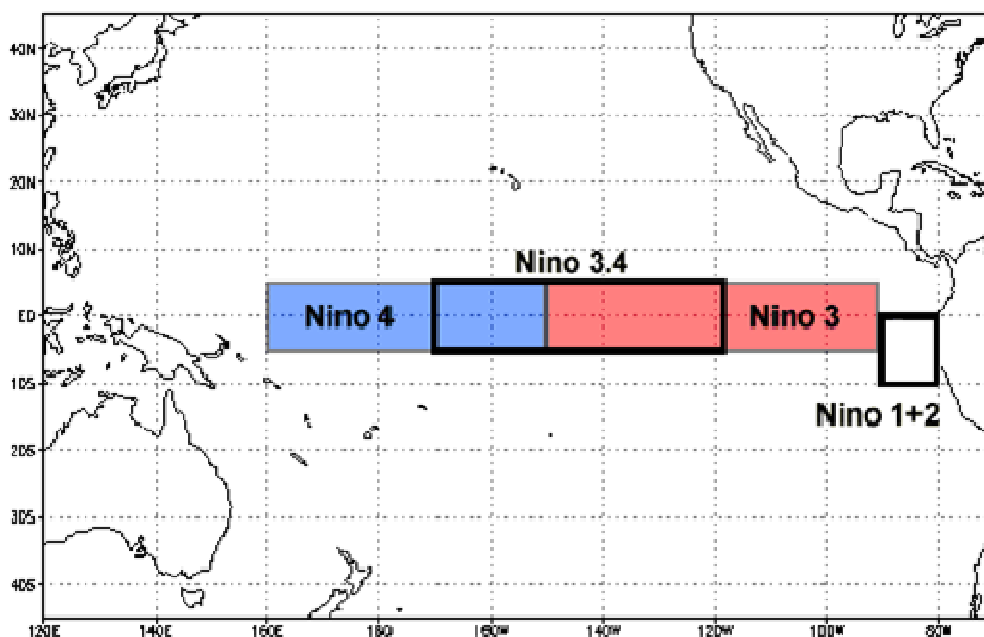
รูปที่ 4.17 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1987 จากฐานข้อมูล GPCP ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



รูปที่ 4.18 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1999 จากฐานข้อมูล APHRODITE ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



รูปที่ 4.19 ลักษณะเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (มิลลิเมตรต่อเดือน) ในปี ค.ศ. 1999 จากฐานข้อมูล GPCP ของ a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF) b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



รูปที่ 4.20 ขอบเขตของพื้นที่ที่ใช้ในการหาค่าดัชนี Niño 3 Niño 4 และ Niño3.4
ที่มา: www.ncdc.noaa.gov

ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนี Ocean Niño Index (ONI) คำนวณจากค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากชุดข้อมูล ERSST.v3b บริเวณ Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W) เฉลี่ยทุกสามเดือน ดัชนี ONI มากกว่า 0.5 (สีแดง) แสดงช่วงที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ ค่าน้อยกว่า 0.5 (สีน้ำเงิน) แสดงช่วงที่เกิดปรากฏการณ์ลานีญา (ที่มาของข้อมูล: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>)

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.4	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-0.9	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
1951	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.4	0.6	1.0	1.1	1.2	1.1	0.9
1952	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.1	-0.1	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3
1953	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1954	0.7	0.5	0.1	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7
1955	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-1.1	-1.4	-1.7	-1.6
1956	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
1957	-0.3	0.1	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.5	1.8
1958	1.8	1.6	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.1	0.0
1960	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
1961	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1962	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.5	0.8	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	0.0	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.7	1.9	1.9	1.7
1966	1.4	1.1	0.9	0.6	0.4	0.3	0.3	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2
1967	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4

1968	-0.6	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8	1.0
1969	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.6	0.5	0.5	0.8	0.9	0.9	0.8
1970	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2	-0.5	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0
1971	-1.2	-1.3	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.9	-0.8
1972	-0.6	-0.3	0.1	0.4	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.6	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-2.0
1974	-1.9	-1.6	-1.2	-1.0	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.7
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.5	-1.6	-1.7
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1977	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.5	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	-0.1
1979	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1
1981	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
1982	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	1.0	1.5	1.9	2.1	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.2	0.9	0.6	0.2	-0.2	-0.5	-0.8	-0.9	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1986	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.2	-0.8	-1.2	-1.3	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-1.9
1989	-1.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.2	0.0
1993	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	1.0	1.2
1995	1.0	0.8	0.6	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.7	-0.8	-0.9	-0.9
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.2	0.7	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.4	2.3
1998	2.2	1.8	1.4	0.9	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5
1999	-1.5	-1.3	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.5	-1.2	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3
2003	1.1	0.8	0.4	0.0	-0.2	-0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8
2006	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.0
2007	0.7	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4
2008	-1.5	-1.5	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6
2010	1.6	1.3	1.0	0.6	0.1	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0
2012	-0.9	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.2	-0.3
2013	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4
2014	-0.6	-0.6	-0.5	-0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.5	0.7	0.7
2015	0.6	0.5	0.6									

4.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.1 การวิเคราะห์รูปแบบความแปรปรวนในเชิงพื้นที่และเวลาด้วยเทคนิค

Principal Component Analysis (PCA) หรือ Empirical Orthogonal Function (EOF)

ลักษณะและรูปแบบความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาของปริมาณฝนสะสมรายฤดูกาล บริเวณประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน ได้ถูกวิเคราะห์จากข้อมูลในขอบเขตของพื้นที่ศึกษาที่ได้สกัดจากฐานข้อมูลฝนแบบกริดของ APHRODITE และ GPCC โดยช่วงระยะเวลาของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 สำหรับข้อมูลที่สกัดจากฐานข้อมูล APHRODITE และระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 สำหรับข้อมูลที่สกัดจากฐานข้อมูล GPCC การวิเคราะห์ลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาของปริมาณฝนสะสมรายฤดูกาล ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ หรือ Empirical Orthogonal Function (EOF) เทคนิค EOF มีหลักการบนพื้นฐานการสกัดและแยกฐานข้อมูลขนาดใหญ่ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันพื้นฐานของ orthogonal (eigenvalue/eigenvector) ด้วยการแปลงข้อมูลเชิงเส้นตรง เพื่อลดมิติของจำนวนตัวแปรให้เหลือจำนวนน้อยลง แต่ยังสามารถอธิบายความแปรปรวนส่วนใหญ่ในฐานข้อมูลเดิมได้ (Preisendorfer, 1988; Hannachi et al., 2007) โดย EOF ของข้อมูลเมตริกซ์ (matrix) ข้อมูล $F(t,x)$ สำหรับตัวแปร F ที่ตรวจวัด ณ เวลา t ($t = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$) และตำแหน่ง x ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$) สามารถแสดงในสมการที่ 1

$$F(t, x) = \sum_{j=1}^p a_j(t)(u_j(x)), \quad (1)$$

โดยที่ p =จำนวนโหมดของ $u_j(x)$ ส่วน $a_j(t)$ = principal score ในโหมด j สำหรับ a_1u_1 = ผลรวมเชิงเส้นโหมดที่ 1 ของเมตริกซ์ F ที่มีความแปรปรวนสูงสุด ในขณะที่ a_2u_2 = ผลรวมเชิงเส้นโหมดที่ 2 ของเมตริกซ์ F ที่มีความแปรปรวนเป็นลำดับที่ 2 ทั้งนี้ แต่ละโหมดที่ถูกสกัดออกจากฐานข้อมูลเดิมเป็นอิสระต่อกันหรือมีคุณสมบัติ orthogonality ซึ่งผลรวมความแปรปรวนในแต่ละโหมด จะเท่ากับ ความแปรปรวนทั้งหมดในฐานข้อมูลเดิม โดยปกติ ความแปรปรวนส่วนใหญ่ มักปรากฏอยู่ในโหมดแรก ๆ ของ EOF (Preisendorfer, 1988; Jolliffe, 2002; Hannachi et al., 2007) วิธี EOF มักคำนวณจากเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (covariance matrix) ของฐานข้อมูลเดิม เพื่อจำแนกข้อมูลเดิมออกเป็นค่า eigenvalue, eigenvector และ principal score สมการสำหรับการวิเคราะห์ PCA สรุปได้ดังนี้

$$Z^*E = E^*L \text{ หรือ } (Z-L)^*E=0 \quad (2)$$

$$A=Z^*E \quad (3)$$

$$E^*E^T = E^T^*E = I \quad (4)$$

$$A^T^*A=L \quad (5)$$

โดยที่ Z = เมตริกซ์ขนาด $n \times p$ โดย n =เวลา และ p =จำนวนกริดทั้งหมด

E = เมตริกซ์ของ eigenvector ขนาด $p \times p$

L = เมตริกซ์ทแยงมุมของ eigenvalue ขนาด $p \times p$ โดยตำแหน่ง off-diagonal มีค่าเป็นศูนย์

A = เมตริกซ์ของ principal score ขนาด $p \times p$

I = เมตริกซ์ทแยงมุมที่ตำแหน่ง diagonal มีค่าเป็นหนึ่ง ในขณะที่ ตำแหน่ง off-diagonal มีค่าเป็นศูนย์

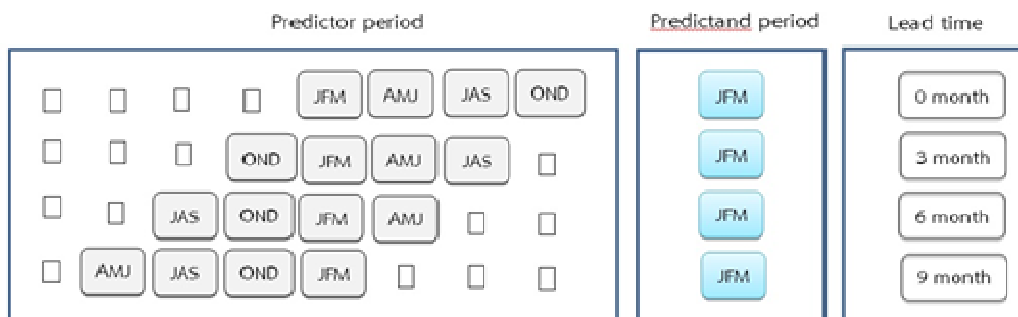
สำหรับการวิเคราะห์นี้ ข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายฤดูกาลบริเวณประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน ได้ถูกจัดเตรียมก่อนที่จะดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงร่วมระหว่างพื้นที่และเวลาด้วยเทคนิค EOF ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 4.21 ทั้งนี้ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล เริ่มจากการคำนวณปริมาณฝนสะสมในแต่ละฤดูกาลและการจัดเรียงข้อมูลให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ขนาด $n \times p$ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยระยะยาวของเมตริกซ์ในแต่ละคอลัมน์ พร้อมทั้งคำนวณหาเมตริกซ์ของค่าผิดปกติจากปกติ (anomaly) โดยนำค่าเฉลี่ยระยะยาวในแต่ละคอลัมน์ไปลบกับสมาชิกของข้อมูลทั้งหมดในเมตริกซ์ สุดท้ายเป็นการคำนวณหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (covariance matrix) จากเมตริกซ์ทรานโพสของค่าผิดปกติที่มีการสลับสมาชิกของแถวกับคอลัมน์ คุณด้วยเมตริกซ์ของค่าผิดปกติ เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมนี้ จะนำไปแก้สมการ eigenvalue และ eigenvector โดยการสกัดและแยกเมตริกซ์ออกเป็นเมตริกซ์ L และ E ซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นที่อิสระต่อกันของตัวแปรทั้งหมด เพื่อให้สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลเดิมได้สูงสุด

4.2.2 โมเดลสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลด้วยเทคนิค Canonical Correlation Analysis (CCA)

กรอบแนวคิดและโครงสร้างของโมเดลทางสถิติ Canonical Correlation Analysis (CCA) สำหรับพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานจากผลการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์แบบ time lag ในคาบเวลา 0-6 เดือน ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก และความแปรปรวนตามฤดูกาลของปริมาณฝนสะสมรายฤดูกาลในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย รวมถึงขอบเขตเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิกที่มีศักยภาพใช้เป็น predictor สำหรับพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาลสำหรับประเทศไทย

ขั้นตอนการพัฒนากรอบแนวคิดและโครงสร้างของโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาล ซึ่งมีขั้นตอนย่อยดังนี้

1. การกำหนดขอบเขตและพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลสำหรับใช้เป็น predictor โดยนำผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 2 มาพิจารณาเพื่อกำหนดรายละเอียดของขอบเขตและพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีความสัมพันธ์สูงกับความแปรปรวนของฝนในประเทศไทย
2. การประมวลข้อมูลเบื้องต้น (Data preprocessing and preorthogonalization) ก่อนนำเข้าโมเดลทางสถิติ โดยชุดข้อมูล predictor (อุณหภูมิผิวน้ำทะเล) และ predictand (ปริมาณฝนสะสมตามฤดูกาลในประเทศไทย) ถูกประมวลผลเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วย detrended, standardized และ preorthogonalized ด้วยเทคนิค EOF โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนตัวแปรของ predictor และ predictand ในฐานข้อมูลเดิมลงให้น้อยลงเท่าที่จำเป็น รวมทั้งลดความแปรปรวนในรูปของ noise ในฐานข้อมูลที่ไม่ต้องการออก
3. การกำหนด Lead time โดย Lead time หมายถึง จำนวนเดือนระหว่างเดือนสุดท้ายของข้อมูลทำนายและเดือนเริ่มต้นของฤดูกาลที่ต้องการพยากรณ์ Lead time เท่ากับ 0 หมายถึง การพยากรณ์สำหรับฤดูกาลเริ่มต้นทันทีหลังจากสิ้นสุดช่วงของข้อมูลทำนาย รูปที่ 4.22 แสดงตาราง Lead time ระหว่าง predictor และ predictand สำหรับการศึกษานี้ จะกำหนดฤดูกาลล่วงหน้าในการพยากรณ์ไว้ 2 คาบเวลา คือ 3 และ 6 เดือน
4. สร้างโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ฝนล่วงหน้า โดยเทคนิค canonical correlation analysis (CCA)



รูปที่ 4.22 แสดง Lead time ระหว่าง predictor และ predictand

เทคนิค canonical correlation analysis (CCA) เป็นสถิติพหุเชิงเส้นตรงที่บ่งชี้ความสัมพันธ์เชิงพยากรณ์ระหว่างรูปแบบการไหลเวียนของบรรยากาศและมหาสมุทรในสเกลขนาดใหญ่ และความผันแปรตามฤดูกาลของตัวแปรภูมิอากาศในระดับท้องถิ่นได้ดี (Barnston et al., 1996; He and Barnston, 1996; Shabbar and Barnston, 1996; Yu et al., 1997) จึงเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นโมเดลทางสถิติสำหรับการพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในคาบเวลาฤดูกาลสำหรับประเทศไทย

เทคนิค CCA มีหลักการพื้นฐานเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเมตริกซ์ของ predictor และเมตริกซ์ของ predictand ในรูปแบบและลักษณะที่ทำให้ sum of the squared errors มีค่าน้อยที่สุด ข้อดีประการหนึ่งของเทคนิค CCA คือมีความสามารถทั้งทักษะการพยากรณ์และการวินิจฉัยกลไกทางกายภาพของความสัมพันธ์นั้นๆ ที่ใช้ในการพัฒนาโมเดลพยากรณ์ (Barnston et al., 1996; Ladman and Mason, 1999) เทคนิค CCA ถูกแนะนำครั้งแรกโดย Hotelling (1935) ซึ่งหลังจากนั้นเป็นต้นมา CCA ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในการนำมาประยุกต์ใช้พยากรณ์ภูมิอากาศในระยะสั้น (Barnett and Preisendorfer, 1987; Graham et al., 1987; Barnett et al., 1988)

สำหรับเมตริกซ์ predictor $X_{s,t}$ และเมตริกซ์ predictand $Y_{r,t}$ ซึ่งในกรณีคือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและปริมาณฝนสะสมรายฤดูกาลในประเทศไทย ตามลำดับ ในขณะที่ตัวห้อย $s=1,\dots,m$ และ $r=1,\dots,n$ แสดงตำแหน่งข้อมูลเชิงพื้นที่ ส่วนตัวห้อย $t=1,\dots,k$ แสดงตำแหน่งข้อมูลเชิงเวลา โดยทั้ง $X_{s,t}$ และ $Y_{r,t}$ เป็นเมตริกซ์ที่ลบค่าเฉลี่ยรายเดือนหรือรายฤดูกาลออกหรือเมตริกซ์ anomaly ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ย เมื่อทำการวิเคราะห์ EOF บนเมตริกซ์ $X_{s,t}$ และ $Y_{r,t}$ จะได้ผลลัพธ์ ดังนี้

$$X_{s,t} = E_{s,s} T_{s,t} \quad (6)$$

$$Y_{r,t} = E_{r,r} T_{r,t} \quad (7)$$

เมื่อ $E_{s,s}$ และ $E_{r,r}$ แสดงโหมดเชิงพื้นที่ของ EOF ของเมตริกซ์ predictor และ predictand ส่วน $T_{s,t}$ และ $T_{r,t}$ คือ โหมดการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา สมมุติว่า เราใช้อนุกรมเชิงเวลาของ EOF ของ predictor ใน i โหมดแรก ($T_{i,t}$, $i < m$) และอนุกรมเชิงเวลาของ EOF ของ predictand ใน j โหมดแรก ($T_{j,t}$, $j < n$) เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับ CCA แล้ว เราสามารถคำนวณเวกเตอร์ canonical (u และ v) และผลรวมเชิงเส้นของ $Z = u'T_{i,t}$ และ $W = v'T_{j,t}$ ทั้งนี้ เมตริกซ์ต่อไปนี้ ถูกกำหนดบนพื้นฐานของ CCA

$$U' = [u'_1, u'_{2,\dots}, u'_q]' \quad (8)$$

$$V' = [v'_1, v'_{2,\dots}, v'_q]' \quad (9)$$

$$A_{q,q} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_q \end{bmatrix} \quad (10)$$

เมื่อ a_1, a_2, \dots, a_q = canonical correlation ระหว่าง Z และ W โดย $a_1 \geq a_2 \geq \dots \geq a_q$ และ q เท่ากับ i หรือ j

สมการพยากรณ์ ณ เวลา t สำหรับ lead time l และ j โหมดแรกของ predictand สามารถสร้างได้ดังนี้ (Glahn, 1968; Chu and He, 1994)

$$\hat{T}_{j,t+l} = (V')^{-1} A_{q,q} U' T_{i,t} \quad (11)$$

ใช้คุณสมบัติ orthogonal ของ EOF โหมด สมการแบบย่อของ (1) และ (2) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$T_{i,t} = (E_{s,i})' X_{s,t} \quad (12)$$

$$Y_{i,t} = (E_{r,j})' T_{j,t} \quad (13)$$

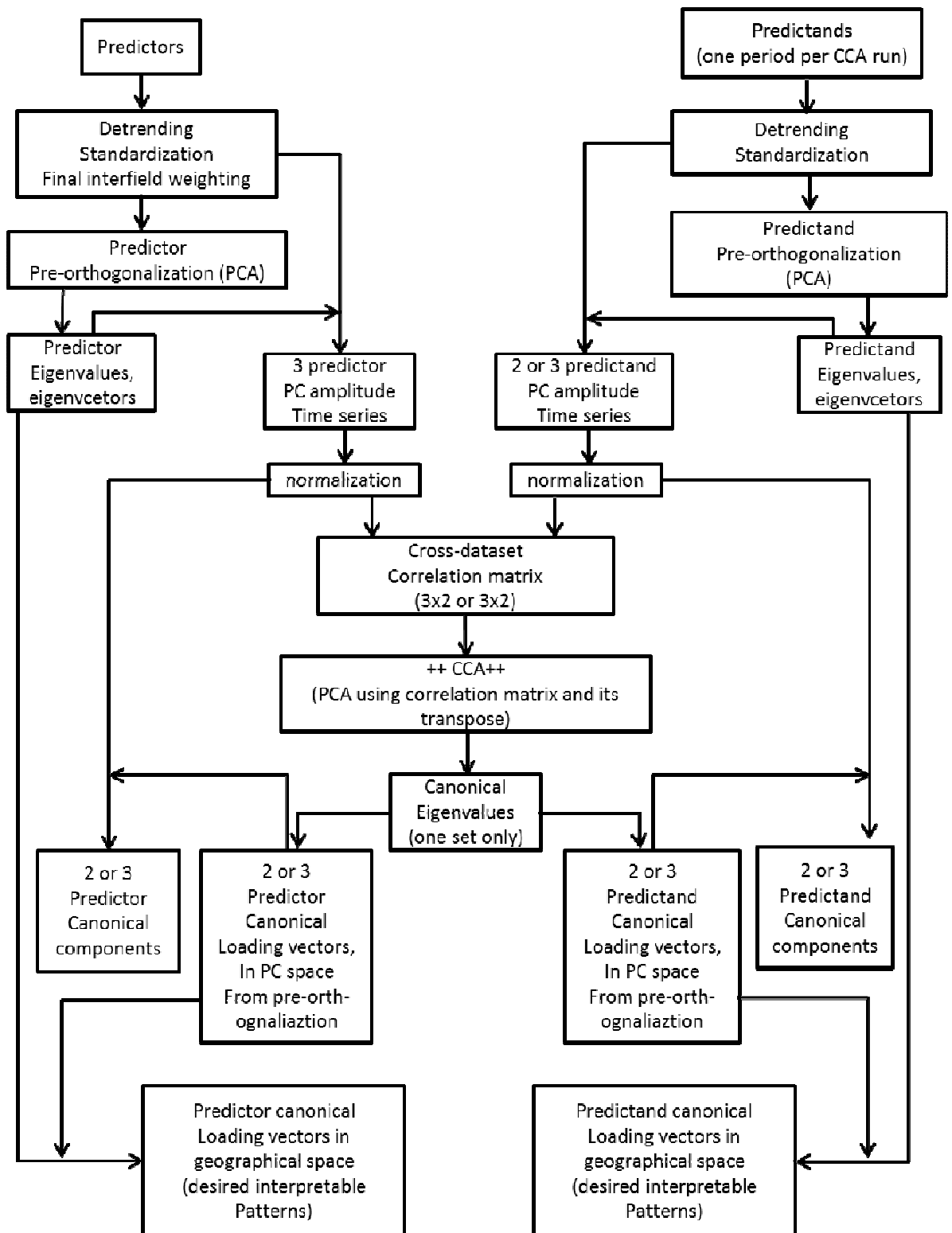
สุดท้าย $T_{j,t+l}$ สามารถเปลี่ยนกลับเป็นปริมาณฝนด้วยสมการ 7 และ 8

$$\hat{Y}_{r,t+l} = E_{r,j} (V')^{-1} A_{q,q} U' (E_{s,i})' X_{s,t} \quad (14)$$

ขั้นตอนการสร้างโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ฝนล่วงหน้า โดยเทคนิค canonical correlation analysis (CCA) แสดงในรูปที่ 4.23

4.2.3 การทดสอบทักษะการพยากรณ์ของโมเดลด้วยเทคนิค Cross-validation

เมื่อได้โมเดลทางสถิติแล้ว จะต้องมีการทดสอบทักษะการพยากรณ์ของโมเดลโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดในอดีต และเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้โมเดลมีทักษะการพยากรณ์ที่เกินจริง (overfitting) จึงต้องทำการดึงข้อมูลในปีที่ต้องการพยากรณ์ออกแล้วสร้างโมเดลจากข้อมูลในปีที่เหลือ วิธีการนี้เรียกว่า cross-validation ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายในการทดสอบทักษะการพยากรณ์ (Barnett and Preisendorfer, 1987; Barnston and Ropelewski, 1992, Barnston, 1994) การศึกษาในใช้การดึงข้อมูลในปีที่ต้องการพยากรณ์และสองปีก่อนหน้าและตามหลังออก หรือ leave-5-year-out cross-validation จากนั้นประเมินทักษะของโมเดลสถิติโดยหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson's correlation coefficient ระหว่างปริมาณฝนที่ได้จากโมเดลสถิติกับข้อมูลฝนจากการตรวจวัด



รูปที่ 4.23 ขั้นตอนการสร้างโมเดลทางสถิติสำหรับพยากรณ์ฝนล่วงหน้า โดยเทคนิค canonical correlation analysis (CCA) (ที่มา: Barnston, 1994)

บทที่ 5

ผลการศึกษา

5.1 ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลบริเวณประเทศไทย

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล ด้วยเทคนิค EOF พบว่า ความแปรปรวนที่โดดเด่นของปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละฤดูกาลของทั้งฐานข้อมูล APHRODITE และ GPCC ปรากฏใน EOF โหมดแรกๆ (ตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 ถึง 5.8) โดย EOF ในสองโหมดแรกสามารถอธิบายความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลบริเวณประเทศไทย และพื้นที่ใกล้เคียงในคาบสมุทรอินโดจีน ใน 4 ช่วง ได้แก่ เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ได้ถึง 80.3% (62.5%), 60.1% (48.0%), 45.3% (37.3%) และ 42.4% (29.5%) ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว มีข้อสังเกตหลักอยู่สองประการ คือ 1) EOF โหมดแรก อธิบายความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลได้สูงสุดในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (รูปที่ 5.1 และ 5.5) ลดลงตามลำดับในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (รูปที่ 5.2 และ 5.6) และช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) (รูปที่ 5.3 และ 5.7) และน้อยที่สุดในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) (รูปที่ 5.4 และ 5.8) เหตุผลหนึ่งที่มีความแปรปรวนโดยส่วนใหญ่ของปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปรากฏใน EOF โหมดแรก เนื่องมาจากในช่วงฤดูดังกล่าว พื้นที่ส่วนใหญ่ในคาบสมุทรอินโดจีน มีลักษณะแห้งแล้งและหนาวเย็นจากอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้มีปริมาณฝนเกิดขึ้นน้อย ยกเว้นบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกของประเทศไทยและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมาเลเซีย ที่มีปริมาณฝนชุก เนื่องจากตรงกับฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่มีกำลังแรง พัดพาเอาความชื้นจากทะเลจีนใต้และอ่าวไทยเข้าสู่พื้นที่ดังกล่าว ด้วยลักษณะความแปรปรวนที่มีการเปลี่ยนแปลงมากผิดปกติเฉพาะที่ แต่ในขณะที่ความแปรปรวนส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักและใกล้เคียงกัน มักส่งผลให้ความแปรปรวนที่โดดเด่นสามารถอธิบายได้ด้วย EOF โหมดแรก ขณะที่ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทั้งสองช่วง ได้แก่ ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม และช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นฤดูฝนสำหรับพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยและคาบสมุทรอินโดจีน EOF โหมดแรก อธิบายความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลคิดเป็นสัดส่วนที่น้อยลง เนื่องจากความแปรปรวนในฤดูฝนมีสูงมาก และประกอบด้วยรูปแบบที่โดดเด่นหลายๆโหมด และ 2) สัดส่วนความแปรปรวนที่

ปรากฏใน EOF โหมดแรกที่วิเคราะห์จากฐานข้อมูล APHRODITE มีค่าสูงกว่าความแปรปรวนที่วิเคราะห์จากฐานข้อมูล GPCC ทุกฤดูกาล โดยความแปรปรวนของ EOF ในโหมดแรกที่แตกต่างดังกล่าว อาจเกิดจากความละเอียดเชิงพื้นที่ของกริด และช่วงระยะเวลาของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ต่างกันระหว่างฐานข้อมูล APHRODITE และฐานข้อมูล GPCC ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ EOF ขึ้นอยู่กับทั้งมิติเชิงพื้นที่ (p) และเวลา (n) ของเมตริกซ์ข้อมูลอย่างมาก

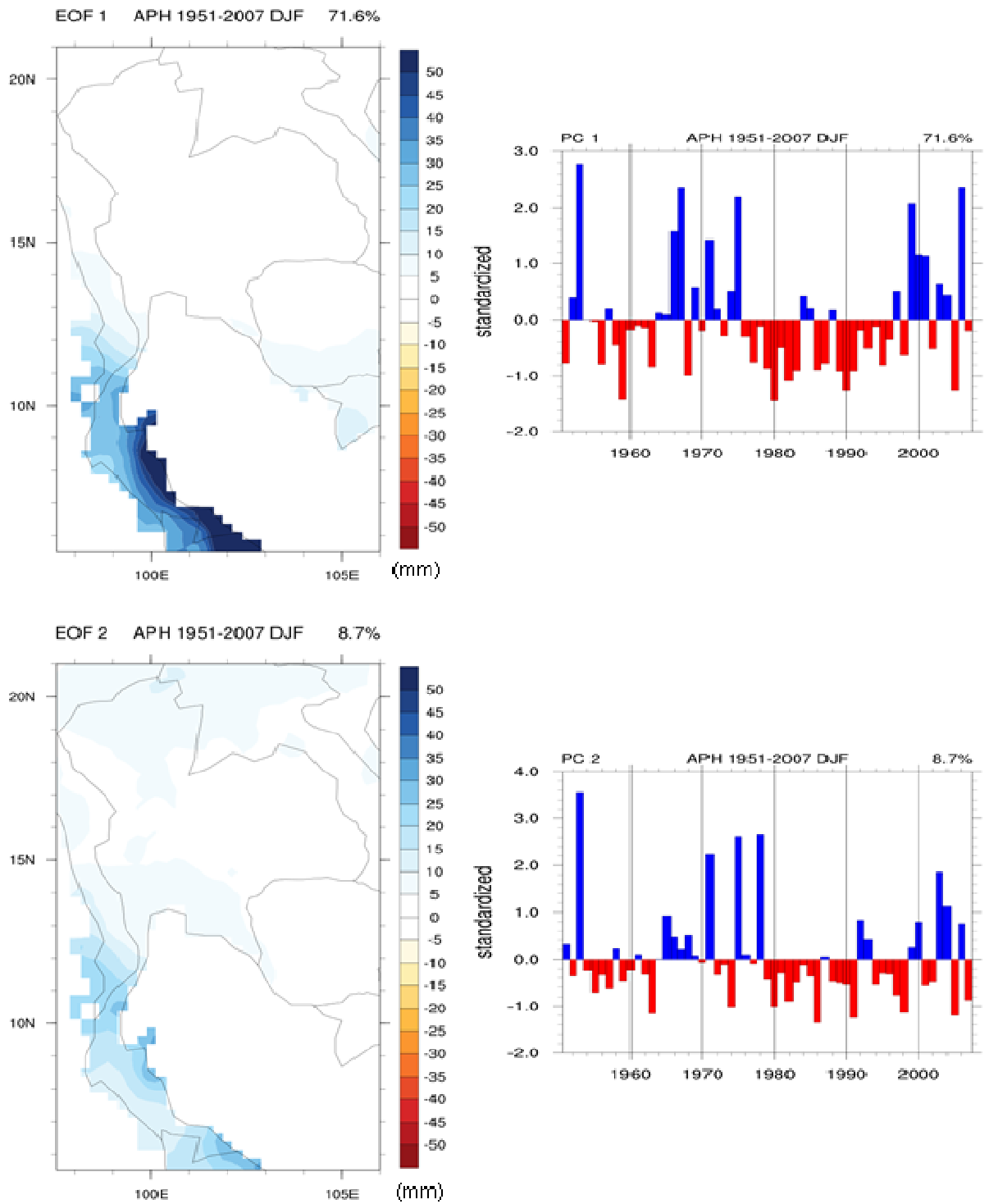
โครงสร้างเชิงพื้นที่ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในรูปที่ 5.1 ถึง 5.8 แสดงในรูปของ regression coefficient ซึ่งคำนวณจากการนำ standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 มาทำการ regress ลงบนเมตริกซ์ของค่าผิดพลาดจากปกติของปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้ regression coefficient ดังกล่าวซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร แสดงถึง magnitude ที่ EOF โหมดที่ 1 และ 2 อธิบายและแสดงความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละกริด ผลการศึกษา พบว่า โครงสร้างเชิงพื้นที่ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (รูปที่ 5.1 และ 5.5) แสดงจำเพาะถึงความแปรปรวนที่สูงผิดปกติในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ส่วนโครงสร้างเชิงพื้นที่ของ EOF โหมดที่ 2 ของปริมาณฝนในฤดูนี้ ยังแสดง magnitude ของความแปรปรวนส่วนที่เหลือในพื้นที่ใกล้เคียงกับโหมดที่ 1 ซึ่งมีสัดส่วนที่น้อยกว่า 10% ของความแปรปรวนทั้งหมด สำหรับในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) regression coefficient ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือน (รูปที่ 5.2 และ 5.6) มีค่าเป็นบวกเกือบทุกกริดในคาบสมุทรอินโดจีน โดยมีค่าสูงมากในพื้นที่บริเวณพรมแดนระหว่างประเทศไทยและพม่าฝั่งตะวันตก และเขตแดนทางฝั่งตะวันออกระหว่างประเทศไทยและกัมพูชา และพรมแดนระหว่างประเทศไทยและลาว ส่วน regression coefficient ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 2 ของปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูนี้ แสดงรูปแบบความแปรปรวนของฝนที่มีลักษณะตรงข้ามในเชิงพื้นที่ โดยมีค่าเป็นบวกในพื้นที่ภาคตะวันตกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ขณะที่ มีค่าเป็นลบในพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ สำหรับในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) (รูปที่ 5.3 และ 5.7) ลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของ EOF โหมด 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล แสดงถึง magnitude เชิงบวกที่สูงมากในพื้นที่บริเวณพรมแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศลาวฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ และอีกพื้นที่หนึ่งบริเวณพรมแดนระหว่างประเทศไทยและพม่าฝั่งตรงข้ามด้านทิศตะวันตก ในขณะที่ regression coefficient ที่มีค่าลบปรากฏในบริเวณภาคกลางและภาคใต้ ส่วน EOF โหมดที่ 2 แสดงถึง magnitude เชิงบวกบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทยและชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย สำหรับโครงสร้างเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (รูปที่ 5.4 และ 5.8) ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 มีลักษณะบวกเป็น

พื้นที่กว้าง แต่โครงสร้างเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนเฉลี่ยในฤดูนี้ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 2 แสดงความแปรปรวนที่ตรงกันข้ามระหว่างพื้นที่ส่วนบนและส่วนล่าง

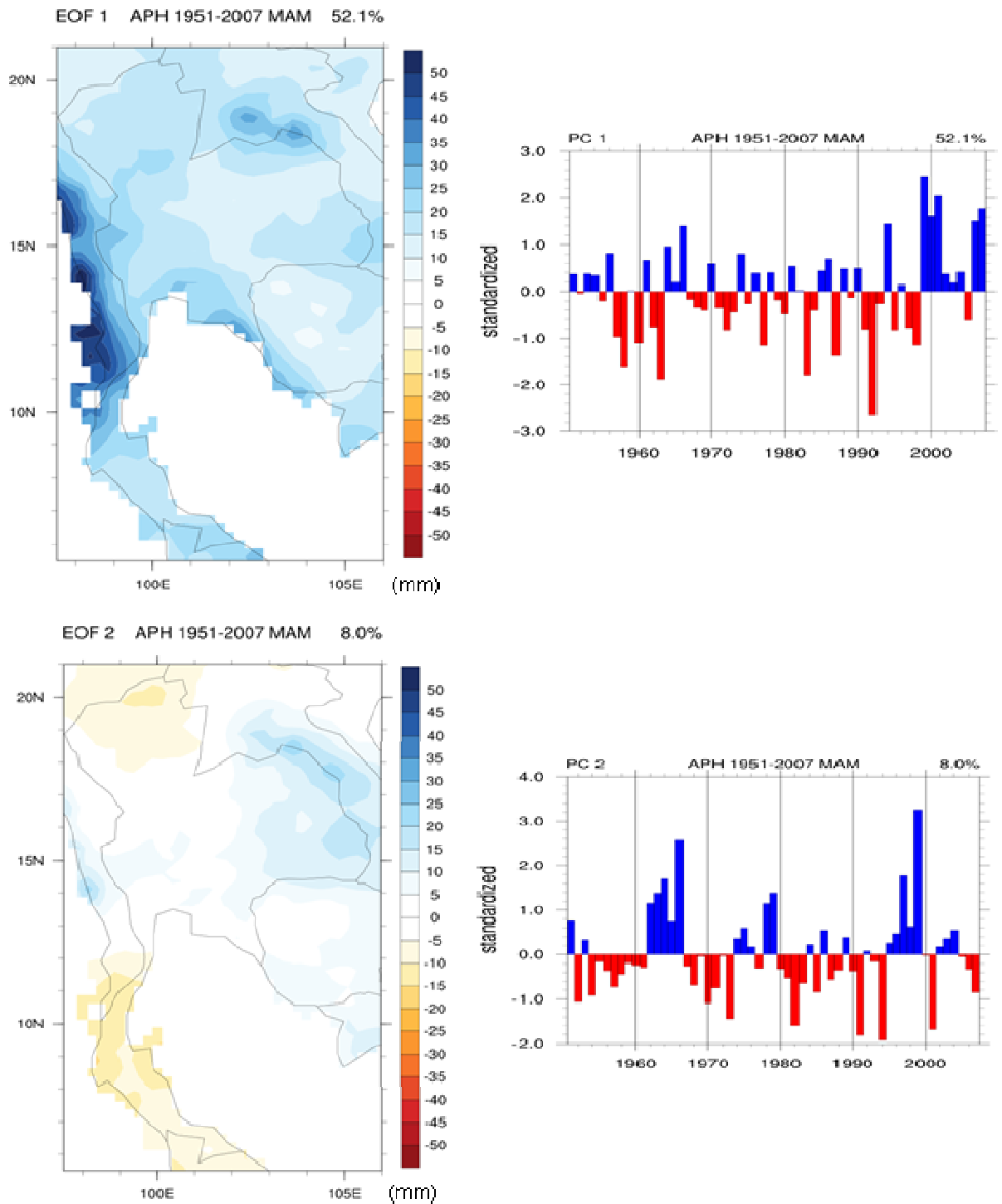
อนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ที่วิเคราะห์จากฐานข้อมูล APHRODITE และ GPCC ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.1 ถึง 5.8 ชี้ให้เห็นว่าความแปรปรวนระหว่างปีเป็นคาบเวลาที่โดดเด่นของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในบริเวณคาบสมุทรอินโดจีน โดยในระหว่างปี ค.ศ. 1999 -2001 ปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วง เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (รูปที่ 5.1 และ 5.5) และเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (รูปที่ 5.2 และ 5.6) มีค่าบวกมาก ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวตรงกับปรากฏการณ์ลานีญา (ตารางที่ 4.2) และมีค่าลบมาก ในปี ค.ศ.1983 ค.ศ. 1987 ค.ศ. 1992 ค.ศ. 1998 ค.ศ. 2003 และ ค.ศ. 2010 ซึ่งเป็นปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ สำหรับปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) (รูปที่ 5.3 และ 5.7) มีค่าบวกมากในปี ค.ศ. 1994 ซึ่งเป็นปีปกติ และปี ค.ศ. 1997 ซึ่งเป็นช่วงที่เอลนีโญเริ่มพัฒนา และมีค่าลบมากในปี ค.ศ. 1998 ซึ่งเป็นปีที่ลานีญาเริ่มพัฒนา และปี ค.ศ. 2003 ซึ่งเป็นปีปกติ สำหรับปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) (รูปที่ 5.4 และ 5.8) มีค่าบวกมากในปี ค.ศ. 1996 ซึ่งเป็นปีปกติ จะเห็นได้ว่าความเชื่อมโยงระหว่างปรากฏการณ์เอนโซและรูปแบบความแปรปรวนฝนเฉลี่ยรายสามเดือนในประเทศไทยจะชัดเจนในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) และเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ขณะที่ในช่วงฤดูฝน ได้แก่ ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ค่อยชัดเจน นอกจากนี้ความแปรปรวนระหว่างทศวรรษ ยังปรากฏเป็นองค์ประกอบหนึ่งของอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง EOF โหมดที่ 1 และ 2 ของปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (รูปที่ 5.1 และ 5.5) ซึ่งแสดงค่าเป็นลบในระหว่างปี ค.ศ. 1975-1998 และค่าเป็นบวกหลังจากปี ค.ศ.1999 เป็นต้นมา อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์จากฐานข้อมูล APHRODITE และ GPCC ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในบริเวณคาบสมุทรอินโดจีน

ตารางที่ 5.1 สัดส่วนความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลที่สามารถอธิบายได้ด้วย EOF โหมดที่ 1 และ 2

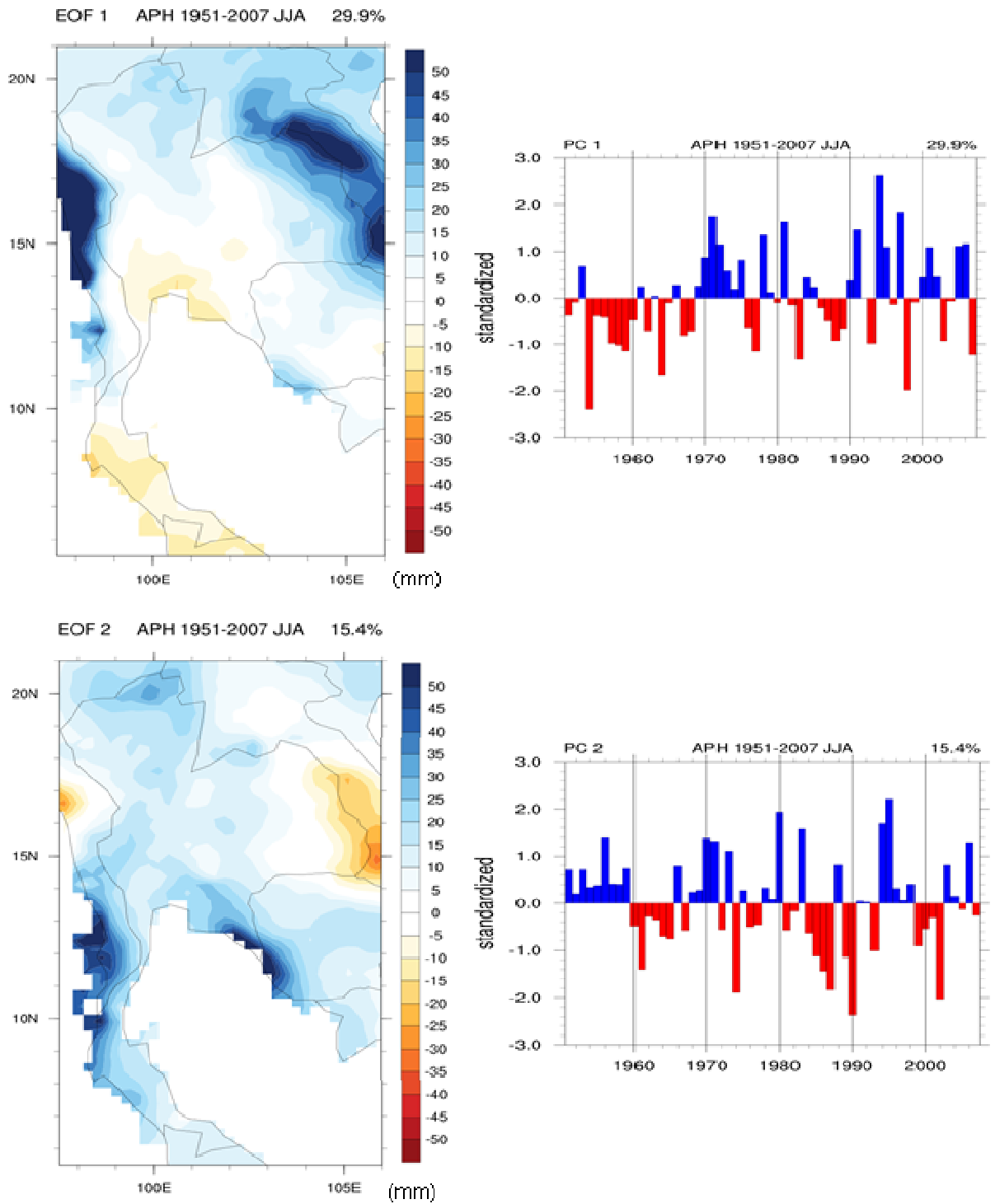
ฤดูกาล	APHRODITE (%)			GPCC (%)		
	โหมดที่ 1	โหมดที่ 2	รวมโหมดที่ 1 และ 2	โหมดที่ 1	โหมดที่ 2	รวมโหมดที่ 1 และ 2
เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป (DJF)	71.6	8.7	80.3	52.7	9.8	62.5
เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM)	52.1	8.0	60.1	40.4	7.6	48.0
เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA)	29.9	15.4	45.3	26.8	10.5	37.3
เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)	23.9	18.5	42.4	18.6	10.9	29.5



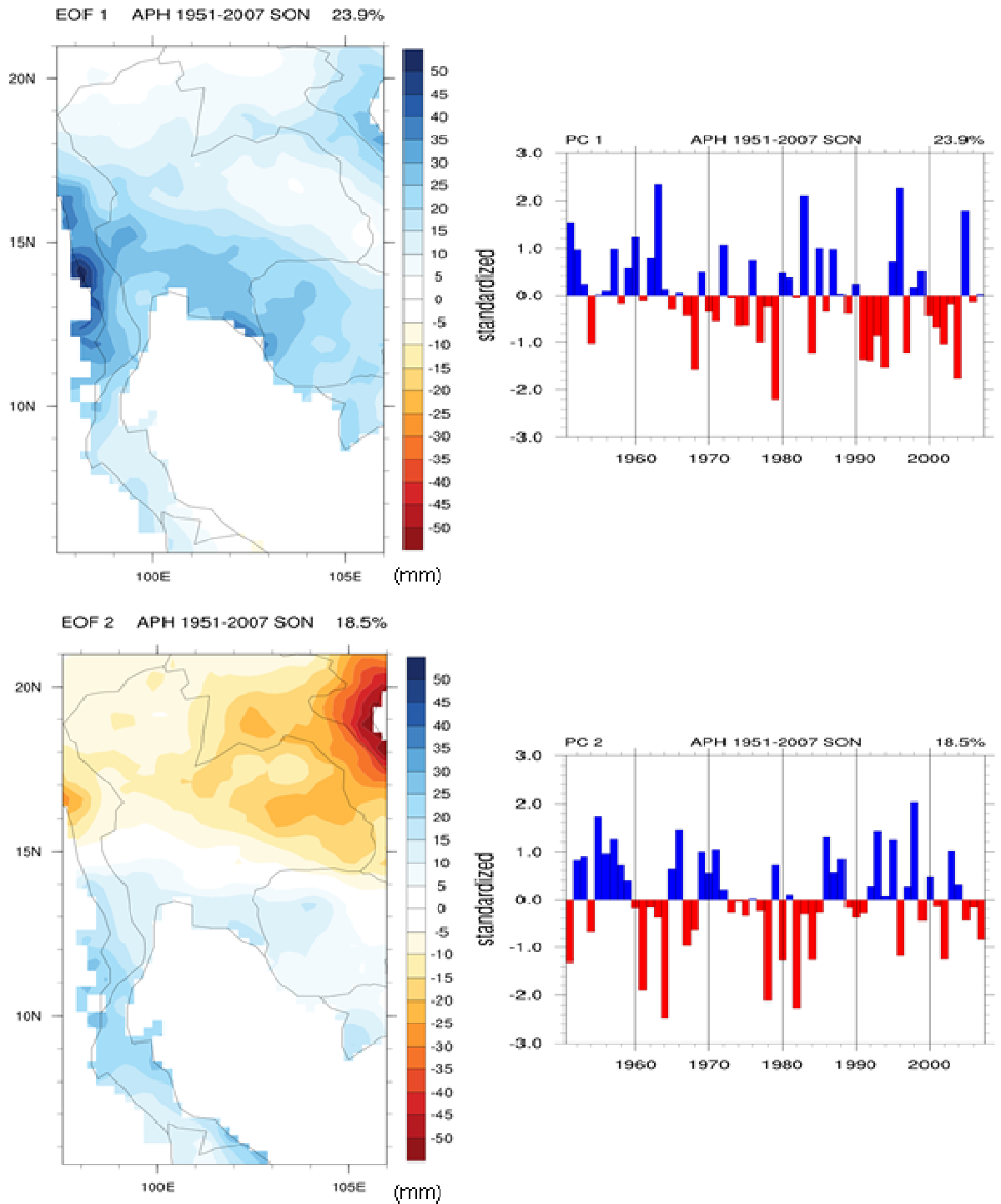
รูปที่ 5.1 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูปแบบ regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล APHRODITE ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ถัดไป (DJF)



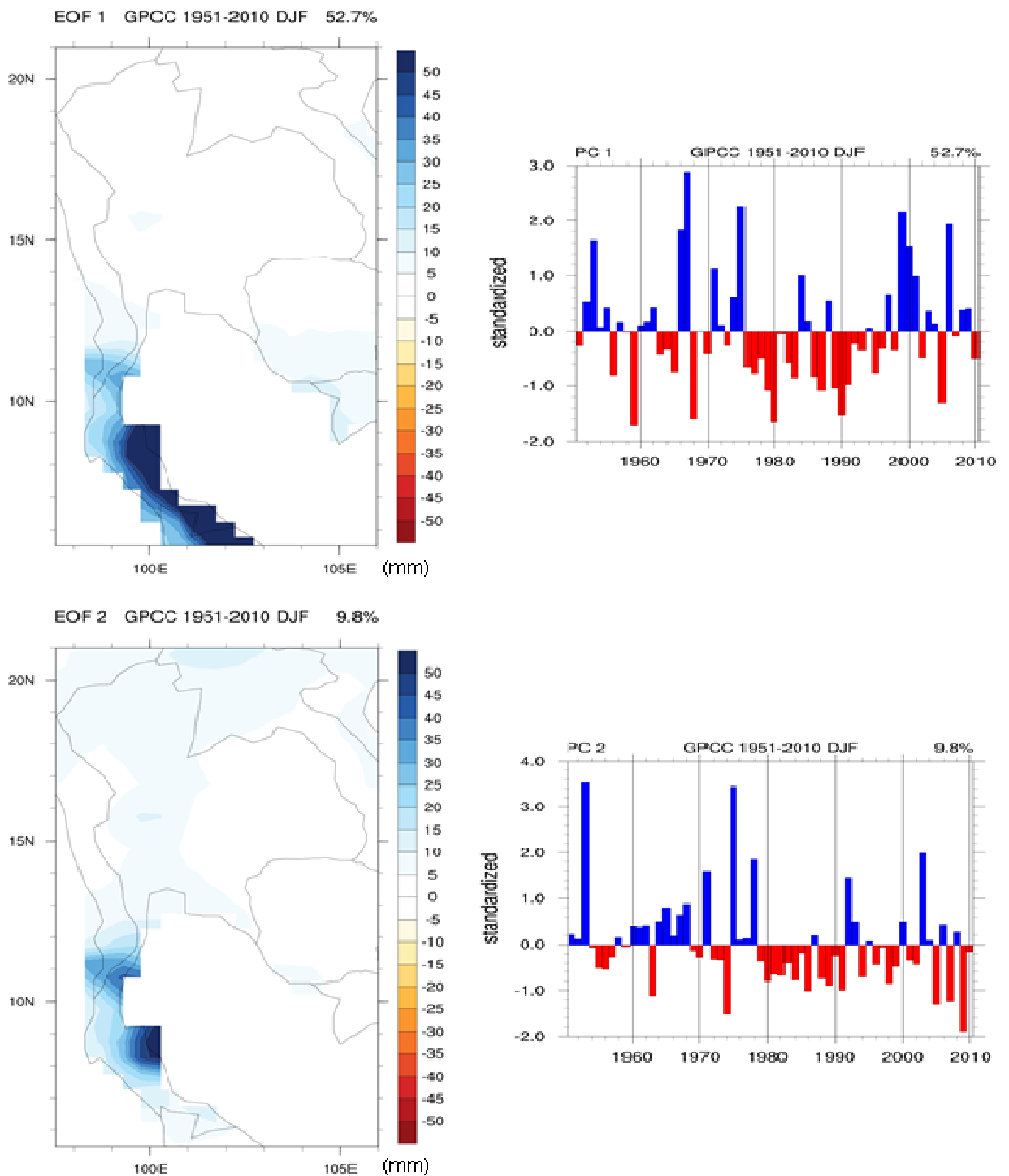
รูปที่ 5.2 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูปแบบ regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล APHRODITE ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM)



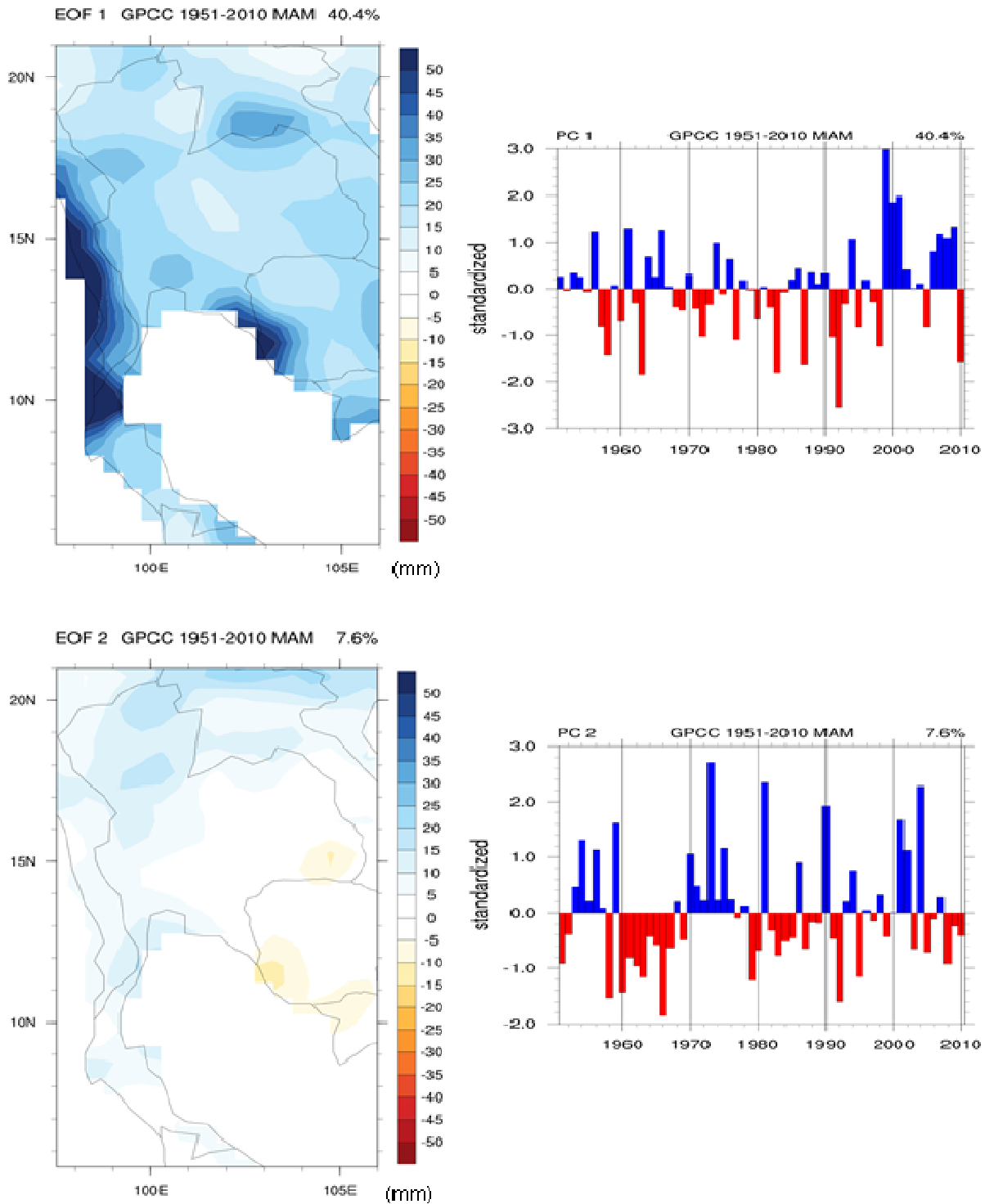
รูปที่ 5.3 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูปแบบ regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล APHRODITE ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA)



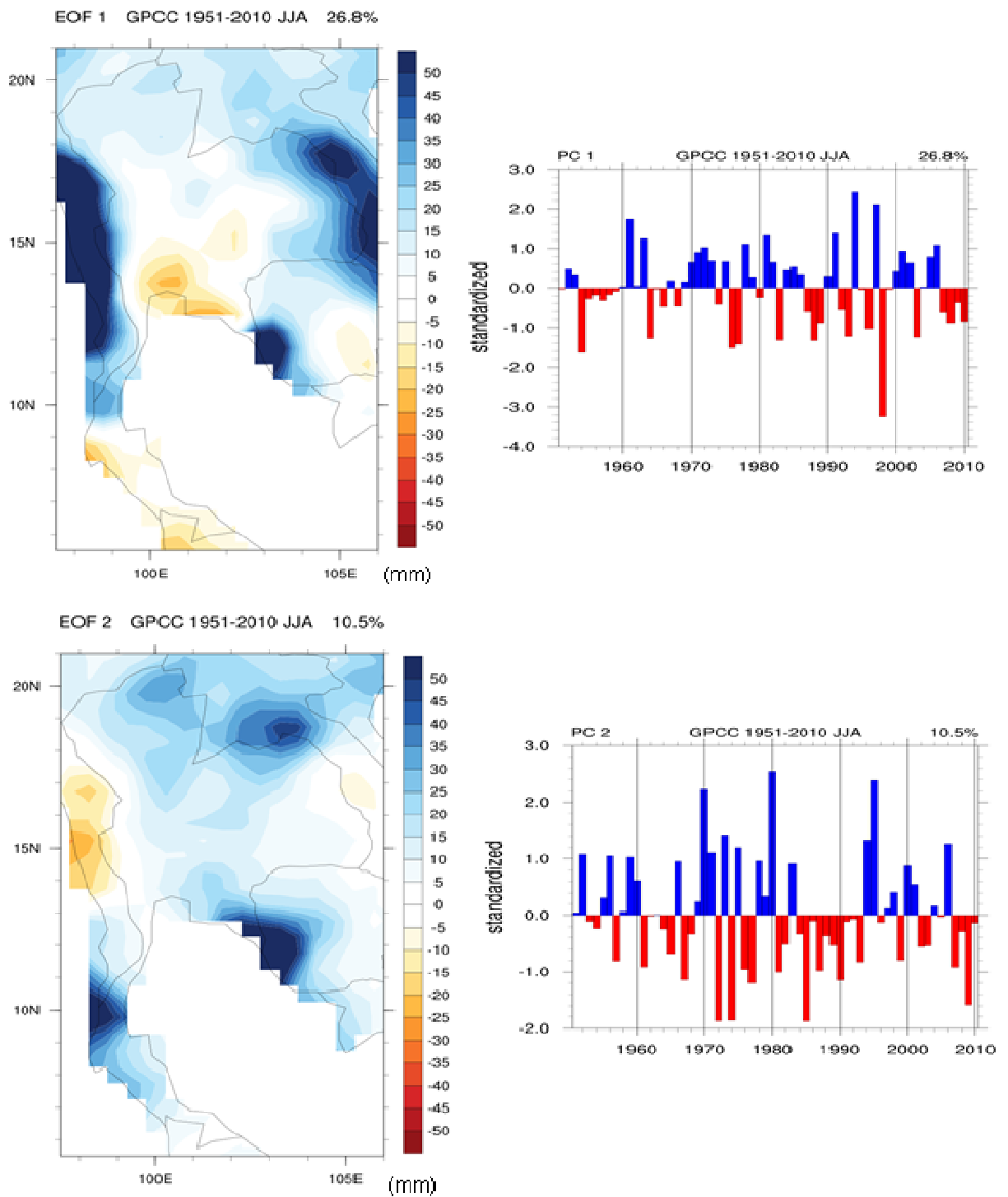
รูปที่ 5.4 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล APHRODITE ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2007 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



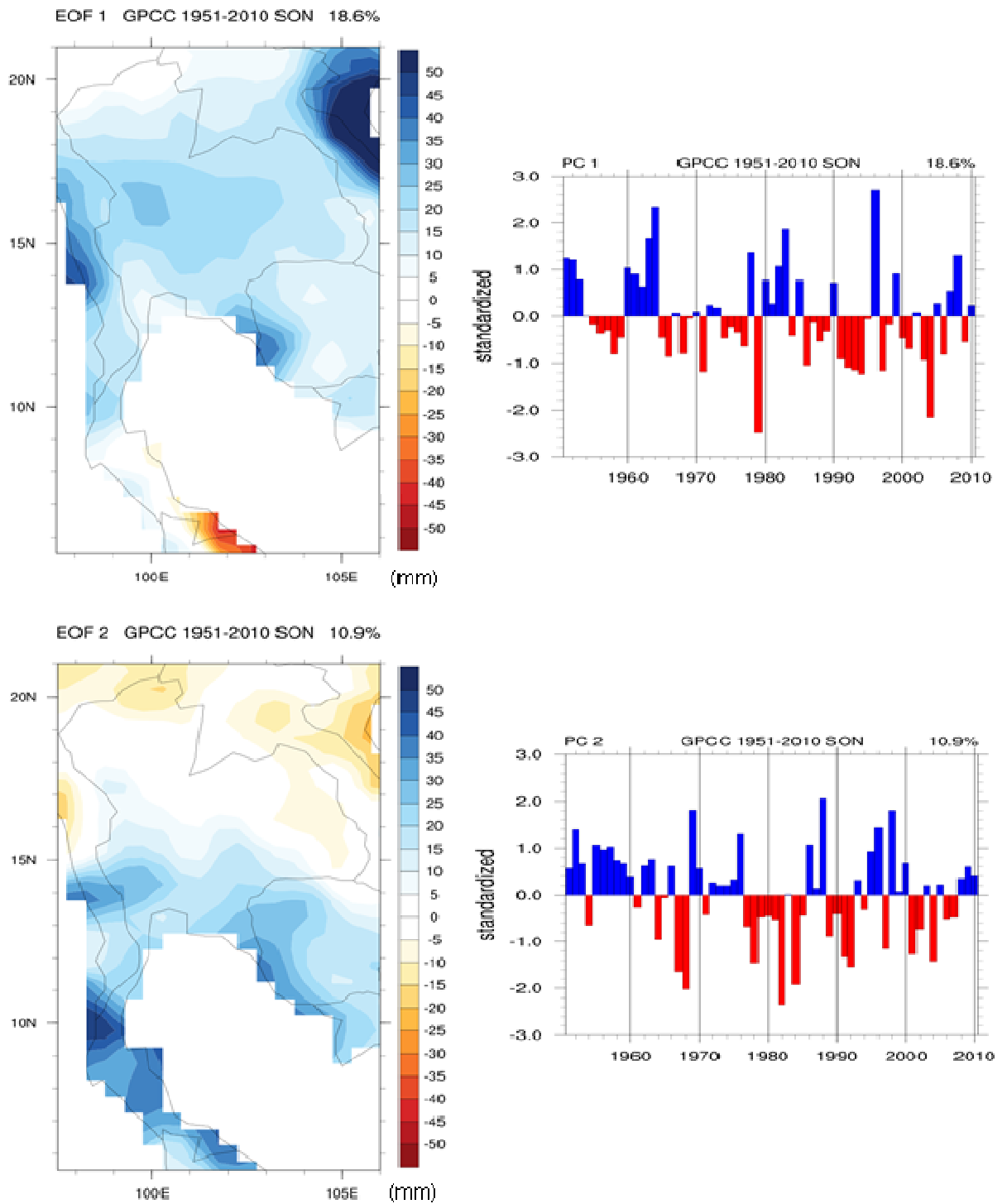
รูปที่ 5.5 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล GPCC ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ปีถัดไป (DJF)



รูปที่ 5.6 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูปแบบ regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล GPCC ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM)



รูปที่ 5.7 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล GPCC ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA)



รูปที่ 5.8 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูปแบบ regression coefficient และอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน จากฐานข้อมูล GPCP ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)

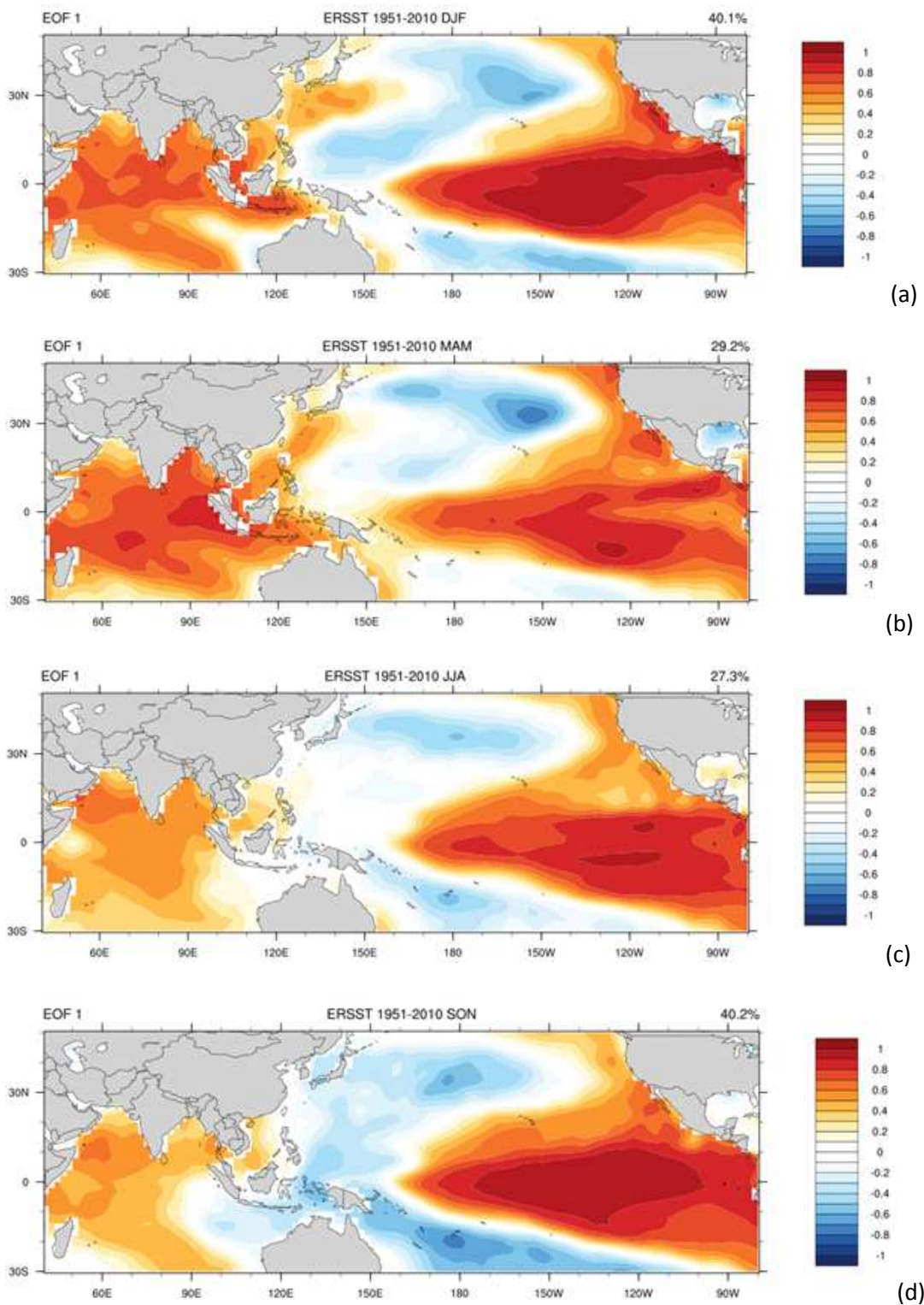
5.2 ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาลในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย

ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาลในขอบเขตที่ครอบคลุมพื้นที่เขตร้อนและเขตอบอุ่นในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย (ละติจูด 40° N – 30° S ลองจิจูด 40° E – 80° W) ถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาด้วยเทคนิค EOF เช่นกันกับหัวข้อ 5.1 ผลการวิเคราะห์พบว่า EOF โหมดที่ 1 และ 2 ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยในเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ปีถัดไป (DJF) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 51.6%, 44.0%, 41.1% และ 53.8% ของความแปรปรวนทั้งหมดตามลำดับ (ตารางที่ 5.2) โครงสร้างเชิงพื้นที่ของ EOF โหมดที่ 1 ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยในทุกฤดูกาล (รูปที่ 5.9 และ 5.10) แสดงความแปรปรวนที่โดดเด่นเชิงบวกในพื้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรฝั่งตะวันออกในมหาสมุทรแปซิฟิกและพื้นที่ส่วนใหญ่ของมหาสมุทรอินเดีย และความแปรปรวนเชิงลบในบริเวณใจกลางมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ โดยความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในพื้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรฝั่งตะวันออกในมหาสมุทรแปซิฟิก มีค่าสูงสุดในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) และเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ปีถัดไป (DJF) ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นความแปรปรวนที่เชื่อมโยงกับปรากฏการณ์เอลนีโญ (ENSO) สำหรับในมหาสมุทรอินเดีย มีรูปแบบความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในลักษณะเหมือนกันทั้งพื้นที่ โดยมีความรุนแรงสูงสุดในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ปีถัดไป (DJF) และช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ส่วนในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) อุณหภูมิผิวน้ำทะเลแสดงลักษณะของความแปรปรวนที่มีขั้วตรงข้ามกัน โดยมหาสมุทรอินเดียฝั่งตะวันตกทางด้านใต้ของเส้นศูนย์สูตรมีค่าลบ ขณะที่บริเวณอื่นมีค่าบวก ลักษณะเช่นนี้แสดงความเชื่อมโยงกับปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole ซึ่งมักพัฒนาเต็มที่ในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) สำหรับความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเชิงลบในบริเวณใจกลางมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือมีสัญญาณที่ชัดเจนมากที่สุดในทุกฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิ ทั้งนี้ รูปแบบความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลดังกล่าวแสดงถึงสัญญาณของปรากฏการณ์ Pacific Decadal Oscillation โครงสร้างเชิงพื้นที่ของ EOF โหมดที่ 2 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นบริเวณกว้างในพื้นที่ฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือและมหาสมุทรอินเดียในทุกฤดูกาล รูปที่ 5.11 แสดงอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ปีถัดไป (DJF) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ระหว่างปี ค.ศ.

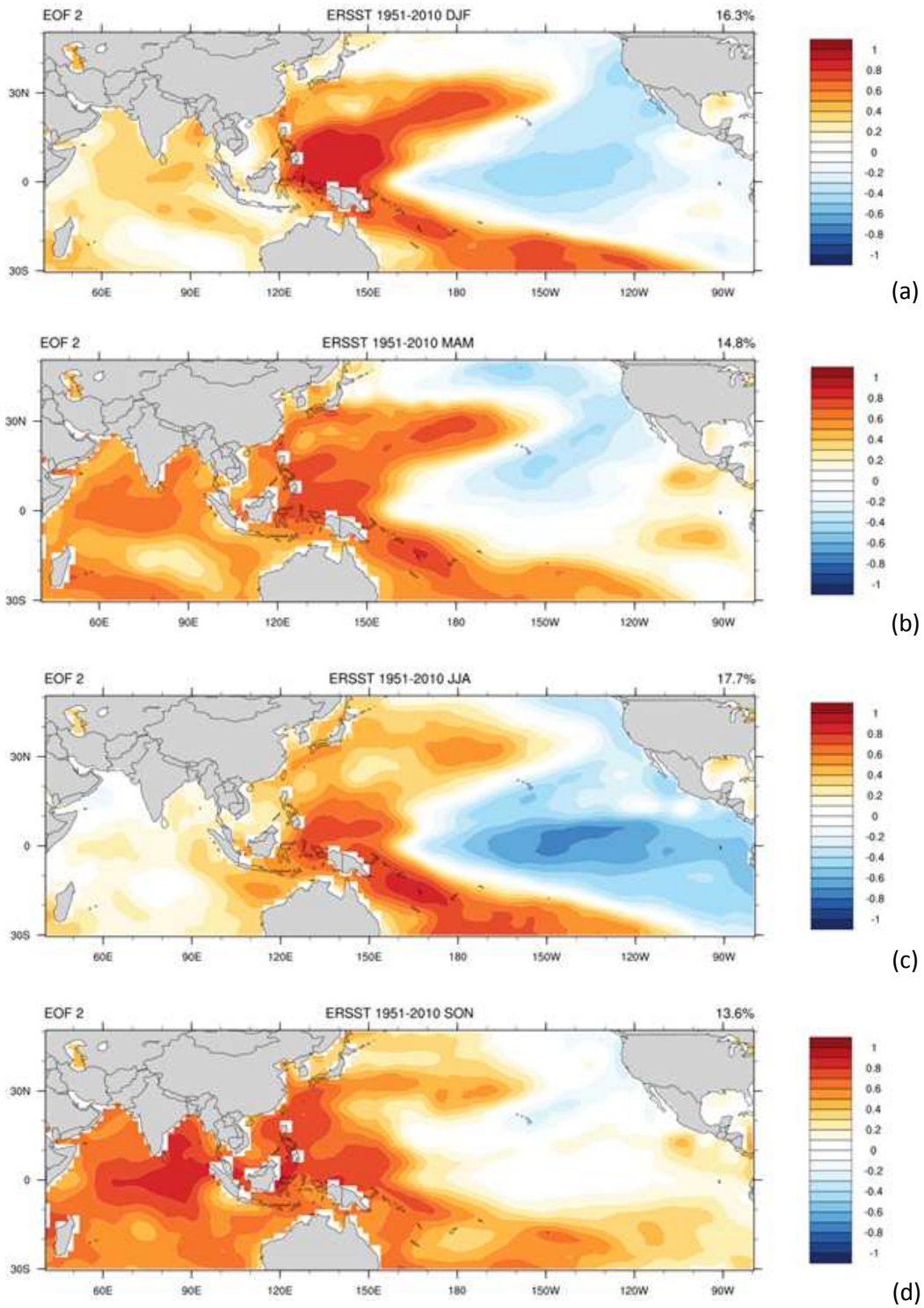
1951-2010 ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 และ 2 โดยความแปรปรวนระหว่างปีซึ่งเชื่อมโยงกับปรากฏการณ์เอนโซปรากฏอย่างชัดเจนในโหมดที่ 1 โดยค่าบวก ในปี ค.ศ. 1983 ค.ศ. 1987-1988 ค.ศ. 1998 ค.ศ. 2003 ค.ศ. 2007 และปี ค.ศ. 2010 ตรงกับปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ (ตารางที่ 4.2) และค่าลบในปี ค.ศ. 1955-1957 ค.ศ. 1971-1972 ค.ศ. 1974 -1976 ค.ศ. 1989 ค.ศ. 1999-2001 ตรงกับปีที่เกิดปรากฏการณ์ลานีญา นอกจากนี้ยังแสดงความแปรปรวนระหว่างทศวรรษของอุณหภูมิน้ำทะเลอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ปีถัดไป (DJF) และช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) โดยก่อนปี ค.ศ. 1980 เกิดปรากฏการณ์ลานีญาบ่อยครั้ง ขณะที่หลังจากปี ค.ศ.1980 เป็นต้นมาเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญบ่อยครั้งกว่า หรือเรียกการเปลี่ยนแปลงสภาวะดังกล่าวว่า climatic regime shift จาก cooling phase ไปเป็น warming phase สำหรับอนุกรมเวลา PC ในโหมดที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาวะ regime shift ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในพื้นที่มหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตกบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร โดยมีแนวโน้มของอุณหภูมิสูงขึ้นนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 เป็นต้นมา

ตารางที่ 5.2 สัดส่วนความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล จากชุดข้อมูล ERSST ที่สามารถอธิบายได้ด้วย EOF โหมดที่ 1 และ 2

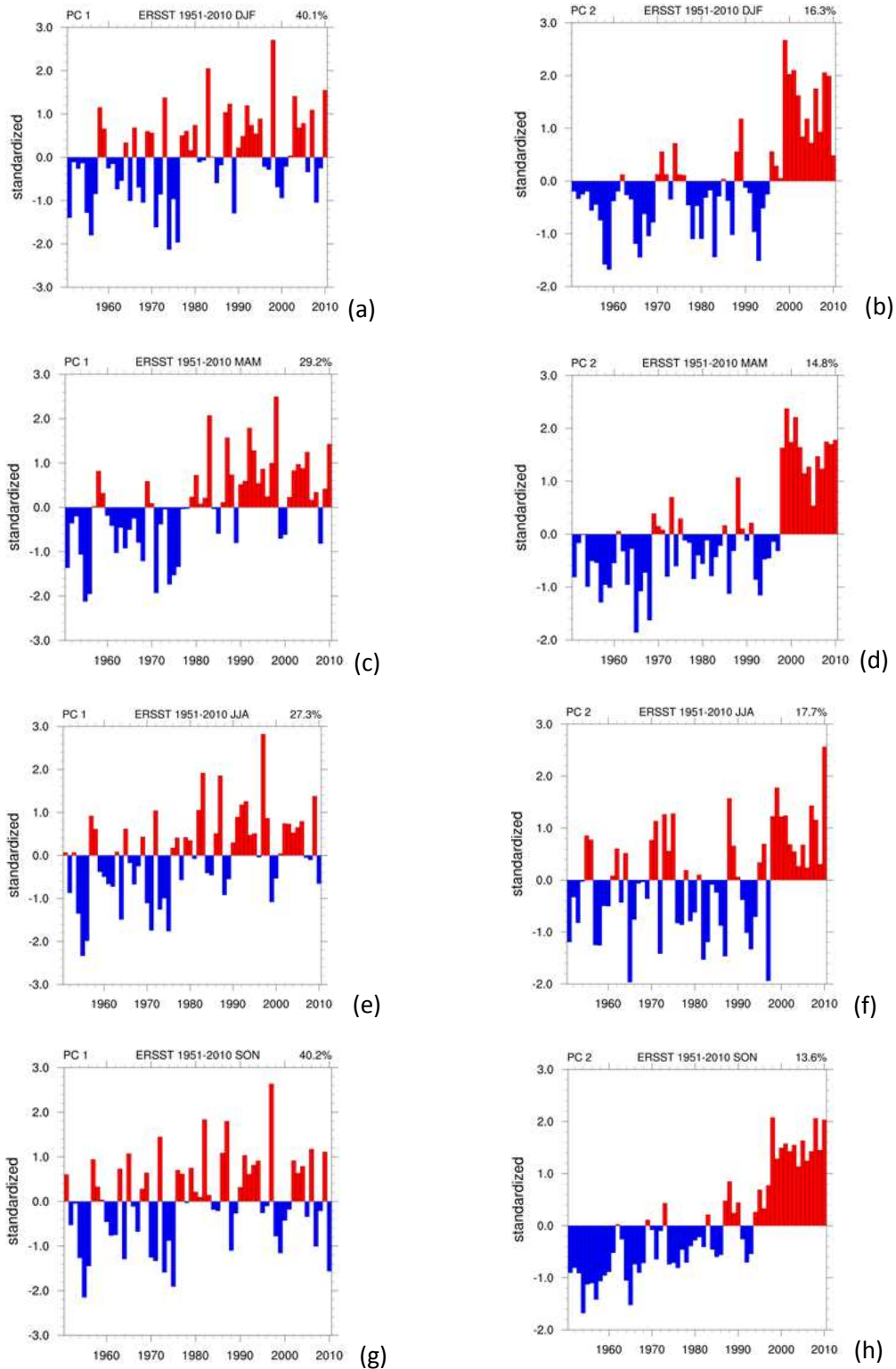
ฤดูกาล	ERSST (%)		
	โหมดที่ 1	โหมดที่ 2	รวมโหมดที่ 1 และ 2
เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF)	40.1	11.5	51.6
เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM)	29.2	14.8	44.0
เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA)	27.3	13.8	41.1
เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)	40.2	13.6	53.8



รูปที่ 5.9 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป correlation coefficient ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 ของ (a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ (d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



รูปที่ 5.10 โครงสร้างเชิงพื้นที่ในรูป correlation coefficient ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 2 ของ (a) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (b) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (c) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และ (d) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)



รูปที่ 5.11 อนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายฤดูกาล ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 และ 2 ของ (a) และ (b) เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) (c) และ (d) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (e) และ (f) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) (g) และ (h) เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายเดือน

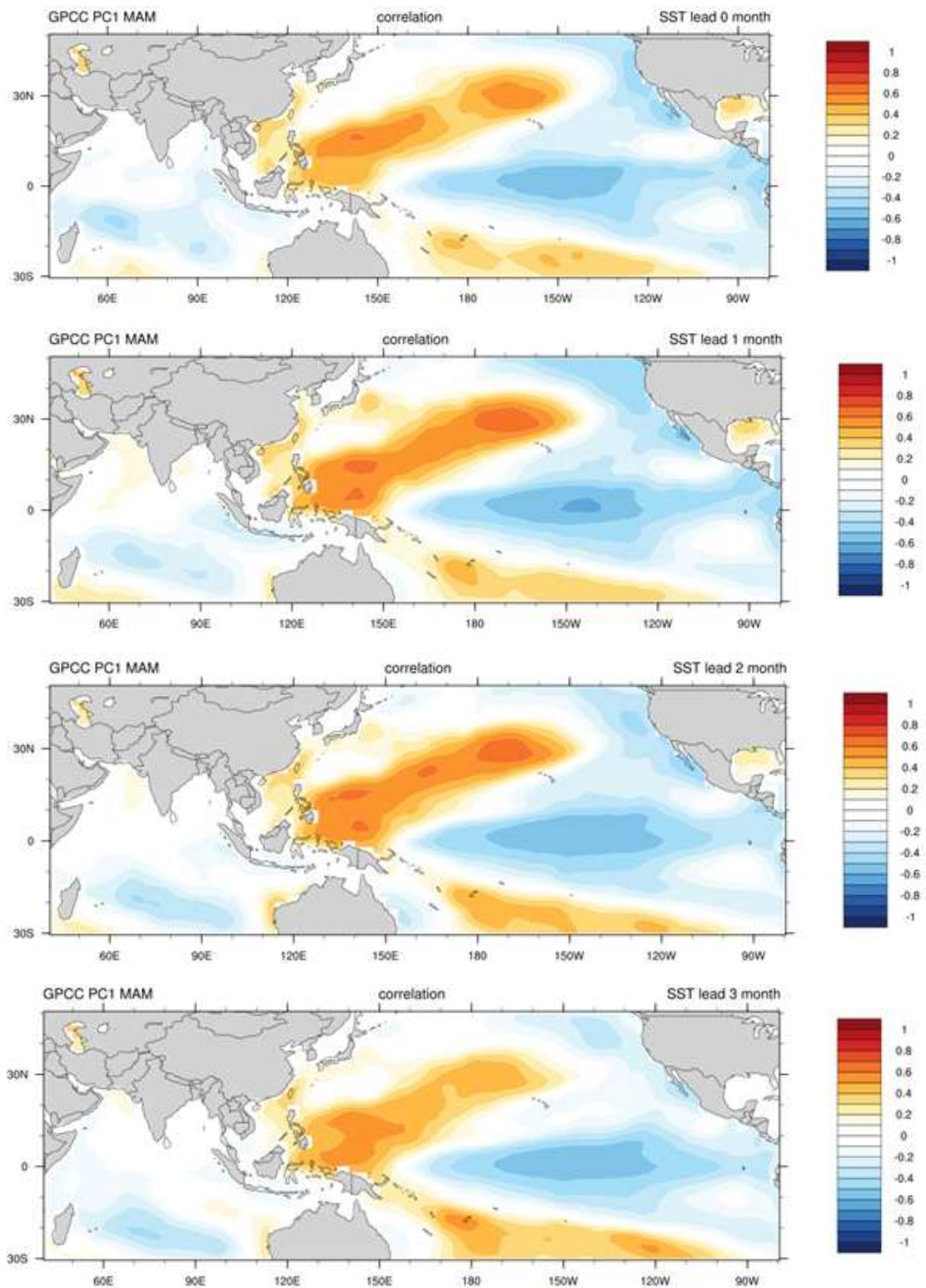
เมื่อได้รูปแบบหลักของความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทยจากการวิเคราะห์ EOF (หัวข้อ 5.1) และรูปแบบหลักของความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย (หัวข้อ 5.2) ในขั้นตอนต่อไปเป็นการประเมินศักยภาพการใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียเฉลี่ยรายเดือน เป็นตัวพยากรณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF ในโหมดที่ 1 ของฐานข้อมูลฝน GPCP กับอนุกรมเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลรายเดือนในแต่ละกริด ที่ระยะเวลาต่างๆ เริ่มต้นจากที่เวลาเดียวกัน (SST lead 0 month) ที่ระยะเวลาล่วงหน้า 1 เดือน (SST lead 1 month) ไปจนถึงที่ระยะเวลาล่วงหน้า 4 เดือน (SST lead 4 month) ในแต่ละฤดูกาล (รูปที่ 5.12 ถึงรูปที่ 5.17) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละฤดูกาลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1951-2010 พบว่ารูปแบบหลักของความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนในประเทศไทยในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) (รูปที่ 5.6) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งอยู่ในรูปแบบของปรากฏการณ์เอลนีโญ โดยที่ปริมาณฝนที่สูงกว่าปกติในประเทศไทยในฤดูนี้ จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ต่ำกว่าปกติบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก (รูปที่ 5.12) หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าปริมาณฝนที่สูงกว่าปกติในประเทศไทยในฤดูนี้สัมพันธ์กับปีลานีญา โดยความสัมพันธ์นี้จะเด่นชัดทั้งในช่วงเวลาเดียวกัน ไปจนระยะเวลาล่วงหน้า 3 เดือน (SST lead 3 month) บ่งชี้ว่า สามารถใช้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเป็นตัวคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ในประเทศไทย ล่วงหน้าได้ถึง 3 เดือน (ตั้งแต่เดือนมกราคม)

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบจำนวนและช่วงเวลาของข้อมูลที่น่ามาใช้หาความสัมพันธ์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 ($n=60$) กับที่คำนวณในช่วงระหว่างปี ค.ศ.1981-2010 ($n=30$) มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 5.13) โดยที่ในช่วงปี ค.ศ.1981-2010 ปริมาณฝนในประเทศไทยในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิก สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงปี ค.ศ. 1951-2010 ทั้งนี้อาจเนื่องจากความไม่นิ่ง (non-stationary) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง สอดคล้องกับที่ Singhrattana et al. (2005) ได้รายงานว่าความสัมพันธ์ระหว่างฝนในภาคกลางของประเทศไทยในช่วงปี ค.ศ. 1951-2001 ในฤดูฝน (เดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม) มีความสัมพันธ์ที่ไม่เด่นชัดกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิก ในช่วงก่อนปี ค.ศ. 1980 และกลับมาที่มีความสัมพันธ์อย่างเด่นชัดในช่วงหลังปี ค.ศ. 1980 อย่างไรก็ตามรูปแบบความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ยังมีลักษณะเดียวกันทั้ง

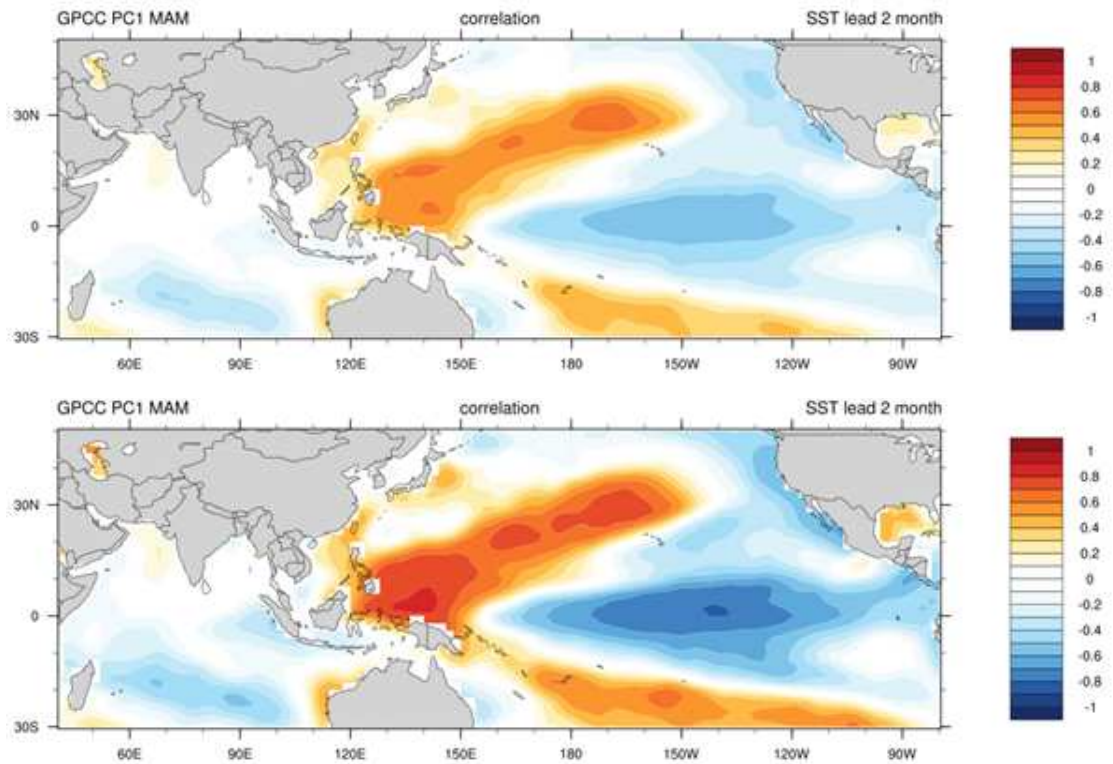
สองช่วงเวลา ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้ข้อมูล 60 ปีในการวิเคราะห์ และได้หาค่าอุณหภูมิน้ำทะเลที่ผิดไปจากค่าเฉลี่ยรายฤดูกาล (SST anomaly) ที่มีความสัมพันธ์กับรูปแบบฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ในประเทศไทย ด้วยการหาสมการถดถอย (regression) พบว่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยในการประมาณค่าปริมาณฝนในประเทศไทยใน EOF โหมดที่ 1 ด้วยค่าอุณหภูมิน้ำทะเล มีรูปแบบของปรากฏการณ์เอนโซที่ชัดเจน และอุณหภูมิที่ผิดปกติอยู่ในช่วง ± 1 องศาเซลเซียส (รูปที่ 5.14)

สำหรับในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบหลักของความแปรปรวนของปริมาณฝนในประเทศไทย (รูปที่ 5.7) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอุณหภูมิน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกในเดือนมีนาคม (SST lead 4 months) ที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์เอนโซ (รูปที่ 5.15) แต่ความสัมพันธ์ไม่เด่นชัดเท่ากับในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) และไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำทะเลในช่วงเดือนพฤษภาคมและเดือนมิถุนายน บ่งชี้ได้ว่าศักยภาพการพยากรณ์ฝนล่วงหน้าในฤดูกาลนี้โดยใช้อุณหภูมิน้ำทะเลมีค่อนข้างจำกัด เช่นเดียวกับรูปแบบหลักของความแปรปรวนของปริมาณฝนในประเทศไทยในฤดูฝนเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) (รูปที่ 5.7) ซึ่งมีความสัมพันธ์ไม่เด่นชัดกับอุณหภูมิน้ำทะเล (รูปที่ 5.16) และกลับมามีความสัมพันธ์ที่เด่นชัดอีกครั้งในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมปีถัดไป (NDJ) (รูปที่ 5.17) โดยรูปแบบฝนในช่วงฤดูกาลนี้มีความสัมพันธ์ในทางลบกับอุณหภูมิน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกตั้งแต่เดือนกรกฎาคมและยิ่งชัดเจนขึ้นเป็นลำดับในเดือนต่อมา

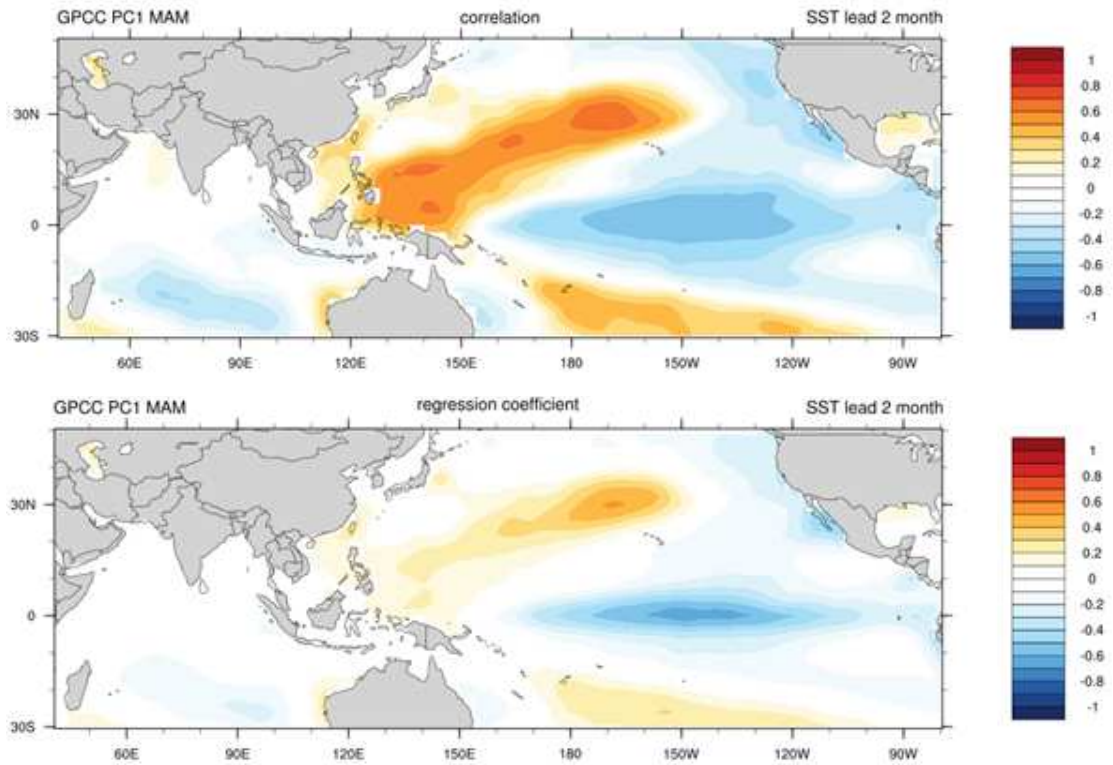
ตารางที่ 5.2 ถึงตารางที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบหลักของความแปรปรวนของปริมาณฝนในประเทศไทย แทนด้วย EOF โหมดที่ 1 กับรูปแบบหลักของอุณหภูมิน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งก็คือปรากฏการณ์ เอนโซ ซึ่งแทนได้ด้วยดัชนีหลายชุด ได้แก่ ดัชนี Nino 3.4 Nino 3 Nino 4 ดัชนี MEI (Multivariate ENSO Index) และดัชนี ONI (Ocean Nino Index) ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม (NDJ) ตามลำดับ บ่งชี้ว่ารูปแบบหลักของความแปรปรวนของปริมาณฝนในประเทศไทยในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับดัชนีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิก ขณะที่ในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม (NDJ) ก็มีความสัมพันธ์ในเชิงลบเช่นกัน แต่มีความสัมพันธ์ที่อ่อนกว่าในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ส่วนในฤดูฝน ได้แก่ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าในเชิงลบลดลงต่ำกว่าในฤดูกาลอื่นๆ นอกจากนี้ปริมาณฝนยังมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีอุณหภูมิน้ำทะเลอย่างชัดเจนในช่วงต้นปี ได้แก่ เดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าปรากฏการณ์ เอนโซมักมีกำลังรุนแรงที่สุดในช่วงดังกล่าว (Rasmusson and Carpenter, 1982)



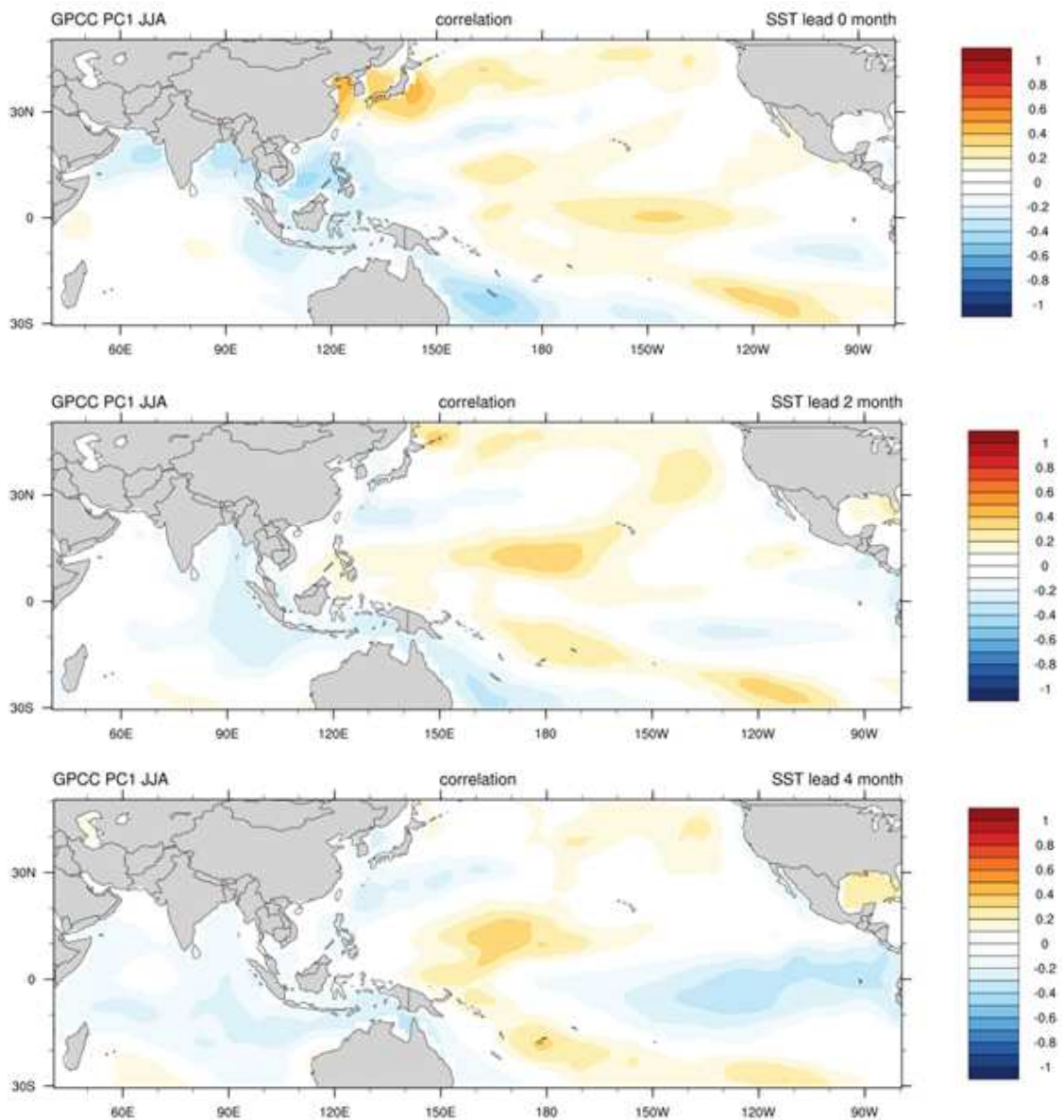
รูปที่ 5.12 แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับอุณหภูมิ น้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 0 เดือน 1 เดือน 2 เดือน และ 3 เดือน ตามลำดับ



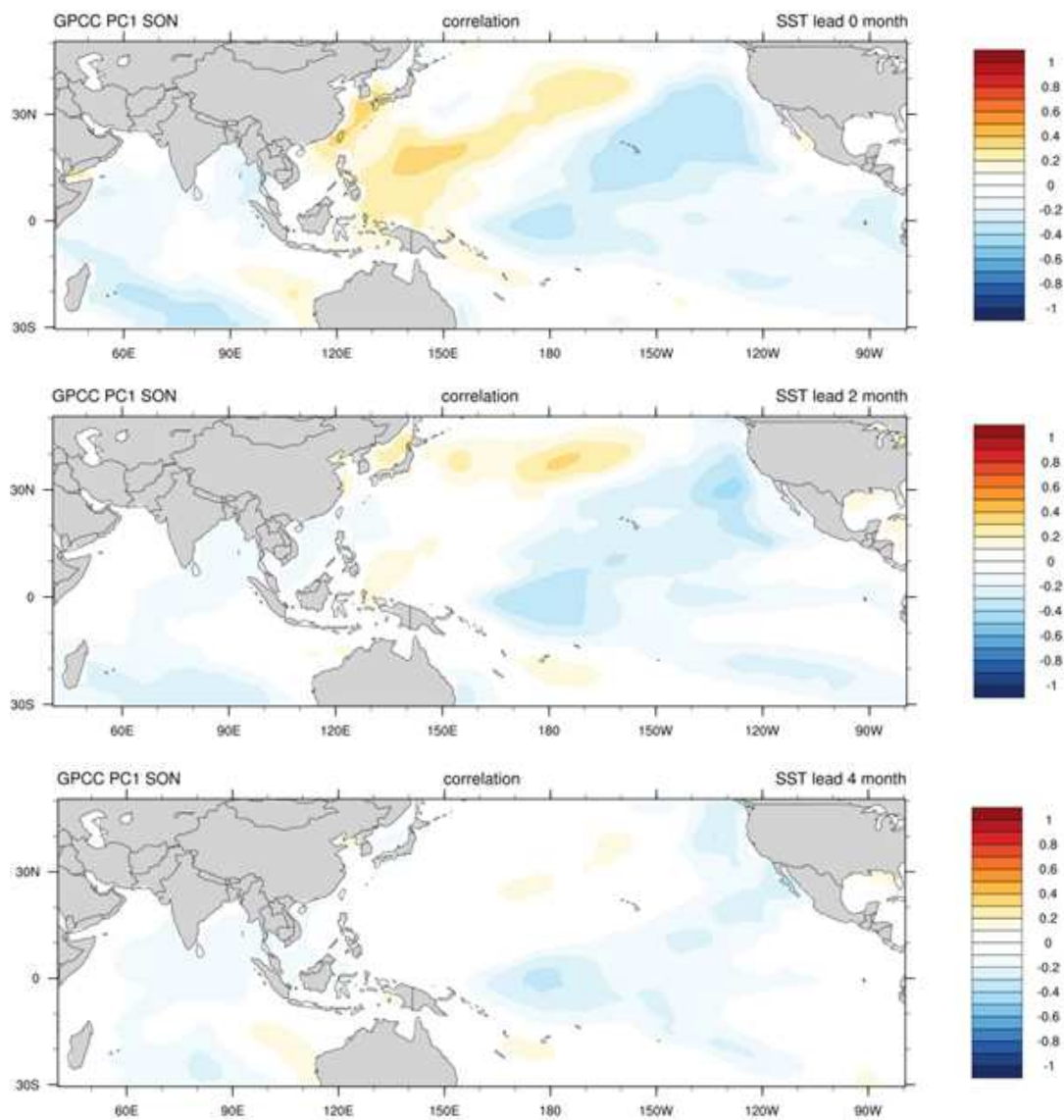
รูปที่ 5.13 แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม (MAM) กับอุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 2 เดือน (บน) ปี ค.ศ. 1951-2010 (ล่าง) ปี ค.ศ. 1981-2010



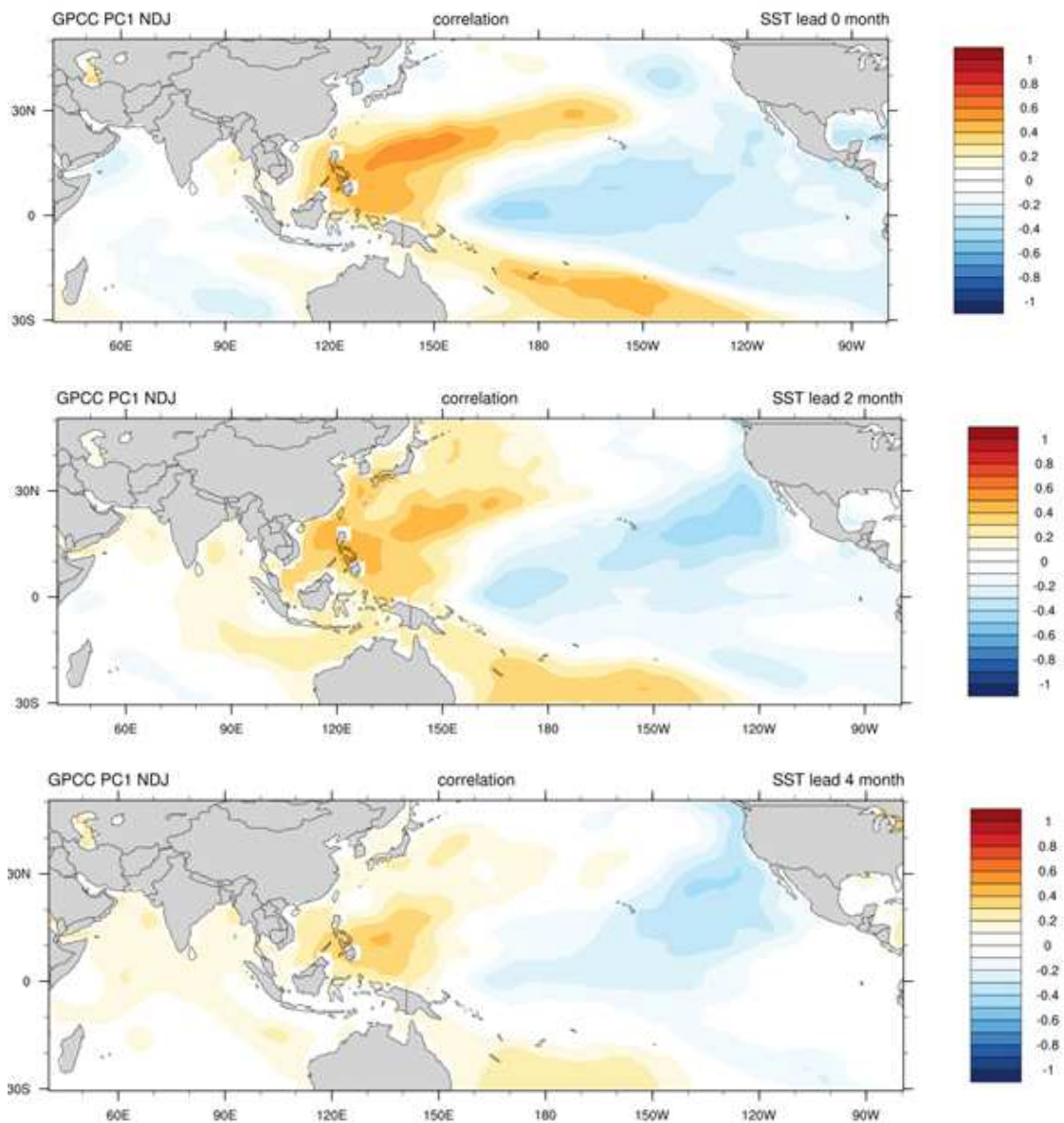
รูปที่ 5.14 (บน) แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized PC coefficient ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 2 เดือน (ล่าง) แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (regression coefficient) ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 2 เดือน ซึ่งเป็น predictor กับอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทยช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ซึ่งเป็น predictand



รูปที่ 5.15 แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับอุณหภูมิ น้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 0 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ



รูปที่ 5.16 แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับ อุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 0 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ



รูปที่ 5.17 แผนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม (NDJ) ระหว่างปี ค.ศ. 1951-2010 กับ อุณหภูมิน้ำทะเลที่ช่วงเวลา lead time 0 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF ในโหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) จากฐานข้อมูลฝน GPCC กับอนุกรมเวลาของดัชนีของปรากฏการณ์เอลนีโญในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ระหว่างปี ค.ศ. 1970-2007 (ตัวหนา แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ $p \text{ value} < 0.05$)

Correlation	Nino 3.4	Nino 3	Nino 4	MEI	ONI
Jan	-0.27	-0.33	-0.11	-0.29	-0.27
Feb	-0.27	-0.35	-0.12	-0.30	-0.26
Mar	-0.25	-0.32	-0.10	-0.26	-0.21
Apr	-0.08	-0.12	0.01	-0.21	-0.08

ตารางที่ 5.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF ในโหมดที่ 1 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) จากฐานข้อมูลฝน GPCC กับอนุกรมเวลาของดัชนีของปรากฏการณ์เอลนีโญในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ระหว่างปี ค.ศ. 1970-2007 (ตัวหนาแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ $p \text{ value} < 0.05$)

Correlation	Nino 3.4	Nino 3	Nino 4	MEI	ONI
Jan	-0.76	-0.70	-0.72	-0.72	-0.75
Feb	-0.80	-0.71	-0.76	-0.76	-0.77
Mar	-0.80	-0.69	-0.73	-0.80	-0.81
Apr	-0.76	-0.67	-0.67	-0.78	-0.81
May	-0.66	-0.59	-0.61	-0.70	-0.69
Jun	-0.42	-0.43	-0.40	-0.56	-0.50

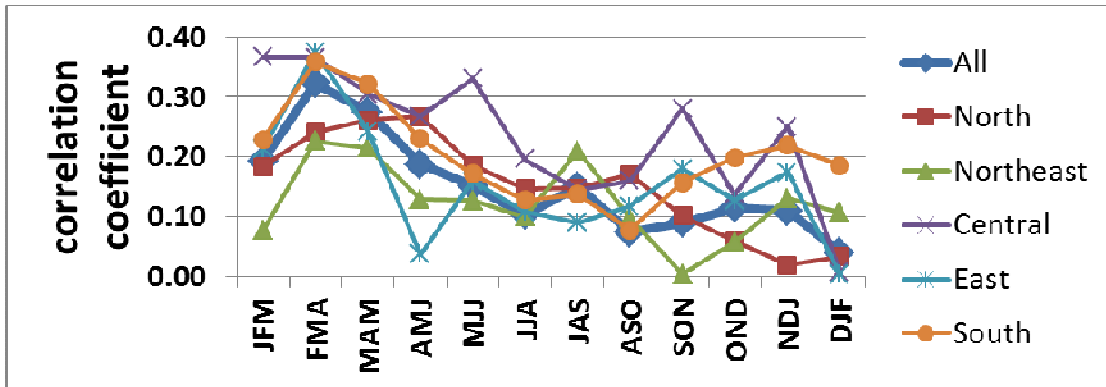
ตารางที่ 5.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างอนุกรมเวลา standardized principal component (PC) ของ EOF ในโหมดที่ 1 ของ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมปีถัดไป (NDJ) จากฐานข้อมูลฝน GPCC กับอนุกรมเวลาของดัชนีของปรากฏการณ์เอนโซในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ระหว่างปี ค.ศ. 1970-2007 (ตัวหนาแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ p value < 0.05)

Correlation	Nino 3.4	Nino 3	Nino 4	MEI	ONI
Jan	-0.49	-0.41	-0.53	-0.43	-0.47
Feb	-0.49	-0.40	-0.60	-0.48	-0.48
Mar	-0.46	-0.30	-0.57	-0.52	-0.51
Apr	-0.47	-0.33	-0.53	-0.44	-0.55
May	-0.44	-0.33	-0.52	-0.43	-0.52
Jun	-0.42	-0.37	-0.42	-0.32	-0.45

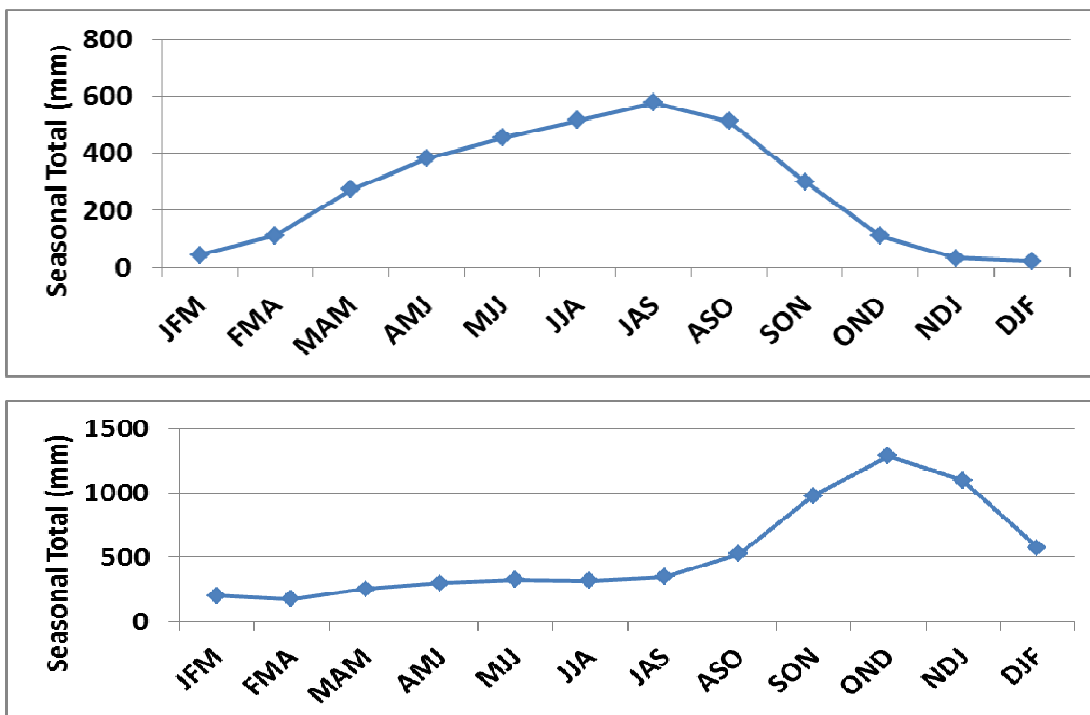
5.4 ผลของโมเดลสำหรับคาดการณ์ฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลด้วยเทคนิค canonical correlation analysis (CCA)

เมื่อได้รูปแบบหลักของความแปรปรวนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในประเทศไทยจากการวิเคราะห์ EOF (หัวข้อ 5.1) และรูปแบบหลักของความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย (หัวข้อ 5.2) และการประเมินศักยภาพการใช้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียเป็นตัวพยากรณ์ปริมาณฝนในประเทศไทย (หัวข้อ 5.3) แล้ว ขั้นตอนต่อไปได้ทำการสร้างโมเดลสำหรับคาดการณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาล โดยใช้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิกเขตร้อนเป็นตัวพยากรณ์ (predictors) ด้วยเทคนิค canonical correlation analysis (CCA) โดยใช้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาล เช่น ใช้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม (OND) ในการพยากรณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม (JFM) เป็นต้น และทำการทดสอบทักษะการพยากรณ์ของโมเดลที่ได้ด้วยวิธี cross-validation รูปที่ 5.18 แสดงทักษะของโมเดล ซึ่งวัดด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's correlation coefficient) ระหว่างปริมาณฝนจากโมเดลสถิติเทียบกับปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า ทักษะการพยากรณ์ของโมเดลที่ได้ ไม่คงที่ในแต่ละช่วงของปี ในภาพรวมทั้งประเทศ โมเดลสถิติสามารถพยากรณ์ฝนได้ดีในช่วงต้นปี ซึ่งเป็นช่วงก่อนเข้าสู่ฤดูฝน ซึ่งในช่วงนี้ปริมาณฝนรายฤดูกาล (รายสามเดือน) ของแต่ละสถานีมีค่าไม่สูง (รูปที่ 5.19) ได้แก่ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน (FMA) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) และเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน (AMJ) แต่เมื่อเข้าสู่ฤดูฝนซึ่งปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนในแต่ละสถานีมีค่าสูงขึ้น โมเดลมีทักษะในการพยากรณ์ลดต่ำลง (รูปที่ 5.18) โดยมีค่าต่ำที่สุดในฤดูฝน ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม (ASO) ส่วนทักษะที่ต่ำในช่วงปลายปี เช่น ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) เกิดจากช่วงดังกล่าวเป็นฤดูแล้งในพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ ทำให้การหาค่าเฉลี่ยจากสถานีทั้งหมดได้ค่าที่ไม่สะท้อนความเป็นจริง หากพิจารณาเป็นรายภาคก็จะพบรูปแบบการเปลี่ยนแปลงทักษะการพยากรณ์ของโมเดลสถิติตามฤดูกาลเช่นเดียวกับภาพรวมทั้งประเทศ โดยในภาคเหนือมีทักษะที่สูงในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน (AMJ) และทักษะในการพยากรณ์ลดต่ำลงในช่วงฤดูฝน สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โมเดลมีทักษะในการพยากรณ์ต่ำ ในช่วงฤดูฝน ยกเว้นช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน (JAS) สำหรับภาคกลางซึ่งมีจำนวนสถานีทั้งหมด 5 สถานี โมเดลแสดงทักษะการพยากรณ์ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่นๆ โดยเฉพาะในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม (MJJ) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) สำหรับภาคตะวันออก โมเดลแสดงทักษะในการพยากรณ์ที่ต่ำในช่วงฤดูฝนเช่นกัน สำหรับภาคใต้ โมเดลแสดงการเปลี่ยนแปลงของทักษะการพยากรณ์โดยมีค่าสูงในช่วงก่อนฤดูฝน และลดต่ำลงในช่วงฤดูฝน แต่สิ่งที่แตกต่างจากภูมิภาคอื่นๆ คือโมเดลแสดงทักษะที่ดีขึ้นในช่วงปลายปี ได้แก่ ช่วงเดือนตุลาคมถึง

เดือนธันวาคม (OND) เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม (NDJ) และเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของภาคใต้ฝั่งตะวันออก (รูปที่ 5.19)



รูปที่ 5.18 ทักษะของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลโดยใช้ข้อมูลภูมิน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิกเขตร้อนล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ โดยแสดงค่าเฉลี่ยจากจำนวนสถานีทั้งประเทศและจำแนกเป็นรายภาค

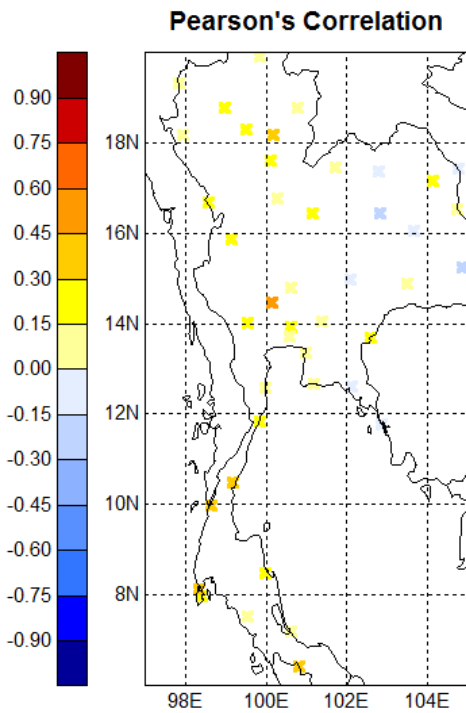


รูปที่ 5.19 ปริมาณฝนสะสมรายสามเดือน หน่วย มิลลิเมตร (บน) อ.เมือง จ.แพร่ (ล่าง) อ.เมือง จ.สงขลา

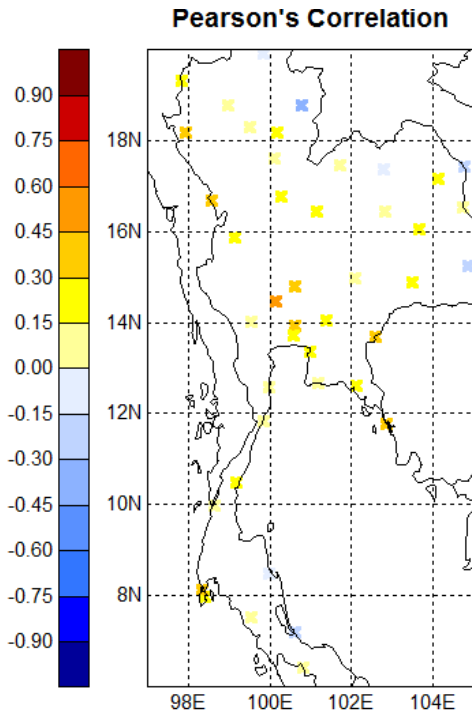
รูปที่ 5.20 แสดงทักษะรายสถานีของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลด้วยเทคนิค CCA โดยใช้อุณหภูมิน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิกเขตร้อนล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ ในแต่ละฤดู ช่วงต้นฤดูฝน ได้แก่ เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน (AMJ) และเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม (MJJ) โมเดลมีทักษะการพยากรณ์ฝนสำหรับพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าบวก) ยกเว้นบางสถานีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีทักษะค่อนข้างสูง (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.3 ถึง 0.5) ในภาคกลาง โดยเฉพาะสถานี จ.สุพรรณบุรี และ จ.ลพบุรี (ตารางที่ 5.5) เมื่อเข้าสู่กลางฤดูฝน ได้แก่ ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน (JAS) ทักษะการพยากรณ์ลดลงโดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีเพียงบางสถานีเท่านั้น เช่น อ.แม่สอด จ.ตาก อ.เมือง จ.สุรินทร์ ที่ยังแสดงทักษะการพยากรณ์ที่ดี ในช่วงปลายฤดูฝน ได้แก่ เดือนสิงหาคมถึงตุลาคม (ASO) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) โมเดลพยากรณ์ได้ดีเฉพาะในภาคกลาง ส่วนในช่วงปลายปี ได้แก่ เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม (OND) เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม (NDJ) โมเดลแสดงทักษะที่ดีบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกซึ่งเป็นฤดูกาลที่มีฝนมากสำหรับบริเวณนี้ และเมื่อเข้าสู่ช่วงต้นปี ได้แก่ เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม (JFM) เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน (FMA) เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) ทุกสถานีแสดงทักษะของโมเดลในการพยากรณ์ฝน (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าบวก) โดยเฉพาะภาคกลางและภาคตะวันออก

เมื่อเปรียบเทียบทักษะของโมเดลในการพยากรณ์ฝนจากชุดข้อมูลแบบกริด 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ GPCC และ APHRODITE (รูปที่ 5.21) พบรูปแบบของทักษะคล้ายคลึงกับที่พบจากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา โดยที่ในช่วงต้นฤดูฝน เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน (AMJ) โมเดลพยากรณ์ได้ดีในทุกภูมิภาค โดยเฉพาะทางตะวันตกของประเทศ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม (MJJ) โมเดลยังพยากรณ์ได้ดีในเกือบทุกภูมิภาคยกเว้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อเข้าสู่ช่วงกลางฤดูฝน เดือนมิถุนายนเดือนสิงหาคม (JJA) และเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน (JAS) โมเดลพยากรณ์ได้ดีเฉพาะภาคกลาง ส่วนภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โมเดลสถิติไม่สามารถพยากรณ์ฝนได้ (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าลบ) เมื่อเข้าสู่ปลายฤดูฝนเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม (ASO) และเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) โมเดลมีทักษะในการพยากรณ์ฝนในภาคเหนือและภาคกลาง แต่ไม่สามารถพยากรณ์ฝนในภาคอีสานได้ ในช่วงปลายปีเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม (OND) เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม (NDJ) และเดือน ธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (DJF) โมเดลแสดงทักษะการพยากรณ์ฝนในภาคใต้ได้ดี สำหรับช่วงต้นปีในช่วงหน้าแล้ง เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม (JFM) เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน (FMA) และเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (MAM) โมเดลแสดงทักษะการพยากรณ์ดีในทุกภูมิภาคของประเทศ

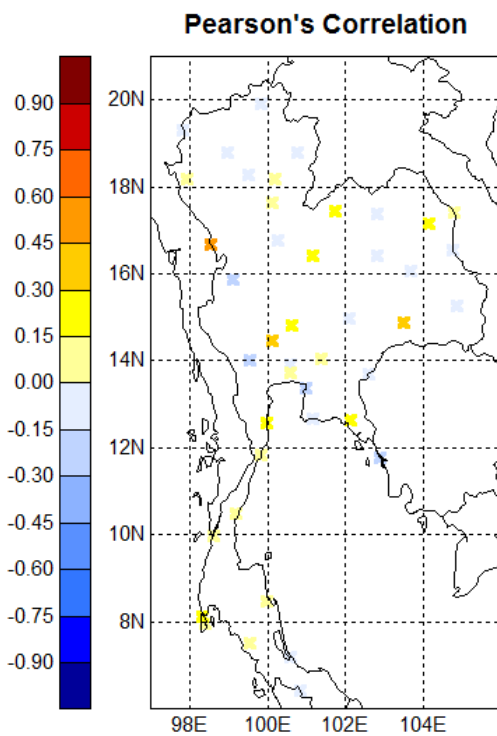
a) AMJ



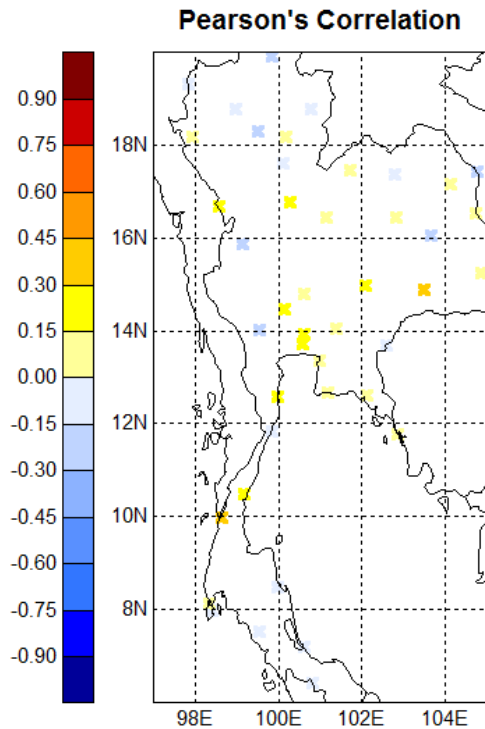
b) MJJ



c) JJA



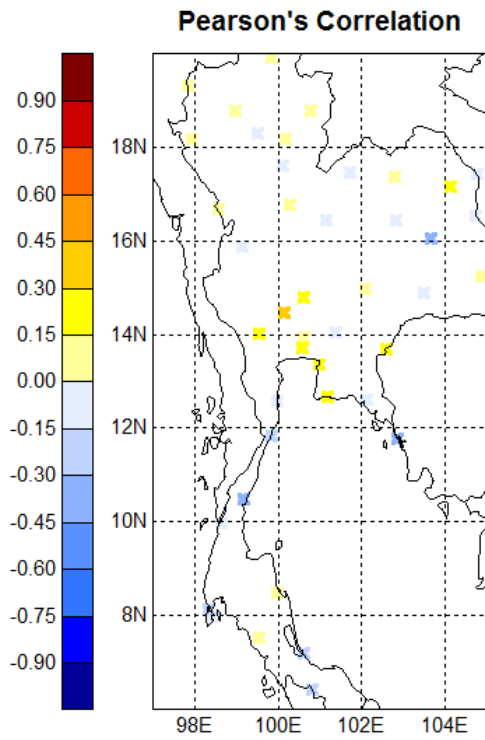
d) JAS



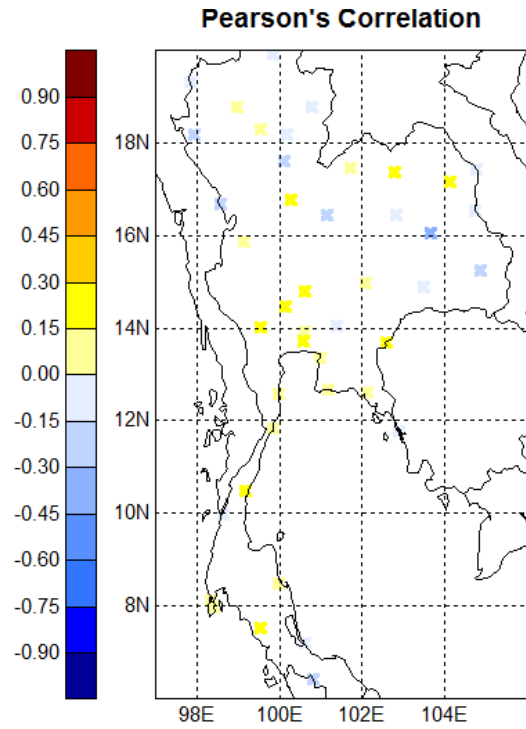
รูปที่ 5.20 ทักษะรายสถานีของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลโดยใช้อุณหภูมิน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกช่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์

หมายเหตุ AMJ คือ เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน MJJ คือ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม JJA คือเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม JAS คือเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน

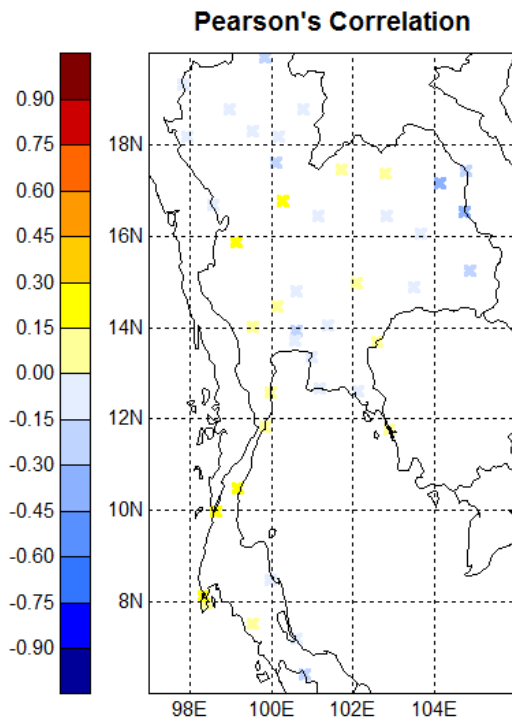
e) ASO



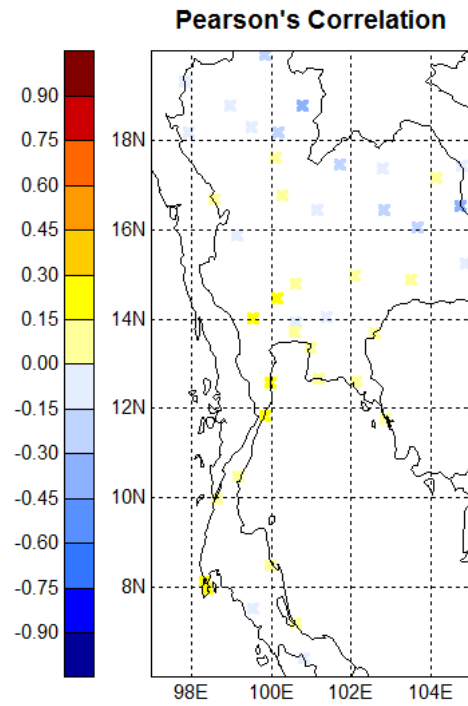
f) SON



g) OND



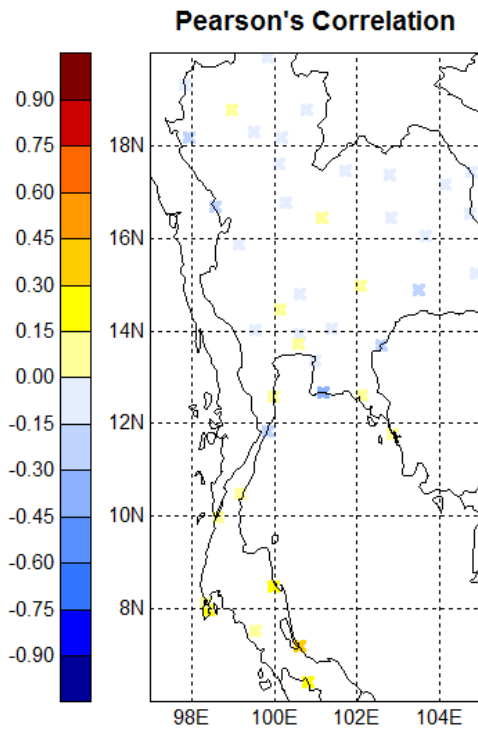
h) NDJ



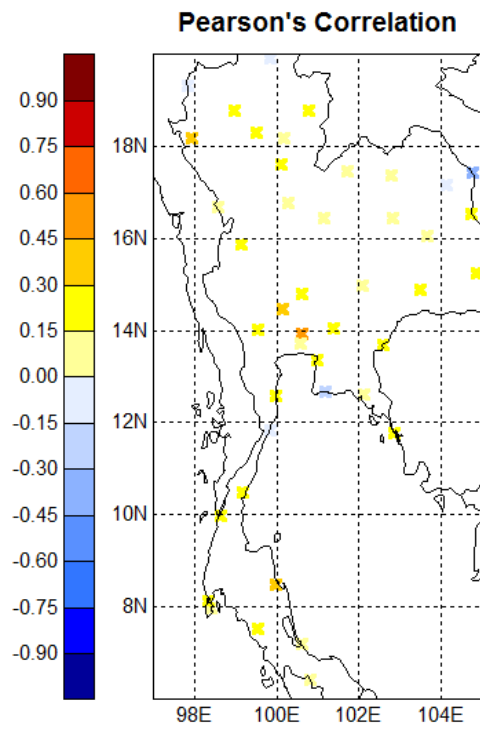
รูปที่ 5.20 (ต่อ)

หมายเหตุ ASO คือเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม SON คือเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน OND คือเดือนตุลาคมถึงธันวาคม NDJ คือเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม

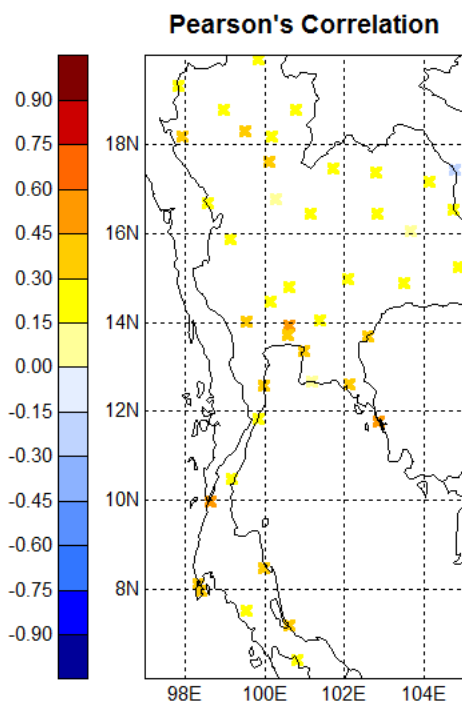
i) DJF



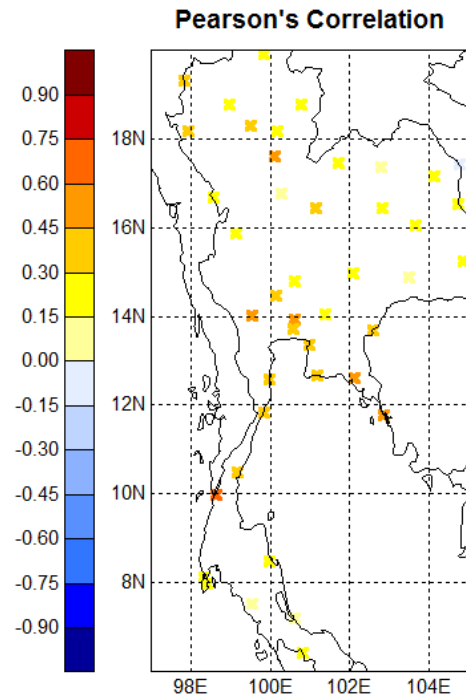
j) JFM



k) FMA



l) MAM



รูปที่ 5.20 (ต่อ)

หมายเหตุ DJF คือเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ JFM คือเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม FMA คือเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน MAM คือเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม

ตารางที่ 5.5 ทักษะของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลโดยใช้ข้อมูลภูมิ
น้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ แสดงด้วย correlation
coefficient สำหรับแต่ละสถานีในภูมิภาคต่างๆของประเทศในช่วงฤดูฝน

หมายเหตุ AMJ คือ เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน MJJ คือ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม JJA คือเดือน
มิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม JAS คือเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ASO คือเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม SON
คือเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน

สถานี	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	เฉลี่ย
อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน	0.13	0.09	0.00	0.00	0.21	0.00	0.07
อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน	0.21	0.09	0.30	0.07	0.00	0.00	0.11
อ.เมือง จ.เชียงใหม่	0.17	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.07
อ.เมือง จ.เชียงใหม่	0.26	0.10	0.00	0.11	0.14	0.00	0.10
อ.เมือง จ.ลำปาง	0.21	0.04	0.00	0.00	0.15	0.03	0.07
อ.เมือง จ.แพร่	0.32	0.25	0.14	0.18	0.16	0.00	0.18
อ.เมือง จ.น่าน	0.18	0.00	0.00	0.02	0.30	0.00	0.08
อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์	0.34	0.15	0.02	0.05	0.00	0.00	0.09
อ.เมือง จ.พิษณุโลก	0.03	0.08	0.03	0.14	0.01	0.04	0.06
อ.เมือง จ.ตาก	0.19	0.19	0.00	0.00	0.02	0.14	0.09
อ.แม่สอด จ.ตาก	0.21	0.32	0.49	0.14	0.05	0.00	0.20
อ.เมือง จ.นครสวรรค์	0.26	0.32	0.25	0.10	0.00	0.01	0.16
อ.เมือง จ.เลย	0.04	0.17	0.15	0.08	0.17	0.00	0.10
อ.เมือง จ.อุดรธานี	0.02	0.01	0.00	0.12	0.19	0.23	0.10
อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์	0.28	0.20	0.24	0.15	0.00	0.00	0.15
อ.เมือง จ.ขอนแก่น	0.02	0.02	0.00	0.08	0.00	0.00	0.02
อ.เมือง จ.สกลนคร	0.25	0.33	0.14	0.20	0.03	0.32	0.21
อ.เมือง จ.นครพนม	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.01
อ.เมือง จ.มุกดาหาร	0.08	0.05	0.00	0.10	0.00	0.00	0.04
อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด	0.00	0.10	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02
อ.เมือง จ.อุบลราชธานี	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.02
อ.เมือง จ.สุรินทร์	0.07	0.27	0.38	0.36	0.00	0.00	0.18
อ.เมือง จ.นครราชสีมา	0.07	0.00	0.00	0.15	0.00	0.06	0.05
อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	0.10	0.08	0.00	0.00	0.14	0.30	0.10
อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี	0.49	0.46	0.40	0.33	0.24	0.30	0.37
อ.เมือง จ.ลพบุรี	0.03	0.33	0.31	0.12	0.05	0.18	0.17
ดอนเมือง กรุงเทพมหานคร	0.28	0.19	0.06	0.07	0.07	0.09	0.13
บางนา กรุงเทพมหานคร	0.12	0.13	0.12	0.19	0.14	0.29	0.17
อ.เมือง จ.ตราด	0.00	0.27	0.00	0.02	0.01	0.00	0.05
อ.เมือง จ.จันทบุรี	0.00	0.15	0.18	0.00	0.00	0.06	0.07

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

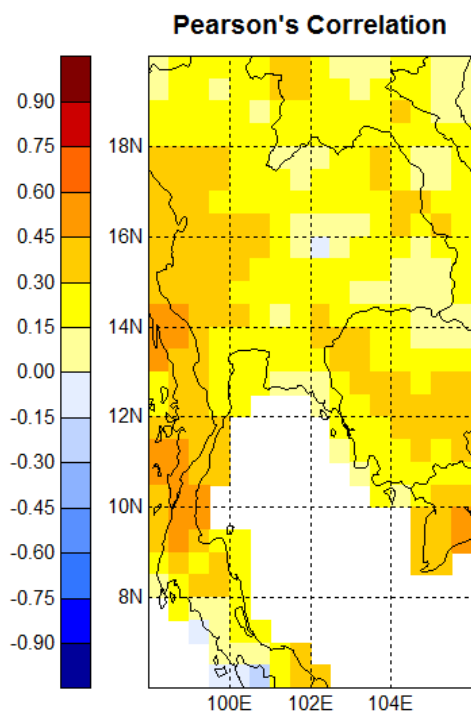
สถานี	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	เฉลี่ย
อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี	0.07	0.00	0.00	0.27	0.20	0.26	0.13
อ.เมือง จ.ชลบุรี	0.07	0.17	0.00	0.07	0.13	0.22	0.11
อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี	0.00	0.24	0.16	0.05	0.00	0.00	0.08
อ.รัฐประเทศ จ.สระแก้ว	0.12	0.25	0.00	0.04	0.03	0.14	0.10
อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์	0.03	0.07	0.17	0.30	0.05	0.00	0.10
อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์	0.23	0.09	0.07	0.03	0.00	0.00	0.07
อ.เมือง จ.ชุมพร	0.25	0.30	0.07	0.00	0.00	0.12	0.12
อ.เมือง จ.ระนอง	0.39	0.19	0.11	0.00	0.15	0.00	0.14
อ.เมือง จ.ภูเก็ต	0.00	0.14	0.09	0.15	0.00	0.00	0.06
ท่าอากาศยาน จ.ภูเก็ต	0.00	0.31	0.16	0.13	0.00	0.00	0.10
อ.เมือง จ.ตรัง	0.00	0.09	0.02	0.10	0.00	0.15	0.06
อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช	0.10	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.03
อ.เมือง จ.สงขลา	0.02	0.00	0.00	0.00	0.20	0.06	0.05
อ.เมือง จ.นราธิวาส	0.17	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.04

ตารางที่ 5.6 ทักษะของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลโดยใช้อุณหภูมิ น้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ แสดงด้วย correlation coefficient เฉพาะของสถานีในภาคใต้ฝั่งตะวันออก

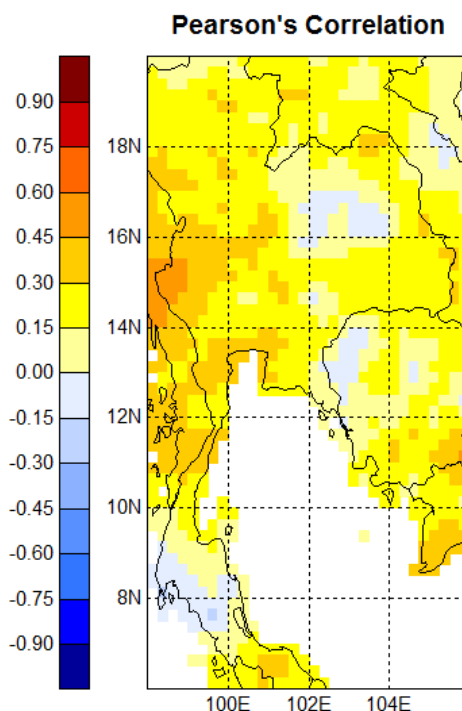
หมายเหตุ ASO คือเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม SON คือเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน OND คือเดือน ตุลาคมถึงธันวาคม NDJ คือเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม DJF คือเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์

สถานี	ASO	SON	OND	NDJ	DJF	เฉลี่ย
อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช	0.01	0.00	0.00	0.16	0.22	0.08
อ.เมือง จ.สงขลา	0.20	0.06	0.04	0.18	0.07	0.11
อ.เมือง จ.นราธิวาส	0.00	0.00	0.00	0.03	0.11	0.03

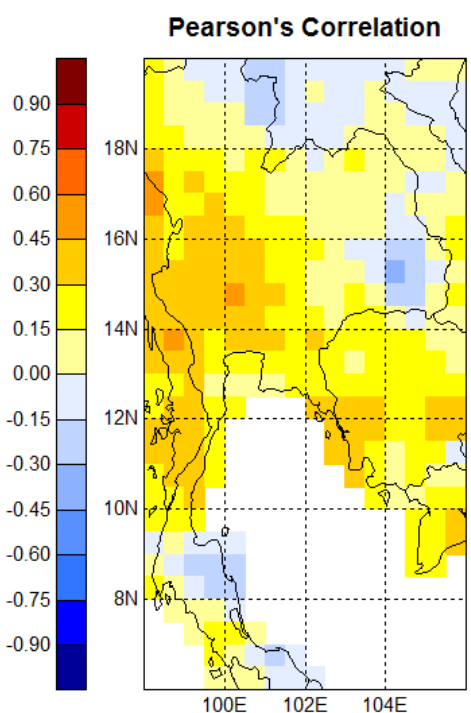
a) AMJ - GPCC



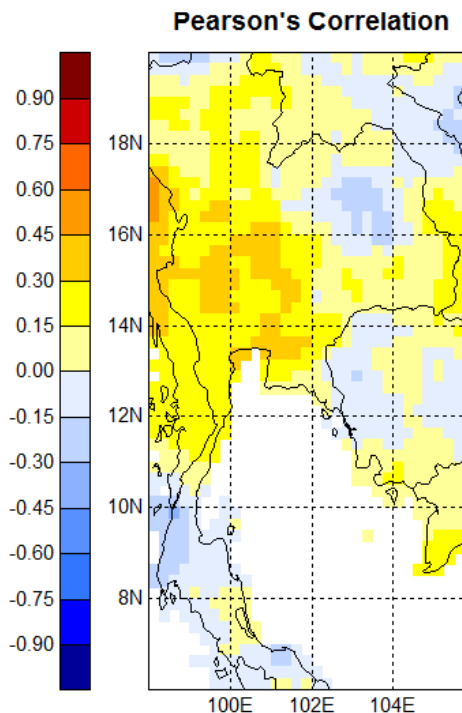
b) AMJ - APHRODITE



c) MJJ - GPCC



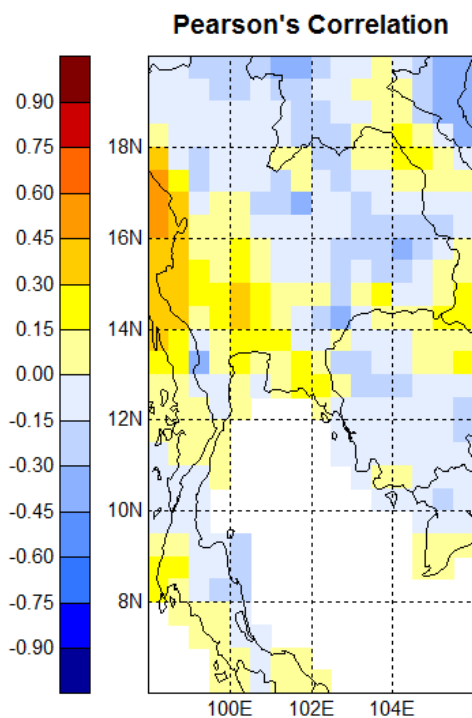
d) MJJ - APHRODITE



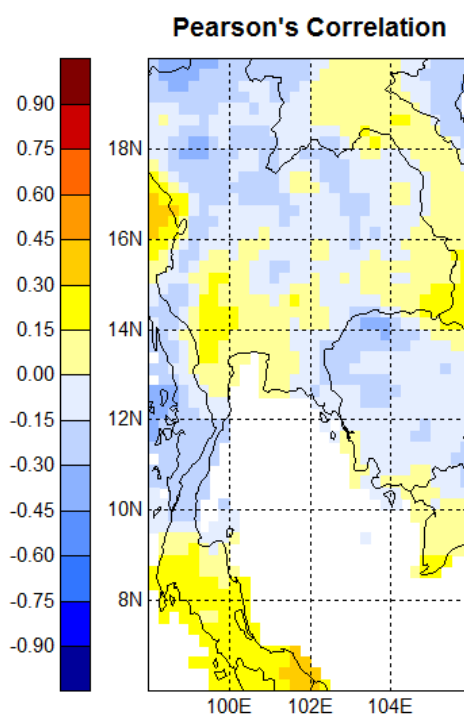
รูปที่ 5.21 แผนที่แสดงทักษะของโมเดลสถิติสำหรับคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลโดยใช้อุณหภูมิน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกช่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวพยากรณ์ ด้านซ้าย: ชุดข้อมูล GPCC ด้านขวา: ชุดข้อมูล APHRODITE

หมายเหตุ AMJ คือ เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน MJJ คือ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม

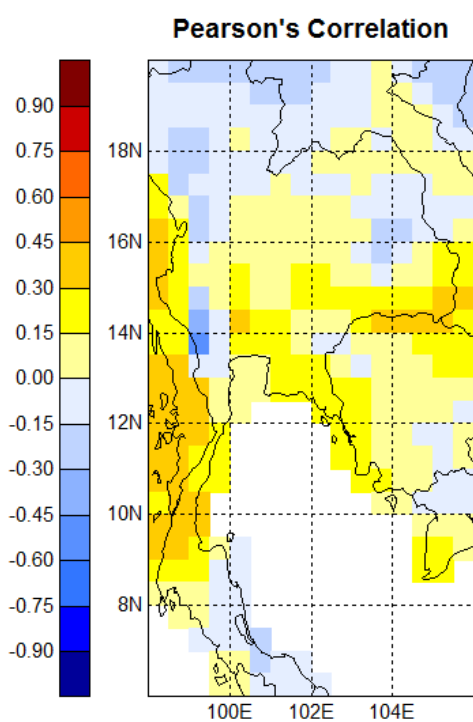
e) JJA - GPCC



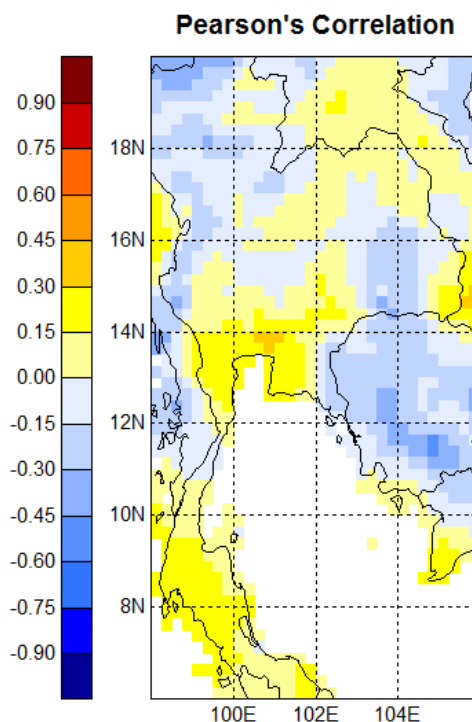
f) JJA - APHRODITE



g) JAS - GPCC



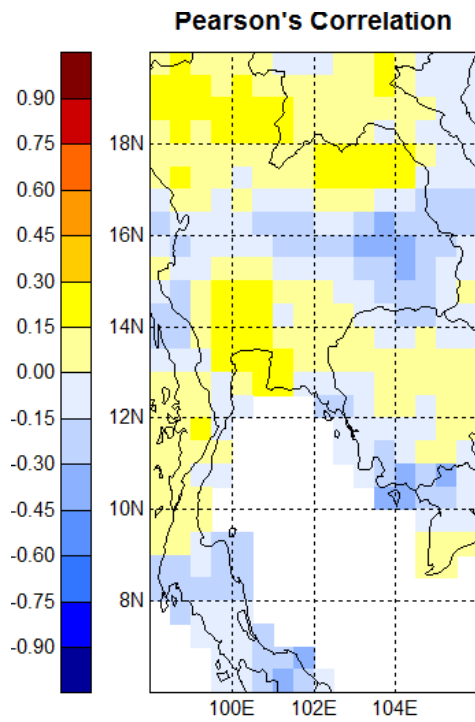
h) JAS - APHRODITE



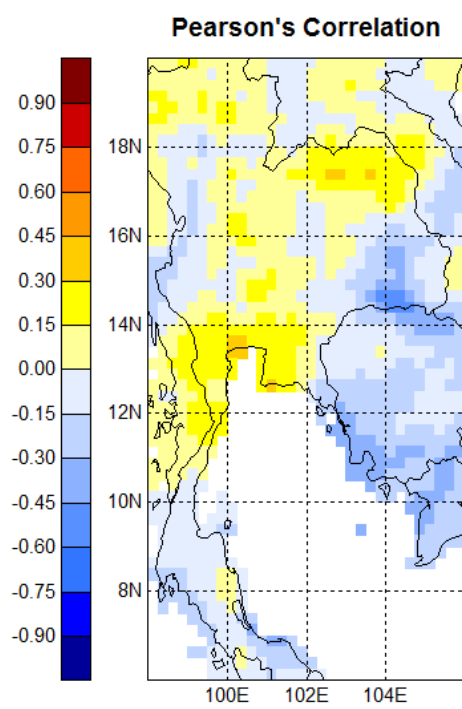
รูปที่ 5.21 (ต่อ)

หมายเหตุ JJA คือเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม JAS คือเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน

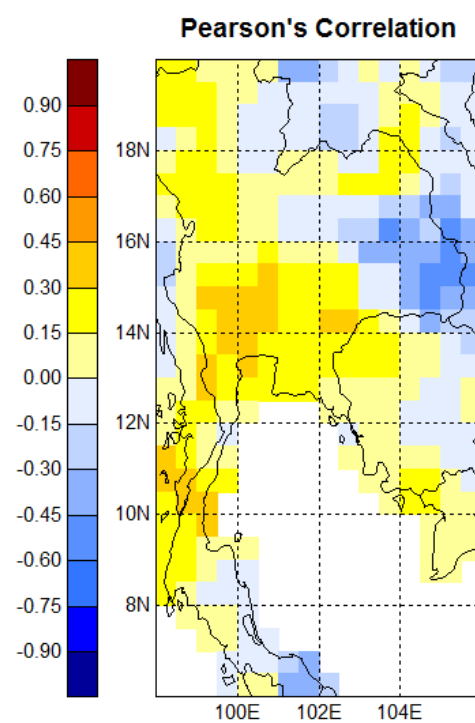
i) ASO - GPCC



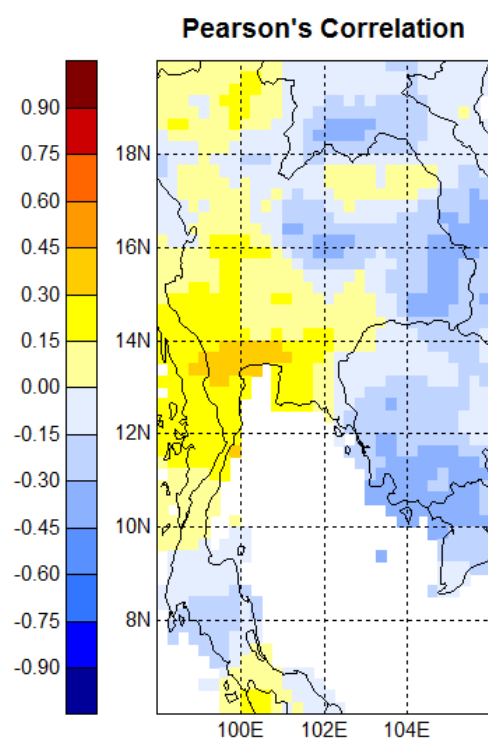
j) ASO - APHRODITE



k) SON - GPCC



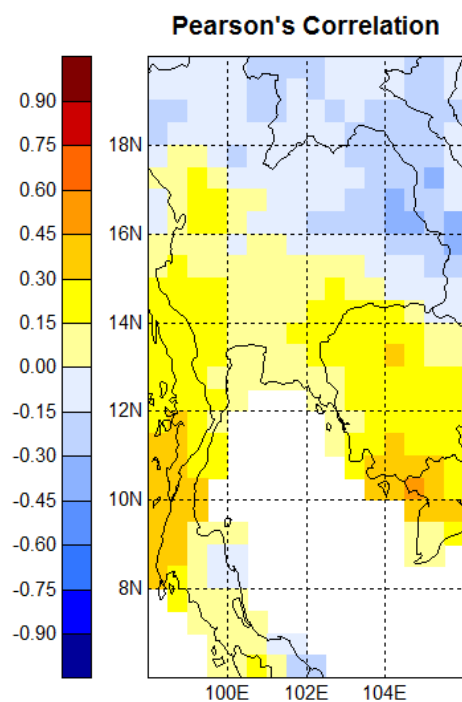
l) SON - APHRODITE



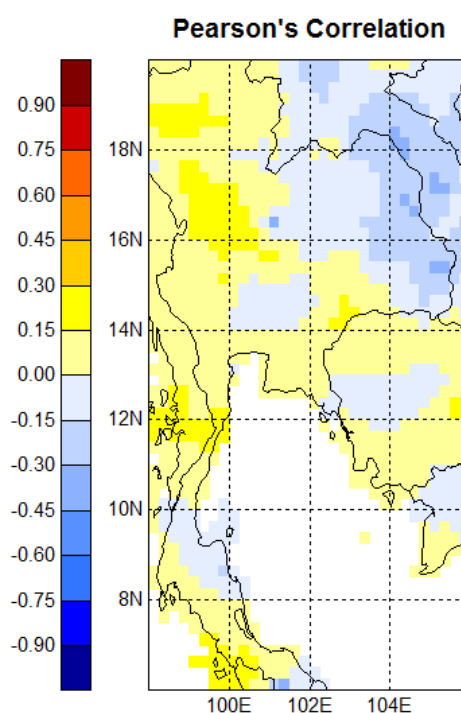
รูปที่ 5.21 (ต่อ)

หมายเหตุ ASO คือเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม SON คือเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน

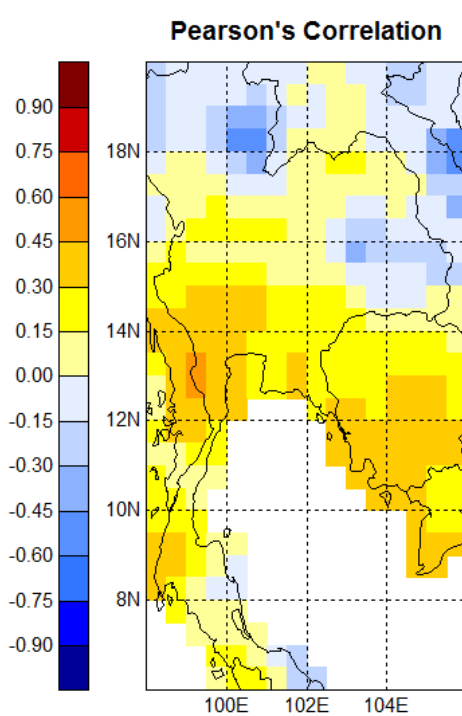
m) OND - GPCC



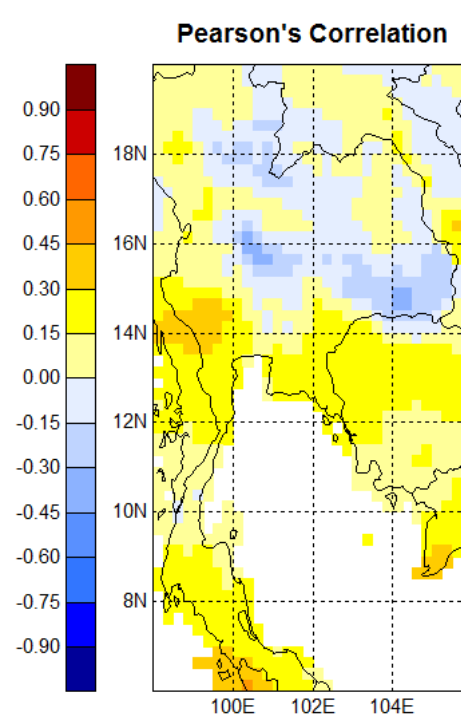
n) OND - APHRODITE



o) NDJ - GPCC



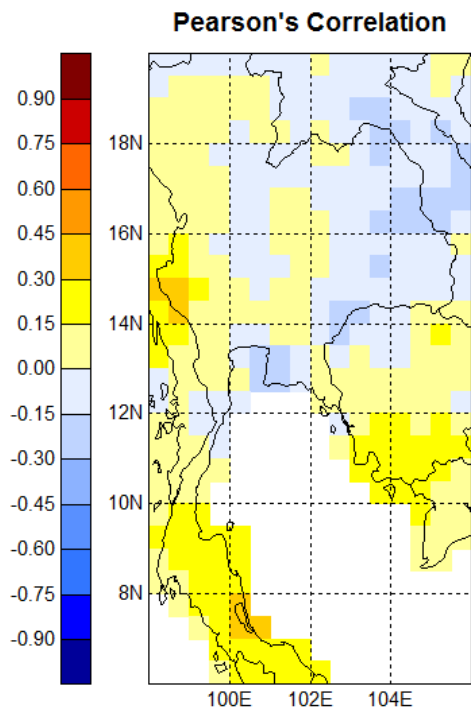
p) NDJ - APHRODITE



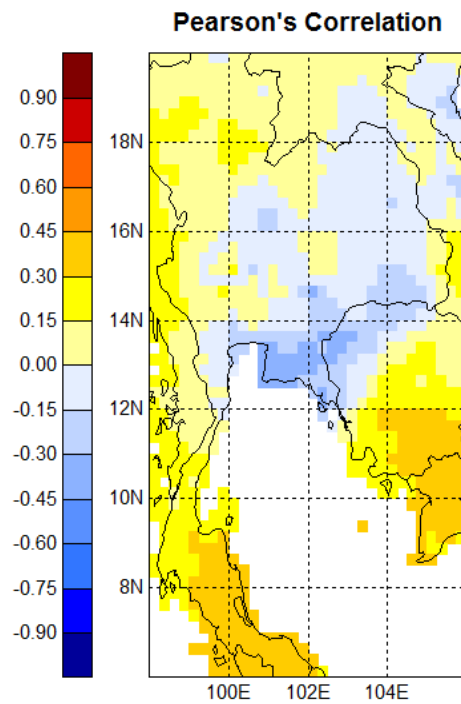
รูปที่ 5.21 (ต่อ)

หมายเหตุ OND คือเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม NDJ คือเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม

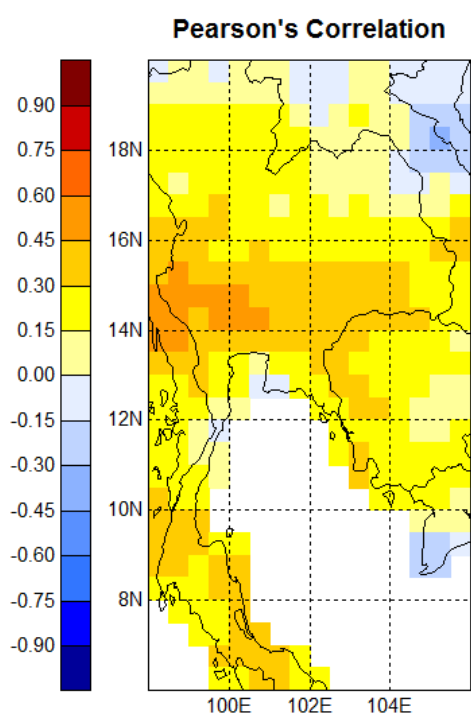
q) DJF - GPCC



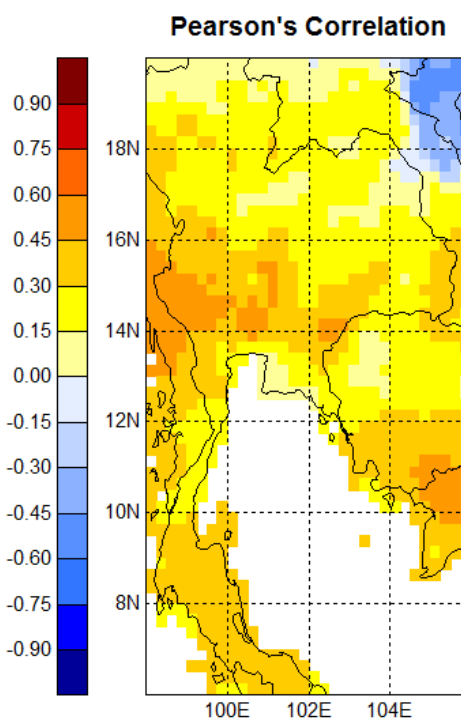
r) DJF - APHRODITE



s) JFM - GPCC



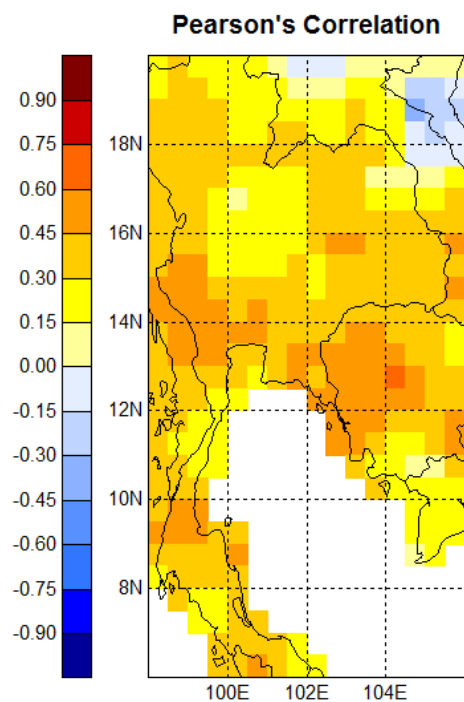
t) JFM - APHRODITE



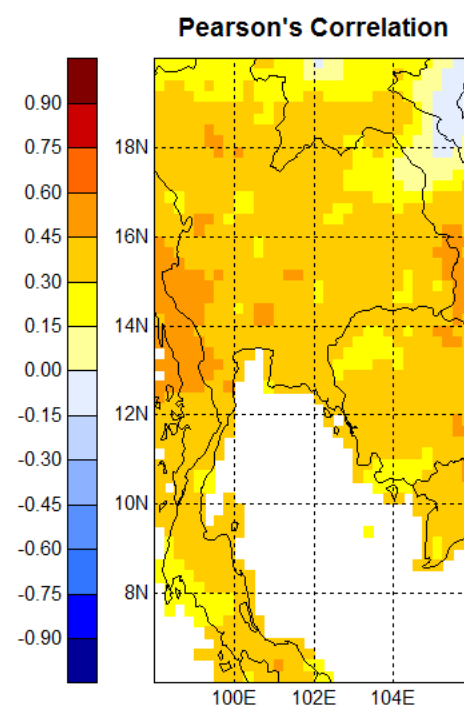
รูปที่ 5.21 (ต่อ)

หมายเหตุ DJF คือเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ JFM คือเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม

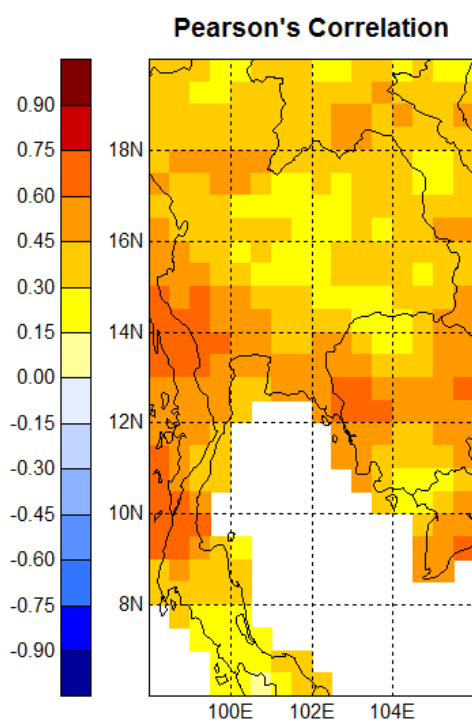
u) FMA - GPCC



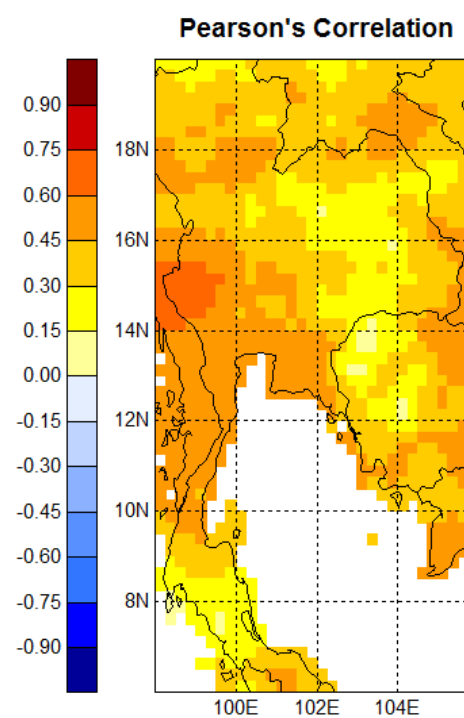
v) FMA - APHRODITE



w) MAM - GPCC



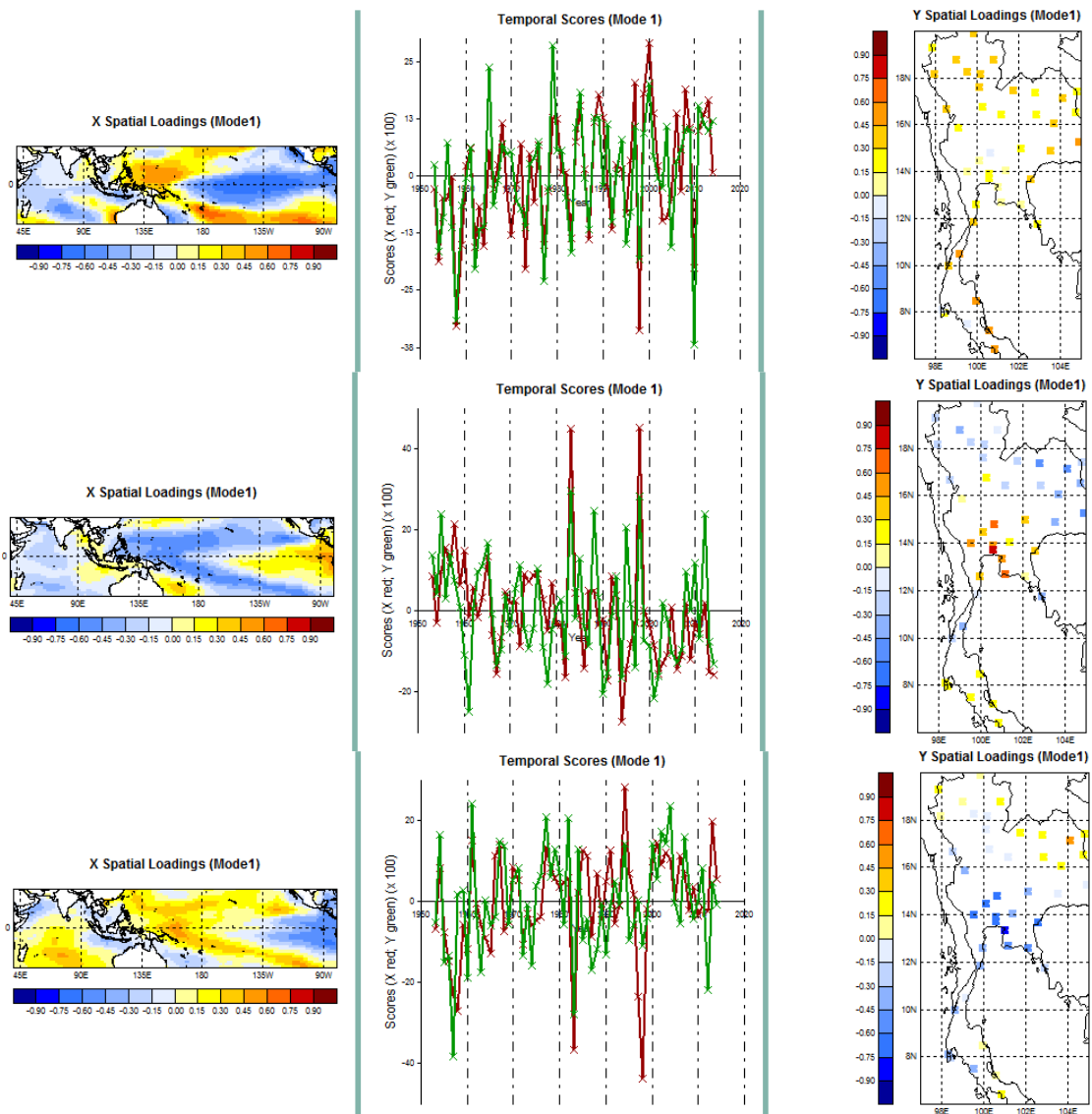
x) MAM - APHRODITE



รูปที่ 5.21 (ต่อ)

หมายเหตุ FMA คือเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน MAM คือเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม

รูปที่ 5.22 แสดงรูปแบบของอุณหภูมิน้ำทะเลที่ใช้เป็นตัวพยากรณ์ (predictors) ที่สัมพันธ์กับรูปแบบของปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือน (predictands) ที่ได้จากโมเดลสถิติ CCA ในแต่ละฤดูกาล สำหรับช่วงต้นฤดูฝนเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน (AMJ) ซึ่งโมเดลมีทักษะการพยากรณ์ดีในทุกภูมิภาค (รูปที่ 5.20 และ 5.21) พบว่ารูปแบบของอุณหภูมิน้ำทะเลในหนึ่งฤดูกาลล่วงหน้าได้แก่ เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม (JFM) ที่สัมพันธ์กับปริมาณฝนที่ปรากฏใน CCA โหมดที่ 1 มีรูปแบบของปรากฏการณ์เอนโซ รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทะเลในแปซิฟิกตะวันตก ซึ่งเป็นรูปแบบของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ของอุณหภูมิน้ำทะเล (หัวข้อ 5.2) โดยที่ปริมาณฝนที่สูงในฤดูกาลนี้ สัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ต่ำบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก (ปรากฏการณ์ลานีญา) และอุณหภูมิที่สูงบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก ดังแสดงในอนุกรมเวลาซึ่งปรากฏว่าในปี ค.ศ. 2000 ซึ่งเกิดปรากฏการณ์ลานีญา และมีสภาพตรงกันข้ามคือปริมาณฝนน้อยในปี ค.ศ. 2010 ซึ่งเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ ในช่วงกลางฤดูฝนเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน (JAS) และปลายฤดูฝนเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON) ซึ่งโมเดลมีทักษะการพยากรณ์ที่ดีบริเวณภาคกลาง แต่ไม่ดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นั้น รูปแบบของอุณหภูมิน้ำทะเลหนึ่งฤดูกาลล่วงหน้าที่สัมพันธ์กับปริมาณฝน มีรูปแบบของปรากฏการณ์เอนโซ โดยที่ช่วงที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ เช่น ปี ค.ศ. 1983 และ ค.ศ. 1998 ปริมาณฝนในภาคกลางมีค่าสูง อย่างไรก็ตามในช่วงกลางและปลายฤดูฝน รูปแบบความแปรปรวนของฝนที่สัมพันธ์กับปรากฏการณ์เอนโซจะไม่ใช่แบบเดียวกันทุกภูมิภาค ซึ่งแตกต่างจากช่วงต้นฤดูฝน



รูปที่ 5.22 รูปแบบของอุณหภูมิหน้าทะเลที่ใช้เป็นตัวพยากรณ์ (predictors) ที่สัมพันธ์กับรูปแบบของปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือน (predictands) ที่ได้จากโมเดลสถิติ CCA (บน) ช่วงต้นฤดูฝนเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน (AMJ) (กลาง) ช่วงกลางฤดูฝนเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน (JAS) (ล่าง) ช่วงปลายฤดูฝนเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน (SON)

บทที่ 6

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

6.1 วิจารณ์ผลการศึกษา

ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (หรือรายสามเดือน) ของประเทศไทยด้วยเทคนิคเชิงสถิติ Canonical Correlation Analysis (CCA) โดยใช้ข้อมูลภูมิพิกัดน้ำทะเลในเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวทำนาย แสดงทักษะการพยากรณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของปี โดยโมเดลมีทักษะสูงสุดในช่วงต้นปี ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ไปจนถึงช่วงเดือนเมษายนถึงมิถุนายน จากนั้นทักษะของโมเดลลดลงตามลำดับเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝน โดยมีทักษะต่ำที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม และช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาการคาดการณ์ปริมาณฝนด้วยเทคนิค CCA ในพื้นที่อื่นๆ เช่น He and Barnston (1996) และ Yu et al. (1997) ซึ่งใช้เทคนิค CCA ในการพยากรณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลบริเวณหมู่เกาะแปซิฟิกตะวันตกด้วยข้อมูลภูมิพิกัดน้ำทะเลของมหาสมุทรแปซิฟิก พบว่าโมเดลมีทักษะการพยากรณ์สูงในช่วงฤดูหนาว (เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์) และฤดูใบไม้ผลิ (เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม) ขณะที่ Juneng and Tangang (2008) ใช้ CCA ในการพยากรณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลของประเทศมาเลเซีย พบว่าโมเดลสามารถทำนายฝนในช่วงฤดูหนาว (เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม) ได้ดี โดยเฉพาะสถานที่ที่ตั้งอยู่บนเกาะบอร์เนียว ขณะที่พบทักษะที่ต่ำสำหรับสถานที่ที่ตั้งอยู่บนคาบสมุทรมาลายู โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการคาดการณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลที่ทำได้ดีในช่วงฤดูหนาว เกิดจากความเชื่อมโยงกับปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO) ซึ่งมักพัฒนาอย่างเต็มที่แล้วในช่วงฤดูกลางปี (Mason and Goddard, 2001; Barnston et al., 2010) สำหรับในช่วงฤดูฝนของประเทศไทยซึ่งเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมนั้น ในฤดูกาลดังกล่าว ความเชื่อมโยงระหว่างปริมาณฝนรายฤดูกาลกับปรากฏการณ์เอนโซมีค่าต่ำ (Mason and Goddard, 2001) ซึ่งแสดงออกในค่าทักษะการพยากรณ์รายฤดูกาลที่มีค่าต่ำในฤดูกาลนี้ด้วย (Barnston et al., 2010) นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากความแปรปรวนของปริมาณฝนในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูกาลอื่นๆ อิทธิพลของปรากฏการณ์เอนโซจึงไม่ใช่ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เด่นชัดต่อความผันแปรของปริมาณฝนในรายฤดูกาล อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาทักษะการพยากรณ์ในช่วงฤดูฝนเป็นรายภาคและรายสถานี พบว่าภาคกลางมีทักษะการพยากรณ์โดยเปรียบเทียบสูงกว่าภูมิภาคอื่นๆ โดยในช่วงปลายฤดูฝน (เดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม) ปริมาณฝนรายฤดูกาลในภาคกลางมีค่าสูงกว่าปกติในปีลานีญา สอดคล้องกับ Singhrattana et al. (2005) ที่ใช้แบบจำลองเชิงสถิติในการพยากรณ์ฝนบริเวณภาคกลางของประเทศ และ Bridhikitti (2013) ที่พบความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์เอนโซกับการพยากรณ์ฝนรายฤดูกาล

6.2 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาล (หรือรายสามเดือน) ของประเทศไทยด้วยเทคนิค CCA โดยใช้อุณหภูมิน้ำทะเลในเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียล่วงหน้าหนึ่งฤดูกาลเป็นตัวทำนาย พบว่าโมเดลมีทักษะการพยากรณ์โดยรวม ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของทักษะจากทุกสถานีทั่วประเทศอยู่ในเกณฑ์ต่ำ โดยทักษะของโมเดลมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของปี โมเดลมีทักษะการพยากรณ์สูงในช่วงต้นปี ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน จากนั้นทักษะการพยากรณ์ลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูฝน ปัจจัยที่ส่งผลให้การพยากรณ์ฝนทำได้ดีในช่วงต้นปีก่อนเข้าสู่ฤดูฝนเกิดจากอิทธิพลของความเชื่อมโยงในระยะไกลระหว่างระบบมหาสมุทรกับบรรยากาศที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เอลนีโญ ซึ่งมักพัฒนาอย่างสมบูรณ์ในช่วงปลายปี โดยในปีเอลนีโญ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงก่อนฤดูมรสุมจะมีค่าต่ำกว่าปกติ ขณะที่ในปีลานีญา ปริมาณฝนเฉลี่ยรายฤดูกาลในช่วงก่อนมรสุมจะมีค่าสูงกว่าปกติ สำหรับในช่วงฤดูฝน โมเดลมีความสามารถในการพยากรณ์ไม่ค่อยดีนัก อาจเกิดเนื่องจากความแปรปรวนของฝนในช่วงฤดูการนี้มีสูงมาก ประกอบกับเป็นช่วงที่ปรากฏการณ์เอลนีโญมักอยู่ในช่วงกำลังพัฒนา อาจส่งผลให้อิทธิพลของความเชื่อมโยงในระยะไกลไม่โดดเด่น ทำให้การประยุกต์ใช้เทคนิค CCA ในการพยากรณ์ฝนรายฤดูกาลช่วงฤดูฝนด้วยอุณหภูมิน้ำทะเลยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยพิจารณาใช้ตัวแปรอื่นๆเป็นตัวพยากรณ์ นอกจากนี้ควรมีการศึกษาวิธีการเชิงสถิติอื่นๆ รวมทั้งเทคนิคการย่อยส่วนผลการพยากรณ์ฝนรายฤดูกาลจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของอากาศ (model output statistics) เป็นต้น

6.3 แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

การประยุกต์ใช้เทคนิค CCA ในการพยากรณ์ฝนรายฤดูกาลด้วยอุณหภูมิน้ำทะเล ยังให้ทักษะการพยากรณ์ไม่ดีขึ้นในช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่สำคัญต่อการวางแผนการจัดการน้ำและการเกษตร จึงควรใช้ข้อมูลจากผลการพยากรณ์รายฤดูกาล จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของอากาศจากหลายๆหน่วยงานด้านภูมิอากาศในต่างประเทศ ประกอบกับการใช้ประสบการณ์ของนักพยากรณ์ในการคาดการณ์ลักษณะอากาศรายฤดูกาล นอกจากนี้การพยากรณ์ที่ระบุแนวโน้มความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ (Probabilistic forecast) อาจช่วยให้ผู้ใช้ผลการพยากรณ์สามารถประเมินความไม่แน่นอนของผลการพยากรณ์ เพื่อประกอบการตัดสินใจได้ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Alexander, M.A., Blade, I., Newman, M., Lanzante, J.R., Lau, N.C. and Scott, J.D. (2002). The Atmospheric Bridge: The Influence of ENSO Teleconnections on Air-Sea Interaction over the Global Oceans. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 15, 2205-2231.
- Anderson, D., Stockdale, T., Balmaseda, M., Ferranti, L., Vitart, F., Molteni, F., Doblas-Reyes, F., Mogensen, K. and Vidard, A. (2007). Development of the ECMWF seasonal forecast System 3. ECMWF Technical Memorandum 503.
- APEC Climate Center (APCC). (2008). Performance of MME seasonal prediction at APCC. APCC Working Group Document. 44 pp.
- APEC Climate Center (APCC). (2010). Forecast verification in AFS. Summary and purpose of document. 13 pp.
- APEC Climate Center (APCC). (2013a). Climate information service. Available at <http://www.apcc21.org/eng/html/hapcc030000.html> (accessed November 2013).
- APEC Climate Center (APCC). (2013b). Forecast procedure. APCC technical document, 16 pp.
- Asia-Pacific Network for Global Change Research (APN). (2008). Training Course on Regional Downscaling for Asia-Pacific Region Using APEC Climate Centre Global Seasonal Climate Prediction. Retrieved from
- Bah, A. (1987). Towards the prediction of Sahelian rainfall from sea surface temperatures in the Gulf of Guinea. *Tellus*, 39A, 39-48.
- Balsamo, G., Salgado, R., Dutra, E., Boussetta, S., Stockdale, T. and Potes, M. (2011). On the contribution of lakes in predicting near-surface temperature in a global weather forecasting model. ECMWF Technical Memorandum 648.
- Barnett T.P. and Preisendorfer, R. (1987). Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States surface air temperatures determined by canonical correlation analysis. *Monthly Weather Review*, 15, 1825-1850.
- Barnett, T.P., Graham, N., Cane, M., Zebiak, S., Dolan, S., O'Brien, J. and Legler, D. (1988). Prediction of the El Nino of 1986-1987. *Science*, 241, 192-196.
- Barnston, A.G. (1994). Linear statistical short-term climate predictive skill in the

- Northern Hemisphere. *Journal of Climate*, 7, 1513-1564.
- Barnston, A.G. and He, Y. (1996). Skill of canonical correlation analysis forecasts of 3-month mean surface climate in Hawaii and Alaska. *Journal of Climate*, 10, 2579-2605.
- Barnston, A.G. and Livezey, R.E. (1987). Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly weather review*, 115, 1083-1126.
- Barnston, A.G. and Ropeleski, C.F. (1992). Prediction of ENSO episodes using canonical correlation analysis. *Journal of Climate*, 5, 1316-1345.
- Barnston, A.G., Van den dool, H.M., Rodenhuis, D.R., Ropelewski, C.R., Kousky, V.E., O'Lenic, E.A., Livezey, R.E., Zebiak, S.E., Cane, M.A., Barnett, T.P., Graham, N.E., Ji, M. and Leetmaa, A. (1994). Long-lead seasonal forecasts-Where do we stand?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75, 2097-2114.
- Barnston, A.G., Thiao, W. and Kumar, V. (1996). Long-lead forecasts of seasonal precipitation in Africa using CCA. *Weather and Forecasting*, 11, 506-520.
- Barnston, A.G., Mason, S., Goddard, L., DeWitt, D.G. and Zebiak, S.E. (2003). Increased automation and use of multi-model ensembling in seasonal climate forecasting at the IRI. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 1783-1796.
- Barnston, A.G., Li, S., Mason, S.J., DeWitt, D.G., Goddard, L. and Gong, X. (2010). Verification of the First 11 years of IRI's seasonal climate forecasts. *Journal of applied meteorology and climatology*, 49, 493-520.
- Behringer, D. (2007). The Global ocean data assimilation system at NCEP. 11th Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans and Land Surface, AMS 87th Annual Meeting, San Antonio, Texas, 12 pp.
- Bengtsson, L., Schlese, U., Roeckner, E., Latif, M., Barnett, T. and Graham, N. (1993). A two-tiered approach to long-range climate forecasting. *Science*. 261, 1026-1029.
- Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific. *Journal of Physical Oceanography*, 97, 163-172.
- Boer, G.J. (2005). An evolving seasonal forecasting system using Bayes' theorem. *Atmosphere-Ocean*, 43, 129-143.
- Brankovic, C., Palmer, T.N. and Gerranti, L. (1994). Predictability of seasonal atmospheric variation. *Journal of Climate*, 7, 217-237.

- Bretherton, C.S. and Wyant, M.C. (1997). Numerical simulations and a conceptual model of the stratocumulus to trade cumulus transition. *Journal of Atmospheric Sciences*, 54, 168-192.
- Cai, W., van Rensch, P., Cowan, T. and Sullivan, A. (2010). Asymmetry in ENSO Teleconnection with Regional Rainfall, Its Multidecadal Variability, and Impact. *Journal of Climate*, 23, 4944-4955.
- Campbell, K.P., Maclennan, D.H., Jorgensen, A.O. and Mintzer, M.C. (1983). Purification and characterization of clasequestrin from canine cardiac sarcoplasmic reticulum and identification of the 53,000 dalton glycoprotein. *Journal of Biological Chemistry*, 258, 1197-1204.
- Casey, T. (1998). Assessment of a seasonal forecast model. *Australian Meteorological Magazine*, 47, 103-111.
- Change, Y., Schubert, S.D. and Suarez, M.J. (2000). Boreal winter predictions with the GEOS-2 GCM: the role of boundary forcing and initial condition. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126, 2293-2321.
- Chase, T.N., Pielke Sr., R.A. and Avissar, A. (2007). Teleconnections in the Earth System in *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, John Wiley and Sons, Inc. 2849-2862.
- Chu, P.-S. and He, Y. (1994) Long-range prediction of Hawaiian winter rainfall using canonical correlation analysis. *International Journal of Climatology*, 14, 659-669.
- Diaz, H.F., Hoerling, M.P. and Eischeid, J.K. (2001). ENSO variability, teleconnections and climate change. *International Journal of Climatology*, 21, 1845-1862.
- Doblas-Rayes, F.J., Hagedorn, R. and Palmer, T.N. (2005). The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting –II. Calibration and combination. *Tellus*, 57A, 234-252.
- Drosowsky, W. and Chambers, L.E. (2001). Near-global sea surface temperature anomalies as predictors of Australian seasonal rainfall. *Journal of Climate*, 14, 1677-1687.
- Folland, C.K., Owen, J., Ward, M.N. and Colman, A. (1991). Prediction of seasonal rainfall in the Sahel region using empirical and dynamical methods. *Journal of Forecasting*, 10, 21-56.

- Folland, C.K., Colman, A.W., Rowell, D.P. and Davey, M.K. (2001). Predictability of Northeast Brazil rainfall and real-time forecast skill, 1987-98. *Journal of Climate*, 14, 1937-1958.
- Gill, A.E. (1980). Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 106, 447-462.
- Glahn, H.R. (1968) Canonical Correlation and Its Relationship to Discriminant Analysis and Multiple Regression. *Journal of Atmospheric Sciences*, 25, 23-31.
- Goddard, L. and Hoerling, M.P. (2006). Practices for seasonal-to-interannual climate prediction. *CLIVAR Variations*, 4, 1-5.
- Goddard, L., Mason, S.J., Zebiak, S.E. Ropelewski, C.F., Basher, R. and Cane M.A. (2001). Current approaches to seasonal-to-interannual climate predictions. *International Journal of Climatology*, 21, 1111-1152.
- Graham, N.E., Michaelsen, J. and Barnett, T. (1987). An investigation of the El Niño-Southern Oscillation cycle with statistical models. 1. Predictor field characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92, 14251-14270.
- Hannachi, A., Jolliffe, I.T. and Stephenson, D.B. (2007). Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International Journal of Climatology*, 27, 1119-1152.
- Hansen, J., Lacis, A., Rind, D., Russell, G., Stone, P., Fung, I., Ruedy, R. and Lerner, J. (1984). Climate sensitivity: Analysis of feedback mechanisms, in *Climate Processes and Climate Sensitivity*, American Geophysical Union, Washington D.C. 130-163.
- Hartmann, H.C., Pagano, T.C., Sorooshian, S. and Bales, R. (2002). Confidence builder: evaluating seasonal climate forecasts from user perspectives. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 683-698.
- Hastenrath, S. (1990). Tropical Climate Prediction: A Progress Report, 1985-90. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 71, 819-825.
- He, Y. and Barnston, A.G. (1996) Long-lead forecasts of seasonal precipitation in the tropical Pacific islands Using CCA. *Journal of Climate*, 9, 2020-2035.
- Hotelling, H. (1935). The most predictable criterion. *Journal of Educational Psychology*, 26, 139-142. DOI: 10.1037/h0058165.

- Hurrell, J.W. (1996). Influence of Variations in Extratropical Wintertime Teleconnections on Northern Hemisphere Temperatures. *Geophysical Research Letters*, 23, 665-668.
- Hwang, S., Schemm, J.E., Barnston, A.G. and Kwon, Won. (2001). Long-Lead Seasonal Forecast Skill in Far Eastern Asia Using Canonical Correlation Analysis. *Journal of Climate*, 14, 3005-3016.
- Johansson, A., Barnston, A., Saha, S. and van den Dool, H. (1998). On the Level and Origin of Seasonal Forecast Skill in Northern Europe. *Journal of Atmospheric Sciences*, 55, 103-127.
- Jolliffe, I.T. (2002). Principal Component Analysis. 2nd ed. Springer, 488pp.
- Jolliffe, I.T. and Stephenson, D.B. (2012). Forecast verification: A practitioner's guide in atmospheric science, 2nd edition. 274 pp.
- Juneng, L. and Tangang, F.T. (2005). Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in Southeast Asia region and its relationship with atmosphere-ocean variations in Indo-Pacific sector. *Climate Dynamics*, 25, 337-350.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S.K., Hnilo, J.J., Fiorino, M. and Potter, G.L. (2002). NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1631-1643.
- Kenyon, J. and Hegerl, G.C. (2010). Influence of models of climate variability on global precipitation extremes. *Journal of Climate*, 23, 6248-6262.
- Keppenne, C.L. and Ghil, M. (1992). Adaptive Filtering and Prediction of the Southern Oscillation Index. *Journal of Geophysical Research*, 97, 449-454.
- Kharin, V.V. and Zwiers, F.W. (2002). Note and correspondence: Climate prediction with multi-model ensembles. *Journal of Climate*, 15, 793-799.
- Kharin, V.V. and Zwiers, F.W. (2003). Improved seasonal probability forecast. *Journal of Climate*, 16, 1684-1701.
- Klopper, E., Landman, W.A. and Herrden, J.V. (1998). The predictability of seasonal maximum temperature in South Africa. *International Journal of Climatology*, 18, 741-758.
- Knaff, J.A. and Landsea, C.W. (1997). An El Nino-Southern Oscillation Climatology and PERSistenc (CLIPER) Forecasting Scheme. *Weather Forecasting*, 12, 633-652.
- Korecha, D. and Barnston, A.G. (2007). Predictability of June-September rainfall in

- Ethiopia. *Monthly weather review*, 135, 628-650.
- Krishnamurti, T.N., Kishtawal, C.M., Shin, D. W. and Williford, C. E. (2000). Multi-model superensemble forecasts for weather and seasonal climate. *Journal of Climate*, 13, 4196-4216.
- Kug, J.S., Kang, I.S. and Choi, D.H. 2008. Seasonal climate predictability with tier-one and tier-two prediction systems. *Climate Dynamics*, 31, 403-416.
- Landman, W.A. and Klopper, E. (1998). 15-year simulation of the December to March rainfall season of the 1980s and the 1990s using canonical correlation analysis (CCA). *Water SA*, 24, 281-285.
- Landman, W.A. and Mason, S.J. (1999). Operational long-lead prediction of South African rainfall using canonical correlation analysis. *International Journal of Climatology*, 19, 1073-1090.
- Landman, W.A., DeWitt, D.G., Lee, D.E., Beraki, A.F. and Lotter, D. (2012). Seasonal rainfall prediction skill over South Africa: 1- vs 2-tiered forecasting systems. *Weather Forecast*, 27, 489-501.
- Lee, D.Y., Ashok, K., and J.-B. Ahn, J.-B. (2011). Toward enhancement of prediction skills of multi-model ensemble seasonal prediction: A climate filter concept. *Journal of Geophysical Research*, 116, D06116, DOI:10.1029/2010JD014610.
- Lee, D.Y., Ashok, K., and J.-B. Ahn, J.-B. (2013). Improvement of multi-model ensemble seasonal prediction skills over East Asian Summer Monsoon Region using a climate filter concept. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52, 1127-1138.
- Leith, C.E. (1973). The standard error of time-average estimates of climate means. *Journal of Applied Meteorology*, 12, 1066-1068.
- Lin, H., Brunet, G. and Derome, J. (2008). Forecast skill of the Madden-Julian oscillation in two Canadian atmospheric models. *Monthly Weather Review*, 136, 4130-4149.
- Livezey, R.E. (1990). Variability of Skill of Long-Range Forecasts and Implications for their Use and Value. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 71, 300-309.
- Madec, G. (2008). NEMO reference manual ocean dynamics component: NEMO-OPA. Note du Pole de Modelisation 27, Institute Pierre-Simon Laplace (IPSL), France.

- Madden, R.A. (1976). Estimates of the natural variability of time-averaged sea-level pressure. *Monthly Weather Review*, 114, 2363-2401.
- Mason, S.J. (1998). Seasonal forecasting of South African rainfall using a non-linear discriminant analysis model. *International Journal of Climatology*, 18, 147-164.
- Mason, S.J. and Goddard, L. (2001) Probabilistic precipitation anomalies associated with ENSO. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 619-638.
- Mason, S.J., Joubert, A.M., Cosijn, C. and Crimp, S.J. (1996). Review of seasonal forecasting techniques and their applicability to southern Africa. *Water SA*, 22, 203-209.
- Mattes, M. and Mason, S.J. (1998). Evaluation of a seasonal forecasting procedure for Namibian rainfall. *South African Journal of Science*, 94, 183-185
- Min, Y.-M. and Kryjov, V.N. (2006). Development of APCC multi-model probabilistic forecast system. APCC Technical Report No. 1, Vol.4, APCC Annual Report on Research and Development, p. 21-35.
- Min, Y.-M., Kryjov, V.N. and Park, C.-K. (2009). A probabilistic multi-model ensemble approach to seasonal prediction. *Weather and Forecasting*, 24, 812-828.
DOI:10.1175/2008WAF2222140.1.
- Molteni, F., Stockdale, T., Balmaseda, M., Balsamo, G., Buizza, R., Ferranti, L., Magnusson, L., Mogensen, K., Palmer, T. and Vitart, F. (2011). The new ECMWF seasonal forecast system (System 4). ECMWF Technical Memorandum 656.
- Mutai, C.C., Ward, M.N. and Colman, A.W. (1998). Towards the prediction of the East Africa Short Rains based on sea-surface temperature-atmosphere coupling. *International Journal of Climatology*, 18, 975-997.
- Namias, J. (1985). Remarks on the Potential for Long-Range Forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 66, 165-173.
- Omogbai, B.E. (2010). An Empirical Prediction of Seasonal Rainfall in Nigeria. *Journal of Human Ecology*, 32, 23-27.
- Palmer, T.N. and Anderson, D.L.T. (1993). Scientific assessment of the prospect of seasonal forecasting: a European perspective. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Technical Report, 70, 34pp.
- Palmer, T.N. and Anderson, D.L.T. (1994). The prospects for seasonal forecasting. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 120, 755-793.

- Palmer, T.N. and Coauthors. (2004). Development of an European multi-model ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (DEMETER). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85, 853-872.
- Palmer, T.N., Buizza, R., Doblas-Reyes, F., Jung, T., Leutbecher, M., Shutts, G.J., Steinheimer, M. and Weisheimer, A. (2009). Stochastic parameterization and model uncertainty. ECMWF Technical Memorandum 598.
- Panagiotopoulos, F., Shahgedanova, M. and Stephenson, D.B. (2002). A review of Northern Hemisphere winter-time teleconnection patterns. *Journal of Physics*, 12, 1027-1047.
- Pavan, V. and Doblas-Reyes, J. (2000). Multi-model seasonal hindcasts over the Euro-Atlantic: Skill scores and dynamic features. *Climate Dynamics*, 16, 611-625.
- Peng, P., Kumar, A., Van den Dool, A.H. and Barnston, A.G. (2002). An analysis of multi-model ensemble predictions for seasonal climate anomalies. *Journal of Geophysical Research*, 107, 4710.
- Philander, S.G.H. (1990). El Niño, La Niña and the southern Oscillation. Academic Press, 289 pp.
- Preisendorfer, R.W. (1988), Principal component analysis in meteorology and oceanography. Elsevier Science, New York, 425pp.
- Rasmusson, E. and Carpenter, T. (1982) Variations in the tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, 110, 354–384.
- Reynolds, R.W., Raynor, N.A., Smith, T.M., Stokes, D.C. and Wang, W. (2002). An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate*, 15, 1609-1625.
- Roads, J.O. (1985). Temporal Variations in Predictability. *Journal of Atmospheric Sciences*, 42, 884-903.
- Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. (1987). Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115, 1606-1626.
- Saha, S., Nadiga, S., Thiaw, C., Wang, J., Wang, W., Zhang, Q., Van Den Dool H.M., Pan, H.-L., Moorthi, S., Behringer, D., Stokes, D., Pena, M., Lord, S., White, G.,

- Ebisuzaki, W., Peng, P. and Xie, P. (2006). The NCEP Climate Forecast System. *Journal of Climate*, 19, 3483-3517.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y.-T., Chuang, H.-Y., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., van den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M. and Becker, E. (2014). The NCEP Climate Forecast System Version 2. *Journal of Climate*, 27, 2185-2202.
- Särndal, C.-E. and Swensson, B. (1992). Model Assisted Survey Sampling. Springer-Verlag. 712 pp.
- Schneider, U., Becker, A., Meyer-Christoffer, A., Ziese, M. and Rudolf, B. (2011) Global precipitation analysis products of the GPCC. Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), DWD, 12 pp. Available online at ftp://ftp-anon.dwd.de/pub/data/gpcc/PDF/GPCC_intro_products_2008.pdf
- Shabbar, A. and Barnston, A.G. (1996). Skill of seasonal climate forecasts in Canada using canonical correlation analysis. *Monthly Weather Review*, 124, 2370–2385.
- Shabbar, A., Higuchi, K., Skinner, W. and Knox, J.L. (1997). The association between the BWA index and winter surface temperature variability over eastern Canada and west Greenland. *International Journal of Climatology*, 17, 1195-1210.
- Singhtrattana, N., Rajagopalan, B., Kumar, K.K. and Clark, M. (2005). Interannual and interdecadal variability of Thailand summer monsoon season. *Journal of Climate*, 18, 1697-1708.
- Smith, T.M., Reynolds, R.W., Peterson, T.C. and Lawrimore, J. (2008) Improvements NOAAs Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006). *Journal of Climate*, 21, 2283–2296.
- Stockdale, T.N., Andersen, D.L.T., Balmaseda, M.A., Doblas-Reyes, F., Ferranti, L., Mogensen, K., Palmer, T.N., Molteni, F. and Vitart, F. (2011). ECMWF seasonal forecast system 3 and its prediction of sea surface temperature. *Climate Dynamics*, 37, 455-471.
- Taylor, J.R. (1997). An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements. 2nd University Science Books, 327 pp.
- Thiaw, W.M., Barnston, A.G. and Kumar, V. (1999). Predictions of African rainfall on the seasonal timescale. *Journal of Geophysical Research*, 104, 31589-31597.

- Trenberth, K.E. (1991). General characteristics of El Niño-southern oscillation. Teleconnections linking worldwide climate anomalies, Cambridge University Press. 13-42.
- Trenberth, K.E. and Hurrell, J.W. (1994). Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dynamics*, 9, 303-319.
- Uvo, C.B., Repelli, C.A., Zeviak, S.E. and Kushnir, Y. (1998). The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 11, 551-562.
- van den Dool, H.M. (1994). Searching for analogues, how long must we wait? *Tellus*, 46A, 314-324.
- Wallace, J.M. and Gutzler, D.S. (1981). Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review*, 109, 784-812.
- Wang, B., Wu, R. and Fu, X. (2000). Pacific-East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? *Journal of Climate*, 13, 1517-1536.
- Wang, B. and Coauthors. (2009). Advance and prospectus of seasonal prediction: Assessment of the APCC/CLIPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980–2004). *Climate Dynamics*, 33, 93–117.
- Wang, H. and Ting, M. (1999). Seasonal cycle of the climatological stationary waves in the NCEP/NCAR reanalysis. *Journal of Atmospheric Sciences*, 56, 3892-3919.
- Ward, M.N. (1998). Diagnosis and short-lead time prediction of summer rainfall in tropical North Africa and interannual and multi-decadal timescales. *Journal of Climate*, 11, 3167-3191.
- Ward, M.N. and Folland, C.K. (1991). Prediction of seasonal rainfall in the north northeast of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature. *International Journal of Climate*, 11, 711-743.
- Washington, W.M., Weatherly, J.W., Mehl, G.A., Semtner Jr., A.J., Bettge, T.W., Craig, A.P., Strand Jr., W.G., Arblaster, J., Wayland, V.B., James, R. and Zhang, Y. (2000). Parallel climate model (PCM) control and transient simulations. *Climate Dynamics*, 16, 755-774.

- WCRP. (2008). WCRP Position Paper on Seasonal Prediction. Report from the First Seasonal Prediction Workshop, Barcelona, Spain, 4-7 June 2007. WCRP Informal Report 3/2008 (Geneva:WCRP)
- Wheeler, M. and Hendon, H.H. (2004). An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Monthly Weather Review*, 132, 1917-1932.
- WMO. (2002). Standardised Verification System (SVS) of Long-Range Forecast (LRF). New attachment II-9 to the manual on the GDPS. Vol. 1 WMO-No. 485, 24 pp. <http://www.apn-gcr.org/resources/index.php/items/show/1641>.
- Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N. and Kitoh, A. (2012). APHRODITE: Constructing a Long-term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia based on a Dense Network of Rain Gauges. *Bulletin of American Meteorological Society*, 93, 1401–1415.
- Yu, C., Chu, P. and Schroeder, T. (1997). Predictive skills of seasonal to annual rainfall variations in the U.S. affiliated pacific Islands: Canonical correlation analysis and multivariate principal component regression approaches. *Journal of Climate*, 10, 2586–2599.
- Yun, W.-T., Stefanove, L., and Krishnamurti, T.N. (2003). Improvement of the superensemble technique for seasonal forecasts. *Journal of Climate*, 16, 3834-3840.
- Yun, W.-T., Stefanova, L., Mitra, A.K., Kummar, T.S.V.V., Dewar, W. and Krishnamurti, T.N. (2005). A multi-model superensemble algorithm for seasonal climate prediction using DEMETER forecasts. *Tellus*, 57A, 280-289.
- Zhang, Q. and Van den Dool, H. (2012). Relative merit of model improvement versus availability of retrospective forecasts: The case of climate forecast system MJO prediction. *Weather Forecasting*, 27, 1045-1051.
- Zheng, X. and Frederiksen, C.S. (2006). A Study of predictable Patterns for Seasonal Forecasting of New Zealand Rainfall. *Journal of Climate*, 19, 3320-3333.
- Zwiers, F.W. (1996). Interannual variability and predictability in an ensemble of AMIP climate simulations conducted with the CCC GCM2. *Climate Dynamics*, 12, 825-848.