REFERENCES

Aschariyaphotha, N., 2006, **The Numerical Three Dimensional Ocean Modeling for the Gulf of Thailand**, Ph.D. Dissertation, Environmental Technology, The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.

Björnsson, H. and Venegas, S.A., 1997, **A Manual for EOF and SVD Analyses of Climatic Data**, McGill University, Centre for Climate and Global Change Research Report No. 97-1, Montréal, Québec.

Blumberg, A.F. and Mellor, G.L., 1987, "A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model", In **Three-Dimensional Coastal Ocean Models**, Heaps, N.S. (Ed.), Coastal and Estuarine Sciences, American Geophysical Union, Vol. 4, pp. 1-16.

Cheng, X. and Qi, Y., 2007, "Trends of Sea Level Variations in the South China Sea from Merged Altimetry Data", **Global and Planetary Change**, Vol. 57, pp. 371-382.

Chu, P.C., Wang, J. and Qi, Y., 2003, "Determination of the South China Sea Surface Height Variability Using TOPEX/POSEIDON data", **Proceedings of SPIE Conference on Remote Sensing of the Ocean and Sea Ice**, Barcelona, Spain.

Coward, A.C. and De Cuevas, B.A., 2005, **The OCCAM 66 Level Model: Physics, Initial Conditions and External Forcing**, Southampton Oceanography Center Internal Document, No. 99, UK.

Dasgupta, S., Laplante, B., Meisner, C., Wheeler, D. and Yan, J., 2007, **The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis**, World Bank Policy Research Working Paper 4136, Washington, DC.

Ding, X.L., Zheng, D.W., Chen, Y.Q. and Huang, C., 2002, "Sea Level Change in Hong Kong from Tide Gauge Records", **Journal of Geospatial Engineering**, Vol. 4, No. 1, pp. 41-49.

Ebuchi, N. and Hanawa, K., 1995, "Comparison of Surface Current Variations Observed by TOPEX Altimeter with TOLEX-ADCP Data", **Journal of Oceanography**, Vol. 51, pp. 351-362.

Ebuchi, N. and Hanawa, K., 1996, "Comparison of Sea Surface Heights Observed by TOPEX Altimeter with Sea Level Data at Chichijima", **Journal of Oceanography**, Vol. 52, pp. 259-273.

Emery, W.J. and Thomson, R.E., 2004, **Data Analysis Methods in Physical Oceanography**, 2nd and revised ed., Elsevier B.V., Amsterdam, The Netherlands.

Google, 2008, **Google Maps** [online], Available : http://maps.google.com/. [2008, October 4].

Gregory, J.M., 1993, "Sea Level Changes under Increasing Atmospheric CO_2 in a Transient Coupled Ocean-Atmosphere GCM Experiment", **Journal of Climate**, Vol. 6, pp. 2247-2262.

Grinsted, A., Moore, J.C. and Jevrejeva, S., 2005, **Cross Wavelet and Wavelet Coherence** [online], Available : http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/download.html. [2010, September 18].

Herrmann, N., 1996, **Spline-Funktionen und ihre Anwendung**, Preprint, Universität Hannover, Germany.

Hwang, C. and Chen, S., 2000, "Fourier and Wavelet Analyses of TOPEX/Poseidon-Derived Sea Level Anomaly Over the South China Sea: A contribution to the South China Sea Monsoon Experiment", **Journal of Geophysical Research**, Vol. 105, No. C12, pp. 28725-28804.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007, **Observations: Oceanic Climate Change and Sea level** [online], Available : http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch5.html. [2009, April 18].

Kim, J.W., Lee, J.W., Min, K.D., Won, J.S., Hwang, J.S. and Kang, S.C., 2001, "Wavenumber Correlation Analysis of Topex/Poseidon and Tide-Gauge Sea Surface Heights in the East Sea (Japan Sea)", **Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS '01. IEEE 2001 International**, Vol. 4, pp. 1750-1752.

Levitus, S. and Boyer, T., 1994, "World Ocean Atlas: Temperature, NOAA Atlas NESDIS 4", **U.S. Government Printing Office**, Vol. 4, pp. 117-118.

Levitus, S., Burgett, R. and Boyer, T., 1994, "World Ocean Atlas: Salinity, NOAA Atlas NESDIS 3", **U.S. Government Printing Office**, Vol. 3, pp. 99-100.

Limsakul, A., 2004, **Empirical Evidence for Thailand Surface Air Temperature Change: Possible Causal Attributions and Impacts**, Environmental Research and Training Center Department of Environmental Quality Promotion, Thailand.

Madala, R.V. and Piacsek, S.A., 1977, "A Semi-Implicit Numerical Model for Baroclinic Oceans", **Journal of Computational Physics**, Vol. 23, pp. 167-178.

Mathias, T. and Godfrey, J.S., 1994, **Regional Oceanography: An Introduction**, Pergamon, Australia.

Mellor, G.L., 2004, **Users Guide for a Three-Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model**, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, NJ.

Michael, P., 2006, **Rising Seas Could Leave Millions Homeless in Asia** [online], Available : http://www.commondreams.org/headlines06/1009-06.htm. [2010, October 20].

National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2010, **Global Climate Change** [online], Available : http://climate.nasa.gov/keyIndicators/. [2010, October 25].

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2010, **Sea Level Online** [online], Available : http://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends.html. [2010, December 9].

Nerem, R.S., Rachlin, K.E. and Beckley, B.D., 1997, "Characterization of Global Mean Sea Level Variations Observed by Topex/Poseidon Using Empirical Orthogonal Functions", **Surveys in Geophysics**, Vol. 18, pp. 293-302.

Niemnil, S. and Trisirisatayawong, I., 2006, **Sea Level Trend in Gulf of Thailand Using Tide Gauge Data**, Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.

Rojsiraphisal, T., 2007, **A Study of Variability in the North Indian Ocean**, Dissertation, Applied Mathematics, University of Colorado, Boulder, U.S.

Rong, Z., Liu, Y., Zong, H. and Cheng, Y., 2007, "Interannual Sea Level Variability in the South China Sea and Its Response to ENSO", **Global and Planetary Change**, Vol. 55, pp. 257-272.

Simons, T.J., 1974, "Verification of Numerical Models of Lake Ontario. Part I, Circulation in Spring and Early Summer", **Journal of Physical Oceanography**, Vol. 4, pp. 507-523.

Swathi, P.S. and Yajnik, K.S., 1997, "Sea Surface Heights Obtained from Modular Ocean Model Simulation and Comparison with Topex/Poseidon Data for the Indian Ocean", **Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Earth and Planetary Sciences**, Vol. 106, No. 1&2, pp. 43-53.

Tiwari, V.M., Cabanes, C., DoMinh, K. and Cazenave, A., 2004, "Correlation of Interannual Sea Level Variations in the Indian Ocean from Topex/Poseidon Altimetry, Temperature Data and Tide Gauges with ENSO", **Global and Planetary Change**, Vol. 43, pp. 183-196.

Torrence, C. and Compo, G.P., 1998, "A Practical Guide to Wavelet Analysis", **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 79, No. 1, pp. 61-78.

Torrence, C. and Webster, P.J., 1999, "Interdecadal Changes in the ENSO-Monsoon System", **Journal of Climate**, Vol. 12, pp. 2679-2690.

Torrence, C. and Compo, G.P., 2005, **Wavelet Software** [online], Available : http://paos.colorado.edu/research/wavelets/software.html. [2010, July 5].

Vogvisessomjai, S., 2006, "Will Sea Level Really Fall in the Gulf of Thailand?", **Songklanakarin Journal of Science & Technology**, Vol. 28, No. 2, pp. 227-248.

Webb, D.J., De Cuevas, B.A. and Coward, A.C., 1998, **The First Main Run of the OCCAM Global Ocean Model**, Internal Report of James Rennell Divesion, Southampton Oceanography Centre, UK.

White, N., 2011, **Sea Level Rise** [online], Available : http://www.cmar.csiro.au/sealevel/sl_impacts_sea_level.html. [2011, April 4].

Wong, W.T., Li, K.W. and Yeung, K.H., 2003, "Long Term Sea Level Change in Hong Kong", **Hong Kong Meteorological Society Bulletin**, Vol. 13, No. 1/2, pp. 24-40.

Yanagi, T. and Akaki, T., 1994, "Sea Level Variation in the Eastern Asia", **Journal of Oceanography**, Vol. 50, pp. 643-651.

APPENDIX A

1. Lagrange Multiplier Method

The Lagrange multiplier method is used when one needs to find the maximum or minimum of a function subject to constraints. Consider the following optimization problem:

objective function	$f(\vec{x})$,
constraint to	$g_k(\vec{x}) = c$.

The Lagrange function defined by

$$F(\vec{x}, \lambda) := f(\vec{x}) + \sum_k \lambda_k g_k(\vec{x})$$

where $\vec{x}$ is vector of variables,
λ is vector of Lagrange multiplier with elements λ_k and k is the number of constraints

2. Covariance Matrix and Its Properties

The covariance is a measurement relationship between two variables. A large positive value indicates positively correlated data and a large negative value denotes negatively correlated data.

The covariance matrix of a random vector $\vec{X} \in R^n$ with mean vector $\vec{m}_x$ is defined as

$$\mathbf{C}_x = E[(\vec{X} - \vec{m})(\vec{X} - \vec{m})^T].$$

The element of covariance matrix is given by

$$C_{ij} = E[(X_i - m_i)(X_j - m_j)] = \sigma_{ij}.$$

Properties of the covariance matrix

- The diagonal entries of covariance matrix $\mathbf{C}_x$ are the variances of the components of random vector $\vec{X}$ that is

$$C_{ii} = E[(X_i - m_i)^2] = \sigma_i^2.$$

- Since the diagonal entries are all positive so the trace of this covariance matrix is positive,

$$\text{Trace}(\mathbf{C}_x) = \sum_{i=1}^{n} C_{ii} > 0.$$

- The covariance matrix $\mathbf{C}_x$ is symmetric, $C_{ij} = \sigma_{ij} = \sigma ji = C_{ji}$,

$$\mathbf{C}_x = \mathbf{C}_x^T.$$

3. EOF Computation Using Covariance Matrix Method with MATLAB (Björnsson and Venegas, 1997)

1. Assume the data is in a matrix `M` with each row as one map and each column a time series for a given station.

2. Removing the mean of each column:

```
F = detrend(M,0);
```

3. Forming the covariance matrix:

```
R = F' * F;
```

4. Calculating the eigenvalues and eigenvectors of the covariance matrix:

```
[C, L] = eig(R);
```

   where `L` is a diagonal matrix of the eigenvalues corresponding to eigenvector matrix `C`.

5. Computing the principal component, `PCi`, corresponding to eigenvalue λ_i

```
PCi = F * C(:,i);
```

6. Calculating the percentage of variance:

```
k = diag(L)/trace(L) * 100;
```

EOF computation for NaNs with MATLAB is used in this research are shown step by step and using Björnsson and Venegas (1997). Assume the data is in a matrix `anom` and next steps as following,

```
%% Compute covariance of matrix with NaNs (already remove mean)
Cov = nancov(anom,'pairwise');

%% Put 0's in for NaNs in Cov matrix to be able to compute eig()
Cov(isnan(Cov)) = 0;

%% Compute eigenvalues (variances of amplitudes),
%% eigenvectors (EOFs) of data covariance matrix
[V,D] = eig(Cov);
% V = EOFs, diag(D) = eigenvalues

%% EIG outputs from low to high, so flip up to down
val = flipud(diag(D));
% eigenvalues = variances of each amplitude
```

```
%% EIG outputs from low to high, so flip column to order from
%% high to low
vec = fliplr(V);
% Flip columns left/right to correspond to adjusted ordering of
% amplitudes

%% Calculate percentage of total variance
val = val*100/sum(val);

%% Put 0's in for NaNs in anom matrix to be able to compute
%% amplitudes
anom(isnan(anom)) = 0;
amp = anom*vec;
```

4. Missing data

All missing data from observations are less than 1% of data records. The percentages of missing data for each station are shown in Table A.1.

The observation from TOPEX/ERS during 1993 - 2004 which cover 89.9°E to 135.9°E and 15.9°S to 30.1°N have missing data. The missing data in the Gulf of Thailand and the South China Sea is a land in the south of Thailand disappearance, as shown in Fig. A.1. There are missing data in that area, so the spatial patterns of EOF are no land in the west coast of the Gulf of Thailand.

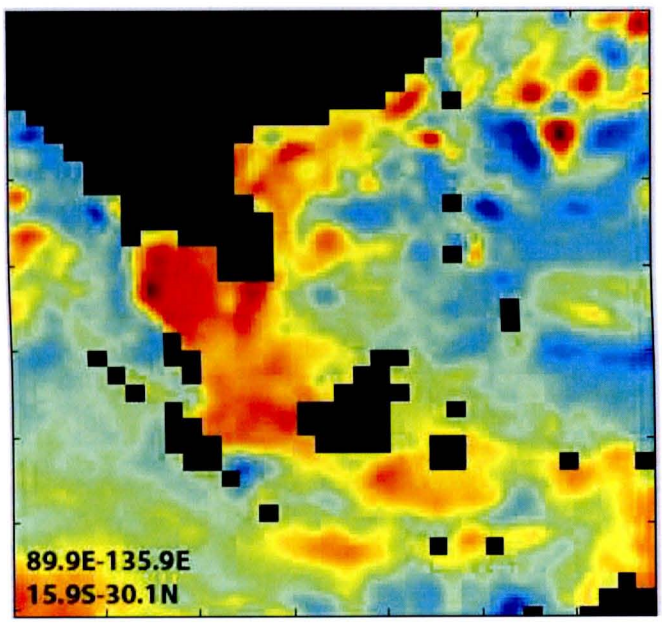

Figure A.1 The observation from TOPEX/ERS covers the Gulf of Thailand and the South China Sea.

Table A.1 The percentages of missing data from the observations in the Gulf of Thailand and the South China Sea

Station Name	**Period**	**missing data** (%)
Samutsongkram	1980 - 2007	0.44
Prasae	1984 - 2007	0.27
Laem-ngop	1984 - 2007	0.18
Bangpakong	1981 - 2007	0.26
Ko Lak	1985 - 2007	0.23
Samutsakorn	1977 - 2007	0.43
Zhapo	1959 - 2007	0.01
Xiamen	1954 - 2004	0.01
Kanmen	1959 - 2007	0.02
Tai Po Kau, Tolo Harbour	1963 - 2006	0.02
Quarry Bay	1963 - 2006	0
Kukup	1986 - 2007	0.03
Johor Bahru	1984 - 2006	0.05
Tanjung Sedili	1987 - 2006	0.02
Pulau Tioman	1986 - 2006	0.04
Tanjung Gelang	1984 - 2006	0.01
Cendering	1985 - 2006	0.01
Kota Kinabalu	1988 - 2006	0.05
Tawau	1988 - 2006	0.09
Quinhon	1977 - 2006	0.01
Manila, S. Harbor	1980 - 2007	0.46
Legaspi, Albay	1980 - 2007	0.03
Cebu	1980 - 2007	0.10

CURRICULUM VITAE

NAME	Miss Chortip Siwapornanan
DATE OF BIRTH	25 February 1981
EDUCATIONAL RECORD	
High School	Prapathomwittayalai School, 1998
Bachelor's Degree	Bachelor of Science (Mathematics) Silpakorn University, 2002
Master's Degree	Master of Science (Applied Mathematics) King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2005
Doctoral Degree	Doctor of Philosophy (Applied Mathematics) King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2010
EMPLOYMENT RECORD	Invited Lecturer (2004-2005) Siam University
SCHOLARSHIP	Strategic Scholarships for Frontier Research Network for the Joint Ph.D. Program Thai Doctoral degree, the Commission on Higher Education, Thailand
PUBLICATIONS	C. Siwapornanan, U.W. Humphries and P. Wongwises, 2009, "Sea Level Change in the Gulf of Thailand by Using Spline Approximation", In Yahya Abu Hasan et al. (eds) **5th Asian Mathematical Conference Proceedings (Volume II)**, June 2009, pp. 560 - 566.

PUBLICATIONS

C. Siwapornanan, U.W. Humphries and P. Wongwises, 2009, "Spline Approximation for Sea Level Observed in the Gulf of Thailand and the South China Sea", **Proceeding of International Conference in Mathematics and Applications**, Bangkok, Thailand.

C. Siwapornanan, U.W. Humphries and P. Wongwises, 2011, "Characterization of the Observed Sea Level and Sea Surface Temperature in the Gulf of Thailand and the South China Sea", **Applied Mathematical Sciences**, Vol. 5, No. 27, pp. 1295 - 1305.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่.....10.....เดือน.....พฤศจิกายน..... พ.ศ...2554.....

ข้าพเจ้า (~~นาย/นาง~~/นางสาว).....ช่อทิพย์...ศิวพรอนันต์.....รหัสประจำตัว.....50501401.....
เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ระดับ ○ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ○ ปริญญาโท ◉ ปริญญาเอก
หลักสูตร.....ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต..... สาขาวิชา.....คณิตศาสตร์ประยุกต์.....คณะ.....วิทยาศาสตร์.....
อยู่บ้านเลขที่....48/73....หมู่.....-.....ตรอก/ซอย.....สาทร 10.....ถนน...สาทรเหนือ.....ตำบล/แขวง....สีลม.....
อำเภอ/เขต.....บางรัก.....จังหวัด.....กรุงเทพมหานคร.....รหัสไปรษณีย์.....10500.....
เป็น "ผู้โอน"ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี **ผศ.ดร. วรนุช เกิดสินธ์ชัย** ตำแหน่ง **คณบดี** คณะวิทยาศาสตร์ เป็นตัวแทน "ผู้รับโอน" สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง.....การศึกษาระดับน้ำทะเลในบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขทางสมุทรศาสตร์ ..... ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ.....รศ.ดร. อุษา...ยัมฟรี่.....อาจารย์ที่ปรึกษา และ/หรือ .....รศ.ดร. ปรุงจันทร์...วงศ์วิเศษ.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่
4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน
5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือ

ทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้นโดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ.....ผู้โอนสิทธิ
(นางสาว ช่อทิพย์ ศิวพรอนันต์)
นักศึกษา

ลงชื่อ.....ผู้รับโอนสิทธิ
(ผศ.ดร. วรนุช เกิดสินธ์ชัย)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

ลงชื่อ.....พยาน
(รศ.ดร. อุษา ธัมหิรี)

ลงชื่อ.....พยาน
(ดร. คุษฎี ศุขวัฒน์)

THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THAILAND
RESEARCH LIBRARY