

SEASAT 衛星을 利用한 東支那海의 海洋測地學의 研究

崔 秉 昊*

Choi Byung-Ho

緒 言

汎世界的인 海洋力學과 海洋特性을 觀測하기 爲하여 美國 NOAA/NASA에 依해 1978年 6月 發射되었던 SEASAT-A衛星⁽¹⁾은 最小 1年壽命을 가진 3年 運用計劃으로 設計된 衛星이었지만 不過 4個月程度 運用되다 故障이 난 實驗衛星이다(그림 1). 그러나 이 4個月의 資料가 現在 海洋學 및 測地學研究에 有用하게 利用되고 있다. SEASAT에 附着된 sensor, 資料利用可能期間, 軌道 및 資料의 供給出處를 提示하면 다음과 같다.

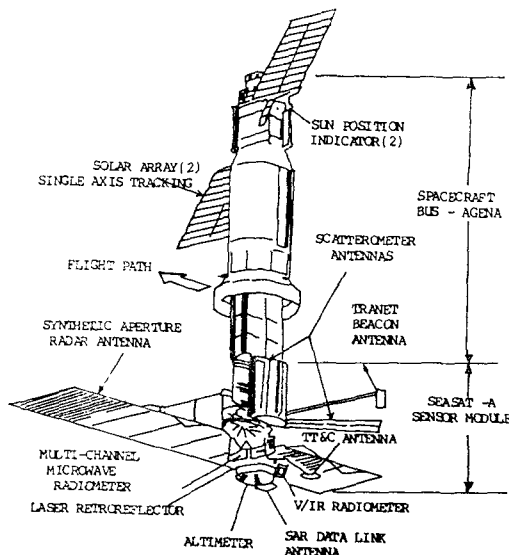


그림 1. SEASAT-A

* 成均館大學校 工科大學 副教授

- Sensor—SEASAT에는 合成開口 Radar(Synthetic Aperture Radar), micro 波散亂計(SEASAT-A Scatterometer System), micro 波高度計(Altimeter) 및 走査型 多重 channel 放射計(Scanning Multichannel Microwave Radiometer)가 附着되어 있다.
- 資料利用可能期間—78年 7月 7日부터 78年 10月 10日까지의 資料가 原資料(raw data), range 壓縮資料, 再構成資料로서 提供된다.
- 資料提供—美國 SDSD*와 歐洲의 EARTHNET**을 통해 汎世界的인 資料가 提供되고 있다.

* United States Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration Environmental Data and Information Service National Climatic Center Satellite Data Service Division, World Weather Building Rm 100 Washington, D. C. 20233.

** EARTHNET Business Office, Esrin, Frascati, Italy.

SEASAT-A의 Sensor들의 多目的 利用度를 略述하면 다음과 같다.

- SAR—風波 및 海洋波의 에너지 스펙트럼을 調査할 수 있는데 表面波를 50~1,000m의 波長範圍 ±3%, 方向은 ±2° 精度로서 觀測하며 冰山位置는 ±250m 絕對位置精度로 SMMR과 併用하여 測定可能하다.
- Altimeter—高度計는 軌道衛星과 地球表面의 距離를 正確히 測距하는 데 目的이 있다. 實

效 pulse幅은 3.125nsec, 周波數 13.5GHz, 波長은 2.2cm이다. 高度計資料로 海面變位(Sea Surface Topography)로부터 Geoid面의 變位量(undulation)을 計測할 수 있으며, 海洋의 密度場의 構造에 關한 資料와 併用하던 主要 海流의 質量輸送의 變化量, 熱量과 運動量의 輸送에 對한 評價를 할 수 있다. 또한 精度 10~20cm로서 有意波高를 觀測하여 海上風의 風速을 計測하는 데 利用된다.

- SASS—海洋上의 風向, 風速의 測定目的으로 開發되었다.
- SMMR—大規模 海洋循環을 알기 爲한 海洋力學, 海面溫度, 海上風의 測定, 波浪域 0.8, 1.4, 1.7, 2.8, 4.6cm band의 偏波를 測定하는 데 應用되며, 이中 海面溫度, 海上風速, 大氣中의 水蒸氣, 大氣中의 水流等에 對한 研究方法은 開發되었다 한다.

이러한 多目的의 利用度를 充實히 遂行하기 爲한 研究가 獎勵되고 있는 데 研究財源 및 現場 觀測支援이 美國에서는 NOAA, NSF, U.S. Coast Guard, ONR, USGS, NASA를 통해 이루어지고 있으며 歐洲의 境遇는 SEASAT 資料 共同研究 委員會가 SEASAT 發射前부터 構成되어 研究가 活潑히 進行되고 있다. 隣近 日本의 境遇는 「廣域의 海洋環境情報의 解析手法」⁽²⁾,⁽³⁾이라는 研究事業으로 海洋科學技術센터와 IBM Tokyo Sci-

entific Center가 Partnership program으로 共同 研究가 活潑하다.

NOAA/NASA가 SEASAT-A 資料를 重點的으로 研究할 分野를 表-1과 같이 提示하였다. 本稿에서는 SEASAT-A 高度計資料가 海洋測地學 특히 海表面의 變位(Sea Surface Topography)를 決定하는 데 어떻게 利用되고 있으며 우리나라 沿海인 黃海 및 東支那海에의 適用은 어떻게 할 것인가에 對해 敍述하였다. 實際研究는 캐나다, 美國의 研究機關과 共同으로 始作할 段階에 있으며 初期結果가 나오는 대로 別途로 發表할 豫定이다.

SEASAT 高度計 資料

SEASAT 高度計는 1978年 7月부터 10月初까지 約 70日間의 資料를 提供했다. 資料는 平均 距離 1秒當, 即 地上軌道의 7km마다 資料가 提供됐다. 地上軌道(ground track)의 交叉點間隔은 約 1~2°이다. 1978年 9月에야 SEASAT은 完全한 軌道에 進入하여 地上軌道를 3日週期로 反復하였는데 Jet Propulsion Laboratory가 提供하는 地上軌道資料는 表-2와 같다.

SEASAT 運用期間中 3回에서 4日程度의 缺測 資料가 있는 데 仔細한 期間은 Geophysical Data Record(GDR) user handbook⁽⁴⁾과 Tapley⁽⁵⁾等

表 2. SEASAT 地上軌道 資料

1978年 6월 26일~8월 15일 : 케도진입	
1지역	$\left\{ \begin{array}{l} 8월 15일 \sim 8월 18일 \\ 8월 18일 \sim 8월 23일 \\ 8월 23일 \sim 8월 26일 \end{array} \right\}$ 이 期間의 地上軌道는 進入軌道*와 類似하다
2지역	8월 26일~9월 10일 基線軌道**(約 3日反復) 9월 10일~10월 9일 3日週期反復軌道***
* 進入軌道(launch orbit)...1日(14回轉), 3日(43回轉), 17日이 經過되면 完全한 cycle이 끝나며 赤道는 160km로 sample되며 다음 17日은 160km를 25km 간격으로 나누게 된다.	
** 基線軌道(baseline orbit)...8月 26日 進入되었는데 3日週期 反復軌道와 類似하므로 以後 3日週期 軌道 資料가 提供된다.	
*** 3日週期 反復軌道(fixed orbit period)...9組의 3日 週期資料가 利用可能하다.	

表 1. 重點的으로 研究되어야 할 5個分野 및 細部 研究事項

(1) 沿岸 및 湖水	—大氣中의 水蒸氣
—淺海波	(3) 測地學
—內部波	—지오이드
—陸棚/沿海의 從環過程	—正確한 衛星位置
—颱風, 暴風海溢	(4) 南, 北極
—沿海의 바람	—氷山力學
(2) 外洋	—氷山統計 및 分布
—風域, 剪斷力分布, 과	(5) 水文學
랑스펙트럼	—降雪地域分布
—海面風	—降雪量 및 物理的 特性
—바람의 剪斷力	
—海面溫度	—洪水地域分布
—海流	—土壤含水分布

表 3. Satellite Orbit Tracks over East China Sea During Mission Time

File	Start Time (in secs)	End Time (in secs)	Plot	Start Time (in secs)	End Time (in secs)
# 1	16190557	16672669	#1	16190557	16329600 (July 7 9H22M to end of July 8)
			#2	16329600	16416600 (July 9 to July 10 OH9M60S)
			#3	16416600	16672669 (July 10 to July 12 23H17M49S)
# 2	16677408	17078821	#1	16677408	16934400 (July13 OH36M to end of July 15)
			#2	16934400	17078821 (July 16 to July 17 16H7M)
# 3	17663665	1813982	#1	17663665	17798400 (July 24 10H34M to end of July 25)
			#2	17798400	17971200 (July 26 to end of July 27)
			#3	17971200	18139382 (July 28 to July 29 22H43M)
# 4	18144589	18579444	#1	18144589	18403200 (July 30 91M49S to end of Aug 1)
			#2	18403200	18579444 (Aug 2 to Aug 4 OH57M24S)
# 5	18663835	19137227	#1	18663835	18835200 (Aug 5 23M55S to end of Aug 6)
			#2	18835200	19008000 (Aug 7 to end of Aug 8)
			#3	19008000	19137223 (Aug 9 to Aug 10 11H53M47S)
# 6	19183106	19630046	#1	19183106	19440000 (Aug 11 38M26S to end of Aug 13)
			#2	19440000	19630046 (Aug 14 to Aug 16 4H47M)
			#3	19630046	19702295 (Aug 16 4H47M to Aug 17 51M35S)
# 7	19702295	21042894	#1	19702295	19958400 (Aug 17 51M35S to end of Aug 19)
			#2	19958400	21042894 (Aug 20 to Aug 22 3H14M54S)
			#3	21042894	20221237 (Aug 22 3H4M54S to Aug 23 1H)
# 8	20221237	20622644	#1	20221237	20390400 (Aug 23 1H to end of Aug 24)
			#2	20390400	20563200 (Aug 25 to end of Aug 26)
			#3	20563200	20736000 (Aug 27 to end of Aug 28)
# 9	21433655	21786840	#1	21433655	21786840 (Sept 6 1H47M35S to Sept 10 3H54M)
#10	22046491	22709141	#1	22046491	22291200 (Sept 13 4H1M to end of Sept 15)
			#2	22291200	22464000 (Sept 16 to end of Sept 17)
			#3	22464000	22636800 (Sept 18 to end of Sept 19)
			#4	22636800	22809600 (Sept 20 to end of Sept 21)
#11	22724309	23233907	#1	22724309	22896000 (Sept 21 to end of Sept 22)
			#2	22896000	23068800 (Sept 23 to end of Sept 24)
			#3	23068800	23241600 (Sept 25 to end of Sept 26)
#12	23244260	23753751	#1	23244260	23500800 (Sept 27 to end of Sept 29)
			#2	23500800	23673600 (Sept 30 to end of Oct 1)
			#3	23673600	23760000 (Oct 2 to end of Oct 1)
#13	23764221	24273684	#1	23764221	24019200 (Oct 3 to end of Oct 5)
			#2	24019200	24192000 (Oct 6 to end of Oct 7)
			#3	24192000	24364800 (Oct 8 to end of Oct 9)
#14	24284149	24359383	#1	24284149	24537600 (Oct 9 1H35M49S to end of Oct 12)

이 發表한 論文에 收錄되어 있다. 表-3은 SEAS 海의 衛星軌道資料期間을 提示하고 있다. 提示

된 表에서 No. 3 file의 plot No. 1의 軌道를 例 示한 것이 그림 2에 提示되고 있다.

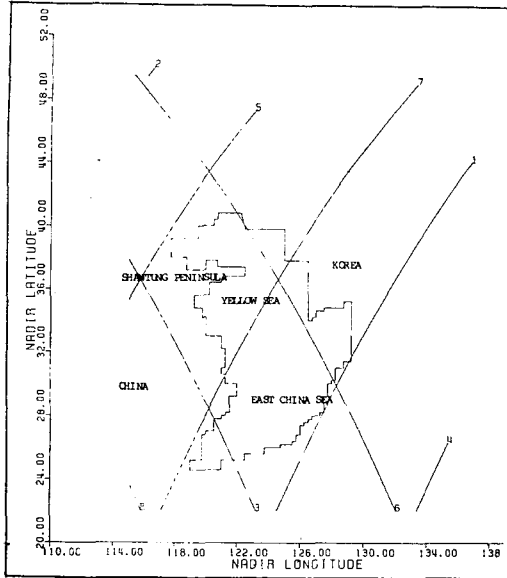


그림 2. 東支那海의 SEASAT-A ground track 例

海表面의 變位決定

지오이드(Geoid)는 等포텐셜面으로 參照橢圓(reference ellipsoid)과는 約 ±60m의 變位가 있다. 그림 3에 提示된 海表面의 變位(Sea Surface Topography)는 海面과 지오이드間의 距離로서 이를 正確하게 決定하는 것이 海洋測地學的으로 重要한 일이다. 高度計資料는 海洋學的, 地球物理學發 條件을 考慮한 更正이 必須的인 바 Tapley等⁽⁵⁾은 다음과 같이 更正을 爲한 式을 提示하였다.

$$h^* = h + h_{s_g} + h_i + h_a + h_s + h_g + h_t + h_0 + \epsilon \quad (1)$$

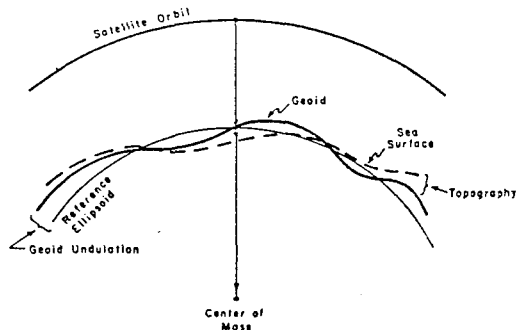


그림 3. 海表面의 變位

但 h^* 는 衛星의 質量中心부터 參照橢圓까지의 距離,

h 는 高度計에 依해 測定되는 海表面上 衛星高度,

h_{s_g} 는 衛星形態에 따른 影響 即 衛星質量中心과 高度計距離 및 衛星의 非垂直方向의 影響,

h_i 는 測器更正後의 殘留誤差,

h_a 는 大氣層距離 更正值,

h_s 는 海表面과 radar pulse 相互作用에 따른 更正值,

h_g 는 지오이드높이,

h_t 는 地球 및 海洋潮汐에 對한 更正值,

h_0 는 海洋水 循環, 海面大氣壓 및 바람에 依한 海面變位更正,

ϵ 는 其他要因(random measurement noise)에 依한 誤差.

海洋學 및 地球物理學的의 精密度를 爲해서 SEASAT 實驗研究陣은 衛星軌道更正, 機器誤差更正, 大氣層更正, Geoid model, 地球潮汐 및 海洋潮汐更正 및 大氣壓影響을 考慮한 Geophysical Data Record (GDR) tape를 再編輯하였다. 이러한 更正은 廣域의 研究 및 地球全體를 다루는 研究에는 最小限의 要求條件을 充足할지 모르지만 特定地域을 다루기에는 適合하지 않은데 氣象影響 및 淺海影響에 依한 海面變化 및 地域的인 重力分布, 海洋潮汐等이 仔細히 考慮되어야 하기 때문이다. 이러한 更正을 爲해 Cartwright와 Alcock⁽⁶⁾은 衛星에 依한 資料를 다음과 같은 式으로 提示하였다.

$$Z(x, y, t) = Z_0 - Z_a - Z_r \quad (2)$$

여기서 $Z(x, y, t)$ 는 衛星資料(Satellite derived data), Z_0 는 軌道半徑, Z_a 는 機器誤差 및 傳播誤差更正後의 高度計資料, Z_r 은 採擇되는 參照橢圓($r=637814m$ 또는 $6379135.6m$ (GRS 80), flattening $1/298.257$).

(2)式에 依한 $Z(x, y, t)$ 로부터 다음 式에 依해 殘留高(residual height), $R(x, y, t)$ 가 提示된다.

$$R(x, y, t) = Z(x, z, t) - Z_B - Z_L - Z_T - Z_S - Z_A \quad (3)$$

여기서 Z_B 는 body tide, Z_L 은 海洋에 依한 loading tide, Z_T 는 海洋潮汐, Z_s 는 長期檢潮記錄을 分析하여 決定할 수 있는 低周波帶의 海面變化, Z_A 는 氣象變化에 依한 海面變化인 데이터가 更正된 後의 殘留高, $R(x, y, t)$ 는 지오이드와 恒流에 依한 時間에 無關한 海面分布를 意味한다.

○ 地球潮汐(earth tide)

Z_B , 'body tide'는 太陰과 太陽의 起潮力에 對한 彈性體인 地殼의 直接的인 反應을 말하며 Z_L , 'loading tide'는 海洋潮汐의 分布에 따른 地殼의 反應을 나타내는 데 Z_B 와 Z_L 을 通稱하여 地球潮汐⁽⁷⁾이라 한다. Z_L 은 Accad와 Pekeris⁽⁸⁾가 提示한 方法에 依해 海洋潮汐에 對한 百分率로 概略할 수도 있다. 北海의 境遇 M_2 가 2cm보다 적었으므로 更正에서 除外되었는데 東支那海의 境遇도 Hosoyama⁽⁹⁾의 研究에 依하면 Z_L 은 現在의 高度計更正度를 考慮할 때 無視될 수 있다. 複合된 太陽과 太陰의 引力포텐셜이 地上軌道位置 (φ, λ) 에서 $V(\varphi, \lambda, t)$ 일 때 loading tide, Z_B 는

$$Z_B = h_2 V(\varphi, \lambda, t) / g(\varphi) \quad (4)$$

로서 h_2 는 love number이며 g 는 重力常數이다. 太陽과 太陰의 正確한 位置 및 複合된 포텐셜을 求하는 프로그램(MONSUN, POT series)이 Cartwright⁽¹⁰⁾에 依해 提示되었다. Z_B 는 一般의 20cm보다 작으며 變化도가 크지 않다.

○ 海洋潮汐 및 氣象에 依한 海面變化

東支那海 및 黃海에서의 海洋潮汐 및 氣象에 依한 海面變化가 短期海面攪亂을 惹起하는 主要素이다. 瞬間的인 海面分布는 SEASAT Altimetry에 依해 쉽게 判別되는 것이 Cartwright와 Alcock⁽⁶⁾의 北海에서의 研究, Le Provost와 Brossier⁽¹¹⁾에 依한 英佛海峽의 研究, Parke⁽¹²⁾에 依한 Pentagonian 陸棚의 研究에서 提示된 바 있다. JPL에 依해 供給되는 altimetry tape에는 Global Ocean Tide Model⁽¹³⁾에 依한 海洋潮汐更正이 包含되어 있으나 局地的인 適用에는 適合하지 않으므로 局地的인 黃海와 東支那海의 精密모델⁽¹⁴⁾의 適用이 必要하다. SEASAT-A 期間中 東支那海를 通過한 熱帶性低氣壓은 7月 28

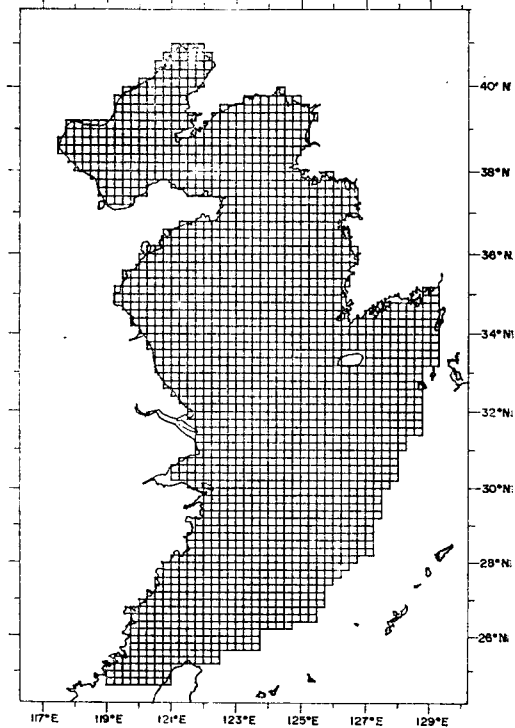


그림 4. 黃海 및 東支那海 陸棚모델의 有限格子體系

日~8月 4日期間의 颱風 8號(7808호, Wendy), 8月 13日~8月 22日 期間의 颱風 11號(7811호, Carmen), 9月 11日~9月 16日 期間의 颱風 18號(7818호, Irma)가 있으며 表-3에 提示된 概略的인 相應하는 軌道期間은 1791200s~18579444s, 19440000s~21042894s, 22046491s~22291200s의 3組가 利用될 수 있다. 그림 4는 黃海 및 東支那海 陸棚모델의 有限格子體系를 提示하고 있는데 二次元모델⁽¹⁴⁾ 및 三次元모델⁽¹⁵⁾이 利用可能하다. 海洋潮汐의 算定은 開放境界面에서의 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 分潮의 振幅, 位相을 賦與하고 長週期變化에 따른 f, u 값을 算定期間의 첫날에 指定해 주므로 이루어지며 氣象에 依한 海面變化는 6時間天氣圖資料로부터 每時間別(또는 2時間別)天氣圖를 作成하고 이로부터 東向, 北向의 바람에 의한 剪斷應力 및 氣壓勾配가 算定되어 每算定時間間, 每格子點에 入力되고 開放境界面에는 靜水壓法則에 依한 surge input이 入力되며 放射條件이 考慮된다. 開放境界面の 資料는 實際觀

測에 의한 것이 아니므로 아직은 完全치 않으나 潮位 및 潮流⁽¹⁶⁾觀測結果로부터 檢證된 것으로 現在의 目的으로서는 滿足스러울 것이다. 算定된 結果를 觀測結果와 比較하기 爲해서는 SEA SAT mission 期間中の 仁川港, 群山, 大黑山島, 木浦, 濟州, 麗水에서 利用可能한 데 이는 observed, predicted residual 時系列로서 編輯⁽¹⁷⁾되어 있다. 中國沿岸의 資料가 있으면 더 信賴性있는 檢討가 이루어 질 수 있는 데 이러한 共同協力を 推進中에 있다. 이러한 hindcast 技法은 氣象資料의 入力이 手動的인 形態를 벗어나면 颱風海溢豫報에 그대로 適用될 수 있다.

○ 緩速으로 變化되는 海面 및 基準面

前項의 動力學的모델로서 算定될 수 없는 緩速으로 變化하는 海面變化(Z_s)가 있다. 이는 外洋의 氣壓 및 密度分布에 依해 惹起되는 海流의 速度 및 垂直, 水平의 海水密度資料가 있으면 算定될 수 있는 데 利用可能한 資料가 SEASAT 期間中에 없으므로 海面의 直接觀測資料로부터 推定해야 한다. 每時間觀測資料에서 Doodson의 X_0 filter를 適用하여 潮汐을 除去할 때 日平均海面이 仁川, 群山, 木浦, 麗水에서 表-4와 같이 提示되는 데 이는 各 地點의 海面의 anomaly를 나타낸다. Z_s 를 評價하기 爲해서는 다음 式이 利用될 수 있다.

$$Z_s = C(x, \phi, t) = \xi(t) - \xi'(t) - \zeta \quad (5)$$

여기서 $\xi(t)$ 는 表-4에 提示된 特定期間值이며 ξ' 는 潮汐 및 海溢모델에서 算定된 값이며 ξ_0 는 各 地點의 基準面이다. 現在로서는 ξ_0 를 評價하기 爲해 檢潮所間의 連結評價가 海面變化研究⁽¹⁷⁾를 통해 遂行中이기는 하나 完了되지 않아 Z_s 의 評價는 留保되어야 할 것이다.

○ 平均海表面의 熱鹽勾配

SEASAT-A 高度計에 依한 瞬間的인 海面에 對한 更正을 前項에 敍述된대로 誤差없이 遂行하면 特定期間의 東支那海의 平均海表面에 該當되는 靜的表面을 求할 수 있으며 時間에 無關한 海面勾配를 除去하면 海表面과 지오이드間의 距離인 海表面의 變位가 算定될 수 있다. 첫째로 淺海에서는 潮汐方程式의 移流項에 依한 海表面

表 4. SEASAT Mission 中(9月)의 우리나라 主要港灣의 日平均海面

(單位 : m)

港口 月日	仁川	群 山	木 浦	麗 水
1	4.67	3.55	2.41	1.97
2	4.78	3.63	2.40	1.95
3	4.63	3.57	2.33	1.94
4	4.68	3.58	2.37	1.98
5	4.73	3.54	2.37	1.96
6	4.74	3.57	2.35	1.95
7	4.80	3.61	2.35	1.94
8	4.81	3.49	2.28	1.90
9	4.66	3.38	2.21	1.93
10	4.76	3.39	2.25	1.99
11	4.90	3.50	2.33	1.98
12	4.85	3.52	2.31	1.93
13	4.74	3.48	2.31	1.94
14	4.78	3.53	2.46	2.04
15	4.72	3.59	2.49	2.04
16	4.58	3.58	2.36	1.96
17	4.68	3.70	2.44	2.02
18	4.66	3.51	2.43	2.01
19	4.64	3.36	2.35	1.96
20	4.70	3.39	2.34	1.92
21	4.65	3.25	2.28	1.90
22	4.67	3.26	2.25	1.90
23	4.64	3.16	2.19	1.88
24	4.65	3.14	2.16	1.90
25	4.73	3.20	2.14	1.88
26	4.69	3.17	2.12	1.87
27	4.70	3.20	2.14	1.87
28	4.79	3.26	2.20	1.89
29	4.65	3.18	2.18	1.87
30	4.61	3.18	2.19	1.87
월 평균	4.71	3.42	2.30	1.94
장기누년 평균	4.53	3.34	2.14	1.81

勾配가 算定될 수 있는데 SEASAT 高度計更正의 誤差限界를 10cm 程度로 할 때 一次的으로 無視될 수 있다. 둘째로 長期間의 密度勾配에 依한 海面傾斜를 求하는 方法은 淺海의 境遇는 깊은 海洋에서의 方法과 큰 差가 있는데 Stommel⁽¹⁸⁾, Lisitzen⁽¹⁹⁾ 등이 利用하였던 方法과 Wunsch⁽²⁰⁾에 依해 修正提案된 方法은 深海에서

適合하며 Bowden⁽²¹⁾이提示한方法이淺海의境遇適合한것으로알려져있다.即

$$\nabla\zeta = -(\rho_0 h)^{-1} \int_{-h}^0 \nabla(\rho_z) z dz \quad (6)$$

여기서 h 는海底까지의水深, ρ_z 各水深에서의平均密度인데 ρ 自體가概略적으로利用되며 ρ_0 는海水面의密度이다. Bowden은이方法을北海 및 Baltic海에適用한結果 Dover海峽과 Skaggerak間의海面差는5.6cm에不過하였으며 Cartwright와 Alcock⁽⁶⁾은 SEASAT 固定軌道期間中에北海를通過하는地上軌道2地點들에對한海面差를求해는데大部分10cm以下이었으며 큰差가 있는 곳은河川水의影響으로勾配는 주로沿岸에局限되어 있었다. 現在東支那海의境遇充分한海水密度資料를中國側沿岸으로부터求하기 어려우므로 $R(x, y, t)$ 에서海表面의變位를正確히分離하기 어렵다.

結 言

近年에 SEASAT-A Mission資料를海洋學 및 測地學에活用하기爲한研究가活潑하다. 本稿에서는 SEASAT Altimetry를利用하여東支那海의海面形態를糾明하기爲한方法論을檢討하였다. SEASAT-A 資料는3個月에不過하지만 이의有用성이立證되어追後衛星 TOPEX (Ocean Topography Experiment)가1989년다시運用될 때 특히 GRAVSAT이 더불어運用될 때汎世界的인 Geoid, SST 뿐만이 아닌局地的인測地學的形狀이釋明되리라 본다. 이러한一連의研究는宇宙에서本海洋學이라는大課題로서先進國에서는研究가活潑한바우리나라도 너무 늦기前에積極적으로研究에着手해야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. National Aeronautics and Space Administration. 1977. SEASAT-Global Ocean Monitoring System. NASA-TM-X-74621.
2. 海洋科學技術센터, 日本아이·비에엠. 1981. 海洋リモート·센싱센서의概要と現狀. 廣域の海洋環境情報の解析手法の研究成果報告書(1).
3. 海洋科學技術센터, 日本아이·비에엠. 1982. 宇宙からの海洋學. 廣域の海洋環境情報の解析手法の研究成果報告書(2).
4. Lorell, J., M.E. Parke, and J.F. Scott. 1980. Geophysical Data Record (GDR) User's Handbook. Rep 622-97, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.
5. Tapley, B.D., G.H. Born, and M.E. Parke. 1982. The SEASAT Altimeter Data and its accuracy assessment. J. Geophys. Res., 87. C5. 3179~3188.
6. Cartwright, D.E. and G.A. Alcock. 1981. On the precision of sea surface elevations and slopes from SEASAT altimetry of the Northeast Atlantic Ocean. in Oceanography from Space (ed. J.F.R. Gower). Plenum.
7. Melchior, P. 1978. The earth tides of the planet earth. Pergamon Press.
8. Accad, Y. and C.L. Pekeris. 1978. Solutions of the tidal equations for the M_2 and S_2 tides in the world oceans from a knowledge of the tidal potential alone. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 290, 235~266.
9. Hosoyama, K. 1970. The oceanic effect on the earth tides. 日本測地學會誌, 第16卷 第3號, 99~110.
10. Cartwright, D.E. 1967. A group of computer programs for tidal analysis and prediction by the "response method". NIO report 11.
11. Le Provost, C. and C. Brossier. 1981. Altimeter measurements over the English channel: an error analysis. in Oceanography from Space (ed. J.F. R. Gower). Plenum.
12. Parke, M.E. 1981. Tides on the Pentagonal shelf from the SEASAT Radar Altimeter. in Oceanography from Space (ed. J.F.R. Gower). Plenum.
13. Schwiderski, E.W. 1980. On charting global ocean tides. Rev. Geoph. Space. phys., 18, 243~268.
14. Choi, B.H. 1980. A tidal model of the yellow Sea and the Eastern China Sea. Korea Ocean Research and Development Institute Report 80~02.
15. Choi, B.H. 1984. A three-dimensional model of the East China Sea. in Ocean dynamics of the Japan and East China Seas (ed. T. Ichiye) Elsevier.
16. Larsen, L.H. and G.A. Cannon, 1983. Tides in the East China Sea. Proc. Symp. on Sedimentation on the Continental Shelf. Hangzhou, China.
17. 崔秉昊, 1983. 우리나라精密水準網에 관한研究. 國立地理院, 韓國測地學會

18. Stommel, H. 1964. Summary charts of the mean dynamic topography and current field at the surface of the ocean, and related function of the mean wind-stress. *in* 'Studies in Oceanography', ed Yoshida, K.U. Tokyo Press.
19. Lisitzen, E. 1974. Sea level changes, Elsevier.
20. Wunsch, C. 1981. An interim relative sea surface for the North Atlantic Ocean. *Mar. Geodesy*, 5 (2), 103~119.
21. Bowden, K.F. 1960. The effect of water density on the mean slope of the sea surface. *Bull. Géodésique*, 55, 93~96.