

# Geosat 高度計資料를 利用한 東아시아海域의 海面變位 算定法 Computational Procedure for Sea Surface Topography of East Asian Marginal Seas using Geosat Altimeter Data

崔秉昊\* · 高珍錫\*\*

Choi Byung-Ho · Ko Jin-Seok

## 要 旨

沿近海에서의 衛星高度計資料의 正確도가 向上됨에 따라 既存에 잘 알려진 Schwiderski의 全球의 動水力學的 模型보다 더 正確한 潮汐模型으로 衛星高度計資料에서의 潮汐成分에 對한 補正을 向上시킬 必要가 漸增되었다. 初期段階로 오호츠크海, 南中國海와 北西太平洋海域을 包含하는 東아시아海域에 對해 既存의 潮汐模型보다 解像圖가 높은 1/6° 格子體系의 潮汐模型을 樹立하여 半日週潮(M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>)와 日週潮(K<sub>1</sub>, O<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub>)에 對한 數值模型實驗이 이루어졌다. 樹立된 潮汐模型에서 算定된 調和常數들은 模型 領域의 Geosat 衛星高度計資料로부터 海面變位를 算定할 때 潮汐成分을 除去하는데 利用되었다. 이러한 初期의인 更正節次의 提示는 Schwiderski의 調和常數로서는 適切히 處理될 수 없는 東아시아海域의 沿海에 對해 海面變位를 算定하는데 廣範圍하게 利用될 수 있다.

## ABSTRACT

As satellite altimetry is being progressed to apply with higher precision to marginal seas, it was necessary to improve correction procedures for tidal signals in altimetry with more accurate tidal model than well-known model of Schwiderski for studying marginal sea dynamics. As a first step, tidal regime of semidiurnal tides(M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>) and diurnal tides(K<sub>1</sub>, O<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub>) were computed with a finer details of formulation of tidal model over the East Asian Marginal Seas covering the Okhotsk Sea and South China Sea and part of Northwest Pacific Ocean with mesh resolutions of 1/6°. Subsequently the computed sets of harmonic constants from the model were used to remove the tide in selected Sea Surface Heights from Geosat in the modelled region. Preliminary correction procedure suggested in the present study may be extensively used for obtaining Sea Surface Topography over the East Asian Marginal Seas, especially for the region where Schwiderski's harmonic constants are not available.

## 1. 緒 論

1985年 3月부터 1990年 1月까지 美海軍 測地衛星(Geosat)은 全地球 海洋에서의 資料를 觀測, 蒐集하였는데 JHU APL(Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory)에서 設計되고 製作된 것이다. Geosat의 初期任務는 海洋에서 높은 解像도를 갖는 Geoid를 얻는 것인데 이러한 目的은 初期 18個月 동안에 걸쳐 Geodetic Mission(GM)으로서 이루어졌다. 軍事的 目的으로 因해 初期 85年 3月 30일부터

86年 9月 30일까지 우선적으로 資料를 蒐集 分類한 後 衛星은 ERM(Exact Repeat Mission) 軌道에 따라 86年 11月 8일부터 衛星 經路에 따른 海面 資料 등을 蒐集하고, ERM은 約 17.0505日 反復週期로서 62個의 完全한 地上 軌道를 形成하여 資料蒐集이 이루어졌는데 89年 10月 記錄裝置 故障과 함께 資料 蒐集이 終了되었으나 北大西洋과 멕시코灣에서 制限된 資料가 繼續 蒐集되다가 90年 1月 Geosat의 任務가 終了되었다. Geosat은 Radar高度計를 装着하여 衛星의 地上軌道에 따라 海面, 波高, 風速 등을 觀測하였는데 이러한 資料는 測地, 海洋學, 地球 氣候 研究等 여러 分野에서 應用할 수 있게 되었다. ERM의 GDR(Geo-

\*成均館大學校 工科大學 教授

\*\*成均館大 韓國海洋研究所 學研 博士課程

physical Data Records)은 科學 團體들을 爲해 NOAA의 NOS(National Ocean Service)에 주어져 NOAA의 NODC(National Oceanographic Data Center)를 통해 每月 利用者에게 提供되었다.<sup>7)</sup> 이러한 資料들은 NAG(Naval Astronomical Group)에 의해 衛星 軌道の 運用에 根據하여 計算되었기 때문에 原來 資料는 NAG GDR이라 稱하였다. 새로운 高度計 位置推算은 NASA의 Goddard Space Flight Center<sup>14,15)</sup>에 의해 더 正確하게 計算되었는데 Marsh等<sup>17)</sup>의 GEM T2 重力 모델에 根據하여 軌道を 算定하여 T2 GDR의 새로운 資料로서 軌道가 修正되었다. T2 GDR은 Geosat 資料의 새로운 分野들을 包含하여 正確성이 向上되었는데 이들 中 가장 重要的 것은 Geosat 任務 동안에 高度計 sensor의 作動에 對해 wet troposphere에 對한 修正이다. ERM의 시작부터 87年 7월에 걸쳐 Emery等<sup>12)</sup>의 TOVS(Tiros Operational Vertical Sounder)와 Wentz<sup>32)</sup>의 SSMI(Special Sencer Microwave Image)에 의해 水蒸氣 更正에 對한 計算이 이루어졌고 이러한 水蒸氣 更正들은 NAG GDRs에 의해 FNOC(Fleet Numerical Oceanographic Center) 값들이 修正되어 提供되었다. 追加的인 Dry Troposphere 更正은 ECMWF(European Center for Medium-Range Weather Forecasting) 모델을 基礎로 하여 새로운 GDR에 提供되었고 FNOC 값들에 對해 代替될 수 있었다. 原來의 NAG Geosat GDR의 正確도를 向上하기 위해 相當한 努力이 이루어진 結果가 T2 GDR인데 처음 NAG의 軌道가 NASA Goddard Space Flight Center<sup>14,15)</sup>에서 計算된 T2 軌道로 代替되었다. 모든 關聯된 係數들인 時間에 따른 緯度, 經度, 衛星 軌道 높이, 1秒 平均 海面高와 秒當 10個의 海面高로 바뀌었고, 새로운 水蒸氣 更正이 TOVS와 SSMI의 觀測을 基礎로 하여 追加되었고, 마지막으로 大洋 潮汐과 GEOID場들이 改善되었고 乾燥對流圈 更正이 追加되었다. Geosat과 SEASAT 및 GEO-3의 差異點은 T2 GDR은 1秒 平均값 뿐만 아니라 秒當 10個의 資料(full 10 per second data)를 包含시키는데 이는 既存의 1秒 平均値는 秒當 完全한 10個 값이 있는 實際 信號等을 平均値로 取함으로써 重要的 現象을 漏落시킬 수 있는 危險이 있고, 둘째로 微細 構造를 가지는 海洋 지오이드의 境遇에는 秒當 1個의 data로서는 正確도를 寄與할 수 없기 때문이다.

따라서 本 研究에서는 Geosat에 依한 資料가 沿近 海에서의 正確도가 向上됨에 따라 東아시아海域에 對한 潮汐模型<sup>3)</sup>을 樹立하여 調和常數 Dataset을 통해 既存 schwiderski<sup>29,30)</sup> 등에 依해 樹立된 1° 格子體系의 全球의 潮汐模型에서는 잘 提示 못하는 大陸棚 및 沿岸域에 대해 衛星軌道에 따른 海面變動成分이 除去된 準據橢圓體上的 海面高를 把握하는 節次를 提示하고 信賴性 있는 實時間 潮汐 資料推算을 통해 任意 軌道에서 海面高 算定 研究가 이루어졌다.

## 2. Geosat의 T2 GDR 資料

T2 GDR에는 衛星의 軌道에 따른 時間과 位置에서 約 1秒 間隔의 資料가 提示되는데 觀測結果 安定치 못한 값들은 除外된 것으로 時間, 經緯度, 軌道, 海面高 (Sea Surface Height), Geoid, 1秒當 10個의 海面高, SWH(Significant Wave Height), Solid Tide, Ocean Tide, Wet, Dry, Iono等の 資料가 提示된다. 上記 資料中 軌道는 地球 參照 橢圓 體系 1980(GRS 80) 上的 衛星 高度로서 橢圓體의 半徑  $A=6378.137$  km이고 편평률  $F=1/298.257$ 이다. 衛星 軌道는 GEM T2 重力 모델과 Haines等の 座標體系로서<sup>15)</sup> NASA Goddard Space Flight Center에 依해 算定되는데 軌道는 6日 軌道에 對해 1日 또는 2日 重疊으로 連續 軌道를 計算한 것이다. 天文 推算은 1分 間隔으로 計算되었고 秒當 10個의 高度 資料의 使用을 위해 9點 Lagrangian 內插法을 0.1秒 間隔으로 遂行된 것이다. 海面高(Sea Surface Height)는 衛星에서 準據 橢圓에 對한 1秒 平均海面 높이로서 軌道로부터 衛星과 時間從屬의인 瞬間海面 사이의 距離 差異이고, GEOID는 GRS 80 橢圓體上的 Geoid 높이로서 Rapp과 Pavlis<sup>18)</sup>으로부터 算定된 1° 格子體系의 Geoid 높이로 雙一次 內插法에 依해 計算된 것이다. Solid Tide는 Cartwright and Tayler<sup>5)</sup>와 Cartwright and Edden<sup>6)</sup>에 基礎한 값들로 起潮力의 1秒 間隔의 값과 衛星 地上軌道를 따른 30秒 間隔에서 變化度로부터 算定된 값이고, Ocean Tide는 Schwiderski<sup>18-30)</sup>에 根據한 大洋 潮汐으로 11個 分潮 ( $M_2, S_2, K_1, O_1, K_2, N_2, P_1, Q_1, M_f, M_m, Ssa$ )의 1° 格子體系 全球模型으로부터 1秒 間隔에서 衛星 軌道를 따라 內插된 潮位값이다. 이 값들은 POL(Proudman Oceanographic Lab.)에서 修正된 값인데  $Q_1$  分潮 모델에서는 달의 近地點에 對한 平均 經度を 考慮하는

값(Po)이 포함되어 있고 nodal variation에 대한 修正이 이루어진 값이다. WET(FNOC)는 FNOC MODEL (Fleet Numerical Oceanography Center)에 根據한 濕潤對流圈에 對한 更正值인데 NAG GDR에서 初期 水蒸氣 更正值로서 TOVS/SSMI 값이 보다 더 正確한 값을 提示하고 있는 것으로 評價되고 있다. 공기 溫度와 水蒸氣壓의 表面値는 FNOC 모델로부터 1秒 間隔으로 Geosat 軌道를 따라 內插되며 다음 式으로 나타낸다.

$$WET(FNOC) = -2.277(0.05 + (1255 / (T + 273.16)))e$$

T = 表面 大氣 溫度(°C)

e = 表面 水蒸氣壓(mbar)

WET(SMMR)는 多重 極超短波 複寫計를 스캔닝 處理한 NIMBUS7 또는 SMMR로부터 資料에 根據한 SSH(Sea Surface Height)에 對한 補助 濕潤對流圈 更正值이다. 이 更正值는 WET(TOVS/SSMI) 更正值 대신에 使用될 수 있는데 鉛直 積分된 大氣 水蒸氣 값은 氣象學的 月平均 SMMR 資料로부터 1秒 間隔에서 衛星軌道를 따라 內插된 것이며 SMMR 資料는 1979~1981년에 對한 月別 平均의 緯度 3°×經度 5° 地球 格子 體系 形態로 提示된 것으로 다음 式과 같다.

$$WET(SMMR) = -6.36 W$$

W = 鉛直 積分된 水蒸氣(gm/cm<sup>2</sup>)

WET(TOVS/SSMI)는 濕潤對流圈에 對한 更正值로서 TIROS 鉛直 測深器(TOVS)<sup>12)</sup>와 SSMI(Special Sensor Microwave Imager)<sup>32)</sup>로부터 衛星 複寫計 觀測을 통해 얻어진 값이다. TOVS는 Geosat 任務 始作부터 1987年 7月 8日까지 運用하였고 SSMI는 Geosat 任務의 나머지로서 使用되었다. TOVS/SSMI의 값은 1秒 間隔으로 積分된 對流圈 水蒸氣 값을 Geosat 地上軌道를 따라 內插한 것으로 WET(SMMR)의 算定法과 같으며 全 地球에 걸쳐 平均된 TOVS와 SSMI의 水蒸氣 資料 사이에는 偏差가 있는데 NOAA는 1987年 7月 9日 以前의 모든 TOVS/SSMI GDR 값으로부터 1.4 cm를 빼는 것을 推薦하고 있는데 이는 모든 값이 陰의 값이므로 SSH 更正時 값을 增加시킨다. DRY(FNOC)는 FNOC 모델에 依한 乾燥對流圈에 對한 更正值인데 NOAA는 이 모델이 1988年 1월에 Barker等<sup>4)</sup>에 의해 바뀌어서 DRY(ECMWF)

使用를 推薦하고 있다. DRY(ECMWF)는 乾燥對流圈 값이 空氣 分子들에 依해 高度計 移動 時間이 遲延됨으로 因한 影響을 考慮한 값으로 ECMWF(European Center for Medium-Range Weather Forecasting)의 모델에 基礎한 것이며 이 값은 FNOC 값보다 選好되고 있지만 FNOC 값과 매우 비슷한데 그 差異는 各 ERM 週期에 對해 1 mm 以下이다. ECMWF로부터 1秒 間隔 內插된 衛星軌道에 따른 값은 다음과 같이 表現된다.

$$DRY(ECMWF) = -2.277P(1 + (0.0026\cos(2 \times \text{緯度})))$$

P = 表面 大氣壓(mbar)

IONO는 電離圈에 對한 更正值로서 Klobuchar 모델<sup>16)</sup>에 根據한다. 이 값은 電離圈에서 自由電子들에 依한 高度計 移動 遲延時間에 따른 影響을 考慮한 값들로서 이 모델의 正確度는 50% 程度로 提示되고 있다. 上記의 T2-GDR에 提示되는 資料로부터 衛星軌道에 따른 衛星으로부터 觀測된 瞬間海面인 SSH(Sea Surface Height)로부터 濕潤, 乾燥 對流圈, 電離圈, 潮汐들의 影響을 除去함으로써 時間從屬의 아닌 海面의 變位(Sea Surface Topography)을 算定할 수 있는데 아래 形式으로 組合함으로써 更正이 可能한데 Wet, Dry, Iono 값은 恒常 GDR에서 陰의 값을 갖는다.

$$\text{Sea Surface Topography} = \text{SSH} - (\text{Tides} + \text{Wet} + \text{Dry} + \text{Iono})$$

여기서 Tides = Solid Tide + Ocean Tide

Wet = TOVS/SSMI(選好), SMMR, FNOC

Dry = ECMWF(選好), FNOC

### 3. Geosat 軌道에 따른 海面變位 算定

#### 3.1 Geosat 高度計 資料의 潮汐更正

Geosat軌道에 따른 海面變位(Sea Surface Topography)를 算定하기 위해 東아시아 海域의 潮汐 模型으로부터 算定된 11個 分潮의 調和常數를 利用하여 T2 GDR의 資料의 ERM 26 cycle인 1988年 7日부터 23日(Julian Day) 期間의 東아시아 海域에서의 衛星軌道(그림 1)에 따라 任意 時間에서의 潮汐을 算定한 後 Geosat에서 觀測한 海面高(Sea Surface Height)

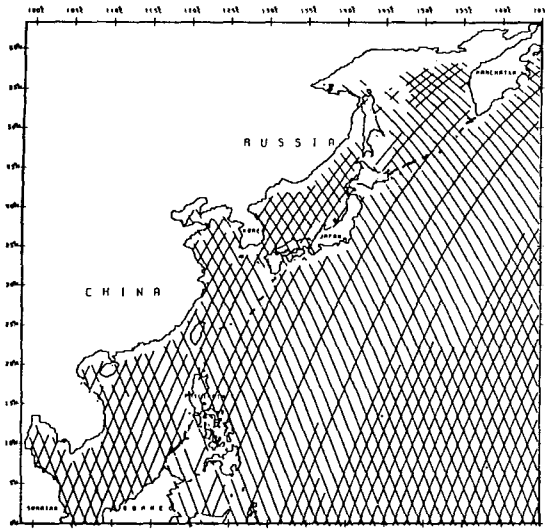


그림 1. ERM 26 cycle에서 Geosat 衛星軌道(Julian day 1988. 07~1988. 23日)

값에 대해 地球潮汐, Wet troposphere, Dry troposphere, Ionosphere의 影響을 考慮하고 上記 海域에서의 潮汐 算定值를 既存의 Schwiderski<sup>18-30</sup>의 1° 格子體系에서 內插處理된 大洋潮汐值에 對해 代替함으로써 現在 利用되고 있는 海面變位 算定時 算提示하지 못하는 大洋外的 沿岸地域 및 東海, 南中國海, 오호츠크海 등에서 보다 解像度 높은 값들을 提供함으로써 海面 變位를 算定하기 위한 資料로 利用될 수 있도록 初期의 試圖가 이루어졌는데 海面變位 算定을 위한 資料의 處理過程은 그림 2와 같다.

東아시아 海域의 潮汐模型에서 算定된 半日週潮 및 日週潮인 8個分潮의 調和常數들과 Schwiderski의 資料로부터 內插處理된 長週期 分潮인  $M_2$ ,  $M_m$ ,  $S_{ssa}$ 의 調和常數 dataset으로부터 任意時間에 對한 衛星軌道에 따른 潮汐은 아래와 같이 調和常數의 疊으로서 算定되는데 T2 GDR에서 제시되는 時間은 Universal Time으로서 1985年을 始作으로 秒單位로서 1985年1月 1日 0時가 0秒로서 提示된다.

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^{11} f_i H_i \cos(\sigma_i + V_i + u_i - K_i)$$

여기서  $f_i, u_i$ : 18.61年 週期에 따르는 各 分潮의 nodal factor

$V_i$ : U.T 基準의 各 分潮의 平均 位相

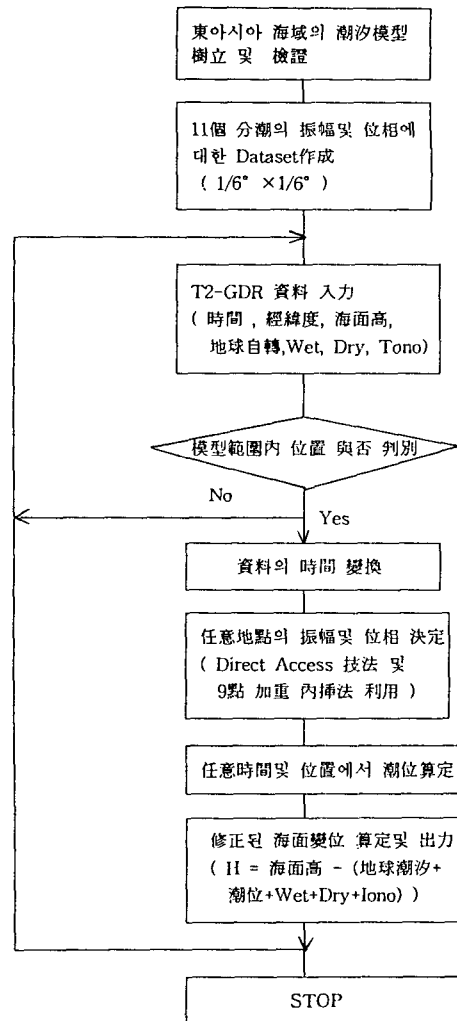


그림 2. 海面變位 算定을 위한 흐름도

$t$ : T2 GDR에서 提示되는 時間으로서 任意 날짜기준에서 時間 經過(hr)

$\sigma_i$ : 各 分潮의 角速度

$H_i$ : 東아시아 海域의 潮汐模型에 依한 任意地點에서의 各 分潮의 振幅

$K_i$ : 東아시아 海域의 潮汐模型에 依한 任意地點에서의 各 分潮의 遲刻

上記式들을 利用한 潮汐算定을 通해 海面變位の 算定이 이루어져 衛星으로부터 觀測된 海面高(Sea Surface Height)로부터 任意의 衛星 經路를 選定하여 海面 變動成分을 除去함으로써 衛星 經路에 따른 地球 準據橢圓體로부터 海面 變位の 算定을 通해 T2

표 1. 平衡潮汐들의 Nodal factor

Const.	V	U	f
M <sub>2</sub>	2H-2S	-0.0374W4	1.004-0.0373W1+0.0002W2
S <sub>2</sub>	0	0.0	1.0
K <sub>2</sub>	2H	-0.3096W4+0.0119W5-0.0007W6	1.0241+0.2863W1+0.0083W2-0.0015W3
N <sub>2</sub>	2H-3S+P	-0.0374W4	1.004-0.0373W1+0.0002W2
K <sub>1</sub>	H+90	-0.1546W4+0.0119W5-0.0012W6	1.006+0.115W1-0.0088W2+0.0006W3
O <sub>1</sub>	H-2S-90	-0.1885W4-0.0234W5+0.0033W6	1.0089+0.187W1-0.0147W2+0.0014W4
P <sub>1</sub>	H+90	0.0	1.0
Q <sub>1</sub>	H-3S-P-90	0.1885W4-0.0234W5+0.0033W6	1.0089+0.187W1-0.0147W2+0.0014W3
M <sub>f</sub>	2S	-0.4143W4+0.0468W5-0.0066W6	1.0429+0.4135W1-0.004W2
M <sub>m</sub>	S-P	0.0	1.0000-0.1300W1+0.0013W2
S <sub>sa</sub>	2H	0.0	1.0

Y=年度, D=該當年度에서의 1月 1일부터 始作한 Julian day,  $i = \text{int} [0.25(Y-1901)]$ ,  $S = 277.02 + 129.3848(Y-1900) + 13.1764(D+i)$ ,  $H = 280.19 - 0.2387(Y-1900) + 0.9857(D+i)$ ,  $P = 334.39 - 40.6625(Y-1900) + 0.1114(D+i)$ ,  $N = 259.16 - 19.3282(Y-1900) - 0.0530(D+i)$ ,  $W1 = \text{COSN}$ ,  $W2 = \text{COS2N}$ ,  $W3 = \text{COS3N}$ ,  $W4 = \text{SINN}$ ,  $W5 = \text{SIN2N}$ ,  $W6 = \text{SIN3N}$

GDR에 收錄된 資料들에 依한 海面變位와 比較가 이루어졌고, 海面 變動成分의 主成分인 潮汐에 대해 本 研究에서 樹立된 模型에서 算定된 任意經路에서의 潮汐値와 T2 GDR에서 使用되고 있는 Schwiderski<sup>18-30)</sup>의 資料에 依한 大洋 潮汐値와의 比較가 이루어졌다. 그림 3과 그림 4의 M<sub>2</sub> 分潮와 K<sub>1</sub> 分潮의 潮汐圖에 例示된 바와 같이 11개 分潮의 振幅 및 位相은 1/6°(約 17~18 km)의 格子의 data table로서 作成되

어 있는데 Geosat 資料는 地上軌道 1秒(約 7 km)마다 資料를 提供하므로 Geosat 資料가 提供되는 位置의 格子를 包含한 9個 格子의 data를 補間시켜 11개 分潮의 振幅 및 位相을 抽出하여 任意時刻의 潮位를 算定토록 하였는데 data table은 direct access file로서 構成하여 data table 값의 檢索이 迅速하게 이루어지도록 構成하였다.

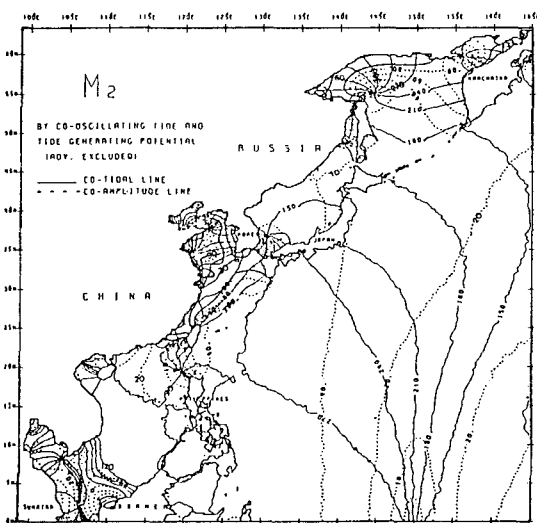


그림 3. M<sub>2</sub> 分潮의 潮汐圖

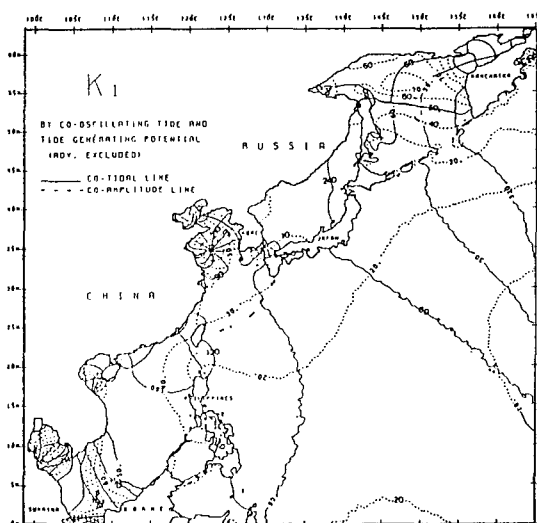


그림 4. K<sub>1</sub> 分潮의 潮汐圖

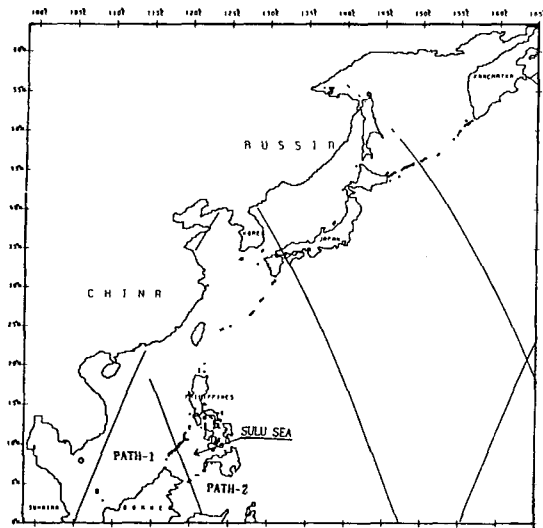


그림 5. 東아시아 海域에서의 Geosat 衛星軌道(Julian day 1988, 07日)

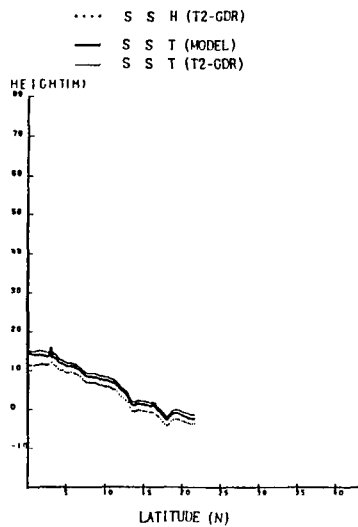


그림 6. 經路 1에 對한 海水面과 海面變位の 比較(Julian day 1988, 07日)

### 3.2 1988年 07日 衛星 軌道에 따른 海面變位 算定 및 比較

그림 5는 1988年 07日에 東아시아 海域을 지나는 衛星軌道로서 南中國海 海域에 對해 2個의 經路가 採擇되어 衛星으로부터 觀測되어 提供된 T2 GDR의 經路에 따른 海面高(Sea Surface Height)로부터 海面變動成分이 除去된 海面의 變位가 東아시아 海域의 潮汐模型으로부터 算定된 潮汐值를 利用한 境遇와 T2

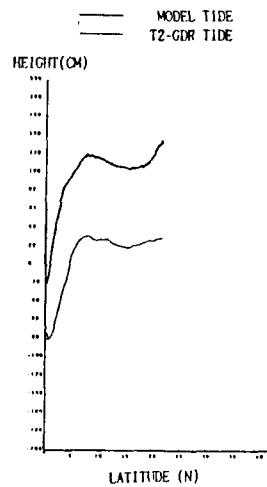


그림 7. 經路 1에 對한 T2-GDR의 大洋潮汐과 模型 算定值의 比較(Julian day 1988, 07日)

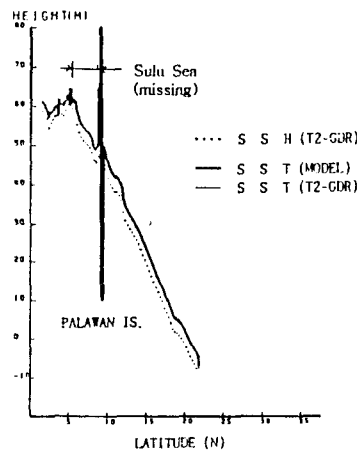


그림 8. 經路 2에 對한 海水面과 海面變位の 比較(Julian day 1988, 07日)

GDR에 收錄된 潮汐值를 利用한 境遇에 對한 比較와 T2 GDR에 收錄된 大洋潮汐과 模型과의 比較가 그림 6~그림 9에서와 같이 提示되고 있다. 南中國海를 지나는 經路 1에서 그림 6에서 알 수 있는 것은 地球 準據 橢圓體로부터 海面까지의 距離인 海面變位(Sea Surface Topography)가 赤道로부터 北緯 20° N에 걸쳐 約 15 m의 傾斜를 보이고 있다. 東아시아 海域의 潮汐模型으로부터 算定된 調和常數의 合인 經路에 따른 潮位는 T2 GDR의 大洋潮汐과 比較할 때 그림 7에서 보는 바와 같이 模型의 結果가 位相에서는 잘 一致함을 알 수 있으나 Sumatra 沿岸으로부터 中國

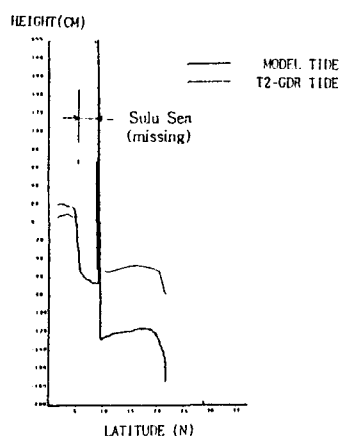


그림 9. 經路 2에 對한 T2-GDR의 大洋潮汐과 模型 算定值의 比較(Julian day 1988. 07日)

南側 沿岸을 지나는 經路에서 60~80 cm의 潮位差를 提示하고 있다. 南中國海를 地나는 經路 2에서는 그림 3으로부터 Borneo 右側 Sulawesi로부터 Philippine과 Borneo 사이의 Sulu Sea를 지나 Palawan 섬을 地나는 經路를 보이는데 그림 8에 나타나는 特徵은 經路 2의 海面 傾斜는 約 70 m에 이르고 있음을 알 수 있다. 經路 2에 있어서 T2 GDR에서는 Sulu Sea에서의 資料가 缺如되어 있음을 提示하고 있는데 模型에서는 Palawan 섬을 地나는 位置를 除外하고 經路에 따른 潮位의 豫測 可能함을 提示하고 있다. 그러나 T2 GDR의 大洋 潮汐과 模型의 潮位 比較는 그림 9에서 나타난 바와 같이 位相의 形態에서는 一致함을 보이거나 10° N 北側의 南中國海에서는 經路 1과는 反對로 模型의 結果가 約 70 cm 程度 작게 算定되고 있다.

### 3.3 1988年 08日 衛星 軌道에 따른 海面變位 算定 및 比較

그림 10은 1988年 08日에 對한 東아시아 海域을 地나는 衛星軌道로서 北西太平洋 및 東海를 地나는 2個의 經路가 採擇되어 衛星으로부터 觀測되어 提供된 T2 GDR의 經路에 따른 海面高(Sea Surface Height)로부터 海面 變動成分이 除去된 海面의 變位가 東아시아 海域의 潮汐模型으로부터 算定된 潮汐值를 利用한 境遇와 T2 GDR에 收錄된 潮汐值를 利用한 境遇에 對한 比較와 T2 GDR에 收錄된 大洋潮汐과 模型과의 比較가 그림 11~그림 14에서와 같이 提示되고 있다. Philippine 群島로부터 大韓海峽을 地

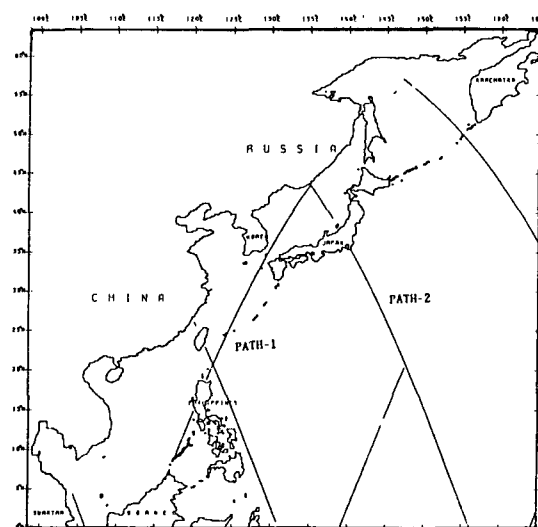


그림 10. 東아시아 海域에서의 Geosat 衛星軌道(Julian day 1988. 08日)

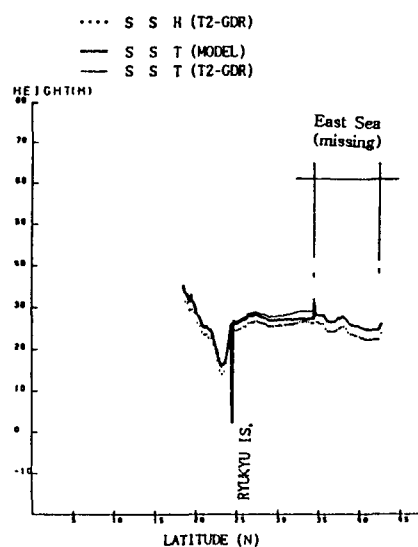


그림 11. 經路 1에 對한 海面高와 海面變位の 比較(Julian day 1988. 08日)

東海를 地나는 經路 1에서 그림 11에서 알 수 있는 것은 地球 準據 橢圓體로부터 海面까지의 距離인 海面變位(Sea surface Topography)는 Philippine 北端으로부터 Ryukyu 列島 사이는 北西太平洋과 Ryukyu 列島와 境界가 되는 海域으로 海面高 37 m에서 16 m로 約 20 m의 傾斜를 보이고, 大陸斜面을 形成하는 Ryukyu 列島에서 10 m 程度의 上昇을 보인 後 東

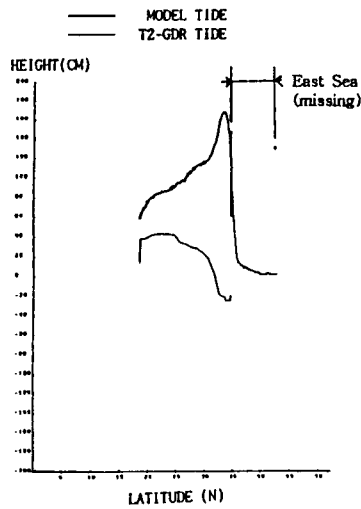


그림 12. 經路 1에 對한 T2-GDR의 大洋潮汐과 模型 算定値의 比較(Julian day 1988. 08日)

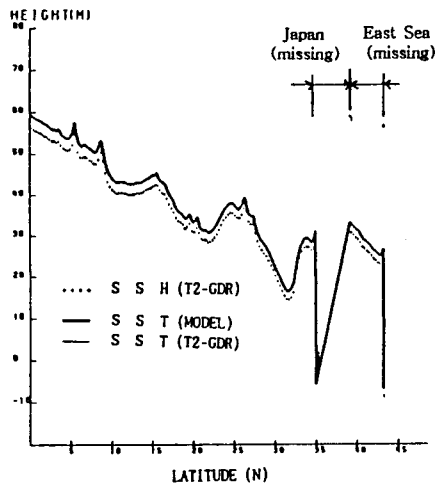


그림 13. 經路 2에 對한 海面高과 海面變位の 比較(Julian day 1988. 08日)

中國海와 大韓海峽을 거쳐 東海에서 約 25 m의 海面高를 보이고 있다. 그림 11 및 그림 12에서 알 수 있는 것은 T2 GDR에서 利用하고 있는 Schwiderski의 大洋潮汐資料에서는 大韓海峽에서부터 東海에 이르는 軌道에서는 潮汐 情報를 提供치 못함을 알 수 있는데 東아시아 海域의 潮汐模型을 利用한 海面 變動 成分이 除去된 海面 變位の 分布는 大韓海峽에서 東海에 이르는 形狀은 衛星으로부터 觀測된 海面高의 差異가 1 m 以下의 分布를 보여주고 있다. 그림 12에 提示된 T2 GDR의 大洋潮汐과 模型의 潮汐 比較는 매우 相

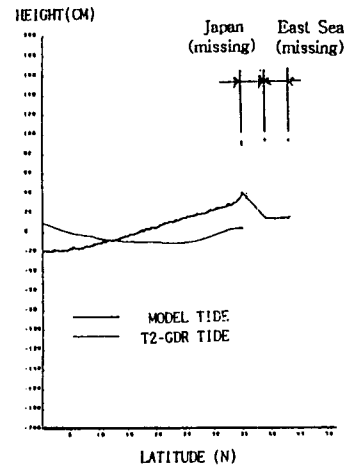


그림 14. 經路 2에 對한 T2-GDR의 大洋潮汐과 模型 算定値의 比較(Julian day 1988. 08日)

異한데 大洋潮汐의 結果는 Philippine 群島로부터 大韓海峽에 이르는 潮位 分布가 模型의 結果와 反對로 보여주고 있는데 模型에서는 大韓海峽을 지나면서부터 東海에 이르러 潮位가 急激히 減少됨을 보여주고 있다. 北西太平洋으로부터 日本을 가로질러 東海를 지나는 經路 2에서는 156° E의 赤道로부터 Mariana 群島 附近海域을 지나 34° N에 位置한 日本 南東側 海岸까지는 그림 11에서 提示하는 바와 같이 海面의 形狀이 凹凸의 形態를 보이는데 이는 이 地域의 海底地形이 複雜함을 提示하여 주고 있다. 그림 13에서 海面 變動成分에 의한 影響은 赤道로부터 20° N의 海域에서는 1 m 程度이며, 20° N에서부터 東海에 이르는 經路에서는 0.5 m 程度의 分布를 보이고 있다. 그림 14에서의 比較는 模型에서 算定된 潮汐値와 T2 GDR의 大洋潮汐과 10 cm 程度의 差異를 보이고 있고 東海에서는 T2 GDR에서는 潮汐情報가 提示되지 못함을 보여주고 있다.

### 3.4 1988年 09日 衛星 軌道에 따른 海面變位 算定 및 比較

그림 15는 1988年 09日에 對한 東아시아 海域을 지나는 衛星軌道로서 北西太平洋 및 黃海를 지나는 經路가 採擇되어 衛星으로부터 觀測되어 提供된 T2 GDR의 經路에 따른 海面高(Sea Surface Height)로부터 海面 變動成分이 除去된 海面의 變位가 東아시아 海域의 潮汐模型으로부터 算定된 潮汐値를 利用한 境遇와 T2 GDR에 收錄된 潮汐値를 利用한 境遇에



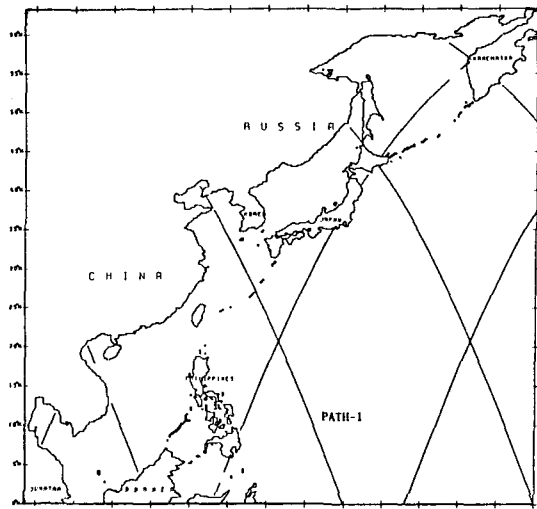


그림 15. 東아시아 海域에서의 Geosat 衛星軌道(Julian day 1988. 09日)

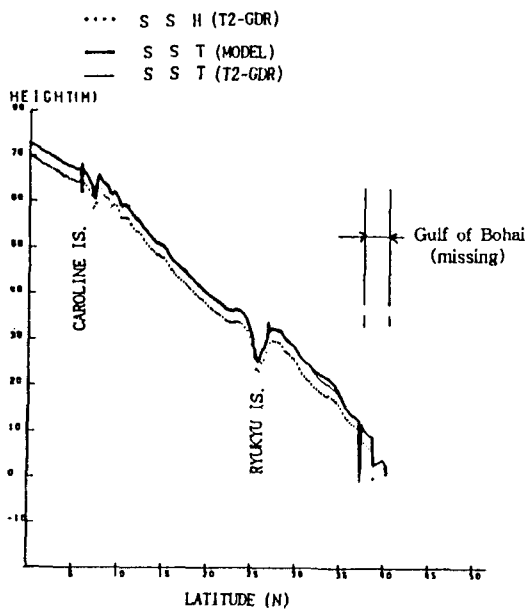


그림 16. 經路 1에 對한 海水面과 海面變位の 比較(Julian day 1988. 09日)

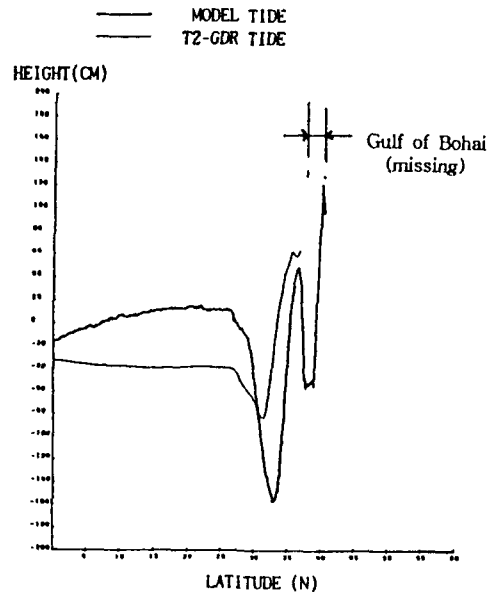


그림 17. 經路 1에 對한 T2-GDR의 大洋潮汐과 模型 算定値의 比較(Julian day 1988. 09日)

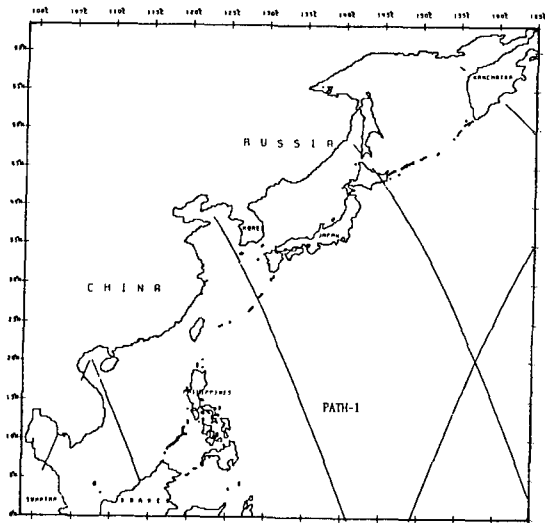


그림 18. 東아시아 海域에서의 Geosat 衛星軌道(Julian day 1988. 12日)

對한 比較와 T2 GDR에 收錄된 大洋潮汐과 模型과의 比較가 그림 16, 그림 17에 提示된다. 選擇된 經路는 140° E 赤道로부터 Ryukyu 列島를 지나 黃海를 지나는 軌道로서 그림 16에 提示된 海面의 特性은 Caroline 群島 海域과 Ryukyu 列島 大陸斜面 附近에서 地形 變化가 甚함을 提示하고 있는데 經路에 걸쳐

海面變動成分의 影響은 1m 程度가 提示되고 있다. T2 GDR는 37° N 以上の 山東半島 北側部는 資料를 提供치 못함을 알 수 있고, 그림 17에서의 比較에서는 北西太平洋海域에서는 模型과 40 cm 程度의 差異를 보이며 黃海에 이르러 急激한 潮位의 變化 樣相을 提示하고 있다.

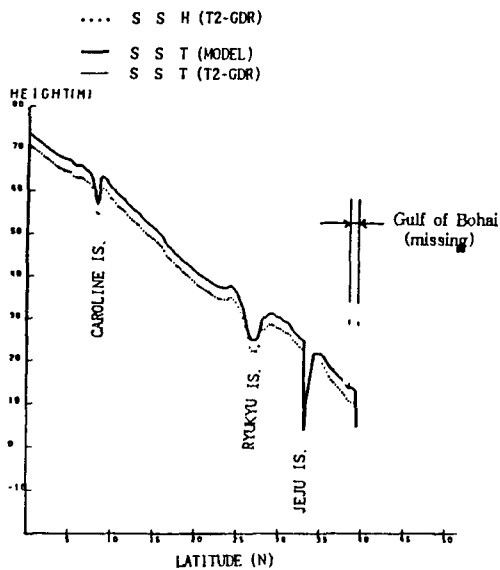


그림 19. 經路 10에 對한 海面高와 海面變位の 比較(Julian day 1988. 12日)

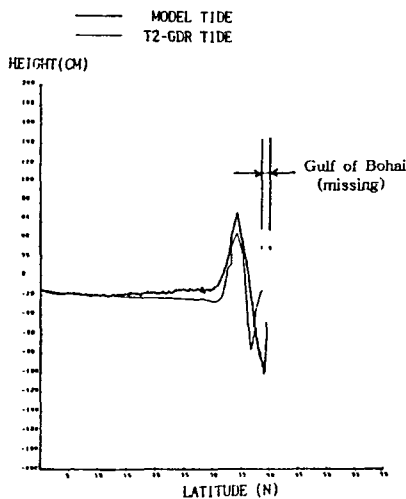


그림 20. 經路 10에 對한 T2-GDR의 大洋潮汐과 模型 算定値의 比較(Julian day 1988. 12日)

### 3.5 1988年 12日 衛星 軌道에 따른 海面變位 算定 및 比較

그림 18는 1988年 12日에 對한 東아시아 海域을 지나는 衛星軌道로서 1988年 09日의 上向軌道가 右側으로 1° 程度 移動한 軌道인데 北西太平洋 및 黃海를 지나는 經路가 採擇되어 衛星으로부터 觀測되어 提供된 T2 GDR의 經路에 따른 海面高(Sea Surface Height)로부터 海面 變動成分이 除去된 海面의 變位

가 東아시아 海域의 潮汐模型으로부터 算定된 潮汐値를 利用한 境遇와 T2 GDR에 收錄된 潮汐値를 利用한 境遇에 對한 比較와 T2 GDR에 收錄된 大洋潮汐과 模型과의 比較가 그림 19와 그림 20에서와 같이 提示되고 있다. 選擇된 經路는 141° E 赤道로부터 Ryukyu 列島를 지나 黃海를 지나는 軌道로서 그림 19의 SSH에 나타나는 特性은 Caroline 群島 海域, Ryukyu 列島 陸棚斜面 附近 및 韓國 南側의 濟州道 附近에서 地形 變化가 甚함을 提示하고 있는데 經路에 걸쳐 海面變動成分의 影響은 3.4節에서 提示된 바와 같이 1m 程度가 提示되고 있다. T2 GDR는 37° N 以上の 山東半島 北側部는 資料를 提供치 못함을 알 수 있고, 그림 20에서의 比較에서는 그림 17과 달리 北西太平洋 海域에서 黃海에 이르는 全 軌道에 걸쳐 位相 및 潮位의 分布가 잘 一致함을 提示하고 있다.

## 4. 結 論

近來에 이르러 Seasat, Geosat等 人工衛星을 利用한 正確한 海面 觀測이 可能케 됨에 따라 時間 從屬의인 海面 變動 成分을 除去함으로써 海面變位를 算定할 수 있는 段階에 이르게 되었는데 變動 成分을 除去함에 있어 潮汐에 依한 海面變動量이 北西太平洋 域에서는 振幅이  $M_2$  分潮만에 依해서도 40 cm에 이르고, 最大 黃海沿岸域에서는 3m에 가까운 振幅을 보이는 등 潮汐이 海面變動에 미치는 影響의 크기를 알 수 있다. 따라서 正確한 潮汐算定이 重要한 事項인데 既存에 提示된 潮汐圖들은 沿岸 및 섬들에서의 潮汐 觀測値를 利用한 經驗的 潮汐圖와 潮汐數值模型을 利用한 解像圖가 낮은 大洋 潮汐圖와 局地領域에 制限된 潮汐圖들로서 東아시아 海域 全般에 對한 潮汐 特性을 把握함에 있어 充分한 資料를 提示하지 못하고 있었다. 따라서 本 研究에서는 東아시아 海域에 對해  $1/6^\circ \times 1/6^\circ$  潮汐數值模型에 의한 潮汐 調和常數의 Dataset을 構成함으로써 衛星高度資料(Satellite altimetric data)에 依한 瞬間海面資料(Sea Surface Height)로부터 T2 GDR 資料를 根幹으로 海面變動成分等을 除去함으로써 海面變位(Sea Surface Topography)을 算定할 수 있는 基礎를 마련케 하였다.

## 參考文獻

1. 崔秉昊. SEASAT 衛星을 利用한 東支那海의 海洋測

- 地學의 研究. 韓國測地學會誌 第2卷, 第2號, pp. 21-28, 1984.
2. 崔秉昊. 東支那海의 海面變位算定. 韓國測地學會誌 第4卷, 第1號, pp. 1-12, 1986.
  3. 崔秉昊, 高珍錫. 東아시아 海域의 潮汐模型. 韓國海岸海洋工學會誌 第6卷, 第1號, pp. 94-108, 1994.
  4. Barker, E.H., Goerss, J.S., Barker, N.L. The Navy's Operational Multivariate Optimum Interpolation Analysis Method. Proceedings, AMS Conference on Numerical Weather Prediction, Baltimore, MD., 1988.
  5. Cartwright, D.E., Tayler, R.J. New Computations of the Tide Generating Potential. Geophys. J. of the Roy. Soc. Vol. 23, pp. 45-74, 1971.
  6. Cartwright, D.E., Edden, A.C. Corrected Tables of Tidal Harmonics. Geophys. J. of the Roy. Soc. Vol. 23, pp. 253-264, 1973.
  7. Cheney, R.E., Douglas, B.C., Agreeen, R.W., Miller, L., Porter, D.L., Doyle, N.S. Geosat Altimeter Geophysical Data Record User Handbook. NOAA Tech. Memo. NOS NGS 46, Rockville, MD, 32 p, 1987.
  8. Cheney, R.E., Doyle, N.S., Douglas, B.C., Agreeen, R.W., Miller, L., Timmerman, E.L., McAdoo, D.C. The Complete Geosat Altimeter GDR Handbook, NOAA Manual NOS NGS 7. Geodetic Research and Development Laboratory, National Geodetic Survey, Rockville, MD., 1991.
  9. Choi, B.H. A Tidal Model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. Korea Ocean Research and Development Institute, KORDI Report 80-02, 1980.
  10. Choi, B.H. Preliminary Results on Computation of the Sea Surface Topography over the East China Sea. Proceedings of 7th Asian Conference on Remote Sensing, 1986.
  11. Douglas, B., Cheney, R.E. Geosat Beginning a New Era in Satellite Oceanography. J.G.R. Vol. 95, No. C3, pp. 2833-2836, 1990.
  12. Emery, W.J., Born, G.H., Baldwin, D.C., Norris, C.L. Satellite-derived Water Vapor Corrections for Geosat Altimetry. J. Geophys. Res. Vol. 95, No. C3, pp. 2953-2964, 1990.
  13. Ganeko, Y., Fuchida, K. Sea Surface Height Observation by Means of Satellite Altimetry. Report of International Seminar and Follow-Up Study on Mean Sea Level Monitoring in Asian and Oceanian Regions, Japan Hydrographic Association, 1991.
  14. Haines, B.J., Born, G.H., Rosborough, G.W., Marsh, J.G., Williamson, R.G. Precise Orbit Computation for the Geosat Exact Repeat Mission. J. Geophys. Res. Vol. 95, No. C3, pp. 2871-2886, 1990.
  15. Haines, B.J., Born, G.H., Williamson, R.G., Koblinksky, C.J. Application of the GEM T2 Gravity Model to Altimetric Satellite Orbit Computation. J. Geophys. Res., in press, 1992.
  16. Klobuckar, J.A. Ionospheric Time-delay Algorithm for Single-frequency GPS Users. IEEE Trans., Aeronosp. Electron Syst. AES-23, pp. 325-331, 1987.
  17. Marsh, J.G., et al. The GEM-T2 Gravitational Model. J. Geophys. Res. Vol. 95, No. C8, pp. 13129-13150, 1990.
  18. Rapp, R.H., Wang, Y.M., Pavlis, N.K. The Ohio State 1991 Geopotential and Sea Surface Topography Harmonic Coefficient Models. Dept. Geodetic Science and Surveying, Report No. 410, Ohio State University, 1991.
  19. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part II: The Semidiurnal Principal Lunar Tide( $M_2$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 79-414, 1979.
  20. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part III: The Semidiurnal Principal Solar Tide( $S_2$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 81-122, 1981a.
  21. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part IV: The Diurnal Luni-Solar Declination Tide( $K_1$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 81-142, 1981b.
  22. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part V: The Diurnal Principal Lunar Tide( $O_1$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 81-144, 1981c.
  23. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part VI: The Semidiurnal Elliptical Lunar Tide( $N_2$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 81-218, 1981d.
  24. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part VII: The Diurnal Principal Solar Tide( $P_1$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 81-220, 1981e.
  25. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part VIII: The Semidiurnal Luni-solar Declination Tide( $K_2$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 81-222, 1981f.
  26. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part IX: The Diurnal Elliptical Lunar Tide( $Q_1$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 81-224, 1981g.
  27. Schwiderski, E.W. NSWC Ocean Tide Data Tape,

- GOTD 1981, Available at the Naval Surface Weapon Center. Dahlgren, Virginia 22448, 1981h.
28. Schwiderski, E.W. Global Ocean Tides, Part X: The Fortnightly Lunar Tide( $M_2$ ), Atlas of Tidal Charts and Maps. Naval Surface Weapon Center, NSWC TR 82-151, 1982.
  29. Schwiderski, E.W. and Szeto, L.T. The NSWC Global Ocean Tide Data Tape(GOTD). Its Features and Application, Random-Point Tide Program. NSWC TR 81-254, 1981.
  30. Schwiderski, E.W., Szeto, L.T. On Computing Instantaneous Geocentric Tides Along Satellite Tracks. The NSWC STT Program. NSWC TR 81-264, 1982.
  31. Zlotnicki, V. Hayashi, A., Fu, L.L. The JPL-Oceans-8902 Version of Geosat Altimetry data. JPL.D-6939, JPL, California Institute of Technology Pasadena, California, 1990.
  32. Wentz, F. User's Manual for the Collected Geosat SSMI/I Tape. Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA., 1989.
  33. Yang, C.S. Global Determination of Sea Surface Height from Geosat Altimetry and Geodetic/Oceanographic Interpretations. The Faculty of Science University of Tokyo, 1991.