

〈論 文〉

東支那海의 冬季의 海水循環에 關한 數值實驗

Preliminary Results of a Numerical Experiment on Wintertime
Circulation in the East China Sea崔 秉 昊*
Byung-Ho, Choi

Abstract

The tidal and meteorological condition associated with wintertime surges in the East China Sea are described. The vertically-integrated finite difference model of the East china Sea have been used to investigate the surges generated during a period of 5 days in November, 1983 dynamically. Computed residual elevations are compared with hourly records form selected tide gauges along the west coast of Korea. Preliminary results on circulation pattern derived from the numerical model are presented and discussed. Further refinement of the model using current meter observation is presently being performed to provide more accurate information on bottom stress distribution.

要 旨

東支那海의 冬季의 海溢에 關聯된 潮汐 및 氣象狀況이 叙述되었다. 東支那海의 垂直積分된 有限差分 數值모델이 1983年 11月 5日間의 海溢의 動的 循環形態를 研究하는데 適用되었다. 算定된 海溢高의 變化는 우리나라 西海岸의 主要檢潮所의 觀測資料와 比較檢討되었다. 數值모델로 부터 算定된 循環形態에 關한 初期結果가 提示되고 討議되었다. 現場海流觀測資料를 利用한 모델의 改善이 信賴性있는 海底摩擦力의 分布를 提示하기 爲해 遂行中에 있다.

1. 序 論

黃海와 東支那海는 中國大陸과 韓半島에 依해 둘러싸여진 西太平洋의 周邊에 位置한 陸棚海이다. 近年에 長江(揚子江)의 流出水가 이 陸棚海의 循環 및 動的堆積體系에 미치는 影響을 研究하기 爲한 國際共同研究가 1980年初부터 實施되기 始作하고 있으며 外的 環境要素에 따른 循環形態를 直接 現場海流觀測에 依해 確認하려는 海洋觀測프로그램 亦是 活潑히 繼續될 展望이다. 黃海의 動的堆積體系는 冬季의 강한 北西季節風에 依한 海流에 依해 큰 影響을 받는 것이 잘 알려져 있으나 仔細한 物理的 過程은 비로소 研究되기 始作하는 實情이다.

이제까지 東支那海 陸棚體系에 있어서 冬季의 海水

循環은 海水溫度 및 制限된 海洋資料들에 依해 推論된 循環概略圖¹⁾²⁾³⁾들에 依해 說明되어 왔다. Asaoka 및 Moriyasu⁴⁾는 이를 力學的으로 接近하기 爲한 初期結果를 提示한 바 있으며 Guan과 Mao⁵⁾의 研究는 過去の 資料들을 根據로 東支那海의 循環은 說明하였으며 近來의 Mao⁶⁾의 研究는 濟州島 南西方向에 年中 存在하는 反時計方向的 渦流循環을 海流觀測을 包含한 海洋觀測을 根據로 提示한 結果이다.

近年에 이 海域의 海水循環을 力學原理에 立脚한 數值모델들에 依해 接近하는 一連의 研究^{7)~11)}가 1980年初부터 活潑하게 始作되고 있는 데 特히 Hsueh와 Romea¹⁰⁾¹¹⁾의 研究는 1980—81年期間의 海水循環을 數值모델, 氣象資料 및 우리나라 西海岸의 海面觀測資料에 依해 分析하였는데 韓半島의 南西端의 地形의 配列이 黃海의 海水循環에 重要な 役割을 하고 있음을

* 成均館大學 工科大學 土木科 副教授 Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Korea

強調하고 廣範圍한 長期海流觀測프로그램을 提示하였다.

이러한 一連의 研究와 脈絡을 같이 하여 本 研究에서는 前回の 研究⁷⁾¹²⁾에서 提示된 東支那海의 二次元數値모델을 實際氣象狀況에서의 循環形態를 糾明하는데 焦點을 두어서 1983年 11月의 海溢에 依한 循環形態를 調査하는 데 選用하였다. 研究의 主骨格은 一貫의인 氣象入力資料의 處理에 依한 海溢의 hindcast 體系의 構成에 있었으며 追後의 改善을 通하여 東支那海體系의 潮汐 및 氣象狀況下의 循環形態를 容易하게 hindcast 및 forecast 할 수 있도록 하는 데 力點을 두었다. 于先 우리나라沿岸의 主要檢潮所(仁川, 群山, 木浦, 濟州 및 麗水港)의 觀測結果와 算出結果가 比較檢討되었으며 美國 Woods Hole 海洋研究所의 山東半島 南側海域의 3個地點의 海流觀測資料가 利用可能하는 대로 모델의 改善이 遂行될 豫定이다.

2. 數値모델

球面座標上에 形成된 移流加速項과 海面應力, 海底摩擦項, 海面氣壓 勾配項을 包含한 非線形潮汐 및 海溢모델의 基本方程式은 下記와 같다.

$$\frac{1}{R\cos\phi} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (Hu) + \frac{\partial}{\partial \phi} (Hv\cos\phi) \right\} + \frac{\partial \xi}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R\cos\phi} \frac{\partial u}{\partial \chi} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \phi} - \frac{u^2 \tan\phi}{R} - 2\omega \sin\phi v + \frac{k_b u \sqrt{u^2 + v^2}}{H} - \frac{F_s}{\rho H} + \frac{1}{\rho R \cos\phi} \frac{\partial p_a}{\partial \chi} + \frac{g}{R \cos\phi} \frac{\partial \xi}{\partial \chi} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos\phi} \frac{\partial v}{\partial \chi} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \phi} + \frac{u^2 \tan\phi}{R} + 2\omega \sin\phi u + \frac{k_b v \sqrt{u^2 + v^2}}{H} - \frac{G_s}{\rho H} + \frac{1}{\rho R} \frac{\partial P_a}{\partial \phi} + \frac{g}{R} \frac{\partial \xi}{\partial \phi} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

式 (1)~(3)은 垂直積分된 水動力學의 方程式인데 여기서,

- t 時間
- χ, ϕ 東經 및 緯度
- ξ 靜止海面의 海面水位
- h 靜止海面下의 水深
- $H = h + \xi$ 總水深
- R 地球의 曲率半徑
- g 重力加速度

- ω 地球回轉의 角速度
- k_b 海底摩擦係數
- F_s, G_s χ, ϕ 方向의 바람에 依한 海面應力成分
- P_a 海面氣壓
- u', v' 靜水面下 水深에서의 χ, ϕ 方向의 流速成分
水深平均된 流速成分으로 下記와 같다.

$$u = \frac{1}{h + \xi} \int_{-h}^{\xi} u'(z) dz,$$

$$v = \frac{1}{h + \xi} \int_{-h}^{\xi} v'(z) dz \dots\dots\dots(4)$$

上記式 (1)~(3)은 移流項의 境遇 Roberts 와 Weis-s¹³⁾에 의해 提示된 angled-derivative scheme을 利用하여 數值解를 求하였다. 基本式 (1)~(3)의 有限差分形의 式은 그림 1에 提示된 有限差分格子體系를 利用

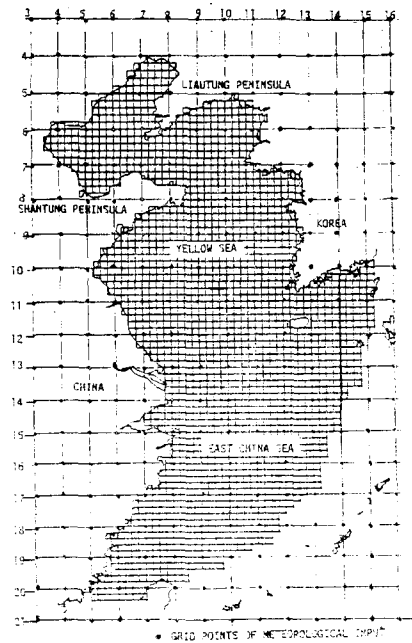


Fig. 1. 東支那海의 潮汐海溢 모델의 二次元有限差分格子體系.

하여 黃海 및 東支那海의 潮汐 및 海溢現象을 研究하기 위해 數值的으로 풀이되었는데 仔細한 數值解析에 의한 解는 이미 紹介¹⁴⁾되어 있으므로 여기서는 省略키로 한다. 球面座標格子體系의 格子間隔은 緯度上 1/5度, 經度上 1/4度로서 北緯 38度에서 約 12海里이다. CFL安定條件이 安定된 計算을 위한 指針으로 利用되어 決定된 Δt 는 225秒로서 1日當 384個의 timestep을 形成하였다. 海底摩擦係數 K_b 는 一定한 값, 0.0025를 取하였다. 모델에 依한 ξ, u, v 의 算定은 $t=0$ 일 때 $\xi=$

$u=v=0$ 인 初期靜止狀態로부터 出發하였는 데 淺海에서는 海底의 摩擦消散率이 높아 初期攪亂效果가 빨리 除去되므로 hindcast 하려는 始點보다 24時間前부터 모델算定을 始作하였다. 境界條件으로서 陸地境界에 直角인 方向의 流速은 없는 것으로 假定하였으며 外海境界面의 境界條件은 時間에 따른 海面水位 및 海速成分의 變化로서 規定지워진다. 即 開放境界面의 海面變化는 下記와 같다.

$$\xi(\chi, \phi, t) = \xi_T(\chi, \phi, t) + \xi_M(\chi, \phi, t) \dots\dots\dots(5)$$

여기서 ξ_T 는 潮汐에 依한 海面變化이며 ξ_M 은 氣象影響에 依한 海面變化이다. 調和理論에 立脚하여 ξ_T 는 下記式으로 提示된다.

$$\xi_T(\chi, \phi, t) = Z_0(\chi, \phi) + \sum_{i=1}^4 f_i H_i(\chi, \phi) \cos [V_i + \sigma_i t + V_i - g_i(\chi, \phi)] \dots\dots\dots(6)$$

- 여기서 Z_0 平均海面,
 f_i, u_i 振幅과 位相의 18.6年 變化를 考慮한 nodal factor,
 H_i 分潮 i 의 振幅
 σ_i 分潮의 速度
 V_i Greenwich에서 $t=0$ 에서의 平衡分潮에 相應하는 位相,
 g_i 分潮의 遲角

인데 모델의 潮汐入力は 東支那海의 二次元潮汐모델¹⁴⁾에서 提示되였던 M_2, S_2, K_1 및 O_1 分潮가 利用되었으며 平均海面 Z_0 는 零을 取하였다. Nodal factor f_i, u_i 는 海溢算定期間의 첫날값을 取하였다. 開放境界面에서의 氣象에 依한 海面變化, $\xi_M(\chi, \phi, t)$ 는 靜水壓法則을 利用하였다.

$$\xi_M(\chi, \phi, t) = [\bar{p} - p_a(\chi, \phi, t)] / \rho g \dots\dots\dots(7)$$

여기서 \bar{p} 는 平均海面氣壓으로 1012mbar를 取했으며 $p_a(\chi, \phi, t)$ 는 時間 t 일때의 陸棚모델의 開放境界面 χ, ϕ 에서의 海面氣壓이다. 더불어서 모델內部的 攪亂效果가 外海로 境界面을 통해 波汲되어 나갈수 있도록 放射條件을 考慮하였는 데 水深平均된 流速 q 와 海面 ξ 와의 關係로서 提示할 수 있다.

$$q = q_T + q_M + \frac{C}{h} (\xi - \xi_T - \xi_M) \dots\dots\dots(8)$$

여기서 $C = (gh)^{1/2}$, ξ_T 는 (6)式으로 賦與된다. $q_M = 0$ 을 取하며 q_T 는 下記式으로 決定된다.

$$q_T = \sum_{i=1}^4 f_i Q_i \cos(\sigma_i t + V_i + U_i - r_i) \dots\dots\dots(9)$$

여기서 Q_i 는 i 分潮의 潮流成分의 振幅이며 r_i 는 位相이고 f_i, σ_i, V_i 및 U_i 는 既定義된 바 같은 데 二次元潮汐모델¹⁴⁾에서 決定된 값들을 一次의으로 取하였다.

3. 氣象資料

式 (2)(3)을 풀이하기 爲해서는 海溢算定期間을 通해 每 格子點마다 氣象條件에 依한 外力項인 海面風의 應力成分 F_s, G_s 와 氣壓勾配 P, Q (여기서

$$P = \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad Q = \frac{1}{R} \frac{\partial p}{\partial \phi}$$

를 算定해야 한다. 이 海域의 大氣數值豫報모델에 依한 氣壓資料가 現在에는 利用可能하지 않으므로 中央氣象臺의 每 6時間 天氣圖를 digitizer를 利用하여 等壓線을 digitizing 後 gridding 技法을 利用하여 그림 1에 提示된 每 $1^\circ \times 1^\circ$ 格子上的 氣壓을 抽出한 後 이를 다시 Buckingham¹⁵⁾이 提示한 補間法을 利用하여 모델內部的 每格子마다 海面氣壓을 取하는 從屬의인 處理過程을 取하였다. 다음 段階로는 每格子間의 氣壓勾配를 算定한 後 地衡風算出式을 利用하며 또한 交換係數를 適用하여 海面風을 算定하였다. 交換係數는 Hasse와 Wagner¹⁶⁾가 提示하는 經驗值를 使用하였다.

$$W_s = A \widehat{W} + B \dots\dots\dots(10)$$

여기서 W_s 및 \widehat{W} 는 各已 海面風 및 地衡風의 強度(m/sec)이며 $A=0.443, B=2.92$ 이다. 地衡風과 海面風이 이루는 角(cross-isobar angle)은 大氣溫度와 海水溫度와의 差에 依해 算定¹⁷⁾¹⁸⁾될 수 있으나 이 期間의 資料가 없으므로 干先 20° 를 取하였다. 海面風에 依한 海面應力을 策定하기 爲해서는 지금까지 提示된 抗力係數들을 檢討한 結果 Wu 의 1980年¹⁹⁾ 및 1982年²⁰⁾ 報告值가 最近까지의 資料를 利用한 것이며 利用되는 風速이 範圍도 넓어 이를 取하였다. 即 抗力係數 C_D 는 下記와 같이 取하였다.

$$C_D \times 10^3 = 0.08 + 0.065 W_s \text{ 但 } 0 < W_s < 50 \dots\dots(11)$$

上記의 一連의 過程에 依해 每 6時間別 氣壓勾配 및 海面應力分布가 모델의 各 格子點마다 1983年 11月 14日 0時(GMT)부터 11月 19日 18時(GMT)까지 作成되어 氣象入力資料의 時系列이 形成되었다. 그림 2는 11月 16, 17日의 西高東低의 氣壓分布를 나타내는 天氣圖이다. 그림 3은 11月 16~18日間의 海面風에 依한 應力分布를 前述한 過程에 依해 算定한 結果인데 강한 北東風에 依한 應力分布가 提示되어 있다. 上記의 期間을 研究對象으로 한 것은 이 期間에 美國 Woods Hole 海洋研究所가 그림 4에 提示된 山東半島 南側 海域 3個地點에 海流觀測을 實施한 바 그림 5에 提示된 대로 16~18日間에 강한 海溢海流가 觀測되었기 때문이다. 追後의 모델의 海流檢證 및 改善은 이 海流觀測值를 利用하여 遂行될 豫定이다.

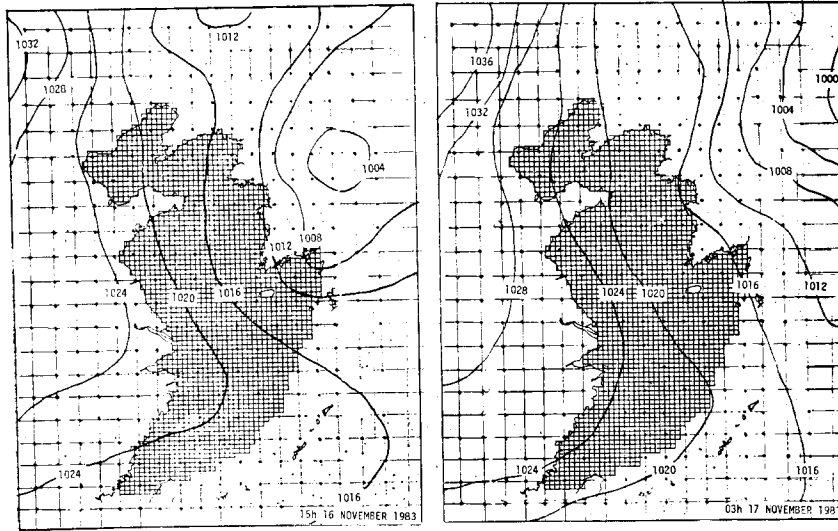


Fig. 2 1983年 11月 16,17日의 黄海와 東支那海上 海面氣壓分布

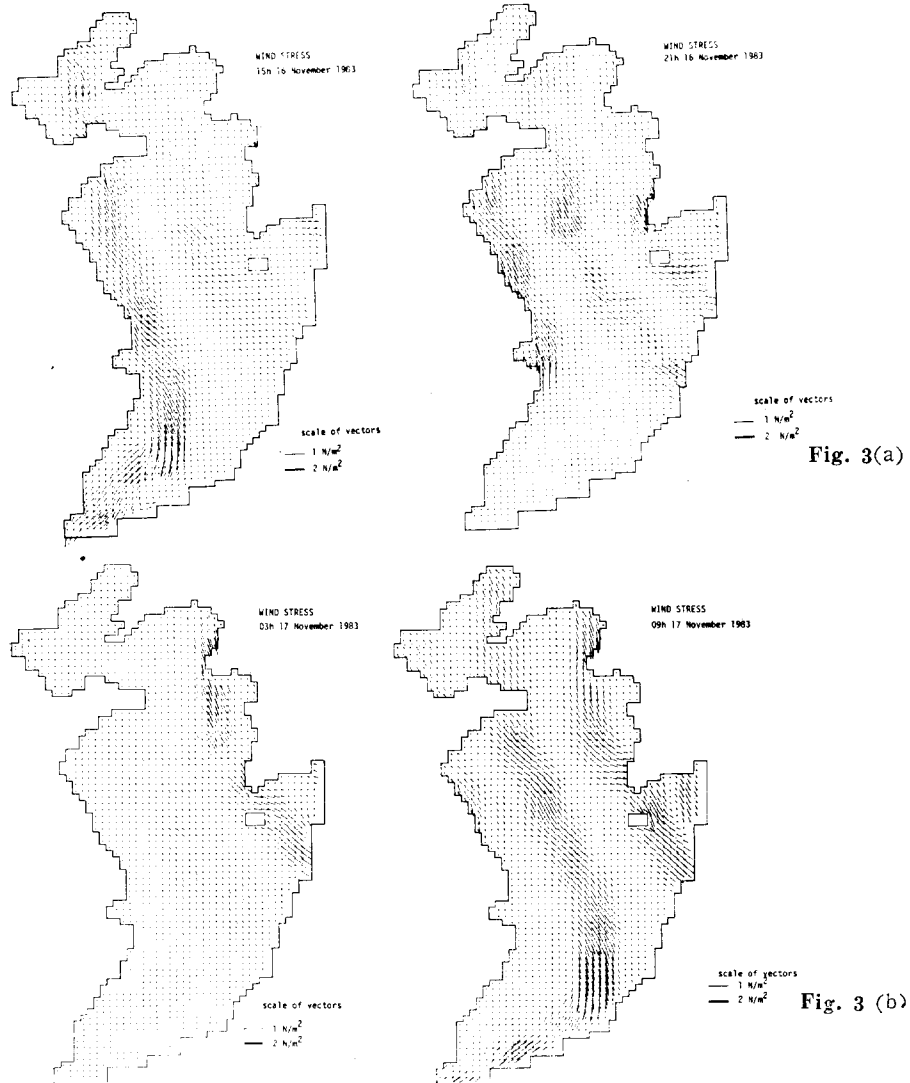


Fig. 3(a)

Fig. 3 (b)

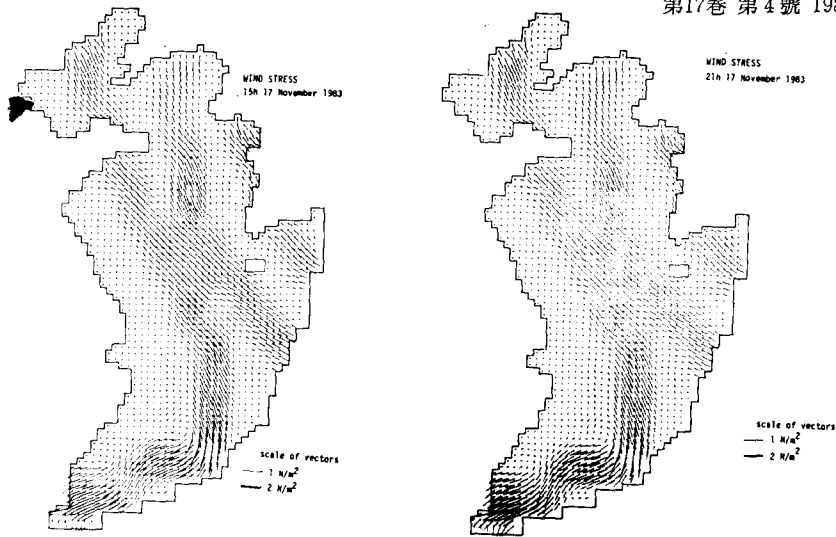


Fig. 3(c)

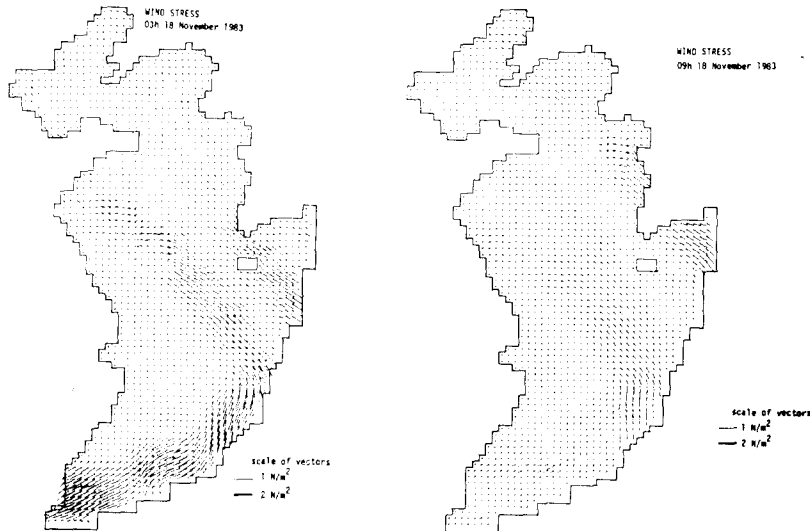


Fig. 3(d)

그림 3 1983年 11月 16~18日間의 海面風에 依한 海面應力分布圖

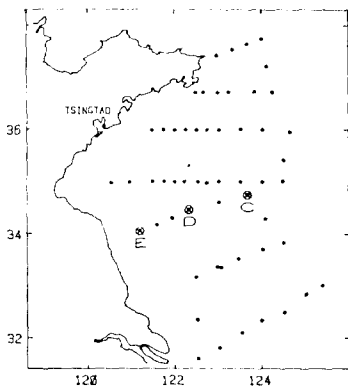


Fig. 4. Woods Hole 海洋研究所의 1983年 11月의 海流觀測點(C, D, E點)

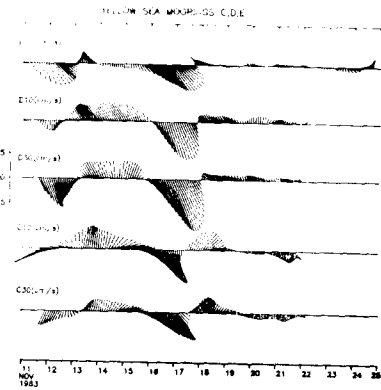


Fig. 5. C, D, E點의 海溢에 依한 海流의 플롯트(上向이 北向成分). C10은 C點에서의 10m 水面下의 海流觀測을 나타냄.

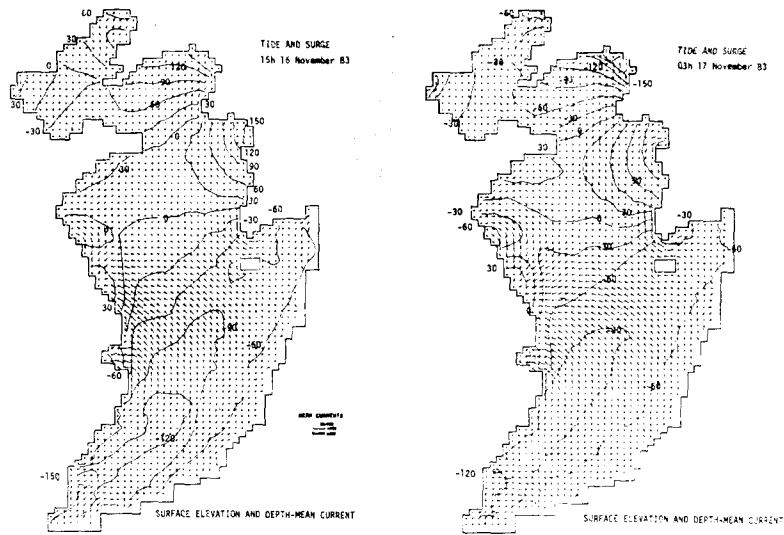


Fig.6. 모델에 의한 78年 11月 16日 15時와 11月 17日 03時의海面 및 海流算定結果

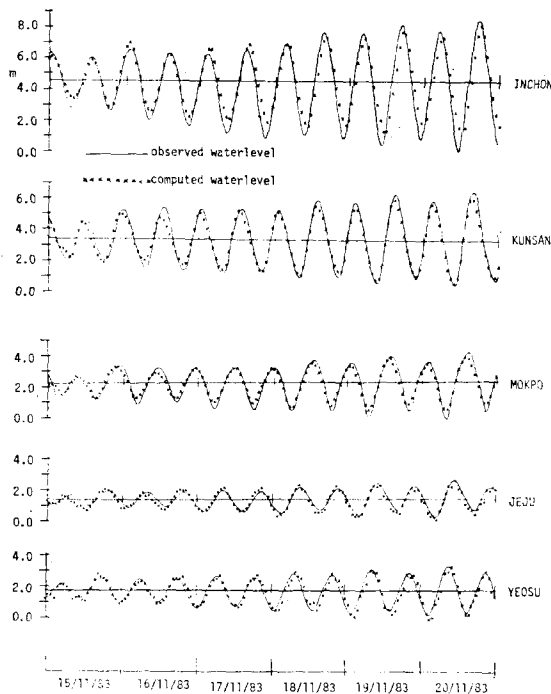


Fig.7. 우리나라 西海岸 主要檢潮所의 78年 11月海面觀測值와 모델算定值와의 比較

4. 모델結果 및 討議

모델算定(model run)은 潮汐과 氣象條件을 함께 賦與한 算定(Run 1)과 潮汐만의 算定(Run 2)이 遂行되

어 海溢成分은 前者에서 後者를 每時間間隔(timestep) 每格子點마다 減해서 抽出(Run 3)하였다. 이 過程은 潮汐과 海溢의 相互作用(interaction)까지 考慮된 것으로 東支那海의 淺海體系에서는 海溢이 강한 潮汐에 依해 크게 影響을 받으므로 適切한 接近方法이다. 算定結果인 3種類의 時系列은 磁氣테이프에 收錄되어 分析 및 圖化를 爲한 基礎資料가 되었다.

그림 6은 Run 1 即 潮汐과 氣象條件을 함께 賦與한 實際海面의 算定(waterlevel hindcast) 結果를 例示한 것인데 11月 16日 15時와 17日 03時의 海面分布(cm)와 潮汐과 海溢에 依한 海流分布를 提示하고 있다. 그림 7은 Run 1의 時系列에서 仁川, 群山, 木浦, 濟州, 麗水港에 該當하는 모델格子點의 算定結果를 抽出하여 檢潮所의 觀測值와 比較한 것이다. 提示된 結果는 潮汐 入力이 推論된 4個分潮만에 依한 開放境界面의 資料이며 檢潮所의 實際位置와 모델의 水位算定位置가 0.2度 程度는 되는 것임을 勘案할 때 좋은 一致를 보이고 있다. 潮差가 큰 仁川, 群山港의 算定值가 觀測值와 低潮 및 高潮位에서 잘 一致 못하는 것을 改善하려면 追後에 陸棚潮汐觀測을 통해 境界面 潮汐入力에 더 많은 分潮가 明示되어야 할 것이다. 그림 8은 RUN 3의 結果에서 11月 16日~18日間의 海溢高를 抽出하여 提示한 것인데, 우리나라 西韓灣, 中國의 遼東灣, 勃海灣에 相當한 크기의 負값의 海溢(negative surge)이 發生하는 反面 京畿灣南側의 우리나라 西海岸의 海溢은 微弱한 것이 提示되고 있다. 이 結果는 冬季의 季節風에 相應하는 定常均一風(北風, 北西風)에 依한 體系의

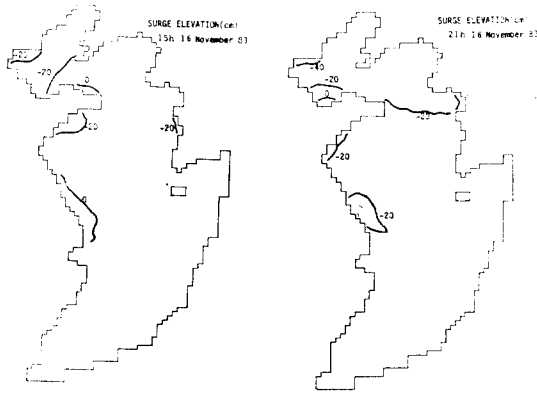


Fig. 8(a)

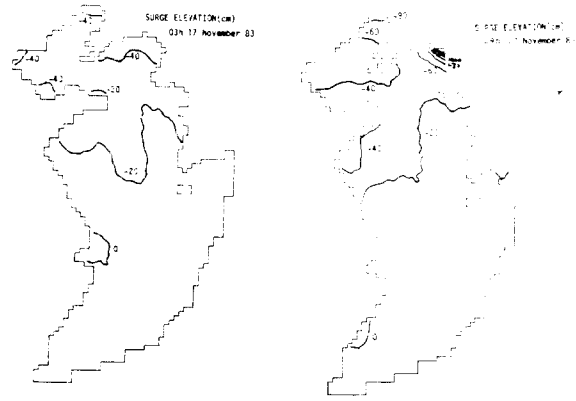


Fig. 8(b)

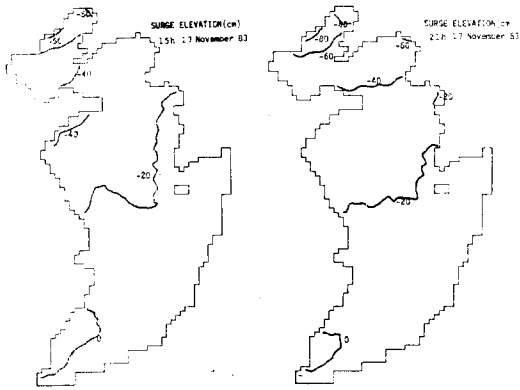


Fig. 8(c)

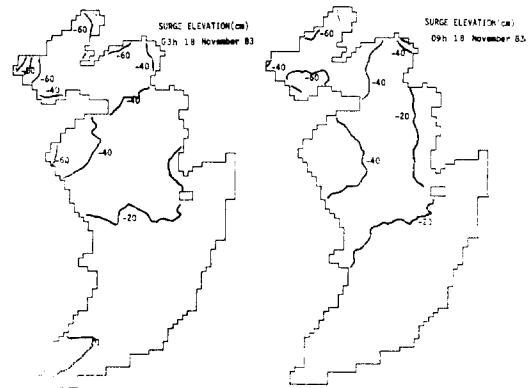


Fig. 8(d)

Fig. 8. 모델에 의한 83年 11月 16~18日期間의 海盜에 의한 海面分布 算定結果

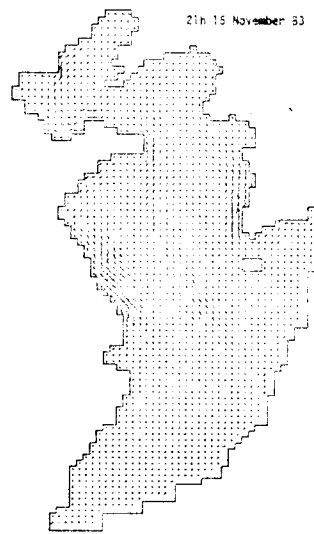
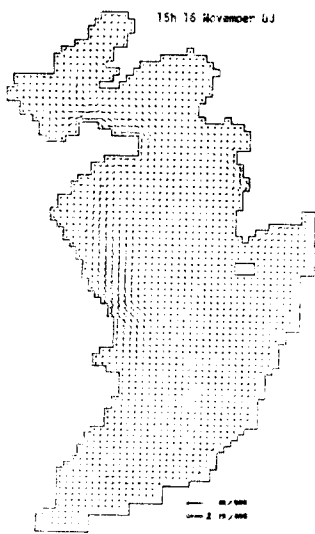


Fig. 9(a)

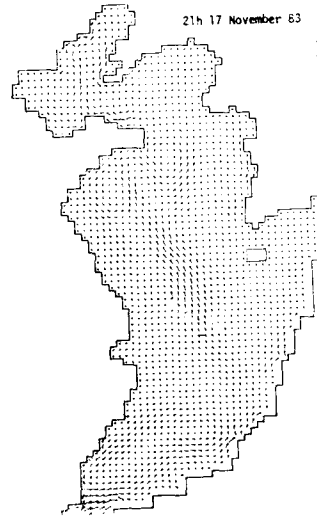
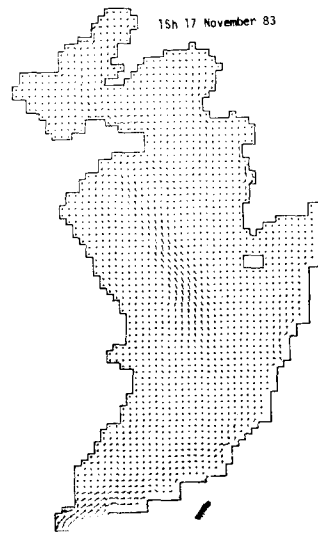
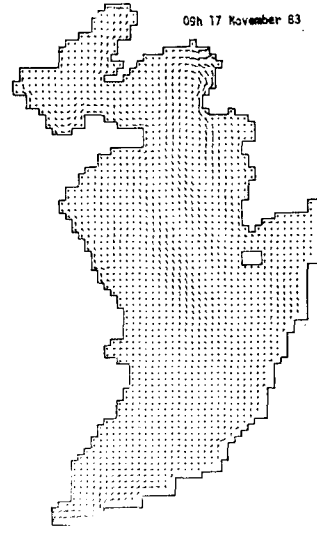
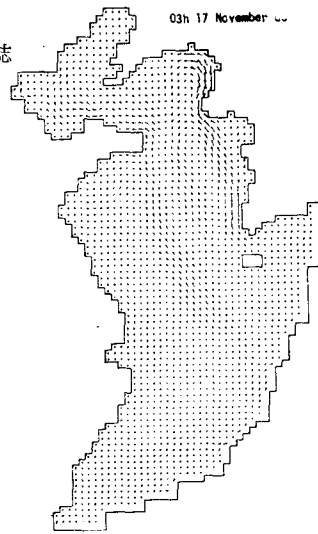


Fig. 9(b)

Fig. 9(c)

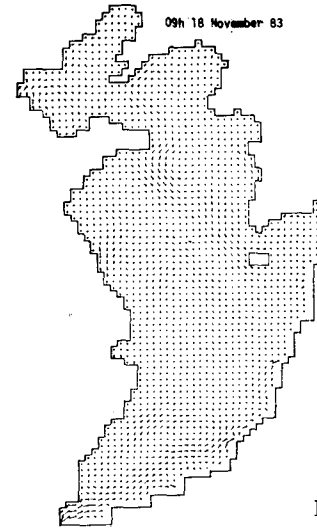
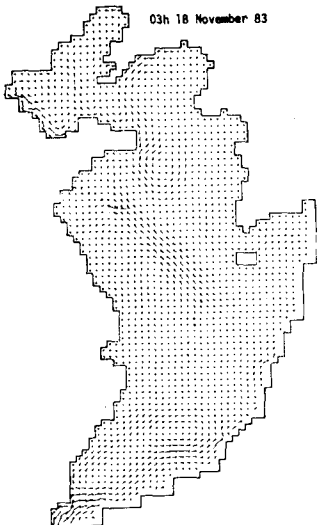


Fig. 9(d)

Fig. 9. 모멘에 의한 78年 11月 16日~11月 18日 期間의 海流에 의한 海流分布 算定結果

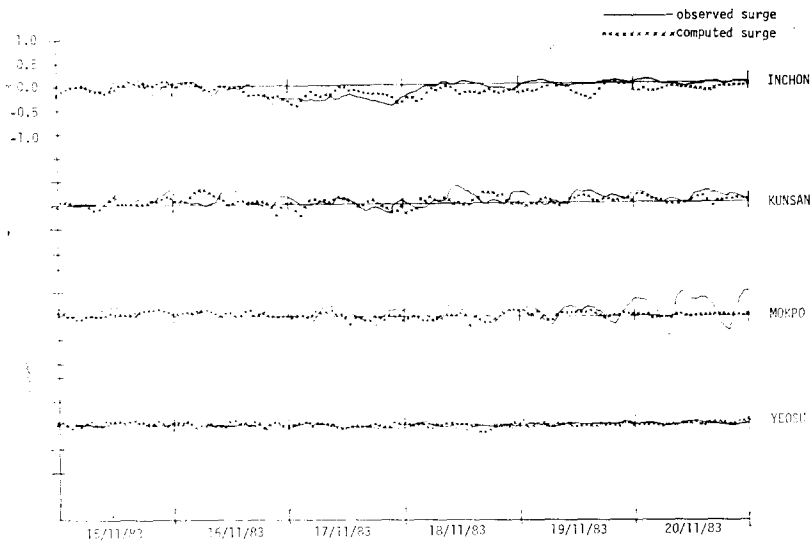


Fig. 10. 우리나라 西海岸 主要檢潮所의 78年 11月 海溢觀測値와 모델算定値와의 比較

反應을 數值實驗한 前回²⁾의 研究結果와 잘 一致하고 있다. 그림 9는 그림 8에 提示한 海溢高에 相應하는 海溢에 依한 海流分布를 提示하고 있는 데 西韓灣 및 우리나라 西海沿岸을 沿해 강한 南向流와 中國沿岸 및 黃海中心部의 thalweg를 따른 강한 南向流가 算定되었다. 또한 時系方向의 渦流(eddies, gyres)가 西韓灣, 우리나라 西海岸, 山東半島 南側에 보이는 데 亦是 定常均一風의 數值實驗에서도 이러한 渦流는 提示된 바 있어 冬季의 이러한 渦流循環은 氣象影響에 依해 誘發될 수 있음을 確認시키고 있다. 그림 10은 算定된 主要觀測所의 海溢高와 觀測海溢時系列의 比較이다. 여기서 觀測海溢은 檢潮資料에서 潮位推定値를 減해서 求한 것이다. 潮位推定은 우리나라 主要港灣의 長期調和分析를 擴張調和分析法에 依해 遂行한 前回の研究²⁾에서의 102個의 分潮를 利用하여 推定한 것이다. 提示된 대로 海溢의 程度만이 類似하게 算定되었다 할 수 있는데 -20cm 程度의 負값을 갖는 仁川港의 海溢은 南側으로 내려오면서 減小되다 濟州港에서는 觀測된 海溢 및 算定된 海溢이 없으므로 比較에 包含치 않았다. 體系全域에 걸친 海面觀測資料가 있어야 統計學的 誤差評價가 可能한 데 海溢이 뚜렷한 西韓灣, 遼東 勃海灣에서의 觀測資料와 算定結果를 檢討하는 일이 必要하다. 本 研究에 採擇된 氣象條件이 冬季의 典型的인 形態라기보다는 短期的인 氣象形態이므로 1985/86年 冬季에 3個月에 걸친 長期海觀프로그램의 推進中인 바 이 計劃이 實施되면 더 徹底한 分析이 本 稿에 收錄된 一連의 數值實驗過程을 通하여 遂行될 것이다.

5. 結 論

東支那海에 1983年 11月期間中 海溢을 誘發시킨 冬季의 象條件下에서의 이 海域의 海水循環形態를 力學原理에 立脚한 二次元數值모델을 利用하여 糾明하려는 初期努力이 途述되었다. 一連의 一貫의인 氣象入力資料 處理體系가 樹立되어 氣象入力が 整然하게 海洋모델로 入力되어 海溢에 依한 海面 및 海流分布가 算定되었는데 初期結果로서는 滿足스러웠다. 定常均一風下의 體系反應實驗에서도 提示된 바 있던 冬季의 西韓半島, 우리나라 西海岸, 山東半島 南側海域의 時計方向渦流循環이 冬季의 氣象狀況에서 發生될 수 있음이 數值實驗으로 거듭 確認되었다. 冬季의 氣象狀況에서 뚜렷한 海溢이 發生possible한 遼東, 勃海 및 西韓灣의 海面觀測資料 및 實際海流 觀測資料와의 檢證을 通한 모델의 改善이 必要하다. 本 研究는 黃海 海洋豫報體系의 樹立을 爲한 初期作業으로 冬季의 海水循環에 따른 黃海의 動的推積體系를 糾明하려는 研究와도 關聯되어 遂行되었다. 1985/86年 冬季의 廣範圍한 長期海流觀測이 現在 計劃되고 있는 바 이 現場資料를 利用하면 信賴性있는 冬季의 海水循環形態가 糾明될 展望이다.

謝 辭

本 研究는 1983年度 韓國學術振興財團의 研究費支援

에 의해遂行되었다. Wood Hole 海洋研究所의 Dr. R. C. Beardsley로부터는 그림 4, 5 및 모델改善을爲한 助言을 받았으며 水路局으로부터는 檢潮資料, 氣象研究所로부터는 天氣圖를 提供받은 바 이에 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. Uda, M. 1966. Yellow Sea. In Encyclopedia of Oceanography (ed. F. W. Fairbridge) Van Nostrand Reinhold Co., New York, 994-998.
2. Niino, H. and K. O. Emery. 1961. Sediments of shallow portions of the East China Sea. Geol. Soc. American Bull., 72, 731-761.
3. U.S. Naval Oceanographic Office. 1964. Ocean currents in the vicinity of the Japanese islands and China coast. Pub. No. 237.
4. Asaoka, O. and S. Moriyasu. 1966. On the circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in winter (Preliminary Rep). Oceanogr. Mag., 18, 73-81.
5. Guan, B. and H. Mao. 1982. A note on circulation of the East China Sea. Chinese J. Oceanol. and Limnol., 1, 5-16.
6. Mao, H. et al. 1983. A cyclonic eddy in the northern East China Sea. Abstract presented to XVIII General Assembly, Hamburg.
7. Choi, B. H. 1982. Note on current driven by a steady uniform wind stress on the Yellow Sea and the East China Sea. La mer, 20, 65-74.
8. 崔秉昊, 1984. 三次元數値모델을 利用한 東支那海의 定常均一風의 應力에 依한 海流의 算定. 韓國海洋學會誌, 第19卷 第1號, 36~43.
9. Choi, B. H. 1984. Computation of meteorologically-induced circulation in the East China Sea. Proc. of KOSEF-NSF Symposium on Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea. (in press)
10. Hsueh, Y. and R. D. Romea. 1983a. A comparison of observed and geostrophically calculated wintertime surface winds over the East China Sea. J. Geophys. Res., 88, 9588-9594.
11. Hsueh, Y. and R.D. Romea. 1983b. Wintertime winds and coastal sea-level fluctuations in the northern China Sea. Part I: Observations. J. Phys. Oceanogr., 13, 2091-2106.
12. Choi, B.H. 1983. Mathematical modelling of tides and surges in the East China Sea. J. of Korean Hydrological Sciences. 16:4, 221-236.
13. Roberts, K.V. and N. O. Weiss. 1967. Convective differencne schemes. Math. Comput., 20, 272-299.
14. Choi, B. H. 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI) rep. 80-02, 72p.
15. Buckingham, R, A 1957. Numerical. methods. London, Pitman 605p.
16. Hasse, L. and V. Wagner. 1974. On the relationship between geostrophic and surface wind at sea. Month. Weather Rev., Wash., 99, 351-383.
17. Findlater, J. et. 1966. Surface and 900mb wind relationships. Scientific papers of the Meteorological Office, London, 28, 41p.
18. Duun-Christensen, J. T. 1975. The representation of the surface pressure field in a two-dimensional hydrodynamic numeric model for the North Sea, the Skagerrak and the Kattegat. Dt. hydrogr. Z., 28, 97-116.
19. Wu, J. 180. Wind stress coefficients over sea surface near neutral conditions: A revisit. J. phys. Oceanogr., 10, 727-747.
20. Wu, J. 1982. Wind stress caefficients over sea surface from breeze to hurricane. J. Geophys. Res., 87, C12, 9707-9706.
21. 韓國測地學會, 1983. 우리나라 精密水準網에 關한 研究(우리나라 主要港灣의 平均海面 및 潮位分析)