

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

東海長期觀測與研究(1)—子計畫四： 有機碳氮之同位素組成、無機碳及氟氯化碳之分布與生 地化模式之研究

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89-2611-M-002-041-OP3

執行期間：89年8月1日至90年12月31日

計畫主持人：劉康克

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學海洋研究所

中華民國九十一年五月二十七日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

東海長期觀測與研究(1)——子計畫四：有機碳氮之同位素組成、無機碳及氟氯化碳之分布與生化模式之研究

Long-term observation and research of the East China Sea (I)- Factors controlling carbon fluxes: Isotopic compositions of organic carbon and nitrogen, distributions of dissolved inorganic carbon and chlorofluorocarbon and biogeochemical modeling

計畫編號：NSC 89-2611-M-002-041-OP3

執行期間：89年8月1日至90年12月31日

主持人：劉康克 國立台灣大學海洋研究所

計畫參與人員：高樹基 國立台灣大學海洋研究所

計畫參與人員：李丙生 國家海洋科學研究中心

一、中文摘要

本計畫包含二部份：觀測與模式分析。觀測工作包括：東海沈積物中有機碳、氮之分布及同位素組成，東海水體中無機碳（DIC）及氟氯化碳（CFC）之測定。其目的在運用同位素探討東海陸棚之有機碳、氮傳輸與生化過程，並藉著二氧化碳分壓之測定，以推算二氧化碳之海氣交換通量，而 CFC 可以做為不同水團之示蹤劑。模式分析從東海盒子模式開始著手，再逐步發展三維之生化數值模式。

有機碳、氮傳輸與生化過程方面，本計畫運用碳、氮在海域之位素組成分布，追蹤有機碳、氮物質在東海中之傳輸。我們發現南沖繩海槽的沈積物中碳、氮同位素組成與內陸棚的十分相似，顯示內陸棚的有機物可能是沖繩海槽沈積物中的有機碳的主要來源。此外，對東海水體之 CFC 及 PCO_2 做了初步的探測。

模式研究方面，研究範圍將從黃海到東海，直到台灣海峽，使用雙盒子模式，以做水平之區隔。數據方面，利用已出版之文獻，如：東海水文圖集，及 NODC 之光碟資料。我們求出東海陸棚南部與北部之水體駐留期有大的區別，南部僅 3-4 個月，北部則有 1.4 年。

關鍵詞：東海，有機碳，碳同位素，氮同

位素，二氧化碳，氟氯化碳，盒子模式。

Abstract

This project includes two parts, observations and modeling. Observations include isotopic analysis of sedimentary organic carbon and nitrogen and survey of carbonate chemistry and chlorofluorocarbon (CFC). The spatial distribution of sedimentary organic carbon and isotopic compositions sheds light on the fate of organic matter in the East China Sea. The carbonate chemistry enables us to study the air-sea exchange of carbon dioxide. CFCs may serve as water mass tracers. Box model are used to study the water and nutrient budget in the East China Sea shelf as the first step of modeling work, which is to be followed by development of 3-D numerical model.

Regarding the biogeochemical dynamics of carbon and nitrogen in the East China Sea, we have studied their isotopic compositions in sediments. The results clearly indicate that the sedimentary organic matter in the southern Okinawa Trough off northeastern Taiwan is isotopically similar to that from the inner shelf of the ECS, suggesting the inner shelf as the main source of sedimentary organic matter in the southern

Okinawa Trough. Preliminary results have been obtained for the PCO_2 and CFC distribution in the East China Sea.

The study area for the modeling effort comprises the contiguous continental shelf from the Yellow Sea to the Taiwan Strait. Efforts has been devoted to compile a database with wider spatial coverage and fuller temporal coverage for the model studies. Two-box model has been constructed to evaluate the residence times of shelf waters in the southern and northern parts of the ECS shelf. The southern part has rather short residence time (3-4 months), whereas the northern part has longer residence time (1.3 years).

Key words: East China Sea, organic carbon, carbon isotopes, nitrogen isotopes, CFC, box model

二、緣由與目的

最近數十年來，大陸棚在海洋生化循環中扮演的角色越來越受到重視 (Walsh, 1988; Mantoura, Martin & Wollast, 1991; Liu et al., 2000)。相對於開放大洋，大陸棚具有很高的生物量以及生產力，甚至被視為開放大洋水體中有機碳的一個重要來源 (Walsh, 1989)，因此，大陸棚所佔海之面積雖然僅約 10%，對大洋的生化過程卻有顯著的影響。1992 年，大陸邊緣海域研究被 JGOFS 視為重要的執行計畫之一 (SCOR, 1992)，從此建立大陸邊緣海域專案小組 (Continental Margins Task Team; Hall & Smith, 1995)，此小組係由國際地圈-生物圈計畫 (International Geosphere-Biosphere Program; IGBP) 的兩個核心計畫：全球海洋通量聯合研究 (JGOFS) 與海岸地區陸海交互作用計畫 (LOICZ) 所共同支持。

大陸邊緣研究的主要目標之一 (SCOR, 1994) 是了解橫向傳輸的碳通量，經由地區性之研究，最後應用到全球的尺度。而本子計畫的實驗設計與計畫目標恰是符合此項需求。

本計畫包含觀測與模式研究兩部份。觀測著重在沈積物有機碳與水體無機

碳之分布，並利用同位素組成了解不同來源之有機碳在沈積物中之命運；而水體中總溶解無機碳及鹼度之分布可透露二氧化碳海氣交換之通量。模式研究則是使用涵蓋更廣的時間與空間尺度資料，藉著較複雜的盒子模式及數值模式，以求了解東海碳循環的、空間變異等，然後重新評估東海營養鹽與碳通量。此外也探討氮同位素的變化，運用碳、氮同位素組成了解陸源碳、氮物質在東海陸棚的命運及生化作用，同時也可運用同位素收支作為輔助氮鹽收支計算的另外一個途徑。

三、結果與討論

1. 有機碳之分布及同位素生物地球化學

東海的水體及沈積物中的有機碳研究已有重要的成果 (Sheu et al., 1995; Hung et al., 2000)，然而標本所涵蓋的範圍大多以中、外陸棚為主，內陸棚很少。也未曾將有機碳、氮之分布與沈積物的關聯起來。

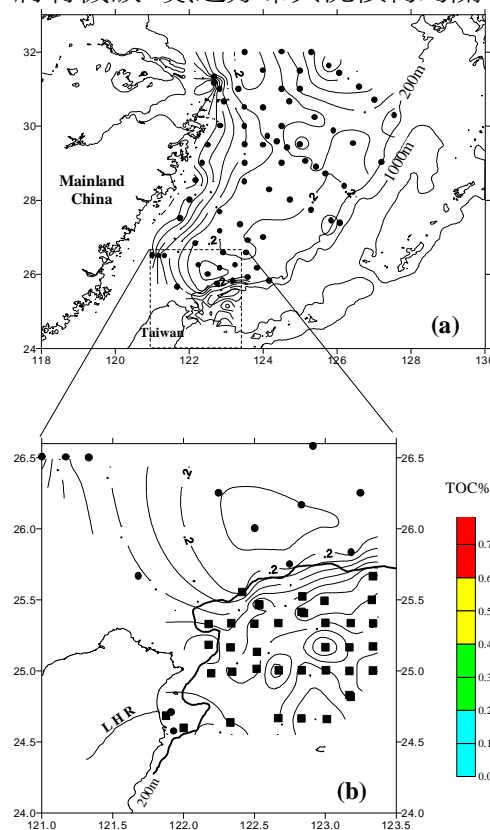


圖 1：沈積物中有機碳含量：(a) 東海陸棚，(b) 南沖繩海槽。

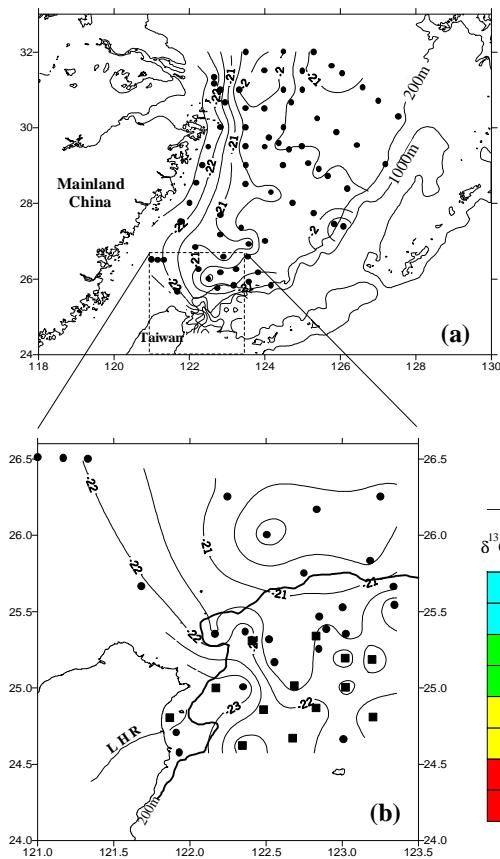


圖 2：有機碳同位素值：(a) 東海陸棚，(b) 南沖繩海槽。

本計畫運用同位素來探討此一關聯，其目的在了解顆粒有機物在東海的命運。由圖 1、2 顯示沈積物中有機碳的含量及其同位素組成的分布有相似的形態。TOC 最高值在長江口附近，高值沿海岸向南延伸，到接近台灣海峽時偏向外海，連接到南沖繩海槽。

由碳、氮同位素組成（圖 3）顯示，南沖繩海槽的沈積物中有機物之同位素值與內陸棚最接，顯示內陸棚之有機物會向外海輸送，可能是重要的碳循環管道。

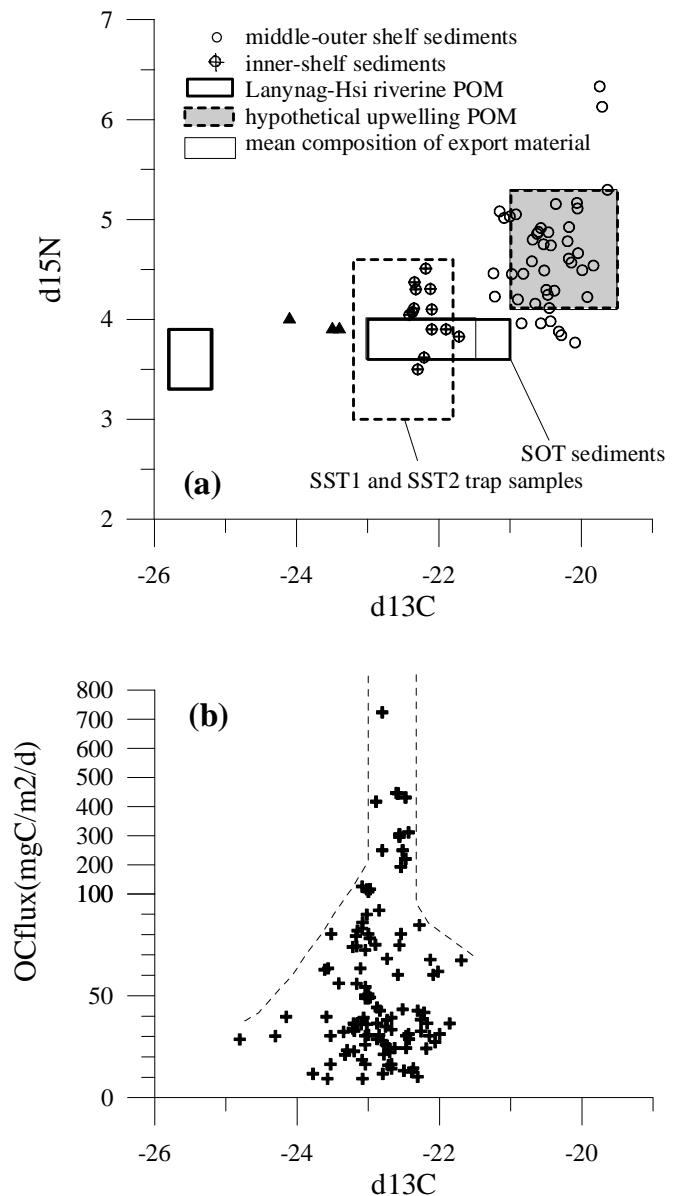


圖 3(a) 東海陸棚碳、氮同位素組成數據，(b) 南沖繩海槽沈積物收集器碳同位素組成數據(Sheu et al., 1999)。

2. PCO₂ 之分布

Tsunogai et al. 於 1993 至 1996 於秋冬季節觀測東海陸棚區表水 CO₂ 的濃度較大氣 CO₂ 濃度平均約低 55±5 ppm。由此 Tsunogai et al. 推斷東海陸棚區為大氣 CO₂ 重要的匯。Peng et al. 於 1996 年五月於東海陸棚區南部亦發現，此區在春季時之 fCO₂（二氧化碳 fugacity）約比大氣低 28uatm，

因此此區域於春季時仍為大氣 CO₂ 重要的匯。Chen 與 Wang (1999) 亦發現東海陸棚區為重要的 CO₂ 匯。

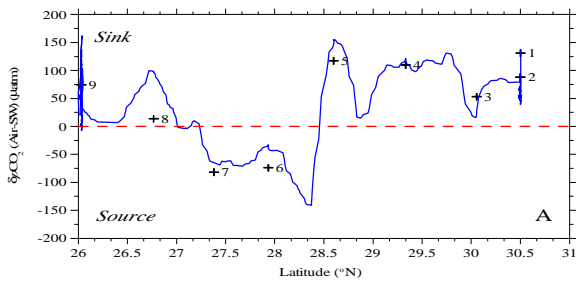


圖 4 東海陸棚二氧化碳分壓數據。曲線代表走航量測結果，十字代表利用 DIC、TALK 計算之結果。

本研究採用二氧化碳分壓走航量測系統 (PCO₂ underway system)，而不再利用二氧化碳參數間接推算 fCO₂ 的傳統方法。本二氧化碳分壓現場量測系統每一樣品分析及資料處理完成只需 5 分鐘的時間取得東海大範圍高密度資料，將使得計算海洋大氣二氧化碳通量之時間及空間的變化更趨真實 (圖 4)。大氣之 CO₂ 被海水吸收經生物轉換成有機碳，這些有機碳部份在陸棚淺區再分解循環成無機碳，其餘則輸送到大洋的次表層水中。本計畫中曾利用 DIC、TALK 之測定，進行二氧化碳分壓之研究，與走航量測結果相當符合。

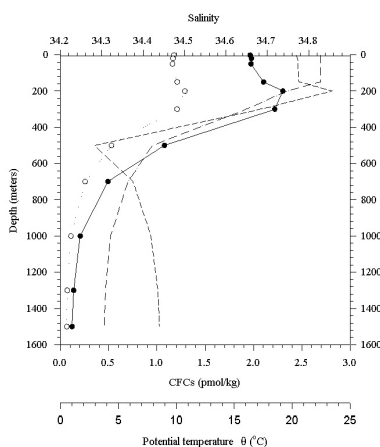


圖 5 東海測站(24.8380N 122.8520E)CFC (Solid dots: CFC-11, open circles: CFC-12) 及溫鹽數據。

在 CFC 研究方面已獲得初步之測量數

據 (圖 5)，目前需要進一步分析，以了解其分布與水團之關係。

3. 模式研究

盒子模式已經被廣泛用來建構營養鹽收支 (Gordon et al., 1996)，東海方面，也已經有穩態-單盒子模式被用來解決水體與營養鹽在大陸棚緣的交換通量 (e.g., Li, 1994; Chen, 1996; Hall et al., 1996)。然而，盒子模式僅能探討海域之平均生地化作用，無法用來探討生地化作用之機制及過程。本計畫將與子計畫-配合，利用其所建立之三維環流模式，來發展三維生地化模式。但三維模式十分複雜，不是一蹴可及。所以我們仍將從盒子模式開始，來發展模式研究。

以盒子模式計算生地化物質的收支在寬廣而開放邊界的研究區域並不容易，由於東海陸棚有很強的河流輸入以及穩定的黑潮流鋒面所形成持續的邊界，使得東海盒子模式可以調控，而根據前述東海的水文特性，這個系統和河口有某種程度的相似。因此，此結果可以利用來規範三維模式之運算條件。以盒子模式建構碳與營養鹽收支可以讓我們對東海內的生地化特性有所了解。

本研究所使用的模式與 Li (1994) 相似，就是利用生地化盒子模式，來推算東海黃海海域陸棚表水與黑潮水之交換量。若將東海黃海陸棚視為一簡單的盒子 (見圖 6)，則對此盒子之鹽度有所影響的，主要為河水逕流 (R)、黑潮水 (K)、陸棚表水 (SW) 及蒸發 (E) 和降雨 (P)，此外我們應考慮台灣海峽海流 (TSW) 及對馬暖流 (TSU)。假設東海海域處於穩定狀態 (steady-state)，依照物質守衡，流進盒子的流量及鹽度通量 (即等式的左側)，應與流出盒子的流量及鹽度通量 (即等式的右側) 相等。

從文獻可得知台灣東北海域長年都有湧升流的存在，故在此區所觀測之陸棚水鹽度會受到鹽度較高之黑潮次表層水的影響，因此過去所使用之陸棚表層水平均鹽度值並不恰當。本模式所計算之東海及黃海陸棚鹽度數據 (圖 6) 來源有二：

(a.) WOA94 (World Ocean Atlas

1994)，此為已網格化（0.25 度×0.25 度）之年平均鹽度，有 10 個標準深度（standard depth），分別為 0m、10m、20m、30m、50m、75m、100m、125m、150m 及 200m，將此年平均鹽度利用 GMT 以 5 分×5 分做網格化。

（b.）海洋出版社所發行之「渤海黃海東海地圖集」，此為每月鹽度等值圖，每月皆有 8 個深度，分別為 0m、10m、20m、30m、50m、100m 及 200m，將每月各深度數值化（digitize）後之數據，利用 GMT 網格化（0.2 度×0.2 度）。

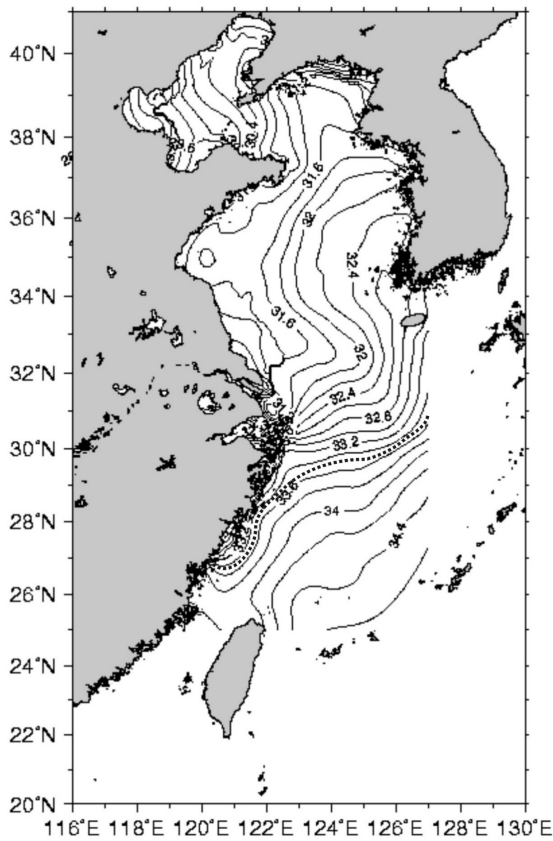


圖 6 東海表層 20m 平均鹽度。

若使用 Li (1994) 之盒子模式，當代入台灣海峽流量時，所算出由黑潮進入東海之流量不合理，表示盒子模式無法平衡，故須重新計算盒子模式，將東海黃海陸棚分成二個盒子來計算（圖 7）。

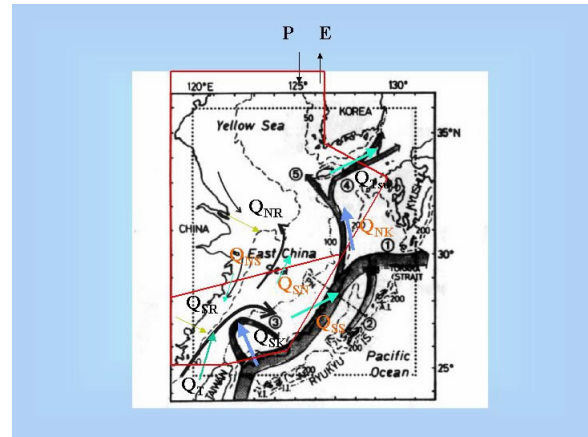


圖 7 東海生地化雙盒子模式。

利用雙盒模式（圖 7）之計算結果得到：流出南邊盒子之陸棚上層水流量 Q_{USW} 為 1.74-1.85Sv，進入北邊盒子之黑潮流量 Q_{KN} 為 0.32-0.43Sv，從南邊盒子進入北邊盒子之底層水流量 Q_{Ds2n} 為 0.15-0.27Sv，從北邊盒子進入南邊盒子之長江沿岸水流量 Q_{n2s} 為 0.016-0.019Sv。若分別將二盒子之體積除以該盒子之淨輸出流量（或淨輸入流量），則可算出：北邊盒子之陸棚水駐留期為 1.32-1.33 年，南邊盒子之陸棚水駐留期約為 0.33-0.34 年。

另外，模式之計算結果得：北邊盒子之浮游植物消耗硝酸鹽速率 R_n 為 108×10^9 - 124×10^9 mol N/yr，南邊盒子則為 177×10^9 - 188×10^9 mol N/yr。若盒子內的硝酸鹽全為浮游植物行光合作用所使用，則以 C/N=106/16 之比例（Redfield et al., 1963）將其換算為新生產力（New Production），得到：北邊盒子之新生產力為 45 - 52 mgC/m²/d，南邊盒子之新生產力為 175 - 186 mgC/m²/d，整個東海黃海陸棚之新生產力為 84 - 92 mgC/m²/d。

四、計畫成果自評

成果與進度分三部份來說明：

1. 有機碳之分布及同位素生物地球化學

東海沈積物之有機碳、氮同位素研究已告一段落，得到十分重要的結果，TOC 及同位素數據都顯示內陸棚機物可能隨細

粒沈積物在台灣海峽北部橫跨海峽，再向台灣北端向沖繩海槽輸送。目前此部份已寫成論文 (Kao et al., 2002) 投稿至 DSR-2 之東海專刊。

2. 無機碳及氟氯化碳研究

本計畫中曾利用走航量測系統測定二氧化碳分壓，目前已得到超過 3000 點 fCO_2 的資料。此快速樣品分析能力，可取得東海大範圍高密度資料，將使得計算海洋-大氣二氧化碳通量之時間及空間的變化更趨真實；在時間尺度上，則希望透過長期監測，由季間變化延伸至年間變化乃至 10 年間變化，或許可看出此區域天氣變化及人為改變(如長江截流)所產生之影響。

CFC 研究與美國 NOAA 之 PMEL 合作，進行良好。目前需要進一步分析 CFC 之數據，以了解其分布與水團之關係。

3. 模式分析

由於盒子模式較為單純，已經被廣泛用來估算海洋通量，東海之雙盒模式得到重要之結果 (陳, 2001) 已在 AGU 之 Ocean Sciences meeting 發表 (Liu and Chen, 2002)。

數值模式亦在發展中，本計畫利用 Lee and Chao (2001) 所建立之三維環流模式，逐步加入生地化變數，未來尚待進一步發展。

五、參考文獻

- Chen C.T.A. and Wang, S.L. (1999). Carbon, alkalinity and nutrient budget on the East China Sea Continental Shelf. *Journal of Geophysical Research*, 104, 20675-20686.
- Chen, C.-T.A. (1996) The Kuroshio intermediate water is the major source of nutrients on the East China Sea continental shelf, *Oceanologica Acta*,
- Gordon, D.G., P.R. Boudreau, K.H. Mann, J.E. Ong, W.L. Silvert, S.V. Smith, G. Wattayacorn, F. Wulff, T. Yanagi (1996) LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines, LOICZ Reports & Studies No.5, 96p.
- Hall, J., S.V. Smith. and P.R. Boudreau (ed.) (1996). *Report on the International Workshop on Continental Shelf Fluxes of Carbon, Nitrogen and Phosphorus*. LOICZ/R&S/96-9. Texel, The Netherlands: LOICZ.
- Hung, J.-J., Lin, P.-L. and Liu, K.-K. (2000) Dissolved and particulate organic carbon in the southern East China Sea. **Cont. Shelf Res.** 20 (In press).
- Kao S.-J., Lin, F.-J., Liu, K.-K. (2002) Organic carbon and nitrogen contents and their isotopic compositions in surficial sediments from the East China Sea shelf and the southern Okinawa Trough. **Deep-Sea Res. II**. (In review)
- Lee, H.J., Chao, S.Y. (2002) A climatological description of circulation in and around the East China Sea. *Deep-Sea Res. II* (accepted by guest editors).
- Li, Y.-H. (1994) Material exchange between the East China Sea and the Kuroshio Current, *Terr. Atm. Oceanic Sci.* 5, 625-631.
- Liu K.K., Chen, K.C. (2002) Residence time of the East China Sea shelf waters. *EOS Trans. Am. Geophys. Union* 83 (4), Ocean Sciences Meeting Suppl., OS6.
- Liu, K.-K., Iseki, K. and Chao, S.-Y. (2000) Continental margin carbon fluxes. In: R.B. Hanson, H.W. Ducklow, & J.G. Field (Editors), *The Changing Ocean Carbon Cycle: A midterm synthesis of the Joint Global Ocean Flux Study*, pp. 187-239. International Geosphere-Biosphere Programme Book Series, Cambridge: Cambridge University Press.
- Mantoura, R.F.C., Martin, J.-M. & Wollast, R. (ed.) (1991). *Ocean Margin Processes in Global Change*. New York: Wiley.
- Peng, Tsung-Hung, Jia-Jang Hung, Rik Wannikhof and Frank J. Millero (1999) Carbon budget in the East China Sea in spring, *Tellus*, 531-540.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H., Richards, F.A., 1963. The influence of organisms on the compositions of sea-water. In: Hill, M.N., *The sea*, Volume 2, Interscience Publishers, New York, pp.

- 26-77.
- SCOR (1992). *Joint Global Ocean Flux Study Implementation Plan*. JGOFS Report No. 9. Baltimore: Scientific Committee on Oceanic Research.
- SCOR (1994). *Report of the JGOFS/LOICZ Task Team on continental Margin Studies*. JGOFS Report No. 16. Baltimore: Scientific Committee on Oceanic Research.
- Sheu, D.D., Jou, W.C., Chen, M.J., Lee, W.Y. and Lin, S. (1995) Variation of calcium carbonate, organic carbon, and their isotopic compositions in surface sediments of the East China Sea. *Terrestrial Atmospheric Oceanic Sci.*, 6, 115-128.
- Tsunogai, S., S. Watanabe, and T. Sato, Is there a "continental shelf pump" for the absorption of atmospheric CO₂? *Tellus*, 51B (3): 701-712, 1999.
- Walsh, J. J. (1988). *On the Nature of Continental Shelves*. San Diego: Academic Press.
- Walsh, J.J. (1989). How much shelf production reaches the deep sea? In *Productivity of the Ocean: Present and Past*, ed. W. H. Berger, V. S. Smetacek & G. Wefer, pp. 175-191. New York: Wiley.
- 陳冠青(2001) 台灣海峽化學水文資料分析及其在東海盒子模式之應用。國立台灣大學海洋研究所碩士論文，69 頁。