

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 南海生地化整合研究—子計畫二： 南海上層水體之物理—生地化耦合研究： 錨錠觀測系統、同位素地化及數值模式之運用(II)

計畫類別：個別型計畫    整合型計畫

計畫編號：NSC89-2611-M-002-037-OP1

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

共同主持人：唐存勇

共同主持人：龔國慶

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日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

南海生地化整合研究—子計畫二：南海上層水體之物理—生地化耦合研究：錨碇觀測系統、同位素地化及數值模式之運用(II)

## Physical-biological coupled approaches to the upper water column variability in the South China Sea: moored observational system, isotopic geochemistry and numerical modeling (2)

計畫編號：NSC 89-2611-M-002-037-OP1

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

共同主持人：唐存勇 國立台灣大學海洋研究所

共同主持人：龔國慶 國立台灣海洋大學海洋系

計畫參與人員：李丙生 國家海洋科學研究中心

### 一、中文摘要

本計畫的目的是探討季風或其它物理作用對南海生地化之影響。使用的研究方式有三：(1)利用錨碇施放物理及生地化探針，(2)利用氟氯化碳探討南海水團與西菲律賓海之交換，(3)數值模式。錨碇之施放共有二串，位置在(18° N, 115.5° E)附近，其中一串裝置有都卜勒聲學流剖儀(RDI BW-150HP)，及一台溫鹽深儀(SEACAT SBE-16)，另一串裝置有八個溫度計、二個溫深儀及四個螢光探針。這些錨碇每隔4-6月更換一次。從SEATS測站0-2000公尺深所收集的海水中，萃取氟氯化碳CFC-11及CFC-12，用以測定南海水團之「換氣年齡」及其與西菲律賓之交換速率。目前南海之三維生地化模式已可預測葉綠素及硝酸鹽分布之季節性變化，並與SEATS航次之結果有部份的相合之處，目前模式結果已在DSR-1付印中，此外也成功應用於東海生地化模式。

**關鍵詞：**南海、生地化、季風、錨碇、模式、氟氯化碳

### Abstract

The purpose of this project is to study how monsoons and other physical forcings affect the biogeochemistry of the South China Sea. Specifically, this project employs three

approaches: (1) moored sensors and measuring devices for physical and biogeochemical parameters, (2) isotopic compositions of carbonaceous and nitrogenous materials in the water column, and (3) numerical modeling. The rather diverse approaches of this project are meant to serve as versatile vehicles for collaborative studies. Due to the long purchasing procedure, only recently the moored sensors were deployed. Two mooring strings were deployed at the South East Asia Time-series Station (SEATS, 18.25° N, 115.58° E) in October 2000. One string includes an Acoustic Doppler Current Profiler (RDI BW-150-HP) and a mini-CTD (SEACAT SBE-16). The other includes eight temperature sensors and two pressure-temperature composite sensors. The moorings will be replaced every 4-6 months. Nitrogen isotopic compositions of nitrate were analyzed for seawaters collected from 50-900 m at the mooring station. Below the euphotic zone, the  $\delta^{15}\text{N}$  values appear to be normal (4.4-6.2 permil). However, the lowest value corresponds to a maximum in N/P ratio, suggesting an influence from the phyto-detritus of nitrogen fixers. Within the euphotic zone, the nitrate is enriched in  $^{15}\text{N}$ , apparently resulting from preferential uptake of the isotopically light nitrate by phytoplankton. The 3-D numerical model with coupled physical-biogeochemical

processes for the South China Sea is capable of producing seasonal variations in chlorophyll and nitrate distributions, which are partially supported by the observations of the SEATS cruises. More rigorous formulation and parameterization of the biogeochemical processes employed in the coupled model are needed in the current development of the model.

Keywords: South China Sea, biogeochemistry, monsoons, moorings, modeling, CFC

## 二、緣由與目的

本計畫是「南海生地化整合研究」的一項子計畫。本計畫配合總計畫的目標，探討東亞季風及其他物理作用對南海生地化的影響。所採用的方法分為三方面：(1) 延續 SCSMEX 之計畫所建立的一個南海的錨碇測站，維持對上層水體的基本物理參數（包括：流速、溫度、鹽度等）之監測，再加上螢光之監測。(2) 利用氟氯化碳探討南海水團之年齡及與西菲律賓海之交換速率。(3) 運用三維物理-生地化耦合數值模式探討南海生地化循環之控制因子。錨碇監測的連續資料將可記錄到一些上層水體中由中尺度渦旋、颱風等所引起的短暫變化。這些變化對於副熱帶貧營養鹽的海域十分重要，但以船測的方式難以碰上，無法有系統的研究，錨碇及衛星遙測是比較理想的方法。

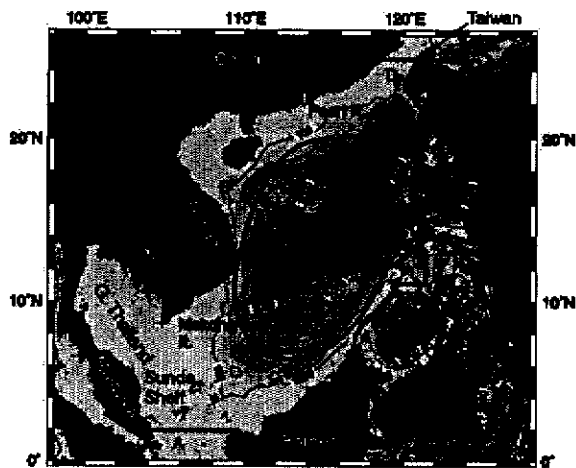
本計畫目前維持二串錨碇，一串為 ADCP 錨碇，在 300m 向上偵測，另一串為溫度計串，外加螢光計。本計畫中仍有一部份採用傳統的出海探測方式，藉人造氟氯化碳為示蹤劑，探討水團交換。至於三維數值模式，目前南海物理-生態耦合模式 (SCoPEM) 已有初步之規模，但仍有許多待改進的地方。這模式可以提供「南海生地化整合研究」各種工作假說，如：季風之強弱對初級生產力之影響等等。在未來也將利用各子計畫之結果（包括錨碇、船測及遙測資料）來修正模式。此外，更可以利用模式來整合各種觀測結果，將有限之觀測資料推展到整個海域生地化循環之時

空變化。

## 三、結果與討論

### 1. 錨碇測站部份：

經由唐存勇老師領隊，於 2000 年 10 月 4-13 日之 KUDEX 航次(OR1-Cruise 597)在 S1 站(18° N, 115.5° E)附近(圖一)佈放 ATLAS 與 ADCP，在 ADCP 部份另外加掛 CTD 於 270m 水深，在 ATLAS 部份則共掛 8 組溫度計串與 2 組溫壓儀。ATLAS 錨碇之溫度計串 100m 以上深度有 100m, 75m, 50m, 25m, 1m。此後，在 2001 年 3 月、11 月及 2002 年 3 月出海回收資料，並整理後重新施放。在 2001 年 11 月之航次中，在 ATLAS 錨碇上加掛螢光探針以取得生物相關參數，供模式驗證，藉以了解有光層之營養鹽動力。未來可以用定期航次所建立之溫度與營養鹽關係方程式推算營養鹽在溫躍層之連續變化。



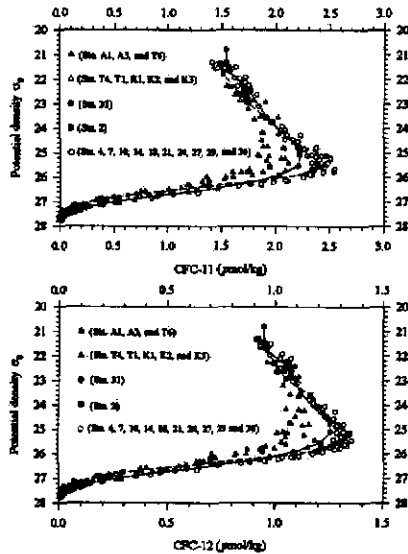
圖一、錨碇測站 S1 位置。

### 2. 上層水體螢光探針：

在 ATLAS 錨碇上裝置螢光探針的深度在 5m、25m、60m、90m，其中 5m、25m 之探針僅工作了一週就被破壞，可能是被漁撈作業所破壞，60m 的螢光探針工作了二個月，90m 的螢光探針工作了近四個月。未來必須改進錨碇方式，以求探針之安全。目前所得之螢光資料已顯示短期之高頻變化十分重要，可能是中尺度渦旋所引起。

### 3. 氟氯化碳示蹤劑研究

由南海及西菲律賓海之氟氯化碳探測結果（圖二），目前已得到重要推論，由水下 100m 至 1800m 間，各水團的「換氣年齡（Ventilation age）估計為 5-50 年。而由西菲律賓海進入南海之交換通量約為 3-5Sv。目前正在撰寫論文，將投稿至 JGR。



圖二、南海及西菲律賓海之氟氯化碳對位溫作圖。（上圖 CFC-11，下圖 CFC-12）

#### 4. 三維物理-生地化耦合數值模式

生地化耦合數值模式係利用 Shaw and Chao (1994) 之環流模式，經過進一步調整，加入五個生地化變數而成，其變數為：無機鹽類、浮游植物、浮游動物，顆粒性有機物、葉綠素。除了葉綠素之外，其餘各變數都是以氮為計算單位 (Fasham et al., 1990)；第二步就是找到所有生地化變數的初始條件和邊界條件；第三步是加入額外的推動作用，也就是光；第四步是列出生地化作用的方程式，包括浮游植物的生長（光合作用及光調適作用）、浮游動物的覓食、排便、浮游生物的死亡及轉化為顆粒性有機物、生物的分解作用及營養鹽再生作用等等 (Doney et al., 1996; McGillicuddy et al., 1995)。為避免生地化變數出現負濃度，採用上游差分法（upstream differencing），以避免在很強的濃度梯度下，產生過強的通量，而造成負濃度 (Torrance and Rockett, 1969; Sarmiento

et al., 1993)。

目前，南海的物理-生態耦合模式 (South China Sea Coupled Physical-Ecosystem Model, SCoPEM) 可以成功地模擬一些觀測結果。在垂直變化上，南海有顯著的次表層葉綠素最大值，且隨季風之交替，及海流之變化而起伏。由於本模式中考慮到光調適作用，因此在低光照的情況下，浮游植物的葉綠素含量會提升，相當符合觀測到的現象。模式的結果顯示，冬季在呂宋島西北外海有較高的葉綠素濃度，由近岸到外海遞減。CZCS 的海色數據也顯示有高值，但其分布較為不規則，且範圍較大，表示中尺度漩渦可能控制營養鹽的分布，進一步影響浮游植物成長。此研究已寫成論文 (Liu et al., 2002 投稿至 Deep-Sea Research-I，目前已被接受，正在付印中。

#### 四、計畫成果自評

成果與進度分三部份說明：

##### 1. 錨碇測站部份：

物理探針方面進行良好，本年度並已加掛螢光探針以取得生物相關參數，供模式驗證，但螢光探針損壞率高，必須要加以修改，才能長期施放。

##### 2. 氟氯化碳研究：

此部份研究與美國 NOAA 之 PMEL 合作，進行良好，並利用 DIC、TALK 之測定，進行人工二氧化碳穿透深度之研究，結果十分令人振奮。

##### 3. 三維物理-生地化耦合數值模式

南海物理-生態耦合模式(SCoPEM)已有初步之規模，但仍有許多待改進的地方。這模式可以提供「南海生地化整合研究」各種工作假說，如：季風之強弱對初級生產力之影響等等。在未來也將利用各子計畫之結果（包括錨碇、船測及遙測資料）來修正模式。此外，更可以利用模式來整合各種觀測結果，將有限之觀測資料推展到整個海域生地化循環之時空變化。目前已將此生地化模式運用到東海營養鹽分布之研究，初步結果與觀測有相似之分布。

## 五、參考文獻

- Doney, S.C., Glover, D.M., and Najjar, R.R. (1996) A new coupled, one-dimensional biological-physical model for the upper ocean: application to the JGOFS Bermuda Atlantic Time-series Study (BATS) site. *Deep-Sea Res. II* 43, 591-624.
- Fasham, M.J.R., Ducklow, H.W. & McKelvie, S.M. (1990) A nitrogen-based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *J. Mar. Res.* 48, 591-639.
- Liu, K.-K., Chao, S.-Y., Shaw, P.-T., Gong, G.C., Chen, C.C., Tang, TY (2002) Monsoon forced chlorophyll distribution and primary productivity in the South China Sea: observations and a numerical study. *Deep-Sea Res.* (In press)
- McGillicuddy, D.J., McCarthy, J.J., and Robinson, A.R. (1995) Coupled physical and biological modeling of the spring bloom in the North Atlantic (I): model formulation and one-dimensional bloom processes. *Deep-Sea Res.* 42, 1313-1357.
- Sarmiento, J.L., Slater, R.D., Fasham, M.J.R., Ducklow, H.W., Toggweiler, J.R., and Evans, G.T. (1993) A seasonal three-dimensional ecosystem model of nitrogen cycling in the North Atlantic euphotic zone. *Global Biogeochem. Cycle*, 7, 417-450.
- Shaw, P.-T. and Chao, S.-Y. (1994) Surface circulation in the South China Sea. *Deep-Sea Res.* 41, 1663-1683.
- Torrance, K.E. and Rockett, J.A. (1969) Numerical study of natural convection in an enclosure with localized heating from below – creeping flow to the onset of laminar instability. *J. Fluid Mech.* 36 (part 1), 33-54.