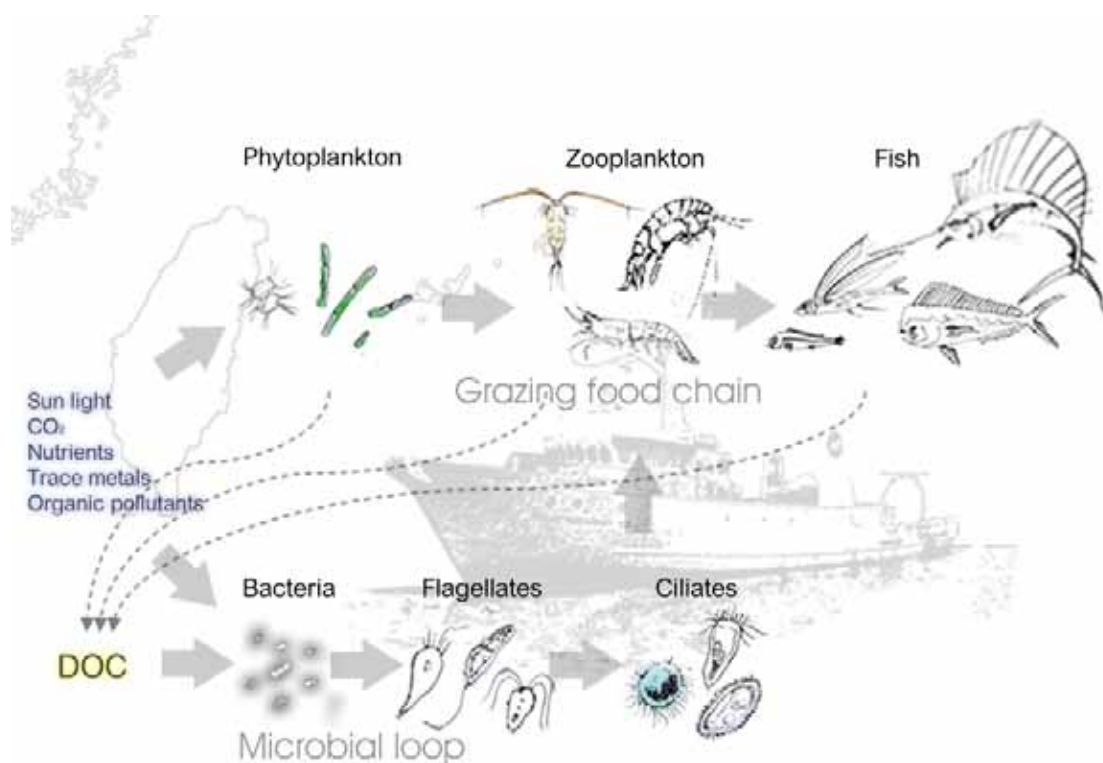


東海長期觀測與研究（四）

整合計畫書



總計畫主持人：龔國慶 國立台灣海洋大學 海洋環境化學與生態研究所

子計畫參與研究人員及單位：

國立台灣海洋大學：張正、蔣國平、李明安、熊同銘、洪慶章、陳宏瑜、周文臣、

李宏仁、蔡富容、鍾至青

國立台灣師範大學：陳仲吉

國立台灣大學：曾鈞懋、謝志豪、蕭仁傑

國立中央大學：劉康克

中央研究院：邵廣昭

計畫執行期限：2009 年 8 月至 2012 年 7 月

一、研究背景

1.1 研究議題的重要性

海洋有儲存與交換熱量及溫室氣體的廣大能力，因此具有調節地球氣候的功能 (e.g. Falkowski et al., 2002)。然而，由於自然及人為的擾動，溫室氣體不斷地攀升，形成全球暖化的現象；人為的活動同時也導致巨量的營養鹽或是環境污染物質，不斷地經由河川或是大氣的途徑，被傳輸至沿海陸棚以至於深海，這些外源的輸入顯然已對地球系統造成極大的影響 (Fig. 1.1; Steffen et al., 2004)，以總無機氮的輸入量為例，亞洲地區尤其嚴重 (Fig. 1.2; Seitzinger et al., 2002)。直接證據亦已顯示在現今自然以及人為的擾動下，已造成氣候變遷，並改變了大氣、陸地及海洋系統的運轉機制 (IPCC, 2007)，當這些外力大於系統所能承受的負荷時，生態系統將可能產生大尺度且不可逆之反應 (catastrophic and irreversible shifts) (Fig. 1.3) (Scheffer et al., 2001; Rudnick and Davis, 2003; Mantua, 2004; Hsieh et al., 2005; Anderson et al., 2008)。

因此「瞭解氣候變遷與人為擾動的交互作用，對海洋生物地球化學循環以及生態系統的影響」，是現今國際最重要的研究課題，也是全球人類如何找到永續生存與發展的關鍵。有鑑於此，在國際 IGBP/SCOR 的組織架構下 (Fig. 1.4)，在近幾年已陸續推動相關之國際研究大型整合計畫，如 IMBER (Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research)、SOLAS (Surface Ocean and Lower Atmospheric Study) 等。本整合計畫主持人及參與整合計畫之劉康克教授分別擔任 SOLAS 及 IMBER 計畫的台灣代表。

1.2 東海研究的重要性

東海是西北太平洋陸棚面積 ($0.5 \times 10^6 \text{ km}^2$) 最廣大的邊緣海，由於有歐亞第

一大河川—長江淡水的注入、大陸沿岸及黑潮的湧升作用等，提供了豐富的營養鹽及生物生產力（Chen, 2000; Gong et al., 2003; Chen et al., 2004），使得東海陸棚成為東北亞地區漁業資源最為豐富的場所（Zheng et al., 2003; Gao and Wang, 2008）。在二氧化碳的涵容方面，陸棚會是吸收大氣二氧化碳輸出至大洋的重要海域（Chen and Wang, 1999; Liu et al., 2000; Yool and Fasham, 2001; Chen et al., 2003）。另一方面，東海是西北太平洋接收到大氣落塵物質（亞洲沙塵暴）最高的海域之一（Fig. 1.5; Duce et al., 1991; Gao et al., 2001），其中又以春天時的輸送通量為最高（Fig. 1.6; Uematsu et al., 2003）。然而東海位處於亞熱帶地區，季風交替鮮明且強勁，夏天盛行西南季風，冬天盛行東北季風，海水溫度的時空變異可高達 20°C 以上（Gong et al., 2003），內部尚有具不同水文化學特徵的海洋環流在交互作用（如長江沖淡水、大陸沿岸水、黃海水、台灣海峽暖流水以及黑潮水等等）；除此之外，每年常受到極端大氣效應的影響（如春天的亞洲沙塵暴以及夏秋的颱風等），使得陸棚水體各項生物地球化學因子與生態特性，呈現出高度的時空變異（Liu et al., 2003）。

再者，氣候變遷可能導致區域性降雨的改變（Albritton et al., 2001），或改變海洋及大氣環流的輸送行為與物質通量；大陸的工業文明也會使得經由河川注入東海的營養鹽（Fig. 1.7; Zhou et al., 2008）及污染物不斷地升高（Huh and Chen, 1999）；除此之外，中國長江三峽大壩的興建與運轉以及南水北調的工程計畫（www.nsbd.gov.cn），最終都可能降低經由長江輸入東海的水量與輸砂量，推測對陸棚生地化循環以及生態系統的運轉必有嚴重的衝擊（Chen, 2000; Gong et al., 2006; Jiao et al., 2007; Chen et al., 2008）。以上證據顯示東海受到氣候變遷與人為擾動的影響已相當嚴重，這些作用力對水體之生物地球化學循環與生態系統的影響，將不容忽視。綜合以上之分析，顯示對東海進行長期的觀測與研究是必要的，也是台灣可以在從事「瞭解氣候變遷與人為擾動的交互作用，對海洋生物地球化學循環以及生態系統影響」的國際關注議題上，透過「在地研究」達到「立足國

際」的最佳研究策略。

1.3 東海長期觀測與研究的推動過程及前期成效

「東海長期觀測與研究」整合計畫的構想，首度於 1999 年 10 月提出，獲得當時海洋學門諮議委員審查通過，並於隔年（2000 年）8 月順利獲得計畫補助開始執行，目前所提是該整合計畫的第四期。第一期（2000.8-2003.7）由 5 位研究人員獲得計畫補助共同合作執行（劉康克、張正、蔣國平、夏復國、龔國慶等）；第二期在 2002 年 10 月提出的整合計畫構想書，亦再度獲得當時海洋學門諮議委員審查通過，在 2003 年 8 月至 2006 年 7 月執行過程，陸續共有 10 位同仁獲得計畫補助合作執行（劉康克、張正、蔣國平、夏復國、龔國慶、陳仲吉、林幸助、溫良碩、曾鈞懋、熊同銘）。第三期自 2006 年 8 月開始執行至今，陸續共有 16 位同仁獲得計畫補助，加入本整合計畫團隊（劉康克、張正、蔣國平、夏復國、龔國慶、陳仲吉、洪慶章、曾鈞懋、熊同銘、陳宏瑜、李明安、林依依、許世傑、謝志豪、周文臣、蕭仁傑）。第三期計畫團隊成員各年度計畫獲經費補助情形如 Table 1.1，平均每人每件計畫獲補助經費約 150 萬（不含地科平台補助經費），2008 年 8 月額外獲得國科會大型共同研究設施計畫經費共 1,445 萬的補助，建構北部地區「海洋生地化及分子生態」核心實驗室。執行至今（2006.8 至今），所有參與同仁共同合作出版了 158 篇 SCI 論文，扣除合作重覆計算的論文數後，合計有 56 篇（Table 1.2），指導碩博士班學生共 107 人（Table 1.3）。

團隊研究成果對社會的影響力方面，亦有諸多成果廣受國內外媒體所關注。例如，發現長江三峽大壩實施第一階段蓄水後，導致營養鹽矽氮比或是生物生產力的降低及浮游植物種類組成的改變（Fig. 1.8; Gong et al., 2006）、發現東海是世界最缺氧的陸棚之一（Fig. 1.9; Chen et al., 2007）、發現單細胞骨藻的死亡基因（Fig. 1.10; Chung et al., 2008a,b）、提出漁業捕撈行為如何導致漁獲量變動的原因（Fig. 1.11; Anderson et al., 2008）、提供研究標本供國科會製作 2009 年的月曆

(Fig. 1.12)、協助國科會辦理高中生東沙國家公園海上巡禮及研究船探測儀器展 (Fig. 1.13) 等等，對國科會補助學術研究提升台灣在國際的形象的績效上，有具體之貢獻。

在研究船的使用成效方面，進行現場海洋科學的研究必需仰賴研究船，眾所皆知，研究船的使用成本相當高昂，而且每年各計畫提出的使用需求，均遠高於研究船所能提供的執行天數，因此推動整合計畫之另一目的，即是希望能夠透過整合，充份發揮研究船的使用效率。本整合計畫分別使用海研一號進行東海大範圍的觀測，海研二號進行台灣東北海域亞洲沙塵暴期間黑潮水的時序觀測。第三期整合計畫執行至今，已獲核准執行了 4 個海研一號的東海大範圍航次，及 7 個海研二號黑潮時序觀測航次，各航次參與海研一號各航次探測的人數介於 15-17 人 (Fig. 1.14；海研一號每次可上船人數上限 15 人，如有船員請假可再增加上船人員)，參與海研二號各航次的探測，每航次也幾乎都是全數塞滿可以上船的人數上限 8 人 (Fig. 1.14)，充份展現本整合計畫使用研究船的成效。除此之外，在進行海研一號的東海探測過程中，我們亦協助未參與本整合計畫同仁進行樣本的採集工作，如中山大學海地化所的洪佳章教授以及台大地質系的沈川洲教授等。

1.4 整合計畫研究目標

本期整合計畫將在現有的研究基礎下，繼續探討河川與大氣輸送物質對東海生物地球化學循環與生態系統影響的主題，並同時探討長江三峽大壩正式運轉的效應，對東海生地化循環及生態系統的影響。目標如下：

1. 河川流量及物質輸出通量的改變，對東海海洋生地化循環、生態系食物網功能與漁業資源的影響。
2. 長江三峽大壩正式運轉後，對東海海洋生地化循環、生態系食物網功能與漁

業資源的影響評估。

3. 大氣效應對東海淺層海洋生物地球化學循環與生態系微生物的影響。
4. 大氣輸送物質在東海的傳播行為與輸送通量及模式的發展。
5. 東海海洋環流及生地化耦合數值模式的演進。
6. 海洋浮游生物分子生態技術的發展與應用。
7. 海洋魚類 DNA 生命條碼物種鑑定技術的發展與序列資料庫的建立。
8. 建立北部地區「海洋生地化及分子生態研究」核心實驗室。
9. 建立東海大氣及海洋生地化長期觀測資料。
10. 培育台灣海洋生地化及生態領域高等教育人才。

Table 1.1 第三期整合計畫團隊成員各年度計畫獲經費補助情形

單位	主持人姓名	各年度國科會LORECS計畫補助經費及核定博士後人數					
		95.8-96.7		96.8-97.7		97.8-98.7	
		經費	博士後	經費	博士後	經費	博士後
海洋大學	龔國慶(總)	3,725,000		1,362,000		1,362,000	
	龔國慶(子)	1,111,000		1,111,000		1,111,000	
	洪慶章	2,033,000		1,834,000		*16,682,000	
	周文臣			1,053,000		926,000	
	李明安	1,012,000		1,069,000		1,292,000	
	蔣國平	1,406,000		1,406,000	1	1,406,000	1
	陳宏瑜	1,109,000		1,762,000		1,812,000	
	張 正	1,942,000	1	1,780,000	1	1,780,000	1
	熊同銘	858,000		1,141,000		1,198,000	
中央研究院	夏復國	1,696,000		1,576,000		1,576,000	
	許世傑			1,118,000		772,000	
台灣大學	林依依	2,064,000		1,559,000		1,559,000	
	曾鈞懋	1,325,000		1,440,000		1,555,000	
	謝志豪			2,443,000		1,251,000	1
	蕭仁傑					1,206,000	
台灣師大	陳仲吉	1,500,000		1,500,000		1,500,000	
中央大學	劉康克	1,664,000	1	2,082,000	1	1,671,000	1

*含國科會大型共同研究設施計畫經費

Table 1.2 第三期整合計畫參與研究人員出版論文統計表

單位	主持人姓名	各年度出版論文數(不分作者排序)					
		95		96		97	
		SCI	非SCI	SCI	非SCI	SCI	非SCI
海洋大學	龔國慶	4		6		9	1
	洪慶章	5		4		8	
	周文臣	2		4			
	李明安	1	1	1	1	4	
	蔣國平	2	1	1		3	
	陳宏瑜	1		1		3	
	張 正	1		5		3	
	熊同銘	2					
中央研究院	夏復國	6		1		3	
	許世傑	3	1	1		8	
台灣大學	林依依			6		3	2
	曾鈞懋	3		9			
	謝志豪	2		0	1	6	
	蕭仁傑	7		5		4	
台灣師大	陳仲吉	2		1		5	
中央大學	劉康克	3		9		1	
合計		44	3	54	2	60	3
三年合計		SCI	158	篇			
		非SCI	8	篇			

備註：扣除合著文章後，第一作者或是通訊作者文章合計 56 篇。

Table 1.3 第三期整合計畫參與研究人員指導碩博士學生人數統計表

單位	主持人姓名	各年度指導碩博士班畢業學生人數					
		95		96		97	
		碩	博	碩	博	碩	博
海洋大學	龔國慶					3	
	洪慶章					9	
	周文臣					2	
	李明安	3	1	4		7	6
	蔣國平	6		6		6	6
	陳宏瑜	3	1	4	1	4	1
	張 正	2		1		3	4
	熊同銘			2		6	
中央研究院	夏復國					2	
	許世傑						
台灣大學	林依依	1		1		2	1
	曾鈞懋	1		1		4	
	謝志豪					5	
	蕭仁傑			1		4	
台灣師大	陳仲吉	1				2	1
中央大學	劉康克	2		3		6	

註：97年的人數包含畢業及指導中的人數

三年合計 碩士班學生 107 人
 博士班學生 22 人

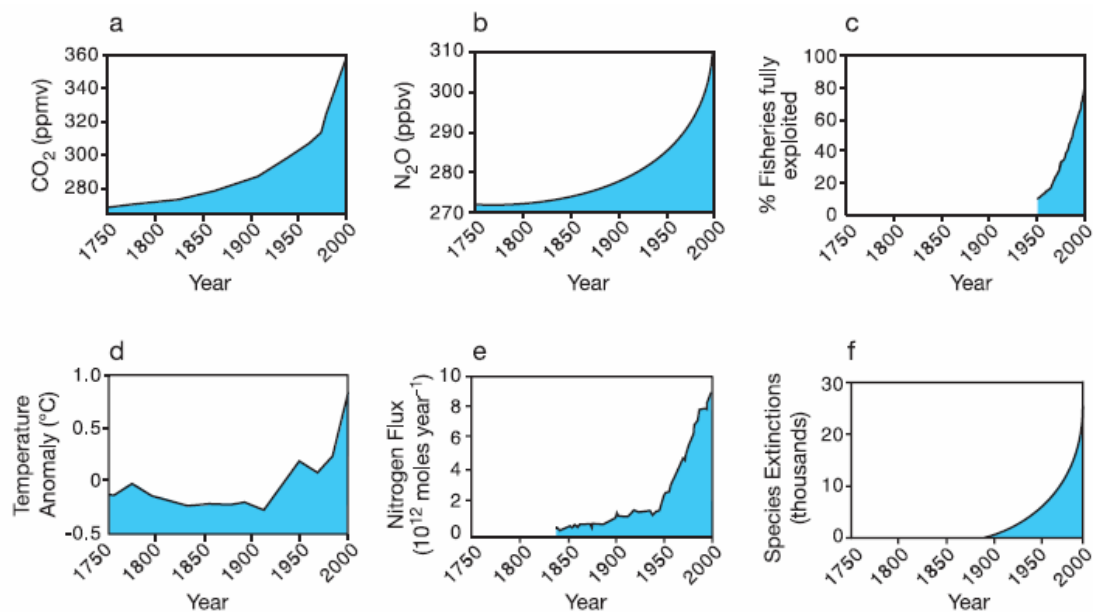


Figure 1.1 人為活動對地球系統的改變與地球系統的反應 (after Steffen et al., 2004)

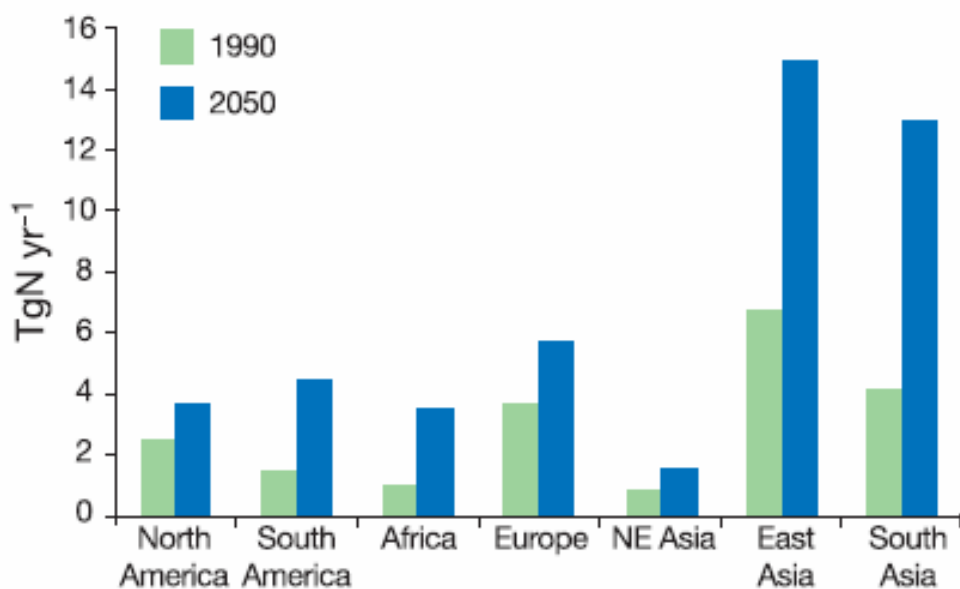


Figure 1.2 河川進入海洋總無機氮預測圖 (after Seitzinger et al., 2002)

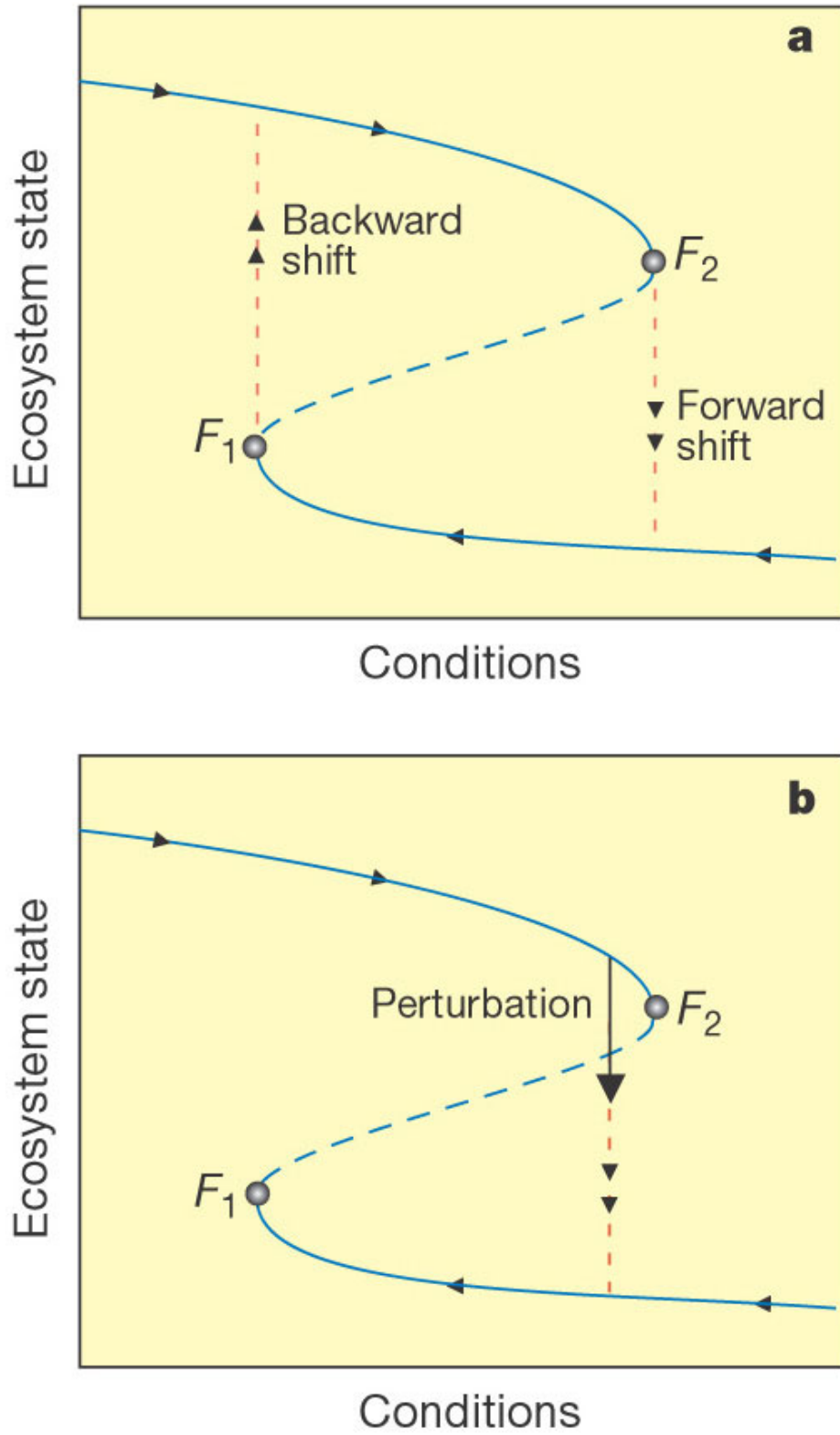


Figure 1.3 海洋生態系統不可逆反應示意圖（after Scheffer et al., 2001）。

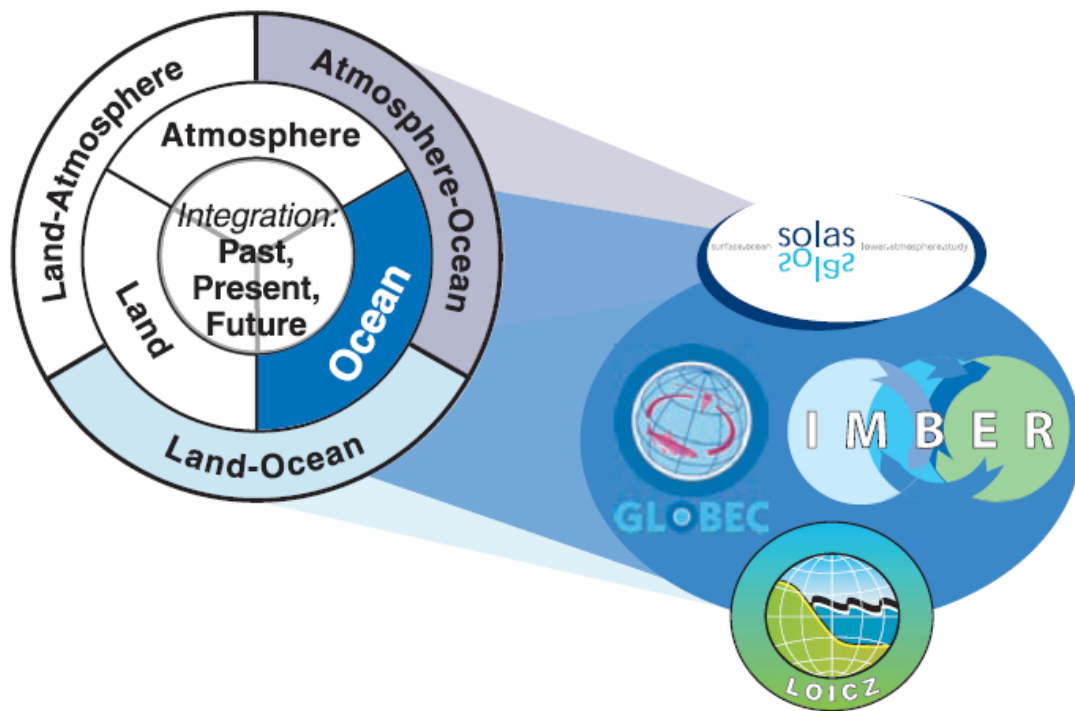


Figure 1.4 未來十年 IGBP 架構下國際海洋整合性研究計畫關聯圖

IGBP: International Geosphere-Biosphere Programme

SOLAS: The Surface Ocean - Lower Atmosphere Study

GLOBEC: Global Ocean Ecosystem Dynamics

LOICZ: Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone

IMBER: Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research

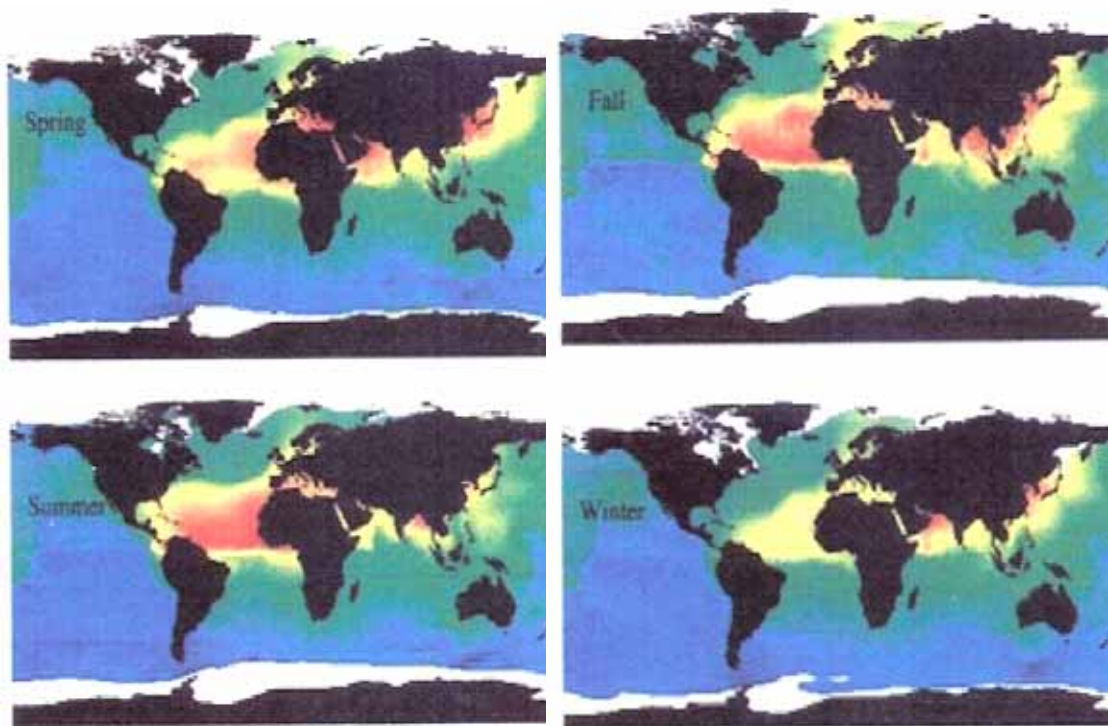


Figure 1.5 全球海洋大氣鐵的輸送通量分布圖 (after Gao et al., 2001)

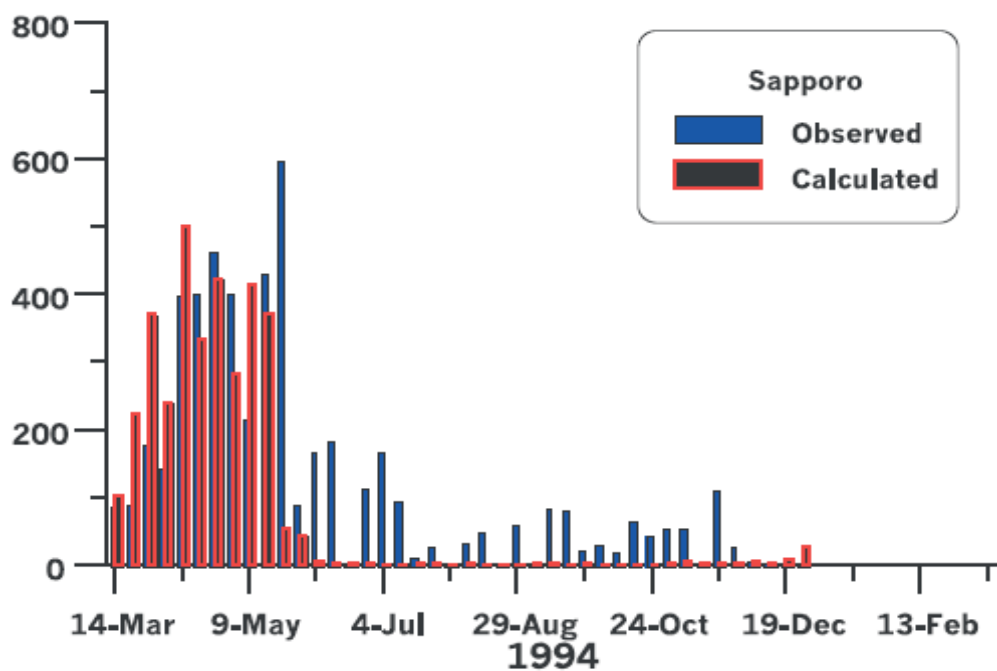


Figure 1.6 日本 Sapporo 島上 (43 °N, 141 °E) 實測之沙塵顆粒沉降通量 (insoluble particle flux; $\text{mg m}^{-2} \text{ week}^{-1}$) (after Uematsu et al., 2003)

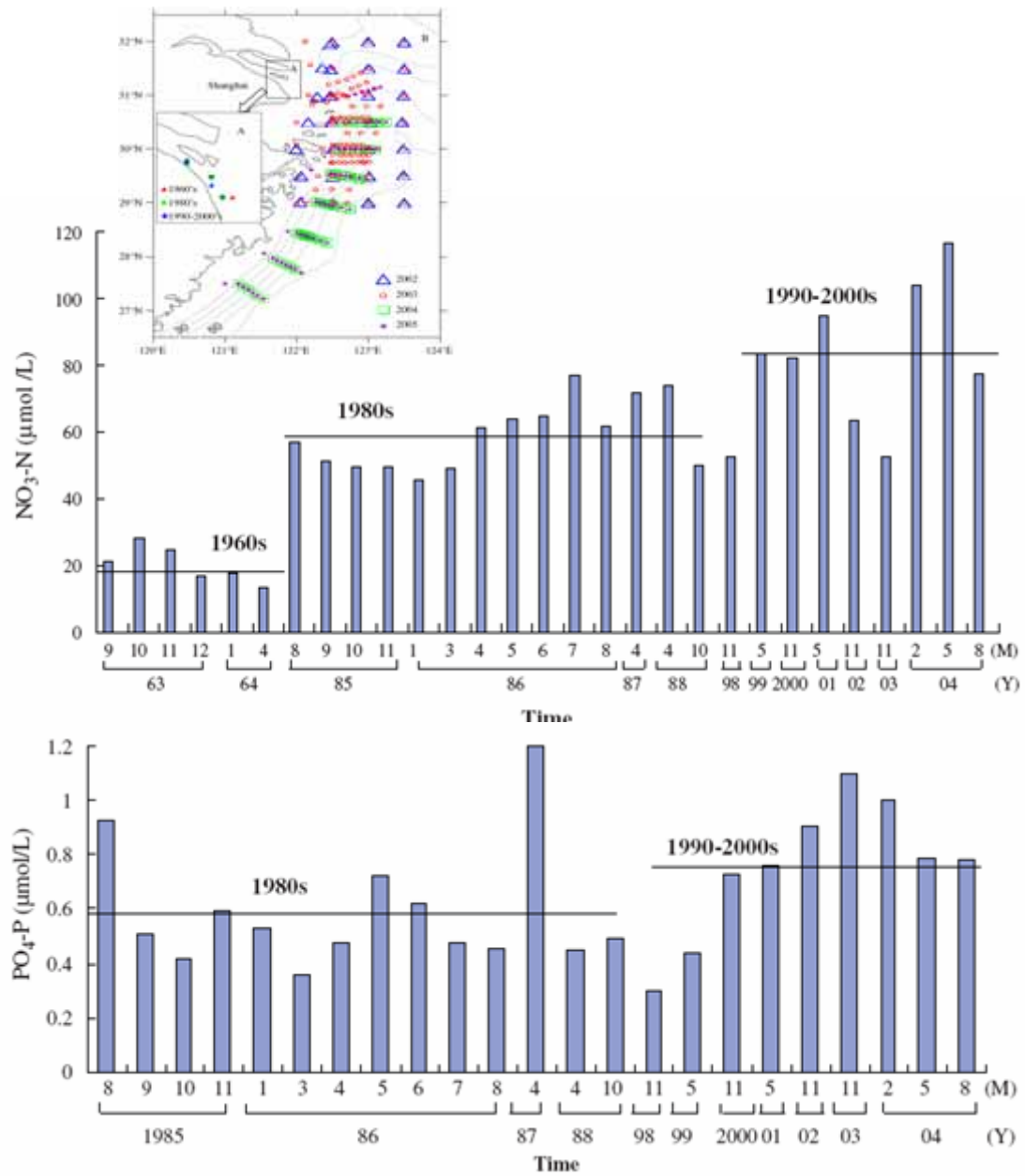


Figure 1.7 長江河口近海硝酸鹽與磷酸鹽的長期變動 (after Zhou et al., 2007)



A death sentence for sea life

Trapped behind the world's biggest dam lies the food supply for an entire ecosystem

Three Gorges dam threatens vast fishery

JESSICA MARSHALL

CHINA'S Three Gorges dam isn't fully operational yet, but it is already threatening one of the world's biggest fisheries in the East China Sea. A drop in the amount of fresh water and sediment reaching the sea is to blame.

The dam, which is the largest in the world, sits about 2000 kilometres upstream of the mouth of the Yangtze river, which empties into the East China Sea. The dam's mammoth reservoir

was partially filled for the first time in June 2003.

Gwo-Ching Gong and colleagues at the National Taiwan Ocean University in Keelung, Taiwan, have been monitoring the ecosystem of the East China Sea since 1998. Within two months of the reservoir's first filling they detected a massive decline in the phytoplankton that forms the base of the food chain.

The team measured the amount of carbon dioxide being absorbed by the photosynthesising phytoplankton

before and after the dam's construction. Areas of high CO₂ absorption correspond to high levels of phytoplankton, which eventually translates into a rich fishery as the phytoplankton are eaten and their nutrients move up the food chain. The researchers found that by August 2003 the 114,000-square-kilometre "high-productivity zone" surrounding the mouth of the Yangtze river had shrunk by about 86 per cent, down to 16,000 square kilometres.

This is probably because of a reduction in the amount of fresh water flowing out of the Yangtze, says Gong. Though the Chinese government has promised not to decrease the total annual flow into the sea, the water may not be

released at the right time. Phytoplankton need fresh water in the summer flood season to maintain high productivity. Unfortunately, that's when farmers need the most water for irrigation. "They may try to release more fresh water during the fall season to compensate for the whole year," Gong says, "but it cannot stimulate high productivity, so there's no use for it then."

The team also found that sediment loads at the river mouth have decreased by about 55 per cent since before the reservoir was filled. Also, the ratio of silicates to nitrates in the water reaching the sea has dropped from 1.5 in 1998 to 0.4 in 2004. This has caused a shift in the dominant species of phytoplankton from siliceous diatoms – a hallmark of a healthy ecosystem – to flagellate species, Gong says.

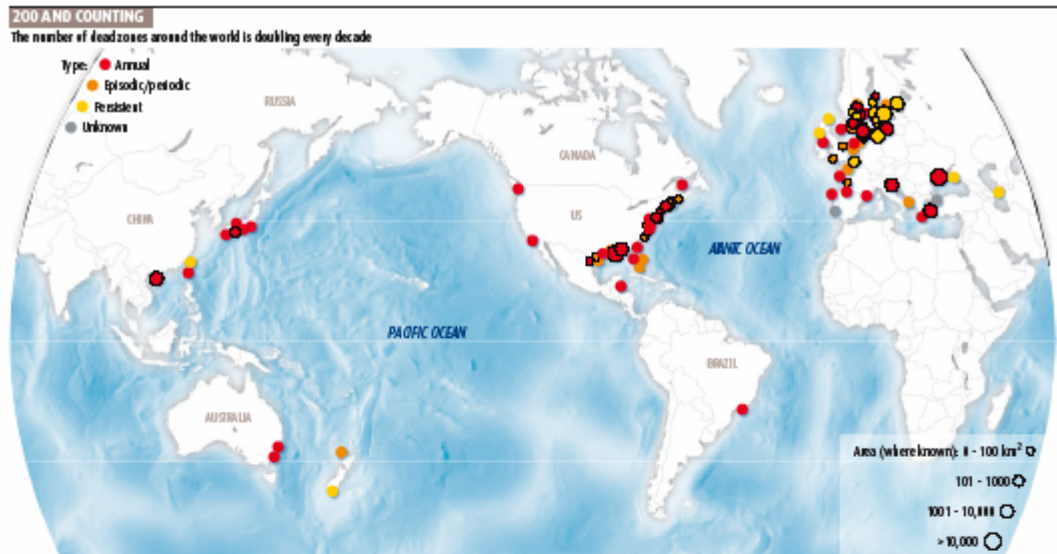
This bodes ill for fisheries. Flagellates can kill fish by

"The levels of phytoplankton around the mouth of the Yangtze were down by 86 per cent after two months"

118 | NewScientist | 25 February 2006

www.newscientist.com

Figure 1.8 長江三峽大壩對漁業資源的衝擊（英國 NewScientist 雜誌報導剪輯）。



“There’s just nothing. You just see dead organisms on the seafloor”

nothing,” she says, “there are lots of fish at the surface, but once you get down into that layer you don’t see any fish any more, you just see some dead organisms on the bottom.”

Dead zones persist and spread until something happens to break the coffin seals and bring oxygenated water to the bottom, such as strong winds or storms. This is why many dead zones dissipate over the winter only to reappear in the summer.

For many, the devastation wrought by dead zones is enough to justify cleaning up our act. In economic terms, though, proving that cutting pollution is worth the cost can be challenging. While some shellfish or lobster fisheries have at times been completely destroyed, other dead zones have increased certain catches for a time by concentrating shrimp or fish into smaller areas. Improving fishing technology can also mask declining numbers of animals. If dead zones are allowed to persist, however, many valuable bottom-dwelling creatures, including some species of fish, disappear. Fishermen also have to travel farther and farther around the dead zone to get to suitable fishing grounds.

In the Chesapeake, for instance, the striped bass or rockfish, is an important part of the catch. As the dead zone expands in the summer, the large fish head for the oxygenated mouth of the bay, making it far too costly for most boats to reach them. But the watermen do still catch some fish and sometimes also switch to other activities, such as crabbing. Most, though not all, of the “dead” water is below the depth of the crab

traps. However, winds can blow across the bay piling water on one side. The weight of this water squeezes a “burp” of hypoxic water out the other side into shallower areas (see Diagram, right). When it happens, watermen find their traps filled with dead crabs, meaning days of work wasted and income lost. “You’ll have one good day and the next day the dead water gotcha,” says Pierce.

Road to recovery

While the dead zone in the Chesapeake has been studied for decades, in other locations such as the East China Sea, details are only just emerging, though low oxygen was first documented there in 1981. In 2003, Chung-Chi Chen, a marine ecologist at the National Taiwan Normal University in Taipei, and his team chanced upon a dead zone, probably seasonal, that encompassed around 12,000 square kilometres. “It has definitely hurt the area, which is a major fishing ground,” Chen says. For now, the problem does not appear to be on the Chinese government’s list of concerns, he says.

If the amount of nutrients is reduced enough, ecosystems can recover to some extent, though completely restoring them may be impossible. One of the greatest dead zone recovery stories was not so much a triumph of political will as a serendipitous benefit of the fall of communism.

Like the Baltic, the enclosed Black Sea is prone to low oxygen. The deeper reaches of the sea have for at least the last 8000 years

Figure 1.9 東海陸棚是全世界最大的缺氧海域之一（英國 NewScientist 雜誌報導
剪輯）。

浮游植物死亡基因 揭海洋之秘

【聯合晚報／記者林進修／台北報導】

2008.11.05 03:12 pm

國立海洋大學成功解開海洋單細胞浮游植物自殺機制的秘密，今後人類可透過這些浮游植物的死亡蛋白基因，研發指標分子探針，進一步掌握海洋基礎生產力及全球暖化資訊，提供政府制定二氧化碳排放量規範參考。

這是全球首度解開浮游植物自殺機制的研究，研究論文已發表在本月出刊的國際著名期刊「應用與環境微生物」，國科會中午發表研究成果。

浮游植物影響漁業生態

海洋大學海洋生物研究所所長張正表示，只要有水的地方，就有浮游植物。

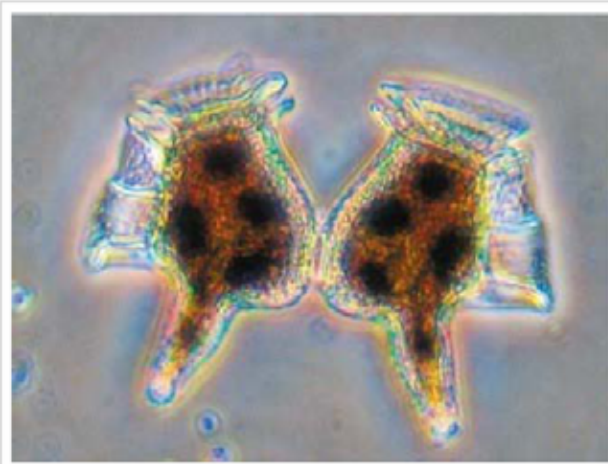
這種屬單細胞藻類的浮游植物藉由光合作用快速增生細胞，並漂浮在水面成為小蝦小魚的食物，中型魚類吃小蝦小魚，大型掠食魚類再吃中型魚類，魚類死亡分解提供養分再滋養浮游植物，形成一個完整的食物鏈。浮游植物的生長，將直接影響到漁業資源的多寡。

當死亡的浮游植物向下沈降時，會把行光合作用吸入的二氧化碳帶到海底深處，對減緩全球溫室效應扮演重要關鍵角色。

可評估海底二氧化碳排量

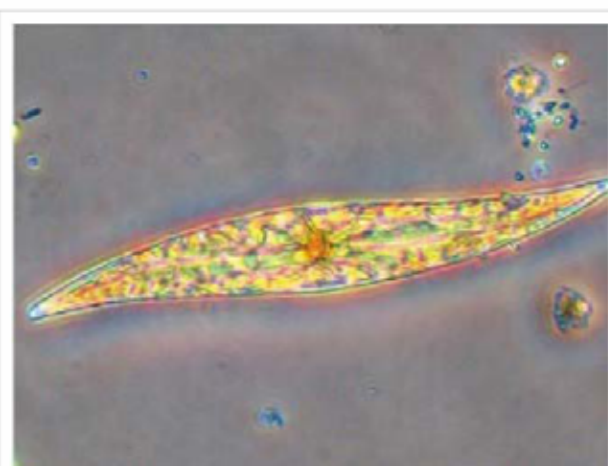
張正表示，一旦解開浮游植物自殺機制的秘密，就可以評估每年經由浮游植物死亡後沈降到台灣海峽、東海及南海海底的二氧化碳總量，提供政府制定二氧化碳排放量規範，並做為和國際社會談判的籌碼。

張正的團隊從骨藻體內篩選出一個可受鈣離子調控的死亡蛋白基因 (ScDSP)。經過一連串實驗，發現光照不足時，光合作用受阻，這些浮游植物的細胞內會產生大量一氧化氮，進而啟動死亡蛋白基因，促使細胞出現DNA(去氧核糖核



海洋中各式各樣的浮游植物，個頭很小，卻在漁業資源及全球暖化扮演重要角色。

海大海洋生物研究所所長張正/提供



海洋中各式各樣的浮游植物，個頭很小，卻在漁業資源及全球暖化扮演重要角色。

海大海洋生物研究所所長張正/提供

Figure 1.10 單細胞浮游植物死亡基因（國科會記者會及聯合新聞網剪輯）。

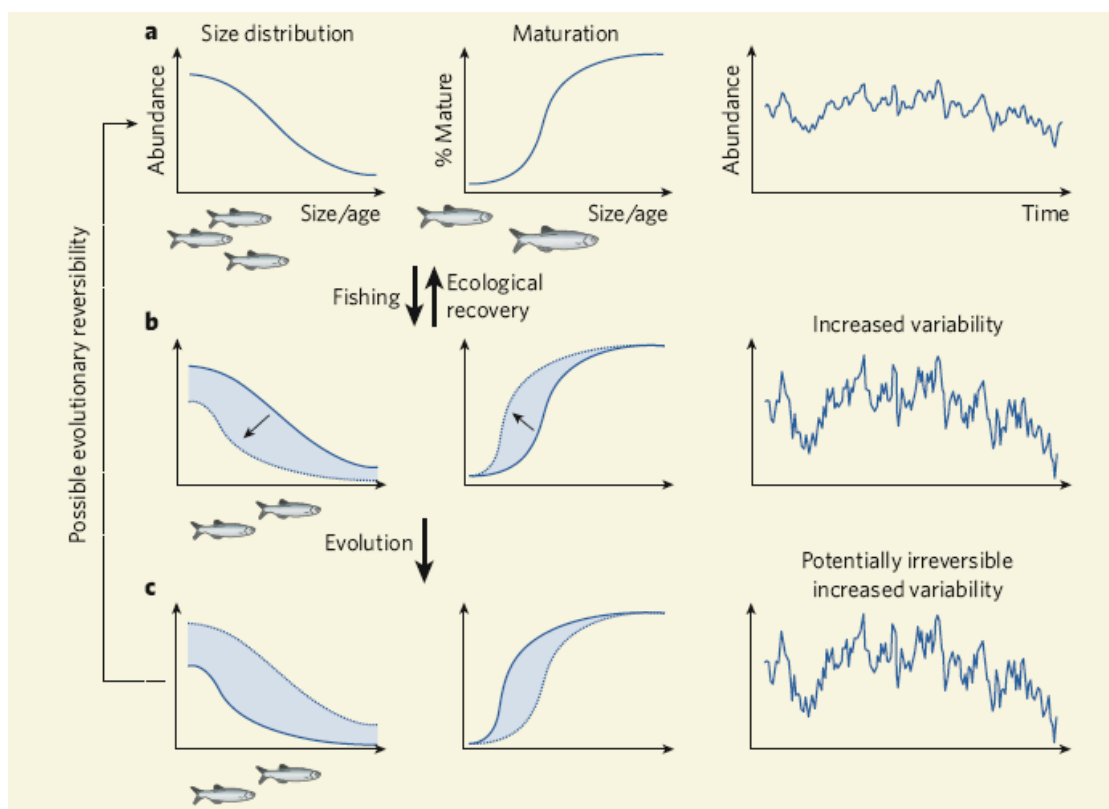
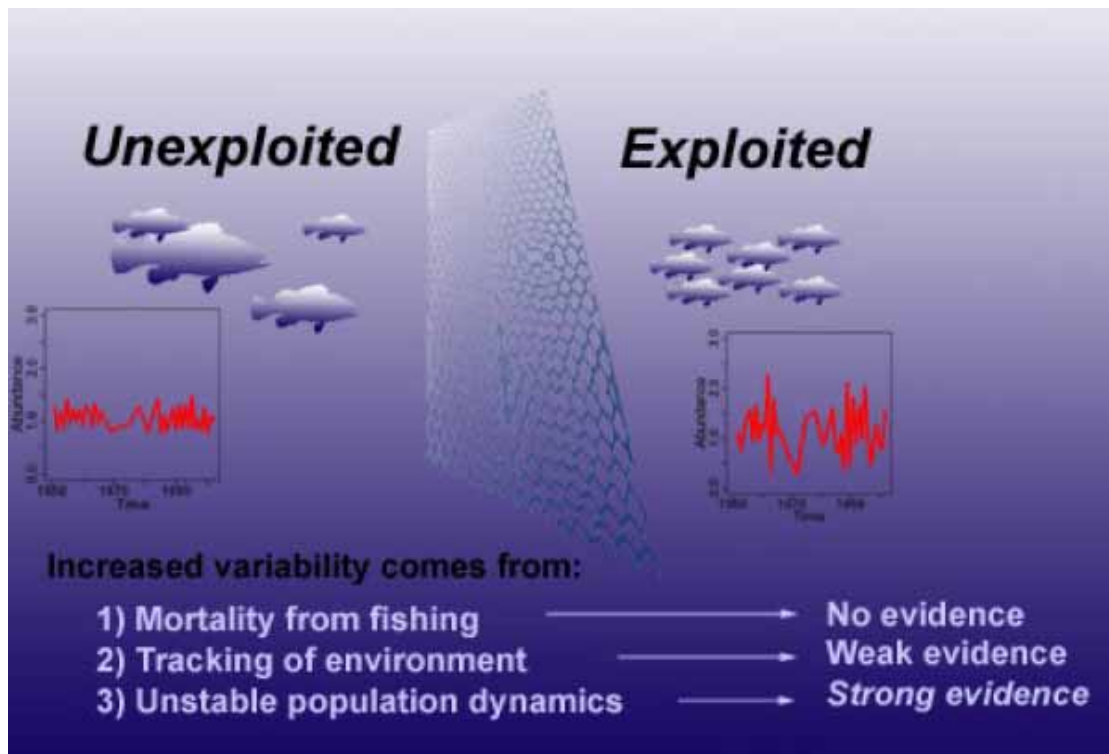


Figure 1.11 Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance? (after Anderson et al., 2008; Stenseth and Rouyer, 2008; Nature 17 April 2008, NEWS&VIEWS)

東沙海上巡禮》有甜美、有辛苦 餵魚…做實驗

【聯合報／記者李承宇／隨船報導】

「同學，幫我顧一下儀器，我要去『餵魚』（嘔吐）」。海洋大學海洋環境化學與生態研究所研究生張絡萍在研究船經過「無風三尺浪」的澎湖海溝時，形容海洋研究「有甜美、有辛苦」。

國科會主辦的「高中生東沙國家公園海上巡禮」，張絡萍隨船帶領高中生進行研究，她有多次出海研究經驗，並立志「踏遍台灣所有離島」，「終極目標鎖定釣魚台！」

張絡萍說，在海上會碰到很多「想像不到的事情」。她在海上看過成群的夜光蟲，「就像海中的螢火蟲一樣」，覺得很驚奇；看過想搭「順風船」的海鳥，等著船員餵牠們吃魚。她也曾經在釣魚台附近海域做研究時，遇過被配備武器的日本軍艦驅離的驚險狀況，「當時兩艘日本船就在我們周圍繞圈，頭上還有噴射機低空來回飛行」。但她認為出海做研究最重要的還是要克服暈船的問題。

張絡萍不暈船的「天賦異稟」在所上十分有名。常常全船的老師、同學都已經因為暈船而吐得亂七八糟時，她還能開心地吃零食。但她也表示，就算是暈船，實驗還是要做，同學常常吐完之後，像沒事一樣繼續做實驗。

環態所助理教授周文臣說，這次活動每個學生平均的成本就超過十萬，除了要引起高中生對於海洋研究的興趣之外，也是要讓他們了解「我們在做什麼」。所以雖然高中生會暈船不舒服，還是鼓勵要打起精神把實驗做完，「這就是我們最真實的生活」。

他認為，或許學生經過暈船的體驗後，未來可能不會走海洋研究的路，但是「如何用意志力克服暈船的不適」的態度很重要，他認為，如果學生能培養出這種意志力，就算不做海洋研究，在其他各領域應該都會成功。



Figure 1.13 國科會高中生東沙國家公園海上巡禮及研究船探測儀器展（聯合新聞網剪輯）。

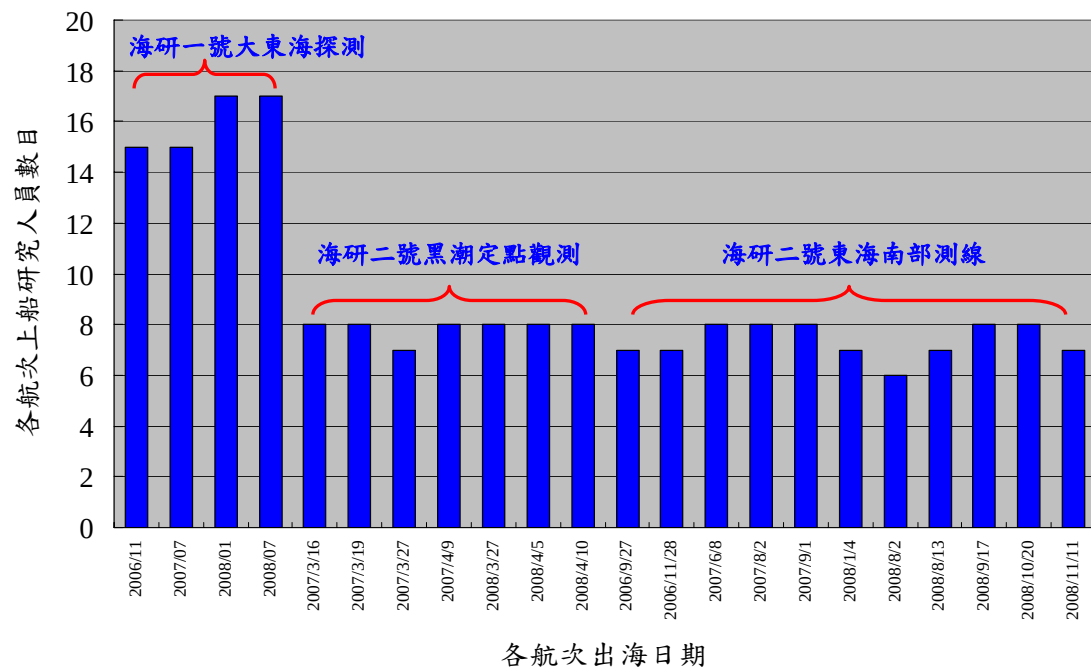


Figure 1.14 第三期計畫執行至今使用海研一號及海研二號各航次參與探測上船研究人員數目（海研一號上船人數上限 15 人；海研二號上船人數上限 8 人，研究人員的床位 7 人）。

二、研究議題

2.1 議題 1：河川（長江）輸送物質成份與通量對東海生地化特性及生態系食物網功能之影響

研究現況的瞭解：

東海長期觀測與研究，於 1997 年 12 月至 1998 年 10 月間（長江三峽大壩興建初），首度對整個東海陸棚展開四季的海上觀測（Fig. 2.1.1），由於陸棚內部受到環流、河川（長江）注入以及大氣（季風、颱風、亞洲沙塵暴）等效應交互作用的影響下，其水文化學特性及生物生產力有非常明顯的時空變化。海水溫度的季節性變化可高達近 20°C（12-31°C 之間），在同一季節（秋末至春天）時之溫差更可高達 10°C 以上（Fig. 2.1.2）。海水鹽度亦有相似的情況，季節性變化可高達近 10 psu（25-35 psu 之間），同一季節時之變化就可達到與季節性變化幅度相近（Fig. 2.1.3）；雖然陸棚之水文特性具有如此高的時空變化，但整體而言，不同季節時在空間的變化大都呈現西北東南走勢，溫度與鹽度由陸棚西北往東南方向遞增的趨勢。另一方面，海洋微生物生長所需之營養鹽（以硝酸鹽為例），同樣具有非常明顯的季節性變化（Fig. 2.1.4），空間的變化趨勢與鹽度相近，惟濃度的變化則與鹽度呈現負相關，也就是較高濃度的營養鹽主要是由長江沖淡水所貢獻。從水文化學特性所呈現出之時空變化，事實上也反應出陸棚內部三個主要環流（低鹽高營養的長江沖淡水、中鹽貧營養鹽的台灣暖流水、高鹽貧營養鹽的黑潮水）的季節性交互作用。

在控制傳統攝食食物鏈（grazing food chain）運轉的基礎生產力（primary production）方面，由於受到光照的抑制，全年較高生產力出現在夏天的陸棚西北邊的長江口近海（Fig. 2.1.5），春冬兩季雖然在該海域仍有豐富的營養鹽，但生產力均很低。在控制微生物循環圈（microbial loop）運轉的細菌生產力（bacterial production）方面，時空變化則與基礎生產力的變化相似，在夏天時也有較高的

細菌生產力 (Fig. 2.1.6; Shiah et al., 2003)，再從夏天時細菌生長率與葉綠素的正向關係，可進一步顯示細菌生長所需之 DOC，主要是由基礎生產力所供應 (Fig. 2.1.7)。另一方面，在夏天具有高生物生產力的長江沖淡水裡，由於長江沖淡水具有高氮磷比的特性 (Gong et al., 1996; Wong et al., 1998)，為了瞭解在該水體中浮游植物的生長是否受到磷的限制，初步結果顯示在長江沖淡水中的磷酸鹽濃度低於 $0.2 \mu\text{M}$ 時，葉綠素濃度會隨著磷酸鹽濃度增加而增高 (Fig. 2.1.8)，顯示磷酸鹽有不足的情形，與利用鹼性磷酸酶酵素的測定結果一致 (Fig. 2.1.9)。由現有之結果顯示未來經由長江注入東海的水質成份如果改變，將對海洋生態系食物鏈運轉的動力源，也就基礎生產者造成影響，從而改變攝食食物鏈及微生物循環圈的運轉。

從已有之海洋現場觀測結果，可以發現東海陸棚具有全年最高生產力的季節，是發生在夏天時長江沖淡水 ($S < 31$) 的區域範圍內 (Gong et al., 2003)，夏天又正是長江具有全年最高流量的時期，顯示夏季時長江輸送至東海陸棚物質通量的變動，對東海生地化循環的影響甚巨。有關於長江沖淡水範圍的變動對陸棚生產力及相關生地化的影響，Figure 2.1.10 即顯示長江沖淡水消長與營養鹽、葉綠素及基礎生產力的互動，當長江沖淡水擴散範圍較小時，高生產力的範圍也隨之變小，當長江沖淡水擴散範圍變大時，高生產力的範圍也隨之變大 (Gong et al., 2006)；與基礎生產力反相的機制，也就是將有機碳轉換成無機碳速率的群聚耗氧速率 (Fig. 2.1.11; Chen et al., 2008)，或是微生物循環圈的細菌生長率 (Fig. 2.1.12; Shiah et al., 2006) 與微細鞭毛蟲的數量 (Fig. 2.1.13)，均與長江沖淡水的消長有類似的情形。足可見長江沖淡水在東海陸棚的擴散規模，與水體內部的生地化循環緊密相關。影響長江沖淡水在東海陸棚擴散規模的原因，主要是長江的輸出通量以及陸棚裡環流的互動，因此長江的輸出通量是否會受到三峽大壩在 2009 年正式運轉後以及中國南水北調計畫的影響，而有所改變，將是本計畫未來急欲瞭解的課題。事實上在 2003 年 6 月三峽大壩實施第一階段蓄水後，輸砂

量明顯降低了約 55%，造成海水矽氮比降低，浮游植物種類組成及微生物群聚結構改變（Gong et al., 2006; Jaio et al., 2007），靠近長江口海域之混合層深度與表層環流型態也有改變的情形發生（Yan et al., 2008）。

在生態系食物網的功能及動態研究方面，環境變遷造成海洋生地化循環（碳與營養鹽）的改變，進而影響食階（trophic level）的變動或是食階崩塌（trophic cascades），導致漁業資源的改變，國際間在這方面的研究，由於缺乏強而有力的基礎數據，瞭解極為有限（Rice, 2001）。有鑑於此，在前一階段的整合計畫中，我們將此議題納入，並陸續邀請了具有這方面專長的研究人員加入，開始著手進行環境變動與攝食食物鏈（由植浮→動浮→仔稚魚）食階的群集結構與多樣性的研究，另外自 2008 年 8 月新增底棲魚類方面研究的子計畫。在食階結構與環境的互動方面，從 2008 年夏天航次的結果顯示，在鹽度小於 31 富營養鹽的長江沖淡水裡，由植浮至動浮間的食階呈現 Bottom up control 的情形，鹽度介於 31-33.5 的中度營養鹽海水裡，也是 Bottom up control，但是在鹽度大於 33.5 的貧營養鹽海水裡，卻呈現 Top down control 的情形（Fig. 2.1.14），詳細的食階變化及與生地化因子的關係，有賴在未來計畫進行更深入的探討。

在仔稚魚群集結構與環境因子的互動方面，本計畫分別於 2007 年 7 月及 2008 年 1 月，共分別採集到 12,588 尾及 2313 尾的仔稚魚，分屬 90 科 176 taxa，經由群集分析結果顯示（Fig. 2.1.15），夏季其魚種組成可區分為 4 個類群，分別為沿岸群（ST.4、6、18、19a）、河口群（ST.19、20）、台灣海峽延伸群（ST.2、3、31、34）及陸棚群，而冬季則分為 2 個類群，分別為大陸沿岸水類群及黑潮類群。不同季節其優勢魚種略有不同，夏季主要是 *Engraulis japonicus*、*Auxis* spp.、*Gobiidae* sp.1、*Sciaenidae*、*Bregmaceros* spp.等（Fig. 2.1.16），而冬季則為 *Valamagil* sp.、*Gonostoma gracile*、*SCORPAENIDAE*、*Diaphus* B & A 等。根據 2006 年夏季（OR2-1360）的初步研究結果顯示，*Gobiidae*、*Bregmaceros* spp.、*Leiognathidae*、*Trichiurus lepturus*、*Setipinna tenuifilis*、*Saurida* spp.、*Sciaenidae*、

Clupeidae、*Cynoglossus* spp.及 *Callionymidae* 等種類與 6~35m 間的溫鹽有顯著的正相關，而 Auth and Brodeur (2006)研究結果指出，大多數的仔稚魚主要是分布於 100m 以淺水域，且當中又以表層至 50m 的豐度較高，由於海洋環流 (Kim and Sugimoto, 2002；Sassa *et al.*, 2006) 及河川水注入的多寡 (Olivar and Sabates, 1997；Rios-Jara, 1998)，皆會影響仔稚魚的分布，因此台灣海峽暖流進入到東海陸棚，或是長江河口之淡水因大壩截流蓄水而大幅減少流量時，必定衝擊著東海仔稚魚的分布模式。

東海海洋環境與底棲魚類（貢獻東海漁獲量最多之魚類，Yan *et al.*, 2005）互動關係的研究方面，本計畫首度於 2008 年夏天進行陸棚海域底拖網的採樣，在該航次中共捕獲了 3,935 尾（71 species; 43 families），初步分析結果顯示，陸棚北部與南部物種的組成，有明顯差異，靠近大陸沿岸舟山群島附近採集到之標本，更明顯有別於其它各測站 (Fig. 2.1.17)；進一步與水文及生地化環境因子分析，初步結果顯示緯度愈高生物量愈高，緯度、水深、表水磷酸鹽及底層水的亞硝酸鹽是影響物種結構組成最重要的因子，生物多樣性與底層水溶氧量有明顯的正相關。

另一方面，傳統使用形態鑑定物種的結果，來評估環境變動對生態系統的影響，由於對物種幼生時期之鑑別能力不足，導致無法確實反應魚類群聚動態的變化，而難以準確評估環境因子變動對群聚的組成和結構的影響。近年來以 DNA 生命條碼有以 DNA 生命條碼有系統地建立序列資料庫，並用來作為物種鑑定的方式，已漸成為系統分類與生物多樣性資訊學之新趨勢 (Hebert *et al.*, 2003; Savolainen *et al.*, 2005)，使用 DNA 序列來進行分類並建立物種條碼資料庫，是現今科學進行物種鑑定的必要手段，更是資源保育及永續利用的必要過程。以生命條碼來鑑種的基本原理雖然簡單，但其關鍵在於完整建構一個的有效的比對資料庫。中研院生物多樣性研究中心，是國際間少數具備應用 DNA 生命條碼，鑑定魚卵與仔稚魚之領先研究機構。因此在目前計畫我們已與中研院生物多樣性研

究中心展開合作，並有一些由東海探測採集到之魚卵及仔稚魚標本在進行分析中，未來整合計畫也將納入這方面的研究。

尚需研究之問題：

- (1) 長江沖淡水物質成份與擴散範圍的年間變化為何？
- (2) 長江沖淡水物質成份與擴散範圍的改變，對東海生地化循環的影響程度為何？
- (3) 長江沖淡水物質成份與擴散範圍的改變，對東海生態系食物鏈的生物量、族群結構與能量傳遞的影響程度為何？
- (4) 浮游生物指標基因與總體基因與水體環境的互動關係為何？
- (5) 長江三峽大壩運轉，對東海生地化循環的影響程度為何？

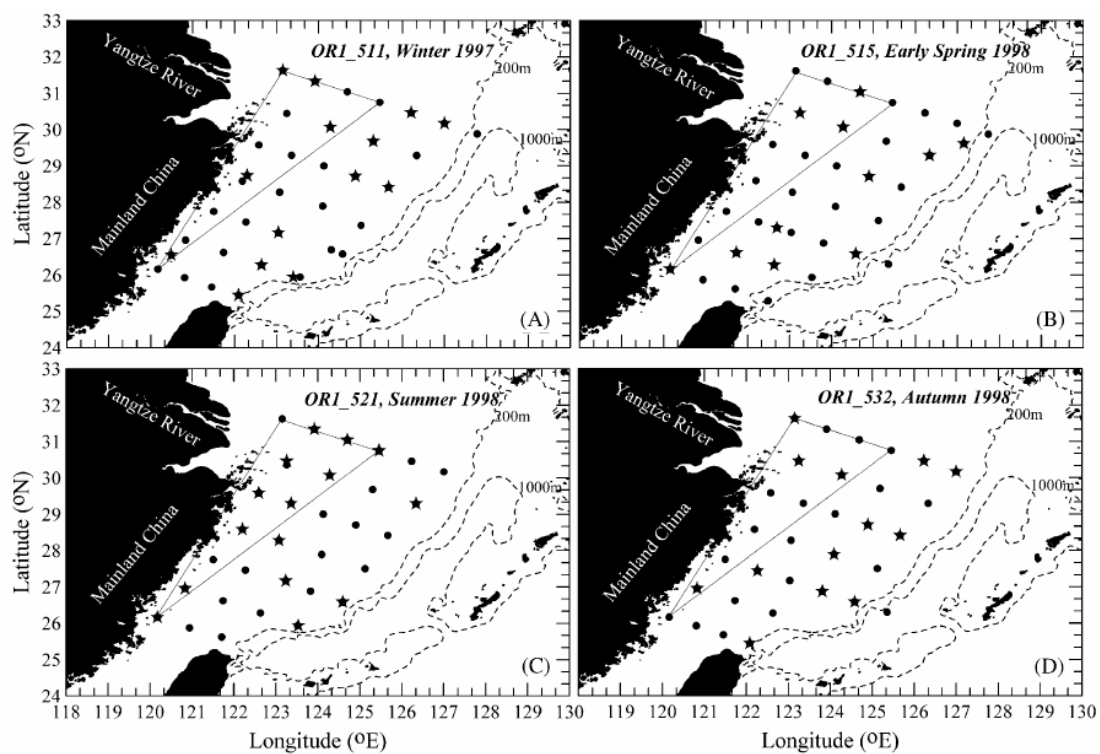


Figure 2.1.1 東海陸棚四季探測的研究範圍（1997/12~1998/11）。

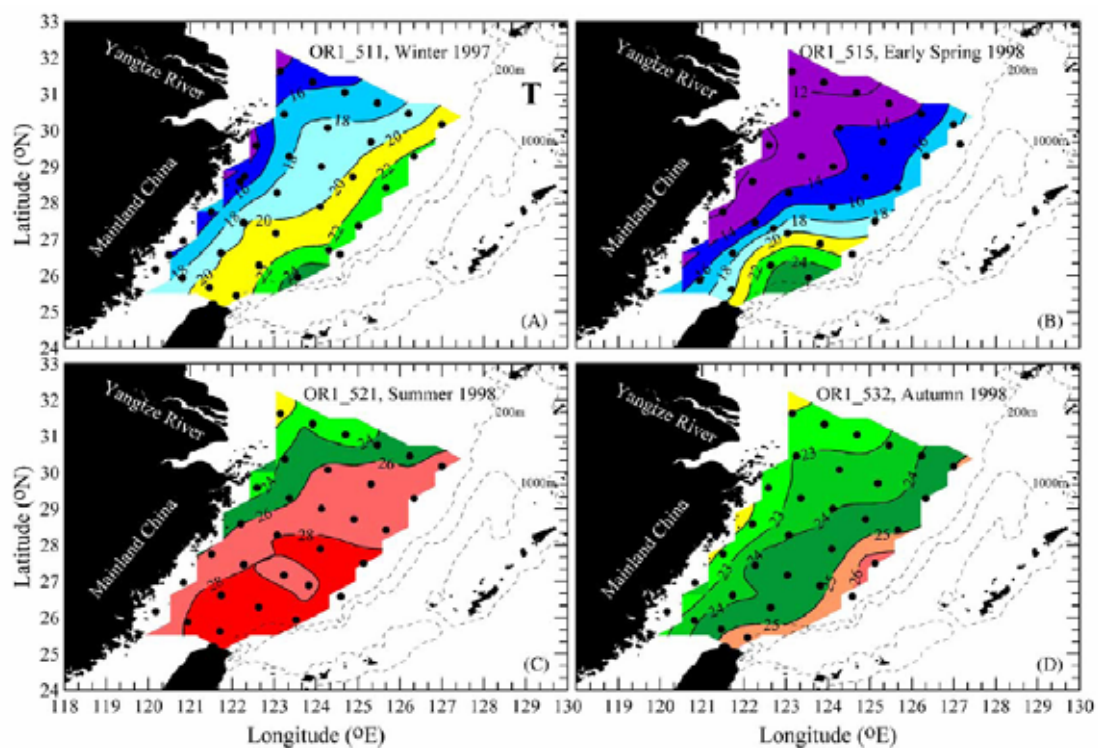


Figure 2.1.2 東海陸棚表層實測之海水溫度的四季變化（after Gong et al., 2003）。

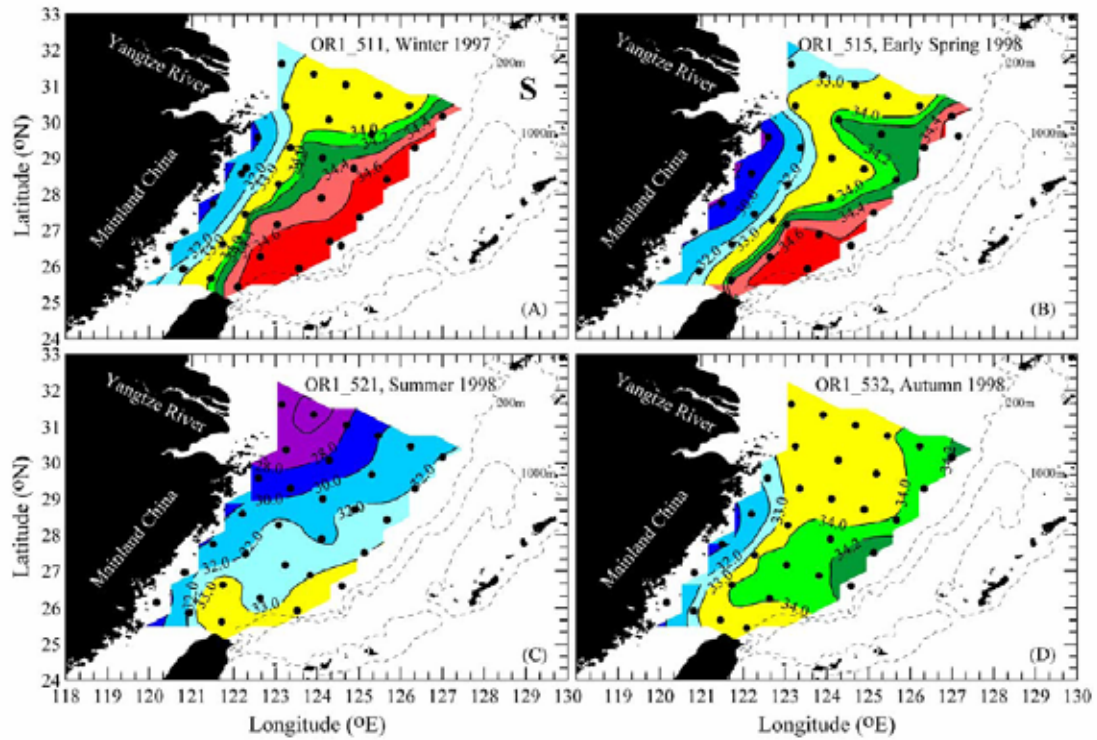


Figure 2.1.3 東海陸棚表層實測之海水鹽度的四季變化 (after Gong et al., 2003)。

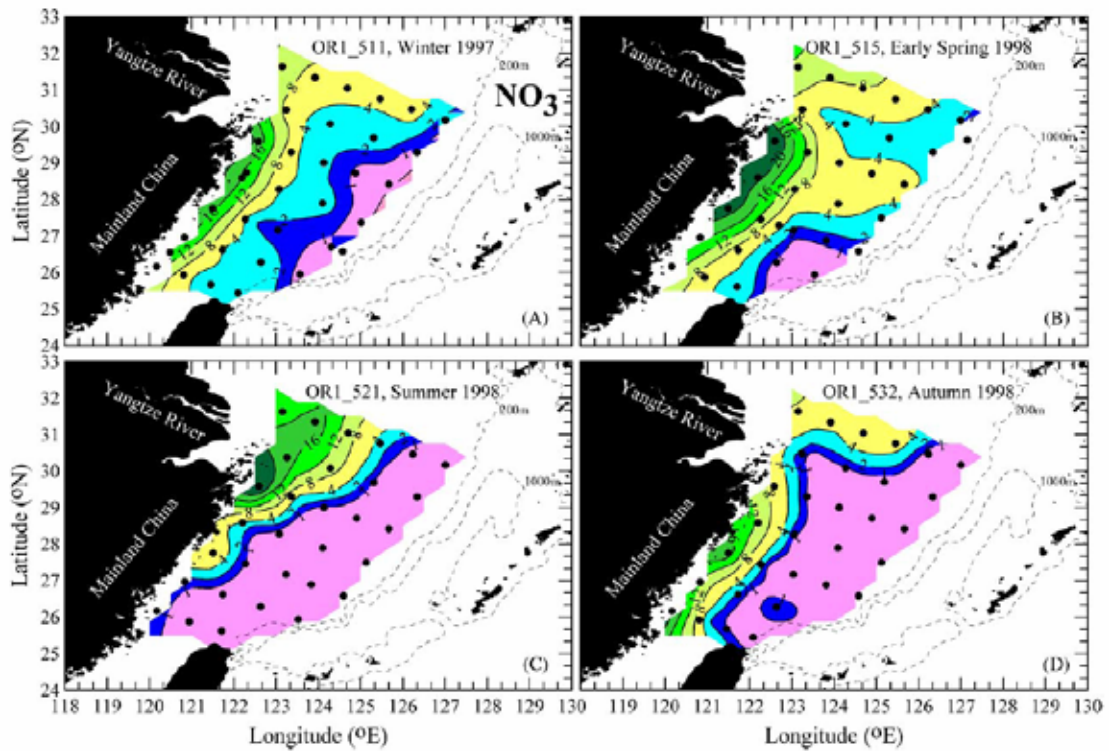


Figure 2.1.4 東海陸棚表層海水實測硝酸鹽濃度四季變化(after Gong et al., 2003)。

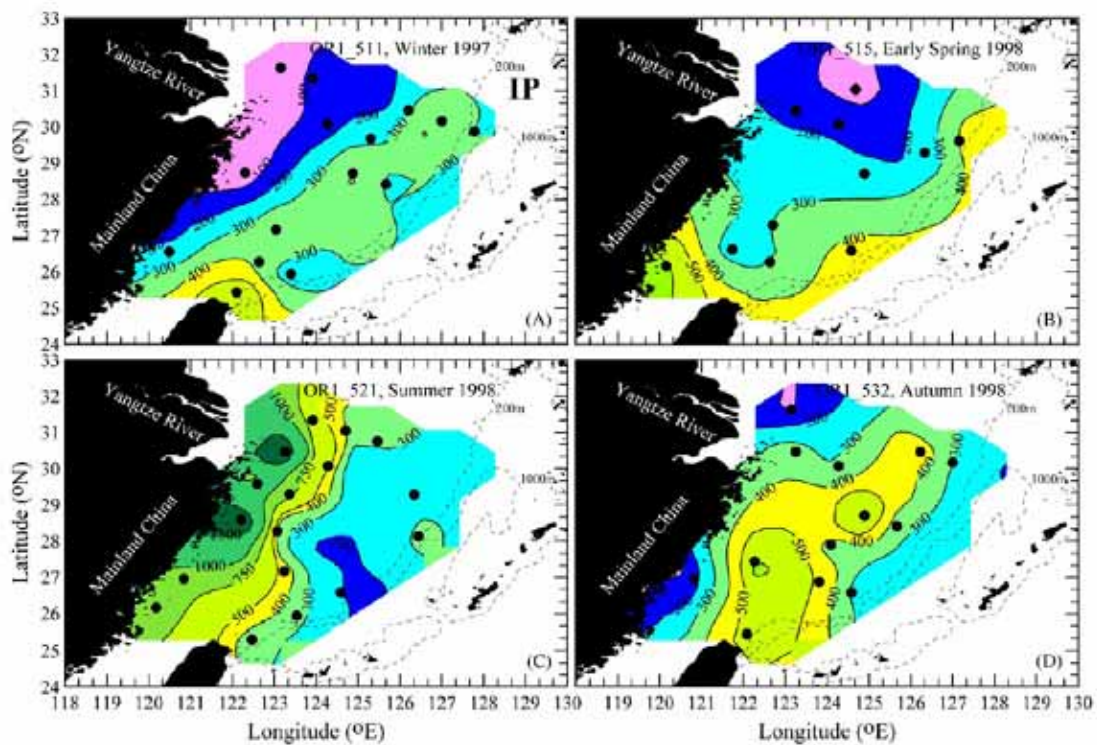


Figure 2.1.5 東海陸棚實測基礎生產力之的四季變化 (after Gong et al., 2003)。

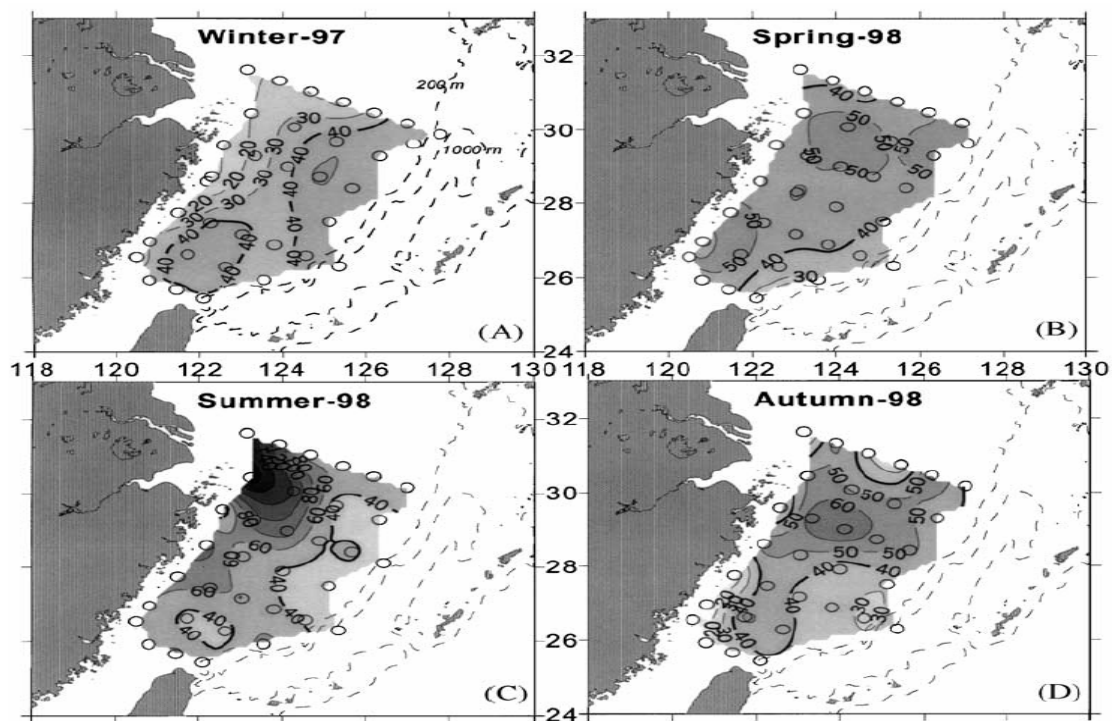


Figure 2.1.6 東海陸棚細菌生產力($\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$)四季變化(after Shiah et al., 2003)。

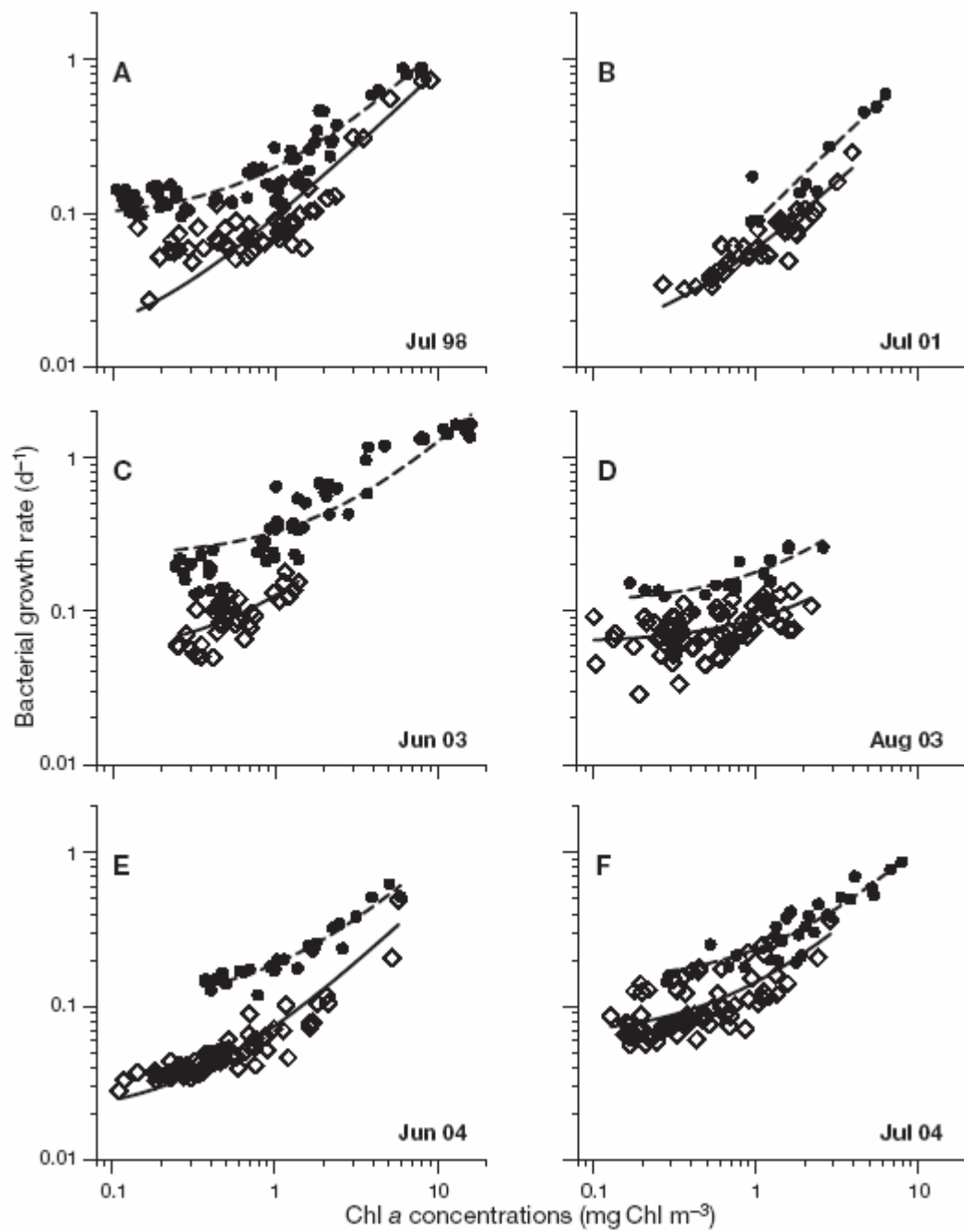
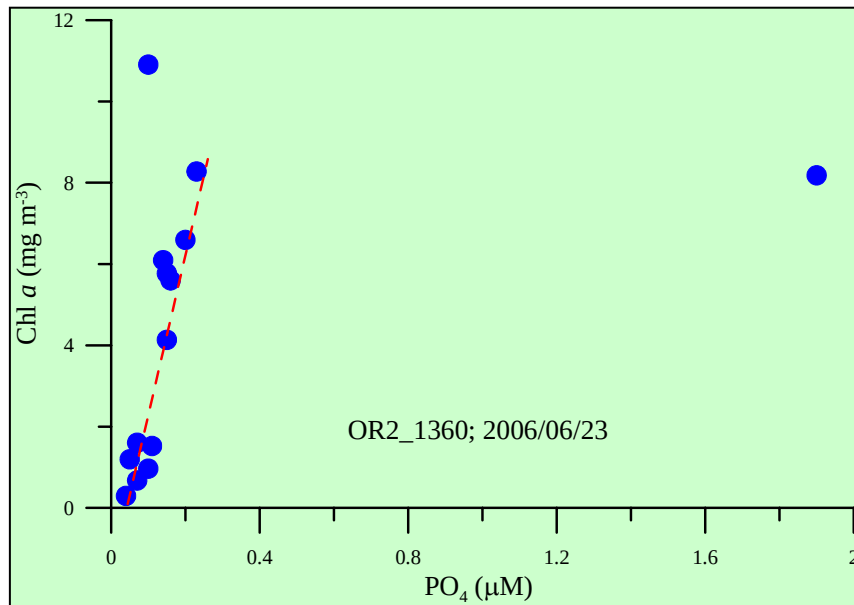


Figure 2.1.7 夏天時細菌生長率與葉綠素的關係 (after Shiah et al., 2006)。



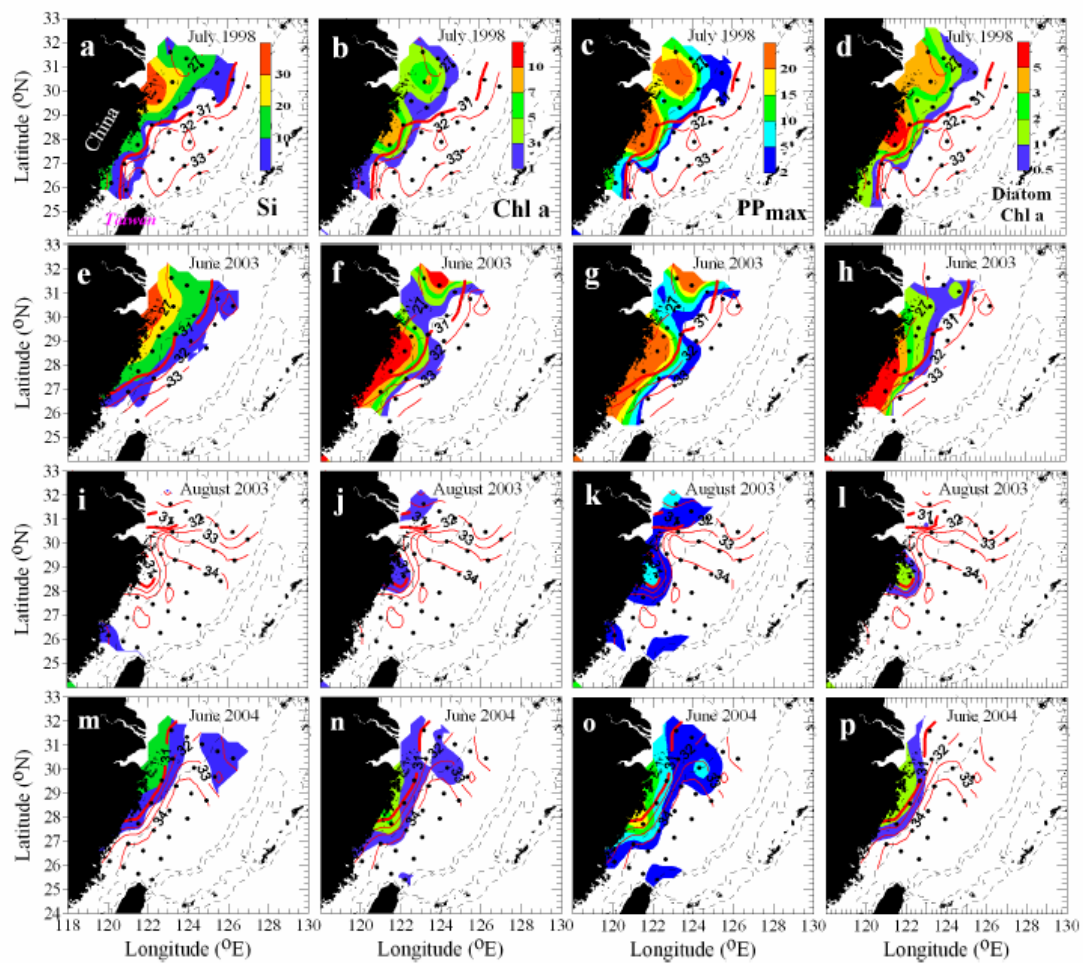


Figure 2.1.10 東海陸棚夏天時長江沖淡水擴散範圍的變化與營養鹽、葉綠素、基礎生產力及矽藻葉綠素的消長 (after Gong et al., 2006)。

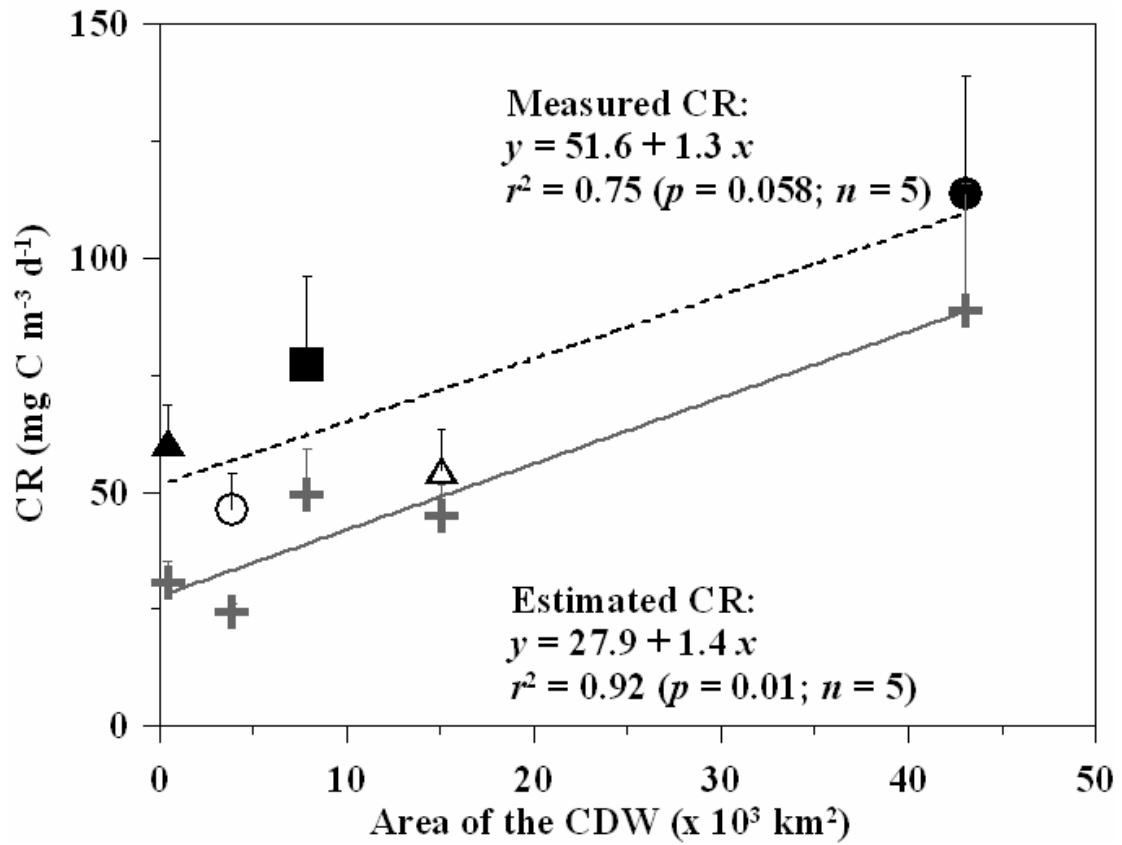


Figure 2.1.11 東海陸棚夏天時長江沖淡水擴散範圍的變化與群聚呼吸速率的消長 (after Chen et al., 2008)。

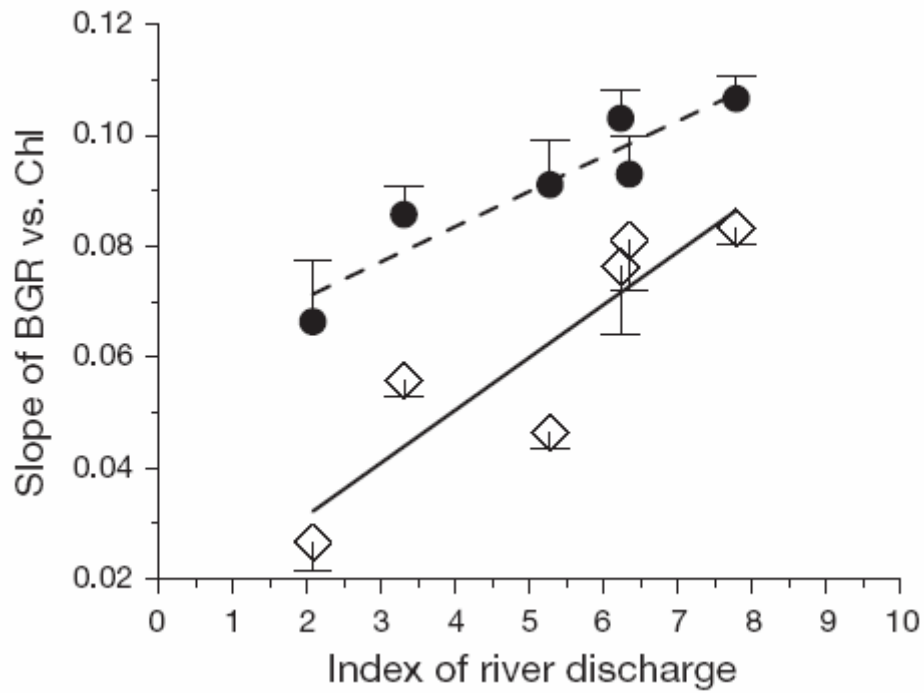


Figure 2.1.12 細菌生長斜率與長江沖淡水消長關係（after Shiah et al., 2006）。

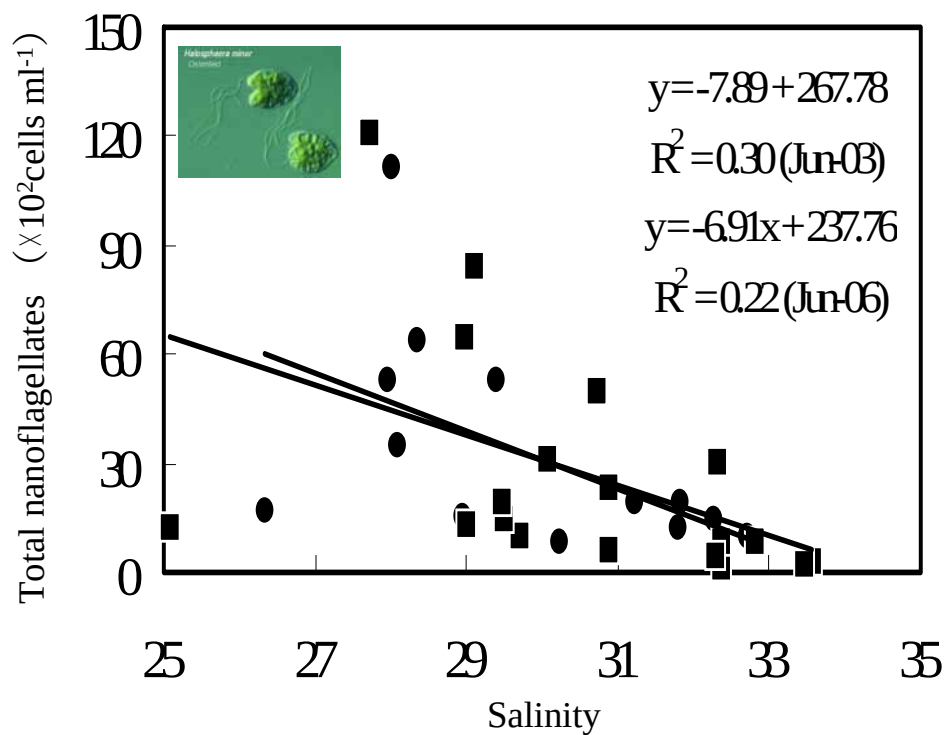


Figure 2.1.13 微細鞭毛蟲數量與長江沖淡水消長關係（蔣國平等，未發表數據）。

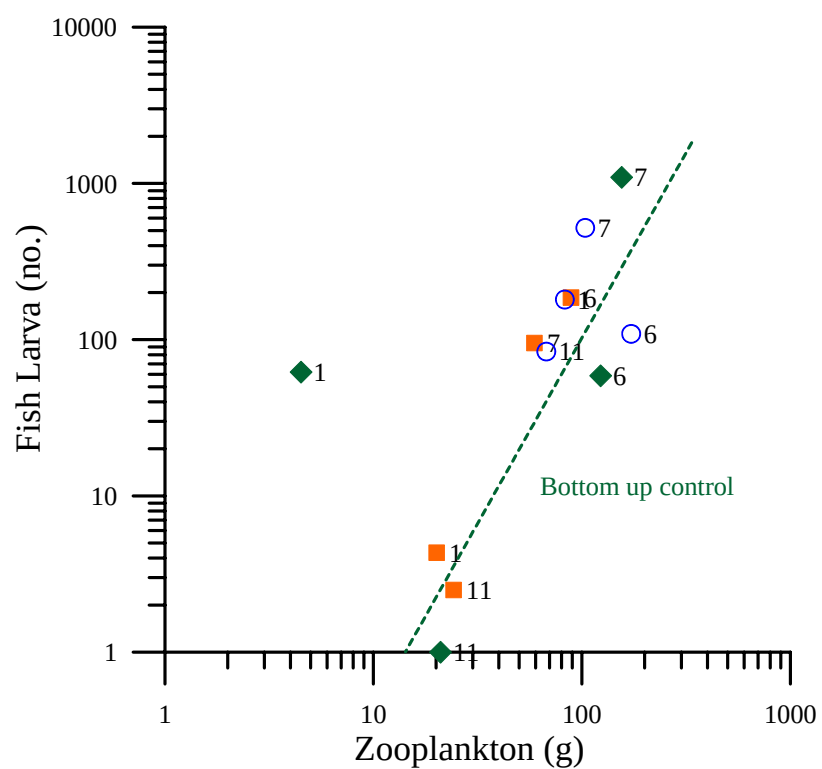
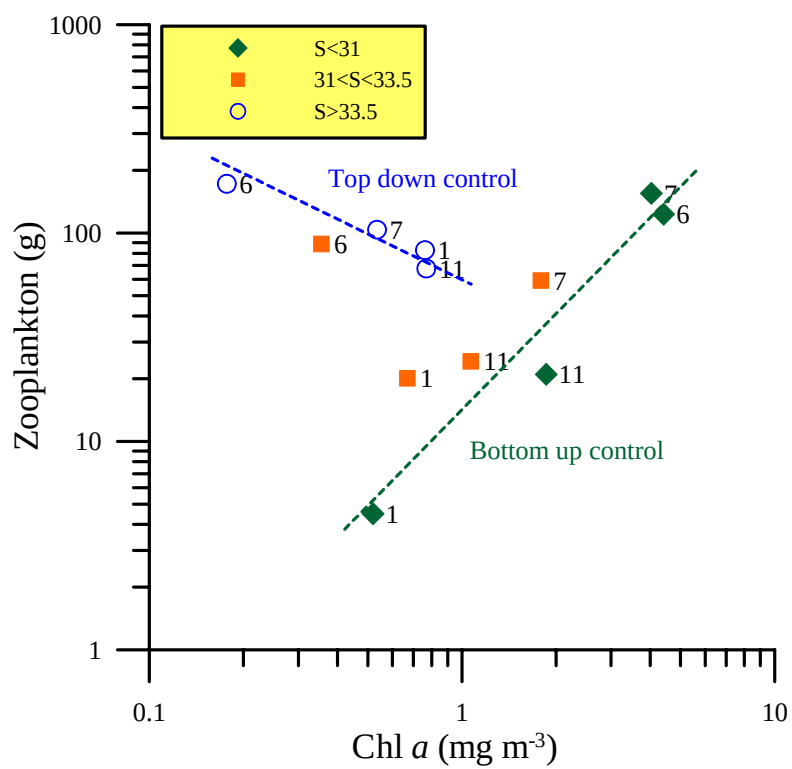


Figure 2.1.14 東海陸棚夏天時攝食食物鏈食階互動情形(謝志豪等, 未發表數據)。

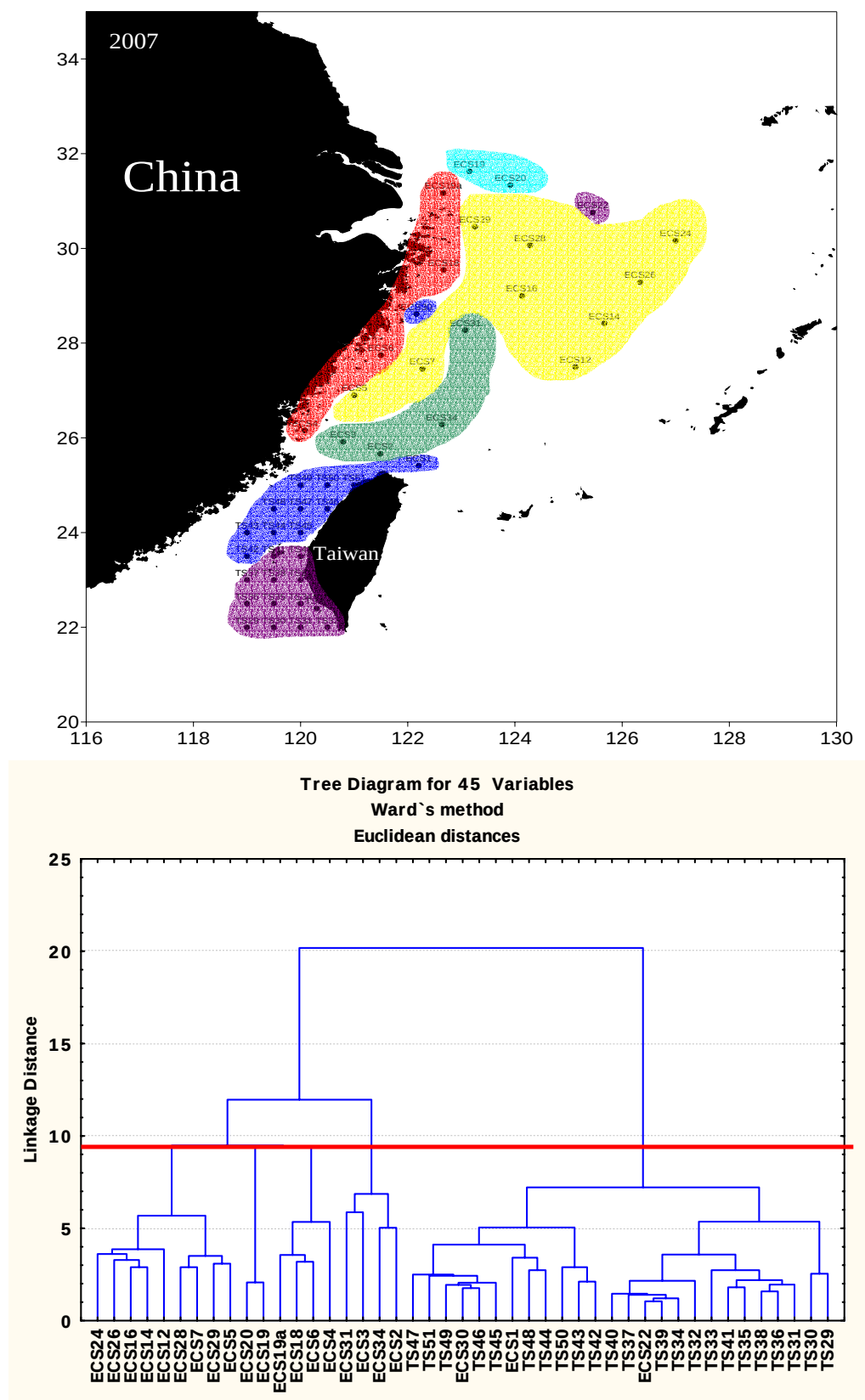


Figure 2.1.15 東海 2007 年夏天仔稚魚群集分析（李明安等，未發表數據）。

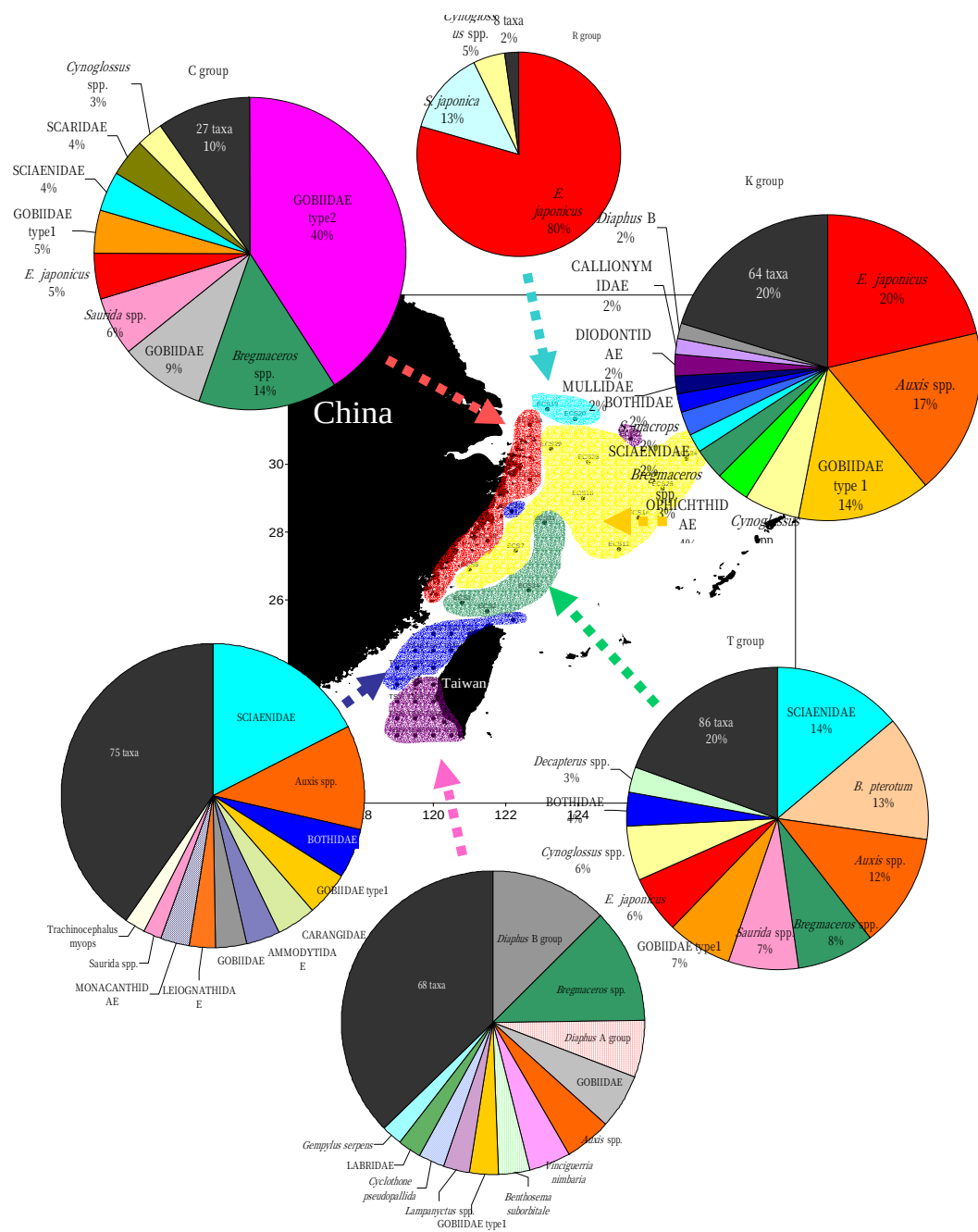


Figure 2.1.16 東海 2007 年夏天仔稚魚各類群組成（李明安等，未發表數據）。

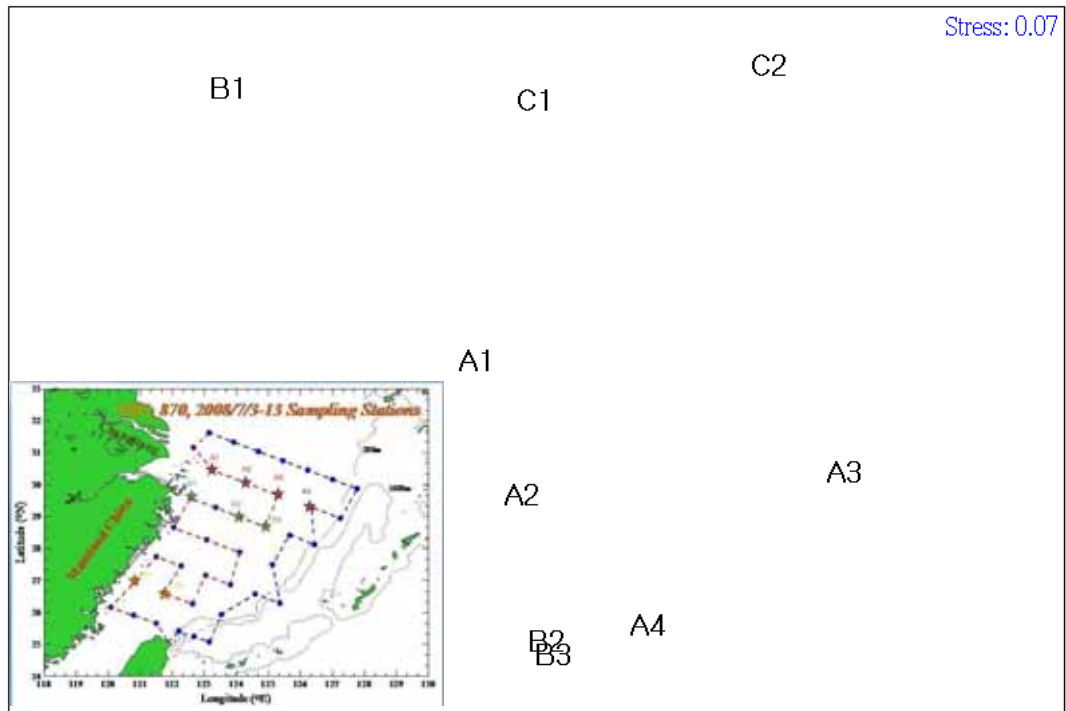


Figure 2.1.17 東海陸棚夏天時底棲魚類族群結構的相關性 (MDS plot of all stations, Based on Bray-Curtis similarity) (蕭仁傑等，未發表數據)。

2.2 議題 2：河川（長江）輸送物質成份與通量對東海海氣二氧化碳交換通量之影響

研究現況的瞭解：

陸棚邊緣海域扮演著連結陸地、海洋與大氣二氧化碳儲存的關鍵角色，一般的認知，陸棚海域由於有河川的注入以及湧升的作用，形成自營性（autotrophic）的系統，因此會是大氣二氧化碳的「匯」，進一步會將吸收下來的二氧化碳往深海輸出，此即所謂的“continental shelf pump”（Tsunogai, 1999; Yool and Fasham, 2001; Thomas et al., 2004）。根據已有之報導顯示，整個東海陸棚似乎也是二氧化碳的「匯」（Tsunogai, 1997, 1999; Peng et al., 1999; Wang et al., 2000），不過已有報導的資料涵蓋的空間或是時間較為不足，因此在第三階段的整合計畫中，我們進行了全面性的觀測，初步結果顯示在夏秋冬三季整個陸棚的二氧化碳分壓平均，確實呈現「匯」的狀態（Fig. 2.2.1），冬天時有最強的「匯」而且是全面性的；秋天時是微弱「匯」，在靠近長江口海域卻是「源」；夏天時「匯」的強度介於秋冬兩季之間，主要的「匯」是出現在陸棚西北長江口外海的海域，「源」與「匯」的分佈與水團的生化特性有極為密切的關係（Fig. 2.2.2）。進一步我們也發現夏天時陸棚西北海域二氧化碳「匯」的強度與長江沖淡水在陸棚的擴散面積成反比（Fig. 2.2.3）。

另一方面，從陸棚實測海水碳化學參數的資料，可以發現夏天時有顯著二氧化碳「匯」的海域（Fig. 2.2.4; $f\text{CO}_2 < 300 \mu\text{atm}$ ），次表層海水卻有很高的表觀耗氧量（ $\text{AOU} = 30\text{-}120 \mu\text{M}$ ）與超飽和的二氧化碳分壓（ $f\text{CO}_2 = 400\text{-}750 \mu\text{atm}$ ）（Fig. 2.2.4），顯示在此「匯」的海域是一異營性的系統，該結果與一般認為二氧化碳的「匯」應該是發生在自營性系統的觀點有所不同，值得進一步探討。另外，根據 Shim et al. (2007)的報導顯示在陸棚 31°N 以北的海域秋天時是二氧化碳的「源」，此結果也與目前我們的觀測結果不同，暗示在季節與季風變換時期海氣二氧化碳分壓的變化機制，需要進一步的觀測資料。

綜合以上之結果，顯示長江輸出之物質通量的改變以及季節或是季風的交替，將導致生地化作用的改變，使得陸棚海氣二氧化碳的平衡產生變化，值得深入探討。

尚需研究之問題：

- (1) 夏季長江沖淡水的擴散規模與陸棚二氧化碳吸收涵容的變化為何？
- (2) 控制東海陸棚在異營性系統下卻是二氧化碳「匯」的機制為何？
- (3) 季節交替時期（冬至春，夏至秋）二氧化碳吸收涵容的變動情形為何？
- (4) 陸棚海水碳化學系統與水團的互動機制為何？
- (5) 三峽大壩運轉後東海陸棚碳化學系統的改變情形為何？

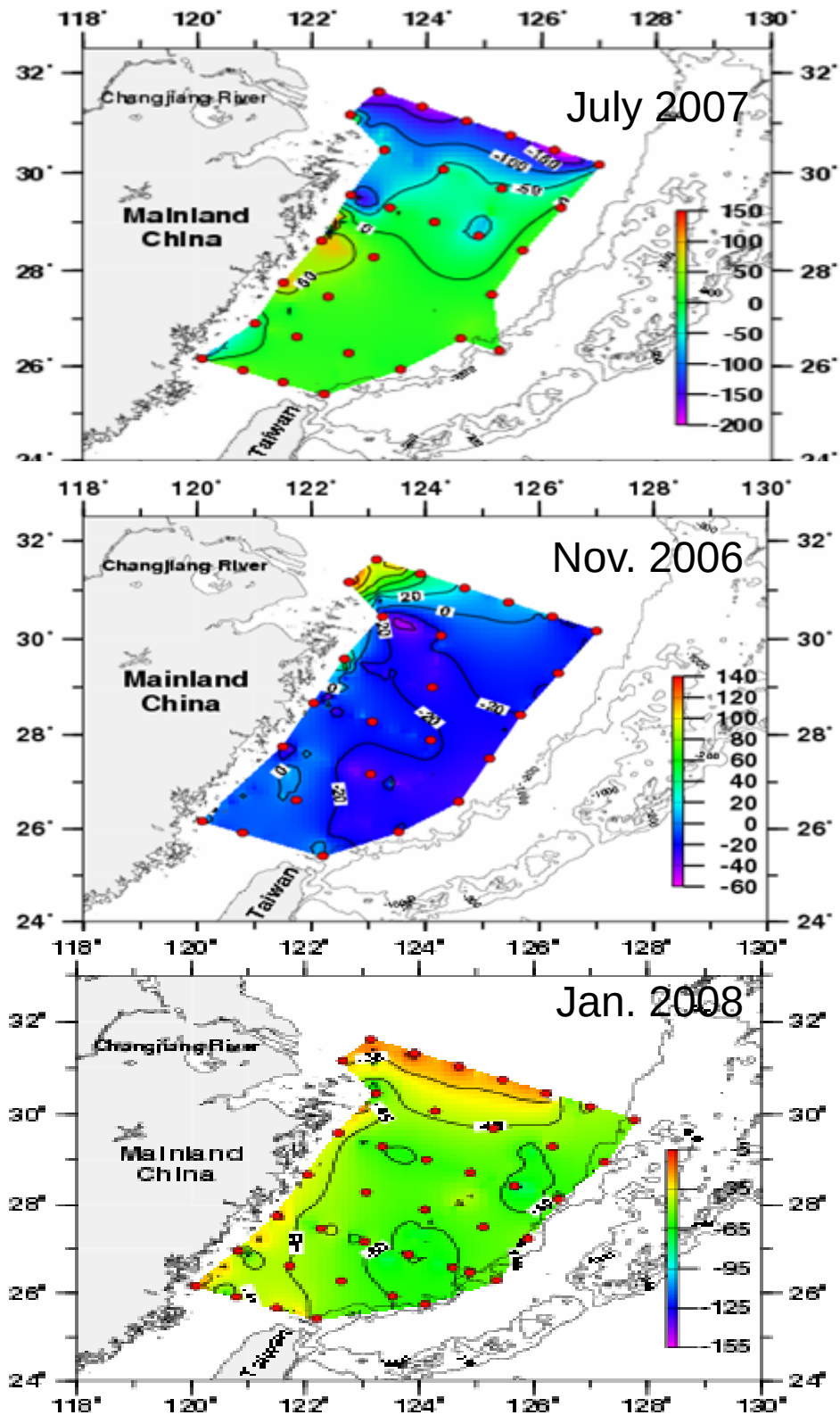


Figure 2.2.1 東海陸棚海氣二氧化碳分壓差之季節性變化（曾鈞懋等，未發表數據）。

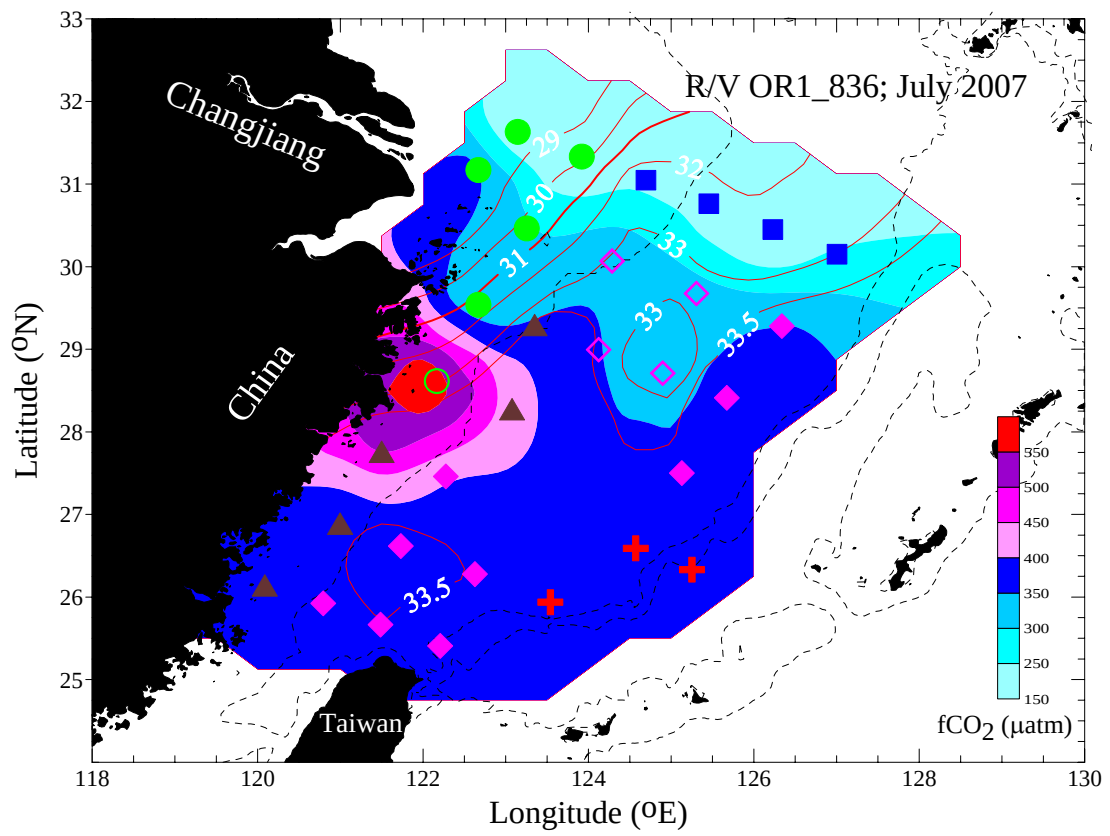


Figure 2.2.2 夏天時東海陸棚二氧化碳分壓與水團關係(周文臣等, 未發表數據)。

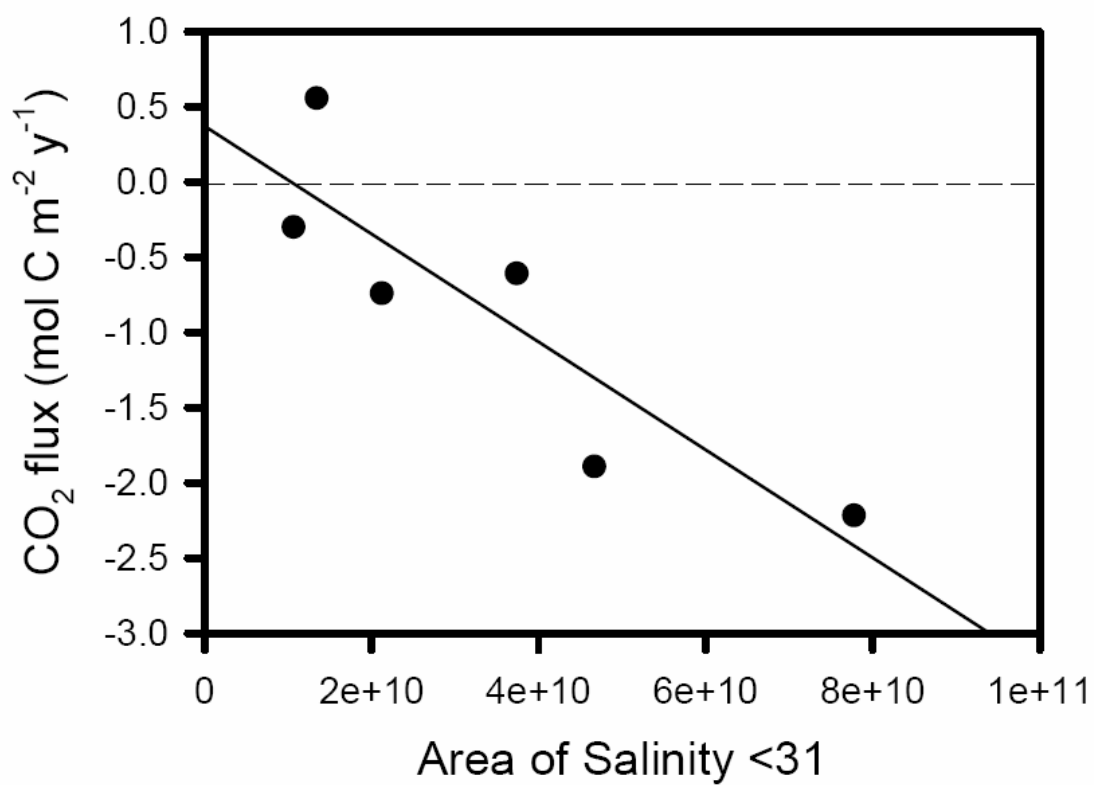


Figure 2.2.3 東海陸棚夏天時長江沖淡水擴散範圍的變化與海氣二氧化碳交換通量的消長（曾鈞懋等，未發表數據）。

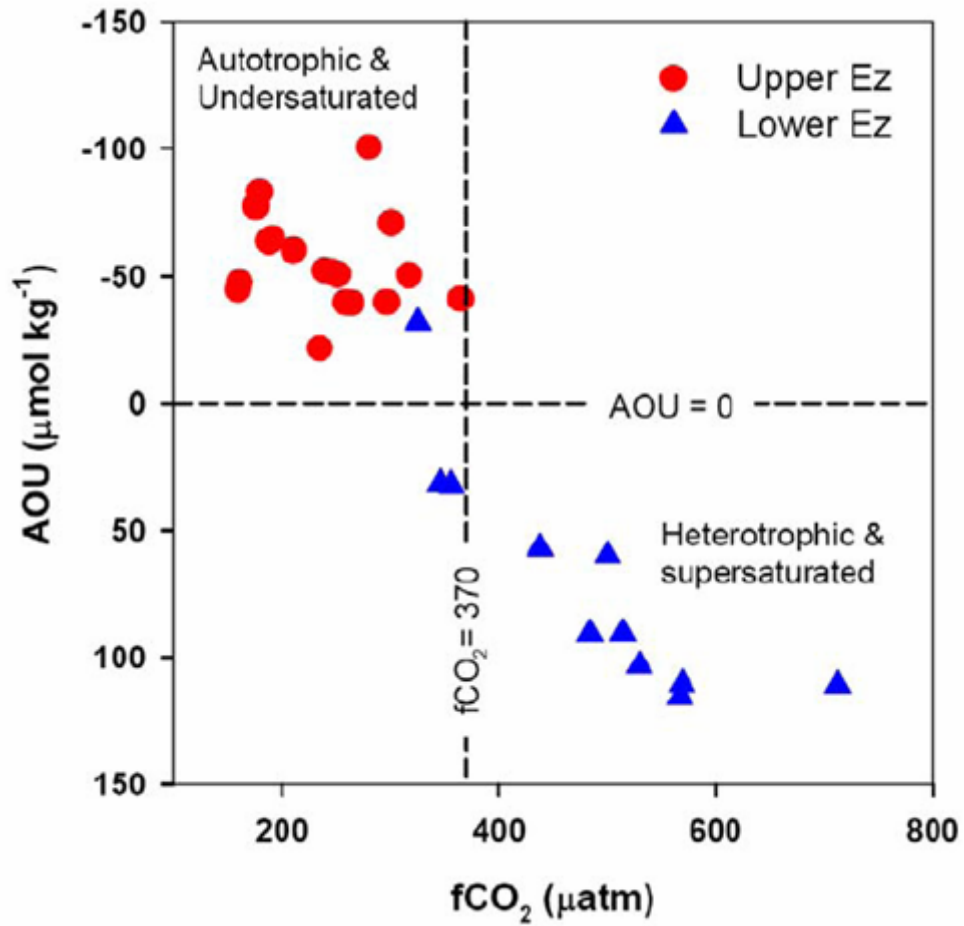


Figure 2.2.4 夏天時東海陸棚主要二氧化碳「匯」的區域水層二氧化碳分壓 ($f\text{CO}_2$) 與表觀耗氧量 (AOU) 的關係 (周文臣等, 未發表數據)。

2.3 議題 3：大氣輸送物質成份與通量及其效應對東海淺層海洋生地化循環與微型浮游生物之影響

研究現況的瞭解：

陸源物質進入海洋對生地化循環的影響，除了河川之外，另一重要途徑就是經由大氣效應所輸入，大氣效應除了會將陸源物質（自然的礦物性沙塵與空氣污染物）輸送至淺層海洋之外，亦會對水體產生激烈的擾動，讓有光層營養鹽的供應量產生改變，進而影響生地化的循環（e.g. IGBP, 2004; Dickey et al., 1998; Lin et al., 2003）。影響東海生地化循環的大氣效應，主要有亞洲沙塵暴（Asian dust storm）、颱風（Typhoon）與季風（Monsoon）。

根據過去之報導顯示，亞洲沙塵暴是將大氣物質輸送進入東海的最主要途徑（e.g. Gao et al., 2001），其中又以春天時的輸送通量最高（e.g. Uematsu et al., 2003）。另一方面，隨著大陸土地利用與開發以及工業污染日益升高的情況之下，亞洲沙塵暴除了輸送礦物性沙塵（mineral dust）之外，在其傳播至東海的路途中還同時挾帶了許多營養鹽（尤其是氮）以及有機污染物等等。但由於海上的現場觀測資料取得不易，目前僅知在東海北部海域春天時（28-32 °N, 122-130 °E; March-June, 1992）實際在海上量測到氣膠中所含之非海鹽性硫酸根（non-seasalt sulfate; nss-SO₄）的平均濃度約為4.0 µg m⁻³，硝酸（NO₃）的濃度約為1.9 µg m⁻³（Gao et al., 1996），秋天時（124-131 °E, 26-33 °N; 26 September- 9 October, 2002）在海上實測之非海鹽性硫酸根平均濃度約為8.7 µg m⁻³，硝酸的濃度為1.8 µg m⁻³，氨氮（NH₄-N）的濃度為2.3 µg m⁻³（Nakamura et al., 2005）。

由前述之結果清楚顯示，有關於大氣物質輸送至東海的觀測資料相當有限，亦未有對淺層海洋生地化循環影響的報導。經由本計畫的推動，有關於大氣物質（微量金屬與無機營養鹽）傳送至東海的情況，已有初步之成果（Hsu et al.,

2008JGRa,MCb; Chen and Chen, 2008)。根據在台北地區氣溶膠時序監測資料 (2002Mar-2007Jan) 顯示，在礦物性沙塵（以金屬鋁為代表）方面，主要來自於戈壁沙漠（Gobi Dessert）及黃土高原（Loess Plateau），整體而言，全年以夏天時最低，10月下旬東北季風開始至隔年的春天（4月）可達到高鋒，但仍有年間的變化（Fig. 2.3.1），並建議當收集到氣溶膠中所含之鋁濃度超過 $2,806 \text{ ng m}^{-3}$ 時，可用以代表受到主要沙塵暴的影響，介於 $1,403\text{-}2,806 \text{ ng m}^{-3}$ 之間時，表示有受到微弱沙塵暴影響（Hsu et al., 2008a）。另一方面，根據在東海船測氣溶膠的結果顯示，東北季風非沙塵暴及沙塵暴期間，可溶解的鐵濃度分別約為 $21\text{-}1.5 \text{ ng m}^{-3}$ ，非沙塵暴期間鐵的溶解度（ $\sim 7.7 \pm 4.5\%$ ）遠高於沙塵暴期間（ 0.2% ）。在無機營養鹽（硝酸及磷酸）方面，根據在基隆地區氣溶膠時序監測資料（2005Jan-2006Dec）顯示，在東北季風期（每年10月下旬至隔年4月）無機氮及磷之濃度有逐漸增高的趨勢，至4月份時可以達到最高峰，除了2月因受降雨影響，有下降趨勢之外，全年的變化趨勢與礦物性沙塵之結果相似；在7-8月間亦有較高的情形，係受到區域性的影響（Fig. 2.3.2; Chen and Chen 2008）。若將其來源區分為陸源、生質燃燒源、海源與沙塵暴來源，以無機氮物種為例，較一般時期的陸源性輸入量約為 $55.6 \text{ Gmol yr}^{-1}$ ，沙塵暴時期雖然輸入通量較一般時期的陸源為高，但其貢獻量僅有 8.3 Gmol yr^{-1} ，約僅佔總量的12%；海源的部份是所有來源最低的，僅有 3.6 Gmol yr^{-1} ，佔全量的5%；生質燃燒源（陸源的一部份）的輸入量為 $31.3 \text{ Gmol yr}^{-1}$ ，佔全量之46%，更佔陸源成份的50%以上，顯示生質燃燒源輸送通量的重要性。在氮磷比方面，陸源的部份介於579-594之間，海源的部份為826較陸源為高，降雨會明顯降低陸源部份的氮磷比（約30%），對海源的影響輕微。

在大氣效應對東海海洋生地化作用的影響方面，前一階段整合計畫探討的大氣效應，包括颱風、季風及沙塵暴等，研究海域以黑潮湧升流區及貧營養鹽的黑潮淺層海水。在颱風效應方面，最近已有證據顯示，當颱風中心從湧升流區的西

南方向通過時，會增強湧升作用的強度，使得海面溫度驟降 2°C 以上 (Tsai et al., 2008)，湧升範圍內之衛星海面葉綠素濃度也可高達 3 mg m^{-3} 以上 (Fig. 2.3.3; Chang et al., 2008a)，在黑潮湧升範圍東北方的陸坡，亦有類似的案例被觀測到 (Wu et al., 2008)；另外也發現於冬天東北季風旺盛期間，在黑潮入侵東海陸棚所形成的鋒面邊緣，有較高的衛星海面葉綠素濃度 (Fig. 2.3.4; Chang et al., 2008b)，這些證據均顯示颱風及季風效應，應會提升有光層營養鹽的供應量，對東海陸棚海洋生產力的貢獻值得重視。然而以上這些案例均是間接地從衛星遙測資訊獲得，並未有海上直接觀測的證據，原因是當季風強勁或是颱風過境時，一方面難以出海，另一方面也受限於航次的安排並無法隨機。雖然如此，如何獲得在極端氣象狀況下的海上實際觀測資料，仍是值得努力的。

在亞洲沙塵暴旺盛期間，大氣效應對淺層貧營養鹽海水影響的研究方面，自 2006 年起，本計畫於每年 3 月中至 4 月中（也就是全年風浪最大沙塵暴發生頻率最高的季節），均安排海研二號至台灣東北海域黑潮主流區，進行現場定點的觀測與採樣 (Fig. 2.3.5)，初步的現場觀測資料顯示，在此期間有光層水體中的葉綠素 *a* 與顆粒有機碳的存量可有將近 2 倍的變化 ($27\text{--}51\text{ mg m}^{-2}$ 、 $4.7\text{--}10.3\text{ gC m}^{-2}$)，顆粒有機碳離開有光層的輸出通量 (POC flux)，更有高達將近 4 倍的變化 ($28.8\text{--}91.0\text{ mgC m}^{-2}\text{ d}^{-1}$)，平均較其它季節高出約 1.8 倍 (Fig. 2.3.6)，分析其原因，推測強烈風浪所造成的垂直混合效應，將有光層底部較高營養鹽海水幫浦至有光層中，是造成有機碳存量及輸出通量增加的主因 (Hung et al., 2008)。但此期間輸送至淺層海水的微量金屬與無機營養鹽，對微型浮游生物的反應仍然不可忽視。Figure 2.3.7 即是本計畫於 2006 年沙塵暴期間，在海洋現場使用生物指標基因，進行超微浮游植物對微量金屬鐵、氮及磷的基因表現，發現在沙塵暴前海洋現場微型浮游植物（藍綠藻）處於缺鐵及缺磷狀態（3 月 18 日），有沙塵暴發生時，缺鐵、缺氮及缺磷基因均不表現（3 月 19 日）；除此之外，超微浮游植物的分類群 (Clade) 亦會產生激烈變動 (Fig. 2.3.8)，詳細原因仍在進行分析中。

尚需研究之問題：

- (1) 大氣傳送至東海的有機營養鹽及微量金屬物種的輸送通量與來源為何？
- (2) 大氣傳輸途徑對輸送之物質的組成及特性有何不同？
- (3) 控制大氣有機營養鹽物種及微量金屬元素的因素為何？
- (4) 大氣效應與輸送物質對淺層海洋超微浮游植物族群消長的影響為何？
- (5) 大氣效應與輸送物質成份及通量對淺層海洋浮游植物基因表現的影響為何？
- (6) 極端大氣效應對淺層海洋生物生產力與有機顆粒輸出通量的影響為何？

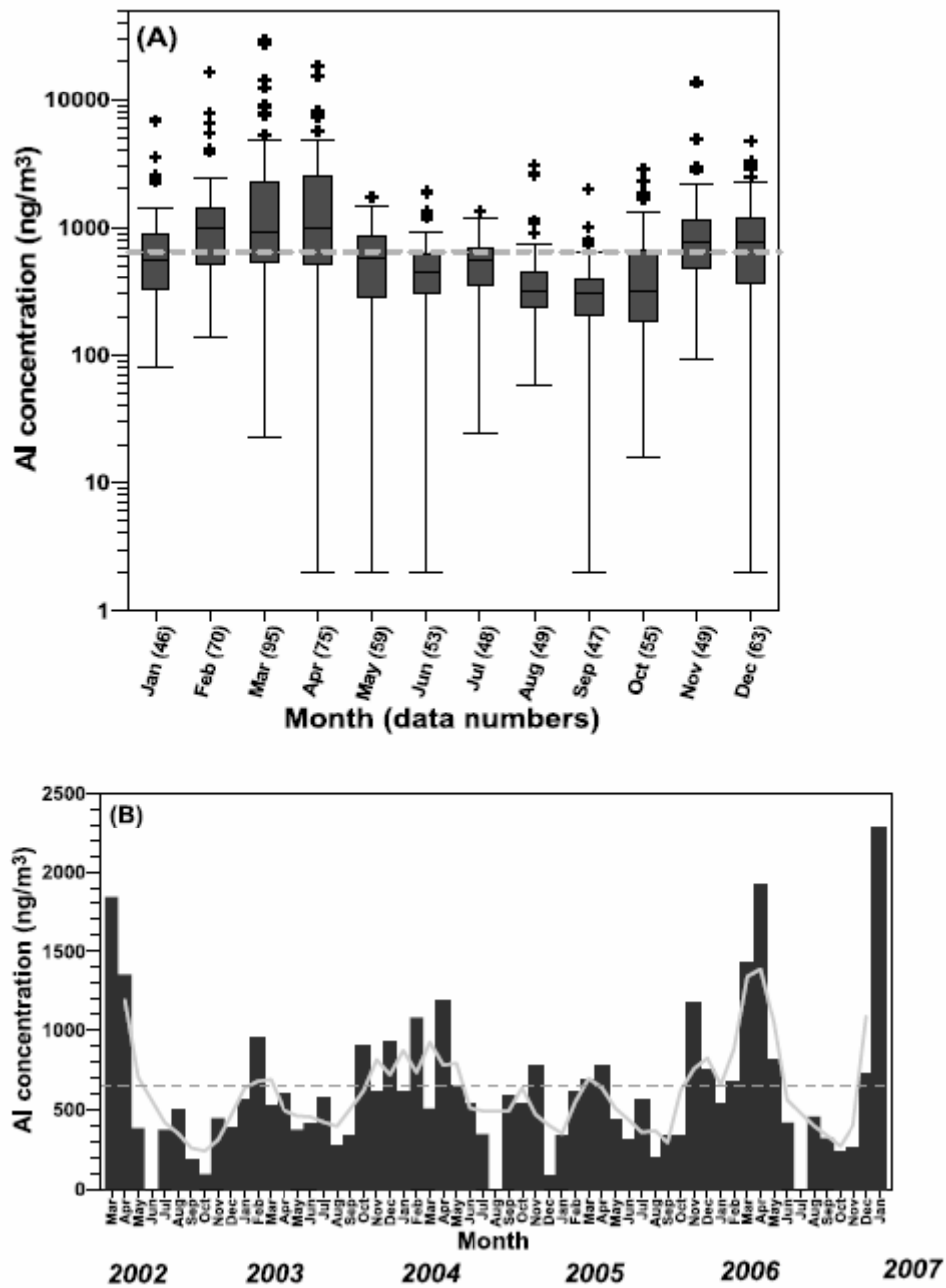


Figure 2.3.1 台北地區 2002 年 3 月至 2007 年 1 月間實測氣溶膠鋁濃度之月變化
(after Hsu et al., 2008)。

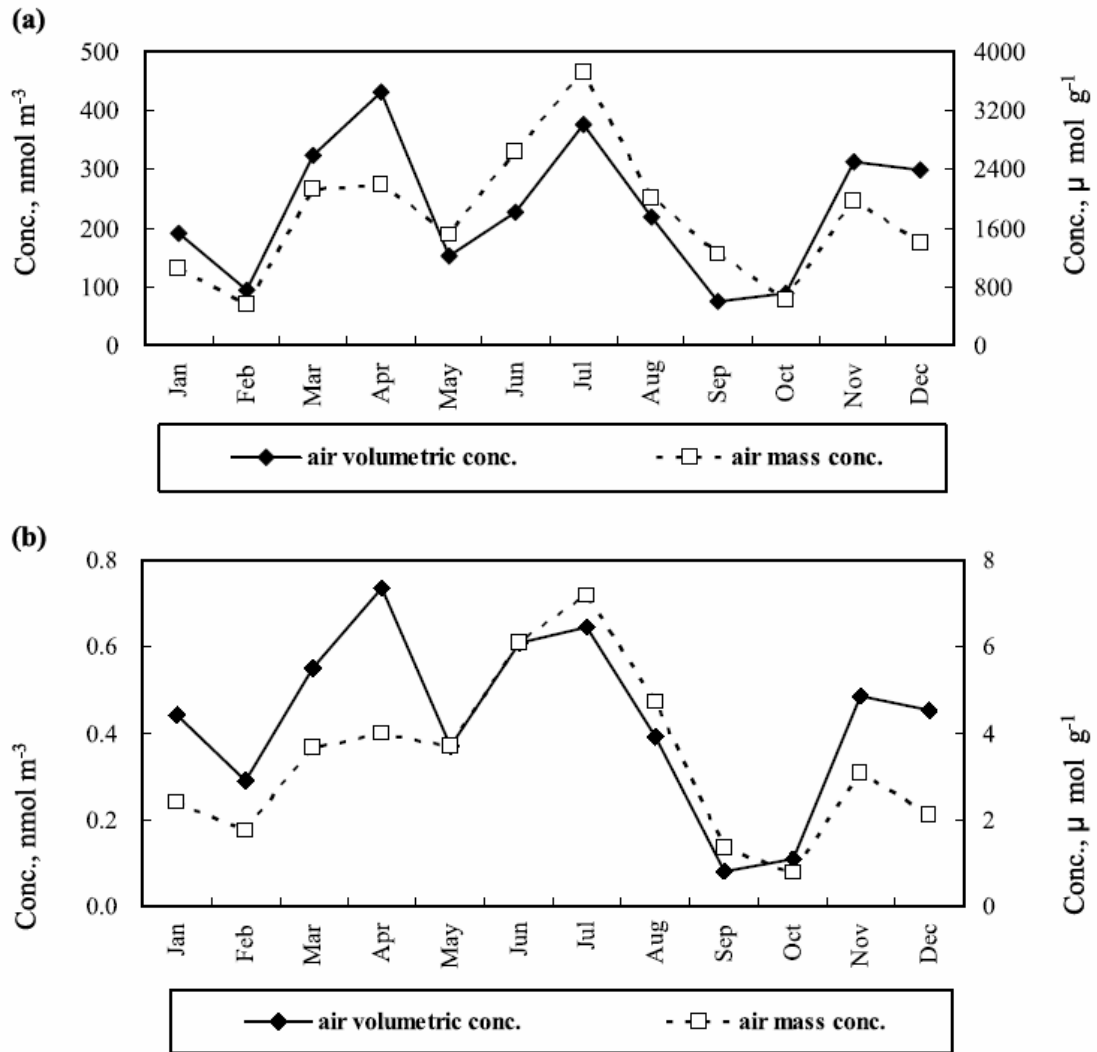


Figure 2.3.2 基隆地區 2005-2006 年間實測氣溶膠含溶解態無機氮 (a) 與無機磷 (b) 月平均之變化 (after Chen and Chen, 2008)

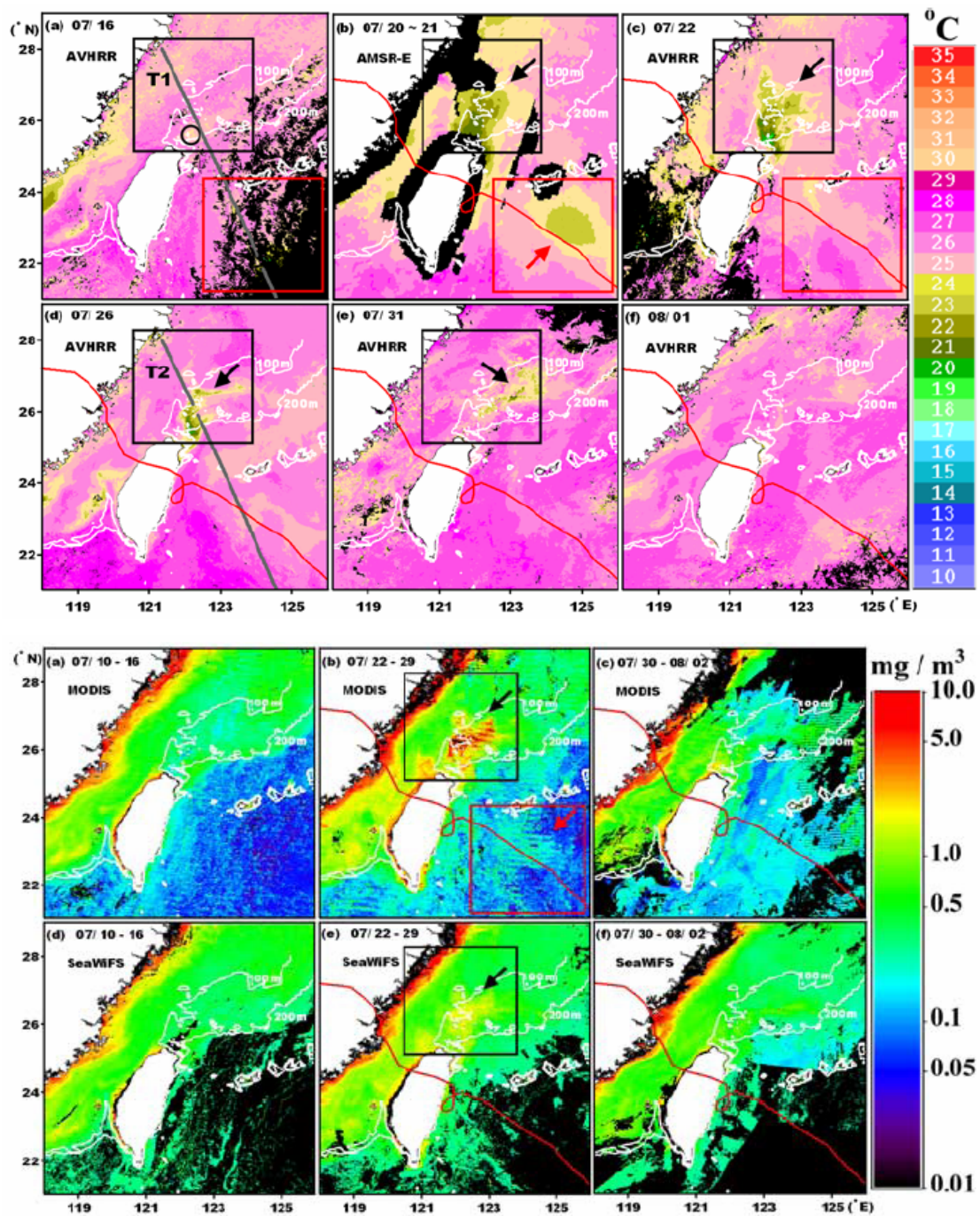


Figure 2.3.3 海棠颱風 (2005 年) 通過台灣時引發台灣東北海域湧升流區的效應，上圖是海面溫度的變化，下圖是衛星海洋水色葉綠素的變化 (Chang et al., 2008a)。

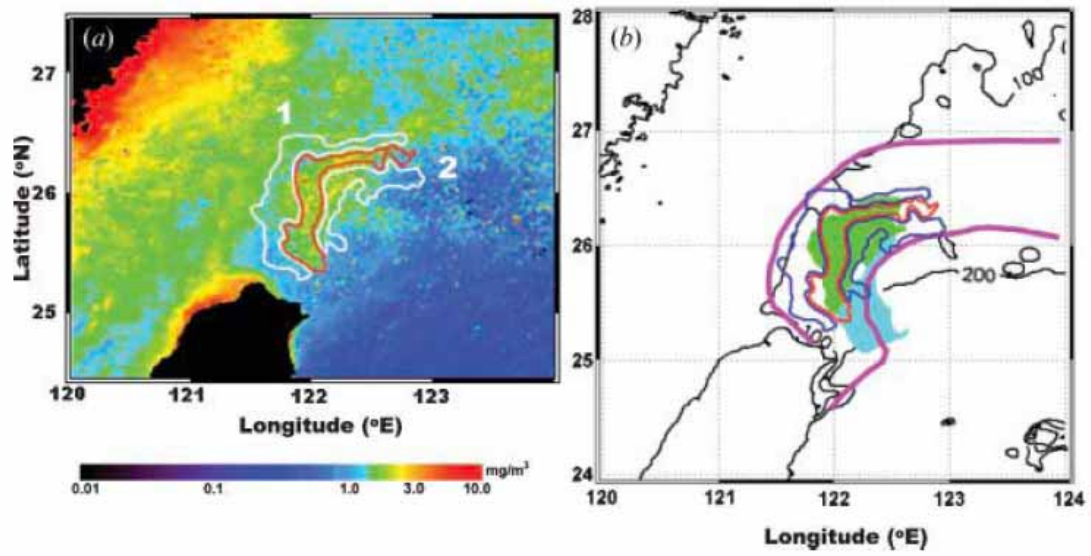


Figure 2.3.4 東北季風期黑潮暖水與陸棚冷水交介鋒面區高衛星海洋水色葉綠素情形 (after Chang et al., 2008b)

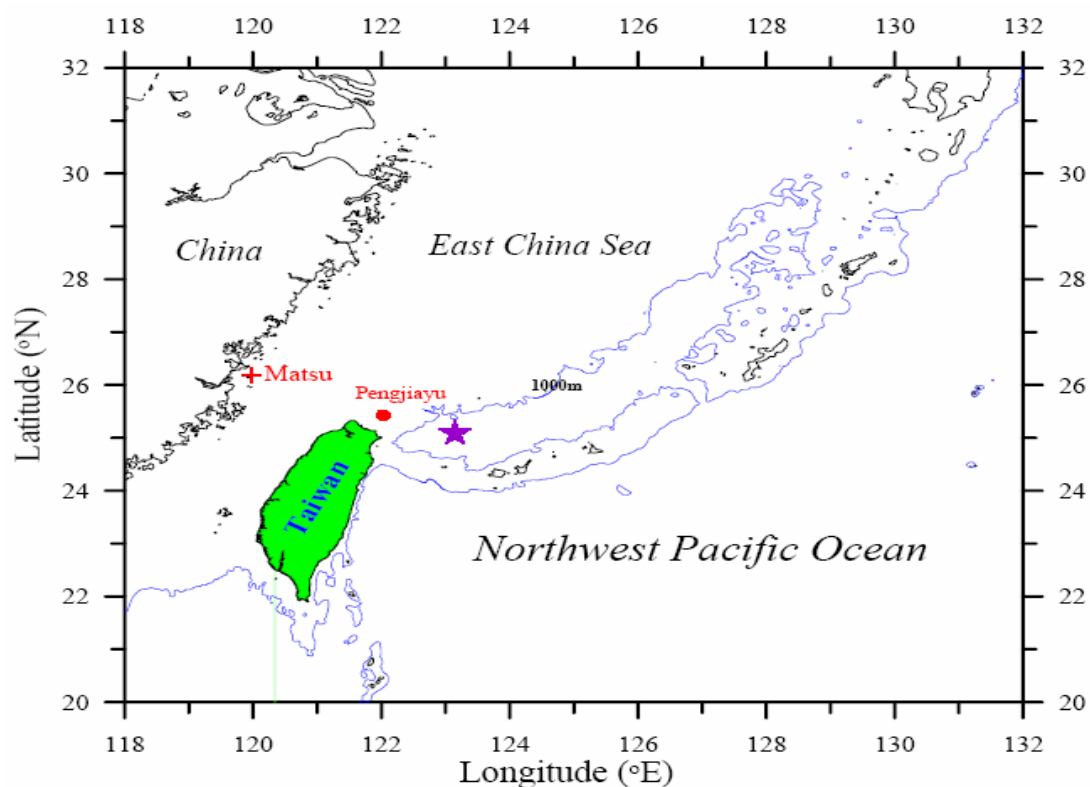


Figure 2.3.5 第三期整合計畫春季季風及亞洲沙塵暴時期的定點觀測位置（圖中標星號的位置）。

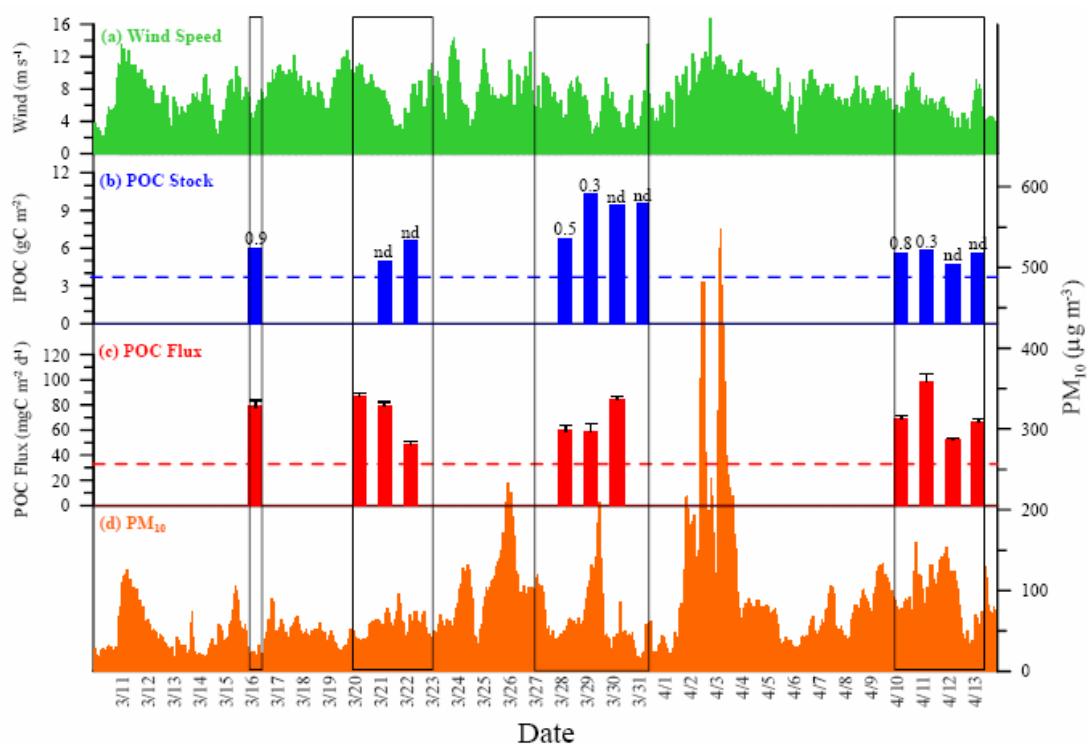


Figure 2.3.6 春季時（2007 年）在台灣東北外海貧營養鹽之黑潮主流區海洋現場實測之顆粒有機碳存量與通量之時序變化（Hung et al., 2008, In press）。

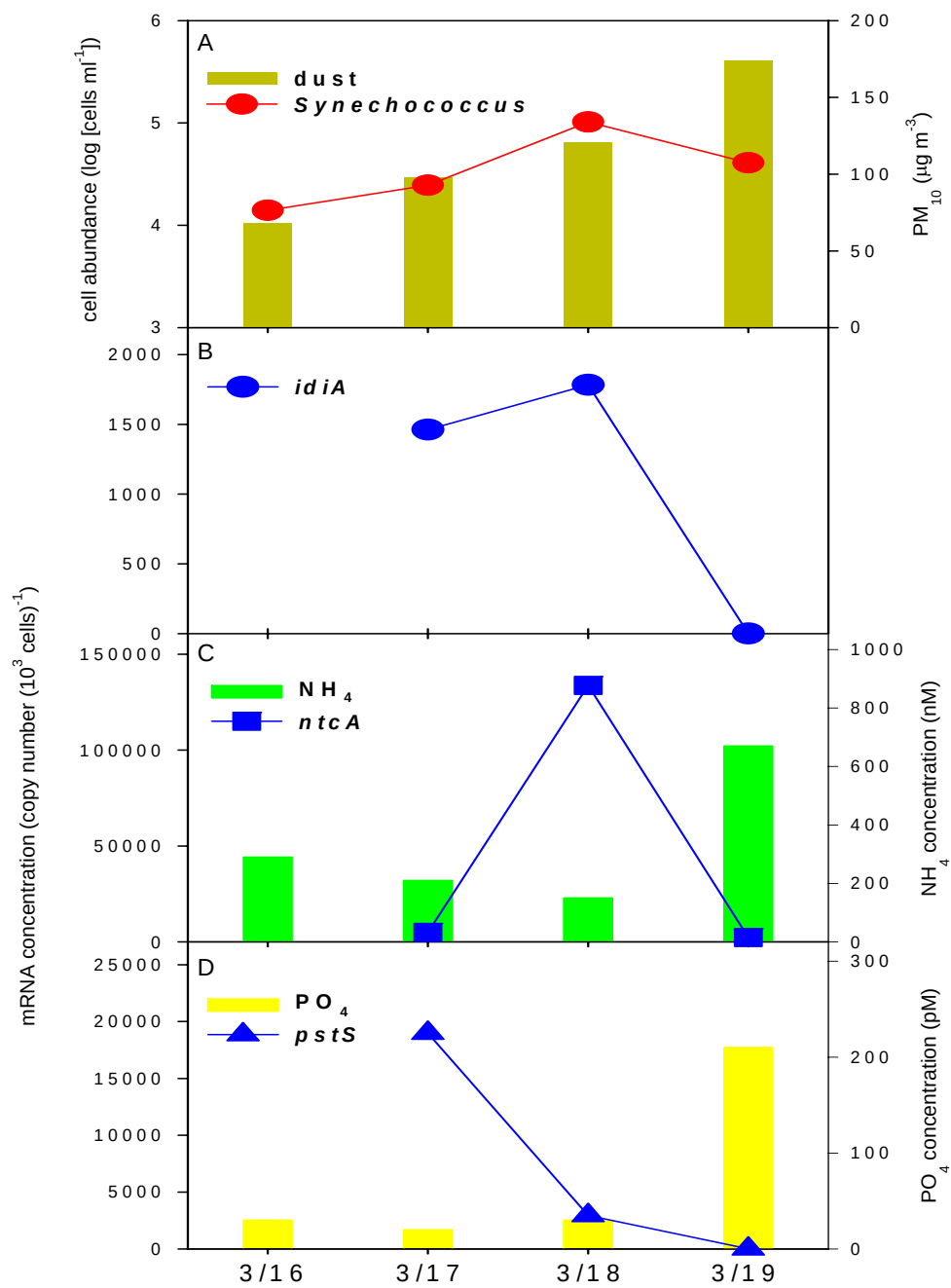


Figure 2.3.7 春季期間（2006 年）台灣東北外海貧營養鹽之黑潮主流區超微浮游植物缺鐵（*idiA*）、缺氮（*ntcA*）及缺磷（*pstS*）的基因表現（鍾至青、張正、龔國慶等，未發表數據）。

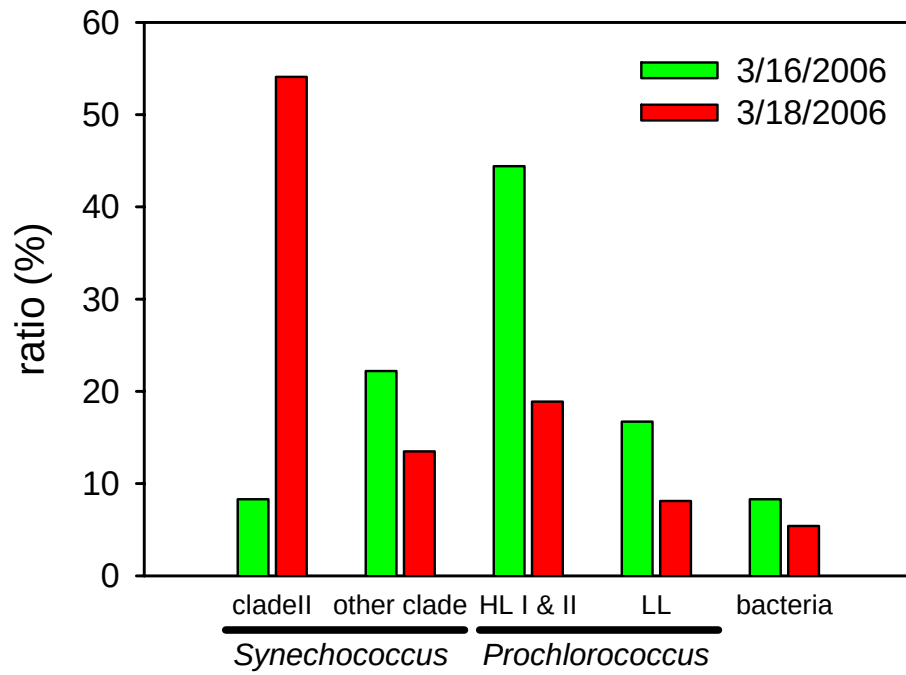


Figure 2.3.8 春季期間（2006 年）台灣東北外海貧營養鹽之黑潮主流區超微浮游植物分類群的消長情況（鍾至青、張正等，未發表數據）。

2.4 議題 4：東海海洋環流與生地化耦合數值模式的演進

研究現況的瞭解：

東海海洋環流與生地化耦合數值模式的發展，是以 Lee and Chao (2003)及 Lee et al. (2004)的水文動力模式為基礎，目前該模式已可模擬東海陸棚基礎生產力，模式月變化的趨勢與數值與 Gong et al. (2003)現場觀測結果一致 (Fig. 2.4.1)。如果模式光驅動因子改為平均可見光（即每天都是同樣的日照，沒有年變化），模擬出之基礎生產力就沒有明顯的季節性變化，冬季的生產力與夏天相似。因此，透過模式的數值模擬實驗，也證實 Gong et al. (2003)認為光限制是導致東海冬天低生產力的原因。進一步來說，該結果也顯示目前模式已有初步的能力，未來可以模擬在各式作用力下（如長江流量的改變、大氣沉降等）生地化的反應。

不過，目前的模式在模擬海水的鹽度與硝酸鹽的分布上，結果與 Gong et al. (2003)的實測結果仍有相當的差異，當模式未用觀測值微調營養鹽場時(DIN free)，基礎生產力顯著偏低 (Fig. 2.4.1)，因為表層營養鹽偏低。模式尚無法模擬出長江口往東及往南方向擴散之長江沖淡水及其高硝酸鹽的分布 (Fig. 2.4.2)，原因可能是模式目前使用的風場是月平均風，與實際的風場不同，尤其是夏天時期；除此之外，目前模式尚未將潮波及其它導致垂直混合的效應納入，可能也是造成差異的主因之一。另一方面，目前模式內使用的生態系統模式是一極為簡化的模式，僅使用氮為單一的營養鹽，及單一種大小的浮游生物。根據現有觀測資料顯示，長江沖淡水裡是以矽藻為主要優勢種，亦即水體中矽酸鹽會是控制在長江沖淡水藻華的關鍵因子，未來也需將之納入模式中。

從模式現有之模擬結果顯示，目前模式在物理及生地化的內容上，仍有很大的改進空間，在物理方面，需以實際風場並納入潮汐、波浪及垂直混合效應等因

子；在生地化方面，需使用較複雜的生態系統模式。

尚需研究之問題：

- (1) 如何模擬出長江沖淡水在東海陸棚的擴散情形？
- (2) 控制長江沖淡水在東海陸棚擴散的因子為何？
- (3) 如何模擬出東海陸棚營養鹽的空間分布？

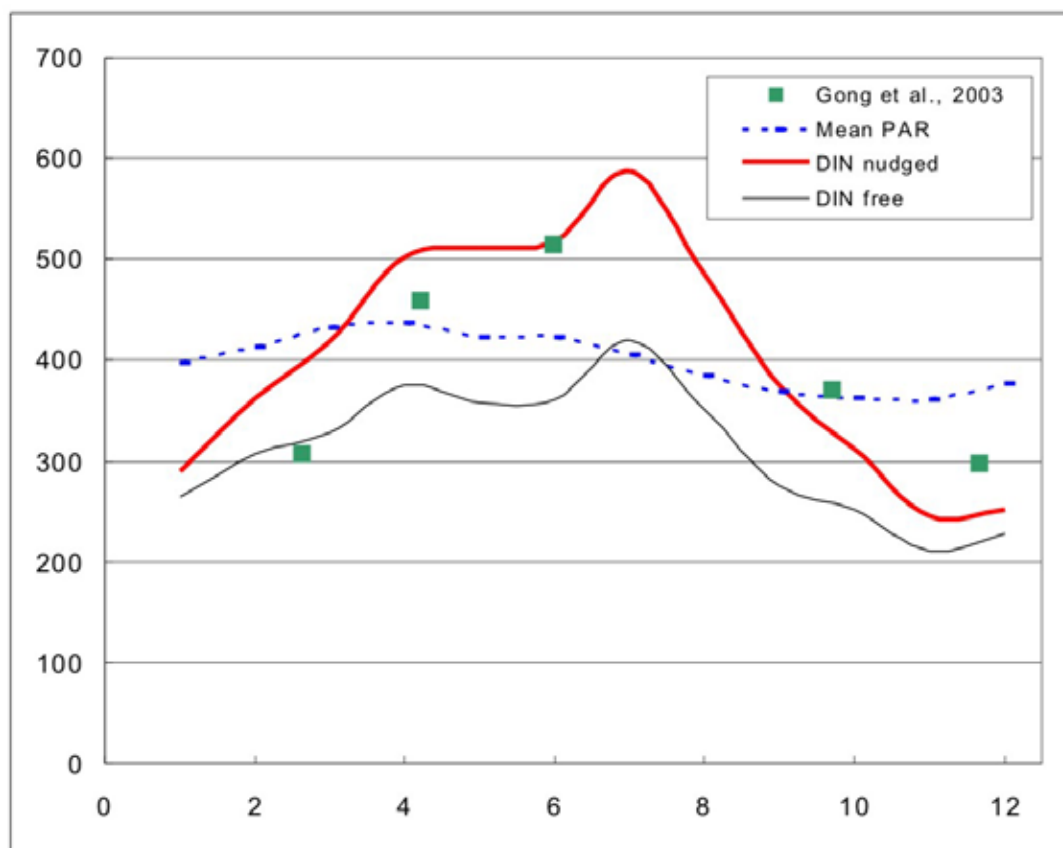


Figure 2.4.1 東海環流生地化耦合模式模擬陸棚基礎生產力月變化與實測結果之比較（after Liu et al., 2009）。

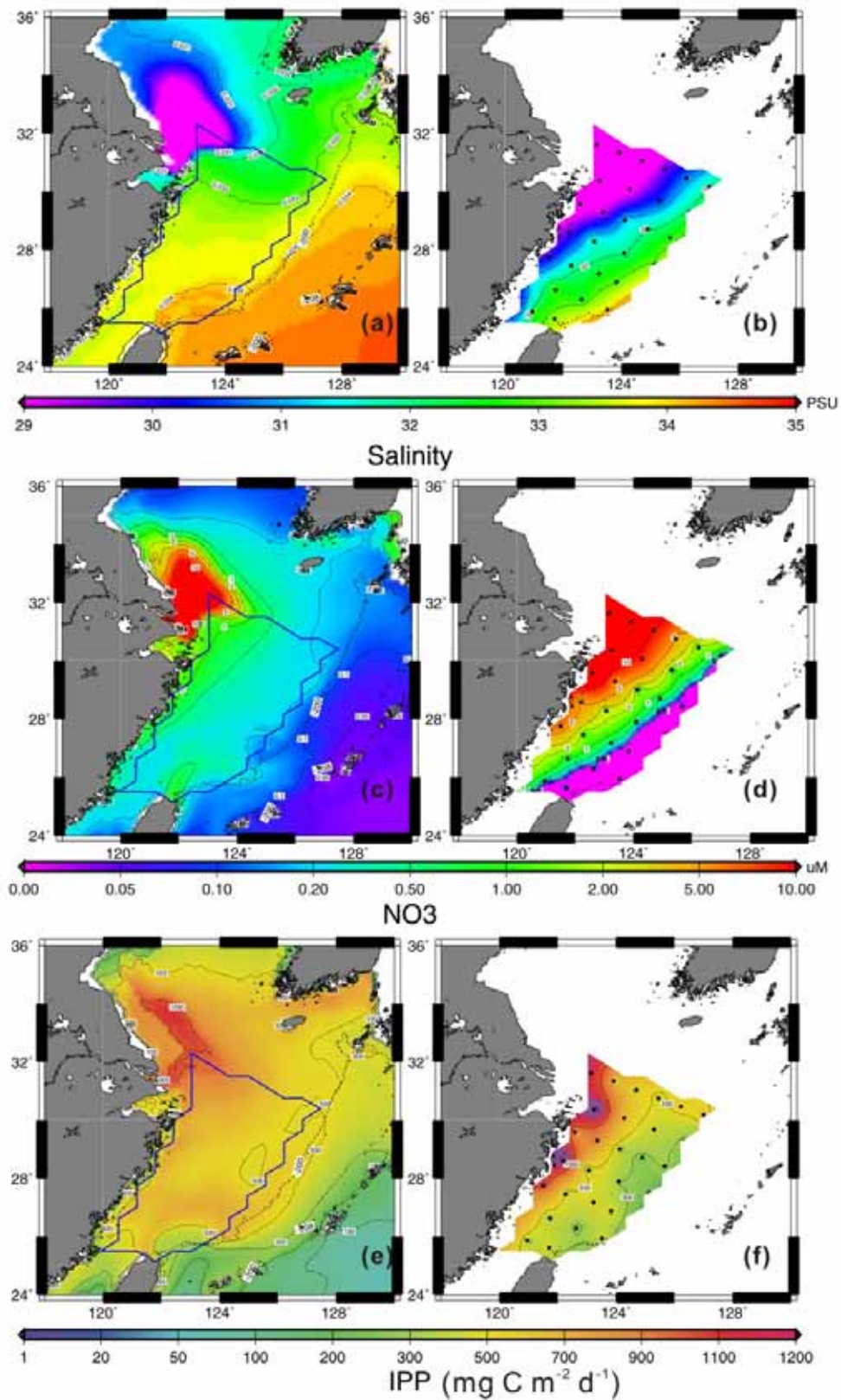


Figure 2.4.2 東海環流生地化耦合模式模擬海水鹽度 (a, b)、硝酸鹽 (c, d) 與基礎生產力 (e, f) 之空間分布結果與實測資料比較 (after Liu et al., 2009)。

三、研究策略

本期整合計畫將接續前一期的計畫目標，持續探討河川及大氣效應，對東海生地化循環及生態系食物網功能的影響，同時將長江三峽大壩正式運轉後，對東海生地化作用的影響納入。河川以長江為主，大氣以季風、颱風及亞洲沙塵暴為主。

3.1 研究海域範圍

Figure 3.1 是為本整合計畫開始執行至今的研究海域範圍，在此範圍內共設立了 42 個採樣測站。根據過去已有之成果，此研究範圍可順利捕捉到長江沖淡水之效應，並可取得東海內部不同季節時期，各種環流之水文、生地化及生態資料，達到本計畫擬達到之研究目標。另外，在東海南部（由馬祖穿越台灣海峽通過黑潮湧升至外海黑潮區）的海域範圍（Fig. 3.1），也是本計畫的研究區域，此研究海域因具有不同的海洋環境特性（有富養的河口近海、貧養的海峽、富養的黑潮湧升、貧養的黑潮），亦可用來探討不同海洋環境、極端大氣效應等對生地化循環與生態系統功能的議題，同時提供擬測試新興技術的航次需求。

3.2 研究船及航次需求

在涵蓋整個東海範圍的研究上，本期整合計畫共有 17 位同仁參與，完成 Figure 3.1 研究範圍之探測預計約需 12-15 天，擬以海研一號進行。國內目前也唯有海研一號能提供足夠的續航力與足夠可以上船的探測人員數。本期計畫預計每年需要 3 個航次，每個航次約需 15 天，合計共需 45 天的船期。這 3 個航次分別於夏天、秋天及冬天執行，夏天航次用以持續研究長江沖淡水的效應，秋天航次用以研究東北季風初期的海氣效應，冬天航次用以研究未來長江冬天輸出水量改變（長江三峽大壩的水量調整措施）的效應，以及新增研究項目需求。在東海南部測線的研究上，擬使用海研二號進行，每年需要約 40 天的船期。由於海研二號每航次可上船的人數及船內的實驗空間有限，各航次將用來進行各參與人員

所分工項目及新增項目的研究課題。

3.3 研究分工

本整合計畫的研究重點在海洋生物地球化學及生態系食物網以及數值模式上，需要具有水文化學（溫、鹽、溶氧量、營養鹽、葉綠素等）、碳化學（有機碳、無機碳、pH、總鹼度、二氧化碳分壓等）、生物生產力與消耗力（基礎生產力、群聚呼吸率、細菌生產力等）、浮游生物（細菌、浮游植物、浮游動物、仔稚魚、底棲魚等）、大氣化學（氣溶膠營養鹽與微量金屬等）以及模式（物理環流、生地化耦合、大氣傳輸）等專長之研究人員共同參與。Table 3.1 即是本整合計畫參與人員之專長及其個別之分工項目。總計畫負責各子計畫間之工作協調、航次規劃與安排、資料整合與分享、小型研討會的召開、成果的彙整與報告等。

3.4 國際合作

本整合計畫是以東海為研究海域，探討自然及人為作用對淺層海洋生物地球化學循環及生態系食物網功能影響之研究，與目前國際間的 SOLAS（Surface Ocean-Lower Atmosphere Study）及 IMBER（Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research）整合計畫規劃之研究內容同步。目前本計畫主持人及子計畫主持人劉康克教授分別是這兩個計畫的台灣代表，未來將爭取這些計畫的科學研討會至台灣舉辦，以彰顯我國海洋研究對國際的貢獻。

Table 3.1 參與研究人員分工項目表

姓名	任職機關	單位	分工項目
龔國慶	海洋大學	環態所	可見光、水文、營養鹽、葉綠素、基礎生產力
洪慶章	海洋大學	環態所	溶解及顆粒有機碳、顆粒有機碳沉降通量
周文臣	海洋大學	環態所	pH、無機碳、總鹼度
曾鈞懋	台灣大學	海研所	二氧化碳分壓
熊同銘	海洋大學	生技所	浮游植物色素及砷
蔣國平	海洋大學	環漁系	浮游植物種類組成、細菌、鞭毛蟲、纖毛蟲
張正	海洋大學	海生所	浮游植物總體基因
鍾至青	海洋大學	頂尖中心	微型浮游植物指標基因
陳仲吉	台灣師大	生物系	溶氧、群聚呼吸率
謝志豪	台灣大學	海研所	浮游動物及仔稚魚體型大小
李明安	海洋大學	環漁系	仔稚魚種類組成
蕭仁傑	台灣大學	海研所	底棲魚類種類組成
邵廣昭	中研院	生物多樣性中心	魚類DNA鑑定
陳宏瑜	海洋大學	環資系	大氣無機及有機營養鹽
蔡富容	海洋大學	環資系	大氣環流數值模式
李宏仁	海洋大學	環資系	海洋環流數值模式
劉康克	中央大學	水文所	同位素及碳—營養鹽耦合模式

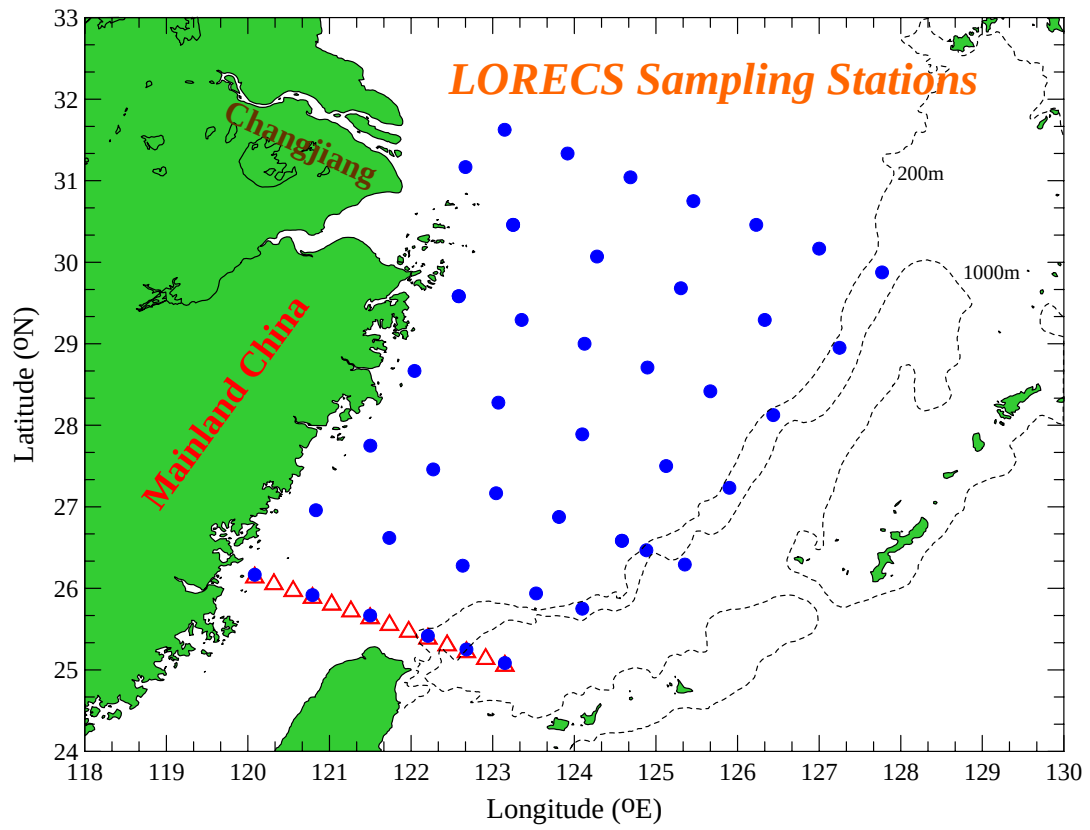


Figure 3.1 整合計畫擬定之採樣測站分布，藍色圓點是擬使用海研一號，紅色三角形是擬使用海研二號。

四、參考文獻

- Albritton, D. L. et al. (2001) Summary for policymakers, A report of working group I of the IPCC, 20pp.
- Anderson, C. N. K., et al. (2008) Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance, *Nature*, 452, 835-839.
- Auth, T. D. and R. D. Brodeur (2006). Distribution and community structure of ichthyoplankton off the coast of Oregon, USA, in 2000 and 2002 *Marine Ecology Progress Series*, 319, 199-213.
- Chang, Y. et al. (2008a) Multisatellite observation on upwelling after the passage of Typhoon Hai-Tang in the southern East China Sea, *Geophysical Research Letters*, 35, L03612.
- Chang, Y. et al. (2008b) Wintertime high-resolution features of sea surface temperature and chlorophyll-a fields associated with oceanic fronts in the southern East China Sea, *International Journal of Remote Sensing*, 29, 6249-6261.
- Chen, C.T.A. and S. L. Wang (1999) Carbon, alkalinity and nutrient budgets on the East China Sea Continental Shelf, *Journal of Geophysical Research* 104, 20675–20686.
- Chen, C.-T. A (2000) The Three-Gorges Dam: Reducing the upwelling and thus productivity in the East China Sea, *Geophysical Research Letters*, 27, 381-383.
- Chen C.-T. A et al. (2003) Continental margin exchanges. In: Fasham MJR (Ed.) *Ocean Biogeochemistry: A JGOFS Synthesis*, Springer, 53-97.
- Chen, C.-T. A. et al. (2008) Riverine input and air-sea CO₂ exchanges near the Changjiang Estuary: Status quo and implication on possible future changes in metabolic status, *Continental Shelf Research*, 28, 1476-1482.
- Chen, C.-C. et al. (2007) Hypoxia in the East China Sea: one of the largest coastal low-oxygen areas in the world, *Marine Environmental Research*, 64, 399-408.
- Chen, C.-C. et al. (2008) Effects of the Changjiang (Yangtze) River discharge on planktonic community respiration in the East China Sea, *Journal of Geophysical Research*, In press.
- Chen H.-Y. and L.-D. Chen (2008) Importance of anthropogenic inputs and continental-derived dust for the distribution and flux of water-soluble nitrogen and phosphorus species in aerosol within the atmosphere over the East China Sea, *Journal of Geophysical Research*, 113, D11303.
- Chen, Y.-L, et al. (2004) Phytoplankton Production during a Summer Coastal Upwelling in the East China Sea, *Continental Shelf Research*, 24, 1321-1338.

- Chung, C.-C. et al. (2008a) Nitric oxide as a signaling factor to up-regulate the death specific protein in a marine diatom, *Skeletonema costatum*, during events of electron flow blockage in photosynthesis, *Applied and Environmental Microbiology*, 21, 6521-6527.
- Chung, C.-C. et al. (2008b) The identification of three novel genes involved in the rapid-growth regulation in a marine diatom, *Skeletonema costatum*, *Marine Biotechnology*, In press.
- Duce, R. A. et al. (1991) The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 5, 193-259.
- Falkowski (2002) The ocean's invisible forest, *Scientific America*, 54-61.
- Gao Y., et al. (1996) Atmospheric non-sea-salt sulfate, nitrate and methanesulfonate over the China Sea, *Journal of Geophysical Research*, 101, 12601-12611.
- Gao, Y. et al. (2001) Seasonal distributions of Aeolian iron fluxes to the global ocean, *Geophysical Research Letters*, 28, 29-32.
- Gao, S. and Y. P. Wang (2008) Changes in material fluxes from the Changjiang River and their implications on the adjoining continental shelf ecosystem, *Continental Shelf Research*, 28, 1490-1500.
- Gong, G.-C. et al. (1996) Summertime hydrography and chlorophyll *a* distribution in the East China Sea in summer: Implications of nutrient dynamics, *Continental Shelf Research*, 16, 1561-1590.
- Gong G.-C., et al. (2003) Seasonal variation of chlorophyll *a* concentration, primary production and environmental conditions in the subtropical East China Sea. *Deep-Sea Research Part II*, 50, 1219-1236.
- Gong, G.-C. et al. (2006) Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effect of the Three Gorges Dam? *Geophysical Research Letters*, 33, L07610, doi:10.1029/2006GL025800.
- Hebert, P. D. N. et al. (2003) Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species, *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 270, S96-S99.
- Hsieh, C. H. et al. (2005) Distinguishing random environmental fluctuations from ecological catastrophes for the North Pacific Ocean, *Nature*, 435, 336-340.
- Hsu C.-J. et al. (2008) A criterion for identifying Asian dust events based on Al concentration data collected from northern Taiwan between 2002 and early 2007, *Journal of Geophysical Research*, 113, D18306.
- Hsu, S.-C. et al. (2008) Sources, solubility, and dry deposition of aerosol trace elements over the East China Sea, *Marine Chemistry*, In press.
- Huh, C. A. and H. Y. Chen (1999) History of lead pollution recorded in East China Sea sediments, *Marine Pollution Bulletin* 38, 545-549.

- Hung, C.-C. et al. (2008) Enhancement of particulate organic carbon export flux induced by springtime atmospheric forcing in the oligotrophic Northwest Pacific Ocean, *Marine Chemistry*, In press.
- IMBER (2005) Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research, IGBP Report 52.
- IPCC (2007) Climate Change 2007 Synthesis Report.
- Jiao, N.Z. et al. (2007) Ecological anomalies in the East China Sea: Impacts of the Three Gorges Dam? *Water Research*, 41, 1287-1293.
- Kim, H.Y. and T. Sugimoto, (2002). Transport of larval jack mackerel (*Trachurus japonicus*) estimated from trajectories of satellitetracked drifters and advective velocity fields obtained from sequential satellite thermal images in the eastern East China Sea. *Fishery Oceanography*, 11: 329–336.
- Lee, H.J. and Chao, S.Y. (2003) A climatological description of circulation in and around the East China Sea. *Deep-Sea Research Part II*, 50(6-7): 1065-1084.
- Lee, H.-J. et al. (2004) Effects of reduced Yangtze River discharge on the circulation of surrounding seas. *Terrestrial Atmospheric Oceanic Science*, 15, 111-132.
- Liu K.-K. et al. (2000) Exploring continental margin carbon fluxes on a global scale. *EOS* 81, 641-64.
- Liu, K.-K. et al. (2009) Seasonal variation of primary productivity in the East China Sea: a numerical study. To be submitted to *Deep-Sea Res. II*.
- Mantua, N. (2004) Methods for detecting regime shifts in large marine ecosystems: a review with approaches applied to North Pacific data, *Progress In Oceanography* 60, 165-182.
- Nakamura et al. (2005) Chemical characteristics of aerosols transported from Asia to the East China Sea: an evaluation of anthropogenic combined nitrogen deposition in autumn, *Atmospheric Environment*, 39, 1749-1758.
- Olivar, M. P., and A. Sabates. (1997). Vertical distribution of fish larvae in the north-west Mediterranean Sea in spring. *Mar. Biol.* 129: 289–300.
- Peng, T.-H. et al. (1999) Carbon budget in the East China Sea, *Tellus*, 51B, 531-540.
- Rice, J. (2001) Implications of variability on many time scales for scientific advice on sustainable management of living marine resources, *Progress in Oceanography*, 49, 189-209.
- Rios-Jara, E. (1998). Spatial and temporal variation in the zooplankton community of Phosphorescent Bay, Puerto Rico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46, 797-809.
- Rudnick, D. L. and Davis, C. S (2003) Red noise and regime shifts, *Deep Sea Research I*, 50, 691-699.

- Sassa, C. et al. (2006). Distribution of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) larvae and juveniles in the East China Sea, with special reference to the larval transport by the Kuroshio Current, *Fishery Oceanography*, 15, 508-518.
- Savolainen, V., R. S. et al. (2005) Towards writing the encyclopaedia of life: an introduction to DNA barcoding, *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 360, 1805-1811.
- Scheffer, M. et al. (2001) Catastrophic shifts in ecosystems, *Nature*, 413, 591-596.
- Seitzinger SP, et al. (2002) Global patterns of dissolved inorganic and particulate nitrogen inputs to coastal systems: recent conditions and future projections. *Estuaries* 25(4B):640–655.
- Shiah F.-K. et al. (2006). Effects of Changjiang River summer discharge on the bottom-up control processes of shelf bacterial growth. *Aquatic Microbial Ecology*, 44, 115-126.
- Shiah, F.-K., G.-C. Gong and C.-C. Chen (2003) Seasonal and spatial variation of bacterial production in the continental shelf of the East China Sea: a synthesis of controlling mechanisms and potential roles in carbon cycling. *Deep-Sea Research Part II*, 50, 1295-1309.
- Shim, J.H. et al. (2007) Seasonal variations in pCO₂ and its controlling factors in surface seawater of the northern East China Sea, *Continental Shelf Research*, 27, 2623–2636.
- SOLAS (2004) The Surface Ocean-Lower Atmosphere Study, Science Plan and Implementation Strategy, IGBP Report 50.
- Steffen, W. et al. (2004) *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany. pp336.
- Thomas, H. et al. (2004) Enhanced open ocean storage of CO₂ from shelf sea pumping. *Science* 304, 1005-1008
- Tsai, Y. et al. (2008) Typhoon induced upper ocean cooling off northeastern Taiwan, *Geophysical Research Letters*, 35, L14605.
- Tsunogai et al. (1999) Is there a "continental shelf pump" for the absorption of atmospheric CO₂? *Tellus*, 51B, 701-712.
- Tsunogai, S. et al. (1997) A preliminary study of carbon system in the East China Sea, *Journal of Oceanography*, 53, 9-17.
- Uematsu, M. et al. (2003) Atmospheric input of mineral dust to the western North Pacific region based on direct measurements and a regional chemical transport model, *Geophysical Research Letters*, 6, 1342.
- Wang, S.-L. et al. (2000) Carbon dioxide and related parameters in the East China Sea, *Continental Shelf Research*, 20, 525-544.
- Wong, G. T. F. et al. (1998) Excess nitrate in the East China Sea. *Estuarine Coastal*

- and Shelf Science, 46, 411-418.
- Wu, C.-R. et al. (2008) Air-sea interaction between tropical cyclone and Nari and Kuroshio, *Geophysical Research Letters*, 35, L12605, doi:10.1029/2008GL033942.
- Yan, L.P. et al. (2005) Analysis on recent status of the fishery resources in the East China Sea. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)* 24(4): 303-307.
- Yan, X.-H. et al. (2008) Impact of the Three Gorges Dam water storage on the Yangtze River outflow into the East China Sea, *Geophysical Research Letters*, 35, L05610.
- Yool, A. and M. J. R. Fasham (2001) An examination of the “continental shelf pump” in an open ocean circulation model, *Global Biogeochemical Cycles*, 15, 831-844.
- Zheng, et al. (2003) Biological resources and environmental characteristics of the East China Sea continental shelf. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai, 835pp.
- Zhou, M.-J. et al. (2008) Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang River, *Continental Shelf Research*, 28, 1483-1489.