

言，時序研究本身實具有學術價值並兼具國際意義，一般民眾、政府官員及民意代表對短期偶發性及地區性(如與台灣本身有關)的事件較為關切，故測站最好是選在領海之內但具有大洋海水性質之地，以兼顧研究工作及推廣活動。百慕達生物研究站內即設有公共關係部，聘有專職人員負責文宣、募款及各類通俗教育活動之推廣。主要工作目標是將深澀之科學成果通俗並趣味化，便於一般大眾接受及認知，並定期舉辦夏令營、實驗站開放參觀等活動，以引發民眾、私人企業、民代及政府部門各階層之關注。此一做法頗值國內日後參考。

在管理及操作層面上，百慕達大西洋時序研究例行測量之項目，國內均可執行。有些項目如營養鹽、溶氧之測量，比之國外尚猶有過之。各測量項目的正確性及準確性如能獲得國際上的認同，可直接提升數據庫之可信度。百慕達生物研究站內之正式研究員及助理均表示願意在未來與我方就測量項目進行相互驗證以互通有無。Steven Bell(資深助理)更主動表示願意在網路上提供義務性服務，解決或討論各種測量上的問題。

資料庫之建立，國內已有良好之模式可尋，如國科會海洋科學研究中心內之資料庫，以及由台灣大學海洋研究所唐存勇教授管理水文資料庫及黑潮與東海陸棚交換過程研究之資料庫。但在管理方面，對於數據提供者及使用者之政策，似有必要做更明確之規範。此外在數據品質管制方面，則需要有極具海洋經驗之專業人員擔任。在資料庫內應保存所有數據，但需註明那些數據可能會有問題，以供使用者參考。百慕達大西洋時序研究有一套電腦程式稱之為QC-window，可以自動過濾出有問題之數據，詳細內容可與該研究內之Rod Johnson聯絡。

研究人力不足及如何長時間留住基層工作人員，特別是研究助理，是所有單位均感頭痛的問題。時序研究執行一段時間後，所有的例行工作對某些人而言會變得十分單調；海上作業的併發

症-暈船，也會使許多新進人員望而卻步或中途放棄。最好的方法是鼓勵並支持研究助理獨立從事小型研究，並儘可能派他們參加各類型國內外之研討會，以建立其成就感。在增編人力方面可循百慕達大西洋時序研究所採技術人力分時作業計畫(time-share technician program)為之。該研究現有八個助理名額，其中六個是全職(薪水全由該研究計畫支付)，二名是半職(該計畫僅支付其一半的薪資)。後者另一半薪水之來源則由百慕達生物研究站對外代為分析樣品所收取之分析費中支付。

在時序研究推行之初，經驗的吸收及技術的交流實有賴國際其他時序研究測站的支持與協助。如何使這種國際(合作)關係變得具體化亦需加以考量。筆者在百慕達生物研究站訪問期間，幸遇張以本教授(Will Chang博士，美國國科會國際合作計畫亞洲負責人)，他建議我方人員應儘速主動與百慕達生物研究站內之正式研究員討論國際合作事宜。美國國科會也願意提供國際合作計畫給百慕達生物研究站以促成中美合作之實。該研究站內之D. Hansell及C. A. Carlson博士表示願意負責美方之事務，此外Fei Chai博士(美國緬因大學博士後研究員)提及其工作單位亦打算在南海進行鉅額實驗，有關詳細之內容甚至未來合作之可能性均可透過電子郵件與之聯繫。

四、結語

基礎研究，特別是海洋及全球變遷方面的研究需要長時間地投入大量金錢及人力，但是研究成果的回收卻極為緩慢同時也易遭偏重地域觀念的人士抨擊，時序研究的推展更是極端中的特例。如何有效地喚起民間及政府對時序研究重要性的認同並爭取長期(至少十年以上)的支持，恐怕是熱衷於海洋科學研究者必須面臨的另一個重要課題。此時進行海洋時序研究，就海洋基礎研究、政治、經濟及全球生態系保育等各個觀點而言皆有實質上之意義。

國際海洋古全球變遷研究 (IMAGES) 計畫簡介

黃奇瑜·陳明德*

*臺灣大學地質學系

**臺灣海洋大學應用地球物理研究所

一、前言

國際海洋古全球變遷研究(International Marine Past Global Changes Study, IMAGES)係由國際地圈-生物圈計畫(IGBP)之下的核心計畫「古全球變遷」(PAGES)及「南北半球之古氣候」(PANASH)所衍生出來，係為了解最近三十萬年來之海洋氣候記錄及機制而組織的國際海洋科學研究計畫。目前共有十一個會員國(會員數量快速增加中)，各會員國向該國政府申請研究經費，經由國際海洋古全球變遷研究科學委員會討論後組織航次，利用法國研究船Marion Dufresne(由法國極地研究所IFRTP管理)到世界各海洋目標區進行一至三個月時間的海洋岩心取樣，探討下列三項主要科學目標：1. 表層及深層海水性質的變化與全球熱量傳輸及氣候演變的關係；2. 在最近三十萬年的冰心記錄中所觀察到的二氧化碳濃度變化與海洋環流、化學、及生物活動的交互關係；3. 陸地氣候與海洋表層及深層水性質變化的關係(IMAGES, 1994)。由於國際海洋古全球變遷研究計畫所規劃的重點研究對象為最近三十萬年的高解析度岩心記錄(理想鑽探位置之沈積速率最好高於10公分/千年)，因此採取岩心位置以具備高沈積速率條件的大陸邊緣或高生物生產力區域優先考慮。

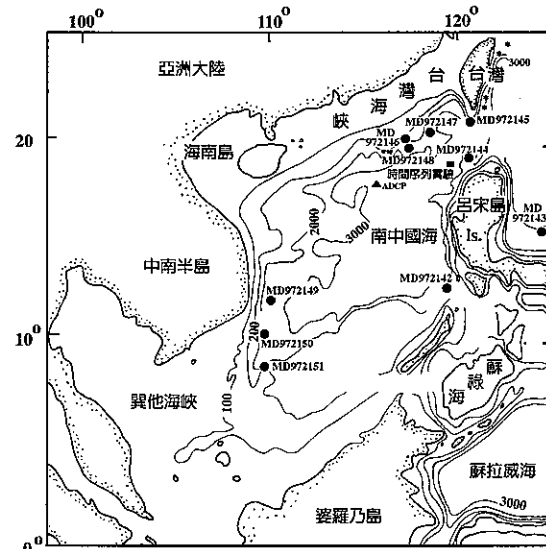
國際海洋古全球變遷研究自一九九五年以來已經組織了三個航次，第一航次(一九九五年五月廿九日到七月十一日)進行北大西洋及挪威海

古海洋研究；第二航次(一九九六年十月二十日到十一月廿五日)進行南部非洲大陸兩側南大西洋及印度洋水團交換及湧升流區之古氣候/古海洋研究(Chen et al., 1998a)；第三航次(一九九七年五月一日到六月三十日)進行南太平洋澳洲-新幾內亞-蘇祿海-南海之古氣候/古海洋之研究(Chen, 1998b)。第四航次則於一九九八年六月五日至八月一日進行南太平洋印尼水域到西菲律賓海及沖繩海槽之古氣候/古海洋之研究。我國在國科會的資助下於一九九六年正式加入國際海洋古全球變遷研究計畫，並於一九九七年六至七月主導第三航次Leg II於西太平洋與南海的岩心採取工作，及積極參與第四航次Leg III在臺灣東南、東北海域及沖繩海槽海上作業及岩心分析(圖一)。國科會國際海洋古全球變遷研究整合型計畫，於一九九七年八月至一九九八年七月間完成執行五個子計劃，自一九九八年八月至一九九九年七月將擴大執行九個子計劃。(表一)

二、研究計畫背景

全球變遷研究起於二十世紀末，科學界驚覺人類居住的地球環境正發生急速變化：氣候暖化、海平面上升、冰川消退、雨林破壞、酸雨、南極上空臭氧層破洞等等。引起這些變化的原因，有因地球在天體運行的軌道變化，也有人為的破壞因素，及各種機制及因素的回饋作用。然而這種地球環境的變化並非始自今日。為了預測地球未來可能的環境變化，我們必須了解地球過

去數十萬年的自然變化記錄及引起變化的機制。為此科學界發起了古全球變遷研究 (PAGES)。自然界能夠紀錄過去地球氣候、環境的材料包括樹輪、珊瑚、鐘乳石、黃土、湖泊、冰層及海洋沈積物。



圖一 IMAGES III(●)及IV(*)航次岩心、南海季風實驗ADCP(▲)；時間序列實驗(■)；沈積物捕獲器實驗(trap)(△)位置圖(等深線：公尺)

表一 IMAGES整合計畫於一九九八年八月至一九九九年七月向國科會申請執行之子計畫

計畫項目	主持人	服務單位系所	職稱	計畫名稱
子計畫一	陳明德	國立臺灣海洋大學應用地球物理研究所	副教授 總主持人	南海晚第四紀之表層環流變化
子計畫二	黃奇瑜	國立臺灣大學地質系	教授	過去三十萬年以來的南海及西菲律賓海之古季風與古海洋變遷(二)
子計畫三	魏國彥	國立臺灣大學地質系	教授	南海晚第四紀氧同位素地層學及古海洋學研究(二)
子計畫四	劉平妹	國立臺灣大學地質系	教授	南海岩心自上次冰期以來之孢粉化石分析(一)
子計畫五	陳中華	中央研究院地球科學所	副研究員	IMAGES南中國海及其週邊海域岩心火山噴出物之研究
子計畫六	李德貴	中央研究院地球科學所	研究員	南海岩心之古地磁學研究及其在古環境變遷上的意義(二)
子計畫七	洪崇勝	中央研究院地球科學所	助研究員	MD972143岩心之磁生物地層研究
子計畫八	余英芬	國立臺灣師範大學地球科學系	副教授	冰期至間冰期之南海古海洋顆粒通量之變化(一)
子計畫九	袁彼得	國立中山大學海洋地質及化學研究所	副教授	IMAGES南海北坡沈積物來源研究

台灣位處西菲律賓海及南海交界處，台灣東部海域亦處在黑潮的流經路徑上。因此分析南海及台灣東部海域的深海岩心記錄，是我國進入國際海洋古全球變遷—台灣附近 IMAGES 研究之捷徑。由於南海特殊的地理環境深受亞洲季風氣候的影響，因此該研究計畫亦與亞洲古季風研究關係密切。

南海為西太平洋最大的邊緣海，位於太平洋、印度洋以及歐亞陸塊之間。南海無論就表面海流的格局、表層生物生產力、風驅湧升流的發生，皆受到東亞季風的影響，並呈現出邊緣海的特性及放大效應。其沈積速率(冰期：15-80公分/千年，間冰期：10-60公分/千年)(Wang et al., 1995)比開放大洋的沈積速率(1-3公分/千年)高出許多，為高分辨率的古海洋、古氣候研究提供極佳的研究條件，符合國際海洋古全球變遷研究所要求百年至千年解析尺度的良好記錄。上次冰盛期時海水面下降120公尺，西太平洋邊緣海大量出露成陸，尤其以位於南海西南的巽他陸棚(Sunda Shelf)為最，其出露面積(180萬平方公里)相當於現今南海大陸棚面積的一半(圖一)，使得南海成為僅餘東北端的呂宋海峽與大洋

相通的袋狀海灣。東亞地區海陸格局的大幅改變，加上青康藏高原雪線下降，其地形效應及反射效應雙重增強，造成極端的氣候環境，使得東亞季風於冰期更加發達，華北黃土高原的古氣候記錄(An et al., 1990, 1991)，以及南海北坡的古海洋紀錄與台灣的古湖泊記錄，皆顯示東北季風於冰期更加發達(Huang et al., 1997a; Wei et al., 1997)，並且可由此建立東亞地區上次間冰期以來中、低緯度海陸的古氣候紀錄對比。

(一)亞洲古季風

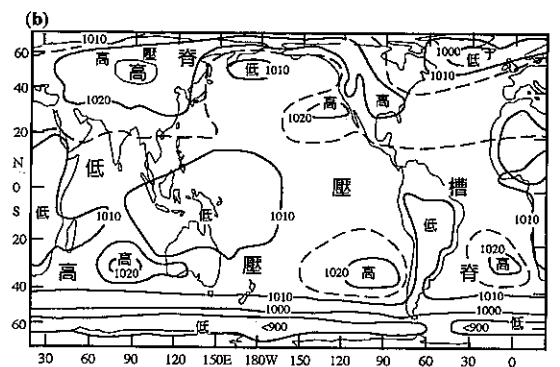
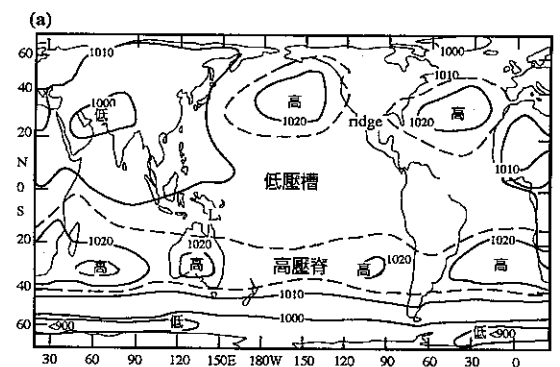
南海北坡與台灣島氣候一樣深受東亞季風影響。季風是亞洲大陸氣象上的特徵，它是由於大陸和海洋間在冬夏季增暖或冷卻差異所引起的風系。季風的範圍和強度決定於大陸和海洋相對的面積大小、大陸的高度及大陸所在的緯度。在冬季時北半球歐亞大陸存在著蒙古高壓，相對的太平洋區為低壓區，此時亞洲東部盛行偏北風，是為冬季季風；相反地在夏季時，大陸上原來的高壓區變成低壓區，而太平洋相對地為高壓區，此時大陸東部、南部、西部盛行偏南風，即為夏季季風(圖二)。由於赤道低壓帶有明顯的季節性變化，夏季時位於北半球，冬季時位於南半球，因此熱帶輻合帶(ITCZ)在中國大陸華北至印尼間於夏季至冬季間移動。

季風的強度及持續時間的長短，影響亞洲及其邊緣海的氣候至巨，其中對研究古海洋/古氣候方面最重要的影響包括：1. 冬季風盛行時海水表面溫度降低，乾冷空氣由北向南傳送；2. 夏季風盛行時，熱及水蒸氣由南往北輸送。南海及印度洋是兩個受季風影響最明顯的海區。由於南亞緯度低，並且有青康藏高原的存在，南亞季風的特點是夏季季風比冬季季風強而明顯，印度洋的夏季季風即為特徵；反之亞洲東部處在世界上最大的歐亞大陸上，又面臨廣闊的太平洋，受海陸熱力差異的影響也最大，因此冬季季風及夏季季風均極為明顯。由於南海及印度洋在季風型態及控制因素的差異，兩地的古季風與古海洋研究特

性也就有其獨特性，也就是說印度洋是研究南亞古夏季季風史古海洋/古氣候變化的良好場所(Clemens and Prell, 1990)，而南海則是研究東亞古夏季季風及古冬季季風史古海洋/古氣候變化的極佳場所(Huang et al., 1997b)。季風的強度除了與海陸位置有關以外，它也和地球接受太陽熱能的外在控制因素有關，故季風的強度與地球古氣候的變化息息相關。國際海洋古全球變遷研究計畫在南海取得的長岩心(平均34.5公尺長)，可據以探求三十萬年以來南海古季風記錄的訊息。這些訊息可與不同的古氣候記錄，如黃土(An et al., 1990, 1991)、冰川(Thompson et al., 1989)、湖泊(Jarvis, 1993; Huang et al., 1997b)資料相比較，以求知古季風強度變化的機制。

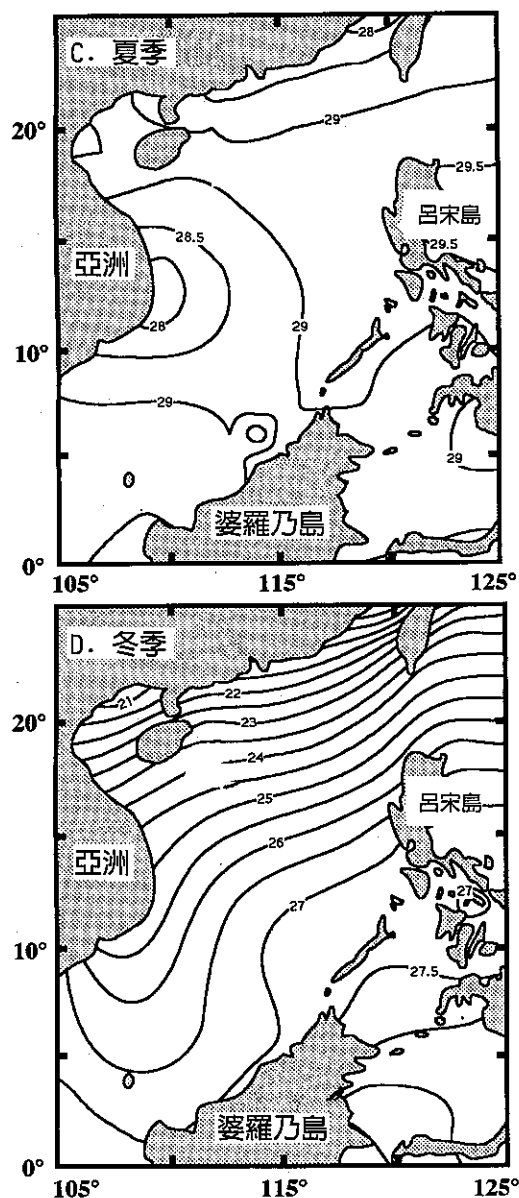
(二)現今南海水文與季風

夏季時西南季風盛行，南海全在28-29°C之間



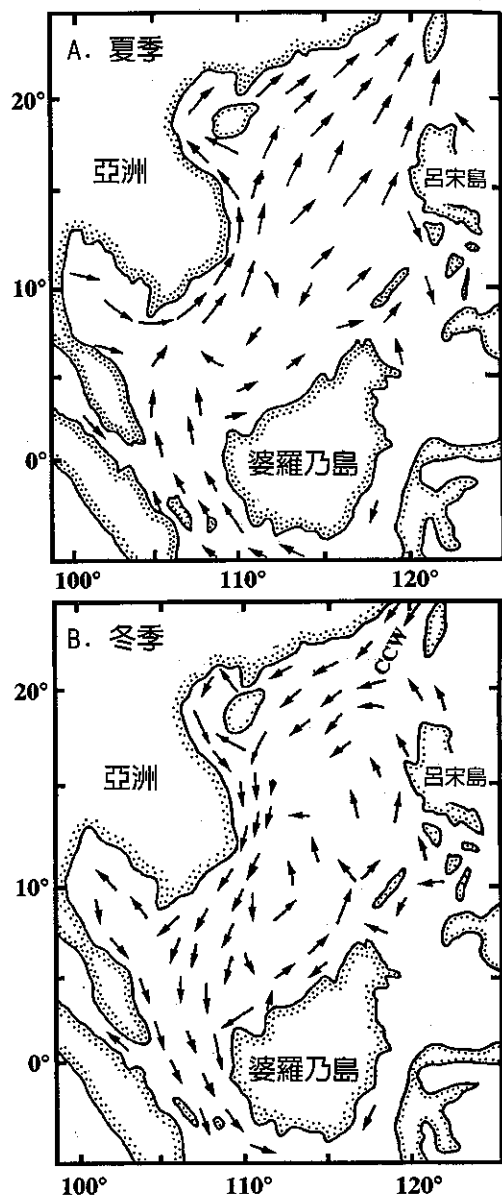
圖二 海平面大氣壓力圖(a:夏天七月; b:冬天一月)(Tomczak & Godfrey, 1994)

(圖三)，同時印度洋表層水經由巽他海峽入侵南海西南部(圖四)，在越南東南陸棚區西南季風引起小規模湧升流，湧升流核心的表面海水溫度比外緣溫度降低 0.5°C (圖三)。夏季時南海南部及太平洋暖池區由於大量海氣蒸發形成低氣壓中心，



圖三 南海冬夏季表面溫度圖 (NOAA, 1994)

並常發展成颱風，颱風帶來大量雨量，使得台灣及大陸東南陸源侵蝕量大增；侵蝕下來的陸源物質最後被帶到南海陸坡；冬季時蒙古高壓引起東北季風，冷風到達南海北坡，造成海表溫度(SST)急速下降到 $20\text{--}24^{\circ}\text{C}$ ($18\text{--}20^{\circ}\text{N}$ 間，圖三)，東北季



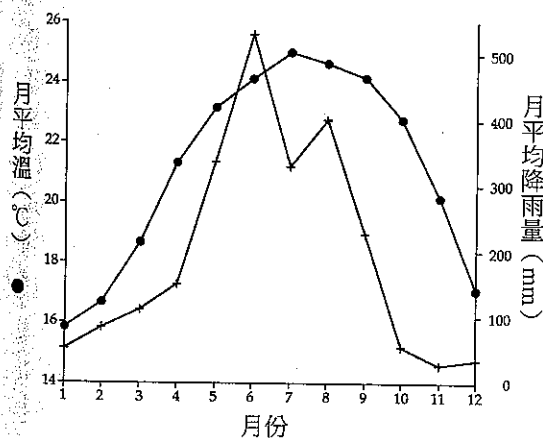
圖四 南海表層水循環圖 (Chen et al, 1985)

風源自大陸，空氣乾燥，造成中國東南及台灣中南部的乾燥季節(圖五)。強勁的東北季風使得南海北坡的混合層變厚($80\text{--}100\text{m}$)，有利於營養鹽之充分被利用，故而生產率可能較夏季為高。東北季風盛行時，南海表層海表溫度的梯度在北坡較之南坡為大，到北緯十度以南，海表溫度仍保存在 27°C ，與夏季相差 $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ 而已，但北坡的季節溫度差可達 $4\text{--}6^{\circ}\text{C}$ (20°N 以北)。冬季時黑潮較容易經由呂宋島北端入侵南海的東北部(Fang and Yu, 1981; Shaw, 1991)，夏季時黑潮大致沿著北呂宋海槽-呂宋火山脊北上，經由台灣東部進入沖繩海槽。

由於南海北坡較之南坡更受現今東亞季風之影響，因此南海北坡最適合於研究過去三十萬年以來因地球氣候的改變，而引起的東亞季風變化與趨動力；而南海南坡位於西太平洋暖池的邊緣(圖六)，如果暖池在過去三十萬年有擴大或縮小面積的變化時(Thunell et al., 1994; Martinez et al., 1997)，則南海南坡因位居最敏感的暖池邊緣，因此亦成為研究暖池穩定性的最佳場所之一。

三世界暖池穩定性

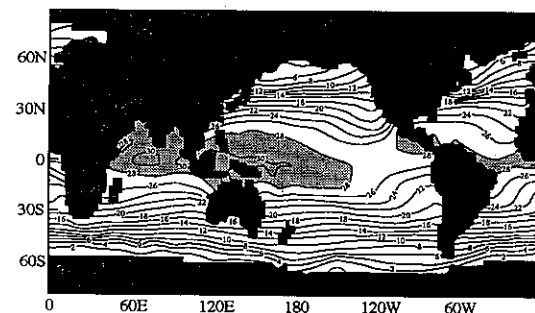
探討近三十萬年之全球古氣候變化及控制機制，為國際古全球變遷研究中重要項目之一。南海為西太平洋暖池的一部分(圖六)，其海洋環境



圖五 台灣中部平均月溫及降雨量 ●：月溫；+：降雨量(Chi, 1969)

變化對低緯度地區甚至對全球的氣候影響均扮演重要角色。例如在年間氣候變化的時間尺度內，西太平洋暖池海水表面溫度及溫躍層深度變化是為聖嬰-南方振盪(ENSO)現象之重要特徵。此外南海同時位於亞洲大陸與太平洋之交界，其對亞洲季風強度之影響與交互作用，亦對東亞地區之區域氣候狀況，例如溫度及雨量的分布等，有決定性的影響。

對最近一次冰盛期時間斷面的岩心微化石群變化的研究指出(Thunell et al. 1994)，西太平洋暖池的面積與海水表面溫度狀況均與現代狀況類似。此結果似乎顯示暖池的氣候不受兩極冰川體積大小變化的控制。但另一方面由赤道區高山冰川下降的高度及由湖泊岩心的花粉化石分析，卻又指示在末次冰盛期(LGM: 18,000-20,000年)時，即使在赤道區的大陸上也有明顯的溫度降低(Rind and Peteet, 1985)。這種在末次冰盛期時陸地溫度降低而海洋海表溫度不降低的差異，至今尚未有合理解釋，或許古海洋學者對末次冰盛期時暖池範圍有嚴重盲點，尚待研究。國科會推動之國際海洋古全球變遷研究本計畫的研究重點之一，將是分析採自南海-西太平洋保存度良好之高沈積速率岩心記錄，利用浮游有孔蟲化石群及穩定同位素資料，重建西太平洋暖池過去三十萬年來之表層海洋環境變化，並與其他可能的暖池氣候驅動營力相比較，以明瞭暖池氣候之變化動



圖六 海洋表面年平均溫度大於 28°C 以上為暖池區 (Tomczak & Godfrey, 1994)

力。

海洋在熱量傳送及調節上所扮演的角色，在全球氣候演化上是極為重要的。控制印度—太平洋穿越流的印尼群島，即為控制所謂「全球運輸帶」的熱量回流重要峽口。此峽口複雜的海底地形、冰期—間冰期海水面升降、及區域季風與信風強度與方向等因素的交互作用，應是控制本區域表層環流格局的重要因素。由於溫躍層深度係指示海洋表層水熱含量的良好指標，因此利用浮游有孔蟲化石群及穩定同位素資料，重建南海—西太平洋區域之溫躍層深度在過去三十萬年來之時空變化，將有助於了解印度—太平洋穿越流的流量及方向變化對暖池氣候的影響。

四、深洋底流循環及地球化學

深洋底流的生成、流動路徑及底流年齡程度影響著深洋底流的化學性質，也是鈣質化石保存的重要因素。由於底水老化，溶蝕性增強，使得碳酸鹽類沈積物在北太平洋洋底的分布不像在北大西洋來得廣泛及完整，以致妨礙了北太平洋古海洋學研究的發展。而位於西太平洋陸緣的南海海盆，因其與開放大洋的主要交換管道為水深二千二百公尺的呂宋海峽 (Broecker, 1986; Gong *et al.*, 1992)，約略與太平洋中／深層水的界限相近。現代的水文觀測也顯示在呂宋海峽東、西兩側的水團，在水深二千公尺以下的基本性質非常接近 (Gong *et al.*, 1992)，所以理論上應可利用南海海盆深度大於二千二百公尺的沈積物，間接地用以探討北太平洋中層（深層）水團性質隨時間而改變的情形，尤其是長時間尺度的冰期—間冰期氣候循環，是否也像北大西洋深層水 (NADW) 因應氣候變化，而有產量上的增減，或流通狀況的差異等等，都是有待進一步研究的重要課題。此外最近的研究指出，鄂霍次克海在冰期時可能成為北太平洋中層水的主要來源 (Ohkouchi *et al.*, 1994)，是否此一變化也在底棲生物殼體的地球化學性質留下記錄，南海海盆的沈積物亦可提供這方面的驗證。

五、南海南、北坡及呂宋海峽峽口古海洋的比較

上次冰盛期海水面下降一百二十公尺，西太平洋邊緣海大量出露成陸，尤其以位於南海西南的巽他陸棚為最，其出露面積 (180萬平方公里) 相當於現今南海陸棚的一半，使得南海成為僅餘東北端的巴士海峽與大洋相通的袋狀海灣。東亞地區海陸格局的大幅改變，亦造成極端的氣候環境，使得冬季風氣候於冰期更加發達，華北黃土高原的古氣候記錄 (An *et al.*, 1990)，以及南海北坡的古海洋紀錄 (Huang *et al.*, 1997a, b)，皆顯示東北季風於冰期更加發達。目前已有研究藉由中國黃土紀錄與格陵蘭冰心記錄的對比，建立古全球變遷研究計畫中 PEP II 和 PEP III 剖面間，以西風噴射流為遙連繫 (teleconnection) 的互動關係。此外就 PEP II 截線而言，南海由於比鄰西太平洋暖池及素有「第三極」之稱的青康藏高原，對於南北半球高緯度極區的遙連繫也扮演樞紐般的重要角色。

藉由浮游性有孔蟲組成化石群所推算的古溫度，顯示赤道西太平洋自上次冰盛期以來溫度變化極小 ($< 2^{\circ}\text{C}$) (Thompson, 1981; CLIMAP Member, 1981; Thunell *et al.*, 1994; Ohkouchi *et al.*, 1994)。類似的南海北部及東南部古海溫研究，顯示南海於冰期冬季表水溫度顯著的降低，從而造成季節性溫差加大 (北部 $9-10^{\circ}\text{C}$ ，東南部 $6-8^{\circ}\text{C}$) (Wang and Wang, 1990; Huang *et al.*, 1997a)，表層生物生產力亦大幅提升 (Thunell *et al.*, 1992; Huang *et al.*, 1997a, b)。上次冰盛期以來，儘管赤道西太平洋的暖池以及蘇祿海皆維持於穩定的高溫，南海南部於上次冰期冬季所呈現的顯著低溫，迥異於現今小於 2°C 的季節性溫差，這個現象勢必改變現今以南北方向為主的溫度梯度變化格局，在熱帶地區南海於冬季的顯著降溫扮演「冷池」的角色，這樣的轉變勢必對於世界環流產生直接的影響，進而對於聖嬰現象的驅動，全球熱量、溼氣的供應產生重要的效應。我們可以合理

地假設：由於冰盛期南海所呈現袋狀外型，僅東北一隅與大洋相通，加上東北季風加強，使得南海內部表層洋流因而強化，北方的冷水是否因而南下？進而促使湧升流作用增強，次表層水上升？與此同時太平洋溫帶水團南移 (Thompson, 1981)，以及來自北方的中國大陸沿岸流是否會加強對南海的影響 (Wang and Wang, 1990)？

現有的南海古海洋研究明顯地偏重於南海北坡，但有限的南坡資料卻又呈現與北坡有極大的不一致性。因此南海南、北坡間古海洋／古氣候的比較極為迫切，以便能了解對熱傳送及建立南海季風與海洋水文循環間的完整體系，也才能去了解南海四週大陸所呈現的古氣候變化意義。

黑潮源自北赤道流，為高溫高鹽的太平洋西邊界流。它流經台灣東側海域後進入沖繩海槽到日本本洲東南。黑潮古海洋／古氣候的研究比南海地區為少。由於黑潮在進入台灣東部海域之前，甚少與大陸陸棚水交換，因此其海洋性格較為穩定。黑潮是否受到亞洲季風影響以及是否在冰期—間冰期全球氣候改變下，仍然保持其高溫、高鹽及表層貧營養鹽下的特性，是 IMAGES 第四研究航次 (圖一) 的目標工作之一。由於黑潮源自暖池區，因此在呂宋海峽兩側之古氣候／古海洋分析，將可顯示暖池與季風兩者對台灣地區古環境變遷下的角力關係。

三、研究目的與方法

(一) 建立高解析度岩心地層與年代對比

精準之地層與年代對比為古海洋岩心記錄分析之基本工作。就本研究項目的重要性而言，由於國內外近年來有愈來愈多最近數萬年的南海古海洋岩心記錄發表，這些記錄的綜合解釋與比較，及與其他海域之古海洋記錄的進一步比對，應為未來數年內南海古海洋研究的首要工作。不同岩心記錄的交互比較均有賴於精確的時間地層或年代建立。本計畫除將利用岩心中浮游或底棲性有孔蟲的氣同位素比值 ($\delta^{18}\text{O}$) 曲線，與

SPECMAP STACK (Imbrie *et al.*, 1984; Martinson *et al.*, 1987) 的全球氣同位素綜合時間尺度作對比，以建立初步的時間地層模式之外，尚將依據登船與駐岸研究所產生之古地磁、環境磁學、和岩心反射色資料 (Chen, 1998b)，進行進一步的修正與對比。由於南海之邊緣海特性，沈積物之總有機碳含量和碳酸鹽含量變化除受局部之生物生產力與深海之氧化-還原與碳酸鹽保存度等因素控制外，尚受伴隨冰期—間冰期變化所產生的海面升降控制之陸源沈積物輸入因素影響 (Wang *et al.*, 1995)。因此總有機碳含量和碳酸鹽含量資料，亦可提供南海岩心之區域性地層連比訊息。對最近三十萬年之岩心記錄而言，鉍系定年法將提供另一獨立的年代校準依據。西太平洋地區自晚第三紀以來頻繁的火山活動所產生的火山灰層記錄，將提供獨立於上述岩心資料所建立的年代模式之進一步校對。

(二) 末次冰盛期之南海海洋環境與洋流格局

自 CLIMAP (1981) 首次利用海洋微化石資料重建全球末次冰盛期 (LGM) 之海水表面溫度以來，陸域與海域資料對低緯度地區在最近一次冰盛期之降溫程度一直存在不同的解釋，乃至無滿意之解決方案。陸域資料 (Rind and Peteet, 1985) 根據花粉化石所推測的植被變化顯示有大幅度之溫度下降達 $5-6^{\circ}\text{C}$ ；然而海域資料依據微體化石組合或穩定同位素證據所計算之變化卻僅 $1-2^{\circ}\text{C}$ ，或無變化，甚至相反變暖 (Prell, 1985; Broecker, 1986; Stott and Tang, 1996; Patrick and Thunell, 1997)。最近珊瑚化石之氧穩定同位素或鋇／鈣比資料則支持陸域資料之大幅溫度下降解釋 (Guilderson *et al.*, 1994)。另一方面全球氣候模式結合海洋熱量輸送之計算亦支持陸域資料之解釋。由於 CLIMAP 之溫度估測所依據之方法、岩心頂部樣品與現代水文資料均需重新檢討，因此區域性之詳細研究，例如南海地區，提供了極佳的機會以再次檢驗最近一次冰盛期之海洋狀況。新岩心頂部與水文資料庫所建立的西太平洋轉換方

程，配合精確之AMS C-14定年，國際海洋古全球變遷研究之岩心樣本將提供新的南海末次冰盛期之海水表面溫度資料。烯酮類不飽和脂肪酸含量之古溫度指標UK-37 (PrahI and Wakeham, 1987; Pelejero and Grimalt, 1997) 和浮游有孔蟲之氧穩定同位素資料，將提供獨立於傳統微體化石估測的證據。此外南海末次冰盛期之生物生產力估測資料，將有助於了解區域之海洋環境與洋流格局變化。除浮游有孔蟲化石群、碳氧穩定同位素、烯酮類不飽和脂肪酸含量資料提供古生物生產力估測外，花粉化石組合提供陸地氣候之雨量與溫度，和海洋氣候連繫訊息；ExcessTh-230將可提供精確之有機碳、碳酸鹽、蛋白石、和陸源沈積物等沈積物組成通量於最近一次冰盛期時之變化估算；黏土礦物組合變化將可用來指示南海於冰期-間冰期循環時是否有不同的沈積物來源。

三、南海最近一次冰消期之高解析度紀錄

最近一次冰消期 (Termination I) 代表了從上次冰盛期以來全球氣候暖化的歷史。由於最近一次冰消期 (距今一至二萬年) 之岩心記錄可利用AMS C-14定年法精確的估測出絕對年代，因此在本時間尺度之高解析度岩心記錄將可被用在不同氣候之驅動營力—反應的時序關係的詳細研究。例如於格陵蘭冰心可清晰分辨的Younger Dryas 和Bølling-Allerød 事件 (Johnsen *et al.*, 1992)，可否表現於南海之古海洋記錄？其時序關係為何？南極大陸之冰心記錄於相同事件中表現出與格陵蘭冰心相反之氣候變化趨勢，同時領先北半球之氣候暖化達一千至一千五百餘年 (Jouzel *et al.*, 1995)，此現象是否可在南海之表層海洋-古季風氣候記錄中被發現；本現象在其他的古海洋指標的表現為何？印度洋夏季季風記錄 (Sirocko *et al.*, 1996) 所顯示的南北半球氣候影響之混合訊號效應，是否可與東亞季風氣候記錄比較？由岩心高低頻磁感率和S比值所顯示的風成磁性礦物之通量及種類變化，可否更敏感的紀錄東亞季風於冰消期的變化？與全球氣候變化之時序關係為何？

四、東亞季風氣候與高緯地區氣候之遙相關性研究

近年來為數眾多的高緯區域冰心 (GRIP Members, 1993; Dansgaard *et al.*, 1993) 與北大西洋海洋岩心記錄 (Bond *et al.*, 1992; 1993; Bond and Lotti, 1995) 研究顯示，高緯氣候與冰川系統於最近一次冰期 (氧同位素Stage 2-4) 呈現十分不穩定之快速變化現象 (Dansgaard-Oeschger Cycles / Heinrich Events)。這快速氣候變化現象與全球其他區域之氣候變化關係尚不明瞭。然而最近已有相當多的報告指出其他地區，包括低緯度海洋，也呈現類似的反應。南海之高沈積速率岩心記錄，極適合用來探究此一問題。就行星氣候尺度而言，南海的冬季季風系統與西伯利亞高氣壓與西風帶之平均緯度位置相關；此二氣候系統又與北大西洋之冰川分布與海水表面溫度狀況有關。氧同位素Stages 2-4這一時段的南海表層環流所表現的冬季季風變化，將值得與冰心或北大西洋之高解析度岩心記錄作詳細的比較，以了解南海在Dansgaard-Oeschger Cycles / Heinrich Events的變化情形。浮游有孔蟲化石群、UK37、有孔蟲穩定同位素所指示的海水表面溫度變化，將是重要的比對指標。同時為更深入的了解不同浮游有孔蟲群組合、數量、和穩定同位素變化在現代南海海洋季節性循環中所代表的意義，浮游生物拖網與沈積物收集器的置放，與所收集的浮游有孔蟲社群與穩定同位素分析，將有助於岩心資料所反映的季節性狀況的解釋。應用這些現代觀測資料於岩心之多種浮游有孔蟲同位素分析，將可進一步的了解南海在某一特定時段的表層海水之層化程度。

五、南海氣候於全新世和最近一次間冰期 (MIS Stage 5) 之穩定性

最近一次間冰期 (Stage 5) 之氣候狀況及穩定度可作為全新世-現代氣候演變之類比。冰期氣候所具有的快速氣候變化特徵是否係冰川系統的內部慣性反應，或是氣候系統的擬似週期性變化？最

近一次間冰期之氣候變化史的重建是否有助於了解氣候系統在冰川體積較小的狀況下的變化型式與頻率？南海的高解析度長岩心記錄研究將提供上述問題之部分資料與證據。然而無論是海洋岩心或陸地的Stage 5氣候記錄，均面臨地層與年代模式建立困難的問題。國際海洋古全球變遷研究中心南海岩心由於具多種的時間地層控制方法，將使該時段的絕對時間估測準確度大為提高。本計畫將綜合多種古海洋指標：浮游有孔蟲化石群、UK-37、有孔蟲碳氧穩定同位素、環境磁學參數、和Excess Th-230等，據以了解本時段之海-陸環境變化史。

除上述五項整合型科學目標外，部分同仁將投注心力於黑潮二百五十萬年來長期變化史的岩心 (MD972143) 的磁地層學、火山灰地層學、與生物年代學研究；或在本年度計畫完成之後，延續第二航次位於本吉拉洋流之岩心 (MD962085) 的鏷 (Pa)、釷 (Th)、鈾 (U) 元素分析。總計畫主持人將負責為所有國際海洋古全球變遷研究之岩心分析資料建立資料庫，所有資料將可自網際網路讀取，並將以密碼保護，在資料正式發表以前僅供國內參與本計畫同仁使用。總計畫並將支援海洋科學研究中心 (CORE) 在海洋大學所設立的岩心實驗室的採樣服務工作，以確保本計畫岩心樣品的適當保存，提供國內相關研究同仁工作的便利。本計畫之研究成果將發表於一九九八至一九九九年間所舉行的相關國際學術會議，如一九九八西太平洋地球物理年會，並將於國際期刊正式發表。

四、配合研究

正確的国际海洋古全球變遷研究岩心分析資料解釋，需要了解南海地區與黑潮流經路徑區域的現今水文資料。因此本計畫將與南海季風實驗及最近成立的國科會海洋科學研究中心研究項目 (南海時間序列實驗) 積極配合，進行南海東北部沈積物捕獲實驗與浮游拖網。

IMAGES第三航次在南海得到七支高品質之長岩心 (圖一)。MD972148為高沈積速率 (估計為50-70公分/千年)，是重建南海北坡十萬年以來古海洋史的極佳材料。初步Uk37分析顯示此岩心 (19°47.8'N / 117°32.56'E, 水深2830m) 不僅受到全球冰期-間冰期氣候變化邊界條件控制之外，它更與季風變化、強度及黑潮入侵有極大關係。為深入了解三萬年以來南海北坡之高解析度古海洋，有必要除了分析岩心記錄外，更必須回頭對現生浮游有孔蟲在南海北坡的生態 (包括種、數量、生產量) 和有孔蟲殼體氧、碳同位素值與季風關係先了解清楚，才能正確解釋此岩心的古海洋 / 古氣候分析資料。因此配合國際海洋古全球變遷研究，南海季風實驗及海科中心Time-Series之船期及實驗站 (圖一)，擬對研究區實施一年期六至十二次拖網 (視海科中心船期而定) 及施放二年期沈積物捕獲器。六個深度 (5m, 25m, 50m, 100m, 250m及400m) 之拖網 (200 um網孔) 所得浮游性有孔蟲中的四個種 (*G. ruber*, *G. sacculifer*, *N. dutertrei*及*G. menardii*) 將進行氧、碳同位素分析 (利用台大地質系質譜儀)，以了解一年期南海北坡上層水中現生浮游有孔蟲同位素值與水文及季風之關係。由於船期限制 (配合海科中心) 拖網時間可能只有六次，故擬同時施放FP-III沈積物捕獲器一組 (2個深度)，以了解包括生物與非生物沈積通量與季風、水文的關係，並利用一年期之沈積物進行Uk37-溫度迴歸曲線校正，以應用於回推南海地區之古溫度。沈積物捕獲器施放為研究現在海洋沈積通量的重要實驗工具，研究對象的沈積物包括陸源物質、生物與化學物質。其中生物 (指可能保存為化石者) 又可分為浮游動物 (有孔蟲、放射蟲與翼足類) 與浮游植物 (鈣板藻、矽藻等)、化學物質包括核種、有機與無機化合物，陸源物質可再區分為陸上河流直接帶入海洋者，或由海底物質再懸浮後的沈積物，或由大氣帶入海洋者三類。

五、初步分析結果

國際海洋古全球變遷研究之岩心在民國八十六年七月中旬運抵台灣後，即冷藏保存在中央研究院地球科學研究中心的岩心存儲庫（目前已移入國立臺灣海洋大學海洋科技中心岩心冷藏庫）。一年來經過各主持人的努力分析，已得到若干成果，茲簡述如下：

1. 岩心MD 972148的沈積物中，烯酮類不飽和脂肪酸經分析後得到高解析度古溫度變化曲線，明顯指出岩心可達氧同位素6/7期界面。同時海水表層溫度變化可與極區冰心與北大西洋的重要古海洋/古氣候訊息相對應。另一方面指出Le Champ事件可能出現在7至9公尺之位置，本岩心沈積速率平均大於每千年二十公分，同時發現冷期時之磁感率遠較暖期時來得低。

2. 岩心MD972151之烯酮類不飽和脂肪酸UK37指數及有孔蟲氧同位素曲線，強烈顯示南海南部暖池區古氣候/古海洋之不穩定性，這是由於南海邊緣海的特殊地理性格放大的全球暖池古氣候訊息之結果。岩心MD972151在21.7-23.3公尺處發現一反轉事件，推論為十二萬年前之布雷克事件(Blake Event)，頂部4公尺處亦有一異常事件，此外從磁感率型態看出氧同位素時期5.4至6.5出現在21.5米至岩心底部，由此推論本岩心年代涵蓋過去十五萬年，據此可推論沈積速率平均大於每千年二十公分。此外相對高磁感率之峰值出現在二十二公尺以下，但此特殊型態並未出現在自然殘磁及非磁滿殘磁型態上，可能指出大量逆磁性或順磁性礦物在本段沈積，而頂部3公尺有較低之磁感率，可能源於高沈積速率之故。MIS 2期至1期間氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 之差值可達3.0‰，遠高於赤道大洋之1.3‰，顯示本區有甚高之溫度/鹽度之變異；而UK37之顯示約4℃之變化，顯示除溫度變化外，上次冰期之鹽度亦高。MIS 6期與5期之差異則略有不同。UK37顯示溫度變化大約5℃，而氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值則小於2.0‰，顯示Stage 6的南海南部

可能鹽度偏低，此與Stage 2相異。

3. 位於巴拉望島西北的MD972142，根據其火山灰層及超微化石之初步對比，顯示岩心底部之年代約為四十萬年(Wei *et al.*, 1998a)。此外指示十二萬五千年前之粉紅色*G. ruber*絕滅面約出現於9至9.5公尺。目前氧同位素分析已完成Stage 6以來之曲線，顯示可與蘇祿海及SPECMAP(Martinson *et al.*, 1987)對比，但上次冰期(2, 3, 4期)之 $\delta^{18}\text{O}$ 值顯然較趨向負值，可能指示南海相對較暖，或是鹽度較低。

4. 位於呂宋島東方海域賓漢隆起(Benham Rise)的MD972143，根據鈣質超微化石之初步定年顯示，岩心底部年齡約為二百六十萬年，岩心上部(0至11公尺)之沈積速率約為2.4公分，而下部之速率則為1至2公分左右(Wei *et al.*, 1998b)。岩心中夾有二十一層明顯可見的火山灰層，其生物定年結果可初步指示呂宋島及週邊地區火山活動之相對集中的時代。

5. 根據第三航次取自南海北坡位置之珠江口外區大陸坡岩心MD972148所提供之高解析度之沈積古氣候記錄(197.804°N / 1172.56°E；水深2830m；岩心長度48.72m)的浮游有孔蟲化石群、沈積物有機碳、碳酸鹽含量、與碳十四定年資料顯示，南海北部自上次冰盛期以來之氣候暖化趨勢呈現階梯式之漸進狀態，其中包含兩次主要的氣候回冷時期：17-14.kyakyakya和12.5-11.5，可分別對應格陵蘭冰心記錄的Older Dryas和Younger Dryas冷期。兩冷期間所夾之Bølling-Allerød暖期亦可在南海岩心記錄中清楚表現。南極大陸之冰心記錄(Byrd ice Core)所顯示的早期緩進式暖化與南極冷倒轉(Antarctic cold reversal)等特徵則無法在南海北部岩心記錄中清楚分辨。在15kya附近，MD972148記錄顯示出一急遽變冷的事件，可能可與北大西洋之岩心記錄中的Heinrich Event 1相對應。此外，浮游有孔蟲化石群所顯示的古海水表面溫度於全新世時期呈現明顯的波動，其週期約為一千五百年，亦與最近在北大西洋岩心之發現

相符。這些初步結果顯示了南海北部之古氣候記錄主要係受來自北半球之氣候影響。

綜上所述，高解析度的國際海洋古全球變遷研究之岩心分析顯示，季風對亞洲氣候變化控制的重要性。這種控制機制不但在南海岩心可偵測得到，類似的訊息也可在中國黃土研究上得知，因此未來可對亞洲的海陸古氣候對比進行更精確的分析。

參考文獻

- An, Z., Kukla, G. J., Porter, S. C. and Xiao, J. (1991) Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of the Central China during the last 130,000 years. *Quaternary Research*, 36, 29-36.
- An, Z., Liu, T., Lu, Y., Porter, S. C., Kukla, G., Wu, X. and Hua, Y. (1990) The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess-paleosol sequence in Central China. *Quaternary International*, 7/8, 91-95.
- Bond, G., Broecker, W., Johnsen, S., McManus, J., Labeyrie, L., Jouzel, J., and Bonani, G. (1993) Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, 365, 143-147.
- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W., Labeyrie, L., McManus, J., Andrews, J., Huon, S., Jantschik, R., Clasen, S., Simet, C., Tedesco, K., Klas, M., Bonani, G. and Ivy, S. (1992) Evidence of massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the last glacial period. *Nature*, 360, 245-249.
- Bond, G.C. and Lotti, R. (1995) Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scales during the last glaciation. *Science*, 267, 1005-1010.
- Broecker, W. S. (1986) Oxygen isotope constraints on surface ocean temperatures. *Quaternary Research*, 26, 121-134.
- Chen, M. T. (1998b) Exploring Quaternary variability of the East Asian monsoon, Kuroshio current, and Western Pacific warm pool systems: High-resolution investigations of paleoceanography from the IMAGES III (MD106) -IPHIS cruise. *TAO*, 9, 129-142.
- Chen, M. T., Bertrand, P., Bault, Y., Schneider, R., Rogers, J., and Taiwan IMAGES Participants (1998a) IMAGES II cruise (Nausicaa) explores Quaternary climatic variability and linkage of Benguela and Agulhas current systems in the Southern Indian-Atlantic Oceans: Participation by Consortium of Taiwan Institutions (Coordinated by National Taiwan University). *Geological Society of China*, 41, 73-80.
- Chen, S., Chen, T., Xu, X., Chen, Z. and Sui, S. (1985) The Vast South China Sea, 218 pp., China Sci. Press, Beijing. (in Chinese)
- Chi, C. H. (1969) The montane climate of Taiwan, *Quat. J. Taiwan Bank* 29, 155-207.
- Clemens, S. C. and Prell, W. L. (1990) Late Pleistocene variability of Arabian Sea summer paleomonsoon winds and continental aridity: Eolian records from the lithogenic component of deep-sea sediments. *Paleoceanography*, 5, 109-145.
- Climate: Long-Range Investigation, Mapping, and Prediction Member (1981) Seasonal reconstructions of the Earth's surface at the last glacial maximum. *Map and Chart Series MC-36*, P. 1-18, Geol. Soc. Am., Boulder, Colo.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D. and others (1993) Evidence for general instability of past climate from a 250-Kyr ice core record. *Nature*, 364, 218-220.
- Fang, K. L. and Yu, C. Y. (1981) A study of water masses in the seas of southernmost Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 12, 94-111.
- Gong, G. C., Liu, K. K., Liu, C. T. and Pai, S. C. (1992) The chemical hydrography of the South China Sea west of Luzon and a comparison with the West Philippine Sea. *TAO*, 3, 587-602.

- Greenland Ice-Core Project (GRIP) Members (1993) Climate instability during the last interglacial period recorded in the FRIP ice core. *Nature* 364, 203~207.
- Guilderson, T. P., Fairbanks, R.G. and Rubenstone, J. L. (1994) Tropical temperature variations since 20,000 years ago: Modulating interhemispheric climate change. *Science*, 263, 663-665.
- Huang, C. Y., Liew, P. M., Zhao, M., Chang, T. C., Kuo, C. M., Chen, M. T., Wang, C. H. and Zheng, L. (1997a) Deep sea and lake records of the southeast Asia paleomonsoons for the last 25 thousand years. *Earth and Planetary Science Letters*, 146, 59-72
- Huang, C.Y. Wu, S. F., Zhao, M., Chen, M. T., Wang, C. H., Tu, X. and Yuan, P. B. (1997b) Last glacial to interglacial surface ocean variability in the South China Sea: A high-resolution record of sea-surface temperature, productivity, and Southeast Asian monsoon. *Marine Micropaleontology*, 32, 71-94.
- IMAGES International Marine Global Change Study (1994) Science and Implementation Plan, PAGES Workshop Report, Series 94-3, Scientific Committee on Oceanic Research, International Council of Scientific Union.
- Imbrie, J., Hay, J. D., Martinson, D. G., McIntyre, A., Mix, A. C., Morley, J. J., Pisias, N.G., Prell, W. L. and Shackleton, N. J. (1984) The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine 18O record. In: A.L. Berger et al. (editors), *Milankovitch and Climate*, Part I, 269-305, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Jarvis, D. I. (1993) Pollen evidence of changing Holocene monsoon climate in Sichuan Province, China. *Quaternary Research*, 39, 325-337.
- Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dansgaard, W., Fuhrer, K., Gundestrup, N. S., Hammer, C.U., Iverssen, P., Jouzel, J., Stauffer, B. and Steffensen, J. P. (1992) Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature*, 359, 311-313.
- Jouzel, J., Vaikmae, R., Petit J.R., Martin, M., Duclos, Y., Stievenard, M., Lorius, C., Toots, M., Mlires, M.A., Burckle, L. H., Barkov, N. I. and Kotlyakov, V. M. (1995) The two-step shape and timing of the last deglaciation in Antarctica. *Climate Dynamics*, 11, 151-161.
- Martinez, J. I., Deckker, P. D. and Chivas, A. R. (1997) New estimates for salinity changes in the Western Pacific warm pool during the last glacial maximum: Oxygen-isotope evidence. *Marine Micropaleontology*, 32, 311-340.
- Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D. and others (1987) Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronology. *Quaternary Res.*, 27, 1-29.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), (1994) World Ocean Atlas, Natl. Oceanogr. Data Center, Ocean Climate Lab., Washington, DC.
- Ohkouchi, N., Kawamura, K., Nakamura, T. and Taira, A. (1994) Small changes in the sea surface temperature during the last 20,000 years: Molecular evidence from the western tropical Pacific. *Geophysical Research Letter*, 21, 2207-2210.
- Patrick, A. and Thunell, R. C. (1997) Tropical Pacific sea surface temperatures and upper water column thermal structure during the last glacial maximum. *Paleoceanography*, 12, 649-657.
- Pelejero, C. and Grimalt, J. O. (1997) The correlation between the Uk37 index and sea surface temperatures in the warm boundary: The South China Sea. *Geochemistry and Cosmochimica Acta*, 61, 4789-4797.
- Prahl, F. G. and Wakeham, S. G. (1987) Calibration of unsaturation patterns in long-chain ketone compositions for paleotemperature assessment. *Nature*, 330, 367-369.
- Prell, W.L. (1985) The stability of low-latitude sea-surface temperature: an evaluation of the CLIMAP

- reconstruction with emphasis on the positive SST anomalies. United States Department of Energy, Office of Energy Research, TR025, U.S. Government Printing Office, 60pp.
- Rind, D., and Peteet, D. (1985) Terrestrial conditions at the last glacial maximum and CLIMAP sea-surface temperature estimates: Are they consistent? *Quaternary Research*, 24, 1-22.
- Shaw, P. T. (1991) The seasonal variations of the intrusion of the Philippine Sea Water into the South China Sea. *Jour. Geophysical Research*, 96, 821-827.
- Sirocko, F., D. Garbe-Schenberg, McIntyre A., and Molino, B. (1996) Teleconnections between the subtropical monsoons and high-latitude climates during the last deglaciation. *Science*, 272, 526-529.
- Stott, L. D. and Tang, C. M. (1996) Reassessment of foraminiferal-based tropical sea surface $\delta^{18}O$ paleotemperatures. *Paleoceanography*, 11, 37-56.
- Thompson, L. G., Thompson, E. M., Davis, M. E., Bolzan, J. F., Dai, J., Yao, T., Gundestrup, N., Wu, X., Klein, L. and Xie, Z. (1989) Holocene-Late Pleistocene climatic ice core records from Qinghai-Tibetan Plateau. *Science*, 246, 474-477.
- Thompson, P. R. (1981) Planktonic foraminifera in the western North Pacific during the past 150,000 years: comparison of modern and fossil assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 35, 241-279.
- Thunell, R. C., Anderson, D., Gellar, D. and Miao, Q. (1994) Sea-surface temperature estimates for the tropical western Pacific during the last glaciation and their implications for the Pacific Warm Pool. *Quaternary Research*, 41, 255-264.
- Thunell, R. C., Miao, Q., Calvert, S. E. and Pedersen, T. F. (1992) Glacial-Holocene biogenic sedimentation patterns in the South China Sea: Productivity variations and surface water PCO₂. *Paleoceanography*, 7, 143-162.
- Tomczak, M. and Godfrey, J. S. (1994) Regional oceanography: An introduction. Pergamon.
- Wang, L. and Wang, P. (1990) Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: Glacial-interglacial contrasts in an enclosed basin. *Paleoceanography*, 5, 77-90.
- Wang, P., Wang, L., Bian, Y. and Jian, Z. (1995) Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: surface circulation and carbonate cycles. *Marine Geology*, 127, 145-165.
- Wei, K. Y., Lee, T. Q., and the Shipboard Scientific Party of the IMAGES III / MD106-IPHIS Cruise (Leg II) (1998b) Nannofossil Biochronology of tephra layers in Core MD972143, Benham rise, Western Philippine Sea. *TAO*, 9, 153-163.
- Wei, K.Y., Lee, T. Q. and the Shipboard Scientific Party of the IMAGES III / MD106-IPHIS Cruise (Leg II) (1998a) Late Pleistocene volcanic ash layers in Core MD972142, offshore from northwestern Palawan, South China Sea: A Preliminary report. *TAO*, 9, 143-152.
- Wei, K.Y., Yang, T. N. and Huang, C. Y. (1997) Glacial-Holocene calcareous microfossils and paleoceanography in the northern South China Sea. *Marine Micropaleontology*, 32, 95-114.