

海洋時間序列研究

夏復國

科學發展月刊第二十六卷第十期抽印本

中華民國八十七年十月

Reprinted from

NATIONAL SCIENCE COUNCIL MONTHLY

Vol. 26 No. 10, October 1998

海洋時間序列研究

夏 復 國

行政院國家科學委員會海洋科學研究中心

一、前言

海洋面積占地球總面積百分之七十以上，對地球生態系內各類物質的來源、匯集及分布均有極重要之影響。自全球暖化現象揭曉以來，海洋調節大氣二氧化碳濃度變化之機制，即成為本世紀海洋科學重要議題，全球海洋通量聯合研究(簡稱JGOFS)亦應運而生。在全球海洋通量聯合研究計畫下有四個主要研究架構群，分別由不同角度探討並解析全球碳循環的問題。「時間序列研究」(以下簡稱：時序研究)即為其中之一；其餘三者分別為「過程研究」(Process Studies)，如目前正在執行之「黑潮與東海陸棚交換過程研究」(KEEP)即是一例；「全球調查研究」，如以往執行之「全球海洋環流實驗」(WOCE)；「數據整合及模式分析」，此為全球海洋通量聯合研究自一九九七年後重點工作項目。

二、國內外相關研究

「時序研究」係於一特定之地點做連續調查，以期了解各種海洋現象在季節、年間乃至世紀時間尺度內的變異。一九八八年，美國國家科學基金會同時選定北大西洋之百慕達及北太平洋之夏威夷推行時序研究，計畫名稱分別為「夏威夷海洋時序研究」(Hawaii Ocean time series, HOT; 1988-1993)及「百慕達大西洋時序研究」(圖一)(Bermuda Atlantic Time Series, BATS; 1988-1994)。除美國國家科學基金會外，尚有其他組織如NOAA, NASA及ONR亦對上述二項時序研究提供資助。到一九九五年尚有三個時序研究測站加入

運作行列，分別是法國位於南印度洋Kerguelen島之測站，德國、西班牙合作位於北大西洋東部Canary島測站，以及德國、智利合作位於南太平洋東部智利外海之測站。日本最近通過成立「北太平洋時序研究」計畫(Kyodo North Pacific Ocean Time Series, KNOTS)，預定在一九八八年於北太平洋西部次極區(Subarctic; 44°N, 155°E)展開作業。北太平洋西部亞熱帶至熱帶區(subtropical to tropical)則尚未成立時序研究測站。

國家科學委員會依據全國第五次科技會議之決議，於去一九九七年成立「海洋科學研究中心」，積極推動海洋之基礎及相關研究。在諸項重點研究項目中「南海時間序列研究」(South East Asia Time Series, SEATS)即為其中之一。此計畫預定於一九九八年七月開始執行，屆時當可為國際時序研究、特別是亞洲部分提供重要的海洋資訊。為了更深切了解國外時序研究測站之運作，筆者曾於一九九七年七月三日至十四日，應百慕達生物研究站(Bermuda Biological Station for



圖一 百慕達生物研究站時間序列研究專屬研究船「氣象鳥2號」(R/V Weatherbird II; 400噸)

Research, BBSR)邀請,到當地研習百慕達大西洋時序研究計畫之推展。該計畫在成立之初係由 A. H. Knap及A. F. Michaels兩位教授規劃並執行,在早期僅有二位正職研究員及二名助理,發展至今已將近二十位成員之研究群(研究員及助理各半)。近十年來(一九八八迄今),直接或間接引用百慕達大西洋時序研究數據所發表之學術報告達二百篇以上。百慕達大西洋時序研究亦編列經費資助國際學術會議、海洋測量技術開發、交流以及代訓他國海洋工作者等。筆者此次研習內容分為二部份分,一是參與該研究之航次調查(1997年10月5日至9日),實際體驗海上各調查項目之操作及整合採樣;二是訪問面談,分別與D. Hansell(前任計畫經理)、D. Sterinberg(現任計畫經理)、C. Carlson、N. Bates四位博士及R. Johnson(資深助理)就百慕達大西洋時序研究之管理及操作層面各項問題進行訪談,吸收國外已有之寶貴經驗,使我國南海時間序列研究計畫於一九九八年七月開始執行之後,可為國際的時序研究,特別是亞洲部分,提供重要的海洋資訊。百慕達生物研究站網址為:<http://www.bbsr.edu>。

三、計畫規劃、執行重點及國外經驗

為使學界及相關單位了解海洋時序研究在國外實際運作之情形,及此一計畫對探討全球氣候變遷之重要性,以下便就時序研究之定義、要件;及計畫執行時在管理與操作層面上需注意之項目,分別加以說明。

(一)時序研究之定義及要件

時序研究係指於一具有大型及明顯年間變異之生態系統內,進行至少十年以上連續性野外調查。調查之主要目的是希望藉由長期海洋資料的分析,了解各種海洋現象的自然變化。調查之方針必須著重物理、化學及生物各學門間之整合。百慕達大西洋時序之研究目標計有下列四點:1. 觀測並解釋水體混合層及透光層內(通常為一百

公尺以下淺水區域)生物及化學現象之年內及年間變異;2. 觀測並解釋水體內顆粒物質合成及分解通量之年內及年間變異;(圖二)3. 了解項目1.及2.中生物及化學變化過程與物理作用之互動關係,以及4.提供與全球變遷趨勢相關之海洋數據。

推行時序研究之要件有三,分別是1.測站之選定;2.野外調查頻率、種類及測量項目;3.資料庫之建立及管理。

1. 測站之選定

首要條件是遠離陸地之深水(超過二千公尺)海域,以避免人為活動對海洋生地化循環之干擾,進而扭曲海洋自然現象的訊號。但又不可過度遠離母港,以免耗時於航程。一般以航程六至八小時可及處為佳。測站經緯座標一旦確立,在其五十公里直徑範圍內採樣皆能具有代表性。

2. 調查頻率、種類及測量項目

電腦模式分析顯示,為兼顧浮游生物完整之週期研究,調查頻率以雙週採樣為最佳,月採樣亦在容許範圍之內。海上作業(不包括來回航時)以四至六天皆可。測量項目需包括物理、化學及生物因子在內。除主要航次(core cruise)外,亦可針對需要或特定之現象,增開特殊航次。如百慕達大西洋時序研究中即另規劃藻華航次(bloom cruise)及確認航次(validation cruise),前者係針對每年春季之藻華現象在一月至四月內進行雙週



圖二 研究人員於執行「百慕達大西洋時序研究」例行航次,準備施放研發中之新型「沈降顆粒收集器」。

採樣，後者則是在測站內重複採水或測站外不遠處（五至十公里）取樣，以對各種物理、化學、生物測量方法之精準性及恆定性進行驗證，頻率為每季一次。各種測量方法所採行的實驗手冊最好能與國際通行者（如全球海洋通量聯合研究及百慕達大西洋時序研究之實驗手冊）相同。如需採用他法則必須進行方法間之比對，並詳載於實驗手冊之內。各測量方法及數據之特有分析方式，一經採用切勿隨意變更以確保資料之恆定性。同一項目以不同方法測定以及更換測量人員（助理）時，均需進行比對工作，以確定研究數據取得方式之恆定性。

3. 資料庫之建立及管理

所得之各項數據必須以特定之格式，在一定期限內（通常是航次結束半年之內）存入資料庫內。資料庫之管理及資料之品管需有專人負責。國內外任何人及單位皆能透過電腦網路取得資料，惟需向中心先行報備。

(二)時序研究之管理與執行

時序研究中工作項目極多，故有必要就項目之本質分為管理及執行二種層面。此二層面工作之最終目的是產生高品質可信賴之數據並能為所有使用者提供最簡易方式以取得數據。

1. 管理層次

由三至四名正式研究員負責，擇一研究員為計畫經理（program manager）總其事。所負責之事項計有：(1)確立執行層次運作正常，包括研究人力（助理）之調配；測量項目及航次進度之掌控以及單位內各實驗空間之協調等。(2)資料庫之管理：確切執行資料庫之政策及數據之品質管制。(3)國、內外相關學術活動之規劃。(4)整合、協調時序研究內之子計畫及與時序研究有關之友計畫。

2. 執行層次

此層次之工作重點為數據之取得、處理、檢視、分析並存入資料庫。為確保高品質數據，主其事者（通常由資深助理負責）對於採樣之儀器（如溫

鹽深儀上之各種探針、採水瓶、沈積物收集器……等），各類環境因子之測量方法（如溶氧、鹽度、營養鹽……等）以及電腦數據處理分析等項目均需十分熟悉。這些工作項目的細部內容，可參考百慕達生物研究站於一九九七年出版之 *BATS Method Manual*（第四版）。Rod Jackson（BATS資深助理）認為此層次內最重要三個工作項目是：(1)上述各工作項目的障礙消除。(2)如何消除採樣誤差及分析誤差。其中後者包括測量儀器及操作人員（如更換操作員）所引起之誤差。每種測量方法最好有標準品以做校正之用。例如以高溫燃燒氧化法測溶解態有機碳時，可以深海水（超過二千公尺）作標準品，其濃度應在四五至五十 μM 之間（C. Carlson博士建議）。(3)各類數據之處理，檢視及統計分析應於航次後儘速完成，以免上一航次之問題（比如採水瓶漏水、探針有偏差……等）延誤至下一航次。

推廣時序研究首要之務在於選定測站及作業方式，依重要性的順序而言，下列三項必須加以考慮：

1. 科學考量：包括水體生態系統之穩定度，生物及水文現象之變異度以及所擬測試之假說之提出。此範疇之評估，則取決於背景資料（如物理、水文、生物因子……等）之充分與否。

2. 後勤考量：測站的遠近對航程及能夠在海上作業的時數影響極大。月採樣甚至雙週採樣在現行之船期編制下是否可行，如僅能每季調查一次是否應考慮擴大採樣範圍（如改做測線（transect）或網狀測站（grid）調查），延長作業時間（改四至五天為二至四週）以強調水域內之空間變異及反應過程之重要性。但如此一來對時間變異之解析度勢必要有所犧牲。執行時序研究之初，是否已具有相當程度物理、水文乃至生物因子之背景資料供作未來選站及規劃研究主題之參考；在執行時序研究生地化研究時，是否有適當的物理計畫或人員加以配合。

3. 公眾關注及地區興趣：依據理論，時序研究測站必須遠離陸地以避免人為干擾。不容諱

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(美國緬茵大學博士後研究員)提及其工作單位亦打算在南海進行錨碇實驗，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。