

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

南海季風實驗整合計畫 - (子計畫四): 黑潮對南海北部環流之影響

計畫編號：NSC 88-2611-M-002-013-AP7

執行期間：87年8月1日至88年7月31日

計畫主持人：莊文思 教授

執行單位：國立台灣大學海洋研究所

一、中文摘要

黑潮形成於呂宋東側，在往北運動時首先經過太平洋與南海交接處之呂宋海峽。由於黑潮本身為一具斜壓效應之西方邊界強流，而呂宋海峽為一寬逾 300 公里之開口，在遭遇無側邊邊界之情況時，流場本身必須調整，加以海峽東側地形變化複雜，因此黑潮分流與波動都可能會發生。

在南海季風實驗中，我們曾經於巴士海峽放置多組 ADCP 錨碇，所得之長期資料除已正確標定黑潮分流進入南海之位置，並瞭解其流量之大致分佈狀況。

黑潮分流進入南海後，以往之水文調查均顯示出在南海北部有大尺度渦漩產生。最近的數值模式結果更認為黑潮下游（台灣東側）之週期變化與南海北部之渦漩同步發生。因此可以合理認定，巴士海峽對南海北部與台灣東部之海流變化，具有決定性之影響。

在黑潮上游海區海洋動力學實驗（KUDEX）整合型計畫中，我們負責長期監測黑潮分流進入南海的情形，藉助於多組位於巴士海峽之 ADCP 與 RCM 錨碇，我們得以觀測此分流之季節性及年際的變化情形，並得以更確切了解在巴士海峽附近之水團分布與動力平衡變化。

關鍵詞：黑潮、巴士海峽、南海

Abstract

Kuroshio, the western boundary current in the Pacific Ocean, originates from North Equatorial Current, forms a concentrated, northward flow east of Luzon Islands. The coast of Luzon ends at Luzon Strait, and the Kuroshio suddenly loses its lateral boundary support, till it feels the east coast of Taiwan 300 km downstream. The Kuroshio also meets rough topography at the opening of the Channel. Conceivably, the flow field must adjust itself by separation of flow and/or eddies in order to be remaining dynamically stable.

Since late 1996, we have deployed a number of ADCP moorings in the deepest part of the Bashi Channel, as part of the SCSMEX program. Though we encountered many difficulties, mainly from exceptionally strong tidal currents down to at least 1000m depth, the data we collected over 1½-year clearly showed a branch of Kuroshio exists in the Channel without significant seasonal fluctuations.

After separation from the main stream, this branch of Kuroshio finds its way into the South China Sea. Past hydrographic surveys have identified different scale of

eddies which constitute the major circulation pattern in the junction of Taiwan Strait and northern part of the South China Sea. Recent model study by Y. Hsueh suggests that eddy spin off is associated with meandering of the Kuroshio main stream, and resulted in periodic motion further downstream, as shown in the WOCE PCM-1 measurements.

In the KUDEX project, we are responsible for monitoring the branch of Kuroshio in the Bashi Channel. For the purpose of identifying the migrating of Kuroshio axis and the intermittent nature of the spin-off eddies, we have gained a comprehensive picture of the behavior of Kuroshio in the gap of Luzon and Taiwan, and provide a clue for the current variations in the South China Sea.

Keywords : Kuroshio, Bashi Channel, South China Sea

二、緣由與目的

黑潮是西太平洋地區最重要之一股海流，其源頭固然可以追溯到穩定之北赤道洋流，但當其在呂宋島東側形成較強競之北上流後，此邊界流場即遭遇到寬且深之巴士海峽，海峽右側地形起伏，並與水團特性頗有差異之南海海水相接觸，加以受到隨季節轉變方向之大範圍季風風場影響。地形、風場、開放邊界、密度差異均有可能造成黑潮在巴士海峽附近之複雜動力機制，而其產生之變化，一方面西傳進入南海，從而影響南海北部之流場，另一方面向下遊傳播，從而影響台灣籍通海東側之黑潮流況。此一「黑潮上游海區海洋動力學實驗」整合型計畫，即欲藉我國海洋學界與國外學者之整合力量，儘可能完整調查黑潮在巴士海峽左右之流況，以為數值模擬之參考與檢驗。

黑潮流經巴士海峽開口處之變化應

非區域性之數值模式可以完全解釋，較為完整之模式應至少涵蓋西菲律賓海與南海北部。Metzger and Hurlburt (1996) 利用美國海軍之全球模式 (1½°, 1.5-layer) 曾經做過此區域之診斷式研究，他們的結論是黑潮必然會經由巴士海峽分流進入南海，此為大尺度環流 northern tropical gyre 的一部份，年平均流量大約為 4.4 Sv，而季風在南海內所造成之堆積效應，可使得流量之年變化 (standard deviation) 為 2.5 Sv，六月西南季風開始盛行時，分流量最小 (~1 Sv)，十一月東北季風發展完成時，分流量最大 (~8 Sv)。由於模式之水平與垂直解析度均很低，故只偏重在風吹流部分，而無法分解可能產生之渦流 (eddy resolving) 情形。

薛亞 (1999, personal communication) 則使用一較小範圍、高解析度之模式，模擬一由南方邊界放入之地轉流場，在經過一西側開口時 (東側為固定邊界)，產生之週期性西向渦流分離及流場主軸擺動情形。此項模擬結果，固然會受到放入地轉流場之強度、東西邊界間之寬度、以及密度分佈之影響，而使得產生之擾動尺度不同，但基本上就位能調適 (potential vorticity adjustment) 而言，模擬結果與理論大致吻合，歷年來在南海北部所做之水文調查，也確實指出有強度不等之環流現象存在，而 WOCE PCM-1 (台灣東部) 之黑潮流量監測，亦得到非季節性之週期變化結果，可為佐證。

在海洋與大氣合作之南海季風實驗 (South China Sea Monsoon Experiment, SCSMEX) 中，首次實際開始巴士海峽之測流工作。我們在 1996 年底於北緯 20 度 50 分、20 度 20 分、19 度 50 分 (各組間距約 50 公里，分別命名為 Luzon 1, 2, 3，如圖 1) 各放置了一組 ADCP 錨碇。為了確實瞭解流場之季節性變化情形，之後展開了一連串的回收與施放作業，資料回收情形如表一。

表一、巴士海峽流速儀錨碇之資料涵蓋期間。

Mooring	Longitude East	Latitude North	1st deployment (Dec/28/1996 ~ Aug/5/1997)				2nd deployment (Aug/5~ Sept/13/1997)				
			Water Depth	ADCP Depth	RCM Depth	RCM Depth	Water Depth	ADCP Depth	RCM Depth	RCM Depth	
Luzon-1	120°55'	20°49'	1306 m	儀器 故障	500 m	690 m	1288 m	270 m		680 m	
Luzon-2	120°55'	20°20'	2057 m	135 m	340 m	540 m	2011 m	165 m	340 m	600 m	
Luzon-3	120°55'	19°49'	1645 m	180 m	360 m		1645 m	180 m	360 m		
Mooring	Longitude East	Latitude North	3rd deployment (Apr/22 ~ Jun/12/1998)				4 th deployment (Jun/15 ~ Oct/3/1998) (Jun/15/1998~Apr/18/1999)				
			Water Depth	ADCP Depth	RCM Depth	RCM Depth	Water Depth	ADCP Depth	RCM Depth	RCM Depth	
Luzon-1	120°55'	20°49'	1313 m	290 m	895 m		1319 m	328 m	352 m	964 m	
Luzon-2	120°55'	20°20'	錨碇漂流遺失				2100 m	250 m	952 m	1885m	
Mooring	Longitude East	Latitude North	5 th deployment (Apr/19 ~ Dec/13/1999)				6 th deployment 預定於 2000 年 4 月施放				
			Water Depth	ADCP Depth	RCM Depth	RCM Depth	Water Depth	ADCP Depth	RCM Depth	RCM Depth	
Luzon-1	120°55'	20°49'	1302 m	儀器 故障	877 m	1081 m	1300 m	350 m	900 m	1100 m	

三、結果與討論

Luzon 2 的位置大抵在巴士海峽最深處 (Balintang Channel 中間), 自 1996 年 12 月底至次年 9 月中長達近 300 天的連續觀測資料中, 海流均為西北或北北西走向 (七、八月底有颱風經過, 有短暫轉向情形發生), 50 公尺處之流速近 100cm/s, 120 公尺處亦逾 50cm/s。至於 Luzon 3 的位置

在 Balintang Channel 南方, 上層 50 公尺處之流場多變, 尤以冬季為然, 至 120 公尺處則較為穩定, 保持北向或北北西走向, 並無顯著之季節性變化, 其資料顯示此處並非黑潮流入區域, 故自 1998 年起及不再於此處觀測。

雖然缺乏因儀器故障而缺乏觀測初期的 Luzon 1 資料, 但以 1997 年 8 月初至

9月中 Luzon 1、2、3 的資料整體看來，Luzon 1 位在 Balintang Channel 北方，其所顯示之黑潮分支流場均較 Luzon 2 更為穩定。

綜合而言，在第一年冬季至夏季的實測資料中，三測站完整涵蓋巴士海峽最深海域處南北約 100 公里之範圍。就最深處之通道顯示，並無海流隨者季節性季風而改變西北流之情形，其次，愈往北方，受黑潮支流之影響愈大，愈往南方則反之。Luzon 1 與 2 ADCP 與其下之 RCM 測得之上層（500 公尺以上）西向流分量約為 20cm/s 左右，以支流寬度 50 公里計，保守估計黑潮經過巴士海峽中部進入南海之流量至少有 5 Sv。

為了確切證明夏季時黑潮確實進入巴士海峽，在 1998 年 4 月中我們再度在 Luzon 1、2 各置放了一組 ADCP 錨碇，在 6 月中回收，其中 Luzon 1 順利回收並施放，Luzon 2 遺失，遂於 Luzon 2 再次施放一組 ADCP 錨碇，而於 10 月初回收，Luzon 1 更持續至 1999 年 4 月回收。大抵而言，Luzon 1 的西北向流在 4~11 月中穩定而殊少變化，Luzon 2 則在 6 月份為強勁之西北流，7~9 月則較為多變，但仍以西北向流為主。

圖二所繪即為此兩年半間之西北向流場之低頻變化情形。由此連續在巴士海峽最深處之觀測資料顯示，黑潮支流終年存在，且並無太大之年際或季節性之變化。綜合而言，1997 年 Luzon 2 之資料有明顯之 30 左右週期變化，1998-99 年之 Luzon 1 資料則有在冬季（12 月與 1 月）有流量減少之情形。

此項觀測結果與 Metzger and Hurlburt (1996) 的模式運算結果並不完全相符，可能之差異在於我們受限於參與之人員

與設備，故僅能測量黑潮經由巴士海峽進入南海之流場，但因巴士海峽甚寬，模式顯示為一套流 (loop current)，進入後又有部分於海峽北端流出，故淨流量無法由 Balintang Channel 之觀測代表。

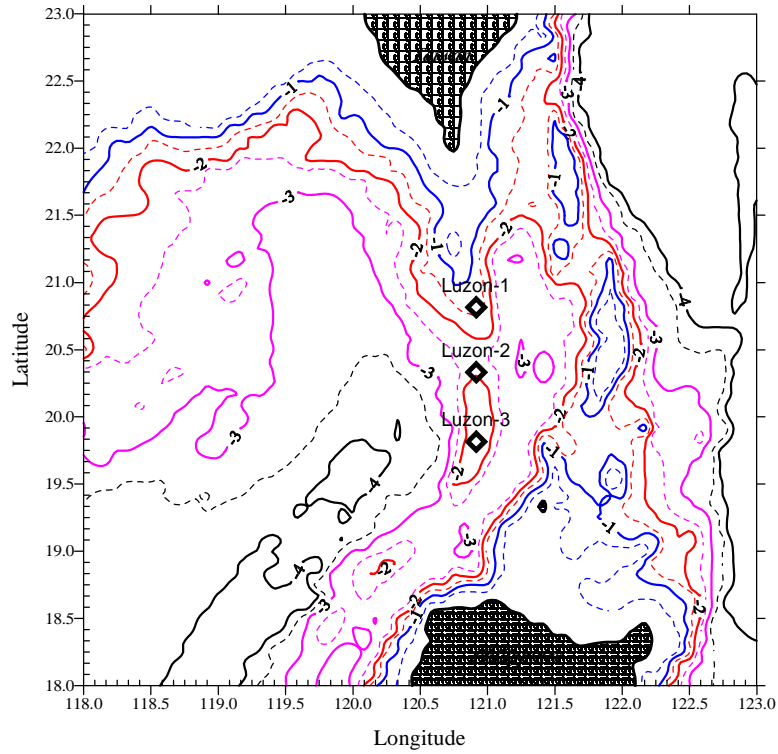
四、計畫成果自評

在本計畫執行之 1997 年 8 月至 1999 年 7 月之間，我們成功的在 Luzon 與 Luzon 2 測得長期之流場，也補足了過去夏冬之間季節轉換時之 gap，大致已完成原訂之目標。

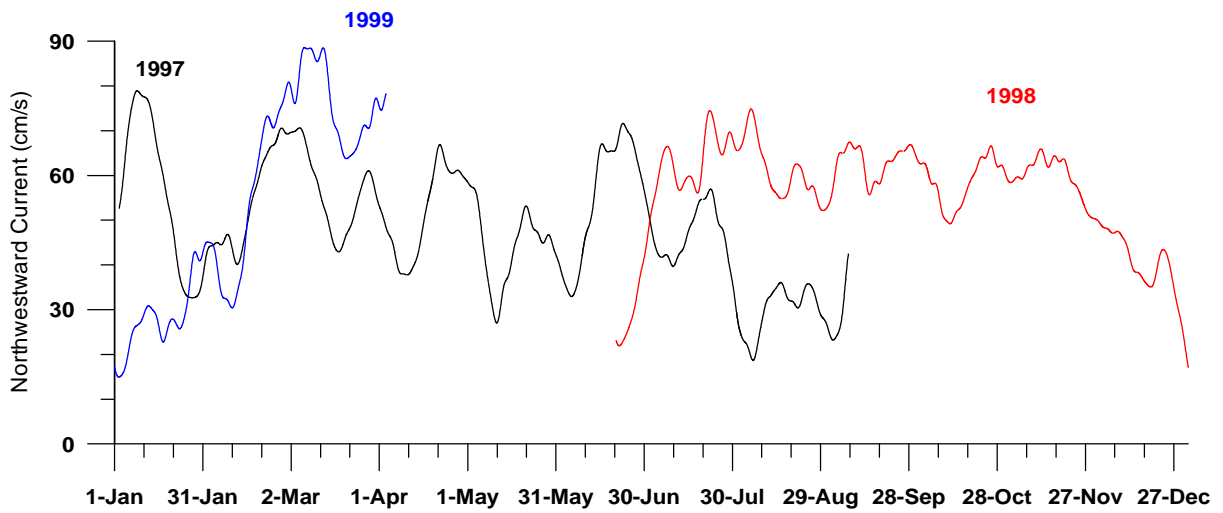
五、參考文獻

Metzger, E. J. And H. F. Hurlburt (1996): Coupled dynamics of the South China Sea, the Sulu Sea, and the Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, 101, 12331-12352.

SCSMEX & KUDEX Bashi Channel Mooring Location



圖一：巴士海峽內之測流錨碇位置



圖二：1997~1999 巴士海峽內實測黑潮流入南海之流速（1997 以 Luzon 2 為代表，1998 與 1999 以 Luzon 1 為代表）