交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告

台灣沿岸海潮流短期量測與潮流預測技術引進（1/2）

計畫類別：√ 國內 □ 國外

計畫編號：MOTC-CWB-94-O-06

執行期間：94 年 03 月 01 日至 94 年 12 月 31 日

計畫主持人：張國棟

執行單位：國立高雄海洋科技大學海洋環境工程系

中華民國九十四年十二月

交通部中央氣象局 94 年度政府部門科技計畫期末摘要報告

計畫名稱：台灣沿岸海潮流短期量測與潮流預測技術引進（1/2）

審議編號：	MOTC-CWB-94-O-06	部會署原計畫編號：	MOTC-CWB-94-O-06
主管機關：	中央氣象局	執行單位：	國立高雄海洋科技大學
計畫主持人：	張國棟　副教授	聯絡人：	張國棟　副教授
電話號碼：	07-3617141 ext 3759	傳真號碼：07-3655521	
期程：	94年03月01日至94年12月31日		
經費：（全程）	450,000元	經費(年度)	450,000元

執行情形：

1.執行進度：

	預定（%）	實際（%）	比較（%）
當年	100	100	
全程			

2.經費支用：

	預定	實際	支用率（%）
當年	100	100	
全程			

3.主要執行成果：

a.完成台灣北部龍洞外海海流觀測作業，並分別取得 10 天及 41 天的海流觀測記錄資料。

b.完成潮流 U 及 V 分量的分析及預測，並獲得良好的預測結果。

c.建立海流觀測與作業流程規範。

d.完成 94 年 9 月至 95 年 9 月潮流的預測。

4.計畫變更說明：

無

5.落後原因：

無

6.主管機關之因應對策（檢討與建議）：

交通部中央氣象局

台灣沿岸海潮流短期量測與潮流預測技術引進（1/2）

委託單位：交通部中央氣象局　台北市公園路 64 號
TEL：(02)23491190
FAX：(02)23491199

執行單位：國立高雄海洋科技大學 海洋環境工程系　高雄市楠梓區海專路一四二號
TEL：(07)3617141-3759
FAX：(07)3655521

工作人員：張國棟・邱啟敏・張孟勤・黃惠纓・許仕杰

執行期間：民國九十四年三月至九十四年十二月止

國立高雄海洋科技大學海洋環境工程系

中華民國 九十四 年 十二 月

目錄

圖目錄 iii

表目錄 vi

表目錄 vi

第一章　計畫概述 1-1

1-1　緣起與目的 1-1

1-2　工作內容 1-1

1-3　預期成果 1-2

第二章　海流觀測方法 2-1

2-1　海流觀測地點 2-1

2-2　海流觀測作業 2-3

第三章　潮流資料分析 3-1

3-1　潮汐分析原理 3-2

3-2　潮流分析方法 3-2

第四章　海流觀測結果分析與潮流預測 4-1

4-1　海流觀測結果分析 4-1

4-2　潮流分析及預測 4-20

第五章　初步結果與未來工作 5-1

5-1　分析結果 5-1

5-2　未來工作 5-2

第六章　參考文獻 6-1

計畫執行期間發表之論文 6-1

附件一　海流觀測與作業流程規範

附件二　台灣北部龍洞外海海流觀測作業過程相片

圖目錄

圖2-1　台灣北部海流觀測點的地理位置 2-2

圖2-2　台灣北部龍洞外海海流儀裝置佈放圖 2-4

圖4-1　2005/5/31~6/10龍洞外海海流及潮汐時序圖（水下8.5m至18.5m） 4-4

圖4-2　2005/5/31~6/10龍洞外海海流及潮汐時序圖（水下21.0m至31.0m） 4-5

圖4-3　2005/7/29~9/8龍洞外海海流及潮汐時序圖（水下8.5m至18.5m） 4-6

圖4-5　2005/5/31~6/10龍洞外海水下8.5m海流玫瑰圖 4-8

圖4-6　2005/5/31~6/10龍洞外海水下11.0m海流玫瑰圖 4-8

圖4-7　2005/5/31~6/10龍洞外海水下13.5m海流玫瑰圖 4-8

圖4-8　2005/5/31~6/10龍洞外海水下16.0m海流玫瑰圖 4-8

圖4-9　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m海流玫瑰圖 4-9

圖4-10　2005/5/31~6/10龍洞外海水下21.0m海流玫瑰圖 4-9

圖4-11　2005/5/31~6/10龍洞外海水下23.5m海流玫瑰圖 4-9

圖4-12　2005/5/31~6/10龍洞外海水下26.0m海流玫瑰圖 4-9

圖4-13　2005/5/31~6/10龍洞外海水下28.5m海流玫瑰圖 4-10

圖4-14　2005/5/31~6/10龍洞外海水下31.0m海流玫瑰圖 4-10

圖4-15　2005/7/29~9/8龍洞外海水下8.5m海流玫瑰圖 4-10

圖4-16　2005/7/29~9/8龍洞外海水下11.0m海流玫瑰圖 4-10

圖4-17　2005/7/29~9/8龍洞外海水下13.5m海流玫瑰圖 4-11

圖4-18　2005/7/29~9/8龍洞外海水下16.0m海流玫瑰圖 4-11

圖4-19　2005/7/29~9/8龍洞外海水下18.5m海流玫瑰圖 4-11

圖4-20　2005/7/29~9/8龍洞外海水下21.0m海流玫瑰圖 4-11
圖4-21　2005/7/29~9/8龍洞外海水下23.5m海流玫瑰圖 4-12
圖4-22　2005/7/29~9/8龍洞外海水下26.0m海流玫瑰圖 4-12
圖4-23　2005/7/29~9/8龍洞外海水下28.5m海流玫瑰圖 4-12
圖4-24　2005/7/29~9/8龍洞外海水下31.0m海流玫瑰圖 4-12
圖4-25　2005/5/31~6/10龍洞外海水下8.5m向量行進圖 4-15
圖4-26　2005/5/31~6/10龍洞外海水下11.0m向量行進圖 4-15
圖4-27　2005/5/31~6/10龍洞外海水下13.5m向量行進圖 4-15
圖4-28　2005/5/31~6/10龍洞外海水下16.0m向量行進圖 4-15
圖4-29　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m向量行進圖 4-16
圖4-30　2005/5/31~6/10龍洞外海水下21.0m向量行進圖 4-16
圖4-31　2005/5/31~6/10龍洞外海水下23.5m向量行進圖 4-16
圖4-32　2005/5/31~6/10龍洞外海水下26.0m向量行進圖 4-16
圖4-31　2005/5/31~6/10龍洞外海水下28.5m向量行進圖 4-17
圖4-32　2005/5/31~6/10龍洞外海水下31.0m向量行進圖 4-17
圖4-33　2005/7/19~9/8龍洞外海水下8.5m向量行進圖 4-17
圖4-34　2005/7/19~9/8龍洞外海水下11.0m向量行進圖 4-17
圖4-35　2005/7/19~9/8龍洞外海水下13.5m向量行進圖 4-18
圖4-36　2005/7/19~9/8龍洞外海水下16.0m向量行進圖 4-18
圖4-37　2005/7/19~9/8龍洞外海水下18.5m向量行進圖 4-18
圖4-38　2005/7/19~9/8龍洞外海水下21.0m向量行進圖 4-18
圖4-39　2005/7/19~9/8龍洞外海水下23.5m向量行進圖 4-19
圖4-40　2005/7/19~9/8龍洞外海水下26.0m向量行進圖 4-19
圖4-41　2005/7/19~9/8龍洞外海水下28.5m向量行進圖 4-19

圖4-42　2005/7/19~9/8龍洞外海水下31.0m向量行進圖 4-19
圖4-43　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量圖 ... 4-22
圖4-44　2005/7/29~9/8龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量圖 4-23
圖4-45　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量之能譜圖 4-24
圖4-46　2005/7/29~9/8龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量之能譜圖 4-24
圖4-47　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較 4-25
圖4-48　2005/7/29~8/7龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較 4-26
圖4-49　2005/8/8~8/17龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較 4-27
圖4-50　2005/8/18~8/27龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較 4-28
圖4-51　2005/8/28~9/8龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較 4-29
圖4-52　2005/9/1~2006/9/30龍洞外海水下18.5m預測海流之u及v分量 4-30

表目錄

表2-1　台灣北部海流觀測作業位置 2-1

表4-1　2005/5/31~6/10龍洞外海水下8.5m至31.0m各層海流流向發生頻率分析表 2-13

表4-2　2005/7/29~9/8龍洞外海水下8.5m至31.0m各層海流流向發生頻率分析表 2-13

第一章　計畫概述

1-1　緣起與目的

台灣為一海島地形，西側為水深較淺的台灣海峽，東部直接面鄰廣闊且在離岸數百公尺水深即可達數千公尺的太平洋，北部和南部分別鄰接著東海和巴士海峽，此二地區在台灣近岸的水深地形變化都十分複雜，使得此區域內的海流在有限範圍內即具有較大變異。海流對海洋中物質及能量的傳輸具有最主要的貢獻，大尺度海水流動所傳送的巨大能量，對天氣及氣候造成直接的影響，中小尺度的海流則對漁業、污染物擴散、漂流物漂移，以及船舶航行都至為重要。台灣四周的海流現象極為複雜多變，除了主要的潮流作用之外，台灣東部及西南部常受到強勁的黑潮(Kuroshio)作用，而在面臨台灣海峽且較近岸的地區，由於水深較淺，容易受到東北季風、西南季風，以及颱風的影響，產生相對較短期的海流變化；此外，近岸地區由於地形變化劇烈，以及受到波浪作用，更會導致近岸海流產生與較外海部份有不同特性的情形。

過去受限於海流量測與分析的儀器和技術，欲取得某一地點在一固定深度海流的資料都相當昂貴，因此台灣沿岸海流的資料都屬零星片斷，不足以提供海象資料分析參考。近年來由於觀測儀器與分析技術的提昇，使得長期且穩定可靠海流資料的取得較為可行，同時海流資料的量測能力從過去的一個測點進步為一整個剖面，如此可得到完整的海流數據，提供相關的分析以及預測參考。目前中央氣象局已建立波浪、潮位等基本海象資料的觀測與資料分析作業，但海流部份尚待積極建立。

1-2　工作內容

本計畫配合中央氣象局建立海象基本資料庫以及海流測報作業需要，就台灣周圍近海重要地區進行海流的量測與分析，預定以兩年

的時間，完成台灣北、西、南、東四區各選擇一個重要的地點，利用都普勒(Doppler)音波式海流儀，進行短期海流的量測與分析。並與美國海洋局(National Ocean Service/NOAA)合作，引進其在此部份先進的專業分析技術（Schureman, 2001；Zetler, 1982），建立一套標準的海流觀測與作業流程規範；同時引進潮流分析及預測技術，依據實測海流資料，進行潮流的分析，經由潮流分析得到當地的潮流特性參數，由此可施行潮流的預測作業。未來，在重要地點除原有潮時、潮高預測外，增加潮流預測，充實我國在海象觀測與預測作業方面的專業能力，並提昇服務品質。

1-3 預期成果

本研究完成兩年期研究後預期可獲致下列成果：

1. 完成台灣北西南東等地區短期海潮流資料的量測作業，取得各觀測地區適當且可靠的海流記錄。
2. 建立台灣四周基本的潮流預測參數，提供潮流預測作業參考。
3. 完成測試並驗證台灣四周潮流預測作業的能力。
4. 建立標準的海流觀測與作業流程規範。
5. 建立中央氣象局與美國海洋及大氣總署海洋局的實質合作關係。
6. 提昇中央氣象局在整體海象預測作業的能力。

本年預期可得到下列成果：

1. 完成台灣北部地區短期海潮流資料的量測作業，取得該地區適當且可靠的海流記錄。
2. 建立台灣北部地區基本的潮流預測參數，提供潮流預測作業參考。
3. 完成測試並驗證台灣北部地區潮流預測作業的能力。
4. 建立標準的海流觀測與作業流程規範。

本報告為本年度執行成果報告，研究重點為在台灣北部地區選擇一個地方進行海流的觀測，目前選定台北縣龍洞外海，中央氣象局現

已在該處設置一座海象資料浮標，依據實際觀測的海流記錄，進行資料分析，並由分析結果嘗試建立潮流預測的模式。第二章介紹海流觀測方法；第三章說明潮流資料分析；第四章為海流觀測結果分析與潮流預測；第五章為初步結果與未來工作。

第二章　海流觀測方法

為配合中央氣象局建立海象基本資料庫以及海流測測作業需要，預計以兩年的時間，分別在台灣北、西、南、四區各選擇一個重要的地點，進行海流的觀測。本年度（2005年1月1日至2005年12月31日止）在台灣北部近岸選定之重要位置，施放可同時觀測整層海水在不同深度海流之流速及流向隨時間變化的音波式都普勒海流剖面儀（ADCP），實施至少30天以上的海流觀測。第二年（2006年1月1日至2006年12月31日止）則分別在台灣西部、南部及東部近岸選定之重要位置，依照本年度的方式進行海流的觀測。

2-1　海流觀測地點

本年先在台灣北部選擇一個地方進行海流的觀測，而選擇的地點為龍洞外海，其原因為中央氣象局在龍洞游艇港內有設置一潮位站，潮位站能提供潮位觀測資料；而在龍洞外海也有設置一資料浮標，資料浮標能提供氣象（風速風向）、水溫、氣溫及波浪等資料。另龍洞南口遊艇港是國內第一座遊艇港，除了提供泊位、補給、維修等全功能服務外，並與龍洞南口海洋公園觀光資源結合，可成為東北角獨具風格的景點、也是全國唯一結合遊艇港與海洋公園的海上主題樂園。綜合上述條件，故選擇在龍洞外海進行海流的觀測，海流觀測位置即設置在龍洞資料浮標的附近，其位置所在經緯度如表2-1，地理位置圖如圖2-1。增加海流觀測資料，中央氣象局在龍洞地區能建立更完整的海象資料，在未來的海象預測作業上也能提供更多的資料作為參考。

表2-1　台灣北部海流觀測作業位置

位置	緯度	經度
龍洞外海	25º05'46" N	121º55'24" E

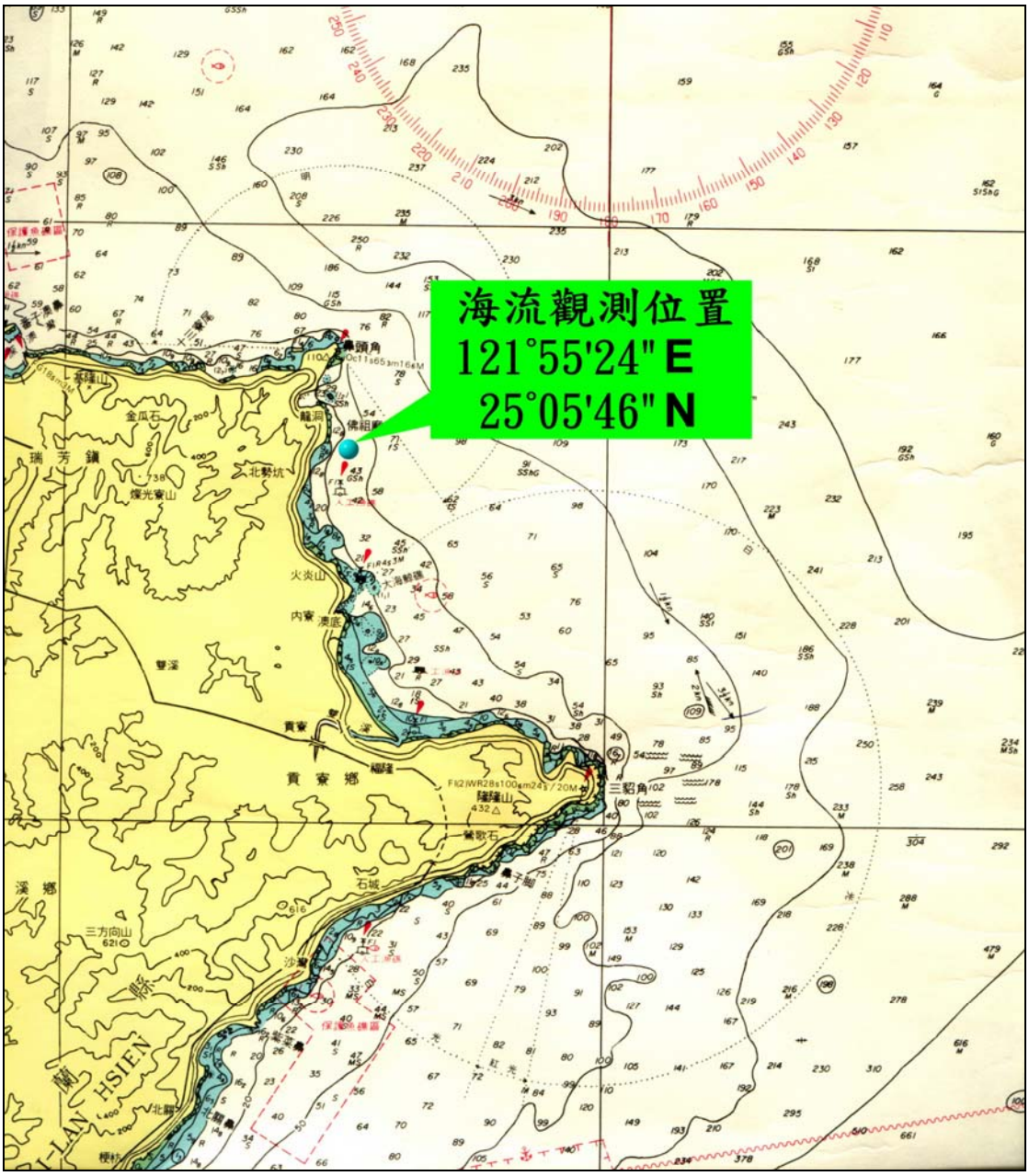


圖2-1　台灣北部海流觀測點的地理位置

2-2　海流觀測作業

進行海流觀測作業所使用的海流儀為挪威NORTEK公司生產的AQP海流儀，此儀器可同時觀測在不同深度海流之流速及流向，基本上是屬於音波都普勒海流剖面儀「Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP」，並可連續自動記錄海流觀測資料，資料記錄的時間間隔可依需要設定。本年海流觀測作業的地點為台灣北部地區龍洞外海，而目前海流觀測作業設定的狀態是每10min記錄一筆海流資料，觀測期間至少需30天以上，且以定點的方式進行海流觀測作業。圖2-2為台灣北部龍洞外海海流儀裝置佈放圖，由圖中顯示海流儀固定在固定架內，施放於水深約35m的地方，並加上錨碇系統避免固定架受外力影響而移動，另為確保海流觀測作業不受漁船作業或外力的干擾，以長30m的不銹鋼纜連接海流儀固定架與龍洞資料浮標的錨碇系統。海流儀進行觀測的範圍為水下8.5m至33.5m，在此範圍內，海流儀可同時進行不同深度的海流觀測並記錄資料，海流觀測作業將海流儀設定成可觀測與記錄10層的海流資料，每層的間距為2.5m。

本年共進行二次海流觀測作業，其海流觀測作業過程說明如后：於2005年5月31日至龍洞外海施放海流儀以進行海流的觀測作業，於2005年7月2日至龍洞外海收回海流儀，在此期間共進行33天的海流觀測作業，完成儀器收回後即回到室內下載海流儀記錄資料，發現海流資料僅記錄10天左右，之後追究原因為海流儀施放前的設定有所疏忽，使得海流儀僅執行10天左右的海流觀測，因此只有10天的海流觀測資料。由於作業上的疏忽致使海流觀測資料不足30天以上，另於7月29日再次至龍洞外海施放海流儀，進行為期30天以上的海流觀測作業。於9月8日至龍洞外海收回海流儀，在此期間共進行約41天的海流觀測作業，完成儀器收回後即回到室內下載海流儀記錄資料，此次海流觀測作業共取得約41天的海流觀測資料。

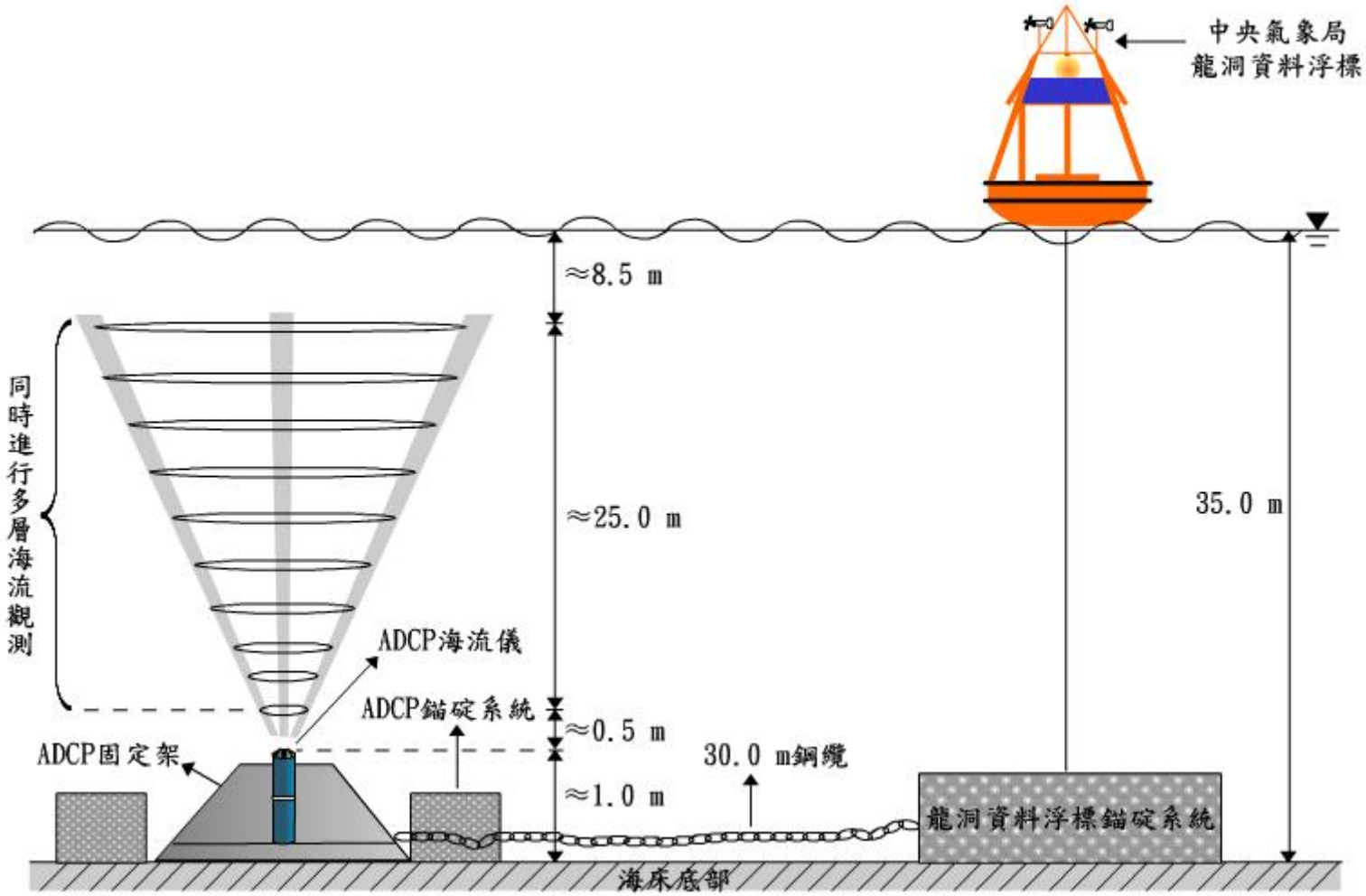


圖2-2　台灣北部龍洞外海海流儀裝置佈放圖

第三章　潮流資料分析

海洋中存在著各種不同規模之水流，海流不但發生在海面附近，在深層亦有水的流動，而形成大循環，此種大循環之主要原因為海面受輻射熱、蒸發、降水、冷縮及作用於海面上之風應力所引起，但最重要者為地球自轉之科氏力（Coriolis force），以上各種原因所造成的水流皆稱為海流。各種性質不同的水流可分為洋流、潮流、風流、補流等四種（中央氣象局網頁海象問答集－海流，http://www.cwb.gov.tw/V4/index.htm，2005），其中洋流為發生於大洋中的水流，例如台灣東部及西南部常受到強烈的黑潮（Kuroshio）作用。而洋流又可分為密度流（density current）及吹送流（drift current），密度流為不同鹽溫特性的水團形成不同密度而發生海水的流動，吹送流為受大氣環流風帶影響，一定方向之風在海面吹過較長時間，在空氣與海水之間因摩擦產生應力，使海水流動；其次潮流（tidal current）為海水受日、月引力產生潮波，引發伴隨漲落潮現象之水流；次之風流（wind current）為與前述吹送流性質相同，但此處指在沿岸之陸棚海域，受季風影響，形成流向與流速不定之水流；最後補流（compensation current）為因流體有連續之性質，某處海水向他處移動，別處的海水來補其缺，而發生之海流。

台灣四周的海流現象極為複雜多變，且近岸地區由於地形變化劇烈，以及受到波浪作用，更會導致近岸海流產生與較外海部份有不同特性的情形，部份流動特性與潮流並不易分離判定。目前本年度計畫著重於選擇台灣北部地區一個測站（龍洞），進行海流的觀測，再執行潮流的分析與預測，因潮流伴隨著潮汐的漲落而流動，所以可使用潮汐分析所最常利用的調和分析（harmonic analysis）法進行潮流的分析，而其他流動的特性則待潮流分析完成有較具體的結果後，再分離其他流動的特性。

3-1 潮汐分析原理

引起潮汐的原因有天體萬有引力、地球公轉、地球自轉及氣象變化等多種因素，但最主要者為太陰及太陽的引力，使海面產生一種週期性的升降運動，成垂直方向運動的稱為潮汐，而成水平方向運動的稱為海流。潮汐資料分析最廣泛使用的方法為調和分析（harmonic analysis）法，此方法假設潮汐由許多分潮(partial tides)相加而成，隨不同地點，由潮位紀錄可得出不同的分潮振幅及遲角，並可依據此結果進行潮汐預測。

潮汐的變化是種週期函數，所以理論上可以將潮汐觀測資料分解成無數個不同振幅和週期的分潮，分潮的產生係由於地球周圍的行星與地球之間的相互吸引力，而使海面產生一種週期性的變化，每一個分潮則為簡單的時間調和函數，而只要將這些分潮再重新組合就可以很容易的預測潮汐了，因此如果以正弦函數來代表潮汐，任意時刻的潮高H_t可表示如下：

$$H_t = H_0 + \sum_{i=1}^{M} f_i h_i \cos\left[\left(V_o + u\right)_i + \omega_i t - K_i\right] + \varepsilon$$

其中，H_0為平均海水面，M為分潮之總數，f_i為修正係數（factor of reduction），h_i為分潮之振幅，$(V_0+u)_i$ 為起始時間之平衡引數（equilibrium argument），ω_i為分潮之角速度， K_i為相位角（phase angle），分潮之振幅及相位角稱為調和常數(harmonic constants)，ε為氣壓、風、雨、溫度、海水密度等因素所造成之海面升降。在實際進行潮汐的分析及預測過程中，忽略氣壓、風、雨、溫度、海水密度等因素所造成之海面升降，平衡引數和修正係數在不同地區為固定，因此，只要計算出分潮的振幅和相位角即能進行潮汐的預測作業。

3-2 潮流分析方法

潮流與潮汐相同，約以半日週期或一日週期改變速度及方向，同時又因月齡潮流強度亦改變（郭，1999），由於潮流與潮汐有相近的週期性變化特性，而最廣泛使用的潮汐分析方法為調和分析（harmonic analysis）法，因此可以此方法進行潮流的分析。在進行

潮流分析作業前需先將觀測記錄所得的海流資料分解成東西及南北成份的分量，並分別以兩種成份的分量進行調和分析，可計算出東西及南北成份各個分潮流的振幅及相位角，接著即能進行潮流在各該方向分量的預測，最後將兩分量預測結果合成一向量，此時可得到海流的預測資料。

本研究進行調和分析是採用Forman（Patrick Caldwell，1988）的潮汐分析及預測電腦程式，依據該程式的操作手冊說明，進行調和分析的資料長度至少不可短於一個月，如資料長度短於一個月則無法進行分析及預測。本年共進行二次的海流觀測作業，分別各取得10天（2005年5月31日至6月10日）及41天（2005年7月29日至9月8日）的海流觀測資料，由於2005年5月31日至6月10日海流觀測的資料長度僅有10天，因此無法進行潮流的預測分析，而2005年7月29日至9月8日海流觀測的資料長度有41天，可以嘗試進行潮流的預測分析。另將二次海流觀測所得的海流資料分別繪製海流流速流向逐時變化圖、海流玫瑰圖、海流向量行進圖及統計分析海流流向與流速之發生頻率等資料以供參考。

第四章　海流觀測結果分析與潮流預測

本年於台灣北部龍洞外海進行二次的海流觀測作業，2005年5月31日至6月10日及2005年7月29日至9月8日的海流觀測作業分別各取得10天及41天的海流觀測記錄資料，資料內容包含流速、流向隨時間的變化。將二次海流觀測所取得的海流觀測記錄資料進行分析處理，可分別繪成不同深度的海流流速流向逐時變化圖(配合潮位)、海流玫瑰圖、海流向量行進圖及統計分析海流流向與流速之發生頻率等資料以供參考。

進行潮流的調和分析（harmonic analysis）及預測作業的資料不可短於30天，由於2005年5月31日至6月10日海流觀測記錄所得的資料僅有10天，因此無法進行潮流的調和分析及預測作業，而2005年7月29日至9月8日海流觀測記錄所得的資料有41天，故可嘗試進行潮流的調和分析及預測作業。

4-1　海流觀測結果分析

將台灣北部龍洞外海兩次觀測所得的海流記錄資料，依不同深度之海流流速流向分別繪成不同深度的海流流速流向逐時變化圖(配合潮位)、海流玫瑰圖、海流向量行進圖及統計分析海流流向與流速之發生頻率等資料。

圖4-1至圖4-2分別顯示2005年5月31日至6月10日龍洞外海水下8.5m至31.0m的海流及潮汐時序圖，由圖中結果可知海流在漲潮時，流向以東北方向為主，而退潮期間流向以西南方向較為明顯。圖4-3至圖4-4分別顯示2005年7月29日至9月8日龍洞外海水下8.5m至31.0m的海流及潮汐時序圖，由圖中結果可知海流在漲潮時，流向以東北方向為主，而退潮期間流向以西南方向較為明顯。

圖4-5至圖4-14及表4-1分別顯示2005年5月31日至6月10日龍洞外海水下8.5m至31.0m的海流玫瑰圖，由圖及表中資料顯示觀測期間不

同深度海流在各方向發生的頻率，其中大部份集中在N、NNE及NE的方向，其發生百分比大約在50％至65％之間，而SSW及SW方向的海流發生的頻率也較其他方向為明顯，大約在10％至20％之間，其他方向發生的頻率較低，另由表4-1中資料可知龍洞外海水下8.5m至31.0m的各層海流流向發生最多流向為NNE及N。圖4-15至圖4-24及表4-2分別顯示2005年7月29日至9月8日龍洞外海水下8.5m至31.0m的海流玫瑰圖，由圖及表中資料顯示觀測期間海流在各方向發生的頻率，其中大部份集中在N、NNE及NE的方向，其發生百分比大約在50％至60％之間，而SSW及SW方向的海流發生的頻率也較其他方向為明顯，大約在10％至20％之間，其他方向發生的頻率較低，另由表4-2中資料可知龍洞外海水下8.5m至31.0m的各層海流流向發生最多流向為NNE及N。

表4-3及4-4分別為2005年5月31日至6月10日及2005年7月29日至9月8日龍洞外海水下8.5m至31.0m各層海流流速發生頻率分析表，由表中資料可知二次觀測期間海流的流速大部分皆小於25cm/s，其發生百分比大約在50％至90％之間，另25cm/s至50cm/s的流速發生的頻率也較明顯，其發生百分比大約均在10％至30％之間，而50cm/s至75cm/s的流速發生百分比皆小於13％，其他的流速發生的頻率則較不明顯。由表4-3的資料也可知第一次及第二次的海流發生最多流速皆為小於25cm/s。

圖4-25至圖4-34分別顯示2005年5月31日至6月10日龍洞外海水下8.5m至31.0m的海流向量行進圖，由圖中顯示可知在不同水深海流的行進方向，大部份皆朝N及NNE的方向移動。圖4-35至圖4-44分別顯示2005年7月29日至9月8日龍洞外海水下8.5m至31.0m的海流向量行進圖，由圖中顯示可知在不同水深海流的行進方向大部份皆朝N及NNE的方向移動。

由以上資料可知，於海流觀測期間龍洞外海水下8.5m至31.0m的海流在漲潮時，流向以東北方向為主，而退潮期間流向以西南方向較為明顯。海流在各方向發生的頻率，其中大部份集中在N、NNE及NE

的方向，而SSW及SW方向的海流發生的頻率也較其他方向為明顯，其他方向發生的頻率較低。海流流速大部分皆小於25cm/s，另25cm/s至50cm/s的流速發生的頻率也較明顯，而50cm/s至75cm/s的流速發生的頻率較少，其他的流速發生的頻率則較不明顯。不同水深海流的行進方向大部份皆朝N及NNE的方向移動。由以上結果得知，2005年5月31日至6月10日海流觀測作業期間約在春末，2005年7月29日至9月8日海流觀測作業期間在夏季，而此二次觀測所得的海流記錄資料顯示，其不同深度海流流速及流向變化趨勢皆非常一致。

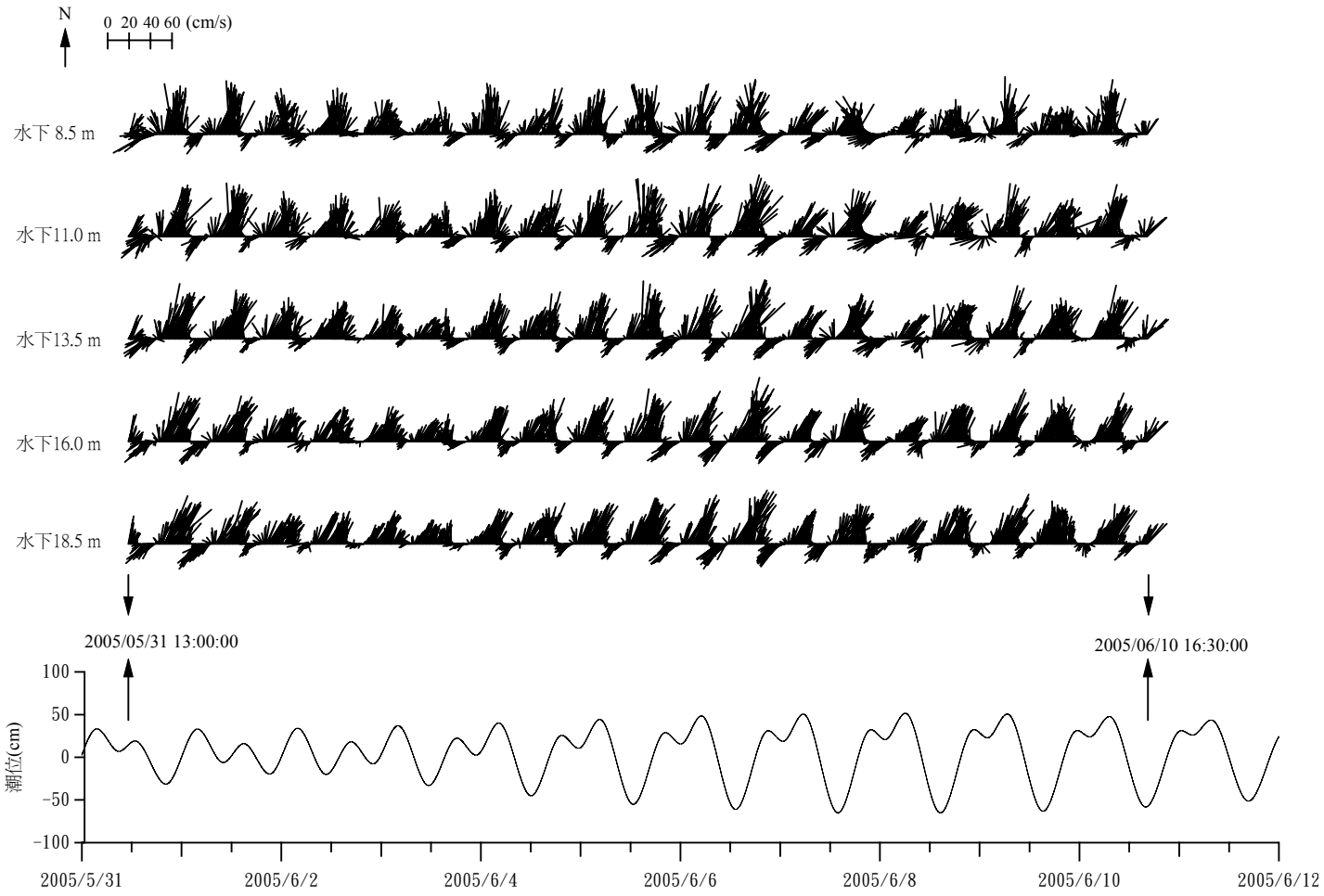


圖4-1　2005/5/31~6/10龍洞外海海流及潮汐時序圖（水下8.5m至18.5m）

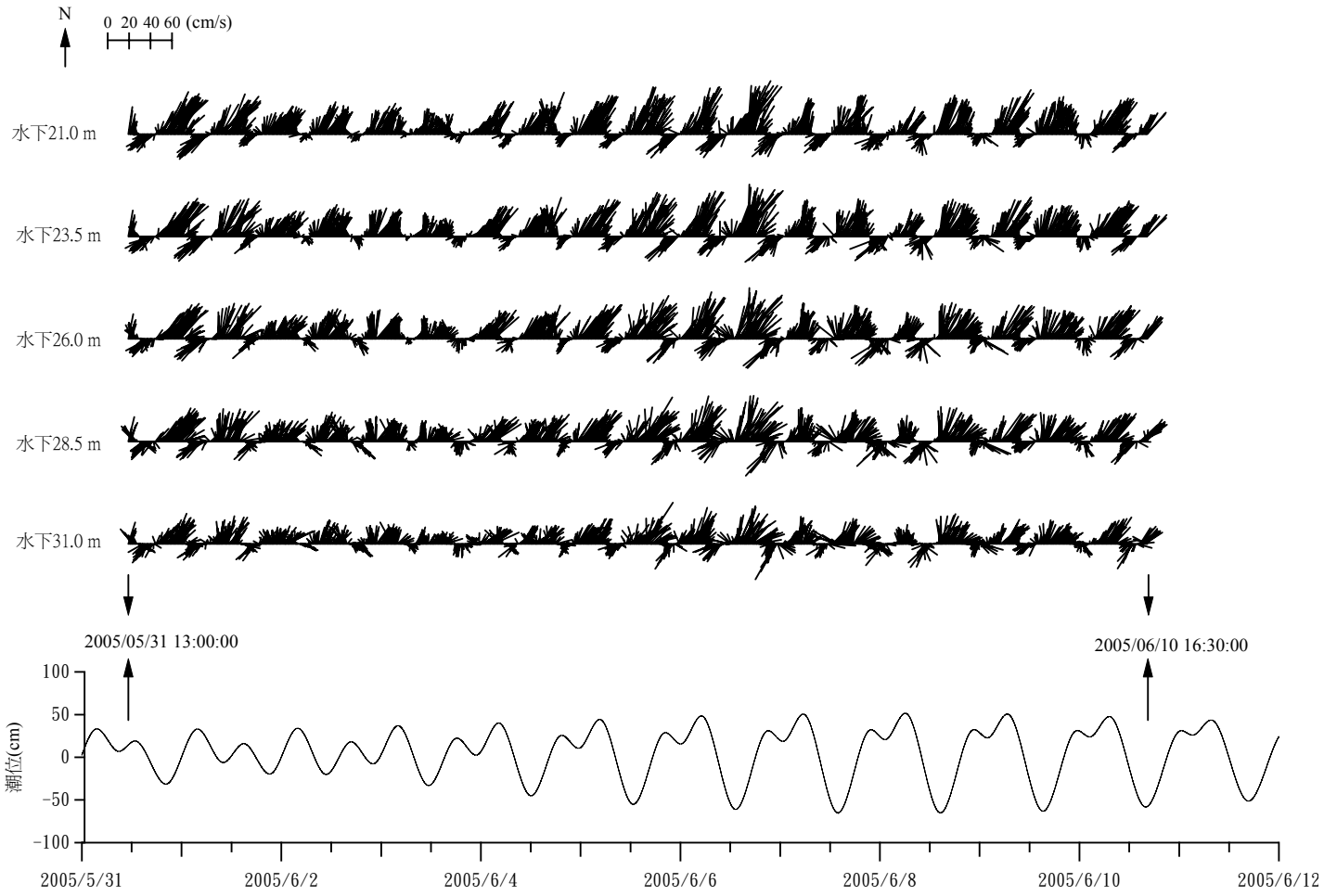


圖4-2　2005/5/31~6/10龍洞外海海流及潮汐時序圖（水下21.0m至31.0m）

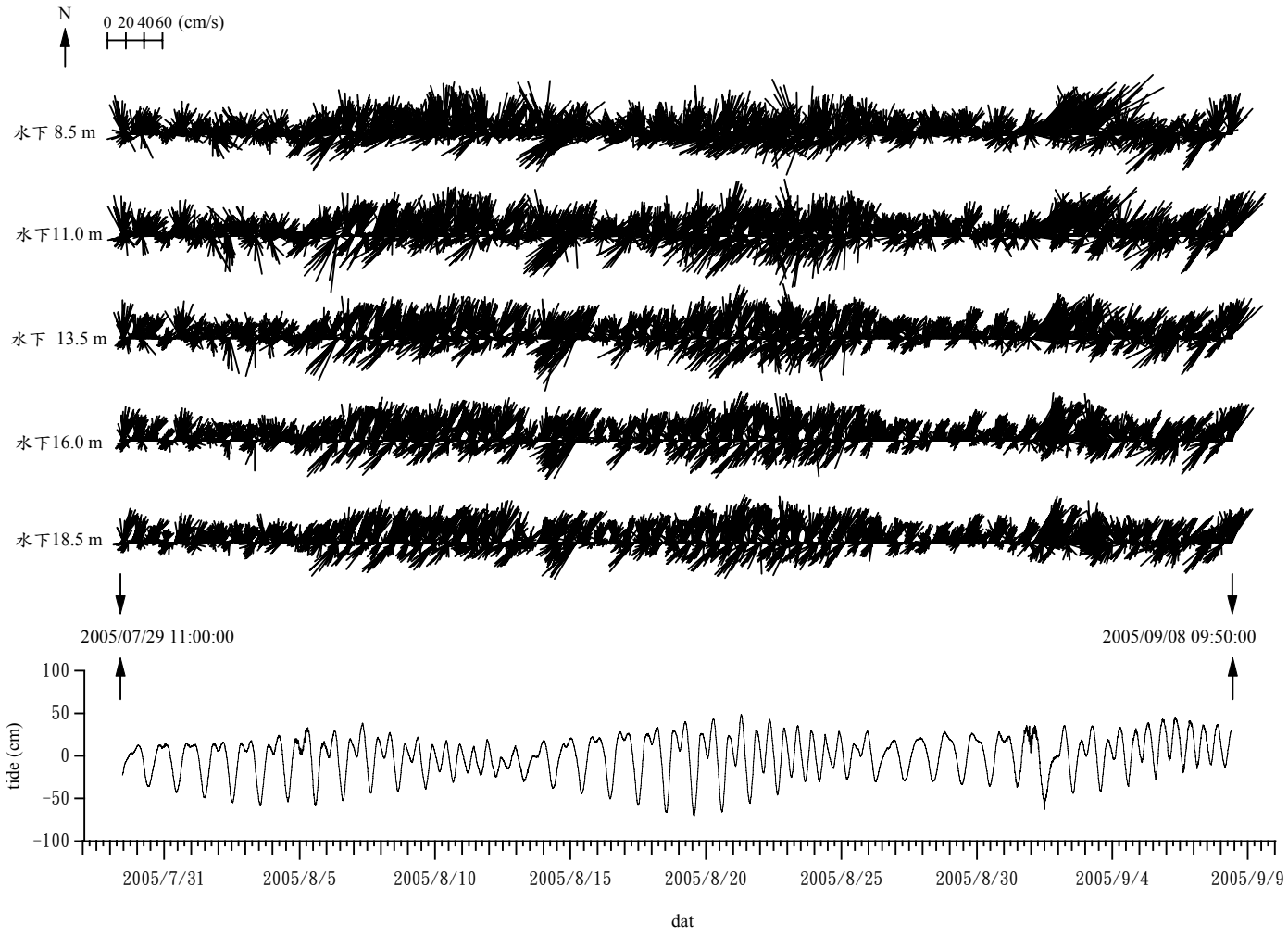


圖4-3　2005/7/29~9/8龍洞外海海流及潮汐時序圖（水下8.5m至18.5m）

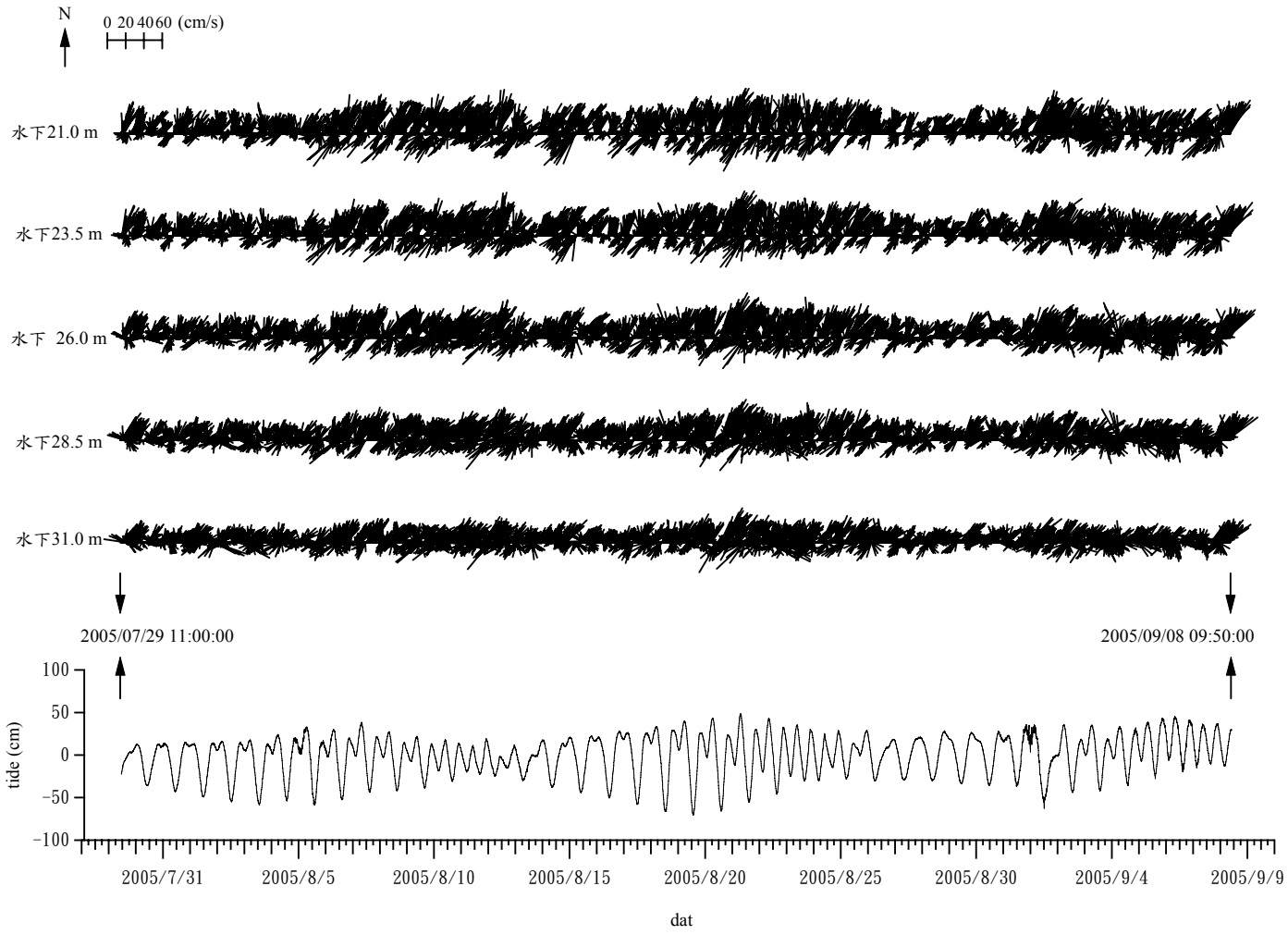


圖4-4　2005/7/29~9/8龍洞外海海流及潮汐時序圖（水下21.0m至31.0m）

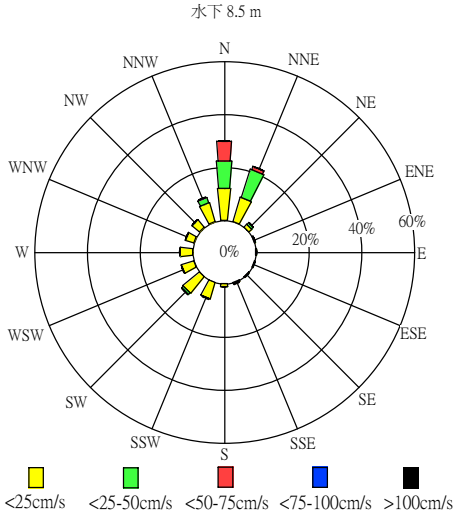


圖4-5　2005/5/31~6/10龍洞外海水下8.5m海流玫瑰圖

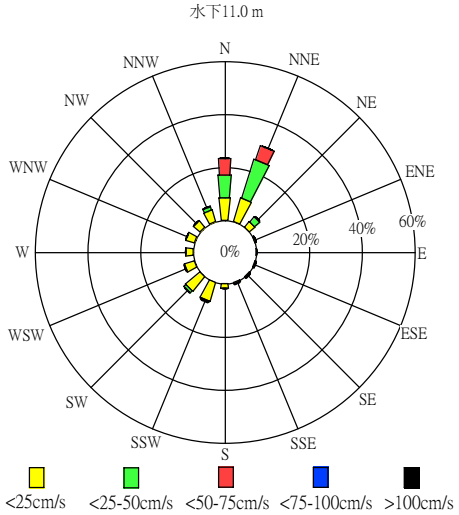


圖4-6　2005/5/31~6/10龍洞外海水下11.0m海流玫瑰圖

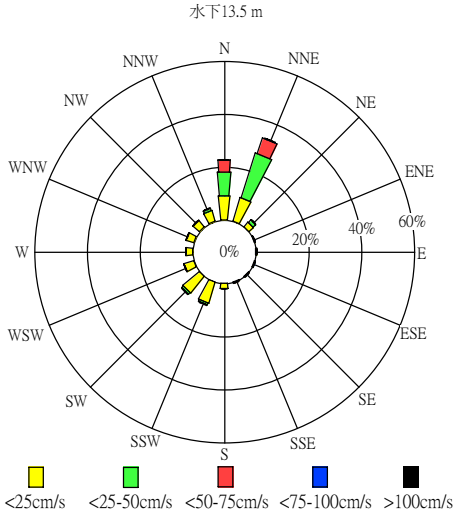


圖4-7　2005/5/31~6/10龍洞外海水下13.5m海流玫瑰圖

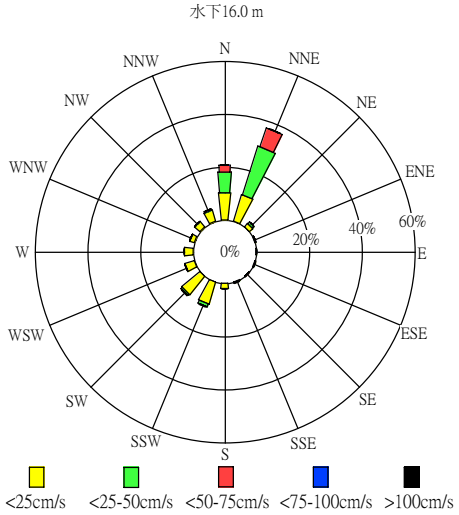


圖4-8　2005/5/31~6/10龍洞外海水下16.0m海流玫瑰圖

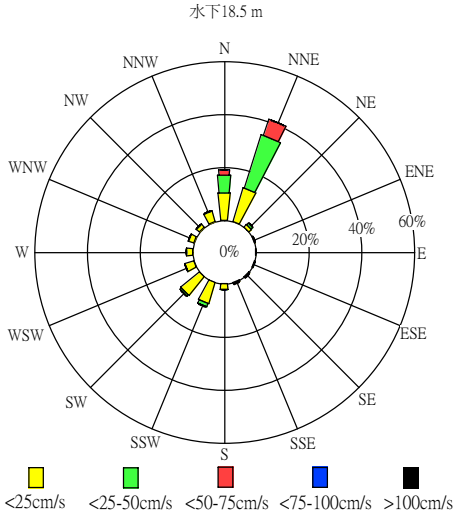


圖4-9　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m海流玫瑰圖

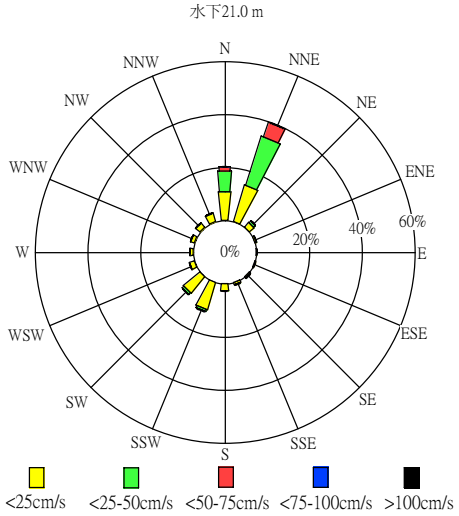


圖4-10　2005/5/31~6/10龍洞外海水下21.0m海流玫瑰圖

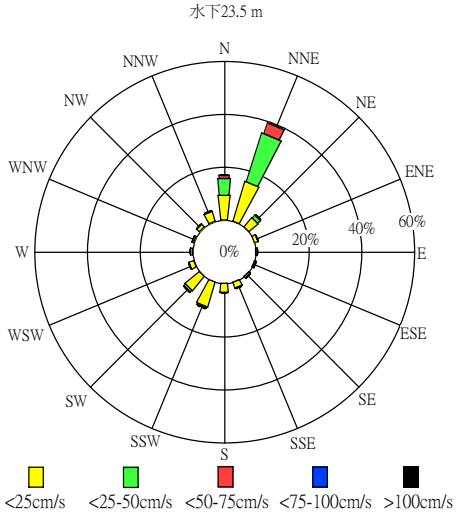


圖4-11　2005/5/31~6/10龍洞外海水下23.5m海流玫瑰圖

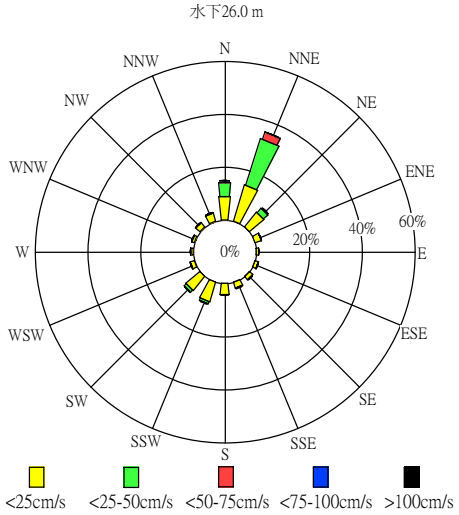


圖4-12　2005/5/31~6/10龍洞外海水下26.0m海流玫瑰圖

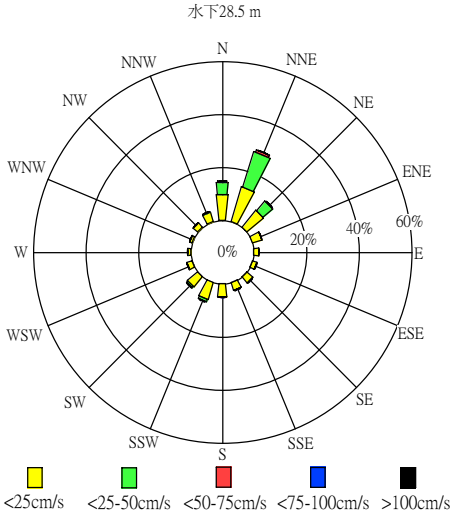


圖4-13　2005/5/31~6/10龍洞外海水下28.5m海流玫瑰圖

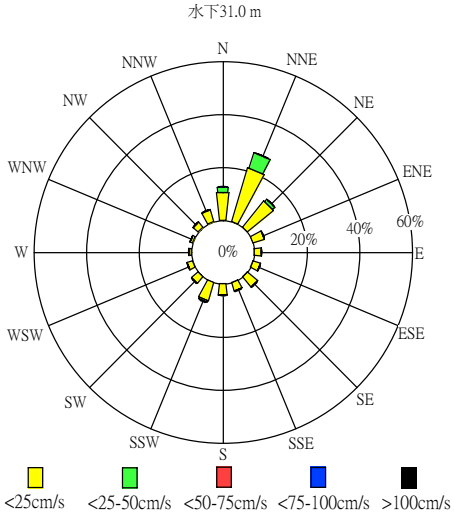


圖4-14　2005/5/31~6/10龍洞外海水下31.0m海流玫瑰圖

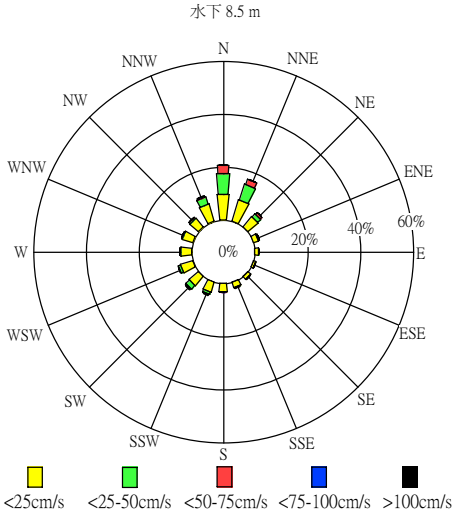


圖4-15　2005/7/29~9/8龍洞外海水下8.5m海流玫瑰圖

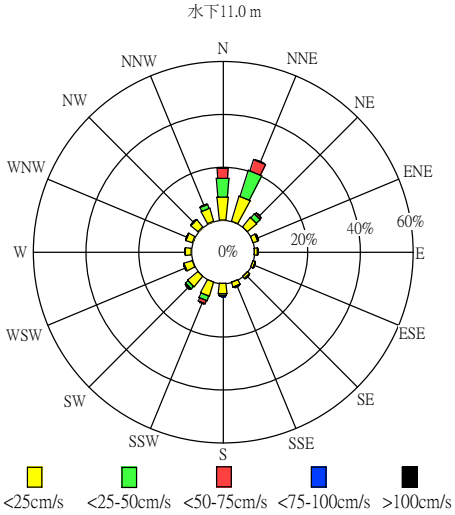


圖4-16　2005/7/29~9/8龍洞外海水下11.0m海流玫瑰圖

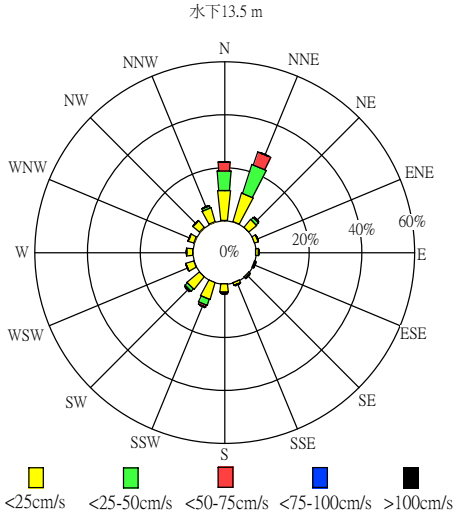


圖4-17　2005/7/29~9/8龍洞外海水下13.5m海流玫瑰圖

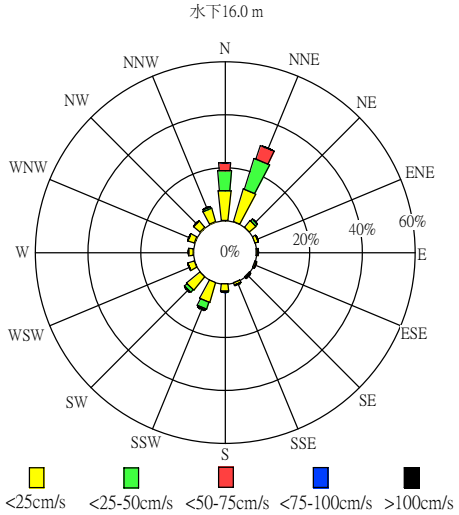


圖4-18　2005/7/29~9/8龍洞外海水下16.0m海流玫瑰圖

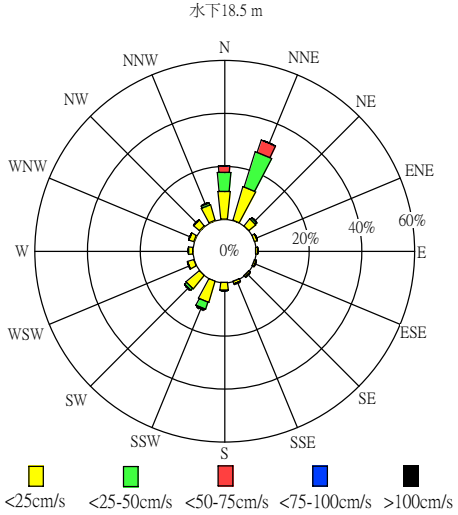


圖4-19　2005/7/29~9/8龍洞外海水下18.5m海流玫瑰圖

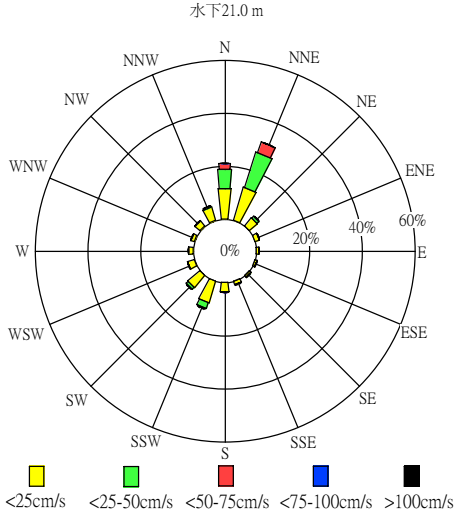


圖4-20　2005/7/29~9/8龍洞外海水下21.0m海流玫瑰圖

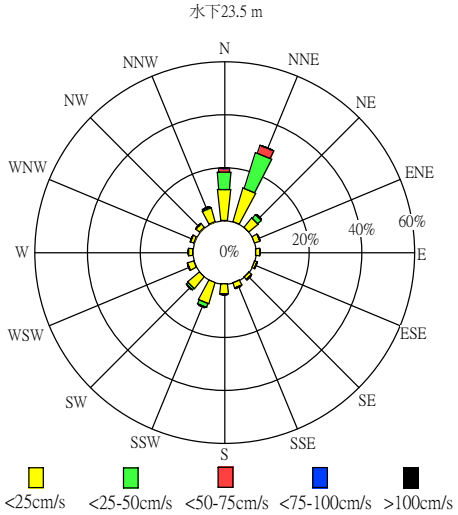


圖4-21　2005/7/29~9/8龍洞外海水下23.5m海流玫瑰圖

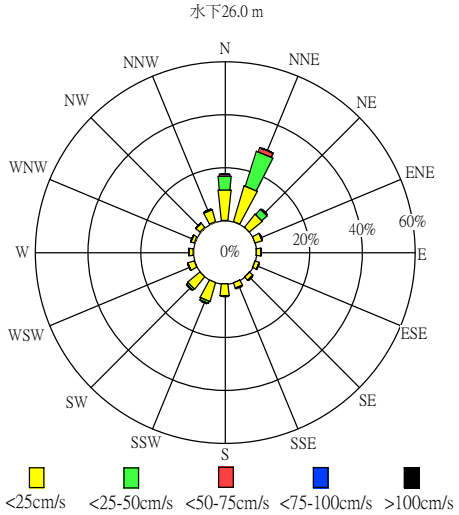


圖4-22　2005/7/29~9/8龍洞外海水下26.0m海流玫瑰圖

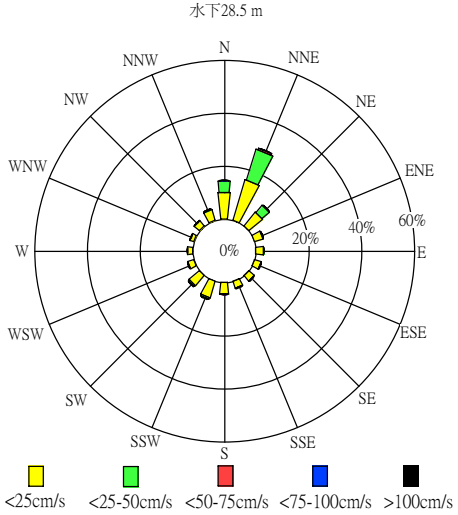


圖4-23　2005/7/29~9/8龍洞外海水下28.5m海流玫瑰圖

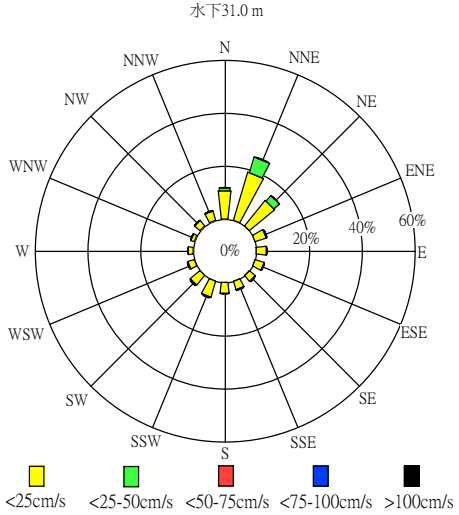


圖4-24　2005/7/29~9/8龍洞外海水下31.0m海流玫瑰圖

表4-1　2005/5/31~6/10龍洞外海水下8.5m至31.0m各層海流流向發生頻率分析表

水深 (m)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	最多流向
	百分比(%)																
8.5	29.89	22.09	2.53	0.48	0.34	0.27	0.21	0.55	1.16	6.50	9.10	4.99	4.86	3.35	3.83	9.85	N
11.0	23.53	30.44	5.75	0.62	0.21	0.55	0.61	0.61	1.85	7.93	8.21	4.10	2.80	3.42	3.35	6.02	NNE
13.5	22.64	33.58	3.83	0.34	0.48	0.34	0.28	0.28	1.98	9.09	9.03	3.90	2.53	3.08	3.28	5.34	NNE
16.0	20.73	37.41	2.67	0.41	0.14	0.34	0.07	0.27	1.98	9.85	9.64	3.76	3.28	1.85	2.74	4.86	NNE
18.5	19.08	40.77	2.53	0.41	0.07	0.27	0.48	0.55	2.26	9.71	9.85	3.56	2.32	2.19	1.64	4.31	NNE
21.0	20.04	39.81	3.49	0.68	0.28	0.34	0.68	0.96	2.74	11.56	9.10	1.98	1.23	1.50	2.19	3.42	NNE
23.5	16.89	39.33	6.43	1.50	0.69	0.69	0.82	2.46	3.49	10.41	8.07	2.05	0.82	0.68	1.50	4.17	NNE
26.0	14.84	35.50	10.05	2.60	0.96	1.44	1.78	2.39	4.38	8.69	8.00	1.64	0.96	1.09	2.19	3.49	NNE
28.5	14.77	28.59	13.47	3.83	1.98	1.85	3.15	3.21	5.13	7.80	5.75	2.05	1.16	0.96	2.33	3.97	NNE
31.0	12.65	27.29	14.02	4.65	2.80	3.02	5.13	3.42	4.38	7.93	3.35	2.12	0.96	0.96	2.60	4.72	NNE

註：每層海流間距為2.5m

表4-2　2005/7/29~9/8龍洞外海水下8.5m至31.0m各層海流流向發生頻率分析表

水深 (m)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	最多流向
	百分比(%)																
8.5	19.60	16.84	8.00	2.80	1.76	1.19	1.76	2.46	3.49	6.34	7.02	5.65	4.46	4.29	4.61	9.73	N
11.0	18.79	24.79	8.28	2.36	1.48	1.17	1.20	2.21	4.73	9.16	7.00	3.27	2.39	2.73	3.56	6.88	NNE
13.5	20.84	28.00	6.05	1.68	1.24	0.71	0.81	1.14	3.83	10.28	7.73	3.16	2.46	2.37	3.22	6.48	NNE
16.0	20.53	30.11	4.98	1.54	0.81	0.73	0.71	1.12	3.17	11.43	8.04	2.87	1.88	2.53	3.29	6.26	NNE
18.5	19.16	31.18	5.16	1.37	1.03	0.93	0.76	1.19	3.29	11.58	7.82	2.73	1.79	2.09	2.93	6.99	NNE
21.0	19.72	30.25	6.24	2.27	1.22	1.14	0.92	1.44	3.75	11.28	7.12	3.05	1.83	1.52	2.61	5.64	NNE
23.5	18.57	29.42	7.65	2.53	1.83	1.40	1.46	2.07	4.37	10.07	6.80	2.90	1.73	1.47	1.95	5.78	NNE
26.0	16.04	28.82	9.95	3.42	2.14	1.93	1.97	2.39	5.05	8.33	6.89	2.63	1.95	1.42	2.20	4.87	NNE
28.5	13.63	27.52	11.44	4.15	3.31	2.97	2.92	3.05	5.00	7.09	5.73	2.70	1.90	1.66	2.56	4.37	NNE
31.0	11.21	23.64	15.62	5.31	4.20	4.00	3.22	3.61	4.73	6.51	5.05	2.76	1.88	1.66	2.85	3.75	NNE

註：每層海流間距為2.5m

表4-3　2005/5/31~6/10龍洞外海水下8.5m至31.0m各層海流流速發生頻率分析表

水深 (m)	< 25 cm/s	25 ~ 50 cm/s	50 ~ 75 cm/s	75 ~ 100 cm/s	> 100 cm/s	最多流速 (cm/s)
	百分比(%)					
8.5	64.84	26.06	9.03	0.07	0.00	< 25
11.0	57.59	29.96	12.18	0.27	0.00	< 25
13.5	57.93	30.71	11.08	0.27	0.00	< 25
16.0	59.30	30.37	10.19	0.14	0.00	< 25
18.5	60.40	30.92	8.62	0.00	0.00	< 25
21.0	62.31	30.10	7.59	0.00	0.00	< 25
23.5	64.84	29.27	5.88	0.00	0.00	< 25
26.0	67.44	28.45	4.10	0.00	0.00	< 25
28.5	72.44	25.72	1.85	0.00	0.00	< 25
31.0	89.54	10.12	0.34	0.00	0.00	< 25

註：每層海流間距為2.5m

表4-4　2005/7/29~9/8龍洞外海水下8.5m至31.0m各層海流流速發生頻率分析表

水深 (m)	< 25 cm/s	25 ~ 50 cm/s	50 ~ 75 cm/s	75 ~ 100 cm/s	> 100 cm/s	最多流速 (cm/s)
	百分比(%)					
8.5	67.44	24.44	7.74	0.36	0.02	< 25
11.0	61.82	26.24	11.46	0.44	0.00	< 25
13.5	63.78	25.56	10.44	0.20	0.00	< 25
16.0	64.48	26.10	9.32	0.10	0.00	< 25
18.5	64.84	26.86	8.28	0.02	0.00	< 25
21.0	66.38	26.44	7.16	0.02	0.00	< 25
23.5	68.76	26.00	5.20	0.04	0.00	< 25
26.0	72.86	24.14	3.00	0.00	0.00	< 25
28.5	76.30	22.42	1.28	0.00	0.00	< 25
31.0	88.08	11.70	0.22	0.00	0.00	< 25

註：每層海流間距為2.5m

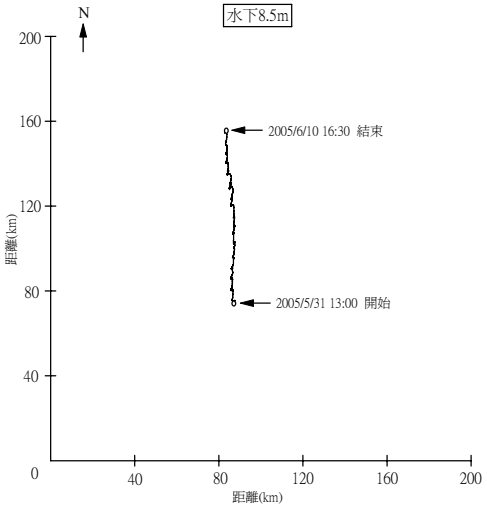


圖4-25　2005/5/31~6/10龍洞外海水下8.5m海流向量行進圖

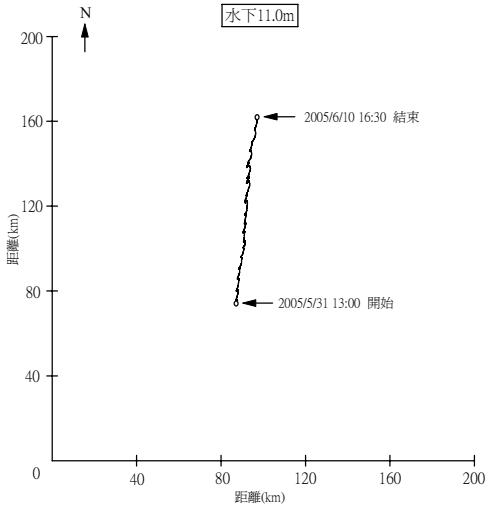


圖4-26　2005/5/31~6/10龍洞外海水下11.0m海流向量行進圖

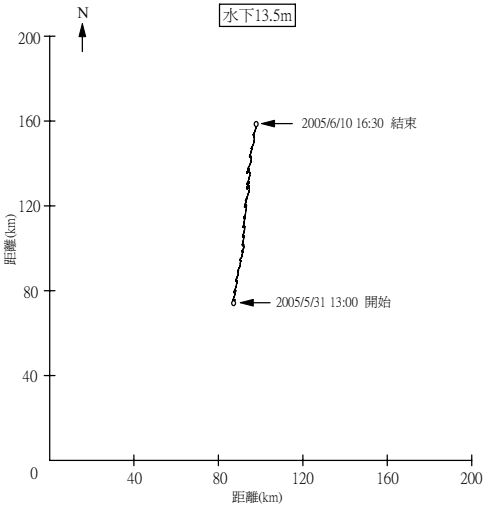


圖4-27　2005/5/31~6/10龍洞外海水下13.5m海流向量行進圖

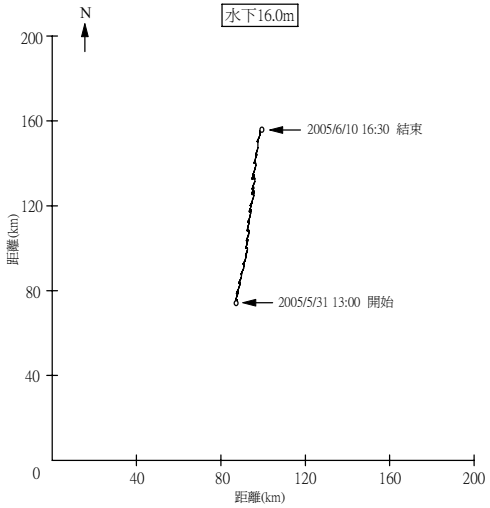


圖4-28　2005/5/31~6/10龍洞外海水下16.0m海流向量行進圖

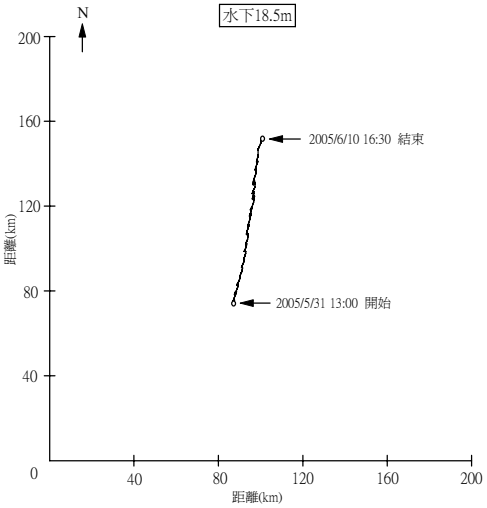


圖4-29　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m海流向量行進圖

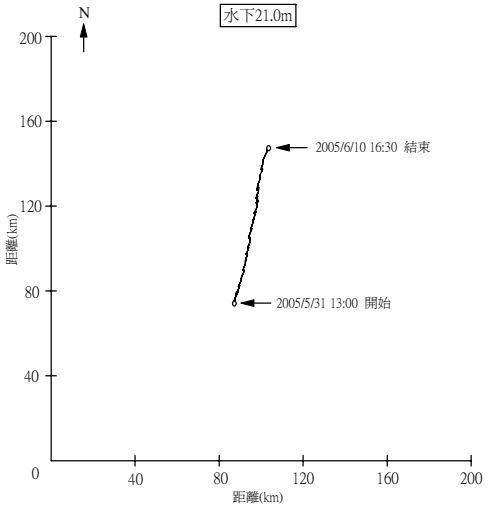


圖4-30　2005/5/31~6/10龍洞外海水下21.0m海流向量行進圖

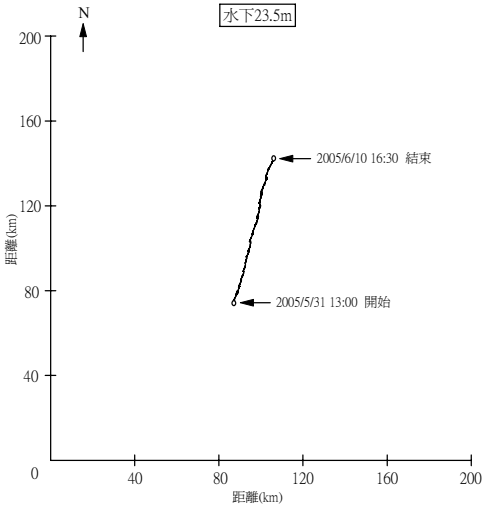


圖4-31　2005/5/31~6/10龍洞外海水下23.5m海流向量行進圖

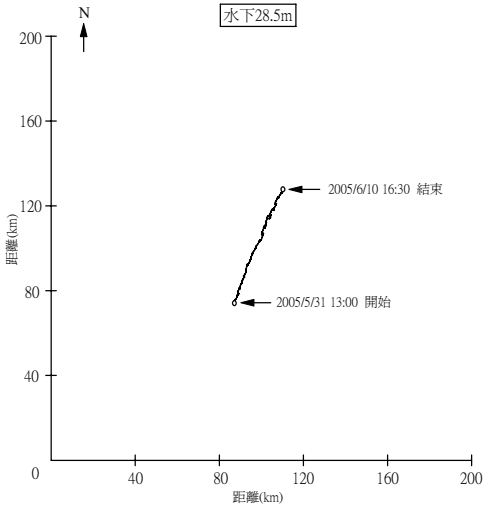


圖4-32　2005/5/31~6/10龍洞外海水下26.0m海流向量行進圖

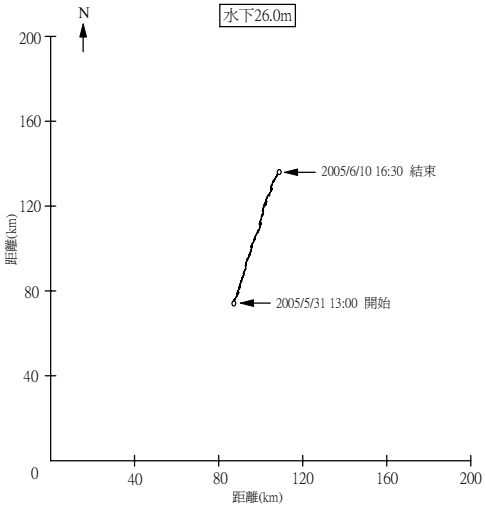


圖4-31　2005/5/31~6/10龍洞外海水下28.5m海流向量行進圖

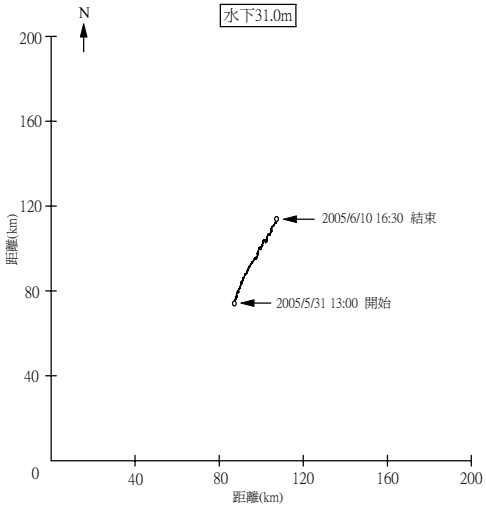


圖4-32　2005/5/31~6/10龍洞外海水下31.0m海流向量行進圖

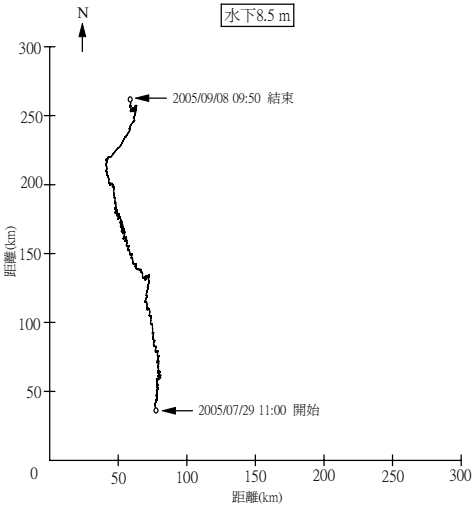


圖4-33　2005/7/19~9/8龍洞外海水下8.5m海流向量行進圖

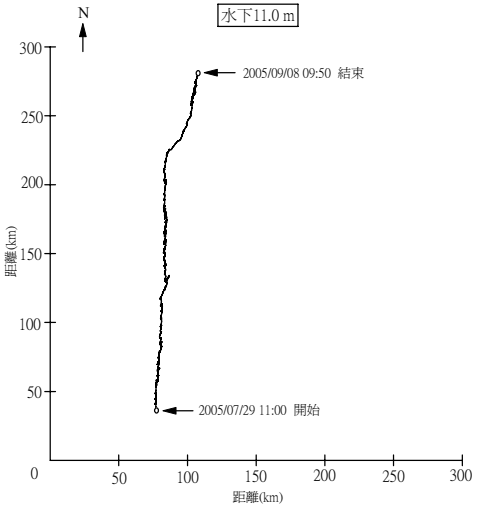


圖4-34　2005/7/19~9/8龍洞外海水下11.0m海流向量行進圖

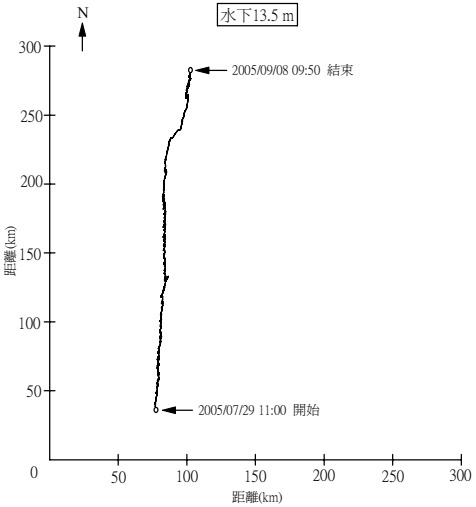


圖4-35　2005/7/19~9/8龍洞外海水下13.5m海流向量行進圖

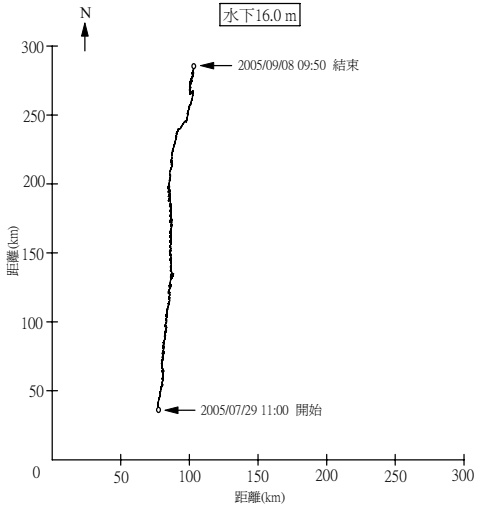


圖4-36　2005/7/19~9/8龍洞外海水下16.0m海流向量行進圖

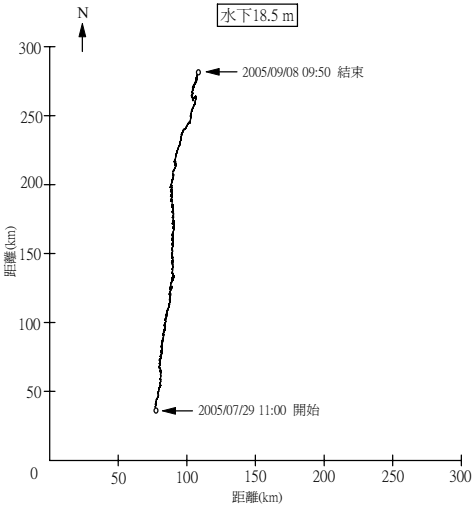


圖4-37　2005/7/19~9/8龍洞外海水下18.5m海流向量行進圖

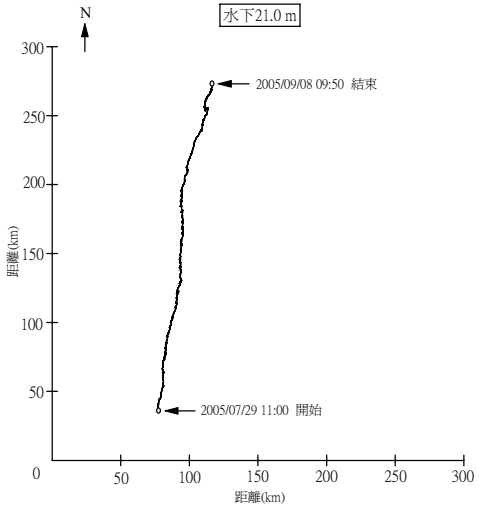


圖4-38　2005/7/19~9/8龍洞外海水下21.0m海流向量行進圖

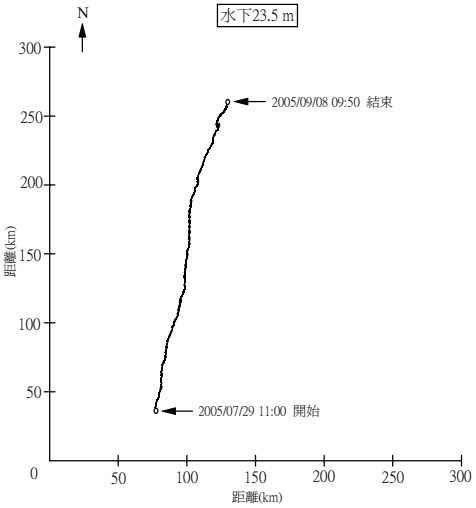


圖4-39　2005/7/19~9/8龍洞外海水下23.5m海流向量行進圖

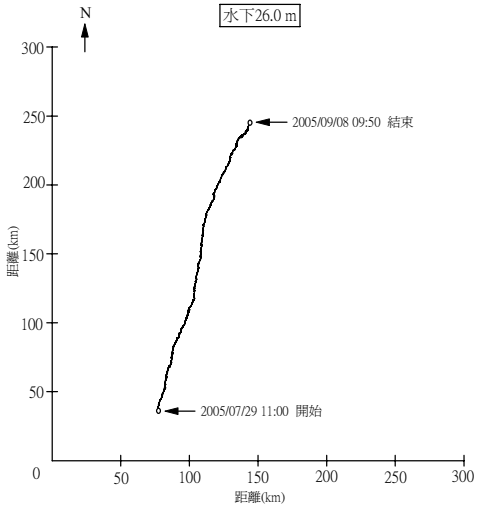


圖4-40　2005/7/19~9/8龍洞外海水下26.0m海流向量行進圖

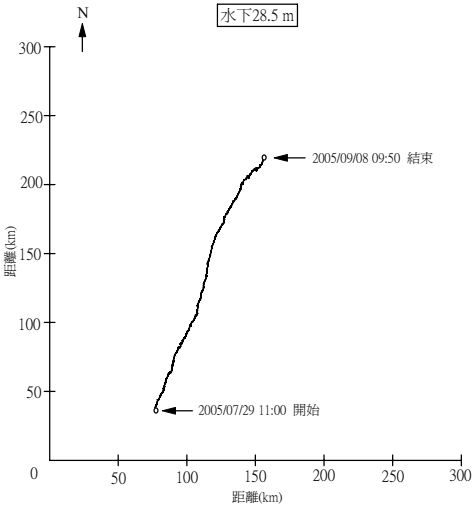


圖4-41　2005/7/19~9/8龍洞外海水下28.5m海流向量行進圖

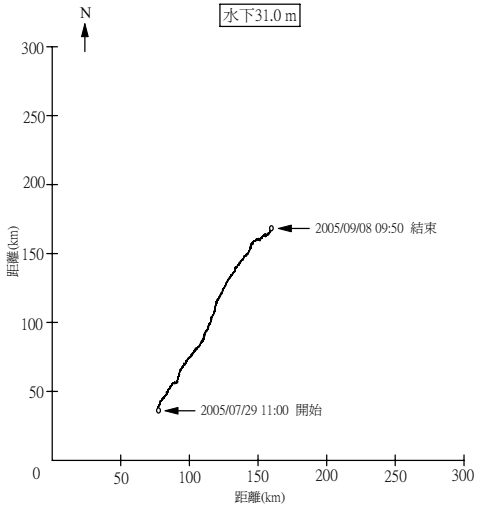


圖4-42　2005/7/19~9/8龍洞外海水下31.0m海流向量行進圖

4-2 潮流分析及預測

將龍洞外海的海流觀測記錄所得資料，嘗試進行潮流的調和分析及預測。在進行潮流資料分析前，需先將海流資料分解成東西方向(u)及南北方向（v）的分量，才能進行潮流的調和分析及預測。

海流觀測作業為同時進行十層剖面的海流觀測並記錄資料，由海流觀測記錄所得資料顯示，各層之海流流速及流向的逐時變化趨勢皆非常一致，因此本報告以水下18.5m的海流記錄資料來作為分析，分別將2005年5月31日至6月10日及2005年7月29日至9月8日的海流觀測所得資料分解成u及v分量，分別如圖4-43及圖4-44，由圖中資料顯示此兩次海流u及v分量的變化皆呈現週期性且規則之變化。

使用頻譜分析（spectrum analysis）來進行海流資料特性的分析，也就是將時間序列資料透過傅立葉轉換（Fourier Transform）改變成頻譜序列資料，於是時序資料中不同機制的結果及不知所以然的雜訊疊加的總和訊號得以被拆開呈現。以頻譜分析分別進行2005年5月31日至6月10日及2005年7月29日至9月8日之水下18.5m之海流u及v分量的分析，圖4-45及圖4-46分別為二次水下18.5m之海流u及v分量頻譜分析的結果，由圖4-45及圖4-46的頻譜中，可清楚看見二次水下18.5m之海流u及v分量的主要成份均為半日潮。

使用調和分析（harmonic analysis）法進行海流u及v分量的預測及分析，由於第一次海流觀測記錄資料僅有10天，因此無法進海流的分析及預測，而第二次海流觀測記錄資料有41天，可嘗試進行海流的分析及預測。首先採用2005年7月29日至8月31日水下18.5m共約34天的海流紀錄資料進行分析，接著再分別預測5月31日至6月11日及7月29日至9月8日海流u及v的分量。將5月31日至6月11日及7月29日至9月8日實測與預測的海流u及v分量分別進行比較，如圖4-47至圖4-51所示，由圖中顯示可知，5月31日至6月11日實測與預測的海流u及v分量隨時間變化的趨勢非常一致，7月29日至9月8日實測與預測的海流u及v分量隨時間變化的趨勢也非常一致，唯9月1日至2日受到強烈侵台颱風泰利的影響，故實測與預測的海流u及v分量之間的差異略

大。另完成2005年9月1日至2006年9月30日一整年龍洞外海水下18.5m的預測海流u及v分量，如圖4-52所示。

由以上結果顯示，龍洞外海2005年5月31日至6月10日及2005年7月29日至9月8日水下18.5m海流u及v分量的變化皆呈現週期性之變化。由頻譜分析的結果可知二次水下18.5m之海流u及v分量的主要成份均為半日潮。使用調和分析進行潮流的分析與預測，由5月31日至6月11日及7月29日至9月8日的實測與預測海流之比較結果可知，其海流u及v分量隨時間變化的趨勢皆呈現一致的變化趨勢，此也代表潮流預測的方法可應用在龍洞外海，且可得到不錯的預測結果。

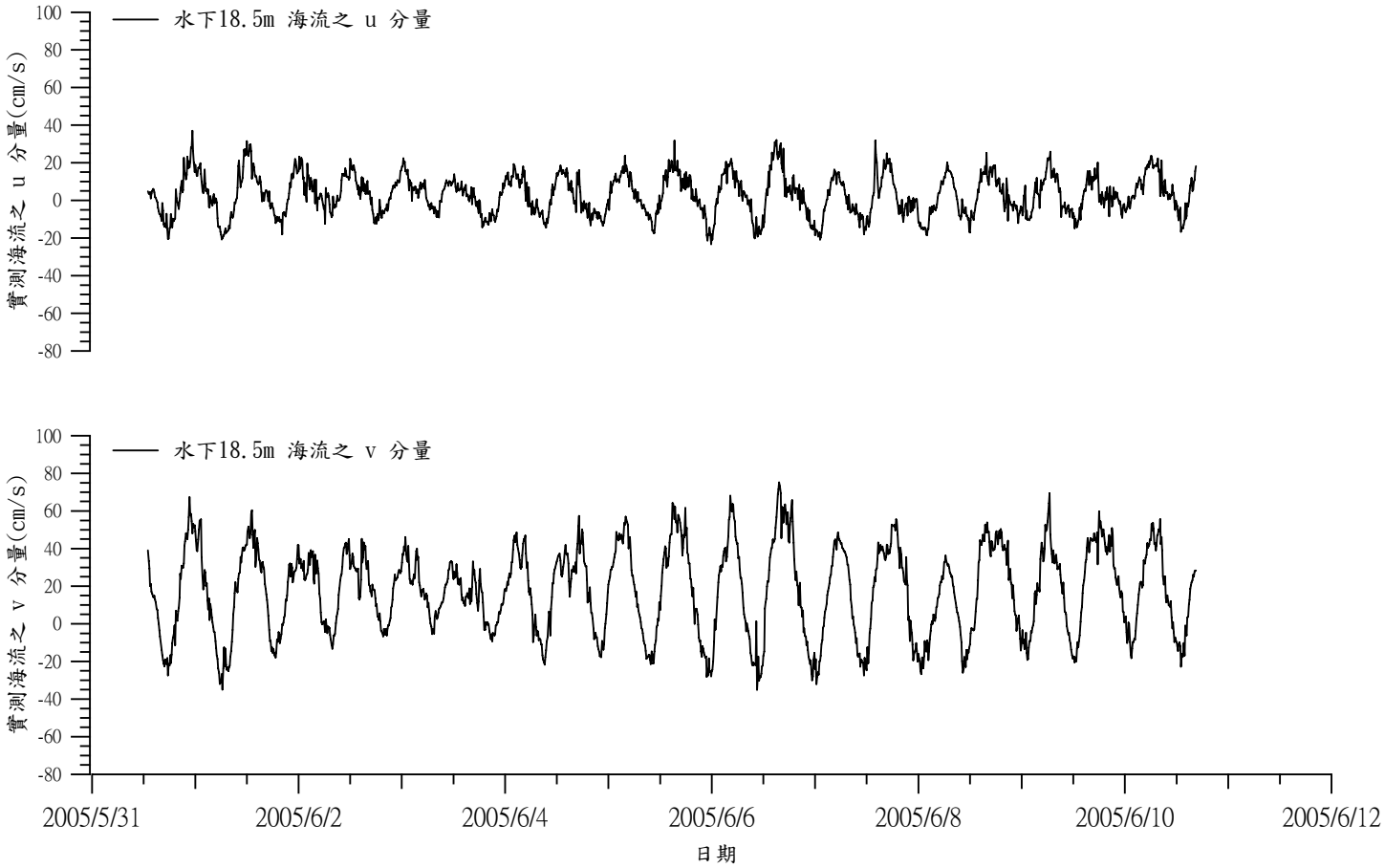


圖4-43　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量圖

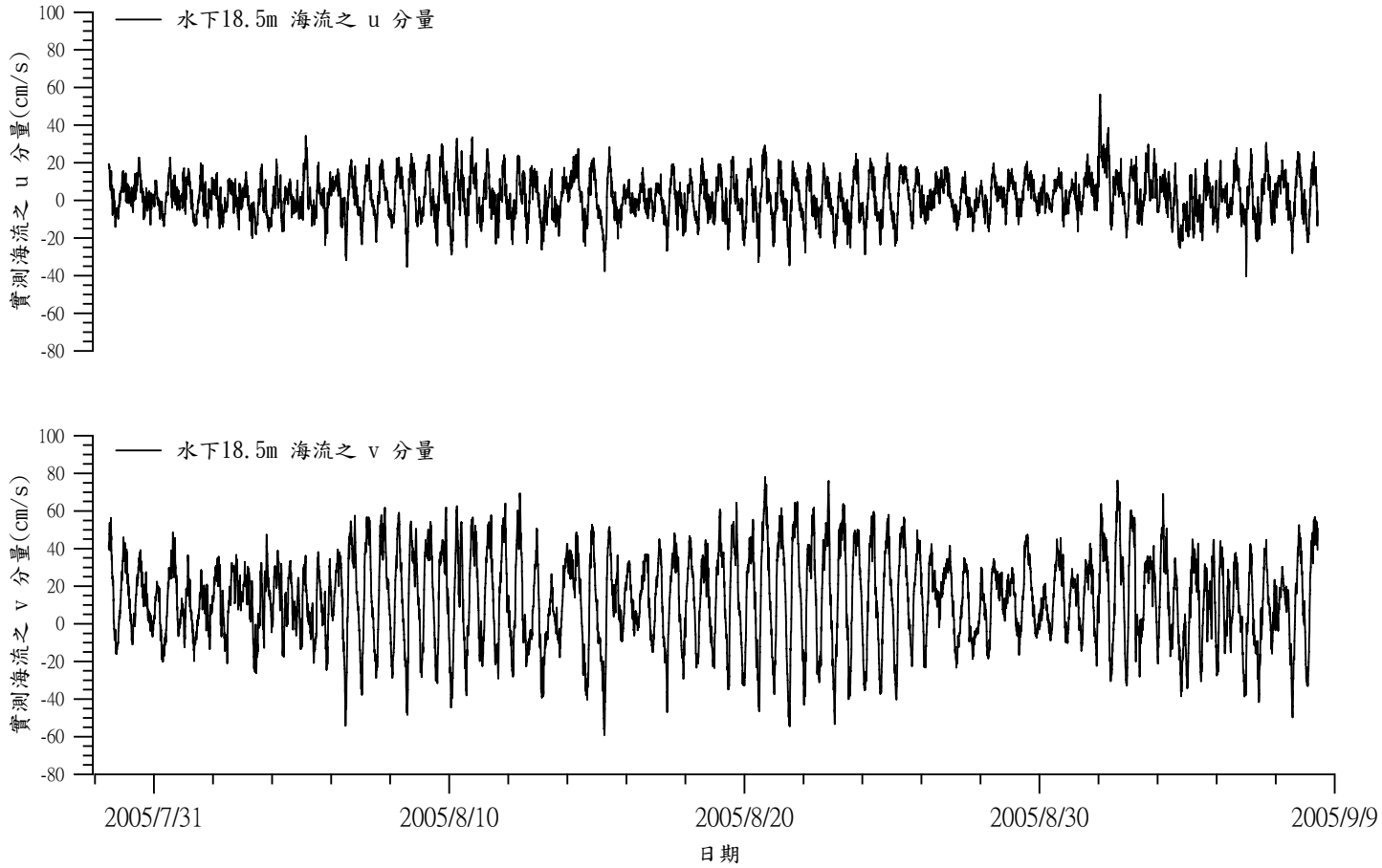


圖4-44　2005/7/29~9/8龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量圖

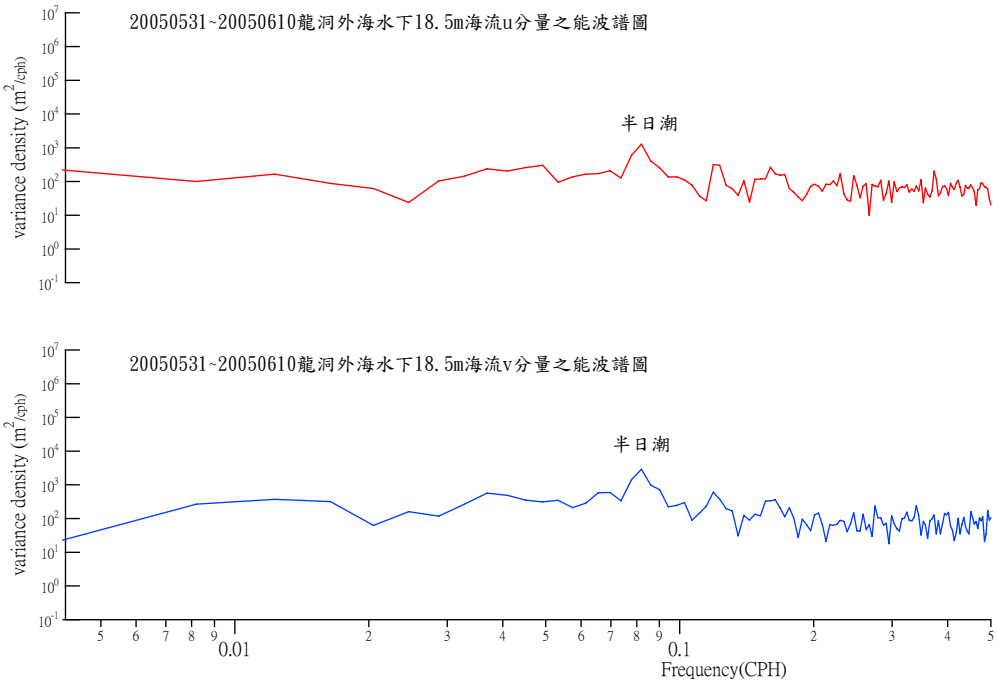


圖4-45　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量之能譜圖

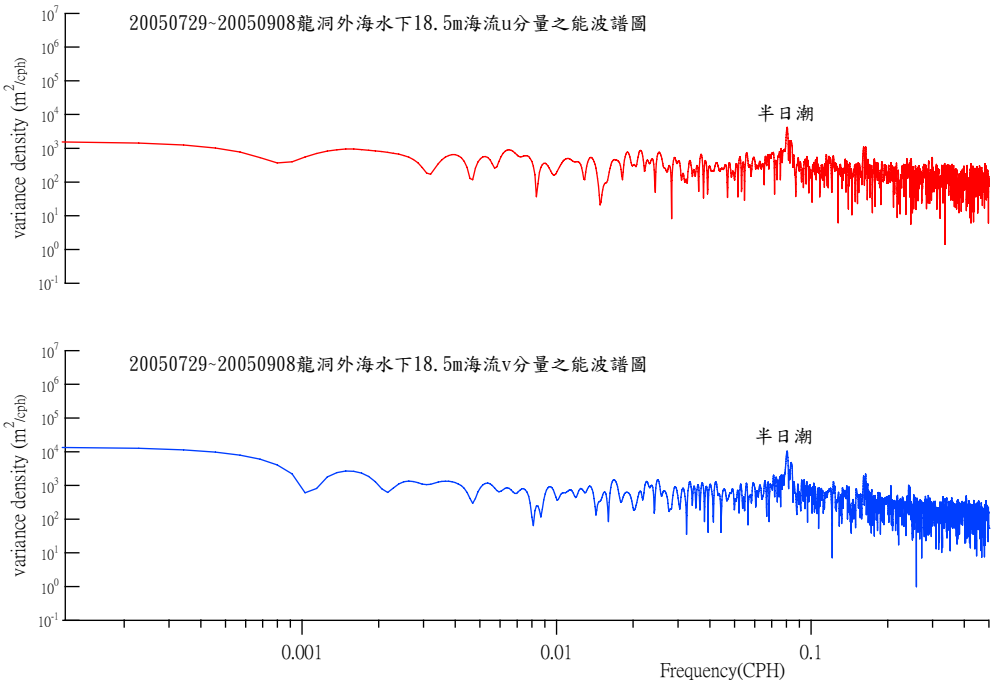


圖4-46　2005/7/29~9/8龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量之能譜圖

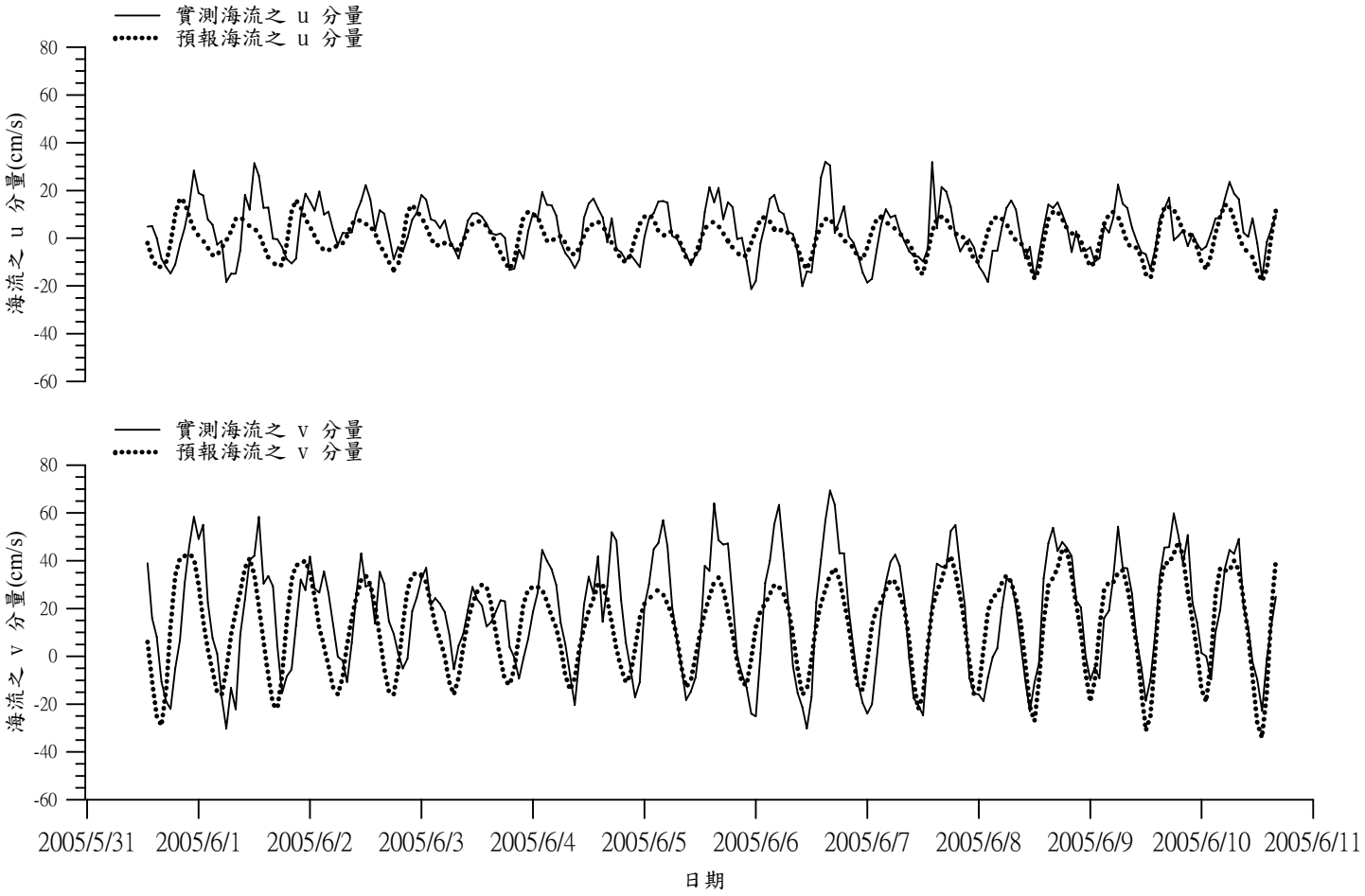


圖4-47　2005/5/31~6/10龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較

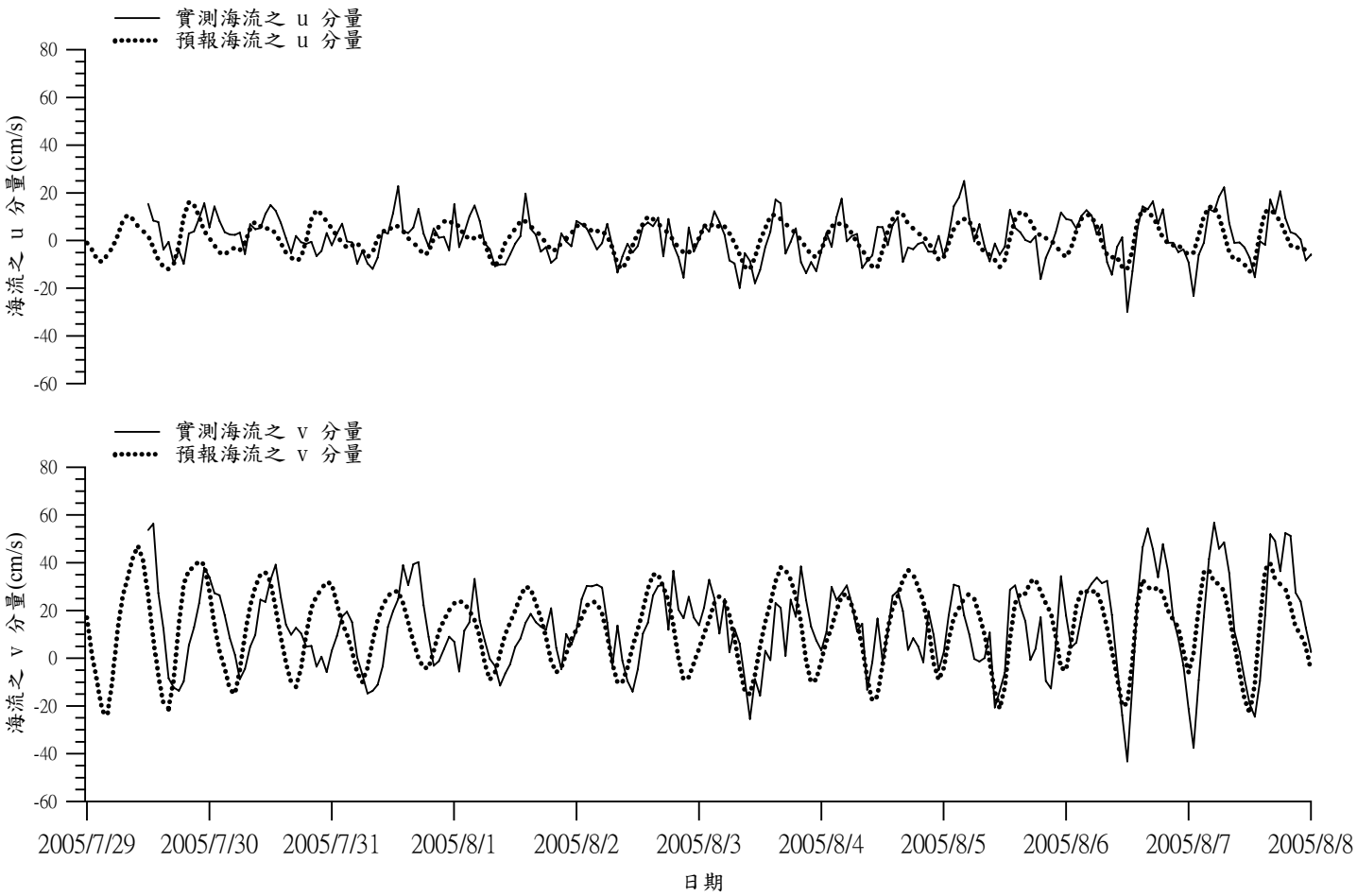


圖4-48　2005/7/29~8/7龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較

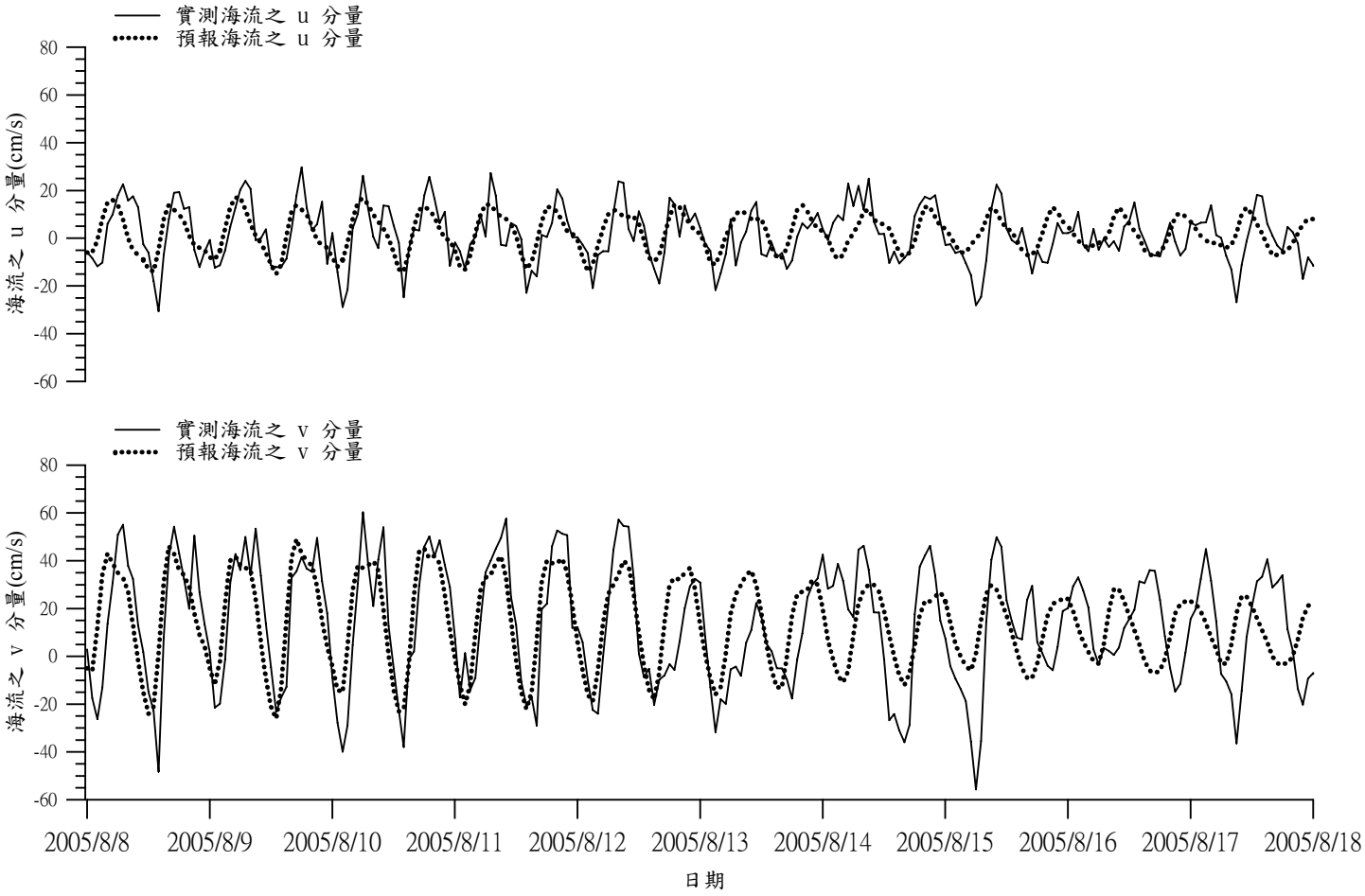


圖4-49　2005/8/8~8/17龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較

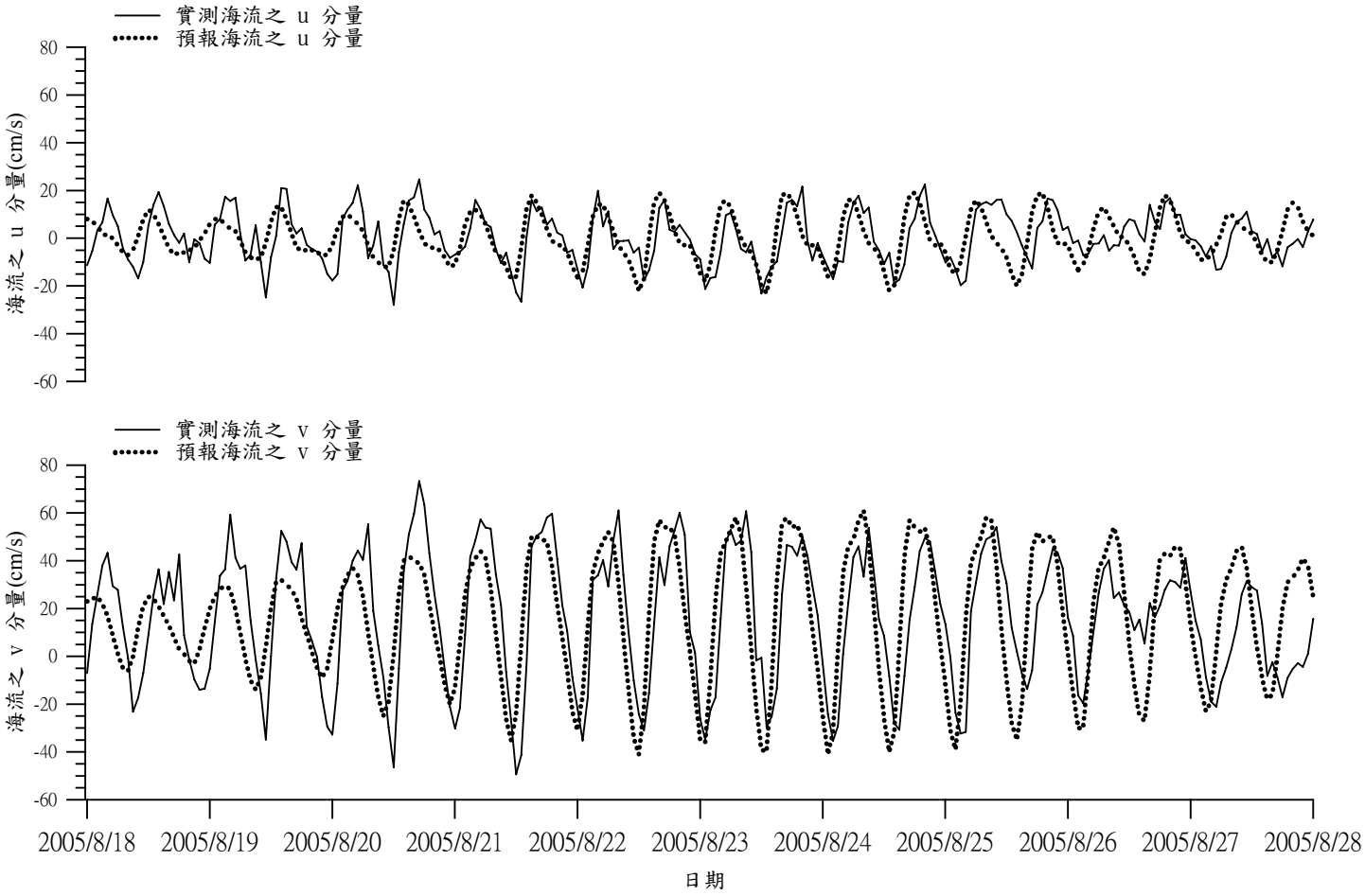


圖4-50　2005/8/18~8/27龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較

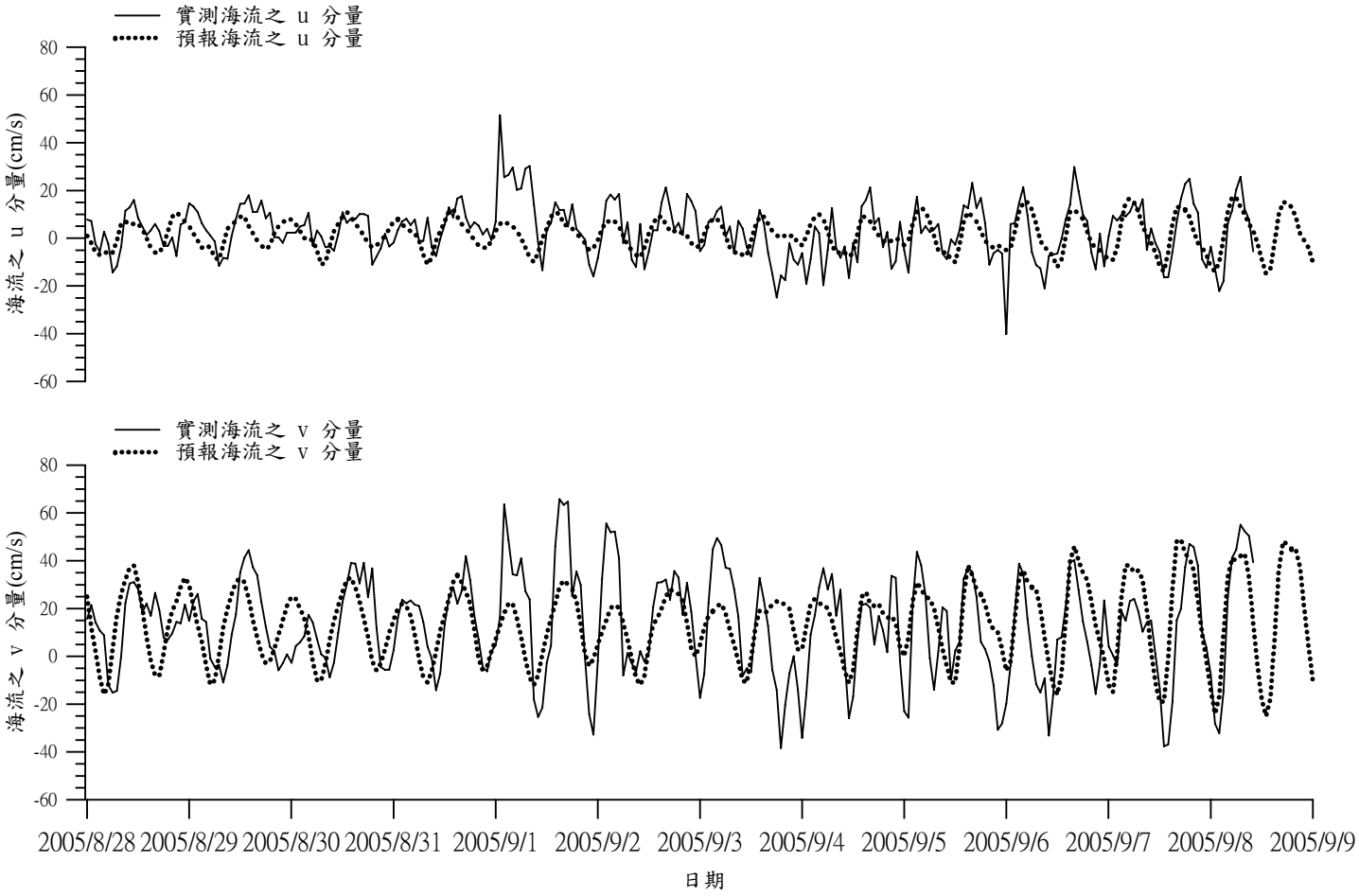


圖4-51　2005/8/28~9/8龍洞外海水下18.5m實測與預測海流之u及v分量之比較

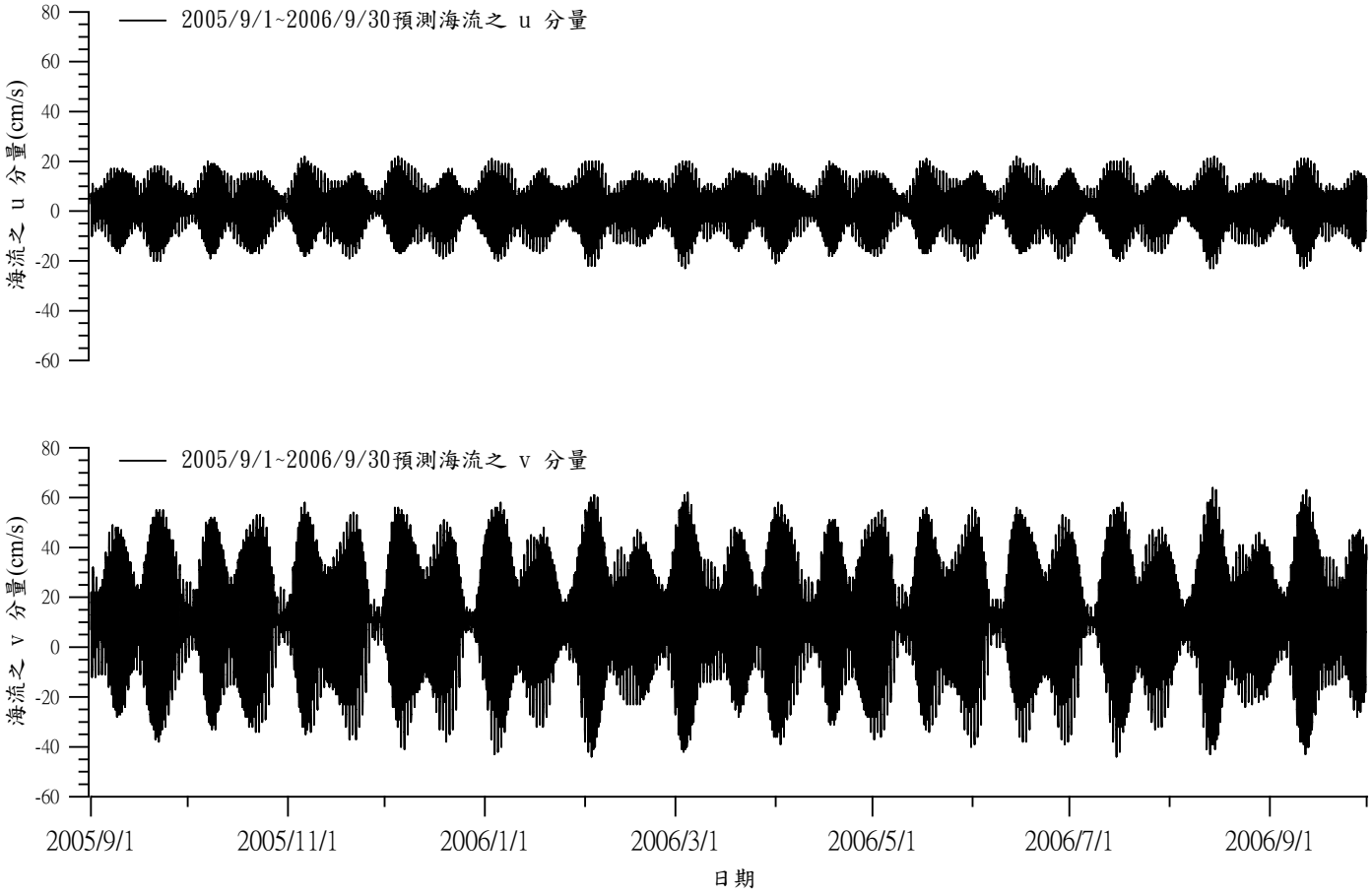


圖4-52　2005/9/1~2006/9/30龍洞外海水下18.5m預測海流之u及v分量

第五章　初步結果與未來工作

5-1　分析結果

本年度計畫獲得下列初步結果

1. 本年於台灣北部地區龍洞外海分別進行兩次的海流觀測作業，完成觀測作業後取得不同深度海流流速流向隨時間變化的記錄資料，分別取得10天（2005年5月31日至6月10日）與41天（2005年7月29日至9月8日）的海流紀錄資料。將二次的海流資料進行分析處理，可分別繪成不同深度的海流流速流向逐時變化圖(配合潮位)、海流玫瑰圖、海流向量行進圖及統計分析海流流向與流速之發生頻率等資料以供參考。

2. 由二次實測海流結果進行統計分析處裡，發現二者的流動特性均相近，且在不同深度的海流變化特性也相當一致，其主要特性為水下8.5m至31.0m的海流在漲潮時，流向以東北方向為主，而退潮期間流向以西南方向較為明顯。海流在各方向發生的頻率，其中大部份集中在N、NNE及NE的方向，而SSW及SW方向的海流發生的頻率也較其他方向為明顯，其他方向發生的頻率較低。海流流速大部分皆小於25cm/s，另25cm/s至50cm/s的流速發生的頻率也較明顯，而50cm/s至75cm/s的流速發生的頻率較少，其他的流速發生的頻率則較不明顯。在不同水深海流的向量行進方向，大部份皆朝N及NNE的方向移動。

3. 由於在不同深度海流流速及流向變化趨勢皆非常一致，因此以水下18.5m的海流記錄資料來進行分析及預測，由分析結果顯示海流u及v分量的變化皆呈現週期性之變化。另使用頻譜分析來進行海流資料特性的分析，由分析的結果可清楚看見水下18.5m之海流u及v分量的主要成份均為半日潮。

4. 使用調和分析進行潮流的分析與預測，並與5月31日至6月11日

及7月29日至9月8日的實測海流進行比較，由結果可知，預測及實測海流隨時間皆呈現一致的變化趨勢，此也代表目前使用潮流預測的方法應用在龍洞外海可得到不錯的預測結果。

5. 完成台灣北部龍洞外海潮流之分析與預測作業模式的建置，並將海流觀測作業及潮流分析與預測作業建立一作業程序（如附件一），提供中央氣象局未來進行潮流分析與預測作業上，能獲得良好的成果，並作為本計畫下一年度（2006年）執行之基礎。

6. 完成2005年9月1日至2006年9月30日一整年龍洞外海水下18.5m海流的預測。

5-2 未來工作

以本年度建立的海流觀測及潮流分析與預測的作業程序，作為本計畫下一年度（2006年）執行之基礎。下一年度預計分別在台灣西部、南部及東部等地區選擇適合地點進行海流的觀測作業及潮流分析與預測作業。

第六章　參考文獻

1. 中央氣象局，2005，“中央氣象局網頁海象問答集－海流，http://www.cwb.gov.tw/V4/index.htm”，中央氣象局

2. 郭金棟，1999，“海岸工程”，中國土木水利工程學會，pp.10-351

3. Caldwell Patrick, 1998, “Sea Level Date Processing on IBM-PC Compatible Computers Version3.0 (Year 2000 Compliant) ”, University of Hawaii.

4. Schureman, P., 2001, “Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides”, U.S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, special publication No.98.

5. Zetler, B. D., 1982, “Computer Applications to tides in the National Ocean Survey-Supplement to Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides”, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Survey.

計畫執行期間發表之論文

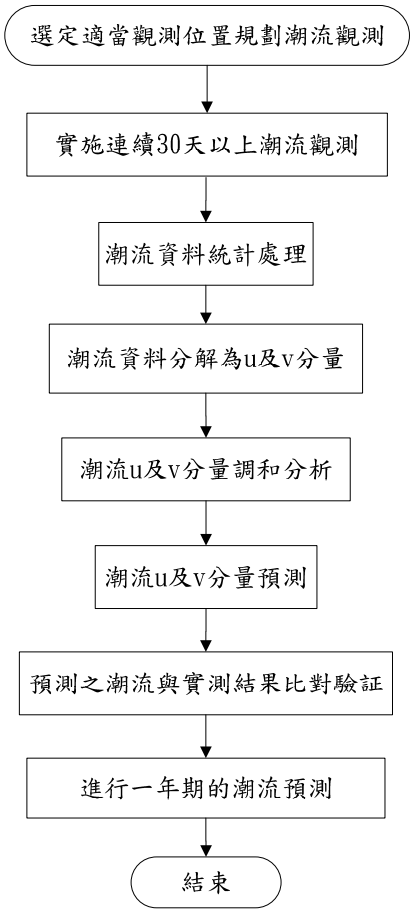
1. 張國棟、邱啟敏、徐月娟、林燕璋、呂理弘，2005，“台灣沿岸海潮流短期量測與潮流預測技術引進”，2005年台灣海洋年資訊應用研討會論文彙編，pp.71 – 76

附件一

海流觀測與作業流程規範

海流觀測與作業流程規範

本計畫配合中央氣象局建立海象基本資料庫以及海流測報作業需要，就台灣周圍近海重要地區進行海流的量測與分析，預定以兩年的時間，完成台灣北、西、南、東四區各選擇一個重要的地點，利用都普勒(Doppler)音波式海流儀，進行短期海流的量測與分析。並與美國海洋局(National Ocean Service/NOAA)合作，引進其在此部份先進的專業分析技術，建立一套標準的海流觀測與作業流程規範；同時引進潮流分析及預測技術，依據實測海流資料，進行潮流的分析，經由潮流分析得到當地的潮流特性參數，由此可施行潮流的預測作業。未來，在重要地點除原有潮時、潮高預測外，增加潮流預測，充實我國在海象觀測與預測作業方面的專業能力，並提昇服務品質。依據實際作業需求，訂定海流觀測與作業流程（如附圖1）。



附圖1　海流觀測與作業流程圖

1. 選定適當觀測位置規劃潮流觀測

進行潮流觀測前需選擇適當的位置，本年度先選擇台灣北部龍洞外海進行海流觀測作業，其原因為中央氣象局在龍洞遊艇港內有設置一潮位站，並在龍洞外海也設置一資料浮標，且龍洞南口遊艇港是國內第一座遊艇港，所以增加海流的觀測資料，可使龍洞地區建立更完整的海象資料，而中央氣象局在未來海象預測作業也能提供更多的資料作為參考。

2. 實施連續30天以上潮流觀測

使用調和分析法進行潮流的分析及預測作業，而進行調和分析的資料長度至少不可短於一個月，如資料長度短於一個月則無法進行分析及預測，因此需實施連續30天以上的海流觀測作業。

3. 潮流資料統計處理

將海流觀測作業所取得的海流記錄資料進行統計分析處理，可分別繪成不同深度的海流流速流向逐時變化圖（配合潮位）、海流玫瑰圖、海流向量行進圖及統計分析海流流向與流速之發生頻率等資料以供參考。

4. 潮流資料分解為u及v分量

潮流與潮汐相同，約以半日週期或一日週期改變速度及方向，同時又因月齡潮流強度亦改變，由於潮流與潮汐有相近的週期性變化特性，而最廣泛使用的潮汐分析方法為調和分析（harmonic analysis）法，因此可以此方法進行潮流的分析。在進行潮流分析作業前需先將觀測記錄所得的海流資料分解成東西方向（u）及南北方向（v）的分量。

5. 潮流u及v分量調和分析

將潮流u及v分量進行調和分析，可計算出u及v各個分潮流的振幅及相位角。

6. 潮流u及v分量預測

由第5步驟得出u及v分量各個分潮流的振幅及相位角後，接著即能進行潮流u及v分量的預測，此時可得潮流u及v分量的預測結果。

7. 預測之潮流與實測結果比對驗證

將預測之潮流u及v分量與實測潮流u及v分量進行比對並驗證，檢視其預測與實測潮流之u及v分量的差異。將本年度在台灣北部龍洞外海觀測所得的海流記錄資料進行潮流的分析及預測，由預測與實測潮流的比對與驗證，顯示其潮流u及v分量的預測有良好結果。

8. 進行一年期的潮流預測

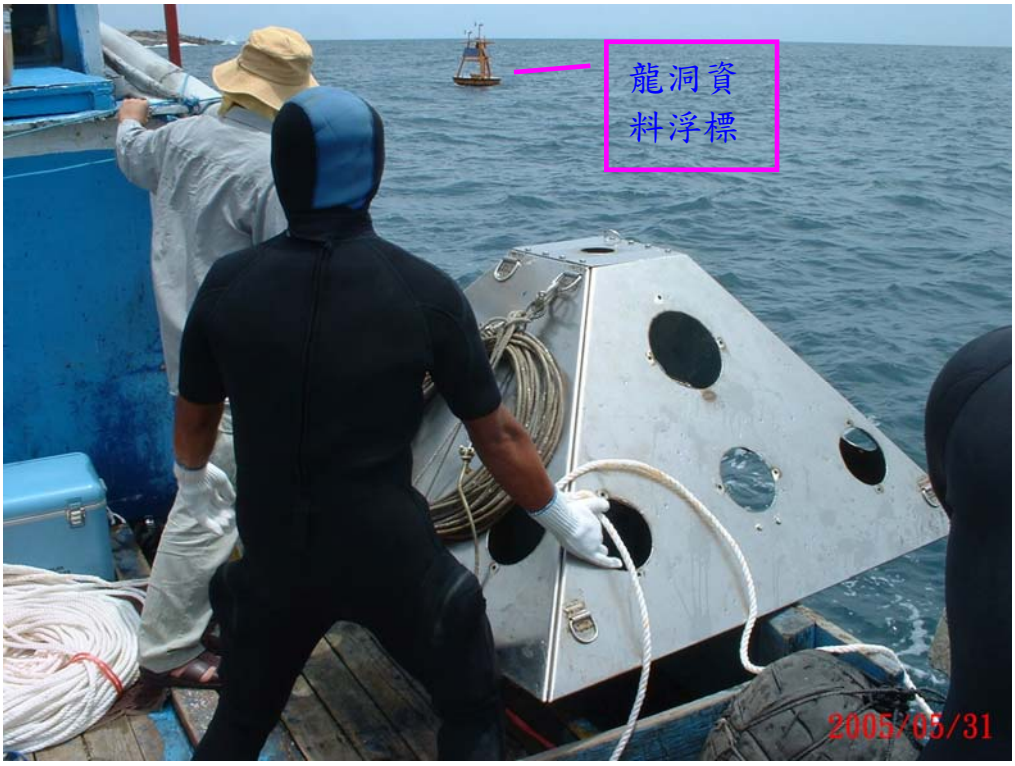
將預測之潮流u及v分量合成一向量，即可得到海流的預測資料。由比對驗證後的結果，進行一年期的潮流預測。

本年度已完成台灣北部龍洞外海海流的觀測作業，並進行潮流的分析及預測，其預測與實測潮流之u及v分量呈現一致的變化趨勢，此也代表潮流預測的方法可應用在龍洞外海，且可得到不錯的預測結果。

附件二

台灣北部龍洞外海海流觀測作業過程相片

相片一　海流儀固定架



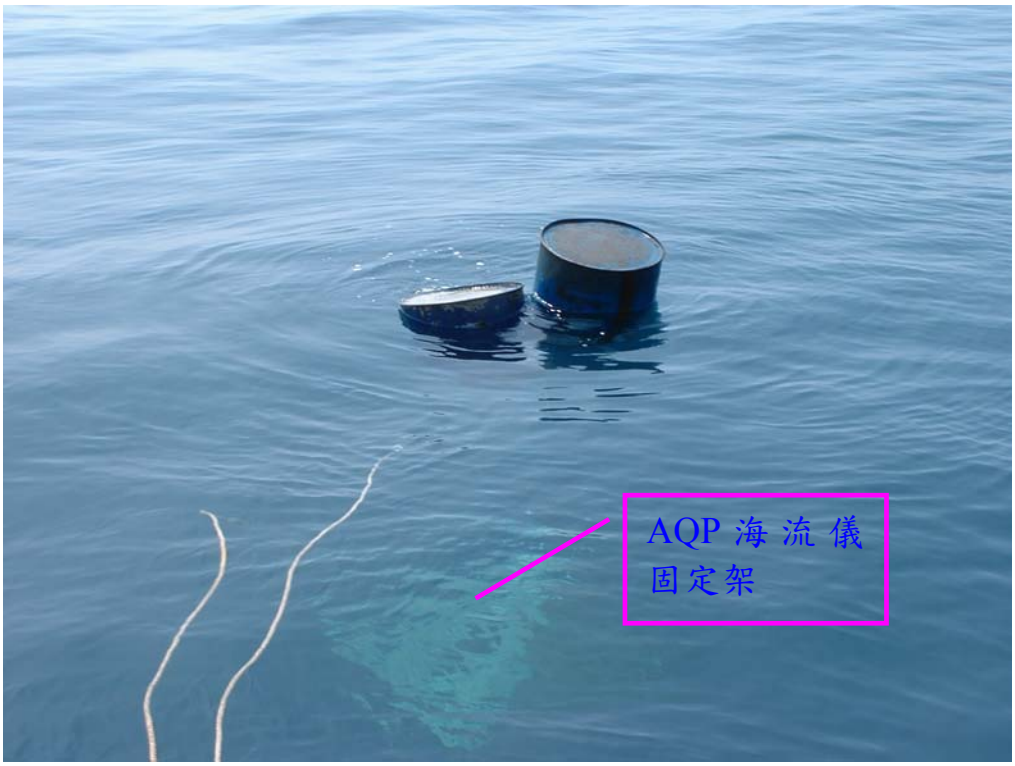
相片二　準備施放海流儀固定架

相片三　AQP海流儀

相片四　AQP海流儀施放位置

相片五　潛水人員準備下水收回海流儀

相片六　收回之AQP海流儀



相片七　將海流儀固定架收回並準備拖至岸上

相片八　拆解之AQP海流儀固定架