



國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所

碩士論文

Institute of Applied Marine Physics and Undersea Technology

National Sun Yat-sen University

Master Thesis

台灣近海海流對海龜洄游路徑影響

—以兩隻海龜路徑為例

The Offshore Currents Near Taiwan Affect the Sea Turtle
Migrations — Take Two Turtle Tracks as An Example

研究生：張雅涵

Ya-Han Chang

指導教授：王玉懷 博士

Dr. Yu-Huai Wang

共同指導教授：程一駿 博士

Dr. I-Jiunn Cheng

中華民國 101 年 06 月

June 2012

國立中山大學研究生學位論文審定書

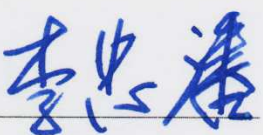
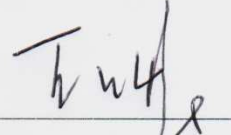
本校海下科技暨應用海洋物理研究所碩士班

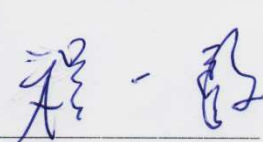
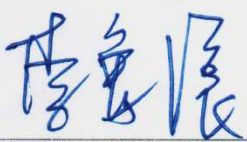
研究生張雅涵（學號：M995080003）所提論文

台灣近海海流對海龜洄游路徑影響－以兩隻海龜路徑為例
The Offshore Currents Near Taiwan Affect the Sea Turtle Migrations
－ Take Two Turtle Tracks as An Example

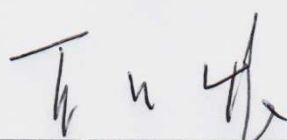
於中華民國 101 年 6 月 12 日經本委員會審查並舉行口試，
符合碩士學位論文標準。

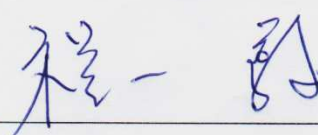
學位考試委員簽章：

召集人 李忠潘  委員 王玉懷 

委員 程一駿  委員 李逸環 

委員 _____ 委員 _____

指導教授(王玉懷)  (簽名)

指導教授(程一駿)  (簽名)

謝辭

兩年的研究生生活在這要畫下句點，能夠順利完成學業，有太多需要感謝的人，謝謝這一路走來有您們。

首先，感謝我的指導老師王玉懷博士與程一駿博士，給我機會在學習海洋時，有機會認識海龜。在這兩年裡，您們悉心指導學術研究與為人處事態度，讓我在這得到面對未來考驗的寶貴資產。我的口試委員李忠潘博士及李逸環博士，謝謝您們給予論文許多見解與啟發，讓我可以從不同的角度思考問題的所在，深切的表達由衷的謝意。謝謝汪東平老師來台期間，抽空給予建議與方向，無私地教導不同的方法，幫助我增加知識的廣度。謝謝海下海物所的師長們，在就學期間給我建議與鼓勵。

感謝育如學姐、科憲學長、柏鋒學長、仲威學長在論文上給我的指導與幫助，謝謝您們無私地將您們的經驗與我分享，使論文可以順利的完成。感謝研究所同學建君、敬仁、海帆、宏儒、李杰，以及大學同學宇昕、惠娟、映學、雨霖、瑤峻、依霖、嘉君、建良在日常生活上的協助、課餘時間的輕鬆討論，使我的碩士生活得以過得充實又快樂。謝謝學妹莉婷、之雅平時給我鼓勵與幫助。也謝謝所辦辛苦的倍如及顏姊，有您們的幫忙，幫我解決了不少難題。

最後謝謝我親愛的爸爸、媽媽全力支援，讓我沒有後顧之憂，專心完成學業。謝謝您們在我遇到困難時，不厭其煩的開導、給予正面能量，讓我學會積極去面對事情。也不忘謝謝弟弟，不時的噓寒問暖。將這本論文成果獻給親愛的您們

摘要

海龜是大洋性洄游大型動物，大部分時間都待在海中。環境媒介在海龜遷徙中扮演重要的角色，尤其海流會對海龜洄游路徑造成影響。在台灣東部四季都有強勁的黑潮通過，本研究假說認為黑潮會影響海龜洄游的路徑。驗證方法是分析 2 組由 Argos 紀錄海龜洄游路徑，其中一隻為蘭嶼產後洄游，海龜從蘭嶼出發後往北抵石垣島附近；另一隻為混獲海龜，從東澳返回大海，一路貼著台灣東部沿岸南下，繞過恆春，向西橫跨台灣海峽南端後沿大陸沿岸往南抵達雷州半島。海龜洄游路徑搭配 EASNFS 模式、浮球軌跡、氣象浮標及 MODIS 海表溫資料等，探討海流與海龜洄游路徑的關係。

蘭嶼海龜路徑分析顯示海龜會順著流前進，有很多浮球軌跡與蘭嶼海龜相似。進一步分析模式流速與海龜移動之時間、點位，所演算之漂流軌跡，蘭嶼海龜洄游初期選擇順著海流前進，以節省洄游所耗費的體力，蘭嶼海龜順流而行的機率是 26%。但，當海流方向與海龜目的地方向不同時，海龜會花較多的體力修正方向以順利抵達目的地。

分析東澳海龜洄游路徑與浮球軌跡、風速、風向、波高等，顯示東部沿岸有一股向南的反流可供海龜利用，海龜會選擇與目的地同方向的流，幫助海龜朝目的地前進。在通過台灣南端後，海龜路徑轉向西，與此季節許多浮球軌跡幾乎一致，加上海龜的游泳其速度比浮球快；從模式結果驗證海龜在台灣南端西行路徑受流場影響。海龜除了會選擇順著海流外，也可能會以海溫 21°C 的介面當作引導，順流前進抵達目的地。整體而言海龜會選擇對自己較省力的流場順流而行，以節省體力用最快的速度抵達目的地。

關鍵詞：海龜、洄游、海流、漂流浮球

Abstract

Sea turtles are large migratory animal stay in the water most of their life time. In the east coast of Taiwan, there is a strong northward Kuroshio current. It is hypothesis that ocean current might play an important role to the migration tracks of sea turtles in the region. To test the hypothesis, two turtle tracks based on Argos records were analyzed. The first turtle moved from Lanyu in the NE direction to Ishigaki Island. The second one moved southward from Dong-Auo, along the east coast of Taiwan, to the southern tip of Taiwan, and then detoured westward across the Taiwan Strait, swum southward along coastal China to Leizhou Peninsula finally. In this study, we analyze data of EASNFS model, drifter tracks, weather buoy records and MODIS sea surface temperature, to explore the relationship between the ocean currents and the migration tracks of sea turtles.

The Lanyu turtle seems follow very well with Kuroshio current in the early stage of its migration. The migration matches well with many Argos drifter tracks, and Lagragian drifter of EASNFS model. The probability of this turtle arriving Ishigaki Island is 26% if without other help. There is a turning point, as indicated by the comparison of model and real track. The Lanyu turtle swam hard to correct the migration route in order to reach the final destination.

The Dong-Auo turtle track is analyzed together with data of winds, waves and drifters. This turtle migrated southward along the east coast of Taiwan seemly agree with the northeast monsoon wind driven coastal current. The migration route turned west at the southern tip of Taiwan. The turn matches well with the currents indicate by Argos drifters, as well as EASNFS modeling. In additional to the guidance of currents, this migration route also followed the sea surface temperature of 21°C. In conclusion, this study suggests that turtles migration, in additional to the efforts of swimming and temperature guidance, will take advantage of prevailing currents to reach their final destinations.

Key words : Sea turtle, migration, current, drifters.

目錄

謝辭.....	i
摘要.....	ii
目錄.....	iv
圖次.....	vi
表次.....	viii
第一章、緒論.....	1
1-1. 海龜簡介.....	1
1-2. 文獻回顧.....	5
1-3. 研究目的.....	10
1-4. 研究方法.....	10
第二章、資料蒐集.....	11
2-1. 海龜洄游路徑追蹤.....	11
2-1.1. 蘭嶼海龜 (ID：60718，產後洄游).....	11
2-1.2. 東澳海龜 (ID：60261，混獲).....	12
2-2. Argos 浮球資料.....	15
2-3. 氣象站與氣象浮標資料.....	17
2-4. MODIS-Aqua 衛星海表溫資料.....	18
2-5. 美國海軍 EASNFS 海洋模式資料.....	20

第三章、 資料品管與分析方法	21
3-1. 海龜洄游資料品管	21
3-2. Argos 浮球與海龜路徑	25
3-3. 氣象浮標資料與路徑分析	27
3-4. MODIS-Aqua 海表溫與海龜路徑	29
3-5. EASNFS 模式流場與海龜路徑	30
第四章、 結果與討論	33
4-1. 蘭嶼(ID-60718)海龜	33
4-1.1. 蘭嶼海龜與浮球軌跡	34
4-1.2. 蘭嶼海龜與 EASNFS 模式海流	37
4-1.3. 計算漂流路徑	42
4-2. 東澳(ID-60261)海龜	52
4-2.1 東澳海龜沿著東部沿岸南下	54
4-2.2 東澳海龜橫跨台灣海峽沿大陸沿岸	62
第五章、 結論與建議	68
5-1. 結論	68
5-2. 建議	69
第六章、 參考文獻	70

圖次

圖 1-1	台灣附近海龜上岸產卵分布	4
圖 1-2	Archie Carr 博士在海龜身上裝上氣象氣球	8
圖 1-3	Archie Carr 博士透過氣象氣球追蹤畫出海龜洄游路徑	8
圖 1-4	被漁船混獲到數隻綠蠐龜	9
圖 2-1	將海龜固定在箱子中並在頭部蓋上沾有海水的濕毛巾	13
圖 2-2	使用隧道用 AB 膠將發報器固定於海龜背甲上	13
圖 2-3	發報器安裝完成後，海龜返回大海	14
圖 2-4	洞襪式浮球設計	16
圖 2-5	全台氣象站、潮位站與氣象浮標分布圖	17
圖 3-1	兩隻海龜經資料品管後洄游路徑	24
圖 3-2	歷史浮球軌跡與海龜洄游路徑	26
圖 3-3	在蘭嶼周圍佈上 11×11 網格點位置，紅色點為海龜實際出發位置	32
圖 4-1	歷史浮球於台灣東部分布圖	35
圖 4-2	海龜路徑、浮球軌跡與夏季 20 公尺平均流場圖	36
圖 4-3	海龜洄游路徑與模式海表面高度及表面 5 公尺流場	39
圖 4-4	海龜洄游水平位移速度與海流流速圖	40
圖 4-5	蘭嶼附近 121 個起始點海龜漂流路徑	46
圖 4-6	121 個漂流軌跡到四個區域機率	47
圖 4-7	蘭嶼海龜洄游路徑第五點周圍漂流路徑	48
圖 4-8	蘭嶼海龜洄游路徑第六點周圍漂流路徑	49
圖 4-9	2011 年 5 月到 10 月蘭與周圍漂流路徑軌跡	50
圖 4-10	2011 年 5 月到 10 月間通過 0.5°×0.5°網格次數統計	50
圖 4-11	2011 年 5 月到 10 月間通過 0.3°×0.3°網格次數統計	51

圖 4- 12	2011 年 5 月到 10 月間通過 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 網格次數統計(百分比)	51
圖 4- 13	東澳海龜路徑分成兩部份進行討論	53
圖 4- 14	東澳海龜與台灣東部沿岸距離	56
圖 4- 15	東澳海龜東部沿岸與歷史浮球軌跡	57
圖 4- 16	東澳海龜與浮球 ID-41867	58
圖 4- 17	艾克曼螺旋 (Ekman Spiral) 流速流向隨深度變化示意圖	59
圖 4- 18	艾克曼輸送在陸緣堆積	59
圖 4- 19	2011 年三月花蓮氣象浮標風速風向(上)與波高(下)圖	60
圖 4- 20	海龜在台灣東部洄游軌跡與花蓮氣象浮標風速風向與示性波高	61
圖 4- 21	東澳海龜洄游路徑、浮球軌跡與海洋資料庫春季 20 公尺平均流場	64
圖 4- 22	東澳海龜與浮球 ID-56663	65
圖 4- 23	東澳海龜洄游路徑與浮球 ID-82490	65
圖 4- 24	海龜洄游路徑與 EASNFS 提供每日流場與海面高度圖	66
圖 4- 25	MODIS 海表溫、浮球軌跡與海龜路徑	67

表次

表 1	世界海龜分類.....	3
表 2	實驗海龜資料.....	14
表 3	MODIS 各頻道波段範圍及其主要用途	19
表 4	Argos 提供點位精準度(LQ, Location Quality)誤差範圍	23
表 5	中央氣象局氣象浮標資料內容	28
表 6	海龜泳速與海流速度比較	41



第一章、緒論

1-1. 海龜簡介

海龜是大洋性洄游動物，往返棲息地與產卵地間。全世界的海龜分為兩科七種，如表 1。除了平背龜以及肯氏龜屬區域性的物種外，其他種海龜皆進行大洋洄游。牠們廣泛地分布在全球熱帶及亞熱帶附近海域，於大西洋、太平洋、印度洋都可以看到牠們的蹤跡 (Hirth, 1993)，在台灣附近也可以見到這些海龜的芳蹤。

在過去台灣本島的東部、南部、澎湖、蘭嶼、東沙島及南沙群島中的太平島都有海龜上岸產卵的紀錄。近年來環境改變僅剩澎湖的望安島以及蘭嶼、東沙島及太平島有較穩定的海龜上岸產卵紀錄，台灣本島已經沒有海龜上岸產卵紀錄，如圖 1-1 所示。

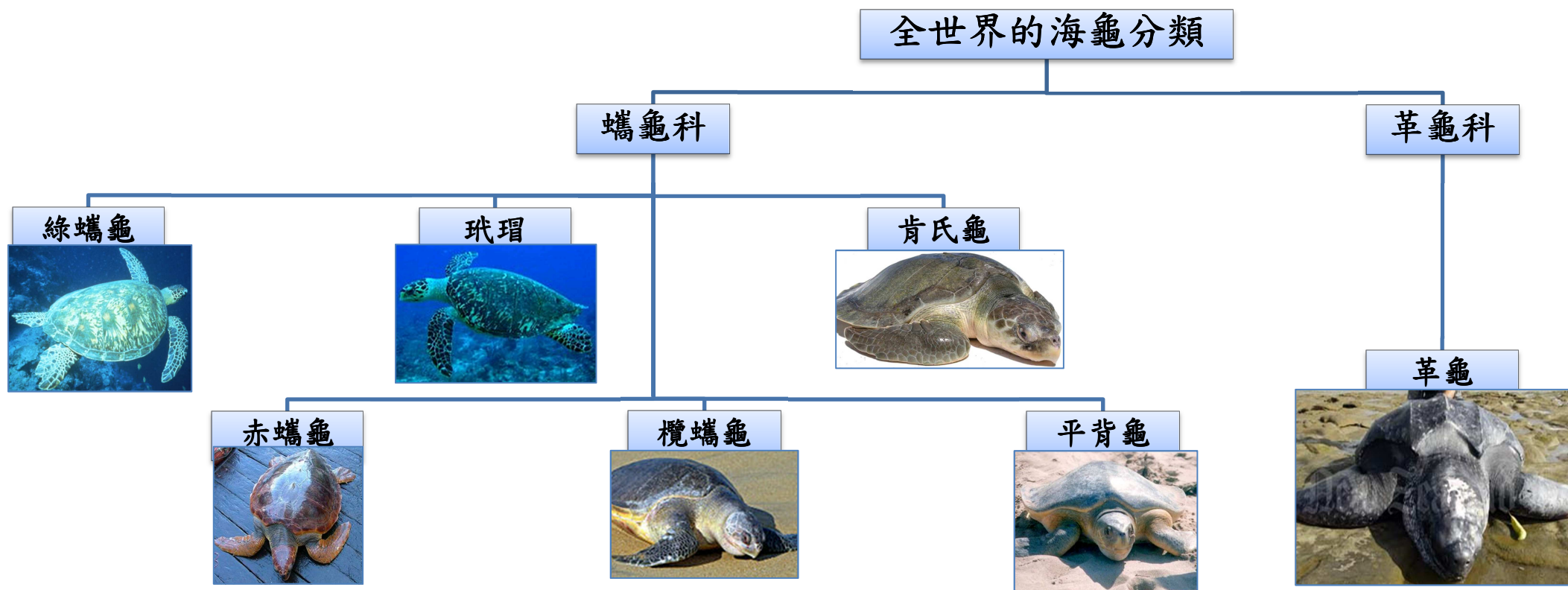
海龜一生當中大部份的時間都待在海中，除了母龜在生殖季會上岸產卵，其它時間都在海中度過。目前學者對於海龜的生態了解僅限於母龜上岸產卵及卵窩孵化這段期間，對海龜生態的認識大多侷限於牠的生殖生態。

海龜對產卵地忠誠度很高，不管距離多遠都會回到出生地繁衍下一代。透過 DNA 序列可以確認海龜的親屬關係，在不同區域出生的海龜他們的 DNA 序列並不相同。海龜會選擇低光害、少干擾的沙灘產卵。但現今大環境、地形地貌不斷的改變，海龜是如何找到方向回到出生地繁衍後代？科學家提出很多不同的理論，包括地磁理論、海洋物理及化學條件等。海龜一生當中大部份的時間是在海洋中度過，若海龜全程靠自己游往目的地，會耗費較多的體力。若能搭上海流可以幫助海龜較快且省力抵達目的地，因此推測海龜洄游路徑會受到洋流的影響(Carr, 1967)。

衛星追蹤技術已逐漸成熟，隨著發報器體積日益減小目前已廣泛被運用在動物行為追蹤。在台灣從 1994 年起開始進行衛星發報器追蹤海龜洄游路徑，但受到發報器電池電力有限、海龜有在礁岩磨背甲的特性易使發報器脫落、人為捕殺造成追蹤中斷等因素，至今仍未完整追蹤一隻海龜從產卵地到棲地洄游過程。

海龜世代交替非常緩慢，需要 20-50 年才會成熟有繁衍後代的能力，而近年來漁業捕殺、誤捕加上海洋汙染及棲地嚴重破壞，海龜的生存受到嚴重的威脅，目前海龜已列入瀕臨絕種的野生動物，因此無法像其他動物進行活體採集與解剖，對於牠的生活史了解有限。想對海龜進行保育減少海龜的生存危機，僅了解牠的生殖生態是不夠的，唯有進一步的研究了解海龜在海中的生存生態，才能對海龜採取更有效的保育及復育工作。

表 1 世界海龜分類



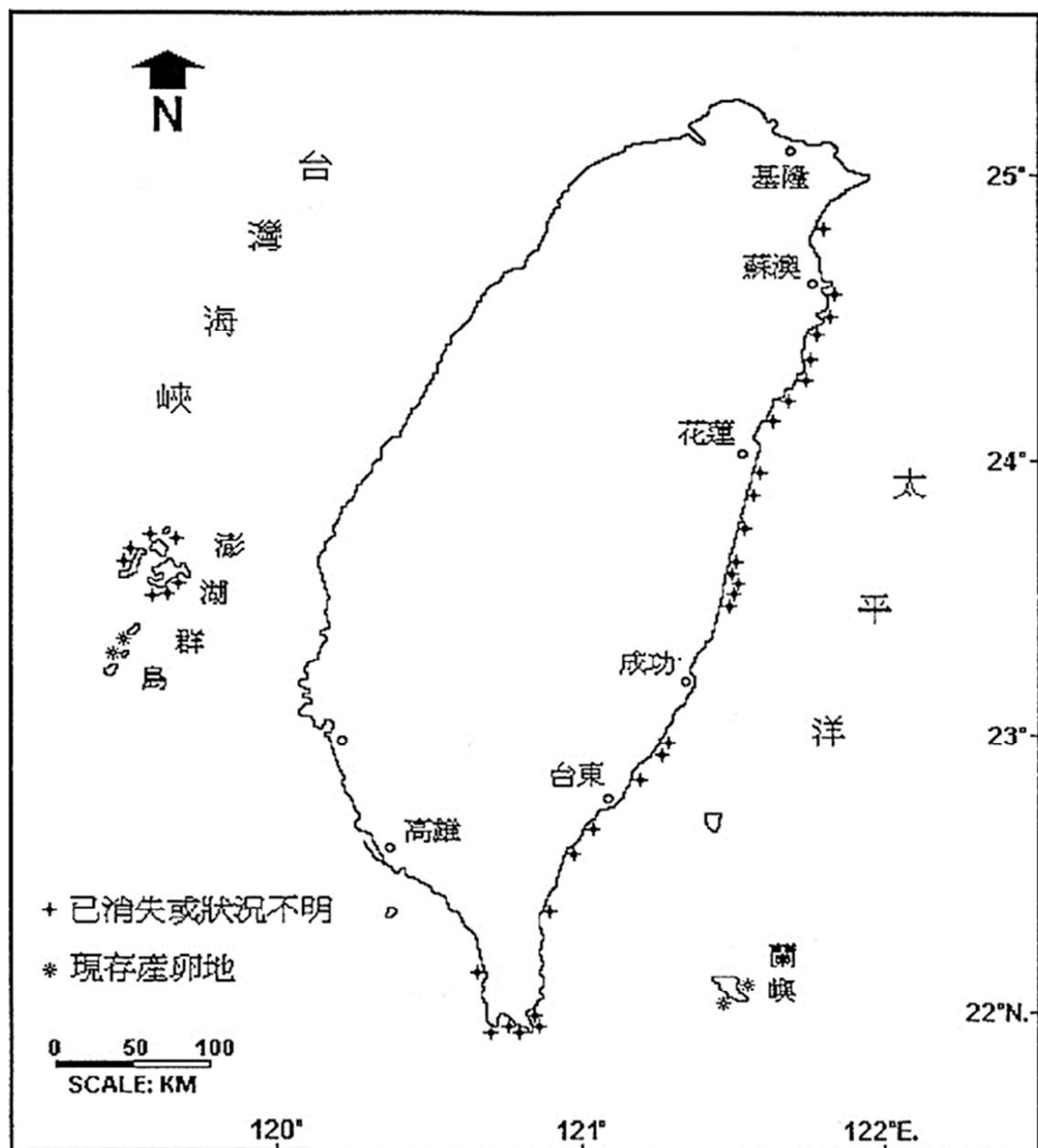


圖 1-1 台灣附近海龜上岸產卵分布

(摘自程一駿老師研究團隊海龜解說檔)

1-2. 文獻回顧

海龜洄游的相關研究從 1950 年代開始進行，海龜之父 Archie Carr 大膽的預測海龜會順著洋流，回到出生地去產卵(Carr, 1967)。這是第一個提出海龜洄游和洋流有關係的論點。在 1965 年進行人類史上第一次海龜洄游追蹤的研究，當時並沒有衛星可以協助追蹤，Archie Carr 博士在幾位海軍人員的協助下發明了一種方法來追蹤海龜，在岸邊建立兩個高塔，並在海龜身上綁一個氣象氣球，如圖 1- 2，在海龜回到海裡的二十小時內站在高台上每兩分鐘紀錄一次海龜的位置，完成了第一次的海龜追蹤。後續開始對海龜進行大量上標的研究，發現在哥斯大黎加 Tortuguero 沙灘產卵的綠蠐龜以輻射狀向外洄游，到達加勒比海及中南美洲附近的海域，如圖 1- 3 所示。

1980 年代初期，人造衛星技術推廣到海龜洄游追蹤上，使海龜研究有了突破性的發展。研究人員開始用不同的方法將發報器固定於海龜背甲上，並透過繞極軌道衛星接收發報器的訊號，再將資訊傳回地面的接收站進行解碼處理後，將資料提供給使用者，使發報器安裝完成後，便能了解海龜在海上的行蹤及其相關資料。

Lohmann 提出地磁理論來解釋海龜洄游的機制，他進行了很多室內實驗，地磁對於動物遷徙洄游有影響，認為海龜是藉由地磁改變找尋方向 (Lohmann K. *et al.*, 2007)，但也有很多人對於這項假說提出質疑。

Luschi *et al.* (1998) 歐洲學者認為海龜會和鮭魚、鱒魚一樣透過洋流或是風傳來出生地的化學物質作為洄游的指標，這樣的假說也遭受很多質疑這些化學物質如何在海中不被稀釋傳送到遠方？他們同時也提出洋流對於海龜移動的速度有明顯的影響，但對於海龜的移動方向不一定有影響 (Luschi *et al.*, 2003)，若海龜順著流走可以降低海龜洄游體能的消耗，可以較快抵達目的地。當海龜產完卵後可能會為了保存體力順流

洄游，加上大洋中沒有主要的食物來源，通常會選擇以最快的速度返回覓食海域(Hughes *et al.*, 1998)。就動物生理方面來看，海龜返回棲地可藉由洋流幫助順利抵達節省耗費的體力。

衛星追蹤技術發展成熟，開始被使用來追蹤海龜洄游路徑，透過衛星追蹤可以掌握海龜選擇何種路徑從產卵地洄游到棲息地。對海龜洄游有更深一層的認識，科學家開始將洄游路徑與其他海洋環境因子疊合，試圖找出影響海龜洄游的主要因素，如物理因子之洋流、海表溫等，或是海洋化學因子之營養鹽、葉綠素濃度等。

例如 Polovina *et al.* (2006)發現赤蠵龜從日本東邊出發隨著黑潮支流向東移動且往葉綠素濃度較高的地方活動，進一步利用海表面高度推算表面流場發現海龜路徑會受渦旋影響。Lambardi *et al.* (2008) 追蹤 9 隻母革龜在南非的洄游路徑，發現海龜整體的移動路徑主要受到南非地區較強勁的 Agulhas 流影響，大部分革龜移動路徑與海流主軸一致，也將海龜洄游路徑與衛星海表面高度異常值做疊合發現有 8 隻海龜的路徑會受到渦旋影響而有打轉的現象。在海表溫部份發現革龜會順著海表溫介面 24°C 移動。在墨西哥灣的赤蠵龜觀察與灣流之間的關係，發現渦旋及洋流會對海龜洄游路徑有所影響 (Girard *et al.*, 2009)。

台灣從 1994 年開始在澎湖望安島進行了第一隻海龜洄游追蹤。1994 年到 1997 年間在望安地區進行了 8 隻綠蠵龜產後洄游追蹤(Cheng, 2000)，發現在望安地區產卵的綠蠵龜洄游方向並不一致，分別往東北抵達日本、沖繩、橫跨台灣海峽後到大陸沿岸南下抵達海南島，其中有一隻甚至往東北抵達沖繩後在太平洋往南折返繞了一圈最後抵達琉球群島，說明了海龜不會全部都順著洋流前進。藉由 1994 年到 2004 年於望安追蹤的 12 隻海龜路徑，提出當海龜泳速大於當時流場，海龜可以輕易地決定去向不受洋流影響，但當洋流與海龜泳速相當時，洋流對於海龜游泳速度就會造成影響(蔡，2005)。此外，採用台灣海峽流量預測

去模擬海龜當時的流場，並做海龜漂移路徑預測，發現當洋流偏離海龜洄游的目的地時，海龜會將大部份的體力用來調整方向，以順利抵達目的地(Cheng and Wang, 2009)。

近年來由於漁業技術進步，海龜遭混獲情況日益嚴重，如圖 1-4 所示。Wallace *et al.* (2010) 指出在 1990 年至 2008 年間，全球海龜受到混獲的影響。研究資料顯示，過去 20 年間有 85,000 隻海龜被混獲，但實際上海龜因混獲而死亡的數字可能遠大於此。混獲海龜獲救後在陸上休養康復後便會將他們送返大海，科學家對於他們返回大海後去了哪裡？對於洄游路徑亦深感興趣。Kobayashi *et al.* (2011) 在台灣附近將混獲的 34 隻海龜進行洄游路徑追蹤，分析其洄游路徑發現深受海流影響，且經過渦漩會有打轉的現象。



圖 1- 4 被漁船混獲到數隻綠蠐龜

(摘自 Projeto Tamar Brazil <http://www.tamar.org.br>)

1-3. 研究目的

海龜往返棲地與產卵地往往相距數百甚至數千公里，加上地形地貌不斷改變，海龜要如何判別方向抵達目的地？漁業技術日益進步，全世界漁業活動盛行卻造成混獲，許多海龜命喪漁網中，造成海龜生存面臨更嚴的考驗，幸運獲救的海龜經研究人員細心照料康復後便會送返大海，回到大海中他們去了哪裡？

環境媒介在動物遷徙中扮演著重要的角色，如：風之於鳥；洋流之於海中生物(Polovina *et al.*, 2006)。海龜一生中有 97% 在海中度過，生活與海洋環境密切相關，認為海龜本身具有行為能力，可決定洄游的方向與目的地，而大洋中的海流若與海龜目標一致，海龜可搭著海流，順流前進，以較快且省力抵達目的地；但若海流方向不同，海龜需花較多體力去對抗海流。以動物生理而言，產後或混獲海龜體力較弱，且大洋中食物較貧乏，海龜應以最快且省力的方式抵達目的地。本研究之假說認為，台灣東部的海龜洄游會受到黑潮的影響，會選擇與目的地方向相同的海流，達到省力快速的目的。

1-4. 研究方法

本研究使用蘭嶼產後洄游海龜與東澳定置網混獲的兩隻海龜。過去台灣針對海龜洄游追蹤大多在望安，蘭嶼也是台灣地區海龜產卵地，而在台灣東部一年四季都有強勁的黑潮流經，平均流速可達 100 cm/s 到 200 cm/s，海龜在這樣的環境下，會如何選擇洄游路徑？東澳同樣位於台灣東部，比較兩隻海龜洄游路徑是否會受到黑潮影響？

兩隻海龜洄游路徑搭配歷史浮球軌跡、大氣資訊、衛星海表溫度、模式流場等資料，討論台灣周圍海流對海龜洄游路徑與棲地的影響，希望能對海龜洄游行為有進一步的了解。

第二章、資料蒐集

2-1. 海龜洄游路徑追蹤

2-1.1. 蘭嶼海龜 (ID：60718，產後洄游)

產後洄游是指海龜回到出生地產卵繁衍後代，每隻海龜返回產卵地平均會產下 4 到 5 窩卵，當產卵完後便會離開產卵地返回棲息地，這段稱為產後洄游。

目前台灣較穩定的產卵地為澎湖望安鄉及蘭嶼兩地，每年五到十月為海龜產卵季，在這段期間海洋大學海洋生物研究所程一駿教授的研究團隊每晚會到沙灘上巡邏找尋上岸產卵的海龜，並在海龜產完卵後進行上標、置入晶片、測量並記錄曲線及直線背甲長以及爬痕寬度等，記錄每隻上岸產卵母龜的資訊。

安裝發報器進行海龜洄游追蹤必須選擇有穩定返回產卵的海龜。在海龜上岸產完卵後用固定箱子將海龜暫時留在陸地上並用沾有海水的濕毛巾將海龜頭部蓋住避免海龜受到過度驚嚇，等待背甲上海水蒸發於清晨繼續作業，如圖 2-1。

發報器固定的方法可參考 Balazs (1994)，步驟如下：

- (1) 首先用砂紙及清水將海龜背甲中央盾的第一片到底三片清理乾淨，避免雜質殘留在背甲上影響發報器安裝。
- (2) 使用工程用 AB 膠將發報器固定在海龜背甲中央盾第二片上，天線向前，增加海龜至水面換氣時訊號發報的機會，如圖 2-2。
- (3) 待膠水乾後即可讓海龜返回大海，如圖 2-3。

本研究中的蘭嶼海龜為產後洄游的綠蠵龜(ID-60718)，於 2010 年 9 月 3 日於蘭嶼安裝發報器，詳細資料如表 2。發報器設有鹽水開關感應器，發報器於海龜返回大海接觸到海水，發報器便會開始運作，離開海

水後發報器就會終止，故無需像以前需在實驗前將儀器設定開始測量時間，直接將發報器安裝在海龜背上待膠水乾後即可將海龜放回海中。

2-1.2. 東澳海龜 (ID：60261，混獲)

混獲是指漁業使用漁網或者是延繩釣時捕捉到非目標物種的情形。混獲的結果造成全世界赤蠵龜、革龜、玳瑁、欖蠵龜、肯氏龜與綠蠵龜，被列入了國際自然保育聯盟(IUCN)紅皮書中。

東澳獲救的海龜由漁民送到實驗室，經研究人員細心的照料，海龜整體健康狀況恢復良好後將牠送回大海，在海龜返回大海前在背甲裝上發報器，步驟如上(1)到(3)，追蹤混獲後的洄游路徑。

本研究的東澳海龜為定置網混獲的赤蠵龜(ID-60261)，經休養後由東澳放出返回大海，Argos 發報器安裝時間為 2011 年 2 月 28 日上午 11 點，詳細資料如表 2。



圖 2-1 將海龜固定在箱子中並在頭部蓋上沾有海水的濕毛巾
(取自程一駿老師研究團隊)



圖 2-2 使用隧道用 AB 膠將發報器固定於海龜背甲上
(取自程一駿老師研究團隊)



圖 2-3 發報器安裝完成後，海龜返回大海
(取自程一駿老師研究團隊)

表 2 實驗海龜資料

編號	資料起訖時間	起點	終點	品種	狀況
60718	2010-09-03 2011-06-29	蘭嶼	石垣島附近	綠蠐龜	產後洄游
60261	2011-02-28 2011-04-29	東澳	雷州半島	赤蠐龜	混獲

2-2. Argos 浮球資料

Argos 由法國 CNES(Centre National d' Etudes Spatiales)、美國太空總署 NASA(National Aeronautics and Space Administration)以及 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)於 1978 年創立，收集全球氣象以及海洋資料，提供資料收集、分析處理以及衛星定位系統，定位精準度在 150-1000 公尺內。Argos 目前不僅提供浮球資料同時也提供 XBT、動物追蹤定位等服務，近幾年來 Argos 浮標被廣泛應用在全球海洋觀測。

本研究使用美國 NOAA/AOML 浮球資料庫下載 Kriged Drifter Data (<http://www.aoml.noaa.gov/phod/trinanes/xbt.html>)，下載時間為 1979 年 2 月 15 日到 2011 年 6 月 30 日間放置於水深 15 公尺洞襪式浮球，如圖 2-4，洞襪式浮球設計主要是將洞襪式拖傘布放在 15 公尺水深中，讓海流帶動整體托傘移動，減少表面風場及波浪對浮球的影響，再藉由浮球內的發報器來傳送資料給衛星，每天大約有 16-20 顆衛星給予定位，資料接收後經由美國 NOAA/AOML 的 Drifter Data Assembly Center(DAC) 收集並進行資料品管，將浮球擱淺、被漁民撈起的浮球、佈放前的訊號等訊息刪除，並內插成 6 小時一筆的資料(Hansen and Poulain, 1996)，下載的資料格式為浮球編號、時間、經緯度、海表溫度、U 方向速度、V 方向速度、速度等。

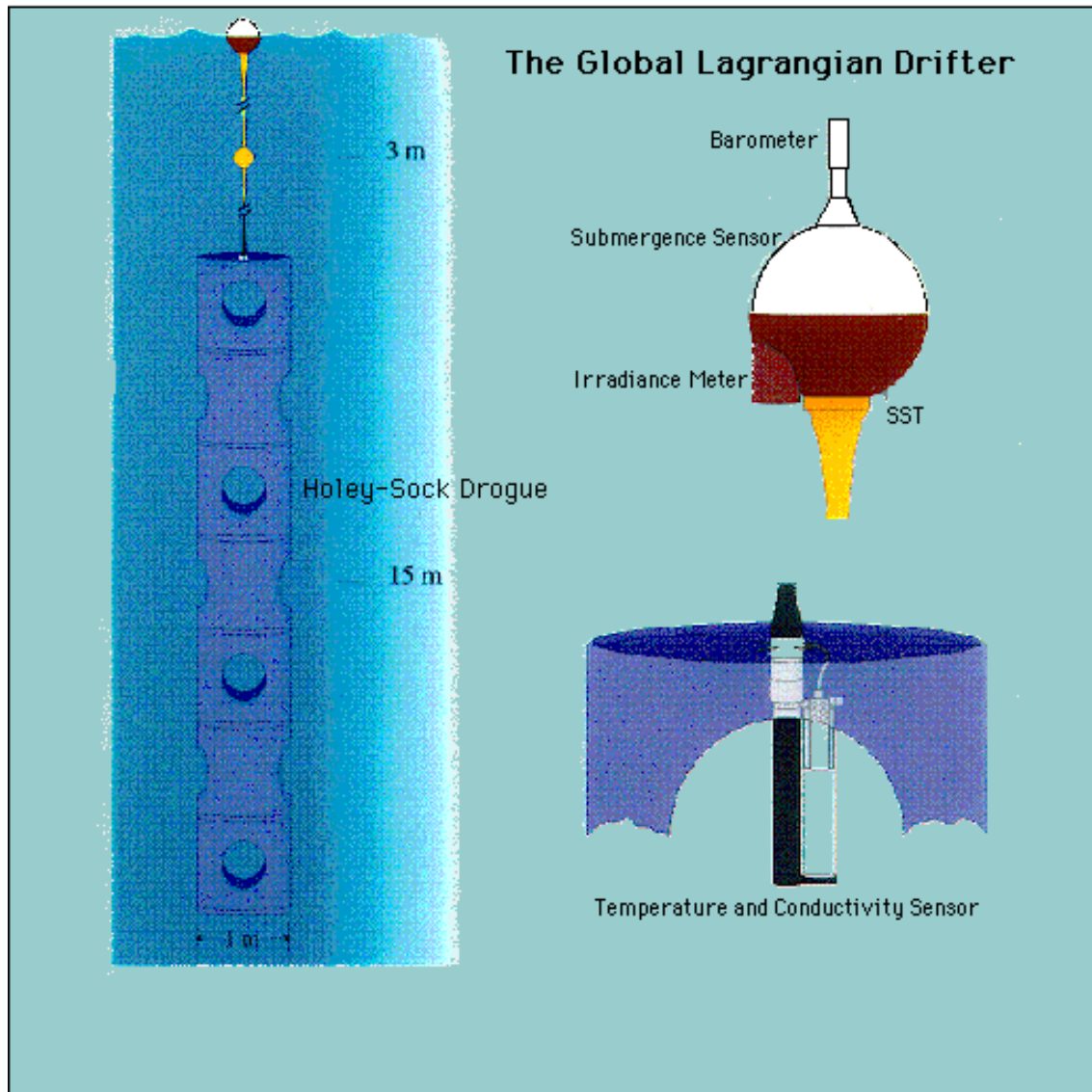


圖 2-4 洞襪式浮球設計

(摘自 NOAA/AMOL 網站 <http://www.aoml.noaa.gov/phod/graphics/drifterfig.gif>)

2-3. 氣象站與氣象浮標資料

本研究所使用的中央氣象局氣象站與氣象浮標資料透過行政院國家科學委員會台灣颱風洪水研究中心的大氣研究資料庫代為申請(http://dbar.ttfri.narl.org.tw/DBAR_02_01.aspx)。全台目前佈放氣象站與浮標分佈如圖 2-5，申請台灣東部中央氣象局氣象站與氣象浮標資料，取得花蓮浮標、台東浮標、小琉球浮標、大鵬灣浮標站資料，內含 2011 年 1 月 1 日到 2011 年 12 月 31 日逐時風速風向、波浪、氣溫、海表溫、氣壓等資料。

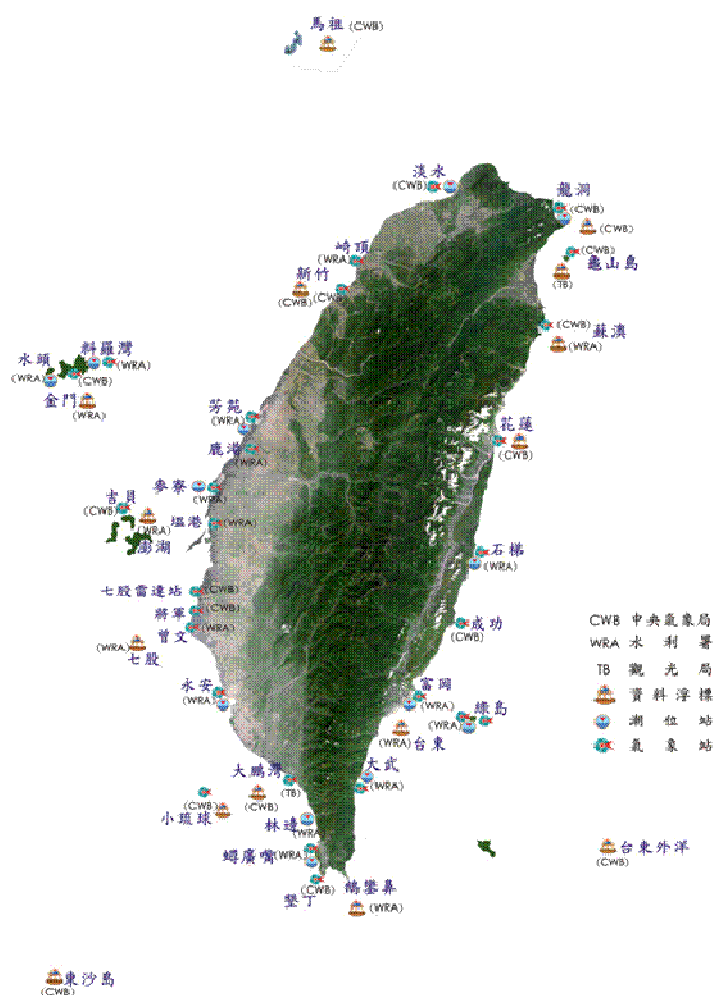


圖 2-5 全台氣象站、潮位站與氣象浮標分布圖

(摘自成大近海水文中心)

2-4. MODIS-Aqua 衛星海表溫資料

美國航空暨太空總署 NASA(National Aeronautics and Space Administration)於 2002 年 5 月 4 日發射成功的 Aqua 衛星，而 MODIS 為搭載於衛星上的被動式成像分光輻射計。

MODIS 稱為中解析度成像光譜儀，全部分為 36 個觀測波段如表 3，波長範圍從 0.41 μm 至 14.4 μm ，涵蓋可見光至遠紅外光，觀測波段範圍甚廣，能夠提供許多不同的地表資訊，如氣膠、海表面溫度、海表面葉綠素、大氣水汽、雲頂溫度、大氣溫度、臭氧等，例如波段 1~2 應用於雲層之鑑別；波段 3~7 之應用則為陸地及雲層特性之探討，波長約為 459 nm~2155 nm；波段 8~16 (波長 400~900nm) 之應用則為葉綠素濃度分布特性，而波段 31~32 則主要應用於海洋表面水溫資料的監測。其地面解析度依波段不同有不同之解析度：第 1~2 波段為 250 公尺，第 3~7 波段為 500 公尺，和第 8~36 波段為 1 公里，共三種解析度。

本研究中所使用的海表溫資料取自美國太空總署 NASA 的 Oceancolor 網站 (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)，採用 Ocean Level-3 Standard Mapped Image Product，選用海表面溫度資料(Sea Surface Temperature, SST)波長 4 μm 使用時間解析度為 8 天平均，空間解析度為 4 公里，選用時間範圍為海龜洄游時間。

表 3 MODIS 各頻道波段範圍及其主要用途

Primary Use	Band	Bandwidth (nm)	Primary Use	Band	Bandwidth (nm)
Land/Cloud/ Aerosols Boundaries	1	620 - 670	Surface/ Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840
	2	841 - 876		21	3.929 - 3.989
Land/Cloud/ Aerosols Properties	3	459 - 479		22	3.929 - 3.989
	4	545 - 565	Atmospheric Temperature	23	4.020 - 4.080
	5	1230 - 1250		24	4.433 - 4.498
	6	1628 - 1652	Cirrus Clouds Water Vapor	25	4.482 - 4.549
	7	2105 - 2155		26	1.360 - 1.390
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 - 420		27	6.535 - 6.895
	9	438 - 448	Cloud Properties	28	7.175 - 7.475
	10	483 - 493		29	8.400 - 8.700
	11	526 - 536	Ozone	30	9.580 - 9.880
	12	546 - 556	Surface/ Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280
	13	662 - 672		32	11.770 - 12.270
	14	673 - 683	Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485
	15	743 - 753		34	13.485 - 13.785
	16	862 - 877		35	13.785 - 14.085
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920		36	14.085 - 4.385
	18	931 - 941			
	19	915 - 965			

(摘自 <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>)

2-5. 美國海軍 EASNFS 海洋模式資料

流場資料取自美國海軍實驗室(US Naval Research Laboratory, NRL) , EASNFS(East Asian Sea Nowcast/Forecast System) 。EASNFS 是東亞海域即時模式，以 Princeton Ocean Model (POM)為基礎，輸入 Navy Operational Global Atmospheric Prediction System (NOGAPS)的大氣資料，同化 SSH 及 SST，海面高度及海表溫資料則來自於 Geosat-Follow-On、TOPEX/Poseidon、ERS-2 與 AVHRR 等衛星資料(Ko *et al.*, 2009)。取用本研究選用模式輸出五天平均，海面 5 公尺深流場，以及海面高度的資料(SSH)，空間解析度為 $\frac{1}{12}^{\circ} \times \frac{1}{12}^{\circ}$ (約 9 公里)，選用時間為 2010 年 5 月至 2010 年 10 月，模式計算海流做成漂流軌跡，與蘭嶼海龜路徑作分析比較。

第三章、資料品管與分析方法

3-1. 海龜洄游資料品管

由發報器取得數據包含經緯度及時間，Argos 所提供的經緯度資料精準度 (LQ, Location Quality) 共分 3、2、1、0、A、B、Z 等七個等級如表 4 所列，3 代表 420 秒內共有 5 個以上的訊息，誤差小於 150 公尺是 7 個等級中精準度最高的；2 代表 420 秒內共有 5 個訊息，誤差小於 350 公尺；1 代表 420 秒內共有 4 個訊息，誤差小於 1000 公尺；當 420 秒內訊息小於或等於 4 個訊息的點位又分為 0、A、B、Z 等級，0 代表 420 秒內最少 4 個訊息，誤差約 1000 公尺，等級 A 代表 420 秒內有 3 個訊息其中有兩個訊息是合理訊息，誤差大於 1000 公尺；等級 B 代表 420 秒內共有 2 個訊息且這兩個訊息均為合理訊息，但誤差值無法估計；等級 Z 則視為無效訊息。其中 A、B、Z 的位置訊息是經由地面的衛星接收站計算而來，目的是希望可以多提供一點資訊供使用者使用 (Argos, 2011)。由於海龜洄游路徑資料非常珍貴且有限，不輕易將點位移除，因此會參考 Argos 手冊所提供的精準度，精準度為 Z 則不參考，其他等級保留。

下一步採用經緯度搭配地形繪製海龜洄游路徑，若發現發報點位離開洄游路徑太遠，則視為訊息錯誤，將這點位剔除，下一步會把時間分別對經度及緯度做圖，再次確認，剔除異常值，若發現發報時間相同則刪除之。

透過 MATLAB 副程式 sw_dist.m (http://www.cmar.csiro.au/datacentre/ext_docs/seawater.htm) 計算海龜洄游路徑中兩點間的距離 (dx)，單位是公里；再除以兩點時間的間隔 (dt)，計算出海龜的洄游速度，如公式 $u\ speed = \frac{dx}{dt}$ 。計算出來的海龜泳速轉換與海流流速相同單位為 cm/s。海龜平均洄游速度約為

50-200cm/s，將計算出來的水平位移速度後確認海龜洄游的合理速度，若出現大值遠超出當地海流流速加海龜最大合理泳速，則視為錯誤不予採用。完成資料品管後繪出兩隻海龜洄游路徑如圖 3- 1。

除計算海龜洄游速度(migration speed)，同時計算海龜東西向與南北向(U、V)泳速與模式海流結果分析比較。海龜 U、V 方向洄游速度計算方法如下：

$$Turtle_u = \frac{Lon_2 - Lon_1}{t_2 - t_1}$$
$$Turtle_v = \frac{Lat_2 - Lat_1}{t_2 - t_1}$$

表 4 Argos 提供點位精準度(LQ，Location Quality)誤差範圍

LQ (Location Quality)	接收訊息數	誤差
3	420 秒內有 5 個以上的訊息	小於 150 公尺
2	420 秒內有 5 個的訊息	小於 350 公尺
1	420 秒內有 4 個訊息	小於 1000 公尺
0	420 秒內最少 4 個訊息	大約 1000 公尺
A	420 秒內有 3 個訊息， 其中有 2 個為合理訊息	大於 1000 公尺
B	420 秒內有 2 個訊息， 其中有 2 個均為合理訊息	無法估計
Z	無效的訊息	

SeaTurtle(60261) 、 SeaTurtle(60718)

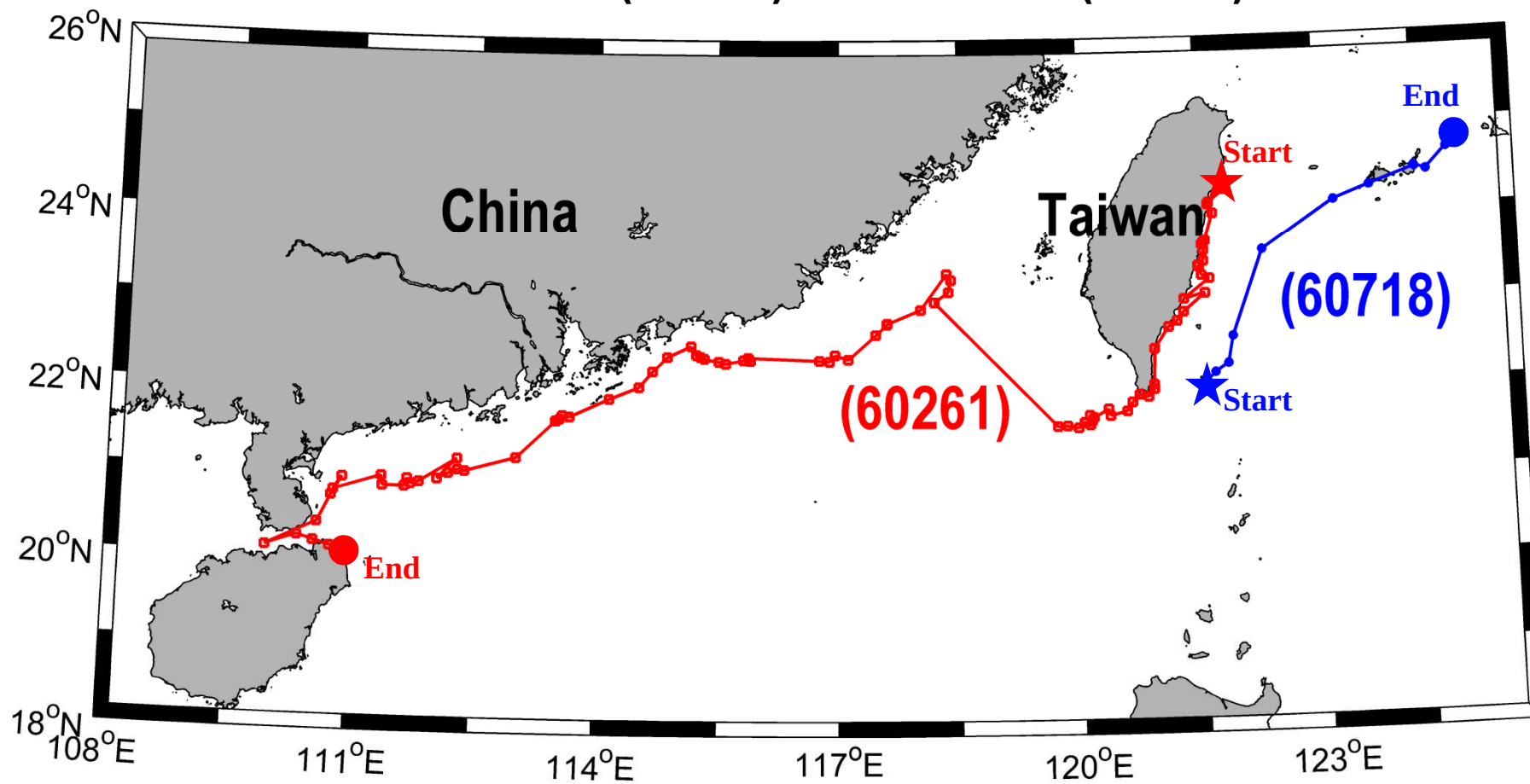


圖 3-1 兩隻海龜經資料品管後洄游路徑

3-2. Argos 浮球與海龜路徑

Argos 表面浮球隨流移動，反應出當時海流狀況與流向，而浮球本身不具有自主力，可拿來與有行為能力的海龜洄游軌跡做比較。

本研究從美國 NOAA/AOML 浮球資料庫下載 Kriged Drifter Data 下載歷年浮球資料，漂浮範圍為 105°E - 135°E ， 5°N - 35°N 。時間為 1979 年 2 月 15 日到 2011 年 6 月 30 日間放置於水深 15 公尺洞襪式浮球。近來浮球已廣泛被使用在海流追蹤，在台灣周圍也已佈滿歷史浮球軌跡。浮球資料時間從 1979 年 2 月 15 日到 2011 年 6 月 30 日止，如圖 3-2，黑色為蘭嶼海龜(60718)與東澳海龜(60261)的洄游軌跡。由這張圖的浮球軌跡看到台灣東部有許多浮球經過，且有不少浮球受到黑潮的影響一路往北到日本附近；在台灣南端亦有許多浮球從呂宋海峽進入南海。期望可以從大量的浮球軌跡中找到與海龜相似的路徑，比較海龜路徑與浮球軌跡差異，了解海流對海龜的影響。

從資料庫下載到的浮球資料廣布全球，資料取得後先找出浮球軌跡有進入 105°E 到 125°E ， 15°N 到 27°N 範圍內，且浮球軌跡點數大於 10 點的浮球；再將浮球依編號逐一與海龜洄游路徑畫在一起，找出與海龜洄游路徑相似的浮球。

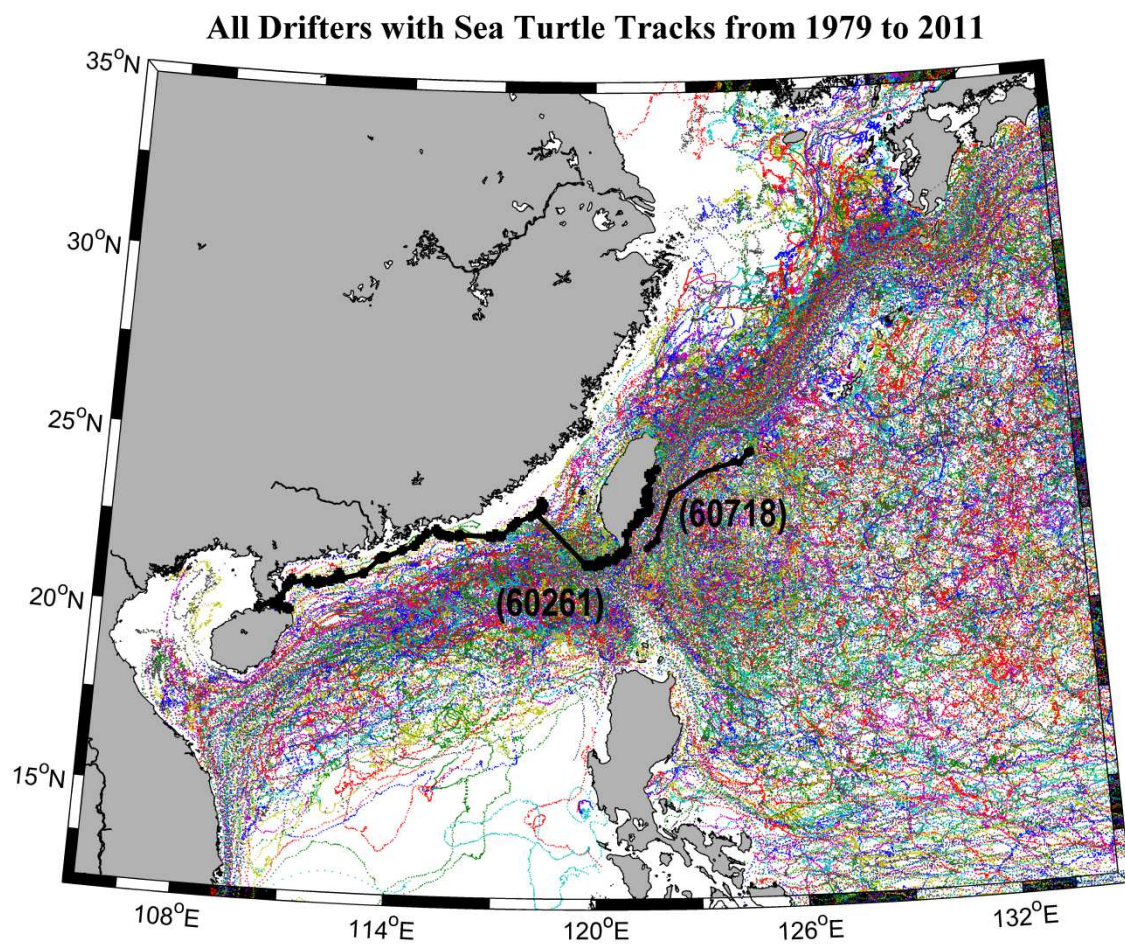


圖 3-2 歷史浮球軌跡與海龜洄游路徑

3-3. 氣象浮標資料與路徑分析

海龜在海中的時間非常長，但海象的變化與大氣密切相關，想了解海龜是會受到大氣變化影響，又因為東澳位於台灣東部海龜在東澳出海後並沒有受到黑潮影響往北前進，反而很貼近台灣東部沿岸南下，最遠僅離岸 20 公里，海龜若要往北走，僅需將路徑向東邊修正一點即可搭著黑潮順利往北前進，認為海龜選擇此路徑很可能是因為海龜想要南下，當時近岸可能有較弱的流或有向南的反流可以利用，但衛星高度計於近岸準確率不高無法參考，模式資料解析度為 9 公里不足以解析海龜路徑上海流流速、流向，希望可以藉由氣象浮標與大氣資訊找尋有利的證據。透過大氣研究資料庫向中央氣象局申請海上氣象浮標資料，內容如表 5，比對海龜洄游時大氣與海表變化。

表 5 中央氣象局氣象浮標資料內容

測站名	資料時間	資料種類
台東外洋浮標	2011-01-01～2011-12-31	逐時風速、風向
		逐時波浪
		氣溫
		海表溫
花蓮浮標	2011-01-01～2011-12-31	潮位(六分鐘)
		逐時風速、風向
		逐時波浪
		逐時氣溫
		逐時海表溫
小琉球浮標	2011-01-01～2011-12-31	潮位(六分鐘)
		逐時風速、風向
		逐時波浪
		逐時氣溫
		逐時海表溫
大鵬灣浮標	2011-01-01～2011-12-31	逐時風速、風向
		逐時波浪
		逐時氣溫
		逐時海表溫

3-4. MODIS-Aqua 海表溫與海龜路徑

過去海龜洄游路徑追蹤研究不少學者將海龜路徑與海表溫做疊合，發現海龜會順著海表溫等溫線移動。海表溫介面可以當作海水流動變化的一個介面，是另一個可以證明海龜順著海流移動的證據。從 Oceancolor 網站(<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>)下載海表溫資料，波長分為 11 μ m 與 4 μ m，解析度又分 4 公里與 9 公里兩種，本研究選用波長 11 μ m 解析度為 4 公里的資料。資料長度分 Daily、8 Days 與 Monthly 三種，海龜移動迅速，但海表溫資料易受天氣與雲層影響，使用 Daily 與 8 Days 產品與海龜路徑比對易有缺值現象比較結果不甚理想，但海龜路徑並不會完整地從某個月的一號到月底，使用 Monthly 資料與實際狀況又有些許的差距，因此選用 8 Days 的資料與海龜路徑相同時間做海龜洄游期間平均，再與海龜路徑做疊合，台灣附近海龜是否也會受到海表溫的引導前進。

3-5. EASNFS 模式流場與海龜路徑

海龜洄游路徑分析最缺乏的就是當時海流的流速流向，目前無法得知海龜洄游周圍海流的變化，過去學者利用高度計、海表溫、潮流等許多資料就是想要更精確地知道海流對海龜洄游的影響。本研究取用由柯東山博士提供美國海軍實驗室(US Naval Research Laboratory, NRL)取得五天一筆的 EASNFS 模式資料，資料時間與蘭嶼海龜洄游期間相同，雖然模式結果仍與實際海洋有所差距，但此模式同時同化了高度計與海表溫資料，對於實際海洋變化仍具參考的意義。

模式解析度為 $\frac{1}{12}^{\circ} \times \frac{1}{12}^{\circ}$ (約 9 公里)，資料時間間隔為五天一筆，海龜時間必須落在模式資料時間 ± 2.5 天內，將模式 5 公尺深 U、V 方向流場資料用曲率內插(Cubic Spline)到海龜洄游點位上，得到海龜洄游點位上的流速。

計算海龜泳速，參考(蔡，2005)的計算方法：海龜泳速＝海龜洄游速度－海流速度，分別計算海龜 U、V 方向洄游速度與海流速度之間的關係。

研究中追蹤蘭嶼出發的海龜結果僅有一隻，但蘭嶼為台灣附近其中一個海龜穩定上岸產卵的地方，若海龜在蘭嶼周圍出發，在假設海龜沒有游泳的話海流會將他們帶到哪裡？

設計在蘭嶼周圍佈上起始點，11×11 網格點作為起始點，如圖 3-3，每個點間隔為 0.1° (約 10 公里)，間隔必須大於模式的解析度(9 公里)計算出的點位才有意義。

漂流路徑計算方法：

(1) 找出起始點位 (x_1, y_1) 的海流流速 u_1 、 v_1 。

(2) 計算移動距離

$$dx_1 = u_1 \times dt_1$$

$$dy_1 = v_1 \times dt_1$$

$$dt_1 = \text{海龜每個點位時間間距}$$

(3) 找到下一個點位 (x_2, y_2)

$$x_2 = x_1 + dx_1$$

$$y_2 = y_1 + dy_1$$

(4) 重覆以上步驟(1)到(3)計算每個時間點的漂流路徑。

(5) 選擇不同起始點重複(1)到(4)步驟。

產完卵後海龜就會開始洄游回到棲息地，每年5月到10月是海龜上岸產卵的季節，在海龜產卵季時台灣東部的流場又是如何變化？東部的海流會將海龜帶到哪些地方？接著使用上面規劃出來的121個點，於2010年5月到2010年10月間每五天計算一次121個點的漂流路徑，共計算了4477個漂流路徑，時間間隔為12小時($dt = 12\text{hr}$)，希望藉由這些路徑可以了解台灣東部流場與海龜路徑間關係。

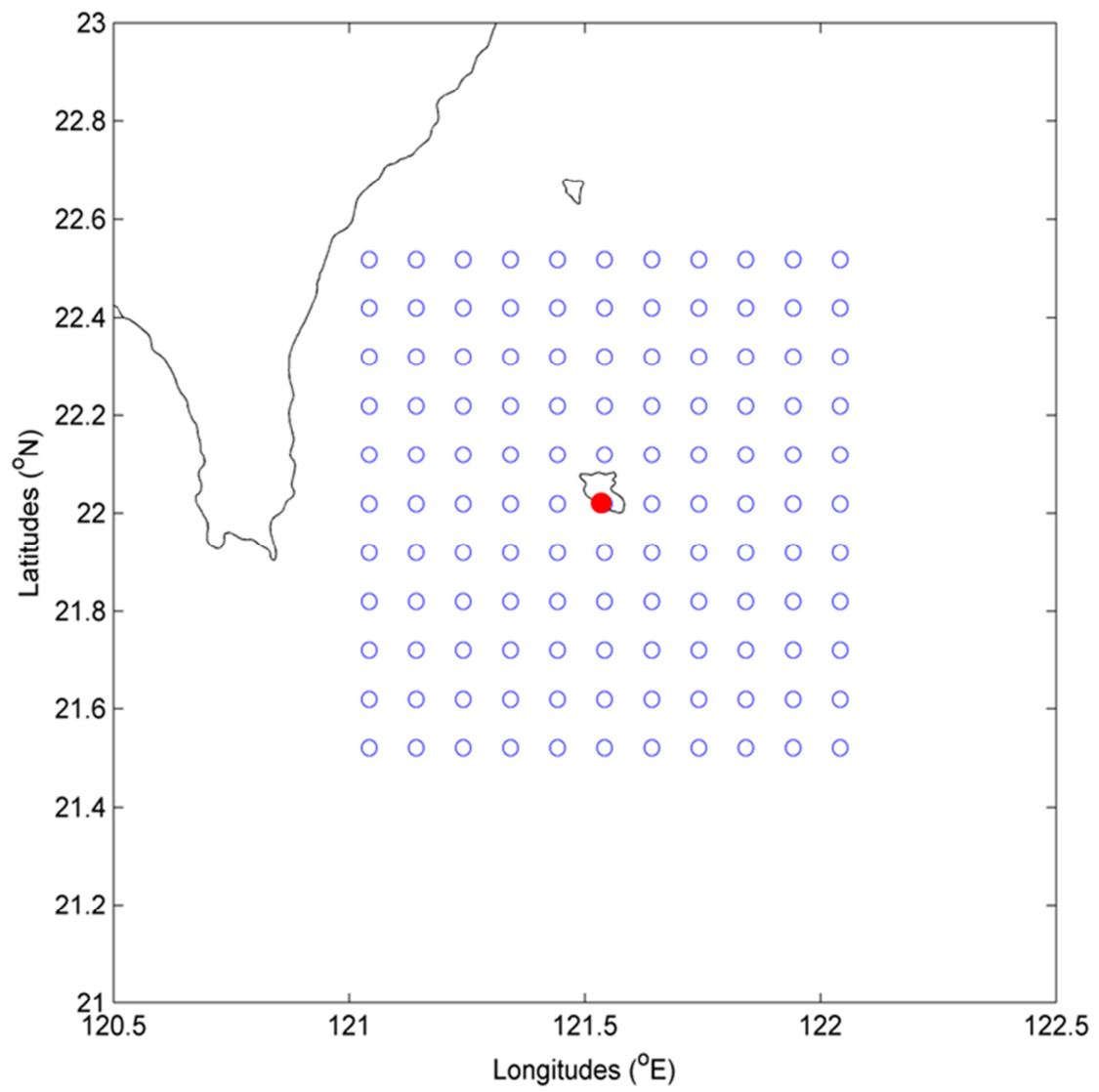


圖 3- 3 在蘭嶼周圍佈上 11×11 網格點位置，紅色點為海龜實際出發
位置

第四章、結果與討論

4-1. 蘭嶼(ID-60718)海龜

綠蠐龜會在產卵地與覓食地之間做長距離洄游，當他們進行產後洄游，有時候會利用近岸當作暫時的棲息地，所以海龜路徑可以分為橫跨大洋及沿著岸線移動前進兩種模式(Mortimer and Carr, 1987；Bowen *et al.*, 1995；Cheng, 2000)。綠蠐龜是底棲性生物，覓食及成長的地區多在近海海草或海藻充沛的陸棚地區(Carr, 1967；Carr and Carr, 1972)，在大洋中綠蠐龜的食物來源很少，而海龜產卵會耗費大量的體力，海龜要如何快速地抵達覓食地就顯得相對重要。在過去研究從衛星追蹤海龜洄游結果顯示，海龜本身可以克服洋流對海龜的影響(Wallace *et al.*, 2000；Polovina *et al.*, 2000；Horrocks *et al.*, 2001；Luschi *et al.*, 2003)。在蘭嶼地區終年有強勁的黑潮經過，這股強大的洋流對海龜洄游是否會造成影響，下面透過不同海洋物理現象來探討海流對海龜洄游的影響。

蘭嶼海龜於 2010 年 9 月 3 日安裝發報器，在 2010 年 9 月 25 日最後一次產卵結束後開始進行洄游，於 2010 年 10 月 4 日抵達石垣島附近，之後就在琉球島弧附近島嶼徘徊，發報器訊號結束時間為 2011 年 6 月 29 日，直到發報器訊號結束海龜並沒有再進行長距離的移動，本研究探討海龜洄游行為，擷取 2010 年 9 月 25 日到 2010 年 10 月 4 日洄游期間分析研究。

4-1.1. 蘭嶼海龜與浮球軌跡

蘭嶼海龜產後從蘭嶼出發一路往東北抵達石垣島附近，過去對於台灣東部終年有強勁的黑潮通過，單從軌跡來看認為海龜有利用黑潮的優勢抵達目的地，從歷史浮球軌跡在台灣東部海域分布，如圖 4- 1，線條是所有歷史浮球軌跡通過海龜洄游路徑附近，桃紅色是蘭嶼海龜實際洄游路徑。看到台灣東部佈滿了浮球軌跡，有許多浮球順著黑潮往北，但在黑潮東邊浮球軌跡交錯複雜沒有一致性，也有不少打轉現象，顯示台灣東部流場並不僅受到黑潮這股強勁的西方邊界流的影響，大洋中的渦旋會影響台灣這區域的海流變化，是造成這區域流場錯綜複雜的因素。

在歷史浮球軌跡有看到許多方向一致的浮球路徑大多順著黑潮往北移動，其中有一浮球(ID-9421204)軌跡與海龜路徑幾乎一致，如圖 4- 2，桃紅色為浮球軌跡，藍色為海龜洄游路徑。說明海龜有機會像浮球一樣搭著海流，不需要花費太多的力氣順著海流前進順利抵達目的地。由海洋資料庫水深 20 公尺夏季平均流矢(灰色箭頭)，可以看到這季節黑潮主軸的流向及位置，說明海龜出發開始洄游前段路程有搭著黑潮主流前進。

Drifters with Sea Turtle 60718

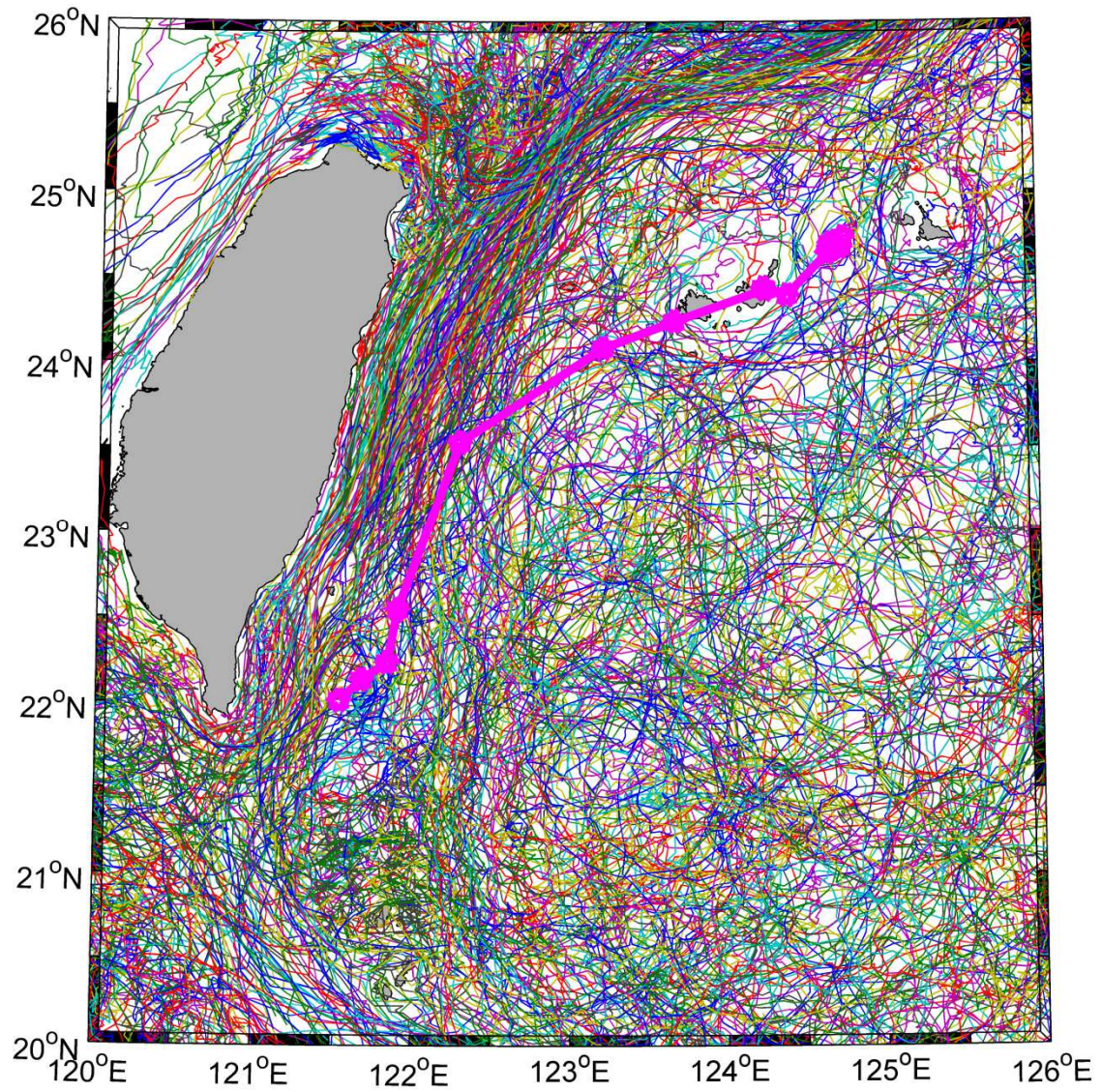


圖 4- 1 歷史浮球於台灣東部分布圖

SeaTurtle(60718) with Drifter-9421204

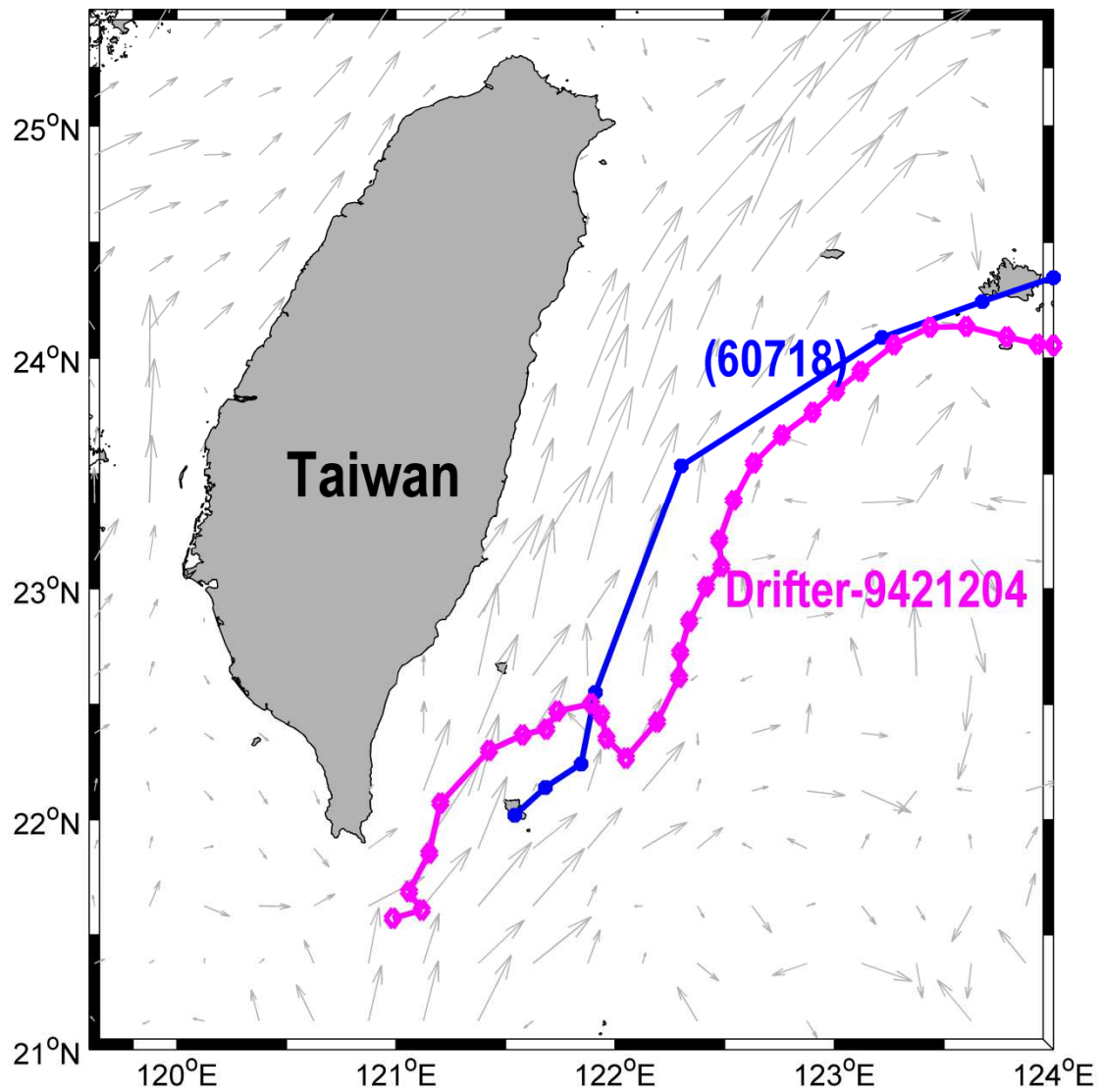


圖 4-2 海龜路徑、浮球軌跡與夏季 20 公尺平均流場圖

4-1.2. 蘭嶼海龜與 EASNFS 模式海流

藉由海龜與浮球軌跡及夏季 20 公尺水深平均流場證明海龜確實藉由黑潮順流往北，但海龜本身具有行為能力可以自己決定去向，且海龜游泳能力非常好，足以克服海流對牠的影響，靠浮球軌跡無法了解海龜在洄游路徑上多少時候是順著海流前進、多少時候靠自己的游泳能力抵達目的，進一步了解海龜洄游路徑上海流的變化，才可以知道海流在洄游過程中對海龜的影響。

目前並沒有辦法直接測量了解海龜洄游路徑周圍海流的變化，而現場海域觀測範圍有限，資料僅代表測量區域那段時間內的海況，而海洋瞬息萬變，海龜對整個海域來說僅是一小點，使用海洋資料庫歷史平均流場資料只能代表當季特定區域的流場趨勢。使用模式資料可選擇與海龜相近時間的流場資料，進一步作比對分析。

透過模式提供資料了解海龜洄游時周圍海況，如圖 4-3 底圖顏色為高度計海表面高度，黑色箭頭為 5 公尺深海流流矢，桃紅色星點是海龜洄游的實際路徑。從圖 4-3 可以看到海龜在洄游的時候東部有一個渦漩由東向西前進，認為這渦漩所造成的流場可能會對於海龜轉彎朝向石垣島會有幫助。

為了更進一步了解海龜洄游與海流間的關係，參考蔡雅如(2005)提出的方法，計算海龜泳速與海流流速與海龜泳速比較海流與泳速間的關係，透過衛星發報兩點間經緯度計算海龜水平位移距離，再除以兩點間經過的時間計算出海龜洄游速度；海流流速使用美國海軍 EASNFS 模式資料(Ko *et al.*, 2009)，內插至海龜點位上，得到海龜洄游點上之海流流速；海龜泳速為海龜洄游速度扣除當點海流的流速，結果如圖 4-4 及表 6 所示。

海龜出發開始洄游，將每個點位間分段來看，如圖 4-4 中 1 到 3 段不論在 U、V 方向及合向量都可以看到海流速度明顯大於海龜洄游速度且流向與海龜移動方向相同，說明這段路程海龜並不需要花太多的力氣即可順著海流前進。在第四段從圖 4-4 可以看到海龜位移方向與海流流向相同，這段海流對於海龜仍有很大的幫助，海龜也運用自己的游泳能力，使自己可以加速前進，盡快抵達目的地。到了第五段海龜路徑轉向東北方，經計算後這點仍在黑潮主軸中，海流快速往北前進，此時海龜花了較大的力氣向東邊移動，U 方向的泳速達 119.93 cm/s，在 V 方向泳速就遠小於海龜在 U 方向的泳速，僅 27.55 cm/s，顯示海龜在這時候花較多體力在於改變方向，脫離黑潮主軸。若海龜未花力氣，會被黑潮帶離目的地，需要靠海龜自己奮力泳離黑潮，朝目的地前進。第六段之後，海龜前進方向與海流流向一致，海龜此時再度利用海流的優勢抵達目的地，但並非完全不游泳，海龜仍有使用自己的游泳能力使自己盡快抵達目的地，但在 U、V 方向泳速都遠小於海龜在第五段的泳速。

當海流速度遠大於海龜泳速時，海龜可以搭著海流順利前進，無須花太多體力在洄游上面；當海流方向與海龜目標方向相同，海龜也會利用這優勢，但海龜本身具有良好的游泳能力牠可以順著海流加上自己的泳速使自己可以較快抵達目的地。但大洋中海龜並不會隨時有順流的海流可利用，當海龜發現海流與牠目的地方向不同的時候，海龜會花很大的力氣脫離這股強勁海流，以順利抵達目的地。

Sea Turtle (60718) with Current and Sea Surface Height

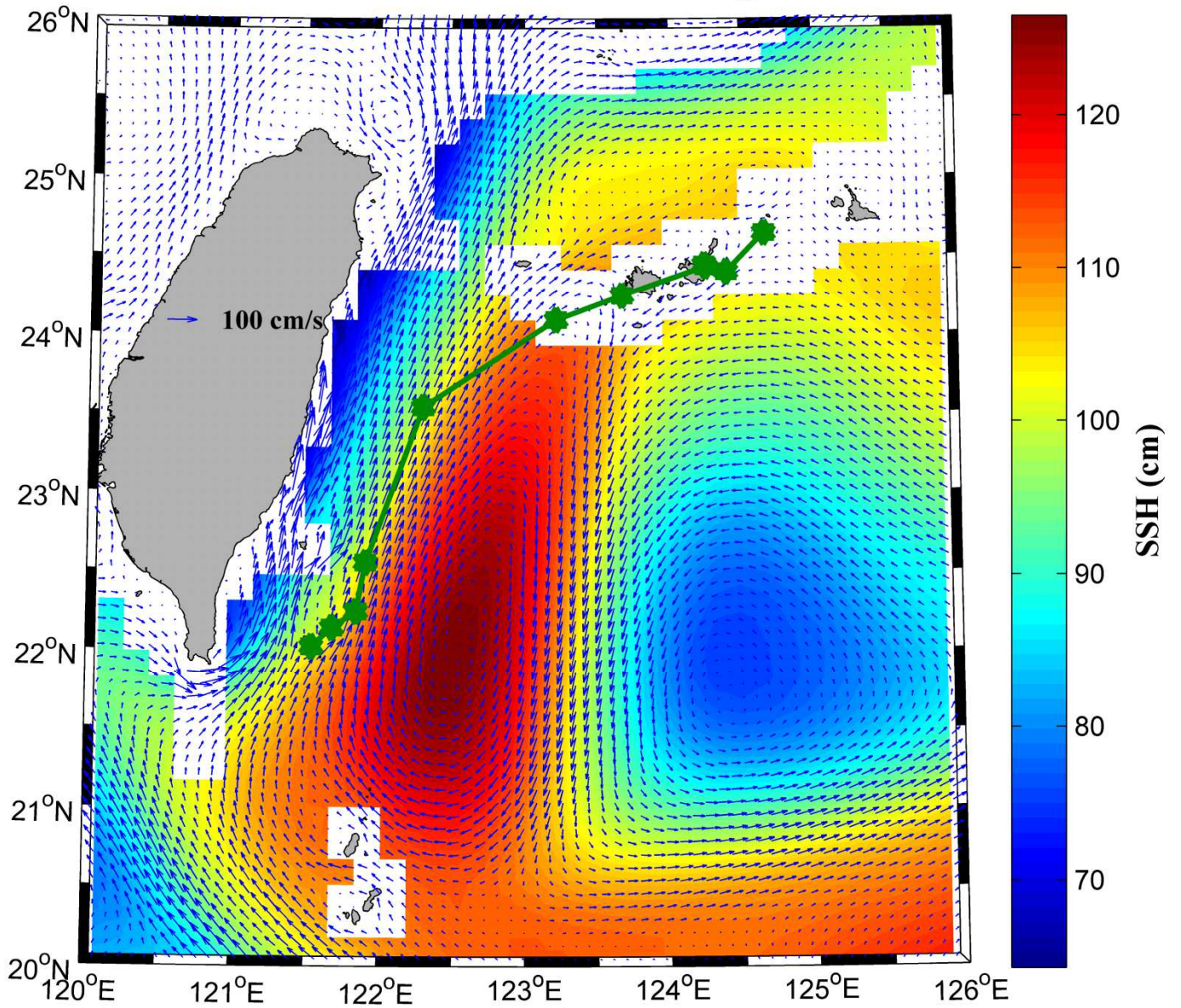


圖 4-3 海龜洄游路徑與模式海表面高度及表面 5 公尺流場

(5 公尺流場與海表面高度(SSH)資料取自 EASNFS 模式)

Sea Turtle(60718) Speed with Current Velocity

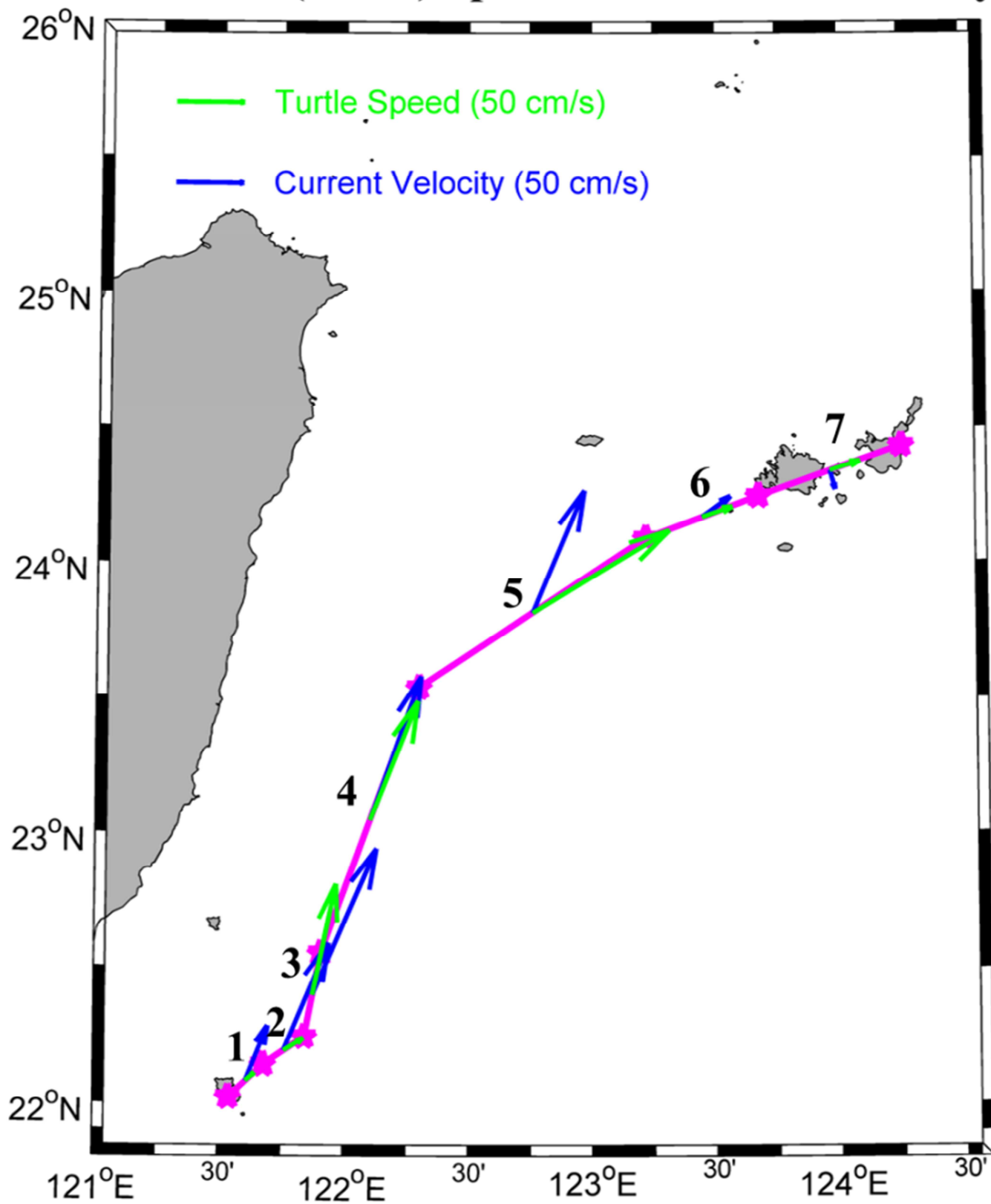


圖 4-4 海龜洄游水平位移速度與海流流速圖

表 6 海龜泳速與海流速度比較

	U 方向			V 方向			合向量		
	海龜 洄游速度 (cm/s)	海流 速度 (cm/s)	海龜 泳速 (cm/s)	海龜 洄游速度 (cm/s)	海流 速度 (cm/s)	海龜 泳速 (cm/s)	海龜 洄游速度 (cm/s)	海流 速度 (cm/s)	海龜 泳速 (cm/s)
1	9.64	10.73	-1.09	8.36	27.22	-18.85	10.61	29.26	-18.65
2	21.06	22.09	-1.03	13.09	53.25	-40.16	22.18	57.65	-35.47
3	24.61	31.38	-6.76	118.20	72.50	45.71	67.17	79.00	-11.82
4	50.63	25.11	25.52	126.76	71.17	55.59	84.37	75.47	8.89
5	145.42	25.50	119.93	87.97	60.42	27.55	153.18	65.58	87.60
6	32.27	14.05	18.23	10.95	10.21	0.74	32.87	17.36	15.50
7	32.13	2.56	29.57	10.24	-9.41	19.65	32.67	9.75	22.91
平均	21.05	8.76	12.29	25.04	19.02	6.01	26.87	22.27	4.60
標準差	45.98	10.04	43.65	54.92	31.91	34.47	49.40	28.49	39.97

4-1.3. 計算漂流路徑

(1) 改變起始點位置，時間不變

從浮球軌跡與海流都證實海龜有利用黑潮優勢，減少洄游體力消耗順利抵達目的地，而蘭嶼目前是台灣綠蠵龜穩定上岸產卵的地區之一，海龜在蘭嶼產完卵後開始進行洄游返回棲息地，洄游的起始點在蘭嶼周圍任何一個地方都有可能，假設海龜沒有花費體力隨著海流漂流，海流會將海龜帶到哪些地方？

以海龜實際出發點位為中心每隔0.1度(約10公里)設一個出發點，共設121個起始點分別計算漂流路徑，改變起始點，時間使用與海龜實際洄游時間相同，計算海龜在不同的起點海龜會順著海流漂移到哪裡，結果如圖4-5。發現軌跡路徑有所不同，因此再將軌跡分成A、B、C、D等四區，如圖4-6方框所示，並計算121個漂流軌跡有多少進入這四個區域，並將進入每個區域的漂流路徑分別計算平均軌跡並標示出。

在121個漂浮軌跡中有14個漂流軌跡(約12%)進入A區，其平均軌跡為桃紅色；有64個漂流軌跡(約53%)進入B區，其平均軌跡為黑色；有31個漂流軌跡(約26%)抵達目的地C區，其平均軌跡為紅色；而有6個漂流軌跡(約6%)折返到D區，其平均軌跡為藍色。

121個漂流軌跡有53%順著黑潮主流往北，從平均軌跡來看海龜在初出發時順著黑潮主流前進；而有26%的軌跡抵達石垣島附近，顯示海龜有超過四分之一的機會完全不需要游泳就可以隨著海流抵達目的地；而有6%的軌跡會受東邊渦漩的影響而折返，這樣的結果看到在蘭嶼周圍出發地點不同所遇到的海流可將牠帶往不同的方向。

在海龜泳速與海流流速比較中認為洄游路徑第五點海龜主要靠自己的游泳能力脫離黑潮主流以順利抵達石垣島附近，想要了解海龜是否

可能在位置上稍做調整就可以再次順流前進，因此以洄游路徑第五點做為中心，範圍 $0.6^{\circ} \times 0.6^{\circ}$ 間隔 0.1° ，設計 49 個起點計算漂流路徑，結果如圖 4-7 在 49 個漂流路徑中僅有 4 個軌跡(約 8%)到石垣島附近，且這些順利抵達石垣島海龜須向東修正 30 公里(0.3°)，才有機會順流抵達，其他路徑接順著黑潮往北，表示在這段海龜完全需要靠自己的游泳能力奮力向東移動脫離黑潮的影響。

接下來計算洄游路徑第六點周圍的漂流軌跡，觀察海龜脫離黑潮後周圍海流的狀況，結果如圖 4-8 看到海龜在第六點已經脫離黑潮主流的影響，這區域流場已受渦漩影響，海龜可以利用渦漩所產生的流場順利抵達海龜目的地。

(2) 產卵季(5 月-10 月)漂流路徑

前面的結果，在同一段時間內出發地點有些微的不同造成的漂流路徑有很大的差異。而每年 5 到 10 月是海龜的產卵季，產完卵的海龜就會開始進行洄游，且海龜產完卵後出發地點並不相同，海龜在 2011 年 5 月到 10 月間產完卵後可能的漂流路徑。

沿用前面所設定的 121 個起始點，從 2011 年 5 月 1 日開始每隔 5 天重新計算一次 121 個點的漂流路徑，重複計算到 2011 年 10 月 31 日止，期間共反覆計算 37 次。計算從起點出發 15 天後海龜會隨海流漂往何處，每隔 12 個小時計算一次點位，總共計算了 4477 個漂流路徑。其結果如圖 4-9，漂流路徑錯綜複雜在黑潮通過區域有很多漂流路徑推疊在這個區域，初步觀察大部份軌跡順著黑潮往北前進，除此之外在黑潮東邊看到不少折返的現象甚至有向東或向南的漂流軌跡，顯示從蘭嶼周圍出發海流不一定會將海龜帶往北邊前進。

從圖 4-9 可以看到軌跡錯綜複雜分布在此，但由於有太多線條重疊在一起無法清楚看出各區域通過軌跡的機率高低，在東經 120°E 到 128°E ；北緯 20°N 到 27°N 區域內製作間隔為 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 網格並統計所有漂流軌跡通過每個網格的次數結果如圖 4-10，在 122°E ， 22°N 到 23°N 間漂流軌跡通過次數很高，主要是因為這區域落在起點周圍，當漂流路徑離出發點越來越遠，軌跡間的差異越來越大。這樣的網格大小所呈現出來已可看出區域內漂流路徑通過的次數，但不足以看出更明顯的分布。

再將網格間隔調整為 $0.3^{\circ}\times 0.3^{\circ}$ 。其結果如圖 4-11，呈現出來明顯比圖 4-10 更可以表現出漂流路徑整體通過的比例。再次將網格點調整到 $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$ ，結果如圖 4-12 並將通過次數除以總漂流路徑 4477 再乘上 100%，以百分比表示。用百分比表示呈現出的百分比結果較低是因為所取的網格較小通過區域的總數變少所造成。在圖 4-12 中大部份的

漂流路徑隨著黑潮往北前進，在圖上呈現較高的比例可明顯看到黑潮主流所在的位置，而有部份漂流軌跡順著黑潮往北後在台灣東北方轉向西北前進，有不少軌跡受渦漩影響折返，亦有軌跡完全不受黑潮影響直接向東甚至向南前進。將結果與海龜路徑疊圖後發現海龜有很多機會可以順流前進抵達目的地。整體來看在蘭嶼地區產卵的海龜，東部海域流場多變海龜產後可以搭著流場往不同方向前進。

The 121 Drifting Tracks near Lanyu

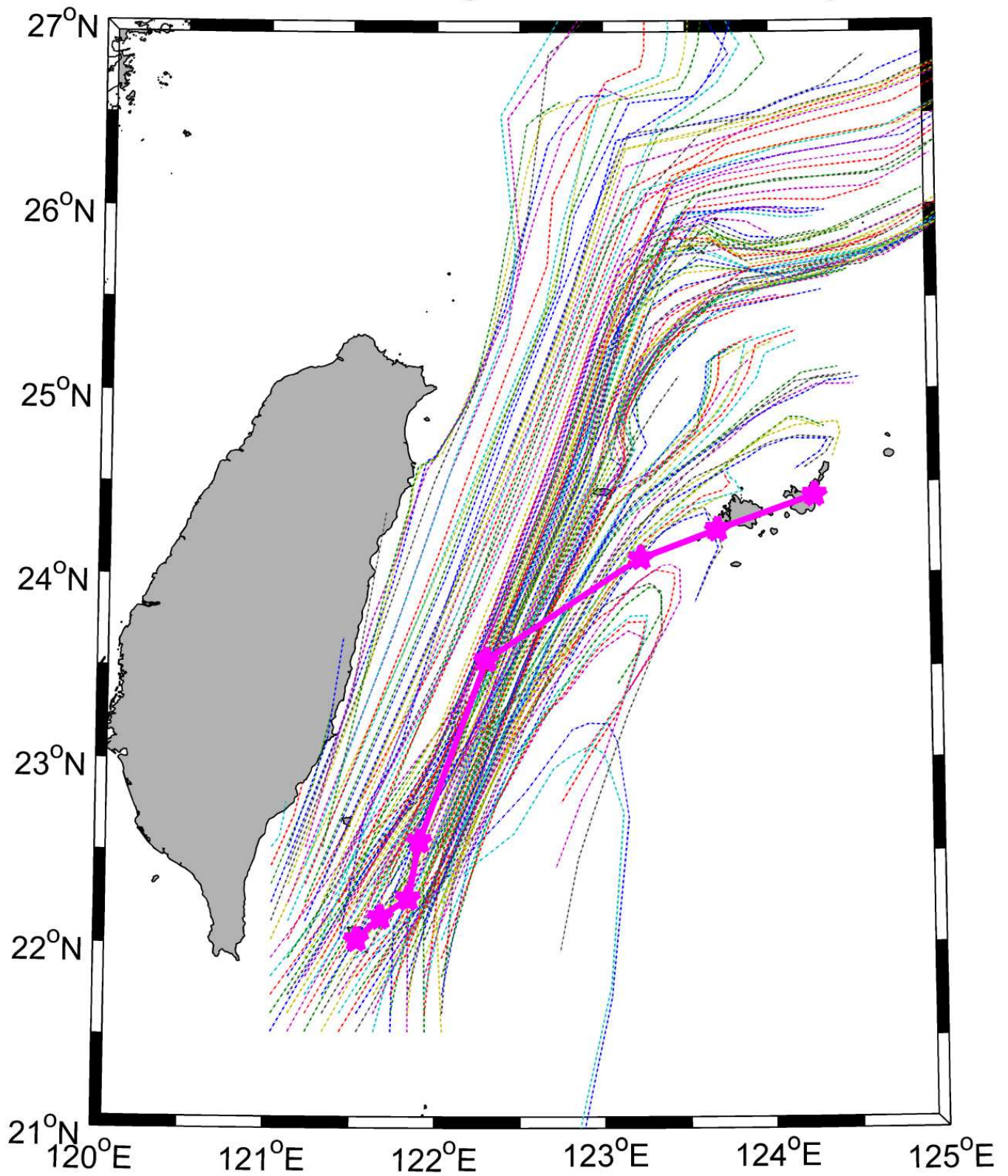


圖 4-5 蘭嶼附近 121 個起始點海龜漂流路徑

The 121 Points Near Lanyu

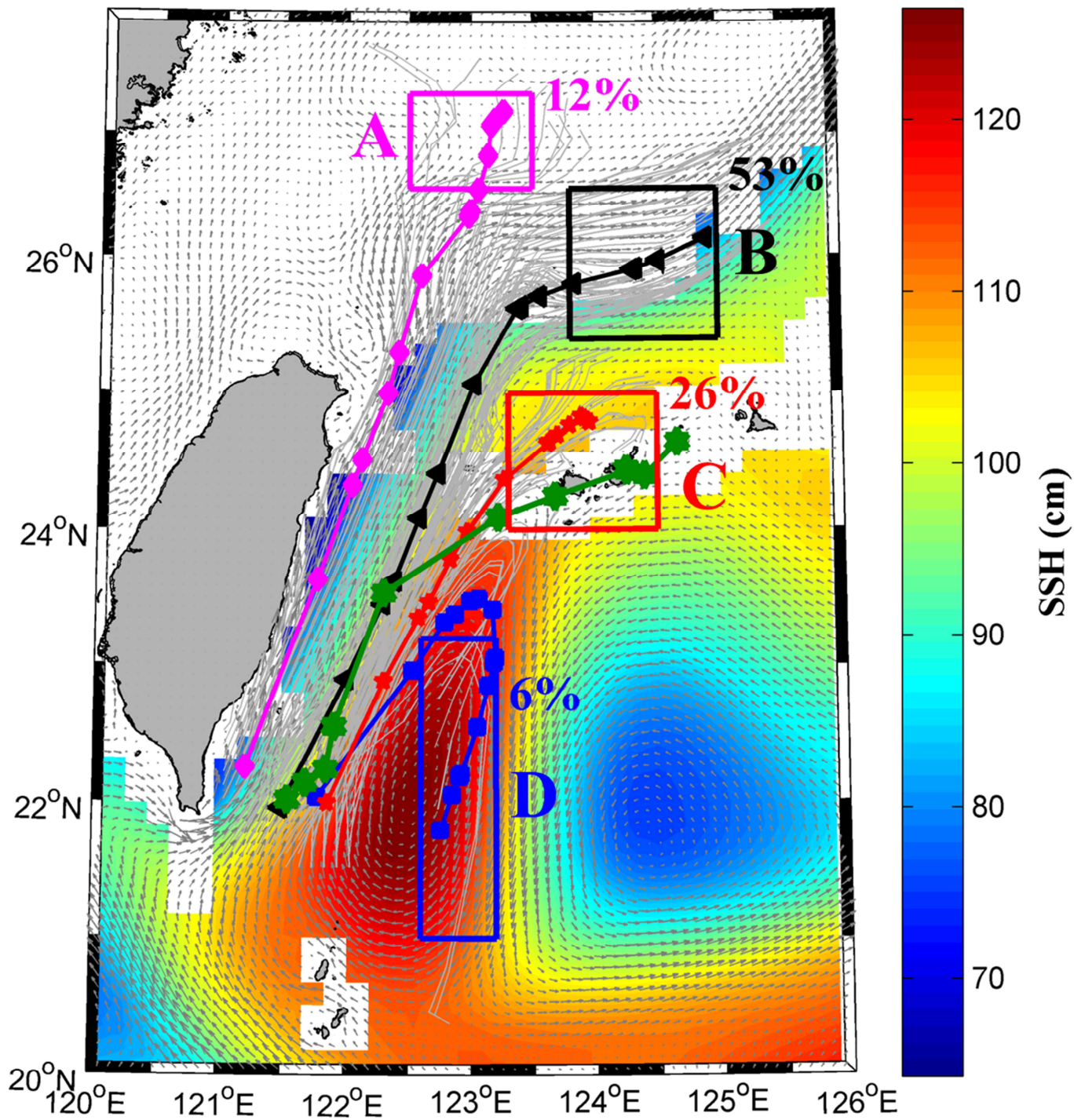


圖 4-6 121 個漂流軌跡到四個區域機率

The 49 Drift Tracks Near the Turtle(60718) 5th Point

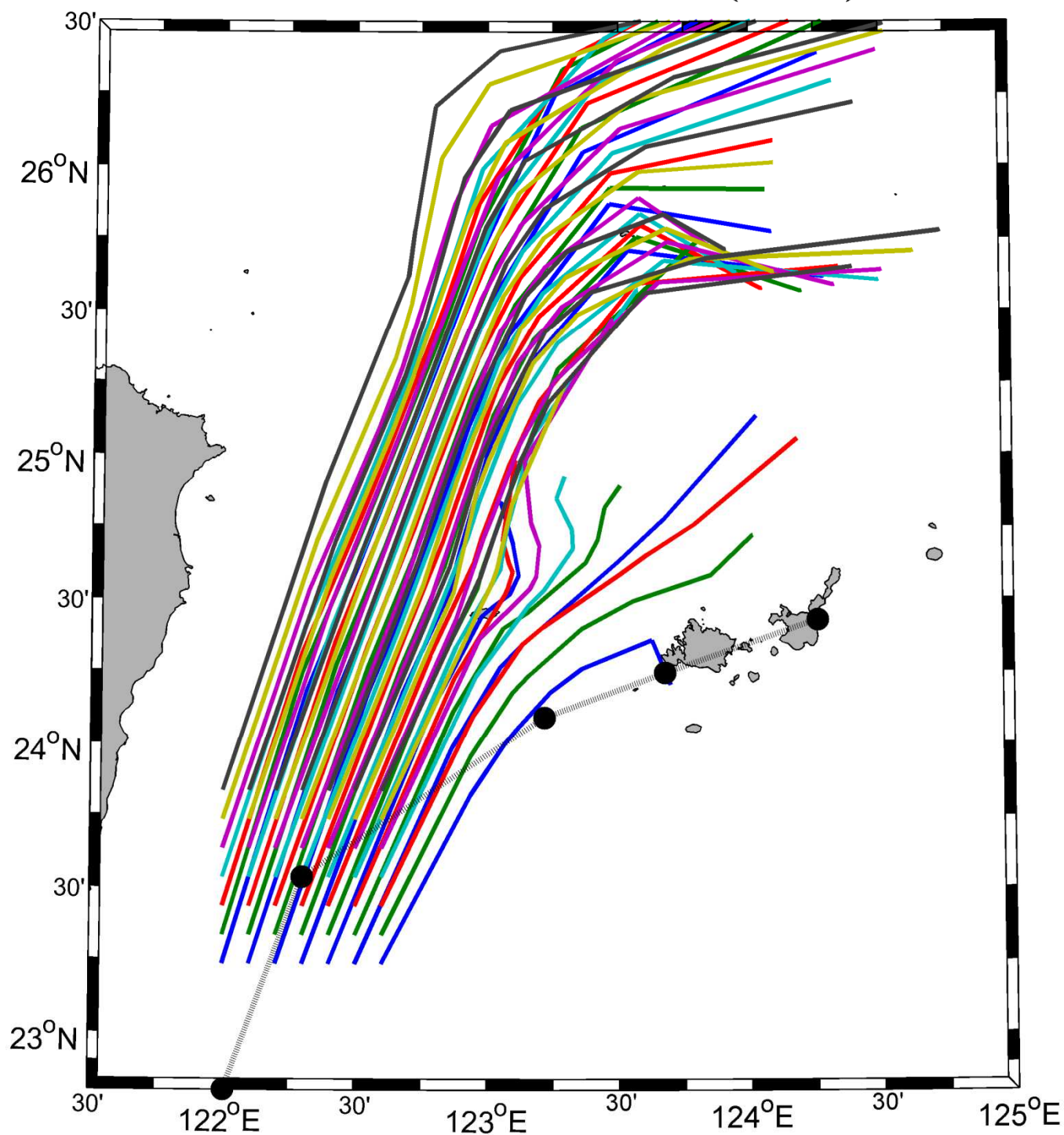


圖 4-7 蘭嶼海龜洄游路徑第五點周圍漂流路徑

The 49 Drift Tracks Near the Turtle(60718) 6th Point

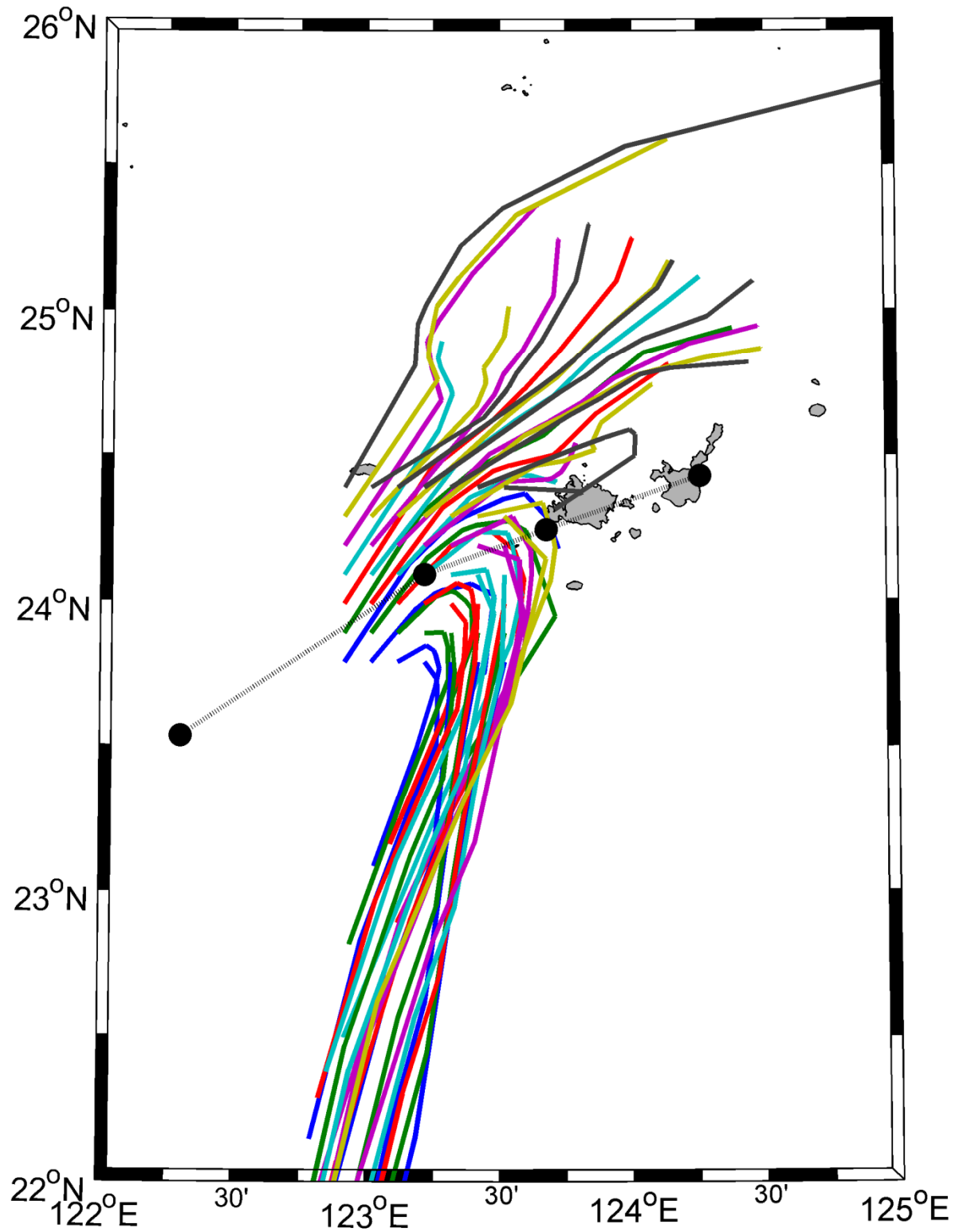


圖 4-8 蘭嶼海龜洄游路徑第六點周圍漂流路徑

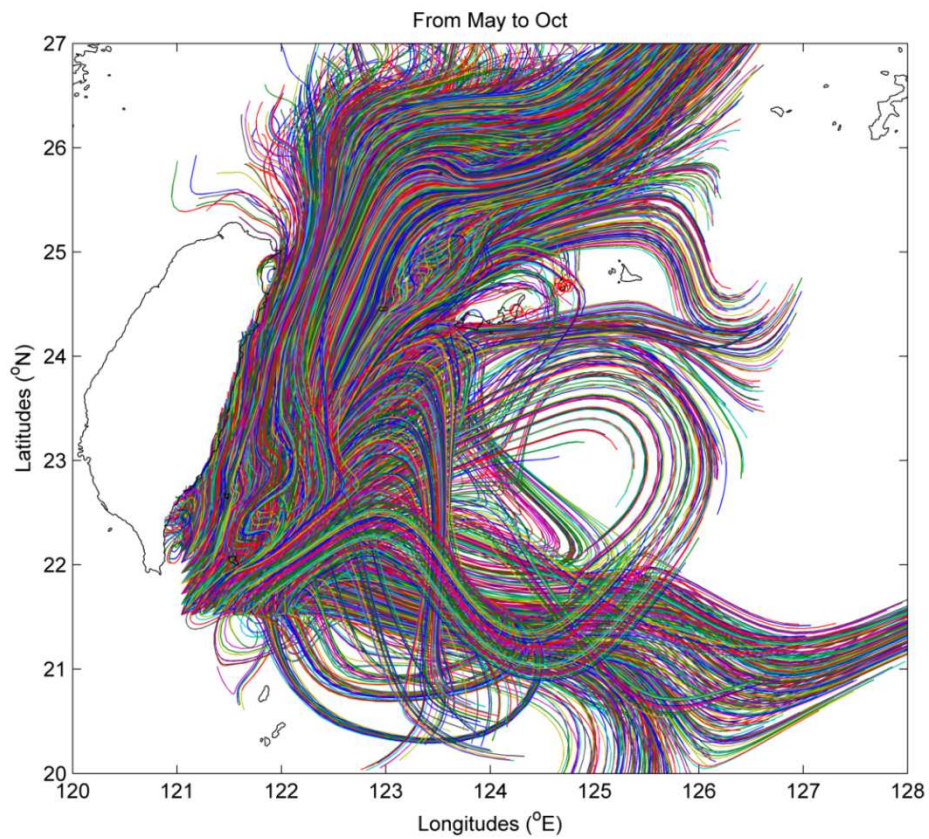


圖 4- 9 2011 年 5 月到 10 月蘭與周圍漂流路徑軌跡

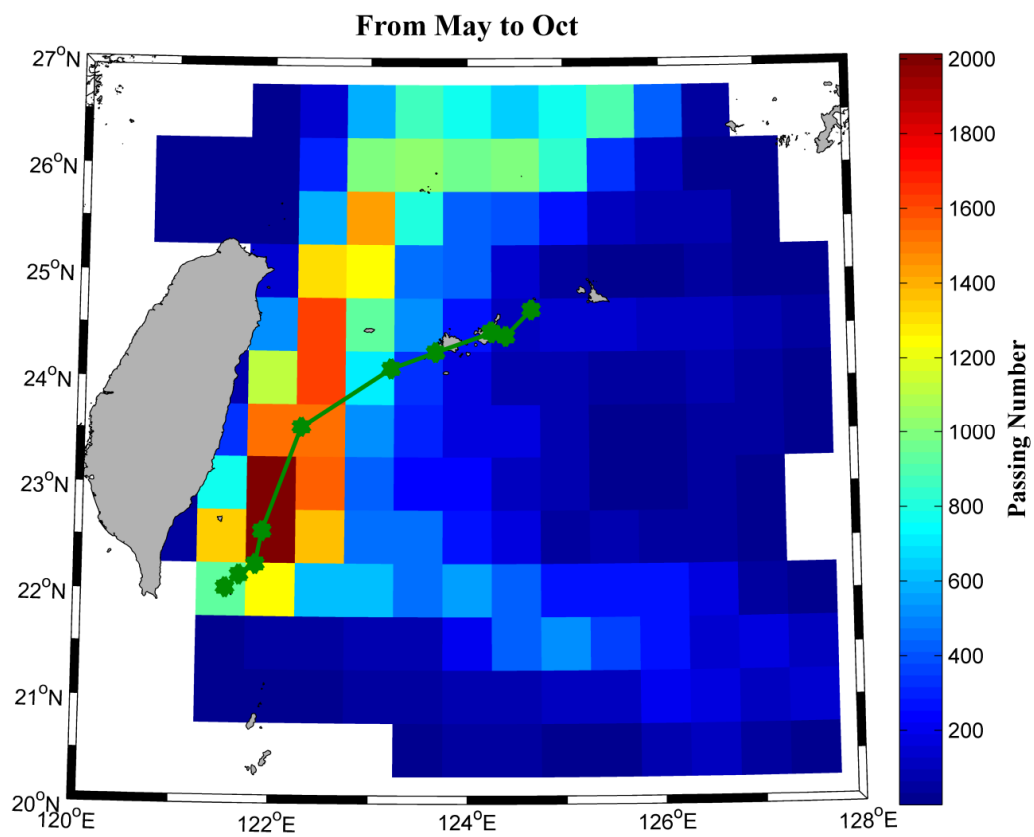


圖 4- 10 2011 年 5 月到 10 月間通過 0.5°x0.5°網格次數統計

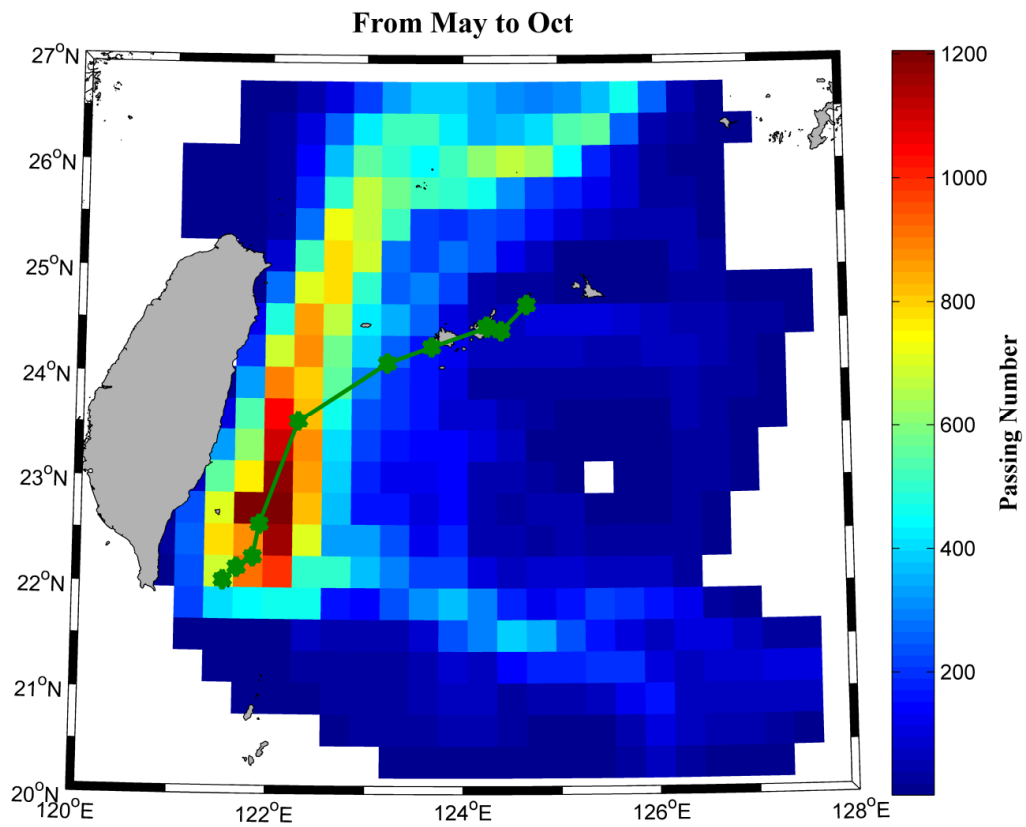


圖 4- 11 2011 年 5 月到 10 月間通過 $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$ 網格次數統計

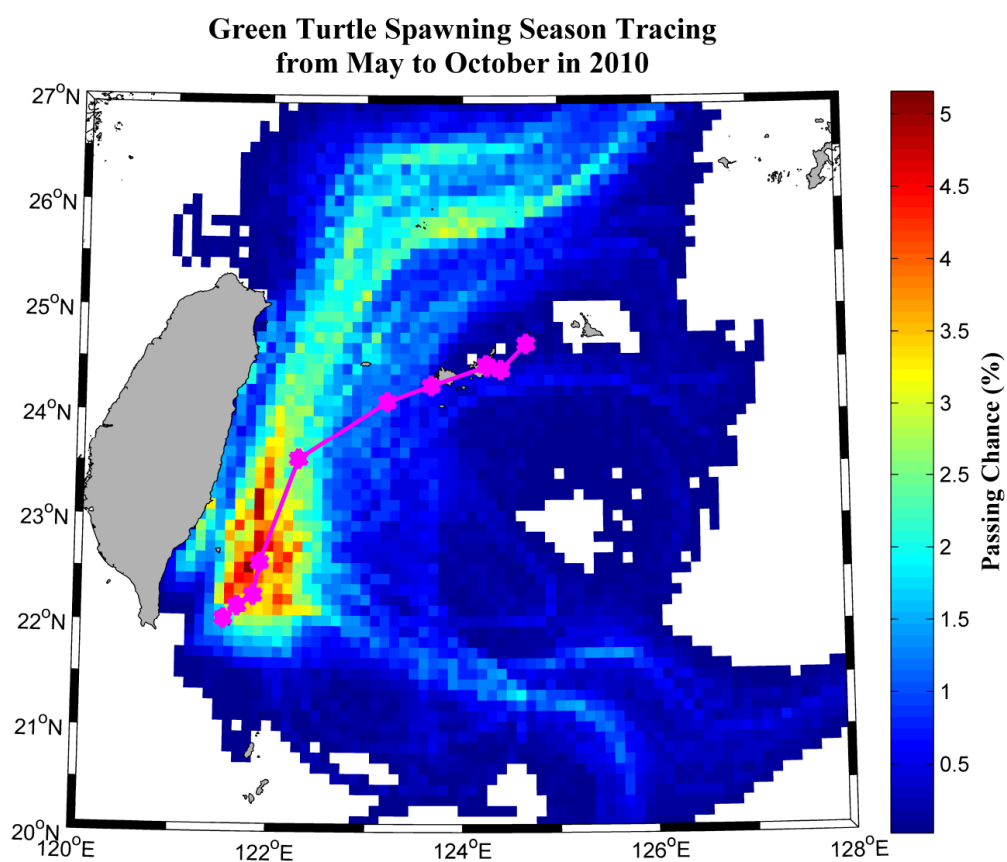


圖 4- 12 2011 年 5 月到 10 月間通過 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 網格次數統計(百分比)

4-2. 東澳(ID-60261)海龜

東澳海龜是定置網混獲而來的赤蠵龜，海龜世代交替很慢，海龜要長大成熟到可以繁衍下一代需要很長的時間，近年研究發現有很多海龜因混獲而造成亞成龜及成龜大量死亡，使得海龜物種面臨更嚴苛的考驗，因此研究混獲海龜返回海中的洄游路徑對於未來要如何保護海龜顯得更為重要。

在台灣附近混獲海龜洄游追蹤 Kobayashi *et al.* (2011)，從 2002 年到 2008 年追蹤 34 頭混獲的赤蠵龜，從台灣東澳及東北角釋放返回海中，發現海龜最後抵達台灣周邊、大陸、日本、南韓等地。接著將海龜洄游路徑與衛星海表面高度資料疊合發現海龜路徑深受渦漩的影響，會隨著渦漩打轉，認為混獲洄游的海龜路徑深受海流的影響。

本研究取用定置網混獲到的成熟母赤蠵龜，於岸上療養完後放回海裡進行洄游，發報器裝置時間為 2011 年 2 月 28 日上午 11：00 於東澳釋放返回大海，抵達雷州半島附近斷訊，可能是被漁民所捕獲，最後發報的時間是 2011 年 4 月 29 日，洄游時間共 60 天。

這次追蹤路徑結果非常有趣，過去研究指出混獲返回大海裡海龜會深受洋流的影響(Kobayashi *et al.*, 2011)，台灣東邊一年四季都有一股強勁的黑潮通過，但東澳海龜出發後並沒有搭著黑潮往北反而選擇沿岸南下，到台灣南端後跨過台灣海峽後再沿著大陸沿岸抵達雷州半島附近，接下來將這隻海龜洄游路徑分成東部沿岸及台灣南端到大陸沿岸兩個部份(如圖 4-13 所標註之 I、II)進行討論。

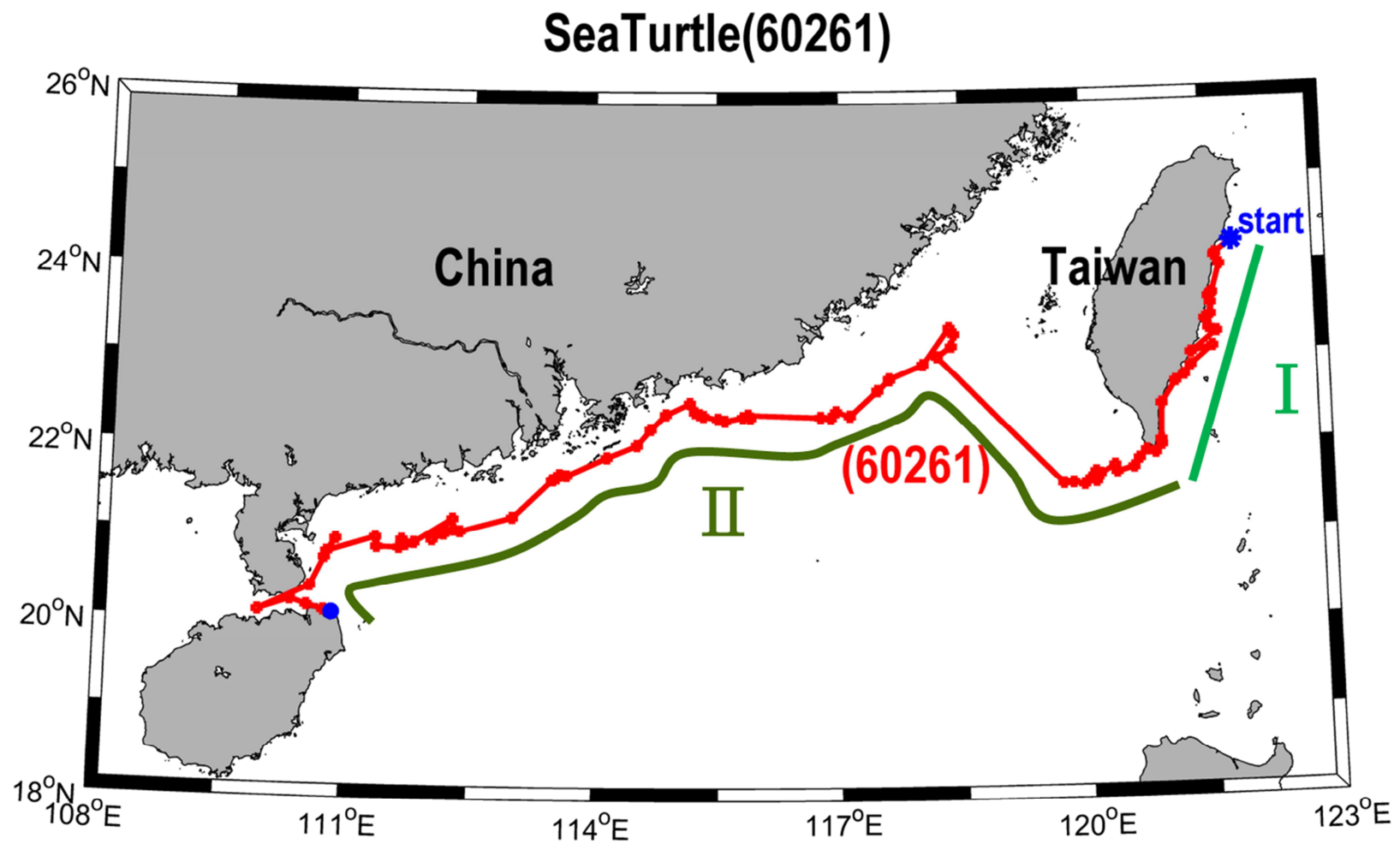


圖 4- 13 東澳海龜路徑分成兩部份進行討論

4-2.1 東澳海龜沿著東部沿岸南下

東澳海龜出海後向東一點可順利搭上黑潮往北前進，但卻選擇以非常貼岸的方式沿岸南下，計算海龜與岸線距離結果如圖 4-14，最遠僅離岸 20 公里。認為可能是沿岸的流較弱或有一股向南的反流有利海龜順利沿岸南下。

為了找尋有利證據，嘗試各種不同資料，在衛星高度計部份因這區域較近岸，在衛星解析度較不佳的情況下無法得到有利的結果。又模式資料解析度有限，亦無法精確確認如此貼岸的海流流向的真實性。

從過去歷史浮球軌跡找到一些從台灣東北角外海釋放的浮球，大多順著黑潮往北走，有少部份軌跡發現浮球釋放後沿岸向南漂流了一段距離，之後還是受到黑潮的影響被往北方帶去，如圖 4-15 有三個浮球軌跡出發後沿著台灣東部岸線向南移動，浮球本身不具有行為能力會順著海流漂移，顯示台灣東部反流確實存在。圖 4-16 取其中一個浮球 ID-41867 出發點位與海龜相近拿來與海龜洄游路徑進行比較，發現浮球出發後向南移動且離岸距離及軌跡都和海龜路徑非常相似，雖浮球最後還是受到黑潮影響向北移動，但這浮球軌跡說明了在東部沿岸有反流的存在。

長久以來科學家對認為台灣東部沿岸有向南的反流存在，但由於太過貼岸量測不易加上反流可能有季節性的差異，對於台灣東部反流的認識還是非常的有限。嘗試了多方面資訊無所斬獲，認為海流變動與大氣間關係密不可分，開始蒐集大氣相關資訊。海龜在 2 月底 3 月初從東澳出發此時應仍是東北季風盛行的時候，在強勁且穩定的東北季風一直吹拂東部海面在東部沿岸可能會產生一股風趨流。

根據艾克曼提出無限深海漂流理論，在北半球穩定風場，當風吹拂洋面時，風對海面就施加了一股順風向的風應力（Wind Stress），將造成表層海水流動，海水流動時又產生科氏力，因此流向會偏向風向之右側。上層水流動時又會拖曳下方流體運動，而下層流向又再稍偏右。如此一層牽引一層，水流流向由水面向下呈現螺線型態之旋轉構造，此種構造即稱為艾克曼螺旋（Ekman Spiral）如圖 4- 17。當流況達到平衡狀態時，風應力係與科氏力相平衡，即二力大小相等但方向相反，如此則表示海面下各層海流在北半球流往風向之右側，這個現象稱為艾克曼效應，而此流量則稱為艾克曼輸送（Ekman Transport）。在花蓮吹拂東北季風受艾克曼輸送效應向西傳遞，如圖 4- 18 所示遇上台灣本島東岸陸緣海水會在岸邊堆積，岸邊產生向南風所驅動的沿岸流。

成大近海水文中心提供台灣周圍氣象站分布圖，如圖 2- 5，台灣周遭有不少氣象站，認為海上浮標站測量到的風速風向較不受陸地上地形影響，中央氣象局於台灣東部外海有花蓮及台東外洋各一個氣象浮標。海上風場可視為一個面的現象，認為使用一個測站資料可做為整個東部風場的參考，認為花蓮氣象浮標站位於花蓮七星潭外海約 1 公里，該處水深約 30 公尺，測站位置與海龜出發點位、離岸距離相近所測量到的資料較適合與本研究一併討論。

選用花蓮氣象浮標站取得的風場資料分析並繪製成棍棒圖，結果如圖 4- 19(上)所示。發現在 2011 年 3 月間花蓮外海多半吹東北季風，最大風速約 60 cm/s。搭配花蓮氣象浮標每小時測量 10 分鐘所得到的示性波高結果如圖 4- 19 (下)，兩者結果比較在東北季風吹拂的時候會產生較高的波高，結合艾克曼理論證實台灣東部沿岸在 2011 年 3 月間受到東北季風的影響有一股向南的風趨流存在。

將海龜在東部沿岸的時間軌跡與風速風向、示性波高繪製出來結果如圖 4- 20(左)桃紅色三角形為花蓮氣象浮標所在位置，右圖紅色方框處

表示東北季風盛行時，在示性波高結果有較高的波高，當風速相同風向改變時在示性波高並不會有較高的波高，說明了東北季風吹拂會在台灣東部沿岸海水有堆積的現象。

在浮球與大氣資料證實東部沿岸有反流的存在，海龜選擇貼岸南下主要是因為黑潮在東部沿岸影響較小，所產生向北的流較弱，海龜可以花較少的力氣去對抗海流，且這季節東北季風盛行會產生向南的風趨流可供海龜利用，使海龜可以更省力、更快速抵達目的地。

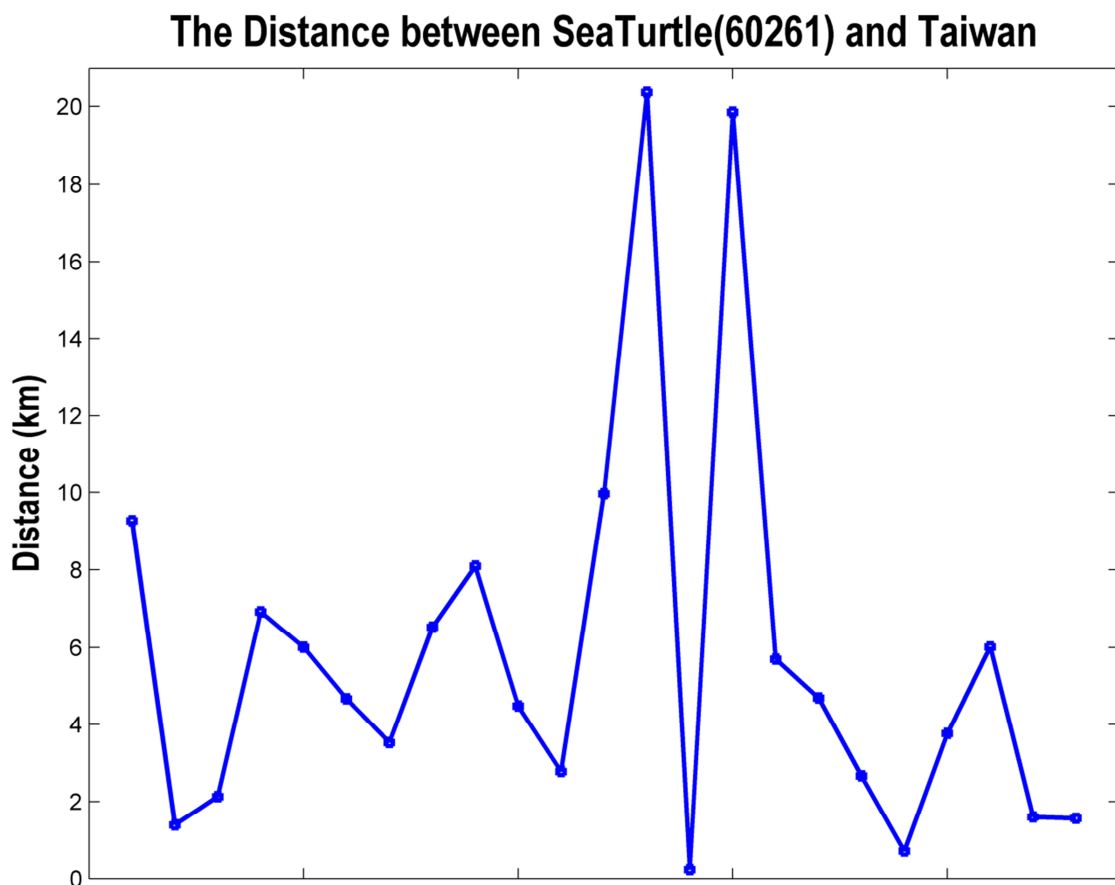


圖 4- 14 東澳海龜與台灣東部沿岸距離

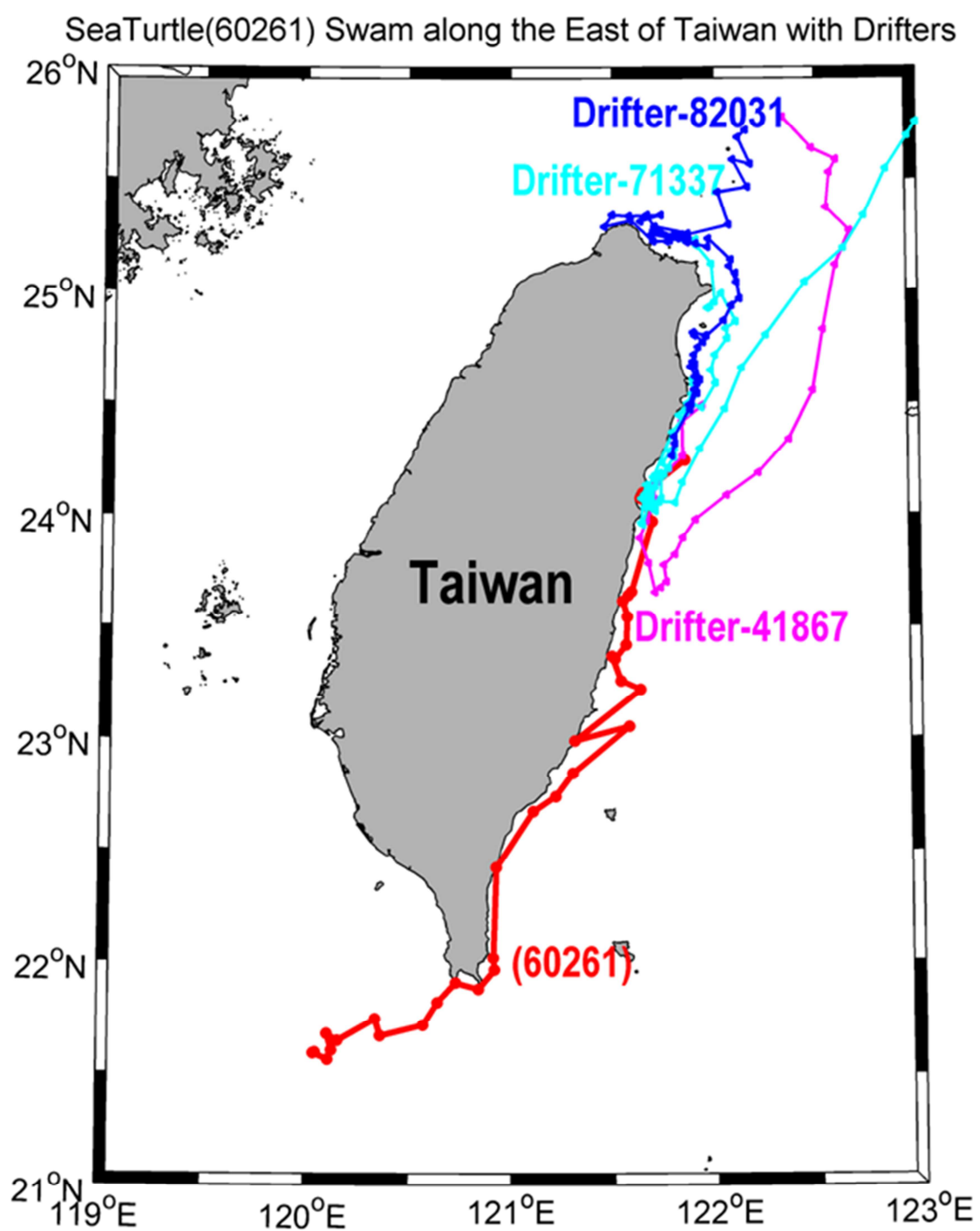


圖 4- 15 東澳海龜東部沿岸與歷史浮球軌跡

SeaTurtle(60261) Swam along the East of Taiwan with Drifters

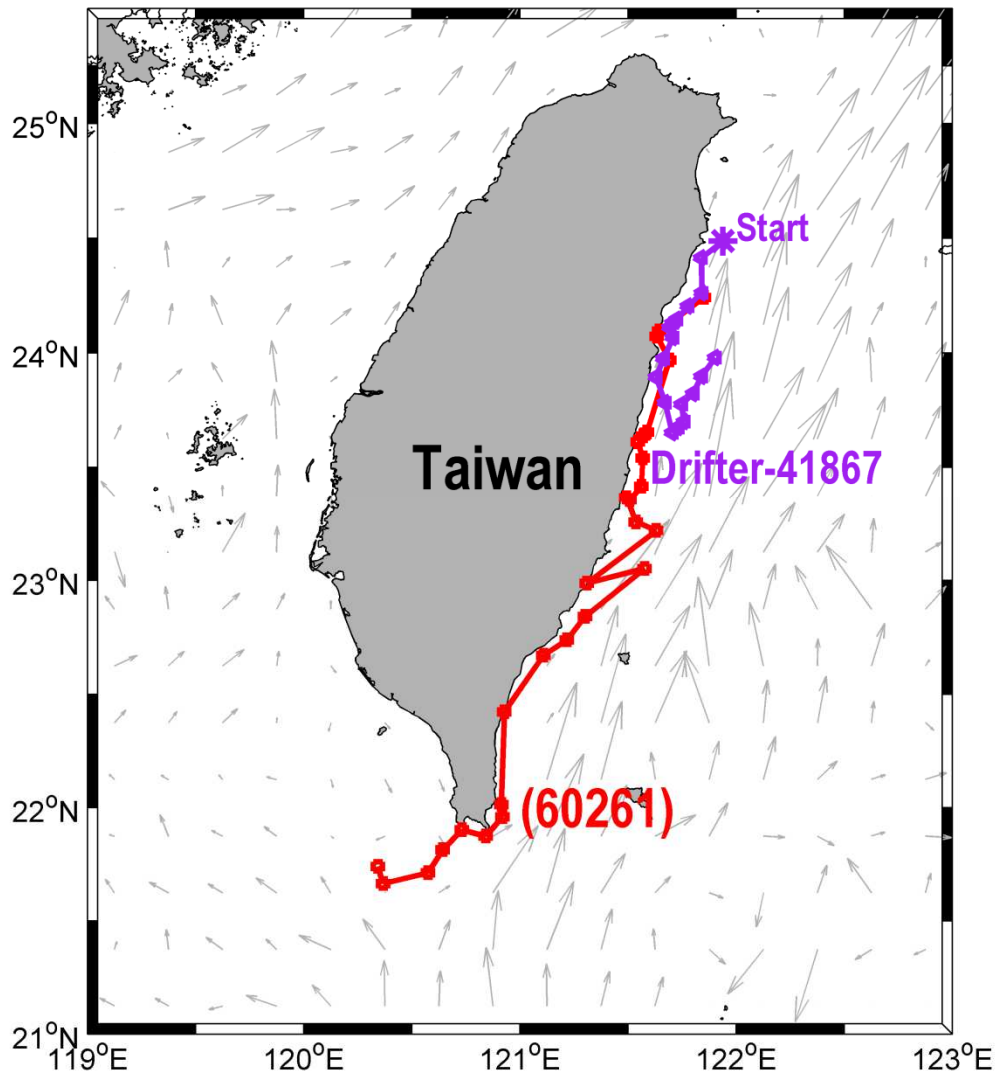


圖 4- 16 東澳海龜與浮球 ID-41867

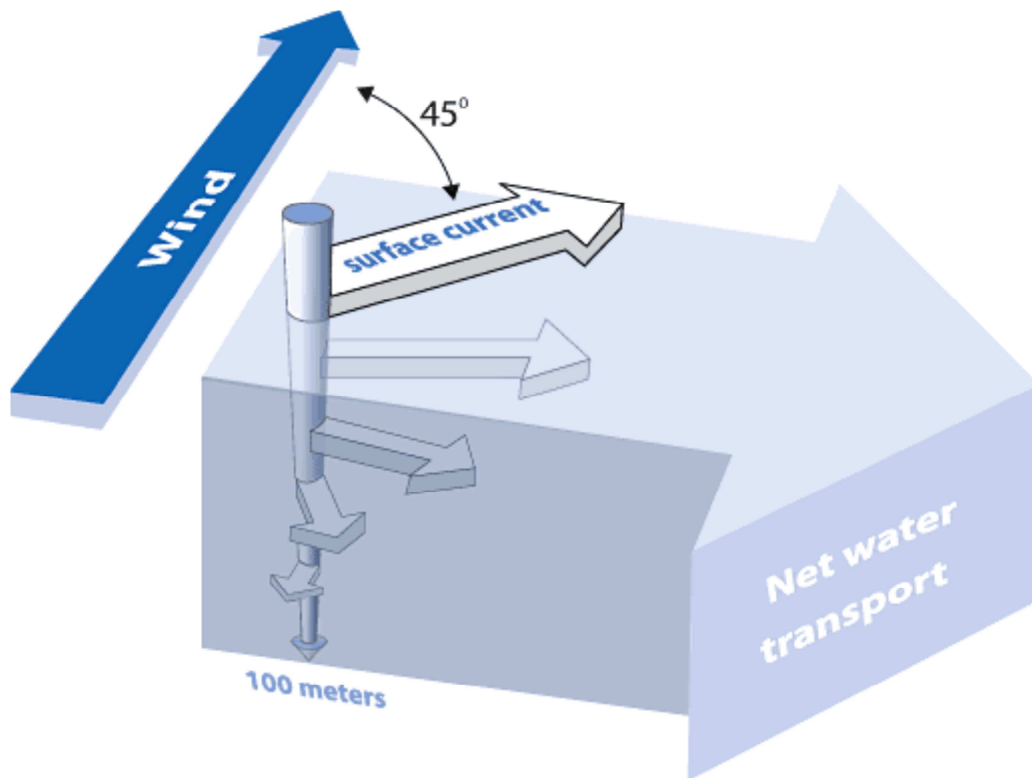


圖 4- 17 艾克曼螺旋（Ekman Spiral）流速流向隨深度變化示意圖

(摘自 http://www.sce.lsu.edu/cego/Documents/Reviews/Oceanography/Ekman_Transport_Coastal_Sea_Level.pdf)

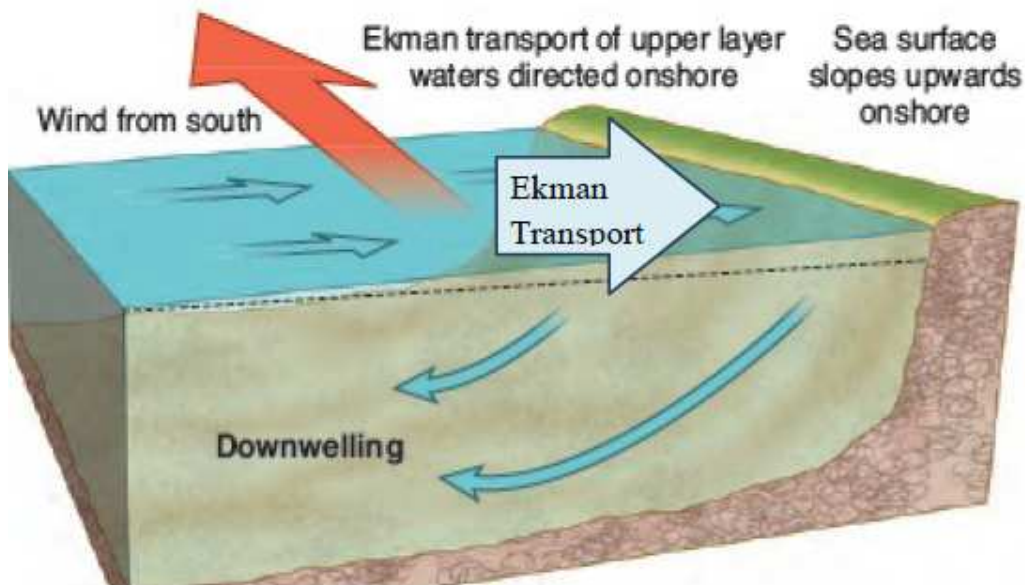


圖 4- 18 艾克曼輸送在陸緣堆積

(摘自 http://www.sce.lsu.edu/cego/Documents/Reviews/Oceanography/Ekman_Transport_Coastal_Sea_Level.pdf)

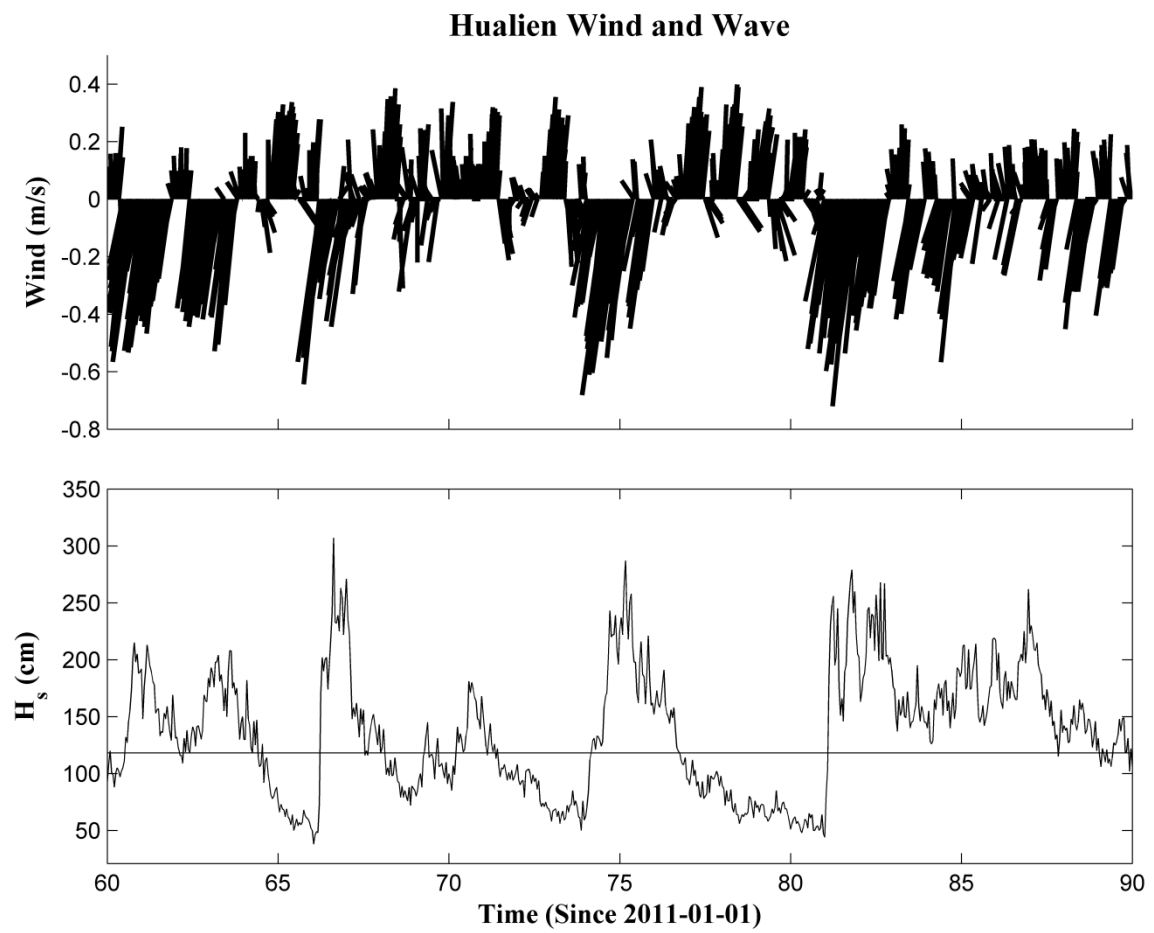


圖 4- 19 2011 年三月花蓮氣象浮標風速風向(上)與波高(下)圖

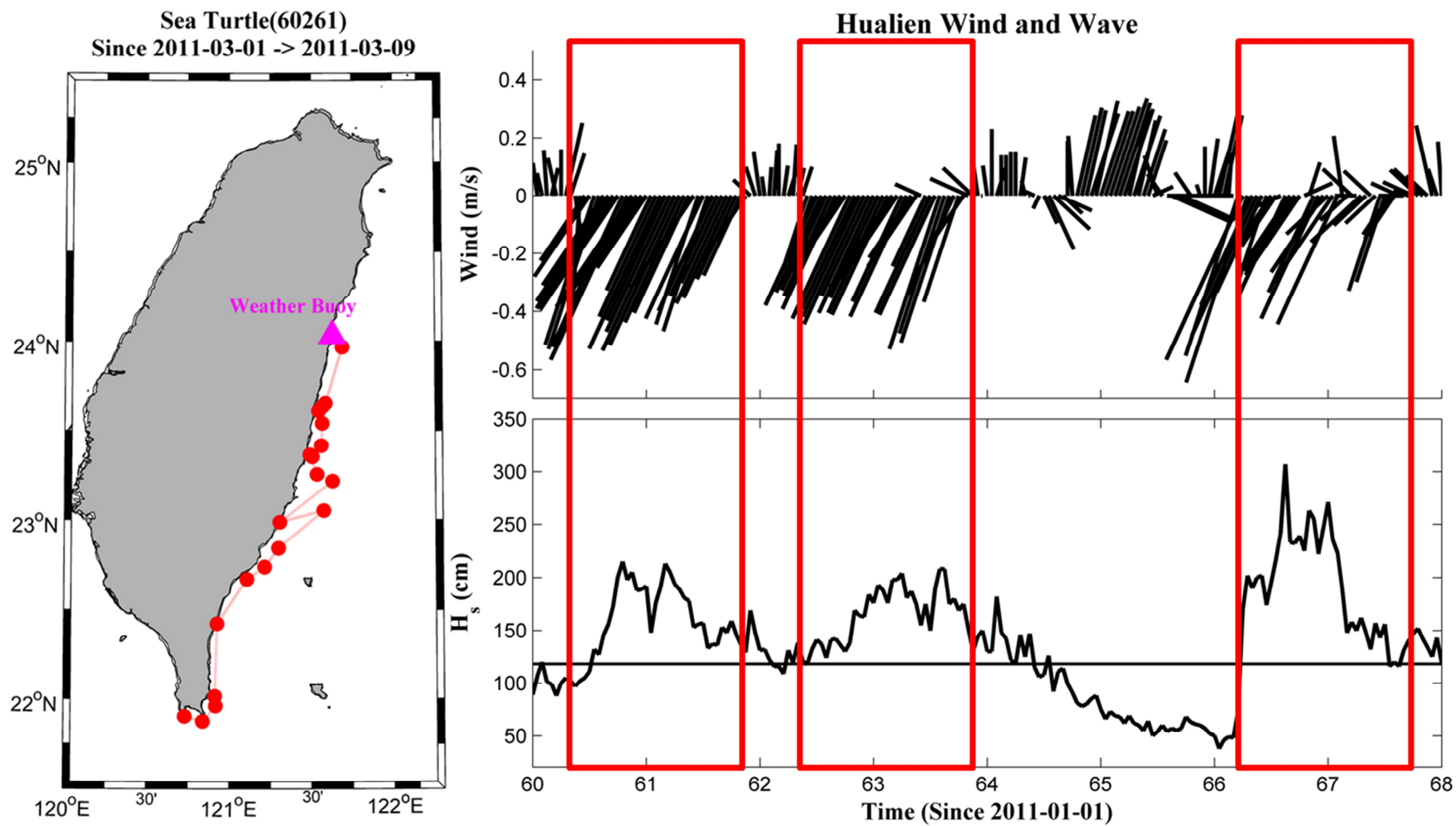


圖 4- 20 海龜在台灣東部洄游軌跡與花蓮氣象浮標風速風向與示性波高

4-2.2 東澳海龜橫跨台灣海峽沿大陸沿岸

在眾多的歷史浮球軌跡中找尋與東澳海龜橫跨台灣海峽後沿大陸沿岸南下的相似軌跡，找到不少相似的浮球軌跡，其中又以浮球 ID-41104、82490、56691 及 56663 三個浮球軌跡與海龜洄游路徑最相似，如圖 4-21，且這幾個浮球通過呂宋海峽進入到南海的時間皆為冬末春初(12 月到 1 月之間)。浮球施放地點多半在呂宋海峽東側，在這季節如海洋資料庫春季 20 公尺平均流場所示，這時間海流有通過呂宋海峽入侵南海的現象，浮球應是順著這股海流進入到南海。

其中又以浮球 ID-56663 軌跡與海龜路徑幾乎一致如圖 4-22。浮球起點時間為 2005 年 12 月 31 日，抵達海南島的時間為 2006 年 3 月 16 日，浮球的季節與海龜洄游季節相同。又另一浮球 ID-82490 軌跡與海龜也幾乎一致，如圖 4-23，施放時間為 2010 年 10 月 23 日施放於呂宋海峽東邊的太平洋中，浮球於 2011 年 1 月 12 日順著海流進入南海，抵達海南島時間為 2011 年 3 月 31 日，不僅與東澳海龜洄游季節相同且於同一年份，認為在年底到隔年三四月南海外緣從呂宋海峽到台灣海峽到大陸沿岸有逆時針的流場，東澳海龜利用這股海流順利抵達目的地。

浮球軌跡從呂宋海峽進入到南海通過台灣海峽南端後沿著大陸沿岸抵達海南島大約需要 2 個半月到三個月的時間，而海龜僅費時 50 天，主要是因為海龜可以搭著海流加上自己本身的游泳能力較快速抵達目的地。

在這段路程當中海龜並不是直線前進，在通過台灣海峽南端有一明顯的反折路徑出現，可能是當時海流對海龜影響所致，因此取用由美國海軍 EASNFS 模式每天於網頁上更新的海面高度與流場資料圖並與海龜在這段路程的時間相同，來與海龜路徑做疊合，結果如圖 4-24，發

現在這段期間流場從呂宋海峽進入到台灣海峽到澎湖附近又折返順著大陸沿岸南下，海龜路徑在這時候看到有類似的軌跡移動，海龜在這時候受海流影響幾乎順著海流移動。

過去不少研究海龜洄游路徑追蹤的學者將海龜洄游路徑與衛星海表溫資料做疊合，南非研究革龜的洄游路徑發現革龜會順著海表溫 24℃ 等溫面移動(Lambardi *et al.*, 2008)。在過去海表溫可用來作為水團間活動的依據，等溫面可視為水團間活動中所產生的流場。本研究取用 MODIS-Aqua 衛星海表溫 8 天平均資料，做 3 月平均並與海龜路徑疊合結果如圖 4-25 所示，海龜在抵達大陸沿岸進入大陸陸棚後隨著海表溫 21℃ 等溫面移動，以海表溫介面作為導引前進，再次證明海龜在這段路程完全順著海流前進，達到節省洄游體力的目的。

海龜在台灣南端通過台灣海峽後順著大陸沿岸抵達海南島這段路程在不論在浮球軌跡、模式流場以及海表溫都說明，海龜在這段路程都有利用海流的優勢幫助海龜抵達目的地。

SeaTurtle(60261) with Drifters

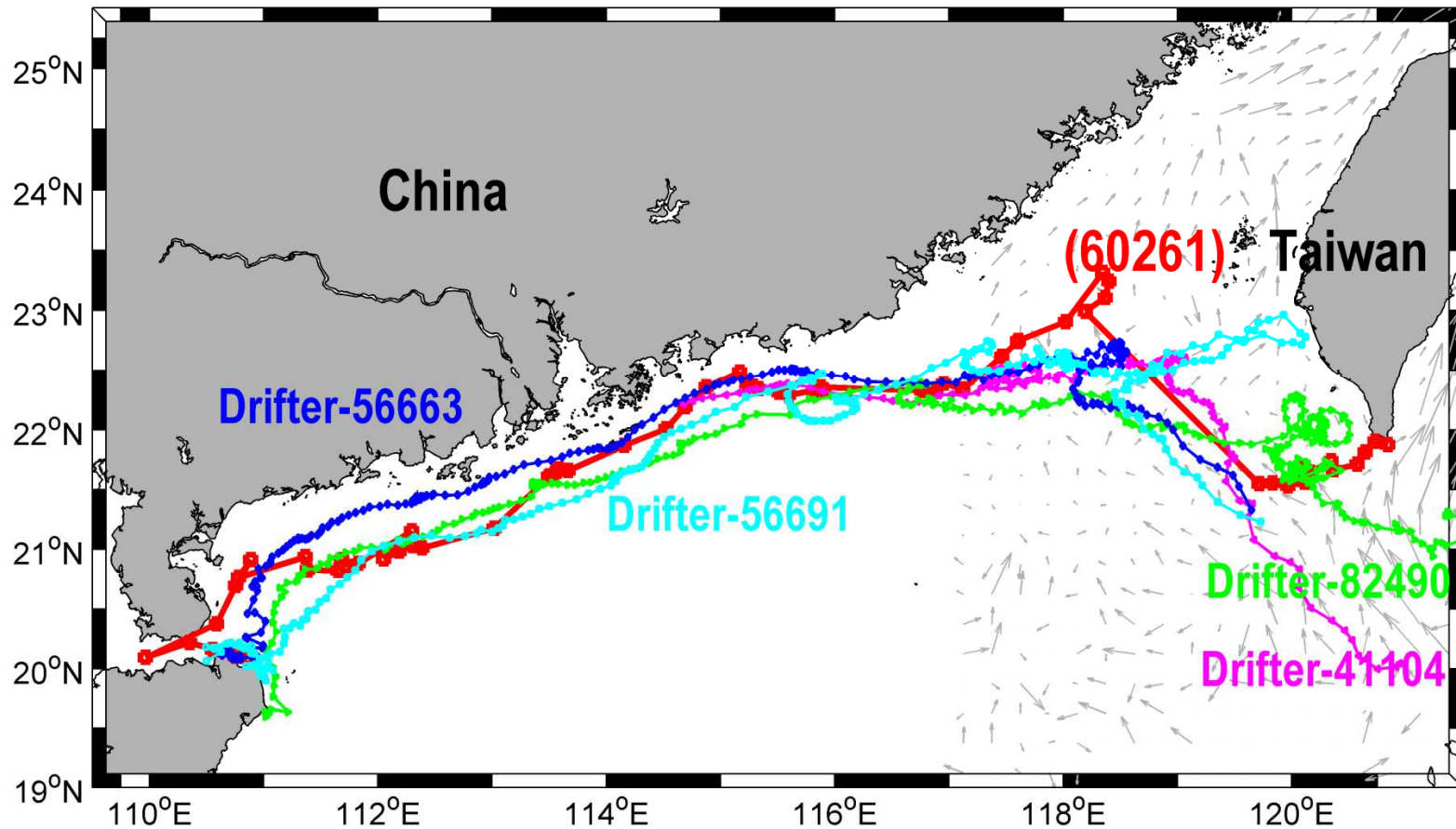


圖 4- 21 東澳海龜洄游路徑、浮球軌跡與海洋資料庫春季 20 公尺平均流場

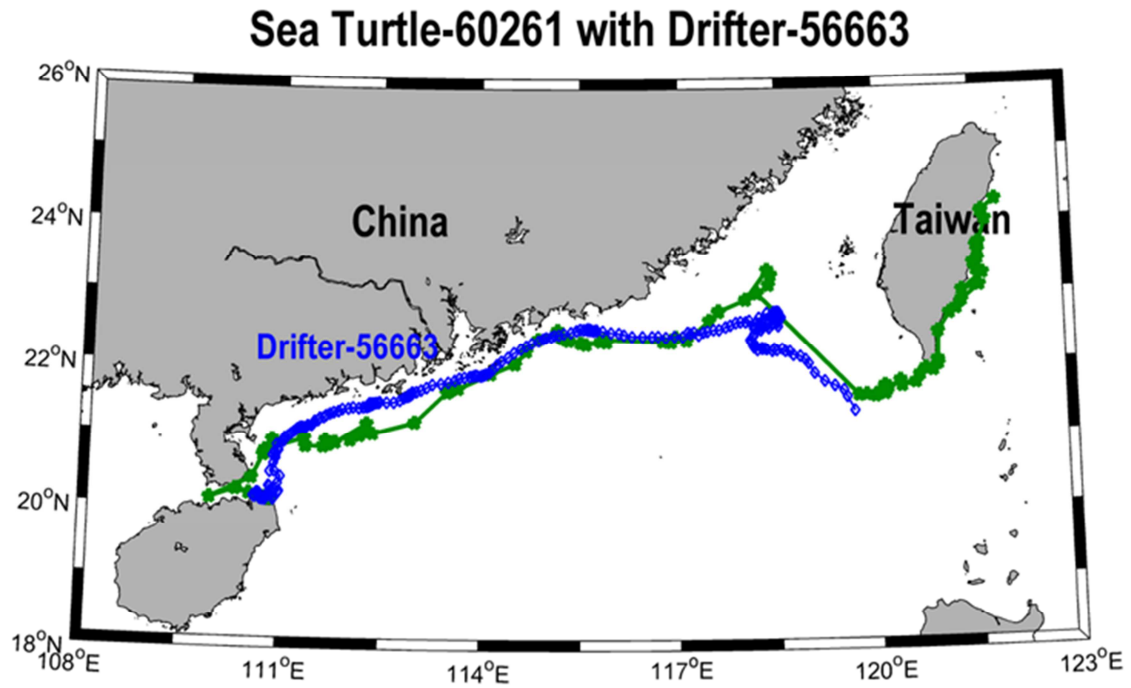


圖 4- 22 東澳海龜與浮球 ID-56663

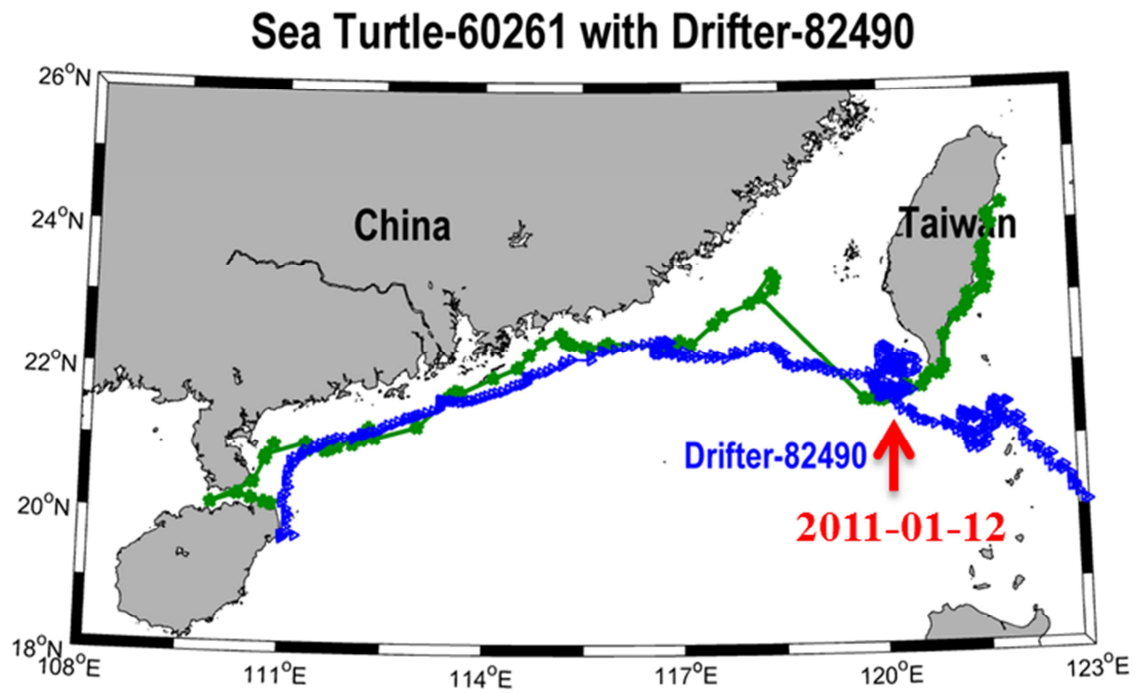


圖 4- 23 東澳海龜洄游路徑與浮球 ID-82490

NRL EASNFS Nowcast valid at 2011/03/17 12Z

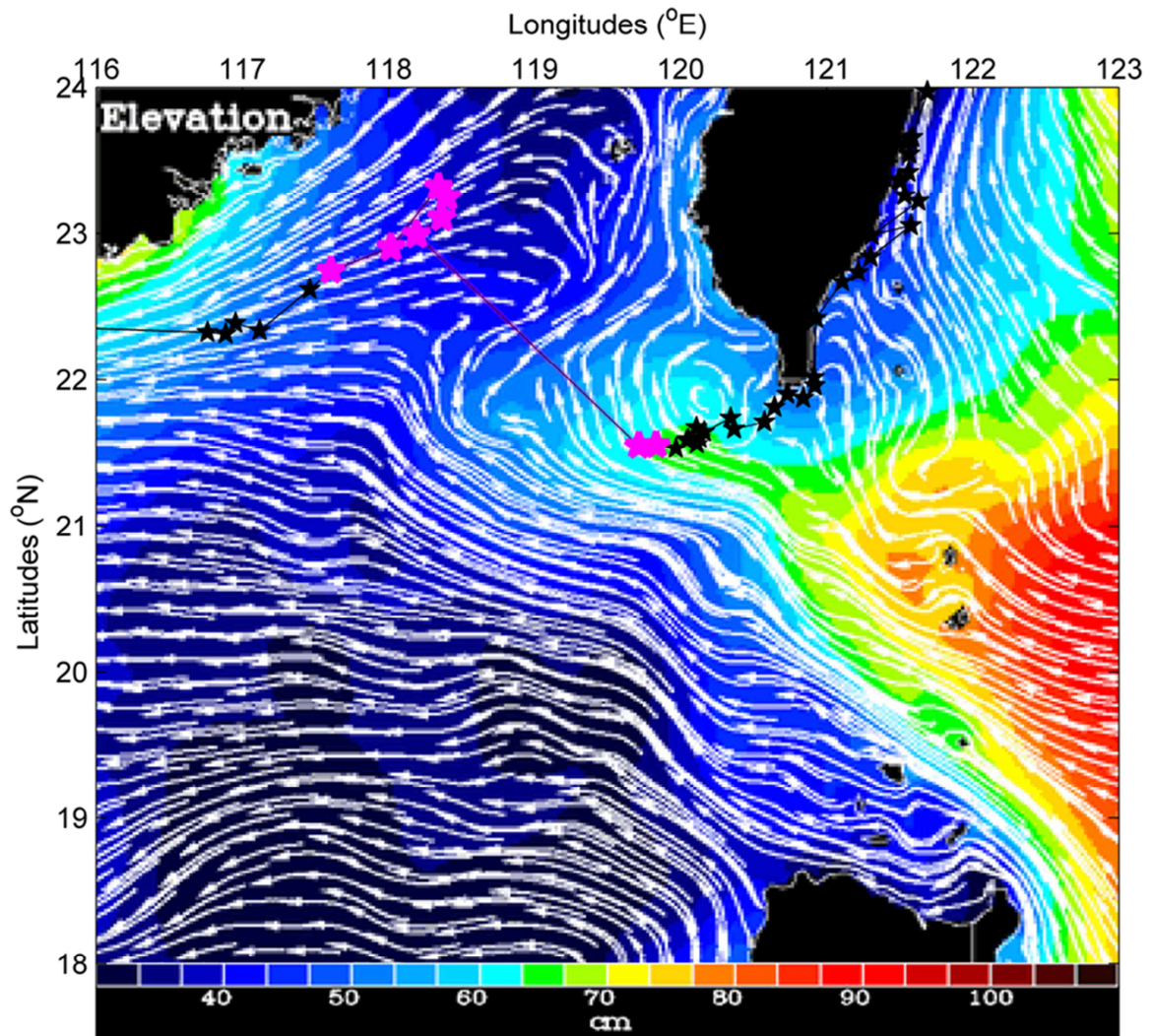


圖 4-24 海龜洄游路徑與 EASNFS 提供每日流場與海面高度圖

Sea Turtle(60261) with 2010-03 Mean SST and Diifters

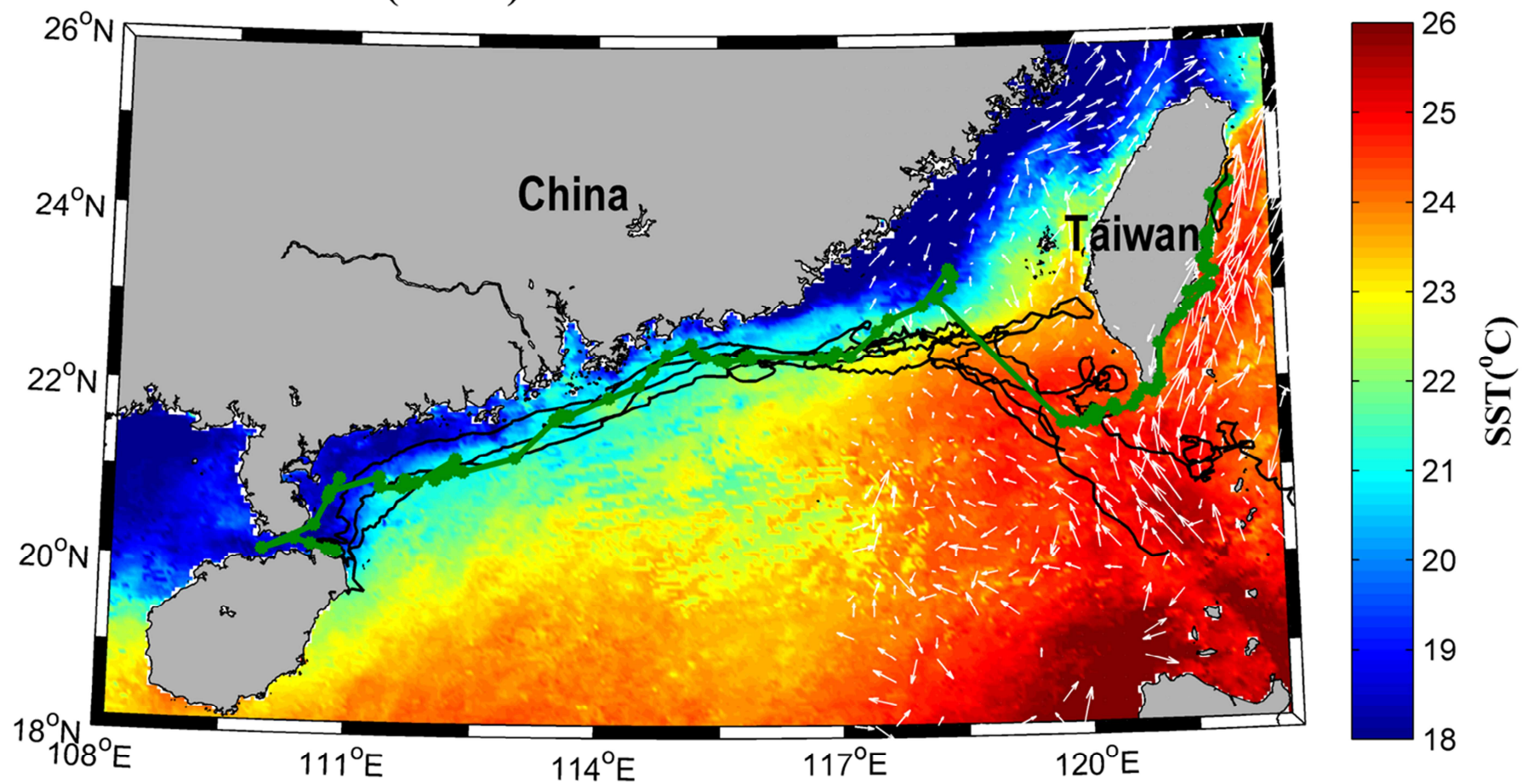


圖 4- 25 MODIS 海表溫、浮球軌跡與海龜路徑

第五章、 結論與建議

5-1. 結論

本研究取 2 隻海龜為例，蘭嶼海龜藉由模式比較海流流速與海龜泳速間的關係，並計算漂流路徑。海龜本身具行為能力可決定去向，當流向與既定方向不同時會發較多體力修正方向，但大部分時間會利用海流優勢前進。計算漂流路徑的結果顯示台灣東部的流場有助海龜抵達目的地。

從歷史浮球軌跡找到不少與兩隻海龜路徑相似的浮球，認為海龜很有機會順流前進，加上海龜自己的游泳能力可較浮球快速抵達目的地。

在東澳海龜方面，海龜出發後向東一點可輕易搭上強勁的黑潮往北，卻選擇貼岸南下，從當時氣象浮標的風場與波高顯示東北季風盛行，艾克曼輸送下水位在岸邊堆積，在近岸產生一股向南的風趨流，海龜搭著這股海流順利沿岸南下。海龜本身有既定方向，會在海中尋找符合目標的海流，以省力快速抵達。

抵台灣南端後，搭配模式流場輸出圖與路徑疊合後發現，海龜在經過台灣海峽南端深受海流影響有折返的現象。從海表溫資料來看，海龜在大陸沿岸順著 21°C 等溫線移動，海龜會以海表溫作為介面引導，順利抵達目的地。

綜合以上，將分成幾個重要結論，如下：

1. 海龜會選擇順著海流前進，以節省海龜洄游時所耗費的體力。
2. 當海流與海龜目標有偏差的時候，海龜會花較多的體力來修正游向。
3. 蘭嶼海龜有 26% 的機會可以完全不需要耗費體力順利抵達目的地。

4. 在產卵季節 5 月到 10 月間計算漂流路徑大部份路徑還是順著黑潮主流移動，但蘭嶼海龜仍有機會搭著海流抵達石垣島。
5. 東澳海龜向東一點可以搭上黑潮順利往北邊移動，但選擇沿岸南下認為海龜會選擇與目的方向相同的海流，近岸有較弱的流或反流可以供海龜利用，減少洄游時所耗費的體力。
6. 利用風場及示性波高可以看到東北季風吹拂時受艾克曼效應，產生在陸緣堆積的現象，又有找到浮球軌跡在宜蘭外海出發後先向南，再向北順著黑潮前進，證實在台灣東部沿岸有反流的存在。
7. 海龜會以海流及海溫的介面當作引導，朝既定目標前進。

5-2. 建議

海龜洄游路徑研究有助於對海龜生存生態有進一步的了解，在未來實施保育、復育方法扮演非常重要的角色，由於海龜洄游路徑資料取得不易且非常珍貴，目前本研究僅採用兩隻海龜的路徑做探討，之後可加入新的海龜洄游路徑與本研究的結果比較，增加生物取樣數，更可以解析海龜與海流間的關係。

目前 Argos 浮球已可安裝溫度計測量海表溫，未來發報器上若可安裝溫度計探針也可了解海龜周圍水溫的變化情形。

第六章、參考文獻

- 程一駿，(1997)，綠蠵龜的洄游之謎，科學月刊，0335 期。
- 蔡雅如，(2005)，台灣海峽及南中國海綠蠵龜產後迴游與洋流間的關係之探討，碩士論文，國立臺灣海洋大學海洋生物研究所，74 頁。
- Argos, (2011). User's Manual. Argos/CLS, Toulouse.
- Bailey, H., Shillinger, G., Palacios, D., Bograd, S., Spotila, J., Paladino, F., Block, B., (2008). Identifying and comparing phases of movement by leatherback turtles using state-space models. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 356, 128-135.
- Balazs, G. H., (1994). Homeward bound: satellite tracking of hawaiian green turtles from nesting beaches to foraging pastures. *NOAA Tech Memo NMFS-SEFSC*, 341, 205-208.
- Bowen, B. W., Abreu-Grobois, F. A., Balazs, G. H., Kamezaki, N., Limpus, C. J., Ferl, R.J., (1995). Trans-Pacific migrations of the loggerhead turtle demonstrated with mitochondrial DNA markers. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 92, 3731-3734.
- Carr, A., (1967). *The Sea Turtle: So Excellent a Fish*. Nobby Beach, QLD, Australia, 280.
- Carr, A., (1979). *The windward Road*, University Presses of Florida, Tallahassee, 258.
- Carr, A., Carr, M. H., (1972). Site fixity in the Caribbean green turtle. *Ecology*, 53, 425-429.
- Cheng, I. J., (2000). Post-nesting migrations of green turtles (*Chelonia mydas*) at Wan-An Island, Penghu Archipelago, Taiwan. *Mar Biol.*, 137, 747-754.
- Cheng, I. J., Wang, Y. H., (2009). Influence of Surface Currents on Post-Nesting Migration of Green Sea Turtles Nesting on Wan-An Island, Penghu Archipelago, Taiwan. *Journal of Marine Science and Technology*, 17, 306-311.
- Girard, C., Tucker, A. D., Calmettes, B., (2009). Post-nesting migrations of

- loggerhead sea turtles in the Gulf of Mexico: dispersal in highly dynamic conditions. *Mar Biol.*, 156, 1827-1839.
- Hansen, D.V., Poulain, P.M., (1996). Processing of WOCE/TOGA drifter data. *J. Atmos.Oceanic Technol.*, 13, 900-909.
- Heyman, P., (1996). *Sea Turtles and Archie Carr*.
- Hirth, H. F., (1993). Marine Turtles In Wright, A. and L. Hill (eds): *Nearshore Marine Resources of the South Pacific: Information for Fisheries Development and Management*. ISP, Suva. FFA, Honiara. ICOD, Canada., 329-370.
- Horrocks, J. A., Vermeer, L. A., Krueger, B., Coyne, M., Schroeder, B. A., Balazs, G. H., (2001). Migration routes and destination characteristics of postnesting hawksbill turtles satellite-tracked from Barbados, West Indies. *Chelonian Conservation Biology*, 4, 107-114.
- Hughes, G. R., Luschi, P., Mencacci, R., Papi, F., (1998). The 7000-km oceanic journey of a leatherback turtle tracked by satellite. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 229, 209-217.
- Ko, D. S., Chao, S. Y., Huang, P., Lin, S. F., (2009). Anomalous Upwelling in Nan Wan: July 2008. *Terr. Atmos.Ocean. Sci.*, 20, 839-852.
- Kobayashi, D. R., Cheng, I. J., Parker, D. M., Polovina, J. J., Kamezaki, N., Balazs, G. H., (2011). Loggerhead turtle (*Caretta caretta*) movement off the coast of Taiwan: characterization of a hotspot in the East China Sea and investigation of mesoscale eddies. *ICES Journal of Marine Science*, 68, 707-718.
- Lambardi, P., Lutjeharms, J. R. E., Mencacci, R., Hays, G. C., Lusch, P., (2008). Influence of ocean currents on long-distance movement of leatherback sea turtles in the Southwest Indian Ocean. *Marine Ecology Progress*, 353, 289-301.
- Lohmann, K. J., Lohmann, C. M. F., Putman, N. F., (2007). Magnetic maps in animals: nature's GPS. *The Journal of Experimental Biology*, 210, 3697-3705.
- Luschi, P., Hays, G. C., Papi, F., (2003). A review of long-distance movements by marine turtles, and the possible role of ocean currents. *OIKOS*, 103, 293-302.

- Luschi, P., Hays, G. C., Seppia, C. D., Marsh, R., Papi, F., (1998). The navigational feats of green sea turtles migrating from Ascension Island investigated by satellite telemetry. *Proceedings of the Royal Society, B* 265, 2279-2284.
- Mortimer, J. A., Carr, A., (1987). Reproduction and migrations of the Ascension Island green turtle (*Chelonia mydas*). *Copeia*, 1, 103-113.
- Polovina, J. J., Kobayashi, D. R., Parker, D. M., Seki, M.P., Balazs, G. H., (2000). Turtles on the edge: movement of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) along oceanic fronts, spanning longline fishing grounds in the central North Pacific, 1997–1998. *Fisheries Oceanography*, 9, 71-82.
- Polovina, J., Uchida, I., Balazs, G., Howell, E. A., Parker, D., Dutton, P., (2006). The Kuroshio Extension Bifurcation Region: A pelagic hotspot for juvenile loggerhead sea turtle. *Deep-Sea Research II*, 53, 326-339.
- Wallace, B. P., Lewison, R. L., McDonald, S. L., McDonald, R. K., Kot, C. Y., Kelez, S., Bjorkland, R. K., Finkbeiner, E. M., Helmbrecht, S., Crowder, L. B., (2010) . Global patterns of marine turtle bycatch . Copyright and Photocopying Conservation Letters, 1-12.
- Wallace, J. N., Resendiz, A., Seminoff, J. A., Resendiz, B., (2000). Transpacific migration of a loggerhead turtle monitored by satellite telemetry. *Bulletin of Marine Science*, 67, 937-947.