

ICES Journal of Marine Science Advance Access published January 7, 2011

ICES Journal of Marine Science; doi:10.1093/icesjms/fsq185

標題:

**Loggerhead turtle (*Caretta caretta*) movement off the coast of Taiwan: characterization of a hotspot in the East China Sea and investigation of mesoscale eddies**

台灣海岸外的赤蠵龜(*Caretta caretta*)之移動情形:中國東海的熱點區及中尺度渦流之調查

作者:

Donald R. Kobayashi<sup>1</sup>\*, I-Jiunn Cheng<sup>2</sup>(程一駿), Denise M. Parker<sup>3</sup>, Jeffrey J. Polovina<sup>1</sup>, Naoki Kamezaki<sup>4</sup>, and George H. Balazs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pacific Islands Fisheries Science Center, NOAA, Honolulu, Hawaii, USA

<sup>2</sup>Institute of Marine Biology, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan, ROC

(國立台灣海洋大學 海洋生物研究所, 基隆市, 台灣省, 中華民國)

<sup>3</sup>Joint Institute for Marine and Atmospheric Research, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA

<sup>4</sup>Sea Turtle Association of Japan, Nagao-motomachi, Hirakata City, Osaka, Japan

文章譯者: 程一駿。

摘要

本研究從2002到2008年間，針對台灣沿岸定置網，所混獲的34頭非產卵之赤蠐龜(*Caretta caretta*),進行人造衛星追蹤的研究。資料傳送的時間從6到503天不等(平均為172天)，共追蹤了5860天。水平方向的軌跡數據，在考慮ARGOS數據品質及其他的統計誤差後，由Bayesian state-space模式，求出每日最有可能之位置。由這些軌跡值，確定在東海陸棚上有一高海龜聚集區，此區介於台灣、中國、日本及南韓之間的沿岸及大洋海域，涵蓋了433,549平方公里的面積。我們可由洄游軌跡及遙測的海況資料，來描述該熱點區的各种屬性，當洄游軌跡與海洋學之數據合併時，產生了一組由衛星遙測高度所描述的全球中尺度渦流之數據。由接近-可能度配合奇數比率測試法，來推斷海龜的洄游方向與渦流間的關係。隨著渦流的不同形式(即順時鐘對反時鐘，渦流邊緣對中心處)，海龜在熱點區內、外的反應會不一樣，而這個差異可由比較洄游軌跡與隨機路徑、模擬顆粒移動及表層浮標移動等得到證實。海龜在熱點區內利用強順時鐘渦流邊緣的情形，會比渦流外來的少。

關鍵詞: 赤蠐龜，東海，棲地，中尺度渦流，移動，大洋行為，衛星發報器。

## 前言

全球的大洋中有許多生物棲地，但難以進行有效的調查與採樣。然而，衛星遙測的數據卻能提供在短時間內處理大範圍海洋資料的機會，遙測所得到的數據已應用在許多方面，包括大洋物種的管理。這些資料用來增加漁獲效能(Zainuddin et al., 2006)及有效的減少保育類物種被混獲的機會(Howell et al., 2008)。這項技術對復育及管理那些受保護、瀕危及受威脅的物種上，有很大的發展潛力，因為這種間接的做法，是一種非入侵性且不須直接採樣的方法，並能針對那些長壽且大範圍活動的物種，在時、空上的改變進行了解(Druon, 2009)，以增加牠們在大洋棲地需求上之瞭解，這將能減少可能對族群存續，所造成威脅之人為干擾。

赤蠵龜 (*Caretta caretta*) 為一種能利用遙測資料來進行管理的物種，人造衛星追蹤能讓我們對牠在全球海域之棲地分布，及大洋中的行為有一深入性的了解。牠在地中海若干地區會有順流而行及表現出對棲地忠誠的行為(Cardona et al., 2005; Revelles et al., 2007)，這可能與年齡及/或體型大小有關(Eckert et al., 2008)。在北太平洋中，人造衛星追蹤顯示，許多在日本出生的青少赤蠵龜，會長期滯留在黑潮分岔區

( Kuroshio Extension Bifurcation Region (KEBR) )，及緊鄰北太平洋的中部海域(Polovina et al., 2000, 2006; Kobayashi et al., 2008)，且牠們的攝食海域會與遠洋漁業有所重疊(Polovina et al., 2004; Kobayashi and Polovina, 2005; Parker et al., 2005)。相當數量的青少赤蠐龜亦會長期居住在巴哈加州(Baja California)外海的食物豐盛區，以紅蟹(*Pleuroncodes planipes*)為食，並與沿岸漁業區重疊(Nichols et al., 1999; Koch et al., 2006; Peckham et al., 2007)。黑潮分岔區及巴哈加州均為物理及生物學上的熱點區(hotspots)，也是海洋捕食者的聚集區 (Palacios et al., 2006)，赤蠐龜的跨洋東向及西向的洄游行為，已由傳統的標識及人造衛星追蹤法得到證實(Uchida and Teruya, 1988; Nichols et al., 2000)，但這種中間不休息的洄游方式到底有多盛行，仍不太清楚。儘管洄游及分布的形態都很複雜，北太平洋的赤蠐龜族群似乎都屬於日本出生的單一群體(stock)(Bowen et al., 1995; Kamezaki et al., 2003)。北太平洋的赤蠐龜，常不分佈在其出生地及上述覓食地之間的直線上，其原因仍然不詳。

在西太平洋中，日本出生的赤蠐龜常會被西南方之台灣沿岸的定置網所混獲(Cheng and Chen, 1997)，台灣的定置網是延著距岸在不到 20

米的水深中，使用超過 100 片網具所架設而成的(Gilman et al., 2010)，這種漁業的混獲對赤蠵龜族體的衝擊很大，但台灣定置網混獲所造成的死亡率卻很低(Cheng and Chen, 1997)。這是因為漁民常常起網(每天二到三次)、水淺及沒有頂蓋的設計，使得海龜得以浮上水面換氣(Ishihara, 2007)。台灣並無赤蠵龜上岸產卵的記錄，基因分析也顯示，這些赤蠵龜也似乎源自日本出生的群體(P. Dutton, Southwest Fisheries Science Center, pers. comm.)。這個群體目前狀況看過去還好(Kamezaki et al., in press)，且為全球赤蠵龜的一個重要的族群。對海龜而言，任何額外的死亡因素，都需仔細的檢視並設法減少之。本研究的目地在於，利用人造衛星追蹤來分析，由台灣沿岸之定置網所混獲的赤蠵龜，其野放後的洄游型態。衛星遙測的海洋數據，常被用來判斷區域性的大洋特性，及推斷海洋動物利用棲地的情形。

## 材料及方法

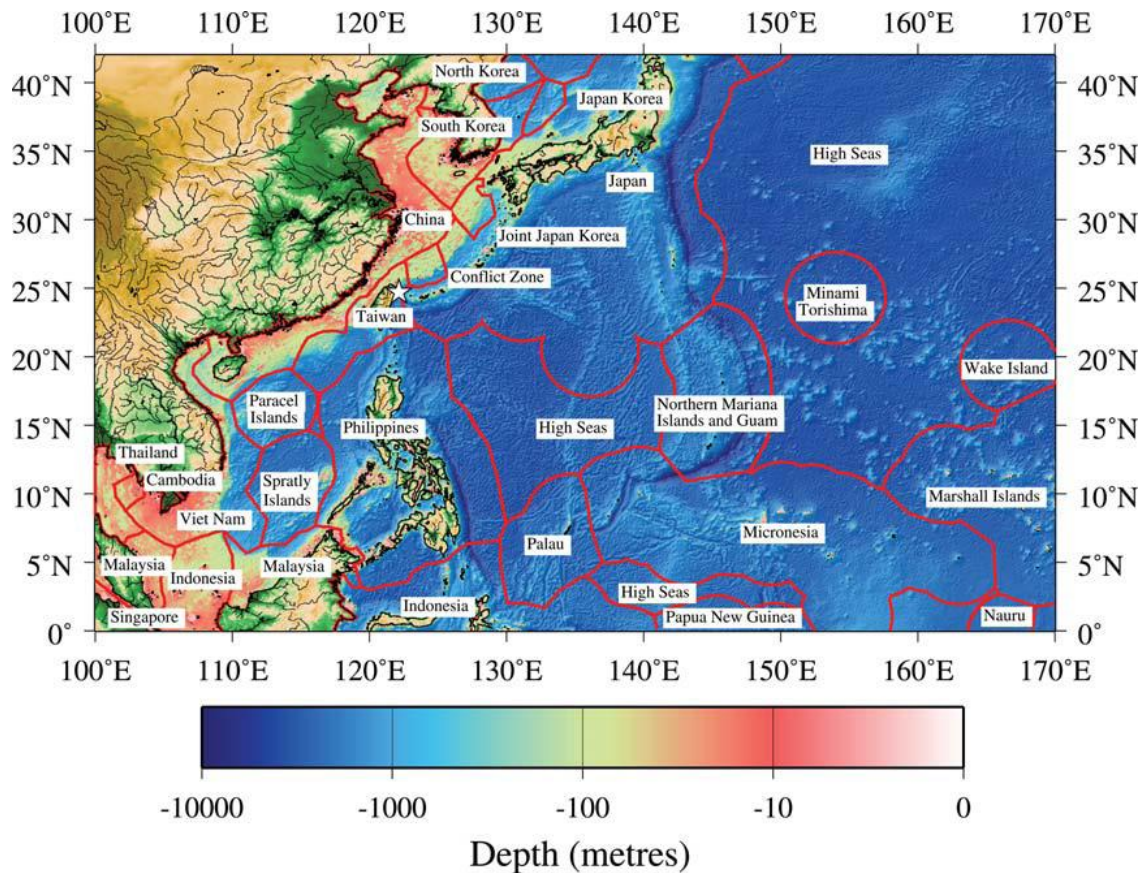
本研究針對34頭在台灣東岸( 面太平洋 )定置網所混獲的非產卵赤蠵龜，進行人造衛星追蹤之研究(表一)。混獲的時間從2002到2008年，動物的體長介於64到92公分背甲直線長 ( 69到95公分背甲曲線長 )。我們使用多種不同類型的衛星發報器;包括Telonics ST-18 (n = 10), ST-14 (n = 2), ST-20 (n = 14), ST-24 (n = 2),及Wildlife Computers公司的

SPLASH tags (n = 6)。發報頻度從Telonics發報器的12:48 (12小時開, 48小時關)及6:48，到Wildlife Computers發報器的6:42皆有之。由這些多變的發報頻度所產生不一致的數據;亦即在不同時間及空間下所產生的數據組，皆由下述的Bayesian數值模式加以解決。發報器是利用保麗膠及玻璃纖維布固定在龜背上，再野放回大海(Balazs et al., 1996)。海龜的位置是由ARGOS (<http://www.argos-system.org/>)網站所下載的，並在當地進行處理，數據分析一直進行到34個發報器均不再傳送資料為止，研究樣區及鄰近海域皆表示於圖一中。

表一、34 頭由台灣定置網所混獲的赤蠐龜(*Caretta caretta*)，在裝置衛星發報器後的洄游資料總結。

海龜 編號	背甲曲線 長(公分)	裝置 日期	野放時 經度	野放時 緯度	停止發 報日期	結束時 經度	結束時 緯度	追蹤 天數	總洄游 距離(公里)	兩端點間 距離(公里)
T01	71.8	1/25/2007	24.5	121.8	7/13/2007	33.31	123.57	170	5,603.27	992.65
T02	64	4/2/2003	24.49	121.9	8/16/2004	28.32	123.58	503	7,997.52	456.62
T03	74.5	1/16/2004	24.46	121.94	8/28/2004	32.28	126.98	226	5,809.04	997.47
T04	67.7	2/19/2003	24.45	122	8/10/2003	22.46	117.98	173	4,130.11	465.84
T05	74	3/22/2004	24.47	121.89	8/27/2004	35.11	161.06	158	8,642.19	3,966.55
T06	72	11/30/2004	24.47	121.84	5/23/2005	34.66	145.11	175	5,980.64	2,522.40
T07	68.7	3/8/2004	24.49	121.81	3/20/2005	22.52	117.86	377	3,905.98	459.12
T08	72.1	4/19/2004	24.5	121.8	6/25/2004	35.79	151.68	68	4,666.79	3,138.90
T09	76.5	5/5/2002	24.56	122	10/9/2002	32.97	128.22	158	3,453.35	1,112.86
T10	71.3	12/21/2003	24.5	121.8	1/31/2005	29.32	149.72	408	14,285.62	2,824.89

T11	74.5	12/23,2008	25.59	122.2	2/16/2009	21.42	115.46	52	1,225.34	829.64
T12	66.5	12/4/2007	25.38	122.66	7/1,2008	32.46	132.56	210	2,483.99	1,244.03
T13	74.5	10/17/2006	24.5	121.8	1/20/2007	28.17	130.27	96	3,814.74	938.55
T14	92	10/19/2007	24.51	122.03	4/5/2008	14.47	111.16	169	3,707.65	1,593.81
T15	82.5	1/14/2008	26.37	125.2	8/2/2008	26.45	127.64	90	2,151.86	243.85
T16	70	5/18/2008	25.94	122.8	11/9/2008	27.32	126.04	174	2,254.59	357.92
T17	78	7/10/2008	25.49	123.3	7/28/2009	29.21	126.53	382	4,929.34	521.97
T18	69.5	2/9/2007	24.33	122.1	4/20/2007	21.52	116.9	70	2,009.11	617.56
T19	72	1/14/2005	25.51	123	7/8/2005	23.09	118.1	173	3,258.40	565.38
T20	70	5/19/2005	24.58	121.9	3/11/2006	30.08	153.28	295	10,960.24	3,164.93
T21	69.7	6/2/2003	24.5	121.8	6/7,2003	25.8	123.13	6	205.43	195.97
T22	74.5	6/26/2005	24.49	121.87	8/22/2006	30.23	125.61	387	5,017.65	736.52
T23	79	11/21/2005	24.49	121.86	1/16/2006	28.59	125.73	57	1,115.18	595.71
T24	83	4/14/2005	24.49	121.81	11/7/2005	27.77	123.66	208	4,674.89	407.11
T25	67.3	3/15/2005	24.5	121.8	11/21/2005	28.28	122.03	251	5,957.75	419.13
T26	74.5	12/21/2005	25.23	122.7	3/7/2006	22.46	117.88	77	1,755.23	579
T27	76	4/4/2005	24.91	123.7	6/30/2005	28.34	121.83	87	2,214.29	423.35
T28	80.5	2/1/2005	24.44	121.9	5/29/2005	5.61	114.89	118	5,199.59	2,216.07
T29	72.5	4/28/2006	24.44	122.59	9/24/2006	37.02	141.75	82	4,139.80	2,304.64
T30	73	3/10/2006	22.41	118.83	6/4/2006	26.38	120.71	73	661.39	478.52
T31	78.5	1/17/2006	24.56	121.89	5/17/2006	29.68	124.83	62	1,666.05	637.86
T32	76	2/10/2006	24.59	121.5	7/14/2006	2.36	104.41	154	4,968.15	3,079.59
T33	73	5/13/2006	24.64	122	9/8/2006	25.13	121.76	60	1,547.36	58.75
T34	77	1/4/2007	25.47	122.4	4/29/2007	27	124.5	111	1,459.65	270.37



圖一、西北太平洋各國的經濟海域 (EEZs) 範圍用紅線標出，白色的星號為 34 頭赤蠐龜在台灣東北角，進行衛星追蹤時，所野放的大約位置。

由 ARGOS 所獲得的原始衛星位置資料，會經由 Bayesian state-space model (SSM; Jonsen et al., 2005) 加以處理，SSM 會參考 ARGOS 數據等級及當時的鄰近位置，產生最有可能的洄游軌跡圖。SSM 也能重新將路徑轉換成每日的位置資料，這樣就能消除不同的發報頻度或/及發報器本身斷斷續續傳送資料上的差異，這些新產生的資料組能加以整理，並利用繪圖軟體 Generic Mapping Tools (GMT;



Wessel and Smith, 1991)來製圖。Kernel 密度是由 R 程式利用 SSM 路徑及 2.58 經緯度的平滑寬度(h)之子程序 kde2d 演算而來，由於 Kernel 密度是用來估算棲地的利用情形，會受到潛在的不適當隨意釋放的位置及野放後的行為所影響，因此對野放後三十天的洄游資料組，再進行了一次額外的 Kernel 密度計算(約減少 17%的路徑數量，及刪除 34 頭海龜中前 996 筆數據)。由 kde2d 算出的數據，配合 GMT 子程序 *grdcontour*，求出一多邊形的高活動區。這個多邊形的表面積 ( 僅適用於球體及海洋區 )，是由 R 程式的子程序 *areaPolygon* 來計算，並輔以高解析度的水深資料 (Smith and Sandwell, 1997)。每日的洄游位置及所有洋區之 kernel 密度多邊形資料，均利用 Flanders 海洋研究所 (<http://www.vliz.be/vmdcdata/marbound/download.php>)提供的 EEZ 邊界資料庫，帶入經濟海域範圍中。kernel 密度及路徑的位置是利用 QuickBASIC 4.5 版之子程序所寫成的光芒鑄件算法(ray-casting algorithm)，帶入封閉的多邊形區。

洄游路徑先與一組海洋資料、水深及地磁等數據相結合，海洋資料包括海洋大氣局 Pathfinder 的海表溫(sea surface temperature (SST))、AVISO 的海面高度資料(如海平面高度;SSH，地球自轉流在 u-及 v-方

向的流速)、SeaWiFS 水色, [Smith and Sandwell \(1997\)](#)所得的水深及由 IGRF-10 模式所算出的地球磁場(總強度、傾角及仰角)等資料。每日檢查數據並由平均每頭海龜的每日位置, 整合出整個洄游路徑上相關位置的海洋資料。這些海洋數據是利用 GMT 子程序 *grdtrack* 以洄游路徑的網格內差法, 算出每週(SST, AVISO)或是每月(SeaWiFS, earth magnetic field)的數值([Wessel and Smith, 1991](#))。除了 [Smith and Sandwell \(1997\)](#)的水深解析度為 0.0338 外, 大部份的網格解析度為 0.18。洄游聚集值用來檢視多種形式的證據, 以便於區分不同主要類型的海龜行為, 若干相關之變因(如 SST, SeaWiFS)將表列於洄游路徑上, 用來比較高聚集區內、外之平均狀況。

由 SSM 所求得的路徑, 也轉換成新的海洋學數據, 用來量化由時間序列之遙測海面高度, 所產生的個別渦流([Chelton et al., 2007, in press](#))。這些中尺度的海洋水團, 大小由數十到數百公里及壽命從數十天到數百天不等, 且為海洋中變化最大的水團。它們與洋流及環流等, 同為海洋中最基本的移動水團([Klein and Lapeyre, 2009](#))。渦流在時、空中的數據, 係由遙測海面高度及渦流軌跡所產生的, 而遙測海面高度來自 AVISO 參考系列(AVISO Reference Series);由每十天重覆軌跡衛星

(TOPEX/Poseidon 先是 Jason-1 然後是 Jason-2) , 同時處理成對的海面高度, 及每三十五天重覆處理(ERS-1, 先是 ERS-2, 然後 ENVISAT; Ducet et al., 2000)後所產生的。渦流經由這個步驟, 從封閉的海平面等高線來確定之, 這個計算法將詳述於 Chelton et al. (in press)中。從 1992 到 2008 年間, 由全球資料庫中共確定了 176,614 個, 壽命為四週以上的渦流軌跡(89,704 個順時鐘及 86,910 反時鐘渦流), 而在本研究區內(2002–2008, 100–1808E 0–458N)我們共找出 61,273 個渦流軌跡(31,292 個順時鐘及 29,981 反時鐘渦流)。

除了確認它們在時、空上的變化外, 渦流的特性也能由有效半徑、波高、邊緣海面高及地球自轉的旋轉速度等之特性來描述之。本研究範圍內的有效中位半徑為 95 公里(14–378 公里), 渦流的形狀以有效半徑之圓形為代表, 用來與每日由 SSM 所推算出的海龜位置, 在圓周沿線上之各點加以相較。由 58 個渦流邊緣弧之間距半徑來做圓形, 且利用這些半徑的端點, 來比較 SSM 之數據。所有渦流的中心位置也與 SSM 數據加以比較。渦流為順時鐘或是反時鐘依他們的海平面高度變異值(SSH anomaly)而定(SSH anomaly 負值是順時鐘渦流, 而 SSH anomaly 正值是反時鐘渦流), 且由垂直高度與渦流有效半徑的比值做

為渦流強度分類的依據;此值與渦流內最大的地球自轉之旋轉流速很有關。資料庫的垂直高度定義為，沿著渦流邊緣之海平面等高線及渦流內部之極端值間的絕對差。為達到本研究的目的，我們將 0.065 比值視為強渦流，此值代表本研究範圍內的渦流強度之中位值(範圍為 0.0054–1.2913; n = 61,273)。利用這個整合的資料庫，計算出 12 個量測距離的等級，並列於表二中，用來將渦流的形式(順時鐘或反時鐘)，強度(任何強度或是力量)及樣區的特質(渦流邊緣或是中心)以巢穴(nested)的順序表示之。

表二、本研究用來評估量測距離一覽表，依渦流的形式(順時鐘或反時鐘)，強度(任何強度或是力量)及樣區的特質(渦流邊緣或是中心)等，以巢穴的順序分成 1–12 等級。

量測距離	渦流形式	渦流強度	樣區特性
1	任何形式	任何強度	渦流邊緣
2	順時鐘	任何強度	渦流邊緣
3	反時鐘	任何強度	渦流邊緣
4	任何形式	強	渦流邊緣

5	順時鐘	強	渦流邊緣
6	反時鐘	強	渦流邊緣
7	任何形式	任何強度	渦流中心
8	順時鐘	任何強度	渦流中心
9	反時鐘	任何強度	渦流中心
10	任何形式	強	渦流中心
11	順時鐘	強	渦流中心
12	反時鐘	強	渦流中心

---

因為比值差距在數十公里之遙，為了決定海龜是否喜歡待在渦流中心或是邊緣區，某些數據的解析度僅為近似值。多數的遙測高度約每週量測一次，且軌跡線(tracklines)約在 100–300 公里之間。軌跡線然後以精密的算法，去分析波長約為 200 公里，相當於約 40 公里渦流半徑的中尺度之各項變化(Chelton et al., in press)。SSM 每日數據，包含了 Bayesian 在經度及緯度上的可信區間(credible intervals)，95%的平均信賴區間在緯度上為 0.648 (約 71 公里)，經度上為 0.738 (約 70 公里)。這樣做會使海龜的位置即使產生最大的誤差，仍會和原來量測在渦流中心或是邊緣的位置相仿。因此，赤蠐龜的位置會與中尺度大小的渦

流位置相吻合。

本研究沿著 **SSM** 軌跡上，計算所有兩日間的距離。所有在  $1^\circ$  經/緯度範圍內之每日位置，均用來決定牠們與本研究相關之渦流的接近度。這些值會轉換成接近可能度(**proximity probabilities**)，再利用可能度的比率測試法(**odds ratio tests**)加以比較。由 **SSM** 軌跡所求得的每日海龜在高聚集區內、外之兩子數據組，均分別檢視之。

除了由 **SSM** 所求得的海龜每日位置外，渦流的接近可能度，也用來當做三組計算空間數據上的資料來源;第一，檢視一組隨意走動(**random-walk**)的軌跡，這是用來檢視在樣區內，各逢機取樣點的序列所必須的步驟，需檢視 100 條軌跡。第二、產生及分析一組模擬漂移顆粒的軌跡，這些顆粒順著 **NOAA OSCAR (Ocean Surface Current Analyses-Real Time)** 流場而行，而這個流場是由遙測海面高度及散射計所估算得的。本研究利用 **Lagrangian** 對流-擴散模式，來模擬顆粒的漂流情形([Polovina et al., 1999](#))。本研究區內的各時間及地點的洋流，均配合混獲海龜之同一平均野放點。在 2002–2008 年間，釋放的時間設定為一年，每年開始時釋放出 50 個重覆組。第三、檢視樣區內在時間

及空間上，於 15 米水深之浮標(稱之為表層浮標)所分析的數據( $n = 1291$  浮標，記錄到 32,963 個位置)。表層浮標定期由研究全球洋流類型之研究船所放的(Lumpkin and Pazos, 2006)，本研究用來做分析的表層浮標資料庫取自於 NOAA 的“全球浮標研究計畫 Global Drifter Program (<http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/index.php>)”。

由於這三組額外的空間數據，均非自發性的數據，因此前提的假設是，這三組數據均無法偵測出海龜的定位及其游泳行為。然而，如果在渦流內有被動的聚集或是分散的情形(如匯合或是分歧)，這將會在接近-可能度檢視時，產生顯著的結果。由比較 SSM 測驗結果及這些額外的應用值，能讓我們了解赤蠵龜利用渦流的背後機制，及被動和主動定位所扮演的角色。本研究利用減少自由度的做法，進行一奇數比率測試矩陣(Kobayashi et al., 2008)來減少假重覆組的顧慮(Hurlbert, 1984)，假重覆組因缺少多天洄游數據的獨立性，會是分析上一個潛在的問題。

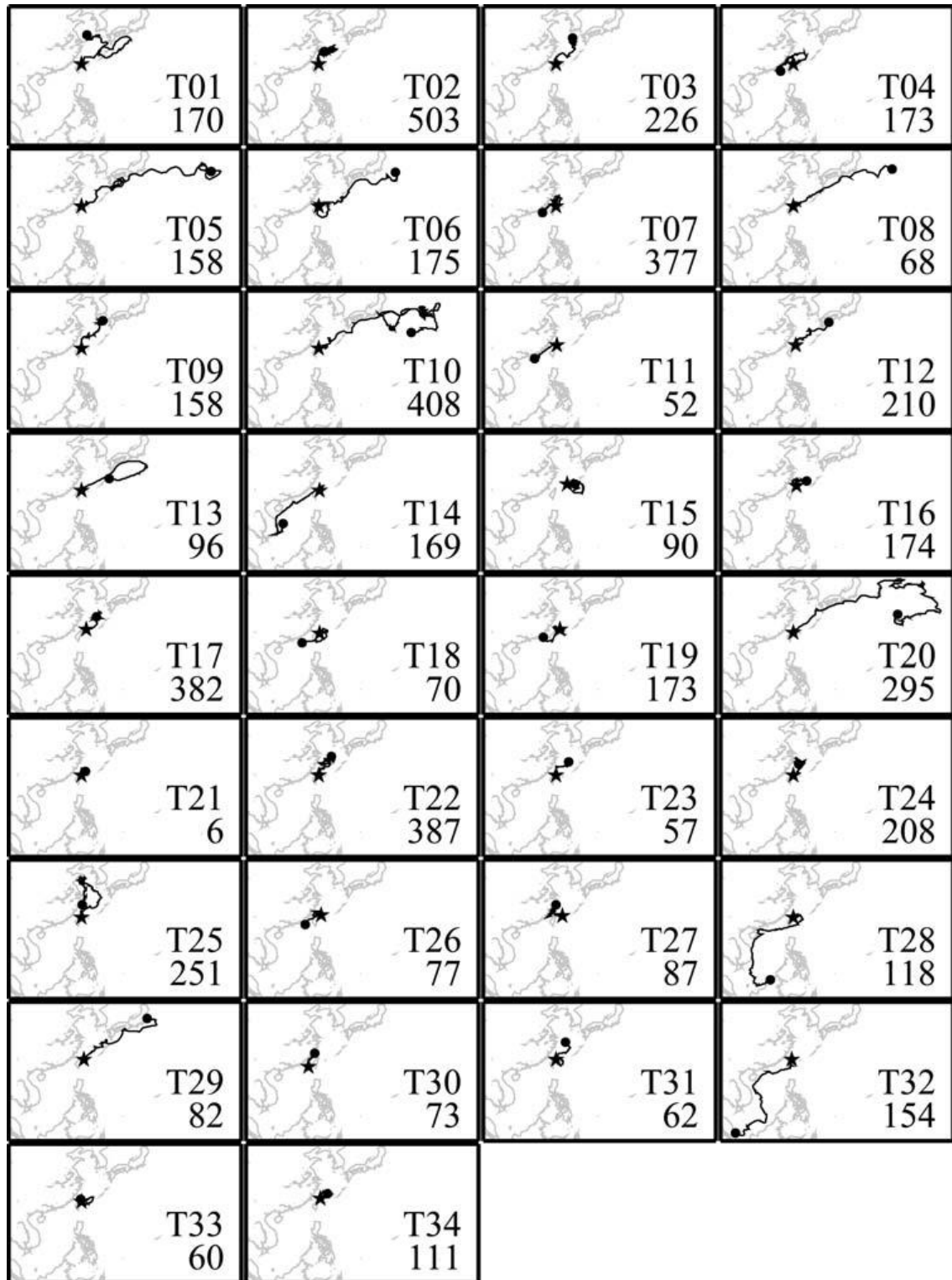
本研究使用非公尺多維標度(non-metric multidimensional scaling; NMDS)的方式，將兩組子洄游路徑的接近可能度矩陣、隨機取樣點、模擬顆粒軌跡及表層浮標軌跡等資料加以整合，用來敘述海龜的洄游

行為，本研究是以棲地利用的形式，來區分海龜在高聚集及其它形式軌跡的分布區。NMDS是用PC-ORD程式來計算的(McCune and Grace, 2002)。

## 結果

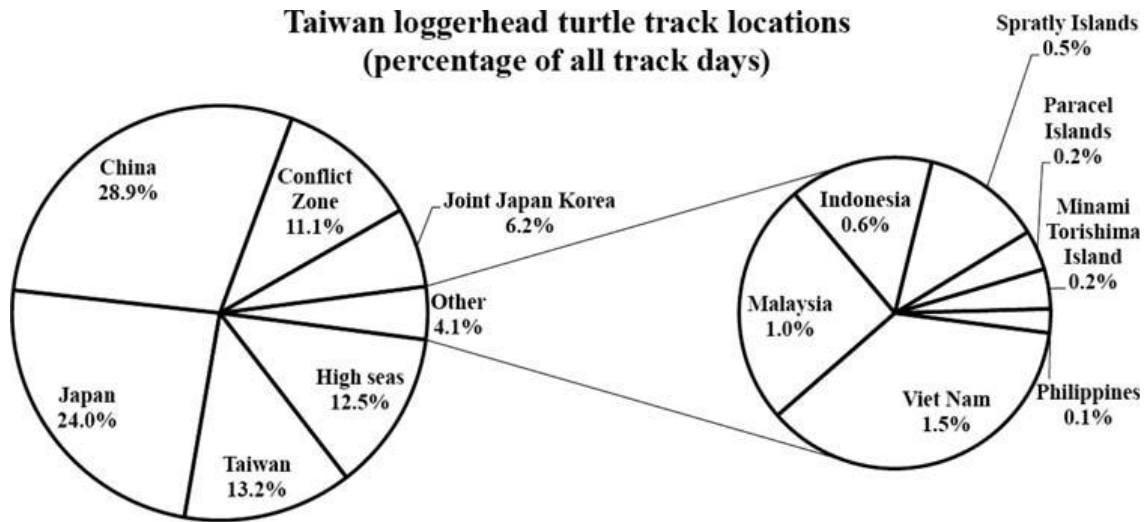
34具發報器的平均壽命為172天(從6–503天)，共提供了5860天軌跡資料，Bayesian SSM成功的分析了其中34條路徑，並表示於圖二中。有些海龜會洄游進黑潮分岔區(KEBR)，其他則向西南游去。然而，主要的棲息地是介於台灣、中國、日本及南韓之間的海域。赤蠵龜會花部份的時間洄游到12個國家的經濟海域(EEZs)中，主要的經濟海域國為中國(28.9%)，而日本、台灣、及其它衝突區(Conflict Zone)則至少佔10%(圖三)，海龜在公海區僅停留12.5%的時間。





圖二、每頭海龜的洄游路徑所使用之地圖比例與圖一相同，每一發報器的洄游資料(T01-T34)請參照表一，每圖右下角於發報器號碼下方的數目字為發報器傳送的天數。大陸及其它陸域邊緣以灰色標出，而黑

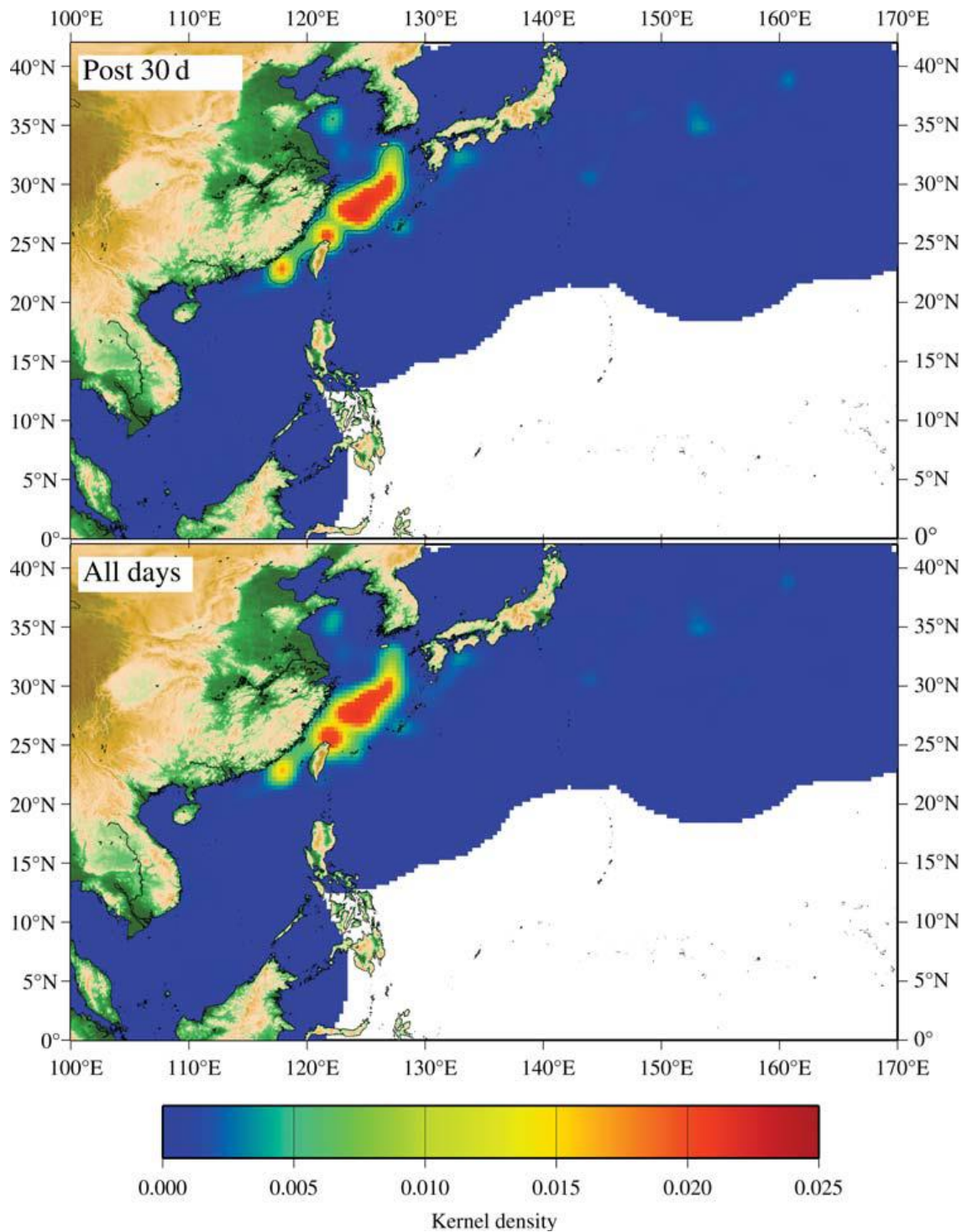
色星號為洄游起點，黑色圓圈為最後一筆資料的傳送位置。



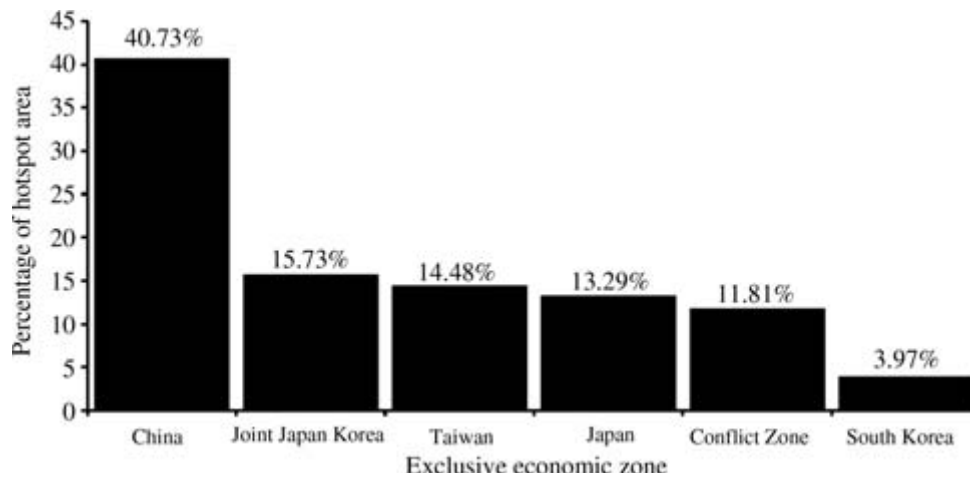
圖三、在研究期間(2002–2008)，赤蠐龜於不同國家的EEZs所佔的時間比例。右圖為將左圖中“其他”類別的國家列出；佔全部時間的4.1%。

所有路徑的 Kernel 密度分布圖，顯示於圖四下方的橫圖中，由此圖可看出，海龜會聚集在介於中國、日本、台灣及南韓等地的東海海域。然而，這些海域(即圖四下方的橫圖)也均在海龜野放點的附近，野放後的洄游行為，即慵倦或是飛行等，均可能對分析產生非預期性的負面影響。圖四的上圖為利用釋放 30 天內之軌跡所做成的 kernel 密度分布圖，這表示觀查到的活動形式，並不會因野放點與活動區之間的相似及/或相近，而受到太多的影響。雖然沒有進行量化，但海龜的行為，似乎也不會因裝置發報器及野放等活動，而有顯著的改變。在修正陸

地的邊界條件後，得到一值大於 0.005，面積為 433,549 平方公里的多邊形 Kernel 密度分布圖(圖四，上圖)。該區域從台灣海峽，向東北延伸到東海，從東經 116°43' 北緯 21°35' 到東經 128°17' 北緯 33°19'，水深從 0 到 3117 米，平均為 195 米深的海域。若將路徑圖按區域分割，則可發現東海中的 Kernel 密度分布圖，會涉及中國的經濟海域 (40.73%)，日本及韓國的聯接區(15.73%)，台灣(14.48%)，日本 (13.29%)，衝突區(11.81%)，及南韓(3.97%)等地(圖五)。



圖四、利用經度及緯度為2.58的平滑帶(h)，製成所有赤蠐龜(2002–2008)的kernel密度分布圖。(上圖)使用每一裝置發報器之海龜，在釋放30天內之軌跡，所製成的kernel密度分布圖。(下圖)使用所有發報天數，所製成的kernel密度分布圖。



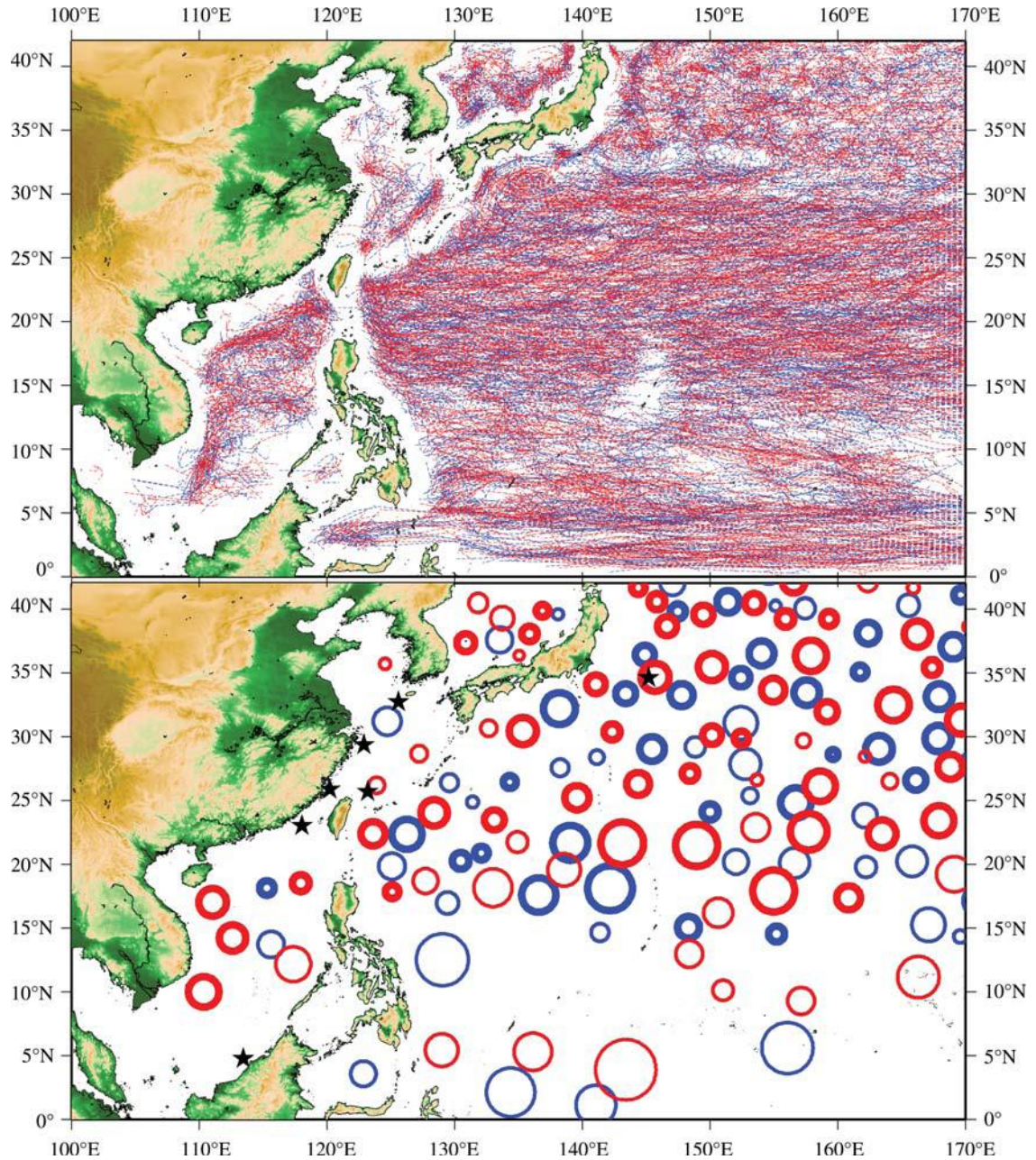
圖五、在修正陸地的邊界條件及只考慮分割海域部份的熱點區後，所得之kernel密度分布圖，及在不同經濟海域中所佔的比例。

所有樣區內中尺度的渦流路徑，包括最多衛星追蹤之海龜所出現的瞬間位置( $n = 7$ ; 2005年5月25日)，均表示於圖六中，此圖顯示渦流在時、空上的活動情形。

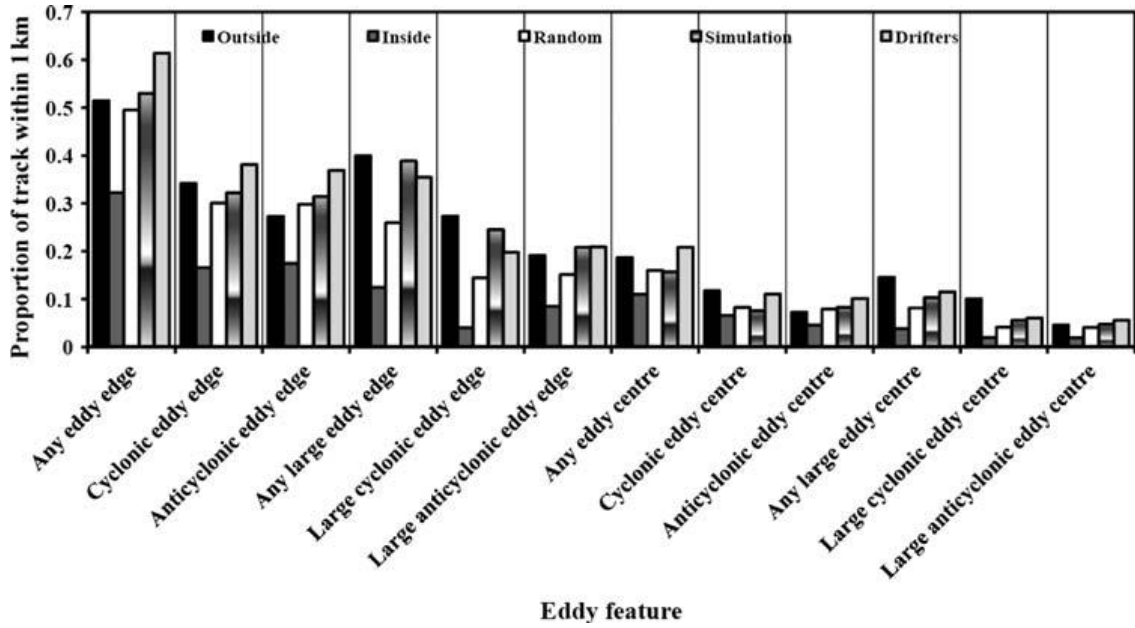
接近可能度表示於圖七中，而每個可能性比率測試的結果均列於表三中。可能性比率測試值為兩組類別與一特別屬性間之差異的可能性。因此，測試顯示在熱點區內的海龜，接近強渦流邊緣之可能性，會是渦流外約九倍之多，強渦流的邊緣、中心及順時鐘渦流中心處也會出現明顯的結果。熱點區外的洄游路徑並不會比三個在空間上無關

的數據更接近渦流，然而，熱點區內的洄游路徑，在接近強渦流的邊緣及強順時鐘渦流的邊緣時，與三個在空間上無關的數據相比時，發現兩組間的相似可能性是非常的低。

NMDS整理的結果總結於圖八中，赤蠐龜在熱區內的洄游路徑，的確與熱區外，或是其他三組在空間上無關之數據有所不同。有趣的是，熱區外的海龜與模擬顆粒的路徑十分吻合，而隨機點及表層浮標則會聚集在NMDS之內。



圖六、研究區內的渦流高度軌跡圖(上圖)及2005年5月25日的渦流大小(圓圈大小)(下圖)。上、下兩圖中，藍線代表順時鐘渦流，紅線代表逆時鐘渦流。下圖中，粗線用來表示強渦流(高度與半徑比值大於0.065)，黑色星星代表本論文撰寫時的七頭赤蠐龜之位置。



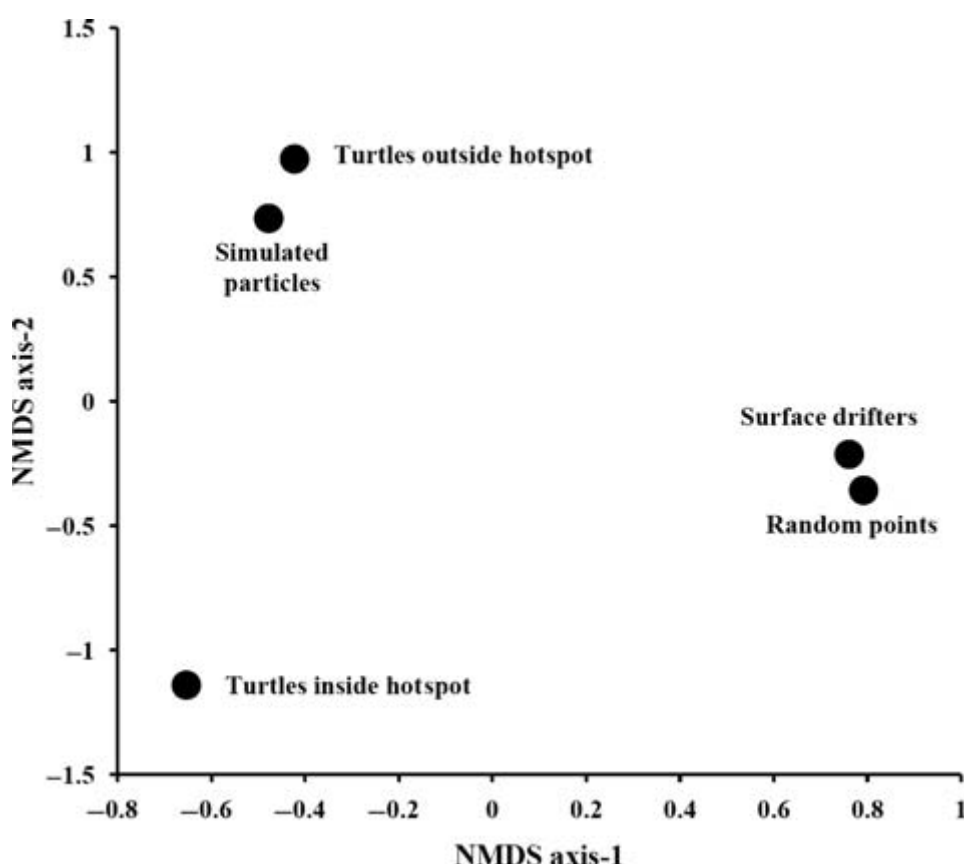
圖七、赤蠟龜的洄游路徑、隨機點、模擬顆粒及表層浮標所產生的兩子組數據(東海熱點區內及外的區域)之接近可能度圖，每一柱狀代表物體在某一特別渦流的18經/緯度之範圍內的位置。



表三、赤蠓龜的洄游路徑在兩子組(熱區內、外)及三個在空間上無關的數據組(隨機點、模擬顆粒及表層浮標)在接近可能度之比率測試總結，統計結果是沒有顯著差(n.s.)或有 $p = 0.05$  (\*)顯著的差異。

接近度	可能度之比率測試結果及顯著性						
	內: 外	外: 隨機	外: 模擬	外: 表層 浮標	內: 隨機	內: 模擬	內: 表層浮 標
任何渦流邊緣	2.23 n.s.	1.08 n.s.	0.94 n.s.	0.67 n.s.	0.48 n.s.	0.42 n.s.	0.30 n.s.
順時鐘渦流邊緣	2.61 n.s.	1.21 n.s.	1.09 n.s.	0.84 n.s.	0.46 n.s.	0.42 n.s.	0.32 n.s.
反時鐘渦流邊緣	1.77 n.s.	0.88 n.s.	0.82 n.s.	0.64 n.s.	0.50 n.s.	0.46 n.s.	0.36 n.s.

任何渦流邊緣	4.68*	1.90 n.s.	1.05 n.s.	1.21 n.s.	0.41 n.s.	0.22*	0.26*
強順時鐘渦流邊緣	9.05*	2.24 n.s.	1.16 n.s.	1.53 n.s.	0.25*	0.13*	0.17*
強反時鐘渦流邊緣	2.54 n.s.	1.32 n.s.	0.90 n.s.	0.89 n.s.	0.52 n.s.	0.35 n.s.	0.35 n.s.
任何渦流中心	1.86 n.s.	1.20 n.s.	1.23 n.s.	0.87 n.s.	0.65 n.s.	0.66 n.s.	0.47 n.s.
順時鐘渦流中心	1.89 n.s.	1.47 n.s.	1.62 n.s.	1.07 n.s.	0.78 n.s.	0.86 n.s.	0.56 n.s.
反時鐘渦流中心	1.62 n.s.	0.91 n.s.	0.87 n.s.	0.69 n.s.	0.56 n.s.	0.54 n.s.	0.43 n.s.
任何強烈渦流中心	4.28*	1.93 n.s.	1.47 n.s.	1.31 n.s.	0.45 n.s.	0.34 n.s.	0.31 n.s.
強順時鐘渦流中心	5.67*	2.62 n.s.	1.89 n.s.	1.75 n.s.	0.46 n.s.	0.33 n.s.	0.31 n.s.
強反時鐘渦流中心	2.50 n.s.	1.14 n.s.	0.96 n.s.	0.81 n.s.	0.45 n.s.	0.38 n.s.	0.33 n.s.



圖八、赤蠟龜的洄游路徑在兩子組及三個在空間上無關的數據組於NMDS

接近可能度之整理總結圖。

討論

從生態學的角度來看，赤蠵龜利用中尺度渦流中某些區域，與他區不同是很容易理解的，有可能因為這些渦流的特性，造成海龜被動的被吸引或遭到排斥，或是受指引而主動的向它游去，或是這些因素皆之。傳統的渦流抽取理論(McGillicuddy et al., 1998)認為主要的動力位於渦流的中心，此處垂直方向的流速及生物反應都可能達到最大值。許多研究均顯示，強基礎生產量的形式與渦流的動量有關(Vaillancourt et al., 2003)。一些經驗研究顯示，順時鐘渦流的中心及反時鐘渦流邊緣會有較高的生產力(Mizobata et al., 2002)。在三度空間的密度場及水平流速已知的條件下，這些研究的若干結果與用標準 $\omega$ 程式(Hoskins et al., 1978)來估算的垂直流速是一致的(Klein and Lapeyre, 2009)。斜鹽及斜溫層的圓頂部份，在渦流的中心最為明顯，代表此處的溫度及鹽度均不同。而渦流邊緣區，因地球自轉的旋轉速度達到最大值，就像一個介於不同水團/棲地間的生態區(ecotone)，可能具有不易由渦流特性來描述的生態功能。

物質會被動的聚集在聚合(convergence)或是沉降流(downwelling)區，一個漂流物困在該流場中會滯留於沉降區中，因為它不會下沉，而聚合的流場也會限制它無法進行水平方向的移動。這就是在Langmuir垂直環流中，會堆積漂流有機碎屑的機制，及內波和其他次

表層的物理作用，所造成的表層油線之現象(Shanks and Wright, 1987)。海龜若是以漂浮的方式移動或曬太陽(Bentivegna et al., 2007; Hochscheid et al., 2010)，就會停留在渦流的沉降區;很可能位於渦流的中心處。這樣海龜就能保持在中心附近，即使進行水平的移動，也是順著渦流向西行，這種漂流方式，為一種有效使用能量，來穿越大洋的方法。

主動的游向渦流與許多行為有關，像是找尋覓食區、社會/生殖的機會及適合的水溫區，或僅為動物一般的好奇心(Pisula, 2009);海龜有可能在一片相同的海域中，發現特別不同的區域。中尺度渦流區內的物理及生物動態要比非渦流區來的明顯，這些地區有可能被用來做為幫助群社行為的潛在“相遇區”，就像集魚設施會影響魚類的行為一樣(Fre'on and Dagorn, 2000; Castro et al., 2001)。

由赤蠵龜在熱點區內滯留的時間，來區分其反應是很困難的，但顯示會出現相反的行為。有可能離邊緣超過一公里或是近乎滯留的渦流內，其反應會與重要的生態因子有關，而這些不同的反應，值得進一步的探討其原因。如前所述，渦流雖然遍佈採樣區及研究時程，但其在空間上的分布，仍有待進一步了解。沿海及淺水區的渦流密度會較

低 (圖六) , 且可能與其他和渦流大小及形式有關的水團分布有關。

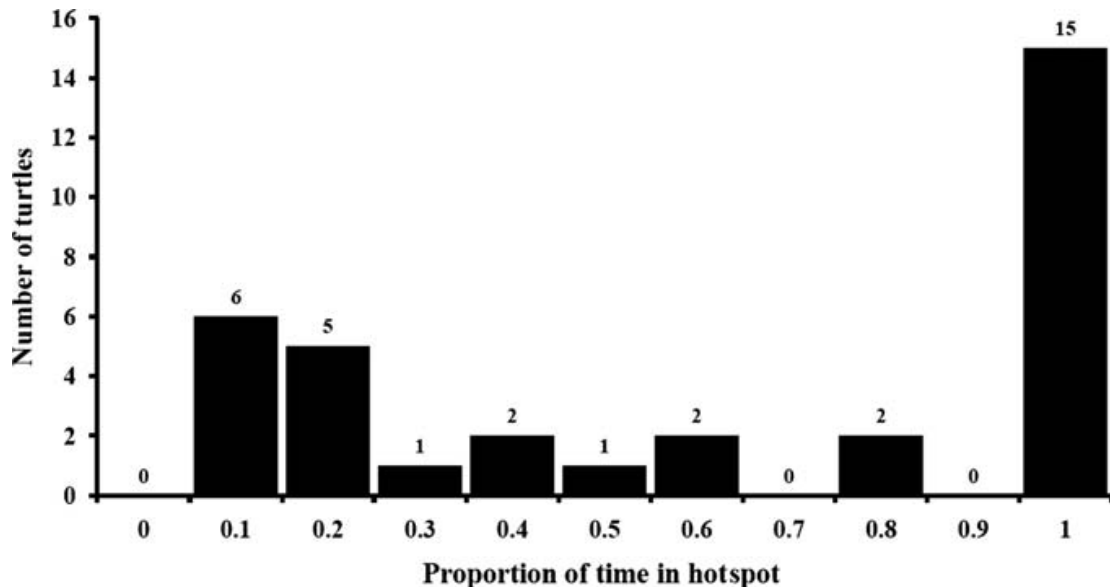
另一種了解渦流特性的方法是使用時間隨機法(temporal randomization; 隨機性的渦流場) , 這能掌握渦流場在空間上的分布及數量 , 並經由時間上的配合與不配合的分析方式 , 以量化的手法調查特定地區之渦流走向。這種分析法及分割或限制在熱點區內、外於空間上之無關數據組的研究 , 也是未來的研究課題。

增加覓食的機會 , 似乎是海龜長期滯留在夏威夷北部海域的原因 (Polovina et al., 2004; Parker et al., 2005) 。此區內食物豐盛的亞赤道鋒面區(Subtropical Frontal Zone; Roden, 1980) , 及水團交會的葉綠素鋒面 (Transition Zone Chlorophyll Front ; Polovina et al., 2001) , 含有許多會聚集食物的鋒面。本研究區內中尺度窩流的活動與海龜的潛水行為有關 , 因此建議水下的覓食行為是很重要的(Howell et al., 2010) 。許多食性研究均顯示 , 赤蠵龜會捕食凝膠狀的浮游動物 , 或是其他漂浮性的無脊椎動物。在沿海地區或是水深在下潛範圍內的海域 , 赤蠵龜也常會進行底棲性的覓食(Plotkin et al., 1993) , 而有機會就覓食海上拋棄的漁獲物也有被記錄過(Seney and Musick, 2007; Wallace et al., 2009) 。如果海洋中的聚合區常有漁業行為 , 或是渦流在大陸棚上出現近乎滯留的情形時 ,

因地區性的食物增加(底棲生物或是拋棄的漁獲物)，大洋的覓食者會集中於此區。赤蠐龜長期滯留在巴哈加州(Baja California)外海，似乎與牠的食物—浮游性的紅螃蟹(*P. planipes*)之分布有關(Nichols et al., 1999; Peckham et al., 2007)。這些中尺度渦流內及周圍的適量的餌料分布及數量，及渦流在時、空上之分布是未來重要的研究課題。在淺海大陸棚上近乎滯留的渦流特別值得研究，凝膠狀的浮游動物及大洋表層的漂浮者，因收集不易或是目前的研究僅集中於有害的漂浮物;如海洋廢棄物的研究，而在生態系的調查中常被忽略掉。

在東海陸棚上的高滯留區就和黑潮分岔區的熱點區(Polovina et al., 2000, 2006)，及墨西哥沿岸的巴哈加州海域(Nichols et al., 1999; Koch et al., 2006; Peckham et al., 2007)類似，均屬於地區性的生物活動集中區，此區因範圍大且近岸，所以十分具有研究的價值。此熱點區並與主要為中國在內的若干國家之經濟海域相重疊(圖五)，而在考慮該點熱區內也包含了兩個特別的衝突區或是日韓聯合區之主權時，還有司法上的議題尚待解決。很明顯的，34頭海龜中之15頭，會花上至少90%的時間在熱點區內，也就是51%的總洄游天數(圖九)。這種行為在T02的赤蠐龜中表現最為明顯(圖二)，牠在此區內停留超過500天的時間。很顯然的，這會低估調查單一動物行為的必要性，因為本實驗所得的數據

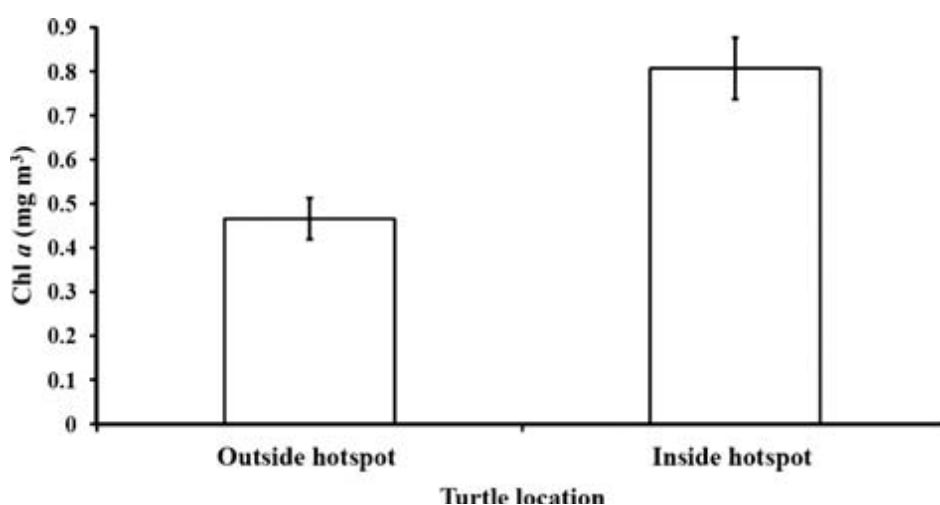
組，會難以描述海龜的平均行為。



圖九、單一海龜在熱點區內停留的類型，每一柱狀相當於X軸上10%的差距。

熱點區有部分位於鄰近長江的陸棚上，有可能是重要的海龜覓食海域。此區因位於長江舌與黑潮入侵大陸棚之交會處，因此生態系的質、能變化十分複雜(Du et al., 2000)。而這兩水團的交會，有可能是形成該區高生產力的主因(Liu et al., 2003; Tseng and Shen, 2003)。此海域淺到能讓海龜進行底棲性的覓食，同時含有許多渦流(圖六)。比較熱點區內的葉綠素及SSM路徑後顯示，該區的生產力，是區外海龜活動的兩倍之多(圖十)，此區也是中國漁民的主要漁場之一。這些及其他漁業，在

東海陸棚上混獲或是捕捉赤蠐龜的情形，仍有待進一步的調查。此熱點區內之赤蠐龜的食物和底棲及浮游群聚的結構，都需更多的研究。由於各種捕食者，都可能會聚集於長江舌與黑潮入侵大陸棚之交會處，所以未來的研究，應著重於了解生態系中之物種組成。



圖十、東海熱點區內、外之赤蠐龜活動海域的葉綠素含量，誤差棒代表95%的信賴區間。

結論；本研究發現介於台灣、中國、日本及南韓的東海陸棚，為赤蠐龜的高度聚集熱點區，利用全球渦流的數據資料來進行分析，提供了海洋學一個新的視野。本研究將統計來分析渦流的方法，延伸到其他三組空間上的數據，分別是隨機路徑、模擬顆粒移動及表層浮標移動等。在比較其他空間上的資料後發現，海龜在熱點區內利用渦流的情形，會與區外有所不同。特別的是，熱點區內的海龜與其他地區或



非相關的空間數據相較時，發現牠們比較不會靠近強渦流的邊緣。進一步的進行區域性之海洋學研究，來探討赤蠵龜在小尺度的水平及垂直方面的攝食分布，及量化熱點區內設定為海龜覓食區的混獲情形，將是未來最主要的研究領域。

## 謝辭

作者們感謝 Dudley Chelton, Evan Howell, Asuka Ishizaki, and Hiroyuki Suganuma 的完整評語，也特別感謝 Dudley Chelton 及他同事提供全球渦流數據資料。部分的數據在日本宮崎縣所舉辦的全日海龜年會(2009 年 11 月)，及在台灣台北所舉辦的第五屆國際漁業人論壇(2010 年 8 月)中發表時，也獲得了非常建設性的評語。我們感謝 Karin Forney 分享她的 ray-casting 代碼，及 NOAA RV “Oscar Elton Sette”之成員，在第一作者於 OES 10-01 航次，撰寫本論文中最重要的階段，提供了舒適的起居環境。

## 文獻參考

Balazs, G. H., Miya, R. K., and Beavers, S. C. 1996. Procedures to attach a satellite transmitter to the carapace of an adult green turtle, *Chelonia mydas*. In Proceedings of the 15th Annual Symposium on Sea Turtle

Biology and Conservation, pp. 21–26. Ed. by J. A. Keinath, D. E. Barnard, J. A. Musick, and B. A. Bell. NOAA Technical Memorandum, NMFS-SEFSC-387. 355 pp.

Bentivegna, F., Valentino, F., Falco, P., Zambianchi, E., and Hochscheid, S. 2007. The relationship between loggerhead turtle (*Caretta caretta*) movement patterns and Mediterranean currents. *Marine Biology*, 151: 1605–1614.

Bowen, B. W., Abreu-Grobois, F. A., Balazs, G. H., Kamezaki, N., Limpus, C. J., and Ferl, R. J. 1995. Trans-Pacific migrations of the loggerhead turtle (*Caretta caretta*) demonstrated with mitochondrial DNA markers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 92: 3731–3734.

Cardona, L., Revelles, M., Carreras, C., San Fe´lix, M., Gazo, M., and Aguilar, A. 2005. Western Mediterranean immature loggerhead turtles: habitat use in spring and summer assessed through satellite tracking and aerial surveys. *Marine Biology*, 147: 583–591.

Castro, J. J., Santiago, J. A., and Santana-Ortega, A. T. 2001. A general theory on fish aggregation to floating objects: an alternative to the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 11: 255–277.

Chelton, D. B., Schlax, M. G., and Samelson, R. M. Global observations of nonlinear mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, in press.

Chelton, D. B., Schlax, M. G., Samelson, R. M., and de Szoeke, R. A. 2007. Global observations of large ocean eddies. *Geophysical Research Letters*, 34: L15606.

Cheng, I-J., and Chen, T-H. 1997. The incidental capture of five species of sea turtles by coastal setnet fisheries in the eastern waters of Taiwan. *Biological Conservation*, 82: 235–239.

Druon, J-N. 2009. Habitat mapping of the Atlantic bluefin tuna derived from satellite data: its potential as a tool for the sustainable management of pelagic fisheries. *Marine Policy*, 34: 293–297.

Du, Y., Zhou, C. H., Shao, Q., and Su, F. 2000. Sea surface temperature and purse net productivity in East China Sea. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000*, pp. 1872–1874. IEEE 2000 International, Honolulu, Hawaii, USA.

Ducet, N., le Traon, P. Y., and Reverdin, G. 2000. Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and -2.

Journal of Geophysical Research, 105: 19477–19498.

Eckert, S. A., Moore, J. E., Dunn, D. C., Van Buiten, R. S., Eckert, K. L., and Halpin, P. N. 2008. Modeling loggerhead turtle movement in the Mediterranean: importance of body size and oceanography. *Ecological Applications*, 18: 290–308.

Fréon, P., and Dagorn, L. 2000. Review of fish associative behaviour: toward a generalisation of the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10: 183–207.

Gilman, E., Gearhart, J., Price, B., Eckert, S., Milliken, H., Wang, J., Swimmer, Y., et al. 2010. Mitigating sea turtle by-catch in coastal passive net fisheries. *Fish and Fisheries*, 11: 57–88.

Hochscheid, S., Bentivegna, F., Hamza, A., and Hays, G. C. 2010. When surfacers do not dive: multiple significance of extended surface times in marine turtles. *Journal of Experimental Biology*, 213: 1328–1337.

Hoskins, B. J., Draghici, I., and Davies, H. C. 1978. A new look at the omega-equation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 104: 31–38.

Howell, E., Dutton, P., Polovina, J., Bailey, H., Parker, D., and Balazs, G. 2010. Oceanographic influences on the dive behaviour of juvenile loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in the North Pacific Ocean. *Marine Biology*, 157: 1011–1026.

Howell, E. A., Kobayashi, D. R., Parker, D. M., Balazs, G. H., and Polovina, J. J. 2008. TurtleWatch: a tool to aid in the bycatch reduction of loggerhead turtles *Caretta caretta* in the Hawaii-based pelagic longline fishery. *Endangered Species Research*, 5: 267–278.

Hurlbert, S. H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54: 187–211.

Ishihara, T. 2007. Japan coastal bycatch investigations. In *North Pacific Loggerhead Sea Turtle Expert Workshop*, pp. 21–22. Western Pacific Regional Fishery Management Council, Honolulu, Hawaii, USA.

Jonsen, I. D., Flemming, J. M., and Myers, R. A. 2005. Robust statespace modeling of animal movement data. *Ecology*, 86: 2874–2880.

Kamezaki, N., Chaloupka, M., Matsuzawa, Y., Omuta, K., Takeshita, H., and Goto, K. Long-term temporal and geographic trends in nesting abundance of the endangered loggerhead sea turtle in the Japanese Archipelago. *Endangered Species Research*, *in press*.

- Kamezaki, N., Matsuzawa, Y., Abe, O., Asakawa, H., Fujii, T., Goto, K., Hagino, S., et al. 2003. Loggerhead turtles nesting in Japan. In *Loggerhead Sea Turtles*, pp. 210–217. Ed. by A. B. Bolten, and B. E. Witherington. Smithsonian Books, Washington, DC. 352 pp.
- Klein, P., and Lapeyre, G. 2009. The oceanic vertical pump induced by mesoscale and submesoscale turbulence. *Annual Review of Marine Science*, 1: 351–375.
- Kobayashi, D. R., and Polovina, J. J. 2005. Evaluation of time area closures to reduce incidental sea turtle take in the Hawaii-based longline fishery: generalized additive model (GAM) development and retrospective examination. NOAA Technical Memorandum, NMFS-PIFSC-4. 39 pp.
- Kobayashi, D. R., Polovina, J. J., Parker, D. M., Kamezaki, N., Cheng, I-J., Uchida, I., Dutton, P. H., et al. 2008. Pelagic habitat characterization of loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in the North Pacific Ocean (1997–2006): insights from satellite tag tracking and remotely sensed data. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 356: 96–114.
- Koch, V., Nichols, W. J., Peckham, H., and De La Toba, V. 2006. Estimates of sea turtle mortality from poaching and bycatch in Bahı́a Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Biological Conservation*, 128: 327–334.
- Liu, K. K., Peng, T. H., Shaw, P. T., and Shiah, F. K. 2003. Circulation and biogeochemical processes in the East China Sea and the vicinity of Taiwan: an overview and a brief synthesis. *Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 50: 1055–1064.
- Lumpkin, R., and Pazos, M. 2006. Measuring surface currents with Surface Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some recent results. In *Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics*, pp. 39–67. Ed. by A. Griffa, A. D. Kirwan, A. J. Mariano, T. Ozgokmen, and T. Rossby. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 500 pp.
- McCune, B., and Grace, J. B. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MJM Press, Glenden Beach, OR. 300 pp.
- McGillicuddy, D. J., Robinson, A. R., Siegel, D. A., Jannasch, H. W., Johnson, R., Dickey, T. D., McNeil, J., et al. 1998. Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*, 394: 263–266.
- Mizobata, K., Saitoh, S., Shiimoto, S., Miyamura, T., Shiga, N., Toratani, M., Kajiwara, Y., et al. 2002. Bering Sea cyclonic and anticyclonic eddies

observed during summer 2000 and 2001. *Progress in Oceanography*, 55: 65–75.

Nichols, W. J., Resendiz, A., and Mayoral-Russeau, C. 1999. Biology and conservation of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in Baja California. In *Proceedings of the Nineteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*, pp. 187–189. Ed. by H. Kalb, and T. Wibbels. NOAA Technical Memorandum, NMFS-SEFSC-443. 291 pp.

Nichols, W. J., Resendiz, A., Seminoff, J. A., and Resendiz, B. 2000. Transpacific migration of a loggerhead turtle monitored by satellite telemetry. *Bulletin of Marine Science*, 67: 937–947.

Palacios, D. M., Bograd, S. J., Foley, D. G., and Schwing, F. B. 2006. Oceanographic characteristics of biological hotspots in the North Pacific: a remote sensing perspective. *Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 53: 250–269.

Parker, D. M., Cooke, W. J., and Balazs, G. H. 2005. Diet of oceanic loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the central North Pacific. *Fishery Bulletin US*, 103: 142–152.

Peckham, S. H., Diaz, D. M., Walli, A., Ruiz, G., Crowder, L. B., and Nichols, W. J. 2007. Small-scale fisheries bycatch jeopardizes endangered Pacific loggerhead turtles. *PLoS ONE*, 10: e1040.

Pisula, W. 2009. *Curiosity and Information Seeking in Animal and Human Behaviour*. Brown Walker Press, Boca Raton, FL. 148 pp.

Plotkin, P. T., Wicksten, M. K., and Amos, A. F. 1993. Feeding ecology of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the northwestern Gulf of Mexico. *Marine Biology*, 115: 1–5.

Polovina, J., Uchida, I., Balazs, G., Howell, E. A., Parker, D., and Dutton, P. 2006. The Kuroshio Extension Bifurcation Region: a pelagic hotspot for juvenile loggerhead sea turtles. *Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 53: 326–339.

Polovina, J. J., Balazs, G. H., Howell, E. A., Parker, D. M., Seki, M. P., and Dutton, P. H. 2004. Forage and migration habitat of loggerhead (*Caretta caretta*) and olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) sea turtles in the central North Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography*, 13: 36–51.

Polovina, J. J., Howell, E. A., Kobayashi, D. R., and Seki, M. P. 2001. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. *Progress in*

Oceanography, 49: 469–483.

Polovina, J. J., Kleiber, P., and Kobayashi, D. R. 1999. Application of TOPEX/POSEIDON satellite altimetry to simulate transport dynamics of larvae of spiny lobster, *Panulirus marginatus*, in the northwestern Hawaiian Islands, 1993–1996. *Fishery Bulletin US*, 97: 132–143.

Polovina, J. J., Kobayashi, D. R., Ellis, D. M., Seki, M. P., and Balazs, G. H. 2000. Turtles on the edge: movement of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) along oceanic fronts in the central North Pacific, 1997–1998. *Fisheries Oceanography*, 9: 71–82.

Revelles, M., Cardona, L., Aguilar, A., San Fe´lix, M., and Ferna´ndez, G. 2007. Habitat use by immature loggerhead sea turtles in the Algerian Basin (western Mediterranean): swimming behaviour, seasonality and dispersal pattern. *Marine Biology*, 151: 1501–1515.

Roden, G. I. 1980. On the subtropical frontal zone north of Hawaii during winter. *Journal of Physical Oceanography*, 10: 342–362.

Seney, E. E., and Musick, J. A. 2007. Historical diet analysis of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in Virginia. *Copeia*, 2007: 478–489.

Shanks, A. L., and Wright, W. G. 1987. Internal-wave-mediated shoreward transport of cyprids, megalopae, and gammarids and correlated longshore differences in the settling rate of intertidal barnacles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 114: 1–13.

Smith, W. H. F., and Sandwell, D. T. 1997. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277: 1957–1962.

Tseng, R-S., and Shen, Y-T. 2003. Lagrangian observations of surface flow patterns in the vicinity of Taiwan. *Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 50: 1107–1115.

Uchida, S., and Teruya, H. 1988. Transpacific migration of a tagged loggerhead, *Caretta caretta*. B) Tag-return result of loggerhead released from Okinawa Island, Japan. In *International Symposium on Sea Turtles 1988 in Japan*, pp. 169–182. Ed. by I. Uchida. Himeji City Aquarium and Hiwasa Chelonian Museum, Japan.

Vaillancourt, R. D., Marra, J., Seki, M. P., Parsons, M. L., and Bidigare, R. R. 2003. Impact of a cyclonic eddy on phytoplankton community structure and photosynthetic competency in the subtropical North Pacific Ocean. *Deep Sea Research I: Oceanographic Research Papers*, 50: 829–847.

Wallace, B. P., Avens, L., Braun-McNneill, J., and McClellan, C. M. 2009. The diet composition of immature loggerheads: insights on trophic niche, growth rates, and fisheries interactions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 373: 50–57.

Wessel, P., and Smith, W. H. F. 1991. Free software helps map and display data. *EOS: Transactions of the American Geophysical Union*, 72: 441, 445–446.

Zainuddin, M., Kiyofuji, H., Saitoh, K., and Saitoh, S-I. 2006. Using multi-sensor satellite remote sensing and catch data to detect ocean hotspots for albacore (*Thunnus alalunga*) in the northwestern North Pacific. *Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*,