

氣象雷達在墾丁地區赤腹鷹過境行為研究之應用

鄧財文¹ 孫元勳² 藍正裕³

中央氣象局墾丁氣象雷達站¹ 屏東科技大學野生動物保育研究所² 屏東科技大學森林研究所

一、前言

台灣地區自從 1980 年代即展開秋季遷徙性猛禽南遷的相關研究與調查 (林世松、林夢雄, 1986; 蔡乙榮, 1996; 1998), 1990 年代同時亦有春季北返的相關研究及調查 (林文宏等, 1991; 李璟泓, 2000)。這些資料大多集中於固定點的調查記錄, 當前的研究因人力、物力、時間及地形等因素影響下, 在秋季過境台灣期間, 除在滿州地區有大族群灰面鵟鷹 (*Butastur indicus*) 夜棲、台東樂山可見赤腹鷹 (*Accipiter soloensis*) 大批過境、墾丁地區可觀測大族群赤腹鷹及灰面鵟鷹出海外, 極少有相關的地面觀測資料。而這些鷹群是從何處入境台灣; 滿州地區之前一夜棲地; 出海後的飛行策略及是否有相當的族群是從墾丁東側外海直接南遷等皆有待進一步的研究。

截至目前為止, 台灣地區對遷徙性猛禽的研究大多以灰面鵟鷹為主要對象, 然而另一種過境數量可達十餘萬隻的赤腹鷹, 因其體型較小, 行蹤亦較隱密, 相關的研究卻不多, 故對赤腹鷹的遷徙型態值得做進一步探討, 然而地面的相關資料對許多鳥類研究者較能建立及獲得, 唯當猛禽遷徙飛越大水域時, 因受視覺能力及使用觀測工具的限制, 許多的遷徙相關資料就較難獲得。

從 1940 年代早期發現鳥類在英國探測雷達上產生不尋常的回波 (Lack and Varley, 1945), 雷達就已經證實對在大氣中移動的鳥類進行偵查、監測及數量測定是一種非常有用的工具 (Eastwood, 1967)。在 1957 年美國使用 WSR-57 radar 建構了國家氣象雷達監測網絡, 這個系統和後來的 WSR-74C radar 對鳥類遷徙數量的研究是相當實用 (Ganthreaux, 1970), 過去 35 年間 WSR-57 radar 和 WSR-74C radar 已被一些鳥類學家應用在鳥類遷徙的研究上 (Ganthreaux, 1992), 美國國家氣象雷達網路系統已被新一代都卜勒氣象雷達 WSR-88D 或稱 NEXRAD 所取代 (Crum and Alberty, 1993)。

本研究旨在應用中央氣象局墾丁氣象雷達站都卜勒雷達之基本反射回波圖及基本速度場圖, 探討墾丁地區赤腹鷹過境高峰期大量出海飛越巴士海峽時的飛行策略, 諸如飛行方向、速度、高度及群集性等

, 並建立圖像判讀模式, 做為其他相關研究之基礎。

二、材料與方法

(一) 研究地區概述

1. 地面觀測區概況

社頂自然公園位於墾丁公園東南側屬於熱帶性氣候, 佔地達 180 多公頃, 全區地質以珊瑚礁林形成的地形為主, 遍佈珊瑚礁岩、石灰岩洞、峽谷、灌木林、草原等景觀, 社頂公園的凌霄亭可以眺望佳樂水一帶東海岸、恆春半島、鵝鑾鼻燈塔、巴士海峽, 每年 9~10 月觀賞赤腹鷹和灰面鵟鷹出海的最好地點。

2. 墾丁雷達站地理位置及設備

雷達站位於社頂自然公園東南方約 7.5 km 處 (東經 121° 51' 18" 北緯 21° 54' 4") 與鵝鑾鼻燈塔相鄰, 離南方巴士海峽僅 700 m, 氣象雷達採用德國 Gematronik 公司製造之 METEOR 1500S 都卜勒雷達。

(二) 研究方法

1. 鷹群之地面觀測資料收集

本研究採當地時間 (LST) 24 hr 制, 根據 2002 年 9 月~10 月在墾丁社頂自然公園凌霄亭赤腹鷹逐日地面調查記錄, 採赤腹鷹當季過境出海三日高峰做為統計樣本, 即為 9 月 15 日、9 月 16 日和 9 月 17 日。其他猛禽種類僅有日本松雀鷹 (*Accipiter gularis*) 3 隻、蜂鷹 (*Fernis ptilorhynchus*) 21 隻和澤鵟 (*Circus spilonotus*) 3 隻, 並無法呈現明顯雷達回波, 故本研究不考慮其他種類干擾因子。

2. 氣象雷達回波資料處理

採用中央氣象局墾丁氣象雷達站 2002 年 9 月 15 日~17 日之基本原始資料, 應用鄧財文 (2003) 所發展之程式進行圖像組合。

(1) 掃描方式

本研究主要採用水平仰角 0.5°, 半徑 50 km 之基本回波, 並以半徑 100 km 和 240 km 之回波輔助追蹤, 回波強度之 dBZ 值設定由 -10~60 dBZ, 每區間為 10 dBZ, 藉由雷達回波強度供做群聚結構之分析

，並以時間序列監測鷹群飛行動態。

(2) 鷹河特質之資料分析

為瞭解本研究鷹群出海之飛行策略因子，經雷達回波對下列因子加以測計之。

- I. 鷹河定義：指鷹群經由氣象雷達基本反射回波可呈現在雷達幕上，並可藉前後時間序列追蹤之。
- II. 鷹河長度測定：當鷹河回波完整出現時，測量鷹河起迄點長度。
- III. 飛行速度測定：當回波出現完整鷹河時，以時間序列量測鷹河前端經 8 min 後之位移距離，再以公式(距離÷時間=速度)計算，可得 km/min 再換算成 km/hr 時速單位。
- IV. 方位角測定：由量測鷹河長度時，以鷹河前端與末端之寬度中央連成一線，所連成之對角線與正北方所夾之角度稱之。
- V. 飛行高度測定：採標準大氣壓下有效地球半徑，應用標準折射時雷達波束距地表高度公式(式 1)(鄧資嘉等，1995)計算求出鷹群的可能飛行高度區間。

$$h = \sqrt{r^2 + R^2 + 2r \sin \theta} - R + H \quad (1)$$

r ：目標物與雷達的距離

θ ：天線之仰角=0.5°

H ：雷達天線之高度 (H =海拔高+天線基座高，墾丁雷達站所在位置海拔高度 29 m；天線基座高 13 m，故 $H=42$ m)

R ：有效地球半徑=4898.667 km (4/3 實際地球半徑)

當求算赤腹鷹飛行高度帶時，因雷達掃描波寬為 1°，即掃描仰角上下各 0.5°，此時低飛鷹群會先被偵測到，故鷹群飛行高度應取雷達波寬的上緣即以 $\sin(0.5^\circ + 0.5^\circ) = \sin 1^\circ$ 計算之；而高飛鷹群最後離開雷達掃描距離時，會被雷達波寬的下緣偵測到，即以 $\sin(0.5^\circ - 0.5^\circ) = \sin 0^\circ$ 計算之，如圖 1 所示。

(三)資料統計與分析

以 SPSS 8.0 中文版統計軟體進行 Pearson 相關係數分析鷹河特性。

三、結果

(一) 鷹河長度

經本研究測定鷹河長度為 0.7~21 km，平均 3.36±3.89 km ($n=61$)。

(二) 飛行高度

由雷達回波圖中可量出赤腹鷹約在距離雷達站 7~60 km 間可被偵測到。當赤腹鷹在 7 km 處被偵測到時的高度計算如下：

當 $r=7$ ； $\theta=1^\circ$ 代入式(1)得

$$h=0.16659 \text{ km}=166.59 \text{ m}$$

而在 60 km 處被偵測到時的高度計算如下：

當 $r=60$ ； $\theta=0^\circ$ 代入式(1)得

$$h=0.40943 \text{ km}=409.43 \text{ m}$$

因此求得赤腹鷹的飛行高度帶約在 166 ~409 m 間。

(三) 鷹河方位角

雷達觀測出海鷹河飛行方位角在 115° ~190°，其中以 150° ~165° 最常見，平均數為 151.9±17.94，三日平均值與地面觀測點記錄之 150° 大致相同。

(四) 飛行速度

鷹群出海飛行速度如表 3，飛行速度介於 19.5~50.25 km/hr，平均數為 32.11±7.43 ($n=61$)。

四、討論

(一) 鷹河長度之探討

一般進行地面觀測時，往往僅知猛禽遷徙時會產生鷹河，然而實際長度是難以量測，運用氣象雷達即可容易偵測到鷹河長度，甚至可研究鷹河的動態變化。本研究中記錄到該年長度最長可達 21 km 的鷹河(圖 2)，每條鷹河似乎有屬於該群的"鷹路"，並在一定的寬度內依序南遷，而這條飛往下一停棲點的路徑，因受許多因子的影響往往是曲線，並非一條直線。

(二) 飛行高度之探討

藉由雷達回波圖中，可量測到鷹河大都距雷達站約 7 km 處才開始被偵測到，隨著出海距離的增加，群集所產生的鷹河漸消失，到達 50 km 後就已少有長鷹河，到達 60 km 時僅能掃描到極少數鷹群，100 km 以上波寬下緣已高於鷹群飛行高度即完全無法偵測到鷹群蹤跡。由標準大氣壓下求得之飛行高度帶大約在 166 ~409 m 間，與 Kelinger (1989)的研究相近，然而猛禽的種類、當時天候條件及水域寬度等都是飛行高度重要影響因子。

(三) 鷹河方位角之探討

猛禽遷徙時具有明顯的飛行方向(Mueller and Berger, 1969)，在本研究中南遷時的方位角介於 115° ~190° 間，平均約 152°。位於墾丁雷達站南南東方距離約 155 km 處，即出現一連串島嶼，而這些島嶼因猛禽具有跳島遷徙特性(Kelinger, 1989)，可能成為赤腹鷹飛越巴士海峽時的第一個夜棲點。

(四) 飛行速度之探討

飛行速度因受到諸如風速、風向、季節、氣候、地形等因子影響，在整個遷徙過程中會不斷調整適合

的飛行速度。2000年 Meyer *et al.* 研究指出當順風風速增加 3.6~18 km/hr 時，飛行時速也可增加 3.6~18 km/hr。17 日飛行速度最大值為 50.25 km/hr、最小值為 32.25 km/hr；15 日最大值為 33.75 km/hr、最小值為 19.50 km/hr，17 日的最大值較 15 日增加了 1.49 倍；較最小值也增加了 1.65 倍，與前人研究敘述相符。但是在 17 日 08:31 記錄的兩條鷹河資料，在風力達 4 級時，其飛行速度反降為 39 km/hr 及 32.25 km/hr，明顯低於當日之平均數 42.08 km/hr，是否受側風或其他因素影響，尚須進一步研究。

(五) 飛越巴士海峽之探討

飛行速度並未因出海時間的早晚而有明顯差異，但飛行速度的快慢卻直接影響當日南遷渡海飛行距離的遠近。Kerlinger and Gauthreaux (1985) 和 Kerlinger (1989) 研究發現，遷徙性猛禽一天飛行的時間在 4~10 hr，若以平均飛行速度 32 km/hr 計算，06:00~08:00 出海鷹群飛行 8~10 hr，有可能直接飛越巴士海峽抵達呂宋島北部，又赤腹鷹屬日間遷徙性猛禽(本研究藉由雷達回波檢測夜間時段亦無發現鷹群活動) 08:00 以後出海鷹群可能無法飛抵呂宋島，必須選擇位於呂宋島北邊的島嶼停棲，若有適合風力，飛行速度達 50 km/hr 以上，亦可能以 6 hr 直接飛越巴士海峽。

就台灣南端之鵝鸞鼻至呂宋島北端寬達約 350 km，巴士海峽中所分佈的島嶼來做推論，可以知道為何大都數鷹群會集中於清晨時段出海，主要目的在於能有充裕時間飛越寬達 350 km 的巴士海峽，接近中午甚至午後出海鷹群，在日落前所飛行距離尚可尋找到夜棲的島嶼，而不至於葬身大海中，因此在社頂地面觀測資料及雷達回波偵測之遺漏數中，皆可以記錄到部份鷹群出海。

(六) 飛行空域之探討

由雷達回波圖中，除經由社頂觀測的鷹群呈現明顯鷹河外，尚可見到零散小鷹河，散佈在寬廣的海面上空，寬度可達 25 km (圖 3)，因此鷹群在渡海時所呈現的鷹路是一寬廣遷徙面而非狹窄的線狀。

在出海距離約 20 km 處，逐漸有非經社頂觀測鷹河併入，飛行的空域亦有逐漸的縮小趨勢，有如漏斗般上寬下窄，以較集中的鷹路繼續向南遷徙。

五、結論

台灣氣象雷達系統也已建構完成，共計有五分山、七股、墾丁、花蓮等四座，並換裝新式都卜勒雷達，台灣全區皆為雷達偵測範圍所涵蓋。本研究所探討的赤腹鷹在過境台灣地區遷徙生態，直到目前為止一直

無法為我們所了解，其過境台灣遷徙路線始終在「推測」中；地面調查數量與日本亦有相當大差異，然而未能利用先進的追蹤技術乃其最大原因，如能應用中央氣象局建構的氣象雷達網對鳥類生態進行相關研究，將可更精確掌握過境台灣地區赤腹鷹的族群動態。

六、引用文獻

- 李璟泓, 2000: “2000 年春季八卦山灰面鵟鷹遷移調查報告”, 彰化縣野鳥學會鳥類保育研究叢刊南路鷹 8 號
- 林文宏、江明亮、曹美華, 1991: “1991 年春季台灣北端遷移性猛禽先驅調查”, 野鳥, 2 卷, 1-15
- 林世松、林孟雄, 1986: “滿州地區獵捕灰面鵟鷹之調查”, 內政部營建署墾丁國家公園管理處保育研究報告第 10 號
- 蔡乙榮, 1996: “墾丁地區遷徙性猛禽族群調查資料研究”, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第 31 號
- 蔡乙榮, 1998: “墾丁地區秋季日行性猛禽遷徙現象與日本的關係”, 第三屆海峽兩岸學術研討會論文集第 21-38 頁
- 鄧財文, 2003: “利奇馬颱風雙眼牆結構：雷達降水回波與徑向風場之分析”, 第五屆雷達氣象近期發展研討會第 18-23 頁
- 鄧資嘉、陳國榮、鳳雷, 1995: “氣象雷達波在大氣中的折射現象”, 空軍學術月刊, 464 期, 19-28
- Crum, T. D., R. L. Alberty and D. W. Burgess, 1993 “Recording, archiving, and using WSR-88D data”, Bull. Amer. Meteor. Soc. (74), 645-653
- Eastwood, E., 1967: *Radar ornithology*. Methuen, London, U.K.
- Gauthreaux, S. A., Jr., 1970: “Weather radar quantification of bird migration”, Bioscience(20), 17-20
- Gauthreaux, S. A., Jr., 1992: The use of weather radar to monitor long term patterns of Trans-Gulf migration in spring. p:96-100. In J. M. Hagan and D. W. Johnston (eds.) Ecology and conservation of neotropical migrant landbirds. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Kerlinger, P., 1989 *Flight strategies of migrating hawks*, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois
- Kerlinger, P. and S. A. Gauthreaux, Jr., 1985: “Seasonal timing, geographic distribution, and flight behavior of Broad-winged Hawks during spring migration in south Texas: A radar and visual study”, Auk (102), 735-743

Lowery, G. H., 1945: "Trans-Gulf spring migration of birds and the coastal hiatus", Wilson Bull. (57), 98-121

Mueller, H. C., and D. D. Berger, 1969: "Navigation by hawks migrating in spring", Auk (86), 35-40

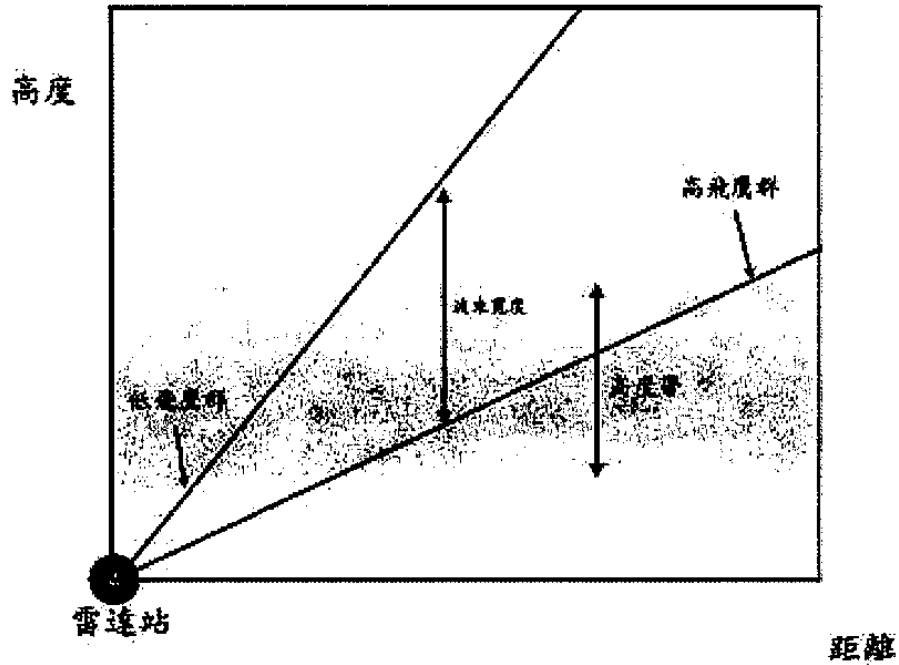


圖 1 雷達偵測鷹群飛行高度示意圖

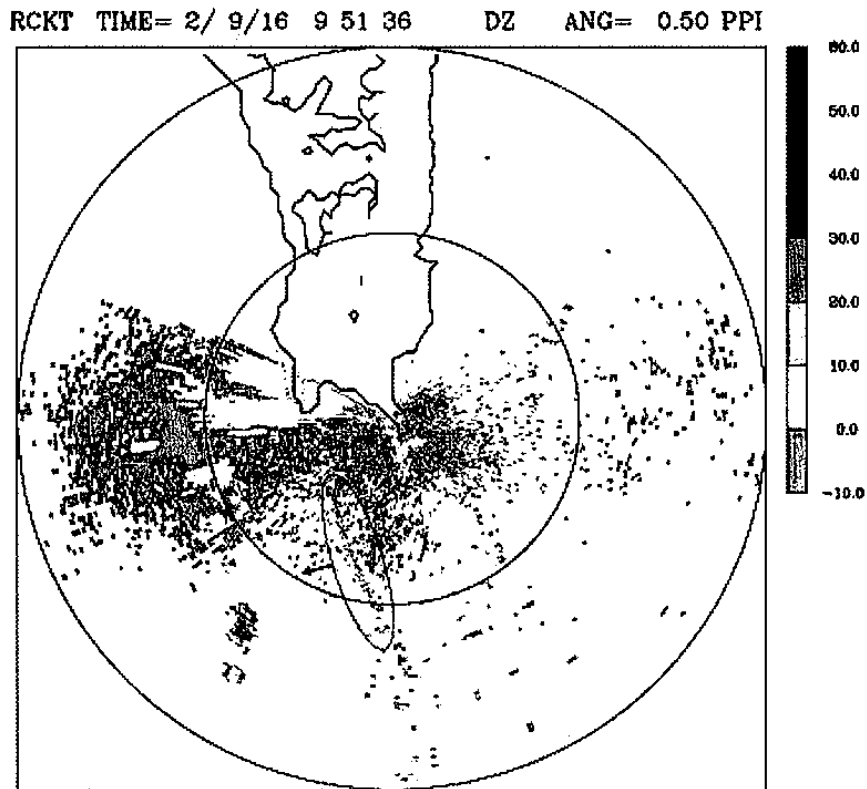


圖 2 雷達回波鷹河圖示 (紅色所圈為本研究出現最長鷹河)

RCKT TIME= 2/ 9/15 9 27 37 DZ ANG= 0.50 PPI

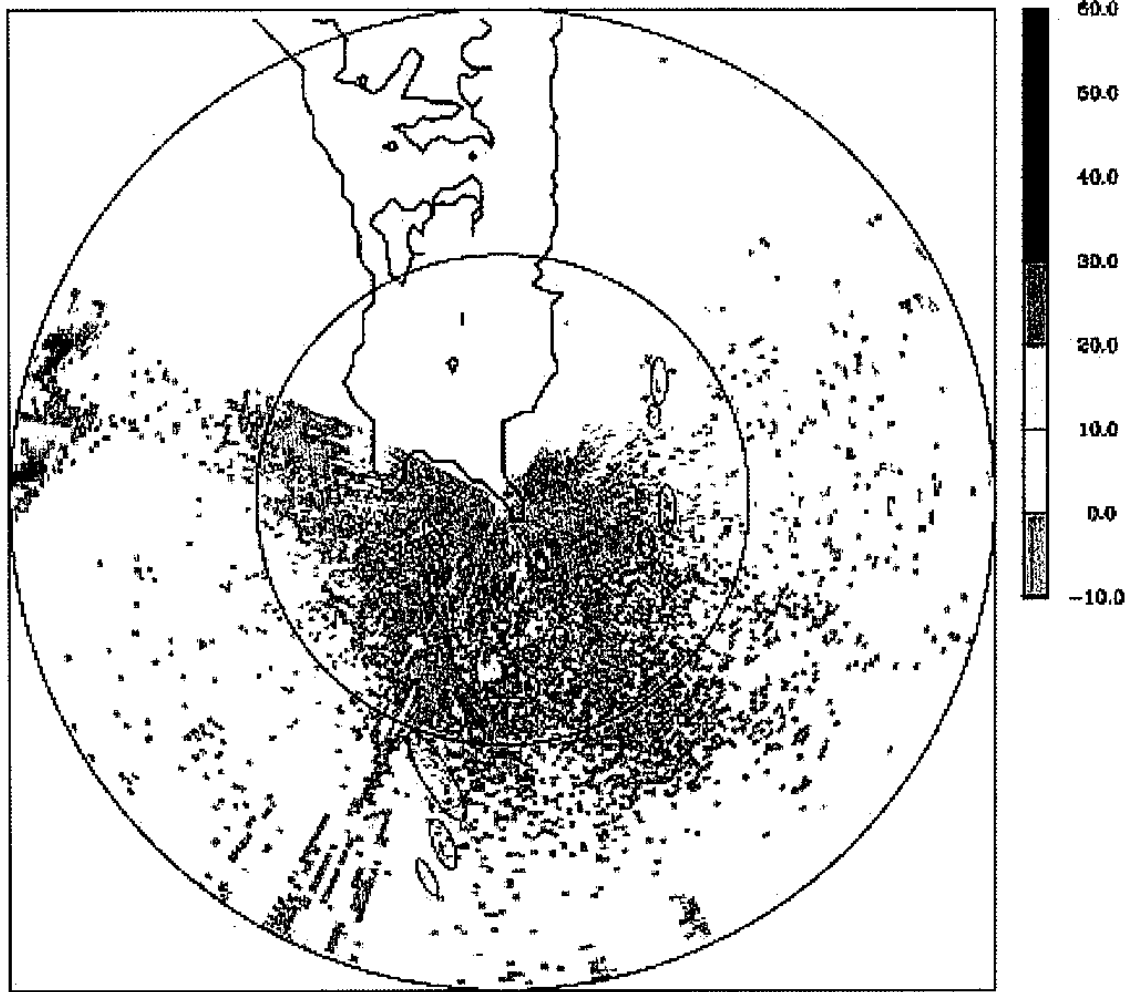


圖 3 鷹群遷徙面寬（紅色圈可由地面觀測鷹群，藍色圈為地面觀測遺漏數）