

綠色航路與航路風險潛勢分析

張淑淨 國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系教授
邱永芳 交通部運輸研究所 港灣技術研究中心主任
黃茂信 交通部運輸研究所 港灣技術研究中心副研究員

摘要

從海難事故的案例分析中可知，偏離慣用航路是重要徵兆。而航路規劃、偏航偵測、航路能源效率比較、航路風險潛勢分析等等，都需要有適當的航路網絡做為參考依據才能更有效率地應

用於所有船舶。本研究首先針對綠色航路提出背景說明，再提出本研究在船舶慣用航路、航路網、以及航路風險潛勢方面的研究方法與成果。

一、研究背景與目的

本研究的「綠色航路」用語引用自歐盟 MonaLisa (Motorways & Electronic Navigation by Intelligence At Sea) 計畫所提的 "Dynamic & Proactive Routes"，又稱 "Green-Routes" 的概念。

MonaLisa 的 Green-Routes 理念是在開放水域引進交通流管理。其交換或分享航路計畫的方案，使海上交通管理更趨近於空中交通管理的模式。整體而言，是希望藉由船岸之間以及船舶之間的資料交換，使整個海洋運輸系統更可預測，所有人更能掌握整體狀況，包括港口可能的壅塞或延遲、沿線交通環境狀況或是與他船會遇的情形等。

MonaLisa 計畫曾評估動態航路規劃方案的成本效益。首先利用 AIS

(Automatic Identification System) 資料統計各類船舶交通量與特徵，從縮短航行距離以及調整抵達時間（獲知實際可進港靠泊時間，因此能以更有效率的速度航行）定量評估其節省燃料、減低排放以及對航海人員等效益。再從船岸兩端評估建置動態航路規劃方案的成本。結論是動態航路規劃方案具有明顯的淨效益。

MonaLisa 「綠色航路」的綠色不僅是因為有助於節能減碳，也帶有類似綠燈可通行的意涵。海上交通管理中心可利用更充分掌握的船舶動態與環境資訊（以 AIS() 與電子航行圖為主），就船長提出的航路計畫進行評估後提供資訊或建議，由船長做出決策產生的航

路計畫，視為船岸共同認知的「綠色航路」。Green-Routes 系統能提供船長們依最低油耗、最短距離或其他準則選取最佳航路計畫，也可針對偏離航路計畫的狀況提供偵測與警報功能，提高航行安全。MonaLisa 計畫在這個項目的預算為 170 萬歐元。MonaLisa 2.0 計畫的試驗平台除了從波羅的海、北海擴展到地中海之外，也廣邀各國參與。瑞典、丹麥、南韓於 2014 年 2 月簽訂合作備忘錄共同推動海上交通管理概念此一 e-化航行方案的全球大規模展示。

關於「航路」或「航運通道」概念應用於國際航運的可行性，ACCSEAS (Accessibility for Shipping, Efficiency Advantages and Sustainability)計畫在「航路拓樸模型 (Route Topology Model, RTM)」分項報告中以兩則國際案例為佐證。一則源自海域空間規劃的需求：澳洲海事安全局僅在航海刊物上劃設不具任何強制約束力的「航運通道」或「航路」，就已明顯產生使航跡收斂於該航路的效果；另一則是日本「

Development of Next Generation Navigation Display (NGND) for e-Navigation」計畫研發的新世代 e-化航行導航顯示系統，同時顯示本船採用的航路與「慣用航路」於電子航行圖。此「慣用航路」是岸端以長期累積的資料產出資訊並以電子化方式提供給船舶導航用的。其構想是藉由顯示慣用航路，讓航海人員感知本船航路偏離慣用航路的情況，提升航行安全。

ACCSEAS 計畫建立海上航路拓樸模型的程序大致如下：

首先以建立 AIS 船位報告數的網格密度；接著評估各網格密度的統計分佈，以密度值分類逐步取出各等級航路；設法串接因為 AIS 訊號缺口而中斷的航路，將所有航路串成路網；然後以到達各港口的最短路徑分析再區分航路；考量未來發展，因此再取海域空間規劃的航運區域加上航路連接點與港埠節點後建成路網做為未來海域空間規劃之法規影響後的航路。

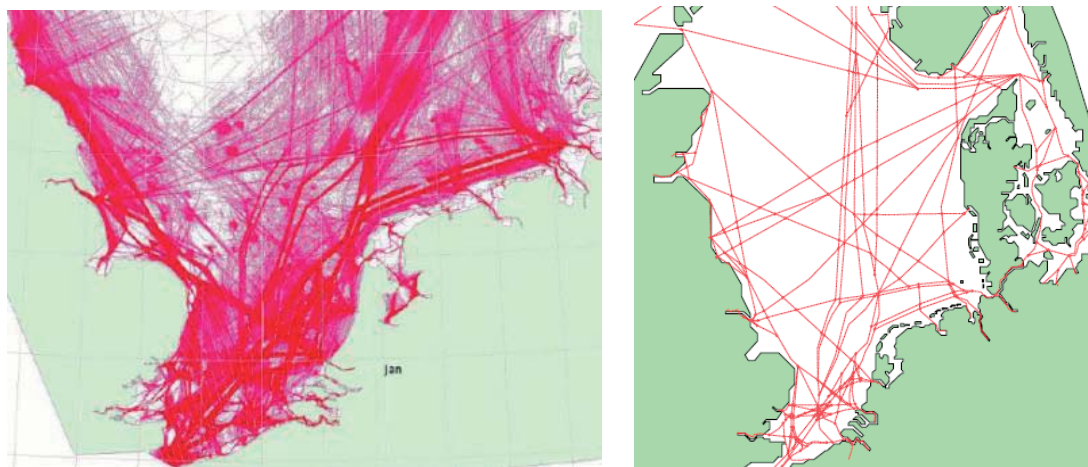


圖 1.1 ACCSEAS 建立航路拓樸模型程序的起始與最終成果

二、研究方法

從 AIS 歷史資料庫透過軌跡探勘或各種統計分析取得船舶的慣用航路是航路相關規劃分析與應用的基礎。

ACCSEAS 以 AIS 船位報告點數的密度為依據取出航路，此做法未能考量 AIS 船位報告間隔隨航行速度等狀態而變動的特性，也未能考量 AIS 岸台的收

訊狀況可能因系統設備或大氣環境影響無線電傳輸範圍而隨時間變動或有局部缺口等因素所造成的船位密度差異。因此本研究以船位點連線而成的航跡進行相關分析統計。雖然運算相對複雜許多，但不僅較為可靠，也因此能區分交通流方向，進而據以推論航路節點。

三、從 AIS 航跡取得船舶慣用航路

3.1 從 AIS 航跡自動產生船舶代表路徑

前期（100 年）計畫研發的軌跡探勘功能，以同一艘貨輪 6 個月的 AIS 歷史航跡，經過軌跡概略化，分段進行聚類分析，分群產生代表路徑的結果如圖 3.1。這艘貨輪經常往返於臺北港、基隆港與花蓮港之間，歷史軌跡相當多，從

圖 3.1 左圖紅色歷史軌跡線可以看出，因為各航次的航行狀況不同，即使使用相同的航路計畫，航行結果產生的軌跡也可能頗為分散。單一貨輪尚且如此，所有貨輪甚至各類船舶，再加上各種目的或航線形成的軌跡分佈就可想而知是幾乎佈滿所有可航行海域。



圖 3.1 前期（100 年）計畫取得單船慣用航路的效果

此外，前期計畫的軌跡探勘所得的代表路徑，其空間幾何是有起點與終點的兩點連線線段，具備航行方向及其所代表軌跡數量等屬性。雖然頗能展現該區海域的船舶交通流模式，但是仍難滿足串接成各航線慣用航路進而形成船舶航路網絡的應用需求。

3.2 從 AIS 航跡自動產生同航線多船慣用航路

為了更能輔助航路規劃，本期四年計畫於 104 年引進新的方法，在概念上相當於結合航跡群聚分類與穿行參考線交通流分析，產生會轉彎的代表路徑

。圖 3.2 是依此方法分析同一航運公司多艘同型貨輪的歷史軌跡，產生的慣用航路。圖中的藍色線是歷史航跡經過概略化後的軌跡線，內標紅色箭頭的寬線是軌跡探勘得出的慣用航路，慣用航路上標註的數字是該航路代表的軌跡數。因為軌跡經過概略化處理，在港嘴的地方會有穿越堤防的狀況，對於沿岸航行到接近港口的航路規劃應用並無影響。此方法產出的慣用航路，已改用折線描述其空間幾何，且同樣帶有方向與航跡數等屬性。

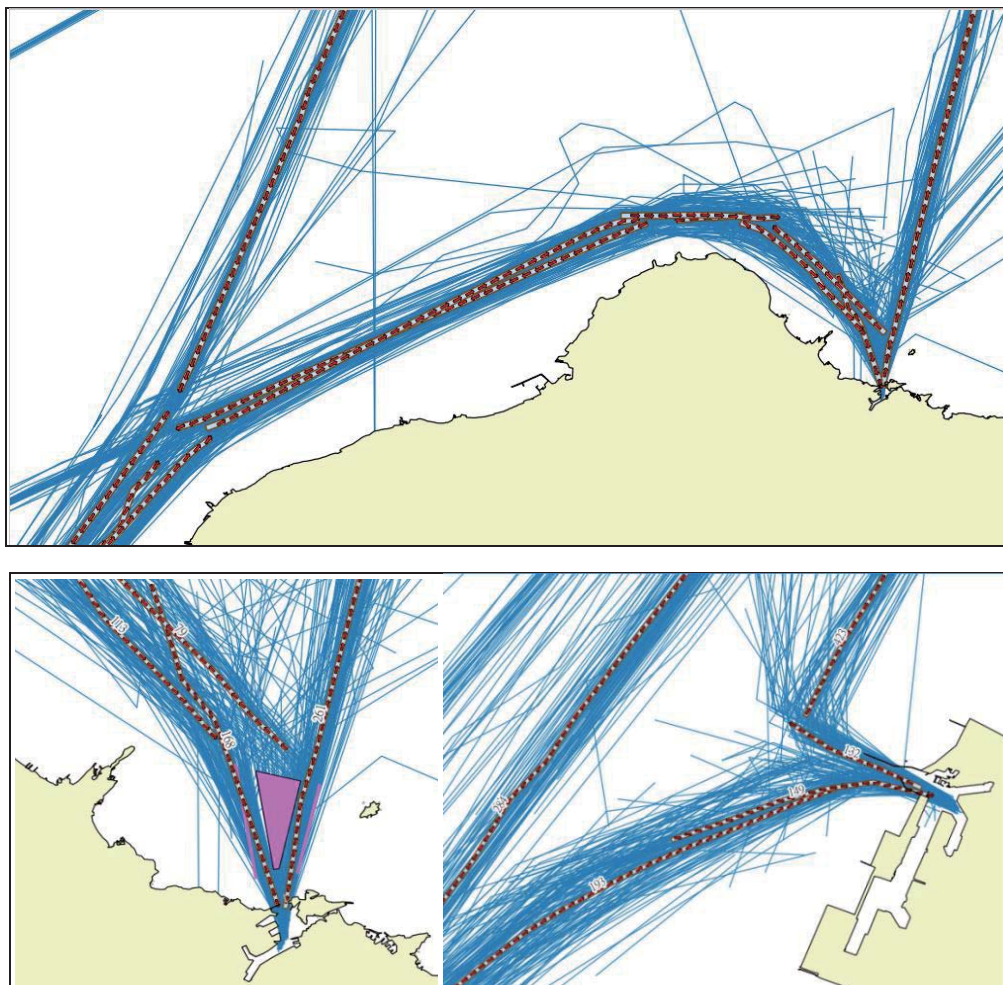


圖 3.2 從同公司多艘貨輪歷史航跡(藍)的慣用航路(紅色箭頭)

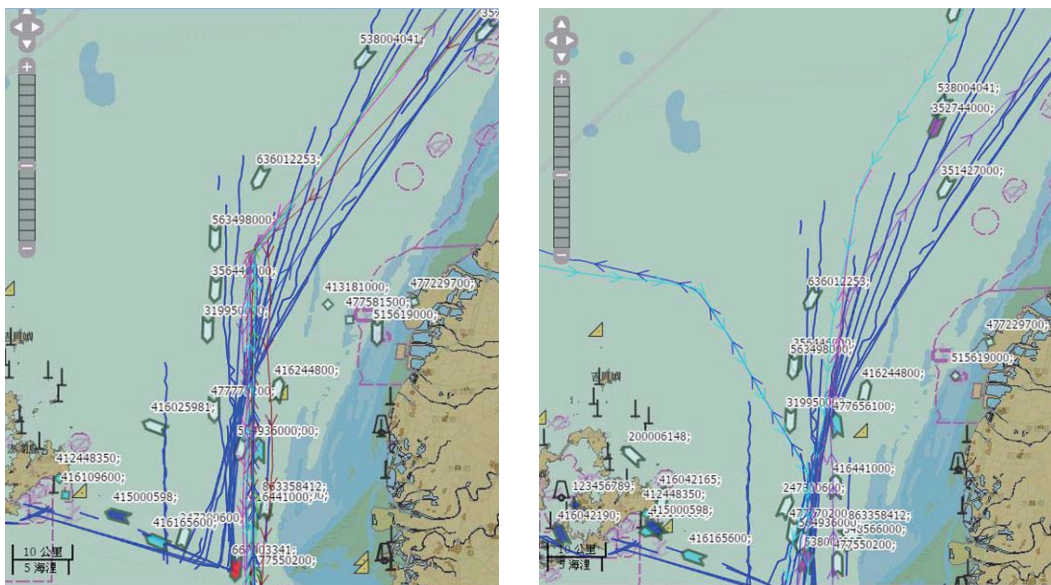
3.3 從航跡自動取出單一船種的慣用航路

航行臺灣海域的船舶多元，各類船舶各種航線在沒有劃設航道的自由航行情況下，從所有船舶或是同一種類船舶的歷史航跡產生的慣用航路都會是分散的，而沿岸 AIS 收訊缺口更是自動化產生慣用航路的挑戰。圖 3.3 是從單

一種類船舶（油輪）歷史航跡產生的慣用航路（藍線）、套疊單一船舶歷史航跡（附方向的線）以及 AIS 船舶動態（船形符號）的結果。實際評估時發現，有些歷史軌跡不多的船舶而言，其當下航行位置有時與歷史軌跡有段距離，卻是在船舶慣用航路（藍線）上。



(a)單一船種慣用航路（藍線）



(b)套疊單船航跡與 AIS 船舶動態

圖 3.3 從所有油輪航跡產生的慣用航路與單船航跡比較

3.4 依不同航線之航跡密度為基礎建構航路網

船舶的航線（亦即前一港口與目的港）是建構航路網的必要考量。因此，本研究參考臺灣沿岸航行海圖圖幅範圍，依據船舶的目的港口區分航線，再就各圖幅區域依據不同航線的航跡密度劃出航路，分析各航路的橫向交通分

布，取出雙向的交通量與交通組成，依此逐步擴展出航路網。圖 3.4 是西北海域前往台北港的航跡密度與航路。圖 3.5 是西部沿岸區域前往日本各港口的航跡密度與航路。這兩圖中的藍色區塊是兩岸海運直航船舶應遵循的直航航道，從 24 浬鄰接區界上的通過點直行至目的港口。

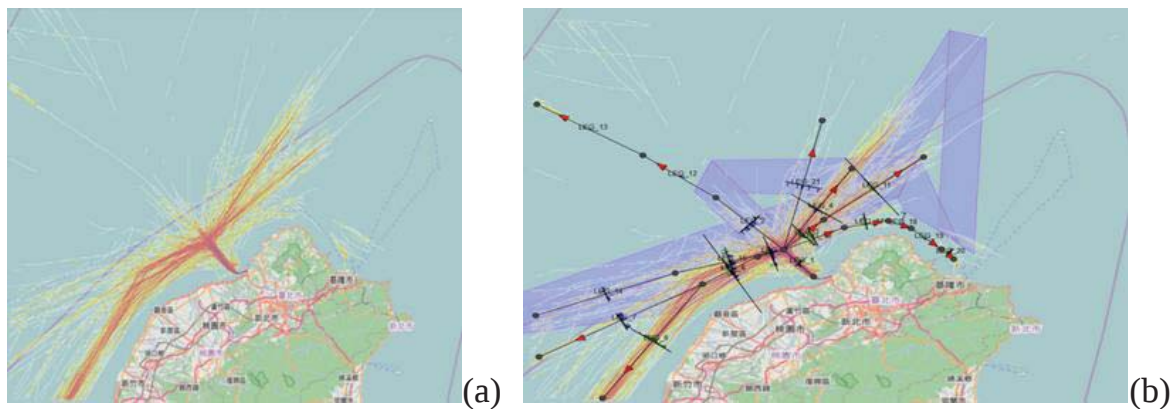


圖 3.4 往台北港的航跡密度(a)與航路(b)日本航路網

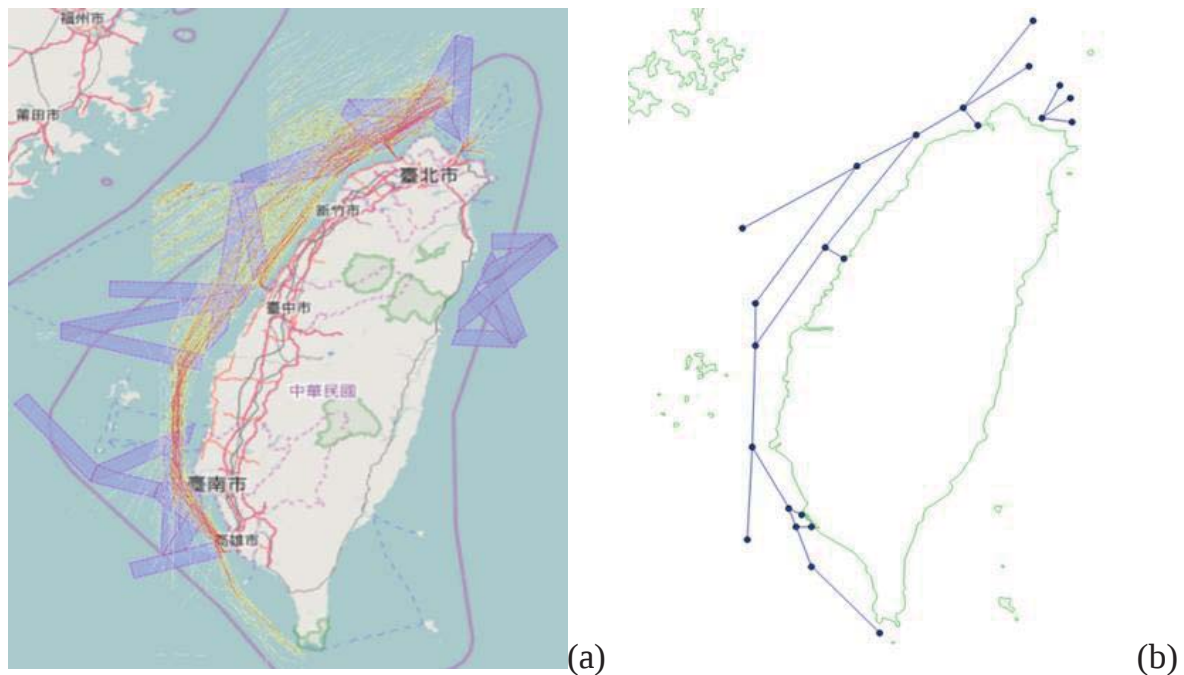


圖 3.5 (a)往日本的船舶航跡(b)沿岸往

前節以各航線（目的港）航跡密度為基礎建立的航路，可彙整成為各區域

內船舶航路網，例如圖 3.6。彙整後的臺灣沿岸航路網如圖 3.7 左圖的橘線，依各航段交通量比例顯示線寬。

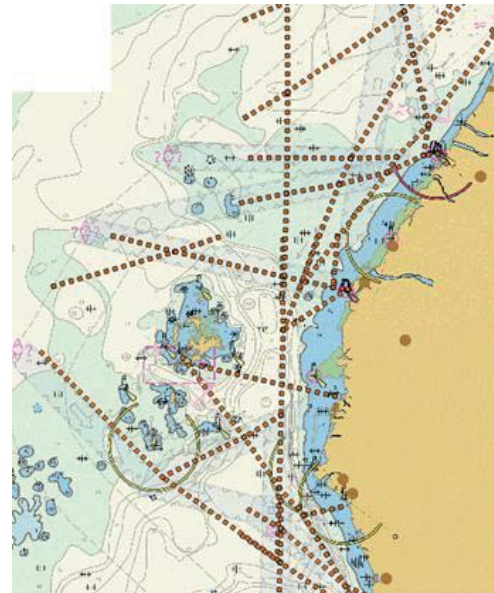


圖 3.6 西部沿岸航路網(a)套疊航跡密度(b)套疊海圖

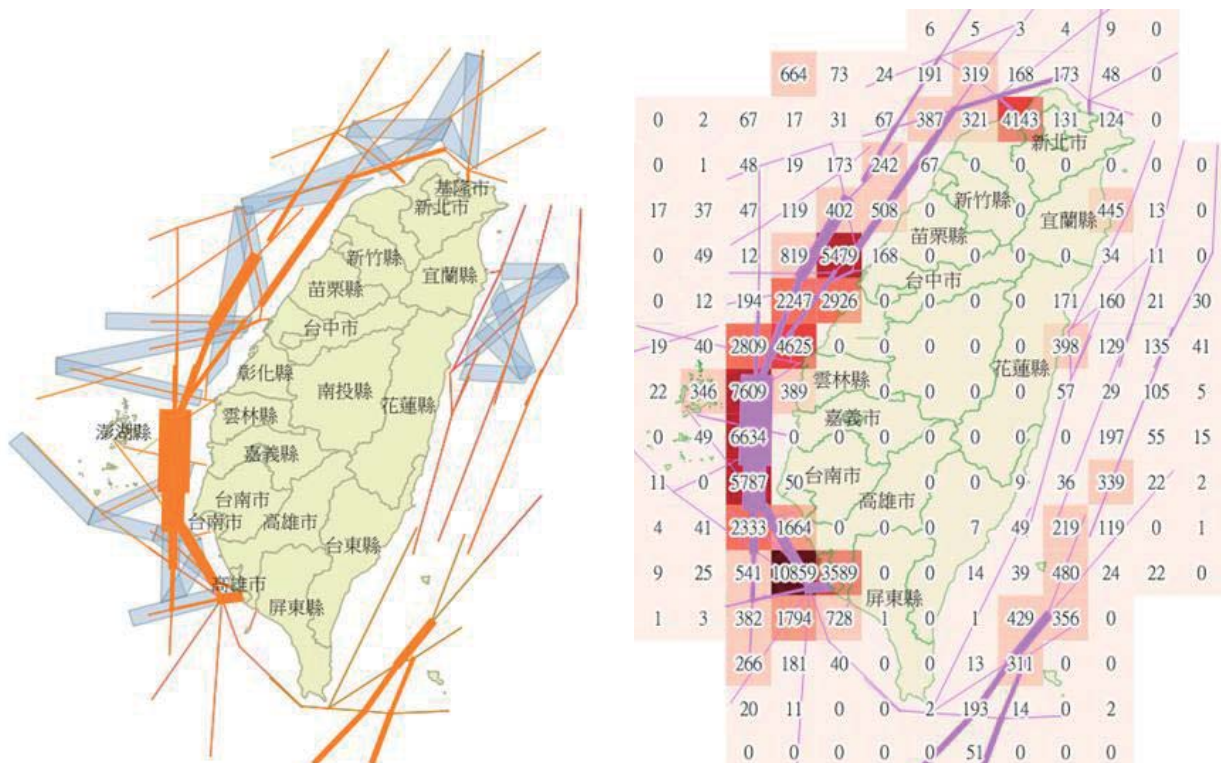


圖 3.7 沿岸航路網交通量與碰撞危機網格密度

圖 3.7 的右圖則是將累積一段時間的即時偵測船舶碰撞危機狀況數分布於 15 分×15 分網格的密度。應注意的是：超出 AIS 正常收訊範圍(約岸臺 25-30 浬距離)的網格，以 AIS 資料估算的交通量及碰撞危機密度必然被低估。碰撞危機的篩選條件包括：非中國籍(以過濾掉其漁船)、TCPA(Time to the Closest

Point of Approach) < 10 分鐘；CPA(Closest Point of Approach distance)< 0.5 浬；距離 < 2 浬。在這些碰撞危機中，迎艏正遇佔 18.6%，追越佔 37.7%，交叉相遇佔 43.7%。在無航道規劃的情況下航行路線交錯，船舶無預期地出現交叉相遇碰撞危機的風險自然較高。

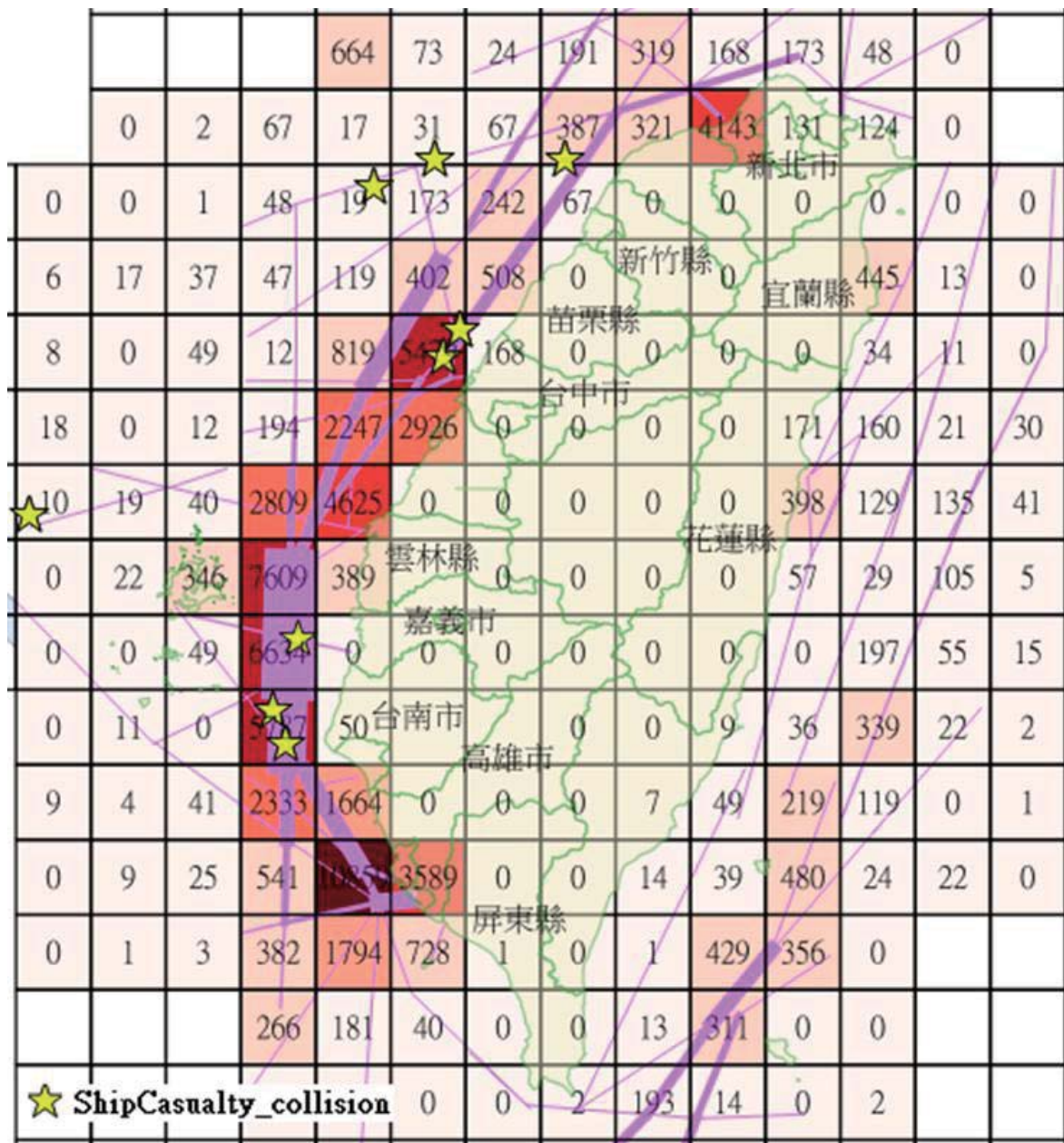


圖 3.8 沿岸航路交通量、碰撞類海難與危機密度

圖 3.8 是再取出海難資料庫中碰撞類的海難位置套疊標繪的結果，由此可見海難位置與高交通量航段、航線交錯位置以及碰撞危機密集區的相關性高。離岸較遠的海難也在航路網航段上。

擱淺類海難點位（綠色符號）分布

如圖 3.9，並就其中高風險區域局部放大，且套疊海圖，以利呈現海圖上的歷年海難船骸位置。2001 年擱淺於墾丁龍坑海域造成嚴重污染的阿瑪斯號海難，因在 AIS 實施之前，未納入本研究的海難資料庫。

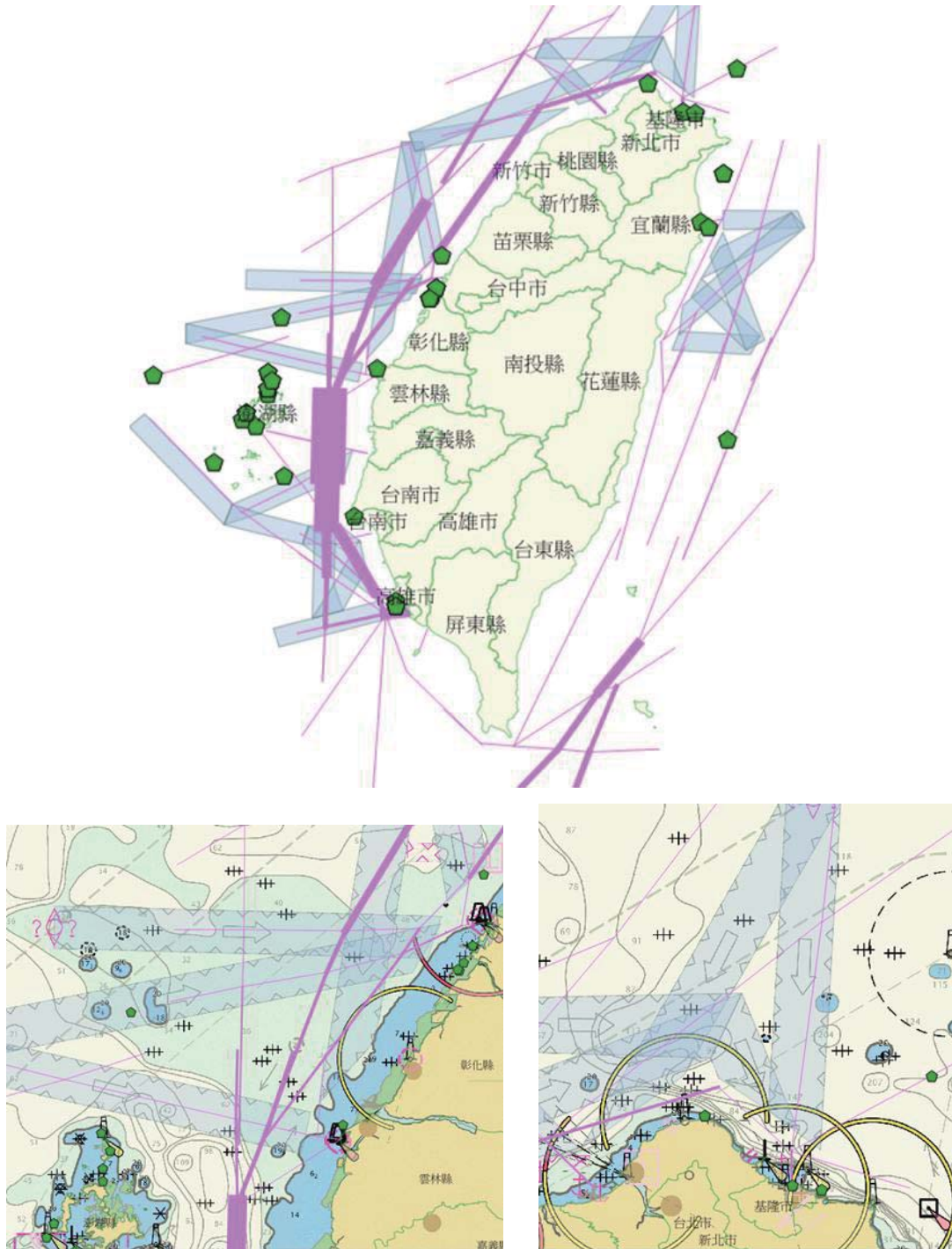


圖 3.9 沿岸航路與擱淺類海難及海圖上船骸位置

四、結論

偏離慣用航路是重要徵兆，而航路規劃、偏航偵測、航路能源效率比較、航路風險潛勢分析等等，都需要有適當的航路網絡做為參考依據才能更有效率地應用於所有船舶。本研究提出從AIS 航跡取得船舶慣用航路的分析方法

，可分船種或航線或指定單船等條件自動產生其慣用航路。並分區依不同航線之航跡密度為基礎建構航路網，再就沿岸航路網透過與海難資料庫及碰撞擱淺等危機偵測結果的關聯呈現出航行風險潛勢較高的區位。

五、參考文獻

1. EfficienSea project documents, <http://www.efficiensea.org/>
2. Monalisa project documents, <http://www.sjofartsverket.se/monalisa>
3. Monalisa 2.0 project documents, <http://monalisaproject.eu/>
4. ACCSEAS project documents, <http://www.accseas.eu/>
5. International Hydrographic Organization, <http://www.iho.int/>
6. IALA O-134: IALA Recommendation on the Risk Management Tool for Ports and Restricted Waterways, Ed.2, May 2009
7. IMO Resolution A.893(21) — Guidelines to Voyage Planning, adopted on 25 Nov.1999.
8. IMO MSC.1/Circ.1228 Revised Guidance to the Master for Avoiding Dangerous Situations in Adverse Weather and Sea Conditions, Jan. 2007.
9. IMO,NCSR 1/28 Annex7 Draft e-Navigation Strategy Implementation Plan,July 2014.
10. Second IMO GHG Study 2009,Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H.,Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K., International Maritime Organization (IMO) , April 2009, London, UK.
11. Third IMO GHG Study 2014, Smith, T. W. P.; Jalkanen, J. P.; Anderson, B. A.; Corbett, J. J.; Faber, J.; Hanayama,S.; O’Keeffe, E.; Parker, S.; Johansson, L.; Aldous, L.; Raucci, C.; Traut, M.; Ettinger, S.; Nelissen, D.; Lee, D. S.;Ng, S.; Agrawal, A.; Winebrake, J. J.; Hoen, M.;

- Chesworth, S.; Pandey, A., International Maritime Organization (IMO), April 2015, London, UK.
12. Assessment of Shipping's Efficiency Using Satellite AIS data, Tristan Smith, Eoin O'Keeffe, Lucy Aldous and Paolo Agnolucci, prepared for the International Council on Clean Transportation, March 2013. (<http://lowcarbonshipping.co.uk/>)
13. An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models, Suyi Li, Qiang Meng and Xiaobo Qu, Risk Analysis, Vol.32, No.3, 2012.
14. IMO, Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, International Maritime Organization, London, 2002.
15. Probability of Vessel Collisions, Macduff, T., Ocean Industry, 1974. 9(9): p. 144-148.
16. Some factors affecting the frequency of accidents in marine traffic. II: The probability of stranding, III: The effect of darkness on the probability of stranding, Fujii, Y., H. Yamanouchi, and N. Mizuki, Journal of Navigation, 1974. 27: p. 239-252.
17. Review and application of ship collision and grounding analysis procedures, Pedersen, P.T., Marine Structures, Vol.23, Issue 3, July 2010, p.241-262
18. IHO publication S-99 - Operational Procedures for the Organization and Management of the S-100 Geospatial Information Registry.
19. 林澄政、梅明德、丁毓齡，即時海象資訊應用於船舶節能航路規劃之研究，中華民國運輸學會 98 年學術論文研討會論文集，2009。
20. 離岸風場開發對航運安全影響評估技術與管理制度研析，張淑淨，工業技術研究院委託研究報告，2013。
21. 結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫（1/4），張淑淨，交通部運輸研究所委託研究報告，2013。
22. 結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫（2/4），張淑淨，交通部運輸研究所委託研究報告，2014。
23. 結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫（3/4），張淑淨，交通部運輸研究所委託研究報告，2015。