

環境敏感指標地圖在臺灣海岸油污清理之應用探討

陳宜清 歐陽良炯

大葉大學環境工程學系

彰化縣大村鄉山腳路 112 號

摘 要

在海岸之溢油污染事件中最被關切的是油污及其清理方式對海岸地帶之衝擊，包括自然生態及人文社經的影響。生態群落及人類社經發展是海岸地區存在兩大相互交錯之區塊，海岸環境之敏感性是綜合前述兩大區塊功能之顯現，敏感度之高低也是對此兩大區塊之潛在衝擊程度。環境敏感度指標包括海岸分類、生物資源及人類使用資源（或稱人文社經資源），其定義為環境之不良變化（污染、災害及人為開發等）對生態棲息環境之安全、存活及繁衍所造成嚴重衝擊與危害下之反應程度。環境敏感地圖在溢油緊急應變中是相當有效之工具，它可提供敏感區位所在及指出適當之清理方式，避免對生態及人類環境造成太大衝擊，其最早由美國發展出來，後續已有許多國家如日本、加拿大、丹麥、泰國等依據其本國海岸特性加以修改並應用之。本文將探討建立臺灣海岸的環境敏感指標架構及程序，並配合發展地理資訊查詢系統，結合電子地圖之展示，除災害應變外也可提供海岸資源管理之應用。

關鍵詞：溢油污染，環境敏感度，環境敏感指標地圖，地理資訊系統

An Application of Environmental Sensitivity Index Maps to Coastal Oil-Spill Cleanups in Taiwan

YI-CHING CHEN and LIANG-JONG O'YANG

Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

No. 112, Shanjiiao Rd., Dacun, Changhua, Taiwan 51591, R.O.C.

ABSTRACT

The most pertinent topics relating to oil-spills consist of the impacts induced by oil pollutants as well as the clean-up processes. The influences on the natural ecosystem and human socio-economics have been considered. Two major co-existing factors such as the eco-community and development of human-use resources are combined in a coastal zone. The sensitivity of the coastal environment is characterized by the function of these two. Being induced reaction levels under the impact of adverse changes for safety, survival and reproduction within the ecosystem, environmental sensitivity indices (ESI) can evaluate the level of potential impact. ESI indicators, including shoreline classification, biological resources and human-use resources, can supply sensitive areas and identify suitable clean-up skills to avoid serious induced impacts. Originally developed in the United States, ESI maps have been modified according to coastal characteristics for application in

many countries such as Canada, Denmark, Japan, and Thailand. Also, a query scheme in a geographic information system (GIS) can possibly be applied in combination with electronic maps for presentation. Thus, an ESI map is a very effective tool for oil-spill contingency plans as well as coastal resources management.

Key Words: oil-spills, environmental sensitivity index (ESI), ESI Maps, geographic information systems (GIS)

一、前言

我國四面環海，海岸線長達 1,139 公里，除地形景觀和地質構造不同外，且具有廣闊的沿岸水域，兼具熱帶和亞熱帶的氣候特徵，而該區域自然資源豐富也適合海洋生物的繁衍，生態體系也頗為活絡，數量也相當豐富。惟此等資源甚為脆弱，易遭破壞且需長久時間始能恢復，甚至永遠無法恢復。然而，由於以往海岸地區土地開發密度低及蘊藏豐富資源，目前已成為當前經濟發展競相開發之地區，因此如何對海岸各項資源能有妥善之規劃經營，並考量對生態加以保護以達永續利用，已是當前刻不容緩之工作。對海岸之環境保護應要有完整的事先規劃，對海岸地帶各類資源，海岸的生態功能，以及對污染衝擊之自然屏障功能，都不僅要納入評估考量，且要列為優先考量。自然生態與人類文化相互牽連互動，兩者合稱為「人類生態體系」，生態群落及人類社經發展是海岸地區存在兩大相互交錯之區塊，海岸環境之敏感性是綜合前述兩大區塊功能之顯現，敏感度之高低也是對此兩大區塊之潛在衝擊程度。

台灣位於東亞海運交通要衝，近年來海上交通頻繁，尤其兩岸開通之趨勢將無法避免，海上溢油 (oil spills) 污染意外事件於未來可能經常發生。但如何在意外發生後黃金時間 (time window-of-opportunity) 內採取緊急應變措施 [23]，以減輕對海洋生態及沿岸資源之衝擊則是一大課題，除有賴於平日預先建立海洋污染應變系統的軟硬體措施及完整的人員培訓外，對於台灣海岸對油污之「敏感度 (sensitivity)」或「脆弱度 (vulnerability)」亦需有所了解，方可應付及清除不同種類或輕重程度之污染。在海岸之溢油污染事件中最被關切的是油污及其清理方式對海岸地帶之衝擊，包括自然生態及人文社經的影響。吾等有必要先對台灣海岸之環境敏感特性先行分析並以量化指標來定義其相對之敏感度，以利在海岸救災或是經濟開發時選擇衝擊最小之最適合方案，並對可能產生之損害有概略之估計。

本文旨在探討應用於國外已採用多年之海洋溢油污染

緊急應變工具—「環境敏感指標 (environmental sensitivity index, ESI)」及其應用地圖 (ESI maps)，除介紹其內涵，並討論其設定架構之建立程序，以及其與地理資訊系統 (geographic information systems, GIS) 之結合，冀能對國內海岸防災及管理有相當助益 [5, 7]。

二、文獻回顧

(一) 環境敏感區之劃分

「環境敏感區」係一個集合名詞，泛指對人類具有特殊價值或具有潛在天然災害之地區，極易因不當之人為活動而導致環境負面效果 [2]。依字面而言，環境敏感地區係指在整體生態環境中脆弱性、稀有特殊性、敏感性，會因人為開發不當而造成高度嚴重破壞者，而且這些破壞往往是不可復原的 [4]。由於環境敏感區之定義範圍廣泛，種類繁多，各方研究多根據其環境及資源特性及功能加以分類，而一般性的原則可參考如表 1 所列之加拿大、英國與我國之比較 [7]。

劃定環境敏感地區之目的是防範人為不當或過度的使用，而對自然資源及環境造成破壞 (易察覺與不易察覺的) 或導致天然災害，更重要的目的在於對自然資源的「保育」。由於環境敏感地區範圍廣泛，種類繁多，各國研究多根據其環境及資源特性與功能加以分類，New Jersey Pinelands Commission [19] 將環境敏感地歸類為四大面向：生態、文化景觀、資源生產及天然災害等；而國內行政院經濟建設委員會 [1] 採用前述四大類環境敏感地區與 Newman and Steiner [20] 提出之 13 種分類地區並列於表 2。

其實，台灣目前並無特定之環境敏感區劃定，然而國內的部份法令中之保護區、保育區、保留區等，於實質上而言已初步具有環境敏感區劃設的作法，但其合理性、完整性與必要性仍有檢討之需要。綜觀近年來台灣地區自然保育發展歷程，政府為不同之保育目的而先後設置許多類型的保護區，然而這些保護單元常因名稱相近，劃設區域重疊，也常遭遇法源不明、權責不清的問題，實不利於保育、研究、教育與推廣。例如，海岸地區依照保護區設置之法源來區分，

表 1. 環境敏感區一般性的分類原則 [7]

| 國家 | 說明 | 參考文獻 |
|-----|--|-------------|
| 加拿大 | <p>加拿大將環境敏感區劃分為國家—郡及州—市或地方自治區等不同等級，各等級劃設觀念並無不同。以安大略省為例，其劃設原則是：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 具特殊地形之區域。 2. 該地區的生態功能對外界自然環境的維持頗具重要性，例如儲存水資源、重要野生動物遷徙中繼站或集中地區、作為生物族群間是當棲息地的聯結地區。 3. 該地區內之動植物頗為特殊或僅具地區性的高品質。 4. 獨特的生物棲息環境。 5. 生物族群歧異度高且地形特徵、土質、水質、陽光及氣候等條件使動植物聚集。 6. 提供稀有動物或瀕臨絕種物種的棲息地。 7. 有廣大範圍之地區提供大量聚集物種作為棲息地。 8. 自然特徵適合科學研究及保育教育之地區。 9. 地形景觀與棲息地所組成之環境具有高度審美價值，任何破壞會影響其特有性。 | Eagles [11] |
| 英國 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 面積大小：因地理區域不同。 2. 多樣性：物種、族群數目越多越佳。 3. 原始程度：未經人為活動改變者。 4. 稀少性：保護稀少、地區性的物種。 5. 危急性：不同群落對環境變遷的敏感度不同，優先保護無法適應環境變動之物種。 6. 代表性：保育計畫中包含具有代表性的地區。 7. 歷史性：有科學研究之長遠歷史意義之群落，能有機會考證其演變。 8. 生態、地理單元中重要地位：可代表許多生態特徵之地區。 9. 潛在價值：某些目前不穩定之地區，卻有可能調整改變成功的機會。 10. 具吸引力：有廣大群落分佈或重要族群出現，能引起注意。 | Eagles [11] |
| 台灣 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 經濟性：考慮環境敏感地區劃設後，其所能獲得的經濟利益之程度，認為高經濟性之地區必須劃設，使這類敏感地在資源保育下，其開發使用能得到最大利益。 2. 稀少性：對某些數量有限又具有不可替代性質的資源，依其稀少的程度，予以相對的劃設準則。 3. 敏感性：有些資源無法大量需求而成長，因此加速耗盡或降低品質或者由於資源環境遭受改變，使得資源之存在遭受毀滅之威脅。 4. 獨特性：規劃屬於單一性之資源地區，如紅樹林、珊瑚等。 5. 危急性：考量劃設地區，具有潛在危險性之地區，這類資源通常在自然狀況下處於穩定狀態，但因其容忍力相當低，極易因人類行為對其衝擊超出所能承受的程度而引起災害。 | 廖進雄 [6] |

表 2. 環境敏感地區分類表 [1]

| 類別 | 項目 |
|----------|--|
| 生態敏感地區 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 野生動物棲息地 2. 自然生態地區 3. 科學研究地區 |
| 文化景觀敏感地區 | <ol style="list-style-type: none"> 4. 特殊景觀地區 5. 自然遊憩地區 6. 歷史考古及文化地區 |
| 資源生產敏感地區 | <ol style="list-style-type: none"> 7. 農漁林業地區 8. 水源保護區 9. 礦產區 |
| 天然災害敏感地區 | <ol style="list-style-type: none"> 10. 洪患地區 11. 火災地區 12. 地質災害地區 13. 空氣污染地區 |

大致有內政部主管之「國家公園法」、「台灣沿海地區自然環境保護計畫」，行政院文建會主管之「文化資產保存法」，

及行政院農委會主管之「漁業法」、「野生動物保育法」等；然這許多保護區或保育區，對於區內之生物相及生態則並未有詳實資料，或散見於各類開發案之環評報告、各方委託之學術研究報告及調查報告及統計年報等，並未有完整資料庫及數據可供參考，實屬可惜。特別對於區內遭受污染之生態衝擊評估時（例如海岸油污事件、水質污染事件），則缺乏背景資料而無法準確判定損害程度，並更進一步訂定復育目標，故資料庫之建立應為急迫之需要。

（二）環境敏感度指標及環境敏感指標地圖

環境敏感度指標（ESI）是美國於 1976 年由 Research Planning, Inc. (RPI) 公司與美國海洋及大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）合作所發展出來的，對於溢油污染緊急應變及海岸管理均有其重要貢

獻。該指標並結合地圖資訊，應用於本土海岸線、阿拉斯加及五大湖等，並於美國各州均已建立圖檔(1/24,000 比例)供公開使用；近來於 1989 年並結合地理資訊系統 (GIS)，在圖檔管理、更新及資料傳遞等更具強大功能，應用層面更形擴大。其他國家，如日本環境省也於 1990 年代引進，稱為「脆弱沿岸海域圖」[8]，應用於海岸溢油污染事故之評估；加拿大對於五大湖區之油污對生態影響，也考量類似 ESI 之概念來建立相關之環境敏感地圖 [12]。丹麥在開發格陵蘭外海油田時，由能源部及當地油礦局主導，也參考加拿大之分類及標示建立了 ESI 地圖，為應付溢油發生之緊急應變之需 [17]。而泰國也應用了 ESI 地圖結合海岸水質指標來建立海岸管理體系，依據其涵容能力來控管入海河川的污染排放 [10]。

依據 NOAA [22]之設計，環境敏感度指標大致分成三大類，分述如下：

1. 海岸分類 (shoreline classification)：根據油污接觸各類海岸後，經波浪沖刷後之滯留殘存情形及是否容易清除等考量下，來界定其敏感尺度並予以分類分級。
2. 生物資源 (biological resources)：對於容易受到油污損傷或稀有生物 (如潛沒之水生動植物或珊瑚等) 及其棲地，評估其豐富度及分佈來界定其敏感尺度並予以分類分級。
3. 人類利用資源 (human-use resources)：又稱「人文社經資源 (human socio-economic resources)」，根據海岸土地使用型態 (如沙灘、公園、港口、碼頭、取水口、歷史古蹟等) 來界定其受油污影響下之敏感尺度並予以分類分級。

NOAA 為預先建立防治油污對敏感地區傷害之反應機制，建立了環境敏感指標地圖 (如圖 1 所示)，此一地圖系統將提供對油污處理及災害風險管理之決策上相當大之參考價值。圖面上以不同顏色或標記來區分，例如以顏色來區分不同海岸線對油污附著之敏感度，以標記及指標數值來區分不同生物棲地資源 (如水鳥區、哺乳動物區等) 對油污受損之敏感度，另外也標示人類使用設施 (如碼頭、沙灘浴場、取水口、養殖區等)，如此將可對於計畫區之各類資源分佈一目了然，及時做出最適當油污處理決策。

溢油之污染對於不同海岸之程度各有差異，而不同海岸型態之生態類型也各異其趣，當然所受到之損害也各有不同。因此海岸因其地質、地形、生物及生態等之差異而有不

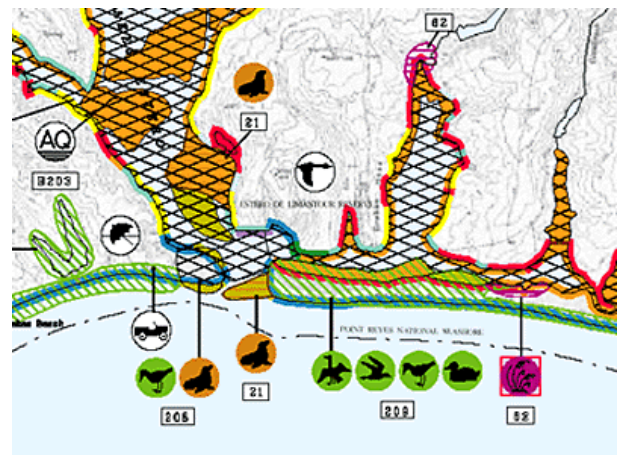


圖 1. ESI 地圖範例 [22]

同敏感度，對於環境污染及人為傷害之可承受程度皆有差別。美國石油學會 (American Petroleum Institute, API) 亦聯合其他相關政府部門 (如 NOAA、U.S. Coast Guard 及 U.S. EPA 等) 共同研擬一系列手冊來規範清除方法之使用時機、限制及影響評估，共列出 28 種清除方法並詳細討論其方式、適用地點、適用時機、生物性限制、環境損害評估及廢棄物產生等 [9]。如果選取適當之清除方法並結合 ESI 地圖來預先規劃，將可提供緊急應變決策單位依據溢油嚴重程度來作出最佳處理之判斷。

(三) 環境敏感指標地圖在海洋污染緊急應變可扮演的角色

2001 年初之墾丁龍坑保護區的「阿瑪斯貨輪漏油污染事件」卻引發了救難與清理之間的部會權責不清及推諉現象，「海洋污染防治法」雖在 2000 年 11 月正式公布施行，環保署是海洋污染的主管機關，但卻無法主導交通單位之救難體系，造成錯失處理之時機。有鑑於此，行政院依據「海洋污染防治法」第十條於 2001 年 4 月核定「重大海洋污染緊急應變計畫」，整合救難與清理之權責，由環保署來主導，海洋污染之清理及海岸生態保護方納入主要工作。

窺探台灣目前所依據之「重大海洋污染緊急應變計畫」內容，可發現所著重者為行政程序及處理措施之歸類及分派，力求各部會之責任分工清楚定義，但對於提供指揮官作適適應變之決策支援體系則相對缺乏。海上漏油污染意外事件無法避免，但如何在意外發生後黃金時間內採取緊急應變措施，以減輕對海洋生態及沿岸資源之衝擊，緊急應變之適當決策下達其實是相當關鍵的。如 2001 年於墾丁國家公園龍坑生態保護區受攔淺貨輪滲漏燃油污染，由於未能預先有

周詳之應變對策及清理時效延宕而造成污染擴大，危及海岸珊瑚礁生態。

意外洩漏的緊急應變採行，常取決於洩漏物的種類及發生位置，其關係到攔油索 (booms) 佈設、汲油器 (skimmers) 回收漏油時機及除油劑 (dispersant) 是否可用？因此對於油污動向必須能確實掌握，甚至事前預測。而洩油電腦數值模式 (oil-spill model) 之輔助運用，有利於緊急應變計畫之操作執行，尤其對於模擬預測漏油之流向和沉降及可能對環境之衝擊，可提供有關之訊息，應該可納入決策支援體系中。然而以模式來掌握油污動向有其不確定性，當油污無法與海上攔截處理而致使污染到達近岸時，這將是相當棘手的問題，特別是對潮間帶生態敏感地帶的衝擊。因此對於敏感區之清理方式選用或預先設攔油索攔截保護，ESI 地圖可提供決策者相當有利之資訊，可及時應變及處理來降低生態衝擊，也應該可納入決策支援體系 (decision support system, DSS) 中。

三、海岸對油污及清理方式之環境敏感度

(一) 油污及清理方式對海岸之環境衝擊程度

由於不同海岸型態、不同的油品種類、不同的清理方式等等的條件，對於生態的衝擊也有所不同。美國 NOAA [21] 發展出一套溢油污染清理方式對於不同生物棲地的環境衝擊之定性評估結論，其為參考前述之美國石油學會 (API) 等研擬手冊之數種清理方法及應用於各類海岸型態之經驗評估結果 [9]。

潮間帶 (intertidal zone) 為台灣的代表性海岸；所謂的潮間帶是指大潮期的最高潮，和大潮期的最低潮間的海岸；潮間帶不但日光充沛，氧氣和食物都很充沛，所以居住著許多生物；但也由於日日夜夜潮水不斷地來回沖刷，住在這裏的生物不但要耐水、耐旱，而且要有抓牢礁岩或躲藏在洞穴裏的本事，因此生物的種類很豐富。通常油品不僅附著在潮間帶的表面上，更會被海浪帶至平坦處或是滿潮線附近累積堆存，而較重的油品可能會集中在退潮處，或是穿過洞穴或是其裂縫處堆積，再加上一些沉積物會在此集中，油和沉積物相混，造成二次污染，而且潮間帶大多屬柔軟的基質，許多清理方法可能在此受到限制。茲以三類較常見之潮間帶海岸介紹如下 [21]：

1. 沙灘 (sand beaches)：其特性為坡度平緩之緊密沙質地帶，易聚集漂流沉積物，常為鳥類、海龜等棲地，上部

有蟹及兩棲類生物，下部則以底棲無脊椎生物為主，生態豐富變化極大。油污容易覆蓋整個灘面，也會穿透沉積於沙面下 (細粒至中粒沙質約 10~15cm，粗粒沙質可達 25cm)，沙質灘面下生物 (如蟹類、貝類) 易窒息或因油污濃度過高而致命。而不同油品和清理方式對於沙灘類型海岸的環境衝擊的強度大小如表 3 所列，如果以伐除受污染植物、高溫沖洗、表面清洗劑及現地燃燒等處理法並不恰當，對於輕質油以漫水沖洗法及重質油以人工清除或吸附材料等處理方式較佳。

2. 河口灘地 (exposed tidal flats)：以沙質、泥質為主之海岸，位於大型河川出海口兩側，生物相豐富，經常為水鳥及魚類之覓食區。油污易附著且堆積於高潮線上，飽和沉泥雖油污不易滲入但較粗沙質仍會滲透，不宜重型機械作業。而不同油品和清理方式對於河口灘地類型海岸的

表 3. 不同清理方法和不同油品對於「沙灘」的環境衝擊強度 [21]

| 油品種類 清除處理方法 | I | II | III | IV | V |
|----------------|---|----|-----|----|---|
| 自然回復 | A | B | B | C | D |
| 阻隔堤 | B | B | B | B | B |
| 人工除油 | D | B | A | A | A |
| 機械除油 | D | B | B | B | B |
| 吸附材料 | - | B | A | A | B |
| 真空吸除 | - | - | B | A | A |
| 清除碎片 | - | A | A | A | A |
| 重新打散沉泥/犁耕 | D | B | B | B | B |
| 伐除受污染植物 | - | C | C | C | C |
| 漫水沖洗 | A | A | A | B | C |
| 低壓常溫沖洗 | B | B | B | B | C |
| 高壓常溫沖洗 | - | - | - | - | - |
| 低壓高溫沖洗 | - | - | C | C | C |
| 高壓高溫沖洗 | - | - | - | - | - |
| 蒸氣清除 | - | - | - | - | - |
| 噴砂 | - | - | - | - | - |
| 固化劑 | - | - | B | - | - |
| 表面清洗劑 | - | - | C | C | C |
| 營養添加法 | - | A | A | B | C |
| 天然微生物種植 | - | I | I | I | I |
| 現地燃燒 | - | - | C | C | C |

註：1. 油品種類的描述：I-汽油產品。II-柴油產品和未加工產品。III-中間產物。IV-重油。V-不漂浮的油。

2. 在每一種清除處理的方法中相對於對環境的衝擊，表中每一項的意義：A=最小的環境衝擊。B=些許的環境衝擊。C=重大的環境衝擊。D=嚴重的環境衝擊。I=無充分的證據-即對環境衝擊或是目前可用的方法並無法評估。- =無法適用。

環境衝擊的強度大小如表 4 所列，如果以機械除油、伐除受污染植物及重新打散沉泥（犁耕）等處理法並不恰當，甚至人工清除也需小心謹慎，建議自然回復及漫水法等處理法較為可行。

3. 海蝕平台（wave-cut platforms）：通常由岩石基層及寬度不定且坡度緩和之平台組成，波浪可拍擊至平台上，表面極不規則且有小塘分佈，生態變化相當大，螺貝類及大型藻類相當豐富，如台灣東北角海岸常見。油污不易附著，但會滲入岩層縫隙中或累積於波浪活動線以上，不同油品和清理方式對於岩岸類型海岸的環境衝擊的強度大小如表 5 所列，不宜以燃燒、高溫沖洗、蒸氣清除及噴砂等方法清理，因波浪衝擊大可自然回復，或真空吸除、漫水沖洗及人工清除等處理法較為可行。

（二）海岸分類之環境敏感度指標設定

海岸地區是一個敏感脆弱的地區，而當發生溢油污染的時候，則會造成重大的影響，因此有所謂「脆弱度指標」（vulnerability indicators）之理論，其原來在海岸工程所指的是因海平面上升所造成之海岸沖蝕影響，即所謂之 coastal

表 4. 不同清理方法和不同油品對於「河口灘地」的環境衝擊強度 [21]

| 油品種類 清除處理方法 | I | II | III | IV | V |
|----------------|---|----|-----|----|---|
| 自然回復 | A | A | A | A | A |
| 阻隔堤 | B | B | B | B | B |
| 人工除油 | - | C | B | B | B |
| 機械除油 | - | D | D | D | D |
| 吸附材料 | - | A | A | B | B |
| 真空吸除 | - | C | B | B | B |
| 清除碎片 | - | B | B | B | B |
| 重新打散沉泥/犁耕 | - | - | C | C | C |
| 伐除受污染植物 | - | D | D | D | D |
| 漫水沖洗 | - | A | A | A | B |
| 低壓常溫沖洗 | - | B | B | C | C |
| 高壓常溫沖洗 | - | - | - | - | - |
| 低壓高溫沖洗 | - | - | - | - | - |
| 高壓高溫沖洗 | - | - | - | - | - |
| 蒸氣清除 | - | - | - | - | - |
| 噴砂 | - | - | - | - | - |
| 固化劑 | - | C | C | - | - |
| 表面清洗劑 | - | - | - | - | - |
| 營養添加法 | - | I | I | I | I |
| 天然微生物植種 | - | I | I | I | I |
| 現地燃燒 | - | - | - | - | - |

註：同表 3 註解

表 5. 不同清理方法和不同油品對於「海蝕平台」的環境衝擊強度 [21]

| 油品種類 清除處理方法 | I | II | III | IV | V |
|----------------|---|----|-----|----|---|
| 自然回復 | A | A | A | A | A |
| 阻隔堤 | - | - | - | - | - |
| 人工除油 | - | B | B | B | B |
| 機械除油 | - | - | - | - | - |
| 吸附材料 | - | B | A | A | A |
| 真空吸除 | - | A | A | A | A |
| 清除碎片 | - | A | A | A | A |
| 重新打散沉泥/犁耕 | - | - | - | - | - |
| 伐除受污染植物 | - | - | - | - | - |
| 漫水沖洗 | - | A | A | B | B |
| 低壓常溫沖洗 | - | A | A | B | B |
| 高壓常溫沖洗 | - | B | B | B | B |
| 低壓高溫沖洗 | - | D | C | C | C |
| 高壓高溫沖洗 | - | D | C | C | C |
| 蒸氣清除 | - | - | D | D | D |
| 噴砂 | - | - | D | D | D |
| 固化劑 | - | C | C | - | - |
| 表面清洗劑 | - | - | C | C | C |
| 營養添加法 | - | - | - | - | - |
| 天然微生物植種 | - | I | I | I | I |
| 現地燃燒 | - | D | D | D | - |

註：同表 3 註解

vulnerability index (CVI) [13]；另外亦有用於評估沉積於海岸線之上油污在波浪及底質等機制下之附著程度及存在期間，甚至衍生對生態之衝擊大小所定義下之量化表現 [14]。而吾等所關切乃在於海岸應對於油污之脆弱程度下之生態衝擊，對於生物或生態之反應預測是極為困難的，而反應之相關因子可能為：溢油量、發生季節、生物體之生命期及暴露時間等，因此「敏感度」或可以相關因子條件下之一般之反應狀況來定出的「脆弱度指數」（vulnerability index）來表示。參考美國 NOAA 之 ESI 指引 [22]，海岸分類共分為 10 大類（如表 6 所列），也是對油污清理難易之敏感度區分，由分類 1 之最低敏感度（油污易被海浪沖洗，短期可自然消失，毋需刻意清理）至分類 10 之最高敏感度（油污易沾粘植物及沉積，可維持長久，不可以重型機具清理）。

除了對於海岸分類之構成，也必須先充分了解各類海岸之物理及生物環境特性，包括底質、海岸-水流-波浪之互動機制、輸砂行為、特殊景觀、生物之預期反應、油污暴露途徑及接觸方式等，初步評估其敏感度之控制因子大致為 [22]：

1. 對波浪及潮汐衝擊能量的相對遮蔽或暴露度；
2. 海岸坡度；

表 6. 美國海洋及大氣總署之海岸分類定義 [22]

| 分類 | 種類 | 次類 | 次類海岸型態 |
|----|-----------|----|--|
| 1 | 開闊岩岸 | A | Exposed rocky shores |
| | | B | Exposed, solid man-made structures |
| | | C | Exposed rocky cliffs with boulder talus base |
| 2 | 開闊海蝕平台 | A | (Exposed wave-cut platforms in bedrock) |
| | | B | Exposed scarps and steep slopes in clay |
| 3 | 細沙灘 | A | Fine to medium-grained sand beaches |
| | | B | Scarps and steep slopes in sand |
| | | C | Tundra cliffs |
| 4 | 粗沙灘 | | Coarse-grained sand beaches |
| 5 | 砂及碎石混合灘 | | Mixed sand and gravel beaches |
| 6 | 碎石灘 | A | Gravel beaches |
| | | B | Riprap |
| 7 | 開闊潮間帶 | | Exposed tidal flats |
| 8 | 遮蔽岩岸 | A | Sheltered scarps in bedrock, mud, or clay |
| | | B | Sheltered, solid man-made structures |
| | | C | Sheltered riprap |
| | | D | Sheltered rocky rubble shores |
| | | E | Peat shorelines |
| | | F | Vegetated, steeply-sloping bluffs |
| 9 | 遮蔽潮間帶 | A | Sheltered tidal flats |
| | | B | Vegetated low banks |
| | | C | Hyper saline tidal flats |
| 10 | 沼澤、溼地、紅樹林 | A | Salt and brackish water marshes |
| | | B | Freshwater marshes |
| | | C | Swamps |
| | | D | Scrub-shrub wetlands; Mangroves |
| | | E | Inundated low-lying tundra |

3. 底質型態，如粒徑、移動性、穿透性、穿越性；
4. 生物生產力及對污染反應程度。

對於各類海岸之型態描述及其敏感特性，NOAA 另有專門研究報告討論之 [15, 16]，挑選其中於台灣海岸潮間帶可較具代表性者三種，其描述如下：

1. 開闊海蝕平台（敏感度 = 2）：大致位於台灣北海岸及東北海岸。其經常暴露於高能浪量之海浪或潮流沖擊下，常見強烈的波浪反射；底質不透水，油污無法由表面穿透，但表面可能零星散佈薄層之泥沙沉積。這些海岸類型都在海浪衝擊的範圍內，海浪反射後會把附著在岸邊的溢油帶走，但較平坦的潮線間區域可能堆積少量泥沙，會使油污維持幾週至幾個月。如果新鮮的油污覆蓋到海蝕平台上之潮池，則對生物的影響可能是立即和嚴重的。不過，油污通常會被海浪迅速除去，除了清除含油碎屑及高潮線上之累積油污外，以及該海岸地區的有提供休憩娛樂使用或者對近岸資源（例如海鳥）必須保護外，其實清理是不必要的（自然回復）。
2. 細沙灘（敏感度 = 3）：大致位於台灣西海岸北段；泥沙級配良好且緊密，略具透水性，油污穿透小（油污滲

透小於 10cm 深）及掩埋之潛勢低（泥沙移動率低），為有沙下動物出現但並不豐富之海岸。這海岸包括開闊的沙灘、海灣或潟湖內之遮蔽沙岸等，堅實及細粒沙質使由污不易穿透，沙質移動性低也少有掩埋發生，但需注意在暴風波浪掏刷後及開使重新堆積之海岸則可能有掩埋做用；堅實灘面適合人力及機具車輛清理工作；沙下動物群落密度隨區域及季節而分佈不同。

3. 開闊潮間帶（敏感度 = 7）：大致位於台灣西海岸中段（大肚溪口至北港溪口）之泥質灘，為開闊、平坦、透水性，沙下動物豐富之海岸，灘面寬度能從幾公尺變化到約 1 公里多，底質柔軟且交通性低。在低潮上岸及分佈之油污也會在高潮時被抬起及隨波沿岸移動；油污雖不易粘著或穿透入飽和含水的灘面，但會被波浪推送到高潮線處堆積。然而有部份油污仍可能於低潮時穿透外露風乾的沙洲中或孔穴中。本區沙下動物群落密度大，生物使用率高，特別是移動性差之底棲無脊椎動物易受溶解於水之油毒或被油污覆蓋窒息影響；底質柔軟且交通性低，清理作業較困難。

四、生物資源及人類利用資源之環境敏感度

(一) 生物資源之環境敏感度指標設定

通常油污對岩礁岸之衝擊包括直接使潮間帶固著性及行動遲緩，躲避不及的底棲生物死亡，包括藻類、蝦蟹貝類、棘皮動物及仔稚魚。由於岩礁岸為受浪濤沖刷能量較高之海岸，生態群聚應可在兩年左右恢復，但如果影響到生態關鍵種或生態系運作的機制（如掠食、被掠、入添、消長）則其產生的生物效應會相當長久，甚至達到 20 年以上。故如要全盤深入了解油污對海域生態之影響絕非只觀察災後 1~2 年群聚表面上之恢復，而必須至少 5 年以上群聚之變遷以及生態系運作方式的資料 [3]。

許多生物對油污之影響是相當脆弱的，物種種類是相當廣泛的，可能會在某時段內大量出現某些區域，這些生物及其棲地可能受到油污的衝擊，特別是大批生物個體集中在一個小區域，或處於特別脆弱之生命階段或活動中，或是瀕臨絕種或稀有的物種等，其敏感性越高；然而，生物體對環境變遷或是暴露污染之反應也頗具彈性（resilience），受衝擊之程度乃相當難以量化。一般而言，受衝擊之程度或稱「敏感度」大致以三級區分，例如表 7 所示為美國國家科學院（National Academy of Sciences, NAS）針對不同種類之潮間帶底棲無脊椎動物之敏感度大致歸類的敏感度區分 [18]。

要評估敏感程度而所必須考量的相關影響因子大致為：地理區位、油污暴露量及衝擊區域、海象及氣象、季節與油污類型等 [24]；另一方面，生物生態所受到之主要衝擊反應則要考量：毒性（toxicity）、生物累積（bioaccumulation）與生態效應（ecological effect）。

(二) 人類利用資源之環境敏感度指標設定

污染亦可對於人文社經環境（或稱人類使用資源）產生重大影響，特別是漁業及觀光旅遊業，其影響程度及恢復之

時間視油污之地點、規模及除污的方式而定。可能之衝擊分述如下 [22]：

1. 近岸漁撈（fisheries）及養殖業（aquaculture）：因為人類是隸屬於食物鏈中較最上層的生物，一旦食用到受污染的海洋生物，因毒素在食物鏈中具有累加性，難保溢油污染不會影響到較上層生物和人體健康；甚至臭油味也會造成魚類賣相不佳，顧客恐慌而不願購買漁獲；此外濃稠油污也會黏著船體甚至卡住引擎，漁民無法出海進行漁撈作業，或是油污沾黏魚網、定置網、浮筒及蚵架等，造成對養殖業之影響；因此溢油污染對於人類的漁業生產及經濟會產生重大影響。
2. 觀光（tourism）及遊憩（recreation）：油污造成觀光事業景氣低弱，例如對海水浴場及海域景點等污染，海域活動（游泳、日光浴、遊艇、潛水等）無法進行，間接連帶影響到附近居民以及遊憩業者的生計。
3. 工業（industries）及港口營運（port operation）：油污也可能漂移至發電廠（火力電廠及核能電廠）之冷卻水入水口，停止抽水或需清理管路都可能造成發電機組關閉，產生暫停發電之損失。另外，港口內外溢油也可能封閉航道或對航運船隻進出造成影響，進而波及港口營運。
4. 油污對文化古蹟（archaeological and historical resources）或自然景觀保留地（nature reserves）美感的破壞，對景觀之保育產生衝擊。

然而這些人類使用資源並不如海岸型態或生物生態等對於油污有不同強度之衝擊反應；而且該資源通常也並非受到油污影響而直接損壞，而是間接受到影響而使設施無法使用或對該資源有不好的感受；因此在此所謂之「敏感度」僅是“有”或“無”之差異而已。

表 7. 生物資源之敏感度區分 [18]

| 敏感度 | 顯現狀況 | 可能受衝擊之生物例 |
|--------------------------------------|--------------------------|--|
| 極強 (severity) | 大量死亡或長久效應 | 珊瑚(corals)、雙殼貝類(Bivalve)、十足目甲殼綱蝦蟹(decapod crustacea) |
| 中度 (intermediate) | 有損傷但可能非致死 (sublethal) | 大型植物(macrophytes)、藤壺(Barnacles) |
| 極小或無 (comparatively little or no) | 無明顯反應 | 環節動物(sannelids)、腹足類動物(gastropods)、橈足類動物(copepods) |

五、環境敏感指標地圖系統建置

(一) 環境敏感度與地理資訊之聯結

NOAA 為了先建立防制油污對於敏感地區傷害之反應機制，建立了環境敏感指標地圖（簡稱 ESI maps），此一地圖將提供對油污處理及災害風險管理之決策上有相當大之參考價值。在 ESI maps 圖面上以不同顏色或標記來區分，如以顏色來區分不同海岸線對油污附著的敏感度，以標記及指標數值來區分不同生物棲地資源（如水鳥區、哺乳動物區等）對油污受損之敏感度，另外也標示了人類使用設施（如

碼頭、沙灘浴場、取水口、公園等)。配合發展地理資訊查詢系統，而海岸敏感度、生物資源、人文社經資源三個圖層連同其相關資料表，透過地理資訊系統之聯集功能，可結合成電子地圖來展示，除應用於災害應變外也可提供海岸資源管理。

如同圖 1 所示，在 ESI maps 圖面上以不同顏色或標記來區分，如以顏色來區分不同海岸線對油污附著的敏感度；對於不同生物棲地資源（如水鳥區、哺乳動物區等）對油污受損之敏感度，在地理或空間分佈分區劃分可以點（point）、線（range bar or line）及區塊（polygon or patch）來表現，以物種出現則以特定圖型指標來標示。除地理或空間分佈分區劃分於圖面顯示外，相關之歸類資料（attribute data）也需內隱附註以為輔助資料，其包括：

1. 物種名稱：學名，俗名；
2. 法定地位：劃定保護區，稀有或瀕臨絕種公告；
3. 豐富度：數量，集中密度；通常無法有確切數據，但可以低、中、高來概略區分；
4. 特別期間：出現月份、特別生命期間（產卵、築巢、孵育）月份，以標記“X”來註明；基本上，最低要求須以“月”為單位；對於魚類或無脊椎動物之出現月份的數量則可區分為 5 級：例如，1=無資料、2=稀少、3=普通、4=豐富、5=極豐富。

另外人類使用設施（如碼頭、沙灘浴場、取水口、公園等）則以特定圖型指標來標示於圖面上之相關座標位置 [22]。

（二）地理資訊查詢系統建置

查詢系統主要架構可利用 Arc View 極為強大的相容能力結合視覺化程式設計的語言 Microsoft Visual Basic 來建置而成。在分析系統所需功能方面，對於所欲建構之敏感區查詢資料庫系統須符合下列各點需求：

1. 以整個海岸資源資料庫為選取樣本，藉由使用者設定之屬性值，來查詢海岸資源，以方便在使用地理資訊系統作規劃時，能隨時得到想要的海岸資源訊息；
2. 以前一功能列出之所有選取樣本，讓使用者在點選地圖上之地理位置時能及時顯示該地點的資源狀況；
3. 透過進階查詢，可對前一所得結果，再給予條件做進一步之查詢；
4. 系統須能顯示選取之物件的相關屬性。

在系統功能展現方面，考量圖層管理與查詢結果顯示的

需要，將系統設定為四項主功能架構：

1. 系統管理功能：提供開啓專案檔或圖層之功能，以及關閉系統之功能；
2. 圖形套繪功能：提供圖形資料載入或取消之功能；
3. 視景控制功能：提供視景放大、縮小、等比例放大、等比例縮小、移動、觀看全景、前一視景、後一視景及選取物件之功能；
4. 海岸資源查詢功能：提供查詢海岸資源之功能，並附有進階查詢功能，以便讓使用者再做進一步的查詢工作。

而 ESI maps 在查詢及展示系統的資訊內涵如圖 2 所示，圖面上一般所展示出為顯式圖資（如邊界、道路、海岸線、ESI 標記等），為避免過多資料展示於圖面上而顯得紊亂複雜，對於文字說明資料則以隱式資料與圖記超連結（hyper link），點選圖記則以新開視窗顯現其相關隱式資料 [7]。

（三）案例應用

本研究選取彰化縣海岸來作為案例應用的探討；就彰化線海岸環境而言，烏溪（大肚溪）至濁水溪間之彰化海岸，海岸線總長約 61 公里，為典型之開闊海岸泥灘潮間帶地形，潮間帶寬達 3~5 公里，其生態系為多樣化且豐富。西北角的大肚溪口南側有彰濱工業區之大型填海造地開發案，北側有台灣地區發電量最大的台中火力發電廠，河口兩側的堤岸外設有水鳥保護區，春秋兩季候鳥過境時，可以看到許多水鳥；隨著潮水的漲退，在寬廣的潮間帶覓食各種沙蠶、蟹類及貝類，海岸中段區域之芳苑鄉則有漢寶濕地，王功漁港為主要人類利用設施，漁港以南為主要牡蠣養殖區。大面積海水漁塢養殖計有北面伸港鄉全興及什股海堤間約 250 公頃及芳苑鄉之漢寶、新寶、王功及永興養殖區等計約千餘公頃。

根據前章節所探討的海岸環境、生物資源及人文社經資源，並以 Arc View 之 GIS 軟體工具來建構芳苑王功海岸段區域海岸資源的 ESI 地圖。如圖 3 所示，由 1:25000 經建版地形圖（電子地圖）轉換入 GIS 系統，再依所調查出之各類資源及其敏感度以不同顏色之線、區塊或標記來定義，而隱式之說明資料則由跳出視窗來展示。

六、結論與建議

目前國內對海岸管理仍未臻完善，特別是海岸污染處理方面常錯失先機而導致衍生之影響及衝擊擴大，甚至難以收拾。本文旨在探討對於海岸生態體系遭受溢油污染之危機

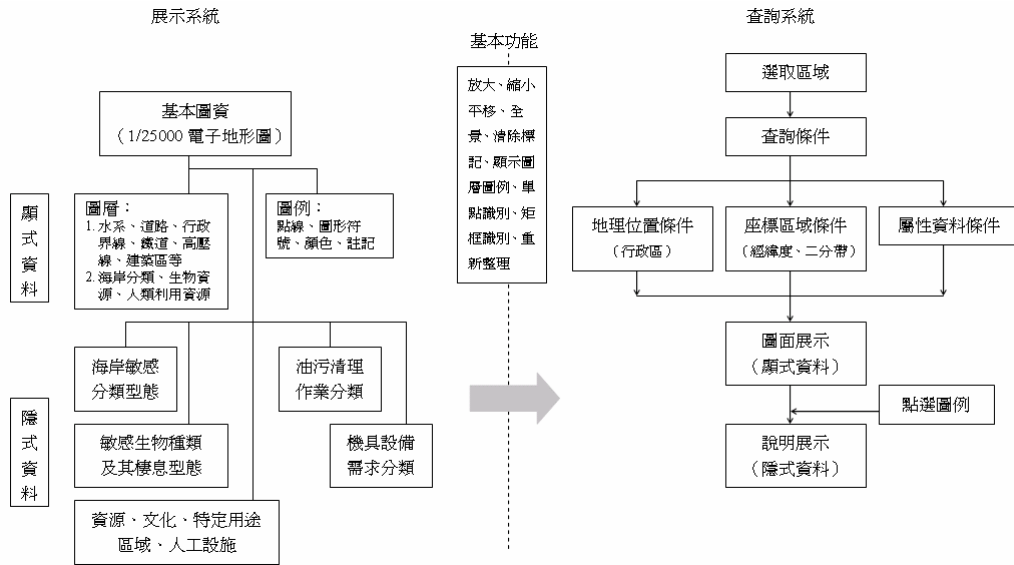


圖 2. EIS maps 配合 GIS 展示之查詢資訊內涵 [7]

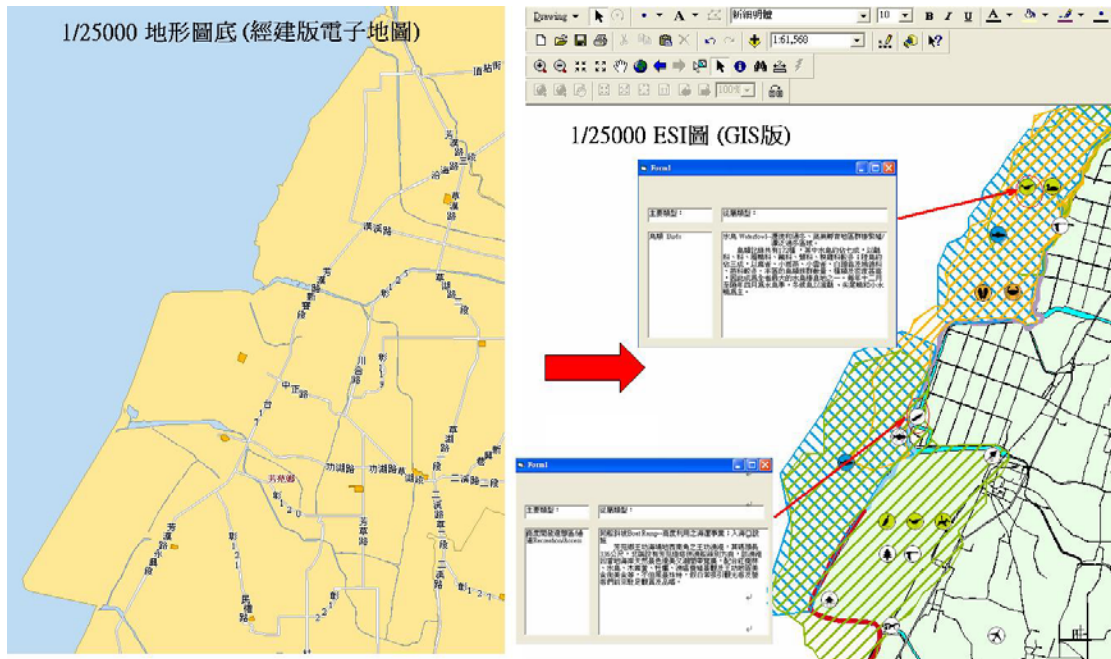


圖 3. 彰化海岸之 EIS maps 範例

下，是否能預先界定敏感地區並謹慎處理，以使生態之損害最小。同時希望能落實重大海洋污染緊急應變處理之成效，以期能確切保護在污染威脅、人為干擾後及可能危機潛勢下之海岸生態完整性。在配合地理資訊系統的應用當中，可提供更準確及充份之資料，藉此也可以提供政府在執行緊急應變計畫時，作為一項高效率及精確之決策分析工具。

ESI 地圖雖最早由美國發展出來，但後續已有許多國家

如加拿大、丹麥、日本、泰國等依據其本國海岸特性加以修改並應用之。國內目前在油污清理之緊急應變及海岸資源管理應用方面確實有建立 ESI 地圖之需求，而藉由 ESI 地圖之建置，期能對於海岸-環境-生態之體系之保護及保育貢獻微薄力量。而對於其他敏感區管理之整合，除 ESI 地圖已概略提供生態敏感地區與文化景觀敏感地區之資訊外，其他如天然災害敏感地區、資源生產敏感地區及國家公園、生態保

護區等，也可依據相類似之原則及架構來建立特定之敏感度指標地圖，以利妥善及有效之管理。

誌謝

本文為作者依據大葉大學 94 年度個人型研究計畫（編號 ORD-9406）及大葉大學碩士論文（第二作者）等部份成果所撰寫，在此對大葉大學之經費補助表示感謝。

參考文獻

1. 行政院經濟建設委員會（民 74），環境敏感地區土地規劃與管理之研究，行政院經濟建設委員會都市及住宅發展處研究報告，台北。
2. 行政院經濟建設委員會（民 77），台灣地區環境敏感地區管理制度之研究，行政院經濟建設委員會都市及住宅發展處研究報告，台北。
3. 邵廣昭（民 90），海難洩油對海洋生態的衝擊及其調查研究，國政研究報告-永續（研）090-004 號，國家政策研究基金會，台北。
4. 郭瓊瑩（民 76），敏感地區的資源規劃，大自然季刊，16，2-3。
5. 陳宜清、歐陽良炯（民 94），環境敏感指標地圖在海岸溢油污染清理應用之架構建立，第三屆國際環境災害及緊急應變技術研討會，雲林。
6. 廖進雄（民 74），環境敏感地使用規劃與管制之研究，中興大學都市計劃研究所碩士論文。
7. 歐陽良炯（民 95），環境敏感指標地圖在海岸資源管理與溢油污染清理之應用，大葉大學環境工程研究所碩士論文。
8. 地球環境局（2001），脆弱沿岸海域圖，平 13 總複、第 102 号，日本環境省，東京。網頁：http://www.env.go.jp/earth/esi/esi_title.html
9. API, NOAA, U.S. Coast Guard and U.S. EPA (2001) *Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments*, Seattle, Washington.
10. Chongprasith P. and E. Praekulvanich (2003) Coastal pollution management in Thailand. Diffuse Pollution Conference, Dublin, Ireland.
11. Eagles, P. F. J. (1984) *The Planning and Management of Environmentally Sensitive Areas*, Longman Inc., NY.
12. Environmental Protection Branch (2001) *Environmental Sensitivity Atlases*, Emergencies & Enforcement Division, Environment Canada- Ontario Region, Ontario, Canada.
13. Gornitz, V., T. W. White and R. M. Cushman (1991) Vulnerability of the U.S. to future sea-level rise. Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management, Coastal Zone '91, Long Beach, CA.
14. Gundlach, E. R. and M. O. Hayes (1978) Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. *Marine Technology Society Journal*, 12(4), 18-27.
15. Hayes, M. O., R. Hoff, J. Michel, D. Scholz and G. Shigenaka (1992) *Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources for Oil-spill Response*. Report No. HMRAD 92-4, Hazardous Materials Response and Assessment Division, NOAA, Seattle, WA.
16. Michel, J. and M. O. Hayes (1992) Sensitivity of coastal environments to oil. In: *Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources for Spill Response*, Chapter 3, NOAA Report No. HMRAD 92-4, Seattle, WA.
17. Mosbech, A., K. L. Anthonsen, A. Blyth, D. Boertmann, E. Buch, D. Cake, L. Grøndahl, K.Q. Hansen, H. Kapel, S. Nielsen, N. Nielsen, F. Von Platen, S. Potter and M. Rasch (2000) *Environmental Oil Spill Sensitivity Atlas for the West Greenland Coastal Zone*, The Danish Energy Agency, Ministry of Environment and Energy, Denmark.
18. National Academy of Sciences (1985) *Oil in the Sea: Inputs, Fates and Effects*, National Academy Press, Washington, D.C.
19. New Jersey Pinelands Commission (1980) *Critical Areas Study for the Pinelands*, Golden and Halpern, Philadelphia, PA.
20. Newman, H. G. and F. R. Steiner (1983) *The Definition of Environmentally Sensitive Areas for Landscape Planning*. Scientific Paper No.6360, College of Agriculture Research Center, Pullman, WA.
21. NOAA (2000) *Characteristic Coastal Habitats—Choosing Spill Response Alternatives*, NOAA, Office of Response and Restoration, Hazardous Materials Response Division, Seattle, WA.
22. NOAA (2002) *Environmental Sensitivity Index Guidelines*, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11, Seattle, WA.
23. Nordvik, A. B. (1999) Time window-of-opportunity strategies for oil spill planning and response. *Pure and*

Applied Chemistry, 71(1), 5-16.

4, NOAA Report No. HMRAD 92-4, Seattle, WA.

24. Scholz, D., J. Michel, G. Shigenaka and R. Hoff (1992)
Biological resources. In: *Introduction to Coastal Habitats
and Biological Resources for Oil-spill Response*, Chapter

收件：95.08.21 修正：95.10.18 接受：95.12.18