

『臺灣綠色港埠建置』研討會論文集



主辦單位：交通部運輸研究所

協辦單位：國立中山大學

中 華 民 國 100 年 9 月

『臺灣綠色港埠建置』研討會議程

2011 年 9 月 16 日(星期五)

時 間	內 容		
09:00-09:30	報 到		
09:30-09:40	主持人暨貴賓致詞		
議題一：綠色港埠之發展			
時 間	講 題	主 講 人	主 持 人
09:40-10:10	臺灣綠色港埠之發展	交通部運輸研究所 邱主任永芳	交通部運輸研究所 林副所長信得
10:10-10:50	綠色運輸環境建構	國立臺灣海洋大學 蕭教授再安	高雄市政府 吳宏謀秘書長
10:50-11:00	休 息		
議題二：綠色港市及綠色運輸			
時 間	講 題	主 講 人	主 持 人
11:00-11:40	綠色港發展策略	英國多佛港執行總監 Robin Dodridge	高雄市都發局 盧局長維屏
11:40-12:20	SINGAPORE’ S GREEN PORT AND URBAN DEVELOPMENTS	新加坡大學 Der-Horng Lee 教授	
12:20-13:30	午 餐		
議題三：港埠環境與生態			
時 間	講 題	主 講 人	主 持 人
13:30-14:10	高雄港及其鄰近海域生態 變動的解析	正修科技大學 方教授力行 / 國立海洋生物博物館 周組長偉融	高雄港務局 蕭局長丁訓
14:10-14:50	基隆港水質與綠色港口	國立台灣海洋大學 方教授天熹	花蓮港務局 黎局長瑞德
議題四：港埠規劃與工程			
14:50-15:10	休 息		
時 間	講 題	主 講 人	主 持 人
15:10-15:50	綠色港埠發展規劃	北臺灣科學技術學院 吳教授榮貴	基隆港務局 劉副局長詩宗
15:50-16:30	港灣生態環境評估之探討	中華大學 李麗雪副教授	臺中港務局 陳副局長義雄
16:30-17:00	綜合座談		
	各主持人及主講人		高雄港務局 蕭局長丁訓

『臺灣綠色港埠建置』論文集

目 錄

臺灣綠色港埠之發展.....	1-1
主講人：邱永芳主任	
交通部運輸研究所港研中心	
綠色運輸.....	2-1
主講人：蕭再安教授	
國立臺灣海洋大學	
綠色港發展策略.....	3-1
主講人：Mr. Robin Dodridge	
英國多佛港執行總監	
港市整體規劃.....	4-1
主講人：Associate Professor Lee Der-Horng	
新加坡大學	
港埠與海域生態.....	5-1
主講人：方力行教授/正修科技大學	
周偉融組長/國立海洋生物博物館	
綠色港埠發展之規劃.....	6-1
主講人：吳榮貴教授	
北臺灣科學技術學院	
港灣生態工程.....	7-1
主講人：郭一羽教授	
國立交通大學	

『臺灣綠色港埠建置』研討會論文集

交通部運輸研究所

臺灣綠色港埠之發展

邱永芳¹ 陸曉筠² 李忠潘³ 陳陽益⁴ 薛憲文⁵ 吳濟華⁶

摘要

港埠及水岸腹地位於陸地與海洋接觸的介面，同時也成為物流及資訊進出的門戶樞紐，隨著全球永續議題的推廣與延伸，「綠色港埠」(Green Ports) 或「生態港埠」(Eco Ports) 的發展概念成為歐、美、日、澳等世界大型港埠選擇的核心策略，成為港埠經營的未來趨向，各港埠城市也積極為促進「平衡環境挑戰與經濟需求」的總體目的而努力。為保護海洋，同時增加港埠城市之競爭力，以因應全球港埠環境之發展與趨向，本研究以建構臺灣綠色港埠之架構為目標，藉由 1) 港埠永續規劃；2) 港埠永續建設；3) 港埠永續經營管理；4) 港埠永續社會結構四個面向之論述，強調港埠在重視經濟效益外，應以塑造低環境污染、高生物多樣性、環境復育、結合周邊社區利益等多目標之港市環境，將臺灣地區之國際港埠提昇至世界級之「綠色港埠」。本研究為四年計畫之第一年期⁷，透過此研究預期達成 1) 檢視臺灣港埠朝向綠港發展之重要議題；2) 發展低污染、高生物多樣性，並結合周邊社區利益等多目標性的港埠發展策略；3) 塑造臺灣港埠之友善環境；4) 提供港埠整體空間規劃之策略；5) 塑造環境友善之港市界面。

關鍵詞：綠色港埠、生態港、永續發展、環境復育

¹ 交通部運輸研究所港灣研究中心主任

² 國立中山大學海洋環境及工程學系 助理教授

³ 國立中山大學海洋環境及工程學系 教授

⁴ 國立中山大學海洋環境及工程學系 教授

⁵ 國立中山大學海洋環境及工程學系 副教授

⁶ 國立中山大學海洋環境及工程學系 教授

⁷ 本研究為交通部委託之研究計畫「臺灣綠色港埠建置之研究(1/4)」(MOTC-IOT-100-H1DB002)，部分內容摘錄自計畫之期中報告。

Research of Taiwan Green Port Establishment

Yong-Fan Chiau¹ Shiau-Yun Lu² Chung-Pan Lee³ Yang-Yih Chen⁴ Shiahn-Wern Shyun⁵ Ji-Hwa Wu⁶

ABSTRACT

More than half of the individuals in the world's population live near coastal areas, accounting for more than 60% of the total production. Because harbors, ports, and waterfront areas are major transition points from land to ocean, they function as hubs of interflowing commodities and information. "Green ports" and "eco ports" have recently become the core strategies for port development in Europe, the United States, Japan, and Australia. Many port cities set green ports into action and transformed ports in order to balance the economy and promote the environment. To protect the oceans and increase the competitiveness of port cities, the proposed research details a green port plan for Taiwan. The goal of this plan is to create a port city with a low environmental impact, high bio-diversity, recovered habitat, healthy community, and high profit. This project includes a four-year program. The major tasks in the first year are: (1) sustainable harbor environmental planning; (2) sustainable harbor construction; (3) sustainable harbor management and operation; (4) sustainable harbor community; and (5) case studies for green ports internationally. The expected achievements for this project are the: (1) examination of the harbor environment in Taiwan; (2) development of the port management model for Taiwan to create a harbor city with a low environmental impact, high bio-diversity, recovered habitat, and healthy community; 3) creation of a friendly harbor environment; (4) provision of spatial strategies for harbor planning; and (5) creation of a friendly interface between the harbor and the city.

Keywords : Green Ports, Eco-Port, Sustainable Development, Environmental Restoration

¹ Director of Harbor and Marine Technology Center, MOTC, Taiwan

² Assistant Professor of Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-sen University, Taiwan

³ Professor of Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-sen University, Taiwan

⁴ Professor of Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-sen University, Taiwan

⁵ Associate Professor of Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-sen University, Taiwan

⁶ Professor of Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-sen University, Taiwan

一、前言

永續發展的概念在 1992 年地球高峰會議 (Earth Summit) 後已經成為不同領域重要的發展理念之一，永續發展的實踐也由環境生態面向，逐步加入經濟永續及社會發展永續之考量，成為三軸均衡共存的发展模式。近年來，以運輸目的為主之交通系統開始重視「永續」及「綠色」之理念，漸漸發展出「綠色運輸」之架構，延伸之範疇除了陸運運輸外，也同時涵括空中與海上航運之綠色改革。長久以來，港埠發展與營運以貨櫃流量及經濟因子之考量為主，但在頻繁地船舶航行、停靠、補給、貨櫃進出等運輸操作，加上港區活絡的重機械活動與周邊相關之工業區塊，港灣地區往往成為空氣、水質、底質汙染的對象，不僅嚴重影響環境及生態體系，同時也危害港埠之永續經營及周邊社區的健康發展(陸，2009)。因此「綠色港灣」(Green Ports) 及「生態港灣」(Eco Ports) 的概念及論述隨著上述永續議題的推廣，逐漸獲得歐、美、日、澳等世界大港的重視，朝向以「綠色」、「生態」及「永續」目標作為港埠經營的未來趨向，各港埠城市也定期舉行國際會議，積極為促進「平衡環境挑戰與經濟需求」的總體目的，以及「綠色港群」而努力(<http://www.green-port.net/>)。

「綠色港灣」或「生態港灣」的定義在各國不一，較受人關注及引用的為 2005 年美國長堤港 (Port of Long Beach) 港務局所提出「綠色港灣」政策 (Green Port Policy)，這是一套全面性由政策落實到行動方案之機制，且具有積極、整合協調功能的方法，冀望藉此減低港埠運作時對環境所產生的負面影響 (The Port of Long Beach, n.d.)。而「生態港灣」(Eco Port) 的概念於 1990 年代同時在歐洲及日本醞釀成形，根據日本國土交通省的定義，生態港是政府意識對環境的責任，而提出「與環境共存 (co-existing)」的港埠。在 1993 年歐洲成立海港組織 (European Sea Ports Organisation, ESPO) 後，隔年便發展出一套環境法規，展開友善環境的宣示，1997 至 1999 年完成「生態資訊計畫」(Eco-Information Project)，提供港埠管理單位環境管理的工具及相互溝通的平台，1999 年成立「生態港基金會」(EcoPorts Foundation, EPF)，2002 年展開「生態港灣」(Ecoports) 計畫，旨在「強化歐洲的港埠操作為具有環境意識，並藉此提供資訊交換及影響評估之平台」(邱，2008；陸，2009)。

由此可見綠色及永續之理念在世界各國發酵之成效，無論是「綠色港灣」或「生態港灣」，都是以改善港埠營運模式及港區環境為目的，強調港埠所扮演之角色不僅重視經濟效益，應能朝向發展低污染、高生物多樣性、復育環境、結合周邊社區利益等多目標性的港埠經營模式(邱，2008)。

二、港埠轉型「綠港」之議題及重要性

在人類的發展歷程中，航運造就出多數世界重要的港口城市，同時也創造出世界百分之六十以上的產值，由於港埠為物流及資訊進出的重要門戶樞紐，在發展經濟的同時，也產生與所在城市、環境的衝擊，臺灣積極發展港埠轉型為「綠色港埠」之重要性可由「綠色運輸之環境價值」、「港埠轉型之急迫性」、「全球綠色港埠之趨向」三方面來說明：

1. 港埠環境及都市在發展的歷程中，累積豐富的經濟及歷史價值，同時也可能犧牲部分環境及生態資源，港埠界於陸域生態系統與海域生態系統交接的複雜區域 (ecotone)，但港埠操作及港區周邊產業，使港灣地區成為空氣、水質、底質污染的目標，不僅嚴重影響環境及生態體系，同時也可能提高周邊社區的風險。因此，以永續發展理念為出發之「綠色港埠」建置，可針對交通運輸提供影響減緩(mitigation)及環境因應(resilience)之綠色策略。
2. 長期以來臺灣港埠與都市分屬兩個不同的決策單位，也造成港市環境較不延續之界面空間，以及民眾對港埠認知較為疏離，現階段臺灣港埠營運正面臨轉型階段，高雄、臺中兩大港埠城市也於民國 100 年開始縣市合併後的區域重整，因此，以系統性思考為前提的「綠色港埠」建置，可在港、市同時面臨轉型時，型成長期性及全面性之思考架構。加上近年來全球氣候變遷之壓力，將迅速影響第一線之港埠環境及城市，透過「綠色港埠」之理念，冀望提供減災及因應之機制。
3. 觀察過去海洋強權的國家及港埠城市，綠色及生態港灣的政策已逐漸與港埠規模及運量平衡，以美國大型國際商港為例，甚至將「綠色港埠」之政策做為未來領導世界航運的趨向。現今綠色政策已成為全球共同對環境的義務，如以綠色產品為例，不具綠色標章或清潔製程認證的商品已逐漸難以進入歐洲市場，藉此可預期在不久的將來，不具綠色政策的港埠將遭受世界航運的除名(陸，2009)。因此，臺灣「綠色港埠」之建置除了積極面對日益複雜的環境挑戰外，也應強化臺灣港埠的競爭力及環境形象，以連結全球之「綠色港群」為目標。

在推動臺灣綠色港埠的首要工作即為瞭解港埠運作可能產生之問題，以及如何以「綠色港埠」之概念，提供港埠轉型之操作與落實。本研究以高雄港為研究對象，分析高雄港在興建後可能產生之議題，主要之面向可歸納為下：

1. 環境汙染

港埠所產生之環境汙染(包含空氣、水質、底泥、噪音、震動、廢棄物等)為港埠所面臨之最大關鍵之一，同時也為各國發展綠色港埠需面臨之重大挑戰，許多國家除消極的管制外，也發展積極的獎勵制度，如美國長堤港的綠旗獎勵方案、澳洲雪梨港的綠色港灣指導方針等，由港埠的使用者自發性開始減低港埠運作所產生之汙染。就港埠之空間配置而言，不同之碼頭機能及周邊土地使用所產生之環境議題各異，以高雄港為例，前鎮區北側之港埠主要以大宗貨物碼頭及雜貨碼頭為主，對港內可能造成之汙染包括貨物裝卸過程及風蝕塵揚中產生的TSP (總懸浮微粒)，導致港內空氣品質下降，而南側小港區之石化業可能造成空氣、水質及土壤等環境品質之變化，另外，不同船舶進出、操作裝卸、貨櫃進出等各階段均對環境有不同程度之汙染及干擾。

2. 海岸線變遷

當港埠在無法因應日益龐大的吞吐量，或當船隻噸數日益增加時，多數港埠大多選擇擴建及向外海填土築新港，對周邊海岸線侵蝕及淤積現象為港埠永續發展之一大挑戰。以高雄港為例，港埠興建造成周邊之海岸線變動量大，海域地形之變動也同時易造成整體港埠環境之影響。由「高雄市中區污水處理場填海造陸工程（提升二級處理工程）環境監測計畫-海域環境調查」之研究，針對高雄港旗津外海一帶海域之監測結果顯示，海域地形變動較為明顯處位在旗津海水浴場至風車公園間，其高程差最高達20公分。另外藉由衛星影像圖(圖1)及實地觀察，亦可發現旗津北端之海岸線已呈逐年嚴重退縮之趨勢，除旗津海水浴場海灘嚴重退縮外，海哨所海灘侵蝕、觀海平台外側拋放塊石及沿海道路路基裸露等，均對旗津海岸環境造成相當之衝擊，亦對當地居民之生活安全品質造成危及。



圖1 旗津北側自2004 - 2010之海岸線變遷 (由左至右圖為2004, 2006, 2008, 2010年之航照，資料來源: 農航所)

3. 運輸動線重疊與衝突

港埠為貨運進出之門戶，頻繁且大型之貨櫃車進出港區造成與周邊城市動線之衝突，此動線之衝突同時影響港務運作之流暢、城市之意象，以及沿線社區居民之生活。由動線衝突延伸的為環境品質(空氣、噪音等)的影響，各國紛紛提出潔淨卡車方案、動線區隔等措施，減緩運輸動線與都市空間之重疊與衝突。

4. 港與市空間阻隔

港埠周遭環境空間的使用狀況，往往由於建港及城市發展過程之目的不同，各自依照其目標下區域的劃分及經營模式，造成港市空間不連貫，因此在港與市交接處經常發現以水泥牆、鐵皮圍籬或金屬鐵絲網的手法阻隔兩者之空間。加上臨港區周邊環境品質不佳及工業汙染的問題，而工業區及貨櫃中心內大型建築量體和貨櫃的配置方式，無形中在港市間搭起一道牆，有形無形地阻隔港與市。

5. 棕地復育

港埠轉型發展時第一個面臨的重大議題往往是「棕地」(Brownfield，即為受汙染地)，港埠週邊各式工業區、儲油設施、修建船舶等高汙染產業，往往造成土壤及水質中的重金屬、有毒物質累積，產生的汙染對生態環境及周邊社區是長時間的威脅及傷害。大型港埠之發展常需依賴重工業，包括石化產業、金屬產業、火力發電廠等，不論面臨產業轉型、港埠再生或是重工業遷移等議題，重工業長期留下之棕地 (Brownfield) 整治均為綠色港埠面臨之重要挑戰。

6. 高耗能產業及空間

港埠周邊原為重工業及高度耗能之產業及空間，綠色港埠之發展即需重新檢視港埠空間及規劃，針對不同產業之空間結構，提出因應之方案。國內外港埠管理單位、航運公司均朝向以永續及低耗能之空間發展為導向，美國紐約及紐澤西港務局將港埠周邊的建設逐步以綠建築為主；國內的高雄小港區第六貨櫃中心為新興之港區，碼頭均設置船舶岸電系統，以減少船舶耗油，同時園區內皆使用電動能源車，所有貨櫃作業也配合統一電子系統，可以提高區內作業效率，並減少耗能，另外，園區內經營之行政大樓更符合綠建築指標規範，為國內首座取得綠色建築標章之專業碼頭。

7. 棲地變遷

港埠開發對周邊棲地環境有一定程度之影響，為因應港埠土地利用之需求，大量的填海造陸，導致沿岸自然海岸灘地（亦是濕地範疇中的一種）圍築改建，人工海岸比例增加。以高雄港為例，1955 至 2002 年間，港埠周圍未受損之海岸林面積比有逐年減少的趨勢，造成大量林地減少之原因，除旗津中洲天然海岸因二港口的開闢等人為因素所導致外，前鎮區一帶，也因都市擴張，土地開發之需求，砍伐大量林地；1977 至 2002 年間，高雄港南區，因臨海工業區的開發，造成工廠取代了原舊紅毛港區之臨海防風林，同時台電大林發電廠的進駐亦造成海岸林面積的消失。但港埠周邊的土地使用可部分彌補棲地之變遷，經調查 2002 至 2009 年期間，高雄港周邊海岸林面積比有增加的情況，造成此指標增加之主因，為高雄市政府針對周邊道路、人行道之綠化工程、河川的重視，及中鋼等企業自發性復育海岸林，因此在 2002 至 2009 年海岸林面積比有稍微增加的情況。

8. 高風險社區

港埠周邊之社區面臨港埠第一線之衝擊，同時承受較高之環境風險性，綠色港埠的理念之一為對社區居民的承諾，因此指認港埠周邊高風險區域，落實風險管理之評估與因應措施，同時維繫與社區之互動及對港埠的認同，為發展綠色港埠重要課題之一。

三、國外落實綠色港埠之作為

不同國家因為政策、環境條件及民情相異，對於執行「綠色港埠」可效法學習的部份也不同，美國之綠色港由政策至行動方案較為完整，且具有系統性之評估機制，可提供臺灣綠色港埠之整體架構思考模式；相異於美國之中央政府集權管理，澳洲之港務公司為國營企業，其綠色港埠之實踐提供「由下而上」之主動式策略，藉由航運公司及港埠空間使用者之力量，減少污染防治之成本及風險，相對增加港埠營運之效益；日本之生態港重視環境復育之落實，以及社區與港共生之理念，就港區整體性之結構提供可參考之示範，由於港埠涉及之議題廣泛，各國之案例有其因應國情與地方之做法，以下簡述不同國家之綠色港埠案例，冀望抽取各國之精髓，內化並轉化為臺灣自身綠色港埠系統。

3.1 中國大陸天津港

天津港處於京津市帶和渤海經濟圈的交會點，是首都北京和天津市的海上門戶，同時也是中國最大的人工港，隨著渤海灣的經濟快速發展及天津港建設的加速，船舶流量提升帶來的海域汙染、意外事故、溢油的風險，及港口過度開發導致泥沙淤積、水質品質下降、自然濕地面積消失、赤潮發生機率提高等問題，使得天津港近岸環境不斷的惡化，也危及了天津港的可持續發展性。為改善渤海灣整體環境，2006 年中國大陸國務院提出「渤海環境保護總體規劃」¹，預計在 2008 至 2020 年間，於渤海海域、沿海 12 個地區及天津市陸域、黃河、遼河、海河三個流域之環境，建置河川上游至海洋之環境保護與汙染治理的決策管理系統，2007 年提出「天津濱海新區環境保護與生態建設行動計畫（2008-2010 年）」²，建置濱海之生態環境復育區，透過既有的水道及防護林種植，進行區域內部整體生態廊道之串連。此外，天津港港務局於 2009 年制訂「生態港口建設實施方案」，朝向綠色生態港之目標邁進。

3.2 日本大阪港

大阪港 (Port of Osaka) 位於日本本州島大阪市西面的海灣內，為日本主要國際貿易港之一。日本在 1960 年代因工商業高度的成長導致土地日漸不足開始填海造地，大量的填海造地開始出現港口環境惡化問題，短短二三十年間，東京灣和大阪灣等港灣開始頻繁出現水體缺氧、水體優養化、漁獲量減少等現象，在 1950 年開始出現大量由浮游植物造成的「赤潮」(Red Tide)，以及由硫化物所造成的「藍潮」(Blue Tide) (Furukawa & Okada, 2006)。有鑑於此，東京灣開始進行一連串的環境復育計畫，1970 年代展開第一期的「海洋環境改善計畫」(Marine Environmental Improvement Project)，每日進行汙染及垃圾清除作業，同時大量投資進行東京灣水域之分析及模式。第二階段為 1980 年代之「藍海計畫」(Sea-Blue Project)，以減少環境惡化、拉近海洋與陸地距離為目的，利用不同的技術強化海洋自淨的能力，此階段偏向以水質及水流的物理化學現象為評量，尚未以生態體系為目標 (陸，2009)。1990 年代起邁入第三階段，也就是由日本國土交通省推動「生態港埠計畫」(Eco Port Project) 的政策，其政策之副標題為

¹ 中國國務院 (2008)。渤海環境保護總體規劃 (2008~2020)。中國大陸：中國國務院。

² 陳昱雯 (2009)。高雄港未來發展綠色與生態港之研究。高雄：國立中山大學海洋事務研究所碩士論文。

「讓港埠與其周遭的自然環境共存」，即開發港埠與港灣的同時，亦能保護當地自然環境。1997 年推動「環境友善之示範港埠：大阪生態港（Environmentally Friendly Port Model:Eco-port Osaka）」，此計畫以「人、海、港」為出發點進行規劃，利用有限的資源對自然環境進行保護，並盡量減少在港埠開發時，對環境所造成的傷害，大阪港也由純粹的「貿易區」轉變為「水岸都市發展區」（邱，2008）。「大阪生態港計畫」中最值得關注的計畫之一為港埠的生態補償措施，大阪市政府於人造島「咲洲(Sakishima)」上建置「南港野鳥園」，打造一人工濕地系統，提供動植物緩衝的一個區域，並於舞洲(Maishima)及夢洲(Yumeshima)西側開發一系列沙灘及礫石灘形式的海岸線，提供生物良好的庇護所，此一系列生態補償計畫，除吸引了無數候鳥及留鳥來棲息、哺育，同時也彌補填海造地所造成之生態衝擊，使港埠地區擁有世界貿易中心、貨櫃碼頭和野鳥園等空間，成為兼具商業、貿易和生態的多功能港埠（邱，2008）。

3.3 美國長堤港

被喻為提倡「綠色港埠」創始港口之一的長堤港位於 South Coast Air Basin, SoCAB 的聖佩羅德灣港區中，由於當地的地形、氣象條件、城市規模和港區內廢氣排放等因素，導致該區產生了嚴重的空氣及環境汙染。為改善港區整體環境，長堤港之港區管理委員會在 2002 年時，實施「健康海灣計畫」來管理港內環境規劃及措施，2005 年 1 月該港的董事會也採納了「綠色港灣政策」，並依此做為決策之指南，建立綠色港口港物操作之機制，港務管理委員會並於建港近一百年的同時，提出未來 2006-2016 的策略性規劃，冀望成為國際貨運轉口大港，且同時強化對環境治理的承諾及社區居民的責任(The Port of Long Beach, 2006)。關於「綠色港灣政策」之內容主要包括五項指導原則：(1)保護社區免於港埠運作時所造成的環境危害；(2)使長堤港成為環境治理和對環境承諾的領導者；(3)推動永續性；(4)為避免或減低環境衝擊而運用最佳之技術；(5)推行社區參與及教育(The Port of Long Beach, 2006)。為強化永續性管理，長堤港成立了「永續性專案小組（Sustainability Task Force）」，將「綠色港灣政策」落實於下列六大領域：(1)野生生物- 以保護、維持、復育海洋生態及棲地為目標；(2)空氣- 以減少港埠活動產生之有害氣體排放為目標；(3)水- 以改善長堤港水質為目標；(4)土壤及沉積物- 以移除、處理港埠內遭汙染之土壤及沉積物為目標；(5)社區參與- 以提供社區互動為目標，並針對港埠運作及環境方案推動教育計畫；(6)永續性- 以實施整體港區的永續操作為目標，包括港埠設計、施工、營運和行政措施等各方面。

長堤港港務管理委員會於 2007 年提出「潔淨空氣行動計畫」(Clean Air Action Plan)，即是將「綠色港灣政策」落實於實際的行動方案的其中一項案例。「潔淨空氣行動計畫」中，針對汙染來源及物質進行分類，分析瞭解港區內汙染物之來源後，進而根據降低港口相關之健康風險原則，建立三個層次不同之標準：聖佩德羅灣港區標準、基於項目的標準及基於汙染源的性能標準，藉由透過港口設施租賃規定、關稅、獎勵機制和市場機制等環節，提出相關實質計畫，如「潔淨卡車方案」(Clean Trucks Program) 以及「綠旗獎勵方案」(Green Flag Incentive Program) 等，成功降低港埠區域的空氣汙染，也獲得社區居民之認同。在社區參與方面，長堤港亦是各國港埠學習的典範。港務管理委員會透過定期的舉辦相關活動，及與當地教育單位合作，使得港埠周圍居民對港內之資訊有一定程度的了解，進而藉由民眾參與港埠活動，建立其對港埠的認同感。

3.4 澳洲雪梨港

澳洲九成的國際貿易均必須依賴海運，其中雪梨港更是澳洲重要之交通樞紐。屬國營企業的雪梨港務公司 (Sydney Ports Corporation) 成立於 1995 年，主要管轄雪梨港 (Sydney Harbor) 及波特尼港 (Port Botany)。為維護雪梨港的天然資源及港埠永續發展，港務公司於 2006 年提出一套「綠色港灣指導方針 (Green Port Guidelines)」¹，做為港埠發展、操作及維護之原則。指導方針包含「資源消耗」及「環境品質」兩大主要範疇，又再分為 10 項與環境相關之議題，「資源消耗」之範疇包含：(1) 材料選擇；(2) 廢棄物管理；(3) 水資源消耗；(4) 能源使用；(5) 運輸。「環境品質」之範疇：(1) 室內環境；(2) 氣體及噪音排放；(3) 水質；(4) 土地使用；(5) 環境管理。另外，在此的每一項議題下，均分別列出需達到之目標及準則，雪梨港務公司更針對每一目標準則提出建議之評量機制、可達成之環境及社會效益、操作實施之難易程度、投資回收之報酬等細項²。

3.5 荷蘭鹿特丹港

荷蘭鹿特丹港 (Port of Rotterdam) 為全歐洲第一大港，素有「歐洲的門戶」之稱。隨鹿特丹港的持續發展，既有的港口腹地已無法負荷新公司(工廠)及

¹ Sydney Ports Corporation (2006). Green Port Guidelines, Sydney Ports – Green Port Guidelines.
http://www.sydneyports.com.au/environment/green_port_guidelines, (2011/3/2)

² Sydney Ports Corporation (2006). Green Port Guidelines, Sydney Ports – Green Port Guidelines.
http://www.sydneyports.com.au/environment/green_port_guidelines, (2011/3/2)

人口入駐，此外港區周圍煉油、化工及造船工廠帶來的環境、交通及汙染等問題，使得當地居住環境越來越不理想。荷蘭政府與鹿特丹港務管理局合作推動「鹿特丹主要港口發展計畫（Rotterdam Mainport Development Project, PMR）」¹，此計畫之主要目的為：1)藉由發展新的空間加強鹿特丹港口的功能；2)並考慮周圍自然環境及生活品質，以提升萊茵河河口的居住品質。為達到此目的，共有三個主要子計畫：1)開拓土地及生物補償措施 - 於原 Maasvlakte 外海填築 1000 公頃的土地，並建立 25,000 公頃的海洋保護區，提供鳥類、海豹棲息地，同時設立砂丘區域，補償當地因開發消失的砂地；2) 750 公頃野生生物及遊憩區 - 於 IJsselmonde 中心約 600 公頃和北鹿特丹約 150 公頃之土地，分別設置野生動物保護區和休閒區域，增加城市綠化區域，提升民眾的生活環境品質；3)改善目前的鹿特丹地區 - 達到增加港口區域、減少交通及工業噪音、減少廢氣排放、提升港口周圍居住品質之綜合性目標。

3.6 案例分析

由上述國家之綠色港埠建置可發現，由政策發展出可供依循的指導方針、評量機制、以及操作流程為各個國家積極進行的方向，目前美國國內已逐步整合，並將境內之綠色港埠機制一致化，而全世界之重要港埠城市也開始定期舉行國際會議，積極為促進「平衡環境挑戰與經濟需求」的總體目的而努力(<http://www.green-port.net/>)，同時，各國綠色港埠之發展已由汙染防治，轉換為整體空間之策略，包含港埠及周邊之環境棲地、社區及城市。港埠政策發展部分可參考美國長堤港的「綠色港灣政策」或澳洲雪梨港的「綠色港灣指導方針」，其均針對港埠營運可能碰到的議題加以分類，並針對不同的類別訂立一套標準，進而透過港口設施租賃規定、關稅、獎勵機制和市場機制等環節，將其落實於相關之行動方案及計畫中。

藉由以上各國港埠案例之經驗，未來進行臺灣綠色港埠之研究，可針對綠色港埠建置之不同面向，提出可符合國際標準之架構，以因應臺灣商港與國際港埠趨向之接軌。同時，空間規劃的部分，研究範圍不應單侷限於港埠用地，應延伸至周邊之社區及都市空間，冀望藉由綠色港埠建置之計畫，減少港市界面隔閡之問題，同時落實綠色運輸「對環境治理的承諾及社區居民的責任」(The Port of Long Beach, 2006)。

¹ 吳淑儀、孔憲法(2003)。荷蘭鹿特丹健康城市介紹(Rotterdam Healthy City Project Case Study)。健康城市學刊，4，頁75-83。

四、臺灣綠色港埠之發展架構

「綠色港埠」之研究範圍涉及環境面、技術面、經濟面及政策/組織面、對象則包括港埠管理、港埠空間之業者、居民等不同之權益關係人，本研究以 1) 港埠永續規劃；2) 港埠永續建設；3) 港埠永續經營管理；4) 港埠永續社會結構四個面向(圖 2)進行臺灣「綠色港埠」之架構建立。

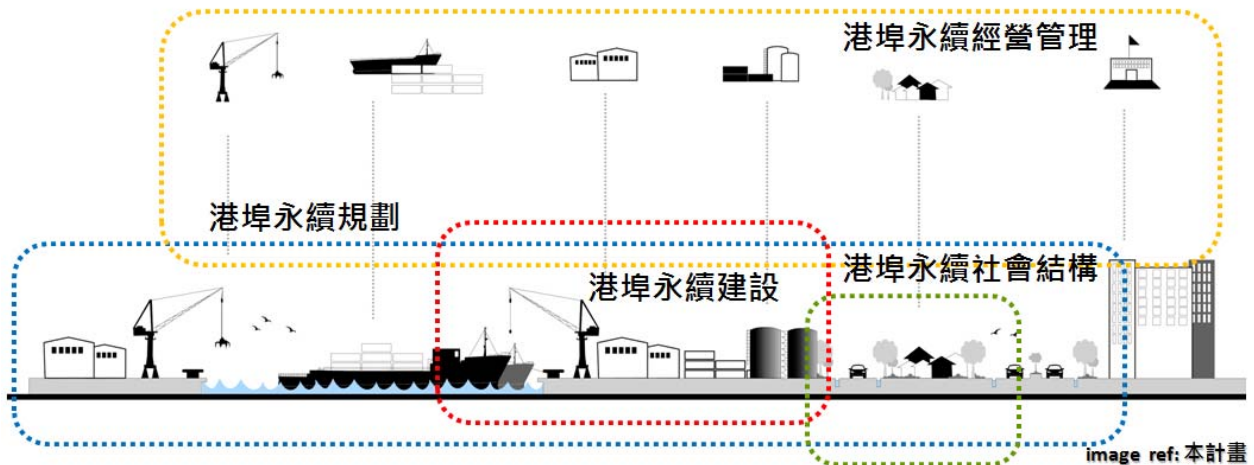


圖 2 綠色港埠發展之四個面向

4.1 港埠永續建設

港埠空間包含大量之建設及港埠活動，也容易造成高環境風險與危害，傳統的港埠發展及管理主要以「管制及罰則」等被動方式控制污染，近年來，美國及許多國際大商港轉以最佳管理操作(Best Management Practice, BMP)模式，減低發展對環境的衝擊，就美國的綠色港埠操作而言，被引進港埠環境的永續建設機制主要有「能源及環境設計領導系統」(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)，以及「永續計畫評估系統」(Sustainable Project Rating Tool, SPiRiT) 兩大類。LEED 為美國國家非營利組織「綠建築協會」(US Green Building Council, USGBC)發展出的評估系統，指定環境的六項指標及 69 點規範準則，。此項指標評估系統已成為北美對永續發展的重要評量系統之一，大型港埠也將其應用至港埠之營運發展策略(Abood，2007)。LEED 與「綠色標準操作流程」(Green Standard Operating Procedures, Green SOPs) 搭配應用，可提供港埠管理機關及使用者依循之操作流程及評估準則，此套機制已被應用於港埠疏浚、壓艙水管理、棲地復育、空氣品質、水資源保存、能源保存、材料使用、廢棄物排放等議題 (Abood，2007)，美國紐約及紐澤西港務局利用此套系統，並獲得 LEED 的認證通過，成為全球具環境領導價值的港埠計畫。

SPiRiT 為美國陸軍工兵團 (U. S. Army Corps of Engineers) 發展出總分 100 點的評估方式，各個計畫可透過自我評估的方式審視其環境友善之等級，主要之理念架構仍是依循 LEED 之理念。因此本計畫以 LEED 為依據，檢視港埠空間環境之現況與改善策略，以及港埠及港區空間配置可能之耗能空間，同時建立港埠棲地受影響之復育及補償機制。港埠之永續建設應用 LEED 之六大範疇包括：永續之敷地計畫(SS)、有效之水資源管理(WE)、能源及大氣系統(EA)、材料及資源(MR)、室內環境(EQ)、創新制度(ID)六大項，每一項評估可以指標及點數表示。

除了港埠新的建設可應用 LEED 評估系統之外，舊有設施之拆除或重建也可套用 LEED 評估系統，而港埠操作及活動也可納入評估之系統中，以港埠疏濬之底泥管理為例，不同的處理及替選方案可由流程圖(圖 3)中被分析及評分，因此，目前此系統以經成為北美許多綠色港埠應用的系統，並藉由此系統獲得銀質、金質或白金等級之認證，成為經認證之港埠永續建設。港埠環境與一般綠建築的標章不同，LEED 系統提供較具彈性、且具公信力之評估模組，以下應用 LEED 於港埠營運中，與綠色港埠衝突較大之項目 (Abood, 2007)：

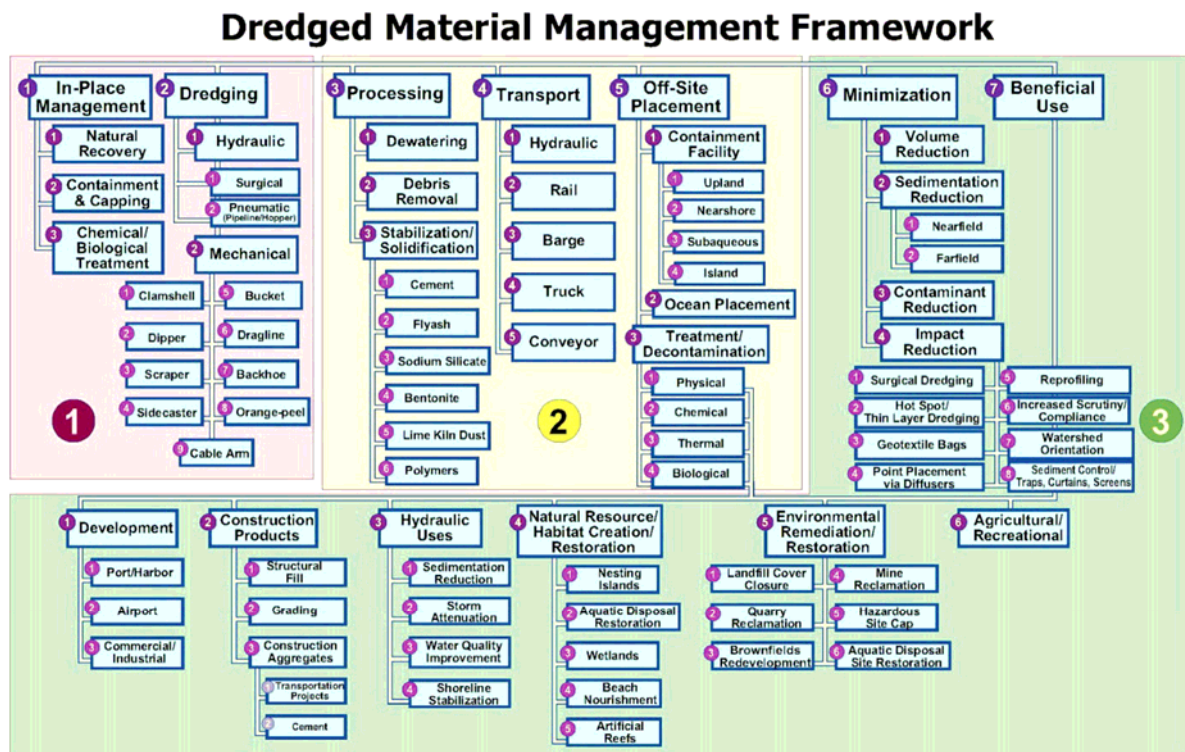


圖 3 港埠疏濬之底泥管理架構 (資料來源：Abood, 2007)

1. 港埠疏濬及底泥處理

可應用材料及資源(MR) 範疇內之指標，而處理底泥之過程可加入有效之水資源管理(WE)，及環境品質之指標。

2. 壓艙水管理

壓艙水為港埠營運之重要環境議題之一，除可能之汙染外，也常造成外來種入侵之風險，壓艙水管理計畫可應用水資源管理(WE)，及永續之敷地計畫(SS)指標。

3. 棲地復育

應用港區無汙染之廢棄物(蚵殼、礁石、廢棄材料、棄土等)，重新復育遭破壞之棲地環境，可符合永續之敷地計畫(SS)、水資源管理(WE)、材料及資源 (MR)、創新制度(ID)等多項指標。

4. 空氣品質

港埠之空氣品質改善可包括港區所有建物之室內空氣、港區船舶及運輸之排放、港埠機具之排放，可符合能源及大氣(EA)、材料及資源 (MR)、室內環境品質(IEQ) 等多項指標。

5. 節水

港埠之硬鋪面多，傳統港埠操作較忽略水資源之回收、現地處理及再利用，有效之水資源管理(WE)、永續之敷地計畫(SS)可提供永續建設之準則。

6. 節能

能源及大氣(EA)指標可充分應用於港埠環境及操作，包括綠屋頂、使用再生能源、應用自然光、減少熱島效應、汰換耗能設施、使用岸電系統、使用遠端感應及控制系統等。

7. 材料回收

港埠為大量材料進出或棄置的空間，可應用材料及資源 (MR) 範疇內之指標，大量減少港埠廢棄之材料。

8. 港埠漏油及汙染處理

可透過港埠完善之緊急應變機制及設施，達到材料及資源 (MR)、創新制度(ID)範疇內指標。

4.2 港埠永續規劃

由港埠整體規劃探討如何減輕對環境的影響，包含港埠環境長期監測之機制，及港市界面空間之改善。港埠之整體規劃包含「港」本身，也涵蓋所處之「城市」，以高雄港為例，在整體規劃上，高雄港被定義為亞太整體之營運中心，中央及地方之規劃均影響高雄港市未來之趨向，同時，高雄港擁有與城市共同發展的加成效益，綠色及生態港市的整體規劃可提升高雄港的競爭力。港埠的永續規劃包含港區內、港市界面及臨港區之空間規劃，港區內之空間基本設施包括水域設施(航道、迴船池、泊地及船渠)、隔浪設施、繫船設施、倉儲設施、裝卸設備、船舶修護設備，客運服務之空間等；港市界面包括水岸之親水空間、港市之動線連結及緩衝區域之設置等。綠色港埠規劃策略應由港埠現有之機能使用，以及與城市空間之互動競合進行分析，研究以地理資訊系統(Geographic Information System, GIS) 進行空間之適宜性分析、分區計畫及策略，圖 4 為港埠空間規劃之初步架構。

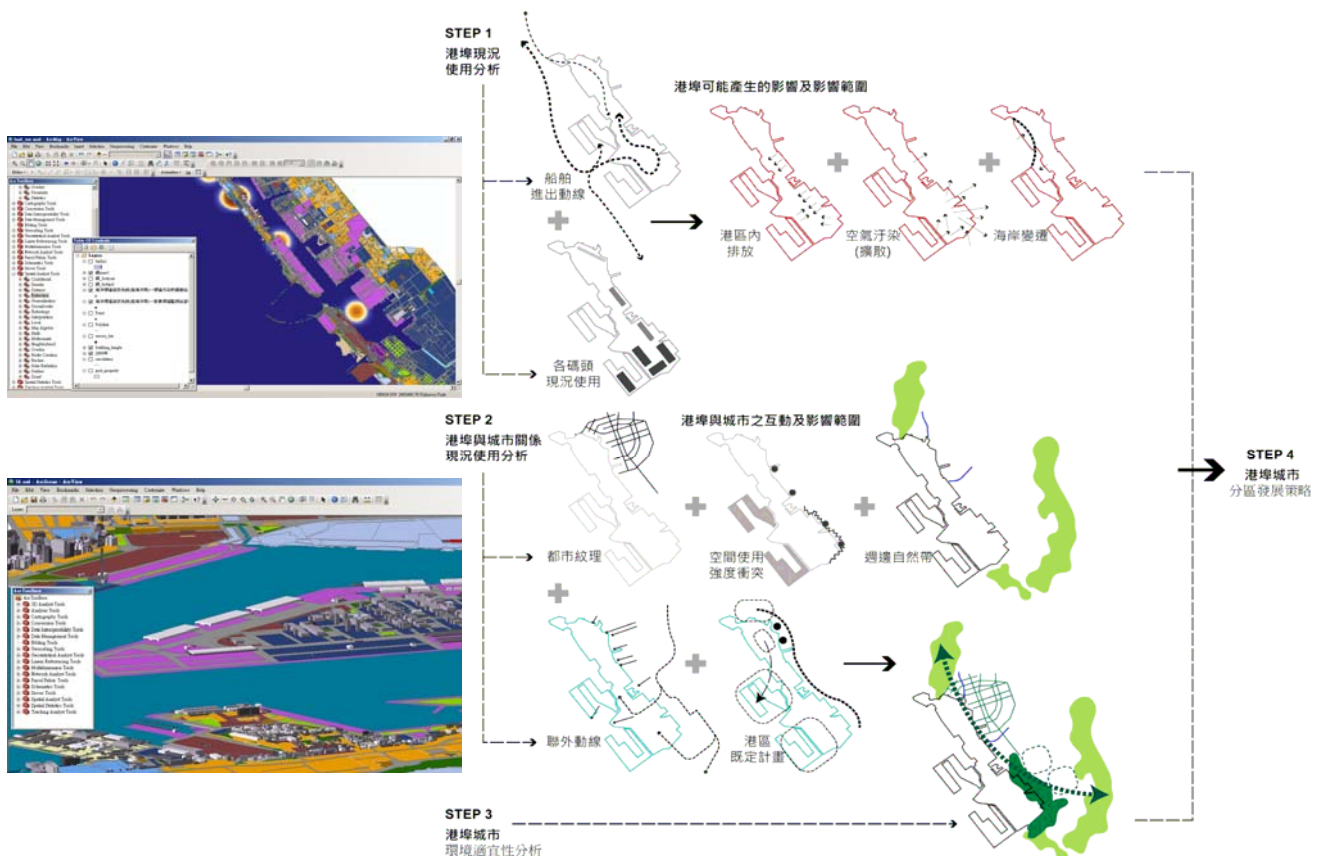


圖 4 港埠空間規劃之初步架構

為執行港埠整體之規劃，需逐年逐步完成下列之工作項目：

- 1) 綠色港市之發展藍圖；
- 2) 分區發展願景及策略；
- 3) 工業遷廠後之棕地 (Brownfield) 復育機制；
- 4) 生態補償機制；
- 5) 港市界面營造；
- 6) 高雄綠色港生態保育及棲地營造策略；
- 7) 港區內聯外及不同使用之動線規劃；
- 8) 分區分期機制；
- 9) 綠色港埠發展永續性之評估指標；

4.3 港埠永續經營管理

港埠之經營管理可分為制度面及操作機制面，就制度面而言，國內外有許多論述探討及分析臺灣港埠，主要之文獻分析多偏向港埠經營之 1) 管理與營運界線模糊；2) 民營化經營挑戰；3) 自由貿易港區計畫不易；4) 港、市管轄衝突等面向。就港埠之操作機制而言，傳統港埠經營管理為由上而下單一的模式，進港的船舶、航運公司及港埠使用廠商只能被動接受港埠規定，以澳洲及歐洲的港埠為例，航運公司及港埠使用廠商可以提出環境友善之使用計畫，藉此獲得港埠運作的實質優惠，對港埠管理單位而言，也可減少環境復育及污染防治的費用，同時強化港埠城市的整體環境意象。此種以獎勵取代懲罰、以群體力量取代單一力量的模式，可逐步提升港埠的競爭力(陸，2009)。「綠色港灣」的政策必須落實於一套完整的評量機制及標準操作流程(圖 5)，雪梨港的「綠色港灣指導方針」提供了一份環境核對清單 (check list)，進出的航運公司及港埠使用廠商必須依照其清單內容勾選並填寫，除了這份清單外，雪梨港務公司也獎勵創新的想法，藉此改進整體的港埠營運，此套「綠色港灣指導方針」已經開始進入澳洲綠色建築協會認證的機制，如果成功應用於港埠，這個準則將可協助承租人及申請人獲得認證。

資源消耗 Resource consumption

環境品質 Environmental quality

4. 土地使用：

- 鼓勵汙染狀況嚴重的基地進行重新開發與修復。
- 工作期間應避免破壞遺產資源。
- 利用景觀手法加強生物多樣性，創造及保護野生動植物棲地。

目標	建議實施措施	發展階段	效益(環境/社會和健康)	操作難易度	投資報酬
鼓勵那些明顯已遭受汙染的基地進行重新開發與修復。	★ 評估基地潛在的汙染，提出並實施適當的補救策略	③④	☑☑ 整治受汙染的土地和避免開發綠地會提升環境效益。	☑ 根據汙染的程度及類型。	☑ 成本取決於所需的補救工作以及外部顧問的聘請，基地可能會比綠地便宜。
	確認基地有無酸性硫酸鹽土，並實施適當的控制措施	③④	☑☑☑ 管理何種防酸性硫酸鹽土壤的任何潛力(PASS)。	☑☑ 依據酸性硫酸鹽土壤質量，投入工作需要的。	☑ 依據酸性硫酸鹽土壤的質量，應請教外部顧問是。
工作期間應避免破壞遺產資源。	確定基地上有哪些受保護的遺產資源，並且確保他們的保護及搬遷工作。	③④ ⑤	☑☑☑ 遺產資源的保存所獲得的效益會反應在下一代身上。	☑☑ 須要根據針對遺產資源所做的措施。	☑☑ 根據基地需求有所不同，但可避免違規情況的支出。

圖 5 澳洲雪梨港綠色港灣指導方針之示範

(資料來源：Sydney Ports Corporation，2006)

為執行港埠操作機制之永續經營管理，可逐步完成下列之工作項目：

- 1) 分區綠色港埠之推動機制；
- 2) 航商及企業自發性之推動及獎勵機制；
- 3) 港市空間資料之整合；
- 4) 港區長期監測系統之架構；
- 5) 港市「綠色港埠」發展之推動策略；
- 6) 綠色港埠基礎研究之建置及整合；
- 7) 建立綠色港埠指導方針；
- 8) 災害應變及風險評估；
- 9) 綠色港埠成本效益評估系統；

4.4 港埠永續社會結構

港埠的建設發展對於周遭的社區及民眾具有重大的影響力，民眾對於港埠的認知大部分停留在貨櫃、重機具、大型貨櫃車的組合等，親近海洋及港埠的想像已被切斷，因此如何提升全民對海洋的重視是引發港埠轉型的關鍵

之一，港埠永續社會結構之分析將評估港埠可能影響之社區範圍，以美國長堤港為例，其將港埠周邊區分為數區(圖 6)，並分別制訂策略及互動機制，同時透過互動式參與及教育計畫，達到港埠周邊社區發展之穩定及永續性。

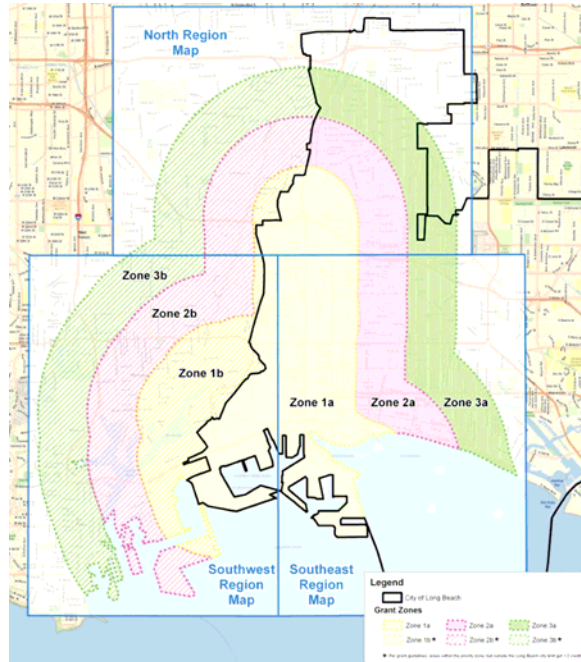


圖 6 長堤港周邊社區影響範圍界定圖
(資料來源：Port of Long Beach)

以高雄港為例，周邊涉及 5 區 35 里，為執行港埠之永續社會結構發展，可逐步完成下列之工作項目：

- 1) 分區風險評估及管理機制；
- 2) 港區多元化社會評估模式；
- 3) 綠色港區社會支援系統；
- 4) 綠色港埠之環境教育計畫；
- 5) 休閒及環境解說系統；
- 6) 社區、學校、團體之參與機制；
- 7) 綠色港埠宣導及互動機制；
- 8) 企業之社會責任建置；
- 9) 航運公司及港埠廠商環境友善意識；

五、綠色港埠之空間發展策略與建議

「綠色港埠」在臺灣雖然尚未開始由政策落實到行動方案之面向，但其理念已逐漸形成於臺灣各大商港之未來規劃中，由民國 100 年初四大商港港務局所提出「綠色」相關之施政重點來看，基隆港港務局朝向形塑低碳港口意象、臺中港務局推動綠色港區環境及港市合作、高雄港港務局將永續相關之理念納入其 2040 整體規劃及未來發展計劃、花蓮港務局推動重大工程綠能港口規劃等，均由不同面向切入「綠色港埠」之發展。交通部運輸研究所港研中心也於近年陸續展開「港灣生態景觀規劃設計應用研究」、「臺灣港埠節能減碳效益提升之研究」等綠港相關研究，本研究今年針對「綠色港埠」之空間發展提出以下之建議：

1. 綠色港市之發展藍圖

港市長久以來存在空間界面的不連續，在發展綠色港市之空間規劃時，建議以整體系統性之思考模式，透過港埠現況空間使用之情形、可能產生之環境衝擊與影響範圍，與所屬城市之都市紋理進行空間適宜性分析，提供長遠永續性之空間藍圖。同時，藉由完整空間資料庫之建立，提供港市長期環境監測之機制與系統。

2. 生態補償機制

港埠之存在與興建對海岸棲地與生態有直接之影響，建議有系統地在港埠周邊建構「生態補償銀行」，減緩港埠對棲地環境的影響，以高雄港為例，港區內人工渠道周邊、港埠閒置空間、港埠周邊海岸淤積灘地等均可列入「生態補償銀行」清單，除提供棲地空間外，也可藉由自然環境之復育，淨化周邊水域之水質。生態補償機制也可參考歐洲之模式，建立全國性港埠之補償系統。

3. 港市之綠廊連接系統

港埠周邊之環境及社區往往為環境衝擊最大之區域，建議透過至少 10 米緩衝帶之設置，減少港埠之影響，同時緩衝之綠帶可延伸至城市的綠帶系統，提供港市綠廊之連接，港埠周邊之社區更新或再造時，也應依循一定之建築規範，將開放空間串接至港埠的綠帶，塑造港埠周邊之生態社區概念。

4. 棕地復原機制

港埠用地包含各式工業區、儲油設施、修建船舶等高汙染產業造成土壤及水中重金屬、有毒物質累積形成之棕地，棕地之再利用需透過審

慎之處理及評估過程，傳統上處理棕地可以覆蓋或移除的方式，近幾十年也有許多研究致力於環境復育 (environmental remediation) 的技術，以生物或自然手段去除污染物的毒性，不論何種技術，綠色港埠需依各港可能之污染物質制定其棕地復原機制。

5. 港區永續建設之準則

港區空間之建設包含舊有建物及新設建物，建議制訂各港之永續建設準則，包括港區建設之分區使用強度規劃、舊廠區空間、設施改善策略及綠建築準則、港埠閒置空間再利用計畫、港區水岸空間改善計畫、新設廠區空間及綠建築準則、港區水資源管理計畫、港市綠廊串聯及生物多樣性空間建置等，以達到港區環境之整體品質改善。

參考文獻

1. Abood, Karim A. (2007). Sustainable and Green Ports: Application of Sustainability Principles to Port Development and Operation. Proceeding of the Ports 2007 Conference, San Diego, 1-10.
2. Port Authority of New York and New Jersey (2002). Environmental “Green Ports” Management Seminar for New York-New Jersey Harbor Tenants. LMS Engineers.
3. Sydney Ports Corporation (2006) . Green Port Guidelines, Sydney Ports – Green Port Guidelines.
http://www.sydneyports.com.au/environment/green_port_guidelines,
(2011/3/2)
4. Sydney Ports Corporation (2006). Green Port Guidelines, Sydney Ports – Green Port Guidelines.
http://www.sydneyports.com.au/environment/green_port_guidelines,
(2011/3/2)
5. The Port of Long Beach (2006). 2006–2016 Port of Long Beach Strategic Plan, <http://www.polb.com/about/plan.asp>, (2009/02/27)
6. 中國國務院（2008）。渤海環境保護總體規劃（2008～2020）。中國大陸：中國國務院。
7. 交通部運輸研究所(2010)臺灣綠色港埠期中報告書。

8. 行政院國家永續發展委員會秘書處（2009）。2008 臺灣永續發展指標現況報告。臺北：行政院國家永續發展委員會。
9. 吳淑儀、孔憲法（2003）。荷蘭鹿特丹健康城市介紹（Rotterdam Healthy City Project Case Study）。健康城市學刊，4，頁 75-83。
10. 邱文彥，2008，「綠色港灣」的概念與其對高雄港的意涵，「2008 高高屏區域永續治理研討會」，高雄，第 193-200 頁
11. 陸曉筠，2009，綠色港灣與水岸再造，海洋與臺灣永續發展 II：海洋產業與科技創新。臺北，財團法人臺灣研究基金會，頁 74-96。

綠色運輸環境建構

蕭再安¹

摘要

長期以來，社會變遷已導致運輸系統背離永續發展；運輸能源消費量與空污(含CO₂)排放量皆呈現上升趨勢，綠色運輸策略也成為國際上調適氣候變遷的重要議題。本文從空間規劃提出落實綠色運輸理念之規劃模式與規劃準則，目標則是建構以人為本的綠色運輸生活型態。透過土地使用規劃手法融入綠色運輸策略為長期與根本之道，結合運輸系統管理(Transportation System Management, TSM)、智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)、綠能技術、車輛技術與資訊科技等技術創新與管理面措施，可收相輔相成之效。

本文體認要實現綠色運輸生活型態的願景，必須多數民眾具備良好環保意識。本文主張從政策、政治與人民(Policy, Politics, and People, 3P)的互動關係，找出建構綠色運輸環境的推動過程中，有利於良性互動的整合平台。

關鍵字：綠色運輸策略，土地使用規劃，氣候變遷

Constructing green transport environment

Tzay-An Shiau²

ABSTRACT

Social change has lead transportation system away from sustainable development in the long run. Transport energy consumption and emissions (including CO₂) are in growing trend; and green transport strategies have become an important issue in adapting climate change problem in the world. This paper proposes spatial planning model and guidelines to realize green transport concepts in constructing green transport life style. In the long run, land use planning is a fundamental task to incorporate green transport strategies. Technical innovations and management techniques, including Transportation System Management (TSM), Intelligent Transportation System (ITS),

¹國立臺灣海洋大學河海工程學系副教授

green energy technology, vehicle technology and information technology are treated as a package combined with land use planning.

To realize the vision of green transport life style, most people should have well environmental conscious. This paper points out the interaction between 3P (People, Politics and Policy) is a key integration platform to promoting the construction of green transport environment.

Keywords: Green transport strategy, land use planning, climate change

一、前言

依據維基百科(Wikipedia)的定義^[1]，綠色運輸(Green transport)指的是對環境衝擊較輕微的運輸方式，包括步行、騎自行車、以大眾運輸為導向的發展模式(Transit-oriented development)、環保車輛、汽車共享(Car sharing)、以及建構(或維護)具有燃料效率、空間節約、有益健康生活型態之都市運輸系統。上述定義提供本文研擬綠色運輸思維架構(詳述於第二節)之基礎。

綠色運輸策略為運輸部門因應節能減碳的重要工具，為因應京都議定書生效，2005年第二次全國能源會議，蕭再安^[2]歸納運輸部門之節能減碳對策如下：

1. 資訊化

利用資訊科技減少不必要之運輸需求，如視訊會議、電子商務等；以及建置物流資訊平台、加強建置智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)等，俾提升運輸系統的營運效率。

2. 效率化

包括提升運輸效率與能源使用效率。

3. 潔淨化

配合綠色採購與自願性減量等措施，推廣運輸工具使用再生能源與較潔淨能源。

4. 整合化

包括土地使用規劃與運輸規劃的整合、複合運輸(Intermodal transportation)系統的建置，以及行政機關的整合。

國際上為了因應全球氣候變遷，除了過去重視的減災議題外，從2008年開始強調劇烈性天災已不可避免，調適策略為不得不的發展方向；歐盟^[3]也提出土地使用與運輸規劃整合的訴求，希望藉此改變運輸需求型

態，包括：

- 1.提高土地使用密度，同時加強非機動運具和公共運輸的可及性。
- 2.強化開發單元的混合使用與空間配置，以增加地區性服務和就業機會。
- 3.土地使用集中發展於運輸走廊。
- 4.旅次端點減少停車位的提供。
- 5.土地開發者被要求須貢獻運輸基礎設施，包括提供公共運輸服務。
- 6.汽車通勤族被要求須支付興建公共停車場費用。
- 7.土地開發區位須鄰近公共運輸可達節點。

綠色運輸環境建構已成為重要的議題；綠色運輸在生態城市(或社區)也扮演重要的角色。以德國弗萊堡之沃班(Vauban in Freiburg)生態社區為例，除了行人與自行車專用道、行人徒步區普及外，到處都是交通寧靜區的規劃；不僅實質鼓勵非機動運具優先，而且開車族只允許於公共路外停車場停車，且需付三萬歐元之高額停車位費用，也實質抑制私人機動運具之持有與使用；具體成果是約70% 的居民願意過無車生活(Car free living)^[4]。

本文嘗試從空間規劃觀點，說明綠色運輸環境建構之依循準則及規劃架構，同時提出綠色運輸的推動策略。

二、綠色運輸之思維架構

若廣義詮釋維基百科對綠色運輸的定義，有助於運輸系統朝向更環保的方向發展的方式皆可納入；以國際上關注的空污(含CO₂)排放為範疇，運輸部門的空污排放量可分解為運輸密集度(Transport intensity)、能源密集度(Energy intensity)與污染密集度(Pollution intensity)[5]。依層級分析的概念可詳細分解為圖1所示的層級圖。

圖1顯示能夠降低運輸活動對環境衝擊的方式相當多元，從大方向來看，包括降低運輸系統之能源密集度、使用替代能源與減少運量皆可降低運輸系統的排放量(包括二氧化碳與空氣污染物)。進一步細分，運輸系統之能源密集度與運具組成和運具之能源密集度有關；其中運具之能源密集度由乘(承)載率和運具能源效率決定，而運具能源效率取決於車輛技術和交通狀況；運量則是取決於旅次數量和旅次長度。

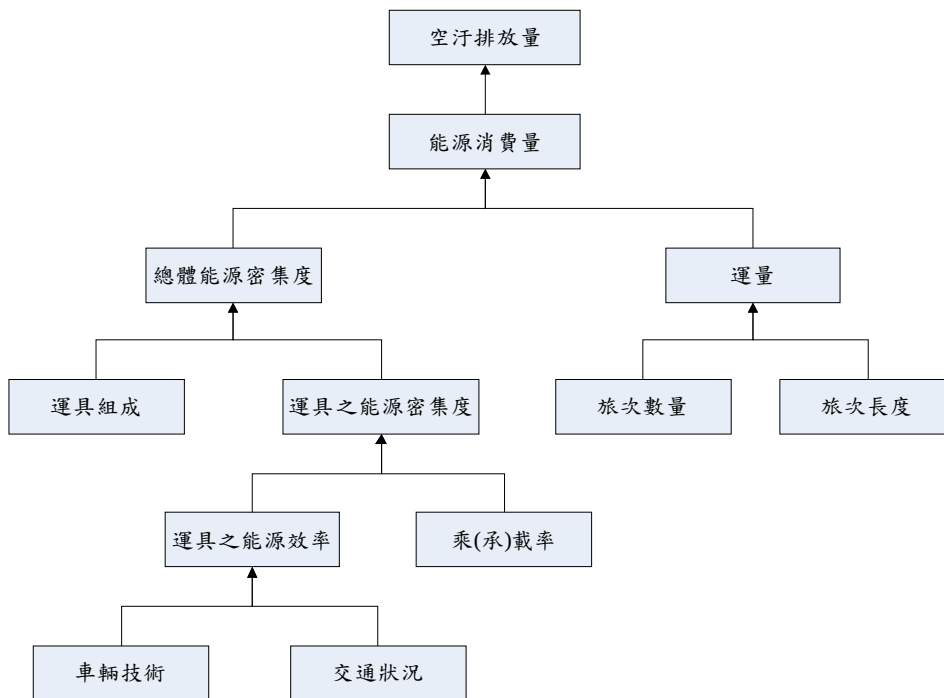


圖1 綠色運輸之思維架構

資料來源：[6]

由此觀之，在滿足社會經濟活動的前提下，凡是有助於運輸系統朝向二氧化碳與空氣污染物排放減量的方向發展之措施，皆可納入綠色運輸的範疇。因此，綠色運輸是相對性與系統性的概念；相對性指的是比現況更符合環保的措施都值得納入考量，不必過度爭論最適的指標門檻值；系統性指的是更廣泛且周延的思考各種改善措施，並非侷限於只考量運具所使用之能源。

三、結合綠色運輸理念之空間規劃模式與準則

綠色運輸理念可以依據圖1來廣泛思考，透過人類行為與活動的改變達到節能減碳效果，長期之道則須落實於空間規劃；本文分別依空間規劃模式及空間規劃準則說明如何落實綠色運輸理念於土地使用。

3.1 空間規劃模式

結合綠色運輸理念之空間規劃模式強調上位計畫指導，以及交通運輸與土地使用之間的互動，如圖2所示；內容說明如下：

1. 空間上位計畫與交通運輸定位

土地使用是多元目標的發展型態，未來土地使用的合理發展，端賴上

位計畫的指導原則，據以擬定發展願景及發展定位加以引導。在綠色運輸系統導向的土地使用發展下，依據上位計畫的指導原則，交通運輸的定位要明確，特別是涉及重大投資之基礎建設，如是否引進輕軌系統、是否建置完善之充電站供電動車使用。

2. 綠色運輸策略

在明確的交通運輸定位下，綠色運輸策略可以依個案的空間特性而產生。在空間規劃上依循「交通減量」、「綠色運輸完整路網」、「綠色運輸舒適路廊」及「綠色能源運具使用」四大方向，其規劃準則詳述於3.2節。其中「交通減量」的主要目的在降低運輸密集度；「綠色運輸完整路網」及「綠色運輸舒適路廊」的主要目的在降低能源密集度；「綠色能源運具使用」的主要目的在降低污染密集度。

3. 土地使用規劃及管制

根據上位計畫指導，本文從土地使用機能與規模、空間結構、交通運輸計畫及土地使用管制著手，說明如何從空間規劃建構綠色運輸環境。

(1) 土地使用機能與規模及空間結構

適當改變土地使用面向之機能型態，並調整土地使用之規模與區位，檢討土地多元及複合使用之可行性，以緊湊城市及大眾運輸導向的發展型態(Transit oriented development, TOD)等概念，進行土地使用規劃，期能藉由機能複合及互補的模式，減少旅次的產生或平衡旅次的方向性。

(2) 交通運輸計畫

從綠色運輸概念進行都市交通運輸系統的規劃，藉由各綠色運具的創造、規劃與配合，形塑互補共構的綠色運輸網絡系統，並以TOD導向之規劃思維，增進路網之完整性。

(3) 土地使用管制

藉由土地使用管制，給予都市環境相關規範，限制建築及公共空間留設，並強調舒適空間的創造，以提高綠色運輸的服務品質，並帶動綠色運具的使用程度。

4. 運輸需求分析

在綠色運輸導向之土地使用規劃下，以運輸需求模式為分析工具，分別進行旅次產生、旅次分布、運具選擇及交通量指派分析，經由所得結果

之交通衍生量及服務水準等級，作為運輸系統供需檢核之依據。

5. 綠色運輸系統檢核

(1) 運輸系統供需檢核

本文強調運輸系統與土地使用規劃的互動與整合。藉由運輸系統供需檢核，可以瞭解在綠色運輸理念導入土地使用規劃下，路網的服務水準及合理性是否可以確保；檢核結果必要時可回饋修正土地使用規劃及管制。

(2) 綠色運輸指標檢核

綠色運輸指標是作為衡量綠色運輸目標達成度的依據，檢核結果必要時可回饋修正綠色運輸策略。

6. 規劃方案形成

通過運輸系統供需檢核及綠色運輸指標檢核之土地使用規劃方案，已結合綠色運輸理念且符合一定水準之綠色運輸目標，為本文建議之規劃方案。

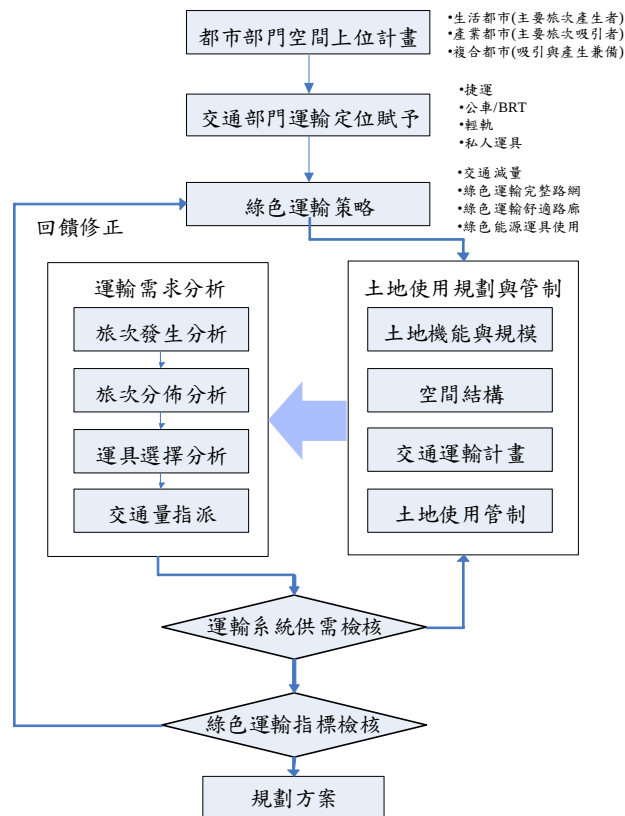


圖2 綠色運輸導向之空間規劃模式

資料來源:^[7]

3.2 規劃準則

在空間規劃上，規劃準則係依循「交通減量」、「綠色運輸完整路網」、「綠色運輸舒適路廊」及「綠色能源運具使用」四大方向而研擬，如圖3所示；

內容說明如下：

1. 交通減量

(1)面的考量—多核心使用型態

單一核心的土地使用型態，造成週邊的單純住宅區，不論日常的工作、求學或消費旅次，都需要經由長距離的旅行時間及距離才可達成，且容易於短時間聚集於同一地區，造成交通問題。因此都市內應避免單一活動節點過於龐大集中，在土地使用規劃面，可藉由多核心的規劃，將各活動結點分散集中至各次核心，以多個次核心取代單一龐大的活動核心，以降低旅次的過度集中造成資源的耗損。

(2)線的考量—路廊使用型態調配

交通路廊主要為連接各種不同型態的土地使用，以滿足民眾的社會經濟活動。如果在同一路廊上，各節點之土地使用性質分明且排他，則容易造成在同一時間內各節點之旅行起、訖點相同，進而衍生交通問題。而交通路廊上各節點間的土地使用性質，經由全線整體佈設調配方式，可以避免各時段單向旅次過度集中，造成道路空間使用不經濟。

(3)土地複合使用

以土地使用分區為基礎，強化土地之複合使用。如商業區依法可以發展為100%住宅區；透過適當的土地使用管制規定，可以發展為住商複合使用之型態，以減少機動運具旅次及平衡旅次之方向性。

(4)建築物內部的垂直混合使用

傳統空間規劃多以平面式土地混合使用作為思考起點，所有運輸活動皆收集至地面層進行分派，對於重要發展節點地區，考量活動多樣性及土地資源的稀少性，可透過單一建物體複合使用以整合相容且互補機能於一處，除減少不必要旅次產生外，透過立體空橋或人工地盤的串連，可提供立體層都市開放連通空間，減少地面層運輸活動的複雜性，以有效達到人車分離，並提供更連貫舒適的人行空間。

(5)攔截圈系統建立整合相同遊憩起訖旅次

引用攔截圈的概念，為透過停車場或轉運站攔截，並提供遊憩區內使用綠色運具，確保遊憩區環境品質。

(6)大專院校周邊土地建立學生生活圈

臺灣大專院校普遍存在校舍不足，許多學生須外宿且多以機車為主要交通工具。若以大專院校為主要的活動節點觀之，大學周邊的商業及公共空間可因應學生的活動特性而設置；政府可透過經濟誘因，鼓勵民間部門於大專院校周邊提供學生住宿空間。除了減少不必要之機車旅次產生，並可達到在土地使用規劃上減少與其他類型活動及生活型態衝突之可能。

2. 綠色運輸完整路網

(1)以空間需求為導向--節點篩選、路權賦予

空間規劃初期，規劃者可針對該地區進行整體分析，以目前的都市紋理篩選重要活動節點，在可取得用地的條件下，以專用路權賦予之方式，提高節點間之運輸連絡能力。而在路權賦予的考量下，以圖層式的思維，以不同綠色運輸系統或運具其需求條件，分層分析整體疊合考量，依其適當區位賦予專用路權。

(2)不同層級路權之整合方式

透過專用路權之賦予，道路規劃設計上須具彈性；道路不再只供汽、機車使用，綠色運輸路權將與其他車輛路權共存，以避免後續因路權需求而產生用地取得問題。

(3)各運輸系統間的轉乘應集中設置，以減少轉乘旅次

運輸場站為空間之重要節點，若節點過多將增加不必要旅次；故建議整合不同節點，將機動型綠色運輸場站以共構的方式規劃、配置，彼此聯絡動線於立體空間內即可快速連接，提高轉運接駁效能。

(4)綠色運輸系統路網應互相串聯支援

公車路線的佈設，可搭配軌道運輸系統進行調整，使公車不僅可服務軌道運輸場站週邊之外的需求，並且可填補軌道運輸網絡之間的空缺。如此藉由兩者服務範圍的互補，得以完整建構綠色運輸系統網絡，其效能更得以發揮。非機動型綠色運輸系統主要包括步行與自行車，路網的連續性將影響非機動綠色運輸系統使用率。

(5)綠色運輸系統儲備空間

機動型綠色運輸系統中，公車路線佈設較具彈性，可於都市中配置公共汽車場站，並作為商業發展中心及居民聚集與交流的場所；而捷運的規劃，最困難的部份是用地的取得。從長期發展而言，公車專用路權及轉運場站，可做為綠色運輸系統(軌道運輸)儲備空間，未來時機成熟時可以彈性發展為軌道運輸。

(6)建築退縮預留發展空間

在都市發展初期，用地取得較容易，因此在都市規劃上，應於建築基地中，以建築退縮預留發展空間。而事先預留的退縮空間對於綠色運輸導向發展之貢獻，在於預留未來非機動運具使用空間，使其自然形成完整且連續性自行車道及人行步道；在都市發展中、後期甚至可做為規劃輕軌系統或公車捷運等綠色運輸系統專用路權之擴充空間。

3. 綠色運輸舒適路廊

(1)以建物退縮留設非機動型綠色運輸系統之專用路權

欲使非機動型綠色運輸系統與一般運具分離，在都市規劃面可利用建物退縮，留設非機動型綠色運輸系統用地，使其與一般運具分離。而退縮距離至少可考量自行車道與人行步道共用時所需的寬度。

(2)建立各非機動型綠色運輸系統的專用路權

都市內的土地資源珍貴，在避免額外劃設植栽空間及視覺景觀通透性的考量下，可利用高低差或鋪面差異區隔自行車道及步行空間，而在土地使用面，可劃設帶狀廣場用地做為自行車道用地，以強化其獨立性。

(3)減低駕駛車速，提高行人安全感

非機動綠色運輸系統主要包括步行及自行車，其安全性必須更加重視。非機動運具與機動運具無法達到完全區隔時，土地使用配置可藉由留設街角廣場以供植栽，增加車道狹窄感；穿越步道的前方可將道路彎曲設計，以視覺感受的差異，促使機動運具的駕駛注意並降低車速，以維護非機動運具之安全性。

(4)順應非機動型綠色運輸系統配置開放性空間

綠色運輸系統不僅包含「生活工具」，也可以延伸為「生活空間」。

因此可藉由結合公園、綠地之休閒遊憩功能配置，提升非機動型綠色運輸系統之趣味性及舒適性，甚至引導非機動型綠色運輸系統節點同時成為居民交流中心。

4. 綠色能源運具使用

(1) 攔截圈轉乘點之後運具使用綠色能源或非機動型綠色運具

除了透過空間規劃的檢討達到綠色運輸、節能減碳的效果，同時也可以結合管理措施，將私人運具之旅次轉換成大眾運具之旅次以及綠色運具之旅次。

(2) 透過相關配套措施鼓勵綠色能源運具使用

大眾運輸優先為運輸系統管理 (Transportation System Management, TSM) 常見的應用策略；本文建議可將其應用策略延伸至適用於綠色能源運具。

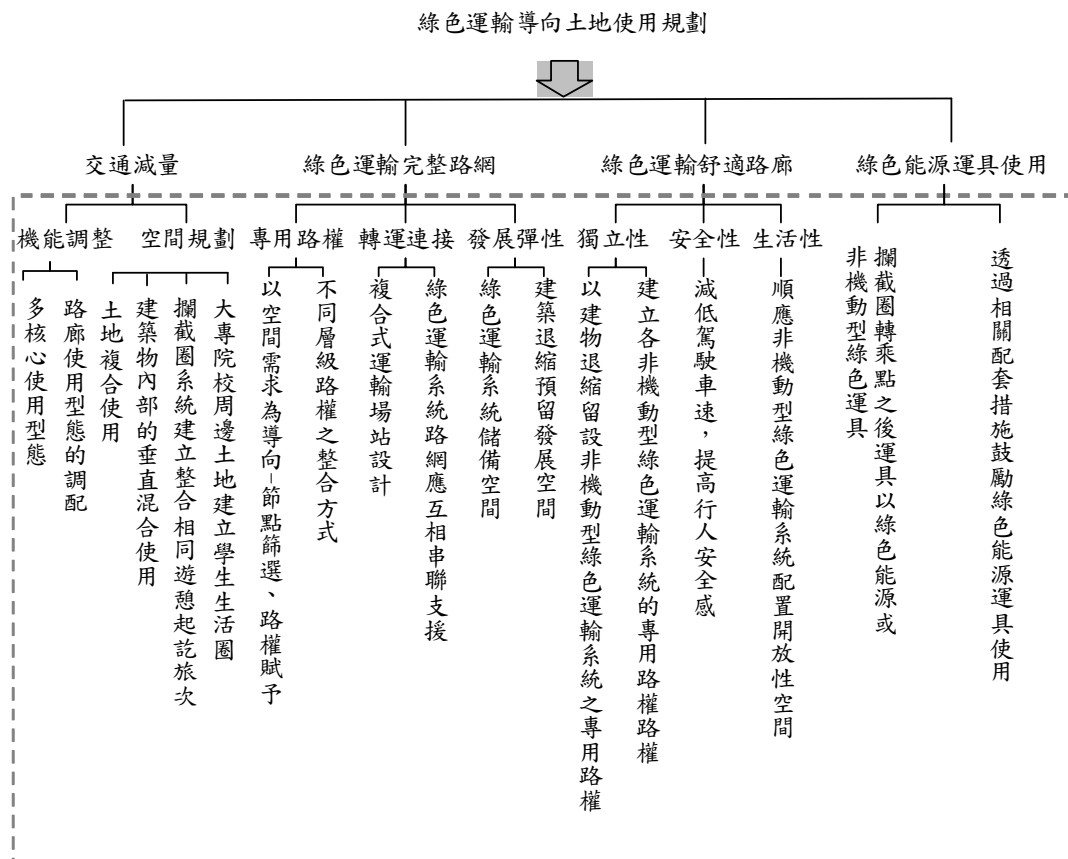


圖3 綠色運輸導向之規劃準則

資料來源：[7]

四、綠色運輸環境建構之推動策略

Button and Nijkamp (1997)^[8] 認知社會變遷會影響運輸系統的永續發展；不幸的是，過去一段長時間以來，運輸系統正與永續發展背道而馳。因此，綠色運輸策略不僅是要結合技術創新與社會創新，同時也要有長期的規劃構想。為建構省能之都市運輸系統，改變都市結構來營造新的生活型態是長期有效的策略^[9, 10]。本文提出以空間規劃的手法來創造綠色運輸環境，同時說明如何結合管理面與制度面的措施，俾引導運輸系統朝向節能減碳的方向發展。

如圖4所示，綠色運輸導向之生活型態具有多元化的節能減碳效果；從最根本談起，運輸活動係因社會經濟活動的需要而衍生，在滿足社會經濟活動的前提下，如果能減少旅次需求量，或者建構一個能在地上班、上學、在地生產與在地消費的生活環境，達到旅次長度縮減的效果，即可促進運輸系統朝向節能減碳的長期目標發展。從運具使用的觀點，如果民眾盡量使用高效率之大眾運輸系統及不耗能源之非機動運具(主要是步行與騎自行車)替代能源使用效率低之汽、機車；同時若能提升汽、機車之能源使用效率，當然可以降低運輸系統之能源消耗量與空污排放量。從能源使用的觀點，工業革命以來，化石能源(Fossil energy)被大量開採與使用，造成空污排放與溫室效應等環境破壞事實，因此尋求綠色能源的開發與應用，是運輸系統擺脫對化石能源依賴，進而促進減碳的長期解決之道。綠色運輸的生活型態不只是有助於對環境友善，同時也因為減少機動車輛(主要是汽、機車)的使用，可有效降低交通肇事的嚴重性；以及增加非機動運具的使用，也促進社區居民互動的機會；顯然綠色運輸導向之生活型態有助於提升運輸系統的永續性。

綠色運輸理念要能落實，除了空間規劃以外，技術創新及管理面措施也要互相配合，主要項目說明如下：

1. 運輸系統管理

運輸系統管理強調如何充分利用現有運輸系統，使其發揮最高效率。臺灣的交通問題，從運具組成來看，私人汽、機車數量太多是主因；以機車數量高達一千四百萬輛為例，平均一千人持有約六百輛，且未對污染嚴重之二行程機車加以嚴格管制，除了造成嚴重之空氣污染以外，也成為交通肇事死傷人數居高不下的主因；透過適當之經濟誘因與管制措施，配合導入綠色運輸理念之空間規劃，短期即可獲得交通減量效果。

2. 智慧型運輸系統

智慧型運輸系統可促進車流順暢及提高大眾運輸系統之服務品質，

進而發揮節能減碳效果。

3. 綠能技術

太陽能發電、風力發電、生質柴油與酒精汽油等供應運輸工具動力來源之綠色能源，仍須不斷的追求技術進步，俾降低生產成本，促進綠能被大量使用與替代化石能源。

4. 車輛技術

電動車、複合動力車(Hybrid vehicle)與燃料電池車等車輛技術仍須不斷研發，俾降低生產成本，促進綠能被大量使用與替代化石能源。同時，使用傳統汽、柴油之車輛仍須不斷追求技術進步，俾提升車輛之能源使用效率。

5. 資訊技術

資訊技術的普及與應用，可有效取代不必要之運輸需求；如政府推動之網路便民服務或單一窗口服務，可避免民眾往返奔波；另外如視訊會議、遠距教學等，都可達到交通減量的目標。

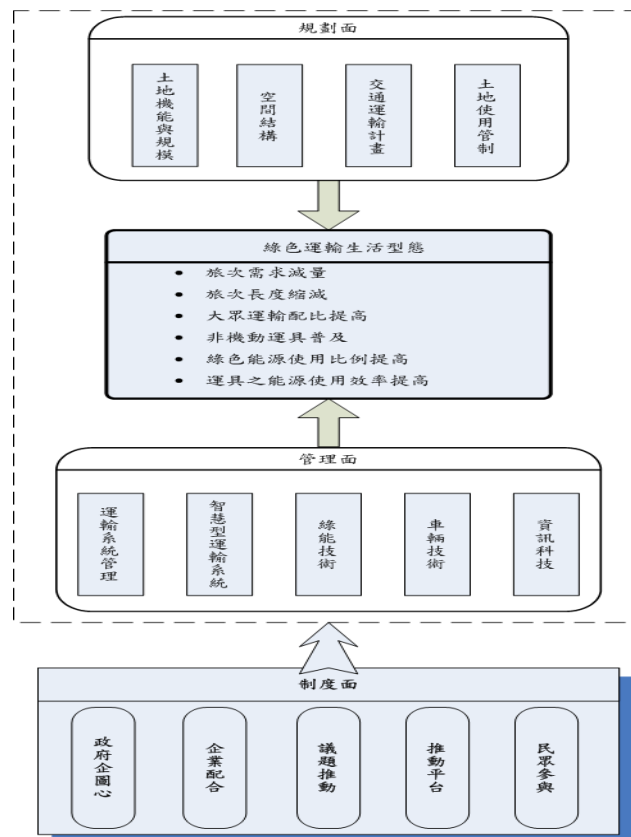


圖4 綠色運輸環境建構之推動策略

除了導入規劃面與管理面的做法來建構綠色運輸環境，也需要制度面做為政策推動之基盤；在制度面要考量的議題主要包括政府企圖心、企業配合、議題推動、建立推動平台與民眾參與。

在民主化社會中，重要公共議題於決策過程中，公民參與是必要的一環。而公民參與的範圍、行使方式、時點、受侵害時法律救濟途徑等問題，如何融入綠色運輸環境建構機制中，急需系統性、整合性的分析與探討。本文主張將公民參與議題納入，從政策、政治與人民(Policy, Politics, and People, 3P)找出建構綠色運輸環境的推動過程中，有利於良性互動的機制整合平台。建構綠色運輸環境屬公共議題，需要政府資源的投入，政府部門的政策是否支持，是成敗的關鍵因素之一；另相關政策與人民的生活習習相關，對整體環境也有一定程度的影響，在民主化社會中，獲得民意的支持也是相關政策能否順利推行的的重要因素，而在民意參與過程中，代表不同團體的民意代表也是決策過程中的參與者之一，在政策推動過程中也因牽涉到預算審議或法令的修訂等，因此政治協商也是需納入考量的重要關鍵。

建構綠色運輸環境之推動平台，可以從3P的互動找出觸媒，由此引發驅動力(Driving force)，再經由壓力(Pressure)與狀態(State)評估，最後形成政策加以回應(Response)；如圖5所示。在永續發展的過程中，任何環境的改變勢必是有一股趨動力的推動，進而對整體系統產生壓力，促使環境的狀態改變，由於狀態的改變，系統中的組成分子為了能生存，即會產生回應，而讓系統再度達到平衡的狀態。

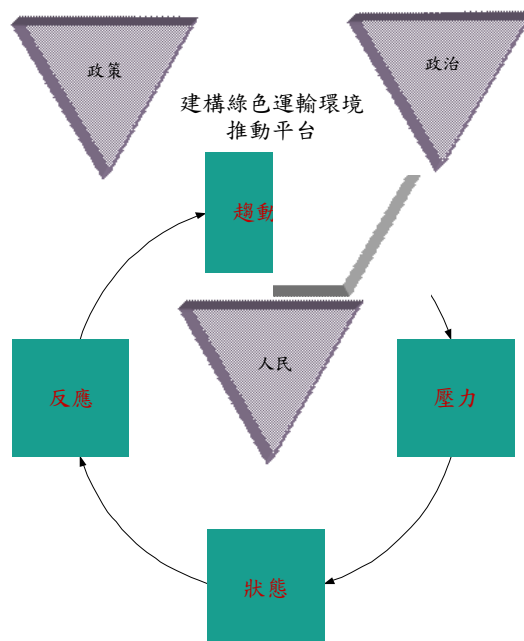


圖5 建構綠色運輸環境之推動平台

五、結論

建構綠色運輸環境為運輸系統追求永續發展的重要方向;本文從空間規劃提出落實綠色運輸理念之規劃模式與規劃準則,目標則是建構以人為本的綠色運輸生活型態。透過土地使用規劃手法融入綠色運輸理念為長期與根本之道,結合運輸系統管理、智慧型運輸系統、綠能技術、車輛技術與資訊科技等技術創新與管理面措施,可收相輔相成之效;其優點不只是對環境友善,對交通安全、社區互動、人際關係與身體健康皆有正面的貢獻,為運輸系統追求永續發展的正確方向與重點課題,值得各界深思與推廣。

本文體認要實現綠色運輸生活型態的願景,必須在制度面設計適當之推動平台;尤其在多數民眾具備良好環保意識之前提下,易收事半功倍的效果。因此本文提出綠色運輸與人民、政治和政策的互動關係,並期許人性反思能帶來良性循環;無論從一般民眾的自發性,或者是政治人物的悟性,還是公務人員的良心不畏權勢,環保意識若能普遍覺醒,長期要建構之綠色運輸生活型態指日可待。

參考文獻

1. Retrieved Aug, 30, 2011 from http://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_transport.
2. 蕭再安, 京都議定書生效後運輸部門因應策略, 第二次全國能源會議資料, 臺北: 經濟部, 2005, 頁議題五Ⅲ-1-議題五Ⅲ-22。
3. EEA, "TERM 2007 Indicators Tracking Transport and Environment Integration in the European Union. Copenhagen: EEA, 2008.
4. Retrieved Aug, 30, 2011 from <http://www.vaban.de>.
5. Yang, C., McCollum, D., McCarthy, R., Leighty, W., Meeting an 80% reduction in greenhouse gas emissions from transportation by 2050: a case study in California. *Transportation Research Part D* 14, 2009, 147-156.
6. 蕭再安, 結合社會創新與技術創新之綠色運輸策略, 應用倫理評論, 第48期, 2010, 頁1-16。
7. 蕭再安等, 綠色運輸系統與土地使用規劃整合之推廣與應用, 交通部運輸研究所委託國立臺灣海洋大學辦理, 2010。
8. Button K and Nijkamp P., Social Change and Sustainable Transport. *Journal of Transport Geography* 5, 1997, 215-218.

9. Tzeng, G.-H. and Shiau, T.-A., Energy Conservation Strategies in Urban Transportation-Application of Multiple Criteria Decision-Making. *Energy System and Policy* 11, 1987, 1-19.
10. 蕭再安，都市運輸節省能源對策之研究-多評準決策之應用，臺北，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，1984。

Successful Port planning and Development with Respect for the Environment Striking the Balance

Robin Dodridge¹

THE PORT OF DOVER

Dover Harbour Board (DHB) is both the Harbour Authority and Port Operator for the Port of Dover. DHB operates the Port as a fully independent commercial activity with no financial support from the European Union, the UK Government, the region or the adjacent city of Dover. DHB is responsible for the planning, development and maintenance of the Port of Dover and seeks to do this whilst being sensitive to its surrounding environment.

The operation includes Europe's busiest RoRo ferry terminal which processes up to 10,000 trucks and 22,000 cars per day; the UK's second busiest cruise operation with up to 170 ships in a 6 month season; a 400 berth marina; a cargo operation, mainly focussed on palletised fruit and bulk grain; and an aggregates berth. The harbour is also used as an important leisure amenity for the town as the most accessible amenity beach is within the harbour itself. There is a vessel movement on average every 6 minutes and this whole operation takes place within 1 square mile (250 ha), most of which is water.

The Port is situated in the south-east region of England within the city of Dover, which is one of the most socially deprived cities in the region. Residential properties lie within metres of the port boundary. Air quality and traffic congestion is a significant problem on the main approach road to the port and within the main ferry terminal. The Port is located on a heritage coastline of international importance; adjacent to an Area of Outstanding Natural Beauty and is sandwiched between ecological designations of national and European importance. Highly protected species and habitats are to be found within and immediately alongside the outer piers and in addition a number of the Port's buildings, piers and docks are designated for their historic importance.

¹Director of Corporate Operations Port of Dover

Dover was the first port in Europe to implement a certified Environmental Management System through the Ports Environmental Review System (PERS) in 2002 and the first port to be re-certified in 2006. The Port is now certificated by the internationally recognised ISO14001 environmental standard in addition to the ISO9001 quality and OHSAS18001 safety management standards. DHB carries out extensive environmental monitoring and has a database of information extending back to 1992. The DHB Environmental Team produces and manages statutory reporting and activity in oil spill contingency planning, waste management, energy management and climate adaptation. The Port has been nationally recognised for its reductions in carbon footprint, obtaining the Carbon Trust Standard for actual reductions of 13.2% over a 3 year assessment period and has also featured in The Times list of the top 50 green companies.

Dover is the first port in the UK to have undertaken a full Master Planning process and is now working towards the achievement of a 30 year Master Plan which includes the development of a second RoRo ferry terminal and a new marina which currently constitute the biggest port expansion plans outside South East Asia. An Environmental Impact Assessment has been completed for this development and agreements on design and mitigation measures have been reached with all stakeholders.

The integration of the principle of sustainability is the key to delivering the successful operation and development of this essential piece of transport infrastructure for the benefit of the UK economy.

INTRODUCTION

The environment can loosely be defined as “our surroundings” and it is sometimes easier to think of the environment in this way. We use our surroundings, our environment, as a source of consumable resources including food and fuel. We also rely on the space available to us to build businesses, homes and communities. The quality of those surroundings is very important to us in our personal and social lives. People gravitate to green spaces or waterfronts for their social needs and research has shown that a lack of quality surroundings can lead to social breakdown with associated consequences such as increased crime.

The difficulty is that our surroundings are not an infinite resource. This is true on a local scale and can be very apparent on an island where resources may be quickly depleted and space comes at a premium but it is also true on a global scale, for example, as we see resources of fossil fuels depleting and prices rising.

Different users are therefore in competition for the resources available from our surroundings which puts pressure on the environment. The health of the environment is therefore something that affects everybody which can make it an emotive issue, but as we are all users of environmental resources, we are also all responsible for maintaining its health.

The principle of sustainability is the key factor in preserving the health of our environment and is defined as "meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" (UN Brundtland Commission, 1983). Putting this concept into practice is a challenge that we all face; from businesses whilst they are trying to develop and grow; to government departments whilst they are trying to balance competing needs; to individuals as they go about daily activities. This is a challenge that can not be met individually. The surrounding environment and the surrounding pressures must be fully understood and collaboration between all users of that environment is needed in order for the pressures to be balanced against the environmental capacity in order to achieve sustainability.

This paper explores what sustainability means to a port business; how to integrate the principle of sustainability into the business; and how to go beyond mitigation to develop a port operation that is not only minimising its negative impacts on the environment but maximising the benefits of its activities to reach economic, social and environmental goals in unison for true sustainability.

SUSTAINABILITY IN A BUSINESS CONTEXT

Sustainability is the stable, middle ground that can be enjoyed only when social, economic and environmental needs are in balance. It has been likened to a tripod as it needs all three legs or elements to create a state of equilibrium (see Fig 1).

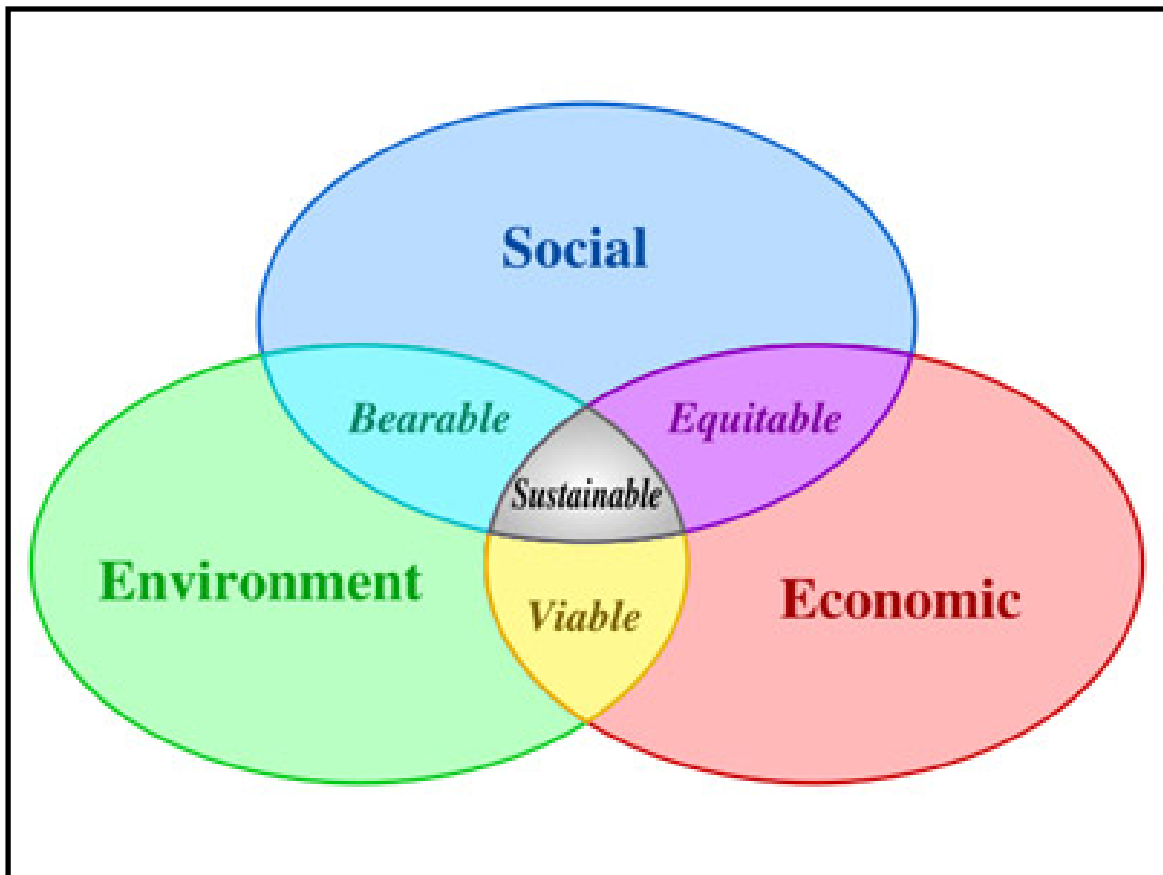


Fig 1: The tripod of sustainability

In some businesses the link between environmental impact and the economic performance of the business are easily identified. For example, if you operate a logging company and the intensity of your operation is beyond the capacity of the forest to regenerate you will run out of trees to fell. As the resource starts to run out the costs increase and the economics of the business will be unviable causing operations to cease. If the operation is not sustainable it has significant impacts for all elements of the tripod of sustainability. Environmentally there would be huge impacts associated with complete deforestation. The habitat for many species would be destroyed, the ecosystem would fail and there is potential for some species to become extinct. Economically the company would go into liquidation and there would be job losses. Social impacts would be caused by the loss of jobs which would reduce the income to the local community and could lead to an increase in crime and in

addition a forest that may be a resource for food and leisure and an area of historical importance would be destroyed.

In a port operation the link between the three elements of sustainability is more difficult to discern as the environmental pressures placed on the local environment are more complicated than balancing resource consumption against the ability of the environment to regenerate those resources. Port operations put pressure on the geophysical nature of that environment, the quality of surroundings for human habitation and the ecological viability of the ecosystems. However, economics are an important part of achieving sustainability and port businesses are often key to the economics of their local area through the provision of jobs, both directly and indirectly, as well as the economy of the country due to the importance of the trade that passes through them. If carried out in the correct way this economic benefit can also provide social and environmental benefits improving sustainability overall.

As a business the economics leg of the tripod is often well understood and assessed as part of every operation, development and decision. The integration of the social and environmental considerations in to decision making will improve the sustainability of the whole operation producing more effective results in a more cost effective way. Greatest success is achieved when these considerations are integrated from the start, so that a solution is developed with “win win” scenarios for all factors, rather than finding a solution with an immediate economic benefit but environmental and social impacts that in the longer term have to be mitigated at an uneconomic cost.

DEFINING PRIORITIES FOR ACHIEVING SUSTAINABILITY

UNDERSTAND YOUR ENVIRONMENT

Different environments have different sensitivities depending on their geomorphology, ground conditions, sediment types, hydrodynamics, atmospheric conditions, the habitats and species present, human habitation and suchlike. These and many other factors affect the assimilative capacity: the capacity of a habitat to accept a substance without deteriorative effects occurring. For example, the disposal of dredged material (assuming it is free from heavy metals and contaminants) will have a lower impact if it is disposed of in a high energy shoreline with fine sediments as the level of total suspended sediments is likely

to already be at high levels and thus the habitats present are already adapted to the impacts that would be created by introducing more sediment. If the dredged material were disposed of in a low energy environment in which low levels of suspended sediment were experienced it is likely that the ecological receptors present would not be adapted to receiving a high sediment load and therefore cause smothering and abrasion for example resulting in deterioration of the ecosystem. In addition the low energy would reduce the ability of the ecosystem to remove the impacting sediment and therefore the recovery period for the area is likely to be extended.

Assimilative capacity is often associated with pollution prevention and research into the assimilative capacity of water bodies is often a key element of the levels set by permits for effluent release. However, the understanding that an environment can only withstand pressure to a certain level which is dependant upon the adaptive nature of the receptors to cope with the pressure and the current or natural levels of pressure is applicable to any sort of impact from pollutant release to visual impact disturbance. For example, construction of a warehouse within an already busy port terminal will have a low impact because visually the area is already animated and industrial. However, construction of a warehouse within a national park will have a high visual impact because the development will be intrusive on natural views with which it has no association.

Understanding the sensitivities of the environment in and around your port is the first step in understanding the impact the port is having on the environment. Sensitive receptors include residential areas; occupational areas; areas used for leisure and recreation; designated areas; and protected and commercially important habitats and species. All these areas have value as environmental, economic and social resources. Consideration needs to be taken of the potential for landside; marine and coastal impacts from the port operation and this should be used to identify the geographical scope of the assessment.

Information on the boundaries and sensitivities can be obtained from maps and charts, government agencies, environmental conservation groups, other local industries and universities and research institutions. Data may also be available from these resources and already be collected on a regular basis. A collaborative approach could minimise costs, but it is important to ensure that the information provided is the result of real research, actual survey and physical sampling and

not merely theories about the levels of use of an area or the species that could potentially be found in that environment.

It is likely that some survey work will be required to understand fully the environments and receptors that are found in and around the port. For ecological monitoring, the survey programme should consider the multitude of habitat types that are found in the vicinity of the port and sample designs should be targeted accordingly. Habitats exist on the sea bed, in the water column, on the quay walls, in the intertidal zone and in the surrounding hinterland. Terrestrial surveying is considerably easier as variations in habitat types can be seen and sampled accordingly. In the marine environment the design of sample locations must account for variations in influencing parameters such as: aspect, exposure, proximity to human activities, physiochemical parameters and sediment type as it is these parameters that correspond to variations in the habitats and species present due to the different niches represented.

In order to monitor impacts on the human environment the survey programme should look to capture different types of receptor and the variety of impact levels. For example, residential, occupational and tourism/leisure receptors should be considered along with their proximity to port operations, shipping lanes and approach roads. The overall programme should highlight the full variation in impact. Spatially, sampling should also correspond with the variety of port activities so that impacts can be monitored and understood. Temporally, sampling needs to account for seasonal and diurnal variation and any other variation experienced locally.

The frequency of surveying is dependant upon the harbour authority's requirements, available resources and how transient in nature the sensitive receptors identified are. A single survey will not provide a full picture as no assessment of seasonal variation will have been made. A targeted surveying package that was carried out once taking into account seasonality would however provide a baseline understanding which could be accompanied by additional surveys as necessary to meet the requirements of planning consents or permits, responses to complaints etc. If resources allow, a regular monitoring package can however, provide a useful Key Performance Indicator (KPI) with which to measure the health of the environment.

Once the environment in which the port is in is fully understood the impacts resulting from port activities can be identified in relation to it; thus allowing their significance to be fully understood.

UNDERSTAND YOUR IMPACTS

A number of tools are available to assist organisations in understanding their environmental impacts. An Environmental Management System (EMS) provides a systematic way to minimise the damage an organisation does to the environment by understanding the impact of the organisation's activities and putting in place an action plan to reduce the impacts of those activities. The concept is identical to the detailed safety and security and broader risk management systems that will be familiar to all well-founded businesses.

The key elements of an EMS are:

- An Environmental Policy - this represents the commitment of the organisational management to responsible and effective environmental performance;
- An assessment of the current operations - this allows significant areas to be highlighted showing where improvements need to be made;
- Objectives and targets (KPIs) - these provide the aims and context against which environmental performance can be measured;
- Environmental audits – ensure that activities and documentation meet the required standard;
- A recognised standard (e.g. ISO14001) – this provides assurance of the organisation's environmental performance to an externally recognised standard.

There is rarely any legal requirement for any organisation, let alone a port, to adopt an environmental management system but an EMS helps an organisation respond to government legislation, work towards improved environmental performance and show its neighbouring community what it has done to recognise its responsibilities and deliver on its promises. This is why the Port of Dover places so much importance on its own EMS.

The EMS works by setting out a review of all port activities and identifying all the environmental impacts of each aspect of that activity. For example using lighting has aspects associated with energy use, resource consumption when procuring the bulb and waste production when disposing of it. The direct and indirect impacts are identified. For example waste production has the direct environmental impact of waste being buried in the ground but also the indirect impact caused by transportation to and from the landfill site. In addition, consideration should be made as to how these impacts vary with scenario, i.e. normal, abnormal and emergency conditions. This will allow the potential impacts that could result in emergency conditions to be identified and planned for linking in with port emergency planning.

An assessment is made of the significance of each impact through the use of a defined scoring system. How significance is calculated is up to the organisation but is usually through an equation based on a scoring system for a combination of some or all of the following elements:

- Severity,
- Likelihood of occurrence,
- Interest,
- Legal implication – i.e. if legislation is applicable to that impact.

Once scores have been defined, a threshold level above which a score is deemed significant is set and the significant environmental impacts can be easily identified. Objectives and SMART (Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Time specific) targets are then put in place in order to reduce the most significant environmental impacts. Each significant impact should be accompanied by a target to reduce it and each target should then be accompanied by an action plan describing how the target will be achieved such as through control measures, awareness campaigns, mitigation measures, engineering projects etc.

A monitoring programme needs to be implemented to measure the progress against targets and these should be reviewed on a regular basis, as determined by the organisation to ascertain whether they are on target. Regular review of this whole system will allow the port systematically to identify and reduce its most significant impacts which leads to a continual improvement in environmental

performance. It will ensure that new legislation is incorporated as necessary and that the environmental impacts associated with changes in operations are fully accounted for and controlled.

Environmental Impact Assessment (EIA) is the tool used to identify the consequences of a project from construction, through operation and if appropriate in decommissioning. Mitigation measures are identified and agreed upon to reduce impacts that are unacceptable. It is important to realise that EIA is a process and that as impacts are identified the design of the proposals or the construction methodology should be modified to eliminate or reduce the negative impacts and maximise the beneficial impacts. It is therefore an iterative process that should be commenced at an early stage to allow consideration of sustainability to be an integral part of the project development. EIA is not only about ecology. It is, “A process for identifying the likely consequences for the biophysical environment and for man’s health and welfare” (Amended EIA Directive (97/11/EC)). It therefore takes into account the economic, social and visual impacts and impacts on leisure and heritage; many of which will be beneficial or there would be no purpose in the project.

Consultation with stakeholders and government agencies at an early stage is the key to a successful assessment and will lead to wider project acceptance. Their involvement in approving assessment methodologies will ensure that their concerns are properly accounted for and that they are satisfied with the results.

Neither EMS nor EIA is always used to their full advantage as they are often only used as an after thought to the original operation or development plan. At this stage they can only be used to identify mitigations to reduce the affects of an impact. Use of EIA and environmental assessment from the inception stage of the development process allows more impacts to be designed out and eliminated and the potential for collaborative benefits to be obtained. Integrating sustainable thinking into management decisions allows impacts to be eliminated and beneficial environmental and social goals realised.

CONSULT AND COLLABORATE

Successful implementation of sustainability requires the support of all port staff so that it becomes a key consideration of actions from management decisions, to engineered solutions to operational practices carried out by the

worker on the ground. Education and training is the only way to ensure full staff participation. Training should be focussed on the specific elements of environmental management that are relevant to the role of that individual and provided in the form that is most accessible to their needs. For instance, PowerPoint presentations are a useful tool to present concepts to management teams but practical activity and participation convey a clearer and more memorable message when providing training on equipment or physical processes.

Staff participation is one of the most difficult challenges of any environmental programme but techniques can be used to improve success. Increase the assimilation of information throughout the workforce by using a variety of mediums to convey a message and any activity that can be incorporated into the training session that gives the trainee the opportunity to put that message into practise themselves will help them remember their training and incorporate it further into their own working practices. Key messages need to be repeated on a regular basis in different forms to maintain their prominence without losing the interest of the audience.

The importance of building relationships with external stakeholders is also of key significance. Communities, businesses and environmental groups that are located within the vicinity of the port will have the greatest interest in its operations, developments and environmental performance as they are the groups that are most impacted. Any pollution that is emitted from the port or the vessels and traffic using the port will be directly affecting the environments in which they live and work. If the port operation is not sustainable it is likely to impact their lives directly as it will reduce the ability of the environment to support their functions. A poor relationship with local stakeholders can create opposition to port developments, negative publicity and increased support for stringent regulation. Regular and transparent communication on matters of interest builds trust amongst parties and providing organisations and individuals with the opportunity to comment shows consideration and demonstrates that their views are of importance to the port authority. Again, this is provided through a variety of mediums and messages expressed in a variety of way to target the specific interests of the organisations involved and increase interest and participation.

Regular meetings and face to face discussions with different interest groups are one of the best ways to achieve results. The personal relationship that is built

up between the port managers and the external party can lead to positive collaborations that can minimise costs and ensure that actions taken are in line with expectations. Communications, through press releases, newsletters and posters reach a wider audience but with a lower degree of impact on each individual. A variety of these types of measures will provide the best coverage with focussed attention in areas of higher importance.

The implementation of sustainable practices requires external education on the important role of ports and their operations and internal education on the importance of sustainability. The knowledge sharing that takes place through effective two-way communication with staff and external stakeholders is the key to achieving the understanding that all parties need in order to determine where the balance of sustainability lies.

PORT PRESSURES ON THE ENVIRONMENT AND THE POTENTIAL FOR WIN-WIN OUTCOMES

Through following the steps in the “Defining Priorities for Achieving Sustainability” section each Port Authority can determine its own priorities based on the impacts of its specific activities, the sensitivities of its surrounding environment and the needs of local stakeholders that are also users of that environment. Mitigation measures can be defined and used to reduce the impact on the environment but as discussed realisation of true sustainability requires organisations to seek environmental and social benefits alongside their economic agendas to deliver win-win outcomes.

The following sections focus on the ports relationship with the geophysical, human and natural elements of their environment. The importance of sustaining this relationship in a non destructive manner and how to develop it in a way that provides economic, social and environmental benefits as an integral part of operations to deliver true sustainability within the vicinity of the port.

GEOPHYSICAL ENVIRONMENT

The geophysical environment must be a major consideration and the impacts on it need to be understood as a starting point before embarking on any development or operation. No environment is fixed. All environments are being consistently modified by the elements, ecology and geological processes. The

actions of the wind, water and ice erode away mountains, cliffs and shorelines. Tectonic activity creates and destroys land, building mountains and trenches. The processes of succession and colonisation modify environments making them more stable and hospitable but creating changes in the physical and chemical properties. Humans interact with this system in the same way as any other living organism. Our activities create changes to the physical and chemical properties of our surroundings and this can have a subsequent impact on other wildlife and our own society and economy.

By its nature the port industry is located on the coastal boundary between land and sea or on an estuary. These are highly complex and changeable environments which can make them sensitive to our activities. Erosion and sedimentation are often the main physical processes taking place but this may be stabilised by further ecological influences such as mangrove swamps or algal films.

Impacts to the geophysical environment are neither beneficial nor disadvantageous in their own right. It is their effect on the human and natural environment that can result in beneficial or negative impacts. For instance an increase in erosion along a coastline with no inhabitants is of little concern; a change in the flow regime of a river would have little impact if there was no ecology depending on it.

Within the sensitive coastal system the port is a focus for industrial activity. The construction of physical structures and the dredging of lanes, fairways and harbours can have a huge impact on the hydrodynamic and sedimentary regime. In addition anything that is impacting a stabilising element of the ecology can also cause significant changes.

Without a full understanding, poor decisions made in this area can lead to difficulties with navigation, increase dredging requirements and lead to poor berth performance due to unfavourable hydrodynamic conditions. The changes in sedimentary regime can affect the stability of the whole system leading to, for example, undercutting of important infrastructure, sedimentation of amenity waterfronts and changes in ecosystem functioning and habitat destruction. There is potential for negative consequences for all elements of the sustainability tripod with costs to the environment, society and the economy. Mitigations and

solutions tend to be focussed on costly engineered solutions to counteract any changes that result in negative impacts.

There is however, the potential for beneficial consequences. Detailed survey and modelling is essential in order to understand the coastal processes and hydrodynamics of your port location and determine any affects caused by port operations or developments. Wave climates and regimes of tide, current and sedimentation should be assessed. This should determine not only if the location of sedimentation is likely to be affected but also the sediment types involved based on particle size.

Potential win-win scenarios include, aligning piers and harbours to provide the most favourable conditions for operations as well as reducing the effect on the existing current regime. Modifications in design can be assessed to ensure that sedimentation is minimised which reduces the dredging requirement and has the corresponding benefit of minimising smothering on any species or habitats that are sensitive to this kind of impact. The sheltered areas that are created for berthing and safe navigation can often provide fish with important breeding and nursery grounds; and useful leisure areas to the community with the relative safety of the reduced wave and tidal energy.

In Dover, research has shown that the relatively low energy environment of the harbour has environmental benefits as it is an important breeding ground for endangered species such as thornback rays and a nursery ground for commercially important species, such as plaice and sole. The unusual habitats of granite walls within locked basins create a diverse and distinct range of algal species, some of which are extremely rare within the region. The coastal defences put in place to prevent erosion have created an important amenity beach which, due to the calmer wave and current climate is widely used by the people of Dover for recreation.

RECREATIONAL STRATEGY

The city's beach inside the harbour is vitally important to the well-being of the city's residents. They are able to enjoy a wide range of sea sports and bathing as well as using it as a place to meet and relax. Such recreational activities, if not properly managed, could be in opposition to the commercial activities of the Port and consequently detrimental to the success of the DHB's

business. Even these diverse leisure activities can create hazards, one to another such as between boats and swimmers. Consequently DHB has developed a leisure zone safety strategy to segregate different users to ensure their safety within the busy Port environment. Buoys are used to delineate the different zones and signs are used to increase awareness amongst port users (see fig 2).

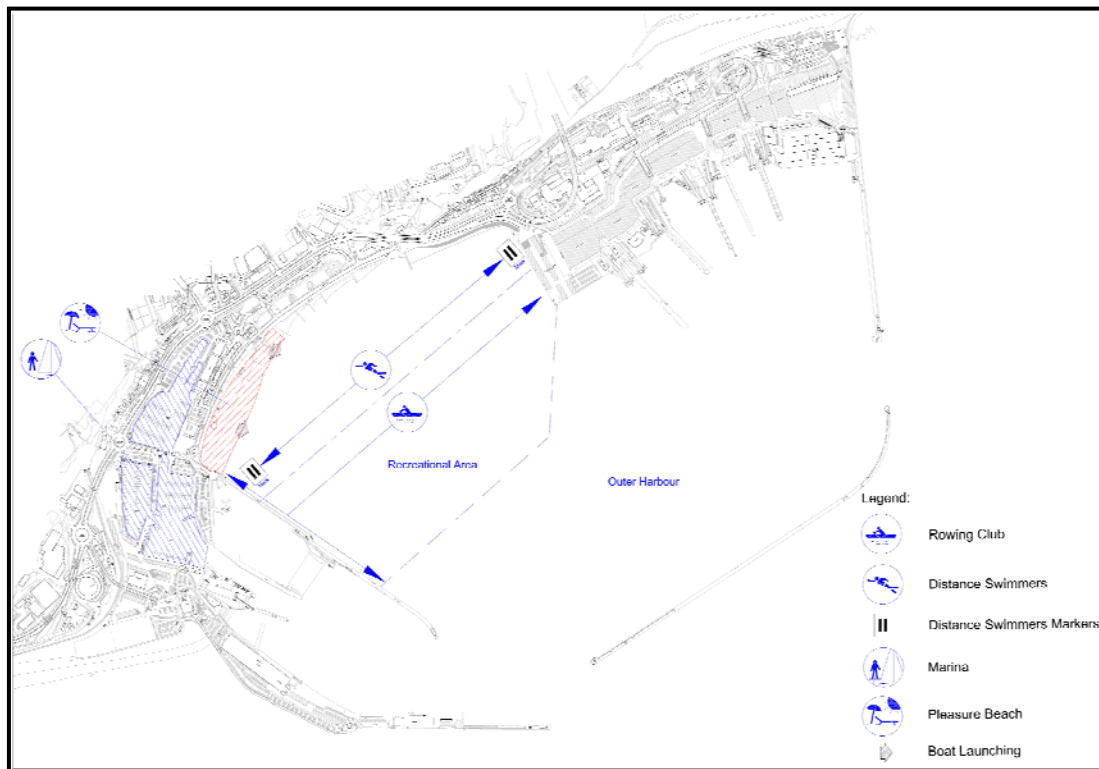


Fig 2: Recreational Strategy

The strategy was developed through consultation with regular user groups to determine the best way to segregate the area in a way which met the needs of all users. This inclusive process increases the buy in from users to maintain the agreements that have been put in place.

HUMAN ENVIRONMENT

As a focus of industrial activity, port locations can often be close to towns and cities, many of which have developed as a result of the jobs and transport opportunities provided by the harbour. Although the town may rely on the harbour for financial prosperity, ill feeling can develop due to negative impacts resulting from operations and developments. The human environment can be

affected by traffic congestion, poor air quality and noise disturbance. Issues can arise due to lack of amenity access, visual disturbance and the interaction with areas of historical importance. All of these factors have associations with human health, social value and economic prosperity. If local perception of environmental performance is poor this can have negative impacts for the Port Authority, because, as discussed in the “Consult and Collaborate” section, the influence of local people and organisations can lead to increased costs and operational difficulties. In addition many port staff will be amongst those negatively impacted which can reduce the performance of the organisation although they will also be the people who are most aware of the importance of the port business being successful as it relates directly to their jobs and quality of life.

Regular engagement should be carried out to encourage two-way communication with stakeholders including customers, local people, government agencies, leisure and industrial users and conservation groups. Once a good understanding of stakeholder needs is obtained developments and operations can be modified so that they do not inhibit the needs of others.

The Port of Dover has experienced rising traffic levels as part of its RoRo ferry operation over the past 30 years and projections show that this trend is expected to continue over the next 20 years. Capacity of the current RoRo ferry terminal is likely to be breached in the near future and plans for a second terminal have been developed through a 30 year master planning exercise. Consultation with local stakeholders has taken place throughout this exercise giving people and organisations the opportunity to be involved with the development of the plans from the inception stage. The plan for a second terminal was in itself only one of the solutions that was originally presented to stakeholders but was determined at a high level to have the lowest negative impacts as it involved developing an existing industrialised site within the current operational harbour space. It was the solution that was most favoured by stakeholders as well as providing the best economic and operational solution for the harbour authority. Key features that were of importance to the local community were developed even at this stage. The most significant example is a new marina which is to be developed in a location that would provide a focus for the city authority’s plans for regeneration in order to maximise the social benefits.

Whilst a marina and especially the recreational amenities provided within a harbour rarely meet the financial objectives of a successful commercial port business, their presence does help greatly to alleviate objections from local residents to future port development proposals. Furthermore, the presence of such leisure zones can provide an invaluable buffer between the residential areas of the city and the industrial terminal operations of the port.

The Environmental Impact Assessment of the terminal commenced whilst designs were at the outline planning stage allowing the views of stakeholders to influence the design materially. Views of historically important features were maintained through the development of a signalised junction at the terminal entrance instead of a more costly flyover and plans for a new channel would allow the only remaining historical dock basin to remain navigable as well as allowing fish migration into an important local river. Agreements and working groups are now in operation to take the plans through design phase with setting and context being used as important themes upon which to ensure the design is integrated into its surroundings which are of historical importance.

Planning in this way has provided huge benefits for the port authority as it has allowed the proposals to be developed with acceptance and agreement from all stakeholders, reducing contentions and associated costs and eliminating the need for government intervention.

A layer below the spatial planning approaches described above, more numerous but smaller scale win-win benefits to the human environment include projects to improve traffic flow which have the benefit of improved operational and business efficiency but also deliver additional beneficial impacts on air quality. Engines operate less efficiently at the low speeds associated with congestion which increases the emissions released. Improving flow, through junction and signalling improvements and well designed and sign posted networks (perhaps including variable messaging) can therefore lead to significant improvements in air quality.

However, in practice, the solutions are not quite so simple. Actual air quality is a result of not only through flow and traffic speed but also geomorphological and meteorological conditions so detailed modelling is required to ascertain if a proposal does deliver improvements and their likely scale. When planning sites and road ways, consideration must also be given to

the effects of canyoning, where buildings can reduce the dispersion of emissions creating areas where pollutants become concentrated.

NATURAL ENVIRONMENT

As ports exist within the coastal zone their impacts span a variety of environments. The geophysical and chemical pressures vary greatly as you move from the marine to the terrestrial environment and this variety is mirrored by the changes in species and habitats that are present. Coasts are important zones for algal species, molluscs, crustaceans and annelids that live on and within coastal sediments; birds that use these areas as important feeding, breeding and roosting grounds; and for many fish, turtles and marine mammals they form breeding grounds, nursery grounds and migration routes. Rare and protected habitats from mangrove swamps to vegetated shingle are found, all of which have different abilities to cope with varying levels and types of pressure.

The species present have developed to be adapted to the specific environment they are found in and are easily disrupted by even minor changes. This great variety and high sensitivity means that the coastal zones contain species and habitats of high conservation importance. This is reflected by the number of designated areas that follow or mirror the coastline. These are regularly found within the vicinity of the port operation. As ports are a focus for industrial and social activity the pressure on these fragile ecosystems can be great.

Depending on the types of damage and how it is caused pressure to protect these systems may arise from legislation which provides hard and fast rules against which the operation must conform or incur penalties for non compliance. A poor reputation resulting from environmental damage will make stakeholder engagement more difficult and reduce support for port projects. It may also become a driver for the creation of new or tougher legislation. Environmental damage can also have devastating consequences for local societies and economies. Pollutants can cause the balance of nutrients to be tipped, causing algal blooms which greatly increase the turbidity of the water, reduce oxygen levels and can release neurotoxins. They can have devastating effects on wildlife which can have knock on effects for the local fishing industry. The unsightly nature of the water will also impact leisure activities and reduce the potential for tourism.

The habitats that have developed have often stabilised sediments along the coast reducing the effect of erosion. Damage to these habitats, such as mangrove swamps, salt marshes and mudflats can therefore increase erosion causing the land on which human assets exist to collapse and fail. Operations that are out of balance and do not protect the environment are therefore likely to also have significant negative consequences for the social and economic elements of sustainability. Developing a good understanding of the environmental processes that are taking place within the vicinity of the port environment will allow the port authority to make informed and justifiable decisions which allow port operations and developments to take place in a sustainable way without damaging valuable local environmental assets.

The white cliffs of Dover are an internationally recognised feature of huge importance. Walks along the cliffs are one of the main tourist attractions for visitors and a widely used leisure area for local people. The habitats that are found at the top of the cliffs are chalk grasslands that are highly protected as a European Special Area of Conservation and an Area of Outstanding Natural Beauty. Chalk grasslands are however, very sensitive to nitrogen deposition as this increases the nutrient level beyond it's normal balance allowing species that do not naturally grow within a chalk grassland to proliferate and destroy the habitat. There was a potential that changes in traffic flow as a result of the Terminal 2 development would increase the levels of Nitrous Oxides from exhaust fumes along the approach road adjacent to the chalk grasslands and therefore cause an increase in nitrogen deposition.

Detailed modelling was carried out to assess if this would be the case. It involved traffic modelling, air quality modelling and deposition modelling to determine if this would be the case. All of these studies were carried out in consultation with the local authorities and stakeholders that have knowledge and expertise in these various areas to ensure that they were happy with the methodology and would be satisfied with the results. Consultative parties included, the Highways Agency, the local authority, the Kent Wildlife Trust, the Environment Agency and Natural England. Only once the assessments showed that there would be no damage to the area could the agreement be reached on the proposals. Conservation of this habitat has significant benefit to the port itself as it is an excellent asset with which to advertise Dover as a cruise destination.

Smaller projects that have also had win-win scenarios have included the re-use of pontoons within the marina to maintain the habitats that have developed on them and save costs and inviting local conservation groups to view the results of engineering surveys of culverts to assist with studies on fish migration.

CONCLUSIONS

Ports have significant roles to play in the economic prosperity of all nations and are therefore key pieces of infrastructure required to deliver a prosperous and sustainable future. There is however, potential for significant environmental and social impacts to result from their operations due to the sensitivity of receptors within the vicinity of the port so a balance must be struck.

Ports are commercial businesses with a clear objective to maximise their economic opportunities so they will strive to make the economic leg of the sustainability tripod as high as possible but they are also long term infrastructure developers so environmental sustainability must be considered over that same long term by application of master planning.

Ports can improve their environmental performance through mitigating their impacts but the goal of sustainability should be to maximise environmental and social benefits in unison to match the high economic leg rather than trying to simply reduce negative impacts so that not only is the sustainability tripod in balance but it is at its highest possible level.

Ports must consider their effect on the geophysical, human and natural environment in order to understand fully the impacts and the options for mitigation or strengthening in order to create sustainable win-win outcomes.

Ports need to establish robust and reliable environmental monitoring regimes in order to understand their impacts through Environmental Management Systems and impact assessments. Collaboration with existing port users and Government agencies can often reduce the cost of such data collection and monitoring processes.

The key to success for the port's business is in striking the right balance that allows progress and growth. At the Port of Dover, we have found that the way to do this is to undertake extensive and effective consultation with the port's stakeholders – in short any business, government agency, city council, residential

group and individual citizens who are, will be or believe they may be affected by the port's development proposals and operations – to ensure that there is a clear understanding of all the issues. Once understood, the port can and should take all reasonably practicable and affordable opportunities to address the issues, whilst accepting that full agreement on every aspect is an impossible dream, such that its development proposals are perceived to be reasonably and justifiable by its stakeholders and can be implemented on time and to budget.

SINGAPORE'S GREEN PORT AND URBAN DEVELOPMENTS

Der-Horng Lee¹

ABSTRACT

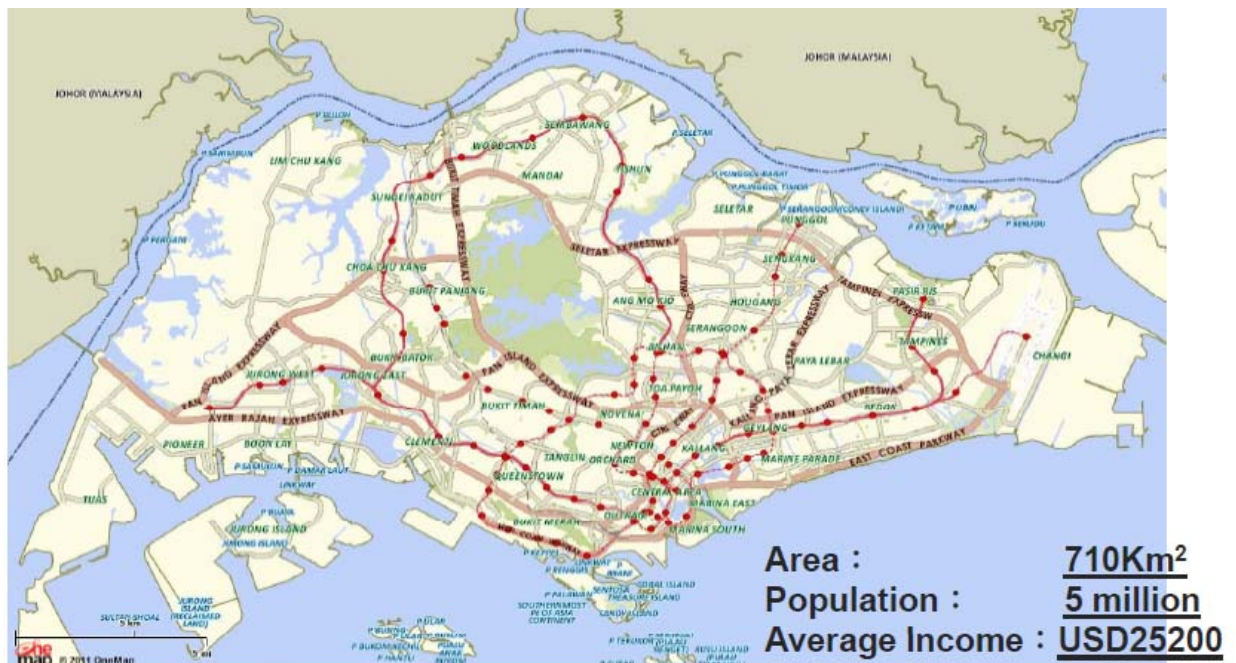
The Port of Singapore is the world's busiest transshipment container hub and connects to over 600 ports globally. On the way from a small fishing village to a modern port city for Singapore, the port has played a vital role and become an economic necessity up to now. On the contrary, the characteristic of the Singapore in lacking natural resources also boosts the development of the port. Nowadays, as the concept of sustainability is becoming more and more crucial, ports are facing new challenges, such as how to make ports to be more environmentally-friendly and how to balance the interests between port development and urban expansion. This presentation will investigate such issues that came up recently in Singapore.

Content

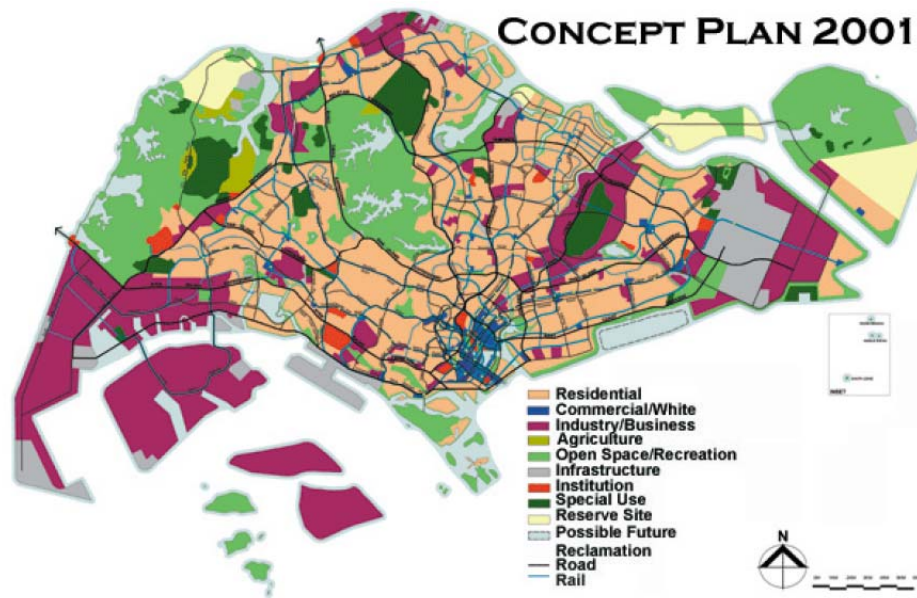
1. Introduction to Singapore
2. Singapore Port Relocation Proposal
3. Green Port Management & Operations
4. Government's Initiatives

¹Department of Civil & Environmental Engineering, National University of Singapore

1. Introduction to Singapore





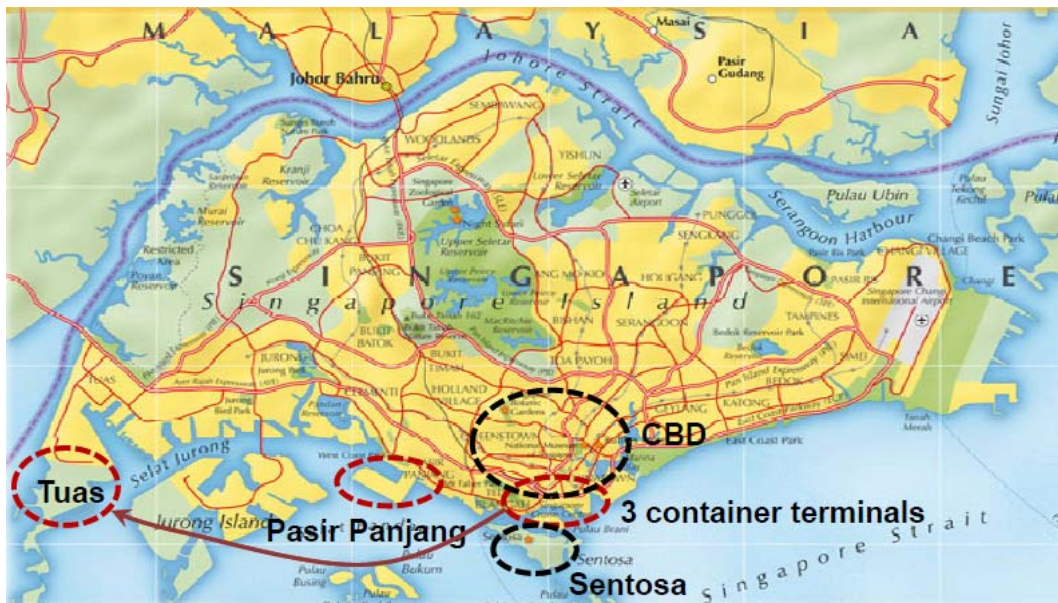


- **Port of Singapore**

- 2010 throughput: 27.68 million TEUs
- World's Busiest Transshipment Hub
- Connect 600 ports globally
- Daily sailing to every major port in the world

2. Singapore Port Relocation Proposal

Why to relocate container terminals?

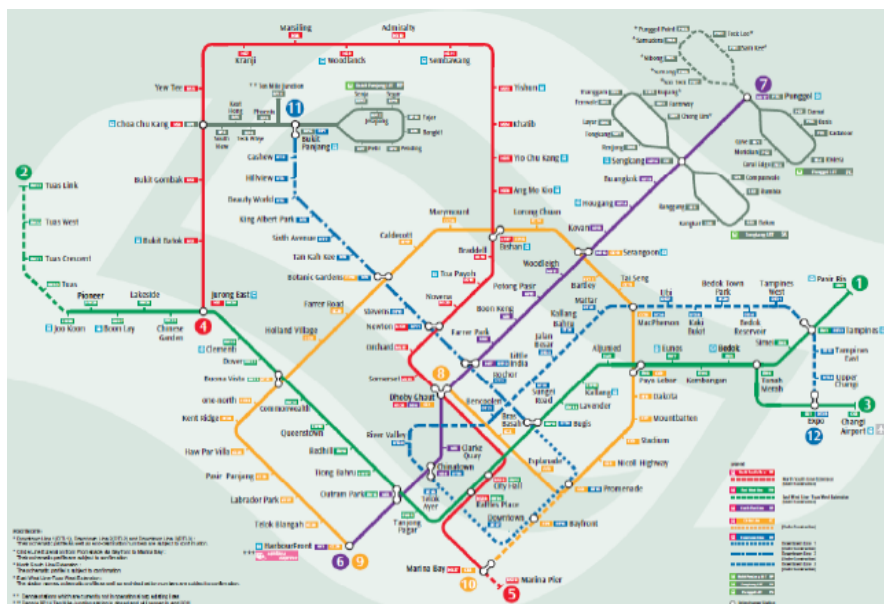


- Relationship with city redevelopment

Singapore the freed up land to make it a new waterfront city.

- Explore space-saving approaches to port terminal development.
- The coordination between the urban expansion and the port development is an essential but tough task which requires from the government a lot of strategic perspectives and visionary judgments.

- Relationship with MRT Developments



3. Green Port Management & Operations

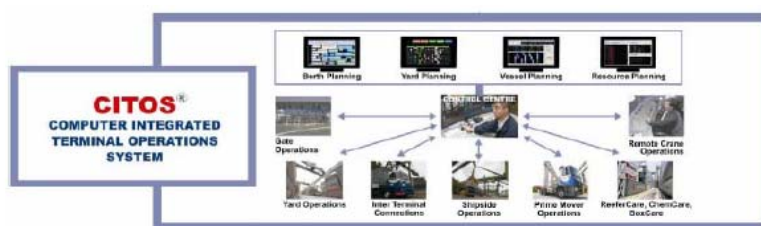
Port of Singapore constantly innovates through automation and the use of intelligent systems to enhance its customers' hubbing operations and competitiveness.

Its operations are managed on a network of more than 300 advanced servers.



- **Computer Integrated Terminal Operations System (CITOS®)**

- First developed in 1988
- An Enterprise Resource Planning system
- Coordinate and integrate all equipment and resource, e.g., yard cranes, quay cranes, prime movers ...
- Allow seamless manage of equipment and people in real-time



- **Flagship IT solution –PORTNET®**

- An information platform for the port and shipping community
- E-business operations in the maritime and shipping industry
- World's first nation-wide business to business (B2B) port community solution
- Help to improve increase productivity and efficiency



- **Flow-Through Gate system**

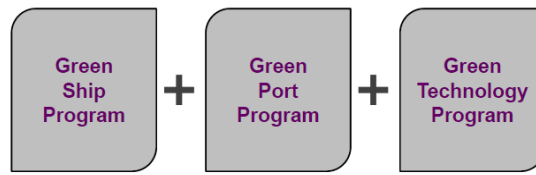
- A fully automated system – 25 seconds to identify container trucks and give drivers instructions
- 700 trucks per peak hour, and 8,000 trucks per day



4. Government's Initiatives

- **Maritime Singapore Green Initiative**

- The Maritime and Port Authority of Singapore (MPA) invests S\$100 million in a five-year Maritime Singapore Green Initiative starting from 2011.
- Seeks to reduce the environmental impact of shipping and related activities to promote clean and green shipping.



- **Green Ship Program**

- Target at Singapore-flagged ships
- Provide incentives to ship owners who adopt energy efficient ship designs that reduce fuel consumption and carbon dioxide emissions
- Enjoy a 50% reduction of initial registration fees
- Enjoy a 20% rebate on annual tonnage tax
- Be recognized through certificates

- **Green Port Program**

- Aim at encouraging ocean-going ships calling at the Port of Singapore to reduce the emission of pollutants like sulphur oxides and nitrogen oxides.
- Ships that use type-approved abatement/scrubber technology or burn clean fuels with low sulphur content beyond MARPOL requirements within the port can enjoy a 15% reduction on port dues payable.

- **Green Technology Program**

- Aim to encourage local maritime companies to develop and adopt green technologies.
- MPA will set aside S\$25 million from the Maritime Innovation and Technology (MINT) Fund for this program.
- If response is good, MPA will set aside another S\$25 million for this program.

- **Maritime Singapore Green Pledge**

- To promote and support clean and green shipping, MPA also organized the inaugural Maritime Singapore Green Pledge signing ceremony during the Singapore International Maritime Awards.

- A total of 12 key organizations from across Maritime Singapore came together and pledged their commitment to promote and support clean and green shipping in Singapore.

高雄港及鄰近海域生態變動的解析

周偉融^{1,2} 張桂祥³ 方力行⁴

摘要

為瞭解高雄港及其鄰近海域生態的變動，本研究分析了彰化至高雄沿岸多個研究計畫的環境及生物資料。結果顯示，高雄港內仍然生存著相當多樣性的甲殼類生物，其歧異度甚至顯著高於鄰近之爐石海拋區及高雄沿海，群聚結構則與七股潟湖類似。高雄港內水質及底質的變動，均能和前鎮河整治期程契合，在前鎮河底泥疏浚期間，港內底棲生物的種類及數量明顯下降，群聚結構亦有顯著改變。在整治前、中、後，港內浮游植物的種類組成均有顯著的不同。緊鄰高雄港南邊的海域，受到抽取自港內海水的電廠冷卻水排入的影響。由海域水質主成分分析顯示，源自高雄港的「氨氮及凱氏氮」及「重金屬」等兩項因素，佔整體水質變異的 23.8%，是影響該海域環境變動的最重要因素。經由結構方程模式(Structural Equation Modeling, SEM)的結果顯示，「重金屬」對甲藻的成長有促進的作用，而「氨氮及凱氏氮」對矽藻的繁生有正向的影響。高雄港淤泥棄置區底質的營養鹽、含水比例、有機質及重金屬的含量，以及底層水中營養鹽的濃度，均顯著大於對照組海域。海拋區底棲生物的種類及數量則顯著低於對照組，兩區域間群聚結構亦有顯著的不同。經由表層浮游生物變動的模式顯示，淤泥海拋所導致的「懸浮微粒」對藍綠藻的成長有正向的影響。本研究透過不同時期，多個研究計畫資料的分析，解析出抽取自港內電廠冷卻水的排放及港內淤泥海拋，對鄰近海域生態產生了明顯的影響。而前鎮河整治則可能是影響港內水質、底質及生態最重要的因素。

關鍵詞：高雄港、海域生態、前鎮河、主成分分析、結構方程模式

¹ 國立海洋生物博物館科學教育組 技正

² 國立中山大學海洋生物科技暨資源學系 博士候選人

³ 國立海洋生物博物館生物馴養組 助理研究員

⁴ 私立正修科技大學 講座教授

Modeling of the ecological dynamics in Kaohsiung Harbor and its adjacent areas

Weirung-Rung Chou^{1,2} Kwee Siong Tew³ Lee-Shing Fang⁴

ABSTRACT

To understand the ecological dynamics in Kaohsiung Harbor and its adjacent areas, we analyzed biotic and abiotic data from environmental monitoring programs from Chang Hua to Kaohsiung coastal area. The results showed that Kaohsiung Harbor contained high diversity of benthic fauna. The diversity of benthic crustaceans in the harbor was higher than at the slag disposing area and coastal area, while the community was similar to Chiku lagoon in Tainan. The dynamics of water quality and sediment composition and chemistry were compatible to the dredging of Chienchen River. During the dredging, the abundance and number of species of the benthic organisms in the harbor were significantly lower, while the community was significantly different. Before, during and after the dredging, the phytoplankton species compositions in the harbor were significantly different. The coastal area south of Kaohsiung Harbor was affected by the discharge of power plant cooling water taken directly from the harbor. Principal Component Analysis revealed that ammonia+organic nitrogen and heavy metals were the major components (23.8% variance explained) affecting the area. Structural Equation Modeling (SEM) revealed that heavy metals enhance the growth of dinoflagellates, while ammonia+organic nitrogen have a positive effect on diatom growth. The nutrient concentrations, percent water content, organic matter, and heavy metal concentrations were significantly higher in the sediment of harbor sludge dumping area as compare to the control area. The abundance and species of benthic organisms in the dumping area were significantly lower than the control, while the communities between the two were significantly different. The model of the surface planktonic communities revealed that suspended solid originated from the dumping positively affected blue-green algal growth. In conclusion, analyses of the environmental parameters from different environmental monitoring projects around Kaohsiung Harbor and its adjacent waters revealed that discharge of cooling water and sludge dumping, both originated from Kaohsiung Harbor, were the major influences on the ecological dynamics in Kaohsiung coastal area. The dredging of Chienchen River was probably the most important factor that change the water and sediment chemistry in the harbor.

Keywords : Kaohsiung Harbor, Marine Ecology, Chienchen River, Principal Component Analysis, Structural Equation Modeling

一、前言

高雄港內污染源眾多，包括河川帶來上游及高雄市的家庭、都市廢水，港區四周工廠的廢水，港內船舶的壓艙水及漏油污染，漁市場的血水，港區

疏浚底質所溶出的有毒物質，大雨過後仁愛河無法截流的上游廢水....等，這些干擾源不定時、不定量的影響港區的生態。此外，高雄港的污染物除了影響港內生物的分布外，還可經由港內海水的流出，以及浚漂底泥的海拋，進而影響鄰近海域的生態，因此，整個高雄海域的生態變動相當複雜，本研究則利用「中國鋼鐵公司第四期擴建工程海域環境監測計畫」、「南部複循環發電計畫海域生態調查」、「南星計畫環境品質監測計畫」、「高雄港淤泥海洋棄置影響評估」等 1992 至 2010 年長達 19 年期間，港區及鄰近海域的調查資料，拼湊出高雄港的生態與其鄰近海域間的關係，以期對高雄海域有更深入的瞭解。以下就依序以上述四項研究計畫的資料，分別針對「高雄港的生態特性」，「前鎮河整治對港內生態的影響」，「港內水體對南星計畫海域生態的影響」，以及「港內淤泥海拋對棄置區生態的影響」等四個主題進行探討。

二、高雄港的生態特性

要瞭解高雄港的生態特性，僅研究港區的現況是不夠的，必須以整個大環境的角度來思考，並且與鄰近海域比較，方能對高雄港的生態有正確的認知。由於底棲生物群聚通常有較長的生命週期、較穩定的特性，常用來作為監測污染發生的指標^[1]，因此選取 1992~1998 年間，高雄沿海（SBK）、爐石海拋區（SDA）、煤灰海拋區（FA）、高雄港（KH）、臺南沿海（SBT）、七股潟湖（LC）、彰化至嘉義沿海（SBC）等七個生態環境的底棲甲殼類（圖 2.1），比較不同棲所環境的群聚分布，以了解各地受到外力或污染的影響程度，其中高雄港的資料，取自於 1994~ 1997 年「中國鋼鐵公司第四期擴建工程海域環境監測計畫」的數據，採樣地點位於高雄港第二港口附近水深約 18 米的水域^[2]。

相似度研究的結果發現，位於深海的煤灰海拋區和其餘淺海的生物群聚不同；爐石海拋所形成的礁岩底質地形的生物群聚不同；由高雄港、七股潟湖所形成的半封閉水域和沿海的開放海域的生物群聚不同；高雄和臺南、彰化至嘉義的生物群聚不同（圖 2.2），歸納而言，上述 7 個海域分別代表了四種不同的生態環境，分別為煤灰海拋區的深海生態系，爐石海拋區的礁岩底質生態系，高雄沿海、臺南沿海、彰化至嘉義沿海的沿岸沙泥底質生態系，以及七股潟湖及高雄港的半封閉水域生態系，並顯示底棲甲殼類的分布應受水深、底質及海域為開放海域或半封閉海域等三大因素的影響^[2]。

在水域開放與否方面，屬於半封閉海域的潟湖通常是一個生產力相當高、魚類與甲殼類育幼的場所^[3]，而七股潟湖區正有這樣的特性。而過去的

研究認為七股潟湖是一個年輕、多產、不成熟的環境^[4]，這與已有水污染、底質成還原態高度人工化的潟湖(高雄港)^[5]應有極大的不同。但是在甲殼類生物群聚的相似度上，兩者之間卻有相當程度的共同點，而與開放海域則有較大的差異，這表示雖然高雄港受到相當的污染，但以甲殼類的分布而言，人為干擾的影響尚不如潟湖所擁有的獨特棲地來的重要。

歧異度的研究結果發現，七個生態環境的歧異度介於 1.38 至 2.77 之間，以煤灰海拋區最高，其次依序為臺南沿海、高雄港、七股潟湖、彰化沿海、高雄沿海、爐石海拋區，其中高雄港與七股潟湖之間無明顯不同，卻顯著大於高雄沿海及爐石海拋區^[2]。高雄港是一個水污染、底質成還原態的半封閉水域^[5]，長久以來被認為是一個污染嚴重、生物數量少、生物歧異度低的地方，但是在上述的結果中，高雄港底棲甲殼類的歧異度不但未小於七股潟湖區，反而顯著大於高雄沿海區及爐石海拋區，這可導正對高雄港區因污染而生物稀少歧異度低的錯誤猜測。事實上，對甲殼類而言，高雄港的污染可能並未如想像中的嚴重，雖有部份種類的甲殼類在高雄港人工化的過程，因污染而遷出高雄港，但同時卻也有若干耐污染的種類遷入港區。在 1997 年對高雄港內蟹類的研究，即發現 44 種螃蟹^[6]，因此，而持續污染的半封閉海域，對生活於此的耐污染種類而言，可能反而是個穩定的環境，也許此即為高雄港甲殼類生物歧異度比開放海域高的原因。

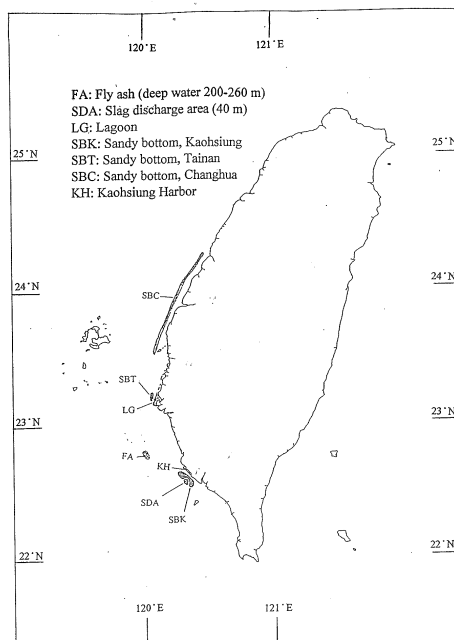


圖 2.1 各海域底棲甲殼類調查位置圖(引用自 Chou et al.,1999)

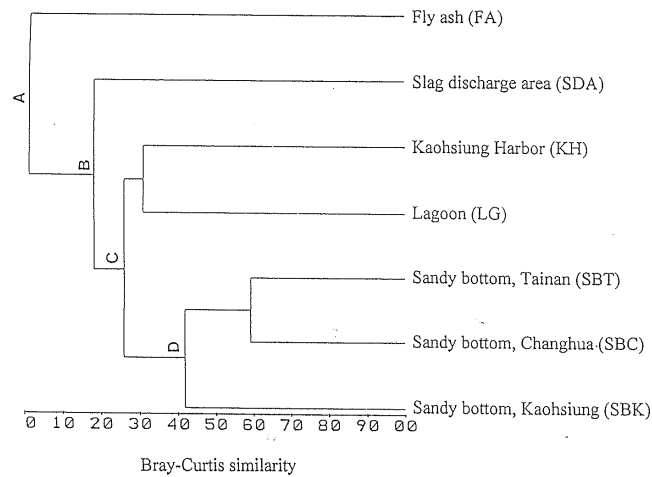


圖 2.2 各海域底棲甲殼類之聚類分析圖(引用自 Chou et al.,1999)

三、前鎮河整治對港內生態的影響

前鎮河源自高雄縣大樹鄉，流經鳳山市，沿途容納家庭及工廠廢水是污染極為嚴重的一條河川^[7]，而前鎮河口為高雄港污染最嚴重的區域之一^[8]。因此，自 1986 年仁愛河完成整治後，影響高雄港港內環境變動最重要事件，應屬前鎮河的整治。而前鎮河自 2000 年至 2001 年 7 月間進行河道底泥疏浚，並於 2001 年 9 月完成第一階段整治工程，每日可截流約 25 萬噸的上游廢水，佔總水量的 80%。2002 年底第二階段整治工程也宣告運轉，捷流水量已達總水量的 95%。由於前鎮河的變動如此之大，因此本部份以「南部複循環發電計畫海域生態調查」計劃中，水質及生物資料的分析，以了解前鎮河整治對港區水域生態所產生的影響。

3.1 高雄港的水質

由 1994 年至 2003 年測站 4(圖 3.1)水質資料主成分分析的結果顯示，第一至第三主成分可解釋總體水質變異的 76.4%(表 3.1)。由各成分軸水質參數之負荷量大小及正負向之表現，可判斷三個成分軸所代表之意義分別為「營養鹽」、「重金屬」及「硝酸鹽類」。而由各成分軸成分分數進行歷年之間的單因子變異數分析，結果顯示第 1 成分軸(營養鹽)有顯著差異 ($F=3.55$, $p=0.005$)，第 2 成分軸(重金屬) ($F=0.876$, $p=0.588$) 及第 3 成分軸(硝酸鹽類)則無顯著不同 ($F=0.785$, $p=0.632$)，其中第 1 成分軸(營養鹽)在 2003 年顯著較其他各年為低(表 3.2)，反應營養鹽及總有機碳的濃度明顯降低，此應與 2002 年底前鎮河完成第二階段整治，完成河水 95%的截流，上游的

家庭及工廠汙水不再排入港區內有關。2002 年明顯較 1994~1996 年期間為低，另外雖然與 1996~2001 年間無顯著差異，卻也有略為降低的趨勢（表 3.2），顯示 2001 年完成前鎮河第一階段整治，完成河水 80%的截流後，港區的水質已經有所改善。

3.2 高雄港的底棲生物

將1999~2003年7個測站(圖3.1)的底棲生物資料，依據前鎮河整治的期程分為三個時期，分別為整治前的1999年、河川底泥疏浚的2000~2001年、以及截流後的2002~2003年期間。在單變數分析方面，以2因子變異數分析針對測站及時期進行分析，結果顯示物種數($F=4.31$, $p=0.016$)、個體數($F=3.231$, $p=0.043$)及歧異度($F=3.101$, $p=0.049$)在不同階段間均有顯著差異，其中底泥疏浚期間(2000~2001年)物種數、個體數及歧異度明顯較低，而截流後(2002~2003年)物種數、個體數及歧異度則顯著增加(表3.3)。此外，2000年10月的疏浚時期，甚至發生7個測站僅捕獲1隻底棲生物的現象，而2003年4月份截流後的調查卻採集到4945隻底棲生物，是過去四年平均數量的20倍。

在多變數的分析方面，ANOSIM分析顯示1999年與2000~2001年期間(Global $R=0.094$, $p=0.008$)，以及2000~2001年與2002~2003年期間(Global $R=0.041$, $p=0.013$)，底棲生物群聚有顯著不同，反映底泥疏浚期間底棲生物的種類組成有明顯的變動，至於1999年與2002~2003年期間群聚結構則無顯著差異(Global $R=-0.028$, $p=0.839$)，此代表底泥疏浚停止後，底棲生物的種類組成有恢復至整治前的情形。

由上述單變數及多變數的分析顯示，底泥疏浚期間，可能因為底泥中還原性的有毒物質，因底質攪動而溶出至水體中，導致底棲生物的大規模，而在疏浚結束後，水質趨於穩定，底棲生物得以大量繁生，群聚並已恢復至疏浚前的情形。

3.3 高雄港的浮游植物

以1999~2003年7個測站(圖3.1)的浮游植物分析的結果顯示，物種數($F=3.617$, $P<0.001$)、個體數($F=22.185$, $P<0.001$)及歧異度($F=14.291$, $P<0.001$)在年與季節之間均有顯著的交感作用，代表每年各季節的變動趨勢均不相同，彰顯浮游植物在時間上的變異並無明確規律可言，這可能與採樣時漲退潮條件不盡相同，以及港區內污染源眾多有關。

在多變數的多元尺度分析方面，圖(3.2)顯示出5年140組群聚間的相似程度，其中整治前1999年的群聚分布於圖右側，明顯與其他各年有所區

隔，而前鎮河疏浚期間的2000、2001年，群聚則與1999年不同，有向圖中間移動的現象，而第一階段整治工程完成後的2002及2003年，群聚持續再向左偏移，顯現前鎮河的整治確實影響了浮游植物的分布。而依據表(3.2) 主成分分析中2002~2003年港內的營養鹽濃度，因前鎮河整治而明顯的降低，此可能即為該時期浮游植物群聚產生變動的原因。

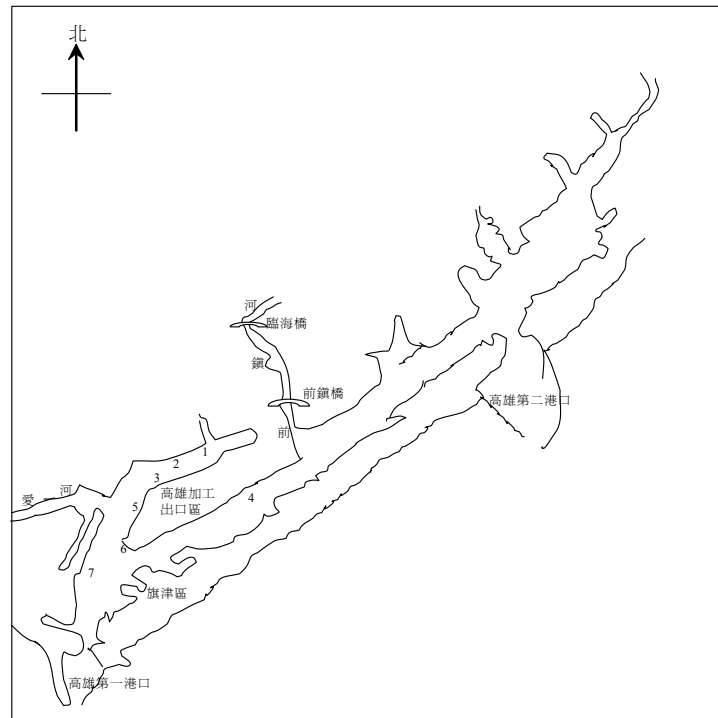


圖 3.1 高雄港水質及生物測站位置圖

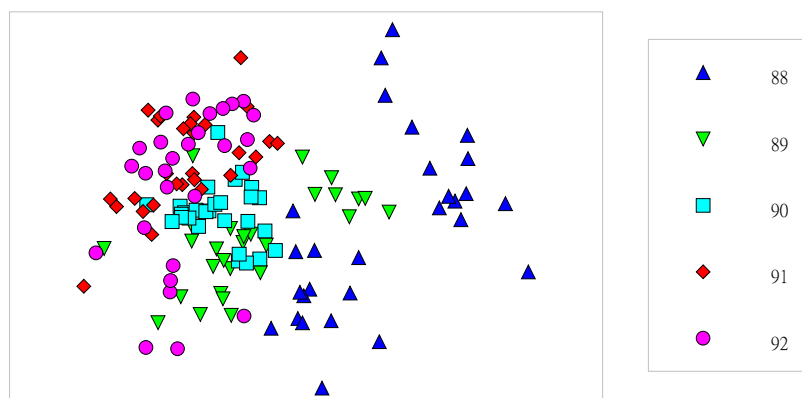


圖 3.2 高雄港 1999~2003 年間浮游植物之多元尺度圖

表 3.1 高雄港水質主成分分析

	Factor loading (N=37)		
	PC1	PC2	PC3
酸鹼值	-0.627	-0.251	-0.296
生化需氧量	<u>0.744</u>	-0.105	-0.232
總磷	<u>0.885</u>	0.024	-0.022
硝酸鹽	-0.160	-0.077	<u>0.920</u>
亞硝酸鹽	-0.105	-0.022	<u>0.936</u>
磷酸鹽	<u>0.851</u>	-0.095	-0.131
總有機碳	<u>0.684</u>	0.098	-0.042
氨氮	<u>0.688</u>	-0.077	-0.188
銅	0.016	<u>0.993</u>	-0.017
鋅	-0.013	<u>0.992</u>	-0.025
鐵	-0.003	<u>0.988</u>	-0.046
Eigenvalues	3.603	3.048	1.758
Variance(%)	31.2	27.8	17.5
Total variance(%)	31.2	59.0	76.4

表 3.2 高雄港水質成分分數之單因子變異數分析

		One way ANOVA		Multiple Comparison
		F	p	
Score1 (營養鹽)	Year	3.55	0.005*	Comparisons for factor: station 1995 ^a 1994 ^{ab} 1996 ^{ab} 2000 ^{bc} 1997 ^{bc} 1998 ^{bc} 1999 ^{bc} 2001 ^{bc} 2002 ^c 2003 ^d
Score2 (重金屬)	Year	0.876	0.558	
Score3 (硝酸鹽類)	Year	0.785	0.632	

表 3.3 高雄港底棲生物物種數、個體數、歧異度之比較

		Two way ANOVA		Multiple Comparison		
		F	p			
物 種 數	Year	4.31	0.016*	Comparisons for factor: year		
	Station	2.016	0.069	2002-2003 ^a	1999 ^a	2000-2001
	Year x Station	1.644	0.088			
個 體 數	Year	3.231	0.043*	Comparisons for factor: year		
	Station	1.579	0.159	2002-2003 ^a	1999 ^{ab}	2000-200
	Year x Station	0.955	0.495			
歧 異 度	Year	3.101	0.049*	Comparisons for factor: year		
	Station	1.869	0.092	1999 ^a	2002-2003 ^{ab}	2000-200
	Year x Station	1.302	0.226			

四、港內水體對南星計畫海域生態的影響

南星計畫緊鄰於高雄第二港口南側，為高雄市填海造陸工程之用地，其沿岸海域影響環境變動的因子甚多，除了自然因素之河川淡水注入、乾濕季降雨的影響外，眾多的人為干擾，包括海洋放流館、火力發電廠、煉油廠、油輪及輸油管線之漏油事件、填海造陸計畫、重工業以及高雄港所產生的污染，均可能對本海域環境產生影響。特別是污染嚴重的高雄港^{[8][9]}，其港內污染的海水，除了藉由第二港口漲退潮作用將污染物帶至本海域外，還會經由大林電廠抽取作為機組冷卻水後排入而產生影響。因此，長期以來高雄港的污染與南星計畫的環境變動可說是息息相關，本部份即以「南星計畫環境品質監測計畫」水質及生物的資料進行分析，以探討港區和南興計畫海域的關係。

4.1 南星計畫的水質

由 1997 年至 2005 年，12 個測站(圖 4.1) 2543 筆數據的主成分分析顯示，第一至第五主成分可解釋總體水質變異的 62.2% (表 4.1)，其所代表之意義分別為「源自淡水之硝酸鹽類」、「氮氮及凱氏氮」、「重金屬」、「油污染」以及「懸浮微粒」。而表(4.2)則為各成分軸成分分數年與測站 2 因子變異數分

析的結果，其中第 1 成分軸(源自淡水之硝酸鹽類) 的年($F=46.12$ $p<0.001$) 與測站 ($F=2.3$ $p=0.009$) 均有顯著差異，測站 E 除了與兩個沿岸 5 米測站的 G、A 無明顯差異外，顯著小於其餘各測站(表 4.2)，由於測站 E 位於大林電廠冷卻水排放海域，而測站 G、A 則緊臨岸邊，代表「源自淡水之硝酸鹽類」應屬於陸源的影響。而在臺灣河川長期資料主成分分析的研究中，包括老街溪、急水溪、南崁溪^[10]以及淡水河^[11]均發現硝酸鹽及亞硝酸鹽出現在同一個成分軸中，此外，在高雄港亦發現相同的現象(表 3.1)，此可能顯示河川中含氮物質，經硝化作用轉變成硝酸鹽及亞硝酸鹽。因此本研究之「源自淡水之硝酸鹽類」推測可能與鄰近之河川污染有關。

第 2 成分軸(氨氮及凱氏氮)的分析顯示年與測站間有顯著之交感作用(interaction) ($F=1.31$ $p=0.03$)，在 1997~2002 年期間，測站 E 有明顯較小的趨勢，而在 2003~2005 年期間，測站 E 較小的情形則不復存在(表 4.2)。由於前鎮河完成截流前的六年間(1997~2002 年)，氨氮及凱氏氮濃度最高的區域正好在大林電廠冷卻水排放口附近(測站 E)，而自前鎮河完成整治後的 2003 年起，即無明顯氨氮及凱氏氮的排入，因此，足夠的證據顯示，南星海域的氨氮及凱氏氮的來源為前鎮河，即在截流前，前鎮河帶來高雄縣包括鳳山市及高雄市大量家庭、都市的廢水，而其中的氨氮、凱氏氮污染了高雄港，而後透過大林電廠的機組冷卻水而進入南星計畫沿岸海域。當此一污染源經由河川整治而不再造成高雄港的污染時，電廠冷卻水也不再含有大量濃度的氨氮及凱氏氮。

第 3 成分軸(重金屬)的分析顯示，年($F=44.77$ $p<0.001$)與測站($F=15.25$ $p<0.001$) 均有顯著差異(表 4.2)，其中測站 E 明顯較大，其次為測站 F，而距離測站 E 較遠的 G、H、J、L、I 等測站則相對較小。至於在各年間之比較，大致可發現早期(1997、1999、2000 年)重金屬濃度較低，在 2001 重金屬明顯增加，並在 2002 年達到最高，之後的 2003 至 2005 年間則又明顯降低(表 4.2)。長期以來，高雄港容納了來自愛河、前鎮河、鹽水溪及鄰近工廠的重金屬污染，導致港區重金屬污染嚴重^[8]。而在南星計畫海域水質的分析中，「重金屬」於空間及時間上的變動，亦與前鎮河的整治有關。即大林電廠冷卻水排放口附近(測站 E)的濃度較高，以及早期(1997、1999、2000 年)重金屬濃度較低，在前鎮河開始疏浚後的 2001 重金屬明顯增加，並在 2002 年達到最高，而於同年前鎮河完成截流，自 2003 起至 2005 年期間，重金屬即逐年降低。

第 4 成分軸(油污染)的分析顯示，年($F=32.68$ $p<0.001$) 有顯著差異，其中 1997 年油污染的情形較為嚴重(表 4.2)。而 1997 年本海域發生了長運

輪爆炸油污染事件^[12]，因此，該年發生的海上漏油意外可能與本成份軸”油污染”的變動有關。

第 5 成分軸(懸浮微粒)的分析顯示年有顯著差異 ($F=168.9$ $p<0.001$)，其中早期(1997~1999)的成分分數較低，而後在 2000~2002 年間顯著增加，到了 2003~2005 年數值更大(表 4.2)，反應本海域之懸浮微粒有逐年降低的趨勢，此可能與近年來之環境法規之約束及環境整治有關。

以上五個主要之環境變動因素中，「氨氮及凱氏氮」及「重金屬」明顯源自高雄港並與前鎮河的整治有關，且佔整體水質變異的 23.8%，是影響本海域環境變動的首要因素。

4.2 南星計劃的生態系模式

依據上述五項環境變動因素，配合浮游植物之矽藻、甲藻及藍藻所擬定之概念模式，以 LISREL 程式進行結構方程模式(SEM, Structural Equation Modeling)的模式驗證，而圖(4.2)為經過模式修正後最後之實證模式，其各項適配指標依序為 $\chi^2=175.67$ ， $df=33$ ， $p\text{-value}=0.0$ ； $RMSEA=0.076$ ； $GFI=0.96$ ； $AGFI=0.91$ ； $CFI=0.87$ ； $IFI=0.88$ ； $CN=232.99$ 。其中 RMSEA 指數為 0.076 屬於「不錯的適配」^[13]。至於其他的適配指標中，除了卡方值較大外其餘各指標均符合標準，整體顯示此模式對生態系具備有相當的解釋能力。

在環境因子對浮游植物的影響方面， ξ_1 (源自淡水之硝酸鹽類)、 ξ_2 (氨氮及凱氏氮)、 ξ_5 (懸浮微粒)對 η_1 (矽藻成長潛能)的直接影響分別為 0.25、0.18 與 -0.37； ξ_2 (氨氮及凱氏氮)、 ξ_3 (重金屬)、 ξ_5 (懸浮微粒)對 η_2 (甲藻成長潛能)的直接影響分別為 -0.19、0.17 與 -0.61； ξ_4 (油污染)、 ξ_5 (懸浮微粒)對 η_3 (藍藻成長潛能)的直接影響分別為 0.17、與 -0.20，至於其他路徑係數則無顯著關係(圖 4.2)。在結構方程模式的研究中，路徑係數的大小可做為影響程度的判斷^[14]。在圖(4.2)的模式中，懸浮微粒對三個門的浮游植物影響均最大，且為抑制成長的影響。一般而言，當懸浮微粒多時會抑制浮游植物行光合作用^[15]，而本研究也顯示各類的浮游植物，在懸浮微粒阻絕光線導致數量降低的效應是類似的。源自淡水之硝酸鹽類對矽藻的影響，推測為淡水的注入不利藻類的成長。至於氨氮及凱氏氮對矽藻成長潛能有促進的作用，推測與提供氮營養鹽有關，但是對甲藻卻有抑制的作用，其原因並不清楚。有研究指出，在無機營養鹽充足時，矽藻的成長較快速，相對而言，甲藻的競爭力較差，因而其成長速率較低^[16]，因此這可能是矽藻大量繁殖導致與之競爭的甲藻，數量反而減少的原因。此外，氨氮及凱氏氮對藍藻的關係並不明顯，可能與藍藻有自行固氮的能力，海水中氮營養鹽對其成長的重要性較低所致。文獻

均指出，重金屬對浮游藻類成長有抑制的影響^{[17][18]}，而本研究中重金屬對甲藻的數量卻有正向的關係，其原因並不清楚。不過甲藻能利用有機物當其能量來源^[19]，而當前鎮河進行底泥疏浚時，累積於河川底部的淤泥大量流入高雄港，造成港內成為低溶氧的還原態環境，此有利於重金屬的溶出，是否因為淤泥中有機物伴隨重金屬經電廠冷卻水的抽取，排入本海域而促進甲藻成長，則有賴更深入的研究。研究指出，沿海潮間帶區域的藍綠藻可扮演油的分解者^[20]，大規模的漏油事件後，由藍綠藻組成微生物團(microbial mats)被發現在油污染的沉積物中^[21]。由於油污染的發生可能有利於藍藻的出現，推測此即模式中油污染對藍藻有正向影響的原因。

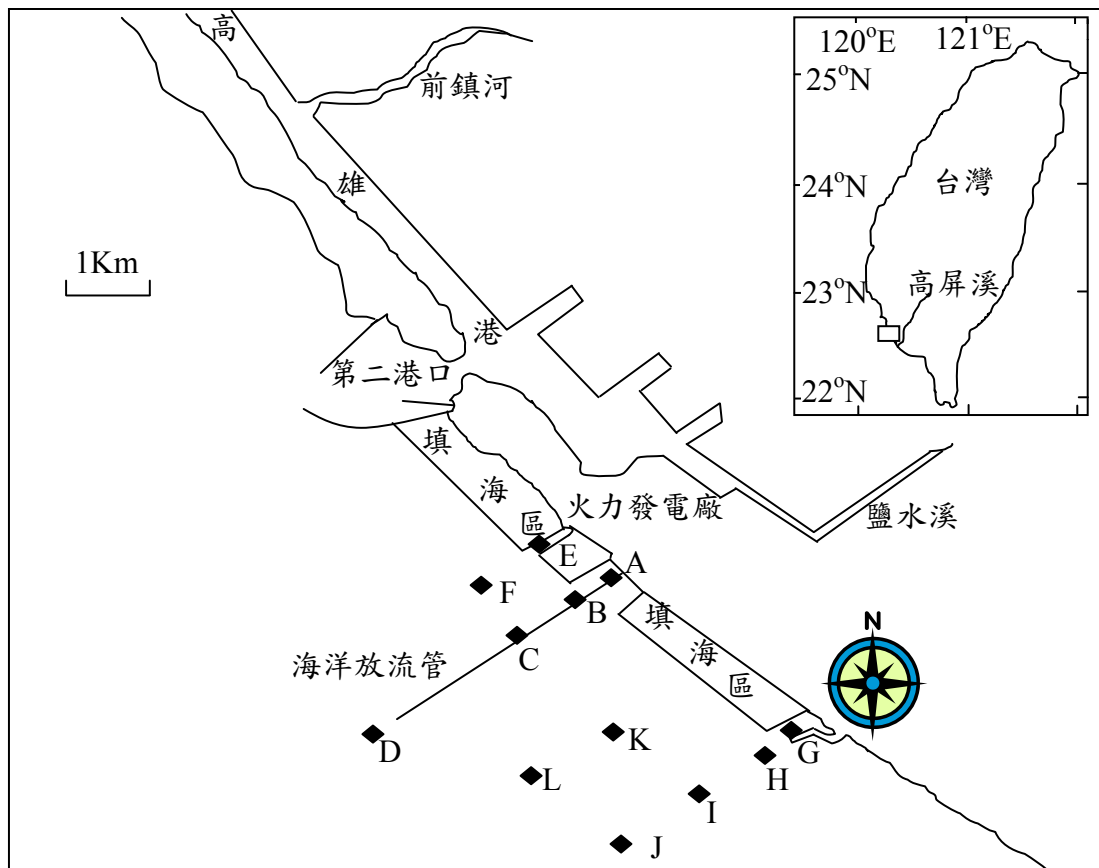


圖4.1 高雄南星計畫海域測站位置圖

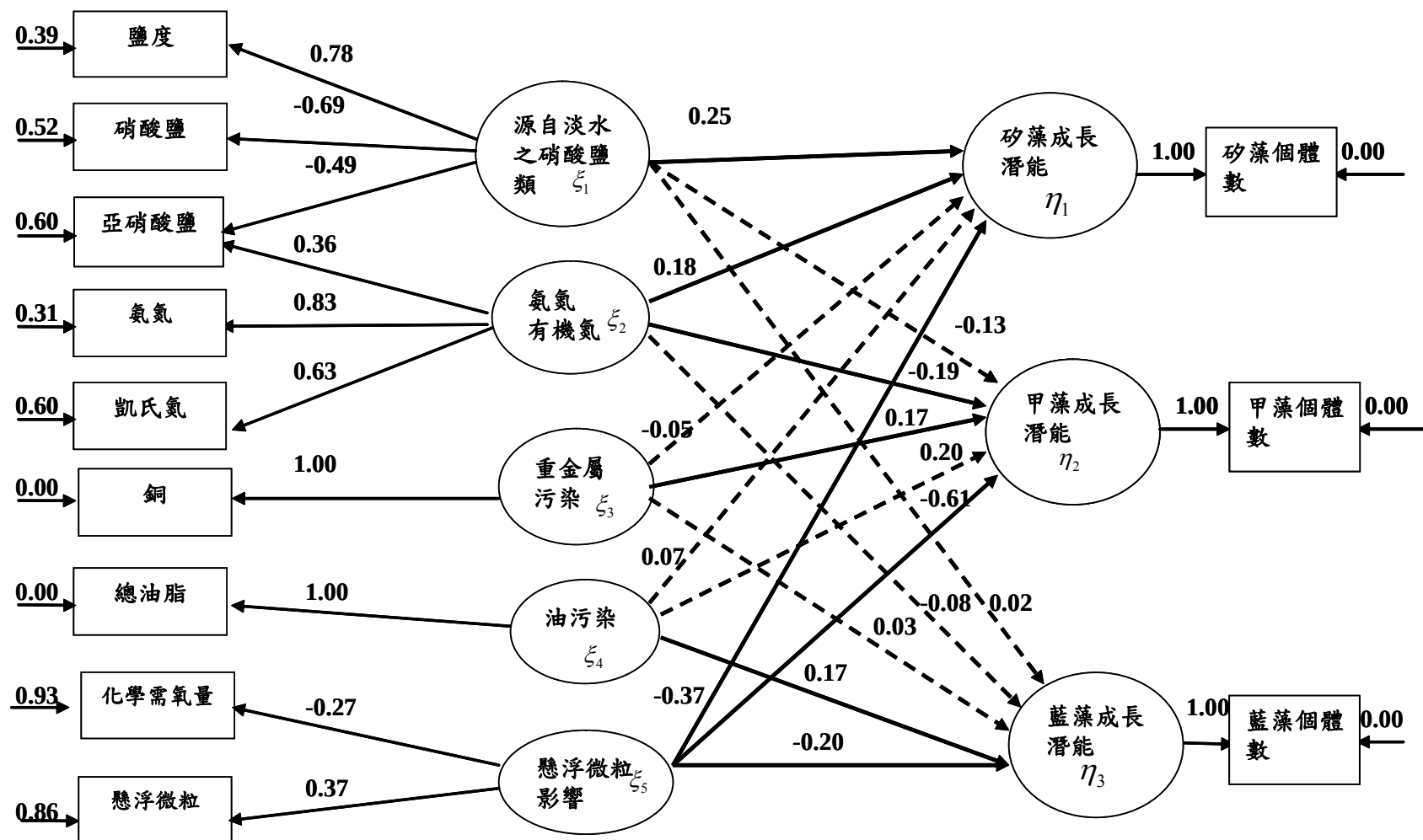


圖 4.2 南星計畫海域之生態系模式

表 4.1 高雄南星計畫沿岸海域水質資料之主成分分析

	Factor loading (N=2543)				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
pH	0.492	-0.049	-0.216	0.040	0.403
鹽度	0.777	-0.081	0.175	-0.011	0.192
溶氧	0.356	0.169	-0.432	0.119	-0.247
懸浮微粒	0.046	0.125	0.105	0.053	-0.804
硝酸鹽	-0.851	-0.062	0.058	-0.014	0.082
亞硝酸鹽	-0.744	0.249	0.073	0.027	0.042
化學需氧量	0.097	0.201	0.145	-0.081	0.533
氨氮	-0.014	0.865	-0.072	0.004	-0.050
凱氏氮	-0.191	0.812	0.129	-0.022	0.089
總油脂	0.018	-0.066	-0.026	0.808	-0.189
礦物性油脂	-0.006	0.046	0.023	0.848	0.053
銅	0.026	0.085	0.755	-0.041	-0.192
鋅	-0.007	0.024	0.782	0.076	0.099
Eigenvalues	2.298	1.581	1.509	1.407	1.295
Variance(%)	17.680	12.164	11.608	10.820	9.963
Total					
variance(%)	17.680	29.844	41.452	52.272	62.236

表 4.2 高雄南星計畫沿岸海域水質主成分分析成份分數之變異數分析及多重比較(Tukey Test)

		ANOVA		Multiple Comparison
		F	p	
Score1	Year	46.12	<0.001***	Comparisons for factor: year
	Station	2.30	0.009***	1999 ^a 1998 ^a 2000 ^b 2002 ^c 2003 ^{cd} 1997 ^{cd} 2004 ^{cd} 2001 ^d 2005 ^e
	year*station	0.79	0.929	Comparisons for factor: station
				J ^a I ^{ab} D ^{ab} H ^{ab} L ^{ab} B ^{ab} C ^{ab} K ^{ab} F ^{ab} A ^{abc} G ^{bc} E ^c
Score2	Year	51.35	<0.001***	Comparisons for factor: station
	Station	7.68	<0.001***	within 1997 E ^a F ^{ab} L ^{bc} G ^{bc} H ^{bc} J ^{bc} B ^{bc} I ^c C ^c K ^c D ^c A ^c
	year*station	1.31	0.03*	within 1998 E ^a A ^{ab} B ^{ab} F ^{ab} G ^{ab} J ^{ab} H ^{ab} D ^{ab} L ^{ab} I ^b C ^b K ^b
				within 1999 F ^a E ^{ab} H ^{abc} G ^{abc} J ^{bc} A ^{bcd} C ^{cd} B ^{cd} I ^{cd} L ^{cd} D ^{cd} K ^d
				within 2000 E ^a C ^{ab} G ^{abc} F ^{abc} D ^{abc} A ^{abcd} K ^{bcd} H ^{bcd} B ^{cd} L ^{cd} I ^{cd} J ^d
				within 2001 E ^a B ^{ab} F ^{ab} A ^{abc} H ^{bc} C ^{bc} D ^{bc} K ^{bc} G ^{bc} L ^c J ^c I ^c
				within 2002 E ^a F ^a A ^{ab} B ^b D ^b G ^b C ^b H ^b L ^b K ^b I ^b J ^b
				within 2003 C ^a D ^{ab} L ^b G ^b I ^b F ^b K ^b E ^b J ^b B ^b A ^b H ^b
				within 2005 not significant
				within 2005 not significant
				Comparisons for factor: year
				within E 2000 ^a 1999 ^{ab} 2001 ^{abc} 2002 ^{bcd} 1997 ^{bcd} 1998 ^{cd} 2004 ^d 2003 ^{de} 2005 ^e
	Score3	Year	44.77	<0.001***
Station		15.25	<0.001***	2002 ^a 2003 ^{ab} 2001 ^b 1998 ^c 2005 ^c 2004 ^d 1997 ^{de} 1999 ^{de} 2000 ^e
year*station		1.25	0.06	Comparisons for factor: station
				E ^a F ^b C ^c K ^c D ^{cd} B ^{cde} A ^{cde} I ^{de} L ^{def} J ^{ef} H ^{ef} G ^f
Score4	Year	32.68	<0.001***	Comparisons for factor: year
	Station	0.77	0.67	1997 ^a 1999 ^b 2003 ^b 2000 ^b 1998 ^{bc} 2005 ^{bc} 2004 ^{bc} 2001 ^c 2002 ^c
	year*station	1.04	0.38	
Score5	Year	168.9	<0.001***	Comparisons for factor: year
	Station	1.60	0.092	2003 ^a 2004 ^a 2005 ^a 2002 ^b 2000 ^{bc} 2001 ^c 1999 ^d 1998 ^e 1997 ^e
	year*station	1.04	0.393	

五、港內淤泥海拋對棄置區生態的影響

高雄港為維持航道暢通，港內淤泥必須定時疏浚，並海拋於離岸 12~15 海里的海拋區中。然而海拋(Marine disposal)會造成海水濁度增加、海床被覆蓋、海水被污染、棲所及生態系改變、生產力降低、食物鏈及漁業的改變、生物體的污染(biological contamination)等效應^[22]，也將造成生物群聚歧異度值降低的結果^[23]。本部分以「高雄港淤泥海洋棄置影響評估」之港內及海拋區(圖 5.1)的環境及生物數聚進行分析，了解高雄港淤泥海拋對生態的影響。

5.1 高雄港的底質

由 2001 年至 2007 年，高雄港底質的主成分分析顯示，第一至第四主成分可解釋總體底質變異的 71.4 % (表 5.1)，其所代表之意義分別為「重金屬」、「顆粒大小」、「營養鹽」及「有機物及油脂」。由於前鎮河於 2000 至 2001 年期間進行底泥疏浚，並於 2001 及 2002 年分別完成第一階段及第二階段的整治工程，而圖(5.2)為不同時期底質在第二(顆粒大小)及第三成分軸(營養鹽)的變動情形，其中屬於整治期間 2001~2002 年的底質集中分布於圖的右上方，代表底質的顆粒較小且營養鹽濃度較高，整治後第一年(2003 年)的底質則向圖的左側移動，反應底質顆粒有變大的情形，這應是由於前鎮河水中細顆粒之淤泥不再進入港中，而原本港內的淤泥受潮汐及海流的作用流出高雄港所致。而 2004~2007 年間底質的分布則偏向圖的下方，顯現底質中營養鹽在整治後的 2-5 年有明顯減少的趨勢(圖 5.2)，這也應該為河川截流後阻絕了前鎮河氮、磷等營養鹽的注入，而港內原有營養鹽逐年流出至港外，以及底泥經浚淤而移除所導致的結果。整體而言，高雄港的底質組成明顯受到前鎮河整治的影響，整治後底質中淤泥及營養鹽的含量均減少了，這將使的後續港區淤泥浚淤棄置於海拋區的污染程度減少，應可降低對海域的衝擊。

5.2 海拋區的底質

由 2004 年至 2010 年，12 個測站(圖 5.1)海拋區底質資料的主成分分析顯示，第一至第五主成分可解釋總體水質變異的 88.5 % (表 5.2)，其所代表之意義分別為「營養鹽」、「顆粒大小」、「含水量」、「有機物質」及「重金屬」。而由各成分軸成分分數進行時間及區域(海拋區及對照組)之間的 2 因子變異數分析，結果顯示第 1 成分軸(營養鹽)海拋區的成分分數顯著大於對照組 ($F=4.999$, $p=0.026$)；第 2 成分軸(顆粒大小)海拋區的成分分數與對照組之間無顯著差異 ($F=1.144$, $p=0.286$)；第 3 成分軸(含水量)海拋區的成分分數顯著大於對照組 ($F=19.895$, $p<0.001$)；第 4 成分軸(有機物質)海拋區測站的成分分數顯著大於對照組 ($F=33.413$, $p<0.001$)；第 5 成分軸(重金屬)海拋區的成分分數顯著大於對照組 ($F=53.787$, $p<0.001$)。由以上第一、第

三、第四及第五成份軸成分分數比較的結果，均顯現海拋區受到淤泥海拋的影響，並導致底質中營養鹽、含水量、有機質及重金屬的含量增加。

5.3 海拋區的底層水

由 2004 年至 2010 年，12 個測站(圖 5.1)海拋區底層水的主成分分析顯示，第一至第三主成分可解釋總體中底層水質變異的 70.0%(表 5.3)，其代表之意義分別為「營養鹽」、「懸浮物質」及「重金屬」。2 因子變異數分析的結果顯示，第 1 成分軸(營養鹽)海拋區的成分分數顯著小於對照組($F=9.176$, $p=0.003$)；第 2 成分軸(懸浮物質) ($F=0.136$, $p=0.713$) 及第 3 成分軸(重金屬) ($F=0.53$, $p=0.467$) 海拋區的成分分數與對照組之間無顯著差異。由以上結果反應，海拋區底層水的營養鹽濃度較大，可能為海拋底泥中營養鹽溶出所致，至於淤泥海拋可能造成的海水懸浮微粒增加，及重金屬溶出的效應則並不明顯。

5.4 海拋區的底棲生物

以 ANOSIM 分析針對 2004 年至 2010 年，底棲生物群聚時間與區域(海拋區、對照組)的分析顯示，海拋區及對照組間有顯著差異(Global R:0.399, $p=0.001$)，反應海拋淤泥確實造成底棲生物群聚改變。在單變數的分析顯示海拋區的物種數 ($F=6.198$, $p=0.016$)、個體數 ($F=7.999$, $p=0.007$) 均顯著小於對照組，而歧異度 ($F=1.587$, $p=0.213$) 無顯著差異，顯示海拋淤泥也造成棄置區物種數及個體數的減少。

5.5 海拋區的表層生態系模式

由 2004 年至 2010 年，12 個測站(圖 5.1)海拋區表層水主成分分析的結果顯示，第一至第四主成分可解釋總體表層水質變異的 72.9%(表 5.4)，其所代表之意義分別為「營養鹽」、「重金屬」、「懸浮物質」及「溫、鹽變化」。

而依上述四項環境變動因素，配合浮游植物之矽藻及藍藻所擬定概念模式，以 LISREL 程式進行結構方程模式驗證的結果如圖(5.3)。在所建構之大洋表層生態系模式中，模式的各項適配指標依序為(χ^2/df) = 2.54, $df=17$, $p\text{-value}=0.00045$ ；RMSEA=0.051；RMR= 0.046；GFI=0.98；AGFI=0.96；NFI=0.90；NNFI=0.86；CFI=0.93；IFI=0.94；RFI=0.79；CN=461.05。模式中的 RMSEA 指數為 0.051 處於「不錯的適配」^[13]，其他指標除了卡方值較大外大都符合標準，代表此模式對生態系具有一定的解釋能力。模式中環境因子對各類浮游植物的影響方面，潛在變項 ξ_1 (海水溫鹽變化)對 η_1 (矽藻成長潛能)的直接影響為-0.11， ξ_2 (懸浮物質)、 ξ_3 (海水溫鹽變化)對 η_2 (藍綠藻成長

潛能)的直接影響則分別為 0.11、0.27 圖(5.3)。

一般而言海水中過多的懸浮物質因會遮蔽光線，對浮游植物的成長將產生負面的影響^[15]。不過在圖(5.3)的模式中， ξ_2 「懸浮物質」對 η_2 「藍綠藻成長潛能」卻有正向的影響。由於海拋區地處外海，稀釋作用大，淤泥海拋後懸浮微粒的濃度很快的即恢復至背景值，其所造成遮蔽陽光的影響應該有限。此外，溶解性有機物的濃度是促進藍綠藻成長的原因之一^[24]，而高雄港淤泥內含有高濃度的有機物^[8]，因此可能當淤泥海拋造成海水懸浮微粒增加的同時，淤泥中溶解性有機物溶出而促進了藍綠藻的成長。圖(5.3)的模式中 ξ_3 「海水溫鹽變化」對浮游植物的影響顯示，高溫對 η_2 「藍綠藻成長潛能」有正面的影響，卻對 η_1 「矽藻成長潛能」有負向的作用。南海的研究顯示，冬季時浮游植物組成中矽藻的比例增加，而藍綠藻 *Trichodesmium* 則在溫暖的季節生物量較高，推測其原因為冬季低水溫時期，適逢季風盛行，增加水體混合度，深層水中之硝酸鹽容易因混合層加深被帶至有光區，而南海位於低緯度，冬季日光能頗充足，因此造成矽藻的繁生，相對的，在夏季高溫時，有光區硝酸鹽濃度較低，有固氮能力的藍綠藻 *Trichodesmiu* 數量則增加^[25]^[26]。研究顯示，對於貧營養鹽的大洋水域有光層而言，海洋藻類將氮氣還原為氨氮的固氮作用為一個主要的新氮鹽的來源^[27]，在北太平洋亞熱帶海域 *Trichodesmiu* 之固氮佔新生產力之 50%以上^[28]。至於本海域的情況與南海頗為類似，其中 *Trichodesmiu* 為主要的優勢種類，在高溫時有利其繁生，而冬季同樣的具有東北季風盛行且陽光充足的特性，底層營養鹽上升可促進矽藻的成長，由此也反映出長期海拋導致底層水營養鹽的累積，有助於矽藻成長。

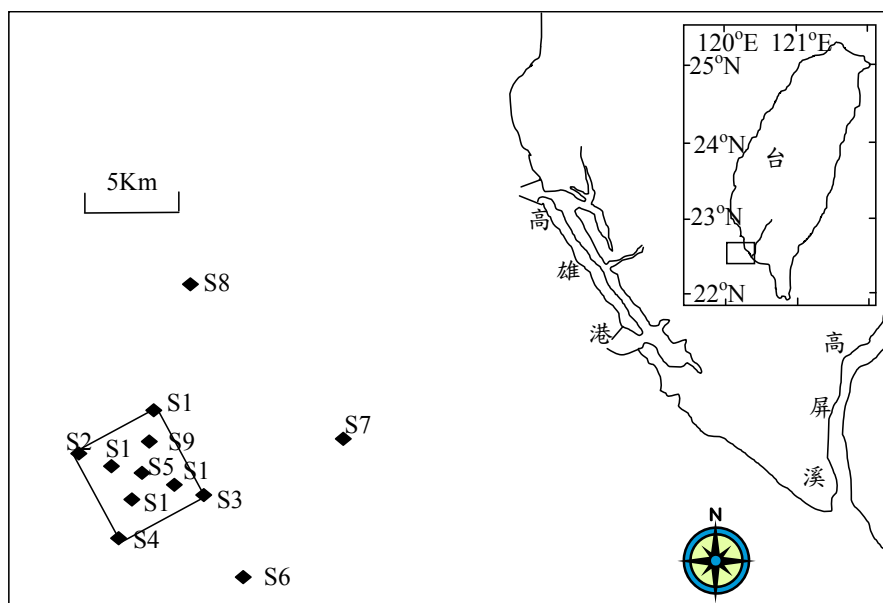


圖 5.1 高雄港及淤泥棄置海域測站位置圖

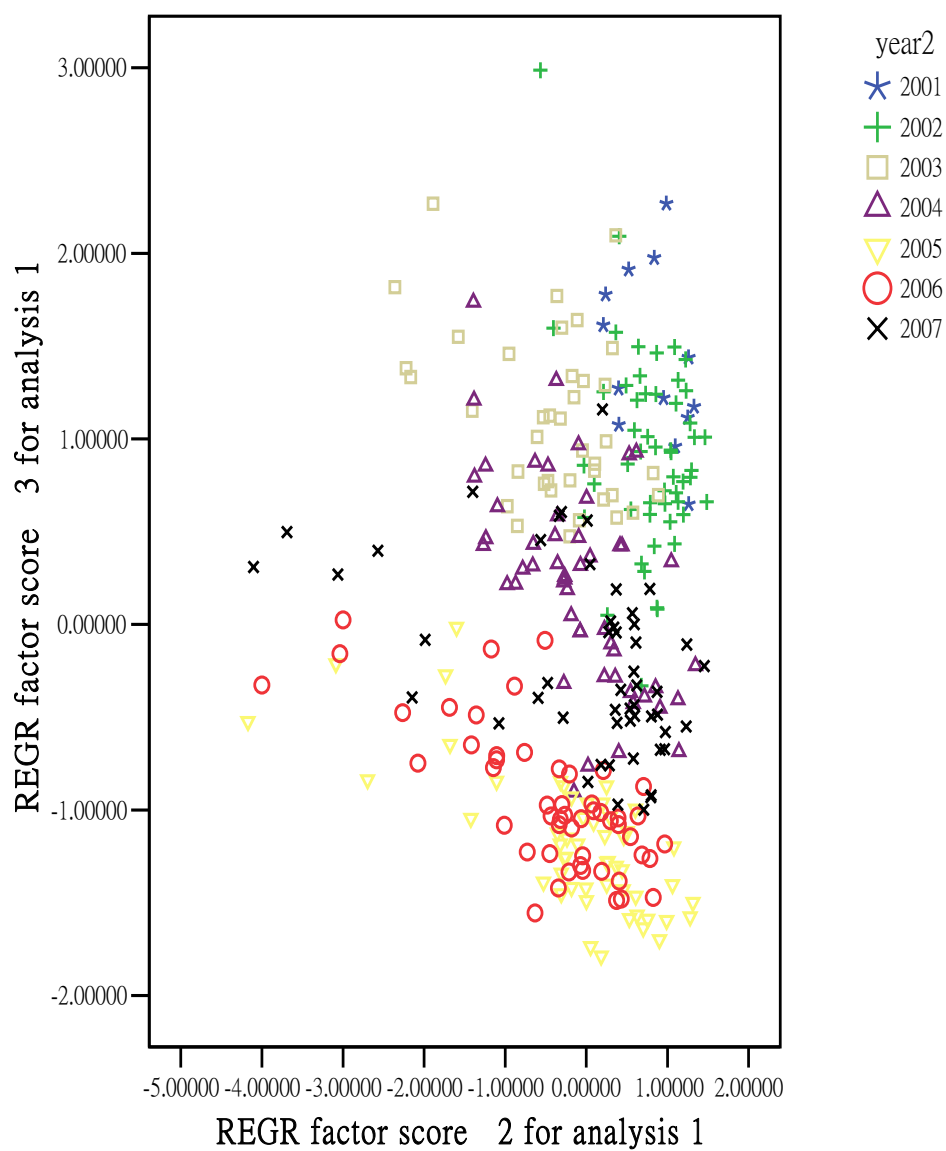


圖 5.2 高雄港底泥第二(顆粒大小)及第三成份軸(營養鹽)之分布

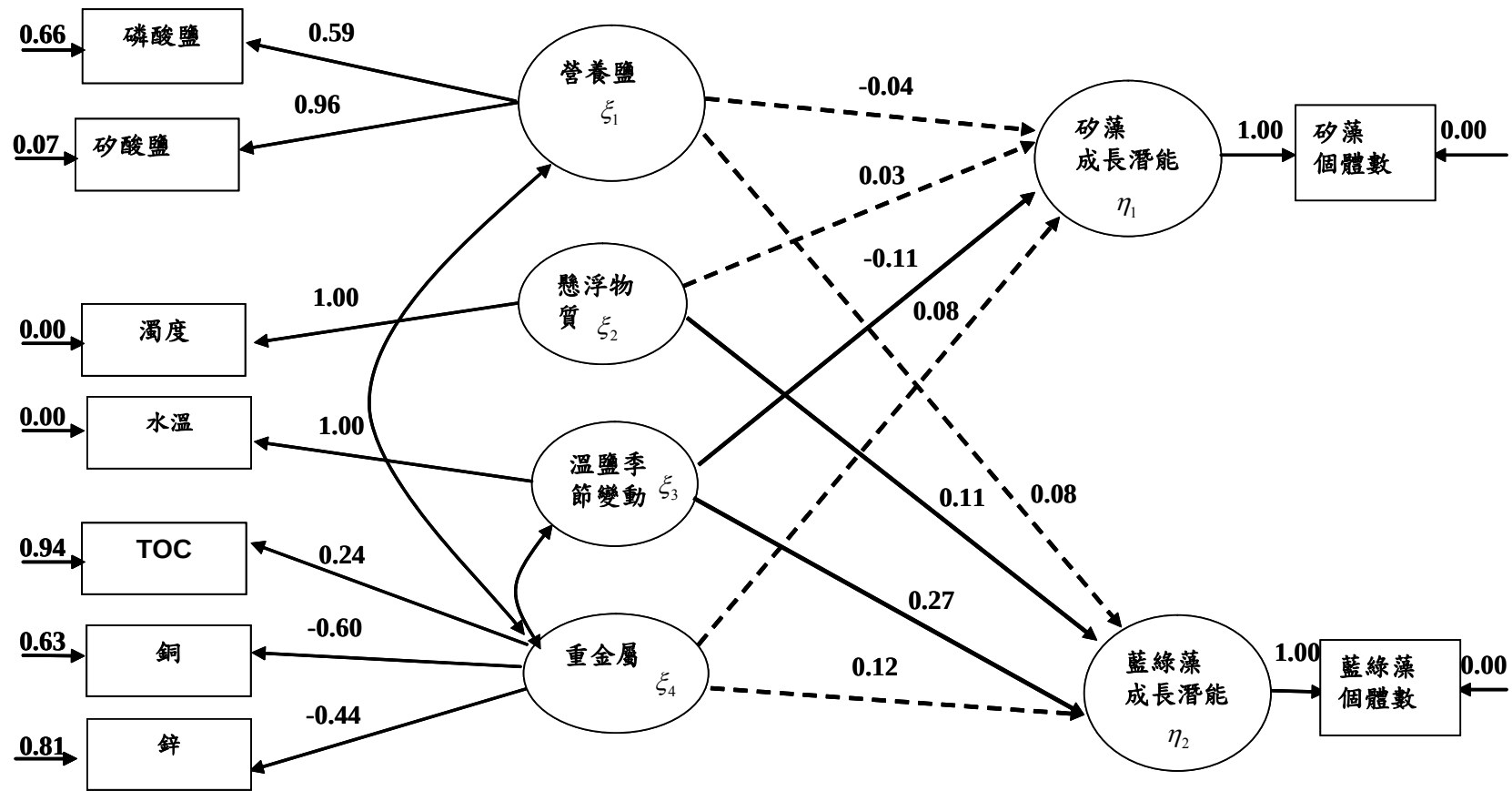


圖 5.3 高雄港淤泥棄置區表層生態系模式

表 5.1 高雄港底泥之主成分分析

	Factor loading (N=312)			
	PC1	PC2	PC3	PC4
黏粒	0.060	<u>0.943</u>	-0.108	-0.011
粉粒	0.136	<u>0.881</u>	0.044	0.159
砂礫	-0.045	<u>-0.860</u>	-0.223	-0.127
含水量	0.120	0.205	<u>0.766</u>	-0.022
揮發性固體物	0.163	0.062	0.223	<u>0.795</u>
總氮	0.069	-0.176	<u>0.657</u>	-0.042
總磷	-0.03	0.288	<u>0.652</u>	<u>0.482</u>
總油脂	0.166	0.105	-0.197	<u>0.766</u>
鉛	<u>0.853</u>	0.048	0.018	0.071
鎘	<u>0.663</u>	0.145	0.336	0.311
鉻	<u>0.794</u>	0.074	0.054	0.118
銅	<u>0.864</u>	0.035	0.022	0.052
Eigenvalues	2.641	2.607	1.712	1.612
Variance(%)	22.007	21.725	14.270	13.432
Total variance(%)	22.007	43.732	58.003	71.435

表5.2 高雄港海拋區附近海域底質之主成份分析

	Factor loading (N=308)				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
黏粒	-0.033	0.962	0.077	0.078	0.004
粉粒	-0.047	0.931	-0.049	0.139	-0.045
砂粒	-0.002	-0.849	0.089	0.028	-0.264
含水量	-0.149	0.083	-0.960	-0.111	-0.020
比重	0.151	0.012	0.951	0.185	0.047
總固體物	0.116	-0.148	-0.193	0.935	-0.015
揮發性固體物	-0.103	0.141	0.148	0.941	-0.033
總氮	0.964	-0.017	0.145	-0.132	0.113
總磷	0.962	-0.017	0.145	-0.132	0.113
總油脂	0.973	-0.027	0.074	-0.062	0.073
消化總鎘	-0.231	-0.323	-0.322	0.391	0.103
消化總鉻	0.043	0.034	0.127	-0.020	0.925
消化總銅	0.216	0.115	-0.086	0.033	0.878
Eigenvalues	2.976	2.682	2.079	2.024	1.747
Variance(%)	22.894	20.633	15.989	15.568	13.437
Total variance(%)	22.894	43.527	59.517	75.085	88.521

表5.3 高雄港海拋區附近海域底層水質之主成份分析

	Factor loading (N=924)		
	PC1	PC2	PC3
水溫	0.952	-0.088	-0.056
pH	0.851	0.155	-0.035
溶氧	0.784	-0.148	-0.125
硝酸鹽	-0.779	-0.112	-0.345
磷酸鹽	-0.655	0.363	0.038
矽酸鹽	-0.916	0.091	0.145
濁度	-0.081	0.900	-0.010
懸浮固體	-0.043	0.897	0.083
總有機碳	0.021	-0.247	-0.595
銅	0.049	-0.027	0.760
鋅	-0.129	-0.095	0.714
Eigenvalues	4.151	1.891	1.609
Variance(%)	37.735	17.194	14.623
Total variance(%)	37.735	54.928	69.551

表 5.4 高雄港海拋區表層水水質之主成分分析

	Factor loading (N=924)			
	PC1	PC2	PC3	PC4
水溫	0.069	0.608	-0.037	0.577
鹽度	0.169	-0.144	0.082	-0.853
硝酸鹽	0.949	-0.006	0.094	-0.068
磷酸鹽	0.941	-0.001	0.091	-0.068
矽酸鹽	0.756	-0.031	-0.114	0.018
濁度	-0.012	-0.131	0.875	-0.054
懸浮固體	0.048	0.116	0.893	0.057
總有機碳	0.046	-0.374	0.124	0.653
銅	-0.047	0.765	0.104	-0.039
鋅	-0.007	0.722	-0.092	-0.022
Eigenvalues	2.400	1.653	1.636	1.505
Variance(%)	24.002	16.533	16.357	15.049
Total variance(%)	24.002	40.534	56.891	72.940

六、結論

1. 在前鎮河整治前的 1994~1997 年期間，高雄港至少發現 44 種螃蟹，而且底棲甲殼類的歧異度，顯著高於鄰近高雄沿海海域及爐石海拋區，顯示高雄港生物仍然眾多。從群聚分析的結果也顯現高雄港底棲甲殼類的群聚結構類似七股潟湖，彰顯高度人工化的高雄港仍保有潟湖的特性與功能。
2. 從港區內水質及底質的變動與前鎮河整治的期程相契合，顯現前鎮河整治確實對港區環境產生顯著的影響，其中河川底泥疏浚所造成底質中還原性有毒物質的溶出，可能是導致底棲生物種類及數量降低的主因，而河川截流阻斷了營養鹽及有機物質的注入，推測與浮游植物群聚結構的改變有關。
3. 位於高雄港南側緊鄰第二港口的南星計畫海域，其環境變動因子眾多，而大林火力發電廠抽取港內海水，作為機組冷卻之用再排入本海域，是造成南星計畫環境變異最重要的因素。而南星計畫海域中「氨氮及凱氏氮」及「重金屬」的變動，明顯與前鎮河整治的期程相契合，可能由於伴隨港內「重金屬」同步流出之有機物，對甲藻的成長有促進的作用，以及「氨氮及凱氏氮」造成了矽藻的大量繁生，反應前鎮河整治透過高雄港，對南星計畫海域的生態產生了顯著的影響。
4. 高雄港淤泥海拋，造成棄置區底質中營養鹽、含水量、有機質及重金屬的含量增加，並使底層水的營養鹽濃度上升，也導致底棲生物的種類及數量減少及群聚結構的改變。在表層生態系部分，在淤泥海拋造成海水懸浮微粒增加的同時，可能因為溶解性有機物溶出而促進了藍綠藻的成長。而前鎮河整治，對港內底泥的組成有顯著的影響，使底泥的污染程度降低，將使後續海拋時，對棄置區生態產生的影響程度減低。
5. 在前鎮河整治前的高雄港，生物相眾多且具備有潟湖的特性與功能，前鎮河整治完成後，足夠的證據顯示港內環境及生態均有明顯改善的趨勢，勢必將減輕對鄰近之南星計畫海域，以及淤泥棄置區生態的衝擊。
6. 河川與港區污染、前鎮河淤泥疏浚、大林電廠冷卻水排放以及港區淤泥棄置，均屬於獨立發生之人為干擾，然而當這些人為干擾產生交互影響時，卻可能對生態產生的影響增劇且範圍擴大，導致未可預期的結果。反之，河川的整治、污水下水道的興建、港區拆船業的遷離、環保法令訂定後工廠廢水不再輕易的排放，港務局的淤泥疏浚等所有的努力，不但可減輕高雄港的污染程度，而且有機會恢復潟湖在生態上的功能，更將進一步改善鄰近的海域生態。

參考文獻

1. Leppakoski, E., (1975), "Assessment of degree of pollution on the basis of macrozoobenthos in marine and brackish-water environment" , Acta Academiae Aboensis, Series B, Vol.35, pp258-269.
2. Chou, W.R., Lai, S.H., L. S. Fang, L.S., (1999), "Benthic crustacean communities in waters of southwestern Taiwan and their relationships to environmental characteristics" , Acta Zoologica Taiwanica, Vol.10, No.1, pp25-35.
3. Barnes, R.S.K., Hughes, R.N., (1988), "An introduction to marine ecology" , Blackwell Scientific Publication, Oxford, second edition.
4. Lin, H.J., Shao, K.T., Kuo, S.R. et al., (1999), "A trophic model of a sandy barrier lagoon at Chiku in southwestern Taiwan" , Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol.48, pp575-588.
5. Jeng, W.L., Han, B.C., (1994), "Sedimentary coprostanol in Kaohsiung Harbor and Tan-Shui estuary, Taiwan" , Marine Pollution Bulletin, Vol.28, pp494-499.
6. 賴森煌，黃榮富，方力行，「高雄港區之蟹類相」，臺灣省立博物館年刊，40 期，225-240 頁，1997。
7. Lee, C.L., Fang, M.D., Hsieh, M.T., (1998), "Characterization and distribution of metals in surficial sediments in southwestern Taiwan" , Marine Pollution Bulletin, Vol.36, pp464-471.
8. Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., Dong, C.D., (2007), "Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan" , Chemosphere, Vol.66, pp1431-1440.
9. Chen, M.H., Wu, H.T., (1995), "Copper, cadmium and lead in sediments from the Kaohsiung River and its harbor area, Taiwan" , Marine Pollution Bulletin, Vol.30, pp879-884.
10. 方力行，「多變數分析」，2009。中環科技事業股份有限公司，「98 年河川環境水體整體調查監測計畫(淡水河、南崁溪、老街溪、濁水溪、新虎尾溪、急水溪、鹽水溪、二仁溪及愛河)」，行政院環境保護署，附錄 11-1~11-126，2009。

- 11.方力行，周偉融，「河川環境生態整體評估的探討」，20週年所慶研討會，臺北，臺灣，2010。
- 12.陳陽益，「高雄海域油污染對水質及生態環境影響監測」，中國石油股份有限公司，1998。
- 13.Steiger, J.H., (1989), "*EZPATH: A supplementary module for SYSTAT and SYGRAPH*", SYSTAT, Evanston, IL: SYSTAT.
- 14.Malaeb, Z. A., Summers, J. K., Pugesk, B. H., (2000), "*Using structural equation modeling to investigate relationships among ecological variables*", Environmental and Ecological Statistics, Vol.7, pp 93-111.
- 15.Facca, C., Sfriso, A., Socal, G., (2002), "*Changes in Abundance and Composition of Phytoplankton and Microphytobenthos due to Increased Sediment Fluxes in the Venice Lagoon, Italy*", Coastal and Shelf Science, Vol.54, pp773-792.
- 16.Eppley, R.W., (1977), "The growth and culture of diatoms", In: D. Werner, Editor, "The biology of diatoms", Bot. Monogr. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- 17.Rai, L.C., Gaur, J.P., Kumar, H.D., (1981), "*Phycology and heavy-metal pollution*", Biological Reviews, Vol.56, pp99-151.
- 18.Whitton, B.A., Shehata, F.H.A., (1982), "*Influence of cobalt, nickel, copper and cadmium on the blue-green alga Anacystis nidulans*", Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological, Vol.27, pp275-281.
- 19.Richardson, K., Fogg, G.E., (1982), "*The role of dissolved organic material in the nutrition and survival of marine dinoflagellates*", Phycologia, Vol.21, pp17-26.
- 20.Al-Thukair, A.A., Abed, R.M.M., Mohamed, L., (2007), "*Microbial community of cyanobacteria mats in the intertidal zone of oil-polluted coast of Saudi Arabia*", Marine Pollution Bulletin, Vol.54, pp173-179.
- 21.Al-Thukair, A.A., Al-Hinai, K., (1993), "*Preliminary damage assessment of algal mats sites located in the western Gulf following the 1991 oil spill*", Marine Pollution Bulletin, Vol.27, pp229-238.
- 22.Johnson, L.J., Frid, C.L.J., (1995), "*The recovery of benthic communities along the county Durham coast after cessation of colliery spoil dumping*",

- Marine Pollution Bulletin, Vol.30, No.3, pp215-220.
- 23.Bamber, R. N., (1984), "*The benthos of a marine fly-ash dumping ground*" , Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, Vol.64, pp211-226.
- 24.Fogg, G.E., (1968), "*The physiology of an algal nuisance*" , Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences, Vol.173, pp175-189.
- 25.Chen, Y.L., Chen, H.Y., Lin, Y.H., (2003), "*Distribution and downward flux of Trichodesmium in the South China Sea as influenced by the transport from the Kuroshio Current*" , Marine Ecology Progress Series, Vol.259, pp47-57.
- 26.Chen, Y.L., (2005), "*Spatial and seasonal variations of nitrate-based new production and primary production in the South China Sea*" , Deep-Sea Research I, Vol.52, pp319-340.
- 27.Fogg, G.E., (1982), "*Nitrogen cycling in sea water*" , Philosophical Transactions of Royal Society London. Series B, Vol.296, pp299-576.
- 28.Karl, D., Letelier, R., Tupas, L. et al., (1997), "*The role of nitrogen fixation in biogeochemical cycling in the subtropical North Pacific Ocean*" , Nature, Vol.388, pp533-538.

綠色港埠發展規劃

吳榮貴¹

摘要

綠色港埠的發展方向已經是全世界大多數港埠追求的潮流，尤其是歐、美、日、澳等地區的港口特別突顯。要發展綠色港埠，首要從港埠規劃的階段開始。本文除了介紹傳統全國整體港埠規劃及個別港埠規劃的程序之外，也將策略規劃用於港埠規劃的程序帶進來，再經由參考國外港口綠色港埠政策的案例，進而對臺灣未來的綠色港埠的策略規劃與推動程序提供建言。

關鍵詞：港埠規劃、策略規劃、綠色港埠

Planning for Green Port Development

Younger Wu¹

ABSTRACT

Almost all of the ports in the world nowadays have been pursuing the development of green port, especially those in such areas as Europe, North America, Australia and Japan. The development of green port, to begin with, lies in the planning stage of the port. In addition to an introduction of the process of traditional national port and individual port planning together with the application of strategic planning of the port development, the present study provides recommendations for future planning and actions to be taken by the ports in Taiwan based upon the experiences of selected foreign ports.

Keywords : Port Planning, Strategic Planning, Green Port

一、前言

受到全球暖化與環境保護浪潮的激盪，全世界的港口大都已經把綠色港埠(green port) 的永續發展(sustainability) 策略納入規劃與推動。在國外，在

¹ 北臺灣科學技術學院國際貿易系教授兼商管學院(籌備)院長

諸多歐、美、日、澳等國家港口資料中，可以看出其大都非常突顯綠色港埠發展的政策。在美國，長堤港就是個典型的例子。該港在 2005 年即頒布綠色港埠政策(Green Port Policy)白皮書，落實執行(Port of Long Beach, 2005)。更有甚者，在歐洲，荷蘭的鹿特丹港更把綠色的環境港埠發展納入其企業社會責任(Corporate Social Responsibility, 簡稱 CSR)的一環。在日本，所謂「市港合一」的體制下，由地方港灣局所主管的港口一向就都普遍地把港口列為都市綠色發展的一環。又如澳洲的雪梨港，也將永續的綠色港埠之發展列為重要策略(Sydney Ports Corporation, 2011)。

從上述國外綠色港埠的發展經驗觀察，可以看出：綠色港埠的發展政策之落實，是動態地落實於港埠規劃、建設、營運與管理等等層面的。不過政策規劃階段是個很重要的起點。一個規劃周延的綠色港埠政策是確保其能夠被落實執行與控管的關鍵。基於此規劃程序在綠色港埠發展的重要性，本研究即從港埠規劃(port planning)的角度切入這個議題。

從港埠發展的角度進行的規劃，傳統的港埠規劃通常正規地包括全國整體港埠規劃(national port planning)及各港的個別港埠規劃(individual port planning)；而在期程上，也可以區分為長期、中期與短期規劃。在管理的程序上，依據此一程序完成各層次或期程的港埠規劃後，才會進入港埠建設之設計或營運的組織與執行階段。除此之外，港埠規劃者也已將策略規劃(strategic planning)的管理技巧用於港埠規劃，而所謂的綠色港埠規劃，則是在此一港埠策略規劃的程序上妥為納入。

在國內，雖然近年來臺灣各港也都將綠色港埠列為港埠發展的目標之一，但似乎仍欠缺週延的規劃與發展程序。譬如對照於前述國外綠色港埠政策，在交通部的商港整體規劃中，即頗為欠缺綠色港埠規劃的內容(交通部運輸研究所，2007 及交通部 2011)。或許因為此一事實，乃促使交通部運輸研究所自 2011 年起，即開始另行推動一套為期四年的研究計畫，擬從永續港埠環境、建設、營運管理等多方面研擬建置綠色港埠或生態港埠(eco-port)的政策建議(交通部運輸研究所，2011)。

基於前述我國綠色港埠規劃尚未到位的問題，本文旨在探討以綠色港埠為發展願景與目標的港埠規劃程序，並據以對臺灣未來綠色港埠規劃提供程序上的建議，供港埠當局參考。為了達成此一目的，本研究依循策略規劃的方法，將綠色港埠的發展願景與目標鍵入傳統全國港埠整體規劃與個別港埠規劃的程序，再據以提出結論與建議。

本文共包括六節。在第二節及第三節分別介紹傳統的全國、各港港埠規劃，以及策略規劃的程序後，即在第四節從國外綠色港埠規劃的實例，探討如何將綠色港埠的政策納入港埠規劃。接著在第五節探討臺灣採行綠色港埠政策之規劃建議後，在最後一節提出結論與建議。

二、港埠規劃的程序

本節介紹傳統用於進行全國及個別港埠發展規劃的正規程序。在該一典型的規劃程序中，有融入策略規劃方法的程序則於下一節介紹。

如前一節所述，在規劃的程序中，參考 UNCTAD(1985)，可以依規劃的層次與期程加以區分。在層次上，在一個國家的港埠發展規劃中，通常包括兩個層次的規劃程序：其一是指導全國各個港埠發展的全國港埠整體規劃；其二是以全國港埠規劃為依歸所擬定各港的個別港埠的規劃。全國與各港之規劃流程如圖 2.1 所示。另在規劃期程上，港埠的發展規劃可以區分為長期、中期及短期。不論是全國或是各港的規劃，長期的規劃通稱綱要計劃(master planning)，為未來港埠發展的方向提供指導方針與原則，以便中期的專案計畫(project planning)得以有所遵循。至於各港屬於營運性的計劃則多屬短期規劃。各港典型的港埠規劃流程示意如圖 2.2。

不論是全國或各港的港埠發展規劃，傳統的程序係以港埠供需及能量的預測與規劃為主。通常在全國整體港埠規劃中，在需求面會進行全國港埠總運量的預測，然後再將運量分配給各港，以為各港估計其未來港埠能量規劃分工之依據。除了上述 UNCTAD (1985)的建議外，Frankel (1987)所論述的港埠發展規劃，也是以需求分析、能量評估、生產力與績效衡量，以及環境影響評估(environmental impact assessment)等程序為主。另以我國目前由交通部運輸研究所每五年檢討修正一次的整體港埠規劃內容為例，除了政策性議題之探討之外，即以運量預測為其主要的骨幹（交通部，2011）。各港再依該一運量分配的結果，擬具各港的整體規劃，包括能量估算與專案計畫項目的擬訂等等。

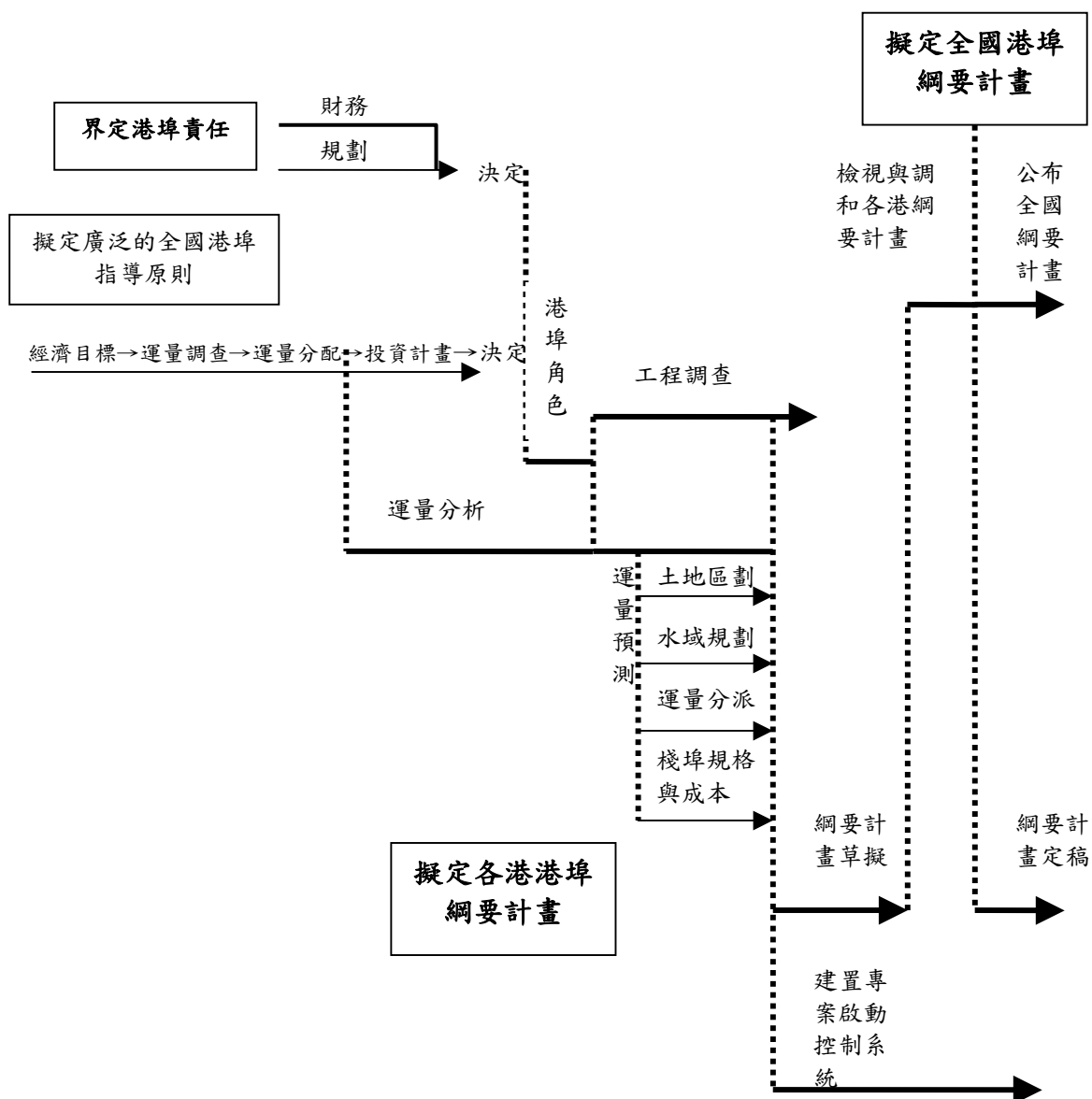


圖 2.1 全國與個別港埠綱要規劃流程圖

資料來源：依據 UNCTAD (1985), p. 11 的圖型略加修正簡化而得。

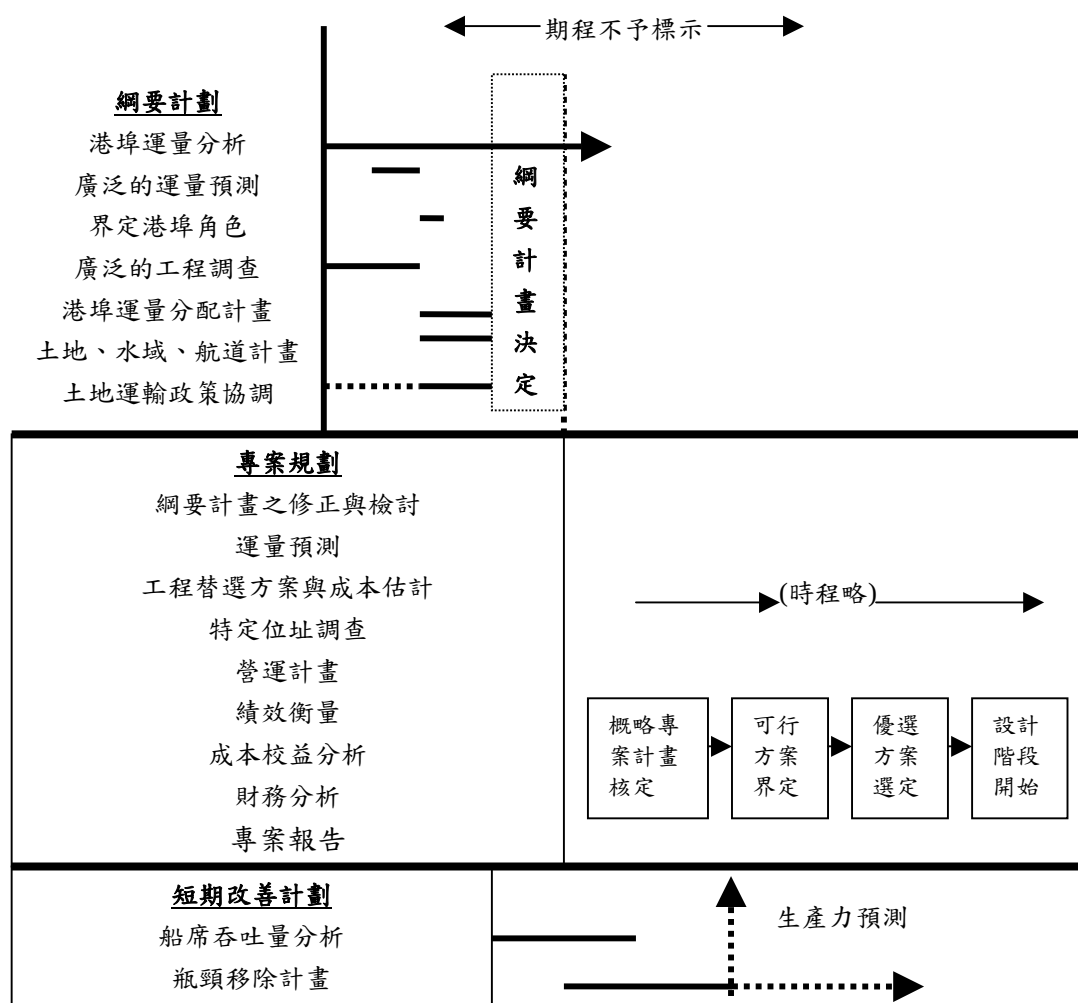


圖 2.2 典型的個別港埠規劃流程圖

資料來源：依據 UNCTAD (1985), p. 13 的圖型略加修正簡化而得。

三、港埠策略規劃

策略規劃(strategic planning)是策略管理(strategic management)中最為重要的程序之一。參考 David (2001)有關策略管理模型的表達方式，圖 3.1 指出策略管理的程序主要包括一個組織的願景(vision)、使命(mission)、目標(objective)、策略(strategy)、執行(implementation)與績效評估(performance evaluation)；其評估結果再回饋到前面的願景、使命與目標之訂定的動態程序。而在目標的擬訂上，則要分別進行外部與內部環境的分析，因為這是探

討優勢(strength)、劣勢(weakness)、機會(opportunity)與威脅(threat)分析(簡稱 SWOT 分析)所必需的過程。

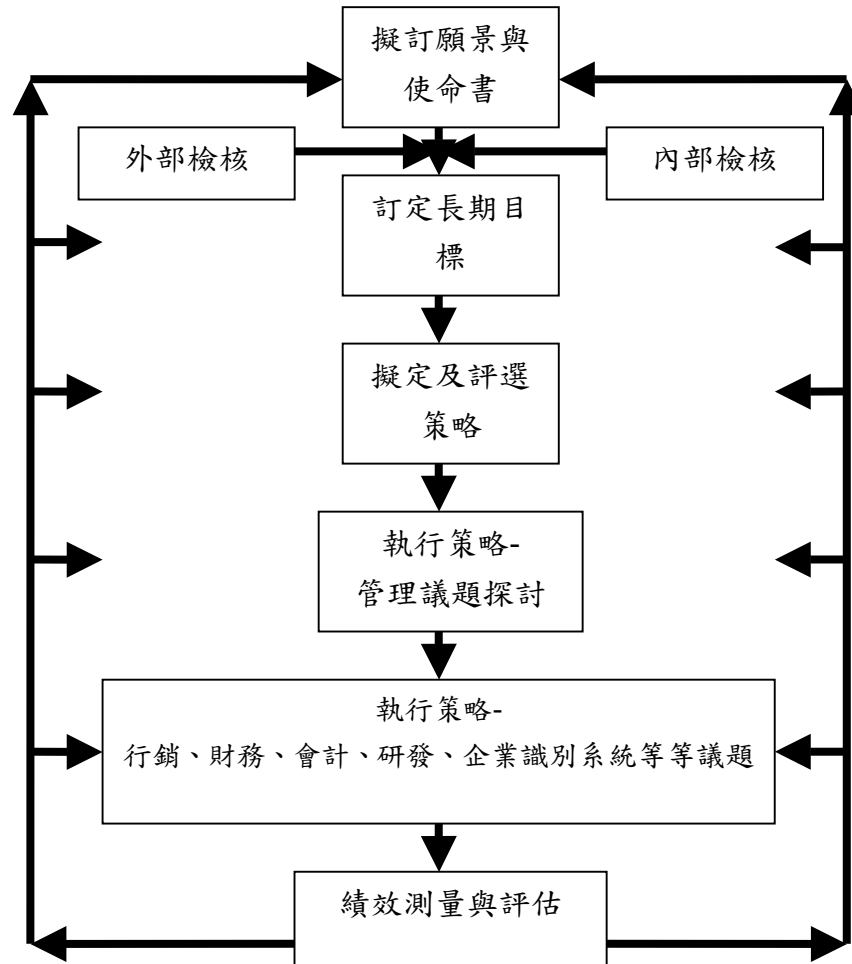


圖 3.1 策略管理模型

資料來源：譯自 David (2001)，p. 13。

參考上述 David (2001)的架構，本研究歸納一個典型的五項策略規劃的程序，包括願景、使命、目標、策略之擬訂，以及策略之執行計畫。在規劃的程序上，這裏所謂策略之執行計畫實可以說是一個「戰術」層次的策略。為了易於記憶這五個規劃的程序起見，本研究擬以 Tactics 的英文字代表該一策略的「戰術」，而將五個程序用簡縮的 VMOST 來表達。這個策略規劃

的模型詳如圖 3.2 所示，其中策略執行及績效評估後，再回饋於修正上層規劃項目之程序，則屬規劃之範疇。

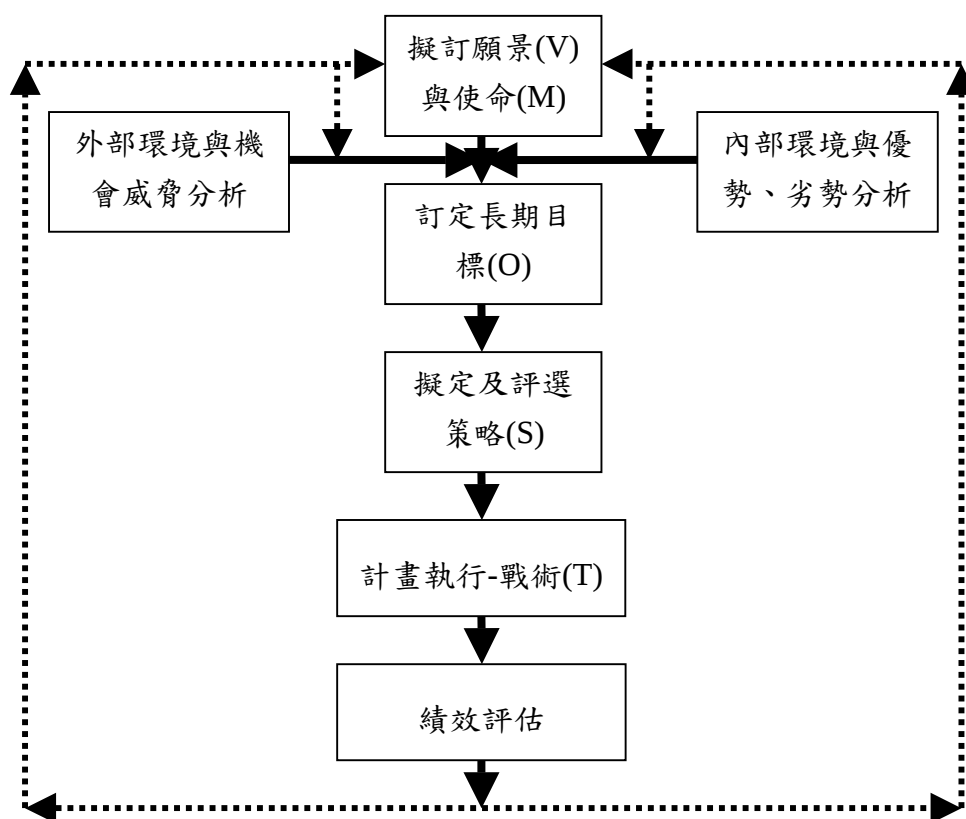


圖 3.2 策略規劃模型

資料來源：參考 David (2001)，p. 13 並加入本研究的構想。

Frankel (1987)曾將策略規劃的程序納入港埠規劃。他建議的程序如圖 3.3 所示。雖然與上述策略規劃的基本程序比較，他所描繪的多了一些港埠規劃的分析工作，但仍未脫離以目標為導向的策略認定與評選。

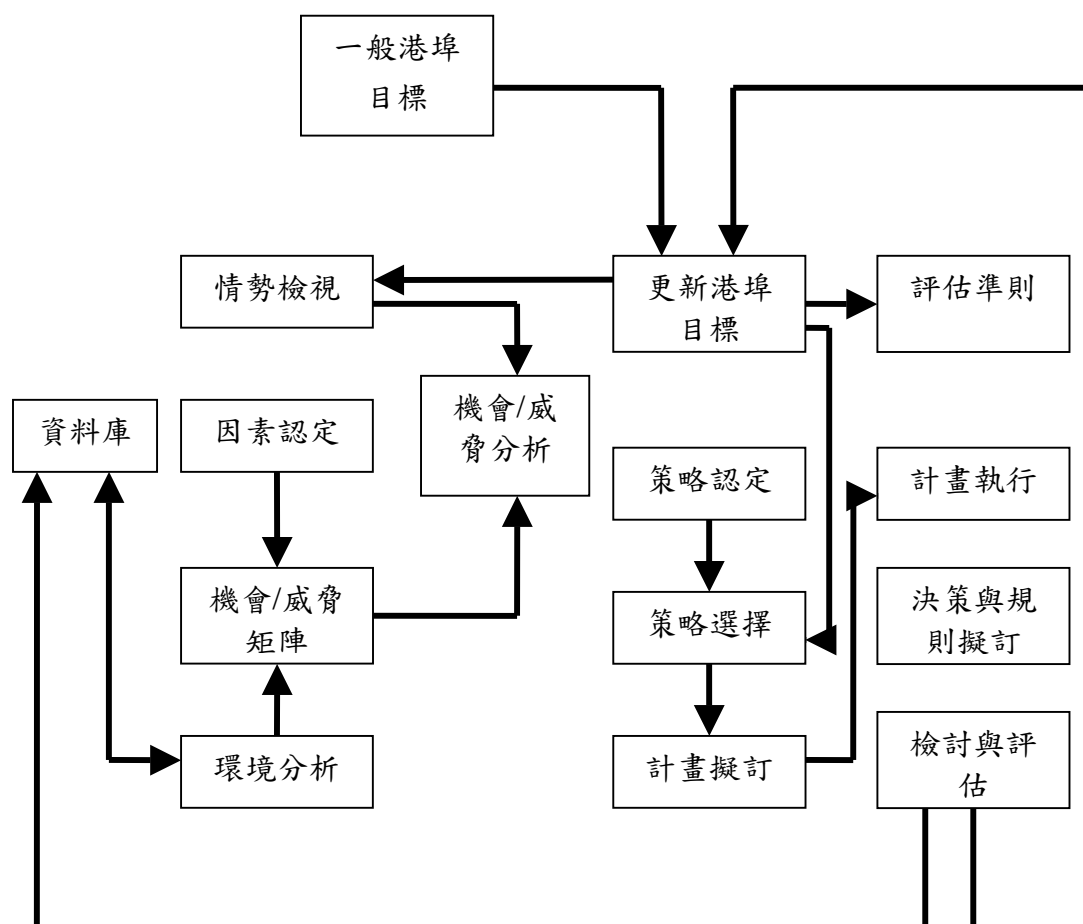


圖 3.3 港埠策略規劃的程序

資料來源：譯自 Frankel (1987), p. 112。

又如 Gaur (2005)也採用策略規劃的方法，認為港埠規劃要從港埠的使命與目標之訂定開始。在訂定了使命與目標之後，就可以在港埠的組織架構下，進行需求與供給的預測，續而進行能量規劃、與專案評估。他對於使命與目標的擬訂看法如下(Gaur, 2005, pp. 10-11)：

1.使命：

從文獻的探討，他們把使命定義為：根據願景與目標，界定港埠的發展方向與指導原則。因此，根據 Ashridge Model 認為港埠的使命書(Mission Statement)要包括四大元素：目的(purpose)、策略(strategy)、行為標準(behaviour standards)與價值(values)。目的說明港埠存在的理由、策略指出港埠的競爭地位與特殊能耐、價值則係根據策略建議港埠存在的行為標準。譬

如過去的新加坡港務局之使命書為：促進新加坡港發展成為一個全球的轉運與國際海運中心；鹿特丹港則為：發展世界級的歐洲港埠夥伴等等。

2.目標：

目標則是根據使命書來界定港埠所追求的目標，因港埠之使命而有別，譬如：運量極大化、利潤極大化、成本極小化、加值極大化、財務自主化、資產效率化、投資極小化、就業極大化、海運自主化、促進區域經濟發展....等等。

在臺灣，於每五年檢討修正一次的「臺灣地區整體商港發展規劃」中，也已經將策略規劃的程序納入。最近的兩次規劃可以參考交通部運研所(2007)及交通部(2011)。不過，綠色港埠的策略卻未在此一全國性港埠規劃報告中突顯，頗為可惜，詳將於第五節探討。儘管如此，各港也已視需要於其建設計畫中有綠色港埠之規劃與設計，譬如基隆港務局就在「西岸自營櫃場整建工程計畫(第一階段)」的規劃中，納入節能減碳設計，其考慮準則包括綠色景觀、建物節能、綠色能源系統、雨水及生活污水回收利用系統及建物自動化系統等等(交通部基隆港務局，2011)。

綜合上述，從綠色港埠的觀點而言，上一節及本節所探討的港埠規劃及策略規劃大都並未特別將綠色港埠的發展目標與策略納入重點規劃。UNCTAD (1985)及 Frankel (1987)雖都將港埠發展對環境的影響列入評估要項，但對於永續發展與經營的環境議題上並未形成規劃政策之一。另在國內，儘管在臺灣地區的整體港埠規劃已經採用的上述策略規劃的程序，但在環境與永續發展等綠色港埠的方向上，似仍有更為週延與強化的可能性與必要性。下一節即從參考國外綠色港埠規劃與政策的案例著手，期為未來臺灣的綠色港埠規劃提供建議。

四、國外綠色港埠策略規劃案例

為了於下一節提供臺灣綠色港埠策略規劃的程序建議，本節用於先參考國外比較典型的綠色港埠發展規劃的案例。主要探討的案例，是美國長堤港(Port of Long Beach)及荷蘭鹿特丹港(Port of Rotterdam)。這並不代表其他國外港口的綠色港埠規劃案例不值得探討，而是本研究發現這兩個港口在網站中所揭露的綠色港埠政策最為突出而完整，也最具參考價值。至於本研究所蒐尋到的其他國外港埠有關綠色港埠的資訊，則另闢一節彙整之。因此，以下分三小節依序介紹這些案例。

4.1 長堤港的綠色港埠政策

根據 Port of Long Beach (2011)，長堤港務局長堤港在 2005 年 1 月公布施行綠色港埠政策(Green Port Policy)。這套政策成為該港環境決策的指導，也藉此建立了一套友善環境(environmentally friendly)的港埠作業架構。從圖 4.1 長堤港(Port of Long Beach)的識別標誌中出現「Green Port」就可以感受到該港是如何積極地推動綠色港埠的政策。



圖 4.1 長堤港綠色港埠政策的標誌

資料來源：Retrieved Aug. 19, 2011 from : <http://www.polb.com/default.asp>

根據 Port of Long Beach (2011)，長堤港的綠色港埠政策包含五大指導原則：

1. 保護社區免於港埠作業所帶來的環境影響。
2. 使港埠成為最遵循環境法規的領導者。
3. 促進永續經營。
4. 採用最佳技術以防範或減輕環境影響。
5. 從事社區教育活動。

該項綠色港埠政策訂定了六大領域，每一項都各有其目標如下：

1. 野生動物：保護與保育水生生態系統與水產生物。
2. 空氣：減少港埠作業所產生的有害氣體排放。
3. 水：改善長堤港的水質。
4. 土壤與沉積物：移除、處理或再利用港區污質土壤與沉積物。
5. 社區參與：有關港埠作業及環境保護計畫與社區之互動與教育。

6. 永續經營：執行全港有關設計、建造、營運與管理上的永續實務。

長堤港的綠色港埠政策的架構是由下列各項所構成的(Port of Long Beach, 2005a及Port of Long Beach, 2010)：

1. 特定的環境原則(principles)，一經採用即適用於全港。
2. 各項政策都有一系列的目標(goals)。
3. 各項達成目標的進度衡量尺度。
4. 為達成目標所採取新的積極的環境計畫。
5. 支持本項政策的各項立法建議案。

前述政策除了2005年有詳盡的綠色港埠政策年報之外(Port of Long Beach, 2005b)，後續各年都於該港年報揭露執行情形與成果(Port of Long Beach, 2008)。該港不但把執行成果上傳到Youtube¹，而且在Port of Long Beach (2010)執行綠色港埠政策的檢討中，該港即提出具體數據與事實證明其成效，摘要如下：

1. 2005-2008柴油空污減降21%。
2. 卡車污染提早兩年達成目標，到2010年1月減降80%。
3. 通港區的火車改採低污染的柴油車頭20輛。
4. 2008及2009年貨櫃碼頭及油輪碼頭分別裝置岸電供應系統，預期2015年有一半的貨櫃船將強制接岸電。
5. 90%的貨船參與港口綠色船籍計畫(Port's Green Flag Program)，於港區範圍10-20英哩範圍內自動減速減少排放。
6. 碼頭經營者簽署綠色租賃契約(Green Lease)，規定裝置低污染碼頭機具設備與減少環境影響。
7. 碼頭建設要符合綠色港埠政策規定。
8. 港區建築符合環保與低耗能標準。
9. 與鄰近的洛杉磯港聯合採取保護水質及沉積物行動策略。

¹ 參考 Pulse of the Port: 5 Years of the Green Port Policy. Retrieved Aug. 21, from:
<http://www.youtube.com/watch?v=YYOGsv38t5I>

10.在採購與相關營運上採取「環境管理系統」(environmental management system)，以塑造永續文化。

11.與社區互動與教育。

從上述長堤港的綠色港埠政策的案例探討中，不難看出其除了政策規劃之外，在落實執行上也是不遺餘力。從該港高層人士對綠色港埠發展政策的認知與領導的作風上更能體會其積極任事的態度。正如該港綠色港埠政策的開創者 Mario Cordero 在 2009 再度被任命為長堤港務局長時稱：「我們知道保護環境是一項很好的投資，而永續則是我們未來發展的關鍵。我們必需在港埠發展與經營上能夠滿足現在的需要，而不傷及未來世代需求的滿足。」(Port of Long Beach, 2009)

3.2 鹿特丹港的企業社會責任與綠色港埠政策

鹿特丹港不但非常著重創新，而且也把創新的策略導向企業社會責任(Corporate Social Responsibility, 簡稱 CSR)。在創新的策略上，該港為維持其競爭力並應用新技術，將研發與創新列為該港最優先的領域；其創新的願景(vision)是想要成為一個「全世界最有智慧的港口」(The smartest port in the world)。這項創新政策就融入了其在 2007 年公布的研發議程(R&D Agenda)中，並將其納入 2006-2010 的營運計畫²。茲將該港 2007 研發議程的重點領域條列如下：

1. 空間發展與成長空間(Spatial development and room for growth)。
2. 機動性與可及性(Mobility & accessibility)。
3. 能源與氣候(Energy & climate)。
4. 永續性(Sustainability)。
5. 供應鏈效率(Supply chain efficiency)。

後來鹿特丹港是把綠色港埠納入其公司社會責任(Corporate Social Responsibility, 簡稱 CSR)的政策。根據該港 2008 年 CSR 的年報(Port of Rotterdam, 2008)，該港 CSR 包括三大支柱：永續經營(Sustainability)、承諾(Commitment)與透明化(Transparency)。在該年報中，除了檢討 CSR 之外，也把可前述可及性、環境與空間納入。在 CSR 的分面，願景與企圖是：港

² 本資訊取自已經被移除的鹿特丹港務公司網頁：Retrieved May 20, 2005 from:
http://www.portofrotterdam.com/en/port_authority/innovation/index.jsp.)

務公司負責鹿特丹港及工業區的管理、營運與發展；在夥伴關係上，港務公司正在發展一個歐洲世界級的港口；其一定要成為一個優質港。CSR 構成公司營業程序及文化的重要元素；港務公司企圖提升營運績效及永續成效。因此永續經營已經週延地納入 2006-2010 的營業計畫中。為提升業務經營上的永續成效，2008-2010 也推動好幾個永續專案。2008 年開始發展各項活動的永續指標(Sustainability Index)，先就永續環境(Planet or Environment)指標進行編算；2009 年再擴展到人員(People)與利潤(Profit)的永續指標等等，從購成 3P 的永續指標。一開始，諸如碳足跡、永續採購、永續建築及永續土地分派都加以納入。

在 2011 年鹿特丹港宣布新的策略計畫。港務公司表示，鹿特丹港不但將在未來 20 年持續成長，而且也將會有許多結構性的改變，特別是轉換成為一個更為永續經營的港口(sustainable port)。該港執行長 Hans Smits 指出這些轉變將包括：

1. 石化產業已到達轉換成生化產業的門檻，在 2030 年能源的產生將更無污染、更為多樣化；而且貨櫃在運輸中將更為重要。
2. 為了避免貨櫃的問題，其運輸將要更為有效率，而且也要發展國內外的轉運中心。Hans Smits 宣稱：「我們的企圖是期望在 2030 年在效率與永續性方面成為全球的領導者。」³

從上面鹿特丹港的案例可以得知：該港已經不只在原來的創新政策上納入環境議題，後來更將綠色港埠的環境議題納入更廣泛的企業社會責任政策中。這種發展趨勢是很值得參考的，因為綠色的港埠環境只不過是港埠社會責任的一環，其他兩項社會責任問題包括對社會的承諾與透明化，後者也涉及所謂「法律遵循」(law compliance)等等社會責任議題。

3.3 其他港口的綠色港埠政策

本小節蒐集與介紹幾個國外港口的案例。這些港口或碼頭公司包括美國波特蘭港(Port of Portland)、澳洲雪梨港(Port of Sydney)及歐洲漢堡港的貨櫃碼頭公司 HHLA。這些都是在文獻或網頁搜尋上所發現者，因其資訊頗為有限，所以僅摘要說明。

³ 參考鹿特丹港務公司網頁。Retrieved Aug. 19, 2011 from:

http://www.portworld.com/news/i103359/Port_of_Rotterdam_announces_strategy_plan

在 Wyatt (2009)介紹波特蘭港(Port of Portland)的永續發展政策中，特別強調該港對於社區的責任。他將永續發展定義為：「有益於現代與下一代的經濟成長，但不損及地球上的資源及生態系統」。他認為永續發展的驅動力有下列四大項：

1. 支持組織的使命。
2. 維繫關鍵當事人的關係。
3. 管理有限資源。
4. 實現投資報酬。

他以在該港投資的豐田(Toyota)汽車廠為例，說明其如何符合所謂的「能源與環境設計領導」(Leadership in Energy and Environmental Design, 簡稱 LEED)的認證。這項 LEED 認證的範圍包括下列五大項目：

1. 永續廠址。
2. 用水效率。
3. 能源與大氣。
4. 物料與資源。
5. 室內環境品質。

在澳洲雪梨港，雪梨港務公司(Sydney Ports Corporation)訂定了綠色港埠指導原則(Green Port Guidelines)，建議港埠使用者與經營者遵循。該指導原則對於港埠作業與設施要遵循下列兩大環境議題(Sydney Ports Corporation, 2011)：

1. 資源消費，包括材料選擇、廢物管理、水消費、能源使用與運輸。
2. 環境品質，包括室內環境、排放、水質、土地使用與環境管理。

在該指導原則之下，都訂定有業者需遵循的建議。不過業者也是可以採用更具創新性的方法，該港認為該一指導原則的實施已經大量減少港埠發展的碳足跡。

在歐洲，貨櫃碼頭經營者也將永續發展列為優先項目。譬如德國漢堡港的貨櫃碼頭公司 HHLA，除了收入與盈餘逐年增加之外，有名的 Supply Chain Services 也把該公司列為 2011 年上半年永續物流業指標的領先地位；據說這是植基於該公司將永續發展策略導向與公司價值 (HHLA, 2011)。

如前所述，由於上述幾個港口的綠色港埠政策資訊頗為有限，所以相關

資訊之參考價值也是不高。儘管如此，這些案例也指出：就這些港口而言，綠色港埠政策已經頗為各港所重視與推動。

五、臺灣綠色港埠策略規劃程序探討

在臺灣，交通部對於綠色港埠或生態港的發展政策決心是無庸置疑的。在政策上，交通部葉政務次長認為未來的港埠朝向友善生態(eco-friendly)發展的趨勢(Yeh, 2009)。在實務上，各港自 2007 年起，每年所提「提升服務品質計畫」中，也不乏綠色港埠發展相關的環境與節能減碳的計畫。雖然整體而言，根據楊世豪等人(2011)的比對，各港在 2008-2009 所推動的各項提升服務品質計畫數目與交通部統計處調查港埠使用者對各類服務滿意度的統計間並不存在必然的正向關係，但在吳榮貴等人(2011)所探討的各港環境相關的創新個案分析中，其成效已經有具體的成效加以證實。儘管如此，截至目前為止，依照策略性港埠規劃的程序發展永續綠色港埠政策的規劃卻仍闕如。本節即針對這個問題進行探討，再提出本文的建議。

交通部運研所(2007)對於 2007-2011 年臺灣地區整體港埠之使命、與目標分別建議如下：

1. 使命：

- (1)促進港埠功能多元化。
- (2)營造優質經營環境。
- (3)提供卓越服務。

2. 發展目標：

- (1)鞏固海運樞紐地位。
- (2)落實自由化、民營化，促進港埠發展。
- (3)提昇國際競爭力。
- (4)創造港市共榮生活圈。

交通部(2011)重新檢討 2012-2015 臺灣地區整體港埠發展計畫，除了考慮環境的變遷之外，也朝精簡的方式將整體港埠發展的使命與目標建議修正。：

1. 使命：「提供具競爭力之港埠與物流多功能服務」。
2. 目標：

(1)國際商港：「成為亞太全方位物流樞紐港及國際郵輪靠泊港」

(2)國內商港：

- a.利用港埠資源推動觀光旅遊之藍色公路
- b.配合地方政府發展海上觀光遊憩活動，提高港口之使用率
- c.提昇港口服務品質以吸引觀光人口及提昇客運量
- d.提昇小三通之貨運品質吸引兩岸間之貨運量

參考前述交通部運輸研究所(2007)的規劃，吳榮貴等人(2010)特別針對貨櫃港埠的經營與發展層面來考量臺灣貨櫃港埠的願景，並據以擬訂使命與目標。他們擬訂的港埠發展願景、使命與目標如表 5.1 所示。不過這些仍然沒有將綠色環境的議題納入。

表 5.1 臺灣貨櫃港埠發展願景、使命與目標之擬訂

區分	內容	說明
願景	使以高雄港為主的臺灣貨櫃港埠維持其為亞太地區樞紐港的領先地位。	高雄港已經是亞太地區的貨櫃樞紐港之一，惜近年來貨櫃運量的排名逐年下降。唯因該港仍保有競爭優勢，也有提升排名之機會，故仍以位居領先地位的樞紐港為長遠發展之未來願景。
使命	營造優質港埠經營環境，提供高效率、低成本的卓越港埠服務。	為實現其為亞太地區領先的貨櫃樞紐港地位之願景，除了有必要營造優質航港經營環境之外，仍需以能夠提供高效率、低成本的卓越港埠服務為使命，也因此才能成為貨櫃航商首選的樞紐港口。
目標	提高貨櫃港埠的經營效率與競爭力。	要提供高效率、低成本的卓越服務，勢必要提高貨櫃港埠的經營效率與競爭力。

資料來源：吳榮貴等人(2010)，頁 6-5。

綠色港埠相關的策略目標之研究，接著出現在吳榮貴等人(2011)探討各港務局創新管理機制的建立研究上，另外提出包括經濟經營、環境與公權力等三個構面的下列五大創新策略目標：

1. 降低成本。
2. 增加收益。

3. 提高服務品質與效率、確保客戶滿意。
4. 落實節能減碳與環保政策，創建綠色港口。
5. 強化航港公權力與為民服務的職能塑造優質的經營環境。

在上列五大目標的評選上，吳榮貴等人(2011)經由產官學座談會的問卷調查結果，發現「提高服務品質與效率、確保客戶滿意」都被受訪者列為第一重要的目標。對於港務局的受訪者而言，次選目標是「增加收益」與「落實節能減碳與環保政策，創建綠色港口」；而學者專家的受訪者則次選「強化航港公權力與為民服務的職能塑造優質的經營環境」及「降低成本」的目標。

既有各項港埠發展策略目標，吳榮貴等人(2011)繼而企圖研訂達成該等目標的港埠創新指標(port innovation index)。可惜他們並未將環境目標的指標區分出來，只是以「研發專案報告數」與「專案執行成效個數」兩個指標來衡量達成前述所有策略目標。他們的研究雖然也參考美國加州的綠色創新指標(green innovation index)，企圖將該一觀念用於發展港埠綠色創新指標(port green innovation index)，但因屬性不同而未能實現。

儘管有上面有關綠色港埠相關策略目標之研究，但本研究以為未來臺灣綠色港埠政策的形成，在規劃面有必要從下面的程序著手，更重要的是要落實執行：

1. 綠色港埠發展政策納入正規港埠規劃的程序：

將綠色港埠發展的政策具體納入交通部每五年檢討修正一次的全國商港整體規劃及各港的整體規劃，擬訂永續綠色港埠發展策略，以為擬定各港中期專案計劃與短期營運計劃之指導方針。納入規劃的構面可以依臺灣各港埠的環境特性，研擬納入各項自然、人文與社會環境。

2. 落實綠色港埠發展政策的執行：

將綠色港埠發展政策嵌入各港各項港埠營運與領導、管理上的行動方案，落實執行。前述國外歐美港埠推動綠色港埠與企業社會責任的案例值得參考採行。

3. 建置綠色港埠指標監控政策執行成效：

參考前述綠色創新指標的觀念，擬具綠色港埠指標(green port index)系統。至於該項指標系統之建置，則可以將永續綠色港埠發展政策所欲涵蓋的要素都加以納入，譬如前述自然、人文與社會環境等規劃構面，再逐一認定各項構面所包括的各個指標項目，以便落實執行之監控。

六、結論與建議

針對綠色港埠發展規劃的議題，本文經由對傳統港埠規劃與策略規劃的程序之介紹，再加上國外較具典型綠色港埠政策之港口的案例及臺灣港埠規劃實務的探討，獲得下列結論：

1. 臺灣港埠界在綠色港埠的發展上雖有共同之體認，也形諸於政策宣示，但目前仍未形成一套完整而得以有效推動的綠色港埠政策。在既有全國整體港埠及各港發展計畫中，仍並未非常強力且具體地將綠色港埠的政策納入規劃。
2. 一套綠色港埠政策的形成，要從全國及各港長期綱要計劃階段開始，並採用策略規劃的程序與技巧，將綠色港埠納入港埠發展的願景、使命與目標，從而擬具完整的策略，以為推動各項綠色港埠計畫之依據。更有進者，這套綠色港埠政策也要納入各港中期專案計劃及短期營運計劃的程序中，才能全面且動態地落實該一政策。
3. 參考國外典型的綠色港埠之作法，綠色港埠政策的執行並非僅及於港埠規劃，而更重於其推動與執行的層面，從而形成永續綠色港埠文化。甚至如鹿特丹港的案例，更進一步擴大，將永續綠色港埠政策納入其企業社會責任的政策架構，與承諾及透明化兩項併列為該一政策的三大支柱。
4. 從國外在綠色港埠政策的內容上，可以看出：與港埠建設、營運與管理相關之環境議題都全盤納入。其不但包括自然生態環境，而且也將人文與社會環境納入規劃；前者諸如土地、空氣、水、生物與生態環境、能源等等，後者有如噪音、社區關係等等自然、人文與社會環境。以臺灣各港的環境與作業特性，未來的規劃宜納入哪些環境議題，值得逐一認定。

根據上述結論，本研究提出下列建議有關綠色港埠規劃、執行與控管的程序性建議：

1. 將綠色港埠發展的政策具體納入交通部每五年檢討修正一次的全國商港整體規劃及各港的整體規劃，擬訂永續綠色港埠發展策略，以為擬定各港中期專案計劃與短期營運計劃之指導方針。
2. 落實綠色港埠發展政策的執行，將其嵌入各港各項港埠營運與領導、管理上的行動方案，落實執行。
3. 建置綠色港埠指標監控政策執行成效。

當然為了上列程序之進行，在規劃過程當中仍有某些基礎研究課題有必要進行。譬如：依臺灣各港埠的環境特性，那些自然、人文與社會環境有納入策略規劃？監控這套綠色港埠政策之推動的綠色港埠指標如何編算？等等。

參考文獻

1. Frankel, E. G. (1987), *Port Planning and Development*, John Wiley & Sons, Inc.
2. Gaur, Prakash (2005), *Port Planning as a Strategic Tool: A Typology*, Thesis for the Master of Science in Transport and Maritime Economics, University of Antwerp, Belgium.
3. HHLA (2011), “HHLA Given 'Top Marks' for Commitment to Sustainability”. Retrieved Aug. 19, 2011 from:
<http://www.portworld.com/news/2011/7/105648?tag=46-62650-56403900-0-PW>
4. Port of Long Beach (2005a), Green Port Policy - “White Paper”, Long Beach Harbor Department. Retrieved Aug. 10, 2011. from :
<http://www.polb.com/civica/filebank/blobdload.asp?BlobID=2268>
5. Port of Long Beach (2005b), *2005 Green Port Annual Report*. Retrieved Aug. 10, 2011 from : <http://www.polb.com/news/pub/greenport.asp>
6. Port of Long Beach (2009), Pioneer of Green Port Policy reappointed, July 22, 2009. Retrieved Aug. 13, 2011, from:
http://www.portworld.com/news/i87105/Pioneer_of_Green_Port_Policy_reappointed
7. Port of Long Beach (2010), “Five Years of the Green Port Policy – the Long Beach Port transformed”. Retrieved Aug. 13, 2011 from:
<http://www.everythinglongbeach.com/five-years-of-the-green-port-policy-the-long-beach-port-transformed/>
8. Port of Long Beach (2011), Green Port Policy. Retrieved 2011.08.10. from :
http://www.polb.com/environment/green_port_policy/default.asp
9. Port of Rotterdam (2008), *Summary of 2008 CSR Annual Report*. Retrieved Aug. 24, 2011 from:
<http://www.portofrotterdam.com/en/Port-authority/corporate-social-responsibility/Documents/CSR-Annual-Report2008.pdf>

10. Port of Rotterdam (May 20, 2011), "Port of Rotterdam Announces Strategy plan". Retrieved Aug. 13, 2011 from :
http://www.portworld.com/news/i103359/Port_of_Rotterdam_announces_strategy_plan
11. Sydney Ports Corporation (2011), "Sustainable Port Development". Retrieved Aug. 13, 2011 from:
http://www.sydneyports.com.au/environment/sustainability/sustainability_policy/sustainable_port_development
12. UNCTAD (1985), *Port Development – A Handbook for Planners in Developing Countries*, 2nd ed., TD/B/C.4/175/Rev.1. United Nations, New York.
13. Wyatt, Bill (2009), "Port Sustainability", APP 96th Annual Conference, Aug. 9-12, Keelung, Taiwan.
14. Yeh, Kuang-Shih (2009), "Future Port – Efficient, Econ-friendly, Safe and Secure", APP 96th Annual Conference, Aug. 9-12, Keelung, Taiwan.
15. 交通部(2011)，*臺灣地區商港整體發展規劃(101-105 年)*，核定本，2011 年 6 月。
16. 交通部基隆港務局(2011)，*基隆港整體規劃與建設計畫(101-105 年)*，核定本，2011 年 8 月。
17. 交通部運輸研究所(2011)，"Research of Taiwan Green Port Establishment (1/4)". Retrieved Aug. 19, 2011 from:
<http://www.iot.gov.tw/ct.asp?xItem=563483&ctNode=1948&mp=1>
18. 吳榮貴、吳朝升、袁劍雲、洪正興、許秀麗、楊世豪及陳秋玲(2010)，*臺灣貨櫃港埠之創新管理研究*，交通部運輸研究所，編號：99-28-7444，MOTC-IOT-98-H1BD003。
19. 吳榮貴、吳朝升、袁劍雲、孫儷芳、秦克堅、楊世豪、陳秋玲、安舜華、朱金元、王克尹、林玲煥(2011)，*臺灣各港務局建立創新管理機制與創新指標之研究*，交通部運輸研究所，編號：100-30-7522，MOTC-IOT-9-H1BD003。
20. 楊世豪、吳榮貴及吳朝升(2011)，「臺灣各港務局服務創新活動與客戶滿意度之關係」，*北臺灣學報*，第 34 期，頁 215-232。

港灣生態環境評估之探討

郭一羽¹ 李麗雪²

摘要

近年來各種工程建設都被要求提升環境品質，尤其港灣擁有生態資源豐富的水岸，港灣建設必須謹慎維護生態的永續性。本研究對港灣的生態性品質進行探討，嘗試對水質、浮游生物、水中結構物和陸域植栽四個面向進行生態品質評估方法的研究，並盡量朝定量的方向做評估指標的擬訂，期望對未來的港灣生態環境改善能有實質的助益。

關鍵詞：港灣、生態、評估

The Study for Assessment of Ecology Environment in Harbor

Yi-Yu Kuo¹ Li-shiue Lee²

ABSTRACT

In recent years, a variety of engineering construction projects are required to enhance the quality of the environment. Especially, harbor is the environment with rich ecological resources, so its construction must be careful to maintain the ecological sustainability. This study tries to investigate the quality of ecology in harbor, and research the assessment methods for the water quality, plankton, structures in water and land planting. Also, try to do the development of assessment targets with the quantitative indicators, expect it will has good benefit for the improvement of the ecological in the future.

Keywords : Harbor, Ecology, Assessment

一、前言

港灣原本只純為達到海上運輸方便之功能而建立的設施，故與其他土木工程一樣，以往不被要求考慮環境品質的問題，因而常變為破壞自然環境或

¹ 國立交通大學土木工程學系 教授

² 中華大學景觀建築學系 副教授

環境不良的處所。然近年來各種工程建設都被要求提升環境品質，尤其港灣建設擁有豐富的景觀生態資源的水岸，因此部份港灣水岸被加以美化而開放做為親水空間，在國內外均已有不少成功案例。另外從國家永續發展的觀點而言，自然生態景觀的保護與復育，也是我們必須積極負起的責任。

國內近年來行政院公共工程委員會積極推動的生態工程，要求推動工程要兼具安全、生態和景觀，更要求公共建設的實施必須盡量同時進行環境營造。港灣工程建設以往對於自然海岸環境造成很大的傷害，而水岸又是一種生態豐富的異質交錯帶。因此，往後在維持港灣經濟發展正常運作的同時，必須積極正視海岸港灣環境營造的問題。

另一方面近年來各種工程建設都被要求提升環境品質，水岸又是一種生態豐富的異質交錯帶，港灣工程之水中結構物又易於形成海洋生物良好棲地。因此有些港灣水岸被加以充分利用而開放做為親水空間已是相當普遍的事情。在陸域方面，港口的岸上設施一般都已高度人工化水泥化，在生態保育的努力上較為困難。水域方面水質污染控制不易。港區內風大、鹽份高、土地貧瘠，植生不易。水岸可利用的土地資源有限，自然保育與經濟利用常相互衝突。故目前工作人員仍對週遭環境品質的要求不高。

一般傳統土木或港灣工程的規劃設計，只以非生物的大自然環境為對象，因此對生態系的結構和特性極為陌生。在工程應用上，生態系的特性至今仍難以正確的定量的來加以描述。但在工程設計上，必須要有定量的描述，必須要有具一般通用性的規範。因此本文對港灣的生態性加以探討，嘗試將港灣建設的生態特性做定量的評估，有評估的原則和方法，對未來的港灣生態環境改善將有實質的助益。

二、港灣水質評估

明確的水質目標的設定，是水質污染改善工作最主要的項目，亦即先訂出改善目標的水質標準，才知道該採用何種程度何種淨化技術去做改善。環保署雖對水質標準有了各項規定，但是港灣水質標準的設定，必須參考地方發展計畫來決定，如親水、景觀或水產養殖之利用等，在不同的使用方式下各有不同的水質要求標準，因此在做港區水質調查與評估時，檢測項目及品質標準亦需考量海水利用之方向，未來即可清楚的分類規範和管理。本節將提出污染性、親水性與生態性三方面的評估方式，作為未來對港區水質進行評估分類的依據。

2.1 一般水質汙染評估標準

汙染性評估標準是依據環保署 2001 年 12 月 26 日所訂國內現行法規與海洋水質標準。此評估方式需分析海水中所含的重金屬鎘、鉻、鉛、汞、銅、鋅等，以及溶氧量(DO)、氫離子濃度指數(pH)、懸浮固體物(SS)、生化需氧量(BOD)、總磷(TP)、硝酸鹽(NO₃)、氨氮(NH₃-N)、礦物性油脂、大腸桿菌等，來區分海水之汙染程度。海域水質可分為甲、乙、丙三類。

2.2 親水性水質評估標準

國內外許多港口都已朝向休閒觀光方面發展，故港區水域的水質環境是否良好，在現今成為倍受重視的焦點。觀光休閒港的親水方式並非是以人體直接接觸水體，主要較著重在人為視覺、嗅覺之心理感受層面來親水，故需要一個以此為依據的水質指標來評估港區水域的水質狀態。

親水性的水質評估指標是依遊客對水體的視、嗅覺感受滿意度評價結果，以及同步進行的各項水質檢測結果而建立。將對遊客訪查的滿意度評價與各項水質因子作相關性評估，其結果發現溶氧量(DO)、濁度(NTU)、透明度(SD)、氨氮(NH₃-N)、總磷(TP)、生化需氧量(BOD₅)以及化學需氧量(COD)以上七項水質因子，對視覺與嗅覺的感受滿意度最具有影響力。

從上可了解到，影響視、嗅覺的感受並非是單獨一項水質因子所控制，因此將七項水質因子與感受度進行皮爾森相關係數的分析，再從中挑選出對感受度具獨立影響性的因子作為水質分級的參考項目，其相關性分析的結果得到溶氧、氨氮、總磷和透明度四種水質因子具明顯的獨立相關性。最後依這四項因子與視、嗅覺的感受滿意度繪製出水質滿意度曲線，接著將水質標準相對之感受滿意度分為四個等級，做為水質評估之項目，其視、嗅覺感受滿意度水質標準如下表 1 和表 2 所示。

表 1 港區水體之視覺感受滿意度水質標準

視覺感受滿意度 水質項目	I	II	III	IV
溶氧(DO)	5.0 以上	4.5~5.0	3.5~4.5	3.5 以下
透明度(SD)	1.0 以上	0.65~1.0	0.25~0.65	0.25 以下
總磷(TP)	0.5 以下	0.5~0.8	0.8~1.0	1.0 以上
視覺感受滿意度點數	4	3	2	1

表 2 港區水體之嗅覺感受滿意度水質標準

嗅覺感受滿意度 水質項目	I	II	III	IV
溶氧(DO)	6.5 以上	4.5~6.5	4.0~4.5	4.0 以下
氨氮(NH ₃ -N)	0.5 以下	0.5~0.7	0.7~0.85	0.85 以上
總磷(TP)	0.3 以下	0.3~0.65	0.65~1.0	1.0 以上
嗅覺感受滿意度點數	4	3	2	1

雖然視覺感受與嗅覺感受是互相獨立的兩種不同水質評估，但有時在實際觀光遊憩的應用上，我們對水質是否滿意，必須將視覺嗅覺一起考量，否則無法做政策上的抉擇。因此有必要將上述的視覺標準與嗅覺標準兩個加以整合。若要使視覺和嗅覺的要求同時被接受，則須採取兩者之中較高標準的一方作為標準，例如溶氧採取嗅覺標準，總磷也一樣採取嗅覺標準。依此將表 1 與表 2 合併成表 3。對整合的滿意度水質標準亦需做出對應的水質指標分級，製作出水體感受滿意度水質指標分級表，如表 4 所示(其各項水質的累積點數以 Q 表示)。

表 3 港區水體感受滿意度水質標準

感受滿意度 水質項目	I	II	III	IV
溶氧(DO)	6.5 以上	4.5~6.5	4.0~4.5	4.0 以下
透明度(SD)	1.0 以上	0.65~1.0	0.25~0.65	0.25 以下
氨氮(NH ₃ -N)	0.5 以下	0.5~0.7	0.7~0.85	0.85 以上
總磷(TP)	0.3 以下	0.3~0.65	0.65~1.0	1.0 以上
感受滿意度點數	4	3	2	1

表 4 港區水體感受滿意度水質指標分級

累積點數區間	感受滿意度等級	遊客的感受度
$14 < Q \leq 16$	甲	優良
$11 < Q \leq 14$	乙	尚可
$8 < Q \leq 11$	丙	普通
$5 < Q \leq 8$	丁	欠佳
$4 \leq Q \leq 5$	戊	劣質

2.3 生態性水質評估標準

以往水質調查結果，往往是檢測出調查時當下的水質狀況，然而港區水質會因為氣溫、潮汐等變化的影響而有所改變，所以以往的水質調查無法具備長期的代表性。相較上浮游動物的生存需有較長的時間週期，故浮游動物的存在與否，較可反映出長期的水質狀態。

根據「港區浮游動物指標生物及其水質評估之相關研究」的研究論文指出，港區水體檢測之浮游動物，以能夠滿足「伴隨物屬豐富性」與「具有經濟性價值的浮游動物」兩項原則，依其設定的條件作為指標生物。依據高雄港務局於民國 96 年與 97 年對浮游動物調查的結果進行伴隨物屬豐富性的分析後，遴選出的代表性指標生物以有孔蟲、海桶、櫛水母、口足類幼生及鉢水母這五屬為主；而具有經濟性價值的魚、蝦、蟹及貝類在生殖期時通常會到特定水域產卵，所產下的幼卵大多屬於浮游動物，若分析這些浮游性幼卵的變異，則能了解海域環境因素的改變，因此再從浮游動物的調查資料中挑選出魚卵、仔稚魚、無節幼體、貝類幼生及蟹類幼生五項作為指標生物的代表。

依照「伴隨物屬豐富度」及「具有經濟性價值的浮游動物」兩種方法所選出的十項指標生物與其出現時的水質環境做適合度分析，找出適合浮游動物生存的最佳水域環境，如表 5 所示。與指標生物進行適合度分析的水質環境因子以高雄港務局提供之項目為主，其因子為水溫(°C)、氫離子濃度指數(pH)、溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD₅)、懸浮固體(SS)、亞硝酸鹽(NO₂)、硝酸鹽(NO₃)、總磷(TP)及氨氮(NH₃-N)九項。

表 5 浮游動物最佳水域環境

水質因子	遴選方法	適合度區間	最佳水域環境
水溫 (單位：℃)	伴隨物屬豐富度	24.7~27.1	24.9~27.1
	經濟價值之浮游動物	24.9~31.2	
氫離子濃度指數	伴隨物屬豐富度	8.27~8.37	8.27~8.35
	經濟價值之浮游動物	7.54~8.35	
溶氧量 (單位：mg/L)	伴隨物屬豐富度	6.25~7.15	6.25 以上
	經濟價值之浮游動物	2.38~6.94	
生化需氧量 (單位：mg/L)	伴隨物屬豐富度	0.2~1.3	1.3 以下
	經濟價值之浮游動物	0.5~3.5	
懸浮固體 (單位：mg/L)	伴隨物屬豐富度	0.36~4.61	4.61 以下
	經濟價值之浮游動物	4.9~8.1	
亞硝酸鹽 (單位：mg/L)	伴隨物屬豐富度	0.005~0.024	0.024 以下
	經濟價值之浮游動物	0.018~0.17	
硝酸鹽 (單位：mg/L)	伴隨物屬豐富度	0.036~0.108	0.108 以下
	經濟價值之浮游動物	0.036~0.727	
總磷 (單位：mg/L)	伴隨物屬豐富度	0.005~0.089	0.089 以下
	經濟價值之浮游動物	0.036~0.163	
氨氮 (單位：mg/L)	伴隨物屬豐富度	0.005~0.093	0.093 以下
	經濟價值之浮游動物	0.054~0.59	

浮游生物乃水域生產力的基礎，在水域生態系的食物網中佔有重要地位，維繫浮游生物的生存環境，必能增加港區水域的物種豐富度。此水質評估方式於未來可在不妨礙港區作業下，以浮游動物做為指標生物依照表 5 的最佳水域環境標準來進行水質的改善，方能增加港區水域的生物多樣性。

三、港灣水域生態評估

3.1 浮游生物之生態評估

3.1.1 生態指標

一般以生物多樣性高低水準做為生態評估準則。生物多樣性的評估，在生物指標方面有最大出現物種數、歧異度、均勻度、豐富度等，利用數學計算公式很容易的將調查資料定量化。

水中魚類因移動容易緣故致調查工作困難，調查結果不確定性高，做為

目標生物的方便性不如生活地點固定性較高的附著生物、底棲生物或浮游生物。在港灣內因水深大且多直立護岸，底棲生物和附著生物的存在不明顯，因此本文建議以浮游生物作為生態評估的對象。

例如利用高雄港與台中港 97 年度的浮游生物調查資料，進行分析其歧異度，發現在浮游動物部分高雄港浮游動物歧異度介於 0.03~0.9 間，台中港浮游動物歧異度介於 1.22~3.29 間，歧異度比高雄港歧異度大。在浮游植物方面，高雄港浮游植物歧異度介於 0.02~1.25 間，台中港浮游植物歧異度介於 1.72~4.47 間，歧異度也比高雄港歧異度大。由上敘結果可知，台中港區水域不論浮游動物或浮游植物歧異度皆比高雄港大，故台中港浮游生物個體在物種間的分配比高雄港均勻，且生物多樣性也較高。

3.1.2 指標生物的選擇

指標生物通常要求具有數量多、分佈廣、採集容易、識別鑑識容易、對環境變化反應靈敏與生命週期適中等特性。一般通稱的指標生物又另有生態指標生物、污染指標生物與復育指標生物等不同的分類。有關污染指標生物的研究成果已經相當豐富，而復育指標生物則為對稀有或特殊利用價值的生物而言，易於決定。但生態工程的操作所指的指標生物大部份應為生態指標生物，生態指標生物的決定目前尚處於起步階段。

仍舊以生物多樣性的高低來判斷生態性的好壞，郭（2005）建議以能夠滿足如下二項原則所設定的目標生物較為合理。

在生物多樣性高的地點常會出現的物種，而其在多樣性低的地點不會出現。

要求的棲地條件較為嚴格的物種。亦即在這種物種能生存的條件下，很多其他物種也都能生存。

第一個原則在實際操作上比較容易，第二個原則特別強調棲地的重要性。經過驗證，兩個方法所決定出的指標生物及為接近。

由於經濟性的浮游生物為昆蟲或小型魚類等之食物來源，為生態系中食物網（Food web）重要的一環。另方面浮游生物的指標生物對象，亦可以將具有直接或間接水產經濟價值者做為參考。故利用上敘觀念結合經濟性浮游生物來找出能代表浮游生物多樣性的指標。依上述第一個原則，利用由調查發現的經濟性浮游動物、植物，其所伴隨出現物種豐富性來決定指標生物。伴隨物種豐富性越大表示伴隨其同時出現的物種豐富性最高，即最能代表具物種多樣性生態環境的指標生物。反之，由現場調查結果，此類指標生物數量愈多的地點，表示此水域的生物多樣性愈高。例如依據「港灣生態景觀營造

規劃設計」的研究，在高雄港水域，浮游動物方面應選擇猛水蚤當作指標生物，浮游植物方面則以寬角斜紋藻當作指標生物。

3.2 港灣水中結構物生態評估準則

3.2.1 防波堤

1. 緩坡堤較直立堤生態效果好。
2. 拋石堤較混凝土堤生態效果好。
3. 在沉箱堤垂直壁水分可及處，作成具孔洞或溝紋狀之表面可增強生物棲息及附著功能。
4. 防波堤前拋置消波塊，儘可能採用具生態礁功能的混凝土塊來替代傳統消波塊。
5. 沉箱防波堤內側生態較佳，其材質形狀應盡量使形成附著生物的棲地，例如階梯式防波堤可成為生物棲息地。

3.2.2 碼頭

1. 碼頭應盡量採用消波孔洞式護岸，以增加生物棲息空間。
2. 善用碼頭防舷材可促進港區水域生態。
3. 棧橋式碼頭設法增加棧橋下陽光。
4. 碼頭生態效果不佳，除非必要，港區內盡量減少直立式岸壁。

3.2.3 護岸

1. 階梯式護岸或斜坡式護岸可供生物有較大的生存空間。
2. 砌石護岸表面不規則，有利於海藻等海洋附著生物著生
3. 護岸岸壁上部常浸不到水，採用立面植生增加生態和景觀效果。

3.2.4 消波塊

1. 消波塊浸泡於水中或長時間保持濕潤狀態，可著生海洋動植物。
2. 不規則配置消波塊具有不同大小的孔隙，提供生物多樣性棲地。
3. 消波塊表面要盡量增加其粗造度或溝紋，以利海洋生物著生。
4. 採用特殊水泥製造消波塊，以利海洋生物的棲息。

四、港灣陸域植栽的生態評估

4.1 評估因子

若以植物作為評估港灣棲地環境指標，應先進行植物之生態調查，其次必須決定生態指標，以用來判斷生態品質的好壞，和以利於進行生態環境評估。生態品質的好壞，乃基於其生態系統的運作是否健全，生態系統運作健全，即有生物多樣性高、自然度高等特徵出現。此外為易於做評估，此生態特性必須能夠定量化。因此植生自然度、綠覆率、歧異度、植物分層結構、植群內緣比等評估因子被選擇出來做為指標。參考相關文獻，各評估指標和生態機能的相關內容整理如下表 6。各評估指標的詳細內容詳述如後。

表 6 生態指標的項目和其代表的生態特性

綠化因子	參考文獻	說明
植物多樣性	杜文郁(1998)，環保署(2002)，林憲德(1999)，韓可宗(1998)，李素馨等(1996)，Smith(1993)，Thorne(1993)，Baschak&Brown(1995)	植物多樣性係指棲地內植物種類所佔的比例。多樣性越高則植群類型愈豐富、其訊息含量與不定性愈大，其指標值也越高
植物自然度	杜文郁(1998)，環保署(2002)，濱岡六右衛門(1998)，黃增泉等(1999)，Claire Freeman(1999)	植物自然度主要探討植物社會組成結構，自然度愈高愈能達到生態之平衡，愈能承受外在力的干擾
植物分層結構	杜文郁(1998)，彭國棟(2000)，楊秋霖(1995)，明延凱&周光裕(1997)	植物分層結構反映群落對環境的適應、動態和機能。植群分層結構愈複雜，區域內植物生長情況及生態結構愈穩定
綠覆率	杜文郁(1998)，彭國棟(2000)，環保署(2002)，Thorne(1993)	綠覆率係指單位面積內植栽垂直投影面積所佔的百分比，是評價環境質量的標準之一
植群內緣比 (棲地面積) (棲地形狀)	游登良(1989)，俞孔堅(1998)，Collinge(1996)，Forman(1995)，Dramstad(1996)，Hanski(1998)	植群內緣比主要探討植群林緣性。林緣性在兩個或多個不同的植物生態系統的邊緣帶，有更活躍的能流和物流，具有豐富的物種和更高的生產力

4.2 植物多樣性

植物多樣性指標是指棲地內植物種類所佔的比例。多樣性越高則植群類型愈豐富、其訊息含量與不定性愈大，其指標值也越高。此可依據 Shannon' s index of diversity (H')、Simpson' s index of diversity (λ) 計算得到。

4.3 植物自然度

植物自然度主要探討人為干擾下，植物結構、組成之改變程度，國內環保署定有分級標準。但是港灣植群以人工植栽為主，上述分級標準並不適於本計畫，故依現地之植群組成型態另定分級標準如表 7，係從人為復育的角度，探討其植物結構、組成的差異性。雖然本計畫擬定之分級標準與文獻定義不同，不過皆以植物社會學說的觀點，探討不受人工干擾的歷時長度來訂定自然度的等級。喬木由於生命週期較長，喬木的存在表示其已經過較長時的生態演替，較長的生態演替一般應擁有較高的自然度，故區分在比較高的等級，等級的區分喬木以其胸高直徑 (dbh) 來判斷。灌木與草地生命週期較短，易於達到其極盛相，故區分在比較低的等級。自然度指數計算公式，如下式。

$$N = ((a_1 \times n_1) + (a_2 \times n_2) + (a_3 \times n_3)) / A \dots\dots\dots (1)$$

a：單層次植物面積 n：單層次植物自然度 A：樣區面積
(各層次為喬木層、灌木層與草地層)

表 7 本計畫植物自然度分級標準

等級	植物組成	定義
自然度 5	天然林地，人為喬木	喬木 $\varnothing > 16\text{cm}$
自然度 4	人為喬木	喬木 $8\text{cm} \leq \varnothing \leq 16\text{cm}$
自然度 3	人為喬木，天然灌木，人為灌木	喬木 $\varnothing \leq 8\text{cm}$ ，灌木 5 年生以上
自然度 2	人為灌木，天然草地	灌木介於 3-5 年生，自然草本
自然度 1	人為灌木，人工草地	灌木 3 年生以下，人為干擾草本
自然度 0	無植被	裸露地

$\varnothing$:胸高徑 單位: cm

4.4 植物分層結構

植物分層結構也反映群落對環境的適應、動態和機能，植群分層結構愈複雜，區域內植物生長情況及生態結構愈穩定，因此目前生態綠化非常重視複層植栽方式。參考相關案例，本計畫擬定植物分層結構分級標準，如表 8 所示，並將不同層植物面積之比值，轉化為等級（等距尺度）的方式表示之，方便後續計算。植物面積的計算方式，可參考下表 9、10 所示。

表 8 植物分層結構分級標準

等級	定義	等級	定義
1	比值介於 0~5%	9	比值介於 40~45%
2	比值介於 5~10%	10	比值介於 45~50%
3	比值介於 10~15%	11	比值介於 50~55%
4	比值介於 15~20%	12	比值介於 55~60%
5	比值介於 20~25%	13	比值介於 60~65%
6	比值介於 25~30%	14	比值介於 65~70%
7	比值介於 30~35%	15	比值介於 70~75%
8	比值介於 35~40%	16	比值大於 75%以上

表 9 各種植物塊體面積計算基準

植物塊體種類	計算基準
喬木層	採用植栽之胸高直徑（DBH）計算，計算法參考表 9
灌木層	以實際面積計算
草地層	以被覆面積計算

表 10 喬木層綠覆面積計算表

樹 型	類 別	每株綠覆面積 (m ²)	株距 (M)	栽植時胸高徑計算法
開展型	喬 木	64 m ²	6M	(H) 4m 以上 (W) 2m 以上 栽植時，胸高徑 21-30cm 者同
		36 m ²	5M	(H) 3.6m-4m (W) 1.5-2m 栽植時，胸高徑 11-20cm 者同

樹 型	類 別	每株綠覆面積 (m^2)	株距 (M)	栽植時胸高徑計算法
		16 m^2	4M	(H) 3.1-3.5m (W) 1.2-1.5m 栽植時，胸高徑 5-10cm 者同
直立型	喬 木	36 m^2	5M	(H) 4m 以上 (W) 2m 以上 栽植時，胸高徑 21-30cm 者同
		16 m^2	4M	(H) 3.6m-4m (W) 1.5-2m 栽植時，胸高徑 10-20cm 者同
	棕櫚木	16 m^2	4M	幹高 3.5m 以上 栽植時，胸高徑 10-30cm 者同
開展型	特大樹 移 植	100 m^2	8M	(H) 4m 以上 (W) 3m 以上 栽植時，胸高徑 51cm 以上者同
		81 m^2	7M	(H) 4m 以上 (W) 3m 以上 栽植時，胸高徑 31-50cm 者同
直立型	特大樹 移 植	64 m^2	6M	(H) 6m 以上 (W) 3m 以上 栽植時，胸高徑 51cm 以上者同
		49 m^2	5M	(H) 6m 以上 (W) 2m 以上 栽植時，胸高徑 31-50cm 者同

H:樹高度 W:樹冠寬度 胸高直徑:距地面一米高樹幹直徑

資料來源：縣市法定空地綠化實施要點

4.5 綠覆率

綠覆率之計算即單位面積內植栽垂直投影面積所佔的百分比，其計算公式為：

$$C = a / A \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

a：植栽垂直投影面積 A：樣區面積

(喬木、灌木和草地植物重疊的地方，覆蓋面積只計算一層)

4.6 植群內緣比

植群林緣性主要在於風及光進入植群棲地之質與量，如此會改變植群棲地的微氣候環境及干擾的比率。密實或圓形的植群因其對外接觸的邊長較小，有較小的林緣性；而彎曲的邊界則有較高的機會與相鄰棲地產生交互作

用。一般來說，提供足夠大小的棲地維持內部棲息環境，並加上適當的植群形狀之設計，當可提高生物物種的豐富度及生存力。

另外，林緣性是一種生態性豐富的異質交錯帶，亦即林緣性在兩個或多個不同的植物生態系統的邊緣帶，有更活躍的能流和物流，具有豐富的物種和更高的生產力。測度林緣性的應用公式，可使用邊緣效應指數（衡量形狀生態功能的指數），其計算公式如下式。

$$S = A/P \dots\dots\dots (3)$$

P：不同植物塊體之邊長 A：樣區面積

五、結論和建議

本研究是基於交通部港灣技術研究中心「港灣生態景觀營造規劃設計」研究計畫，對港灣的生態性品質進行探討，嘗試對水質、浮游生物、水中結構物和陸域植栽四個面向進行評估方法的研究，並盡量朝定量的方向做評估指標的擬訂。在水質方面，提出人類感官滿意度和生態價值的評估指標。在浮游生物方面，提出決定指標生物的構想，依指標生物出現多寡來決定生態性好壞。在水中結構物方面，只對各種結構物的生態性高低提出判斷準則，尚未能加以訂定評估指標。在陸域植栽方面，提出一些評估因子，並將這些因子定量化。若要對港灣生態有整體的評估方法，除了要求有更定量化的評估方法之外，也需要在權重方面做進一步的探討。

參考文獻

1. 郭一羽、李麗雪，海岸生態景觀環境營造，明文書局，2005。
2. 郭一羽等，港灣生態景觀營造規劃設計(2/4)，交通部運輸研究所，2010。