

船舶大氣排放物減量決策模式

華 健¹ 吳怡萱²

1: 海洋大學 輪機工程系

2: 東吳大學 會計系

摘要

國際海事組織(IMO)繼針對氮氧化物和硫氧化物等空氣污染物擬定減量規範之後，隨即應聯合國氣候變遷公約的要求，就降低源自於海運的 CO₂ 排放，研擬對策與方法。除了透過已然成熟的技術與運轉措施，可望獲致顯著節能減碳效果外，另以市場為基礎的減量工具，尤受矚目。航運業謀求如何因應已刻不容緩，本文乃整理國際間針對船舶大氣排放的規範近況，討論有關海運環保的經濟議題，並進一步提出建立船舶大氣排放物減量決策模式的作法。

IMO 的策略是在全球海運排放上，取得與京都議定書當中工業化國家所訂，相當一致的目標，而船東則可參與合作並履行國際排放權交易。未來各國政府可能普遍對業界施壓，迫使其接受自發性同意書。至於擁有主要具競爭力港口的國家，則可能嘗試採行根據船舶排放密度，訂定差異性港口費用等。對於新船與現成船，在不增加成本的情況下，效率最佳化不僅可減少 CO₂ 達 12%，且可同時達 NO_x 顯著減量的效果。藉由降低航速並維持一定容量，以降低排放的潛力相當可觀，惟其量化相當困難。降低船速如同增加庫存，必導致固定資本的高成本，其重要性主要取決於所運送貨物種類。由此觀之，航運業經營者的相關決策已愈趨困難與複雜，必須同時納入成本、效率、與船舶既有其他系統的相容性等多重考慮因素。因應此項決策需求，實有必要建立適用於航運業者的整合性減量決策模型，納入硫氧化物減排、二氧化碳減排、氮氧化物及微粒等其餘陸續受到規範的大氣排放物減排的策略分析，最後整合成能兼顧所有源自船舶大氣排放物規範的決策模型。

緣起

油價高漲加上大量使用化石燃料引發全球暖化、氣候變遷議題，讓能源保存與效率及以潔淨替代能源取代化石燃料，成為能源應用的思維主流。

世界海運的運量與其二氧化碳(CO₂)排放量，預計將隨著世界貿易持續成長。國際海事組織(International Maritime Organization, IMO) 繼 1997 年訂定源自船舶海洋污染公約(MARPOL)附則六(Annex VI)，針對氮氧化物(NO_x)和硫氧化物(SO_x)等空氣污染物，擬定減量規範之後，隨即應聯合國氣候變遷公約的要求，就降低源自於海運的 CO₂ 排放，研擬對策與方法(IMO, 2007)。

除了透過已然成熟的技術與運轉措施，可望獲致顯著節能減碳效果外，另以市場為基礎的減量工具，尤受矚目。IMO 所提出的方案，包括與基金連結的排放權總量管制與交易(cap and trade) 及碳稅(carbon levy or tax)系統，希望藉此進一步降低排放量。此外另一個討論中的方法，為利用 IMO 已經建立的能源效率設計指標(energy efficiency design index, EEDI)，作為針對新船和現成船設定目標的起點(IMO, 2008)。

源自船舶之大氣排放物

船舶空氣污染排放

當今全世界船舶逾 99% 以柴油機作為推進主機，柴油機的排氣乃因此成為整體海運燃燒機械空氣污染來源的大宗。而雖然在全世界船舶中所占比例呈現前所未有的下降趨勢，然由於例如巨型油輪(VLCC)等蒸汽機船的相對尺寸，及油機船上廣泛作為輔助用途的燃油鍋爐，加上液化天然氣(LNG)船持續以蒸汽推進的趨勢，使得燃油鍋爐的大氣排放仍須一併納入考慮。而儘管使用燃氣渦輪機的商船為數甚少，其仍受到某些特殊類型船舶的青睞，通常僅限於具有高出力，例如安裝在高速船上者。

船用柴油引擎燃燒所排放的廢氣當中，主要包括了氮、氧、二氧化碳及水，少量的一氧化碳、硫氧化物及氮氧化物(NO_x)，和一部份已作用但尚未燃燒的碳氫化合物(HC)及粒狀物質(PM)。 SO_x 與 NO_x 最令人關切的問題，是其對於人的呼吸系統與植物的戕害，以及其為造成酸雨的主因之一。另外， NO_x 與揮發性有機化合物(VOC)還涉及光化學反應所導致危害人體健康與植物的對流層臭氧量的提高。而 NO_2 在平流層中的臭氧耗蝕與全球氣候變遷中，亦具有某種程度的影響。表一當中所列，為不同類型船舶廢氣中主要污染物之排放程度(Turner, 2005)。

表一、各類型船舶廢氣中主要污染物之排放程度

	NO_x Kg/tonne fuel (g/l)	SO_2 Kg/tonne fuel(g/l)	CO_2 Kg/tonne fuel (g/l)	HC Kg/tonne fuel(g/l)	PM Kg/tonne fuel(g/l)
海上航行					
油輪	75 (65)	54 (47)	3179 (2764)	2.5 (2.2)	-
貨櫃輪	85 (77)	54 (47)	3179 (2764)	3.0 (2.6)	-
客輪	62 (54)	54 (47)	3179 (2764)	2.2 (1.9)	-
漁船	65 (57)	53 (46)	3179 (2764)	2.1 (1.8)	-
港內靠泊					
油輪	55 (48)	54 (47)	3179 (2764)	6.3 (5.5)	9.6 (8.3)
貨櫃輪	62 (54)	54 (47)	3179 (2764)	6.7 (5.8)	6.7 (5.8)
客輪	50 (43)	54 (47)	3179 (2764)	4.4 (3.8)	7.7 (6.7)
漁船	59 (51)	54 (47)	3179 (2764)	1.8 (1.6)	3.6 (3.1)

資料來源：Turner, 2005

勞氏協會 (Lloyd's Register, LR) 針對船用柴油引擎排放 HC, CO, NO_x 及 PM 所進行為期長達五年的調查，同時涵蓋了穩態與暫態的運轉狀況。該實際在船上所進行的量測涉及六部以上正處營運當中的引擎，大多為推進引擎，有低速亦有中速的，但卻都無異於平常運轉狀態。其結果數據乃因此成為業界作為日後，許多進一步研究源自船舶廢氣，不論是當地的或區域性的基準(Hua & Wu, 2009)。

船舶溫室氣體排放

迄今，各種不同廢氣來源所產生排放物的量，一般都以每噸燃料或每 kW/h 作為單位來表示。然而由於關注的焦點往往擺在這些污染物的總噸數，甚至是其排放所在（污染物具有區域性影響的情形），因此實際所涉及者更為廣泛。而具某特定運輸功能的船，其總廢氣排放負荷，亦必須加以考慮。尤有甚者，源自整體海運的廢氣排放總量，無論全球性或僅屬於區域性的，皆須一併考量 (EU, 2007)。

從數據可以很明顯看出，源自船舶的各種大氣排放物當中，CO₂ 的濃度遠高於其他的。且 CO₂ 中所含碳亦遠高於在 HC 與 CO 當中合起來的。雖然在負荷降低的情形下，由於空/燃比的提昇，CO₂ 濃度將隨之下降（且 O₂ 會上升），CO₂ 濃度仍將維持遠比其他種污染物為高。在一定量燃油與其他排放物的情形下，一噸燃油燃燒後將產生 3.15 噸的 CO₂。而以燃油中所可能含碳(85.0–87.2%*m/m*)而言，每噸燃油燃燒可產生 3.12 至 3.20 噸的 CO₂。同樣，每噸燃油燃燒可產生的水氣為 0.94 至 1.22 噸 (Corbett 等，2003)。

依據修訂後之 1996 年氣候變遷跨政府委員會(IPCC)針對國家溫室氣體 (Greenhouse Gases, GHG)清查指南，源自航空與海運部門燃油的排放另歸一類。其中值得進一步注意的是，儘管每提及“international bunker”，“bunker fuels”或是“bunker”所指不外海運燃油。但在溫室氣體清查的範疇中，則通常用來表示在國際燃油當中，賣到船上與飛機上的那一部分 (IPCC, 1997)。

一般而言，燃料成本佔船舶營運成本近半，油價高漲的 1980 年代甚至有達 80% 的實例，能源效率與節約可明顯降低其成本。除了商船，台灣包括漁船和海巡署、海軍、及港勤在內的公務船舶燃油耗量龐大 (Hua & Wu, 2007)。在能源效率上即便僅提升個位數百分比，不僅對於國家財政必有相當大的助益，同時可降低船舶整體大氣排放，更可獲致改善環境品質及 CO₂ 等溫室氣體排放減量之效益。

抑制排放趨勢

國際間海運燃油每年的耗量約一億四千萬噸，約占全世界石油總消耗量的

5%，約相當於排放四億五千萬噸的 CO_2 。國際海事組織於1997年的MARPOL會議，除了通過了附則陸(Annex VI)強調對氮氧化物及硫氧化物排放設限外，同時亦通過決議，要求針對 CO_2 等氣候變遷氣體(Climate Change Gases, CCG)採取跨政府行動的決議案(IMO, 1997)。緊接著，在聯合國氣候變化綱要公約第三次締約國會議當中，決議透過IMO，對源自海運的 CO_2 進行減量或管制(IMO, 2003)。

IMO 海洋環境保護委員會(Marine Environment Protection Committee, MEPC)繼2000年針對防止源自船舶的空氣污染完成第一次溫室氣體研究，於2009年完成第二次研究報告(MEPC 59/INF.10)，作為更新。此報告預測源自海運的GHG將持續攀升，主要在於滿足未來全世界對於海運的需求(IMO, 2009)。

IMO於2003年針對「降低源自船舶溫室氣體排放相關政策與措施」所通過的決議A.963(23)當中，排定的優先工作包括建立以下：

- GHG 排放基線 – 藉以呈現整體排放趨勢；
- 藉以呈現一艘船舶GHG效率的方法 – 包括船舶的設計與運轉效率；
- 能源效率設計指標(Energy Efficiency Design Index, EEDI) – 在某引擎負荷、吃水、風、浪等特定狀況下，單位為每裝載容量-噸 CO_2 克數。

針對船舶各類型大氣排放，除了國際層級公約與規範陸續推出外，一些區域、國家、乃至地方層級的規範，亦發展迅速。以歐盟(EU)和美國為例，EU於2002年即通過了海上船隻排放減量策略，以強調船舶對於酸化、地面臭氧、優養化、人體健康問題、氣候變遷及臭氧層耗蝕等的廣泛衝擊(EU, 2003)。美國環保署則先針對美國籍船舶上某些特定類型柴油引擎，通過了國家標準(US EPA, 2003)。不過，這些標準倒未對船用燃油的含硫量設限。美國政府正進行對MARPOL Annex VI進行認可，並支持修訂Annex VI使具備將最新排放減量技術一併納入考慮後的更嚴苛標準(US EPA, 2007)。在此同時，美國加拿大和墨西哥正共同評估向IMO申請在北美設定一個以上SECA的優點。而在美國加州，加州空氣資源局(California Air Resource Bureau, CARB)亦於2005年十二月通過了針對航行於加州水域越洋船舶上，輔助柴油引擎及柴電引擎柴油微粒(diesel PM)、 NO_x 、及 SO_x 的防制法規。

海運環保相關經濟議題

國際海運對於人為氣候變遷的影響，已公認是重大議題。但必須一提的是，「京都議訂書」將國際海運的GHG排放量劃歸IMO管轄，而不計入各已受規範

國家的排放量。換言之，一如未受規範的開發中國家，國際海運尚未面臨強制減量的限制。然而，目前進展中的研究及政治壓力，可預期在不久的未來，將升高此一議題的重要性。海運業若能及早認清勢將受到氣候變遷議題的影響，將有助於降低其適應的成本。由於船舶排放所造成的空氣污染愈發受到重視，加上其高昂減量成本，海運界有必要設法吸取已能有效符合環境標準的其他產業的經驗。

減量機制與工具

IMO 的海洋環境保護委員會 (MEPC) 於 1999 年 9 月執行了一個針對船舶 GHG 排放的研究。研究報告從技術、運轉、及市場機制三方向，探討溫室氣體減量的可能性，並於 2002 年 3 月的會期中成立工作小組，以評估 GHG 減量方案，並著手研擬建立一套屬於 IMO 的 GHG 減量策略的計劃。2007 年，在 MEPC 的第 57 次會期當中，溫室氣體相關議題的期中工作小組 (Intersessional Correspondence Group) 提出完整報告，將可行的減量對策區分為短期性與長期性對策二類，且囊括運轉性、技術性、以及市場機制等對策。在 MEPC 目前評估中的市場機制可區分為下列三大類型：

- 排放費、排放權總量管制與交易並存的混合機制 (Change-Cap-and-Trade Hybrid Mechanism)
- 自願減量承諾 (Voluntary Commitment)
- 排放交易系統及/或清淨發展機制 (Emission Trading Scheme (ETS) and/or Clean Development Mechanism (CDM))

排放費、排放權管制與交易混合機制基本上的設計，囊括所有國際海運業者的排放總量限制；而對於個別業者的排放量徵以 GHG 排放費。此排放費較簡單的作法，即隨油徵收(購買時即由燃油供應商代為收取，但也有提議依海運燃油運送量，定時向船東或船舶營運者收取的)。收取之排放費回到海運業成立基金，專供減量技術發展或向其他產業購入排放權證等用途。惟運用於國際海運時，須透過一個國際性的機制(如 IMO)，以利於全球執行。目前這個機制最具可行性，丹麥所提出的作法已廣受矚目。

自願減量承諾，係藉由海運業者或其他經濟部門(如貿易商、造船業者、船舶營運管理業者、及港埠等)與政府(或是 IMO)達成協議，主動進行能降低溫室氣體排放的改善措施。政府或主管單位則回饋以特定環境標章，例如「綠獎」(Green Award)或「綠旗」(Green Flag)等。改善措施可以包括提升營運效率、達成一定能源效率指標、自願採行 IMO GHG Index 等等。就經濟部門而言，自願減量承諾亦能產生附帶效益，如企業形象或市場競爭力的提昇等。

至於排放交易系統或清淨發展機制的推動，則必須有完整可靠的排放量清查會計系統作為基礎，且為能對環境有助益而又成本有效的系統，更須能與其他產業交易。其建置與實施需花費一段時日。因此 MEPC 的 GHG 聯絡小組，將其歸

為長期性對策。

綠色港口

由於以下幾個原因，船運可能是就氣候變遷政策而言，最為複雜的領域。首先，在激烈競爭之下，導致普遍改掛外國旗以及次標準船舶散佈全球各處。此使落實氣候變遷政策工具益形困難。由於全球船運的規模特性加上易於規避燃料稅，使其可輕易搭上順風車。然而由於船運在全球 GHG 排放量當中所占比例持續上揚，加上完全未見採取任何行動，促使必須引進具體措施。而這也正是 IMO 相關研究所欠缺的。對於 IMO 而言，其最佳策略應該是在全球海運排放上，取得與京都議定書當中工業化國家的目標，相當的一致性。該項目標將是針對船東，其可以參與合作履行及國際排放權交易。倘若 IMO 無法達此目標，則仍可落實 CDM 計劃。未來各國政府可能普遍對業界施壓，迫使其接受自發性同意書。地方性措施亦將配合。至於擁有主要具競爭力港口的國家，則可能嘗試採行根據船舶排放密度，訂定差異性港口費用等。

大氣排放減量決策模型

面對競爭激烈的國際海運市場、持續趨於上揚的國際海運燃油價格與其不可預知性，以及國際間針對船舶大氣排放物日漸趨嚴的規範，航運業當務之急即在於針對相關綠色海運技術組合進行經濟分析與評估，使臻實用。然而航運業經營者的相關決策已愈趨困難與複雜，受到規範的排放氣體種類也已從硫氧化物、氮氧化物擴及於溫室氣體及微粒等，因此必須同時納入成本、效率、與船舶既有其他系統的相容性等多重考慮因素。因應此項決策需求，實有必要建立適用於航運業者的整合性減量決策模型，納入硫氧化物減排、二氧化碳減排、氮氧化物及微粒等其餘陸續受到規範的大氣排放物減排的策略分析，最後整合成能兼顧所有源自船舶大氣排放物規範的決策模型。其中採用線性目標規劃建立的決策模型實可應用於海運業大氣排放物的減量決策。

一般目標規劃模式可以分成三部份的數學表示式：1.決策變數，2.目標式，3.限制式(王小璠，民 94)。決策變數係決策者對所面臨的問題所能選擇與掌控的因素；目標式表達的是決策問題所希望達到的目標；限制式表達的是所能運用資源的限額或其他限制條件。利用對限制式之聯立方程式求解，目標規劃模式應可解出決策變數的值，是為最接近決策者所希望達成的多目標之最佳可行解(王小璠，民 94)。

以下介紹目標規劃數學模式：

決策變數： x_{ij} , $i = 1 \dots m$; $j = 1 \dots n$,

目標式： $\min z = \sum_{i=1}^m w_i p_i (\eta_i + \rho_i)$, 求取最小總偏差值。

限制式： $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} + \eta_i - \rho_i = b_i, \quad x_{ij}, \eta_i, \rho_i \geq 0$

其中，

η_i ：負偏差變數，表示未達目標值的差距。

ρ_i ：正偏差變數，表示超過目標值的差距。

負、正偏差變數，要儘可能地達到最小值，有至少一者為 0 或同時為 0 的特性。換言之， $\eta_i = 0, \rho_i > 0$ 時，超出目標； $\eta_i > 0, \rho_i = 0$ 時，未達目標；而 η_i 和 ρ_i 同時為 0，則表示已達到限制式的目標。

p_i ：對個別目標考慮其重要性，賦予優先次序 $p_1 \succ p_2 \succ \dots \succ p_n$ ，在求解過程中，由優先權高的目標開始，逐項達成個別目標。

w_i ：決策者可按輕重緩急的差別，分別賦予不同的權重係數。

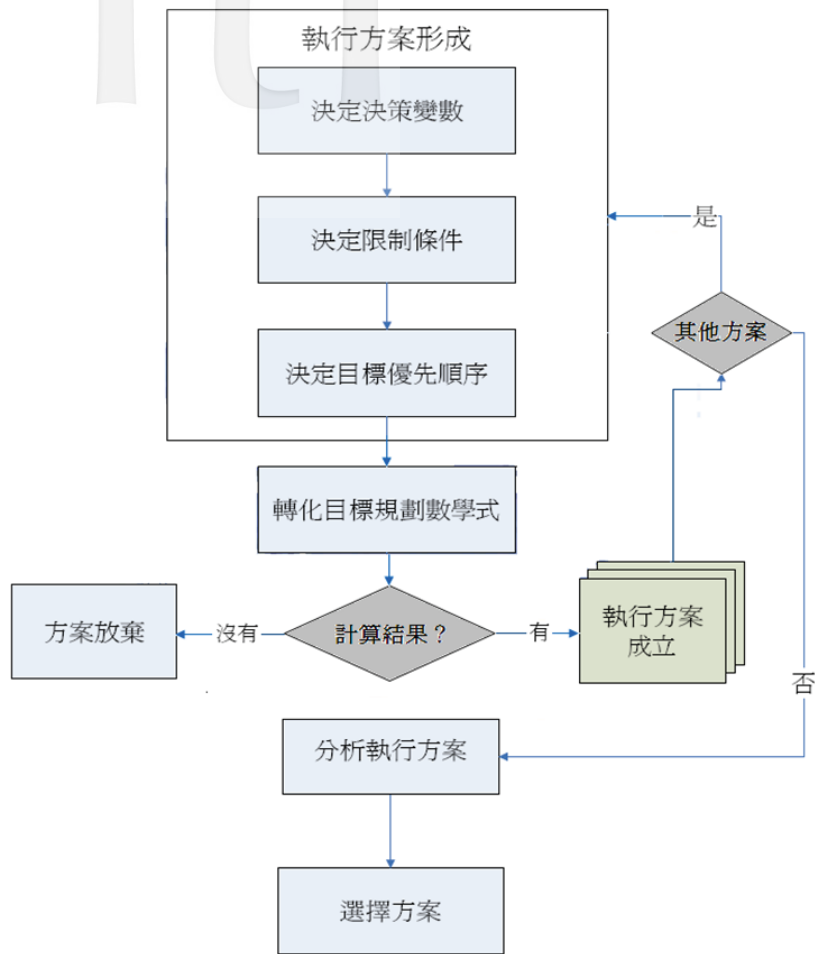
a_{ij} ：為決策變數 x_{ij} 的價值係數，其值將影響 x_{ij} 的強弱程度。

b_i ：限制式之常數，係指量化的資源或目標。

目標規劃執行的流程，如圖一所示。首先，決策者依現有資源制定方案，並決定該方案決策變數、限制條件和依各目標的重要性，決定達成各目標的優先順序，將上述方案轉化為目標規劃數學式，執行該數學式，產生可行解，若可接受該組結果，建立多組方案，否則該方案無法成立。產生多組方案後分析和評估眾方案，以選擇最佳方案。

以海運業者所面臨的硫氧化物減量決策為例，其所能選擇與掌控的決策變數，包括例如海運燃油耗量、船上裝設海水洗滌設施的規模等等；其所關切的目標式則應包括以最小成本達到減量目標、以最小排放量達到營運需求等等；其所必須面臨的限制，則例如既定營運目標、投入資金限額、船舶既定運轉效率因子、船舶空間等。透過過去研究結果及文獻探討建立初步模型，加上藉由與海運業者諮詢討論修改成更符合實務所用的數學模式，可建立模式並求解。

關於建立決策模式需藉由初步設立、蒐集與設立模型參數，再加以不斷修正，以逐步切合實務運用。模型建立初期以模擬海運業者因應硫氧化物與排放減量的決策作為建構目的，之後將以此模式為雛型，修改成為針對海運業者氮氧化物及溫室氣體減量議題的整合決策模式。而日後將可再進一步修改與整合，建構成的能同時兼顧與權衡硫氧化物排放、溫室氣體排放、氮氧化物及微粒排放相關議題，並彈性納入如碳排放權交易等經濟誘因機制的完整決策模式。



圖一、目標規劃模式的執行流程

結語

IMO 繼針對氮氧化物和硫氧化物等空氣污染物擬定減量規範之後，隨即應聯合國氣候變遷公約的要求，就降低源自於海運的 CO₂ 排放，研擬對策與方法。除了透過已然成熟的技術與運轉措施，可望獲致顯著節能減碳效果外，另以市場為基礎的減量工具，尤受矚目。IMO 的策略應該是在全球海運排放上，取得與京都議定書當中工業化國家所訂，相當一致的目標，而船東則可參與合作並履行國際排放權交易。未來各國政府可能普遍對業界施壓，迫使其接受自發性同意書。至於擁有主要具競爭力港口的國家，則可能嘗試採行根據船舶排放密度，訂定差異性港口費用等。

有鑑於此，航運業經營者的相關決策已愈趨困難與複雜，必須同時納入成本、效率、與船舶既有其他系統的相容性等多重考慮因素。以目標規劃建立的整合性減量決策模式可運用於因應此項決策需求。以海運業者所面臨的硫氧化物減

量決策為例，其所能選擇與掌控的決策變數，包括例如海運燃油耗量、船上裝設海水洗滌設施的規模等等；其所關切的目標式則應包括以最小成本達到減量目標、以最小排放量達到營運需求等等；其所必須面臨的限制，則例如既定營運目標、投入資金限額、船舶既定運轉效率因子、船舶空間等。透過過去研究結果及文獻探討建立初步模型，加上藉由與海運業者諮詢、討論，修改成更符合實務所用的數學模式並求解。

建立決策模式需藉由初步設立、蒐集與設立模型參數，再加以不斷修正，以逐步切合實務運用。模型建立初期，以模擬海運業者因應硫氧化物與排放減量的決策作為建構目的，之後將以此模式為雛型，修改成為針對海運業者氮氧化物及溫室氣體減量議題的整合決策模式。而日後將可再進一步修改與整合，建構成的能同時兼顧與權衡硫氧化物排放、溫室氣體排放、氮氧化物及微粒排放相關議題，並彈性納入如碳排放權交易等經濟誘因機制等，最後整合成能兼顧所有源自船舶大氣排放物規範的完整決策模式。

參考文獻

- Aouni, B., & Kettani, O. (2001). Goal programming model: A glorious history and a promising future. *European Journal of Operational Research*, 133(2), 225-231.
- Bode, S., J. Isensee, K. Krause, A. Michaelowa. 2002. Climate Policy: Analysis of ecological, technical and economic implications for international maritime transport. *International Journal of Maritime Economics*, 4(2002):164-184.
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1977). Goal programming and multiple objective optimization. part I. *European Journal of Operational Research*, 1(1), 39-54.
- Corbett JJ, Fischbeck PS, Pandis SN. Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships. *Journal of Geophysical Research*, 1999;104 (D3):3457-3470.
- Corbett, James J. and David S. Chapman, 2003. *Decision framework for emission control technology selection*, Final report submitted to United States Maritime Administration, Phase II deliverable under marine chemist & environmental consultants contract, UD contract award LTR 20020212.
- Emissions trading for shipping 'not enough' to tackle climate change. Europe. Federation for Transport and Environment.
<http://www.transportenvironment.org/Article398.html>, Tuesday, April 17, 2007.
- EU 2007. EU plans shipping emissions cap. Tuesday 17 April 2007.
<http://www.euractiv.com/en/transport/eu-plans-shipping-emissions-cap/article-16>

3229

Hua, Jian and Yihuan Wu, 2009. Assessing Energy Saving and Atmospheric Emission Reduction Opportunities in Marine Shipping Sector: an Empirical Result from Container Liners, International Symposium on Environmental Science and Technology, June 2 to 6, Shanghai, China. Paper# 2357.

IMO MEPC. 2007. Prevention of air pollution from ships. Report of the Intersessional Correspondence Group on GHG Related Issues, submitted by Australia and the Netherlands. MEPC 57/4/5.

IMO MEPC. 2008. Prevention of air pollution from ships. Report of the Working Group on GHG Emissions from Ships. MEPC 57/WP.8.

John Vidal. The Guardian, Wednesday February 13 2008. True scale of CO₂ emissions from shipping revealed.
<http://www.guardian.co.uk/environment/2008/feb/13/climatechange.pollution/pri>
[nt](http://www.guardian.co.uk/environment/2008/feb/13/climatechange.pollution/pri)

Sattler, G. 2000. Fuel cells going on-board. Journal of Power Sources 86(2000)61-67.

Shipping CO₂ emissions worse than thought. 05 Mar 2007, 16:23.
<http://www.sustainableshipping.com/news/2007/03/67156?gsid=c5ab74147eaf9aad89fc9b969c923fe3&asi=1>

Shipping's CO₂ emissions to hit 1.2 billion tones Bunkerworld
<http://www.bunkerworld.com/news/2007/07/68445>

Wang, Chengfeng and James J. Corbett, 2007. The costs and benefits of reducing SO₂ emissions from ships in the US West Coastal Waters, *Transportation Research Part D*, 12, pp.577-588.

王小璠。(民 94)。多準則決策分析 (初版 ed.)。台中市：滄海書局。

北京清華大學作業研究教材編寫組。(民 81)。作業研究(修訂版)。台北：儒林圖書公司。

吳怡萱、華 健，2008，國際海運減碳趨勢，船舶科技，第 36 期。

張乃斌。(民 86)。環境數學系統優化原理。新亞出版社。

張家澤。(民 68)。目標規劃。中興管理顧問公司。

陳慧玲，林基源。(民 73)。目標規劃應用於預算編製之研究。國立中山大學企業管理研究所碩士論文。