

台灣地區國際港口運量需求與分配之研究

摘要報告

交通部運輸研究所

中華民國七十五年六月

台灣地區國際港口運量需求與分配之研究

壹、緒 論

台灣地區屬海島型經濟型態，經濟發展與國際貿易之關係至為密切，而良好的港埠設施與高效率的服務水準可以降低進出口貨物之運輸、倉儲、裝卸成本，縮短船貨滯港時間，提高在國際市場之競爭能力，故為開拓國際貿易業務不可或缺的基本條件之一。

由於港埠設施之新增與擴建所需經費往往相當龐大，為使有限資源能做最有效的運用，任何港埠投資計劃之擬定均宜事先加以審慎的分析、研究與評估，以免產生投資過度或不足的現象，而港口運量需求與分配型態之分析與預測則為擬定港灣發展政策與短、中、長期實質投資計劃之重要基本資料。國內有關港埠運量之預測早期係採各港分別建立需求模式，各別預測，此一方法對台灣地區之情況而言，並不適合。故近年來已改採建立總進出口貨物運量需求模式，預測總量後再分配至各港之方式，此一方法在邏輯上較早期方法合理，但在將總量分配至各港之方法上仍缺乏詳細與深入之研究。本研究主要目的即在：

1. 收集國內外有關港埠運量需求與分配預測模式及方法，並就理論依據及實際應用價值加以分析、評估。
2. 調查分析台灣地區現有國際港口包括基隆、高雄、台中、花蓮、蘇澳等港各類進出口貨物運量需求特性及其分配型態，並進而探討影響需求特性與分配型態之原因。
3. 根據 1、2 兩項分析結果建立適合台灣地區情況之運量需求與分配模式，加以驗證後，再實際應用於預測未來各國際港口各年期各類進出口貨

物之運量。

主要工作項目大致上分為資料收集與調查、資料整理與分析、模式建立與驗證，以及模式應用等四大步驟。茲就其主要內容與方法概述如下：

1. 資料收集與調查：本研究所收集與調查之資料包括：

- (1) 文獻資料：國內外有關港埠運量需求與分配模式及方法。
- (2) 社會經濟資料：可能影響運量需求成長之相關社會經濟資料如人口、經濟成長率、平均每人所得、國民生產毛額、工業生產指數、躉售物價指數等。
- (3) 港埠資料：各國際港口現有設施、裝卸效率、船舶噸位與動態、航線、船期、相關服務業以及歷年各類貨物運量等資料。
- (4) 成本資料：內陸運輸與船舶營運等成本資料。
- (5) 各類貨物內陸起迄點分佈資料。
- (6) 現有內陸運輸路網資料：包括鐵、公路、路段長度、寬度、容量與交通量等特性資料。
- (7) 未來內陸運輸系統之擴建以及港埠發展計劃方案等資料。

2. 資料整理與分析：將上述各項資料加以整理分析歸納，可以得出：

- (1) 各種運量需求與分配模式之優、缺點及其適用情況。
- (2) 港埠運量需求與分配型態。
- (3) 各港現有與未來裝卸能量，以及
- (4) 單位內陸運輸與港埠成本等。

3. 模式建立與驗證：綜合上項分析結果，選擇最適合台灣地區港埠運量需求與分配特性之模式架構，並應用統計方法與實際現況資料加以驗證。此一模式基本上分成需求與分配二個次模式，需求次模式為綫性或非綫性多元迴歸式，分配次模式則為模擬模式。

4. 模式應用：模式經建立並驗證完成後即可應用於預測台灣地區未來各年期各國際港口之運量，預測年期將以民國八十九年為目標年，並分為八十年，八十五年與八十九年三期。本研究並將選擇若干投資方案以個案分析方式說明如何應用分配模式來分析評估方案，最後並提出綜合結論與建議。其工作流程如圖 1-1 所示。

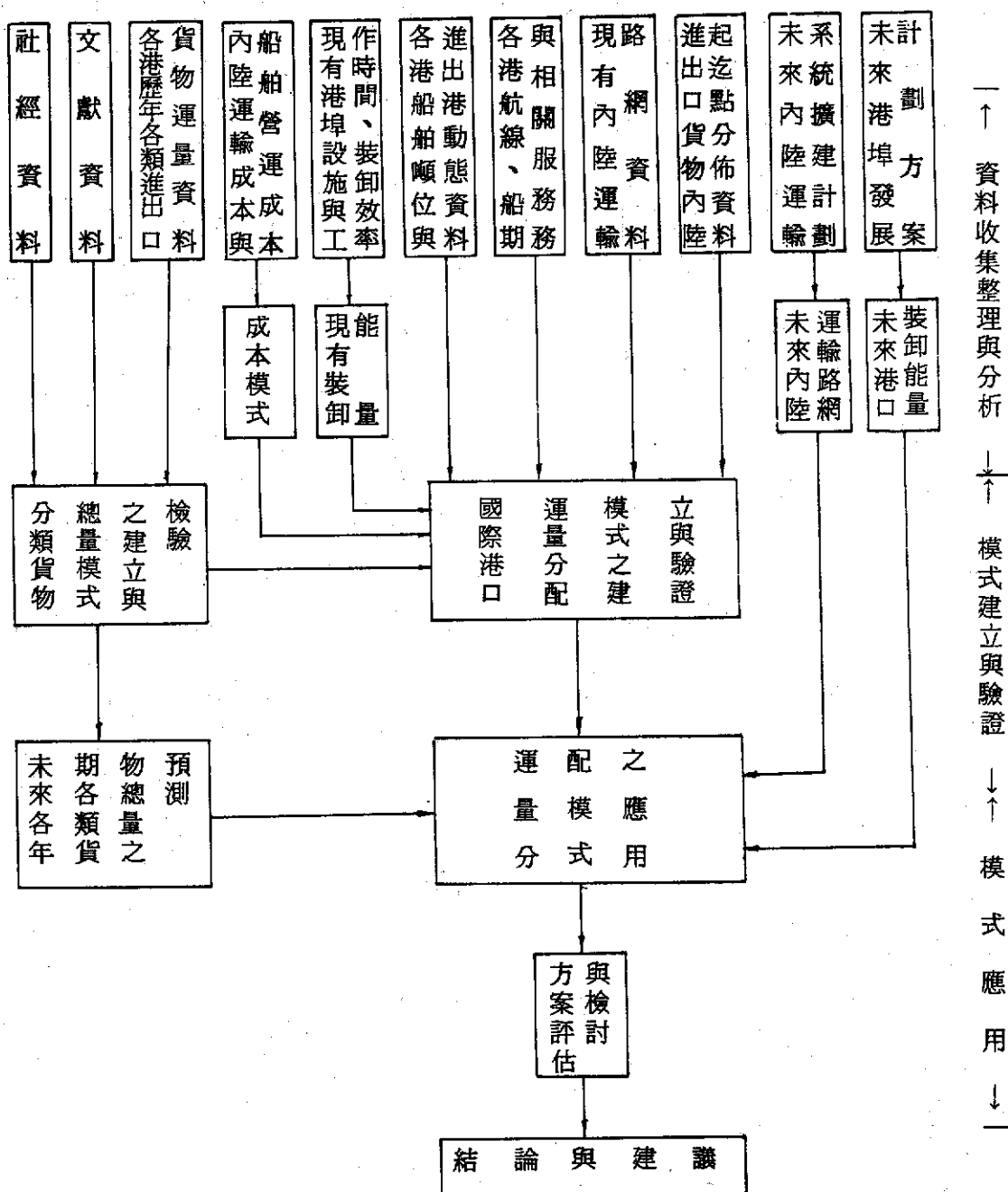


圖 1-1 「台灣地區國際港口運量需求與分配之研究」工作流程圖

貳、台灣地區進出口貨物總量需求預測

綜觀國內外有關港埠運量需求之預測，其預測模式所選擇的解釋變數以及模式型式（線性或非線性）雖有不同，但基本上均係多元迴歸方法之應用。本研究在總量預測方法上亦採用多元迴歸分析法，茲將其主要步驟概略分述如下：

1. 運量資料收集與分類

台灣地區五大國際港口基隆港、高雄港、花蓮港、台中港及蘇澳港，各港由於其地理位置、港口設備及裝卸能量上之差異，加上其經濟腹地、自然資源及人文社會等條件各有優劣，因此進出港口之貨物類型各具特色，本研究之主要目的在於分析及預測台灣地區現有各國際港口進出口貨物需求特性及其分配型態，因此，於建立預測模式之前，必須先就上述五大港口歷年裝卸船貨物之分類資料加以收集。本研究係採用交通部運輸研究所（即原交通部運輸計劃委員會）編印之「運輸資料分析」所彙整之各港口「貨物裝卸分類」為依據。

台灣地區五大國際港口進出口貨物由於類別上的差異，在數量上有其個別的影響因素，成長趨勢更是迥然不同。因此，在資料的類別上宜按其性質作適當的劃分。本研究係配合各港口目前之裝卸作業特性作適當的歸類，合併成貨櫃、穀類、煤炭、原木及其它雜散貨等五大類。

2. 預測方法之探討

台灣地區五大國際港口之貨物裝卸量由歷年資料顯示常有波動，其影響因素頗多，往往亦甚難掌握，但也不外乎以社會經濟之重要指標為其主

要因素。而各項社會經濟重要指標如何影響各類貨物之裝卸量，則可應用統計上迴歸分析建立其關係模式並嘗試予以辨識。

本研究即是採用逐步迴歸分析法 (STEPWISE REGRESSION ANALYSIS)，分別就五大港口合計之各類貨物歷年裝卸船噸數作為因變數。而以對應之歷年社會經濟資料為解釋變數，予以分析比較，而選取較合理之迴歸變數建立預測模式。

為滿足運算技術上之可行性，一般之多元迴歸分析多採線性式，但實際上因變數間之關係難免有非線性狀況之可能性，因此本研究在建立迴歸式時，將各解釋變數之對數值亦一併列入考慮。

3. 解釋變數之選擇

解釋變數之選擇基本上必須考慮資料本身的可靠性及未來推計值之可用性，本研究經遍查國內有關社會經濟資料，初步選定「中華民國台灣地區國民經濟動向統計季報」之「國民經濟重要指標」一表中經濟成長率、工業生產指數、平均每人所得及躉售物價指數等四項為主要解釋變數，再加上「台閩地區人口統計」之台灣地區總人口作為社會經濟變數。又因運量資料之成長趨勢具有時間序列之特性，因此亦將年度設定為本研究之一項變數，合計共五項。

4. 解釋變數之推測

由於社會經濟重要指標之預測涉及國家整體經建發展計畫之擬定，政府最高主管機構行政院經濟建設委員會經常作定期性的預測與修正，因此本研究原則上力求避免自行預測，以免產生不一致的現象，故有關總人口數、經濟成長率、工業生產指數以及平均每人所得等四項變數係引用該會綜合計畫處於民國七十三年八月編印之「中華民國台灣經濟建設中長期計

畫系列報告——中長期經濟建設計畫：民國八十九年（公元 2000 年）國內外經濟初步展望」之預測值。惟其中台灣地區總人口一項由於該項報告中係採取年中人口作計算，但是年中人口之歷年資料不易取得，因此本研究之歷年資料是採用年底人口，對於該項報告之推計人口則依其成長趨勢略作修正再行引用。

至於躉售物價指數一項，因缺乏參考資料，乃依據其歷年成長趨勢，採用時間序列長期趨勢預測方法進行推計。本研究先後試用了(1)算術級數法，(2)幾何級數法，(3)漸增增加率法，(4)正比增加理論，(5)等分平均法，(6)直線最小二乘法，(7)二次拋物線最小二乘法，(8)對數直線最小二乘法，(9)對數二次拋物線最小二乘法，(10)修正冪數曲線，(11)龔伯茲曲線，(12)羅吉斯曲線等十二種預測方法，經過平均離差 (MEAN DEVIATION) 之檢定比較，以(4)正比增加理論最為理想，因此躉售物價指數係採用正比增加理論方法推估，其運算公式為

$$\text{躉售物價指數} = 12.24 \times 1.065431^{(N-40)}$$

其中 N 為年度，並以民國 70 年之 N 值設定為基期

各項解釋變數未來各項預測年期之推計值如表 2.1。

表 2.1 台灣地區社會經濟重要指標預測值

年 度 (民國)	台灣地區 總 人 口	經 濟 成長率	工業生產 指 數	平均每人所得 (美元)	躉售物 價指數
78	20357000	6.60	173.29	3795	136.06
84	21778000	6.20	243.25	5148	199.02
89	22790000	6.20	314.34	6633	273.23

資料來源：行政經濟建設委員會綜合計畫處編印，「中華民國台灣經濟建設中長期計畫系列報告——中長期經濟建設計畫：民國八十九年（公元2000年）國內外經濟初步展望」，民國七十三年八月。

5.預測模式之建立

爲有效掌握預測結果，本研究係以前述之五項分類貨物裝卸量合計噸數作爲因變數，對應民國年度、台灣地區總人口、經濟成長率、工業生產指數、平均每人所得及躉售物價指數等六項作爲解釋變數進行逐步迴歸分析，而在迴歸分析之前，則先進行相關分析，俾獲得有關五大國際港口裝卸運量與社會經濟因素間之相關矩陣，其結果如表 2.2 所示：

表 2.2 裝卸運量與社會經濟因素相關矩陣

社經因素 運量	年 度 (民國)	台灣地區 總 人 口	經 濟 成 長 率	工業生產 指 數	平均每人 所 得	躉售物價 指 數
裝卸貨櫃	9584667	9603146	-269665	9665685	9755656	9214788
裝卸穀類	9764724	9656198	-055071	9763549	9378982	9358282
裝卸煤炭	6767994	65847	-018626	8045153	8308174	7785726
裝卸原木	9101084	8937775	-212072	9599999	9469378	9277046
裝卸其他	9064841	8955205	-034309	9548858	9478059	9341104

由上表得知，除了「經濟成長率」一項自變數與各項因變數呈現負相關係數偏低外，其他各項社會經濟因素均與貨櫃、穀類、原木、其他等四

類貨物類別運量呈正相關且相關係數甚高，唯煤炭一類略低，顯示一般貨物裝卸運量成長趨勢應隨著相關社會經濟因素數值遞增而上升，因此倘在迴歸分析過程中，若出現迴歸係數為負值者，即認定其為不合理，而剔除該項自變數，再進行迴歸分析。

此外，為兼顧非線性迴歸式之可能性，各項因變數亦皆另以轉換對數值之方式求迴歸式並與原值所求迴歸式結果作比較。各項解釋變數除年度一項外，亦皆轉換為對數值併入迴歸之選擇變數項中，總計共十項因變數各與對應之十一項解釋變數進行逐步迴歸分析。

在逐步迴歸分析過程中，必須檢定各選擇變數之信賴度，因此尚需設定顯著水準，本研究分析所採取之顯著水準均設定為 0.05 其迴歸分析結果除煤炭一項因涉及能源政策無法單以社會經濟因素建立適當模式外，其餘各類貨物之總量預測模式如下：

(1)貨櫃：

$$\text{運量} = (-1.712258 \text{ E}+07) + (38,442.04 \times \text{平均每人所得})$$
$$R^2 = 94.8\%$$

(2)穀類：

$$\text{運量} = (-2.622336 \text{ E}+08) + (26,814.4 \times \text{工業生產指數})$$
$$+ (133,768.2 \times \text{年度})$$
$$R^2 = 97.2\%$$

(3)原木：

$$\text{運量} = (9.812611 \text{ E}+8) + (30,806.78 \times \text{工業生產指數})$$
$$- (505,729.3 \times \text{年度}) + (3,907,305 \times \text{LOG of 平均每人所得})$$
$$- (2,436,113 \times \text{LOG of 躉售物價指數})$$
$$R^2 = 99.9\%$$

(4)其他雜散貨：

$$\text{運量} = 2,489,453 + (354,772.7 \times \text{工業生產指數})$$

$$R^2 = 90.9\%$$

6.運量需求預測

經由上述所建立之預測模式，再將各解釋變數各年期之預測值分別代入模式可彙總獲得五港各類貨物裝卸合計運量之預測值如表 2.3 所示。該表中之煤炭預測量則係直接引用經濟部能源委員會於民國75年 3月完成之「長期煤炭供需計劃與卸運儲措施」報告中之預測值。

表 2.3 五港各類貨物裝卸合計運量預測值

年度 (民國)	貨 櫃	煤 炭	穀 類	原 木	其 他
78	128,765,000	15,426,000	8,478,032	936,963	56,578,470
84	180,777,000	25,309,000	11,156,580	322,809	74,736,110
89	237,863,500	30,010,000	13,731,630	202,466	90,137,310

叁、運量分配模式之建立

1. 現有模式之分析與評估

運量分配模式之主要功能在將總進出口貨物運量依照模式所設定之分配準則分配到各個港埠。一個理想的運量分配模式必需能夠將實際影響運量分配的主要因素全部納入模式中。這些影響運量分配的主要因素包括：(1)進出口貨物內陸起迄點分佈型態。(2)內陸運輸網路容量與交通量。(3)港口服務效率、裝卸能量。(4)內陸運輸成本與港埠成本。(5)各港口航線、船期以及(6)其它如海關、船舶代理業與貨運承攬業之差異以及航商貨主之習慣偏好等。

綜觀國內外有關運量分配研究之文獻所採用的方法大致可以歸納成以下三類。

(1) 區域分配係數法：

此一方法係採用經濟腹地的觀念將研究範圍劃分成若干區域。每一區域通常涵蓋若干縣、市轄區（如北部、中部、南部與東部區域等），假定每一區域的貨物均經由該區域內的港口進出，再依據各區域歷年進出口貨物數量以及產業發展情形，預估未來各區域各類貨物之分配係數（佔總量之百分比），以此分配係數乘上總運量即得出各港口之分配運量，此一方法除了貨物之內陸起迄點分佈外，並未考慮其它因素，但由於應用簡單。故在欠缺資料情況下亦常被應用於港埠初步發展計劃之擬定。

(2) 數學規劃法，包括線性與非線性規劃模式：

線性規劃模式早期係用於處理一般化之運輸問題，1970年代始被

引用於港埠規劃，此一模式在已知各地區進出口貨物運量以及單位運輸成本之條件下，可以計算出總運輸成本最小情況下各港口所分配的運量，所考慮的因素除了內陸起迄點分佈型態外雖加入了內陸運輸成本因素，但將單位內陸運輸成本設定為一固定值，未能反映內陸運輸系統中各路段之服務水準常因設計標準與交通量之不同而有所不同，單位運輸成本實際上為一隨路段特性與交通量變動的函數。這是將實際問題過份簡化，故模式分配結果與實際情形常有很大的差異。

英國 Sfeer Davics & Gleave 顧問公司於 1981 年將上述線性規劃模式加以改良而發展出一套非線性規劃模式，此一模式之特色在於其目標函數除考慮內陸運輸成本外又加入了港埠成本，而港埠成本可以視使用情況特性及需要設定為等待成本或包括等待成本與裝卸成本，等待成本之計算需先根據各港口船舶抵港及服務特性選擇適當的等待模式 (Queueing Model) 計算出等待時間，然後以船舶單位時間成本換算成等待成本。由於等待成本通常係運量的非線性函數，故模式之型式即由線性變成非線性。至於非線性規劃模式之求解，由於較線性模式複雜故需應用系統均衡的觀念，以搜尋法反覆尋求均衡點之各港運量。此一模式將港埠成本納入考慮，間接處理了部份港埠服務水準與容量限制對運量分配的影響，較線性規劃模式已有顯著的改善，但仍未能突破固定內陸運輸成本之假設限制，亦未考慮各港條件之差異（航線、船期）。此外，等待時間之計算以數學模式計算並不一定能適用所有的港埠情況。

(3) 系統模擬法：

欲克服上述模式的限制，而將所有影響因素均納入考慮，惟有嚐試使用模擬方法。就本研究所收集的有關文獻中，除了麻省理工學院教授 E. G. Frankel 等曾於 1973 年提出一個多目標港口與多港埠設施之模擬模式架構外，迄未見其它有關這一方面的研究。該一模式架構在目標函

數中考慮了內陸運輸成本、港埠擁擠成本營運成本、設施成本以及開闢航線之固定成本等，可以同時求出最適當的港埠數與各港運量，惟由於模式相當複雜，求解十分困難，而且該項模式設計目的與一般的運量分配模式亦不盡相同。僅能提供觀念上的參考，並無實際應用價值。

2. 模式架構

建立一個模式最重要而基本的原則就是儘量符合實際情況。根據上節的分析現有運量分配模式中無論就理論或實際應用經濟而言，均以非線性規劃模式較為理想，而在計算非線性模式之等待成本的方法上，系統模擬法通常又優於數學等待模式 (Mathematical Queueing Models)，但無論使用數學方法或數學與模擬之綜合方法，非線性規劃模式基本上係假設單位內陸運輸成本為一個定值，而實際上一個完整的內陸運輸網路通常係由各種不同功能與設計標準之道路所組成，不同等級道路所提供的服務水準就不同，加以各路段上之交通量亦非相同，且進出口貨物在港埠間重新分配時亦令導致各路段交通量與服務水準之變化，故內陸運輸成本並非為一個定值。此外，非線性規劃模式亦無法考慮各港自然條件之差異以及航商貨主習慣等其它影響因素。本研究所建立的模式係以非線性規劃模式架構為基礎再針對上述缺點加以改善而成，在目標函數的設定上仍然以內陸運輸成本與港埠成本為總成本，對於等待時間的計算則採用系統模擬法，惟為考慮，內陸運輸成本之變動問題本模式係採用交通量指派法 (Traffic assignment) 來處理運量的分配，是此一模式的重大特色。由於交通量指派的原理係在模擬駕駛人對路線選擇的行為，故本質上為一模擬模式。此外在實際應用時倘若各港之自然條件如航線、船期等有顯著的差異，足以影響航商貨主之選擇行為時本模式可以在經過驗證後，加以適當的處理，使得模式的分配結果更符合實際情況。

模式之架構如圖 3-1 所示，其作業流程以出口貨物為例，當各分區之貨物量轉換成交通量後，即透過交通量指派模式，指派到各港埠，再將各港埠的指派交通量，轉換成貨物量，加上由鐵路承運的貨物量，其和即為各港埠之運量。各港將此運量裝載於船舶所需之碼頭佔用率，可依各港埠之碼頭作業指標算出，再透過港埠模擬模式即可估算，已知碼頭佔用率下之船舶等待時間與等待成本。此等待成本係因此運量而產生，故應由運量平均承擔；單位運量所承擔的船舶等待成本，即構成一虛擬路徑，將此虛擬路徑加入交通路網，使成為路段之一環，再重新將分區之貨物交通量透過交通量指派模式，分配至各港埠。當前後兩次之港埠運量達成均衡，系統即趨穩定，如再行指派，運量亦不再變動，此時之指派量，即為各港之最適當運量。

此一運量分配模式，包含兩個次模式：

(1) 交通量指派次模式

交通量指派之原理，在於模擬車輛駕駛人對路線的選擇，其主要步驟包括三個階段，首先是決定車輛駕駛人選擇路線的準則，其次再依此準則選擇各旅次起迄需求所經之路線，最後將各旅次指派於所選定的路線上，並將各路段與路線之旅次予以加總。

為配合研究需要，本次模式在應用上，與一般交通指派，略有不同。一般的交通量指派，是在已知來往於各交通分區間之旅次需求情況下，將這些旅次分派到研究地區的道路路網上。本研究則是在起點為已知，而迄點未定，且道路路網上已有交通量的情況下，將旅次依設定之選線準則指派到路網，流向五個國際港埠之一。由於考慮道路之流量因素，及運輸成本之最小化，本次模式係採用逐次指派法並以最短行車時間為選線準則。

(2) 港埠模擬次模式

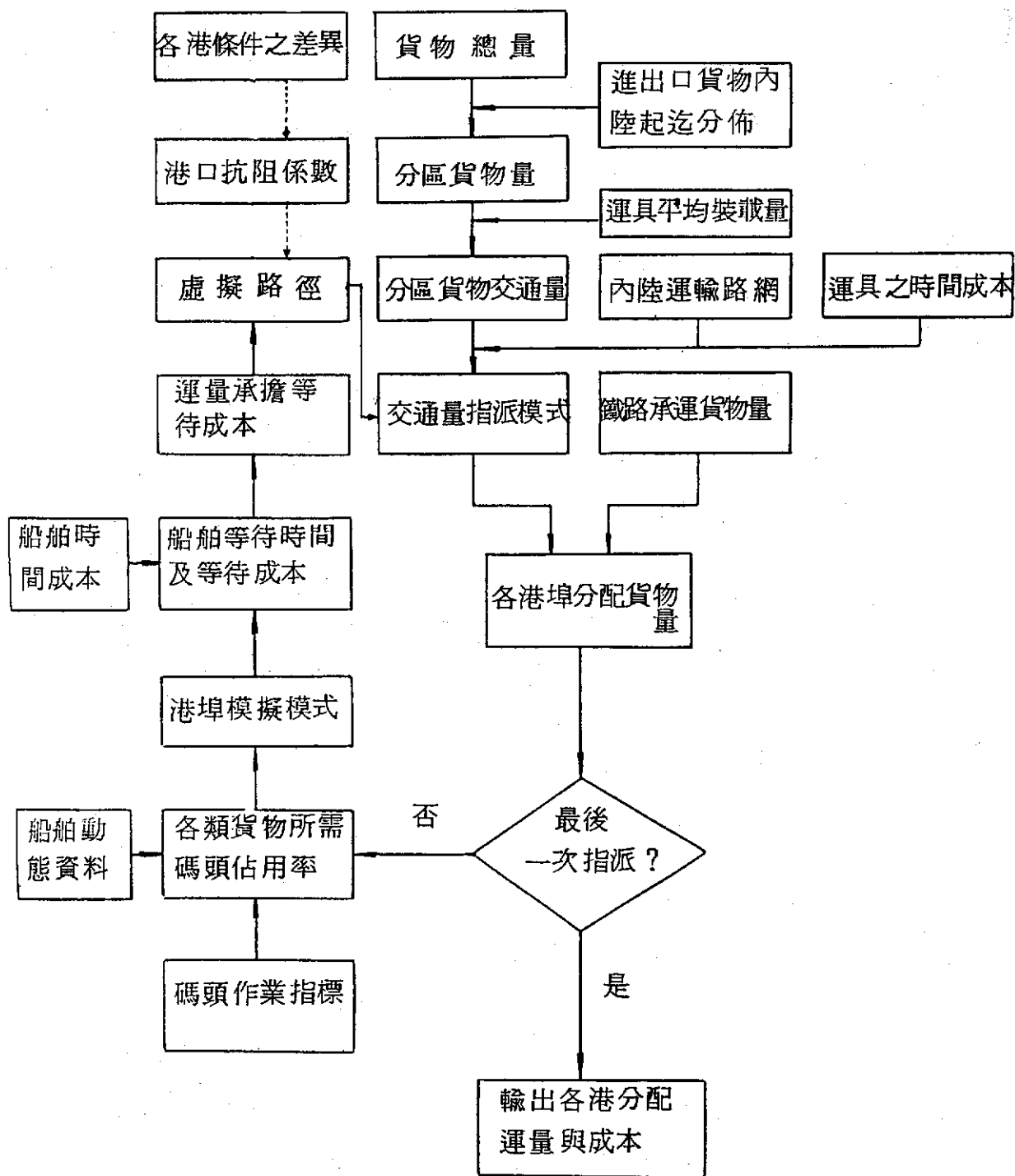


圖 3-1 運量分配模式作業流程

港埠模擬模式之主要功能原在計算不同碼頭船席數，船舶平均到達率與到達時間分佈，以及服務時間分佈情況下之船舶等待時間與碼頭佔用率。由於交通量指派作業需要的是碼頭佔用率與等待時間的關係，故本研究在應用此一次模式之技巧上係以有系統的變更船舶到達率的方式模擬得出多組在不同船舶平均到達率情況下的碼頭佔用率與等待時間，再利用迴歸分析的方法建立兩者的關係式。

3. 模式輸入與輸出

本模擬模式所需要之輸入資料如下：

1. 進出口貨物總量。
2. 進出口貨物內陸起迄分佈。
3. 內陸運輸路網。
4. 運具平均裝載量。
5. 運具之時間成本。
6. 碼頭作業指標（各類碼頭毛裝卸效率）。
7. 船舶時間成本。
8. 船舶動態資料。

模式之輸出結果則為各港之分配運量以及總成本，包括內陸運輸成本以及港埠成本。

肆 運量分配模式之驗證

1. 輸入資料之收集整理與分析

本研究所需資料數量甚為龐大，部份資料如分區貨運量通常需投入大量人力、物力與時間從事調查，非短期內所能完成。故本研究經全盤考量各項資料取得之可行性後，決定以民國72年為基礎年。茲將所收集之各項資料概述如下：

(1) 基本資料：

① 分類貨物總量：

此項資料係根據交通部運輸研究所「運輸資料分析」之統計資料以及各港務局所提供的資料而整理成穀類、雜散貨以及貨櫃三大類，並以重量噸為單位。

② 分區貨運量：

分區貨運量資料的取得通常需花費大量的經費與時間從事實際調查。本研究由於時間與經費的限制無法從事調查，而係引用交通部運輸研究所於修訂台灣地區整體運輸計劃所收集之民國72年貨物起迄資料加以重新整理並將交通分區由55個歸併成26個而得出各類貨物起迄分配比例。

③ 運具平均裝載量：

運具平均裝載量是將分區貨物量化為分區貨物交通量之重要因素。貨櫃之平均裝載量係以過去11年來進出口實櫃數與貨物重量之關係折算。

穀類與雜散貨則根據台中港倉儲公司的統計，其平均載重量為穀類約10公噸，雜散貨物為8公噸。

④運具之時間成本：

有關時間成本的研究除了交通部運輸研究所於民國67年所做的「台灣公路車輛行車成本調查報告」外，迄無任何更新的資料可資參考。交通部台灣區國道高速公路局於「台灣北部區域第二高速公路計畫可行性研究報告——運輸規劃報告」中，車輛之成本分成時間價值與距離價值，而部份並以物價指數與工資率將民國67年資料轉換成民國72年之現值。本研究係採用高速公路局之計算方法，以運輸研究所之調查資料為基礎，將營業大貨車與營業貨櫃車之時間成本轉換成民國72年之現值。

⑤內陸運輸路網：

由台灣省公路局之全省道路交通量調查資料顯示，擔負內路運輸重任的公路，主要為省道以及部份地方性道路，與高速公路之聯絡道路。本研究之路網係選擇聯接五大國際港口與二十六個分區重心之主要道路，包括高速公路、省道及若干重要之地方道路。凡道路交叉可供駕駛人變換路徑之處均定為結點。連接兩結點間各個路段之容量係先由台灣省公路局「民國72年全省公路交通量調查」資料中取得道路寬度，再依據「台灣地區省道暨重要縣鄉道路線修正設計規劃標準暨設計交通容量表」，計算得出容量。

路段之日交通量，則由台灣省公路局之公路交通量調查資料直接找出每一路段之分類車輛交通量（包括大貨車與貨櫃車），假設貨櫃車均從事進出口貨物之運輸；而大貨車則以交通部運輸研究所「民國72年貨物起迄點調查」資料中各分區之進出口貨物所佔該分區之貨物流動總量百分比，作為進出口運輸比率。自每日交通量中扣除全部貨櫃車以及進出口運輸之大貨車數量，即得出指派前路段交通流量。

路段之零流量行駛時間則參照交通部運輸計畫委員會「台灣地區公路行駛時間調查」中所載各路段之速率限制，做為最高行駛速率，再以路段長度除以該項速率而算出上述之路網基本資料。

(2) 港埠資料

① 碼頭作業指標：

所謂碼頭作業指標，即是平均毛裝卸率，係依據港務局所提供之船舶動態資料與交通部運輸研究所「運輸資料分析」資料，得知民國72年各港各貨種船舶停靠碼頭之總時間，與所裝卸之貨物量而計算得出。

② 船舶到達時間間隔與服務時間之分配：

此項資料係由各港所提供民國72年船舶動態原始資料整理而得出。其中基、高兩港由於進港船舶數量龐大，故基隆港僅抽取半年（1. 2. 3. 8. 9. 10. 月）高雄港則抽取四個月（1. 4. 7. 11. 月）之資料加以分析，其餘台中、蘇澳、花蓮三港則採用全年資料。依據所抽取之樣本船舶分別計算其抵港時間間隔以及停靠碼頭時間並加以分組後應用統計方法，檢定其是否符合某些數學分配型態（本研究係選定常態、負指數以及伽瑪三項分配）。

③ 船舶時間成本：

船舶時間成本係指船舶在單位時間內所需支出的各項成本，係收集船公司有關各項成本資料應用經濟分析方法計算而得。

④ 各港航綫、船期：

依據交通部統計月報資料之各港定期與不定期航綫、船期加以分析比較各港之差異。

2. 模式驗證

模式驗證的目的主要在檢驗模式之輸出結果與實際系統之誤差程度，以驗明模式的可信度及其實用性。一般模式驗證的方法除在模式建立過程中需對模式架構之邏輯，基本假設以及理論根據等反覆檢討外，模式建立完成後尚需選定一基礎年，收集實際的輸入與輸出資料，將輸入資料代入模式，以所得的輸出結果與實際資料加以分析比較，倘若兩者的誤差超出允許範圍則需重新修正模式，直到誤差程度在設定的允許範圍內為止，才能進步應用模式做分析評估的工作。

(1) 港埠模擬模式之驗證

港埠模擬模式之功能在計算已知碼頭數、船舶平均到達率與到達時間分配以及停靠碼頭時間（服務時間）分配情況下之船舶等待時間以及碼頭使用率（或總佔用碼頭時間）。本研究基本上係假設港埠碼頭作業專業化，而無互相混用之情形，但就船舶動態原始資料加以分析結果顯示各港埠主管單位在實際船席指派作業上為提高碼頭使用率，縮短船舶滯港與等待時間，並無法避免混用之情形發生，尤其以專用碼頭數較少如穀類碼頭等為然。此外在港口有大量船舶同時進港，閒置碼頭不夠分配時亦常有二船同靠一個碼頭或三船同靠二個碼頭之情形發生，這些情況就港埠實際作業觀點而言有其必要。故在輸入碼頭數時如不考慮這些情況，常會產生碼頭使用率超過 100 % 之不合理現象，為符合實際作業情況，本研究係以船席數而非碼頭座數作為模擬模式之輸入資料。

由於港埠模擬模式已經過相當多的研究文獻加以驗證，本研究又因時間有限，故僅選擇基隆港之穀類船與台中港之貨櫃船加以驗證，將兩港相關的實際資料分別輸入模式得出輸出結果並與實際資料比較結果顯示模式輸出值與實際值誤差甚小，證明本研究所建立的模擬模式確實足以描述港埠的作業情況。

(2)分配模式之驗證：

將前述有關各項基年資料輸入模式所得輸出之各國際港口分配運量與各港72年之實際貨物裝卸量比較結果略有差異，主要原因在於模式輸入資料中尚未加入港口條件之差異因素。由於航商貨主在選擇港口時所考慮的因素除總運輸成本以及港口裝卸能量與效率外，各港口之船期航線等條件亦為重要的影響因素，而且台灣地區五大國際港口這些條件目前有相當大的差異。為使模式更能符合實際情況自應對這些因素做適當的考慮。由於這些因素的差異很難準確的量化，本研究係採用模式校核 (calibration) 的觀念將這些因素之綜合影響以一參數值表示稱為港口抗拒係數 (impedance factor)，條件愈差的港口抗拒係數愈大，並以試誤方式 (trial & error) 經多次的修正各港抗拒係數值，直到模式輸出結果與實際量接近為止。校核結果如表 4.1。

表 4.1 顯示將代表港口航線、船期以及其它影響貨主選擇港口之綜合因素以阻抗係數方式納入模式考慮後，模式之輸出結果與各港實際運量之誤差百分比 除台中港貨櫃運量外最高僅為 7.6 %。台中港貨櫃運量之誤差百分比雖高，但就誤差數量而言，只有三千多 TEU，佔總進出口貨櫃數量比例微乎其微，可以忽略不計。校核所得之各港口阻抗係數值就貨櫃貨物而言以台中港最高，基隆港次之，高雄港最小，表示在貨櫃貨物方面以高雄港之條件最佳，基隆港次之，台中港之條件最差。穀類之阻抗係數以台中港最小，高雄港次之，基隆港又次之，雜散貨則以高雄港最低，台中港與基隆港次之。花蓮港與蘇澳港由於沒有穀類與貨櫃專用碼頭，故其阻抗係數在模式中均設定為 9999，以防止該兩種貨物流向蘇、花兩港。

如將加入阻抗係數前後之模擬結果加以比較，可以發現在不加阻

表 4.1 各港埠加入阻抗係數後之分配運量

貨種別 進出口別		穀類 (公噸)		雜散貨 (公噸)		貨櫃 (TEU)	
		進 口	出 口	進 口	出 口	進 口	出 口
基隆港	阻抗值	90	70	80	155	90	100
	模 式	547.980	0	3,595.287	827.958	467.115	451.087
	實 際	565.905	0	3,607.374	854.929	452.048	451.899
	誤 差	3.2 %	0	0.3 %	3.2 %	3.3 %	0.2 %
台中港	阻抗值	110	0	0	146.5	150	150
	模 式	1,403.863	195.210	2,638.840	344.320	522	0
	實 際	1,360.790	195,347	2,731.146	320.077	3.985	3.063
	誤 差	3.2 %	0.1%	3.4 %	7.6 %	86.9 %	100 %
高雄港	阻抗值	0	45	0	0	0	0
	模 式	2,923.373	0	4,796.805	4,275.132	594.985	622.470
	實 際	2,952.912	0	4,693.358	4,262.138	587.800	617.523
	誤 差	1.0 %	0	2.2 %	0.3 %	1.2 %	0.8 %
蘇澳港	阻抗值	9.999	9.999	0	20	9.999	9.999
	模 式	0	0	1,323.394	1,318.856	0	0
	實 際	0	0	1,323.533	1,318.859	0	0
	誤 差	0	0	0	0	0	0
花蓮港	阻抗值	9.999	9.999	0	0	9.999	9.999
	模 式	0	0	891.536	1,886.673	0	0
	實 際	0	0	891.774	1,886.564	0	0
	誤 差	0	0	0	0	0	0

抗係數之情況下，台中港所分配的雜散貨與貨櫃進出口運量均遠較實際運量高出甚多，表示如果台中、高雄、基隆三港條件均無均差，應有相當多的貨物流向台中港，因這些貨物均在台中港的經濟腹地範圍之內，但由於台中港條件實際上不如基、高兩港，因此造成該港經濟腹地範圍內甚多的貨物流向基、高兩港。至於蘇澳、花蓮兩港無論是否考慮阻抗係數兩港所分配的雜散貨運量均無明顯的差異，顯示西部與東部地區由於天然地形的阻隔，兩地間內陸交通之不便，該兩港經濟腹地範圍內之貨物流向其它港口或西部地區之貨物流向該兩港之情形甚少發生，亦與實際情況甚為符合。

綜上所述應可反映本模式在處理港埠進出口貨物運量分配上，確實具有說明之能力。

伍、運量分配模式之應用

由於運量分配模式具有能夠預估任何輸入資料或參數值改變後之運量分配與總成本之基本功能，故可以實際應用於分析比較各種港埠短期營運改善計劃（不同之裝卸效率），以及中長期擴建計劃（不同之碼頭船席數），或內陸運輸系統改善計劃（不同之內陸運輸網路）等對於港埠運量分配以及總運輸成本之影響。如果有投資計劃之成本資料更可進一步應用工程經濟分析方法做為之評估各種投資方案效益之工具。為進一步說明模式之應用方法，本研究以民國八十九年（目標年）之總量預測值為基礎，選擇若干方案做為分析的實例。

個案分析所需之各項目標年資料，進出口貨物總量本研究已加以預測，內陸運輸路網資料以及各港口各類碼頭數則依據行政院經建會所擬訂之「台灣地區中長期經濟建設計劃」中有關公路以及港埠投資計劃完成後之情形重新輸入。至於其它預測年輸入資料如內陸起迄分佈，運具平均承載量與時間成本、碼頭裝卸效率、船舶時間成本等，由於資料取得不易或在短期間內無法逐項分析預測，因此在個案分析時仍然沿用基礎年資料。

將上述各項資料輸入模式所得民國89年各港進出口運量。顯示雜散貨除花蓮港外，各港之分配運量均略超過其估計裝卸能量，貨櫃方面除高雄港外，其餘各港亦均呈現裝卸能量不足之情況，此係由於貨櫃貨物貨源集中於北部地區之數量甚大的緣故。而最重要的結果則為在民國89年之前除穀類碼頭外，倘若除了中長期經建計劃所列之已定計劃外，不另增建雜散貨與貨櫃碼頭，則台灣地區西部三港將發生港口擁擠的嚴重情況。由於東部與西部地區之貨物相互流動的可能性不高故在估算應增建碼頭數時宜將東部與西部地區分別考慮。將預測的運量與估計的碼頭裝卸量比較結果初

步概估在民國 89 年之前西部地區至少需再增加雜散貨碼頭 17 座，貨櫃碼頭 5 座方能配合運量之需要。至於增建碼頭的地點由於台中港與高雄港仍有擴建的餘地，北部新港之可行性亦正進行研究中，可能的方案很多，無法一一加以分析評估，本研究僅研擬三項主要方案即(1)全部在北部新港增建(2)全部在台中港增建以及(3)分散在高雄、台中以及基隆（或北部新港）三處。每一主要方案並再分為二種情況加以模擬，共計六項小方案。茲將各方案模擬結果分述如下。

1. 方案 1：在北部新港增建

本案係在開闢北部新港的工程技術上沒有困難的假設前提下而研擬。由於規劃中的新港位置緊臨基隆港，本案在處理技巧上視該等碼頭的增加如同基隆的擴建，則可應用港埠模擬次模式得出碼頭佔用率與等待時間之關係。

(1) 各港之條件與基年相同

將以基年資料校核模式所得之各港阻抗係數以及預測年之各項輸入資料代入模式顯示在基隆港增加 5 座貨櫃碼頭後各港之貨櫃運量均未超過其裝卸能量。高雄港之貨櫃碼頭平均使用率將降低至約 60%，而蘇澳港僅為 10%，表示原來使用蘇澳港之大部份貨櫃將改為使用新港。故新港開闢後對蘇澳港之貨櫃碼頭將發生嚴重的影響（僅有約 7,000 TEU）。

雜散貨方面，在北部地區增加 17 座碼頭後運量將接近其裝卸能量，但台中與高雄兩港仍然會發生輕微之容量不足現象，蘇澳與花蓮兩港則有甚大的剩餘能量。顯示在北部地區增建 17 座雜散貨碼頭仍然不足以容納西部地區之雜散貨運量。但由於貨源內陸分佈型態的關係，如全部集中在北部地區，將使更多的蘇澳港運量轉移至新港，造成舊港之碼頭閒置，投資浪費，故以分散在台中港或高雄港較為適宜。

。運量分配模式之輸出資料除運量外，尚有內陸運輸成本，港埠成本以及二者合計之總成本，但因理論上運量趨近容量時，等待時間變成無限大，等待成本亦變成無限大而不具意義，因此只計算出本方案之總內陸運輸成本為 4,178 百萬元。

(2) 台中港與蘇澳港之貨櫃條件改善至與基隆港相同

即改善台中港與蘇澳港在模式中之抗拒係數值與基隆港相同，輸入模式，其結果與方案 1—(1) 比較發現穀類、雜散貨之分配幾無變化，而蘇澳港之貨櫃條件即使改變，亦未能使其貨櫃運量增加，但台中港運量則將顯著增加，至達其飽和容量，而基隆港之貨櫃量則將減少約六萬五千 TEU。顯示台中港之貨櫃條件如能加以改善，可以達到分擔基隆港運量，疏解基隆港擁擠效果。至於如何改善則不在本研究探討範圍之內，本案之總內陸運輸成本為 4,255 百萬元。

2. 方案 2：在台中港增建

在台中港增建 17 座散雜貨碼頭與 5 座貨櫃碼頭。

(1) 各港之條件與基年相同

模式輸出結果顯示在雜散貨方面，在台中港增建碼頭可以使運量分配較方案 1 平均，因基隆、台中兩港之運量均未超過裝卸能量，但高雄港之雜散貨仍有容量不足之情形，而蘇澳、花蓮則有過多的剩餘能量。

在貨櫃方面，因增加之碼頭移至台中港，致基隆港與台中港發生容量飽和的現象，而高雄港之運量則與方案 1 幾乎相同仍然維持於 60% 之平均使用率，蘇澳港之運量亦無增減。本案之總內陸運輸成本為 4,725 百萬元。

(2) 台中港與蘇澳港貨櫃條件改善至與基隆港相同

輸出結果顯示穀類與雜散貨之分配與方案 2—(1) 比較並無明顯差

異，但在貨櫃運量方面，北部地區之貨源平均流向基隆、台中兩港，在指派量為 90 % 時基隆港產生容量飽和，指派量為 95 % 時，台中港亦產生飽和的現象，使得剩餘的貨櫃全部流向蘇澳港，使蘇澳港之運量大為增加，而高雄港之運量則無明顯的改變。

3. 方案 3：分散增建碼頭

經由方案 1 與方案 2 之分析結果顯示雜散貨與貨櫃碼頭無論全部在北部或中部增建高雄港仍將發生雜散貨碼頭能量不足而貨櫃碼頭能量過多的現象，但比較方案 1 與方案 2 之輸出結果發現貨櫃碼頭以設在北部，雜散貨碼頭以設在中部，會使運量分配的結果較為平均。依據上述分析結果茲以分散設置的原則研擬第三個方案為 5 座貨櫃碼頭設在北部，17 座雜散貨碼頭分別設在台中港 10 座，高雄港 7 座。

(1) 各港之條件與基年相同

模式輸出結果顯示雜散貨碼頭分散增建後，各港所分配的運量均未超過其卸能量。貨櫃運量之分配亦同樣未超過各港之裝卸能量，惟基隆與台中兩港之平均使用率將分別高達 92 % 與 96 % 而高雄港僅為 61 %。本案之總內陸運輸成本為 4,038 百萬元，比方案 1 - (1) 之 4,178 百萬元以及方案 2 - (1) 之 4,725 百萬元均較為減少。

(2) 台中港與蘇澳港之貨櫃條件以及裝卸效率改善至與基隆港相同

即將台中與蘇澳兩港之抗阻係數以及碼頭作業指標（毛裝卸效率）改成與基隆港相同而輸入模式，將其輸出與方案 3 - (1) 比較結果顯示在穀類與雜散貨方面各港所分配的運量幾乎均無變化。貨櫃方面，由於台中港條件與裝卸效率的改善與提高，其運量與容量均增加約一倍，使得基隆港與高雄港之碼頭使用率分別降低至約 88 % 與 57 %。本案之總內陸運輸成本為 3,720 百萬元，較前述各方案均有顯著的減少。

陸、結論與建議

台灣地區面積狹小，港口與港口間之距離不長，加以內陸運輸系統自高速公路通車後更為便捷，各國際港口基本上係處於相互競爭狀態（少數特殊貨物如花蓮港之礦石等除外），尤以西部地區之三港為然。故預測台灣地區之港埠運量無論就理論或實際觀點而言，宜採二階段式之預測方法，即先預測總進出口貨物運量，再以適當的分配模式將總量分配至各個國際港口。本研究即係採用此一方法首先以迴歸分析方法建立分類貨物總量需求模式，並預測未來各年期之各類貨物總量，再分析一般航商貨主在選擇港口時實際上所考慮的各項因素，據而建立運量分配模擬模式，並以個案分析方式應用於分析比較港埠發展計劃方案。茲將本研究所獲致之主要結論與建議綜合歸納如下：

1. 結論

- (1)就總量需求模式而言，本研究共選擇總人口數、經濟成長率、工業生產指數、平均每人所得、躉售物價指數等五項社會經濟變數，加上時間因素共計六項解釋變數，並配合各國際港口目前碼頭裝卸作業特性將所有進出口貨物歸併成貨櫃、穀類、煤炭、原木以及其它雜散貨等五大類，應用逐步迴歸分析方法建立各分類貨物之總量需求模式，分析結果發現除經濟成長率，由於歷年起伏變化太大外，其餘各項社會經濟變數與分類總進出口運量之間均有很高的相關性。所建立的分類貨物總量需求模式經檢定結果除煤炭一項外，都有很高的解釋能力（ R^2 值在 0.9 以上）。煤炭由於受國際油價波動以及國內能源政策等因素之影響甚大，單僅考慮社會經濟層面因素所建立之需求模式其解釋能力因而不很理想。因此宜考慮加上能源政策等因素另作預測。利用所建立之總量需求模式所預測之台灣地區未來各年期各類貨物之總

量如表 2.3。

- (2)影響港埠運量分配的主要因素包括：①進出口貨物內陸起迄點分佈型態②內陸運輸路網容量與交通③港口裝卸效率與能量④內陸運輸成本⑤港埠成本⑥港口航綫、船期以及其它如海關、船舶代理業與貨運承攬業服務品質之差異與航商貨主之特殊偏好與習慣等，一個理想的運量分配模式應將這些因素盡量考慮納入。綜觀國內外有關運量分配研究文獻所採用的方法無論區域分配係數法、數學規劃法、非數學規劃法，以及非數學規劃與模擬之混合使用法均有值得進一步改善的缺失，本研究嘗試將一般都市運輸規劃所常用之交通量指派原理加以修正應用於港埠運量分配，並與港埠作業系統模擬模式結合建立一個以模擬於法為本質的分配模式，並收集實際資料加以驗證，結果證明可以有有效的應用來處理台灣地區之港埠運量分配問題，茲將本模式之特點與上述各種分配模式列表比較如下：

模式類別	考 慮 因 素					
	進出口貨物內陸起迄分佈	內陸運輸路網容量與交通量	內陸運輸成本	港埠成本	港口裝卸效率與能量	港口航綫、船期及其它
本研究模式（模擬模式）	○	○	○	○	○	○
非綫性與模擬混用	○	×	○	○	○	×
非綫性規劃	○	×	○	○	○	×
綫性規劃	○	×	○	×	○	×
區域分配係數	○	×	×	×	×	×

(3)將所建立的運量分配模式經過驗證後應用於個案實例分析結果獲致以下各項初本發現：

①行政院經建會在中長期經濟建設計劃中所列的港埠擴建計劃完成後仍將不足以因應至民國89年之運量需求，至少尚需再增加貨櫃碼頭五座，雜散貨碼頭十七座。

②從節省內陸運輸成本減少內陸運輸系統之負荷，以及均衡各港口運量分配之觀點而言，上述碼頭的設置無論全部集中在北部地區或中部地區均不如分散設置在北部、中部，以及南部三地有利。惟在決定港埠發展策略時除了上述因素外尚需考慮各港擴建工程技術可行性（包括增建新港）工程成本，以及增加航綫、船期之可行性等其它因素，全盤衡量其利弊得失始宜做最後的決定。

③花蓮港如按第四期擴建計劃實施在民國89年時該港將擁有25座雜散貨碼頭，依運量分配模式預估其碼頭平均使用率僅約34%，為避免投資成本閒置實宜進一步詳細評估，延緩其投資時間。

④高雄港在預定於民國80年實施之第五貨櫃中心7座貨櫃碼頭完成後，在民國89年將有貨櫃碼頭25座，然經由分配模式預估結果屆時該港貨櫃碼頭平均使用率僅約67%，顯示除非有其它政策性考慮，如發展貨櫃轉儲業務或其它港口不再繼續發展貨櫃運輸，否則該項計劃似亦可稍為延後實施。

(4)本計劃所建立的運量分配模式可以實際應用於分析比較各種港埠短期營運改善計劃以及中長期擴建計劃，或內陸運輸系統改善計劃等對港埠運量分配之影響。如配合其它成本資料分析更可做為評估各項投資計劃於案之工具。

2. 建議

(1)本研究所建立的運量分配模式由於係採用逐次指派法之原理，故在應

用過程中發現會有分配運量略為超過港埠裝卸能量之情形出現。由於理論上運量趨近容量時等待時間亦趨近無窮大，等待成本亦變成無限大，使得港埠成本之計算變成無意義。解決此一問題之方法似可改採用容量限制指派法之原理替代逐次指派法，限制使分配之運量不能超過容量，或研訂一最高碼頭使用率。本研究因時間所限未能加以修改，僅在指派次數上由原來分 10 次增加為 20 次以減少超過容量之數量。建議未來應針對此一問題對模式做適當的修正，使其更臻完善。

- (2) 本研究之運量分配模式應用實例分析主要目的係在說明模式應用之範圍與方法，加以研究時間與經費有限，故預測年之輸入資料如內陸起迄分佈型態，運具平均承載量與時間成本，碼頭裝卸效率，船舶時間成本等均假設與基礎年相同，故所得結論僅能視為初步結果。如欲獲得更詳確之結論，建議對上述之預測年輸入資料做詳細之收集分析與預測。
- (3) 本研究之預測運量如與各港裝卸能量合併使用可以做為研擬或修訂未來港埠發展策略或初步發展計劃於案之基本重要參考數據，如欲進一步評估各項初步發展計劃方案，包括是否興建深水港以及港址之選擇等，建議除對上述模式修正與資料收集兩項建議繼續研究外，在工程技術可行性以及成本估計等各方面之工作亦需同時配合進行。