

我國港口貨櫃航網變化之研究

The study on Container Shipping Network

運輸工程組 許修豪

研究期間：民國111年2月至111年12月

摘 要

本研究回顧航線規劃相關文獻，並由本所國際海運資料庫航線資料，以遠東(316 個港口)、地中海(148 個港口)、中東印巴(75 個港口)、紐澳(83 個港口)、北美(76 個港口)、歐洲(300 個港口)，合計 820 個港口之 2017~2022 年航線資料為分析標的，應用社會網絡分析法嘗試分析航網變化，以量化方式呈現港口間之連結狀態。本研究所呈現中介中心性分析結果，與實際航網中港口轉口狀況大致相符。以 2017~2022 年，全球 820 個港口航線數資料分析，中介中心性數據顯示，新加坡、鹿特丹、上海、釜山、希臘比雷埃夫斯港為航網中主要之轉口港口，其轉口角色穩定。高雄港之數據顯示轉口角色持續降低。建議可進一步進行敏感度分析，探討新闢各類航線對於高雄港轉口功能之影響，並擬定相關獎勵策略。

關鍵詞：

貨櫃航網、社會網絡分析法

我國港口貨櫃航網變化之研究

一、前言

亞洲區域之港口競爭激烈，尤其區位相近的港口間之貨量競逐更是日益激烈，依 Alphaliner 2021.12 數據顯示，廈門港 2021 年前三季貨櫃裝卸量成長較前一年同期增加 7.8%(同一資料來源高雄港為增加 3.0%)。為維繫港口競爭力，對於區位相近之港口發展需持續關注，並即時調整相關獎勵措施以為因應。臺灣港務公司之行銷獎勵方案中，新闢航線獎勵部分，主要區分遠洋線、近洋線，依不同航線別設有不同到靠航次裝卸量要求，給予獎勵金額。若能透過量化分析方法，評估我國港口之航網變化，可做更細緻化之獎勵方案研訂，進而達成與國內外航運商共同追求貨量成長之目標。

本研究嘗試透過資料蒐整，探討以高雄港為主之貨櫃航網變化，做為後續航線開發或港口合作的參考依據。

二、文獻回顧

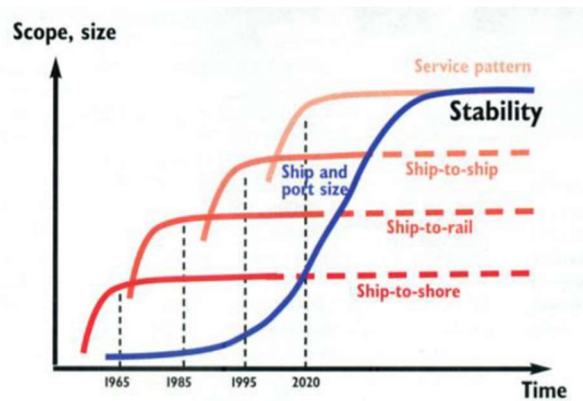
海運貨櫃航線發展，依張榕峻^[1]所回顧整理之定期航運航線網路型態演進文獻，從 Dr. Asaf Ashar 研究(2002)將其分成四個階段，如圖 1 所示：

第一階段：始於 1956 年貨櫃發明，貨物由貨櫃裝運，此時期由半貨櫃船運送，船舶直接於岸邊裝卸(Ship-to-shore)，提高貨物運輸效率。而後發展全貨櫃輪及貨櫃專用碼頭，船舶規模漸漸增大，港埠規模為配合貨櫃船舶發展所需亦急遽成長。

第二階段：始於鐵路複合運送(Ship-to-rail)興起，貨櫃運送模式從港埠延伸至內陸，甚至連結至其他港口腹地，因此船舶彎靠港將減少，且船舶可更大型化，只停靠少數大型港埠。

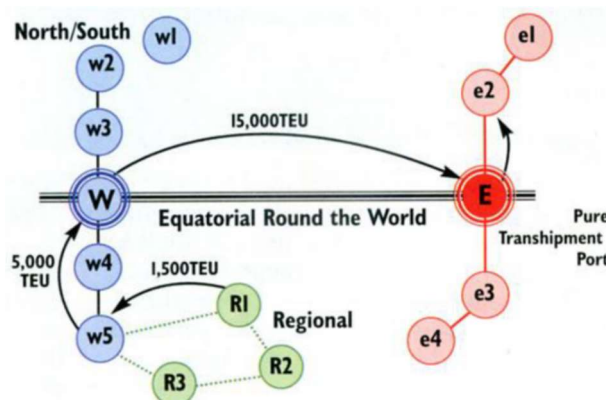
第三階段：轉運模式(Ship-to-ship)開始於亞洲地區，因亞洲地區許多新興港口出現，但港口基礎設施缺乏，故演變出主航線之母港與區域航線之集貨港的軸輻式航線。

第四階段為 Dr. Asaf Ashar 預期未來航線將演變之模式，以 15,000TEU 之超大型船沿赤道東西向航行，並分別自東西半球之轉口港(Pure Transshipment Port)，以 5,000TEU 之中小型船進行南北向的轉口運輸，再進行區域內的集散，如圖 2 所示。



資料來源：Dr. Asaf Ashar(2002)

圖1 海運定期航線之發展與變革



資料來源：Dr. Asaf Ashar(2002)

圖2 海運定期航線未來發展趨勢

航線是航運公司用以提供運輸服務的基礎，在海運業船隨貨走的鐵律下，一條新航線的規劃，不同航運公司仍然都有其不同之考量。一般而言航線規劃基本步驟(林光與張志清^[2],2010)包括：

1. 港口與航線之選擇，利用企劃部門及各港代理商進行市場的預估分析，以供決定新航線之發展或原航線之續航、停航、調整之措施。
2. 海上航行時間，由各港口距離或海圖量知各分區航線中，各航段之已知各航程哩數，並由資深船長依其航行經驗，求得各航段所需的海上航程預估時間。
3. 等候引水人時間。
4. 裝卸貨櫃時間，等於預估貨量除以該港之作業效率。
5. 決定航班頻次。
6. 調整彎靠港口及航班頻次。

其中很重要的關鍵是靠港選擇，其主要考量因素(林光與張志清^[2],2010)包括：

1. 貨源市場因素，考慮貨運量之多寡與運費收入是否大於或等於泊靠港費用支出，另外還包含空櫃調度成本與未來市場前景。
2. 港口環境因素，包含港區天然環境、碼頭與貨棧軟硬體設施、碼頭工人作業狀況等。
3. 政治經濟因素，當地政治社會局勢是否穩定、經貿海運限制等。

定期航線目的之一係提供穩定頻率的運輸服務，當航線既有靠泊規劃港口順序因故要變更時，對於其營運將會帶來之影響包括(陳力民^[3],2006)：

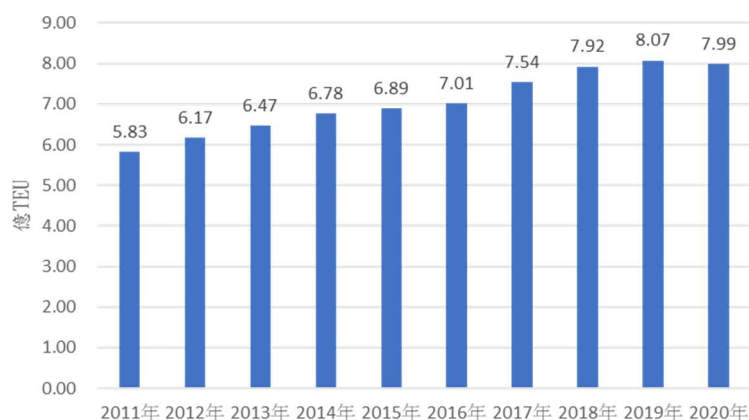
1. 對出口生產線特性及進口市場影響：改變港口序將造成停靠星期改變，可能與當地傳統作業習慣不同，導致與出口市場慣性不同，反而流失顧客。
2. 對遠洋航線中之近洋區域間櫃流量影響：因出口櫃量包含出口實櫃、出口空櫃及轉口櫃，而遠洋航線之出口實櫃又包含部分近洋進出口櫃，以搭便船運送區域間之貨載，航運業稱區域間貨載(Inter Port Cargo)。因更改港口序將會影響區域間貨載數量，進而影響部分收入。
3. 對轉口櫃量之影響：轉口櫃通常經由兩個以上港口或兩次裝卸及兩艘以上船舶運送，通常遠洋航線間，若為主要貿易地區將會安排一至兩條遠洋航線為主要航線，固定其停靠時間，若港口序變更將會影響轉口櫃依主航線轉運之選擇。
4. 對開口港(Gate Port)市場競爭力影響：開口港(Gate Port)為航線中出口貨或進口貨最多港口，通常出口之開口港一定安排在區域間出口港之最後一港>Last Port of Call)，而進口之開口港一定安排在區域間進口港之最先到達港(First Port of Call)。因此港口序變更對於開口港深具影響。
5. 港口泊靠次數對市場之影響，因市場貨櫃量之考量可能某港停靠兩次以上，另亦可能未能符合出口國之生產特性或轉口櫃需要導致某港需停靠兩次以上。

綜上可發現，以往航線研究多聚焦於單一航線之規劃與影響，其所藉以評估因素，亦多以單一航線影響所及者納入考量，在現今大型船舶及聯盟營運之情形下，轉運及不同航商共同派船經營航線已成常態，如何以整體航運網路角度進行新闢航線規劃或港口航線競爭力之評估實有探討需要。

三、貨櫃航網及市場資料蒐整

(一)國際貨櫃運輸量變化

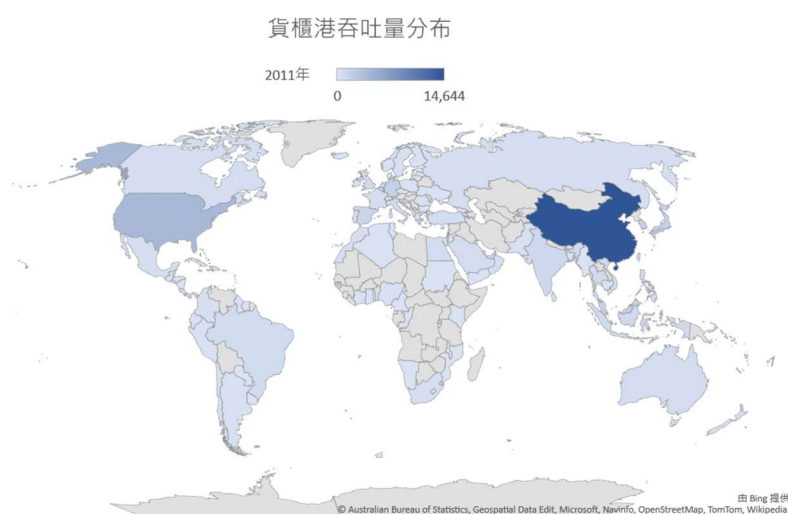
依據聯合國貿易與發展會議(UNCTAD)資料庫^[6]的統計，近十年全球貨櫃港吞吐量從 2011 年的 5.83 億 TEU，最高在 2019 年高達 8.07 億 TEU，2020 年或因疫情影響略降為 7.99 億 TEU(如圖 3 所示)，然整體仍呈現持續上升趨勢。



資料來源：<http://unctadstat.unctad.org/>，本研究整理繪製。

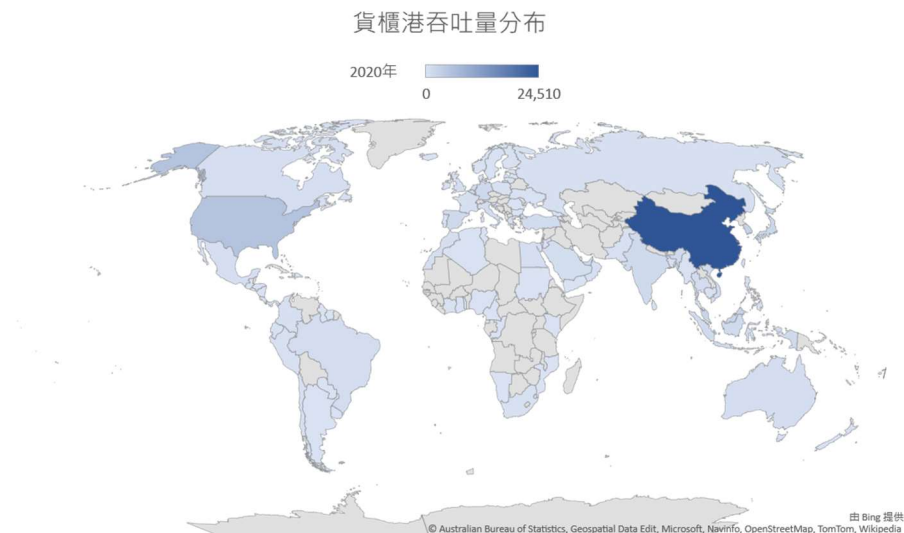
圖3 近 10 年全球貨櫃港吞吐量變化

整體貨櫃港吞吐量雖然逐年呈現上升，但在區域的分布上，並無明顯變動，整體上還是以中國大陸、美國及歐洲為主要區域，如圖 4~5 所示。從 2020 年的數據來看，以國家別前三大分別是中國大陸、美國、新加坡，如圖 6 所示。



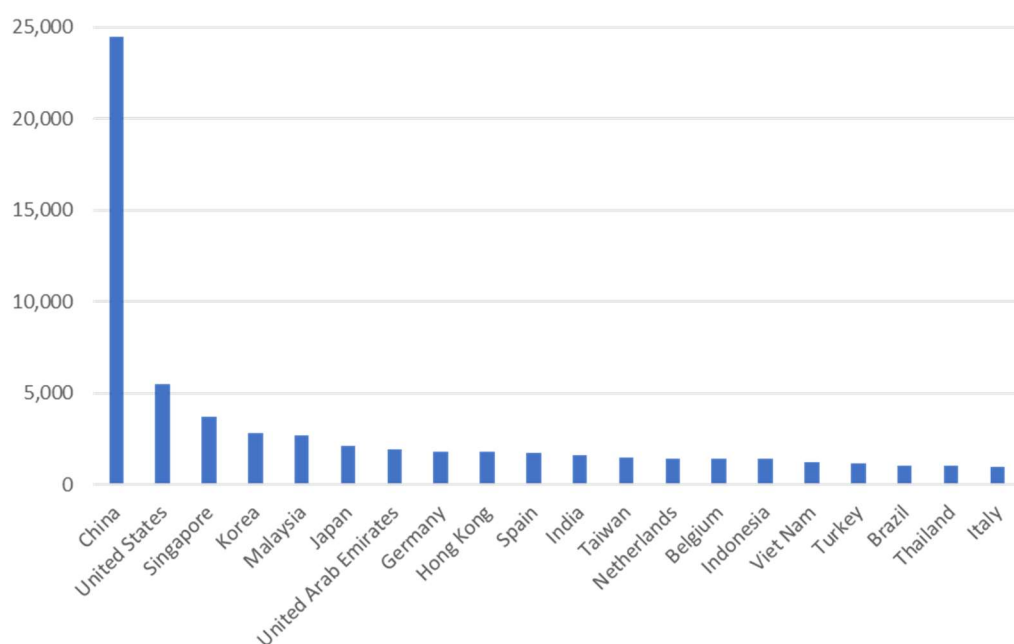
資料來源：<http://unctadstat.unctad.org/>，本研究整理繪製。

圖4 2011 年全球貨櫃港吞吐量地理區域分布



資料來源：<http://unctadstat.unctad.org/>，本研究整理繪製。

圖5 2020 年全球貨櫃港吞吐量地理區域分布



資料來源：<http://unctadstat.unctad.org/>，本研究整理繪製。

圖6 2020 年全球貨櫃港吞吐量前 20 大國家

(二)全球貨櫃港航線變化

貨櫃定期航線的發佈，通常會透過船報、船期雜誌或航商網站，各個航商公布航線招攬貨櫃，提供貨櫃運輸服務。在目前貨櫃航運聯盟盛行的市場環境，數個航商透過聯營航線、共用艙位等方式提供航線運輸服務，成為常態，也使得航線資料的蒐集更加困難。部分海事顧問機構如

Alphaliner 提供即時之貨櫃航線資料，但亦缺乏歷史資料的蒐整，本所國際海運資料庫^[5]自 2017 年開始透過資料的購置，蒐集全球貨櫃航線資料，2017~2022 年全球貨櫃航線概況整理詳表 1。

表1 2017~2022 年全球貨櫃航線概況

時間別	航線數	航線平均容量(TEU)	船舶平均容量(TEU)	平均每週運力(TEU)	平均靠港數
2017Q3	1,522	2,379	3,948	1,872	6.79
2018Q3	1,604	2,300	4,083	1,903	6.61
2019Q3	1,545	2,418	4,126	2,095	6.69
2020Q3	1,560	2,389	4,254	2,135	6.77
2021-08	1,797	2,266	4,020	2,011	6.72
2022-08	1,850	2,290	4,603	1,995	6.61

資料來源：本所國際海運資料庫

四、貨櫃航網變化分析

(一)貨櫃航網分析方法

港口透過貨櫃航線產生連結，於港口間進行貨櫃運輸，進而構建全球之航運網絡。以往研究或因資料缺乏，相關研究較少。

1. 本所國際海運資料庫所發展航網分析指標

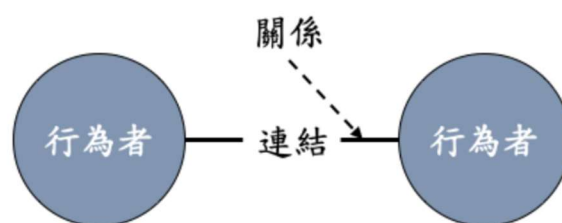
本所國際海運資料庫計畫中，為能量化呈現港口(港群)間之關聯性，亦發展數項分析指標，說明如下：

- (1) 依存度：用以評估兩兩港口(港群)間之依存程度，如 A 對 B 的航線數依存度 $= (A \sim B \text{ 間航線數}) / (A \text{ 總航線數})$ ，此處的 A、B 可以是單一港口，也可以是擇定之多個港口(如東南亞國家港口)。
- (2) 連結度：用以評估兩兩港口(港群)間之連結程度，如 A 與 B 間的連結程度可以是航線數、運力等，同樣 A、B 可以是單一港口，也可以是擇定之多個港口。

上述兩項指標，即便可以多個港口所構成之港群來做為評估對象，但所能呈現的也僅限於兩個評估對象間，未能呈現整體航網之關聯性。

2. 社會網絡分析法

社會網絡分析法(Social Network Analysis, SNA)源於 1930 年代，起初用於討論群體與個人間關係，主要應用於社會科學領域，近年亦運用於不同研究領域，亦是現今分析社交網絡的常用技術，其特點是有助理解數據中社交實體間關係。SNA 可將複雜社會關係，以具體的「節點」與「連結」表現，透過數據定義節點間的互動，藉以進行量化分析。根據 Chiu et al.(2011)構成社會網絡 3 個要素，分別為行為者(節點)、關係和連結，如圖 7 所示。



資料來源：UCINET 在社會網絡分析(SNA)之應用^[4]，榮泰生。

圖7 社會網絡 3 個要素示意

社會網絡分析法中常用來探討某節點與整體網絡關聯性之中心性指標包括程度中心性(Degree centrality)、中介中心性(Betweenness centrality)、接近中心性(Closeness centrality)，說明如下：

- (1) 程度中心性(Degree centrality)：指一節點與其他節點直接連結的個數，又稱為局部中心性(Local centrality)，以節點的度數來找出圖形的程度中心性，程度中心性越高，表示節點在其網絡中與越多的節點直接相連，代表該節點具有重要的地位。
- (2) 中介中心性(Betweenness centrality)：某節點的中介中心性為此節點外，其他任兩個節點間最短路徑穿過此節點的次數。代表此節點在網路中的做為橋梁的效果，其值越大代表各節點彼此之間的最短路徑大多經過該節點，就像個重要的交通樞紐，透過此樞紐總能在最短路徑抵達欲尋訪的節點。
- (3) 接近中心性 (Closeness centrality)：該節點到達其他所有節點的最短路徑長度取平均值之倒數，代表節點在網路中的緊密程度，一個節點如果距離其他所有節點越近，幾何上處於較為中心位置。

本研究由本所國際海運資料庫之航線資料為基礎，採社會網絡分析(Social network analysis, SNA)法，進行分析。

(二) 全球貨櫃航網變化分析

1. 分析標的

本節由本所國際海運資料庫航線資料，以遠東(316 個港口)、地中海(148 個港口)、中東印巴(75 個港口)、紐澳(83 個港口)、北美(76 個港口)、歐洲(300 個港口)，合計 820 個港口之 2017~2022 年航線資料為分析標的。

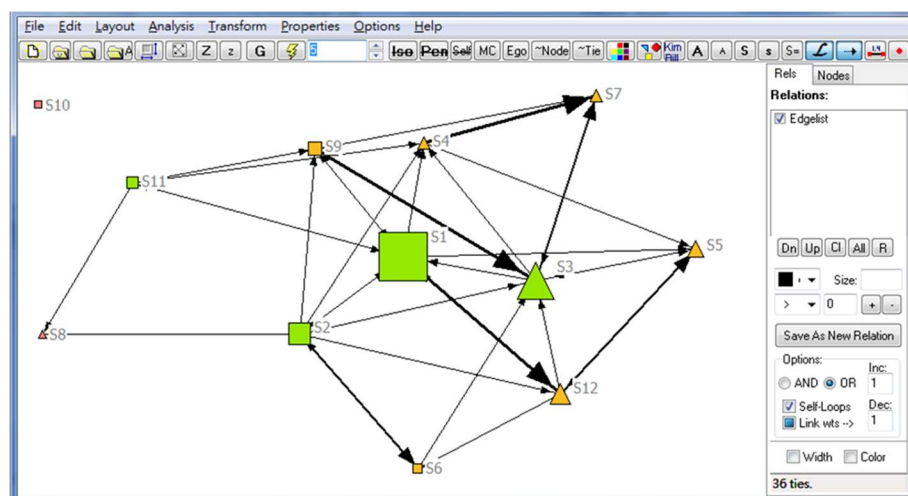
2. SNA 分析軟體

社會網絡分析所使用軟體眾多，考量取得難易及成本，本研究採用 UCINET 進行分析，UCINET 係由 Analytic Technologies 所發展，其軟體介面如圖 8，並有提供網路圖形繪製之功能，如圖 9。



資料來源：UCINET V6.753

圖8 UCINET 軟體介面(1)

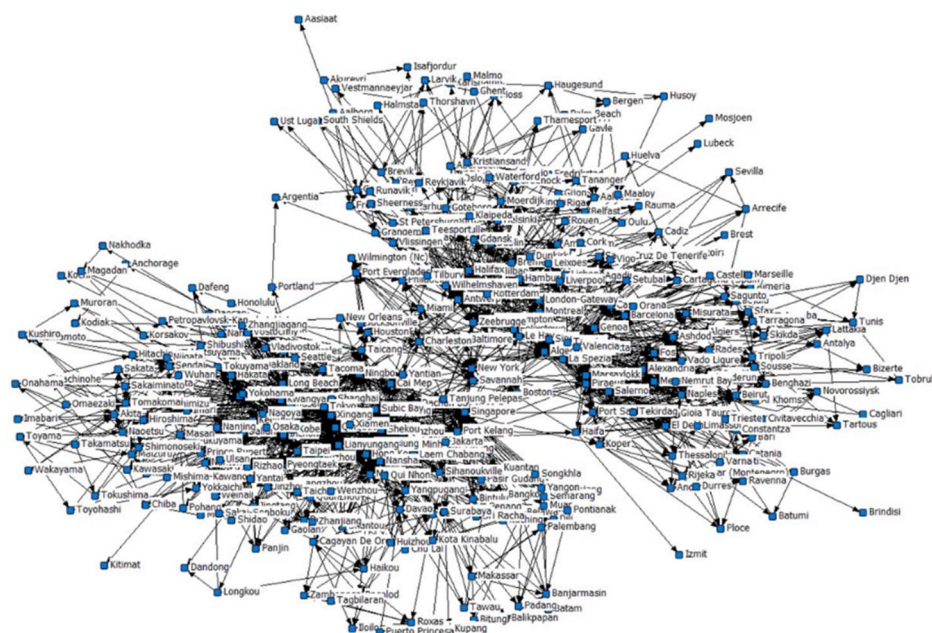


資料來源：UCINET V6.753

圖9 UCINET 軟體介面(2)

(三)分析結果

以 2022 年 8 月航線資料為例，經 UCINET 繪製之網絡圖如圖 10 所示，航網型態上區分為兩個群體。接續由各中心性指標，分別分析說明。

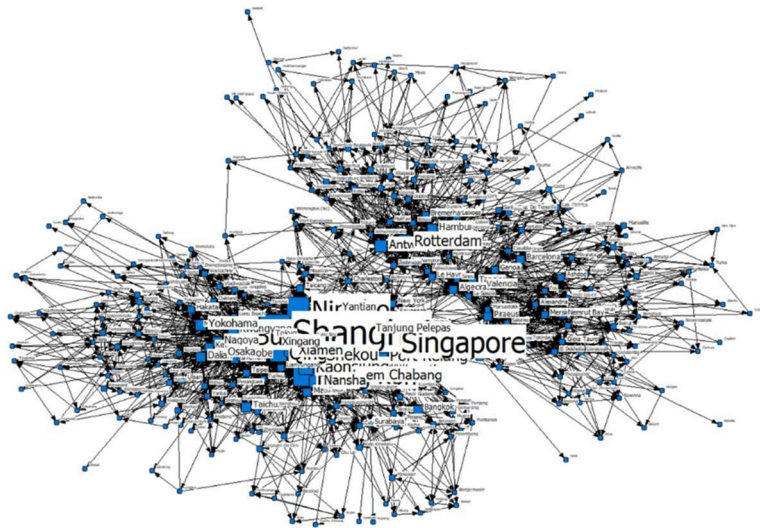


資料來源：本研究繪製。

圖10 2022 年 8 月航線網絡圖

1. 程度中心性(Degree centrality)變化：

本研究所分析航網之航線係含靠港順序，在 SNA 中屬於有向(directed)且多值(Valued)，即 A 到 B 的航線數未必等於 B 到 A 的航線數，因此其程度中心性(Degree centrality)，可進一步區分成 Out-Degree centrality 與 In-Degree centrality。2022 年 8 月航線資料以 Out-degree 中心性呈現如圖 11 所示。Out-Degree centrality 前 10 大港口分別為 Shanghai、Singapore、Busan、Ningbo、Hong Kong、Port Kelang、Qingdao、Shekou、Kaohsiung、Rotterdam；In-Degree centrality 前 10 大港口與前述略有不同，分別為 Shanghai、Singapore、Busan、Ningbo、Hong Kong、Port Kelang、Qingdao、Shekou、Kaohsiung、Ho Chi Minh City。



資料來源：本研究繪製。

圖11 2022 年 8 月航線網絡圖(以 Out-degree 中心性呈現)

若進一步以 2017~2022 年資料分析，詳表 2~3。新加坡與上海港位居穩定領先地位，香港與高雄港的序位有逐年遞降情形。

表2 歷年港口 OutDeg 中心性排序(以 2017 年之前 20 大港口為準)

港口	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Singapore	1	1	1	2	2	2
Shanghai	2	2	2	1	1	1
Hong Kong	3	3	3	3	4	5
Busan	4	4	4	4	3	3
Ningbo	5	5	5	5	5	4
Port Kelang	6	6	6	6	6	6
Kaohsiung	7	7	7	7	8	9
Qingdao	8	9	8	8	7	7
Shekou	9	8	9	9	9	8
Rotterdam	10	10	10	10	10	10
Laem Chabang	11	12	12	13	11	12
Ho Chi Minh City	12	11	11	11	13	11
Yokohama	13	15	14	15	15	16
Tokyo	14	13	14	17	39	40
Xiamen	15	13	13	11	14	13
Jebel Ali	16	16	19	14	19	20
Antwerp	17	17	17	16	11	15
Yantian	18	22	25	19	20	20
Kobe	18	19	18	22	18	22
Kwangyang	18	21	22	25	24	24

資料來源：本研究整理。

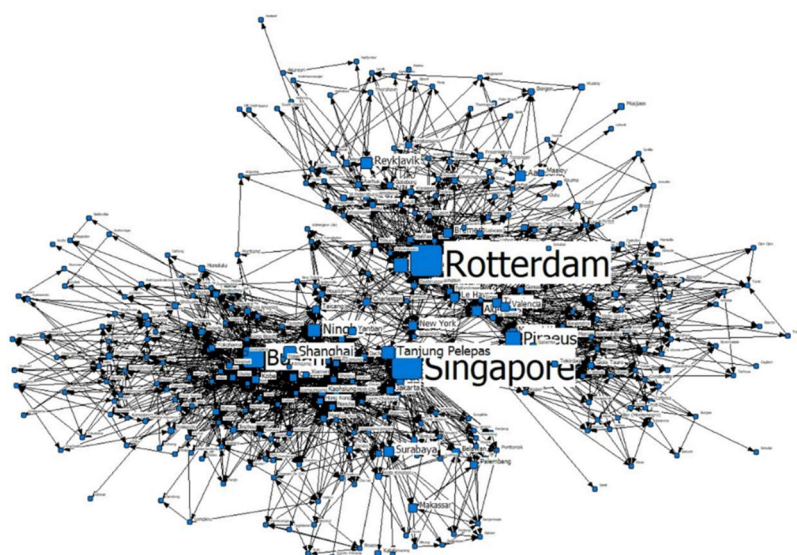
表3 歷年港口 Indeg 中心性排序(以 2017 年之前 20 大港口為準)

港口	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Singapore	1	1	1	1	2	2
Shanghai	2	2	2	2	1	1
Hong Kong	3	3	3	4	4	5
Busan	4	4	4	3	3	3
Ningbo	5	5	5	5	5	3
Kaohsiung	6	6	7	6	8	9
Port Kelang	7	6	6	7	7	6
Qingdao	8	9	8	8	6	7
Shekou	9	8	9	9	9	8
Laem Chabang	10	12	12	13	11	11
Rotterdam	11	10	10	10	10	12
Ho Chi Minh City	12	11	11	11	12	10
Yokohama	13	15	15	15	26	25
Tokyo	14	13	16	17	40	43
Xiamen	15	13	13	12	14	13
Jebel Ali	16	16	20	14	18	21
Yantian	17	22	23	19	18	18
Kobe	18	18	17	20	16	17
Kwangyang	18	21	21	25	23	23
Antwerp	20	18	18	16	13	15

資料來源：本研究整理。

2. 中介中心性(Betweenness centrality)變化：

中介中心性(Betweenness centrality)代表此節點在網路中做為橋梁的效果，其值越大代表各節點彼此之間的最短路徑大多經過該節點，可呈現港港口在網路中轉運功能。2022 年 8 月航線資料以 Betweenness 中心性呈現詳圖 12。中介中心性(Betweenness centrality)前 10 大港口分別為 Singapore、Rotterdam、Busan、Shanghai、Piraeus、Antwerp、Tanjung Pelepas、Ningbo、Port Kelang、Tangier，我國高雄港為第 25 位。



資料來源：本研究繪製。

圖12 2022 年 8 月航線網絡圖(以 Betweenness 中心性呈現)

若進一步以 2017~2022 年資料分析，詳表 4。新加坡與鹿特丹港位居穩定領先地位，香港與高雄港的序位明顯有逐年遞降情形。

表4 歷年港口中介中心性排序(以 2017 年前 20 大港口為準)

港口	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Singapore	1	1	1	1	1	1
Rotterdam	2	2	2	2	2	2
Shanghai	3	3	5	5	5	6
Busan	4	4	3	3	3	3
Piraeus	5	6	4	4	4	5
Antwerp	6	9	8	8	6	8
Bremerhaven	7	7	12	11	19	21
Tanjung Pelepas	8	5	9	9	7	4
Port Kelang	9	14	6	7	8	10
Tangier	10	41	15	15	15	15
Kaohsiung	11	18	21	20	21	26
Le Havre	12	15	14	17	26	23
Algeciras	13	8	7	6	16	11
Jebel Ali	14	10	11	10	14	19
Hong Kong	15	11	13	13	20	25
Surabaya	16	21	44	49	13	12
Marsaxlokk	17	12	25	23	17	28
Hamburg	18	17	18	21	32	31
Ningbo	19	22	10	16	11	7
Valencia	20	37	47	27	31	22

資料來源：本研究整理。

3. 接近中心性 (Closeness centrality)變化：

接近中心性 (Closeness centrality)代表節點在網路中的緊密程度，一個節點如果距離其他所有節點越近，幾何上處於較為中心位置。2022 年 8 月航線資料中，接近中心性 (Closeness centrality)前 10 大港口分別為 Singapore、Tanjung Pelepas、Rotterdam、Colombo、Yantian、Antwerp、Port Kelang、Piraeus、Algeciras、Busan，我國高雄港為第 15 位。

若進一步以 2017~2022 年資料分析，詳表 5~6。新加坡位居穩定領先地位，部分港口序位呈現劇烈變動情形。

表5 歷年港口 1/OutClose-rank 中心性排序(以 2017 年之前 20 大港口為準)

港口	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Singapore	1	1	1	1	1	1
Shanghai	2	2	14	12	12	10
Tanjung Pelepas	3	5	4	3	4	2
Port Kelang	4	6	3	5	9	7
Rotterdam	5	3	2	2	2	3
Yantian	6	4	6	4	3	4
Antwerp	7	30	30	31	6	6
Tangier	8	43	11	11	11	13
Jeddah	9	10	27	28	18	26
Piraeus	10	8	8	8	5	8
Colombo	11	11	10	7	9	4
Le Havre	12	9	44	9	7	13
Algeciras	13	7	7	6	38	9
Hong Kong	14	13	15	13	16	18
Kaohsiung	14	14	16	14	13	15
Busan	16	12	12	10	8	10
Felixstowe	17	16	20	16	84	91
Damietta	18	19	112	114	112	60
Ningbo	19	17	5	16	15	16
Valencia	19	110	100	87	100	22

資料來源：本研究整理。

表6 歷年港口 1/InClose-rank 中心性排序(以 2017 年之前 20 大港口為準)

港口	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Singapore	1	1	1	1	1	1
Rotterdam	2	2	3	4	2	2
Shanghai	3	4	4	2	3	3
Tanjung Pelepas	4	3	5	5	4	5
Hong Kong	5	5	11	11	12	12
Kaohsiung	6	11	16	16	16	16
Tangier	7	27	23	41	8	11
Port Kelang	8	23	2	3	6	7
Algeciras	9	5	6	7	16	17
Ningbo	10	13	10	12	15	3
Felixstowe	11	12	14	9	10	14
Marsaxlokk	12	9	13	9	14	13
Shekou	13	30	27	20	23	29
Qingdao	14	17	18	14	13	8
Xingang	15	26	20	17	20	23
Piraeus	16	7	9	6	7	9
Nansha	16	19	32	23	22	19
Laem Chabang	18	33	28	21	27	34
Le Havre	19	14	8	81	20	25
Ho Chi Minh City	20	29	22	18	18	24

資料來源：本研究整理。

五、結論與建議

本研究回顧航線規劃相關文獻，並由本所國際海運資料庫航線資料，以遠東(316 個港口)、地中海(148 個港口)、中東印巴(75 個港口)、紐澳(83 個港口)、北美(76 個港口)、歐洲(300 個港口)，合計 820 個港口之 2017~2022 年航線資料為分析標的，應用社會網絡分析法嘗試分析航網變化，綜合提出下列結論與建議。

(一)結論

1. 以往貨櫃定期航線相關研究多針對航線規劃或個別港口、航商(聯盟)之航線靠港(部署)之分析，較無以整體航線網路角度之分析研究。

2. 應用社會網絡分析法進行航網分析，可反映出港口透過航線建立關係，以量化方式呈現港口間之連結狀態。本研究所呈現中介中心性分析結果，與實際航網中港口轉口狀況大體相符。
3. 本研究以 2017~2022 年，全球 820 個港口航線數資料分析，中介中心性數據顯示，新加坡、鹿特丹、上海、釜山、希臘比雷埃夫斯港為航網中主要之轉口港口，其轉口角色穩定。高雄港之數據顯示轉口角色持續降低。

(二)建議

1. 本研究以航線數進行分析，建議後續可納入船型、運力等數據，以 SNA 法進一步分析探討。
2. 針對中介中心性數據顯示，高雄港轉口角色持續降低情形，建議可進一步進行敏感度分析，探討新闢各類航線對於高雄港轉口功能之影響，並擬定相關獎勵策略。

參考文獻

1. 張榕峻，軸心區位與配置模式應用於定期貨櫃航線規劃之探討，國立臺灣海洋大學碩士學位論文，2012。
2. 林光、張志清，航業經營與管理，第七版，航貿文化事業，臺北，2010。
3. 陳力民，運用數學模式於貨櫃航線規劃應考量要素之研究，國立臺灣海洋大學商船學系碩士論文，2006。
4. 榮泰生，UCINET 在社會網絡分析(SNA)之應用，初版，五南，中華民國，2013/05/09。
5. 交通部運輸研究所，國際海運資料庫。
6. UNCTADstat，<http://unctadstat.unctad.org/>。