

應用灰色理論於港埠貨櫃吞吐量 預測全球貿易之研究¹

AN APPLICATION OF GREY THEORY TO GLOBAL TRADE PREDICTION BY PORT CONTAINER THROUGHPUTS

盧華安 Hua-An Lu²

陳秀育 Shiou-Yu Chen³

尤郁晴 Yu-Chin Yu⁴

(100 年 9 月 19 日收稿，101 年 4 月 10 日第一次修改，101 年 5 月 2 日第二次修改，
101 年 6 月 20 日定稿)

摘 要

國際貿易為全球經濟景氣之表徵，本研究利用與全球貿易極為相關之港埠貨櫃吞吐量，進行灰色理論預測模式之建構。首先由灰關聯分析中得知，與全球貿易出口值之灰關聯度最高的前 4 大港，分別為布萊梅港、寧波港、新加坡港與天津港。然後利用該 4 港之貨櫃吞吐量與全球貿易出口值，進行 GM(1,5) 預測模式之建構。經由平均誤差百分比絕對值之評估，預測能力可達 97.97%，Theil's U 統計量值幾近於 0，顯示模式之預測效果頗佳，經與 GM(1,1) 模式比較亦良好許多，此一模式應頗具參考價值。

關鍵詞： 灰色理論；灰關聯分析；全球貿易出口值；貨櫃吞吐量

-
1. 本文之主要成果曾收錄於第八屆兩岸三地十校聯盟航運與物流研討會論文集。
 2. 國立臺灣海洋大學航運管理學系副教授（聯絡地址：202 基隆市北寧路 2 號國立臺灣海洋大學航運管理學系；電話：(02) 24622192 轉 3431；E-mail: halu@mail.ntou.edu.tw）。
 3. 國立臺灣海洋大學航運管理學系副教授。
 4. 國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士。

ABSTRACT

International trade growth is one major sign in the development of global economies. By analyzing port container traffic, this study attempts to construct prediction models of yearly global export trade value with grey theory. First, candidates among leading ports were selected using grey relational analysis: Bremen, Ningbo, Singapore and Tianjin ports were picked as each had higher grey correlations with global export trade value. Second, a GM (1, 5) model was projected in order to forecast trade values by analyzing container throughputs of these four ports. Results reveal that this model has well-forecast abilities with 97.97% of mean absolute percent error and almost zero of Theil's U statistics. It was also better than that of GM (1,1).

Key Words: *Grey theory; Grey relational analysis; Global export trade value; Container throughputs*

一、前言

對外貿易為當代國家經濟發展之命脈，也是帶動社會財富成長的主因，國際貿易的熱絡與否與全球經濟有著相互影響的關係。如欲了解全球經濟發展趨勢，對貿易成長波動的掌握，亦是深入探索之關鍵途徑。世界貿易組織 (World Trade Organization, WTO) 逐年公布全球貿易之總量與總值，提供各國家與經濟人士參考，其主要來源為蒐集各國之貿易報告進行彙整。如此龐大的資料整理工作，也常常造成出刊日期與當年年期的時間差。因此適當估算與預測貿易數據，進而了解全球經貿發展趨勢有其必要。

運輸為貿易最主要的途徑，根據聯合國貿易和發展會議 (United Nations Conference of Trade and Development, UNCTAD) 秘書處所公布之「2010 年海運回顧」^[1] 顯示，自 2000 年以來全球海運承載貨物 (world seaborne trade) 逐年成長，至 2009 年全球海運承載貨物總量已達 78 億噸，當年全球貿易的 90% 貨物均藉由船舶來運送，顯見航運需求與貿易成長有密不可分之關係。在海洋運輸產業中，貨櫃運送是目前的主流，其雖僅載運海上貿易 10% 的載重噸，但所載貨物的價值卻達海上貿易的 50%。如能利用貨櫃運量進行全球貿易之預估，應有其適當性與適用性。尤其全球港埠之貨櫃吞吐量在諸多專業文獻中，均可適時公布週知，資料的掌握並不困難。惟全球貿易與港埠吞吐量兩者均為產出指標，兩者並不存在因果關係，港埠吞吐量只是中介因子。此外，經初步資料篩選發現，全球貿易成長在 2000 年之後，有明顯異於以往之發展趨勢，如欲利用傳統預測方法，針對近年之資料建立迴歸模式，可能無法滿足推論統計在所需資料量的基本要求。全球景氣循環是否加快腳步值得觀察，但亦反映出利用少量資料進行全球貿易預測的必要性。

灰色理論乃基於序 (數) 列間數學函數關係之推導，有別於傳統以推論統計為基石之映射方法，也與經濟分析模式強調因果關係有別。灰預測模式為以往文獻所稱道的優點，

就在於不需要太多的樣本數，即可建立預測模式。因此本研究乃嘗試利用灰色理論，藉由全球主要港口的貨櫃吞吐量，進行全球貿易預測模式之建構。但如何從眾多港口中選擇適當之港口作為預測模式的參考序列，是頗值得探討的課題。本研究蒐集 2000 年至 2009 年之年資料，首先利用灰關聯分析，篩選出與全球貿易出口值之灰關聯度較高的港口，藉其建構全球貿易出口值之灰預測 GM(1,N) 模式，所得結果亦藉精確度指標與 GM(1,1) 結果進行比較；並利用 2010 年之全球貿易出口值與兩模式之估計值進行後驗誤差 (post error) 比較。後續節次將先進行相關文獻之回顧，再說明灰關聯與灰預測之基本步驟和求算結果，最後提出結論與建議。

二、文獻回顧

全球貿易與國際運輸有密不可分的關係，本節針對航運貨櫃化發展與全球貿易之關聯性進行文獻探索，並針對以往進行貿易預測有關之文獻進行回顧，同時摘述本研究所採用的相關灰色理論在航運業之應用。

2.1 貿易與貨櫃航運之關聯性

劉郁呈^[2]指出海運貨櫃運輸自 1980 年以來快速成長，由於全球貿易有九成依賴海運，貨櫃航運需求與貿易量成長率呈現高度正相關，尤其在經濟榮景時期，自然帶動進出口貿易量的成長。王克尹^[3]亦指出近 50 年來貨櫃航運，對促進全球經貿發展以及貨物流通有重要的貢獻，亞太地區已是 21 世紀全球經貿與海運發展的重心，我國高雄港就地理區位之優勢及樞紐港所需基礎條件而言，應能扮演更積極的角色。

此外，馬豐源^[4]探討海運業成長率與經濟發展之關聯性，作者以船舶進出港艘次、貨櫃裝卸量及貨物吞吐量代表海運成長榮枯，利用灰色理論預測成長趨勢與彼此之間的關係。張徐錫與劉宏道^[5]指出每年全球港埠貨櫃裝卸量都呈現兩位數成長，海運對國際貿易運輸的重要性不言而喻。劉世忠^[6]指出中國大陸已成為世界工廠，產品進出口數量龐大，相對帶動當地各主要港口貨櫃裝卸量大幅成長，因此中國大陸出口貨櫃運價指數對貨櫃航運業景氣具有指標作用。

2.2 國際貿易預測

從過去的應用文獻來看，國際貿易預測的研究重點在於貿易成本之估算、影響國際貿易之因素，以及國與國之間的貿易障礙等。一般而言，貿易成本包含運輸成本、保費、關稅及其他資訊成本，例如 De^[7]探討亞洲 10 個國家中，貿易成本所形成之貿易壁壘對貿易量的影響，結果顯示當兩國間存在較高之運輸成本及關稅，則此兩國之間的貿易量的確較少。Jacks 等人^[8]針對 18 個國家之貿易成本、距離與全球化的關聯性進行探討，研究顯

示各國逐年之關稅降低、貿易成本下降，顯現全球化趨勢之必然性已無法避免。廖苑羽^[9]利用 1970 年到 2004 年間的雙邊貿易與總體經濟資料，藉由引力模型估算全球貿易成本並建構理論模型，以分析貿易成本、貿易量與全球化之關聯並進行驗證。

此外，Helliwell^[10]針對加入經貿組織與否和貿易量的關係進行分析，發現有參與經貿組織的國家對貿易流量有正向影響。Hummels^[11]針對貿易障礙進行探討，貿易成本與地理效應的絕對相關就顯示在運費上，而運費的高低又受運送技術所影響。Clark 等人^[12]指出美國與北美洲國家進行貿易時，國家間具有共同語言會降低海運成本，進而增加雙邊貿易量。

拉丁美洲貿易與運輸研究 (Latin American Trade & Transportation Study)^[13]以基本案例和重要案例分別預測拉丁美洲未來的趨勢和發展。基本案例假定一連續的趨勢至 2020 年；重要案例則假定重大事件對拉丁美洲之影響，例如貿易自由化的增加、較高的經濟成長趨勢及與古巴貿易導致美國政策的改變。研究結果可知在重要案例預測下，拉丁美洲經由東南亞聯盟之貿易量將增加 1.1 億公噸，比起基本案例的預測多達 22%。Keck 與 Raubold^[14]以國內需求及商品和服務之進口，利用時間序列模型提供國際貿易短期 6 至 18 個月之預測，此模型預測之精準度高，特別是在決策前兩季之預測。Chen^[15]利用每月兩岸經濟統計數據為變數，透過灰預測、簡單迴歸及指數平滑法來預測兩岸之貿易，結果顯示臺灣海關資料所建構之模式較利用中國大陸資料所建的模式精確度較高。Burgert 與 Décs^[16]以貿易數據、全球之總經與財務資料利用時間序列、自我迴歸、簡單線性模型及因素模型預測世界貿易，結果顯現直接預測方法的優勢，其中因子模型在短期 1-3 個月之預測上相當準確，而時間序列模型較適用於 12 個月以上之預測。

以往探討國際貿易預測之研究，著重於貿易障礙之影響，在貿易量之估計方面，除了區域性貿易和兩岸貿易預測外，尚有 WTO 所做之世界貿易預測研究。總括預測變數之差異性，可發現過去大多使用時間序列或經濟變數居多，如進出口價格、油價、投資行為指標、GDP 和工業生產指數等，此特別需要較多樣本進行實證。目前尚未就貨運量或港埠吞吐量，進行全球貿易之預測。在研究方法方面，近年來才加入灰預測方法，但偏重於 GM(1,1) 模式，尚無利用 GM(1,N) 建構之預測模型。

2.3 灰色理論之應用

灰色系統理論係由鄧聚龍教授於 1982 年所提出，已被廣泛應用於不同的決策領域^[17]。以下回顧與本研究較為相關之灰關聯與灰預測兩大領域，在交通運輸事業的應用。

(一) 灰關聯分析

灰關聯分析之應用研究甚多，其中大部分都利用灰關聯分析進行指標擷取，例如馮正民和王榮祖^[18]進行航空運輸業績效指標擷取，由指標之結果挖掘航空財務與營運作業之

關聯性，作為提升績效之依據。林宜欣^[19]根據灰色關聯分析的結果發現，影響航空保費的指標排序為：損失經驗、機隊組成、營運狀況、航空人員績效及財務狀況。王銘德等^[20]利用灰關聯分析對國內民用航空業者進行服務品質評估，並進一步與簡單加權法進行比較，結果發現二者獲得相同之排序結果，然而灰關聯分析法之結果顯示受評估民航業者服務品質表現具有較大程度之差距。

Teng 等人^[21]探討東亞八個貨櫃港口之競爭力評比，亦藉灰關聯進行競爭力指標之評選。前述馬豐源^[4]探討經濟與海運成長彼此間之關連性，顯示無論就船舶進出艘次、貨櫃裝卸與貨物吞吐量而言，我國的港埠中以臺中港的關聯性最小。劉中平^[22]在臺灣各國國際商港水域之海事安全性評比中，建立了港口水域安全評估的關聯分析模型，發現花蓮港與臺中港之航行安全優於基隆港與高雄港。王昱傑^[23]探索貨櫃航商財務績效的評估準則，在對財務比例分群後，從每個集群中尋找代表財務性之指標。戴輝煌和黃承傳^[24]考慮中國大陸相關資料有限或信息蒐集困難，以灰關聯分析方式進行港口的整體競爭力分析外，並採灰預測為主要的貨櫃量預測方法來探討影響貨源之因素。

(二) 灰預測

灰預測模式在運輸規劃領域之應用，強調航空公司內部營運資料之灰預測，如張有恆和萬怡灼^[25]利用有限的資料，分析航空公司經營管理對其飛安水準之影響。而林東慶^[26]以 GM(1,1) 模型預測航空客、貨運量之變化，結果顯示大陸近年來的客貨運量以大幅度的成長率穩定增加，較美國適用灰色理論做未來的預測。

黃文吉等^[27]探討灰色理論 GM(1,1) 模式於港埠運輸需求預測之適用性，並提出未來如何使用灰預測在港埠進出口運量之上。高國軒^[28]利用灰色理論構建波羅地海超輕便極限型船運價指數 (baltic supramax index) 預測模式，將 BSI 之日、週、月及季資料透過 GM(1,1) 模式分別進行預測，再以指數平滑法與其進行精確度比較，以選取最適合 BSI 之預測模式。Peng 與 Chu^[29]採用灰預測、混合型灰預測法、古典分解法、三角函數迴歸及季節性虛擬迴歸，預測 2004 年臺灣地區貨櫃吞吐量，發現古典分解法能提供最佳之預測能力。鍾政棋和徐穎珍^[30]以灰預測 GM(1,1) 基本模式、GM(1,1) Alpha 模式與 GM(1,1) 循環式殘差修正法 RRGGM(1,1) 等 3 種模式，分析兩岸三地貨櫃船運能成長之趨勢，結果顯示平均精確度均大於 90%，且模式預測之績效以 GM(1,1) Alpha 優於 RRGGM(1,1)，RRGGM(1,1) 模式又優於 GM(1,1) 基本模式。

由上可知，灰預測之應用大多偏向 GM(1,1) 模式，GM(1,N) 模式尚未被廣泛使用，此亦為本研究採用此方法論進行深入探索之主要原因之一。

三、港埠篩選之灰關聯分析

3.1 灰關聯分析

灰關聯分析 (grey relational analysis, GRA) 乃是針對多個離散序列數據，找出其中特定序列與其他序列關聯性的方法。假設某目標序列 $X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$ ，其他序列為 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$, $i = 1, 2, \dots, m$ ，目標序列與其他序列之灰關聯度 $\gamma_{0i} = \gamma(X_0, X_i)$ 可定義為式 (1) 和式 (2)，式中 $\gamma_{0i}(k)$ 是 X_0 and X_i 之第 k 個樣本的關聯係數。 γ_{0i} 之值介於 0 和 1 之間，數值越大表示關聯性越高。而 ζ 為一辨識係數 (distinguishing coefficient)，其值可介於 0 到 1 之間，主要目的在調整分母基準值與分子待測值的對比關係，數值大小可依需要做適當調整，但一般均取 0.5。此一常用的灰關聯度計算方式，只會改變相對數值的大小，不會影響灰關聯的排序，故僅能作為與特定序列關聯度排序之用，無法進行實際的數值比較。

$$\gamma_{0i} = \gamma(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{0i}(k), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{0i}(k) &= \gamma(x_0(k), x_i(k)) \\ &= \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \end{aligned} \quad (2)$$

為使灰關聯度真正具有可比較性，溫坤禮等^[31]建議辨識係數值設定為 1，同時利用式 (3) 進行灰關聯係數計算，取代式 (2)。本研究為實際選出候選港埠進行預測模式之建構，必須確實進行數值比較以判斷篩選結果，故利用式 (3) 計算灰關聯係數，進行定量化之灰關聯度比較。

$$\gamma_{0i}(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |x_0(k) - x_i(k)| + \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (3)$$

此外，計算灰關聯係數之前，序列必須經過標準化，才不致於因各序列採用單位的不同而產生差異，這樣的處理過程稱為灰關聯生成。生成數據必須具備無因次性 (Non-dimension)、同等級性 (Scaling) 和同極性 (Polarization)，才具備可比性^[17]。傳統生成方式，如序列同除最大值或最小值，不能滿足同極性之要求^[32]，夏郭賢和吳漢雄^[33]

提出望大、望小與望目 3 種修飾型灰關聯生成方式，如式 (4) 至 (6)，並證明該 3 式均滿足序列可比性的 3 項條件。式中 $x_i^{(0)}(k)$ 為第 i 個序列之第 k 個原始樣本值； $x_i^*(k)$ 為灰關聯生成數值； OB 則是 $x_i^{(0)}(k)$ 中所選定之特定目標值。

1. 望大之形式：希望目標愈大愈好，故以序列中最大值為參考值。

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)}{\max x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)} \quad (4)$$

2. 望小之形式：希望目標愈小愈好，故以序列中最小值為參考值。

$$x_i^*(k) = \frac{\max x_i^{(0)}(k) - x_i^{(0)}(k)}{\max x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)} \quad (5)$$

3. 望目之形式：希望目標介於最大與最小值之間，設此值為 OB 。

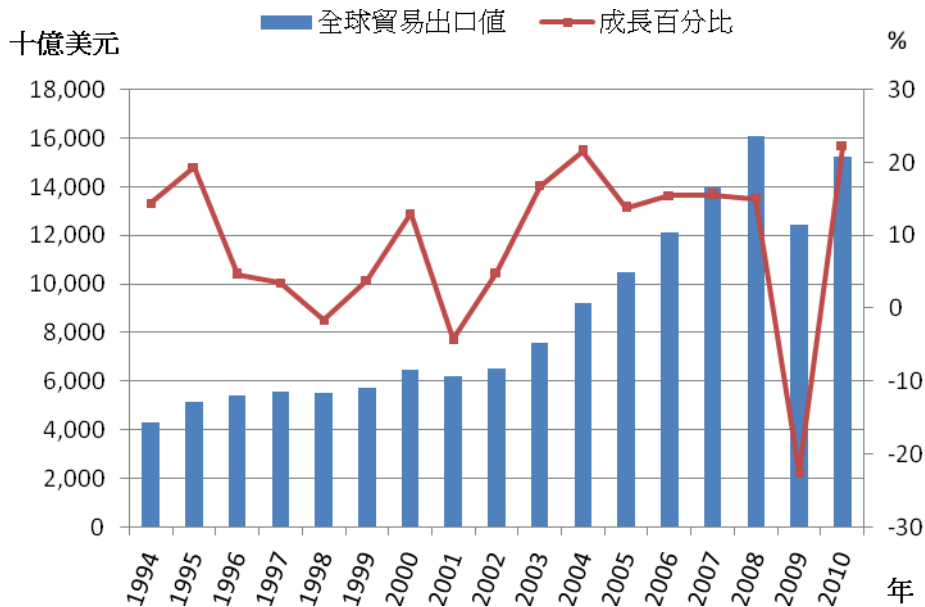
$$x_i^*(k) = 1 - \frac{|x_i^{(0)}(k) - OB|}{\max\{\max[x_i^{(0)}(k)] - OB, OB - \min[x_i^{(0)}(k)]\}} \quad (6)$$

3.2 資料取得

本研究直接自世界貿易組織 WTO 網站 (<http://www.wto.org/>)，下載歷年全球貿易資料，唯近年來貿易數據大部分均以指數表示。根據該網站之說明，世界貿易量與值指數的總和計算共分為兩個階段，首先透過各國和國際間所提供的資料及 WTO 秘書處對於遺漏資料所估計的值，求得各國進出口的單位價值。接著將各國進出口值加總得到區域總值，各區域的量指數為各區域的貿易值指數除以各區域的貿易單位價值。其次，為獲得世界商品總量的指數，須加總區域性的單位價值指數，並且以世界單價指數求取世界貿易值。在整個加總過程中，前一年的貿易值將被用來作為權數，進行貿易量之計算。由上述可知，貿易量必須透過公式的轉換才能取得，然而在 WTO 的相關資料與文獻中，僅解釋每年貿易量之換算方式，並無實際公式。因此，本研究以世界貿易「值」而非「量」為因變數，並從出口與進口值中選定出口值，配合港口貨櫃吞吐量進行預測。

圖 1 為 1994 年至 2010 年全球貿易出口值及其成長情形，在 1998、2001 及 2009 年為負成長，其餘各年都呈現正成長。由圖中很容易判斷 2001 至 2008 年的貿易值數據與成長，和 2000 年之前有頗大的差異。此外，2010 年全球商品貿易出口值比前一年增長 22.29%，為世界貿易組織自 1994 年開始此項統計以來的最高比例。其原因乃是 2009 年全球受短暫金融危機和重大經濟衰退的影響，但隔年隨即走出谷底；再者也因油價回升以及美元對世界其他主要貨幣貶值，也使以美元作為計算單位的世界貿易總值增加。

港口貨櫃吞吐量資料的取得，以國際貨櫃化雜誌網站資料庫 Containerisation International-online 所刊載之資料為分析依據。該單位之資料皆以年資料表示，除公佈港口排名與排名變化外，亦有港口所屬之貿易區域及吞吐總 TEU 數。本研究經篩選後，以 2000 年至 2009 年期間，較常進入吞吐量排名前 30 且資料完整的 29 個港埠，作為研究對象進行分析。該 29 個港埠在資料使用年期內之貨櫃吞吐量，詳如附錄所示。



資料來源：本文整理自 WTO。

圖 1 世界貿易出口值趨勢與成長百分比

3.3 候選港埠篩選

按照灰關聯度之計算步驟，利用 Excel 建立公式，首先對全球貿易出口值與 29 個港埠貨櫃吞吐量進行灰關聯生成，由於考慮港口吞吐量應越大，越能代表貿易值，故採取望大為目標，即式 (4)。由於本研究僅考慮各港埠貨櫃吞吐量與全球貿易出口值之關聯性，在利用式 (3) 進行灰關聯係數計算時，僅限於局部性灰關聯部分，藉由式 (1) 計算 29 個港埠序列與目標序列之灰關聯度。最後依照灰關聯度之高低，進行排序。

表 1 為最後計算所得之各港口與全球貿易出口值之定量化灰關聯度，灰關聯度越高表示該港口吞吐量之發展，與全球貿易出口值之成長趨勢越相近。由於式 (3) 之計算可使灰關聯度具備可比較性，因此可就 29 個港口之灰關聯度間的差距再進行分析。表中灰關聯度數值分為 4 個層級，第 1 層級達 0.8 以上有 4 個港；其次為達 0.7 以上者有 10 個港口；

表 1 各港口與全球貿易出口值之定量化灰關聯度

灰關聯度排序	港口編號	港口名稱	灰關聯度 $\gamma(x_0, x_i)$	與前一排名灰關聯度之差距
1	23	布萊梅 (Bremen/Bremerhaven)	0.87628218	—
2	8	寧波 (Ningbo)	0.83125116	0.045031019
3	1	新加坡 (Singapore)	0.80868711	0.022564049
4	11	天津 (Tianjin)	0.80226906	0.006418049
5	14	安德衛普 (Antwerp)	0.76595507	0.036313995
6	6	廣州 (Guangzhou)	0.76195024	0.004004824
7	22	大連 (Dalian)	0.74428134	0.017668908
8	7	杜拜 (Dubai)	0.74164475	0.002636590
9	2	上海 (Shanghai)	0.71947596	0.022168781
10	20	蘭加鏑 (Laem Chabang)	0.71284599	0.006629977
11	27	瓦倫西亞 (Valencia)	0.71149662	0.001349368
12	29	塞德港 (Port Said)	0.71106002	0.000436604
13	9	青島 (Qingdao)	0.71041591	0.000644105
14	10	鹿特丹 (Rotterdam)	0.70578516	0.004630746
15	13	巴生港 (Port Kelang)	0.69034535	0.015439817
16	19	廈門 (Xiamen)	0.67546444	0.014880904
17	25	丹絨不祿 (Tanjung Priok)	0.63802394	0.037440500
18	26	東京 (Tokyo)	0.63320046	0.004823482
19	28	撒拉拉港 (Salalah)	0.63256135	0.000639111
20	15	漢堡 (Hamburg)	0.62547920	0.007082153
21	24	迦哇內盧 (Jawaharlal Nehru)	0.61667858	0.008800621
22	4	深圳 (Shenzhen)	0.59771811	0.018960464
23	3	香港 (Hong Kong)	0.59421008	0.003508031
24	5	釜山 (Busan)	0.57070207	0.023508010
25	18	長堤 (Long Beach)	0.56557177	0.005130300
26	21	紐約 (New York/New Jersey)	0.55870655	0.006865216
27	17	丹戎帕拉帕斯 (Tanjung Pelepas)	0.50923887	0.049467683
28	12	高雄 (Kaohsiung)	0.50760876	0.001630106
29	16	洛杉磯 (Los Angeles)	0.50575156	0.001857206

達 0.6 以上有 7 個港口，最後一個層級達 0.5 以上有 8 個港口。從與前一排名間灰關聯度之差距判讀，排序 2 之寧波港 (Ningbo) 與排序第 1 之布萊梅港 (Bremen) 之係數差距相對較高，而排序第 5 的安德衛普 (Antwerp) 與排序第 4 之天津港 (Tianjin) 亦有較大幅度之差距，為求慎重，本研究篩選灰關聯度 0.8 以上之港口，即布萊梅港、寧波港、新加坡港 (Singapore) 與天津港 4 個港埠，建構 GM(1, 5) 之全球貿易出口值預測模式。

灰關聯的基礎在於資料序列之相似性，因此所推得的灰關聯程度較高的 4 港，乃是在貨櫃吞吐量序列上與全球貿易發展的相似度較高。但此 4 港正好跨越歐、亞兩洲，除新加坡為傳統轉運大港外，其他三港均非貨櫃吞吐大港，寧波與天津乃拜中國經濟起飛之賜，分別為華北、華中快速發展之貨櫃吞吐港；布萊梅港則是歐洲經濟貿易發展大國 ~ 德國之第二大貨櫃港。布萊梅港與新加坡港正好位在遠歐航線之貨櫃運送主幹線上，反映近 10 年來歐、亞貿易活絡之現象。新加坡港與寧波、天津港也是越太平洋主要航線之拜訪港口，三者都是中國與亞洲近年出口貿易與貨櫃成長之代表。尤其新加坡正好位於遠歐航線與北美航線的交會，寧波和天津港反映長江流域與華北地區之出口需求，處於兩大東西貿易幹線之交會地帶。此一結果符合近 10 年來國際貿易發展趨勢，也概略展現了近年來區域性國際貿易的發展態勢，但其中所隱含區域發展與全球貿易熱度的經濟關連性，雖非本研究之研究範圍，卻是後續值得深入探索的課題。這些港口或許正可扮演簡單的櫥窗角色，也就是藉由少數的港口的吞吐資料，就能獲知即時的貿易結果。

圖 2 彙整此 4 個港埠與全球貿易出口值自 2000 年至 2009 年之時間序列數值，由圖可知歷年的成長至 2008 年為發展之最高峰，但 2009 年立即下滑，惟有天津港之貨櫃吞吐量仍呈現微幅增加。新加坡港一直都是全球第一大貨櫃港，其吞吐量之趨勢，且較其他 3 港高出許多。寧波與天津受惠於中國之經濟躍進，自 2004 年開始就超越了布萊梅港。

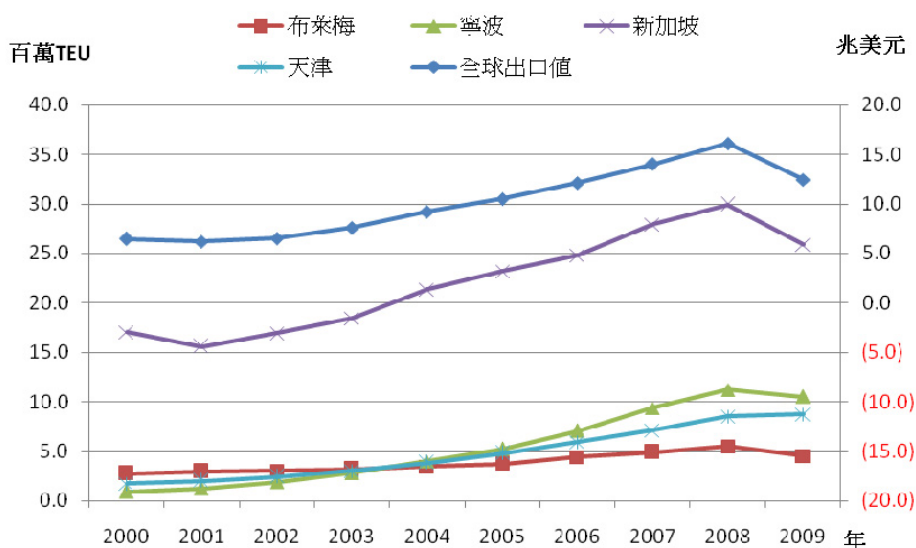


圖 2 候選港埠歷年吞吐量與全球貿易出口值趨勢

四、灰預測模式之建構

GM(1,1) 模式所指為目標序列以自我資料所建之預測模式，若藉由一個預測序列進行目標序列之預測，稱為 GM(1,2) 模式以作為區別，並以預測序列的多寡依此類推命名。本研究除藉貿易值本身之發展趨勢，建構 GM(1,1) 之預測模式，作為預測全球貿易出口值之比較基礎，亦將上一節篩選出來的 4 個港埠及全球貿易出口值，進行 GM(1,5) 灰預測模式之建構。本節將先介紹 GM(1,1) 與 GM(1,N) 之計算步驟，再以 Excel 建立計算公式，利用 2001 至 2009 年之資料求得參數之計算結果，進行模式之推估。經 2001 至 2009 年資料預測之精確度比較後，再利用 2010 年進行後驗誤差之比較。

4.1 一階灰預測模式

(一) GM(1,1)

灰預測模式取法微分方程，進行離散序列微分方程之仿效計算。假設 $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ 為一非負之原始資料序列，以式 (7) 定義其一階累加生成 (first-order accumulative generation operator, 1-AGO) 序列 $X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$ 。 $X^{(1)}$ 無法作為灰微分序列，但以式 (8) 定義之均質生成序列 $Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n))$ ，經證明可作為灰微分序列，且其一階灰微分為原始資料序列 $X^{(0)}$ ^[34]。因此可仿效式 (9) 之一階微分方程式，進行 $Z^{(1)}$ 之一階灰微分方程式，即式 (10) 之推導。

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1), \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b \quad (9)$$

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b, \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

式 (10) 中之參數 a 與 b ，可透過最小平方方法 (least square method) 加以估計。即 $[\hat{a}, \hat{b}]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$ ，

$$Y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)) & 1 \\ -0.5(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)) & 1 \end{bmatrix}$$

在求出參數 a 與 b 之估計值後，可得此 GM(1,1) 模式之解如式 (11)，即一階累加生成序列之估計式。留意此處原一階累加生成序列之第一筆資料 $x^{(1)}(0)$ ，已由原始序列第一筆樣本 $x^{(0)}(1)$ 作為替代。為求原始序列之估計式，可用式 (12) 之逆生成還原運算 (inverse accumulated generating operation, IAGO) 予以計算。

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{\hat{b}}{\hat{a}})e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{b}}{\hat{a}}, \quad k=1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), \quad k=1, 2, \dots, n \quad (12)$$

(二) GM(1,N)

GM(1,N) 模式為多變量之灰預測模式，假設一個序列系統 $X^{(0)}$ ，有 N 個原始序列 $X_j^{(0)}$ ， $j=1, 2, \dots, N$ ， $X_j^{(0)} = (x_j^{(0)}(1), x_j^{(0)}(2), \dots, x_j^{(0)}(n))$ 。 $X_1^{(0)}$ 為預測序列，其他序列 $X_j^{(0)}$ ， $j=2, \dots, N$ 為相關因素序列，每一個序列之一階累加生成序列 $X_j^{(1)} = (x_j^{(1)}(1), x_j^{(1)}(2), \dots, x_j^{(1)}(n))$ 和均質生成序列 $Z_j^{(1)} = (z_j^{(1)}(2), z_j^{(1)}(3), \dots, z_j^{(1)}(n))$ ，如同 GM(1,1) 中之式 (7) 和 (8) 之概念，分別定義如式 (13) 和 (14)。GM(1,N) 之灰微分方程式，被定義如式 (15) 所示。

$$x_j^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x_j^{(0)}(i), \quad k=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, N \quad (13)$$

$$z_j^{(1)}(k) = 0.5x_j^{(1)}(k) + 0.5x_j^{(1)}(k-1), \quad k=2, 3, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, N \quad (14)$$

$$x_1^{(0)}(k) + az_1^{(1)}(k) = \sum_{i=2}^N b_i x_i^{(1)}(k), \quad k=2, 3, \dots, n \quad (15)$$

式 (15) 中之參數 a 與 b_i ，亦可透過最小平方方法 (least square method) 加以估計。即 $[\hat{a}, \hat{b}_2, \hat{b}_3, \dots, \hat{b}_N]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$ ，

$$Y_N = \begin{bmatrix} x_1^{(0)}(2) \\ x_1^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x_1^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -z_1^{(1)}(2) & x_2^{(1)}(2) & \dots & x_N^{(1)}(2) \\ -z_1^{(1)}(3) & x_2^{(1)}(3) & \dots & x_N^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ -z_1^{(1)}(n) & x_2^{(1)}(n) & \dots & x_N^{(1)}(n) \end{bmatrix}$$

在求得參數 a 與 b_i 之估計值後，GM(1,N) 模式之解如式 (16) 所示，留意式中也已利用 $x_1^{(0)}(1)$ 替代 $x_1^{(1)}(0)$ ，為求原始預測序列 $X_1^{(0)}$ 之估計式，可利用式 (17) 之逆生成還原運算。但因式 (16) 頗為複雜，一般使用者在進行 GM(1,N) 的求解運算，均直接利用式 (18) 予以求得預測序列之預測值^[34]，本研究亦遵循以式 (18) 計算預測序列之估計。

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = \left[x_1^{(0)}(1) - \frac{1}{\hat{a}} \sum_{i=2}^N \hat{b}_i x_i^{(1)}(k+1) \right] e^{-\hat{a}k} + \frac{1}{\hat{a}} \sum_{i=2}^N \hat{b}_i x_i^{(1)}(k+1) \quad (16)$$

$$\hat{x}_1^{(0)}(k+1) = \hat{x}_1^{(1)}(k+1) - \hat{x}_1^{(1)}(k) \quad (17)$$

$$\hat{x}_1^{(0)}(k) = -\hat{a}z_1^{(1)}(k) + \sum_{i=2}^N \hat{b}_i x_i^{(1)}(k) \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (18)$$

4.2 GM(1,1) 模式之建立

按照上述 GM(1,1) 式之建立步驟，首先將原始序列數據透過式 (7) 之累加生成後，再以式 (8) 建立均值生成序列。利用最小平方求得參數 $[a, b]^T$ 之估計值如下：

$$\begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.104354249 \\ 5.71E+12 \end{bmatrix}$$

此時已可依式 (11) 建構出 GM(1,1) 模式之一階生成估計式，如式 (19) 所示，透過式 (12) 之逆生成運算，即可還原世界貿易出口值之原始數據估計值。表 2 即為利用上述步驟所得之預測值與殘差檢驗情形，其中殘差絕對值最大者為 2009 年之 24.45%，而最小者為 2004 年之 -0.17%。

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) + \frac{5.71E+12}{0.104354249})e^{0.104354249k} - \frac{5.71E+12}{0.104354249} \quad (19)$$

表 2 GM(1, 1) 預測值與殘差檢驗

年度	原始數值 $x^{(0)}$ (美元)	估計數值 $\hat{x}^{(0)}$ (美元)	殘差 δ
2001	6.1910E+12	6.728713E+12	8.70%
2002	6.4930E+12	7.468802E+12	15.04%
2003	7.5860E+12	8.290323E+12	9.29%
2004	9.2190E+12	9.202205E+12	-0.17%
2005	1.0489E+13	1.021439E+13	-2.61%
2006	1.2112E+13	1.133791E+13	-6.38%
2007	1.3993E+13	1.258500E+13	-10.05%
2008	1.6097E+13	1.392967E+13	-13.21%
2009	1.2461E+13	1.550580E+13	24.45%

資料來源：本研究整理。

4.3 GM(1,5) 模式之建立

在灰關聯分析中選出 4 個港口，再加上全球貿易出口值，所得到之 5 個序列可進行 GM(1,5) 預測模式建構。令 X_1 為全球貿易出口值序列， X_2 為布萊梅港， X_3 為寧波港， X_4 為新加坡港， X_5 為天津港之吞吐量序列。按照 4.1 節之說明，首先先對 5 個序列進行如式 (13) 之累加生成運算，再依式 (14) 進行均值生成序列之計算。利用最小平方法求得參數 $[a, b_2, b_3, b_4, b_5]^T$ 之估計值如下：

$$\begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \\ \hat{b}_4 \\ \hat{b}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.557563651 \\ -92185.72446 \\ 2590072.204 \\ 1055369.676 \\ -2387167.848 \end{bmatrix}$$

此時已可依式 (18) 逕行建構全球出口貿易值之 GM(1,5) 估計式，詳如式 (20)。表 3 即為式 (20) 所計算之全球貿易出口預測值，以及殘差檢驗情形。其中殘差絕對值最大者為 2006 年之 -5.06%，而最小者為 2002 年之 0.08%。

$$\begin{aligned} \hat{x}_1^{(0)}(k) = & -2.557563651 z_1^{(1)}(k) - 92185.72446 x_2^{(1)}(k) + 2590072.204 x_3^{(1)}(k) \\ & + 1055369.676 x_4^{(1)}(k) - 2387167.848 x_5^{(1)}(k) \end{aligned} \quad (20)$$

表 3 GM(1,5) 預測值與殘差檢驗

年度	原始數值 $x^{(0)}$ (美元)	估計數值 $\hat{x}_1^{(0)}$ (美元)	殘差 $\delta(k)$
2001	6.1910E+12	6.05420E+12	-2.21%
2002	6.4930E+12	6.49803E+12	0.08%
2003	7.5860E+12	7.61225E+12	0.35%
2004	9.2190E+12	9.58247E+12	3.94%
2005	1.0489E+13	1.05405E+13	0.49%
2006	1.2112E+13	1.14987E+13	-5.06%
2007	1.3993E+13	1.44344E+13	3.15%
2008	1.6097E+13	1.58087E+13	-1.79%
2009	1.2461E+13	1.26044E+13	1.15%

資料來源：本研究整理。

4.4 模式精確度比較

預測模式之精確度可利用平均誤差平方值 (mean square error, MSE)、平均誤差百分比絕對值 (mean absolute percent error, MAPE) 及泰爾不相等係數統計量 Theil's U 進行檢驗量測。此 3 指標的計算方式分別如式 (21) 至 (23)，其中 $x(i)$ 為實際值， $\hat{x}(i)$ 為預測值， n 為預測值個數。

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x(i) - \hat{x}(i))^2 \quad (21)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{x(i) - \hat{x}(i)}{x(i)} \right|}{n} \times 100\% \quad (22)$$

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\hat{x}(i) - x(i)]^2}{\sum_{i=1}^n [x(i)]^2}} \quad (23)$$

MSE 為實際值與預測值差異平方的平均數，實際值與預測值差異愈小則預測愈精確，但數值尺度改變，MSE 即有大幅變化，故不可以單一數值多寡判斷。MAPE 主要在衡量

模式中未被解釋的百分比，MAPE 之值愈小，表示模型正確預測能力愈強。Lewis^[35] 依據 MAPE 值之大小，將模式預測能力分為 4 種等級，如表 4 所示。Theil's U 考慮了預測誤差大小的方向性，可避免正、負誤差值相抵，如此能降低模式預測不佳導致影響系統運作之風險，黃泰林等^[36] 建議可利用此統計量進行預測模式之評估，預測模式之優劣判定可參考表 4 所示。

表 4 MAPE 預測能力與 U 統計量之判定

MAPE 值	預測能力	Theil's U 統計量	模式之採用
< 10%	高度精確	$U > 1$	較不做預測之方法為劣
10% ~ 20%	良好	$U = 1$	與不做預測的結果完全相同
20% ~ 50%	合理	$U < 1$	較不做預測之方法為優
> 50%	不正確	$U = 0$	完美之預測

資料來源：Lewis^[35] 和黃泰林等^[36]。

在絕對誤差的表現上，不論最小或最大值，GM(1,5) 所得結果都較 GM(1,1) 為小。本研究再藉由 MSE、MAPE 及 Theil's U 統計量，探討 GM(1,1) 及 GM(1,5) 兩種預測模式對全球貿易出口值預測之精確度。表 5 所示 MSE 部分，兩種預測模式分別為 2.01E+24、9.21E+22。就 MAPE 值而言，GM(1,1) 及 GM(1,5) 兩種預測模式分別為 10.01% 及 2.03%，表示其精確度分別達 89.99% 及 97.97%；GM(1,1) 模式預測能力良好，GM(1,5) 為高度精確。Theil's U 統計量顯示 GM(1,1) 及 GM(1,5) 模式皆小於 1，GM(1,1) 及 GM(1,5) 模式皆適用於全球貿易之預測，但 GM(1,5) 模式預測能力更勝 GM(1,1) 模式。

表 5 全球貿易出口值預測模式評估結果

預測模式	最小絕對誤差	最大絕對誤差	MSE	MAPE	Theil's U
GM(1,1)	0.17%	24.45%	2.01E+24	10.01%	0.12871
GM(1,5)	0.08%	5.06%	9.21E+22	2.03%	0.00038

資料來源：本研究整理。

將兩者之估計值與實際值，繪製於圖 3，更可分辨出 GM(1,5) 較能精準貼近貿易值，其預測走勢幾乎與實際值一致，唯在 2006 年有較大之誤差，2008 年與實際值一樣達最高峰後，亦於 2009 年相應下滑之趨勢。反之 GM(1,1) 所預測之全球貿易值呈直線平滑上升，2004 年是實際值與 GM(1,1) 誤差最小之年度。

此外，圖中亦顯示兩模式對 2010 年全球貿易值之估計，GM(1,1) 之誤差為 12.95%，而 GM(1,5) 為 9.73%。後驗結果殘差不如前驗之精確度，此可能因 2010 年全球貿易剛剛

從前一年之谷底復甦，中國的腳步快於其他國家或地區，GM(1,5) 引用兩個中國港口，其中寧波港之實際成長量要高出其他 3 港，在模式中其正向權數值又為最大，故而產生高估之情形。

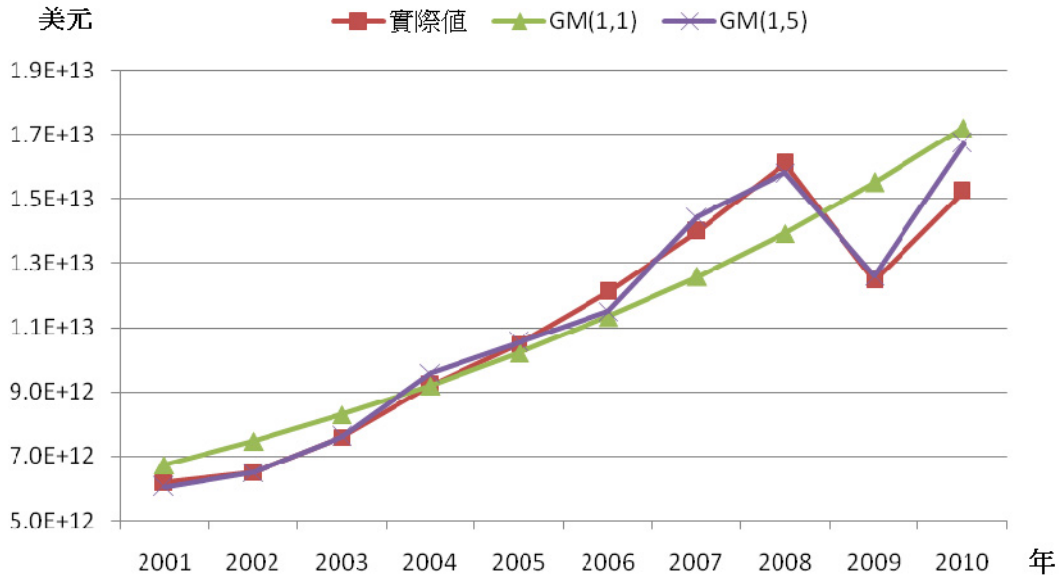


圖 3 兩種預測模式與實際值之趨勢圖

利用灰色理論進行預測模式之建構，從前面的文獻回顧中可知，大部分乃利用 GM(1,1) 模式。本研究因主要探索 GM(1,N) 模式建立預測模式的有效性，在 GM(1,1) 的資料引用亦配合 GM(1,N)，故未在使用資料的數量上多所著墨，反覆測試。儘管目前 GM(1,1) 所得結果不似前述文獻成果的高精確性，並不代表需要質疑 GM(1,1) 的適用性。再者，GM(1,N) 模式較少有文獻探討其在預測模式之成果，本研究 GM(1,5) 的預測結果，應具參考價值，也可提供後續嘗試利用 GM(1,N) 進行預測模式建構之參考。

五、結論與建議

國際貿易的活絡與否為全球經濟景氣之先行指標，本研究選用與全球貿易極為相關之港埠貨櫃吞吐量，以較不受限於樣本數之灰色理論，進行全球貿易出口值之預測模式建構。從所得結果中，可獲致下列之結論：

1. 全球貿易於 21 世紀初開始的成長情形，從數據直觀顯示已進入更快速的變動階段，經由本研究之灰關聯分析，可得布萊梅港之 10 年間貨櫃吞吐量與其之成長趨勢最為相近。
2. 經由灰關聯分析結果，本研究利用與全球貿易出口值灰關聯度最相近的 4 個港埠，布萊

梅港、寧波港、新加坡港與天津港，進行全球貿易出口值年資料之 GM(1,5) 預測模式建構。經由模式精確度之評估，MAPE 達到 2.03% 高度精確之預測能力，Theil's U 統計量值幾乎接近於 0，經與 GM(1,1) 模式比較亦優良許多，其應頗具參考價值。

3. 本研究所建構之 GM(1,5) 模式，因採用多個港埠之逐年貨櫃吞吐量為依據，所預測之結果會隨目標序列之波動而改變，其效果就如同良好之多變量迴歸模式。但 GM(1,1) 乃仿照一階微分方程式進行理論推演，其預測結果必然為一平滑曲線，在波動較鉅之樣本下，精確度自然會較不理想。事實上，GM(1,1) 模式與 GM(1,N) 模式恰可應對時間序列分析與複迴歸之觀念，理論上尚未有證明，後者一定較前者為佳，只有序列發展的適合性，但 GM(1,1) 之公式為連續型，GM(1,N) 為斷點不連續型，在很多實務資料的發展，較可能屬於後者，本文亦同，因此形成 GM(1,5) 較 GM(1,1) 為優的情形。
4. GM(1,5) 模式雖預測近 10 年資料有高精確度，但在未來數據的預測上，必須要先針對 4 個港埠的未來發展有所推測方能運用，此可能也是 GM(1,N) 模式較不被應用於預測的原因之一。而 GM(1,1) 模式因只使用預測序列本身之資料，在模式應用上較為方便，故也有其適用性。

港口是國際貿易貨物的重要進出門戶，直覺而言其吞吐量與國際貿易應有直接的關係。本研究利用近年來之資料，發現部分港口之吞吐量發展與全球貿易值之成長，有極高的序列變動相關性，這些港口或可扮演國際貿易發展的櫥窗。而本研究亦利用灰色理論透過一定的程序推導精確度頗高的灰預測模式，隨著時間的改變，未來各港與國際貿易發展容或有所改變，但本研究所建議之建模程序，應可提供未來研究之參考。直接利用不同定義的港口社羣資料，如吞吐量前五大或前十大港埠，亦能進行 GM(1,N) 模式的推估，各自的精確度與有效性值得進一步探索。

此外，本研究雖嘗試利用較少資料進行全球貿易之預測探討，但在預測觀念上，灰預測仍有跳脫可預測範圍的可能性，這也意味著灰預測模式作為長期觀察時，需要因為數據的更新，而適時進行預測模式推演程序，甚至選用的港口，以取得較佳結果，未來可就長期觀點再評估如何建立港埠貨櫃吞吐量與全球貿易之關係。而除海洋運輸之外，航空運輸亦承擔值高量輕之國際貿易貨量，未來研究亦可考慮以航空運輸數據進行全球貿易之預測。

參考文獻

1. UNCTAD, *Review of Maritime Transport 2009*, United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva, 2010.
2. 劉郁呈，「港埠貨櫃吞吐量之時間序列模型研究」，國立高雄第一科技大學運籌管理研究所碩士論文，民國 96 年。
3. 王克尹，高雄港在亞太樞紐港之競爭力分析(2/2)，交通部運輸研究所，臺北市，民國 98

- 年。
4. 馬豐源，「以灰色系統論探討海運成長率預測與經濟成長率關聯性」，*石油季刊*，第 41 卷，第 4 期，民國 94 年，頁 71-80。
 5. 張徐錫、劉宏道，「由國際貨櫃海運發展看臺灣發展轉口貨櫃運輸之契機」，*中華技術季刊*，第 70 期，民國 94 年，頁 68-79。
 6. 劉世忠，「貨櫃海運業產業概況」，*華銀徵信產經研究部產經資訊*，第 59 期，民國 96 年，頁 33-36。
 7. De, P., "Impact of Trade Costs on Trade: Empirical Evidence from Asian Countries", *Asia-Pacific Research and Training Network on Trade*, Working Paper Series No. 27, 2007, pp. 281-310.
 8. Jacks, D. S., Meissner, C. M., and Novy, D., "Trade Costs in the First Wave of Globalization", <http://www.cepr.org/meets/wkcn/1/1658/papers/Meissner.pdf>, 2007.
 9. 廖苑羽，「貿易量、貿易成本與全球化」，國立臺灣海洋大學應用經濟學研究所碩士論文，民國 97 年。
 10. Helliwell, J. F., "National Borders, Trade and Migration", *Pacific Economic Review*, Vol. 2, No. 3, 1997, pp. 165-185.
 11. Hummels, D., "Toward a Geography of Trade Costs", Working paper, Purdue University, 2001.
 12. Clark, X., Dollar, D., and Micco, A., "Port Efficiency, Maritime Transport Costs, and Bilateral Trade", *Journal of Development Economics*, Vol. 75, 2004, pp. 417-450.
 13. Latin American Trade & Transportation Study, "Latin American Trade Forecasts", http://www.dotd.la.gov/programs_grants/latin/Documents/07%20Sec%20B2%20Latin%20American%20Trade%20Forecasts.pdf, 2002.
 14. Keck, A. and Raubold, A., "Forecasting Trade", World Trade Organization Staff Working Paper ERSD-2006-05, Switzerland, 2006.
 15. Chen, C. Y., "A Study of Forecasting Methods for the Cross-Straits Trade", *Wseas Transactions on Business and Economics*, Vol. 5, 2008, pp. 161-171.
 16. Burgert, M. and Déés, D. *Forecasting World Trade: Direct Versus "Bottom-up" Approaches*, European Central Bank Working Paper Series No. 882, Germany, 2008.
 17. 馮正民、邱裕鈞，**研究分析方法**，建都文化事業公司，新竹市，民國 93 年。
 18. 馮正民、王榮祖，「應用灰色關聯分析於航空運輸業營運與財務績效代表性指標之擷取」，*民航季刊*，第 3 卷，第 1 期，民國 90 年，頁 107-126。
 19. 林宜欣，「航空保費影響因素與風險管理策略之研究」，國立成功大學交通管理科學系博士論文，民國 98 年。
 20. 王銘德、吳尚軒、許哲強，「應用灰關聯分析於國內民用航空運輸業服務品質評估之研究」，*中華民國運輸學會 98 年學術論文國際研討會*，中華民國運輸學會，民國 98 年，頁 1377-1394。
 21. Teng, J. Y., Huang, W. C., and Huang, M. J., "Multicriteria Evaluation for Port Competitiveness of Eight East Asian Container Ports", *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 12, No. 4,

2004, pp. 256-264.

22. 劉中平，「臺灣國際商港水域航行安全性及海事事故分級制度之研究」，國立臺灣海洋大學航運管理學系博士論文，民國 96 年。
23. 王昱傑，「利用灰關聯分析進行臺灣地區貨櫃船公司財務績效代表性指標之擷取」，**航運季刊**，第 15 卷，第 1 期，民國 95 年，頁 1-17。
24. 戴輝煌、黃承傳，「貨源因素對於貨櫃港口競爭力之影響分析—以臺灣鄰近之貨櫃港口為例」，**高雄海洋科大學報**，第 22 期，民國 97 年，頁 1-40。
25. 張有恆、萬怡灼，「航空公司經營管理對飛航安全水準之影響」，**民航季刊**，第 3 卷，第 1 期，民國 90 年，頁 81-106。
26. 林東慶，「以灰色理論和類神經網路預測航空客、貨運量之變化」，國立成功大學民用航空研究所碩士論文，民國 98 年。
27. 黃文吉、程培倫、尤仁弘、吳勝傑，「灰色理論應用於港埠貨櫃運輸需求預測之研究」，第 25 屆海洋工程研討會，國立臺灣海洋大學，民國 92 年，頁 849-856。
28. 高國軒，「散裝超輕便極限型船市場及其運價指數發展趨勢之分析」，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文，民國 95 年。
29. Peng, W. Y. and Chu, C. W., "A Comparative Study of Seasonal Forecasting Models on the Prediction of Container Throughput Volumes", *International Journal of Business and Strategy*, Vol. 8, No. 2, 2007, pp. 52-73.
30. 鍾政棋、徐穎珍，「灰色理論應用於兩岸三地貨櫃船運能供給之預測」，**航運季刊**，第 20 卷，第 1 期，民國 100 年，頁 47-70。
31. 溫坤禮、黃宜農、陳繁雄、李元秉、連志峰、賴家瑞，**灰預測原理與應用**，全華科技圖書股份有限公司，臺北市，民國 91 年。
32. 張偉哲、溫坤禮、張廷政，**灰關聯模型方法與應用**，高立圖書有限公司，臺北市，民國 89 年。
33. 夏郭賢、吳漢雄，「灰關聯分析之線性數據前處理探討」，**灰色系統學刊**，第 1 卷，第 1 期，民國 87 年，頁 47-53。
34. Liu, S. and Lin, Y., *Grey Information: Theory and Practical Applications*, Springer, London, 2006.
35. Lewis, C. D., *Industrial and Business Forecasting Methods*, Camelot Press Ltd., Southampton, 1982.
36. 黃泰林、王小娥、鄭仲凱、陳垂彥，「應用灰色理論於境外航運中心貨物運輸需求之研究」，中華民國運輸學會第 14 屆論文研討會，中華民國運輸學會，民國 87 年，頁 87-98。

附錄 各港 2000 年至 2009 年之貨櫃吞吐量

單位：TEU

港 口	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
新加坡 (Singapore)	17,040,000	15,571,100	16,940,900	18,410,500	21,329,100	23,192,200	24,792,400	27,935,500	29,918,200	25,866,400
鹿特丹 (Rotterdam)	6,280,000	6,102,000	6,506,310	7,106,779	8,291,994	9,250,985	9,654,508	10,790,604	10,800,000	9,743,290
香港 (Hong Kong)	18,098,000	17,826,000	19,144,000	20,449,000	21,984,000	22,601,630	23,538,580	23,998,449	24,248,000	20,983,000
安德衛普 (Antwerp)	4,082,334	4,218,176	4,777,152	5,441,404	6,050,442	6,482,061	7,018,911	8,175,952	8,663,736	7,309,639
漢堡 (Hamburg)	4,248,247	4,688,669	5,373,999	6,137,926	7,003,479	8,087,545	8,861,545	9,900,000	9,700,000	7,010,000
布萊梅 (Bremen/Bremerhaven)	2,751,793	2,972,882	3,031,587	3,189,853	3,469,253	3,735,574	4,428,203	4,892,239	5,500,709	4,535,842
高雄 (Kaohsiung)	7,425,832	7,540,524	8,493,000	8,840,000	9,714,115	9,471,056	9,774,670	10,256,829	9,676,554	8,581,273
紐約 (New York/New Jersey)	3,050,036	3,316,276	3,749,014	4,067,812	4,478,480	4,792,922	5,092,806	5,299,105	5,265,053	4,561,831
釜山 (Busan)	7,540,387	8,072,814	9,453,356	10,410,809	11,491,968	11,843,151	12,039,000	13,261,000	13,425,000	11,954,861
東京 (Tokyo)	2,899,452	2,535,841	2,712,348	3,313,647	3,358,257	3,819,294	3,969,015	4,123,920	4,270,807	3,744,906
上海 (Shanghai)	5,613,000	6,340,000	8,612,000	11,283,000	14,557,200	18,084,000	21,710,000	26,150,000	27,980,000	25,002,000
深圳 (Shenzhen)	3,993,714	5,076,435	8,612,000	10,614,900	13,655,500	16,197,173	18,468,900	21,099,169	21,413,888	18,250,100
廣州 (Guangzhou)	1,429,900	1,730,000	2,180,000	2,761,700	3,304,000	4,685,000	6,600,000	9,200,000	11,001,300	11,190,000
杜拜 (Dubai)	3,058,886	3,501,820	4,194,264	5,151,958	6,428,883	7,619,219	8,923,465	10,653,026	11,827,299	11,124,082
寧波 (Ningbo)	902,000	1,210,000	1,860,000	2,772,000	4,005,500	5,208,000	7,068,000	9,360,000	11,226,000	10,502,800
青島 (Qingdao)	2,120,000	2,640,000	3,410,000	4,239,000	5,139,700	6,307,000	7,702,000	9,462,000	10,320,000	10,260,000
天津 (Tianjin)	1,708,423	2,010,000	2,410,000	3,015,000	3,814,000	4,801,000	5,950,000	7,103,000	8,500,000	8,700,000
巴生港 (Port Kelang)	3,206,753	3,759,512	4,533,212	4,841,235	5,243,593	5,715,855	6,326,294	7,118,714	7,970,000	7,309,779
洛杉磯 (Los Angeles)	4,879,429	5,183,520	6,105,863	7,178,940	7,321,440	7,484,624	8,469,853	8,355,039	7,849,985	6,748,994
丹戎帕拉帕斯 (Tanjung Pelepas)	418,218	2,050,000	2,660,000	3,487,320	4,020,421	4,177,121	4,770,000	5,500,000	5,600,000	6,000,000
長堤 (Long Beach)	4,600,787	4,462,971	4,526,365	4,658,124	5,779,852	6,709,818	7,290,365	7,312,465	6,487,816	5,067,597
廈門 (Xiamen)	1,084,700	1,290,000	1,750,000	2,331,000	2,871,700	3,342,300	4,018,700	4,627,000	5,034,600	4,680,355
蘭加鏑 (Laem Chabang)	2,104,950	2,312,438	2,656,651	3,046,520	3,529,000	3,765,967	4,123,124	4,641,914	5,133,930	4,621,635
大連 (Dalian)	1,011,000	1,208,900	1,351,600	1,670,000	2,211,200	2,655,000	3,212,000	4,574,192	4,502,700	4,552,000
迦哇內盧 (Jawaharlal Nehru)	1,189,780	1,573,675	1,929,531	2,268,989	2,371,338	2,666,703	3,298,328	4,059,843	3,952,735	4,061,343
丹絨不祿 (Tanjung Priok)	2,476,152	2,824,136	2,964,499	3,137,299	3,170,000	3,277,868	3,849,759	4,141,899	4,175,772	3,800,000
瓦倫西亞 (Valencia)	1,308,010	1,506,805	1,821,005	1,992,903	2,145,236	2,409,821	2,612,049	3,042,665	3,597,215	3,653,890
撒拉港 (Salalah)	1,032,692	1,187,753	1,211,634	2,000,000	2,228,546	2,491,741	2,390,000	2,600,000	3,068,000	3,490,000
塞德港 (Port Said)	503,793	569,436	569,000	569,000	865,654	1,621,066	2,640,772	2,768,900	3,202,000	3,470,000

