

貨櫃吞吐量預測模式之比較研究 A Comparative Study of Forecasting Models on the Prediction of Container Throughput Volumes

彭文怡¹ Wen-Yi Peng
朱經武² Ching-Wu Chu

摘要

本研究之目的為使用六種單一變數預測方法預測台灣國際港口之每月貨櫃吞吐量，六種預測方法包含有古典分解法、三角函數迴歸、季節性虛擬變數、灰預測、組合灰預測及 SARIMA。研究對象為台灣地區三大國際港埠(基隆港、台中港與高雄港)之貨櫃吞吐量，研究中利用實證分析，以驗證何者可提供預測最佳之精確度，經由利用平均絕對誤差(MAE)、平均絕對誤差百分比(MAPE)及殘差均方根(RMSE)等評估指標比較後，發現基隆港以古典分解法，而台中港與高雄港以 SARIMA 的預測能力最佳。本研究之結果可提供港埠當局未來進行港埠規劃時之參考。

關鍵詞：預測、單一變數、吞吐量

Abstract

The purpose of this study is to provide a more accurate prediction model on the container throughput for rendering a reference to authorities. Six different univariate methods, namely the Classical Decomposition Model, the Trigonometric Model, the Regression Model with Seasonal Dummy Variables, the Grey Forecast, the Hybrid Grey model, and the SARIMA, have been used. The contribution of this research is to compare the forecasting results of the six univariate methods based on commonly used evaluation criteria, MAE, MAPE and RMSE. We found that, the Classical Decomposition model is a reliable prediction method for forecasting Keelung port container throughput, and the SARIMA is the best method for Taichung and Kaohsiung port. The outcome of this work can be helpful to predict the near future demands for the container throughput of the international port.

Keywords: Forecasting, Univariate, Throughput

¹國立台灣海洋大學航運管理研究所博士班學生。

²國立台灣海洋大學航運管理學系教授。

壹、緒論

在快速經濟成長的國際貿易中貨櫃化扮演很重要的角色，尤其對海島型的台灣更是如此。在我國加入WTO後，港埠當局需面對其他國外鄰近港埠競爭的壓力，對於未來海運市場進出口貨物之趨勢也應儘早提出因應之道。除此之外，港口設施的營運、興建與改善等也是其中受影響的關鍵一環，但港埠的興建耗時、耗財，且很難轉移做其他用途，如對於港埠未來運量預測不準確，極易造成許多浪費。港埠之貨櫃量為港埠營利之主要來源，因此預測港埠未來之貨櫃運量是港埠規劃、興建及管理之重要依據。

預測在港埠規劃中扮演極重要的角色，然而過去的港埠的預測幾乎皆以長期預測為主，但短期預測對於觀測資料季節性的變動型態和商業週期卻優於長期預測^[1]。預測期間涵蓋一至兩年的短期預測通常直接用來預測港埠每日營運，例如：額外的物料與設備的取得、碼頭工人與機具的配置等。因短期預測其預測時間較短，受未來不確定因素的影響較小，預測結果的準確性較長期預測高，且進行港埠短期規劃時，其產能無法如製造業，可藉由存貨、外包、加班等策略加以提昇，當季節需求變動明顯時影響更甚。因此瞭解一年內需求變化、實為長期投資時重要考量因素。

故本文採用一種常用的數量預測方法--單一變數模式來預測貨櫃吞吐量，此法僅以過去的歷史資料來定義資料的型態，並假設相似的歷史資料型態會繼續延續下去。故本研究擬以月資料為資料處理之依據，採用單一變數模式中短期預測的工具：古典分解法、三角函數迴歸、季節性虛擬變數、灰預測、混合型灰預測及季節性時間序列(SARIMA)，進行台灣國際港口一年的短期預測。本研究的目的為尋找適用於港埠貨櫃吞吐量準確度最高之預測方法，以提供當局進行港埠規劃時之參考。

本文之組織結構如下，第貳節文獻回顧，研究方法於第參節介紹，並於第肆節分析研究結果，最後提出結論與建議。

貳、文獻回顧

在以往的文獻中，貨櫃量之預測多以長期預測為主，其中以迴歸分析法最常被使用，例如：郭塗城、劉宏道和張徐錫、Seabrooke *et al.*及顏進儒與林永山^[2, 3, 4, 5]等，而Coto-Millán *et al.*^[6]則說明影響海運進出口的變數。

考慮到預測模式中不確定的因素可能造成估計上的誤差，許多學者發現必須對這些不確定因素進行調整，因此，他們跳脫傳統上以準確導向的方法改用其他的技術來增加預測的能力，如De Gooijer *et al.*^[7]採用多變量時間序列模式來預測安特衛普港的鋼鐵運量。

插補法是一般最常用來進行短期預測的方法，常用的模式有：ARIMA、NR和ANN，如：魏健宏、楊雨青^[8]以類神經網路預測高雄港轉口貨櫃運量；Lam *et al.*^[9]採用神經網路模式預測香港貨物吞吐量。在預測香港的吞吐量方面，Fung^[10]使用誤差修正模式，而Hui *et al.*^[11]使用共整合誤差修正模式。在時間序列模式方面，類似的研究有：Babcock *et al.*^[12]預測每季穀物的鐵路裝載量、Tang^[13]預測密西西比河的穀物交通量，和Babcock and Lu^[14]預測內河航線的穀物交通量。周明道等^[15]運用季節時間數列模型預測高雄港轉口貨櫃TEU數之變化。

許巧鶯、溫裕宏^[16]應用灰色預測與灰色聚類法預測航空公司航線上的運量；黃文吉等^[17]探討灰色GM(1,1)模式於運輸需求預測之適用性。Veldman and Bückmann^[18]採用羅吉特模式進行西歐貨櫃樞紐港(hub-container ports)的交通量預測。而梁金樹、周聰佑^[19]提出新的模糊迴歸模式對台灣地區進出口貨物運量進行預測；周建張^[20]則提出新的模糊運算方法—隸屬度化多重積分代表值方法(Graded Multiple Integrals Representation Method)預測台灣地區進出口貨櫃總量。

有些學者將不同的預測方法進行比較，相關的研究有：陳垂彥^[21]綜合評析並比較各種不同的預測方法，有迴歸分析、時間數列、重力模式及單一及聯立迴歸模式；周明道^[22]以模糊時間數列用於模糊預測，以基隆港出口貨櫃TEU數預測並驗證模糊時間數列的預測結果較傳統季節性時間數列佳；彭文怡^[23]以台灣地區國際港埠進口貨櫃預測為例進行四種季節性預測模式的比較。在其他領域方面，相關的研究有：Chu and Zhang^[24]比較零售業各種的線性和非線性模式，Taylor *et al.*^[25]針對短期電力需求比較六種單一變數預測模式的準確性。

從過去的研究可發現，貨櫃量預測之分析方法以迴歸分析最多，且均以長期預測為主，短期預測較少，故本文為找尋簡單、實用、精確度高的短期預測方法，因此擬採用迴歸分析中三角函數及季節性虛擬變數，和古典分解法、灰預測、混合型灰預測及季節性時間數列來進行分析、比較。

參、研究方法

3.1 古典分解法

古典的時間數列將時間模式的構成要素分為長期趨勢、循環波動、季節變動與不規則變動。這四種要素係以相乘或相加方式構成，分成乘法模式與加法模式。本研究採用乘法分解模式，假設這四個組成份子彼此相互影響，而非獨立。模型如下所示：

$$Y_t = TR_t \times SN_t \times CL_t \times IR_t, \quad (1)$$

其中 Y_t ：為時間序列中第 t 期之觀察值，

TR_t ：第 t 期之長期趨勢成分，

SN_t ：第 t 期之季節性成分，

CL_t ：第 t 期之循環性成分，

IR_t ：第 t 期之不規則成分。

須先計算 k 期移動平均值(MA_k)，本研究為月資料，則採 12 期移動平均，再求中央移動平均值($CMA_k = TR_t \times CL_t$)，其主要目的為消除資料中季節性與不規則之變動。下一步為計算季節及不規則成分($SN_t \times IR_t = \frac{Y_t}{CMA_t}$)，因為 $Y_t = TR_t \times SN_t \times CL_t \times IR_t$ ，故將兩邊同除 $TR_t \times CL_t$ 可得 $SN_t \times IR_t$ 。為求取季節指數以單獨衡量季節的影響，可將之前各年相同季節的 $SN_t \times IR_t$ 相加，以去除不規則的成分，而得到各季節的季節因子，又因季節因子之總和應等於 12，需對季節因子加以調整成以 1 為基數的季節指數。利用此季節指數，可得的一個不包含季節變動在內的新資料數($\frac{Y_t}{SN_t}$)，稱為消除季節的時間數列(De-seasonal Time Series)，最後得出長期趨勢線性模型為：

$$TR'_t = \alpha + \beta_t + \varepsilon. \quad (2)$$

使用最小平方方法對(2)式進行點估計計算，其迴歸模式為：

$$\hat{TR}'_t = a + bt. \quad (3)$$

3.2 三角函數模式(Trigonometric Model)

本研究採用一種用來預測季節性資料之高階模式(Bowerman and O'Connell)^[26]，其適用於處理一般季節性變動及較複雜之季節性模式。

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 \sin\left[\frac{2\pi t}{L}\right] + \beta_3 t \cos\left[\frac{2\pi t}{L}\right] + \beta_4 \cos\left[\frac{2\pi t}{L}\right] + \beta_5 t \cos\left[\frac{2\pi t}{L}\right]$$

$$+ \beta_6 \sin \left[\frac{4\pi t}{L} \right] + \beta_7 t \sin \left[\frac{4\pi t}{L} \right] + \beta_8 \cos \left[\frac{4\pi t}{L} \right] + \beta_9 t \cos \left[\frac{4\pi t}{L} \right] + \varepsilon_t, \quad (4)$$

L 表示為一年內的期數，例如：採用月資料時，則 $L=12$ 。

3.3 季節性虛擬變數迴歸

當分析的時間數列呈現長期趨勢及季節性變動時，我們通常使用下列的模式：

$$Y_t = TR_t + SN_t + \varepsilon_t.$$

將 12 個月份的影響轉換成虛擬變數(Dummy Variable)，以 0、1 表示，則

$$SN_t = \beta_1 t + \beta_{s1} X_{s1,t} + \beta_{s2} X_{s2,t} + \dots + \beta_{s11} X_{s11,t}$$

其中 $X_{s1,t}, X_{s2,t}, \dots, X_{s11,t}$ 為虛擬變數，其定義如下：

$$X_{sit} = \begin{cases} 1 & \text{若第 } t \text{ 期為第 } i \text{ 月份, } i = 1, 2, 3, \dots, 11, \\ 0 & \text{其他.} \end{cases} \quad (5)$$

則迴歸模式如下所示：

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_{s1} X_{s1,t} + \beta_{s2} X_{s2,t} + \dots + \beta_{s11} X_{s11,t} + \varepsilon_t. \quad (6)$$

其迴歸方程式為：

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 t + b_{s1} X_{s1,t} + b_{s2} X_{s2,t} + \dots + b_{s11} X_{s11,t}. \quad (7)$$

3.4 灰預測

灰色系統理論的核心是灰預測模型(GM)，由 Deng^[27]所發展而成。灰色系統理論是一種特別適用於預測與決策的新理論方法。灰色理論視任何隨機過程都是在一定幅值範圍變化的灰色量，透過累加生成(Accumulated Generating Operation; AGO)後出現明顯的指數規律，依此建立微分方程建構灰色模式(Gray Model)，再經由逆累加生成(Inverse Accumulated Generating Operation; IAGO)；運算還原原始序列預測值。其本質上不須求大樣本與分佈規律等特性。灰色預測分析 GM(1,1) 是經由一階差分、一個變量的模型來進行預測，其演算過程如下：

原始序列為：

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)) = (x^{(0)}(k); k = 1, 2, 3, \dots, n), \quad (8)$$

其中 $x^{(0)}(k)$ 為 k 時期的時間序列資料， $x^{(1)}$ 是經由 $x^{(0)}$ 一次累加生成所產生，即可得到累加序列，如下：

$$x^{(1)} = \left(\sum_{k=1}^1 x^{(0)}(k), \sum_{k=1}^2 x^{(0)}(k), \dots, \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k) \right) = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(n)). \quad (9)$$

再者，利用級比 $\sigma(k)$ (Class Ratio) 檢驗序列數據是否可作為建模用

$$\sigma^{(1)}(k) = \frac{x^{(1)}(k-1)}{x^{(1)}(k)}, \quad k \geq 2. \quad (10)$$

若原始序列 $x^{(0)}(k)$ 為一非負序列，且 $\sigma^{(1)}(k) \in (0,1]$ ，則表示生成後必具有灰指數律。

$$\text{GM}(1,1) \text{ 模式之灰差分方程式為 } \frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (11)$$

其中， t 為系統中的獨立變數， a 是相依變數， b 是灰控制變數，且 a 與 b 為待估係數，這些變數包含 $x(1), x(2), \dots, x(n)$ 均經由灰預測模式和準確地預測 $x(n+1), x(n+2), \dots, x(n+k)$ 所建構而成，計算過程如下所示：

$$\begin{aligned} \frac{dx^{(1)}}{dt} &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x^{(1)}(t + \Delta t) - x^{(1)}(t)}{\Delta t}, \text{ 令 } \Delta t = 1 \text{ 代入，可得} \\ \Rightarrow \frac{dx^{(1)}}{dt} &= x^{(1)}(t + \Delta t) - x^{(1)}(t) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) = x^{(0)}(k). \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{對 } x^{(1)} \text{ 做均值生成， } Z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1), \quad (13)$$

可得 GM(1,1) 模型的灰差分方程式為：

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad k = 2, 3, 4, \dots, n. \quad (14)$$

由(12)與(13)式，可利用最小平方法計算參數 a 、 b ，並將 a 、 b 帶入影子方程中，可得：

$$x^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \text{ 和 } x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1) \quad (15)$$

再利用下式之累減生成 IAGO，即可求出預測值。

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (16)$$

3.5 混合型灰預測

單純以灰預測來建構預測模式時，會忽略季節效果導致預測誤差偏高，本研究擬引用 Tzeng *et al.*^[28]並加強搜尋不同資料筆數對預測誤差之影響，其計算過程說明如下：

步驟一：求消除季節因子之時間數列：此部分之計算方法如同 3.1 節古典分解法之時間數列乘法模式。

步驟二：灰色建模與搜尋最低之預測誤差：首先令 $K=4$ ，以步驟一所得之 K 筆資料來建構灰預測模式，此部分之計算方法如同 3.4 節灰預測。紀錄所得之預測結果並令 $K=K+1$ ，重覆上述建構灰預測模式並紀錄所得之預測結果，直至 $K=12$ 為止，最後找尋 K 值最低之預測誤差。

3.6 SARIMA

ARIMA 模式常被使用於分析平穩型的單一變數時間序列資料，由 Box and Jenkins^[29]兩位所提出。該模式假設原始數列需具備平穩型條件，或可經由 d 次差分($d > 0$)的轉換過程可轉為平穩型數列。 $ARMA(p, q)$ 模式經由第 d 次差分後即變成 $ARIMA(p, d, q)$ 模式。

同樣地，加入季節性因子後即變成季節性模式 $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s$ ，如下所示：

$$\phi_p(B) \Phi_p(B^s) \nabla^d \nabla_s^D Z_t = \theta_q(B) \Theta_q(B^s) \varepsilon_t, \quad (17)$$

其中 Z_t 是時間點 t 的平穩型序列； s 為季節性； B 是後移運算子 $B(Z_t)=Z_{t-1}$ ，和 $B^m(Z_t)=Z_{t-m}$ ； $\nabla_s^D = (1 - B^s)^D$ 為季節性差分運算，且 $\nabla^d = (1 - B)^d$ 為非季節性； $\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$ 為非季節性 p 階自我迴歸項；而 $\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$ 為非季節性 q 階移動平均項； $\Phi_p(B^s)$ 和 $\Theta_q(B^s)$ 分別為 P 和 Q 有限階次的季節項，均需滿足平穩和可逆的條件。 ε_t 為白噪音過程，即在隨機過程中每個觀測值均互相獨立且具有相同的機率分配，而這些隨機干擾項通常假設為常態分配，其期望值為 0，變異數為 σ^2 。且 $\phi(Z)=0$ 和 $\theta(Z)=0$ 之根須落於單位圓之

外。在實際應用上，一般建議觀測值至少需要取 50 筆以上方可得到較佳之預測模式。

藉由觀察自我共變異數函數(ACF)和偏自我相關函數(PACF)^[30]的行為即可估計未知的參數。在實務上，可使用統計方法產生候選模式，但如何在所有候選的模式中選出最佳的模式是個很重要的問題。一般來說，最常使用的訊息準則為 AIC (Akaike Information Criterion, 1974)和 SBC (Schwarz Bayesian Information Criterion, 1978)，他們在模式中均加入懲罰項，所以當模式加入一個新的變數或額外的滯後變數時，會減少誤差平方和但會增加懲罰項的值，因此，訊息準則最小，模式為最佳。

肆、實證模式建立與分析

4.1 節敘述台灣地區三個國際港口的貨櫃吞吐量資料之蒐集，4.2 節為每個模式的計算過程，預測結果在 4.3 節。

4.1 資料蒐集與說明

本研究蒐集之資料範圍取自 2002 年 1 月至 2006 年 12 月之各港貨櫃吞吐量資料。2002 年 1 月至 2005 年 12 月之資料為所有模式之樣本內資料；2006 年 1 月至 12 月之資料為所有模式之共同樣本外資料。表一至表三分別為基隆、台中、高雄三港之貨櫃吞吐量，每個港口的月資料均呈現季節性的特性，尤其以每年的二月最為明顯，均呈現向下的趨勢，此種情況應和新年假期有關。

表 1. 2002 年至 2006 年基隆港貨櫃吞吐量資料表 單位: TEU

Year	Month	TEU	Year	Month	TEU
2002	1	151,925	2004	7	178,173
2002	2	108,587	2004	8	162,251
2002	3	162,129	2004	9	168,189
2002	4	170,404	2004	10	175,916
2002	5	172,430	2004	11	176,444
2002	6	166,515	2004	12	170,283
2002	7	164,055	2005	1	183,445
2002	8	166,591	2005	2	120,651
2002	9	152,507	2005	3	177,443
2002	10	170,634	2005	4	177,871
2002	11	161,314	2005	5	181,862
2002	12	171,508	2005	6	181,588
2003	1	160,554	2005	7	168,313
2003	2	128,754	2005	8	171,906
2003	3	174,986	2005	9	171,183
2003	4	168,483	2005	10	187,184
2003	5	169,200	2005	11	181,890

貨櫃吞吐量預測模式之比較研究

2003	6	167,687	2005	12	188,122
2003	7	168,040	2006	1	168,202
2003	8	161,342	2006	2	153,663
2003	9	166,411	2006	3	178,491
2003	10	179,179	2006	4	184,175
2003	11	174,206	2006	5	180,716
2003	12	181,866	2006	6	176,876
2004	1	151,207	2006	7	174,222
2004	2	157,977	2006	8	178,453
2004	3	180,575	2006	9	182,474
2004	4	180,160	2006	10	178,900
2004	5	187,086	2006	11	180,107
2004	6	181,932	2006	12	192,539

資料來源：運輸資料分析

表 2. 2002 年至 2006 年台中港貨櫃吞吐量資料表

單位: TEU

Year	Month	TEU	Year	Month	TEU
2002	1	90,705	2004	7	108,292
2002	2	74,571	2004	8	99,419
2002	3	105,135	2004	9	104,974
2002	4	105,413	2004	10	105,552
2002	5	102,999	2004	11	104,334
2002	6	98,975	2004	12	102,088
2002	7	96,729	2005	1	102,644
2002	8	100,958	2005	2	86,293
2002	9	90,469	2005	3	107,997
2002	10	109,802	2005	4	103,579
2002	11	109,618	2005	5	106,150
2002	12	108,283	2005	6	107,298
2003	1	98,051	2005	7	99,300
2003	2	86,017	2005	8	99,768
2003	3	109,078	2005	9	100,373
2003	4	105,493	2005	10	106,920
2003	5	105,028	2005	11	105,181
2003	6	100,133	2005	12	103,412
2003	7	100,776	2006	1	95,218
2003	8	101,043	2006	2	85,093
2003	9	105,185	2006	3	107,089
2003	10	110,371	2006	4	104,287
2003	11	105,422	2006	5	103,551
2003	12	119,429	2006	6	105,597
2004	1	95,826	2006	7	103,461
2004	2	103,292	2006	8	102,677
2004	3	108,894	2006	9	96,336
2004	4	106,731	2006	10	94,747
2004	5	106,384	2006	11	98,461
2004	6	99,400	2006	12	102,013

資料來源：運輸資料分析

表 3. 2002 年至 2006 年高雄港貨櫃吞吐量資料表

單位: TEU

Year	Month	TEU	Year	Month	TEU
2002	1	609,014	2004	7	829,881
2002	2	553,572	2004	8	833,557
2002	3	706,440	2004	9	806,884
2002	4	699,324	2004	10	801,663
2002	5	727,819	2004	11	813,148
2002	6	728,036	2004	12	817,092
2002	7	737,639	2005	1	772,671
2002	8	732,039	2005	2	684,086
2002	9	728,522	2005	3	853,692
2002	10	726,438	2005	4	798,523
2002	11	779,202	2005	5	831,004
2002	12	765,009	2005	6	831,084
2003	1	650,156	2005	7	771,483
2003	2	699,178	2005	8	819,504
2003	3	778,216	2005	9	773,876
2003	4	782,326	2005	10	781,452
2003	5	736,025	2005	11	770,523
2003	6	700,522	2005	12	783,158
2003	7	745,863	2006	1	768,459
2003	8	778,557	2006	2	684,897
2003	9	701,692	2006	3	837,146
2003	10	750,598	2006	4	811,209
2003	11	747,642	2006	5	854,909
2003	12	772,591	2006	6	813,016
2004	1	744,970	2006	7	812,298
2004	2	737,450	2006	8	862,517
2004	3	826,430	2006	9	820,208
2004	4	831,984	2006	10	823,271
2004	5	840,697	2006	11	832,516
2004	6	830,406	2006	12	854,227

資料來源: 運輸資料分析

4.2 吞吐量預測模式建立

4.2.1 古典分解法

依據 3.1 節古典分解法，預測值詳細之計算結果彙整於表 4。為避免冗長的計算過程，本文僅列出各種預測方法之基隆港的計算過程，其餘兩港預測值的計算方式皆同。

表 4. 基隆港吞吐量預測表

單位：TEU

t	Y_t	12 MA	$CMA = TR_t * CL_t$	$SN_t * IR_t$	SN_t	$TR_t' = Y_t / SN_t$	$\hat{TR}_t = a + bt$	$Y_t\text{-hat} = TR_t * SN_t$
1	151925				1.923	78994.241	79916.82404	153699.350
2	108587				1.621	66982.581	80132.95166	129905.369
3	162129				2.055	78906.380	80349.07928	165093.315
4	170404				2.046	83283.494	80565.20691	164842.189
5	172430				2.066	83448.857	80781.33453	166918.109
6	166515				2.031	82003.708	80997.46215	164471.738
7	164055	159883.250	160242.792	1.024	1.993	82323.400	81213.58978	161843.358
8	166591	160602.333	161442.625	1.032	1.938	85963.241	81429.7174	157805.335
9	152507	162282.917	162818.625	0.937	1.917	79545.355	81645.84502	156534.130
10	170634	163354.333	163274.292	1.045	2.073	82308.613	81861.97265	169708.071
11	161314	163194.250	163059.667	0.989	2.014	80086.220	82078.10027	165326.154
12	171508	162925.083	162973.917	1.052	2.065	83068.071	82294.22789	169910.270
13	160554	163022.750	163188.792	0.984	1.923	83480.937	82510.35552	158687.337
14	128754	163354.833	163136.125	0.789	1.621	79422.723	82726.48314	134109.802
15	174986	162917.417	163496.750	1.070	2.055	85163.739	82942.61077	170422.247
16	168483	164076.083	164432.125	1.025	2.046	82344.622	83158.73839	170148.740
17	169200	164788.167	165325.333	1.023	2.066	81885.673	83374.86601	172277.112
18	167687	165862.500	166294.083	1.008	2.031	82580.884	83590.99364	169738.108
19	168040	166725.667	166336.208	1.010	1.993	84323.087	83807.12126	167011.777
20	161342	165946.750	167164.375	0.965	1.938	83254.685	84023.24888	162831.426
21	166411	168382.000	168614.875	0.987	1.917	86797.472	84239.37651	161506.535
22	179179	168847.750	169334.292	1.058	2.073	86430.459	84455.50413	175084.721
23	174206	169820.833	170566.083	1.021	2.014	86486.604	84671.63175	170550.185
24	181866	171311.333	171904.875	1.058	2.065	88084.858	84887.75938	175265.052
25	151207	172498.417	172920.625	0.874	1.923	78620.913	85103.887	163675.324
26	157977	173342.833	173380.708	0.911	1.621	97449.116	85320.01462	138314.236
27	180575	173418.583	173492.667	1.041	2.055	87883.843	85536.14225	175751.178
28	180160	173566.750	173430.792	1.039	2.046	88051.656	85752.26987	175455.291
29	187086	173294.833	173388.083	1.079	2.066	90541.744	85968.39749	177636.114
30	181932	173481.333	172998.708	1.052	2.031	89596.124	86184.52512	175004.479
31	178173	172516.083	173859.333	1.025	1.993	89407.864	86400.65274	172180.196
32	162251	175202.583	173647.333	0.934	1.938	83723.741	86616.78036	167857.516
33	168189	172092.083	171961.583	0.978	1.917	87724.850	86832.90799	166478.940
34	175916	171831.083	171735.708	1.024	2.073	84856.488	87049.03561	180461.372
35	176444	171640.333	171422.667	1.029	2.014	87597.685	87265.16323	175774.217
36	170283	171205.000	171190.667	0.995	2.065	82474.756	87481.29086	180619.834
37	183445	171176.333	170765.500	1.074	1.923	95383.239	87697.41848	168663.312
38	120651	170354.667	170756.958	0.707	1.621	74424.336	87913.5461	142518.669
39	177443	171159.250	171284.000	1.036	2.055	86359.533	88129.67373	181080.109
40	177871	171408.750	171878.250	1.035	2.046	86932.927	88345.80135	180761.843
41	181862	172347.750	172574.667	1.054	2.066	88013.548	88561.92898	182995.117
42	181588	172801.583	173544.875	1.046	2.031	89426.715	88778.0566	180270.849
43	168313	174288.167	173653.042	0.969	1.993	84460.080	88994.18422	177348.614
44	171906	173017.917	174393.417	0.986	1.938	88705.854	89210.31185	172883.606
45	171183	175768.917	175812.583	0.974	1.917	89286.475	89426.43947	171451.345
46	187184	175856.250	176118.917	1.063	2.073	90291.825	89642.56709	185838.022
47	181890	176381.583	176333.833	1.032	2.014	90301.415	89858.69472	180998.248
48	188122	176286.083	176089.750	1.068	2.065	91114.885	90074.82234	185974.616
49	168202	175893.417	176139.625	0.955	1.923	87457.557	90290.94996	173651.299
50	153663	176385.833	176658.625	0.870	1.621	94787.997	90507.07759	146723.103
51	178491	176931.417	177401.875	1.006	2.055	86869.583	90723.20521	186409.040

52	184175	177872.333	177527.167	1.037	2.046	90013.953	90939.33283	186068.394
53	180716	177182.000	177107.708	1.020	2.066	87458.932	91155.46046	188354.119
54	176876	177033.417	177217.458	0.998	2.031	87106.194	91371.58808	185537.219
55	174222	177401.500			1.993	87425.238	91587.7157	182517.033
56	178453				1.938	92084.195	91803.84333	177909.696
57	182474				1.917	95175.691	92019.97095	176423.749
58	178900				2.073	86295.878	92236.09857	191214.673
59	180107				2.014	89416.224	92452.2262	186222.280
60	192539				2.065	93254.212	92668.35382	191329.398

4.2.2 三角函數迴歸

依據 3.2 節，將樣本內資料代入(4)式，使用 SAS 軟體求解，得到基隆港三角函示迴歸模式之估計結果如下：

$$\begin{aligned}
 \hat{y} = & 158342 + 414.1516 t - 5065.1053 \sin\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + 85.52933 \operatorname{tsin}\left(\frac{2\pi t}{12}\right) \\
 & (43.45) \quad (3.2) \quad (-0.99) \quad (0.46) \\
 & - 7079.0854 \cos\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + 119.348 \operatorname{tcos}\left(\frac{2\pi t}{12}\right) - 11590 \sin\left(\frac{4\pi t}{12}\right) \\
 & (-1.36) \quad (0.66) \quad (-2.29) \\
 & + 58.09845 \operatorname{tsin}\left(\frac{4\pi t}{12}\right) + 3936.9607 \cos\left(\frac{4\pi t}{12}\right) + 29.18738 \operatorname{tcos}\left(\frac{4\pi t}{12}\right) \quad (18) \\
 & (0.32) \quad (0.77) \quad (0.16)
 \end{aligned}$$

將 $t=37, 38, \dots, 48$ 分別代入(18)式，可得 2006 年 1 月至 12 月基隆港貨櫃吞吐量的預測值，其結果彙整於表 8 所示。我們發現此模式的 F 值為 4.70，P 值為 0.0003 小於 0.05 的信賴區間； R^2 為 0.5266 和調整後 R^2 為 0.4145，顯示模式具有解釋能力。(18)式下方各括弧中的數字為各變數的 T 值。

4.2.3 季節性虛擬變數迴歸

依據 3.3 節，先將樣本資取 \ln ，代入(7)式，使用 SAS 軟體求解，得到結果如下：

$$\begin{aligned}
 \hat{y}_t = & b_0 + b_1 t + b_{s1} X_{s1t} + b_{s2} X_{s2t} + \dots + b_{s11} X_{s11t} \\
 = & 12.01416 + 0.00247t - 0.07026X_{s1,t} - 0.30567X_{s2,t} - 0.00138X_{s3,t} \\
 & (371.85) \quad (4.24) \quad (-1.81) \quad (-7.87) \quad (-0.04) \\
 & - 0.000846X_{s4,t} + 0.01568X_{s5,t} - 0.00513X_{s6,t} - 0.035X_{s7,t} \\
 & (-0.02) \quad (0.41) \quad (-0.13) \quad (-0.91)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -0.06193X_{S8,t} - 0.07082X_{S9,t} + 0.00684X_{S10,t} - 0.02314X_{S11,t} & (19) \\
 & (-1.61) \quad (-1.84) \quad (0.18) \quad (-0.6)
 \end{aligned}$$

依據(19)式可得 2006 年 1 月~12 月的預測值，其預測結果彙整於表 8。我們發現模式中的 F 值等於 11.86，P 值小於 0.0001；R² 等於 0.8026 和調整後 R² 等於 0.7349，顯示模式具有良好的解釋能力。(19)式括弧中的數字為各變數的 T 值。

4.2.4 灰預測

因灰預測的結果易受原始資料的筆數所影響，本研究經 8 次測試原始資料後發現，使用 2005 年 2 月至 2005 年 12 月基隆港貨櫃吞吐櫃量 11 筆原始資料作為參考數據以灰色滾動建模之誤差最小，預測 2006 年 1 月之吞吐量，建立模型之步驟如下：

1. 級比檢驗(Class Ratio test)

建構灰預測模式之前，資料需先經過級比檢驗，當所有數列的值皆介於 0 至 1 之間時，表示基隆港貨櫃吞吐量原始序列 $x^{(0)}$ 可作 GM(1,1)建模。

表 5. 級比數列表

2005/3	2005/4	2005/5	2005/6	2005/7	2005/8	2005/9	2005/10	2005/11	2005/12
0.405	0.626	0.724	0.784	0.833	0.854	0.873	0.878	0.894	0.901

2. 累加生成數列(Accumulated Generated Operation, AGO)

依據(9)式，進行累加生成計算，如表 6。

表 6. 累加生成數列表

2005/2	2005/3	2005/4	2005/5	2005/6	2005/7	2005/8	2005/9	2005/10	2005/11	2005/12
120651	298094	475965	657827	839415	1007728	1179634	1350817	1538001	1719891	1908013

3. 均值生成數列(Mean Value Generating Sequence)

利用(13)式，計算均值生成數列如下。

表 7. 均值生成表

2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12
209372.5	387029.5	566896	748621	923571.5	1093681	1265225.5	1444409	1628946	1813952

4. 時間數列預測模式(Time Series Prediction Model)

依最小平方法求得待估參數 a 和 b ，如下：

$$a = -0.0042496991 \quad b = 174451.7791962661$$

求得 a 、 b 係數後，將 a 、 b 係數帶入下列之影子方程式中。

$$\hat{X}^{(0)}(k+1) = (1 - e^a) \left[X^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} \quad (20)$$

依據(20)式進行滾動建模，可得 2006 年 1 月至 12 月的預測值，其結果彙整於表 8。

4.2.5 混合型灰預測

延續 3.5 節古典分解法求得之基隆港貨櫃吞吐量預估資料作為參考數據進行灰色滾動建模，可得 2006 年 1 月至 12 月的預測值，其結果彙整於表 8 所示。

4.2.6 建立 SARIMA 模式

因 SARIMA 模式需 50 筆之觀測值才可得要較佳之估計模式，因此本研究所採用的樣本內資料擴增為 2001 年 1 月至 2005 年 12 月。藉由觀察歷史資料可發現資料每年均存在相同季節性和趨勢變動，因此，需對序列進行一階差分或一階季節性差分以消除資料趨勢和季節性的特性，使序列趨於平穩。本文採用 SAS 套裝軟體來產生 SARIMA 模式。在 95% 的信賴區間內，可能會有許多的可行解，因此，AIC 是最常被用來選擇最佳模式的訊息準則，AIC 的值愈小表示模式的配適度愈佳。本研究得到基隆港之預測模式為 $ARIMA(2,1,0)(1,1,0)_{12}$ ，如下之(21)式，括弧內的值為各變數之 T 值。

$$(1 + 1.05225B + 0.45818B^2)(1 - B)(1 + 0.64299B^{12})(1 - B^{12})Z_t = \varepsilon_t \quad (21)$$

(-8.7504) (-4.0187) (-5.1817)

4.3 實證結果分析

綜合 4.2 節古典分解預測、三角函數迴歸預測、季節性虛擬變數迴歸預測、灰預測、混合型灰預測與 SARIMA 等六種實證模式，求得基隆、台中與高雄三港貨櫃吞吐量預測值，並將實際吞吐量分別彙整於表 8 至表 10 以利比較。

表 8. 2006 年基隆港貨櫃吞吐量預測值彙整表

單位：TEU

	實際值	古典分解	三角函數 迴歸	季節性虛擬 變數迴歸	灰預測*	混合型 灰預測*	SARIMA(2,1,0) (1,1,0) ₁₂ noint
1	168,202	173,651	172,244	173,703	182,949	180,942	170,465
2	153,663	146,723	167,591	137,613	184,301	181,642	153,574
3	178,491	186,409	173,335	187,007	185,941	182,545	188,355
4	184,175	186,068	184,473	187,569	188,873	184,345	187,729
5	180,716	188,354	190,792	191,166	192,602	186,159	194,157
6	176,876	185,537	186,854	187,700	193,830	187,647	190,401
7	174,222	182,517	177,248	182,627	194,881	187,963	183,355
8	178,453	177,910	171,966	178,225	194,684	187,027	174,442
9	182,474	176,424	176,538	177,070	197,110	188,464	177,907
10	178,900	191,215	186,679	191,856	198,588	189,100	188,669
11	180,107	186,222	192,652	186,652	201,302	190,819	187,077
12	192,539	191,329	188,961	191,492	203,028	191,676	185,347

Remark: * 11 筆資料以灰色滾動建模

表 9. 2006 年台中港貨櫃吞吐量預測值彙整表

單位：TEU

	實際值	古典分解	三角函數 迴歸	季節性虛擬 變數迴歸	灰預測*	混合型 灰預測*	SARIMA(0,1,1) (1,1,0) ₁₂ noint
1	95,218	99,282	104,218	99,161	102,437	106,816	97,709
2	85,093	91,287	104,760	89,161	102,888	108,041	91,284
3	107,089	109,738	106,051	110,492	102,702	109,046	106,277
4	104,287	106,629	107,010	107,958	103,177	110,453	102,799
5	103,551	107,265	106,929	107,796	104,367	111,734	104,154
6	105,597	105,378	106,015	103,964	104,189	112,657	101,913
7	103,461	103,609	104,917	103,746	103,724	113,076	100,954
8	102,677	102,588	104,022	102,837	102,931	112,874	97,529
9	96,336	102,423	103,370	102,601	103,354	113,995	100,197
10	94,747	110,646	103,102	110,880	103,744	114,827	104,257
11	98,461	108,694	103,643	108,804	103,939	116,131	102,735
12	102,013	110,824	105,207	110,835	103,930	116,834	100,767

Remark: * 11 筆資料以灰色滾動建模

表 10. 2006 年高雄港貨櫃吞吐量預測值彙整表

單位：TEU

	實際值	古典分解	三角函數 迴歸	季節性虛擬 變數迴歸	灰預測*	混合型 灰預測**	SARIMA(0,1,1) (2,0,0) ₁₂ noint
1	768,459	779,419	820,679	769,272	780,094	817,224	764,135
2	684,897	746,870	845,022	740,070	787,510	819,067	732,362
3	837,146	876,465	866,387	878,613	787,959	818,751	826,387
4	811,209	858,602	878,160	864,494	793,072	821,358	811,155
5	854,909	868,748	879,225	870,828	795,096	820,382	825,455
6	813,016	846,345	871,986	857,520	799,201	820,085	820,901
7	812,298	852,390	858,314	857,692	801,940	824,893	801,542
8	862,517	872,900	839,075	879,492	805,611	822,074	818,587
9	820,208	830,399	817,971	836,850	808,682	819,890	792,075
10	823,271	844,052	804,068	851,198	812,174	819,882	792,183
11	832,516	858,441	807,699	865,359	815,407	822,247	793,787
12	854,227	866,041	831,814	873,095	818,835	822,165	799,597

Remark: * 4 筆資料以灰色滾動建模；** 11 筆資料以灰色滾動建模

Yokum and Armstrong^[31]曾提出選擇預測方法的評估準則，但準確度必定是最重要的準則。預測準確度為評估預測模式所得預測值與實際值之間的差，亦即預測誤差，為決定一預測模式成功與否的度量，本研究以樣本外預測誤差為預測績效評估之基礎。常見的預測模式準確度分析為平均絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE)、平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percent Error, MAPE)與殘差均方根(Root Mean Squared Error, RMSE)，用來檢定預測之精確度。評估準則之公式如下：

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (22)$$

$$MAPE = \frac{100 \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right|}{n} \quad (23)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (24)$$

其中 Y_i 為 i 期間之觀測值， \hat{Y}_i 為 i 期間之預測值。以 MAE 與 MAPE 為衡量標準時，其值越小，表示預測能力越好；以 RMSE 為衡量標準時，其值越接近 0，表示預測能力越好。

表 11 至 13 分別彙總基隆、台中與高雄三港運用六種預測模式之結果，並利用平均絕對誤差、平均絕對誤差百分比與殘差均方根三種方法所求得之結果，比較各港預測模式準確度。於表 11 可發現對基隆港而言，不論何種評估準則古典分解法所求之預測誤差最小，預測最為準確，而三角函數迴歸和 SARIMA 因評估準則之不同，並列第二。預測準確度最差的是灰預測，與其他方法之預測誤差有極顯著的差異，其次為混合型灰預測。因兩者皆為灰預測，可見灰預測不適合用於預測基隆港之貨櫃吞吐量。

表 11. 基隆港貨櫃吞吐量預測模式評估比較表

預測方法 \ 評估指標	MAE	MAPE	RMSE
古典分解	6085.68	3.47	6914.44
三角函數迴歸	6902.42	3.96	7933.33
季節性虛擬變數迴歸	7443.31	4.30	8708.00
灰預測*	15772.56	9.07	17111.81
混合型灰預測*	9269.71	5.44	11636.72
SARIMA(2,1,0)(1,1,0) ₁₂ noint	7031.50	3.92	8138.08

Remark: * 11 筆資料以灰色滾動建模

表12在台中港方面，SARIMA的預測誤差遠低於其他五種方法，有著極顯著的差異，為最佳預測台中港貨櫃吞吐量的方法。因評估準則之不同，灰預測與古典分解法並列第二。整體而言，古典分解法、三角函數迴歸、季節性虛擬變數迴歸與灰預測四種方法的預測誤差並無很顯著的差異，而混合型灰預測的預測誤差結果卻明顯遠低於其他方法，顯示混合型灰預測不適合用於預測台中港貨櫃吞吐量。

表13顯示高雄港貨櫃吞吐量預測誤差之結果，SARIMA的預測誤差為最小，其次為古典分解法，混合型灰預測列為第三，此三者的誤差差異不大，而預測準確度最差的是三角函數迴歸。整體而言，高雄港六種預測方法之誤差結果均較基隆與台中兩港為佳且接近，並無預測誤差明顯非常差的方法。

表 12. 台中港貨櫃吞吐量預測模式評估比較表

預測方法 \ 評估指標	MAE	MAPE	RMSE
古典分解	5037.40	5.20	6791.12
三角函數迴歸	5232.50	5.59	7349.24
季節性虛擬變數迴歸	5247.58	5.36	6845.08
灰預測*	4721.75	5.04	6806.18
混合型灰預測*	12329.58	12.73	13733.12
SARIMA(0,1,1)(1,1,0)s noint	3484.58	3.60	4274.89

Remark: * 11 筆資料以灰色滾動建模

表 13. 高雄港貨櫃吞吐量預測模式評估比較表

預測方法 \ 評估指標	MAE	MAPE	RMSE
古典分解	27166.52	3.43	31777.43
三角函數迴歸	44162.58	5.72	59112.98
季節性虛擬變數迴歸	30817.60	3.85	34973.70
灰預測*	33132.42	4.18	43135.95
混合型灰預測**	29345.91	3.83	45645.65
SARIMA(0,1,1)(2,0,0)s noint	25600.58	3.16	31097.87

Remark: * 4 筆資料以灰色滾動建模； ** 11 筆資料以灰色滾動建模

如同預期，沒有任何一種預測方法在各國際港的預測結果均優於其他方法，因為在以往預測的研究中，沒有單一的預測模式在所有環境中對所有情況皆可適用^[32]。但從本文的研究結果可發現，古典分解法和SARIMA分別位居各港預測準確度的前兩名，而與灰預測相關的結果也不甚理想，至於其他的方法的準確度則無明確的結果。

伍、結論與建議

短期規劃可明顯地顯示季節需求變動，因港埠之產能無法使用一般的商業策略來加以提昇，因此，瞭解一年內需求變化、實為長期投資時重要考量因素。實用且準確度高之貨櫃吞吐量預測模式，可供處於競爭激烈環境中之國際商港各項港口設施的改善規劃作業，與訂定營運管理策略方向時的參考依據。

本研究採用古典分解法、三角函數迴歸、季節性虛擬變數、灰預測、混合型灰

預測及SARIMA等六種方法來預測基隆、台中與高雄三港之貨櫃吞吐量，並利用平均絕對誤差、平均絕對誤差百分比與殘差均方根等三項評估指標來比較何者為最有效的預測模式。研究結果顯示，不論採何種指標，基隆港以古典分析法最為準確，台中港與高雄港則以SARIMA最佳。整體而言，古典分解法及SARIMA的預測準確度均囊括三港之前兩名，顯示此兩種方法對貨櫃吞吐量具有一定程度的預測能力。以簡單的古典分解法而言，其背後並無強大的統計理論基礎，但預測的表現並不輸其他具有複雜統計理論的方法，也就是說，艱深統計方法的預測結果未必能比簡單方法的預測結果更為準確^[33]。

不同之產業有其不同之特性，不同之預測方法亦有其優劣性存在，故不同之產業所使用之最佳預測方法也未必相同，若能找出適合之預測方法，將可提高該產業之實用性。不同的資料分配型態，可能會影響模式之預測能力，建議未來的研究可朝影響預測模式準確度的因素發展。此外，不同的預測方法也可能與預測的基準有關，若能發展新模式將短期預測較準確的方法結合成新模式，對長期預測而言應更助益^[34]。因本研究所使用之模式有限，未來若能考慮其他的預測模式，諸如：類神經網路、人工智慧或其他如資料採礦技術等預測方法，或許能再提高貨櫃吞吐量預測之準確度。

參考文獻

1. Franses, P.H. and Van Dijk, D., "The forecasting performance of various models for seasonality and nonlinearity for quarterly industrial production", *International Journal of Forecasting*, Vol. 21, pp. 87-102, 2005.
2. 郭塗城, "基隆港之運量與能量分析", 台灣港埠整體發展及深水化之研究－基隆港之整體開發計畫, 交通部運輸研究所, 1993 年。
3. 劉宏道、張徐錫, "港埠運量預測模式之研究", *中華技術*, 第十七期, 頁 89-97, 1996 年。
4. Seabrooke, W., Hui, E.C.M., Lam, W.H.K. and Wong, G.K.C., "Forecasting cargo growth and regional role of the port of Hong Kong", *Cities*, Vol. 20(1), pp. 51-64, 2003.
5. 顏進儒、林永山, "我國海運主要定期航線貨物運量分析", *運輸學刊*, 第十卷第四期, 頁 97-111, 1997 年。
6. Coto-Millán, P., Baños-Pino, J. and Castro, J.V., "Determinants of the demand for maritime imports and exports", *Transportation Research Part. E*, Vol. 41, pp.

- 357-372, 2005.
7. De Gooijer, J.G. and Klein, A., "Forecasting the Antwerp maritime steel traffic flow: a case study", *Journal of Forecasting*, Vol. 8, pp. 381-398, 1989.
 8. 魏健宏、楊雨青, "高雄港轉口貨櫃運量預測之研究—以類神經網路評選輸入變數", *運輸學刊*, 第十一卷第三期, 頁 1-20, 1999 年。
 9. Lam, W.H.K., Ng, P.L.P., Seabrooke, W. and Hui, E.C.M., "Forecasts and reliability analysis of port cargo throughput in Hong Kong", *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 130(3), pp. 133-144, 2004.
 10. Fung, M.K., "Forecasting in Hong Kong's container throughput: an error-correction model", *Journal of Forecasting*, Vol. 21(1), pp. 69-80, 2002.
 11. Hui, E.C.M., Seabrooke, W. and Wong, G.K.C., "Forecasting cargo throughput for the port of Hong Kong: error correction model approach", *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 130(4), pp. 195-203, 2004.
 12. Babcock, M.W., Lu, X. and Norton, J., "Time series forecasting of quarterly railroad grain carloadings", *Transportation Research Part. E*, Vol. 35, pp. 43-57, 1999.
 13. Tang, X., "Time series forecasting of quarterly barge grain tonnage on the McClellan-Kerr Arkansas River navigation system", *Journal of the Transportation Research Forum*, Vol. 40(3), pp. 91-108, 2001.
 14. Babcock, M.W. and Lu, X., "Forecasting inland waterway grain traffic", *Transportation Research Part E*, Vol. 38, pp. 65-74, 2002.
 15. 周明道、李選士、林光, "高雄港轉口貨櫃預測與發展策略", *海運學報*, 第十二期, 頁 235-250, 2003 年。
 16. 許巧鶯、溫裕宏, "台灣地區國際航空客運量之預測—灰色預測模式之應用", *運輸計畫*, 第二十六卷第三期, 頁 525-555, 1997 年。
 17. 黃文吉、吳勝傑、程培倫及尤仁弘, "由生命週期觀點談灰色理論於運輸需求預測之應用—以台灣地區港埠貨櫃運輸需求預測為例", *海運學報*, 第十二期, 頁 171-185, 2003 年。
 18. Veldman, S.J. and Bückmann, E.H., "A model on container port competition: an application for the west European container hub-ports", *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 5(1), pp. 3-22, 2003.
 19. 梁金樹、周聰佑, "台灣地區海運進出口貨物運量預測", *海運學報*, 第十二期, 頁 203-218, 2003 年。

20. 周建張, “台灣地區各國際商港貨櫃運量預測”, 博士論文, 國立台灣海洋大學, 基隆市, 2004 年。
21. 陳垂彥, “港埠運輸需求預測之分析研究”, 第一屆航運管理研討會資料, 頁 114-125, 1997 年。
22. 周明道, “以模糊時間數列進行模糊預測之研究”, 博士論文, 國立台灣海洋大學, 基隆市, 2004 年。
23. 彭文怡, “季節性預測模式比較—以台灣地區國際港埠進口貨櫃預測為例”, *航運季刊*, 第二十五卷第二期, 頁 21-36, 2006 年。
24. Chu, C.W. and Zhang, G.P., “A comparative study of linear and nonlinear models for aggregate retail sales forecasting”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 86, pp. 217-231, 2003.
25. Taylor, J.W., De Menezes, L.M. and McScharry, P.E., “A comparison of univariate methods for forecasting electricity demand up to a day ahead”, *International Journal of Forecasting*, Vol. 22, pp. 1-16, 2006.
26. Bowerman, B.L. and O’Connell, R.T., “Forecasting and Time Series: An Applied Approach”, 3rd Edition, Duxbury Press, Belmont, CA. 1993.
27. Deng, J.L., “Introduction grey system theory”, *Journal of Grey System*, Vol. 1, pp. 1-24, 1989.
28. Tzeng, F.M., Yu, H.C. and Tzeng, G.H., “Applied hybrid grey model to forecast seasonal time series”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 67, pp. 291-302, 2001.
29. Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., “Time Series Analysis, Forecasting and Control”, 2nd Edition, Holden-Day, San Francisco, U.S.A., 1976.
30. Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C., “Time Series Analysis, Forecasting and Control, Englewood Cliffs”, NJ: Prentice-Hall, 1994.
31. Yokum, J.T. and Armstrong, J.S., “Beyond accuracy: comparison of criteria used to select forecasting methods”, *International Journal of Forecasting*, Vol. 11(4), pp. 591-597, 1995.
32. Makridakis, S., Anderson, A., Carbone, R., Fildes, R., Hibon, M., Lewandowski, R., Newton, J., Parzen, E. and Winkler, R., “The accuracy of extrapolation (time series) methods: Results of a forecasting competition”, *Journal of Forecasting*, Vol. 1, pp. 111-153, 1982.
33. Makridakis, S. and Hibon, M., “The M3-Competition: Results, Conclusions and

- Implications”, *International Journal of Forecasting*, Vol. 16(4) pp. 451-476, 2000.
34. Fildes, R. and Makridakis, S., “The impact of empirical accuracy studies on time series analysis and forecasting”, *International Statistical Reviews*, Vol. 63, pp. 289-308, 1995.