

第肆章 實驗分析與模型驗證

本章依照第三章所建構的協同訂單預測模型，分別針對兩個產品進行實驗以驗證預測模型，包括時間序列模型、多元回歸模型與演化策略模型三個預測階段之實證分析，並且與單獨使用時間序列或回歸分析之預測結果作績效比較。本章分為三個部分：第一節說明實證資料的來源與預測區塊分配；第二節說明產品 A 之預測結果與績效；第三節說明產品 B 之預測結果與績效。

4.1 資料蒐集與敘述

本研究以國內某製造業公司與其顧客（一國際大型零售商）之某一產品於 2004 年 4 月至 2005 年 3 月之 52 週產品、存貨與訂單資料做為模型驗證，屬於第二章所提之情境 A，由買方主導整個流程。實驗結果將檢視 4 週與 8 週之平均績效值，並把 52 週資料區分為三大部分：在時間序列模型部分，以第 1~44 週為訓練區間，以第 45~52 週為預測區間；多元迴歸模型則以第 1~36 週為測試樣本；在演化策略模型部分，則是以第 37~44 週為模型訓練區間；第 45~52 週為三階段訂單預測模型之績效測試區間。

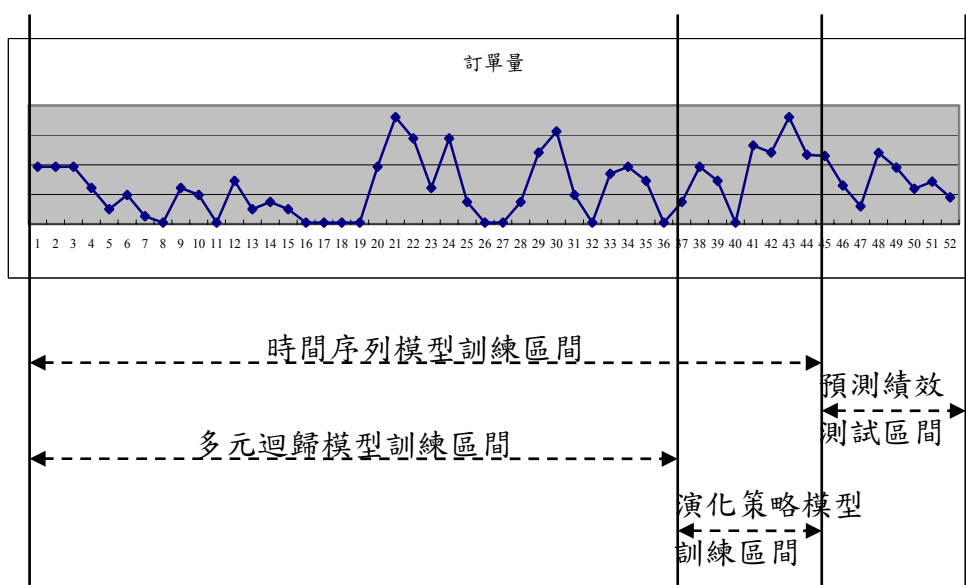


圖 4-1 本研究模型各階段實驗資料區間示意圖

4.2 產品 A 預測實驗與績效

4.2.1 階段一：時間序列模型

針對產品 A 之第 1~44 週訂單量資料，進行時間序列模型參數敏感度訓練分析，預測第 45~52 週之訂單量。此階段所使用的線性指數平滑法公式如下所示：

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$\hat{Y}_t(k) = L_t + kT_t$$

$$L_2 = Y_2$$

$$T_2 = Y_2 - Y_1$$

其中， α = 平滑係數（針對等級）

β = 平滑係數（針對趨勢）

L_t = 時間 t 之估計值

T_t = 時間 t 之趨勢估計值

Y_t = 時間 t 之觀察值

$\hat{Y}_t(k)$ = 到時間 t 為止之預測值

將 α 、 β 兩個平滑係數分別以 0.01~0.9 為區間進行敏感度分析，以 44 週之 MAPE 為指標，節錄前 15 名結果如表 4-1。依據之歷史資料越多，則較小的 α 值較為適當，較小的 α 值造成的預測值曲線較為平滑。實驗結果取 MAPE 最小者，即 $\alpha = 0.3$ 與 $\beta = 0.01$ ，進行本研究中產品 A 之實驗。產品 A 之時間序列實際訂單量與預測曲線如圖 4-2。

表 4-1 產品 A 之階段一時間序列模型平滑係數敏感度分析

平滑係數 α	平滑係數 β	MSE	MAD	MAPE	排名
0.13	0.01	4792391.50	1791.12	89.33%	1
0.12	0.01	4819245.75	1805.37	90.72%	2
0.11	0.01	4850306.40	1820.97	92.31%	3
0.10	0.01	4886598.12	1838.04	94.14%	4
0.09	0.01	4929558.52	1856.66	96.27%	5
0.08	0.01	4981334.54	1876.82	98.76%	6
0.07	0.01	5045365.23	1898.39	101.70%	7
0.06	0.01	5127547.25	1927.11	105.35%	8
0.05	0.01	5238584.01	1960.90	109.81%	9
0.04	0.01	5398731.29	2003.33	115.38%	10
0.03	0.02	5589559.68	2042.64	119.49%	11
0.03	0.01	5647375.81	2052.97	122.28%	12
0.02	0.02	5966170.39	2106.62	128.73%	13
0.02	0.01	6062312.93	2120.25	131.11%	14
0.01	0.04	6512718.79	2181.86	138.08%	15

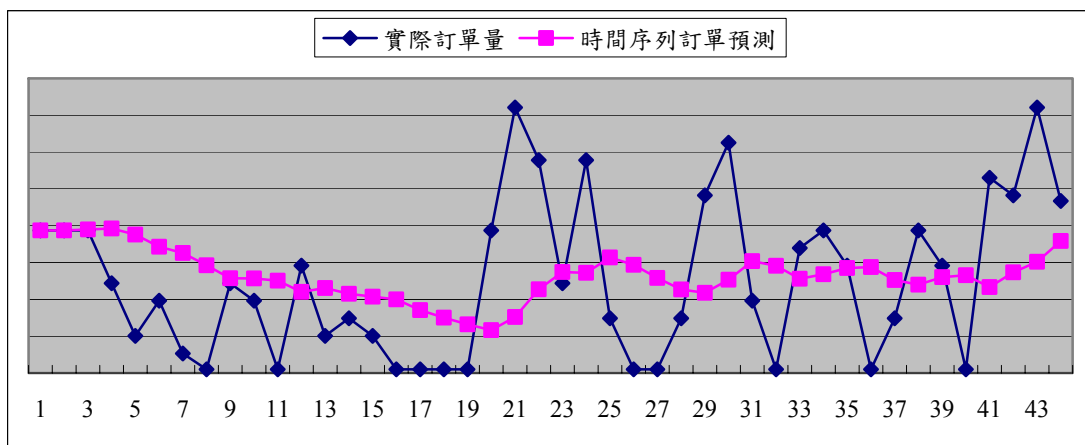


圖 4-2 產品 A 之實際訂單量與時間序列訂單預測曲線圖

4.2.2 階段二：多元迴歸模型

由於第一階段之時間序列法僅把過去訂單數量做為未來訂單數量之唯一參數，並未考慮其他影響因素，故本研究透過文獻探討歸納出訂單預測之輸入參數，並採用多元迴歸分析將所有影響訂單預測之因素考慮進來，求得參數解以作為第三階段最佳化演算法之起始解。模型與變數說明如下：

$$\begin{aligned} \log Y(t) = & \beta_0 + \beta_1 \log \text{SaleForc}(t) + \beta_2 \log \text{TsEst}(t) + \beta_3 \log \text{SuppInv}(t) + \\ & \beta_4 \text{LeadTime}(t) + \beta_5 \log \text{SafeStoc}(t) + \beta_6 \text{OrderCyc}(t) + \\ & \beta_7 \log \text{OnHand}(t) + \beta_8 \log \text{OnOrder}(t) + \beta_9 \text{InvStraDV}(t) + \varepsilon_t \end{aligned}$$

其中， $\log Y(t)$ = 第 t 期訂單量之對數值

$\log \text{SaleForc}$ = 銷售預測之對數值

$\log \text{TsEst}$ = 時間序列模型預測值之對數值

$\log \text{SuppInv}$ = 供應商庫存持有成本之對數值

LeadTime = 前置時間（單位為週）

$\log \text{SafeStoc}$ = 零售商安全庫存之對數值

OrderCyc = 訂單週期（單位為週）

$\log \text{OnHand}$ = 零售商在手庫存量（Inventory On Hand）之對數值

$\log \text{OnOrder}$ = 零售商已訂購庫存量（Inventory On Order）之對數值

InvStraDV = 零售商的存貨策略，分為四種：1—表(s, Q)連續盤點制；
2—表(s, S)連續盤點制；3—表(R, S)定期盤點制；4—表
(R, s, S)定期盤點制。

多元迴歸模型以第1~36週為測試部份，並利用SSPS統計軟體進行模型分析，使用迴歸分析的強迫分析進入法（Enter）分析結果如表4-2。標準化係數分別為：銷售預測（SaleForc）為-0.332；時間序列模型預測值（TsEst）為6.156；供應商庫存持有成本（SuppInv）為0.284；零售商安全庫存（SafeStoc）為-0.392；

零售商在手庫存量(OnHand)為-0.625;零售商已訂購庫存量(OnOrder)為-1.732。在多元迴歸模型之解釋性部份,複判定係數為(R_2)為0.611,而調整後之複判定係數(Adjusted R_2)則為0.495。由於變數間若存在共線性會降低模型績效,故利用變異數膨脹因素(Variance Inflation Factor; VIF)作多元迴歸共線性分析,以各預測變數的VIF之值是否小於10,來檢定迴歸模型的共線性(Neter et al., 1996)。本研究模型中變數VIF介於1.188~2.704間,自變數間並無明顯共線性。

表4-2 產品A之階段二多元迴歸模型係數表

模型	β	標準誤	t 值	顯著性	VIF
(常數)	-6.846	16.017	0.55	0.671	
SaleForc	-0.332	0.851	-0.862	0.699	1.331
TsEst	6.156	1.121	5.049	0.001	1.323
SuppInv	0.284	0.177	0.905	0.119	1.188
SafeStoc	-0.392	1.215	-0.069	0.749	1.791
OnHand	-0.625	2.694	-0.041	0.818	2.704
OnOrder	-1.732	1.586	-1.555	0.283	2.694

R = 0.782, R_2 = 0.611, Adjusted R_2 = 0.495

F 檢定 = 5.242, 顯著性 = 0.002

4.2.3 階段三：演化策略模型

第三階段演化策略模型利用第二階段多元迴歸模型之參數解作為起始解,並以37~44週為演化策略模型訓練區間。由於階段二迴歸模型之第1~36週資料中,原本預設之LeadTime、OrderCyc與InvStraDV變數在統計分析時被去除,但階段三演化策略模型需要初始值以利運算,故保留變數並預設為0.001,即 $\beta_4 = 0.001$ 、 $\beta_6 = 0.001$ 與 $\beta_9 = 0.001$ 。演化策略法第一期之起始值如表4-3。

表4-3 產品A之階段三演化策略模型第一期初始值

β_0	β_1	β_2	β_3	B_4	β_5	β_6	β_7	β_8	B_9
-6.846	-0.332	6.156	0.284	0.001	-0.392	0.001	-0.625	-1.732	0.001

演化策略法模型參數設定如下：

- (1) 訓練週數：8週（第37~44週）
- (2) 預測週數：4週（第45~48週）與8週（第45~52週）
- (3) 父代族群大小：100
- (4) 演化代數：200
- (5) 全域學習率：0.40
- (6) 區域學習率：0.22
- (7) 突變率：0.4
- (8) 適應函數之加權參數： $(a, b) = (0.7, 0.3)$

針對第8週資料進行300代演化訓練，檢視適應函數值之變化以找出較適合之演化代數，實驗10次之演化代數平均績效收斂趨勢如圖4-3。圖中可看出演化至約180代就已收斂，故最終選擇200代為演化代數。

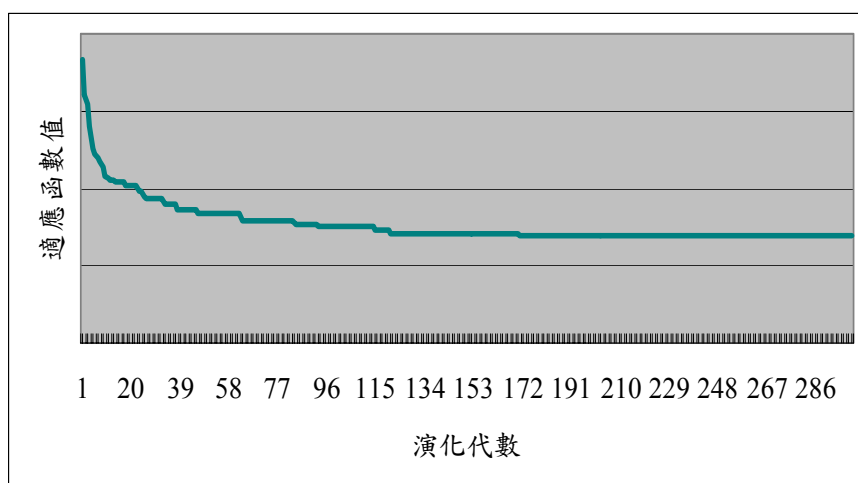


圖 4-3 演化策略法演化代數之績效收斂趨勢

突變率的選擇則是經由 0.1~0.9 區間內前測實驗選出的最佳演化參數，節錄突變率績效測試前 3 名如表 4-4。

表 4-4 產品 A 之演化策略法突變率績效測試前 3 名

預測週數	突變率	MSE	MAD	MAPE	排名
8	0.4	1974987.50	1209.82	34.15%	1
8	0.6	1981828.74	1221.36	36.27%	2
8	0.5	1982648.36	1227.52	36.97%	3

依照上述參數設定，進行本研究三階段訂單預測模型之 10 次實驗，實驗結果如表 4-5。

表 4-5 三階段訂單預測模型產品 A 之 10 次實驗績效

預測週數	MSE	MAD	MAPE	排名
8	1761501.79	1181.31	29.23%	1
8	1849387.49	1186.22	30.53%	2
8	1916620.53	1209.47	33.11%	3
8	1975852.43	1211.35	34.39%	4
8	2043125.83	1233.78	38.96%	5
8	2066497.73	1239.79	40.10%	6
8	2087232.47	1267.27	41.19%	7
8	2184032.16	1311.65	44.32%	8
8	2398027.58	1356.47	46.86%	9
8	2543972.96	1388.42	49.63%	10

4.2.4 一般迴歸模型

一般多元迴歸不考慮時間序列預測值，並作為本研究三階段預測模型之績效比較對象，變數說明如下：

$$\begin{aligned} \log Y(t) = & \beta_0 + \beta_1 \log \text{SaleForc}(t) + \beta_2 \log \text{SuppInv}(t) + \beta_3 \text{LeadTime}(t) + \\ & \beta_4 \log \text{SafeStoc}(t) + \beta_5 \text{OrderCyc}(t) + \beta_6 \log \text{OnHand}(t) + \\ & \beta_7 \log \text{OnOrder}(t) + \beta_8 \text{InvStraDV}(t) + \varepsilon_t \end{aligned}$$

其中， $\log Y(t)$ = 第 t 期訂單量之對數值

$\log \text{SaleForc}$ = 銷售預測之對數值

$\log \text{SuppInv}$ = 供應商庫存持有成本之對數值

LeadTime = 前置時間（單位為週）

$\log \text{SafeStoc}$ = 零售商安全庫存之對數值

OrderCyc = 訂單週期（單位為週）

$\log \text{OnHand}$ = 零售商在手庫存量（Inventory On Hand）之對數值

$\log \text{OnOrder}$ = 零售商已訂購庫存量（Inventory On Order）之對數值

InvStraDV = 零售商的存貨策略，分為四種：1—表(s, Q)連續盤點制；

2—表(s, S)連續盤點制；3—表(R, S)定期盤點制；4—表

(R, s, S)定期盤點制。

一般多元迴歸以第 1~44 週為測試部份，並利用 SSPS 統計軟體進行模型分析，使用迴歸分析的強迫分析進入法（Enter）分析結果如表 4-6。標準化係數分別為：銷售預測（SaleForc）為-1.890；供應商庫存持有成本（SuppInv）為 1.231；零售商安全庫存（SafeStoc）為 0.765；零售商在手庫存量（OnHand）為-9.695；零售商已訂購庫存量（OnOrder）為 0.731。在多元迴歸模型之解釋性部份，複判定係數為（ R_2 ）為 0.507，而調整後之複判定係數（Adjusted R_2 ）則為 0.330。一般多元迴歸模型中變數 VIF 介於 1.818~4.024 間，自變數間並無明顯共線性。

表4-6 產品A之一般迴歸模型係數表

模型	β	標準誤	t 值	顯著性	VIF
(常數)	41.620	22.441	1.855	0.085	
SaleForc	-1.890	1.105	-1.710	0.109	1.818
SuppInv	1.231	0.677	1.819	0.090	1.284
SafeStoc	0.765	1.416	0.540	0.598	2.595
OnHand	-9.695	4.508	-2.151	0.049	4.024
OnOrder	0.731	1.902	0.384	0.706	2.872

$R = 0.712, R_2 = 0.507, \text{Adjusted } R_2 = 0.330$

F 檢定 = 2.875, 顯著性 = 0.054

4.2.5 模型績效比較

本研究以三階段訂單預測模型實驗 10 次，取 MAPE、MAD 與 MSE 之平均值為 10 次實驗之平均績效，並將之與單一使用時間序列或一般多元迴歸作績效比較。本研究模型與其他兩個模型（時間序列模型與一般迴歸模型）之績效比較如表 4-7 與表 4-8。

表 4-7 產品 A 之 4 週預測績效比較

預測週數	模型	MSE	MAD	MAPE	排名
4	本研究模型	1982413.92	1225.84	36.71%	1
4	一般回歸	4637972.93	1740.51	83.91%	2
4	時間序列	4880877.07	1846.11	96.56%	3

表 4-8 產品 A 之 8 週預測績效比較

預測週數	模型	MSE	MAD	MAPE	排名
8	本研究模型	2082625.10	1258.57	38.83%	1
8	一般回歸	4646837.61	1744.59	84.42%	2
8	時間序列	4842941.28	1830.08	94.72%	3

由產品 A 實驗中發現：

1. 本研究之三階段訂單預測模型在 4 週與 8 週的預測結果皆優於傳統一般迴歸模型與時間序列模型，且加上 8 週 200 代演化策略法之演化訓練後仍具有相當效率。
2. 將時間序列預測值加入迴歸模型後，模型解釋力亦相對提高，因此結合時間序列與迴歸模型可有效提升預測績效。
3. 多元迴歸模型將訂單量影響因素加入考量，而時間序列模型僅把過去訂單量作為唯一輸入變數，故一般迴歸模型之預測結果較時間序列之預測結果為佳。
4. 在時間序列模型部分，本研究選擇使用線性指數平滑法，其中 α 與 β 平滑參數值的選擇影響預測結果甚鉅，故透過敏感度分析以取得最佳參數值是重要的。

4.3 產品 B 預測實驗與績效

4.3.1 階段一：時間序列模型

針對產品 B 之第 1~44 週訂單量資料，進行時間序列模型參數敏感度訓練分析，預測第 45~52 週之訂單量。將 α 、 β 兩個平滑係數分別以 0.01~0.9 為區間進行敏感度分析，以 44 週之 MAPE 為指標，節錄前 15 名結果如表 4-9。實驗

結果取 MAPE 最小者，即 $\alpha = 0.05$ 與 $\beta = 0.11$ ，進行本研究中產品 B 之實驗，時間序列實際訂單量與預測曲線如圖 4-4。

表 4-9 產品 B 之階段一時間序列模型平滑係數敏感度分析

平滑係數 α	平滑係數 β	MSE	MAD	MAPE	排名
0.05	0.11	743791.36	654.16	68.12%	1
0.05	0.10	748963.45	662.37	68.12%	2
0.05	0.12	753597.28	675.91	68.13%	3
0.05	0.13	773385.76	693.63	68.15%	4
0.06	0.11	791865.25	711.67	68.17%	5
0.06	0.12	801638.85	731.26	68.18%	6
0.06	0.10	822079.89	752.07	68.19%	7
0.06	0.13	831405.56	780.86	68.22%	8
0.06	0.09	862277.25	792.47	68.24%	9
0.05	0.14	883160.97	803.40	68.25%	10
0.05	0.09	894108.65	825.67	68.27%	11
0.06	0.08	902451.23	842.83	68.32%	12
0.05	0.15	912926.72	853.13	68.35%	13
0.06	0.14	931169.73	870.54	68.36%	14
0.06	0.07	962595.11	893.16	68.43%	15

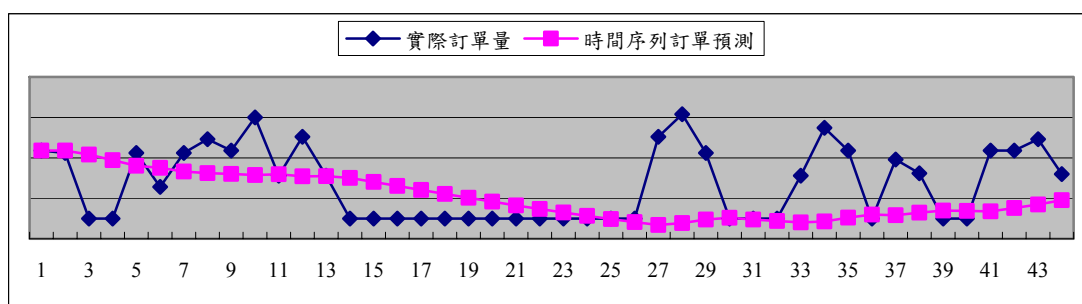


圖 4-4 產品 B 之實際訂單量與時間序列訂單預測曲線圖

4.3.2 階段二：多元迴歸模型

多元迴歸模型以第1~36週為測試部份，並利用SSPS統計軟體進行模型分析，使用迴歸分析的強迫分析進入法（Enter）分析結果如表4-10。標準化係數分別為：銷售預測（SaleForc）為0.423；時間序列模型預測值（TsEst）為0.516；供應商庫存持有成本（SuppInv）為0.380；零售商安全庫存（SafeStoc）為-23.845；零售商在手庫存量（OnHand）為-1.917；零售商已訂購庫存量（OnOrder）為1.309。在多元迴歸模型之解釋性部份，複判定係數為（ R_2 ）為0.402，而調整後之複判定係數（Adjusted R_2 ）則為0.302。本研究模型中變數VIF介於1.165~2.809間，自變數間並無明顯共線性。

表4-10 產品B之階段二多元迴歸模型係數表

模型	B	標準誤	t 值	顯著性	VIF
(常數)	84.959	101.465	0.837	0.408	
SaleForc	0.423	0.719	0.588	0.560	1.165
TsEst	0.516	0.973	0.530	0.599	1.620
SuppInv	0.380	0.197	1.932	0.061	2.052
SafeStoc	-23.845	28.132	-0.848	0.402	1.256
OnHand	-1.917	1.226	-1.563	0.127	2.809
OnOrder	1.309	0.828	1.581	0.123	2.435

$R = 0.634$, $R_2 = 0.402$, Adjusted $R_2 = 0.302$

F 檢定 = 4.029, 顯著性 = 0.003

4.3.3 階段三：演化策略模型

第三階段演化策略模型利用第二階段多元迴歸模型之參數解作為起始解，並以37~44週為演化策略模型訓練區間。演化策略法第一期之起始值如表4-11。

表4-11 產品B之階段三演化策略模型第一期初始值

β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	B_9
84.959	0.423	0.516	0.380	0.001	-23.845	0.001	-1.917	1.309	0.001

演化策略法模型參數設定如下：

- (9) 訓練週數：8週（第37~44週）
- (10) 預測週數：4週（第45~48週）與8週（第45~52週）
- (11) 父代族群大小：100
- (12) 演化代數：200
- (13) 全域學習率：0.40
- (14) 區域學習率：0.22
- (15) 突變率：0.5
- (16) 適應函數之加權參數： $(a, b) = (0.7, 0.3)$

突變率的選擇則是經由 0.1~0.9 區間內前測實驗選出的最佳演化參數，節錄突變率績效測試前 3 名如表 4-12。

表 4-12 產品 B 之演化策略法突變率績效測試前 3 名

預測週數	突變率	MSE	MAD	MAPE	排名
8	0.5	236495.40	244.20	29.52%	1
8	0.6	259430.33	264.67	32.80%	2
8	0.4	295867.00	288.75	36.98%	3

依照上述參數設定，進行本研究三階段訂單預測模型產品 B 之 10 次實驗，實驗結果如表 4-13。

表 4-13 三階段訂單預測模型產品 B 之 10 次實驗績效

預測週數	MSE	MAD	MAPE	排名
8	187093.00	184.50	24.59%	1
8	225544.98	232.29	28.21%	2
8	263122.33	272.67	32.91%	3
8	294599.10	280.25	36.90%	4
8	327392.00	316.75	37.11%	5
8	343403.00	346.25	37.96%	6
8	315730.59	339.19	39.49%	7
8	280980.42	329.99	42.26%	8
8	345708.53	386.00	42.41%	9
8	356137.68	411.12	48.72%	10

4.3.4 一般迴歸模型

一般多元迴歸以第 1~44 週為測試部份，並利用 SSPS 統計軟體進行模型分析，使用迴歸分析的強迫分析進入法 (Enter) 分析結果如表 4-14。標準化係數分別為：銷售預測 (SaleForc) 為 0.475；供應商庫存持有成本 (SuppInv) 為 0.432；零售商安全庫存 (SafeStoc) 為 -26.811；零售商在手庫存量 (OnHand) 為 -1.972；零售商已訂購庫存量 (OnOrder) 為 1.186。在多元迴歸模型之解釋性部份，複判定係數為 (R_2) 為 0.397，而調整後之複判定係數 (Adjusted R_2) 則為 0.316。一般多元迴歸模型中變數 VIF 介於 1.206~2.789 間，自變數間並無明顯共線性。

表4-14 產品B之一般迴歸模型係數表

模型	β	標準誤	t 值	顯著性	VIF
(常數)	96.974	97.932	0.990	0.328	
SaleForc	0.475	0.706	0.673	0.505	1.144
SuppInv	0.432	0.169	2.555	0.015	1.545
SafeStoc	-26.811	27.300	-0.982	0.332	1.206
OnHand	-1.972	1.210	-1.630	0.112	2.789
OnOrder	1.186	0.787	1.507	0.140	2.242

R = 0.630, R₂ = 0.397, Adjusted R₂ = 0.316

F 檢定 = 4.873, 顯著性 = 0.002

4.3.5 模型績效比較

本研究以三階段訂單預測模型實驗 10 次，取 MAPE、MAD 與 MSE 之平均值為 10 次實驗之平均績效，並將之與單一使用時間序列或一般多元迴歸作績效比較。本研究模型與其他兩個模型（時間序列模型與一般迴歸模型）之績效比較如表 4-15 與表 4-16。

表 4-15 產品 B 之 4 週預測績效比較

預測週數	模型	MSE	MAD	MAPE	排名
4	本研究模型	288390.33	312.67	33.06%	1
4	一般回歸	394643.00	424.00	49.37%	2
4	時間序列	307677.75	431.82	64.49%	3

表 4-16 產品 B 之 8 週預測績效比較

預測週數	模型	MSE	MAD	MAPE	排名
8	本研究模型	293971.16	309.91	37.06%	1
8	一般回歸	564672.99	578.75	61.80%	3
8	時間序列	419542.32	546.37	49.60%	2

由產品 B 實驗中發現：

1. 本研究之三階段訂單預測模型在 4 週與 8 週的預測結果皆優於傳統一般迴歸模型與時間序列模型。
2. 一般迴歸模型在 4 週之預測績效較時間序列模型為佳，但 8 週之預測績效較差。
3. 在時間序列模型部分，產品 B 實際訂單量趨勢波動較產品 A 平緩，故產品 B 時間訂單模型的預測績效較產品 A 為佳。