

水鳥種數時間數列分析之研究

陳鴻烈⁽¹⁾周孟融⁽²⁾

摘要

本研究以大肚溪口鳥類調查資料計算水鳥種數 (Number of species)，並利用相乘性分解模式與相加性季節變動模式進行大肚溪口水鳥種數之時間數列分析，以瞭解 78 至 96 年間大肚溪口水鳥種數變化情形。兩模式之水鳥種數長期趨勢 (T) 都顯示隨著時間 (t) 而減少。在相乘模式中，其間的關係可表示為 $T = 61.575586 - 0.04532t$ ；相加模式中則可表示為 $T = 61.638312 - 0.046083t$ ，其中 $t = 1, 2, 3, \dots, 228$ 。在季節變動 (S) 方面，結果顯示相加與相乘模式每年皆有二個高峰期，分別在四月與十一月。在循環變動 (C) 中發現，約兩年即為一個次循環。而不規則變動 (I) 則顯示兩模式皆呈不規則變化。由上述可知，兩模式之結果大致相同，且大肚溪口水鳥種數明顯下降。

(**關鍵詞**：相乘性分解模式、相加性季節變動模式、時間數列)

Time Series Analysis of Waterfowl Species

Paris Honglay Chen, Caroline Mengjung Chou

Professor, Department, Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,

National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

ABSTRACT

The objectives of this study were to mature and compare two practical procedures for time series analysis of waterfowl species in Da-du estuary, at central part of Taiwan. A multiplicative decomposition method as well as an additive decomposition method have been adapted to determine the species variations, including long-term (T), seasonal (S), circular (C), and irregular (I). The two methods indicated a similar result: (1) Both showed a long-term trend (T) decreased with time (t), as following equations, (A) $T = 61.575586 - 0.04532t$ for multiplicative decomposition method, (B) $T = 61.638312 - 0.046083t$ for additive decomposition method; (2) There are two seasonal high peaks in April and November each year; and (3) A circular change, every two years. Both methods were reasonably well to present the waterfowl species changes numerically.

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系教授

⁽²⁾ 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

(key words: Multiplicative decomposition method, Additive decomposition method, Time series)

前言

大肚溪是台灣中西部主要河流之一，出海口坡度平緩，面積達 3 千公頃，擁有寬達 4 公里左右的潮間帶和高生產力的河口生態環境。由外而內包括海域、潮間帶、河流、沙洲、新生地、耕作地、魚塭等，蘊含豐富的潮汐生物，為台灣地區沿海重要溼地之一，動物資源豐富，為候鳥遷徙必經之地。調查顯示，其鳥類的種類、族群數量及密度均高，已成為台灣最大的水鳥棲地之一 (張蕙芬，1995；李平篤，1983)。於第十屆國際鳥盟協會 (I.C.B.P) 舉行時，乃將台灣大肚溪口列為亞洲重要的濕地(Diamond et al.，1987)。

人類活動會直接影響水鳥的生態環境，故吾人對台中火力發電廠建廠後，對附近水

鳥的生態進行研究，並對水鳥種數做時間序列分析，瞭解其種數之變化，以得知發電廠對水鳥生態的影響。

研究方法

本研究所採用之水鳥數據資料，是由台灣電力公司 (1987~2007) 委託台灣野鳥資訊社吳森雄老師做調查，因前兩年的資料不夠完整，故採用 1989-2007 資料進行時間序列分析。研究區域是參照台灣電力公司之報告，共分為張玉姑廟區、污水池區、電廠區、南岸區及彰濱工業區等五區作為水鳥調查樣區，其區域範圍如圖 1 所示。至於本研究中水鳥分類則如表 1。

一般而言，時間數列係指時間先後順序



圖 1 水鳥調查區域範圍

Fig.1. Investigation area of waterfowl.

表 1 鳥種分類

Table 1 Classification of waterfowl.

分類	定義
水鳥	泛指活動於溼地環境的鳥類。
冬候鳥	在較高緯度繁殖，秋冬來到台灣度冬，春天返回北方，約占台灣鳥類23%，如小水鴨、青足鵝、大葦鶯等。
夏候鳥	春夏在台灣繁殖，秋冬飛回更南方度過。這一類鳥很少，約占台灣鳥類1%，如董雞、筒鳥、大慈悲心鳥等。

資料來源：修改自行政院農委會特有生物保育中心，2009。

出現之一連串觀測的數列，典型的時間數列是由下列四種變動成分所構成：

1. 長期趨勢 (Trend, T)：主要是用來敘述長期間之成長或衰退情形，是一段較長時期的變動情形趨勢，包括變動的方向與強度。
2. 季節變動 (Seasonal variation, S)：是指變動數值上下循環波動之現象，用來說明在特定期間內發生有規則的變動，通常指一年以內週期性之變動。
3. 循環變動 (Circular variation, C)：指變動數值上下循環波動之現象，一年以上之週期變動，週期長短不一致，呈不規則狀態。
4. 不規則變動 (Irregular variation, I)：屬於不可控制的因子，往往不能預期其變化情形，屬意外的變動，為一種隨機偶然之變動現象。

理論上的時間數列模式假設只含上述四種組合因素 (吳柏林, 1995; 林茂文, 1992; 陳登源, 1997)。

在時間序列模式中，大致可分為相乘與

相加模式兩大類，簡介如下：

1. 相乘模式：假定上述四種變動成分因素對觀察事物的影響作用之淨效果為它們的乘積，以 T、S、C 及 I 四個字母分別代表長期趨勢、季節變動、循環變動及不規則變動值，則在相乘模式中時間數列分析 Y 可表示為

$$Y = T \times S \times C \times I \quad (1)$$

乘法模式，是分解時間數列最常用的模式(陳鴻烈等, 1998)。

2. 相加模式：假定四種變動成分因素對觀察事物的影響作用之淨效果為它們的累積。因此，加法模式可表示為

$$Y = T + S + C + I \quad (2)$$

(1)、(2) 式中的 T 及 Y 之單位與觀測值相同，為水鳥總種數；其餘 S、C、I 之單位通常為無單位的小數。研究流程詳見圖 2。

結果與討論

一、十二個月移動平均之計算

在本研究中，將大肚溪口水鳥總種數視為應變數 Y (台灣電力公司 1987~2007)，其變化情形如圖 3 所示。

大肚溪口水鳥總種數所形成之時間數列，其季節變動週期為 12 個月，為消除此季節變動，宜求 12 個月移動平均數。如此所形成之時間數列已不含季節變動因素與不規則變動因素，因此，這種中心化之移動平均數就代表一種長期趨勢與循環變動因素之組合，於相乘模式表示為 $T \times C$ ；相加模式則為

T+C。

在相乘模式 $Y = T \times C \times S \times I$ 中，季節變動與不規則變動因素之組合 $S \times I$ 可藉由 $Y' = T \times C$ 來求得。

1. 相乘模式：

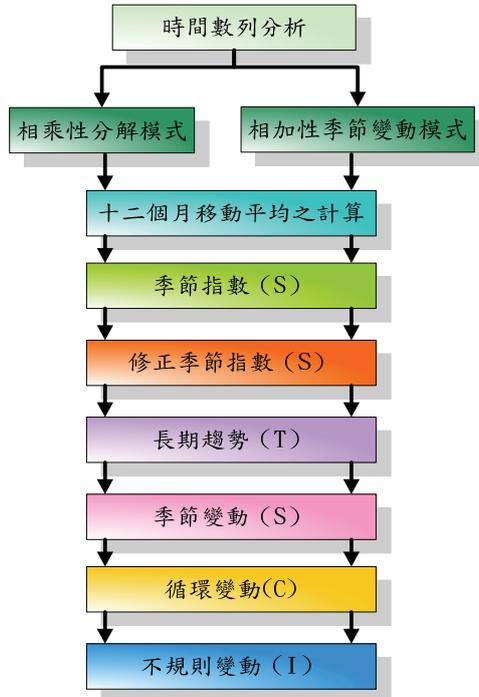


圖 2 研究流程圖

Fig.2. Overview of research method.

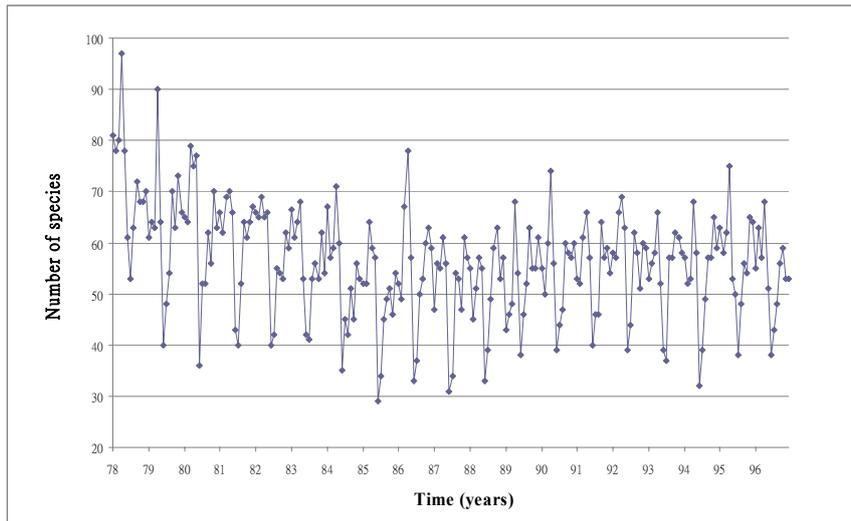


圖 3 大肚溪口水鳥總量歷年變化情形

Fig.3. Variations of waterfowl species with time.

2. 相加模式：

在相加模式 $Y = T+C+S+I$ 中，季節變動與不規則變動因素之組合 $S+I$ 亦可藉由 $Y' = T+C$ 來求得。

二、季節指數之推求與調整

1. 相乘模式：

在相乘模式中，季節變動與不規則變動因素之組合 $S \times I$ 值可供分析時間數列之季節變動。將 $S \times I$ 值按月份別排於同一列，可發現它們的變動趨勢較具規則性。計算同一月份的 $S \times I$ 平均值，在平均過程中，不規則變動將大部分相互抵消，因而能把這 12 個算數平均數作為測度每一年 12 個月的季節變動影響之指標 (S_m)，分析結果列於表 2。此一指標通常尚需經過調整修正，使其和為 12，計算方法如方程式 (3)，調整後之季節指標

(S_c) 分析結果同樣列於表 2。

$$S_c = S_m \left[12 / \sum_{t=1}^{12} S_m \right] \quad (3)$$

$$t = 1, 2, \dots, 12$$

將調整修正後的季節指標 (S_c) 對時間繪圖(圖 4)，由圖中可看出大肚溪口水鳥季節之變化為每年有兩個高峰期，一為從六月至九月，另一為十月至隔年的四月。兩高峰相較之下，以 4 月高鋒更為明顯，推測乃因大肚溪口水鳥中，因冬候鳥佔多數之故，冬候鳥群聚的時間大約在 11 月以後至翌年 4 月之間，而夏候鳥群聚的時間則是大約在 4 月至 11 月之間，因此冬季 2 月與 6、7 月夏季出現的種數較少。

2. 相加模式：

表 2 相乘模式之水鳥季節指數資料(S)

Table 2. Seasonal variation in multiplicative decomposition method.

年 月	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	平均 (St)	修正 (S)
1		0.95	1.01	1.09	1.10	1.18	1.20	1.04	1.01	0.90	1.09	0.83	0.99	0.97	1.03	0.97	1.09	1.00	1.02	1.03	1.02
2		1.00	0.99	1.03	1.08	1.08	1.03	1.05	0.95	1.07	0.89	0.88	0.91	0.95	1.00	1.04	1.01	1.14	1.17	1.02	1.01
3		0.99	1.23	1.15	1.15	1.13	1.08	1.29	1.29	1.05	1.01	0.92	1.10	1.11	1.15	1.08	1.09	1.03	1.06	1.11	1.10
4		1.43	1.18	1.16	1.10	1.20	1.31	1.18	1.48	1.18	1.11	1.30	1.35	1.20	1.21	1.22	1.32	1.23	1.27	1.25	1.23
5		1.01	1.22	1.10	1.12	0.94	1.12	1.15	1.06	1.09	1.06	1.04	1.02	1.04	1.11	0.95	0.94	0.93	0.95	1.05	1.04
6		0.63	0.57	0.71	0.69	0.75	0.65	0.59	0.60	0.61	0.64	0.73	0.71	0.73	0.68	0.71	0.88	0.70	0.71	0.68	0.68
7	0.74	0.76	0.83	0.66	0.76	0.73	0.85	0.69	0.68	0.66	0.77	0.87	0.80	0.84	0.77	0.67	0.67	0.80		0.75	0.75
8	0.90	0.85	0.83	0.86	1.10	0.95	0.81	0.91	0.91	1.05	0.97	0.97	0.86	0.83	1.09	1.03	0.85	0.89		0.93	0.92
9	1.05	1.09	1.00	1.06	1.22	1.01	0.98	1.00	0.97	1.05	1.17	1.16	1.09	1.15	1.03	1.02	0.99	1.04		1.06	1.05
10	1.00	0.98	0.91	1.01	1.37	0.95	0.87	1.02	1.13	0.94	1.24	1.00	1.06	1.02	0.91	1.10	0.96	1.10		1.03	1.02
11	1.01	1.14	1.15	1.06	1.75	1.11	1.10	0.90	1.20	1.22	1.04	0.99	1.05	1.05	1.09	1.07	1.16	0.99		1.12	1.11
12	1.07	1.03	1.04	1.12	1.69	0.97	1.05	1.06	1.13	1.14	1.11	1.10	1.10	0.96	1.08	1.01	1.16	0.99		1.10	1.09

相加模式 S+I 值同樣按月份別排於同一列，可發現它們的變動性趨勢較具規則性。計算同一月份 S+I 平均值，在平均過程中，那些不規則變動將大部分互相抵銷，再經修正調整後，這 12 個月算數平均數可作為測度每一年 12 個月的季節變動影響之指標，分析數據整理為表 3。這一個指標通常尚須經過調整，使其和為 0 (Bowman et al., 1993)，亦即將每個月份的平均 S 值減去總 S 值平均，得修正值 S，其式如下：

$$\text{相加模式 } S = \overline{snt} \left(\frac{\sum_{t=1}^L \overline{snt} / L}{L} \right) \quad (4)$$

式中 \overline{snt} 為每月份的平均 S 值；一年為十二個月，因此 L 為 12。

經調整修正後的 S 值資料列於表 3 最後一欄，而將調整後 S 值對時間繪圖如圖 5，圖中變化趨勢指出一年中會出現兩個高峰，其中又以 4 月的高峰最為明顯。

相乘與相加模式季節變動影響之結果大致相符，每年 4 月及 11 月分別為 2 個高峰，4 月為冬候鳥之高峰，11 月為夏候鳥之高峰，其中 4 月的高峰最高，推測乃因大肚溪口水鳥中，以冬候鳥占多數，群聚的時間大約在 11 月以後至翌年 4 月之間，4 月份水鳥種數占全年種數最高，故大肚溪口水鳥以冬候鳥為主。

台灣冬候鳥的遷移路線大致分為太平洋路線及中國沿岸線，其遷徙路線可用圖 6 表示。太平洋路線是由千島群島、庫頁島、日本，經太平洋、琉球至台灣或再往南，如灰面鵟鷹；而中國沿岸線是由西伯利亞經中國東北、韓國、日本，再經中國沿海至台灣或更南方，如伯勞 (張萬福，1983、1985；王金源，2000)。而大肚溪口常見的冬候鳥有小水鴨、尖尾鴨、綠頭鴨、大白鷺、蒼鷺、黑面琵鷺、黃鸛、青足鵝、紅尾伯勞等，這些鳥種在大肚溪口調查樣區都曾出現過 (行政院農委會特有生物保育中心，2006)。

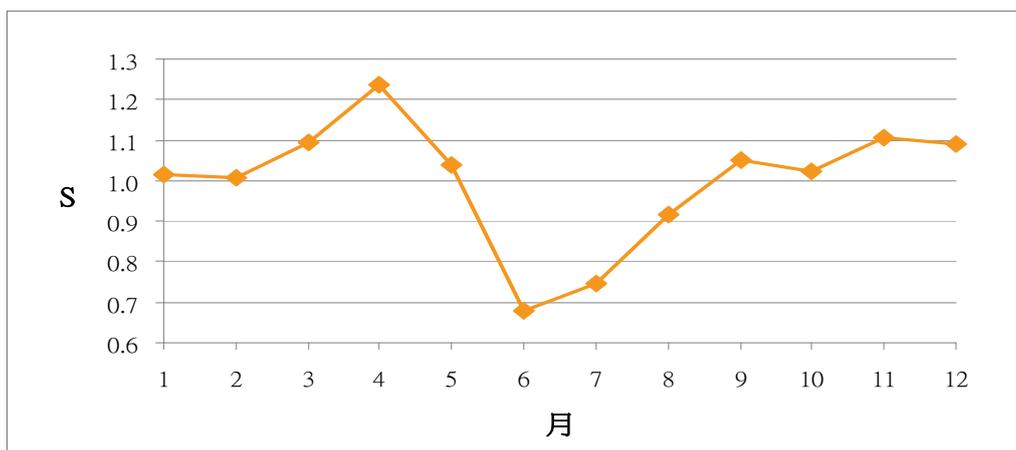


圖 4 相乘模式之大肚溪口水鳥總量季節變動(S)

Table 4. Seasonal variation in multiplicative decomposition method.

表 3 相加模式之水鳥季節指數資料(S)

Table3. Seasonal variation in additive decomposition method.

年 月	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
1		-3.46	0.67	5.58	6.00	9.92	11.17	2.04	0.63	-5.21	4.63
2		0.13	-0.42	2.08	4.79	4.54	1.46	2.38	-2.71	3.75	-5.38
3		-0.42	15.00	9.00	9.08	7.54	4.13	14.33	14.92	2.58	0.58
4		26.88	11.63	9.71	5.83	11.46	16.67	9.17	25.38	9.13	5.67
5		0.88	14.04	5.75	7.25	-3.54	6.25	7.33	3.29	4.75	3.33
6		-23.17	-26.71	-17.17	-18.33	-14.33	-18.46	-20.29	-21.63	-20.08	-18.33
7	-18.58	-15.17	-10.63	-20.33	-16.02	-15.15	-7.79	-15.33	-17.63	-17.33	-11.83
8	-7.17	-9.33	-10.58	-8.46	-2.88	-3.00	-9.96	-4.21	-4.71	2.79	-1.38
9	3.13	6.00	-0.08	3.42	-3.50	0.38	-0.96	-0.21	-1.50	2.42	8.71
10	0.13	-1.04	-5.46	0.63	-4.42	-2.54	-6.67	0.88	6.71	-3.25	12.38
11	1.00	9.04	9.21	3.83	5.00	6.04	4.96	-4.92	10.46	10.96	1.96
12	4.46	1.67	2.38	6.96	2.46	-1.96	2.33	2.92	6.58	6.92	5.79

年 月	89	90	91	92	93	94	95	96	平均 (St)	修正 (S)
1	-8.71	-0.42	5.04	1.58	-1.54	5.21	0.04	1.33	1.92	1.94
2	-6.13	-5.13	-0.25	0.00	1.96	0.54	7.83	9.33	1.04	1.06
3	-4.42	5.21	-4.63	8.58	4.21	4.96	1.83	3.33	5.32	5.34
4	15.75	19.21	-13.54	12.08	11.79	18.33	12.63	14.33	12.34	12.36
5	2.00	1.00	2.33	6.29	-2.71	-3.50	-4.08	-2.67	2.67	2.69
6	-14.25	-16.04	-2.29	-17.96	-15.71	-6.92	-16.13	-15.67	-16.86	-16.84
7	-6.92	-10.92	-0.92	-12.96	-18.08	-18.83	-10.67		-13.62	-13.60
8	-1.58	-7.92	6.54	5.29	1.42	-8.71	-5.67		-3.86	-3.84
9	8.75	4.96	3.75	1.67	1.17	-0.71	2.33		2.21	2.23
10	0.00	3.25	9.13	-4.88	5.63	-2.21	5.33		0.75	0.77
11	-0.33	2.54	-0.58	4.71	4.21	9.17	-0.67		4.25	4.27
12	5.54	5.46	0.33	4.17	0.71	8.75	-0.67		3.60	3.62

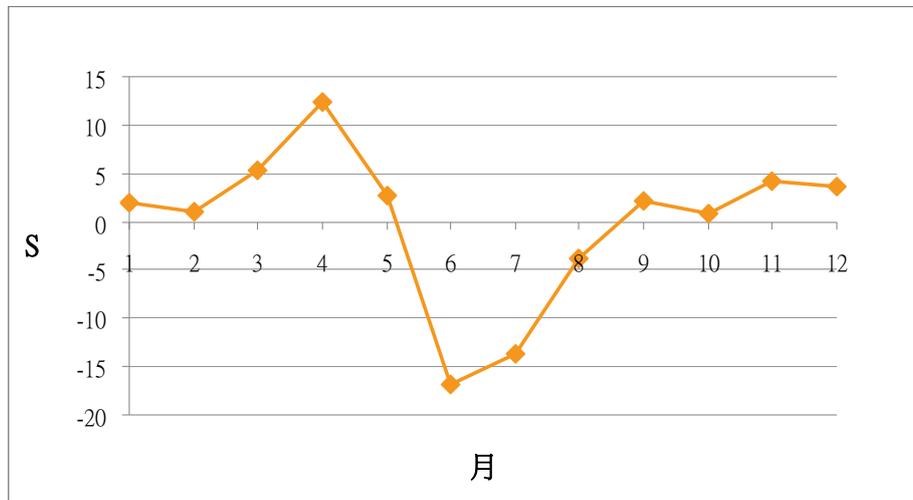


圖 5 相加模式之大肚溪口水鳥總量季節變動(S)

Table 5. Seasonal variation in additive decomposition method.

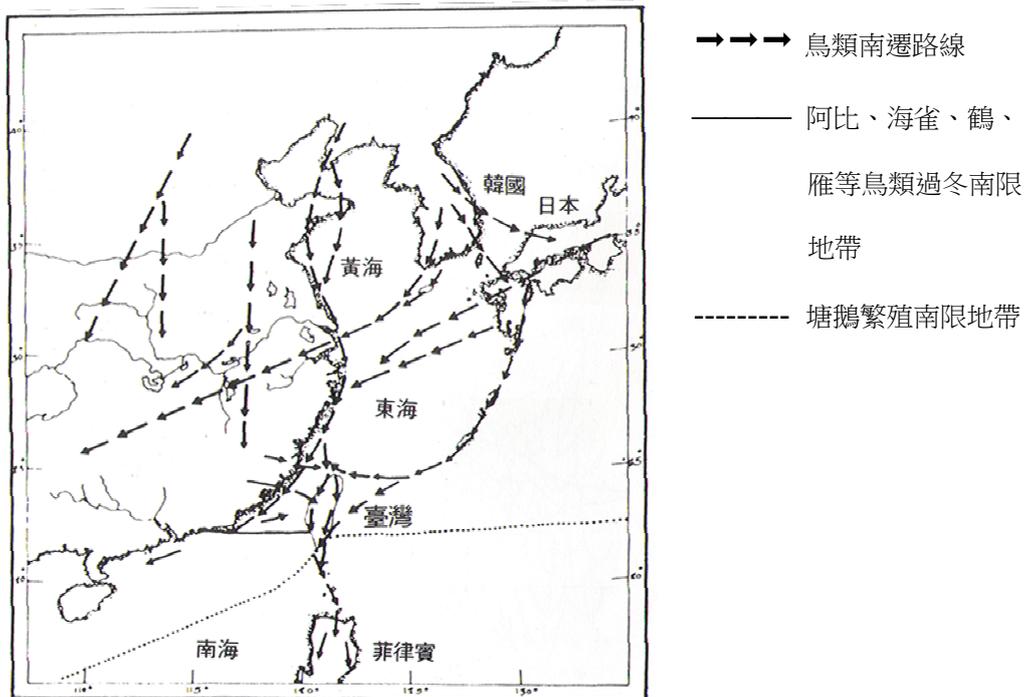


圖 6 台灣附近鳥類遷移路線圖

Fig. 6. Waterfowl pathways near Taiwan.

資料來源：謝顛，1986。

二、長期趨勢之求算

將大肚溪口水鳥總種數(Y) 分別除以對

應月份的季節指標 (S_c)，可求得經調整季節變動之大肚溪口水鳥總種數 (d_t)，即

$$d_t = Y/S_t \quad (5)$$

此外，可利用經季節調整之水鳥總種數資料推求長期趨勢 (T)，因該資料係隨時間改變而呈直線狀態，故可假設

$$T = b_0 + b_1t \quad (6)$$

1. 相乘模式：

求得的水鳥總種數長期趨勢 (T) 之迴歸直線為

$$T = 73.293539 - 0.122309t \quad (7)$$

$$t = 1, 2, 3, \dots, 228$$

2. 相加模式：

求得的水鳥總種數長期趨勢 (T) 之迴歸直線為

$$T = 73.733398 - 0.12573t \quad (8)$$

$$t = 1, 2, 3, \dots, 228$$

相乘模式之截距與斜率均較相加模式小，但大致相符，故兩模式之 T 值非常接近，兩者分析結果非常類似，亦同樣指出此區域水鳥總種數有逐年下降的趨勢。

大肚溪口的面積廣達三千多公頃，又因得天獨厚的地理環境，曾被國際自然資源保育聯盟列為亞洲重要濕地，在過去擁有數量最多的鳥類資源，亦被國際鳥盟 (Birdlife International) 認定為重要的野鳥棲息地 (Important bird area, 簡稱為 IBA)。但現今遭到嚴重人為破壞，且抵不住經濟的開發，大肚溪口已被火力發電廠、工業區開發、廢棄物堆積、垃圾掩埋場瓜分得支離破碎。由本研究相乘與相加模式之長期趨勢分析 (圖 7 及圖 8) 更可看出，水鳥總量指數長期趨勢乃

隨時間呈減少狀態，顯示大肚溪口水鳥的存亡堪慮。

三、循環變動

調整季節變動與長期趨勢後的資料，係指自原始時間數列移除季節變動與長期趨勢兩個因素所得之資料。

1. 相乘模式：

在相乘模式中，資料尚含有循環變動與不規則變動因素，由 Y 與 S、T 值可求得循環變動與不規則變動因素組合 C×I 值。接著將計算循環變動因素 C 之推估值，一般採用移動平均來求得，因不規則變動因素很少延伸二或三個月，故採取 9 個月移動平均可除去它們的影響。茲將 C×I 值取 9 個月移動平均而得循環變動之效果 C 值，再利用 C×I/C 求算不規則變動 I 值。循環變動 (C) 與不規則變動 (I) 隨時間變化情形分別如圖 9 與 10 所示。

2. 相加模式：

在相加模式中，由 C+I = Y-T-S 可求得 C+I，接著將計算循環變動因素 C 之推估值。一般採用移動平均求得，因不規則變動很少延伸二或三個月，故採 9 個月移動平均可除去它們的影響，計算所得 C 值如圖 11 所示。另外，I 由 (C+I)-C 求得，計算結果為圖 12。

兩模式所呈現的結果皆顯示，循環變化中可發現 78 年至 95 年 6 月間為一個尚未完成之大循環。另外，約每間隔二年即為一個小循環。大循環係指火力發電廠的干擾，台中火力電廠 76 年成立施工處建廠 (台灣電力公司，1987~2007)，而本研究之資料是從 78 年開始，因此並未包括台灣火力發電廠建廠

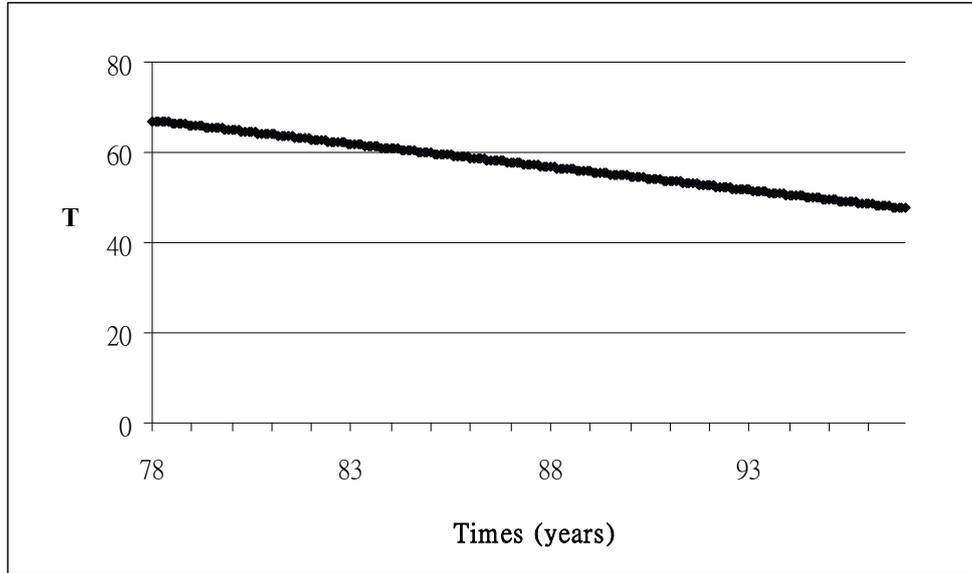


圖 7 相乘模式之水鳥總種數長期趨勢(T)

Fig. 7. Long term trend in multiplicative decomposition method.

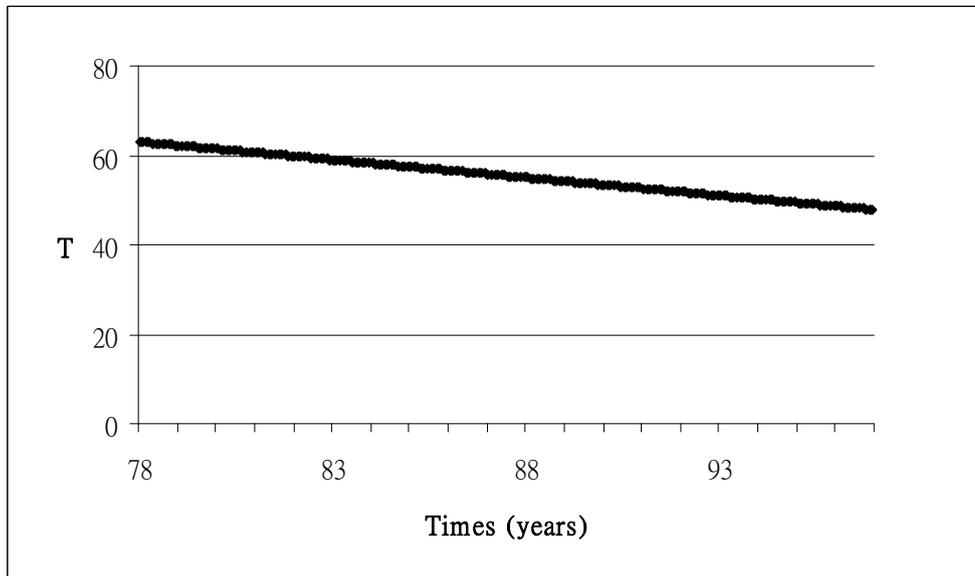


圖 8 相加模式之水鳥總種數長期趨勢(T)

Fig. 8. Long term trend in additive decomposition method.

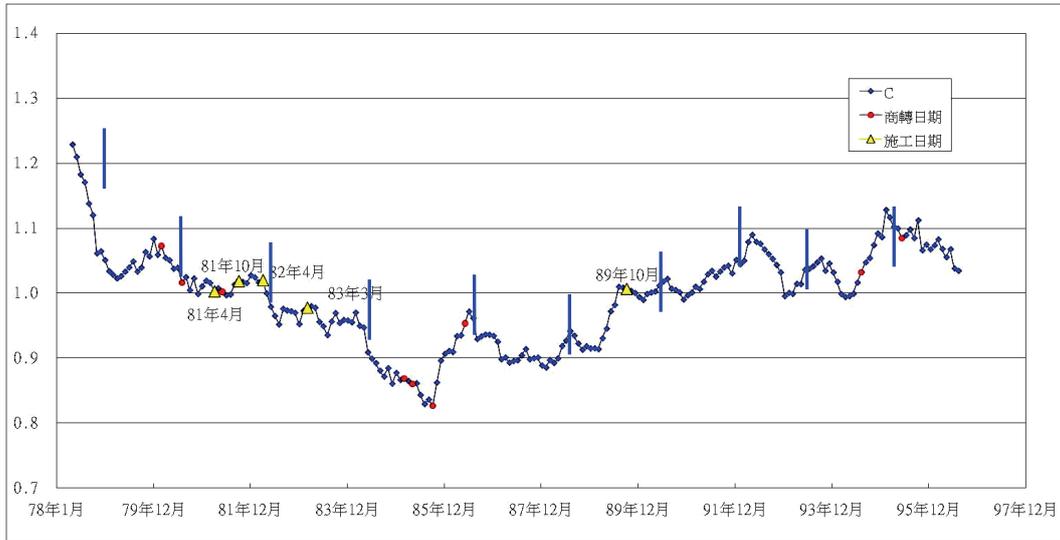


圖 9 相乘模式之水鳥總種數循環變動(C)

Fig. 9. Circular variation in multiplicative decomposition method.

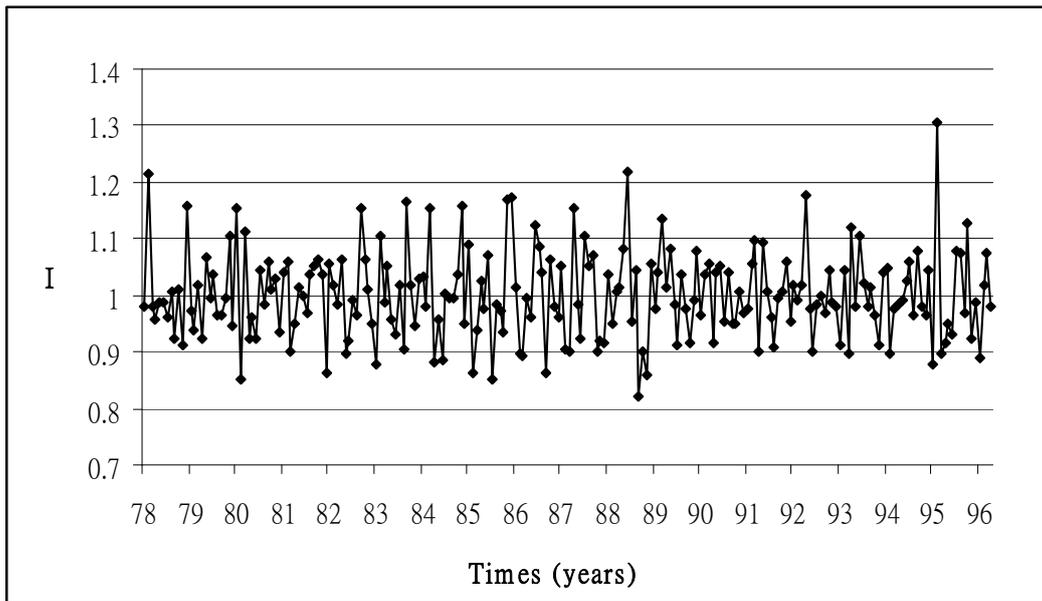


圖 10 相乘模式之水鳥總種數不規則變動(I)

Fig.10. Irregular variation in multiplicative decomposition method.

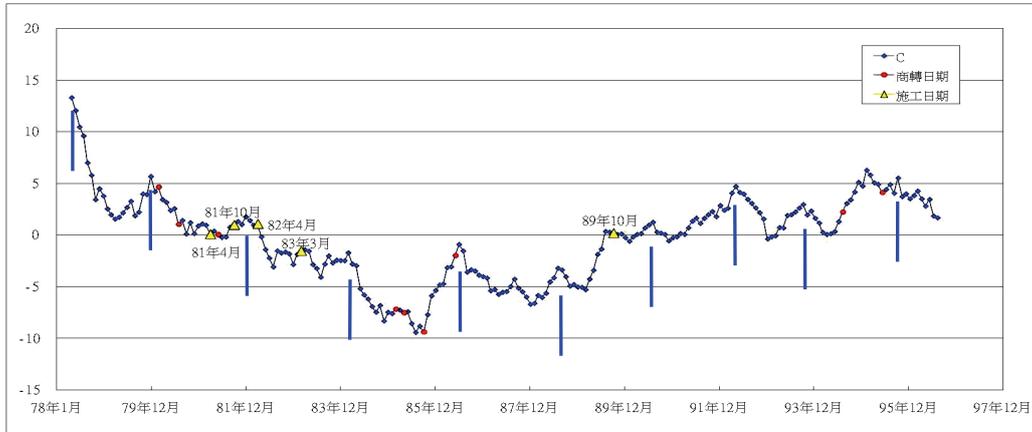


圖 11 相加模式之水鳥總種數循環變動(C)

Fig. 11. Circular variation in additive decomposition method.

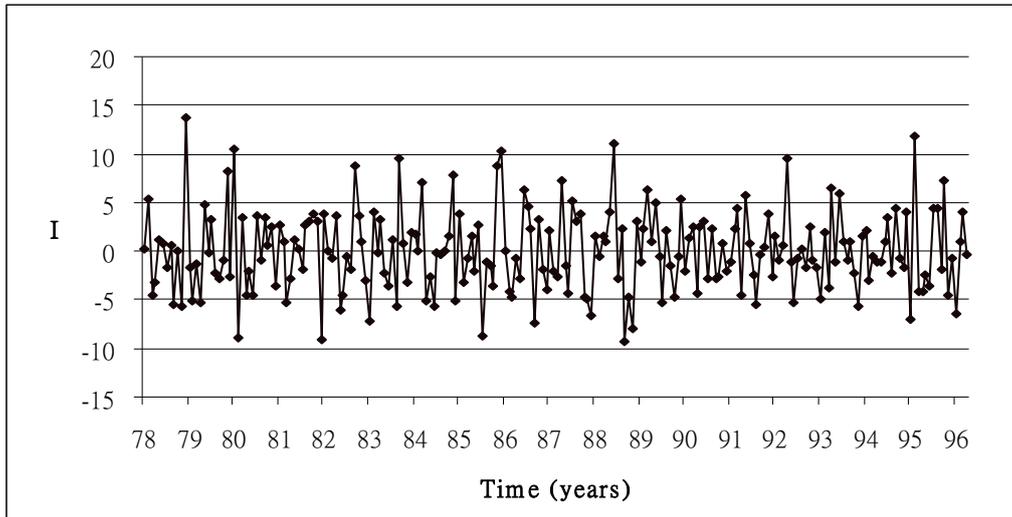


圖 12 相加模式之水鳥總種數不規則變動(I)

Fig. 12. Irregular variation in multiplicative additive method.

表 4 火力發電廠施工及商轉日期

Table 4. Building and working schedule in the power plant.

機組	施工月份	商轉日期	機組	施工月份	商轉日期
第 1 號機	75.12	80.03.03	第 6 號機	81.10	85.05.04
第 2 號機	75.12	80.08.25	第 7 號機	82.04	85.10.17
第 3 號機	75.12	81.06.26	第 8 號機	83.03	86.06.27
第 4 號機	75.12	81.10.04	第 9 號機	89.10	94.08.01
第 5 號機	81.04	85.03.29	第 10 號機	89.10	95.06.30

資料來源：京華工程顧問公司，2008。

施工的負面影響；而小循環係指在火力發電廠的影響下還能生存的水鳥之生態系統的變化。行政院於民國 75 年 12 月核准台中火力電廠建廠計畫，76 年成立施工處，於龍井鄉麗水村建廠，78 年 7 月 18 日台中火力發電廠正式成立，火力發電廠第 1~10 號機的商轉日期如表 4 所示，可發現自民國 78 年火力發電廠成立後，水鳥種數就明顯下降，且各號機開始施工後之幾年間，都屬循環中之低點。

四、不規則變動之分析

不規則變動和時間變化趨勢 (圖 10、圖 12) 並沒有一定的變化規律，呈現一般隨機變化的圖形，符合隨機不規則變化趨勢。

本研究利用簡單的統計方法：隨機誤差項 (random error) 機率分配驗證隨機不規則變化 (羅慧芬，2006)。採用的數據自民國 78 年 1 月至 96 年 12 月，一共有 219 個 I 值。

1. 相乘模式：

利用圖 10 計算出上下波動各占的機率：

數據往上變化的次數為 110 次，所佔的百分比為 50.23%；向下變化次數為 109 次，所佔的百分比為 49.77%，兩者的機率幾乎各占一半，符合隨機不規則變化。

2. 相加模式：

利用圖 12 計算出上下波動各占的機率：數據往上變化的次數為 113 次，所佔的百分比為 51.60%；向下變化次數為 106 次，所佔的百分比為 48.40%，兩者的機率幾乎各占一半，符合隨機不規則變化。相較於陳鴻烈等 (1999、2004)、梁家柱 (2004) 等相關研究，更進一步證明不規則變動 (I) 為隨機不規則變化。

相乘與相加模式之不規則變動 (I) 的隨機誤差項機率分配驗證結果整理為表 5，表中資料顯示兩個模式有非常相似的結果，數值上下變化趨勢皆接近 50%，均可證明 I 為隨機不規則變化。

本研究結果顯示相乘與相加兩模式分析所得之時間變化趨勢相似，兩模式均可完整且清

表 5 I 值的變化
Table 5. Variation of I values.

I 值的變化	往上變化次數	所占百分比 (%)	向下變化次數	所占百分比 (%)
相乘模式	110	50.23	109	49.77
相加模式	113	51.60	106	48.40

楚的解釋近年水鳥種數的時間變化。在兩個模式的預測能力比較方面，研究 (陳鴻烈、蔡

大偉，2005；蔡大偉，2005) 指出相加性模式較相乘性模式具有較精確的預測能力，但相

乘模式的敏感度較高，然而二者間的結果差異並不大，均能有效預測觀測值隨時間變化的趨勢，因此未來將做進一步之預測比較研究。另外，本研究著重於時間序列分析，對於不規則變動之進階統計分析，將在以後繼續進行更深入的研究。

結論與建議

由相乘性分解模式與相加性季節變動模式所列出的時間序列，可以看出兩模式：

- (1) 長期趨勢 T 隨時間減少。
- (2) 在季節性變化 S 中顯示每年 4 及 11 月分別為 2 個高峰，4 月為冬候鳥之高峰，11 月為夏候鳥之高峰。其中 4 月的高峰最高，故大肚溪口的水鳥以冬候鳥為主。
- (3) 在循環變化 C 中可發現 78 年至 95 年 6 月間為一個大循環，約每間隔二年即為一個小循環。
- (4) 不規則變動 I 符合隨機不規則變化。

綜合時間序列分析結果顯示，大肚溪口水鳥的種數明顯下降，建議當水鳥生活周遭環境進行開發時，應注意環境變遷對水鳥所造成的影響，畢竟，人們對於大自然的破壞是輕而易舉，但要恢復到原始的自然環境卻是很難達成的。

參考文獻

1. 王金源 (2000)，「臺灣鳥的四季」，行政院新聞局，台北。
2. 台灣電力公司 (1987~2007)，「大肚溪口水鳥生態調查研究 Ecological Investigation of Birds in the Tatu Estuary, Taiwan」。
3. 行政院農委會特有生物保育中心 (2006)，「燕子來了！The Swallows' Return」。
4. 行政院農委會特有生物保育中心 (2009)，「台灣地區鳥類分布狀況」，網址：<http://cec.tesri.gov.tw/cec/html/03/new03.htm>。
5. 李平篤 (1983)，「台灣濕地鳥的辨識」，社團法人台北市野鳥學會，台北。
6. 吳柏林 (1995)，「時間數列分析導論」，華泰書局，台北。
7. 林茂文 (1992)，「時間數列分析與預測」，華泰書局，台北。
8. 京華工程顧問公司 (2008)，「火力發電廠施工及商轉日期」。
9. 張萬福 (1983)，「台灣的水鳥」，東海大學環境科技研究中心，台中。
10. 張萬福 (1985)，「台灣的陸鳥」，禽影圖書有限公司，台中。
11. 張蕙芬 (1995)「台灣賞鳥地圖」，大樹文化事業股份有限公司，台北。
12. 梁家柱 (2004)，「德基水庫優氧化時間序列及空間分析之研究」，碩士論文。
13. 陳登源 (1997)，「管理數學」，國立空中大學印行。
14. 陳鴻烈、鄭慧玲 (1998)，「水庫優養化之時間數列分析研究」，水土保持學報，第

- 三十卷 (第四期)：331-337。
15. 陳鴻烈、梁家柱、鄭慧玲、王久泰 (1999)，「利用相加性季節變動模式之德基水庫優養化時間數列分析」，水土保持學報，第三十一卷 (第三期)：139-144。
 16. 陳鴻烈、梁家柱、王久泰、鄭慧玲 (2004)，「水庫優養化時間數列模式分析之比較研究」，水土保持學報，第三十六卷 (第二期)：169-178。
 17. 陳鴻烈、蔡大偉 (2005)，「不同模式之預測能力研究」，水土保持學報，第三十七卷 (第二期)：127-138。
 18. 蔡大偉 (2005)，「優養化複雜系統分析與管理策略研究」，碩士論文。
 19. 謝顛 (1986)，「台灣的鳥類」，雷鼓出版社，台北。
 20. 羅慧芬 (2006)，「空氣資源中臭氧變化之系統分析研究」，碩士論文。
 21. Diamond, A.W.、R.L. Schreiber、劉小如、陳奇祿 (1987)，「救救我們 — 從鳥類存亡看人類未來」，中華民國自然生態保育協會出版，台北。
 22. Boweman, B.L. and R.T. O'Connell (1993), *Forecasting and Time Series: An Applied Approach*, Third edition, Duxbury.

98年03月26日 收稿

98年04月21日 修改

98年06月01日 接受

水土保持學報 41(3) : 241-256 (2009)
Journal of Soil and Water Conservation, 41(3) : 241-256 (2009)