

多目標決策在空氣污染評估之應用

1 張慶暉

銘傳大學應用統計資訊學系

1 黃澗誼*

銘傳大學應用統計資訊學系(碩士班)

2 林志娟

淡江大學統計學系

摘要

日益嚴重的空氣污染問題已影響了大自然的生態平衡，而對人類的的生活也產生了一定的影響。隨著各地區工業化與都市化的不同，空氣污染的程度亦有所差異，所以在本研究中，以台灣 22 個縣市為研究地區，並使用空氣污染指標 (pollutant standards index ; PSI) 中的懸浮微粒、二氧化硫、一氧化碳、臭氧和二氧化氮五種污染物為污染程度判斷的依據。本研究主要是以多目標決策中五種不同權重取法，來探討台灣各縣市空氣污染的情形，也就是各項指標數據以平均法、標準差法、CRITIC 法(Criteria Importance Through Intercriteria Correlation)、熵值權重法及灰關聯分析，來取得權重後，再經加權計算而求得綜合指標值，同時依據綜合指標數值的高低比較各縣市空氣污染的嚴重情形，最後將上述五種分析方法與傳統 PSI 指標方法所得的結果做比較，並探討之間的相關性，實證結果顯示在 22 個研究的縣市當中污染最嚴重的三大縣市為高雄市、高雄縣及嘉義市，最不嚴重的三大縣市則為台東縣、宜蘭縣及新竹縣。

關鍵字：空氣污染指標、多目標決策、灰關聯分析

*通訊作者：黃澗誼

住 址：桃園縣龜山鄉德明路 5 號。

電 話：886-2-28824564，Ext.3250

電子信箱：chchang@mcu.edu.tw

壹、前言

隨著世界各國工業化及都市化的發展，環境污染已有日益嚴重的趨勢，人類對於能源的需求卻不斷增加，而在「資源有限，慾望無窮」的文明社會，人類對大自然資源的過度開發，大量的污染源在無法被大自然淨化系統所排除的情況下，使自然生態機制嚴重失調，造成現今各種影響人類生存環境及身體健康的環境污染。

人類周圍的大氣層是歷經億萬年自然演變而成的，是萬物賴以生存的必要環境之一。近年來，由於過度燃燒煤、石油、天然氣等，而這些的燃燒過程中將大量的二氧化碳釋放到空氣裡，造成全球暖化的現象（溫室效應）；其次是垃圾的焚毀處理及工業製造的過程中所排放的有毒氣體，都是空氣污染的主要來源。空氣品質有逐年惡化的趨勢，雖然世界各國都已注意到空氣污染的嚴重性，但都市化絕不會因為空氣品質的情況而有所趨緩，大家往往在享受便利及舒適的同時破壞了大自然原有的生態機制，進而影響了整體人類的生存環境。美國環境保護署 (Environmental Protection Agency; EPA) 以懸浮微粒、二氧化硫、一氧化碳、臭氧和二氧化氮的濃度建立一項空氣污染指標 (pollutant standards index; PSI)，可將一個地區空氣污染的程度以數量的方式來呈現其污染的程度，而 PSI 是唯一可用來衡量空氣污染程度的指標嗎？

在分析探討空氣污染程度時，必須綜合考量不同污染因素對空氣污染的影響，因此本研究將之視為多目標決策的問題。使用多目標決策方法在空氣污染上的研究在國內文獻並不多見，而 Sinha(2003) 以多重準則決策方法來評估環境污染問題，所以本研究亦嘗試用這些客觀的方法，來解決多目標決策問題，希望可藉此快速而有效地計算出一個綜合指標，進而評估各縣市的空氣污染情形。

貳、資料來源與研究步驟

本研究所使用的資料乃是根據行政院環保署 93 年度 1 至 12 月所公佈的空氣污染指標 (懸浮微粒、二氧化硫、一氧化碳、臭氧和二氧化氮)，利用這五種指標，藉由客觀權重方法計算出各項指標所具有的重要性，以建立多目標決策的模型，本研究的研究步驟如下：

- (一) 使用五種不同的權重取法計算出各項污染指標的客觀權重。
- (二) 依據綜合指標評估各縣市空氣污染情形。
- (三) 比較五種決策分法之排序結果，並使用 Spearman's 等級相關係數分析，來比較決策方法的一致性。
- (四) 了解嚴重污染地區的空氣污染指標之變化情形。

參、相關研究理論介紹

一、起源與意義

多重準則決策的理論起源，最早是由 Koopmans(1951)提出有效向量(efficient vector)之觀念來處理多重準則的問題。同年，Kuhn 和 Tucker(1951)，導出有效解存在之最佳條件。因這幾位大師相繼以多重目標決策方法應用在經濟上，而獲得諾貝爾獎，也因此引發多重準則決策相關議題熱烈地被討論，並且為多重準則理論奠下基礎。而 Ijiri(1965)提出「先估之優先權」，依各準則的重要性不同，來排定完成準則的先後順序之規劃方式，此種概念更廣泛地被應用。事實上，如何在可能互相衝突的準則中做出最好的決定，是多重準則決策所需努力的方向。

二、多準則決策之分類

多重準則決策(Multiple Criteria Decision Making ; MCDM)，可分為多屬性決策(Multiple Attribute Decision Making ; MADM)及多目標決策(Multiple Objective Decision Making ; MODM)兩個範疇，其中多屬性乃是決策問題僅有幾個方案供選擇，而多目標決策則必須先產生方案，且目標是具有方向性(極大或極小)，再由決策者根據分析結果，選定最佳的方案。然而亦可將多目標決策與多屬性決策兩種方法結合使用，首先採用多目標決策法運算出數個非劣解方案，再以多屬性決策法篩選最佳的方案(許志義，民 83)。

三、研究方法說明

本研究主要著重於空氣污染指標之決策模型，即依據各指標的相對重要性，給予客觀的權重，使空氣污染指標可以達到具真正判斷價值的指標。本研究使用多目標決策法中的權重法，權重取法則是採用 CRITIC(Criteria Importance Through Intercriteria Correlation)、平均法、標準差法、熵值權重法及灰關聯分析五種方法，再依據各方法求出之權重，即可求得各縣市的綜合指標，最後根據綜合指標的大小，加以排序，得知各縣市的污染情況。以下章節就本研究所採用的方法，作詳細的敘述。

(一)CRITIC 法

CRITIC 法是由 Diakoulak et al. (1995)所提出，其權重的決定過程乃是首先假設有 m 個準則， n 個評估方案，其原始資料如(3.1)式所示：

方案	1 準則	2 準則	...	準則 m
評估方案 1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
評估方案 2	a_{21}	\ddots		a_{2m}
⋮	⋮		\ddots	⋮
評估方案 n	a_{n1}	a_{nm}

(3.1)

其中 a_{ij} 代表第 i 個評估方案在準則 j 下的觀察值。接著我們將原始資料經由公式(3.2)轉換，

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - f_j^*}{f_j^* - f_j^-} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m$$

(3.2)

其中 f_j^* 為第 j 行的最大值， f_j^- 為第 j 行的最小值。經轉換後資料如(3.3)式所示， x_{ij} 代表評估方案 i 在準則 j 中離最小值的相對距離。

方案	1 準則	2 準則	...	準則 m
評估方案 1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1m}
評估方案 2	x_{21}	x_{2m}
...
評估方案 n	x_{n1}	x_{nm}

(3.3)

接著我們再求得(3.3)式中準則 j 、 k 間的相关係數 r_{jk} ， $j = 1, 2, \dots, m$ ， $k = 1, 2, \dots, m$ ，並代入(3.4)式及(3.5)式中，

$$R_j = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m$$

(3.4)

$$C_j = \sigma_j \times \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad , \quad \sigma_j \text{ 表(3.3)式中第 } j \text{ 行資料之標準差}$$

(3.5)

由(3.4)式可知， R_j 值越高，表示準則 j 和其餘準則間資料的相關性越低；而(3.5)式中的 σ_j 值越高，表示準則 j 的資料差異性越大。CRITIC 方法主要是認為和其餘準則間相關性越低以及資料差異越大的準則代表所隱含資訊越多，因此應該給

予較高的權重，所以可利用 C_j 計算其權重，如(3.6)式所示。

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

(3.6)

最後各評估方案之綜合指標計算如下：

$$I_i = w_1 \times x_{i1} + w_2 \times x_{i2} + \dots + w_m \times x_{im}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3.7)

依據各評估方案之綜合指標 I_i 的大小，來判斷第 i 個評估方案的嚴重性或優劣情況。

(二)平均法 (Mean Weight Method)

平均法的主要概念乃是假設每一個準則的重要性皆相同，故每一個準則的權重相等，首先必須將各準則的原始資料經由(3.2)式轉換，再依(3.8)式的權重計算方式，求得各評估方案的綜合指標。

$$w_j = \frac{1}{m}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

(3.8)

其綜合指標之計算方式如下：

$$I_i = w_1 \times x_{i1} + w_2 \times x_{i2} + \dots + w_m \times x_{im} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3.9)

最後依據綜合指標的大小，作為判斷評估方案的優劣。

(三)標準差法(Standard Deviation Method)

在使用標準差法之前，資料的處理跟平均法一樣，首先我們將原始資料經由(3.2)式轉換來消除準則單位不同的問題，然後分別再求出(3.3)式中各準則 J 的標準差

σ_j ，其權重的計算方式如下：

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{k=1}^m \sigma_k}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

(3.10)

其想法乃是標準差越大隱含變異資訊越多，因此其相對權重就越高。故評估方案之綜合指標計算如(3.11)式

$$I_i = w_1 \times x_{i1} + w_2 \times x_{i2} + \dots + w_m \times x_{im}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3.11)

綜合指標值 I_i 如果越大，在本研究中即表示污染程度越嚴重。

(四)熵值權重法(Entropy method)

本方法主要是藉由 Hwang et al. (1981)所提出的理想與反面理想狀態概念，加上 Shannon et al. (1947)所提出的客觀權重選取方法合併所發展出來的。也就是所謂的理想解類似度偏好順序評估方法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution Method, TOPSIS)的一種，此方法調整及延伸的進一步探討，可參見 Deng et al. (2000)及林志娟等(民 94)。

在本研究空氣污染評估問題下，評估方案的分數越大代表污染越嚴重，故在(3.12)式及(3.13)式中定義 v_j 為準則 j 的最大值， u_j 為準則 j 的最小值。所以 U' 可以被視為在所有準則下的最理想狀態列，而 V' 則代表最不理想狀態列。

$$U' = (\min_i a_{i1}, \dots, \min_i a_{im}) = (u_1, \dots, u_m), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3.12)

$$V' = (\max_i a_{i1}, \dots, \max_i a_{im}) = (v_1, \dots, v_m), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3.13)

接著我們分別計算在第 j 行中的 ϕ_j 值

$$\phi_j = -\sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) / [\ln(n)], \quad \text{其中 } p_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

(3.14)

而其權重的計算式為

$$w_j = (1 - \phi_j) / \left[\sum_{k=1}^m (1 - \phi_k) \right], \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.15)$$

然後以歐基里德距離輔以正規化的概念可求得各方案與最理想狀態列和最不理想狀態列的加權距離 L ，其計算過程如(3.16)及(3.17)式

$$L(i, U) = \left[\frac{\sum_{j=1}^m (a_{ij} - u_j)^2 w_j}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2} \right]^{1/2} \quad (3.16)$$

$$L(i, V) = \left[\frac{\sum_{j=1}^m (a_{ij} - v_j)^2 w_j}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2} \right]^{1/2} \quad (3.17)$$

最後依(3.18)式可以求得各評估方案 i 對應的綜合的指標 I_i ，依據 I_i 指標排序後，可得知各方案的相對情況， I_i 值越大，在本研究中表示污染程度越嚴重。

$$I_i = \frac{L(i, U)}{L(i, U) + L(i, V)}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.18)$$

(五) 灰關聯分析

灰色系統理論主要是在系統之不確定性、資訊不完全及運作狀況不清楚下，做系統之關聯分析、模型建立、預測及決策(Deng, 1989)，而灰關聯分析是透過參數間關聯性的比較，進而去了解參數與理想變數的關聯性。分析過程如下：

1. 資料處理

由(3.3)式中我們已知有 n 個比較評估方案、 m 項評估指標，我們可將(3.3)式資料以(3.19)式的序列方式表示之，

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_0' &= (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0m}) \\ \mathbf{x}_1' &= (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m}) \\ &\vdots \\ \mathbf{x}_n' &= (x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}) \end{aligned} \quad (3.19)$$

其中 \mathbf{x}_0' 為參考序列， x_{0j} 為 $\max_i x_{ij}$ ， $j = 1, 2, \dots, m$ ， $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n$ 在本研究中代表第 1 個縣市到第 n 個縣市的資料，例如 $\mathbf{x}_1' = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m})$ 中的 x_{1j} 代表第 1 個縣市在第 j 項評估指標的觀察值， $j = 1, 2, \dots, m$ 。

2. 計算 $\Delta_{ij} = |x_{0j} - x_{ij}|$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $j = 1, 2, \dots, m$ ，求出 \mathbf{x}_0' 和 \mathbf{x}_i' 兩序列之間第 j 項評估指標之差的絕對值，得到的序列稱為差序列。

3. 計算 $\Delta_{\min} = \min_j \min_i \Delta_{ij}$ 及 $\Delta_{\max} = \max_j \max_i \Delta_{ij}$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，

$j = 1, 2, \dots, m$ 。

4. 修飾型灰關聯度

修飾型灰關聯度由吳漢雄及溫坤禮所發展，其將傳統的灰關聯度改寫成(3.20)式(溫坤禮等，民 92)

$$\Gamma_i = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_i + \Delta_{\max}}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3 . 2 0)

其中 $\bar{\Delta}_i = \sum_{j=1}^m (\beta_j \cdot \Delta_{ij})$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $j = 1, 2, \dots, m$ 。 β_j 表示評估準則權重且必須滿足

$\sum_{j=1}^m \beta_j = 1$ ，而權重方法的選取，本研究採用客觀的熵值權重，其權重計算方法及步驟如下：

首先求得各評估準則的總和 D_j ，如(3.21)式，

$$D_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.21)$$

再計算評估指標的熵 e_j ，

$$e_j = \frac{1}{0.6487 \times n} \sum_{i=1}^n We\left(\frac{x_{ij}}{D_j}\right) \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.22)$$

其中 $We(x_i) = (x_i \cdot e^{(1-x_i)} + (1-x_i) \cdot e^{(x_i)} - 1)$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，並求出熵的總和 $E = \sum_{j=1}^m e_j$ 及(3.23)式中的值

$$\lambda_j = \frac{1}{m - E} (1 - e_j) \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.23)$$

最後我們可依(3.24)式求得各評估準則之權重

$$\beta_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.24)$$

依據(3.24)式中之值，我們可求得各評估方案(3.20)式中之 Γ_i 值，最後由灰關聯度 Γ_i (綜合指標)來判斷評估方案之優劣情形， Γ_i 值越大，在本研究中表示空氣污染程度越嚴重。

四、Spearman's 等級相關

Spearman's 等級相關最早是應用在無母數統計上，是衡量順序尺度資料相關性時普遍被採用的方法之一，依據等級相關係數可得知各決策方法之間的相關性。等級相關係數定義如(3.25)式，其中 d_i 為任兩個準則的等級差， n 為被評估方案之個數。

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n}, \quad -1 \leq r \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3.25)

當 r 等於 1 時表示等級順序完全一致。

肆、研究結果與分析

一、空氣污染的五種指標

本研究透過行政院環保署網站(<http://www.epa.gov.tw>)的資料庫取得 22 個縣市在 93 年 1 月至 12 月五種空氣污染物(懸浮微粒、二氧化硫、一氧化碳、二氧化氮、臭氧)的指標值。根據對人體健康的影響程度，可換算出該空氣污染物的污染副指標值，再以當月各副指標值的最大值為空氣污染指標值(PSI)，表 4-1 為 93 年 1 月份空氣污染指標之原始資料。

表 4-1：93 年 1 月之空氣污染指標

縣市	懸浮微粒 $\mu g / m^3$	二氧化硫 ppm	一氧化碳 ppm	二氧化氮 ppm	臭氧 ppm	PSI
台北縣	57.07	0.003	0.65	0.020	0.044	53.54
宜蘭縣	46.85	0.001	0.67	0.015	0.040	46.85
桃園縣	57.46	0.004	0.73	0.022	0.040	53.73
新竹縣	58.31	0.003	0.55	0.019	0.039	54.16
苗栗縣	59.24	0.003	0.63	0.019	0.046	54.62
台中縣	63.11	0.004	0.86	0.024	0.048	56.56
彰化縣	82.56	0.005	0.69	0.023	0.045	66.28
南投縣	82.76	0.002	0.87	0.030	0.062	66.38
雲林縣	91.45	0.003	0.63	0.020	0.054	70.73
嘉義縣	89.41	0.003	0.54	0.017	0.050	69.71
台南縣	105.44	0.004	0.6	0.024	0.060	77.72
高雄縣	116.09	0.011	0.82	0.031	0.075	83.05
屏東縣	92.73	0.003	0.64	0.017	0.065	71.37
台東縣	41.36	0.001	0.58	0.010	0.040	41.36
花蓮縣	46.73	0.001	0.81	0.02	0.036	46.73
基隆市	60.30	0.004	0.64	0.022	0.044	55.15
新竹市	61.74	0.005	0.56	0.023	0.040	55.87

台中市	74.61	0.003	0.76	0.024	0.049	62.31
嘉義市	104.97	0.005	0.86	0.033	0.063	77.49
台南市	92.94	0.004	0.71	0.023	0.063	71.47
台北市	57.00	0.003	0.76	0.027	0.039	53.50
高雄市	116.23	0.008	0.93	0.035	0.074	83.12

二、五種決策方法在不同空氣污染指標下之權數

首先本研究採用 93 年 1 月份的資料進行分析，以五種權重方法分別求得在懸浮微粒、二氧化硫、一氧化碳、二氧化氮及臭氧等五種空氣污染指標的權數，如表 4-2，再將權數經各方法加權計算後可得到一個新的綜合指標，最後依據綜合指標排序後，即可判斷各縣市的污染情形，其中排序值越小代表污染越嚴重，也就是說排序為 1 表示空氣品質最嚴重，而排序為 22 表示空氣品質最佳。其分析結果如表 4-3，從表 4-3 中的 CRITIC 法、標準差法及平均法所計算出的綜合指標研判，可以發現空氣污染情況最嚴重的縣市依序為是高雄市、高雄縣及嘉義市，而以台東縣、新竹縣及宜蘭縣的空氣品質為最佳；而如以熵值權重法所計算出之綜合指標來看，則可以發現高雄縣的污染最為嚴重，其次為高雄市及嘉義市，而仍然以宜蘭縣及台東縣的空氣品質為最佳。灰關聯分析法亦得到非常類似結果。綜合而言，實證結果顯示在 22 個研究的縣市當中，污染最嚴重的三大縣市為高雄市、高雄縣及嘉義市，最不嚴重的三大縣市則為台東縣、宜蘭縣及新竹縣。

表 4-2：93 年 1 月份各種方法在空氣污染指標之權數

	懸浮微粒	二氧化硫	一氧化碳	二氧化氮	臭氧
CRITIC	0.2042	0.1691	0.2891	0.1441	0.1935
平均法	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
標準差法	0.2248	0.1638	0.2160	0.1731	0.2223
熵值權重法	0.1673	0.5643	0.0479	0.1252	0.0953
灰關聯分析	0.1999	0.2003	0.2000	0.1994	0.2004

表 4-3：93 年 1 月份 PSI 與各權重法之指標值及排序

縣市	PSI		CRITIC 法		平均法		標準差法		熵值權重法		灰關聯分析	
	指標值	排序	綜合指標	排序	綜合指標	排序	綜合指標	排序	綜合指標	排序	灰關聯度	排序
台北縣	53.54	18	0.2555	17	0.2594	17	0.2557	16	0.2124	18	0.5745	17
宜蘭縣	46.85	20	0.1600	20	0.1418	21	0.1459	21	0.0493	21	0.5381	21

桃園縣	53.73	17	0.3245	13	0.3170	13	0.3086	13	0.3038	10	0.5941	13
新竹縣	54.16	16	0.1542	21	0.1778	20	0.1686	20	0.2080	19	0.5487	20
苗栗縣	54.62	15	0.2508	18	0.2572	18	0.2556	17	0.2117	17	0.5738	18
台中縣	56.56	12	0.4875	6	0.4560	7	0.4573	7	0.3165	8	0.6476	7
彰化縣	66.28	10	0.4108	10	0.4172	10	0.4137	10	0.4100	4	0.6317	10
南投縣	66.38	9	0.6188	4	0.5932	4	0.6102	4	0.2232	16	0.7107	4
雲林縣	70.73	7	0.3841	11	0.3924	11	0.4050	11	0.2502	12	0.6220	11
嘉義縣	69.71	8	0.2747	15	0.2962	16	0.3054	14	0.2386	14	0.5869	15
台南縣	77.72	3	0.4698	7	0.4970	6	0.5085	6	0.3521	6	0.6653	6
高雄縣	83.05	2	0.8950	2	0.9112	2	0.9110	2	0.9631	1	0.9185	2
屏東縣	71.37	6	0.4323	9	0.4332	8	0.4561	8	0.2540	11	0.6383	8
台東縣	41.36	22	0.0495	22	0.0412	22	0.0451	22	0.0145	22	0.5105	22
花蓮縣	46.73	21	0.2724	16	0.2328	19	0.2349	19	0.0890	20	0.5658	19
基隆市	55.15	14	0.2854	14	0.2988	14	0.2900	15	0.3054	5	0.5878	14
新竹市	55.87	13	0.2328	19	0.2692	15	0.2506	18	0.3945	7	0.5777	16
台中市	62.31	11	0.4328	8	0.4202	9	0.4254	9	0.2421	13	0.6329	9
嘉義市	77.49	4	0.7449	3	0.7366	3	0.7470	3	0.4533	3	0.7914	3
台南市	71.47	5	0.5263	5	0.5274	5	0.5421	5	0.3414	7	0.6791	5
台北市	53.50	19	0.3524	12	0.3460	12	0.3364	12	0.2361	15	0.6045	12
高雄市	83.12	1	0.9443	1	0.9348	1	0.9451	1	0.7227	2	0.9387	1

三、排序結果之比較

根據 CRITIC 法、平均法、標準差法、熵值權重法及灰關聯分析所得的權重，分別計算各縣市空氣污染指標值的綜合指標並加以排序，每種權重法所排序的結果不盡相同，故本小節將這五種權重法與傳統 PSI 指標的排序結果進行等級相關分析，來比較這六種決策方法之間的相關係數。

針對六種決策方法所排序出來的結果，利用 Spearman's 等級相關來了解六種方法之相關係數，其分析結果如表 4-4，以 PSI 指標來說，灰關聯分析與 PSI 指標相關係數最高為 0.8656，而其他依序為標準差法、平均法、CRITIC 法與熵值權重法。而以灰關聯分析來說，則與平均法、標準差法、CRITIC 法的相關係數較高，相關係數分別為 0.9989、0.9955 及 0.9864。

表 4-4：93 年 1 月份各決策方法之相關係數

	PSI	CRITIC	平均法	標準差法	熵值權重法	灰關聯分析
PSI	1.0000	0.8182	0.8600	0.8645	0.7877	0.8656
CRITIC	0.8182	1.0000	0.9819	0.9887	0.7267	0.9864
平均法	0.8600	0.9819	1.0000	0.9910	0.7945	0.9989
標準差法	0.8645	0.9887	0.9910	1.0000	0.7504	0.9955
熵值權重法	0.7877	0.7267	0.7945	0.7504	1.0000	0.7771
灰關聯分析	0.8656	0.9864	0.9989	0.9955	0.7771	1.0000

四、綜合指標之變化

根據等級相關分析得知灰關聯分析、平均法、標準差法及 CRITIC 法四種方法之間的相關性較高，熵值權重法與其他四種權重法的相關性較低，所以本節僅使用灰關聯分析、平均法、標準差法及 CRITIC 法來分析空氣污染較為嚴重的地區：高雄縣、高雄市、嘉義市三個地區 1 月至 12 月的空氣污染指標，利用綜合指標了解四種方法的分析結果，探討綜合指標的變化情形，並了解四種方法在各月份評比的一致性為何。

此四種方法的綜合指標，分別繪製如圖 4.1、4.2 及 4.3，由此三個圖可以看出高雄市、高雄縣及嘉義市的資料，以灰關聯分析所分析出的結果跟其他三種方法差異較大，且平均法及標準法分析結果幾乎相同，而從圖形中也可以看出在 4 月至 8 月期間，台灣各縣市的空氣品質似乎是全年比較好的期間。

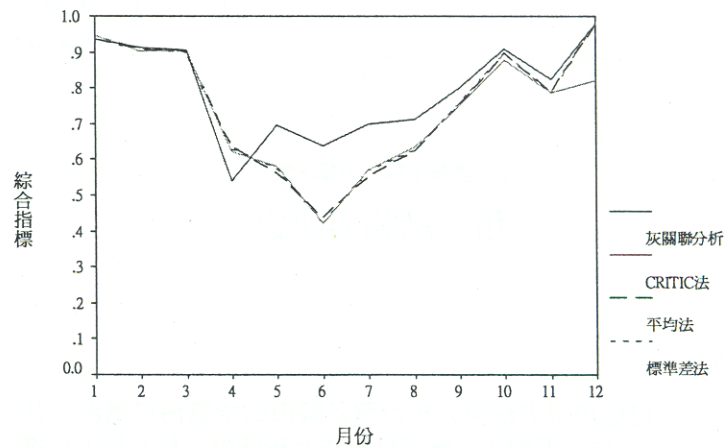


圖4.1 高雄市綜合指標之變化

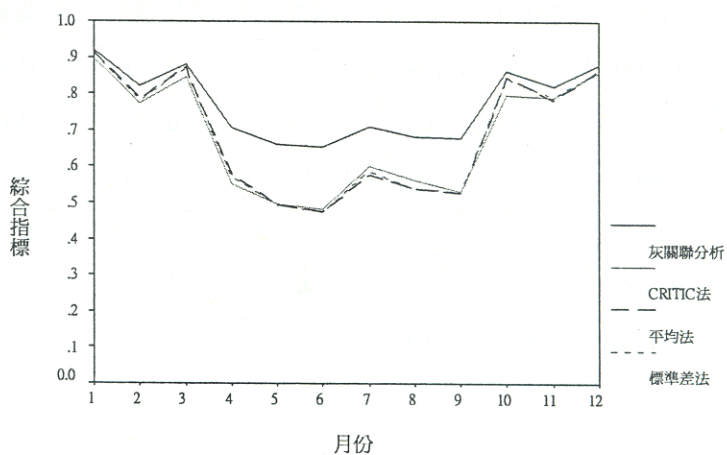
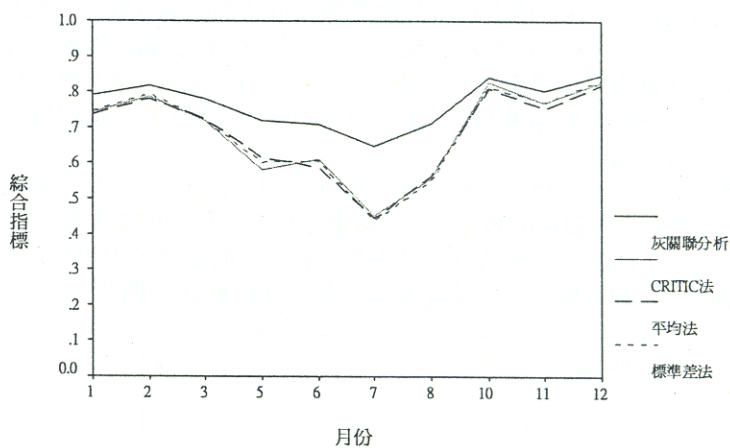


圖4.2 高雄縣綜合指標之變化



4.3 嘉義市綜合指標之變化

伍、結論與建議

一、研究結論

本研究以多目標決策方法來分析台灣各縣市的空氣污染情況，其中使用了 CRITIC 法、標準差法、平均法、熵值權重法及灰關聯分析五種方法進行分析及排序，並比較與 PSI 指標排序之間的相關性，主要獲得的結論如下：

(一)由本研究結果得知，根據不同意義的五種權重法，所排序的結果仍然與 PSI 指標具有高度相關性，其中尤以灰關聯分析與 PSI 指標排序的相關性最高。在灰關聯分析中以臭氧指標的權數最高，而台灣省各縣市的空氣品質在 4 月至 8 月間較佳。實證結果顯示在 22 個研究的縣市當中污染最嚴重的三大縣市為高雄市、高雄縣及嘉義市，最不嚴重的三大縣市則為台東縣、宜蘭縣及新竹縣。

(二)多目標決策模式最大的問題在於何種權重是最適用的，由相關文獻可以看出，各種方法皆有其理論之依據，故何種方法最淺顯易用，將是使用者最在乎的，以本研究為例，各方法間之排序並無太大差異，故任何一種方法皆應適用於空氣污染問題的評估上，然以簡易性來看，或許可直接使用平均法於空氣污染環境之評估上。

(三)從表 4-3 或空氣品質最嚴重的三個縣市來看，平均法、標準差法所獲得之綜合指標差異不大，兩種方法所獲得之結果幾乎相同。

(四)如根據 93 年 2 月至 12 月的空氣污染指標值，並以 CRITIC 法、平均法、標準差法、熵值權重距離法及灰關聯分析等五種方法。評估各縣市空氣污染程度其五種方法間的排序結果與 1 月份大致相同。

二、研究建議

本研究僅針對各縣市空氣污染指標值作研究探討，尚未得知上述使用這些方法的結論是否適合應用在各種不同型式的資料中，所以建議使用模擬資料，來測試使用這五種不同決策方法所得到的結果，以確保這些方法的穩健性；也希望只需藉由了解資料的型式來選擇最佳的決策方法，以解決各專業領域之決策問題。另外，由於權重及距離的取法並不唯一，所以應有更多元的取法，來構成另一種決策方法，另外，如分析結果過於敏感，也可考慮用群集分析(cluster analysis)來分類。此外，其他決策方法如：主成份分析法、資料包絡分析法等皆可應用於多重準則決策方法中。

參考文獻

1. 林志娟，劉家佑，張慶暉，林秋華，2005，「理想解類似度偏好順序評估方法之延伸及其應用」，中國統計學報，43(3)：165-181。
2. 志義，1994，多目標決策台北，五南圖書。
3. 溫坤禮，黃宜豐，張偉哲，張廷政，游美利，賴家瑞，2003，灰關聯模型方法與應用，高立圖書有限公司。
4. Deng, H., Yeh, C. H. and Willis, R. J.(2000) "Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights", Computers and Operations Research, 27:963-973.
5. Deng, J. L.(1989) "Introduction to Grey System Theory." The Journal of Grey System., 1(1):1-24.
6. Diakoulak, D. Mavrotas, G. and Papayannakis, L. (1995)"Determining Objective Weights In Multiple Criteria Problems : The CRITIC Method",

- Computers and Operations Research, 22 :763-770.
7. Hwang, C. L. and Yoon, K. (1981) Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York.
 8. Ijiri, Y. (1965) "Management Goals and Accounting for Control", North-Holland Publishing, Amesterdam.
 9. Koopmans, T. C., (1951) "Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities", Activity Analysis of Production and Alloction, Cowles Commission Monograph 13, Wiley, New York. 33-97.
 10. Kuhn, H. W. and Tucker, A. W.(1951) Nonlinear Programming, in J. Neyman (ed.) , Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, Berkeley. 481-491.
 11. Shannon, C. E. and Weaver, W.(1947) The mathematical theory of communication", Urbana: The University of Illinios Press.
 12. Sinha, B. K.(2003) Combining Environmental Indicators, working paper. Department of Mathematics and Statistics, University of Maryland, Baltimore County.

Multiple Objective Decision Making

In Evaluating The Condition Of Environment

Ching -Hui Chang

¹Department of Applied Statistics and Information Science (Graduate Program),
Ming Chuan University

Ching-Yi Hwang*

¹Department of Applied Statistics and Information Science (Graduate Program),
Ming Chuan University

Jyh-Jiuan Lin

²Department of Statistics, Tamkang University

Abstract

The air pollution is getting more and more serious and has affected the balance of the natural environment, and this will also have a serious impact on human life. According to the different degrees of industrialization and urbanization in different areas, the degrees of air pollution will not be the same. In this research, twenty-two counties have been studied for those pollutants (suspended substances, PM_{10} , SO_2 , CO , O_3 and NO_2) to indicate the degree of air pollution. Given these five environmental indicators, we will try to integrate these indicators and derive a single overall index. The ways to decide the weights includes Mean weight, Standard Deviation weight, CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation), Entropy method and Grey Relational Analysis. Furthermore, the condition of air pollution will be compared in every county according to the aggregate index. Finally, the five methods are compared with the traditional Pollutant Standards Index (PSI) and the correlations among them are discussed.

【 Keywords 】 : Pollutant standards Index (PSI) 、 Multiple Objective Decision Making 、 Grey Relational Analysis.

*Ching-Yi (C.Y.) Hwang

TEL : 886-2-28824564 · Ext.3250

e-mail : chchang@mcu.edu.tw