

冬季季風初期天氣演變之個案分析 (I)

徐天佑

蔣佑良

林沛練

摘 要

本省地處亞洲大陸之東緣，當大陸冷氣團及副熱帶海洋氣團交綏之要衝，致大氣演變受海陸兩種秉性不同的氣團所控制。夏季受西南季風之影響午後多雷陣雨，而冬季由於大陸冷高壓勢力加強界面不時南下，天氣形態隨之改變，加以西藏高原及雲貴一帶地形顯著，而擾動之增加或消失與地形之有密切之關係，天氣系統演變更見複雜。本文利用 σ (Sigma) 座標處理下界問題同時考慮地形效應並且探討濕度，垂直運動之變化，再計算水氣平流的影響，並以實例之診斷估量東北季風初期於本省天氣之關係，計算結果顯示上述諸因素對本省東北季風初期影響下的天氣狀況有重要的供獻。

一、前言

台灣冬季季風與大陸寒潮爆發及冷高壓南下有密切之關係，當冷高壓盤據中國大陸時，本省受其影響，盛行之東北季風往往帶來降水使得台灣北部經常下着綿綿細雨。

東亞之寒潮爆發有其特性，據 Suda (1959) 之研究指出，當東亞寒潮爆發後，在北極圈上空 500 mb 圖上有正距平出現，環繞極地之西風氣流呈現出三波之形式，三個高壓脊分別位於大西洋東部，西伯利亞及太平洋東部，成明顯的低指標形態。

Asakura (1965) 以地轉風計算北緯 $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 寒潮爆發後之動能變化情形。發現在寒潮形成之前期西風緯流中以 2 波佔優勢，但是當寒潮爆發後侵襲日本時，已經接近其末期，此時一波及三波吸收能量，二波提供能量，氣流呈明顯的南北走向，西伯利亞高壓脊增強，引起大規模極地冷空氣侵襲日本。

Charney & Eliassen (1949) 認為行星級之超長波二波，為地形效應，在平均天氣圖上，二波之位置經常出現在亞洲及北美洲的大陸東海岸，其動力機制由上游之大陸地形所促成，二波由緯流運動攝取能量，而後再將能量輸送給其他不同波數之西風，簡言之二波為能量之供應者亦即動能之消耗者。

東亞寒潮爆發後，影響台灣之寒潮，蔡、王二氏

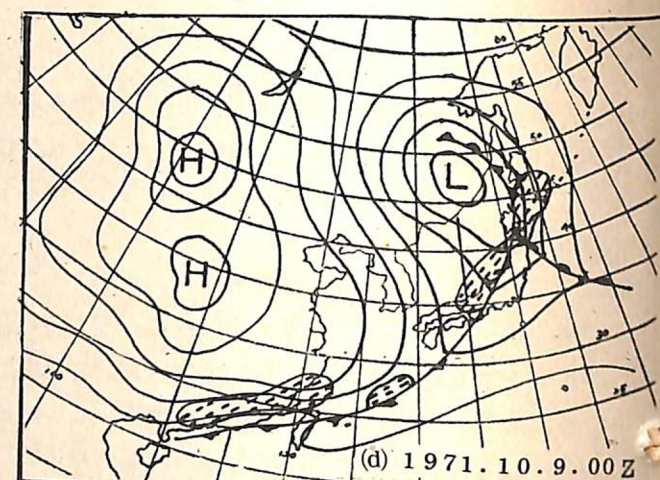
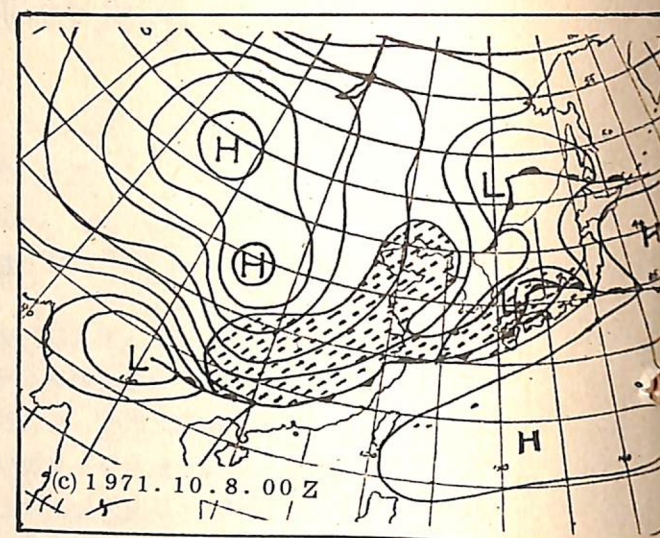
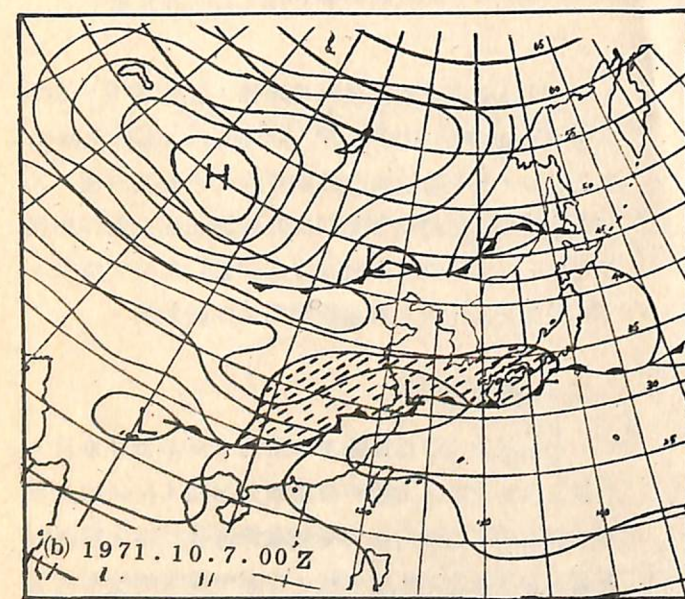
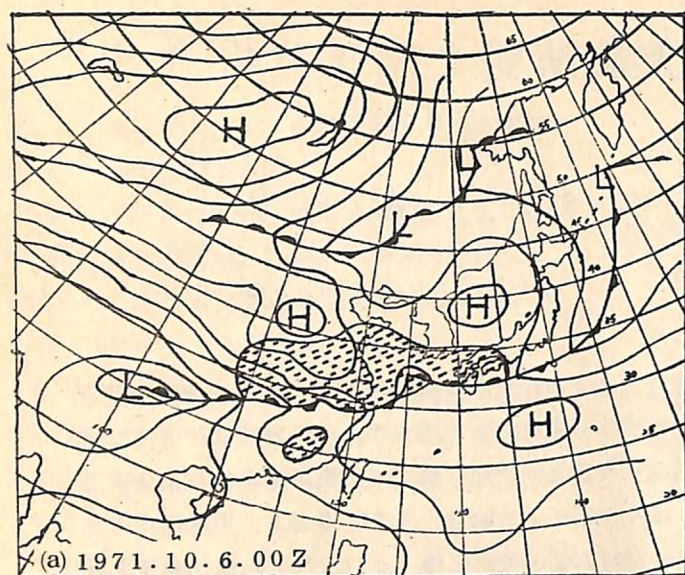
(1981) 以非線性能量轉換關係，計算 $30^{\circ}\text{N} \sim 50^{\circ}\text{N}$ 及 $50^{\circ}\text{N} \sim 70^{\circ}\text{N}$ 兩個緯帶上，500 mb 波動動能的時間變化情形，其中動能變化最顯着的是三波及六波。其波動之變化，可歸結初始期由非線性正壓交互作用提供動能，成長期則波動吸收可用位能以維持其成長，至非線性交作用大量損耗動能才開始衰減。

二、個案選取

本個案之選取為民國 70 年 10 月 6 日至 10 月 10 日，為秋末冬初之時，大陸冷高壓開始增強，在強烈之寒潮之侵襲下，台灣有機會受到寒潮爆發伴隨之鋒面所影響，進入東北季風型氣候，有連續數天的陰雨天氣。

6 日極地冷高壓由西伯利亞向南移動，低壓中心在東海冷鋒由此向西南延伸至兩廣一帶如圖(一)所示，7 日冷高壓逐漸南移，一直到 9 日鋒面始通過本省，10 日慢慢遠離。

值得注意的是鋒面在華南停留幾達四天之久，移動緩慢，從地面圖之雨區移動情形可以看出，雨區始終在鋒面之後，而伴隨鋒面尾端之暖低壓也持續甚久，待其消失鋒面始南下，葉氏 (1982) 曾做華西低壓與鋒面移動速率之研究，發現鋒面尾端伴隨有暖低者，其鋒面移動速度較無暖低者約慢 1.7 緯度/天 (4.3 哩/時)。



圖一、地面天氣圖，斜點線代表降水區。

從 850 mb 高空圖之溫度露點差等值線如圖(二)，可以看整個濕度較大之區域也集中於華南至華中一帶，華南一帶南向風盛行。高層之噴射氣流隨着寒潮之南移，也同時南移，自鋒面通過本省後高空噴射氣流也跟著移進本省，使得本省北部因而產生降水。

三、研究方式

寒潮爆發屬於綜觀範圍之天氣，因此分析之過程也以分析綜觀尺度天氣現象為主。在資料處理方面以客觀分析進行之，網格點上之值，採用 Barnes scheme 內插。一般而言，理想之客觀分析俱備下

列各條件一內插二除錯三勻修四內部一致性。而本文採 Barnes 客觀分析。

Barnes 客觀分析，若適當的選用反應函數 (response function) 有低通濾波 (Low-Pass filter) 之功能，分析的方法如下：

$$\bar{f}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n W_i f_i}{\sum W_i} \quad (1)$$

其中 f_i 代表第 i 個測站的位置， W_i 為權重函數， $\bar{f}(X, Y)$ 代表內插至網格點上的值。採 Barnes 客觀分析時權重函數以下式定義：

$$W_i = \frac{1}{4\pi k} \exp(-r^2/4k) \quad (2)$$

在(2)式中 r 代表自 “ i ” 站至網格點 (X, Y) 之距離其關係如圖(三)所示。通常 K 值之濾波作用可由反應函數之性質來決定，其定義如下：

$$g(x, y) = D(\lambda, K) \Psi(x, y)$$

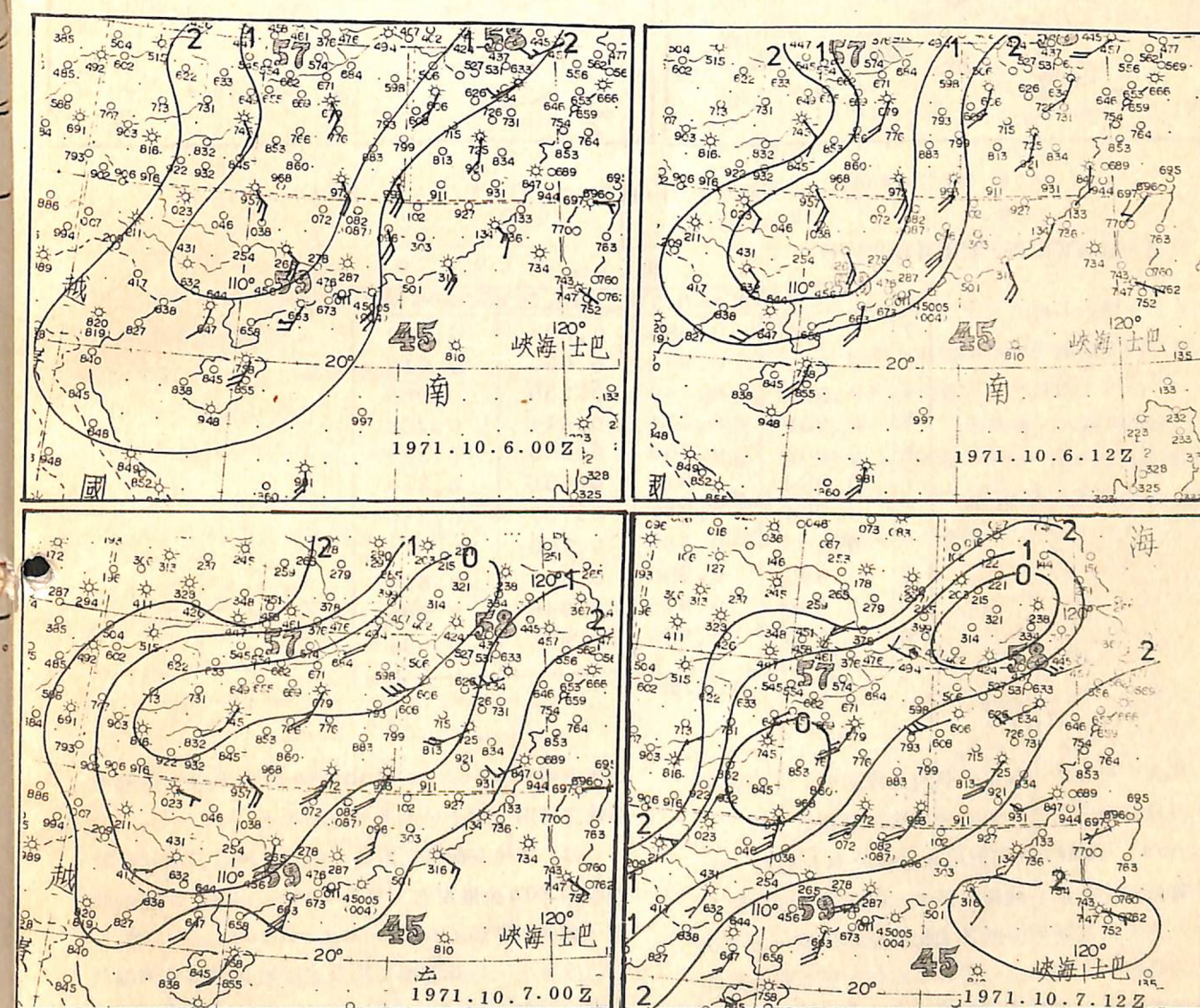
$$= D \sum \Psi_n \quad (3)$$

Ψ_n 為函數 $\Psi(x, y)$ 的二維富氏 (Fourier) 級數分量。

$$D(\lambda, K) = \exp\left(-\frac{4\pi^2 K}{\lambda^2}\right) \quad (4)$$

(3)式中之 λ 為波長，通常吾人應用網格系統分析時可令 $\lambda = n \Delta x$ ， $K = (\alpha \Delta x)^2$ ， Δx 為網格間距，則反應函數可寫成：

$$D(\alpha, n) = \exp\left[-\left(\frac{2\pi\alpha}{n}\right)^2\right] \quad (5)$$



由網格點上內插之觀測值，計算出之各種物理量，常帶有雜波，因此可借 Shuman 低通濾波方式，濾去不當的非物理性雜波，簡單的一維三點 Shuman 濾波方式如下：

$$\bar{f}_j = (f_{j+1} + 2f_j + f_{j-1}) / 4 \quad (15)$$

式(15)之相關位置如圖四

$$\begin{array}{ccc} F(j-1) & F(j) & F(j+1) \end{array}$$

圖四、Shuman 一維三點相關位置圖。

兩維之 Shuman 濾波方式如下，相關位置如圖(五)，相當於九點濾波。

$$\begin{aligned} \bar{f}_{i,j} = & \frac{1}{4} f_{i,j} + \frac{1}{8} (f_{i-1,j} + f_{i,j-1} + f_{i+1,j} \\ & + f_{i,j+1}) + \frac{1}{16} (f_{i-1,j+1} + f_{i-1,j-1} \\ & + f_{i+1,j-1} + f_{i+1,j+1}) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{array}{ccc} F(i-1,j+1) & F(i,j+1) & F(i+1,j+1) \\ F(i-1,j) & F(i,j) & F(i+1,j) \\ F(i-1,j-1) & F(i,j-1) & F(i+1,j-1) \end{array}$$

圖五、Shuman 兩維九點相關位置圖。

四、座標採用與計算方式

本文之計算座標採 σ (SIGMA) 座標，其優點不僅考慮地形之變化，對於上下邊界之處理也不需做任何物理假設。觀測值對網格點之內插值如水平之風向風速，在計算輻散輻合量時所造成的誤差甚大，宜加修正，為了避免這種誤差，可用變分佳化分析 (Variational Optimization Analysis) 修正，事先修正水平風場值，使其滿足流體連續方程之束縛條件。詳細之推演過程參閱張、徐 (1982) 之應用地形座標計算大氣垂直運動之研究，在計算過程之

差分法，使用一般之中間值定差法 (Central difference approximation) 及梯形積定律 (trapezoidal rule of integration)，中間差分法之優點為誤差小較為準確，因本文僅為診斷分析，不對時間做積分，故無需考慮對時間積分所產生之不穩定。(待續)

參考文獻

- 張能復、徐天佑，1982：應用地形座標計算大氣垂直運動之研究。科學發展月刊第十卷第三期。
- 蔡清彥、王時鼎，1981：波動間非線性能量交換與寒潮爆發。國立台灣大學研究報告 WMS-03 號，pp28。
- 葉文欽、陳泰然，1982：影響台灣地區冬半年之低壓與鋒面之氣候特徵。台灣大學研究報告，pp36。
- Asakura, T., 1965: Synoptic climatological process of a large scale cold air outbreak in Japan (in Japanese). Note, Jap. Met. Agency 9-24。
- Charney, J. G & Eliassen, A., 1949: A numerical method for predicting the predicting the perturbation of the middle latitude Westerlies. Tellus, 1, 38-54。
- Suda, K., 1959: A study on the dynamic climatology of cold outbreaks in the Far East. Geophys. Mag., 29, 413-461。

A Case Study of the Weather during the Onset of Winter Monsoon

Shyu Tian-Yow

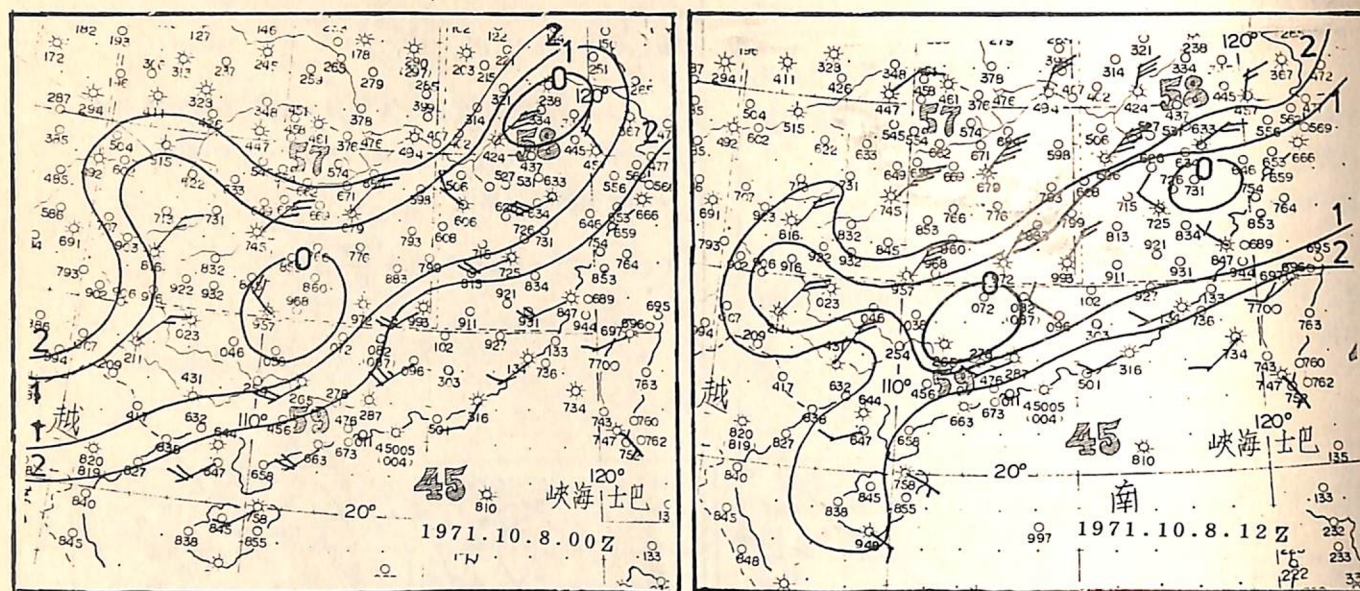
Chiang

Yow-Liang

Lin Pey-Liann

Abstract

Due to the location, the weather of Taiwan is controlled by two different Air Mass. In the summer time it is mainly influenced by the southwest monsoon, the outstanding feature is the high frequency of the thunderstorm in the afternoon. In the winter time the northeast monsoon is prevailing what it brings is the high frequency of front passage and continuous rainfall over the northeast part of the island. In this paper, because the terrain is very complex, we use the σ -coordinate to calculate the parameters of atmosphere that can be avoid the lower boundary condition and could make an available estimate for the atmospheric conditions which may contribute the variation of the weather over the considered region during the onset of the northeast monsoon. Our results reveal that the onset of the northeast monsoon is an important factor, in which many parts can affect the weather in Taiwan.



圖二、850 mb 溫度露點差圖，單位 °C。

反應函數表可由表一看出其變化情形：

n	D(α=0.1)	D(α=0.5)	D(α=0.75)	D(α=1.0)
2	0.906	0.085	0.004	0.000
3	0.957	0.334	0.085	0.012
4	0.976	0.540	0.250	0.085
5	0.984	0.674	0.411	0.206
6	0.989	0.760	0.540	0.334
7	0.992	0.818	0.636	0.447
8	0.994	0.857	0.707	0.540
9	0.995	0.885	0.760	0.614
10	0.996	0.906	0.801	0.674
20	0.999	0.976	0.946	0.906
30	1.000	0.989	0.976	0.957

表一、D(α, P) 值

由表一可以看出如果分析的二維函數（二維數據），其分佈均勻且測站距離與網格距離相當，則 Barnes' scheme 可選用 α 值等於 0.1 左右，大部份有意義之波數（波長大於 2Δx 的波）可以保存。再用低通濾波器可得到具有物理意義的波，然而在分析的過程中，測站之分佈並不均勻，另外電算機在指數運算時有上下限 $10^{-70} < e^x < e^{70}$ ，因此在運算

過程中與 Cressman Scheme 影響半徑之限制有等效之功用，以下考慮改善之方式。

因 Δx 代表網格之距離，在本文相當於地球實際距離約 200 公里左右，另外 400~1000 公里的波數受到錯折誤差（aliasing error）之影響，可信度較小，因此重複使用反應函數以考慮低通濾波之截去波數（cut-off wave no.）其反應函數變為：

$$\bar{f}(x, y) = \bar{f}(x, y) + D_1 [f(x, y) - \bar{f}(x, y)] \quad (6)$$

$$\bar{f} = D_0 f(x, y) \quad (7)$$

$$D_1 = \exp\left(-\left(\frac{2\pi\alpha}{n}\right)^2 r\right) = D_0^r \quad (8)$$

其中 r 為大於零之常數

D'(α, n, r) 值之變化可由表二表示。

n	D'(α=0.75, r=0.1)	D'(α=1.0, r=0.1)	D'(α=1.2, r=0.1)
2	0.577	0.372	0.242
3	0.800	0.647	0.532
4	0.903	0.800	0.709
5	0.950	0.884	0.817
6	0.973	0.931	0.883
7	0.984	0.957	0.924
8	0.990	0.973	0.950
9	0.994	0.982	0.966
10	0.996	0.987	0.976
20	1.000	0.999	0.998

表二、D'(P, α, r) 值

另外對於高波數的波譜用 Shuman 低通濾波，

可得到更好的效果。

$$\bar{f}(x, y) = \bar{f}(x, y) + D_1 R [f(x, y) - \bar{f}(x, y)] \quad (12)$$

則反應函數變成

$$D' = D_0 + R (D_0^r + D_0^{1+r}) \quad (13)$$

$$R = \cos^2\left(\frac{\pi}{n}\right) \quad (14)$$

D'(α, r, R) 變化值可由表三表示

n	D'(α=0.75, r=0.1, R)
2	0.004
3	0.263
4	0.576
5	0.761
6	0.864
7	0.917
8	0.947
9	0.965
10	0.976
20	0.998
30	0.999

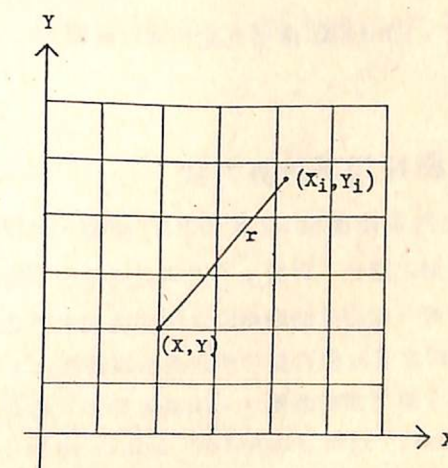
表三 D'(α, r, R) 值

$$\bar{f} = D'(x, y) \quad (9)$$

$$D' = D_0 + D_0^r - D_0^{1+r} \quad (10)$$

$$D' = D'(\alpha, n, r) \quad (11)$$

由表三之結果，可以看出反應函數對於大於 6Δx，也就是在千公里左右的綜觀尺度擾動，網格點之內插值效果良好，保留性較高。另外由上述也可預知，在測站稀少之處，如太平洋地區，青康藏高原（不若華南、華北地區測站距離 200~300 公里），其測站距離甚至大到 800~1000 公里，測站與網格距離不匹配，分析結果也欠理想。



X, Y: 網格點位置。

Xi, Yi: 測站位置。

圖三、網格點與測站相關位置圖。