

# 大氣輻射效應： 兩種輻射參數化方法在有限區域預報模式之比較

吳石吉 葉天降  
中央氣象局資訊中心

張偉正  
美國海軍研究院

## 摘 要

本文使用中央氣象局目前作業化有限區域預報模式做不同輻射參數化的測試比較。所使用的參數化中，一者為只考慮地表輻射能量收支，另一者為由 Harshvardhan et al (1987) 所發展的輻射參數化，同時考慮輻射對地表及大氣的影響。

從個案分析中發現，輻射效應對大氣的加熱率可以使低層（約 850 hPa）的溫度改變 2-3 °C，因此目前中央氣象局作業所使用的輻射參數化只考慮輻射對地表的影響顯然是不夠的。

此外，雲在輻射效應中扮演了很重要的角色。從個案分析中發現雲作用力 (cloud forcing) 可以達 3-4 °C/day。因此正確地掌握雲的垂直結構，將有助於加熱率的合理估計，進而改善模式預報的結果。

## 一、前言

中央氣象局有限區域預報模式（參見葉等，1994）目前作業所使用的輻射參數化為一簡單的經驗參數化。參數化只處理地表的輻射能量收支而未考慮輻射直接對大氣的影響。本文嘗試使用另一種由 Harshvardhan et al(1987) 所發展較為精確的輻射參數化來計算地表的輻射能量收支及輻射效應對大氣的加熱率。文中首先簡單介紹兩種參數化的內容及方法，接著分析比較模式中不同參數化的輻射場特性，並討論二者對模式低層（約 850 hPa）溫度場預報結果的影響。

## 二、輻射參數化之介紹

由 Harshvardhan 等人所發展的輻射參數化（以下簡稱 H-參數化），目前已在中央氣象局作業化全球預報模式中使用（馮，1992）。此參數化在長波部份包含 H<sub>2</sub>O、O<sub>3</sub>、CO<sub>2</sub> 與 e-type continuum 吸收氣體，短波

部份則考慮 H<sub>2</sub>O 與 O<sub>3</sub> 兩種吸收氣體與雷氏散射效應。而目前中央氣象局有限區域預報模式作業所使用的輻射參數化（以下簡稱 S-參數化）只參數化地表的淨長波與淨短波的輻射通量。在地表淨短波輻射通量方面，以一經驗公式參數化如下：

$$\text{Solar} = (1-\text{alb}) \times r_n^{\text{zenith}} \times \text{Solcon} \times \text{Zenith} \quad (1)$$

Zenith：天頂角的餘弦值

Solcon：太陽常數

r<sub>n</sub>：係數。假設與大尺度及積雲的瞬間降水成反比。

rzenith：Zenith 的倒數

alb：假設與大尺度及積雲的瞬間降水及累積降水成反比。

在地表淨長波輻射通量方面，參數化公式如下：

$$\text{RN} = r_n \times \text{Boltz} \times \text{TG}^4 \quad (2)$$

r<sub>n</sub>：係數。假設與大尺度和積雲的瞬間降水成反比。

Boltz：Stefan-Boltzman 常數。

TG：地表溫度。

### 三、結果分析與討論

測試個案選取的時間為 1994 年 9 月 12 日 12 UTC，模式中分別使用 H-參數化與 S-參數化兩種輻射參數化做 24 小時預報。

#### (一) 地表輻射通量的比較

圖 1 為模式預報 24 小時地表溫度與地表輻射通量的時間序列，所分析的網格點座標是 (116.2° E, 29.4° N)。實線表示 H-參數化的結果，虛線表示 S-參數化的結果。

圖 1(a)、1(b)、1(c) 依次為地表溫度、地表淨短波輻射通量，地表淨長短波輻射通量的 24 小時時間序列。從圖中可以看出不論何種參數化的結果皆有明顯的日夜變化情形。其中地表淨短波輻射通量的極大值約發生在正午（相對橫座標 16 的位置），此時配合太陽天頂角的極小值。而地表淨長波通量的極大值約發生在午後 1 至 2 點之間（相對於橫座標 17 與 18 之間），配合地表溫度的極大值發生時刻（也在午後 1 至 2 點之間），兩者有很好的的一致性。此外，從圖中可以發現 S-參數化所估計的地表淨長（短）波的輻射通量普遍高於 H-參數化，透過此輻射效應對地表能量收支的貢獻將直接影響地表溫度的預報。

#### (二) 輻射對大氣的加熱率

圖 2 為模式積分 12 小時；H-參數化所計算的雲量及對大氣加熱率的垂直分布，所選取的網格點座標如圖所示。圖 2 左圖為雲量分布，在 H-參數化中雲量的決定是垂直各層 sigma 值與相對溼度的函數，其關係如圖 3。圖 2 右圖為輻射對大氣的加熱率，虛線表示模式中不考慮雲的存在的加熱率分布，實線則表示雲／輻射效應的結果。

圖 2(a) 表示模式在晴天下（左圖垂直各層雲量為零）的加熱率分布。由於模式沒有雲量生成，所以實線與虛線重合。圖 2(b) 顯示當雲量在中、低層生成時（左圖 sigma 值從 0.34 到 0.96），很明顯地可以看出雲頂冷卻與雲底增溫的效應（右圖實線）。右圖實線與虛線的差值就是所謂的「雲作用力 (cloud forcing)」，圖中最大值可達到 3~4 °C/day。由此可以看出雲在輻射效應中扮演了很重要的角色。至於 S-參數化忽略輻射對大氣的效應，從圖中

雲頂冷卻率達到 -5 °C/day 以上可以得知此一效應在模式中是不容忽視的。

#### (三) 模式預報溫度場

圖 4(a)、4(b) 為模式作預報其 850 hPa 溫度的初始場 (94091212UTC) 及 12 小時後 (94091300UTC) 的分析場。從圖中可以看出在臺灣北方有一溫度槽在 12 小時內向南移動，尤其以 9 °C 的等溫線移動最為明顯，同時地面天氣系統也有鋒面南下（圖省略）為台灣帶來一股寒流。圖 4(c)、4(d) 依次為 H-參數化，S-參數化預報 12 小時 850 hPa 溫度場。比較兩種參數化的預報場與分析場（圖 4(b)）發現，對於 12 小時內溫度下降的預報，在系統方面，溫度槽線南移二者皆能掌握，在局部區域方面，在台灣北方緯度 30 至 40 之間，H-參數化預報的較好尤其是 9 °C 等溫線的位置，而在台灣東方附近，則 H-參數化預報的過低使得 18 °C 等溫線向南移到 20° N 以南。

圖 5(a)、5(b) 分別為模式預報 12 小時，在  $\sigma = 0.82$  層，H-參數化減 S-參數化的溫度場及 H-參數化所計算的 12 小時平均加熱率。從圖 5(a) 發現在台灣東方附近 (125° E, 20° N, 以下簡稱 A 區) 與台灣北方 (約 130° E, 35° N, 以下簡稱 B 區) 各有一溫度的極小值存在，各為 -1.56 °C 及 -2.49 °C。比較圖 5(b) 發現上述溫度差極小值發生的二區域亦為輻射最大冷卻率的區域，如果計算圖 5(a)、5(b) 二者之間的 anomaly correlation 其值約為 0.86，由此可以得知溫度的差異與加熱率之間呈現很好的正相關。

如果對 A、B 二區域，以平均加熱率  $\geq 5$  °C/day 的範圍作平均，則預報 12 小時的溫度與加熱率的時間序列如圖 6。從圖 6(a) 可以看出加熱率在預報從第 5 小時有極小值，相對的 H-參數化的溫度場（細實線）的極小值發生在預報第 11 小時，有時間上延遲的現象。此外，兩種參數化溫度差值隨著時間迅速增加，可以看出輻射效應即使在短時間內對大氣溫度的變化有極大的影響。圖 6(b) 亦有同圖 6(a) 的結果。

如果將 A、B 二區域取空間與時間的平均，可以得到雲量與加熱率的垂直分布，如圖 7。圖 7(a) 顯示 A 區最大雲量發生在模式高層與低層，而相對

最大冷卻率發生在低層雲頂之上。圖 7(b) 顯示 B 區在低層有雲量生成且雲層較薄，相對的最大冷卻率發生在低層雲頂附近，這和 Liou et al (1984) 及吳 (1991) 之分析相似。他們指出不同雲量與雲層厚度的組合可以改變加熱率的垂直分布。因此如果能在模式中正確地掌握雲的垂直結構，將有助於加熱率的合理估計，進而改善模式預報的結果。

1984: Radiation parameterization programs for use in general circulation models. Report AFGL-TR-84-0217, ADA148015, Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, MA, 53 pp.

#### 四、結語

從以上的討論我們可以發現在區域模式中輻射效應對地表與大氣均有顯著的影響。從個案分析中，12 小時內輻射效應對大氣的溫度有 2 至 3 °C 的改變，因此只考慮輻射效應對地表的影響顯然是不夠的。

此外，在輻射參數化中雲扮演了很重要的角色。從個案分析中，雲作用力可以達到 3 至 4 °C /day。而雲的垂直結構與加熱率的垂直分布息息相關，如果能正確地掌握雲的結構，將有助於加熱率的合理計算，進而改善模式預報的結果。

#### 致謝

感謝馮欽賜先生提供 Harshvardhan 輻射參數化程式及說明供修改並感謝劉其聖博士寶貴的建議。

#### 參考文獻

- 吳石吉，1991：華南梅雨期雲／輻射效應之研究。國立臺灣大學大氣科學研究所碩士論文。
- 馮欽賜，1992：輻射參數化模式之測試比較。大氣科學，第 20 期，第 4 號，387-404。
- 葉天降，林淑卿、李尚武、陳雯美、張偉正、彭順台，1994：第二代有限區域預報系統之建置與現況。天氣分析與預報研討會論文集編。
- Harshvardhan, R. Davies, B. A. Randall, and T. G. Corsetti, 1987: A fast radiation parameterization for atmospheric circulation models. *J. Geophys. Res.*, 92, 1009-1016.
- Liou, K. N., S. C. Ou, S. Kinne and G. Koenig,

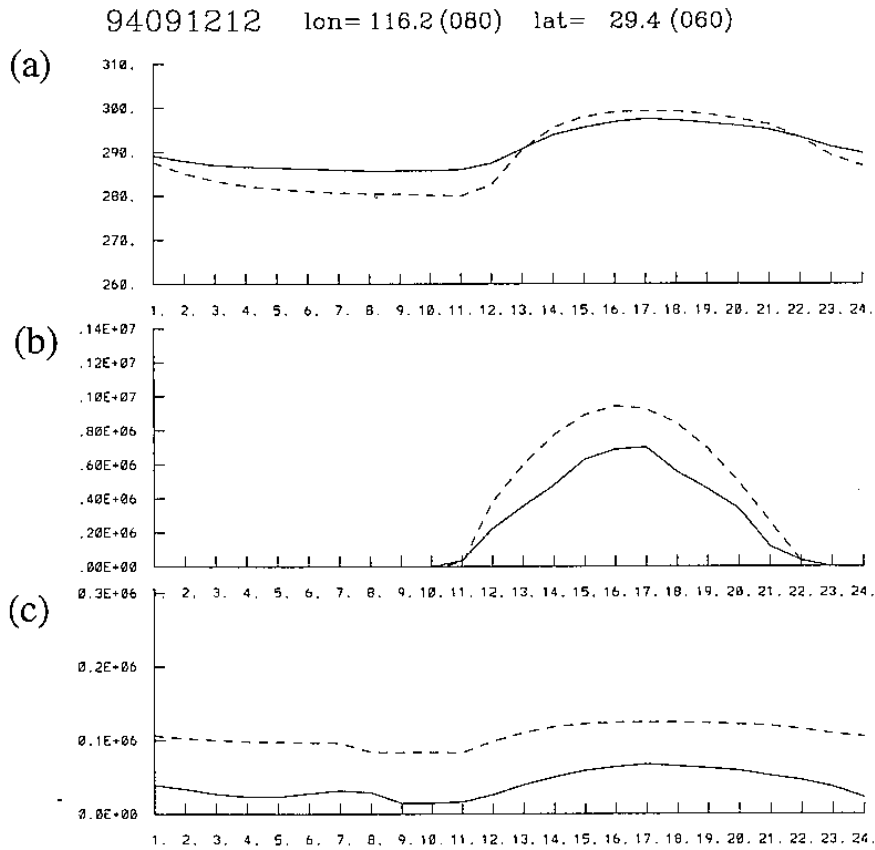


圖 1：模式預報 24 小時的時間序列，橫坐標為 時間（小時）。虛線表示 S-參數化的結果，實線則為 H-參數化。(a) 地表溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。(b) 與 (c) 為地表淨短波輻射通量與地表淨長波輻射通量，單位皆為  $\text{watt}/\text{m}^2$ 。

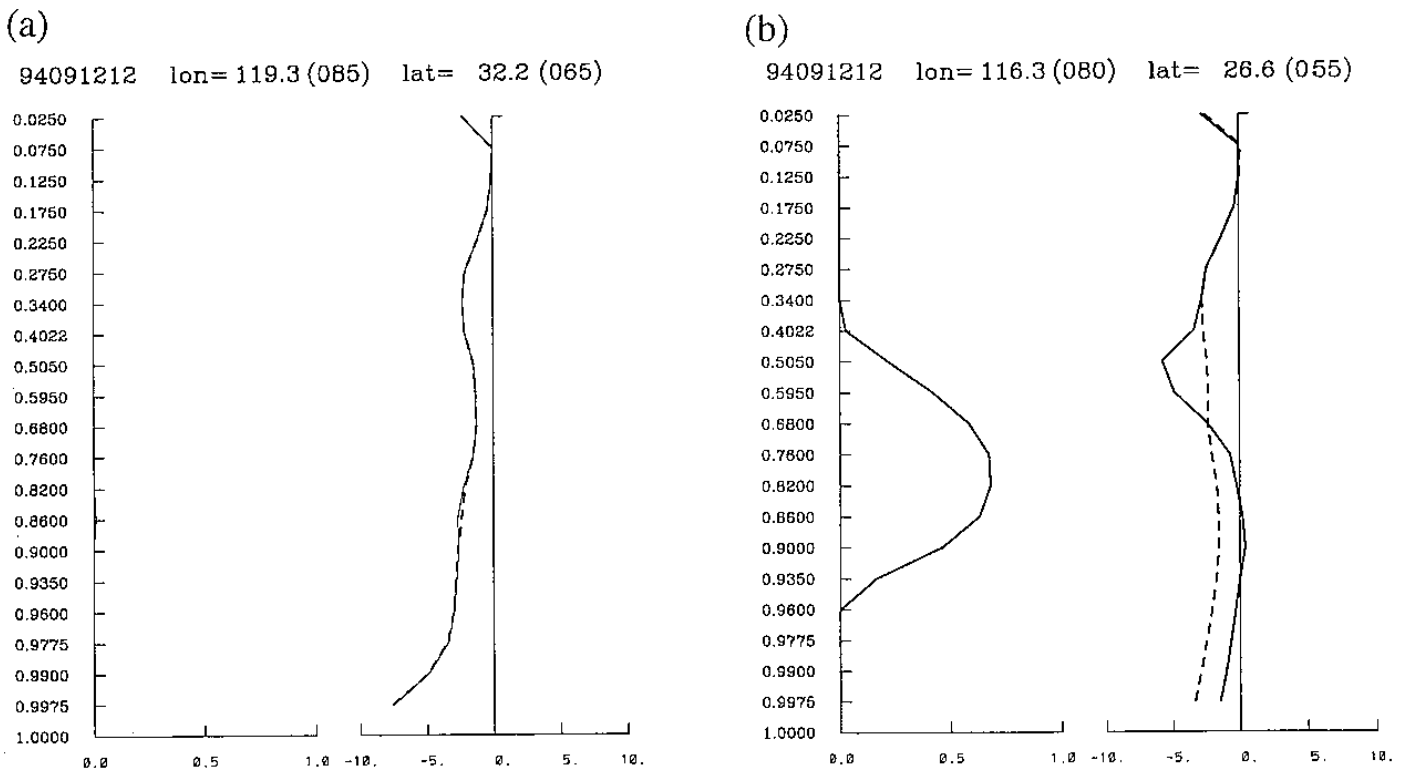


圖 2：模式積分 12 小時雲量（左圖）與加熱率（右圖）的垂直分布。右圖虛線表示不考慮雲的輻射加熱率，實線則為考慮雲的結果。加熱率的單位 $^{\circ}\text{C}/\text{day}$ ，縱座標為 sigma 值。(a) 晴天個案 (b) 雲天個案。

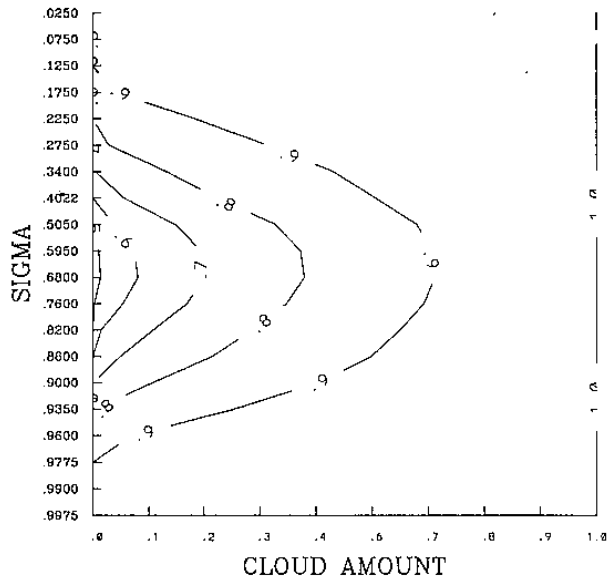
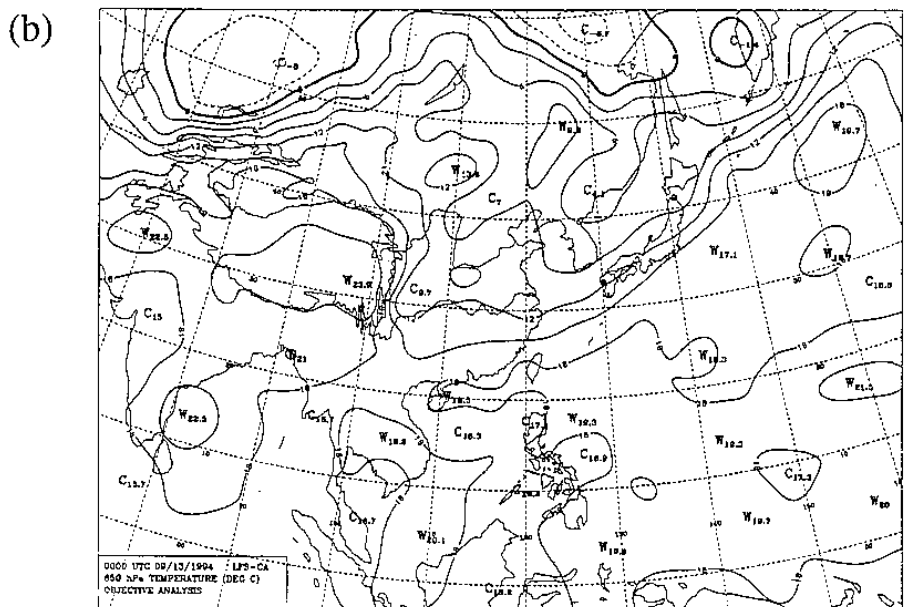
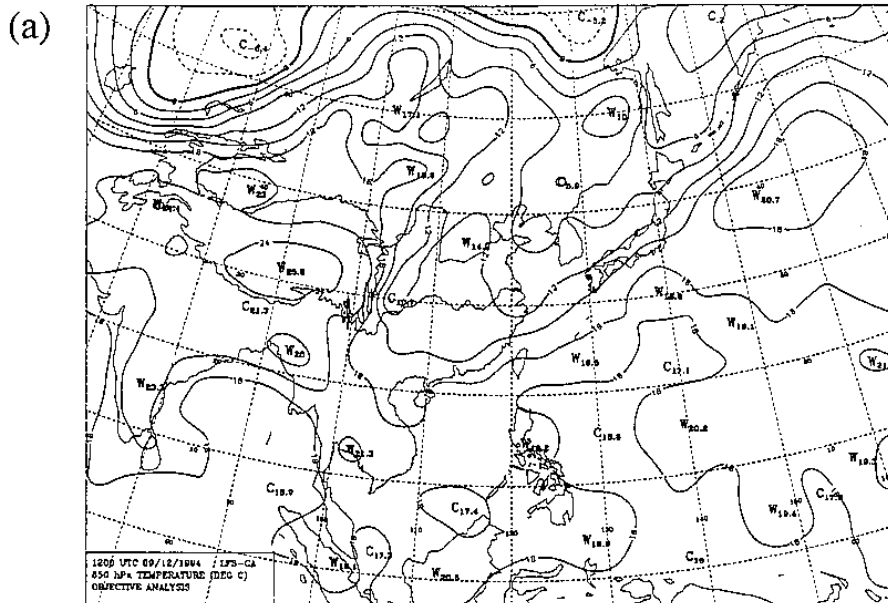


圖 3：雲量與垂直各層 sigma 值及相對溼度的關係。曲線值為相對溼度。



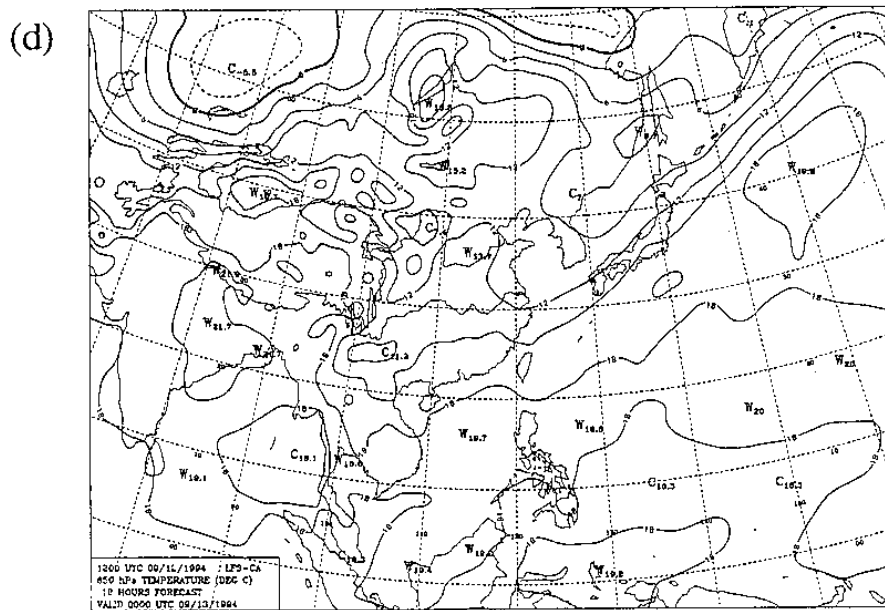
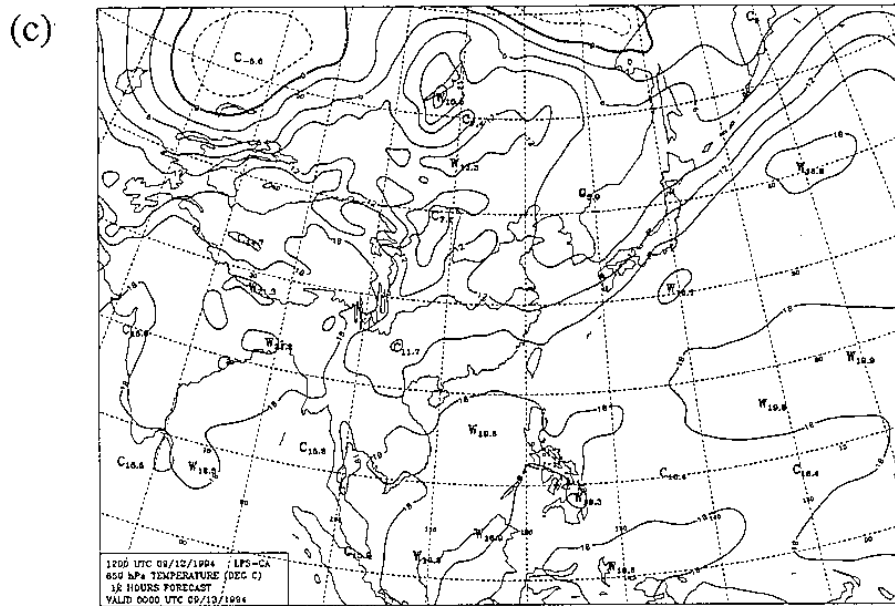


圖 4 : (a) 與 (b) 模式作預報其 850 hPa 溫度的初始場與 12 小時後的分析場。(c) 與 (d) 分別為模式預報 12 小時 850 hPa 溫度 H-參數化的結果與 S-參數化的結果。

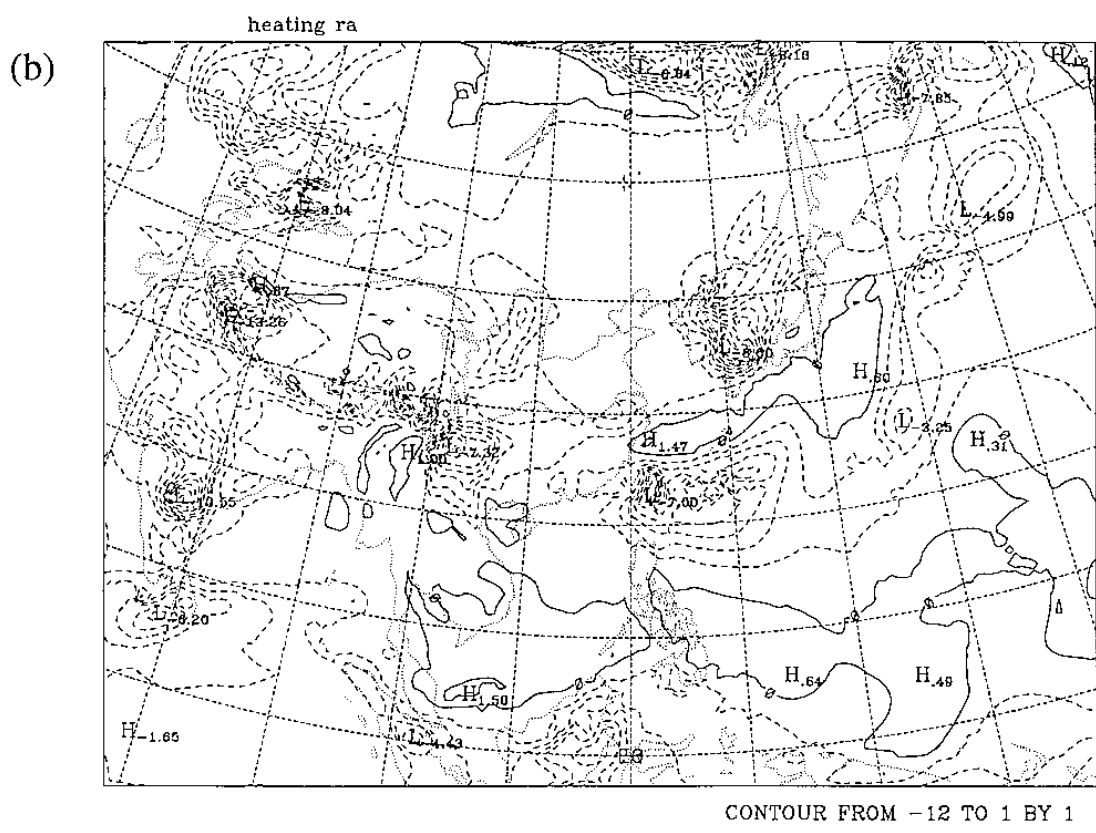
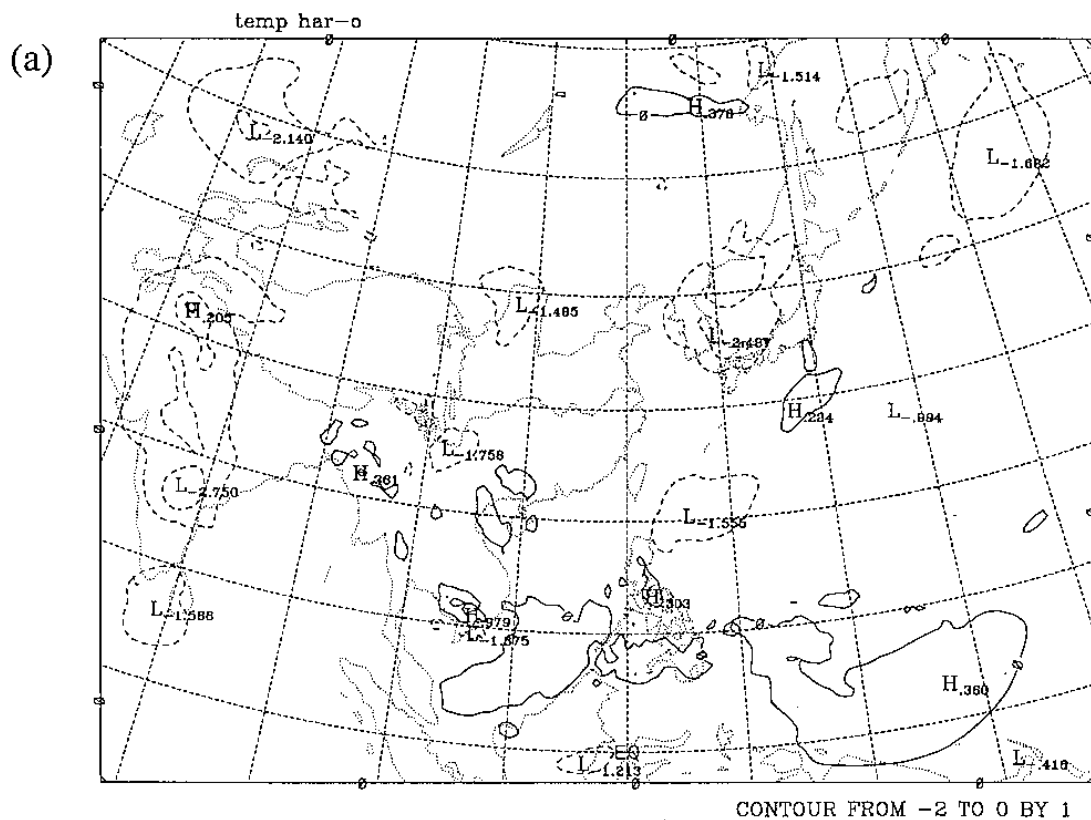
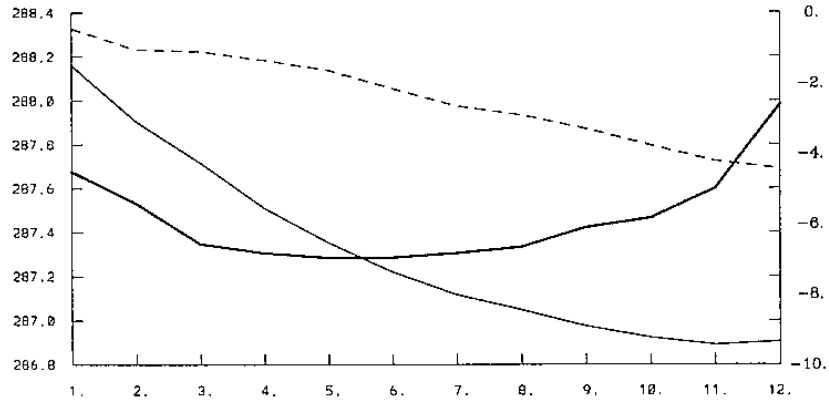


圖 5：模式預報 12 小時，在  $\sigma = 0.82$  層的 (a) H-參數化減 S-參數化的溫度場 (b) 由 H-參數化所計算的 12 小時平均加熱率，單位  $^{\circ}\text{C} / \text{day}$ 。

(a) 94091212 lon= 121.8 (089) lat= 22.7 (048)



(b) 94091212 lon= 130.2 (101) lat= 35.8 (072)

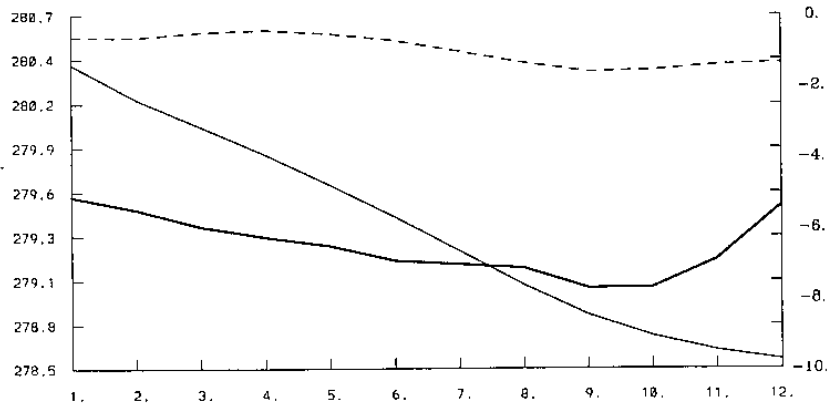
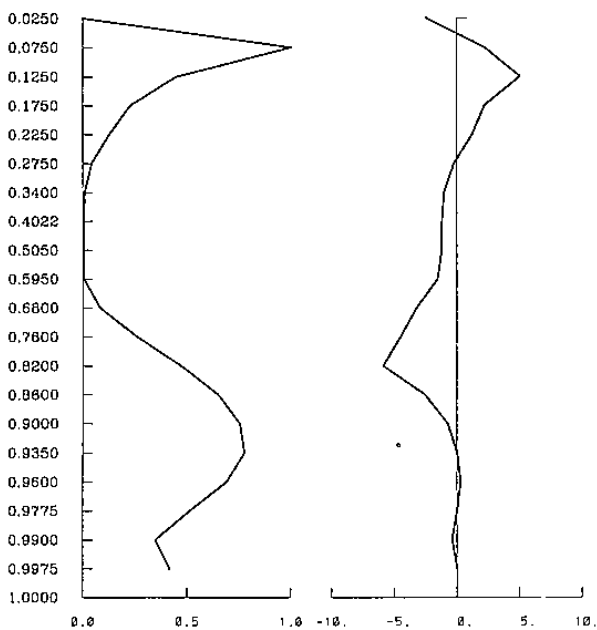


圖 6 : (a)(b) 分別表示 A 區與 B 區的溫度及加熱率的時間序列。橫座標為預報時間 (小時)，縱座標左邊為溫度 (°C)，右邊為加熱率 (°C /day)。粗實線為加熱率，細實線與虛線分別為 H-參數化與 S-參數化的溫度。

(a) 94091212 lon= 121.8 (089) lat= 22.7 (048)



(b) 94091212 lon= 130.1 (101) lat= 35.2 (071)

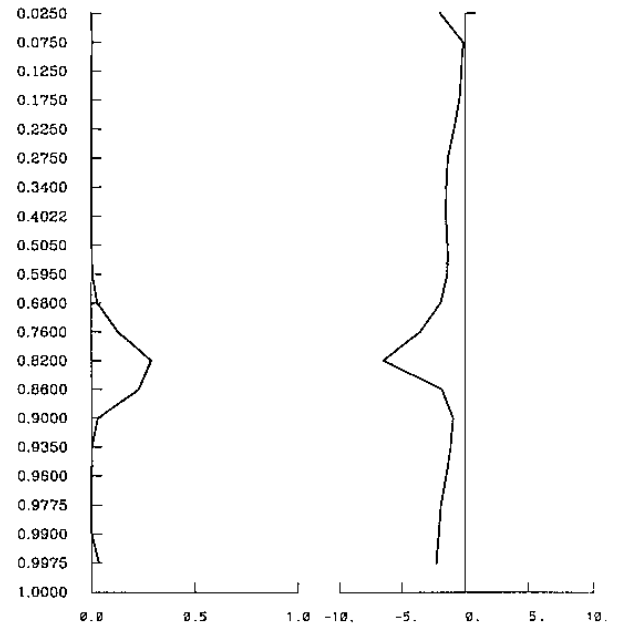


圖 7 : (a)(b) 分別為 A 區與 B 區由 H-參數化計算所得經過空間與時間平均的雲量 (左圖) 與加熱率 (右圖)。單位同圖 2。