

颱風影響中東亞硫沉降與輸送研究

劉廣英¹ 王自發² 蕭玲鳳¹

¹ 私立中國文化大學理學院地學研究所

² 中國科學院大氣物理研究所 (LAPC)

(中華民國八十七年十二月十七日收稿；中華民國八十八年六月一日定稿)

摘 要

利用三維歐拉(Eulerian)型污染物長距離輸送模式，研究颱風天氣過程中東亞地區硫化物濃度與沉降的時空分布特點以及硫化物的輸送態勢。結果顯示：颱風天氣狀況下硫化物的分佈與月平均的情況有顯著差異， SO_4^{2-} 的濃度與 SO_2 基本上是同一量級；在颱風中心， SO_4^{2-} 的沉降量大於 SO_2 的沉降量，並且高值中心分離很顯著，濕沉降佔總沉降的比例很大；颱風中心積聚大量的硫化物，並對於週邊地區硫化物的輸送產生很大的影響。此結果不但突顯了染物輸送與大氣條件關係密切，更為空氣污染預報提供重要的判據。

關鍵詞：颱風、硫化物、沉降、輸送

一、前 言

繼北美和歐洲之後，東亞成為世界第三大酸雨區，並且日益嚴重。中國大陸由於酸雨區不斷從南向北推移，且雨水的酸度亦日益增大，酸雨問題相當嚴重。受到燃煤產生二氧化硫的影響，東亞酸雨主要是硫酸型。在中國大陸，年排放二氧化硫達 1800 萬噸，

其去向問題已經引起科學家和相關部門的關注。因而酸雨研究計畫也在各國開展了十多年。這些研究主要集中在詳細的討論物理化學過程的作用以及酸沉降形成的機制 (Carmichael, 1986; Chang, 1987; Langner, 1991)，對年及月平均狀況下東亞地區硫化物的沉降與輸送規律也有一些研究 (Kurita, 1989; Ichikawa, 1995; Huang, 1995)。這些研究許多

2 大陸「中國科學院大氣物理研究所」博士 (LAPC)，現在京都大學防災研究所研究

E-mail: wang@bouhuu.dpri.kyoto-u.ac.jp

採用月平均的氣象資料進行計算，並討論東亞地區的沉降和輸送情況。由於採用平均場，一些劇烈的天氣可能已經平滑掉。這對沉降和輸送分佈的影響值得關注。

由於污染物的輸送與天氣形勢（如風場、降雨、雲量等）、化學轉化、排放源等因素密切相關，在一些特定的天氣條件下會形成區域範圍的嚴重大氣污染事件。研究一些典型天氣條件下東亞地區硫化物的沉降與輸送特點對於加深我國各地區之間和東亞各國（地區）之間硫化物的輸送規律及污染物的分佈特徵的認識有著重要的作用和意義。颱風是影響東亞的重要天氣系統之一，平均而言，在臺灣地區至大陸沿海登陸的颱風每年有 7-8 個，它一方面是深厚的氣旋，具有獨特的流場與雲雨分布，一方面在經過之地造成豪大雨，前者會把周邊污染物夾轉到颱風中心，後者則在其廣闊的雲系中，造成二氧化硫向磷酸鹽的液相轉化與濕沉降過程加快。因而颱風登陸後必然對污染物的分佈與沉降造成很大的影響，進而造成內圍污染物的堆積與沉降分布的變化。

1994 年 7 月份蒂姆 (Tim) 颱風從呂宋島北上，穿過台灣後，在福建登陸並移向武漢，其登陸後經過的周邊地區污染物排放量很大，影響範圍包括整個沿海地區。因此本文主要著眼於這次過程，研究相關地區硫化物濃度及沉降的時空分佈特點以及硫化物的輸送態勢。文中首先簡單介紹所使用的硫化物長距離輸送模式，並分析當時之天氣過程，進而對颱風影響中硫化物濃度分布特徵、沉降量的分布、輸送特點以及與月平均狀況的比較，做深入之研究。

二、東亞硫化物輸送歐拉模式

輸送模式是研究污染物輸送問題的有效工具。透過大量野外觀測資料的積累，已經建立一些全球或區域的酸沉降及輸送模式 (Langner, 1991)，進行北美 (Eudlich, et al, 1984) 和歐洲 (Zlatev, et al, 1992) 的酸沉降以及跨國輸送問題進行研究。這些模式主要分為兩類，即拉格朗日 (Lagrangian) 模式和歐拉模式。二者各有優缺點。前者計算簡單但考慮的過程有限。歐拉模式則可以詳細考慮所有的物理和化學過程而成為輸送研究的主要工具。東亞地區覆蓋範圍很廣，涉及的地區多，要得出不同天氣狀況下東亞硫化物的沉降與輸送特徵，模式既要科學地考慮影響沉降及輸送的物理和化學因子，又可以方便計算不同時間多地區之間的相互輸送量。本文所採用的歐拉輸送模式即為此目的而設計，下面簡單介紹模式的結構與性能。

採用地形追隨 (terrain-following) 球座標系之三維歐拉型污染物輸送方程為

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\Delta H \cdot C_i) + \frac{\partial}{R \partial \varphi}(u \cdot \Delta H \cdot C_i) + \frac{\partial}{R \cos \theta \partial \theta}(v \cos \theta \cdot \Delta H \cdot C_i) \\ + \frac{\partial}{\partial \sigma}(W \cdot C_i) = \frac{K_\varphi \partial}{R^2 \cos^2 \theta \partial \varphi} \left(\Delta H \cdot \frac{\partial C_i}{\partial \varphi} \right) + \frac{K_\theta \partial}{R^2 \cos \theta \partial \theta} \\ \left(\Delta H \cdot \cos \theta \frac{\partial C_i}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_\sigma \partial C_i}{\Delta H \partial \sigma} \right) + S \cdot \Delta H + P \cdot \Delta H \\ - R_d \cdot \Delta H - W_{ash} \cdot \Delta H \end{aligned} \quad (1)$$

式中 C_i 為第 i 種污染物濃度， t 為時間， θ 、 φ 為緯度、經度， R 為地球半徑， K_φ 、 K_θ 、 K_σ 為經向、緯向、垂直亂流擴散係數， u 、 v 為水平風速， S 為源排放速率， P 、 R_d 、 W_{ash} 分別為化學轉化、乾沉降和濕清除項。如設 H

為對流層高度， h 為地形高度，則地形追隨座標 σ 為

$$\sigma(\theta, \varphi) = \frac{z - h(\theta, \varphi)}{H(\theta, \varphi) - h(\theta, \varphi)} = \frac{z - h}{\Delta H} \quad (2)$$

根據不同條件下的測量結果採用經驗參數化的方法模擬乾沉降速度，沉降速度隨大氣穩定度、植被、風場等因素而變化，與三個停留因子之和成反比（王自發等，1997），

$$V_g = \frac{k(z) dC(z)}{C(z) dz} = (r_a + r_b + r_s)^{-1} \quad (3)$$

表面層亂流混合的強度決定 r_a (aerodynamic resistance)

$$r_a = \int_0^{50} K(z)^{-1} dz$$

給定近地層 $K(z)$ 廓線， r_a 可以由下式確定

$$r_a = (ku_*')^{-1} (\ln z / z_0 - \phi_c) \quad (4)$$

其中

$L < 0$

$$\phi = \exp(0.598 + 0.39 \ln(z/L) - 0.09[\ln(-z/L)]^2)$$

$L > 0$

$$\phi = -5z/L$$

$k=0.35$ ， $z=50\text{m}$ ，粗糙度長度隨季節和地表而變化， L 為莫尼厄夫長度 (Monin-Obukhov length)， u_* 為摩擦速度。 r_b 決定於向地表的分子和亂流擴散過程，取為 70sm^{-1} 。地表停留因子 r_s 與地表類型有關，隨季節、地點、穩定度而變化 (Wesly, 1979)。

濕清除主要是處理雲下清洗 (washout) 過程，定義為

$$W_{ash} = W_a \cdot C_i \quad (5)$$

W_{ash} 為清洗量， C_i 為污染物濃度， W_a 為清洗係數，與降雨強度 (rain intensity)、雨滴譜 (rain size distribution) 分佈及各種污染物的濃度有關（徐玲等，1992），對硫酸鹽的清洗還與氣溶膠的粒子譜 (size distribution) 及化學成份有關（彭紅等，1992），

$$W_{aSO_2} = (0.94 - 0.16 \ln C_{SO_2}) R \quad (6)$$

$$W_{aSO_4} = 0.33 R^{0.83} \quad (7)$$

其中 R 為降雨強度。

污染物長距離輸送過程中，水平亂流擴散項之作用遠小於水平輸送項，但垂直擴散是重要的，特別是在邊界層大氣中具有重要作用。擴散係數的大小反映大氣亂流過程對污染物在水平和垂直方向的輸送能力。它既取決於大氣的狀態（如平均風、風切變化、溫度遞減率、大氣穩定度等），又與考慮的尺度有關。理論上亂流擴散可以利用 K 理論計算出來，計算時必須用到反映邊界層結構特性的各種參數。由於氣象資料的限制，模式未對邊界層亂流進行參數化處理，故只能對擴散係數進行簡化處理，水平擴散係數 $KH = 45\text{m}^2/\text{s}$ ，垂直擴散係數從高度上分為兩層， 1000m 以下 $KV = 12\text{m}^2/\text{s}$ ，之上取為 $5\text{m}^2/\text{s}$ 。此一根據理論與大氣實測條件而做的選擇，符合實際亂流的特徵。

氣相化學在成酸過程中的作用很重要。許多在液相化學過程起作用的氧化劑，如 H_2O_2 、 O_3 等都與氣相化學過程密切相關。氣相化學副模式（王與黃，1997）包括了 31 種物質，52 個化學反應，考慮溫度、水汽、光線強

度(light intensity)、雲霧及各種物質濃度對 SO_2 氣相轉化率的影響。當有雲水和雨水存在時發生的液相化學反應是 SO_2 轉化為磷酸鹽的有效途徑。至於液相化學反應模式則考慮氣體 SO_2 、 H_2O_2 、 O_3 、 NH_3 和 CO_2 被雲雨吸收、溶解、電離、液相反應。通過數值試驗，找出影響 SO_2 氣相氧化率的主要因子（如光線強度、溫度、濕度、 SO_2 濃度等），分為不同的資料檔，然後應用化學模式計算各種分檔不同組合情況 SO_2 轉化率的查算表，因而在輸送模式中不用解化學方程，直接根據不同的條件用查表法從該表中得出 SO_2 轉化率。

模式選取的水平範圍為北緯 16°N 至 50°N ，東經 98°E 至 146°E ，水平網格為 $1^\circ \times 1^\circ$ 。圖 1 是根據大陸中國環科院排放源資料，大陸以外地區採用 Akimoto(1994)資料所繪製的 SO_2 分布圖。由於在邊界地區多為海洋及低開發的偏遠地區，因而除華北、長江三角洲、四川盆地以及高雄地區等四個較大濃度中心外，污染物排放量都不大。我們即以此平均分布做為對模式是否有可靠模擬能力的依據。

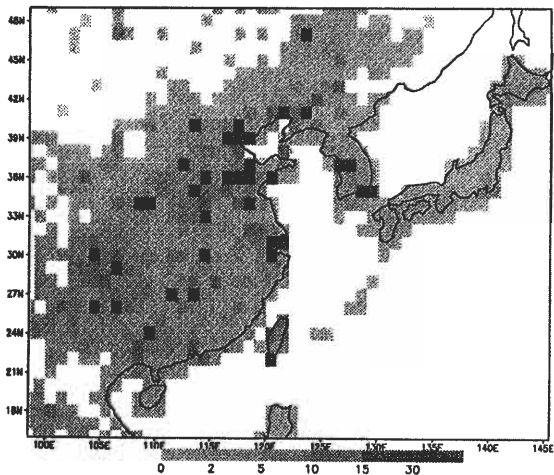


圖 1 輸送模式使用的 SO_2 排放源($\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)

模式中側邊界為單向面，即允許物質流出但不許流入，邊界條件取為硫化物的背景濃度。上邊界為封閉面，下邊界為吸收邊界。採用交錯網格，網格垂直方向隨地形變化分為 8 層。模式使用的差分格式滿足質量守恆關係以及計算穩定性條件（王自發等，1997）。通過與實測資料對比，表明了模式具有模擬東亞硫沉降及輸送的可靠能力(Wang, 1996；Huang, 1994；王自發,1997)。

三、天氣過程及資料

選取 1994 年七月蒂姆颱風(9406)天氣過程進行模擬，利用大陸國家氣象局氣象中心 T42 譜模式輸出資料作為模式的輸入場，網格化的降水資料為全國氣象臺站實測資料經內插得到。圖 2 為颱風路徑。該颱風於 7 月 8 日出現在菲律賓以東洋面，中心位於 $(15.8^\circ\text{N}, 129.7^\circ\text{E})$ ，向西北移動，7 月 10 日橫過台灣，於 11 日 00Z 時在福建省晉江到泉州之間登陸。12 日達到武漢，13 日低壓北上併入北方的中緯度氣旋。颱風登陸北上，其倒槽與東移西風槽相互作用，致從南到北大片地區出現了豪雨天氣。颱風登陸前後一直維持暖心結構，具有熱帶系統的特徵，變性較緩慢，河套地區為不強的冷平流區，熱帶內外兩系統合併使得這次過程存在一系列的強降水中心（Liu & Shyu, 1992；劉與張，1998），11 日福建、江西的雨量較大，在福建沿海、九江降水量在 100mm 以上，黃河流域和華北的降水較少，12 日雨帶從華南一直延伸到東北，降水量較 11 日尤大。

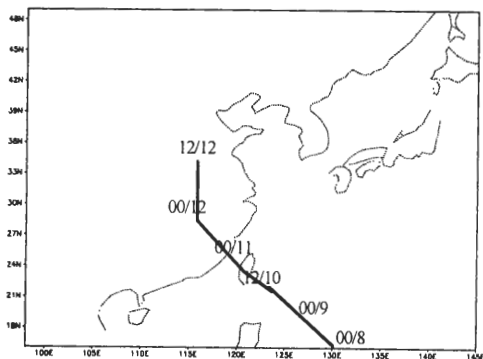


圖 2 9406 號颱風中心移動路徑

四、模擬結果

(一) 颱風天氣硫化物的濃度分佈

先分析近地層硫化物濃度分佈。7 月 11 日 SO_2 濃度高值主要分佈在西南、江蘇、山東、遼寧、韓國等地(圖 3a)，硫酸鹽主要分佈在西南、華南和東南沿海、台灣、華東、遼寧和朝鮮半島(圖 3b)。7 月 12 日(圖 3c)近地層 SO_2 濃度高值主要分佈在西南、江蘇、華北、山東、遼寧、韓國等地。硫酸鹽(圖 3d)顯示出颱風輸送的特徵，其高值中心與 SO_2 分佈中心分離，且從華南、華中、華北延伸到東北，呈帶狀分佈，其中以颱風中心濃度值最大，表明颱風中心聚積了大量的污染物。7 月 13 日 SO_2 濃度分佈形勢與 7 月 12 日基本相同(圖 3e)，只是南部如西南地區濃度增大，北部地區如華北和東北濃度減少，這主要是由於雨區北移造成的。硫酸鹽仍舊呈西南至東北走向，惟華中的高值中心消失，分離為西南和華北兩個中心，並且向東北擴展很遠(圖 3f)。

總之， SO_4^{2-} 的濃度與 SO_2 基本是同一量級

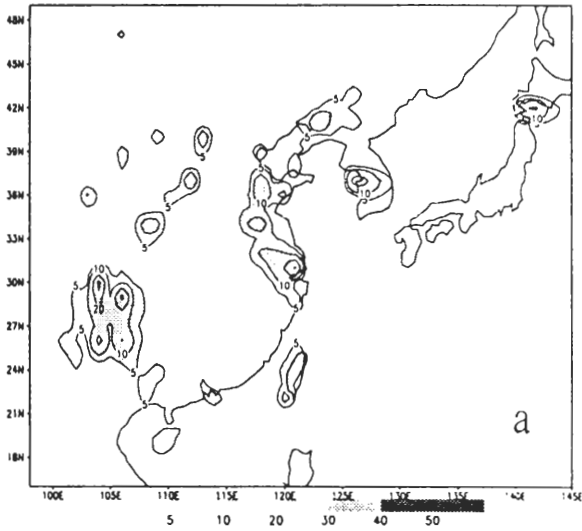
。在降水區，尤其在颱風低壓週圍， SO_4^{2-} 的濃度遠大於 SO_2 ，這是由於在低壓中心周圍一直維持較高的濕度， SO_2 向 SO_4^{2-} 的液相轉化作用顯著。在非降水區 SO_2 的濃度大。與月平均情況不同的是， SO_2 和 SO_4^{2-} 的高值中心分離很顯著。這主要由於硫酸鹽在空氣中的生命期較 SO_2 長而可以輸送較遠的距離，而 SO_2 主要分佈在排放源周圍。在颱風天氣下雲水豐富， SO_2 轉化為硫酸鹽速度加快，硫酸鹽隨颱風流場輸送而形成分離於 SO_2 的中心。颱風中心所經過地區的硫化物濃度隨時間變化表示周邊的污染物會向中心輸送。

(二) 颱風天氣硫化物的沉降分佈

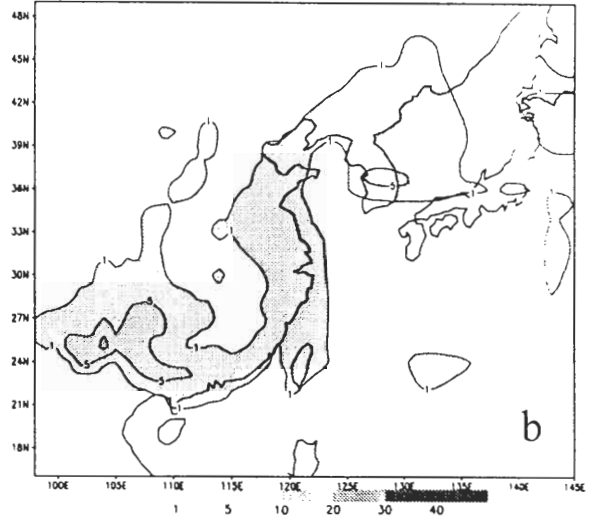
7 月 12 日硫沉降分佈見圖 4。總沉降呈南北走向(圖 4a)，高值中心主要位於華南、華中、及東北。與平均狀況(Wang *et. al.*, 1996)相比，四川盆地的硫沉降的高值區消失，山東半島至上海的高值中心也大大減弱。在大範圍降水區，尤其在颱風中心附近，沉降量很大，並且 SO_4^{2-} 的沉降量大於 SO_2 的沉降量。濕沉降佔總沉降的比例很大。乾、濕沉降及 SO_2 及 SO_4^{2-} 沉降的高值中心均有分離現象。

圖 5a 為 7 月 12 日硫化物濕沉降量分佈。濕沉降在雲南存在一個小中心外，從廣東、經湖南、湖北、河南、山西、到遼寧有一條狹長的濕沉降區。在湖南和湖北存在一個圓形的高值中心，與颱風的位置類似。13 日(圖 5b)濕沉降分為南北兩塊，北方高值區在河北北部地區，向東北延伸很遠。南方濕沉降區在貴州和湖北。

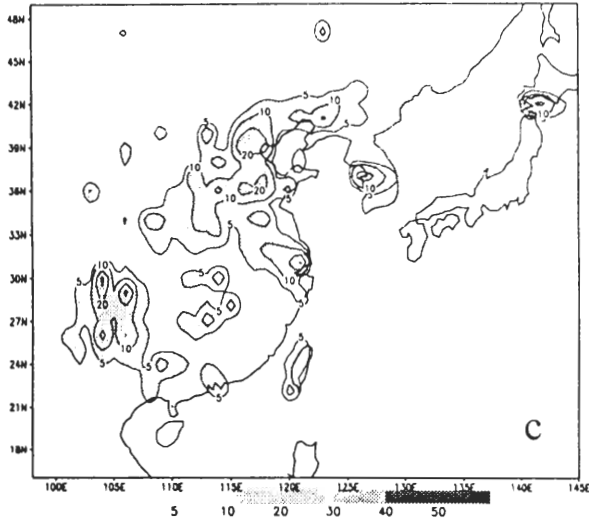
SO2 Concentration in July 11,1994



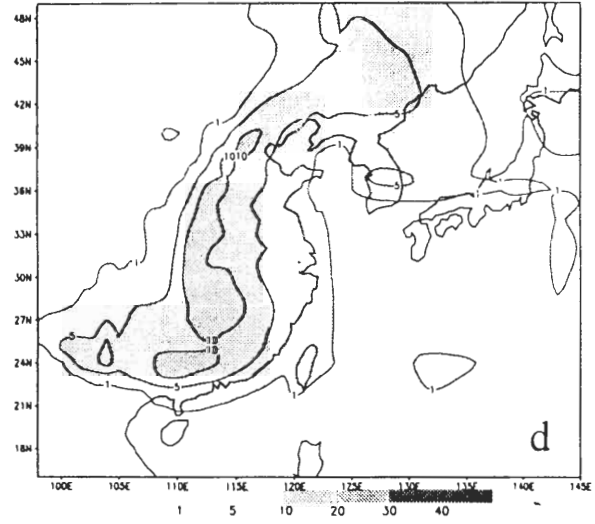
SO4 Concentration in July 11,1994



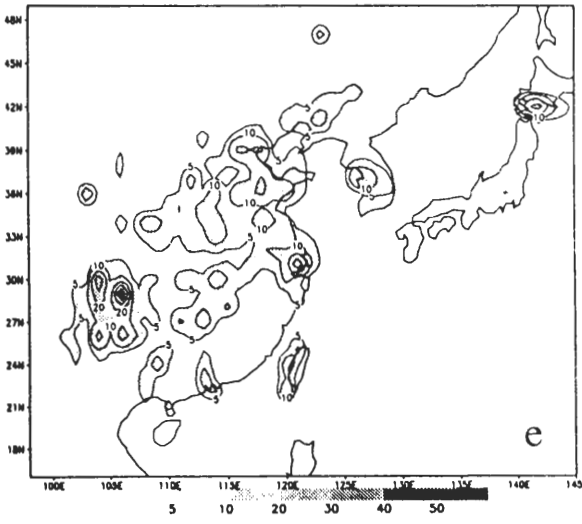
SO2 Concentration in July 12,1994



SO4 Concentration in July 12,1994



SO2 Concentration in July 13,1994



SO4 Concentration in July 13,1994

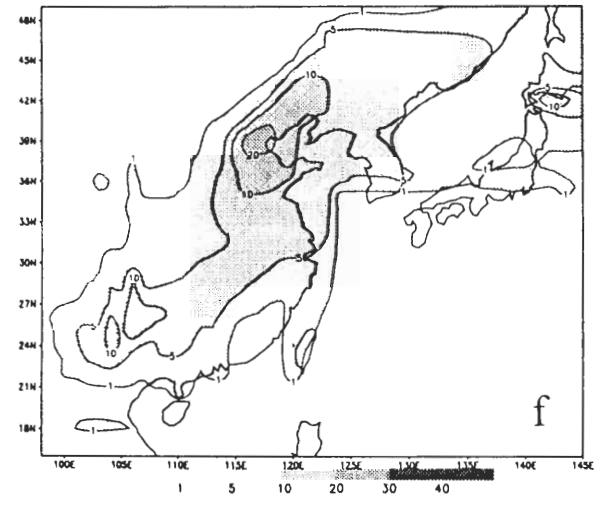


圖3 近地層硫化物濃度分布(µg/m³) a, c, e 為 11, 12, 13 日 SO₂ b, d, f 為 11,12,13 日 SO₄²⁻

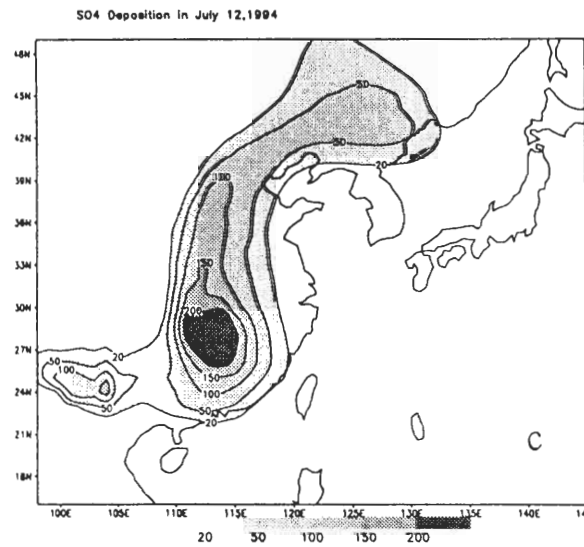
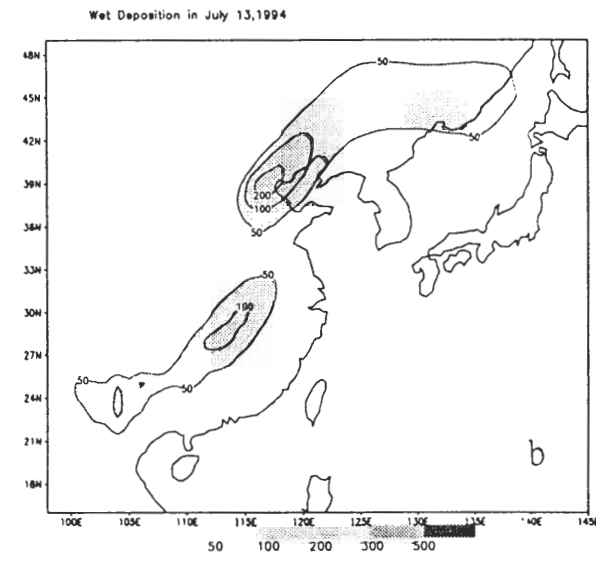
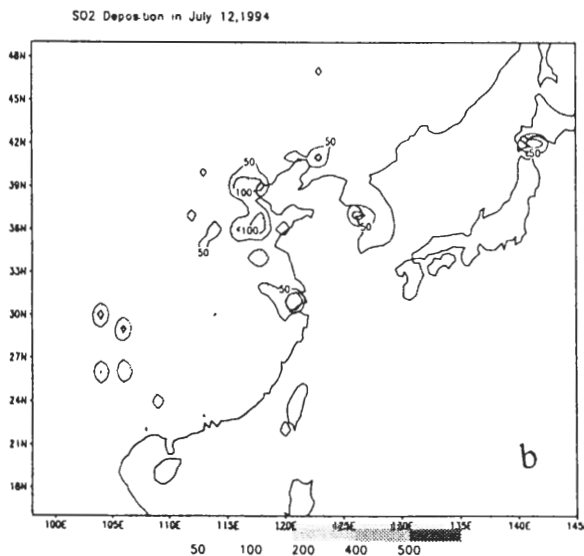
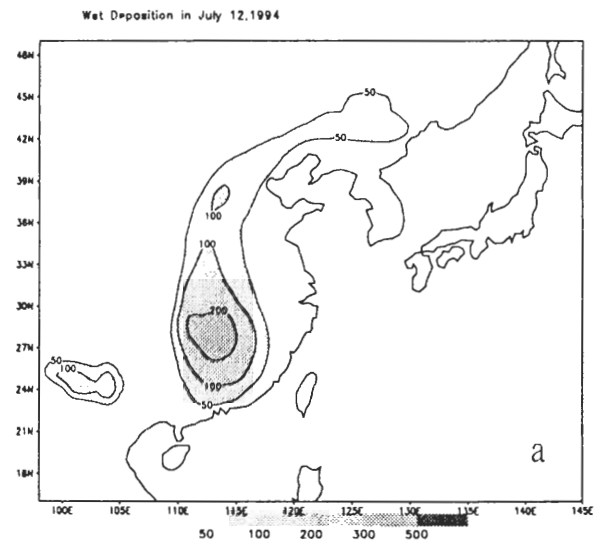
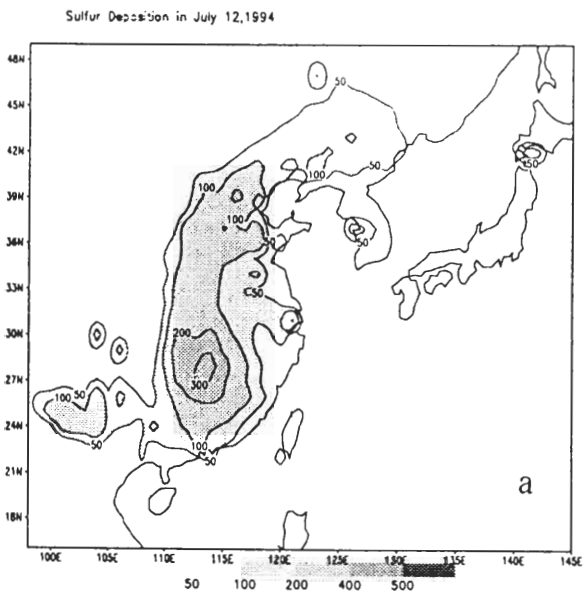


圖 5 硫化物濕沉降量分布(mgS/m²)

a. 12 日 b. 13 日

圖 4 12 日硫化物沉降量分布(mgS/m²)

a. 總硫沉降 b. SO₂ c. SO₄²⁻

(三) 颱風天氣硫化物的輸送通量分佈

爲了反映污染物輸送的強度與方向，定義輸送通量爲風向量與濃度的乘積。觀測表示硫化物主要分布在 850hpa 以下，低層風場的輸送作用比較明顯。圖 6 爲這次颱風登陸過程低層之 SO_2 和 SO_4^{2-} 的輸送通量分佈，陰影之強弱表示污染物濃度之大小。7 月 11 日颱風中心位於台灣海峽(圖 6a,b)，颱風中心周圍有硫化物的輻合，硫酸根的輸送作用較強。整體而言，硫化物的輸送方向與颱風環流一致，因而從上海方向自東向西輸送，以 SO_2 爲主。湖北、四川、湖南及廣東硫化物自北向南輸送。黃河以北地區自西南向東北輸送，硫酸根向北輸送且因受到中緯度槽的影響，一直輸送到東北地區。

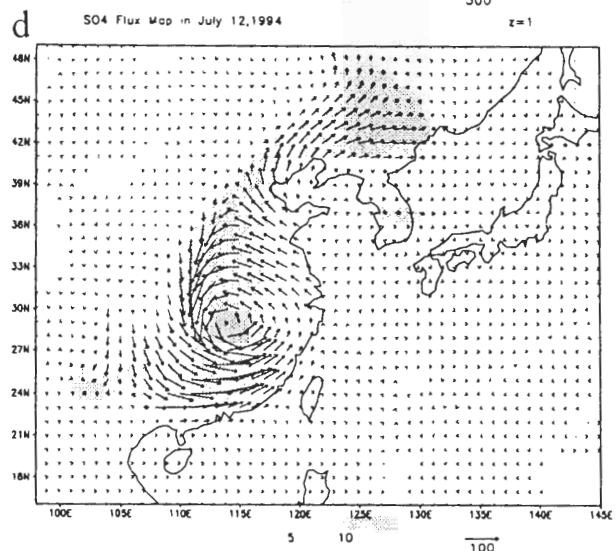
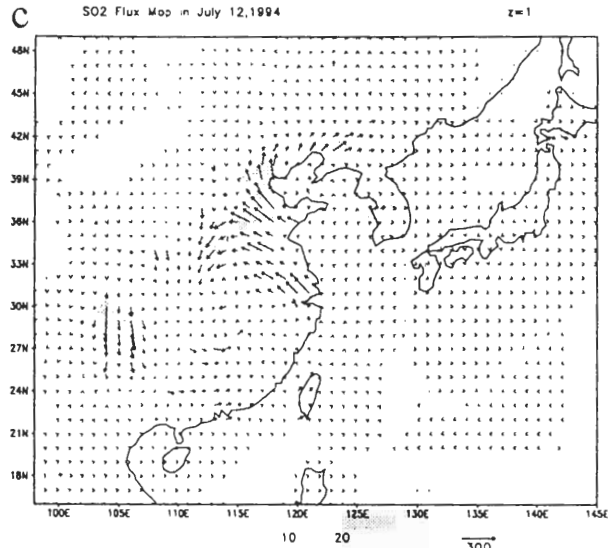
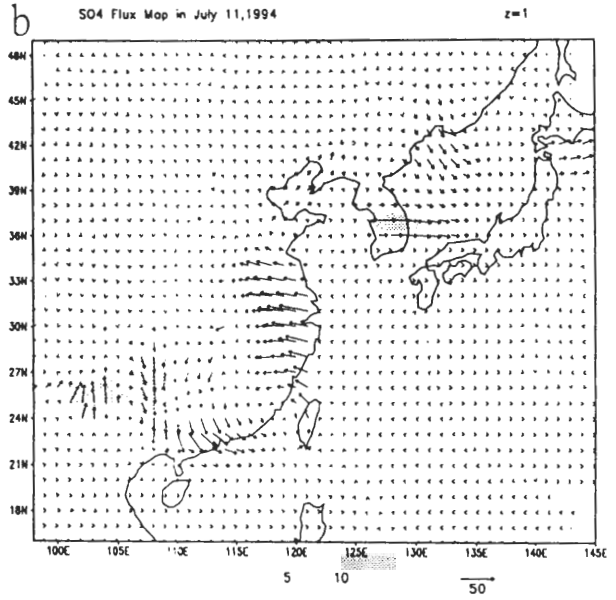
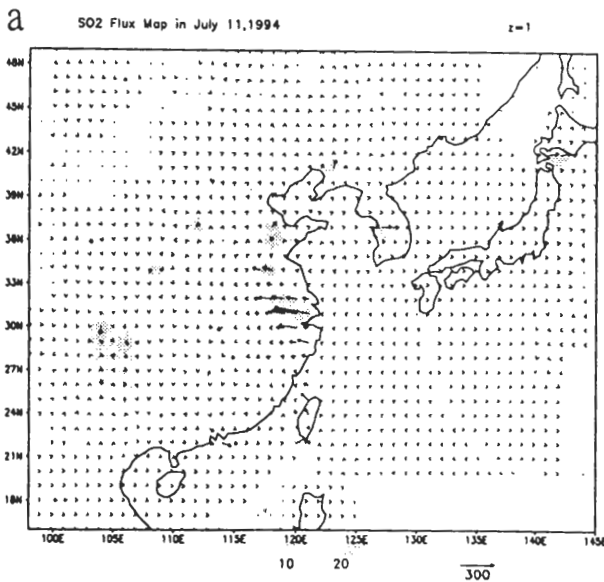


圖 6 低層硫化物濃度以及輸送通量分佈。

向量的單位爲 $\mu g/m^2/s$ 。

a, b 爲 11 日 SO_2, SO_4^{2-} c, d 爲 12 日 SO_2, SO_4^{2-}

7月12日颱風中心已移至武漢地區。從邊界層的輸送通量來看(圖6c,d),沿海地區均由東南向西北輸送,在颱風中心有很強的污染物輻合,SO₂的輻合較弱,SO₄²⁻的輻合相當明顯。無降水地區的SO₂大量向降水區輸送,並以SO₄²⁻的形式沉降到地面。西南地區硫化物從北向南輸送,使得該地沉降高值區比月平均狀況偏南。高層的輸送通量也不小,北邊受西風帶影響自西向東輸送,南邊由於颱風低壓比較深厚,還有少量影響,仍然是SO₄²⁻的傳輸濃度與範圍較大。

7月13日颱風已消失,從低層SO₂的輸送通量看(圖略),四川盆地的SO₂由北向南輸送,在華北有一低壓中心,聚積大量的污染物。硫酸鹽的輸送特別明顯,從西南、華中到華北、東北有一條很強的輸送通量帶,在華北地區形成一個硫酸鹽的高值中心。

上述分佈與輸送特徵,顯然是颱風環流與相對應之北方槽線之流場所致。

(四) 颱風天氣硫化物的相互輸送量與月平均情況的差異

表一 三天沉降量占月平均總沉降的百分比

地區	SO ₂	SO ₄ ²⁻	乾沉降	濕沉降	總沉降
吉林	7.09	72.65	24.02	15.61	17.86
河南	6.07	32.59	14.86	7.74	9.22
安徽	8.80	26.27	16.43	11.23	12.41
湖北	5.13	28.37	13.77	9.60	10.38
江西	6.45	48.82	15.48	15.50	15.50
福建	6.80	41.39	18.31	7.77	11.67
四川	3.24	2.47	11.58	0.33	3.13
台灣	4.93	1.81	12.41	0.09	4.59
朝鮮	4.46	15.20	17.90	2.75	6.34
日本	3.75	1.54	12.27	0.08	3.27

這次颱風天氣過程對東亞各國及我國各地區之間的相互輸送量有很大影響。表一為幾個地區的三天沉降量佔月平均總沉降量的比例。如果比例大於10%,則表示沉降量大於平均狀況,即颱風引起的輸送或沉降顯著。SO₂的沉降量均低於10%,SO₄²⁻的沉降量許多地區遠大於10%,一些地區卻偏小。總沉降的趨勢也如此。說明颱風對於東亞硫化物沉降量及相互輸送的影響很大。

五、結 論

一些典型天氣條件下東亞地區硫化物的沉降與輸送特點與月平均的狀況有顯著之差異,需進一步研究更多不同強度及不同登陸地點之颱風以及其它天氣系統如鋒面的影響及其差異。颱風天氣硫化物的沉降與輸送特點主要有以下幾點。

(1) SO₄²⁻的濃度與SO₂基本是同一量級。在降水區,尤其在颱風低壓周圍,SO₄²⁻的濃度遠大於SO₂。不同於月平均情況的是,SO₂和SO₄²⁻的高值中心分離很顯著。

(2) 總沉降高值中心與月平均狀況的沉降分佈差異較大,主要位於華南、華中、與東北,呈南北走向。在颱風中心,SO₄²⁻的沉降量大於SO₂的沉降量,濕沉降佔總沉降的比例很大。乾、濕沉降及SO₂及SO₄²⁻沉降的高值中心均有分離現象。

(3) 對於這次過程,邊界層內,沿海地區均由南向北輸送,在颱風中心有很強的污染物輻合,SO₂的輻合較弱,SO₄²⁻的輻合相當明顯。無降水地區的SO₂大量向降水區輸送,

並以 SO_4^{2-} 的形式沉降到地面。西南地區硫化物從北向南輸送，使得該地沉降高值區比月平均狀況偏南。高層的輸送通量也不小，北邊受西風帶影響自西向東輸送，南邊由於颱風低壓比較深厚，還有少量影響。

(4) 東亞各國及我國各地區之間的相互輸送量與月平均狀況有一些差別，大陸與港臺之間的輸送顯著增大。

致 謝

本文係作者等透過海峽兩岸學術交流下完成的研究成果，主要內容曾在本(87)年中央氣象局主辦之天氣分析與預報研討會中發表，我們僅向推動學術交流之兩岸氣象學會與相關人士致謝。第二作者並願藉此向大氣所的老師與日本京都大學防災研究所提供之優良工作環境獻上萬分敬意。對於審查人的耐心與建議，亦一併致謝。

參 考 文 獻

- 王自發,黃美元,1997: 東亞硫化物沉降与輸送研究(I)-硫化物輸送歐拉實用模式,「大氣科學」, **21**,3,366-378.
- 徐玲,秦渝,1992: 雲下氣體清除過程參數化,「環境化學」, **11**,1,1-10.
- 彭紅,秦渝,1992: 氣溶膠濕清除過程參數化,「大氣科學」, **16**,5,622-631.
- 劉廣英,張培臣,1998: 熱帶內外系統對臺灣地區梅雨季豪大雨貢獻之診斷研究,天氣分析與預報研討會,227~233.
- Akimoto Hajime,1994: Distribution of SO_2 , NO_x and CO_2 emissions from fuel combustion and industrial activities in Asia with $1^\circ \times 1^\circ$ resolution, *Atmos. Environ.*, **28**, 213-225.
- Carmichael G.R. and L.K. Peters, 1984a: An eulerian transport /transformation/removal model for SO_2 and sulfate-I. Model development, *Atmos. Environ.*, **18**,937-951.
- Carmichael G.R. , L.K. Peters and T. Kitada, 1986: A second generation model for regional scale transport /chemistry deposition, *Atmos. Environ.*, **20**, 173-188.
- Chang J.S., et. al., 1987: A three-dimensional Eulerian acid deposition model: Physical concepts and formation, *J. Geophys. Res.*, **92**, 14681-14700.
- Eliassen A., 1978: The OCED study of long range transport of air pollutants: long-range transport modeling, *Atmos. Environ.*, **12**, 479-487.
- Eudlich R.M., et al., 1984: A long range transport air pollution model for Eastern North American, I: Sulfur Oxidate, *Atmos. Environ.*, **18**, 2345-2460.
- Huang M. and Z. Wang, 1995: Modeling studies on sulfur deposition and transport in East Asia, *Water, Air and Soil Pollution*, **85**, 1921-1926.
- Ichikawa Y., and S. Fujita, 1995: An analysis of wet deposition of sulfur using a trajectory model for East Asia. *Water Air and Soil Pollution* **85**, 1927-1932.
- Kurita H. And H. Ueda, 1989: Long-range transport of air pollution under light gradient wind condition In Encyclopedia of Environmental Control, Gulf Publishing Co.,
- Langner J. and Rodhe H., 1991: A global three-dimensional model of the tropospheric sulfur cycle, *J. Atmos. Chem.*, **13**, 252-263.
- Liu Koung-Ying and Tian-Yow Shyu, 1992: Heavy Rainfall under the Combined Influence of the Tropical and Mei-Yu frontal Systems, Proceedings of the 2nd International Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate, Hong Kong, p518~525.

- Shannon J.D., 1981 : A model of regional long-term average sulfur atmospheric pollution, sulfur removal and net horizontal flux, *Atmos. Environ.*, 9, 643-659.
- Van Dop H. and B.J. Dehaan, 1983 : Mesoscale air pollution dispersion modeling, *Atmos. Environ.*, 17, 1449-1456.
- Venkatrans, 1988, Testing a comprehensive acid deposition model, *Atmos. Envir.*, 22, 737-747.
- Wang Z., and M. Huang, *et. al.*, 1996 : Sulfur distribution and transport studies in east asia using eulerian model, *Advances in Atmospheric Sciences*, 13,3,399-409
- Wesly, M.L., and Hicks B.B., 1979 : Dry deposition and emission of small particles at the surface of the earth, *Proc. Fourth Symp. on Turbulence Diffusion and Air Quality*, Am. Meteor. Soc., Boston, MA,510-513.
- Zlatev Z., J. Christensen and O. Hov, 1992 : A Eulerian air pollution model for Europe with nonlinear chemistry, *J. Atmos. Chem.*, 15, 1-37.

Sulfur Deposition and Transport in East Asia under Typhoon Weather Condition

K.Y Liu¹ Zifa Wang² L.F Hsiao¹

¹Institute of Geography, Science College, Chinese Culture University

²LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences

(Manuscript received 17 December 1998 · in Final form 1 June 1999)

ABSTRACT

The spatial distribution of sulfur concentration and deposition and its transport are studied with the transport model focusing on the landing weather process of the typhoon. The results show that there are much difference of spatial distribution of sulfur concentration with monthly averaged and the concentration of sulfate has reached the same level of sulfur oxidate under typhoon weather condition. The concentration of sulfate are higher than that of sulfur oxidate in rainfall area especially in the surrounding of low-pressure areas of typhoon while less than in no-precipitation area. The high-value center of sulfate separated with that of sulfur oxidate comparing with monthly averaged. The deposition of sulfate are much more than that of sulfur oxidate in the center of typhoon and wet deposition reached at prime percentage of total deposition. Lots of sulfur are convected into the center of typhoon and typhoon has noticeable influence on the transport of sulfur in surroundings.

Key words: Typhoon, Sulfur, Deposition, Transport.