第 29 卷 第 3 期　　氣 象 學 報　　Vol. 29, No. 3
1958 年 8 月　　ACTA METEOROLOGICA SINICA　　August, 1958

論　著

預告局地降水的經驗推導法及其在我國初步試驗的結果*

陳 其 恭 等**

(南京大學氣象系)

提　要

本文簡略介紹預告局地降水的經驗推導法,並列舉了在我國試作的三個例.

一. 前　言

客觀天氣預報法與現今台站上所通用的半經驗的、定性的、主觀天氣預告法不同. 在客觀預告法中個別預告員的主觀判斷和經驗因素是不可能影響預告結果的. 凡是根據一套特殊選定的氣象資料而得出的一個且僅有一個預報結果的預報方法稱爲客觀天氣預報法.

廣義的客觀預報法可分爲三種:即數值預報法,統計預報法和經驗推導法(Combined deductive-empirical method). 對局地降水預告而言,數值預告法限於簡化條件和邊界條件,不能充分的考慮那些與降水連系最密切的要素(例如水汽含量等),同時操作繁複. 統計預報法所得結果雖具有數量上的重要性,有時不一定揭露天氣演變中最重要的物理過程的關係. 經驗推導法[1],即是狹義的客觀預報法***,是一種簡捷易行的預告方法. 這方法一方面通過歷史資料驗證,結合了當地具體情况,恰當地運用理論的原則,一方面連系了物理概念批判地吸收當地實際預告經驗,如是將有關一定的天氣發生發展的知識全面而有系統地組織成爲預告體系,從而得出較客觀而定量的局地天氣預報.

二. 局地降水經驗推導法製作程序

推導局地降水的經驗推導法的過程不外探討過去或現在天氣情况與未來天氣演變間的關係. 將預告的天氣要素稱爲預告量 (Predictand), 與它有關的氣象參數稱爲預告因子 (Predictor)[2]. 從理論與經驗找出與預告量關係最密切的預告因子, 其間關係用圖解法組合成一套預告圖, 應用這套預告圖可得出二種結果: (一)完全預告求得結果作

* 1958 年 2 月 4 日收到.

** 南京大學 1957 年畢業班黃華新, 郭秀英, 徐惠英三同學參與第三節的研究,作爲畢業論文. 鄒邦彥同志担任繪圖.

*** 客觀預報法 (Objective forecasting method) 一詞在資本主義國家文獻中多指本文中所介紹的預告方法是一個慣用術語,嚴格的講是不恰當的.

爲正式預告,(二)輔助預告(Forecast aid)求出結果雖能作爲正式預告但預報員如認爲實際情況中發現某些特殊因子的影響時,他可考慮這些因子的作用而將由預告圖得到的結果加以適當修正.

狹義的客觀天氣預報法即經驗推導法的製作程序主要分爲以下二步:

(一)確定預告要求:本方法是將一般性預告問題分爲許多個別問題來研究的. 爲此在預告中須明確指定預告量的性質,應用的地區和時間、季節,所採用的資料等等. 對於所加限制的範圍决定於預告業務上的實際要求,並受可用資料的約束. 這方法不但對各種氣象要素預告問題(如降水、溫度、雲、霧、鋒和氣旋等等)*並且對預告有關問題(如地形對降水影響)也可應用. 總的看來以在降水方面應用最廣.

(二)選擇有關氣象參數:這一步是很重要的,結果成敗决定於是否得到有意義的、合理的參數. 通常先從理論上探求與預告量有關的氣象參數,其次採納當地實際預告經驗規律. 在進行選擇前常需對提出的天氣現象演變作氣候統計研究和天氣形勢分析,以便發現最顯著的作用因子.

經驗推導法總的目的就是提高預告的準確率,爲此就要消除主觀因素,換言之,就是提高因子的客觀性,所以選出的各因子最好是彼此獨立的,並且選用觀測儀器測定值,以避免因估計而多多少少引入一些主觀成分.

選擇氣象參數方式在各種不同預告問題上基本是類似的. 主要分爲二種即天氣圖分類法和氣象參數判斷法. 現就局地降水預告製作經驗總結如下.

(甲)天氣圖分類法:根據歷史資料按不同天氣形勢分爲特徵性類型. 分類標準不一,有以下數種:(1)地面圖分類法:根據地面天氣圖的重要形勢而分的,如 Thompson[3], Vernon[4] 和 Counts[5] 等他們都運用 Thompson 首創的客觀天氣圖分類法,即在地面圖上選用適宜的氣壓梯度來表示主要環流形勢,如選用沿緯圈上(或經圈上)某範圍內平

* 除去本文中所引用的有關連續性降水文獻之外,有關其他氣象要素的參考文獻見

1) Carson, R. B., Some objective quantitative criteria for summer showers at Miami, Florida, *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **82** (1), 9—28 (1954).
2) Beebe, R. G., Thunderstorms forecasting in Atlanta, Ga., area, *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **80** (2), 63—69 (1952).
3) Means, L. L., On thunderstorm forecasting in the Central United States, *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **80** (10), 165—189 (1952).
4) Tillotson, K. C., An objective aid for forecasting September thunderstorms at Denver, Colo., *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **79** (2), 27—34 (1951).
5) Mook, C. P. & Price, S., Objective method of forecasting winter minimum temperature at Washington D. C., *U. S. Wea. Bur. Res. Pap.* No. 27 (1947).
6) Dickey, W. W., Estimating the probability of large fall in temperature at Washington, **77** (3), 67—78 (1949).
7) Hoover, R. A., Forecasting radiation fog at Elkins, W. Va., *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **78** (5), 75—80 (1950).
8) Crutcher, H. L., Hunter, J. C., Sanders, R. A., & Price, S., Forecasting the heights of cumulus cloud-tops on the Washington-Bermuda airways route, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **31** (1), 1—7 (1950).
9) Schmidt, R. C., Forecasting the passage of selected southword moving cold fronts in summer at Washington, D. C., *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **80** (2), 15—19 (1952).
10) Palmer, W. C., On forecasting the direction of movement of winter cyclones, *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **76**, 181—201 (1948).

均氣壓差分別代表緯向（或經向）氣流等. (2) 高空圖分類法：根據高空圖上主要天氣形勢而分類的，如 Jorgensen[6] 按 700mb 面上主要氣旋和反氣旋位置和强度而分類；如 Beebe[7] 和 Schmidt[8] 按高空氣流强弱和方向而分類；如 Laird[9] 按鋒的類型而分類.

上述分類標準只不過給出了各種主要天氣形勢特徵，爲了確定各型中降水發生可能性或發生降水量的大小，需統計歷史資料中每型出現頻率及各型中出現降水天氣的頻率及發生各級降水量的頻率，按頻率高低而定某型爲降水或無降水型. 然後再進一步探求各降水型中决定降水出現的主要因子. 這樣對每型求得一組合理的氣象參數，根據它們來作降水發生預告或降水量的預告.

以上分類法適用於短期(6—12—24 小時)預告，如做較長時間(24—48 小時)預告，則以用平均圖爲佳. 如 Angel 和陳[10]根據五年資料求出有雨及無雨期間平均地面天氣圖，比較二者形勢特徵上的異同而定出發生降水主要因子，藉以作預告的依據.

除此之外可用天氣圖類型來修正預告的結果. 如 Penn[11] 先根據有關氣象參數得初步預告降水量，然後根據不同的地面天氣圖類型來判斷發生降水的風暴的移速和方向的變化，用來修正初步預告降水量，使預告準確度提高.

(乙)氣象參數判斷法：應用上述天氣圖分類法可能遇到以下困難：1) 任何分類標準都有過渡類型，使分類發生困難，降低了預告的準確性；2) 即使分類上無困難，但在無雨型中不能保證 100% 無雨，而有雨型是否降水仍需根據有關氣象參數變化來决定；3) 不論在研究或預告工作中，用了分類法，花費時間較多. Angel 和陳曾將 Thompson 所得的專用於四個不同類型的氣象參數試用於其他類型上後，所得的結論是：如將某一個別類型專用的氣象參數應用於其他類型上時也能得到相當高的預告準確率. 由此可見，分類與否並不是必須的. 預告準確率的提高取决於所選氣象參數是否有决定性的作用，並且實際有意義的參數數目隨着預告時間的增加而減少.

Angel 和陳將有關降水的主要參數分爲四組：(1)環流變數，(2)濕度變數，(3)穩定度變數，(4)系統强度及移速變數. 理論上各組變數均與降水有密切關係，但在實際問題中各組變數表現着不同程度的重要性，舉例如下：

Angel 和陳[10]在落山磯降水預報中從以上四組變數首先試驗得出了六個有意義的參數，他們拋棄了 Thompson 的天氣圖分類法而只用了這六個參數來做預告. 這六個參數對洛山磯降水的關係簡單介紹如下：

i. 舊金山與落山磯海平面氣壓差($\Delta P_{SFO-LAX}$)：緯向風指標.

ii. 落山磯與 Phoenix 海平面氣壓差($\Delta P_{LAX-PHX}$)：經向風指標. 當低壓由海登陸，則在降水結束時，爲正值；當低壓在海上時爲負值.

iii. 舊金山海平面氣壓值(P_{SFO})：指示加洲沿海低壓或高壓位置以及低壓强度. 當舊金山及落山磯均在低壓範圍內時，$\Delta P_{SFO-LAX}$ 喪失了指示低壓强度可能性. 當 $\Delta P_{LAX-PHX}$ 爲負，且 P_{SFO} 爲低時可發生大雨.

iv. Sandberg 地面風向(D_{SDB})：當地降水預報經驗指標，比高空風更好的反映氣壓場變化；南風表示低壓由太平洋來，暖鋒將臨；北風表示冷鋒過境. 如與經向或緯向風指標結合，則表示低壓加强或塡塞程度.

v. Oakland 的 700mb 面高度(H_{700})：根據預報經驗 H_{700} 與由海上來臨時低壓中心距離間有密切聯系．它與 $\Delta P_{SFO-LAX}$ 結合指示落山磯區氣流强度及低壓輻合强度．

vi. Santa Maria 的 700mb 面上溫度(T_{700})：指示氣團穩定度，它與 H_{700} 結合指示高空是否有冷低壓出現．

這六個因子除最後 T_{700} 外均是環流變數．將六個因子作用組繪爲一套預告圖（見下節）在當地台站上試驗結果用該預告圖所做預告比 Thompson 天氣圖分類法或台站上通用預告法均較準確*．

其次，Willims[12] 也從這四組變數出發，研究鹽湖城夏季降水預告，但發現以濕度變數有效．比較二例可見因季節及地區不同，主要變數是各異的．在落山磯冬季降水多伴隨低壓而來，氣旋性環流引起輻合，加强了上升運動；而水汽量只在降水發生前很短時間內才有變化．因之水汽變數在 36 小時預告中不起决定性作用了．但在鹽湖城夏季氣壓常呈對流性不穩定，如有充分水汽即可引起降水，故與環流變數關係極微．

此外如 Rapp[13] 曾用 Fulks[14] 的降水率公式爲理論的基礎並結合天氣圖上可用的有關的要素值而求得預告降水量的關係式．

三．整理與分析資料

預告量 (W) 與預告因子 ($x_1, x_2, \cdots, x_n$) 間關係可寫爲

$$W = f(x_1, x_2, \cdots, x_n). \tag{1}$$

(1)式關係用 Brier[15]提出的圖解相關法(Graphical correlation method)來表達．這方法是將歷史資料分析整理爲一套連續散佈圖，這套圖可用來作預告，可稱爲預告圖．具體作法如下：

1. 將預告因子每二個 (x_i, $x_i + 1$) 作一組、分別作爲散佈圖的坐標．將歷史資料上 W 值點在圖上，並標誌降水量或日期．

2. 將相同數目點(約十個)劃分在一方格內，每格面積約略相等(如資料不足適當調節面積與點數)．求每格 W_i 的平均值 $\overline{W}_i$，塡入該格中心．

3. 分析 $\overline{W}_i$ 值，繪等 $\overline{W}_i$ 綫．

4. 同法整理其他各組因子，每組均定出了一個新變數 $\overline{W}_i$．這些 $\overline{W}_i$ 與預告量間關係可寫爲：

$$W = f(\overline{W}_1, \overline{W}_2, \cdots, \overline{W}_{n/2}), \tag{2}$$

上式中 $\overline{W}_i$ 數目爲(1)式中 x_i 的一半．

5. 以同法分析整理每組 $\overline{W}_i$．重複操作直到新變數數目減少到一個 (W_f) 爲止．W_f 即所求預告量，它是所有原變數 (x_i) 的函數．

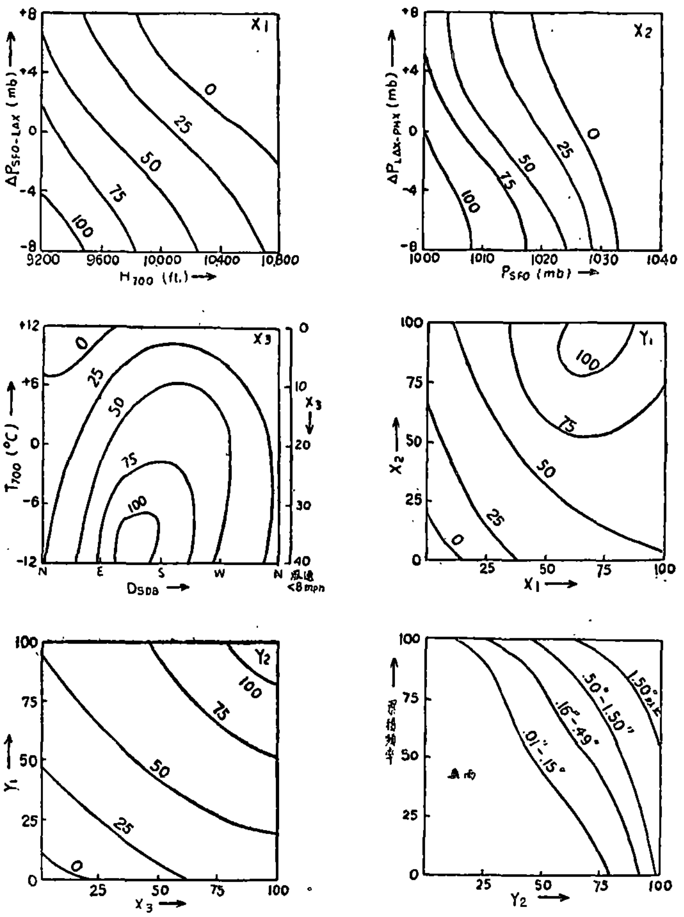
通常先選關係最密切的因子作第一個散佈圖的坐標．等 $\overline{W}_i$ 綫的分析主要是資料分析，如有已知的 W 與 x_i 間的物理上的連系作爲依據則更佳．如等 W_i 綫分佈無規則，顯示其間關係不明確，應檢查取消次要因子．如有各別點不合規律，應加檢查是否由於資料錯誤，或是由於其他因子影響所致．

* 試驗分二次進行：一次是對原始資料作的，自 1946—47 和 1947—48 的十月到三月，一次是對獨立資料作的，自 1944—45 和 1945—46 的十月到三月(見[10])．

我們舉落山磯 36 小時降水量散佈圖爲例，所用六個因子組合程序見圖 1*.

$$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l}\Delta P_{SFO-LAX}\\ H_{700}\end{array}\right\}x_1\\ \left.\begin{array}{l}\Delta P_{LAX-PHX}\\ P_{SFO}\end{array}\right\}x_2\end{array}\right\}y_1\\ \left.\begin{array}{l}T_{700}\\ D_{SDB}\end{array}\right\}x_3\end{array}\right\}y_2$$

甲. 預告因子組合次序



乙. 預告圖

圖 1. 落山磯 36 小時降水預告圖

這套圖上等值綫是比照實際雨量值而定的百分比標度. 這樣使一套圖標度統一. 這些百分比綫是預告可能發生降水量的指標. 右下角的小圖表示各級降水可能發生的累積頻率(%). 實際操作時先從天氣圖上得到六個預告因子值，然後逐步按圖次序求出最可能發生降水量等級的幾率.

若僅作降水發生與否預告時，則散佈圖上只需分別標出有雨及無雨點，再求每方格中有雨點的百分比值，根據比值繪降水可能發生的幾率綫. 但製作方格比較煩瑣，故 Angel 和陳[16] 建議簡化程序：先憑目測繪降水發生 50% 綫，這條幾率綫通過圖上降水點及無降水點分佈較多區的中間，其次作 0% 及 100% 幾率綫，劃在絕對有雨點及無雨點分佈區的邊緣上. 50% 綫可作幾條，試算每條的技巧分數(下節談到)而選用技巧分數值最高的一條. 其他幾率綫先內插然後計算每二條綫間有雨點頻率值來校正各綫條位置. 這方法雖較粗糙，有引入主觀成分的危險，但比計算迴歸綫方程或判別函數省時省力. Angel 和陳[16] 曾比較目測法及計算法[17] 的結果得出二者技巧分數仍以目測法爲高.

* 這套圖的原版係六張大圖，佔篇幅較多，故採用 Petterssen, S. S. 的天氣分析及預告書中的簡圖爲例.

理論上預告因子數目是沒有限制的，從應用這種預告法所作的這種預告問題研究文獻中看來，一般不多於六個，Angel 和陳[16]試驗過六個預告因子所得準確率比應用天氣圖分類法加上十三個因子效果爲佳. 這結果雖然只是一個台站的結果，但這種限制不是地域性的，而是由於方法的本身*. 這可能是由於已採用的因子與未採用的因子間存在着或多或少的相關性所致.

爲了使 W 與 x_i 之間關係表現得更清楚起見，我們可以在天氣圖上直接作散佈圖如 Miller 及 Dickey[18] 和 Vernon[1] 所作，或將一組連續散佈圖仿照列綫圖方式組合起來如 Spreen[19] 及 Beebe[7] 所做.

四. 檢查資料及評定結果

爲了了解所得結果是否有預告價值，我們必需通過統計測驗來判斷：(1)所選參數是否起決定性作用；(2)所選歷史資料是否充分；(3)所得結果是否穩定. 在經驗推導法中多用 Heidke[20] 所提出的技巧分數(skill score，簡寫 S. S.)作爲判斷指標. 技巧分數定義是

$$\text{S. S.} = \frac{R - E}{T - E}, \tag{3}$$

式中 R = 正確預告數，T = 預告總數，E = 單憑機會所得正確預告數. 由定義可知技巧分數是將機會因子除去後指示預告技術水平的一個指標. S. S. 常用列聯表計算，此時 $E = \frac{\Sigma R_i C_i}{T}$，式中 R_i = 列聯表中第 i 行總和，C_i = 列聯表中第 i 列總和.

我們計算各個散佈圖上所用的原始資料的技巧分數來測驗所選用的參數和資料是否適用. 其次將獨立資料(即與原始資料不同期間的資料)應用到散佈圖上再計算技巧分數來測驗結果是否穩定. 一般 S. S. 在 0.6 以上認爲滿意，如爲 0.8 則很好了.

五. 在我國應用局地降水經驗推導法的初步結果

我們曾就北京台、南京台及開封地區(包括魯山、新鄉、洛陽、遂平、許昌)，根據 1955—1957 二個冬半年地面及高空天氣圖上的資料試作了當地降水的短期預報，現將各站所取結果總結如下.

I. 北京台

統計了 1955—1957 兩個冬半年 (10，11，12，1，2，五個月) 資料了解到北京冬季的降水(包括降雪)特點**是：(1) 降水持續時間短而次數少，最長降水持續時間兩個冬半年平均爲 17 小時，超過 24 小時的二年內只有一次. (2) 降水次數分佈不均勻，每月平均不超過三次，所選月份內以十月份次數較多 (5 次)，12 月份最少 (0—1 次). (3) 降水量的變化很大，最高降水量在十月份出現，達到 20.0mm，高出其他月份幾倍，12 月份最少僅

* 關於這點在 Williams Jr.[12] 和 R. C. Schmidt, A method of forecasting occurrence of winter precipitation two days in advance, *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **79** (5), 81—95, 1951 文中均有證明.

** 統計結果表略. 這些結果僅指示所研究期間情況，對於北京站降水歷年平均情況，尚有待較長期間的氣候統計.

有微量．各月最大降水量二年平均不超過6.2mm，最大降水量出現率二年中只有0.03%．

從歷史天氣圖上檢查冬季北京發生降水的形勢，可分爲三種：

(1) 地面圖上在內蒙古附近有南北或東北—西南向的冷鋒或在銀川及西安間有東北—西南向的冷鋒向東移動，而在冷鋒前後有狹長雨區，隨着冷鋒東移，雨區也東移並向北擴大，在高空 700mb 圖上北京以西有明顯的槽，槽綫在地面冷鋒之後，雨區則夾在槽綫與冷鋒之間(例如1956年10月1日08:00時地面圖及9月30日23:00時700mb圖)，這種情況下降水量多而持續時間長．

(2) 如在蒙古境內有鋒面氣旋向東移行，影響北京，發生降水．700mb圖上北京西北有槽及低壓，伴同鋒面氣旋東移(例：1956年11月9日08:00時地面圖及11月8日23:00時高空圖)．

(3) 在長江中下游出現一個鋒面氣旋向東北移動到了山東半島附近，影響北京而降水，700mb 圖上北京附近爲一高脊，常有西北氣流．在這種情況下發生降水，時間較短而降水量微(例如1956年12月30日08:00時地面圖及12月29日23:00時700mb圖)．

由以上天氣形勢可見高空700mb上槽脊位置及強度對北京降水有決定性作用，在北京以西如有偏南氣流，則易引起北京降水；如爲西北氣流，則北京多晴天．我們選用本日23:00時的高空圖的資料來預告次日02:00時以後24小時內的降水，即作24小時降水預告，依據700mb面上形勢分爲有雨型及無雨型，其區分標準如下．

1. 降水型：700mb圖上，在東經105度到120度間有高壓脊其後伴隨着比較明顯槽或低壓，或者在其後有明顯的偏南氣流向北挺進，如圖2.

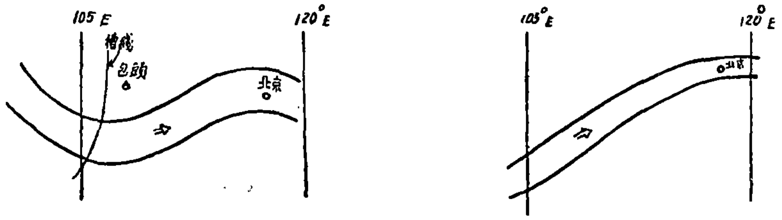


圖2.　冬半年北京700mb面上降水型示意圖

2. 無降水型：(i) 700mb圖上槽綫在北京以東，因之北京至包頭間出現西北氣流，或者(ii) 在東經105度到120度間有高壓脊但未北伸超越北緯40°度，或者(iii) 在北緯40°度左右是一致的西北氣流，如圖3.

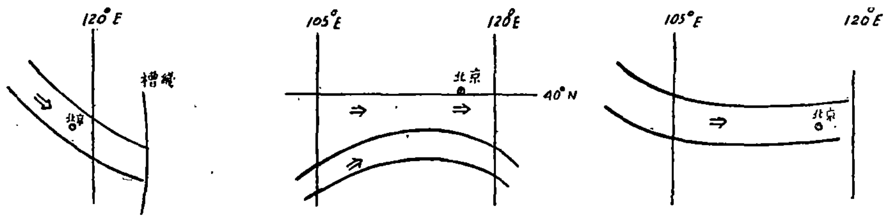


圖3.　冬半年北京700mb面上無降水型示意圖

以上降水及無降水型分類標準是並不够客觀的，曾企圖用計算的緯向及經向指標作爲客觀分類的標準，但限於北京上游高空測站稀少，以致未能達到較滿意結果．

以上分類圖並不完全成功，在二年中 35 次降水中曾有六次區分爲"無降水型"，而這六次失敗原因在於降水發生由於地面冷鋒及鋒面氣旋作用所致，而 700mb 圖上表現爲西北或西風氣流．所幸這種降水爲量甚微，故對預報影響不嚴重．

只就有降水型天氣形勢來探討影響降水的主要氣象參數，以這些參數來預告發生降水的可能性．結果得到下列四個具有決定性作用的因子：

(1) 700mb 圖上北京減溫都爾廟(086)溫度差．

(2) 700mb 圖上太原站風向．

(3) 北緯 40° 緯圈上槽綫距離北京的經度值．

(4) 槽綫由緯度 42° 向南伸展所達最低緯度值．

當溫度差值爲正時，表示北方將有冷空氣南下到達北京上空，如同時太原有南風，表示南方暖濕氣流向北挺進，這二因子相結合表示北京上空即將有冷暖空氣交鋒，預告降水發生可能性大．如此時風向偏北，則表示單純冷空氣南下未來降水發生可能性甚微． 若溫度差值爲負，則表示冷空氣已經佔據了北京，則對未來降水不起什麼作用了．這種情況多見於無雨情況．

其次，700mb 圖上槽前輻合上升作用是否能影響到北京，可由槽綫距離遠近來決定，如槽距過大，則不能起作用，如太近則在未來預告時間內已過北京，沒有預告價值． 只有在適當距離，根據統計平均大約 5—8 經度，最爲有效．槽距以沿 40° 緯圈上經度值計算，估計時由於高空圖槽綫判定帶有主觀成分，故可能發生 1—1/2 經度的誤差．

精確的講也應考慮到槽綫移速，遺憾的是未能找到合用的參數來指示槽綫移動．

槽前輻合上升强度與槽的强度有關，而槽的强度，可由槽綫向南伸展所達最低緯度來估計，按所提出的天氣圖分類，現在我們只考慮北緯 41° 度以南的槽(在北緯 41 度以北的槽可能也有南下發展情況，但比較少見，故不考慮在內)，當槽向南伸展愈甚，表示槽愈深，不但出現了較大範圍輻合上升區，而且同時也有較深厚的西南氣流的存在．

這裏附帶說明確定槽綫的標準：凡在 700mb 面上有較明顯的風向切變綫就應分析槽綫，如果南北有二條槽綫在合理情況下應合併爲一條，在槽綫末端有小低壓時則引伸槽綫穿過．

利用上述分類標準將歷史天氣圖中有雨型選出，然後以主要變數(1)(2)爲坐標點出散佈圖* I (見圖 4)，(3)(4)爲坐標點出散佈圖 II (見圖 5)，然後再將散佈圖 I 所決定的降水發生可能性的幾率 y_1(%) 與散佈圖 II 所決定的降水發生可能性幾率 y_2(%) 結合爲散佈圖 III (見圖 6)．因爲記錄殘缺不齊，所以散佈圖上 I, II 有雨及無雨點數目並不相等．在圖 III 點數甚少，因爲這些點都是具有完備記錄的． 散佈圖 I 的 50% 綫的技巧分數爲 0.83，準確率百分數** 爲 92%，散佈圖 II 爲 0.68，準確率百分數爲 85%，而散佈圖 III 得 0.90，準確率百分數爲 95%，該圖上無雨及有雨點由 50% 綫兩側分別向圖上 100% 及 0% 綫集中，且技巧分數較圖 I，圖 II 爲高，證明所選參數都是有意義的，而且彼此作用都是互相加强的．

在選擇氣象參數過程中還曾企圖尋求指示：(1)水汽含量的因子，曾考慮 414(歸綏)，

* 此處所指散佈圖略去．

** 準確率百分數是正確預告次數與預告總次數比值的百分數．

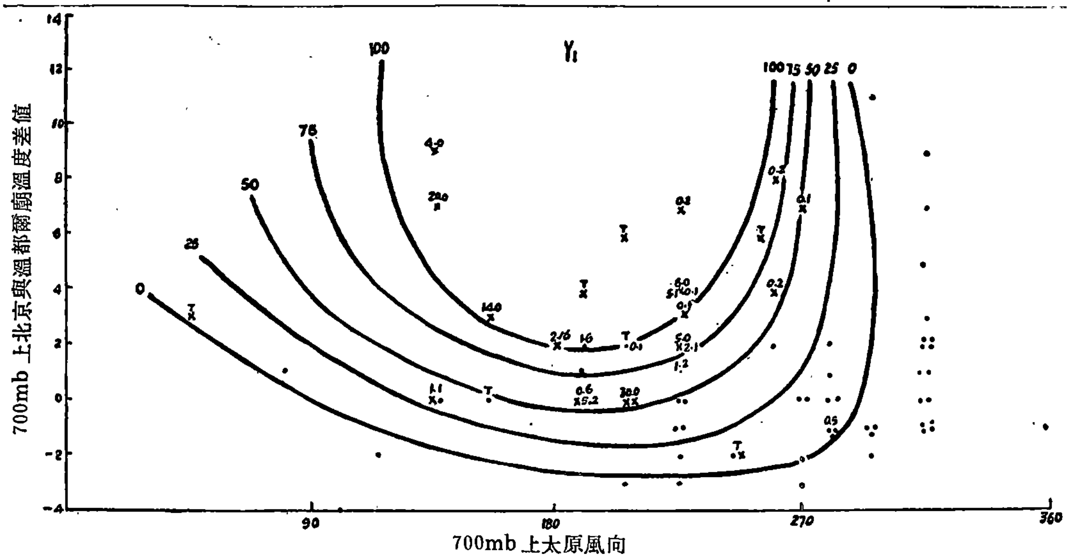


圖 4. 以 700mb 面上太原風向和北京與溫都爾廟溫度差值所決定的北京降水量分佈圖
(・無降水，× 有降水，數字表示降水量)

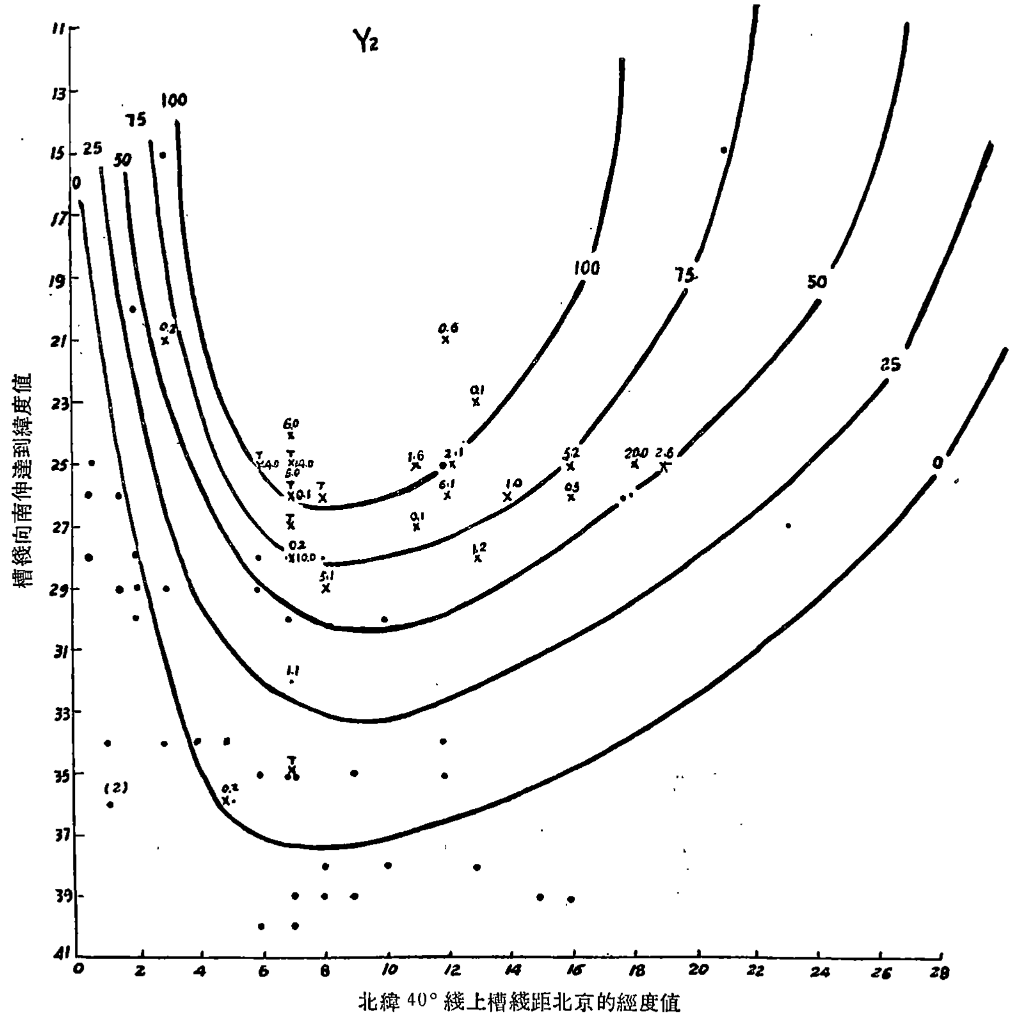


圖 5. 以 700mb 面上槽綫距北京經度值及槽綫南伸達到緯度值所決定的北京降水量散佈圖
(・無降水，×有降水，數字表示降水量，括弧內數字表次數)

086, 405 (陝坍), 092, 452 (太原)和北京的 850mb 或 700mb 上 24 小時露點差,飽和差; (2) 氣層的穩定性選用以上五站的 850mb 及 700mb 二層溫度差; (3) 利用測風紀錄來計算北京上游區及其附近輻合; (4) 用 850mb, 700mb 或 500mb 上北京站上游各站變高作爲槽强度或移速變化的指標,等等. 由於高空測站記錄的欠缺, 高空圖時間間隔甚長(我們只有每隔 24 小時的高空圖), 氣象要素本身(溫度及露點)變化因子較爲複雜,以致它們表現不出預告作用.

對所作出的散佈圖應當利用歷史記錄來驗證其穩定性, 由於溫都爾廟(086)溫度記錄在 1955 年以前都是缺欠的, 故不能進行試驗了.

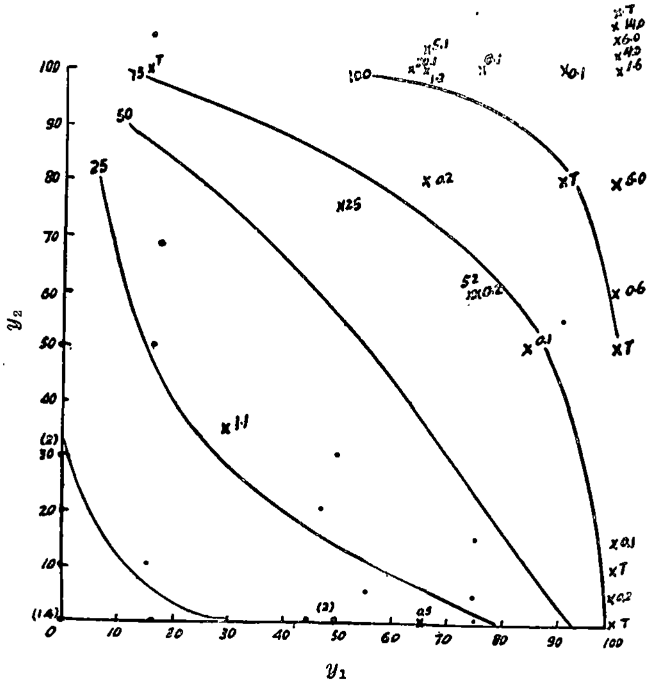


圖 6. 北京 24 小時降水發生幾率

II. 南京台

從 1955—57 年的冬半年的天氣圖上見到高空西風帶南移,副熱帶高壓中心南退到北緯 25° 以南,在北緯 40° 以南地面系統比較零亂, 而在本階段內 11 月份降水在黃河以北較多,以後逐漸南移,到 12 月份,南京降水增加而北京降水減少.

檢查 1955—57 年冬半年(10, 11, 12, 1, 2, 3, 月份)資料,南京降水天氣形勢可分三類:

1. 冷鋒降水: 在地面圖上銀川附近冷鋒之後冷高壓南壓轉向東南移速快. 冷鋒北部有時隨東北低壓東移入海. 高空 700mb 圖上有深槽,槽綫與冷鋒之間夾有狹長雨區寬約 10°經度. 此雨區東移影響南京降水多具陣性,降水量較大,降水時間短,約一日左右. 若爲冷鋒南下時,水汽含量低則無降水. 根據統計資料二冬半年中共有 76 次冷鋒出現,而只有 28 次發生降水,這種形勢常在冬半年初期及末期出現.

2. 靜止鋒降水: 當蒙古高壓南壓後,東移至渤海灣附近入海, 同時華西低壓存在,華南形成靜止鋒約在北緯 25° 左右. 700mb 圖上河西走廊冷高壓南下與低緯副熱帶高壓脊形成切變綫,西南氣流深厚. 華西華南靜止鋒上雨區擴大東移,影響南京發生降水,多連續性,持續時間長 2—3 天,降水區向高緯可擴展至北緯 35°—40° 以北. 由二個冬半年統計結果 38 次靜止鋒出現其中 28 次影響南京降水. 降水不發生的原因多是蒙古冷高壓由河套西面南下,使華西雨區東移入海,不向北擴張. 高空圖上西南低渦前無大槽引導或西南氣流不强,故雨區不發展,雨區東移中消滅. 這種形勢多出現於冬半年中期.

3. 東海氣旋降水: 西南有低槽,有時成閉合小低壓,伴有小片雨區. 高空 700mb 圖上北部大槽引導低壓東移到南京附近, 小低壓與槽合併, 使槽加深伸展至北緯 30° 以南.

當低槽南部移入東海，槽前誘導出東海氣旋．向東北移行，伴同雨區向西影響南京發生降水．降水區隨氣旋很快東移入海，故引起降水時間不長，而範圍不大，多連續性，統計二冬半年中東海氣旋出現 26 次，其中 20 次引起南京降水，冬半年末期多見．

檢查冬季無雨形勢發現南京常在脊前，或其東有小槽但無大槽的形勢．

由上可見，高空形勢能決定降水發生的可能性，故利用 850 及 700mb 上 23:00 時天

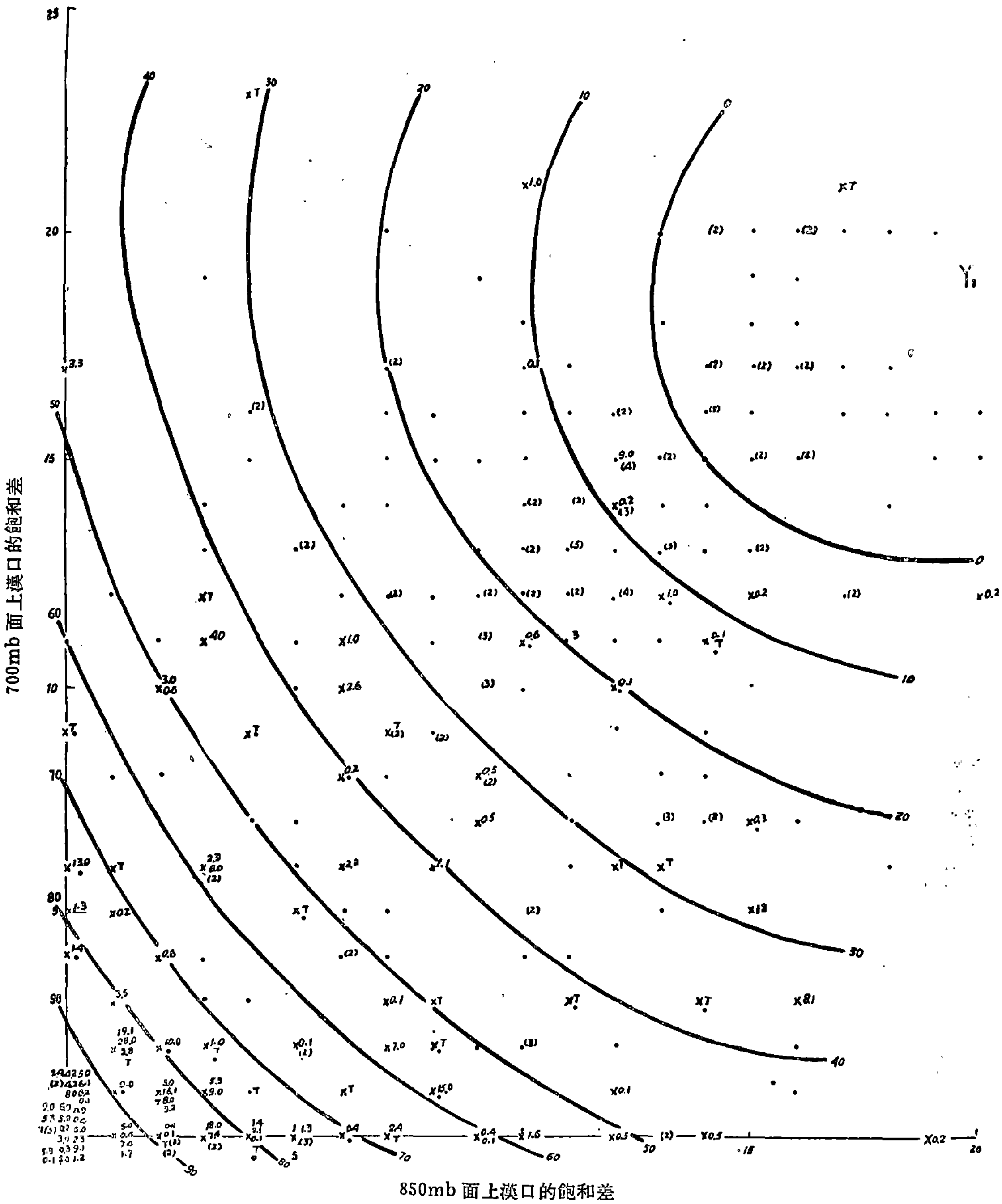


圖 7．以漢口站 850mb 及 700mb 面上飽和差所決定的南京降水量散佈圖

氣圖的資料探求預告次日 14:00 時後 24 小時內的降水，即預告南京 12—36 小時的降水．結果得出引起南京未來降水有顯著作用的氣象參數是：

(1) 漢口台 850mb 及 700mb 面上飽和差 ($T - T_d$ 值)．

(2) 700mb 面上南昌風向：由天氣圖上估計得到，誤差可能達到 20 度，如有雨時無測風記錄，則按 700mb 面等高綫方向估計．

(3) 700mb 面上槽綫距南京的垂直距離（以經度爲單位）．（在南京之西或北爲正）在南京 20° 經度範圍以外者不計．

南京有降水發生之前漢口，700mb 及 850mb 氣層先達到飽和或接近飽和，但這個變數在以下二種情況下無效：(1) 當南京降水是由小槽引起的．小槽在東移過程中如無大槽前行，迅速消失，降水隨之停止，或由於沒有西南氣流供應而雨區隨之消滅．此時漢口雖已達飽和而南京無降水發生；(2) 地面上北緯 30° 以南雖有大片靜止鋒上降水區，但

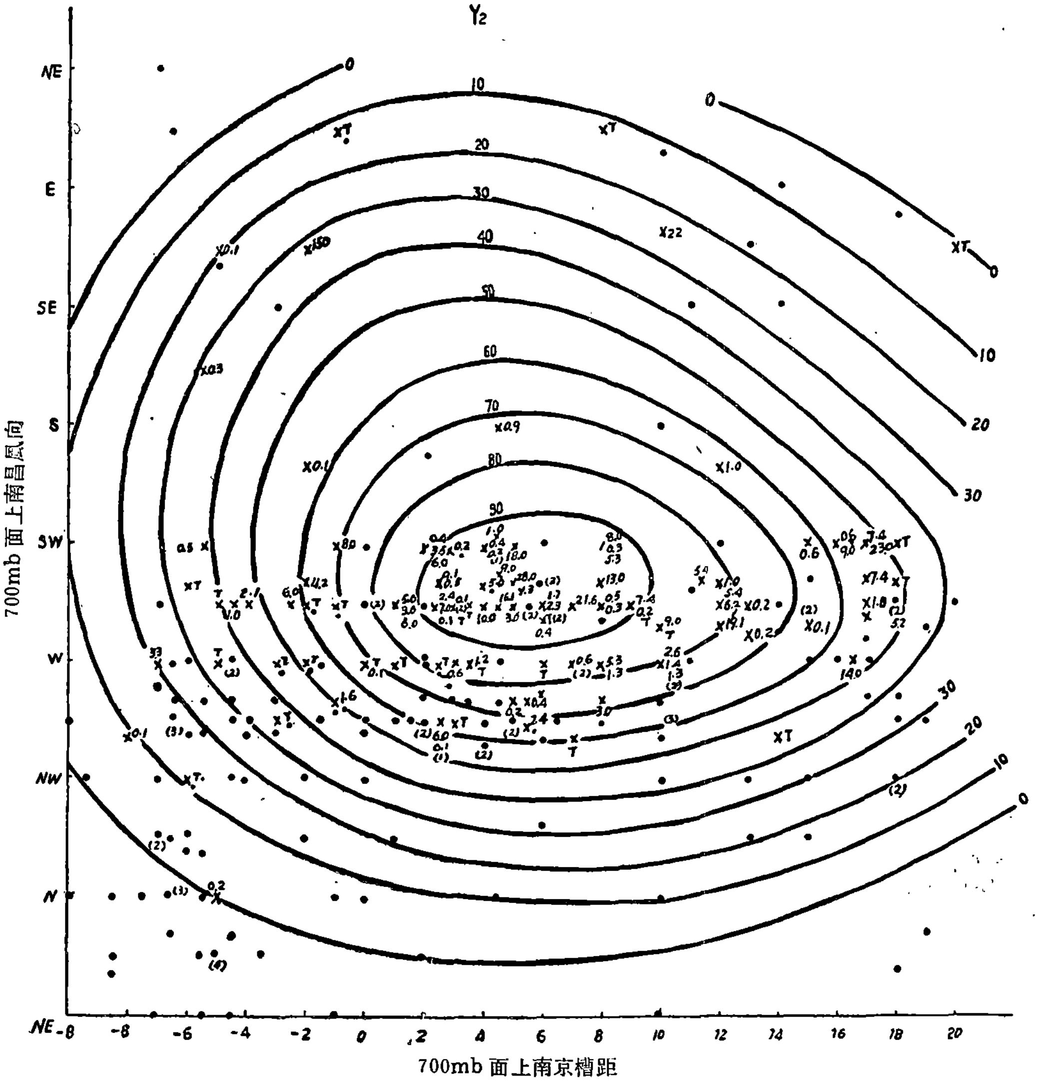


圖 8. 以 700mb 面上南京槽距及南昌風向所決定的南京降水量散佈圖

700mb 上氣流較平直，或有强大冷高壓南壓，雨區東移而不向北擴張．此時漢口雖然水汽含量接近飽和，但無西南氣流推靜止鋒北上，故南京亦無降水發生．靜止鋒降水在南京冬季降水中是比較重要的，以上這個缺點必須加以補救，同時無論在那種降水天氣形勢中，暖濕氣流是否出現是起決定性作用的．因之採用了南京上游南昌 700mb 面上風向作爲指標，當風向爲西及西南時，推動西南槽或低渦的雨區或靜止鋒上雨帶北上，以致引起南京降水．最後採用 700mb 上槽的位置來估計槽前輻合作用是否影響到南京．可是槽距因子並不十分令人滿意，因爲南京有降水時，固然大多數 700mb 上有槽，但在東西向切變綫出現時也發生降水，而此時決定槽距毫無意義．此外若無槽時，只可根據以前圖上槽的位置及移動情况，大略估計應在槽前或槽後，並令槽距爲最大值．

用 850mb 及 700mb 上漢口飽和差作散佈圖 I（見圖 7）．700mb 面上南昌風向及南京槽距作散佈圖 II（見圖 8）．以上二圖分別決定降水發生可能性幾率值 y_1 及 y_2．y_1 及

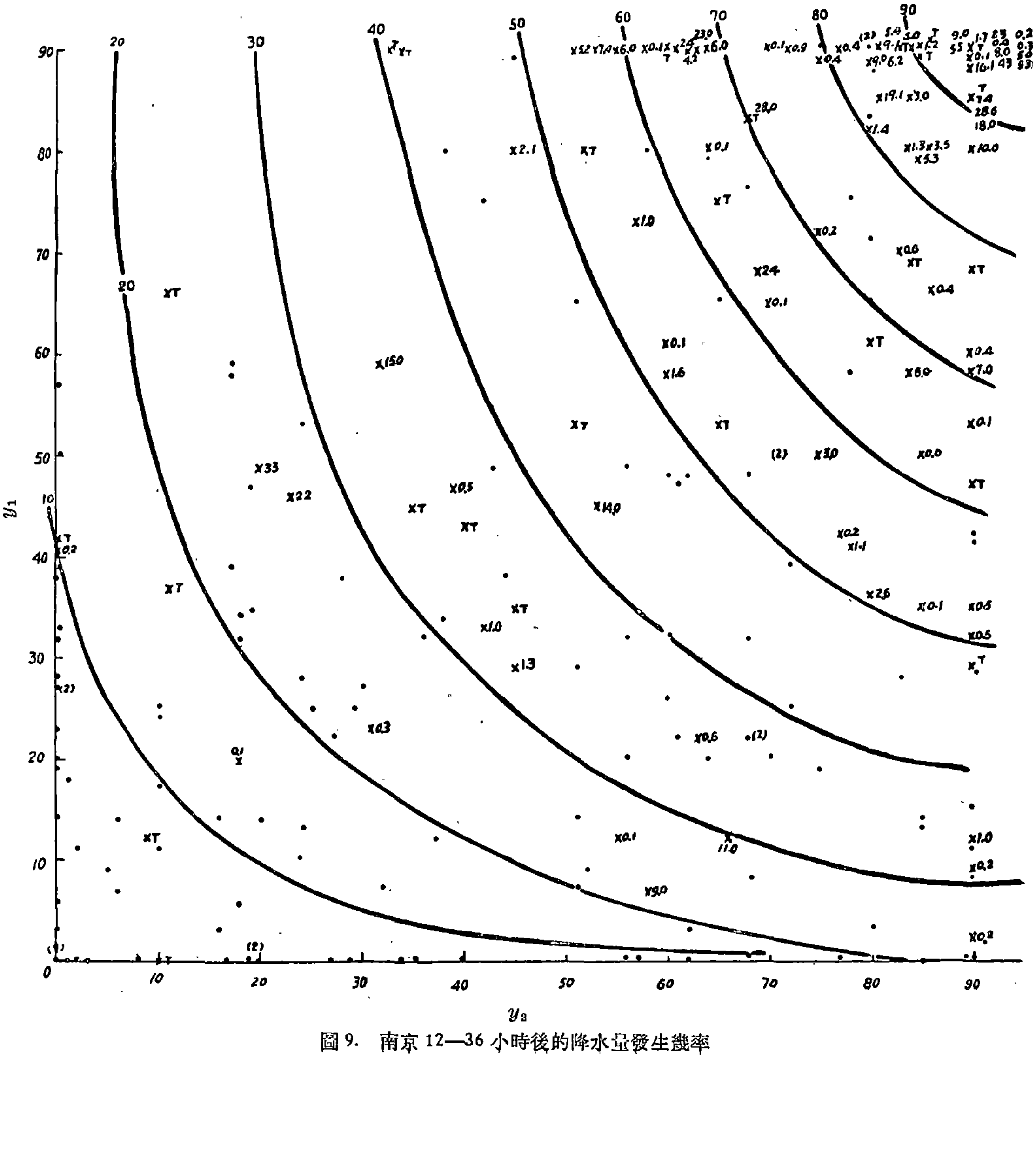


圖 9．南京 12—36 小時後的降水量發生幾率

y_2 結合作散佈圖 III (見圖 9). 最後圖上有雨及無雨點的分佈是比較集中的. 計算所得圖 I, 圖 II, 圖 III 技巧分數各爲 0.66, 0.67, 0.60, 準確率各爲 80%, 78%, 80%, 圖 III 上技巧分數反較圖 I, II 爲低,其原因可能是: 在該圖中受記錄限制而丢掉了很多預告無雨及有雨成功的例子* (試比較圖 I, $T = 310$, $d = 174$, 圖 II, $T = 314$, $d = 157$, 而圖 III, $T = 244$, $d = 117$ 也相應減了一些, 而 b, c 相差不多,故影響技巧分數增加. 如果記錄充分則將有提高). 此外我們還應用了 1954 年—1955 年冬半年(10—3 月)資料來驗證,所得技巧分數達到 0.60,證明了這套散佈圖對預告還是起一定作用的.

我們曾將漢口 700mb 及 850mb 的比濕值相加作爲一個因子, 又用 700mb 上南昌風作爲第二個因子,應用同時期記錄點散佈圖,所得技巧分數達到 0.69 而準確率爲 85% (圖略)比上述那套散佈圖的結果並不差, 可見加上了槽距因子未能提高預告質量,這是因爲我們處理南京降水問題時對於切變綫(或橫槽)情況未能得到較好解決的方法, 所以在使用這套散佈圖時應考慮實際情况而對結果加以修正;因此南京例子只能算是輔助預告,而北京例子可算完全預告了.

除了上述採用的氣象參數外,我們還考慮了以下氣象參數: 南京上游站(固定的或不固定的) ΔT_{24}, 南京上游區內溫度平均差,等溫度平流差分值,南京上游站的 ΔH_{24} 以及經向和緯向風的指標,南京本站及周圍各站 ΔP_{24} 或 ΔP_3,南京本站與西面各站溫度差,氣壓差露點差,槽傾角等等. 但所得結果均不明確. 失敗原因主要爲西南部資料不够不能適當選擇台站及時間間隔,而且天氣圖上資料常有錯誤(例如我們將南京站觀測記錄簿上雨量和雨時與天氣圖上塡寫的記錄比較,常發現很大偏差, 其他各站因無觀測記錄,未能比較).

III. 開封地區

本區包括新鄉、洛陽、魯山、許昌、逐平五站. 以五站平均雨量作爲開封地區雨量值,本區處在北京南京間影響北京及南京發生降水的天氣系統也常對本區起作用. 檢查1955—1957 冬半年(10—3 月)的歷史天氣圖了解到冬季的降水系統有以下四種情况:

(1) 靜止鋒降水: 即上二站所提到的形勢,在華南或長江附近有靜止鋒. 高空從鄂海低壓中心伸向華南成東北東—西南西大槽,靜止鋒後雨區向北擴張, 影響開封地區,出現頻率約 40%,降水時間較長.

(2) 冷鋒降水: 即上二節所提到的冷鋒, 東移過境時引起本區降水, 出現頻率約 30%.

(3) 西南槽降水: 地面西南低槽伴有雨區或伴有南北向冷鋒, 高空有西南槽, 槽東移冷鋒隨之東移, 雨區掃過本區或西南低壓雨區向東北發展影響本區降水, 出現頻率約 20%.

(4) 冷鋒及靜止鋒聯合降水: 當冷鋒移至長江附近轉變爲靜止鋒, 同時第二個冷鋒接踵而至,開封受它們聯合影響而發生降水,此種情况出現頻率少.

---

* 特別是有雨成功例子,因無高空資料而丢掉很多. 這樣在計算技巧分數 $S.S. = \frac{2(ad-bc)}{2(ad-bc)+T(b+c)}$ (a,d 分別爲預告有雨及無雨成功次數,而 b, c 爲失敗次數)中 ad 值比實際可能出現次數少, 從而使 S.S. 值減低,如記錄充分,一方面 50% 綫的 S. S. 提高; 一方面使 50% 綫的位置(和其他各綫的位置)安排得較爲恰當,並且每條綫都有更多資料來支持,表示的結果愈接近於現實,也使預告準確率增加.

以上四種降水系統的共同特點爲：高空在開封附近有槽，槽後有冷平流冷却作用，槽前西南氣流有輸送水汽作用，二者結合發生降水．採用 1955—1957 年冬半年(10—3 月)資料從第一日 23:00 時 850mb 及 700mb 等壓面上的記錄預報次日 08:00 時至第三日 08:00 時間降水，即 8—32 小時降水預報．

得到影響較顯著的氣象參數有四：即

(1) 850mb 面上漢口的比濕．

(2) 700mb 面上西安的比濕．

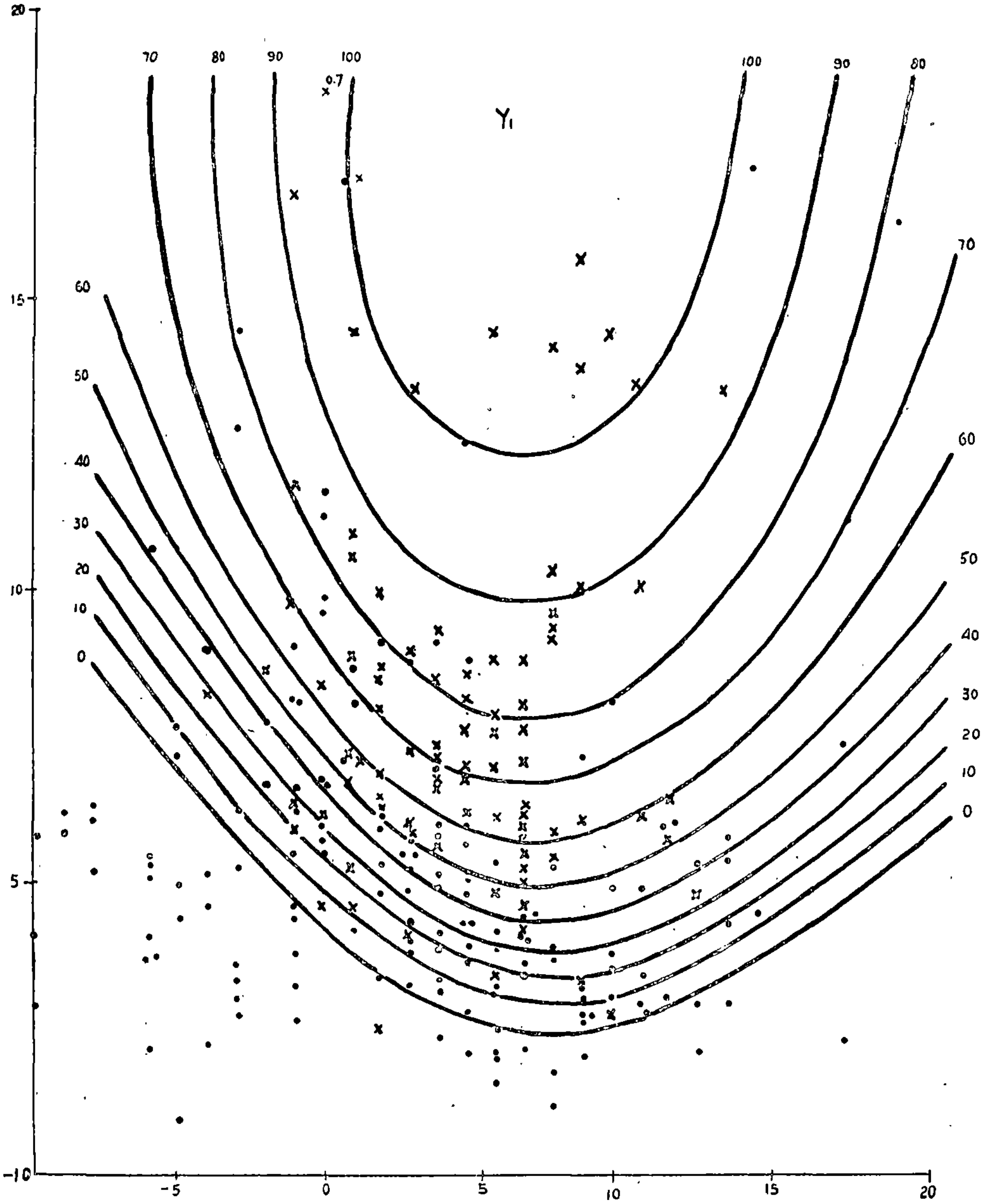


圖 10.　以 850mb 面上漢口比濕與 700mb 面上西安比濕值和與開封距槽綫經度值所決定的開封區降水量散佈圖(・無雨，×有雨；因記錄太密，雨量值未填上)

開封降水多受華西及華南雨區影響，暖濕氣流向北抬升，故在漢口選取較低層而西安選取高層的比濕，指示較為深厚的水汽豐富層。

(3) 700mb 面上開封距槽綫的垂直距離，以 35° 緯圈上經度為單位，在開封以西及以南為正．如同時有二槽，則考慮影響較大的槽．

(4) 700mb 面上西安 24 小時溫度差．

(5) 700mb 面上萬源的風向（如無測風報告，則按等高綫方向）．

西安的 24 小時溫度差為正時代表開封以西有冷平流，此時若萬源風向為西南，而槽距開封適度，則保證預報期間有冷暖空氣相遇，並有輻合上升作用使水汽凝結而降水．

將 850mb 漢口比濕與 700mb 西安比濕相加值與槽距作散佈圖 I（見圖 10）．以 700mb 西安 24 小時溫度差及該等壓面上萬源風向作散佈圖 II（見圖 11）．該二圖各定出發生降水可能性幾率值 y_1 及 y_2，如前用 y_1, y_2 作散佈圖 III（見圖 12），確定降水發生幾率值 y_3． 散佈圖 I, II, III 的技巧分數各為 0.59, 0.68, 0.80, 準確率為 80%, 86%, 90%．曾用 1954 年資料驗證得到技巧分數為 0.70，準確率為 88%．

試驗時失敗情況有以下二種：

(1) 有雨預報無雨情況：多見於(a)單站下毛毛雨，其鄰近各站無雨；(b)乾燥冷鋒南下，個別台站有雨；(c)在預報有效時間，最末階段發生降水（系統移動速度快慢的影響）；(d)高空處於高壓前部，地面無系統雨區，但個別站有降水．這四種情況下降水時間

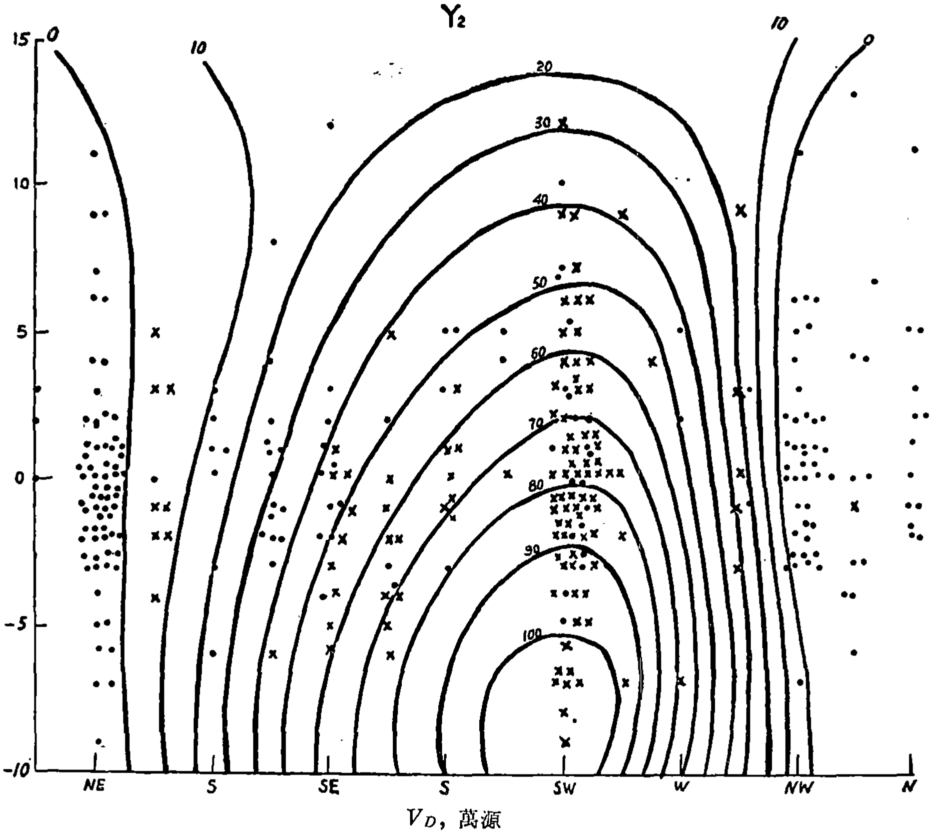


圖 11. 以 700mb 面上西安 24 小時變溫與 700mb 面上萬源風向所決定的開封區降水量分佈圖（• 無雨，× 有雨；因記錄太密雨量值未填上）

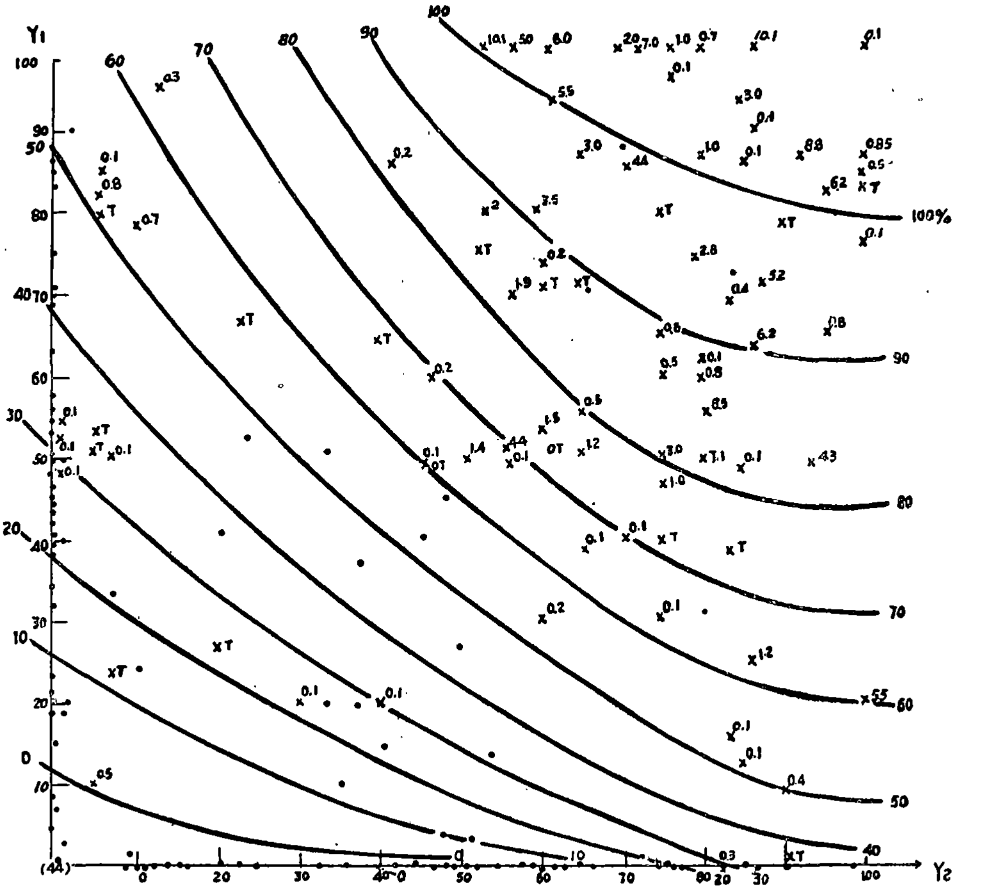


圖 12. 開封區 8—32 小時後降水可能發生幾率(・無雨，×有雨，括弧內數字表示出現次數)

均短，量微，影響不大。

(2) 無雨預報有雨情況：多見於(a)高空有一狹長槽由河套伸向華西，華西雨區不向北發展，故開封無雨；(b)預報期間有雨，但雨區迅速縮小，多由於開封地區西部高空已有高脊出現，此時應加注意。

由於以上情況，此例結果只能作輔助預告。

以上所舉之例，限於資料缺欠(在南京本地所能得到的資料僅有 24 小時間隔的等壓面圖及 6 小時一張的地面圖，其他時間圖及各站探空資料均無)，以致工作中故障較多。很多問題不能作較深入探討或作更精確的估算，這是深爲遺憾的。此外對於降水量預告，亦曾試驗，但結果不甚滿意，故不贅述，容待以後補充。

六. 尾　語

局地降水經驗推導法不需用繁複計算，通過簡易的圖解方法，總結出在理論上與經驗上各種天氣因子的綜合作用。預告結果用幾率表示，指出了預告發生的可能性，使得使用預告者能掌握每次預告的可靠程度。藉助於一套預告圖，可以使預告質量普遍提高，不致因個人經驗不同，而使預告準確率有高低。另一方面，由於這種方法具有很强的局地性，

研究結果不能普遍應用． 其次，如不能很好地研究出有意義的變數，僅盲目運用統計的話，會算出不合理的結果；即使得到合理的結果，但我們對表達其中某一個變數或幾個變數組合的作用的更精確的數量關係還是有困難的．

參 考 文 獻

[1] Allen, R. A. & Vernon, E. M., Objective weather forecasting. *Compendium of Meteorology*, 798—801 (1951).

[2] Gringorton, I. I., A study in objective forecasting. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **30** (1): 10—15, (1947).

[3] Thompson, J. C., Progress report of objective rain forecasting research program for the Los Angeles Area. *U. S. Wea. Bur. Res. Pap.*, No. 25, (July, 1946).

[4] Vernon, E. M., An objective method of forecasting precipitation 24—48 hrs. in advance at San Francisco, Calif. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **75** (11): 211—219 (1947).

[5] Counts Jr., R. C., An objective method of forecasting winter rain for Portland, Oregon. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **77** (5): 133—139 (1949).

[6] Jorgensen, D. L., An objective method for forecasting rain in Central Calif. during the raising-drying season. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **77** (2): 31—46 (1949).

[7] Beebe, R. G., Forecasting winter precipitation for atlanta Ga. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **78** (4): 59—68 (1950).

[8] Schmidt, R. C., An objective aid in forecasting precipitation at Washington D. C., during the month of May. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **33** (6): 227—232 (1952).

[9] Laird, H. B., Forecasting precipitation on the west slope of Colorado. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **79** (1): 1—7 (1951).

[10] Angel, J. K. & Chen, C. K. (陳其恭), Final report on objective rainfall forecasting program for the Los Angeles Area, *Dept. of Met.*, *U.C.L.A.*, (Feb., 1949).

[11] Penn, S., An objective method for forecasting precipitation amounts from winter coastal storms for Boston. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **76** (8): 149—161 (1948).

[12] Williams, Jr., P., An objective method of forecasting summer precipitation at Salt Lake City, Utah. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **78** (8): 148—152 (1950).

[13] Rapp, R. R., On forecasting winter precipitation amounts at Washington D. C. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **77** (9): 251—256 (1949).

[14] Fulks, J. R., Rate of precipitation from adiabatically ascending air. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **63** (10): 291—294 (1935).

[15] Brier, G. W., A study of auantitative precipitation forecasting in the TWA Basen. *U. S. Wea. Bur. Res. Pap.*, No. 26 (Nov., 1946).

[16] Angel, J. K. & Chen, C. K. (陳其恭), Progress report on an forecasting method for the Los Angeles Area. *Dept. of Meteoro.*, *U.C.L.A.*, (May, 1948).

[17] Thompson, J. C., Rapp, R. R. & Smedyley, D., Second progress report on an objective rainfall forecasting research program for the Los Angeles Area, *Dept. of Met.*, *U.C.L.A.*, (July, 1947).

[18] Miller, S. R. & Dickey, W. W., An objective method of forecasting wintertime precipitation in Northeast Colorado. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **78** (9): 161—169 (1950).

[19] Spreen, W. C., A determination of the effect of topography upon precipitation. *Trans. Amer. Geophy. Union.*, **28** (2): 285—290 (1947).

[20] Heidke, P., Berechung des Erfolgs und der Güte des Windstärke vor her sagen im sturm warnung dient, Geogr. am. stockh., 8: 310—349 (1926).

THE COMBINED DEDUCTIVE-EMPIRICAL METHOD OF LOCAL RAINFALL FORECASTING AND ITS PRELIMINARY TESTING RESULTS IN CHINA

CHEN CHI-KUNG and COLLABORATERS

(Nanking University)

ABSTRACT

This paper gives a brief account of the combined deductive-empirical method of forecasting local rainfall. Applications of the method to three local stations rainfall forecasting in China are also presented.