

利用電子計算機做數值

劉廣英
鄧施人

天氣預報之研究(下)

叁、我國發展電子計算機數值預報之初步工作計劃

基於改進我國現行氣象預報作業的目的，擷取美國中央氣象局，及美空軍環球氣象中心，運用電子計算機作天氣分析之經驗，並考量主客觀的條件，如人力、東亞地區氣象觀測站的分佈情形，現有及可能爭取到的有關裝備……等等。預定按照：氣象資料輸入研究及校驗，數值預報圖製作研究，及氣象預報作業全部「電子計算機化」研究等三個項目，逐次進行。前二項為近、中程研究計劃。完成後，如運用安康電子計算機中心的現有設備（CDC 3300機），每日撥給一、二個小時之固定作業時間，當可實施作業。第三項為遠程計劃，須專供氣象作業，而且較大型電子計算機，如CDC 6600者，方能施行實際作業。

一、氣象資料輸入研究及校驗

資料輸入及整個作業的基礎工作，影響運算結果至鉅，諸如地圖之適當選擇，網格間隔之修正，「掃描圈」（Scans）數量及其半徑長度之訂定，估計值的妥善調配，及網格點估計值更正公式之試用等工作，非經試驗，統計分析，無法確定。

一千五百萬分之一，東亞地區藍伯投影法地圖，真實比例尺在中緯度（30°N—60°N間），即網格點間之圖上距離與實地距離誤差很小，無須修正。高、低緯度地區之網格點間的距離則須略予訂正。此種地圖，對台灣地區之天氣而言，適用於冬半年。麥卡托投影法地圖，真實比例尺在低緯度（南、北緯30度間）。在颱風季節（夏半年），和藍伯投影圖同時運用，可能具有相輔相成之功效。網格間隔誤差之修正，按下列公式，計算某一網格點與其正交四鄰近點的平均實地距離，作為該一網格的「d」值，如地轉渦旋率模式中之常數K。 $(\frac{g}{f_0 d_0^2})$

$$D = \sqrt{(N - N')^2 + [(E - E') \cos \frac{1}{2}(N + N')]^2}$$

上式D表示兩網格點的實地距離，N, N' 示網格點的緯度值，E, E' 示網格點的經度值。

區域性精密網格模式（LFM—The Limited Area Fine Mesh Model）及掃描圈數量與其半徑長度，在美國誠然運用成效良好（美國中央氣象局1971年11月22日專題報告稱），但可能是因該地區高空觀測站分佈均勻，資料充足，按照該模式所採用的掃描圈求取各網格點的資料（數值），自然相當理想。但是反觀東亞地區高空觀測站之分佈情形，及有關作業設備，運用同樣的掃描圈，未見得能獲得同等的效果。如蒙藏地區，孟加拉灣，及西太平洋上之網格點，非重新調整掃描圈數量及其半徑長度，可能無法獲得觀測報告；又如某部份網格點共用同樣的一、二個測站之資料，或某些網格點僅在某一方位上有少數測站，而某些網格點則在其四週有過多的測站，如此平均所得的網格點之資料，其差誤可能很大而且不一致，無法以同等的誤差率予以修正。為使每一網格都能獲得資料及其數值能與實際情況吻合，似須以不同半徑、不同數量的掃描圈，作多次試驗，方能裁定採用掃描圈的數量及其各種長度的半徑。

測站及網格點的估計值（approximation），係由十二小時前觀測報告（persistence）和氣候資料（climatology），按混合比率（美軍採用公式為： $a = 0.9p + 0.1c$ ）計算所得。蓋估計值之作用：

(一)作為測站上氣象要素變異的比較基數，而求出網格點上估計值的修正值。

(二)作為缺乏測站資料報告的網格點上的替用值

(三)藉氣候資料之助改正觀測資料之誤差。

故估計值計算公式混合比率是否妥善，影響計算結果至鉅，非經試驗，無法確定比率。

美國氣象單位採用之網格點估計值更正公式計有：

$$\Delta U = \left[W_{mm} \left(\frac{W_{mr} \sum W_i (U_r - U_i)}{\sum W_i} + \frac{W_{ma} \sum W_i (U_a - U_i)}{\sum W_i} \right) \right] / (W_{mr} + W_{ma}) \dots (23)$$

式中： ΔU = 估計值之更正數。

U_i = 測站估計值。

U_r = 測站觀測報告值。

U_a = 飛機觀測報告值。

W_i = 觀測報告值有效加權因子(the specific weighting factor for a given observation)

W_{mr} = 網格點所屬測站之最大加權因子。

W_{ma} = 網格點對飛機觀測之最大加權因子。

$W_{mm} = W_{mr}$ 及 W_{ma} 之較大值。

$W = \exp(-AD^2/R^2)$ 。

D = 測站到網格點之距離。

R = 掃描圈之半徑。

A = 經驗常數 = 4.0

上式摘自美空軍環球氣象中心，1969年12月22日，技術專題報告。本地區內飛機報告資料奇缺，故而(23)式改為：

$$\Delta U = \frac{W_{mr} \sum W_i (U_r - U_i)}{\sum W_i} \dots (24)$$

$$C_u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{R^2 - r_i^2}{R^2 + r_i^2} \right) e^{-a_i \sin \theta_i} (U_o - U_g) \dots (25)$$

式中： C_u = 網格點水平向分風速之更正數。

N = 掃描圈內觀測報告數。

R = 掃描圈半徑。

r_i = 網格點至測站距離。

a_i = 經驗常數。

θ_i = 測站之風向與該站至網格點之夾角。

U_o = 觀測報告之水平向風分速。

U_g = 網格點之水平向風分速。

上式摘自美國夏威夷軍民聯合氣象中心技術專題報告。(23)式與(25)式之加權因子之計算及平均方式不同，其運算結果自然各異，又其中A值是否適於不同長度之R值，及 W_{mr} ， a_i 等值，或以該二式求其他氣象要素，如氣壓高度值，溫度值等是否仍然適用，均得經由重新試驗，方能獲得答案。

二、數值預測圖製作研究

先行運用一年高空資料，試作500mb 渦旋率圖及正壓模式之12、24、36小時預測圖，以測定解決邊界值之方式，並與本軍現行菲各托夫(Fjörtoft)法製作預測圖，使用成效之比較。進而逐步由簡而繁，由單層而多層，增加斜壓與颱風等模式之試驗

。同時利用小型電子計算機，求作台灣鄰近地區500mb上下定壓層垂直運動(Vortical Velocity)趨勢，作為正壓模式圖的修正參數。

LFM網格之邊界值，在美國可運用PE模式預測值解決，而我們目前的設備無法獲得該項資料。解決此一問題的途徑：試捨去邊界上部份網點之預測值，或以現在資料代替，或運用美軍七十二小時傳真預測圖之趨勢值，經內插替代，或以鄰近之內圈網格點之趨勢變化值，比照現在值修正使用。

據空軍氣象中心按菲洛托夫法製作預測圖的經驗，其結果常常較實際情形差異很大，究其原因：(一)可能是空氣垂直速度殊異所影響，如視當時垂直速度之程度予以修正，當有所補益其成效；(二)可能是人為的因素，以人工做天氣圖分析，再以圖解法作出預測圖，往往欠客觀，而導致差誤。運用電子計算機製作，當可消彌此項缺點。

三、氣象預報作業全部「電子計算機化」之研究

此項研究，非本題討論範圍之內，但其中部份作業，可於數值預報電子計算機作業中附帶製作，並不佔用過多的時間，而且有助於爾後之研究，不必重新修改程式。故列為本研究之遠程計劃項內。

電子計算機代替人工作業後，可以爭取時效，預報員有充分的時間，運用較多的因素作預報分析。空軍氣象中心現行以人力製作各種天氣圖表，每天共六十七張，雖運用最大容量的人力繪製，亦須於資料時間之後六到八個小時，方能完成。有時據以作天氣預報的圖表尚未完成，而影響本省天氣轉變之氣壓系統早已通過。工作人員每因忙於繪製圖表，對資料的運用無法充分地利用，更深入地瞭解影響本省天氣變化的因素。如能自氣象觀測報告電碼之接收編審，迄各種天氣圖表之製作，以電子計算機替代人力，不但能爭取時效，且能發展對天氣預報更具價值之作業，如增繪地面壓溫圖，24小時氣壓變遷圖，斜溫圖及各種垂直剖面圖等等。

肆、結 論

本計劃雖係根據主客觀條件所擬定，但仍一本「迎頭趕上」，及「向下紮根」的大原則。我們知道科學工作如蓋大廈，不可平地而起，即在功利原則下，亦需在基礎上下功夫，如此才能將新方法連根移入，而後才能開花結果，長成屬於自己的東西

。所以在計劃中我們先由實驗入手，而後才進入實做階段。我們希望此種腳踏實地的做法，能做出一些成果。不過，由於我們學識及經驗均甚不足，尚

望先進學者隨時賜予協助，羣策羣力將此重大工作做好。(完)

參 考 資 料

- (1) L.F. Richardson, 1922: Weather prediction by numerical process. Dover Publications, Inc., New York.
- (2) J.G. Charney, 1948: On the scale of atmospheric motions. Geofys. Publikasjoner, 17.
- (3) G.J. Haltoner, 1971: Numerical weather prediction. John Wiley & Sons, Inc.
- J.R. Holton, 1972: An introduction to dynamic meteorology. Academic Press New York and London.
- P.D. Thompson, 1961: Numerical weather analysis and prediction.
- (4) J.D. Stakpole, 1971: Operational prediction models at the National Meteorological Center, Development Division, NMC, U.S.A.
- 劉廣英改寫：美國中央氣象局數值天氣預報模式・氣象學報・62.6.
- (5) J.N. Krishnamurti, 1969: An experiment in numerical prediction in the equatorial latitudes. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 95, 594-620.

其 他 參 考 資 料

- Fine mesh upper air analysis model. USAF, Global Weather Center, 1969
- The Limited Area Fine Mesh Model. NMC, U.S.A.
- Tropical wind and temperature analysis. USAF, Global Weather Center, 1969
- H.A. Bédient & J. Vedarman, 1964: Computer analysis and Forecasting in the tropics. Monthly Weather Review, Vol. 92, No. 12, 565-578

氣 象 通 信 常 用 簡 字

FT: file time 編發時間。

GBLD: garbled 干擾。

KGWC: American Globe Weather
Central 美國環球氣象中心。

MANAM: manual of amendment
手冊修訂。

MANOP: manual of operations 工作手冊。

NCS: network control station
通信網控制站。

TYPNO: 通信裝備故障。

TYPOK: 通信裝備已修復。

WWAS: weather warning Asia
亞洲地區天氣發佈。