

494996

世界名著

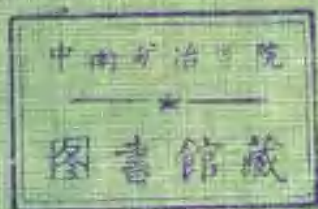
數值預報新論

岸保勘三郎博士著

戚 啓 勳 合 譯
周 明 德

徐明同博士校訂

國家科學委員會補助
國立編譯館出版



維新書局印行

47



數值預報新論 全一冊
(新臺幣78元)

中華民國六十三年五月初版

著者……岸保勸 三郎
譯者……戚啓勳 合譯
周明德

國家科學委員會補助

譯權所有人……國立編譯館
內政部登記證內版臺業字第一一二一號

發行所：維新書局

臺北市懷寧街一〇二號
郵儲劃撥六一八五號

印製者：維新印刷廠

譯者序

近世氣象學有兩大驚人的發展，為舉世所公認，一為氣象衛星的問世，它能俯視全球，一覽無餘，擔任過去難以想像的觀測工作；另一發展則為電子計算機幫助解決了極端繁複的計算工作，使天氣預報能以力學為基礎，用數學方程得到客觀的結果。這就是現代氣象學者極端重視，並且寄以無限希望的「數值預報」。

在1950年代將終到1960年代開始，各科學先進國家都已經從事數值預報，將由此得到的大幅度預測天氣圖作為預報的初步依據。最初成績並不十分理想，但由於電子計算機的進步神速，使得考慮的因子不斷增多，現在大幅度預報已能切合實際應用，目前的工作無非在謀求模式的改進和預報時間的延長而已。

學習數值預報既然是以氣象力學作為基礎，和現時一般僅憑主觀判斷的經驗方法大不相同，想要使我們的天氣預報也走進數值預報的大門，先決條件要使預報人員在觀念上有所改變。現在數值預報雖然已經是各大學有關氣象科系必讀的課程，但國內到現在却還沒有一本中文教科書。美國近年來雖然也出版了幾本數值預報的專書，但內容並不十分適合於國內大學高年級生應用，或者份量太重，或者過於艱深，而且所舉示例都在美國，和東亞的實際情況頗多出入。

本書為日本東京大學唯一氣象學教授，且專攻數值預報的理學博士岸保勘三郎所編著，1968年初版，1970年再版，為風行日本的

一本權威著作。其內容及份量對大學高年級生、研究生、以及現時擔任預報工作的專業人員都很適合，說理淺顯而切實用，舉例都是東亞的情況，對國內讀者倍增親切之感，直接可以應用，故而可稱爲一本難得的數值預報入門書。

另一方面，由於現時大學生大都未習日文，無法直接閱讀本書，所以採用此一譯本作為基礎，再參考一兩本英文的數值預報新書，必可獲得最佳的研讀效果，使我國早一天開始從事數值預報。

話雖如此，本書也有不少爲原作者疏忽或手民誤植之處，經徐明同博士細心核閱時所發現，已予一一更正。徐博士精通日文，且爲國內有數之數值預報專家，擔任本書校閱，最爲恰當。全書譯成，再經從事預報之優秀人員謝信良君詳細閱讀一遍，提出不少問題供譯者修正，謹此一併致謝！

最後，本譯書如能有助於我國數值預報工作的開始，實屬萬幸！

戚啓勳 序子
周明德

民國六十二年九月

目 錄

頁 數

作者序

譯者序

第一章 數值預報發展史

- 1.1 數值預報的定義····· 1
- 1.2 李却特遜的構想····· 1
- 1.3 氣象力學的新時代····· 2
- 1.4 數值預報的應用····· 3

第二章 大氣的擾動

- 2.1 長波····· 5
- 2.2 運動方程和地轉風····· 10
- 2.3 數值預報的原理····· 13
- 2.4 渦度····· 25

第三章 正壓大氣

- 3.1 渦度方程····· 39
- 3.2 渦度的預測····· 42

3.3 定壓面高度的預測	45
--------------	----

第四章 客觀分析

4.1 觀測資料的自動處理	55
4.2 客觀分析	56

第五章 大氣的立體構造 (一)

5.1 渦度的立體分佈	59
5.2 上升氣流和下降氣流	62
5.3 上升氣流的求法	67

第六章 大氣的立體構造 (二)

6.1 三度空間的渦度方程	79
6.2 厚度和溫度場	86

第七章 低氣壓的發展

7.1 槽和上升氣流	91
7.2 低氣壓的發展和高空渦度的關係	97
7.3 低氣壓發展的機制	102

第八章 斜壓大氣

8.1 兩層模式	113
8.2 兩層模式的渦度方程	116
8.3 兩層模式的數值預報	125

第九章 考慮水汽的預報

9.1 濕空氣的熱力學	139
9.2 厚度的預報方程	147
9.3 預報的實例	153
9.4 考慮顯熱的預報	161

第十章 多層模式的72小時預報

10.1 四層模式	167
10.2 預報的計算過程	169
10.3 摩擦和輻射	171
10.4 四層模式的72小時預報	177

第十一章 大氣擾動的幅度

11.1 大氣現象的幅度	191
11.2 小幅度擾動	193
11.3 不同幅度波的干涉	197
11.4 雜波的處理	199
附錄一	203
附錄二	207
附錄三	212
附錄四	216
附錄五	219
附錄六	221

附錄七	223
中文索引	227
英文索引	233

第一章 數值預報發展史

1.1 數值預報的定義

「數值預報」(numerical prediction) 這個名詞在不知不覺中被氣象界所引用。事實上，數值預報作為氣象上的一個專用名詞，却很容易被人誤解。因為應用數值計算推斷未來情勢並不限於氣象學，其他像：潮汐的推算、人造衛星軌道的預計、以及有關地球內部地震波傳播的計算等等都是，實在多得不勝枚舉。

數值預報的主要目的就是要利用氣象力學和熱力學的原理來預測大氣中的擾動(例如高氣壓及低氣壓)。由於大氣的運動方程非常複雜，不得不仰賴數值計算法，數值預報這個名詞於是才被普遍使用。在歐美，大都稱它為：「大氣擾動的數值預報」(numerical prediction of atmospheric disturbances)；中國和日本則簡稱為「數值預報」。

1.2 李却特遜的構想

數值預報的最早文獻當推李却特遜(L.F. Richardson) 所著的「天氣預告數值法」(Weather Prediction by Numerical

Process)，1922 年英國劍橋大學出版。書中已提出具體的數值預報方法，和我們現時所用者大致相同，只不過當時還沒有高空觀測，故而僅應用地面資料。李氏在書中曾提及：「假定將來氣象觀測並不局限於地面，而能擴展成三度空間，那末在原則上我們就可以預測未來氣壓系統和溫度的分佈等等。」李氏還想出辦法來處理「幾乎無法計算的龐大數值」。如果用算盤來計算 24 小時的預報數值，所耗費的時間必須以年為單位。

自此以後，李氏的構想並未受氣象界所重視，直到 1930 年代的後期，高空觀測逐漸發展，大氣上層情況漸為我所瞭解，這樣才重新又考慮到李氏早年的構想。

1.3 氣象力學的新時代

1930 年代的後期，來自瑞典的美國氣象學家羅士培 (Rossby) 應用當時在美國觀測的氣球觀測資料，發現高空中有一種自西向東移動的「長波」 (long wave)。這種波的波長大約有數千公里。羅氏認為這種波的移動可以應用氣象力學的原理加以「定性」說明。此後，我們就稱這種波為「行星波」 (planetary wave) 或「羅士培波」 (Rossby wave)。

再進一步加以研究，發現這些行星波的移動，和地面高低氣壓移動的關係非常密切。這種「定性」的知識，反過來說，使我們相信想要瞭解地面高低氣壓的移動和興衰，必須研究高空長波的移動，由此乃使數值預報的觀念更為具體化。

當時，蘇俄的基伯爾 (Kibel) 曾發表利用整個北半球資料製作

地面氣壓及溫度 24 小時數值預報的實例。不幸，這一年（1940）正好二次世界大戰爆發，各國氣象學者不能交換研究心得，以致基伯爾的成果無法為外界所獲悉。事實上，很可能基氏就是發表數值預報具體成果的先驅。

由於上述兩項發展，才使數值預報到了 1940 年代後進步得很快，但主要的推動力還在於電子計算機的發明。當初不管是羅士培一派還是基伯爾一派，所用氣象力學的原理，都基於一種「假定」，使數學公式簡化，以便於用人工計算。有了電子計算機之後，預測方程即可更為精密，數值預報才算步入正軌。到了 1940 年代的後期，李却特遜的兩項構想：充實高空觀測網和減少數值計算的勞力，終於次第解決。

僅僅解決這兩個問題並不能算是所有的問題全部解決。羅士培波（長波）的發現和羅氏的「長波運動理論」，後來由美國氣象學家却耐（Charney）發表「論大氣擾動的預報原理」予以證實，世界各國的學者隨後又有許多理論上的研究，才使氣象力學邁進了一個新時代。

1.4 數值預報的應用

1946 年秋季，美國普林斯頓高級研究所的數學家馮紐曼（von Neuman）和羅士培（當時為芝加哥大學氣象系主任）合作，使電子計算機開始擔任數值預報的實際作業。後來由挪威深造返美的却耐正式擔任研究主任，此項發展才算步入正軌。當時，數值預報的研究工作集中在普林斯頓高級研究所，由却耐領導的研究小組稱為「普林斯

頓小組」。1950年首次採用「ENIAC」小型電子計算機，從事大氣中層離地約六公里處氣壓的數值預報。根據當時的記錄，製作24小時預報所需的計算時間就要24小時。

就實用觀點來說，像這樣的計算自然沒有預報意義。因為得到預報結果的時候，新的實測資料已經收到，可見它毫無實用價值。但以「可能發展為預報上實際應用」的眼光來看，却深為國際間理論氣象學家所重視。

1950年最初應用的ENIAC小型電子計算機，記憶容量只不過20個，加算速度每秒1000次左右。但在1950年以後，由於電子計算機不斷改進，到了1952年，記憶容量已為最初ENIAC的50倍。上面所講大氣中層氣壓型的24小時預測，只消一小時即可算出。日本氣象廳1959年四月設置的大型電子計算機「IBM704」，上述簡單計算僅需六分鐘即可完成。

以上簡單介紹數值預報的發展經過。數值預報如今已成為大多數氣象機構從事天氣預報不可或缺的一種工具。各國專家學者近年來不斷加以研究改進，所用電子計算機的容量更大而速度也更快。

第二章 大氣的擾動

2.1 長波

大氣中的擾動有很多種類，從傳播很快的音波一直到每日天氣圖上所見向東移動非常緩慢的高低氣壓。其間尚含有積雲性的局部擾動，幅度僅約數公里。

在理論上，所有擾動都應該是預報的對象，但現在的數值預報却僅着眼於像高低氣壓那樣規模較大的現象。因此，本書並不討論所有的擾動。

(一) 地面天氣圖和高空圖

每日地面天氣圖上有許多高低氣壓接踵出現，通常約以每天 10 個經度的速度向東移動，這是從經驗得到的大概情況，事實上並非所有場合都每天東移 10 度，有時向東北東方向進行，有時則東進的低壓漸趨發展或消滅。數值預報就是要「有系統地」說明這些現象。

圖 2-1 是春季地面天氣圖的一次實例。九州、四國一帶有一個低氣壓早一天在東海誕生；日本東方海上則有一高氣壓。從圖 2-1 可看出：地面天氣圖是何等地複雜，那麼同一時刻的高空圖又是怎樣呢？近世高空圖大都採用定壓面圖，即氣壓面 850、700、500、及 300 mb（毫巴）等的高度，用（重力位）公尺表示。下面將討論高

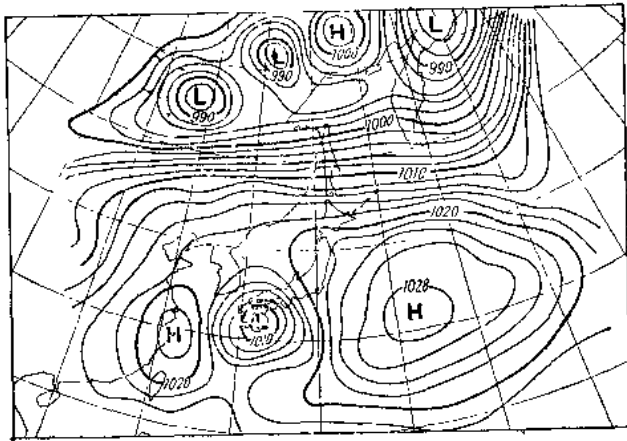


圖 2-1 1965 年 4 月 13 日 21 時的地面天氣圖

空定壓面圖和圖 2-1 上所表現地面氣壓系統的關係。

一般來說，高空圖比較簡單。圖 2-2 是和圖 2-1 同一時刻的 500 mb 高空圖。圖中等值線是氣壓面的高度。例如 5640 表示

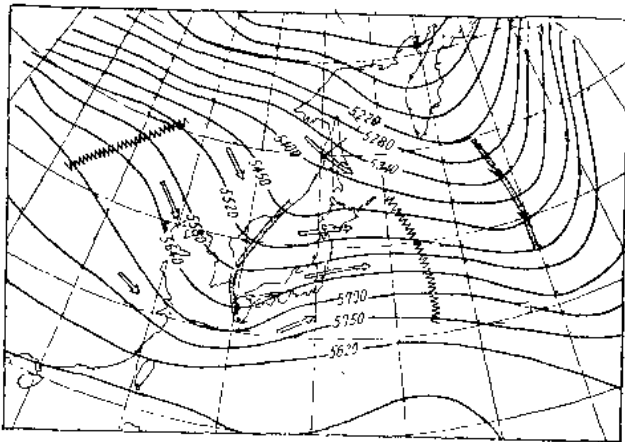


圖 2-2 1965 年 4 月 13 日 21 時的 500 mb 圖(箭頭示氣流方向)

500 mb 面上 5640 (重力位) 公尺的等高線。此種高空圖上的高度 Z ，我們稱它為「定壓面高度」。

高度低的地方相當於低氣壓，高度高的地方相當於高氣壓。圖 2-2 內，高度最低處連線就成為槽 (trough) 線 (粗線)；高度較高處連線就成為脊 (ridge) 線 (鋸齒線)。

圖 2-2 內可看出：自海濱省經韓國到九州有一條很明顯的槽線；另外一條槽線則在東經 170-180 度之間。這兩條槽的相距以北緯 30 度來說，大約相當於 50 個經度 (約 4000 公里)。

(一) 高空槽和地面低壓

比較圖 2-1 和圖 2-2 立刻知道：高空槽的前方有地面低壓存在。韓國上空的槽線和圖 2-1 內九州、四國一帶的地面低壓相呼應。東經 170-180 度附近的槽線前方，地面也有低壓出現。圖中箭頭表示高空氣流的方向。

以大範圍而論，地面天氣圖上的低壓系和高空槽線相配合。此種概略形勢，實際上應該稱為「大幅度現象」。較小幅度現象在每日地面天氣圖上也能出現。但較小幅度的現象却和高空槽不能配合。

總而言之，圖 2-2 表明高空大幅度槽脊和地面低壓及高壓系統相配合。數值預報主要就是要討論這些大幅度槽脊的運動。

(二) 大幅度擾動

高空槽脊顯示的擾動，稱為「大幅度波」。前面曾指出，此種擾動係羅士培所發現，所以又稱為「羅士培波」，或「行星波」，也可以稱它為「長波」。這種長波究竟有多少長呢？在圖 2-2 的實例中，500 mb 面上槽和槽間相距約 4000 公里。通常以槽和槽間的距離作為擾動的波長，那末圖 2-2 內長波的波長大約為 4000 公里。

圖 2-2 代表亞洲地區的一個實例。假定以整個北半球幅度來看，高空氣流又是什麼形態呢？圖 2-3 是和圖 2-2 同一時刻的北半球 500 mb 圖。圖內可發現整個北半球都有像圖 2-2 內的蜿蜒氣流。此種蜿蜒氣流以北極作為中心。

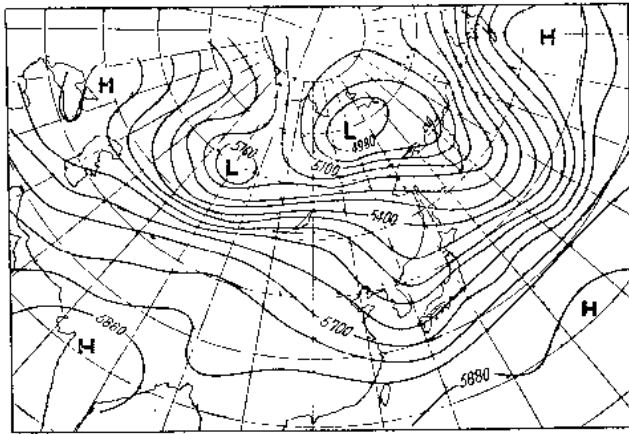


圖 2-3 1965 年 4 月 13 日 20 時 (12z)

北半球 500 mb 面上高度 (單位公尺)

今以傅立葉級數 (Fourier Series) 作此種氣流的波數分析。設緯度 φ ，高度為 Z ，對經度 λ 作傅立葉級數分析，通常可寫為：

$$Z(\varphi, \lambda) = Z_0(\varphi) + \sum_{n=1}^{\infty} Z_n \cos(n\lambda + \delta_n)$$

式中 $Z_0(\varphi)$ 為緯度 φ 處 Z 的平均值。 n 為波數， Z_n 為振幅， δ_n 為相角 (phase angle)。假定波數 $n=1$ 時， $\lambda=0^\circ \sim 180^\circ E$ ， $\lambda=0^\circ \sim 180^\circ W$ ，高度 Z 的符號則彼此正好相反。設地球半徑為 R (≈ 6370 公里)， $n=1$ 在北緯 40 度處的波長為

$$L = 2\pi R \cos\varphi \approx 30,000 \text{ 公里 } (\varphi = 40^\circ \text{N})$$

因此，圖 2-2 內波長 4000 公里的波，相當於波數 $n = 7$ (整個緯度圈有七個波時的波長——譯者註)。

圖 2-3 的高度 Z 沿 $\varphi = 30^\circ \text{N}$ 的緯度線上進行傅立葉分析時，

振幅 Z ，當為圖 2-4 所示。

此例之振幅以 $n = 2-7$ 佔優勢。這種振幅對波數 (n) 的分佈，每天都在變動。圖 2-5 和圖 2-6 分別代表春秋季以及冬季經常出現的型式。圖 2-5 內，以波數

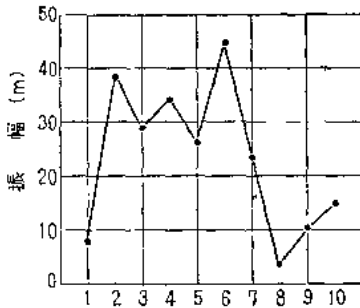


圖 2-4 北緯 30 度 ($\varphi = 30$) 切面上高度 z 的波數與振幅。

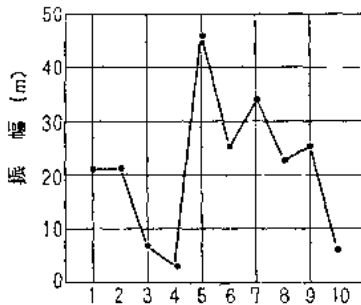


圖 2-5 1965 年 10 月 1 日 21 時 $\varphi = 40^\circ \text{N}$ 沿高度 z 的波數與振幅。

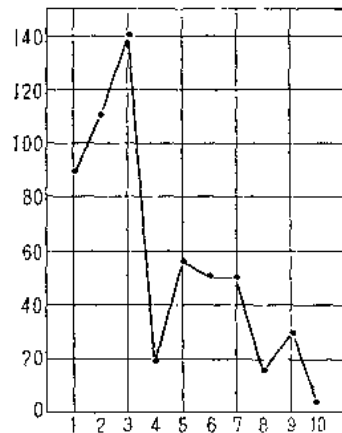


圖 2-6 1965 年 2 月 3 日 21 時 $\varphi = 40^\circ \text{N}$ 沿高度 z 的波數與振幅。