



國防科學——解決天氣預報之新觀念 黃惟敬

The Organizational Solution of Weather Prediction

氣象這一門科學雖只有近百年的歷史，但自二次世界大戰以來，已有了長足的進步，配合航空器的改進與太空的發展，在資料收集、傳遞、觀測儀器方面皆在不斷的研究改進。

研究氣象最終的目標不外準確的預報天氣及局部的控制天氣。晚近，因電子計算儀的發明，使複雜的運動方程能夠得到相當接近的解決，因而有數值天氣預報的發展。但是此種預報方法，僅能適用於大範圍，不受摩擦及局部影響的高空，如果應用於地面系統之預測則所受限制甚多，準確性較差。

因此，我們除確實認識各種預測法的性質及預報範圍的大小，在理論上探討其相互間的關係以後，如果能夠適應氣象服務對象的要求，則我們預報天氣的組織亦將因而改變，完成分門別類的天氣預報。

「加拿大天氣勤務預報系統」即根據上述的新觀念組成，該系統成立於一九六三年，有三個主要的部門，即「分析中心」，「氣象中心」及「天氣室」，所負的任務分別為：長期、中期及短時天氣預報，預報期限之分類以天氣現象之自然範圍為依據，另設特殊天氣單位，處理如結冰預報等特殊問題。

氣象勤務乃處理複雜的問題，天氣觀測、資料收集處理、通信傳遞等，為一科學知識之龐大組織，因而需要逐步的獲得解決，簡言之，氣象作業最需要者為一預報體系。

如何設計此一體系，有賴於對預測法的性質及大氣物理性質之探討，然後針對研究之結果設計一合理的組織。

一、預測之性質

魏萊特 (Willet) 及加拿大氣象勤務之李羅 (Roy Lee) 曾使用天氣預報之術語說明預測之主要性質，即

- | | |
|-------------|-------|
| 1. 真正的問題何在？ | 辨明問題。 |
| 2. 何為天氣？ | 資 料。 |
| 3. 為什麼有天氣？ | 體 系。 |
| 4. 未來天氣如何？ | 預 報。 |

現在分別予以解釋。

1. 真正的問題何在？

據魏萊特說，「近年來基本的天氣預報未有長足的進步，主要原因可能由於未曾真正獲知問題之重要性質。」這是很明確的認識，因之，解決天氣預報問題第一步應為「辨明問題」。

2. 何為天氣？

氣象要素說明天氣的狀況及反應天氣過程之改變，我們需要這種氣象要素的報告與知識。事實上，各國的氣象勤務均在努力維持報告網以及設計新式觀測系統即對此問題之直接回答，故我們次一需要即為「資料」。

3. 為什麼有天氣？

我們應在物理數量方面解釋所有的天氣現象，或是對大氣行為有所瞭解。此種瞭解可藉理論及模式（如現在數值預報所使用的各種模式）連絡個別的事實，成為結構完整一貫的型態。簡言之，我們需要「體系」。

4. 未來天氣何如？

未來天氣如何，即為預報天氣。我們能瞭解何為天氣及促成天氣行為之原因始能獲得圓滿之答案。

從以上四個問題之分析，我們可稱天氣預報乃對問題之解決或裁決「包括四個步驟——辨明問題、資料、體系及預報」解決天氣預報問題與解決人類一般之問題相同，我們應因地、因時而使用不同之預報方法。

二、預測方法

這裡所指的預測方法乃是人類對一切事件所採取的方法，當然我們預報天氣也不會出其範疇，布羅斯 (Bross) 曾將預測方法分為五類，聯合使用此五種方法而使預測成為可能者，預測方法之可行於天氣預報，乃因大氣中存在著一種或數種具有穩定性之氣象因素，所謂穩定性即為在一段時間內持續不變之性質。

第一種方法為持續性預測。

首先假定預測之對象無變化或某種形態為穩定

者，如此預測未來之事件僅需敘述最近之情況即可。其明顯的限制為僅能應用於相當穩定或變化緩慢之情況，譬如股票市場中能預測其變化始可賺到錢。然而持續性仍為許多良好預測系統之基礎，包括保險公司所用之方法，如壽險表即根據死亡率雖不為一定之常數，但隨時間及其因素變化甚微之事實製成。

第二種為趨勢法。

趨勢法亦稱外延法，假定趨勢乃穩定者，然後應用已知之趨勢預測未來。短時間內，趨勢能以持續，常可獲得良好之結果。如應用於較長時期之預測，常會遭遇重大之失敗。此法應用於砲兵砲火之管制，短時天氣預報及估計人類居民之數量等。

第三種方法為周期法。

此法之基本假定為歷史可以重演，或事件之周期為穩定者，此法曾用做彗星折返之預測、太陽黑子、蟲災、氣溫之日變化及文化之過程等預測。使用周期法需要甚多之資料。比較這三種方法所需之資料，持續法僅需最近之事件發生資料；趨勢法需要較短時間內之歷史資料；而周期法則需要過去全部之資料。

第四種方法為結合法。

結合法與其他方法不同之處為應用一種事件預測第二種事件，有時包括時間之落後。此法假定二種事件間有穩定之關係。結合法有兩種：統計結合法與物理結合法。二者之分別為物理結合基於物理理論上之穩定性，但統計結合可能不含有物理之關係。二者中，物理結合法較有用處，因其基於自然定律之穩定性。

第五種方法為類似法。

此為最有效之預測法，乃基於二組事件之相關。譬如一組事件甚為簡單，因我們之熟習而可以預測，然後假定此種預測之類似性可用於第二組事件。類似法所依據之穩定因素為物理理論所相關的事

運動範圍	輻散 (Sec^{-1})	羅斯貝數 (R_o)	範圍		觀測範圍
			空間	時間	
全 球	$<10^{-5}$	10^{-1}			
天氣圖範圍	$10^{-5}-10^{-3}$	1	>1000 公里	數日——週	500公里
中 範 圍	10^{-4}	10^2	100—1000公里	數日	100—500公里
小 範 圍	10^{-3}	10^6	5—10公里 公尺	小時 秒—分	5—10公里 公尺至公尺

*天氣現象之範圍，水平輻散平均值 (Sec^{-1}) 及羅斯貝數

件。類似法可分為二種：數學類似法及物理類似法。如在風洞中實驗模型飛機以預測飛機之性能為物理類似法；數學類似法為理論類似法，包含數學模式或理論之探討，方程之分析或數值的解答，然後應用其結果解釋現實世界中之事件，近代數值天氣預報即屬於此種方法，已被證實為天氣預報不可忽視之邁進。

上述五種計算未來事件之主要方法簡列於下表中：

預測方法	穩定因子	所需資料
持續法	狀 態	最近之分析
趨勢法	狀態趨勢	過去短期之分析資料
周期法	周 期	完整之歷史資料
結合法	統計	統計關係 很多資料
	物理	物理關係 適當之資料
類似法	物理	物理理論 適當之資料
	數學	物理理論 適當之資料

*預測方法或可謂計算方法。

每一種方法有其適用的期限，並無一種方法可圓滿的應用於全部問題上。最佳之方式為混合應用，以減少困難及增加成效為選用方法之原則。

三、天氣預報問題

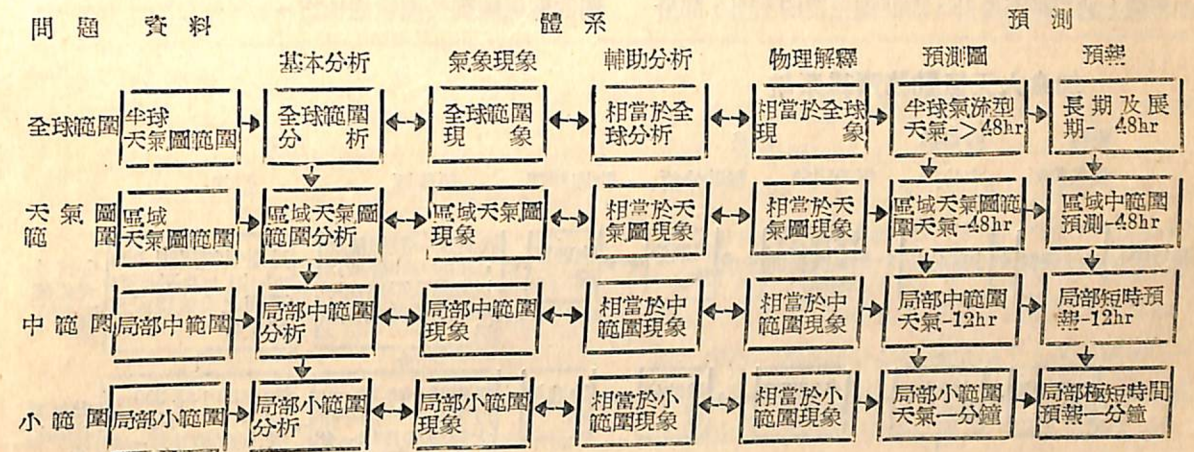
我們應根據氣象現象之特性應用上述一般原則於天氣預報之特殊問題上。我們目前觀測者為天氣之連續現象，最佳之法為用時間及空間為尺度將天氣現象分類，例如連續的電磁帶亦可分為X光、光波、無線電波等分別研究。恰當之分類應使每一類有其可覺察之不同性質。

因之，氣象現象可分為四大類，即全球、天氣圖範圍、中範圍及小範圍，如下表：

全球範圍包括大氣環流型態及主要環流之控制，其時間尺度為數日至一週。其物理範圍超過一千公里。天氣圖範圍包括氣壓波、氣旋、反氣旋、界面、氣團及主要的界面雲系，其範圍由百公里至一千公里，其時間範圍約一至二日。中範圍，亦可稱為次天氣圖範圍，包括有組織的對流雲，龍捲風，局部風系，此種現象可由特別觀測，中範圍氣象觀測網及雷達等發現，其特性範圍約在五至十公里，時間範圍為一小時。小範圍包括局部之小氣象天氣要素，範圍約在一公尺，時間範圍為數秒鐘至一分鐘。

各類天氣現象彼此間有重要之相關，即每一種較小範圍之現象在地理分佈上被次一較大範圍之現象所局部控制。例如天氣圖範圍之海平面系統之位置即可由主氣流之位置決定之。更因每一現象之範圍不同，我們需要不同之觀測系統及儀器，不同的分析方法及不同形式之理論與原則而處理資料。因

天氣預報



由表中之說明可知不相同的氣象資料之分佈的合理依據。

天氣預報常常受到指摘，我們可以從各種天氣現象之穩定特性、資料限制、原理、模式、方法之不確方面檢討，是否可能得到準確的天氣預報？除非我們對準確度給予恰當的定義，否則永遠不能滿足使用天氣預報者的要求。一般人民評判天氣預報乃依據實際的天氣觀測，所以準確度一定要與實際發生的情況相關聯，至於其他的客觀及定量準確度僅對有數的專家們而設。

因之，對未來天氣之準確預報，必須涉及中範圍及小範圍之現象，否則即不準確。例如在一停留

之，預測每一範圍之現象需要適當之方法解決個別的次要問題。

上述之次要問題可由大氣運動之自然範圍而定，如下表所列之四主要基本預測法——問題、資料、體系及預報，表中四直行之標題述及每一次要問題可能之解決法。表中左方第一行為大氣現象之範圍，第二行將全部氣象資料根據其現象分為數組，資料之進入即以此為據。半球資料屬於全球範圍之內，區域天氣圖資料用做解決天氣圖問題。同時，局部中範圍及小範圍資料亦有相同的安排。完成體系之程序亦有四個附屬步驟，每一步驟在預測法中皆為重要——基本分析、分別現象、輔助分析及物理解釋。由此，預測圖及天氣預報之分類可依現象之特殊範圍而定，表中垂直方向之箭頭表示分析、預測圖及天氣預報之程序，表示其時間與空間必要的相關性。

的氣團中，可以應用周期法預測24小時氣溫之日變化趨勢，而得到對流雲形成及消散之大致時間，但是應該明瞭除非雲塊在一分鐘或半小時內生成，否則我們無能力預報每一塊雲實際生成的地方及時間。

我們預測不同時期天氣現象之能力可以列表表示之，如下表：

	秒—分	小時	1—2天	數日——週
全 球 範 圍				米
天氣圖範圍		米	米	米
中 範 圍		米		
小 範 圍	米			

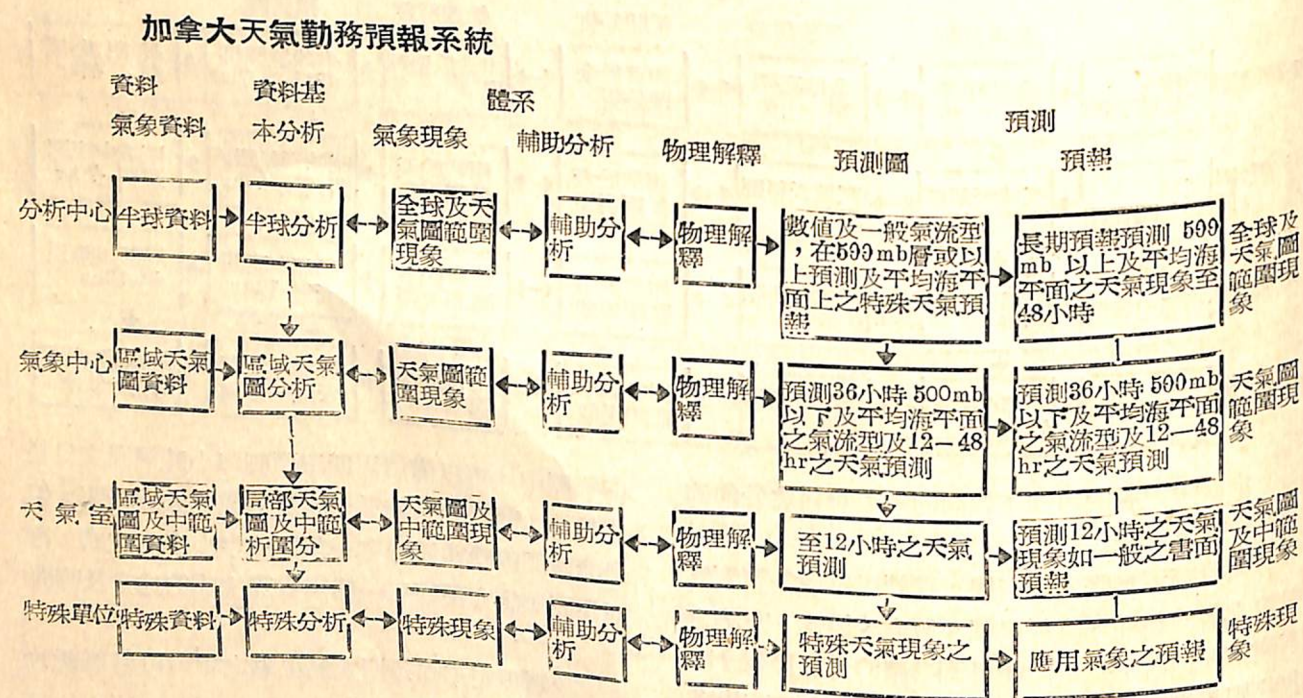
對不同時間範圍準確之預報所需之時間。表中米表

示每一現象之地理範圍在原則上可能在此時間內準確的預測。

如果預測期限為數分鐘則完全有賴於我們小氣象的預報能力。預測期限為數小時，則有賴於我們中範圍及局部天氣圖範圍之預測能力。但是對中範圍之預測不可能完全準確的預測。如果預測期限遠超過任何當時存在的中範圍及小範圍現象之持續時間，則必須依賴天氣圖範圍之研判。超過二日之預報即需考慮全球及天氣圖範圍之現象。同理，除非預測天氣圖範圍之現象有極大之關聯，否則不可能預測中範圍及小範圍之天氣。由上表亦可知道為什麼預報期限越長，預報即越不準確。根據表中之說明可以在原則上決定如何由資料在質量上之改進及分析、診斷、理論、計算、物理解釋等之改進，以期增進預報之準確度。

四、加拿大天氣勤務預報系統

加拿大天氣勤務預報系統成立於一九六三年，即根據上述原理而設計，有四種主要的部門，即分



此種根據天氣範圍而定的預報職責分類需要不同之資料，原理及方法，因之，系統內各部門間需有內部作業計劃以期解決已經分類之預報問題。同時，此種內部計劃必須彼此不相矛盾，而且與天氣之行為相符合。所謂符合即認為每一種天氣範圍主宰其中小範圍之天氣。

析中心、氣象中心、天氣室及特殊單位。前三機構之主要任務為長期、中期及短時預報，相當於全球、天氣圖範圍及中範圍之預報。但其任務區域並非完全清楚的劃分，而區域間相互重疊。適當的任務安排可使系統內各機構間同時完成其共同之目標，減少區域之重疊。第四種機構為特殊單位，處理特殊問題，如結冰預報，高空航行服務，或可能在未來實現之任務——對農村社區之小氣象預報。

下表為加拿大天氣勤務系統之組織。說明任務之分配，對預報問題之共同目的，以及系統內各部門間資料及分析之往來利用。表中第一行為各機構原始資料之輸入（橫箭頭所示），基本分析圖之交換如左方垂直箭頭所示。預測圖之輸出如圖右所示，由預測圖所得之天氣預報必須存留於天氣室及特殊單位，此二單位負責書面預報，但供應使用者的預報可由天氣室及特殊單位負責繪圖表示。

系統內每一種當時及預測的原始資料皆應根據理論原則建立的方法及已知之大小不同的現象範圍間的關係陳列於適當的地方。

五、結論

負責天氣預報之單位乃為一有機實體，隨科學之進步，資料傳遞系統及新技術之進步，以及供應對象要求之刺激而具有成長及發展之能力。但是我們的基本觀念——即大氣現象的自然範圍及合理的問

題解決趨向將有希望完成氣象服務——不應改變。

我空軍氣象部隊近年來在氣象服務方面曾有輝煌的成就，尤其對天氣圖範圍的天氣預報技術上有很多的研究所，過去經驗之累積使我氣象部隊的天氣預報單位能發掘特殊的問題予以解決。譬如颱風之預報，寒流之爆發，東海低壓之發生，舉凡屬於天氣圖範圍之天氣現象皆有能力預報，而且獲得良好之成果。

至於屬於全球（或半球）範圍之天氣預報，正如上文所述，直接局部的主宰天氣圖範圍內之天氣，氣象中心亦曾在萬分困難的情況中設法繪製北半球天氣圖及接收日本氣象局的北半球天氣圖傳真，因而獲知半球性之天氣情況及其未來之發展。除預測較長時期之天氣狀況以外，天氣圖範圍之天氣預報亦因之而能更為加強。不過此種全球範圍之天氣資料得來不易研究之理論及預測技術尚有待發展。

基於我目前在台澎金馬地區之氣象服務情況，天氣圖範圍內之天氣預報固然重要，但是中範圍之天氣預測更為重要。我們可以將我空軍氣象部隊所

（上接第二十五頁）

含量的分佈情形（6.4至6.9微米）

衛星追蹤，是由遍設全球各地轄有16個追蹤站的太空追蹤和資料需求網，以及其他機構所組成。所有貯存的照片和地球熱平衡的輻射資料，均傳送到設在阿拉斯加州Fairbanks和北加羅林那州 Reisman 資料站，資料站立即又用無線電傳播到戈達（Goddard）太空飛行中心，以爭取時效而利分析及運用。

另一由寧巴斯二號所作的重大試驗，就是播送衛星每天的軌道情況到 APT 站，左每張照片的左方用電碼把軌道情況打出，地面操作人員，從航空太空總署預先所製的說明書上，就可以算出衛星每一軌道到達當地的時間，和天線所指的角度。如果這項試驗證明成功，則每週用無線電打字機所發佈的軌道通報（如像寧巴斯一號所用的），將可省去。寧巴斯一號，在 1964 年發射，雖然工作時間很

（上接第十頁）

則波動可望於十二小時內生成。

（b）南支槽自西藏高原東麓移出之速度，每日約六個緯度。約二、三天可移至台灣，然後根據香港

列之當地天氣預報屬於中範圍之預報中。一次天氣圖範圍之天氣現象發生，必須考慮其對每一特殊地區之不同影響程度。例如一次界面過境，以台灣北部而言，絕不可能有相同之天氣現象發生於不同之地區。同時在一致的氣團影響之下，台灣各地的天氣亦不相同。過去曾有當地天氣客觀預報作業之實施即針對此問題而生。

晚近美國氣象學家努力於中範圍天氣現象之研究，因為氣象雷達之普遍使用，天氣觀測站之增設，使此一研究漸放曙光。我國現在在台灣之天氣觀測網，其密度並不亞於美國，並有氣象雷達之設置，望我氣象人員能夠在中範圍之天氣研究上努力，以補天氣圖範圍天氣預報之不足。

以目前情況論，天氣圖範圍之預報準確度已近飽和，即在理論及方法方面能够改進，但局部地形之影響及較大範圍內小地區之特殊現象仍無法解決。例如一支強大的颱風上仍有孤立的較佳天氣地區，如何分析及預測其動向，非天氣圖範圍之預報能力所能完成，端賴中範圍天氣之分析及預報。

短，但已較之過去的泰洛斯改進很多，具有準確率很高的雲量照片和夜間雲圖，計劃中寧巴斯施放時間表，1966年二號，1967年三號，1968或1969年四號。由於寧巴斯一號精確度很點的照片成就，科學工作者除了在氣象上的研究外，發現從寧巴斯所得的照片，還可以作研究地理學，地圖學，森林學，流冰偵察，水文學，海洋學等之用。美地圖製作單位的地質測量部，經過研究了寧巴斯一號所拍攝的300張南極照片後，發現高達10,000 呎的雪白兒山（Mount Siple）其正確位置，應該從現在的地圖上向西移45哩。現行地圖上的南極柯拉（Kohler）山脉，祇標出一列山脉而從寧巴斯一號所得，應有兩列山脉。

計劃中未來的寧巴斯，將觀測大氣的垂直結構，收聽和追蹤空飄氣球，以知道地球上的風的型態，從無人操作的陸地和海上氣象站收集氣象資料。

金門等逐時天氣，及兩廣每三小時之壓溫報告決定槽線到達台灣北部時是否有雨。