

# 全球大氣環流中動力與輻射程序

## 之相互影響作用

樊滌兮譯

Interaction Between Dynamic and Radiative Processes in the  
Global Circulation of the Atmosphere T.S.Fan

「人類除學會正確預報天氣外，將無求於上帝」——M. V. Lomonosov 名言。

(Men Would have nothing to demand of God had he learned to forecast the weather correctly)。

本名言為這位偉大的十八世紀俄科學家所倡，可不斷應用於現代的一句話，因人類仍絕望的仰賴着天氣。（殘缺不全的當代天氣預報，尤其是長期預報，亦可證明此仰賴之不謬）人類生命財產所蒙受之巨大損失，正因其對自然要素之發展，無能作可信賴的預報而獲得其應有的懲罰，從而笑無能影響或改變天氣，更相去日遠矣。

在應用流體力學原理於氣候學，以及將大氣環流以數學模式代表之進展成就，均導致出數值天氣預報問題方面更多之興趣，且使預報之期限增達兩週或更長。就實際應用方面言，此種問題若僅藉電腦之助，即可迎刃而解，因其速度與記憶力約大於最現代化的機器之兩倍，這種電腦之原型目前正在發展中。

然而較為嚴重之問題，終歸還是獲得全球之所需原始基本氣象資料。此一問題如「世界天氣守視」(WWW)之目的獲得成就，再結合「全球大氣研究計劃」(GARP)亦可行將解決。顯然事實上，氣象觀測之全球體系，將盡早於一七九〇年代之中期即將作業，際感謝衛星的大幅度運用、大氣溫度探空約既有成就指證，以及在決定垂直濕度剖面(Kondratyev 及 Timofeev, 1970)上之初步成功等方面均有令人滿意的長足進步。

第三個，也是最嚴重的一個問題，乃為長期數值預報方面，吾人對決定天氣與氣候變度(Kondratyev, 1968)的大氣物理程序之現有瞭解仍不適當。此當大氣之能量與熱量內流時，其情況特別真實。尤當考慮本質上是超熱的長期程序時，此重內流格外重要。

### 問題之性質

「能熱流問題為一多面體」。在大氣環流應用，上本問題會經過圓滿的分析，且為E.N.Lorenz教授在第一屆國際氣象組織的學術講演中所賜之總結性術語，於經過第五屆世界氣象組織，隨後以表解方式予以發行(Lorenz, 1967)。

有關大氣環流的問題，勞倫茲(Lorenz)說：「最後我不擬討論有關輻射之任何細節，其程序乃為最終負責環流之存在。現在，我覺得運動場與輻射場的交互影響作用是如此複雜，致使我人開始認識其真實的重要性」。這一敘述為現代著述家不啻供給為一個起點，因彼等學術講座其目的即在檢查大氣環流中之輻射問題，從而導致關注於最重要的未解決問題。

簡明而有系統像一則密切相關的方程式般，最完整一致的氣候理論，乃基於既有從外(大氣外之日照)向內熱流之假定，顧及大氣不同層次熱內流之各種主要型態，大氣及其下地表面間之相互影響，及就接近技術形容基礎的地球失熱於太空，尤其是輻射傳遞於大氣者。故而有關能的不同型態之相互影響作用，即需正確的予以形容敘述。此種第一個物理的氣候理論如何被E.N. Blinova (1965)予以形成，而且相同方法亦仍被現代著述家們見用於大氣環流的氣候理論與數值模型(Smagorinsky, 1969、Levy 及 Mintz, 1969)。為期有關輻射因子效應之圓滿成功，此種方法需要對大氣與負責輻射傳遞之地面之物理特性，予以正確之敘述，而輻射傳遞之理論結構亦需適當。有關其物理特性可分為兩大類：

- 一、輻射場與其周圍介質(個體大氣成分吸收譜之定量特性，擴散係數與函數，光子及固體的氣體溶膠之顯微結構等)的基本相互關係特性。
- 二、輻射場本身之完整特性(地球表面、雲、及地球表面與大氣系統間的熱放射，以及自由大氣

內輻射流的垂直剖面等)。

藉可用資料之分析,主要的結論形將誕生。諸如吾人在輻射吸收(長波與短波)的定量特性方面已握有足夠的試驗資料。(該類吸收係藉大氣之氣體成分而得,為計算大氣分子之輻射吸收,已獲滿意的準確性。)以及吾人現有的光量子及仍不算適當的(見Kondratyev, 1969)大氣膠體(雲與固體的氯化溶膠)之微物理特性情報等。雖如此,有關雲的光子數據資料,特別是有關中及高層雲,仍嫌不足,雖然「雲」是大氣中能量的主要調節器。這種資料的匱乏,仍以發生於固體膠之情況為多。故不僅對大氣膠體之光特性,同時對其垂直集中分佈以及其微結構等,均需繼作高深研究。

就事實觀點言,輻射場及其周圍介質間之相互影響關係之基本特性,仍需作進一步之研究,俾能在輻射傳遞的學理申述上,獲得更豐富的準確性,以已有的相互影響關係特性,在此討論中,它彷彿合理的可集中於完整特性方面之可能運用。所重要者,在這些特性上有充足的情報可予運用,以檢查與改正輻射傳遞上相近的理論性描述,同時當半經驗數據法(Methods of semi-empirical parameterization)被應用於輻射效應研究時,亦給予某些有關部份之正確估量。關於此,讓我們首先顧及地面至大氣系統的「淨輻射」(Net Radiation)問題。在此問題中一個基本的要素,即為太陽常數的決定。

### 太陽常數

由最近之研究(Kondratyev及Nikolsky, 1970)顯示現所假定之「太陽常數值」 $2\text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 失之過高。過去數年由俄國所行之汽球觀測研究指明太陽常數祇有 $1.94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 。這一數字一般可由其他著述者之後繼發現所證實(Drunimmond, Murzray, Thekaekara, 1970)。始終更較重要者可能為存在於太陽常數與太陽活動間由「濕爾夫數」(Wolf Number)所決定之關係。用濕爾

夫數觀測太陽常數之最高值約為八十至一百。在太陽常數觀測中亦發現有種減低情形,當濕爾夫數從此值增(或減)時。在太陽常數觀測中最大之減低值,約為百分之二至二點五。

由於大氣之「熱規律」(Thermal regime)十分敏感於太陽常數值(Budyko, 1971. Manabe及Wetherald, 1967)。在此值中有2—2.5%的變差,對氣候規律顯然可產生極重大之影響。另一方面,由此亦可能被解釋置諸懷疑於確需進一步證實之「有如此大的變差存在」。然而,不需懷疑,一般被假定之太陽常數值,應被調整至較低的數字,而且太陽常數之直接和嚴格的絕對觀測,應被成就於從地球大氣外而來之太空航具。

### 地球表面——大氣的輻射平衡

直至最近吾人有關地表至大氣系統間之淨輻射的球體分佈知識,仍幾乎全部基於計算解出的資料。從對地球之淨輻射的計算而編纂圖表,這種最重要的工作,是由Budyko及其同僚所執行者(1971)。

從氣象衛星所獲之感光計資料,首次被獲得允許與實際測量之地表——大氣系統淨輻射地球分佈計算氣候圖互作比較。然而首先這種比較祇能說是一種近似值,因為從衛星所得之觀測資料係空間的臨時平均。祇是最近由Vonder Haar (1968)所發行者是一經過相當程序而充分有效的衛星感光情報,經過一年之擷取具有氣候之特性,分月分季,且實際函蓋整個地球。

由Dyachenko與Kondratyev (1970)就地球淨輻射與所計算成立之氣候圖表所作出之年表,在淨輻射方面獲致一滿意的定性默熱。例如在赤道緯度區獲得最大淨輻射帶之一致性。然而,計算的淨輻射值 $R_s$ ,其絕對值却顯著的低於觀測的輻射值。所觀測之淨輻射係隨緯度之增加而減低,且零值線(計算與觀測)無論在南北半球成位緯度四十度附近。在南半球其淨輻射分佈,由於其下為均質海洋,幾無帶狀(Zonal)。

地表——大氣系及其成分各緯度帶淨輻射年平均比較表

緯度	反照率		支出的長波輻射		計算的淨輻射	
	(A)	(%)	$(F_{\infty})$ $(\text{Cal Cm}^{-2} \text{ min}^{-1})$		$(R_s)$ $(\text{Cal Cm}^{-2} \text{ min}^{-1})$	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
80—70°N	—	44	—	024	—	-010
70—90	43	40	027	027	-009	-007

60—50	40	36	029	029	-006	-005
50—40	37	32	030	031	-002	-000
40—30	35	27	032	034	001	002
30—20	33	24	034	038	003	004
20—10	32	20	035	038	004	009
10—0	33	20	034	038	006	011
0	33	20	034	038	006	010
0—10° S	33	20	034	037	006	010
10—20	33	20	034	038	005	008
20—30	33	20	033	038	004	006
30—40	35	27	031	034	002	003
40—50	38	32	029	031	002	-001
50—60	—	36	—	029	005	-006
60—70	—	70	—	027	—	-009
70—80	—	45	—	023	—	-011
以地球為整體	35	29	033	032	-003	004

(a) 計算的 (b) 測量的

表中之地表——大氣系統及其成分(白度A及支出長波輻射 $F_{\infty}$ )之淨輻射年平均于午剖面資料係由Vinnikov(1965)之計算與觀測比較。表中應被注意者為在所有緯度帶之計算白度值,成較同緯度之觀測值為高,尤其在低緯者如此,此乃由於前述所計算之淨輻射值較低之故。這種矛盾的出現,主要當計算地表——大氣系統之白度時,將雲量估計過高,亦可能由於不能確定初雲之白度值及低緯對流雲之地形效應。事實凡肉眼所能目測之粗糙雲,成可能造成地球白度顯著低減之結果。總之,吾人不能完全忽視衛星觀測之可能錯誤效應以及可用衛星分光計情報的某些不適當之量(氣候性的)。

由之,將這種計算的氣候圖表與根據地表——大氣系統及其成分之淨輻射之實際觀測,兩相比較獲得這一結果,吾人對此計算值,需設法改正,尤其對於白度。由這種比較所顯示之白度,上述之解釋尚不能令人完全滿意,仍需作進一步之研究。

一樁被Vonder Haar及Hanson (1969)所注意到極有趣的事實,乃為在熱帶低緯區太陽輻射被地表——大氣系統所吸收之量為更多,其主要原因係受海洋吸收之結果。因為,據所熟知,海洋有種高熱惰性(按係海洋之保守性)。此種由海洋吸收的增加現象,在氣候理論與大氣環流方面自然極具重大意義。

在這方面更重要者為更多之資料,可因運用可以信賴之觀測法予以獲得。至於對觀測與計算值之矛盾,暗示吾人對地球與外太空熱之交換的任何陳述,如係由計算去而獲致者,則應更加慎重對觀

測值進行校核。就氣象衛星預期發展觀點言,必需歸諸其於長期天氣預報數值法之最佳發展,如是使輻射因素和淨輻射成分有關,則衛星分光資料即應應用,而不再試圖以完全係自立決定系統之姿態而代表大氣。

### 輻射之收入

現在再回到自由大氣中輻射熱內流之問題,對此問題所應強調者為,此時此刻吾人對此廣泛持有之信念,尚絕對無何基礎,但對此重要問題亦必終有解決的一天。然而這種結論總還言之過早。

日間淨輻射及其成分在各緯度卅公里高汽球觀測分析,指出在決定輻射熱流方面之重要因子計為:吸收短波輻射的膠體;對輻射具有重大影響的擴散作用;由於長、短波輻射而發生之輻射流吸收的顯著交互補償作用等。在輻射熱內流之描寫上,這些因素在為模式大氣環流的程序上,並未能常給予充份之考慮。

關於此,Kondratyev, Vulis及Nikolsky (1969)諸氏為符合大氣環流之數值模式而計算短波輻射流,曾因Manabe及Strickler (1964)二氏之建議而從事一項理論法的實驗校驗。同時the Shifrin—Avaste (1960)法亦被用以計算太陽輻射吸收。由上述兩法所獲者,可予證明在計算值之間獲致甚佳之一致性,且這些計算值可被貢獻運用於為輻射被水汽及二氧化碳所吸收之相關係數的兩種方法上。

但是,一個相當有意義的偏差被發現於所計算的直接太陽輻射流與較低對流層之觀測比較上。事實上這種偏差在較低對流層中,其總數可達100%

，而其值夏較秋偏高。此種變差可能係因膠質變稀所致，然此變稀作用未能在理論敘述中給予適當之考慮。然而事實上，在太陽輻射稀膠質成分與相對濕度之間，業經發現有相互的影響關係。

### 膠質效應

藉對反射的輻射流之觀測與計算值之比較，說明在此種情況，其偏差約佔10%，而秋季不會高於20%，雖夏季亦可覺察有顯著之增加。所計算之短波淨輻射值與平均為20%至最大40%的觀測值全然不同。

上述最後之二數字初看似乎甚宏旨，實則頗為煩擾。其問題如分子吸收已被考慮，則在比較由獨立大氣層所吸收短波輻射的觀測和計算值時，發現有約大於計算值二倍宏大的觀測值結果。這種原因祇能被解釋為在如水汽之吸收程序中而膠體頗為活躍。因膠體之分佈與特性變距頗大且不易捉摸，故應用膠體吸收因子而製定此種比較，在可預見之將來，表現為一極端之複雜問題。

### 雲效應

輻射溫度值不悉是否根據觀測或計算從而獲得之解數，顯示有顯著之差異。頗有意義者為觀測資料較從計算而獲得者，顯示有一輻射溫度變化的更複雜垂直剖面。這種意義即說明吾人對輻射傳遞，即使在無雲之大氣情況下，而確能提供一正確的理論敘述，仍為期尚遠，至對涉及有雲存在的更複雜（無疑更重要）實際情況，則更瞠目不知所云了。

有雲存在則可急劇改變溫度場及輻射熱內流空間臨時分佈圖。Feigelson (1970) 及 Dmitrieva Arrago (1968) 計算輻射熱之改變，乃因長波輻射所致，且指出低及中層雲，尤其在夏天對大氣之輻射冷卻，具有實質之貢獻。這就產生了由Manabe 及 Stricler (1964) 所計算之結果。至於高層雲效應，根據上述二氏指出如其高度超過九公里而隨遇的吸收長波輻射達50%以上，則該雲層可加熱地球表面。

由Goisa (1968) 所行之飛機日間觀測，表示在一層密雲狀況時其輻射雲之冷卻，乃由於長波輻射巨量超過經吸收太陽輻射而獲之輻射熱量。冬季溫帶層雲與層積雲的輻射冷卻，其溫度每日可達 $10-12^{\circ}\text{C}$ 。

### 結論

大氣環流對輻射因子變化之敏感性，大都為從事氣候理論與大氣環流數值模式之學者所忽視。然而，現代氣象之一項中心問題是要將絕熱因素置諸大氣環流，且此一問題如所被關心的輻射問題一樣，祇根據所有可用觀測資料之運用，應用半經驗學理和統計數據於目前即可解決。

由於此種資料頗為匱乏，故對於其被作為大氣研究計劃的一部份而予完成則顯極其重要，一個這種型態之觀測計劃與「混合能試驗」(The Complex Energetics Experiment—CENEX) 相似。而混合計劃之第一個嘗試即為研究大氣能之各有關問題以及能量與大氣及其下之地面間的彼此相互影響關係 (Kondratyev 等氏，1970)。混合能試驗之一般目的，旨在研究能傳射之各式型態及大氣中熱流輻散之諸型態，從而去分析這些因素，以決定其傳射程序，然後自根據這些以建議能要素在大氣之熱力規律與動力學方面之後繼研究。

現在再回到前述「問題之性質」，引用Lorenz 教授一席話的那一節，當代的學者正同意與願望確定運動場與輻射場之相互影響關係，保留其為最重要與最複雜之問題。在研究這一問題上，吾人目前祇採取某些初步步驟，而所可能的是混合能試驗計劃將可做成某些重要貢獻。總之，為特殊的數值試驗——該試驗幫助吾人瞭解與定量敘述運動場與輻射場之間的相互關係程序，且有一種迫切的需要。

「說明」：本文為第二屆國際氣象組織之學術講演綜合報告，係由俄國列寧格勒大學教授 Kondratyev 於第六屆世界氣象組織（一九七一年在日內瓦舉行）提出報告。