

長期天氣預告的物理基礎

涂 長 望

Physical Basis of Long-range Forecasting : A
Critical Study.

Chang-wang Tu.

Abstract. The physical basis of long-range forecasting has been examined in this paper and reasons have been given for and against the employment of a certain method in long-range forecasting. The methods examined are (a) weather cycles and periodicity; (b) statistical method based on the variation of solar radiation and this includes the variation of the number of sunspot and the variation of solar constant; and (c) statistical method based on centres of action. Great emphasis has been laid on the relation between the general circulation of the atmosphere and the variation of solar radiation and it is suggested here that big stride can only be made in long range forecasting when the relation between the general circulation and solar radiation is well understood.

『雲掩中秋月，雨打上元燈。』『重陽無雨一冬晴。』這兩句天氣俚諺，很明顯的告訴我們，長期天氣預告並不是十分時髦的問題。千年前的農民和詩人對於這個問題早就有了深切的注意和相當的認識了。他們憑着經驗的提示，詩興的煥發，作了許多關於這類的俚諺，爲的是要誘掖後人們注意天氣的前後相互關係。這些天氣俚諺是否能夠兌現呢？這個問題恐怕是許多人要問的。嚴格的講，這類的俚諺大都沒有兌現的可能，牠們的普遍流行，只不過是表示一個農業國家的

人民，對於長期天氣預告這個問題有着深切的需要罷了！

長期天氣預告在今日雖風行一時，但一般人對於這個問題却無清晰的認識。嚴刻的批評家會當他是統計家的戲法，一知半解的學者竟拿牠同中古俚諺一樣的看法，普通的人却又莫測高深，以為這是科學家的神蹟！作者寫這一篇文章，目的在對於長期天氣預告的物理基礎，作一個簡單的介紹和嚴正的批評。

I. 長期天氣預告的演進

A. 天氣的週期性和循環性 長期天氣預告之有科學的基礎，不過是二三十年的事。自短期預告風行後，一般氣象學家的視線就轉注到長期天氣預告了。最初研究這些問題的，還是些氣候學和考古學家。氣候學者們整理已往的氣候材料或研究湖水的高低，或考察樹木年輪的大小，往往發現氣候上的顯著變化。有個時期雨量特別的豐富，湖面異常的高，樹的年輪也特別發達。有的時候雨量却又稀少，湖面低下，年輪窄小。並且這種雨量和氣溫的變化是有週期性的。十九世紀末葉奧國的Brückner因研究裏海(Caspian sea)水面的變化而發現了三十五年的氣候週期，若果雨澤豐沛，天氣寒冷是這週期的浪頂，那嗎雨水稀少，天氣炎熱就是浪槽了。這種週期猶如後浪接前浪，向前運行不息。這種氣候週期的發現，似乎就奠下了長期天氣預告的礎石。此後繼續作這種研究的人，真猶如雨後春筍，所發現的週期也就車載斗量，洋洋大觀了。但除了極少數外，這一大堆和天氣循環有關的週期，很難用作天氣預告的根據。其最大原因却不外下列三項：

(一)週期的振幅太小。天氣週期本身之真實性和能否適用於長期預告，全視週期振幅之大小。若果振幅太小，本身之是否屬實尙成問題，又怎能作為長期預告之基礎呢？白朗梯(Brunt)所發現歐洲天氣的無數週期(1: pp 247—302)，經過一華克(Walker)用嚴密算學的分析，只有十二個月，十二個三分之一月 and 十三個月的氣溫週期是屬

(1) Brunt D. Philosophical Transactions, 225, 1926

實的(2:p126)這種結果不是很明顯的警告我們不要太看重天氣的週期性嗎？

(二) 週期的位相 (phase) 是常變動的。這纔是長期預告的致命傷。週期的振幅不大，尚不打緊，因為我們還可以預告天氣的大概趨勢。若果週期的相位一變，那嗎連簡略的大概趨勢也不能預知了。

(三) 有許多天氣週期是短期間的，暫時的，宛如水中的波浪僅作曇花之一現。今年有這種週期，明年就不一定有。十九世紀有的週期，廿世紀也不會見得有。有了上述三大缺點，因此天氣的週期和循環，就不能引為長期天氣的預告。實際上也就沒有人來利用牠作長期天氣預告的根據。

B. 天氣的相互關係。

一部份的氣象學家雖傾注全力于天氣週期的研究，另一部份人却注意到各地天氣的相互關係，和天氣前後的相互因果。最初注意到這種關係要算霍夫美亞(Hoffmeyer)了。一八七八年他就發表了關於大西洋氣壓影響西歐天氣的文章(3p.271)隨後就有許多歐美氣象學家繼續這種工作，成績最著的要算白朗佛(Blanford)、漢氏(Haun)、希弟白朗孫(Hildebrandsoun)、愛克納(Exner)及華克等。華克氏的工作，可謂集前人之大成。他用統計的方法算出世界上各活動中心四季的相關係數，復將計算的結果歸納為三大系統；曰北大西洋波動(North Atlantic Oscillation)，北太平洋波動(North Pacific Oscillation)，南方大波動(Southern Oscillation)，(三大系統的實狀，後面將有扼要的敘述。)這一類的研究，完成了長期預告的基礎。因為牠研究的對象就是各地的氣象事實和經驗。並且所發現的天

(2) Walker, S'r Gilbert T. "On Periodicity and Its Existence. in European Weather".

Memoirs of the Royal Meteorological Society. Vol. I. No. 9.

(3) Weightman R.H.: Physical Basis of Weather Forecasting.

Physics of the Earth III. Meteorology.

氣相互關係，大都有理論和物理的基礎。所以探討天氣的相互關係，遂成了各國研究長期天氣預告的正當途徑。

C. 太陽輻射與長期預告

研究世界各處天氣的相互關係固然成功了長期天氣預告的正當途徑，惟於單純的物理基礎仍形缺乏。從理論上講，太陽輻射的強弱，應該操縱大氣內的一切變化。若果我們能夠知道太陽的輻射是有變化的，而且是有週期的變化，那嗎大氣內的一切變化不就有了適當的解釋，長期天氣預告也不就有了相當的根據嗎？恰巧太陽裏面有了黑子，而黑子的多寡又是表示太陽輻射強弱的象徵，並且黑子數目的變化是有週期性的。太陽黑子自然就成功了一般研究長期預告的對象。經過了多數人長期間的研究，結果雖然使我們對於太陽輻射與大氣內變化的關係有了相當的了解，但却絲毫不能利用在長期預告上。原因是大氣內的變化太複雜了。關於這一點後面尚有詳細的闡明。

另有一部份人，疑心太陽黑子之所以不能與大氣的各種變化發生密切關係的緣故，是因為所用的黑子數，氣溫，氣壓，雨量等都是以一年為單位的。太陽黑子數量的變化不一定馬上就會影響到大氣內的各種變化，即使影響的話，也不一定影響那一年的平均氣溫，氣壓或雨量；或許只影響某一季或某一時期的氣象要素。這種困難在研究太陽黑子與天氣關係的人們是無法解除的。因此一般的氣象學者又改變了研究的對象。現在他們却以太陽輻射短期間的變化為進攻的目的了。經過美國太陽物理學家多年的觀測，纔確定了太陽的輻射是每日每時都在那兒變動的。假使太陽輻射控制着大氣內的天氣變化，那嗎短期間的輻射變化就應該馬上產生短期間的天氣變化。但是這一般人所得的結果却不怎樣驚人。這個原因仍不外天氣的變化是太複雜了，天氣因素的相互影響太大了。

上面所敘述的是研究長期天氣預告方法演進的三大段落，若果以預告的性質而論，則演進的方式又有以下的各階段。長期預告所最先

注意的問題要算雨量了。這是很自然的趨勢，因為雨量不但成農業國家的切膚問題，就是工業國家大都市的飲料供給亦有賴於雨量的。一九三四年倫敦鬧的水荒就是雨水短少對於工業國家影響的最好例子。雨量既然如此的重要，故研究長期預告而從雨量着手的當然特別的多。比較最成功的，還要算預告印度的季風雨了。印度自有是項預告以來，每年可獲得數千萬元的利益。繼印度而起的有中歐、埃及、西印度羣島、南美諸國，均利用長期天氣預告的方法來預測來年、下季、或二三月後的雨量。接着雨量的預告就有了氣溫的長期預告。氣溫對於農作物的影響雖不敵雨量，但在氣象上氣溫却比雨量更為重要。因之研究長期氣溫預告的著作也就層出不窮了。藉氣溫來預告農作物來年之豐歉的也大有人在，譬如岡田武松利用北海道冬季的氣溫，來預測日本北部夏季米稻收穫之豐歉(4:pp18—32)。隨後氣壓、風力、海流強弱等等的先期預告研究，也就接踵而起風發泉湧了。可是到了長期天氣預告發展的最近階段，長期天氣預告總算名符其實了。最近德國正式成立了長期天氣預告的組織。鮑耳(Baur)每十天一次預告德國十天以內的天氣。其預告的因素同每日所預告的初無二致。(5:pp148—153)

上面所敘述的只是長期預告的演進，至於其物理的基礎，茲再分別作較詳盡的檢討。

II. 日光輻射與長期天氣預告的關係

無疑義的太陽輻射為大氣內一切能力之母。大氣內的位能、熱能、渦動能(turbulent Energy)和動能等，和太陽的輻射能都有直接的關係，並且能夠用一個數學公式寫出他們的關聯來。換言之，大氣內一切動的現象，如大氣之運行，對流之產生，風暴之盛行，渦動雷電的現象，均直接間接靠着日光輻射來發動。因此，一般研究長期天

(4) Okada, T. „On the Possibility of forecasting the Summer Temperature and the approximate Yield of Rice crops for Northern Japan". Bulle in Central meteorological Observatory, Japan 1919

氣預告的，就很自然的拿着太陽做研究的對象和基礎了。若果日光輻射的能量起了變化，那嗎地球上的氣候和天氣不也是馬上會起變化嗎？這當然是很合邏輯的假設。並且這種假設曾有過地質上事實的證實。在地球蛻變的時期間中，日球的輻射不是有過強烈的變化嗎？地質時期內的冰河時期和炎熱時期的互相交替的循環，不也是證明日球輻射是在不斷的變動麼？若果現在我們能發現日球輻射仍然在那兒變動，並且作有規律的變動，那嗎長期天氣預告不就有了根據和把握了嗎？恰巧日球上有了黑子，而這黑子數目的變動是有週期性的；平均每十一年為一週，一週中有一個年份黑子最多，另一個年份黑子最少。太陽黑子的多寡經過日球物學家的研究，是同日球輻射的變化有密切關係的；黑子多則輻射較強，黑子少則較弱。太陽黑子既容易觀測而又代表日球輻射之強弱和有週期的變化，當然牠就成功了研究長期預告的法寶了！

(A)太陽黑子與長期天氣預告。

以太陽黑子的週期性為長期預告研究的對象的，多如過江之鱉。比較最有成績而結論最嚴正的要算華克爵士(Sir Gilbert T. Walker)了。華克用統計的方法求出太陽黑子與各地氣壓，風，氣溫，雲量，雨量等的相關係數來。他的結論有五：(1)氣壓同黑子關係是極不規則的，黑子特別多的年份，一部份海陸上的氣壓增高，另一部氣壓減低。大致言之，東半球之氣壓稍行減低，西半球之氣壓稍行增高。(2)黑子增多時，各地氣溫之年平均減低，以熱帶為最甚(3)黑子對於風的影響，仍在不可知之數。(4)印度熱季之雲量，在黑子多時稍見加增(5)雨量受黑子增多之影響，甚為複雜，約而言之，雨量所受之影響適與氣壓相反。這種結果實出一般人意料之外，給與一般以太

(6) Sir Gilbert T. Walker; Correlation in Seasonal Variations of Weather Ⅲ Memiors of the Indian Meteorological Department Vol. Ⅳ Part Ⅳ 1923.

陽黑子爲研究長期預告爲出發點的人們以嚴重的打擊。隨後克雷登 (H.H. Clayton) 爲除掉大氣內短時間的週期性起見，用前後相繼三年的平均氣壓來以求其與太陽黑子發生關係。克氏所計算出的相關係數雖較華氏所得者爲大，但也沒有驚人的收穫。另一方面却證實了華氏結論的正確。此後也有許多別的氣象學家，來繼續這種工作。結果小處雖略有出入，但大體並無抵觸。這怎車載斗量的相關係數都指明了從黑子的變化上去研究長期天氣變化的一條路是走不通的。事實雖然如此，但也並不能證明太陽輻射之變化絕不絲毫影響地面上的氣候和天氣。這不過說明太陽輻射和天氣的關係，並不如想像的那麼簡單罷了。有一般人以爲太陽黑子之所以不能與天氣發生密切關係的緣故，是因爲所用的時間單位太長了。以一年的黑子平均數和一年的平均氣壓氣溫等，來算相關係數，其結果自然不會怎樣滿意的。設若我們能夠發現太陽的輻射，每天都有變化，那嗎太陽輻射影響到天氣的關係就容易知道了。研究太陽輻射每日的變化，與天氣變化的關係的，英國有華克氏，美國有克雷登，艾博梯 (Abbot)，德國有鮑耳 (Baur)。中以華氏艾氏研究的成績爲最優了。華氏艾氏爲日球物理學家，畢生盡瘁於日球輻射研究。據十餘年觀測及研究的結果確證日球輻射亦有短期之變化，每週每日日球輻射之強度並不盡同。日光的輻射常數 (Solar constant) 平均爲 1,940 Caloru/Per min.，可是大的時候可大到 1,969，小的時候却小到 1,919。平均偏差可達百分之三，而可能誤差只有 ± 006 Colorie (8: p.2) 偏差既然較誤差大八倍餘，這可證明日球輻射之有短期間變化是千真萬確的。換言之，日球並不是一恆星而是一種有變化的星球 (Variable star)。日球輻射不僅有變化，而且有週期的變化。短的週期有七天，十三・六天二十四天三種 (8: pp.29

(7) H.H. Clayton: Solar Activity and Long-Period Weather Changes,

Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 78 No. 4, 1926.

(8) H.H. Clayton: The Atmosphere and the Sun, Smithsonian Misc. Collections Vol. 87 No. 7, June 9, 1930

—31)，長的週期則有七個月，八個月十一個月二十一個月，二十五個月，四十五個月等週期。(9:p.5)艾氏華氏曾經作過許多關於日球輻射短期變化與天氣變化的關係，所搜集，整理的材料雖多，然並無驚人的收穫。關於這一點我們最好是引華氏自己的結論：

『這許多研究的結果，只指出了天氣同日光輻射的月平均和太陽黑子月平均的真實關係，但是因輻射變化而產生的氣壓、氣溫、雨量的變化，却不見得怎樣大……。』(10:p.38)

利用這些關係來作長期天氣預告，成績並不見得美滿。華氏會利用是類關係來預測華盛頓城每五日的氣溫，但是結果却不見得怎樣成功(12:p.49)

從理論上着眼，無論日球輻射長期或短期的變化，應該能作為長期預告直接的根據，但是事實却告訴我們，這是一條行不通的路。這種事實與理論矛盾的關鍵何在呢？要解答這個問題，我們就不得不探討日球輻射與大氣運行及日球輻射與活動中心的關係了。

III • 太陽輻射與大氣循環運行的關係。

大氣運行是氣象上極複雜的中心問題，雖費過了許多氣象學家數學家的心血，至今仍未得圓滿的解決。這兒所講的大氣運行乃是在極簡單情形之下所產生的。所謂極簡單的情形，就是假設地球是不動的，地面上沒有水陸之分。在這種假設的單純情形之下，大氣之運行有如熱力機內水之循環。赤道就等於熱力機的火爐，南北兩極則類似熱力機的冷箱(Refrigerator)赤道的空氣受較強的輻射而上昇，兩極的空氣受地面強烈放射之影響致冷却而下沉。高空中赤道上之氣壓因上升空氣之擁塞而增高，兩極高空因空氣之下沉而減低。空氣循氣壓

(9) G.G. Abbot: Periodicity in Solar Variation Smithsonian Misc. Collections Vol. 87 No.7 May 1922.

(10) H.H. Clayton: Solar Activity and Long-Period Weather Changes. Smithsonian misc. Collections Vol.78 No.4.

之坡度分向南北流動，高空之大氣運行因是而生。及至大量空氣流至南北兩極，極地之氣壓逐漸增高。極地之空氣冷而氣壓高，勢必向外流動，因而形成溫帶之寒浪。兩極之空氣行抵赤道時，大氣之循環運行遂告成功。可是實際情形並不如此簡單。因地球之自轉，地面之風向，大抵與氣壓之坡度平行；是以就北半球而論，高空中主要風向為西南，地面之主要風向為東北。同時因地球之自轉，地面遂有所謂西風帶、信風帶、極圈東北方帶之劃分(11)，此種風帶更受海陸分佈之影響而產生季風，海陸風等。大氣之循環運行實際上雖如此複雜，然其循環運行的途徑，仍可於單純的循環運行中求得之。大致的講，熱帶的暖氣團在高空中向南北兩極輸送，極地之寒流又由地面輸送至熱帶，因是大氣之循環運行不息。大氣之循環運行既受日光輻射之影響，按理其運行之強弱，亦視日光輻射之強弱為轉移。在太陽黑子多時則運行強，反是則弱。

華氏的研究似乎證實了這種假說。在大氣與太陽一文中，他曾有這樣的結論：『當太陽輻射特別活躍時，如黑子和輻射常數所示，地球上緯度氣壓分佈的坡度就隨着增高，結果大氣的循環運行也就接着加速。熱帶的氣壓減低，溫帶的氣壓增高，極圈的氣壓降低。太陽輻射轉入沉靜時，上述各種變化則適相反』同時他更進一步的講，這種有規律的變化，因受了水陸分佈不均和季節的影響，而致十分複雜。(12p.48)

但據華氏研究的結果，溫帶之大氣運行，因黑子之增加而減弱，南太平洋與印度洋之間的氣流運行則加速。(13:p.66)並且，他還警告我們不要過加信賴從日輻射所得的推論。

(11) 關於地面氣壓風帶分佈之理論基礎因無關宏旨故未詳細論述

(12) H. H. Clayton "The Atmosphere and the Sun."

Smithsonian misc. Collection Vol. 82, No. 7. 1930.

(13) Sir Gilbert Walker: World Weather V" Memoirs of the Royal

Meteorological Society, Vol. IV NO. 36.

大氣循環運行既受日光輻射之影響，那嗎我們可進一步談到大氣運行的變化對於世界各處天氣之各種影響。從理論上着想，大氣循環運行加強時，地球上之天氣應有下列各種的變化：

(一)高壓帶氣壓增高，低壓帶氣壓減低，或高低氣壓之坡度增強。此乃大氣運行增強(或作風力增強)之必具條件。此外水陸氣壓之坡度亦見增加。換言之季風亦因太陽輻射加劇而加強。

(二)雲量雨量均增多。地面上之平均風力增加時，地面各地之蒸發增高，而尤以海洋面上為最甚。同時熱帶對流之加強，為大氣運行增強之先決條件。蒸發與對流既同時加強是以多雲雨地帶之雲量雨量均增多，而乾燥少雲地帶之雲量雨量將更行減少。

(三)大氣運行加強時，世界各地氣溫之變化非常複雜。約而言之，多雲地帶之氣溫降低，乾燥少雲地帶之氣溫增高；海洋之氣溫降低，大陸上則反行增高；受暖流影響溫度升高，受寒流影響之海岸氣溫則減低。

大氣運行減弱時，則上述各種氣壓、氣溫、雲量、雨量等之變化，適得其反。

這種由大氣運行而產生的理想天氣變化與事實多少有些出入。譬如長江下流的雨量並不因東南季風增強而加多，華北一帶乾燥區域的雨量亦不因東南季風之增強而減低。推其故不外我國之天氣有其特別主宰的因子。長江下游之雨量大都是極面雨和雷雨，倘東南季風太強，則極面雨移至華北，而長江下流則主旱。換句話，各地天氣主宰的因子或活動中心對於各地的天氣的影響，也是非常的重大。

世界各地天氣之變化既泰半受制於局部高低氣壓之分佈或其他因子的影響，那嗎研究這些因子同大氣運行，或進一步與日光輻射的關係，豈不是解決天氣預告的正常門徑！循着這一條路綫研究的，仍推華氏艾氏。華氏最近的研究頗有成績，茲將其重要結果略為介紹如

下：(14:pp33—35)

(一)世界上之活動中心，感受日光輻射之變化，或大氣運行之變化最爲敏捷。這種活動中心因地位之不同，而感受輻射變化之影響亦各異。大致言之，可概分爲二大類。一類活動中心，氣壓、氣溫、雨量等，因着日光輻射加強而減低，例如熱帶及海洋之活動中心。另一類活動中心之氣壓、氣溫、雨量等，則因日光輻射加強而增高，例如高緯度之冰凍地帶，（冰島，加拿大，西伯利亞）及中緯度寒流所控制之地帶（太平洋東部，智利海濱）

(二)活動中心之位置，並不固定，隨着太陽輻射之變化而東西南北遷移。太陽輻射加強時，北半球高緯之活動中心向北移動，烈度亦加強。是以高緯度之寒冷地帶氣壓特別增高，氣溫降低，而同時熱帶之低氣壓帶，勢力擴張而伸入中緯度地帶。南北之氣壓坡度既增高，中緯度之風力亦加劇，此帶之氣溫亦遂大受影響焉。

華氏研究的結果，更明顯的說明了因太陽輻射的變化，而產生天氣的變化，是極端複雜的，可是並未立下長期天氣預告的基礎。雖有一般人極力的主張，太陽輻射短期的變化能夠馬上影響世界天氣，但另一派人却主張，地面上本身特殊情形所產生的天氣變化却比因日光輻射的變化而產生的天氣變化要大得多。艾氏曾大膽的宣言，天氣的一切大的變化，完全操縱於日球短期間的變化(15:p.7)。他說如果日光輻射有了百分之0.8的變化，華盛頓城就可以發生華氏5度的平均氣溫變化。另一日球物理學家金博爾 (Kimball) 根據他的研究和計算，宣稱因大氣內之變化而產生之氣溫變化，較之因太陽輻射變化所產生之氣溫變化爲大。金氏這種主張，不啻與艾氏作正面衝突。地面上之氣溫變化，因大氣內自身之變化而異，乃最普通之現象。譬如我

(14) H.H. Clayton: "Weather and Solar Activity." Smithsonian Misc Collections May, 1934.

(15) G.G. Abbot "Weather Dominated by Solar Changes." Smithsonian. Misc. Collections. February 1931.

國每逢寒浪南侵時，溫度輒下降十餘度。現在各國之天氣預告均以氣流之來源為張本，於此可見大氣內變化對於天氣影響的重要了。

太陽輻射短期間內的變動之所以不能作為長期天氣預告的張本，是因為天氣的因素互相影響的程度，往往超過輻射變化影響的限度。譬如氣溫照理是最易受太陽輻射影響的，可是一個地方的氣溫並不單靠太陽輻射的強弱，其足以影響氣溫的，有風速、雨量、雲量、地面的反射、和空氣的來源等。風速加強和雲量雨量的加多，最足降低一個地方氣溫的，而這一切現象又是與太陽輻射有直接的關係。如前所言，太陽輻射加強時，熱帶之大氣運行加速，對流加急，雲雨量加多。結果值太陽輻射強時而熱帶之氣溫反見減低。氣壓一方面受氣溫的影響，另一方面又與大氣運行發生密切的關連。雨量的變化更是莫測。因此根據太陽輻射的變化為長期預告的企圖，終是勞而無功。辛普生氏 (Simpson) 研究的結果，只給了天氣變化與日光輻射的一種解釋，但不能確定長期預告的物理基礎。他的結論反到更進一步的證實，以日光輻射為長期天氣預告的基礎，是勞而無功的勾當。據辛氏的結果，若果太陽輻射發生了百分之一的變化，地面的氣溫單獨發生二度的變動或平流層的温度單獨升降一·五度，或雲量單獨增減百分之一，始足以抵消太陽輻射百分之一的變化(16:pp.22)。上面三種變化，是極不容易辨別的，而他們彼此又互相發生影響。所以要根據太陽輻射來作長期的天氣預告，簡直是等於緣木求魚。

一個地方的天氣同時受着幾個活動中心的影響，是顯而易見的事實。譬如我國冬季的天氣，差不多完全受着西伯利亞高氣壓的支配，若果我們能預先知道來年冬季西伯利亞高壓的情形，我國冬季天氣的

(16) G.C Simpson: Further studies in Terrestrial Radiation.

Memoirs of the Royal Meteorological Society Vol. III No. 21.

Bulletin of the National Research Council No. 79 Meteorology

1931

