



氣候變遷的新發現

戚啓勳節譯

冰河紀已經過去

了大約有二十五萬年

到一百萬年，此刻我們正生活在一段氣候變遷的交替期。以往有過四次，巨大冰川幾乎覆蓋了地球上陸地的三分之一。這些冰河期之間，冰雪大量損耗，很多水份從陸地轉入海洋，有的自冰河流出，被海洋包圍的冰河旁邊直接裂開，無數冰山向赤道漂流，一路融解。此種冰河消融可以使海面上升數百呎。因此現在的洋面大約要比第四次冰河期極盛時高出約三百呎。

南極洲和格林蘭最大的冰河冠到現在還存在着。另有數千較小冰河，像：阿爾卑斯山、喜馬拉雅山、安得斯山、斯干的納維亞、阿拉斯加、巴芬地、和落磯山等。假定所有這些冰河都融解，海面還會升高約二百呎。沿海數哩的陸地都將被海水淹沒，這就是假定第四次大冰河期真正衰退時的現象。

相反來說，我們也很可能生活在一個冰河僅不過暫時衰退的時代，因而不致於再繼續消融冰川使海面上升，而是再一次構成巨大冰層，海面因而低落。這種現象看來可能性也許更大。當然，在我們後輩三代以內決不會出現，要有也在今後一兩萬年之間。這樣對將來的人類自然會有重大影響。

此刻就像鐘擺正垂直地面一樣，還不知道究竟擺到那一邊？擺動的快慢怎樣？這些都是科學上的難題。要想得到它的答案先要多瞭解過去氣候，確定氣候變遷的根本原因。只要原因知道，就可以用外延法來預測將來。這樣人類不僅可以展望數千年後的事物，還能預測五年、五十年、甚至五百年後的一般氣候情況。

我們也許在不久的將來就能找到氣候變遷的根本原因。因為最近用核子物理學來確定氣候事態的年代已遠較過去方法為準確；地球化學(Geochemistry)新近的發展也提供了不少上古時代溫度的準確資料。最近我們也逐漸明瞭天文物理學的日球現象及其和地球上大氣行為的關係。火箭和人造衛星對於大氣上層的觀測，已開始對太陽輻射和氣海上層物理方面的相互作用提出嶄新而具有關鍵性的資料。所有這些，再加上使用電子計算機分析大氣環流的複雜問題，必能

迅速確定氣候變遷的全部過程。

氣候變遷的年代表

重要氣候變遷的自然力，進行得非常緩慢，它的後果很不容易看出來。人的一生太短，絕對看不到廣大地區氣候長期演變的趨勢。

重要氣候變遷在整個地球的生命史上已經有了三十億年以上。現在看來，冰河紀似乎在二十九萬年前開始。以此作為基礎，其間主要冰河期和氣候概況的年代表如下：

年代(千年數)	冰 河 事 件	氣 候 概 況
290—265	第一冰河期	寒冷
265—200	第一冰河交替期	溫暖潮濕
200—175	第二冰河期	寒冷
175—125	第二冰河交替期	涼爽乾燥
125—103	第三冰河期	寒冷
103—75	第三冰河交替期	溫暖潮濕
75—11	第四冰河期	寒冷
6		溫暖潮濕(「最適氣候」)
5		較涼爽但仍暖，從這一世紀到下一世紀溫度和雨量都略有變動
(到現在)		

為了使這一張年表更易於理解，羅塞爾(R. J. Russell)曾作一比照，假設冰河紀是在一年之內，用來比照歷史上的重要事件，原表如下：

一月一日——二月一日	第一冰河期
二月一日——四月二十四日	第一冰河交替期
四月二十四日——五月二十五日	第二冰河期
五月二十五日——七月二十七日	第二冰河交替期
七月二十七日——八月二十五日	第三冰河期
八月二十五日——九月二十九日	第三冰河交替期
九月二十九日——十二月十八日	第四冰河期
十二月二十五日晚間	暖濕之「最適氣候」
十二月二十八日中午	釋迦牟尼誕生
十二月二十九日上午	基督降生
十二月三十日下午七時三十分	哈斯定(Hasting)戰爭(1066)
十二月三十一日上午九時三十分	哥倫布發現新大陸
十二月三十一日下午八時五十分	林肯當選總統

十二月三十一日下午十一時五十八分 去年
十二月三十一日子夜 今年

有許多研究冰河紀年代的科學家並不完全同意羅氏的年代表，但一般顯著事態則無異議。如像冰河期和冰河交替期的久暫比較，冰河期歷時變動很大，以及最近一次冰河期終止以來經過年代極短。這些廣大事態提供考慮過去氣候的基本資料，有助於推斷未來最可能的演變。

古代的氣候

冰河紀以前的地質時代稱為「第三紀」(Tertiary)，維持了半億到一億年。這一段長時期的氣候比任何時期都要溫暖。在第三紀最初一兩千萬年，倫敦附近都還有熱帶的棕櫚和果樹；北美的猶康(Yukon)盆地有許多木蓮和熱帶羊齒類植物；歐洲的熱帶和亞熱帶森林中有人猿和猴子居住；北緯五十度的海岸以外還有鰐魚。」

約在距今一千萬年，第三紀告終，氣候開始逐漸變壞，棕櫚和其他熱帶植物漸向赤道遷移；習於溫暖的動物在歐洲消失，亞美非洲的情形也是一樣，甚至在南極洲都能看出這種變化。第三紀中期，南極洲還有許多針葉樹，但至第三紀終了，由於冰川之寒冽而樹木大為減少。

隨着氣候的逐漸惡化，冰河紀取代第三紀。在一千年之內構成了廣大冰層，跨越大陸向赤道伸展，北半球尤為顯著。在北美，自格林蘭、巴芬地、拉布拉陀、和落磯山伸向南方。美國北部多數地區都被冰雪掩蓋。在歐洲，冰河中心位於斯干的納維亞，第二中心在阿爾卑斯山。亞洲冰河較少，自喜馬拉雅等山脈伸出，延展到西伯利亞和中央亞細亞。南半球冰河冠較小，以南美安德斯山和中非諸山為主。南極洲的冰冠達於極盛，遠非目前可比。即使澳洲和夏威夷也有冰河，雖然這些冰河從未到達過厚以數千呎計算的真正冰層。

四大冰河期的第一次停留約兩萬五千年，後來因為冰層的損耗，第一次冰河交替期跟蹤而來。中高緯度一帶溫度升高雨量增加。此另一氣候特徵保持約六萬五千年。後來又建立冰冠向外擴張。雖然並非任何事態都有規律的週期，但第三第四次冰河期就這樣重複到來，中間都有比較溫暖的冰河交替期。

這些事態都是根據全球各地搜集得數千種地質和動植物方面發現的事跡而加以推斷。每次冰河都留下記號，有以溝槽方式刻在岩床上（這裡堅硬的岩石碎片帶入流動冰河的基層冰中，切斷下面的岩石）；有

以沉積外來物質方式，由冰河在某處揀來，沉積在幾百哩外的另一處；以及它種導源於冰河的形式。動植物遺留的化石也是一種重要資料，尤其是考查氣候變遷。因為當冰川向赤道推進時，動植物因為要找尋適於它生存的地方，勢必要比冰河早一步移向赤道。當冰河衰退時，動植物重新又回到過去覆蓋冰雪的地方。這些當然並不是那樣均勻簡單，多因地而異並且很複雜，大多尚有待於進一步的解釋。雖然如此，這些全般性效應顯示一重要事實：動植物分佈隨着冰河的進退而遷移。

在最近一次冰河期過去之後，仍還繼續着冰河紀相當快的氣候轉變。這些晚近轉變的性質尤為西歐方面所習知。該處湖底沉澱中所發現的花粉顆粒經仔細鑑定後，對於重新估計古代氣候極有價值。布洛克斯(C.E.P. Brooks)描述 2500BC 以前的一般氣候情況如下：

一般說來，冰雪撤離後露出高低不平的赤裸陸地。低處成為湖澤，高處生長寒帶植物。隨後就轉為樺木，再變為松樹。約在 700BC 前後，氣候乾燥，夏季很熱，遍地榛樹。後來溫度繼續升高，水份也稍有增加(4500BC)，西歐全部被橡樹、楊樹、和榆樹的森林所盤據。楊樹有利於增加雨量，「最適氣候」(Climate optimum)就在此時開始。溫度大約比現在平均要高華氏五度。因此森林線也要比現在高得多。可是另一方面則傾盆大雨有利於泥煤的成長，並且(一千至一千五百年內)很多大森林被泥煤所埋葬。這段時期一直延到 2500BC 溫度才逐漸下降……

約在 2500BC 和基督時代，西歐有一段乾濕交替時期：乾期在 2200BC 前後，1200~1000BC，和 700~500BC。隨後有一特別潮濕時期，自 800~1200 AD。其餘時期都以乾暖氣候為主。歐洲其他地區和北美中緯度也有類似情形。

1890 年以後，北半球的溫度逐漸上升，有些地方早在 1850 年就已開始。這種增暖現象直到 1940 年才告終止，有些地方還逐漸下降。近世此種變遷從很多地方都可以看出來：實際觀測的溫度變化；斯干的納維亞和阿拉斯加等處冰河的退縮；內陸湖連年出現無冰期；森林線沿山坡向上移。中緯度如美國中部自 1850 至 1940 年溫度平均升高華氏二度，較高緯度如斯干的納維亞和史畢茨白根(Spitsbergen)平均幾乎要高華氏十度。低緯度像印度等處則溫度並無顯著變化。

這些氣候事態的順序(在近世、最近一次冰河期

以來的一萬一千年，以及冰河紀開始以來的二十九萬年）引起了兩個嚴重問題：最近的將來（指今後幾世紀內）氣候將怎樣演變？將來（一千年後）一次氣候大變動是否會把現在的冰冠全部融解，致使海面上升；或者又回到一次大冰河期？

從現在的事態推測將來

從以往半億到一億年的情況展望未來，1850年後溫度上升於1940年看來僅是一種小變動。預期今後幾世紀內的氣候，轉冷或轉暖的機會各佔一半。在不久的將來溫度當無顯著變化。

推斷較遠的將來，有三件事值得我們重視：第一，格林蘭和南極洲仍有大冰層存在，因此可假想近百多年來冰河僅不過是暫時性的縮小，而非最後決定性的衰退。第二，中高緯度現在的氣候要比幾千萬年前的第三紀冷。第三，現在的溫度要比六千年前的「最適氣候」低。

由於冰冠業已存在，涼爽氣候正是冰河紀的特徵，況且現在的氣候比六千年前更冷，可見將來的氣候再來一次冰河期要比繼續增暖回到第三紀氣候的可能性更大。比照過去氣候變遷的步調，下一次冰河期的到來大約在今後一萬到兩萬年之間。

上項推斷是根據有利於此結論的事實所佔份量較重，才作此大膽的假設。近幾年內倘能得到更新的知識，必可作更可靠的推斷，這些知識有的已經握在手頭。

放射性時鐘和化學溫度表修正了歷代氣候的假設

過去我們都是非常概略地根據棕櫚化石的出現來推斷暖濕氣候；或者發現毛櫟花粉即以之代表寒冷氣候。決定年代的方法是估計積存這些刻有痕跡的化石和花粉沉澱物所需的年代；或者切割一棕櫚或毛櫟當初還是一株活樹時就已形成的河谷。比較準確一點的決定年代方法是：數出冰河期間或冰河期後沉積下來粘土層或鹽層的層數。因為這些鹽層逐年堆積（一年有兩套），由於湖水溫度有季節性變化之故，細粘土層或粗粘土層彼此相間。這種方法有時會得到相當好的結果。但也非經常可靠，因為可能會有接連幾年的鹽層完全被侵蝕掉，或者有幾年說不定會有重複的双套鹽層。

大多數地質學上的事件都只能非常粗枝大葉的決定年代。地質學家們到現在還不能一致同意第三紀究竟是在半億還是一億年前開始。

直到1940年羅瑟福爵士(Lord Rutherford)首次提出放射性時鐘的想法，才算真的有可能得到一種合理的確定年代方法，能用作地質學上的時間量尺。1896年巴克奎萊(Ahtoine Henri Becquerel)已經發現了鈾的放射性。隨後居里夫婦開始他們有名的放射性研究。羅爵士提出這種想法正好把巴克奎萊和居里夫婦好不容易得來的成果向另一方向推進了一步。

放射性元素經由不同型式的射線和質點發射而使原子和原子間不斷衰退。這種衰退產物是和原來化學元素不同的各種元素。因此鈾（在固體地殼內自然出現的元素）衰退而生釷、鉛、氦、和其他產物。羅氏見解的要點是：我們既已知道鈾的衰退率，那末只消比較已衰退和未衰退鈾的質量就能確定鈾源的年代。

他的意見非常正確。但其間也有許多困難問題，譬如說，衰退產物之一的氦是一種氣體，產生後自必立即散失在大氣中。測定鉛和釷的質量也很困難。但柯普(Kulp)有言：「此一開拓工作……表明地球至少已有二十億年的歷史，並藉此可建立一絕對性地質學上的時間量尺。」

第一具真正實用的放射性時鐘直到二次大戰後才製成，此次發展得力於趕成第一枚原子彈期間所得到核子物理學和技術學方面的知識。根據此項知識和隨後的研究，又出現了幾只新的放射性時鐘更為準確。美國芝加哥大學的李勃(Libby)教授和他的共同工作者即以碳14時鐘作為探測和求值之用。

地球上的大氣層不斷受宇宙線轟擊，由此而產生氮原子，它的原子量是14個單位。變為放射性碳的時候重量仍為14。但原來的碳原子量是12。由於大氣中各種氣體都能完全混合，碳14在整個大氣中分佈得非常均勻，經由植物吸收，在表皮內和原來的碳——即碳12結合。動物受植物飼養因而也得到碳14。

碳14對於動物植物既然分配得非常均勻，所以活的動植物（包括人）表皮內碳14和碳12都保持着某種比例。動植物吸收後不再能吸收碳，不論是碳14還是碳12。原來所含的碳12量唯有經物理上的腐蝕或化學上的置換才會減少。碳14既屬於一種放射性元素，它的減少不僅循上述途徑，且經由核子衰退而逐漸減少。可見碳14和碳12的比例當隨時日之消逝而改變，彷彿是一只時鐘，能在幾百年或幾千年後讀得已經歷的年代。根據歐洲棕櫚樹內部遺留的碳就可以確定它的年代。

碳14的衰退率只能用來確定四萬五千年內各種物

質的年代。超過四萬五千年，動植物所遺留碳14的份量太少，不易得到準確結果。即使在此時間限度以內，也不能絕對肯定，只能表出最可能的年代尚需加或減多少年作為準確度的彈性。茲舉一計算實例如下：

描 述	年代 (自1958年 向前推算)
西班牙—古代湖沼內泥煤所夾之渣屑 (以橡樹及松樹為主) 鑑定	4270 ± 120
澳洲—巖洞內掘得之木炭鑑定	34000 ± 3000

(以上為尼日蘭格羅寧琴(Groningen)大學實驗室中決定年代的實例)。

應用碳14放射性時鐘確定年代遠較它種計時技術為準確，因此對冰河紀幾乎整個起了革命。過去假設第四冰河期是根據冰層外圍在一萬八千年與六萬五千年間消失作為大體上的終止年代。但據碳14所確定的年代表示美國威斯康辛州在距今一萬一千年還有冰層，所以現在都以此作為最近一次冰河終止期。同樣地，溫暖而濕潤的「最適氣候」過去認為一定是八千年前，但碳14時鐘所示讀數為六千年。這些修正年代得出一重要結論：即使是主要氣候改變（足以帶來或消融巨大冰川面積達數百萬方哩者）也能在遠較以往假設為短暫的時期內出現（起迄全長在數千年之內）。

假設鈾和碳14是僅有的放射性時鐘，那末對於修正和確定太古時代重要氣候徵兆的年代仍有困難。好在我們已經知道有許多種放射性元素對修正過去氣候將極有助益。其中鏷 (ionium) 可以確定深海中四十萬年以內沉澱物的年代；鈾可用以估計有些火成岩的年代超過一億年。

核子物理學的新知識也已經提供了第二種重大發展工具，那就是化學溫度表。過去差不多都依據從岩石和沉澱物中找到動植物遺跡，自其分佈情況間接推斷溫度趨勢。1951年尤雷 (Urey) 和他的共同工作者表示：根據沉澱在深海內的有機體殘渣，測定內中各種氧分子的比例，就可以推斷當時的溫度。尤氏早年的研究已經表示氧原子有各種重量，和它的16單位標準原子量略有出入。在新形成的分子中以不同的比例組成，此種比例須視組成時的溫度而定。

安密雷尼 (Emiliani) 根據尤氏的發現，以及碳14和鏷所決定的年代，在1955年重繪過去四十萬年的海水溫度曲線。此曲線中顯示：距今約二十九萬年前溫度突然下降，由此推斷冰河紀從此時開始。這條曲線也表示「最適氣候」約在六年前。此後即不再有同樣溫暖的時期。

尤氏的化學溫度表目前是用在測定深海沉澱物中

有機體的殘渣。類似技術自可用於重繪湖沼沉澱物測得的溫度曲線；將來或許還可用到陸地上堆積物如像沙丘之類。甚至可能用化學技術提供有關溫度情況的類似資料。因為周圍溫度對於確定精細的化學變化非常有用。

氣候變遷的原因

冰河紀內主要氣候變遷的原因在理論上可舉出很多，像大氣中二氧化碳含量的改變；陸地變遷；火山爆發噴出大量塵埃因而掩蔽日射；南北極之改變位置；山嶺之建立改變了溫度型和雪量；地球繞日軌道之不斷變動；太陽輸出能的改變；以及北冰洋上冰塊融解和氣候增暖的修正作用。關於最後一項理由新近由愛溫 (Ewing) 和唐氏 (Donn) 提出，頗受擁戴，因此值得介紹：

愛溫 and 唐氏的學說關鍵在於：氣候增暖使北冰洋上的冰塊大量融解，因而使更多的冷水流向南方，於是整個中低緯度普遍轉冷。他們並且認為：北冰洋的冰如果融解得多，由於水面開放，藉蒸發作用而能供給大氣中更多的水氣，雨量乃增加，在鄰近陸地上冰河得以重建。但此項學說並不完善，主要因為它不能提出全球性氣候變遷的原因，亦未解釋何以南北半球會同時出現大冰河。查理何茲 (J. K. Charlesworth) 有一評論最為恰當，雖然他說在愛溫和唐氏發明此學說以前：

局部原因，如一股洋流可能會暫時使雨量增加；又如撒哈拉沙漠被水淹沒當可成為阿爾卑斯山冰川的水氣來源；或者有大量浮冰侵入北大西洋……這些原因也像海峽之啓閉或洋流之改道一樣，都不適於一般情況。因為它們在傳遞熱量方面如果和大氣環流相比，實在要渺少得多。總之，全球性的現象需要一種全球性的原因。

以整個地球來說，產生冰河紀所見的主要氣候變遷唯有藉二種途徑：一為改變大氣，如像加入大量塵埃（克拉卡吐火山爆發可為例證）和變更二氧化碳的含量都可影響大氣對日射的吸收。二是兩極變更或大陸沉淪移位。第三是來自太陽的能量和稟性發生變動。前面兩種像火山和二氧化碳的量、兩極的移動、或大陸的沉淪移位必須非常顯著，並且就地質年代來說，變化很快，一次又一次，因而加速冰河期的起迄。經近代放射性時鐘和化學溫度表加以證明者才有可能。截至目前為止，我們知道這種轉變只能產生較小和次要的變遷。因此現在注意力都集中到第三種可能性，即來自太陽的能量和稟性的變動。

太陽是氣候變遷的主要控制因素

太陽輸出能的變動可能和天氣及氣候紛擾發生關聯，這種觀念最初由威廉赫許 (William Herschel) 爵士在1801年提出。後來很多科學家都想發現到達大氣上限的日射能量和逐年或前後十年氣候演變的關係，其中尤以英國的吉勃華克 (Gilbert Walker) 和美國的克雷頓 (H. H. Clayton) 為主。從1890年開始，差不多統計了半世紀日射總輸出和溫度、降水量、地面氣壓、以及天氣和氣候其他方面的關係。

這種工作雖然得不到實質上的結果，但却因而是專家們重新把興趣集中到早年天文學家所發現氣候變遷和太陽黑子頻率的關係上面。

自從發明望遠鏡以來就不停地觀測太陽黑子。由於它們是成群出現，因此太陽表面可包含若干不同黑子群，每群中可以有四十個以上的黑子群只佔據一小部份的太陽面，但絕對面積可能很大。美國加州巴塞地那 (Pasadena) 的威爾遜山觀測所在1946年2月7日曾觀測得一群特別大的黑子，其中單獨一顆黑子的直徑竟達九萬哩，整個一群掩蓋的太陽面積達六百億平方哩，超過地球面積三百倍，雖然它佔太陽面積還不到十分之一。

瑞士的蘇黎支 (Zurich) 等處從事日球觀測已經超過一百年。黑子群頻率和個別黑子的紀錄都小心加以保存。這些紀錄顯示黑子最多的頻率出現得很有規律，間隔略超過十一年。當克雷頓等將注意力轉向太陽黑子的時候，發現一項輕微而重要的關係，那就是十一年的太陽黑子週期和地面氣壓變化確有關係，並且還發現兩倍黑子週期也略有相關。更有趣的是布魯克 (C.E.P. Brooks) 發現尼羅河泛濫期的水位最低，每隔二十三年出現的機會顯然要比中間的年份要多。黑子是太陽表面磁場干擾區，其中荷電分子按順時鐘向還是逆時鐘向進行，要看黑子在太陽赤道以北或以南而定。這種電磁漩渦和我們地球上的熱帶風暴相似，但直徑要大數百倍到數千倍。黑子越過太陽表面運行，但地球上觀測人員看來，它的行動受太陽自轉所支配，也就是說帶着黑子和黑子群旋轉，正像颱風之被地球自轉所帶動一樣。

但問題最重要的一點是：黑子產生波長極短的紫外輻射大爆炸，黑子最多時較最少時紫外輻射要超過幾十倍。況且黑子增加，來自太陽的X射線、無線電波、和荷電分子也跟着增加。這些效應再加上紫外光的波動，於是就發生地球上層大氣的巨大電磁風暴；

且使極光伸張，強度突增。講到氣候變遷，關鍵在於這種發射現象是否還會影響到地面氣壓以外的因素？再如有幾千年黑子特別活躍是否可能改變氣候以至於促發一次冰河期呢？

美國氣象局的威克斯勒 (Harry Wexler) 幾年之前曾研究北半球1899~1939年間黑子最多期（每三年）的氣壓、溫度、和雨量紀錄，以之與黑子最少期的情況相比較。目的在於決定黑子最多而紫外輻射、X射線、荷電分子也是最強對長期氣候有無影響。

威氏研究結果表明：黑子活躍期如能延續，將趨於使北美東北部和歐洲西北部冬季的雪量增加。這兩區域正好是古代形成巨大冰川的地方。再者，黑子活躍時因為這兩區域夏季比較涼爽，所以這一年的暖季冰河的融解量將大為減少。專家們認為：即使整個太陽輻射變化（量得的總能）不致產生重要氣候變遷，僅因發出紫外輻射、X射線、和荷電分子的變動也可能產生氣候變化。1952年德國柏林探空觀測發生的一件怪事可為實證：

這一年2月24~25日，柏林照例舉行探空觀測，汽球帶發射機到高空測定對流層和平流下層的溫度和濕度。這次在平流下層溫度忽然增加到華氏七十度。這種奇怪的溫度上升和前幾天及前幾星期太陽紫外輻射的突然爆發不謀而合。強烈加熱效應最初約在高度十萬呎出現，數日後忽然在七萬呎處，溫度增加約華氏二十一度。可見這種顯著的加熱現象使較高和較低層空氣都同時迅速下沉，因壓縮而增暖。正如空氣沿山坡下降時溫度升高一樣。因此紫外輻射的爆發成為空氣下沉的樞紐，藉此經過一連串事態而產生顯著的增暖。

歸納柏林那次探空事實，威克斯勒的研究、許多天文學家、地球物理學家、氣象學家其他的觀測和研究，大致都可以證明過去主要氣候演變實因日球輸出紫外輻射、X射線、和荷電子的連續改變所導致，預測今後也會這樣。

上述觀點在不久的將來可能會經由氣象學家和天文學家的研究而有重大進展，特別是利用火箭和人造衛星從事觀測勢將提供更多的大氣最上層資料。該處日射初臨氣海，探究此一新領域（離地數百哩）可能會得到最寶貴的線索，能够回答當前的問題：人類是否再會遭遇一次像幾萬年前那樣的冰河期？當真如此，那末巨大冰川又將在何時蒞臨？（完）

節譯自 "The Ocean of air" by David I. Blumenstock.