

氣候資源處理態度之商榷

MANAGING CLIMATIC RESOURCES

樊滌兮 譯

一、引言

近年來在天氣改造與氣候控制的研究上，可謂怒潮澎湃。在環境資料的蒐集與分析方面，配合人類對自然狀況之更佳瞭解及對氣候程序相互影響關係的深入，已以理論性之遠見供給研究人員，作為解答全球氣候之如何可予改造，以及某些問題之最終結果如何之定見了。人類之技術能力已完成許多氣象影響的結構，諸如廣大內陸海之創造，促使洋流偏向，雲區及地面區的廣佈雲仔，可能的甚至北極冰帽區之剷除。然而仍不能解決有關大範圍天氣改造努力所造成可能為全球影響的某些不確定事物，除了可帶來環境的重大改變外，在經濟、社會、法律以及政治上會興起無限的複雜問題。

當國際景從之研究努力不斷的促進吾人之氣候學理知識，以及諸種主動作為之可能性，吾人亦逐漸瞭然於因人類活動已構成疏忽且不可逆的影響全球氣候之擾亂事實。尤其人類活動疏忽之後果，在僅僅的數十年間即可多方面增加，特別是當世界糧食生產之壓力逐漸緊迫，即可因氣候之偏差，造成愈為嚴重之社會後果。故其不可避免的結論乃為全球氣候資源之極具目的化之處理，最終將變成需預防不期之改變。此種作為可能被用以促進現存氣候狀況乃明顯之舉。

所以我們要考慮物理問題之本性，對其目前瞭解之深度，及對人類有效影響之能力，以及未來進步之瞻望。

二、無意中對全球氣候所造成之影響

不管人類活動在過去世紀中氣候變遷方面所擔當之重要角色為何，然仍不能以任何信心答覆此一問題。吾人對全球氣候之複雜性所知仍少，故不足以評估一系統的動力區應於一已有的變化。有的研究人員曾辯稱人類活動之效果，已達重大程度，甚或已主宰氣候。其影響要素最多者，據說為碳、

二氧化物、特種污染物（煙霧及塵）以及熱污染體等（如廢氣）。高等的物理辯論需注意這類污染物對大氣之熱平衡效應。

二氧化碳在大氣中是三個重要吸收輻射的要素之一（其餘二個是水汽與臭氧）。無疑本世紀之大氣中已集中不少的二氧化碳，且顯然已達10—15%，主要由於含碳燃料之燃燒而增加。在大氣中如有一層較大的二氧化碳集中，其物理效果將在太空中減少輻射之作用。如此由於二氧化碳的增加可使全球大氣增暖。有人稱從一九〇〇年起之大氣增暖即基此原因。柏拉氏（Plass 1959）曾估計上一世紀和過去比較平均已增暖 0.5°C ，這還是較早的估計，如以二〇〇〇年起估計，由於此種原因將可增加高達三倍，其他人的估計將增暖更多。儘管這類論述如此，然而過去十年中尖銳的冷卻現象，却指出另一相反方向之因素較大氣二氧化碳之含量為更有影響之事實。例如，摩拉爾（Moller 1953）估計大氣所含二氧化碳10%的改變中，約有3%的水汽及1%的平均雲量變化可予補償，尤且海洋之廣大容量可吸收二氧化碳，吸收之多寡視其溫度而定；較冷之海洋所貯積之二氧化碳將更多。似此海洋之增暖亦為大氣增加二氧化碳之主要原因。總結，如其他要素保持為常數，則由人類活動所增加之二氧化碳在今後的數十年中將對全球氣候引起重大改變，然而，其他要素當然不會變為常數，顯然較二氧化碳更具影響力。

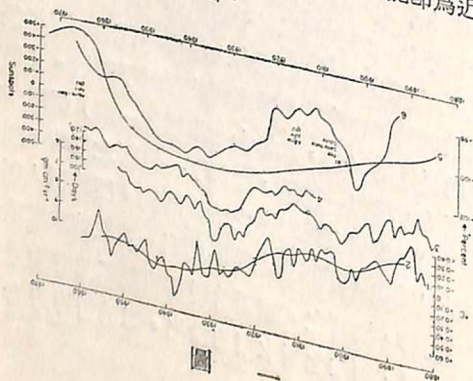
有關熱污染（heat pollution），巴德柯氏（Budyko, 1962, 1966）曾指出雖地球人造能之年產量，現僅佔地球表面輻射平衡量的 $1/2500$ ，然而如能每年以10%或4%混合大氣達一百或二百年後，其增加量即相等於地球表面的輻射平衡量。（目前之增長量約4%，且每十七年增加一倍）從這些數字吾人可獲得一結論，即下一世紀之某時，熱污染問題將變為全球範圍之重大問題。屆時吾人需設法予以抵償，否則吾人將形面臨一尖銳的全球增暖可能趨勢，換言之，該種增暖將觸發其他增強變型現象出現，例如北極冰帽的融化。但是暫時的或未

來之數十年，熱污染效用將不會大的發揮足以影響全球氣候之威力。

巴德柯亦考慮到森林帶、灌溉計劃、泄洪及大的人造水利工程等環境影響。這些計劃可嚴重的影響區域性氣候，對全球性氣候之有意義影響則似無可能。

人造大氣污染物中一個增加最速的東西是「煙霧」(Smog)，它可化身為工業污染以各種姿態出現。正如吾人常見河川清流常被工廠污水不斷之污染變質廢棄相同。在我們所賴以維生的空氣之海中，我們所不能輕易看見的，亦漸被污染與混濁。布拉斯(Bryson 1968)報稱遠離一切污染原料之Mauna loa 觀象台每十年混濁之增加量約達30%，此乃為一般增加量之說明。他進一步說明一種略為混濁的大氣透明度，甚至僅達3—4%，即可使全球平均氣溫減低約0.4°C。其原因為較混濁之大氣可將太陽輻射熱反射回去而僅讓較微弱之熱量穿過大氣射向地球所施然。布拉斯相信這種不斷增加的全球空氣污染，經過其作用對地球大氣反射，是目前對氣候之主宰影響力，且對近十年來氣溫之遞減之負責者。巴德柯(1968)亦歸因於氣候的改變主要對大氣透明度之減少，乃因過去的火山爆發及近數十年之人造污染所引起。假如這些敘述正確，人類即面臨一立即和火速的全球氣候安排，特別就煙霧之產生，在全球各地連續不斷以霧數率，且在可預見之將來將呈無法抑制之情況。

圖一中之曲線表示大氣透明度從一八九〇年以來之可見趨勢，且一般的與全球系統某些偏差相配合。在本世紀初期透明度顯著的下降，可歸因於一連串的火山爆發，然而從一九四〇年起之低降則不屬此因，雖一九六三年的Agung火山爆發曾引起一著名的全球性影響。如此則人造污染可能即為近來氣候改變的最重要原因。



圖一

相反，太陽活動與大氣透明度亦有類似之關係。圖一中曲線即表示出太陽黑子活動之趨勢，且吾人可見甚多大氣透明度近來之減低，即可能以此基礎予以說明。如果此說正確，在未來的十年中，一種逆轉情勢即將出現，因在此期間吾人所預期之太陽黑子活動較少。

還有另一個成長的污染形式，是由高空飛行機廢氣所造成的卷雲問題，而其已知之可能影響的研究却不多。任何形成的雲量增加皆趨於地球反射率(Albedo)，且根據布拉斯計算，平均地球反應率如增加1%，地球即將冷卻1.6。然而所需注意者為高空雲量之增加，將大大減少輻射熱之損失於太空，這樣對地球即有一種增暖作用。似此，不管雲量之多少，其雙重效果均大，但其純淨影響的方向，則當視雲之型態及高度，以及地球處於受日面及暗區等而定。

從前述之考慮，吾人可獲得之結論為人類在目前可能由於疏忽而影響了全球氣候。誠然人類活動之數種產品在近數十年內乃極其理論性的十足的影響了他週圍的氣候。然而以全球系統言，在這方面之特種原因和影響估計，均因自由之程度不一而變化的花樣翻新(即難予管制使之趨於一致)，故仍為一十分不確定之事。為對此種不確定獲得更深一層之瞭解，讓我們簡略的看看全球氣候的動力問題和多面的本性。

三、全球氣候的改變型態

特定地區之氣候變遷，乃取決於一部份相對的靜態因素，諸如高度、緯度、地形、地面，以及拂過其上的空氣之特質。引起天氣變化的動力因素乃為大氣環流，換言之，海洋與大氣系統之相互作用可強烈影響天氣。大氣環流在年中某期之平均行為偏差可組成氣候方面之偏差。

已出現之基本的世界性氣候變化，甚至在最近之數十年間，已由甚多的研究專家們所述及，諸如Mitchell, 1963; Willett 1965; Lamb 1966; Rubinstein及Polozova 1966。資料顯示全球大氣環流之總元氣曾遭受重大之偏差，主氣流隨伴有緯向之改變，且亦隨其驅動之性質而改變。全球大氣環流型態上之偏差，可能即為世界各部份氣候資料得以相關說明的一項因子。

例如，在本世紀之最初三十年間，其一般趨勢

是一個北半球環流之壯大，一個在大氣與海洋方向向北位移的極面(冷氣團之外緣)，一個積冰的外緣與氣旋路徑(廣大且迴轉的氣流圈)的向北位移。大陸上則為阻塞氣團的微弱發展，北美和歐亞大陸的南中部份則為廣大而盛行的不毛區域。相反，近數十年來却表現出一相反之趨勢：一個衰弱的極區環流、冰界與氣旋路徑俱作南向變化，大陸的南中央部份水量增加。配合這種趨勢以一九六八年之情勢可作為最佳之說明。在該年中由出現上半世紀從未發生的海上最大流冰，致使冰島漁民蒙受甚大損失，然美亞大陸之變賤的特殊現象，却迭創過去廿六年以來之最高峯。在印度原預報一九六八年為其饑荒年，但事實上却未出現，相反的因有利之氣候而五穀豐登，却可作為重要的補償因素。在南半球因智利降水區之向南位移，却造成一嚴重的乾旱。

由於這種小的氣候偏差，在人類的活動上已引起複雜的變化，然與不算太遠的往古之重大偏差比較誠微不足道。不到二萬年以前，一個冰舌仍涵蓋着北美大陸，且以二哩之厚度從大西洋伸向太平洋。最後主冰舌從斯坎的納維亞消失約在公元前八〇〇〇—一七〇〇〇年，而北美的冰河後退為時更晚。在冰河後退期及其後，地中海區及可能的北半球甚多區域之雨量，均較目前為少，其可能原因或為冷海之故。冰河後稱為「氣候最宜期」之溫暖高峯期，約為公元前四〇〇〇—二〇〇〇年，在該期中世界氣溫約較目前高二—三度(攝氏)，北非與中東之雨量甚豐。

從溫暖之最宜期突然下降約為公元前一千年，然後一直為低溫冷至公元前四百年。此為北非雨量之最高期，此期伴隨着部份由氣候力而引起之人類活動的迅速發展。該期，一個重新之溫暖期又形介入，一直延續至公元後八〇〇—一〇〇〇年的「第二氣候最宜期」。由於該期之少雨較暖和大西洋的缺乏風暴，遂使大羣維金人擁向冰島，格陵蘭及紐芬蘭殖民。隨後又是氣候之低潮，致使北極冰線在北大西洋向南推移，於一三〇〇年中斷，於一五〇〇年又恢復，於一六五〇—一八四〇再達「小冰期」之高峯。

約從一八四〇年始，一個新的溫暖期便又統治且出現到達本世紀溫暖之最高峯，從一九四〇年跟着而來約是一個冷期，初不規則，從一九六〇年後

却甚尖銳。此期所表現於兩半球者，係由一般之溫暖情形和一活躍的西風環流相伴隨，對大陸變以更多之海洋氣候，氣旋路徑向北位移，北極區顯著的增暖。最近的轉冷趨勢表現一相反之型態：較弱之西風環流，多變和南向的氣旋路徑，及一較冷的極區。

南半球的這種改變則較晦澀。對南半球之貿易風強度未發現可資信賴之指數，即使中緯度之指數亦不深知。南半球有由百分之八十海洋所涵蓋區之溫度型態全不存在，甚至從國際地球物理年起，南半球各大洋之海水伸展範圍亦皆屬未知之數。但是，雖此貧弱資料亦可用以顯示從南極至北極關係氣候變差之明證。此種情形已表示於圖一中，該圖顯示與南半球情形相同趨勢之北半球地表平均溫度，南極區之積雪，和溫德爾海(The Weddell Sea)之堅冰，咸代表全球系統變差之表明。

四、全球性的氣候機器

由不斷的跡象顯示氣候之改變，可僅以全球範圍之大氣與海洋的習性，即足以闡明。低緯之淨熱與極區淨冷促成或迫使大氣運動，換言之，該種大氣運動係海洋之表面環流所造成。(圖二)平均言



圖二

，大氣與海洋之運輸熱量，其力量之宏偉足以平衡極區至赤道間熱量損耗之差距，以大氣運動之變型，將潛能變化為動能之變化率，可平衡磨擦所消耗之量。氣候之變化似與全球大氣環流之活力變化相伴隨，但全球系統又為何要變化，則仍是一個謎。為此要研究氣候之變化，先需瞭解的基本問題，當為大氣環流之總量的發展情形而定；且因推動大氣運動四分之三的热量，係來自海洋之表面，是故海洋上的熱運輸以及海空大氣之熱交換，其量之瞭解

，尤為一重要問題。

像如此的「瞭解」，似應以行星分配之海空的失熱和得熱研究一併開始。基本物理學定律，可幫助我們預報溫度、氣壓、運動、水汽、雲及降水，整個合成的潮濕空氣和熱交換的全球分配情形。實際上，這亦代表著絕大之困難。然而由於現代電腦處理技術之發展，神速的進步現正完成中。如目前以數值模擬某些詳細之大規模程序，較從自然中觀測，已變為可能之手段。

為要求運動之大氣促進真實大氣失熱與得熱程序之更佳瞭解，此種進步正朝向模擬大氣動力細胞之方向走。赤道區之加熱與兩極區之冷卻，其變化情形，應由相關資料之貧乏，因瞭解不多而研究亦少。

雖如此，目前所發現之海空熱與濕空氣交換，出現逐年變化，以及這些距平成密切相關於所見的大氣動力習性變化，均十分重要。

例如，此種變化的雲可影響太陽輻射反射回太空之部份，從海洋至大氣的水汽與可感熱，要根據風速和海上環流及洋流源地之地面風變型的持久性距平等而定。例如，一個很具影響作用的海空大氣相互影響作用，從屬巨大而突發性之距平，與赤道區之冷水區相伴發生。此區之形成係由赤道南北溫暖的表面海水，對東來貿易風反應而發生之相反偏流。在東太平洋區，洋流源地海水與溫暖海水，其任一側之溫度變差，正常時皆達數度，而其延展範圍長達數千哩。在印度洋，由1963—1964年之探測，在該區發現有一冷的赤道舌，其溫度較鄰近海水（ $28^{\circ}/18^{\circ}\text{C}$ ）約冷 10°C 之譜。

歷數年過程，這些冷的赤道舌，如赤道貿易風之衰蔽般變弱或衰褪。Bjarkness 1966曾對太平洋區此種情形著文討論數例，表示水汽之合成變化而其凝結結果影響整個北半球大氣環流。為印度洋作相彷彿之研究，因受限於資料不足故尚未進行。然此種情形從1961—1963以來，此種程序似與東非之降水發生現象相伴隨。實際，這種發生現象之頻率從1961—1963年期，可能與全球系統變化有密切的連帶關係。

印度洋區之大規模大氣與海洋環流的相互影響作用，其逐年遞變已為人所深知。欲瞭解此種相互的影響作用，不單需瞭解全球氣候，同時亦求立即應用以預測西有季風，該季風直接影響該區之農業及

經濟，而該區及為世界人口最密集的區域之一。

吾人之現有知識情況，尚不足以說明赤道貿易風為何會有衰蔽現象。假定其必與下列事實有關：

(一)南半球海洋性反氣旋之強度和位置。

(二)南半球西風之強度。

(三)平均槽與脊的子午線變化。

由不斷之跡象表示北半球環流變化，係受更強的南半球環流影響所致，但行星變化之基本原因仍晦澀不明。

在氣候變化各種不同指徵與太陽活動之各種不同指徵間，強有力的統計關係，已由不少研究人員發現指出（如1961年的Fairbridge；1966年的Rubinshtein及Polozova），但尚無人能進一步具體的找出言之成理的理由和效果卓著的解釋。圖一中之曲線顯示出太陽變化與全球氣候變化之同一性。一般稱太陽為恒星，故其常態性變化對說明全球氣候相當大的觀測變化，其判斷常失之過小。所以甚多注意轉向於尋求上大氣程序中之機械作用，由太陽能之微小改變而觸發，即可轉而影響具有更多能量的對流層程序。然而，海空大氣相互影響作用之更佳瞭解，可顯示一相反的程序，由地面或低層可增大那種渺小的太陽變化效果，以造成行星系統習性之大改變。這樣的一條「熱槓桿」（Thermal lever）即是海洋流水的可變性伸縮範圍（Fletcher 1969）。

五、以海洋流水之易變範圍作為氣候變化之制機

海水之存在，在冬令有效的防止從海洋對大氣之傳熱，這樣就迫使大氣平衡了損失於太空中的輻射熱。例如，元月在北極中央區之平均地面氣溫為 -30°C ，而在水帽下微呎之北極海水溫則為 -2°C 。水與積雪是這樣好的一具絕熱器，僅使些微之熱量從地面以下到達地面。地面將輻射熱散失於太空，由於地面之失熱而造成冷卻，直至其冷至又向大氣吸收所需之熱而後止。熱力之介入海洋終被大氣制止。設如某處無水存在，則其所需熱將獲得於鄰近較熱之海洋。

夏季相反，一個開闊的海洋，可吸收到遠海面百分之九十的輻射熱，此與一年四季被堅水所封鎖狀況下低能吸收百分之十至四十者迥異。由之，水

之存在可防止冬天海洋之失熱，及夏天海洋之吸熱。對於大氣當然亦可應用此相互關係；在水帽上空之大氣，冬天愈冷而夏天愈熱。這樣的話，可變水之範圍即可擴大太陽熱量變化之效果。如此，太陽輻射減少會引起冷卻，因冷卻而水之範圍延伸，因水面積之擴大，而大氣冷卻更甚，由此引起水的更廣袤成長和更大的熱力梯度出現。這一連串的原因和效果均屬自強型，且供作「正」的逆增（此處所述之正負，可能指太陽輻射之保守與散失之相對情形而言）。由此推演，像這樣的一種程序，在其於海空大氣系統內觸發其他之不安定（如前述之赤道溫度突變），其究竟會發展至何種程度，無法判斷，獲得定解。顯然有許多複雜的逆增或「反哺」（Feedback）程序存在——勿論其為正或負值——於海空大氣的「氣候機」（Climate Machine）與可逆逆增方向以外的許多門檻上。（此種「門檻」係指氣候變化之「轉機」而言，譯者）例如，我們能猜北極區之增暖——1940年曾使北極冰帽之厚度減薄甚多——行將繼續嗎？當北極區之水於夏季後退更遠，而薄冰於冬季變的更為支離破碎，水汽即可增加，如此，即具資格而可冷卻海面海水，減小海洋上層空氣之垂直安定性。假如此種程序繼續到足以摧毀海洋表面現有強烈成層之空氣結構點，而引起深度之對流，然後地面之重新凍結將變為不可能，直至整個海水柱冷卻至結冰溫度——至少費許多年後的一種程序。在整個海洋冷卻至結冰溫度後，額外的冷卻將使地表再凍結，這就形成地表附近空氣之成層和表面冰的再造型，亦即恢復其「原型」。這樣，一種門檻即會存在於每一方向——使防止再凍結的成層破壞與觸發再凍結之熱容量終於枯竭。

Budyko 曾辯論謂在現有的太陽熱情況下，北極冰帽於被除去後即不能再行復元。代起的將是一新而安定的氣候區，北水洋位於其內將保持不結冰狀態。

要能更確定的答覆這種問題，我們真需在北水洋無冰的假定條件下模擬全部行星環流，但此仍不能適當的完成。但在北水洋無冰假定條件下對各不同層次之緯向溫度分佈的詳細計算已由 Rekipova 大氣環流之強度進行將減弱，但冬季仍較夏季為強，但以季節性比則較目前者為弱。在高緯地帶，向極的大氣熱輸送在冷半年期將減少百分之廿五，而

北水洋將保持無冰。在夏季，因全球氣候的充份增溫，將導致北極冰帽的消失，相反的却為一新而較安定的氣候區予以建立。此區之性質，當以更接近溫帶之氣候帶入副極地區，可能使世界之其餘部份更形乾燥不毛。

Budyko 於一九六八年曾用一類似的經驗法則，以估計在不同太陽輻射相互影響下對全球氣候之影響，在行星冷卻期冰的延展變化，以及平均全球地面溫度。他曾為此一高度理想化的模式所作的結論為：在此種事件中，對整個地球的平均太陽輻射，約減低百分之一，平均地球溫度約減低 5°C ，而冷卻由一前進的冰舌支援，在兩半球皆同約前進十個緯度。設如太陽輻射減低 1.5%，則全球氣溫將下降 9°C ，而冰舌前進將達18個緯度。如果輻射量繼續減低為 1.6%，而冰舌之前進在兩半球將超過50個緯度，由於廣大的結冰面積，冷卻不斷進行，最後直使全球所有的海洋皆被冰封。一旦這種情況成功，則即使有再多的太陽輻射而堅冰的融化將不會發生。

所應注意者為 Budyko 所用之經驗根據，是從計算北半球氣候資料和假定南半球亦和北半球相似而來。這種假定似乎誇大了全球氣候對太陽輻射之敏感性。但 Budyko 的戲劇性結論亦說明對這種逆增或反哺程序具有考慮之需要。水之延伸範圍是一最具影響力的要素，能很快將地球之大範圍熱力特性傳遞。如此，對結冰範圍的相互影響作用，輻射變化與大氣環流等之瞭解，均為瞭解全球氣候變化之要圖。

六、人為影響全球氣候之可能性

以深具影響力的大規模大氣環流而改造全球氣候之理論遠景，已由 Yudin 氏完成其討論，彼強調自然界之能的龐大有力與人為者無與倫比，故彼認為需尋求方法以觸發自然之不安定，諸如以較小之能輸入而造成。例如，當運動場期能予以直接之觸發，以避免以自然循環之中斷環節，在該環節中涉及熱的轉換，由熱而潛熱（能）而動能之先後變化。Yudin 指出，在理論上使用較改變溫度場或氣壓場所需為少之能量而影響速度場，應該是可能的。尤其，影響速度場之能將被均勻應用於廣大的面積

上，以減小因寄生傳音和重力波而使能量消耗。Yudin進一步指出速度場之特殊組合特易從事影響。

Yudin 然後建議說，根據這些方案而應用能，吾人應將強置於氣旋的天然發展過程可識別而臨界的「不安定點」上。例如，僅是輕微偏差的某種風，即知其與快速移動的氣旋中心兼程併進。

這些簡短的準據或規範，已清楚的識別出一種和大範圍天氣改造連帶的困難，亦即理論上最有效而牽涉行動的方法，我們尚不知如何有效的去產生。相反，對熱之損失和輸入於大氣的各種影響途徑，雖然從立即的動力結果觀點去評論，在理論上仍屬無效，然而於現代技術却有更大之成就。例如，高雲之形成與消散，對大氣及地面的熱預算成有甚大影響一事已被注意。尤其在一定之條件下，僅一公斤之試劑，即可完成數平方公里雲面積的雲仔撒佈工作。據估計只需有60架C-54型飛機，運送每日每平方公里一公斤之劑量於整個北極盆地（ 10^7 km^2 ），一天即可全部完成。似此，此乃為巨大且並非不可能的廣大區域播仔任務。

假定這種方式對雲之形成與消散有效，則這種雲的改造效果，對地面及大氣系統之熱預算，倒不失為一有趣的估計。據估計七月份因北極區上空所存在之平均雲量，將減少輻射熱損失於太空之量約達每日每平方公里三千五百億卡路里（350 billion Cal/Km²/Day）（相反，如無雲時則為純淨損失）。由比較知，五百公尺高之總雲量將減少輻射損失每日每平方公里僅五百億卡路里；而五千公尺高之總雲量則減少同單位一萬億卡。此種量不但說明可被有影響的平均雲量所行使之巨大的熱力槓桿作用，亦說明根據雲型、雲高及其對區域性熱預算之影響的可能範圍。此一結論於參考北極區滋潤站不同年代之輻射熱地面損失情形時，尤見正確；可能由於雲之變化，其輻射熱在地面損失之月平均值，其變化範圍超過100%。

同樣可令人注意者是在某些固定情況下，北極冰帽之影響地面反射，並未超出現有的技術能力範圍。因海水之存在，切斷從海水至寒冷大氣之強烈熱流，而調節海水之發展範圍，在對加速大氣運動之熱力造型上，使巨大的熱槓桿作用方面，仍不失為另一可能途徑。

由改變某些洋流方向影響浩瀚的海面溫度，亦

有人已提出建議（Rusin及 Flit Chw, 1962）。這些圖謀牽涉甚大，但並非沒有可能，工程方面之努力，其中有的討論詳見下節。然而其主要困難乃在對海洋動力學的現有認識幼稚，尚不足從事對此類計劃之信賴預報，而且即使其可能，而大氣對此新型熱力之動力反應亦難預報，直至更易實現的模擬模式獲得充分之發展始可。

茲將此類多變例證，以基本結論說明如下：

(一)上述情形可出現於人類的工程能力之內，可影響一定範圍內大氣之得熱與失熱限度內，而該一定範圍又能影響大氣環流之熱力型。

(二)有目的的運用此種能力，目前仍不易見行，因現有的大氣及海洋動力學與熱交換等之瞭解，仍距預報這些努力的結果相差太遠。

(三)直接對運動大氣採取行動之理論雖見更為充足，然其為此而行之工程技術，確非目前可用。

(四)由於人類行為的疏忽影響，最終可導致對全球氣候之災禍影響，除非已發展出某些方法，以補償此多餘效果。

(五)是否需保留時間將此問題置於控制下，達數十年或一世紀，仍將為一公開的謎。

(六)在大氣中，及大氣與海洋間，可被影響的熱力程序變化多端。是故其可提供之語言為：如全球氣候已被適當瞭解，其將被影響係基於下列二者之一之目的——將氣候資源作最大限度之增加，或避免作不需要的改變。

七、氣候改造之特種計劃

為促進特殊地區氣候資源之甚多工程建議，已超高級化。然而所有的這些計劃都犯了一個通病，即從此等可影響全球系統，然不能作可信賴的判斷。這些就能徹底影響全球系之範圍，甚至可能以「遠投」之後果，觸發大氣之不安定。遲早這些工程有的將會完成，且為關心的興趣，茲將其更大遠見展開討論如下（Rusin及 Pit 1962）。

(一)無水的北極海

不失為已討論過之最大範圍企業，乃是將北極變為無水的北冰洋。如前所述此乃為一極端審慎的研究項目，主其事者為列寧格勒地球物理觀測站的屬員們。其中問題是確保全球氣候之攝生性。本問題除非直至全球氣候模擬模式已有更佳之發展和適於行使模擬，否則不能作適當評價。

關於除去北極冰帽工程部份之可行性，彼等亦有一部不確定的問題存在著。可能的是其現有之技術能力，足以完成此任務，然而尚未建立。所提出的三種基本方法為：

1. 影響水面地面反射，以引起對太陽熱之更大吸收。

2. 利用雲仔大規模改變北極區之雲。

3. 增強從大西洋至北冰洋之溫暖海流。

(二)白令海峽之建壩

俄國工程師 Borisov 一直為多種發行物上對在白令海峽建壩之最活動的提倡者。其基本理想是以阻止或使現在通過白令海峽之北向較冷的太平洋海流，而增加溫暖的大西洋流。此一建議中的水壩，將長達五十哩，高達一五〇呎。此計劃之純氣候效應，如完成後仍不能確定。一項可能成就的正確辯論是其效果在氣候的改變上可能不如以大西洋天然發生氣流之來得有效。（其有氣候之改變情形如圖一所述）。

(三)海流之改向

已被討論過之兩種建議……一個是佛州與古巴間之水壩，一個是從紐芬蘭伸出通過葛蘭德堤岸（Grand Banks）之海塘，使拉布拉多寒流及墨西哥灣流偏流。然這些計劃缺乏詳細之工程研究支援，或合成效果之可信賴估計。

(四)黑潮之改向

墨西哥灣流之太平洋相對部份是溫暖的黑潮。進入日本海且為位日本羣島作為進入太平洋出口的一股細流。建議將狹窄的韃靼海峽出口，由洪水潮間漲落，被一巨大的單向水壩所調節，可增強流往鄂霍次克海之溫暖內流，從而減少該處冬日結冰。

(五)西伯利亞海之創造

由鄂畢河，葉尼塞河及安加拉三河匯之水壩，而建成烏拉山以東之內湖，其面積幾乎有裏海那麼大。此湖向南可與裏海和鹹海打連，可灌溉之面積與裏海彷彿。就氣候之效果言，因有此湖之存在，可將地面與大氣間之熱交換變形。更由於其反射率及水汽，可使該區之荒漠變為良田。

(六)非洲海之創造

此「人工湖」之建造是所知之最大工程計劃，如果使每年有一二〇〇立方公里水力之剛果河在斯坦萊大峽（Stanley Canyon）——寬約一公里完

成建壩，即會集成一碩大無比的巨湖（剛果海）。烏班吉河（The Ubangi）為剛果之屬河然後改向西北流，接合恰利河（The chari）流入查德湖（Lake Chad），該湖之面積將可擴大其範圍至一百萬平方公里。此一大湖（查德海）之總面積幾與波羅的海，黑海與裏海聯合之總面積相等。上述兩湖約佔非洲大陸總面積之10%。然後可跨越撒哈拉沙漠引水至北非乾旱地區，灌溉成和尼羅河谷相似之廣大沃野。

(七)NAWAPA計劃

計劃中的「北美水力聯盟」（North American Water and Power Alliance）為一小型計劃。該計劃之水力約可從阿拉斯加及加拿大獲得108英畝呎（Acre feet）之水灌溉美國西部及墨西哥等區。其可能吸氣候效果，係高度推理結論而成。例如，增高大氣所含水汽，至美國中央平原區造成降水，或將水汽輸送至其他地區。

八、未來進步遠景

朝着「氣候控制」走的四個進步階段為觀察，瞭解預報與控制。在吾人瞭解天氣為何演變之自然習性時，我們必需要用眼去觀察，我們要能對天氣加以預報，首先必需瞭解天氣，在吾人能平衡控制天氣前，吾人亦需能預報其結果。

從前述之例證可說明現代技術利用交替的熱力型吾人又有能力影響全球系統，但此行動之結果，則殊難適當預報。全球系統是一單一的，有益的「熱引擎」，其中任何處的實質行動，都可能引起每一處習性之影響後果。目前人類對其習性尚不深知，故在極具目吸化之氣候改造變得可行前，先需在觀測，瞭解和預報方面獲致很多的進步，現在先說一項比較迅速的進步。

在氣候改變的瞭解方面，其進步較緩且不均衡。在氣候變化的觀測方面，一八九〇年代之刺激多富推理與越，且根據量的辯論，觸發了洪水的理論研究，但對此一複雜系統的習性，無法從事其理論試驗，故在瞭解上，真正的進步成就並不太大。甚至迄今，為解釋全球性熱引擎的相互影響及為計算氣候上所已觀測到之變化的適當理論基礎，仍亦尚未發展建立。其因果關係由於所涉因子複雜繁多，且因所研究之問題常被弄的不能明確劃份，故亦晦澀不明。推究方法過於緩慢腐敗。由之，對年輕的

科學家們而言，他們更感興趣的試驗科學之直接法中計有：物理習性之觀測，一種假設之形成，從假設所得結果之推論，以及藉物理試驗而得推論之試驗。至目前止，尚無法對氣候變化之理論做實驗室性質之試驗。

就理論言，對解決某些方程式，如解釋大氣與海洋習性者，給予熱力條件及系統的初發狀況，應該是可能的。這樣的定量分析法，在一九〇四年已由 Bjerknes 寫成公式，並於一九二二年再由 Richardson 予以擴張。但因既非觀測系統狀況之方法，亦不易發揮所需之計算力，卒使此種方法未獲顯著之直接效果。最近之技術突破正在除去此等障礙，且已進入一快進步之時代。

近如二次世界大戰以來，全球約20%的大氣一次即可完成其觀測，因衛星觀測系統之降臨，對某些定量物現在已可作每日之全球觀測此種觀測的技術突破使對全球整個系統之監視變為可能，而衛星觀測之才藝亦可獲快速之增進。

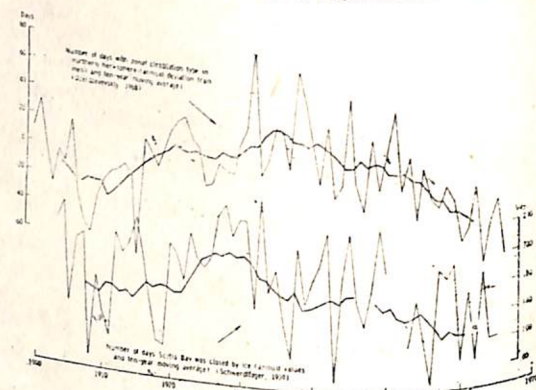
現代電腦技術是氣候資源處理的另一新興途徑，在計算問題上它克服甚多困難。海洋與大氣系統的交互影響之數值模擬已被證實可行。以目前發展之電腦較現存之電腦程式，其計算能力要大五〇〇至一〇〇〇倍，故吾人有理由希望此種模擬可行之於極詳盡之模擬，用以信實估計特殊氣候改進行動的結果。就假設試驗的直接法言，吾人可期其在氣候變化的理論上，不啻觸發一次新生興趣的浪濤。

根據觀測的或預報的熱力條件，此種模擬能力在製作長期預報上，如一季或長於一季，亦供為一種手段。由此可導致之變動是對全球系統觀測的溫度形勢。一種大部份可根據大氣慣性可作之短期預報和過十年來之機械預報，基本上即屬此型。為這種預報所需之輸入資料，是種初發狀況——尤其是運動場的細節性描述。有關短期預報方面的熱力型則似顯過於緩慢而見重要。相反，對一長期者，吾人可期系統之平均者性將主要根據熱力型，且表示與初發動力狀態有相當的獨立性。緊接着氣候模擬與長期預報之成長能力接而來的是對觀測與透過海空熱交換程序的瞭解，必將給予更多的強調。今天我們尚不能足夠詳盡的觀測全球系統，獲知其是否我們所模擬的是一個真實的熱力型。

目前已有許多可預見的方法，就此類方法知所可能被影響的全球氣候，其大氣環流之熱力型，以

一種姿態或他轉姿態之改變，咸在減少中。此種改變自然係隨季節而變化。明瞭如何或為何這種改變必需會發生，始為解釋所見之氣候改變的主要關鍵。且亦為真能評估人為改變結果所需步驟。

地球表面特性的氣候重大變化，及自然發生且達某種程度之表面熱交換，可能是人類所影響而成。在海洋地區海面溫度之異常現象，乃為風吹洋流之結果。在陸地區，則為反射率與濕空氣含量隨植物生長量變化之結果。在水封區，當融冰發生時反射量突然下降。特顯重要者是海水之變化量，因由於冰之存化，可決定海面之熱力特性，是否和陸地及海者相似。此一因子之氣候意義，可由注意全世界之海面於年中某期被冰封之面積約佔12%，而全年平均都只佔4%，而知其甚鑑別價值。那就是說，全世界洋面上有8%的熱力習性又像陸地又像海洋，彼實為一巨大氣候影響的可變因子。圖三表示此關係 (Fletcher, 1968) 之可用觀測證據：南極附近



圖三

諸海結冰之消長變化 (圖中下面的曲線)，終隨北半球五年後大氣環流之習性而呈現出其密切關係。我們可應測五年為從南半球海洋至赤道的一個比較適當的時期。南半球各洋之變化，數年後可引起熱帶海洋之變化，這些海洋溫度之變化，然後再影響北半球的環流 (如圖二)，但受限於缺乏較完全觀測資料，或逼真的模擬模式，此種假設不易行實際試驗。僅於一九六八年就正常觀測基礎開始舉行第一次海洋溫度型及海水伸展範圍之觀測。

最後，所明顯者，如欲瞭解當代及未來的氣候改變，而不瞭解更早的過去之氣候重大改變，殆不可能。解釋這些變化型態，其渠道是去觀測自然本身的氣候控制試驗。是故古氣候證據之蒐集與系統化整理為偉大實際重要課題之一。

之美參院國會紀錄如下：

現行之觀測計劃強調某些特殊地區，劃分固定階段以作詳盡研究，俾便瞭解其熱交換程序之發生，及其對大氣與海洋之影響。此乃對大氣與海洋環流之熱力，該等區域因擔當要角特顯重要，且其變差年年更異，尤富意義。在赤道之熱源區，熱帶輻合帶之變差強度，似與全球性天氣變化有伴生現象。在熱力下沉之兩極區，海水範圍之變化彷彿亦與全球天氣變化有關。在各種例證中，這些變化之原因及效果皆見明顯。由國際合作努力所促進及成就之此一計劃，為處理全球氣候資源之能力，將帶領我們對實現此一目標更進一步，但願此種國際合作精神，繼續發揚，永持勿懈。(完)

圖說：

圖一——南北冰洋結冰之年指數，南極之積雪，北半球之溫度表示圖。

1. 曲線凹凸不平。2. 十年移動之平均——根據北半球平均年溫偏差及1968年 Budyko 所作1881—1960年的逐月距平圖而得。3. 積雪十年移動平均——根據1966年 Giovinetto 及 Schwerdtfeger 所作南極逐年積雪資料而成。4. 南極溫德爾海之結冰——奧爾凱達斯灣 (The bay at Oresdes) 之有水日數——得自1959年 Schwerdtfeger 之十年移動平均數。5. 得自1962年 Nezarov 太陽黑子平均數之累積偏差而成。6. 得自1968年 Budyko 所作歐、美洲站無雲狀況下之直接太陽輻射變化曲線。

圖二——世界洋流圖 (南半球冬季) 由強烈西風推動，在南極區缺乏環流之南大洋洋流狀態其原因乃為該區無密度層存在——向南大洋之最大深度伸入。大西洋，印度洋及太平洋之各海域，無論深海或海面皆受此大洋之相互作用所影響。

圖三——北半球大氣環流與威德爾海冰情形之基本特性變化圖。

〔註〕 本文作者富萊區博士 (Doctor J. O. Fletcher) 現任美空軍AWS總部學術發展部主任、先後來台數次，在台大等校發表學術講演，極一時之盛。

由於前述之考慮，此處可獲之重要結論：我們正在達成，或已經達成一技術的門檻，透過該門檻，進步與投資的努力成比例的配合着。本結論與極具目的之氣候改造企業相偕並進，遲早已成不可避免之趨勢，且值得科學與政府領導人之注意和提倡，彼等需組織和運用這些所需的資源。

九、國際合作

全球氣候資源之處理是一可由世界各國所分享的問題。迄今，氣候研究之國際努力，正導向觀測和瞭解之方向，而合作亦稱良好。在保持這種合作的精神，一旦當指向預報與控制方面獲致更大之成就，則對科學和政治領導層將為一種新的挑戰。

一九六一年，美故總統甘迺迪曾在對聯合國一篇講詞中述及之建議：「對天氣預報及最終之天氣控制，在世界各國間需促成更進一步之合作努力」。在其反應方面，於一九六一年十二月十一日，聯合國將取一項決議 (Resolution 1721)，邀請各會員國參加世界氣象計畫之合作事宜。

於該建議宣佈後之翌年，當世界氣象組織建立了一個特設工作隊完成一項對上述建議之反應，是為其所採取有效行動之第一個步驟。一九六三年所進行者是享名全球的「世界氣象守視」制 (World Weather Watch) 之執行——聯合國世界氣象組織贊助下所創設之計劃。

此一三計劃之直接目的簡述如下：增進天氣預報之準確性，並開拓其應用範圍至多新的領域。

多國的聯合國會員國，由於被改進的天氣觀測及預報對人類福祉之期許，獲致潛在的裨益，表示曉然於此，並各依其能力及資源參與合作，積極參加世界氣象守視之推行。有英美國者司由一項國家性政策，於一九六八年堅定的表示如下：

由美國參議院通過 (眾議院同意)

「國會有感於美國應參與並全力支持該項計劃，該計劃包括——

(一) 世界氣象守視——是一套進行全球大氣觀測，及謀求迅速而有效之通信，世界性氣象資料的處理與分析的發展和作業的國際性系統。

(二) 為發展長期天氣預報能力，及對有目的的天氣改造及無意中造成之天氣改造之理論研究與評價而有的廣泛研究計畫之執行。

附錄 一九六八年四月一日