ある気候変動観

高橋 浩 一 郎

A Review on Recent Climatic Variation

Koichiro TAKAHASHI

Abstract

Recent considerations on climatic variations are reviewed and following points are summarized, (1) Distribution, influences on human society and causes of climatic variations is dependents of time scale of climatic variation. (2) Climatic system is composed of various elements and climatic status determined by delicate balance of these elements. (3) Increase of human consumption of fossil fuel brings increase of CO₂ in the atmosphere. If such trends continues, marked change of climate will occur on the middle of next centuries.

はじめに

第2次世界大戦後、毎年のように暖冬が続き、しばしば異常に強い台風が襲来し、夏は高温、多雨で豊作が続いた。これは日本だけではなく、世界的の現象であり、高緯度地方では、今世紀初めと比較すると、1°~2°C 高温となった。

気候が長い地質時代には変化していたことは、すでに前世紀アルプスの氷河の研究などから知られていたことであるが、戦前では、わずか数10年の間にも、相当の変化が起こるとは考えていなかった。しかし、上述のような気候変化を経験した今日、数10年の間でも気候が変わりうることを疑う気象学者、気候学者はいなくなった。

20年前頃から、高緯度地方の気温は、ふたたびさがりはじめ、異常気象が頻発するようになった。1972年の異常気象の折りには、ソ連、インドなどでは大旱魃が起り、凶作となった。このため、インドは饑饉となり、ソ連はアメリカから多量の小麦を買い付け、世界の穀物市場に大きな衝撃を与えた。

異常気象と気候変動は違うものであるが、密接な関連がある。そして、異常気象や気候変動は、

社会に大きな影響を与える。農業は気象の影響を大きく受けるのでとくに重要であるが、近年、世界の大問題になっているエネルギー問題でも、気象の影響は大きい。気温が低くなると一般に人間のエネルギー消費は増加し、1°C 気温がさがると3%くらい増す。1978年の1月、アメリカの東部では、月平均気温が平年より10°C 近くもさがり、エネルギー危機が起きた。また、人間が多量に化石燃料を消費するため、大気中の二酸化炭素の濃度が増加し、気候が変わるおそれが生じて来た。

このようなことから、異常気象と気候変動、それが社会に及ぼす影響が世界的に関心をもたれるようになった。1979年の2月にはこの問題についてスイスのジュネーブで、世界気象機関によって世界気候会議が開かれた。

異常気象、気候変動の問題は、これからの重大な研究課題である。気候というものを解明することは意外に難しい。いろいろな因子が複雑に絡み合うからである。また、気候変動の振幅を調べてみると、日目の気象の変動幅からくらべるとずっと小さく、それが社会に及ぼす影響も大したことないように思える。しかし、気候変動という

ものは、時間スケールの大きい現象であり、社会への影響は積算効果で意外に大きくなりうる。

たとえば、中央アジアなどにおける文明の盛衰と気候変動との関連については、多くの人により論じられている。これを聞くと、一見大きな気候変動があったような錯覚に落ち入る。しかし、それほど振幅が大きくなるとも起りうるのである。降水量が10%くらい変るだけでも可能である。それは、亜乾燥地帯では降水量と蒸発量がほぼ等しく、長い期間となると、地面が湿って草地となるか、乾いて砂漠になるかは、降水量と蒸発量の差の符号が問題だからである。降水量が蒸発量よりわずかでも多ければ草地になり、反対にわずかでも少なければ長い間にはすべて蒸発してしまい、砂漠となるからである。

気候変動の時間スケール

近年は気候変動に関する研究も非常に多く行われているが、とくにはっきりと認識されるようになったのは、時間スケール、空間スケールの重要性であろう。一口に気候変動といっても、実はいろいろな時間スケールのものがあり、それによって世界各地における現われ方も違ってくれば、また、その起こる原因も違ってくる。また、社会に及ぼす影響も違ってくるのである。したがって、気候変動の問題を議論する場合、時間スケールを指定しないと、水かけ論になるおそれがある。

たとえば、年々の気候を調べてみると、世界全体が一樣に平年より高温とか低温ということはない。ある地域が高いと、他の地域では低いというように、幾地域かの高温域と低温域が共存をし、世界全体の平均はほぼ0になる。これに対して、数10年の平均状態で見ると、空間スケールがずっと大きく、極に対してほぼ円対称となり、非常に広い範囲で気温の高い地域や低い地域が現われる。そして、一般に高緯度の方が振幅が大きく、また高緯度と低緯度では偏差の符号が反対になる傾向がある。

これは、年々の高温域、低温域は主として極地方と低緯度地方の空気の交換によって生ずるからである。低緯度の高温の気団が北上したところは高温域となり、それを補償するため、高緯度の低温の気団が南下したところでは低温域となり、必

ず高温域と、低温域が生ずる。

これに対して、数10年の平均状態となると、事情は少し変わってくる。年々の南北の空気の交換によって高温域と低温域が生ずるが、これは平均的には低緯度から高緯度に熱が流れることである。そこで、長い期間には高緯度が暖まり、低緯度は冷える。交換が弱いところが逆になる。すなわち、数10年の変化では、ほぼ、極を中心として円対称となり、高緯度と低緯度では逆の位相になる傾向になる。

また、気候変動が人間社会、自然界に及ぼす影響も時間スケールによって違う。たとえば、気温の年変化の全振幅は 20°C くらいあるが、本州と北海道の年平均気温の差は 5°C 程度である。すなわち、気温の地域差は年変化にくらべはるかに小さいが、本州と北海道の植生は大きく違っている。これは時間スケールが長くなると、積算効果が大きく効いてくるからである。

また、ここで注意すべきことは、現実に見られる年々の気候というものは、いろいろなスケールの気候変動の集合体であることである。年々の気候の値の時系列について、ある長い期間を調和解析を行い、そのスペクトルを調べてみると、個々の場合は複雑であるが、平均的には振動数が大きくなると振幅は小さくなり、一年周期のところでは大きな振幅となる。そして、年平均の値についてのスペクトルでは、一年周期はほぼ消える。また、気候値のように、ある年数の平均値でみると、その年数より短い周期のスペクトルは非常に小さくなり、ずっと長い周期のスペクトルはあまり変化がない。

個々の年の値というものは、これらのいろいろな波の合成されたものであり、気候値では、振動数の大きい部分は消える。したがって、一般に個々の年の変動の方が大きく、気候値の変動の方が小さくなる。そして、異常気象というのは、この見方からすると、年々の値の変動幅であり、もう少し正確にいうと、とくに大きい変動幅のことである。

また、いわゆる気候変動がなく、年々の気候の値が、平均値のまわりに偶然的に現われる場合には、スペクトルのいろいろな振動数に対する振幅

は、ほぼ一樣になる。そして、振動数の小さい波の振幅が大きいということは、ある期間の平均値、すなわち気候の値が、長い年月の間には変るということであり、これが気候変動である。

気候変動のスケールと原因

気候変動の原因については、いままでに非常に多くの学説が出されている。これらの学説は、どれもが正しく、どれもが誤りとは簡単にはいえない。それは、気候変動の起こる機構が非常に複雑であり、時間スケールによって主となる原因が違ってくるからである。

たとえば大陸移動説を考えてみよう。大陸が移動をすれば、ある地点の緯度、経度は変るので、気候も変ってくるはずである。しかし、大陸の移動する速さは、年に cm の桁なので、かりに1万年たっても100m の桁であり、これでは到底認めるほどの気候変化は起こらない。しかし、1000万年の桁になると、移動距離が100km の桁になるので、ある程度の気候変動は生ずる。すなわち、地質時代の気候変動では重要になるが、100万年以内では、問題にならない。

つぎに、MILANKOVITCH、の地球の公転、自転の長周期変化による気候変化説を考えてみよう。彼の計算によると、このため、地球上の太陽の光の当たり方が、何万年かのサイクルで変化するので、何万年程度のサイクルの気候変動の原因となりうる。そして、その結果と、地質学方面の研究から推定した、第四紀の氷河の消長とほぼ平行するので、有名になった。ただ、このような原因による地球上へくる太陽エネルギーの変化はごく小さいので、氷河期というような大きな気候変動の原因となりうるか否かに問題があり、必ずしも一般には承認されたわけではなかった。近年になると、気候の状態というものは、案外敏感であり、僅かな刺激でも変りうるらしいことが認められるようになり、この説も見直されている。

しかしながら、これは現在問題になっている数10年ないしは数100年の気候のサイクルの原因とはなりえない。時間スケールが全く違うからである。

つぎに考えられるのは海の影響である。よく知られているように、海は熱容量が大きく、多量の

熱を貯える。このため、大気中の熱収支に大きな影響を与える。大気中の熱収支にいろいろな時間スケールの変動があった場合、短周期の変動は海への熱伝導によって平滑化され、振幅が小さくなる。これに対して、長周期の変動ではあまり平滑化されず、振幅は大きい。これは、海上における気温の日変化と年変化の振幅の違いからもわかることである。

この場合の熱収支の機構は複雑であり、正確に見積ることは難かしいが、かりに、海水の中では渦伝導で熱が移動すると仮定し、気温の平均的な変動幅を調べてみると、数年程度までの周期的な変動では振幅は小さく、数10年となると、大きくなることになる。すなわち、短周期が平滑化され、数10年周期が残ることになる。もちろん、熱の移動は簡単ではないので、これからただちに、数10年のサイクルの気候変動の原因が海にあるとはいいきれないが、常識的に考えて、その可能性は大きい。

つぎの原因として火山爆発がある。火山爆発によって吹きあげられた火山灰が、成層圏に拡がると、太陽放射を弱めるので、地面付近の気温はさがるので、気候変動の原因となりうる。これは、古く、HUMPHREYS などにより指摘されたことであり、近年の研究でも、このような現象があることは疑う余地はない、ただ、成層圏の火山灰は次第に落下し、また、降水で洗い落されたりするので、ふつう2～3年でなくなる。したがって、一回の爆発では、短期間の気候の異常を起こしても、長くはつづかず、この点で気候変動の原因とはなりえない。もっとも、地球上の火山活動が長周期変動をすれば、それが気候変動の原因になる可能性はあり、戦後の高温期を、このような面から説明しようという説はある。

つぎに考えられるものに、太陽活動の変動がある。太陽活動が長周期変動をし、太陽からくるエネルギーが変れば、当然気候にも反映するはずである。しかし、太陽エネルギーに関する理論、また、太陽定数の測定結果によると、ほとんど変化はなく、あっても0.3%以下であろうとされている。したがって、この面からは原因とはなりえそうもない。

ただ、太陽面上には黒点があり、黒点数の長年の観測によると、ほぼ11年周期の明瞭な周期的変化があり、また、数10年程度の長周期変化もある。そして、それに応じて、太陽から来る紫外線や微粒子流の強さに大きな変化がある。これは、大気の上層に大きな影響を及ぼし、オーロラなどの出現状況が大きく変ることははっきりしている。また、このような指数によって、気候変動との関連を調べてみると、統計的には有意な相関があり、一般的にいつて、黒点数が増加すると、少しおくれで高緯度地方の気温が高くなる傾向がある。エネルギー的にみると、その変動量は小さく、気候変動の原因となるか否かについては疑問視する人も多いが、今後の興味ある一つの研究課題である。

気候のシステム

気候と関連し、近年、認識されて来たことの一つには、気候の敏感性がある。気候の状態というものは、いろいろの因子が複雑に影響をし、微妙なバランスによってきまる。ごく単純に考えるならば、気候というものは、太陽からくる放射と、地表から出る熱線とのバランスでほぼきまる。しかし、それには表面の性質、雲の状況、大気中の水蒸気や二酸化炭素など、いろいろな因子が介在する。また、大気の大循環も関係をし、これは雲や降水の状況に影響をするし、海の状況も影響する。このため、気候の状態というものは、いろいろな因子の複雑なバランスできまるものであり、必ずしも一義的にきまるとはいえない。

たとえば、極地方の氷雪原を考えてみると、これは太陽の光はよく反射するが、熱線に対しては完全黒体に近く、したがってよく熱線を放射する。このため、氷雪原が少しひろがると、実質的に地表に入ってくるエネルギーは減少し、気温はさがることになるので、氷雪原は広がり、その状態を加速する。反対に、氷雪原が減少すれば、地表に入るエネルギーは増すので、融解が加速される。すなわち、気温を不安定化する作用をする。極端な場合として、地球上全体が氷雪原になったとすると、太陽からくるエネルギーはかなりのものが反射され、地表からは熱線が出ていくので、気温は低く、その状態が維持されることになる。

このことについては、ソ連の BUDYKO が指摘しており、現在の地球の気候は、一応安定した状態ではあるが、何かの調子で上述のようなことになれば、現在の状態には戻らないことになる。

また、地球上の熱収支には雲の状態が大きく効く、ところが、雲の状態は、凝結核や氷晶核などにも影響する。そして、火山から出る灰や宇宙からくる宇宙塵なども氷晶核となるので、それらの長周期変化が気候に効いてくることも考えられる。

また、大気中の水蒸気は温室作用を示す。したがって、かりに気温が何かの原因で高くなると、海からの蒸発が増し、大気中の水蒸気量は増加し、さらに気温をあげるように働く。すなわち、水蒸気も気候変動を大きくするように働く。

さらに時間スケールを大きくすると、大気中の CO_2 が、生物の活動を通じ、気候を変える可能性がある。 CO_2 も温室作用を示し、 CO_2 が増すと、大気下層の気温は上昇する。そして、大気中の CO_2 の濃度は、植物の光合作用による CO_2 の分解の速さと、生物の吸収、死んだあとの腐敗などによる CO_2 の生成とのバランスできまってくる。たとえば植物が増してくると、 CO_2 の分解が多くなるので、大気中の CO_2 の濃度は減り、反対に減少してくると、大気中の CO_2 の濃度は増してくる。大気中の CO_2 の収支には、このほか海などの影響も効くので、単純ではないが、地質時代の気候変化を、このような考えで説明しようという試みもあり、その可能性はある。

人間活動の気候変動に及ぼす影響

CO_2 の問題と関連して近年注目されて来ているのは、人間活動の巨大化にともなう、大気中の CO_2 濃度の増加である。大気中の CO_2 の濃度が、数10年前と比較すると15%くらい増加しており、引続き、年0.4%くらいの割合で増加している。このことは、はっきりと観測で確かめられている。これは、人間が多量に化石燃料を消費し、多量の CO_2 を大気中に放出するためと考えられる。事実、化石燃料の消費量から、大気中へ放出する CO_2 の分量を計算してみると、大気中の CO_2 の増加分の倍となり、人間の放出した量の半分が海に溶けこんだり、植物の光合作用で分

解されるとすれば充分説明出来る。

そして、大気中の CO_2 の濃度が倍になった時の状態を真鍋淑郎、WEATHERALD が理論的に計算した結果によると、大気下層では $2^\circ\sim 3^\circ\text{C}$ ほど気温が上昇し、極地方では 10°C も上昇することになる。このようになれば、地球上の気候は大きく変化し、大気の大循環が変わって、砂漠の位置が相当に移動する。これは、農業に大きな影響を与える。また、極地方の気温の上昇は、グリーンランドや南極の雪氷が融解することを意味し、海面が上昇をし、低い土地は浸水するであろう。

もちろん、現在では、まだ目立った影響はないが、現在のままで化石燃料の消費の増加がすすめば、21世紀中頃には、この状態に達することになる。これを防ぐには、化石燃料の消費の増加を抑制するほかはなく、これは、将来の世界のエネルギー政策へ重大な影響を与える。そして、これが世界気候会議でも、一つの焦点となったのである。

人間活動の気候への影響は、このほかにもいろいろある。文明の発達には森林の伐採を進行させているが、これは大気中の CO_2 の収支に影響を与え、それによる気候の変化も起こるかもしれない。また、地表を耕やしたり、都市を造ったりすることは、地表の性質を変えることであり、大気の熱収支に大きな影響を与え、それによって気候が変わるかもしれない。現在、世界の砂漠面積が増加しているといわれ、それは人間の地表への干

渉のためと考えられている。

む す び

このように、人間活動が巨大になって来た今日、それが世界の気候を変え、それがまた人間に影響を与えるおそれが多分に出て来た。また、世界の気候も一つの転換期にかかって来ているようで、それが人間へ及ぼす影響もきわめて大きいだろう。

気候の問題は、今後の世界の一つの重大な関心事である。このため、世界気象機関を中心として、世界気候計画が立てられ、各国の協力により、1980年から4年間、気候をめぐる研究が予定されており、その成果が注目される。

参 考 文 献

- 浅井富雄：気候と気候変動，科学，**45**，25-32，1975。
BOLIN, B.：気候および気候変動のモデル化，科学，**45**，154-162，1975。
片山 昭：世界気候会議——気候と人類の専門家会議の印象，科学，**49**，457-460，1979。
LAMB, H. H.：Climate, Past, Present and Future, Vol. 1, 1972, Vol 2, 1977, Methuen.
高橋浩一郎編：気候変動と農業，大明堂，1977。
W. M. O.：Extended summaries of papers presented at the World Climate Conference, 1979。

(1979年7月17日受理)