

気候変動論の展望*

土 屋 巖**

1. はじめに

気候変動に関する研究は近年とくに多く、筆者が収集したタイトルだけでも、1960年以前の約1,000を加えると1970年までに約3,000に達し、現在年に300~500件の学問的論説が発表されている。

その全体について概観することは至難のことであるが、H.H. Lamb の“1960年代の気候”(Lamb, 1966)に警告されるように、世界的なスケールでの気候の異常が近年増えつつあるので、現在の気候を気候変動論の立場で理解するに際して、有用と思われる論文100余編を選んでその内容を整理してみた。

一般に、気候変動論は30年以上の時間単位で論じられることが多いが、現在が、もし北極の寒冷化に伴う気候変化を経由しつつあるという見方が成立するならば、農業生産その他の人間の諸活動に大きな影響を及ぼすことが予想される。

ここでは、30年以内の現象であっても、気候変動論の立場で考慮すべき問題を含めて、種々の時間単位、すなわち地質時代的、歴史時代的、そして永年変化と表現されることの多い観測時代的の時間尺度のそれぞれによって、現在の気候を考えるという立場で展望を進めた。したがって、気候変動の研究の全分野でなく、現在につながる部分だけに限定した。

なお、この展望報告の2.以降は、昭和49年3月気象庁発行“近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて”のp. 295~329に含まれているものである。

2. 地質学的尺度による見方

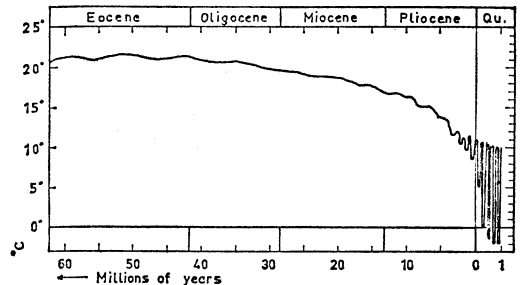
(1) 第4紀の氷河時代 (Ice Age) はまだ終わっていない。

* A review of the study of climatic variation

** Iwao Tsuchiya, 気象研究所

—1974年8月13日受理—

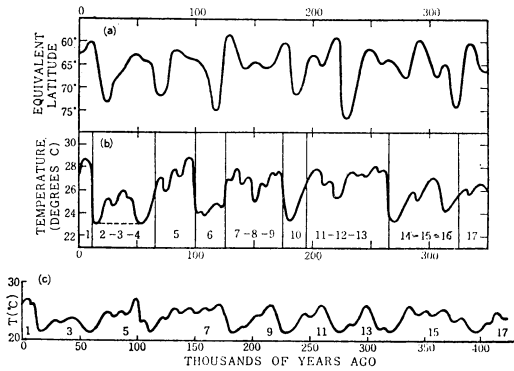
第1図は100万年を単位とする時間尺度で地球の気候を表現したものである。現代はこのような時間尺度では新生代にはいり、新生代が第3紀と第4紀に分れるので、第4紀の一部を構成すると見てよい。第4紀には大陸氷河が何回も消長したという特色がある。地球の40億年もの歴史のなかで、このような時代はあまり多くはない。第4紀以外には約2億年前の中生代二畳紀と約4.5億年前の古生代カンブリア紀のものが割合ははっきり知られているが、それ以前についてははっきりしていない。また、最近の5億年の中で氷河時代(第4紀以外のものを含めて)の占める期間は、合計して1,000万年単位ではかれるものである。したがって、地球の長い歴史から見ると、氷河時代といわれるような広大な大陸氷河の発達した時代の占める部分はかなり短いといえる。



第1図 第3紀 (Eocene-Pliocene) から第4紀 (Quaternary) までの中緯度の気温の推移 (原図: Flohn, 1969)

しかし、この短い期間に地球の気候は極端な変化をしているので、生物界に対する影響は大きく、この気候変化のために多数の種の興亡があった。

新生代の第3紀から第4紀にかけては、比較的ゆるやかに温度は低下したが、低下は一方的でなく脈動的であった。その低極が次第に下がって、大陸氷河が発達するようになった。一度できた大陸氷河も、外界の温度その



第2図 日射の変動と海水温度変動の対比

- a) Milankovitch (1930) 作成のものを Woerkom (1953) が修正した日射の変動
- b) Emiliani (1955) が作成した大西洋熱帯海域の表面海水温度の変動
- c) Emiliani (1966) が (b) とほぼ同じ海域で得た新しい資料によるもの
 - イ. Milankovitch (1930) の当てはめた第4氷期 (Würm I, II, III) : 1-6, 同じく第3氷期 : 10-12
 - ロ. Emiliani (1955) の当てはめた第4氷期 : 1-4, 第3氷期 : 6, 第2氷期 : 10, 第1氷期 : 14-16.

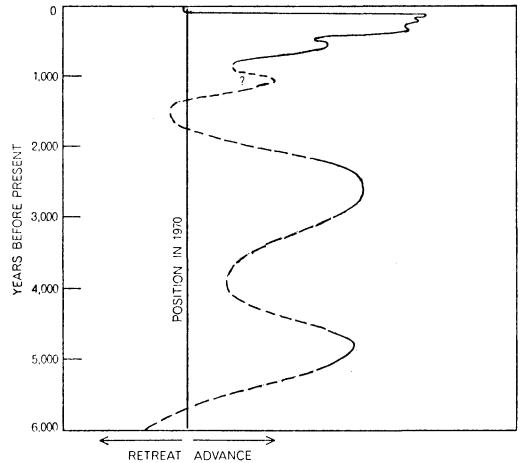
他の要因の変動によって、生長したり消滅したが、第2図にも示されるように、最近数十万年の間でも数回以上になっている。

この間、南極大陸の氷床は極端に縮小することもなく現代に続き、グリーンランドについても同様と考えられている。すなわち、第4紀の基本的特色である大陸氷河は、南極とグリーンランドに存在しているので、氷河時代は終わっていないということもできる。

しばしば、最近の氷期と表現される寒冷時代 (Würm 氷期あるいは Wisconsin 氷期と呼ばれている) は、約2万年前にその最盛期を過ぎ、その後は地球の気候は次第に温暖化した。この時代を後氷期と呼ぶ人、完新世と呼ぶ人、間氷期と呼ぶ人等さまざまである。気候の面では、まだ第4紀の氷河時代は終わっていないという立場から間氷期と呼ぶ人が多い。とくに、最近の1万年についてはこの表現がわかりやすい。

(2) 現代の間氷期的性格

最近の100~200万年の間に何回かの氷期と間氷期とが交代したわけであるが、どちらのほうの方が長かったかについては明白でない。従来は Brooks (1949) その他が説明したように、最近100万年についても他の地質時代と



第3図 最近6000年の世界の山岳氷河の平均的前進と後退 (原図: Denton と Porter, 1970)

同様に、現代より暖い時代の占める割合が多かったという考え方が支配的であった。最近では年代決定法 (^{14}C 法など) や古温度測定法 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 法など) の進歩によって、違う見解も増えてきた。Kukla 等 (1972) の見解は、1972年1月の専門家会議の多数意見をまとめたものであるが、その中で Wright (1972) の提出した“最近の2回の間氷期の長さはそれぞれ約10,000年ほどであったと算定される”という説を重視している。すなわち、数万年は続いたと考えられていた Eemian 間氷期 (デンマーク周辺の地層名を採用、アルプスの Riss-Würm 間氷期および北米の Sangamon 間氷期に対応) は約11万年前に終わったが、その長さは1万年ほどであったという。これに対して、氷期は平均して、それぞれ一つのが5万年の長さがあったともいわれている (Emiliani, 1972)。

最近の氷期は約1万年前に終わっているので、現在は間氷期の頂点を過ぎたときであるという見方が、上述の見解から発生することになる。地質用語で Alleröd 期と呼ぶ約11,000年前から後の数千年間は温暖な時代が継続しており、その頂点では中緯度で平均して $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ほど現在より高温であったとされている。この時代に対して Climatic Optimum の名称が使われることも多い。日本では縄文時代前期に相当し、東京湾にはサンゴ礁が発見した。

この温暖期以後、それを上廻る暖かい時代が発現しないので、間氷期のピークは過ぎたというのが、前述の人々の考え方である。これに対して Richmond (1972) の

ように、現在の間氷期は過去の例に比べて乾燥度が少なく、温度上昇量も少ないので、間氷期のサイクルの後半ではないという説もある。彼の予測によれば、本格的氷期の前に湿潤時代があり、その前に乾燥時代があるのに、その乾燥時代を経験していないという。

Climatic Optimum のピークは今から 6,000~7,000 年前のことになるが、その後現在に至るまで何回かの脈動的な気候変化をしている (第3図参照)。この間の低温期には、山岳氷河の前進があり、この現象に対して neoglaciation の名称が与えられた。4,000~2,550 B.P. (Before Present), 1,850~950 B.P. および 300 B.P. から現在に至るまでが、3回の主要な谷であるという意見や、いくつかの修正補足的な研究もある (Benedict, 1968; Denton と Porter, 1970)。現在を neoglaciation の一部として考えるか、19世紀に低極に達した Little Ice Age (小氷期) をもって終了したと見るかは意見が分れる。

いずれにしろ、現在が間氷期性格のものであるがそのピークではないこと、またピークは過ぎたのか、これからののかは意見が分れるが、間氷期といえども小規模な (大陸規模に比べて) 氷河の前進後退が脈動的にあることはいえる。これに対応する気候変動は、中緯度全体を平均したとき、今後の1万年の間における最温暖期 (今より +2~3°C) と最寒冷期 (今より -2~3°C) の差が 5°C 近くになることは十分予想される。つまり、1万年という長い期間では、今より 2~3°C 低温の時代があったとしても不思議ではないということである。これが、10万年という長さになると、その間に本格的な大陸氷河の発生する時代もあり、その時日本での気温低下量は平均して 5°C 程度にはなるはずである。

3. 歴史時代的尺度による見方

紀元前 4,000 年あるいは 5,000 年という時代から、エジプトや中国における文明は文字記録を残している。この時代は、気候の歴史からいうと Climatic Optimum の後半にはいるときであり、全世界的には温暖であったといえる。いわば間氷期の頂点に近い状態が続いていたという見方も成立する。

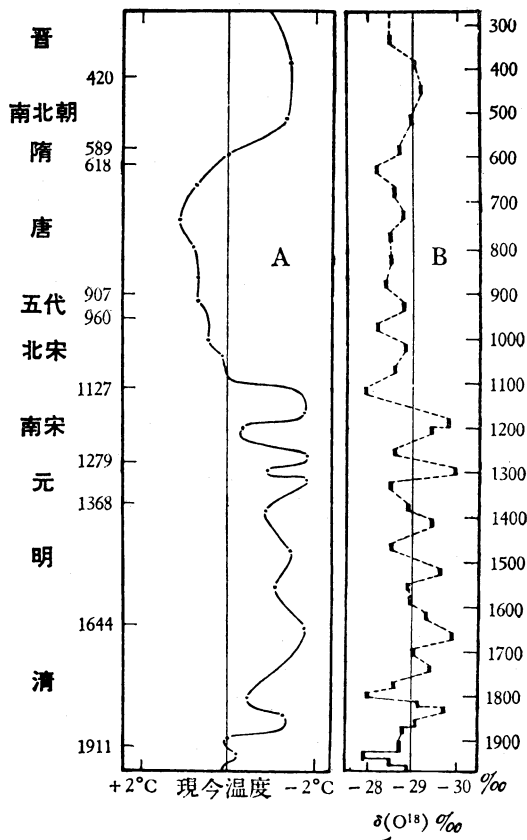
文字の記録は断片的であり、また時代の考証に誤差のはいるものもあり、気候資料となるような記述が十分に得られるわけではない。また神話に属するような記述もあり、資料の価値判断も難しい。この分野では、比較的新しい地質時代の調査に対して用いられてきた種々の解析手法 (¹⁴C 年代決定法, ¹⁸O/¹⁶O 温度決定法, 氷綫粘

土や樹木年輪の解析など) が加えられる。

(1) 温暖時代の発現

第4図は竺可楨 (1973) の提出した中国の気候の推移である。古い時代は資料が少ないので、おおまかな推定で示されているが、紀元 400 年ごろにやや寒冷になった後は 18 世紀の低温時代に向け低下する一方である。ここで示された紀元前数千年代の温暖期と、中世における温暖期とは、北半球の各地で認められているが、その程度や地域ごとの時代のずれには不明の点が多い。

現在よりも温暖な時代は Climatic Optimum 以後では、中世のものが顕著であり、それも前の Climatic Optimum を上廻るものではなかった。ヨーロッパではノルマンの海上への大発展のあった時代で、グリーンランドへの植民 (10~13 世紀) やイギリス南部でのブドウ園の成立がよく例証としてあげられる。



第4図 最近1700年の世界の温度推移。A: 中国の温度推移, B: グリーンランドの氷河の氷柱から得た温度推移, ($\delta(O^{18})$ 増加 0.69% が気温上昇 1°C)。 (原図: 竺可楨, 1973)

18~19世紀の世界的な低温時代の後、1940年ごろまでの北半球各地の気温上昇は、顕著ではあったが、中世の温暖時代を上廻るまでには至らなかった。中世の温暖時代の程度は、植物の生育状況などから判定して、イギリス中南部で現在より $+1^{\circ}\text{C}$ の程度とみている(Lamb, 1966c)。

最近、Dansgaard (1969, 1971) はグリーンランドから長い氷柱を取出して、酸素同位元素の比 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ を測定し、降雪当時の気温の変動を求めたが、これを中国の最近1,700年間の推定気温と対比させたのが前に示した第4図である。おおまかな傾向はよく一致しているので、測定上の誤差等を考慮しても、 10^2 年の単位での気候変動を理解することができる。中世の温暖化は、その時代を中心にした会議(Bryson and Julian ed., 1963)でも論じられたが、まだ十分な資料が得られていない。

日本では、平安時代の日記その他の文書記録を検討した荒川(1955, 1956)や山本(1967a, b)の研究があるが、それによると10世紀を中心とした200年ほどには、現代よりも 1°C 近く暖かいときが多かったことが推定される。

(2) 寒冷時代の発現

16世紀から19世紀にかけての約300年間は、ヨーロッパ各地の山岳氷河が進出して、村落が破壊されるなどの現象があったので、しばしば Little Ice Age (小氷期) と呼ばれる。この寒冷時代を、最近の氷期が終了して以来の最も寒冷な時代であったという人が多い。

100~1,000年の単位で見た寒冷時代は、最近の300年を除いても、程度は幾分弱い何回かあり、Shove (1965) は前述の Little Ice Age 以前で Climatic Optimum 以後の期間について、2,625B.C., 1,250B.C., 850B.C. および350B.C. に中心をおくものがあるとしている。これらについての世界的な資料の集積はよくないが、Heusser (1966) は南米と北米にわたって同時に発生している例を示している。とくに、2,600B.C. にその傾向が顕著である。

16世紀から19世紀の狭義の Little Ice Age は、世界的に同じ位相であったと認められる例が多くなっているが、10年単位の時代区分で証明されるまでには至っていない。文書記録および初期の寒暖計による気象観測の歴史は、ヨーロッパにおいて最も早いことと、観測の開始が寒冷時代の最中であることが多かったので、国によっては歴史時代というよりは、近代的観測による寒冷期と見ている例も多い。

Shove (1961) の推定によると、この Little Ice Age も3期に分けられ、1681~1740と、1771~1800はやや寒気のゆるんだ時代であったという。1891~1950という現代の温暖期(直前の寒冷期に比べて)が明白に終了して、近年の寒冷期が当分続くという見方が成立すると、Little Ice Age はまだ終わっていないということもできる。この立場では、現在考えられる最近の寒冷期は正常な現象であって、今までの温暖期が一時的な寒気のゆるみに過ぎないということもできる。

米国は気象観測網の密度は高いが、建国の歴史が浅く、文書記録によって歴史時代の気候を推定することは困難である。ここでは、生住民族の歴史を調べるのに用いられている年代決定用の dendrochronology の技法が発達して、文書のない時代の気候を推定できるようになった。米国西部の乾燥地帯では樹木年輪の幅は、雨が多いか少ないかできる。雨の降りやすい循環型がそこから判定されるわけであるが、この研究(Fritts, 1964, 1965, 1971a, b, 1972; Fritts et al., 1971; LaMarche and Fritts, 1971) は、総観スケールでの卓越循環型を16世紀以後について再現することを進めている。この解析による、小氷期に対応するものとして、19世紀半ば以後の数十年間に湿潤型天候をもたらすような低気圧性循環の卓越したことが示された。さらにヨーロッパやアジアの資料を加えて、半球規模で歴史時代の循環復原も計画されている。

日本の歴史時代に現われた寒冷時代の証拠は、荒川(1954, 1957)、西岡(1972)、山本(1967, 1971a, b, c, 1972)等によって数多くの見解が発表されている。これらをまとめると、18世紀半ばから19世紀にかけての100年ほどは、現在(1931~1960を標準にして)に比べて平均 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度低温であったとみなすことができる。これはヨーロッパのいわゆる小氷期に比較して、いくらか寒冷の程度がゆるかったといえる。イギリスについては日本と同様の程度であったらしい。

結局、現代は歴史時代的時間尺度すなわち100年単位で見たとき、小氷期の一つの低温期が終わってからまだあまり年数の経過していないときと表現できるし、また中世に存在したような温暖期程には暖くならず寒冷化に向かっているときともいえる。

歴史時代的時間尺度では、最近の1940年代以後の北極を中心とした寒冷化区域が次第に南下している(朝倉, 1972)、小氷期の次の低温期に近づいているという見方を否定することはできない。

4. 気候変動論から見た現代——観測時代の記録を中心に

WMO の慣用に従って気候変動を考えると、現代は30年程度の期間をならして表現する必要がある。しかし、人の感覚にはある広がりがあり、10年程度で考えたい人もあれば、50年程度にしたい人もいる。ここでは若干の幅を持たせて表現する。

19世紀になると、現在用いているものと同じ原理による気象観測装置が、世界的な規模で使われるようになった。このため、最近の小氷期の最後の低温期とされる1800年代からの観測記録はかなり多い。これらの記録と最近発達してきた気候理論とによって、現代がこの小氷期との対比でどのような位置にあるかを考える必要がある。

(1) 19世紀後半以後の世界的な温暖化

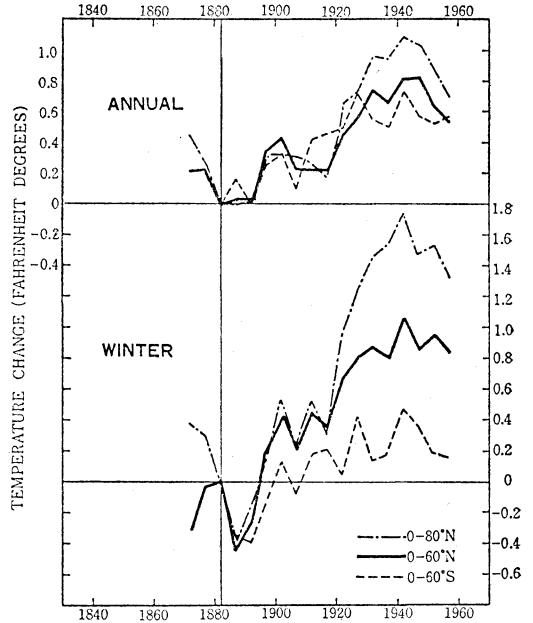
20世紀にはいと間もなく、北海周辺でのタラ・ニン等の漁場の北上、山岳地帯氷河の後退、北氷洋の氷原のうすくなったことと、それに続く航路の開拓などの現象が、北半球中高緯度で顕著に認められるようになった。

19世紀末の低極から、ほとんど一方的に上昇傾向を続けて、前述のような現象がはっきりした1930年代から、温暖化の事実とその原因を考察した報告が多数発表された。たとえば、Lysgaard (1950) は気温上昇の極大が、北極地方であることを示し、Mitchell (1951) は都市観測地点での都市熱による影響を考慮しても、100年間にわたる世界的な気温上昇傾向があることを指摘した。

Manley (1946) はイギリス中部 Lancashire の200年近い(1753から1945まで)気温推移を明らかにして、小氷期の後半から現代に至る経過を説明した。数年から数十年に及ぶ脈動的あるいは周期的変動は、多くの観測地点について報告され、気候の周期現象として論じられることも多かった。この機構については不明の部分が多いが、太陽の黒点発生周期である11年あるいはその合成周期に関連するものが多い。

(2) 温暖化の停滞と寒冷化の進行

世界的な温暖化の傾向が1940年ごろに停滞し、その後は寒冷化に向かっていることは、Mitchell (1963) その他多くの報告によって指摘された(第5図参照)。地球規模の資料が充実してきたので、寒冷化が一様でないことがわかった。たとえば、1920年から1959年までの40年間について、前半と後半を比べると、冬には、大西洋西部・スカンジナビア・シベリア北部・アラスカ・北大西



第5図 南北両半球の平均気温(5年平均)の変化傾向 (Mitchell, 1963)

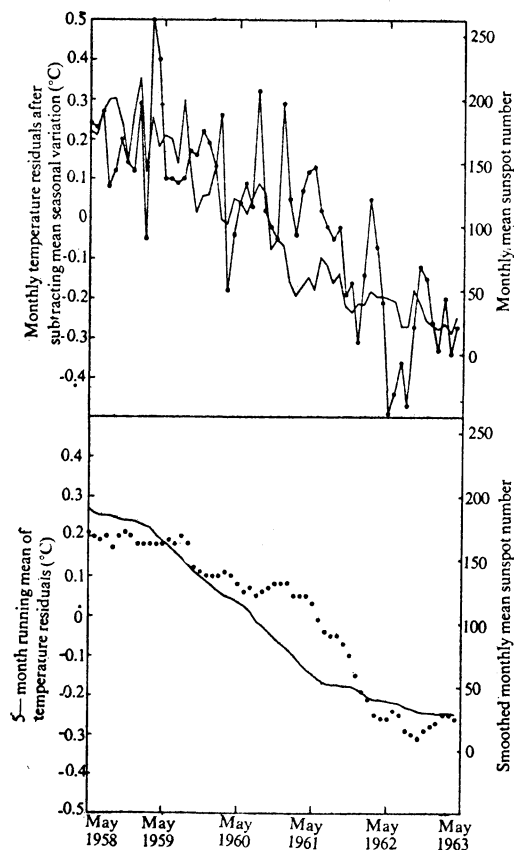
洋北部・北米中部には顕著なマイナスの区域がある一方、中央アジアや日本を含む太平洋西部が、まだプラスであるという具合である。しかし、その日本についても、温暖化の傾向は1960年ごろに大体停止し、都市気候の影響のでているところだけが温暖化を続けている(福井, 1968; 土屋, 1967; 朝倉, 1972)。

温暖化の停止とともに、世界規模の異常気象が多発することが多くなった。1963年1月の北陸を中心とする豪雪はこの種の現象の一つと見られ、ヨーロッパにおける小氷期以来の大寒波も同じころに発現した。1960年代の気象という表現も使われるなどして(Lamb, 1966)、今後の世界の気候が今までと違うものになる可能性のあることを主張する報告が増えた(朝倉, 1972; 根本, 1973)。

(3) 最近の気象についての気候変動論的解析

従来気候変動論にあっては、古典的な気候統計資料に基づく議論が多かった。そのために長期間均質な内容を連続させたものの空間的分布はごく限られており、最近における気象学の要求にこたえられるだけの情報を提供するのが困難であった。大規模な気候変動は、広い地域にわたる気候偏差をもたらすので、5年10年という比較的短い期間の資料でも、空間密度が高い場合には有効な解析資料になる。

1960年代以降、気象衛星の雲写真や地表温度の解析資



第6図 Starr と Oort の求めた北半球下層大気
の気温推移(上), 平滑化した気温(点), と
太陽黒点数の推移(下) (King, 1973)

料は、従来の地上観測ではごくわずかししかカバーできなかった海洋についての密度の高い情報を提供するようになった。また、最近地上観測網の広がった地域についても、計算機による大量資料処理技術が発達して、広い空間の信頼度の高い統計値が得られるようになった。これらの状態を反映して、最近の解析は気候変動の機構に関連する部分に重点を置くものが多い。

気候変動研究の当初から、太陽活動と地球の気候との関係は論議の対象であった。たとえば、太陽—地磁気資料を指標とした研究も多く (Takahashi, 1966 など)、黒点数を指標とした研究も多い。King (1973) は 1958 年 5 月から 1963 年 4 月までの 5 年間の気温低下が平均太陽黒点数の推移とよく一致することを認めた (第 6 図参照)。地球の平均気温低下量はこの間に 0.6°C であるが、各月について 15 万から 20 万 (計約 1,000 万) の世界中の気温測定値を厳密な検定処理をして統計しており (Starr

and Oort, 1973), 信頼度の高いものである。

近年における世界的異常気象のうち、赤道太平洋を中心とした降水量その他の要素の大規模な年々変動がある。この地帯の変動は、しばしば東西 2 万 km 以上にわたっての影響が認められ (Tsuchiya, 1971, 1972), 世界最大漁場のペルー沖のイワシ漁獲量やインドの干ばつにも関連して、世界の食糧問題にとって重要である。ここで発生する異常気象が、近年の北極周辺から始まった寒冷化現象とどのように関連するかは難しい問題である。地上観測点の少ないこの海域の解析に気象衛星の資料を使うことも試みられたが (土屋, 1973 など), 事実関係の整理の段階である。現在までところ、数十年前から知られていた Southern Oscillation といわれる広域の気圧偏差の異常に伴う現象として考えられる (Bjerknes, 1969; Tsuchiya, 1971)。

氷河や氷床の前進後退は、具体的な気候変動の指標としてよく用いられるが (Ahlman, 1953; Nye, 1960, 1969; Hoinkes, 1968; Heusser *et al.*, 1954)。近年 glacier surge として認められる現象が介在するとき (Post, 1966 など) には、気候変動との関係が複雑になり、簡単には使えない場合がある (Canadian J. Earth Sci., Vol. 6, No. 4, Pt. 2……glacier surge 特集号)。

小規模な氷河や日本で万年雪といわれているものの消長は、5~10 年という比較的短期間の気候変動を反映する場合が多い (Dightman, 1956; Dightman and Beatty, 1952; John and Sugden, 1962; 土屋, 1973)。

5. 気候変動の機構と原因についての議論

この数十年間における気候資料の充実によって、気候変動のメカニズムについて議論できるような解析的研究が最近はかなり多くなった。また、気候に関連する多くの物理過程についての研究が進み、メカニズムや原因についての論議は、単なる推測からかなり信頼度の高い数値シミュレーションにまで進みつつある。

(1) 機構と原因論についての概観

今まで、現在を気候変動論的にはどのように表現するかという点に重点を置いた。ここでも同様の観点に立ち、ある意味では今後最も重要な要因になるかも知れないような人間の影響、すなわち man made climate の問題については SMIC 関連報告 (MIT-201, 1971; Matthews *et al.*, 1971) にあるので省略する。従来しばしば指摘された CO_2 の効果 (Callendar, 1938, 1939, 1961) は、現在の問題となっている 10 年単位の気候変動では支配的要因ではない (Sawyer, 1972)。人間活動に

基づく大気中の細じんについては種々の見解 (Budyko, 1968, 1969, 1971, 1972; Bryson and Baerries, 1967 など) があり, まだ判断は困難である。火山の大爆發のあった後, 高空の火山灰による日射の減少は明白であるが (Kimball, 1918; Humphreys, 1940; 荒川, 1956; Volz, 1965; Lamb, 1970b), 一般にその滞空時間は2年程度であるなどの事実が議論の根拠になる。

地球の気候を規制する最大の要素は太陽であるため, 気候変動の原因に太陽活動の推移を考えるものは多い。太陽—地球気候の系には不明のメカニズムが多いが, King (1973) の総合報告は両者の無視できない因果関係を強調している。

地球自体の持つ変動寄与要因としては, 種々のタイム・スケールを含めて, 地球の天体としての軌道要素, 大陸と海洋の分布, 地形とくに大山脈の役割, 地表状態によるアルベドの変化, とくに雪氷の部分の広さの変化が, 放射収支に果す役割など数多くある。ここでは現在の議論の主流となっている, 放射収支から見た地球の気候の変動, 解析と数値シミュレーションを含めた大気大循環論に基づく気候変動論, および1920年に発表され, 1941年までの間にいくつかの大作として, 太陽放射の数理解析に基づくはじめての気候シミュレーションとして再認識されている Milankovitch 説 (Milankovitch, 1920, 1930, 1941) に関連した議論を紹介する。

(2) 放射収支に重点を置いた変動論

地球—太陽の放射系のうちで, 気候変動に重要な役割を持つのは, (ア) 地球表面のアルベドが変化するためのものと, (イ) 大気中を透過する太陽放射や地球大気放射の浮遊細じんによる吸収散乱が, 細じんの量や粒径によって波長別に傾向が異なること, および (ウ) 太陽放射そのものの変動にかかわるものである。

(ア) 臨界状態に近い条件では, 一度ある程度の大きさになった氷床は, 自動的に大きくなるという説 (Brooks, 1949) もあるくらいで, 85%に達する大きなアルベドの雪氷のために, 地球上の放射収支の残りは減少する。Budyko (1968, 1971) は数値計算を行って, 現在の気候のもとで氷期の始まる可能性を指摘した。この場合, 日射のわずかに数%の減少が継続するだけでよいというものであり, この減少には大気中の細じんが人間活動によって増大することも関係しているといっている。

現在, 地球上で最大の雪氷面積を占めるのは, 北極と南極の周辺であり, それぞれの気候変動への役割を

Fletcher (1965, 1968a, b, 1969) は詳細に論じた。また, Kukula 等 (1972) は, 北極周辺の雪氷面積が大きな季節変動をするだけでなく, 年々変動の大きいことを気象衛星による雪氷分布図から算定している。したがって, 数年から数千年の単位の気候変動論でも, この問題は重視する必要がある。

(イ) SMIC 関連報告 (MIT-201, 1971; Matthews, 1971) に詳しいので省略するが, 工業活動だけでなく焼畑等の農耕活動による大気中への細じん増加も重視すべきだという見解もある。たとえば, Bryson 等 (1967) は, インドのラジャスタン砂漠の拡大傾向には, 上空の細じんの冷却効果で下降気流が卓越して降水が減少するという意見を出し, 有史以来の農耕文明の累積的影響であるといっている。

(ウ) 太陽活動は気候変動にとっての古典的な要因であるが, King (1973) の報告にもあるように, 中間のメカニズムの解明のまたれる分野である。

(3) 大気大循環に重点を置いた変動論

太陽エネルギーは, 大気大循環による熱の再配分を通して気候を形成するといえる。大気大循環を気候の要素とする見方も成立するが, 気温とか降水のような直接的に知覚することのできる気候を規制するものとして, その変動過程は重要である。

ごくせまい範囲での異常気象現象, たとえば台風による大雨とか, たつまきによる一時的な大風や中小規模じょう乱による集中豪雨などは, 地球規模での大気大循環の変動に関係ない場合が多く, 気候変動につながらないことが多い。しかし, 一定の気圧配置が現われやすくなることによって, 天気傾向がある一定の片寄りを見せたとき, その程度がわずかでも気候変動として扱うほうがよい場合もある。

Willet (1949, 1950, 1953), Wexler (1956), Lamb (1961, 1966a, b, c), Sawyer (1966) 等多くの人々がこの問題を扱ったが, Lamb (1970) は最近の氷期最盛期 (約20,000~17,000年前) 以来の大循環の特色を論じ, 近年の気候変動を論ずるために根拠としてきたが, 氷期に卓越しやすい循環として, 寒気が特定の地域に南下しやすいプロッキング型の一種を提唱し, 間氷期には東西流型が卓越することを提唱している。これは, かつて Wexler (1956) によって提唱され, Tsuchiya (1963, 1964, 1967) によって主張されてきたものと同様の結論である。

なお, 1960年代の気候を説明する際に, Lamb (1966b)

第1表 大気循環と気候に対する気候変化におけるある種の仮想的要素の効果（それぞれの要素とそれぞれの循環——気候統計の変動の間の相関係数の符号のプラスまたはマイナスの印で示される。Mitchell, 1965）

効果	太陽定数	大気中の CO ₂ および、 あるいは水蒸気含有量	成層圏の O ₃ の含 有量	成層圏の火山塵の 量	下層対流 圏の雲量	極氷冠の 拡大
大気に対する直接効果						
対流圏平均温度 (T)	+	+	0	-	-	-
静安定度 (S)	-	-	(+)	+	(+)	+
圏界面の高度 (h)	+	+	(-)	-	(-)	-
南北加熱の傾向 (ΔQ)	+	0	0	-	-	+
大気に対する間接効果						
西風の速さ(U); 南北温度傾 度 ($-\partial T/\partial \phi$)	-	-	(+)	+	(+)	+
熱と水蒸気の南北の輸送(V)	+	(+)	0	-	(-)	0
全循環の活動度 (E)	+	+	(-)	-	-	(-)
惑星波の波数 (N)	+	+	0	-	0	-
惑星波の速さ (c)	-	-	(+)	+	(+)	+
大陸度; 立ち上り擾乱の強さ	+	(+)	(-)	-	(-)	-
ブロッキング型循環型の度数	-	-	(+)	+	(+)	+
全球の平均降水率	+	+	(+)	-	-	(-)

() の印はその効果が比較的小さいか、または不確かな場合を、ゼロは相関関係がほとんど無視できることを示す。

は、この年代に東西流型の減少してきたことを指摘している。また Sawyer (1966, 1972) の大循環の理論的根拠に基づいた見解でも、単純な緯度的変化でなく、現在の年々変動に見られるパターンと対応するような経度的変化が本質的になると述べている。

大気大循環の変動に関連する要因の定性的評価は、第1表に見られるようなものが代表的なもの (Mitchell, 1965) である。最近では従来から進められてきた数値シミュレーション (たとえば, Kraus and Lorenz, 1963, 1966; Lorenz, 1964, 1968, 1970; Mintz, 1965; Saltzman, 1968; Smagorinsky, 1963など) が進歩して、いわゆる気候シミュレーションが発展してきた。Stidd *et al.* (1973) の紹介によると、1972年11月のカリフォルニア大学での1月~1,000年の時間スケールの気候変化検討会では、この関係のものが数多く発表された。たとえば、Mitchell (1966) もかつて手がけたような air-sea interaction を気候変動論にもちこむものとして、Mintz-Arakawa の2層モデルを使って、海水表面偏差 (SSTA) を北太平洋の夏と冬に、また南太平洋の冬について、初期条件として入れた時の大気大循環における東西流と南北流の強さの変動を吟味して、夏より冬に顕著な反応を、そして半球間に作用する効果を認めた

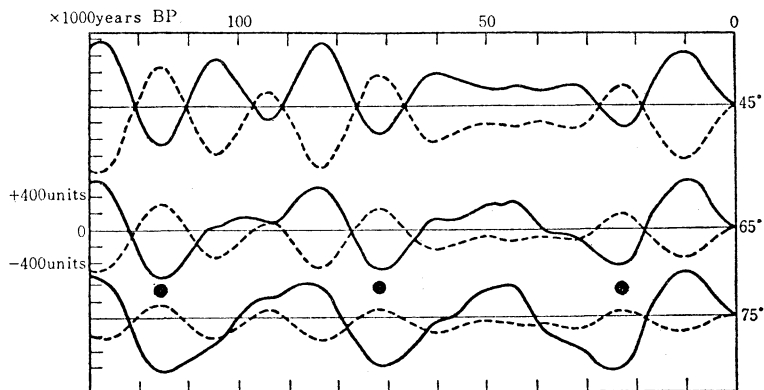
Jerome Spar の研究とか、やはり SSTA が大きい場合に大気大循環に変動の発生することを示した Lawrence Gates の研究などがあげられる。

Washington (1971, 1972 a, b) は、人間活動による thermal pollution が大規模気候にはあまり影響しない、つまり大循環の変動を起こさないことを説明していたが、この会議でさらにその意見を明らかにした。これは都市気候レベルのものとは違うものである。

なお、第4紀氷期の説明をするための、古気候復原のためのシミュレーションも進行し、Sellers (1969), Vernekar (1968, 1972) などの先駆的研究に加えて、Julian Adem や David M. Shaw の研究も発表されている。

(4) Milankovitch 理論の検討

いわゆる Milankovitch 理論の詳細については、福井 (1938) の記述があり、土屋 (1969) の解説もあるが、簡単に説明するとつぎのようになる。地球軌道の3要素すなわち地軸の傾き、離心率、および才差運動はそれぞれ数万年に及ぶ別々の周期で変動している。これらの複合した効果で、地球上に到達する日射の緯度別水平面単位面積当りの量に永年変動が発現する。その夏曲線の低極が高緯度 (65°N を標準にする) に現われたときに大



第7図 緯度別の日射偏差の変動 (Milankovitch, 1930 により作成), —: 夏半年,: 冬半年, ●: 氷期 (Würm I, II, III)

陸氷河が発生するというものである。日射配分の数式に天文学者の与えた3要素の永年変化表をあてはめて、Milankovitchの solar curve といわれるものにまとめられた。1920年の著作に始まり、数回の拡張が行われ (Milankovitch, 1920, 1930, 1941), とくに1930年のものが基準として用いられることが多い (第7図参照)。

発表当時は無視されることも多かったが, Emiliani (1955, 1966) の海水温度変動との対比によって有名になった。一般に地質の分野からの利用では, 理論についての検討もあまりなく, 説の解釈にもいくつかの誤りさえ見られた (土屋, 1969)。

理論的あるいは天体運動での最近の成果を取入れた検討も増えてきたが (Woerkom, 1953; Vernekar, 1968, 1972; Sellers, 1970; Saltzman, 1971), この場合説の本質は変わらずに細部の修正ですむことを示すものが多い。しかし, そこで認められた日射変動量 (大気圏外) は数%以内であることから, 量的に氷期の交代はできないと説明している例もある (Saltzman and Vernekar, 1971)。他方, Tsuchiya (1963) がすでに指摘し, Budyko (1970, 1971) も主張したような, 数%の変動が重要であるという見解も考慮すべきである。また, Kutzbach *et al.* (1968) が Milankovitch 理論に基づいて計算した thermal Rossby 数の永年変動が, 大循環の変動に結びつく点も重要である。日射のような気候形成にとって, 第一義的に重要な要素の変化については, 気候の安定性についての考察も重要である (たとえば, Schneider and Gal-Chen, 1973)。

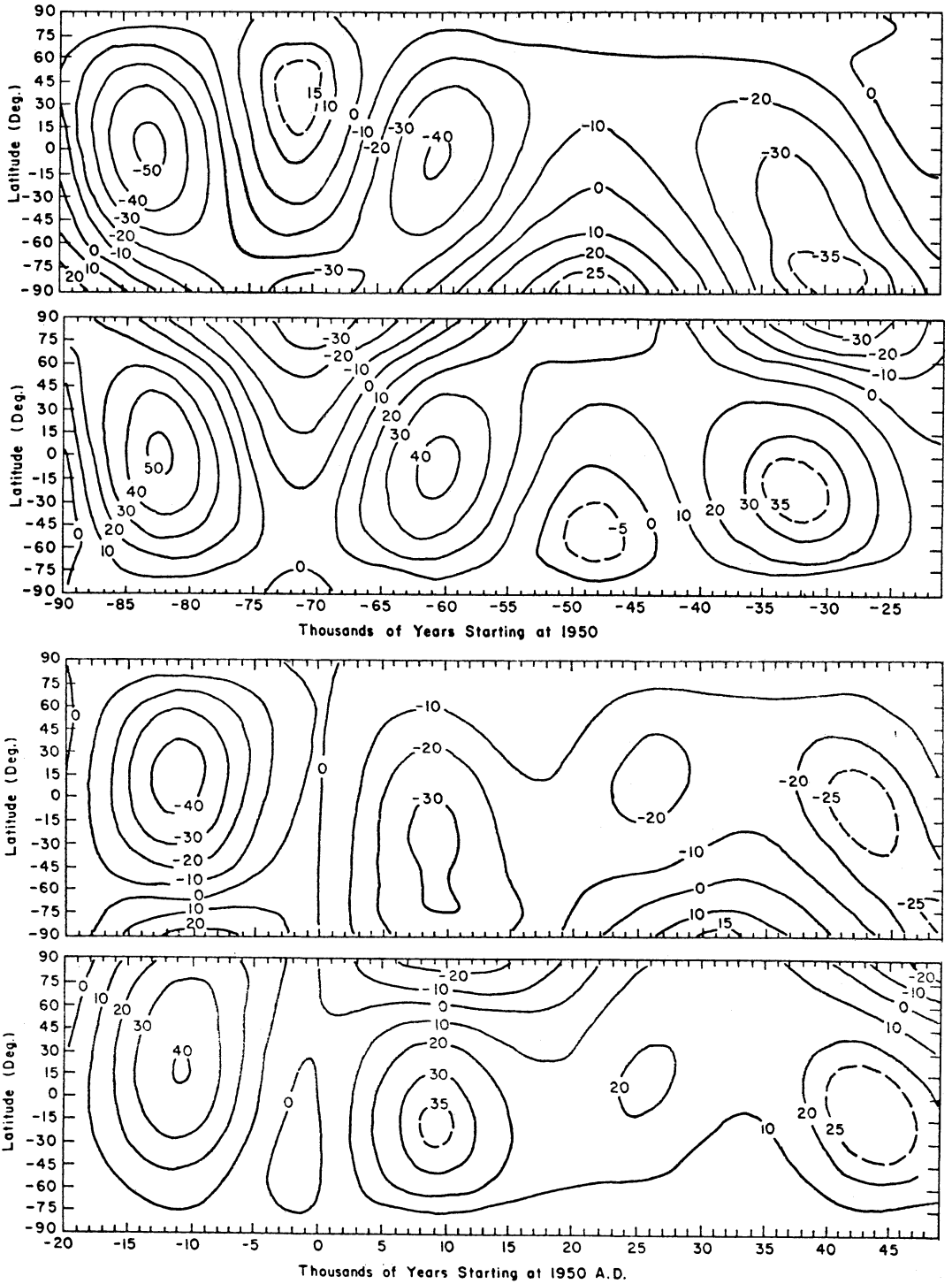
Milankovitch の日射変動の式そのものは正しいとしたとき, いくつかの惑星の質量に依存する地球軌道の子想式はかなりの精度で作成できるので, Vernekar

(1968, 1972) は今後の10万年について計算した。計算時間単位を1,000年にし, 表現方法を改良したのが, 第8図である。これによると, 2万年前にあったような日射量の顕著な低極は今後の1万年以内には現われていないが, 間氷期のピークは過ぎたことになる。

この計算でも, また Milankovitch の計算でも時間尺度は1,000年単位 (後者では不同) であり, 10^2 年単位の変動は表現できない。この説の弱点は, 南北両半球の位相がずれる筈であるのに, 今までの証拠は同位相の例が多いことをどのように説明するかが困難な点である。

雪氷の面積を重視すると, 放射収支の永年変動に大きく影響するのは北半球であるので (南極氷床の面積の変動幅は比較的小さい), 北半球の変動が地球気候の変動を支配するという見方もなり立つ。Flint (1971) が算定した第4紀大陸氷河最盛期において最大の面積のものは, カナダ北東部に中心をもったローレンシア氷床で, 当時の全陸水面積 ($43.73 \times 10^6 \text{km}^2$) のおよそ半分を占めた (南極は現在 $10 \times 10^6 \text{km}^2$ 程度で, 当時第2位の面積であった)。結局, 北半球で全陸水面積の70%以上を占め, 地球気候の大陸氷河消長サイクルは北半球によって規制されたとさえいえるので, Milankovitch 説が正当であったとしても, それは南北位相のある氷河サイクルに結びつかない可能性が大きい。

彼が50年前に提言したように, 大気圏外での日射と地球気候との間の過程についての理解が進まないと, この説の当否は判定できない。現在, 急速に展開中のこの部分についての知見では, 彼の説を積極的に否定するものはまだ現われていないといえる。



第8図 Milankovitch 説に基づいて計算した ΔQ ($ly\ day^{-1}$) の変動。(上半分: 北半球の熱的の冬, 下半分: 北半球の熱的の夏, 年代の-は過去を+は将来を表わす) (Vernekar, 1972より)

6. おわりに

はじめに記したように、食料需給の乱れに対処して、気候の影響を受けやすい産業への気候に対する考え方の根拠を提示するという研究展望であって、純学問的な研究展望ではないので、これによって気候変動論の全体をつかむわけにはいかない。

ここでは、気候という情報が、現在の情報社会で果している重要度を留意して、その重要度にかかわる部分の研究成果の概観をすることによって、現在の気候を気候変動論の立場で説明することを試みた。

しかし第5章では、気候変動メカニズムの問題を扱ったので、この部分は通常の意味での研究展望の形をとった。ただ、前述の目的を生かしているので、重要な研究でもふれなかったものが多い。また、巨視的な立場に重点を置いたので、日本の国内に限定した問題にはあまり立入っていない。これらについては、別の機会にまとめるつもりである。

なお、気温の変動に重点をおき、降水の問題についてはわずかしかふれなかったが、これは現在集積しつつある資料の段階では、一時的あるいは正常な気候状態の中に見られる変動の中にはいるものが多く、明白な気候変動に結びつくものの検出が困難であったためである。一時的な変化でも、重要なあるいは今後注目すべき現象についてはいくつかの例を示したが、これらは世界規模の観測網（気象衛星を含めて）の充実によって解析されるべきである。

文 献

- Ahlman, H.W., son, 1953: Glacier variations and climatic fluctuations. Amer. Geogr. Soc., N.Y., 51p.
- Arakawa, H., 1954: Fujiwara on five centuries of freezing dates of Lake Suwa in Central Japan., Arch. Met. Geophys., Biokl. B., **6**, 152-166.
- Arakawa, H., 1956: Climatic changes as revealed by the blooming dates of the cherry blossoms at Kyoto., J. Met., **13**, 599-600.
- Arakawa, H. and K. Tsutsumi, 1956: A decrease in the normal incidence radiation values for 1953 and 1954 and its possible cause. Geophys. Mag., **27**, 205-208.
- 荒川秀俊, 1959: 気候変動論. 地人書館, 97p. (初版: 1955)
- 朝倉 正, 1972: 異常気象と環境汚染. 共立出版, 212p.
- Benedict, J.B., 1968: Recent glacial history of an

- alpine area the Colorado Front Range, U.S.A. II. Dating the glacial deposits. J. Glacio., **7**, 77-87.
- Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific., Mon. Weath. Rev., **97**, 163-172.
- Brooks, C.E.P., 1949: Climate through the ages. 395p.
- Bryson, R.A. and P.R. Julian ed., 1963: Proc. conf. on the climate of the eleventh and sixteenth centuries, Aspen, Colorado, June 16-24, 1962. NCAR Tech. Notes 63-1, 103p.
- Bryson, R.A. and D.A. Baerries, 1967: Possibilities of major climatic modification and their implications Northwest India, a case for study. Bull. Amer. Met. Soc., **48**, 136-142.
- Budyko, M.I., 1970: [Comments on] W.D. Sellers. J. Appl. Met., **9**, 310-311.
- Budyko, M.I., 1971: 気候と生命. 上下, 488p. (内嶋・岩切訳, 東京大学出版会, 1973)
- Callendar, G.S., 1938: The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. Quart. J. Roy. Met. Soc., **64**, 223-237.
- Callendar, G.S., 1939: The composition of the atmosphere through the ages. Met. Mag., **74**, 33-39.
- Callendar, G.S., 1961: Temperature fluctuations and trends over the earth. Quart. J. Roy. Met. Soc., **87**, 1-12.
- Dansgaard, W. et al., 1969: On thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland ice sheet. Science, **166**, 377-381.
- Dansgaard, W. et al., 1971: Climatic record revealed by the Camp Century ice core. in "The Cenozoic Glacial Ages" (K.K. Tarekian ed) pp. 37-56. Yale Univ. Press.
- Denton, G.H. and S.C. Porter, 1970: Neoglaciation. Sci. Amer., 1970, June, 101-110.
- Dightman, R.A., 1956: Grinnell Glacier studies, a progress report as related to climate. Mon. Wea. Rev., **84**, 329-332.
- Dightman, R.A. and Beatty, M.E., 1952: Recent Montana Glacier and climate trends. Mon. Wea. Rev., **80**, 77-87.
- Emiliani, C., 1955: Pleistocene temperatures. J. Geol., **63**, 538-578.
- Emiliani, C., 1966: Isotopic paleotemperatures. Science, **154**, 851-857.
- Emiliani, C., 1972: Quaternary hypsithermals. Quat. Res., **2**, 270-273.
- Fletcher, J.O., 1965: The heat budget of the Arctic Basin and its relation to climate. Rept.

- R-444-PR, Rand Corp., 179p.
- Fletcher, J.O., 1968a: Influence of the Arctic pack ice on climate. *Met. Monogr.*, **8**(30), 93-99.
- Fletcher, J.O., 1968b: The polar oceans and world climate. Rand Corp., Pap., 3801, 60p.
- Fletcher, J.O., 1969: Ice extent on the Southern Ocean and its relation to world climate. Rand Corp. RM-5793-NSF, 108p.
- Flint, R.F., 1971: *Glacial and Quaternary geology*. Wiley and Sons., N.Y.
- Fritts, H.C., 1965: Tree-ring evidence for climatic changes in western North America. *Mon. Wea. Rev.*, **93**, 421-443.
- Fritts, H.C., 1971: Multivariate techniques for calibrating time series used to reconstruct anomalies in paleoclimate. *Amer. Met. Soc.*, Preprint, 59-64p. Symp. Probability and Statistics in the Atmos. Sci. Honolulu, 1971.
- Fritts, H.C., 1972: Tree rings and climate. *Sci. Amer.*, **226**(5), 92-100.
- Fritts, H.C. *et al.*, 1964: Tree-ring evidence for climatic changes in western North America from 1500 A.D. to 1940 A.D. *Lab. Tree-ring Res.*, Arizona Univ. Cwb-10798. 1964 Ann Rep. 28p.
- Fritts, H.C. *et al.*, 1971: Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. *J. Appl. Met.*, **10**, 845-864.
- Fritts, H.C. *et al.*, 1971: Dendroclimatic history of southwestern United States. *Lab. Tree-ring Res.*, Arizona Univ. Cont. 1-35241, 34p.
- 福井英一郎, 1938: 気候学. 古今書院, 566p.
- 福井英一郎, 1968: 日本における最近の気温上昇. *地理学評論*, **41**, 477-490.
- Heusser, C.J., 1966: Polar hemispheric correlation. *Proc. Int. Symp. World Climate 8000 to 0 B.C.*, Roy. Met. Soc., 124-141.
- Heusser, C.J. *et al.*, 1954: Geobotanical studies on the Taku Glacier anomaly. *Geogr. Rev.*, **44**, 224-239.
- Hoinkes, H.C., 1968: Glacier variations and weather. *J. Glacio.*, **7**, 3-19.
- Humphreys, W.J., 1940: *Physics of the air*. McGraw Hill.
- John, B.S. and D.E. Sugden, 1962: The morphology of Kaldalon, a recently deglaciated valley in Iceland. *Geogr. Ann.*, **44**, 347-365.
- Kimball, H.H., 1918: Volcanic eruptions and solar radiation intensities. *Mon. Wea. Rev.*, **46**, 355-356.
- King, J.W., 1973: Solar radiation changes and the weather. *Nature*, **245**, 443-446.
- Kraus, E.B. and E.N. Lorenz, 1963: A numerical study of the effect of vertical stability on monsoonal and zonal circulations. *Changes of climate*, Unesco, 361-372.
- Kraus, E.B. and E.N. Lorenz, 1966: Numerical experiments with large-scale seasonal forcing. *J. Atmos. Sci.*, **23**, 3-12.
- Kukla, G.J. and H.J. Kukla, 1972: Insolation regime of interglacials. *Quat. Res.*, **2**, 412-424.
- Kukla, G.J. *et al.*, 1972: The end of the present interglacial. *Quat. Res.*, **2**, 261-269.
- Kutzbach, J.E. *et al.*, 1968: An evaluation of the thermal Rossby number in the Pleistocene. *Met. Monogr.*, **8**(30), 134-138.
- LaMarche, V.C. and H.C. Fritts, 1971: Anomaly patterns of climate over the western United States, 1700-1930, derived from principal component analysis of tree-ring data. *Mon. Wea. Rev.*, **99**, 138-142.
- Lorenz, E.N., 1964: The problem of deducing the climate from the governing equations. *Tellus*, **16**, 1-11.
- Lorenz, E.N., 1968: Climatic determinism. *Met. Monogr.*, **8**(30), 1-3.
- Lorenz, E.N., 1970: Climatic change as a mathematical problem. *J. Appl. Met.*, **9**, 325-329.
- Lamb, H.H., 1966: Climate in the 1960's: changes in the World's wind circulation reflected in prevailing temperatures, rainfall patterns and the levels of the African lakes. *Geogr. J.*, **132**, 183-212.
- Lamb, H.H., 1966: The changing climate. *Mc-thuen*, 236p.
- Lamb, H.H., 1970: Volcanic dust in the atmosphere: with a chronology and assesment of its meteorological significance. *Phil. Trans. Roy. Soc. London, A*, **266**, 425-533.
- Lamb, H.H. *et al.*, 1966: Atmospheric circulation and the main climatic variables between 8000 and 0 B.C.: meteorological evidence. *Proc. Int. Symp. World Climate, 8000 to 0 B.C.*, Roy. Met. Soc., 174-217.
- Lamb, H.H. and A. Woodroffe, 1970: Atmospheric circulation during the last ice age. *Quat. Res.*, **1**, 29-58.
- Lysgaard, L., 1950: On the present climatic variation, *Centenary Pro. Soc.*, 206-211.
- Manley, G., 1946: Temperature trend in Lancashire, 1753-1945. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **72**, 1-31.
- Matthews, W.H. *et al.* ed., 1971: *Man's impact on the climate*, MIT Press, 594p.

- MIT, 1971: Inadvertent climate modification, SMIC. MIT-201, 303p.
- Milankovitch, M., 1920: Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire.
- Milankovitch, M., 1930: Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. Bd. I, Teil A, Handbuch der Klimatologie, Berlin, Springer-Verlag., 1-176.
- Milankovitch, M., 1941: Canon of insolation and the ice-age problem. IPST trans., 1969, 484p.
- Mintz, Y. 1965, 1968: Very long-term global integration of the primitive equations of atmospheric motion. WMO Tech Note, **66**, 141-155., Met. Mongr., **8**(30), 20-36.
- Mitchell, J.M. Jr., 1951: On the courses of instrumentally observed secular temperature trends. Thesis (B.S.)-MIT 145p.
- Mitchell, J.M. Jr., 1963: On the world-wide pattern of secular temperature change. Change of climate; Unesco, 161-180.
- Mitchell, J.M. Jr., 1965: Theoretical paleoclimatology. Quaternary of the United States. Princeton Univ Press., 881-901.
- Mitchell, J.M., Jr, 1966: Stochastic models of air-sea interaction and climatic fluctuation. Rand. Corp. RM-5233-NSF, 45-74.
- 根本順吉, 1973: 氷河期へ向う地球. 風濤社, 222p.
- 西岡秀雄, 1972: 気候700年周期説. (旧版: 寒暖の歴史) 好学社, 195 p.
- Nye, J.F., 1960: The response of glaciers and ice-sheets to seasonal and climatic changes., Proc. Roy. Soc., Ser., A, **256**, 559-584.
- Nye, J.F., 1969: The advance and retreat of glaciers., Weather, **24**, 501-512.
- Post, A., 1966: The recent surge of Walsh Glacier, Yukon and Alaska., J. Glacio., **6**, 375-381.
- Richmond, G.M., 1972: Appraisal of the future climate of the Holocene in the Rocky mountains. Quat. Res., **2**, 315-322.
- Saltzman, B., 1968: Surface boundary effects on the general circulation and macroclimate: a review of the theory of the quasi-stationary perturbations in the atmosphere., Met. Monogr., **8**(30), 4-19.
- Saltzman, B. and A.D. Vernekar, 1971: Note on the effect of earth orbital radiation variations on climate., J. Geophys. Res., **76**, 4195-4197.
- Sawyer, J.S., 1966: Possible variations of the general circulation of the atmosphere., Proc. Int. Symp. World Climate, 8000 to 0 B.C., Roy. Met. Soc., 218-229.
- Sawyer, J.S., 1972: Man-made carbon dioxide and the "green house" effect., Nature, **239**, 23-26.
- Schneider, S.H. and Gal-Chen, T., 1973: Numerical experiments in climate stability., J. Geophys. Res., **78**, 6182-6194.
- Schove, D.J., 1961: Solar cycles and the spectrum of tirm since 200 B.C., Ann. N.Y. Acad. Sci., **95**, Art. **1**, 107-123.
- Schove, D.J., 1965: Discussions. Quart. J. Roy. Met. Soc., **91**, 542.
- Sellers, W.D., 1969: Global climatic model based on the energy balance of the Earth-atmosphere system. J. Appl. Met., **8**, 392-400.
- Sellers, W.D., 1970: Effect of changes in the Earth's obliquity on the distribution of mean annual sea-level temperatures. J. Appl. Met., **9**, 960-961.
- Smagorinsky, J., 1963: General circulation experiments with the primitive equations. Mon. Wea. Rev., **91**, 99-164.
- Starr, V.P. and A.H. Oort, 1973: Five-year climatic trend for the Northern Hemisphere. Nature, **242**, 310-313.
- Stidd, C.K. *et al.*, 1973: Conference summary, climatic changes on time scales ranging from a month to millenia., Bull. Amer. Met. Soc., **54**, 425-432.
- Takahashi, K., 1966: Key day analysis on the relationship between solar activity and precipitation., J. Met. Soc. Japan, **44**, 246-254.
- Tsuchiya, I., 1963, 1964: An analysis on the relationships between general circulation and climatic fluctuation, (1). (2)., J. Met. Soc. Japan, **41**, 288-298, **42**, 299-308.
- 土屋 巖, 1967: 偏西風の蛇行現象と日本の気候の動気候学的研究. Pap. Met. Geophys., **18**, 27-76.
- 土屋 巖, 1969: 最近における気候変動研究の発展について. 現代気候学論説 (関口武編), 東京堂, 176-201.
- Tsuchiya, I., 1970: Year-to-year variation of rainfall over the India-Equatorial Pacific region and of low and middle latitude circulation in the Southern Hemisphere. Pap. Met. Geophys. **21**, 73-87.
- Tsuchiya, I., 1971: Fluctuations of rainfall in Southeast Asia-equatorial Pacific and low and middle latitude circulations in the Southern Hemisphere. in: Water Balance of Monsoon Asia, ed. by M.M. Yoshino, Univ. Tokyo Press, pp. 217-239.
- 土屋 巖, 1973: ニュージーランド周辺の降雨量の年々

- 変動と熱帯循環との関係について。モンスーンアジアの水資源(吉野編), 古今書院, 173-190.
- 土屋 巖, 1973: インド—赤道太平洋領域の降水量と熱帯循環の年々変動。気象研究ノート, No. 117, 48-53.
- 土屋 巖, 1973: 日本における越年性積雪の水収支上の問題と気候変動の指標としての役割。気象研究ノート, No. 117, 108-118.
- 土屋 巖, 1973: 氷期の気候。第四紀研究, **12**, 135-144.
- Vernekar, A.D., 1968: Long-period global variations of incoming solar radiation. ESSA Cont. 22-137-67(N), 289p. The Travelers Res. Cen. Inc.
- Vernekar, A.D., 1972: —. Met. Monogr., **12** (34), 21p. + tables.
- Voltz, F.E., 1965: Note on the global variation of stratospheric turbidity since the eruption of the Agung volcano. *Tellus*, **17**, 513-515.
- Washington, W.M., 1971: On the possible use of global atmospheric models for the study of air and thermal pollution. Man's impact on the climate. (Matthews *et al.* ed.), 265-276.
- Washington, W.M. 1972a: Predicting the effects of pollution. *Fac. Atmos. Res.*, NCAR, No. 20, 6-12.
- Washington, W.M., 1972b: Numerical climatic-change experiments: the effect of man's production of thermal energy.
- Wexler, H., 1956: Variations in insolation, general circulation and climate. *Tellus*, **8**, 480-494.
- Willet, H.C., 1949: Long-period fluctuations of the general circulation of the atmosphere. *J. Met.*, **6**, 34-50.
- Willet, H.C., 1950: The general circulation at the last (Würm) glacial maximum. *Geogr. Ann.*, **32**, 179-187.
- Willet, H.C., 1953: Atmospheric and oceanic circulation as factors in glacial-interglacial changes of climate. *Climatic change.* (Shapley, H. ed.), Harvard Univ. Press, 51-71.
- Willet, H.C., 1964: Evidence of solar climatic relationships. *Iowa. Stat Univ.*, CAED Rep. No. 20, 125-151.
- van Woerkom, A. J. J., 1953: The astronomical theory of climatic changes. *Climatic change.* (Shapley, H. ed.), Harvard Univ. Press, 147-157.
- Wright, H.E., Jr., 1972: Interglacial and post-glacial climates—the pollen record. *Quat. Res.*, **2**, 274-282.
- 山本武夫, 1967a: 日本における気候変動の概観。気象研究ノート, No. 91, 2-9.
- 山本武夫, 1967b: 歴史の流れに沿う日本とその周辺の気候の変遷。地学雑誌, **76**, 115-141.
- Yamamoto, T., 1971a: On the nature of the Japanese climate in so-called "Little Ice Age" between 1750 and 1850 *Geophys. Mag.*, **35**, 165-185.
- Yamamoto, T., 1971b: On the climatic change in XV and XVI centuries in Japan. *Geophys. Mag.*, **35**, 187-205.
- Yamamoto, T., 1971c: On the nature of the climatic change in Japan since the "Little Ice Age" around 1800 A.D. *J. Met. Soc. Japan*, **49**, Sp. Issue, 798-812.
- 山本武夫, 1972: 極東における降水量の長期変動。地学雑誌, **81**, 199-222.
- 竺 可楨, 1973: 中国近五千年來気候変遷の初歩研究。23p.

—会員の広場—

鳴子こけし

みちのくに鳴子温泉がある。ここは、伝統を誇る鳴子系こけしの生産地でも有名。これは、童女の姿を色どりにした円柱状の木地人形、おかつば頭を回すと名の通り音を出す。

私は、訪れた記念に、目の前で8寸ものをひいてもらった。やや太めの首根っこを急回転している胴体のほぞ穴に強く押しあて、摩擦で広がった瞬間に、はめ込む仕組み。

ところで、気象学は社会学と違い相手が自然なので、予測問題では幾らか有利だと思っていた。だが、近年は人為が絡む大気汚染などの面倒な現象が出てきた。更に、世界の方々で起こっている異常気象から、寒冷期の戻りが心配されているとか。

もし、気候が変われば山野の植物相も違ってくるのは必定。こけしの材料、“みずき”も無くなるかも知れない。愛らしい鳴子の名産品が消えるとは、考えても身震いがする話。

田口龍造(仙台管区気象台)