

~~~~~  
長期予報研究  
~~~~~

グロースベッター

第 1 2 卷 第 2 ・ 3 合 併 号

目 次

世界の天気 の 無気味な 変化…………… 藤 範 晃 雄 (紹介) 1

氷期と現代と の大循環の比較…………… 安 藤 正 次 (紹介) 15

1 9 7 4 年 4 月

L. F. グ ル ー プ

世界の天気の不気味な変化

——現在気候学者は繰り返して起る干ばつや洪水は地球の寒冷化傾向のためだという。それは人類に大惨事をもたらす可能性がある ——

by Tom Alexander

OMINOUS CHANGES IN THE WORLD'S WEATHER

(Fortune Feb. 1974)

この数年、世界中の天気にとって奇妙な、面白くないことが起こってきた。よく知られているように、サハラ砂漠の南の干ばつで幾千人もが餓えと病で死に、何百万人もが緊急食糧輸送でようやく生きながらえてきた。アフリカの干ばつ地帯が中東からインド、南アジア北支那にのびる広大な乾燥天候のパターンの一部分であることは、余り知られていない。干ばつは中央アメリカも同時に襲った。これらの地域が干上っている間にアメリカ中西部、フィリピン、イタリー等広くバラバラの所で、この数世紀中最もひどい洪水に見舞われた。一方、北方域、例えばシベリアでは最低気温の記録が破られたが、他方ヨーロッパロシアや上米ではかつてない暖冬を味わっている。少し以前に、もし誰かが気候が悪化しつつあるかとたずねたとすれば、気象学者は「否」と答える方が多かっただろう。英国のすぐれた気象学者Hubert LambはEast Anglia大学でヨーロッパ唯一の気候研究所を率いているが、何らかの有意な気候変動は何か常に地質時代に属するものと仮定されて来たという。「年々または数年ごとのランダムな変動以外は否定された。」気候学、すなわち長期の天気状態の研究は、気象学の最も不明確な分野と考えられたとLambはいう。

後退するアルマジロ

しかし最近十年、いろいろの分野から多くの科学者は、何かかなりはげしい気候変動が進行中であることと結論した。彼等のいうところでは、人類は今世紀の約半分は少くともこの千年の中で最も快適な気候に恵まれていた。このよき時代に、人口は2倍以上になった。しかし、現在世界の気候はより恩恵の少ないものに速やかに変わりつつあると信ずるに十分な理由がある。第1図に示された気温変化図では1890年以後著しい温暖化傾向が始まった。平均気温は1945年にピークになりそれ以後シャープに低下してきた。

40年代以来の全低下量は——約2.7°Fであるが——余り劇的には見えないが、その影響は

重大である。

温暖期に北方へ出かけていたアイスランドの漁船団は、現在南方の昔からの海に帰らなければならなくなった。今世紀の初め、アイスランドの港に近づく船は航行中流水にさまたげられた。50年代の遅くからアイスランドのエーカー当りの牧草生産は25%落ちた。

北米ではアルマジロは温暖期にはネブラスカの北にひろがった。そして現在は再び南に退きつつある。

英国では平均の植物成長季節は1950年前より約2週間短くなった。

Lambが指適するように「1945年以来地球の気温は何百年もの最も長くつづく低下傾向となろう」

祖父は冗談を言ったのではなかった

概していえば、気候変化が悪くなるとアルマジロのみならず人間やその社会制度も、卓越する気候に適合するように調整される。現在の寒冷化傾向について、多くの指導的気候学者の結論するところでは、それは全く悪いニュースで世界をとりまく面白くない天候の根本原因であるという。そして、かつてない大きな人間への災害の可能性をもたらすものと警告する。気温低下の最も大きな影響は、地球を一巡する大きな深い風のシステムを変えることである。そして新しい風のパターンの最も悲しむべき結果は、アフリカ、アジア及び中央アメリカの大部分が頼りとするモンスーンの雨がさえぎられることであった。

世界のどこでも、もっと極端な変り易い天候 洪水、干ばつや大きな冬のブリザードを含んでいる——19世紀の典型的だった状況にもどっているように見える。

「おじいさんの時代は天気は今とちがっていたというとき、彼は冗談をいっているのではなかった。」とある気候学者は述べている。

長期の気候予測は、まだ科学的理解をはるかにこえたものであるが、最近数ヶ月に非常に尊敬されている気候学者たちが、事態は悪化しているとその名声を賭けて予言している。日本の気象庁は政府に長期にわたって北日本が寒くなること、西日本の干ばつの増大を覚悟するよう警告した。

アメリカではもっとも率直に気候の危険な兆候を認めているのは、Wisconsin大学の環境研究所長のReid Brysonである。「非常に重大な気候変化がただ今進行中である。」

「そしてそれは単に学問的な興味だけではない。もしそれがつづけば全人類に影響する 例えば十億の人が餓えるようなものである。その影響はかなりはげしいやり方ですでにあらわれつつある。」と彼はいう。

最も異常な時代に

Bryson は彼自身及び他の人々の広汎かつ多くの研究を参考にしているが、その結論は重要なことを彼独得のやり方で関連づけたものである。

もともと彼は考古学者になるつもりだった。しかし、第2次世界大戦中彼は気象学で学位をうけ、Wisconsin大学へおもむきアメリカで最大の気象学部をつくりあげた。

彼はその殆んどの科学経歴を費やして、世界の遠く離れた部分でどのような過去の気候が似ているか、どのような原因で気候が変わったか等のヒントを集めた。

同時に考古学的な興味から、気候の人間その他に対する影響に強く関心を持ちつづけた。

この長期的な見通しから、Bryson は気象学者が国際的に一致して、恵まれた気候の近年を正常と定義することは、非常に不適当であると考えている。

Bryson はいう。" 明らかに近年は少なくとも最近千年間で最も異状な時期である。 "

彼は例えば次の事実を指摘する。1918年から1960年はインドの干ばつはそれより以前に較べて少ない(第5図参照) この時期に飢餓が割合少ないために、医療の改善と相まってインドなどの人口が増加し、今世紀中に人口は2倍以上になった、と彼は主張する。

Bryson は1890年から1945年の時期は、17世紀以来つづいていた" 小氷期 "の短かい小休止にすぎないと信じている。

グリーンランドの白氷化

小氷期以前は英国では葡萄は広く作られていた。そしてフランスはイギリスのぶどう酒メーカーが、ヨーロッパ市場で安売りするのが不満だった。

10世紀の頃Viking はグリーンランドに繁栄した植民地を築き、その青々とした牧草地からそのように名づけた。しかし15世紀初めこれらの植民地は寒さ飢餓のため絶滅し、現在グリーンランドの $\frac{4}{5}$ は何百フィートもの氷被(ice cap)に埋もれている。

海床の沈積物、泥炭沼や年輪などの証拠からみて、地球の長い気候史は株式市場と同じように上下してきた(第2図参照)。小氷期でさえ温暖期と真の氷期の間の長い振動における小さな変化にすぎない。

このようなサイクルについて研究者の間でかなり一致しているのは、地球は現在、かつて北米深く氷河をもたらし約10000年前に退いたような大きな氷期にゆっくり向っていることである。

気象学の更におどろくべき最近の結論の1つは、海床の沈積物の研究から引きだされたもので、少なくとも過去70万年間に地球の平均気温は現在と5%ほどしか変わっていないことである。

Cesare Emiliani Miami大学で長期のサイクル(気温)をプロットして" 吾々は現在と同じような暖かさが約10万年つづいたと考えがちであった。しかしそうではなく、それは短かく減多に起らない挿入部らしいという。さらに驚くべき発見は、1つの主要期間から他の期間にうつるときは恐しく短く、1世紀ぐらいのことが多いことである。 "

何が気温を変動させるのかは討論中の大問題である。長期間のサイクルは天文学的原因によると信ずる人が多い。地球は僅かに楕円軌道をえがき、ある時期には太陽に近づきある時期は遠ざかる。その上地球の自転軸が傾く、結局地球はその軸の上でコマのように僅かにふらつく。例え

ばこれらの条件を組み合わせると、一連の冷たい夏となり、高緯度では冬の雪が融けないような特殊部分があらわれる。

よく知られているように、世界の気候は微妙にバランスしたシステムで、そこに生じる変化を増幅したり減少させたりするような、敏感なフィードバック機構がある。また、気候はもともと地球と大気に吸収される太陽放射量に支配されることも知られている。これは惑星の全反射率によってきめられる。反射率が大きければ大きいほど地球は冷たくなる。白い物体はよく反射するから、雲は雪や氷と同じく反射率に大きく効く。

太陽をうす暗くした火山

雲は気候がどのように進むにしても、それをやわらげるように働く。もし地表気温がどんな理由にしろ上昇するならば、水蒸気がより多く蒸発する、そして雲が増える。このため反射率が増え熱せられかたが減る。

これに反して雪と氷は正のフィードバックとなる。

もし年平均気温が低下すれば、氷雪に被われる範囲が増え入射する日光がより多く反射する。その結果熱せられ方は更に減るが、極に近い所では特にそうである。

惑星の反射率に効くものはまだ他にある 空中を運ばれる粒子、特に極端に細かい塵の粒子で、雨で洗い落せないような上空を流れているもの。

これらの多くの粒子は何ヶ月も何年も上空にとどまる。数十年あるいは数百年という短期の冷却は、これらの種々の塵埃に端を発するというのがBrysonのテーゼである。

過去の低温時代は火山の噴火も増加し、莫大な量の塵埃を成層圏に噴き出したことが判金になった、と彼は信ずる。

大きな火山爆発の後数年は、世界中いたる所で日光はうす暗く、夕日が鮮かだった、と説明する古い書物はいっぱいある。グリーンランドや南極の氷層を穿孔した科学者たちは、多くの火山灰が蓄積されたのと同じ層が低温であるという証拠を報告している。そして多くの気象学者は、日光が1%ほど減ると寒冷期が始まり、氷河期にまで及ぶということに同意している。

今世紀のはじめ気候が温暖化しはじめた時、火山はいつになく静かだった。1955年以来、再び火山は活発になり、コーカサス山系、モンゴリヤ、グリーンランド等に散在する各地方の観測所は、大気の透明度の減少及び直達日射量の減少と同じく、降塵の増加を記録した。

人 為 的 影 響

しかしBrysonの計算では、火山活動があってもなくても今世紀の気温の上下を説明するには不十分である。彼は人間活動が重要な役割を増してきたと確信する。他の気候学者と同じく、彼は燃料による二酸化炭素の増加が、いわゆる“温室効果”を通じて初期の温暖化傾向に寄与していると信ずる。二酸化炭素は吾々が太陽からうける大部分のエネルギーを含む短い可視波長の光を透過させる。しかし、この光が大気を透過して後地球で熱に変えられ、より長い赤外波長の

形で再放射される。二酸化炭素分子は赤外波長は余り透過せず、そのエネルギーは捕えられ日射効果を強める。

Bryson は 1930 年後大気中で増加する塵埃の冷却効果が、二酸化炭素の昇温効果にうちかち始めたと主張する。

疑いもなく、一面におおひ塵のある部分は工業汚染によるものである。しかし Bryson は、機械化農耕や牧草の食われ過ぎた乾草地帯から風に吹かれた塵埃と、熱帯で広く行われている焼畑農法の煙が、より多くの影響をあたえているかどうかを疑う。人為的な粒子を集めても自然—火山灰、海のしぶきから蒸発する海塩粒子や、野菜から出る有機化合物等—より影響が少ない。人間が制御できるのは人為的影響のみであるが。

源は何であれ、塵埃は熱帯地方より極地方で深刻な気温低下効果を持つ。極に達する日光は塵埃層を斜めに通らねばならない。従ってより多く反射される。また赤道上には、中緯度や高緯度より塵が少ないように見える。

平等化しようとする自然の努力

この変動が重要である理由は、大気大循環が主として赤道と極の気温差により引き起されるからである。第3図に示された風系は地球上の気温を等しくしようとする自然の努力とみなすことができる。1つのメカニズムは加熱で赤道海域から高温多湿の空気を上昇させる。上昇の際、空気は赤道の降雨帯に殆んど水分を落とし、ちょうど天井に沿って冷たい壁まで広がるラジエーターの上の空気のように、極の方へ移動する。それが極までのほぼ $\frac{1}{3}$ ぐらいに達するまでに、再び下降し高圧帯をつくる。世界の主な砂漠は殆んどそこにある。下降した空気のあるものは貿易風の形で赤道の方へ循環する。しかし残りは極の方へ進みつづける。そうするにつれて地球の自転により空気は東向きのスピードを増す。赤道では自転速度 1 秒間に 1100 m だが、極では自転速度は正確に零である。それ故空気が極の方に移動するにつれて次第に西風が強くなる。下層では西風が卓越し、上層ではジェット・ストリームになる。

結局極に向う空気は、極から外に広がる帽子の形をした重く冷たい空気の中に入る。また、偏西風と極気団は気象学者が「極うず」と呼ぶところのものを形成する。それは極のまわりを回転する大きなスカートに似ている。

このスカートの下のへりは、特に北半球では波動と乱れが多い。北半球では山脈が多くあり気流が乱されるのである。境界に沿う波動には幾つかの大きさがある。温帯地方をとりまいて波の端から端までふつう 2 つから 6 つになっているが、そのうち最も大きなものは準定常になる傾向がある。その位置は一部は地形、一部は地表の種々な部分での気温差によってきめられる、

平 原 の 雨

極うずの動向は温帯の天気パターンの殆んどを説明する。偏西風は波状になって、暖かい雨の空気を北方へ運び冷たい北の空気を南へ運ぶ。赤道と極の気温差が大きければ大きいほど（極）うずの中の波はより深くより多い。あたかも、自然がより熱心に気温を等しくしようとしているようである。

スクリップス海洋研究所の長期予報の気象学者ジェローム・ナマイアスは、最近数年にわたる西部アメリカの特別な寒冬と東部の暖冬は、これらの波動の1つが南に突き出たためであるという。その位置は中央アメリカで寒気が西部の境に沿って南下し反流が東部を暖かくする。そのような大きな波動は、どの場所で雨が降りどこで降らないかをきめる。Wisconsin の Bryson の同僚数人は、19世紀によく現われたようなパターンを調べているが、彼等は西部平原とロッキー山脈諸州の豪雨が再来するだろうと予報している。カリフォルニアに旅行した59人のうちの多くの人の話では、平原を横断する際の危険は、頭まで伸びた果しない草の海の中で、主部隊を見失うことであった。現在は實際上砂漠になっている地域に生い茂っていたのである。気候はバイソン（野牛の一種）の巨大な群が絶滅した際の猟師より大きな役割を演じてきたとBrysonは洞察する。

8 月 の 雪

新しい天気パターンは、北米でも利益より害を与えるように見える。

平地での多量の雨は、ミシシッピー峡谷のような遠いところまで洪水を起させる。昨年春にはそこで堤防が決壊した。昨年カナダでは8月の半ばの嵐で、西部の小麦畑に8インチも雪を降らせた。これは19世紀のはじめ、しばしばニューイングランド農業を荒廃させた真夏の雪の再現である。アメリカ中西部の穀倉帯は恐らく影響は少いが、そうであっても生産は過去のレベルまでは上らないかも知れない。

James McQuigg はMissouri大学の気候学者で、天氣の経済的な役割を専攻しているが、ここ数年間過去の世紀の年ごとのアメリカの穀物生産を分析し、それをその年の天氣に関係づけた。最近十年ばかりの異常な生産は、技術と穀物品種の改良によるものであるとふつう考えられているが、McQuigg は非常に恵まれた気温と、降雨も少なくとも同程度に評価すべきだと結論する。

「つづく15年間でよくなるという確率は万に1つだ」とMcQuiggはいう。彼もまた悪化する気候に関するBrysonの説に同調している。

世界のどこでも、極うずの変化の影響により、悲惨なことが起こるかも知れない。最近イギリスの気象学者Derek Winstanly は中央アフリカ、中近東、インドの持続的な干ばつを解析した。彼の結論する所では、毎年夏に北半球が昇温しても、極うずのへりが北に退かずに異常に南方にとどまった。そのかわり、下降気流の大きな砂漠の形成地帯は、はるか南の人口密集域に押し下げられた。

これらの高圧域から外へ流れ出る空気は、水分を含んだモンスーンが牧草地に侵入するのをさまたげた。そこはモンスーンのはいらない期間は乾燥しているのである。それ故さまたげられたモンスーンは、その貴重な雨を海洋または雨の多過ぎる地域に落してしまった。

もし砂漠が南に移れば

ウィンスタンリーは地中海沿岸にある北の地域で珍しい豪雨があったが、もっと北の例えばイギリス諸島では、近年雨が少ないことにも注意した。

彼はこれらすべての天気の特長性は、同じ一般的な条件 すなわち極うずの拡大と波動性の増大に由来すると結論した。

もしこのような天気パターンがつづけば、そのためにサハラのような砂漠全体が南に移り、例えば防風林を植えたり、灌漑によって気候の侵害を止めようとする人間の努力は、何の効果もないものになるう。

現在多くの専門家は、スタンリーの述べるような特殊なやり方を極うずがしていることには同調している。

Reid Bryson は、このふるまいを大部分地球の寒冷化傾向と、極と赤道の気温差の増大に結びつける。

実際極うずは一年中冬のようにふるまい、極の方へ縮少してなめらかになるうとはしない。

二酸化炭素の人為的な増大は寒冷化傾向を和らげるのに役立ち、またそうしつづけるだろうけれど、Bryson は温室効果が實際上モンスーン地帯のトラブルにも効くと主張する。大気中の二酸化炭素は上空よりも地表を暖める。

地表と空気の気温差が大きくなると、赤道の空気の上昇力を増大させ砂漠上の空気の下降力も強める。

ある気候学者は、現在の傾向の原因とその持続の可能性についてのBryson の説を信じない。

その中で最も有名な一人は、N・O・A・AのJ. Murray Mitchell Jr. で「自分は不可知論者だ」という。

「吾々はこれらの傾向を北半球で観測し、それが事実であることを見てきた。しかしその傾向の中心となる方向がわからないし、それがどれくらいつづくかもわからない。」

ミッチェルは火山活動を予報することは不可能で、しかも気象変動はランダムな事柄に思われると強調する。

しかし、彼は現在の寒冷化傾向が自然的理由で、恐らくは温室効果に助けられて逆転するのではないかと疑っている。もしそうならばモンスーンははいり易くなる。

他に疑いを持つ人としては、天文学者Walter Orr Roberts とM・I・Tの気象学者Hurd Willett で、彼等は気候変動は太陽自体の変化に影響されるのではないかと疑う。

彼らは明白なしかし論争の多い天気パターンと、太陽黒点の11年周期との関係に思い悩む多

くの気象学者の仲間である。しかし、これまで太陽エネルギーに僅かな変化を起こさない黒点が、気候に対して観測できるような影響をいかにしてあたえ得るのかについて、認められるような理論を持つ人は誰もいない。

楽 天 化 に 不 利 な 勝 算

他の人々は気候の理論はまだ余りに幼稚で、将来何が起るか予知できないことを強調する。その中の1人はStephen Schneiderで、ColoradoのBoulderの中央大気研究所で気候変動の数値モデルを作ろうとしている。

Schneiderは寒冷化がつづいているのと同じくらい将来温暖化に好都合な物理的な証拠があると信じている。にもかかわらず、Schneiderは将来どうなるかについて、過去の経験が少なくとも推測の手助けになることを認める。「もしあなたが記録を見るギャンブラーで、吾々がちょうど経てきたような気温のピークを見たとすれば、吾々はまたそこに戻って行く方へは賭けないだろう。従ってBrysonは、潜在的に非常に重要な問題に手を触れたことになる。」

この分野で尊敬されている多くの人々が、Brysonの不気味なシナリオに同調している。一或いは、少なくとも現在の知識からすれば、明白な成り行きであると考えている。

イギリスのHubert Lambはその協力者と、アフリカ、トリニダード及び南米北部の昨年の干ばつの研究を完成しつつある。BrysonやWinstanleyと同様Lambのグループは、干ばつは寒冷化傾向、特に北極の寒冷化と関係があると結論した。Lambはいう、「Brysonと私はこれについて殆んど同じ意見だが、いわばこの長期傾向の上に、かなり短い時間スケールの重要な変動が、常に重っていることに留意すべきである。恐らく1973年は特に悪い年だったのであろう。」

緊 急 用 の 備 蓄 食 糧

Brysonの立場を熱心に支持するのは、Toronto大学のKenneth Hareで前英気象学会会長、現在カナダ政府の環境研究所長であろう。「Brysonは今日気候学では最も重要な人物である。私は元来彼よりずっと保守的だが、彼のいうことには真面目に同意する」と彼ははっきりいう。

Hareは来るべき気候的危機にそなえて、食糧備蓄を確保するよう熱心に政府に説いている。

「もし1972年のような年が3年以上つづけば、世界の現在の人口を支えることはできないだろう。」と彼はいう。

新しい気候の型がいつまでつづくのか、或いはどこまで進行するのか、誰もそれほど多くの考えを持ってはいない。しかし、深い海水の形で気候を支配するシステムには、大きな慣性がある。海水はいったん冷えると、再び暖くなるまでに少なくとも何十年かはかかるのである。

Lambの研究では、過去の寒冷期は約100年つづき、最小で50年つづいたことを明らかにし

ている。

Bryson は今世紀の残る期間に、モンスーンが印度北部のような地方に規則正しく戻ることはなかりと信じている。もし彼が正しければ、モンスーン地帯の現在の人口さえ保持できるという見こみは少ない。たとえ残りの全世界の耕地でフル生産したとしてもである。

何故帝国が崩壊したか

最近考古学者や歴史家たちが、多くの高い過去の文明、例えばインダス、ヒッタイト、メシアン及びアフリカのマリ帝国等の没落について、古い説を修正しつつある。彼らが野蛮な侵略者ではなく、気候の変化により零落したという顕著な証拠がある。Bryn Mawr の考古学者 Rhys Carpenter は、これらの滅亡の幾つかを大小にかかわらず地球の寒冷期が大気大循環に影響し、昔は富んでいた農地に干ばつの波が押しよせたことに結びつけた。これらの崩壊する文明から難を逃れて、よりよい土地への移住が起こった。そして Bryson は新しい降雨のパターンにより、北サハラやダリュースの軍隊が食を得ていたイラン平原など、かつて草木の繁茂していた地方で農業が実際に復活し得たと考える。しかしこれは、サハラ砂漠が南にひろがることに悩まれている人々を喜ばすことはまづできない。世界は余りに人口稠密で政治的に分割されているので、集団移民などの便をはかれなくなっている。

Missouri の McQuigg と Wisconsin の環境研究所で進行中の、気候と食糧問題の研究プロジェクトの数人の研究者は、やかましくいわれている緑の革命で発展した、非常に特殊な穀物品種に及ぼす気候変化の作用にも関心を持っている。彼らは高度の生産性に対して仕払った費用が、不適当だったのではないかと疑う。

穀類は近年卓越した気温や降水量の狭い範囲が非常に適している。これらの研究者は、昔の穀物生産は適合条件が悪かったが耐容性があり、気候変化の複雑な圧迫で生産されていたらしいと仮定する理由があるという。気候学者はまた、強力な国家が誤った考え方の工業プロジェクトにより、自然を変えようとするのに思い悩んでいる。例えば、穀物の $\frac{1}{3}$ は干ばつの多いシベリアの女地からとれるが、シベリアの大きな河の幾つかの向きを変え、巨大な灌漑計画に入れようという話がある。これらの河は北極海に注ぎこみ、そこで軽い新しい氷が塩水の上にひろがり北極海を氷らせている。

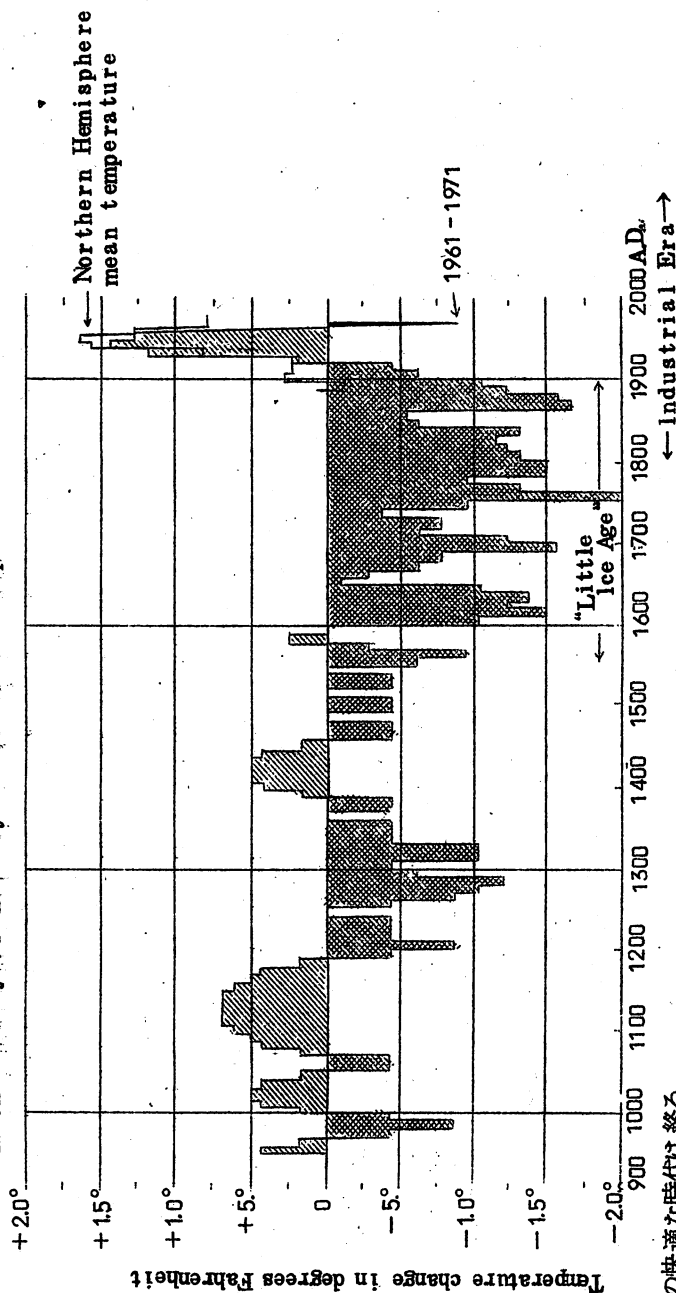
ロシアの科学者 O・A・Drozdov の実験と、イギリスの気象学者 R・L・Newson の北半球の数値モデルによると、北極海が氷らなると中緯度の大陸の各地で冬は更に寒く乾燥するという逆説的な結果になるらしい。何人かのソヴィエトの気象学者はその提案に反対している。たとえ悲惨な長い干ばつがシベリアの小麦地帯をおそったとしても、ソヴィエト当局はそのプロジェクトを進めたための損失は殆んどないと結論するであろうけれど。

眼まきをおかす多くの余地

人間の生涯を蟻塚のような所から見通せば、天氣の砂粒狀の構造を認めるのは容易だが、氣候のうねる地形を理解するのは難かしい。恐らく氣象學者の学びつつあるものから得られる最も重大な洞察は、未來の氣候の正確な予測でなく、むしろ氣候は計算目的として一定のファクターでないことであろう。むしろそれは広く変わる変數で、吾々の知っている他のものよりもっと重要な問題である。

人間の生存の方程式を書く場合、吾々は多くの誤まりをおかす余地のあることを考えておいた方がいいだろう。（藤範晃雄紹介）

A thousand-year history of Iceland's temperature

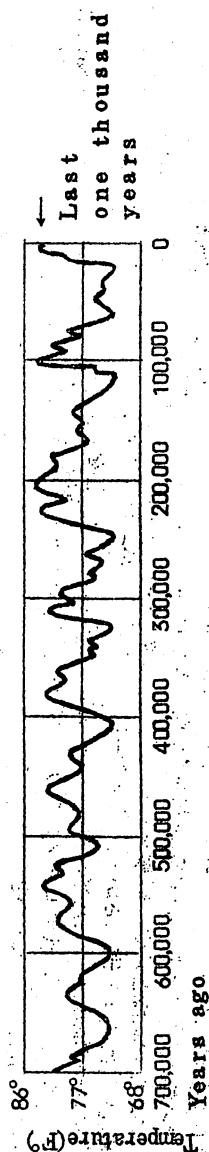


第1図 — 50年間の快適な時代は終る

人類は歴史時代または地質時代のタイムスケールから見ても、異常と思われる温暖期をエンジョイしてきた。気象学者Pall Bergthorssonは、バイキングの移住民たちの海氷の持続期間や程度について、驚くべき完全な記述などの証拠を調べて、アイスランドの千年間の記録を作成した。これらの記録と最近の経験と比較して、Bergthorssonは10年ごとの平均気温を見つけた。その位置と小さな気温変化に対する敏感さから、気象学者はアイスランドが北半球で何が起っているかのよい指標になると考える。19世紀に始まる実験は北半球で実際に測られた平均値で、(推定値と)かなりよい対応を示している。

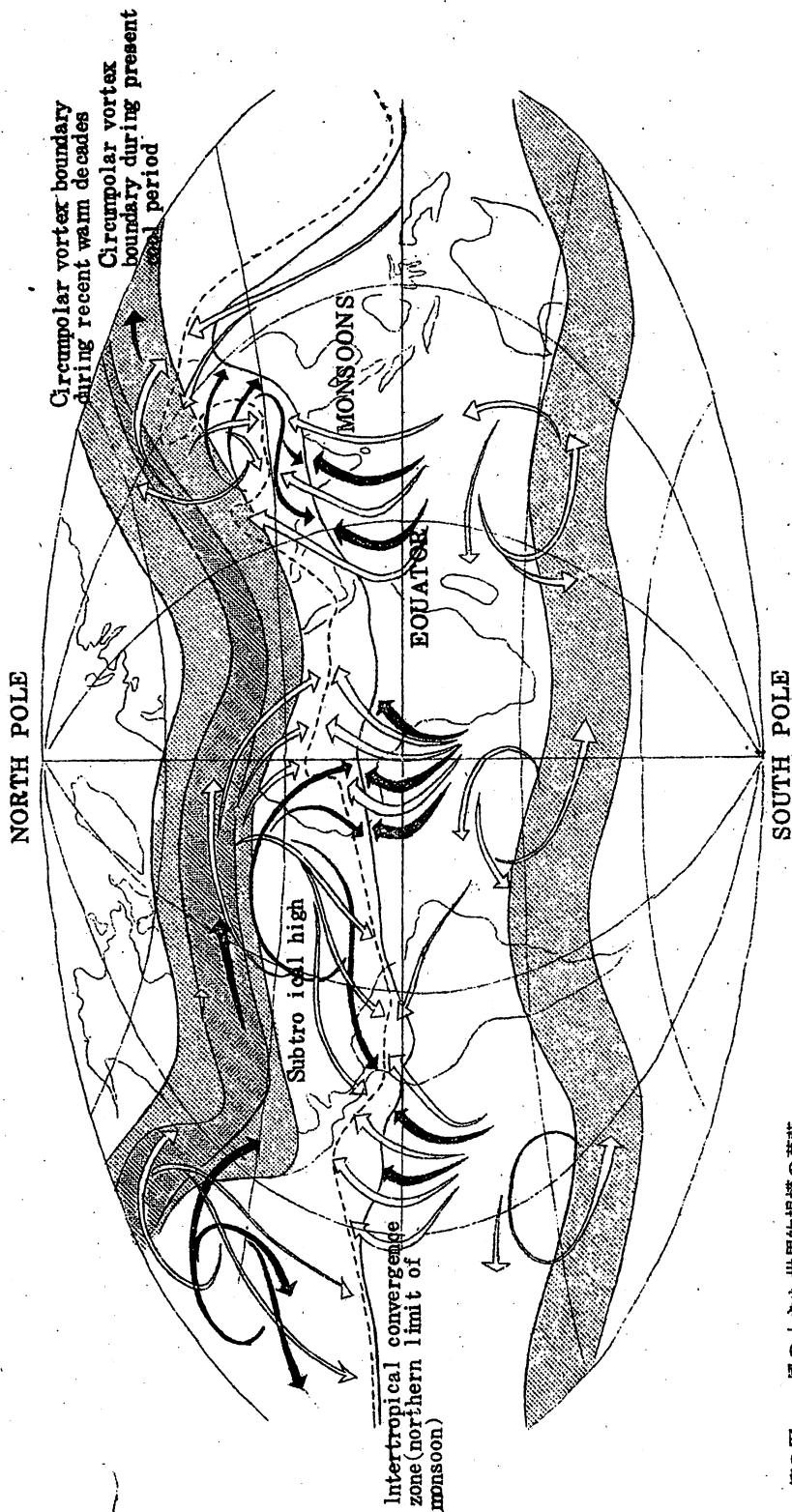
気温は1890年から上昇、1940年代にピークになり、その後下降している。指導的な気象学者は、17世紀から19世紀までつづいた“小氷期”にもどりつつあるかもしれないという。

Temperature through geological time



第2図

図は Miami 大学の海洋地質学者 Cesare Emilian が作った70万年の気温の記録である。海の貝殻の中に含まれる2つの酸素同位体の比は海水温によって変えることがわかっており、Emilian はこれからカリブ海の沈積層の化石から古代の海水温を計算することができた。図は約10万年の間隔で永河時代が規則正しくつづいていることを示している。これらのサイクルの中で、比較的冷たい時代と暖かい時代が、ざっと2万年ぐらいいで交替している。計算からわかるのは、6千年の文明はほぼ10万年のうち最も温暖な時期と一致することである。

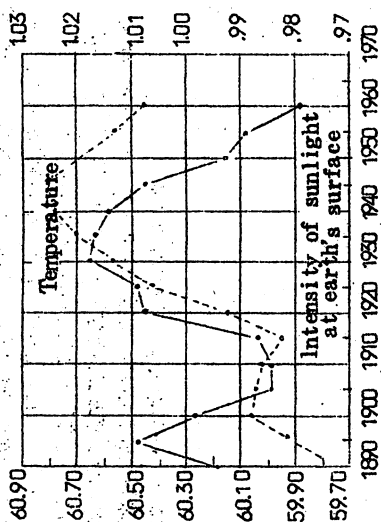


第3図——風の大きな世界的規模の葛藤

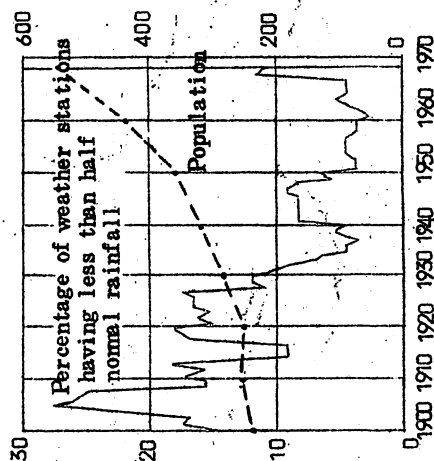
全球的な寒冷化の最も危険な結果は、大気循環と降雨の変化である。その変化の中心は極うず——その上で高層風が西から東に回転している——のふるまいである。北半球をよぎる広い、うすい網で示したバンドはこの風系のおよそ南端を示し、ちょうど60年代初めの夏季の位置になっている。その南端がどこにあるかで高圧帯の位置がきまる。ここでは外に流れ出る風をあらわした細く時計回りの中白の矢で示してある。高気圧は赤道から上空を移動して後下降した乾いた風ののためにできたものである。それによって世界の大きな砂漠が生じ（北向きの大い矢で示した）雨をはこぶ夏のモンスーンの侵入限界がきめられる。

全球的な寒冷化傾向のために極うずの南端は近年は夏もより南にとどまり、その位置は強いバンドで示してある。高圧帯もまた南偏し、何億もの人々の生存に重要な地域に、モンスーンが入ることをさまたげている。同時に極うずの周辺の準定常波型が変わり、温帯の降雨パターンに影響し、気候が更に変わり易くなる。例えばアメリカ上空のかなり深い波が、西部での近年の寒冬と東部の暖夏がな冬の原因であると考えられる。西部は北風となり東部はその反流となる。

——寒冷化傾向が、南半球の風のパターンにも同様に影響したといういくつかの証拠はあるが、そこでは気候統計が欠けている。



第4図 Reid Bryson によると、大気中の塵埃が最近の寒化傾向の原因である。図は北半球平均気温と雲のない日の日没の光の強さと、かなりよい相関があることを示している。Bryson は大気の透明度に対する塵埃の影響が日射を変化させると論ずる。二酸化炭素の“温室効果”により、1930年以後はもしそれがなかった場合はど早く気温は下がらない。日射の観測をしたロシアの気象学者 Mikhail Budyko を含む他の気象学者は、その変化は太陽自体の変動により起こると考えた。



第5図 Reid Bryson の集めたデータから描いた図で、インドの暗いみとおしが暗示されている。世界が温暖だった時代には、北インドの干ばつの回数は減少したが、近年また増加している。図上の値はそれに先だつ十年間に雨量が平年の50%以下だった気象観測所の割合を示している。破線はインドの人口の増加を示し、Bryson は恵まれた気候という特別のでき事のために倍加したと主張する。

氷期と現代との大循環の比較

NATURE VOL.245 Sep.21 1973

E.B. KRAUS

氷期の熱帯地域における、海面温度のわずかな降温（低温化）は潜熱の放出の減少をもたらし、熱帯地域の上層気温の低下をももたらす。数値シミュレーションによれば、熱帯地域の海面温度の低下は氷期における冬季間の平均的傾圧度を減少させたこと、またおそらく低緯度から高緯度への熱の輸送の減少をももたらしたと考えられる。また、数値計算から求めた海面の風によれば海洋の循環も、氷期においては、現代より弱かったと推定される。

地域的な熱均衡を考えると、氷期における熱帯洋上の雲量は、蒸発と降雨が減少していたにも拘らず、現代よりも広範囲に多かったものと考えられる。この推論は大気対流についての解析的な議論によっても確かめられる。

数人の研究者は、氷期における海面温度分布を再現する目的で、沈殿物の解析という手段を用いた。第1図として、ここに再掲したひと組の地図は「気候図プロジェクト」によつて描かれたもので、National Science Foundation Annual Report (1972)にのっている。第1図によれば、北大西洋の緯度50度以北の海面温度は、現代と氷期に10°C以上の差のあることがわかる。比較対照からカリブ海と大西洋の熱帯海域ではわずか3°C、せいぜい4°Cの差しかないこともわかる。大陸上では、かつて氷河が発生したヨーロッパと北アメリカにおける地域の、夏季地表面温度では17,000年以前よりも現代は約30°Cも暖かく、その相違の大きいことがわかる。

明らかに、大気底における平均的な南北の気温傾度は現代よりも氷期には大であった。このことから、氷期は現代よりも荒々しい大気循環と盛んな南北循環によって特徴づけられていただろう、と一般的には仮定されていた。この慣用的な思考に反して、事実とはこれと正反対であっただろう、と筆者は考える。

熱帯と亜熱帯の海上から貿易風に潜熱が供給され、その潜熱の放出によって大循環の大きな部分が維持される。貿易風はハドレー循環の下層の水平枝流を形づくっている。ハドレー循環は赤道の南・北両側にある水平軸を持った2つのうず輪にみえてることができる。インド洋や南大西洋上においては、ハドレー循環はインドやアフリカのモンスーンと結びついている。

ハドレー循環の上昇枝流は（下層では）ITCZを形成している。ITCZ領域内や、またハリケーン内では空気は海面からトロポポーズまで、背の高い積雲塔となって、大きくは周囲とまじり合うことなく、直接的に上昇する。トロポポーズに達してからは、その上昇した空気は周囲にひろがり、それから上昇する場合に占有した断面積の数百ないし数千倍の広さを持った領域に沈降してゆく。熱帯の海洋に接していた空気は、上述のようにして、全対流圏容積の大部分をみ

たすことになる。あたかも南極で沈んだ海水が海底に沿って周囲にひろがり、ひろい海洋の海水温を形成する状況と似ている。

熱帯地域の積雲塔の形態で、周囲の空気と大きく混合することなしに、急速に空気が上昇するならば、いわゆる相当温位 θ_e は保存される。

$$\theta_e = \theta + r L' (C_p T) \dots (1)$$

ここで、 θ は温位、 r は比湿、 L は気化熱、 C_p は定圧比熱、 T は気温である。飽和混合比は近似的にはその空気の温度の指数関数である。これは θ_e の値に強い影響を持っている。 $\theta = 301\text{ K}$ で、海水面と熱平衡にある 1000 mb の気圧下にある空気は、 $\theta_e = 373.8\text{ K}$ の相当温位を持っている。もしも海水が 3°C 低かった場合 ($\theta = 298\text{ K}$) であれば、そのときは $\theta_e = 357.7\text{ K}$ になる。

空気は上昇するにつれて、水蒸気は凝結し、雨となって降る。その凝結熱は温位 θ を増大させるために用いられる。対流圏の上層に達すれば、上昇する空気の混合比 r は非常に小さくなる。方程式(1)における指数は、そのときには 0.002 よりも小さくなり、その高さでは温位 θ と相当温位 θ_e はほぼ等しくなる。そのため、すべての水蒸気が凝結してしまったあとでは、 25°C の温度を持った海面に接していた空気は 28°C の海面に接していたものよりも 16°C も低い気温を持った空気になる。

実際には、熱帯地域で積雲塔の形態で上昇する空気は、初期状態で十分飽和していることもないしまたすべての水蒸気が凝結する高さまで上昇し得るということもない。熱帯低気圧内の海面付近の空気を持つ代表的な相対湿度は 85% 程度であろう。このような状態で、 25°C の初期の気温を持った空気が 200 mb の高さ (約 12 km) まで上昇させられたとするならば、その空気は 28°C の初期の気温を持った空気が同じ高さまで上昇させられたものよりも約 10°C ほど低温の空気になって 200 mb の高さに達することになる。

熱帯地域の海面気温の相違の影響は、対流圏上層においてはあらくみつもつて約 3 倍に増巾した相違になって現われると判断することができる。より冷たい海面上ではこの増巾はずっと小さくなる。 17°C の海面上で初期状態にある大気を考えると、 1°C の相違を持った 2 つの空気が上昇すればその相違は約 2 倍にしか増巾しない。 1°C 以下の海面上では、この相違の増巾は実際上は無視しうるものになる。

任意の場合を考えると、中緯度の洋上においては海面から直接に 200 mb まで上昇させられることはない。ハドレー循環内では、空気は、水平ではないにしても少くとも著しく水平に近く傾いた軸のまわりをまわり動き、地球回転の偏向力の強い高緯度地域の空気の動きとは条件が全く異なる。高緯度では、主として傾圧性擾乱——移動性低気圧と同高気圧——によって熱は極に向って運ばれる。これらの擾乱は鉛直軸のまわりの準水平循環であって、海面から直接トロポポーズまで達する空気の輸送量は問題にするほどに達しない。それ故に熱帯地域以外の、より高緯度の地域における海面温度の地域的な相違は、熱帯地域においてみられるような大気の垂直構造

への支配的效果といった影響は及ぼさない。

また放射はこのような支配効果を及ぼさない。氷の反射能と低伝導率は雪・氷原面に非常な低温をもたらす原因にはなるけれども、大気へ及ぼす効果は大部分接地層近傍に限られていて、より高層の大気には大きな影響は及ぼさない。極の氷被上にある大気は、200 mb の高さになれば、下の地表温度には無感覚の状態に近いと思われる。夏季には、たとえ地表においては氷点以上の温度にならないにしても、その上空の極地方の対流圏上層の気温は同一高度の赤道地域の気温よりも高いという傾向がある。

熱帯地域の海面温度が、現代よりもわずかに低かった氷期には、赤道地帯の対流圏上層の気湿は問題視しなければならない程度の大きさを現代より低温であったに違いない。氷期の高緯度における対流圏上層の気湿はおそらく現代とほとんど差が無かっただろうということを考えると、氷期における、対流圏上層の平均南北気温傾度は現代よりも小さかったと考えられる。

東 西 循 環

低緯度と高緯度の大きな気温差は、上層に向って増大する平均西風との分布によって生ずる遠心力の吸い出し作用によってのみ均り合いが維持される。このことは温度風の式で次のように表わされる。

$$\partial U / \partial Z = (g/f) \partial T / \partial y \dots (2)$$

ここで $\partial U / \partial Z$ = 東西風の垂直シャー、 f = コリオリパラメーター、 $\partial T / \partial y$ = 平均南北気温傾度。風のシャーが大きいということは大気中に有効位置エネルギーが大きく貯蔵されているということに相当する。その結果生ずる「傾圧不安定」は「シノプテックスケール」の擾乱をひき起す。これらの擾乱は、東西流によって閉じ込められていた有効位置エネルギーを、中緯度帯のうずの運動エネルギーに転換する。収支計算された熱の流れは緯度30°～40°間の対流圏上層において最大値に達する（参考文献4）。この緯度帯の風のシャーの値は傾圧不安定のおおよその目安になる。前述の議論から、氷期においては、対流圏上層の風のシャーは現代よりも小さなことが分る。このことは数値実験からも確かめられる。

Williams その他は、約2万年前の地表状態を境界条件にした地球大気の運動を、NCAR 循環モデルを用いてシミュレートした。このモデルは高度では3 Km、緯・経度では極地域を除いて5°という分割を持った地球全域にわたるモデルである。循環を起す熱源は放射の不平等な吸収と反射によって、また下層の境界を通して運ばれる熱によって発生する。雲量は高さ3 Kmと9 Kmにおけるそのモデルの状況の関数として計算される。

モデルは氷期と現代のそれぞれの7月と1月について海面温度、雪線及び放射の境界条件を入れて積分された。氷被や海面の低下に関連して生ずる地形的な影響は無視された。積分はそれぞれについて80日分が遂行され、それらの最後の30日分が4つの月平均を求めるために利用された。この手続きは月平均値に及ぼす初期条件を最小にするためにとられたものである。

第2図は上記の4つの場合における平均東西風コンポーネントの垂直分布を示したものである。曲線の傾斜は垂直ジャーを示す。両半球とも冬季間は、風のジャーが氷期は現代のものより弱いものになっている。同じような相違は夏季においても南半球で現われている。しかしながら、北半球の夏季では、現代の風のジャーが氷期よりも弱くなっている。このことは氷期においては両半球の夏季の違いは現代より小さかったということを意味している。モデルでは、このことは氷期の夏季期間は低気圧活動が（現代より）活発であったということを反映している。

数値実験の結果を度を過ぎて考慮に入れることは賢明でない。とくに夏季期間について、低緯度におけるモデルの現実性は疑わしい。モデルの示すところによれば、北半球の夏季については、かって氷河におおわれた地域で、氷期と現代の対流圏上層の気温の相違が大きい。しかしながら対流圏上層気温の氷期と現代の差異は他のどの地域におけるよりも熱帯地域で大きいのである。傾圧性うずによる熱輸送は主として冬半球にある。この流れをみつめるための計算はこんどになされる。ここでは当面、南半球、及び北半球の冬季では、上層の傾圧不安定性は氷期の方が現代より弱かったということだけ理解しよう。このような熱の南北輸送の減退（氷期）は高緯度における氷河の維持に貢献したであろう。

大 洋 の 熱 輸 送

海流による南北の熱輸送もまたおそらく氷期の方が現代よりも小さかったであろう。このことは演義的に考えられることである。現代の北大西洋における暖かい流れはアイルランドを氷結させたりもしないし、また浮氷をはるかに南まで南下させるというようなことを発生させはしないだろう。第1図の等温線の形からも同じような推論をすることができる。事実、沈澱物の解析結果からMcIntyreとBriskinは氷期においては湾流系の南北方向のひろがり現代よりも非常に減じていたと推論した。この推論は少なくとも定性的には数値シミュレーションによって支持される。

もともとNCARモデルは比較的短期間の気象現象の研究用に開発されたものであるから、モデルは大気運動だけシミュレートする。このモデルは陸地や氷の上の地表気温の温度を転移層の局所的なエネルギー平衡と地表層の熱伝導の関数として決定する。しかし海面水温は明細な資料でなければ決まらない。そのため、このモデルは長期の気候変化をモデル化するためには利用できない。しかしながら、このモデルでシミュレートされた地表風からそれに対応して流れる海洋循環に関しては判断資料として利用できる。

南北の熱輸送に貢献する海流の働きの大部分はSverdrup輸送と関連させ得る、とくに北半球ではそうである。この機構は、もしも風が海面に対して高気圧性トルクを及ぼす場合であれば、海水を赤道の方に動かす原因となることを示している。

$$m_y = \beta^{-1} \text{Curl} \tau \dots\dots (3)$$

ここで m_y は海洋の単位巾について垂直方向に積分された質量の流れ、 β はコリオリパラメータ

一の北方向への変化、 τ は風の歪力ベクトルを表わす。亜熱帯と中緯度帯においては、赤道に向う Sverdrup 輸送は地表の西風と貿易風のベクトル差にしたがって増大する。この赤道に向う海流は大陸端に沿って反対方向に流れる、たとえば湾流や黒潮のような西側の境界流によって補償される。たとえ Sverdrup 輸送は湾流の質量の流れを十分には説明しないにしても、正しいその大きさや海洋が果す南北の熱輸送変化に対するみつもりの理論的な下限は与える。

モデル計算はすべての格子点における海面上数メートルの風について数値的な資料を与える。いわゆる bulk-aerodynamic relation は歪力の分力を求めるために利用される。

$$\tau_x = \rho C u \sqrt{(U^2 + V^2)} \quad \tau_y = \rho C v \sqrt{(U^2 + V^2)}$$

ここで ρ は地表の空気の密度、無次元の曳力係数 $C = 1.3 \times 10^{-3}$ 。誘導された m_y/s は、異緯度線間にはさまれた北大西洋海域にわたって積分され、総計結果の M_y は第 3 図に緯度の関数として示されている。

第 3 図に示された現代の質量輸送値（計算）は実際の観測値から求められた値と比較してやや大きい。事実、計算値は現実の湾流の輸送よりも大きい。現代の 7 月では、モデル計算では北緯 15° 以南に北上する優勢な海流が現われる。この流れは境界に沿って非常に強い ($10^8 m^3 s^{-1}$) 南下する流れと均衡していなければならない。このことは全く非実在的なことである。図が混雑するだけなので、ここでは掲出しなかった。夏季期間における、熱帯地域内の状況を再現しようとすることは NCAR モデルでは明らかに困難である。

以上に述べたような留保条件はあるが、計算から北大西洋における、風による海流の質量輸送は現代よりも氷期においてはかなり弱かったことが推測される。このことから、さきに引用した沈澱物の研究結果と矛盾せずに暖水の北向きの流れは、氷期では減少していたものと考えられる。

海水面温度と雲

熱帯地域の海水面の温度を低くしていた条件は何であっただろうか？ 海洋の局地的熱均衡は通常次式で表わされる。

$$R_s = R_i + F + \int_B^0 H d s \dots\dots\dots(4)$$

ここで R_s は単位海面に対する日射量、 R_i は上向きの純赤外放射量、 F は海面から大気への顕熱と潜熱の流量である。熱帯地域では後者（潜熱）は前者（顕熱）よりも約 1 オーダー大きいのが普通である。最後の項は海洋熱の水平発散の垂直積分量を表わす。海底を通して授受する熱量はここでは無視する。

海水が冷たかった氷期々間では、赤外放射によって失われる量 R_i と大気への潜熱供給によって失われる熱量 F はともに現代よりも小さかったであろう。前節の議論から海流によって熱帯地域から他の緯度に流出する熱量は、氷期においては現代よりも減少していたことが分る。したがって、熱平衡を満足するためには海面に到達する日射量 R_s が現代ほど大きくはならなかったであろうという結論になる。換言すれば、氷期には現代よりも広範囲の雲のひろがりがあったに違い

ない。この推定は解析的な推測と数値シミュレーションによって確かめられる。

雲は反射能を増大させ、したがって地球の気温を低下させる。雲は海面に到達する日射と地球から離れる赤外放射を共に減少させる。前者への効果は熱帯と温帯地域で卓越するであろう、夏期には高緯度地域でも卓越する。季節をなべて平均すれば、下層雲量の増加は地表を冷却する傾向がある。ただし北緯 60° 以北の比較的小地域では、雲が毛布のような役割りを果たし、地表は暖かく保たれる。

熱帯地域の海洋上に発生する下層雲量は気温の（垂直）構造に左右される。前に論じたように、熱帯地域の対流圏上層の気温はその下にある海面上の相当温位によってほとんど決定される。空気はハドレー循環の下降枝流中で沈降するとき、赤外放射があるから $R \sim 1.5^{\circ}\text{C/day}$ の割合いで冷却する。沈降する大気中において観測された温位の垂直傾度 $\partial\theta/\partial Z$ はおよそ $5^{\circ}/\text{Km}$ である。以上のことから、沈降速度（W）は次のようになる。

$$W \sim R / (\partial\theta/\partial Z) \sim 0.3 \text{ cm s}^{-1}$$

低高度では一般に沈降する空気はその下の海面温度よりも冷たい。その結果生ずる大気の最下層の対流混合は海面のすぐ上を吹く貿易風の中にほぼ等しい温位分布を持った垂直な層を形成する。

$\theta = 295\text{ K}$ と $\theta' = 299\text{ K}$ を持った2つの海面と平衡に達した2つの気塊を考えてみよう。 θ と θ' の相当温位を持った2つの気塊が第4図に示す。それらの空気が混合比が 0.6 g/Kg に減少する高度まで上昇させられるとする。このようにして達した高度はそれぞれ θ と θ' で示される。それから空気は沈降し、共に同じ割合いで冷却させられるとするならば、より冷たい空気の方は他よりもより高い高度で初期の温位に達するであろう。このため、冷たい海面上の貿易風は（下層に）よく混合された背の高い深い層を持つことになる。このことは雲の生成に好都合な条件となる。

上記の議論は氷期中の熱帯地域の雲量が多かったであろうことを暗示している。この雲量の多いことは、同時に考えられるべき冷たい海面からの蒸発量の減少や、その減少と当然関連する降水量の減少にどのように結びつくのであろうか？ 氷期に降水が少なかったということは地質学的観測から確かめられている。その観測によれば、最も新しい氷期の最中には低緯度では乾燥度が増大していたことを示している。

雲が多いのに降水が少ないという明らかな逆説に対する答は大気中の水蒸気は気温によって水蒸気として残存する期間に相違を生ずることによるかも知れない。換言すれば、降水に対する大気の水蒸気貯蔵の比が変わるということである。海面温度が低いときには空気への水分の供給は少ない。しかし、水分の全量が減少するに伴って、大気の対流不安定度と雲の液体分はもっと減少する。このことは降水を起させる機構の効率を小さくする。このため体積平均の相対温度——水分の貯蔵能力に対する実際に大気が持っている水分の比——は暖かい気候期間では冷たい気候期間よりも小さいという結果となる。

NCARモデルでは雲の生成は垂直速度と相対温度によって変化する。相対温度は冷たい洋上

では大きくなる傾向があるので、モデル計算では氷期の方が現代よりも下層雲が多くなっている。同時に、降水量と蒸発量も氷期の方が少なく計算される。

海面温度、下層雲量、降水量の関係についてSchneiderとWashingtonが同じモデルを使って研究した。彼等の研究はまだ公表されてはいないが、若干の参考資料を引用させていただいた（第1表）。

第1表は地球的スケールの雲量は降水量の多寡と逆関係を持っているばかりでなく、海面上の気温差は高さと共に増大する（相当温位の保存性から期待されることは前に述べた）ことをも示している。

その他の問題

この論文は本質的には2つの定常化した気候期間を比較したものである。気候変化の過程や原因については何もふれていない。しかしながら解析から、少なくとも、熱帯地域の海面温度のわずかな変化が普通仮定されるものよりも、高緯度において、より激しい変化をもたらさないかどうかという疑問が生ずる。

数値実験の結果は観測や解析的な発見に対して、それを支持するような証拠を与えるけれども、これらは若干の留保なしに条件で受け入れることができない。熱帯地域の下層の風と雲を示すにはNCARモデルはすぐれている、とくに夏季においてはそうである。あるケースでは、力学的過程としての気候のシミュレーションは、この報告では利用しなかった他の大気／海洋関連モデルを用いてのみ得られる。しかしながら、境界条件の相違のために生ずる循環の符号あるいは一般的特性については、この論文で利用したモデルでも知ることができると考えられる。

上述してきた議論は非常によく辻褄が合うように思われる。熱帯地域の海面の温度の差異は対流圏上層においては一層倍加された差異になるということがらは正しいと考える。冷たい熱帯の海面上では雲量が多くなるということも同じように確かである。前節で上記の2つの現象は結びついていることを論じた。熱帯圏の気温が低いということが傾圧性を減少させるということはあることであるが確実とまでは言えない。この論争点は、もし、異った表面温度と関連する赤外放射に関して、もっと詳細なモデル化が行われ、それによって裏付けられれば明確なものとなる。これらの研究は近い将来に行うよう計画されている。風や海流によって行われる南北方向の熱の流れは現代よりも氷期においては弱かったという提案はなお一層論争されるべきものと思われる。しかしながらこの提案は、条件つきではあるが傾圧性（氷期には）が減少していたと考えられること、数値シミュレーションの結果、及び海洋の観測（注：沈黙物の解析結果を指すと思われる）等によって支持されている。

筆者はNational Center for Atmospheric ResearchのJill Williams, Steve SchneiderとWarren Washington 両博士に謝意を表す。彼等はSverdrup transports の計算に用いるテープを借してくれたし、表1を提供してくれた。

Jill Williams と Schneider 博士は Cesare Emiliani と同じく 奨助と批評をしてくれた。National Science foundation は第1図の再掲を許し、この調査を支持してくれた。

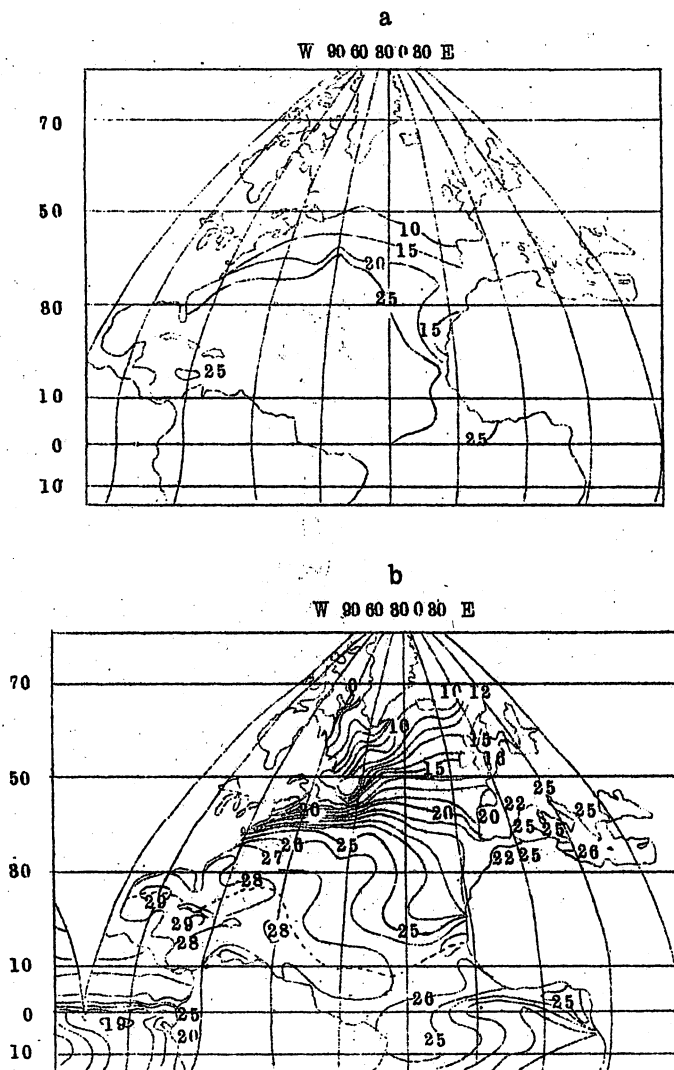


Fig.1 North Atlantic sea surface temperature maps reconstructed "Project Climap" Scientists for, a, summers 17,000 yr ago and, b, for modern summers.

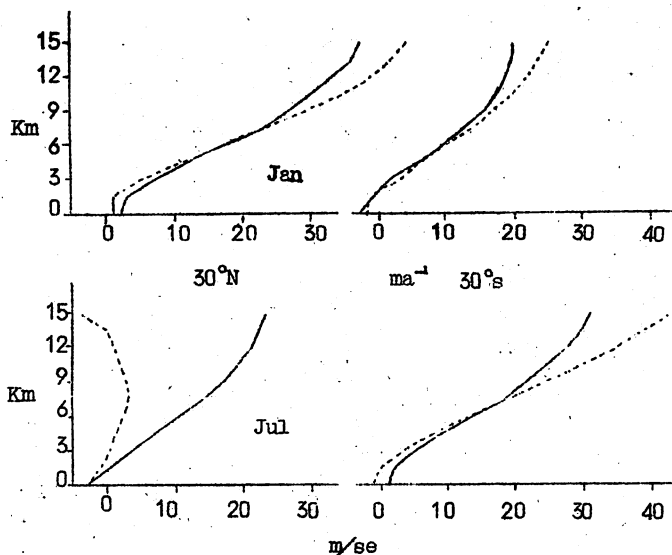


Fig.2 Vertical Profiles of the mean zonal Wind component at 30° as derived from the NCAR general circulation model for ice age surface conditions (—) and present conditions(.....).

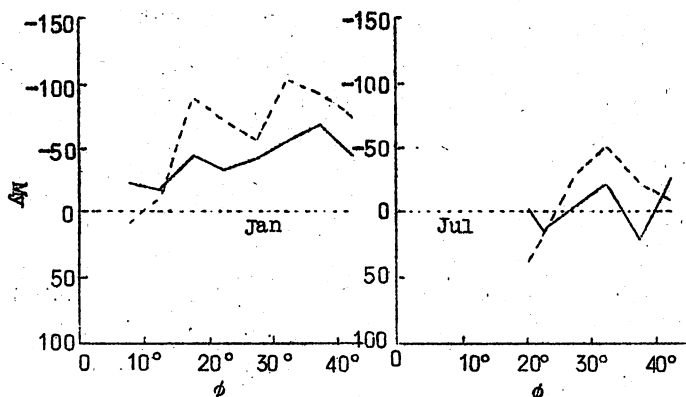


Fig33 The Sverdrup mass transport in the North Atlantic Ocean as derived from the NCAR general circulation model for ice age conditions (—) and present conditions (.....). The transport M_y is specified in Sverdrups (1 Sverdrup= 10ms^{-1}) as a function of the latitude ϕ .

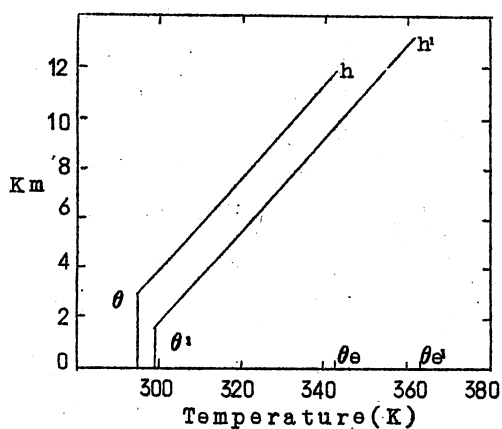


Fig.4 The vertical temperature distributions(schematic)of the tradewind region expected to be associated with mean sea surface temperatures of $\theta=295\text{K}$. The heights h and h' represent the levels at which saturated air, rising from sea level, would have a mixing ratio of 0.6g Kg^{-1} .

Table1. Stipulated Change in Global Ocean Surface Temperature (ΔT_o) and the Resultant Changes in Global Relative Humidity ($\Delta r, h$), Low Cloud Cover (Δn), Global Mean Temperature at 3 Km (ΔT_3) and Precipitation($\Delta pr.$)

$\Delta T_o(^{\circ}\text{C})$	-2°C	$+2^{\circ}\text{C}$
$\Delta r, h(\%)$	$+1.17$	-3.33
$\Delta n(\%)$	$+1.53$	-2.74
$\Delta T_3(\%)$	-3.6	$+3.8$
$\Delta pr.(\text{mm per } 90. \text{d})$	-36.7	$+39.7$

参 考 文 献

- 1 McIntyre, A., Science, N. Y., 158, 1314(1967)
- 2 Emiliani, C., Late Cenozoic Glacial Ages (edit. by Turekian, K. K.), 183(Yale University Press, 1971).
- 3 Briskin, M., and Berggren, W. A., Late Neogene Epoch Boundaries(edit. by Saito and Burckle)(Micropaleontology Press, in the press).
- 4 Starr, V. P., and White R. M., M. I. T. gen. circ. Project final Rep., 186(1954)
- 5 Williams, J., Barry, R. G., and Washington, W. M., Inst. Arctic alp. No. 5(1973).
- 6 Bromlette, M. N., and Bradley, W. H., U. S. Geol. Surv. prof. Pap. No. 196A(1940).
- 7 Schneider, S. H., J. atmos. Sci., 29, 1413(1972).
- 8 Damuth, J. E., and Fairbridge, R. W., Bull. Geol. Soc. Am., 81, 189(1970).
- 9 Bonatti, E., EOS, 54, 327(1973).

(安藤正次紹介)

