

気候変動に関する WMO 声明*

(1976年 6月 WMO 執行委員会で採択)

佐 藤 康 雄** 訳

1. 技術の分野において、人類は目を見はるような進展をなしとげたけれども、人類の経済的・社会的繁栄はいぜんとして高度に気候に依存している。特に、食糧生産は気候の変動によって重大な影響を受ける。このことは、ここ数年間の世界の穀物貯蔵量の減少にはっきり現われている。この依存性は増加し続ける世界人口からの圧力によって、ますます重要なものとなりつつある。しかし、気候に関する人間の依存性を示しているのは単に食糧面の要求だけではない。すなわち、洪水・干ばつ・極端な高・低温が都市の生活を崩壊させ、農業・工業そして商業の発展を妨げるし、また経済的・社会的開発を妨げる。

2. 過去数十年・数世紀・数千年そして地質時代における地球の気候の状態を示す証拠は非常に広範囲の直接・間接の資料によって引き出されている。この証拠は気候がすべての時間スケールにわたって変動を示すということをはっきりと示している。気候は、過去において、自然的要因によってかなり連続的に変化してきたのだから、それは今後とも変わり続けるだろうと考えるのが妥当である。しかしながら、全地球的な気候における長期間の変化傾向はより短期間のゆらぎ(fluctuation)や地域的な変化によっておおい隠される。とりわけ、ある地域における湿潤・温暖な状態がしばしば他のある地域での乾燥・冷涼な状態に対応する。

3. 多雨・干ばつ・高温・低温のような2・3週間、2・3ヶ月あるいは時として2・3年間も持続する極端な気候が、最近、特定の地域に発生している。このことは、過去に起こった非常に異った一方の気候から他方への移行の一部であるかも知れないような、顕著な気候変化が全地球的に起こっているのではないかと我々に考えさせている。このような全地球的な気候変化は自然的要因によって起こり得るけれども、このような変化に向けての傾向はゆるやかであるらしく、ほとんど感知できな

いであろう。これは、より短期間のゆらぎが、これらの長期間の変化傾向をおおい隠すに十分大きいらしいからである。自然的要因あるいは人為的要因によるかも知れない、これらのより短期間の気候変化こそが、現在緊急の関心とより一層の研究を必要としている。

4. 気候に関するより短期間の自然的変動は、有限の天然資源に対する要求の増大の結果として、ますます重要となりつつある。被害の大きい干ばつや世界の多くの地域で起こっている極端な天候によって、注目を集めているのは、この変動である。これはまた人類に対して非常に多くの災害を生ぜしめ、経済開発を妨げている。もし十分な予報、警報が出されるならば、各国政府が対処し得るのはこの変動に関係して起きる変化である。

5. 人間活動に起因すると思われる気候の変化は、自然的要因のものと同様あるいはそれ以上の関心事である。石油、石炭の燃焼は大気中の炭酸ガス量を増加させており、これが長期間の温暖化を生じ得るし、また結果として雨量分布の大規模な変化を引き起こし得る。人間活動の一結果として、化学物質(たとえば、フロンガス(Chlorofluoromethanes))の大気中への放出や大気中のダスト量増加も、もし抑制されなければ、気候を変えるかも知れない。都市や工業地域からの直接の熱放出は局地的な気候にすでに影響をおよぼしているし、もし、これらの熱放出が増大し続けるならば、より広範囲の影響を持たらずであろう。しかしながら、大気に関する知識の現在の段階では、このような変化の大きさについての正確な評価は可能ではない。

6. これらの問題の重要性と緊急性とに気づいて、気象学者や他の科学者達は、大気・海洋・その他の関連する環境因子の過去の振舞いについてのデータの質を向上させることと、手軽に入手できるようにすることの両面の改善を旨とした処置をとっている。すなわち、彼らは、自然的過程による影響、人間活動による影響を評価するために、最近の気候の動向と環境の変化の監視を改善しようと努めている。また、彼らは、気候の変化過程や、自然環境や人間活動への気候変動の影響をよりよく理解

* WMO Statement on Climatic Change.

** Y. Sato, 東大理学部, 日本学術振興会奨励研究員.

することを目的とした研究を強力に押し進めようと努力している。

7. 気候の中に本来的に含まれている、短期間の変動の、多様な人間活動への影響が、ますます重大なものとなっていることを考慮して、この変動について現在までに知られている知識を、経済開発・社会開発の計画にもっともっと活用すべきである。たとえば、ある与えられた領域内に雨の降る確率の評価は、農業や水文学のプロジェクトの提案の意義についての評価を与え得る。気象学者や他の科学者によるより一層の研究の結果によって、人間活動が気候の変化を引き起こし、それが人類の社会生活に重大な影響をおよぼすようなことになれば、政治的、経済的政策の決定者は第5項で述べられたような特別の問題にも直面するであろう。それゆえ、気候変化についてのより一層の研究は非常に重要なものとなっている。

8. 気候変化とその研究についての WMO の現在の見解は以下のように要約される。

(a) 長期間にわたってではあるが、異った気候の型への主要かつ自然な変化を予想しなければならない。しかし、このような変化に向けてのいかなる変化傾向も、それが大きなより短期間の気候変動によっておおい隠されるであろうから、短期間に感知することはできそうにない。

(b) 気候に関する短期間の自然的あるいはあり得る人為的变化は、人類の福祉や経済開発へのそれらの影響の重大さの故に、緊急の関心事である。

(c) 各国政府が適切な対策を考え出すことができるように、気候の短期間の自然的変化を予報するためのより良い手段が必要である。

(d) 人間活動が全地球的な気候に影響を及ぼすかも知れないことを考えれば、これについてのより進んだ理解とその予報のためのよりよい手段が必要である。

(e) 気候の短期間の自然的変動についての現在までの知識は、限られたものとはいえ、経済や社会開発の計画において、より有効に活用されるべきである。

気候変動に関する WMO 執行委員会専門家会議** による技術報告*

(1976年6月)

佐藤 康雄 記

過去の気候

1. 過去の200万年か、その位の期間、氷期と間氷期という2つの気候が交互に繰り返すという時代が長く続いた。その中で、氷期は、およそ10万年の間隔で繰り返すという傾向を持っていた。過去の約8,000年間、地球は、この氷期・間氷期の交代の中で、過去10万年のいかなる時よりも少ししか氷がなく（氷の大部分はグリーンランドと南極の氷床）、相対的に暖い間氷期にあたって

いた。現在の中緯度の気温は、今から約18,000年前のヴェルム（あるいはウィスコンシン）氷期の最盛期のような典型的な氷期と比べて、5～8°C 暖いし、また海面は80～100mほど高くなっている。

2. 約8,000年～10,000年前に、地球がもっとも最近の氷期から脱け出して以来、全地球的な気候は、非常に狭い時間間隔で不規則に変動していることが、古気候を示す種々の因子によって、見出されている。部分的には、後氷期の気候変化は、約2,000～3,000年の間隔での極氷や山岳氷河の拡大や後退を含んでいる。それは“新氷河サイクル (neo-glacial cycle)”として記述されている。西暦1550年頃から1850年頃まで続いた、現在よりも1～2°C 気温が低くて、北大西洋において暴風雨が頻発した気候状態の期間、すなわち“小氷河期 (Little Ice Age)”は新氷河サイクルの一部であった。

3. 小氷河期以降、世界は一般的には約1°C 暖まっ

* Technical Report by the WMO Executive Committee Panel of Experts on Climatic Change.

** W.J. Gibbs (オーストラリア) 委員長, E.M. Fournier d'Albe (英国), G. Rao (米国), T.F. Malone (米国), W. Baier (カナダ), H. Flohn (西独), J. Murray Mitchell, Jr. (米国), B. Bolin (スウェーデン). (敬称略)

ている。しかし、その昇温の度合は不規則であって、この小氷河期がまだ終わっていないのかどうか、はっきりしない。この昇温は20世紀の前半に、特に顕著であった。すなわち、北極地方の大西洋側で、気温が、非常に急激に(50年間で数度)、あがった。気象データは、北半球の強風帯と暴風雨の径路が、その時には、少し極側に収縮していたという証拠を示している。これは、冬から夏への、気候帯の極向きシフトに似ている。南半球における現象は、北半球ほどにはよく記録されていない。

4. 一般的にいうと、20世紀前半に特徴的であった気候の変化傾向は、20世紀後半に入ると、少なくとも北半球においては、その向きを逆にしている。気温は、特に北極と亜寒帯大西洋で(ある地域では数度ほど)、低下している。この地方では、海氷がふたたび増大し始めている。北半球の大気循環は、多くの地域で天候状態が大きな変動を示した19世紀末のそれに似たパターンに逆もどりしている。これらの変化は、もし、実際にはまだ逆もどりし始めていないならば、この数年間は今までの変化傾向をやめて逡巡し始めているのかも知れない。

5. アフリカのサハラ地帯におけるひどい干ばつ、熱帯のモンスーン帯のシフト、世界中の他の地方でのその他の極端な現象が、最近、続いている。このような動向が、全地球的なつながりを持った系統的な気候のゆらぎの現われとして、お互いにどの程度まで結びついているのかは、はっきりしない。上記のどの場合も、時としてかなり大きい変動を示す。これはまた、月・年・10年位の比較的短期間の気候変動には特徴的に現われることである。

気候のゆらぎの物理的要因

6. 気候のゆらぎの要因についての現在の理解は初歩的段階にある。非常に多くの物理的機構が提案されている。困難な点は、これら多くの機構の中のどれが妥当なものであるかを確かめることと、それぞれの機構が、観測されたゆらぎの全体にどの程度まで寄与するかを評価することにある。全ての効果を取り入れた十分に現実的な気候系の数値モデルの開発は、これはまだ成功していないが、気候のゆらぎの要因の信頼し得る評価のために必要な(必ずしも十分ではないけれども)、戦略と考えられる。これらの要因の相対的な重要性は考える時間スケールごとに異なっているということ認識しなければならない。

7. 気候系は大気・海洋・雪氷・地表面・植物を一まとめにしたものをさしている。これらの多くの複雑な物

理的・化学的連鎖が全地球的気候のパターンを造り出すのに主要な役割を果している。

8. 気候のゆらぎと変動性は、一部は、気候系内部に起因しているのかも知れない。気候系内部の変動性を生じる、多くの可能な機構が、広い範囲の時間スケールにわたって存在している。これらは、気候系の中の異った部分間の高度に非線型の相互作用(いわゆるフィードバック)と、異った部分それぞれにおける、全く異った反応時間とから直接的に出てくる。

9. 気候のゆらぎはまた、一部は、気候系外に起因する影響によっているのかも知れない。よく知られた例は太陽が放出する放射エネルギーの変動(このような変動の実際の幅ははっきりしない)、火山爆発による上層大気中の粒子量の変動、化石燃料の使用による大気中の炭酸ガスの蓄積である。

10. 気候系の重要な変動性におそらく寄与するこの種の相互作用の一例は、地表が雪でおおわれること、日射の反射、気温間のそれである。もし、気温のゆるやかな減少が起これば、雪面が増加し、雪面からの日射の反射が増大し、局所的に地表と大気の日射加熱を減少させるだろう。加熱の減少は、雪を保存しつつおそらくより広い領域により一層の降雪に都合のよい状態をつくり出して、ますます気温を低下させるだろう。もし、最初に気温がわずかに増加すれば、逆の事象のつながりの結果、気温はますます増加する。最終的な結果は微小な気候の乱れ(disturbances)を増幅させ、またそれらを長続きさせるということである。

11. しかしながら、気候のゆらぎの機構のどれ一つをとっても、他の機構と切り離して考えたのでは現実的ではない。全ての機構が、適度に一般的な物理的枠組の中に、とり入れられなければ、気候のゆらぎについて真の意味のある理解を求めることは不可能である。我々は、含まれ得る機構のすべてについて、適切な概念をまだ持っていないし、また、何がそれらの機構を包含する適度に一般的な物理的枠組を構成するのかということがはっきりしない。これらの欠点は、気候系の本質的な振舞いを再生し得るような数値モデルの開発において、直面している問題の所在を示している。

気候への人間活動の効果

12. 多くの科学者は、現在起こっている気候変化と将来起こるであろう気候変化に、人間活動がいろいろな形で関与しているかも知れない、ということを示唆している。局地的なスケールでは、都市域で見られるように、

気候への人間活動の効果は、はっきり示すことのできる実体である。“都市のヒートアイランド効果”として知られている大都市の相対的な温暖化は、このような局地的効果の中でよく記述されている例である。より大きな空間スケールでは、人間活動の効果は、現在までのところ、気候の自然の変動幅に比べて、一般的には小さいと考えられる。とはいえ、気候への人間活動の効果は、今後100年あるいは200年位にわたって、大規模な気候の自然の進化を変える上で、潜在的に重要なものと認めるべきである。

13. 地球大気中の炭酸ガスの増加、このことはすでに世界中の観測ではっきりと示されており、また19世紀末以来、現在までに少なくとも10%増加しているということは、化石燃料の使用に、その原因を求めることができる。もし、これら化石燃料の最大埋蔵量が、次の100年あるいは200年位の中に消費されるならば、現在、炭酸ガスが増加しているように、大気中の炭酸ガス濃度が現在の水準の数倍に増加するであろう。現在入手し得るもっともよい情報によれば、このような炭酸ガスの増加は、全地球的気候に有意な温暖化、すなわち、数度の昇温を引き起こすであろうし、また、この温暖化は、回復機構がゆっくりしたペースなので、化石燃料の貯えが実質的に涸渇してしまっただけから、何世紀にもわたって、その影響を持続するだろう。詳細に予知するのがまだ難しいような、他の気候的效果もあり得るだろう。

14. エネルギーの生成・使用によって、環境に放出された熱も、また、化石燃料にせよ、核燃料にせよ、有意な温暖化を生じるかも知れない。このことは、現在の10倍あるいはそれ以上の、エネルギー増大に対する社会の要求がない限り、当面の関心にはならないだろうが、21世紀には日程にのぼってくるであろう。

15. 人間活動による他の効果、たとえば特殊物質による大気汚染の増大、NO_x や塩素化合物（たとえばフロンガス (chlorofluoromethanes)）の、汚染の効果を通しての上層大気の変質等は、将来の気候に対する重要性がそれほどはっきりしていない。これらの事はさらに研究する価値がある。

16. 局所的なスケール以外のスケールについては、いかなる種類の人間活動の影響も、世界中いかなる場所での異常な気候の原因である、という明白な観測的証拠はない。このことは、気候は自然に変動しており、それが人間活動の影響を分離して取り出すことを、困難にしていることを考えれば、別に驚くにあたらない。とはい

ものの、人間活動が将来与えるかも知れない、潜在的に重大な効果について、安心していいような正当な根拠は、何もないのである。

100～200年後の気候変化の評価

17. 最近、気候の数学的モデルと、大気・海洋の全体的振舞いを支配していると考えられる物理過程についての、観測的研究とを、結びつけることによって、気候の定量的理論の開発が、急速に現実のものとなりつつある。これらの発展は気候系の大気の部分について、かなり現実的なモデルシミュレーションの成功をもたらしている。しかし、それらは気候の予測可能性 (predictability) を含む、気候変動の多くの重要な側面を研究するのに十分なものとは、まだ考えられていない。

18. 現時点では、気候系の将来の状態についての予測可能性の本質的な限界については、ほとんど何もわからない。全地球的な気候の動向を、社会の要求の多くを満足させるほど、十分詳細に、かつ十分長期間にわたって予測するのは、本来無理かも知れないということを認識すべきである。

19. 気候の変動性が気候系に内在する機構に起因している範囲では、気候変動の予測は、気候系の数学的モデルの開発如何によっていると思われる。すなわち、地球物理学的な範囲で、現在の気候モデルを拡張していくという方法である。他の方法では、適度に一般的な物理的枠組に、気候の変動性を説明する、すべての物理的要因がとりこまれるとは思えない。

20. 日射の変化、人間活動による影響のように、外部から気候系に影響を及ぼすものの変化に起因する気候の変動性の範囲については、気候予測の成否は、外因の変化それ自身の予測可能性にも依存するであろう。

21. 気候学研究のより一層の進展によって、物理的な論拠による気候予測が可能になるまでは、将来の気候の動向についての診断は、相対的に低次の情報量を持つ統計的推論によらねばならない。このような推論は、過去の経験、あるいは人間活動の将来の気候への影響の洞察によって、起こり得ると示唆される、種々の推移の確率を二者択一的に評価することに、主として限られる。

22. 過去の気候に関する知識は、過去8,000年かその位続いた間氷期の温暖が、終局的には、より寒冷な氷の多い状態に変るだろう、ということを示唆している。その変化の始まりは数千年、あるいは数百年の先かも知れないし、また想像ですでに始まっているのかも知れない。この移行は十分ゆっくりしているであろうから、今

後100～200年位では、気候のあらゆる変動性の中にかくされてしまっており、ほとんど感知できないだろう。しかし、非常に急激な寒冷化が、この同じ期間内に起こる確率は、非常に小さいが0ではない。

23. 大気中への炭酸ガスの放出や、今後200年間の人間活動の他の効果が、現在起こり得ると考えられているように、全地球の気候の一般的温暖化に寄与するならば、今まで見てきた評価は妥当ではなくなる、ということ認識すべきである。この温暖化は、おそらく、北極地方の海水をかなり減少させるだろう。今から、約5,000年前、いわゆる最適気候の時代(Climatic optimum)に、海水が後退していた時には、低緯度の気候帯の重大なシフトがあったということを注目すべきである。一般的な温暖化は、おそらく、北極の消滅という、過去百万年間に前例がなかったと思われる極端な状態を引き起こすだろう。

環境と人間活動への気候変動の影響

24. 生物圏と土地利用、農業そしてエネルギー消費のような多くの人間活動は、日々の天気や気候に敏感である。その敏感さの程度は地球上の気候帯ごとに異なっている。この敏感さは、人口増加による圧力と要求が急激に増大しているため、世界の多くの地方でますます重大なものとなっている。

25. 現在の生態系と現代人によって発展させられた、複雑で相互に依存し合っているシステムの多くは、過去に経験してきた気候の条件にかなりよく適合している。そしてそれ故に、気候の変化に非常に敏感である。たとえば、食糧や繊維生産のための現在のシステムは、平均的気候状態に基づいている。それで、気候のゆるやかな変化でさえ、重大な社会的・経済的打撃をもたらすだろう。1°Cの大きさの地球の寒冷化は、植物の成長期間を短縮し、小麦の主産地の境界をシフトさせ、また、中・高緯度における漁獲や木材生産高を減少させる。しかしながら、低緯度では、このような変化は有益なものとなるだろう。同様に、全地球的な気温上昇は、ある緯度で生産高を増加させ、他の緯度で減少させるだろう。

26. いろいろな研究は、また、気候の移行がなくとも、これらのシステムは過去に経験したよりも大きな気候の変動度によって、重大な影響をうけるということを示している。それゆえ、将来、天候に敏感な人間活動を計画するさいには、気候変動の妥当な幅に対して、しかるべき配慮がなされるべきである。

27. それゆえ、過去の気候についての情報は、注意深

く利用されねばならない。また、このような情報を、気候の変動性の中からあり得る変化を引き出す上で適切に使用するための手法が発展した。

28. 気候の短期間の変動や、長期間の変化傾向を、予測するのが不可能である限り、土地利用・農業そしてエネルギー需要のような、人間活動を計画する上で適用すべき方法は、過去の気候と筋の通った仮定に基づいて開発されるべきである。計画をたてるための方法の開発の第一は、ある特定の人間活動について、種々の気候要素に対する敏感さを、過去の気候データによって開発された適切なモデルに基づいて、確定することであろう。次の段階は、このモデルを、気候の短期間の変動の影響についての結論を引き出すために用いるということであろう。モデルの適用は、異った時間スケールの変動に対して実行されねばならないだろう。たとえば、もっとも重要な気候要素の季節変動・年々変動に対しての、妥当な仮定に基づいて、世界の異った地方での食糧生産への影響を決定するのは、意味があると思われる。長期的には、10～30年位の期間について、重要な気候要素の妥当な長期変化傾向を仮定して、同様な評価がなされるべきである。

29. 人間活動への気候変動の影響に関する情報は、計画決定の段階での利用が基本である、ということ強調するのは重要である。従って、この目的のために開発される方法は、それが経済学者・計画立案者そして政治家が直接使用することができるように、最終的には、生産高・生産コストあるいは他の似た量で、気候変動の影響を算定することを、目的とすべきである。

今後の活動

30. 現在までの知識に基づいて、気候の変動性を引き起こす自然的、そして人類発生以来の人間活動の過程を監視すること (monitoring) は、きわめて重要である。起こり得る危険の、早い段階での診断にとっては特に重要である。このような監視は、現在 GEMS* プログラムの中で準備中である。監視すべき気候要素の中では、以下のものがあげられるべきである。

(a) 炭酸ガス

(b) 成層圏特に極域での火山起源のエアロゾル粒子の性質と透過率

(c) 微量気体の量 (たとえば、NO, SO₂, フレオンガス (chlorofluorocarbons)) と下部対流圏のエアロゾル量

* 地球環境監視システム (Global Environmental Monitoring System, 訳者注)

(d) 地表面での雪氷の拡がりや日射の反射能

(e) 陸地・海面の双方、特に土地利用パターン・植生変化・汚染・海洋の生物生産力に関係する地（海）表面での日射の反射能の変化

地球圏外の日射の微小な変化を、主として可視、近紫外の領域で監視する必要が特に強調される。

31. 気候系内の相互作用過程（たとえば放射・雲・エアロゾル間の相互作用；海水・海洋・大気間の相互作用；海面温度の偏倚、潜・顕熱のフラックス、大気の流れ、海流、大気圏・海洋・生物圏間の炭酸ガスの交換等の間の相互作用）のより良い理解のための研究が、数値モデルでの適切なパラメタリゼーションの手法の開発のために、特に必要である。

32. 気候予測の基礎として、大気・海洋・氷の相互作用を考慮した、完全に三次元の時間依存モデルの開発を、特に優先すべきである。大気と海洋の双方、あるいはどちらか一方の力学をパラメタライズした、より簡単なモデルも同様に重要であり、特に人間活動による過程の起こり得る影響をテストするために、特に重要である。

33. 気候の変動性と、変化に対する人間活動のよりよい適応のための研究も必要である。このことは、増大する農業生産の要求と、局所的・地域的そして全地球的な気候状態へのエネルギー使用の影響とに関して、特にそうである。

34. 統計的・総観的研究に対して同様、数値気候モデルの現実性の程度をテストする基礎として、測器観測が始まる前の気候の歴史を解明することのできる、より多くの測定可能な“代替”データが必要である。それらの中には、年輪・泥あるいは湖底堆積物の中の花粉・年々積った氷・堆積物・天候日誌・穀物の値段等がある。現存する測器観測の時系列は数量化し、均質性をチェックしてデータバンクに集められるべきである。このデータ収集にさいしては、気象事業開始以前になされた観測を、第一に優先すべきである。このようなデータとしては、温度だけではなく、風向の頻度・雨量・雨量頻度 ($10^4 \sim 10^5 \text{ km}^2$ の広さの気候的に一様な領域の平均がよい) を含むべきである。海水のデータ・川あるいは湖面の結氷・解氷のデータとならんで、海洋気象学・海洋学のデータの時系列の収集も優先すべきである。

気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開 催 年 月 日	主 催 団 体 等	場 所
気候変動とそれが食糧に及ぼす影響に関する国際シンポジウム	昭和51年10月4日～8日		筑波および東京
昭和51年度日本気象学会秋季大会	昭和51年10月21日～23日	日本気象学会	愛知県産業貿易館
第13回自然災害科学シンポジウム	昭和51年10月26日～27日		京都大学防災研究所
構造物の耐風性に関する第4回シンポジウム	昭和51年12月2日～3日	日本気象学会その他	気象庁
関西支部昭和51年度第2回例会	昭和51年12月7日～8日	日本気象学会関西支部	高松地方気象台
第23回風に関するシンポジウム	昭和51年12月14日	日本気象学会その他	気象庁