

シンポジウム 環境の変化と気候変化*

1. まえがき

中 島 暢 太 郎**

私たち約10名は文部省科学研究費の助成を得て気候変動に関するグループ研究を数年間つづけて来て、その成果は気象研究ノートやわれわれのグループの報告書「気候変動研究ニュース」No. 1~6として発表されて来た。またここ数年はこのグループが中心となって毎年気象学会の月例会として秋に「気候変動」をとりあげて来ている。ここでは1970年11月30日に気象庁講堂で開催した月例会の模様を中心として発表する。

われわれがこのシンポジウムでとりあげたのは必ずしも大気汚染や公害の問題に限ったわけではなく、むしろ気候変化の原因を多面的に探ろうという考え方である。その中には自然的なものも人工的なものも含まれている。最近公害の問題がにわかにとりあげられるようになってきた。そのこと自体は非常によいことであり重要なことではあるが、一方気候変化の原因はすべて公害にもとづくように考えるのは行き過ぎである。炭酸ガスを例にとっても、人間が直接その増加の原因となっている場合のほか、植物との関係や海洋との関係も総合的に考えねばならない。硫黄も同じようなことがいえる。

環境の変化と気候の変化という問題を考える場合、局地的な問題と全球的な問題とを区別すべきである。都市気温と地球の平均気温との変動のメカニズムやその影響は非常に異なる。また気候の変化というもの、長い期間の蓄積された原因によって次第に起こるものか、あるいは急激な現象によって原因がつくられ、それが連鎖反動的に気候変化をもたらすものかということも重要な

課題である。後者の例としてはある学者の説によると、南極大陸の氷がある厚さに達した時物理的に平衡を破られて海に向けて滑り出すことがあるという。このようにして南極周辺の海に大量の流氷が流れ出すとアルベードが急に増大して地球に入って来る熱量のバランスが崩れ、突然地球上に寒冷期が出現するという。このような現象はサージと呼ばれるが、氷河学者の一部には氷河の消長は気候変化によってゆっくりともたらされるものではなく、このようなサージ現象によって生じ、氷河の消長はむしろ気候変化の原因であると強く信じられている。

このシンポジウムはこのようにいろいろな立場の発言者によって構成されたことに特色がある。ここでは当日の講演順番と多少入れかえて配列した。各講演者が当日の討論をも考慮して新しく書きあげたものをそのままのせることにした。川村・根本はそれぞれの立場から公害と気候変動の関連について問題提起を行なっている。片山はこのような問題は大気大循環の数値実験として量的に示すべきであることを強調しながら、一方自己加速カブレキ現象かというようないくつかの問題点を指摘している。朝倉は北半球の寒冷化という一つの問題にしぼって、かなり大胆な仮説により全球的な因果論を例示している。山本は日本の気候変動を例にとってやはり試論的な因果論を展開している。樋口は雪渓上の熱収支という立場から日本の気候変動を考える場合のポイントは何かというようなことに対して暗示を与えた。荒川は日本付近の一般的気候変動と都市化の問題とを如何に区別すべきかという点で多くの資料を用いて説明している。

* Environment Pollution and Climatic Change

** C. Nakajima 京都大学防災研究所

—1971年7月15日受理—

小元は気候の人工制御という問題を掲げて、この種の問題の困難性についての悩みを述べている。

なお文献は各問題ごとに示すことにしたが、あまり知

られていない文献もあり、今後の研究の参考にして欲しい。

2. 全地球的規模の大気汚染*

川 村 清**

2.1. はじめに

大気汚染は、すでに一世紀以上も前に、産業化されたヨーロッパの都市でよく知られていた。しかし第二次世界大戦以降、人類がこれまでかつて経験しなかった大規模の産業化、都市化と人口の急激な増加により、最近の大気汚染域は拡大され、産業国の田園地帯のみならず、開発途上国にまでおよんでいる。

最近まで、人為的な汚染源から放出された汚染質は降水の浄化作用により、また無限量の大気、水、土じょうへの混入により、消散すると考えられていた。ところが海洋上や極地方での観測結果によれば、人為的な発生源に起因するある種の汚染質、たとえば鉛(Murozumiら1969)の濃度が最近急速に高まりつつある。このことは前に述べた考え方が間違っており、環境の浄化能力が有限であることを示す。

人為的汚染源から大気中に放出された汚染質の多くは長い間に生物や環境にどのような影響をおよぼすかわかっていない。気象や気候に大きな影響をおよぼす可能性のある汚染質として、大気エアロゾルと炭酸ガスが取上げられている。WMOの「大気汚染の気象学的問題に関する執行委員会パネル」の1970年における報告(EC-XXII/Doc. 23)によれば、エアロゾルが10%ふえれば、アルベドの変化により平均気温は1°C低下し、炭酸ガスが現在の倍量になれば、気温は1.3°C上昇する。

人為的な汚染源からの汚染質放出量は近年加速度的に増大しているので、大気中での各種汚染質濃度も高まりつつあると考えられるが、その実体はあまりわかっていない。またこれら汚染質は大気中でどのような経過、あるいは運命をたどるかということも明らかにされていない。

い。この点でWMOの計画した全地球的規模の大気汚染、あるいはバックグラウンド(BG)汚染の観測網の設立に期待するところが多い(申崎と原田, 1971)。ここでは各種汚染質のBG汚染の現状について、その概要を述べることにする。

2.2. エアロゾル

近年、人為的な発生源の加速度的な増加にともない、大気中のエアロゾルは年々ふえている。Changnon(1968)は重工業地帯から放出されるバイジンが降水量をふやす働きをしていることを指摘した。山本ら(1970)は日本の気象官署で行なわれている日射観測の資料を用いて大気の混濁係数を求めた。その結果、彼等は大気の混濁度が都市に限らず日本周辺全域にわたって増していることを指摘した。CobbとWells(1970)は、多くの研究者により、また彼等自身によって北大西洋および南太平洋上で観測された大気電気伝導率の結果を整理し、これの永年変動をしらべた。その結果、彼等は南太平洋上の電気伝導率が過去60年のあいだほぼ一定に保たれているのに、北大西洋上ではこのあいだに少なくとも20%だけ減少していることを指摘した。北大西洋上における電気伝導率の低下はこの海域の大気中に浮遊するエアロゾルが北半球の人為的な汚染源の増加にともなってふえていることを示す。Cobbらはこの研究から数10年のあいだにエアロゾルは多分倍量にふえているとした。

これまで多くの地点で大気混濁度、透明度等の観測が行なわれてきた。すべての観測結果は、過去数十年来、大気エアロゾルが増加の一途をたどっていることを示す。しかし、エアロゾルがこの間に正確にどれだけふえたかということはわかっていない。

2.3. 炭酸ガス(CO₂)

大気CO₂の永年変動についてはCallendar(1958)の

* Air Pollution on a Global Scale.

** K. Kawamura 気象研究所

データがしばしば引用されている。彼のデータは1870年から1950年代の後半までの間に CO_2 濃度が約13%増加し、増加の傾向が化石燃料の消費により大気中に追加された CO_2 量の経年変化とよく一致することを示している。しかし古い大気 CO_2 の分析値はその年代の代表的な値と必ずしもいえないし、また測定精度がわかった。このため、ふえたことは確かであるが、果してどれだけふえたのか明らかでないというのが正しいだろう。

大気 CO_2 濃度の変化のすう勢をつかもうとする場合、局地的な発生源や消費源のあるところで観測したのではこの目的にかなった値を与えることはむづかしい。このため、最近では海洋上や高山において、さらに航空機を利用しての観測が多く行なわれるようになった。たとえば Bischof と Bolin (1966), Bolin と Bischof (1970) は航空機を利用し主として極地方上空の空気試料を採取し、これに含まれる CO_2 を分析した。彼等の研究により大気 CO_2 濃度の実体はかなりよくわかってきた。すなわち、1963年から1968年までの平均年増加率は 0.7 ± 0.1 ppm (1968年において320ppm) であり、また地球表面から高さが増すにつれて CO_2 濃度の季節変化(春に極大)の振幅が減ることを明らかにした。

海洋中には大気 CO_2 全量の約60倍のものが主として重炭酸イオンのかたちで溶けている。大気 CO_2 濃度が大幅に変らぬよう、海水が制御のはたらきをしている。したがって、大気 CO_2 の問題を取扱う場合、海水という巨大な貯蔵庫の実体をよく認識しておかねばならない。

2.4. 一酸化炭素 (CO)

大気 CO の存在が確認されたのは最近のことであり、Migeotte (1949) が太陽スペクトラム中に CO の 4.7 μ band を発見したのはじまる。これの天然源については Seiler と Junge (1970) の海洋説が提出されている。人為的な発生源についてはかなりわかっている。放出量の最も大きいのは自動車であり、残りを各種産業工程、家庭暖房、森林火災などが受持つことになる。全世界における CO 放出量は1952年で 120×10^6 トン、1969年で 257×10^6 トンと見積られている (Bates と Witherspoon, 1952, その他)。

清浄な大気中に存在する CO の組織的な観測が行なわれるようになったのは1965年以降のことである。観測結果によれば、対流圏の CO 濃度は $0.10 \sim 0.15$ ppm であり、下部成層圏では 0.03 ppm 以下に激減する (たとえば、Seiler と Junge, 1969)。Pressman と Warneck

(1970) の計算によれば、もし大気中で CO の除去作用がなければ、大気 CO 濃度は1年に約 0.05 ppm だけふえることになる。ところが、人為的な汚染源から遠く離れた大気中での平均濃度は過去20年のあいだ有意な増加を示していない。Pressman らは上述した Seiler らの結果を考慮し、成層圏内での CO の OH との化学反応による除去機構を取り上げた。大気 CO の天然源や消費源、さらにこの濃度の経年変化などについてはまだまだ不確定である。

2.5. 鉛 (Pb)

最近、大都市では交通量の急増にともない大気の鉛汚染が大きな問題となっている。これはガソリンにアンチノック剤として四エチル鉛が添加してあることに起因する。排気ガス中の鉛を含むエロゾルは、その粒径が極めて小さいため、大気中に長時間滞留し、発生源から遠く離れたところまで運ばれる。Murozumi ら (1969) はグリーンランド Camp Century と南極 Byrd Station において紀元前にさかのぼる氷雪を採取し、これに含まれる鉛を測定した。Camp Century における氷雪中の鉛含有量は年々ふえており、この変化の傾向は世界における鉛金属冶金量の経年変化とよく一致することを Murozumi らは指摘した。なお、Byrd Station における氷雪の鉛含有量は Camp Century の場合よりも一桁低くなっている。

引用文献

- 1) Bates, D. R. and A. E. Witherspoon (1952): The photo-chemistry of some constituents of the earth's atmosphere (CO_2 , CO, CH_4 , N_2O). Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **112**, 101-124.
- 2) Bischof, W. and B. Bolin (1966): Space and time variations of the CO_2 content of the troposphere and lower stratosphere. Tellus, **18**, 155-159.
- 3) Bolin, B. and W. Bischof (1970): Variations of the carbon dioxide content of the atmosphere in the northern hemisphere. Tellus, **22**, 431-442.
- 4) Callendar, G.S. (1958): On the amount of carbon dioxide in the atmosphere. Tellus, **10**, 243-248.
- 5) Changnon, S.A. Jr. (1968): The La Porte weather anomaly fact or fiction? Bull. Am. Met. Soc., **49**, 4-11.
- 6) Cobb, W.E. and H.J. Wells (1970): The electrical conductivity of oceanic air and its correlation to global atmospheric pollution. J. Atmosph. Sci., **27**, 814-819.

- 7) 串崎利兵衛, 原田 朗(1971): 大気のパックグラウンド汚染と大気化学観測, 測候時報, **38**, 1-9.
- 8) Migeotte, M.V.(1949): The fundamental band of carbon monoxide at 4.7μ in the solar spectrum. Phys. Rev., **75**, 1108-1109.
- 9) Murozumi, M., T. J. Chow and C. Patterson (1969): Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata. Geochim. Cosmochim. Acta, **33**, 1247-1294.
- 10) Pressman, J. and P. Warneck (1970): The stratosphere as a chemical sink for carbon monoxide. J. Atmos. Sci., **27**, 155-163.
- 11) Seiler, W. and C.E. Junge (1969): Decrease of carbon monoxide mixing ratio above the polar tropopause. Tellus, **21**, 447-449.
- 12) Seiler, W. and C.E. Junge (1970): Carbon monoxide in the atmosphere. J. Geophys. Res., **75**, 2217-2226.
- 13) 山本義一, 田中正之, 荒生公雄(1970): Turbidity の経年変化(II), 日本気象学会 秋季大会(京都)にて発表.

3. 気候変動の人為的原因*

根 本 順 吉**

H.H. Lamb (1966) が「1960年代の気候」¹⁾ ということを言い、またそれは、久保木光昭 (1968)²⁾ の日本付近の気候についての統計にも現われていることであるが、世界の気候は60年代に入りそれまでの気候から途切れているように思われる。

アフリカのヴィクトリア湖の水位変化³⁾をみても、また1963年1月の異常気象の気圧配置をみても⁴⁾、そこには母集団の交替⁵⁾を想像せしめるような著しい不連続、ないし変動がそこにはあらわれている。異常気象の最近の例では地中海周辺地域における顕著な豪雨・洪水が目立つ⁶⁾。このような異常気象は何十年に1回といった程度をこえ、統計的には何百年(ものによっては何千年)に1回といった程度の稀な現象としてあらわれている。

気候や天候にみられるこのような稀な現象は何に起因するのだろうか。それはごく普通にあらわれる気圧や気温の偏差分布の説明と同質の現象として説明できることなのだろうか。残念ながら、この超異常気象とでもよぶべき特殊性に注目した議論は内外ともまだ展開されていないようである。

いうまでもなく気候は気流、海洋、蒸発、降水、地表および雲の反射・吸収等が複雑にからみ合った feedback system である⁷⁾。そのような system にあらわれた異常

には多くの要因が関与しており、一つの要因だけによってこれを説明することはむづかしいが、異常のきっかけをつくった原因が、地球外にあるのか、それとも地球内にあるのか、可能性としてまず問われるであろう。私はその可能性を次の三つに分類して考えてみたい。

{	外 因	{	自然の…(a) 主として太陽活動によるもの
			内 因 { 自然的…(b) 火山活動等 人工的…(c) CO ₂ , 塵埃(aerosol), 石油による海洋汚染

3.1. 太陽活動にあらわれた不連続現象の反映

太陽活動は明らかに1964年の極小時の前と後では判然とその様相が異なっている。すなわち64年までの活動は10年周期で、その極大は47年、57年と年を追って大きくなり、57年の極大時は観測開始以来、最強の活動であった。64年以後の活動はこれらの活動にくらべると不活発であり、10年周期ならば67年に極大になるべきところが、周期がのびたため極大年は68年となり、その後一たん活動が衰えたが、70年には再び活発になり、くわしくみると二つ山のある極大となっている。相対数の値は100をわずかに越した程度で57年の190.2の約1/2である。

太陽活動と気候との相関は、現象論的に数多くの例について求められているが、その機構は必ずしも明らかでない。これはおそらく大気活動の原動力となっている可

* Anthropogenic Modification of Global Climate.

** J. Nemoto 気象庁図書館

視部の放射の変動は0.5%程度で大へん小さく、黒点活動によって表現された太陽活動の1~200程度の変動が直接にあらわれていないことによるものと思われる。気象との相関は、黒点の相対数が110を越すと反転する場合のあることはLawrence(1965)⁸⁾、根本(1968)⁹⁾等によって調べられているが、1947:151.6, 1957:190.2であるから、これらのcycleに対応した地球上の現象との結びつきには反転があって、むしろ異常と考えられる。64年以後の活動との結びつきがむしろ正常であっても、これを異常であったそれまでのおよそ20年と比較すると、太陽との結びつき方がちがった形をとることになる。

太陽活動との関連は現在あまり注目されていない。気候変動の人為的原因が重視されるあまり、自然的原因が忘れられ勝ちなので、主題からややはなれるが、一つの問題点としてここに提起しておきたい。

3.2. 火山活動

Mitchell(1970)¹⁰⁾のように、最近の大気混濁のおよそ2/3は火山活動に起因すると考えている人もいる。しかしながらLamb(1970)¹¹⁾が日本の日射のデータを用いてしらべた直達日射のカーブや、Pivovarova(1968)¹²⁾がシベリアの場合についてしらべたカーブをしらべてみると、経年的な減少の仕方は明らかに火山灰による場合とはちがっている。火山灰による場合は急激に減少し、1~3年で再び急激にもどるが、最近の直達日射の減少の形はこれとは全く異なり、ゆるやかに、いつ回復してもわからぬ形で減少している。このような差異が何に起因するか、なお不明であるが、おそらく大気を混濁させている粒子が、最近の場合は非常に小さいもの(いわゆるsubmicron aerosol)であるためと考えられる。Mitchell(1970)¹⁰⁾自身も、今迄は火山灰の影響が大きかったが、今後は人工的な塵埃の影響は無視できなくなるであろうと述べている。

3.3. 人工的内因

昨年(1970)7月、MITが後援者となって開かれたSCEP(the Study of Critical Environmental Problems)の共同研究は、“Man's Impact on the Global Environment”(1970)⁷⁾としてMITから刊行された。この報告で人間の活動が気候に及ぼす形としてあげられているのは次の項目である。

①化石燃料からのCO₂、②大気中の微粒子、③雲の役割り、④ジェット機による巻雲の形成、⑤下部成層圏をとぶSST₂機の影響、⑥地表の変化にともなわれた

気候変化、⑦熱汚染。

およそこの順序で気候に対する影響が重視されているが、どの項目をとり上げても、globalな改変に対しての寄与がはっきりしているものは一つもない。

個人的な著者名の著書においては、内容は個人の責任だから、信ずることをかなり大胆に断定して述べることができ¹³⁾、その方がかえってわかりやすい点も少くないが、18人以上の著名な学者の討議となると、いきおいその結論は深重にならざるを得ない。まだよくわかっていないことながら、筆者がもう一つ気候に対しての影響が大きいと思われる場合をあげるならば、8番目として、海洋の廃油による汚染の影響をあげたい。私はさし当って気候に対しての影響の、もっとも大きい場合として①、②および⑧を考える。

なお他の項目について、はじめに簡単に言及しておく。まず③は②と一緒にして考えることができる。また④、⑤は人によって、これをあまり重視しない考もあり¹⁴⁾、SST₂機の開発は最近(1971年3月)その開発が中断されたので、気候に対する影響はあまり重く見なくてもよいであろう。⑥の内容として、都市化は大きくみつもっても、その影響は地域的(regional)で、全地球的な影響は今のところまだ考えられていない。⑥の内容でおそらくもっとも重要な問題は広域にわたり森林を破壊したための影響であろう。森林はCO₂の収支に対して大きな影響を持つばかりでなく、人口の増大や過放牧によって、その地域は乾燥化もしくは砂漠化してゆく。その地域からのdustの影響も無視できないであろう。⑦のthermal pollutionの影響であるが、紀元2000年にはthermal outputは現在のおよそ6倍になることが予想されている。この影響も、モデル数値実験でシミュレートしてみないとわからないが、その影響は地域的な気候に止まるであろうと考えられている。

(i) CO₂

Bryson(1970)¹⁵⁾によると、気候変化に対しての寄与率はCO₂、じん埃、太陽活動の順で71%、8%、5%ある。MIT後援の研究会でもCO₂がもっとも重視された所以である。

CO₂は年変化、日変化の変動幅が大きく、また地表付近の観測値は植生の影響をうけやすい。このためglobalな経年変化が求めにくい、IGY観測以来、かなり正確なデータが得られるようになったので、CO₂の増加を確実な資料によって裏づけることができる。それによると1958年以来、1年間に0.2%のわりあい増加してい

る。このわり合いで増加してゆくと現在の 320ppm は、20世紀末には 379ppm となる。この増加から期待される地球の年平均気温の上昇は 0.5°C である。CO₂ が現在の 2 倍になれば地上の年平均気温は 2°C 上昇する。

このみつもりは大気の流れは考慮せずに行なった、もっとも primitive な model にもとづく推定である。このような気温上昇の推定があるにもかかわらず、地球の平均気温は 1940 年の後半以来、目立って下降している¹⁰⁾。この原因は何か、CO₂ の greenhouse 効果に対し考えられるのは大気中の dust による umbrella 効果である。

(ii) 大気中の微粒子

対流圏の中に入りこむ天然の粒子には海の飛沫、風のまき上げる砂塵・土壌、火山灰、天然ガスからつくられるもの等がある。これらにくらべると人間が大気中に送りこむ微粒子の数は少ない。天然であるか人工であるかは不明であるが、総体として微粒子の数は増加しているかどうか。

これに対しては海洋上の電気伝導度の観測から確かめることができる¹⁶⁾。その測定によると欧州、北米、北大西洋では増加しているが、太平洋の中部においては増加していない。天文台で広く行なわれている大気の減光観測からも、微粒子に由来する大気減光の変化が求められている。最近の例では Mt. Wilson におけるものがあり¹⁷⁾、紫外部においては 50 年間に 26% も透過率が減少したという結果が得られている。

直達日射の最近の経年変化から推論されることは微粒子の数が、火山灰 (1~10 μ) 等にくらべはるかに小さいことであるが、これに対し非常に多いミクロン以下の自動車等の排気ガス中にふくまれる人為的汚染粒子が考えられる。この粒子は対流圏中にある間に雨の洗条効果や併合によって次第に落下する。また inversion のため上空にはこぼれにくい、いったん、対流圏からぬけ出して成層圏に達すると、その場合の気層の安定した成層と、雨が降らぬことのために、そこに滞留する時間が長くなる。そのような粒子の多数が、火山灰による効果とはちがった経年変化を示させる原因になっているように思われる。これを確かめるためには成層圏までの粒子の sampling と、低層の微粒子が成層圏にまで達するような機構が考えられなくてはならない。

(iii) 海洋の廃油による汚染

この効果は評価がむづかしいので、外国の例ではニクソンの公害教書 (1970)¹⁸⁾でその可能性をわずかに指摘

したものがもっともくわしいくらいである。前述した SCEP の報告⁷⁾には気候に対する影響は特別に項目としてあげられていない。日本の海洋学者の中には、廃油は油膜 (oil slick) をつくらず、塊状 (lumps) になるから、蒸発をおさえる力がずっと小さくなってしまっている人もある¹⁹⁾。

しかし海面に流れた廃油は、すべて廃海ボールになるわけではなく、一部は膜状をなし、ラングミュアの循環によって風の方向に縞状となって、かなり長期にわたって海面に滞留する可能性のあることは、タンカー沈没によって流出した油の追跡などから確かめられていることでもある。もちろんかなり長期間をとれば、それは活性汚泥によって次第に分解してしまいうだろうが、分解される以上に廃油が次々と流されているなら、油膜はひろがるばかりであろう。

油膜の影響は太平洋や大西洋等の開かれた海よりは、地中海、バルト海等の閉ぢられた海であられやすいことは考えられることで、地中海周辺の豪雨等の異常気象が、地中海の石海汚染と結びつく可能性は筆者が指摘した²⁰⁾。

油膜が蒸発を抑制し、水温を上昇せしめる効果は、多くの人が無視するように現在までのところはあまり大きくないかも知れぬが (筆者は現在までもかなりの影響を与えていると想像している)、今後 10 年間に石油の需要が急激に増大することを考えると、Jet 機や SST₂ 機による影響以上に、油膜の気候に対する影響が無視できなくなると考えられる。

MIT の報告⁷⁾をよんでみると、そこに一貫して述べられていることは、とにかくわからないことだらけだから、正確な data を monitoring することによって蓄積していこうということである。IGY 以来の観測によって、CO₂ の正確なデータが蓄積してきたというような事実もあり、私はこのような態度はそれなりに評価しなくてはならぬと思うが、global effect をとらえるための方法として、それだけで十分かどうか、MIT の報告では、もちろん monitoring ばかりではなくて数値シミュレーションの大切なことも強調しているが、私はナダレの予報が一つ一つの斜面の性質を知らなくてもでき、火災警報が一軒一軒の家屋や家族の構造がわからなくても出せ、それなりに役立っているように、地球全体としての気候変動をふくめた環境汚染の影響は、個々の要素の積み重ねとは別に、広義の総観法、もしくは疫学的方法 (epidemiological method) によっても実用的には接近で

きるのではないかと考える。

引用文献

- 1) Lamb, H. H. (1966): Climate in the 1960's, *Geographical Journal*, **132**, part 2, 182-212. 抄訳あり, 測候時報 (1968~69), **35**, No. 6, 7 および11.
- 2) 根本順吉(1969): 地球をおおう気象変化, 自然 **24**, No. 7, p. 46-53.
- 3) 根本順吉(1964): 北半球上の概況, 気象庁技術報告第33号 (昭和38年1月豪雪調査報告) p. 3-13.
- 4) 気象研究グループ(1963): 共存する寒冬と暖冬, 自然, No. 204, p. 41-48.
- 5) Winstanley, D. (1970): The North African flood disaster, Sept. 1969. *Weather*, **25**, No. 9, p. 390-403.
- 6) Doneaud, A. (1971): Meteorological factors causing Romanian flood in 1970. *WMO Bull.* Jan. 1971, p. 28-32.
- 7) MIT (1970): Man's Impact on the Global Environment, Report of the Study of Critical Environmental Problems (SCEP) p. 10.
- 8) Lawrence, E. N. (1965): Terrestrial Climate and the Solar Cycle, *Weather*, **20**, No. 11, p. 334-343.
- 9) 根本順吉(1968): 相関の逆転についての2~3のノート, 季節予報検討会資料, p. 179-188.
- 10) Mitchell, J.M. (1970): A Preliminary Evaluation of Atmospheric Pollution as a Cause of the Global Temperature Fluctuation of the Past Century, S.F. Singer: *Global Effects of Environmental Pollution (1970) Part III* に所収, p. 139-155.
- 11) Lamb, H.H. (1970): Volcanic dust in the atmosphere, *Phil. Trans. of Roy. Soc. London*. **266**, No. 1178.
- 12) Pivovaroa, Z.I. (1968): Study of the Regime of Atmospheric Transparency. *WMO Tech. Note* 104, p. 181-185, p. 465.
- 13) Taylor, G.R. (1970): *The Doomsday Book*, Thames & Hudson, London. 邦訳あり, “統・人間に未来はあるか” (大川節夫訳, みすず科学ライブラリー-22).
- 14) Lansberg, H.E. (1970): Man-made Climatic Changes, *Science* **170**, No. 3964, p. 1265-1274.
- 15) Bryson, R.A. and W.M. Wendland (1970): Climatic Effects of Atmospheric Pollution, Ed by S.F. Singer: *Global Effects of Environmental Pollution (1970): Part III* に所収, p. 130-138.
- 16) 三崎方郎(1970): サブミクロン・エアロゾル, 自然, **25**, No. 12, p. 72-74.
- 17) Hodge, P.W. (1971): Large Decrease in the Clear Air Transmission of the Atmosphere 1.7 km above Los Angeles, *Nature*. **229**, Feb. 9. p. 549.
- 18) 坂本藤良他訳(1970): 公害教書 (Environmental Quality) p. 193. なおこの教書の気象に関連した部分の原文は *BAMS* Nov. 1970, p. 1043-47 に全文掲載されている。
- 19) 高野・高橋・土本(1971): 海洋の最近の話題, 水温の研究, **14**, No. 5, p. 31-43.
- 20) 根本順吉(1971): 何が気候を変化させたか, 自然, **26**, No. 3, p. 42-48.

4. 気候変動に対する数値実験の立場からの推論*

片 山 昭**

4.1. ま え が き

大気大循環の数値実験の第一目的は, 気候のシミュレーションであり, これが達成されれば, 一つは1カ月程度の長期数値予報の実現, 一つは気候変動の研究に発展してゆく事になる。現状では, 気候変動の問題を総合的

に取り扱う程数値実験モデルは精密化していないため, 部分的な数値実験しかなされていない。

化石燃料使用の増大により, 自然環境特に気候変化の原因となり得るものとして, 炭酸ガス, 塵埃の増大, 熱エネルギーの放出, SSTによる成層圏汚染(水蒸気や塵埃の増大)の可能性, 海洋の石油による汚染などがある。炭酸ガス・塵埃の増大, 熱エネルギーの放出やSSTによる成層圏汚染は大気の放射収支に変化をもたらし,

* Numerical Experiment of Climatic Change.

** A. Katayama 気象研究所

それに伴い大気の大循環の様相を変える可能性がある。また海洋の表面の石油汚染は蒸発の減少、表面粗度の減少をひきおこすが、大気に対しては、前者は降水の減少とそれによる熱源の減少をもたらす、海洋に対しては、海水温の上昇、風のストレスの弱まりに伴う風成海流の変化をもたらす、大気・海洋系の大循環にかなりの影響を及ぼす可能性をもっている。

4.2. 要因の変化と気温

Manabe と Wetherald (1967) は、種々の要因の変化にとまらぬ、大気の温度がどの程度変わるかを、一種の数値実験からもとめてみた。その方法は、加熱機構として日射の吸収と赤外放射の効果を考え、また気温減率が $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ をこすとそれにもどす対流調節を組み合わせ、相対湿度を一定とし、大気上限の入射日射を与え、気温が垂直方向に一様な初期条件から出発して、平衡に達するまで数値計算してゆく。すなわち、放射-対流平衡温度の垂直分布を求める。したがって、この計算には大循環的運動の効果は含まれていない。その結果を第1表に示す。この表で、 ΔT_{ST} は成層圏気温の平均的变化を T_{S} と比較して定性的に示してある。

第1表 種々の要素の変化にもなう平衡気温の変化。 ΔT_{S} は地表気温、 ΔT_{ST} は成層圏気温の変化。

要素	変化量	$\Delta T_{\text{S}}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_{\text{ST}}(^{\circ}\text{C})$	要因
日射	+1%	+1.2	同程度	太陽常数 塵埃
対流圏の 相対湿度	+1%	+0.13	変化なし	
成層圏の 混合比	5倍	+2	~-10	SSTの航 行
CO ₂	2倍 (300~ 600ppm)	+2.5	より大き い冷却	化石燃料
地表のアル ベード (%)	+1%	-1.0	やや小さ い冷却	積雪の変 化など
雲量(%)				
下層雲	+1%	-0.8	}より小さ い冷却 殆んど変 化なし	
中層雲	+1%	-0.4		
上層雲	+1%	{+0.1 +0.04(0)}		

これによると、日射が何等かの原因で現在より1%増すと、地表気温が 1.2°C 上昇する。Budyko (1969) も、地球の放射平衡の式から、日射が $\pm 1\%$ 変化すると気温が $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 変化するという結果を得た。彼はさらに実際

にも、そのような傾向のある事を指摘している。北半球地上平均気温をしらべてみると、1918~1947年の30年間の平均気温はその前の30年間より 0.33°C だけ高くなっている。一方、日射計の観測から、地表に到達する全日射量を推定してみたところ、その間に0.30%増加している。すなわち、1%の日射の増加に対して 1.1°C の地表気温の上昇がある事になり、真鍋らの結果ともよく合っている。

第1表で、成層圏の混合比が5倍にました場合が示してある。成層圏の混合比は $3 \times 10^{-3} \text{g}/\text{kg}$ で非常に乾燥しているため、SSTなどの航行によるわずかな水蒸気の放出も、この程度の変化を起こし得る。こんな時、その温室効果で地上気温は 2°C は上昇するが、成層圏では逆に 10°C の気温低下が見込まれる。

炭酸ガスの影響については、すでに Plass (1956) も計算を行ない、2倍になった場合 3.8°C の気温上昇が得られた。さらに、Kaplan (1960) や Kondratiev-Niilisk (1960) もそれを改良した方法で計算を行ない、Plass よりずっと小さい値を得た (やく 1°C の上昇)。彼等の計算は地表面附近での熱収支にもとづいて求められたものであり、大気全体を考慮した真鍋らの結果の方がより信頼性がある。ただし、第1表での2倍に対する $+2.5^{\circ}\text{C}$ は相対湿度を一定とした場合で、もし混合比を一定として計算を行なうと、その半分の $+1.3^{\circ}\text{C}$ となり、Kaplanらの結果と大体一致する。Bolin-Bishop (1970) の航空機を用いての観測によれば、CO₂ は1963~1968年の平均として、1年につき 0.7ppm だけ増しており、1968年現在で 320ppm 、また OECD (国際経済協力開発機構) の推定によれば、2000年には $370 \sim 395 \text{ppm}$ に達するという事で、1900年を基点とすれば25%の増加が予想されていることを附加しておく。

地表のアルベードに大きな変化を与えるものとして、積雲状態の変化があり、雪でおおわれていない陸地のアルベードが15~25%であるに対して、積雪地帯のそれは60~80%になる。アルベードのわずかに1%の増加が 1°C の気温低下をもたらすという結果は、積雲状態の変化の重要性を示唆するものであり、これは次節でのべる自己加速の主役を演ずる。

第1表は、雲量のわずかな変化も気温に大きな影響を及ぼす事を示している。雲量が増すと、日射の反射がまし、大気の日射獲得量が減少し、一方赤外放射の大気圏外への放出を弱める。一般に、雲の出現する高度が低い程、前者の効果は強化され後者の効果は弱まるので、冷

却傾向は強くなる。上層雲の場合、後者の効果がまさり昇温効果をもつようになる。ここに示した値は、雲が赤外放射に対して完全黒体とみなした時のもので、もし上層雲を半黒体とみなせば、1%の増加に対して+0.04°Cという小さい値になる。全地球的な雲量をつかみ得るようになったのは、気象衛星が実現したここ数年にすぎず、雲量にどの程度でどのような経年変化があるかは殆んどわかっていない。今後気候変化の研究のためにつくられる大循環モデルは当然雲量もよく記述できるものでなくてはならない事を明示している。

4.3. 自己加速効果

前節でのべた種々の数字は、単純に一つの要素が変化したら、気温がどの程度変わり得るかを示すに過ぎない。一つの目安として有効であるが、それがそのまま自然現象の中に適用できると考える事は非常に危険である。実際には、多くの要素がからみあった複雑なフィード・バック系を形成している。そこには、準定常を保とうとする負のフィード・バック系と不安定化しようとする正のフィード・バック系が混在しているであろう。人工的な汚染に伴う気候変化の可能性を考える時、まずわれわれが注目すべき対象は、後者のフィード・バック系すなわち自己加速効果 (self-acceleration) の強化の可能性である。ここでは、気温に対する冷却加速と昇温加速について、起こりそうなものを一例づつ挙げてみる。

(i) 冷却加速……最初に何等かの原因で地球の気温が低下したとする。この場合降雪が多くなり、従って積雪区域が拡大し、積雪の期間も長くなる。地表のアルベドが増大するので、大気-地球系の日射獲得量が減少し、さらに気温が低下する。このような過程の繰りかえしにより、加速度的に気温は冷却してゆく。

(ii) 昇温加速……大気中の CO_2 が増すと気温は上昇する。すると海洋表層の水温も上昇するであろうから、 CO_2 の海水中での溶解度が減り、海水中に多量に含まれている CO_2 の一部が大気中に放出される。これは人間活動により大気中の CO_2 が増大すると、加速的に大気中の CO_2 の増大と昇温をもたらす可能性があることを示している。また CO_2 の代りに水蒸気を置きかえても同様なサイクルが考え得る。

氷河期の形成理論の大部分は (i) の過程を基盤として組み立てられている。Budyko (1969) は、非常に簡単な地球の熱平衡式からこの積雪効果を量的に推定した。日射の変化に伴い、平均気温の南北分布がどう変わるかを調べ、その場合気温がある値以下になると積雪がある

とし、その部分の地表のアルベドを増すようにした。その結果は、日射が1%減少すると、地球の平均気温は5°C (雪の効果を考えない時は1.5°C) 低下し、雪線は現在より10° (緯度) 南下する。これは、第4紀の氷河期の状態に近い。また日射の減少が1.6%をこすと、平衡に達することなく、地球の大陸全部が氷河でおおわれるという破滅に向って進行するといっている。(ii) については、まだ定量的研究はなされていない。

以上のような自己加速過程は充分起り得るが、しかしまだまだ都合がよいような主観的な抽出がめだつ。たとえば、雲量の変動は大きな効果を持つ要素であるが、この2例では考慮されていない。(i) の過程中にもし雲量が増大すれば、それはさらに加速されるであろうし、また雲量が減少する方向ならば、この冷却加速は弱められるか起らない。(ii) についても同様なことがいえる。われわれは簡単な思考実験から推定された結論が、より複雑な効果を考慮した大循環の数値実験の結果と全く逆であるような数個の例を知っている。最終的結論は、充分精密な大循環モデルでの数値実験にたよらざるを得ないだろう。

4.4. むすび

大気大循環の数値実験用モデルは、最近精密化への道をたどり、気候分布やその季節変化をよりよく再現できつつある。しかし、気候変化を予知し得る段階にはまだ達していない。要求されるモデルは、自然の気候とその長期変動を詳細にシミュレートし得るものでなくてはならず、そのためには海洋の大循環や雲量、降水量、積雪など水収支に関連した諸量が充分 realistic に組み込まれる必要がある。現状では、たとえば、雲量や降水量の予報は全く理想化された形式でなされており、定量的信頼性はそれ程ない。海洋循環と結びつける研究もさかんであるが、まだ初歩的段階を出ていない。これらの事は、大循環自体の研究として解決をせまられている問題である。

自然環境汚染による気候変化をしらべるに当り、やはり最初は、塵埃と CO_2 の増大の影響に焦点を向けるべきであろう。塵埃の効果をしらべるには、まず塵埃の放射特性を明らかにしておく必要がある。大気中の塵埃が増加すると、日射の反射が増し、地球の大気は冷やされるという考えが自明の事のように受け入れられている。しかし、塵埃は日射を散乱すると共に吸収する性質も持っており、また赤外放射にも影響を与える。これらの三つの効果は粒子の大きさや組成などにより大きく変わる

ようで、たとえば、工場などから放出される大粒な塵埃は、日射反射（後方散乱）と吸収が同程度であり、赤外放射への効果も無視できなく、全体的にみてその増加が、昇温・冷却のどちらに寄与するかわかっていない。次に、人工的に放出された塵埃が、大気中にどのように蓄積してゆき、どのような空間分布するかを、観測と数値実験の両面から明らかにする必要がある。そのような知識を総合した大循環の長期の数値実験を行なう事により、人工放出塵埃の気候に及ぼす効果、たとえば自己加速効果の有無などを知ることができる。

CO₂の問題に対しては、専門でないので立ち入らないが、CO₂の増加を加味した大循環の数値実験を行なう前に、少くとも、大気海洋間の輸送や植物の炭素同化作用の効果をより定量化しておく必要がある。このようにして、塵埃とCO₂の増加が気候に及ぼす効果を比較することはできるが、最終的結論はその両者を同時に導入した数値実験から導き出されることとなる。

氷河期の繰りかえしは、少なくとも数万年のオーダー

であり、数百年という時間スケールでは、地球の自然の気候は、微妙なバランスの上に成り立っている準定常系とみなし得る。大気汚染その他の人間活動の影響が、このバランスをくずした時、数百年あるいはそれ以下での急激な気候の変化の出現を否定する根拠をもたない。われわれ気象学者は、これらの可能性の有無を定量的に予知し、そのような危険を未然に防ぐよう努力すべきである。その最終的結論は、各分野の基礎的研究に基づき作られた精密な大循環モデルによる数値実験により得られるものと確信する。

引用文献

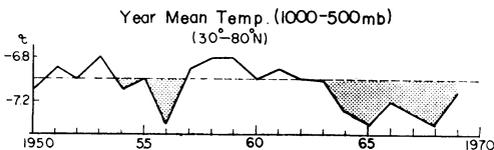
- 1) Budyko, M.I., 1969: The effect of solar radiation variation on the climate of the Earth. *Tellus*, **21**, 611-619.
- 2) Manabe, S., and R.T. Wetherald, 1967: Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. *J. Atmos. Sci.*, **24**, 241-259.

5. 最近の北半球における寒冷化とその仮設的原因論*

朝 倉 正**

5.1. 北半球の寒冷化

1940年以降世界の地上気温が低下しはじめたことは Mitchel(1963)によって指摘され、その傾向が少くとも1960年まで持続し寒冷化にむかっていることは、Budyko(1969)によって指摘されている。本論は1960年以降の気温について調べたものである。



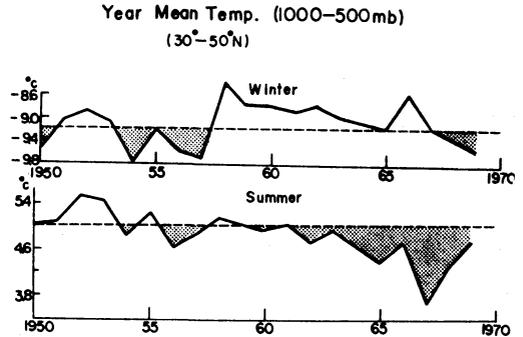
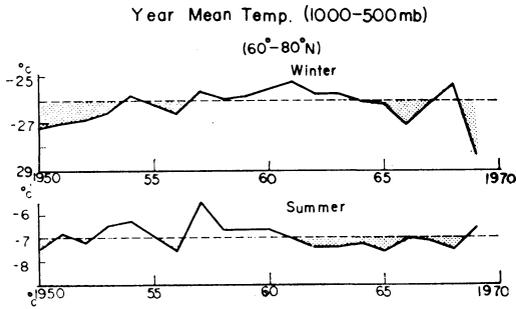
第1図 緯度30°~80°Nにおける1000~500mbの年平均気温の経過（面積の補正がしてある）

第1図に示すように対流圏下部（1000~500mb）における中緯度以北の年平均気温（面積補正がしてある）は、1960年以後も寒冷化が進み、世界的な異常気象が各地で発生した1963年以降の気温（1000~500mb）は平年より著しく低下しつづけ現在にいたっている。その程度は1959年の -6.8°C から1968年の -7.4°C と 0.6°C 低下している。この値は、中緯度以北の面積平均した年平均気温なので、僅かな低下のように考えるわけにゆかない。またこのような世界的な寒冷化の進行は高緯度地方ほど大きく、たとえばモスクワの気温はすでにヒットラーのモスクワ侵攻時の厳冬にまで寒冬化し、レニングラードでは小氷期時代の気温（和田：1971）に接近し、ベルリンにおける最近5年間の雪日数は10年前の33日から71日へと急激に増加している。

寒冷化はどの季節にもみられる共通した特徴であるが、第2図に示すように持続的に平年より下がっている

* On the Cooling in Northern Hemisphere.

** T. Asakura 気象庁予報部

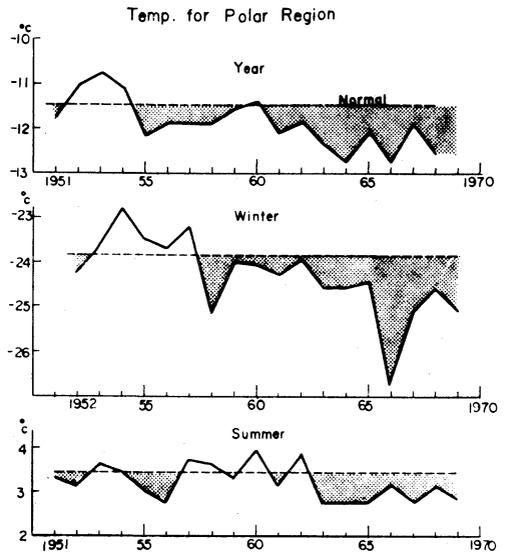


第2図 高緯度地方 (60°~80°N) および中緯度地方 (30°~50°N) における夏と冬の気温経過

ことは冬よりも夏の方がはっきりしている。このことは寒冷化の原因を考えると重要な手がかりをあたえるものと思われる。

5.2 北極地方の寒冷化

北半球における寒冷化は北極地方がもっとも著しい。Lamb (1966) は1960年代初期の北極地方の寒冷化に注目し、その影響を重視した。北極圏における25地点*の地上気温実測値を用い、その平均値をもって北極地方の気温として1951年~69年の経過をみると第3図に示すように1960年に入ってから夏冬共に寒冷化が進んでいることが分かる。とくに1966年の冬季気温は -26.8°Cで1960年に比べ2.8°Cも低下したことは注目に値しよう。地域的にみるとノバヤゼムリア~グリーンランド東岸にかけての北極海がもっとも寒冷化し、カナダ~グリーンランド西岸は殆ど変わらないか、やや昇温したところもある。10年前にくらべると、北極地方の寒冷なうずは東半球の方に拡大している。北極地方の冬季は日射が殆ど入らないので、寒冷化の原因として dust を直接的な原



第3図 北極地方における年平均、冬および夏の地上気温の経過 (1951~69)

* 観測所 1. Nord 2. Dumarkaham 3. Kap Tobin 4. Jan Mayen 5. Spitzbergen 6. Bjrnaye 7. Vardo 8. Vice IS 9. Dikson 10. Cape chelyuskin 11. Khatanya 12. Katelyay IS 13. Ckokurdakh 14. Ostrov deb 15. Myo Shmidte 16. Barrow 17. Borter 18. Mould Bay 19. Sacks Harbour 20. Isachem 21. Resolute 22. Eureka 23. Alert 24. Clyde 25. Egedraminde

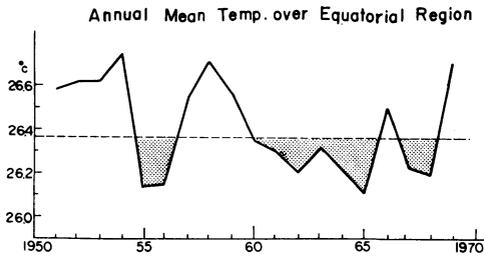
** 1. Santa Elena 2. El Alto 3. Uaupes 4. Manus 5. Bonthe 6. Cotonou 7. Impfond 8. Lambarene 9. Paulis 10. Manderia 11. Garissa 12. Trivandrum 13. Singapore 14. Zamboanga 15. Kwajalein 16. Truk 17. Tarawa 18. Rabaul 19. Diego Garcia 20. Canton IS 21. Djakarta

因とすることに矛盾がある。大気の運動による二次的な作用が重要であることを示すものと考えられる。

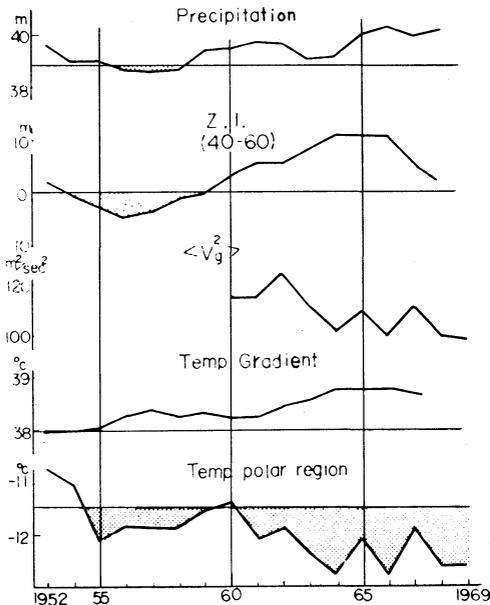
5.3 赤道地方の寒冷化

北極地方の気温が低下すると、低緯度地方の気温は上昇し、大気全体としてバランスするのが平均的な大循環の働きである。したがって、北極地方の寒冷化が大循環によるいわば内因的な原因によるものならば、低緯度地方の気温の上昇することが期待される。寒冷化の原因をさぐる意味からも、その実態を解析することは重要な意味がある。

赤道地方の21か所**の観測値 (欠測の場合はハンブルグ海洋気象台の気温分布図から推定) を用いて平均し、それを赤道地方の平均気温として1951~69年までの経過



第4図 赤道地帯における年平均地上気温の経過



第5図 赤道地方の雨量，東西指数，南北指数(50°N)，北極～赤道の地上温度傾度，北極地方の地上気温

をみると、1966、69年のように一時的に昇温する場合もあるが、大勢は第4図に示すように1960年に入ってから寒冷化が強まったように見られる。1966年は北極地方が著しく低温化した年で、大循環のバランス作用が大きく働いたために赤道地方で昇温したとも考えられる。

また、注目すべき現象は赤道地方における降水量の増加である。第5図上段に示すように、1960年頃から平年以上の多雨が観測されている。南太平洋における多雨は海水温の上昇のためとする議論もあるが（J. Bjerknes, 1966）、アフリカ大陸内部でも増加しており、赤道前線の活動に異変が生じたためと考えられる。これは北極地方における寒冷化が赤道前線の北上をおさえたために、乾季が短縮化された結果と考えられる（H.H. Lamb,

1966）。

5.4. 寒冷化の原因

寒冷化の原因を確信をもっていえる段階でないが、観測事実から作業仮説をたててみる。まず、内因か外因かを考える。大循環は変動をバランスさせる作用が強いことから考えると赤道地方を含めた北半球が全体として寒冷化している事実は内因的な作用よりも、外因が大きく働いている可能性を示している。また、第1図と第4図を比較すると、赤道地方も中・高緯度地方も1954～56年に気温が一時的に低下している。これは火山爆発の影響が平均して3年ぐらいできえるといわれていることから、ピキニにおける水爆実験による気温低下と考えると時期的に合致する。すなわち細塵の増加が大気中の気温を低下させる十分な働きをしていることを表わしている。それにくらべ、1960年以降はじょじょに長期間にわたって気温が下降していることは、サブミクロン程度の細塵が大気中に浮遊し、年々その量が増加しているためと考えられる。細塵による直達日射量の減少はすでにBudyko (1969)、山本義一(1970)など多くの人によって指摘され、地球的規模で汚染されていることは確かと思われる。さらに注意すべき観測事実は、第2図に示したように冬よりも夏に寒冷化が目立っていることである。これは細塵による影響が極夜には働かないことから考えると当然の結果ともみられる。

一方大循環の変動をみると、第5図に示すように1960年代に入ってから赤道地方の雨量は増大し、中緯度の帯状流は強まり、南北交換は弱まっている。さらに、大西洋北部の極氷が増加している事実を加味して、寒冷化の原因の作業仮説をたてるとつぎのようになる。

人間活動による細塵や雲量の増加——地表面に達する日射量の減少、とくに夏季の北極地方での著しい減少——夏期に極氷がとけず開水面の縮小——極氷域の増大、アルベド増大——熱交換の減少（第5図）による極気団の発達——寒冷な偏西帯域の南への拡張——亜熱帯高気圧帯の南下——赤道前線帯の南北振動の幅の減少——赤道地方の多雨——ハドレー循環の強化——亜熱帯高気圧帯の発達・縮小——帯状流の発達・南北温度傾度の増大（第5図）——南北交換の減少・北極地方の寒冷化促進——極氷の増加・寒冷化の加速

この仮説を量的に証明するためには、北極圏における熱収支と大循環との相互関連を明らかにすることが、第一歩である。

6. 環境の変化と日本の気候*

山 本 武 夫**

6.1. はじめに

地域の工業化都市化の進行とともに、気象観測値が局地的影響を受けることは、都市気候の問題として以前から取上げられて来た。しかし、われわれが日本の気候の変動と呼んでいるものは、北半球ないし極東地域の規模で考えられる大気環流の変動が、日本列島の気候に波及しているものを言うので、上記の如き都市膨張の局地的影響とは別個のものである。

最近、急激な工業の発展や人間の都市集中化に伴い、われわれの周囲には、大規模な自然の汚染と破壊が行なわれている。この様な、過去の歴史に無かった程の人間活動の気候への影響は、単に局地的効果にとどまらず、日本列島全体におよび、日本の周辺における大気の流れの様式まである程度変わっているのではないかという危惧の生ずるのは一応当然のことである。以下私はこの様な設問に具体的な事実をもって答えて見たいと思う。

6.2. 日本の気候と極東季節風

日本の気候は極東季節風の影響下にある。従ってその変動もまた極東季節風の盛衰に従う。西南日本の冬季の気温は、シベリア大陸からの寒気の侵入に左右され、東北日本の夏季気温は北太平洋高気圧の張出しをめぐる亜熱帯気団の移流に反応する。冬季の季節風の強度の示数として、[Irkutsk—根室]の気圧差、夏季の季節風の強度の示数として[銚子—旭川]の気圧差をとれば、夫々が各地の冬季気温、夏季気温によく関係することは第1表に示す如くである。但し Irkutsk の気圧については、資料の関係で、1950年以前は station level の値、1951年以後は sea level の値を用いざるを得なかったので、冬季の場合は期間が別にしてあるが、全期間を通じて相関々係は、まず安定で最近特に低下したということは認められない。夏季の場合の相関係数の期間による変動は、次節に詳しく述べるが、相関々係は安定で冬夏を通じて、日本の気温と極東季節風の強度の間には、約一世紀の長

第1表 極東季節風の強度と気温の相関

(A) 冬季：1月の Irkutsk—根室の気圧差と1月気温の相関

場所	期間	1886~1950	1951~1970
鹿児島		-0.79	-0.61
長崎		-0.77	-0.62
高知		-0.78	-0.72
境		-0.71	-0.82
和歌山		-0.69	-0.76
伏木		-0.77	-0.71

(B) 夏季：7月の銚子—旭川の気圧差と7月気温の相関

場所	期間	1891~1970	場所	期間	1891~1970
函館		0.77	山形		0.71
青森		0.73	福島		0.77
宮古		0.74	宇都宮		0.71

期間を通じて、密接な関係を保持していると言える。

次に、西南日本の1月の気温、東北日本の7月の気温を夫々第1表に掲げた6地点で代表せしめてそれらの10年平均値の変動を見ると第1図の如く、厳冬(暖冬)期⇔酷暑(冷夏)期と言う逆相関の関係で、ほぼ同型の長期変動をしていることが分る。

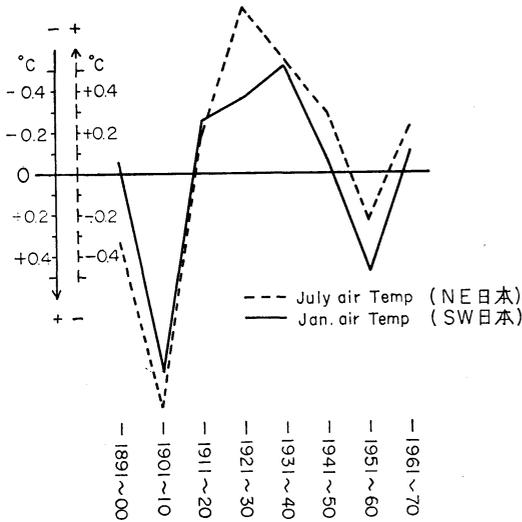
何故このような対応が成立するかと言うことについては、Okhotsk 海の水の影響等を考慮に入れこの詳論を必要とするのであるが、今回は課題の趣旨に従って、その方面に立入ることを省略することを諒解願いたい。ここで特に強調したいことは、第1表・第1図に見られる如く、従来日本の気候が、極東季節風に関連してもってきた性格は、国土の工業化し、都市が特別に著しかった最近の20年においても、本質的には少しも変わっていないと言うことである。

6.3. 北太平洋高気圧と東北日本の夏季気温

第1図の7月気温の長期変動を見ると、過去80年は

* Some Considerations about the Environmental Influence on the Climate of Japan.

** T. Yamamoto. 山口大学



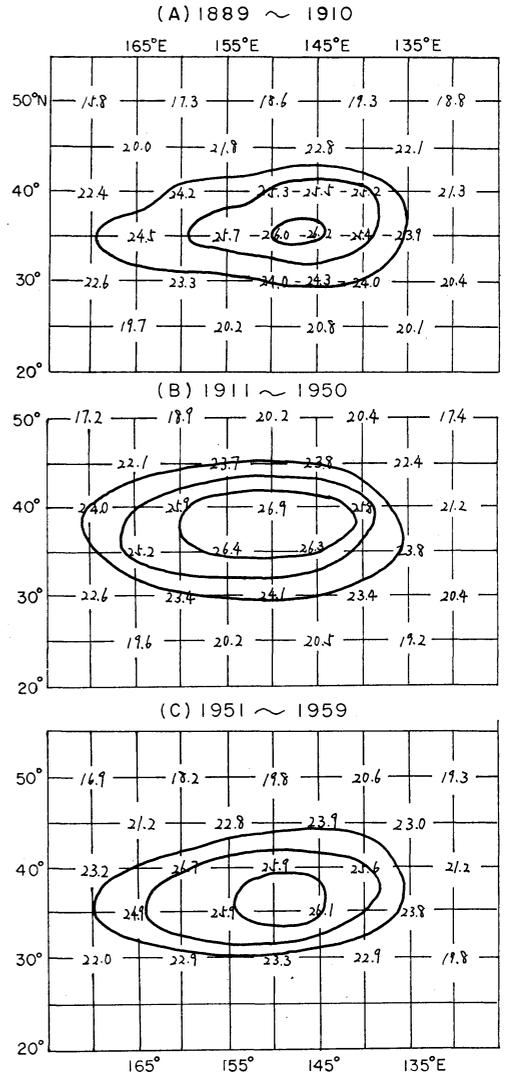
第1図 東北日本**の7月気温の10年平均値の変動
西南日本**の1月気温

* 函館, 宮古, 青森, 福島, 宇都宮, 山形
** 鹿児島, 長崎, 高知, 境, 和歌山, 伏木

(ii) 1911~1950年 (n=40) の酷暑期とその前後の
(i) 1891~1910年 (n=20), (iii) 1951~1970年 (n=20) の二つの冷夏期に分けて考えるのが妥当の様である。

第2図に (ii) 1911~1950年の酷暑期間を中心に, その前後の冷夏期間についての7月の北太平洋高気圧の中心部の気圧分布図を掲げた。これらは U. S. Weather Bureau から供与された資料のすべてを使って製作したものであるが, 80年の全期間を cover することが出来ないのは遺憾である。しかし, 東北日本の酷暑期が前後の冷夏期に比較して, 北太平洋高気圧の勢力の著しく強い期間に相当していること, その中心示度の位置が, 緯度的には北に, 経度的には西に偏する傾向を持つことは, はっきり伺えるのである。

この様な三つの期間, (i) 冷夏期 (1891~1910年), (ii) 酷暑期 (1911~1950年), (iii) 冷夏期 (1951~1970年) の各々について, 帯状示数 (銚子-旭川の気圧差), 帯状示数と各地の気温との相関係数, 平均気温を第2表に示した。この表を熟覧して戴きたい。北太平洋高気圧が優勢な酷暑期 (1911~1950年) は, 前後の二つの冷夏期 (1891~1910年, および1951~1970年) に比較して, 帯状示数も, 帯状示数と各地気温との相関係数も大で, 日本列島周辺での亜熱帯気団の活動が旺盛な時期であることを示している。そればかりでなく, 相関係数の最大値を示す地域が, 北太平洋高気圧の中心位置の変動に対



第2図 7月の北太平洋高気圧の中心部の気圧分布図
応じて南北に振動していることが分る。

ここで注意すべきことは, (i) 1911~1950年期間から最近の (iii) 1951~1970年期間への推移を見ると, 帯状示数, 相関係数, 相関係数の最大域の緯度, すべての点について, (i) 1891~1910年期間への明瞭な復元の傾向を示していることである。

もしも最近の著しい環境変化のため, 日本の気候が従来のもとの異質化しようとしているのであれば, この様な復元傾向は認められない筈である。このことは, 日本の気候が, まだその本質を損われる程環境変化の影響を

第2表 東北日本の冷夏期，酷暑期の7月の帯状示数，帯状示数と各地気温の相関係数，平均気温

期 間	(i) 1891~1910		(ii) 1911~1950		(iii) 1951~1970	
帯状示数(銚子—旭川気圧差)	0.39mmHg		1.02mmHg		0.75mmHg	
地名	相関係数	平均気温	相関係数	平均気温	相関係数	平均気温
旭 川	0.33	18.9 °C	0.58	20.4 °C	0.45	20.1 °C
札 幌	0.38	18.6	0.60	19.9	0.50	20.1
帯 広	0.56*	17.6*	0.65	18.6	0.52	18.3
寿 都	0.58	18.1	0.65	19.0	0.56	18.6
函 館	0.62	18.4	0.70	19.5	0.57	19.2
青 森	0.66	20.3	0.74	21.1	0.65	20.8
宮 古	0.63	19.6	0.76	20.7	0.70	20.2
山 形	0.65	22.5	0.73	23.5	0.59	23.1
福 島	0.73	22.5	0.78	23.9	0.68	23.6
宇 都 宮	0.74	22.9	0.66	23.9	0.73	23.9
東 京	0.69	23.7	0.64	25.0	0.69	25.1
甲 府	0.61**	24.2**	0.43	25.4	0.65	24.8
12ヶ所平均	0.60	20.6	0.66	21.7	0.61	21.5

[註] *...1892~1910 (n=19) の平均 **...1895~1910 (n=16) の平均

第3表 酷暑期(1911~1950)と冷夏期(1891~1910および1951~1970)の各地の相関係数の差 ($\Delta R_1, \Delta R_2$) 平均気温の差 ($\Delta \theta_1, \Delta \theta_2$), (iii)-(ii) の平均気温差の計算値 ($\Delta \theta_2'$), 観測値と計算値の差 ($\Delta \theta_2 - \Delta \theta_2'$).

期 間	(ii) 1911~1950— (iii) 1891~1910		(iii) 1951~1970—(ii) 1911~1950			
地名	ΔR_1	$\Delta \theta_1$	ΔR_2	$\Delta \theta_2$	$\Delta \theta_2'$	$\Delta \theta_2 - \Delta \theta_2'$
旭 川	+0.25	+1.5 °C	-0.13	-0.3 °C	-0.6 °C	+0.3 °C
札 幌	+0.22	+1.3	-0.10	+0.2	-0.6	+0.8
帯 広	+0.09	+1.0	-0.13	-0.3	-0.4	+0.1
寿 都	+0.07	+0.9	-0.09	-0.4	-0.4	0.0
函 館	+0.08	+1.1	-0.13	-0.3	-0.5	+0.2
青 森	+0.08	+0.8	-0.09	-0.3	-0.3	0.0
宮 古	+0.13	+1.1	-0.06	-0.5	-0.5	0.0
山 形	+0.08	+1.0	-0.14	-0.4	-0.4	0.0
福 島	+0.05	+1.4	-0.10	-0.3	-0.6	+0.3
宇 都 宮	-0.08	+1.0	+0.07	-0.3	-0.4	+0.1
東 京	-0.05	+1.3	+0.05	+0.1	-0.6	+0.7
甲 府	-0.18	+1.2	+0.22	-0.4	-0.4	0.0

蒙っていない健全性を喜ぶと同時に，これから将来が冷夏期間への復帰傾向を持ち，冷害多発期間に当面しているという意味で，大いに憂うべきことでもある。

6.4. 環境変化の影響

前節で，7月の東北日本の気温の変動から考えて，日

本の気候はなおその健康性を喪失していないと述べたが，これから，その程度を定量的に検討して見たい。

6.2 で述べた如く，過去80年の東北日本の7月気温は〔銚子—旭川〕の気圧差によく相関するのであるから，もし環境変化の影響が皆無であれば，各地の7月気温の

(i) 期間から (ii) 期間への上昇量に帯状示数の変化量の比から得られる係数を乗ずることにより、(ii) 期間から (iii) 期間への気温の降下量を計算することが出来るはずである。(i)(ii)(iii) 期間の帯状示数は、それぞれ 0.39 mmHg, 1.02mmHg, 0.75mmHg, であるから、乗ずべき係数は、

$$k = \frac{1.02 - 0.75}{1.02 - 0.39} = \frac{0.27}{0.63} = 0.43$$

である*。第3表に(i)から(ii)および(ii)から(iii)への各地の相関係数や平均気温の変化量と、(ii)から(iii)への気温の変化量とその計算値の比較を掲げた。

第3表を見ると、(ii)の酷暑期間から(iii)の冷涼期間に移る際、相関係数が北で減少し、南で増加していること、すなわち相関係数の最大域が南下していること、全体として各地の気温が降下していることが分る。気温の全般的降下にもかかわらず、札幌と東京のみ上昇しているのは、その周辺で、特別に顕著な環境変化が行なわれていることを示唆するものである。この例外的地点を除く、10地点について言えば、観測された温度変化と計算値の差は、0.0°C 5カ所、01°C 2カ所、0.2°C 1カ所、

第4表 7日気温差：札幌—寿都、東京—筑波山・10年平均値の推移

期間 \ 場所	札幌—寿都		東京—筑波山	
1891—1900	0.40°C	-0.52°C		
1901—1910	0.57	-0.35	4.64°C ^δ	-0.49°C
1911—1920	0.62	-0.30	4.74	-0.39
1921—1930	0.76	-0.16	4.91	-0.22
1931—1940	1.76	+0.13	5.27	+0.14
1941—1950	1.14	+0.22	5.36	+0.23
1951—1960	1.36	+0.44	5.50	+0.37
1961—1970	1.46	+0.54	5.51	+0.38
全期間の平均	0.92°C		5.13°C	

[註] δ……1902—1910(n=9)の平均

*)帯広の場合は $k = \frac{1.02 - 0.75}{1.02 - 0.38} = 0.42$

甲府の場合は $k = \frac{1.02 - 0.75}{1.02 - 0.24} = 0.35$

0.3°C 2カ所である。0.3°Cの福島・旭川を除けば、観測値は計算値にはほぼ一致していると言える。すなわち関東以北の北日本全域について言えば、工業化、都市化の影響は著しいものとは言えない。

第4表に示す如く、札幌と寿都、東京と筑波山の月気温の差の10年平均値は、明治以来増大をつづけている。その増大率は、両者とも+0.16°C/10年である。

ただし、札幌と寿都の気温差は、80年間にほぼ直線的に増大しているが、東京と筑波山の差は最近飽和値に達している様である。周辺との気温差の増大率 0.16°C/10年をその都市の都市膨張による気温率と考えれば(ii)期間の中心から(iii)期間の中心への30年分の上昇量は

$$0.16 \times 3 = 0.48 = 0.5^\circ\text{C}$$

となり、第3表における、札幌と東京の場合の観測値と計算値の差+0.8°C、+0.7°Cを説明するのに不足である。この理由は、第4表の札幌の例でも分るように、この二地点の都市化の影響は(i)期間から(ii)期間への推移の場合に既に始まっていたと考えるべきで、第3表の札幌や東京のΔθ₁の帯状示数に比例すべき部分は、周辺の寿都や宇都宮の値、0.9°C、1.0°C程度とすべきである。そうすると、Δθ₂は札幌、東京の場合いずれも-0.4°C程度となり、第3表の観測値と計算値の差は、札幌の場合+0.6°C、東京の場合+0.5°Cとなって、第4表の増大率 0.16°C/10年でほぼ説明出来ることになる。

6.5. むすび

わが国土における近年の大規模な自然の汚染や破壊の進行にもかかわらず、最近の日本の気候は、極東季節風に関する本来の性質を変えていない。関東以北の北日本の7月気温について言えば、工業化や都市化の影響は、京浜地帯や札幌の周辺でこそ著しくあらわれているが、全体から見れば、なお局地的影響にとどまり、全地域の現状としては、それ程大きいものとは考えられない。このことは自然の汚染や破壊がこの上とめどもなく行なわれていいなどと言うのでは決してないが、大陸と海洋の間に介在する日本列島が享受する自然の清掃作用の大きさも充分考慮されてよく、過大な危惧をすべきでない。

最近の著しい人間活動の影響が、地球上の大気環流の様相に、どの程度の影響を与えているかは、全球的規模で調査すべき課題である。極東季節風は大気環流の一環であるから、その様な影響は、当然、日本の気候にあらわれるが、その場合も、直接にはなく、極東季節風の変動をとおしてわれわれに与えられるであろうと言うのが本稿の結語である。

7. 雪溪の消長に関係ある気候因子の変動

樋 口 敬 二*

7.1. ま え が き

最近、北半球における気候の寒冷化が問題になっているが(たとえば、Budyko, 1970), その反映の一つとして、後退していた氷河が前進に転じた例(Denton and Porter, 1970)や、氷河の質量収支が、マイナスからプラスに転じた例(Schytt, 1965; 1966; 1968)などが、報告されている。

このように、氷河の変動は、気候変動の指標の一つと考えられるが、日本において、これに対応するのが、雪溪の消長である。そこで、これに関係する気候要素の変動について、調べてみた。

7.2. 雪溪の消長に関する気候要素

雪溪および残雪の変動は、氷河と同じように蓄積と消耗のバランスに依存している。すなわち、冬期降雪量の変動と夏期の融雪量の変動の組合せによって、越年する雪溪の大きさや残雪の継続期間の変動がおこる。

このうち、融雪量は、主として、日射、空気からの熱伝達、雪面凝結に伴う潜熱などの熱収支に依存しているが、第一近似としては、プラス気温の積算値に比例するとみてよい(樋口, 1956)。そこで、北アルプスおよび富士山の資料を調べた結果、雪溪および残雪の変動は、冬期降雪量の変動と融雪期の気温の変動に依存していることがわかった(樋口, 1968; 1970)。

7.3. 冬期降雪量と夏期気温の変動の特性と傾向

雪溪の変動は、冬期降雪量と融雪期にあたる夏期の気温の変動によって支配されるので、これらの気候要素の変動が、どのような組合せで起こっているか、また、変動の傾向は、どうなっているか、北アルプス一帯について調べた。

冬期降雪量としては、黒部川中流にある関西電力の小屋平(海拔高度536m)における観測資料をもちい、11月から4月までの各月について、月降水量の平年値からの偏差(ΔP)をもとめ、これを合計した $\sum\Delta P$ を、冬期降雪

量の変動とした。この場合、平年値として、1941年から1963年までの平均値をとっている(福田, 津林, 1966)。

つぎに、夏期気温の変動としては、北アルプス一帯にわたる傾向をみるために、「気象要覧」に載せられている月平均気温の平年偏差図からこの地方の6月、7月、8月の偏差($\Delta\theta$)をよみとり、その合計 $\sum\Delta\theta$ を、その年の夏期気温の変動とした。

そこで、小屋平の観測資料のある1938年から1970年までの期間について、 $\sum\Delta P$ と $\sum\Delta\theta$ とが、どのような組合せで起こっているかを調べた。その結果の図示は、省略するが、表にまとめたのが、第1表である。

第1表 冬期降雪量の変動($\sum\Delta P$)と夏期気温の変動($\sum\Delta\theta$)との組合せ(1938~1970)

$\sum\Delta P$ (mm)	$\sum\Delta\theta$ (°C)	年 数	小 計
+	+	5	17
+	-	10	
+	0	2	
-	+	9	16
-	-	5	
-	0	2	

この表によってわかるとおり、 $\sum\Delta P$ と $\sum\Delta\theta$ とが、逆符号の組合せが多く、それが雪溪の変動を起こし易い組合せなのである。すなわち、冬期降雪量が多く、夏期気温が低目で融雪量が少いという多雪冷夏の組合せは、雪溪が拡大する気候条件であり、また、冬期降雪量が少く、夏期気温が高目で融雪量が多いという少雪暑夏の組合せは、雪溪が縮小する気候条件である。このような、雪溪の拡大や縮小が起こり易い気候条件の頻度が大きいことは、雪溪の変動がはげしいことを意味しており、逆をいえば、雪溪は、気候の変動に敏感な指標といえよう。

では、このような気候要素の変動の組合せは、どんな時間的变化を示しているか、といえ、これも、雪溪の拡大や縮小が起こり易いように変化している。すなわち、多雪冷夏という拡大条件の年と、少雪暑夏という縮

* Climatic Variation related to the Mass Balance of Perennial Snow Patches.

** K. Higuchi 名古屋大学理学部水質科学研究施設

小条件の年とが、交互に起こって、その効果を打消し合うのではなく、拡大条件の年がしばらく続くと、つぎに、縮小条件の年がつづくといった具合で、雪渓の拡大期、縮小期といったような期間があるのである(樋口, 1968; 1969)。

つぎに、これらの気候要素の変動は、長期的にどんな傾向にあるか、を調べてみると、その結果の図示は省略するが、朝倉(1970)が指摘したように、1950年以降の冷夏の頻発が目立っている。さきに定義した $\sum \Delta \theta$ によって、その傾向をまとめてみると、第2表のようになり、暑夏と冷夏の比が、1950年を境にして、ちょうど逆転している。ここで、統計のはじまりを、1933年にとったのは、この年から、「気象要覧」に月平均気温の年平均偏差図が掲載されはじめたからである。

第2表 夏期気温の変動 ($\sum \Delta \theta$) の長期的傾向 (1933~1970)

期間	$\sum \Delta \theta$	プラスの年数	マイナスの年数	0の年数	小計
1933~1950		12	4	2	18
1951~1970		5	12	3	20

一方、冬期降雪量の傾向を、観測開始以来まとめてみると、第3表のとおりで、夏期気温ほど顕著な傾向はみられないが、それでも、1950年以降は、多雪の年が多い。

第3表 冬期降雪量の変動 ($\sum \Delta P$) の長期的傾向 (1938~1970)

期間	$\sum \Delta P$	プラスの年数	マイナスの年数	0の年数	小計
1938~1950		6	7	0	13
1951~1970		12	8	0	20

このような気候要素の変動の長期的傾向からみれば、現在、雪渓は長期的にみると拡大期にあると考えられる。筆者の研究室では、1967年から、立山の剣沢にある「はまぐり雪」とよばれる小雪渓の質量収支を調査する(樋口ほか, 1970)とともに、1968年から、北アルプス一帯の雪渓分布の調査を、空中写真撮影によって実施している(樋口, 五百沢, 1970; Higuchi and Iozawa, 1971)ので、上に述べたような気候要素と雪渓の変動との関係について、今後、さらに多くの資料が得られ、変動の機構が明らかになってゆくと、思われる。

文 献

1) 朝倉正, 1970: 日本の気候変動と大気熱冷源の

研究(Ⅲ)—北極地方の寒冷化と最近の日本の天候一, 気象研究ノート, 第105号, 301-319.

2) Budyko, M. I., 1969: The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth, Tellus, XXI, 611-619.

3) Denton, G. H. and Poter, S. C. 1970: Neoglaciation, Scientific American, June, 101-110.

4) 福田喜代志, 津林喜尚, 1966: 黒部川の水文気象調査, “黒部川” 富山大学学術調査団, 古今書院, 25-59.

5) 樋口敬二, 1956: 荒川流域の融雪水量調査及び流出調査, “八甲田十和田湖周辺地域の水資源”, 菅谷水資源研究所報告, 16-32.

6) 樋口敬二, 1968: 雪渓の消長と夏期気温の変動, 気象研究ノート, 第97号, 286-290.

7) Higuchi, K. 1969: On the possibility of artificial control of the water balance of perennial ice, Symposium on the Hydrology of Glaciers, September 7-13, 1969. Cambridge, England.

8) 樋口敬二, 渡辺興亜, 牛木久雄, 奥平文雄, 上田豊, 1970: 剣沢における多年性雪渓の研究(I), 雪氷, 32, No. 6, 130-146.

9) 樋口敬二, 五百沢智也, 1970: 空中写真による北アルプス雪渓調査, “気候変化の水収支に及ぼす影響”, 文部省科学研究費研究業績報告, 117-145.

10) 樋口敬二, 1970: 富士山における残雪の変動について, 気象研究ノート, 第105号, 359-363.

11) Higuchi, K. and Iozawa, T., 1971: “Atlas of Perennial Snow Patches in Central Japan,” Water Research Laboratory, Nagoya University, 1-54.

12) Schytt, V., 1965: Notes on glaciological activities in Kebnekaise, Sweden during 1964, Geografiska Annaler 47, Ser. A, 1965-1, 65-71.

13) Schytt, V., 1966: Notes on glaciological activities in Kebnekaise, Sweden-1965, loc. cit, 48, Ser. A, 1966-1, 43-50.

14) Schytt, V., 1968: Notes on glaciological act-

ivities in Kebnekaise, Sweden during 1966 and

1967, loc cit, 50, Ser, A, 1968-2, 111-120.

8. 気温と湿度の経年変化にあらわれた都市発展の影響*

荒川 秀俊

筆者は、さきに大都市における気温と湿度の経年変化を論じて、都市における気温と湿度と経年変化にきわめて特徴のある変動のみられることを指摘した。(荒川1969, 荒川ら1970) すなわち、東京などの日本の代表的な大都市での気温は、一般に年とともに上昇する傾向があるが、戦時中にかぎって気温は逆に低下している。また湿度は、一般に年とともに低下しているけれども、戦時中にかぎって逆に湿度は増加している。この不思議な現象は、気温においては都市における大気汚染と関連があり、湿度においては都市での低湿地理立てや下水の整備などと関連しているものごとくである。そういう推定が正しいとすれば、比較的都市化のいちじるしくない地方の気象観測所において得られた気温と湿度の観測資料を用いて、同じ取扱いをすれば、気温や湿度の経年変化は、かなり異なった様相をしめすであろうと考えられる。私は、この線に沿って、以下の議論をすすめてみたい。

前の論文(荒川ら1970)では、日本の大都市として、仮りに札幌・仙台・東京・名古屋・京都・大阪・鹿児島 の7か所の観測資料を使って解析した。この7か所での気象観測は、戦時中(1941~1945年とする)の前後、かなりの期間にわたって、観測点が移動せず exposure が略々同じであったと思われるので選択したものである。永年観測のような微細な変動を論ずるには、観測点の exposure に特別な留意を払わなければならない。

今度は根室・網走・寿都・帯広・盛岡・石巻・伏木・長野・高田・水戸・彦根・多度津・境・下関・熊本の15か所の気象観測を選んである。これらの地点は、気象庁観測部の片桐勝男氏に選んでもらったもので、やはり戦時中の前後、すなわち戦前・戦後にわたって、計器の exposure が余り変化しなかったと考えられるものである。15か所の温度と湿度の値は、第1表に示したような

期間を使用してある。(ただし根室の気温は1880~1968年、湿度は1889~1968年の分を用いてある)

気温は年平均気温・日最高気温の年平均・日最低気温の年平均について解析し、湿度は年平均湿度のみを解析した。いま1時間の単位を年とし、時間の原点を期間の中央にえらび、気温および湿度の逐年変化を最小自乗法によって、一次式 $a + bt$ で表現してみる。戦前、戦中および戦後の三期にわかって、気温および湿度の逐年変化の傾向を第1図のように太線であらわしてみた。第1表には、前のような解析で得られた b の値(単位は $^{\circ}\text{C}/\text{年}$ もしくは $\%/ \text{年}$) を表示してある。

第1表を見ればわかるように、日本の地方都市(大都市とは言いがたい)でも、気温は一般に年とともに僅かながら上昇する傾向はあるが、戦時中は逆に低温になったし、湿度は一般に年とともに僅かながら乾燥化する傾向があるが、戦時中は逆に湿潤化の一途をたどった。しかし細かく見ると、都市化の特徴と見られる都市気温の上昇は顕著ではない。とくに戦前における気温の b の値は、ほとんど $0.00(^{\circ}\text{C}/\text{年})$ に近く、小数点以下三位まで求めると、(それだけの精度があるとは言えまいが)負になるところもかなりある。戦後における気温の b の値は、都市化が急に進んでいるためか、 $+0.02(^{\circ}\text{C}/\text{年})$ 以上になったところもあるが、境の最高気温のように、 $-0.06^{\circ}\text{C}/\text{年}$ となっているところもある。これによると、地方小都市における都市化の影響は余り顕著でなく、都市気温が年々上昇しているとは言いがたい。

気温の方は、まだ規則性が見られるが、小都市での湿年の永年変化は規則性があるとは言いがたい。

第1表によると、湿度の b (単位は $\%/ \text{年}$) の値は、戦前も戦後も概して負であるところが多いのであるが、ところによっては正であるのも決して少くない。一般に都市化が急に進むと、乾燥化してきて b が負になる筈であるが、戦前で $1/3$ 程度(網走・盛岡・伏木・長野・彦根の5か所)、戦後でも根室や盛岡では乾燥化の傾向は見られないのである。

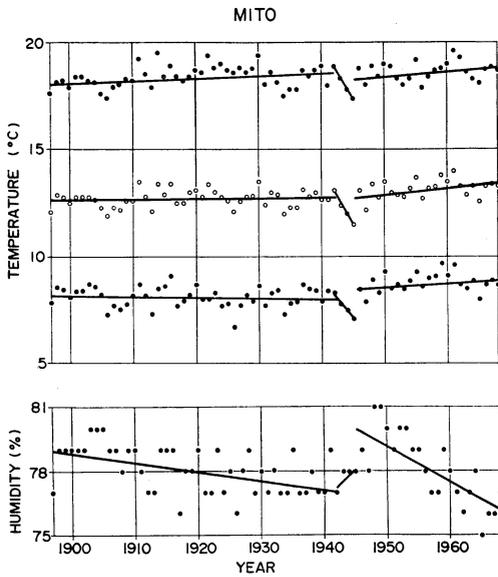
* Secular Change of Air Temperature and Humidity in Some Suburb Localities.

** H. Arakawa, 東海大学理学部

第1表 15地点における気温と湿度の永年変化(係数bの表)

	統計年数	平均気温		最高気温		最低気温		湿度					
		戦前	戦中	戦後	戦前	戦中	戦後	戦前	戦中	戦後			
根室	1880—1968	0.00	-0.31	+0.01	0.00	-0.26	+0.06	+0.01	-0.27	+0.02	0.00	+0.04	+0.01
網走	1889—1968	+0.01	-0.20	+0.01	+0.01	-0.24	0.00	+0.02	-0.16	+0.02	+0.02	+0.70	-0.15
赤松	1891—1968	0.00	-0.26	+0.01	0.00	-0.37	+0.01	0.00	-0.30	+0.04	0.00	+1.80	-0.14
帯広	1889—1968	+0.01	-0.28	+0.04	-0.02	-0.44	0.00	0.00	-0.29	+0.08	-0.06	+0.30	-0.18
盛岡	1916—1968	+0.01	-0.40	+0.03	+0.02	-0.54	+0.01	+0.02	-0.25	+0.04	+0.05	+0.40	+0.02
石巻	1924—1968	0.00	-0.56	+0.03	+0.01	-0.70	+0.02	0.00	-0.35	+0.02	-0.02	+1.06	-0.04
伏木	1888—1968	+0.01	-0.38	+0.01	+0.03	-0.56	+0.06	0.00	-0.26	+0.04	+0.01	+2.00	-0.29
長野	1910—1968	0.00	-0.04	+0.03	+0.03	-0.54	+0.02	+0.01	-0.18	+0.04	+0.08	+0.40	-0.14
高田	1918—1968	+0.01	-0.32	+0.02	+0.02	-0.41	+0.02	+0.01	-0.14	+0.03	-0.14	+1.30	-0.13
戸根	1923—1968	0.00	-0.52	+0.03	+0.01	-0.50	+0.02	0.00	-0.39	+0.03	-0.04	+0.30	-0.17
彦根	1897—1968	0.00	-0.33	+0.02	+0.01	-0.49	+0.02	0.00	-0.21	+0.02	+0.02	+0.60	-0.11
多度津	1894—1968	0.00	-0.17	+0.02	+0.01	-0.32	+0.01	0.00	-0.04	+0.01	-0.02	+0.20	-0.12
境	1893—1968	+0.01	-0.18	+0.02	+0.03	-0.37	-0.06	+0.01	-0.28	+0.03	-0.18	+0.40	-0.09
下関	1900—1968	0.00	-0.13	+0.02	0.00	-0.13	+0.02	0.00	-0.11	+0.02	-0.06	+0.20	-0.07
熊本	1886—1968	0.00	-0.08	+0.03	+0.02	-0.14	+0.01	+0.01	-0.10	+0.03	-0.09	+0.30	-0.18

(この表の計算にはお茶の水女子大学の瀬尾由紀藤の助力を得た)



第1図 水戸の日最高気温・平均気温・日最低気温の経年変化(上段)と湿度の経年変化(下段)

第1図には、日本の中小都市の代表として水戸を挙げてみた。

戦時中、中小都市でも気温が急に低下し、湿度が急に上昇している。したがって、戦時中の気温の低下と湿度の上昇は、大戦中、(1)工業活動が低下し、市民生活が沈静したためもあるが、(2)日本付近の大規模な大気活動の異常もあったものと推定せざるを得ない。

引用文献

- 1) 荒川秀俊, 1969: 東京の都市化と湿度・温度のvari, 天気第16巻第1号.
- 2) 荒川秀俊・片桐勝男・常岡好枝・貝山久子・吉見則子, 1970: 日本の大都市における気温と湿度の経年変化, 天気第17巻第5号.

9. 気 候 の 人 工 制 御*

小 元 敬 男**

気候の人工制御の分野のうち、large-scaleの問題を取り上げてみた。人工制御は、天災の防止とか環境改良を目的として故意におこなう人工変換と、不注意による人工変換の制御の二つの問題に分けて考えられる。

前者については幾つかの提案があったが、気候変動論の現在の水準からいって、変換後の予測が困難である。生態系に与える影響も大きいだろうし、国際問題など、気象学以外にも数多くの難問を抱えている。こうした事情から、最近の海外の気象学界では、こういったアプローチに対しては、悲観的というよりもむしろ批判的な空気が強まってきた。

不注意による環境汚染が原因となる気候変換は、様々な形であらわれており、更に新しい型の出現も予想されている。汚染の進行を食い止めなければならない。汚染物質の排出規制の提案に際しては、納得のゆく証拠の提

出が求められるであろう。気象学者は、どんな気候変化が起こるかということも問われるであろう。

たとえばSSTによる成層圏の汚染は明らかである。飛行回数の制限、あるいは禁止が唱えられているが、あまり効果をあげていないようだ¹⁾。やはり、成層圏汚染による気候変化を具体的に示す必要がある。

現在、気候の人工変換の研究で行なわれていることは、観測による変化の事実の確認、および数値モデルによる変換のメカニズムの解明とその予測である。前者については朝倉、根本、川村の3氏によって報告され、数値実験によるアプローチは片山氏によって具体的に説明された。

1) シンポジウム終了後の新聞によると、米国上院ではSSTの飛行禁止の案を通過させたが、Nixon大統領は、多数の失業者がでるといふなどの理由で、政府のSST製造計画援助の続行の必要性を訴えた。

* Artificial Control of Climate

** Y. Omoto 国立防災科学技術センター

この方面の研究にほとんどタッチしていない筆者は前記諸氏の報告に加えるべきものを持ちあわせていないが、少し私見を述べてみたい。気候変動のメカニズムの解明が困難な現状においては、当然、大規模な人工変換の予報は極めて難しい。この方面の理論的な研究は、(1) 或る仮想的な「きっかけ」を与え、その後起こりそうな変化を順次にたどってゆくやり方、(2) 数多くの因子を入れた数値モデルによる実験の二つのアプローチに分けられると思う。現段階では両者共に、完全なものにはほど遠いが、各々の長所を生かして、正しい解答に近づいてゆくことになるであろう。

大気と海洋の汚染の広域化、それに伴う気候変化に対する警告が盛んに発せられている。これは社会の関心と認識を高めるために重要なことである。だが、証拠になる観測事実は僅かで、予想は推論に過ぎない。我が国におけるこの分野の研究の現状をみると、今回の話題提供者の数からも知られるように、前者については数多くの熱心な研究者が着々と成果を挙げている。しかし、数値シミュレーションによる気候変換の予測の研究は、多くの勝れた研究者を生みながら、流出して米国で活躍している研究者の成果に期待するところがおおい。研究環境の改善によるこの状態からの脱却が望まれる。

〔新刊紹介〕

R. A. R. Triker, "Introduction to Meteorological Optics",

American Elsevier 285 p. \$11. 50 u. s (1971)

気象光学と称せられる諸現象——虹、環、暈などをはじめとして視程の問題に至る大気中の光学的諸現象は、その発生の珍らしさ、美しさによって万人の目を惹き、前世紀の多くの物理学者によってその説明が試みられて来たのであるが、物理学者の興味はその後、原子物理学に始まる近代物理学へと移り変わりこれ等の諸現象の問題は不完全さを残したまま過去のものとして置き去りにされて了った。気象学の中においても特異な大気状態に対応して発生するこれ等の光学的現象は実用面ではその価値は認められていないのであるが、しかし、光学的現象は大気中において常に種々の様相で生じていることを忘れてはならない。これは気象放射として扱われるものの一部をなすものであるが、気象学の他の分野との関連を求めて今日多くの研究が進められている。大気中の光の散乱の問題がそれである。気象光学を学ぶ際にこのことを念頭に入れなければ現代の気象学の一分野としての意味はないように思われる。

さて、この書に述べられている内容は、虹をはじめと

する特異現象が主体であって、これまでの諸説の不足を補うことを目的の一つとして書かれているのであるが、それと同時に入門書としての役割を果たすことが大きな目的となっている。種々の特異現象を example として光学の基礎概念が得られるよう丁寧に書かれている。そして最後の3章に Rayleigh 散乱, Mie 散乱の理論とその応用としての視種の理論が述べられている。ある程度の基礎知識を仮定して書かれているが、数学的取扱については Appendix として補充されており、先ずは平易な教科書と言うことが出来よう。

気象光学に興味を持ってこの書を読まれた読者が単に興味の満足に止まらず気象学における光学の意味を知ることが出来たならば一口に言えば、Mie の散乱理論に魅力を感じたとすればこの書は十二分にその価値を示したものと言える。気象放射学へ導く一つのルートとしてこの書はその価値を持っているものと考えられる。

(村井 潔三)