

—夏季大学講座内容③—

気 候 変 動

北海道大学理学部地球物理学科教授 菊地 勝 弘

1. はじめに

今日まで、地球環境問題という文字や言葉が、これほどまでにマスコミに登場したことがあったであろうか。もちろん環境という言葉が、今急に注目された訳ではない。

1972年にスウェーデンのストックホルムで国連人間環境会議が開かれ、それを契機に環境問題が世界的に注目されるようになった。特にわが国では、高度経済成長のひずみで、多様な公害問題が多発し、環境問題イコール公害問題のように考えられ、大気環境といえ、工業都市や工場地帯の大気汚染そのもののように考えられてきた。近年になって、大気汚染を含む種々の公害問題が沈静化の傾向をたどり、いわゆる環境問題に対する注目度は、いくつかの至近な問題を除いて最早、問題として取り上げるべきことはなくなったかの感がない訳でもなかった。

そんな時に、降って湧いてきたのが地球環境問題といえよう。地球環境とは、換言すれば「環境問題の地球化」、つまり「地球的(グローバル)な視野に立って環境問題を注視し、取り組まなければならない問題」ということになろう。先に述べたように、従来の環境問題が一都市、一地域、一国の環境問題として見つめ、取り扱ってきた対象が、今やその影響や被害が、一国内にとどまらず、複数の国、結果として全地球的な問題となってきたということである。

しかし、地球環境問題が、従来の一地域、一国の環境問題とまったく別の機構や、新たに発生した問題でもなく、これまで沈静化されだと思って

いた一地域、一国の環境問題が、ここに来て、気に形を変え、姿を変えて、更にスケールを大きくして、私達の前に現れるようになったと解釈すべきであろう。

したがって、現在の地球環境問題は、これまで人間が行ってきた積年のつけが、形を変え、姿を変えて現れたものと理解すべきです。

2. いろいろな地球環境問題

現在、「地球環境問題」と一括されているグローバル・スケールの現象として、どのようなものがあるだろうか。よくマスコミに登場してくる具体例をあげてみると、

- (1) 異常気象・気候変動、
- (2) 地球大気の温暖化、
- (3) オゾン層の破壊(オゾンホール)、
- (4) 酸性雨、
- (5) エルニーニョ現象、
- (6) 熱帯雨林の減少、
- (7) 砂漠化、
- (8) 野生生物種の減少、
- (9) 海洋汚染 等がある。

これらの内、特に気象学の分野と関係の深いものが(1)~(5)であり、これらはまた単独の現象というよりむしろ、複数の現象が相互に関係し合っているのが特徴である。これらの気象学と関係の深い環境問題を、もう少し詳しく現象を含め原因について簡単に紹介しておこう。

(1) 異常気象・気候変動

「異常気象」とは、一般に過去に経験した気候状態から大きく外れた気象現象をいう。したがって、台風や低気圧に伴う短期的、局所的な激しい現象のほか、長雨、干ばつ、低温、日照不足のような長期的、広域的で緩慢な現象も含まれる。しかし、気候状態は変動するのがむしろ自然であり、何が「異常」で、何が「正常」かの判断は難しい。異常気象は、社会的影響と不可分のものであり、比較的頻繁に起こる現象であっても、災害を伴えば、異常気象と呼ばれる場合もあり、「異常」の判断には主観的要素も多い。

異常気象や気候変動をひき起こす要因として自然的要因と人為的要因に分けて考えることができる。

「自然的要因」

- a. 偏西風波動の変化
- b. 海洋変動
- c. 雪水面積の変化
- d. 火山噴火

「人為的要因」

- a. 二酸化炭素等温室効果気体の増加
- b. 森林破壊と砂漠化

(2) 地球大気の温暖化

大気の温室効果の約90%は水蒸気、雲および二酸化炭素の作用によると考えられている。しかし、水蒸気や雲は自然現象に伴うものであり、ここでは特に考慮しない。したがって、人間活動に伴って放出される二酸化炭素が、気候に影響を及ぼす可能性のある最も重要な大気微量成分として注目されている。

二酸化炭素の増加が気候にどのような影響を及ぼすかは、種々の大気・海洋混合層モデルをつかって地表気温の上昇量や降水増加率などが見積もられている。しかし、現在行われているモデル計算では、例えば、雲、海水、海流、陸地表面の水循環等が非常に単純化されているので、モデルをより現実に近いものとするのが急務である。

(3) オゾン層の破壊(オゾンホール)

オゾンは太陽からの紫外線による光化学反応によって生成され、地上20~30kmの高度を中心に存在し、成層圏の熱源として、また、地上の生物を有害な紫外線から守るという重要な役割を果たしている。ところが最近、フロンガスが成層圏で光分解して塩素酸化物をつくり、それがオゾンを減少させるとして、にわかに注目されてきた。フロンはまた、大気の窓領域に吸収帯を持っていて赤外線を吸収するので、その増加は二酸化炭素と同様に大気の温暖化にも影響を与えている。

(4) 酸性雨

1970年代から、ヨーロッパで雨水や湖沼の水が酸性化し、湖の魚や森林に被害が出て注目され始めた。酸性雨の発生機構もまだ完全に解明されてはいないが、化石燃料の燃焼に伴って、硫酸酸化物や窒素酸化物が大気中へ放出され、雲に取り込まれて複雑な化学反応を通して、硫酸イオンや硝酸イオンなどに变化し、強い酸性を示す降雨や乾いた粒子状物質として降下する現象である。

(5) エルニーニョ現象

エルニーニョも、最早知らない人がいない位、よくマスコミに登場する言葉の一つである。エルニーニョとは、スペイン語で「男の子」の意味で、「神の子イエスキリスト」を指している。南米ペルーの沿岸では、毎年クリスマスの頃から春にかけて海面水温が高くなるので、これをクリスマスにちなんでエルニーニョと呼んでいる。

ところが、最近になって、数年に一度、この暖水域が中部赤道太平洋域にまでのび、一年以上も続く大規模な現象が観測から明らかになった。この現象を「エルニーニョ現象」と呼び、エルニーニョとは区別している。このような熱帯域の熱源分布の変化が、降水システムをはじめとする大気循環を変え、気候に大きな影響を与えるのである。

3. 気候変動国際協同研究計画

上にのべたような地球環境問題に対しては、国連総会等で議論され、決議されて国際宣言とか国際条約といった形でマスコミに報道されている。日本では、それぞれの省庁が、緊急な課題の国際的行動計画としてとり上げ、また対処している。

ここでは、これらの地球環境問題の中、気候変動についてももう少し詳しく紹介しよう。気候変動については、世界気象機構(WMO)、国連環境計画(UNEP)や国際学術連合会議(ICSU)によって取り組まれ、世界気候計画(WCP)を策定し推進している(図-1)。この計画は、

- (1) 人間の社会・経済活動の諸分野に役立つよう気候に関連する知識の活用を図ること。
- (2) 人類への重大な影響が懸念されている将来の気候変化についての情報を提供し、政策に役立てるようになること

を全体の目標とする計画で、(a)世界気候資料計画、(b)世界気候利用計画、(c)世界気候影響調査計画、(d)世界気候研究計画の四つの副計画から構成されている。

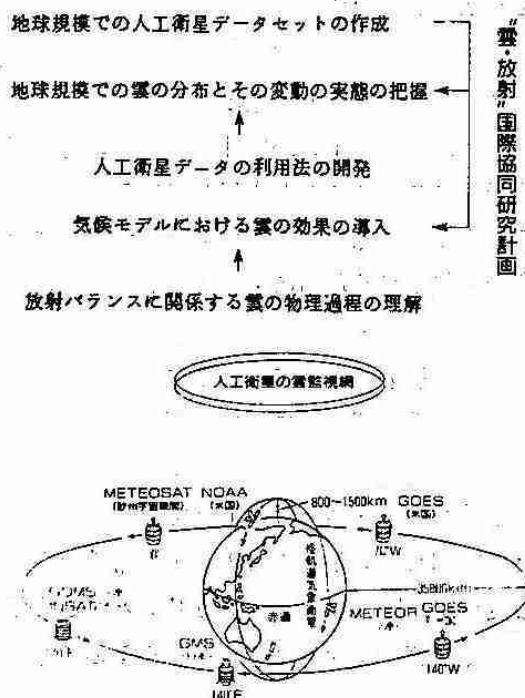


図-1. 「雲・放射」国際協同研究計画

この内、わが国の世界気候研究計画(World Climate Research Program :WCRP)には四本の柱があり、それらは(a)気候の診断、(b)気候のモデリング、(c)気候形成に重要な過程の観測、(d)気候データとその応用、である。私の研究室が具体的に関与しているのは(c)で、「雲の分布とその気候への影響」が研究課題である。特に「雲の形状と氷粒子の放射特性に対する影響の研究」が主となり、いろいろな測定器を搭載した航空機を使って、雲の形状や雲を構成する粒子が放射過程とどのようにかかわっているのか、そして結果として気候を理解するためのモデルにどのような値をつかえばよいのかといった雲の情報を得ることである。地球大気の温暖化だ、気候変動だと騒いでいるが、実際に雲が放射に与える影響がまだはっきりと分かっていないのだと思ったら、「まさかー」といわれるかもしれない。残念ながら、気象学者もまだその程度の情報しか持っていないのである。

4. 北西太平洋域「雲・放射」研究計画

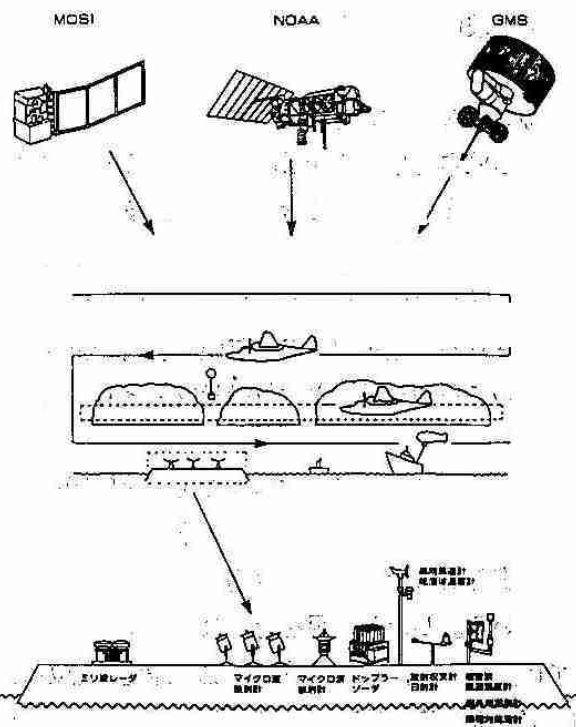


図-2. 日本のWCRPの観測概略図

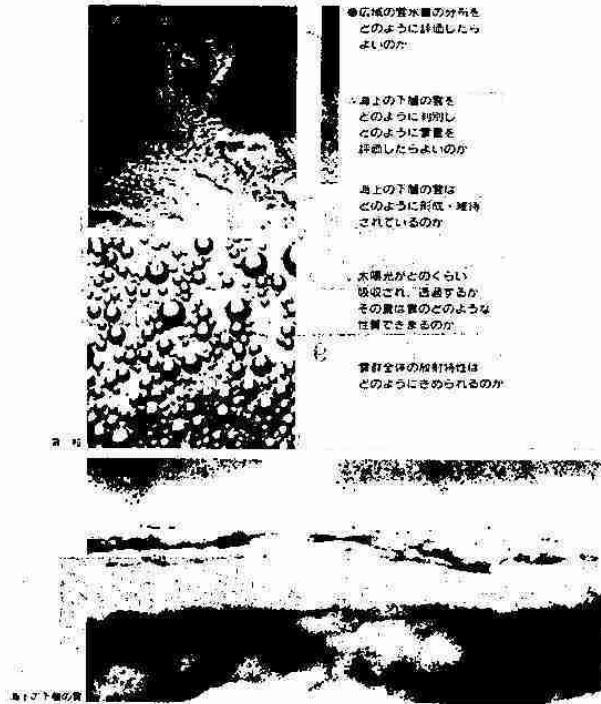


図-3. 水雲観測のねらい

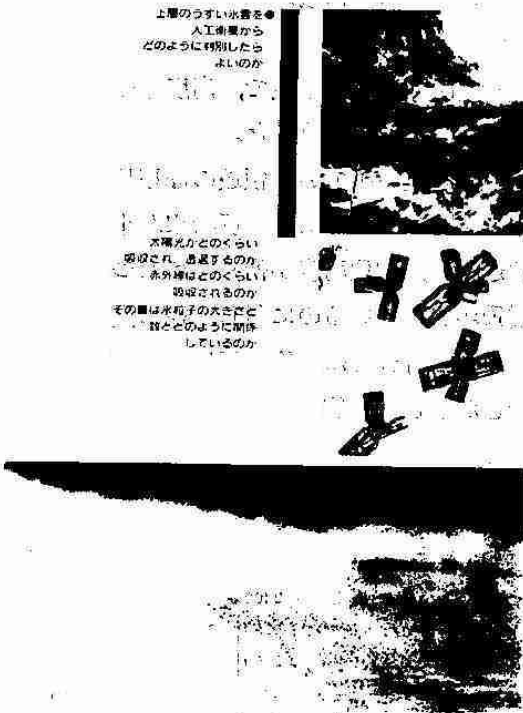


図-4. 氷雲観測のねらい

わが国におけるWCRPの具体的な観測は1989～91年にわたって、北大、東北大、名大等国立六大学に北京大学が共同で奄美大島周辺の海上の層積雲を対象として(図-2)また気象庁気象研究所のグループは1987～90年にわたって八丈島近海で観測を行った。水雲(図-3)と氷雲(図-4)はその降水粒子の形状を含む諸性質の相違から、放射特性が違うので両方の観測が計画されたが、私達の観測は主として水雲を対象に行われた。今回はその内、1990年11月11日若狭湾上、1991年1月14日、18日の奄美大島周辺海上で行われた結果について紹介する。

(1) 測定方法

図-5は観測に使用されたセスナ404タイタンで機体の上、下部に水平面日射計や35ミリモータードライブカメラ等の計器がセットされている。海上の層積雲の雲頂を一定高度、一定速度で直線飛行し、一定時間間隔で連続撮影する。28ミリ広角レンズを使用すると航空機の進行方向の画角は46°、直交する方向には64°である。この観測期間を通して北大は雲頂の微細構造、東北大が放射、名大が雲水量の測定を担当した。

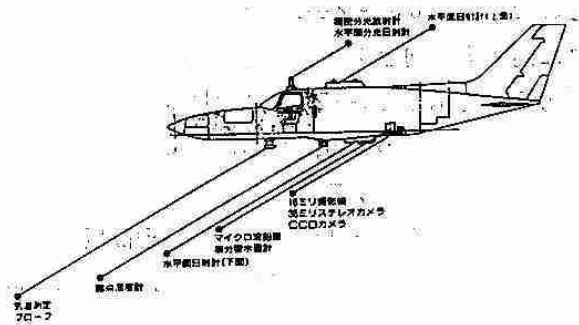


図-5. 測定器搭載の模式図

(2) 解析結果

a. 雲頂高度の水平分布と反射率

図-6の下の図は1991年1月14日奄美大島付近で行った連続ステレオ写真から求めた幅1km、飛行距離10kmの雲頂高度の水平分布である。これが

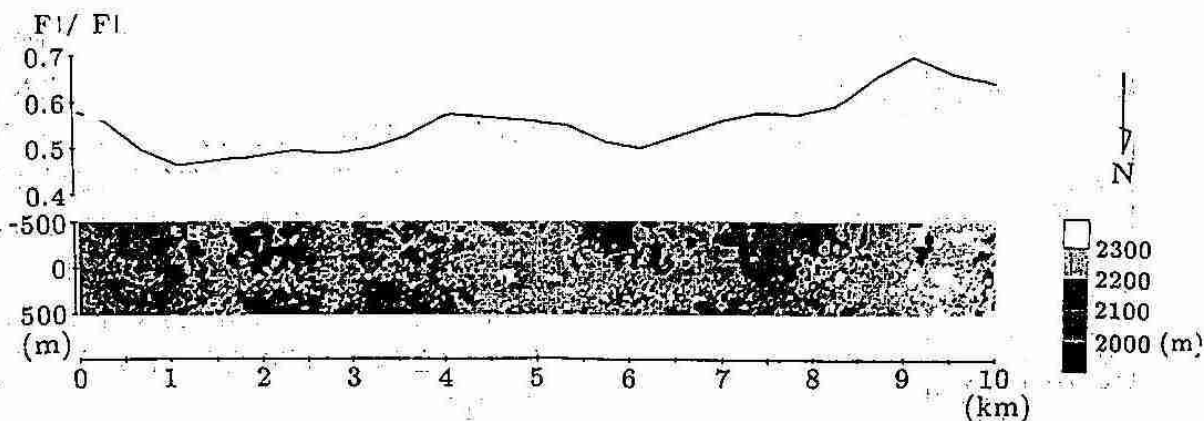


図-6. 層積雲の雲頂の高度分布(下)と反射率(上) (1991年1月14日)

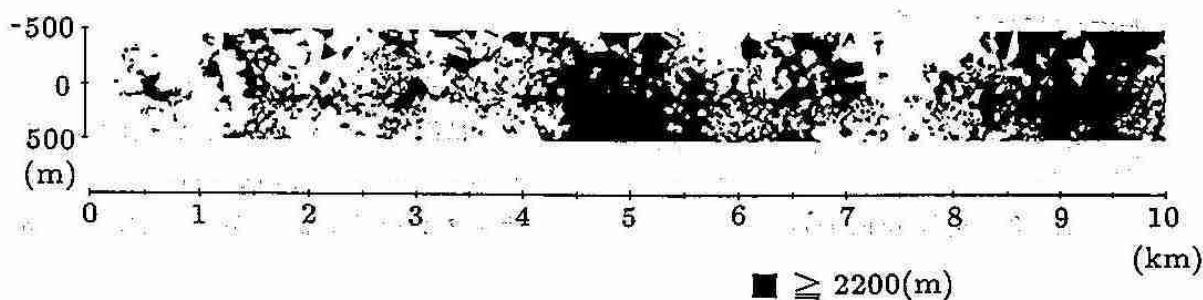


図-7. 高度2200m以上の雲の出ている領域(黒い領域)

ら雲頂高度の最低値は1950m, 最高値は2350m程度で, 約400mの差があるのがわかる。

図-6の上の図は東北大学グループによって得られた, 波長 $0.3 \sim 2.8 \mu\text{m}$ の全天向きフラックスに対する上向きフラックスの比, すなわち反射率の変動を示している。これを見ると, 反射率は1km付近で最低の0.46, 9km付近で最高の0.70になっているのがわかる。

また, 雲頂高度と比較すると, 雲頂高度の高いところは反射率が高く, 低いところは反射率が低くなっている傾向が見られる。

b. 高度2200m以上の雲の出ている領域の分布

図-7は図-6の水平分布から高度2200m以上の部分を抜き出して, 黒で塗りつぶしたものである。この図から, 大小の様々な雲の凹凸が存在しているのがわかる。

そこで, 先程の反射率の極値に対応する1km付近(0.5~1.5km)と9km付近(8.5~9.5km)

の1km×1kmの2つの領域で, 高度毎の雲の出ている領域の面積比を計算した。

c. 高度毎の雲の出ている領域の面積比

図-8がその結果である。反射率が小さかった1km付近では, 雲頂高度が低くてばらつきが大きく, 雲頂が尖っているのに対し, 逆に反射率が大きかった9km付近では, 雲頂高度が比較的高くてばらつきが小さく, 雲頂の構造が平坦であることがわかる。

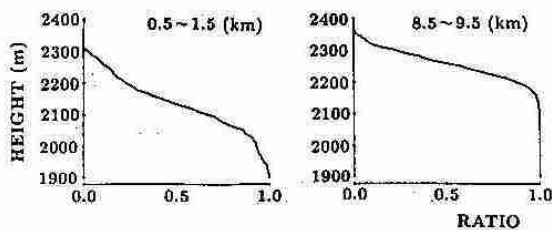


図-8. 各高度毎の雲のある領域の面積比

d. 雲の出ている領域の円近似半径分布

雲の形状をさらに細かく知る手段として、図-7の個々の雲の出ている領域を等面積の円の半径で近似し、その半径に関する個数分布を計算した。

図-9.がその結果で反射率の極小値を含む0~5 kmと、同じく極大値を含む5~10kmの2つの領域で、又、しきい値の高度2200 m, 2250 m, 2300 mと変えて計算を行った。

しきい値の高度を変えたときの直線の傾きの変化、全体の個数の変化などから、のこぎり状やパルス状などの大体の雲の形状を知ることができるが、グラフを見て明かなように、グラフの傾きの変化や全体の個数の変化が2つの領域で異なっているのがわかる。そして、この計算結果を反射率と比較することによって、今後、雲の高さなどの他に雲頂の形状と放射の関係についても調べることができると期待される。

(参考図書)

朝倉 正(1987):知っておきたい異常気象, 大蔵省印刷局, pp. 229
 浅井 富雄(1988):気候変動, 東京堂出版, pp. 202
 広瀬 弘忠(1990):酸性化する地球, NHKブックス, pp. 214
 環境庁総務課(1990):地球環境キーワード事典, 中央法規出版, pp. 155
 気象庁(1989):異常気象レポート'89, 大蔵省印刷局, pp. 433

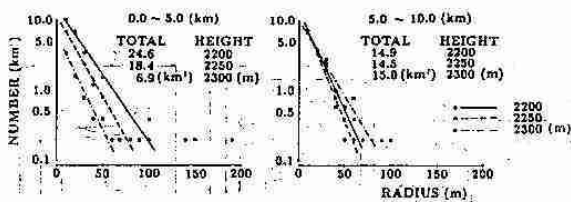


図-9. 各高度での雲のある領域の個数分布

5. おわりに

最近、マスコミに頻繁に登場する地球環境問題の内、特に気象に関係する (1)異常気象・気候変動、(2)地球大気の温暖化、(3)オゾン層の破壊、(4)酸性雨、(5)エルニーニョ現象について概略し、さらに、現在、我が国が取り組んでいる気候に影響を及ぼす「雲と放射」についての研究結果の一部を紹介した。

これを契機に気候変動を含む、地球環境問題に関心をもってくださいれば幸いです。