

## 大気汚染物質の行動\*

### ——降水現象との関連を中心として——

磯野 謙 治\*\*

#### 1. はじめに

人間の活動によって大気中に放出されたいろい物の物質は大気中を拡がりつつ、種々の物理的、化学的過程によって、その相、集合状態、粒径、化学結合の状態を変える。その一部は降水によって大気から除去され地表に達する。この降水による汚染物質の除去作用は、一見、単純に見えるが具体的にこれを取り扱ふと極めて複雑な過程を含んでいることは後述する通りである。しばしば雨の“浄化作用”と言う言葉が用いられるが、これは大気汚染に関連して用いる場合誤解を起しやすくないからである。なるほど汚染物質の一部は雨によって大気中から取り除かれるが、一方雨水はこれによって汚染され、汚染物質は、われわれの上に、田畑に、森林、河川、海洋に降り注ぐのである。降水は汚染されるのであって、われわれの環境の浄化作用をしているとは言えないからである。

大気汚染を問題にするとき、ある一つの現象にのみ目を奪われていると誤った判断をするおそれがある。この問題は社会的問題と密接に関連しているから事は重大である。その一例は煙突からの排出物に関することである。煙突の有効高を高くすることによって、煙突付近の汚染を減ずることはできても、汚染は遠方に及び、また大気全体を考えると、汚染物質の滞留時間を長くし、その大気中の蓄積量を増加させることにもなる。われわれが住んでいる大気中を拡散させることによって汚染物質の濃度を薄めようとする考え方に根本的な問題があったのである。しかし、この例はむしろ比較的単純でわかりやすい。大気中の汚染物質は、既に述べた様に、単に拡散するのみでなく種々の複雑な過程を経て大気中を移動し、その行動に関し未だ明かにされていないことが多い。この小論で汚染物質の行動について一般的に論

ずることは不可能であるので、降水と関連した幾つかの問題点を中心にして述べることにする。

#### 2. 大気中への諸物質の放出

人間活動によって、現在、大気中に多量の物質が排出されつつあり、これが直接に人間の健康と生命を脅かし、動植物に害を与え、さらにそれらの汚染物質が地球大気中を拡がりつつあり、これが気象、気候の好ましくない変化をもたらすことが懸念されている。この問題を考えるとき、人間活動の影響を受けない“清浄”な大気とはどのような大気かを知る必要がある。産業革命以前は大気全体としては人間活動によっては殆んど汚されてはいなかったであろう。しかし、“ひと”を含めた生物が地球上に生存することによってすでに地質時代から大気中に種々の物質が放出され、また取り除かれて来た。現在の大気中にある酸素の大部分は地球の水面近くに植物プランクトンが出現し光合成を行ない続いて地球上に緑色の植物が繁茂しこれらが光合成作用を行なった結果生じたものとする説が有力である<sup>1)</sup>。これに対し近年の工業活動の増大とともに化石燃料の消費によって大気中の炭酸ガス量が増加しつつあることは周知のことである。一方、火山活動により大気中には火山ガス中に含まれる種々の物質が放出されている。さらに激しい現象としては火山の爆発による大量の火山灰、火山塵の大気中、特に高層大気中への放出がある。天明3年(1783年)の浅間山の大爆発、1883年のクラトア島の大爆発の火山塵は地球的規模に高層大気中に拡がり、その結果地表面に達する日射量の著しい減少をもたらした。近年はアラスカのカトマイ(1912年)、また最近(1963年)はバリ島のアグング火山の爆発による火山塵が高層に拡がり、2~3年以上にわたってここに相当量残留したことが認められた<sup>2)3)</sup>。

この様に人間活動を除外しても、地球物理的原因による、あるいは生物により引き起された大気の組成変化、また大気中の夾雑物としてのエアロゾル粒子の濃度の変化は

\* Atmospheric Pollution and Precipitation

\*\* K. Isono 名古屋大学理学部

—1971年4月6日受理—

これまで、持続的にあるいは突発的に起こって来た、あるいは起ったことが推定されている。しかし地質年代の気候変動は別としても、大気中への物質の放出が気象あるいは気候に明瞭な変化を与えたことが認められたという例は火山の大爆発の場合の様に一時に多量の物質(ちり)が放出されたときを除いてほとんどない。降水の人工制御の実験の結果の示す様に、氷晶核粒子あるいは巨大凝結核粒子の種まきによって雲の状態を変化させ、降水量を増加させることができること、また現在の大気中の凝結核の多くは海塩に由来するものでなく燃焼生成物の粒子であることなどを考えると、火山の放出物\*や人間の活動による排出物のあるものが雲の形成や降雨量に影響を与えていることは十分に考えられることである。しかし、この様な排出物の影響を考えるときには、すでに大気中に存在している同種の作用をする物質の働きも同時に考えなければならない。たとえば、人間活動によって生じた凝結核が雲粒の核として働くからと言って、工業活動によって大気中に供給された多数の凝結核が直ちに降水を増加させると言うことにはならない。上昇する過飽和の状態にある空気中では種々の臨界過飽和値をもった種々の粒径、物質の粒子が互に競合して成長する

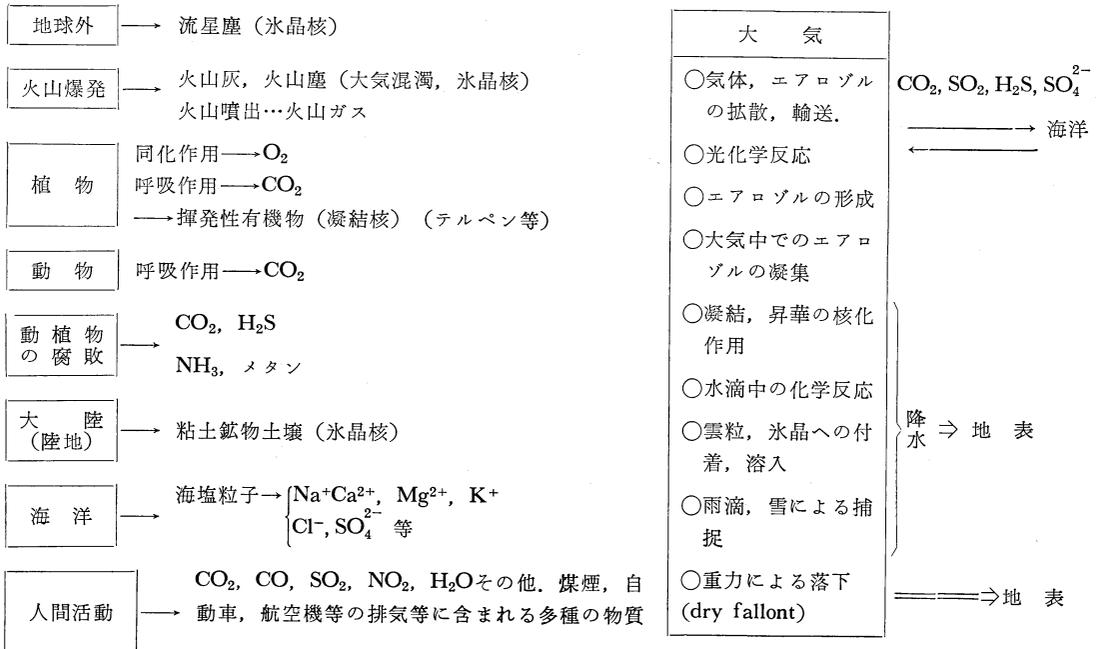
から、凝結核の数濃度が高くなっても必しも降水粒子は速かに成長するという事にはならない。むしろ、凝結核数濃度が低い方が水滴が速く成長することもあり得るのである。

地表面から大気中に放出されるエアロゾルとして重要なものには海洋からの海塩粒子と大陸からの土壌粒子がある。このうち、海塩粒子は巨大凝結核として、降雨特に‘暖い雨’に重要な役割を演じ、土壌粒子のうち特に粘土鉱物のあるものは氷晶核として働き、中緯度地方の降雨の開始と降水能率に重要な影響を与える。また地球外から流星塵が氷晶核として重要な働きをするというBowenの説がある。

上述の様に人間を含む生物の活動により、また無生物的自然の作用により、種々の物質が大気中に放出されている。第1図はその大略を示したものである。諸種の過程を経た後その一部は降水と共に大気から除かれ地面に達し、また他の一部は重力により落下(dry fallout)また他のあるもの(たとえばCO<sub>2</sub>)は海洋水に溶入する。

ここで主題となっている人間活動によって放出された汚染物質に限らずに、自然現象によって大気中に放出された物質についても述べたのは次の理由によるのである

第1表



\* 浅間山等の火山灰は有効な氷晶核として働くことが知られている。

る。第一にはこの二種の物質は大気中で互に別々に行動するのではなく、共に行動し、あるいは付着し合い、あるいは化学的に反応し、またある過程に互に協力し、また競合して参加するからである。第二は汚染物質の大気中の行動や気象、気候に与える影響を知るために自然大気中に現存し、あるいは一時的に放出された物質の行動やそれらが気象、気候に与えた影響を知る事が重要な参考となると考えられるからである。

大気中に放出される物質、特に人間活動によって放出される物質は極めて多種であり、また現在では微量で問題にされていない物質が将来は問題になることもあるであろうし、また工業の発達により新たに放出される物質もあろう。ここでは現在多量に地球大気に放出されている物質を中心に述べよう。

### 3. 降水中の物質

降水の汚染物質に対する作用と汚染物質の降水に与える影響について述べる前に、降水中には通常どの様な物質が見出されているかについて簡単に述べよう。これに関しては Junge の著書<sup>9)</sup> に詳しく系統的に述べられている。雨水に多く検出されるものには  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{NH}_4^+$  などがある。このほか  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{I}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{O}$  等も検出されることがある。これらと共に、土壌粒子(粘土鉱物を含む)、煤煙粒子、有機物の粒子などの固体粒子が多数見出される。一般に海岸付近の降水では  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  等海塩成分の濃度が高く、特に都会や工場地帯から離れた海岸では  $[\text{Cl}^-]/[\text{Na}^+]$  の比は海水中の濃度比 1.80 に近い。海岸から離れるに従って  $[\text{Cl}^-]/[\text{Na}^+]$  の、この値からのはずれは増加する。たとえば、Junge 等によれば、米大陸の場合、この比は海岸から内陸に向かって急減し大陸中央部では 0.5 以下となっている<sup>9)</sup>。しかし、日本、ハワイ、ヨーロッパなどでは 1.8 より大きな比をもつ雨が報告されている。たとえば、筆者等の研究室<sup>9)</sup> で昨年(1970年)7月尾鷲、大台ヶ原で台風の接近時に採集した雨では  $[\text{Cl}^-]/[\text{Na}^+]$  は多くの場合、1.80 より大で 3 以上になった場合もあった。この海水比にくらべて過剰の  $\text{Cl}^-$  の原因について種々の憶測をすることができるが、未だ明かでない。この様な各種イオンの海水中の組成比との差は、一つはしぶきが海から分離したときの成分分離(しぶきが生じたとき、泡の水膜の中の濃度比が海水比と異なること、またこれには海面にある油脂類が関与するという実験測定もある)あるいは大気中で工業起源その他の物質が加わったことなどによって起こる。

雨水の汚染の度合を示す量として比電気伝導度がある。比伝導度は雨水があまり酸性でないときには上述のイオン濃度から計算した値と 10%~20% の誤差範囲で一致する。都会や、工業地帯から離れた海岸地方では  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  等の海塩起源のイオンの濃度から計算した値とよく一致する(例えばハワイ島)。しかし、日本内地では特別の場合を除いては  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  等の海塩成分の雨水の比伝導への寄与は極めて少い。上述の尾鷲の場合、その寄与は 1/1000 以下である。pH の値は 3.0~4.0 の程度でこれは工場汚染によるものである。同時に大台ヶ原で降った雨の比伝導度は尾鷲の数 100 分の 1 であったが、それでもなお汚染の影響が大きく現われていた。上述の様な高い比伝導度(数  $10\mu\text{U}/\text{cm}$  以上)低い pH 値は日本内地では普通に見られることで、如何に雨水が汚染されているかを示すものである。

しかし、日本内地でも極めて“きれいな”雨が降ることが稀にはある。それは上述の台風が大台ヶ原に最も接近したときの豪雨で<sup>9)</sup>,  $[\text{Na}^+]$  は 0.05ppm 以下,  $[\text{Cl}^-]$  は 0.2ppm 以下比伝導度は  $1.5\mu\text{U}/\text{cm}$ , pH=5.7 でこの比伝導度、pH は大気中の炭酸ガスと平衡した蒸留水に近い値である。これは台風中心部の降雨の形成機構に重要な示唆を与えるものである。この様な“きれいな”雨の降った原因を明かにすることは今後に残された問題であるが、この雨が形成された空気は台風の外縁部から強い雨の中を通過あるいはその中で水蒸気の凝結や降雨を起こさせながら台風中心部に入り込んで来たのもその一つの原因であると考えられよう。

### 4. 降水粒子に汚染物質の取り込まれる素過程

大気中の物質が降水粒子に取り込まれる機構には次のものが考えられる。

(1) 凝結核として作用する。大気中に浮遊している粒子のうち吸湿性の粒子は水蒸気の凝結核として働き微水滴をつくる。通常的气象状態で雲粒の核として働く粒子は半径約  $0.1\mu$  以上の大粒子で、特に半径約  $1\mu$  以上の巨大粒子は巨大雲粒をつくる。 $0.1\mu$  以下のいわゆるエートケン核は降雨現象には大きな働きはしないが、後述する様に大気的光学現象や電気現象に重要である。一般に凝結核は単純な組成ではなく、種々の物質を含んでいるが、特に上述の大粒子以上のものは固体粒子を含んでいるものが多い。これは固体粒子の上に何等かの過程を経て吸湿性の物質が付着したもので、混合核(mixed nuclei)とよばれている。たとえば、工場等から排出された煤煙粒子や、地面から風によって吹き上げられた粒

子に工業起源あるいは、海水から出た吸湿性の粒子が付着したものなどである。

(2) **氷晶核として作用する**、過冷却雲中で氷晶核として作用する粒子は、これを中心として生じた氷晶が降水粒子に成長するから降水中に含まれる。これには大陸の乾燥地帯から吹き上げられる粘土鉱物などのほか、鉄工業から生ずる酸化鉄粒子 ほかがある。Schaefer は自動車等の内燃機関の排気中の鉛の化合物（鉛が大気中の沃素と化合し  $PbI_2$  をつくと、これは極めて有効な氷晶核として働くが氷晶核として作用するため近年大気中の氷晶核濃度が増加したと報告している。しかし具体的にこれによって大気中の氷晶核数がどの程度増加したかは未だ明かにされていない。

### (3) 雨滴、雲による粒子の捕捉

雨滴、雪などの降水要素が大気中を落下するとき、これと空気に対する相対落下速度の差のある大気中の粒子は降水粒子と衝突して捕えられる。断面積  $S$  の雨滴、雪の対気落下速度を  $U$  とし粒子の落下速度を  $u$  粒子の空間密度を  $n$  とすると、単位時間に捕捉される粒子類は  $E n(U-u) S$  である。  $E$  は、降水要素の形状、大きさ、捕えられる粒子の大きさによる、普通はより小さい定数で捕捉率とよばれる。雨滴の様に球形の場合については Langmuir の  $E$  の計算値は適用することができるが、雪の結晶や雪片の様に形状およびその運動が複雑な粒子については、未だ信頼できる値は知られていない。この様に落下速度の差によってよく捕えられるのは半径数  $\mu$  程度以上の粒子である。半径がこれより小さい  $1 \geq r \geq 0.1 (\mu)$  程度の粒子では慣性が小さいため、粒子は降水要素のまわりの流線に沿って動くので上の様な機構では捕捉され難い。粒子の大きさの程度の不規則な運動があれば (microturbulence) これによって降水要素と粒子の間に衝突を起こす様な相対運動を生ずる。

(4) **ブラウン運動による粒子の付着**、粒子の半径が  $0.1 \mu$  以下の粒子 (エートケン粒子) はブラウン運動によって雲粒、雨滴、雲の結晶に付着する。

この過程で雲粒に付着し単位時間に大気から除去されるエートケン粒子の数は雲粒の半径、その数密度、粒子の数密度に比例し、粒子の半径に逆比例する。雲粒の半径を  $10 \mu$ 、雲粒の数密度を  $200/cm^3$  とすると、大気中の粒子の濃度が半減するに要する時間は Junge によれば粒子の半径が  $0.01, 0.03, 0.10 \mu$  に対しそれぞれ  $0.64, 3.8, 38$  時間となる。

(5) **水蒸気の拡散による付着** 凝結あるいは昇華で成

長しつある水滴 (または氷晶) があるとき、その周囲の空気中には水滴 (氷晶) の表面に拡散による水蒸気分子の正味の流れがある。このため、空気中の微粒子は水滴 (氷晶) の表面に向う力を受けるためその表面に付着するという現象が Facy によって見出された。しかし、この過程で付着する粒子の数は少ないので重要でないであろう。

(6) **温度拡散による付着** 雨滴等が周囲の空気より冷いとき、その表面に温度勾配を生じ温度拡散により粒子が付着することが考えられるが、この効果も実際には小さく重要ではない。

(7) **降水粒子の帯電による静電力による付着** エートケン粒子の場合には、上述の諸過程による付着を助けるものと考えられるが、通常の場合にはそれほどこの影響は大きくない。

(8) **気体の降水要素への溶入** 雨滴、雲粒に酸素、炭酸ガス等の気体が溶入することは良く知られている。最も簡単な場合はヘンリーの法則に従うもので  $N_2O, CH_4$  などはこの例である。これに対し、アンモニアや炭酸ガスは水滴中の溶解するとイオンを生ずるので、溶解度は水滴の pH の値に鋭敏に依存する。なお純水の場合温度  $10^\circ C$  のとき空気中の炭酸ガスの濃度を  $300ppm$  とすると  $pH=5.6$  となる。アンモニアの場合は気中の  $NH_3$  濃度が  $3 \mu g/m^3$  として雲水量が  $1 g/m^3$  とすると pH は  $8.9$  となり気体の約  $1\%$  が雲粒に溶入するのみである。しかし、pH が上記の  $5.6$  の値をとると、気中のアンモニアの  $97\%$  が雲粒中に溶け込む。実際には水滴中には多種のイオンがあり、pH は  $H_2SO_4, HCl, HNO_3$  等の汚染物質に起因する物質によって支配されるので問題は複雑である。亜硫酸ガス  $SO_2$  となるとさらに複雑となる。 $SO_2$  は触媒がなければ水と接しても酸化されて  $SO_4^{2-}$  になる量は僅かであるが、金属塩  $MnCl_2, CuCl_2, FeCl_2$  などが  $1 \mu g/cm^2$  程度存在すると  $SO_4^{2-}$  を生ずる。しかし、この様にして生ずる  $SO_4^{2-}$  の濃度は実際の雨の中の  $SO_4^{2-}$  を説明しうる程度ではない。しかし  $NH_3$  が存在すれば  $(NH_4)_2 SO_4$  を形成するため  $SO_4^{2-}$  の濃度が増加する。また、カルシウム等、アルカリ土金属あるいは、アルカリ金属が存在する場合も  $SO_2$  から  $SO_4^{2-}$  への酸化が起こる。

この様な溶入とは逆の過程、すなわち、海塩を含んだ水滴に工業起源の  $SO_2$  が溶入し、 $H_2SO_4$  を生じ HCl の形で Cl が水滴外に出る可能性もある。前に述べた尾鷲、大台ヶ原の雨の中に含まれた過剰の  $Cl^-$  もこの様

な過程によって海塩から一旦分離した塩素に原因することも想像される。[Na<sup>+</sup>], [Cl<sup>-</sup>] 等に関しては大台ヶ原の雨は尾鷲にくらべはるかに小さいが、過剰の[Cl<sup>-</sup>] では両者の差は余りないこともこの考えを支持するが、真の原因を知るには空気中の気体、エアロゾルの測定をする必要がある。

### 5. 汚染物質と降水現象

前節に汚染物質の降水への取り込みの素過程について述べたが、この素過程の個々を見ても、汚染物質、自然大気中のエアロゾル、気体、雲粒、雨滴、氷滴、雪片等の間の交互作用は複雑である。上に述べなかった過程で大気中の重要な過程に光化学反応がある。最近都市汚染で光化学反応によるオキシダントが重大問題となっているが、大規模な大気中の現象として、SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S が光化学反応によって SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> が生じ、これから硫酸塩のエアロゾルの形成される過程が問題となっている。Junge<sup>7)</sup>等は気球及び飛行機により対流圏上部及び成層圏内でエアロゾルを採集し 15~25km の間に硫黄を含む (X線マイクロプローブアナライザーで S を検出) 粒子の層のあることを見出し、これが地表面から放出された SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S から上述の過程で形成されたものと推論した。最近、地表の工業活動のみでなく、成層圏に航空機やロケットが飛行し、成層圏には水蒸気をはじめ多くの燃焼生成物、未燃焼排出物が放出されている。成層圏では短波長の光の強度が強いから、これまで自然の状態では生じたオゾン O<sub>3</sub> の生成消滅に、これらの物質が加わってどの様な反応が起こり、どの様な物質の形成、減少が起こり、これが大気現象にどの様な役割をするかは、大気化学、雲物理の研究者のみでなく、大気物理学、気象学の他の分野の研究者が関心を持たなければならぬ問題であろう。

実際の雨の中に見出される物質は異った大気の下に上述の種々の過程を経て降水中に入って来た物質である。従って降雨ごとに含まれる物質及びその濃度に極めて大きな差があると共に、一と雨についても降り始めから降り終りまで、物質とその濃度は極めて大きく変動する。特に対流性の雲からの雨では降り始めには各種のイオンの濃度および比伝導度は極めて高く、その後 10~20 分間に急激に減少する。また、降雨の継続中も降雨強度の変動と逆相関をもって変動し、雨の降り終りに濃度が再び高くなる。降雨の始めのイオン濃度の急減は雨によって空気中の汚染物質が除去され気中濃度が低くなることにより、また濃度が降水強度と逆比例することは雨水による稀釈作用によって定性的には一応説明で

きるが、定量的には単なる静止した空気中の夾雑物を雨で洗い落したとしては説明できない。空気の運動、エアロゾル等の汚染物質の補給速度、雲中で起こる前節で述べた様な各種の過程、対流圏上部、成層圏からの物質の補給等を考慮する必要がある。この具体的な例はシンボジャムのときに述べることにする。

### 6. むすび

大気中の汚染物質の行動、その降水との関係を明らかにするのに必要なデータをえるための観測、特に自由大気中の観測は極めて少なく、連続した観測はないと言ってよい。従って現在われわれの持っている知識は極めて不十分である。人間の生活環境、気象、気候の好ましくない変化を避けるためには、この様な観測を行ない、多方面から研究を進める必要がある。

問題を汚染物質の雲物理的な現象に対する影響に限っても、大気中に放出された物質は雲の形成、降水の量と質に影響を与える可能性があると共に、雲量、煙霧等の変化は地表に到達する日射量の変化等をもたらす地球の熱収支従って気象、気候に大きな影響をもたらすおそれがある。地球大気はこれまでも大きく変化して来たとし、今も変化を続けているのであろうが、人為的に新に放出される物質の量が最近急激に増加した結果、現在どの様に变化しつつあるかを知り、如何にしたならば、この変化が好ましくない方向に進むのを止めることが出来るかを知ることがわれわれに課せられた大きな課題である。

### 引用文献

- 1) P.E. Cloud, gr, 1968, Atmospheric and Hydropheric Evolution on the Primitive Earth. Science **160**, 729-736.
- 2) L.V. Berker and L.C. marshall 1965, On the Origin and Rise of Oxygenic Concentration in the Earth's Atmosphere. J. Atmos. Sci, **22**, 225-261.
- 3) A.B. Meinel and M.P. Meinel 1964, Height of the Glow Stratum from the Eruption of Agung on Bali. Nature **201**, 657-658.
- 4) F.R. Volz, 1965, Note on the Global Variation of Stratopheric Turbidity since the Eruption of Agung Volcano. Tellus, **17**, 513-515.
- 5) C.E. Junge 1963, Air Chemistry and Radioactivity. Academic Press, New-Yook.
- 6) 磯野謙治, 武田喬, 松尾敬世, 篠田 豊, 1970, 尾鷲・大台ヶ原の降雨中の化学成分について (特に台風 2 号を中心として) 1970 年度秋季大会で発表。〔同予稿及び、磯野謙治, 武田喬男, 1970, 大台ヶ原の豪雨について, 文部省科学研究費 (特定研究) “中部地区における自然災害

の実態と予測に関する総合研究”第2回シンポジウム論文集, p. 11-14 を参照].

- 7) C.E. Junge, C.W. Chagnon and J.E. Manson 1961, A World-wide Stratospheric Aerosol

Layer. Science **133**, 1478.

- 8) C.E. Junge and J.E. Manson, 1961, Stratospheric Aerosol Studies. J. Geophys. Res. **66**, 2163-2182.

## 温室効果 (Greenhouse effect)?

温室のガラスは太陽からの光線に対しては透明, 室内からの熱線に対して不透明, この性質によって熱が温室内部にたくわえられることになるが, 大気中の炭酸ガスや水蒸気の働きがこれに類似するところから温室効果 (Greenhouse effect) という名称が生れた。

だが温室の機能は, はたしてガラスのこの選択吸収の効果によるものだけだろうか. もちろんこの効果はあるのだが, 温室のもっとも重要な機能は, 温室外の空気中にある移流もしくは対流から, 温室内部の空気を遮断することである. もし屋根だけをガラスにして, 下は吹きぬけにしたら温室の効果はほとんどな

い. 自由大気中にはたえず移流ないし対流—簡単に言えば風—があり, 炭酸ガスや水蒸気は, 直接これをさまたげる働きをしていないのだから, これらのガスの効果を温室効果というのは誤った名付け方で, たとえられた温室の方で迷惑する。

以上はランズベルグ (H.E. Landsberg, 1970) の意見だが, それなら何とよんだらよいのか. 選択吸収効果というのも一案だが, 機能的に意味が広すぎる. たとえられて迷惑しない何かよい名称はないものか.

(根本順吉: 気象庁図書課)

(190 ページからのつづき)

「大へんむづかしい問題で, これについても十分わかっているとはいえません. というのはエーロゾルの増加によって, シェファー (V.J. Schaefer, 1970) のいうように雲量まで変化することになると, そのための効果も考えなくてはならないからで, その上変化した雲量が上層雲であるか下層雲であるかによって, その効果が大へんちがってくるというようなことが真鍋淑郎 (1970) 等によって調べられており, 簡単に結果をわりきって言うことができないのです。」

「炭酸ガスの温室効果にくらべると, 雨傘効果というのは, よほど面倒なことなのですね. 現状では一体, 雨傘効果はどう評価したらよいのですか。」

「炭酸ガスの効果だって, 完全にわかっているとは言えません. 動的な過程を考えることにより, 地球上には部分的に気温が低下するところがあらわれるというようなことを言っている人もあるくらいですから. ただ大まか

に考えたとき, 炭酸ガスの効果として平均気温の上昇が考えられるが, 実際には地球全体の平均気温が1940年代以後低下している. この低下を説明するために可能性の一つとして雨傘効果が考えられているのが実状であり, この問題の解決には今後なお数多くの観測・実験と, 理論的な取扱いが行なわれなくてはならないのです。」

「追記」拙文では Umbrella を雨傘と訳したが, これに対して編集担当者から「日傘効果」という訳もあるが, と意見を求められた. そうすると原語は parasol effect でなくてはなるまい. 譬えられた名前にあまりこだわらなければいけないが, 大気中の aerosol が, 黒い雨傘に近い働きをするか, 白い日傘に似た働きをするか, まだよくわからぬところに現在の問題があるように思う. 単に“傘効果”だと一寸語呂がわるいので, ここではどちらかわからないが, 総称としての意味で, 雨傘を用いた.

(根本順吉: 気象庁図書課)