特集・酸性雨調査における pH 測定の意義と課題

酸性雨調査における pH 測定の目的

玉置元則*

1. はじめに

地球規模の環境破壊が深刻になるにつれ、酸性雨現象の詳細な解明と各地域での現状の把握および長期的な監視がより一層必要になっている¹⁾。降水性状ならびにその変化の概略的な把握はこれまで主に pH で行われてきた。この間、pH の測定で多くの情報が得られ、その地域的な分布や経年変化も得られるようになった。しかし、1つの問題は都市部周辺の降水データから指摘されだした。都市の大気汚染状態は依然として改善されておらず、そこに降る雨水や雪も汚染されているはずだから、当然のこととして背後地域や清浄地域の降水より都市部の降水の方が pH は低いであろうと考えられていた。また、降り始めの降水には大気中の汚染物質がより多く捕捉されているはずだから、降雨途中や終了前の降水よりも pH は低いであろうと考えられていた。ところが、必ずしもそうはならなかったのである。これは、炭酸カルシウム (CaCO_3) などによる酸の中和反応で説明されている。

いま1つの問題は影響との関連で指摘された。降水の性状把握は pH のみならず、そこに溶け込んでいる硫酸イオン (SO_4^{2-}) や硝酸イオン (NO_3^-) などの主な成分濃度から判断されるべきであるとして、酸性雨問題が起きてきた当初から、ある程度は成分分析も行われ、現在では10項目程度が常時測定されている。ところが、生態系への影響は濃度評価ではなしに、総量(濃度×降水量: 降下量(沈着量))で行う必要があるという考え方が主流になってきた。pH による評価はどちらかというと濃度評価に近いものである。この流れの中で、ややもすると pH データが軽視される傾向がでてきた。

一方、pH の測定面でも、いくつかの問題が指摘されだした。pH の指標としての有効性の1つには、そ

の測定の簡便さも含まれている。pH 計があれば、どんな試料でもだれが測定してもほぼ同じ値が得られると思われていたのだが、降水測定で試料溶液を攪拌するかどうかがまず問題になった。次いで大量の降雨時のような導電率の値が低い降水の pH 値が安定しないという測定上の困難さが指摘された。さらに、自動測定を行う際の精度が問題になった。

しかし、課題は「酸性雨」であり、ある意味において酸性雨調査・研究は pH に始まり pH に終わるとも言えよう。「たかが pH、されど pH」の意識の中で pH 測定の目的と今日的意義を整理した。

2. 酸性雨の定義

それでは、酸性雨とはどのように定義される現象であろうか。成分濃度や沈着量の側からの定義は困難であるため、pH の値によって行われてきた。これは大きく分けて2つの考え方がある。

第1の定義は、降水に対して、窒素酸化物などの大気汚染物質と同様に、理科学的に一律に値を設定するものである。この考え方の基本は、降水と大気中の二酸化炭素 (CO_2) との平衡関係である。地球温暖化問題でよく知られているように、大気中には CO_2 が350 ppm 程度の濃度で存在しており、雲粒子は大気と十分接触しているため、降水中の炭酸イオン (CO_3^{2-}) は大気中の CO_2 と平衡関係にあり、この時の降水 pH は5.5~5.6になる。したがって、この値以下の降水を酸性雨とするものである。

この考え方は酸性雨を降水による湿性沈着物のみに限定せず、pH 5.5~5.6以下に酸性化された降水、酸性乾性沈着物ならびに酸ミストなどを含めて総合的に表現する定義の仕方に拡大解釈されることもある。樹木などへの影響因子を考えた場合、この方が論理的かもしれない。

第2の定義は生態系をより重視した考え方で、人間を除いた環境を想定し、その地に降る降水 pH を基準

*兵庫県立公害研究所
Motonori TAMAKI

にするものであり、人為活動のために起こった降水 pH の低下分を酸性雨とする。海岸部では降水 pH は 7 より高い値になったり、火山や温泉の近くでは逆に降水 pH は低い値になることがある。それぞれの値が基準値になるため、その地点ごとに酸性雨の基準値は異なる。それぞれの地域の生物は長い歴史の中で進化して、その環境に適合した形態で存在している。したがって、第 2 の考え方の方がより合理的であるが、きわめて複雑であり、行政的な規制を考慮したとき、これになじまない部分がある。

第 1 の定義では、一律に定めるべき降水 pH のバックグラウンド値が問題になる。Junge はこの値を前述のように 5.6 程度とし²⁾、その後最近まで pH 5.6 以下の降水は酸性雨として定義されてきた。しかし、Charlson と Rodhe は自然のままの降水 pH を CO₂ との平衡値より減少させる自然的な要素がいくつかあることを示し、その一つである硫黄循環だけでも pH は 4.5 から 5.6 の値になるとしており³⁾、降水 pH のバックグラウンド値は必ずしも明確ではない。米国の N A

P A P (全国酸性降水物調査計画) では年平均値で pH 5.0 以下の降水を酸性雨としている⁴⁾。

酸性雨を pH の値から規定する場合、それは定義というより、一つの目安としてとらえておくのがよいと思われる。

3. 降水 pH の値を決める化学的因子

酸性雨調査における pH 測定は酸性雨現象を解明する出発点であり、かつ基本の一つである。降水の汚染の程度は基本的にはその中に溶解している陰イオンと陽イオンの成分濃度から総合的に判断されるべきである。しかし、社会的には降水の pH によって評価される場合が多い。燃焼過程で生成する二酸化硫黄 (SO₂) や二酸化窒素 (NO₂) などの気体状物質あるいはその二次生成物質が酸性の性状を持つことならびに生態系あるいは構造物に与える総合的な影響から考えて pH を指標の一つとして用いることは妥当である。

しかし、都市部周辺での降水 pH は必ずしも地域の汚染状況を反映しているとは限らない。その一例を表 1

表 1 環境庁第 1 次酸性雨対策調査で得られたろ過式採取法での主なイオンの濃度

No.	測定地点 都道府県	市町など	降水量 (mm/年)	pH	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	H ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	nss- SO ₄ ²⁻	nss- Ca ²⁺
1	北海道	札幌市	1,171	5.0	3.57	0.68	6.31	0.01	0.39	1.45	0.37	0.21	3.19	2.77	1.33
2		鶴川町	725	5.2	2.37	1.03	2.98	0.01	0.41	0.77	0.21	0.18	1.67	1.94	0.71
3		岩見沢市	971	4.8	2.76	0.82	5.13	0.02	0.31	0.62	0.31	0.24	2.93	2.02	0.55
4	青森県	青森市	1,104	5.1	5.85	1.52	12.14	0.01	0.58	1.75	0.77	1.16	5.27	4.49	1.55
5		弘前市	1,486	4.9	4.56	1.14	10.71	0.01	0.48	1.03	0.65	0.60	4.59	3.40	0.85
6	宮城県	仙台市	840	4.7	2.41	1.46	1.88	0.02	0.49	1.14	0.12	0.08	1.25	2.17	1.09
7		大河原町	1,117	4.7	3.08	1.82	2.47	0.02	1.12	0.99	0.13	0.14	0.87	2.85	0.95
8	東京都	江東区	1,199	5.1	3.43	2.37	2.09	0.01	0.90	1.27	0.23	0.09	0.82	3.22	1.24
9		武蔵野市	1,179	4.8	2.72	2.81	1.51	0.02	0.86	1.25	0.13	0.04	0.44	2.61	1.24
10	富山県	富山市	1,958	4.9	4.30	1.08	5.56	0.01	0.87	0.72	0.37	0.23	2.76	3.61	0.62
11		小杉町	1,865	4.7	3.74	1.11	6.32	0.02	0.56	0.63	0.42	0.23	3.13	2.95	0.51
12	石川県	吉野谷町	2,616	4.7	2.61	0.86	4.92	0.02	0.32	0.31	0.35	0.19	2.80	1.91	0.20
13		辰口町	2,099	4.6	3.04	0.96	5.72	0.03	0.35	0.33	0.41	0.26	3.24	2.22	0.20
14	名古屋市	南区	1,201	4.9	2.62	1.43	1.07	0.01	0.53	0.64	0.08	0.06	0.48	2.48	0.61
15		名東区	1,310	4.7	1.79	1.21	0.78	0.02	0.39	0.27	0.05	0.06	0.37	1.67	0.25
16	京都府	弥栄町	1,841	4.7	4.24	1.12	9.32	0.02	0.44	0.80	0.58	0.35	4.81	3.04	0.61
17		京北町	1,431	4.6	1.80	0.84	1.10	0.02	0.23	0.29	0.08	0.08	0.63	1.64	0.27
18	大阪府	大阪市	1,065	4.5	3.20	1.55	1.91	0.03	0.68	1.00	0.08	0.12	0.56	3.06	0.98
19		池田市	1,166	4.6	2.04	1.22	0.84	0.02	0.41	0.39	0.05	0.06	0.40	1.94	0.37
20	広島県	広島市	1,497	4.5	2.71	1.23	1.13	0.03	0.35	0.50	0.08	0.06	0.46	2.59	0.52
21		庄原市	1,337	5.2	2.28	0.91	1.05	0.01	0.77	0.47	0.11	0.09	0.67	2.13	0.44
22	山口県	山口市	1,911	4.7	2.26	0.74	1.72	0.02	0.31	0.36	0.13	0.13	1.01	2.01	0.33
23		萩市	1,847	4.9	2.16	0.77	3.12	0.01	0.28	0.46	0.25	0.20	2.13	1.63	0.39
24	高知県	香北町	2,224	4.6	1.46	0.40	0.88	0.02	0.16	0.15	0.05	0.07	0.40	1.35	0.13
25		越知町	2,335	4.7	1.43	0.57	1.04	0.02	0.25	0.18	0.07	0.09	0.54	1.28	0.17
26	長崎県	長崎市	1,906	4.7	2.29	0.51	4.08	0.02	0.16	0.30	0.28	0.21	2.13	1.75	0.23
27		大村市	2,101	4.6	2.20	0.50	2.23	0.03	0.22	0.27	0.15	0.09	1.14	1.91	0.23
28	鹿児島県	屋久町	3,685	4.7	2.42	0.67	5.67	0.02	0.16	0.27	0.41	0.16	3.35	1.58	0.18
29		大忠岳	5,721	4.7	1.71	0.50	3.50	0.02	0.14	0.14	0.22	0.13	1.89	1.24	0.10
	平	均	1,755	4.7	2.64	0.96	3.82	0.02	0.39	0.52	0.26	0.18	1.97	2.14	0.74

nss: 非海洋由来成分 (主に人為的起源と考えられる)

に示す。これは、環境庁が行った第1次酸性雨対策調査によるものであるが⁸⁾、この調査での全国29地点の平均値はpH4.7である。平均値で4.6を示すのは5地点、4.7を示すのは11地点あり、3地点に1地点はpH4.7を示している。それに対して4.5を示す地点は大阪市と広島市でいずれも大都市である。一方、5.0～5.2の高い値を示すのは北海道の2地点、青森市や庄原市であり比較的清浄な地域とも考えられる。しかし、調査地点の中でもっとも大気汚染の影響を強く受けると考えられる東京都・江東区では5.1の値であった。

東京都・江東区の降水の性状を詳細に見ると、降水中の酸に主に関係すると考えられる NO_3^- 濃度は $2.37 \mu\text{g}/\text{ml}$ と29地点中、武蔵野市について2番目に高い値であり、主に人為的由来と考えられる nss-SO_4^{2-} (非海洋性) も $3.22 \mu\text{g}/\text{ml}$ と4番目に高い値であった。しかしながら、この酸の中和に関係すると考えられる nss-Ca^{2+} は $1.24 \mu\text{g}/\text{ml}$ と3番目に高い値であり、 NH_4^+ は $0.90 \mu\text{g}/\text{ml}$ と2番目に高い値であった。したがって、江東区では酸をもたらす成分の量はきわめて多く、本来は全国平均かさらにはそれよりも低いpHを示す能力があったにもかかわらず、化学的な量の関係ではそれを中和する成分が酸と同じくらいあったため、pH5.1という高い値を示したのである。

このことは、1降水についても言える。図-1に示されるように、降水量が少ない場合、pHの値は3～8のさまざまな値を示す。しかし、降水量が多い降水では4.5あたりの一定の値に収束することが多い。このような現象が起きるのは、都市部の降水に、とりわけ降水初期には、酸性物質と同様に大気中の NH_3 や CaCO_3 が取り込まれ、酸を中和するためと考えられる。

したがって、降水のpHは強酸や弱酸というような酸およびアルカリの性質ならびにその濃度のバランス

図-1 降水pHと降水量との関係

神戸・須磨, I: 1986年6月～87年5月,
II: 89年6月～90年5月, 1降水全量採取

によって決まる値であることを十分理解しておく必要がある。表2に同程度のpHを示す降水でも成分濃度が大きく異なる例を示す。

4. pH・濃度による評価と沈着量による評価

従来から酸性雨の評価は主にpHによって行われてきており、酸性雨を考える際の基本量の一つである。降水に限らず、溶液のpHが通常の状態より低いことはそれを摂取したり、絶えず接触する機会のある動・植物に対して悪影響を与えざるをえないであろう。しかし、その判断はある数字をもって機械的に判断することは不可能である⁹⁾。

pHのみでは降水の性状ならびにその変質を十分表現できないとなると、次に求められるのは降水に溶け込んでいる主な成分濃度の把握である。それぞれの成分濃度がわかれば、降水pHがなぜ低下しているのかの原因解明に大いに役立つ。また、個々の成分自体でも生態系に重要な影響を与えるものもあるため、pH

表2 同程度のpHを示す降水でも成分濃度が大きく異なる例

(主に神戸・須磨のデータによる *山間部)

pH	EC	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	陰イオンの和	陽イオンの和	降水量	採取時期
	$\mu\text{S}/\text{cm}$	$\mu\text{g}/\text{ml}$			$\mu\text{g}/\text{ml}$				$\mu\text{equiv}/\text{ml}$			mm	
6.3	15	1.9	1.3	0.31	0.14	0.06	<0.005	0.13	2.1	0.069	0.104	21.0	1983. 秋*)
6.3	98	7.6	8.8	5.3	1.3	6.1	0.64	0.70	2.4	0.450	0.550	1.0	1984. 夏
6.4	170	20	37	1.3	1.3	14	1.7	1.5	9.2	1.37	1.35	0.5	"
6.3	310	13	0.52	87	0.14	1.5	4.9	22	41	2.72	2.33	9.0	"
4.2	16	1.2	0.26	2.2	0.07	0.06	0.10	0.13	1.2	0.091	0.134	229.0	1983. 秋
4.2	28	2.8	1.9	0.40	0.70	0.20	0.041	0.08	0.09	0.101	0.124	13.0	1984. 夏
4.2	71	9.7	8.7	3.6	1.5	3.3	0.36	0.54	1.2	0.444	0.407	0.5	"
4.2	320	49	18	67	4.3	18	2.8	3.8	27	3.20	2.70	0.5	1984. 冬

のような指標の項目とは別に計り知れない有用な情報が得られる。なお、導電率（電気伝導率）は溶液中に溶解している成分全体の量の程度を示すきわめて便利な指標である。

しかし、欧米での酸性雨研究が進み、生態系への影響との関係性を評価するにいたって、大気から土壌・水系へもたらされる総量の重要性が認識されるようになった。

発生源対策を考慮すれば、大気汚染では濃度（C）の把握以上にその汚染物質の排出量（濃度（C）×空気量（V））が重要視されている。降水でも同様であり、降水中の成分濃度（C）×降水量（R）で大気から降水過程を経過して土壌や水域など地上に降下（沈着）する汚染物質の総量が算出される。これは沈着量または沈着フラックスと言われる。pH は対数表示の指標であるため、少し事情が異なるがどちらかと言えば濃度に対応するものであり、沈着量は H^+ に換算された後に求められる。さらに種々の因子を考慮すれば、結果として次のような評価法の確立が必要である。

総合積算沈着量 = $C \times R \times t \times f$

（t：時間、f：土壌の保持能力などの因子）

なお、欧米では種々の酸性雨対策を講じるための目安になる数値として、限界負荷量（臨界負荷量, critical load）が求められている。これは上述の沈着量に関連する値であり、魚介類や森林などの生態系を保護するため、これらに対する有害な作用を起こさない、硫酸イオンや硝酸イオンの負荷量の限界値（最大沈着量）が設定されている。

5. 生態系への酸の影響（pH による評価）

酸性雨の生態系への影響評価は基本的には沈着量によるべきであるが、濃度評価あるいは pH による評価は不必要であろうか。これに関していくつかの疑問点を提出してみたい。

まず、第1は日本では世界でも類を見ない「湿性大気汚染」を経験したことである。酸性雨の被害は生態系への影響が主であるとされ、それ以外には文化財や建造物への被害も報告されている。欧米でも人体被害は報告されているが、そのほとんどは水道水を含めた飲料水によるもので、どちらかと言えば間接的な被害である。しかし、「湿性大気汚染」はきわめて直接的な被害であった。

1971年9月23日の夜、東京・代々木駅周辺で霧雨が降り、通行人十数人が目に刺さるような痛みを感じた

という。広域的には1973年に事件が起きた。この年の6月27日午後から夕方にかけて静岡県下で30名が霧雨ないしは微雨時に目や皮膚の痛み、流涙、のどの刺激、咳き込みを訴える事件が発生し、同夕刻には山梨県上野原町でも同様のことが起きた。その後、1975年にかけて関東各地で同様の被害が多発するとともに、野菜などの植物被害も報告された。特に1974年7月3日には、北関東を中心に3万人以上の被害届が出された（表3）。被害は主に目や皮膚の痛みと刺激であり、その被害は一過性のものであった。このような被害については pH による評価が重要ではなからうか。

第2の問題点は植物などへの影響に関するものである。これを沈着量で評価する場合、その沈着量と同じであれば、濃度の特性や降水量の特性は現れてこないであろうか。例えば NO_3^- 濃度が $1,000 \mu g/ml$ という凄い降水がたった1mlだけ降った場合と、 NO_3^- 濃度が $1 \mu g/ml$ の通常の降水が1,000mlという大雨として降った場合とでは、 $1,000 \mu g/ml \times 1 ml = 1 \mu g/ml \times 1,000 ml$ であり、沈着量としては同じ値になる。はたして、この両者の影響度合いはまったく同一であろうか。少なくとも、敷居値を考えた場合、薄い濃度の水や降水をバケツで100杯かけても200杯かけても植物には何ら影響も無いように思われる。このような植物への直接的な影響と同じことは、酸性雨による土壌からの金属成分の溶出でも起きる可能性がある。

これらのことを念頭において、主に植物影響について考えてみる。野外で被害が発生したとき、この被害が酸性雨によるものか、または他の原因によるものかは疫学的な手法を含めた状況証拠の把握も必要であるが、チャンバー実験による証明も必要である。しかし、現在の段階では、とにかく植物影響の実験的データは pH が主体である。実験的にはまず pH の数値決めから入り、その後やっとその pH 調整を硝酸で行うかそ

表3 関東地方での湿性大気汚染（酸性雨）による被害を訴えた人数〔1974年〕 (人)

都 県	7月3日	7月4日	7月5日
茨 城	1,793	321	3
栃 木	28,762	0	0
群 馬	138	0	0
埼 玉	1,120	0	0
千 葉	0	20	10
東 京	0	203	0
神 奈 川	0	187	0
合 計	31,813	731	13

れとも硫酸で行うかあるいは塩酸や混合した酸で行うかの酸の選択が行われるようになってきた。いずれにしてもこれらの実験は pH から始まるのであるから、降水 pH の詳細なデータの把握は重要である。

また、低い pH の降水を少しかけただけでも植物の反応があり、それは 1 回だけでも可視障害となって現れることがある。例えば、pH2.0 のような低い pH の人工降雨を 1 回かけると植物葉に可視障害が発現するが、高い pH の人工降雨を多数回かけて同量の H^+ を処理しても可視障害は発現しない場合が多い。

Jacobson らは温室内のハツカダイコンの地上部に種々の酸を単独にあるいは組み合わせた人工降雨を散布して、地上部と下胚軸部の乾重量に対する影響を調べた^{7, 8)}。3 週間の間に pH2.6~5.0 の人工降雨を 10 回散布した結果、pH2.6 の場合は下胚軸の乾重量が減少した。また、pH3.0~5.0 の人工降雨を 1 日 2 時間ずつ 4 日連続散布した場合は、pH3.0 と 3.4 の処理で下胚軸の乾重量が減少した。この人工降雨の pH 調整には硫酸、硝酸ならびに塩酸を使用した。いずれの降雨でも生長に対する影響は同様であったことから、降雨中の硫酸イオン、硝酸イオンならびに塩化物イオンの濃度や比率は作物に対してあまり重要でないと結論している。

さらに、Jacobson らは異なった肥料条件で育成させたハツカダイコンの生長に対する酸性雨の影響を調べた^{7, 9)}。硫酸イオン/硝酸イオンの濃度比率を 0.3、1.5 ならびに 7.5 に変化させ、pH2.6、3.4、4.2 および 5.0 の人工降雨を調整した。雨水の酸性度の上昇に伴って、下胚軸などの生長が減少した。しかし、硫酸イオン/硝酸イオンの濃度比率は植物の生長に対して有為な影響を与えなかった。また、肥料の添加も雨水の硫酸イオン/硝酸イオンの濃度比率に対する植物の生長における反応に影響は与えなかった。

一方、Cox は多数の植物の花粉発芽と花粉管生長における、人工降雨に対する相対的な感受性を比較検討している^{7, 10)}。調べたのは、マツヨイグサ、カエデ、ガバノキ、エンレイソウ、マイズルソウ、サクラ、トウヒ、ポプラ、ツガ、マツなどである。調査した植物の 2/3 において、pH3.0 の降雨によって花粉の発芽が阻害された。しかし、pH4.6 の降雨による影響は小さかった。広葉樹の花粉は、針葉樹の花粉に比べて、pH の低下に対する感受性が高かった。また、花粉発芽における最初の培養 pH の LD50 で（致死量 50%）値はカナダ東部で実際に降っている酸性雨の pH の範

囲内であった。

さらに Cox は異なる土壌条件の群落から採取したマツヨイグサの花粉の発芽と花粉管生長に対する人工降雨の影響を調べている^{7, 11)}。試験管内の実験では、培養 pH3.6 以下になると、pH5.6 の場合と比較して、花粉の発芽と生長が有意に阻害された。花粉発芽における LD50 は pH3.5~3.7 であった。生体内の実験においても、花粉発芽と初期花粉管生長は酸性降雨によって有意に阻害された。花粉の発芽と花粉管生長における LD50 はそれぞれ pH3.5 ならびに 4.7 であった。

このように、受粉時や発芽生長期でも pH の影響は大きいようである。これとは別に、低い pH の小雨があった場合、その降雨が終わって太陽が出て、水分がすぐ蒸発するのは植物によくない影響を与えるようである。したがって、沈着量による評価とは別に、pH による評価は重要と思われる。

6. お わ り に

現在、酸性雨による生態系への影響程度は主に沈着量による評価で行われている。

しかし、濃度による評価に意味がないというわけではない。環境庁第 1 次酸性雨対策調査では、鹿児島県・屋久島は濃度がきわめて低いにもかかわらず降水量が多いため沈着量が日本最悪という結果になった。この地で重大な影響が見られるかによって、沈着量による評価法がためられるかもしれない。

いくつかの知見を整理してみると、濃度のみによる評価も重要と思われる。また pH による評価の重要性は相対的には低下しているものの、生態系への影響機序の解明いかによっては、再評価される可能性は大きい。ヒト・動物にとっても植物にとっても、低い pH の降水がパルスの形であれ繰り返し繰り返し暴露されると何らかの形で生理的な悪影響が現れると推測されるからである。近年の酸性霧の研究はこのことに対する 1 つのヒントを提供することができるかもしれない。なにしろ、日本は世界でも類を見ない「湿性大気汚染」を経験したのだから。

現時点では、降水の pH について「低い値は生態系に悪い影響を与えるが、高い値だからといって安心できるとはかぎらない」と言えようか。

本稿記載にあたり、適切なご助言をいただいた東京農工大学 伊豆田猛博士、本研究所 光木偉勝部長および平木隆年、正賀充両主任研究員に心からお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 玉置元則, 小山 功: 地上から見た日本の酸性雨, 大気汚染学会誌, **26**, 1~22 (1991).
- 2) C. E. Junge: Air chemistry and radioactivity, Academic Press, New York, 302~306 (1963).
- 3) R. J. Charlson, H. Rodhe: Factors controlling the acidity of natural rainwater, *Nature*, **295**, 683~685 (1982).
- 4) National Acid Precipitation Assessment Program: Interim assessment, The causes and effects of acidic deposition, Volume III, Atmospheric processes (1987).
- 5) 酸性雨対策検討会大気分科会: 酸性雨対策調査報告書 (1990).
- 6) 原 宏: 酸性雨, -第1講- 「酸性雨」と pH, 大気汚染学会誌, **26**, A1~A8 (1991)
- 7) ゴルフターの緑化促進協力会: 酸性雨関係主要英語論文抄録集 (1990).
- 8) J. S. Jacobson, J. J. Troiano, L. I. Heller, J. Osmeloski: Influence of sulfate, nitrate and chloride in simulated acidic rain on radish plants, *J. Environ Qual.*, **15**, 301~304 (1986).
- 9) J. S. Jacobson, J. J. Troiano, L. I. Heller, J. Osmeloski: Effect of fertilizer on the growth of radish plants exposed to simulated acidic containing different sulfate to nitrate ratios, *Environ. Pollution (Seies A)*, **44**, 71~79 (1987).
- 10) R. M. Cox: Sensitivity of forest plant reproduction to long range transported air pollutants; In vitro sensitivity of pollen to simulated acid rain, *New Phytol.*, **95**, 269~276 (1983).
- 11) R. M. Cox: Sensitivity of forest plant reproduction to long range transported air pollutants; In vitro and in vivo sensitivity of *Oenothera parviflora* L. pollen to simulated acid rain, *New Phytol.*, **97**, 63~70 (1984).

海外環境情報

オゾン層破壊の記録更新

Ozone Layer Shows Record Thinning

地球大気中に含まれているオゾンガスの減少は地球規模の環境破壊として環境科学者らが憂慮しているが、最近の人工衛星の観測によって、オゾン濃度は従来の最低濃度値を更新する記録的な減少を続けていることが判明した。

このオゾン観測は、地球観測衛星のNimbus-7が過去15カ月間に Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) と呼ばれるセンサーで測定したオゾン濃度データを分析したものであり、同プロジェクトを担当している米国 NASA Goddard 宇宙センターの James Gleason 氏によれば、今回の低濃度現象の発生はNimbusが過去13年間に実施したオゾン濃度測定の統計に照らして極めて異常な濃度減少であるという。

このオゾン濃度の異常現象は、成層圏におけるオゾ

ン濃度がこれまでの最低値よりもさらに2~3%減少し、その減少傾向が継続しているというものであるが、米国カリフォルニア大学Irvine校のMichael Prather氏も、このような減少傾向は統計的ゆらぎとは考えられず、何か原因があると考えの方が自然であると指摘している。NASAの研究者らは、この驚くべき観測データを分析した際にNimbus衛星のTOMSセンサー自体の誤動作についても検討し、太陽を用いた測定校正およびオゾンセンサーを搭載した他の人工衛星データとの比較を繰り返した結果、TOMSセンサーは正常に作動していることを確認している。

地球科学者らは、今回の急激なオゾン濃度減少の原因として、1991年に発生したフィリピンでのPinatubo火山の放出ガスを指摘しているが、この予測シミュレーションとNimbusのデータは必ずしも一致しない点があるという。

R. Monastersky

Science News Vol.143, No.17, April 24, 1993

(科学技術国際交流センター発行 MOVEMENT 第12号より転載)