

青森県津軽地方の降水の pH 変動と NO₃⁻, SO₄²⁻ 降下量*

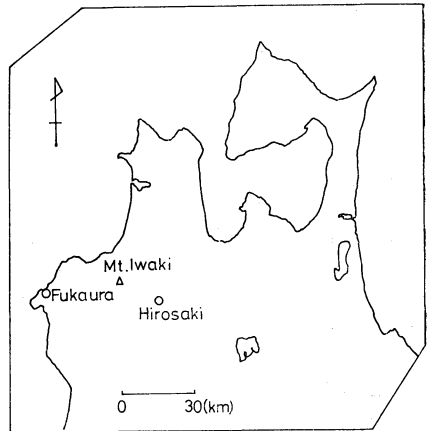
中谷 周**・荻野 激***

要 旨

青森県の西海岸に位置する深浦町及び弘前市で1988年5月から1991年3月まで2週間ごとに降水(含乾性沈着物)を採取、pH、NO₃⁻、SO₄²⁻ 濃度および粒子状物質中の Al、Ca 濃度を測定した。両地点での3年間の観測結果の平均値は、深浦、弘前で pH は 4.66、4.51 である。NO₃⁻、SO₄²⁻ 濃度、降下量は深浦、弘前で NO₃⁻ が 2.27、2.39 mg・l⁻¹、SO₄²⁻ が 21.2、4.19 mg・l⁻¹ であり、降下量は NO₃⁻ が 2,600、2,340 mg・m⁻²・y⁻¹、SO₄²⁻ が 21,200、4,430 mg・m⁻²・y⁻¹ である。NO₃⁻/SO₄²⁻ 当量比濃度は深浦で 0.20、弘前で 1.1 であり、nss-SO₄²⁻/SO₄²⁻ 濃度比は深浦で 0.44、弘前で 0.80 である。

1. はじめに

欧米に見られるような深刻な影響、被害はないものの、近年日本各地で降水の酸性化が観測、報告されている。その多くは大都市や工業地帯等であるが、その原因物質が硫黄、窒素酸化物であり、これらは気体として大気中へ放出されるものであることを考慮すれば、その寄与は広範囲におよぶと考えられる。本研究では、農業が中心で人為的には比較的清浄と思われる青森県での降水の pH、大気汚染源を表すと考えられる硝酸塩、硫酸塩の濃度と降下量、さらに硫酸塩の測定結果から非海塩硫酸イオン (nss-SO₄²⁻) の濃度および降下量を、降水を採取、分析し、求めた。



第1図 降水採取地.

2. 降水試料と分析法

第1図に示す、日本海に面した青森県西津軽郡深浦町、黄金崎不老不死温泉の屋上(海拔7.5m)と日本海から31kmに位置する弘前市、弘前大学理学部屋上(海拔50m、地上15m)の2箇所、第2図に示す採取面積が299cm²、高さ115cmの採水器を設置し、2週間ご

とに1988年5月から1991年3月まで降水を採取した。この試料には乾性沈着物も含まれる。

降水試料は採取後 pH を測定、次いで孔径 0.4 μm のヌクレポアフィルターで吸引濾過し、粒子状物質と降水試料に分け、キャップ付き遠沈管(容量 30 ml)及びポリエチレン瓶に分析まで保存した。粒子状物質はデシケーター中で乾燥し、重量測定後灰化し、王水、過塩素酸、フッ化水素酸等で加熱分解、蒸発乾固後薄い塩酸に溶解、一定量として、Al、Ca をフレイムレス、フレイム原子吸光法で測定した。降水試料中の SO₄²⁻ はイオンクロマトグラフィーで、Na⁺、Ca²⁺ はフレイム原子吸

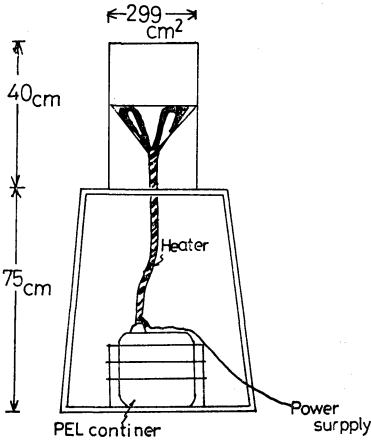
* Variation of pH and deposition amount of NO₃⁻, SO₄²⁻ by precipitation in the Aomori prefecture.

** Shyu Nakaya, 弘前大学理学部地球科学科.

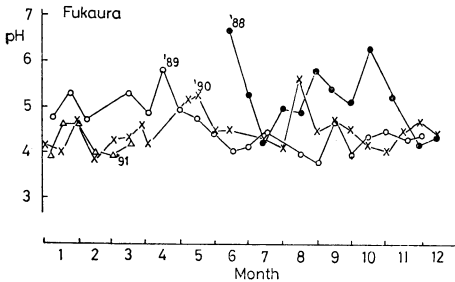
*** Tagiru Ogino, 北海道地下資源調査所.

——1991年12月11日受領——

——1992年8月29日受理——



第2図 降水採取器.



第3図 深浦町における降水の pH 変化.

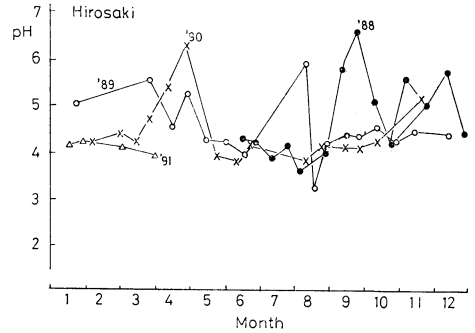
光法で測定した.

3. 結果と考察

3.1 降水の pH

農業が中心で人為的には比較的清浄で、自然環境に恵まれたといえる青森県深浦町(第3図)、弘前市(第4図)での pH の測定結果を示す。ほとんどの降水が pH 5.6 以下の酸性雨である。しかし、両地点での観測結果で注目されるのは、両地点での降水とともに pH 5.6 以上の降水が年1~2回の頻度とはいえ観測されていることである。

降水中には酸性を示す陰イオン SO₄²⁻, NO₃⁻ などのほかに、NH₄⁺, Na⁺, Ca²⁺ などの塩基性陽イオンも多く溶解しており、これら全てのイオンの化学当量のバランスにより pH は決定する。都市や工業地帯では酸性陰イオン以外に NH₄⁺, Na⁺, Ca²⁺, K⁺ などの塩基性陽イオンが多く存在し、酸性陰イオンを中和、pH 値はそ



第4図 弘前市における降水の pH 変化.

第1表 深浦, 弘前の降水の年平均 pH 値

年	深 浦	弘 前
1988	5.26 ± 0.76	4.76 ± 0.88
1989	4.58 ± 0.54	4.49 ± 0.65
1990	4.56 ± 0.54	4.45 ± 0.67
1991	4.25 ± 0.32	4.11 ± 0.16

れ程低下しないことがある。また、乾性沈着物や土壌粒子なども降水中の酸性陰イオンを中和する。これが降水の pH 値を高くする要因と考えられるが、他に何が原因となっているのか、今後検討する必要があると思われる。

我が国では、関東地方北西部での杉の衰退と酸性雨との関係が具体的に明らかにされたが(関口ら, 1985)、欧米で報告されているような森林、湖沼への深刻な被害については未だ報告はない。

酸性雨については多くの報告があり(猿橋・金沢, 1978: 大喜多, 1987: 植田, 1990)、日本における降水の pH の観測については前報に記した(中谷ら, 1982)。

本研究の深浦, 弘前で1988年~1990年の3年間の年平均 pH 値を第1表に示す。

年々降水の pH は酸性化傾向にあるように見える。環境庁による1983年から1986年までの第一次酸性雨対策調査によって、我が国ではようやく広域調査が実施されたが、それによれば全国29地点の平均 pH 値は4.4~5.1の範囲にあった。本研究の測定値はこれに相当するものであるが、1991年の測定結果は環境庁による調査範囲より

第2表 NO₃⁻, SO₄²⁻ の年平均濃度, 降下量及び関連パラメーター (1988年5月~1991年3月).

	降水量 (mm・y ⁻¹)	pH	SO ₄ ²⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	nss-SO ₄ ²⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ /SO ₄ ²⁻ (equivalent ratio)	NO ₃ ⁻ /nss-SO ₄ ²⁻
弘前	1180	4.51±0.71	4.19±3.30	2.27±1.99	3.19±2.34	1.11 ±1.73	1.87±3.49
深浦	1266	4.66±0.63	21.2 ±21.0	2.39±2.20	6.58±2.20	0.197±0.198	1.35±4.16
全国* (平均)	1755	4.7	2.64	0.96	—	0.26	0.34
			nss-SO ₄ ²⁻ /SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ (mg・m ⁻² ・y ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg・m ⁻² ・y ⁻¹)	nss-SO ₄ ²⁻ (mg・m ⁻² ・y ⁻¹)	
			0.796±0.107	4430±3290	2340±2650	2380±1700	
			0.441±0.270	21200±20000	2600±2290	6860±6750	
			0.8	4619	1646	3741	

* 森ら(1991).

も酸性側にあるものであった。これらの pH 値は、降水の採取法により pH 値に多少差があることが報告されている(玉置ら, 1987)。すなわち、北米や欧州においては自動採取方式により一降雨ごとに湿性降下物のみを採取するが、我が国においては湿性、乾性沈着物を区別しない一括採取方式である。この一括採取方式では湿性沈着物のみを採取するのに比べ pH が 0.1-0.2 高い傾向にあるが(玉置ら, 1987)、北米の 4.0-5.7、平均 4.5 (1982 年度測定値) (Olsen and Watson, 1984)、欧州の 3.4-6.2、平均 4.5 (1981 年度測定値) (EMEP/ccc-Report, 2/84) よりもやや高めである。また、北村ら (1991) による環境庁第一次酸性雨対策調査のデータ解析で、pH 頻度分布の夏期と冬期における季節差は、西日本と日本海側では冬期に低く、東日本では夏期に低かったとしているが、本研究では明らかな地域的、季節的な差は見出されていない。

指宿 (1990) によれば、ヨーロッパの雨水の陰イオンの約60%は硫酸イオン、約30%が硝酸イオンであり、我が国では硝酸イオンの比率がこれよりも高くなることが多いが、いずれにしても雨水の酸性化の主な原因物質は硫酸、硝酸であり、その前駆物質は二酸化硫黄を始めとする硫黄化合物と窒素化合物であると考えて良いとしている。また、森ら (1991) は日本各地 15 地点で、1986 年、1987 年度の 2 年間、降水の pH と降水中の NO₃⁻ および SO₄²⁻ の当量濃度比 (N/nss-S 比) との関係に注目、検討し、日本各地の都市や太平洋側の地点では pH 低下に関与するのは NO₃⁻ 濃度であるが、日本海側の各地では、pH 低下には nss-SO₄²⁻ が関与することを明らかにしている。

3.2 NO₃⁻, SO₄²⁻ 濃度, 降下量および nss-SO₄²⁻ 降下量

1988年5月から1991年3月までの弘前および深浦における NO₃⁻, SO₄²⁻, nss-SO₄²⁻ (非海塩硫酸イオン) の採取降水ごとの平均濃度、および nss-SO₄²⁻ 濃度、降水採取面積、採取期間を基に算出した降下量、NO₃⁻/SO₄²⁻ 当量濃度比、nss-SO₄²⁻/SO₄²⁻ 比を第2表に示す。

但し、nss-SO₄²⁻ 濃度は下の式により求める (Keene *et al.*, 1986).

$$\text{nss-SO}_4^{2-} = (\text{SO}_4^{2-})_{\text{obs.}} - (\text{Na}^+)_{\text{obs.}} \times (\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+)_{\text{seawater}}$$

ここで、(SO₄²⁻)_{obs.}, (Na⁺)_{obs.} は降水中の SO₄²⁻, Na⁺ の実測濃度、(SO₄²⁻/Na⁺)_{seawater} は海水中の SO₄²⁻ と Na⁺ の重量比であり、0.252 (Brewer, 1975) を用いた。

弘前における SO₄²⁻, nss-SO₄²⁻ の平均降下量が森ら (1991) による全国 29ヶ所の平均値よりも低降下量であることを除き、深浦、弘前で SO₄²⁻, nss-SO₄²⁻, NO₃⁻ の平均濃度、降下量とはともに全国平均よりも高濃度、高降下量である。SO₄²⁻, nss-SO₄²⁻ が全国平均より高濃度でありながら低降下量を示しているのは、降下量が寄与しているものと推測される。森ら (1991) の全国平均値と大きく異なるのは、NO₃⁻/SO₄²⁻ 当量濃度比が深浦で0.2、弘前で1.1と弘前で大きな値を示すことである。また、nss-SO₄²⁻/SO₄²⁻ 比が全国平均では0.8で、SO₄²⁻ 降下量の8割が非海塩硫酸イオンであるとしており、弘前ではこれと同様に0.8であるが、深浦では0.4と小さな値である。これは採取点が海岸に位置するため海塩の供給量が大きく関与していることによるものと思われる。

弘前、深浦における各採取降水ごとに求め、月平均値

第3表 月平均 SO₄²⁻, NO₃⁻ 降下量および nss-SO₄²⁻/SO₄²⁻ 濃度比

月	深 浦			弘 前		
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nss-SO ₄ ²⁻ /SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	nss-SO ₄ ²⁻ /SO ₄ ²⁻
	(mg·m ⁻² ·month ⁻¹)			(mg·m ⁻² ·month ⁻¹)		
1	2850	254	0.277	579	167	0.755
2	2030	254	0.237	590	261	0.815
3	2600	130	0.359	480	160	0.742
4	1480	215	0.470	417	191	0.760
5	429	199	0.489	184	143	0.940
6	738	321	0.823	119	240	0.866
7	660	198	0.773	64.2	119	0.843
8	384	142	0.582	150	111	0.878
9	924	217	0.407	212	202	0.819
10	3030	225	0.233	389	261	0.880
11	3110	254	0.232	654	171	0.733
12	2940	192	0.407	591	309	0.526

とした SO₄²⁻, NO₃⁻ 降下量を第3表に示す。SO₄²⁻ 降下量は両地点ともに冬季に多く、夏季に低い傾向があり、海岸に位置する深浦での降下量が弘前よりも極めて高い。これは海塩起源 SO₄²⁻ 供給量が冬季、西高東低の気圧配置となり、日本海からの物質供給が大きくなる(中谷ら, 1982) 季節変化が大きく関与しているためと考えられる。

非海塩硫酸イオン (nss-SO₄²⁻) 降下量と SO₄²⁻ 降下量比 (nss-SO₄²⁻/SO₄²⁻) は深浦では4月~9月が高く0.5~0.8であり、その他の月では0.3~0.4と小さな値である。しかし弘前では年間を通して0.8~0.9の値であり大きな変動はない。これは前述のように海塩として供給される海塩起源硫酸イオンの多少により引き起こされる結果であると考えられる。

そこで、本研究の2地点について、夏季(5~8月)、冬季(11~2月)に分けて nss-SO₄²⁻ 降下量を算出、第4表に示す。

冬季深浦の1988~1989年の観測値以外全て冬季が夏季よりも高降下量を示している。この降下量を各観測年の年平均降下量に対する夏季、冬季の平均降下量の割合で見ると、深浦で夏季(5~8月)14.2%、冬季(11~2

第4表 夏季、冬季別 nss-SO₄²⁻ 降下量

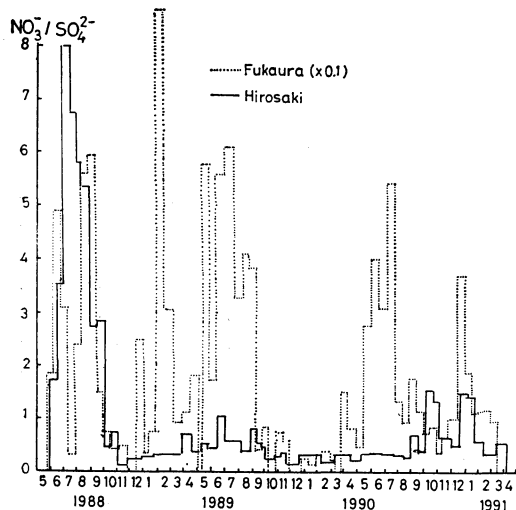
(mg·m⁻²·month⁻¹)

深 浦	夏 季 (5-8月)		冬 季 (11-2月)	
	1988-1989	612 ± 513	248 ± 327	
1989-1990	248 ± 147	1128 ± 465		
1990-1991	290 ± 154	558 ± 147		
弘 前				
深 浦	夏 季 (5-8月)		冬 季 (11-2月)	
	1988-1989	288 ± 289	423 ± 194	
1989-1990	170 ± 36	384 ± 51		
1990-1991	147 ± 138	298 ± 231		

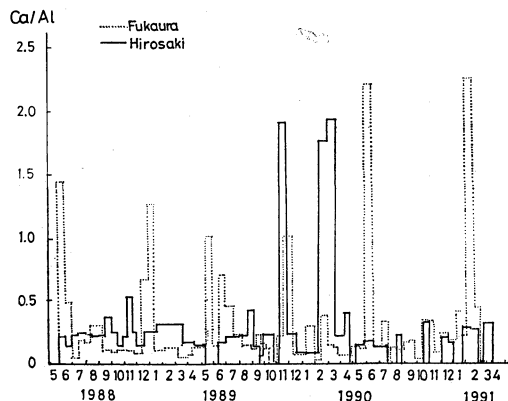
月)53.6%、弘前で夏季22.2%、冬季38.6%であり、両地点ともに、nss-SO₄²⁻ の年間降下量の40~50%が冬季に供給されている。この結果は両地点ともに冬季地表面が雪に覆われることを考慮すれば、この両地域での冬季の暖房器具の使用による盛んな化石燃料の消費による影響も考えられるが、日本海に面する深浦が内陸の弘前より高降下量を示すことはそれだけの起源からだけのものではなく、冬季の西高東低の気圧配置下での中国大陸からの物質供給による影響も考えられるのではないかと推測される。

一方、NO₃⁻ 降下量は深浦、弘前ともに冬季に高い傾向があるものの SO₄²⁻ 降下量ほど明確な季節変化を示しておらず、深浦、弘前両地点ともにその降下量に大きな差はない。従って、この程度のもので大気汚染物質として大気中へ供給されていると考えても差し支えないのかもしれない。

NO₃⁻/SO₄²⁻ 当量濃度比を降水ごとに求め第5図に示す。その変動傾向に規則性があるとはいえないが、傾向として6~9月に大きく、11~12月に小さい傾向がある。但し、弘前の1990年の12月~91年1月は他の年月とは反対に高い。1988年6~9月、特に7月の異常に高い値は、地域的な素素酸化物の放出によるものためであろうと推察するが説明は困難である。一般には、関東などでは pH が低くなると N/S 比が大きくなるといわれ(牧野ら, 1986)、森ら(1991)は日本各地15地点で、1986年、1987年度の2年間、降水の pH を降水水中の NO₃⁻ 及び SO₄²⁻ 当量濃度比 (N/S 比) との関係に注目、検討し日本各地の都市や太平洋側の地点では pH 低



第5図 深浦, 弘前における採取降水ごとのNO₃⁻/SO₄²⁻ 当量濃度比の変動.



第6図 深浦, 弘前における粒子状物質中のCa/Al 濃度比変動.

第5表 アスファルト舗装材等の主要元素成分組成

	Ca/Al	Fe/Al	K/Al	文献
土壌	0.21	0.56	0.20	Boven(1979)
アスファルト	0.92	0.34	0.27	谷中他(1985)
舗装材				
黄砂エアロゾル	0.85	0.53	0.40	溝畑・真室(1980)

下には硝酸が関与しているが青森県, 青森市, 弘前市では硫酸イオンが関与していることを明らかにしている. 著者ら(中谷ら, 1982)も弘前での降水のpHには窒素化合物の関与の可能性を指摘したが, 今回の観測でも降水のpH(第1表)とNO₃⁻降下量(第3表)は変動が小さく, nss-SO₄²⁻, SO₄²⁻降下量は変動するものの, いずれもpHとの良い相関関係は認められず, NO₃⁻, SO₄²⁻のいずれがpH変動に関与しているかは明らかにできなかった.

採取降水を0.4 μmのヌクレオフィルタで吸引ろ過して得た粒子状物質中のCa/Al濃度比を深浦, 弘前について各降水ごとに求めた結果を第6図に示す. 深浦では各年の6月, 12~2月に大きな値を示す. また弘前でも深浦ほど明瞭ではないものの8~9月, 11月, 2~4月に大きなCa/Al比が示されている. 日本の表層土のCa含有量は低く(~0.1%), Ca/Al比は~0.2と小さい. それに反し中国の表層土は0.6~1.3と高く, 一般にCa含有量の高いことは黄砂の飛来を告げることになると言われている. 黄砂現象は春3~6月に, 85%が集中していると言われている(Prospero, Uematsu and Savoie, 1989)が秋にも時々おこっていると言われており(村山, 1987), その長距離輸送規模は大きく, 中部太平洋までに達している(Prospero, Uematsu and Savoie, 1989). またCa/Al比を変動させる要因として, この両地点では冬季間, 寒冷地のためスパイクタイ

ヤが使用されており, 春先はこれによる粉塵が起源として関与していることが考えられる. このスパイクタイヤ粉塵をアスファルト舗装材で見ると第5表に示す結果となる. アスファルト舗装材の主要元素の構成成分率はCaが高濃度であり黄砂に起因する粒子にはほぼ一致している(溝畑・真室, 1980). このことからスパイクタイヤ粉塵によるCa/Al比変動にどの程度関与しているかは不明であるが, スパイクタイヤによる粉塵の影響は気温が上昇し, 雪解けが進み, 道路面が乾燥した時(3月下旬~4月)に大きくなるもので, 少なくとも本観測での深浦の結果への影響はあっても小さなものであろうと思われる. 以上のことを考えると, これらの結果はこの影響によるものより中国大陸からの陸起源物質がすくなくからぬ影響を与えていることによるものではないかと考えられる. 降水のpH分布に極端な偏りはないが, 低pHは西日本に, 高pHは北海道, 東北地方に多く出現する傾向がある. また, 低pH値は大都市, 工業地帯の多い表日本に見られるだけでなく, 大陸からの冬季, 季

節風にさらされる北陸、山陰、九州の日本海地域でも顕著であると報告されている(環境庁酸性雨対策検討会大気分科会, 1990)。これは大陸からの物質供給を示唆するものと考えられ、本研究の結果を支持するものであると思われる。但し、pH と Ca/Al 比変動との間の相関性は認められず、今後の詳細な研究が必要であり、pH を酸性化するほどの大陸起源物質が中和されず大気中をエアロゾル、または気体としてどの程度供給されているのかは不明で今後の研究課題としたい。

6月、8～9月に Ca/Al 比が増大する原因としては、一つの考えられる要因として、青森県地方はリンゴ栽培が主産業でリンゴ園で多量の農薬が使用されている。農協が各リンゴ栽培農家に使用を指示している農薬とその散布状況を見ると、毎年9～10月を除く4月中旬から11月下旬まで、ボルドー液を主とする硫黄、Caを主成分と農薬が使用されている。今後の詳細な研究が必要ではあると考えられるが、これが Ca/Al 比を増加させる Ca の供給源となっているのではないかと考える。

4. まとめ

青森県津軽地方の降水はほとんどが pH 5.6 以下のいわゆる酸性雨である。その酸性度は年々低下傾向にあることが観測された。この降水の pH に最も影響を与えるであろうと思われる NO_3^- , SO_4^{2-} 降下量と pH 間に明らかな関係はみいだされず、どちらが関与しているのかはあきらかに出来なかった。

年間を通しての降下量では深浦、弘前ともに冬季に降下量の増加を示し、冬季の盛んな暖房器具による化石燃料の消費による影響が考慮されるが、一部は降水中の粒子状物質の $\text{Ca}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ 濃度比の観測結果等から黄砂の混入が考えられ、中国大陸からの供給もあるのではないかとする結果である。

5. 謝 辞

降水試料の採取にご協力くださった深浦町黄金崎不老不死温泉関係者に感謝致します。

文 献

- Bowen, H.J.M., 1979: Environmental chemistry of the elements, Academic Press, London, p. 333.
 Brewer, P.G., 1975: Minor elements in sea water, Chemical Oceanography, ed. by Riley, J.P. and Skirrow, G. Academic Press, p. 417-419.
 指宿堯嗣, 1990: 酸性雨(環境の酸性化)の原因物

質, 化学総説, 大気科学, 日本化学会編, 学会出版センター, p. 99-115.

EMEP/ccc-Report. 2/84, 1984: The chemical coordinating center for the second phase of EMEP.

Keene, N.C., A.A.P. Pszyny, J.N. Galloway and M.E. Hawley, 1986: Sea-salt correction and interpretation of continent nations in marine precipitation, J. Geophys. Res., 91, 6647-6658.

北村守次, 加藤拓紀, 関口恭一, 田口圭介, 玉置元則, 大原真由美, 森 淳子, 村野健太郎, 若松伸司, 山中芳夫, 大喜多敏一, 原 宏, 1991: わが国の酸性雨の pH とその頻度分布パターン, 日化誌, 913-919.

牧野 宏, 小山恒人, 阿相敏明, 金子幹宏, 才木義丈, 1986: 第 27 回大気汚染学会講演要旨集, p. 237.

溝畑 朗, 真室哲雄, 1980: 堺における大気浮遊物質中の諸元素の発生源の同定(I). 大気汚染学会誌, 15, 198-206.

森 淳子, 大原真由美, 若松伸司, 村野健太郎, 田口圭介, 関口恭一, 玉置元則, 加藤拓紀, 北村守次, 大喜多敏一, 山中芳夫, 原 宏, 1991: 酸性沈着物における硝酸イオンと硫酸イオンの当量比に関する考察, 日化誌, 920-929.

村山信彦, 1987: 黄砂の発生と輸送, 天気, 34, 176-179.

中谷 周, 山口 猛, 田中 玲, 北林雅洋, 1982: 弘前市における降水の化学成分, 天気, 29, 773-780.

Olsen, A.R. and C.R. Watson, 1984: Acid precipitation in North America, 1980, 1981, 1982, Annual data summaries based on acid deposition system data base.

大喜多敏一, 1987: 酸性雨, 気象研究ノート, 第185号, 日本気象学会.

Prospero, J.M., M. Uematsu, and D.L. Savoie, 1989: Mineral aerosol transport to the Pacific Ocean, Chemical Oceanography, 10, ed. J.P. Riley, R. Chester and R.A. Duce, Academic Press, p. 188-218.

酸性雨対策中間報告, 1987: 環境庁酸性雨対策検討会大気分科会.

酸性雨対策調査報告書, 1990: 環境庁酸性雨対策検討会大気分科会.

猿橋勝子, 金沢照子, 1978: 降水の pH, 天気, 25, 173-181.

関口恭一, 原 義彦, 氏家淳雄, 1985: 関東地方における酸性降下物とスギ枯れについて, 第26回大気汚染学会講演要旨集, p. 349.

玉置元則, 平木隆年, 鳥橋義和, 1987: ろ過式大気降下物採取装置の評価, 兵庫県公害研究所報告, 19, 41-51.

谷中隆明, 漆山佳雄, 北島永一, 福崎紀夫, 田村良三, 丸山隆雄, 1985: 道路粉塵による大気汚染—基礎的検討と新潟市の実態調査—, 全国公害研究会

誌, 10, 18-32.

植田洋匡, 1990: 酸性雨, 地球規模の環境問題(I), 大喜多佐武郎監修, 中央法規, p. 185-244.



気圧の単位ヘクトパスカルに変更

—ミリバール, ジオポテンシャルメートル役目を終える—

1. 気象業務に使用する単位の変更の概要

単位の SI (国際単位系) 化は国際的趨勢であり, 世界気象機関 (WMO) もヘクトパスカルの導入をはじめ, 積極的に取り組んでいる. 国内では計量単位の SI 化を進める計量法の改正が行われ, 1993年11月1日から施行される.

こうした環境にあって, 気象庁は気象業務で用いる単位について特に支障のあるものを除き全面的に SI に移行することが適当と判断し1999年12月1日から実施した.

これにより, 気象情報などに用いられる単位はミリバールからヘクトパスカルに, ジオポテンシャルメートルはメートルに変更された. これらの変更においては, 数値は全く変わらない.

なお, マイクロミリバール (μmb : オゾン分圧) などいくつかの単位は, 国際的に使用されているなどの理由から当面そのまま使用する.

2. ミリバールからヘクトパスカルへ

WMO では 1979 年の第 8 回世界気象会議において気圧の単位をミリバールからヘクトパスカルに変更することを決議し, 世界的に使用が広がっている. 日本国内では既に航空気象の分野において, 1987年11月19日からヘクトパスカルに変更されている.

パスカル (記号 Pa) は, SI で圧力, 応力の単位に与えられている固有の名称で, $1\text{Pa}=1\text{Nm}^{-2}$ である. ヘクト (h) は 10^2 を表す接頭語である. バール (bar, b) は $1\text{b}=10^5\text{Pa}$ で, $1\text{mb}=1\text{hPa}$ となる.

3. ジオポテンシャルメートルからメートルへ

この変更は単なる単位の変更ではなく, ジオポテンシ

ャルからジオポテンシャル高度へという, 高度を表す気象要素の変更により単位の SI 化を図るものである.

WMO は 1991 年の第 11 回世界気象会議で WMO 技術規則にあった「ジオポテンシャルの単位 (unit of geopotential)」の定義を廃止し, 新たに「ジオポテンシャル高度 (geopotential altitude)」の定義をおくという改正を決議し, 1992年7月1日に発効することとした.

今回の WMO 採用したジオポテンシャル高度の定義式は次のとおりである.

$$H_G(Z) = -\frac{1}{g_s} \int_0^Z g(z) dz$$

g_s : 標準重力加速度 (9.80665ms^{-2})

$g(z)$: 重力加速度 (単位 ms^{-2}), 幾何学的高度の関数

z : 幾何学的高度 (単位 m)

H_G : ジオポテンシャル高度 (単位 m)

従来の (スタンダード) ジオポテンシャルメートル (記号 gpm, m') の定義との違いは, 積分記号の前の分数の分母が単位を含むか否かだけである. ジオポテンシャル高度は長さの次元を持ち, SI ではメートルとなる. 単位を除いた数値はジオポテンシャルと全く同じである.

この変更で, 気象学におけるジオポテンシャルという概念が消えてしまったわけではなく, 例えば高層気象観測の指定気圧面の高度の表し方をジオポテンシャル高度というものに変えたということである.

(気象庁観測部 山本 哲)