

秋田市における降水の水質と負荷量

羽田 守夫・青木 実・加賀谷 均**

Precipitation Chemistry and Its Loading by Precipitation in Akita City.

Morio HANEDA, Minoru AOKI, Hitoshi KAGAYA
(昭和56年10月31日受理)

Precipitation samples were taken two or three times a month on the top of our College, over a period of 1 year. All samples were analyzed for pH, Dissolved Solids, Cl ion, Ca ion, divalent cation, Chemical Oxygen Demand, Ultra-violet Absorption, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen and nitrate nitrogen.

The relationships between the concentration of these qualities and the meteorological parameters such as the amount of rainfall, wind velocity and so on were considered. And monthly average concentration and their loading by precipitation were computed and estimated, respectively. In Akita City, the chemistry of precipitation was influenced greatly by seasons, especially by North-West wind in winter. Thus, the seasonal variation of precipitation chemistry was observed clearly.

1. はじめに

河川の水は、降水がその起源であるが、河道面に直接降る降水、地表に到達した後表面を流下して河川に流れ込む表面流出水および到達した後地中に浸透し長い滞留時間の後流出してくる地下水のそれぞれ質の異なる3つの成分から成り立っている。しかもこれらの成分の割合は、洪水や渇水などの異常時のみでなく普段でも降水の前後などの気象条件によりかなり変化しており、これらを明瞭に区別することは困難である。これを水質の面からみると、これらの成分の接触する物質が、大気、地表の土壌および地下の岩石というようにそれぞれ異なり、またその接触時間も異なるという特性を持つ3つの成分が様々な割合で混合して河川の水質を形成していると考えることができる。従ってそれだけに河川の水質は複雑であり、特に流量変動時の水質の挙動や各物質から河川に供給される負荷量などを把握することが、公共用水域としての河川の水質保全や総量規制に伴う削減負荷量の算定などに取って非重に重要であることが理解されよう。

近年、我国は都市化と工業化が進み、様々な人為

的汚濁源から排出される汚染物質のため、特に都市域での水質汚濁や大気の汚染が全国的に進行しつつある。大気の汚染は、光化学スモッグのような直接人間の健康に影響するような現象を生ぜしめるだけでなく、大気を通過する降水の中に様々な物質を吸着溶解させ、その結果降水の水質悪化として世界的に表われている。そしてこれが前述したようなメカニズムで河川の水質悪化の一因ともなっており、次第に無視し得ない量になりつつあることが各地から報告されている。

このような観点から、著者は秋田市において降水の分析を続けてきた。ここでは、1980年4月から81年3月までの1年間の結果について、水質の月別変化や気象因子との関係、推定負荷量などについて報告する。

2. 採水と分析方法

降水の採水に際してLewis¹⁾らは、①dry falloutをどうするか、②貯留中の粒子の形成や化学変化、③採水器の表面の高さと材質、④採水場所と周囲の環境との関係、⑤鳥や虫による汚染などを考慮することが重要であると述べている。これらを考慮して、採水器は本校屋上1.6mの位置に設置した。採水器は直径50cmの塩ビ製ロートで、約5ℓの採水びんは日

* 国土総合建設

** 建設省土木研究所

光を避けてこの下に取付けた。dry falloutと鳥などによる汚染を防ぐため、採水器は降水開始の直前にセットして降水による降下量だけを測定することにした。採水量は原則として1ℓ以上としたが、これは約5mmの降水量に相当する。雪のサンプリングも同様に行ない、採取後室温にて溶かしてから分析を行なった。水質分析項目は、PH、DS、Clイオン、Caイオン、二価陽イオン、COD、紫外吸光度(220, 250, 260)、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nである。分析方法は主として「雨水の分析²⁾」によったが、一部上水試験方法(DS、COD)とオリオン社製イオンメーター(Clイオン、二価陽イオン)も併用した。採水と分析は、月1～5回の割合で任意に行ない、年間33回であった。これは、全降水回数と全降水量の共に約半分を占めている。

3. これまでの研究

降水は、その起源から地上に至るまでの間に様々な成分を吸着あるいは溶解する。雨滴が生長していく段階で取込まれることをレインアウト、降下中に取込まれることをウォッシュアウトというが、後者はいわゆる洗浄効果であり、降水中の化学成分の濃度に大きな影響を与えると言われる。大気中には、量はごくわずかながら半径0.01～10μmの微小粒子、エアロゾルが存在するが、降水の洗浄効果は一般に巨大な粒子にしか及ばないと言われている²⁾。エアロゾルには、海洋起源のものと大陸起源のものとがあり、前者は海面で波が砕ける時に入った気泡が破れる時に生まれ、風速の3乗に比例して増大すると言われる。後者は、陸の表面の物質が風に巻き上げられて生じるもので、黄砂などに代表される。またこれらの他に、人間活動により増加した物質が降水により地上に運ばれることも重要で、近年報告されつつある酸性の雨もその例である。このように、降水中には様々な起源の物質が含まれており、大気汚染、水域の水質の季節変動や負荷量の算定に当って³⁾、降水により持たされる成分とその負荷量の変化を把握することは重要である。

Johnsonら⁴⁾は、1960年代のアメリカの演習林における降水の水質について、NH₄とNO₃が平均でそれぞれ0.22, 1.31mg/ℓと報告している。Nichollsら⁵⁾は、1974年カナダのHarp湖に対する大気からのNとPの負荷を求め、降水のT-NとT-Pの平均濃度をそれぞれ1.91, 0.105mg/ℓ、そして冬にはPが小さくなることを報告した。Pierstorffら⁶⁾は、雪の水質を調べ、

DS, BOD, COD, PHがそれぞれ23.6, 1.2, 0.4, mg/ℓ 5.13と報告した。Reidら⁷⁾は、イギリスにおいて降水と河川水の化学成分を比較し、降水のTOC, PH, Cl, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-Pについてそれぞれ2.00, 4.33, 2.93, 0.17, 0.91および0.006mg/ℓと報告した。また彼等は、降水の化学成分の起源について①海水、②工場、③ほこりと④土の4種類をあげ、①についてはNa, Mg, Clが、②はNO₃-N, SO₄-S, PHが、③はSO₄-S, Ca, Kがそして④はNH₄-Nが、相関が強いことを示した。工場は燃料の燃焼によるもので、土は土中の動物の尿の分解による大気中のNH₄-Nの増加によるものとしている。Eriksson⁸⁾は、降水の化学成分の測定例をまとめて報告した。これによると、降水の水質測定は、主としてNH₄-NとNO₃-Nについて1870～1920年ごろよく行われ、これらをヨーロッパ、アジア等の地域別にまとめて彼は示した。これらから、T-N量はヨーロッパに多いこと、熱帯地方では硝酸の割合が高いこと、年間負荷量は降水量、風向、人口などにより変化が大きいことおよび大気中のNH₄の排出源は、主として燃料の燃焼によることなどを示した。

Junge⁹⁾は、アメリカ各地のNH₄とNO₃の濃度を基に濃度別地図を描いた。また、NH₄は春の終りから初夏にかけて最大に、秋から初冬にかけて最小になるなど明らかな季節変動が見られることやPHの低い土壌はNH₄を吸収し、このような地域ではNH₄の濃度低下が見られることなどを示した。Angströmら¹⁰⁾は、スウェーデンの降水のN成分の分析を行なった。Frizzolaら¹¹⁾は、アメリカで地域別に降水の水質を測定し、都会地程N濃度が高いことを示した。またNa/Cl比も海岸に近い地域程海水の比1.80に近いことも報告している。Lewis¹²⁾は、ベネズエラの湖の近くで2年間に渡り降水の分析を行なった。その結果、不溶性成分の量は乾期に多く、溶解性成分は逆に雨期に多かった。溶解性陽イオンは、Na>Mg>Ca>H>NH₄>Kの順で大きく、陰イオンはHCO₃>Cl>SO₄>NO₃>PO₄の順であった。負荷量は季節毎に大きく変化し、降水量や雨期初めのフラッシュ効果などが影響していると報告している。Siegel¹³⁾は、融雪が水質に与える影響に関して降水のSO₄とPHを測定し、PHを4.2～6.3と報告した。Christopherson¹⁴⁾は、ノルウェーで6年間に渡り降水と河川水の化学成分を測定し、主にSO₄の収支について報告している。Dalal¹⁵⁾は、Trinidadの6地点で降水の分析を行ない、NH₄, NO₃, Ca, Clはそれぞれ0.41～1.13, 0.41～1.24, 1.88～4.52, 2.10～3.93mg/ℓ

秋田市における降水の水質と負荷量

と報告した。 NH_4 と NO_3 の大部分は土壌に由来し、Caは土ほりから、Na, Cl, Mg等は海に由来することも併せて示した。また、降水の成分と気象因子との関連も考察し、K, Na, Clと SO_4 は風速と相関が高く、海水のエロゾルや土ほりの生成に風が影響するためと述べている。Dethier¹⁶⁾は、アメリカのワシントン州で、河川に対する大気の成分の影響について検討した。この中で、降水は小流域から除去されるイオン量の25%以上を供給していると述べている。Kennedy¹⁷⁾らは、サンフランシスコで降水の分析を行ない、都会と地方での成分の違いや降雨強度と溶存成分との逆相関などを示した。Beston¹⁸⁾は、降水と河川水の水質の関係を論じ、降水が河川水質の重要な供給源であり、大気汚染を最小にすることが水質を改善することになると結論している。

我国の降水の水質については、古くからのデータをまとめて小倉¹⁹⁾が報告している。これによると、明治18年の東京の降水中の NH_4 について、0.06~0.46 mg/l、平均で0.126mg/lである。また新潟の雪水中のClと KMnO_4 は、それぞれ31.2~46.6, 4.6~16.2 mg/lであり雨水に比べかなり高いことがわかる。最近では、霞ヶ浦の水質汚濁に関連して田淵ら²⁰⁾と安部ら²¹⁾も主にNとPについて報告している。また中西ら²²⁾は、瀬戸内海に対する汚濁負荷量という観点から山口市において詳細な降水の分析と解析を行っている。

このように、降水により持たられる成分とその負荷量は次第に無視できない量になりつつあることが報告されており、水域の富栄養化の解析には必要欠くべからざるものになって来ていると思われる。

4. 結果と考察

4・1 降水量と風向、風速

降水の水質には、ウォッシュアウトの効果や生成し運ばれてくるエロゾルの種類や量との関係から降水量、風向、風速が関係すると思われる。そこで調査期間中の秋田市における月別降水量と平均風速を図1に示した。また図2には、月別の最多風向の割合を示した。これによると、1年間の総降水量は1,610mmで、8月に最大243mm、1月に最小64mmを記録した。一般に降水量は夏期と10、12月に多く冬期と9、11月に少ない傾向があった。風速は、夏が一番小さく2~3 m/secで、秋から冬にかけて次第に大きくなり1月に最大4.6m/secを記録した。風向は、春はまだ北西の風が残っているが初夏にかけて次第に南西から南東に変化し、夏はほとんど南東だけである。秋から徐々に北西の風が増え、冬の2月には北西と西の風がほとんどを占めるようになるなど、夏期の南南東と冬期の西北西の風の占める割合が大きいのが特徴である。

4・2 採水量と濃度

降水の水質濃度は、一般に採水量や降水量と逆の相関があると言われる。この関係の一例としてE220について図3に示した。これより、採水量が少ないと濃度は大きく、多くなると小さくなる一般的傾向が見られるが、一雨毎に大きく変動することも特徴的である。このような傾向は、ほとんどの水質に共通しており、降水のウォッシュアウトの効果を示していると思われる。

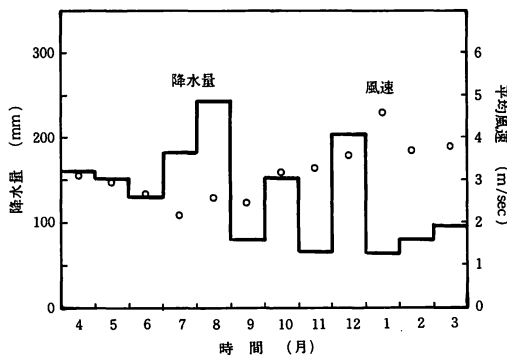


図1 月別降水量と平均風速

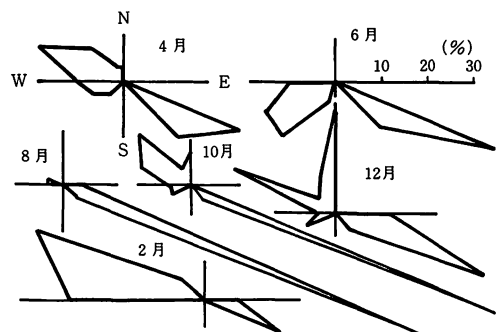


図2 月別最多風向の割合

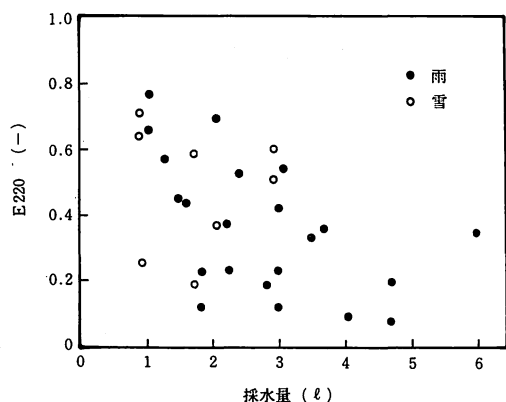


図3 採水量と濃度

次にこの効果をもう少し詳しく観察するために、降水の時間毎の採水を行なった。すなわち、3ℓ以上の降水に際し、1ℓ毎に時間経過と共に降水を採取する装置を工夫し、濃度変化を測定した。この二、三の例を図4に各水質毎に示した。これによると、一雨毎に変化はあるが、降り初めの濃度が一番高く、次第に減少し、そのまま減少続けるかまた上昇気味になるような降水が多いことがわかる。これは、前述のように降り初めの雨が大気中のそれまでに貯えられた汚染物質をウォッシュアウトするために濃度が高くなり、その後は清澄になるため濃度は低下することによると思われる。最後の濃度上昇傾向は、常時放出されている汚染物質の影響が再び表われてくることによるものと思われる。このような降水の経過に伴う濃度変化の割合を、パターン化して図

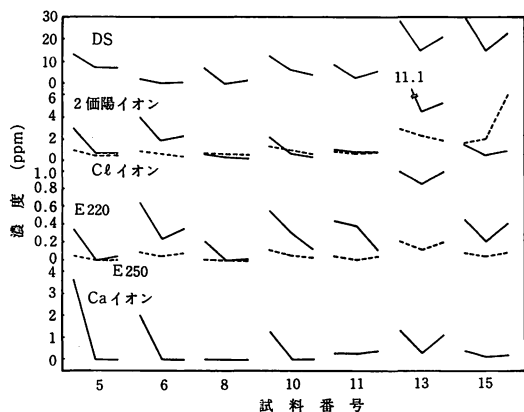


図4(1) 時間経過に伴う降水の水質変化

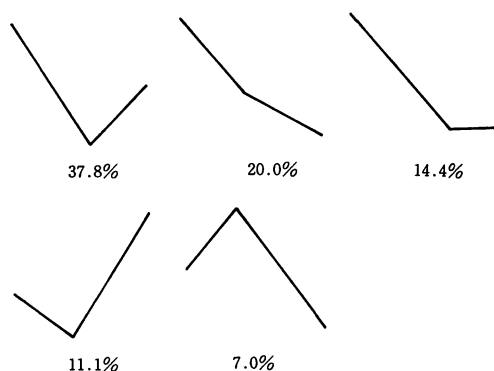


図5 降水の水質変化パターン

5に示した。

4・3 風 速 と 濃 度

海水起源のエロゾルは、風速の3乗に比例して増加すると言われ、物質の巻き上げと輸送という面から降水の水質に何等かの関係があると思われる。そこで、降水のあった日の平均風速と水質濃度との関係を検討し、図6にその一例を示した。これはDSの例であるが、風速が3.5m/sec位までは風速に比例して濃度も増大する傾向があるが、それ以上になるとまた減少する例も見られ明確な関係は認められなかった。また雨よりも雪の方がより相関が高いようにも観察される。他の水質についても同様な傾向であった。これらは、物質の輸送量だけでなく風向や拡散、水質が溶解性であることなどにも関係して

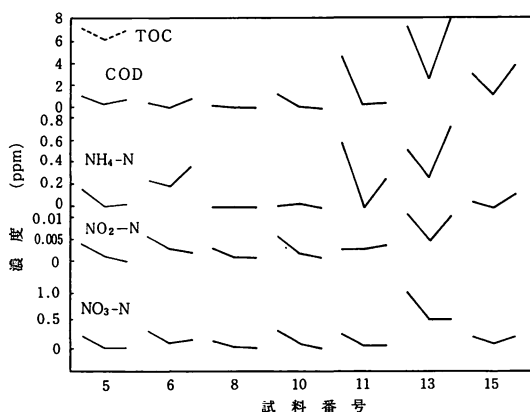


図4(2) 時間経過に伴う降水の水質変化

秋田市における降水の水質と負荷量

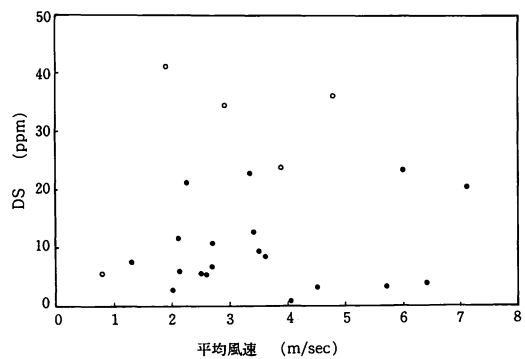


図6 平均風速と濃度

いると思われ、更に検討が必要である。

4・4 風向と濃度

前述のように、北西の季節風を受ける秋田では、物質の輸送という面から風向が意義を持つてくると思われる。そこで、1年間のデータを風向別に分類し、水質の最大値を風向別に図示して検討した。その二、三の例を図7に示した。秋田においては、北西と南東の風は多いが南西は少なく、かつ北東はほとんどないので全方向での比較はできないが、一般的な傾向を把握することは可能と思われる。図7によると、海水に起因すると思われるClイオンは、北西方向の風の時最大濃度を示し季節風の影響を裏付けていると思われる。NH₄-Nは、北西も大きいが東南東の時最大値を示し他の風向の時はかなり小さいなどClイオンとよく似た傾向が認められる。Caイオンは南西で最大値を示し、紫外吸光度(E220)は、

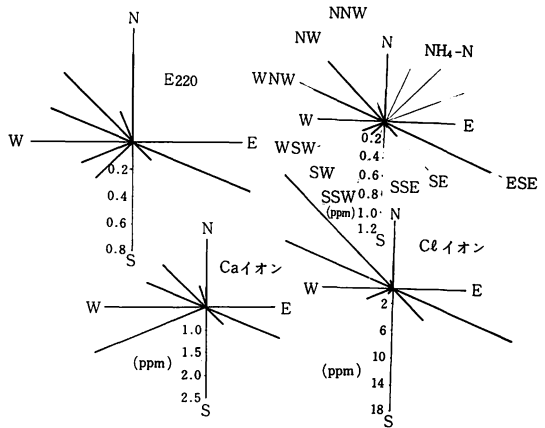


図7 風向と最大濃度

東南東で最大であるが他の風向でも比較的大きな値を示すなど、水質によりそれぞれ特徴のある傾向が認められる。以上のように、風向からもある程度水質の起源を推定することは可能であるが、降水の水質起源についての定量的把握はまだ不十分であり、一般的傾向を述べるに止めたい。

4・5 各水質相互の関係

降水量、風速と各水質相互の相関係数をまとめて表1に示した。これによると、係数の絶対値は小さいが降水量と水質にはマイナスの相関があること、紫外吸光度とはClイオン、COD、NH₄-N、T-INの相関が高いことおよびDSとClイオンの相関も高いことなどがわかる。T-INとNH₄-Nの関係およびDSとClイオンとの関係を例として図8と9にそれぞれ

表1 各水質の相関行列

	平均風速	DS	2価陽イオン	Cl	E(220)	E(250)	E(260)	COD	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-IN	Ca	降水量
平均風速	1.000	-0.002	0.340	0.195	0.038	0.122	0.114	0.073	0.103	-0.080	-0.058	0.057	0.415	0.045
DS	—	1.000	0.476	0.888	0.465	0.826	0.838	0.818	0.504	0.502	0.024	0.421	0.205	-0.289
2価陽イオン	—	—	1.000	0.646	0.516	0.650	0.668	0.551	0.657	0.567	0.126	0.587	0.738	-0.359
Cl	—	—	—	1.000	0.435	0.833	0.850	0.753	0.609	0.479	-0.060	0.470	0.375	-0.260
E(220)	—	—	—	—	1.000	0.725	0.689	0.528	0.738	0.507	0.677	0.881	0.289	-0.319
E(250)	—	—	—	—	—	1.000	0.996	0.812	0.726	0.665	0.189	0.670	0.327	-0.322
E(260)	—	—	—	—	—	—	1.000	0.825	0.726	0.691	0.143	0.652	0.341	-0.324
COD	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.431	0.544	0.112	0.400	0.228	-0.353
NH ₄ -N	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.778	0.246	0.915	0.500	-0.294
NO ₂ -N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.047	0.658	0.352	-0.422
NO ₃ -N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.616	0.123	-0.187
T-IN	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.457	-0.320
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	-0.201
降水量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000

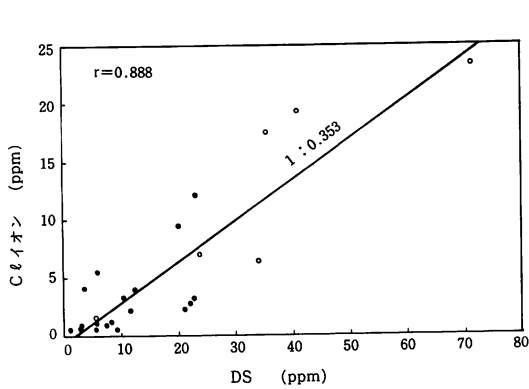


図 8 DS と Cl イオン との関係

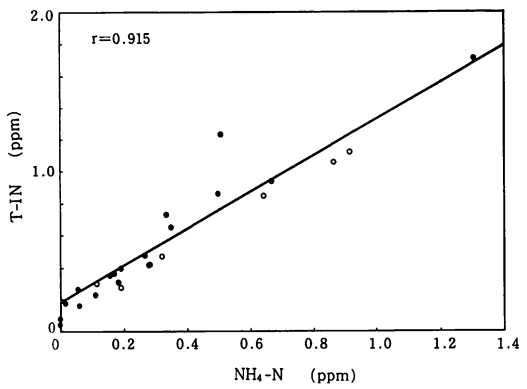


図 9 T-IN と NH₄-N との関係

表 2 水 質 の 月 平 均 値

月	PH	DS (ppm)	2 価 陽イオン (ppm)	Cl (ppm)	E220	E250	E260	COD (ppm)	NH ₄ -N (ppm)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	T-IN (ppm)	NH ₄ /NO ₃ (-)	Ca (ppm)
4	6.43	6.70	8.67	5.48	0.700	0.133	0.120	0.29	1.310	0.023	0.372	1.705	3.52	1.80
5	4.76	5.30	1.74	0.59	0.306	0.035	0.028	0.48	0.328	0.005	0.278	0.611	1.18	0.59
6	4.97	5.17	2.67	0.76	0.306	0.043	0.036	0.37	0.166	0.002	0.155	0.323	1.07	0.81
7	5.23	4.13	0.72	0.72	0.169	0.024	0.016	0.42	0.000	0.001	0.243	0.244	0.00	0.11
8	4.92	6.00	1.06	0.83	0.259	0.049	0.040	1.00	0.127	0.003	0.141	0.271	0.901	0.30
9	4.34	18.4	5.55	2.53	0.775	0.149	0.128	4.60	0.408	0.007	0.559	0.974	0.730	0.91
10	5.04	16.4	1.06	2.50	0.329	0.067	0.049	2.69	0.067	0.005	0.163	0.235	0.411	0.28
11	4.39	20.0	6.70	9.05	0.545	0.147	0.110	4.55	0.350	0.005	0.292	0.647	1.200	0.88
12	4.96	22.8	7.71	9.16	0.405	0.098	0.093	4.57	0.337	0.007	0.240	0.548	1.400	1.17
1	4.61	34.0	8.56	12.4	0.554	0.233	0.225	6.95	0.635	0.017	0.179	0.830	3.550	0.73
2	4.53	84.5	7.64	38.9	—	0.365	0.376	12.9	0.750	0.012	0.138	0.900	5.430	0.89
3	5.36	61.0	9.74	45.4	—	0.335	0.324	5.65	0.494	0.025	0.340	0.858	1.450	0.62
AV	4.96	23.7	5.15	10.7	—	0.140	0.129	3.71	0.414	0.009	0.258	0.681	1.600	0.76

表 3 各 水 質 の 負 荷 量

月	降水量 (mm)	DS (t)	Cl (t)	2価陽イオン (t)	COD (t)	NH ₄ -N (t)	NO ₂ -N (t)	NO ₃ -N (t)	T-IN (t)	Ca (t)
4	160.5	512.4	132.3	273.0	170.0	17.09	0.506	14.29	31.89	33.10
5	152.5	444.3	102.4	194.5	123.3	13.00	0.632	13.63	27.26	29.13
6	130.0	202.8	37.6	147.7	27.5	12.19	0.198	11.01	23.39	46.00
7	182.5	531.4	107.4	218.6	161.4	9.37	0.572	16.43	26.37	24.52
8	243.0	582.3	102.5	157.7	149.7	18.65	0.337	14.79	34.65	25.70
9	79.0	501.1	79.3	181.8	142.3	11.63	0.290	15.97	27.89	26.11
10	152.5	550.0	104.2	78.7	161.7	2.67	0.324	7.73	10.72	23.52
11	65.5	376.2	149.0	149.7	262.2	7.44	0.216	7.76	15.42	18.41
12	203.0	1,514.3	532.0	440.7	328.3	18.65	0.429	14.25	33.33	53.25
1	64.0	682.9	239.4	192.2	144.0	13.56	0.321	5.30	19.17	16.69
2	82.0	2,659.6	1,212.9	271.0	383.1	22.46	0.443	6.69	29.60	28.47
3	94.5	734.1	456.8	262.5	139.0	9.86	0.485	8.53	18.87	13.02
総負荷量(t)	1,609.5	9,291.4	3,255.8	2,568.1	2,192.5	156.56	4.753	136.38	298.55	337.92
面積当り負荷量 (t/km ²)	—	20.2	7.10	5.60	4.78	0.341	0.0104	0.297	0.650	0.736

秋田市における降水の水質と負荷量

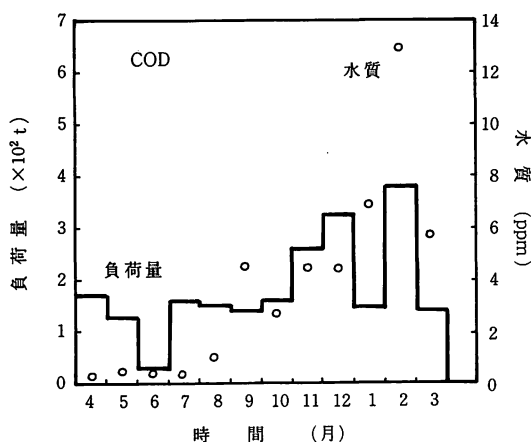


図10 負荷量と水質の季節変動

示した。これらの図から、T-INが増えるとその中のNH₄-Nの占める割合が増加することやDSの中で約35%をCレイオンが占めていることなどがわかる。また、降水の有機物とT-INを測定するのに、それぞれE260とE220を使うことが可能なことも認められる。

4・6 月別平均水質と負荷量

各水質毎の月別平均値を表2にまとめて示した。これによると、PHは4月を除くと4.3～5.4と酸性を示す他は、ほとんどの水質が夏期に濃度が小さく冬期に大きいという季節変化を示すことがわかる。特にこの変化の大きいのがDS、CレイオンとCODであり、冬期には夏期の数十倍の濃度を示している。

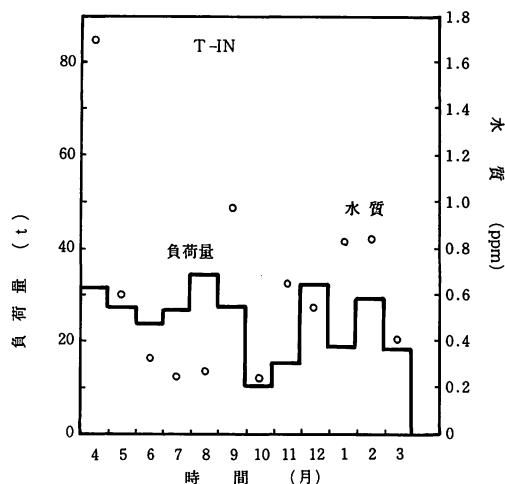


図11 負荷量と水質の季節変動

CODは秋以降は河川水の平均的な数値よりも大きい値を示している。またNH₄-Nも、夏期よりも冬期にかなり濃度が増加し、これに対応してT-INも大きくなるなどの季節変化が認められ、濃度も河川水の値と比べ小さいとは言えない値である。このように、降水の水質は予想以上に汚れていることが認められ、水域の水質汚濁に取って無視できないことが推察される。

これらは、冬期には北西の季節風により海水起源のエーロゾルが大量に運ばれてくること、また降水のウォッシュアウトの効果は雨よりも雪の方が大きく、冬期の雪の水質が雨よりもかなり大きいこと、および冬期には暖房用の燃料の燃焼により排煙が増

表4 日本と世界各地の降水のN成分^{8), 19)～21)}

国 名	地 名	年	降水量 (mm)	水 質 (mgN/ℓ)			負荷量 (kgN/ha)		
				NH ₃	NO ₃	T-N	NH ₃	NO ₃	T-N
デンマーク	Copenhagen	1880～1885	577	1.91	0.45	2.36	11.00	2.62	12.62
フランス	Montsouris	1876～1900	545	2.13	0.66	2.79	11.60	3.60	15.20
イギリス	Rothamsted	1888～1916	730	0.41	0.20	0.61	2.98	1.48	4.46
ソビエト	Taschkent	1945～1947	～ 400	0.6	0.1	0.7	2.5	0.4	2.9
インド	Calcutta	1891	1,170	0.17	0.12	0.29	2.00	1.34	3.34
カナダ	Ottawa	1908～1924	860	0.51	0.28	0.80	4.43	2.39	6.82
アメリカ	Kentucky	1922～1923	1,090	1.19	0.74	1.93	13.00	8.02	21.02
日 本	Tokyo	1883～1884	1,337	0.13	0.07	0.20	1.67	0.97	2.64
"	Kasumigaura	1974～1976	—	0.48	0.20	0.69	—	—	—
"	Biwako	1976	—	0.39	0.25	0.64	—	—	—
"	Tsukuba	1977～1978	1,397	0.54	0.24	0.80	6.18	2.57	9.10
"	Akita	1980～1981	1,610	0.41	0.26	0.68	3.41	2.97	6.50

加することなどが影響し合っていることによると思われる。

次に、これらの水質を基に月毎に負荷量を推定し、まとめて表3に示した。ただし、降水の水質測定は一部分であるので、得られたデータから降水量と負荷量との関係式を求め、これを基に推定を行った。またこれらの値は、秋田市全域(458.93km²)に様に降下したものと仮定した値である。

これによると、まず負荷量は降水量に比例することがわかる。また、水質と同様にDS、Clイオン、CODについては冬期に大きくなる季節変動が特に顕著に認められるが、他の項目については水質程の季節変動は認められなかった。負荷量の変化は、物質が何等かの形で新たに供給されることを意味し、変化がないことはほぼ一定の供給を受けていることを意味すると思われる。秋田の場合には、北西の季節風の影響があるのでこれを供給源と考えるのが自然であり、また一定の供給源とは、何等かの人為的なものによる影響が大きいと考えるのが妥当であろう。

なお表3には、各水質の年間負荷量と単位面積当りの負荷量も併せて示した。また図10と11に、水質と負荷量の季節変化をCODとT-INについてそれぞれ示した。

4・7 考 察

安部ら²¹⁾によると、降水による面積当りの降下量は月によってかなり変動すること、NH₄-Nは秋から冬にかけて低く春から夏に高いことおよびNO₃-Nは春から夏にかけて高く他の季節は低い傾向があることなどを報告している。秋田では、NH₄-Nは冬に高く、NO₃-Nは大きな変化はないが比較的春が高い傾向が見られ、筑波とは逆の関係も見られる。がこれらは、気象や供給源の違いによるものと思われる。本研究で求められた濃度や負荷量は、日本の他の地点とも同様な値を示しており妥当なものと思われる。なお表4には、世界各地のデータ¹⁸⁾も併せて示した。

降水のNの供給源については、海水や工場の排煙、ほこりや土壌など様々な説があるが、未だ明確に定量的に証明されているわけではない。これは他の水質についても同様である。従って現在の段階では供給源を推定するのみであるが、以上の結果に見られる水質や負荷量の季節変動は、日本海側に位置するという地理的条件が降水の水質に大きく影響を与えていることによっていると思われる。そしてこれが、河川の水質にも様々な形で影響を与えていると考え

られる。

5. お わ り に

1年間に渡り降水の水質分析を行ない、水質と降水量や風速、風向との関係、負荷量の季節変動などを検討した。まだ十分な分析数、項目ではないが、水域の水質汚濁を考える上で降水の水質、負荷量ともに無視できないことが認められる。結果を要約すると次の通りである。

(1) 降水の水質は、一雨毎に濃度変化が大きい。降り始めの濃度が一番高く、次第に減少する降水が多く見られ、ウォッシュアウトの効果が認められる。

(2) 特に冬期に、Clイオン、DS、COD、NH₄-Nなどの濃度が高くなるなど季節変動が認められた。降水による負荷量は、冬期に増加するものとあまり変化のないものがあり、供給源の違いが推定される。

(3) 冬期に増加する季節変動は、季節風による供給量の増加、雨と雪のウォッシュアウト効果の違いおよび暖房用の燃料の燃焼などによるものと思われる。一般に雨よりも雪の濃度が高い。

(4) 水質によっては、河川などの表流水よりも高い濃度を示す項目もあり、負荷量と共に水域の水質汚濁に取って無視できないと思われる。

(5) 単位面積当りの負荷量を求めた。この値は、日本の他の地域と同じ程度の値であった。

謝 辞

図面の作製に協力して頂いた三村邦彦君に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Lewis, D.M., et al., Sampling and Chemical Interpretation of Precipitation for Mass Balance Studies, Water Resources Research, Vol. 14, No. 6, pp.1098~1104, 1978
- 2) 角階静男, 雨水の分析, 講談社, 1975
- 3) H.D.ホランド著, 大気・河川・海洋の化学, 産業図書, 1979
- 4) Johnson, A.H., et al., Chemical Character of Head water Streams in Vermont and New Hampshire, Water Resources Research, Vol. 13, No. 2, pp.469~473, 1977

秋田市における降水の水質と負荷量

- 5) Nicholls, K.H., et al., Atmospheric Nitrogen and Phosphorus Loading to Harp Lake, Ontario, Canada, Water Resources Research, Vol. 14, No. 4, pp. 589~592, 1978
- 6) Pierstorff, B.W., et al., Water Pollution from Snow Removal Operations, ASCE, EE 2, pp. 377~388, 1980
- 7) Reid, J.M., et al., Factors Affecting the Chemistry of Precipitation and River Water in an Upland Catchment, Journal of Hydrology, 50, pp. 129~145, 1981
- 8) Eriksson, E., Composition of Atmospheric Precipitation, Tellus, Vol. 4, pp. 215~232, 1952
- 9) Junge, C.E., The Distribution of Ammonia and Nitrate in Rain Water over the United States, Transactions, American Geophysical Union, Vol. 39, No. 2, pp. 241~248, 1958
- 10) Angström, A., et al., On the Content of Nitrogen in Atmospheric Precipitation in Sweden. II., Tellus, Vol. 4, No. 4, pp. 271~279, 1952
- 11) Frizzola, J.A., et al., Contaminants in Rainwater and their Relation to Water Quality, Water & Sewage Works, August, pp. 72~75, 1975
- 12) Lewis, W.M., Precipitation Chemistry and Nutrient Loading by Precipitation in a Tropical Watershed, Water Resources Research, Vol. 17, No. 1, pp. 169~181, 1981
- 13) Siegel, D.I., The Effect of Snowmelt on the Water Quality of Filson Creek and Omaday Lake, Northeastern Minnesota, Water Resources Research, Vol. 17, No. 1, pp. 238~242, 1981
- 14) Christophersen, N., et al., Sulfate Budget and a Model for Sulfate Concentrations in Stream Water at Birkenes, a Small Forested Catchment in Southernmost Norway, Water Resources Research, Vol. 17, No. 2, pp. 377~389, 1981
- 15) Dalal, R.C., Compositions of Trinidad Rainfall, Water Resources Research, Vol. 15, No. 5, pp. 1217~1223, 1979
- 16) Dethier, D.P., Atmospheric Contributions to Stream Water Chemistry in the North Cascade Range, Washington, Water Resources Research, Vol. 15, No. 4, pp. 787~794, 1979
- 17) Kennedy, V.C., et al., Variation of Rain Chemistry During Storms at Two Sites in Northern California, Water Resources Research, Vol. 15, No. 3, pp. 687~702, 1979
- 18) Beston, R.P., Bulk Precipitation and Streamflow Quality Relationships in an Urban Area, Water Resources Research, Vol. 14, No. 6, pp. 1165~1169, 1978
- 19) 小倉紀雄, 都市近郊の降水成分とその変化, 大気から海洋への汚染物質の移動研究報告, pp. 47~54, 1980
- 20) 田淵俊雄他, 雨と雪の中の窒素とリン, 水温の研究, 第23巻, 第1号, pp. 13~22, 1979
- 21) 安部喜也他, 大気降下物中の栄養塩量について, 国立公害研究所研究報告, 第6号, pp. 79~83, 1979
- 22) 中西弘他, N, P および水域における有機物生産からみた負荷量等調査, 水質変化予測基本調査報告書, 土木学会, 1975