秋田市街地の降水成分の高度差について

井島　辰也　　大畑　博正　　成田　　理

1　はじめに

秋田市における降水の成分濃度等については、昭和58年度より調査を実施してきており、これまでの調査結果[1)-4)]によれば、季節により差はあるものの、降水が雨、雪の状態で採取されたことに関わらず、おしなべて市街地の降水のpHは、市街地の後背地のそれよりも高く観測されてきている。この原因として、市街地地域では地表付近の浮遊粉塵による酸性雨の中和現象によるところが大きいとされてきた。

そこで市街地において、地表付近から発生する浮遊粉塵の影響が少ない高層部と影響の大きい地表付近とで、同時に降水を採取することにより、高度差による成分濃度等の差を明らかにし、市街地での降水酸性化機構を把握するため調査を行った。

2　調査方法

2．1　調査期間

平成2年6月～平成3年3月

2．2　調査地点

秋田市街地で異なる高度で2地点を選び、降水の採取地点とした。

L地点　地上高約　8m　ビル屋上

H地点　地上高約　60m　ビル屋上

調査地点は、秋田市の市街地の中心部に位置し、ビルや商店街が密集している。西方の日本海まではおよそ5kmである。L地点とH地点の水平距離はおよそ150mである。

2．3　降水の採取方法

2．3．1　ろ過式採取

酸性雨等調査マニュアル[5)]に準じ、ろ過式採取装置を自作し、原則として月曜日から月曜日までの1週間、採取面を開放状態のまま降水を採取した。12月下旬以降は、融雪及び凍結防止のため、上記装置外周にシリコンチューブヒーターを巻き、サーモスタットで温度制御を行い緩やかに加温した。

2．3．2　初期降水分取

小笠原計器製R－150型を用い、1降水(降水から次の降水までの時間が3時間を越えた場合、別の降水とした。)の降り始めから1mm単位で5ステージと、それ以降の全量との6区分で採取した。採取した降水は、直ちに各ステージ毎にポアサイズ0.8μmのメンブランフィルターでろ過し、試料とした。採取期間は平成2年6月から12月までである。

2．4　調査項目

ろ過式採取及び初期降水分取とも、次の10項目について、酸性雨等調査マニュアルに準じて分析を行った。降水量は留水量を補集面積で除して求めた。

pH、EC、SO_4^{2-}、NO_3^-、Cl^-、Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、NH_4^+

3　調査結果及び考察

3．1　ろ過式による降水

3．1．1　降水成分濃度

調査期間中、ろ過式採取方式ではL地点及びH地点でそれぞれ38試料を採取した。降水量により重み付けした平均成分濃度(以下、

表－1　ろ過式一週間採取の降水成分平均濃度

地点	月	降水量 mm	pH	EC μS／cm	SO_4^{2-} mg／ℓ	NO_3^- mg／ℓ	Cl^- mg／ℓ	Na^+ mg／ℓ	K^+ mg／ℓ	Ca^{2+} mg／ℓ	Mg^{2+} mg／ℓ	NH_4^+ mg／ℓ
	7	259	5.01	20.5	3.23	1.10	1.09	0.55	0.11	0.95	0.09	0.81
	8	128	4.62	22.2	3.06	1.15	0.91	0.59	0.10	0.41	0.08	0.59
	9	273	5.06	11.5	1.29	0.63	0.61	0.40	0.09	0.33	0.06	0.26
	10	130	4.91	28.8	2.23	0.87	3.44	2.03	0.14	0.31	0.27	0.41
L地点	11	194	4.79	88.3	4.92	0.89	18.92	10.14	0.43	0.68	1.34	0.42
	12	170	4.86	97.0	6.15	1.40	20.00	10.80	0.45	1.45	1.52	0.65
	1	109	5.59	118	6.70	1.01	24.74	14.02	0.55	2.35	2.08	0.48
	2	142	4.93	56.9	4.30	0.84	9.52	5.36	0.22	1.10	0.76	0.38
	3	74	5.19	65.0	5.71	2.26	10.89	5.99	0.24	2.38	0.82	0.59
	平均		4.93	50.3	3.81	1.03	8.74	4.82	0.24	0.94	0.67	0.51
	7	261	4.63	26.3	3.38	1.14	1.08	0.55	0.12	0.33	0.08	0.84
	8	122	4.62	25.0	3.09	1.18	1.09	0.73	0.10	0.50	0.09	0.56
	9	278	4.91	13.4	1.33	0.64	0.74	0.47	0.10	0.14	0.06	0.26
	10	132	4.79	30.5	2.38	0.90	3.55	2.06	0.14	0.26	0.28	0.39
H地点	11	188	4.87	116	5.90	0.95	27.26	14.33	0.58	0.90	1.93	0.43
	12	163	4.80	111	6.68	1.50	23.67	12.82	0.54	1.30	1.76	0.68
	1	114	4.92	123	6.84	1.12	26.92	15.02	0.57	1.53	2.09	0.46
	2	146	4.70	63.0	4.34	0.87	10.46	5.94	0.26	0.81	0.82	0.37
	3	80	4.96	81.1	6.80	2.42	12.63	7.22	0.31	2.44	1.11	0.56
	平均		4.78	58.8	4.11	1.08	10.57	5.78	0.28	0.74	0.80	0.51

表－2　ろ過式一週間採取の降水成分間の単相関

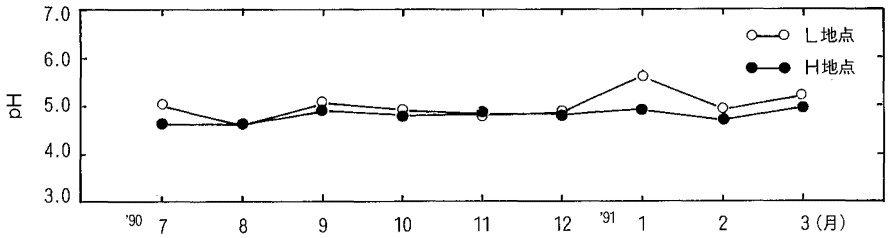
成分	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Ma^{2+}	NH_4^+	$nssSO_4^{2-}$	$nssCa^{2+}$	H^+
SO_4^{2-}		** 0.701	** 0.808	** 0.834	** 0.865	** 0.706	** 0.854	** 0.488	** 0.796	** 0.517	0.293
NO_3^-	** 0.649		0.217	0.268	* 0.356	** 0.521	0.311	** 0.585	** 0.906	** 0.505	** 0.566
Cl^-	** 0.841	0.230		** 0.995	** 0.976	** 0.543	** 0.988	0.121	0.290	0.272	-0.079
Na^+	** 0.841	0.226	** 0.997		** 0.983	** 0.549	** 0.997	0.140	* 0.330	0.278	-0.045
K^+	** 0.871	0.316	** 0.979	** 0.979		** 0.528	** 0.980	0.234	* 0.401	0.260	0.062
Ca^{2+}	** 0.636	* 0.357	** 0.493	** 0.491	** 0.450		** 0.573	0.167	** 0.606	** 0.955	-0.183
Mg^{2+}	** 0.848	0.230	** 0.989	** 0.996	** 0.973	** 0.515		0.154	* 0.367	0.306	-0.037
NH_4^+	** 0.503	** 0.673	0.127	0.119	0.236	0.066	0.123		** 0.682	0.143	** 0.421
$nssSO_4^{2-}$	** 0.836	** 0.867	** 0.410	** 0.405	** 0.478	** 0.576	** 0.421	** 0.729		** 0.580	** 0.552
$nssCa^{2+}$	** 0.511	** 0.340	* 0.323	0.320	0.279	** 0.982	* 0.347	0.047	** 0.539		-0.194
H^+	0.234	** 0.510	−0.050	-0.047	0.085	-0.274	-0.061	** 0.492	** 0.442	-0.288	

注）　H地点／L地点　　＊危険率5％で有意、＊＊危険率1％で有意

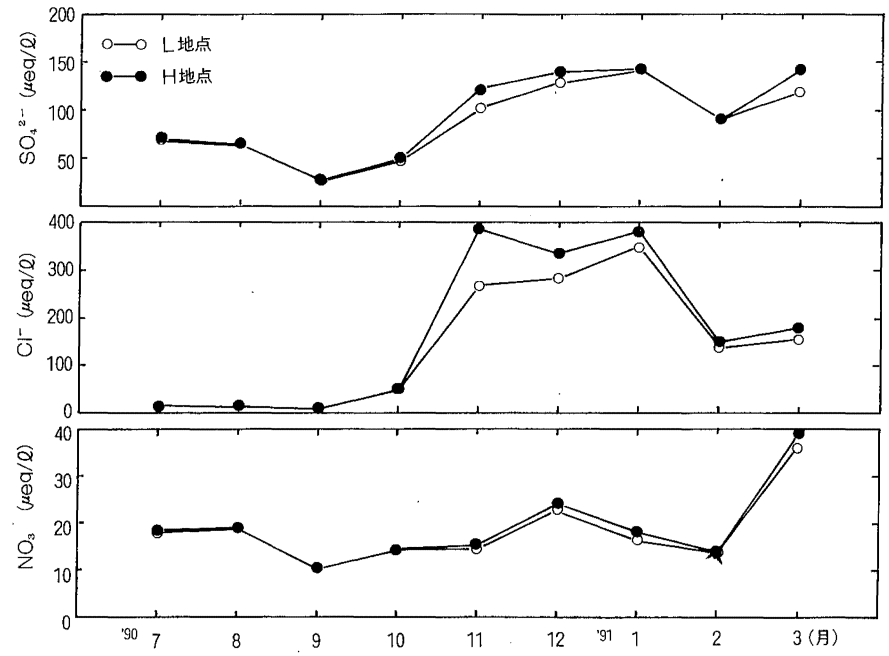
単に平均濃度という。)を表－１に、各成分間の単相関を表－２に示した。降水量により、成分濃度は大きな変動を示すことが多いが両地点間で降水量に差は殆ど無く、成分濃度を比較する上での支障は無い。

pHについては、全試料の平均濃度ではL地点で4.93、H地点で4.78と、高度の高い方が低い値を示した。月を単位とした時系列変化(以下、単に月変化という。採取期間が二月にまたがる場合、採取期間日数の多い方を含む月に組み入れた。30日換算はしていない。)を図－１に示した。月平均値について、H地点では最高4.96～最低4.62と、比較的狭い範囲での変化であったのに対し、L地点では最高5.59～最低4.62と変動が大きく、特に降雪期にH地点より高い値を示した。また、pHの１週間値を両地点を通してみた場合、最高値(7.01)及び最低値(4.15)ともL地点で観測されており、高度差50mの間でのウォッシュアウトによる、降水への様々な成分の取り込みや、無降水時の乾性降下物による影響等が伺える。

陰イオン成分の月平均当量濃度の変化を図－２に示した。全試料の平均では、SO_4^{2-}が



図－１　pHの月変化



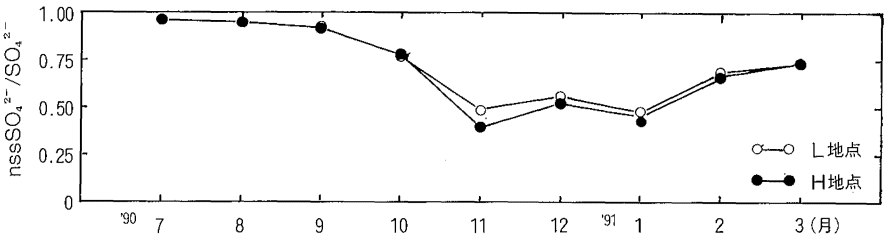
図－２　陰イオン成分平均当量濃度の月変化

L地点で79.4μeq/ℓ、H地点で85.6μeq/ℓ、Cl^-がL地点で247μeq/ℓ、H地点で298μeq/ℓといずれもH地点が高い値を示している。月変化でみた場合、11月以降の両地点間の差が大きい。

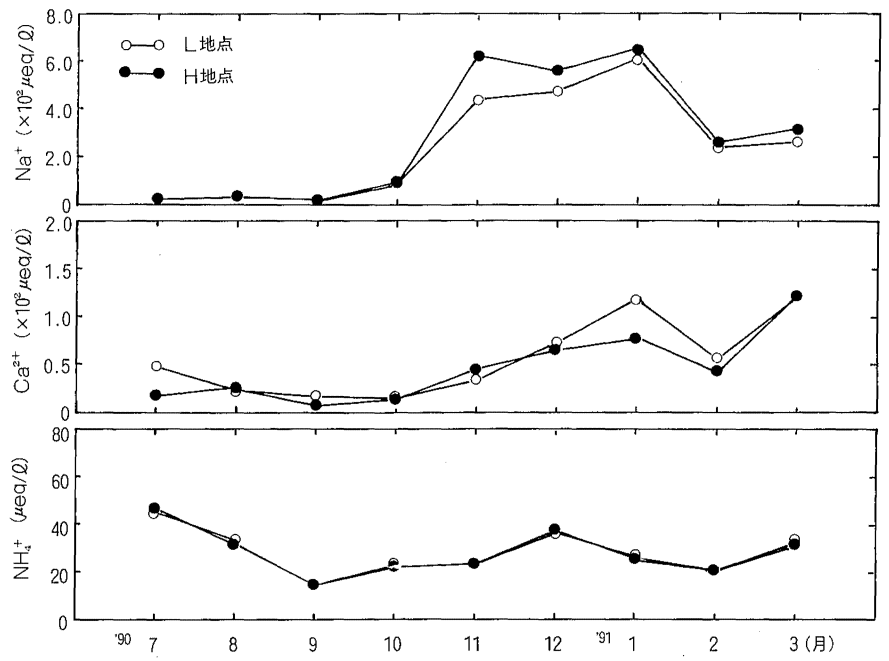
非海塩由来のSO_4^{2-}(Na^+を全て海塩由来とみなし、海水中のNa^+とSO_4^{2-}との比から海塩由来の割合を求め、降水成分濃度から差し引いたもの。以下$nssSO_4^{2-}$と記す。)とSO_4^{2-}との当量濃度比の月変化を図—3に示したが、7～9月の間、0.94程度と大部分を非海塩由来で占めていたのに対し、10月以降この比が低下し、特に11～1月間に0.5以下にまで落ち込んでいる。

NO_3^-はL地点で17.5μeq/ℓ、H地点で16.6μeq/ℓと殆ど差がなく、月変化パターンでも差は見られない。

主な陽イオン成分の月平均当量濃度の変化を図—4に示した。陽イオン成分の平均当量濃度については、Na^+がL地点で209μeq/ℓ、H地点で251μeq/ℓ、K^+がL地点で6.1μeq/ℓ、H地点で7.2μeq/ℓ、Mg^{2+}がL地点で



図—3　$nssSO_4^{2-}/SO_4^{2-}$の月変化



図—4　陽イオン成分平均当量濃度の月変化

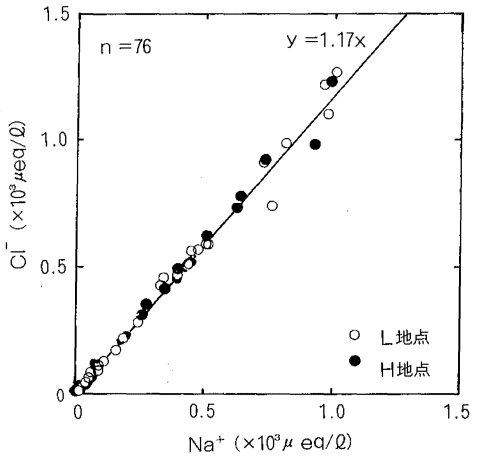
55.4μeq/ℓ、H地点で65.6μeq/ℓといずれもH地点が高く、月変化でも11月から1月までが極めて高い、良く似た傾向を示している。これはCl^-の月変化とも一致しており、これら月変化パターンが類似している成分相互の相関が高いこと、図—5に見られるように、降水中のCl^-/Na^+当量濃度比が海水中の当量濃度比、約1.17に良く一致することから、これらは海水中の塩分に大きく影響を受けていることがわかる。また、この影響はL地点よりも高層のH地点の方がより大きい。

Ca^{2+}は、L地点で47.2μeq/ℓ、H地点で36.8μeq/ℓと、測定した成分(当量値)の中で唯一L地点の方が高い値を示した。月変化パターンでみると7月及び1月にL地点での高濃度が目立つものの、概ね同じ傾向じある。非海塩由来のCa^{2+}(以下$nssCa^{2+}$と記す。)とCa^{2+}との比の月変化を図—6に示したが、調査期間を通じ僅かではあるがH地点の方が低く12～2月はその差がやや開く傾向にある。また、海塩由来成分量が多くなるこの期間は、相対的に$nssCa^{2+}/Ca^{2+}$比が下がるが、海塩の影響がより強いH地点でも、12、1月にこの比が思ったほど下がっていない。渡辺ら[6]は、横浜市内の酸性降下物の鉛直分布調査から、地上30m付近での道路粉塵起因のCa^{2+}の影響を指摘しているが、秋田市においてはこの期間、自動車のスパイクタイヤ使用等による道路粉塵起因のCa^{2+}が多くなるため、地表近くのL地点でこの影響が顕著なことは当然として、地上60mのH地点においても、なお道路粉塵起因によるCa^{2+}の影響を受けているものと考えられる。

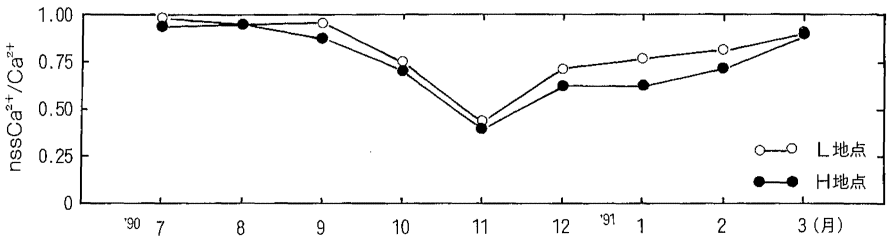
NH_4^+はL地点で28.2μeq/ℓ、H地点で28.7μeq/ℓと差は無く、月変化の傾向及び濃度でも差は見られない。

3．1．2　成分降下量

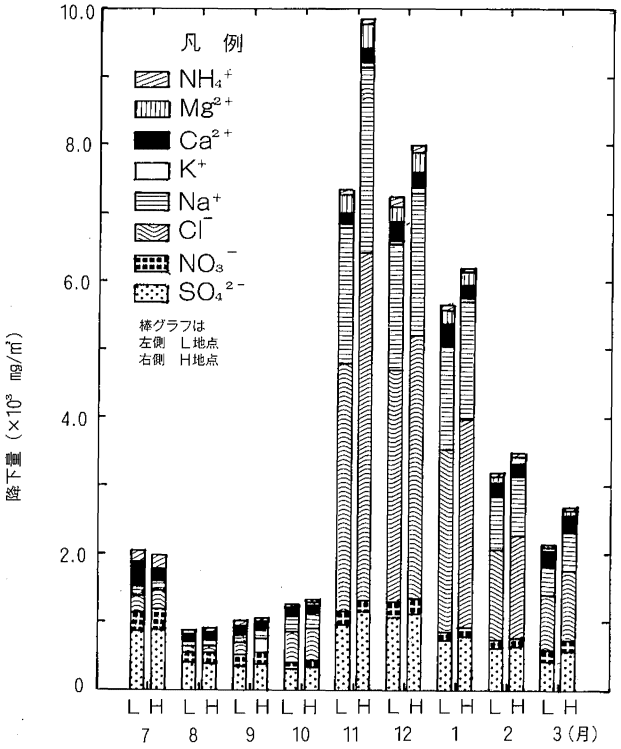
両地点の総降下量の月変化を図—7に示した。またNa^+、$nssSO_4^{2-}$、$nssCa^{2+}$の月変化を図—8に示した。



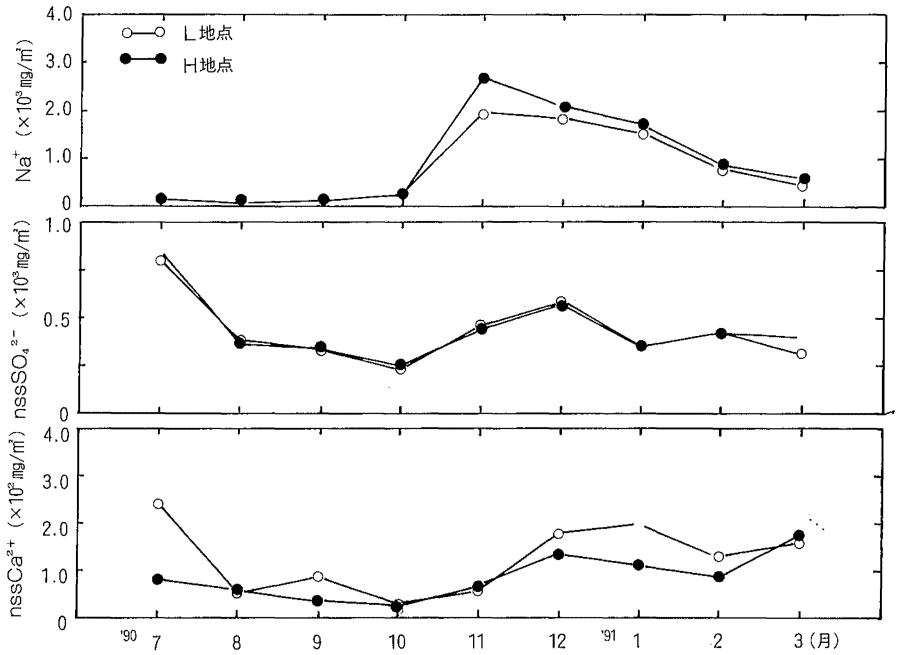
図—5　Na^+とCl^-の関係



図—6　$nssCa^{2-}/Ca^{2+}$の月変化



図—7　総降下量の月変化



図—8　Na^+、$nssSO_4^{2-}$、$nssCa^{2+}$降下量の月変化

総降下量は11月になると急激に増加し、それ以降3月までに漸減している。また、L及びH地点の差を見ると、7～10月までは殆ど差は無いが、11月以降3月までの間H地点での降下量が多く、特に11月では約35%も多くなっている。これらは前項でも指摘した通り大部分が海塩の影響であり、高層の方がこれを強く受けるためと考えられる。

各成分の降下量の月変化については、Na^+、K^+、Mg^{2+}、及びCl^-では、何れも7～10月の間、低い一定のレベルで推移し、11月になると急激に増加、それ以降3月までに漸減するパターンであった。両地点間の差では、11月以降3月までの間、H地点での降下量が多く、特に11月が顕著であった。SO_4^{2-}は7月も降下量が多く、それ以降は前述の5成分と同様の傾向であった。

NH_4^+、NO_3^-、及び$nssSO_4^{2-}$では、7月に最も降下量が多く、さらに12月にも極値を持つ良く似た月変化を示し、高度による差も見られなかった。Ca^{2+}は、L地点では7月に近隣のビル解体工事の影響で降下量が高くなるなど、月による高下が目立つが、両地点とも概ね11月以降に降下量が増え、12～2月に両者の差が大きい。$nssCa^{2+}$は、月変化の立ち上がりが12月になることを除けば、Ca^{2+}の傾向と概ね同じであった。

3．1．3　pHに影響を及ぼす成分

pHに影響を及ぼす成分の季節による高度差を考察するため、3.1.1項で示したように、北西の季節風が吹き出してくる概ね11月を境に成分濃度に差が出てくることから，L地点及びH地点で得られたデータを10月末までに得られたもの、及びそれ以降と各々19個ずつ(6月採取の2試料を含む。)に分け、便宜上それぞれ夏期、冬期と区別した。

NO_3^-/SO_4^{2-}当量比(以下、N/S比という。)及び$NO_3^-/nssSO_4^{2-}$当量比(以下、N/nssS比という。)を表－3に示した。N/S比は、調査期間中の全平均値でL及びH地点とも0.25で差はなく、季節区分毎でも地点間の差は見られなかった。N/nssS比も0.32～0.33と同様に差は見られない。季節区分毎のN/S比の変化は、海塩由来のSO_4^{2-}が増えるため、冬期区分で相対的に低い値を示すようになる。この傾向は、全国的な調査結果[7]の日本海側の傾向と一致している。

表－3 季節区分毎のN/S比、N/nssS比

地　点	L地点		H地点	
区　分	N／S	N/nssS	N／S	N/nssS
夏	0.31	0.35	0.31	0.35
冬	0.18	0.31	0.19	0.29
平　均	0.25	0.33	0.25	0.32

N/S比及びN/nssS比とpHの関係については、種々論じられている[8)9)]が、本調査では季節区分毎及び調査期間全体を通じても、これらの間に明確な関係は見いだせなかった。

各成分濃度(当量濃度)から海塩由来分を除いたものを説明変数に、H^+を目的変数として重回帰分析(変数増減法、5％F値による打ち切り)を行った。その結果は、次に示す通りであった。

L地点夏期

$$[H^+予測値] = -1.53 + 2.03 \times [NO_3^-(1.23)] - 3.43 \times [nssMg^{2+}(-0.39)] - 0.21\,[nssCa^{2+}(-0.25)] - 0.20 \times [NH_4^+(-0.24)]$$

$$R^2 = 0.88$$

(R^2は自由度調整済決定係数、[] 中の()内数値はその成分の偏回帰係数。以下同様。)

H地点夏期

$$[H^+予測値] = -1.08 + 0.36 \times [nssSO_4^{2-}$$

$(0.69)]+0.88\times[NO_3^-(0.55)]-0.42\times[NH_4^+(-0.52)]$

$R^2=0.84$

L地点冬期

$[H^+予測値]=-0.12+0.40\times[nssSO_4^{2-}(1.11)]-0.16\times[nssCa^{2+}(-0.97)]-0.41\times[NH_4^+(-0.51)]+3.28\times[nssK^+(0.35)]$

$R^2=0.79$

H地点冬期

$[H^+予測値]=1.31+0.42\times[nssSO_4^{2-}(1.12)]-0.25\times[nssCa^{2+}(-0.91)]-0.21\times[nssMg^{2+}(-0.23)]$

$R^2=0.87$

これらの結果から、pHを下げる方向に働く成分としては、それぞれの偏回帰係数の絶対値の大きさより、夏期区分の地表近くではNO_3^-が強く作用し、高層では$nssSO_4^{2-}$とNO_3^-がほぼ同程度である。反対にpHを高める方向には、夏期区分の地表付近では$nssCa^{2+}$、$nssMg^{2+}$及びNH_4^+が緩やかに働き、高層ではNH_4^+が効いてきているのがわかる。また、冬期区分ではL地点及びH地点とも$nssSO_4^{2-}$がpHを強く下げる方向に働き、$nssCa^{2+}$がpHを押し上げる方向に強く働いている。

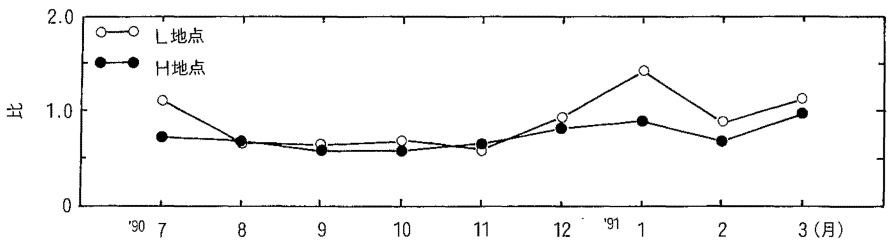
ただしこの冬期区分の$nssCa^{2+}$は、後述するように、乾性降下物の影響が少ない初期降水分取によると、冬期区分に該当する降水で高度による成分濃度の差がろ過式採取(1週間)の場合ほど大きくないことから、大部分の$nssCa^{2+}$は非降水時に乾性降下物として雨水採取装置に捕捉され、降水により水溶液中に取り込まれた可能性が大きい。

本調査の範囲では、前述の通りH^+当量予測値の大部分を、NH_4^+、$nssCa^{2+}$、NO_3^-及び$nssSO_4^{2-}$の4成分で説明できることから、pHを高める側のNH_4^+、$nssCa^{2+}$の当量値の和と、pHを下げる側のNO_3^-、$nssSO_4^{2-}$の当量値の和の比(以下、$(NH_4^+ + nssCa^{2+})/(NO_3^- + nssSO_4^{2-})$比という。)をとり、この月変化を図—9に示したが、図—1に示したpHと良く一致した月変化傾向が見られる。

3．2　初期降水分取による降水

3．2．1　降水成分濃度

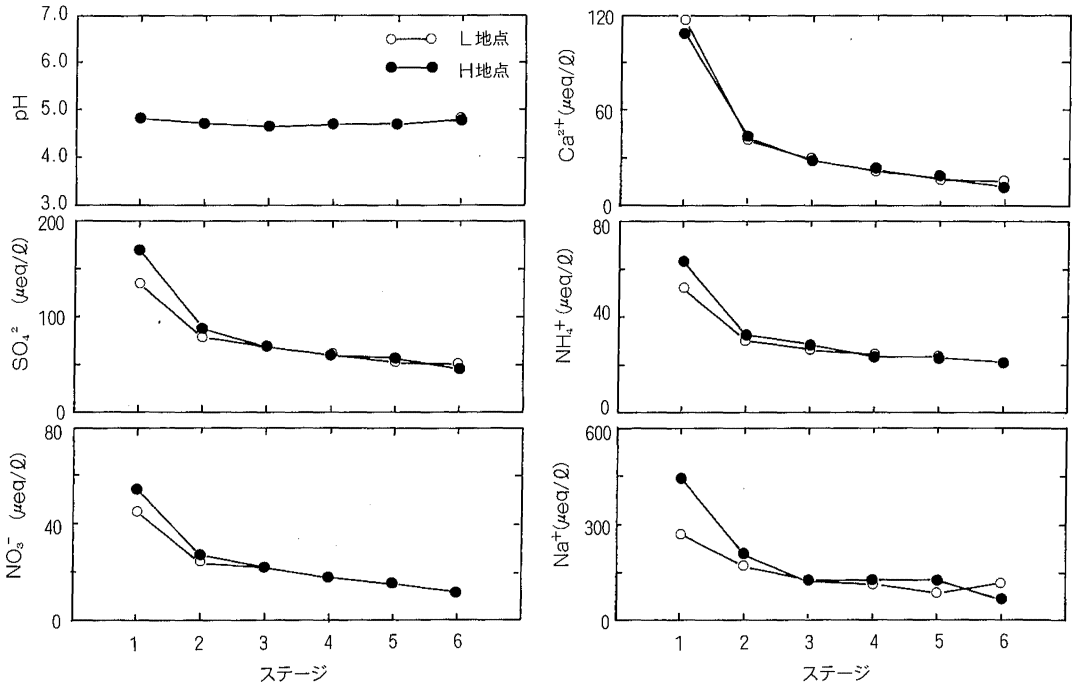
降水を雨として分取できた12月中旬までの間に、L及びH地点でそれぞれ59降水を採取できたが、欠測等で有効な対のデータを得られなかった13降水を除き、46降水について解析を行った。各ステージ毎の平均濃度を表—4に、また主な成分当量濃度を図—10に示した。季節風の吹き出しが始まる10月下旬以降、西高東低の冬型気圧配置になったとき、ステージ1での各成分の取り込み量が極端に大きいため、結果として平均濃度もこれにほぼ従う形となっている。



図—9　$(NH_4^+ + nssCa^{2+})/(NO_3^- + nssSO_4^{2-})$比月変化

表－4　初期降水分取による降水成分平均濃度

地　点	ステージ	pH	EC μS／cm	SO_4^{2-} mg／ℓ	NO_3^- mg／ℓ	Cl^- mg／ℓ	Na^+ mg／ℓ	K^+ mg／ℓ	Ca^{2+} mg／ℓ	Mg^{2+} mg／ℓ	NH_4^+ mg／ℓ
L	1	4.81	72.7	6.47	2.81	11.02	6.24	0.47	2.34	0.89	0.94
	2	4.70	47.6	3.79	1.50	6.81	3.90	0.27	0.82	0.53	0.54
	3	4.65	39.3	3.26	1.37	5.06	2.85	0.22	0.58	0.39	0.47
	4	4.70	34.6	2.88	1.11	4.68	2.66	0.20	0.43	0.35	0.44
	5	4.71	28.8	2.53	0.95	3.45	1.98	0.17	0.33	0.26	0.42
	6	4.84	33.0	2.42	0.72	5.09	2.72	0.16	0.31	0.37	0.37
	平均	4.81	36.0	2.76	0.92	5.41	2.95	0.19	0.46	0.40	0.42
H	1	4.80	101.1	8.14	3.37	17.74	10.23	0.61	2.18	1.41	1.14
	2	4.71	54.1	4.20	1.69	8.39	4.77	0.31	0.87	0.65	0.59
	3	4.64	39.6	3.32	1.39	5.02	2.88	0.24	0.55	0.39	0.52
	4	4.71	36.7	2.90	1.14	5.27	2.94	0.21	0.46	0.40	0.41
	5	4.71	35.2	2.74	0.98	5.07	2.90	0.20	0.37	0.37	0.40
	6	4.79	23.1	2.20	0.74	2.74	1.49	0.13	0.23	0.19	0.37
	平均	4.77	31.4	2.77	1.01	4.28	2.39	0.18	0.41	0.32	0.44

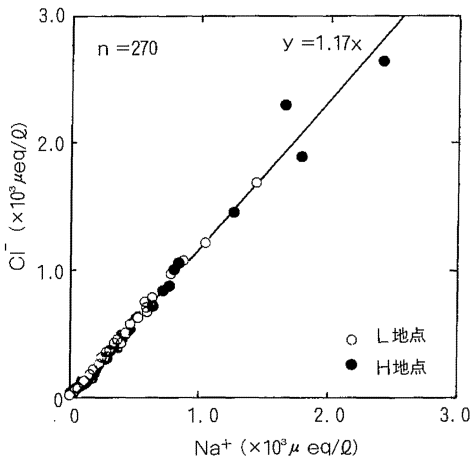


図—10　pH及び主な成分当量濃度のステージによる変化

pHについては、L地点とH地点の間に差は見られず、ステージのシフトに伴う変化傾向も同じであった。陰イオン成分では、ステージ1及び2で何れの成分もH地点の方が高い値を示し、ステージ3以降は高度による差は殆ど見られなかった。ステージのシフトに伴う変化傾向については、SO_4^{2-}、NO_3^-及びCl^-ともステージ1から2の間に大きく濃度が下がり、ステージ2以降ステージ6まで漸減あるいは横ばいである。

陽イオン成分でも、地点間の関係及びステージのシフトに伴う変化傾向について、陰イオン成分と同様の傾向がみられた。ただし、Ca^{2+}では他の成分と異なり、ステージ1及び2においても、地点間の濃度差は殆ど見られず、全ステージを通じてほぼ同じ濃度変化を示した。

図—11に各ステージにおけるNa^+とCl^-の当量濃度の関係を示したが、ステージによるCl^-/Na^+当量濃度比に殆ど差がなく、海水中の当量濃度比、約1.17に近いこと、ステージ3以降のNa^+及びCl^-の濃度にほとんど変化が見られないことから、ステージ1での海塩由来成分の大部分は、海風塩をウォッシュアウトにより取り込んだものであり、ステージ2以降はレインアウトによる取り込まれたものと考えられる。



図—11　Na^+とCl^-の関係

3．2．2　気象因子別の降水成分濃度

前節で述べたように、初期降水分取による全降水の平均濃度及びステージのシフトに伴う変化傾向には、高度による顕著な差は見られない。そこで、降水をもたらす気象因子毎に降水を分類し、比較検討には、大まかな気象因子分類のうち、特徴的な①台風型(台風が近接したもののみ。直近で温帯低気圧に変わったものを含む)、②西高東低型を選び、明らかにこれらに属するもので、ステージ6までの試料を採取できた降水の平均当量濃度を用いた。各ステージ毎の平均濃度を表—5に示した。

pHの各ステージおける変化を図—12に示した。気象因子別では、台風型の方が高度によらず西高東低型よりも高い値を示し、同じ台風型のなかではL地点の方が高かった。いわゆる冬型気圧配置になると、初期降水分取のステージ1ではNa^+が200mg/ℓを越える場合もあり、Na^+濃度の高度による差も大きいことから、一降水個々には海塩成分によるpHへの影響も考慮する必要があるが[10]、本調査における、西高東低型の場合は高度による差は見られず、ステージのシフトにかかわらずほぼ一定の値を示している。

ここでは気象因子を詳細に分類できなかったため、他の気象因子による降水の性状を述べないが、平木[11]らや鶴田[12]らの指摘と同様に、台風による降水のpHは、他の気象因子による降水の平均値に比較して、明らかに高い値を示した。

陰イオン成分濃度については、ステージ1

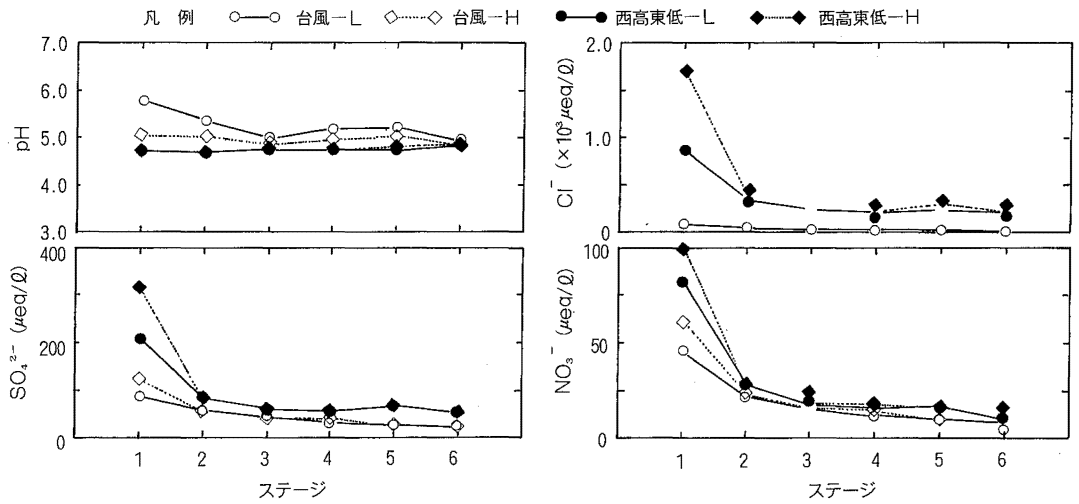
表－5　気象因子別各成分当量濃度比

気象因子	地点	ステージ	$\frac{nssSO_4^{2-}}{SO_4^{2-}}$	$\frac{NO_3^-}{SO_4^{2-}}$	$\frac{NO_3^-}{nssSO_4^{2-}}$	$\frac{nssCa^{2+}}{Ca^{2+}}$	$\frac{NH_4^+ + nssCa^{2+}}{NO_3^- + nssSO_4^{2-}}$
台風 (n=4)	L	1	0.89	0.53	0.60	0.97	1.42
		2	0.89	0.38	0.43	0.95	1.06
		3	0.91	0.36	0.39	0.95	0.83
		4	0.90	0.36	0.40	0.94	0.86
		5	0.87	0.35	0.41	0.90	0.79
		6	0.96	0.35	0.37	0.93	0.49
	H	1	0.87	0.49	0.56	0.94	0.98
		2	0.88	0.41	0.47	0.92	0.90
		3	0.91	0.37	0.41	0.93	0.66
		4	0.89	0.36	0.40	0.92	0.73
		5	0.90	0.36	0.40	0.91	0.65
		6	0.96	0.32	0.33	0.85	0.37
西高東低 (n＝4)	L	1	0.58	0.39	0.67	0.77	0.84
		2	0.60	0.34	0.56	0.69	0.65
		3	0.60	0.28	0.47	0.63	0.55
		4	0.64	0.28	0.44	0.58	0.49
		5	0.65	0.24	0.37	0.57	0.56
		6	0.60	0.18	0.30	0.30	0.41
	H	1	0.43	0.31	0.74	0.62	0.75
		2	0.55	0.34	0.63	0.66	0.67
		3	0.60	0.31	0.51	0.60	0.53
		4	0.63	0.30	0.48	0.59	0.55
		5	0.57	0.23	0.41	0.57	0.65
		6	0.61	0.17	0.28	0.35	0.43

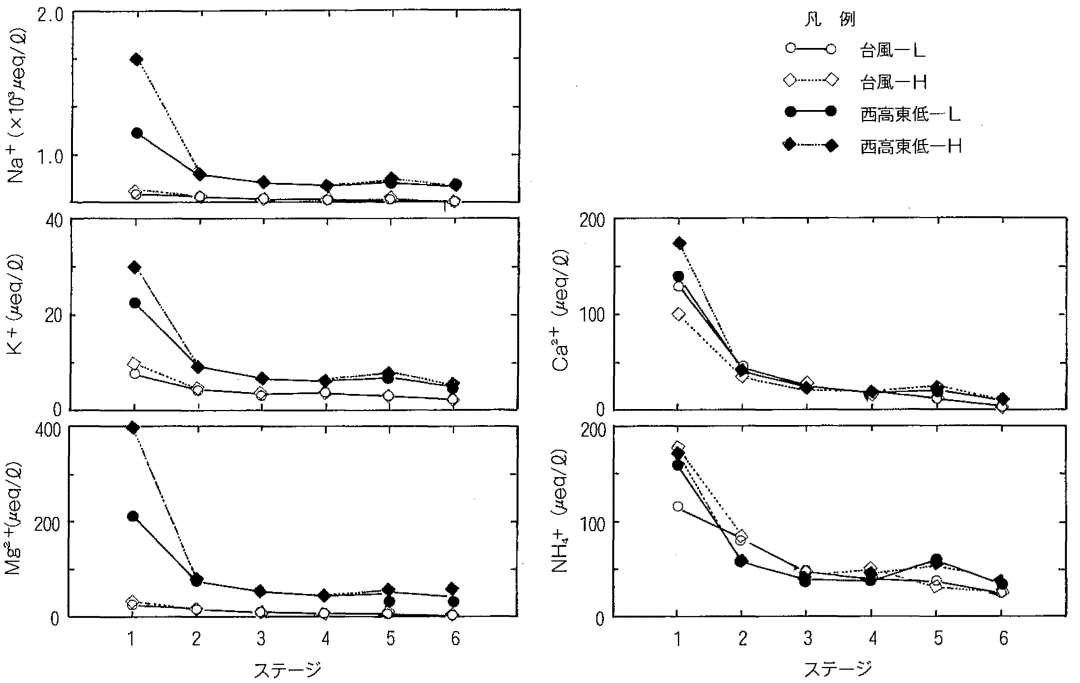
では何れの成分も、西高東低型の方が台風型よりも高く、同じ気象因子ではH地点の方がL地点よりも高い。ステージ2以降は気象因子別では、SO_4^{2-}及びCl^-については西高東低型の方が高いが、NO_3^-ではその差が殆ど無い。また同じ気象因子内での高度による差は見られない。$nssSO_4^{2-}/SO_4^{2-}$当量濃度比について表－5に示した。台風型で0.9前後、冬型で0.6程度と気象因子による差が大きい。台風型では、高度差及びステージのシフトに伴う差も無くほぼ一定の値を示すが、西高東低型では第1ステージでH地点の比が低く、第2ステージ以降はほぼ等しい。

陽イオン成分濃度の各ステージにおける変化を図－13に示した。Na^+、K^+及びMg^{2+}については、ステージ1では西高東低型の方が台風型よりも高く、同じ気象因子では西高東低型でH地点の方がL地点よりも高いが、台風型ではその差が殆ど無いか、あっても差は小さい。ステージ2以降は気象因子別では西高東低型の方が高いが、同じ気象因子では、高度差及びステージのシフトに伴う差も無くほぼ一定の値を示している。NH_4^+、Ca^{2+}については、気象因子及び高度による濃度差に、これら以外の成分ほど顕著な傾向が見られず、ステージ1から2の間の濃度差が大きく、ステージ2以降ステージ6まで漸減あるいは横ばいであった。

$nssCa^{2+}/Ca^{2+}$当量濃度比について表－5に示した。台風型で0.9を越え、西高東低型で0.6程度と、$nssSO_4^{2-}/SO_4^{2-}$当量濃度比同様、気象因子による差が大きい。また西高東



図－12　気象因子別pH及び陰イオン成分当量濃度のステージによる変化



図－13　気象因子別陽イオン成分当量濃度のステージによる変化

低型では、地表付近であるL地点のステージ1で0.77と比較的高く、1週間ろ過式ほどではないが、道路粉塵によると思われるnssCa^{2+}増加が見られた。

N/S比、N/nssS比及び(NH_4^++nssCa^{2+})/(NO_3^-+nssSO_4^{2-})比を表－5に示した。N/S比は、両地点とも台風型の方が高く、同じ気象因子内ではステージ1を除き殆ど変わらない。pHとこれらの比の関係は、台風型ではL及びH地点で、pHとN/nssS比との間に、正の相関関係が見られるが、西高東低型ではその関係が明確ではない。

4 まとめ

降水成分濃度の高度による差を見ることにより、秋田市街地における降水の酸性化機構の実態を把握するため、平成2年7月～平成3年3月までの間、1週間ろ過式及び初期降水分取方式による降水の採取を実施した。この調査の結果、次のような知見を得た。

(1) ろ過式1週間採取の降水のpHは、調査期間中の平均値で0.15、高層よりも地表近くが高く、月平均値で見ると、1～3月の間にこの傾向が強い。また、この期間は降水成分濃度に与える海塩由来成分の影響が大きいが、この度合いは地表近くよりも高層の方が強い

(2) ろ過式1週間採取の降水成分濃度で算出した降下量は、海塩の影響を強く受ける11月以降に急激に増加し、総降下量では地表近くよりも高層の方が多い。

(3) ろ過式1週間採取の降水でpHを下げる方向に働く成分としては、夏期の地表近くではNO_3^-が、高層ではnssSO_4^{2-}とNO_3^-が効き、pHを高める方向には、夏期の地表付近ではnssCa^{2+}等が、高層ではNH_4^+が効いている。また、冬期区分では両地点ともnssSO_4^{2-}がpHを下げる方向に働き、nssCa^{2+}がpHを押し上げる方向に働いている。

(4) 初期降水分取による降水では、pHについては全ステージの平均値及びステージ毎の平均値に、高度による差は見られなかった。

(5) 初期降水分取による降水を気象要因別に分類すると、分類毎の差や高度による差が見られたが、本調査の例数が少ないことから、これについては今後継続的な酸性雨のモニタリングを通し、さらに詳しい解析が必要である。

謝 辞

この調査を実施するにあたり、快く調査場所の提供を頂きました、秋田アトリオンビル㈱を始め、ご協力頂いた関係各位に、深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

1) 信太 穣ほか：本報，No.11，82(1983)
2) 斉藤 学ほか：本報，No.12，94(1984)
3) 斉藤 学ほか：本報，No.13，69(1985)
4) 斉藤 学ほか：本報，No.16，55(1988)
5) 酸性雨等調査マニュアル(改訂版)：平成2年3月，環境庁大気保全局
6) 渡辺善徳ほか：横浜市公害研究所報，No.13，19(1989)
7) 酸性雨対策調査報告書：平成2年1月，酸性雨対策検討会大気分科会
8) 正賀 充ほか：兵庫県立公害研究所研究報告：No.22，17(1990)
9) 玉置元則ほか：大気汚染学会誌，26，1(1991)

10) 山口幸祐ほか：大気汚染学会講演要旨集，第32回，383(1991)
11) 平木隆年ほか：大気汚染学会講演要旨集，第30回，348(1989)
12) 鶴田治雄ほか：大気汚染学会講演要旨集，第32回，392(1991)