

多変量解析による札幌市の降水特性について (平成6年度)

山本 優 立野英嗣 恵花孝昭 吉田卓爾 菊地由生子

要 旨

平成6年度の中央, 東, 芸術の森の3地点の降水分析データを用いて多変量解析により, 降水の総合的な特性の解析を試みた。

この結果, 重回帰分析により, pHの変動要因として東では nss-SO_4^{2-} が低下要因, nss-Ca^{2+} が上昇要因, 又, 芸術の森では nss-SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- が低下要因, nss-Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ が上昇要因として寄与していることが明らかとなった。

主成分分析の結果から降水の特性を示す指標として2個の主成分(Z_1 , Z_2)が抽出され, Z_1 は総合的な降水の汚染度を示し, Z_2 は人為的発生源による汚染の程度を示す指標と考えられた。又, これらを用いて地域別, 季節別の特性を指標化したところ, 地域, 季節の特長をよく反映しており, 有用な方法であることが示された。

1. 緒 言

酸性雨問題は地球規模の広域的な問題に留らず, 地域的な問題としても重要であり, 札幌市でも昭和62年度からモニタリングを開始し, 平成元年度から3地点で環境庁濾過方式による調査を継続して実施している。

これらの調査結果の解析から札幌市の降水の季節的变化, 地域的特性については伊藤等¹⁾²⁾の研究により, 明らかにされている。

現在, 降水の分析項目は10種類と多数であり, 分析項目の個別的な解析から降水の特性を総合的に把握することは難しい点がある。

一般に多数のデータ全体の特性を少数の指標に客観的にまとめる統計手法として多変量解析が知られている³⁾。

今回, 平成6年度の降水分析データに多変量解析を適用し, 重回帰分析によりpHの変動要因を求め, 又, 主成分分析により降水の季節別, 地域別の特性を指標化し, 総合的な降水特性の把握を試みた

のでその結果を報告する。

2. 方 法

2.1 分析データ

平成6年度に3地点で環境庁濾過方式により1週毎に採取された降水の分析値を用いた。

分析法は既報¹⁾²⁾による。

測定値の単位はイオン当量濃度($\mu\text{eq/l}$)とし, 解析に使用した項目は Na^+ , nss-K^+ (非海塩性- K^+), nss-Ca^{2+} (非海塩性- Ca^{2+}), Mg^{2+} , nss-SO_4^{2-} (非海塩性- SO_4^{2-}), NO_3^- , nss-Cl^- (非海塩性- Cl^-), NH_4^+ , H^+ の9項目とした。

データ数は欠測データ等を除いた中央($n=45$), 東($n=47$), 芸術の森($n=47$)の計139データである。

2.2 重回帰分析

各地点別に H^+ を目的変数とし, 説明変数を Na^+ , nss-K^+ , nss-Ca^{2+} , Mg^{2+} , nss-SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ として変数増減法により行った。

2.3 主成分分析

3地点の全デ - タ(n=139)を対象として主成分分析を行い、各主成分の固有値の寄与率および累積寄与率から指標となる主成分を求めた。

次に各デ - タの主成分Z₁、Z₂の主成分得点を求め、季節別、地点別に平均主成分得点を計算し、それぞれの特性を推定した。

3 結果と考察

3.1 pH変動要因

各地点においてpHがどのような要因で変動するかを定量的に知るため変数増減法による重回帰分

析を用いて解析した。

重回帰分析はある目的変量と多数の説明変量との関係を線形1次式として推定あるいは予測する手法であり、ここでは降水中のH⁺と各イオン成分との関係を解析するために用いた。

表1に各地点別に重回帰分析を行った結果、得られた重回帰式、重相関係数、標準偏回帰係数を示した。

標準偏回帰係数はH⁺濃度に対する各成分の寄与を推定するために、各説明変量を平均=0、分散=1となるように標準化して、重回帰分析を行ったときの偏回帰係数である。

表1 重回帰式、重相関係数、標準偏回帰係数

(中央) n=45

$$\text{重回帰式} : H^+ = 0.07 \times [\text{nss-SO}_4^{2-}] - 0.15 \times [\text{nss-Ca}^{2+}] + 0.22 \times [\text{NO}_3^-] + 9.11$$

重相関係数: 0.61

変量名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	判定	標準誤差	偏相関	単相関
nss-Ca ²⁺	-0.15	-2.21	**	0.03	-0.56	-0.38
nss-SO ₄ ²⁻	0.07	0.89	**	0.02	0.39	-0.20
NO ₃ ⁻	0.22	1.05	*	0.10	0.34	-0.27
定数項	9.11		*	4.28		

** : 1%有意差, * : 5%有意差

(東) n=47

$$\text{重回帰式} : H^+ = 0.18 \times [\text{nss-SO}_4^{2-}] - 0.15 \times [\text{nss-Ca}^{2+}] + 8.89$$

重相関係数: 0.75

変量名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	判定	標準誤差	偏相関	単相関
nss-Ca ²⁺	-0.15	-1.38	**	0.02	-0.75	-0.44
nss-SO ₄ ²⁻	0.18	1.12	**	0.03	0.68	-0.04
定数項	8.89		**	1.29		

(芸術の森) n=47

$$\text{重回帰式} : H^+ = 0.76 \times [\text{NO}_3^-] - 0.59 \times [\text{nss-Ca}^{2+}] - 0.30 \times [\text{Na}^+] + 0.49 \times [\text{Cl}^-] + 0.64 \times [\text{nss-SO}_4^{2-}] - 1.55 \times [\text{Mg}^{2+}] - 0.43 \times [\text{NH}_4^+] + 3.94$$

重相関係数: 0.94

変量名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	判定	標準誤差	偏相関	単相関
NO ₃ ⁻	0.76	0.75	**	0.12	0.70	0.41
nss-Ca ²⁺	-0.59	-1.10	**	0.06	-0.84	-0.12
Cl ⁻	0.49	3.83	**	0.06	0.80	0.34
Na ⁺	-0.30	-1.87	**	0.09	-0.47	0.26
nss-SO ₄ ²⁻	0.64	1.60	**	0.09	0.77	0.27
Mg ²⁺	-1.55	-2.48	**	0.43	-0.50	0.26
NH ₄ ⁺	-0.43	-0.43	**	0.12	-0.49	0.37
定数項	3.94			4.17		

重相関係数は中央, 0.61, 東, 0.75, 芸術の森, 0.94であり, 中央については係数が低く, ここで用いた説明変数だけでは十分説明できなかった。

東ではH⁺濃度を増加させる説明変数として nss-SO₄²⁻, 低下させる説明変数としてnss-Ca²⁺が選択されている。H⁺濃度を変動させる寄与の強さを示す標準偏回帰係数はnss-Ca²⁺で -1.38, nss-SO₄²⁻は 1.12であった。

芸術の森ではH⁺濃度を増加させる説明変数としてnss-Ca²⁺Na⁺, Mg²⁺, NH₄⁺が選択されている。

H⁺濃度を変動させる強さはH⁺を増加させる方向に働くイオンではNO₃⁻ < nss-SO₄²⁻ < Cl⁻とCl⁻が最も高かった。H⁺を低下させる方向に働くイオンではNH₄⁺ < Na⁺ < nss-Ca²⁺ < Mg²⁺の順でMg²⁺が最も高かった。

以上の結果から東ではpH (H⁺濃度) の変動要因としてnss-SO₄²⁻が低下の方向に, nss-Ca²⁺が上昇させる要因として働いている。

芸術の森ではpH (H⁺濃度) の変動要因としてnss-SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻が低下の方向にnss-Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, NH₄⁺が上昇させる要因として働いている

3.2 地点別, 季節別の降水特性

地点別及び季節別の大まかな降水の特性を統計的に明らかにするために3地点の降水分析データ(n=139)を用いて主成分分析を行った。

主成分分析は多変量解析の1方法で互いに関連のある多種類の特性値を持つ情報を少数個の総合的な特性値に集約するという方法である。

表2 主成分分析結果

(相関係数行列)

イオン成分	H ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	nss-SO ₄ ²⁻	nss-Ca ²⁺	nss-K ⁺
H ⁺	1.000								
NO ₃ ⁻	-0.065	1.000							
Cl ⁻	0.196	0.247	1.000						
Na ⁺	0.187	0.239	0.990	1.000					
Mg ²⁺	0.136	0.382	0.957	0.968	1.000				
NH ₄ ⁺	-0.032	0.674	0.499	0.491	0.523	1.000			
nss-SO ₄ ²⁻	-0.113	0.846	0.494	0.500	0.635	0.766	1.000		
nss-Ca ²⁺	-0.357	0.821	0.231	0.213	0.350	0.557	0.865	1.000	
nss-K ⁺	-0.013	0.739	0.590	0.605	0.693	0.641	0.797	0.624	1.000

(固有ベクトル, 因子負荷量)

イオン成分	固有ベクトル		因子負荷量	
	主成分Z ₁	主成分Z ₂	主成分Z ₁	主成分Z ₂
H ⁺	-0.003	-0.406	-0.008	-0.576
NO ₃ ⁻	0.332	0.356	0.762	0.505
Cl ⁻	0.338	-0.417	0.775	-0.591
Na ⁺	0.338	-0.421	0.775	-0.596
Mg ²⁺	0.372	-0.328	0.853	-0.466
NH ₄ ⁺	0.346	0.114	0.795	0.162
nss-SO ₄ ²⁻	0.397	0.225	0.912	0.319
nss-Ca ²⁺	0.312	0.427	0.716	0.606
nss-K ⁺	0.385	0.060	0.883	0.084
固有値	5.27	2.01		
寄与率	58.5%	22.3%		
累積寄与率	58.5%	80.8%		

3.2.1 主成分の抽出

表2は各変量の相関係数行列を用いて主成分分析を行った結果、得られた固有値1.0以上の主成分の固有ベクトル、因子負荷量を示したものである。

この結果、 Z_1 及び Z_2 の固有値の寄与率はそれぞれ58.5%、22.3%であり、累積寄与率は80.8%を示し、上記9種の変量はほぼ2種類の主成分に指標化された。

又、図1は9個の変量が Z_1 及び Z_2 の主成分に対し、どのように寄与しているかを見るために Z_1 、 Z_2 の因子負荷量を2次元グラフとしてプロットしたものである。

表2、図1に示すように主成分 Z_1 は因子負荷量が従属変数である H^+ を除いてすべての変量が正の符号を持つことから Z_1 は総合的な降水の汚染度を示す指標と考えられる。一方、主成分 Z_2 は $nss-SO_4^{2-}$ 等の非海塩性で人為的発生源に由来する変量の因子負荷量が正の符号を示し、 Na^+ 等自然（海塩等）由来の変量の因子負荷量が負の符号を持っている。

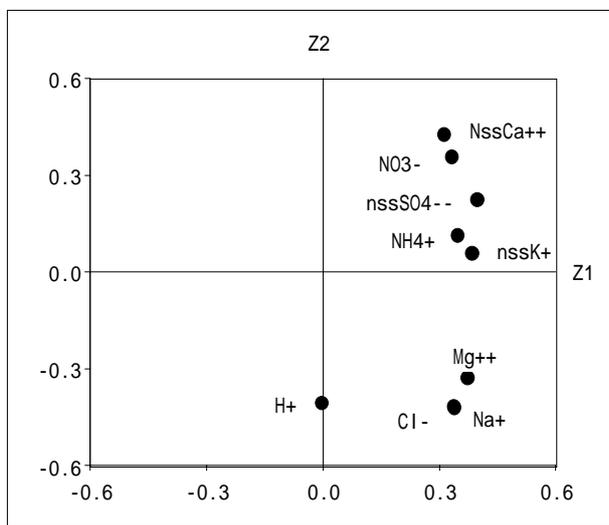


図1 イオン成分の因子負荷量分布図

このように、主成分 Z_2 は人為的発生源による汚染の程度を示す指標と考えられ、 Z_2 が大きいデータは人為的発生源からの汚染度が大きいことを示している。

3.2.2 季節別、地点別主成分得点

各地点、各季節の降水の特性を解析するため、各データ(n=139)の主成分得点を計算し、さらにこれらから、季節別及び地点別に主成分得点の平均値を計算したものが表3、表4である。又、季節別及び地点別の主成分得点分布図を図2、図3に示した

表3 季節別主成分得点

季節	Z_1	Z_2
春(4~6月)	0.36	0.80
夏(7~9月)	-0.39	0.50
秋(10~12月)	0.15	-0.75
冬(1~3月)	-0.13	-0.25

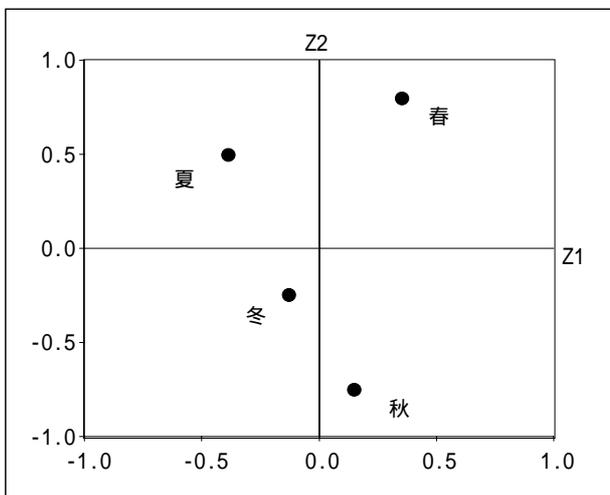


図2 季節別の主成分得点分布図

これらから春は Z_1 、 Z_2 がいずれも得点が高いことから総合的な汚染度が高く、又、人為的発生源由来の汚染も高い季節である。同様に夏は総合的な汚染度は低く、人為的発生源由来の汚染が高く、秋は総合的な汚染度は高くなるが海塩等の自然由来成分が最も高くなり、冬は総合的な汚染度は低く、海塩等の自然由来成分が高い季節である。

以上の結果は春は雪解け後の粉塵等が最も多く、総合的な汚染度が高くなり、秋、冬は季節風による影響が大きく海塩等の自然由来の成分が大きくなること等から札幌市の季節の推移をほぼ反映していると考えられる。

地点別では Z_1 、 Z_2 とも中央 > 東 > 芸術の森の順

に汚染度が高く、市街中心部にある中央が総合的汚染度、人為的汚染度がいずれも高く、バックグラウンド地点である芸術の森が最も清浄な地点であることを示しており、地点の特徴をよく示している。

表4 地点別主成分得点

地 点	Z ₁	Z ₂
中 央	0.39	0.25
東	0.02	-0.02
芸術の森	-0.39	-0.21

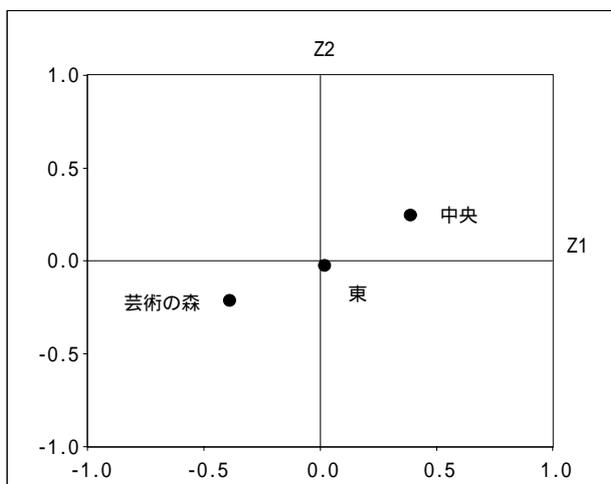


図3 地点別の主成分得点分布図

以上の結果から主成分Z₁, Z₂は地点、季節の降水の総合的な特性を示す有効な指標であることが明らかとなった。

4 結語

平成6年度の降水分析結果を基に重回帰分析により、pHの変動要因を又、主成分分析により地点別、季節別の降水の総合的な特性を解析した。

- (1) pHの変動要因として東ではnss-SO₄²⁻が低下要因、nss-Ca²⁺が上昇要因、又、芸術の森ではnss-SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻が低下要因、nss-Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、NH₄⁺が上昇要因として寄与している。
- (2) 降水の特性を示す指標として2個の主成分(Z₁, Z₂)が抽出され、Z₁は総合的な降水の汚染度を示し、又、Z₂は人為的発生源による汚染の程度を示す指標と考えられた。
- (3) 主成分得点を用いて地点別、季節別の特性を指標化したところ、各地点、季節の特徴を反映しており、有効な指標であることが明らかとなった。

5 参考文献

- 1) 伊藤正範, 他: 札幌市衛生研究所年報17, 118-132, 1990.
- 2) 伊藤正範, 他: 札幌市衛生研究所年報18, 141-160, 1991.
- 3) 石村貞夫: 多変量解析入門, 東京図書, 1992
- 4) 原宏 大気汚染学会誌26, 51-59, 1991
- 5) 全国公害研協議会北海道・東北支部酸性雨調査部会: 同調査解析報告書, 65-71, 1993.

Characteristics of Precipitation in Sapporo by Multivariate Analysis(Fiscal Year 1994)

Masaru Yamamoto ,Hidethugu Tateno ,Takaaki Ebana,
Takuji Yoshida and Yuko Kikuchi

Comprehensive characteristics of precipitation data were measured by conducting multivariate analyses of precipitation data obtained at 3 points in “Chuo”, “Higasi” and “Geijyutu no mori”. Multi-regression analyses showed that ,in “Higasi” point ,nss-SO₄²⁻,NO₃⁻ was a factors in decreasing pH and nss-Ca²⁺ was a factor in increasing pH . In the “Geijyutu no mori”,nss-SO₄²⁻,NO₃⁻and Cl⁻, were factors in decreasing pH and nss-Ca²⁺,Na⁺,Mg²⁺ and NH₄⁺ were factors in increasing pH. As a result of analyses of major precipitation components ,2 majors components(Z₁,Z₂) were extracted as indices indicating precipitation characteristics .It was thought Z₁ indicated the general degree of pollution of precipitation and Z₂ indicated the degree of pollution caused by artificial source. These indices were used to establish indicators of characteristics by region and season. They were found to accurately reflect regional or seasonal characteristics, and determined to be useful.