

(2) 酸性降下物の実態調査(第3報)

犬塚加代子, 穴井 功一, 吉川 信治
淵野 良蔵, 岩本糸治郎, 古賀 靖浩

1 はじめに

最近, オゾン層の破壊をはじめ地球の温暖化, 酸性雨等々の「地球環境問題」が大きな社会問題となっ
てきている。このうち本県で最も身近な関心事となっているものの一つが酸性雨である。この酸性雨の起
源物質としては, 国内で排出される大気汚染物質や近隣諸国から移送されてくる人為又は, 天然の大気汚
染物質さらに九州地区では, 火山活動による寄与等も考えられている。本県では, 酸性雨の生態系への長
期的な影響評価の基礎資料を得る目的で昭和61年度から県下主要地域6ヶ所において降水の水溶性成分降
下量の調査を行っており, 今回昭和63年度の結果をまとめたので報告する。

2 調査方法

昭和63年4月から平成元年3月までの1年間に調査地点として佐賀(佐賀市交通局屋上), 鳥栖(鳥栖
市役所屋上), 唐津(唐津市役所屋上), 伊万里(伊万里市役所屋上)及びバックグラウンド地域として脊
振(脊振中学校校庭), 鎮西(波戸岬国民宿舎屋上)の計6地点を選んで雨水の採取を行った。雨水は,
環境庁方式のろ過式採取装置を用い1ヶ月単位で採取した。採取ロートは, 口径16.5cmのポリロートを,
ろ紙はメンブランフィルター(0.8 μ m)を用いた。pHは, ガラス電極法を SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- はイ
オンクロマトグラフ法を K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} は原子吸光法で NH_4^+ は, インドフェノール法でそ
れぞれ分析した。

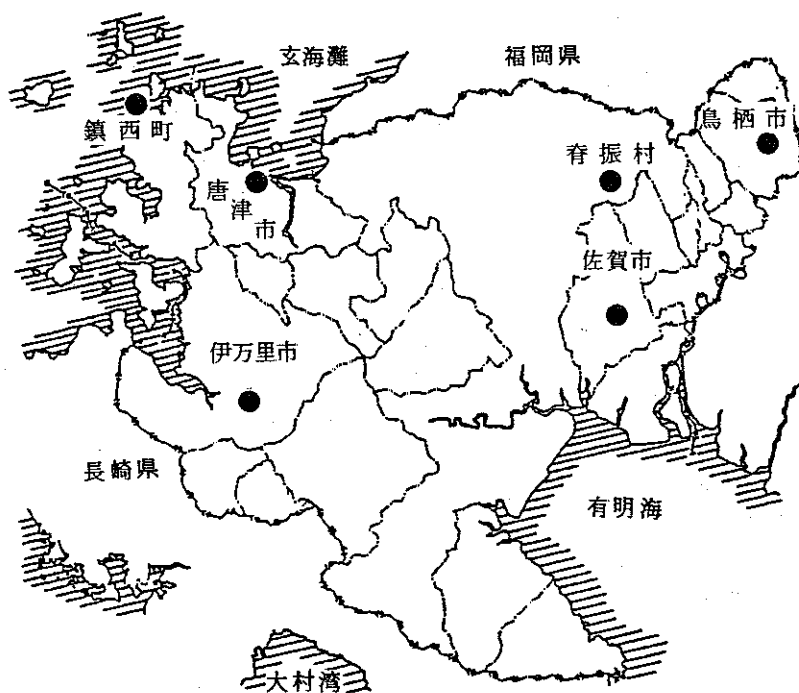


図-1 佐賀県調査地点図

3 結果と考察

3-1 降水量

測定期間中の降水量は、佐賀 2,000mm, 鳥栖 1,800mm, 唐津 1,810mm, 伊万里 1,720mm, 脊振 2,200mm, 鎮西 1,690mm, と山間部の脊振が年間を通して降水量がもっとも多かった。経月変化(図-2)を見ると梅雨期の5月から7月の間が多く、10月から12月にかけてどの地点も少ない降水量であった。佐賀地方気象台資料によると佐賀の年降雨量は、6月に最も多く12月が最も少ない結果であった。

3-2 pH

測定期間中のpHのヒストグラムを(図-3)に示す。ピークは、pH4.6~4.8であったがpH5以上の地点及び採取月もかなり見られた。平均pHは、佐賀4.7, 鳥栖4.8, 唐津4.9, 伊万里5.1, 脊振4.7, 鎮西5.2であった。佐賀, 脊振で低く, 鎮西, 伊万里で高い結果であった。

3-3 導電率(EC)

測定期間中の導電率を(図-4)に示す。降雨量の少なかった10月から12月にかけて導電率は、高い数値を示した。他の月には、だいたい $20\mu\text{s}/\text{cm}$ 前後を推移している。地点別では、海岸部に近い鎮西, 唐津が高く海塩粒子による影響が大きいと推測される。特に12月の唐津, 鎮西の導電率は、 $180\mu\text{s}/\text{cm}$, $116\mu\text{s}/\text{cm}$ と他の月の10倍近い数値であった。導電率の最も低かったのは、降水量の多い6月であった。

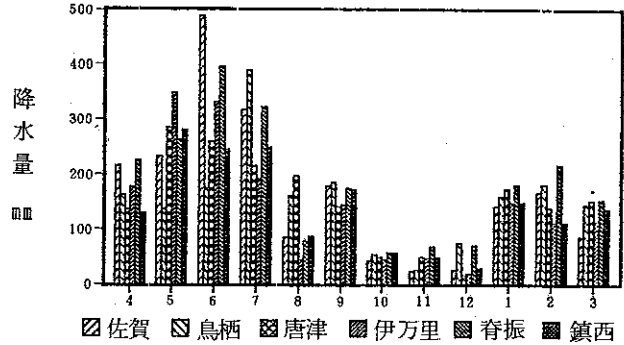


図-2 月別降水量

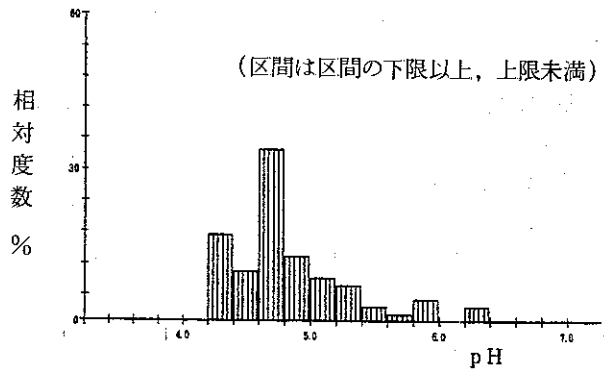


図-3 pHヒストグラム

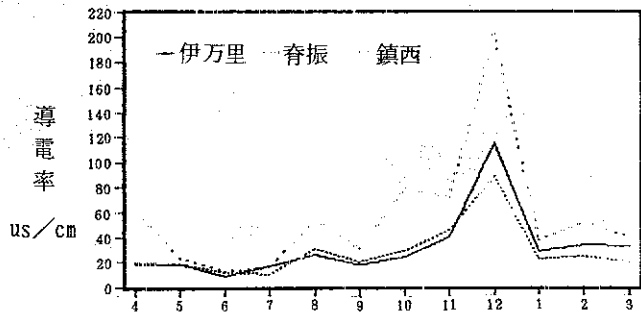
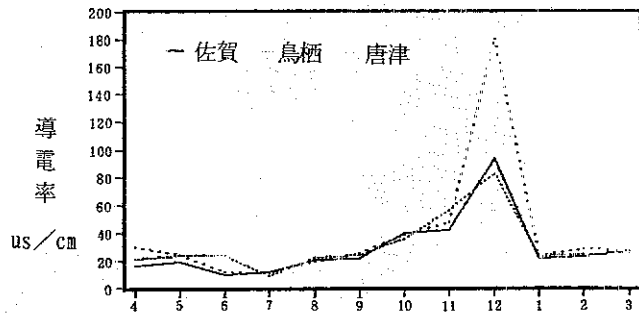


図-4 月別導電率

3-4 降下量

測定期間中の降下量を(図-5)の様に項目別に示す。多い順に $Cl^- > SO_4^{2-} > Na^+ > NO_3^- > Ca^{2+} > NH_4^+ > Mg^{2+} > K^+ > H^+$ という結果であった。 H^+ の降下量は、各地点の平均で2.1から3.7 mg/m^2 であった。

SO_4^{2-} の降下量は、年間で佐賀5,500 mg/m^2 、鳥栖5,200 mg/m^2 、唐津4,600 mg/m^2 、伊万里4,000 mg/m^2 、脊振4,700 mg/m^2 、鎮西5,100 mg/m^2 、と佐賀が最も多かった。 NO_3^- の降下量は、年間で佐賀1,600 mg/m^2 、鳥栖1,700 mg/m^2 、唐津1,800 mg/m^2 、伊万里1,400 mg/m^2 、脊振1,500 mg/m^2 、鎮西2,100 mg/m^2 、と鎮西が最も多かった。 NH_4^+ の降下量は、年間で佐賀850 mg/m^2 、鳥栖710 mg/m^2 、唐津720 mg/m^2 、伊万里780 mg/m^2 、脊振580 mg/m^2 、鎮西630 mg/m^2 、と佐賀が多く鎮西、脊振が少なかった。またその他の項目の降下量は、鎮西が最も多かった。

また項目別の降下量のばらつきを(図-6)に示す。 Cl^- が最も多く次いで Na^+ 、 SO_4^{2-} とばらついていた。

次に地点別降下量の経月変化を(図-7)に示す。佐賀では、降下量が4月から6月にかけて多く10月が少なかった。その中では SO_4^{2-} の占める割合が高かった。鳥栖では12月に最も降下量が多かった。成分的に Na^+ 、 Cl^- が多くこの時期強い北風が運んだ海塩粒子の影響が推測される。唐津では、1月が最も多かったが降下量の月変化は、少なかった。大体 Na^+ 、 Cl^- が多く占めていた。伊万里では、4月から10月までは、 SO_4^{2-} が多く11月から3月までは、 Na^+ 、 Cl^- の占める割合が高かった。脊振では、12月に強い北風による海塩粒子の Na^+ 、 Cl^- の降下量が多かった。海塩粒子の影響を最も受けると見られる鎮西では、降下量のばらつきが少なく降水量が多かった6月に最も低い降下量であった。

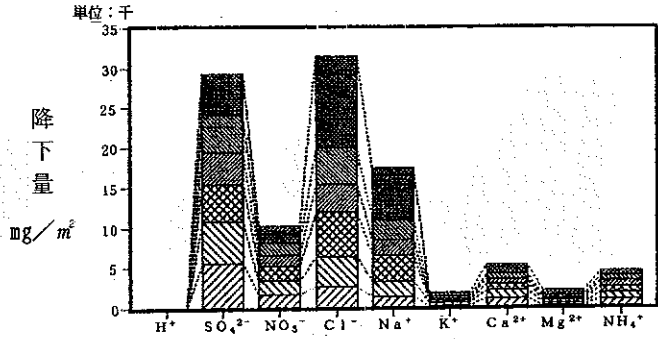


図-5 項目別降下量

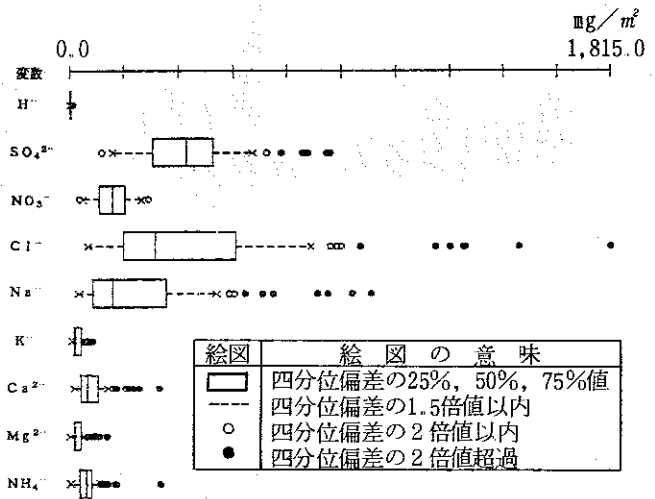
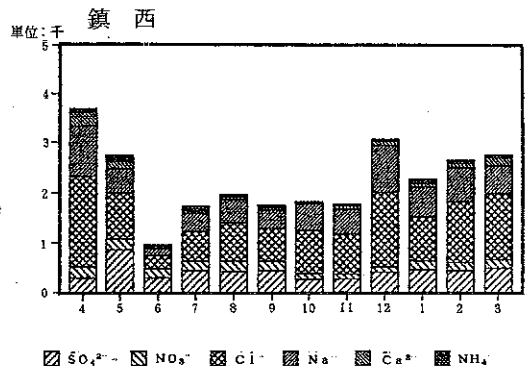
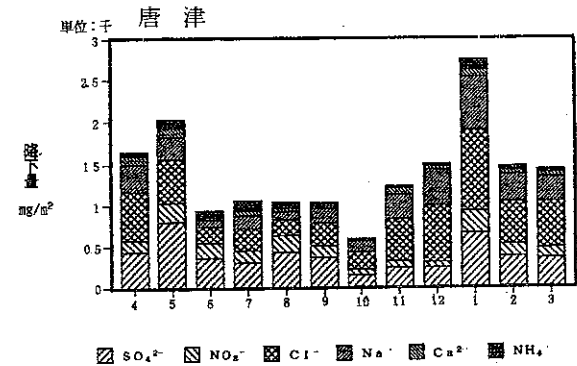
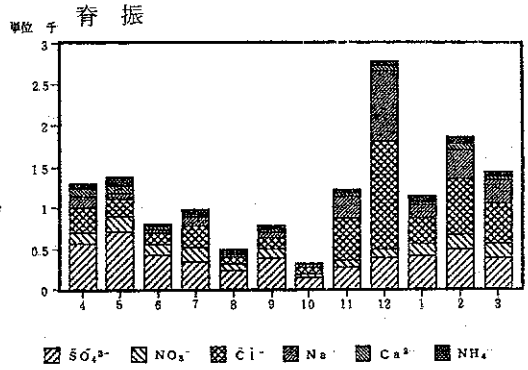
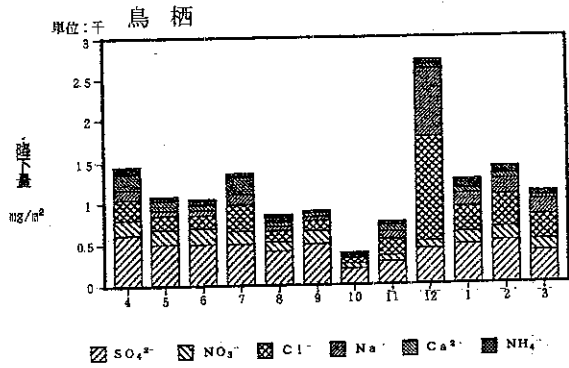
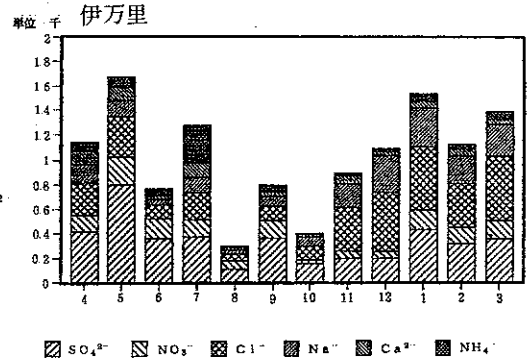
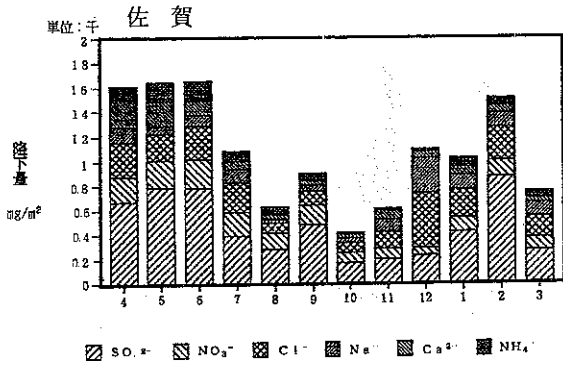


図-6 降下量のばらつき



図一七 地点別降下量の経月変化

4 データの信頼性の検討

一般に雨水に含まれるイオン成分は、濃度的に SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- のアニオン、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 H^+ のカチオンにより占められている。このことからイオン当量濃度における総アニオン量と総カチオン量の比 $\langle \text{T-c} / \text{T-a} \rangle$ 及びECの実測値と各イオン濃度から求めた計算値の比 $\langle \text{EC}_o / \text{EC}_c \rangle$ を求めることにより各検体のデータの信頼性が調べられる。この各検体の比を(表-1)に示す。イオンバランスは、0.8~1.2の範囲で、また、ECの実測値と計算値の比も0.8~1.2と信頼性は、高いと考えられる。

表-1 アニオン、カチオンの比及びECの実測値、計算値の比

調査地	採取月	I-c/I-a	EC _o /EC _c	調査地	I-c/I-a	EC _o /EC _c	調査地	I-c/I-a	EC _o /EC _c
佐賀	4	1.10	0.78	唐津	1.00	0.95	脊振	0.94	1.03
	5	1.00	0.99					0.82	1.17
	6	0.87	0.98					0.83	1.26
	7	0.93	1.18					0.87	1.11
	8	1.08	0.71					1.10	0.89
	9	1.00	0.90					0.95	1.03
	10	0.95	1.08					0.97	1.15
	11	1.16	0.71					1.00	1.02
	12	1.10	0.91					1.14	0.91
	1	1.00	0.98					0.96	1.05
	2	0.59	0.92					1.00	0.97
	3	1.09	1.08					1.01	0.75
鳥栖	4	1.07	0.89	伊万里	1.05	1.05	鎮西	1.21	0.92
	5	0.86	0.96					0.97	0.92
	6	0.87	1.05					0.80	1.27
	7	1.04	1.05					0.99	0.96
	8	1.20	0.99					1.00	0.77
	9	1.06	0.87					1.03	0.86
	10	1.07	1.08					1.04	0.90
	11	1.04	0.88					1.09	0.84
	12	1.12	0.91					0.99	0.90
	1	1.04	0.95					1.08	0.98
	2	0.94	1.01					1.02	0.89
	3	1.09	0.99					0.85	0.89

5 降水量の相関関係

表-2 地点別の成分相関係数

佐賀

	PH	EC	降水量	H+	SO4--NO3-	CL-	Na+	K+	Ca++	Mg++	NH4+
PH											
EC	-0.235										
降水量	0.621	-0.634									
H+	-0.308	-0.552	0.438								
SO4--	0.402	-0.519	0.692	0.445							
NO3-	0.522	-0.722	0.879	0.493	0.747						
CL-	0.494	-0.442	0.213	-0.306	0.308	0.057					
Na+	0.264	0.744	-0.218	-0.511	-0.135	-0.365	0.876				
K+	-0.542	-0.369	0.645	-0.147	0.431	0.633	0.318	0.082			
Ca++	0.538	-0.301	0.449	-0.013	0.627	0.892	0.315	0.008	0.502		
Mg++	0.512	0.510	0.080	-0.392	0.216	0.053	0.935	0.879	0.262	0.448	
NH4+	0.558	-0.616	0.239	0.372	0.764	0.913	0.183	0.237	0.653	0.670	0.155

鳥栖

	PH	EC	降水量	H+	SO4--NO3-	CL-	Na+	K+	Ca++	Mg++	NH4+
PH											
EC	0.087										
降水量	0.348	-0.683									
H+	-0.736	-0.396	0.120								
SO4--	-0.028	-0.420	0.589	0.264							
NO3-	-0.102	-0.617	0.568	0.395	0.899						
CL-	-0.167	0.727	-0.123	-0.371	0.101	-0.176					
Na+	0.111	0.776	-0.218	-0.361	0.021	-0.245	0.992				
K+	0.320	-0.146	0.673	0.126	0.191	0.080	0.251	0.207			
Ca++	0.669	-0.344	0.626	-0.390	0.557	0.419	-0.044	-0.121	0.292		
Mg++	0.269	0.733	-0.128	-0.477	0.078	-0.195	0.968	0.982	0.246	0.035	
NH4+	-0.087	-0.204	0.133	-0.003	0.517	0.402	0.138	0.109	-0.267	0.044	0.112

唐津

	PH	EC	降水量	H+	SO4--NO3-	CL-	Na+	K+	Ca++	Mg++	NH4+
PH											
EC	0.184										
降水量	-0.202	-0.652									
H+	-0.736	-0.402	0.609								
SO4--	-0.391	-0.330	0.686	0.736							
NO3-	-0.423	-0.529	0.807	0.760	0.872						
CL-	0.040	0.338	-0.195	-0.088	0.436	0.204					
Na+	0.010	0.373	-0.287	-0.113	0.352	-0.165	0.981				
K+	0.500	-0.145	0.233	-0.168	0.181	0.202	0.380	0.313			
Ca++	0.108	-0.096	0.261	-0.176	0.714	0.428	0.653	0.547	0.268		
Mg++	0.070	0.190	0.108	0.231	0.719	0.347	0.825	0.742	0.287	0.812	
NH4+	0.059	-0.423	0.788	0.371	0.703	0.798	0.218	0.168	0.514	0.427	0.354

伊万里

	PH	EC	降水量	H+	SO4--NO3-	CL-	Na+	K+	Ca++	Mg++	NH4+
PH											
EC	-0.014										
降水量	0.124	-0.554									
H+	-0.502	-0.409	0.669								
SO4--	-0.031	-0.357	0.826	0.786							
NO3-	0.055	-0.455	0.858	0.748	0.924						
CL-	-0.004	0.526	-0.140	-0.031	0.227	0.218					
Na+	-0.019	0.600	-0.296	-0.065	0.073	0.074	0.989				
K+	0.849	-0.108	0.143	-0.243	0.242	0.289	0.255	0.207			
Ca++	0.581	-0.242	0.494	0.144	0.664	0.566	0.200	0.103	0.631		
Mg++	0.282	0.468	-0.154	-0.105	0.204	0.209	0.950	0.942	0.490	0.376	
NH4+	0.898	-0.258	0.367	-0.167	0.328	0.382	-0.001	-0.054	0.934	0.695	0.250

脊振

	PH	EC	降水量	H+	SO4--NO3-	CL-	Na+	K+	Ca++	Mg++	NH4+
PH											
EC	0.050										
降水量	0.492	-0.648									
H+	-0.310	-0.695	0.630								
SO4--	-0.406	-0.230	0.564	0.372							
NO3-	0.554	-0.463	0.690	0.306	0.715						
CL-	0.386	0.822	-0.311	-0.589	0.093	0.051					
Na+	0.331	0.860	-0.358	-0.604	0.034	-0.020	0.993				
K+	0.532	0.288	-0.018	-0.536	-0.022	0.460	0.613	0.589			
Ca++	0.440	0.085	0.210	-0.048	0.824	0.436	0.325	0.261	0.032		
Mg++	0.392	0.843	-0.334	-0.623	0.071	0.015	0.997	0.995	0.602	0.319	
NH4+	0.371	-0.170	0.339	0.169	0.843	0.780	0.190	0.109	0.261	0.686	0.150

鎮西

	PH	EC	降水量	H+	SO4--NO3-	CL-	Na+	K+	Ca++	Mg++	NH4+
PH											
EC	0.469										
降水量	-0.129	-0.732									
H+	-0.794	-0.362	0.247								
SO4--	-0.141	-0.252	0.559	0.317							
NO3-	-0.229	-0.644	0.670	0.455	0.504						
CL-	0.679	0.541	-0.450	-0.492	-0.003	-0.104					
Na+	0.811	0.671	-0.551	-0.448	-0.080	-0.186	0.952				
K+	0.771	0.143	0.058	-0.550	0.123	0.280	0.810	0.720			
Ca++	0.662	0.090	0.000	-0.408	0.161	0.278	0.818	0.699	0.940		
Mg++	0.382	0.077	-0.125	-0.392	0.034	0.135	0.741	0.620	0.747	0.845	
NH4+	0.004	-0.439	0.808	0.101	0.827	0.652	-0.128	-0.176	0.279	0.183	0.007

(表-2)に地点別の成分相関係数を表わした。佐賀では、ECとNa⁺降水量と<NO₃⁻, NH₄⁺>, SO₄²⁻とNO₃⁻とNH₄⁺, Cl⁻とNa⁺とMg²⁺は高い正の相関を示した。またECとNO₃⁻は、高い負の相関を示した。また鳥栖では、ECとNa⁺とCl⁻は、非常に高い相関を示した。SO₄²⁻とNO₃⁻もr=0.899と高い相関であった。唐津では、降水量とNO₃⁻とNH₄⁺, H⁺とSO₄²⁻とNO₃⁻, SO₄²⁻と(Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺), Na⁺とCl⁻は、それぞれ高い相関があり、伊万里では、pHとK⁺とNH₄⁺, 降水量とSO₄²⁻とNO₃⁻, Na⁺とCl⁻とMg²⁺は高い相関があった。脊振では、ECとNa⁺とCl⁻とMg²⁺にr=0.8以上, Na⁺とCl⁻とMg²⁺にはr=0.99以上と非常に高い相関が見られた。

鎮西では、pHとK⁺, 降水量とNH₄⁺, SO₄²⁻とNH₄⁺, Na⁺とK⁺とCa²⁺とMg²⁺にそれぞれ相関が見られた。以上の相関からガス状物質由来であるSO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺にそれぞれ相関があり、また海塩粒子であるNa⁺, Cl⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺にも関係が、特にNa⁺, Cl⁻, Mg²⁺にはとりわけ高い相関が見られる結果となった。

6 地点間の関係

成分組成の類似性により各地点を分類するためにクラスター分析を行った。データとして降水量を用いて地点の類似性をワード法により求めた。(図-8)

一つのグループとして鳥栖、脊振そして佐賀、もう一つのグループとして唐津、伊万里そして鎮西の2つのグループに大別することができた。



図-8 クラスター分析 基準：ワード法

7 まとめ

昭和63年4月から平成元年3月までの1年間、県下6地点で降水量、成分等を比較検討し、県内の降下物の特徴を調べた。平均pHは、佐賀4.7、脊振4.7、鳥栖4.8、唐津4.9、伊万里5.1、鎮西5.2と差は少なかった。全体的に見て日本海側の地域のpHがやや高い傾向を示した。平均導電率は、佐賀28.8μs/cm、脊振28.8μs/cm、鳥栖30.8μs/cm、伊万里32.0μs/cm、唐津38.7μs/cm、鎮西57.1μs/cmと日本海側で高かった。しかしながら人為汚染の影響が考えられるSO₄²⁻, NH₄⁺は、県内の都市部である佐賀で高い値を示していた。今回測定期間中のイオンバランスや理論導電率と実測導電率の比も約1前後と信頼性の高い結果であった。

各地点の項目間の相関関係からは、全地点でSO₄²⁻とNO₃⁻の高い相関が見られ、また海塩粒子の影響と見られるNa⁺, Cl⁻, Mg²⁺とも非常に高い相関が見られた。これらのデータをもとにクラスター分析によって雨の成分の近似性から見ると日本海側に近い唐津、伊万里、鎮西がより近く、また佐賀、鳥栖、脊振がより似た雨の質であった。すなわち、日本海側と内陸部側での雨水は、異なっている事が推測できた。

参考文献

- 1) 佐賀県公害センター所報第7号 酸性降下物の実態調査 第1報 第2報
- 2) 兵庫県立公害研究所研究報告第21号 神戸地域における低pH降水とイオン成分との関係
- 3) 兵庫県立公害研究所研究報告第21号 兵庫県におけるバックランド地域の降水
- 4) 佐賀地方気象台資料 昭和63年度
- 5) 札幌市衛生年報17 札幌市における酸性雨、酸性雪調査