

高知県における酸性雨調査

第8報

鎮西正道・山村貞雄・三宅清義
岡林理恵（中央保健所）
近澤紘史（環境対策課）

Acid Precipitation Survey in Kochi Prefecture (Ⅷ)

Masamichi CHINZEI, Sadao YAMAMURA
Kiyomichi MIYAKE, Rie OKABAYASHI
Koshi CHIKASAWA

1. はじめに

本県では酸性雨の広域的、地域の実態とそのメカニズムを把握するため、昭和58年度から酸性雨調査を行っている。これまで第1報から第7報までは主に単年度の結果を報告してきたが、酸性雨の発生現象は気象・降水量・発生源等多くの要因が同時に関連するため、できるだけ長期にわたるデータを用いて解析しなければ要因と酸性雨現象との関係を見いだすことが困難と言われている。そのため、いくつかの機関で長期間にわたるデー

タの解析が試みられている^{1)・2)・3)}。また、解析の手法に気象の要因を用いた報告も多く見られる^{4)・5)・6)・7)・8)}。

本報においては、平成2年度から平成6年度までの5年間のデータをもとに、時間的推移・気象等の要因について解析し知見を得たので報告する。

2. 調査方法

2. 1. 調査地点

図1に示す地点で雨水を採取した。

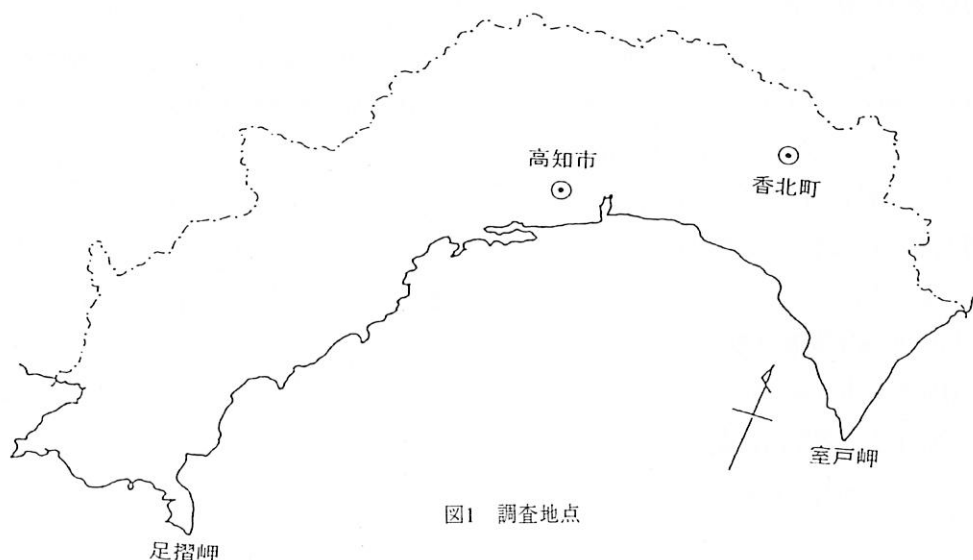


図1 調査地点

地点の概要は、次のとおりである。

a. 香北町：香美郡香北町 県営永瀬ダム管理事務所（屋上）

物部川上流の永瀬ダム湖岸に位置し、山に囲まれた人口約5,800人の山間の町にあり、周辺に汚染源はない。標高は約200mであり、海岸線から23km離れている。

最近の全国的な調査の結果⁹⁾によると、全国で観測されている140地点のなかで、低濃度を示す季節が多い地点としての上位9地点のうちに含まれている。

b. 高知市：高知市鴨部 県営鏡川工業用水道管理事務所（地上）

国道56号線バイパスと鏡川にはさまれた住宅地にあり、高知市の市街地の南に位置する。過去の調査^{10)・11)・12)}から、香北町よりも都市型の局地的な汚染の影響を受けていると考えられる。

2. 2. 調査期間

両地点とも次の期間に雨水を採取した。

H. 2. 3. 29～H. 7. 3. 27

2. 3. 採取方法

雨水を、ミリポアフィルター（AAWPO4700, $0.8\mu\text{m}$ ）でろ過し、ろ液とろ紙残留物に分け回収した。

採取期間は、平成2年度から平成5年度までは一週間、平成6年度は半月とした。

なお、採取装置はろ過式採取装置を用いた。

2. 4. 調査項目及び分析方法

pHはガラス電極法、E. C. は電気伝導度法、 $\text{K}^+ \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^- \cdot \text{Cl}^-$ はイオンクロマト法、 NH_4^+ はインドフェノール法、 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ は原子吸光光度法により分析した。分析法の詳細は環境庁大気保全局大気規制課による酸性雨成分分析調査実施細則に従った。

2. 5. 解析に用いた検体数及び成分

検体数は、両地点とも186である。

解析に用いた成分は、酸性化に寄与する主なイオンである $\text{nssSO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^-$ （以下、これらを酸

成分という）、中和に寄与する主なイオンである $\text{NH}_4^+ \cdot \text{nssCa}^{2+}$ （以下これらを中和成分という）、及び H^+ の5成分である。なお、“nss”は、 Na^+ が全て海塩由来と仮定して補正した海塩除外成分であることを示す。

3. 結果及び考察

3. 1. 沈着量等の推移

図2に沈着量の推移を、図3にpH及び NO_3^- と nssSO_4^{2-} の当量濃度比（以下N/S比という）の推移を示す。全国平均値⁹⁾は、全年度にわたる年度別データが公表されていないため、平成3年度から平成5年度の降水量による加重平均値を用いた。

酸成分、中和成分ともほぼ高知市が香北町よりも高い値で推移した。また、全国平均値と比べると、 nssSO_4^{2-} 以外は平成2年度から平成4年度にかけて低い値で推移した。

nssSO_4^{2-} は平成5年度以後、低下する傾向を示した。

pHは両地点とも4.6から5.0の間で推移した。また、全国平均値と比べると平成3年度を除き、高い値で推移した。

N/S比は、 NO_3^- と nssSO_4^{2-} のどちらが酸性化に寄与する割合が大きいかを示す指標であり、また、一般に本州都市域で低pH化に NO_3^- が大きく寄与するため、N/S比は大きくなるといわれている¹³⁾。本県の場合、高知市は比較的都市域と考えられるが、香北町との差は小さく、N/S比もほとんど全国平均値以下で推移している。これまでの報告⁹⁾によると、本県は九州地方とともにN/S比の小さい地域に属している。また、本県では nssSO_4^{2-} の減少により、平成5年度から平成6年度にかけてN/S比は上昇した。

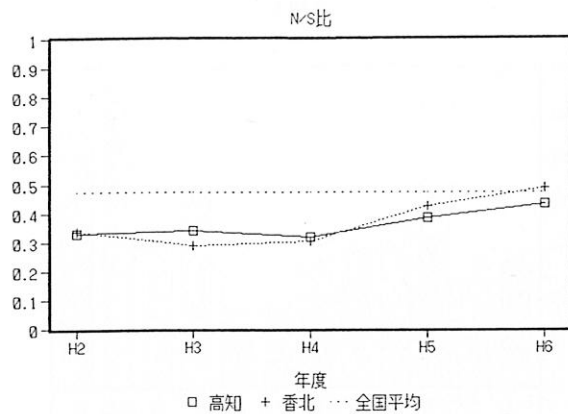
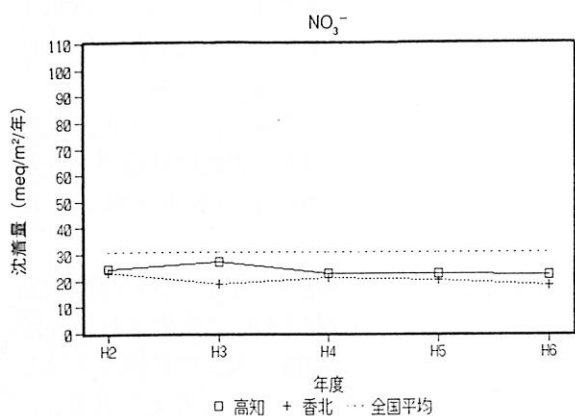
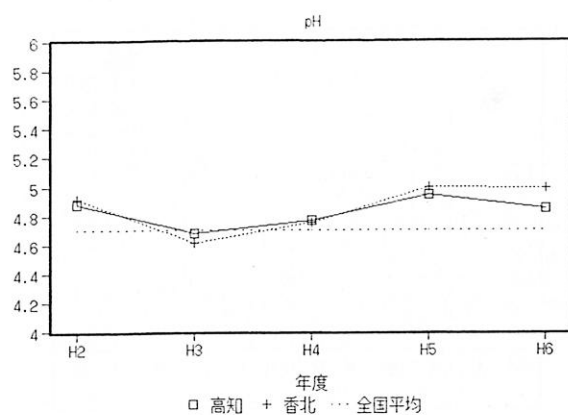
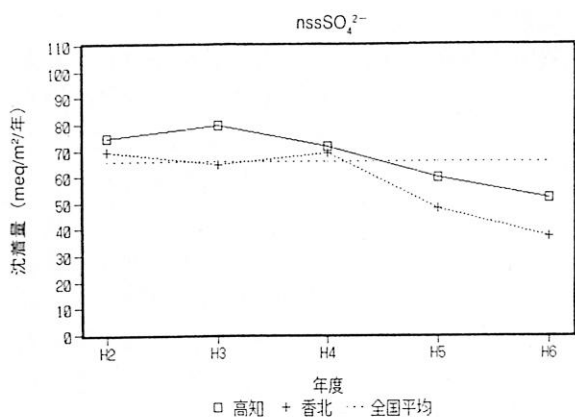


図3 年間pH及びN/S比の推移

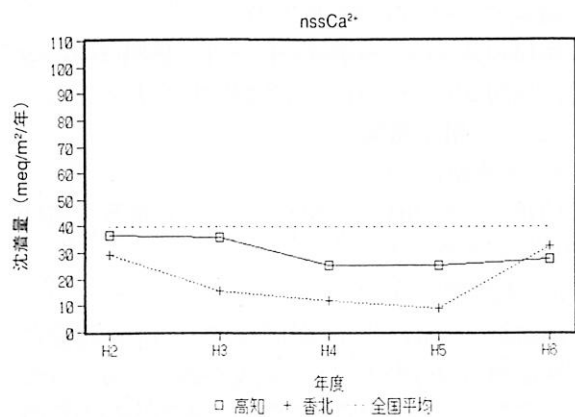
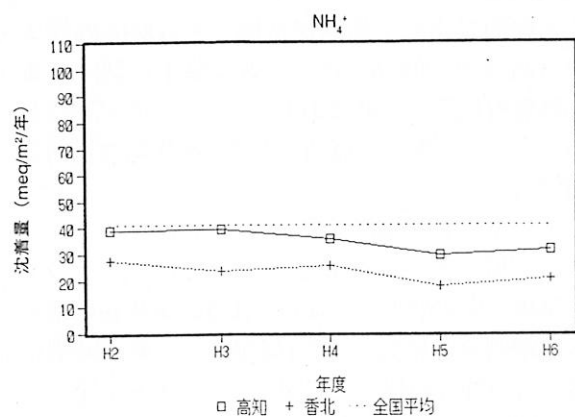
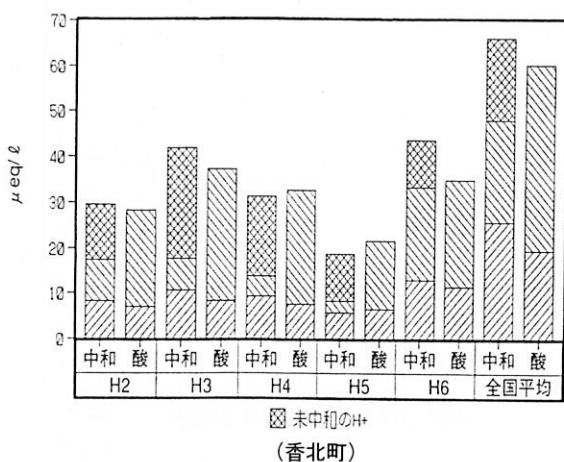
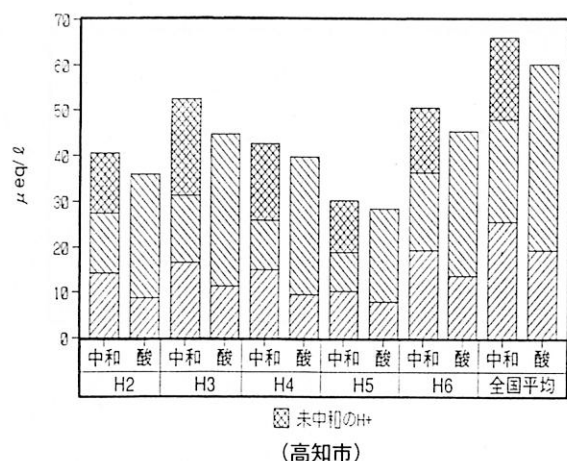


図2 年間沈着量の推移

3. 2. 中和関係の推移

図4に、両地点における年間降水中の、酸成分・中和成分の当量濃度による中和関係の推移を示す。なお、中和されずに残ったと考えられるH⁺は中和成分の上部に示した。また、全国平均値は3. 1. と同じものを用いた。

高知市は香北町より酸成分及び中和成分濃度は高いが、全国平均値と比べ、両地点とも成分濃度は低い。両地点はよく似た時間的変動を示したことから、両地点は同質の大気の影響を受けていると考えられた。また、高知市の降水は香北町と比べ各成分濃度が高いことから、更に局地的な汚染物質が加わっていることが推測された。



中和：中和成分

酸：酸成分

(中和成分は下から NH_4^+ , nssCa^{2+})

酸成分は下から NO_3^- , nssSO_4^{2-})

図4 中和関係の推移

3. 3. 酸成分の沈着量による長距離輸送の推定

北陸以西の日本海側地域では nssSO_4^{2-} の沈着量は、降水量が等しい場合、冬期が夏期の2倍以上あり、この原因として冬期の朝鮮半島と中国大陸からの長距離輸送が推測されている¹⁴⁾。

高知県においても、このような現象が認められるかどうかを調べるため、気象型別・風向型別・季節別に nssSO_4^{2-} ・ NO_3^- の沈着量と降水量の関係を調べた。図5～図10にその結果を示す。なお、散布図の中の直線は回帰直線である。

3. 3. 1. 気象型・風向型・季節の分類方法

気象型・風向型は、気象台の資料¹⁵⁾に基づき分類した。(以下、3. 4. 及び3. 5. においても同様の分類方法とした)

(気象型)

低気圧西方海上型：九州西方付近に発達した低気圧がある場合。低気圧の中心に吹き込む風が上昇気流となるので比較的高層の大気からの降水があると考えられる。

低気圧南岸型：高知県の南海上付近に発達した低気圧がある場合。(上の型と同様に、比較的高層の大気からの降水があると考えられる)

前線型：高知県周辺に発達した低気圧がなく、南の海上から四国付近に前線がある場合。上記二つの低気圧型よりも上昇気流は弱く、比較的低層の大気からの降水があると考えられる。

台風型：台風の影響が大きい場合。高さ数十kmの渦巻であり、最も高層の大気の影響を受けた降水があると考えられる。

(風向型)

比較的稳定した風向が把握できる850hPa等圧面(高度約1,500m)は、一般に降水に関する流跡線解析に用いられており^{8), 14)}、この調査においてもこれを用い、高知県上空の平均的な風向を判定した。

N型：北の風向成分を持つ場合。

S型：南の風向成分を持つ場合。

気象・風向型のあてはめ方法は、気象台の地上気象観測原簿に記された1降雨毎に、観測時刻に最も近い時刻の地上天気図によって型を決定し、採取期間中の全降水量の70%以上が同一の型である場合に、その採取期間の型とした。

季節の区分は、春季は3月～5月、夏期は6月～8月、秋期は9月～11月、冬期は12月～2月とした。

3. 3. 2. 解析結果

a. 気象型について

両地点に nssSO_4^{2-} ・ NO_3^- について顕著な差は認められなかった。

b. 風向型について

nssSO_4^{2-} ・ NO_3^- とも高知市の方がN型の場合に回帰直線の傾きが大きく、濃度が高いと考えられた。これは、調査地点の北側にある市街地からの供給が多いことによると考えられた。

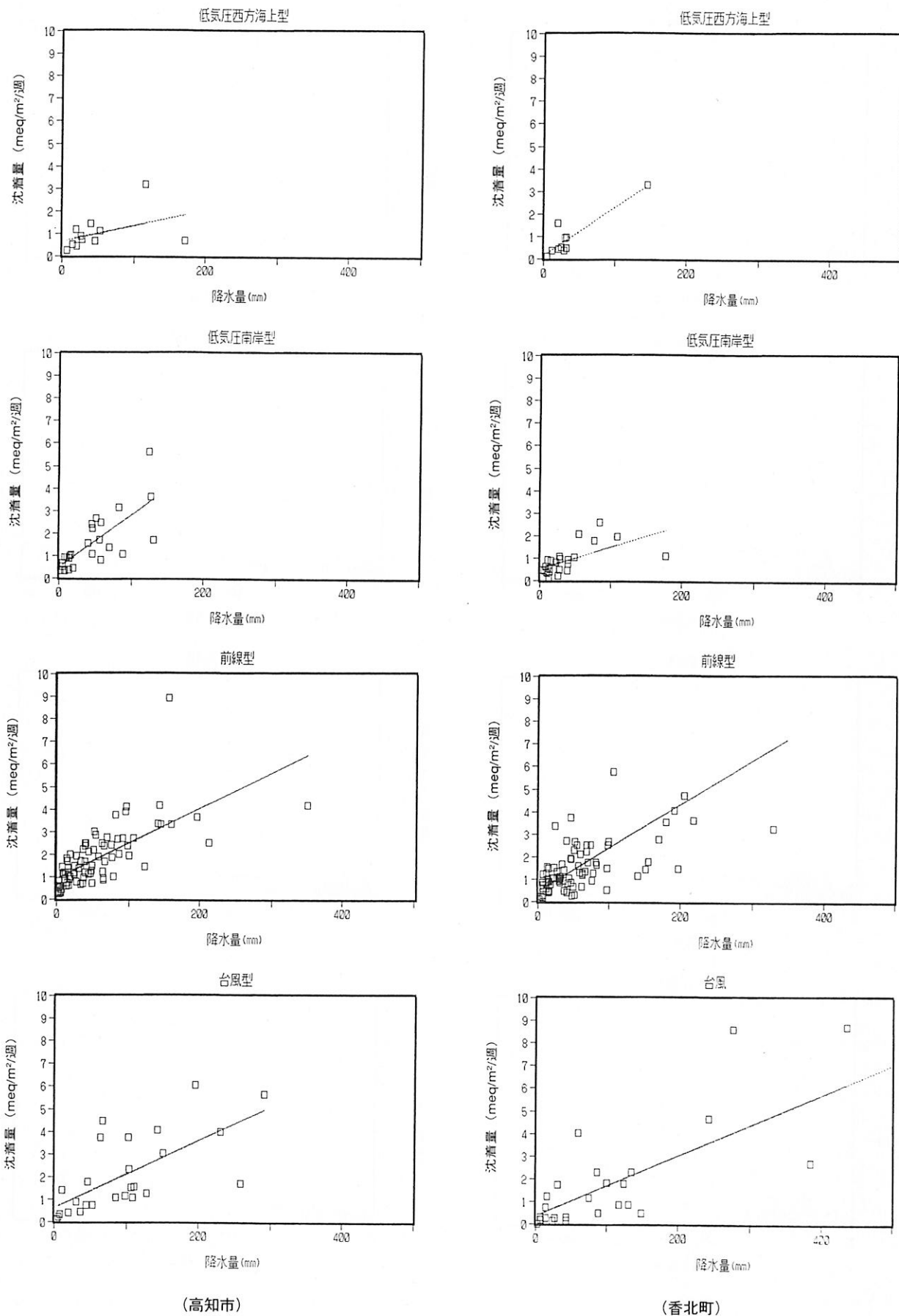
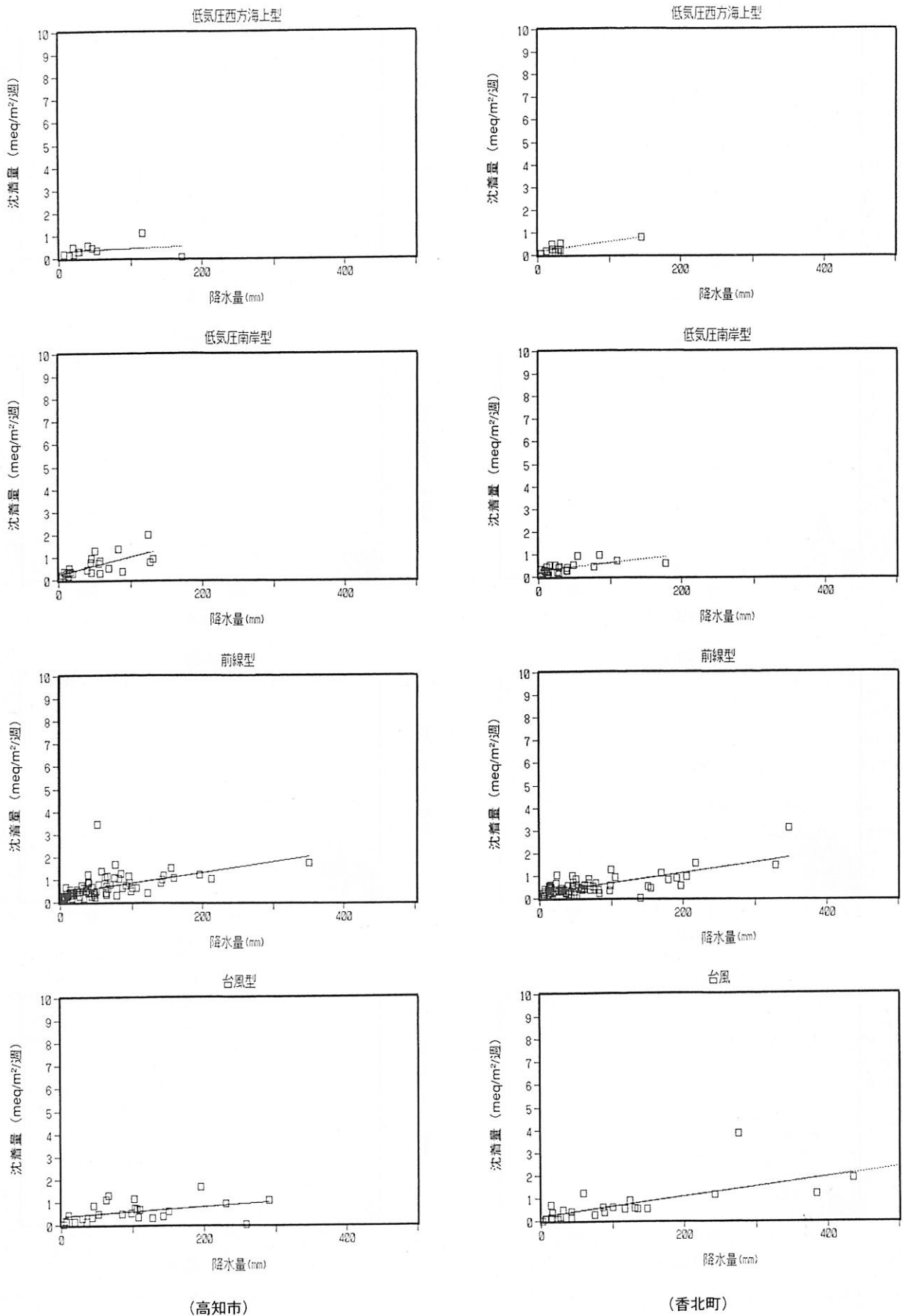


図5 気象型別nssSO₄²⁻沈着量と降水量



(高知市)

(香北町)

図6 気象型別NO₃⁻沈着量と降水量

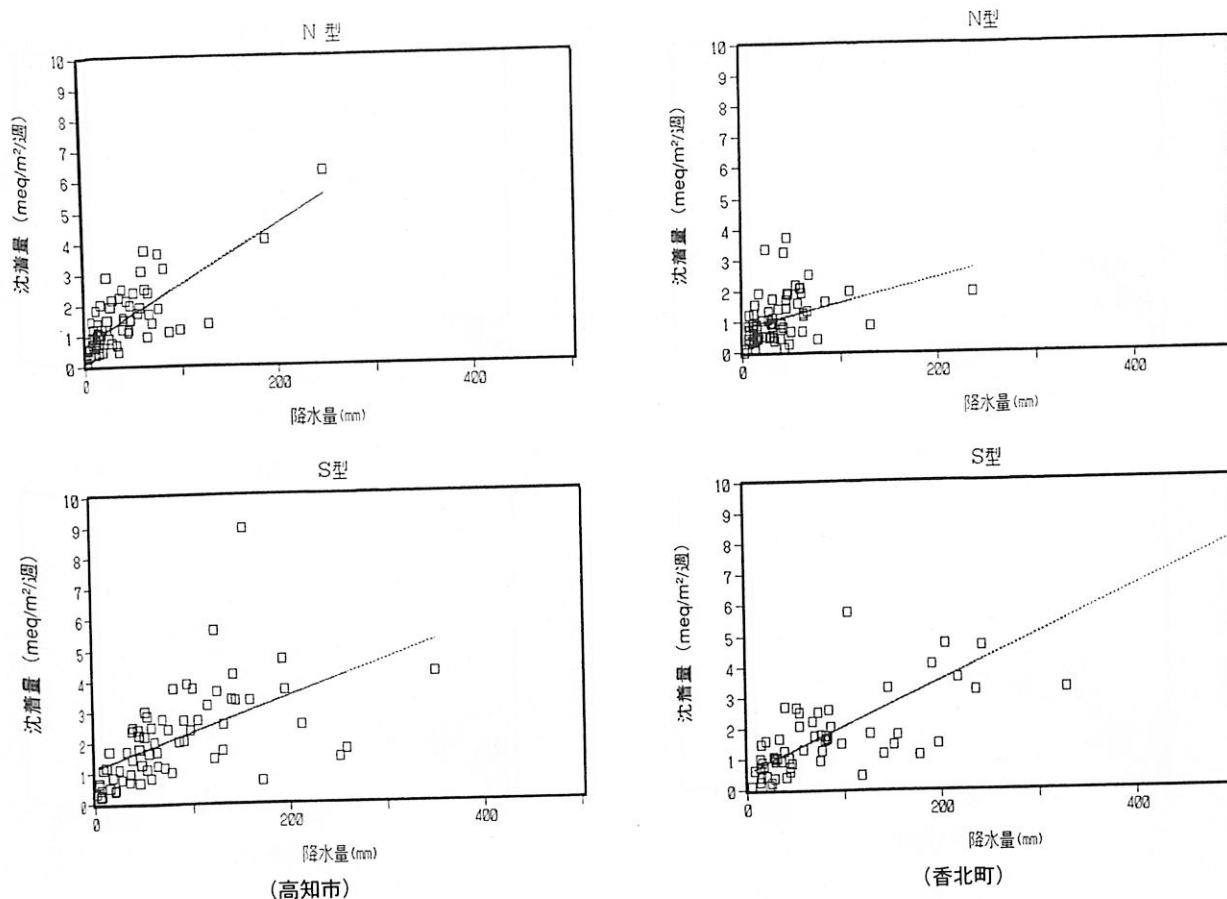


図7 風向別nssSO₄²⁻沈着量と降水量

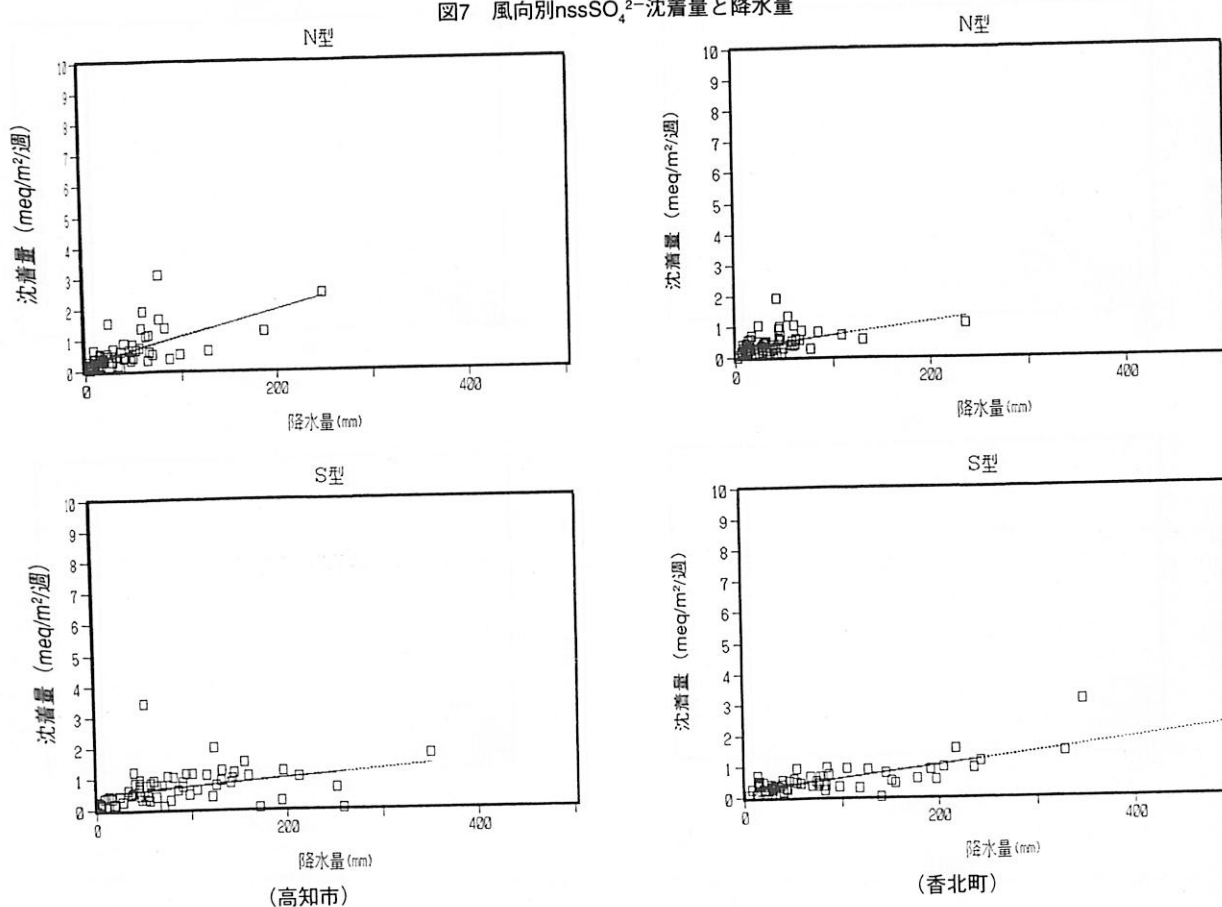


図8 風向別NO₃⁻沈着量と降水量

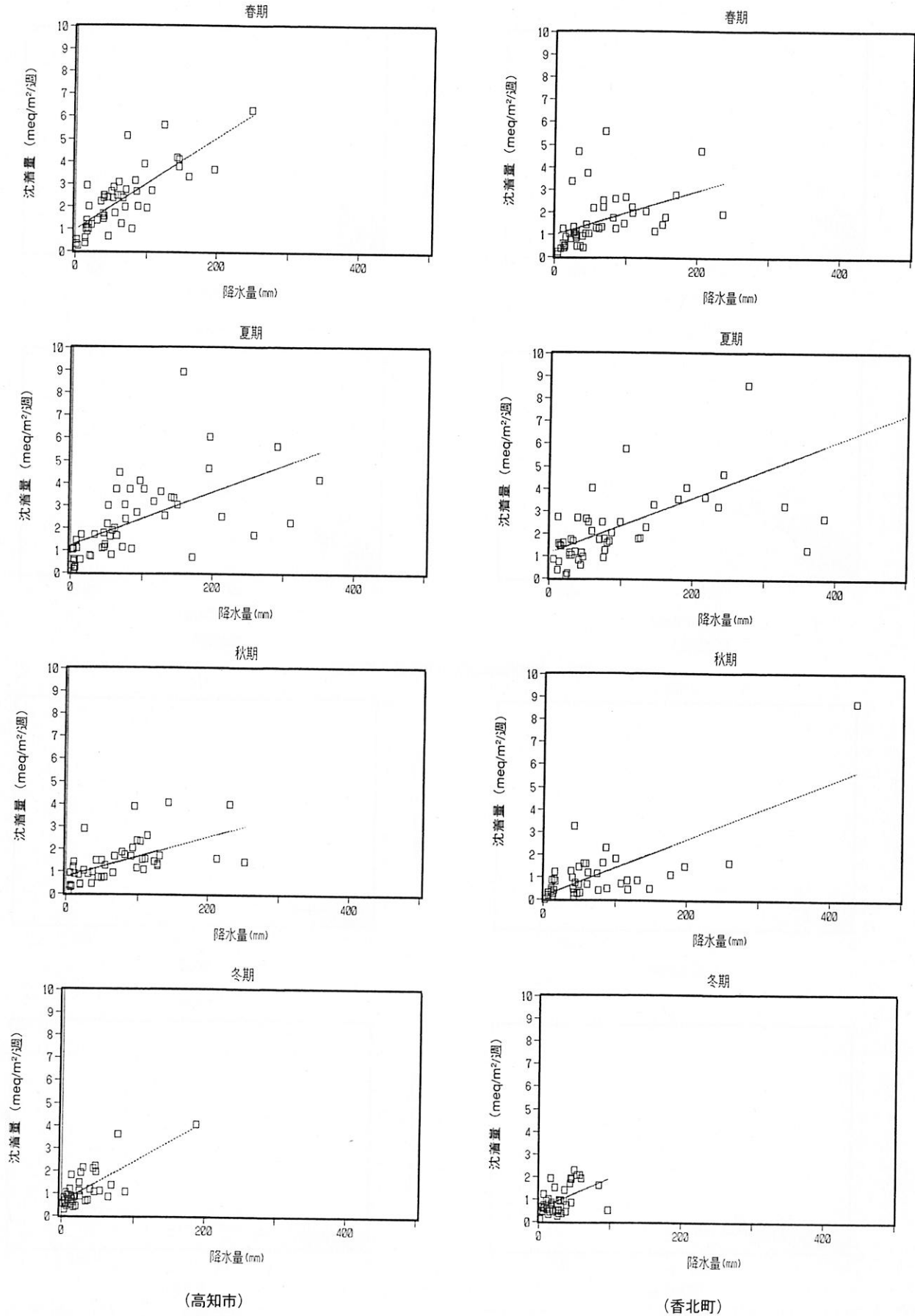


図9 季節別nssSO₄²⁻沈着量と降水量

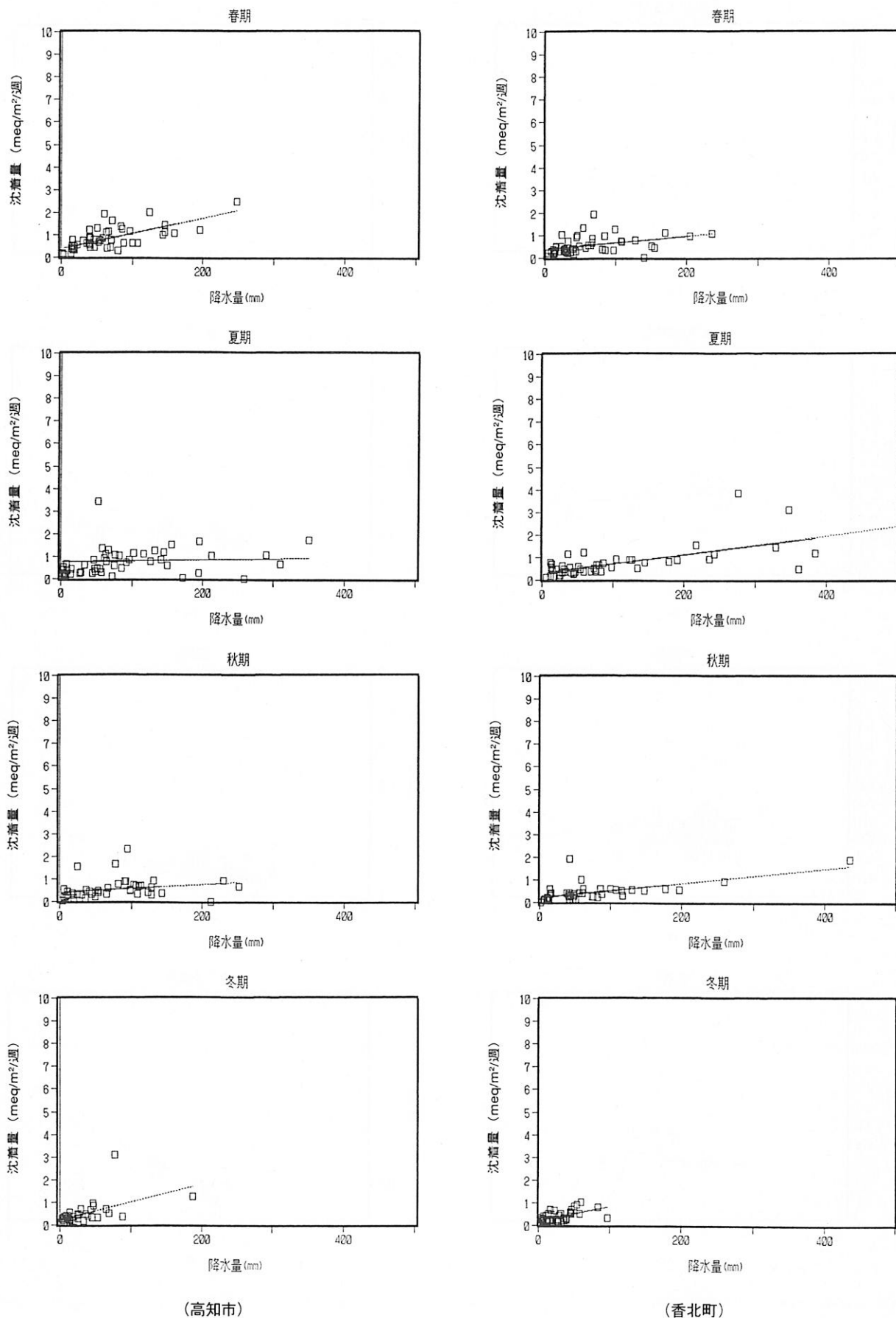


図10 季節別NO₃⁻沈着量と降水量

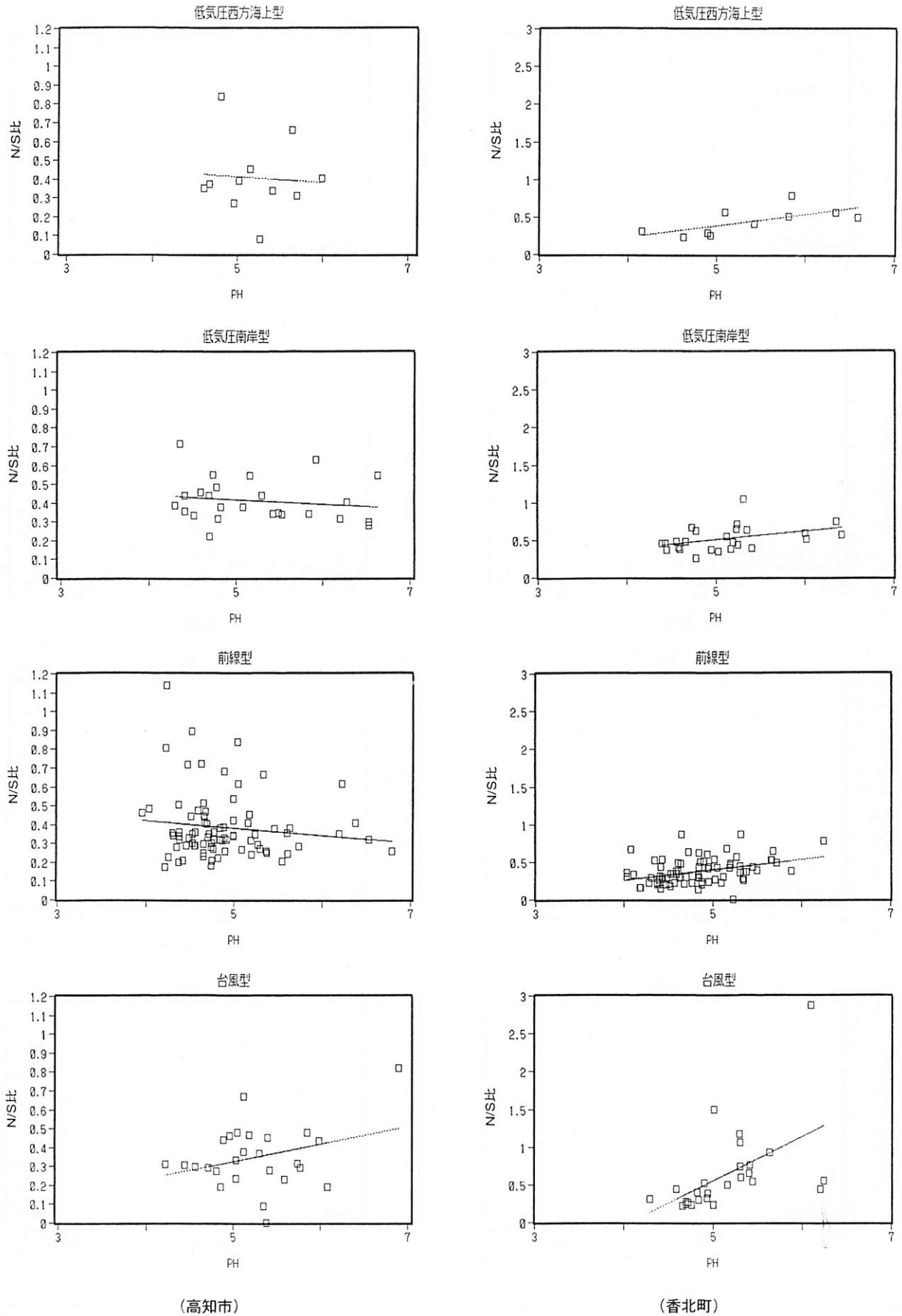


図11 気象型別pHとN/S比の相関

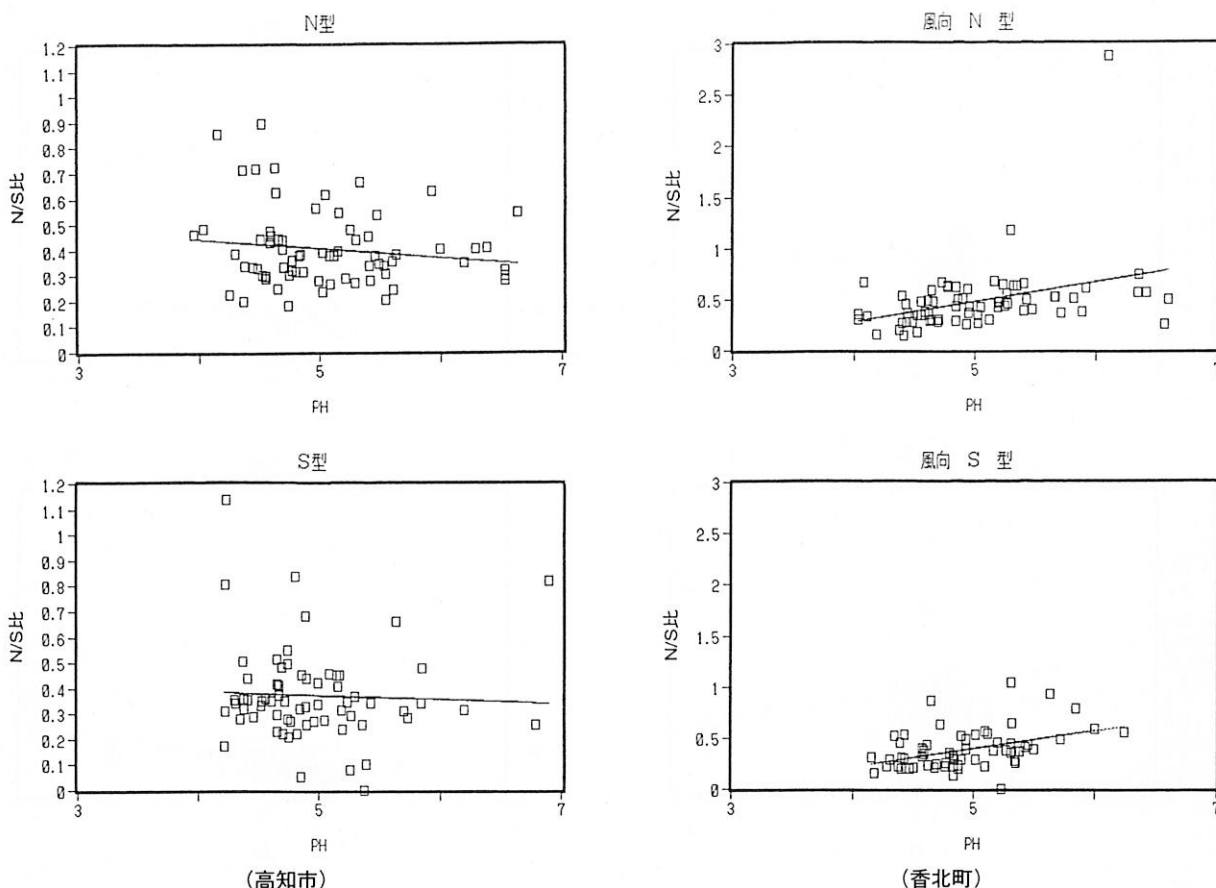


図12 風向別pHとN/S比の相関

c. 季節について

msSO_4^{2-} は北陸以西の日本海側での調査結果とは異なり、冬期に特に回帰直線の傾きが大きい現象は認められなかった。従って、冬期に大陸方面からの長距離輸送の影響は小さいと考えられた。

NO_3^- は高知市において夏期に回帰直線の傾きが小さく、夏期以外の季節には北風の出現数が多く(表1参照)、b.と同様に市街地の影響が認められた。

表1 季節別の風向型出現数

		季節			
		春期	夏期	秋期	冬期
風向型	N型	24	6	15	26
	S型	17	32	8	9

3. 4. 低pHに關与する成分について

本県では従来主として単年度でpHとN/S比の關係について解析を行ってきた^{10)・11)・12)}。

図11～図13に高知市及び香北町の氣象型別・風向別・季節別のpHとN/S比の關係を示す。高知市は香北町よりも酸成分濃度は高い(3.2.の結果)にもかかわらずバラツキが大きく、pHとN/S比の關係に顕著な傾向が認められなかった。これは、高知市では中和成分濃度も高く、その關与が大きいためと考えられた。一方、香北町はN/S比が小さいほど低pHの傾向が認められ、 HNO_3^- よりも $\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$ の影響が大きいことが認められた。これは、香北町のような清浄地域では中和成分も少なく、酸成分による汚染が強く反映するためと考えられた。

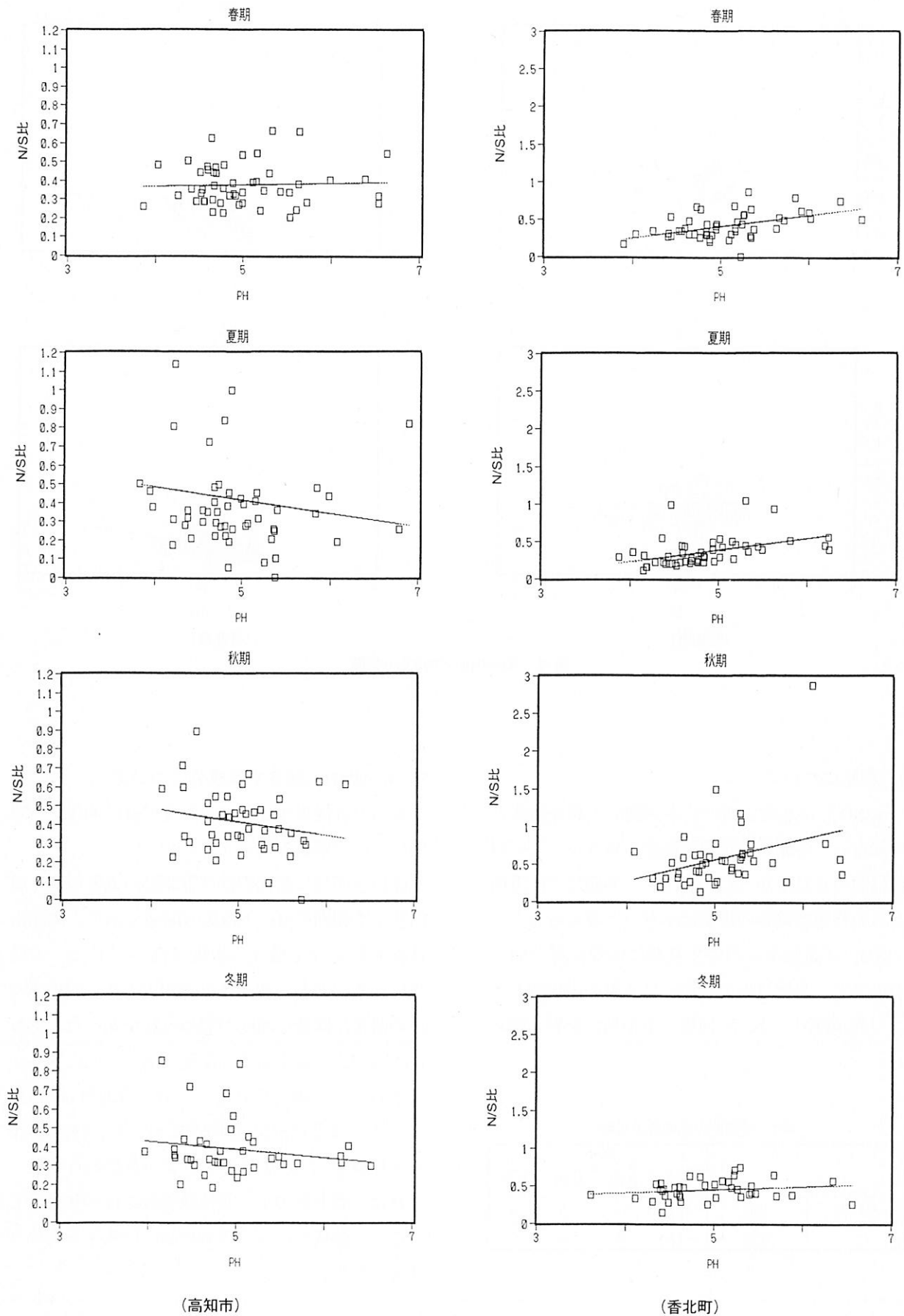


図13 季節別pHとN/S比の相関

3. 5. 酸性化に関与する成分について

3. 5. 1. 解析方法等について

3. 3. のような沈着量と降水量による解析では散布図のデータのバラツキが大きいことと、冬期の降水量が少ないことから、カテゴリ間の差の判定が困難なことが多かった。そこで、降水量を用いず成分相互の関係を基礎にした解析を試みた。

この項では2. 5. に示した5成分について、気象型別・風向別・季節別に、主成分分析及び成分間の相関関係を用いて解析した。この際、低気圧西方海上型と低気圧南岸型を合わせて低気圧型とし、標本数を多くして解析を行った。

一般に濃度や沈着量を用いて主成分分析を行うと、第1主成分は多くの場合、総合的な汚染状況を意味するものとなる^{9), 16), 17), 18), 19), 20)}。これは用いたデータが降水量と強い相関関係を示す^{9), 13), 14)} ためであり、成分相互の関係を調べた

い場合には第1主成分は重要でないことが多い。

また、例えば NO_3^- の大气中濃度が特に大きい場合であっても、その時の降水量が多ければ、降水水中の NO_3^- 濃度はあまり増加しないという結果になることが考えられる。この場合、当量比であれば降水量に関係なく増加が表現されることが期待できる。そこで、今回は解析に用いた5成分の当量比（5成分の和=1）を用いて解析した。また、成分毎の分散の差が大きいので、各成分の重みを等しくするため、分散共分散行列ではなく相関行列を用いて主成分分析を行った。

図14に、この5成分について、アニオン・カチオン間のバランスを調べるための当量比の散布図を示した。アニオン・カチオンとも、ややバラツキは大きいものの、和が0.5のラインの上下に偏らずに分布したことから、この5成分で海塩以外のイオンとしてほぼバランスがとれていると考えられた。

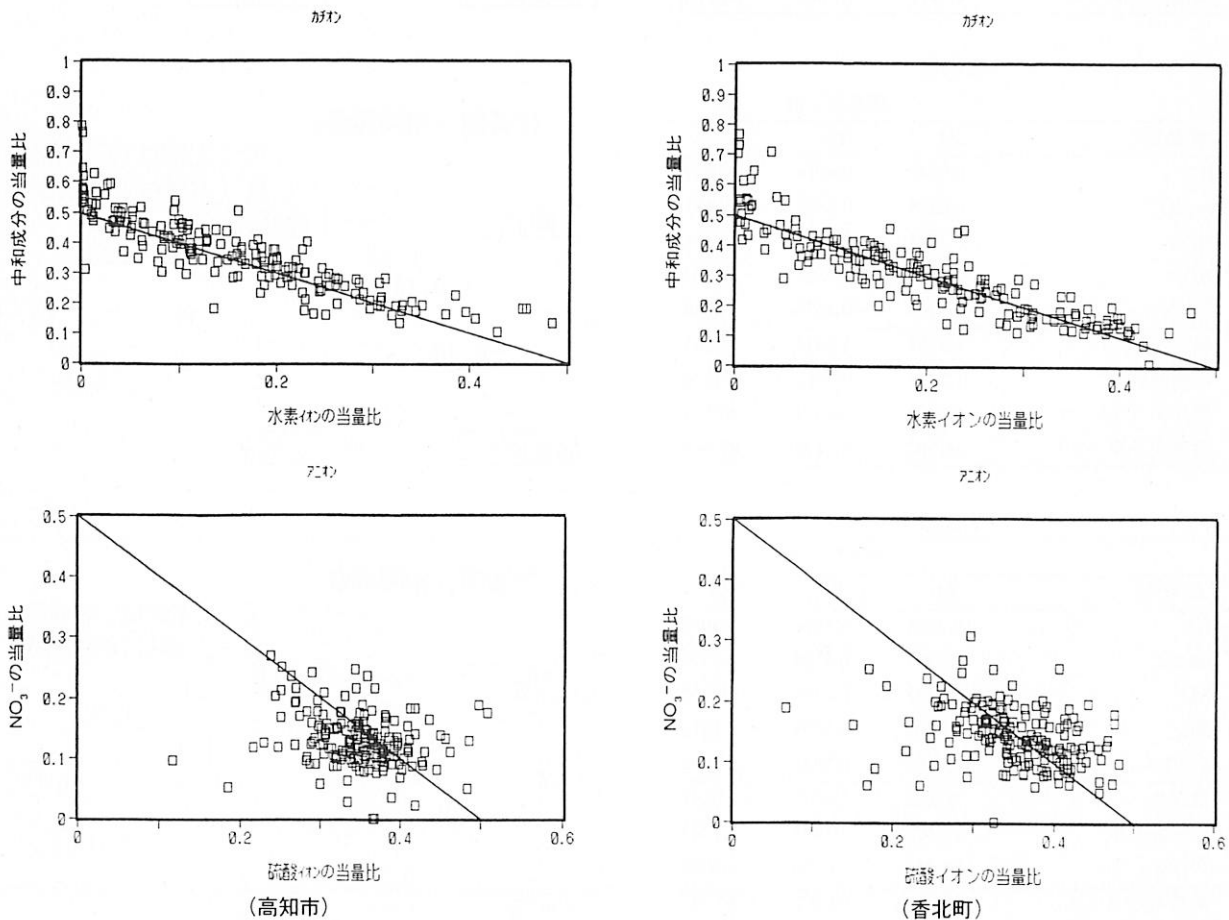


図14 イオン比の散布図

3. 5. 2. 解析結果

表2～表7に主成分分析結果を、表8～表10に気象型別・風向別・季節別の解析結果を示す。

主成分の解釈等については次のア.～ウ.に従った。

ア. 主成分の解釈

NO_3^- と H^+ の、固有ベクトルの絶対値がともに大きく、 nssCa^{2+} の固有ベクトルの符号が逆で絶対値が大きい場合は、その主成分は NO_3^- による酸性化の傾向と nssCa^{2+} による中和の傾向を表すと解

釈した。このとき、 NO_3^- と H^+ との相関係数が正で有意であれば、酸性化には HNO_3 が関与すると推測された。

イ. 中和成分について

ある酸成分と nssCa^{2+} の相関係数が負で有意な場合は、その酸成分に対する主な中和成分は nssCa^{2+} であると考えられた。

ウ. 主成分Z2の解釈

寄与率が30%程度であっても、解釈が困難な場合には評価は行わなかった。

表2 気象型別の主成分分析結果 (高知市)

低気圧型			
標本数: 36			
変数名	Z1	Z2	Z3
H^+	0.8284	-0.4638	0.1486
nssSO_4^{2-}	0.6577	0.3496	-0.2421
NO_3^-	0.1942	0.8841	0.1343
NH_4^+	-0.4619	-0.0231	-0.8694
nssCa^{2+}	-0.8665	0.0324	0.4519
固有値	2.1206	1.1205	1.0588
累積固有値	2.1206	3.2411	4.2999
寄与率 (%)	42.412	22.410	21.177
累積寄与率 (%)	42.412	64.822	85.998

前線型			
標本数: 81			
変数名	Z1	Z2	Z3
H^+	0.9548	0.0013	0.1547
nssSO_4^{2-}	0.0328	0.8402	0.1491
NO_3^-	0.2281	-0.6229	-0.6175
NH_4^+	-0.5052	0.4827	-0.6402
nssCa^{2+}	-0.7715	-0.4629	0.4344
固有値	1.8151	1.5412	1.0261
累積固有値	1.8151	3.3563	4.3824
寄与率 (%)	36.302	30.824	20.521
累積寄与率 (%)	36.302	67.126	87.648

台風型			
標本数: 26			
変数名	Z1	Z2	Z3
H^+	0.2458	-0.8058	-0.5062
nssSO_4^{2-}	0.3995	-0.4198	0.6326
NO_3^-	0.2725	0.4705	-0.5762
NH_4^+	-0.9783	0.1691	0.1013
nssCa^{2+}	0.6792	0.5931	0.1882
固有値	1.7128	1.4273	1.0342
累積固有値	1.7128	3.1401	4.1743
寄与率 (%)	34.256	28.546	20.685
累積寄与率 (%)	34.256	62.802	83.487

注: Z1～Z3は主成分, その下欄は固有ベクトルである。

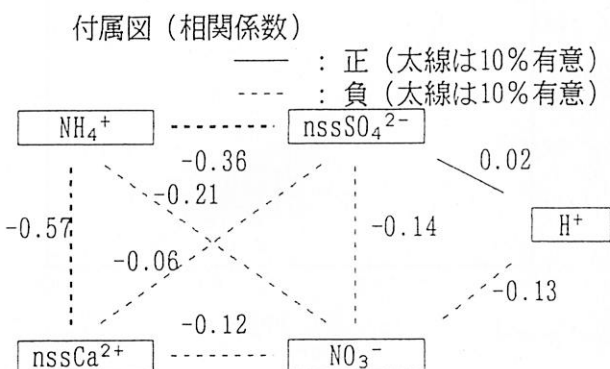
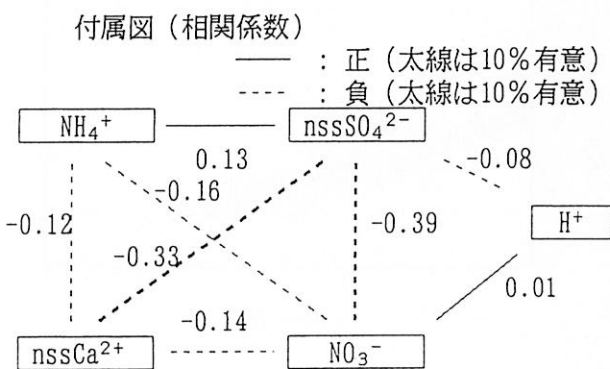
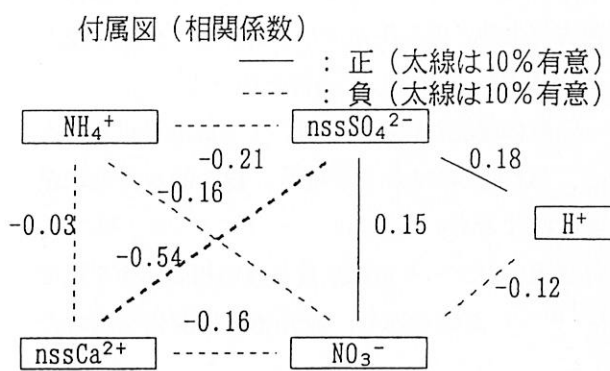


表3 風向別の主成分分析結果 (高知市)

N型			
標本数: 71			
変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	0.8663	0.2254	0.0959
nssSO ₄ ²⁻	0.1745	-0.7382	0.5744
NO ₃ ⁻	0.5758	0.2195	-0.4475
NH ₄ ⁺	-0.3081	-0.6352	-0.6797
nssCa ²⁺	-0.8727	0.4452	0.1547
固有値	1.9690	1.2455	1.0253
累積固有値	1.9690	3.2145	4.2399
寄与率 (%)	39.381	24.910	20.507
累積寄与率 (%)	39.381	64.291	84.797

S型			
標本数: 66			
変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8847	0.2379	0.2225
nssSO ₄ ²⁻	-0.5416	-0.3952	-0.5336
NO ₃ ⁻	0.1988	0.7294	0.3305
NH ₄ ⁺	0.5693	-0.7003	0.4259
nssCa ²⁺	0.6963	0.3593	-0.5749
固有値	1.9245	1.3642	0.9555
累積固有値	1.9245	3.2887	4.2442
寄与率 (%)	38.489	27.285	19.110
累積寄与率 (%)	38.489	65.774	84.884

注: Z1~Z3は主成分, その下欄は固有ベクトルである

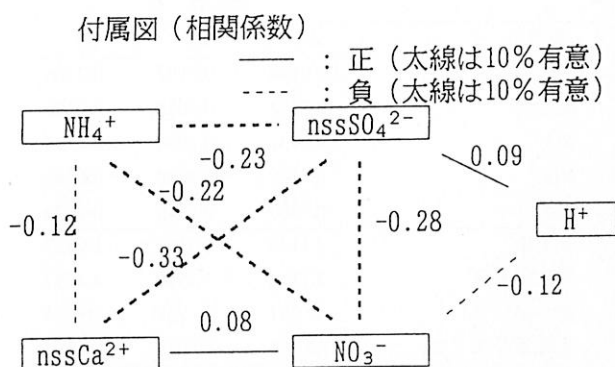
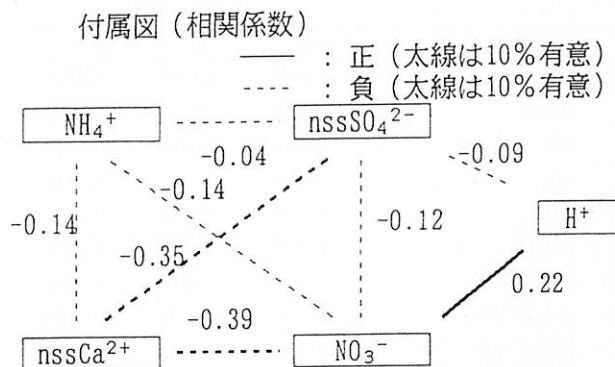
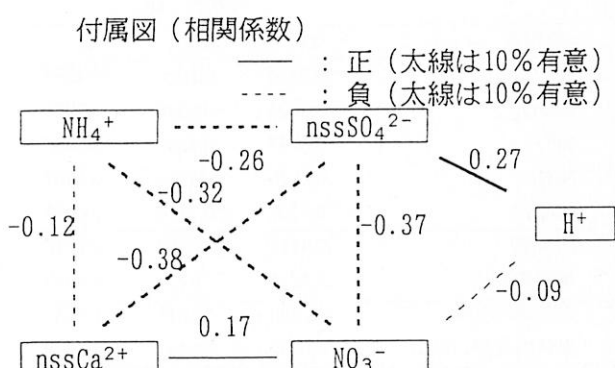
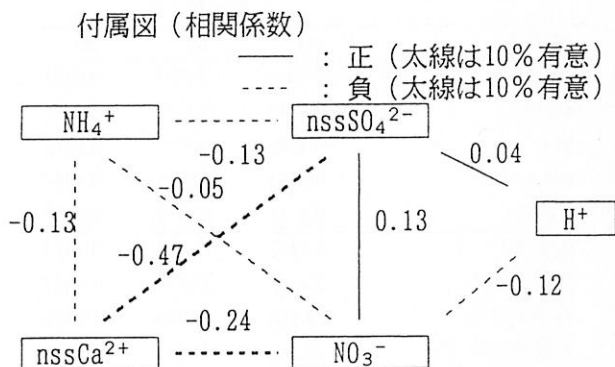


表4 季節別の主成分分析結果 (高知市)

春期			
標本数: 51			
変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	0.7963	-0.5137	-0.2090
nssSO ₄ ²⁻	0.5754	0.3937	0.2256
NO ₃ ⁻	0.2259	0.6109	0.5410
NH ₄ ⁺	-0.2772	0.6145	-0.7355
nssCa ²⁺	-0.9124	-0.2355	0.3172
固有値	1.9255	1.2252	1.0289
累積固有値	1.9255	3.1506	4.1795
寄与率 (%)	38.510	24.503	20.577
累積寄与率 (%)	38.510	63.013	83.590

夏期			
標本数: 51			
変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8758	0.2789	0.2171
nssSO ₄ ²⁻	-0.6900	-0.2715	-0.4895
NO ₃ ⁻	0.2705	0.7761	0.3540
NH ₄ ⁺	0.4995	-0.7894	0.3466
nssCa ²⁺	0.7185	0.3358	-0.5796
固有値	2.0820	1.4898	0.8682
累積固有値	2.0820	3.5718	4.4399
寄与率 (%)	41.640	29.795	17.363
累積寄与率 (%)	41.640	71.436	88.799

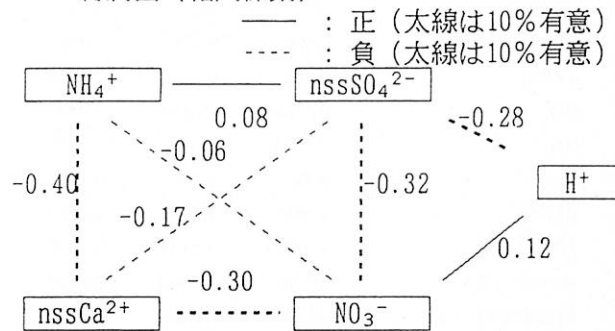


秋期

標本数: 45

変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8352	0.1572	-0.4781
nssSO ₄ ²⁻	0.4058	-0.5482	-0.5372
NO ₃ ⁻	-0.6020	0.0864	0.5616
NH ₄ ⁺	0.0983	-0.8207	0.4536
nssCa ²⁺	0.7231	0.6728	0.1552
固有値	1.7571	1.4589	1.0625
累積固有値	1.7571	3.2160	4.2784
寄与率 (%)	35.141	29.178	21.250
累積寄与率 (%)	35.141	64.319	85.569

付属図 (相関係数)

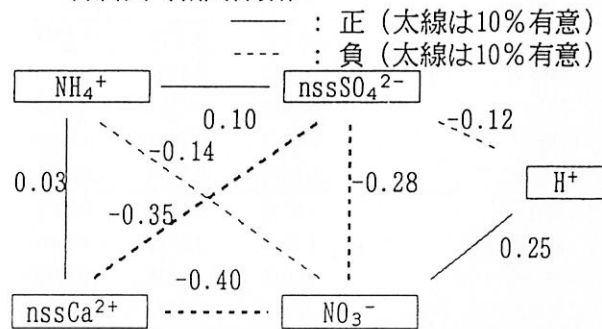


冬期

標本数: 39

変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.9188	0.0197	0.2306
nssSO ₄ ²⁻	0.0374	-0.9088	0.2190
NO ₃ ⁻	-0.5731	0.2828	-0.6514
NH ₄ ⁺	0.5539	-0.3808	-0.6546
nssCa ²⁺	0.7960	0.5340	0.2424
固有値	2.1146	1.3364	1.0127
累積固有値	2.1146	3.4510	4.4637
寄与率 (%)	42.291	26.728	20.254
累積寄与率 (%)	42.291	69.019	89.273

付属図 (相関係数)



注: Z1~Z3は主成分, その下欄は固有ベクトルである。

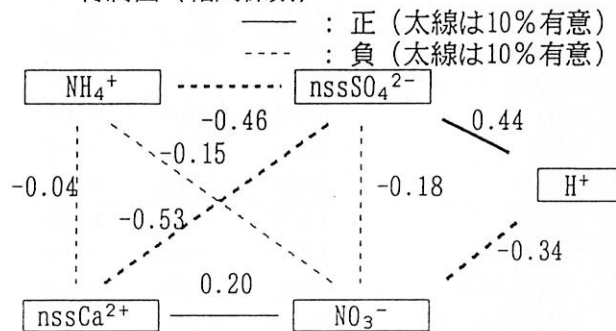
表5 気象型別の主成分分析結果 (香北町)

低気圧型

標本数: 35

変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.9043	-0.0547	0.0302
nssSO ₄ ²⁻	-0.7717	0.2432	-0.0351
NO ₃ ⁻	0.3791	0.6567	0.6510
NH ₄ ⁺	0.4576	-0.8082	0.3252
nssCa ²⁺	0.8142	0.3182	-0.4855
固有値	2.4293	1.2479	0.7674
累積固有値	2.4293	3.6772	4.4447
寄与率 (%)	48.586	24.959	15.349
累積寄与率 (%)	48.586	73.545	88.893

付属図 (相関係数)

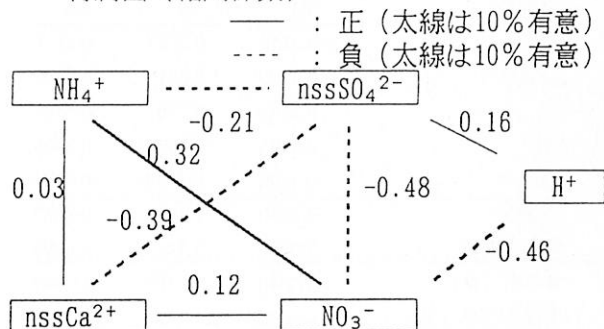


前線型

標本数: 80

変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8750	0.1620	-0.4298
nssSO ₄ ²⁻	-0.6026	-0.0240	0.7072
NO ₃ ⁻	0.6797	0.4295	-0.3355
NH ₄ ⁺	0.6170	0.5389	0.4407
nssCa ²⁺	0.6709	-0.7410	0.0092
固有値	2.4215	1.0507	0.9916
累積固有値	2.4215	3.4723	4.4639
寄与率 (%)	48.430	21.015	19.833
累積寄与率 (%)	48.430	69.445	89.278

付属図 (相関係数)



台風型

標本数：26

変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8210	0.3580	0.2374
nssSO ₄ ²⁻	-0.8103	-0.2219	-0.1709
NO ₃ ⁻	0.6267	0.4157	0.5674
NH ₄ ⁺	0.6684	-0.7227	0.0887
nssCa ²⁺	0.6399	0.5260	-0.5602
固有値	2.5797	1.1491	0.7292
累積固有値	2.5797	3.7288	4.4580
寄与率 (%)	51.594	22.982	14.584
累積寄与率 (%)	51.594	74.577	89.161

注：Z1~Z3は主成分，その下欄は固有ベクトルである。

付属図 (相関係数)

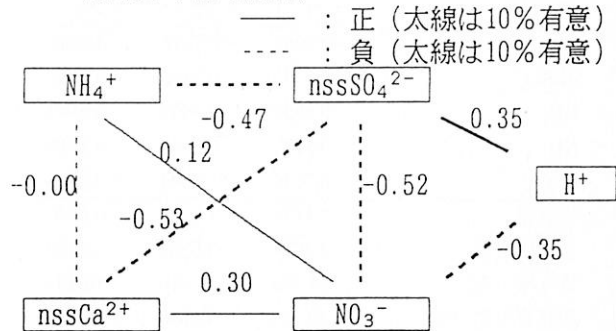


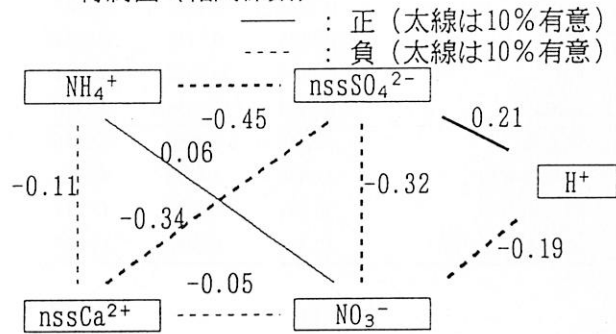
表6 風向別の主成分分析結果 (香北町)

N型

標本数：69

変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8426	0.3248	0.0818
nssSO ₄ ²⁻	-0.6988	-0.3909	-0.0663
NO ₃ ⁻	0.3459	0.4867	0.7531
NH ₄ ⁺	0.5458	0.5593	-0.5962
nssCa ²⁺	0.6953	-0.6804	0.1258
固有値	2.0994	1.2709	0.9494
累積固有値	2.0994	3.3703	4.3197
寄与率 (%)	41.988	25.418	18.989
累積寄与率 (%)	41.988	67.406	86.395

付属図 (相関係数)

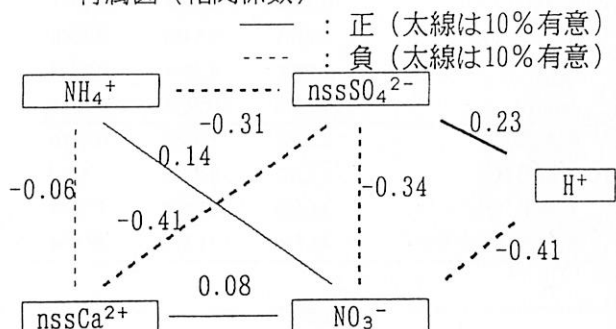


S型

標本数：63

変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8782	0.0062	-0.3341
nssSO ₄ ²⁻	-0.6598	0.0567	0.3864
NO ₃ ⁻	0.5602	0.2187	-0.6756
NH ₄ ⁺	0.5630	0.7110	0.3753
nssCa ²⁺	0.6669	-0.7196	0.1930
固有値	2.2820	1.0745	0.8955
累積固有値	2.2820	3.3564	4.2519
寄与率 (%)	45.639	21.489	17.909
累積寄与率 (%)	45.639	67.128	85.038

付属図 (相関係数)



注：Z1~Z3は主成分，その下欄は固有ベクトルである。

表7 季節別の主成分分析結果 (香北町)

春期			
標本数: 50			
変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8988	-0.1816	-0.0246
nssSO ₄ ²⁻	-0.7370	0.3850	0.0934
NO ₃ ⁻	0.4958	0.5407	0.6540
NH ₄ ⁺	0.5271	-0.7673	0.2719
nssCa ²⁺	0.7636	0.3364	-0.5510
固有値	2.4578	1.1755	0.8146
累積固有値	2.4578	3.6333	4.4479
寄与率 (%)	49.156	23.510	16.291
累積寄与率 (%)	49.156	72.666	88.957

夏期			
標本数: 50			
変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8931	0.2219	0.2321
nssSO ₄ ²⁻	-0.7023	-0.3526	-0.2185
NO ₃ ⁻	0.5888	0.3443	0.6144
NH ₄ ⁺	0.7724	0.2242	-0.5941
nssCa ²⁺	0.5572	-0.7634	0.2710
固有値	2.5446	0.9252	0.9056
累積固有値	2.5446	3.4698	4.3754
寄与率 (%)	50.891	18.505	18.111
累積寄与率 (%)	50.891	69.396	87.507

秋期			
標本数: 45			
変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.8294	0.2738	0.3298
nssSO ₄ ²⁻	-0.7266	-0.3108	-0.4971
NO ₃ ⁻	0.2131	0.8485	0.2048
NH ₄ ⁺	0.6376	0.3861	-0.5948
nssCa ²⁺	0.7476	-0.5695	0.3316
固有値	2.2267	1.3649	0.8616
累積固有値	2.2267	3.5916	4.4532
寄与率 (%)	44.535	27.298	17.232
累積寄与率 (%)	44.535	71.832	89.064

冬期			
標本数: 41			
変数名	Z1	Z2	Z3
H ⁺	-0.9259	-0.0832	-0.3455
nssSO ₄ ²⁻	-0.3950	0.5416	0.6861
NO ₃ ⁻	0.4200	0.5969	-0.5488
NH ₄ ⁺	0.4899	0.7120	0.0628
nssCa ²⁺	0.7708	-0.6002	0.1957
固有値	2.0238	1.5237	0.9335
累積固有値	2.0238	3.5475	4.4810
寄与率 (%)	40.475	30.474	18.670
累積寄与率 (%)	40.475	70.949	89.619

付属図 (相関係数)

—— : 正 (太線は10%有意)
 - - - : 負 (太線は10%有意)

付属図 (相関係数)

—— : 正 (太線は10%有意)
 - - - : 負 (太線は10%有意)

付属図 (相関係数)

—— : 正 (太線は10%有意)
 - - - : 負 (太線は10%有意)

付属図 (相関係数)

—— : 正 (太線は10%有意)
 - - - : 負 (太線は10%有意)

注: Z1~Z3は主成分, その下欄は固有ベクトルである.

表8 気象型別の解析結果

		高知市	香北町
気象型	低気圧型	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 主な中和成分: $nssCa^{2+}$	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 酸性化には H_2SO_4 が関与する. 主な中和成分: $nssCa^{2+}$ 及び NH_4^+ (以下, 2成分という)
	前線型	Z1: 中和成分による中和傾向. (Z1の固有ベクトルは中和成分が負で大きく, H^+ が正で大きい.) Z2: 酸成分と中和成分の組み合わせ. 主な中和成分: $nssCa^{2+}$	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 主な中和成分: 2成分
	台風型	Z1: NH_4^+ と $nssCa^{2+}$ のバランス. Z2: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 主な中和成分: NH_4^+	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 酸性化には H_2SO_4 が関与する. 主な中和成分: 2成分
評価		前線型以外で $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向が見られた.	気象型にかかわらず H_2SO_4 による酸性化あるいはその中和という変動がみられた. 前線型以外で, 酸性化には H_2SO_4 が関与することが推測された.
		高知市の前線型では $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向が見られなかったのは, 比較的低層の大気からの降水であるため, 中和成分の局地的な影響が大きいことが推測された. また, 香北町においても前線型以外で, 酸性化に H_2SO_4 が関与することが推測され, 高知県の比較的高層の大気では通常 $nssSO_4^{2-}$ もしくは H_2SO_4 による汚染があることが推測された.	

表9 風向型別の解析結果

		高知市	香北町
風向型	N型	Z1: NO_3^- による酸性化の傾向. 酸性化には HNO_3 が関与する. 主な中和成分: $nssCa^{2+}$ Z2・Z3: 酸成分と中和成分の組み合わせ.	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 酸性化には H_2SO_4 が関与する. 主な中和成分: 2成分
	S型	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 主な中和成分: 2成分 H^+ と $nssSO_4^{2-}$ は無相関であり, H_2SO_4 が関与している可能性は小さいと考えられた.	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 酸性化には H_2SO_4 が関与する. 主な中和成分: 2成分
評価		香北町はN型, S型とも同様の結果であり, 高知市はN型, S型で異なった. 高知市の測定地点は, 市街地が北に大きく広がっている. このような比較的近距離に存在する発生源の影響が風向きによって現れた例 ⁴⁾ があり, 風向N型の場合, 酸性化に NO_3^- が寄与すること及び主な中和成分は $nssCa^{2+}$ であることは, 局地的な発生源の影響によるものと考えられた.	

表10 季節別の解析結果

		高知市	香北町
季節	春期	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 主な中和成分: $nssCa^{2+}$	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 酸性化には H_2SO_4 が関与する. 主な中和成分: 2成分
	夏期	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 酸性化には H_2SO_4 が関与する. 主な中和成分: 2成分	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 酸性化には H_2SO_4 が関与する. 主な中和成分: 2成分
	秋期	Z1: NO_3^- による酸性化の傾向. 主な中和成分: $nssCa^{2+}$	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 主な中和成分: 2成分
	冬期	Z1: NO_3^- による酸性化の傾向. 主な中和成分: $nssCa^{2+}$	Z1: $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向. 主な中和成分: $nssCa^{2+}$
評価		秋期・冬期に NO_3^- による酸性化の傾向が見られた. これは北西の季節風と, 地点の北側の市街地の影響によるものと考えられた. 中和の主体となる成分は夏期以外の季節では全て $nssCa^{2+}$ であった.	全ての季節で $nssSO_4^{2-}$ による酸性化の傾向が見られた.
		NH_4^+ の中和寄与する程度は, 高知市では夏期に, 香北町では冬期以外に大きい. この現象は, この季節には比較的气温が高く, 生物活動が盛んになることによるものと考えられた.	

表8から表10の解析結果において、高知市ではZ1にいろいろな性格づけがなされたが、香北町ではZ1は全て nssSO_4^{2-} による酸性化の傾向という結果であった。偏西風や季節風等、数千キロメートルのスケールで生じる大気の大循環によって広範囲に移動する大気成分変化をよく表している地点は、局地的汚染の少ない香北町であると考えられる。従って、広範囲の大気については主に nssSO_4^{2-} が酸性化に関与していると推測された。

4. まとめ

- (1) 5年間の推移は次のとおりであった。
 - a. 沈着量は、酸成分・中和成分とも、平成2年度から平成4年度にかけての nssSO_4^{2-} 以外は、全国平均値よりも低めであった。
 - b. pHは、平成3年度以外は、全国平均値よりも高めであった。
 - c. N/S比は、平成6年度の香北町以外は、全国平均値よりも低めであった。
- (2) 中和関係の推移から、両地点は同質の大気の影響下にあり、高知市では市街地による局地的な汚染のあることが推測された。
- (3) 酸成分の沈着量から、冬期における大陸からの長距離輸送の影響は比較的小さいことが推測された。また、高知市の採取地点では北からの風により、酸成分が市街地から供給されたと考えられた。
- (4) pHとN/S比による解析から、酸成分による汚染状況をよく反映する地点は香北町のような清浄地域であると考えられた。
- (5) 主成分分析の結果について
 - a. 広範囲の大気については、主に nssSO_4^{2-} が酸性化に関与すると考えられた。
 - b. 高知県上空の比較的高層の大気では、通常 nssSO_4^{2-} もしくは H_2SO_4 による汚染が存在することが推測された。
 - c. 気温の高い季節には生物活動による NH_4^+ が中和に寄与していると推測された。

参考文献

- 1) 全国公害研協議会 北海道・東北支部酸性雨調査部会：北海道・東北ブロック酸性雨合同調

- 査報告書(昭和62年度～平成3年度), 1993
- 2) 全国公害研協議会 東海・近畿・北陸支部共同調査研究会：酸性雨共同調査報告書(平成元年度～平成5年度), 1995
 - 3) 関東地方公害対策推進本部 大気汚染部会：湿性大気汚染共同調査(1983年度～1991年度), 1994
 - 4) 山下栄次ら：第34回大気汚染学会講演要旨集, P.461, 1993
 - 5) 清水源治ら：全国公害研会誌, Vol.15 (No.3) P.5-9, 1990
 - 6) 矢滝理恵ら：資源環境対策, Vol.30 (No.3) P.38-44, 1994
 - 7) 小山功ら：東京都公害研究所年報, P.90-93, 1985
 - 8) 大浦宏照ら：大気汚染学会誌, Vol.29 (No.3) P.151-160, 1994
 - 9) 全国公害研協議会 酸性雨調査研究部会：全国公害研会誌, Vol.20 (No.2) P.2-74, 1995
 - 10) 岡林理恵ら：高知県公害防止センター所報第7号, P.37-41, 1990
 - 11) 岡林理恵ら：高知県公害防止センター所報第8号, P.29-34, 1991
 - 12) 岡林理恵ら：高知県公害防止センター所報第9号, P.35-39, 1992
 - 13) 酸性雨対策検討会 大気分科会：酸性雨対策調査報告書, 1990
 - 14) 山口幸祐ら：公害と対策, Vol.27 (No.2) P.56-62, 1991
 - 15) 大阪管区气象台：解説資料第11号 府県内の気象特性(大雨・天気), 1989
 - 16) 林田博通ら：全国公害研会誌, Vol.16 (No.2) P.9-17, 1991
 - 17) 森崎澄江ら：全国公害研会誌, Vol.15 (No.4) P.2-9, 1990
 - 18) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会, 一都三県公害防止協議会：平成2年度大気汚染調査報告書(平成3年11月)
 - 19) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会, 一都三県公害防止協議会：平成3年度大気汚染調査報告書(平成5年3月)
 - 20) 全国公害研協議会 東海・近畿・北陸支部共同調査研究会：酸性雨共同調査研究報告書(平成元年度～平成5年度)(平成7年3月)