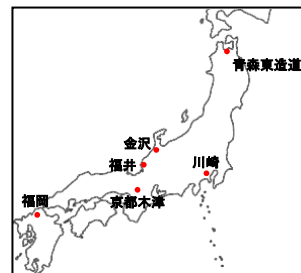


研究者 (所属・氏名) : 管理室 高岡大

研究課題名 (終了)	全国から見た福井県の酸性雨の特徴とその要因に関する研究	コードNo. III B-2
共同研究者 (担当分野)	吉川昌範 (全般調整)	
研究期間	平成28年度から29年度まで (2年間)	
研究費用	(全体) 0	
研究成果 の概要	<p>1. 目的 平成27年度の福井県の酸性雨は全国ワースト6位であり、それ以前から酸性度が高い状況が続いている。そこで本研究では全国のイオン成分データを解析するとともに、さらにマッピングや発生源寄与解析 (PMF法)、後方流跡線解析を活用することで本県の酸性度が高い原因を明らかにする。</p> <p>2. 方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・全国環境研協議会の蓄積データを利用し、グラフ等から福井県の状況を把握する。 ・全国マッピングにより地域特性、季節性、経年変化を同時に解析する。 ・マッピングから明らかになった本県と同様の特性を示す地点のデータについて PMF解析を実施し、発生源の種類とそれらの寄与率を推定する。 ・後方流跡線解析により移流と風向きに関連性を把握する。 <p>3. 結果</p> <p>(1) データ収集 解析対象データは地球環境研究センター (国環研) のホームページで公表されている酸性雨全国調査データを使用した。本データは福井を含む56~72地点 (年度により異なる) の月平均値で計8340ヵ月分のデータベースである。また、ひとつのデータにはpH以外にイオン成分 (SO₄²⁻等8項目) が含まれる。</p> <p>(2) 経時変化グラフによる福井県と他県の比較 まず地域差や周辺環境の影響を比較するため、収集した全国データから福井以外に次の地点を選定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金沢：福井に最も近いリファレンス (住宅地) ・福岡：九州代表、市街化調整区域 (都市) ・京都木津：近畿代表、住宅地 (都市) ・川崎：関東代表、住宅地 (工業地) ・青森東造道：東北代表 (住宅地) <p>2-1. pH 日本海に面する福井、金沢、福岡のpHは2005年以降ほぼ同じ水準で横ばいに推移している (図1) また全体的な推移を見ると日本海側3地点が最も低いレベルで、次に京都木津が続き、川崎はほぼ全ての年で最高値を示しており日本海側から内陸、太平洋側に向かって減衰する要素が存在すると推測される。なお青森東造道について</p>	



はいずれの変動パターンにも属さず、日本海と太平洋の両海に挟まれた独自の地理的特性を反映して最低値と最高値の差が非常に大きいパターンを示していると考えられる。

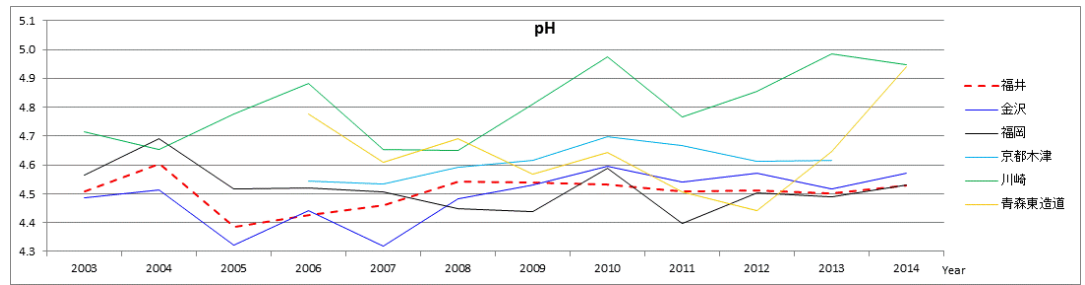


図1 代表5地点の年平均 pH の推移 (2003~2014)

上記地点の pH 経月変化を示した図2から日本海に面する金沢、福岡は福井と同様に11~2月に低下する傾向が見られた。また、京都木津は一年を通してほぼ横ばいを示し、川崎は秋冬季に逆に pH が高くなる傾向があることから日本海側からの影響は内陸に向かうほど弱くなり、太平洋側では別の要素が支配的であると推測される。

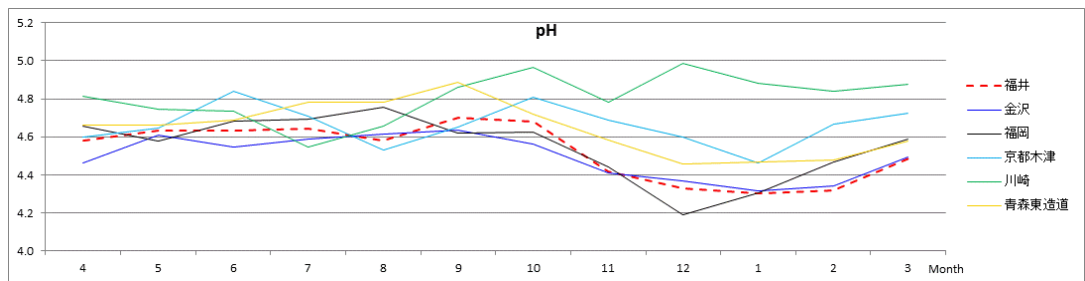


図2 代表5地点の月平均 pH (2003~2014 年度分)

2-2. nss-SO₄²⁻ (非海塩性硫酸イオン)

nss-SO₄²⁻の推移では pH が総じて低かった日本海側3地点の数値が高く、pH への寄与割合は非常に大きいと考えられる。他の地点については、最も酸性度の低かった川崎が日本海側3地点と同レベルの上、nss-SO₄²⁻と pH の変動パターンの相関が低い(図4)ため測定地点に極めて近い局所発生源の影響を受けていると考えられる。

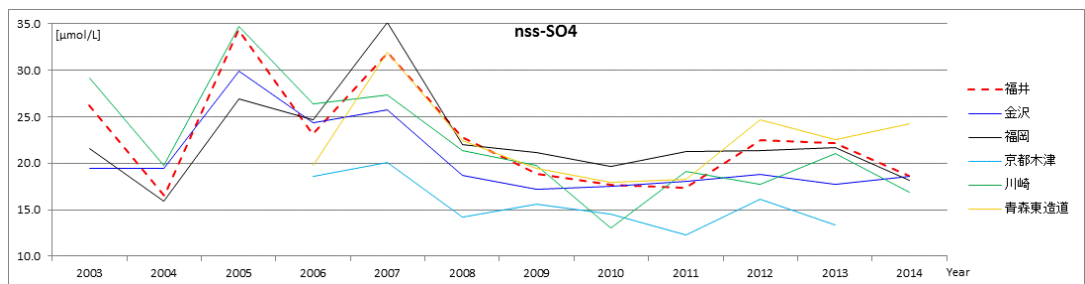


図3 代表5地点の年平均 nss-SO₄²⁻の推移 (2003~2014)

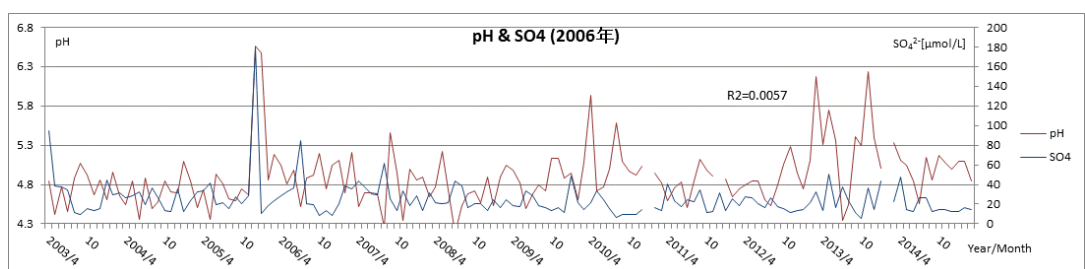


図4 川崎の月平均 pH と nss-SO₄²⁻の推移 (2003/4~2015/3)

2-3. NO_3^-

NO_3^- の推移はどの地点も nss-SO_4^{2-} とほぼ同じ変動傾向を示していたことから、それぞれの直接要因は異なるが nss-SO_4^{2-} と同一諸元からの影響であるといえる。このことは NO_3^- の多くが燃焼に伴う NO_x に由来することと一致する。

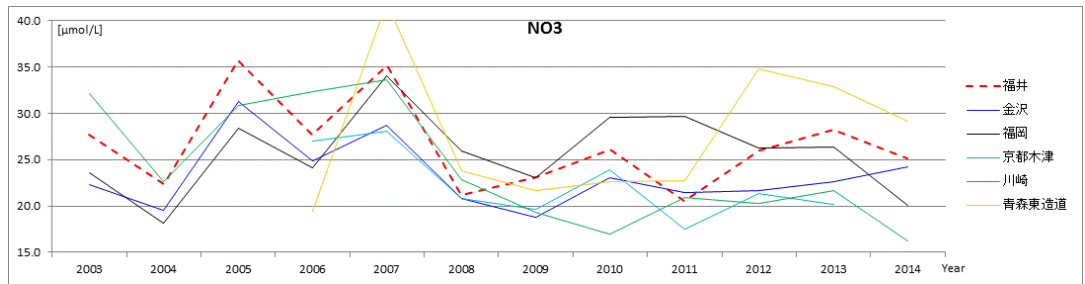


図5 代表5地点の年平均 NO_3^- の推移 (2003~2014)

2-4. NH_4^+

NH_4^+ の推移はまず2003~2006年度の川崎の高濃度が顕著であるが、 pH の変動パターンとの相関は見られないため nss-SO_4^{2-} と同じく測定地点に極めて近い局所発生源からの影響と考えられる。 NH_4^+ は主に農業および酪農や化石燃料の燃焼に由来するが、どの地点も農業や酪農が特に盛んとされる地域はないため化石燃料燃焼の寄与割合が高いと考えられる。また、日本海側3県の変動パターンはほぼ一致しているため、同一の広域的要素の影響を受けているといえる。

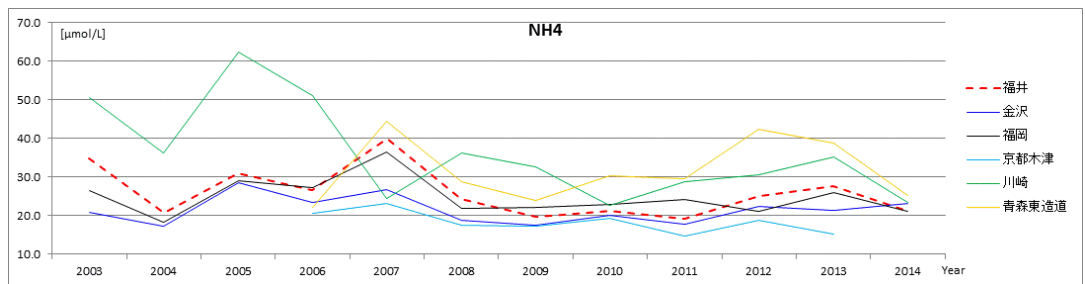


図6 代表5地点の年平均 NH_4^+ の推移 (2003~2014)

2-5. nss-Ca^{2+}

nss-Ca^{2+} の推移は福岡の2007年度のピークが顕著である。 Ca 成分は土壌の巻き上げや道路粉じんが主な発生源であるが、人口発生源の道路粉じんが年ごとに大きく異なるとは考えにくいいため自然由来の土壌(黄砂)の原因の可能性を検討した(図8)。2007年度の福岡における黄砂日数は2010年度と並んで最も多いが、浮遊粒子状物質(SPM)の日平均最大値はやや高い程度であり、 nss-Ca^{2+} の急上昇を全て説明できるほどではなかった。なお、黄砂も日本海側(大陸)からの移流要素であるが、福岡は春先に酸性度が高くなる傾向は見られず、酸性雨に関する移流の原因が冬の季節風であるのに対し黄砂は主に偏西風と、異なる移流メカニズムがその理由と考えられる。

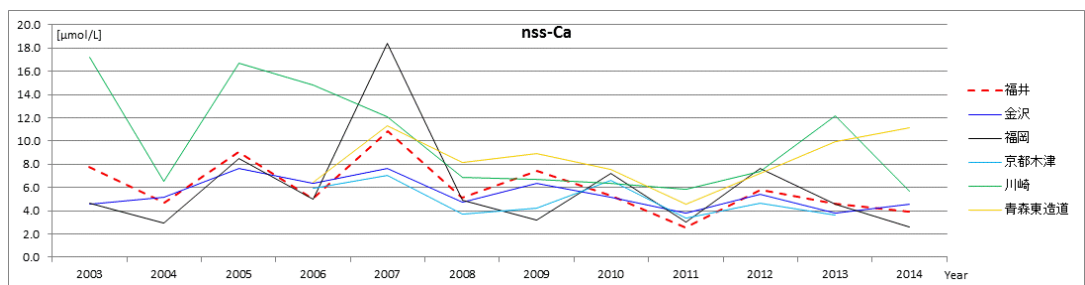


図7 代表5地点の年平均 nss-Ca^{2+} の推移 (2003~2014)

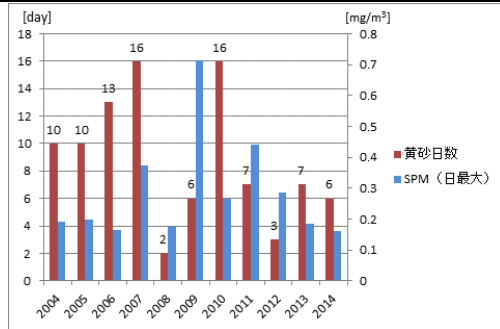


図8 福岡の黄砂日数と大宰府の浮遊粒子状物質日平均最大値

ここまでの(2)の総覧として、秋から冬にかけて顕現する SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ を含む発生源の影響は測定地点の周辺環境によらず日本海沿岸部の地域全体に渡る広域的なもので、それは冬の季節風によって運ばれてきた大陸由来の移流物質であるとまとめられる。

(3) マッピング解析

数値レベルごとに色分け表示した pH マップは、全国の経時変化および地域特性を通常のグラフよりも視覚的に一度に把握しさらに位置情報を加え、より感覚的な解析を行うことを目的としている。なお、マップ図は pH 項目だけでも全部で 132 枚 (12 ヶ月 × 11 年) あるため全ての図の掲載は割愛する (ホームページ上に掲載 <http://www.erc.pref.fukui.jp/center/research/acidrain/acidrain.html>)。

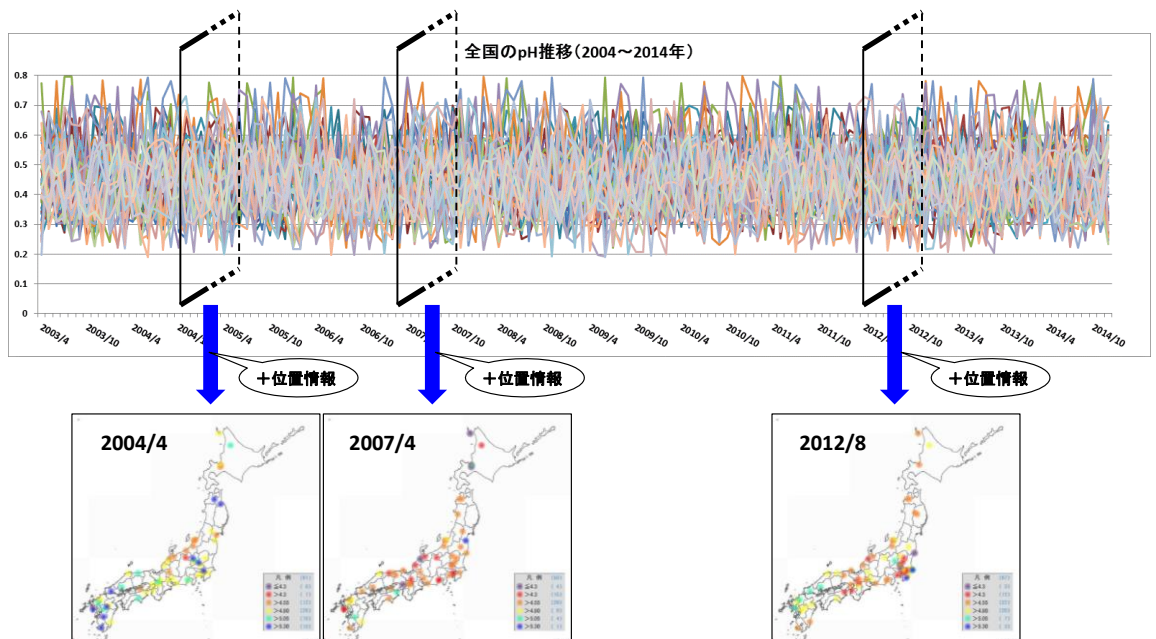


図9 pH マップのイメージ

似たパターンがよく見られた典型的な pH マップを図 10 に示す。このマップから pH の変動傾向は都道府県単位ではなくブロック単位でまとまった変動を示すことが分かった。ブロックのおおまかな区分は日本海沿岸部 (九州北部、中国地方北部、北陸)、瀬戸内海沿岸 (四国、中国地方南部、近畿、南紀)、関東の 3 つに分けられた。

季節を問わず最も酸性度が高い傾向を示したのは日本海沿岸部で、逆に最も低い傾向を示したのは関東であった。このことは(2)の解析結果と一致する。また、標高図ベースのマップから日本海沿岸部と関東の間には 3,000m 級の日本アルプスがそびえ立っており、雨雲が日本海側で降雨となるため影響が小さいと考えられる。

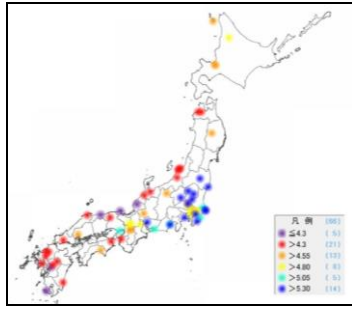


図 1 0 典型的な pH マップ

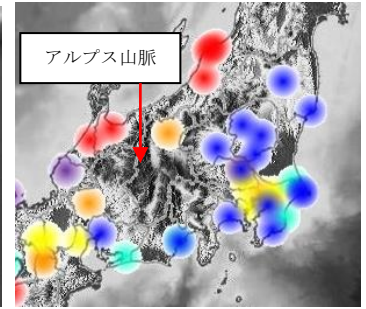
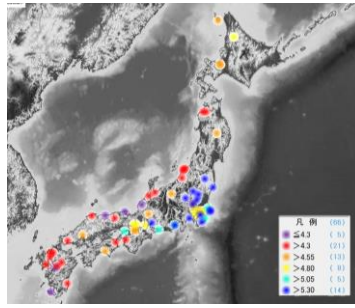


図 1 1 標高図ベースの pH マップ (2012 年 1 月)

次に、特徴的なパターンを見せたマップについて次のとおりピックアップした。
(2007 年 11 月) → 図 12

全マップ中で全体的な酸性度が最も高く、日本海沿岸部以外のブロックも高かった。このことから、通常は沿岸部までで留まる移流の影響範囲が太平洋側にまでせり出すほど強い特徴的な月であったと考えられる。

(2011 年 9 月) → 図 13

最も酸性度が低かった。多くのマップで酸性度が低い傾向を示す関東ブロックも殊更低くなっていることから次のようにいくつかの要因パターンが推察される。①移流の影響が非常に弱かった（関東も普段から少なからず移流の影響を受ける）。②移流の影響が非常に弱く、同じタイミングで関東範囲に中和要素が存在した（関東では普段は移流の影響を受けない）。③移流の影響が非常に弱く、かつ日本全域におよぶ広範囲の中和要素が存在した。④移流の影響を打ち消すほど強力かつ日本全域におよぶ広範囲の中和要素が存在した。ここで中和項目の濃度推移に注目すると②～④については図 14, 15 のとおり中和成分が 9 月に顕著な上昇は確認できず除外されるため、パターン①であった可能性が高い。

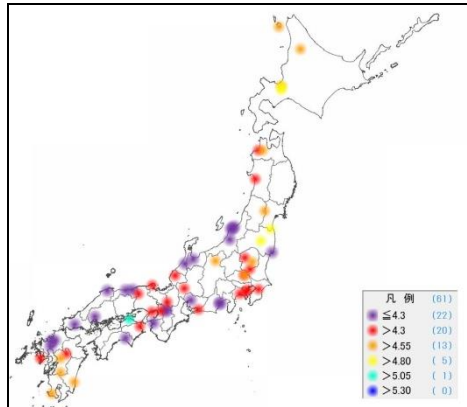


図 1 2 2007 年 11 月の pH マップ

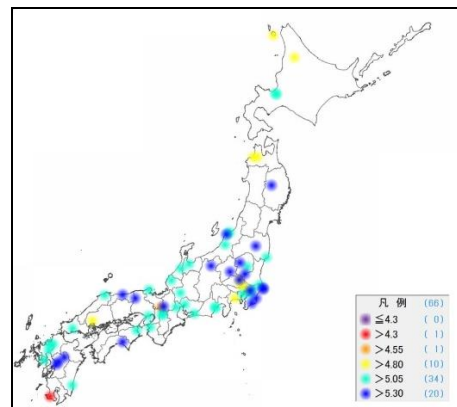


図 1 3 2011 年 9 月の pH マップ

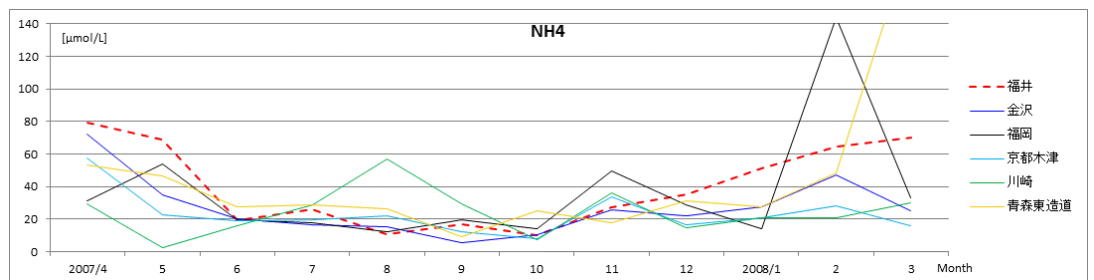


図 1 4 代表 5 地点の月平均 NH_4^+ の推移 (2007 年度)

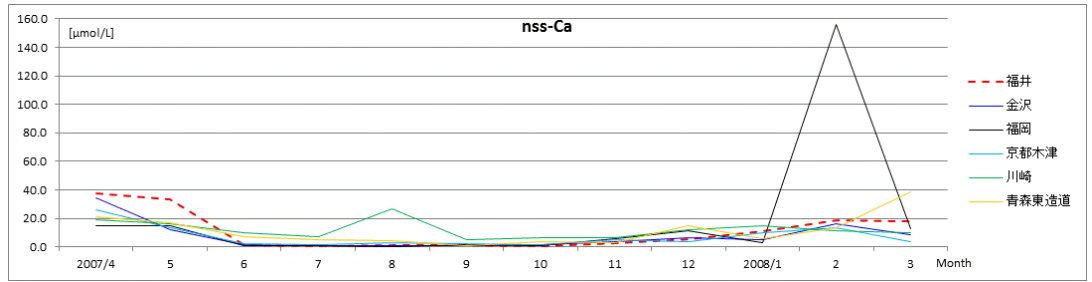


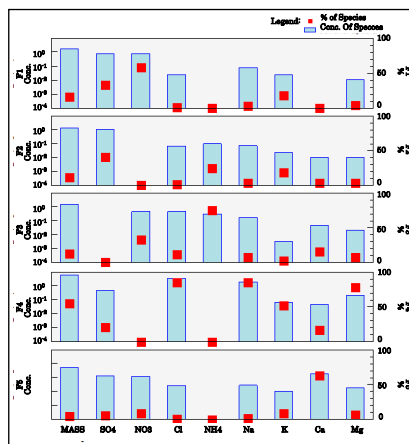
図 1 5 代表 5 地点の月平均 nss-Ca₂⁺の推移 (2007 年度)

(4) PMF 解析

発生源情報がなくても観測値の挙動から推定可能な PMF 解析により移流の寄与割合の推計を行った。なお、大陸からの移流を解析するために解析対象データは日本海沿岸のみ抽出したものをを用いた。

まず、1~12月の全データを対象として PMF 解析を行った結果を図 16,17 に示す。発生源の種類は移流、地域由来硫酸系二次粒子、地域由来硝酸系二次粒子、海塩粒子、土壌の 5 種で、質量全体として最も寄与割合が高かったのは海塩粒子で 55.7% だった。ここで注目すべき点は硫酸および硝酸に関する要素が 3 つに分類され、その内のひとつは硫酸と硝酸の両方を高い割合で含む「移流ではないか」と強く思えるものが出現したことである。これまでに PM_{2.5} を対象とした PMF 解析を数多く実施してきたが、両方を高レベルで含むものが観測されたのは今回が初めてであった。

その移流発生源に着目すると硫酸イオン濃度に占める割合は 33.8%、硝酸イオン濃度に占める割合は 58.9%、地域発生源由来は 32.2% で、全体質量としては 16.0% を占めていた。移流の特徴として硫酸よりも硝酸の方が影響度が高いことがわかった。



	発生源の種類	指標成分
F1	移流	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
F2	地域由来SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻
F3	地域由来NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
F4	海塩粒子	Na ⁺ , Cl ⁻ , Mg ²⁺
F5	土壌	Ca ²⁺

図 1 6 発生源プロフィール

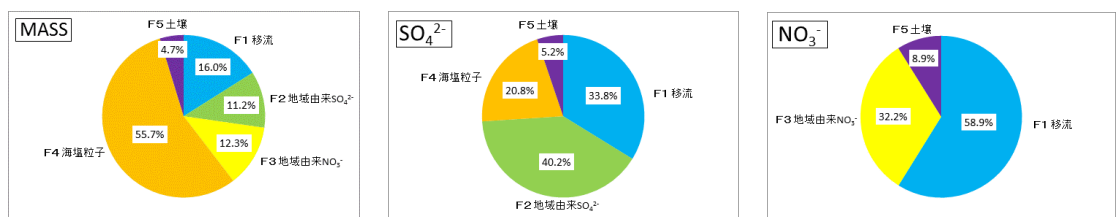
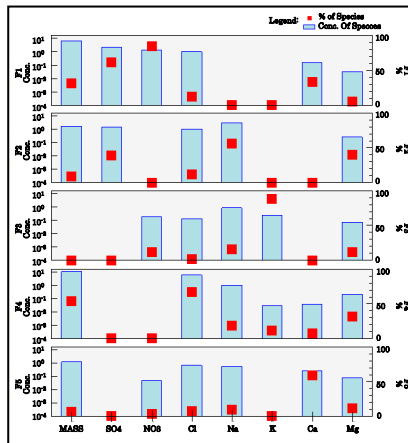


図 1 7 質量全体、硫酸イオン濃度、硝酸イオン濃度の発生源寄与割合

次に、移流の寄与割合をより詳細に解析するために対象データを11月～翌2月に絞ってPMF解析を行った(図18,19)。その結果、移流が硫酸イオン濃度に占める割合は61.4%、硝酸イオン濃度は85.1%、全体質量としては31.8%を占めていた。通年データの解析結果と表1で比較すると秋冬季は硫酸、硝酸、全体質量の全てで寄与割合が増加しており、このことは秋冬季に移流の影響が強くなる事実と一致する。

ここでマッピング解析において酸性度が非常に低かった2011年9月の状況と秋冬季の移流寄与割合を並べて比較した(図20)。その結果、質量、硫酸、硝酸イオン濃度の全ての項目で移流を除外した値とほぼ一致しており、2011年9月は移流の影響がないバックグラウンド値を示していたと考える。



	発生源の種類	指標成分
F1	移流	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
F2	地域由来SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻
F3	地域由来NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
F4	海塩粒子	Na ⁺ , Cl ⁻ , Mg ²⁺
F5	土壌	Ca ²⁺

図18 発生源プロファイル

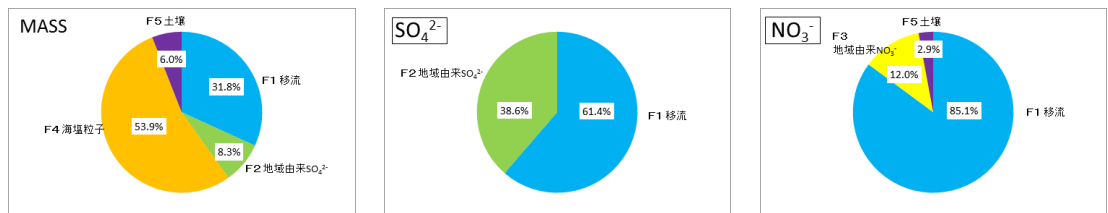


図19 質量全体、硫酸イオン濃度、硝酸イオン濃度の発生源寄与割合

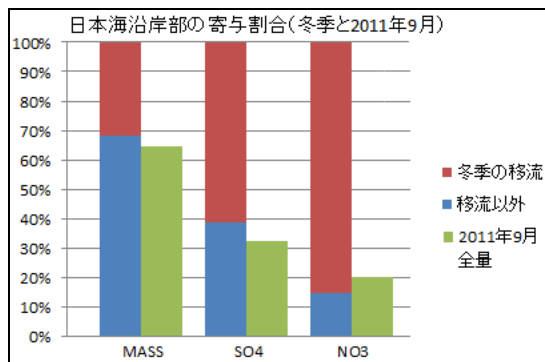


図20 日本海沿岸部の寄与割合比較 (2004～2014年冬季平均と2011年9月)

		年間	冬季	
SO ₄ ²⁻ 濃度	移流	33.8	61.4	↑
	地域由来	40.2	38.6	↓
NO ₃ ⁻ 濃度	移流	58.9	85.1	↑
	地域由来	32.2	12.0	↓
全体質量	移流	16.0	31.8	↑
	地域由来	23.5	8.3	↓

[%]

表1 日本海沿岸部の寄与割合比較 (2004～2014年冬季平均と2011年9月)

(5) 後方流跡線解析

ここまでの考察で日本海沿岸部は冬の季節風による大陸からの移流の影響を受けていることがわかったため、流跡線による解析を試みた。まず 2014 年の各季について福井を始点とした後方流跡線を図 21 に示す (72 時間追跡、3 時間おきトレーサー発生)。

pH の低下が顕著な傾向を示した冬季は、大陸を起源とする北西方向から移流していることが明らかで、前述の解析結果とも一致する。さらに細かく見ると大陸上の流跡線はほぼ東西に伸びており、海岸線付近で北西向きにカーブを描いている。これは大陸上では偏西風に乗り、海付近では季節風の影響を受けているためである。

次に春季については、北西方向の密度が減少するとともに太平洋側にも線が延びていたことから季節風の影響が弱まっていることがわかる。このタイミングは pH の上昇 (酸性度の低下) 開始時期と一致することから日本海沿岸部の酸性度上昇の要因が大陸からの移流であることがより裏付けされた。

最後に夏秋季を見ると夏はやや南よりの風向きとなり、かつ流跡の長さも短い傾向が見られ、秋になるとまた北西の季節風が強くなる傾向がわかる。

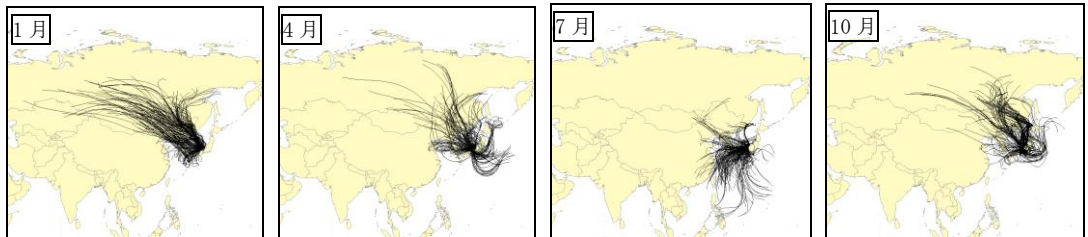


図 21 2014 年各季 (1, 4, 7, 11 月) の福井を始点とした後方流跡線

4. まとめ

本研究では福井県の降雨の酸性度が全国でも高い要因について次のとおりまとめた。

- ・ 秋から冬にかけて季節風によって SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ を含む大陸由来の移流物質が福井県を含む日本海沿岸部の地域全体に渡って広域的な影響を及ぼしている。
- ・ PMF 解析を行った結果、移流が硫酸イオン濃度に占める割合は 61.4%、硝酸イオン濃度は 85.1%、全体質量としては 31.8%と推計された。

実現した、または期待される成果

1. 県民生活や産業社会への波及効果

雨という県民全体が日常的に影響を受ける要素について、なぜ本県が特に酸性度が高いのかという根源的な疑問に対するデータを呈示することで、県民が酸性雨について正確な知識を持ち環境問題に対する意識の向上につながる。

2. 業務遂行のレベルアップへの寄与等

全国データを扱うことで地域特性や相関性について理解が深まり、広域的な視点での考察力が身についた。

解析ツールに関する習熟度が向上し、さらに他の大気関連業務および研究への応用が見出された。

今後の対応および計画

研究成果をまとめたチラシの配布や環境教室等を通じて県民への周知に努める。

	題名	発信媒体、方法等	発信年月
外部（県民等）への効果的な発信実績（予定可）	① 環境に関する調査研究紹介パネル展示	パネル展示（県立図書館）	平成 29 年 6 月 10 日 ～16 日
	② 環境に関する調査研究紹介パネル展示	パネル展示（県庁ホール）	平成 29 年 6 月 19 日 ～22 日
	③ 環境に関する調査研究紹介パネル展示	パネル展示（県児童科学館）	平成 30 年 6 月 9 日
	④ 関係資料公開	ホームページ	平成 30 年 6 月 18 日
	⑤ 全国から見た福井県の酸性雨の特徴とその要因に関する研究	福井県衛生環境研究センター年報 第 16 巻	平成 30 年 11 月 (予定)
	⑥ 全国から見た福井県の酸性雨の特徴とその要因に関する研究	福井大学研究紀要「日本海地域の自然と環境」	平成 30 年 11 月 (予定)
	⑦ 福井県の酸性雨状況	衛環研だより	平成 30 年度 (予定)
備 考			