

福井県における飛来物質の分布に関する実態調査

高岡 大・谷口佳文・福島綾子・吉川昌範・酒井忠彰・坪内 彰^{*1}・三浦 麻^{*2}

Actual condition survey of the trans-border matter in Fukui

Dai TAKAOKA, Yoshifumi TANIGUCHI, Ayako FUKUSHIMA, Masanori YOSHIKAWA,
Tadaaki SAKAI, Akira TSUBOUCHI, Asa MIURA

1. はじめに

近年、微小粒子状物質（PM_{2.5}）や黄砂などがアジア大陸方面から飛来する越境汚染が深刻な環境問題となっており、こうした飛来物質による人の呼吸器や循環器などの健康影響も懸念されている。

PM_{2.5}については、平成 21 年 9 月に環境基準が設定され、福井県内でも平成 22 年 4 月から測定を開始し、現在、県内 9 地点で常時監視を実施している。

また、気象庁の黄砂観測結果¹⁾によると、平成 17 年から平成 26 年の 10 年間に、福井で黄砂の飛来が 49 日観測されている。

そこで本研究では、黄砂など福井県内に飛来する浮遊物質の分布状況等を明らかにするための調査を行い、各調査日の濃度分布における影響について検討した。

2. 方法

2. 1 試料採取

2. 1. 2 採取装置

大気中を浮遊する物質の採取法としては、粒径 10 μm 以下の浮遊粒子状物質（以下「SPM」という。）を自動測定機（SPM 計）で採取する方法や、大気中の全浮遊物質（以下「TSP」という。）をハイボリュームサンプラーで採取する方法が用いられているが、本研究では低コストで可搬性に優れた簡易採取装置を作成し、TSP を捕集した²⁾。

簡易採取装置の構成等は表 1 および図 1 のとおりである。

表 1 簡易採取装置の構成等

構 成		メー カー	型 式 等
流量調整部	吸引ポンプ	A.P.BUCK INC	The BUCK I.H.PUNPTM
	積算流量計	株シナガワ	MODEL DC-2 (乾式カスメータ)
捕 集 部	ホルダー	柴田科学(株)	φ47mm オープソフェース型
	フィルター	Pall Corporation	PTFE (φ47mm 孔径 2 μm)

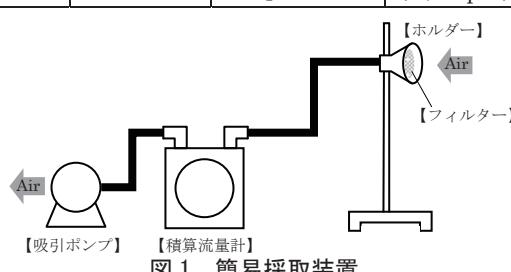
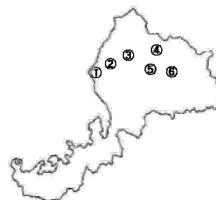


図 1 簡易採取装置

2. 1. 2 TSP 調査地点

当センターでは、大気汚染防止法に基づき従来から SPM 濃度の常時監視を実施しており、市等の測定局も含め県内 26 地点（H25.4.1 時点）で測定している。この既存の観測点に加え、本研究では嶺北地方を対象に、主に SPM 濃度を観測していないエリアを補完するために越前海岸から大野までを東西に結ぶ方向に TSP の調査地点を選定した。

なお、TSP 濃度と SPM 濃度の相関関係を把握するため、SPM 濃度を測定している常時監視測定局の福井局と大野局には TSP 濃度を観測するための簡易採取装置を設置した。TSP 調査地点の詳細は図 2 のとおりである。



番号	調査地点	場 所 等
①	越前岬	国設越前岬酸性雨測定所
②	滝 波	滝波ダム管理所
③	福井局	常時監視測定局
④	上志比	永平寺町上志比支所
⑤	美 山	福井市美山総合支所
⑥	大野局	常時監視測定局

図 2 TSP 調査地点

2. 1. 3 調査日

調査日は、九州大学の大気浮遊粒子状物質および黄砂の汚染状況をシミュレートする“SPRINTARS”³⁾や九州大学／国立環境研究所の化学天気予報システム“CFORS”⁴⁾気象庁の黄砂予測⁵⁾などを活用して、エアロゾルや黄砂が福井県内に飛来する可能性の高い日を選定した（表 2）。

採取時間は、環境省「微小粒子状物質（PM_{2.5}）の成分分析ガイドライン⁶⁾」に準拠し、朝 10 時から翌日 10 時までの 24 時間とした。

なお、調査日における天候および降水量は表 2 のとおりである。

表 2 調査日の気象状況

調査日	10 時～22 時		22 時～翌 10 時	
	天候	降水量	天候	降水量
H25.10.31	曇	0 mm	曇	0 mm
H25.11.7	曇／晴れ	12.0 mm	晴れ	0 mm
H25.12.5	雨／曇	1.5 mm	雷	7.0 mm
H26.3.6	晴れ／雪	2.0 mm	曇	0 mm
H26.3.18	雨／曇	17.0 mm	晴れ	0 mm

※天候、降水量は福井地方気象台の観測データ

2. 2 解析手法

2. 2. 1 TSP 濃度への換算方法

TSP 濃度の分布状況を解析するため、福井局および大野局における TSP/SPM 濃度比率を用いて、各常時監視測定局の SPM 濃度を TSP 濃度に換算する。

*1 福井大学地域環境研究教育センター *2 福井大学教育地域科学部

福井局と大野局における TSP/SPM 濃度比率が異なることから、各常時監視測定局の過去 5 年間 (H21~H25) の SPM 濃度平均値が、福井局と大野局のいずれかに近い値を適用して各地点の TSP 濃度を算出した。

各常時監視測定局の TSP/SPM 濃度比率の適用区分結果は表 3 のとおりであり、後述の表 4 に示す地域特性から概ね、人為発生源の寄与が大きい（小さい粒子の割合が高い）と考えられる市街地と、自然発生源の寄与が大きい（大きい粒子の割合が高い）⁹⁾と推定される郊外に分類された。

表 3 各常時監視測定局の SPM 濃度（5 年平均）と TSP/SPM 濃度比率適用区分
[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

安島局	宿局	金津局	三国局	河合局	坂井局	中川局	社局	センター局
19	18	20	20	19	20	14	15	21
麻生津局	順化局	神明局	御幸局	武生局	武生北局	今立局	鯖江東局	武生西局
21	17	20	20	20	14	17	18	16

■ 福井局の比率適用

□ 大野局の比率適用

2. 2. 2 濃度分布図

県内の嶺北地方について、緯度・経度の 1 度を 10 分割した図 3 のメッシュ図（1 メッシュ：約 11km × 約 9km）を作成し、各メッシュ内で測定された各調査日における SPM 濃度を 2.2.1 の方法により換算し、調査日ごとの TSP 濃度分布図を作成した。

なお、同一メッシュ内に複数の常時監視測定局がある場合には、平均値を用いた。各メッシュ内の測定地点は表 4 のとおりである。

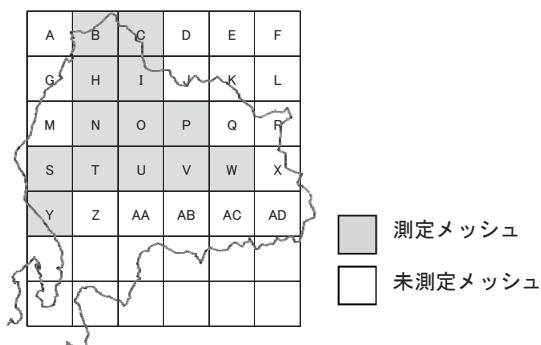


図 3 メッシュ図

表 4 メッシュ内測定地点

メッシュ記号	地点名	場所（地域特性）
B	安島局	安島保育所（沿岸）
	宿局	宿保育所（住宅地）
C	金津局	あわら市役所（市街地）
H	三国局	三国西小学校（工業地帯に隣接）
	河合局	河合小学校（田畠）
I	坂井局	坂井中学校（田畠）
	中川局	金津東小学校（田畠）
N	滝波	滝波ダム管理所（山間地）
	社局	ちもり体育館（住宅地）
O	福井局	福井市豊島東公園（市街地）
	センター局	県衛生環境研究センター（田畠）
	麻生津局	福井県立音楽堂（田畠）
	順化局	順化小学校（市街地）
P	上志比	永平寺町上志比支所（田畠）

S	越前岬	国設越前岬酸性雨測定所（沿岸）
T	神明局	神明小学校（工業地帯に隣接した住宅地）
	御幸局	御幸第一公園（工業地帯に隣接した住宅地）
	武生局	武生第一中学校（市街地）
	武生北局	吉野児童センター（工業地帯）
U	今立局	越前市今立図書館（田畠）
	鯖江東局	定次公園（田畠）
V	美山	福井市美山総合支所（山間地）
W	大野局	大野市交通公園（市街地）
Y	武生西局	丸岡・沓掛ふれあい会館（山間地）

2. 2. 3 気象解析

各調査日における TSP 濃度分布と気象との関係を見るため、後方流跡線解析および各常時監視測定局での風向・風速の解析を実施した。

後方流跡線解析は、アメリカ海洋大気庁 (NOAA) が提供するオンラインの HYSPLIT モデル計算プログラム⁸⁾を使用した。計算条件としては、出発地点を調査地点の越前岬・福井局・大野局の 3 地点とし、出発高度を大気境界層の影響を除外するため⁹⁾に 1,300m、開始時間を 10 時、22 時、翌日 10 時の 12 時間刻み、追跡時間を 72 時間に設定した。

風向風速については、日中（10 時～18 時）、夜間（18 時～2 時）、翌日（2 時～10 時）の 3 区分とし、各区分内の平均風速および最多風向を採用した。

2. 2. 4 成分分析

捕集した TSP について環境省「大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 成分測定マニュアル¹⁰⁾」に準拠し、イオンクロマトグラフ法による成分分析を行った。なお、分析の対象成分はイオン成分 8 項目 (NH_4^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-}) とした。

3. 結果および考察

3. 1 測定結果

3. 1. 1 補完調査地点での測定結果

補完調査地点で観測を実施した 5 日分の TSP 濃度を図 4 に示す。いずれの調査日も、福井地方気象台の公表情報によると、黄砂の飛来は確認されなかった。

また、各調査日における福井局および大野局の SPM 濃度および TSP/SPM 濃度比率をそれぞれ図 5、図 6 に示す。

今回の調査では、地点間の TSP 濃度差は各調査日によって異なる傾向を示した。例えば、海沿い（越前岬）から東方向の内陸部（大野局）にかけて TSP 濃度が概ね減少していくパターン（H25.11.7）や、市街地（福井局）が最も高くなるパターン（H26.3.18）などが見られた。

TSP/SPM 濃度比率は、いずれの調査日も福井局より大野局の方がやや大きくなつたが、その推移は福井局と大野局でよく一致していた（図 6）。

なお、他の調査日より TSP/SPM 濃度比率が特に高かつた H26.3.6 は、福井局、大野局の SPM 濃度が他の調査日よりも低い（図 5）一方で、TSP 質量濃度は同レベルであった（図 4）ことから、当日は、粗大粒子（10 μm 超）が広域的に飛来した可能性があると考えられる。

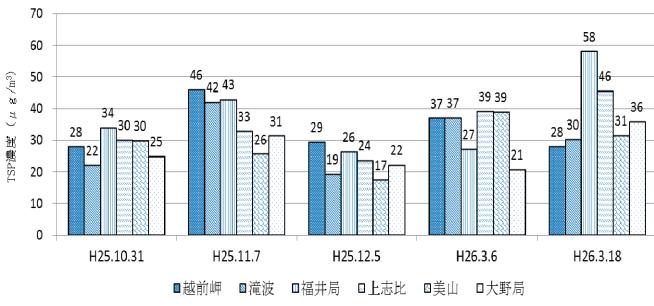


図4 TSP質量濃度測定結果

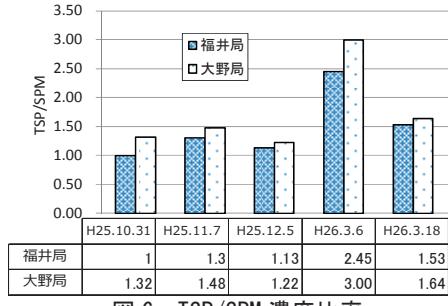


図6 TSP/SPM濃度比率

3. 1. 2 濃度分布図

各調査日のTSP濃度分布は、図7のとおりである。濃度分布に一定の傾向は認められず、市街地を中心に高くなる分布を示す日（H25.10.31、H26.3.18）や嶺北の西部（海沿い）が高くなる分布を示す日（H25.11.7）のほか、ほぼ一様な分布の日（H25.12.5）や疎らな日（H26.3.6）も見られた。

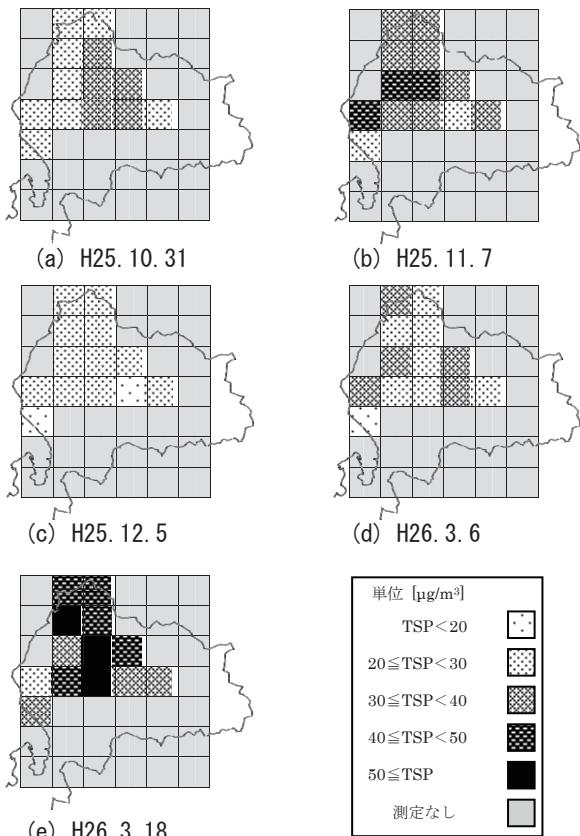


図7 各調査日における濃度分布図

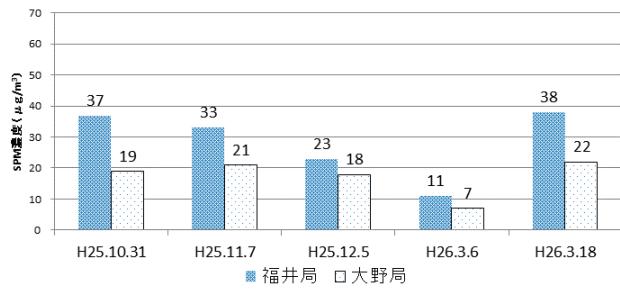


図5 SPM質量濃度測定結果

3. 1. 3 気象解析

調査した5日間の時間帯ごとの後方流跡線図および地上風向風速分布図（メッシュP、Vは観測データなし）を図8に示す。

福井市などの市街地を中心にはやや高い濃度分布を示したH25.10.31（図7(a)）の後方流跡線は、終始北寄りの方向を示していたが、地上風の風速は概ね3.0m/s以下で、風向は北寄り風から、夜間～翌日にかけて濃度分布の高かった地域を中心に南寄りに変わっていた（図8(a)）。また、曇りで日射が弱かったことなどから、昼頃を除きパスカル安定度階級分類がD（中立）～E（やや安定）と、空気が滞留しやすい条件であった。こうした気象状況と濃度分布図から、当日は、アジア大陸からの移流よりもむしろ市街地の地域発生源からの汚染物質の滞留が影響していたと推測される。

嶺北の西部（海沿い）が高くなる分布を示したH25.11.7（図7(b)）の後方流跡線は、夜間～翌日は北西方向を示していたが、市街地の地上風は概ね南寄り、海沿いについては翌日は南から東寄りであった（図8(b)）。こうした気象状況と濃度分布図から、当日は、移流の影響により全体的に濃度が高くなり、特に上空と地上で風向きが対向していた地点（メッシュN、O、S）では、市街地の発生源からの汚染物質が滞留することでより高濃度になったと考えられる。

濃度分布がほぼ一様であったH25.12.5日（図7(c)）は、後方流跡線が終始西方向を示しており（図8(c)）、主に国内（中国地方）からの移流が推測されるが、当日は雨が降っていたため（表2参照）、移流の影響は小さく、降雨によるウォッシュアウトが濃度レベルや濃度分布に影響を与えたものと考えられる。

濃度分布が疎らであったH26.3.6（図7(d)）は、後方流跡線が終始北西方向を示しており（図8(d)）、アジア大陸からの移流が推測された。しかし、全体的に濃度が低く、降雨もなかったことから移流してきた飛来物質そのものの濃度が低かったと考えられる。

H26.3.18（図7(e)）は、雨が降っていた日中を除き北寄りの後方流跡線および地上風を示していた（図8(e)）。また、翌朝を除きパスカル安定度階級分類がD（中立）であったことから、空気が滞留しやすい条件であった。一方、濃度分布は、テクノポート福井周辺（メッシュH）や福井市～丹南（メッシュO、T、U）の市街地を中心に特に濃度が高くなっていた。これらのことから、当日は、アジア大陸からの移流に加えて市街地等の地域発生源からの汚染物質の影響も受けていると推測される。

3. 1. 4 成分分析結果

各調査日のTSPに含まれるイオン成分を分析した結果、調査日ごとに異なる傾向が見られた（図9）。

H25.10.31 (図9(a)) は、他の調査日に比べて SO_4^{2-} 濃度が高くなった。当日は、前述した TSP の濃度分布および気象解析結果において地域発生源の影響が推測されていることから、市街地で発生した SO_x から二次生成された硫酸エアロゾルによって SO_4^{2-} 濃度が高くなつた可能性がある。

H25.11.7 (図9(b)) は、主に海塩粒子に由来する Na^+ よび Cl^- 濃度が海沿い（越前岬）で高く内陸に向かって徐々に減少している傾向にあったことから、当日は、海塩粒子の広域的な移流があつたと考えられる。

H25.12.5 (図9(c)) は、H25.11.7 と同様に海沿い（越前岬）で Na^+ よび Cl^- 濃度が高くなつたが、その影響は越前岬のみに留まっていた。当日は雨が降っていたことから、降雨が海塩の影響範囲を小さくしたと推察される。

H26.3.6 (図9(d)) は、各成分濃度とも地点間にほとんど差がなかつたことから、広域的な影響を受けていたことが推測された。また、他の調査日に比べて SO_4^{2-} 濃度が低かつたが、その要因として、 SO_4^{2-} の粒径分布は $1\mu\text{m}$ 以下の微小粒子側にあると言われている⁷⁾ことから、当日の SPM 濃度が低く微小粒子が少なかつたことが考えられる。

H26.3.18 (図9(e)) は、福井局で全てのイオン成分濃度が高かつたことから、当該地域では、移流よりも地域発生源の影響が大きかつたと考えられる。

4. まとめ

TSP 濃度は、調査日によって異なつた分布を示した。市街地を中心高くなる傾向を示す日や嶺北の西部（海沿い）が高くなる傾向を示す日のほか、濃度分布が疎らな日が見られた。

1. H25.10.31

後方流跡線の向きと地上風の向きが対向し、市街地の発生源からの汚染物質が滞留し、この地域を中心に比較的濃度が高かつた。また、市街地由來の SO_x から二次生成された硫酸エアロゾルによって SO_4^{2-} 濃度が高くなつた可能性が推察された。

2. H25.11.7

後方流跡線が北西方向を向いており、沿岸部で Na^+ よび Cl^- 濃度が高かつたことから海側からの海塩粒子の影響が推測された。また地上風は概ね南よりであったことから市街地の発生源からの移流も影響したと考えられ、海側と市街地からの移流により嶺北西沿（海沿い）の濃度が高かつた。

3. H25.12.5

後方流跡線は国内からの移流を示しており、また越前岬では Na^+ よび Cl^- 濃度が高く、海塩粒子の影響が示唆された。また、その影響は降雨のため小さくなり、疎らな濃度分布を示した。

4. H26.3.6

後方流跡線がアジア大陸からの移流を示し、また、地点間で各イオン成分濃度に差が無かつたことから、広域的な影響を受けたと推測された。なお、当日は、TSP/SPM 濃度比率や成分分析結果から粗大粒子の割合が高かつた。

5. H26.3.18

後方流跡線や地上風の向きからアジア大陸からの移流と地域発生源の影響が推測されたが、成分分析結果から地域発生源の影響がより大きいと考えられ、市街地を中心高い濃度を示す分布となつた。

以上の結果から、TSP の濃度分布はアジア大陸から移流してきた物質、海塩粒子の移流および地域由來の浮遊物質の発生、または降雨、風向等の気象条件がそれ複合的に影響することで形成されると考えられた。

謝辞

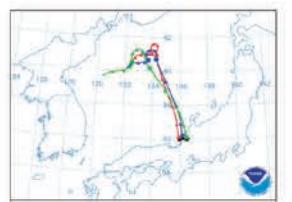
調査の実施に当たり、採取装置の設置に御協力いただいた福井市美山総合支所、福井市清水総合支所および永平寺町上志比支所の関係者の方々に深く感謝いたします。

本研究は、福井大学地域環境教育センターの研究支援により実施しました。

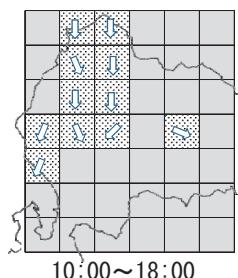
参考文献

- 1) 気象庁 HP : http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_data_index.html
- 2) 吉川昌範他：福井県における飛来物質の実態に関する研究—粒子状物質の簡易採取法の検討—，福井大学地域環境研究教育センター研究紀要「日本海地域の自然と環境」No.21,25-30 (2014)
- 3) SPRINTARS,九州大学応用力学研究所：
<http://sprintars.riam.kyushu-u.ac.jp/>
- 4) 化学天気予報システム、九州大学／国立環境研究所：
<http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/>
- 5) 気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jp/kosafest/index.html>
- 6) 環境省水・大気環境局：「微小粒子状物質($\text{PM}_{2.5}$)の成分分析ガイドライン」について、環水大大発第110729001号(2011.7.29)
- 7) 環境省：中央環境審議会大気環境部会微小粒子状物質環境基準専門委員会報告(2009.9)
- 8) アメリカ海洋大気庁(NOAA) HP : <http://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtype=archive>
- 9) 村尾直人：大気モデルー第6講 流跡線解析ー，大気環境学会誌, Vol.46 No.5, 251-257
- 10) 環境省水・大気環境局：「大気中微小粒子状物質($\text{PM}_{2.5}$)成分測定マニュアル」，環水大大発第120419002号, 環水大自発第120419001号(2012.4.19)

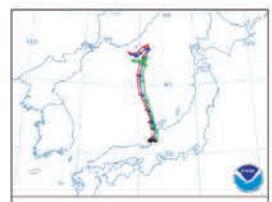
【H25.10.31】



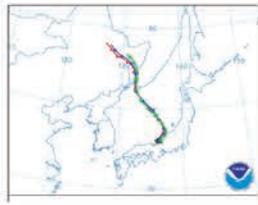
10:00



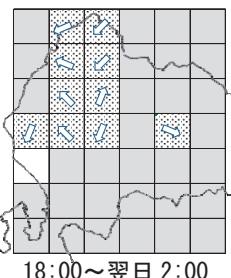
10:00~18:00



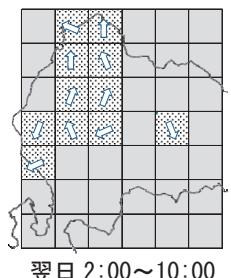
22:00



翌日 10:00



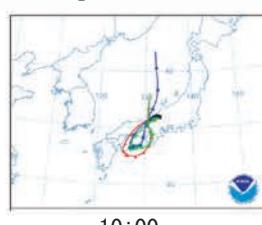
18:00~翌日 2:00



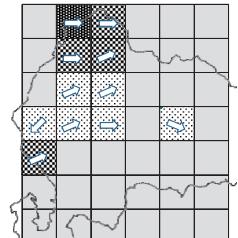
翌日 2:00~10:00

(a) H25. 10. 31

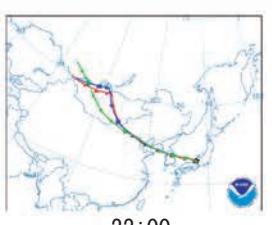
【H25.11.7】



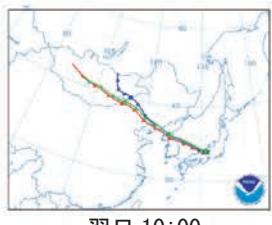
10:00



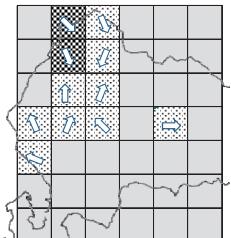
10:00~18:00



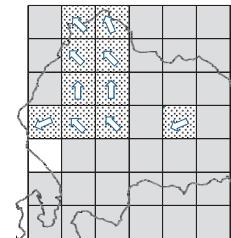
22:00



翌日 10:00



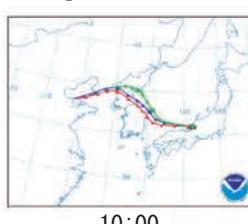
18:00~翌日 2:00



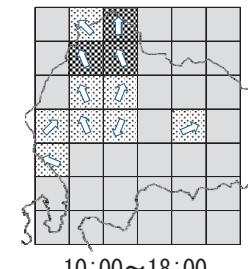
翌日 2:00~10:00

(b) H25. 11. 7

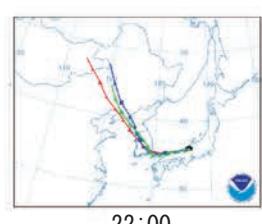
【H25.12.5】



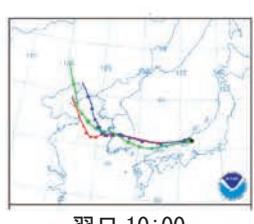
10:00



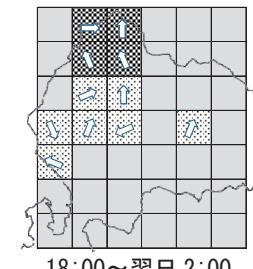
10:00~18:00



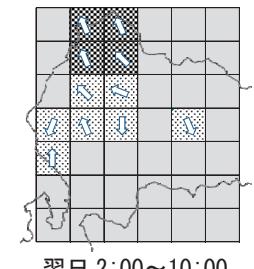
22:00



翌日 10:00



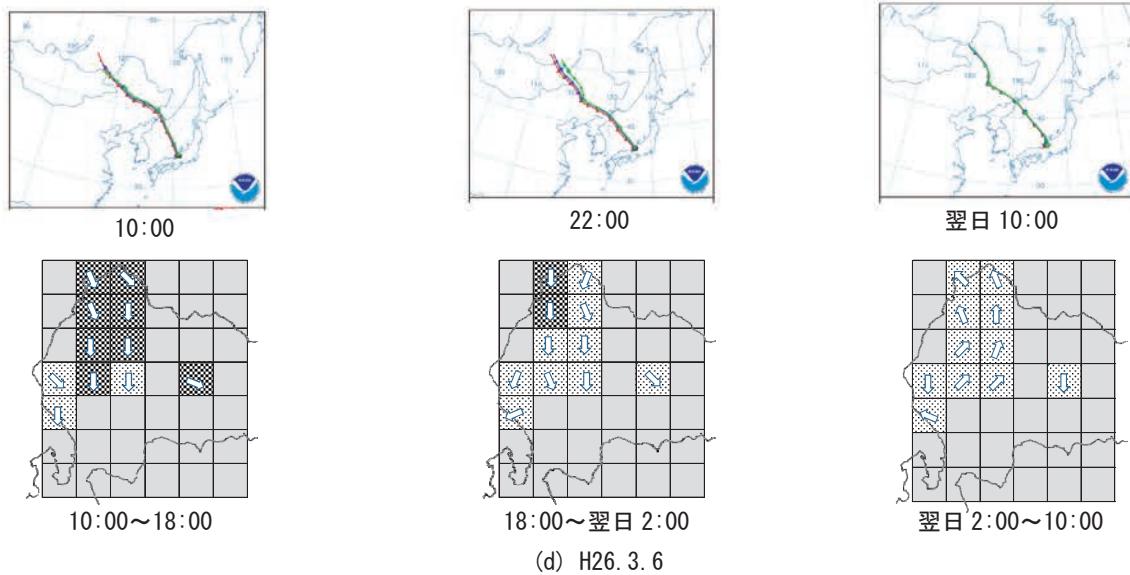
18:00~翌日 2:00



翌日 2:00~10:00

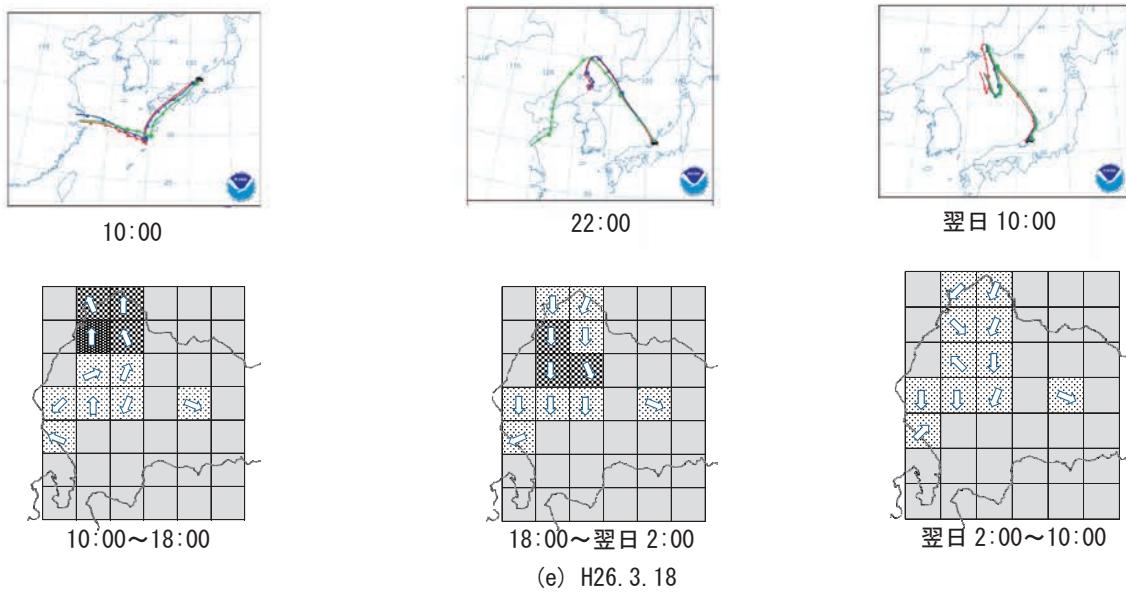
(c) H25. 12. 5

【H26.3.6】



(d) H26. 3. 6

【H26.3.18】



(e) H26. 3. 18

後方流跡線図凡例

越前岬	—
福 井	—
大 野	—

地上風向風速図凡例

0.2 m/s 以下	[white]
0.2~3.0 m/s 以下	[light gray]
3.0~6.0 m/s 以下	[medium gray]
6.0~10 m/s 以下	[dark gray]
10m/s以上	[black]

図8 後方流跡線図および地上風向風速図

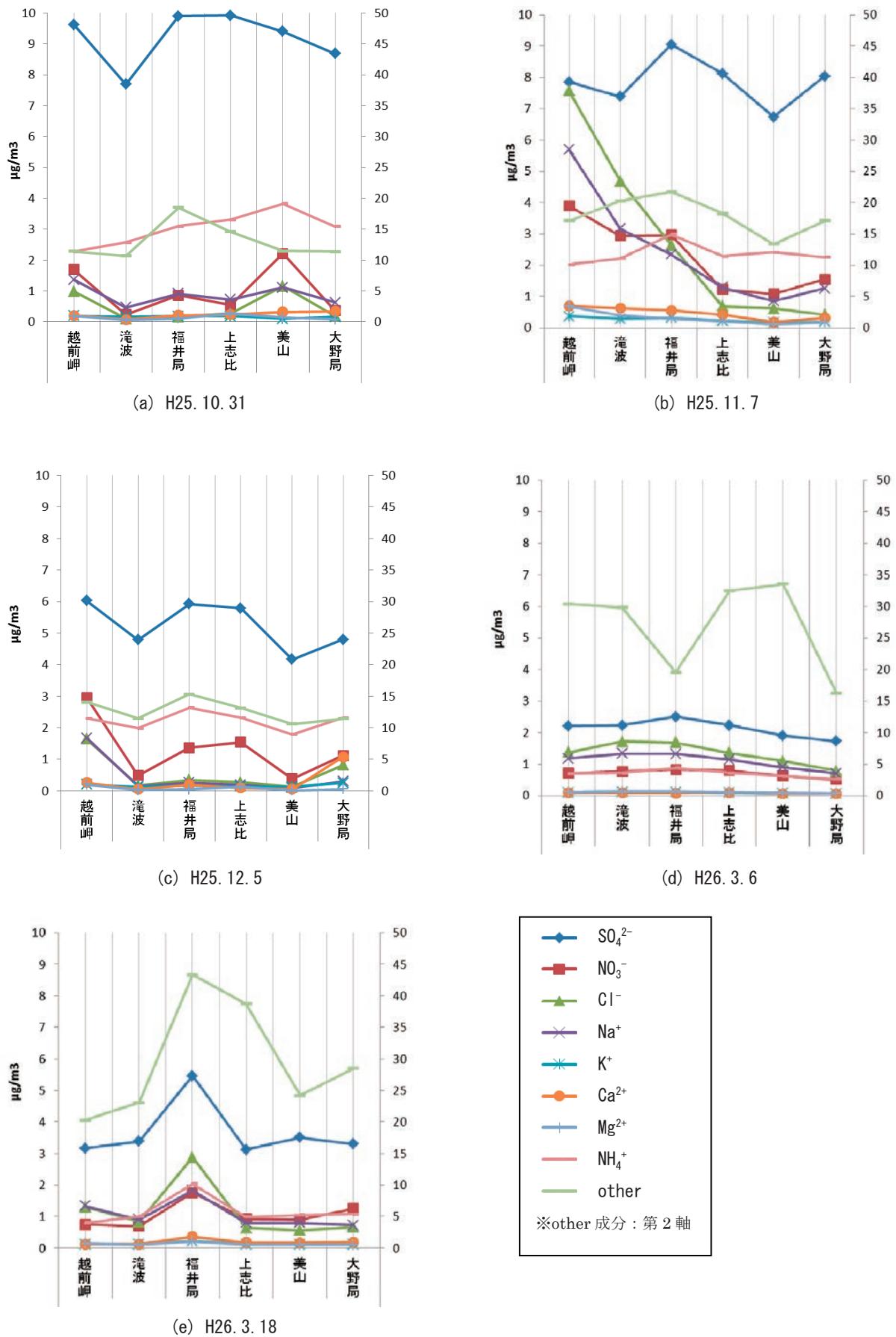


図9 TSPのイオン成分分析結果