

# 岩沼地区における環境粉じんに対する発生源寄与の推定

## Estimated Sources of Particulate Matter in Iwanuma Area

小泉 俊一 佐久間 隆 北村 洋子  
木戸 一博 菅原 隆一 中村 栄一  
鈴木 康民

Syun-ichi KOIZUMI, Takashi SAKUMA, Yoko KITAMURA  
Kazuhiro KIDO, Ryuuichi SUGAWARA, Eiichi NAKAMURA  
Yasutami SUZUKI

宮城県岩沼地区において平成14, 15年度の2カ年にわたり環境粉じんを採取しICP-MSによる多成分分析を実施したところ成分元素構成が異なり、クラスター分析により4グループに分類することができた。また、道路堆積物、畑等自然由来の粉じん及び燃焼施設等固定発生源のばいじんを採取し、蛍光X線分析により多成分分析を実施したところ、発生源により金属の成分構成は大きく異なり、燃料、原料等の違いにより特徴のある結果となった。これらの結果を用い、CMB (Chemical Mass Balance) 法を用い、環境粉じんに対する発生源寄与を推定したところ、大規模工場の重油ボイラ、焼却炉及び土壌の寄与の大きいことが判明した。

キーワード：大気汚染；環境粉じん；CMB

**Keywords** : air pollution ; particulate matter ; CMB

### 1 はじめに

大気中の粉じん（以下環境粉じん）は、その発生源が工場事業場等の固定発生源、自動車等の移動発生源、土壌等の自然に由来するもの、更には、二次粒子と称されるガス性物質が大気中で反応し生成されるもの等非常に多様であり、単なる粉じん量の測定では発生源を特定することが困難であり、粉じん対策や苦情への迅速な対応を困難なものにしている。発生源から排出されるばいじん等は、燃焼、製造操作等の結果として排出されるものであり、その成分構成は燃料、原料の違いなどを反映し特徴のあることが知られている。ケミカルマスバランス（CMB）法は環境試料中の化学組成と、複数の発生源と思われる試料の化学組成から発生源の寄与を求める方法で、環境汚染の発生源の特定に有効な方法であるといわれている。今回、発生源のばいじん及び環境粉じんの成分分析を実施しCMB法による発生源寄与の推定を行ったので報告する。

### 2 方法

#### 2.1 調査地点

環境粉じんの採取地点である岩沼保健所の南方向には大規模工場が位置し、重油、石炭、黒液回収、木くずボイラ及び焼却炉等が稼働している。北方向には中小規模

工場が位置し、骨材乾燥炉、木くずボイラ及び焼却炉が稼働している。更に東側には交通量の多い4号線バイパスが通じている。なお、南西方向に位置している一般廃棄物焼却炉及び北東方向に位置している産業廃棄物焼却炉は平成15年度に廃止され稼働停止している。年間の風向測定結果では、SE、N、NWの風向頻度が高くなっている。

調査地点の概要図を図1に示した。

#### 2.2 試料の採取及び分析法

環境粉じんについては岩沼保健所屋上にハイボリュウムエアサンプラーを設置し、季節ごと年4回24時間サンプリングを実施し、圧力容器で酸分解した後ICP-MSで分析した。燃焼施設のばいじんについては除じん施設（電気集じん機等）から採取し、道路堆積物、畑の土等は採取後ふるい分けをし200メッシュのものを試料とし蛍光X線分析法により分析した。なお、検量線は、NISTの標準粉じんをホウ酸粉末で段階的に希釈し作成した。

#### 2.3 分析装置

ICP-MS

HITACHI P-5000

高周波分解装置

マイルストーン ETHOS PLUS



図1 調査地点の概要図

表1 蛍光X線分析法の検出下限値と定量下限 (mg/kg)

	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb
検出下限値	40	20	20	60	10	5.0	10	0.3	2	3	10	0.2	1	1	2
定量下限値	100	100	100	200	30	20	40	1	10	10	30	1	3	5	5

表2 ICP-MSによる環境粉じん中成分分析法の検出下限値と定量下限値 (ng/m<sup>3</sup>)

	Mg	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	V
検出下限値	5	6	1	0.4	0.2	6	0.5	2	3	3	0.3
定量下限値	15	19	5	1	1	19	2	8	10	9	1

波長分散型蛍光X線分析計

PHIIPS PW1480

X線励起装置 最大電圧 100KV 最大電流 75mA

ターゲット Sc/Moデュアルアノード

検出器 ガスフローカウンタ

シンチレーションカウンタ

2.4 定量下限と検出下限

1) 発生源ばいじん等 (蛍光X線分析)

表1に蛍光X線分析法の検出下限値と定量下限値を示した。

2) 環境粉じん (ICP-MS分析)

表2にICP-MSによる環境粉じん中成分分析の検出下限値と定量下限値を示した。

3 結果と考察

3.1 環境粉じん中の成分分析結果

平成14年度6, 9, 12, 1月, 15年度6, 9, 11, 1月に岩沼保健所屋上で採取した環境粉じん中の成分分析結果を表3に示した。(TSPとは総粉じん量濃度をいう)

環境粉じん濃度は15から60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり平成14年度に比べ平成15年度は若干高めに推移した。成分別にみると、Ti, Cuは平成15年度に低下し、他方Cr, Mn, Pbは増大し、その他の成分は横ばいであり、成分によって異なる変動を示した。構成成分の挙動で類似性の強いものが見られたので対数変換し基準化した後クラスター分析を実施した。その結果、①Mg, Al, Fe, ②Ti, Cu, ③Cr, Pb, Ni, V, ④Mn, Znに分類することができた。①は道路粉じんなど自然由来の粉じんに多く含まれる成分であり、③④は燃焼排ガスに多く含まれる成分である。結果を図2に示した。

3.2 発生源ばいじん, 粉じん中の成分分析結果

石炭, 黒液, 重油を燃料とする製紙工場のボイラー, 石炭, 重油, 廃タイヤを燃料とするタイヤ製造工場のボイラー, 木くずを燃料とする合板製造工場のボイラー, 一般廃棄物焼却炉, 道路舗装材製造工場の骨材乾燥炉から採取したばいじん, 及び道路堆積物, 校庭の砂, 畑の土を蛍光X線分析法により測定した結果を表4に示した。重油焚きボイラーでは, 他の燃焼施設に比べV, Niの高い

表3 環境粉じん中の成分分析結果 (ng/m<sup>3</sup>)

	Mg	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	V	TSP μg/m <sup>3</sup>
平成14年 6月	1,100	480	43	1.0	3.3	330	2>	220	10>	9>		16
9月	1,100	940	110	4.0	16	930	11	170	120	9>		37
12月	360	910	120	1.4	8.5	780	2>	510	93	9>		20
平成15年 1月	930	1,690	190	4.1	14	1,400	8.0	340	10>	12		23
6月	390	690	43	13	16	410	8.1	38	18	11	4.7	35
9月	330	770	65	15	32	650	8.0	98	32	17	3.7	36
11月	430	630	51	10	19	510	4.7	81	56	9>	1.4	35
平成16年 1月	370	800	96	17	38	820	10	170	54	25	4.3	58

表4 発生源ばいじん粉じん等成分分析結果 (mg/kg)

試料名	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	V
D工場 重油ボイラ	1,850	600	11,800	21,000	30>	20>	40>	1,330	711	6,020	1,760	16	223	493	4,050
D工場 微粉炭ボイラ	2,800	3,830	366,000	354,000	30>	5,350	21,200	86	58	29,400	294	42	127	244	500
D工場 回収ボイラ	672,000	100>	100>	200>	19,700	334,000	40>	10>	10>	30>	1>	15	207	493	27
D工場 焼却炉	4,930	3,420	100>	200>	30>	103	40>	10>	28	30>	1>	5	69	164	
D工場 PS炉	1,640	23,600	94,900	112,000	863	635	5,020	20	48	2,310	11	285	103	196	56
Y工場 木くずボイラ	27,500	12,400	8,360	17,400	59,700	30,800	822,000	202	2,200	7,330	10	186	1,110	614	666
T工場 重油ボイラ	196	100>	100>	200>	30>	20>	40>	190	10>	1,400	2,170	17	207	493	10,200
T工場 石炭ボイラ	8,700	2,340	30,500	57,000	100	3,120	3,850	31	215	37,200	12	183	79,500	486	64
T工場 焼却ボイラ	9,870	4,460	6,820	140,000	1,700	4,000	2,600	86	138	17,800	10	110	168,000	969	27
I工場 焼却ボイラ	400,000	7,540	16,700	23,400	388,000	116,000	2,740	164	95	1,810	1>	284	5,840	592	24
H工場 焼却炉	86,000	19,100	53,000	42,500	37,000	21,000	11,400	39	288	16,100	7	142	206	175	62
DS工場 木くずボイラ	28,800	3,140	100>	200>	100,000	19,700	439	10>	124	308	11	26	241	196	7
M工場 乾燥炉	25,500	8,550	60,600	185,000	2,800	7,220	4,560	10>	1,330	64,200	1	22	187	175	84
NH工場 焼却炉	21,700	21,500	59,900	177,000	30>	7,950	3,020	89	1,090	48,000	39	26	188	175	92
N工場 リサイクル乾燥炉	48,100	19,100	100,000	275,000	1,200	16,000	6,660	42	1,910	90,700	10	26	245	183	150
N工場 乾燥炉	27,300	35,800	59,100	172,000	200	6,400	2,150	108	799	41,700	82	29	1,100	669	85
I小学校	15,000	14,100	108,000	331,000	200	10,800	3,130	15	632	35,300	1	7	92	196	76
I中学校	10,400	46,900	98,000	291,000	30>	27,700	7,630	36	1,550	81,600	4	20	236	492	
畑	8,400	13,600	108,000	286,000	30>	13,300	4,580	23	957	60,300	5	21	224	491	
道路粉じん(1)	11,000	11,900	61,700	197,000	30>	8,290	4,440	86	970	56,800	18	50	449	488	128
道路粉じん(2)	11,400	9,730	63,800	197,000	30>	7,250	4,380	48	865	46,900	12	37	285	490	

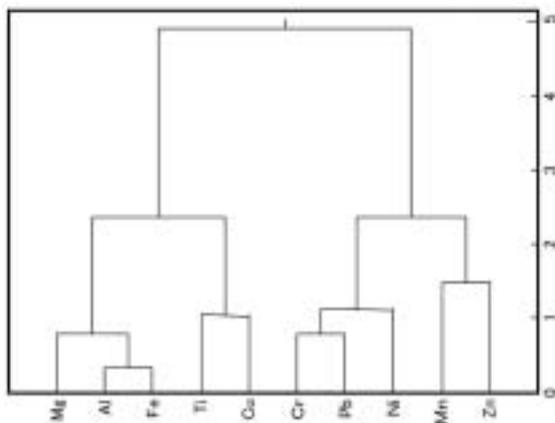


図2 環境粉じん構成成分のクラスター分析結果

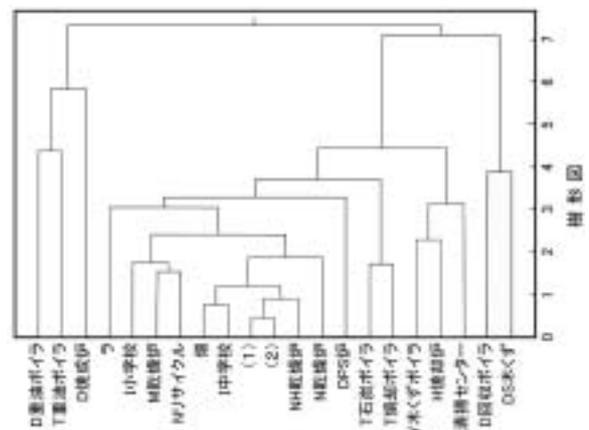


図3 発生源ばいじん、粉じんのクラスター分析結果

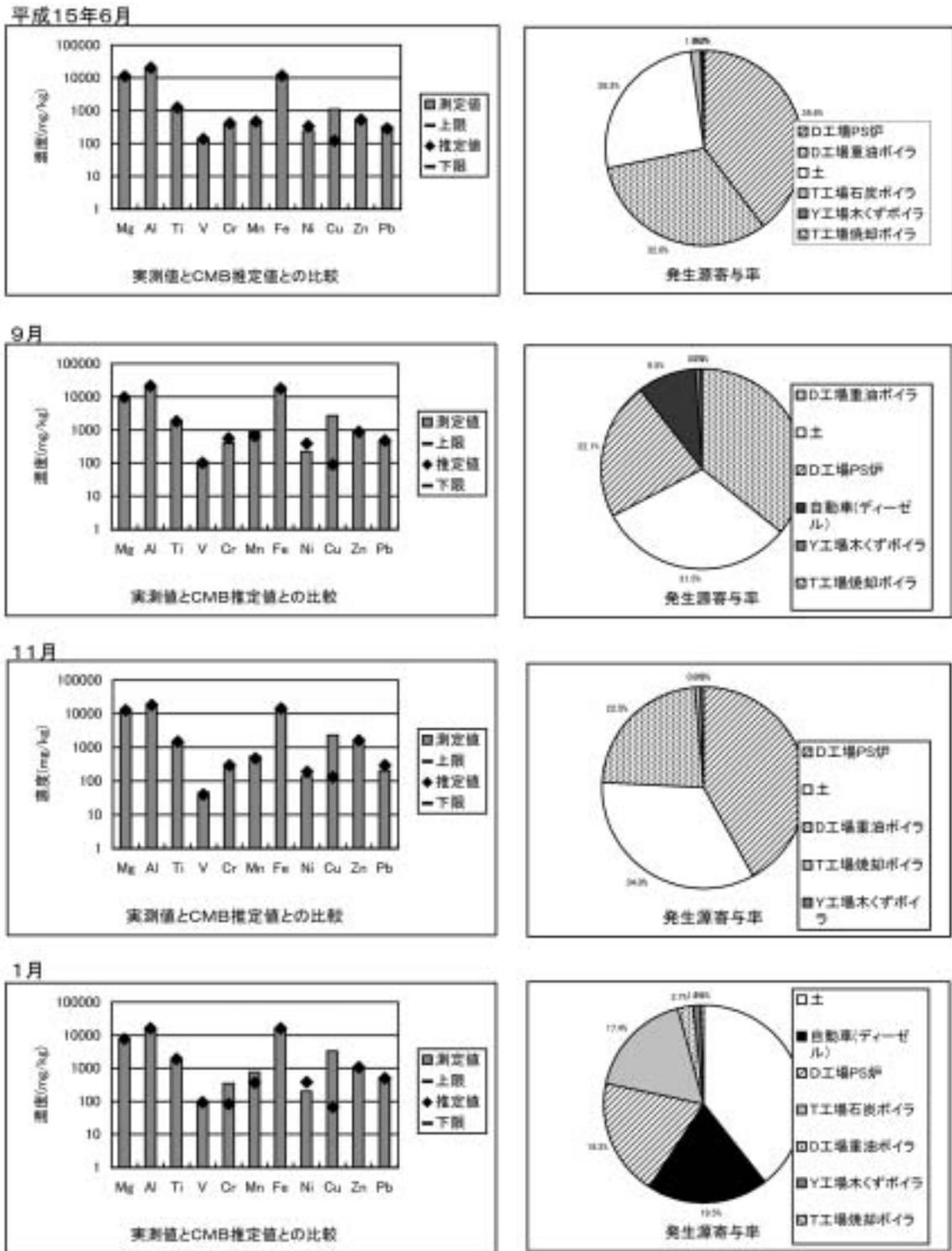


図4 環境粉じん成分の実測値とCMB推定値及び発生源寄与率

ことが特徴であるが、D工場とT工場では原油産地の違いによると思われるが、Al, Si等の成分構成が異なっている。石炭焼きボイラでは、Al, Si, Ti, Feがそれぞれ0.3~35%程度含まれており、これらの元素が主成分となっているが、D工場とT工場の石炭ボイラでは、その成分構成も異なっており、さらに、T工場ではZnが特異的に高くなっている。これは、T工場の石炭ボイラでは廃タイヤ

も混焼しており、タイヤに1%程度含まれるZnが影響しているものと思われる。T工場の焼却ボイラは、廃タイヤを燃料としており、Si, Fe, Znが主成分であるが、前述の理由でZnが20%の高比率を示している。黒液回収ボイラでは、クラフトパルプ製造工程で黒液からソーダ分を回収するボイラであり、発生するばいじんも、Na, Kがほとんどで、他の燃焼排ガス中のばいじんと大きく異

なる性状となっている。PS炉は、水処理施設のペーパーラッジ（汚泥）焼却炉であり、Mg, Al, Siが主成分である。木くず焼却ボイラでは、Na, Mg, Cl, Kが数%含まれているが、Al, Si等は焼却施設により大きく異なる。また、他の焼却施設に比べ、Clの含有率が高いことが特徴である。一般廃棄物焼却炉では、Na, Kが非常に高く、その他Al, Siが数%程度含まれている。道路舗装材の乾燥炉では、Na, Mg, Al, Si, Feが主成分となっている。道路堆積物、畑等、自然由来の粉じんは、Na, Mg, Al, Si, Feが主成分となっているが、その成分構成はほとんど同じである。発生源粉じん間で類似性の強いものが窺え、対数変換し基準化した後、クラスター分析を実施し類型化した結果を図3に示した。燃料及び扱う原材料により排出されるばいじん、粉じんの成分構成は特徴付けられ、①重油焼却施設、②石炭焼却施設、③道路粉じん等自然由来の粉じん及び骨材乾燥炉、④廃水処理に伴う焼却炉、⑤廃タイヤ焼却施設、⑥木くず等焼却施設、⑦回収ボイラに類型化される。

なお、道路粉じん等自然由来の粉じん及び骨材乾燥炉のばいじんが非常に類似した成分構成となっている。これは道路舗装材を製造する骨材乾燥炉の原材料が、砂、碎石等であることによると思われる。

### 3.3 CMB法による発生源推定の試み

発生源粉じんと環境粉じんの分析項目は、必ずしも一致していない。そこで、これらに共通する分析項目を用い、更に、文献値<sup>3)</sup>であるがディーゼル排ガスの分析値を加え、CMB法の適用を試みた。ただし、ばいじん、粉じんの成分構成が類似しているものは重複をさけるため集約し、回収ボイラ、清掃工場にみられるように高い含有率を示す項目（Na）があるものの、環境粉じんでは測定していない発生源については除外し、又、平成15年度には稼働停止した施設についても除外した。

なお、環境粉じんの各成分の濃度は、捕集された総粉じん中の濃度（mg/kg）とし、発生源粉じん中の各項目の単位に統一した。また、CMB法は、各測定法の誤差を考慮した有効分散最小自乗法を採用した。平成15年度の結果を用いCMB法を適用した結果を図4に示した。実測値とCMB推定値を比較してみると、Cuの推定値が実測値の10分の1程度になっている以外は非常に良く合致している。Cuについては、今回対象とした発生源以外の影響があると思われる。

発生源寄与率をみると、D工場の重油ボイラ、PS炉、

土壌の寄与率が非常に高くこの3者で80%以上の寄与をしめるが、NE系の風が卓越すると東側を南北に通じる国道4号線からの自動車排ガスの影響も見られるようになる。

## 4 ま と め

- ① ばいじんは、焼却及び、製造操作の結果として排出されるものであり、その化学組成は、燃料の違いなどを反映して、それぞれの特徴を持つことから、クラスター分析したところ7グループに分類することができた。数多くのこれらの特徴をデータベース化することにより、粉じんの苦情発生時等に迅速で正確な対応が可能になるものと思われる。
- ② 環境粉じん中の各成分構成は類似したものがあり、自然由来に属するもの、焼却排ガスに由来するものなどに分類することができた。
- ③ CMB法による発生源寄与について推定したところ、D工場の重油ボイラ、PS炉、土壌の寄与が非常に高く、季節によっては移動発生源（ディーゼル車等）の寄与も大きくなる結果となった。工場事業場の平成15年度の排ガス測定結果（自主検査）をみると、D工場のこれら施設から排出されるばいじん濃度は、数mg/m<sup>3</sup>と非常に低い濃度で推移しているが、排ガス量が大きいためばいじんの排出量は大きくその寄与も大きくなっているものと思われる。

## 5 謝 辞

長期にわたり蛍光X線分析装置を使わせていただき、また御指導、御助言を頂きました宮城県産業技術総合センターの皆様に深謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 浮遊粉じんの発生源推定に関する調査研究報告書、横浜市公害研究所（1989）
- 2) 浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル、浮遊粒子状物質検討会（1997）
- 3) 大気環境保全技術研修マニュアル、(社)海外環境協力センター、301（1998）
- 4) 花石等：CMB計算用Excelマクロの紹介、第26回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集（1999）