

に埋もれやすいことが示唆された。

なお、Pb で規格化した 2012 年 8 月の Zn、Cd および Pb の存在比は、地殻のそれに近づいたことから、これは操業停止の効果が現れた結果と考えられた。ただし、このときの Cd の比率は地殻の 2 倍以上であることから、事業所周辺は一般的な土壌に比べて Cd が相対的に多く含まれていることが示唆された。なお、この時の降水量が当該地域のバックグラウンドに近いレベルであろう。対照地点 X (2005.4~2013.3) の Pb で規格化した Zn、Cd および Pb の存在比は、地殻のそれとほぼ同じであることから、Zn、Cd および Pb に関して X は、特定の工場等の影響を受けない適切な対照地点であることが示された。

3.3. 調査地点 I~IV の比較

3.3.1. Zn, Cd および Pb 降水量の平均値

I~IV を比較すると、Zn、Cd および Pb 降水量はいずれも事業所東側の II が最も多く (Fig. 3 (a))、Zn と Pb は他のすべての地点と、Cd は I および IV と有意差 ($p<0.05$) が見られた。また、降下ばいじん中割合も II が最も高く (Fig. 3 (b))、Zn、Cd および Pb は I および IV と有意差 ($p<0.05$) が見られた。飯島ら (2006) は当該事業所の排出口から拡散する Cd の動態を、プルームモデルを用いてシミュレートしている。その結果によれば、事業所の東側は排出口からのプルームの直接的な影響を強く受けることが示唆されており、実際に SPM 中の Cd 濃度も事業所東側の監視局 (Fig. 1 の ii) において最高値を示した (飯島ら, 2006)。このことは、降下ばいじん調査において、Zn、Cd および Pb 降水量が II において最高になった結果と整合する (Fig. 3 (a))。したがって、事業所の東側は大気排出の影響を強く受ける特性を有することが考えられた。

3.3.2. Zn, Cd および Pb の風向別相関図

I~IV における Zn、Cd および Pb 降水量の風向別相関図を Fig. 4 に示した。また、監視局 i、iii および iv の風向データから作成した風配図も併せて示した。なお、ii の風向データは Calm が 59% と他の監視局よりも異常に高く、利用できるデータ数が不足したため、II における風向別相関図の作成には、周辺建物等の影響

が少なく、事業所近傍の風向を代表すると考えられた i の風配図データを代用した。i、iii および iv の風速はいずれも平均 2 m/s 程度であり、地点間の差はほぼなかった。

Fig. 4 から I、II および IV の Zn、Cd および Pb は、事業所方向からの風向と有意な正の相関を示し、事業所の影響を効果的に捉えていることが示された。一方、III は事業所との距離が近いものの、事業所方向の風向とは有意な相関を示さなかった。ここで iii の風配図をみると、その風向は事業所に対して平行した東西方向に偏っており、事業所方向からの南よりの風はあまり吹かないことがわかる。III において事業所方向からの風向と正の相関を示さなかった要因は、この点にあるのかもしれない。

3.4. 降水量と PRTR データの比較

PRTR データは当該事業所から排出される年間総量である。そこで、この値と直接比較できるように事業所の周辺地域に対する Zn、Cd および Pb の年間総降水量を試算した。試算にあたっては、前述のとおり当該地域のバックグラウンドレベルと推察された 2012 年 8 月の Zn、Cd および Pb 降水量を差し引いた。なお、バックグラウンドは常に一定であると仮定した。試算における対象地域は I~IV によって囲まれたエリア (Fig. 1) とし、この面積を地点間の距離からヘロンの公式によって 0.56 km^2 と算出した。I~IV における当該年度の降水量の算術平均値からバックグラウンドを 1 年分差し引き、これにエリア面積を乗じて当該年度の総降水量を求めた (Table 2)。Cd および Pb の年間総降水量と PRTR データの間には相関は見られなかったものの、両者の値は概ね近かったことから、事業者が届け出た PRTR データの妥当性が窺えた。一方、Zn も Cd および Pb とともに当該事業所の影響によって周辺環境に降下していることが確認されたものの、PRTR データでは 0 kg/year であった。しかし、PRTR 制度では Zn の水溶性化合物のみが対象であることから、事業所から大気排出される Zn がすべて不要性の金属 Zn か酸化 Zn 等である場合には、大気排出は 0 kg/year のままでよい。ただし、Cd および Pb の年間降水量と、PRTR データの関係から予測した Zn の大気排出量は 300 kg/year 程度

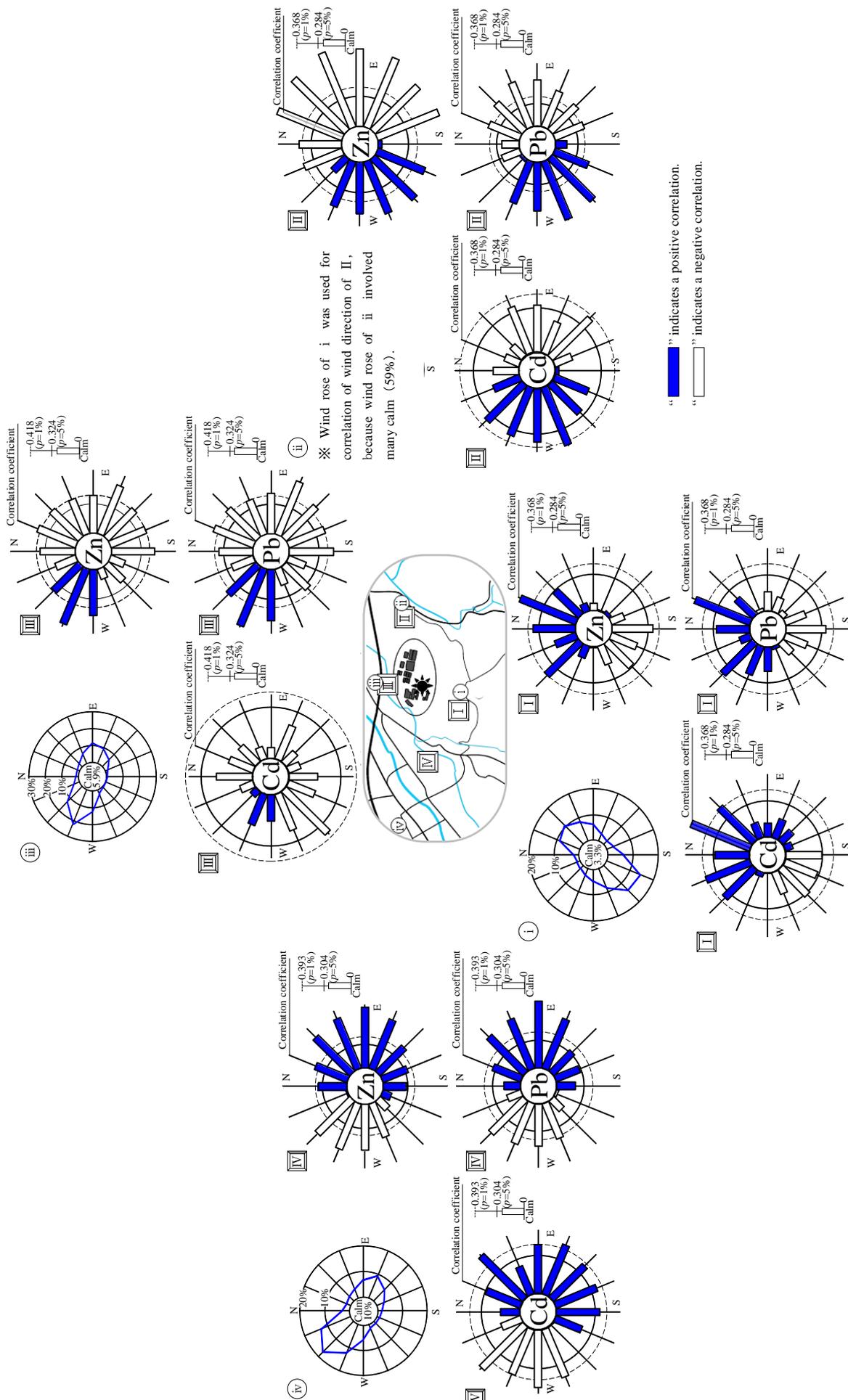


Figure 4 Wind roses at monitoring stations i to iv, and correlation between the wind direction and the deposition of falling dust, Zn, Cd and Pb at monitoring points I to IV, from April, 2009 to March, 2013.

Table 2 Amount of air emission from the metal refining plant and annual deposition to surrounding area

Year	Zn (kg/year)		Cd (kg/year)		Pb (kg/year)	
	Air emission	Deposition	Air emission	Deposition	Air emission	Deposition
2005	0	202	2.7	3.2	11	6.2
2006	0	211	1.3	2.3	4	8.3
2007	0	203	1.6	2.9	16	6.9
2008	0	166	1.6	3.3	14	7.9
2009	0	202	2.2	2.0	22	8.9
2010	0	225	1.9	1.1	20	8.8
2011	0	213	2.0	0.8	19	6.6

Amount of air emission cited from the data of PRTR.

Deposition is calculated by square measure of surrounding area of metal refining plant and average of deposition at I to IV.

であるため、この中に水溶性化合物が含有されていないか確認する必要がある。PRTR 制度は、有害化学物質による環境汚染を未然に防ぐことを目的に、化学物質の排出および移動に関して事業者自主的な管理を促すものである。そのため、排出量の算出方法は事業者にある程度委ねられているものの、排出量をより正確に把握することは当然望ましく、今後は排出される Zn の化学形態を考慮した事業所指導が必要になるかもしれない。正確な排出実態を把握することは、リスクコミュニケーションに資するなど、事業者と周辺住民との良好な信頼関係の構築にも貢献するであろう。

4. まとめ

金属精錬事業所周辺における降下ばいじん中重金属 (Zn、Cd、Pb) の挙動について、気象観測結果および大気排出の PRTR 届出量との関係を解析した結果、以下の知見が得られた。

- A) 事業所周辺の Cd 降下量には、経時的な減少傾向が認められたものの、対照地点に比べて Cd を含む Zn と Pb の降下量は有意に高く、それらの降下ばいじん中割合も有意に高かった。このことから、依然として周辺環境に対する事業所の影響の存在が確認された。特に事業所の東、西、南側の調査地点では、重金属の降下量と事業所方向からの風向には有意な正の相関が見られた。しかし、北側の調査地点ではその傾向が見られなかったが、これは事業所方向からの風向が極端に少ないことが要因であろう。
- B) 事業所の操業が停止していた 2012 年 8 月は、すべての調査地点で Zn と Cd の降下量とそ

の降下ばいじん中割合は顕著に低下した。ただし、Pb の低下は Zn と Cd のそれに比べて緩慢であり、地殻 (土壌) に対する特異性も乏しいことから、Pb は事業所の影響をみるうえでは指標性が低いことが示された。なお、この時の重金属の降下量が当該地域のバックグラウンドレベルであろう。ただし、この時の Pb に対する Cd の存在割合は、地殻のそれよりも高いことから、事業所周辺の土壌は一般的な土壌よりも Cd が相対的に多く含まれていることが示唆された。

- C) 前述した A) および B) の知見を総合的に考慮すると、より効率的で効果的な事業所の監視体制としては、事業所の東、西、南側の地点において、Zn および Cd を監視調査すれば十分であることが考えられた。
- D) PRTR データにおける Cd および Pb の大気排出量は、事業所周辺の Cd および Pb の年間総降下量の実態と概ね合っていたことから妥当性が窺えた。一方、Zn は PRTR データの大気排出量が 0 kg/year であり、Zn の年間総降下量とは合わなかったが、PRTR 制度の対象が水溶性化合物のみであることから、今後は事業所から排出される Zn の化学形態を考慮した事業所指導が必要かもしれない。

文献

- 飯島明宏, 堀越壮一, 田子博, 熊谷貴美代, 富岡淳, 加藤政彦, 関順司, 小澤邦寿, 2006: 亜鉛精錬工場周辺地域における浮遊粒子中カドミウムの動態解析. 全国環境研会誌, 31(4), 206-212.
- 群馬県, 2012: 群馬県環境白書 (平成 24 年度

- 版) , 136-139.
- 早狩進, 2002: 気象解析アドイン集, Excel アドイン工房, [.http://www.jomon.ne.jp/~hayakari/index.html](http://www.jomon.ne.jp/~hayakari/index.html).
- Nomiyama K, Yotoriyama M, Nomiyama H. 1983: Dose-effect relationship between cadmium and β 2-microglobulin in the urine of inhabitants of cadmium-polluted areas (Japan), *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **12(2)**, 147-150.
- Winter M. 1993-2012: Abundance in Earth's crust: periodicity,http://www.webelements.com/periodicity/abundance_crust/.
- 日本経済新聞 (電子版) , 2012 年 4 月 5 日記事, http://www.nikkei.com/article/DGXNASDD050K8_V00C12A4TJ0000/.
- 日本薬学会, 2000: 衛生試験法・注解, 980.
- Xian X. 1988: Distribution of cadmium and zinc in field and paddy field a zinc smelter, *J. Environ. Sci. Health Part A*, **23(2)**, 157-167.