

札幌市内小学校校庭における冬期飛来塩分量の評価

Estimation of the wintertime salt deposition at elementary school yards in Sapporo

野口泉, 山口高志(北海道立総合研究機構), 辻野二郎, 藤原大作(北海道電力株式会社)
Izumi NOGUCHI, Takashi YAMAGUCHI, Jiro TSUJINO, Daisaku FUJIWARA

1. 研究目的

近年, 地球温暖化対策として, また財政難でもあることからロードヒーティングを停止し, 代わりに凍結防止剤の散布を強化する傾向にある¹⁾. 一方で, それに伴う実態把握や構造物および生態系への塩害影響評価は重要となる. 札幌市北区における長期観測結果では, 1-4月の粒子状ナトリウムおよび塩化物イオンは, 全粒径では大きな変化がないのに対し, 近隣で発生する割合の大きい $10\ \mu\text{m}$ 以上の粗大粒子においては, 10年で40%もの増加傾向にあり, その割合は約20%前後と, 凍結防止剤の散布強化の影響が指摘されている²⁾. これらのことから, 凍結防止剤による環境中塩分濃度への影響評価を行うとともに, 鋼構造物などへ塩害の影響評価のための研究は急務と考えられた.

そこで, 本研究では, 環境保全も考慮した適切な凍結防止剤散布, さらに鋼構造物の劣化・腐蝕の予測, また予防策に活用することを目的とし, 積雪成分調査により, 北海道内および札幌市内の飛散塩分量の評価を行い, 広域および都市部での塩分分布状況の評価を実施した. さらに札幌市内を中心に小学校の鉄棒に付着した塩分量の評価も合わせて行った.

2. 研究方法

2.1 調査概要

塩分濃度の高い冬期に注目し, 2月中旬から3月上旬の最大積雪時期に, 札幌市内の26小学校(図1参照)の校庭で, また北海道内62地点で積雪成分の調査を行った. 調査地点は, 積雪時に人の出入りのない開けた地点で行った. 道内全域では海岸からの距離に応じた塩分濃度の変化などの広域分布状況の把握などが目的であり, 地域的

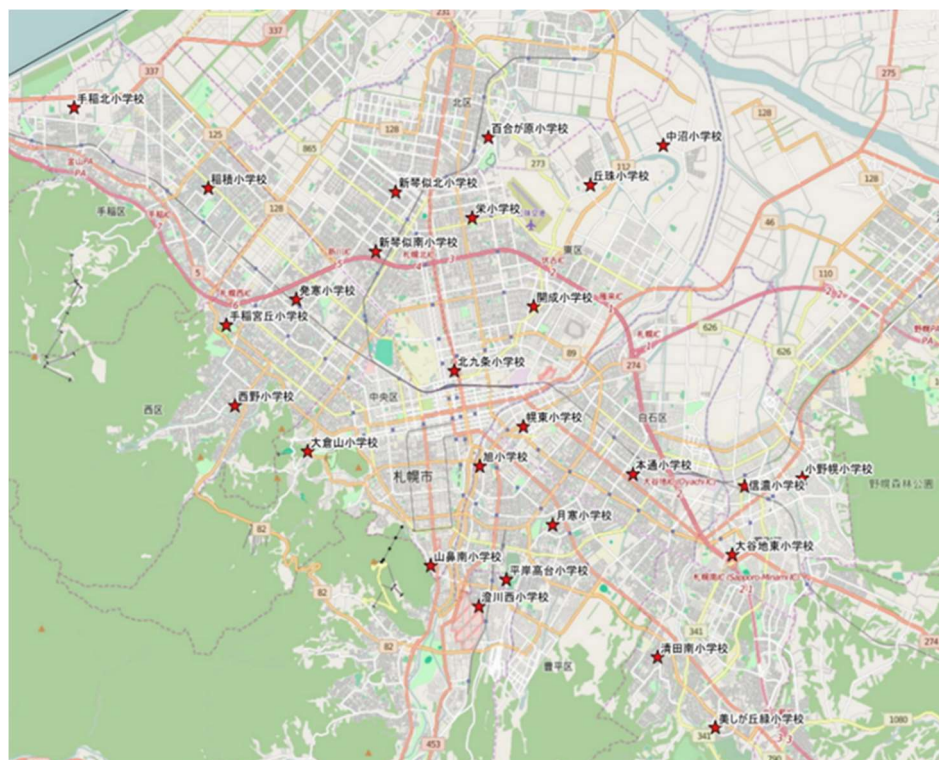


図1 積雪成分調査を行った札幌市内26小学校

な汚染の影響を受けにくい地点を選択した。一方、札幌市内では、教育委員会の協力を得て、市内202校に冬期の校庭の状況などについてアンケート調査を行い、回答のあった106校から地域に偏りがないように対象校を選定した。またほとんどの小学校に存在する鉄棒を対象に、鉄棒での塩分付着状況を把握するためのふき取り調査も同時に行った。それぞれの調査方法は以下の通りである。

(1) 積雪試料

札幌市内の26小学校の積雪試料は、2016年2月23～25日の3日間で、全道の調査は、2月16～3月4日に調査を行った。試料は、ステンレスパイプを加工したスノーサンプラー(断面積23.8 cm²)を用い、全層を一括採取した³⁾。試料は、重量測定後、実験室内で融解し、pHと電気伝導率(Cond.)を直ちに測定した。イオン分析用試料は、メンブランフィルター(ポアサイズ0.2 μm)でろ過を行い、分析まで冷蔵庫で保存した。イオン分析は、主要塩分である塩化物(Cl⁻)、ナトリウム(Na⁺)、マグネシウム(Mg²⁺)、カルシウム(Ca²⁺)およびカリウムイオン(K⁺)に加えて、腐食成分である硫酸(SO₄²⁻)、硝酸(NO₃⁻)およびそれらのカウンターカチオンである(NH₄⁺)を測定対象とした。これらの成分はイオンクロマトグラフ法で測定した。

(2) 鉄棒付着塩分量

2015年12月16および17日に、札幌市内26小学校において積雪採取場所および拭き取り対象鉄棒の選定を行った。この際に対象鉄棒のクリーニングを行い、約2か月経過後の2月に、支柱からの溶出の影響などを考慮し、両側10 cmを除いた中央部をガーゼにてふき取り、純水100 mlにて抽出後、付着塩分量を測定した。分析は前述の積雪試料と同様にイオンクロマトグラフ法を用いた。なお、鉄棒は亜鉛メッキをしている、あるいはしていたものであった。そこで、高濃度のSO₄²⁻が検出された試料、すなわち酸の付着があった鉄棒の試料についてのみ、誘導結合プラズマ発光分析計(ICP-OES)にて、水溶性亜鉛イオン(Zn²⁺)、鉄イオン(Fe³⁺)についても測定を行った。

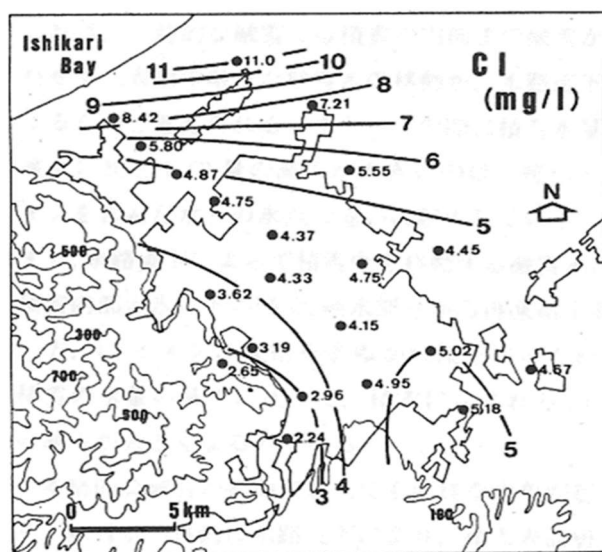
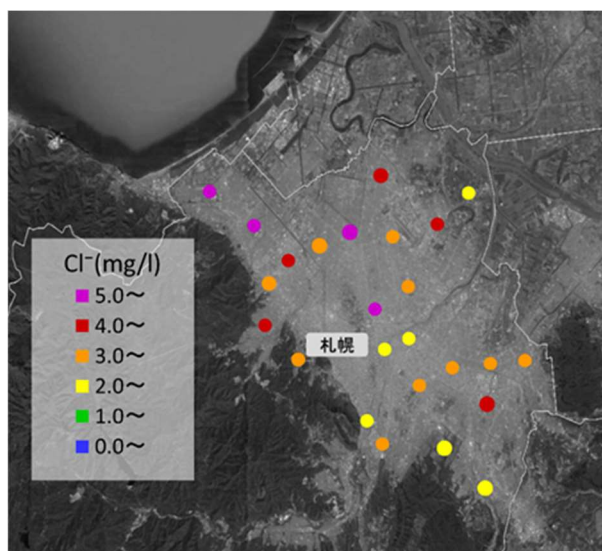


図2 積雪中Cl⁻濃度
(上段：本調査結果，下段：鈴木, 1985)

3. 研究の結果と考察

3.1 札幌市内の積雪成分調査

Na⁺とCl⁻濃度は、海塩組成重量比(Na⁺/Cl⁻比: 0.55)と同様の比を示し、相関係数も1に近かった。また、イオン当量濃度による組成では、Cl⁻イオンの寄与が最も大きく、次いでNa⁺の寄与が大きかった。

海塩成分の指標であり、鋼構造物の腐食にも大きく寄与するCl⁻濃度の範囲は2.08～6.72 mg/l、降水量の重み付け平均濃度は3.82 mg/lであった。

この濃度範囲は鈴木 (1985) が調査を行った1980年の調査結果と同様であり、その分布状況もよく似ていた (図2参照)。1980年当時は、まだスパイクタイヤが使用されており、凍結防止剤の散布はほとんどなかった。年により、降雪量、積雪量も異なり、海塩の濃度分布も多少の差はみられるが、海塩成分濃度の変動は比較的少ない傾向にあることから⁴⁾、

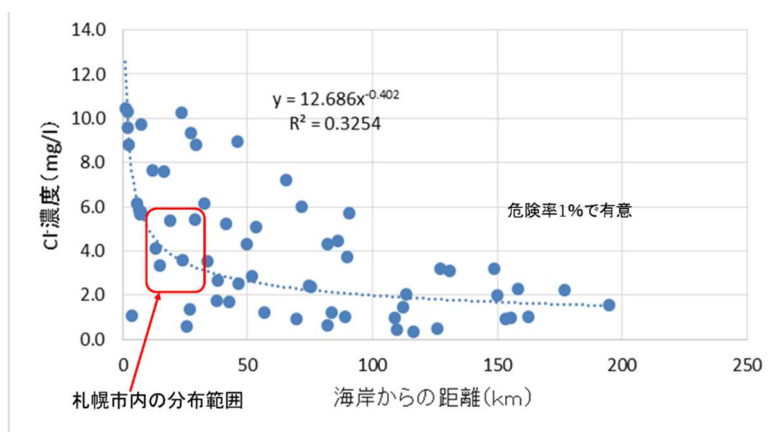


図3 海岸からの距離と積雪中のCl⁻濃度

当時と同程度の濃度が観測されたことは、凍結防止剤の影響はあまり顕著ではなかったと推測された。

3.2 北海道全域の積雪成分調査

札幌市内の積雪成分と同様に Na⁺と Cl⁻濃度は、海塩組成重量比と同様の比を示し、相関係数も1に近かった。また、イオン当量濃度による組成では、Na⁺およびCl⁻イオンの合計の寄与は32~79%と、札幌市の場合と比べて地域差もあり、ばらつきが大きかったが、成分の中ではいずれの地点もCl⁻が最も寄与が大きく、内陸の2地点(足寄および置戸)を除いては次いでNa⁺の寄与が大きかった。これらは主に海塩由来と考えられ、Cl⁻濃度は海岸からの距離に比例するものと考えられた。そこで、海岸からの距離とCl⁻濃度の関係について検討した結果、有意な相関が得られた (図3参照)。この関係において、札幌市内の調査結果の範囲をみると、特段の高濃度は見られず、凍結防止剤の顕著な影響は確認できなかった。

3.3 札幌市内の鉄棒拭き取り調査

鉄棒付着塩分では積雪とは異なり、Na⁺とCl⁻の比は海塩成分と大きく異なる場合が多く、Cl⁻付着量が少ない傾向がみられた。一方、Na⁺過多の場合は、代わりにSO₄²⁻付着量が多くなる傾向がみられた。さらに、錆が少なく、SO₄²⁻付着量が多い試料では陰イオンに比べて陽イオン量が少なく、イオンバランスが良くない場合があり、鉄棒からの金属イオンの溶出が考えられた。このことから、SO₄²⁻付着量が多い試料について、本体を構成するFeとメッキ成分であるZnについて水溶性成分測定したところ、Feの溶出(Fe³⁺)は少なかったが、Zn²⁺の溶出が認められ、イオンバランスも改善された (図4参照)。一方、Na⁺とCl⁻のバランスが悪かった場合では、特に錆のない試料においてNa⁺とCl⁻+SO₄²⁻でバランスが取れる傾向にあり、その相関はNa⁺とCl⁻の場合

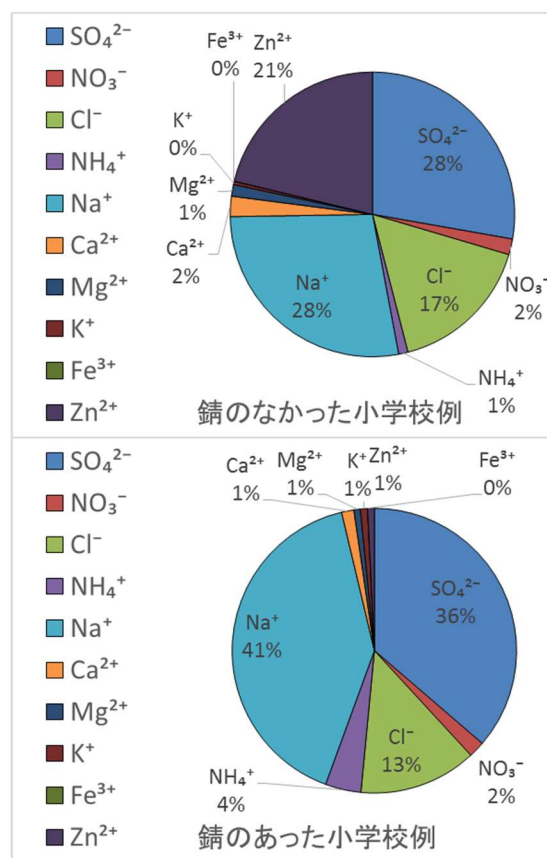
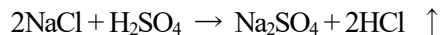


図4 鉄棒付着成分の組成

よりも強かった (図5 参照).

積雪中の Na^+ と Cl^- 成分は、降雪および沈着した粒子成分を含むが、これらの成分比は非常に良い相関が見られ、 Cl^- が少ない傾向は特に見られない。これらのことから、鉄棒に付着した NaCl の内、 Cl^- のみが以下の式の反応により、 SO_4^{2-} に置き換わり、飛散したと考えられた。 HCl のガス化を生じる同様の反応は、粒子状の NaCl と HNO_3 ガスの反応が良く知られている。



SO_4^{2-} 付着量は海塩成分比より多く、その多くは二酸化硫黄 (SO_2) に由来するものと判断された。すなわち、濡れたり乾いたりを繰り返す鉄棒表面という反応の場を得ることにより、①濡れ状態における SO_2 の取り込み、②硫酸化、③乾燥時に反応による HCl の放出、が起こったと考えられた。一方、亜鉛メッキの場合は、②の過程で Zn が溶け出すことにより、イオンバランスが維持されたと考えられた。そのため、 $\text{Na}^+ + \text{Zn}^{2+}$ と $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ の相関はより強かったと考えられた (図5 参照)。

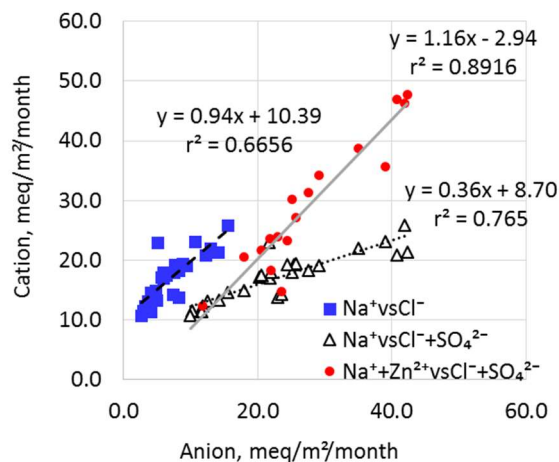


図5 鉄棒付着成分の相関

4. 結論

札幌市内の26小学校において積雪および鉄棒付着塩分量調査を行った結果、凍結防止剤散布の顕著な影響は確認できなかった。一方、校庭の鉄棒に付着した塩分量調査では、 Na^+ に比べて Cl^- 濃度が低くなっており、 SO_2 の取り込みにより、 Cl^- が HCl として飛散したと考えられた。また、錆のない/少ないメッキが残っている鉄棒ではメッキ成分の Zn の溶出が確認された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご助成を賜りました公益財団法人ソルト・サイエンス研究財団に深く感謝申し上げます。また、調査にご協力いただいた札幌市教育委員会、札幌市立小学校の担当者、また全道積雪調査における協力機関および担当者に深謝申し上げます。

引用文献

- 1) 札幌市: ロードヒーティング, http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/jigyou/rh_info.html (2016.6.3 アクセス).
- 2) 野口泉, 山口高志 (2014) 大気中海塩成分の挙動と塩害に関する研究の展望. 第21回大気環境学会北海道東北支部集会, 22-23, 11月14日, 仙台, <https://sites.google.com/site/jsaehokkaidotohoku/home/news/di21huidaqihsuanjingxuehuibeihaidaodongbeizhibuzonghuigaxingwaremashita> (2016.6.3 アクセス).
- 3) Noguchi, I., Kato, T., Sakai, S., Iwata, R., Akiyama, M., Otsuka, H., Sakata, K., Aga, H., Matsumoto, Y. (2001) Snow Cover Components in Northern Japan. *Water, Air and Soil Pollution*, 130, 421-426.
- 4) Network Center for Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET), Scientific Advisory Committee of EANET at its Tenth Session (Ed.) (2010) *Technical Manual for Wet Deposition Monitoring in East Asia -2010*.
- 5) 野口泉, 山口高志 (2012) 2012年の空知地方などの豪雪とその化学成分. 北海道の雪氷, 31, 135-138.