

尿素の散布量と融解した氷の質量の関係について

班員 浅田 遥音, 塩崎 隆登, 正武田 大悟, 三柳 凜乃
担当教諭 小渊 裕香

キーワード：尿素, 融雪剤, 凝固点降下

We researched the effectiveness of urea as a snow melting agent. We sprayed urea on ice and measured the amount of melted ice. In this experiment, we found that an effective urea application is 4.0 g for a snow melting agent when 54 cm² of ice is melted in an hour. Also, longer experiments can increase the effectiveness of urea as a snowmelting agent.

1 はじめに

尿素は融雪剤として用いられている。融雪剤は氷や雪を融かすために使われ、尿素融雪剤は、凝固点降下の仕組みを利用した融雪剤である。尿素を氷の表面に散布すると、尿素が氷の表面の水に溶解する。このとき、溶解した尿素が水分子の結びつきを妨げるため、凝固点降下が起こる。それにより、固体の状態で存在できない水が現れ、その分の氷が融解する。

尿素融雪剤は、塩害を生じさせないというメリットがある。尿素融雪剤が普及することで、塩害によって植物の生育が妨げられることや、金属が錆びることを避けることができる。しかし、尿素は塩化カルシウムと比べて、融雪剤として広く使用されていない。その理由として、他の融雪剤と比べてその効果についての先行研究が少なく、現状では知見がほとんど存在しないことが考えられる。また、散布量の目安が尿素融雪剤の販売元によって、20 g/m²から200 g/m²と異なり、最適な散布量が不明である。そのため、現状としては、一般には融雪剤として塩化カルシウムがよく用いられ、尿素融雪剤はほとんど普及していない。

そこで、本研究では、尿素的融雪剤としての最適な散布量を示すことを目的とした。尿素を氷の表面に散布し、その散布量と融解した氷の質量(以下、融氷量とする)の関係を調べた。

2 実験方法

散布した尿素が氷の表面積に占める割合を調べるために、尿素1粒の粒径と質量を尿素100粒分計測し、それらの平均値を求めた。

尿素は楕円形であり、尿素1粒が氷と接する面積は0.0031 cm²、尿素1粒の質量は0.0037 gであった。

〈予備実験〉

尿素的融雪剤としての効果を調べるために予備実験を行った。

予備実験は先行研究⁽¹⁾の方法を参考にした。純水100 gを入れた直径10.1 cmのプラスチック容器を冷凍庫に入れ、氷(表面積54 cm²、直径8.3 cm、高さ2.0 cm)を作った。尿素的散布量と融氷量の関係を調べるために、尿素をそれぞれ0.50 gから4.0 gまで0.50 gごとに氷の表面に散布した。このとき、氷の表面で尿素どうしが重なり合わないよう散布した(図1)。その後、一定の温度下で実験を行うために、氷を-2.0℃から0℃の範囲で保った冷凍庫内で1時間放置した。このとき、プラスチック容器内の水分の蒸発を防ぐため、蓋を被せた。

1時間後、容器から氷を取り出し、氷のまわりに付いた溶液をふき取った後、残った氷の質量を測り、融氷量を以下の式で求めた(図2)。

(融氷量) =

(もとの氷の質量) - (残った氷の質量)

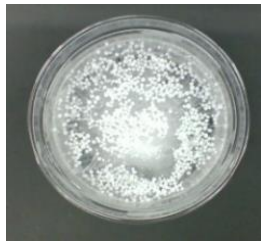


図1 尿素4.0 gの散布の様子

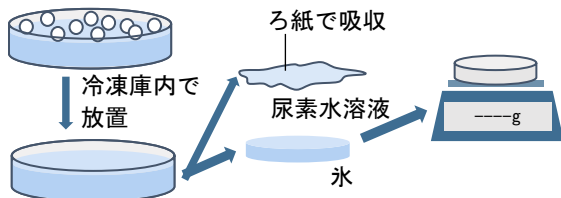


図2 実験方法〈予備実験〉

〈実験 I〉

氷の表面に尿素を0.50 gから5.0 gまで0.50 gごとに散布した。その後、氷を $-2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ に保った冷凍庫内で1時間放置した。1時間後、プラスチック容器内の氷を取り除き、プラスチック容器に残った尿素水溶液の質量を測り、融氷量を以下の式で求めた(図3)。

(融氷量) =

(融け出した溶液の質量) - (尿素の散布量)

ただし、実験後、尿素が完全に溶解せず、氷の表面に固体の尿素が残った場合は、上記の式で融氷量を正しく求めることができないため、データから除いた。

〈実験 II〉

氷の表面に尿素を0.50 gから7.5 gまで0.50 gごとに散布した。その後、氷を $-2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ に保った冷凍庫内で2時間放置した。その他は、実験 I と同様に実験を行った。

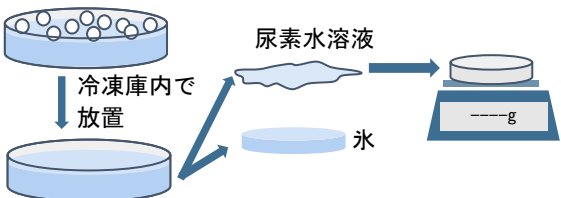


図3 実験方法〈実験 I, II〉

3 実験結果

〈予備実験〉

同じ尿素の質量での融氷量結果の最大値

(8.6 g)と最小値(4.6 g)の間に約2倍の差が見られた(図4)。

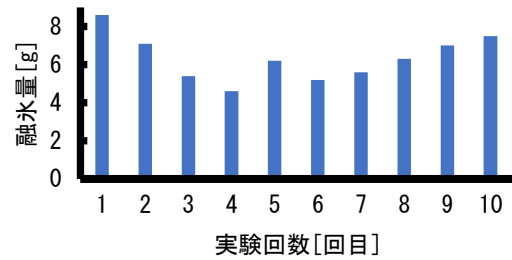


図4 尿素2.0 gのときの融氷量〈予備実験〉

〈実験 I, II〉

実験 I, IIの両方において、尿素の質量が4.0 g以下のとき、融氷量が増加する傾向が見られた。尿素4.0 g以上になると、融氷量は安定しなかった(図5, 6)。

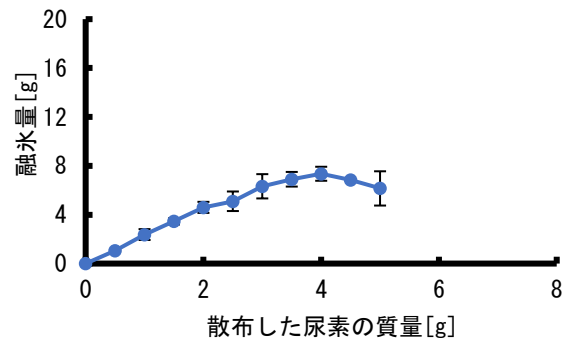


図5 散布した尿素の質量と融氷量の関係〈実験 I〉(n=4)

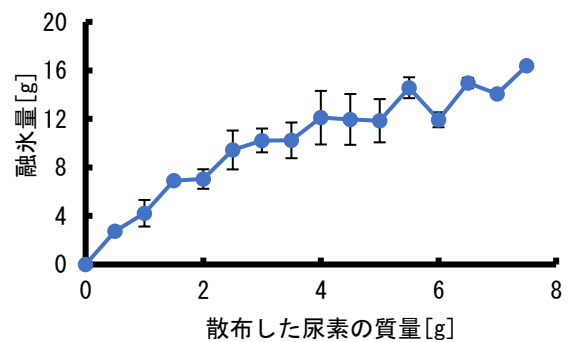


図6 散布した尿素の質量と融氷量の関係〈実験 II〉(n=4)

理論値以上に尿素が溶解したもの、逆に飽和水溶液になっていないにもかかわらず、尿素が溶けずに残っているものがあった。また、図5, 6のグラフには含めていないが、尿素が溶解しきらなかったものもあった(図7, 8)。

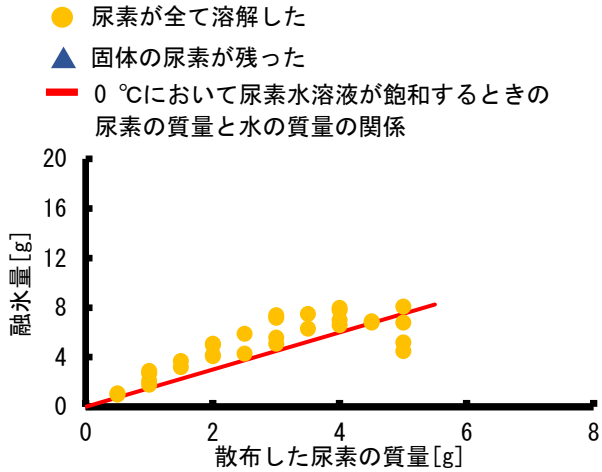


図7 散布した尿素の質量と融氷量の関係
(実験Ⅰ)

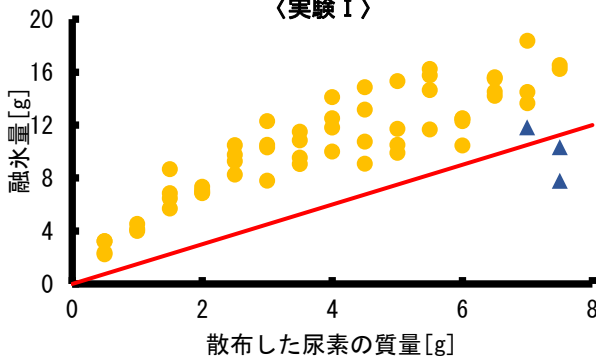


図8 散布した尿素の質量と融氷量の関係
(実験Ⅱ)

4 考察

実験Ⅰで、尿素4.0g以上で融氷量が増加しなかった理由として、1時間では尿素が溶解してから時間が十分ではなく、実験時間内では凝固点降下が進みきらず、融氷が進まなかったことが考えられる。また、先行研究により、尿素は融雪効果を得るまでに時間がかかることが分かっている⁽²⁾。実験Ⅱでは、時間が十分に確保できたため、融氷量が増加したと考えられる。また、尿素が氷を融解させる様子を観察したところ、氷が鉛直方向に融解し、氷に穴が空いていた(図9)。また、穴の直径は約2.5mmであった。ここから、融氷量が安定しなかった理由として、尿素4.0g以上では、氷の表面積に対する尿素的量が多すぎたことが考えられる。尿素4.0gを散布すると、実験で用いた氷の表面積の62%が埋まることから、尿素的の重なり合いや接触による相互作用が発生したことで、周囲

に尿素粒子がない状態に比べて反応速度が遅くなったものが存在したと考えられる。

また、溶解度の理論値に反して、尿素が溶けたり、水が十分にあるにも関わらず尿素が溶解しなかったりしたものを結果に含めたことで結果が変動した可能性もある。

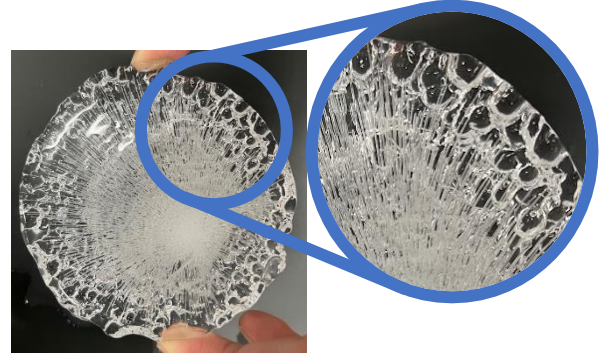


図9 実験後の氷の様子

今回の実験では、氷54cm²あたり尿素を4.0g散布したときに融氷量が最大になったことから、氷1m²に対しては尿素734g(物質質量に換算すると12.2mol)を散布すると最適だと考えられる。

これを用いて今回得られた最適な散布量が妥当かどうかを、融雪剤としてもよく使われる塩化カルシウムの散布量と比較して検証する。

塩化カルシウムが水に溶解するとき、凝固点降下に加えて発熱反応も起こるが、塩化カルシウムの散布による融雪効果は凝固点降下のみによるものとされている。そのため、今回は溶解熱を考慮しなかった。

塩化カルシウム、尿素的の融雪剤はともに、溶質が溶解したときの凝固点降下により氷を融解するとされている。そのため、凝固点降下の大きさを求めることで融雪効果の大きさを知ることができる。一般に凝固点降下度 Δt [K]は、モル凝固点降下 K_f [mol/kg]を比例定数として質量モル濃度 m [mol/kg]に比例する以下の式で求めることができる。

$$\Delta t = K_f m$$

塩化カルシウム m_1 [mol]が溶解すると、塩化カルシウムは電離する。そのため、以下のような凝固点降下度を計算できる。

$$\Delta t = K_f \cdot 3m_1$$

一方、尿素は電離しないため、 m_2 [mol] の尿素が溶解すると、以下のような凝固点降下度を計算できる。

$$\Delta t = K_f m_2$$

よって、等しい物質量の尿素と塩化カルシウムを溶解させたとき、凝固点降下度は塩化カルシウムが尿素に比べ、3倍大きくなる。そのため、塩化カルシウムと尿素を溶解させるとき、凝固点降下の大きさが等しくなる物質量は(塩化カルシウム):(尿素)=1:3になると思われる。

塩化カルシウムは、氷1 m²あたり400 gから1000 g、これを物質量に換算すると3.60 molから9.01 mol散布するのが最適だと明らかになっている⁽³⁾。一方で、今回の実験で1時間放置したときに融氷量が最大になったのは、尿素4.0 gを散布したときだった。これを氷の表面積1 m²あたりの散布量に換算すると734 gとなる。これは12.2 molに相当する。これが上記で示した1:3の比率になっていたことから、今回の結果から得られる最適な尿素的散布量12.2 molは、その範囲内にあり、妥当だと考えられる。

しかし、2時間放置したときは、融氷量が安定せず、融氷量が最大になる尿素的の質量は今回の実験では分からなかった。そのため、2時間放置したときの最適な散布量は不明である。

また、実際の屋外散布では、気温や積雪の状態によって最適な尿素的の散布量は変化すると思われる。

5 結論

尿素融雪剤は、氷の表面積1 m²あたり尿素的を734 g散布すると、安定した融雪効果が得られ、最適だと考えられる。同じ尿素的の質量でも、経過時間が長いほど融雪効果は増大する。

6 謝辞

金沢大学太田明雄先生には、実験方法について

て助言していただきました。深く感謝申し上げます。

7 参考文献

- (1) 寒地交通チーム. “非塩化物系の凍結防止剤の開発に関する研究”. 国立研究開発法人土木研究所. 2019.
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-program/2017/pdf/pro-14-2.pdf>, (参照 2024-10-05)
- (2) 坂内 恒雄. “自動車工業における環境汚染対策 (2)融雪剤による錆劣化とその対策”. 表面技術, 1995, 46巻6号, p487-492. (参照2025-02-18)
- (3) 京都府向日市. “道路の凍結防止剤 (塩化カルシウム) の配備について - 向日市”. 京都府向日市ホームページ. 2022.
<https://www.city.muko.kyoto.jp/kurashi/kurasi/tochi/2/1608271436102.html>, (参照 2024-12-14)
- (4) 宮本修司, 佐藤圭洋, 徳永ロベルト. “凍結防止剤の室内凍結試験について”. 国立研究開発法人土木研究所. 2012.
<https://thesis.ceri.go.jp/db/giken/h20giken/JiyuRonbun/fy-10.pdf>, (参照 2024-10-15)
- (5) 原口征人, 山下修一, 堀川弘善, 佐藤巖. “防氷剤の特性について”. 2017.
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ki/chousei/PDF/07S1K.pdf>, (参照2024-12-05)
- (6) 国土技術政策総合研究所 道路環境研究室. “国土技術政策総合研究所 研究資料”. 国土技術政策総合研究所. 2007.
<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0412pdf/ks0412007.pdf>, (参照 2024-12-14)