

タンパク質をもとにした物質を固定した低温ガラス面上の水滴の凍結抑制

1. ポイント：

◆成果

不凍タンパク質をもとにした物質を固定したガラス面を新たに開発し、ガラス面上の水滴が氷になるときの温度が下がり、かつ氷を剥がすのに必要な力が少なくて済むことを明らかにした。

◆新規性（何が新しいのか）

金属板やプラスチック板を加工して氷の着きにくい面を開発した例はあるが、濡れやすく透明なガラス面の開発例は極めて少ない。

◆社会的意義／将来の展望

カーブミラー、あるいは自動車や鉄道車両の窓に氷が付着して引き起こされる交通障害を防ぐこと、また太陽光発電パネルに氷が付着して発電効率が落ちることを防ぐことに貢献できる。

2. 概要：

固体表面への氷の付着は、飛行機・鉄道・自動車・船舶の事故を引き起こし、送電線の断線やエアコン室外機の故障を生じさせる。このような問題に対して、加熱や除氷剤の使用がなされているが、エネルギー損失や環境破壊の問題を引き起こす。そこで、氷の付着しにくい面の開発が活発に行われている。その多くは金属やプラスチックの加工面であり、透明ではない。

そこで、本学機械工学系の小塩院生、萩原教授らは、寒い海に棲むある魚が持っている氷成長を抑制する不凍タンパク質をもとにした物質に注目した。彼らは、この物質を表面に固定して凹凸がナノレベルの新しい機能表面を創製することにより、ガラス面に着いた水滴の凍結を抑制できると予想した。

彼らは、作製したガラス面上の水滴が凍結する温度は、無垢のガラス面の場合の温度より 6°C 以上低い実験結果を得た。また、作製した面に付着した氷を剥がすのに必要な力は、無垢のガラス面の場合の力より 20% 以上低い結果を得た。

したがって、新しい機能表面は、とくにカーブミラーあるいは自動車や鉄道車両の窓に氷が付着して交通障害を起こすことを防ぐことができ、太陽光発電パネルに氷が付着して発電効率が落ちることを防ぐことができると考えられる。

本成果は、日本時間 10 月 6 日（土）午前 6 時、オンラインジャーナル「PLOS ONE」13 巻 10 号 (2018) に掲載された。

なお、本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（A）の助成を受けて実施した。

3. 内容：

固体の表面に氷が付着することは、冬に飛行機・鉄道・自動車・船舶の事故を引き起こし、送電線の切断線やエアコン室外機の故障を生じさせる。このような問題に対して、ヒーターによる加熱や除氷剤の使用がなされているが、省エネルギー化や環境保全の観点からは好ましくない。そこで、氷の付着しにくい面の開発が活発に行われている。その多くは、例えばハスの葉から着想を得た水をはじく面をもとにし

た金属やプラスチックの加工面であり、透明ではない。さらに、ハスの葉から着想を得た微小凹凸面やウツボカズラから着想を得た油を含む面がとくに氷が着きにくい面として提案されたが、これらの利用は限定される。とくに、視認性・透明性が重要な窓やミラーには使えない。

そこで、本学機械工学系の小塩院生、萩原教授らは、寒い海に棲むある魚が持っている氷成長を抑制する不凍タンパク質をもとにしたポリペプチドに注目した。彼らは、結合剤を用いてこのポリペプチドを固定した機能表面を新たに創製することにより、ガラス面に付着した水滴の凍結を抑制できると予想した。

彼らは、水の凍結抑制を評価する指標として、水滴の形状、凍結前の最低温度である過冷却温度、面に付着した氷を剥がすのに必要な付着力に焦点をあてて、測定を行った。水滴の形状と凍結の様子は、ビデオマイクロスコープにより観察した。水滴の温度は、細い熱電対を用いて測定した。付着力の測定には、モーターやロードセルを組み合わせて自作した付着氷を押し装置を用いた。

実験の結果、作製した面上の水滴の過冷却温度は、無垢のガラス面の場合の過冷却温度より 6°C 以上低くなった。このとき 0°C から過冷却温度になるまでの時間は、ポリペプチドを固定した面の場合には無垢のガラス面の場合に比べておよそ 100~300 秒も長くなった（率にして 25~67%）。したがって、作製した機能表面により水の凍結が遅らされたことが明らかになった。また、作製した面に付着した氷の付着力は、無垢のガラス面の場合の付着力より 20% 以上低い結果を得た。したがって、作製した機能表面に付着した氷はより簡単に剥がすことができることが明らかになった。

このような結果の原因について考えるために、小塩院生・萩原教授は原子間力顕微鏡を用いて、表面のナノレベルの凹凸を調べた。その結果、ポリペプチドを固定した表面には小さく低い突起が多数あることが見出された。この突起は、その大きさからポリペプチドを固定する際に用いた水溶液中にあった会合体（ひとつの単位として動く多数のポリペプチドの集合）と考えられる。この会合体の表面は、ポリペプチドが有する水になじみやすい部分が露出している。他方、突起以外の部分は結合剤とポリペプチドの結合によって、ポリペプチドが有する水になじみにくい部分が表面に露出している。このように、水になじみやすい部分と水になじみにくい部分が共存する表面においては、小さくかつ方向のばらばらな氷結晶が数多くできることが考えられる。このことにより、氷の成長が遅れたこと、および簡単に氷を剥がせることが説明できる。

新しい機能表面は、とくにカーブミラーあるいは自動車や鉄道車両の窓に氷が付着して引き起こされる交通障害を防ぐことができ、太陽光発電パネルへの氷の付着による発電効率の低下を防ぐことができると考えられる。また、水になじみやすい部分と水になじみにくい部分が共存することが重要であれば、ガラス面のみならず、金属面やプラスチック面についても、微細加工や油を含むことなく氷の付着しにくい面を作製することがきることが考えられる。

小塩院生・萩原教授は、今後、作製した機能表面の耐久性を調べること、より性能をあげるための固定方法を調べることを計画している。

4. 発表雑誌：

雑誌名：「PLOS ONE」13 巻 10 号 (2018), 論文番号 0204686, p. 1-15. (オンラインジャーナル)

論文タイトル：Suppression of droplets freezing on glass surfaces on which antifreeze polypeptides are adhered by a silane coupling agent

著者 : Kazuya Koshio, Kazuhide Arai, Tomonori Waku, Peter W. Wilson, Yoshimichi Hagiwara

DOI 番号 : 10.1371/journal.pone.0204686

アブストラクト URL : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204686>