

「水をはじく表面」近くの水は、塩を溶かしにくい事を初めて実証
— 汚染を防ぐ新たな表面材料開発へ道 —

1. 発表者 :

伊藤喜光 (東京大学大学院 工学系研究科 化学生命工学専攻 助教)
相田卓三 (東京大学大学院 工学系研究科 化学生命工学専攻 教授、
理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長)

2. 発表のポイント :

- ◆塩が材料表面を汚染した場合、材料表面の「水をはじく性質」が強ければ強いほど塩が溶け出しにくくなる事を発見した。
- ◆理論的に予言されていた、「水をはじく表面」近くの水が塩を溶かしにくい事を、初めて実験的に実証した。
- ◆本発見は、汚染を防止する新しい表面材料や新しい薬剤の設計指針を与えると期待される。

3. 発表概要 :

表面の汚染は、日常生活における服の汚れから船底への貝の付着に至るまで様々なところで問題となる。汚染は、材料表面に汚染物質が密着することにより起こるため、汚染しにくい材料表面をデザインするためには、表面におけるナノスケール (注1) での物質が接着する様子の理解が不可欠であるが、その実態はよくわかっていない。

今回、東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻の伊藤喜光助教、同専攻の相田卓三教授 (理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長を兼任) らの研究グループは、「塩」が材料表面を汚染した場合、材料表面の「水をはじく性質」が強ければ強いほど塩が溶け出しにくくなる事を見いだした。人工的に塩を表面に配置した板を使い、「塩」と「水をはじく表面」との距離を変えて塩の溶け出し具合を比較したところ、「塩」が「水をはじく表面」に近ければ近いほど溶け出しにくい事が明らかとなった。(図1) このような変化を与える塩と表面の距離は1ナノメートル程度で発現し、これは物質と表面の密着具合に密接に関連する。

本研究で見いだされた「水をはじく表面」近くの水は、塩をとかしにくいという現象は、これまで考えられてきた塩の溶解性に関する基礎科学的な常識を覆すことになる。そのため、新たな汚染防止表面の開発だけでなく、「水となじむ部位」と「水をはじく部位」の複雑な相互作用の理解が必要な薬剤設計に大きな影響を与えると期待される。

4. 発表内容 :

水は塩を溶かす。そんな常識が、「水をはじく表面」の近くの水では成り立たない。東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻の伊藤喜光助教、同専攻の相田卓三教授 (理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長を兼任) らは、これを実験的に示すことに成功した。蝨やテフロンに代表される「水をはじく表面」に水をたらすと、水は粒状になり転がるよ

うにして表面から逃げていく。このような「水をはじく表面」でも、それを水没させた場合、一見すると水は表面を覆ったかのように見える。しかしながら、本質的にはその表面は水をはじこうとするため、表面に直に接している水はただではすまないはずである。このような「水をはじく表面」と接している水の挙動について、人々は古くから興味を持ち研究を行ってきた。例えば、水をはじく表面の上で「水」は実は「氷」となっているという説や、光の通り方が異なるという説が存在するが、その実態については不明な点が多い。また、タンパク質の構成要素には、塩のような構造と水をはじく構造が多く含まれており、水が主成分である体内でそれらがどのように影響し合って複雑な生体機能を発現しているかも未解明である。単純で平坦な「水をはじく表面」であってもその上の水の構造はおろか、その上にある他の物質がどのように表面から影響を受けているかですら、十分に明らかになっていないのが現状である。

今回発見されたのは、「水をはじく表面」近くの水は、塩をとかしにくいという現象である。本研究では、上部に人工的に「塩」を配置した原子レベルで平坦な板を用意した。塩の下には水をはじく薄い膜を配置してある。「塩」と膜表面との距離が異なる4つの板を準備し、それを水中に沈め、「塩」の溶け出しを観測した。「塩」としては全ての板で同じものを用いているため、本来であればその溶け出しやすさは全ての板について同じはずである。しかしながら、「塩」と「水をはじく表面」との距離が近ければ近いほど、「塩」は溶け出しにくくなるという現象が観測された。このような現象が現れる「水を弾く表面」と「塩」との距離は1ナノメートル程度であり、これは表面と物質がほぼ接着している状態である。

物質は材料の表面に接着し、場合によっては表面から溶け出すことが困難になる。これが材料表面の汚染である。表面の汚染は現在さまざまところで問題となっており、その除去に多大なエネルギーが必要になっている。例えば船底に付着する貝は、船の移動スピードを減少させ、余分な燃料を消費させる。また、日常生活においてもフライパンの焦げ付きや服の汚れなどが発生するとそれを除くために多くのエネルギーを必要とする。このため、汚染を防ぐ表面の開発が求められている。今回見いだされた知見は、このような汚染を防ぐための新しい表面材料設計のための指針を与えると期待される。

今回見いだされた現象は、薬剤設計に重要な生体分子シミュレーション（注2）の基礎として極めて重要であり、実は1953年にはすでに理論的に予言されていた。しなしながら、予言以来60年以上実証されることがないまま現在に至っており、本研究により初めて実験的に示された形となる。今まで実証が難しかった理由は、「塩」を「水をはじく表面」からある決まった距離に固定する方法と、水中でのその溶けやすさ評価する方法の確立が困難であったためである。本研究では、それを単分子膜（注3）と呼ばれる膜を利用することにより、理論に対する初の実証に成功した。

タンパク質内で発生する「塩」は「塩橋」として知られており、その塩橋はタンパク質内の水を弾く部位、いわゆる「疎水性ドメイン」にナノスケールの距離で接している。本研究で発見された現象は、「塩橋の強さ」が「疎水性ドメイン」に近づくにつれ増強される事を意味している。タンパク質を構成するアミノ酸はわずか21種類であるにもかかわらず、タンパク質が織りなす生体機能は実に多種多様である。今回の発見は、タンパク質に代表される生体分子がいかんして数少ない基本要素から多様性を生み出しているかの解明つながらる可能性がある。また、本研究により「塩橋」と「疎水性ドメイン」の関係の理解が深まることにより、新たな薬剤の設計指針となると期待される。

5. 発表雑誌：

雑誌名：「Science」

論文タイトル：Subnanoscale hydrophobic modulation of salt bridges in aqueous media

著者：Chen Shuo、伊藤 喜光、増田 卓也、清水 青史、Jun Zhao、Jing Ma、中村 修吾、大黒 耕、野口 秀典、魚崎 浩平、相田 卓三

DOI: 10.1126/science.aaa7532

6. 問い合わせ先： 東京大学大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 助教 伊藤 喜光

7. 用語解説：

注1) ナノスケール：数 nm (ナノメートル) ～数百 nm 程度の大きさ。1 nm は 1,000,000,000 分の 1 m (メートル)。水や酸素などの小分子 (0.1～1 nm 程度) よりも大きく、細胞 (1,000 nm 以上) よりも小さい領域。

注2) 生体分子シミュレーション：タンパク質は DNA 等の生体分子の様子をコンピュータ上で再現する方法。現在の薬剤設計などでは極めて重要な役割を担っている。

注3) 単分子膜：分子一つ分の厚みしかない極めて薄い膜。基板から決まった方向や距離に分子を並べる事ができる。

8. 添付資料：

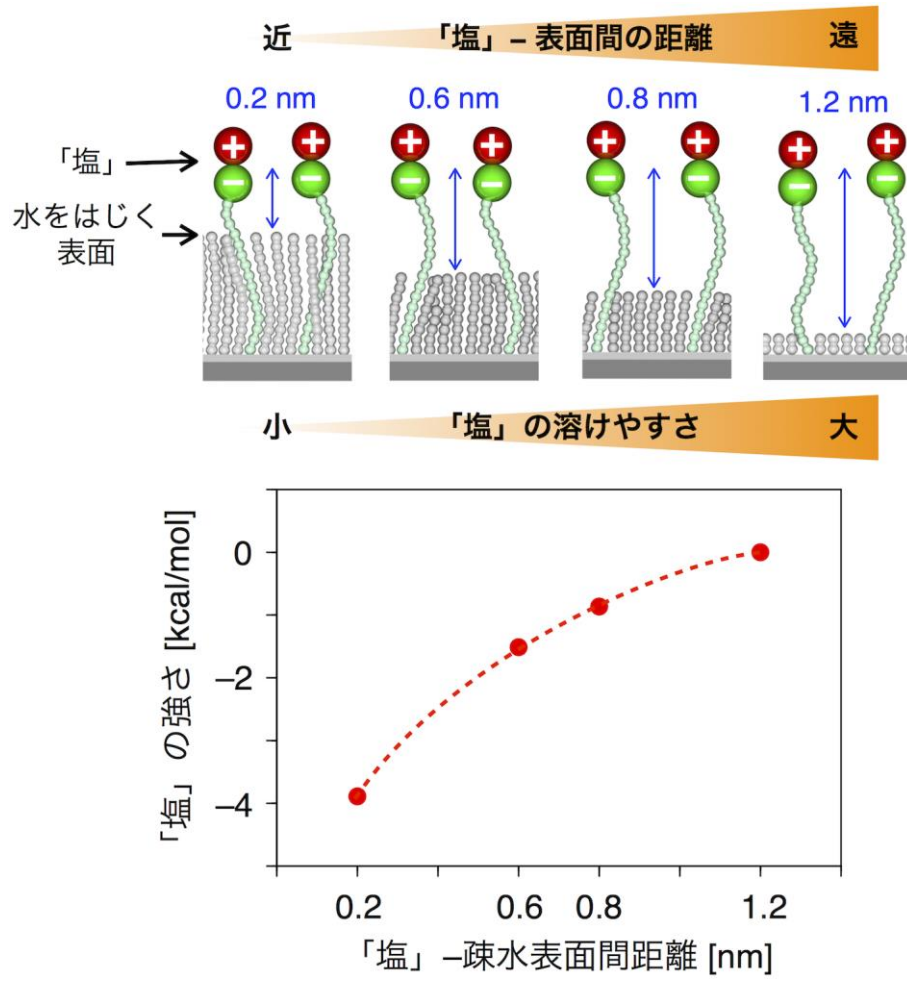


図1:「塩」は「水をはじく表面」の近くの水には溶けにくい。