

イノベ 見て歩き

連載：第3回

粘土の新たな活用法、化学反応の加速や 果物の長期保存技術開発などに取り組む

江口 美陽

Eguchi Miharu

早稲田大学 理工学術院 准教授
2020年よりERATO「山内物質空間テクトニクスプロジェクト」界面制御テクトングループ グループリーダー

社会実装につながる研究開発現場を紹介する「イノベ見て歩き」。第3回は、身近で環境に優しい粘土を見直し、化学反応の加速や果物の長期保存技術などの新たな活用法を探究する早稲田大学理工学術院の江口美陽准教授の取り組みを紹介する。

界面制御テクトングループで より難易度の高い研究に挑戦

東京都新宿区に位置する早稲田大学の西早稲田キャンパス。理工学分野の研究棟に囲まれたスクエアでは学生たちが談笑している。外国人の留学生や研究者の姿も目立つ国際色あふれるキャンパスだ。2023年4月に理工学術院に着任したばかりの同大学理工学術院の江口美陽准教授の研究室を訪ねると、必要最低限の備品だけがデスクに置かれていて、がらんとした印象だ。「自分でトラックを運転して少しずつ装置などを運び入れています」と江口さんは笑う。

前職の物質・材料研究機構(NIMS)では、国際ナノアーキテクニクス

研究拠点の主任研究員として、ナノシート界面で分子物性を制御する研究をしてきた。層状アルミノシリケートはいわゆる「粘土」で、非常に薄いナノシート構造を持つ(図1)。JSTのERATO「山内物質空間テクトニクスプロジェクト」で界面制御テクトングループのグループリーダーを務め、層状アルミノシリケートの新たな機能を見いだす研究に取り組んできた。ERATOでの成果の1つが、23年3月に発表した「層状アルミノシリケートを用いた化学反応の加速」だ。

通常の化学反応は、温度や加熱、触媒を導入することで、反応を加速させている。この研究では、これらの一般的な手段とは異なり「層状アルミノシリケートを導入」することで化学反応を加速することに成功した。具体的には、環状有機色素分子ポルフィリンを層状アルミノシリケート表面に吸着させることで、ポルフィリンが亜鉛(Zn)イオンを取り込む反応速度が23倍になった。

分光測定の結果、ポルフィリン分子は層状アルミノシリケートに吸着することで分極す

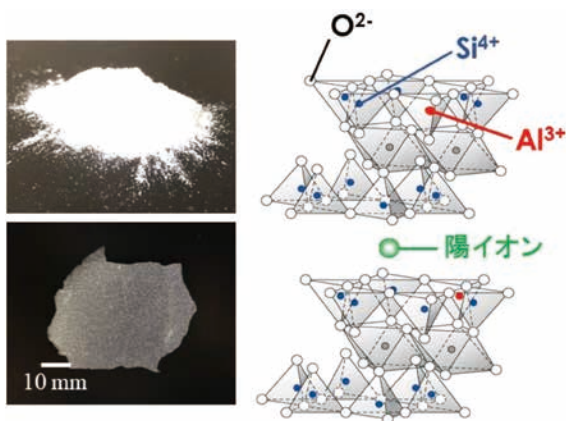
ること、負に帯電している粘土表面に吸着したポルフィリンの外側で電子密度が増大することがわかった。これにより、反応の頻度因子が3桁近く増えることも明らかにした。「頻度因子をコントロールすることで反応速度を増大させるという新しい概念を得ることができました。この方法を用いて、より難易度・需要の高い化学反応の加速に挑戦したいと思います」と江口さんは熱く語る。エネルギーや希少金属を必要とせずに、反応を加速させる新たな手段として注目されている(図2)。

酸素欠乏を防ぎ、腐敗を軽減 フードロスの削減に期待

果物をラップに包み酸素の供給を少なくすると、十分に呼吸できず酸素が欠乏し、最終的には腐敗してしまう。そこで江口さんは、層状アルミノシリケート膜の「ガス透過性」に着目した。粘土の粒径が数十ナノ(10億分の1)メートルの場合、膜の孔を通してガス分子が移動するため、透過度が比較的高くなることを見いだしており、このような膜を「青果物への酸素供給量制御」に利用できないかと考えた。

江口さんは、20年からつくば市の農家の協力を得て、さまざまな粒径の粘土をリンゴに塗布する実験を

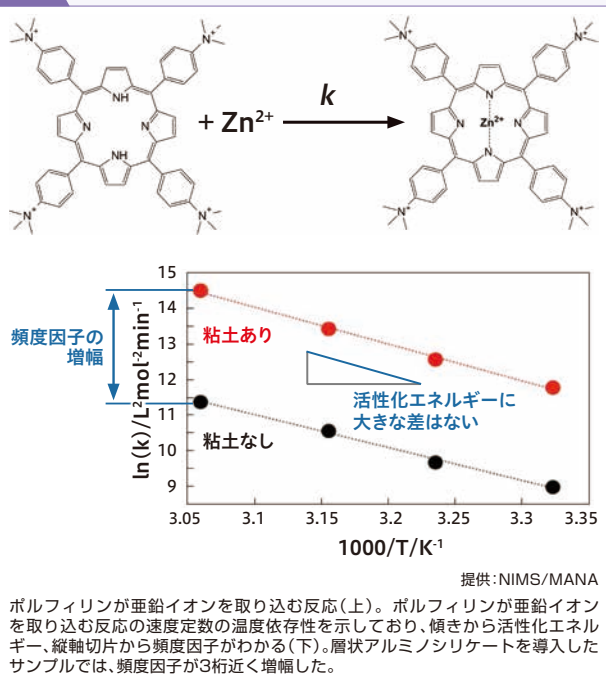
図1 層状アルミノシリケートの外観と構造



提供：NIMS/MANA

いわゆる「粘土」である層状アルミノシリケートは、層の1枚1枚に1ナノメートルの厚みで原子レベルの平滑さを持ったナノシート構造を有している。

図2 ポルフィリンの化学反応の加速



ポルフィリンが亜鉛イオンを取り込む反応(上)。ポルフィリンが亜鉛イオンを取り込む反応の速度定数の温度依存性を示しており、傾きから活性化エネルギー、縦軸切片から頻度因子がわかる(下)。層状アルミノシリケートを導入したサンプルでは、頻度因子が3桁近く増幅した。

行った。粒径数十ナノメートルの層状アルミノシリケートを塗布して酸素欠乏を防ぎ、腐敗を遅らせることに成功。リンゴだけでなくオレンジでも、無処理のもの、食品用ラップで包んだもの、粘土膜を塗布したものを数カ月間にわたり観察した。その結果、果物の腐敗を軽減することができた(図3)。

層状アルミノシリケートは地球上に遍在し、天然由来のため少量なら人体に害がなく、環境負荷も低い。層状アルミノシリケート膜は、青果物の香気成分の放出も抑制するので、虫害・獣害を防止できる可能性もある。「層状アルミノシリケートだけで作られる膜を青果物の品質保持に使うことができれば、使い捨て可能な膜として、フードロスの削減に期待できます。今後は、社会実装に向けて塗布しやすく膜強度の高い層状アルミノシリケートの開発を進めていきます」と江口さんは語る。

江口さんの層状アルミノシリケートとの縁は、東京都立大学の大学院時代にさかのぼる。層状アルミノシリケートは「平滑な表面」「均一な厚み」「可視域での透明性」「静電的吸着

能」「水への膨潤性」などの特質がある。「層状アルミノシリケートは、建材や医薬品・化粧品などさまざまな用途に用いられており、私たちの生活には不可欠である一方、研究し尽くされた感のある材料と言えます。ですが、二次粒子としてではなく、一次粒子として利用することでまだまだ興味深く有用な機能が隠されていると確信しています」。

江口さんは、博士号取得後の06年にポスドクとして米国ペンシルベニア州立大学に渡った。そこでThomas E. Mallouk教授の指導の下、固体高分子燃料電池の実現に向けて、プロトン伝導性の向上につながる無機層状化合物の異方配列の形成に関する研究などで成果を上げた。また、無機合成だけではなく、有機合成も勉強したことはその後の研究の養分になったという。

「好奇心」に目的はない 「好奇心」はものを創る

帰国後、09年に筑波大学大学院の準研究員となった江口さんは、JSTのさきがけ「金属ナノ粒子配列におけるプラズモン特性の分子制御」の

研究に取り組んだ。金属ナノ粒子配列に有機分子を近接させることで、金属中の自由電子のプラズマ振動を量子化した「プラズモン」の振動数・電場増強度・寿命などへの影響を観察した。

15年からは、NIMSの主任研究員として、無機層状化合物への吸着による有機分子や金属錯体の物性制御に取り組んできた。分子物性に対する界面の影響の大きさや多様性について得られた知見がERATO研究に生かされている。現在では平面界面だけでなく、曲率を持った界面も含め幅広く研究対象としている。「NIMSでは8年間、興味があることに全力で取り組むことができました。落ち着いた研究環境を提供していただいたことにとっても感謝しています」と江口さんは当時の状況を振り返る。

早稲田大学に籍を移した江口さんは、引き続きERATOの研究に取り組む一方で、先進理工学部での授業、専門課程に進む学生向けのオリエンテーションなどのために多忙な日々を送っている。「学生に伝えていきたいのは、好奇心に目的はない。その好奇心がものを創る、ということです。好奇心は根源的な欲求であり、これを抱くこと、満たすこと自体に価値があります。しかしこの好奇心が新しいものを創るための強い原動力となるのです。教育者としては、学生が研究生活を通してこれを実感し、自信を備えて力強く巣立っていくことを支えたいと思っています」と展望を語る。

(TEXT: 森部信次, PHOTO: 石原秀樹)

図3 リンゴの腐敗に及ぼす粘土膜とラップの効果



リンゴ表面に粘土ナノシート水分散液を直接塗布し、均一に成膜・乾燥した粘土膜を施したものは、無処理のものと比較して果実から発散される香気成分が少なく、特に極性の低いガスを透過しにくいことがわかった。