

祖先酵素との融合がモジュール型ポリケタイド合成酵素の構造解析を可能に

2025 年 7 月 30 日

静岡県立大学, 東京大学, 神奈川大学,
高エネルギー加速器研究機構

静岡県立大学食品栄養科学部の伊藤創平准教授, 中野祥吾准教授, 千菅太一助教, および東京大学大学院農学生命科学研究科 宮永顕正准教授, 寺田透教授, 唐澤昌之特任研究員, 神奈川大学化学生命学部 工藤史貴教授, 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 千田俊哉教授らは, 祖先配列再構成法をモジュール型ポリケタイド合成酵素 (PKS) に初めて適用することで, その立体構造決定を可能とする新たな立体構造解析法を開発しました。本研究成果は, 2025 年 7 月 25 日付けで国際学術誌 Nature Communications に掲載されました。

モジュール型 PKS は, 抗生物質として利用される天然物群であるポリケタイド化合物の生合成に関与し, ポリケタイド化合物の化学構造多様性に寄与する重要な酵素です。モジュール型 PKS の酵素機能の分子メカニズムを理解するためにその立体構造解明が進められています。しかし, モジュール型 PKS は複数の触媒ドメインからなる巨大タンパク質である, という特徴を有するためにその立体構造解析は一般に困難です。そのため, モジュール型 PKS の立体構造解析を可能とする手法が求められていました。

今回我々は, 祖先型タンパク質に着目しました。祖先型タンパク質は熱安定性や可溶性に優れる, という立体構造解析を進める上で有益な特徴を持つことが知られています。そこで本研究では, モジュール型 PKS が持つ複数の触媒ドメインのうち, 1つを祖先タンパク質に置き換えた祖先融合モジュール型 PKS (現存 - 祖先キメラ酵素) を用いて立体構造解析を実施する手法を開発しました。祖先融合モジュール型 PKS は, X線結晶構造解析, およびクライオ電子顕微鏡による単粒子解析の2つの立体構造解析手法において解析を行いやすい性質 (結晶性・単分散性) を持ち, 本手法の有用性が実証されました。さらに, 本研究ではモジュール型 PKS に祖先型タンパク質を融合する新規立体構造解析法の開発に成功しただけでなく, 祖先型タンパク質が単分散性にも優れることを初めて示すこともできました。本手法は, 対象タンパク質が限定されない汎用的な手法であり, これまで立体構造解析が困難だった様々なマルチドメインタンパク質への応用が期待されます。

ガラスは温度の上下を繰り返すと若返る？ —電子状態の変化—

2025 年 8 月 29 日

島根大学, 広島大学, 弘前大学,
高エネルギー加速器研究機構, 東北大学

島根大学材料エネルギー学部の細川伸也研究員, 小林健太郎研究員, 尾原幸治教授は, 広島大学, 弘前大学, 高エネルギー加速器研究機構, および東北大学の研究者と協力して, 金属ガラスを対象として, 液体窒素温度 (およそ摂氏マイナス 196 度) と室温の間を繰り返し上下させることによる若返り効果によって, ガラスの電子状態が大きく変化することを, 放射光を用いて明らかにしました。放射光を用いると, 物質中に詰まった電子や空いている電子の状態を, 元素やその電子軌道を区別して観測できます。研究に用いた金属ガラスは重い希土類元素のガドリニウム (Gd) と軽い遷移金属元素であるコバルト (Co) からできしており, 以前私たちが報告した研究では軽い Co 元素が温度の上下を繰り返すことにより, Gd 原子の直近の位置からやや離れた場所に若返りによって移動することがわかっていましたが, 電子状態を観測することができる4つの電子分光法 (光電子分光, 逆光電子分光, 軟X線吸収分光, 軟X線発光分光) を用いた今回の研究により, Co の 3d 電子軌道に所属している電子の状態が大きく変化し, 原子配列の変化に対応していることがわかりました。この研究は, 放射光を有効に用いて, 若返りによるガラスの電子構造の変化を詳しく観測できることを示しています。

この結果は, オランダで刊行される科学雑誌「Scripta Materialia」に令和7年8月26日にオンラインで掲載されました。

鉄鉱石の水素還元メカニズムにX線顕微鏡で迫る カーボンニュートラル鉄鋼製造プロセスの実現に向けて

2025 年 9 月 16 日

高エネルギー加速器研究機構
日本製鉄株式会社

KEK・物質構造科学研究所の研究グループと日本製鉄 (株)・技術開発本部の共同研究グループは, 放射光 X線顕微鏡を活用して, 鉄鉱石の水素還元メカニズムの新知見を得ました。水素を用いた鉄鉱石の直接還元は, CO₂ を発生しないカーボンニュートラルな製鉄方法として注目されています。原料である鉄鉱石 (粒径: 数 10 μm) 内の鉄の化学状態が還元に伴いどのように変化するかを 50 nm の空間分解能で観察することに成功しました。

熱力学計算と合わせた考察の結果、還元温度 973K では水素ガス濃度勾配に沿って反応が進行するモード (topochemical) であるのに対して、還元温度 1173K では結晶整合性を優先する様に反応が進行するモード (topotaxial) と、反応モードが大きく変わることが判明しました。これは、今後の鉄鉱石の還元プロセスの制御指針につながる重要知見です。

今回の成果は 9 月 13 日に専門誌 Acta Materialia のオンライン版に掲載されました。

単純な酸化処理で層状クロム酸化物薄膜の電気抵抗が 20 万分の 1 に！ 次世代メモリデバイス開発への新たな一歩

2025 年 10 月 1 日

東京都立大学，東北大学，大阪大学
高エネルギー加速器研究機構

遷移金属酸化物には結晶構造や化学組成の違いによって性質が大きく変わる材料が多く存在します。なかでも、酸素の出入り（脱挿入）によって電気抵抗率が大きく変化する材料は、次世代メモリーや高感度センサーなどへの応用が期待されています。

東京都立大学大学院理学研究科の岡大地准教授，大阪大学大学院基礎工学研究科の Zhaochen Ma さん（大学院生），東北大学大学院理学研究科の福村知昭教授（東北大学材料科学高等研究所（WPI-AIMR）兼務），同大学多元物質科学研究所の組頭広志教授（高エネルギー加速器研究機構（KEK）兼務）らの研究グループは、単純な酸化処理によって室温での電気抵抗率が約 20 万分の 1 に激減する新しい酸化物材料を発見しました。

今回、研究グループは、独自の手法によって 2 次元的な層状構造を取るクロム酸化物 $\text{Sr}_3\text{Cr}_2\text{O}_{7-\delta}$ の高品質薄膜の合成に成功しました。この薄膜は、合成直後は電気をほとんど流さない状態でしたが、空气中で加熱すると酸素が結晶に取り込まれ、電気抵抗率が約 20 万分の 1 に減少しました。この変化の大きさは、従来の 3 次元的な構造を持つ同様のクロム酸化物に比べて 600 倍以上にのびります（図 1）。さらに電子状態を詳しく調べたところ、酸素が抜ける位置とクロムのイオン価数という 2 つの要素がこの材料中を流れる電子の動きに強く影響していることが分かりました。これらの影響が重なった結果、非常に大きな電気抵抗の変化が実現されたと考えられます。本研究は、今後さらに需要が高まると予想される抵抗変化材料の開発において材料設計の指針を与えるものと期待されます。

本研究は高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光共同利用実験課題（課題番号：2021S2-002）により実施され、放射光施設フォトンファクトリー（PF）BL-2A が用いられました。