

PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和 7 年 8 月 8 日

岡山大学

科学技術振興機構 (JST)

**酸化鉄を作るタンパク質を真核生物で初めて発見
—ヒザラガイの「磁鉄鉱の歯」形成の謎を解く—**

◆発表のポイント

- ・ 真核生物¹⁾が酸化鉄の一種である磁鉄鉱を形成する仕組みを、初めて明らかにしました。
- ・ 軟体動物の一種であるヒザラガイ²⁾から、酸化鉄の形成を誘導する新規タンパク質「RTMP1」を発見しました。
- ・ 今回の成果は、環境に優しい磁鉄鉱の合成技術や、鉄が関与する疾患の治療研究などへの応用が期待されます。

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域の根本理子准教授、大学院環境生命科学研究科の岡田航輝大学院生（研究当時。現在、JFE テクノリサーチ）、学術研究院環境生命自然科学学域の佐藤伸教授、守屋央朗教授、小布施祈織准教授、カリフォルニア大学アーバイン校の David Kisailus（デイヴィット キサイラス）教授、東邦大学理学部の大越健嗣教授らの共同研究グループは、ヒザラガイの「磁鉄鉱（ Fe_3O_4 ）の歯」の形成に関わる新規タンパク質、歯舌マトリックスタンパク質（RTMP1）を発見し、磁鉄鉱が生体内で形成されるメカニズムを明らかにしました。

ヒザラガイ類の磁鉄鉱の歯は非常に硬く、人工ダイヤとも言われるジルコニアを超える耐摩耗性を示すことがわかっています。しかし、これまでヒザラガイがどのようにしてこの磁鉄鉱の歯を形成するのかは不明でした。研究グループは、ヒザラガイ類のみが持つユニークなタンパク質 RTMP1 が、あらかじめ形成された歯の骨組み（キチン繊維）に結合し、キチン繊維上に酸化鉄の形成を誘導することを解明しました。

今回の成果は、環境に優しい磁鉄鉱合成技術や、高強度材料の開発につながるとともに、鉄が関与する疾患の治療研究など、幅広い応用が期待されます。

これらの研究成果は、令和 7 年 8 月 8 日付で米国の科学誌「*Science*」に掲載されました。

◆研究者からのひとこと

磁鉄鉱は通常、高温高压のマグマで形成される火成岩の一成分として知られていますが、生物がこれを体内で形成する例は非常に限られています。ヒザラガイを含む一部の真核生物から磁鉄鉱が検出されていますが、その形成メカニズムは長らく謎に包まれていました。本研究では、学生を含む素晴らしい共同研究者とともに、真核生物による磁鉄鉱形成の一端を明らかにすることができました。この成果は、生物による鉱物形成の理解を深めるとともに、環境に優しい材料開発や、鉄が関わる疾患の研究への応用も期待されます。



根本准教授

■発表内容

<現状>

生物は、骨や歯など、強さや耐久性に優れた機能を持つ生体鉱物（バイオミネラル）を作り利用しています。多くの生物はケイ素（Si）やカルシウム（Ca）を使って細胞骨格や歯を形成していますが、鉄（Fe）を主成分とするバイオミネラルを形成する珍しい生物の存在が知られています。



図 1. 瀬戸内海のアザガイ（左）とその歯（右）

海岸の岩場などで見られるアザガイ類は、歯舌と呼ばれる摂餌器官上に、酸化鉄の一種である磁鉄鉱（ Fe_3O_4 ）でできた非常に硬い歯を形成します（図 1）。この歯は、人工ダイヤとも言われるジルコニアを超える耐摩耗性を示すことがわかっています。アザガイはこの頑丈な歯を使って岩の上の藻などを削り取って食べています。これまで、アザガイがどのようにしてこの「磁鉄鉱の歯」を形成するのか不明でした。

<研究成果の内容>

研究グループは 2019 年に、世界最大のアザガイであるオオバンアザガイの歯舌組織を解析し、磁鉄鉱の歯に含まれるタンパク質群を同定することに成功しました（2019 年プレスリリース、Nemoto, et al, 2019 Scientific reports, DOI:10.1038/s41598-018-37839-2）³⁾。しかし、その時点では、これらのタンパク質が具体的にどのように歯の形成に関わっているのか、また他のアザガイ類にも同じタンパク質があるのかはわかっていませんでした。

本研究ではまず、そのことを明らかにするため、瀬戸内海から 3 種のアザガイ類（アザガイ、ヒメケハダアザガイ、ババガセ）を採集し、歯舌組織の遺伝子を解析しました。その結果、3 種全てのアザガイ類に共通して、磁鉄鉱の歯に含まれるタンパク質の遺伝子が存在することがわかりました。さらに、アザガイ類にしか存在しないユニークなタンパク質を発見し、これを歯舌マトリックスタンパク質（RTMP1）と名付けました。

アザガイは、常に新しい歯を形成しているため、形成過程にある歯を 1 つの歯舌組織上で観察することができます

（図 2）。歯の形成過程においては、まず、キチン繊維を主成分とする骨組みが形成され（図 2①）、その後、歯の内部に鉄が流入し（図 2②）、キチン繊維上に結晶構造が不完全な酸化鉄（低結晶

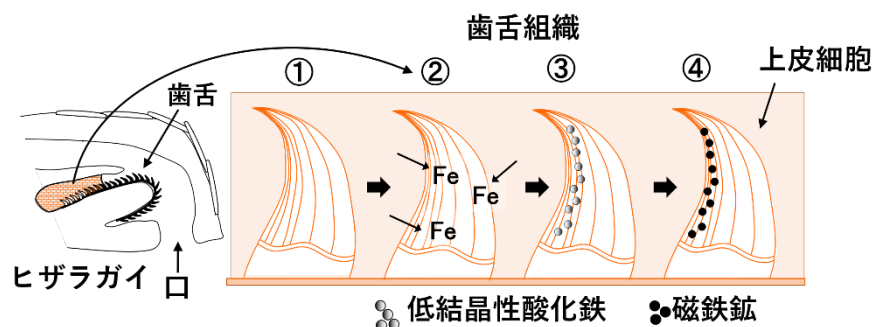


図 2. アザガイの歯舌組織では常に歯の形成が行われており、歯の一連の形成過程を 1 つの歯舌上に観察することができる。

PRESS RELEASE

性酸化鉄）が沈着することで、赤茶色を呈するようになり（図 2③）、最終的に酸化鉄の結晶化が進むことで、黒色の磁鉄鉱からなる歯が形成されます（図 2④）。

研究では、RTMP1 が歯の形成のどの段階で作用しているのかを明らかにするため、RTMP1 の抗体を作製し、組織中の特定のタンパク質を可視化する方法（免疫組織化学染色）を用いて、歯舌組織を解析しました。その結果、RTMP1 は、酸化鉄が沈着し始める 1 つ前の歯において最もたくさん発現していることがわかりました。さらに、歯を覆う上皮細胞からキチン繊維でできた歯の内部に RTMP1 が分泌され、キチン繊維上の、酸化鉄が沈着する箇所に結合していることがわかりました（図 3）。

さらに、パン酵母を用いて組換え発現させた RTMP1 を使って実験したところ、RTMP1 がキチンと鉄に結合する性質を持つことが明らかになりました。そこで、キチン繊維に結合させた RTMP1 を鉄溶液中に浸漬したところ、キチン繊維上に酸化鉄粒子が形成されていることが確認できました（図 4）。これらの結果より、ヒザラガイの磁鉄鉱の歯の形成において、RTMP1 があらかじめ歯の骨組みを形成しているキチン繊維に結合し、後から入ってきた鉄と結合することで、キチン繊維上での酸化鉄形成に関わっていることが明らかとなりました。

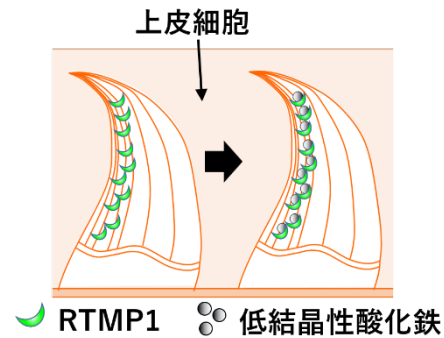


図 3. RTMP1 は酸化鉄が沈着する前から歯の酸化鉄沈着部位に局在していた。

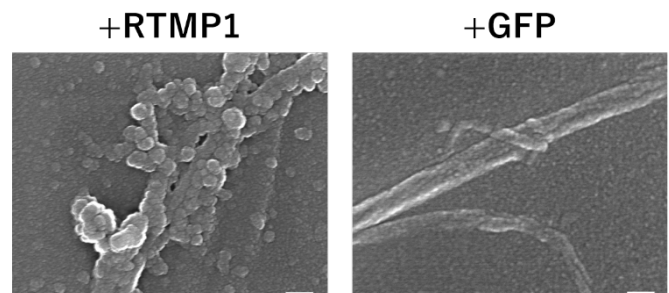


図 4. RTMP1 を加えた場合、キチン繊維上に酸化鉄の粒子が形成された（左）。RTMP1 の代わりに酸化鉄形成と無関係なタンパク質（緑色蛍光タンパク質：GFP）を用いた場合、酸化鉄の粒子はほとんど形成されなかった（右）

<社会的な意義>

磁鉄鉱は酸化鉄の一種で強い磁性を持つ結晶です。その磁気特性を利用して、ハードディスクや MRI 造影剤、細胞分離・DNA 抽出などのバイオ関連製品などに利用されています。現在の磁鉄鉱合成は高温や有害物質を用いていますが、本研究で発見した RTMP1 を使えば、安全で環境にも優しい方法で合成できる可能性があります。また、センサーやメモリーの作製に応用可能な、狙った箇所のみに金属酸化物をパターンニングする新しい技術にもつながる可能性があります。さらに、鉄は生物の生存に必須ですが、過剰に存在するとがんや神経変性疾患などさまざまな疾患を引き起こすことが明らかとなっています。鉄をコントロールできる RTMP1 は、鉄に関わる病気の研究にも役立つ可能性があります。



PRESS RELEASE

■論文情報等

論文名 : Radular teeth matrix protein 1 directs iron oxide deposition in chiton teeth

掲載誌 : *Science*

著者 : Michiko Nemoto, Koki Okada, Haruka Akamine, Yuki Odagaki, Yuka Narahara, Kenji Okoshi,
Kiori Obuse, David Kisailus, Hisao Moriya, Akira Satoh

DOI : 10.1126/science.adu0043

■研究資金

本研究は、日本学術振興会（JSPS）「科学研究費助成事業」（課題番号：JP21K05781, JP22H04812, 研究代表：根本理子）、科学技術振興機構（JST）「創発的研究支援事業（FOREST）」（課題番号：JPMJFR210E, 研究代表：根本理子）、日揮・実吉奨学会研究助成金（研究代表：根本理子）、加藤記念バイオサイエンス振興財団加藤記念研究助成（研究代表：根本理子）、米国空軍科学研究局（AFOSR）（課題番号：FA9550-20-1-0292, FA9550-23-1-0647, 研究代表：David Kisailus）の支援を受けて実施しました。

■補足・用語説明

- 1) 真核生物：細胞内に核を持ち、DNA が核内に収納されている生物。動物、植物、菌類、原生生物などが含まれ、複雑な細胞構造を持っている。
- 2) ヒザラガイ：軟体動物門多板綱に属する生物の総称。平たい楕円形をしており、背上に 8 枚の殻板が並んでいる。主に潮間帯岩磯の上に住み、岩盤上に育成する微小生物を摂食する。国内では北海道から沖縄まで分布。全世界で約 1000 種、国内で約 100 種が知られている。
- 3) 岡山大学プレスリリース：「ヒザラガイの「磁石の歯」形成に関わるタンパク質を同定—磁鉄鉱の環境に優しい合成法に生かせる可能性—」（2019.02.21）

https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id601.html

＜お問い合わせ＞

【研究内容に関するお問い合わせ】

岡山大学学術研究院 環境生命自然科学学域（農）

准教授 根本 理子

TEL : 086-251-8303

【JST事業に関するお問い合わせ】

国立研究開発法人 科学技術振興機構 創発的研究推進部

加藤 豪

TEL : 03-5214-7276

E-mail : souhatsu-inquiry@jst.go.jp

（報道対応窓口）国立研究開発法人 科学技術振興機構
広報課

TEL : 03-5214-8404

E-mail : jstkoho@jst.go.jp



岡山大学は持続可能な開発目標（SDGs）を支援しています。