

令和 5 年 5 月 13 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H03045

研究課題名(和文) 真珠の質を決定する真珠層の炭酸カルシウム結晶の厚みの調整機構の解明

研究課題名(英文) Study on the regulation mechanism of nacre calcium carbonate thickness affecting the quality of the pearl

研究代表者

鈴木 道生 (Suzuki, Michio)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：10647655

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、アコヤガイの貝殻の真珠層形成において、1「有機薄膜の分泌調節」、2「有機薄膜の自己組織化」、3「炭酸カルシウム結晶成長制御」の3つのパートに分け、それぞれについて研究を進めることで、真珠層形成の分子メカニズムについて明らかにすることを目的としている。1「有機薄膜の分泌調節」についてはキチン合成酵素の局在解析より、キチンの分泌に周期性があることを示した。2「有機薄膜の自己組織化」ではメチオニンに富む不溶性基質タンパク質が有機薄膜の形成に関与することを示した。3「炭酸カルシウム結晶成長制御」では固体表面でバイオミネラルタンパク質の構造を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

真珠層の炭酸カルシウムは有機薄膜で制御されることは分かっていたが、その詳細な分子メカニズムは分かっていた。本研究により制御メカニズムが明らかとなったことで、より高頻度に高品質の真珠を生産するアコヤガイの選抜や、新たな養殖技術の開発に役立つと考えられる。また、特殊な炭酸カルシウムを形成する生物作用を明らかにすることで、新たな材料創成の技術開発にも応用可能だと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, to clarify the formation process of nacre tablets, 1"secretion of organic sheets", 2"Self assembly of organic sheets", 3"regulation of calcium carbonate crystal growth" were investigated. The pattern of chitin synthase localization will decide the distance of organic sheets from the results of 1"secretion of organic sheets". The Met-rich proteins were identified from the insoluble fraction of organic sheets from the results of 2"Self assembly of organic sheets". The structures of biomineral proteins on the solid minerals were revealed from the results of 3"regulation of calcium carbonate crystal growth".

研究分野：生物無機化学

キーワード：バイオミネラリゼーション 真珠 アコヤガイ アラゴナイト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

真珠は、真珠貝の貝殻の内側に存在する真珠層と同様の構造を持ち、体内に侵入した異物を貝殻の層で包む生体防御反応によるものである。貝殻の真珠層は外套膜と呼ばれる軟体組織から分泌して生成されるが、真珠層自体は細胞を含まず細胞外で作られる組織である。真珠層は、厚さが 300-400 nm 程度の厚さの炭酸カルシウム結晶と厚さが数 nm の有機薄膜が交互に積層した構造により構成され、この構造に光が入射すると反射した光の干渉作用により虹色の真珠光沢が現れる。真珠の品質、特に干渉色による真珠光沢の美しさはこの炭酸カルシウム結晶の配向性と層間の間隔の均一性に大きく左右されることが知られている。

真珠層の炭酸カルシウム結晶内および有機薄膜内には合計で約 5% 程度の有機物が含まれており、主にキチンとタンパク質で構成されている。過去の電子顕微鏡による観察の結果、有機薄膜が外套膜より一定の間隔で分泌され、一定の間隔に配置された有機薄膜間のゲル状分子の内部で炭酸カルシウム結晶のタブレットが成長する様子が観察されている。真珠層内のタンパク質はコンキオリンと呼ばれてきたが、これはタンパク質の総称であり、実際に多くの種類のタンパク質がコンキオリンの中に含まれ、その詳細は長年不明であった。近年の分子生物学の発展および次世代シーケンサ、質量分析を用いた網羅的解析の発達から、真珠層内の多くの基質タンパク質の一次配列情報が得られおり、その構成要素の全貌が判明しつつある。しかしながら、それぞれの有機物の真珠層内での局在や有機薄膜形成に与える役割、炭酸カルシウム結晶形成に与える役割などの情報は非常に少ないのが現状である。具体的にキチンとどのような基質タンパク質が階層構造作り有機薄膜を形成しているのか、炭酸カルシウム結晶の成長が基質タンパク質によりどのように制御されるのかも明確ではない。すなわち、有機物の一次構造と有機薄膜の形成および炭酸カルシウムの結晶成長とが直接的にリンクしていないために、真珠層の微細構造の形成過程を説明できるまでに至っていないと考えられる。そのため、真珠の干渉色の発現に最も重要な 300-400 nm 程度の炭酸カルシウム結晶の厚みを決定する要因が何か、という根源的なメカニズムについても全く説明できないということが問題となっている。

2. 研究の目的

以下のような未解決問題に着目し、真珠層の炭酸カルシウム結晶の厚みを調整するメカニズムを明らかにしようと考えた。

- ・細胞膜上でのキチンの分泌の間隔が、真珠層の有機薄膜の配置の間隔を決めているのか？
- ・どの基質タンパク質が複合体を作り、有機薄膜の構成に寄与するのか？
- ・キチンと基質タンパク質はどのように自己組織化し、真珠層内に局在するのか？
- ・自己組織化した有機薄膜が炭酸カルシウム結晶の成長を抑え、厚みを決めているのか？
- ・外套膜と真珠層の間の微小環境におけるカルシウム濃度変化および pH 変化は？
- ・基質タンパク質と相互作用した炭酸カルシウム結晶の成長速度が厚みを決めているのか？

特に、有機薄膜の分泌調節、有機薄膜の自己組織化、炭酸カルシウム結晶成長制御の 3 点に着目し、研究を進めることを目的とした。

3. 研究の方法

「有機薄膜の分泌調節」

有機薄膜の主成分はキチンとタンパク質だと考えられており、キチンが骨格を作り、その周囲を不溶性の基質タンパク質が覆う複合的なモデルが予測されている。しかしながら、実際にこのような骨格がどのように分泌されているのかを細胞生物学的および化学的な証拠に基づき報告した例は無い。そこで、申請者らが同定したキチン合成酵素の抗体を作製し、蛍光分子もしくは金ナノ粒子を付加させた二次抗体を用いることで、外套膜組織でのキチンの分泌様式を共焦点顕微鏡および透過型電子顕微鏡を用いた免疫電顕法により直接的に観察を行う。

「有機薄膜の自己組織化」

有機薄膜内の基質タンパク質はこれまでに同定され、MSI60 や Pif、pearlin などが知られている。しかしながら、変性剤と還元剤を用いて、これらを抽出した後にも、アルカリの熱処理でかなりのタンパク質成分がキチンの骨格から除かれることから、まだ未同定の基質タンパク質が多数存在すると考えられる。キチンに直接的に強固に結合する成分をキチンとタンパク質の不溶物を酵素処理および化学切断することで、部分ペプチドを得て、LC-MS/MS で解析することで、キチンと複合している基質タンパク質の全貌を明らかにする。

「炭酸カルシウム結晶成長制御」

炭酸カルシウム結晶の成長の過程を知るためには、炭酸カルシウム結晶と基質タンパク質がどのように相互作用しているか知る必要がある。そこで、炭酸カルシウム固体表面において基質タンパク質の特定の領域がどのような構造をしているのか、核磁気共鳴法 (NMR) を用いて解析を行う。

4. 研究成果

「有機薄膜の分泌調節」

これまでに明らかになったアコヤガイ外套膜に特異的に発現するキチン合成酵素の配列を元に特異的抗体の作製を行った。この間、アコヤガイ稚貝をサンプリングし、透過型電子顕微鏡用の切片の作製について準備を行った。包埋樹脂の検討を行い、水溶性樹脂を用いた場合に切片が作製し易いことが判明した。さらに、切片の状態を試験するためにキチン結合タンパク質に蛍光タンパク質を付加したキチン染色試薬を用いてキチンの可視化を試みた。貝殻に沿ってキチンが染まったことから、切片は作製できていると判断した。作製したキチン合成酵素の抗体を用いて、外套膜切片に対して局在解析の条件検討を試みた。固定化方法の検討、樹脂の種類などを検討し、最もシグナルが観察される条件を見出した。非特異的シグナルを除くため、部位を分けて検出されたシグナル強度を数値化したところ、内側に折り返された組織上皮において 200-300 nm 程度の間隔でシグナルが出ている可能性が示唆された。この間隔が真珠層の層間の間隔に近いことから、キチン合成酵素の局在が真珠層の間隔を制御している可能性が示唆された。

「有機薄膜の自己組織化」について、分泌されたキチンと強固に結合し、有機薄膜形成に強く関係すると思われるメチオニンに富む領域を有する NU-5 タンパク質を、特殊なタンパク質抽出法を用いて真珠層より見出した。メチオニンが多く含まれることでタンパク質全体の疎水性が増して、不溶化する可能性が示された。

「炭酸カルシウム結晶成長制御」について、真珠層の炭酸カルシウム結晶形成に関与するタンパク質である Pif の繰り返し配列である DDRK モチーフが、どのように炭酸カルシウムと相互作用するのか NMR を用いた構造解析を行った。DDRK ペプチドのみを水溶液に入れた場合

と、DDRK ペプチドと炭酸カルシウム粒子を入れた状態で ROESY スペクトルを測定し、関連のあるシグナルのアサインメントを行い、構造計算に用いた。酸性残基の側鎖がカルシウムイオンと、塩基性残基の側鎖が表面の水分子と相互作用し、伸張するようにタンパク質が表面を覆うようなモデルを提唱できる可能性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 M. Iijima, T. Okumura, T. Kogure, M. Suzuki*.	4. 巻 304
2. 論文標題 Microstructure and mineral components of the outer dentin of Chimaera phantasma tooth plates.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Anatomical Record	6. 最初と最後の頁 2865-2878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ar.24606	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Tsukidate, S. Otake, Y. Kato, K. Yoshimura, M. Kitatsuji, E. Yoshimura, M. Suzuki*.	4. 巻 14
2. 論文標題 Iron elution from iron and steel slag using bacterial complex identified from the seawater.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 1477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14061477	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Kintsu, A. Prez-Huerta, S. Ohtsuka, T. Okumura, S. Ifuku, K. Nagata, T. Kogure, M. Suzuki*.	4. 巻 145
2. 論文標題 Functional analyses of chitinolytic enzymes in the formation of calcite prisms in Pinctada fucata.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micron	6. 最初と最後の頁 103063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.micron.2021.103063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Z. Zheng, K. Kawakami, D. Zhang, L. Negishi, M. Abomosallam, T. Asakura, K. Nagata, M. Suzuki*.	4. 巻 11
2. 論文標題 Identification and functional analysis of Cd-binding protein in the visceral of Crassostrea gigas.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sci. Rep	6. 最初と最後の頁 11306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-90882-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Abomosallam, M. Elalfy, Z. Zheng, K. Nagata, M. Suzuki*.	4. 巻 7
2. 論文標題 Adsorption kinetics and thermodynamics of toxic metal ions onto chitosan nanoparticles extracted from shrimp shells.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanotech. Environm. Eng.	6. 最初と最後の頁 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41204-021-00179-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Kato, S. Kimura, T. Kogure, M. Suzuki*.	4. 巻 23
2. 論文標題 Deposition of lead phosphate by lead-tolerant bacteria isolated from fresh water near an abandoned mine.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Intl. J. Mol. Sci	6. 最初と最後の頁 2483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms23052483	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Michio	4. 巻 84
2. 論文標題 Structural and functional analyses of organic molecules regulating biomineralization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1529 ~ 1540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2020.1762068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwahashi Haruka, Araki Ayaka, Numako Chiya, Hokura Akiko, Suzuki Michio	4. 巻 49
2. 論文標題 Identification of Amorphous CaCO ₃ in Aqueous Solution Using XANES Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 982 ~ 985
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwamoto Shihori, Shimizu Keisuke, Negishi Lumi, Suzuki Nobuo, Nagata Koji, Suzuki Michio	4. 巻 212
2. 論文標題 Characterization of the chalky layer-derived EGF-like domain-containing protein (CgELC) in the pacific oyster, <i>Crassostrea gigas</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Structural Biology	6. 最初と最後の頁 107594 ~ 107594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jsb.2020.107594	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kintsu Hiroyuki, Nishimura Ryo, Negishi Lumi, Kuriyama Isao, Tsuchihashi Yasushi, Zhu Lingxiao, Nagata Koji, Suzuki Michio	4. 巻 10
2. 論文標題 Identification of methionine -rich insoluble proteins in the shell of the pearl oyster, <i>Pinctada fucata</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 18335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-75444-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Keisuke, Kintsu Hiroyuki, Awaji Masahiko, Matumoto Toshie, Suzuki Michio	4. 巻 88
2. 論文標題 Evolution of Biomineralization Genes in the Prismatic Layer of the Pen Shell <i>Atrina pectinata</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Molecular Evolution	6. 最初と最後の頁 742 ~ 758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00239-020-09977-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhu Lingxiao, Wang Liying, Matsuura Akihiro, Zhang Mimin, Lu Peng, Imura Kurin, Nagata Koji, Suzuki Michio	4. 巻 178
2. 論文標題 Purification, crystallization and X-ray analysis of Pf-SCP (sarcolemmal Ca-binding protein), related to storage and transport of calcium in mantle of <i>Pinctada fucata</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Protein Expression and Purification	6. 最初と最後の頁 105781 ~ 105781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pep.2020.105781	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 ○M. Suzuki.
2. 発表標題 “Organic molecules in shell microstructures of Pinctada fucata.”
3. 学会等名 16th International Symposium on Biomineralization (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ○鈴木道生
2. 発表標題 「キチンの合成と分解によるバイオミネラリゼーションのナノ構造制御」
3. 学会等名 『第 35 回日本キチン・キトサン学会大会』（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ○鈴木道生
2. 発表標題 「バイオミネラリゼーションの炭素循環」
3. 学会等名 『シンポジウム「生命×金属 - 金属を活用した生命の生存戦略-」 立命館大学生物資源研究センター×立命館大学 R-GIRO「気候変動に対応する生命圏科学の基盤創生」プロジェクト共催シンポジウム』（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水啓介、岩本しほり、竹内猛、遠藤一佳、鈴木道生
2. 発表標題 「二枚貝における EGF-like タンパク質の機能と進化」
3. 学会等名 『第 21 回マリンバイオテクノロジー学会大会』
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ○清水啓介、竹内猛、遠藤一佳、鈴木道生
2. 発表標題 「遺伝子重複による貝殻基質タンパク質 EGF-like の進化」
3. 学会等名 『日本進化学会第 23 回東京大会』
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水啓介、根岸瑠美、鈴木信雄、遠藤一佳、鈴木道生
2. 発表標題 「軟体動物腹足類における幼 殻基質タンパク質の進化」
3. 学会等名 『第 16 回バイオミネラリゼーションワークショップ』、
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ○清水啓介、鈴木道生、鈴木信雄
2. 発表標題 「海洋酸性化による巻貝幼生の貝殻形成への影響評価」
3. 学会等名 『金沢大学環日本海域環境研究センター2021 年度共同研究成果報告会』
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ○二川慶、森岡太一、池谷鉄兵、伊藤隆、降旗一夫、渡辺裕之、永田宏次、鈴木道生
2. 発表標題 「バイオミネラルタンパク質の low complexity region の構造、機能解析」
3. 学会等名 『日本農 芸化学会 2022 年度(令和 4 年度)大会』
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ○浪川勇人、森安賢司、勝又聡、前山薫、渡部終五、安元剛、鈴木道生
2. 発表標題 「二酸化炭素 固定に貢献するバイオミネラル中の炭酸脱水酵素の活用」
3. 学会等名 『日本農芸化学会 2022 年 度(令和 4 年度)大会』
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ○L. Zhu, K. Shimizu, H. Kintsu, S. Sakuda, I. Kuriyama, K. Maeyama, K. Nagai, T. Miura, Y. Oka, K. Nagata, M. Suzuki.
2. 発表標題 “Structural and functional analyses of chitinolytic enzymes in the nacreous layer of Pinctada fucata.”
3. 学会等名 16th International Symposium on Biomineralization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ○K. Shimizu, T. Takeuchi, K. Endo, M. Suzuki.
2. 発表標題 “Evolution of EGF-like domain- containing shell matrix proteins by gene duplication.”
3. 学会等名 16th International Symposium on Biomineralization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浪川勇人、鈴木道生
2. 発表標題 「アコヤガイ真珠層内の亜鉛が配位した炭酸脱水酵素活性の解析」
3. 学会等名 『生命金属科学 夏の合宿』
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ○二川慶、森岡太一、池谷鉄兵、伊藤隆、降旗一夫、渡辺裕之、永田宏次、鈴木道生
2. 発表標題 「バイオミネラルタンパク質の low complexity region の構造、機能解析」
3. 学会等名 『第 16 回バイオミネラリゼーションワークショップ』
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ○龍鄭、鈴木道生
2. 発表標題 「マガキにおける貝殻タンパク質の機能解析」
3. 学会等名 『第 16 回バイオミネラリゼーションワークショップ』
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ○朱凌霄、近都浩之、根岸瑠美、胡桃坂仁志、作田庄平、栗山功、前山薫、永井清仁、川端美千代、幸塚久典、三浦徹、岡良隆、清水啓介、永田宏次、鈴木道生
2. 発表標題 「Pinctada fucata の真珠層におけるキチン分解酵素の役割の解明」
3. 学会等名 『第 16 回バイオミネラリゼーションワークショップ』
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michio Suzuki
2. 発表標題 Structural and functional analyses of organic molecules in biomineralization.
3. 学会等名 ICCMSE 2020 (ICNAAM 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木道生
2. 発表標題 生体鉱物に着目した生命金属科学の研究
3. 学会等名 第93回日本生化学会大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木道生
2. 発表標題 有機 無機相互作用を制御するバイオミネラリゼーションにおけるアンサンブル現象への挑戦
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水啓介、岩本しほり、竹内猛、遠藤一佳、鈴木道生
2. 発表標題 貝殻基質タンパク質EGF-likeの機能と進化シナリオ
3. 学会等名 第15回バイオミネラリゼーションワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯島まゆみ、鈴木道生、石山巳喜夫
2. 発表標題 ギンザメ歯板のバイオミネラリゼーションモードとメカニカルプロパティ
3. 学会等名 第15回バイオミネラリゼーションワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木道生、近都浩之、朱凌霄
2. 発表標題 キチン分解とバイオミネラルリゼーション形成制御の関係
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度（令和3年度）大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森岡太一、岩橋晴香、池谷鉄平、伊藤隆、片山秀和、降旗一夫、永田宏次、鈴木道生
2. 発表標題 アコヤガイ靱帯の石灰化に関わる有機物の機能・構造解析
3. 学会等名 第15回バイオミネラルリゼーションワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森岡太一、岩橋晴香、池谷鉄平、伊藤隆、片山秀和、降旗一夫、永田宏次、鈴木道生
2. 発表標題 アラコナイトナノファイバー形成に関与するアコヤガイ靱帯の新規酸性ペプチドLICPの構造解析
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度（令和3年度）大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朱凌霄、近都浩之、根岸留美、栗山功、前山薫、永井清仁、川端美千代、三浦徹、岡良隆、清水啓介、永田宏次、鈴木道生
2. 発表標題 アコヤガイ貝殻真珠層から見出した2つのキチン分解酵素の役割の解明
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 渡部終五、永井清仁、前山 薫、柿沼 誠、淡路雅彦、竹内 猛、三浦 猛、木下滋晴、鈴木道生、松山知正	4. 発行年 2020年
2. 出版社 恒星社厚生閣	5. 総ページ数 192
3. 書名 真珠研究の今を伝える 真珠養殖125周年を記念して「真珠形成の機能タンパク質」	

1. 著者名 尾島孝男、落合芳博、鈴木道生	4. 発行年 2020年
2. 出版社 恒星社厚生閣	5. 総ページ数 334
3. 書名 水圏生物タンパク質科学の新展開「真珠の輝きを作るタンパク質 バイオミネラリゼーションの科学」	

1. 著者名 城 宜嗣（監修）、津本 浩平（監修）、古川 良明（編集委員）、神戸 大朋（編集委員）、鈴木道生	4. 発行年 2021年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 564
3. 書名 生命金属ダイナミクス 生体内における金属の挙動と制御「バイオミネラリゼーションによる金属、鉱物の濃集」	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 「二酸化炭素の固定化方法及び固定化システム並びに炭酸塩の製造方法」	発明者 安元剛、廣瀬美奈、 勝又聡、牟田(植田) 直幸、森安賢司、鈴	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2022-007350	出願年 2022年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 「複合体の製造方法および複合体」	発明者 鈴木道生、浪川勇 人、安元剛、渡部終 五、森安賢司、勝又	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2022-025892	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

東京大学大学院農学生命科学研究科分析化学研究室
<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/analchem/>
 分析化学研究室
<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/analchem/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	永田 宏次 (Nagata Koji) (30280788)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (12601)	
研究分担者	豊福 高志 (Toyofuku Takashi) (30371719)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究開発プログラム)・主任研究員 (82706)	
研究分担者	川野 潤 (Kawano Jun) (40378550)	北海道大学・理学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	木下 滋晴 (Kinoshita Shigeharu) (40401179)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・准教授 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------