

機関番号：12601

研究種目：学術創成研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17GS0311

研究課題名（和文） 有機・無機相互作用解析によるバイオミネラリゼーションの制御機構の解明

研究課題名（英文） Regulation mechanism of biomineralization based on interaction between organic matrices and inorganic crystals

研究代表者

長澤 寛道 (NAGASAWA HIROMICHI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：60134508

研究成果の概要（和文）：バイオミネラリゼーション（生物が無機鉱物を作る作用）は、それによって作られる無機鉱物（バイオミネラル）に微量に含まれる有機物によって制御されていると考えられてきた。われわれは、水棲生物の石灰化組織を材料にして石灰化を制御していると考えられる有機物を探索、精製、構造・機能解析を行った。また、石灰化組織の結晶学的特徴を電子顕微鏡解析によって明らかにし、バイオミネラルの生成を制御する多数の高分子・低分子有機化合物を発見することによって従来の考え方を実証した。

研究成果の概要（英文）：It has been hypothesized that biomineralization, an action of mineral formation by organisms, is regulated by a small amount of organic materials included in biominerals. Using calcified tissues of some aquatic organisms we searched for calcification-regulating organic compounds, and purified them for structural and functional identification. We also clarified the crystallographic properties of each calcified tissue by electron microscopic analyses and verified the hypothesis by discovering many high- and low-molecular-weight organic compounds, which regulate calcification.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	84,300,000	25,290,000	109,590,000
2006年度	81,600,000	24,480,000	106,080,000
2007年度	52,800,000	15,840,000	68,640,000
2008年度	52,800,000	15,840,000	68,640,000
2009年度	52,800,000	15,840,000	68,640,000
総計	324,300,000	97,290,000	421,590,000

研究分野：生物有機化学

科研費の分科・細目：農芸化学・生物生産化学・生物有機化学

キーワード：バイオミネラリゼーション、石灰化、水棲生物、有機・無機相互作用、有機基質、結晶多形制御、結晶成長制御、分子進化

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 下等な微生物から高等な動植物まで無機鉱物を形成する作用（バイオミネラリゼーション）が見られる。しかし、そのメカニズムは生命科学だけでも鉱物結晶学だけでも解明することは困難であり、両分野の融合的協力が必須である。

(2) 生物が作る無機鉱物（バイオミネラル）

には微量の有機物（有機基質）が含まれており、この有機基質がバイオミネラリゼーションを制御していると考えられてきたが、構造及び機能において不明な点が多く残されている。

## 2. 研究の目的

(1) 有機基質と無機鉱物結晶の間の相互作用

用を解析することにより、バイオミネラル形成の制御機構を解明することを目指す。

(2) 本研究分野は生命科学と鉱物結晶学の境界領域である。これまで、このような組み合わせの研究領域はなかった。本研究は両分野の緊密な連携により、この問題を解決すると共に、新しいバイオミネラリゼーション研究領域を創成することを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 実験材料として、甲殻類の外骨格と胃石、円石藻のココリス、魚類の耳石と鱗、軟体動物の貝殻を用いた。

(2) 水棲生物由来のバイオミネラルの形成状態を電子顕微鏡を用いて観察し、鉱物結晶学的特徴を明らかにすると共に、結晶形成の機構を考察する。

(3) さまざまなバイオミネラルから機能性有機基質を抽出・精製・構造解析する。また、基質タンパク質をコードする cDNA をクローニングし、バイオミネラリゼーションが起こる時期や部位と関連させて、遺伝子発現状態を明らかにする。

(4) *in vitro* で有機基質存在下に炭酸カルシウム過飽和溶液から結晶化を行い、形成された結晶の結晶学的特徴を明らかにする。

(5) 炭酸カルシウムには3つの結晶多形および非晶質が存在し、生物あるいは組織は結晶多形を選択している。この選択に有機基質が関わっていることを明らかにする。

(6) 有機基質の構造機能相関を通じて、有機基質の分子進化の特徴を明らかにする。

(7) バイオミネラルの形成を担っている組織および細胞がどのようにその形成を制御しているかを明らかにする。

### 4. 研究成果

(1) 円石藻のココリスは2つの炭酸カルシウム結晶ユニットが交互に繰り返してできた楕円状の構造物である。これについて、電子後方散乱回折により、ココリスを構成する結晶の方位をはじめて解析し、方位が制御されていることを明らかにした(図1)。

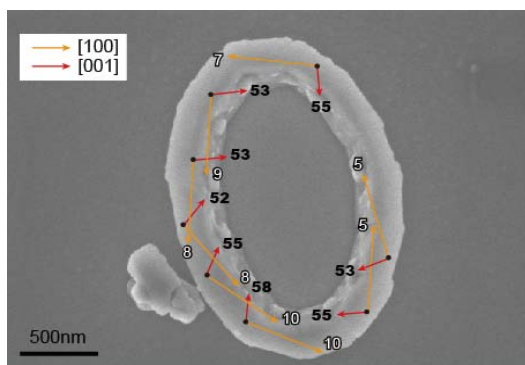


図1. 円石藻のココリスの結晶方位

その他に、ココリスの化石、アコヤガイ成体の稜柱層、真珠層および稚貝の幼殻、ニジマスの扁平石、エゾアワビ(巻貝)の真珠層、ヒザラガイの歯舌の結晶学的解析を行い、それらの特徴を明らかにすると共に、その形成メカニズムについて考察した。

(2) 新規有機基質として、アメリカザリガニの外骨格から新規可溶性ペプチド2種、アコヤガイの貝殻の真珠層から新規タンパク質2種、キンギョの鱗から新規タンパク質2種、ニジマスの耳石から新規タンパク質8種、円石藻のココリスから新規酸性多糖1種をそれぞれ単離し、構造解析した。そのうちのいくつかについては、遺伝子をクローニングし、部位特異的発現解析を行った。その結果、多くの場合において、バイオミネラリゼーションと連動して有機基質遺伝子の発現が認められたことから、バイオミネラリゼーションに重要であることが示唆された。

(3) 当初、バイオミネラルに含まれる機能性有機基質は生物種を超えて構造が類似していると期待していた。しかし、上述の有機基質間には、酸性化合物という化学的性質は共有されているものの、化合物種、分子量およびアミノ酸配列の類似性はほとんど見出されなかった。このことは、バイオミネラリゼーションの起源が一つではなく、さまざまな生物が独立に鉱物形成能を獲得してきたという古生物学の結論と矛盾しない。一方、分類学的に近縁の種同士ではある程度有機基質の構造類似性が見られた。これらの特徴は、基質タンパク質が酸性というかなり大雑把な性質を保持できれば、アミノ酸残基の変異を許容できることを示唆している。したがって、他の機能性タンパク質のようなアミノ酸配列の保存は見られないという特徴が存在することがわかった。

(4) 炭酸カルシウムバイオミネラルの結晶多形(カルサイト、アラゴナイト、バテライト、非晶質)は生物・組織によって厳密に選択されている。これまでバイオミネラルに含まれる有機基質が結晶多形を誘導すると推定されてきたが、確かな証拠はなかった。われわれはニジマスの耳石(アラゴナイト)から糖タンパク質を単離することに成功し、それが試験管内で耳石と同様のアラゴナイト結晶を誘導することを明らかにした。また、アコヤガイの貝殻の真珠層(アラゴナイト)から2種類のタンパク質を精製し、その複合体がアラゴナイトを誘導することを試験管内での結晶形成実験とRNA干渉実験によって証明した。また、アメリカザリガニの外骨格と胃石は非晶質炭酸カルシウムで形成されているが、不安定な非晶質状態を維持するのに、主に2種類のリンを含む低分子化合物(ホスホエノールピルビン酸および3-ホスホグリセリン酸)が寄与していることを明ら

かにした。

(5) われわれはバイオミネラルに含まれる有機基質が抽出されやすさと機能から3つに分類できることを提唱している(図2)。すなわち、1) 生理的条件下では不溶性の高分子化合物で結晶化の場を提供する有機基質、2) 1) の不溶性高分子に結合して結晶形成を制御する有機基質、および3) 可溶性の有機基質で結晶成長を制御する有機基質である。このうち2) に属する有機基質は多機能性があり、不溶性有機基質に結合するとともに結晶核形成、結晶多形や結晶方位を制御する能力がある。アメリカザリガニの外骨格由来基質ペプチド CAP-1 は分子中央部にキチンと結合する配列を、C末端部に酸性アミノ酸残基の塊を有し、炭酸カルシウムとの相互作用に重要であることが示唆された。

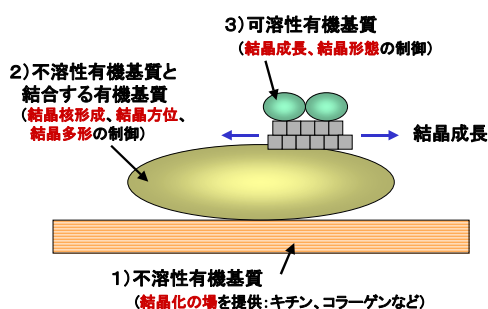


図2. 有機基質の機能モデル

(6) リンとカルシウムが不足した環境条件下でキンギョの鱗を再生させると、石灰化が極度に抑制された再生鱗が形成された。この鱗を生理的条件下で4時間培養すると、急速に石灰化が起こり、透過型電子顕微鏡観察により、それが骨質層の高電子密度物質中で起こることを明らかにした。この高電子密度物質の一つとして高密度リポタンパク質(HDL)が特定できた。また、このHDLはヒドロキシアパタイトと結合することも明らかになった。

(7) 2008年度から代表者が主催して全国レベルの「バイオミネラリゼーションワークショップ」を毎年1回開催し、毎回約100名の参加者を得、新研究分野の創成に寄与した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者に下線を施した。)

[雑誌論文] (計44件)

(1) Ogawa N, Ura K and Takagi Y: Scale calcification in the goldfish in vitro: histological and quantitative analysis. *Fish. Sci.*, 76, 189-198 (2010). 査読有

(2) Kayano K, Saruwatari K, Kogure T, Shiraiwa Y: Effect of Coccolith Polysaccharides Isolated from the Coccolithophorid, *Emiliania huxleyi*, on calcite crystal formation in in vitro  $\text{CaCO}_3$  Crystallization. *Mar. Biotechnol.*, 13, 83-92

(2010). 査読有

(3) Kikkawa N, Ohno T, Nagata Y, Shiozuka M, Kogure T, and Matsuda R: Ectopic calcification is caused by elevated serum inorganic phosphate in mdx mouse. *Cell Struct. Func.*, 34, 77-88, (2009). 査読有

(4) Saruwatari K, Matsui T, Mukai H, Nagasawa H and Kogure T: Nucleation and growth of aragonite crystals at the growth front of nacre in pearl oyster, *Pinctada fucata*. *Biomaterials*, 30, 3028-3034 (2009). 査読有

(5) Sugisaka A, Inoue H and Nagasawa H: Structure-activity relationship of CAP-1, a cuticle peptide of the crayfish *Procambarus clarkii*, in terms of calcification inhibitory activity. *Front. Mater. Sci. China*, 3, 183-186 (2009). 査読有

(6) Kudo M, Kameda J, Saruwatari K, Ozaki N, Okano K, Nagasawa H and Kogure T: Microtexture of larval shell of oyster, *Crassostrea nippona*: a FIB-TEM study. *J. Struct. Biol.*, 169, 1-5 (2009). 査読有

(7) Suzuki M, Saruwatari K, Kogure T, Yamamoto Y, Nishimura T, Kato T and Nagasawa H: A novel acidic matrix protein, Pif, is a key macromolecule for nacre formation. *Science*, 325, 1388-1390 (2009). 査読有

(8) Tohse H, Saruwatari K, Kogure T, Nagasawa H and Takagi Y: Control of polymorphism and morphology of calcium carbonate crystals by a matrix protein aggregate in fish otoliths. *Crystal Growth & Design*, 9, 4897-4901 (2009). 査読有

(9) Inoue H, Yuasa-Hashimoto N, Suzuki M and Nagasawa H: Structure determination and functional analysis of a soluble matrix protein associated with calcification of exoskeleton of the crayfish, *Procambarus clarkii*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 72, 2697-2707 (2008) 査読有

(10) Tohse H, Takagi Y and Nagasawa H: Identification of a novel matrix protein contained in a protein aggregate associated with collagen in fish otoliths. *FEBS J.*, 275, 2512-2523 (2008). 査読有

(11) Yamamoto Y, Nishimura T, Sugawara A, Inoue H, Nagasawa H and Kato T: Effects of peptides on  $\text{CaCO}_3$  crystallization: Mineralization properties of an acidic peptide isolated from exoskeleton of a crayfish and its derivatives. *Crystal Growth & Design*, 8, 4062-4065 (2008). 査読有

(12) Kameda J, Inoguchi R, Prior D J and Kogure T: Morphological analyses of minute crystals by using stereo-photogrammetric scanning electron microscopy and electron back-scattered diffraction. *J. Microscopy (Oxford)*, 228, 358-365 (2007). 査読有

(13) Saruwatari K, Akai J, Fukumori Y, Ozaki N,

Nagasawa H and Kogure T: Crystal orientation analyses of biominerals using Kikuchi patterns in TEM. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 103, 15-21 (2007). 査読有

(14) Arai T, Hirata T and Takagi Y: Application of laser ablation ICPMS to trace the environmental history of chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Mar. Environ. Res.*, 63, 55-66 (2007). 査読有

(15) Takagi Y and Ura K: Teleost fish scales: a unique biological model for the fabrication of materials for corneal stroma regeneration. *J. Nanosci. Nanotech.*, 7: 757-762 (2007). 査読有

(16) Suzuki M and Nagasawa H: The structure-function relationship analysis of Prismaticin-14 from the prismatic layer of the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata*. *FEBS J.*, 274, 5158-5166 (2007). 査読有

(17) Ozaki N, Sakuda S and Nagasawa H: A novel highly acidic polysaccharide with inhibitory activity on calcification from the calcified scale "coccolith" of a coccolithophorid alga, *Pleurochrysis haptanemofera*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 357, 1172-1176 (2007). 査読有

(18) Suzuki M, Sakuda S and Nagasawa H: Identification of chitin in the prismatic layer of the shell and a chitin synthase gene from the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 71, 1735-1744 (2007). 査読有

(19) Takagi Y and Ura K: Teleost fish scales: a unique biological model for the fabrication of materials for corneal stroma regeneration. *J. Nanosci. Nanotech.*, 7: 757-762 (2007). 査読有

(20) Ozaki N, Sakuda S and Nagasawa H: A novel highly acidic polysaccharide with inhibitory activity on calcification from the calcified scale "coccolith" of a coccolithophorid alga, *Pleurochrysis carterae*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 357, 1172-1176 (2007). 査読有

(21) Suzuki M, Sakuda S and Nagasawa H: Identification of chitin in the prismatic layer of the shell and a chitin synthase gene from the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 71, 1735-1744 (2007). 査読有

(22) Inoue H, Ohira T and Nagasawa H: Significance of the C-terminal acidic region of CAP-1, a cuticle calcification-associated peptide from the crayfish, for calcification. *Peptides*, 28, 566-573 (2007). 査読有

(23) Suzuki H, Nagasawa H and Kogure T: Synthesis and structure of hollow calcite particles. *Crystal Growth and Design*, 6, 2004-2006 (2006). 査読有

(24) Saruwatari K, Ozaki N, Nagasawa H and

Kogure T: Crystallographic alignment of coccolith (*Pleurochrysis carterae*) revealed by electron back-scattered diffraction (EBSD). *Amer. Mineral.*, 91, 1937-1940 (2006). 査読有

(25) Tohse H, Murayama E, Ohira T, Takagi Y and Nagasawa H: Two isoforms of carbonic anhydrase in rainbow trout: differential expression and function in otolith biomineralization. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 145, 257-264 (2006). 査読有

(26) Sato K, Kumagai Y, Kogure T, Watari K, Tanaka J: Polymorph and orientation control of calcium carbonate crystals achieved by organic matrices, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 114, 754-759 (2006). 査読有

(27) Murayama E, Herbomel P, Kawakami A, Takeda H and Nagasawa H: Otolith matrix proteins, OMP-1 and Otolin-1, are necessary for normal otoliths growth and their correct anchoring onto the sensory maculae. *Mech. Develop.*, 122, 791-803 (2005). 査読有

他 17 編

[学会発表] (計 153 件)

(招待講演)

(1) 鈴木道生, 長澤寛道: アコヤガイの貝殻の真珠層形成機構、日本農芸化学会 2010 年度大会 (東京大学, 2010.3)

(2) Sugisaka A, Inoue H, and Nagasawa H: Structure-activity relationship of CAP-1, a cuticle peptide of the crayfish *Procambarus clarkii*, in terms of calcification inhibitory activity. 10th International Symposium on Biomineralization, August 31-September 4, 2008, Lianyungang, China. (Plenary lecture)

(3) 都木靖彰: 魚類鱗の成因について、第 1 回生体機能マテリアル研究会、2007 年 1 月、東京工業大学田町キャンパス、東京

(4) 都木靖彰: 脊椎動物が作る炭酸カルシウム結晶「耳石」形成のメカニズム。バイオミネラルゼーションワークショップ、2006 年 12 月、東京大学弥生講堂、東京

(5) 長澤寛道: 円石藻におけるココリス形成に関与する物質の探索。バイオミネラルゼーションワークショップ、2006 年 12 月、東京大学弥生講堂、東京

(6) 小暮敏博: 集束イオンビーム装置による生体鉱物の TEM 試料作製とその解析。バイオミネラルゼーションワークショップ、2006 年 12 月、東京大学弥生講堂、東京

(7) Nagasawa H: Gordon Research Conference, "Biomineralization", "Complementary DNA cloning and functional analysis of a novel protein involved in coccolith biomineralization in coccolithophorid alga *Pleurochrysis carterae*", July 30-August 4, 2006, Colby-Sawyer College, New London, NH, USA.

- (8) 長澤寛道 : 日本セルロース学会特別講演、「バイオミネラリゼーションにおける有機高分子化合物の役割」、2006年7月13日、東京大学農学部弥生講堂一条ホール、東京
- (9) 長澤寛道 : マリンバイオテクノロジー学会シンポジウム「海洋生物と微量金属」「カルシウム—生物石灰化の科学」、2006年5月28日、東京海洋大学、品川
- (10) Nagasawa H: DOBIS International Symposium: “Dynamics of the Ocean Biosystem”, “Structures and Functions of Matrix Macromolecules in Calcified Tissues”, November 15-18, 2005, National Museum of Emerging Science and Innovation, Tokyo.
- (11) 長澤寛道 : バイオミネラリゼーションにおける有機基質の役割、日本物理学会 2005年秋季大会シンポジウム「バイオミネラリゼーション—生物による鉱物形成—」、2005年9月19日、同志社大学京田辺、京都 (国際学会 : 口頭発表、ポスター発表)
- (12) Yokoo N, Saruwatari K, Suzuki M, Aoki H, Nagasawa H, Endo K, and Kogure T: On the structure of larval shells of pearl oyster, *Pinctada fucata*, The 4th Asian Symposium on Biomineralization (Zhejiang University, China, 2009.11)
- (13) Suzuki M, Saruwatari K, Nagasawa H, Kogure T: The calcium carbonate formation using peptides and proteins from the shell of pearl oyster, *Pinctada fucata*. 2009 MRS Fall Meeting (Boston USA, 2009.12)
- (14) Nagasawa H: Characterization of Matrix Proteins in the Shell of the Japanese Pearl Oyster, *Pinctada fucata*. 5th World Fisheries Congress, October 20-25, 2008, Yokohama, Japan.
- (15) Iwashima A, Suzuki M, and Nagasawa H: Studies on BMSP-100, a novel matrix protein from the nacreous layer of the blue mussel, *Mytilus galloprovincialis*, 5th World Fisheries Congress, October 20-25, 2008, Yokohama, Japan.
- (16) Sugisaka A, Inoue H and Nagasawa H: Structure-activity relationship of CAP-1, a cuticle peptide of the crayfish *Procambarus clarkii*, in terms of calcification inhibitory activity. 10th International Symposium on Biomineralization: from centimeter to nanometer. August 31-September 4, 2008, Lianyungang, China.
- (17) Saruwatari K, Nagasaka S, Nagasawa H and Kogure T: Morphology and crystallography of immature coccoliths, *Pleurochrysis carterae*. 10th International Symposium on Biomineralization: from centimeter to nanometer. August 31-September 4, 2008, Lianyungang, China.
- (18) Suzuki M, Saruwatari K, Yamamoto Y, Nishimura T, Kato T, Kogure T, and Nagasawa H: Structural and functional analyses of a novel matrix protein, Pif, from the nacreous layer of the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata*, Gordon Research Conference, Biomineralization, August 10-15, 2008, New Hampshire, USA.
- (19) Sato A, Nagasaka S, Furihata K, Nagata S, Kogure T and Nagasawa H: Identification of phosphorus compounds in the gastroliths and the exoskeleton of the crayfish, *Procambarus clarkii*. Gordon Research Conference, Biomineralization, August 10-15, 2008, New Hampshire, USA.
- (20) Nagasaka S, Ozaki N, Kogure T, and Nagasawa H: The effect of Ca<sup>2+</sup> concentration on the coccolith formation in *Pleurochrysis carterae*. Gordon Research Conference, Biomineralization, August 10-15, 2008, New Hampshire, USA.
- (21) Ogawa N, Tohse H, Ura K, and Takagi Y: Plasma high density lipoprotein is incorporated into the matrix of fish scale and may act as mineralization inducer. Gordon Research Conference on Biomineralization, August 2008, Colby-Sawyer College, New London, NH, USA.
- (22) Yuasa N, Inoue H, Suzuki M and Nagasawa H: Structure and function of a novel soluble matrix protein associated with calcification of exoskeleton of the crayfish, *Procambarus clarkii*. 3rd Asia Biomineralization Symposium, November 22-23, 2007, Xiamen, China.
- (23) Takagi Y, Ohira Y, Ogawa N, Imura K, Tohse H and Ura K: Teleost fish scale is a unique model for studying regeneration of dermal skeletons. Gordon Research Conference "Bones and Teeth," University of New England, Biddeford, ME, USA (2007).
- (24) Ohira T, Sakurai T and Nagasawa H: "Preparation of a transgenic coccolithophorid alga *Pleurochrysis carterae* by *Agrobacterium tumefaciens*", 8th International Marine Biotechnology Conference, March 11-16, 2007, Eilat, Israel.
- (25) Saruwatari K, Matsui T, Suzuki M, Nagasawa H and Kogure T: "New insight into the nucleation and growth mechanism of nacreous aragonite in pearl oyster", Gordon Research Conference, New London, NH, USA, 2006.
- (26) Takagi Y, Tohse H and Ura K: Potential application of fish scale collagen in tissue engineering. 7th Korea-Japan, Japan-Korea Joint Symposium on Aquaculture, National Fisheries Research and Development Institute, Busan, Korea, October 2006.
- (27) Sakurai T, Hwang S-T, Tohse H and Nagasawa H: cDNA cloning and expression analysis of a novel protein involved in coccolithophorid alga *Pleurochrysis carterae*, 9th International Symposium on Biomineralization: "From Paleontology to Materials Science",



December 6-9, 2005, Pucon, Chile.

(28) Takagi Y, Ura K, Abe M and Suzuki A. Teleost fish regenerating scales; a unique model of regenerating dermal bone and cornea stroma. The 2nd International Symposium, "Marine resources as functional and therapeutic agents", 21st Century COE Program Marine Bio-Manipulation Frontier for Food Production, Sapporo, Japan, May 2005.

(国内学会：口頭発表、ポスター発表)

(29) 猿渡和子、長坂征治、尾崎紀昭、長澤寛道、小暮敏博：円石藻*Pleurochrysis carterae*のココリスにおける形態と結晶方位の発達過程、マリンバイオテクノロジー学会、東京（早稲田大学）、2009/05/31

(30) 佐藤 愛、長坂征治、降旗一夫、永田晋治、荒井 公、猿渡和子、小暮敏博、作田庄平、長澤寛道：甲殻類の解糖系代謝産物による石灰化制御に関する研究、第4回バイオミネラルリゼーションワークショップ、東京（東京大学）、2009/12/13

(31) 小川展弘、都木靖彰：キンギョの鱗再生初期における石灰化と血液由来HDLの関係、第4回バイオミネラルリゼーションワークショップ、東京大学弥生講堂、東京、2009年12月。

(32) 長坂征治、尾崎紀昭、小暮敏博、長澤寛道：円石藻*Pleurochrysis carterae*の円石形成と培地中Ca濃度の関係、マリンバイオテクノロジー学会大会、2008年5月24日、京都

(33) 向井広樹、猿渡和子、長澤寛道、小暮敏博：巻貝における初期真珠層の構造観察と結晶方位解析、第3回バイオミネラルリゼーションワークショップ、2008年12月13日、東京。

(34) 鈴木道生、猿渡和子、山本祐也、西村達也、加藤隆史、小暮敏博、長澤寛道：アコヤガイ貝殻の真珠層形成に関わる基質タンパク質構造・機能解析、日本農芸化学会大会、2008年3月27日、名古屋

(35) 尾崎紀昭、井上宏隆、長澤寛道：円石藻のココリス形成に関わるタンパク質の探索、第2回バイオミネラルリゼーションワークショップ、2007年12月1日、東京

(36) 湯浅直美、井上宏隆、鈴木道生、長澤寛道：アメリカザリガニの外骨格の石灰化に関する可溶性有機基質の探索、バイオミネラルリゼーションワークショップ、東京、2006年12月

(37) 鈴木道生、井上宏隆、小暮敏博、作田庄平、長澤寛道：アコヤガイ貝殻における稜柱層特異的基質タンパク質Prismalin-14の構造活性相関、日本農芸化学会大会、京都、2006年3月26日

他 116 件

〔図書〕(計7件)

(1) 長澤寛道 (2009) 海洋生命系のダイナミクス・シリーズ、第5巻「海と生命」、海洋

生物における石灰化の意味」、pp. 218-231、東海大学出版会（分担執筆）

(2) 井上宏隆、長澤寛道 (2007) 「アメリカザリガニにおける石灰化」、「バイオミネラルリゼーションとそれに倣う新機能材料の創製」（加藤隆史監修）pp. 17-34、シーエムシー出版、東京（分担執筆）

(3) 小暮敏博、猿渡和子 (2007) 「バイオミネラルの構造解析技術－炭酸カルシウムの最近の研究例より－」、「バイオミネラルリゼーションとそれに倣う新機能材料の創製」、(加藤隆史監修) pp. 172-178、シーエムシー出版、東京。（分担執筆）

(4) 当瀬秀和、都木靖彰 (2007) 「I. バイオミネラルリゼーションの生化学的解明」、 「バイオミネラルリゼーションとそれに倣う新機能材料の創製」（加藤隆史監修）、シーエムシー出版、東京、pp. 64-74。（分担執筆）

(5) 都木靖彰 (2005) 「魚類における耳石形成」、東京大学海洋研究所／海洋生命系のダイナミクス－2、海洋生物の機能、竹井祥郎編、東海大学出版会、秦野市、pp. 312-327。（分担執筆）

(6) 長澤寛道 (2005) 海洋生命系のダイナミクス・シリーズ、第2巻、「バイオミネラルリゼーションにおける基質高分子化合物の関与」、竹井祥郎 編、pp. 298-311、東海大学出版会（分担執筆）

(7) 都木靖彰 (2005) 「第4章 角膜の再生 2 硬骨魚類のウロコの生物学的特徴」、ソフトナノテクノロジー－バイオマテリアル革命－、田中順三・下村政嗣 監修、シーエムシー出版、東京、pp. 38-42。（分担執筆）

〔その他〕

ホームページ：<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/gakujutsubiom/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

長澤 寛道 (NAGASAWA HIROMICHI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：61034508

### (2) 研究分担者

・小暮 敏博 (KOGURE TOSHIHIRO)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：50282728

・都木 靖彰 (TAKAGI YASUAKI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号：10212002

・作田 庄平 (SAKUDA SHOHEI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：80192087