

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05864

研究課題名（和文）細胞シートから3次元の分岐構造を作る原理の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the principle for creating three-dimensional branching structures from cell sheets

研究代表者

近藤 滋（Kondo, Shigeru）

大阪大学・生命機能研究科・教授

研究者番号：10252503

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 95,400,000円

研究成果の概要（和文）：昆虫は脱皮の際に、折りたたんだ前駆体を一気に広げることで、短時間に形態を変えます。それを可能にするのは、膨らませた時に正しい形になる構造を「折りたたんだ状態で作る」必要があり、その原理が研究の対象です。4年目までにカブトムシの折り畳み法はほぼ理解できたので、5年目は、さらに複雑な形態を持つツノゼミの折り畳みを解析しました。基本はカブトムシと共通で「大まかな折り畳み」と「細かい皺」の組み合わせでしたが、原基の細胞シートが幼虫の殻から離脱した後、急速に収縮し、その収縮過程で大まかな形状が作られる、という点が異なっていました。これはそれ自体新たな発見であり、その詳細を今後解析していくことになります。

研究成果の学術的意義や社会的意義

理学的な意義：昆虫の形態がどのようにしてできるのかについての、基本的な原理の解明につながる。形態形成の研究は多数あるが、マクロな形態をダイレクトに説明できるようなモデルはほとんど存在せず、本研究により「折り畳み法」の提案は、極めて画期的なものである。

応用的な意義：昆虫は、膨らませると特定の3D形態をとる袋を、折りたたんだ状態で作る。この原理は、狭い空間で3Dの形態を作るための新しい建築工法につながるかもしれない。

研究成果の概要（英文）：During molting, insects change their morphology briefly by spreading their folded precursors at once. In order to do so, we needed to "create a folded structure" that would have the correct shape when inflated, and the principle was the subject of our research; by the fourth year, we had pretty much figured out how to fold a beetle, so in the fifth year, we analyzed the folding of a horned owl with a more complex morphology. The basics were a combination of "rough folds" and "fine wrinkles," as is common with beetles, but they differed in that the cell sheets of the protoplasm contracted rapidly after they detached from the larval shell, and the process of contraction produced a rough shape. This is a new discovery in itself, and we will analyze it in more detail in the future.

研究分野：数理形態学

キーワード：生物形態 脱皮 成虫原基 折り紙 カブトムシ ツノゼミ シミュレーション 物理計算

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

生物の形態が、どのような原理でできるのかは、非常の多くの研究者や一般人の興味の対象でありながら、未だに理解には程遠い状態が続いている。その原因の一つは、現状の生命科学の研究が、「形態」(特にマクロな外部形態)を理解に、必ずしもつながらない対象に集中していることである。まず、発生研究は主に初期胚を中心に行われていること。特に脊椎動物の場合、咽頭胚まではほぼすべての生物種で同じ形態であり、後期発生で複雑な「形」ができる原理に迫ることはできない。次に細胞レベルの反応が中心になっていること。個体の大きさは最低でも細胞数 **100** 個のレベルの大きさであり、細胞レベルの現象を理解しても、個体レベルの形態にはつながらない。さらに扱う現象の次元が低い(1, 2次元)こと。いうまでもなく、形態は**3**次元であり、1, 2次元のパターン形成の原理が解るだけでは「形」に迫ることはできない。

上記の不満足な点は、もちろん生命科学の技術的な制約によるものである。それを克服するには、技術の開発を行うか、あるいは、現状の技術で対応できる単純な生命現象を見つけるか、の**2**つの方法があるが、本研究では、後者を選んだ。

## 2. 研究の目的

選んだのは、昆虫の脱皮による形態形成である。特にカブトムシの幼虫から蛹にかけておきる角形成に注目する。カブトムシの角原基は、幼虫の頭部に「折りたたまれた細胞シート」として存在し、それが体液の圧力により展開されて角が出現する。

これが良いモデルシステムである理由は、脱皮は**1**時間以内におき、その間細胞の分裂、移動、変形、細胞死はほとんど起きない。できる形態は**3**次元であるが、実態は**2**次元のシートであり、これまでの発生学の知見をそのまま流用できる可能性がある、折り畳みの展開による**3D**形態形成は、計算機で予測可能、という特性を持つからである。カブトムシの角やさらに複雑なツノゼミの角の形態形成の原理を理解することで**3D**形態形成の原理に迫りたい。具体的な課題は、以下の**4**つ。

課題1)カブトムシの角形成が、本当に折りたたまれたシートの展開、という物理作用のみでできるかどうかを調べる。

課題2)皺の各部分の折り畳みがどのように**3D**形態に貢献しているのかをしらべる。

課題3)皺パターンがどのような仕組みでできるかを、細胞レベルで調べる

課題4)ツノゼミの知見をさらに複雑な角形態を持つツノゼミに応用し、任意の形態形成に対応できる理論モデルを構築する。

## 3. 研究の方法

課題1)脱皮直前のカブトムシ幼虫の角原基の**3D**形態をマイクロCTおよび、連続切片から再構成し、それを計算機内で、内側から圧力をかけて膨らませ、リアルな蛹と同じ形態になるかどうかを調べる。

課題2)計算機内の物理モデルに対し、人為的操作により皺を消すなどの操作を行う。それをふくらませた結果できる**3D**形態と正常な個体の差から、各部位の皺が**3D**形態に与える寄与を知り、折り畳みと**3D**形態の関係を理解する。

課題3)RNAiを使い、関連遺伝子をノックダウン形態に与える影響を見る。また、皺形成直前の細胞の動態から、背後にある原理を推測する。

課題4)コスタリカで様々な角形態を持つツノゼミの幼虫を採取し、カブトムシで行った解析を行い、多様な形態の形成原理を推定する。

## 4. 研究成果

課題1)本当に折りたたみか？

右図上が、原基の**CT**像である。これと、連続切片の画像から、計算機内に**3D**形態を構築し、それを、内側から圧力をかけることによって展開させたのが下図である。

このように、畳まれた形態から、蛹角の形態に正確に変化した。この結果は、予測されたように、変態過程においては、折り畳みの展開以外のミクロなレベルの現象は起きていないことを証明している。

課題2)折り畳みと**3D**形態を繋ぐ物理ロジックの解明

次に、折り畳みと**3D**形態を繋ぐロジックの解明に着手した。その過程を図3~6に示す。まず、展開後の角形態を**3**つに分け、それを逆再生して折りたたまれた状態を先端部、茎部、基部、の**3**つに分割し、それぞれについて詳しく調べた。スペースの都合により、ここでは先端部についてのみ説明する。

図1 カブトムシ角原基のCT像

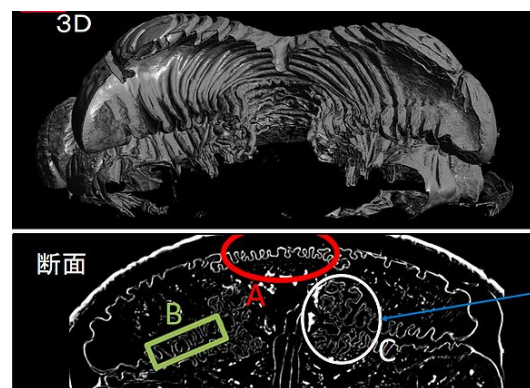


図2 計算機内での折り畳み展開



図3 原基を3分割

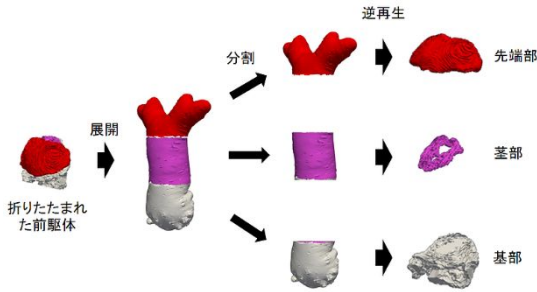
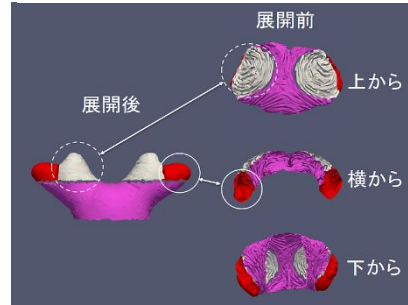


図4 先端部をさらに3分割



先端部を、皺のパターンを基準に、さらに3つの領域に分けたものが図4である。この後それぞれの領域の皺を人為的に消し、展開後の形態が正常な角とどの用に異なるかで、各部分の皺の意味を調べていく。例として以下に2つ挙げる。

上部の同心円状の皺パターンを消した場合、内側の突起が低くなる。

図5 同心円皺の削除

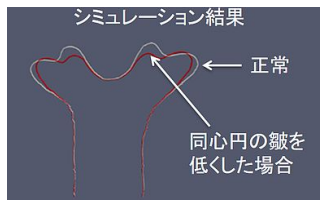
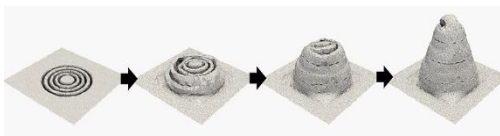


図6 同心円の皺は突起を作る



同心円状の皺の形態変化をシミュレーションすると、円錐状の突起を作ることから、この部分の皺パターンが、突起と対応していることが解る。次に、原基下面の皺を消すと

図7 底面の皺削除

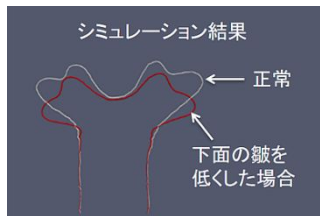
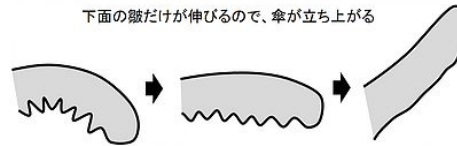


図8 下面の皺が立ち上がりを作る



分岐部分の立ち上がりが小さくなる。上面と下面の皺の向きの違いで、（同心円パターンの皺は1方向に伸長しない）両側の立ち上がりを作っていることが解る。

このような解析により、角各部分の皺パターンが異なるやり方で3D形態形成に関与していることが解った。これらのパターンをアレンジを変えて組み合わせることで、多様な形態の角が作れることが明らかとなった。

### 3) 折り畳みパターンを作る原理の解明

次に、それぞれの領域の皺パターン（幅、方向、深さ）が、どのような方法で決められているかの細胞・分子レベルの解明を目指した。方法はRNAiを使い、特定の遺伝子の活性をノックダウンして、どのような形態変化が起きるかを調べていく。特に重要な知見は、皺の方向と深さ・幅が、それぞれ独立のメカニズムできていることが解ったことである。

図9 RNAiによる皺の変化



上手に示すように、Notch 遺伝子をノックダウンすると、皺の幅、深さが、狭く浅くなる。しかし、皺の方向性が変化しない。一方、サイクリンEをノックダウンした場合は、皺の幅、深さは変わらないが、皺のパターンが大きく変化する。ほかに、特異的な変化を起こす遺伝子は多数見つかっており、今後の解析を進めれば、皺パターン形成の全貌がつかめると期待している。

#### 図10 ツノゼミ(コスタリカ) 課題4) 原理の展開(ツノゼミの角への適用)



カブトムシ角は、比較的単純な形状をしているため、この解析で得られる知見が、どの程度、外骨格生物の形態理解に対して汎用性があるのかが問題である。そのため、非常に多様で、しかも超絶に複雑な角形態を持つツノゼミを使い、カブトムシと同様の原理が使われているかどうかを調べた。

代表的なツノゼミ種を図10に示す。全て同じ科に属していることから、このように全く異なるように見える角も、近縁種のバリエーションであり、すなわち、同じ原理でできることが解る。幼虫を購入する方法がないので、コスタリカに3回遠征し、羽化直前の幼虫と成虫を採取し、日本に持ち帰り(コスタリカ政府の許可済み)解析した。

まず、カブトムシ同様、角が折り畳みの展開のみにより起きるかどうかを調べるため、羽化過程を動画により記録した。

#### 図11 ヨツコブツノゼミの羽化(近藤が撮影)



このように、極めて複雑な形態のヨツコブツノゼミの角も、脱皮器官のわずか20分で、風船が膨らむように作られることが明らかとなった。

その後CT等を使い、幼虫原基の皺パターンと展開後の3D形態の関係を調べている。その結果、以下のことが既にわかっている。

原基の折り畳み構造は、大まかな折り畳みと細かい皺の入れ子構造になっている。これは基本的にカブトムシと同じであるが、カブトムシの場合は皺パターンの寄与が大きいのに対し、ツノゼミは、大まかな折り畳みの寄与が、非常に大きい。カブトムシの場合には、大まかな皺パターンは、原基の細胞層と、幼虫のクチクラとの接着パターンで作られるが、ツノゼミの場合は、現在の仕組みは不明であり、その点にフォーカスして解析を続けている。

皺の方向性により、突起の伸長、突起の消失が起きる原理が解っている。ツノゼミの多くは、幼虫がとげ(突起)を持ち、それが脱皮により、より長くなる。幼虫>幼虫の脱皮では、無方向性の皺が存在する。この皺が展開すると、3D形状が相似形を保ったまま大きくなる。一方、幼虫から成虫の脱皮の時には、多くの場合、突起が無くなる。この場合は突起の方向に対して折りたたんだ傘のような皺ができ、それが脱皮時に開くと、広げた傘のように突起が無くなる。この仕組みは昆虫に共通かどうか、現在解析中である。

以上のように、ツノゼミにおいても、基本的にカブトムシの知見を応用できるが、全貌を理解するにはまだ数年かかると考える。最終的には、ツノゼミが多様な形態を作る原理を解明し、それを、「狭い空間で任意の形状を作る原理」として提示することで、産業応用につなげたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Adachi Haruhiko, Matsuda Keisuke, Nishida Kenji, Hanson Paul, Kondo Shigeru, Gotoh Hiroki	4. 巻 6
2. 論文標題 Structure and development of the complex helmet of treehoppers (Insecta: Hemiptera: Membracidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Zoological Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40851-020-00155-7	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 Adachi H, Matsuda K, Niimi T, Inoue Y, Kondo S, Gotoh H.	4. 巻 152
2. 論文標題 Anisotropy of cell division and epithelial sheet bending via apical constriction shape the complex folding pattern of beetle horn primordia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mech Dev.	6. 最初と最後の頁 32-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mod.2018.06.003	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 Sugime Y, Oguchi K, Gotoh H, Hayashi Y, Matsunami M, Shigenobu S, Koshikawa S, Miura T	4. 巻 146
2. 論文標題 Termite soldier mandibles are elongated by dachshund under hormonal and Hox gene controls	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Development	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/dev.171942	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 Ohde T, Morita S, Shigenobu S, Morita J, Mizutani T, Gotoh H, Zinna RA, Nakata M, Ito Y, Wada K, Kitano Y, Yuzaki K, Toga K, Mase M, Kadota K, Yamaguchi K, Rushe J, Lavine LC, Emlen DJ, Niimi T.	4. 巻 12
2. 論文標題 Rhinoceros beetle horn development reveals deep parallels with dung beetles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLoS Genetics	6. 最初と最後の頁 e1007651
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pgen.1007651	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 該当する

1. 著者名 Hust J, Lavine MD, Worthington AM, Zinna R, Gotoh H, Niimi T, Lavine L.	4. 巻 105
2. 論文標題 The Fat-Dachsous signaling pathway regulates growth of horns in <i>Trypoxylus dichotomus</i> , but does not affect horn allometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Insect Physiology	6. 最初と最後の頁 85-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinsphys.2018.01.006	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 該当する

1. 著者名 Zinna RA, Gotoh H, Kojima K, Niimi T	4. 巻 25
2. 論文標題 Recent advances in understanding the mechanisms of sexually dimorphic plasticity: Insight from beetle weapons and future directions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Current Opinions in Insect Science	6. 最初と最後の頁 35-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cois.2017.11.009	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 Matsuda K, Gotoh H, Tajika Y, Sushida T, Aonuma H, Niimi T, Akiyama M, Inoue Y and Kondo S	4. 巻 7
2. 論文標題 Complex furrows in a 2D epithelial sheet code the 3D structure of a beetle horn	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13939
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-14170-w	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 Tajika Y, Murakami T, Iijima K, Gotoh H, Takahashi-Ikezawa M, Ueno H, Yoshimoto Y, Yorifuji H.	4. 巻 7
2. 論文標題 A novel imaging method for correlating 2D light microscopic data and 3D volume data based on block-face imaging.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-03900-9	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 Gotoh H, Zinna RA, Ishikawa Y, Miyakawa H, Ishikawa A, Sugime Y, Emlen DJ, Lavine LC, Miura T	4. 巻 422
2. 論文標題 The function of appendage patterning genes in mandible development of the sexually dimorphic stag beetle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Developmental Biology	6. 最初と最後の頁 24-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ydbio.2016.12.011	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 該当する

1. 著者名 Shigeru Kondo	4. 巻 10 ; 414
2. 論文標題 An updated kernel-based Turing model for studying the mechanisms of biological pattern formation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Theoretical Biology	6. 最初と最後の頁 120-127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtbi.2016.11.003	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 -

〔学会発表〕 計41件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 近藤 滋
2. 発表標題 シマウマの模様をヒョウ柄に変える方法
3. 学会等名 第65回日本生化学会 近畿支部例会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川 日々紀
2. 発表標題 Arrangement of collagen fibers determines the fin bone structure in Zebrafish
3. 学会等名 第70回日本細胞生物学会 第51回日本発生生物学会 合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田 純平
2. 発表標題 The mechanism about the growth of collagen crystal involved with fin skeletal development.
3. 学会等名 第70回日本細胞生物学会 第51回日本発生生物学会 合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 足立 晴彦
2. 発表標題 Development of the horn primordia of Rhinoceros beetle
3. 学会等名 第70回日本細胞生物学会 第51回日本発生生物学会 合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤 滋
2. 発表標題 シマウマの模様をヒョウ柄に変える方法
3. 学会等名 第43回日本香粧品学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 臼居 優
2. 発表標題 ゼブラフィッシュの体表模様を形成するギャップジャンクションネットワークの最小条件について
3. 学会等名 日本動物学会 第89回大会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 坂下 美咲
2. 発表標題 魚類椎骨のマイクロCTを用いた比較形態観察による形態形成メカニズムの推定
3. 学会等名 2018年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂下 美咲
2. 発表標題 トポロジー最適化を用いて魚類椎骨の形態を再現する数理モデルの構築
3. 学会等名 第28回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田純平
2. 発表標題 Reading out unknown cell field information to clarify research on cell division, differentiation and development by FIB-SEM / SBF-SEM and 3d-reconstruction techniques.
3. 学会等名 BDR retreat 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤 滋
2. 発表標題 パターン形成から3次元の形態形成へ
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 臼居 優
2. 発表標題 ゼブラフィッシュが縞模様を形成するために必要なギャップジャンクションネットワークの最小条件について
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田 佳祐
2. 発表標題 カプトムシの収納術
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Misaki Sakashita
2. 発表標題 Modelling the force-dependent morphogenesis of fish vertebra with topology optimization
3. 学会等名 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 2D pattern formation by Turing mechanism and 3D shape formation by folding of cell sheet
3. 学会等名 Differential Equations arising from Organising Principles in Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 Turing mechanism for 2D pattern formation, and a proposal of another principle for 3D shape formation
3. 学会等名 Mathematical Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 2D pattern formation by Turing mechanism and 3D shape formation by folding of cell sheet
3. 学会等名 Mittwochskolloquium (MoKo/MiKo) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 Pattern formation in a growing tissue
3. 学会等名 119th International Tissue Conference on "Tissue formation and regeneration: from molecules to models" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂下 美咲
2. 発表標題 魚類の椎骨側部にある梁状構造ができる原理
3. 学会等名 第37回日本骨形態計測学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 澤田 莉沙
2. 発表標題 Exclusion mechanisms among pigment cells in zebrafish pattern formation
3. 学会等名 第23回小型魚類研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 臼居 優
2. 発表標題 ゼブラフィッシュの色素細胞において細胞集団サイズを制御するギャップジャンクションサーキットの探索
3. 学会等名 日本動物学会第88大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂下 美咲
2. 発表標題 魚類脊椎骨の3次元形態形成の研究
3. 学会等名 日本動物学会第88大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤 滋
2. 発表標題 A simple logic generating the positional information in organisms
3. 学会等名 北海道大学電子科学研究所国際シンポジウム「極」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 澤田 莉沙
2. 発表標題 ゼブラフィッシュ模様形成における色素細胞の2種類の排除メカニズム
3. 学会等名 Conbio2017(2017年度生命科学系学会合同年次大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒田 純平
2. 発表標題 魚類ヒレ骨格形成に必須なコラーゲン結晶の自律的合成メカニズム
3. 学会等名 Conbio2017(2017年度生命科学系学会合同年次大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川 日々紀
2. 発表標題 コラーゲン結晶の配向が誘導するひれ骨のかたち
3. 学会等名 Conbio2017(2017年度生命科学系学会合同年次大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 足立 晴彦
2. 発表標題 カプトムシ角原基における細胞シート折りたたみ構造について
3. 学会等名 Conbio2017(2017年度生命科学系学会合同年次大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 臼居 優
2. 発表標題 ゼブラフィッシュの模様形成において、黒色素胞の集団サイズを制御するギャップジャンクションサーキットの探索
3. 学会等名 Conbio2017(2017年度生命科学系学会合同年次大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松田 佳祐
2. 発表標題 The complex furrows on the horn primordia
3. 学会等名 Conbio2017(2017年度生命科学系学会合同年次大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸田 尚道
2. 発表標題 魚類の鰭骨を直線的に形成するコラーゲン結晶の機能
3. 学会等名 Conbio2017(2017年度生命科学系学会合同年次大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 How to Present an Unbelievable Experimental Result
3. 学会等名 Gordon Research Conference-Visualization in Science & Education (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 A new simpler version of Turing model that does not depend on any specific cellular mechanism
3. 学会等名 The BIRS workshop "Mathematics for Developmental Biology" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Misaki Sakashita
2. 発表標題 Biologically Inspired Topology Optimization Model with a Local Density Penalization
3. 学会等名 9th Vienna International Conference on Mathematical Modelling
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤 滋
2. 発表標題 シマウマの模様をヒョウ柄に変える方法
3. 学会等名 第29回バイオエンジニアリング講演 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤 滋
2. 発表標題 モデルなしのモデリング
3. 学会等名 第26回非線形反応と共同現象研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Keisuke Matsuda, Hiroki Gotoh, Shigeru Kondo
2. 発表標題 Folding Morphogenesis of Exoskeleton
3. 学会等名 日本動物学会第87回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 The detailed mechanism of Turing pattern formation in the skin of zebrafish
3. 学会等名 Combined ASBMB, ASPs and ANZSCDB Annual Meetings (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 近藤 滋
2. 発表標題 Simpler modelling of the biological pattern formation
3. 学会等名 2016年日本数理生物学会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 近藤 滋
2. 発表標題 「シマウマは、縞模様を得たウマ、ではなく、均一中間色を失ったウマ、である」というお話し。
3. 学会等名 日本進化学会第18回大会 (招待講演)
4. 発表年 2016年



1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 The mechanism of Turing pattern formation in the zebrafish skin
3. 学会等名 NYUAD-CGSB Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 Turing pattern formation without diffusion
3. 学会等名 2015 Cell Biology ASCB Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Shigeru Kondo
2. 発表標題 Turing pattern formation in real biological systems
3. 学会等名 2015 EPFL Life Science Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>「生物の3D形態を構築するロジック」ホームページ  <a href="http://www.3d-logic.jp/index2.html">http://www.3d-logic.jp/index2.html</a>  3D MORPHOLOGIC  超絶 逆折り紙の奥儀を極める話  <a href="http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/labs/skondo/saibokogaku/gyaku%20origami.html">http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/labs/skondo/saibokogaku/gyaku%20origami.html</a></p>
--

## 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	後藤 寛貴  (Gotoh Hiroki)  (60737899)	国立遺伝学研究所・ゲノム・進化研究系・博士研究員    (63801)	分子生物学の実験を担当