様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　元 年　６ 月　６ 日現在

機関番号：３４５０４
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2014～2018
課題番号：２６４００１８０

研究課題名（和文）走化性・増殖系に現れる非線形現象とその解析－これまでとこれから－

研究課題名（英文）Nonlinear analysis for a parabolic-parabolic chemotaxis-growth system of equations

研究代表者

大崎　浩一（Osaki, Koichi）

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号：４０３５３３２０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,800,000円

研究成果の概要（和文）：大腸菌分布のパターン形成に対する数理モデルである走化性・増殖系の解の存在とその挙動について研究しました．空間2次元の場合が直接現象に対応しますが，方程式の数理構造を研究する上では，空間次元を2に限定せず，3次元以上の一般次元にまで拡張して，これを深く調べます．本研究では，解の時間大域存在において，次元の影響に加えて，菌の走化性と増殖の強度に関する十分条件も示しました．さらには，解のパターン形成についても研究し，空間2次元ならびに3次元の場合におけるパターン形成に関する成果を得ました．

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究では走化性・増殖系の数理モデルとしての基本的性質の一部を明らかにしました．数理モデルの性質が明らかとなれば，その結果を現象の理解に役立てることができます．数理モデルを研究することの利点には，現象を予測し，さらに制御できる可能性が広がることなどがあります．本研究で扱った数理モデルは，主に大腸菌に対する走化性モデルですが，走化性は菌のみならず，白血球や昆虫などにも存在しており，本研究を含む基礎研究が，様々な自然現象の予測と制御へとつながる可能性があります．

研究成果の概要（英文）：We studied a parabolic-parabolic chemotaxis system with logistic growth. We showed the global-in-time existence of solutions to the chemotaxis system which has subquadratic degradation and nonlinear secretion. In addition, we showed the bifurcation of nontrivial solutions from the uniform state of the system, which indicates pattern formations, for instance, hexagonal and regular nesting patterns.

研究分野：非線形解析学

キーワード：Keller-Segel系　走化性方程式　走化性・増殖系　パターン形成　分岐理論　非線形現象　反応拡散系　Deneubourg系

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９、ＣＫ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

本研究は，三村昌泰教授・辻川亨教授(PhysicaA230(1996))によって導入された走化性・増殖系に現れる非線形現象，特に解のパターン形成に関する研究ならびに，そこで必要となる非線形解析の研究を行うものです．この方程式は，大腸菌の密度ならびに大腸菌自らが分泌する化学物質の濃度を未知関数とする２因子系で，それぞれの因子の拡散と反応，そして化学物質の濃度勾配の高い方向へと菌が移動しようとする移流に関する走化性の項が含まれます．さらに，菌の集合体形成と同程度の時間スケールで起こる菌の増殖もロジスティック型増殖項として含まれています．走化性・増殖系は，増殖項がなければ Keller-Segel 系(Keller and Segel, J. Theor. Biol. 26 (1970))に一致します．つまり，Keller-Segel 系は走化性移流を含む反応拡散系に分類できます．Keller-Segel 系は，空間１次元有界区間上において解が時間大域存在し（永井・仙葉・吉田，京都大学数理解析研究所講究録 1009(1997); Osaki and Yagi, Funkcial.Ekvac.44(2001))，さらにはこれが有界に留まり，アトラクター集合が構成できることも示されています（Osaki and Yagi, Funkcial.Ekvac.44(2001))．一方，空間次元が２のとき，Keller-Segel 系に対する解の時間大域存在と爆発との間に菌の初期総量に関する閾値が存在し(Gajewski and Zacharias, Math.Nachr.195(1998); Herrero and Velázquez, Ann. Scoula Norm. Sup. Pisa Cl. Sci. IV 24 (1997); Horstmann and Wang, European J. Appl. Math. 12 (2001); Nagai, Senba and Yoshida, Funkcial. Ekvac. 40 (1997); Senba and Suzuki, Methods Appl. Anal. 8 (2001)等)，空間３次元以上では，特に領域を球に選択した場合，いくら菌の初期総量を小さく取ったとしても，有限ないし無限時刻爆発するような初期値が存在することが Winkler 教授(J. Differential Equations 248(2010))によって示されています．一方，ロジスティック増殖を含む走化性・増殖系は，空間２次元以上でもロジスティック増殖が示す２次減衰作用が解の爆発を十分よく抑制することが研究代表者らや Winkler 教授の研究によって明らかとなっています(Osaki, Tsujikawa, Yagi and Mimura, Nonlinear Anal. TMA51(2002); Winkler, Comm. Partial Differential Equations 35 (2010))．モデル提案者の一人であり研究協力者である辻川教授は，それでは何次の減衰が解の時間大域存在と爆発との間の最適値となるのかという問題を提案されました．研究代表者は研究協力者の中口悦史先生と共同で，解の時間大域存在の側から臨界値に迫るべくこの問題に取り組み始めました．しかし研究を始めると，2 次より弱い減衰（弱減衰）を直接扱うのは，研究代表者等の解析手法上困難であることが次第に明らかとなってきました．吉川周二教授は，それならば化学物質の分泌オーダーを新規に導入し，減衰オーダーと分泌オーダーとの関係において研究を進めてみてはどうかとの助言をくださいました．この手法がブレークスルーとなり，弱減衰・弱分泌の場合における解の時間大域存在を空間 2 次元および 3 次元の場合において示すことができました(Nakaguchi and Osaki, Nonlinear Anal. TMA 74 (2011); Nakaguchi and Osaki, Discrete Contin. Dyn. Syst. B 18 (2013))．

解の存在が保証されたら，次に取り組むべき研究課題の１つは解のパターン形成です．これまで研究代表者らは，空間１ならびに２次元の場合において，空間一様解（自明解）から空間非一様解（非自明解）が分岐することを，Crandall-Rabinowitz(J. Funct. Anal. 8 (1971))による分岐定理や中心多様体理論ならびに分岐解析ソフトウェア AUTO を用いた数値計算によって示していました（Kurata, Kuto, Osaki, Tsujikawa and Sakurai, GAKUTO Internat. Ser. Math. Sci. Appl. 29(2008); Okuda and Osaki, Nonlinear Anal. RWA 12(2011); Kuto, Osaki, Sakurai and Tsujikawa, Physica D 241 (2012); 奥田孝志・大崎浩一，応用数理 22(2012))．Crandall-Rabinowitz(J. Funct. Anal. 8 (1971))の分岐定理は，分岐点における線形化作用素の退化次数が１であることを必要とします．つまり，解のパターン形成の研究においては，存在を示したい空間パターンを事前に１つに定め，そのフーリエモードを有する固有関数に接する方向に解の分岐が生じることを示します．この条件は場合によっては強すぎることもあります．実際例えば，事前に固有関数を知りえない他のパターン解の分岐は捉えることができません．研究代表者は，Crandall-Rabinowitz の分岐定理を用いたこの成果を南大阪セミナー(July 20, 2013)にご招待いただき講演し，その際，壁谷喜継教授から，線形化作用素の退化次数を１に限定しない Ambrosetti-Prodi (Cambridge Univ. Press, 1993)の分岐定理というものがあることをご教示いただきました．そこで，Ambrosetti-Prodi の分岐定理を用いて，改めて走化性・増殖系に対する解の分岐の問題を研究するという課題が新たに生じました．

２．研究の目的

上の背景の下，本研究では以下のことを目指します．

（１）弱減衰・弱分泌を有する走化性・増殖系に対する解の時間大域存在．さらにこれを多次元の場合に拡張することを目指します．

（２）ロジスティック増殖を有する走化性・増殖系に対する解のパターン形成．上で述べた研究代表者らの研究（Kuto, Osaki, Sakurai and Tsujikawa, Physica D 241 (2012)）を基に，これを空間３次元におけるパターン形成へと広げることを目指します．

（３）ロジスティック増殖を有する走化性・増殖系に対する多余次元の分岐．上で述べた研究代表者らの研究（Kuto, Osaki, Sakurai and Tsujikawa, Physica D 241 (2012)）における問

題を，Ambrosetti-Prodi(Cambridge Univ. Press, 1993)による分岐定理を用いて改めて研究することを目指し，さらに空間 3 次元の場合についても研究することを目指します．
（４）走化性・増殖系研究のこれまでとこれから．走化性・増殖系に対するこれまでの成果を，特に Keller-Segel 系との関連において整理し，レビュー論文を著すことを目指します．また，新たな研究課題について探求します．Keller-Segel 系ならびに走化性・増殖系は，ともに微生物（前者は細胞性粘菌，後者は大腸菌）分布に対するパターン形成に関する数理モデルです．本研究では，研究展開の１つの方向として，対象とする生物を昆虫へと広げます．シロアリの営巣過程に対する Deneubourg 系(Insectes Sociaux 24 (1977))を中心に，次に取り組むべき課題は何かを探求します．

３．研究の方法
（１）弱減衰・弱分泌を有する走化性・増殖系に対する解の時間大域存在．
化学物質の分泌オーダーも含めて考えることで，減衰オーダーと分泌オーダーとの関係において時間大域存在が保証される範囲（十分条件）を求めます．これは研究協力者の中口悦史先生との共同研究にて進めます．
（２）ロジスティック増殖を有する走化性・増殖系に対する解のパターン形成．
研究代表者らの従来の研究（Kuto, Osaki, Sakurai and Tsujikawa, Physica D 241 (2012)）を参考に，空間 3 次元におけるパターン形成を考えます．特に目指す解の対称性に着目して，固有関数を構成します．これは研究分担者の鳴海孝之先生との共同研究にて進めます．
（３）ロジスティック増殖を有する走化性・増殖系に対する多余次元の分岐．
研究代表者らの研究（Kuto, Osaki, Sakurai and Tsujikawa, Physica D 241 (2012)）における解の分岐の問題を，Ambrosetti-Prodi による分岐定理を用いて改めて捉え直します．特に，余次元が１より大きくなる状況を新たに取り扱います．さらに空間 3 次元の場合についても研究します．これは研究代表者の研究室・博士課程学生である青木崇明君ならびに研究分担者の鳴海孝之先生との共同研究にて進めます．
（４）走化性・増殖系研究のこれまでとこれから．
走化性・増殖系に関するこれまでの研究成果に関して，研究協力者である中口悦史先生，辻川亨先生，久藤衡介先生ご協力の下，これまでの成果をレビューすることを念頭に，論文を作成します．また，これからの課題について，研究分担者である鳴海孝之先生ならびに研究代表者の研究室・博士課程学生である上道賢太君との共同で探求します．研究協力者としての登録はしていないのですが，昆虫研究に関する専門家である大谷剛・兵庫県立大学名誉教授，ならびに生物物理で著名な本多久夫先生の協力も仰ぎながら，これからの課題について考えます．昆虫の拡散現象は非線形拡散を用いて表現されることが知られています(例えば,Okubo and Levin, Diffusion and Ecological Problems: Modern Perspectives, 2nd ed., Springer(2002))．本研究では，非線形拡散に造詣の深い，研究協力者・赤木剛朗先生とも昆虫の非線形拡散に関して議論します．

４．研究成果
（１）弱減衰・弱分泌を有する走化性・増殖系に対する解の時間大域存在に関して，以下の成果を得ました: 一般次元における時間大域存在(論文[6]),半群法を用いた十分条件の緩和（論文[4]).また，学会発表（ポスター発表含む）も行いました（学会発表[2, 13, 16, 19, 21, 22, 25, 26, 28]）．
（２）ロジスティック増殖を有する走化性・増殖系に対する解の空間 3 次元パターン形成に関して，以下の成果を得ました：空間 3 次元走化性・増殖系におけるパターン形成と対応する固有関数を研究分担者の鳴海孝之先生との共同研究において示しました(論文[11])．また，学会発表（ポスター発表含む）も行いました（学会発表[19, 21, 24, 25, 26, 27, 25, 28] ((１)との重複あり))．
（３）ロジスティック増殖を有する走化性・増殖系に対する多余次元の分岐に関して，以下の成果を得ました： Ambrosetti-Prodi の分岐定理(Cambridge Univ. Press, 1993)を用いて，空間 2 次元の場合において，研究代表者らの従来の研究（Kuto, Osaki, Sakurai and Tsujikawa, Physica D 241 (2012)）で捉えていた正六角形パターン解（適切な領域において斉次ノイマン境界条件を課すと余次元 2 となる）を改めて捉えなおしました．さらに対称性の低い類似の解の存在も示しました．加えて，存在が不明であった余次元 3 の分岐解の存在も，その対称性を事前に知ることなく示すことができました (論文[5])．これは Ambrosetti-Prodi の分岐定理を適用する上での利点であり，今回，このことに関する具体的事例を示すことができたともいえます．さらに，数値計算を用いてこの余次元 3 のパターン解の安定性について考察しました．加えて，空間 3 次元の場合を考え，体心立方格子 (BCC) パターン解（立方体領域において斉次ノイマン境界条件を課すと余次元 3 となる）の存在を証明しました（論文[2]）．また，学会発

表（ポスター発表含む）も行いました（学会発表[8, 23]).
（４）走化性・増殖系研究のこれまでとこれからに関して，以下の成果を得ました．まず，これまでの成果に関するレビューに関しては，すでにその一部を，論文: Nakaguchi and Osaki, DCDS-B 18(2013)において示すことができたため，当初予定していたより小規模の講究録としてまとめ，公表しました（論文[8]).また，日本数学会実函数論分科会にて特別講演を行う機会をいただき(発表[21]），そのアブストラクトについても走化性・増殖系研究のこれまでという位置付けで作成し，公表しました．しかし当該アブストラクトは現在入手不可のため，この内容を種に大幅に加筆修正し，何らかの方法で広くそれを公表することを検討しています．これからの課題としては，シロアリ営巣の Deneubourg 系(Insectes Sociaux 24 (1977))について，走化性・増殖系との関係において研究を始めており，走化性作用が十分小さければ，自明解に関する大域的なリャプノフ関数が構成できる（すなわち，自明解がグローバルアトラクターとなる）ことがわかり，講究録としてこの成果を公表しました（論文[3]).加えて，学会発表も行なっています（ポスター含む)（学会発表[3, 4, 5, 7, 11, ,14, 15, 17, 18]).また，昆虫スケールへの展開として，ミツバチの営巣過程に関しての観察とエージェントシミュレーションを用いた研究を行いました（論文[1, 7, 9]，学会発表[1, 6, 9, 12]).特に後者に関しては，科学一般系雑誌 PLoS ONE へ成果が掲載され，これを機に研究代表者ならびに共同研究者の所属大学においてプレスリリースしていただき，さらにはそれを見たメディアから取材を受けるなどしました（その他[1, 2]).

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 12 件）

[1] T. Narumi, K. Uemichi, H. Honda and K. Osaki, Self-organization at the first stage of honeycomb construction: Analysis of an attachment-excavation model, PLoS ONE 13(10): e0205353 (Oct 24, 2018), 査読有.
[2] T. Aoki, T. Narumi and K. Osaki, Codimension-three bifurcation from uniform equilibria in a chemotaxis-growth system (走化性・増殖系における余次元３の分岐), 京都大学数理解析研究所講究録 2087, 131-140, (Aug 01, 2018), 査読無.
[3] K. Noda, K. Uemichi, E. Nakaguchi and K. Osaki, A Lyapunov function for constant equilibria to the Deneubourg chemotaxis system (シロアリ造巣の走化性モデルに対する空間一様解の大域安定性), 京都大学数理解析研究所講究録 2087, 122-130, (Aug 01, 2018), 査読無.
[4] E. Nakaguchi and K. Osaki, Global Existence of Solutions to an n-Dimensional Parabolic-Parabolic System for Chemotaxis with Logistic-Type Growth and Superlinear Production, Osaka Math J. 55(2018), 51-70, (Jan 01, 2018), 査読有.
[5] T. Aoki and K. Osaki, Bifurcations with Multi-Dimensional Kernel in a Chemotaxis-Growth System, Scientiae Mathematicae Japonicae (SCMJ), online ver. e-2017-19, (Nov 20, 2017), 査読有.
[6] E. Nakaguchi and K. Osaki, L^p-Estimates of Solutions to n-Dimensional Parabolic-Parabolic System for Chemotaxis with Subquadratic Degradation, Funkcial. Ekvac. 59 (April 14, 2016), 51-66, 査読有.
[7] K. Osaki, Y. Miyaki, T. Kawamori, R. Nakata and T. Ohtani, Process of Honeycomb Construction and its Spatio-Temporal Uniformness (in Japanese：ミツバチの巣の形成過程とその時空間一様性), 兵庫生物 Hyogo Biology 15(2), 59-64, (March 31, 2016), 査読有.
[8] K. Osaki and E. Nakaguchi, Global Existence of Solutions to a Parabolic-Parabolic System for Chemotaxis with Subquadratic Degradation, 京都大学数理解析研究所講究録 1984 (Feb, 2016), 1-8, 査読無.
[9] T. Narumi, K. Uemichi, H. Honda and K. Osaki, A Model for Worker Honeybees Building the Triggers of Honeycomb Construction Process, SWARM 2015 abstract, 259-260 (Oct 28, 2015), 査読有.
[10] K. Osaki, H. Satoh and S. Yazaki, Towards Modelling Spiral Motion of Open Plane Curves, DCDS-S 8(5) (Oct 01, 2015), 1009-1022, 査読有.
[11] T. Narumi and K. Osaki, Three-Dimensional Pattern Formations in a Biological Model of Chemotaxis and Growth, 京都大学数理解析研究所講究録 1917 (Nov 01, 2014), 86-93, 査読無.
[12] K. Uemichi and K. Osaki, Hopf Bifurcation of Oscillatory Solutions to One-Dimensional Chemotaxis-Growth System, Proceedings of the International Conference Functional Analysis and Applications—Evolution Equations and Control Theory—in honor of Prof. Shin-ichi Nakagiri on the occasion of his retirement (Sep 01, 2014), 207-210, 査読無.

〔学会発表〕（計 28 件）
[1] 陰山真矢・吉田将大・大崎浩一, ミツバチの巣に見られる平行性と数理モデル, 第 1 回 Next Generation in Mathematical and Life Sciences (NgMLS), 岡山国際交流センター, Mar 28, 2019.
[2] 中口悦史・大崎浩一, 弱い減衰項と生成項を持つ放物・放物型走化性方程式系の時間大域解, 京都大学数理解析研究所, RIMS 共同研究（グループ型）反応拡散方程式と非線形分散型方程式の解の挙動, Feb 20--22, 2019.
[3] K. Osaki, K. Noda, K. Uemichi and E. Nakaguchi, Global-in-time existence and asymptotic behavior of solutions to a chemotaxis model for the nest building of termites, 3rd International Workshop on Mathematical Analysis of Chemotaxis (iWMAC3), Tokyo University of Science, Tokyo, Japan, Feb 21--23, 2018.
[4] K. Noda and K. Osaki, Global attractor and Lyapunov function for one-dimensional Deneubourg chemotaxis system, 3rd International Workshop on Mathematical Analysis of Chemotaxis (iWMAC3), Tokyo University of Science, Tokyo, Japan, Feb 21--23, 2018.
[5] K. Osaki, K. Noda, K. Uemichi and E. Nakaguchi, Global-in-time existence and asymptotic behavior of solutions to a chemotaxis model for the nest building of termites, 南大阪応用数学セミナー, 大阪府堺市, 大阪府立大学, Dec 09, 2017.
[6] 宮木優・大崎浩一・鳴海孝之, ミツバチの造巣初期段階に対するエージェントシミュレーション, SCI-TECH Research Forum, Kwansei Gakuin Univ., Nov 25, 2017.(Poster)
[7] K. Noda, K. Uemichi, E. Nakaguchi and K. Osaki, A Lyapunov function for constant equilibria to the Deneubourg chemotaxis system (シロアリ造巣の走化性モデルに対する空間一様解の大域安定性),「特別計画」RIMS 共同研究（公開型）: 14th「生物数学の理論とその応用」-構造化個体群モデルとその応用-, 京都大学・益川ホール, Nov 10, 2017.
[8] T. Aoki and K. Osaki, Codimension-two and -three bifurcations from uniform equilibria in a chemotaxis-growth system,「特別計画」RIMS 共同研究（公開型）: 14th「生物数学の理論とその応用」-構造化個体群モデルとその応用-, 京都大学・益川ホール, Nov 10, 2017.
[9] 鳴海孝之・上道賢太・本多久夫・大崎浩一, エージェントベースシミュレーションによるミツバチ造巣過程の研究, 明治大学 MIMS 共同研究集会「自然界に現れる紋様, 形態の統合的理解」, 明治大学中野キャンパス（東京都中野区）, Sep 12, 2017.
[10] 青木崇明・大崎浩一, 吸着質誘導相転移モデルに対する解のパターン形成, 第 9 回 Math フェスタ, 関西学院大学（西宮）, Aug 26, 2017.(Poster)
[11] 野田佳奈子・大崎浩一, 大腸菌分布のパターン形成に対する数理モデルとその解析, 第 9 回 Math フェスタ, 関西学院大学（西宮）, Aug 26, 2017.(Poster)
[12] 宮木優・大崎浩一・鳴海孝之, ミツバチの造巣初期段階に対するエージェントシミュレーション, 関西 4 私大合同生命科学シンポジウム, 関西学院大学, Mar 07, 2017.(Poster)
[13] E. Nakaguchi and K. Osaki, Global solutions to a parabolic-parabolic system for chemotaxis with logistic-type growth and superlinear production, 2nd International Workshop on Mathematical Analysis of Chemotaxis (iWMAC2), Tokyo University of Science, Tokyo, Japan, Feb 20--25, 2017.
[14] 宮木優・大崎浩一・鳴海孝之, ミツバチの造巣初期段階に対するエージェントシミュレーション, SCI-TECH Research Forum, Kwansei Gakuin Univ., Nov 26, 2016.(Poster)
[15] 宮木優・大崎浩一・鳴海孝之, ミツバチの造巣初期段階に対するエージェントシミュレーション, 第 8 回 Math フェスタ, 京都大学, Aug 27, 2016.(Poster)
[16] E. Nakaguchi and K. Osaki, L_p-estimates and regularity for global solutions to an n-dimensional parabolic-parabolic chemotaxis system with sub-quadratic production, International Workshop on Mathematical Analysis of Chemotaxis (iWMAC), Tokyo University of Science, Tokyo, Japan, Feb 22-27, 2016.
[17] 宮木優・河盛月美・中田梨菜・川嶋里香・大崎浩一・鳴海孝之, ミツバチの造巣初期段階に対するエージェントシミュレーション, SCI-TECH Research Forum, Kwansei Gakuin Univ., Nov 21, 2015.(Poster)
[18] T. Narumi, K. Uemichi, H. Honda and K. Osaki, A Model for Worker Honeybees Building the Triggers of Honeycomb Construction Process, SWARM 2015: The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, Kyoto Univ., Oct 28-30, 2015. (Poster)
[19] 大崎浩一, 走化性・増殖系の解の時間大域存在とパターン形成, 九州関数方程式セミナー, 福岡大学セミナーハウス, 福岡, May 22, 2015.
[20] K. Osaki, P. Pauš and S. Yazaki, Parametric mean curvature flow for open curves and its application, 京都駅前セミナー, 京都, Apr 24, 2015.
[21] 大崎浩一, 走化性・増殖系ー凝集と飽和のはざまの非線形数理（Nonlinear analysis for a chemotaxis-growth system）, 日本数学会・実函数論分科会, 明治大学駿河台キャンパス, 東京, Mar 21, 2015.(特別講演)
[22] 大崎浩一・中口悦史, 弱い減衰項を持つ n 次元放物型・放物型走化性方程式系の大域解の L_p-評価, 日本数学会・函数方程式論分科会, 明治大学駿河台キャンパス, 東京, Mar 23,

2015.
[23] 青木崇明・大崎浩一，空間定常状態からのパターン形成とその数理，関西 4 私大生命科学シンポジウム，関西学院大学，西宮，Nov 30, 2014.(Poster)
[24] T. Narumi and K. Osaki, Three-Dimensional Pattern Formation in a Chemotaxis System with Logistic Source，関西 4 私大生命科学シンポジウム，関西学院大学，西宮, Nov 30, 2014. (Poster)
[25] K. Osaki, Chemotaxis vs. logistic growth – global existence and pattern formation of solutions, Mini-workshop on Patterns Resulting from Competition between Diffusion and Taxis, in Mathematical Approaches to Pattern Formation, Tohoku Univ., Sendai, Oct 31, 2014.
[26] K. Osaki and E. Nakaguchi, Global Existence of Solutions to a Parabolic-Parabolic Chemotaxis System with Subquadratic Growth, 10th RIMS 研究集会「抽象発展方程式理論から見た偏微分方程式に関する評価方法の再考」，京都大学数理解析研究所，Oct 23, 2014.
[27] 鳴海孝之・大崎浩一，走性と増殖を含む生物モデルでの 3 次元パターン，日本物理学会，中部大学，Sep 09, 2014.
[28] K. Osaki and E. Nakaguchi, Global Existence of Solutions to a Parabolic-Parabolic Chemotaxis System with Subquadratic Growth, 10th AIMS International Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, Madrid, Spain, July 11, 2014.

〔その他〕（計 2 件）
[1] 鳴海孝之・上道賢太・本多久夫・大崎浩一，「ミツバチが作る『ハニカム構造』の謎−ミツロウの自己組織化をシミュレーションで検証する」，academist Journal（https://academist-cf.com/journal/?p=9840）(2019.01.16.公開，招待寄稿).
[2] 大崎浩一，「GOGO 高校大学：ミツバチの巣の構造を数式に．関西学院大学理工学部数理科学科・現象数理研究室」，朝日中高生新聞(2018.12.16．掲載).

６．研究組織

(1)研究分担者
研究分担者氏名：鳴海 孝之

ローマ字氏名：Narumi Takayuki

所属研究機関名：山口大学

部局名：創成科学研究科

職名：講師
研究者番号（8 桁）：50599644

(2)研究協力者
研究協力者氏名：中口 悦史
ローマ字氏名：Nakaguchi Etsushi

研究協力者氏名：辻川 亨
ローマ字氏名：Tsujikawa Tohru

研究協力者氏名：久藤 衡介
ローマ字氏名：Kuto Kousuke

研究協力者氏名：赤木 剛朗
ローマ字氏名：Akagi Goro

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。