

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06386

研究課題名(和文) 進化のゆらぎ応答理論の確立と多階層・発生過程への展開

研究課題名(英文) Establishment of Evolutionary Fluctuation-Response Theory and Extension to Developmental and Multilevel Evolution

研究代表者

金子 邦彦(Kaneko, Kunihiko)

東京大学・大学院総合文化研究科・名誉教授

研究者番号：30177513

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 70,000,000円

研究成果の概要(和文)：(1)表現型進化の低次元拘束：シミュレーションにより、進化後の細胞において表現型が変動できる領域が低次元に拘束されることを示し、その普遍性を理論的に説明した。
(2)階層進化理論：分子-細胞-個体-生態系の階層をまたがる進化の解析を進め、特に階層間で異なる方向に選択圧がかかると、情報を担う要素と機能を担う要素の対称性の破れが生じ、これが遺伝子の起源につながることを示した。
(3)進化発生対応の理論：発生過程の進化シミュレーションを行い、遅い時間スケールを持つモードが進化発生対応を生み出すことを示した。器官形状に存在する種を超えた普遍性、それをもたらす発生拘束を同定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

表現型がどの方向に進化しやすく、また進化に制約がかかっていることが理論的に明らかになり、しかもその制約や方向が進化の起こる以前の状態の揺らぎと相関していることが示された。これは遺伝子の変異がでたらめに起きても表現型の進化は予測できることを含意している。また表現型の少数自由度への制約や階層進化理論で見られた役割分業は従来の揺らぎ応答進化理論を超える枠組みであり、生物進化のみならず人間社会の進化の考え方も大きな意義を持つ。これらの結果により、今後の進化学に大きな影響を与える包括的な進化理論の道が開かれた。

研究成果の概要(英文)：(1)Low-dimensional constraint of phenotypic evolution: Through simulations, we showed that the region in which phenotypes of cells can vary after the evolution is bounded in a low dimension, and theoretically explained its universality.
(2) Hierarchical evolution: We analyzed evolution across the molecular-cellular-individual-ecological hierarchy. Especially when selection pressure is applied in the opposite direction across the hierarchy, there emerges a symmetry breaking between information-carrying and function-carrying elements, which leads to the origin of genes.
(3) Theory of evolutionary developmental correspondence: We performed evolutionary simulations of developmental processes and showed that modes with slow time scales produce evolutionary developmental response. We also identified cross-species universality in organ geometry and the developmental constraints that give rise to it.

研究分野：理論生物物理

キーワード：頑健性 可塑性 学習 進化 次元圧縮

1. 研究開始当初の背景

膨大な各要素過程の複雑な動的ネットワークからいかにして安定して柔軟な生命システムが形成されるかは解明すべき大きな謎である。生命システムは様々な環境や揺らぎの影響下で安定して機能するロバストネスを有し、そして環境変化に対し柔軟にその状態(表現型)を変化させて適応する、可塑性を持つ。これらの性質の理解には、システムとしての生命の理論が必須になる。そのために、我々は、「複雑系生命科学」を十数年前に提唱し、研究を進めてきた。特に生命システムが共有する「内部が柔軟に変化でき、かつ増殖できる」という特性に着目して、個々の要素と全体とのダイナミックな相互関係から、柔軟でありかつ安定した、生命システムの普遍特性を理論、実験両面から明らかにしてきた。その中で複製、適応、分化などについて普遍的な性質や法則を理論的に見出し、それらは実験的にも検証されてきた。

更に、ある特定の表現型を進化させていく実験や細胞の進化シミュレーションから、表現型の揺らぎと表現型進化速度の比例関係を見出し、これを進化的安定性の分布関数理論を提唱して説明し、特にノイズによる(非遺伝的)表現型揺らぎと進化速度そして遺伝的分散との関係を定式化し、遺伝子発現ダイナミクスのシミュレーションで確認し、さらには摂動に対する表現型のロバストネスと結びつけた。この結果、表現型が揺らぎで変化しやすいほど進化しやすいという、進化における揺らぎ応答関係を定式化した。これは本計画の基盤となっている。

ついで、細胞が定常的に成長している場合に、遺伝子発現量やゲノム配列といった膨大な自由度から少数のマクロ量を抽出し、それが細胞の増殖速度という細胞の適応度を与えるマクロ量と結びつけられることを理論的に示したそこで、この理論を進化にまで拡張すると、環境による表現型変化と進化による変化が関連し、進化による表現型変化に制約があることが予想される。

2. 研究の目的

これまでノイズや環境変動による表現型揺らぎが大きいほど進化もしやすいという、揺らぎ応答理論を定式化してきた。この結果を踏まえ、表現型進化の制約、進化しやすさという漠然としていた概念を定量的に表す理論を完成する。そのため、生物の状態を少数マクロ変数で記述し、それが遺伝的变化、環境変化とともにどう変化するかを地形で表した理論を構築する。次に、複数種の集団が安定して共存しつつ進化できるかを理解するべく、相互作用をとりいれた階層進化理論を展開する。これにより、表現型可塑性と共生過程の関係を結びつけ共生しやすさを定量的に表現する。第三に、表現型を形作る発生過程が進化を通しどのように変化していくかを調べ、進化と発生の対応、発生過程の進化拘束を定量的に表現する。これにより、形態進化の方向性への理解を与える定量的進化発生学の道を開く。成果は一般向け講演、成書でも公表、表現型進化の新描像を広く世に問う。

3. 研究の方法

表現型進化のポテンシャル理論の完成:我々のこれまでの理論、実験の共同作業から、成長速度など適応度に関連する表現型が環境、遺伝子変化を外部変数とした地形としてあらわせることが示唆されてきた。そこで、まず、遺伝的变化、環境変化を少数変数とした地形(ポテンシャル)の理論を統計熱力学の手法を参考にしながら定式化する。これとともに、表現型を与える遺伝子発現ネットワーク系が進化とともに変化していくシミュレーションを行って、このような地形構造が高次元の遺伝子力学系からいかにして表れるかを明らかにする。その結果から、遺伝子型-表現型対応の進化、それによる安定性と可塑性の変化の法則を求め、進化の方向性を少数変数で表現する。これらの理論から、古澤班、長谷部班などの実験への指針を与え、その結果の解析を行う。さらに、実験から得られる、遺伝子-表現型の進化結果を踏まえて、理論を整備して表現型進化の制約の理論を確立させる。

階層進化理論:種間の相互作用を含む、分子-個体-生態系の階層をまたがるシミュレーションを行ない、相互作用による表現型の変動と進化しやすさの関係を求める。種間相互作用をとりいれた生態系進化シミュレーションを行い、相互作用による表現型可塑性と個体集団の安定性の進化を定式化する。

進化発生対応の理論:動植物の発生過程を模した力学系モデルを用い、形作りの進化シミュレーションを行う。安定した発生過程が進化して際に見られる発生過程と進化過程の対応関係を明らかにする。表現型を形成していく発生過程のロバストネスとその変化を、力学系理論を用いて定式化を行い、倉谷班、入江班の実験結果への解析の視座を与える。

4. 研究成果

揺らぎを含む細胞内の多成分のダイナミクスから、可塑性やロバストネスといった性質を記述するマクロ状態量を抽出し、この量の揺らぎと応答の関係から表現型の可塑性と進化しやすさの定式化、階層進合理論の展開、そして発生過程と進化の関係の理論化を順調に進め、各テーマで以下の成果が得られている

(1) 表現型進化の方向性と拘束のシミュレーションとポテンシャル理論：古澤グループとの共同作業で、環境、遺伝子変化を変化させたときの表現型変化が少数自由度で表せることを示した。具体的には触媒反応ネットワークの進化シミュレーションにより表現型が変動できる領域が状態空間内で低次元に落ちていることを確認し、さらに、これを少数の遅く緩和するモードが生成されることで説明し、そのための理論を整備した。この発展として、環境ストレスにより生じた状態変化が遺伝的進化により打ち消されることを理論、シミュレーションで示した。この派生として、各形質のノイズによる揺らぎと遺伝子変異による揺らぎが相関していることを導いた。これは進化の方向性と拘束を定量的に表現する結果として本新学術の基本となる結果である。これらをまとめた総説を Annual Review of Biophysics および物理学会誌に発表した。

さらに統計力学のスピングラスモデル、またタンパクのデータ、遺伝子制御ネットモデルを用いて、この進化的次元縮減が普遍的であることを示した。前者ではターゲットスピンがある配置を持つように進化させると、外場および相互作用行列への変異に対して相関したスピン応答が生じ、低次元拘束が生じることを確認し、これを統計力学で解析した。ついでタンパクのダイナミクスのモデルを用い可塑性と変異に対する頑健性の両立からダイナミクスの固有値分布を求め実験データと対応することを確認し、またロバストネスと可塑性を両立させると緩和スペクトルがべき的な振る舞いをし、臨界状態が実現していることを示した。遺伝子制御ネットワークの進化においては適応ダイナミクスが進化により低次元に束縛され、これを利用して新規入力への適応性を有することを示し、またこのような低次元応答がもたらす異なる環境に対する応答の関係から交差適応度との関係を求めた。これらをマクロポテンシャル理論で説明することを試みた。

ついで遺伝子間相互作用を持つ遺伝子制御ネットワークを有性生殖(減数分裂と組み換え)下で進化シミュレーションを行った結果、集団的なメンデル顕性が生まれること、そして雑種強勢ならびに雑種で発現揺らぎが逡減することを示し、これをロバストネスの進化で説明した。

(2) 階層進合理論：分子と細胞の間の階層については両者の複製の整合性から分子が遺伝情報を担う側と触媒機能を担う側へ役割分化すること、つまり分子生物学のセントラルドグマが出現することを対称性の自発的破れとして示した(竹内信人(研究協力者)との共同研究)。この役割分化発生を統計力学と Price 方程式に基づいて説明し、この情報機能分化の対称性破れの起きるための条件を、分子数と変異率に関するスケーリング関係として理論的に示した。次に細胞レベルでは細胞内共生体と細胞の進化を通して、遺伝子がホスト側に移動する条件を求めた。

生態系の階層では細胞が有用成分をもらすことで多種共生が生じ、それにより安定した生態系が形づくられることを明らかにした。またホストとパラサイトの相互作用によって表現型の揺らぎを増す進化が生じ、可塑性の進化が生まれることを示した。

ついで個体-社会の階層に対しては部族間婚姻交換の階層進化モデルのシミュレーションにより、レヴィ=ストロース以来文化人類学で調べられている多様な婚姻構造が協力度、競合度の2つのパラメタに依存して生成されることを明らかにした。さらに社会での家族構造の四類型がどのような条件で生じるかを示し、それによって生成される社会、経済構造を求めた。これらの結果は社会データベースとの照合も行った。

(3) 進化発生対応の理論：動植物の発生過程を模した力学系モデルを用い、形作りの進化シミュレーションを行って、安定した発生過程が進化して際に見られる発生過程と進化過程の対応関係を求めた。この際(1)でもみたような遅いモードの生成が進化発生対応をうむこと、また、遅いモードにより進化しやすさが増すかを調べた。これの関連として、化学成分の振動が境界条件と拡散相互作用によりパタンに固定化されることを見出した。これらをふまえて、発生の砂時計仮説が発生過程のロバストネスと遅い遺伝子発現制御過程の進化により生じることを明らかにした。

また、多細胞生物に関しては遺伝子発現とエピジェネティクスの相互フィードバックで発現状態の振動を通して安定した分化が生じること、さらには分化細胞を少数の遺伝子強制発現でリプログラミングできることを理論的に明らかにした。

[藤本グループ] 動物・植物の幅広い系統群において、表現型の種間多様性の定量解析を並行して進めた。それらの背後にある発生基盤を数理モデルから予測し、実験的で一部検証した。

まず花器官の空間的配置の確率性の定量解析を進めた。花器官(萼片)を過剰に持つ花では、幾何学的に可能な花器官の配置が多いにもかかわらず、現実には観察される配置はごく少数に制約されることを発見した。この制約された配置は近縁種で共通した。加えて、花器官のらせん的な発生過程を反映することを数理モデルから見出した。

並行して、細胞から多細胞組織さらには器官にいたる階層の形態や配置に注目し、幾何学的な性質の揺らぎと拘束を調べた。植物幹細胞の分裂面においては、3次元形状の揺らぎを制御する幾何学的仕組みを見いだしつつある。動物上皮組織においては、細胞の幾何形状の揺らぎが変異細胞と正常細胞の競合に寄与することを解明した。

また、コケ植物複数種の器官配置について、幹細胞の成長と分裂パタンの定量解析と幾何学モデリングを進めた。その結果、分裂面の回転角度に応じてらせん的な器官配置の多様性が生まれることを見出した。さらに、器官形状に種を超えた普遍性とその発生拘束を同定した。被子植物の根端の輪郭をスケールリングすると、複数種で共通してカテナリー曲線に一致することを発見した。カテナリー曲線を生み出す力学作用に基づき、根端がカテナリー形状となる発生拘束を予測し、この拘束を数理モデルと変異体実験の双方で乱すことで、その必要性を証明した。

完全変態昆虫では、サイズ進化の法則(各種の最終体重は臨界体重に比例)を発見した。被子植物では、根端の器官形状に種を超えた普遍性を見出し、形を生む物理過程の解析からその発生拘束を予測し、その遺伝子も同定した。さらに、被子植物の左右対称な花の多様性を包括する発生特性や、コケ植物の葉の形やらせん配置の多様性を調節する幹細胞の分裂面制御ルールを数理モデルから予測した。加えて、動物・植物のボディプランに種内多型を見出し、その発生基盤をモデルから予測し、多様性の進化との関わりを議論した。基部双子葉植物の花器官配置では、被子植物の各系統を代表するらせん状と同心円状の2型が同種内で共存することを発見し、種内多型から花器官配置の多様性が進化する可能性を提唱した。刺胞動物のイソギンチャクでは、器官配置の左右対称性と放射対称性の種内多型を配置過程の計測を通じて見出した。その発生要因を数理モデルで調べた結果、左右対称および放射対称な個体を発生させる無性生殖初期の揺らぎを予測した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計44件（うち査読付論文 42件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 32件）

1. 著者名 Kohsokabe Takahiro, Kaneko Kunihiko	4. 巻 338
2. 論文標題 Dynamical systems approach to evolution?development congruence: Revisiting Haeckel's recapitulation theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution	6. 最初と最後の頁 62 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jez.b.23031	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 Tang Qian-Yuan, Hatakeyama Tetsuhiro S., Kaneko Kunihiko	4. 巻 2
2. 論文標題 Functional sensitivity and mutational robustness of proteins	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 33452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.033452	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 Sakata Ayaka, Kaneko Kunihiko	4. 巻 124
2. 論文標題 Dimensional Reduction in Evolving Spin-Glass Model: Correlation of Phenotypic Responses to Environmental and Mutational Changes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 218101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.218101	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 Matsushita Yuuki, Kaneko Kunihiko	4. 巻 2
2. 論文標題 Homeorhesis in Waddington's landscape by epigenetic feedback regulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 23083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.023083	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 Itao Kenji, Kaneko Kunihiro	4. 巻 117
2. 論文標題 Reply to Read and Parkin: Our model correctly expresses the ethnographic nature of the cultural incest taboo and kinship structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 9167 ~ 9168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2003300117	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 Fujiwara Motohiro, Goh Tatsuaki, Tsugawa Satoru, Nakajima Keiji, Fukaki Hidehiro, Fujimoto Koichi	4. 巻 148
2. 論文標題 Tissue growth constrains root organ outlines into an isometrically scalable shape	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Development	6. 最初と最後の頁 196253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/dev.196253	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 Kamamoto Naoya, Tano Taishi, Fujimoto Koichi, Shimamura Masaki	4. 巻 134
2. 論文標題 Rotation angle of stem cell division plane controls spiral phyllotaxis in mosses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 457 ~ 473
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-021-01298-0	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 Matsushita Katsuyoshi, Yabunaka Shunsuke, Fujimoto Koichi	4. 巻 90
2. 論文標題 Polarity Fluctuation Inhibition by Memory in Collective Cell Motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 54801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.054801	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 Okuda Satoru, Fujimoto Koichi	4. 巻 118
2. 論文標題 A Mechanical Instability in Planar Epithelial Monolayers Leads to Cell Extrusion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophysical Journal	6. 最初と最後の頁 2549 ~ 2560
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpj.2020.03.028	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 坪井有寿, 奥田覚, 藤本仰一	4. 巻 274巻5号
2. 論文標題 細胞競合の力学的理解	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 医学のあゆみ	6. 最初と最後の頁 537 ~ 543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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. Fujimoto, K. Kaneko	4. 巻 21
2. 論文標題 Functional Dynamics by Intention Recognition in Iterated Games	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New J. Phys.	6. 最初と最後の頁 23025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ab0459	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 E.Nakamura and K. Kaneko	4. 巻 9, 15993
2. 論文標題 Statistical Evolutionary Laws in Music Styles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-52380-6	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 Y.Fujimoto, K. Kaneko	4. 巻 1
2. 論文標題 Emergence of Exploitation as Symmetry Breaking in Iterated Prisoner's Dilemma	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys.Rev.Research	6. 最初と最後の頁 33077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.1.033077	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 N. Takeuchi, K. Kaneko	4. 巻 286
2. 論文標題 The origin of the central dogma through conflicting multilevel selection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. R. Soc. B	6. 最初と最後の頁 20191359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rspb.2019.1359	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 金子邦彦, 古澤力	4. 巻 第74巻 第3号
2. 論文標題 適応と進化におけるマクロ現象論—表現型変化の低次元拘束と揺らぎ—応答関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hironaka Ken-ichi, Fujimoto Koichi, Nishimura Takashi	4. 巻 20
2. 論文標題 Optimal Scaling of Critical Size for Metamorphosis in the Genus Drosophila	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 348 ~ 358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2019.09.033	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 Matsushita Katsuyoshi, Horibe Kazuya, Kamamoto Naoya, Fujimoto Koichi	4. 巻 88(10)
2. 論文標題 Cell Motion Alignment as a Polarity Memory Effect	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 103801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.103801	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 Horibe Kazuya, Hironaka Ken-ichi, Matsushita Katsuyoshi, Fujimoto Koichi	4. 巻 29
2. 論文標題 Curved surface geometry-induced topological change of an excitable planar wavefront	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science	6. 最初と最後の頁 93120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5108838	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 北沢 美帆, 藤本 仰一	4. 巻 59(5)
2. 論文標題 花の器官数を決める数理	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 生物物理	6. 最初と最後の頁 266 ~ 270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.59.266	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 T.S. Hatakeyama, K. Kaneko	4. 巻 2
2. 論文標題 Transition in relaxation paths in allosteric molecules: Enzymatic kinetically constrained model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Research	6. 最初と最後の頁 012005(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.012005	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 Y. Himeoka, K. Kaneko	4. 巻 10
2. 論文標題 Epigenetic Ratchet: Spontaneous Adaptation via Stochastic Gene Expression	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-57372-0	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 J.F. Yamagishi, N. Saito and K. Kaneko	4. 巻 124
2. 論文標題 Advantage of Leakage of Essential Metabolites for Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 48101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.048101	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 K. Itao and K. Kaneko	4. 巻 117 (5)
2. 論文標題 Evolution of Kinship Structures Driven by Marriage Tie and Competition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PNAS	6. 最初と最後の頁 2378-2384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1917716117	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 T. U. Sato, K. Kaneko	4. 巻 2 (1)
2. 論文標題 Evolutionary dimension reduction in phenotypic space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Research	6. 最初と最後の頁 13197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.013197	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 Qian-Yuan Tang and Kunihiro Kaneko	4. 巻 16 (2)
2. 論文標題 Long-range Correlation in Protein Dynamics: Confirmation by Structural Data and Normal Mode Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLoS Comp. Biol.	6. 最初と最後の頁 e1007670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pcbi.1007670	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 Nakagawa Aiko, Kitazawa Miho S., Fujimoto Koichi	4. 巻 147
2. 論文標題 A design principle for floral organ number and arrangement in flowers with bilateral symmetry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Development	6. 最初と最後の頁 dev182907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/dev.182907	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 Kitazawa Miho S., Fujimoto Koichi	4. 巻 8
2. 論文標題 Perianth Phyllotaxis Is Polymorphic in the Basal Eudicot Anemone and Eranthis Species	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fevo.2020.00070	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 Tsuboi A, Ohsawa S, Umetsu D, Sando Y, Kuranaga E, Igaki T and Fujimoto K.	4. 巻 28(13)
2. 論文標題 Competition for space is controlled by apoptosis-induced change of local epithelial topology.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 2115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2018.05.029.	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 坪井有寿, 藤本仰一	4. 巻 36(19)
2. 論文標題 前がん細胞が正常細胞の領地へ拡大して占拠するしくみ - 予測と検証.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 実験医学	6. 最初と最後の頁 3282-3285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Nakamura K, Hisanaga T, Fujimoto K, Nakajima K and Wada H.	4. 巻 15
2. 論文標題 Plant-inspired pipettes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Royal Society Interface	6. 最初と最後の頁 20170868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsif.2017.0868	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 Henmi N, Akiyama-Oda Y, Fujimoto K and Oda H.	4. 巻 437(2)
2. 論文標題 A quantitative study of the diversity of stripe-forming processes in an arthropod cell-based field undergoing axis formation and growth.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Developmental Biology	6. 最初と最後の頁 84-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ydbio.2018.03.001	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 C. Furusawa and K. Kaneko	4. 巻 97
2. 論文標題 Formation of Dominant Mode by Evolution in Biological Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. E	6. 最初と最後の頁 42410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/125278	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 K. Kaneko and C. Furusawa	4. 巻 47
2. 論文標題 Macroscopic Theory for Evolving Biological Systems Akin to Thermodynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ann. Rev. Biophys	6. 最初と最後の頁 273-290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1146/annurev-biophys-070317-033155	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 T, Kohsokabe and K. Kaneko	4. 巻 28
2. 論文標題 Boundary-Induced Pattern Formation from Uniform Temporal Oscillation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chaos	6. 最初と最後の頁 45110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5013280	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 M. Inoue, K. Kaneko	4. 巻 124
2. 論文標題 Cooperative reliable response from sloppy gene-expression dynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 EPL	6. 最初と最後の頁 38002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1209/0295-5075/124/38002	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 Toyokura K, Goh T, Shinohara H, Shinoda A, Kondo Y, Okamoto Y, Uehara T, Fujimoto K, Okushima Y, Ikeyama Y, Nakajima K, Mimura T, Tasaka M, Matsubayashi Y and Fukaki H.	4. 巻 48
2. 論文標題 Lateral inhibition by a peptide hormone-receptor cascade during Arabidopsis lateral root founder cell formation.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Developmental Cell	6. 最初と最後の頁 64-75.e5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.devcel.2018.11.031	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 金子邦彦, 古澤力	4. 巻 74(3)
2. 論文標題 適応と進化におけるマクロ現象論 表現型変化の低次元拘束と揺らぎ-応答関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yuma Fujimoto, Takahiro Sagawa and Kunihiko Kaneko	4. 巻 19
2. 論文標題 Hierarchical prisoner's dilemma in hierarchical game for resource competition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 New J. Phys.	6. 最初と最後の頁 73008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/aa7152	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 Yusuke Himeoka and Kunihiko Kaneko	4. 巻 7
2. 論文標題 Theory for transitions between log and stationary phases: universal laws for lag time	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. X	6. 最初と最後の頁 21049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.7.021049	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 Tetsuhiro S. Hatakeyama and Kunihiko Kaneko	4. 巻 95
2. 論文標題 Robustness of spatial patterns in buffered reaction-diffusion systems and its reciprocity with phase plasticity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. E., Rapid Communication	6. 最初と最後の頁 030201(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.95.030201	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 N. Takeuchi, P. Hogeweg, K. Kaneko	4. 巻 375 (2109)
2. 論文標題 Conceptualizing the Origin of Life in terms of Evolution	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phil. Trans. R. Soc. A	6. 最初と最後の頁 20160346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsta.2016.0346	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 N. Takeuchi, P. Hogeweg, K. Kaneko	4. 巻 8 (1)
2. 論文標題 The origin of a primordial genome through spontaneous symmetry breaking	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-00243-x	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 Masahiko Ueda, Nobuto Takeuchi, Kunihiko Kaneko	4. 巻 12(8)
2. 論文標題 Stronger selection can slow down evolution driven by recombination on a smooth fitness landscape	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0183120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0183120	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 Miho S. Kitazawa, Koichi Fujimoto	4. 巻 131
2. 論文標題 Spiral phyllotaxis underlies constrained variation in Anemone (Ranunculaceae) tepal arrangement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 459-468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-018-1025-x	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134件（うち招待講演 24件 / うち国際学会 39件）

1. 発表者名 西浦直人、金子邦彦
2. 発表標題 ホストパラサイト相互作用での表現型進化
3. 学会等名 第22回 日本進化学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤匠哉, 金子邦彦
2. 発表標題 表現型拘束とその進化に対する制約
3. 学会等名 第22回 日本進化学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岸純平, 斉藤稔, 金子邦彦
2. 発表標題 Cellular Potlatch II : 代謝物の利己的な漏出と取り込みによる多種共生
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木さくら、竹内信人、金子邦彦
2. 発表標題 内部共生系における遺伝子水平伝播の階層的ゲノム進化モデル
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内信人, 御手洗菜美子, 金子邦彦
2. 発表標題 多階層選択モデルにおけるスケーリング則: 協力または裏切りの進化
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西浦直人, 金子邦彦
2. 発表標題 遺伝子制御ネットワークモデルにおける遺伝的同化の例
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤匠哉, 金子邦彦
2. 発表標題 表現型拘束に起因する進化トレードオフ関係
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 唐乾元, 畠山哲央, 金子邦彦
2. 発表標題 Functional Sensitivity and Mutational Robustness of Proteins
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松下優貴、金子邦彦
2. 発表標題 遺伝子制御ダイナミクスとエピジェネティック制御による適応進化
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大窪健児、金子邦彦
2. 発表標題 2倍体遺伝子発現制御系の固定点分類
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤本悠雅、金子邦彦
2. 発表標題 情報の非対称性による囚人のジレンマでの搾取の発生
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板尾健司、金子邦彦
2. 発表標題 多階層進化モデルによる家族形態の生成
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板尾健司、金子邦彦
2. 発表標題 家族形態の規定する経済的な社会構造の特徴
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西浦直人、金子邦彦
2. 発表標題 ホストパラサイト相互作用による表現型可塑性の進化
3. 学会等名 第58回 日本生物物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Universal Biology in Adaptation and Evolution: Multilevel Consistency, Dimension Reduction, and Fluctuation-Response Relationship
3. 学会等名 Statistical Biological Physics: From Single Molecule to Cell (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板尾健司、金子邦彦
2. 発表標題 農村社会における家族形態の生成と社会構造の進化
3. 学会等名 第13回 日本人間行動進化学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板尾健司、金子邦彦
2. 発表標題 農村社会における家族形態の生成と社会構造の進化
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大窪健児、金子邦彦
2. 発表標題 多倍数体における顕性の数理モデル
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西浦直人, 竹内信人, 金子邦彦
2. 発表標題 RNA構造の進化に与えるホストパラサイト相互作用の影響
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松下優貴, 畠山哲央, 金子邦彦
2. 発表標題 細胞のリプログラミングの力学系理論
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 唐乾元, 金子邦彦学生
2. 発表標題 Long-range correlation in protein dynamics: Confirmation by structural data and normal mode analysis
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上雅世, 金子邦彦
2. 発表標題 協同的な遺伝子発現制御ネットワークの特性解析
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大窪健児, 金子邦彦
2. 発表標題 多倍数体における顕性の数理モデル
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板尾健司, 金子邦彦
2. 発表標題 農村社会における家族形態の生成と社会構造の進化
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岸純平, 畠山哲央
2. 発表標題 細胞内代謝系の非最適制御のミクロ経済学
3. 学会等名 第76回 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子邦彦
2. 発表標題 進化的次元縮減：適応と進化のマクロ現象論
3. 学会等名 第8回 統計物理学懇談会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tetsuhiro Hatakeyama
2. 発表標題 Transition in relaxation paths in allosteric molecules: enzymatic kinetically constrained model
3. 学会等名 Statistical Physics of Complex Systems（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Dimension-Reduction Theory for Direction and Constraint in Phenotypic Evolution
3. 学会等名 From Molecular Basis to Predictability and Control of Evolution（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jumpei Yamagishi
2. 発表標題 Microeconomics of Metabolism: Overflow metabolism as Giffen behavior
3. 学会等名 Advances in Complex Systems - From Ecology to Economics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板尾健司, 金子邦彦
2. 発表標題 The Dynamical Emergence of Incest Taboo and Kinship Structure
3. 学会等名 第21回 日本進化学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木さくら, 金子邦彦
2. 発表標題 Development of Speciation in Intracellular Symbiosis and its Evolutionary Dynamics
3. 学会等名 第21回 日本進化学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大窪健児, 金子邦彦
2. 発表標題 Evolution of Group Mendelian Dominance in Diploid Gene Regulatory Network
3. 学会等名 第21回 日本進化学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板尾健司, 金子邦彦
2. 発表標題 婚姻交換による親族構造の形成と分岐
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大窪健児
2. 発表標題 大型前方後円墳の順位規模則
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤本悠雅, 金子邦彦
2. 発表標題 対称性の破れとしての囚人のジレンマにおける搾取の発生
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西浦直人, 金子邦彦
2. 発表標題 表現型可塑性が主導する種分化
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松下優貴, 金子邦彦
2. 発表標題 エビジェネティック制御と遺伝子制御ダイナミクス; Waddington 地形の実現
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuma Fujimoto
2. 発表標題 囚人のジレンマの学習における搾取関係の発生
3. 学会等名 日本数理生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qianyuan Tang, Tetsuhiro Hatakeyama, Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Functional Sensitivity and Mutational Robustness of Proteins
3. 学会等名 第57回 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakura Aoki, Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Theoretical approach to evolution of intracellular symbiosis
3. 学会等名 第57回 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Okubo, Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Group Mendelian Dominance in Diploid Gene Regulatory Network
3. 学会等名 第57回 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayo Inoue, Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Cooperative architecture for functional network from sloppy gene expression dynamics
3. 学会等名 第57回 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoya Kamamoto, Katsuyoshi Matsushita, Mitsuyasu Hasebe, Koichi Fujimoto
2. 発表標題 How does cell division generate phyllotactic pattern in bryophytes?
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会 国際シンポジウム Beyond Fibonacci patterns and the golden angle: phyllotactic variations and their cellular origin (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坪井 有寿, 奥田 覚, 藤本 仰一
2. 発表標題 細胞競合の多細胞力学：勝者細胞の優先的拡大と敗者細胞の逸脱方向の調節ロジック
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sarper Safiye Esra, Hirai Tamami, Kuratani Shigeru, Fujimoto Koichi
2. 発表標題 Elucidation of spatiotemporal control of tentacle formation in cnidarians; Evo-Devo study focusing on Moon Jelly
3. 学会等名 日本発生学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sarper Safiye Esra, Kamamoto Naoya, Hirai Tamami, Kuratani Shigeru, Fujimoto Koichi
2. 発表標題 刺胞動物を中心に考えるEvo-Devo研究
3. 学会等名 日本刺胞動物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sarper Safiye Esra, Kamamoto Naoya, Hirai Tamami, Kuratani Shigeru, Fujimoto Koichi
2. 発表標題 器官配置の時空間ダイナミクス；タテジマイソギンチャクの隔膜形成に基づく研究
3. 学会等名 日本動物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸純平, 斉藤稔, 金子邦彦
2. 発表標題 必須代謝物の漏出による細胞の成長促進
3. 学会等名 第75回 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤本悠雅, 金子邦彦
2. 発表標題 情報の非対称性による囚人のジレンマでの搾取の発生
3. 学会等名 第75回 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤匠哉, 金子邦彦
2. 発表標題 遅いモード存在下における抗生物質耐性進化の低自由度表現
3. 学会等名 第75回 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上雅世, 金子邦彦
2. 発表標題 発現エラーの大きな遺伝子から機能的な発現制御ネットワークをつくる方法
3. 学会等名 第75回 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西浦直人, 金子邦彦
2. 発表標題 ホスト-パラサイト相互作用における成長と耐性のトレードオフ
3. 学会等名 第75回 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木さくら, 金子邦彦
2. 発表標題 内部共生系における変異と進化
3. 学会等名 第75回 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Horibe, K. Hironaka, K. Matsushita, K. Fujimoto
2. 発表標題 The surface geometry of living things induces a topological change of a chemical traveling wave during morphogenesis
3. 学会等名 EMBL-IBEC Winter Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Horibe, K. Hironaka, K. Matsushita, K. Fujimoto
2. 発表標題 The surface geometry of cerebral cortex induces topological changes of cortical traveling waves
3. 学会等名 4th HBP Student Conference on Interdisciplinary Brain Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koichi Fujimoto, Alice Tsuboi
2. 発表標題 Cell competition for space is controlled by apoptosis-induced change of local epithelial topology.
3. 学会等名 2018 ICTS Workshop on Cellular Dynamics and Microbiome Studies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Fujimoto, Alice Tsuboi
2. 発表標題 Competition for space is controlled by apoptosis-induced change of local epithelial topology
3. 学会等名 Quantitative Life Science Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤本仰一
2. 発表標題 Evo-Devoの数理；発展と未来.
3. 学会等名 日本進化学会第20会大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miho S. Kitawaza, Koichi Fujimoto
2. 発表標題 Constrained variation in organ arrangements of basal eudicot flowers
3. 学会等名 The 1st AsiaEvo Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北沢美帆、藤本仰一
2. 発表標題 形の空間にみる制約された揺らぎと多様性：花器官配置の数理解析
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会 シンポジウム「植物の確率論的ふるまいにもとづく戦略」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Fujimoto, Miho S. Kitazawa
2. 発表標題 Constrained variation of floral organ arrangement in basal eudicots: a correlation with species diversity of the organ number.
3. 学会等名 Euro Evo Devo (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuhihiko Kaneko
2. 発表標題 Phenotypic evolvability
3. 学会等名 1st AsiaEvo Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S Aoki, K Kaneko
2. 発表標題 Evolution of intracellular symbiosis: Theoretical approach
3. 学会等名 1st AsiaEvo Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T Sato, K Kaneko
2. 発表標題 Emergence of Low-dimensional Structure in Evolution of Highdimensional Cell Model
3. 学会等名 1st AsiaEvo Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuhihiko Kaneko
2. 発表標題 Is a macroscopic description of biological systems possible?
3. 学会等名 Physics of Living Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子邦彦
2. 発表標題 Reproduction of a Set of Diverse Molecules, Minority Control, and Arrival of Evolvability
3. 学会等名 Workshop "Puzzles and Solutions in Astrobiology" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Okubo, Kunihiro Kaneko
2. 発表標題 Evolution and Genetics of Gene Regulatory Network in Diploid Recombination
3. 学会等名 25th International Congress on Sexual Plant Reproduction (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuto Takeuchi
2. 発表標題 The origin of the central dogma of molecular biology through conflicting multilevel evolution
3. 学会等名 Science of Early Life (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuhihiko Kaneko
2. 発表標題 Phenotypic robustness, fluctuations and plasticity
3. 学会等名 7th Euro Evo Devo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuto Takeuchi
2. 発表標題 The origin of the central dogma through conflicting multilevel evolution
3. 学会等名 Evolution - Genetic Novelty/Genomic Variations by RNA Networks and Viruses (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子邦彦, 竹内信人
2. 発表標題 遺伝情報の起源、揺らぎ、進化
3. 学会等名 日本進化学会 第20回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuhihiko Kaneko
2. 発表標題 Complex-Systems Approach to an Ecosystem of Interacting Cells: Differentiation, Symbiosis, and Diversification
3. 学会等名 Research meeting: Principles of Microbial Ecosystems 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大窪健児, 金子邦彦
2. 発表標題 二倍体の遺伝子発現制御系進化による集合的メンデル遺伝の形成
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松原嘉哉, 竹内信人, 金子邦彦
2. 発表標題 重合過程が鋳型高分子の進化に及ぼす影響
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松下優貴, 金子邦彦
2. 発表標題 Epigenetic Spin Glass II : アトラクタの刈り込みのメカニズム
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 唐乾元, 金子邦彦
2. 発表標題 Functional Sensitivity and Evolutionary Robustness of Proteins
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤匠哉, 金子邦彦
2. 発表標題 多環境下における触媒反応ネットワーク進化による次元削減
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西浦直人, 金子邦彦
2. 発表標題 ホストパラサイト共進化系における遺伝子型 - 表現型対応の進化
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木さくら, 金子邦彦
2. 発表標題 進化による細胞内共生機構の獲得
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山岸純平, 斉藤稔, 金子邦彦
2. 発表標題 Cellular Potlatch: 代謝物の漏出による細胞の成長率増加およびその多種共生への寄与
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松下優貴, 金子邦彦
2. 発表標題 細胞分化への現象論的アプローチ：エピジェティクスによる安定細胞タイプの形成
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内信人, 金子邦彦
2. 発表標題 対称性の自発的破れにより生起する分子生物学のセントラルドグマ
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Sato
2. 発表標題 Emergence of low-dimensional structure in evolution of high-dimensional cell model and its significance for phenotypic evolution
3. 学会等名 第46回 内藤コンファレンス「生物進化の仕組みと多様性」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sakura Aoki
2. 発表標題 Theoretical approach to evolution of intracellular symbiosis
3. 学会等名 第46回 内藤コンファレンス「生物進化の仕組みと多様性」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Okubo
2. 発表標題 Evolution and Genetics of Gene Regulatory Network in Diploid Recombination
3. 学会等名 第46回 内藤コンファレンス「生物進化の仕組みと多様性」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Multilevel consistency, dimension reduction, and slow dynamics in biology
3. 学会等名 Quantitative Life Science Workshop2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Dimension Reduction and Relevance of Slow Modes in Biological Dynamical Systems
3. 学会等名 Dynamics Days Asia Pacific (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Qianyuan Tang
2. 発表標題 Functional Sensitivity and Evolutionary Robustness of Proteins
3. 学会等名 APEF 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Sato
2. 発表標題 Emergence of low-dimensional structure in high-dimensional cell model and convergent evolution in phenotypic space
3. 学会等名 APEF 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jumpei Yamagishi
2. 発表標題 Microeconomic Metabolism: an exact mapping between q-bio and microeconomics
3. 学会等名 Winter q-bio (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板尾健司, 金子邦彦
2. 発表標題 婚姻交換による親族構造形成のダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤本悠雅, 金子邦彦
2. 発表標題 平均選好と近縁選好の転移
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 唐乾元, 金子邦彦
2. 発表標題 Mutational Robustness and Controllability of Proteins
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸純平, 畠山哲央
2. 発表標題 ミクロ経済学としての代謝制御の理解：オーバーフロー代謝とギッフェン財を例として
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松下優貴, 金子邦彦
2. 発表標題 エビジェネティック制御を含んだ遺伝子ダイナミクス：多重状態の生成と安定化
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木さくら, 金子邦彦
2. 発表標題 進化による宿主 - 共生体間の分業の発生
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大窪健児, 金子邦彦
2. 発表標題 二倍体遺伝子発現制御系のダイナミクスと集合的メンデル顯性
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西浦直人, 金子邦彦
2. 発表標題 種間相互作用における多様性進化と種分化
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内信人, 御手洗菜美子, 金子邦彦
2. 発表標題 相克的階層進化におけるスケーリング則
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤匠哉, 金子邦彦
2. 発表標題 遺伝子制御ネットワークの進化と低次元構造
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂田綾香, 金子邦彦
2. 発表標題 スピングラス模型における固有モードの進化
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Multilevel Consistency, Dimension Reduction, and Slow Dynamics in Biology
3. 学会等名 Evolving life: the evolution with tradeoffs, frustration in selection and growing complexity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤本仰一、北沢美帆
2. 発表標題 花器官配置の制約された揺らぎ：花器官数の多様化との相関
3. 学会等名 第19回 日本進化学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Motohiro Fujiwara, Shunsuke Miyashima, Keiji Nakajima, Koichi Fujimoto
2. 発表標題 Localized cell proliferation and growth regulate root vascular bundle cell patterning
3. 学会等名 Taiwan-Japan Plant Biology 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Macroscopic Theory of Phenotypic Adaptation and Evolution: Fluctuation-response, Genetic Assimilation, and Deep Linearity
3. 学会等名 117th Statistical Mechanics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 From a set of catalytic reactions to reproduction of cells: Perspective from Universal Biology
3. 学会等名 The Origin of Life Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeuchi N., Hogeweg P., Kaneko K.
2. 発表標題 The Origin of a Genome Through Spontaneous Symmetry Breaking: A Computational Modeling Study
3. 学会等名 18th International Conference on the Origin of Life (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 香首我部隆裕
2. 発表標題 遅い遺伝子発現による発生の時間制御と進化-発生対応
3. 学会等名 脳構築における発生時計と場の連携
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Universality in Biology?: (I) Consistency Principle for Complex Systems-Biology (II) Robustness, Plasticity in Adaptation and Evolution
3. 学会等名 EON Workshop on Universal Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nobuto Takeuchi
2. 発表標題 The Central Dogma is no longer a dogma: Explaining the fundamental principle of molecular biology through multilevel evolution
3. 学会等名 第19回 日本進化学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 香曾我部隆裕, 金子邦彦
2. 発表標題 遅い遺伝子発現による発生時間制御と進化可能性
3. 学会等名 第19回 日本進化学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiko Ueda
2. 発表標題 Stronger selection can slow down evolution driven by recombination on a smooth fitness landscape
3. 学会等名 30th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金子邦彦, 古澤力
2. 発表標題 進化による低次元主要モード形成
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤匠哉, 金子邦彦
2. 発表標題 進化ゆらぎ応答関係の固有モード解析
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大窪健児, 金子邦彦
2. 発表標題 組み替えを行う二倍体の遺伝子発現制御系進化
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西浦直人, 金子邦彦
2. 発表標題 表現型可塑性と多様性進化
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山岸純平, 斉藤稔, 金子邦彦
2. 発表標題 構成成分の漏出による細胞の成長率増加
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 香曾我部隆裕, 金子邦彦
2. 発表標題 遅い変数と発生の進化可能性
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上雅世, 金子邦彦
2. 発表標題 ネットワークのデザイン原理と構成要素の応答性
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上田仁彦, 金子邦彦
2. 発表標題 マルチレベルクロン干渉
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Universality in Biology? Fluctuation-response relationship and Deep Linearity in Adaptation and Evolution
3. 学会等名 ENS-UTokyo symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原基洋、宮島俊介、中島敬二、藤本仰一
2. 発表標題 Peripherally localized cell proliferation contributes smooth boundary formation along the central xylem axis in Arabidopsis root vascular tissue
3. 学会等名 第59回 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子邦彦
2. 発表標題 Universality in Phenotypic Adaptation and Evolution: Fluctuationresponse, Genetic Assimilation, and Dimension Reduction
3. 学会等名 Non-equilibrium dynamics and information processing in biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kunihiko Kaneko
2. 発表標題 Macroscopic Theory of Phenotypic Adaptation and Evolution: Fluctuation-Response, Genetic Assimilation, and Dimension Reduction
3. 学会等名 Evolution of Diversity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Okubo
2. 発表標題 Robustness and Genetic Load of Gene Regulatory Network in Recombining Diploids
3. 学会等名 Evolution of Diversity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiko Ueda
2. 発表標題 Dynamical phase transition in population genetics models with evolving mutation rate
3. 学会等名 Evolution of Diversity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jumpei Yamagishi
2. 発表標題 Promotion of cellular growth by leakage of chemical components and its impact on symbiosis
3. 学会等名 Evolution of Diversity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuhiro Hatakeyama
2. 発表標題 Kinetically slowing-down in the allosteric biomolecules
3. 学会等名 Information transmission in biological systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内信人, 金子邦彦
2. 発表標題 対称性の自発的破れによって生起する分子生物学の基本原理解説: セントラル・ドグマはもはやドグマではない
3. 学会等名 物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香曾我部隆裕, 金子邦彦
2. 発表標題 遺伝的アルゴリズムを用いた進化発生関係の探求: breeding-trueな適応度関数を用いて
3. 学会等名 物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤匠哉, 金子邦彦
2. 発表標題 触媒反応ネットワークにおける遅いモードの出現と表現型進化
3. 学会等名 物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大窪健児, 金子邦彦
2. 発表標題 組み替えを含む二倍体の遺伝子発現制御系進化における頑健性
3. 学会等名 物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西浦直人, 金子邦彦
2. 発表標題 ホスト-パラサイト間の相互作用における表現型可塑性の進化
3. 学会等名 物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木さくら, 金子邦彦
2. 発表標題 触媒反応ダイナミクスを介した細胞内共生進化
3. 学会等名 物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 金子 邦彦	4. 発行年 2019年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 322
3. 書名 普遍生物学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>原著論文のプレスリリース http://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20180615_2</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	藤本 仰一 (Fujimoto Koichi) (60334306)	大阪大学・理学研究科・准教授 (14401)	

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1件

国際研究集会	開催年
Evolutionary dynamics to shape phenotype and direction in evolution. EuroEvoDevo 2018.	2018年～2018年

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