

令和 5 年 4 月 27 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：17H06387

研究課題名（和文）脊索動物胚発生の分子発生システムゆらぎ測定と進化的保存性

研究課題名（英文）Measuring molecular fluctuation of chordate developmental system and its contribution toward evolutionary conservation

研究代表者

入江 直樹（Irie, Naoki）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・准教授

研究者番号：10536121

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 116,800,000円

研究成果の概要（和文）：本課題は、脊索動物の発生過程における揺らぎが、進化的保存性（制約や方向性）に寄与しているのかどうかを検証した。研究の結果、脊椎動物の基本構造が構築される発生段階は、遺伝子発現プロファイル上の揺らぎが小さく発生学的に安定であること、さらにそれがこの発生段階の進化的保存性に寄与している可能性が示唆された。また、遺伝子の使いまわしがボディプラン構築期の進化的保存に寄与している可能性を実験データから初めて示すことにも成功し、新しい形質を獲得する上で遺伝子の使い回しが、同時に表現型の多様化を制限する要因にもなっている可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの進化生物学は、遺伝的変異や環境の影響で出現した多様な特徴（表現型）が選択されたり、偶発的に集団内にひろがることで起こると説明されてきた。一方で、今回の一連の研究は、生物そのものにどの程度特徴を変えられるかという多様化のポテンシャルが備わっていることを示すものであり、その具体的実態（揺らぎ、遺伝子の使いまわしなど）を解明した研究である。様々な表現型のバリエーションを生み出すポテンシャルが低いと結果的に多様化する機会が減るとするのは自然な考えであるものの、具体的にこうしたメカニズムまで明らかとなったのは大きな成果だと考えている。

研究成果の概要（英文）：This project examined whether fluctuations in the developmental process of chordates contribute to evolutionary conservation (constraints and directions). The results of the study suggested that the developmental stage in which the basic structure of vertebrates is constructed is developmentally stable, showing small fluctuations in gene expression profiles. In addition, we found that this may be one of the contributing factors to the evolutionary conservation of this developmental phase. The experimental data also showed that body plan developing stage is enriched with repeatedly used genes, and this could have contributed to the evolutionary conservation of the body plan developing phase. This also suggests that while gene co-option frequently took place to facilitate the acquisition of new traits, it may also work as a factor that limits phenotypic diversification.

研究分野：進化発生生物学

キーワード：進化 進化発生生物学 発生拘束 ゆらぎ 発生安定性 頑健性

1. 研究開始当初の背景

近年、動物の発生過程の進化にある種の法則性が存在することが、分子レベルで示されてきた。これまでの予想に反し、進化的に最も保存されているのは発生の最初期ではなく「発生の途中段階（特に器官形成期）」であることが、遺伝子発現情報の比較解析から判明した。しかし、なぜ「発生の途中段階」がこのように限られた多様性しか示さないのかについては、自然淘汰や中立説などの従来の進化理論では十分な説明ができておらず、その進化メカニズムは不明のままであった。これが解明されれば、「ボディプラン」と呼ばれる解剖学的特徴が数億年以上にわたって変化してこなかった進化的事実の背景にある仕組みが説明されるばかりか、さらには、なぜ表現型によって進化的に変わりやすいものとそうでないものがあるのかという新たな視点を現代進化の総合説に加えることができると期待できる。

2. 研究の目的

本課題では、進化的に強固に保存されてきた脊索動物のボディプランを構築する発生段階が、どのような進化メカニズムで保存されてきたのかを解明するのが目的である。中でも、胚発生を含む生物システムの表現型揺らぎが小さい場合、世代を通じた進化的な保存性と相関するという理論（揺らぎ応答理論）予測を実験データから検証することを1つの大きな目標とした。これは、生物に内在する安定性や頑健性といった特性が、進化的な結末に影響を与えるという理論予測であり、現代進化の総合説には十分に組み込まれていない進化メカニズムである。具体的研究として、脊索動物胚から実験的に得られた大規模な遺伝子発現データと情報解析、そして理論解析からも動物発生において揺らぎ応答理論が成立するかどうかを検証した。最終的には、現代進化の総合説と統合することで、表現形進化の方向性や制約（限られた多様性あるいは拘束）を説明する進化制約理論の構築を目指すことを目的とした。

3. 研究の方法

[1] 脊索動物発生システムの遺伝子発現情報からの揺らぎ測定

複数の脊索動物における動物胚の分子発生システムの近交系における個体間差をゲノムワイドな遺伝子発現情報として測定・解析する。

[2] 揺らぎと大進化スケールで保存された発生システムとの相関解明

申請者がこれまでの研究で同定してきた進化的に保存された分子発生システムの大規模情報と、[1]で得られた表現型揺らぎ・表現型応答のデータを照らし合わせることで、揺らぎ応答理論が当該問題を説明するか検証する。

[3] 発生と進化の関係性を進化メカニズムから説明する進化制約理論の構築

大規模データと合致する古典概念や現在の揺らぎ応答理論の修正・洗練、そして包含性を探索し、進化の方向性と制約（限られた多様性）を説明する進化制約構築をする。

4. 研究成果

本課題では表現型の揺らぎと進化的な保存性との対応関係を定量的に評価し、多細胞生物システムでも正の相関が確認できるか検証することが主な目標である。まず、80世代以上かけて構築されたメダカの近交系胚を用いて、動物発生システムの遺伝子発現情報からの揺らぎ測定を行った。具体的には、同じ親から生まれた同性の兄弟姉妹胚を対象とし、技術誤差や発現量といった交絡要因を標準化することで高い精度で揺らぎを測定することに成功した。特にRNAseqを用いた遺伝子発現量の評価にはread-depthが影

響することも考慮し、サブサンプリングを行うなど、各ステップで工夫を凝らすことで、[1] 脊索動物発生システムの遺伝子発現情報からの揺らぎ測定 という最初の目的を達成した。

次に、[2]揺らぎと大進化スケールで保存された発生システムとの相関解明のため、保存された胚段階と進化的保存性の対応関係を解析した。まず数億年スケールでの保存が確認されているボディプラン形成期（ファイロティピック段階）は、複数のメダカの系統間、すなわち、種内進化においても最も保存された胚段階であることを確認した。問題は、この発生段階がその前後の発生段階よりも揺らぎが小さいかどうかであるが、理論的予想の通り、ファイロティピック段階の揺らぎが最も小さいことを実験的に確認することに成功した。さらに、個々の遺伝子発現レベルでも同様の現象が確認できるかについて検討を重ねた結果、揺らぎの小ささと進化的保存性の間に相関を確認することができた。これは、揺らぎ応答理論が、多細胞動物の胚という非常に複雑なシステムでも成立していることを示す初めての研究成果であり（BMC Biol. 2022）、当初目的を達成した成果と言える。

一方、このボディプラン形成期は、様々な発生段階や臓器で発現している多面発現遺伝子が他の胚段階より多く、多面拘束という仕組みがその保存に寄与している可能性が示唆された（Nat. Eco Evo, 2017）。遺伝子の使いまわしは、従来新しい形質を獲得するために進化を通して多細胞生物では多用されてきた仕組みだが、今回の発見は、遺伝子を使い回せば使い回すほど多様化のポテンシャルを失っている可能性を示唆するものでもある。本課題では、さらに揺らぎと多面発現性との相関を検証し、弱いながらも両者に統計的に有意な相関が確認された。今後、多面発現性の高い遺伝子と小さい揺らぎに相関をもたらす仕組みの解明が待たれる。以上、項目[2]の研究目標についても十分な結果が得られただけでなく、さらに踏み込んだ結果まで得ることができ、目標を十分に達成することができたと考えている。

これら結果は、従来の進化学では十分に考慮されてこなかった進化メカニズムの重要性を示すものである。すなわち、生物の表現型そのものが生来的に備える性質が、進化的多様性に影響しているという進化制約理論への重要な基盤を提供する実験的証拠となった。ただし、揺らぎ応答理論が予測したように、揺らぎが小さいことが進化的保存性をもたらすのか、あるいは逆に自然選択などの結果として揺らぎが小さい胚段階が生じたのかは議論の余地があった。そこで、数世代の掛け合わせ実験を行い、揺らぎが小さい発生段階、あるいは発現量の揺らぎが小さい個々の遺伝子が、系統的に離れたメダカとの掛け合わせ実験後に保存されているのかを検証した。結果として、もともと揺らぎが小さい発生段階や遺伝子は、掛け合わせ実験後に種内での保存性が高いことが示された。これは、揺らぎの小ささが、進化的保存性の原因となっているとする理論予測と矛盾しない結果である（EvoDevo, 2023）。

以上のように、表現型の揺らぎと進化の制約・方向性について、個体発生レベルでの定量解析が進み、揺らぎ応答進化理論が広い範囲で成り立つことが示された。つまり、生物に内在する安定性や頑健性といった特性が、進化的な結末に影響を与えるという理論予測を支持する結果であり、現代進化の総合説のさらなる発展が必要であることを示すことができた成果である。このように、本課題では当初目的達成のみならず、当初の目的以上の成果を得ることに成功し、今後の進化学の展開に新たな方向性を加えることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Yui Uchida*, Hiroyuki Takeda, Chikara Furusawa & Naoki Irie*	4. 巻 14
2. 論文標題 Stability in gene expression and body-plan development leads to evolutionary conservation.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EvoDevo	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s13227-023-00208-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 Sumio Udagawa, Akiko Nagai, Mani Kikuchi, Akihito Omori, Atsushi Tajika, Mieko Saito, Toru Miura, Naoki Irie, Yasuhiro Kamei, Mariko Kondo	4. 巻 492
2. 論文標題 The pentameric hydrocoel lobes organize adult pentamerous structures in a sea cucumber, <i>Apostichopus japonicus</i> .	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Developmental Biology	6. 最初と最後の頁 71-78
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ydbio.2022.09.002	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 Yui Uchida*, Shuji Shigenobu, Hiroyuki Takeda, Chikara Furusawa & Naoki Irie*	4. 巻 20, 82
2. 論文標題 Potential contribution of intrinsic developmental stability toward body plan conservation.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BMC Biology	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/s12915-022-01276-5	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 Jason Cheok Kuan Leong*, Masahiro Uesaka, Naoki Irie*	4. 巻 12(3), 440.
2. 論文標題 Distinguishing Evolutionary Conservation from Derivedness.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Life	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） 10.3390/life12030440	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 Jason Cheok Kuan Leong*, Yongxin Li, Masahiro Uesaka, Yui Uchida, Akihito Omori, Meng Hao, Wenting Wan, Yang Dong, Yandong RenSi Zhang, Tao Zeng, Fayou Wang, Luonan Chen, Gary Wessel, Brian T. Livingston, Cynthia Bradham, Wen Wang, Naoki Irie*	4. 巻 26
2. 論文標題 Derivedness Index for Estimating Degree of Phenotypic Evolution of Embryos: A Study of Comparative Transcriptomic Analyses of Chordates and Echinoderms.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Front. Cell Dev. Biol.	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) 10.3389/fcell.2021.749963	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 Satoko Fujimoto Kaori Yamanaka Chiharu Tanegashima Osamu Nishimura Shigehiro Kuraku Shigeru Kuratani Naoki Irie*	4. 巻 338(1-2)
2. 論文標題 Measuring potential effects of the developmental burden associated with the vertebrate notochord.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Zoology, part B	6. 最初と最後の頁 129-136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jez.b.23032	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 Masahiro Uesaka*, Shigeru Kuratani, Naoki Irie	4. 巻 -
2. 論文標題 The developmental hourglass model and recapitulation: An attempt to integrate the two models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Zoology, part B (2021)	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) 10.1002/jez.b.23027	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 Shigeru Kuratani*, Masahiro Uesaka, Naoki Irie	4. 巻 -
2. 論文標題 How can recapitulation be reconciled with modern concepts of evolution?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Zoology, part B	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) 10.1002/jez.b.23020	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 Yongxin Li, et al. (35名中 35番目 Naoki Irie*)	4. 巻 3:371
2. 論文標題 Genomic insights of body plan transitions from bilateral to pentameric symmetry in Echinoderms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Biology	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) 10.1038/s42003-020-1091-1	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 Chikara Furusawa*, Naoki Irie*	4. 巻 12
2. 論文標題 Toward understanding of evolutionary constraints: experimental and theoretical approaches	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophysical Reviews	6. 最初と最後の頁 1155-1161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12551-020-00708-2	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 John D. Hogan, et al. (Naoki Irie 19名中16番目)	4. 巻 460:2
2. 論文標題 The developmental transcriptome for Lytechinus variegatus exhibits temporally punctuated gene expression changes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Developmental Biology	6. 最初と最後の頁 139-154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ydbio.2019.12.002	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 Masahiro Uesaka, Shigeru Kuratani, Hiroyuki Takeda & Naoki Irie	4. 巻 5
2. 論文標題 Recapitulation-like developmental transitions of chromatin accessibility in vertebrates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Zoological Letters	6. 最初と最後の頁 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40851-019-0148-9	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 Naoki Irie*, Noriyuki Satoh, Shigeru Kuratani	4. 巻 4:3
2. 論文標題 The phylum Vertebrata: a case for zoological recognition	5. 発行年 2018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/s40851-018-0114-y	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 Yui Uchida*, Masahiro Uesaka, Takayoshi Yamamoto, Hiroyuki Takeda and Naoki Irie*	4. 巻 9:7
2. 論文標題 Embryonic lethality is not sufficient to explain hourglass-like conservation of vertebrate embryos	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 EvoDevo	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/s13227-018-0095-0	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 Kazuki Ichikawa, Shingo Tomioka, Yuta Suzuki, Ryohei Nakamura, Koichiro Doi, Jun Yoshimura, Masahiko Kumagai, Yusuke Inoue, Yui Uchida, Naoki Irie, Hiroyuki Takeda* & Shinich Morishita*	4. 巻 1833
2. 論文標題 Centromere evolution and CpG methylation during vertebrate speciation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-017-01982-7	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 該当する

1. 著者名 Yui Uchida*, Masahiro Uesaka, Takayoshi Yamamoto, Hiroyuki Takeda and Naoki Irie*	4. 巻 9:7
2. 論文標題 Embryonic lethality is not sufficient to explain hourglass-like conservation of vertebrate embryos	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 EvoDevo	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/s13227-018-0095-0	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 Yongxin Li, Mani Kikuchi, Xueyan Li, Qionghua Gao, Zijun Xiong, Yandong Ren, Ruoping Zhao, Bingyu Mao, Mariko Kondo, Naoki Irie, Wen Wang*	4. 巻 495:1
2. 論文標題 Weighted gene co-expression network analysis reveals potential genes involved in early metamorphosis process in sea cucumber <i>Apostichopus japonicus</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 BBRC	6. 最初と最後の頁 1395-1402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2017.11.154	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 Haiyang Hu, Masahiro Uesaka, Song Guo, Kotaro Shimai, Tsai-Ming Lu, Fang Li, Satoko Fujimoto, Masato Ishikawa, Shiping Liu, Yohei Sasagawa, Guojie Zhang, Shigeru Kuratani, Jr-Kai Yu, Takehiro G. Kusakabe, Philipp Khaitovich, Naoki Irie*; the EXPANDE Consortium	4. 巻 1
2. 論文標題 Constrained vertebrate evolution by pleiotropic genes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature EcoEvo	6. 最初と最後の頁 1722-1730
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41559-017-0318-0	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 該当する

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 25件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Organismal intrinsic factors possibly limiting evolutionary diversification
3. 学会等名 Determinants of Rates of Origination, Extinction and Evolution, Oslo, Norway (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Possible intrinsic factors limiting animal body plan diversification
3. 学会等名 Japanese Society of Developmental Biologists - Singapore Developmental Biology Society Joint meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 個体発生と系統発生（進化）の一般則説明からみえてきた”縛り”
3. 学会等名 名古屋大学理学部生物学科 GTRセミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 マウスにおける動物実験モデル
3. 学会等名 母児間免疫病研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 表現型進化は生物に内在する要因により制限される？
3. 学会等名 総研大 葉山セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 動物の解剖学的基本パターンはなぜ進化的に保守的なのか
3. 学会等名 第127 回日本解剖学会総会・全国学術集会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Can we predict evolutionary outcome of animal body plan?
3. 学会等名 International Congress of Zoology Cape Town (online) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Internal factors of biological system that biases evolutionary outcome
3. 学会等名 ICG-16, Qindao (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Possible constraints by developmental robustness
3. 学会等名 2nd AsiaEvo (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 発生頑健性による進化の慣性力
3. 学会等名 日本分子生物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Developmental robustness may bias macroevolutionary outcome
3. 学会等名 17th Spanish Society for Developmental Biology Meeting (Spain, online) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 動物表現型進化の予測にむけて
3. 学会等名 ExCELLS シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 動物ボディプランにみられる進化的慣性力の仕組みは？
3. 学会等名 日本進化学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 遺伝子の使い回しは多様化にとって諸刃の剣か
3. 学会等名 日本分子生物学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Potential double-edged sword effect of gene re-usage toward evolutionary diversification
3. 学会等名 Molecular Biology Society of Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Possible bias toward micro- and macro-evolutionary conservation by developmental systems
3. 学会等名 Workshoo reconciling micro-macro evolution (Oslo) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Do echinoderm embryos follow hourglass-like divergence?
3. 学会等名 ICG-Ocean 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 What makes animal embryos to follow the hourglass model?
3. 学会等名 日本生物物理学会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yui Uchida, Naoki Irie
2. 発表標題 Could have “small phenotypic fluctuation” contributed to the evolutionary conservation in vertebrate embryogenesis?
3. 学会等名 21st Annual Meeting of the Society of Evolutionary Studies, Japan
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Development and Evolution
3. 学会等名 SERB School in Evolutionary Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 The developmental hourglass model in animal embryogenesis
3. 学会等名 Developmental Biology of Sea Urchin and other Marine Invertebrates (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Cost of complexity” contributed to the vertebrate bodyplan conservation?
3. 学会等名 Euro EvoDevo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 Gene re-usages constrained the evolvability of animal bodyplan?
3. 学会等名 EvoDevo Seminar series, Cambridge University (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 “Cost of complexity” hypothesis supported in animal embryonic evolution?
3. 学会等名 The 1st AsiaEvo conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 遺伝子の使い回しは進化にとって諸刃の剣か？
3. 学会等名 再生学異分野融合研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 表現型揺らぎから探る進化の方向性と拘
3. 学会等名 日本進化学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 入江直樹
2. 発表標題 複雑な遺伝子制御を持つ動物ほど進化可能性が低いかもしれない
3. 学会等名 生命の起源および進化学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 In search for a general law of animal embryonic evolution?
3. 学会等名 the 12th International Workshop on Advanced Genomics [12AGW]（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 What are the potential mechanisms that made vertebrates' bodyplan conserved?
3. 学会等名 50th Anniversary Meeting of Japanese Society of Developmental Biologists
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 The developmental hourglass model: the law of embryonic evolution?
3. 学会等名 From Genetic Networks to a Cellular Wiring Diagram（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 Naoki Irie
2. 発表標題 複雑な遺伝子制御を持つ動物ほど進化可能性が低いかもしれない
3. 学会等名 生命の起源および進化学会（招待講演）
4. 発表年 2017年～2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

入江直樹研究室 https://irie-labo.org/index_j.html 新学術領域 進化制約方向性 http://constrained-evo.org/
--

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	上坂 将弘 (Uesaka Masahiro) (20756499)	国立研究開発法人理化学研究所・生命機能科学研究センター・研究員 (82401)	

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2件

国際研究集会 CDE Open Online Seminar series(1～3回)	開催年 2020年～2021年
国際研究集会 AsiaEvo	開催年 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			
ノルウェー	Norwegian Univ. of Sci. and Tech.			