

定量生物学の会 福井キャラバン2025



「定量生物学の会」福井キャラバン2025 参加者の皆様

2025年11月22日から23日まで、「定量生物学の会」福井キャラバン2025を福井大学にて開催いたします。

定量生物学の会は、定量的な解析から生命システムの定性的な性質を明らかにすることを目指す生命科学について、その方向性や解決すべき点などを具体的な問題設定のもとで議論する場として、2008年から本格的に活動を開始しました。生命科学の幅広い領域から研究者が集い、オープンな雰囲気で議論を進めています。

今回は、北陸地方で初となるキャラバン(定量生物学の会の遠征)を福井大学にて開催します。本年度は、進化と発生、物理学と生理学、細胞内の輸送、菌類の相互作用、に関する四つのセッションを企画しました。「形づくりの進化」では生物の多様な形態進化と発生過程の関係、「動きの力と生理」では植物などの動きや成長における力学的メカニズムと生理学的制御、「細胞の中の物流」では細胞内物質輸送やオルガネラ動態、「菌類のやり取り」では菌類の相互作用やコミュニケーション、共生関係について、それぞれの分野のフロントランナーにご講演いただきます。また、本年度は初の試みとして、各セッションの冒頭に概要講演を設けます。従来のチュートリアルに代わり、各セッションのテーマについて背景・基礎知識を簡潔に紹介することで、分野外の参加者にも参加していただきやすい構成としております。さらに、参加者同士の交流をはかるべくポスターセッションとショートトークも企画しています。

幸い、今回のキャラバンも様々な分野の研究者に参加していただけることになり、有意義な会になると期待しております。ぜひ皆様には積極的に議論に参加していただき、参加者それぞれにとっての定量的な生命科学の可能性が見えてくればと願っております。

2025 年 11 月 16 日

定量生物学の会 福井キャラバン2025 世話人

沖 昌也(福井大学)、梶田 真司(福井大学)、高木 拓明(奈良県立医科大学)、舟橋 啓(慶應義塾大学)、中江 健(福井大学)、畠山 哲央(東京科学大学)、北沢 美帆(大阪大学)、堀口 修平(金沢大学) (五十音順)



目次



会場概要	4
連絡事項・注意点	8
年会運営について	8
スケジュール	9
チュートリアル概要	11
セッション概要	12



会場概要



会議日程・会場

- 会議日程:2025 年 11 月 22 日(土)、23 日(日)
- 会議会場:福井大学文京キャンパス、223L 教室・工学部百周年記念館

会場アクセス

- 福井大学文京キャンパスへのアクセス
 - 福井まで
 - 名古屋／電車で約 1 時間 45 分又は、バスで約 2 時間 50 分
 - 大阪／電車で約 1 時間 55 分又は、バスで約 3 時間 30 分
 - 東京／北陸新幹線で最短 2 時間 51 分
 - 小松空港／直行バスで約 60 分
 - 文京キャンパス(教育学部・工学部・国際地域学部)まで
〒910-8507 福井県福井市文京 3 丁目 9 番 1 号
 - 鉄道
 - えちぜん鉄道福井駅ー(約 10 分)ー福大前西福井駅[えちぜん鉄道福井駅より三国芦原線に乗車]、福大前西福井駅から正門まで徒歩2分
 - 福井鉄道福井駅ー(約 10 分)ー田原町駅[福井鉄道福井駅より福武線田原町方面行きに乗車]、田原町駅から東門まで徒歩7分、またはえちぜん鉄道三国芦原線三国方面行きに乗り換え
 - バス
 - 京福バス福井駅ー(約 10 分)ー福井大学前停留所[JR 福井駅西口バスターミナル2番のりばより乗車]
 - タクシー
 - 福井駅ー(約 10 分)ー福井大学文京キャンパス[必ず「福井大学文京キャンパス」と伝えてください]
- 福井大学文京キャンパスマップ
 - 講演会場:総合研究棟IV-1(工学系 2 号館)223L 教室 (キャンパスマップの 20 番の建物)
 - ポスター会場:工学部百周年記念館 (キャンパスマップの 26 番の建物)

*1: 電車の運行頻度はラッシュ時で1時間に 2, 3 本、それ以外で 1 時間に1本程度とかなり低いいため、ご利用の際は時刻表をよくご確認ください。

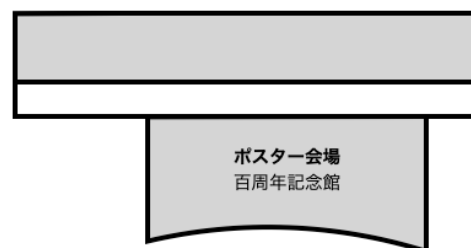


図 2 福井大学文京キャンパスマップ

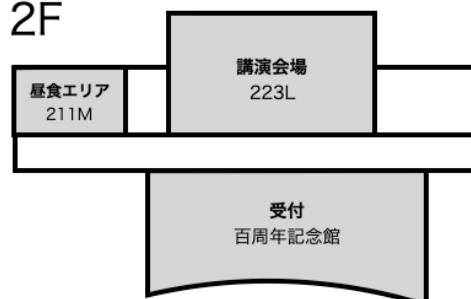
会場案内



1F



2F



- 受け付けデスク:受付(百周年記念館2F)
- 講演会場:223L 教室(総合研究棟IV-1(工学系2号館)2F)
- ポスター会場:百周年記念館 1F
- 昼食エリア:211M 教室(総合研究棟IV-1(工学系2号館)2F)
- お茶・昼食スペース:百周年記念館2F

＊公式なクロークを置くことは予定しておりません。
会場後方等の空きスペースに荷物を置くことは構いませんが、
こちらで管理責任を負うことはできませんのでご了承ください。



連絡事項・注意点



- ポスターセッションについての情報

- ポスターボードは縦 210cm 横 90cm (A0 縦用) です。ポスター番号は掲示しますのでご参照ください。画鋏、テープは会場にてご用意致します。
- ポスター掲示は 22 日 (土) 午前から可能といたします。ポスターは 23 日 (日) 14 時 35 分までに撤去していただきますようお願いいたします。

- 写真・ビデオなどの撮影について

- 定量生物学の会では、相互情報発信と互いに顔の見える環境づくりを心がけています。最近、他の学会で、参加者による研究発表の無許可な写真・ビデオ撮影などが問題となっています。本年会においては、セッション会場・ポスター会場にて**発表者の許可をとっていない発表内容の写真・ビデオ撮影は禁止**いたします。

- 昼食について

- 事前に Payvent でお弁当を注文した方にお弁当を配布いたします。昼食時間は他の参加者との貴重な交流の場として、過去の年会におけるアンケートでも好評です。本年も皆さんの活発な交流の場として時間を有効活用して頂ければと思います。

- 参加費・お弁当代について

- 参加費は Payvent 経由でお支払いいただきますので、当日の支払の受付は予定しておりません。

- 領収書について

- Payvent システムでは、受領書の自動発行が可能です。
- Paypal 以外の証明を特に希望される方のみ領収書の発行を予定しております。当日受付でお申し出ください。

- インターネットの利用について

- 会場では eduroam を利用して wifi をご使用いただけます。



福井キャラバンの運営について



定量生物学の会 福井キャラバン2025 企画・運営 (あいうえお順)

- 企画: 梶田 真司(福井大学)、畠山 哲央(東京科学大学)、北沢 美帆(大阪大学)、堀口 修平(金沢大学)
- 運営: 沖 昌也(福井大学)、高木 拓明(奈良県立医科大学)、舟橋 啓(慶應義塾大学)、中江 健(福井大学)

スポンサー

本年会の開催費の一部は、学術変革領域研究(A)「進化情報アセンブリによる生命機能の創出原理」(代表: 小林 徹也), 学術変革領域研究(B)「多細胞生物の柔軟な形態を支えるスピニンググラス的発生システム」(代表: 北沢 美帆), 若手研究「転写酵素の遺伝子間動態に基づく細胞分化モデルの構築と実データによる検証」(代表: 梶田 真司)からのサポートをうけ運営しております。

謝辞

開催にあたり、定量生物学の会コアメンバーに多大なるご協力をいただきました。ここに感謝いたします。

お問い合わせ先

qbio.fukui.2025.jp at gmail.com



スケジュール



11 月 22 日 (1 日目)

開始時刻	終了時刻	スケジュール内容
9:00	9:30	受付・ポスター掲示
9:30	9:40	オープニング 趣旨説明・全体概要
9:40	12:05	セッション 1 形づくりの進化 チェア:堀口修平(金沢大) ● 概要講演:藤本仰一(広島大)「動植物における形づくりの多様性と保守性の両立機構をいかに見いだすか」 ● 香曾我部隆裕(大阪大)「計算機進化実験で探る発生砂時計の仕組み」 ● 尾内隆行(福井大)「頭部問題とその解法ー発生過程における非周期場の成立による秩序化」 ● 黒田春也(金沢大)「胚の発生戦略の進化は保守的な器官の形態形成にも波及する」
12:05	13:00	写真撮影と昼食
13:00	15:15	セッション 2 動きの力と生理 概要講演・チェア:北沢美帆(大阪大) ● 真野弘明(基生研)「オジギソウの運動の速さを生み出す分子機構」 ● 和田浩史(立命館大)「アナロジーでみる生命現象とメカニクス」 ● 中山尚美(OIST)「飛行植物の拡散戦略:生体機能解析で未来の植物分布や発生を予測する」
15:30	16:50	ショートトーク ● 市川壮彦(金沢大学ナノ生命科学研究所)「ナノ内視鏡 AFM を用いた生きた細胞内の核の硬さへの上皮間葉転換による影響の測定」 ● 井上雅世(九州工業大学)「方位選択性を備えた深層ニューラルネットワークモデルによるハーマン格子錯視バリエーション画像の解析」 ● 奥田宗太(順天堂大学大学院医学研究科)「オルガノイドの自己組織化能を活用した、自律的に次世代を形成する合成多細胞生命体の開発」

		● 梶谷卓也(奈良県立医科大学)「エピゲノムの堅牢性と可塑性の観点からのシングルセル生物学」 ● 深澤有吾(福井大学学術研究院・医学系研究科・脳携帯機能学分野)「定量的超微細構造情報に基づく興奮性シナプス結合の構築則の解明」 ● 藤原基洋(理研 BDR)「クモの胚発生から節足動物の体軸形成の発生・進化過程を探る」 ● 藤原郁子(長岡技術科学大学物質生物系)「Spiroplasma 由来 MreB を発現した syn3B 破砕液の封入リポソーム形状変化」 ● 光元亨汰(東大総合文化)「触媒反応ネットワーク模型の動的平均場理論」
16:50	18:20	ポスターセッション 1 (兼 簡易懇親会) ● 16:50-17:35: 奇数番ポスターの説明 ● 17:35-18:20: 偶数番ポスターの説明

11 月 23 日 (2 日目)

開始時刻	終了時刻	スケジュール内容
10:00	12:15	セッション 3 細胞の中の物流 概要講演・チェア: 梶田真司(福井大) ● 小西慶幸(福井大)「軸索内における空間的秩序の形成機構」 ● 岡田康志(東大)「細胞内混雑環境と軸索輸送速度のパラドックス」 ● 梶田真司(福井大)「アクティブな熱力学的力によるミトコンドリアの整列」
12:15	14:25	昼食 & ポスターセッション2 ● 13:15-13:50: 偶数番ポスターの説明 ● 13:50-14:25: 奇数番ポスターの説明
14:35	16:50	セッション 4 菌類のやり取り 概要講演・チェア: 畠山哲央(東京科学大) ● 小田有沙(東大)「糖枯渇時の酵母の生存戦略:Latecomer killing」 ● 清家泰介(九工大)「酵母はどうやって“相手を見つける”のか—フェロモン認識の進化」 ● 深澤遊(東北大)「菌類の菌糸体に見られる知的な行動」
16:50	17:00	総合討論 & クロージング



セッション概要



11月22日(1日目)

セッション1「形づくりの進化」

動植物における形づくりの多様性と保守性の両立機構をいかに見いだすか

【要旨】内臓や花弁などの器官における形態と空間的配置、節・節間を単位とする茎や体節などの繰り返し構造に見られる多細胞生物の形は、多様でありながら種を超えて保守的である。この「多様性と保守性の両立」は、生物が進化の過程でいかに頑健かつ可塑的な形づくりシステムを獲得してきたかを示唆する。本講演では、動物・植物双方の発生過程における多様性と保守性の両立の事例を俯瞰し、保守的な発生プログラムの枠組みの中で多様性が創出される特性と、その背後にある遺伝子制御・力学的要因を整理する。さらに、形づくりの進化的ロバストネスや可塑性を定量的にとらえる比較発生学や数理モデルを用いた探索・発見手法について概説する。これらの知見は、本キャラバンで引き続く講演の理解を有機的に結びつける理論的基盤を提供する。最後に、細胞スケールから個体・集団・生態系スケールに至る発生・発達・生態現象を貫く統合的理解に向け、保守性と多様性を両立する生命システム研究の今後の展望を議論する。

【参考文献】

- W. Arthur, Evolution: A Developmental Approach (2010)

氏名	藤本 仰一
所属	広島大学

計算機進化実験で探る発生砂時計の仕組み

【要旨】発生砂時計とは、近縁種間で発生過程を比較した際に発生中期に種間の類似性が最大となる現象です。この現象は、進化における発生過程の頑健性と可塑性の両立という観点から注目されていますが、その進化的起源や形成原理は十分に解明されていません。

本研究では、発生を抽象化した数理モデルを用いて計算機上で進化シミュレーションを行い、発生砂時計が進化でどのように出現するのかを擬似的に調べました。その結果、発生初期の状態に大きな揺らぎがある条件下で発生砂時計が進化すること、砂時計のくびれの時期には初期の揺らぎが最小化されること、砂時計を共有する種間で発生の時間進行をする遅い発現ダイナミクスが共有されていることが分かりました。

これらの結果は、発生砂時計が発生過程の安定性と多様性の両立を可能にし、再帰性を担保しつつ環境に適応できる生命らしさをもたらす装置として機能してきた可能性を示唆します。これら結果を用いて発生砂時計の実験的操作や系統分岐のタイミングと砂時計の獲得との関係性の解明が期待されます。

【参考文献】

- Kohsokabe T, Kuratanai S, Kaneko K. Developmental hourglass: Verification by numerical evolution and elucidation by dynamical-systems theory. PLoS Comput Biol. 2024 Feb 29;20(2):e1011867. doi: 10.1371/journal.pcbi.1011867. PMID: 38422161; PMCID: PMC10903806.
- H. Yamazaki, M. Takagi, H. Kosako, T. Hirano and S.H. Yoshimura (2022) "Cell cycle-specific phase separation regulated by protein charge blockiness." Nat. Cell Biol. 24(5): 625-632.

氏名	香曾我部 隆裕
所属	大阪大学

頭部問題とその解法 — 発生過程における非周期場の成立による秩序化

【要旨】脊椎動物の頭部は、咽頭嚢、神経堤、頭部中胚葉など複数の構成要素が協調的に出現することによって成立するが、その初期秩序化の原理、さらには進化の歴史は二世紀に渡り未解明であった。これまで我々は、様々な新口動物胚の比較を通して前後軸に沿った遺伝的分極(Genetic polarization=GP仮説)が原腸形成過程にて起きることが、頭部中胚葉の進化の鍵であることを示してきた。特にflrt3依存的な中胚葉構文の操作実験により、原腸胚期に形成される非周期的な発生場(flrt3場)が、Pitx2を発現する頭部中胚葉の出現を導き、さらに頭部構造の同期形成を可能にすることを明らかにした。この現象は、周期的な発生構文である体節的系列とは異なる新たな出現構文を意味し、頭部問題に対する構文的な解法を提示するものである。本研究は、構文進化理論(Syntax evolution theory=SET)という新たな記述枠組みによって、traitをアトラクター系列として記述する方向性を提案し、新たな進化発生学の創始を目指す。

【参考文献】

- Onai T et al., Evolution of Vertebrate Skull: Cell types, Tissues, and Morphology. CRC Press. (In prep)
- Onai T*, Adachi N, Urakubo T, Sugahara F, Aramaki T, Matsumoto M, Ohno N. Ultrastructure of the lamprey head mesoderm reveals evolution of the vertebrate head. iScience. Volume 26, 12, 108338 (2023).
- Onai T*, Aramaki T, Takai A, Kakiguchi K, Yonemura S. Cranial cartilages: Players in the evolution of the cranium during evolution of the chordates in general and of the vertebrates in particular. Evolution and Development. Doi: 10/1111/ede/12433 (2023)
- Onai T*, Aramaki T, Inomata H, Hirai T, Kuratani S. Ancestral Mesodermal Reorganization and Evolution of the Vertebrate Head. Zoological letters. 1:29 DOI: 10.1186/s40851-015-0030-3. (2015).

- Onai T*, Irie N, Kuratani S. The Evolutionary Origin of the Vertebrate Body Plan: The Problem of Head Segmentation. Annual review in genomics and human genetics. 15, 443-459. (2014).

氏名	尾内 隆行
所属	福井大学

胚の発生戦略の進化は保守的な器官の形態形成にも波及する

【要旨】有性生殖をおこなう動物はたった一つの細胞である卵から発生を始める。卵のサイズは程度の違いはあっても将来動物のからだを構成することになる個々の細胞よりも大きい。そのため、発生の最初期の細胞分裂はこの大きな細胞質を分割するように進行し、卵割期にその典型例がみられる。私たちは脊椎動物において一部の種(しかし決して珍しくない系統的範囲)でこのようなサイズ削減的な分裂が卵割期を越えて器官形成期にまで及んでいることに気がついた。サイズ削減的な細胞分裂は、分裂による組織体積の成長を完全に、または部分的に抑制するため、上記の事実は器官形成時の組織成長へのアクセス性が動物種によって異なることを意味している。本講演では、内耳と呼ばれる脊椎動物の平衡(聴覚)器官の発生についての比較研究をケーススタディとして、組織成長能の動物種による違いにもかかわらず、内耳の形態形成があらゆる脊椎動物で機構的にどのように実現されているのかを、私たちが観察と数理モデルを組み合わせで調べた成果を中心に紹介したい。また、卵と目標細胞のサイズ、卵割様式、器官形成の開始タイミングなどといった、複数の形質状態と器官形成期における組織成長能の有無がどのように関係していて、脊椎動物の進化史上どのように変遷してきたのか、このような議論は無脊椎動物にも拡張できるのか等について参加者の皆さんと議論を深めたいと思っている。

【参考文献】

- ゼブラフィッシュの内耳の形態形成 : <https://doi.org/10.7554/eLife.39596>
- 脊椎動物の卵形態と卵割様式の進化 : <https://doi.org/10.1002/jmor.21380>

氏名	黒田 春也
所属	金沢大学

セッション 2 「動きの力と生理」

オジギソウの運動の速さを生み出す分子機構

【要旨】植物の運動は一般に非常に遅いが、一部の植物に見られる高速運動は、植物にも動物に匹敵する速さで動き得る進化的潜在能力を示している。オジギソウ (*Mimosa pudica*) はその代表で、葉は刺激後数秒以内に閉じ、この「おじぎ運動」は可逆的に何度も繰り返すことができる。他の高速植物運動が座屈などの構造的要素を利用するのに対し、オジギソウはそれらを持たず、細胞レベルでの機構解明に適したモデルである。本研

究では、この運動に必須な2種のイオンチャネルを同定した。機械刺激受容型チャネルMSL10は刺激後に膜のイオン透過性を急速に高め、変異体では運動速度が大幅に低下した。グルタミン酸受容体様チャネルGLR3は、多数の運動細胞の同調的活性化を担い、細胞外カルシウム流入による活動電位発生を介して機能していた。これらの結果は、オジギソウの速い運動がより遅い気孔開閉運動などと同様の膨圧駆動によって生じ、MSL10とGLR3の特性がその速度差を規定していること、さらにGLR3が未解明の電位依存的な活性制御機構を有する可能性を示唆した。

氏名	真野 弘明
所属	基礎生物学研究所

アナロジーでみる生命現象とメカニクス

【要旨】生物の著しい特徴のひとつは、そのサイズ、かたち、うごきの際立った多様性です。とくに、植物は成長とともに次々とその形を変えていきますが、全体としての調和を見出すこともできます。このような形の理由は、多くの場合、その機能性と深く結びついています。これは、優れた工業デザインが理にかなった機能美を持ち合わせていることと同じ事情といえます。むしろ、進化の結果である生物の形から、役立つ工業デザインのインスピレーションを得ることのほうが普通です。しかし、実際には、「形態はつねに機能にしたがう」というわけでもありません。とくに、生物においては、かたちと力の関係がその機能を決めるように思います。発表では、生物の問題に着想をえた力学の研究について、時間の許す限り、いくつかご紹介します。そこから横滑りして、もっと単純な物理系、たとえば、昔のおもちゃ、折り紙や切り紙、あるいはシュレッターしたただの紙屑の束、のような「ほとんどどうでもいいような対象」についても深く考えてみたいと思います。たぶん、まとまりのない話になるだろうと思います。翻って、それらの雑多な考察が、もしかしたら、なにかの生命現象の理解に役立つかもしれない、などと考えるきっかけになれば幸いです。

氏名	和田 浩史
所属	立命館大学

飛行植物の拡散戦略：形態機能解析で未来の植物分布や発生を予測する

【要旨】生物の組織や器官は「どうやって」作られるのだろう、は、発生生物学の問いである。生物の組織や器官は「どうして」現状の作りをしているのだろう、という問いは、生物メカニクスを発生生物学と合わせた視点から答えることができる。私たちの研究室では、植物の形の「どうして」を、環境変化にともなう変形(モーフィング)を解析することで研究している。定量化は、我々の研究の根底にある課題で、どういう実験ができるのか(ウェット、ドライ両方で)、どんな問いを考えていけるのか、は、何を計測できるのか、に依存することが多々ある。

タンポポの種の空中飛行は、パパスpappus(またはプルームplume)という100ほどの細長い毛でできた構造体が、空気抵抗を増やすことで促されている。パパスは乾燥した環境下ではほぼ水平に開いているが、湿度が飽和すると水分の吸収に伴い、垂直に向きを変えて形を変える。それにより、落下速度は上がるが、親植物からの離脱率は下がる。親植物からの離脱がとても強い風でのみ起こるため、落下速度が速くても、遠くまで拡散できることが、現実的な風の動きをシミュレーションした種子飛行モデルから示された。このように、環境による形態変化とそれにとまなう構造体機能のシフトを観ることで、さまざまな環境下でどのような形態がフィットネスを上げる可能性があるのかを示唆することができる。この会では、これらのタンポポ・プロジェクトを、我々が経験した定量化チャレンジに重点を置いて話していきたい。

氏名	中山 尚美
所属	沖縄科学技術大学院大学

11 月 23 日(2日目)

セッション3「細胞の中の物流」

軸索内における空間的秩序の形成機構

【要旨】脳内の神経細胞は、1本の軸索から平均して数千もの標的細胞に信号を出力し、複雑な回路を形成している。軸索の分岐形状やシナプスの空間分布は出力先を決定する上で極めて重要であるが、これらの構造的特徴を細胞自律的に制御する仕組みについては、十分な理解に至っていない。我々は軸索の形態調節において空間依存性が創出される機構の理解を目指した研究を行ってきた。本発表では、微小管および軸索輸送の枝間差に起因する枝ごとの伸長速の違いと、枝の長さ依存して生じる微小管ターンオーバーの差が相互にフィードバックすることで、枝間の構造的非対称性が自律的に維持されるモデルを紹介する[1][2]。これにより、外部シグナルに依存せず、内部動態のみから分岐の多様性や安定性が説明できることを示す。さらに、軸索上でミトコンドリアがほぼ等間隔に整列する現象に焦点を当て、その形成機構を解析した結果を報告し[3][4]、軸索形態の維持やプレシナプス形成における役割について議論する。

【参考文献】

- [1] Seno et al., Kinesin-1 sorting in axons controls differential retraction of arbor terminals. J Cell Sci 2016; jcs.183806. DOI: 10.1242/jcs.183806
- [2] Imanaka, et al. A model for generating differences in microtubules between axonal branches depending on the distance from terminals. Brain Res 2023; 1799: 148166. DOI: 10.1016/j.brainres.2022.148166

- [3] Matsumoto et al. Intermitochondrial signaling regulates the uniform distribution of stationary mitochondria in axons. Mol Cell Neurosci 2022; 119: 103704. DOI: 10.1016/j.mcn.2022.103704
- [4] Kajita et al. Active thermodynamic force driven mitochondrial alignment. Phys Rev Res 2024; 6.2: L022024. DOI: 10.1103/PhysRevResearch.6.L022024

氏名	小西 慶幸
所属	福井大学

細胞内混雑環境と軸索輸送速度のパラドックス

【要旨】軸索輸送を担うモーター分子としてキネシンが発見されて以来40年にわたり、軸索輸送に関する多くの知見が積み重ねられてきた。定性的な観点からは、多くの問題が解決されたようにみえる。しかし、キネシン発見論文で既に報告されていた定量的な矛盾は未解決のままである。精製キネシンのin vitro運動速度は、軸索内での小胞輸送速度の1/3以下に過ぎない。混雑し粘性の高い筈の細胞内で、むしろなぜ速度が上がるのか。このパラドックスをbiological dark matterと呼ぶ論者もあり(Ross 2016)、40年来の未解決問題である。また、そもそも、この速度はどのような生理的意義を持つのであろうか。高々1mm以下の長さの軸索しか持たない線虫と、神経軸索が4-5 mに達するキリンとで、キネシンの速度や軸索輸送の速度は同じでよいのだろうか？ 我々はこれら2つの定量的パラドックスに取り組んでいる。

【参考文献】

- Ross JL. The Dark Matter of Biology. Biophys J. 2016;111(5):909-16. DOI: 10.1016/j.bpj.2016.07.037

氏名	岡田 康志
所属	東京大学

アクティブな熱力学的力によるミトコンドリアの整列

【要旨】真核生物の主要なエネルギー産生を担うミトコンドリアは、神経軸索において等間隔に整列することが知られている[1]。この空間配置は、細長い軸索構造全体でATP濃度を均一に保つ機能を果たすと考えられている。しかし、ミトコンドリア間に直接的な反発相互作用は存在せず、走化性を実現する複雑なシグナル伝達系も確認されていないことから、この等間隔分布の形成メカニズムは不明であった。我々は最近、ATP産生とATP依存的なミトコンドリアの確率的移動という2つの要素のみから、この空間パターンが自発的に形成されることを理論的に示し、このメカニズムを「アクティブな熱力学的力」と名付けた[2]。このメカニズムは、分子モーターによるATP加水分解を伴うミトコンドリアの輸送という非平衡過程が、熱的揺らぎに似た効果を生み出し、ミトコンドリア間に実効的な反発力を生み出すことで、安定した秩序配置が実現される。この新しいパターン形成メカニズム「ア

クティブな熱力学的力」は、細胞内の効率的な物質分配を実現する普遍的な原理である可能性があり、本発表ではこの自発的に生じる空間秩序と生命機能の関係や、その進化的意義についても議論したい。

【参考文献】

1. Matsumoto, N.; Hori, I.; Kajita, M. K.; Murase, T.; Nakamura, W.; Tsuji, T.; Miyake, S.; Inatani, M.; Konishi, Y. Intermitochondrial Signaling Regulates the Uniform Distribution of Stationary Mitochondria in Axons. *Mol. Cell. Neurosci.* 2022, 119, 103704. <https://doi.org/10.1016/j.mcn.2022.103704>
2. Kajita, M. K.; Konishi, Y.; Hatakeyama, T. S. Active Thermodynamic Force Driven Mitochondrial Alignment. *Phys. Rev. Research* 2024, 6 (2), L022024. <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.6.L022024>

氏名	梶田 真司
所属	福井大学

セッション4

「菌類のやり取り」

糖枯渇時の酵母の生存戦略:Latecomer killing

【要旨】微生物はその生育環境に応じて、他の微生物と共生したり、あるいは競合したりするが、その際、生物間、細胞間でコミュニケーションを行う。特に排他的なコミュニケーションにおいて、増殖を害するような物質を分泌することは、自身やその系譜のフィットネスに影響を及ぼしかねない。

私たちは、酵母が、グルコース枯渇時に増殖阻害物質を分泌し、同種を含む周囲の微生物の増殖を抑制する現象を見出した(Oda et al. *PLOS Biol.* 2022)。さらに、この酵母の培養上清成分の質量分析により、酵母が分泌する増殖阻害物質を同定した。自らの増殖をも抑制する物質の分泌は、生存には一見不利に見える。だが、実際には飢餓環境へ適応し、増殖阻害物質を分泌した酵母は、自身の分泌した増殖阻害物質へも適応しており、高濃度の増殖阻害物質であっても耐性も示した。一方で、飢餓に適応していない酵母は、この増殖阻害物質にさらされるとその多くが死ぬことがわかった。

このような毒の分泌と適応を組み合わせた競合的なコミュニケーション現象を「Latecomer killing (新参者殺し)」と名づけた。この現象を紐解くと、単なる栄養源枯渇への適応だけでなく、自らの分泌した毒のストレスへの適応も加わった複層的なストレス応答の様子が伺えた。

氏名	小田 有沙
所属	東京大学

酵母はどうやって“相手を見つける”のか—フェロモン認識の進化

【要旨】酵母は性フェロモンという“鍵”と受容体という“鍵穴”の相性で相手を見つける。私たちの先行研究では、この鍵と鍵穴を少し作り替えるだけで、元の集団とは交配しない“別のペア”(人工的な生殖隔離群)を作れること [1]、さらに野生株の大規模解析から、二種類あるフェロモンのうち片方は認識が緩く、もう片方は厳密という非対称性を明らかにした [2]。今回はその土台の上で、同じ“鍵”でも環境によって“開く相手”が変わることを示す [3]。具体的には、フェロモンの1アミノ酸置換体153種を用いた競合実験で、通常は不利な置換がpHなどの条件下では一転して有利になる「環境スイッチ」として働くことを見いだした。試験管内での合成ペプチド試験でも、この切り替えを再現した。さらに近縁種との比較から、単独ではフェロモン活性を低下させる置換でも、別の“寛容化変異”が埋め合わせとなり、適応度の谷を回避して多様化へ進む経路が見えてきた。短いペプチドでも、環境依存性と相補的変異の組み合わせで機能を上げ、種分化を促進し得る可能性がある。酵母はどうやって“相手を見つける”のか。鍵と鍵穴の進化から、その答えに迫る。

【参考文献】

[1] Seike et al., PNAS, 112: 4405-4410 (2015)

[2] Seike et al., PLoS Biol, 17: e3000101 (2019)

[3] Seike et al., bioRxiv, doi.org/10.1101/2025.08.28.672862 (2025)

氏名	清家 泰介
所属	九州工業大学

菌類の菌糸体に見られる知的な行動

【要旨】菌類の菌糸は森林の土壌中にネットワークを張り巡らせており、有機物の分解や水分・養分の輸送により森林生態系の物質循環に重要な役割を果たしている。木材を分解する木材腐朽菌の菌糸を使った培養実験により、記憶・学習・決断といった、知的な行動が確認されている。また、エサとなる木片までの距離やサイズ、自身の栄養状態によって行動を柔軟に変化させることから、エサから得られるエネルギーとエサの探索にかかるコストの兼ね合いによって最適な行動を選択していると考えられる。

菌類の菌糸は切断されてもそれぞれの破片が生存・成長することが可能なので、積極的に分裂してクローンを増やすという生存戦略も考えられる。しかし、菌糸のネットワークは数メートル規模に広がることもあり、なるべくつながっているように見える。この理由も、菌糸を通した水分や養分などの輸送を確保するためかもしれない。人為的に離れた菌糸とつながった菌糸を使った培養実験により、つながった菌糸のほうがエサの木片を効率よく分解できることがわかった。菌糸の接続は、水分や養分だけでなく、情報の伝達にも重要かもしれない。講演では、培養菌糸や野外のキノコにおける電氣的シグナル伝達の可能性についても紹介する。

【参考文献】

- Fukasawa Y et al. (2020) ISME J 14:380-388.
- Fukasawa Y & Kaga K (2021) J Fungi 7:654.
- Fukasawa Y & Ishii (2023) Front Cell Dev Biol 11:1244673.
- 深澤遊 (2023) 枯木ワンダーランド. 築地書館.
- Fukasawa Y et al. (2023) Fung Ecol 63:101229.
- Fukasawa Y et al. (2024) Sci Rep 14:15601.
- Fukasawa Y et al. (2024) Fung Ecol 72:101387.
- Fukasawa Y et al. (2024) Fung Ecol 71:101362.
- 深澤遊 (2024) 日本生態学会誌 74:215-227.
- 深澤遊 (2024) 日本生態学会誌 74:193-194.
- Fukasawa Y & Kadish KA (2025) Fung Ecol 76:101437.
- 深澤遊 (2025) 生物物理 65:210-212.

氏名	深澤 遊
所属	東北大学

ショートトークセッション

注:こちらはポスター要旨の本文を転記した簡易的な要旨です。詳細は別紙のポスター発表用の要旨集をご覧ください。

ナノ内視鏡AFMを用いた生きた細胞内の核の硬さへの上皮間葉転換による影響の測定

【要旨】がんの悪性化と核の硬さの関連が指摘されているが、従来法では生細胞内での正確な測定が困難であった。本研究では、我々の研究グループが開発したナノ内視鏡AFM(NE-AFM)を用い、細胞内にナノニードル探針を挿入することで直接核の弾性を測定し、その制御機構の解明を目指した。ヒト肺がん細胞株PC9を用い、NE-AFMで核弾性を測定した結果、血清飢餓条件では核が硬化し、がんの悪性化に関わる上皮間葉転換(EMT)をTGF- β で誘導すると核は軟化した。これらの弾性変化は、核膜を構成するラミントタンパク質の発現量とは相関せず、クロマチン凝集マーカーであるヒストン修飾(H4K20me3)レベルの増減と強く相関していることがわかった。以上の結果から、がん細胞の核弾性は外的環境に応答してダイナミックに変化し、その制御は主にクロマチンの凝集状態に依存することが示された。クロマチンの凝集で核は硬化し、弛緩すると軟化する。本研究で確立した手法と新たな知見は、核の力学特性を指標とした新たながん診断法の開発などへ貢献することが期待される。

氏名 市川 壮彦

所属 金沢大学

方位選択性を備えた深層ニューラルネットワークモデルによるハーマン格子錯視バリエーション画像の解析

【要旨】Hermann 格子錯視は、色の明暗対比による視覚現象の一つであり、黒色背景の上に白色格子線が描かれた図の中心付近を眺めるとき、周辺部分にある格子線の交差点中央に黒い影がチラチラ見える現象である(図1)。この Hermann格子錯視のメカニズムとして、長年、網膜の神経細胞がもつ中心-周辺拮抗型の受容野特性に起因する側抑制(Lateral Inhibition) に基づく説明が採用されてきた。ところが、側抑制だけでは Hermann格子錯視を説明できない例が近年相次いで報告され、そのメカニズムが改めて注目されている。これまでに、我々は、Hermann 格子錯視をみる最小のCNNモデル構築を通して、ヒト脳がもつ方位選択性(特定方位のエッジ検出)が主要な役割を担っていることを示してきた[M.Inoue et al., 2025]。今回の報告では、側抑制だけでは説明できない例の一つである、格子画像を45度回転させた画像に注目する(図3:ヒトの場合、錯視は生じない)。縦横方位(0度と90度)に加え、斜め45度方位の検出性を備えたCNNモデルを用い、図1および図3を入力とした場合の出力結果の比較より、45度回転という単純な操作で錯視が消失するメカニズムについて広く議論をしたい。

氏名 井上 雅世

所属 九州工業大学

オルガノイドの自己組織化能を活用した、自律的に次世代を形成する
合成多細胞生命体の開発

【要旨】遺伝子工学技術を活用し、生命機能や細胞を「創る」ことで生命の根源を理解しようとする合成生物学研究では、「創る」対象が特定の生命機能や単細胞体から多細胞システムへ展開する潮流が生じ始めている。多細胞生命体を「創る」上で、原始生命以来すべての生命体が持つ「自律的次世代形成能」の実現は極めて重要である (Sole. et al. npj Syst. Biol. Appl. 2024 他) (図 1)。しかし、従来のボトムアップ型アプローチでは、多細胞体の「自己組織化能」との両立に膨大な機能実装と最適化が必要で、実現が困難だった(Toda. et al. Science. 2018 他)。そこで代替となるのが、細胞の内在性機構を利用するトップダウン型アプローチである。例えば、胚細胞の収縮機能を利用し運動機能を実装した合成多細胞体 Xenobot(Kriegman et al. PNAS, 2021)は数少ない先例で、機能拡張や設計原理解明の基盤モデルなど発展的な研究にも活用されている(Pai et al. Commun. Biol. 2025 他)。ボトムアップ戦略の設計・最適化の困難さをトップダウン戦略で回避し、自律的次世代形成能のような、必須だが複雑な機構を多細胞体を実装することは、合成生物学の次なる展開への鍵となる。本研究では親世代から幹細胞(を含む細胞塊)が自律的に分離し、子世代を生じる「自律的次世代形成能」を多細胞体で実現させる(図 1)。素材として、幹細胞と分化細胞で構成される多細胞形態を形成する「自己組織化能」をもつ腸管上皮オルガノイド(図 2 左)を利用する。同系は成熟体の人為的な分散によって、陰窩由来の幹細胞を含む細胞塊から継代が可能である(図 2 左)(Sato. et al. Nature. 2009 他)。従って、成熟体の人為的な分散操作の代替として自律的な陰窩断片化機構を実装できれば、親世代から子世代を生じる「自律的次世代形成能」をもつ合成多細胞体を実現する(図 2 右)。

氏名	奥田 宗太
所属	順天堂大学

エピゲノムの堅牢性と可塑性の観点からのシングルセル生物学

【要旨】(非公開)

氏名	梶谷 卓也
所属	奈良県立医科大学

定量的超微細構造情報に基づく興奮性シナプス結合の構築則の解明

【要旨】シナプス結合は前後の神経細胞を空間的に近接(接着)させ、シナプス前からシナプス後への速い神経伝達を担う情報伝達(シナプス伝達)素子として機能する。従って、伝達に必要な種々のオルガネラや微細構造をシナプス前後それぞれに含有している。また、シナプス結合の構造と機能はシナプスで結合される神経細胞種の組合せで異なり(多様性)、さらに同種のシナプス結合でもその活動(使用)頻度等により構造と機能が変化(可塑性)し、これらの多様性と可塑性が脳の複雑な機能(高次な情報処理や学習・

記憶など)を可能にしていると考えられる。また、種々の神経疾患でシナプス結合の構築異常も報告されている。従って、脳内シナプス結合それぞれの構築則と構築を担う分子機構の理解は、神経系による情報処理機構や疾患の理解に欠かせない。しかし、シナプス結合がナノスケールの構造要素で構成されながらも、シナプス前後構造自体としては数ミクロンにも及ぶ大きな構造であるため、その構築則の全体像はつかめていなかった。そこで本研究では、大きな組織体積に対して高い空間分解能で断層撮影が可能な収束イオンビーム搭載型走査型電子顕微鏡を利用して、マウス海馬内の 5 種のシナプス結合に対して「シナプス結合前後構造まるごと」の超微細構造情報を定量的に取得し、各構造量の比を検討(微細構造相関解析)することで、シナプス結合種に共通してみられる微細構築則と各シナプス結合種固有の構造特徴を抽出した。その結果、解析した 5 種全てのシナプス結合種で、シナプス前軸索瘤体積—シナプス小胞数—シナプス接着面の面積—樹状突起スパイン体積の間に有意な正の相関関係が認められた。また、これら相関の近似直線の傾きや Y 切片が、シナプス結合種間で有意に異なることも明らかとなった。さらに、一部の精神疾患モデル(遺伝子改変)マウスでは、特定の微細構造相関が消失していた。以上の結果は、三次元走査型電子顕微鏡による定量的な微細構造解析により、複雑な構造体の構築則を明らかにし、その構築を支える分子機構や病態を解明できることを示している。(COI:なし)

氏名	深澤 有吾
----	-------

所属	福井大学
----	------

クモの胚発生から節足動物の体軸形成の発生・進化過程を探る

【要旨】多細胞生物において、体軸の形成は体の前後・左右・背腹を決める重要な発生過程である。節足動物では、体軸の分節化に至る初期の胚発生過程が多様化し、種によって細胞・分子レベルで異なる。昆虫のモデル種のショウジョウバエやクモのモデル種のオオヒメグモにおける発生生物学研究は、体軸形成と分節を制御する多様なメカニズムの具体例を提供してきた(図 1)。しかし、こうした発生学的変異が節足動物の進化の過程でいかに生じたかという問題に取り組むことは、進化過程を検証する実験的・時間的制約のため困難である。そこで、節足動物の体軸形成の発生・進化過程を理解するために、私たちはクモ胚に基づいて独自に構築した多細胞体数理モデルを用いて、「節足動物らしさ」の基盤となる体軸と反復パターンを生む発生過程と進化過程のシミュレーション解析を行なった。多細胞体数理モデルは、分子ネットワークと反応拡散モデルを備えた **Cell vertex model** によって構築され、遺伝子ネットワークの作用で多細胞場にパターンが生じ、細胞力学に基づいて細胞が運動する。クモを模倣した遺伝子発現パターンに依存して細胞力学を制御することで、多細胞体が伸長して体軸を形成する発生過程をシミュレーションで再現した。進化過程として、各世代の多数個体の遺伝子ネットワークに変異を与え、表現型としての形態とパターンに基づいて各個体の次世代への生き残りが決まるようにシミュレーションで再現した(図 2)。本研究は、節足動物の体軸形成の発生・進化過程を理解するための、クモ胚をモデルとした理論的研究である。

氏名	藤原 基洋
所属	理化学研究所

Spiroplasma由来MreBを発現したsyn3B破碎液の封入リポソーム形状変化

【要旨】細菌のアクチン様タンパク質であるMreBは、真核細胞のアクチンと極めて似た形をしており、モノマーからフィラメント状に重合する性質も似ているが、アミノ酸の相同性は15%と低い。主なMreBは、細胞膜直下に静的なフィラメントを形成し、細胞壁合成を制御することで桿菌の形態を維持する静的なタンパク質として知られている。一方、細胞壁をもたない細菌Spiroplasmaは、らせん状の形態をしており、らせんの巻きを反転させることで遊泳運動を行う。2022年に、この細菌が5種類ものMreBを持っていること、そのうちMreB4(もしくはMreB1)とMreB5の2種類の組み合わせが遊泳運動に必須であることが報告された(Kiyama et al., Sci. Adv. 2022)。しかし、その駆動メカニズムは未解明である。そこで本研究では、運動能を持たない人工最小細菌JCVI-syn3BにMreB4とmCherry-MreB5を発現させ、その細胞抽出液を脂質二重膜(リポソーム)内に封入することで、らせん遊泳運動が再現されるか試みた。光学顕微鏡観察の結果、抽出液の濃度が高いほど球状から楕円やくびれを持つリポソームが増え、MreB4とMreB5だけで膜変形を引き起こせる可能性が示唆された。膜変形率は破碎液内部のATPを枯渇させることで変化したため、MreBに結合するヌクレオチド依存的に膜変形が制御されている可能性が示唆された。精製したMreB5を内包させたリポソームでも変形が起こり、さらに、MreB4と遺伝的に同じグループのMreB1添加による変形リポソーム割合の減少が観察された。これらの結果は、MreBが最小限の構成要素からなる運動装置として機能し得ること、そして異なるアイソフォーム間の相互作用がその動的性質を制御していることを示唆している。

氏名	藤原 郁子
所属	長岡技術科学大学

触媒反応ネットワーク模型の動的平均場理論

【要旨】細胞内には多数の化学種が存在し、それらの複雑な化学反応によって生命活動が維持される。このような系を普遍的に理解するために、ランダムグラフ上の単純化された触媒反応ネットワークモデルが提案された[1]。この模型に対する数値シミュレーションによって、細胞の成長・非成長転移の発見や、細胞内の化学種がZipf則に従うことに対する理論的な説明が行われている。一方で、解析的な研究および、モデルパラメータに対する網羅的な探索等はあまり行われていない。今回我々は、この模型に対して、ネットワーク結合が密または疎な極限において厳密な解析が可能であることを示す。密な極限では、結合次数で条件づけられた化学種濃度の有効方程式が導かれ、固定点周りの解析や細胞内の化学種分布についても解析的にアプローチすることが可能である。本講演ではその解析結果について報告する。疎な極限では、化学種濃度ダイナミクスの経路確率に対する自己無撞着方程式が導かれる。これを数値的に解析した結果についても報告する。[1] C.Furusawa and K.Kaneko, Phys. Rev. Lett. 90, 088102 (2003).

氏名	光元 亨汰
所属	東京大学