

# 階層的生物ナビ学

「サイバー・フィジカル空間を融合した階層的生物ナビゲーション」



## CyNav

Hierarchical Bio-Navigation  
Integrating Cyber-Physical Space

文部科学省 令和3年度  
科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A)  
ニュースレター VOL.6  
2025年4月

# 目次

|          |      |
|----------|------|
| 領域代表挨拶   | p.1  |
| 研究成果紹介   | p.3  |
| 勉強会参加報告  | p.7  |
| 領域イベント報告 | p.13 |
| 国際活動報告   | p.18 |

# 中間評価を終えて:

## 領域代表からのメッセージ



領域代表 橋本 浩一

東北大学・大学院情報科学研究科・教授

本領域「サイバー・フィジカル空間を融合した階層的生物ナビゲーション（略称：階層的生物ナビ学）」が、科研費「学術変革領域研究（A）」として採択されたのは令和3年（2021年）のことでした。そして気づけば、早くも5年目、いよいよ最終年度を迎えることとなりました。

本領域は、動物の移動やその環境との相互作用に着目し、データと仮説駆動型のシミュレーションを駆使することで、現象の理解と応用を目指すものです。このアプローチは、生物研究の枠を超え、Society 5.0の社会基盤——製造装置、ロボティクス、電力網、交通インフラ、エルダリーケアなどの設計・運用・評価——にも通じる重要な知的基盤となり得ると信じて立ち上げました。

この間、計画班・公募班の垣根を越えた多くの融合研究が展開され、論文としても数多くの成果が発表されました。それはひとえに、関係者全員のご尽力の賜物です。心より感謝申し上げます。

特筆すべきは、昨年10月に実施された中間評価です。依田さん、藤井さんによる報告書作成への献身、西海さん、飛龍さん、後藤さんらによるインパクトある論文の発表に支えられ、ヒアリングも無事に乗り切

ることができました。そして結果は、最高評価である「A+」。本領域の融合研究が高く評価されたことを嬉しく思うとともに、チーム全体の實力と結束力を実感した瞬間でした。

さらに、第2期の公募班20チームが2024年4月に加わり、6月には名古屋大学にて領域会議を開催。93名が参加し、口頭・ポスター合わせて計画班・公募班代表による熱気あふれる発表が続きました。若手研究者による43件のポスター発表も大いに盛り上がり、領域の勢いと広がりを実感する場となりました。

また、11月には同志社大学東京オフィスにて対面型研究交流イベントを開催。新たに加わった公募班代表による9件の口頭発表に加え、懇親会では各自持参のポスターを囲んでの活発な議論と交流が展開されました。学生を含めて約50名が参加し、研究とコミュニティの両面で深まりを感じる場となりました。

対外発信としては、京都大学で開催されたSwarm2024にて、本領域としてOSを企画・実施し、5件の発表を行いました。これも本領域の認知度と貢献を示す好機となりました。

さらに恒例となったオンライン勉強会も、2025年3月時点で通算27回目を迎えました。学際的な知見

を気軽に共有できるこの勉強会は、領域内の融合研究の火種として、今や欠かせない活動の一つとなっています。

残された1年、私たちは本領域の集大成に向けて全力で取り組んでまいります。しかし、それは終わりではなく、ここで築かれたネットワークや信頼関係を活かし、今後も継続的な研究交流と新たな挑戦を続け

ていくことこそが、本当の成果であると考えています。

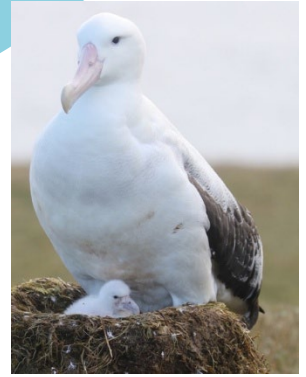
本領域の活動を支えてくださっているアドバイザーの皆様、関係機関のご協力、そして計画班・公募班を含む全てのメンバーの皆様に心から感謝を申し上げ、挨拶とさせていただきます。



2024/6/24-25 階層的生物ナビ学 領域会議  
@名古屋大学

## 研究成果紹介:

# アホウドリとヨットレーサーの移動戦略は似ている



後藤 佑介

名古屋大学・環境学研究科・准教授

空を飛ぶ鳥の移動は風に強い影響を受けます。特にアホウドリやミズナギドリは海上の風速差を利用するダイナミックソーリングと呼ばれる飛行方法を使って、ほとんど羽ばたかずに1日に数100kmの移動を行うことができます。ダイナミックソーリングは海面付近での上下を10数秒で繰り返す周期的な飛行方法で1周期あたりに数100m移動します。しかし、この飛行方法が鳥が数100km先の目的地へ向かう際の移動パターンにどのような影響を与えるかは、これまでほとんど調べられてきませんでした。私たちはアホウドリの移動速度が横風で速く風上と風下に進むと遅くなるというヨットと同じ性質を持つ点に注目しました。ヨットレーサーはこのヨットの性質から、ゴールへ早くたどり着くために、風下か風上に位置するゴールへ向かう際はジグザグに移動し、風向がゴールから逸れている時は真っ直ぐゴールへ向かいます(図1)。そこで私たちは、アホウドリもこのヨットレーサーと同じ戦略を採用しているかを調べました。クローゼ諸島のポゼッション島で繁殖するワタリアホウドリ149羽の経路データを解析しました。経路のうち餌を取り終

え巣のある島へ帰る部分に注目し、ゴールに対して風がどの方向に吹いているかによってアホウドリの2分ごとの移動方向がどのように変化するかと、500kmの間に生じる10km以上のスケールのターンの回数がどのように変化するか、を調べました。その結果、アホウドリはヨットと同様に、風がゴールから外れているときはゴール方向へ進むのに対し、ゴールが風下または風上に位置する場合は進行方向をゴールから逸らしていました。また、風がゴールから外れているときに比べ、ゴールが風下または風上に位置する場合はターンの発生確率が高い、つまりジグザグ経路が発生しやすいことがわかりました(図2)。

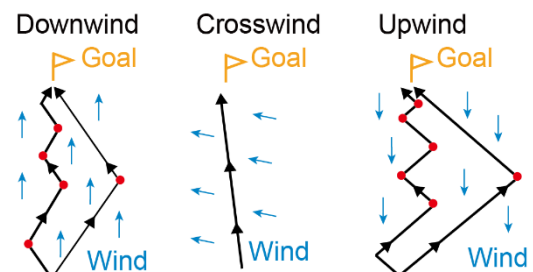
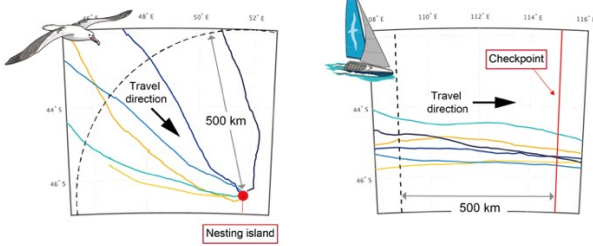


図1 ヨットの移動戦略 ゴールが風下(左図)または風上(右図)に位置する場合はジグザグに、風がゴール方向からずれているとき(中央図)は真っ直ぐゴールへ進むと早くゴールへ辿り着くことができる。

## ゴールに対し横風



## 風下にゴール

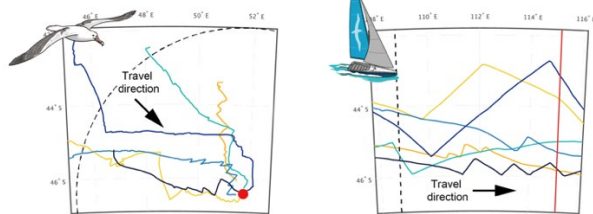


図2 アホウドリの帰巣経路とヨットの経路 ゴール方向に対し横方向に風が吹いている場合(上段)とゴールが風下に位置する場合(下段)のアホウドリの帰巣経路(赤丸が巣のある島)とレース中のヨットの経路(赤線が中間チェックポイント)。

以上の結果からアホウドリは、ヨットレーサーと同様に風向に応じて移動方向を調節しており、その結果彼らのミクロスケールの移動方法が数 100km スケールに及ぶジグザグ経路の発生を引き起こしていることがわかりました。これは、飛行とセーリングという一見異なる移動手段が、出せる移動速度が風向によってどのように変わるかという点では共通した性質を持っているために、アホウドリとヨットレーサーの移動戦略が、それぞれ独立に獲得したものであるにもかかわらず、似たものになったことを示しています。

この研究は、これまで領域内で何度か発表させていただきましたが、昨年5月ようやく論文として発表することができました。ここまで辛抱強く支えてくださった共著者の皆様に、この場を借りて心より感謝申し上げます。

## 論文情報

Yusuke Goto, Henri Weimerskirch, Keiichi Fukaya, Ken Yoda, Masaru Naruoka, Katsufumi Sato (2024). Albatrosses employ orientation and routing strategies similar to yacht racers. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 121 (23), e2312851121.

## 研究成果紹介:

# AI 技術を活用して、生物の集団における協調的な狩りが必ずしも高度な認知能力を必要としないことを実証



筒井 和詩

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

協調的な狩り（集団での狩りの際に、捕食者たちが獲物に対して、補完的な異なる行動をすること）は、一般的に複雑な社会的行動をとる特定の哺乳類（チンパンジーやライオンなど）で観察されます。そのため、協調的な狩りの成立には「心の理論」のような高度な認知能力が必要だろうと長く考えられてきました。ところが近年、他の生物種（爬虫類や魚類など）でも協調的な狩りのような行動が観察されたという報告が相次いでおり、協調的な狩りには必ずしも高度な認知能力は必要ないのではないか、と指摘する研究者も出てきています。しかしながら、動物の行動観察のみから、その認知・意思決定過程について言及することは極めて難しく、議論が決着しない状況が続いていました。

そこで本研究では「協調的な狩りに高度な認知能力は必要なのか」という生物学・生態学の問いに対して、情報学的にアプローチすることを試みました（図1上）。具体的には、深層強化学習注に基づく複数の人工知能エージェントが、周囲との相互作用の中でどのような集団行動を学習するのかを様々な条件で検証

し、「単独での捕獲が困難である」と「捕食者間で報酬（獲物）が共有される」という二つの要因が組み合わさることで、協調的な狩りの獲得が促進されることを見出しました（図1下）。さらに、人工知能エージェントの内部表現の可視化や、ルールベースのモデル化による行動の再現などを通して、協調的な狩りが比較的単純な仕組みによって実現しうることを示しました。

本研究は、これまで高度な認知能力が不可欠だと考えられてきた生物の集団における協調的な狩りが、単純な仕組みによって出現しうることを、人工知能シミュレーションを駆使して実証しました。この結果は、協調的な狩りがどのような動物群で生じるかを再評価することにつながり、より広い生物種において協調的な狩りが進化する可能性を示唆しています。例えば、本研究の知見を参考にフィールドワークに出かけることで、これまで知られていなかった生物種の協調的な狩りの観察につながるかもしれません。今後、研究を進展させることで、自然界で生物が見せる協力的行動やその進化的起源に対する理解の深化、さらには協調的

な人工知能エージェントの開発などにつながることを期待されます。

論文情報

Kazushi Tsutsui, Ryoya Tanaka, Kazuya Takeda, Keisuke Fujii (2024). Collaborative hunting in artificial agents with deep reinforcement learning, eLife, 13:e85694.

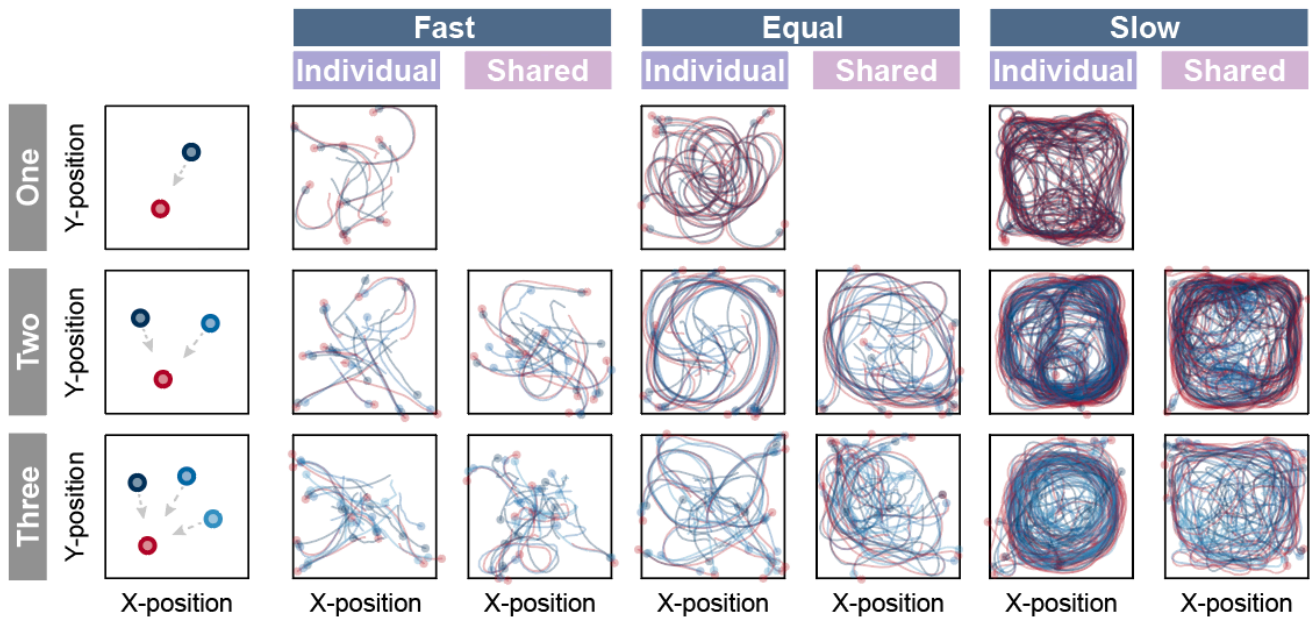
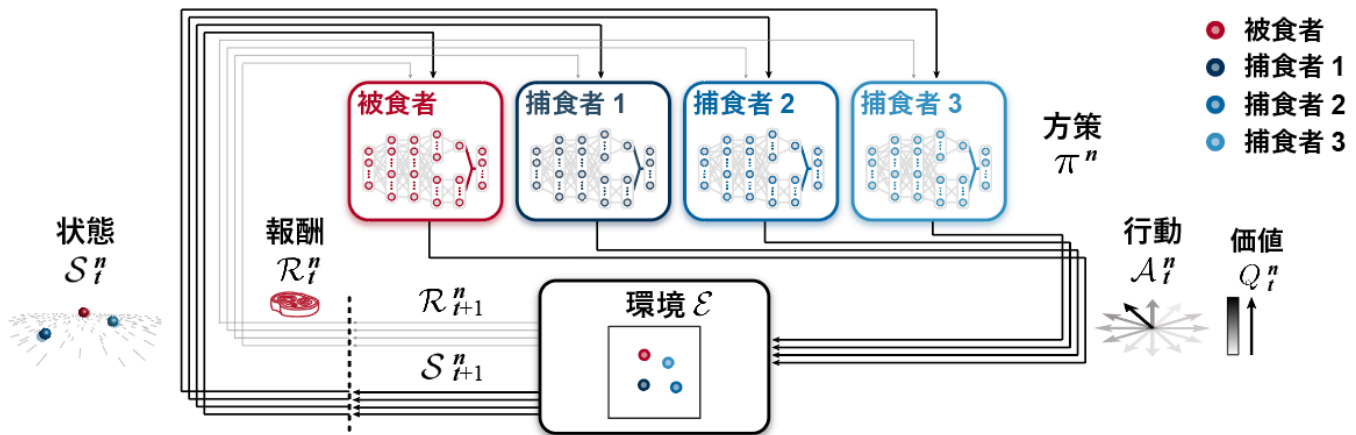


図 1 AI シミュレーションの概要図とその移動軌跡の例



# 若手向け企画報告:

## 勉強会(9/20)に参加しました



網野 海

名古屋大学・大学院情報学研究科・学振特別研究員 PD

2024年9月20日に開催された学術変革領域研究(A)「階層的生物ナビ学」の領域勉強会に参加しました。今回は、兵庫県立大学の角田祐輔先生から、牧羊犬のヒツジ追い現象を工学・理学の双方向から解明する試みについてお話いただきました。

動物の群れ行動は、適応進化のような生物学的な観点からも興味深い現象である一方、その応用的側面からも注目されています。元々“ロボット屋さん”として月面で作業をおこなう群ロボットの研究もされていた角田先生は、本勉強会のテーマであるシープドッグシステムのような「少ない数のエージェント(牧羊犬)で群れをコントロールできる」システムに興味を持たれたそうです。シープドッグシステムは牧場だけでなく、養殖場における魚群や災害時のヒト、バードストライクの要因となる鳥の群れをコントロールする際などあらゆる場面で応用可能であるという話を伺い、改めて群れ行動の応用工学的な重要性を実感しました。

前半部分では、角田先生がこれまでにこなってきたシミュレーションを中心とした研究についてご紹介いただきました。従来シープドッグシステムは、中心

追跡制御(牧羊犬は群れの重心を追跡する)もしくは動的ターゲット切替制御(群れのサイズが大きいときは重心から最遠の個体を追跡し、群れのサイズが小さいときはゴールの方向へと追跡する)によって説明されてきましたが、群れが分散していると誘導性能が落ちるという問題がありました。これに対し角田先生は、ゴールから最も遠い個体を追跡する「最遠個体追跡制御」を提案し、群れが分散している場合にも高い誘導性能が発揮されることを示しました。さらに、実際の牧羊犬には群れ内の全てのヒツジが視界に入らないことを考慮し、牧羊犬に見えるヒツジ個体のみを用いた場合、最遠個体追跡制御は他のモデルをより上回る性能を出すとのことでした。実際の牧羊犬の行動を考慮できており、なおかつ動的ターゲット切替制御よりもシンプルな提案モデルは、現場での応用という面でも望ましいものと感じました。

後半部分で紹介されたのは、本学術変革領域で研究をするにあたり新たに着手されている、ロギングデータに基づくシープドッグシステムのモデル化についてです。ドローンによって撮影された各自系列のヒツジ

の位置情報や牧羊犬の位置を元にして、GMDH (Group Method of Data Handling)によって牧羊犬の行動を説明するアプローチや、それを元にしたロボット牧羊犬によるヒツジ追い現象の再現についてご解説いただきました。個人的に興味深いと感じたのは、ロボット牧羊犬は犬ほどスピードが出ないためヒツジを必要以上に驚かすことなく困り込むことが出来るという点で、近いうちに実用化できそうな期待を感じました。

その後の質疑では、犬の産地やトレーニングの仕方の違いがモデルに与える影響について議論がなされるなど、工学・生物学分野の研究者が入り交じる本学術変革領域ならではの有意義なものだったと感じます。また最後に、行動生態学をメインテーマとして機械学習を嚙りつつある私にとって、ロボットなど工学分野をメインとした話題は当初ハードルがあるように思っておりましたが、角田先生の丁寧なご解説によりスムーズに理解することができ、有意義な機会となりました。

## 若手向け企画報告:

# 勉強会(10/18)で発表しました



河端 雄毅

長崎大学・総合生産科学研究科・准教授

今回のオンライン勉強会では、「獲物と捕食者がなぜその経路で逃避・追跡するのか」をテーマに発表を行いました。私の研究室でこれまでに研究してきた「逃避方向の幾何学モデル」(Kawabata et al., 2023)、「二ホンウナギの特殊な捕食回避行動」(Hasegawa et al., 2024; Hasegawa et al., 2022)、「コオロギのバック逃避の適応的意義」について紹介しました。そして、現在本領域の研究課題として進めている「ペンギンの獲物追跡の経路」、「左右性と複数の逃避経路の関係性」、「ハトの車に対する逃避経路」についても紹介しました。

発表後の質疑応答では、多くの興味深い質問が寄せられました。例えば、「異なる種類の捕食者が共存する環境では、獲物はどのような逃避戦略を進化させるのか?」という問いがありました。多くの場合、異なる捕食者であっても似たような捕食戦略を採用すると考えていますが、全く異なる方法で捕食を行う複数の捕食者がいる場合、逃避戦略は一層複雑になると考えられます。その時にうまくお答えできていたか記憶が定かではありませんが、捕食動物に応じて捕食回避戦略を変えるカエルの研究 (Bulbert et al., 2015)やバツタ

の研究 (Honma et al., 2006)を思い出しました。また、C-start 逃避反応を巧みに利用して魚を捕食するヘビの研究報告(Catania, 2009)もあります。今後、複数タイプの捕食者の視点も入れてデータの取得や数理モデルの構築を行うと、更に面白そうだと改めて思いました。

ウナギの捕食回避の研究については、よく聞かれるものですが、「ウナギが尾部から逃げるのはなぜか?」という質問がありました。これについては、ウナギの体の構造と動きの特性が関係していると考えています。きちんとお答えできたか、これも記憶が定かでないのですが、魚類のウミヘビ(ウナギ目)の研究で頭よりも尻尾の方が尖っており、尾部方向への推進力が高いという研究があります(Herrel et al., 2011)。機能形態学的に尾部から逃げるのが利に適っているのかもしれない。その辺りも論文(Hasegawa et al., 2024)のサプリメントで考察しているのでぜひ興味のある方はお読み頂ければと思います。

この他にも、今回の研究が全て2次元・単独個体という単純化した実験系および数理モデルでしたので、群れ、3次元ではどうなのかといったコメントもいた

だきました。これらの問題は、私も避けては通れないし、今後取り組みたい課題だと考えており、改めてその重要性を認識するに至りました。今回の勉強会の内容も踏まえて、今後も引き続き、実験データの蓄積と理論モデルの改良を進めていきたいと思えます。

## 引用文献

**Bulbert, M. W., Page, R. A. and Bernal, X. E.** (2015). Danger comes from all fronts: Predator-dependent escape tactics of túngara frogs. *PLoS ONE* **10**, e0120546.

**Catania, K. C.** (2009). Tentacled snakes turn C-starts to their advantage and predict future prey behavior. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **106**, 11183-11187.

**Hasegawa, Y., Mine, K., Hirasaka, K., Yokouchi, K. and Kawabata, Y.** (2024). How Japanese eels escape from the stomach of a predatory fish. *Curr. Biol.* **34**, R812-R813.

**Hasegawa, Y., Yokouchi, K. and Kawabata, Y.** (2022). Escaping via the predator's gill: A defensive tactic of juvenile eels after capture by predatory fish. *Ecology*.

**Herrel, A., Choi, H. F., Dumont, E., De Schepper, N., Vanhooydonck, B., Aerts, P. and Adriaens, D.** (2011). Burrowing and subsurface locomotion in anguilliform fish: behavioral specializations and mechanical constraints. *J. Exp. Biol.* **214**, 1379-85.

**Honma, A., Oku, S. and Nishida, T.** (2006). Adaptive significance of death feigning posture as a specialized inducible defence against gape-

limited predators. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* **273**, 1631-1636.

**Kawabata, Y., Akada, H., Shimatani, K. I., Nishihara, G. N., Kimura, H., Nishiumi, N. and Domenici, P.** (2023). Multiple preferred escape trajectories are explained by a geometric model incorporating prey's turn and predator attack endpoint. *eLife* **12**, e77699.

## 若手向け企画報告:

# 勉強会(1/17)に参加しました



外谷 弦太

東京大学・先端科学技術研究センター・特任助教

動物の行動を自動で追跡する技術は、研究者の労力を低下させるだけでなく、個体の活動量や他個体との相互作用を定量的に分析する上で非常に重要です。従来の実験室実験において主流だったフィルタリングによる追跡技術に加えて、近年は DeepLabCut (Mathis et al., 2018, Nature Neuroscience) や SLEAP (Pereira et al., 2022, Nature Methods) など、深層学習を用いた個体位置推定が広く利用されるようになりました。その一方で、動物の群れ行動や社会的相互作用を定量化したいとき、特に見かけ上の差異が小さい動物を複数追跡するにあたっては、連続的な追跡が依然として困難です。個体が交錯するときや、群れて眠ったりハドリングしたりして重なり合うとき、個体の ID を取り違えてしまうためです。マーカーを用いて個体ごと特徴づける方法も考えられますが、色分けできる個体数に限界がある上に、マーキング後に染色部を舐めたり気にしたりして行動が変化してしまうケースが多く、実験上そのような事態はできるだけ避けたいところです。

2025 年 1 月 17 日にオンラインで開催された勉強会では、畦地裕統先生 (同志社大学) により、以上のような問題に対処可能な vmtracking 法 (Azuchi

and Takahashi, 2025, PLOS Biology) が紹介されました。こちらの手法ではまず、idtracker.ai

(Romero-Ferrero, et al., 2019, Nature Methods) を用いて各個体の体部中心を推定・追跡し、得られた座標の時系列データを各個体のラベルとしてビデオ生成します。このバーチャルマーカーを DeepLabCut で参照点としつつ他の部位を追跡することで、個体のアイデンティティを見失わず、末端の部位も他個体と入れ替わる確率が低い追跡が実現されます。

DeepLabCut によるビデオ生成時にオリジナルのビデオデータを使えば、バーチャルマーカーはビデオから除去することも可能で、この点も通常のマーキング手法と比べて優れている点と言えます。

勉強会では手法の具体的な手続きが、実際に動画を解析するチュートリアルを通して解説されたため、非常にわかりやすかったです。私はこれまで見た目の差異が小さい動物を複数追跡する際、直接マーキングして DeepLabCut の Single-animal モードで各個追跡する方法をとってききましたが、これからはバーチャルマーカーを使用したいと思います。初学者用にチュートリアル動画を作成すると、この手法の利用者がより増えるのではないかと思います。

## 若手向け企画報告:

# 勉強会(3/21)に参加しました



佐藤 直行

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

2025年3月21日、学術領域変革(A)「階層的生物ナビ学」の領域勉強会として、2名の先生方がご講演されました。後藤佑介先生(名古屋大学)は「動物移動のマルチスケールモデリング」の題目で、ミズナギドリ(幼鳥)のGPSバイオロギングのデータ解析と移動経路のシミュレーションモデルについてご講演されました。後半は山田恭史先生(公立はこだて未来大学)のご講演で「認知空間の可視化からひも解くコウモリの適応的音響ナビゲーション」の題目で、マイクロフォンアレイを用いたコウモリの障害物回避飛行のデータ計測・解析と空間認知表象に関する数理モデルについてご説明いただきました。

私は神経科学(ヒトの非侵襲計測、認知地図の数理モデル)が専門分野で、本年度から公募班で参加させていただいておりまして、今回のような多様な動物種の生態・行動に関する内容は新鮮で興味深く感じました。また、私が大学生のときに所属していた研究室(東北大・矢野研)では、ナメクジ、コウモリ、サルなどを扱っていましたので(生物共通の計算原理の理解を目指していました)、ご講演は共通する部分も多量と感じられ、学生時代に戻ったような気持ちになりました。いろいろな動物種が対象の場合、「共通の計

算(行動)原理」はもちろん重要だと思いますが、個別の種がどのように生きているのか?という不思議に自然と目が向きます。後藤先生のお話では、ミズナギドリの幼鳥の行動はまだ理解しやすいが、成鳥は飛行技術(おそらくは認知のありかたも)も異なっていて予測は難しいとのことのお話で、謎は深いと感じました。コウモリの超音波エコーロケーションによる空間表象は(私たちの空間表象よりも)記憶が重要そうに思えるけれど、山田先生のお話では学習がそんなに早いわけでもない(同じ場所でも行動が顕著に変わるには10回くらいの試行がかかる)ということだし、コウモリは意外にあいまいな空間表象のまま暮らしているのだろうかと感じました。

両ご講演とも数理モデルの構築が主テーマでしたが、計測データと数理モデルの対応については研究者の個性が反映されていると感じました。私自身、データとモデルの対応づけには苦心しているところですが、できるだけ主観を排したデータ駆動型、が近年のトレンドと理解しつつ、実際の現象を前にするとそれもなかなか難しい(場合が多い)と思えました。公募班の期間は早くも残り1年となりましたが、私も領域に貢献できるように頑張らねばと思いました。

## 領域イベント参加報告:

# 領域会議(6/24,25)に参加しました



M2 佐藤裕佳

同志社大学 生命医科学研究科 医工学・医情報学専攻

2024年6月24,25日に名古屋大学で開催された「階層的生物ナビ学」領域会議に参加させていただきました。私はこのような他の研究を聞くことができる学会や研究会といったものに今まで参加したことがなかったため、初めて他の研究を聴講し、自身の研究内容についてポスターを掲示させていただきました。大変勉強になりましたし、刺激を受けました。充実したこの2日間で興味深かったことについてご報告いたします。

まず会議の大半を占めていた口頭発表では動物のナビゲーションというテーマに共通点はあるものの、研究対象や調査の切り口というのは様々でした。対象の動物はヒツジやクマ、魚などの脊椎動物のほかにもアワビやホタテの生態についての報告があり、個人的にはこの貝類についての研究が最も印象に残っています。ホタテが集団で生息していること自体が初耳でしたし、どのように他個体を認知しているのか、その目的は何かなど非常に興味をそそられました。

また切り口としては動物の渡りといった大規模な動きを調べるバイオロギングや、群れの中の社会性の調査、磁気コンパスを頼りにする動物のタンパク質に対するアプローチなど、マクロからミクロまで様々な

ものがあり、このような様々な切り口で調査することが研究の発展へ繋がり、生物への理解が深まるのだと感じました。ポスター発表では約40枚のポスターがあり、発表会場は大盛況で隣の人声が聞き取れないほど、それぞれのポスターの前で活発な議論が行われていました。私もポスターを掲示させていただきましたが、たくさんの方に聞きに来ていただき、興味をもっていただけました。私の研究内容は「模倣学習によるコウモリの飛行経路生成モデルを実装した自律走行車の走行シミュレーション」という内容であり、研究の領域が多岐にわたるため、聞きに来てくださった方の中にはコウモリの生態に興味がある方も、研究手法である機械学習に興味がある方もおられ、2つの面から議論をすることができました。私の結果はうまくいっていることばかりではなかったのですが、その点に対してアドバイスもいただき今後の研究に反映させることができそうです。口頭発表でもポスター発表でも興味深い研究をたくさん聞くことができたことで非常に充実した2日間を過ごすことができました。このような会に参加させていただく機会をいただき、ありがとうございました。

## 領域イベント参加報告:

# SWARM2024(11/05)に参加しました

飛龍 志津子

同志社大学・生命医科学部・教授

2024年9月18-20日に京都大学にて、The 8th International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics 2024 (SWARM2024) が開催されました。以前は隔年の開催でしたが、2021年からは毎年開催されていることから、「Swarm 研究」の注目の高さがうかがえます。今回、本領域では藤井班の西海望さん、公募班の田中良弥先生、公募班の筒井和詩先生が中心となってオーガナイズドセッションを企画してくださいました。セッションのタイトルは「Bio-Navigation System in SWARM: Integrated Cyber and Physical Approaches」で、本領域から階層ナビに関する最新の成果を5名の方に発表いただきました。

まずセッションの冒頭では、オーガナイザーの一人の西海さんから本領域の紹介をしていただきました。続いて計画班代表の川嶋先生から、群ロボットや魚の群れの動きに関するナビモデルをお話くださいました。その後、山本先生による馬特有の重層社会に関するナビゲーション研究、鈴木先生からはアリの巣内に同居するコオロギがアリの集団をいかに回避しているのかという研究、櫻間先生からは生物集団などの

移動軌跡をもとにニューラルネットワークからクラス分類をする技術、そして筒井先生からは、集団内の協調的な狩りがシンプルな仕組みで実現されるということをご紹介いただきました。

講演終了後には、西海さんが話題を提供くださり、参加者同士での様々なディスカッションをする時間が設けられました。例えば、ナビゲーションについて考える際には、各生物の知覚世界がどうなっているのか知ることが大切である、という議論は、音で世界を見ているコウモリにとっても重要な視点であることから、とても興味深く思いました。

まだ暑い最中の京都でしたが、私自身も久しぶりに懇親会にも参加をし、ご無沙汰していたいろいろな先生方とお話する機会に、とても楽しい時間を過ごすことができました。お世話をしてくださった西海さん、田中先生、筒井先生を始め、ご発表くださった皆様に感謝申し上げます。





司会の西海さんによる領域の紹介



セッション終了後に講演者の皆さんらと.

## 領域イベント参加報告:

# 対面イベント(11/05)に参加しました



平井 龍之介

東京大学・情報理工学系研究科・修士

2024年11月05日に学術領域変革(A)「階層的生物ナビ学」、領域対面イベントが開催されました。

私が所属する牧野班(計画班)からは、無線給電技術と音響浮揚技術についてのデモを実施しました。

本イベントでは新しく開始されたプロジェクトを含め、行われている研究のテーマについて紹介していただきました。階層的生物ナビ学全体のイベントに参加するのは今回が初めてだったのですが、紹介していただいた研究は、生化学的な解析から観察のためのセンサ開発に至るまで多岐にわたり、私自身生物学は全くの素人ではあるのですが、まさに学際的に生物・生態学を俯瞰する営みであるように感じられました。個人的には生物群の行動解析に関わる研究が興味深く感じました。

ウマの行動研究では複数のレイヤーを持つ社会構造について、その社会構造が個体同士の空間的な位置関係から行動同期の仕組み、繁殖戦略にまで影響を与えている、という話が非常に面白かったです。同一の種でも調査地によって異なる社会構造を取る、という話

も生存における多様な局所解の存在が想起され非常に興味がそそられました。

また、集団において不均一性がもたらす影響について、強化学習による自由度の高い戦略の学習を行った結果、速度という量的な不均一性が戦略上の役割という質的な不均一性を生成しているというのが印象に残りました。個体差の意義というのは一般には種全体のロバスト性や進化の先駆けなど時間・空間的に大きなスケールで議論されることが多いと思うのですが、この研究ではある種即物的・即時的な個体差の利点というのを提示されていて非常に面白いと感じました。

アワビの追跡調査についての発表では、年々著しく変化する環境に向き合う様子をお伺いし、最良の手法が著しく変化する深層学習分野に翻弄される自分たちと重ね合わせて勝手に共感していました。

また、本勉強会に参加して特に強く感じたのは工学と生物学の間には想像以上に幅広い関わりがあるということです。例えば技術の「民主化」によって多くの人が利用可能になった工学的な装置がそれぞれの専門分野における実験・解析を支えているケースを多く拝

見ることが出来ました。民間向けの安価なゲームエンジンの台頭によって道順記憶の実験をインタラクティブな 3DCG 映像を用いて仮想的に行った事例は非常に興味深く感じました。実験を安価に行うことが可能になるに加え、例えば双対空間上の迷路など、物理的には設計不可能な空間を作り実験を行うことが出来る計算器空間ならではの発展性があり、とまさにゲームエンジンの思いもよらないエレガントな応用事例であるように感じました。これは自分の修士研究で痛感したことなのですが、新しく開発した技術をどのよう

に応用していくのか、というのは意外と技術者当人は思いつかず、異なる専門の方との対話の中でヒントが生まれることが非常に多いです。そういった点では階層的生物ナビ学の場合は生態学的探究に加え、工学の面でも幅広い応用先を見出す場として大きな機会を生み出しているのではないかと感じました。実際に、懇親会では自身の修士研究で取り組んでいる音響浮揚技術についてのデモをみていただき、応用先などを含め様々なアドバイスをいただき、非常に勉強になりました。



2024年11月5日 領域対面イベント@同志社大学 東京オフィス

# 国際研究活動報告:

## スウェーデンの海鳥調査に 参加しました



小山 偲歩

名古屋大学大学院・環境学研究科・博士研究員

2024年6月17日から7月10日まで、スウェーデンのオニアジサシ（図1）調査に参加してきました。私はこれまで、日本で繁殖する海鳥（主に新潟県粟島のオオミズナギドリ）を対象に、バイオリングと疲労度の指標である酸化ストレスの掛け合わせによって生理状態から移動を理解しようと研究を進めてきました。今回は、疲労度を含めた生理状態と渡り移動の関係を調査するために、海鳥の渡り研究を長年行ってきたLund大学のSusanne Åkesson教授と共同研究を行いました。



図1: オニアジサシの幼鳥。成鳥と殆ど同じ大きさ

今回のスウェーデン行きは、私にとって初めてのヨーロッパかつ初めての海外調査でした。そんな私に早速ちょっとしたトラブルが発生しました。事前の打ち合わせで、教授に宿（大学のゲストハウス）を予約してもらった話だったのですが、出発の前日になっても教授からの返信が無かったのです。とはいえ、既に教授やフィールドマネージャーに私のフライトスケジュールを伝えてあり、かつ先方が野外調査中ということも知っていたので、宿や到着後のスケジュールが未定ではありましたが、とりあえず私が到着する日には教授が大学にいることを信じて日本を出発しました。移動中に教授から宿を予約したとの連絡があり、一安心しました。そしてルンドに到着した当日の夕方、教授に会いに行きました。明日の早朝に調査地に移動して午後からの調査に参加するのが現地チームのスケジュール的に都合が良いということでしたので、教授と研究についての議論を行った後すぐに調査の準備を行いました。大量の調査用具を貸してくださり、よく休んでね、何かあったら直ぐ連絡してと言ってくれた教授の

優しさに感謝しつつ、時差ボケ真っ最中ではありましたが何とか睡眠時間を確保し、調査地へと移動しました。かなり忙しいスタートダッシュでしたが、日本での野外調査経験で培ったリスクヘッジ能力と何とかなるだろ精神、そして最近減りがちな体力でどうにか対応することができました。

調査の目的はオニアジサシへの足環装着とロガー装着で、研究者だけでなく、フィールドワークの専門家や、インターンの学生、ボランティアの方も含めた5～10人で行いました。このような、ボランティアの方も参加される形態の調査は初めてでしたが、ヨーロッパでは割とよくあるとのことで、ヨーロッパでの海鳥調査への関心の高さと身近さを知ることができました。オニアジサシは比較的平坦な島（図2）の地表に巣を作るため、飛び立つことのない雛（図3）の捕獲は、そこまで難しいものではありませんでした。また、今までの経験上、親鳥からの攻撃を警戒していたのですが、親鳥は人を避けて遠巻きに様子を伺っているだけか、あっても鳴き声で威嚇される程度でした。参加者の中には半袖半ズボンの方もいて（図4）、安全的に大丈夫かと心配していましたが、滑りやすい足元や気温変化に気をつけていれば、怪我の危険性は低いフィールドだと感じました。このような点も、ボランティアの方が参加しやすい要因かもしれません。



図2: アジサシ繁殖地。このような島が複数あり、船で島を巡って調査を行いました。



図3: 巣にいるアジサシの雛

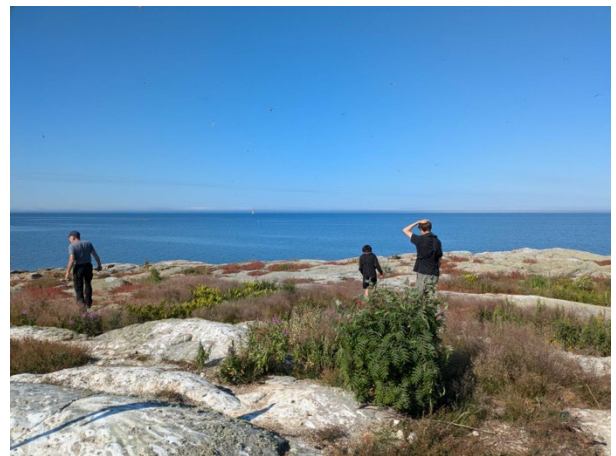


図4: 巣と雛を探している様子。私の感覚からすると、野外調査には防御力の低い格好の方ばかり。

調査では、巣やその周辺にいる雛を見つけては、網か素手で優しく捕まえ、体重や翼長などの計測、足環装着を、フィールドマネージャーの指導のもと行いました。そして、体サイズが大きい個体には、ロガー装着と生理状態計測のための採血、羽のサンプリングを行いました。今年は雛の成長が遅かったらしく、私の滞在中にロガーを付けることができた個体は10個体程度でしたが、他20個体近くからもサンプリングを行うことができ、期待以上の成果を得られたと思っています。

余談ではありますが、調査拠点の Fågelsundet は別荘地で、私が到着した時期はちょうど夏休み期間だったこともあり、各家の人が外で遊んだりベンチに座ってお茶をしていたりと、長閑な雰囲気のある場所でした（図 5）。ミッドサマーという祝日には、宿泊先のご近所さんのお家にお呼ばれし、美味しいスウェーデン料理（図 6）を頂き、日本のゲートボールに似たスウェーデン伝統の遊びを教えてもらいました。渡航前はスウェーデンの知識は殆どなかったのですが、意外と魚料理が多いこと、夏休みは大人も子供も 1ヶ月近くあること、Dalahäst という木製の馬の工芸品が有名なこと、完全なキャッシュレス社会であることを知りました（滞在中に現金は全く見なかったです）。



図 5: 滞在先の Fågelsundet の様子。撮影時刻の 23 時過ぎでも、まだまだ明るかったです。



図 6: 作っていただいたスウェーデン料理に群がるフランス人インターン生たち（と私）。半分は魚料理で、スモークサーモンが特に美味しかったです。

今回の渡航および研究調査に際して、本学術変革領域研究から派遣支援をしていただきました。このような貴重な機会をいただき、とても感謝しております。今回得られた人脈、経験、サンプル、データを元に、今後さらに研究を進めていきたいと思っております。

## 国際研究活動報告:

# 動物実験用の拡張サイバーフィジカルシステムの開発

University of Konstanz, CASCB との共同研究



西海 望

### 自然科学研究機構基礎生物学研究所

私は 2024 年 7、8 月にドイツ南部にある University of Konstanz, Centre for the Advanced Study of Collective Behaviour (CASCB) に滞在し、動物用の実験システム開発に関する共同研究を行いました。また、派遣期間中には、同大学だけでなく他の研究機関や国際学会にも赴き、様々な学術交流がありました。以下にその内容を報告します。

この度の渡航の趣旨は、動物実験用のサイバーフィジカルシステムを発展させることとなります。サイバーフィジカルシステムとは仮想世界と現実世界を機能的に接続し、研究を多面的にそして効率的に実施することを図るものであり、本学術変革領域にて様々な階層を通して敷衍される基盤概念となります。私はバーチャルリアリティ技術やロボット技術を駆使して、現実の動物と仮想世界を繋ぐサイバーフィジカルシステムを長年開発してきました。他方、University of Konstanz, CASCB には、動物行動学とコンピュータビジョンなどの情報工学において第一線で活躍している研究者が多数在籍しているだけでなく、Max-Planck Institute Animal Behaviour と提携した世界最先端のモーションキャプチャー施設があり、動物の

行動を極めて詳細に計測することが可能となっています。そこで、この施設の計測システムに介入して動物の計測データをリアルタイムで取得し、映像やロボットの運動へフィードバックさせる情報処理機構の構築をこの度の目標としました。これによって、広範な生物種のナビゲーション理解につなげられるサイバーフィジカルシステムの基盤をつくることができます。

滞在期間の前半では、同モーションキャプチャー施設のスタッフから、計測環境の仕様に関して詳細な説明を受け、情報処理システムの基本設計と接続試験を行いました。後半は、具体的な実証として、ハトを題材に実際の実験を想定した詳細なシステム開発を行いました。ハトは優れた帰巢ナビゲーション能力を持つだけでなく、種内外で豊富な相互作用があるため、個体レベルと集団レベルの両面で行動学や運動学、認知心理学などの分野で広く研究されてきた生物種です。このことから、今回の取り組みにおいて格好の題材と言えます。この後半の過程では、まずハトの胴体と頭部に対して、それぞれの3次元的位置と姿勢を独立に計測し、さらに頭部情報からその時どこを見ている

のかという視線情報をも推定できるようにしました。これを個体単位での計測データ群として、さらに設計を抽象化して任意の個体数に対して自動的に同様の処理でデータを取得し、仮想空間に再構成できるようにしました。そして、これらの計測データから行動学的に重要な情報を抜き出し、これを図1のようにディスプレイやプロジェクターの映像提示の制御にリアルタイムでフィードバックさせられるようにしました。これによって、自由に歩き回るハトの集団の全個体の位置と視野範囲を同時に取得し、例えば、ある個体だけには見えていて、他の個体には見えていないという場所へ映像提示をおこなうということが可能になりました。つまり、集団の中で特定の個体にだけ映像情報を与え、その情報が集団内にどう伝播していくのかといったことが調べられるようになったわけです。こうした試みは技術的な困難さからこれまで多くの研究機関で成し得なかったものであり、今回の成果は動物の集団内の情報伝達メカニズムを探る上での大きな技術的到達といえます。勿論、上記はあくまで一例であり、この他、動物の様々な行動に応じて情報の介入を行うことが可能となり、広範な動物行動学研究を支えるものとなりました。滞在期間の最終日に、CASCBの研究者ら、そしてそこのディレクターの立ち合いのもとで実証試験を行い、このシステムが正確に動作し、所望のパフォーマンスを発揮できることが示されました。今回の取り組みが実を結び、その瞬間を皆と共有できたことは、個人的にとっても嬉しいものでした。

この共同研究の他、様々な学術的な交流の機会があり、今後の研究発展への大きな糧となりました。CASCBは、もともとサイバーフィジカル技術の導入に積極的でありいくつかの生物種用に仮想現実インターフェース技術を開発していました。そして、私は私で異なる生物種を対象に独自のインターフェースを開

発していました。この度の滞在は、こうしたそれぞれ異なる方面で展開してきたインターフェース開発の経験が会う絶好の機会となりました。CASCBでの講演やその後の個別のミーティングの中で、CASCBのスタッフと私との間で様々な発想やノウハウの交換ができ、両方の技術を統合させたサイバーフィジカル技術の開発に向けた具体的な協議がなされました。また、当大学のサマースクールで客員准教授として教鞭も取らせていただいたおかげで、CASCB以外の方々とも交流を図ることができました。ここでおこなった講義は、Anatomy of Virtual Realityと題して、ウェブカメラで簡易なVRシステムを作成し、その原理について実際にシステムを動作させながら解説するものでした。CASCBの大規模モーションキャプチャー施設でも、手元のウェブカメラでも、原理さえ掴めば同じようにシステムを構築できることを示した点が好評でした。聴講者はCASCBスタッフだけでなく、オックスフォード大学やプリンストン大学など各国の大学で活躍している研究者や学生も多数おり、技

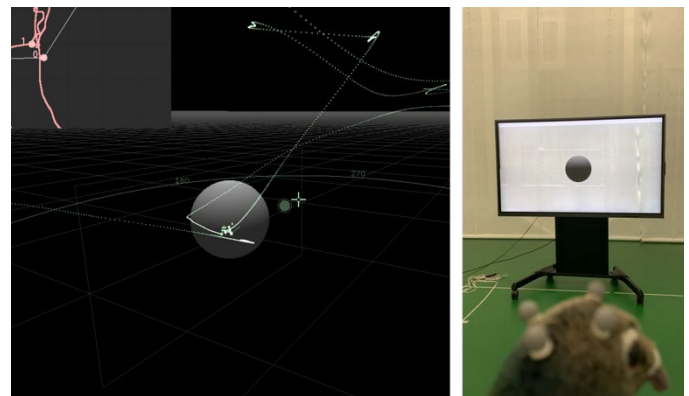


図1 実証試験の様子

- (左) 仮想空間に再構築されたハトの模型の視野領域。ハトがある領域を見た際に、球体が接近してくる状況が示されている。
- (右) 現実空間で、ハトの模型に対して仮想空間と同様に球体接近の映像フィードバックがなされている。



術上の本質をつく質問や、各自の研究へ導入するための具体的な質問が多々あり、私にとってとても良い刺激となりました。こうした交流が今後の研究をより発展させる貴重な下地になると感じました。

この他、滞在期間中に動物行動学の国際会議 European Conference on Behavioural Biology にも参加し、本領域での融合研究にあたる飛龍班との共同研究成果を発表しました。そして、そこでの交流のもと、幸いなことにミュンヘンにある Max-Planck Institute Biological Science への訪問の機会をいただきました。この研究所は、ノーベル賞を受賞したコンラート・ローレンツやニコ・ティンバーゲンをはじめとする、動物行動学の発展に貢献した偉大な研究者らが研究人生を送っていた場所です。こうした歴史あるところで講演させていただき、同研究所の方々との意見交換できたことはとても貴重な経験となりました。この研究所には風洞実験装置を応用した独自の動物集団計測施設や音響制御施設があり、これらの施設とサイバーフィジカル技術を活用した共同研究について具体的に協議することができました。

以上から、この度の滞在にて、主目的となる実験技術の共同開発が成功裡に進み、なおかつ様々な研究者と有益な学術交流がなされました。これらの貴重な関係性のもと、今後更なる研究の展開が期待されます。まず、CASCB とは今回開発した実験技術を運用して、来年度から具体的に動物実験を進めていく予定です。そして、この他にも今回新たに知り合った方々との共同研究を鋭意進めていく予定です。こうしたことから、この度の海外派遣は大変実りあるものとなりました。

今回の滞在にあたって、沢山の方々に支えていただきました。まず、CASCB の受入研究者である狩野文浩博士には、訪問前から多大な準備をしていただき、

滞在中も上述の共同研究と一緒に進め、また CASCB での交流のための様々な便宜を図っていただきました。加えて、研究以外の日々の生活においても大変暖かくもてなしていただきました。共同研究の実施の際は、狩野博士のラボメンバーの方々に協力していただき、また日々のディスカッションの中で沢山学ばせていただきました。CASCB のモーションキャプチャー施設の取り扱いに関しては、同施設の担当者である Mathias Guenther 博士にご協力いただきました。CASCB での滞在全般にわたって、CASCB のディレクターである Iain Couzin 博士のご高配をいただきました。この他、Max-Planck Institute Biological Intelligence への訪問にあたっては、Henrik Brumm 博士に様々な便宜を図っていただきました。この度の派遣に関しては、本領域海外派遣支援制度および科研費 22KJ3191 の支援を受けました。現地での共同研究に関しては、科研費 21H05300 および 22KJ3191 の支援を受けて実施されました。全員を書ききれませんでした。支えてくださった全ての方々に謹んでお礼申し上げます。

# 国際研究活動報告:

## ドイツ・デンマークにおける 海外研鑽活動の報告



吉田 創志

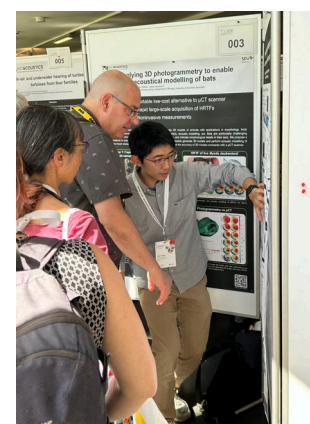
同志社大学大学院・生命医科学研究科・D2

私は、超音波を用いたエコーロケーションによってナビゲーションを行うコウモリの知覚アルゴリズムやセンシング戦略の探求をしています。この生物音響学に関連する研究は海外でより盛んに行われており、この度ドイツとデンマークにおいて研究室訪問や学会発表、Phd.サマーコースの参加を通したおよそ1ヶ月の海外研鑽を行いましたので、報告いたします。

まずはドイツ南部のチュービンゲン大学 Steffen Hage 教授の研究室にて最先端の音響装置を用いた行動計測の実験環境を見学させていただきました。マーモセットという小型のサルを対象に研究されているのですが、研究室に置かれていた音響刺激装置や新たに導入された音響計測装置は、我々の研究室でも既に使用しているものや、これから導入しようとしているものも多くありました。研究対象が違うとは言え技術的にできることは似ていて、だからこそ研究テーマの独創性というのが大切なのだなと実感しました。

次にベルリンでの国際神経動物行動学会に参加し、発表しました。この学会にはコウモリ研究者も多く集

っており、初日には「コウモリ・サテライト」が企画されて若手に口頭発表の機会が与えられました。論文で著者名ずっと拝見していた先生や、自分の初論文を査読してくださった先生の前で発表することはとても刺激的でした。発表後は面白かったよ、と声をかけてくださる方が多くいて嬉しかったです。特に私が研究対象としているキクガシラコウモリはユニークな超音波運用をしているのですが、欧米ではあまり研究され



学会では口頭とポスターの両方で発表しました！

ていません。日本にこんな研究をしている若手がいる、ということを知ってもらえるきっかけになったかなと思います。

最後に期間の長かった Phd.サマーコースをご紹介します。このコースは南デンマーク大学の研究チームが開講している 2 週間にわたって生物音響学に関して学ぶ合宿形式の集中講義です。朝は 8 時から基本的な座学や Matlab による解析を学び、お昼からは実際に実験装置を用いた計測実習やそのまとめ発表、そして夜は 21 時まで最先端研究の講演を聞く、という日々でかなり密度の濃いものでした。

生物音響の研究はその特性上容易ではなく、特に計測にあたって陥りやすいピットフォールが存在します。生物音響の研究者は基本的に生物の専門家であって、音響の計測はあくまで手段として利用している、という点もまた状況を難しくしています。まずは物理的に音を「はかる」という難しさです。音は目に見えず手でも触れませんので、マイクロホンからの信号を読み取ります。科学としては定量的に音圧として記述が求められますので、そのためにはマイクロホンの特性を正確に把握していることが必須になります。すなわち、マイクロホン感度の正確なキャリブレーションです。コースの始めではこの機器のキャリブレーションと、データから音源音圧への換算を特訓しました。次は、ダイナミックレンジの把握です。感度が正確に把握出来ていれば計測可能な最大の音圧、すなわち「音が割れて」しまわないギリギリの音量というのが計算できます。逆に計測可能な最小の音圧というのは計測機器のセルフノイズや環境の背景ノイズのレベルに依存しますが、生き物相手に必ずしも理想的な環境で計測が出来るとは限らないのが生物音響です。事前に意識的に確認しないと忘れられてしまいがちなこの



世界各国から研究対象も多様な 24 名の博士課程学生が集いました

ノイズレベルの計測ですが、これがわからなければ実際の計測データの解析や解釈を誤ってしまう危険性があります。コースでは、実際の失敗事例も学びつつ

(中にはトップジャーナルに掲載されているけど、ほんとはノイズによる解析エラーということも...)、ノイズレベル計測の重要性を叩き込まれました。他にも特定の計測環境から生じるアーチファクトなど枚挙にいとまがありませんが、実践的なことを多く学び、超音波なので計測中にその音を聞くことが出来ないコウモリの研究においてはとても重要な知識や技能ばかりでした。そして特に上記で挙げたキャリブレーションとノイズレベル計測は、音響計測に限らず多くのフィジカルな計測実験で共通する最重要項目のひとつではないでしょうか。あらゆる工学センサーに得手不得手があります。どうしてもその色眼鏡を通した世界しか見ることができませんし、そもそもそのセンサーでは見えないものもあるでしょう。キャリブレーションとノイズレベル計測は、それがどのような色の色眼鏡なのか、何ができて何は見えないのかを教えてくれるのです。これら計測実験を始めるといふ方は、このことを少し覚えておくと良いかもしれません。

この海外活動では階層的生物ナビ学の海外派遣として支援していただき、多くの学びを得ることができました。ありがとうございました。

# 国際研究活動報告:

## SBIK-F における活動報告



岩井 碩慶

産業技術総合研究所・細胞分子工学研究部門・外来研究員

この度、階層的生物ナビ学の国際活動支援を受けてドイツ、フランクフルトにある Senckenberg Biodiversity and Climate Research Centre (SBIK-F) の Barbara Feldmeyer 主任研究員の元に訪問し、研究に関するディスカッションと、研究対象となるアリ種のゲノム解析を行ってきました。本報告書では、今回の海外派遣で得られた成果・経験について、報告させていただきます。

私は、アリ類が行う社会的相互作用に基づく幼虫の発生制御機構や、他アリ種の社会を乗っ取ることで生活する「社会寄生種」と呼ばれるアリ種の生態に関する研究を行っています。特に現在は、キノムラヤドリムネボソアリ (*Temnothorax kinomurai*) という日本固有の社会寄生種に関する研究に取り組んでいます。

アリ類は集団で生活する社会性昆虫で、集団内には生殖カースト（女王）と労働カースト（働きアリ）が存在します。彼女たちは分業制に基づく社会構造を構築することで、社会的な生活を営んでいます。一方で、キノムラヤドリムネボソアリには労働カーストが存在

せず、一般的なアリ類で見られるような階層的な社会構造を進化の過程で自ら失っています。私は、このキノムラヤドリムネボソアリの奇妙な生態に強い興味を抱き、本種におけるカースト消失のメカニズムを明らかにしたいと考えました。そこで、キノムラヤドリムネボソアリに関する情報収集を進める中で、ドイツで社会寄生種の研究を行っている Feldmeyer 主任研究員も本種の存在に気づいており、さらに既に本種とその宿主アリ種のゲノムシーケンスまで完了させていることを知りました。私自身も、もともとキノムラヤドリムネボソアリを対象にゲノムスケールの研究を行いたいと考えていたため、これは絶好の機会であると思



SBIK-F のエントランス付近

い、早速先方に連絡を取り、共同研究を開始するに至りました。

今回の海外派遣の目的は、Feldmeyer 主任研究員との研究方針に関するディスカッション、派遣先機関 SBIK-F で実装されている解析サーバーへの登録、そして研究対象となるキノムラヤドリムネボソアリとその宿主であるハヤシムネボソアリ (*Temnothorax makora*) のゲノムアセンブリの実施でした。現地での滞在期間はおよそ一週間でしたが、想定していた全てのタスクを滞りなく完遂することが出来ました。研究のディスカッションについては、共同研究者である Jürgen Heinze 名誉教授 (University of Regensburg) にも急遽参加頂き、今後の研究方針をより明確にすることが出来ました。アセンブリ作業によって得られた各アリ種のドラフトゲノムについては、いずれも高品質であり、今後行う予定の解析作業の基盤をしっかりと構築することができたと考えています。

研究以外の面では、Feldmeyer 主任研究員をはじめ、研究所に所属する研究員やポスドク、学生の方々とさまざまな交流を持ちました。特に昼食に関しては、ほぼ毎日一緒にとりました。SBIK-F 内にはランチブースがあり、お昼になると研究室のメンバー全員が集まり、談笑しながら食事をする習慣があります。日本の大学や研究所ではあまり見られない文化であったため、最初は少し驚きましたが、とても良い経験になりました。また、滞在中には Feldmeyer 主任研究員にフランクフルトの郷土料理をご馳走していただく機会もありました。このような交流を通じて、ドイツの食文化にも触れることができ、大変貴重な体験となりました。

今回の派遣を通じて、海外の研究者たちによる研究スタイルや現地の文化などについて、その一端を学ぶ

ことが出来ました。この経験を生かし、階層的生物ナビ学の発展に今後も貢献していきたいと思えます。

今回の海外派遣に際し、階層的生物ナビ学からご支援頂くことで、無事に予定していた現地での活動を遂行することができました。階層的生物ナビ学、および今回の派遣に支援していただいたすべての方々に、この場を借りて深くお礼申し上げます。



フランクフルト中央駅



フランクフルトの郷土料理



執筆者 (左) と Feldmeyer 主任研究員 (右)

# 階層的生物ナビ学

学術変革領域研究（A）

「サイバー・フィジカル空間を融合した階層的生物ナビゲーション」ニュースレター  
Vol. 6（2025年4月発行）

|         |       |                      |
|---------|-------|----------------------|
| <領域代表>  | 橋本浩一  | 東北大学大学院 情報科学研究科      |
| <編集/装丁> | 西森拓   | 明治大学 先端数理科学インスティテュート |
|         | 飛龍志津子 | 同志社大学 生命医科学部         |

領域事務局：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

東北大学 大学院情報科学研究科

Tel: 022-795-7018 Email: [contact@bio-navigation.jp](mailto:contact@bio-navigation.jp)

領域ホームページ：<https://bio-navigation.jp>



# CyNav

Hierarchical Bio-Navigation  
Integrating Cyber-Physical Space