



動物ナビゲーションの神経基盤

木村 幸太郎 *Kotaro Kimura*名古屋市立大学 大学院システム自然科学研究科
教授佐藤 正晃 *Masaaki Sato*埼玉大学 大学院理工学研究科および
研究機構脳末梢科学研究センター 特任准教授佐倉 緑 *Midori Sakura*神戸大学 大学院理学研究科
准教授

動物は、近距離または遠距離の目的地に向かってナビゲーションする。このための情報処理は、脳の中でどのように実現されているであろうか？ 本稿では、ナビゲーションに関する神経基盤の研究が進んでいる昆虫・齧歯類・線虫のこれまでの知見をまとめ、今後の研究の方向性に関して議論する。

① 動物ナビゲーションの神経科学的研究

すべての動物は、餌を食べ、敵から逃れ、繁殖相手を見つけるために、内的な動機や記憶によって目的地に移動（ナビゲーション）する。近距離のナビゲーションでは、視覚や聴覚で目的地が認識できれば、その空間的位置を正確に把握できる。しかし、近距離であったとしても、匂いは正確な勾配を作らないので（線香の煙のように）、嗅覚に基づいて正しくナビゲーションをおこなうためには異なる戦略が必要である¹⁾。また100 kmや1,000 km単位で遠く離れた目的地にナビゲーションする場合は、太陽の位置や地磁気など地球規模の勾配を利用することになるが、たとえば太陽の位置は時刻や季節によって大きく変わるので、動物も時刻や季節を正しく

理解して太陽の位置と自分の位置の関連を補正しなければならない。さらに、GPSでの誤差を10 m以内に収めるためには、緯度・経度に関して7桁の精度が必要であることを考えれば、動物が扱う地球規模の位置情報にも同程度の精度が必要なはずである。動物の脳はどのようにしてこれらの情報処理を実現しているのだろうか？

さまざまな環境情報を適切に神経活動に変換して驚異的なナビゲーションをおこなう例として、昆虫の研究は長い歴史をもつ。また、脳が比較的小さく（それでも数万個の神経細胞それぞれが他の多くの神経細胞と結合して巨大なネットワークを構成している）、体も小さく実験室内での解析も比較的容易であることも、昆虫を研究するメリットである。一方、ラットやマウスなどの齧歯類は、脳構造がヒトに近く、また学習によっ

て比較的高度な課題を達成できるというメリットがある。そこで、齧歯類が実験室内でおこなうナビゲーションに対する精度の高い研究から、外部環境・自分自身の状態・記憶に関するさまざまな神経活動が見いだされてきた。最後に線虫は、わずか302個の神経細胞しか持たないが、そのネットワーク構造は完全に解明されているというメリットがある。また、体が小さいために行動の計測および解析が容易であることから、刺激と行動に関する定量的解析のモデルとなってきた。以下、これら3種類の動物を用いることで、動物ナビゲーションの何が明らかになったかを説明する。なお、以下に述べるナビゲーションのための情報と神経活動を表1にまとめた。また、より詳しくは文献2も参照のこと。

〈生き物 Profile〉

名称：線虫 *C. エレガンス*

学名：*Caenorhabditis elegans*

科名：*Caenorhabditis*

属名：*Caenorhabditis*

英名：roundworm

分布：ヒトが暮らしているところには広く生息しているが、逆にヒトが暮らしていないところには生息していない。

1950年ごろから1960年ごろにかけて、英国医学研究審議会 (Medical Research Council: MRC) を中心として、DNAの二重らせん構造や、DNAからRNAを介してタンパク質へ遺伝情報が伝達されること (セントラルドグマ) など、分子生物学の古典的重要な問題の多くが大腸菌やファージを用いた遺伝学的研究から解決され、研究者は「次の重要な問題」を模索し始めた。MRCにおける分子生物学的研究の中心にいた Sydney Brenner 博士は、当時は「あまりにも生物学的過ぎて解決できない」と考えられていた動物の神経機能や発生 (受精卵が細胞の分裂と分化を繰り返して、さまざまな組織を持った個体になること) の謎を明らかにするために、単純な構造の体を持ち、かつ遺伝学的手法によってこれらの問題を解決でき

る生物を探していた。Brenner 博士は *C. エレガンス* にたどりつき、10年近くかけて遺伝学的手法の確立や全細胞系譜 (受精卵がどう分裂してどの細胞になるか) の解明をおこなった。研究開始当初は、“joke organism” (冗談のような生き物) と見なされることもあったが、「多細胞生物固有の問題を遺伝学的解析によって組織的に解決する」という先駆的な方針は、独創的かつ優れたさまざまな研究を産んだ。たとえば、プログラム細胞死や寿命制御などに関連する遺伝子群が *C. エレガンス* において初めて見いだされ、またセントラルドグマを破るマイクロRNAによる遺伝子発現制御は、現象自体が *C. エレガンス* の研究から見いだされた。これらの研究は、これまでに3回のノーベル賞に結びついている。

さらに、*C. エレガンス* はゲノムサイズも小さく、研究者間の国際的な協力体制も緊密であったことから、ヒトゲノム配列決定のための先行的プロジェクトとして、*C. エレガンス* のゲノム配列決定プロジェクトがおこなわれた。英国と米国で一つの研究室ずつが選ばれ、ゲノム配列決定のためのゲノムDNAライブラリーの整備、塩基配列決定のための装置開発、断片的に解読された短いDNA配列を蓄積しつなぎ合わせるた

めのデータベースやソフトウェアの開発など、さまざまな研究をおこない、1998年に *C. エレガンス* 全ゲノム配列の概要が発表された。これら二つの研究室はこの過程においてそれぞれDNA配列解読センターに昇格し、ヒトゲノム配列においても中心的な役割を果たした。

本連載に関連する神経機能に関しては、*C. エレガンス* では1986年に全神経細胞の回路構造が報告されており、これは30年以上経った現在でも動物界における唯一の全神経回路情報である。*C. エレガンス* は200個弱の神経細胞から「脳」が構成されており、これは哺乳類の脳を構成する $10^{10\sim 11}$ 個はもとより昆虫の数万個より圧倒的に少ない。にも関わらず、*C. エレガンス* 脳内ではグルタミン酸・GABA・セロトニン・ドーパミンなど私たちと同じ神経伝達物質が機能しており、記憶や判断など基本的脳機能を制御する遺伝子が見いだされ、これらが私たちの脳においても同様の役割を果たしている可能性が明らかになりつつある。



表1 ナビゲーションに用いられる情報の例

1. 外部環境からの情報
1-1. 地球規模の位置情報
手掛かり：地磁気，空の偏光，太陽や月の光の明るさや色，太陽・月・星の姿 状況：目的地が遠距離にあり，直接認識できない 行動戦略：「羅針盤的」感覚刺激のわずかな違いから方向を決定する
1-2. 近距離の位置情報
手掛かり：目的地の特徴に関する視覚，聴覚，嗅覚の情報 状況：目的地は直接認識可能 行動戦略：「灯台的」目的地までの距離と方向は左右に存在する感覚器からの情報によって推定される（視覚と聴覚）。 「ジグザグ的」左右への方向転換とこれに続く環状の行動により離散的な勾配を検出する（嗅覚）。
1-3. 時間情報
手掛かり：断続的に感知される刺激 状況：目的地は不明 行動戦略：「バイアスランダム歩行」ランダムな方向に進み，関連した刺激が感知されればその方向への進行を継続する。
2. 内的に計算される情報
2-1. 現在の方向
情報：動物の向き 時間：短時間 神経活動：齧歯類と昆虫の頭方位細胞
2-2. 経路積算
情報：出発地点から積算された距離と方向 時間：1回のナビゲーションの間 神経活動：昆虫の移動距離，進路方向それぞれに対応した神経活動
2-3. 記憶
情報：目的地に辿りつくための過去の記憶 時間：長期間 神経活動：齧歯類の場所細胞

② 各動物のナビゲーション機能と神経基盤

(1) 昆虫

多くの昆虫は渡りや定位といった本能的なナビゲーション行動を示す。たとえば，オオカバマダラ (*Danaus plexippus*) やサバクトビバッタ (*Schistocerca gregaria*) は，遺伝的プログラムによって，繁殖に適した場所を求めて毎年1,000 km 以上もの距離を移動し，次世代(以降)の個体が元の場所に戻っていく。また，学習に基づいたナビゲーションの例として，社会性昆虫をはじめとする定住型の種は，

巣の周りの餌の在りかを記憶して繰り返し同じ場所を訪問するし，ミツバチは記憶した餌場の情報を巣仲間とダンス言語で共有する。脊椎動物と比べて比較的小さく単純な神経系しか持たない昆虫が，いかにしてこのような優れたナビゲーションを実現しているのだろうか？ その脳内メカニズムを解明できれば，動物のナビゲーションがどのような神経回路によって実装されるのか，その基本原理を導き出せるかもしれない。

昆虫は，環境中に存在するさまざまな視覚的情報に基づいてナビゲーションをおこなう。昆虫が自

らの進行方向を検出するのに利用する地球規模の環境情報としては，天空の偏光*パターン [図1(b)] や太陽，月，星などがあり(表1, 1-1)，さらにアリなどの一部の昆虫では，目印となる構造や景色などの局所的な視覚情報を記憶することも知られている³⁾。これらの視覚情報に基づいたナビゲーションのうち，最も研究がすすんでいるのが偏光による方向検出である。昆虫の複眼の背側には，偏光検出に特化した領域があり (dorsal rim area；背側辺縁領域)⁴⁾，ここで検出された光の電場ベクトル(e-ベクトル)情報は，脳の高次中枢の一つであ

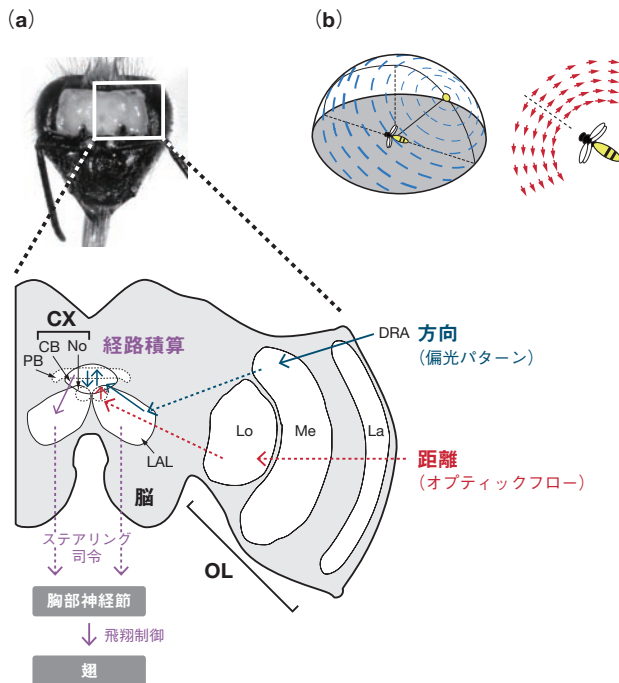


図1 昆虫のナビゲーションに関わる神経機構

- (a) ミツバチ頭部と脳の外形(上)およびナビゲーションに関わる主な脳内神経叢の模式図(下)。青矢印が方向、赤矢印が距離、紫矢印が統合された情報の処理経路をそれぞれ表しており、実線矢印は直接つながっている経路、点線矢印は直接でなく複数の神経細胞を介した経路を示している。方向と距離の情報は、中心複合体で統合された後、副側葉を介して肢や翅を制御する胸部神経節に送られる。DRA: 背側辺縁領域、OL: 視葉、La: 視葉板、Me: 視髄、Lo: 視小葉、CX: 中心複合体、CB: 中心体、PB: 前大脳橋、No: 小結節、LAL: 副側葉。
- (b) ミツバチは進行方向の検出には天空の偏光パターンを(左)、移動距離の推定には運動によって生じるオブティックフローを(右)それぞれ利用する。

る中心複合体 (central complex) [図1(a)] に送られる。中心複合体の前大脳橋 (protocerebral bridge) [図1(a)] とよばれる神経叢では、さまざまなe-ベクトルの向きに応答する神経細胞が整列しており⁵⁾、この領域が偏光視の最高次中枢であると考えられる。また、中心複合体では脊椎動物の頭方位細胞 (head-direction cell) と同様な応答特性を示す神経細胞も見つかっており、中心複合体が体内の羅針盤として働くことが示唆される⁶⁾。

移動距離の推定に関しては、アリが歩数計算を、ミツバチが移動

によって生じる視覚の流れ (オブティックフロー) [図1(b)] を利用することが知られている⁷⁾。オブティックフローの情報は視覚の一次中枢、視葉 (optic lobe) [図1(a)] を介して高次中枢へ送られる。近年、中心複合体の入力部位の一つである小結節 (noduli) [図1(a)] の神経細胞がオブティックフローの方向と速度の両方に選択性を持つことが報告された³⁾。つまり中心複合体では、オブティックフローによる移動距離の情報と、偏光による進行方向の情報が統合され、「経路積算」* (表1, 2-2)

がおこなわれている可能性が高い。中心複合体の主な出力先は副側葉 (lateral accessory lobe) [図1(a)] で、おそらくここから肢や翅の運動中枢である胸部神経節に運動司令が送られるのだろう。

(2) 齧歯類

齧歯類では、主に実験室内の比較的小さな空間を探索するときの脳活動をテトロード電極*を用いて電気生理学的に記録する手法で研究がおこなわれてきた。これまでに発見されたナビゲーションに関連した応答を示す細胞には、場所特異的に応答する場所細胞 (place cell; 表1, 2-3)、格子状に並んだ複数の場所に応答する格子細胞 (grid cell)、壁などの境界から一定の距離において応答する境界細胞 (border cell)、動物の頭部が特定の方向に向いているときに応答する頭方位細胞 (head direction cell; 表1, 2-1) などがある [図2(a)]⁸⁾。場所細胞は海馬* (hip-

用語解説 Glossary

【偏光】

光は電磁波であり、この波の振動が特定の方向に偏っているものが偏光である。電磁波の電場ベクトルのことをe-ベクトルとよび、波の振動面を表す。

【経路積算】

動物のナビゲーション方法の一つで、自らの動いた方向と距離をベクトルとして積算し、目的地と自分との位置関係を常に把握しながら移動するやり方。

【テトロード電極】

4本の細い金属ワイヤをより合わせて作った電極のこと。脳に刺入すると数十個程度の神経細胞の活動電位を分離して記録できる。

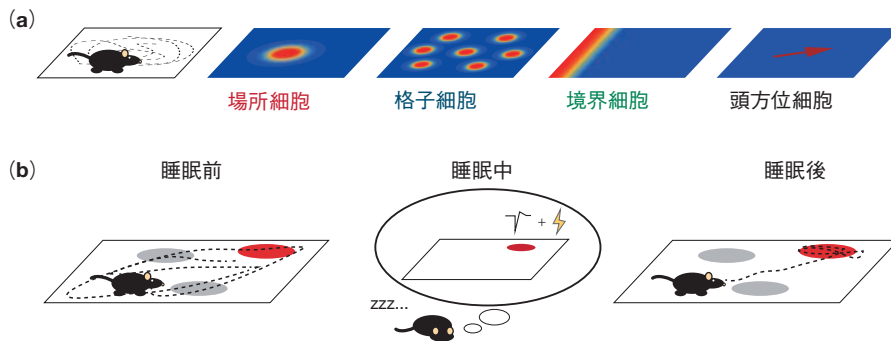


図2 齧歯類のナビゲーションに関わる神経活動

- (a) 実験室内の小空間を探索するマウスと、場所細胞、格子細胞、境界細胞（海馬台では境界ベクトル細胞ともよばれる）と頭方位細胞の神経応答の特徴。赤で示された領域は、それぞれの細胞タイプが活動する領域の例を示す。頭方位細胞は場所に依存せず、動物の頭部が特定の方向を向いているときに活動する。
- (b) 赤で示された領域で活動する特定の場所細胞が睡眠時に自発発火するときに報酬系刺激を組み合わせると、その場所細胞が活動する領域へのナビゲーション行動が睡眠後に誘発される。

pocampus) に、格子細胞は海馬との入出力をおこなう嗅内皮質 (entorhinal cortex) に、境界細胞は海馬台 (subiculum) と嗅内皮質に、頭方位細胞は前海馬台 (presubiculum) と嗅内皮質に見られる。一部の場所細胞の反応特異性は暗闇下でも認められることから⁹⁾、場所細胞の特異性は視覚情報だけに依存するのではなく、動物自身の運動に基づく回転と加速度（前庭感覚）や身体各部の位置感覚（固有感覚）などの異なる種類の感覚情報の統合で形成・維持されているものと考えられてい

る。また、これらの情報の統合によりどのように場所細胞の活動の特異性が形成されるかはまだはっきりとした結論が得られていないが、当初考えられていた複数の格子細胞の入力の単純な重ね合わせでできているというわけではないようである¹⁰⁾¹¹⁾。生後には頭方位細胞、場所細胞、格子細胞の順に発達が認められることから¹²⁾¹³⁾、頭方位細胞が他の細胞に入力を与えているのかもしれない。

海馬の場所細胞は動物がある場所を訪れているときに特異的な活動を示すことから、いわば脳内のGPSのように動物の現在の位置情報を表現していると考えられる。では個々の場所細胞は、ナビゲーションにおける場所の記憶にどのように関わっているのだろうか？ de Lavilléonらは近年、特定の場所細胞が睡眠時に自発活動するときに同時に報酬系^{*}への電気刺激を与えると、睡眠後にこのマウスは報酬系刺激と組み合わせられた場所細胞が特異的に活動する場所へ

と好んでナビゲーションすることを明らかにした [図2(b)]¹⁴⁾。このことは、海馬の場所細胞は単に現在の位置を表すだけではなく、ナビゲーションの目的地の記憶の形成に重要な役割を果たすことを示している。

(3) 線虫C. エレガンス

線虫C. エレガンスは、脳を持つ最もシンプルな動物として分類される¹⁵⁾。C. エレガンスは化学刺激に対して誘引や忌避など基本的な応答行動をおこなうこと、また比較的低速（およそ0.1 mm/秒）程度の速度で寒天表面という二次元上を移動することから、その研究初期から感覚応答の定量的解析がおこなわれていた¹⁶⁾。特に、Pierce-Shimomuraらは、寒天培地上でのC. エレガンスの塩に対する誘引行動において、まず寒天培地中での塩濃度の勾配を計測し、さらに当時としては先進的な自動追跡観察システムを確立することで、C. エレガンスがどの

用語解説 Glossary

【海馬】

大脳皮質の内側に位置し、記憶形成、空間学習やナビゲーションに重要な役割を果たす脳部位のこと。

【報酬系】

脳内で報酬に関する情報処理を担う神経系のこと。腹側被蓋野 (ventral tegmental area) や線条体 (striatum) をはじめとする複数の脳部位が関与する。

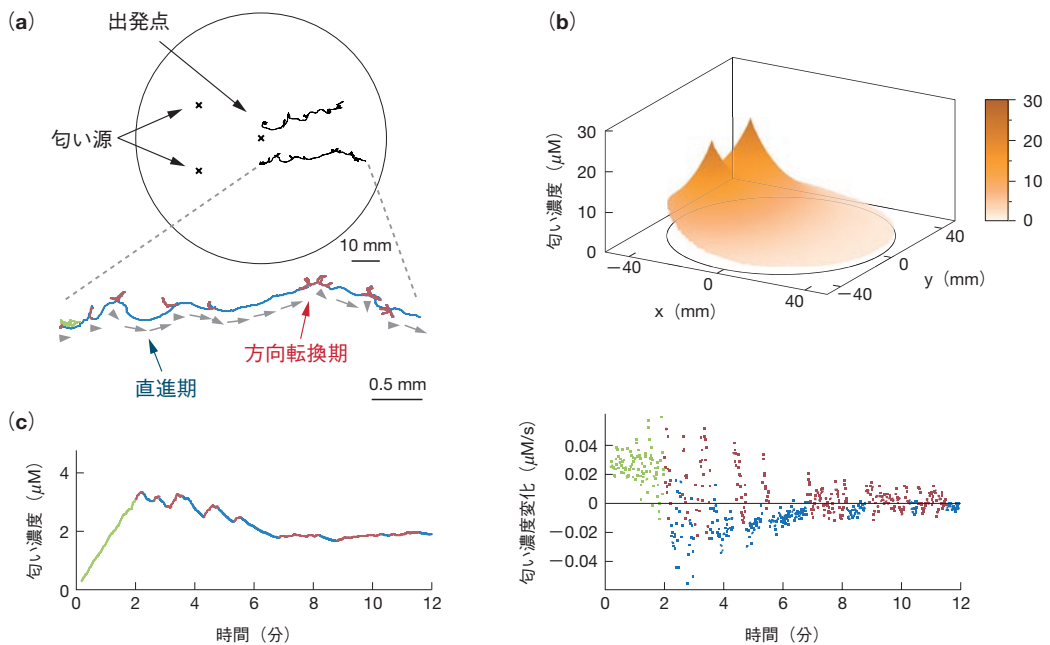


図3 C. エレガンスの匂い忌避ナビゲーション

- (a) 直径9 cmの寒天培地の中央にC. エレガンス2匹を置き、左側2ヵ所に匂い物質2-ノナンンを滴下後12分間の線虫の軌跡と、その直進期と方向転換期の分類。
- (b) 12分後に形成された匂い濃度の分布。
- (c) Aの下に示したC. エレガンスが感じた匂い濃度(上)と匂い濃度変化(下)と、直進期と方向転換期の対応。この結果から、(1) 直進期と方向転換の遷移は、匂い濃度には関連せず、匂い濃度変化に強く関連すること(「微分器による濃度変化の検出」)、(2) 匂い濃度変化がプラスになるとすぐに直進期→方向転換期の遷移が起こるが、匂い濃度変化がマイナスになってみてもすぐには方向転換期→直進期の遷移が起きないこと(「低域通過フィルターによるノイズ除去」)などの情報処理ルールが推定できる。文献23より改変²³⁾。

ような塩濃度変化を感知し、どのタイミングで行動変化を引き起こすかを明らかにした。その結果、① C. エレガンスは過去の記憶を引き摺らない「ランダムウォーク」として塩への誘引行動をおこなうこと、② その行動は直進期と方向転換期に大きく分けられること、③ 塩刺激から行動への変換は「微分器による濃度変化の検出」「低域通過フィルターによるノイズ除去」「非線形変換による行動の飽和」といった三つの段階に分解できること、などを明らかにした¹⁷⁾。この刺激と行動の定量的解析と数理モデルによる解釈は、その後のC. エレガンスやショウジョウバ

エなど無脊椎モデル動物のさまざまな定量的行動解析(図3)を引き起こす先駆的研究となった。

さらに、C. エレガンスは遺伝子導入が容易であること、また体が透明であることから、遺伝子コード型カルシウムセンサータンパク質を用いた神経活動の光学的計測(カルシウムイメージング)との相性が非常に良く、温度応答行動や塩応答行動中のC. エレガンスの感覚神経細胞の神経活動が計測されるようになった¹⁸⁾¹⁹⁾。そして現在では、静止中または自由行動中のC. エレガンスの多数の神経活動のカルシウムイメージングが可能になっている^{20)~22)}。静

止中の個体は脳のほぼ全部の神経細胞が計測できているのに対し、行動中の個体では半分程度の計測しかできていないという制限はあるものの、おそらくこのような技術的問題点は近い将来解消され、「刺激-全脳神経活動-ナビゲーション」の関連がC. エレガンスにおいて初めて解明されるだろうと期待できる。

3 今後の展望

ここまで述べてのように、齧歯類・昆虫・線虫と異なるモデル動物を用いることで、さまざまな情

報がわかってきた。昆虫の研究からは重要な外部環境からの情報が、齧歯類の研究からは自己の位置・姿勢・移動状況などが神経活動に反映されていることが、そして線虫の研究からはナビゲーションのための個体レベルでの演算やその神経活動がわかりつつある。しかし、それらは断片的な情報、すなわち「点」である。ナビゲーションを理解するということは、時々刻々と変わる外部環境からの刺激が、どのように脳内を流れ、適切に神経活動の形を変えることで行動に変換されるかを理解する、ということにほかならない。そのため、重要な神経活動を計測する技術を発展させるとともに、多数の神経活動の時系列データの中から重要な「意味」を抽出するための情報科学的手法を開発することが重要であろう。

[謝 辞]

本総説は、新学術領域研究「生物移動情報学」(16H06545, 17H05975, 17H05985)による支援を受けています。

[文 献]

- 1) Kanzaki, R., Sugi, N. & Shibuya, T. *Zool Sci* **9**, 515–527 (1992).
- 2) Kimura, K. D., Sato, M. & Sakura, M. Neural Mechanism of Animal Navigation, in *Distributed, Ambient and Pervasive Interactions: Technologies and Contexts*, 65–81 (2018). DOI: 10.1007/978-3-319-91131-1_5
- 3) Heinze, S. *Current Opinion in Insect Science* **24**, 58–67 (2017).
- 4) Labhart, T. & Meyer, E. P. *Microsc. Res. Tech* **47**, 368–379 (1999).
- 5) Heinze, S. & Homberg, U. *Science* **315**, 995–997 (2007).
- 6) Varga, A. G. & Ritzmann, R. E. *Curr Biol* **26**, 1816–1828 (2016).

- 7) Labhart, T. & Meyer, E. P. *Curr Opin Neurobiol* **12**, 707–714 (2002).
- 8) Moser, E. I., Moser, M. B. & McNaughton, B. L. *Nat Neurosci* **20**, 1448–1464 (2017).
- 9) Quirk, G. J., Muller, R. U. & Kubie, J. L. *J Neurosci* **10**, 2008–2017 (1990).
- 10) Brandon, M. P., Koenig, J., Leutgeb, J. K. & Leutgeb, S. *Neuron* **82**, 789–796 (2014).
- 11) Koenig, J., Linder, A. N., Leutgeb, J. K. & Leutgeb, S. *Science* **332**, 592–595 (2011).
- 12) Wills, T. J., Cacucci, F., Burgess, N. & O'Keefe, J. *Science* **328**, 1573–1576 (2010).
- 13) Langston, R. F., Ainge, J. A., Couey, J. J., Canto, C. B., Bjerknes, T. L. *et al. Science* **328**, 1576–1580 (2010).
- 14) de Lavilléon, G., Lacroix, M. M., Rondi-Reig, L. & Benchenane, K. *Nat Neurosci* **18**, 493–495 (2015).
- 15) Luo, L. Evolution of the Nervous system, in *Principles of Neurobiology* (2016).
- 16) Ward, S. *Proc Natl Acad Sci USA* **70**, 817–821 (1973).
- 17) Pierce-Shimomura, J. T., Morse, T. M. & Lockery, S. R. *J Neurosci* **19**, 9557–9569 (1999).
- 18) Clark, D. A., Gabel, C. V., Gabel, H. & Samuel, A. D. T. *J Neurosci* **27**, 6083–6090 (2007).
- 19) Luo, L., Wen, Q., Ren, J., Hendricks, M., Gershow, M. *et al. Neuron* **82**, 1115–1128 (2014).
- 20) Schrödel, T., Prevedel, R., Aumayr, K., Zimmer, M. & Vaziri, A. *Nat Meth* **10**, 1013–1020 (2013).
- 21) Nguyen, J. P., Shipley, F. B., Linder, A. N., Plummer, G. S., Liu, M. *et al. Proc Natl Acad Sci USA* **113**, E1074–81 (2016).
- 22) Venkatachalam, V., Ji, N., Wang, X., Clark, C., Mitchell, J. K. *et al. Proc Natl Acad Sci USA* **113**, E1082–E1088 (2016).
- 23) Tanimoto, Y., Yamazoe-Umemoto, A., Fujita, K., Kawazoe, Y., Miyanishi, Y. *et al. eLife* **6**, e21629 (2017).



木村 幸太郎 Kotaro Kimura

名古屋市立大学 大学院システム自然科学研究科 教授



佐藤 正晃 Masaaki Sato

埼玉大学 大学院理工学研究科および研究機構脳末梢科学研究センター 特任准教授



佐倉 緑 Midori Sakura

神戸大学 大学院理学研究科 准教授

1995年、東京大学大学院農学系研究科博士課程修了。博士(農学)。1996年、ハーバード大学医学部博士研究員。1998年、CREST博士研究員。2003年、国立遺伝学研究所助教。2006年、さきがけ研究員(兼務)。2009年、大阪大学大学院理学研究科特任准教授。2013年、同准教授。2018年、名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科教授。C. elegansを研究対象として、「意思」や「感情」の原型を明らかにすることを目指している。

2001年、京都大学大学院医学研究科生理学専攻修了。博士(医学)取得。2004年、カリフォルニア大学サンフランシスコ校博士研究員。2009年、理化学研究所脳科学総合研究センター研究員。2012年、科学技術振興機構さきがけ研究者を経て、2016年より、埼玉大学大学院理工学研究科および同研究機構脳末梢科学研究センター特任准教授。理化学研究所脳神経科学研究センター客員研究員を兼任。学習や経験に伴う脳の機能的変化や、発達障害における神経回路機能の異常を、先端的なイメージングで「見て」理解する研究を進めている。

博士(工学)。2001年、北海道大学大学院工学研究科修了・学位取得。2001～2003年東京大学大学院薬学系研究科、2003～2005年チューリッヒ大学動物学部門、2005～2010年北海道大学電子科学研究所に研究員として従事。2011～2015年、神戸大学大学院理学研究科講師。2015年より現職。専門分野は神経行動学。2014年、日本比較生理生化学会吉田奨励賞を受賞。ミツバチなどの昆虫を用いて、ナビゲーションや学習などに関わる脳の高次機能の解明を目指している。