

令和 3 年 5 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H05011

研究課題名(和文) はばたき飛行を制御する神経機構の分析

研究課題名(英文) Analysis of neuronal mechanisms for flight control

研究代表者

並木 重宏 (Namiki, Shigehiro)

東京大学・先端科学技術研究センター・准教授

研究者番号：40567757

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,300,000円

研究成果の概要(和文)：多くの動物では、脳と身体を繋ぐ一連の下行性ニューロンを介して行動が制御されている。本研究ではショウジョウバエのはばたき飛行に重要な役割を持つとされている下行性ニューロンDNg02に注目し、分子遺伝学・光遺伝学・光生理学・神経解剖学的手法を用いて、この細胞を詳細に分析した。DNg02は互いに類似した形態学的特徴を持つ細胞集団であり、それぞれが飛行を駆動する能力を持つ。活動する細胞数が多いほど、はばたきの強度が増大することから、DNg02はばたきの司令を集団で符号化していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は脳から身体へ発し、飛行を司令する細胞を初めての報告となる。昆虫は神経行動学の重要なモデル生物であるが、これまでの事例からは単一の下行性ニューロンが単一の行動を駆動するという考え方が一般的であった。本研究では飛行という行動が複数のニューロンによって制御されていることを示した点において、学術的な意義がある。また本研究において開発した神経細胞を選択的に標識する遺伝学的リソースは、神経科学研究のために有用であり、今後研究コミュニティに広く用いられると期待される。

研究成果の概要(英文)：In animals, behavior is controlled by a group of descending neurons that connect the brain to the body. In this study, we focused on DNg02, descending neuron that have been shown to play an important role in flight control in *Drosophila*, and analyzed it in detail using molecular genetics, optogenetics, optophysiology, and neuroanatomy. DNg02 is a population of cells with similar morphological features to each other, each with the ability to drive flapping motion. The intensity of flapping increased with the number of active cells, suggesting that DNg02 encodes flapping commands collectively.

研究分野：動物生理・行動

キーワード：はばたき 神経行動学 光遺伝学 飛翔神経叢 Split-GAL4

1. 研究開始当初の背景

昆虫は高度な飛翔能力を持つ。虫の飛行においては、オプティカルフローなどの視覚情報が支配的な役割を持つ。視覚情報が受容され、脳内の感覚系で処理されるしくみについて詳細な研究が行われている。一方で、飛行を駆動する筋骨格系についても多くの知見が蓄積されている。しかし、飛行に関わるこれらの感覚系と運動系を接続する実体については明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究では、モデル生物ショウジョウバエを用い、脳と胸部運動系をつなぐ細胞群である「下行性神経」に着目する(図1)。脳や胸部神経系に含まれる細胞の数は 10^5 程度である一方で、両者をつなぐ細胞は 10^3 程度であり、下行性神経は、虫の神経系における情報処理のボトルネックであるといえる。ショウジョウバエでは、分子遺伝学的手法を用い、特定の細胞を標識するツールであるエンハンサートラップシステムが用意されており、エフェクターシステムと組み合わせることで、標識された細胞の活動を制御することが可能である。現状では、一つのシステムには多くの細胞が標識されており、単一細胞の機能を調査することには限界がある。本研究では Split-GAL4 交差法を用いることにより、一種類の細胞のみを標識する遺伝子組み換えシステムを作出し、エフェクターシステムと組み合わせることで、それぞれの細胞の表現型を評価し、飛行時のはばたき強度を増大させる機能を持つ「飛行細胞」(Flight descending neuron)の探索を行った [1,2]。

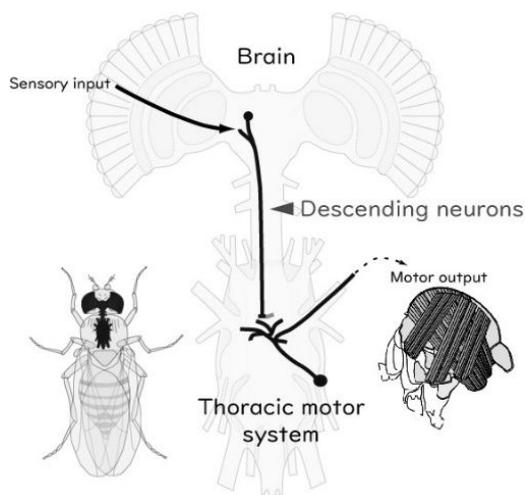


図1. 神経系の模式図。脳から胸部への情報伝達を下行性神経 (Descending neurons) が担う。

3. 研究の方法

神経系の発現が異なる約 9,000 の GAL4 エンハンサートラップシステムの発現パターンを確認したうえで組み合わせを検討し、Split-GAL4 交差法を用いて、発現を限局した遺伝子組換えシステムを作出した。この手法では、GAL4 を 2 つに分割した Split システムを用意して交配する。次世代では、2 つの Split システムの発現が重複した細胞のみで GAL4 システムが有効に機能する(図2) [3]。GAL4 システムの細胞標識パターンのデータベースを参照し、下行性神経のみを標識し、かつ他の発現が少ない Split システムを探索した。

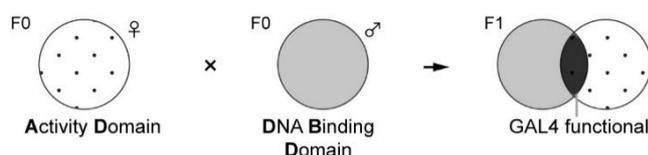


図2. Split-GAL4 交差法の模式図。2 つの親系統 (AD システムと DBD システム) (F0) を掛け合わせ、次世代では発現が重複する細胞のみ標識される (F1)。

神経細胞を活性化させるため、エフェクターとして最近開発された光遺伝学プローブである改変型チャンネルロドプシン CsChrimson を用いた。励起帯域が赤色 (~625nm) のため昆虫の視覚に与える影響は小さい。ショウジョウバエにおいてクチクラ外からの照明が、行動中の神経細胞の活性化に有効であることを確認されている。

観察は、視覚的なフィードバックを配置する仮想的環境を用意し、拘束した条件で実施した(図3)。ショウジョウバエは拘束棒で固定され、周囲を取り囲む LED パネルがオプティカルフローを再現する。虫の進行方向に水平な面におけるはばたきの角度の大きさはば

たき強度と呼ぶ。ショウジョウバエの羽ばたき強度は赤外線によってモニタした。左右のはばたき強度は巡回方向に相関する[4]。この性質を利用し、左右の赤外線強度の差分から、ハエの進行方向を推測し、LED パネルのオプティカルフローの表示にフィードバックすることで、バーチャルリアリティ環境を作製した。またチャンネルロドプシンを励起するための光ファイバーを虫の近傍に配置した。高速カメラでハエのはばたきを撮影した。

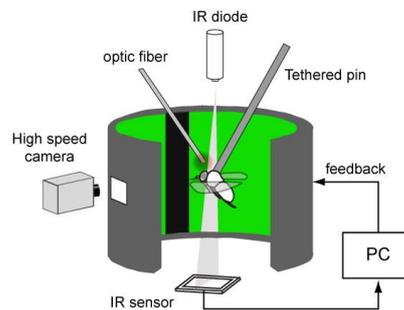


図3. 拘束条件で飛行を観察するための装置（バーチャルフライトアリーナ）。

4. 研究成果

作出した Split-GAL4 系統のうち 80 系統を選択し、Cs-Chrimson 系統を掛け合わせ、スクリーニングを行ったところ、特定のタイプの下行性神経「g02」を標識する系統において、光遺伝学的な操作で、はばたき強度に変化が観察された（図4）。

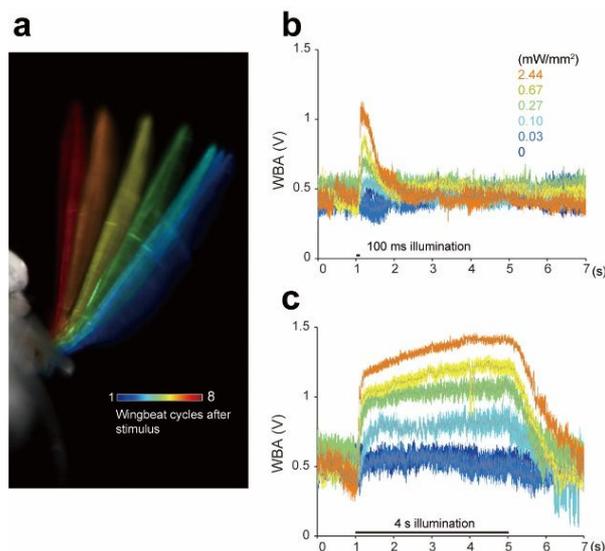


図4. 下行性神経 g02 の活性化によるはばたき強度の変化。(a) g02 を活性化した際のはばたき強度の変化。個々のはばたきを刺激してから順に疑似カラーで示す。青が開始時点。(b) 100ms の光刺激に対するはばたきの変化。異なる光強度に対する応答を異なる色で示す。(c) 4s の光刺激に対するはばたきの持続的な変化。

g02 は、オプティカルフローを処理する感覚系の領域「視葉板」からの投射を受け、胸部神経節の飛翔筋運動神経に出力し、感覚系-運動系をつなぐ「飛行細胞」の解剖学的特徴を満たしていた（図1）。

さらに解剖学的な分析を進めるうえで、g02 は似た形状をもつ脳内で最大 15 対ほどの細胞集団であることが分かった。さらに Split-GAL4 交差法を用いることで、異なる数の g02 を持つ遺伝子組み換え系統を作出した（図5）。それぞれの系統を用いて、活性化によるはばたき強度の変化を観察したところ、すべての系統において、はばたき強度変化の増大が観察された（図6a）。さらに系統に含まれる g02 の数と、活性化によって引き起こされるはばたき強度の大きさを調査したところ、両者の間には正の相関があることが分かった（図6b）。

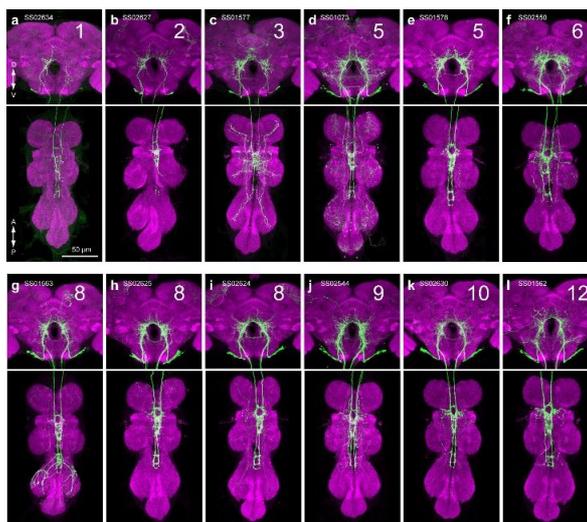


図5. Split-GAL4 交差法を持ちて作出した、異なる数の g02 を標識した遺伝子組換え系統。記入されている数字は、系統において標識されている g02 のペアの数を示す。

本研究では、光遺伝学的手法によって、はばたき強度変化を司令する下行性神経細胞 g02 を同定した。g02 は類似した形状の細胞集団であり、それぞれがはばたき強度を変化させる能力を持っていた。また、活動する細胞の数と、はばたき強度の間に相関がみられたことから、細胞集団によって、飛行が制御されていることが示唆される。昆虫の行動司令の研究においては、特定の神経細胞が特定の行動を

司る「司令ニューロン」仮説が提唱されているが、本研究は、昆虫の行動司令における神経集団による符号化の可能性を提案する。

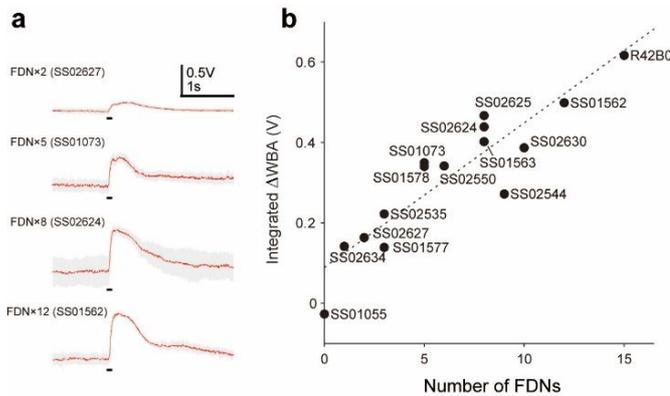


図6. 活性化した g02 の数とはばたき強度変化に与える影響。(a)それぞれ2, 5, 8, 12対の g02 を標識する系統について、光刺激を行った際のはばたき強度の時間変化。図中の FDN は g02 を示す。(b) 活性化する g02 の数に対するはばたき強度変化 (Integrated WBA) のプロット。

< 引用文献 >

[1] Namiki S, Dickinson MH, Wong A, Korff W, Card GM (2018) The functional organization of descending sensory-motor pathways in *Drosophila*. *eLife* 7:e34272.

[2] Namiki S, Ros I, Rowell W, de Souza A, Dickinson MH, Korff WL, Card GM (2019) Descending control of flight behavior in flies. The Society for Integrative & Comparative Biology Annual Meeting 2019, Tampa, FL, USA, January 3-7, 2019.

[3] Luan H, Peabody NC, Vinson CR, White BH (2006) Refined spatial manipulation of neuronal function by combinatorial restriction of transgene expression. *Neuron* 52:425–436.

[4] Zanker JM (1990) The wing beat of *Drosophila melanogaster*. III. Control. *Phil Trans R Soc Lond.* 327:45-64.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Namiki Shigehiro, Dickinson Michael H, Wong Allan M, Korff Wyatt, Card Gwyneth M	4. 巻 7
2. 論文標題 The functional organization of descending sensory-motor pathways in <i>Drosophila</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 1-50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7554/eLife.34272	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 Cande Jessica, Namiki Shigehiro, Qiu Jirui, Korff Wyatt, Card Gwyneth M, Shaevitz Joshua W, Stern David L, Berman Gordon J	4. 巻 7
2. 論文標題 Optogenetic dissection of descending behavioral control in <i>Drosophila</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 1-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7554/eLife.34275	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 Zacarias Ricardo, Namiki Shigehiro, Card Gwyneth M., Vasconcelos Maria Luisa, Moita Marta A.	4. 巻 9
2. 論文標題 Speed dependent descending control of freezing behavior in <i>Drosophila melanogaster</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	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/s41467-018-05875-1	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 Ache Jan M., Namiki Shigehiro, Lee Allen, Branson Kristin, Card Gwyneth M.	4. 巻 22
2. 論文標題 State-dependent decoupling of sensory and motor circuits underlies behavioral flexibility in <i>Drosophila</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1132 ~ 1139
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41593-019-0413-4	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 Namiki Shigehiro, Wada Satoshi, Kanzaki Ryohei	4. 巻 8
2. 論文標題 Descending neurons from the lateral accessory lobe and posterior slope in the brain of the silkworm <i>Bombyx mori</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-27954-5	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 von Reyn Catherine R., Nern Aljoscha, Williamson W. Ryan, Breads Patrick, Wu Ming, Namiki Shigehiro, Card Gwyneth M.	4. 巻 94
2. 論文標題 Feature Integration Drives Probabilistic Behavior in the <i>Drosophila</i> Escape Response	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Neuron	6. 最初と最後の頁 1190 ~ 1204.e6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuron.2017.05.036	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 Cande Jessica, Berman Gordon J, Namiki Shigehiro, Qiu Jirui, Korff Wyatt, Card Gwyneth, Shaevitz Joshua W, Stern David L	4. 巻 N/A
2. 論文標題 Optogenetic dissection of descending behavioral control in <i>Drosophila</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 1 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/230128	査読の有無 無
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 Namiki Shigehiro, Dickinson Michael Hughes, Wong Allan M, Korff Wyatt, Card Gwyneth M	4. 巻 N/A
2. 論文標題 The functional organization of descending sensory-motor pathways in <i>Drosophila</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 1 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/231696	査読の有無 無
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 Zacarias Ricardo, Namiki Shigehiro, Card Gwyneth, Vasconcelos Maria L, Moita Marta A	4. 巻 N/A
2. 論文標題 Speed dependent descending control of innate freezing behavior in <i>Drosophila melanogaster</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 1 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/234443	査読の有無 無
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 Namiki Shigehiro, Fujii Tsuguru, Shimada Toru, Kanzaki Ryohei	4. 巻 7
2. 論文標題 The morphology of antennal lobe projection neurons is controlled by a POU-domain transcription factor <i>Bmacj6</i> in the silkworm <i>Bombyx mori</i>	5. 発行年 2017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/s41598-017-14578-4	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 Nirazawa Takuya, Fujii Takeshi, Seki Yoichi, Namiki Shigehiro, Kazawa Tomoki, Kanzaki Ryohei, Ishikawa Yukio	4. 巻 98
2. 論文標題 Morphology and physiology of antennal lobe projection neurons in the hawkmoth <i>Agrius convolvuli</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Insect Physiology	6. 最初と最後の頁 214 ~ 222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinsphys.2017.01.010	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 Court Robert, Namiki Shigehiro, Armstrong J. Douglas et al.	4. 巻 107
2. 論文標題 A Systematic Nomenclature for the <i>Drosophila</i> Ventral Nerve Cord	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuron	6. 最初と最後の頁 1071 ~ 1079.e2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuron.2020.08.005	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 Namiki Shigehiro, Wada Satoshi, Kanzaki Ryohei	4. 巻 8
2. 論文標題 Descending neurons from the lateral accessory lobe and posterior slope in the brain of the silkworm <i>Bombyx mori</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-27954-5	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 Namiki Shigehiro, Kanzaki Ryohei	4. 巻 9
2. 論文標題 Morphology and physiology of olfactory neurons in the lateral protocerebrum of the silkworm <i>Bombyx mori</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-53318-8	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19件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Ache JM, Namiki S, Lee A, Branson K, Card GM
2. 発表標題 Descending control of landing in <i>Drosophila</i>
3. 学会等名 The Society for Integrative & Comparative Biology Annual Meeting 2019, Tampa, FL, USA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Namiki S, Ros I, Rowell W, de Souza A, Dickinson MH, Korff WL, Card GM
2. 発表標題 Descending control of flight behavior in flies
3. 学会等名 The Society for Integrative & Comparative Biology Annual Meeting 2019, Tampa, FL, USA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Namiki S, Dickinson MH, Wong A, Korff W, Card GM
2. 発表標題 The functional organization of descending sensory-motor pathways in Drosophila
3. 学会等名 Janelia Conference "Neural Circuits of the Insect Ventral Nerve Cord", HHMI Janelia Research Campus, VA USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zacarias R, Ferreira C, Vieira R, Namiki S, Card G, Vasconcelos ML, Moita MA
2. 発表標題 Innate freezing behavior, triggered by P9 descending neurons, is plastic
3. 学会等名 Janelia Conference "Neural Circuits of the Insect Ventral Nerve Cord", HHMI Janelia Research Campus, VA USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Feature detection and action selection in neuronal circuits for escape and landing Drosophila
2. 発表標題 Ache JM, Namiki S, von Reyn CR, Card GM
3. 学会等名 13th Gottingen Meeting of the German Neuroscience Society, Centre for Humanities, Gottingen, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ehrhardt E, Whitehead S, Namiki S, Siwanowicz I, Otsuna H, Stern D, Dickinson M, Ito K, Truman J, Cohen I, Korff W, Card GM
2. 発表標題 A cell-type specific driver line library targeting motoneurons and interneurons in the wing neuropil of the ventral nerve cord of Drosophila melanogaster
3. 学会等名 13th Gottingen Meeting of the German Neuroscience Society, Centre for Humanities, Gottingen, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ehrhardt EE, Namiki S, Whitehead S, Truman J, Dickinson M, Cohen I, Stern D, Korff W, Card GM
2. 発表標題 Optogenetic activation of wing motoneurons of <i>Drosophila melanogaster</i> in flight and courtship song
3. 学会等名 Janelia Conference "Neural Circuits of the Insect Ventral Nerve Cord", HHMI Janelia Research Campus, VA USA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ache JM, Rogers E, Namiki S, Lee A, Branson K, Card GM
2. 発表標題 Context-dependent control of landing in <i>Drosophila</i>
3. 学会等名 Janelia Conference "Neural Circuits of the Insect Ventral Nerve Cord", HHMI Janelia Research Campus, VA USA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 並木重宏
2. 発表標題 昆虫の行動司令を担う神経回路の分析
3. 学会等名 第90回日本動物学会大会奨励賞受賞者講演, 大阪市立大学, 大阪 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 並木重宏
2. 発表標題 下行性神経細胞群によるはばたきの制御
3. 学会等名 第40回日本比較生理生化学会大会シンポジウム「運動におけるリズムとタイミング制御の比較生理学」, 神戸大学先端融合研究環統合研究拠点コンベンションホール, 神戸 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ehrhardt EE, Namiki S, Otsuna H, Cohen I, Stern D, Dickinson M, Korff W, Card GM
2. 発表標題 A cell type specific driver line library targeting wing motor circuits in the ventral nerve cord of Drosophila
3. 学会等名 Neuroscience 2017, Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ache JM, Namiki S, Card GM
2. 発表標題 Control of landing in Drosophila
3. 学会等名 Neuroscience 2017, Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Peek M, Namiki S, Breads P, Williamson WR, Ache JM, Card GM
2. 発表標題 Descending interneurons controlling visually-evoked escape in Drosophila
3. 学会等名 Neuroscience 2017, Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 並木重宏, 神崎亮平
2. 発表標題 ガ類のフェロモン選好性を決める神経回路
3. 学会等名 日本進化学会第19回大会シンポジウム「繁殖行動の進化をもたらす神経基盤」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 蕪澤拓也, 並木重宏, 関洋一, 藤井毅, 石川幸男, 加沢知毅, 神崎亮平
2. 発表標題 エビガラスズメにおける近縁種の性フェロモンの情報処理機構
3. 学会等名 第 61回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazawa T, Miyamoto D, Seki Y, Yosida M, Iwatsuki C, Ando N, Namiki S, Ikeno H, Nishino H, Oota S, Murata, Kanazawa A, Ichiishi H, Kanamoto Y, Yamaguchi Y, Kanzaki R
2. 発表標題 Comparative Neuroscience Platform: the environment for the comparative neuroscience by facilitating data analysis and collaborations through neuroinformatics
3. 学会等名 Advances in Neuroinformatics 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazawa T, Miyamoto D, Seki Y, Yoshida M, Iwatsuki C, Ando N, Namiki S, Ikeno H, Nishino H, Oota S, Murata Y, Kanazawa A, Ichiishi H, Kanamoto Y, Yamaguchi Y, Kanzaki R
2. 発表標題 Developing comparative neuroscience platform (CNS-PF): the environment for facilitating data analysis and collaborations on comparative neuroinformatics
3. 学会等名 The 39th Annual Meeting of the Japanese Society for Comparative Physiology and Biochemistry
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nirazawa T, Namiki S, Seki Y, Fujii T, Ishikawa Y, Kazawa T, Kanzaki R
2. 発表標題 Difference of the neural pathways between the sex pheromone and behavioral antagonist in the hawkmoth, <i>Agrius conbolvuili</i>
3. 学会等名 日本比較生理科学会第 39 回福 岡大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 並木重宏
2. 発表標題 八工の飛行を司令する神経細胞の探索
3. 学会等名 第42回エアロ・アクアバイオメカニズム定例講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 神崎亮平	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 224
3. 書名 昆虫の脳をつくる	

1. 著者名 公益社団法人日本動物学会	4. 発行年 2018年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 800
3. 書名 動物学の百科事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Fly Descending Interneuron Project https://www.janelia.org/project-team/fly-descending-interneuron</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
--	---------------------------	-----------------------	----

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0件

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
---------	---------