

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04655

研究課題名(和文)種に固有な音認識を担う神経回路基盤の解明

研究課題名(英文)Elucidation of the neural circuits responsible for species-specific sound recognition

研究代表者

上川内 あづさ (Kamikouchi, Azusa)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：00525264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトを含めた多くの動物が、コミュニケーション手段として音を利用するが、その情報処理を担う神経機構の全体像は解明されていない。本研究は、ショウジョウバエの聴覚系を実験モデルとして、「種に固有の音を認識してその意味を理解する」といった高度な聴覚情報処理が、どのような特性を持つ神経細胞のどのような組み合わせで達成されるのか、その神経回路機構を理解することを目的とした。研究の結果、求愛歌情報処理の中心的役割を担う二次聴覚神経細胞であるAMMC-B1ニューロンのパルス間隔選択的な応答は、GABAによる抑制性入力を主体とするフィードフォワード性の抑制性経路により形成されることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

聴覚情報として受容される音は、様々な要素によって構成されている。多くの動物で同種認知に用いられる音は、音の高さや長さに加えて、音の時間間隔、という要素でも特徴付けられる。では、音に様々な意味を付加するこの「時間間隔」という要素は、どのように脳内で処理されているのだろうか。本研究では、キイロショウジョウバエにおける脳内処理機構として、フィードフォワード神経回路を介した神経機構が明らかになった。この知見を基にして、他の動物種にも共通する、種特異的な求愛音の情報処理機構の神経基盤の解明が進むことが期待される。

研究成果の概要(英文)：Although many animals, including humans, use sound as a means of communication, the overall picture of the neural mechanisms responsible for the information processing has not been clarified. In this study, we used the *Drosophila* auditory system as an experimental model to understand the neural circuit mechanism for auditory information processing, such as recognizing species-specific communication sounds. We found that the pulse interval-selective response of AMMC-B1 neurons, which are secondary auditory neurons that play a central role in courtship song information processing, is formed by a feed-forward inhibitory pathway that is mainly driven by GABA-mediated inhibitory input.

研究分野：神経科学

キーワード：聴覚情報処理

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) ヒトを含めた多くの動物が、コミュニケーション手段として音を利用する。そのような音交信を成立させるためには、「空気の振動パターンの時間的な変動」という感覚情報を、特定の意味に変換する、という種に固有な神経機構が必要である。しかし、このような「種に固有の音認識」といった高度な聴覚情報処理が、どのような特性を持つ神経細胞の組み合わせで達成されるのか、その神経回路機構は不明である。本研究では、ショウジョウバエの聴覚系を実験モデルとして研究を進めることで、この機構の解明を目指した。

(2) キイロショウジョウバエのオスは、羽音を用いて求愛する。この「求愛歌」を構成する音配列のうちの「パルスソング」と呼ばれるパルス音は、種ごとに特徴的な時間パターンを持ち、近縁種間での同種認識に重要である。実際、キイロショウジョウバエのオスは、種に固有なパルスソングにさらされることで、求愛活性が劇的に上昇し、メスでは、交尾受け入れ活性が上昇する。しかし、この聴覚情報処理を担う神経回路機構は不明であった。

2. 研究の目的

本研究は、「種に固有の音を認識してその意味を理解する」といった高度な聴覚情報処理が、どのような特性を持つ神経細胞のどのような組み合わせで達成されるのか、その神経回路機構を理解することを目的とした。これまでに本研究者が実験モデルとしての基盤整備を行ったキイロショウジョウバエ聴覚系を用いた研究を進展させ、脳において同種交信音の識別を可能にする神経基盤を解明することで、種に固有な音識別を担う神経回路構造、その構成原理、並びに種に固有の識別機構を担う分子基盤までを包括的に理解することを目指した。

3. 研究の方法

(1) 解剖学的解析による聴覚神経回路の大規模同定

聴覚情報を伝達する神経回路を、情報の入り口である聴感覚細胞から二次聴覚細胞、更にはその下流で情報処理を担う神経細胞が存在する脳領域を解剖学的に精密同定する。まず、本研究者がこれまでの研究から選抜した GAL4 系統群を利用して熱ショックフリップアウト法を行い、単一細胞レベルでのこれら神経細胞の投射パターンを決定する。さらに聴感覚細胞から二次聴覚細胞へと至る神経回路構造をシナプスレベルで同定するため、共同研究者が作成した走査型電子顕微鏡を用いたショウジョウバエの脳データを活用し、各聴感覚細胞から主要な二次聴覚神経細胞への接続を担うシナプスを定量的に同定する。また、聴感覚細胞の形態も詳細に解析し、構造的に分類することで回路特性の理解につなげる。

(2) 行動解析による責任神経細胞群の同定

本研究者がこれまでの研究から選抜した GAL4 系統群を利用して、二次聴覚神経細胞への機能介入を行ったキイロショウジョウバエ個体を体系的に作成する。これら個体群の求愛歌への応答行動を、単一個体の聴覚行動を測定できる行動解析法 SMART 法 (Ishikawa et al., 2019) や、集団における聴覚行動を解析できる ChaIN 法 (Yoon et al., 2013) を用いて解析することで、同種音の識別を担う責任神経細胞群を同定する。これらは、様々なパルス間隔を持つ人工求愛歌音やその構成要素である純音を音刺激としてキイロショウジョウバエに聞かせ、その応答行動を定量的に測定する方法である。さらにこれら責任神経細胞群の上流や下流に位置して、その機能を制御する神経細胞群を同定する。これにより、同種の音識別を担う神経回路構造を解明する。

(3) カルシウムイメージング法による応答特性の解明

責任神経細胞として同定した二次聴覚神経細胞、並びにその上流や下流に位置する、責任神経細胞の機能を制御する細胞として同定した神経細胞群の、音刺激への応答特性を解明する。行動実験時に作成した、様々なパルス間隔を持つ人工音やその構成要素である純音を刺激として、それらに対する応答をカルシウムイメージングにより測定する。これらの神経細胞群の応答がどのような時間特性を持つかを解明することで、種に固有の音認識システムがどのような性質の神経細胞群によって組み上がるかを理解する。さらに、各神経細胞の時間特性を規定する分子機構解明のため、RNAi 法を用いて神経伝達物質の受容体の遺伝子発現を特定細胞のみで抑制し、応答特性の変化を解析する。以上により、同種の音識別システムの動作原理を理解する。

4. 研究成果

(1) 聴覚神経回路の大規模同定

まず聴感覚細胞の形態の詳細な解析を行った。聴覚器の内部にある機械感覚神経細胞は、それぞれ 2 つずつのペアを形成して密集している。個々の機械感覚神経細胞は、その特性から、タイプ A から E の 5 つのタイプに分類されている。私たちは特定のタイプを標識する遺伝学的なショウジョウバエ系統を組み合わせることで、異なる機能特性を持つ機械感覚神経細胞が、聴覚器の内部でペアを形成することを発見した (Ishikawa et al., 2017; 2019)。

次に、聴覚情報を主に伝えるタイプ A、B に着目し、それらの聴感覚神経細胞群の軸索投射様式と、主要な二次聴覚神経細胞への伝達様式を同定した。その結果、聴感覚神経細胞群は多様な二次聴覚神経細胞へと情報を伝達すること、それらの二次聴覚神経細胞は主に 3 つの脳領域に情報を伝えることを見出した (Matsuo et al., 2016)。この回路構造の特性としては、周波数情報

の混合、脳の両側への情報伝達、および他のモダリティの感覚情報との統合が挙げられた。

ここまでで同定した二次聴覚神経細胞のうち、求愛歌情報処理を主に担う AMMC-B1 ニューロンと、逃避行動を制御する Giant fiber (GF) ニューロンに着目し、タイプ A, B の聴感覚神経細胞群からこれら 2 種類のニューロンへのシナプス接続様式を、脳の連続電子顕微鏡画像を用いたコネクトーム解析により同定した (図 1)。その結果、タイプ A の聴感覚神経細胞群は主に逃避行動を制御する GF ニューロンに、タイプ B の聴感覚神経細胞群は AMMC-B1 ニューロンと GF ニューロンの両方にシナプス接続することが判明した (Kim et al., 2020)。この結果により、タイプ A は逃避行動の制御に特化した聴感覚神経細胞群であることが示唆された。

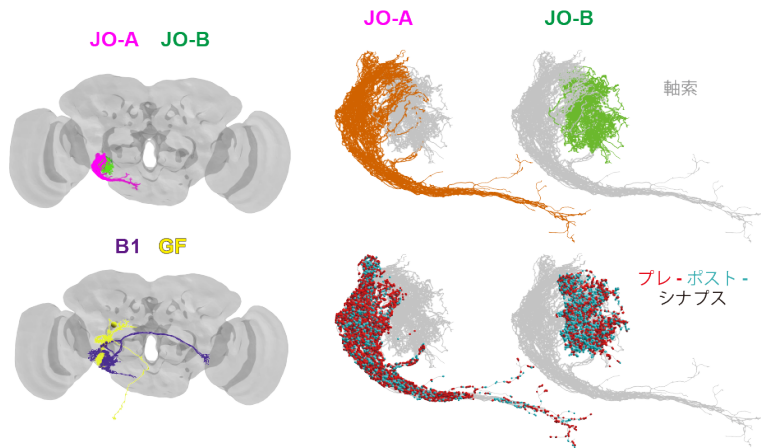


図 1 | 聴感覚神経細胞群から 2 種類のニューロンへのシナプス接続。タイプ A, B の聴感覚神経細胞群 (JO-A, JO-B) と、AMMC-B1 ニューロン (B1)、Giant fiber (GF) ニューロンとのシナプス接続を定量同定した。Kim et al., 2020 より改変。

(2) 行動解析による責任神経細胞群の同定

上記の聴覚神経回路の大規模同定解析において、求愛歌情報処理に関わるニューロンが、AMMC-B1 ニューロンを中心として同定された。そこで次に、AMMC-B1 ニューロンの機能に関わる神経細胞の解析を進めた。その候補として、AMMC-B1 ニューロンに投射する、GABA 作動性ニューロンである AMMC-LN と AMMC-B2、という 2 種類の抑制性神経細胞に着目した。まず、これらが形成する神経回路構造を解析したところ、AMMC-LN や AMMC-B2 は、タイプ B の聴感覚神経細胞群からのコリン作動性の入力を受けて AMMC-B1 ニューロンに GABA 作動性の出力を送るという、化学シナプスを介したフィードフォワード経路を構成していることが示唆された。そこで AMMC-LN や AMMC-B2 の神経活動を阻害したところ、ハエの求愛歌への応答行動が上昇した。このことは、AMMC-LN や AMMC-B2 は AMMC-B1 に抑制性のシグナルを送ることで、求愛歌への応答行動を抑制していることを示唆する結果である。

(3) カルシウムイメージング法による応答特性の解明

AMMC-LN や AMMC-B2 が AMMC-B1 ニューロンに抑制性のシグナルを伝達するかを調べるため、AMMC-LN や AMMC-B2 の神経伝達を抑制した際の、AMMC-B1 ニューロンの応答特性を解析した。AMMC-LN もしくは AMMC-B2 に神経伝達物質の放出を阻害するテタヌス毒素を発現させ、同時に AMMC-B1 ニューロンに GCaMP6f を発現させた個体を用いて、様々なパルス間隔の人工求愛歌に対する AMMC-B1 ニューロンのカルシウム応答を解析した。その結果、テタヌス毒素を発現させた阻害群では、対照群と比較して、短いパルス間隔の歌に対して強い応答を示した。この結果は、AMMC-LN や AMMC-B2 が、AMMC-B1 ニューロンの短いパルス間隔の歌への応答を抑制することや、それにより、AMMC-B1 ニューロンのパルス間隔選択性が形成されることを示唆している (Yamada et al., 2018)。

次に、AMMC-B1 ニューロンの応答性が GABA による抑制性入力を受けて変化するかを調べるために、AMMC-B1 ニューロンに GABA_A 受容体のサブユニット (Resistance to dieldrin, Rdl) の RNAi コンストラクトを発現させ、その受容体の発現を抑制した個体を作成した。この個体を用いて、様々なパルス間隔の人工求愛歌に対する AMMC-B1 ニューロンのカルシウム応答を計測した結果、その応答は短いパルス間隔の歌において対照群と比べて高い値

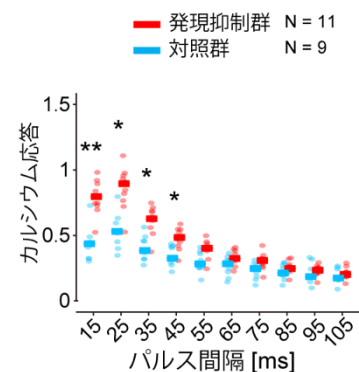


図 2 | AMMC-B1 は GABA_A 受容体を介して、GABA 作動性の入力を受容する。GABA_A 受容体のサブユニットである Rdl の発現抑制群 (赤) と対照群 (薄青) における、様々なパルス間隔のパルスソングに対するカルシウム応答。アスタリスクは、統計的に有意な差を示す (* p < 0.05; ** p < 0.01)。Yamada et al., 2018 より改変。

を示した (図2)。この結果により、AMMC-B1 ニューロンが、短いパルス間隔の歌において特に強く、GABA_A 受容体を介した抑制を受けていることが示唆された (Yamada et al., 2018)。

以上の結果により、求愛歌情報処理の中心的役割を担う二次聴覚神経細胞である AMMC-B1 ニューロンのパルス間隔選択的な応答は、AMMC-LN や AMMC-B2 由来の GABA による抑制性入力により形成されることが示された (図3)。

この調節機構では、GABA 作動性局所介在神経細胞群が、聴感覚細胞群と二次聴覚神経細胞群の興奮性の主経路にバイパスするような、フィードフォワード性の抑制性経路を構成することで、AMMC-B1 ニューロンの時間間隔選択的な神経活動を形成していた。本研究により解明された、キイロショウジョウバエ脳内での時間間隔情報の抽出機構の知見を基にして、他の動物種にも共通する、種特異的な求愛音の情報処理機構の神経基盤の解明が進むことが期待される。

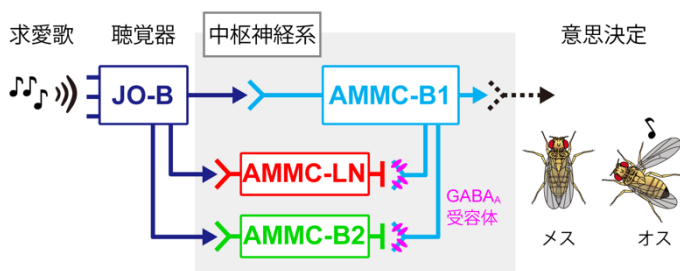


図3 | メスの交尾受容度を調節するための聴覚神経回路モデル。AMMC-LN と AMMC-B2 が短いパルス間隔のパルスソングに対する AMMC-B1 の神経活動を抑制することで、その応答パターンを調節している。Yamada et al., 2018 より改変。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ishimoto Hiroshi, Kamikouchi Azusa	4. 巻 30
2. 論文標題 A Feedforward Circuit Regulates Action Selection of Pre-mating Courtship Behavior in Female <i>Drosophila</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 396 ~ 407.e4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cub.2019.11.065	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 Kim Hyunsoo, Horigome Mihoko, Ishikawa Yuki, Li Feng, Lauritzen J. Scott, Card Gwyneth, Bock Davi D., Kamikouchi Azusa	4. 巻 24877
2. 論文標題 Wiring patterns from auditory sensory neurons to the escape and song relay pathways in fruit flies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Comparative Neurology	6. 最初と最後の頁 1, 31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/cne.24877	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 Ishikawa Yuki, Fujiwara Mao, Wong Junlin, Ura Akari, Kamikouchi Azusa	4. 巻 10
2. 論文標題 Stereotyped Combination of Hearing and Wind/Gravity-Sensing Neurons in the Johnston's Organ of <i>Drosophila</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 1552
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fphys.2019.01552	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 Yamazaki Shuhei J. et al	4. 巻 13
2. 論文標題 STEFTR: A Hybrid Versatile Method for State Estimation and Feature Extraction From the Trajectory of Animal Behavior	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 626
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2019.00626	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 山田 大智、上川内 あづさ	4. 巻 71
2. 論文標題 総説 わずかなリズムの違いを聞き分ける脳のしくみ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BRAIN and NERVE	6. 最初と最後の頁 599 ~ 609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11477/mf.1416201322	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 Kudow Nana、Kamikouchi Azusa、Tanimura Teiichi	4. 巻 222
2. 論文標題 Softness sensing and learning in Drosophila larvae	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Experimental Biology	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) 10.1242/jeb.196329	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 Ishikawa Yuki、Okamoto Natsuki、Yoneyama Yusuke、Maeda Naoki、Kamikouchi Azusa	4. 巻 33
2. 論文標題 A single male auditory response test to quantify auditory behavioral responses in Drosophila melanogaster	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Neurogenetics	6. 最初と最後の頁 64 ~ 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01677063.2019.1611805	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 Xiaodong Li、Hiroshi Ishimoto、Azusa Kamikouchi	4. 巻 8
2. 論文標題 Assessing experience-dependent tuning of song preference in fruit flies (Drosophila melanogaster)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 bio-protocol	6. 最初と最後の頁 e2932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21769/BioProtoc.2932	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 Yamada D, Ishimoto H, Li X, Kohashi T, Ishikawa Y, Kamikouchi A	4. 巻 38
2. 論文標題 GABAergic local interneurons shape female fruit fly response to mating songs.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 4329-4347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.3644-17.2018	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 Li X, Ishimoto H, Kamikouchi A	4. 巻 7
2. 論文標題 Auditory experience controls the maturation of song discrimination and sexual response in <i>Drosophila</i> .	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 e34348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7554/eLife.34348	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 Yuki Ishikawa, Natsuki Okamoto, Mizuki Nakamura, Hyunsoo Kim, Azusa Kamikouchi	4. 巻 11
2. 論文標題 Anatomic and physiologic heterogeneity of subgroup-A auditory sensory neurons in fruit flies	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Frontiers in Neural Circuits	6. 最初と最後の頁 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fncir.2017.00046	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23件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Nao Morimoto, Ryosuke F. Takeuchi, Ayano Ishida, Azusa Kamikouchi, Fumitaka Osakada
2. 発表標題 Serotonergic neurons modulate the temporal dynamics of the auditory response behavior induced by a courtship song in the fruit fly
3. 学会等名 Neuro 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Ishikawa, Naoki Maeda, Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Evolution of neural circuit for chemical communication in <i>Drosophila</i>
3. 学会等名 Neuro 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Neural mechanism for evaluating love songs in fruit flies
3. 学会等名 17th International Meeting on Invertebrate Sound and Vibration (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川由希、前田直希、上川内あづさ
2. 発表標題 性フェロモン嗜好性の進化的逆転をもたらす神経基盤
3. 学会等名 日本進化学会第21回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上川内あづさ
2. 発表標題 Presynaptic regulation of auditory sensory neurons in fruit flies
3. 学会等名 第12回分子高次機能研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上川内あづさ
2. 発表標題 ショウジョウバエの歌受容を調節する抑制性神経伝達
3. 学会等名 第92回日本生化学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高市大輔、石川由希、上川内あづさ
2. 発表標題 Combination of sensory stimuli modifies the following strategy of the courting male fly (<i>D. melanogaster</i>)
3. 学会等名 日本比較生理生化学会 第41回東京大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋拓朗、石川由希、粟崎健、上川内あづさ
2. 発表標題 Search for auditory neurons that shape song selectivity in two <i>Drosophila</i> species
3. 学会等名 日本比較生理生化学会 第41回東京大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Neural mechanism underlying acoustic communication in fruit flies
3. 学会等名 6th Annual Meeting of the Society for Bioacoustics（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Organization of the auditory system in fruit flies
3. 学会等名 The International Congress of Neuroethology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Auditory experience controls the maturation of song discrimination in fruit flies
3. 学会等名 第41回日本神経科学大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Auditory sensory neurons that interact with the escape and courtship circuits in flies
3. 学会等名 The 12th Japanese Drosophila Research Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上川内あづさ
2. 発表標題 音経験に応じて成熟するショウジョウバエの「歌受容システム」
3. 学会等名 第91回日本生化学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Neural mechanism of fruit flies to detect the courtship song
3. 学会等名 5th Tokyo Vector Encounter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上川内あづさ
2. 発表標題 聴覚システムの構造と機能
3. 学会等名 昆虫脳コネクトーム研究の最前 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Li Xiaodong, Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Experience-dependent tuning of the auditory behavior in Drosophila
3. 学会等名 The 4th Asia-Pacific Drosophila Research Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上川内あづさ
2. 発表標題 求愛歌受容を担うショウジョウバエの聴覚システム
3. 学会等名 第89回日本遺伝学会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Auditory neural circuits in the fly brain
3. 学会等名 From sender to receiver: physics and sensory ecology of hearing in insects and vertebrates (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上川内あづさ
2. 発表標題 ショウジョウバエ聴覚系の神経解剖学
3. 学会等名 第123回日本解剖学会総会・日本学術総会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Early auditory experience shapes the auditory response in fruit flies (<i>Drosophila melanogaster</i>)
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第39回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Mapping the auditory neurons in the fly brain
3. 学会等名 Full Adult Fly Brain Tracers' Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Auditory neural circuits in the brain of the fruit fly
3. 学会等名 第22回国際動物学会, 第87回日本動物学会(同時開催) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Ishikawa, Azusa Kamikouchi
2. 発表標題 Quantification of sound discrimination ability in fruit fly
3. 学会等名 第22回国際動物学会, 第87回日本動物学会(同時開催) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 2. 上川内あづさ、石川由希	4. 発行年 2018年
2. 出版社 一式出版	5. 総ページ数 520
3. 書名 遺伝子から解き明かす脳の不思議な世界	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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