

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06077

研究課題名(和文) 社会性ハチ類における脳内ドーパミン系のカースト差とその生理過程の解明

研究課題名(英文) Caste differences in dopaminergic system in the brain and the physiological process in social Hymenoptera

研究代表者

佐々木 謙 (SASAKI, Ken)

玉川大学・農学部・教授

研究者番号：40387353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：社会性ハチ類の脳内ドーパミン系のカースト差の一般性とそれをつくりだすメカニズムの解明に取り組んだ。セイヨウミツバチで見られる脳内ドーパミン量・前駆物質量のカースト差はクロマルハナバチでも確認された。ミツバチ幼虫の栄養操作によりカースト中間型を育成し、形態分化の程度と脳内ドーパミン量との正の相関を証明した。クロマルハナバチの羽化個体で脳内遺伝子発現をカースト間で網羅的に比較したところ、栄養代謝系の遺伝子が女王で高く発現していた。このように幼虫期の栄養摂取のカースト差が羽化個体の脳内の遺伝子発現やドーパミン前駆物質量に影響を与え、脳内ドーパミン量のカースト差をつくりだしていることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会性昆虫におけるカースト分化は生物の表現型可塑性の代表的な例である。脳のカースト分化は外部形態分化の伴う種(ミツバチ)と伴わない種(マルハナバチ)の両方で見られ、その結果、行動分化を生み出すと考えられる。本研究は脳内ドーパミン量に注目して、両種の羽化直後の段階で脳の生理的カースト差が生じていることを証明した。これは脳の生理的なカースト差が外部形態分化の有無に関わらず、同じように生じることを示した最初の研究である。さらに、カースト中間型で示した外部形態やドーパミン量の連続性は、表現型二型がリアクションノームの特殊な形であることを示した例であり、カースト分化の理解を一層深めたと言える。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify generality of caste differences in the dopaminergic system in the brains in eusocial Hymenoptera and the mechanisms underlying generation of the differences. The caste differences in the levels of dopamine and its precursors were found in both honey bee and bumble bee. In the honey bee, the artificial intermediate females between castes were reared by controlling nutrition during larval stage. These females showed a sequential morphology between the castes correlated positively with the dopamine levels in the brains. In the bumble bee, the nutrition-related genes were expressed more in the newly emerged queens than emerged workers. Thus, the different nutrition uptakes between castes affects the gene expressions and amounts of dopamine precursors in the brains, which is one of the mechanisms for generating the caste differences in dopamine levels in the brains at the emergence.

研究分野：動物行動学

キーワード：社会性昆虫 表現型可塑性 カースト分化 生体アミン ドーパミン 進化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

昆虫類で高度に社会性を進化させたハチ類では巣内の雌間で繁殖分業が見られ、繁殖に特化した女王と育児・防衛・採餌などを行うワーカーに分化する。このようなカースト分化は表現型多型の一つとして扱われ、昆虫学のみならず、生物学の一大テーマとして半世紀以上も前から研究されている。その中でもセイヨウミツバチは社会性昆虫の一モデル種として、カースト分化を決定する要因やその要因によって作動するシグナル伝達系の解明に貢献してきた。

ミツバチのカースト分化は外部形態だけでなく、カースト特異的な行動をつくりだす脳の生理においても見られる。脳内物質の一つであるドーパミンは女王の脳内でワーカーよりも約4倍多く存在する。女王における高濃度のドーパミンは、同巣のライバル女王に対する攻撃性や交尾飛行の活性化に関わっている。しかし、ミツバチにおいて脳内ドーパミン量のカースト差をつくりだす生理過程は十分には解明されていない。さらに、ミツバチと系統的に近く原始的な社会性を持つクロマルハナバチにおいては、脳内ドーパミン量のカースト差が存在するののかも調査されていない。マルハナバチ類では明瞭な形態的カースト分化が見られず、行動に基づく繁殖分業が見られ、脳内ドーパミン系について、より原始的な分化が生じていることが予想される。

## 2. 研究の目的

本研究では、まずミツバチ女王の蛹期における脳内ドーパミン合成の促進機構を明らかにする。この機構の解明は、脳のカースト分化の理解に大きく貢献する可能性がある。また、ミツバチよりも原始的なマルハナバチ類やアシナガバチ類においても脳内ドーパミン系のカースト差について追究し、社会性進化の程度(形態分化の程度)と脳内ドーパミン系のカースト差の程度について、調査・検証する。

## 3. 研究の方法

### (1) セイヨウミツバチにおける蛹期の脳内ドーパミン合成の促進機構の解明

#### エクジステロイド投与による脳内ドーパミン量への影響

女王の血中エクジステロイド濃度はワーカーよりも早い時期に上昇し、その直後から脳内ドーパミン量は増加する。そこで、蛹へのエクジステロイド投与を異なる濃度で行い、脳内のドーパミン量をHPLC-ECD法により定量した。またエクジステロイド投与による蛹期間への影響も確認した。このような実験から、蛹期のドーパミン合成とエクジステロイドとの関係を追究した。

#### 幼虫期の餌摂取の違いによる成虫期の形態・脳内ドーパミン量への影響

雌幼虫の人工飼育により餌摂取量をコントロールした場合の形態的・生理的なカースト分化への影響を調査した。ワーカー成虫に分化するように調整された人工餌とその1.5倍量の餌を与える実験区を用意し、1日齢幼虫から人工飼育を行った。人工飼育で得られた成虫の外部形態(大顎)と内部形態(卵巣小管数と受精嚢の直径)、および脳内ドーパミン量との関係を調べた。また女王同士のケンカ行動の勝敗と脳内ドーパミン量との関係も明らかにした。

### (2) クロマルハナバチにおける脳内ドーパミン系のカースト差の解明

#### 羽化個体の脳内ドーパミン濃度および合成酵素・受容体遺伝子発現量のカースト間比較

クロマルハナバチのワーカーと女王の羽化個体を用いて、脳内のドーパミン量や前駆・代謝物質量をHPLC-ECD法で定量し、タンパク質量で補正した。さらに、脳内の遺伝子発現量のカースト

差をRNA-seq法で網羅的に調査し、その後、脳内のドーパミン合成酵素遺伝子や受容体遺伝子の発現量をRT-qPCR法で定量し、カースト間で比較した。

#### ドーパミン関連薬物の投与による雌の行動への影響

ドーパミンによる雌の行動への影響を検証するために、ワーカーにはドーパミンを投与し、歩行活性、光に対する選好性、飛翔活性への影響を調べた。未交尾女王については、ドーパミン受容体アンタゴニストを投与し、雄に対する交尾受入活性への影響を定量化した。

#### 蛹期における脳内ドーパミン量と合成酵素遺伝子・受容体遺伝子の発現量の調査

蛹期のどの時期に脳内ドーパミン濃度のカースト差が生じるのか、またドーパミン合成酵素遺伝子や受容体遺伝子の発現量に違いが見られるのかを調査した。HPLC-ECD法を用いて、ドーパミン前駆物質やドーパミン、それ以外の生体アミンの脳内量を定量し、RT-qPCR法を用いて、ドーパミン合成酵素遺伝子や受容体遺伝子の発現量を定量した。

#### (3) 系統的に離れたグループ（カリバチ類）での脳内ドーパミン濃度のカースト差の調査

アシナガバチ類はミツバチ・マルハナバチなどのハナバチ類とは独立に真社会性を進化させたグループであるが、雌の繁殖促進のためにドーパミンを用いていることが報告されている。そこでカリバチ類の羽化個体の脳内ドーパミン量のカースト差を調査し、外部・内部形態のカースト差と照合し、社会性進化の程度や系統間の違いを検討した。

## 4. 研究成果

### (1) セイヨウミツバチにおける蛹期の脳内ドーパミン合成の促進機構の解明

#### エクジステロイドと脳内ドーパミンとの関係

蛹期のワーカーにエクジステロイドを投与した結果、エクジステロイドを投与した個体では、溶媒を投与したコントロール個体に対して、成虫期の脳内ドーパミン量が有意に多かった。また、エクジステロイドを投与した蛹の羽化までの期間を比較したところ、エクジステロイドを投与した個体の羽化までの期間がコントロール個体よりも有意に短かった。女王蛹の羽化までの期間はワーカー蛹よりも短く、この結果はエクジステロイド投与が脳の生理的な女王化を誘導することを示唆している。

#### 幼虫期の餌摂取と成虫期の形態・脳内ドーパミン量との関係

人工飼育による幼虫期の餌量調節により、ワーカーと女王の中間の性質を持つ個体を育成した。外部形態の指標として大顎の形態を、内部形態の指標として卵巣小管数と受精囊の直径を人工飼育個体とワーカー、女王で比較した。その結果、人工飼育個体はワーカーと女王の中間の性質を備え、ワーカー、コントロール個体、餌 1.5 倍個体、女王の順で測定値に違いが見られた。餌 1.5 倍個体の脳内ドーパミン量はワーカーと女王の中間であり、脳内生理においても外部形態や内部形態と同様に餌 1.5 倍個体は中間型になることが分かった。次に中間型において、外部形態・内部形態と脳内ドーパミン量との間に相関があるかを調べたところ、両者の間で有意な正の相関が見られた。中間型では外部形態・内部形態・脳内ドーパミン量が連続的であった。

中間型は幼虫期に餌量を 1.5 倍量摂取した個体であり、ドーパミンの前駆物質であるチロシンを多く摂取し、蛹期のドーパミン合成に使っている可能性がある。そこで、中間型の成虫期における脳内チロシン量がどの脳内物質と量的関係が強いかを調べた。脳内チロシンはその代謝

物質である DOPA やドーパミン、N-アセチルドーパミンの脳内量とそれぞれ有意な正の相関を示した。一方、チロシンの別の代謝物質であるチラミンやオクトパミンの脳内量とは有意な相関が見られなかった。このように脳内チロシンはドーパミンを含むカテコールアミン類との量的関係が強く、チラミンを含むフェノールアミン類との量的関係は弱い。したがって、餌由来のチロシン摂取が中間型の脳内チロシン量や脳内ドーパミン量に影響した可能性が考えられる。

中間型の攻撃性と脳内ドーパミン量との関係を調べたところ、ケンカに勝った個体の脳内ドーパミン量は負けた個体、あるいはケンカを避けた個体と比べて多かった。このように、女王の高いドーパミン濃度は女王特異的な行動と関係していると考えられる。

## (2) クロマルハナバチにおける脳内ドーパミン系のカースト差

羽化個体の脳内ドーパミン量、合成酵素遺伝子・受容体遺伝子発現量のカースト間比較

クロマルハナバチのワーカーと女王の羽化個体の脳内アミン濃度を比較した。まず、カテコールアミン類においては、ドーパミン濃度が女王でワーカーよりも有意に高く、前駆物質のチロシン、代謝物質のノルエピネフリンにおいても脳内濃度が有意に高かった。フェノールアミン類については、チラミン濃度が女王でワーカーよりも有意に高く、オクトパミン濃度はカースト間で違いが見られなかった。

次に脳内のモノアミン合成酵素遺伝子や受容体遺伝子、またそれ以外の遺伝子の発現量のカースト差を RNA-seq 法により網羅的に調査した。カースト間で発現量に違いのあった遺伝子の多くは女王で発現量が多かった。モノアミン合成酵素遺伝子や受容体遺伝子のカースト差は検出されず、主に栄養代謝系遺伝子が女王で高い発現を示した。さらに RT-qPCR 法により、ドーパミン合成やチラミン・オクトパミン合成に関わる合成酵素遺伝子やドーパミン受容体遺伝子の発現量については、カースト間で違いは見られなかった。

ドーパミン関連薬物の投与による雌の行動への影響

ワーカーにおいてドーパミンを投与し、歩行活性、光に対する選好性、飛翔活性への影響を調べたところ、歩行活性において促進作用が確認された。一方、女王に対してドーパミン受容体アンタゴニストを投与した場合、雄に対する交尾受入活性の有意な低下が見られた。このようにドーパミンは雌の基本的な行動活性や交尾活性に影響を与えることが示唆された。

蛹期における脳内ドーパミン量と合成酵素遺伝子・受容体遺伝子の発現量

クロマルハナバチの蛹において、脳内ドーパミン量の動態をカースト間で調査したところ、蛹期後期にドーパミン量のカースト差が生じることが分かった。カースト間でドーパミンの動態は似ており、蛹期後期のピーク後に減少した。この動態はミツバチのワーカーと似ており、ミツバチの女王とは異なっていた。ドーパミン合成酵素遺伝子や受容体遺伝子の発現量については、蛹期間での変化は見られたものの、カースト間での発現量の違いは検出されなかった。

## (3) アシナガバチ類におけるドーパミン関連物質の脳内濃度のカースト差

アシナガバチ類 4 種 (コアシナガバチ、フタモンアシナガバチ、キアシナガバチ、セグロアシナガバチ) における羽化個体の脳内ドーパミン濃度について、カースト間で比較した。その結果、ハナバチ類と異なり、羽化個体の脳内ドーパミン濃度にカースト差は見られなかった。しかし、ドーパミンの前駆物質であるチロシンや DOPA については 4 種中 3 種において、女王でワーカーよりも脳内濃度が有意に高いことが分かった。つまり、羽化直後の女王はドーパミンの前駆物質

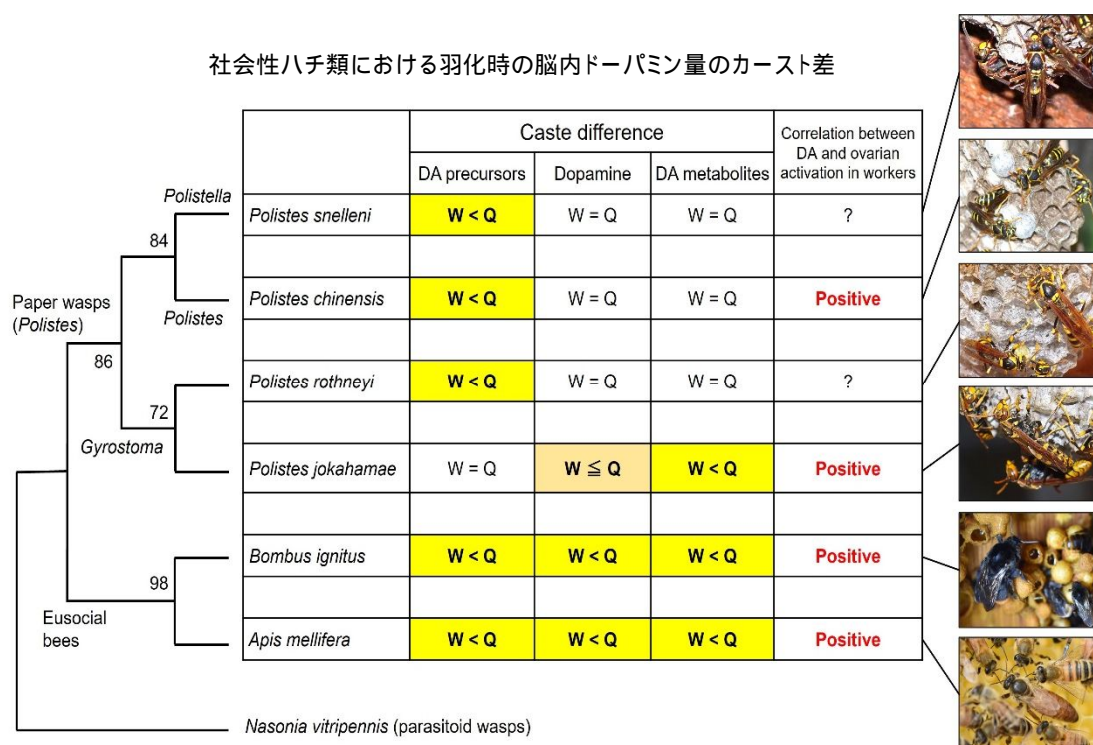
を多く蓄えているが、ワーカーと同程度にドーパミンを合成していることになる。そこで、越冬後の創設期の女王の脳内ドーパミン、および前駆物質濃度を調査したところ、ドーパミン濃度は羽化個体と比べて約 5.5 倍増加し、チロシンや DOPA は約 0.06 倍と 0.09 倍に減少し、貯蔵していた前駆物質をドーパミンに変換していたことが分かった。このようにアシナガバチ類では羽化直後から活発にドーパミン合成を行うハナバチ類とは異なり、状況に応じてドーパミン合成を行うやり方が採用されていることが示唆された。

#### (4) まとめ

女王で脳内ドーパミン濃度が高くなる機構として、(1)幼虫期の餌摂取によるチロシン・ドーパミン量の増加、(2)蛹期におけるエクジステロイド上昇による脳内ドーパミン量の増加、が示唆された。エクジステロイドがドーパミン合成のどの過程で関与しているかについては今後の課題として残されている。

セイヨウミツバチの幼虫期における栄養摂取の程度は形態的カースト分化に影響を与え、その分化に伴って脳内ドーパミン量もカースト差が生じる。ミツバチのカーストは二型で、通常、中間型は生じないが、潜在的には連続的で脳内ドーパミン量にも中間型が生じることが分かった。この性質はマルハナバチ類と共通しており、マルハナバチのカーストには形態的な二型化は見られず、体サイズが連続的に変わる。マルハナバチの形態的カーストはセイヨウミツバチほど分化しておらず、そのことがマルハナバチにおける脳内ドーパミン濃度のカースト差の程度とも関係していると考えられる。

ハナバチ類とは独立に真社会性を進化させたグループであるアシナガバチ類では羽化個体のドーパミンの利用がハナバチ類とは異なる(下図)。チロシンの貯蔵については、女王の方がワーカーよりも多い。しかし、女王は羽化時までにドーパミン合成を進めるわけではなく、ワーカーと同程度にドーパミン合成を行い、巣の創設期にドーパミンを使っていることが示唆された。このようにその種の生活史に合わせて、ワーカー・女王ともに脳内アミン量を調節している可能性があり、今後、生涯の脳内アミンの使い方をカースト間で比較できれば、脳の生理的なカースト分化についてより深い理解が進むと考えられる。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Sasaki Ken, Harada Mariko	4. 巻 15
2. 論文標題 Dopamine production in the brain is associated with caste-specific morphology and behavior in an artificial intermediate honey bee caste	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0244140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0244140	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 Sasaki Ken, Goto Kenta, Harano Ken-ichi	4. 巻 107
2. 論文標題 Timing of male territorial flight and foraging of the large carpenter bee <i>Xylocopa appendiculata</i> related to serotonin in the brain	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Science of Nature	6. 最初と最後の頁 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00114-020-01681-2	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 Gotoh Ayako, Sasaki Ken	4. 巻 52
2. 論文標題 Caste differentiation of spermatheca and organs related to sperm use and oviposition in the honeybee, <i>Apis mellifera</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Apidologie	6. 最初と最後の頁 262 ~ 271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13592-020-00815-9	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 Sasaki Ken, Okada Yasukazu, Shimoji Hiroyuki, Aonuma Hitoshi, Miura Toru, Tsuji Kazuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Social Evolution With Decoupling of Multiple Roles of Biogenic Amines Into Different Phenotypes in Hymenoptera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 659160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fevo.2021.659160	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 Yoshimura Hideto, Yamada Yoshihiro Y., Sasaki Ken	4. 巻 131
2. 論文標題 Identification of biogenic amines involved in photoperiod-dependent caste-fate determination during the adult stage in a temperate paper wasp	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Insect Physiology	6. 最初と最後の頁 104223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinsphys.2021.104223	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 Watanabe Tomohiro, Sasaki Ken	4. 巻 132
2. 論文標題 Regulation of dopamine production in the brains during sexual maturation in male honey bees	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Insect Physiology	6. 最初と最後の頁 104270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinsphys.2021.104270	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 Sasaki Ken, Yokoi Kakeru, Toga Kouhei	4. 巻 11
2. 論文標題 Bumble bee queens activate dopamine production and gene expression in nutritional signaling pathways in the brain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 21816
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-84992-2	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 Sasaki Ken, Watanabe Tomohiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Sex-Specific Regulatory Systems for Dopamine Production in the Honey Bee	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects13020128	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 Watanabe Tomohiro, Sasaki Ken	4. 巻 12
2. 論文標題 Behavioral roles of biogenic amines in bumble bee males	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 20946
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-25656-7	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 Sasaki Ken, Yoshimura Hideto, Nishimura Masakazu	4. 巻 18
2. 論文標題 Caste-specific storage of dopamine-related substances in the brains of four Polistes paper wasp species	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0280881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0280881	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24件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 佐々木謙, 原田真理子
2. 発表標題 セイヨウミツバチの中間型カーストにおける形態・脳内ドーパミンおよび攻撃行動に関する連続的な形質
3. 学会等名 第22回日本進化学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小沼貴文, 加藤慎一郎, 佐々木謙
2. 発表標題 ミツバチ雌の変態期における脳内ドーパミンとエクジステロイドとの関係
3. 学会等名 第39回日本動物行動学会大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 渡邊智大, 佐々木謙
2. 発表標題 ミツバチ雄の性成熟過程における脳内アミンの変動
3. 学会等名 第39回日本動物行動学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木謙, 原田真理子
2. 発表標題 ミツバチの未交尾女王による他の女王への攻撃性と脳内ドーパミン量との関係
3. 学会等名 第39回日本動物行動学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Watanabe, T., Sasaki, K.
2. 発表標題 Comparative study of brain dopamine dynamics in males of honey bees and bumble bees.
3. 学会等名 第42回日本比較生理生化学会大会 (JSCPB 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sasaki, K., Goto, K., Harano, K.
2. 発表標題 Daily rhythm of territorial flight and foraging in males in the large carpenter bee, <i>Xylocopa appendiculata</i>
3. 学会等名 Asian Apicultural Association Philippines Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小沼貴文, 加藤慎一郎, 佐々木謙
2. 発表標題 ミツバチ雌の変態期のエクジステロイドによる脳内ドーパミン量への影響
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊智大, 佐々木謙
2. 発表標題 ミツバチ雄における幼若ホルモンとチロシン摂取による脳内ドーパミン増加の仕組み
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木謙, 横井翔, 梅浩平
2. 発表標題 マルハナバチにおける脳内のドーパミン生産と栄養代謝系遺伝子の発現のカーブ差
3. 学会等名 第23回日本進化学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木謙
2. 発表標題 マルハナバチの体サイズに基づく雌間分業と羽化直後の脳内アミン量
3. 学会等名 第40回日本動物行動学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木謙, 西村正和, 吉村英翔
2. 発表標題 アシナガバチ類における脳内のドーパミン関連物質量のカースト差
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊智大, 佐々木謙
2. 発表標題 クロマルハナバチの雄における性行動と脳内アミンの関係
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小沼貴文, 佐々木謙
2. 発表標題 クロマルハナバチ雌の変態期に生じるおける脳内ドーパミン量のカースト差
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木謙, 渡邊智大
2. 発表標題 セイヨウミツバチにおける脳内のドーパミン合成系の雌雄差
3. 学会等名 第11回ミツバチシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sasaki, K.
2. 発表標題 Reproductive division of labor and biogenic amines in the honey bee
3. 学会等名 The 2nd International Exchange Symposium of Zoology (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Onuma, T., Sasaki, K.
2. 発表標題 Comparison of caste differences in brain dopamine levels during metamorphosis between two eusocial bee species
3. 学会等名 第44回日本比較生理生化学会大会 (JSCPB2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木 謙
2. 発表標題 社会性昆虫のカースト分化とドーパミン
3. 学会等名 第46回日本比較内分泌学会 大会実行委員会主催シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小沼 貴文, 佐々木 謙
2. 発表標題 真社会性ハナバチ類の変態期の脳内ドーパミン関連物質と遺伝子のカースト差.
3. 学会等名 第67回日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yoshimura, H., Sasaki, K.	4. 発行年 2020年
2. 出版社 NOVA Science Publishers	5. 総ページ数 271
3. 書名 Advances in Animal Science and Zoology, vol. 15, chapter 3, p133-161, (ED.) Owen P. Jenkins, Factors that affect reproductive states in female eusocial Hymenoptera	

〔産業財産権〕

〔その他〕

ミツバチ雄の繁殖行動に関わる脳内物質（ドーパミン）の調節機構を解明！ <a href="https://www.tamagawa.jp/graduate/news/detail_19108.html">https://www.tamagawa.jp/graduate/news/detail_19108.html</a>
ミツバチの女王蜂と働き蜂の中間型を育成することに成功！ <a href="https://www.tamagawa.jp/graduate/news/detail_18240.html">https://www.tamagawa.jp/graduate/news/detail_18240.html</a>
昆虫の原始的な社会の分業に関わる脳内生理を解明！ <a href="https://www.tamagawa.jp/graduate/news/detail_18550.html">https://www.tamagawa.jp/graduate/news/detail_18550.html</a>
社会性ハナバチ類の雄の行動進化を考える：マルハナバチとミツバチの雄の比較 <a href="https://www.tamagawa.jp/graduate/news/detail_21578.html">https://www.tamagawa.jp/graduate/news/detail_21578.html</a>

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