

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08154

研究課題名(和文) ミツバチの出巣前燃料積載行動に関する研究

研究課題名(英文) Study of fuel adjustment before leaving the nest in honeybees

研究代表者

原野 健一 (HARANO, Ken-ichi)

玉川大学・学術研究所・教授

研究者番号：80459297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：真社会性ハナバチが行う燃料調節について、以下のことを明らかにした。1) ミツバチの花粉採餌蜂は、巣を離れる際に燃料としての花蜜を巣仲間から受け取る際に、低濃度の花蜜の受け取りを拒否することで、高濃度の花蜜を燃料として利用している。2) ミツバチでは、採餌蜂へ燃料を供給しているのは中間日齢の蜂である。3) ミツバチの花粉採餌蜂が高濃度の燃料を用いるのは、花粉の採集量を増加させるためである。4) ブラジル産ハリナシバチ *Melipona subnitida* でも、ミツバチと同様の燃料調節が存在する。5) 樹脂を花粉かごに付けて出巣する *M. subnitida* の働き蜂は、コロニー防衛を担当する個体である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、燃料運搬コストの回避と採餌の効率化というトレードオフを、ミツバチやハリナシバチがどのように回避しているのかについて、新しい知見を提供した。このトレードオフは、これまで見逃されてきたが、巣と餌場を往復するタイプの動物(中心点採餌者)に共通する問題であると考えられる。本研究は、この点に光を当て、ハナバチの採餌行動をこれまでとは異なる視点から捉えたのみならず、他の中心点採餌者の採餌戦略を考える上でも重要な知見を提供した。

研究成果の概要(英文)：This study demonstrated that: 1) Honeybee pollen foragers carry highly concentrated nectar as fuel by refusing reception of low-concentration nectar from nectar supplier bees. 2) Nectar supplier bees belong to a middle-age class in honeybees. 3) Honeybee foragers use highly concentrated nectar to promote pollen collection. 4) Brazilian stingless bee *Melipona subnitida* show a similar fuel adjustment to honeybees. 5) *M. subnitida* workers which leave the nest with resin loads on their corbiculae are colony defenders.

研究分野：動物行動学

キーワード：採餌

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ミツバチは、体内に飛行のための貯蔵エネルギーをほとんど持たずに、蜜胃に貯められた花蜜をエネルギー源として活動する (Gmeinbauer and Crailsheim, 1993)。そのため、巣を離れる際に巣仲間から花蜜を受け取り、これを蜜胃に貯めて巣外活動のエネルギー源とする。この蜜を「燃料蜜」と呼ぶ。燃料蜜量は適応的に調節され、働き蜂は利用している餌場までの距離に応じた燃料を巣から持ちだすことが古くから知られていた (Beutler, 1950)。この調節は、燃料蜜の量を変えることでなされると考えられてきたが、申請者らは、遠い餌場を利用している蜂ほど、燃料として高濃度の蜜を利用していることを発見し、濃度によっても燃料の調節が行なわれていること、花粉団子を作製するためのつなぎとして大量の糖を必要とする花粉採餌時には、高濃度の蜜を利用していることを明らかにしていた (Harano & Nakamura 2016)。しかし、条件によって異なる濃度の蜜を積載するメカニズムや、量的な調節だけでなく濃度による調節を行うことの適応的な意義は不明であった。また、ミツバチ以外のハナバチでも同様の燃料調節が存在するのかどうかについては、ほとんど研究されていなかった。

2. 研究の目的

(1) ミツバチの採餌蜂は巣仲間から口うつしで燃料蜜を受け取る。非常に多くの潜在的な蜜供給蜂が異なる濃度の蜜を持っている巣内の状況の中で、採餌蜂はどのようにして適切な濃度の蜜を受け取るのかを解明する。

(2) 燃料(糖)の量は、蜜の濃度を変えなくとも、積載する蜜の量を変えるだけで調節することができる。また、高濃度蜜は、低濃度の花蜜を巣内蜂がコストをかけて濃縮したものであり、それを燃料として消費することは、コロニーレベルでの採餌コストを増加させる。高濃度の蜜を利用することに、どのような利益があるのかを理解する。

(3) 出巣時の燃料調節は、ミツバチ以外のハナバチでも見られる普遍的な現象であるのかを調べる。

3. 研究の方法

(1) 採餌蜂は、適切な濃度以外の濃度の蜜を巣内蜂から提供されると、受け取りを拒否することで、目的の濃度の蜜を積載しているという仮説を検証した。観察巣箱を用い、採餌蜂が巣内蜂からの蜜の受け取りをした直後に、その巣内蜂の蜜胃内容を解剖により採取し、内容物濃度と受け取り継続時間の関係を調べた。

(2) 巣内蜂は担当する仕事によって、保持する蜜濃度が異なるので、特定の仕事を担当している巣内蜂を探すことにより、目的の濃度の蜜にアクセスしているという仮説を検証した。採餌蜂に蜜を供給した巣内蜂を解剖し、その下咽頭腺の発達度合いから担当している仕事と日齢を推定した。

(3) 花粉採餌蜂が高濃度の燃料蜜を持ち出すことの意義を明らかにするため、30%糖液をコロニーに大量給餌し、花粉採餌蜂の燃料蜜濃度を実験的に引き下げた。それらの花粉採餌蜂が持ち帰る花粉団子のサイズを測定し、燃料蜜濃度の花粉採餌成功への影響を調べた。

(4) ブラジルに渡航し、真社会性ハナバチであるハリナシバチ *Melipona subnitida* が、採餌物や飛行中の燃料補給(花蜜の摂取)ができる可能性に応じて、燃料調節を行っているかどうかを調べた。

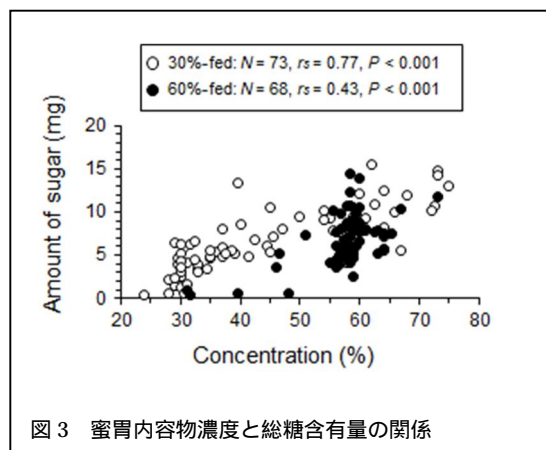
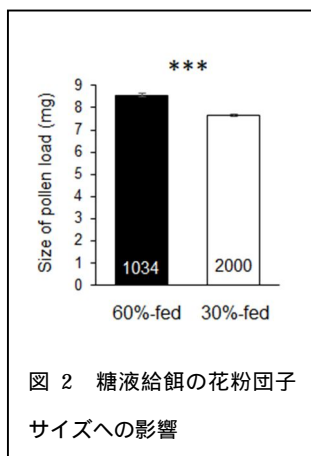
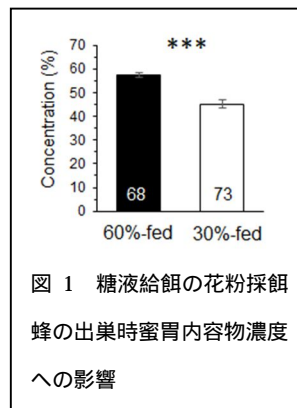
4. 研究成果

(1) 2017年と2019年に異なるコロニーを用いて、花粉採餌蜂が受け取った蜜の濃度と蜜の受け取り継続時間の関係を調べたところ、どちらのコロニーでも有意な正の相関が見られた(スピアマンの順位相関: 2017年 $r_s = 0.47$, $P < 0.01$; 2019年 $r_s = 0.69$, $P < 0.01$)。この結果は、花粉採餌蜂は、低濃度の花蜜を提供された場合に受け取りを拒否することで、高濃度の蜜だけを燃料蜜として用いていることを示唆している。一方で、花蜜採餌蜂は、比較的低濃度の燃料蜜を利用するため、高濃度蜜の拒否がある可能性が考えられた。しかし、花蜜採餌蜂でも、受け取った蜜の濃度と蜜の受け取り継続時間には正の相関があり(2017年 $r_s = 0.43$, $P < 0.01$; 2019年 $r_s = 0.41$, $P = 0.057$)、高濃度蜜の拒否は確認されなかった。これらの結果から、花粉採餌蜂は適切な濃度の花蜜だけを受け取る選択的受け取りによって、燃料蜜の濃度を一定に保っているが、花蜜採餌蜂の燃料蜜は、濃度選択的受け取り以外のメカニズムで調節されていると考えられた。

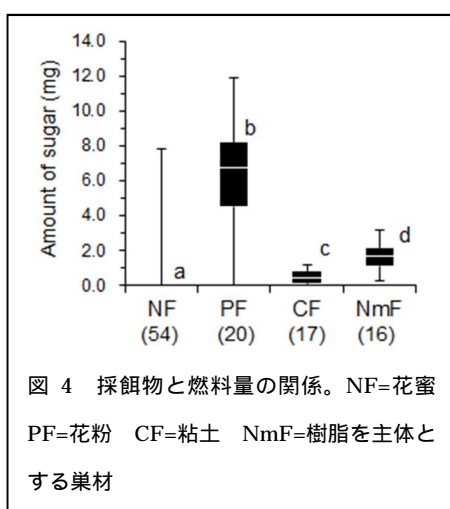
(2) 花蜜採餌蜂および花粉採餌蜂へ蜜を供給している巣内蜂(蜜供給蜂)は、下咽頭腺の発達具合から、中間日齢の花蜜加工蜂であることが示唆された。花蜜採餌蜂の燃料蜜濃度は、花粉採餌蜂よりも低い、それぞれの蜜供給蜂の下咽頭腺の発達度合いには有意差がなく、異なるグループから蜜を受け取っているという証拠は得られなかった。

(3) 30%糖液を大量給餌したコロニーでは、無給餌あるいは60%糖液給餌をしたコロニーに比べ、花粉採餌蜂の燃料蜜濃度が平均して15%低下した(図1)。また、花粉団子のサイズは、10-20%減少した(図2)。

また、低濃度の蜜を巣から持ち出した場合には、蜜量を増加させて、糖量を補正しようとしているように見えた。しかし、この補正は不完全で、低濃度の蜜を持ち出した場合には、糖量も低下する傾向があった(図3)。これらの結果から、花粉採餌蜂は高濃度の蜜を持ち出すことで、十分な燃料を確保できるため、あるいは、高濃度の蜜が花粉団子のつなぎとして適しているために、花粉の収穫量を増加させることができると結論した。この結果は、Harano (2020) Honeybee colonies provide foragers with costly fuel to promote pollen collectionとして発表した。



(4) ブラジル産ハリナシバチ *Melipona subnitida* の採餌蜂は、花蜜採餌蜂 < 樹脂採餌蜂・粘土採餌蜂 < 花粉採餌蜂の順に出巣時の燃料蜜量(糖量)が多いことを明らかにした(図4)。また、早朝の2時間だけ糖液を提供する人工の餌場から採餌するように訓練すると、糖液が供給されている時間帯に飛来する採餌蜂に比べ、供給されていない時間帯に飛来する採餌蜂は、有意により多くの燃料を保持していることを示した。これらの結果は、採餌飛行中に燃料補給が期待できる場合には、巣から持ち出す燃料の量を減少させ、燃料の運搬コストを削減していることを示唆している。同様の調節はミツバチでも見られ、燃料調節がミツバチ特異的な現象ではないことを示した。この結果は、Harano et al. (2020) Adjustment of fuel loads in stingless bees (*Melipona subnitida*)として発表した。



(5) ブラジル産ハリナシバチ *Melipona subnitida* の燃料蜜調節を研究している際に、多数の働き蜂が樹脂を花粉かごに付けたまま出巣していることに気がつき、この行動の意義についても研究を進めた。これらの蜂は、採餌蜂ではなく巣の防衛係であることを明らかにし、本種では樹脂を用いた新規の防衛行動が存在する可能性について報告した。この結果は、Harano et al. (2020) Why do stingless bees (*Melipona subnitida*) leave their nest with resin loads?として発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Harano, K., Maia-Silva, C., & Hrncir, M	4. 巻 206
2. 論文標題 Adjustment of fuel loads in stingless bees (<i>Melipona subnitida</i>)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Comparative Physiology A	6. 最初と最後の頁 85-94
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00359-019-01398-2	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 該当する

1. 著者名 Harano, K., Maia-Silva, C., & Hrncir, M.	4. 巻 67
2. 論文標題 Why do stingless bees (<i>Melipona subnitida</i>) leave their nest with resin loads?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Insectes Sociaux	6. 最初と最後の頁 195-200
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00040-019-00748-2	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 該当する

1. 著者名 Harano, K.	4. 巻 In press
2. 論文標題 Honeybee colonies provide foragers with costly fuel to promote pollen collection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Comparative physiology A	6. 最初と最後の頁 In press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00359-020-01427-5	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 K. Harano
2. 発表標題 Nectar carried from the hive: adaptive significance of using concentrated nectar in honeybee pollen collection
3. 学会等名 International Union for the Study of Social Insects International Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原野健一
2. 発表標題 トゲアシヒメハナバチの採餌と燃料調節
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第1回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Harano
2. 発表標題 Mechanism for selective use of concentrated fuel nectar in European honeybee pollen foragers
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 原野健一
2. 発表標題 ミツバチの採餌蜂が出巣前に行なう濃度選択的な花蜜積載の意義とメカニズム
3. 学会等名 第7回ミツバチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原野健一, C. Maia-Silva, M. Hrncir
2. 発表標題 ブラジル産ハリナシバチの採餌蜂による燃料調節
3. 学会等名 日本昆虫学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原野健一, M. Hrncir
2. 発表標題 ブラジル産クマバチ2種における再訪花回避：花蜜分泌速度と競争の影響
3. 学会等名 日本動物昆虫学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原野健一
2. 発表標題 ブラジルの熱帯乾燥林に生息するハリナシバチとクマバチの採餌行動
3. 学会等名 第42回ミツバチ科学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Harano, Maia-Silva, C., & Hrncir, 2020. M.
2. 発表標題 Adjustment of fuel loads in Brazilian stingless bees (<i>Melipona subnitida</i>)
3. 学会等名 International Meliponine Conference and Asian Apicultural Association Philippines symposium on pollinator conservation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原野健一
2. 発表標題 ミツバチの採餌蜂が巣から持ち出す花蜜：濃度選択的利用による採餌の促進
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 原野 健一	4. 発行年 2017年
2. 出版社 東海大学出版部	5. 総ページ数 360
3. 書名 ミツバチの世界へ旅する	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----