

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K16202

研究課題名(和文) 兄妹関係から解き明かす哺乳類の意思決定と適応進化

研究課題名(英文) Sibling competitions affect the decisions and adaptive evolution in mammals

研究代表者

名倉 悟郎 (Nagura-Kato, Goro)

宮崎大学・フロンティア科学総合研究センター・助教

研究者番号：50823423

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)：本研究では、マウスの兄妹関係が成熟後の休眠発現のばらつきに及ぼす影響について検証した。その結果、先行研究と同様に、ひと腹兄妹のうち出生時体重の軽い個体の方が成熟後に休眠発現しやすかった。また、当該個体は他の兄妹と比較して巣立ちが早く、より新奇環境を好む傾向がみられた。これは、ひと腹兄妹で休眠利用性の高い個体の方が、より環境適応を迫られる新天地へと分散していく可能性を示唆している。一方で、休眠利用性の低い個体、すなわち出生時体重の重い個体は春機発動も早いことから、住み慣れた生活圏で早期に繁殖活動に参入すると考えられる。従って、休眠という適応戦略は家族関係と密接に関連しながら進化したと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多胎生の小型哺乳類では、離乳を迎えた仔獣が次々と巣立っていく。そのなかには住み慣れた生活圏を離れない保守的な個体や、それとは逆に新天地へと進出していく積極的な個体が存在する。これらの分散様式に関わる各個体の特徴や性格は、近年少しずつ明らかにされている。本研究では、ひと腹兄妹にみられる休眠利用性の違いが各個体の分散様式にも影響する可能性が示唆された。つまり、分散様式は個々の能力に応じて決まっている可能性があり、少なくとも休眠能力は家族関係の影響を受けている可能性が高い。本研究で得た成果は、休眠という適応戦略の進化が家族関係にどのように影響を受けてきたのかを探る学術的意義の高い内容である。

研究成果の概要(英文)：In the present study, we examined the effect of sibling relationships on the variation in the expression of torpor after maturity in laboratory mouse. As a result, individuals with a lighter birth mass within siblings were more likely to exhibit torpor. This result is consistent with our previous study. In addition, these individuals tended to be weaning their nest earlier than other siblings and showed a preference for novel environments. This suggests that individuals with higher torpor utilization within siblings may disperse to new habitats where they are forced to adapt more to the environment. On the other hand, individuals with lower torpor utilization, i.e., heavier individuals with a higher birth mass, are thought to reach sexual maturity earlier and thus join the reproductive activity earlier in familiar habitat. The adaptive strategy of torpor may therefore have evolved in close association with family relationships.

研究分野：動物生理学、動物行動学

キーワード：休眠 兄妹関係 兄妹の競争 巣立ち 分散 個体差

1. 研究開始当初の背景

哺乳類や鳥類には、飢餓や低温といった致死的な環境変化に対して「休眠」という適応形質を発現するものがある。休眠中の動物は通常の3割未満にまで代謝活動を抑制することで生体内のエネルギーを節約し、生体機能を損なうことなく必ず覚醒する(参照: 図1)。更に興味深いことに、過去500年の間に絶滅した哺乳類61種のうち休眠能力をもつ動物は僅か4種と少ない。つまり休眠は個体の生存戦略としてだけでなく、種の存続に対しても重要な役割を果たしてきたと考えられている。その一方で、同じ動物種を同じ環境変化に曝露しても全ての個体が休眠を発現するわけではなく、その発現頻度には個体・集団のレベルでばらつきが見られる。

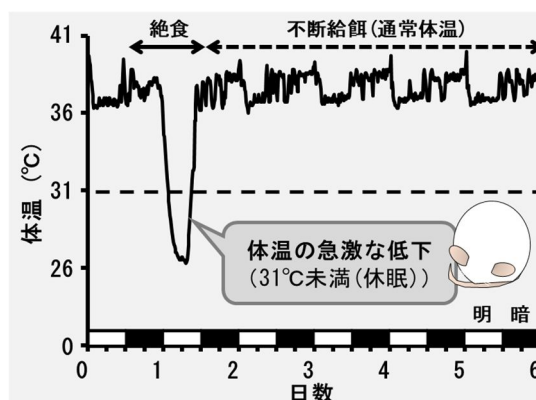


図1. マウスの休眠にみられる体温変化

このような意思決定の違いは個体の生存確率を高める重要な要因の一つとなるが、果たしてこの意思決定の違いが何に起因しているのかは殆ど分かっていない。これまで研究代表者は、実験動物のマウスを用いて、その成熟時の休眠発現頻度がひと腹の兄妹内で異なること、更にはその個体差が胎仔期または乳仔期に生じる「兄妹内の競争」に起因する可能性を示してきた(参照: 2頁図2A, 6頁業績1)。つまり、同種集団内で生じる休眠発現頻度の個体差は「兄妹」という関係に紐付けられた、ある種の規則性をもった現象だと予想できる。この仮説を実証することは、致死的な環境変化に直面した同種の集団内で「なぜ異なる適応形質の選択が見られるのか」という生態学的な疑問を解決し、更には兄妹の存在が哺乳類の適応進化にどのように関係してきたのかを理解する為の新たな理論構築ならびに実験的アプローチの発展に繋がると考えられる。

2. 研究の目的

これまで研究代表者は、ひと腹の兄妹内で出生時体重の軽いマウスの方が成熟後に休眠発現しやすいことを示してきた(参照: 図2A)。つまり、胎仔期に生じた栄養獲得量の違いが成熟後の休眠発現頻度に反映されたと推測した。しかし出生時体重は乳仔期の体重と強い正の相関を示したため、胎仔期と乳仔期のどちらが成熟後の休眠発現頻度に影響を及ぼすのか結論付けることはできなかった。そこで本研究では、出生時に交換哺育を行い胎仔期の兄妹関係を解消させ、乳仔期の新たな兄妹関係が成熟後の休眠発現頻度に及ぼす影響を明らかにする。また先行研究では体重のみを指標にしたが、近年、胎仔期や乳仔期の経験が成熟後の生理・行動に幅広く長期的な影響を及ぼすことが報告されている。そこで、胎仔期に生じる子宮内環境の不均一性や乳仔期の栄養獲得競争といった兄妹関係を精査し、これらが成熟後の休眠発現頻度に及ぼす影響を調査する。

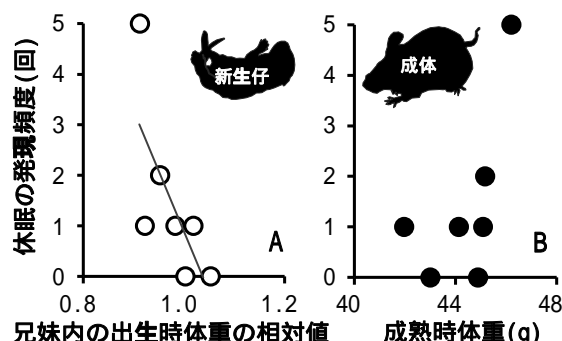


図2. マウスの休眠発現頻度と成育履歴との関係
成熟時体重に関係なく、ひと腹の兄妹内で出生時体重の軽い個体の方が休眠を発現しやすい。

3. 研究の方法

本研究課題の実施期間中、新型コロナウイルス感染症対策などにより、研究機関への立入制限や実験計画の縮小が求められたこともあり、いくつかの研究計画を変更して実施してきた(各年度の実施報告書にも記載済み)。

(1) 巣立ちの順番が成熟後の休眠発現頻度に及ぼす影響

分娩されたひと腹のマウスを個体識別した。その後、専用のチャンバーに移して毎日体重を測定した。チャンバーには5つの区画があり、一番端に母仔の生活区画を設置した。各区画を仕切る壁には母親以外が通過できるサイズの穴をあけてある。仔獣が歩行を始める日齢になった時点から、チャンバー上部にカメラを設置して行動を観察した。仔獣が各区画に滞在した時間を解析するとともに、成熟後の飢餓に対する休眠応答を検証した。

(2) 食糞阻止がマウスの休眠発現に及ぼす影響

成熟後の休眠発現にばらつきをもたらす至近要因には、各個体の食事のタイミングなどが挙げられている。特にマウスは「食糞」をすることから、飢餓に対して休眠と食糞という二つの選択肢で対応していると予想される。そこで、マウスの体サイズに合う食糞阻止ケージを製作し、飼育期間中の体重や摂餌量、血液性状、そして休眠発現を解析した。

(3) 巣材の有無がマウスの休眠発現に及ぼす影響

個体の精神状態が能力発揮を左右することは、我々ヒトでも良く知られている。本研究では、マウスに巣作りをさせ、その巣の有無が休眠発現に及ぼす影響を検証した。実験では、そもそも巣材を与えない区と、十分な期間巣作りをさせる区に分け、後者のなかには、休眠誘導のための飢餓ストレスを与える前に (1) 巣を取り除く、(2) 巣をそのままにする、の2区を設けた。さらに、これら3区と同様の構成で、飢餓ストレスを与える前にケージ交換をおこなう、'、(1)'、(2)'の3区を設けた。各区の休眠応答を評価することで、巣材の有無がマウスの休眠発現に及ぼす影響を検証した。

4. 研究成果

(1) 巣立ちの順番が成熟後の休眠発現頻度に及ぼす影響

本研究の結果、先行研究と同様に、ひと腹兄妹のうち出生時体重の軽い個体の方が成熟後に休眠発現しやすかった。また、当該個体は他の兄妹と比較して巣立ちが早く、より新奇環境を好む傾向がみられた。これは、ひと腹兄妹で休眠利用性の高い個体の方が、より環境適応を迫られる新天地へと分散していく可能性を示唆している。一方で、休眠利用性の低い個体、すなわち出生時体重の重い個体は性成熟も早いことが知られており、住み慣れた生活圏で早期に繁殖活動に参入するのではないかと考えられる。近年、多胎生の小型哺乳類の分散様式に各個体の特徴や性格が影響することが少しずつ明らかにされている。本研究もまた、分散様式が個々の適応戦略の利用性(能力)に応じて決まっている可能性を示唆するものであり、さらには、休眠能力の利用性が幼若期の兄妹関係により影響されることまで分かっている。このように、ひと腹兄妹の分散様式が適応戦略の利用性と関連していることは非常に新しい知見といえる。これら本研究成果は追加試験を終えており、現在までと同様の結果が得られたことから、論文原稿を執筆中である。

(2) 食糞阻止がマウスの休眠発現に及ぼす影響

一般的に、マウスは飢餓刺激に対して休眠を発現することが分かっている。しかし本研究の結果、食餌を与えた状況でも、食糞できる環境で飼育したマウスは休眠しないが、食糞できない環境で飼育したマウスのほとんどが休眠するという興味深い知見を見出した。

食糞は、食事だけでは不足する栄養成分を補給する目的の行動と考えられているほか、絶食マウスで高頻度に観察されることから、空腹を満たしエネルギー恒常性を維持する手段とも捉えられている。したがって、本研究の結果は、食糞と休眠が生体恒常性を維持するための何らかのリンケージを持つことを示唆している。また、これまで休眠の誘導因子は飢餓や低温などのエネルギー消費の増大を伴うものと考えられてきた。しかしながら、本研究の結果、食糞により起こる生体内の変化もまた、休眠の制御因子となる可能性が示唆された。本研究成果の継続課題は令和5年度開始の科研費(23K14118)に採択されている。また、本研究成果は学術誌への掲載を目指して英文校閲に提出中である。

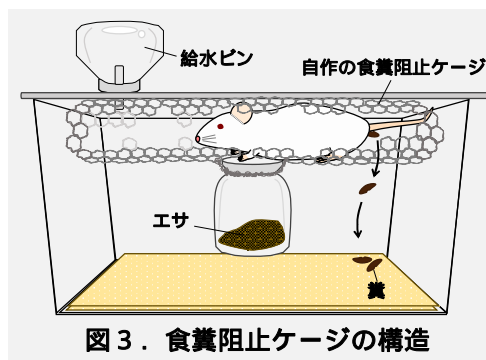


図3. 食糞阻止ケージの構造

(3) 巣材の有無がマウスの休眠発現に及ぼす影響

本研究の結果、ケージ交換をした'、(1)'、(2)'の3区では、そもそも巣材を与えなかった'区と巣材を取り除かれた(2)'区で顕著に休眠発現率が増加した。一方で、ケージ交換をしない場合には、巣材をそのままにした(1)区が最も休眠発現率が高かった。ケージ交換をした3区では、飢餓ストレスを与えるまでの間に排泄した糞が撤去され、糞を拾い食いできなかったことに加え、新奇環境に曝露されたことでエネルギー収支を節約する方針、すなわち休眠を発現するような意思決定がおこなわれたのではないかと考えられる。一方で、ケージ交換をしなかった3区では、糞の拾い食いにより飢餓ストレスが减弱されたことに加え、巣が残っていることで安心して休眠を発現できたのではないかと考えられる。これらの精神状態は予測の域をでないものの、飢餓後に採取した尿からストレスホルモン値を測定しており、その結果とともに、学術誌への掲載を目指して原稿を準備しているところである。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 名倉悟郎	4. 巻 Vol. 69 No. 3
2. 論文標題 マウスの兄妹関係がもたらす影響とは？ 個体差に隠された謎を考える	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 実験動物ニュース	6. 最初と最後の頁 117-119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 名倉悟郎	4. 巻 35
2. 論文標題 マウスの休眠にみられる個体差の要因	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 九州実験動物雑誌	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 名倉悟郎，七條宏樹，篠原明男，越本知大
2. 発表標題 食糞阻止がマウスの血液生化学成分および消化能力に及ぼす影響
3. 学会等名 2020年度九州実験動物研究会および実技協九州支部 臨時研究発表会（WEB発表）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

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

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