

月・火星などの Partial Gravity 環境に対する小型霊長類コモンマーモセットの 個体適応と社会行動

桑井 康宏 (医歯大), ゼレド ジョージ (医歯大・ブラジリア大), 綿引 涼太 (筑波 MC 病院)

鍵山 謙介 (日本クレア), 日比野 仁士 (日本クレア), 服部 真智子 (日本クレア)

深澤 一正 (日本クレア), 馬場 麻人 (徳島大), 夏目 季代久 (九工大), 粟生 修司 (九工大)

橋本 博文 (ISAS/JAXA), 石岡 憲昭 (ISAS/JAXA), 稲富 裕光 (ISAS/JAXA)

Common marmoset response and adaptation to partial-gravity conditions

Yasuhiro Kumei*, Jorge Zeredo, Ryota Watahiki, Kensuke Kagiya, Hitoshi Hibino

Machiko Hattori, Kazumasa Fukasawa, Oto Baba, Kiyohisa Natsume, Shuji Aou

Hirofumi Hashimoto, Noriaki Ishioka, Yuko Inatomi

*Tokyo Medical and Dental University, Yushima, Bunkyo, Tokyo 113-8549

E-Mail: kumei.bch@tmd.ac.jp

Abstract: In planetary development projects such as manned Mars exploration that will take longer than 3 years, long-term biological adaptation to weightlessness and partial-gravity environment is an important issue. We will need to replace rodents of short lifespan (rats and mice) by other animals of longer lifespan so as to conduct appropriate studies on not only individual response but also social behavior. Common marmoset (*Callithrix jacchus*) belonging to the same anthropoid with humans has a lifespan of 15 years is characterized by unique social behavior resembling humans such as family unit life and abundant squealing. In the parabolic flight experiment carried out in February 2016, we first examined the individual adaptation and social behavior of common marmoset under such conditions as Moon and Mars simulation or weightlessness. We have gained new knowledge on the response and behavior of primates in low gravities.

Key words; Common marmoset, Primate, Partial gravity, Parabolic flight, Moon, Mars

1. はじめに

将来の火星などの惑星居住プロジェクトでは少なくとも3年以上の地球外での生活を余儀なくされる。その間に、宇宙空間での無重力のみならず、惑星居住にともなう長期間の汎低重力 Partial Gravity 環境での生体適応性や社会行動性が重要な課題となる。人類が地球を離れて他の惑星で本格的に活動する前には、まず無人惑星フライトでモデル動物を使った実験を行い、長期間の無重力および Partial Gravity 環境が生体に及ぼす影響を網羅的に調べ、安全性を確かめておかなければならない。

これまで宇宙実験にもっとも多く使用されて来た動物ラットやマウスであるが、彼らの寿命はせいぜい3年しかないので、惑星フライトのような超長期の宇宙飛行においては、期間中に動物が死亡するため、十分な科学的成果を期待することは難しい。今回、平成27年度 JAXA 宇宙環境利用専門委員会によって採択された上記標題のプロジェクトでは、ヒトと同じ真猿類に属し、平均寿命15年といわれているコモンマーモセットの雌雄8頭(体重薬200g)をダイヤモンドエアサービス社 MU-300 機内に配置した状態で、火星表面(0.38G)、月面重力(0.16G)、無重力(0G)をシミュレートする放物線飛行を行い(図1,文献1)、発生する低重力 Partial Gravity 条件が、姿勢・行動、「宇宙酔い」space motion sickness (SMS)、

情動ストレスなどの動物個体応答や、音声コミュニケーション(鳴き交わり)などの社会行動性に及ぼす影響について調べた。

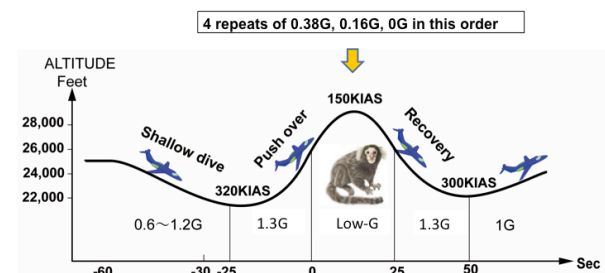


Fig 1. Trajectory of partial-gravity parabolic flight. (Pletser & Kumei, 2015, 文献1)

2. Partial Gravity 曝露と霊長類の姿勢応答

予め、蛍光色素でコモンマーモセットの上肢、下肢、体幹で計15カ所の解剖学的骨格基準点をカラーマーキングし、8台のビデオカメラに録画された動物画像を40Hz(25ミリ秒毎)で録画した(図2)。飛行後各フレーム毎に分解し、低重力に曝露される前後と低重力曝露中の期間の姿勢・行動の変化について、各骨格基準点を結ぶ直線による関節の角度などを計測した。

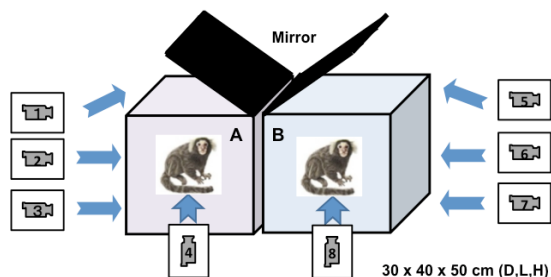


Fig 2. Observation of common marmosets in parabolic flight

コモンマーモセットの通常の生活で頻繁にみられる飛躍行動 (leaping) が、低重力曝露中ほとんど観察されなかった。このことは、通常の生活で leaping を行なわないラット・マウスが、0.1G 以下の極端な低重力曝露に対して、leaping 行動を一種のパターンとして示したことは対照的な結果となった (文献 2)。コモンマーモセットは低重力フライトにおいて、0.38~0G と重力の低下に伴って、四足歩行時 (臥位) で肩関節屈曲や股関節外転の拡大によって安定な姿勢を維持し (図 3)、これとは別に、特に 0~0.16G のような極端に低い重力環境では、身体を低くして腹這い状態 (creep) で、姿勢を維持しようとする応答が観察された。

また、低重力曝露に対してラットやマウスで観察された典型的なパターン (文献 2) が、コモンマーモセットでは明確に認められず、代わりに四足/二足の複雑な低重力応答性の姿勢行動が観察された。特に繰り返し低重力曝露によって、四足から二足歩行へ移行して、立位で姿勢を保持しようとする傾向が特徴的に観察された。また、肩関節の屈曲や股関節の外転において、1 回目の低重力曝露では、1G 平常時の数倍の関節運動の拡大が見られたが、低重力曝露が、2 回目、3 回目と繰り返されるにつれて関節運動の拡大幅が次第に縮小し、4 回目の低重力曝露では、肩関節や股関節の屈曲の大きさは 1 回目の低重力曝露時に比して半分以下に減少しており、低重力に対する「慣れ」効果が認められた (図 3)。

3. Partial Gravity 曝露と霊長類の「宇宙酔い」

低重力曝露によってヒトに惹起される「宇宙酔い」 space motion sickness (SMS) が、果たして放物線飛行中のコモンマーモセットにも見られるか？見られるとしたら、どのような様相を示すか？これらの疑問に答えるため、低重力突入の直前 (1.3G entry)、低重量曝露中 (Low-G)、低重力曝露直後 (1.3G recovery) の三相 (図 1) に分けて調べた。

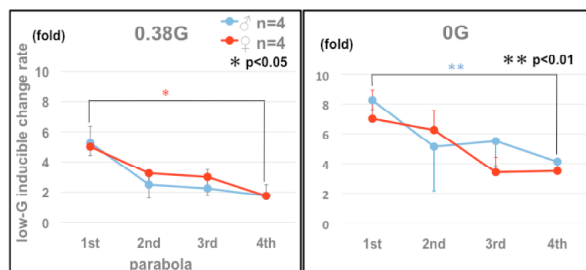


Fig 3. Hip abduction by low gravity and habituation effect.

雄のコモンマーモセットでは、低重力曝露の直前あるいは直後に SMS が惹起されることが多く、低重力曝露中はむしろ、SMS 発症が減少した (図 4)。これに対して雌のコモンマーモセットでは、低重力を曝露された以降に、SMS を発症する傾向にあることが示された。また、コモンマーモセットの SMS 発症は、雌雄を問わず、ラットやマウスに比較して、10 倍以上の高い発生頻度を示したことから、ヒトの SMS 研究モデルとしての有用性が示唆された。

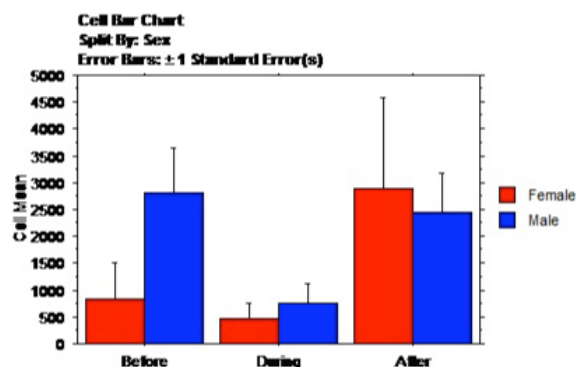


Fig 4. "Space motion sickness" in common marmosets by parabolic flight

4. ポスト ISS の宇宙環境利用と意義

近い将来、人類が地球を脱出して月や火星など惑星・衛星での超長期滞在や恒久的の居住を始める時代が到来する。そこでは宇宙放射線被曝以外にも、Partial Gravity や高重力という広範囲重力環境が克服すべき最重要課題となり、できなければ、人類は地球とともにいずれ絶滅する。われわれ人類は、ロケット、人工衛星、スペースシャトル、宇宙ステーション、と実験場を変えては、新しい知見を得てきた。ポスト ISS として「月・火星への人類の進出」を可能にする基盤を確立するためには、Partial Gravity で

の生命科学研究が必須となる。深宇宙開発の初期段階として、まずはヒトに代わる小型霊長類を使って、数年間の惑星フライト／惑星居住を成功させなければならない。今回、世界に先駆けて、JAXA/ISAS による小型霊長類の Partial Gravity 実験が成功裏に行なわれたことの意義は極めて大きい。

参考文献

- 1) Pletser, V & Kumei, Y: chapter 7 Parabolic Flight, pp.61-73 in Generation and Applications of extra-terrestrial environments on Earth (eds. Beysens and van Loon, 2015), River Publishers (Delft).
- 2) Zeredo JL, Toda K, Matsuura M, Kumei Y: Behavioral responses to partial gravity conditions in rats. Neuroscience Letters 529: 108-111 (2012).

謝辞

本航空機実験は、ダイヤモンドエアサービス㈱による世界最高レベルの Partial Gravity 放物線飛行によって実施され、実験準備および航空機運用に対して、心より感謝する。また、年間を通してコモンマーモセットの飼養で大変お世話になった日本クレア㈱八百津生育場のスタッフの皆様に深謝する。本実験で用いられた航空機搭載型のマーモセット行動観察用 Cage の設計は㈱ダイワハウスつくば支店の協力によって行なわれた。

本研究は以下の研究費の助成によって行なわれた。

平成 27 年度 JAXA 宇宙環境利用専門委員会活動費

(代表：糸井康宏)

日本学術振興会科研費 (16K15852, 26670784)

(代表：糸井康宏)

日本学術振興会科研費 (26463107)

(代表：J.L.Zeredo)