

月・火星表面等の Partial Gravity 環境における生命科学研究：平成 23 年度 研究班 WG 活動報告

研究班代表：桑井康宏(医歯大)

研究班構成：栗生修司(九工大)、秋山英雄(東レ)、跡見順子(東大)、石岡憲昭(JAXA)、石田宝義(医歯大)、伊藤雅夫(東農大)、井上カタジナ(医歯大)、岩崎賢一(日大)、宇野秀(BRC)、大林尚人(医歯大)、大平充宣(阪大)、大谷啓一(医歯大)、奥野誠(東大)、小島久幸(医歯大)、景山大郎(DAS) 片渕俊彦(九大)、川崎朋美(JAXA)、河野史倫(阪大)、河本正光(JAXA)、木崎昌弘(埼玉大) 戸田一雄(長崎大)、成清公弥(東大)、野村泰之(日大)、長谷川克也(JAXA)、前澤幸男(エイコム) 増田明(理研)、松浦正明(癌研)、向井千秋(JAXA)、森田定雄(医歯大)、柳下正樹(医歯大) 山下雅道(JAXA)、若田光一(JAXA)、渡辺佑基(九工大)、五十嵐眞、Jorge Zeredo(Univ. Brasilia) Sietse de Boer(Univ. Groningen)、Jack van Loon(ESTEC/Amsterdam Free Univ.)

Life Sciences in Lunar / Martian Gravity, and Partial Gravities: FY2011 Report.

Yasuhiro Kumei, Shuji Aou, Hideo Akiyama, Yoriko Atomi, Noriaki Ishioka, Takayoshi Ishida, Masao Ito, Katarzyna Inoue, Ken-ichi Iwasaki, Shigeru Uno, Naoto Obayashi, Yoshinobu Ohira, Kei-ichi Ohya, Makoto Okuno, Hisayuki Ojima, Dairo Kageyama, Toshihiko Katafuchi, Tomomi Kawasaki, Fuminori Kawano, Masamitsu Kawamoto, Masahiro Kizaki, Kazuo Toda, Kimiya Narikiyo, Yasuyuki Nomura, Katsuya Hasegawa, Yukio Maezawa, Akira Masuda, Masaaki Matsuura, Chiaki Mukai, Sadao Morita, Masaki Yanagishita, Masamichi Yamashita, Koichi Wakata, Yuuki Watanabe, Makoto Igarashi, Jorge Zeredo, Sietse de Boer, Jack van Loon.

Tokyo Medical and Dental University Graduate School, Bunkyo-ku, Yushima, Tokyo 113-8549
E-Mail: kumei.bch@tmd.ac.jp

Abstract: The response of the living organism to partial gravity is quite different from that to microgravity. We have organized a research group for the first time with the primary purpose of promoting life sciences research in partial gravity environments such as those encountered on the Moon and Mars. For this purpose, we take advantage of the original parabolic flight system. Our original flight trajectory can precisely generate the graded levels of partial gravity, whose effects are to be examined at the levels of whole animal, tissues, cells, and molecules. We can analyze the overall physiologic response to low gravity by using the partial gravity as the experimental parameter. Our research group is not only dedicated to the ground-based studies in partial gravity conditions, but also to the perspective on possible collaborative works both in Japan and abroad for the future space flight missions. In addition to these experiments in low gravity, we created a medium-sized centrifuge in FY 2011 for conducting ground-based gravitational studies. The newly developed centrifuge features: 1) Allows gravitational loading from 0 G (rotation control) to 20 G. 2) Various gravitational forces can be applied simultaneously, without changes in any other factor. 3) Enables variable (delta-G) experiments and continuous G loading simultaneously, as in exit and entry into planet- and satellite-gravitational environments. 4) Multiple imaging techniques can be used, such as high-speed video and photography, X-ray, and infra-red imaging. 5) Enables wireless transmission of up to 128 channels of analog signal, 32 channels of each input and output digital signals, with sampling rate of 100 kHz for 2 hours. 6) Wireless transmission of up to 16 channels of video. 7) Allows for experimentation on various model organisms, from cells to animals and plants, including primates and aquatic species. This apparatus was tested successfully in experiments using microdialysis of neurotransmitters in the rat brain. We examined the rat hypothalamus, the stress center, the neuronal activity together with quantification of the locally released neurotransmitters and neuromodulators. The regulatory mechanism of mouse posture and behavior to partial gravity is also another on-going study by using high-speed X-ray photo system.

Key words; partial gravity, parabolic flight, moon, Mars, neuronal activity, reproduction, X-ray photo, centrifuge, hypergravity

1 目標と方針

- 月・火星表面の比較的穏やかな低重力環境での生体応答に関する広領域の研究を世界に先駆けて展開する。
- Partial Gravity をパラメータとして無重力と1Gとの間の低重力、あるいは地上で遠心機を用いて1G以上の高重力の重力生命科学を展開する。日本人が主研究者となり、低重力生命科学を確実に実現し、有望な若手研究者の養育も担うコミュニティを確立する。
- 世界のリーディンググループとして日本の優位性を維持し、主導的な立場で将来の月面基地や火星などの惑星進出計画を積極的に支援し、宇宙生命科学の発展に国際貢献する。ESA-ロシア国際Partial Gravity マウス衛星プロジェクトMISへの参加を進める。
- 月・火星に相当する0.1 G～0.4 G程度の比較的穏やかな低重力Partial Gravityに対する生体応答については、ほとんど知られていない。Partial Gravityを発生するオリジナルなパラボリックフライト実験を行い、低重力に曝露される約20秒間程度の短時間で検出可能な鋭敏な生命現象について、動物個体・組織・細胞・分子レベルの各階層で、Partial Gravityに対する応答性を調べる。

2 平成23年度活動

Partial Gravity 実験：航空機実験

我々のグループが考案した特殊な放物線飛行軌跡を用いてPartial Gravityを発生する航空機実験を実施する。

【1】Partial Gravity 下でのマウス性行動の観察

オペラント課題を利用し、外界手がかり刺激提示後10秒以内に交尾を開始できる雌雄ペアを作製し航空機実験を行う。マウス交尾姿

勢の低重力応答性を映像で詳細に解析する。

【2】Partial Gravity 下でのマウス心機能：心電図記録

心電図記録用の慢性電極を装着したマウスをPartial Gravity パラボリックフライトに供し、心電図を連続的に記録する。これと高速X線撮像によるX線動画と比較し、Partial Gravity に対するマウス心機能変化を、画像的および電気生理学的に比較解析する。

【3】Partial Gravity 下でのマウス姿勢制御：X線高速撮影による動画解析

昨年度開発した高速X線マウス撮影法をパラボリックフライト実験に応用し、Partial Gravity 下での骨格・姿勢や筋肉などの“動き”を立体的に画像化して解析する。自由行動マウスの低重力応答性の姿勢・骨格、運動の微細な変化を解析する実験を十分な例数を用いて行う。

高重力実験：新しい遠心機の開発

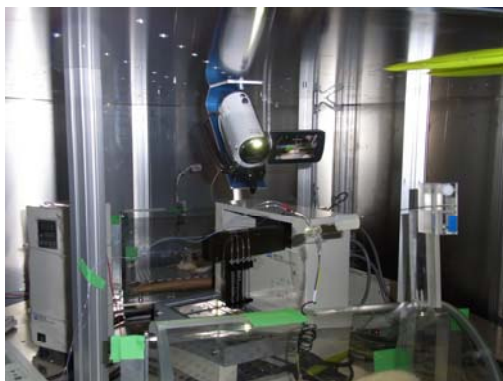
我々のグループが開発したダイナミックバランス型遠心機を用いた高重力実験を実施する。

従来の遠心加速器の搭載スペースや重力変化に対する制約等の問題点を改良した遠心加速器を開発した。新しい遠心加速器は、1) 三層構造を持つ円盤状のテストベンチ（直径120cm）のうち二層は回転軸を有しない。円盤上の配置位置と回転数可変により0～20Gまでの任意の重力負荷が可能（高重力実験群）。実験体を回転軸上に配置することで遠心力を与えず回転のみのパラメータを付与し（回転対照群）、2) 外部からコントロールできるスライダ装置を円盤上に設け、円周位置を自動可変することで、回転数を一定に保ったまま試験体生物試料へ重力値自動可変式負荷を実現した。3) 可視光、赤外線、X線映像など多元的な映像装置を搭載し（同時に16ch収録可能）、4) アナロ

グ信号 128ch、デジタル入出力 32ch、100kHz
で2時間以上収録可能とした。遠心機全体を
アルミ板で被覆し、ノイズ off のテレメトリ
を実現した。5) 最大積載量 600kg、など、
従来見られなかった多くの特長を有する。こ
の次世代型遠心機の開発により、多くの実験
装置を同時に搭載し、多元指標による生物実
験が可能となり、応用範囲も動物学（陸生お
よび水棲生物）、植物学、細胞／分子生物学
などに飛躍的に拡大された。



新しい遠心機を用いたラット神経化学実験



遠心機に搭載された画像取得装置や電気生
理学機器、ラット脳内微量透析機器など