

人工重力発生+運動付加装置の国際共同研究

岩瀬 敏, 西村直記 (愛知医大生理), 田中邦彦, 間野忠明 (岐阜医療科学大)

International Multilateral Collaborative Study on Artificial Gravity with Exercise Device on International Space Station

Satoshi Iwase*, Naoki Nishimura*, Kunihiro Tanaka**, Tadaaki Mano**

*Aichi Medical University, Nagakute 480-1195, Aichi

**Gifu University of Medical Science, Seki, Gifu

E-Mail: s_iwase@nifty.com

Abstract: The present study emphasizes the importance of collaborative researches among international researchers of various specialization. Artificial gravity studies necessitates the cooperation of neurovestibular, cardiovascular, musculoskeletal, bone metabolism, autonomic, hemato-immunological, and thermoregulatory specialists. Under microgravity circumstances, several deconditioning would occur, called spaceflight deconditioning. We believe that artificial gravity with appropriate exercise is the best countermeasure to prevent the deconditioning, and to keep the human health and physical fitness. Not only for installation on the International Space Station but also on the spacecraft of interplanetary cruise should be projected with appropriate gravity load and exercise.

Key words: artificial gravity,

1. はじめに

40億年にわたる地球の歴史のうち、ヒトが出現したのは、600万年前と考えられるが、そのときから重力は環境因子の重大な要因であった。その長い間に習得した重力への拮抗力は、宇宙での無重量状態への曝露により簡単に失われてしまう。この喪失は宇宙デコンディショニング（宇宙飛行失調）と呼ばれ、その発症機序、発症潜時、予防、対抗措置に関する研究は、長い間、運動を行うことで行われてきたが、1980年代の終わり頃より、短腕式遠心機による人工重力という概念が導入され、次第にその研究も進んできた。我々は1990年代の終わり頃より、短腕式遠心機による人工重力を用いた対抗措置だけでは、十分な宇宙デコンディショニングが予防できないことから、運動の組み合わせが必要と考え、エルゴメーターによる段階的運動と重力の段階的負荷を提唱し、地上実験で成果を上げてきた。

その集大成として、2009年にJAXA（宇宙航空研究開発機構）が公募した「国際公募 ライフサイエンスおよび宇宙医学分野；国際宇宙ステーション利用実験テーマ」に採択され、AGREEプロジェクト（Artificial Gravity with Ergometric Exercise）と銘打った計画が策定され、岩瀬をPIとする国際チームが結成された。本テーマが採択されて以降、NASA（アメリカ航空宇宙局）がISS内での人工重力+運動負荷装置の運用施設提供し、ESA（欧州宇宙機関）がISS内で運用可能な人工重力+運動負荷装置を作成することとなった。研究チームの要求

とISS内での人工重力+運動負荷装置の運用施設の広さを考慮した結果、ESA側から提案された人工重力+運動負荷装置は半径1.4mで作成されることになった。しかし、2012年になり、Boeing社からの振動の問題、およびESAの予算的な問題も絡んでいと推測される原因により、2013年、AGREEプロジェクトは中止となった。本稿は、その中止以後の国際協力がいかに進められ、昨年における「2014年国際公募ライフサイエンスおよび宇宙医学分野の国際宇宙ステーション利用実験テーマ募集」における応募についても述べる。

2. 国際宇宙連盟の春のパリ会議

2013年3月22日、国際宇宙連盟 International Astronautical Federation, IAFの春のパリ会議が開かれ、岩瀬は International Astronautical Federation Technical Committee on Space Life Sciencesのメンバーに選出された。その会議が行われ、人工重力もその方向性を打ち出すことになった。また、NASAが主催して、10月に Artificial Gravity Workshopを開くことになった。

3. 第90回生理学会大会における宇宙関連生理学シンポジウム

2013年3月28日、船橋で行われた第90回生理学会大会において、宇宙生理学研究をアピールするため、岐阜大学森田啓之教授とともに、宇宙生理学研

究の今、と題したシンポジウムを行った。

4. 2013 臺灣神經醫學聯合國際學術検討會

2013年4月、台北で行われた2013年臺灣神經醫學聯合國際學術検討會において、自律神経の立場から見た宇宙医学における対抗措置の1つとして、人工重力について解説した。

5. 34th International Society for Gravitational Physiology, June 23-27, Toyohashi

2013年6月23日から、後藤勝正会長のもとに、豊橋市で行われた第34回国際重力生理学会において、「人工重力研究の今」という基調講演を行い、共同研究者と今後の人工重力研究の発展について打ち合わせを行った。

6. 19th IAA Humans in Space Symposium 2013, July 7-12, Köln, Germany.

2013年7月にドイツ、ケルンで開催された Human in Space Symposium に参加し、人工重力研究の座長を務めた。本シンポジウムは、多くの宇宙医学研究者が集まった。主催の Rupert Gerzer が所長を務めるドイツ航空宇宙医学研究所 (DLR) に設置された Envihab という大型の遠心機が公開され、その利用について、DLR の人工重力研究者である Jörn Rittweger より、共同研究の申し入れがあり、長期間ベッドレストにおける人工重力の効果の共同研究を行う計画が立てられた。

7. Joint Meeting of the 8th Congress of the International Society for Autonomic Neuroscience (ISAN) and the 15th Meeting of European Federation of Autonomic Societies (EFAS), July 29-August 2, 2014.

2014年7月29日から8月2日にかけて、ドイツのギーゼン Gießen で行われた第8回国際自律神経科学会議と第15回欧州自律神経学会議の合同開催に参加し、宇宙医学における自律神経研究の重要性について討議した。本会議において、ISAN の board member となり、次々回の第10回国際自律神経科学会議の開催を、名古屋に内定することをとりつけた。

8. 64th International Astronautical Congress 2013, September 23-27, Beijing, People's Republic of China.

2013年9月23~27日に、中国北京で開催された第64回国際宇宙会議において、International Astronautical Federation Technical Committee on Space Life Sciences の会議で、人工重力の重要性について説明し、国際的な共同研究の必要性を強調した。なお、この会議において、岩瀬は IAA Life Science Award を受賞し、さらに corresponding member から full member となった。

本会議において、10月に開催予定の Artificial Gravity Workshop の広告がなされ、ロシアの Oleg Orlov、米国の John Charles と話し合い、参加することになった。

本会議においては、Life Science Session の Human Physiology in Space の Chair と Multidisciplinary Space Life Science Research の chair を行った。

8. International Workshop on Research and Operational Considerations for Artificial Gravity Countermeasures の延期

本ワークショップは、10月7、8日に NASA の Ames Research Center で開催予定であったが、米議会における予算が成立しなかったため、延期となった。

9. 第66回日本自律神経学会

2013年10月24日、25日に、岩瀬は日本自律神経学会を会長として主催した。間野は特別講演で筋交感神経活動の重力下における重要性を、岩瀬は会長講演として皮膚交感神経活動の環境における重要性に関して講演した。

10. 日本宇宙航空環境医学会平成25年度宇宙基地医学研究会

2014年2月7日に東京慈恵医科大学において開催された宇宙基地医学研究会において、「人工重力研究の展望」と題して講演した。

11. 平成25年度第1回宇宙医学生物学研究ワークショップ

2014年2月18日に秋葉原 UDX4F ギャラリーネクストにおいて、「宇宙飛行と加齢の循環機能変化」と題してワークショップが行われ、宇宙医学から得られた心臓循環器の知見、「宇宙医学と加齢」—老年医学からの視点と題して、講演を行った。本講演

の要旨は、Medical Tribune に掲載された。人工重力の重要性を強調し、出席した他の講演者らと意見を交換した。

12. 2014 International Workshop on Research and Operational Considerations for artificial Gravity Countermeasures

延期されていた NASA 主催による人工重力に関するワークショップが、2014 年 2 月 19 日～20 日に NASA の California にある Ames Research Center において開催された。多くの人工重力研究関係者が世界中から集まり、AGREE Project が中止になったことがアナウンスされた。この会議の前後に、以前の AGREE Project での co-investigator であった米国の Lawrence R. Young 教授 (MIT) が中心になって今後の人工重力プロジェクトの展開に関して討議した。その結果、次回の国際宇宙ステーション利用医学生物学公募に、各国から応募することにした。カナダ、米国、ドイツ、ベルギー、フランスが協力することになった。

ワークショップでは、米国の William Paloski, John Charles が Chair をとり、各国の現状と方針について議論が進められた。日本の人工重力研究の現状と、運動との組み合わせによる地上研究で、宇宙デコンディショニングがある程度予防できるという成果を発表した。

13. 国際宇宙連盟の春のパリ会議

2014 年 3 月 17 日～20 日、国際宇宙連盟 International Astronautical Federation, IAF の春のパリ会議がパリで開かれ、International Astronautical Federation Technical Committee on Space Life Sciences に出席した。その議場で、今回の国際宇宙ステーション医学生物学公募に、どのように応募するかが話し合わせ、各国でそれぞれ各国機関へ提案を提出することになった。

14. 2014 年国際公募 ライフサイエンスおよび宇宙医学分野の国際宇宙ステーション利用実験テーマの募集

2014 年国際公募ライフサイエンスおよび宇宙医学分野において、仮申し込みを出したが、ペイロード重量が 5 kg 以下であることが条件であったため、そのような条件のないカナダの Andrew Blaber を PI として提出することにした。彼の考えは、AGREE Project のエルゴメーター運動に変わって、squatting

を行うという squatrifuge (squat と centrifuge から作成した造語) という運動方法により、人工重力と運動を行わせるというもので、コリオリの力がほとんどかからず、エルゴメーターでは予防し得ない下腿三頭筋 (腓腹筋+ヒラメ筋) の萎縮予防に役立つというものである。

15. 35th International Society for Gravitational Physiology, June 16-20, 2014, Waterloo, Canada

Life in Space for Life on Earth, 35th Annual International Gravitational Physiology Meeting, 13th European Life Sciences symposium, 1st Aging in Space Symposium の合同会議 (地球上の生活のための宇宙での生命、第 35 回国際重力生理学会、第 13 回欧州生命科学シンポジウム、第 1 回宇宙における加齢シンポジウム) が、Richard Hughson を会長として、ウォータールー大学、オンタリオ、カナダ University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada において開催された。

Artificial Gravity Symposium の Chair を W. Paloski とともにいき、同時に Speaker: Artificial Gravity and Exercise を発表した。Session 9, student session, chair by W. Paloski and S. Iwase の座長を行った。Session 11. Preparation for spaceflight 3, chair by T Arbeille, and S. Iwase の座長を行った。Session 17. Effect of Artificial Gravity as the Countermeasures for Space Flight Deconditioning in Humans を発表した。

Artificial Gravity Symposium においては、これまでの人工重力研究のあゆみと成果について発表し、Andrew Blaber がこれから進める Squatrifuge の概略について説明した。

16. 65th International Astronautical Congress, 29 September – 3 October 2014, Toronto Metro Convention Centre, Toronto, Canada.

2014 年 9 月 29 日から 10 月 3 日まで、カナダのトロントで行われた第 65 回国際宇宙会議が開かれた。International Astronautical Federation Technical Committee on Space Life Sciences の会議で、人工重力の重要性について説明し、国際的な共同研究の必要性を強調した。International Academy of Astronautics Commission 2 on Space Life Sciences, の会議に出席し、宇宙における生命科学の重要性について討議した。

今回の会議により開始された Study Group 3.23, Human Space Technology Pilot Projects with

Developing Countries の委員に指名され、最初の会議に出席し、討議を行った。

本会議において、5.4 Technical papers by Symposium, A1. IAA/IAF Space Life Sciences in Symposium. A. 1.2. Human Physiology in Space で、Artificial gravity by short arm centrifuge of 1.4 m with exercise as the countermeasures for spaceflight deconditioning の演題を発表し、短腕式遠心機による宇宙デコンディショニングの予防について講演した。

17. 第 67 回日本自律神経学会総会

2014 年 10 月 30 日、31 日、ラフレさいたま（さいたま市）において、田村直俊会長、山元敏正副会長のもと、第 67 回日本自律神経学会が開かれ、先回のゲーセンにおける国際大会の日本誘致について説明し、事務局長に就任したことを報告した。本大会においては、シンポジウム 6. 自律神経研究のニューフロンティア、座長：内田さえ、岩瀬 敏を企画した。

18. 2015 年の予定について

2015 年においては、1 月に宇宙環境利用シンポジウムが行われた。以降、3 月にパリで国際宇宙航行連盟の会議、6 月にスロベニアにおいて国際重力生理学会、6~7 月にかけて、チェコにおいて Human in Space Symposium が、8 月にイタリアにおいて国際自律神経学会が、開催される予定である。さらに 10 月にはイスラエルのイェルサレムにおいて、国際宇宙会議が開催される予定であるが、中東の情勢により現在においてはどのようになるかは不明である。

19. おわりに

人工重力に関する共同研究の進行を概説した。国際的な共同研究が必要なこの領域は、多くの領域の研究者、すなわち神経前庭系、心循環系、筋骨格系、骨代謝系、血液免疫系、自律神経系、体温調節系の協力が必要となる。将来的に宇宙ステーション滞在のみならず、惑星間飛行時の上記器官系のデコンディショニングを予防し、着地時のパフォーマンス低下を招かないようにするために、人工重力および運動の組み合わせは、対抗措置として有効であることを認識し、取り入れることが重要であると思われる。そのためにも、国際的に共同研究を推進する必要がある、各学会時に綿密な研究打ち合わせをすることが重要である。

参考文献

- 1) Iwase S, Fu Q, Narita K, Morimoto E, Takada H, Mano T: Effects of graded load of artificial gravity on cardiovascular function in humans. *Environmental Medicine* 46: 29-32, 2002.
- 2) Hirayanagi K, Kamiya A, Iwase S, Mano T, Sasaki T, Oinuma M, Yajima K. Autonomic cardiovascular changes during and after 14 days of head-down bed rest. *Auton Neurosci*. 110: 121-128, 2004.
- 3) Hirayanagi K, Iwase S, Kamiya A, Sasaki T, Mano T, Yajima K. Functional changes in autonomic nervous system and baroreceptor reflex induced by 14 days of 6 degrees head-down bed rest. *Eur J Appl Physiol* 92: 160-167, 2004.
- 4) Kamiya A, Michikami D, Shiozawa T, Iwase S, Hayano J, Kawada T, Sunagawa K, Mano T. Bed rest attenuates sympathetic and pressor responses to isometric exercise in antigravity leg muscles in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 286: R844-850, 2004.
- 5) Katayama K, Sato K, Akima H, Ishida K, Takada H, Watanabe Y, Iwase M, Miyamura M, Iwase S. Acceleration with exercise during head-down bed rest preserves upright exercise responses. *Aviat Space Environ Med* 75: 102935, 2004.
- 6) Iwasaki K, Shiozawa T, Kamiya A, Michikami D, Hirayanagi K, Yajima K, Iwase S, Mano T. Hypergravity exercise against bed rest induced changes in cardiac autonomic control. *Eur J Appl Physiol*. 2005 Jun;94(3):285-91.
- 7) Iwase S. Effectiveness of centrifuge-induced artificial gravity with ergometric exercise as a countermeasure during simulated microgravity exposure in humans. *Acta Astronaut*. 2005 Jul-Oct;57(2-8):75-80.
- 8) Iwase S, Takada H, Watanabe Y, Ishida K, Akima H, Katayama K, Iwase M, Hirayanagi K, Shiozawa T, Hamaoka T, Masuo Y, Custaud MA. Effect of centrifuge-induced artificial gravity and ergometric exercise on cardiovascular deconditioning, myatrophy, and osteoporosis induced by a -6° head-down bedrest. *J Gravit Physiol*. 2004 Jul;11(2):P243-4.
- 9) Ishida K, Katayama K, Akima H, Iwase S, Sato K, Hotta N, Miyamura M. Effects of deconditioning on the initial ventilatory and circulatory responses at the onset of exercise in man. *Adv Exp Med Biol* 669: 319-22, 2010.
- 10) Tanaka K, Nishimura N, Sato M, Kanikowska D, Shimizu Y, Inukai Y, Abe C, Iwata C, Morita H, Iwase S, Sugenoja J. Arterial pressure oscillation and muscle sympathetic nerve activity after 20days of head-down bed rest. *Auton Neurosci*. 2013 Oct; 177(2):266-70.