2016 | 01
NEWS LETTER

宇宙に生きる

Living in Space

宇宙からひも解く
新たな生命制御機構の統合的理解

科学研究費助成事業新学術領域研究
「宇宙からひも解く新たな生命制御機構の統合的理解」
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門 気付
〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 筑波宇宙センター
問合せ先／ Tel 050-3362-5434・6154
領域ホームページ／ http://www.living-in-space.jp/

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 1-2
16/02/26 10:06

表紙について

▶左上／JAXA 筑波宇宙センター内に設置されている閉鎖環境適応訓練施設外観（p12 参照）
▶右上／国際宇宙ステーション内で活動する領域代表・古川聡宇宙飛行士
▶左中／ゼブラフィッシュ宇宙滞在実験 “SpaceSwim” の様子（p21 参照）
▶右中／宇宙で滞在したゼブラフィッシュの骨格筋組織解析の様子（p7 参照）
▶下／「宇宙に生きる」キックオフミーティング終了後の領域メンバー集合写真（p17 参照）

CONTENTS

▶ 領域代表あいさつ …… 02
▶「宇宙に生きる」基本的な研究戦略 …… 03
▶ 計画研究班紹介
- A01-1　成瀬　恵治 …… 05
- A01-2　東谷　篤志 …… 06
- A01-3　瀬原　淳子 …… 07
- A02-1　岩崎　賢一 …… 08
- A02-2　森田　啓之 …… 09
- A02-3　松崎　一葉 …… 10
- A02-4　長瀬　　博 …… 11
- A02-5　古川　　聡 …… 12
- A03-1　根井　　充 …… 13
- A03-2　高橋　昭久 …… 14
- A03-3　那須　正夫 …… 15

▶ 班会議報告 …… 16
▶ イベント報告：キックオフミーティング …… 17
▶ 若手研究者紹介
- 若手紹介 1：永松愛子（JAXA） …… 19
- 若手紹介 2：佐藤 文規（京都大学） …… 21

▶ 関連学術集会イベントカレンダー …… 23
▶ 領域名簿・編集後記 …… 25

領域代表あいさつ

01

新学術領域研究「宇宙に生きる」を始めるにあたって

こんにちは、領域代表の古川聡と申します。

医師かつ宇宙飛行士である私は平成 23 年、5 か月半の宇宙滞在で極限的ストレスを経験しました。それは例えば無重力による骨格筋の萎縮、体液シフトによる頭重感、閉鎖環境による体内リズムの不調、宇宙放射線被ばく、微生物リスク、等々。「これらは相乗的に作用するのでは？地上でも関連する問題があるのでは？」との問いから、統合的な連携研究が必要との強い認識に至りました。宇宙で遭遇する生物学的リスク・ストレスの解明とそれらの回避・軽減を目指し、同時に現代の超高齢化・ストレス社会の克服につなげたい。そう願い、新学術領域研究チームの結成を決意しました。この度、新学術領域研究「宇宙からひも解く新たな生命制御機構の統合的理解」（略称：宇宙に生きる）の設立が認められ、平成 27 年度から 31 年度までの 5 か年にわたる研究プロジェクトを実施することになりました。

宇宙というとどこか遠い存在で実生活とは無関係とお考えの研究者の方が多いのではないでしょうか？しかし、宇宙で身体に起こる事象を生命体の可塑性・破綻の観点から解明すれば、地上の研究だけでは気づかなかった微生物からヒトまで生命の持つ新たな秘密を知ることができるでしょう。それらの知見は将来火星などに向かう超長期宇宙滞在や、人類宇宙移住時に役立つとともに、現代の超高齢化・ストレス社会の克服にもつながり、地上の我々の生活もより豊かにしてくれることでしょう。このように宇宙という切り口でチームを作り、かつ皆様のご研究・アイデアもお借りし、領域研究を進めていきたいと考えております。

宇宙から生命を俯瞰することによって、「当たり前に過ごしている地球環境に秘められた生命機能を発見できる」と考えています。さらに発展させて、宇宙環境を起点とした生命恒常性の維持とリスクの学理構築を目指します。この研究により、宇宙に生きる安全を担保するとともに、生体の重力依存性による筋萎縮、前庭系や循環器系への影響、閉鎖環境ストレス、睡眠障害、放射線被ばくの影響、さらにそれらの複合的な関与などを解明し、高齢化・ストレス社会の克服や安全な環境づくりへも貢献したいです。さらに、若手を育成し、若者の夢を育む研究を目指します。

平成 27 年 12 月吉日
領域代表
国立研究開発法人　宇宙航空研究開発機構
主幹開発員　　古川　聡

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 1-2　16/02/26 10:06

「宇宙に生きる」の基本的な研究戦略

02

本領域研究では、宇宙という非日常的な極限空間で「より長く」滞在し「より遠く」への到達をめざす上で、生命はいったいどこまで可塑性を持つのかという大課題のもと、地上と全く異なる3つの要素、無重力、閉鎖環境、宇宙環境リスクを設定した。これら各要素に対して、生命体が有する可塑性と破綻の双方向の生命制御機構を統合的に理解し、破綻の回避・軽減の方策を見出すことを本研究の目標に掲げた。

© NASA

3つの研究項目を組織する戦略性

生命体は、細胞から組織・器官、より高次の個体として階層的に捉えることができる。なかでも、細胞から組織・器官のレベルでは、特に重力変化に伴う力学的メカノストレスによる影響を課題とする研究項目 [A01] を、より高次のレベルでは重力に加えて閉鎖環境による影響を課題とする研究項目 [A02] を、宇宙・閉鎖環境によるリスク、宇宙放射線被ばくと微生物変遷を課題とする研究項目 [A03] を、3本の柱として組織化し、各研究項目を横断する共同研究を積極的に推進することで、「宇宙に生きる」ための統一的な研究戦略を練ることとした。

【A01】重力応答の分子細胞基盤

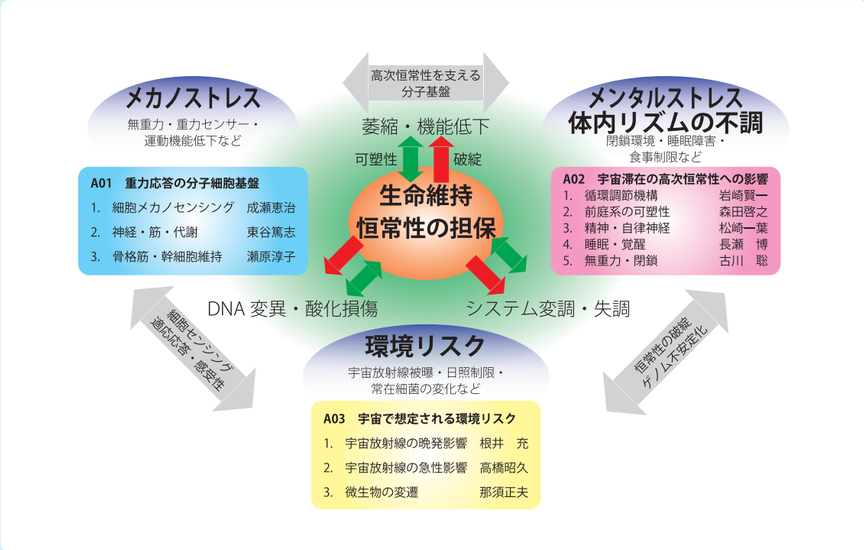
宇宙からひも解かれる生命分子基盤の理解を達成目標に、重力をはじめとした力学的ストレスに対する [A01-1] 細胞、[A01-2] 神経―筋の細胞間、[A01-3] 筋や腱組織のそれぞれメカノセンシング機構から適応応答、発達制御、長期無重力や加齢による萎縮・破綻に至る仕組みついて、バイオイメージングやトランスクリプトーム、プロテオームなど先端手法を用いて明らかにする。

【A02】宇宙滞在の高次恒常性への影響

生命体が個体として有する高次恒常性・適応機構と生命医学への展開として、重力と閉鎖環境に対する [A02-1] 循環系、[A02-2] 前庭系、[A02-3] 精神・自律神経系、[A02-4] 睡眠・覚醒、[A02-5] 統合的理解のそれぞれを、ヒトやマウス等を研究対象として、生理学的データ、生化学的データはもとより、遺伝子発現、エピゲノム解析、さらにはメンタルストレスに対する新たな客観的な評価分析法を開発するなど、基礎医学的な解析を中心に実施する。また、JAXA が有する閉鎖環境適応訓練設備を当該計画研究グループでの共同研究利用に供する。

【A03】宇宙で想定される環境リスク

宇宙に生きるためのリスク研究とそれらの克服として、宇宙閉鎖環境によるリスク因子として [A03-1] 宇宙放射線のなかでも特に単位面積当たりとしては少ないが、高いエネルギーを付与する重粒子放射線（低フルエンス粒子放射線）、[A03-2] 重力変化と宇宙放射線との複合作用、太陽紫外線を含む様々な宇宙放射線、[A03-3] 無重力に伴うバイオフィルム形成や遺伝子伝播を含めた微生物間相互作用への影響、についてそれぞれ評価・分析するとともに、リスク対策方法を開発する。また、公募研究を含めてこれら3つの項目間での連携・共同研究を推進する。



2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 3-4
16/02/26 10:06

A01-1 重力変化を含む力学的ストレスに対するメカノセンシング機構

◎ 研究代表者／成瀬 恵治　（岡山大学・大学院医歯薬学総合研究科）
● 研究分担者／高橋 賢　（岡山大学・大学院医歯薬学総合研究科）
曽我部 正博（名古屋大学・医学系研究科（研究院））

研究目的

宇宙空間に滞在した宇宙飛行士や飼育した動物など、微小重力環境においた生体には、筋萎縮、骨量減少、循環不良などの生理的変化が生じる。この原因の一つは、重力の方向に沿った質量分布に起因するマクロな荷重勾配の消失である。実際、長期の寝たきりで類似の症状が出ることはよく知られている。しかし、微小重力環境ではより深刻な症状がより早く生じる。この原因として、宇宙空間で生じる筋萎縮や骨量減少には、個体・組織レベルに加えて、細胞レベルの微小重力環境への応答反応が大きく関与している可能性が考えられている。実際、微小重力環境におかれた培養筋細胞でも萎縮が生じ、培養破骨細胞の分化や活性の促進が見られる。筋芽細胞や破骨細胞のほかにも種々の培養細胞を用いた宇宙実験において微小重力暴露に対して細胞の形態や機能が変化するとの観察事例が多数報告されており、細胞は単独で重力を感知・応答する機構を普遍的に持っていると考えられる。しかし、その細胞レベルの感知・応答機構の解明は、宇宙生命科学における最も中心的な課題であるにも関わらず不完全な状況にある。細胞内で比重の大きい核やミトコンドリアを起点とする何らかの仕組みが関与するとの示唆はあるものの未だ不明な点が多い。

これまで研究代表者は、主に循環器系の細胞・器官を材料にメカノ細胞内情報変換機構の解明・伸展細胞培養技術の開発（Science 1999, Nature 2001, PNAS 2001, Nature Material 2005）を世界に先駆けて行ってきた。また、近年、申請者らは、TRPV2 という機械刺激受容チャネルが心臓の構造 / 機能に不可欠なメカノセンサーであることを世界で初めて明らかにした（Nature Commun 2014）。さらに、研究代表者は、これまでに培ってきた分子・細胞・組織・個体レベルでのメカノバイオロジー理論に基づき、各種疾患の成因解明・治療に力学的ストレスを利用するメカノメディスン（メカノ心臓再生医療やメカノ生殖医療）に取り組んでいる。

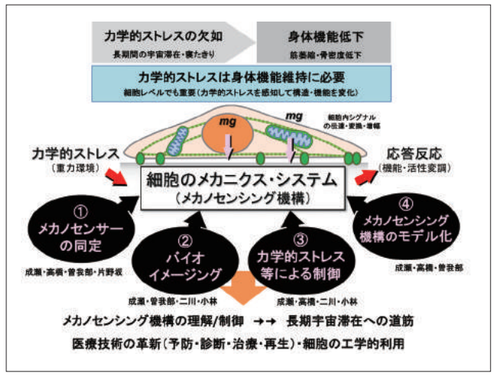
本研究は、重力をはじめとした力学的ストレスに対する細胞のメカノセンシング機構の理解、およびその制御方法の開発を目指す。

細胞メカノセンシング機構の解明

重力を含む力学的ストレスに対する細胞メカニクス・システムの動作の統合的な理解を目指す。
特に「細胞の微小重力センシングでは、核・ミトコンドリアに対する重力作用の消失が、相互作用する細胞内のストレス線維の張力に影響を与え、機械刺激受容チャネルの機能を変える、また、核・ミトコンドリア自体の機能・形態にも影響を与え、下流のシグナル系を誘導し転写・代謝反応にも作用する」という作業仮説に基づき、
①重力を含む力学的ストレスに対するメカノセンサーの同定、
②重力感知 / 応答の際の細胞内シグナルや生体分子の動態の時空間的な情報のイメージング解析、を行う。

細胞メカノセンシング機構の制御

微小重力環境下での細胞メカニクス・システムの変調の仕組みを理解し、
③伸展等の力学的ストレス負荷やシグナル経路修飾によりシステム動作の制御に取り組み
④「細胞メカニクス・システム」を構成する各サブシステム（感知・伝達・変換・増幅等）に対してモデルを与え、制御シミュレータを構築し、無重力環境下での細胞機能制御方法論を創成する。



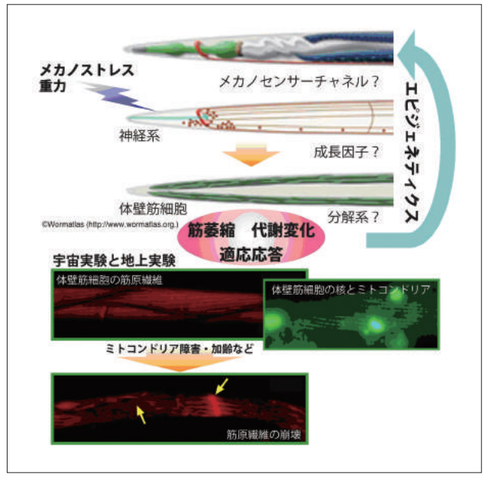
A01-2 神経から筋・代謝へのメカノストレス伝達と適応応答機構

◎ 研究代表者／東谷 篤志　（東北大学・大学院生命科学研究科）
● 研究分担者／東端 晃　（JAXA・有人宇宙技術部門）

研究目的

宇宙の微小重力下で長期滞在することは、体の重量を支える力が要らなくなるため急速に廃用性の萎縮が進み、宇宙飛行士の骨や筋が著しく低下することが良く知られている。また、培養細胞を用いた宇宙実験においても、μ G と 1G 環境下では遺伝子の発現レベルにおいて大きな違いが生じることも報告されてきた。私たちは、'04、'09 年に宇宙実験を実施する機会を得て、わずか 1,000 個の体細胞からなる小さな線虫 C エレガンスにおいても、宇宙の微小重力下で育てると筋、代謝、細胞骨格関連のタンパク質、ならびに遺伝子の発現が有意に低下することを再現性良く見出してきた（Higashibata et al., 2006, 2016）。従って、重力は個々の細胞レベルに影響し、発達・成長に大きな変化を与えることが強く示唆された。一方で、重力の力学的感知から適応応答、破綻に至るシグナル伝達カスケードの全貌は未解明であり、宇宙での長期滞在のみならず、高齢化に伴い益々増加するロコモティブ症候群の対策においても重要な鍵となる。

そこで本研究では、'15 年 1 月と 4 月の二度にわたり実施することができた線虫の宇宙実験サンプル、ならびに地上での培養条件、寒天上での表面張力、液体中での静水圧変化、遠心加重力などを付加したサンプル群を用いて、線虫は、どのようなメカノセンサー分子ならびに神経細胞系を介して力学的変化を感知して、筋、代謝変化へと適応応答するのか、分子遺伝学的かつ網羅的なオミクス解析により解明する。また、世代を越えた重力応答に伴うエピジェネティックな制御機構の関与についても調べる。さらに、近年、力学的変化に伴うミトコンドリアからの活性酸素の誘導が報告されているので、線虫のミトコンドリア障害から筋萎縮に至る破綻の制御機構についても解析し、本領域の計画・公募研究と協力して、神経から筋細胞における重力感受と適応応答・破綻に至る分子機構を探る。



モデル生物線虫の特徴

線虫の体壁筋細胞は、孵化後の幼虫期に既に出来上がっており、成虫から死に至るまで細胞は分裂することなく維持され、サルコメア構造を有しヒト骨格筋との類似性が高い。そこで、近年、欧米を中心に、筋ジストロフィー、パーキンソン病、アルツハイマー病、ハンチント病などの病態モデルとして、線虫が利用され、既に、筋ジストロフィーにおいては分子標的を特定した形で創薬開発に大きく貢献した実績も報告されており、本計画から線虫の分子標的を的確に同定することで、ロコモティブシンドロームの対策にも資するものと期待している。

最新の研究成果

Higashibata A, Hashizume T, Nemoto K, Higashitani N, Etheridge T, Mori C, Harada S, Sugimoto T, Szewczyk NJ, Baba SA, Mogami Y, Fukui K, Higashitani A.
Microgravity elicits reproducible alterations in cytoskeletal and metabolic gene and protein expression in space-flown Caenorhabditis elegans. *npj Microgravity* 2016 2,15022. http://www.nature.com/articles/npjmgrav201522

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 5-6　16/02/26 10:06

A01-3 骨格筋の発達・維持・萎縮における負荷依存性の分子基盤の理解

◎ 研究代表者／瀬原 淳子（京都大学・再生医科学研究所）
● 研究分担者／佐藤 文規（京都大学・再生医科学研究所）
飯田 敦夫（京都大学・再生医科学研究所）

研究のバックグラウンド

私達は、からだの中にある２００種類余りの骨格筋を用いて、日々立ったり歩いたり食べたり目を開けたり ,そして呼吸したりしている。骨格筋は動物が生きていく上で欠かせない臓器である。骨格筋は、再生する臓器でもある。骨格筋研究の面白さは、発生・発達の面白さに加えて、そのような再生機構の解明にも取り組めるところにある。再生と発生を比較検討することによって再生のユニークなところも知ることができるはず。傷害を受けた筋を修復し再生する能力を担うのは筋衛星細胞とも呼ばれる骨格筋幹細胞である、筋幹細胞は筋に接し普段は静止期にあるが、筋損傷に伴い活性化されて増殖・分化・細胞融合してあらたな筋繊維を作ると同時に、一部は自己複製して次の筋再生に備える。筋幹細胞はどのように眠り、活性化するのだろうか。そのような問題の解明に挑戦するとともに、骨格筋とそれを支配する神経や腱・血管との相互作用などについても研究してきた。

骨格筋萎縮　研究のきっかけ

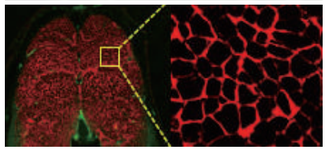
そんな中あるとき、年老いた母が歩けなくなった。その前の数年間、徐々に足が弱り、家にこもりがちになっていたのだが、とうとう歩けなくなってしまった。そしてやがて入院。忘れられないのは、私が出張先のチリから帰国していつものようにそのか細い左手を握ると、彼女はそーっと右手の腕も伸ばして、私の手を両手で弱々しく握り返したこと。その腕は、もはや骨と皮のみで、殆ど筋肉はついていなかった。そしてあくる日、逝ってしまった・・・。彼女を見ながら、加齢に伴う筋萎縮を治療し、予防することの重要性を痛感した。実はこれが、私が真剣に筋萎縮の研究に取り組むことになった、きっかけである。

廃用性筋萎縮には、蛋白合成の低下・代謝の変化や、ユビキチン - プロテアソームによる筋タンパク質分解亢進の関与が知られる。

しかし、このような既知のメカニズムでは、加齢による不可逆な筋萎縮は説明できないかもしれない。一方、加齢の進行に伴う筋幹細胞減少・再生能の低下が骨格筋の萎縮や繊維化などを招き、その減少は若齢マウスの血液循環により抑制されること、さらに、加齢マウスでは筋繊維からの FGF の受容が筋幹細胞で増大し、静止期幹細胞の過剰分化につながることなど、筋萎縮・幹細胞破綻への種々の細胞外環境因子の関与が示唆されている。

宇宙滞在によってゼブラフィッシュの骨格筋は萎縮するか？

では、宇宙滞在による筋萎縮は、これらの筋萎縮とどこが共通でどこが違うのだろうか？２０１４．９．２７．国際宇宙ステーション利用実験として、ゼブラフィッシュ幼魚 18 匹を軌道上に打上げた。研究室の佐藤文規は、ゼブラフィッシュの宇宙への旅支度のため３週間バイコヌール（カザフスタンにある）宇宙基地に滞在。私は、ロケット打ち上げ直前に基地入りして、軽蔑のまなざしを受けた。18 匹のうち 6 個体は打ち上げ 48 時間後遺伝子発現解析のため化学固定、残り 12 個体を国際宇宙ステーションの水棲生物実験装置で飼育し、遊泳行動を記録した。約 6 週間後、 6 個体は遺伝子・組織解析のための化学固定、残りを生存状態で帰還させた。帰還個体のうち一部は遺伝子解析のため固定、残りは地上での約 1 カ月の飼育後、遺伝子・組織解析のための化学固定を行った（アクシデントもあり、全個体を使えなかったのは、ちょっと残念）。地上で同じ条件で飼育した魚をコントロールとした。これらの魚の骨格筋（筋幹細胞を含む）・脳などから RNA を調製し、次世代シークエンサーによる遺伝子発現データを取得中である。また、地上実験として、加齢魚・麻酔薬による運動低下魚について、同様の遺伝子発現データを取得し、比較する。国際宇宙ステーションで長期飼育された魚を地上に生還させることに成功したのは初めてのことで、打ち上げ直前・直後・滞在後だけでなく、帰還直前・直後・回復過程の遺伝子発現変化も、筋再生機構・幹細胞動態とも関連づけながら解析する。



●研究室ホームページ／ http://www.frontier.kyoto-u.ac.jp/rc03/

A02-1 重力変動や閉鎖環境による循環調節機構の変化

◎ 研究代表者／岩崎 賢一　（日本大学・医学部）
● 研究分担者／小川 洋二郎（日本大学・医学部）　青木 健　（日本大学・医学部）
柳田 亮　（日本大学・医学部）　篠島 亜里（日本大学・医学部）

宇宙でヒトの循環系はどう変わるのか？

ヒトが宇宙飛行した際、循環調節機構が大きく変化することが、これまでの研究で明らかになっている。これらの変化は宇宙滞在中の微小重力曝露や往還時の過重力曝露、滞在中の運動低下（身体活動量の減少）、閉鎖環境ストレスなど、幾つかの環境因子により発生していると考えられる。また、循環器系は、脳、眼、心臓、末梢など、種々の循環調節機構で各々調節され、それらが協調し全体の恒常性を保っているが、宇宙での変化は臓器ごとにも異なり複雑である。

当計画研究では、宇宙・特殊環境の研究を基礎医学的な方向に発展させ、宇宙飛行から想定される「循環調節機構を変化させる主要な３環境因子（重力変動、運動低下、閉鎖環境ストレス）」を分離して実験し、それら各々の環境因子による臓器ごとの循環調節機構の変化を評価する（図１）。具体的な測定のイメージは図２のごとくである。例えば、脳循環系の評価においては、経頭蓋ドプラ血流計と連続血圧計から得られた脳血流速度と動脈血圧の波形に伝達関数解析などを施して、脳血流自動調節機能や頭蓋内圧値を推定・評価する。そして最終的には、循環調節系の総合的な変化の様相を明らかにすることを目指す。

また、３つの環境因子に分けた実験の内容としては、以下の①～③を主に計画している。①ヒト用の遠心人工重力装置を用いた 1Gz~2Gz の過重力負荷実験（図３）や、ティルトベッドを使用した μ Gz～１Gz の低重力負荷実験を実施する。②ベッドレスト実験、運動対策応用実験を実施する。③ A02-5 計画研究班が中心となった JAXA 閉鎖環境施設を使用したストレス実験に共同参加し、循環調節機構の評価を担当する。

またさらに、他の計画研究班との共同研究の一つとして、宇宙やストレス環境下での睡眠制御にオレキシン拮抗薬を用いることを想定した実験も計画している。この研究は、宇宙開発での運用や実臨床への素早い応用の可能性が高い研究と考えている。具体的には、睡眠導入にオレキシン拮抗薬を用いた場合の循環調節系への効果や影響を、他の不眠症治療薬と比較するものなどである。

さらに、他の計画研究班や公募研究班との情報共有を行い、微小重力やストレスによる生体システム全体に対する影響を統合的に理解することを目指す。

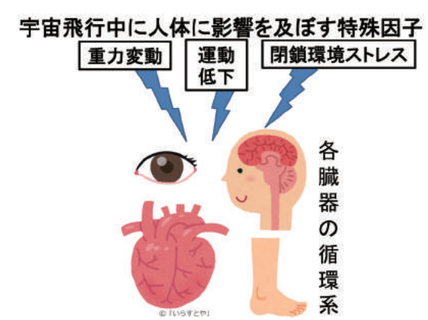


図１、宇宙の環境因子が循環調節系に及ぼす影響

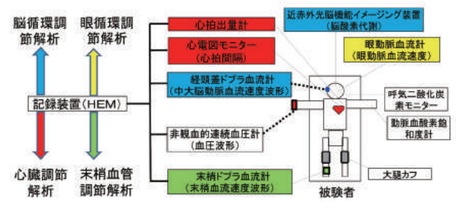


図2　実験・測定のイメージ

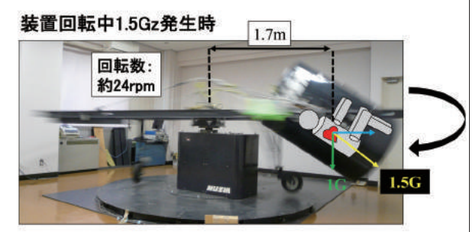


図3、日本大学ヒト用小型遠心人工重力装置

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 7-8
16/02/26 10:06

A02-2 前庭系可塑性応答の統合的理解と適応障害対策

◎ 研究代表者／森田 啓之（岐阜大学・大学院医学系研究科）
● 研究分担者／上田 陽一（産業医科大学・医学部）　梶 博史（近畿大学・医学部）
村谷 匡史（筑波大学・医学医療系）　岩崎 真一（東京大学・医学部）

研究目的

1961 年のユーリイ・ガガーリンによる世界初の有人宇宙飛行成功から 50 年以上経過し，約 500 人の飛行士が宇宙の微小重力環境を経験しました。その過程で，微小重力に対する多くの適応障害が報告されてきました。重力酔い，抗重力筋萎縮，骨量減少，帰還後の起立耐性低下等は最も重要な適応障害であり，今後宇宙に「より長く」滞在し，「より遠くへ」到達するためにも，その克服は喫緊の課題です。本研究項目 (A02-2) の目的は，これらの適応障害の機序として前庭系の可塑性に着目し，重力環境の変化に対する前庭系の可塑性を生理学的，分子遺伝学的手法により解明し，適応障害の対策を提案することです。
これらの研究を通じて，重力という力学的ストレスに対して，地球生命体が有する適応能力･修復能力･頑強さを包含する高い可塑性と，閾値を超えるストレスによる不可逆的なダメージ，破綻への道筋の新しい理論を構築することを目指します。

研究内容

私たちは，過重力環境下で 2 週間飼育したラットを 1 *g* 環境に戻すと，重力刺激に対する中枢神経系の応答性が低下し，前庭系を介する自律神経・血圧調節，ストレス反応が障害されることを報告してきました。これらの障害は一過性であり，1 *g* 環境に戻して 1–2 週間で回復しますが，過重力環境下で誕生・発育したラットの前庭機能は 1 *g* 環境で 4 週間飼育しても完全には回復しませんでした。従って，異なる重力に曝される時期と期間に依存して，前庭系を介する経路の何処かにエピジェネティックあるいはジェネティックな変化が起こると考えられますが，これらを解析した研究はありません。そこで本研究項目では，過重力環境により引き起こされる前庭系を介する調節機能の変化を自律神経系，心・血管系，内分泌系，ストレス反応系 (重力酔いを含め)，運動制御系，筋・骨連携系に着目して明らかにし，それぞれの経路で起こるエピジェネティックな変化，ジェネティックな変化を網羅的に解明していきます。さらに，異なる重力環境に曝露させる時期 (耳石前庭系の発生期，発達期，成熟期) 及び期間 (数日間，数週間，数カ月) を変えて実験することにより，前庭系の可塑性 (適応，修復，頑強さ) とその破綻 (不可逆的なダメージ) に至る過程を統合的に解明します。

宇宙滞在に伴う前庭系の可塑的変化とその対策

過重力環境下では，活動量が低下し，前庭系への入力は 1 *g* 環境下の 10% 程度に低下します。従って，過重力環境そのものではなく，過重力環境に伴う活動量低下により前庭系への入力が低下することにより，前庭系の可塑性が引き起こされた可能性があります (use-dependent plasticity)。もしそうであれば，微小重力環境下でも同様な変化が起こる可能性があります。このことを確かめるために，森田と村谷が参加する「きぼう利用生命科学分野重点課題 " マウスを用いた宇宙環境応答の網羅的評価 "，PI：筑波大学，高橋智教授」の結果と比較し，過重力応答と微小重力応答の相似点，相違点を明らかにします。さらに，「JAXA フィージビリティスタディ " 長期宇宙滞在により引き起こされる耳石前庭機能障害の評価 "PI：森田」により，宇宙滞在に伴う耳石系機能，半規管系機能の変化を明らかにします。これらの研究により得られた知見に基づいて，前庭系の可塑的変化およびその破綻により起こる機能低下に対する予防策を提案することを目指します。体表面に置いた電極を介して末梢前庭器とその求心路を刺激する galvanic vestibular stimulation が有効でないかと考え，その刺激方法の適正化を図ります。
これらの研究を通じて，重力という力学的ストレスに対して，地球生命体が有する適応能力・修復能力・頑強さを包含する高い可塑性と，閾値を超えるストレスによる不可逆的なダメージ，破綻への道筋の新しい理論を構築することを目指します。

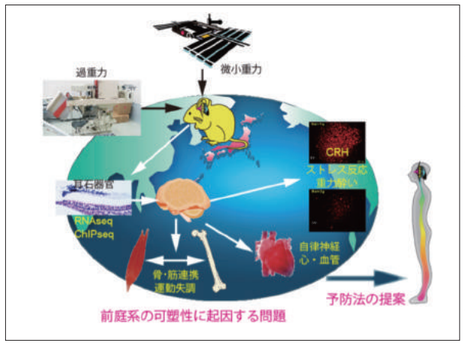


図　遠心機による過重力環境および国際宇宙ステーション内の微小重力環境でマウスを飼育し，前庭系を介する調節機能の可塑的変化を生理学的，分子遺伝学的手法により解明する。これらの成果を基に，調節機能低下に対する新たな予防法を提案する。

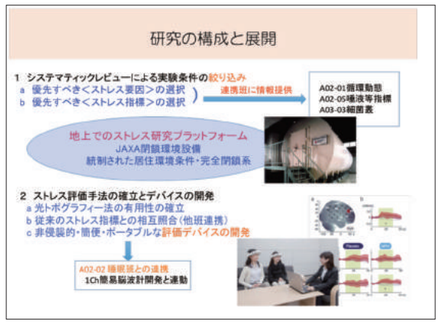
A02-3 想定外のストレス下での精神・自律神経系の恒常性維持機構の解明

◎ 研究代表者／松崎 一葉（筑波大学・大学院医学医療系）
● 研究分担者／笹原 信一朗（筑波大学・大学院医学医療系）
宇佐見 和哉（筑波大学・大学院医学医療系）
大井 雄一（筑波大学・大学院医学医療系）
斉藤 環（筑波大学・大学院医学医療系）

研究計画概要

国際宇宙ステーション（ISS）計画は国際協力のもと着々と進行しており、今や日本人宇宙飛行士も長期滞在を行うようになった。ISS 環境は、微小重力や宇宙線・放射線等の自然環境のみならず、低照度、人工的昼夜変化、振動、騒音などの人工的・技術的な制約があり、極度にストレスフルな環境での生活を強いられている。たとえば、同じ部屋に長時間にわたり同じ人たちと過ごしていると、「息がつまる」などと表現されるように閉鎖環境はそれだけでも人間にとり心理社会的なストレス要因となる。宇宙では、これに加えて、上記の複雑な環境要因が複合的にストレス要因を形成する。地上でこれら複合的な要因をもつ環境はなかなかないが、災害下の避難環境等がこれに相当する想定外のストレス環境として注目される。
したがって、「宇宙で生きる」ためには、このような複合的な環境要因をもつ閉鎖環境への適応に関するメカニズムが不明であり、この解明が期待される。

そこで、本研究では他の計画班員と密接な連携をとりながら（右図）、
1. 長期宇宙滞在飛行士の心身の適応研究と、大事故・災害時の心身ストレスに関する研究のシステマティックレビューを実施し、環境因子変数の絞り込み作業を行う。
2. 1 で絞り込まれた環境因子変数に従い、総括班と共に長期閉鎖環境実験を実施し、生体の適応過程に関する非侵襲的ウェアラブル光トポグラフィーで客観データを取得し他の計画研究結果と照合する。
以上の研究を通して、宇宙環境を『想定外事象の実験フィールド』ととらえた、ストレス研究の新たなパラダイムを形成することを目指す。



2015 年 12 月現在での進捗と興味深い課題について

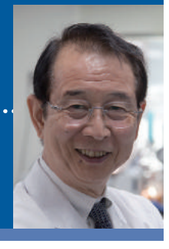
システマティックレビューの途中経過からは、国際共同研究における長期閉鎖実験である MARS500 が注目された。これは将来の火星探査を目標とした長期宇宙滞在を想定した地上での長期閉鎖実験であり、ロシアの宇宙医学研究者を中心に、ヨーロッパからドイツ、イタリア、アジアから中国、マレーシア、韓国と国際的な協力体制のもと実施された壮大な実験である。ヨーロッパ人 2 名、ロシア人 3 名、中国人 1 名の計 6 人の参加者がこの閉鎖実験を体験し、じつに 520 日間もの期間を太陽の光や新鮮な空気に全く触れず、外部の世界との接触なく完遂している [1]。
また、火星を想定した実験は他にも行われており、アメリカのユタ州の砂漠のなかにある MDRS(火星砂漠研究センター) の実験報告もある。2011 年 3 ～ 4 月にかけての 2 週間、6 人の健常成人を対象にこの火星探査のアナログ環境で閉鎖実験が行われている [2]。このような閉鎖実験報告等の論文をシステマティックレビューにより現在鋭意まとめている。

一方、光トポグラフィー（以下、NIRS）を用いた閉鎖実験では、古川班が中心となって実施する JAXA の閉鎖実験施設を共同で利用して行う予定である。NIRS とは、酸素化ヘモグロビン濃度と脱酸素化ヘモグロビン濃度を近赤外線を用いて測定するもので、脳機能活性を簡便かつ低侵襲に測定できる方法として近年注目を集めている [3]。
先行研究からは、主観的な QOL が高い健常者ほど言語流暢性課題中の前頭前野の活性が高いことが示され、また、主観的な QOL のうち身体的領域や社会関係における満足度が、より強く前頭前野の活性と関連していることが明らかになってきている [4]。
さらに、安静時の前頭葉の活動を NIRS で計測し、機械学習のアルゴリズムを用いることにより被験者の状態不安（state annxiety）を推測できるとの報告もある [5]。
このように NIRS による閉鎖環境の心理社会的ストレス測定への可能性が期待でき、今後の閉鎖実験でのデータ解析と他の計画研究班とのデータ相互参照により複合的な閉鎖環境の影響を評価できるものと考える。

参考文献
1. Mars-500 project Simulation of a manned flight to Mars. http://mars500.imbp.ru/en/index_e.html　Accessed at 1st Dec 2015
2. Sawyer BD, Hancock PA, Deaton J, Suedfeld P.Finding the team for Mars: a psychological and human factors analysis of a Mars Desert Research Station crew.Work. 2012;41 Suppl 1:5481-4.
3. 酒谷薫 (監修), 岡田英史 (編集), 星　詳子 (編集), 宮井一郎 (編集), 渡辺英寿 (編集). NIRS- 基礎と臨床 . 振興医学出版社 . 東京 . 2012.
4. Yoshihiro Satomura, Ryu Takizawa, Shinsuke Koike, Shingo Kawasaki, Akihide Kinoshita, Eisuke Sakakibara, Yukika Nishimura, and Kiyoto Kasai,"Potential biomarker of subjective quality of life: Prefrontal activation measurement by near-infrared spectroscopy", Social Neuroscience Online Edition: 03 Dec 2013, doi: 10.1080/17470919.2013.861359.
5. Sato M1, Ishikawa W, Suzuki T, Matsumoto T, Tsujii T, Sakatani K. Bayesian STAI anxiety index predictions based on prefrontal cortex NIRS data for the resting state. Adv Exp Med Biol. 2013;765:251-6. doi: 10.1007/978-1-4614-4989-8_35.

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 9-10　16/02/26 10:06

A02-4 超ストレス環境・宇宙を見据えた新規睡眠覚醒制御手法の開発



◎ 研究代表者／長瀬 博　（筑波大学・国際統合睡眠医科学研究機構）
● 研究分担者／柳沢 正史（筑波大学・国際統合睡眠医科学研究機構）
船戸 弘正（筑波大学・国際統合睡眠医科学研究機構）
徳山 薫平（筑波大学・体育系）
北川 博之（筑波大学・計算科学研究センター）

国際宇宙ステーション（ISS）・ストレス現代社会での睡眠問題

国際宇宙ステーション (ISS) では、極端に短い日周期や閉鎖環境により、宇宙飛行士は高いストレス環境に置かれている。そのため彼らの多くが睡眠障害を経験し、調査対象の宇宙飛行士（85 名）のうち約７５%が不眠症治療薬を使用しているとの報告（Barger 等）がある。将来は、惑星間飛行等の長期宇宙滞在が必要となってくることが予想されるため、睡眠問題の解決がより強く求められている。また、睡眠問題は遠い宇宙の特別な話ではなく、身近な問題でもある。現代は２４時間型・高ストレス社会であるため、今や地上でも多くの人々が睡眠の恒常性に異常をきたしている。労働者の約１０%が夜勤や交代制勤務に従事しており、その２０～３０%が不適応を訴えていると言われる。さらに、高齢者の不眠症の有病率は３０%と言われており、高齢化社会での大きな問題となっている。既存の不眠症治療薬として、最近まで GABA 作動薬のみが利用可能であったが、GABA 作動薬は依存性が高く、また覚醒中枢の抑制により睡眠を促すことから、認知機能の低下や筋弛緩作用などの副作用がある。服用時には非常事態に対応できなかったり、転倒等のリスクもあるため、新しい作用機序の治療薬が待たれていたが、2014 年に新規治療薬であるオレキシン受容体拮抗薬が上市されたところであり、その臨床的評価に注目が集まっている。

副作用の心配のない治療薬が存在していなかったことに加え、臨床睡眠医科学が抱えるもう一つの問題は、現時点では容易かつ正確に多数の被験者の睡眠を診断できる方法が無いということである。これまではポリソムノグラフィーという、医療機関において多数の電極を付けて翌朝まで就寝する方法が最も信頼性の高い検査方法であった。しかし、被験者の肉体的・心理的負担が大きく、少人数の被験者にしか利用することができない。多数の被験者の睡眠評価が必要な場合には、アンケート形式の主観的な評価や、身体の動き等から睡眠状態を推定する方法を使用せざるを得ないが、信頼性や精度が低く、新規睡眠診断法の開発が求められている。

研究内容

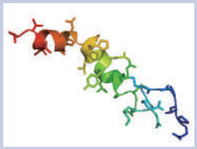
我々は ISS および現代ストレス社会における睡眠問題の解決を目指し、１）多数の被験者の睡眠を正確に計測するための新規睡眠診断法の開発と、２）新しい不眠症治療薬の臨床的評価を行う計画である。具体的には、ISS 環境のような過酷な環境でも被験者が一人で使用でき、かつ全自動で正確な睡眠診断が可能な睡眠自動解析システムを開発する。特に脳波解析ソフトの改良、およびクラウドコンピューティングの利用により精度の高い自動解析を目指す。また、新規治療薬であるオレキシン受容体拮抗薬と、従来薬の GABA 受容体作動薬を服用後、その平衡感覚への効果・影響および覚醒刺激への応答性、認知機能への影響、睡眠の質への影響等を臨床的に比較検討する。さらに、他の計画研究との共同研究によって、長期閉鎖環境適応訓練設備を利用した閉鎖試験で診断法・治療法の検証を行なう予定である。本研究による成果は、ISS での睡眠障害の問題の解決だけでなく、一般の人々の不眠症、睡眠に異常をおこすうつ病などの精神疾患、時差ぼけ、夜間労働によるリズム障害などの治療法の開発につながることが期待される。

診断法：睡眠自動解析システムの開発

誰でも使用できるポータブル脳波測定デバイスとクラウド型睡眠自動解析システムを組み合わせた新規睡眠診断法を開発

治療法：オレキシン拮抗薬の臨床的評価

昨年上市された、従来と異なる作用機序の不眠症治療薬であるオレキシン拮抗薬の平衡感覚や運動機能に対する影響、覚醒刺激への応答性を検討



閉鎖環境における睡眠の診断法・治療法の検証

長期閉鎖環境適応訓練設備を利用し、開発した診断法と新しい治療法を検証
（A02-1、A02-5 との共同研究）

ISS および現代ストレス社会での睡眠問題の解決へ

ISS 環境でも容易に使用できる正確な睡眠診断法　・　安心して使用できる不眠症治療薬の提供

A02-5 無重力・閉鎖ストレスの統合的理解

◎ 研究代表者／古川 聡　（JAXA・有人宇宙技術部門）
● 研究分担者／緒方 克彦（JAXA・有人宇宙技術部門）
鈴木 豪　（JAXA・有人宇宙技術部門）
村井 正　（JAXA・有人宇宙技術部門）
佐藤 勝　（JAXA・有人宇宙技術部門）
大島 博　（JAXA・有人宇宙技術部門）
阿部 高志（JAXA・有人宇宙技術部門）
村上 敬司（JAXA・有人宇宙技術部門）

閉鎖環境適応訓練設備を利用した無重力・閉鎖ストレスの統合的理解

有人宇宙探査では、無重力の影響に加え、複数のクルーが宇宙船という閉鎖空間で長期間仕事や生活を共にすることで、肉体的にも精神的にも多大なス ト レスが生じる。一方、ストレスに対する適応応答は時系列とともに変化し、自覚症状とダメージの程度が異なるケースも多く、最終的な破綻に至る期間の個人差 も大きい。従って、ダメージを客観的に評価し、可逆的な段階で対策を講じることが不可欠である。本研究では、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の閉鎖環境適応訓練設備を用いて、閉鎖ストレスによるダメージを客観的かつ定量的に評価できる短期・長期ストレスマーカーを探索する。これを用いて、模擬無重力環境 (ベッドレスト実験) の影響時の変動についても評価する。実験では、「第二の血液」といわれる唾液からこれらのマーカーの探索を行い、最終的には簡易測定技術の開発を目指す (図 1)。ストレスに対し顕在化する生体現象 (レジリアンス (復活力)、適応 (可塑性)、破綻) との相関 (図 2) を整理し、生体へのストレス評価に役立てる。なお、領域代表かつ A02-5 班代表である古川が、閉鎖環境実験を統括する。

閉鎖環境適応訓練設備は JAXA 筑波宇宙センター（茨城県つくば市）にあり、バス 2 台分程度の広さがある（図 3、4）。被験者は、そこに 2 週間滞在する。国際宇宙ステーションでの滞在を模し、施設内の被験者は外部との接触が完全に遮断され、外部との連絡は管制室のみ。保存食をとりながら、単純作業やグループで取り組むなど課題をこなす予定。

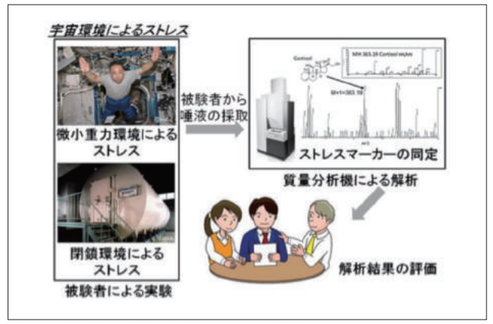


図 1. 宇宙環境によるストレスマーカーの評価

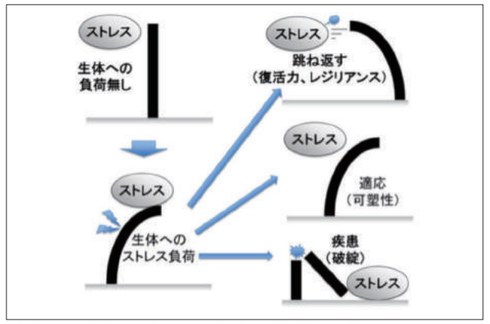


図 2. ストレスに対する生体のレジリアンス、適応、破綻

図 3. 閉鎖環境適応訓練施設外観

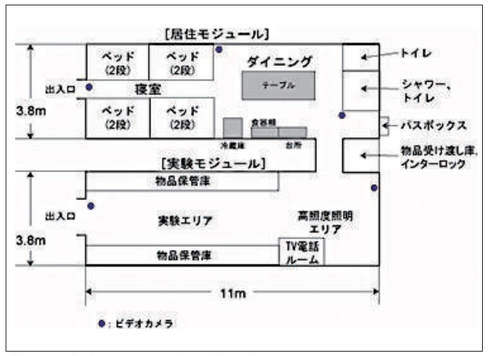


図 4. 閉鎖環境適応訓練施設内見取り図

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd　11-12　　16/02/26　10:07

A03-1 低フルエンス粒子放射線の動物個体への影響と生体の適応に関する多面的解析

◎研究代表者／根井 充（放射線医学総合研究所（NIRS）・放射線防護研究センター）
●研究分担者／永松 愛子（JAXA・有人宇宙技術部門）　王 冰（NIRS・放射線防護研究センター）
勝部 孝則（NIRS・放射線防護研究センター）　藤森 亮（NIRS・放射線防護研究センター）
丸山 耕一（NIRS・福島復興支援本部）　中島 徹夫（NIRS・放射線防護研究センター）

研究の概要

宇宙には宇宙放射線（宇宙線）が飛び交っており、巨大な遮蔽体を打ち上げない限り避けることができない。国際宇宙ステーションにおいては地球の磁場にある程度守られるため、宇宙飛行士の被ばく線量は 1 日当たり 0.5 mSv 程度であるが、火星探査のような磁気圏外へ出るミッションでは、積算線量として 1,000 ～ 1,500 mSv 程度の被ばくが想定されている。日本の法令では職業人における線量限度が 5 年間で 100 mSv であり、なおかつどの 1 年でも 50 mSv を超えることはできないと定められていることを考えれば、宇宙線がいかに重要な環境リスク要因であるかが理解できる。宇宙線の多くは陽子と電子であるが、少なからず原子番号の大きな重粒子放射線が含まれている。また、宇宙線が物質（宇宙船体等）と相互作用することにより、二次的に中性子線が発生する。重粒子放射線と中性子線は生体傷害作用が大きいことから、宇宙飛行士の環境リスク要因として特に重要である。

新学術領域研究「宇宙に生きる」を " 宇宙という極限環境における生命の適応と破綻の境界を探る研究プロジェクト " と言い表した時に、A01「重力応答の分子細胞基盤」と A02「宇宙滞在の高次恒常性への影響」が生命の適応からのアプローチであるの対し、A03「宇宙で想定される環境リスク」は生命の破綻からのアプローチと見ることができる。その中で本計画研究は、宇宙線に由来する生命の破綻要因の解明に取り組む課題である。特に重粒子線と中性子線に注目し、晩発障害（比較的短期間で発症する急性障害に対し、何年も経ってから発症する障害）の中で最も深刻な障害である発がんに関連する生体影響事象を指標として、低フルエンス粒子放射線に対する動物個体の応答と適応、および生活環境等による応答と適応の修飾の解明を試みる。低フルエンスとは、一部の細胞にしか粒子放射線がヒットしない微弱な照射場（被ばく条件）を意味しており、宇宙空間でヒトが活動する際の現実的な環境を表している。低フルエンス粒子放射線は微弱なため、動物の組織細胞のすべてには当たらない（図 1）。粒子放射線が当たった細胞ではゲノム損傷を介して何らかの影響が発生する可能性が考えられるが、当たっていない周辺の細胞にも細胞間情報伝達を介して何らかの影響が生ずることが知られている。これは低フルエンス被ばくに特有な放射線影響の発生メカニズムであって非標的効果と呼ばれている。しかし非標的効果がどのように粒子放射線発がんに寄与するかはまだ分かっていない。また動物個体の遺伝子や生活環境がどのように粒子放射線発がん感受性を修飾するかについても明らかにされていない。本計画研究では重粒子放射線もしくは中性子線を低フルエンスでマウスおよびメダカに照射する（図 2）。そして照射後一定の時間をおいて小核形成、染色体異常、非標的効果等、発がんに関連する放射線影響指標を評価し、ヒトが地上で通常経験するＸ線被ばくによる影響と比較する。肝臓は放射線発がん感受性が比較的高い臓器であることから、照射後の肝臓における分子レベルの変化も評価する。さらに低フルエンス粒子線の影響が動物個体の遺伝子、および摂取カロリーや心理ストレス等生活環境によってどのように修飾されるかを明らかにするとともに、影響低減に機能する薬剤等を探索する。本計画研究の終了時には、低フルエンス粒子放射線の発がん作用の大きさがＸ線との比較において評価できるとともに、宇宙空間における生活環境の調節によるリスクの低減策が明らかになると期待される。

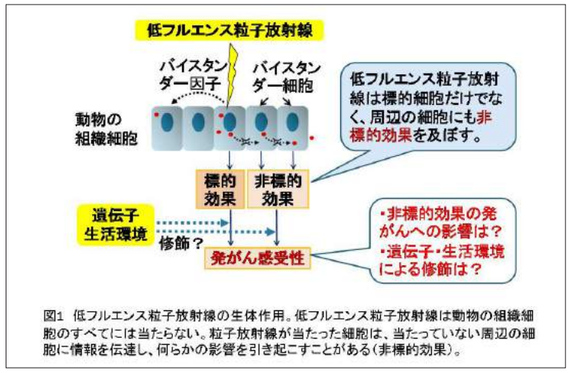


図1　低フルエンス粒子放射線の生体作用。低フルエンス粒子放射線は動物の組織細胞のすべてには当たらない。粒子放射線が当たった細胞は、当たっていない周辺の細胞に情報を伝達し、何らかの影響を引き起こすことがある（非標的効果）。

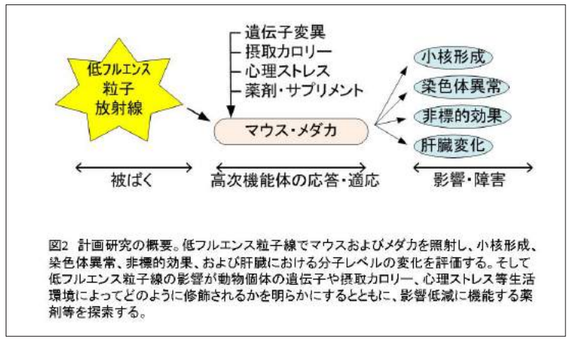


図2　計画研究の概要。低フルエンス粒子線でマウスおよびメダカを照射し、小核形成、染色体異常、非標的効果、および肝臓における分子レベルの変化を評価する。そして低フルエンス粒子線の影響が動物個体の遺伝子や摂取カロリー、心理ストレス等生活環境によってどのように修飾されるかを明らかにするとともに、影響低減に機能する薬剤等を探索する。

A03-2 様々な線質と線量率の宇宙放射線の急性影響

◎研究代表者／高橋 昭久（群馬大学・重粒子線医学研究センター）
●研究分担者／日出間 純（東北大学・大学院生命科学研究科）

研究背景

今や国際宇宙ステーション (ISS) での長期滞在が可能となり、船外活動の機会も増している。宇宙空間は磁場と大気に守られている地上とは異なり、生物学的効果の高い重粒子線（1 粒子でも飛跡に沿って重篤な DNA 切断を引き起こす）を含めて線質の異なる混合放射線が低線量・低線量率で降り注いでいる（図 1）。また、宇宙空間はオゾン層に遮られない短波長太陽紫外線（DNA の吸収極大と一致して高頻度に塩基損傷を引き起こす）の高線量・高線量率環境であり、①船外活動時の宇宙放射線環境、②オゾン層形成前の原始地球光環境、③宇宙環境下での化学進化反応の検証、④オゾン層破壊後の未来地球光環境の実験場として注目されている。さらに、宇宙空間は微小重力環境であり、月や火星では地上の 1/6、1/3 の重力環境である。微小重力によって、ミトコンドリアの細胞内局在が変化し、断裂することで細胞に酸化ストレスや低呼吸を引き起こしたり、また、成長因子からの生存シグナルが抑制されたりするという興味深い報告があり、放射線の影響を修飾することが十分に考えられる。しかし、宇宙放射線と重力環境変化との複合影響は、未だ不明な点が多い。人類が安全に宇宙に進出し、活動するためには、宇宙放射線の影響を正しく評価して、放射線障害から免れる防護方法を開発することは喫緊の課題である。

そこで本研究では、様々な生物種を対象に「様々な線質と線量率の宇宙放射線の急性影響と、それら生物急性影響に対する微小重力環境の影響」の解明を目指す。

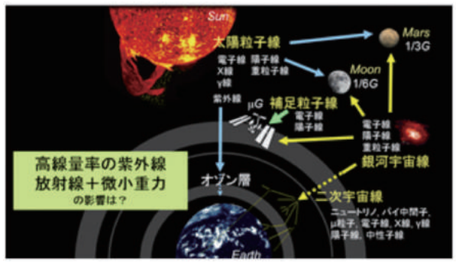


図 1. 宇宙空間における宇宙放射線と重力環境

放射線（含紫外線）と微小重力の複合影響解析

「放射線・紫外線に対して微小重力環境がどのような影響を及ぼすのか？」について、3D クリノスタット (搭載試料が重力刺激を受ける前に、直交する 2 軸により 3 次元回転させて重力方向を連続的に変化させることで、重力影響をキャンセルする装置：図 2) を用いる。この 3D クリノスタットの回転センサーの情報から生物試料が水平になった時のみに放射線（X 線および重粒子線）および紫外線を同期照射することのできるシステムを世界で初めて開発する。本装置は、国内の大学で唯一重粒子線治療装置を有している群馬大学（研究代表者・高橋が所属）に設置する。本装置を用いて、放射線と微小重力との複合影響に関する地上実験を実施し、本課題の解明を目指す。

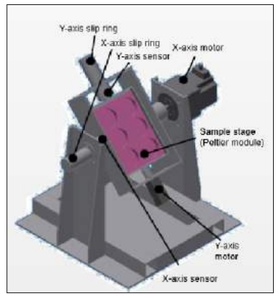


図 2. 3D クリノスタット

様々な放射線・紫外線の線質・線量率の違いによる生物への急性影響とその克服に関する研究

宇宙放射環境で生物が生きるために、何がリスクとなり、どの遺伝子がキーとなるのか？様々な放射線・紫外線の線質・線量率の違いによる生物への急性影響および次世代への遺伝的影響について、様々な生物種（微生物、小型植物、ヒト培養細胞等）を対象に分子・細胞・個体レベルで探究する。具体的には、放射線・紫外線で想定される DNA 損傷や酸化障害とその修復と克服に着目し、線質・線量率の違いによる生物効果曲線を解析する。また、放射線・紫外線による細胞内影響をリアルタイムで解析可能な生物体の開発を試みる。

これらの知見に基づいて、いかにどこまで宇宙放射線の被爆を軽減することが必要かを提案する。また、新学術領域「宇宙に生きる」の他の班員が進める「様々な宇宙の極限環境」を切り口に生命体の可塑性・破綻を科学する研究と情報交換しながら、これまで地上の研究だけでは気づかなかった生命の潜在能力を探る。

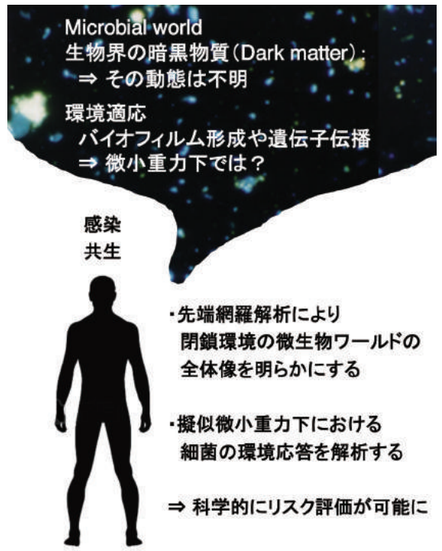
2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 13-14　16/02/26 10:07

A03-3 閉鎖環境における微生物の変遷

◎ 研究代表者／那須 正夫（大阪大学・大学院薬学研究科）
● 研究分担者／嶋津 徹（JAXA・有人宇宙技術部門）
谷 佳津治（大阪大谷大学・薬学部）
槇村 浩一（帝京大学・大学院医学研究科）
山口 進康（大阪大学・大学院薬学研究科）
内井 喜美子（大阪大谷大学・薬学部）
一條 知昭（大阪大学・大学院薬学研究科）
杉田 隆（明治薬科大学・薬学部）
堀 克敏（名古屋大学・工学研究科）
山崎 丘（帝京大学・大学院医学研究科）
中谷 肇（名古屋大学・工学研究科）
藤山 英保（鳥取大学・農学部）

研究概要

微生物はヒトの生活、また生存に深くかかわっている。皮膚の表面に常在する表皮ブドウ球菌は外来微生物の定着を防ぎ、腸管内の腸内細菌は腸管免疫系の刺激やビタミン等の産生などにおいて、有益な役割を担っていることが知られている。また、環境中には多種多様な細菌が生息し、生態系における物質循環等に大きな役割をはたし、生態系の恒常性維持に深く関与している。これら環境中に生息する細菌の大部分は我々にとって無害だが、一部の細菌は我々の免疫能が低下すると、感染症、特に日和見感染症を引き起こすことがある。



宇宙居住環境は微小重力下かつ宇宙線に曝露される閉鎖環境で、高度に微生物管理されているが、無菌にすることはできない。微生物はこのような特殊な環境にも適応し、ヒトとの関係は地上と比べて大きく変化すると考えられている。これまでの宇宙実験により、ネズミチフス菌や緑膿菌等の病原性の変化が報告され、擬似微小重力下では、大腸菌や黄色ブドウ球菌の他、真菌（カンジダ）におけるバイオフィルムの形成促進等が確かめられている。一方、ヒトの免疫能はストレス等により低下することが懸念されている。「宇宙に生き」、また「地上で豊かに生きる」ためには、モデル環境におけるヒトと微生物の関係を理解し、共生するための基盤的な知見を集積する必要がある。

本研究では、①宇宙居住環境の地上モデルとして、厳密な基準のもとに高度に微生物管理された空間における微生物群集（細菌、アーキアおよび真菌）を gene ecology の観点から網羅的に解析し、その全体像を明らかにする。また機能遺伝子の発現を指標にその活性についても評価する。培養を前提としない新たな微生物解析手法を他の研究グループと共有し、広い視野からの統合的な研究を進める。②微小重力下における微生物間相互作用と環境適応については、バイオフィルム形成と遺伝子伝播が細菌の重要な生存戦略であることから、それぞれについて擬似微小重力実験装置を用いて詳細に検討する。バイオフィルムによる微生物間相互作用については接着タンパク質や凝集因子、クオラムセンシング関連遺伝子の発現から検討する。③得られた成果をもとに、閉鎖環境における微生物リスクについて考察し、超長期宇宙居住における微生物リスクの低減を目指す。また、その成果を積極的に「地上」に応用する。

総括班からの報告

第1回総括班会議

- 開 催 日：2015年7月2日(木)
- 開催場所：宇宙航空研究開発機構筑波宇宙センター
- 出 席 者：古川代表、総括班メンバー
- 議事概要

❶古川領域代表より新学術領域研究「宇宙に生きる」採択の報告
▶古川領域代表を中心とする苦しかった準備が報いられ、プロジェクト採択！皆で喜び合い、総括班会議のあと、祝杯をあげました！（笑）
❷ホームページ開設（嶋津担当）、ロゴマーク作成（東端担当）について議論。お二人のセンスに一任し、次回の総括班会議までに、原案作成を依頼しました。
❸国際活動支援の応募の方針を議論。

第2回総括班会議

- 開 催 日：2015年7月17日(金)
- 開催場所：宇宙航空研究開発機構東京事務所
- 出 席 者：古川代表、総括班メンバーおよび学術調査官
- 議事概要

❶ 領域運営の方針について議論。まずは、領域内の役割分担決定。続いて、領域内の共同研究、国際共同研究の可能性とその推進、若手育成について議論が白熱。特に閉鎖環境実験の具体的な計画、進め方についてA02を中心に話し合うことを決めました。また、国際活動支援班を通して、国際ネットワークの構築、若手派遣の大筋を決めました。
❷公募研究班の募集について、どんな応募研究が入ると「宇宙に生きる」がより進展するのか？議論しました。
▶来年4月から始まる公募研究班員との顔合わせが楽しみです！
❸キックオフミーティング、平成27年10月6日開催を決定。詳しくは、次ページの一條先生の報告をお読みください。
❹東端よりロゴマーク案が提示され、大筋合意しました。最終決定版は、本裏表紙をご覧ください。

第3回総括班会議

- 開 催 日：2015年11月13日(金)
- 開催場所：宇宙航空研究開発機構東京事務所
- 出 席 者：古川代表、総括班メンバーおよび学術調査官
- 議事概要

❶ 古川領域代表より、国際共同研究加速基金（国際活動支援班）採択の報告。早速、役割分担、具体的な国際ネットワークの構築方法、若手派遣を決めました。また、若手育成を目的に、領域内に「若手の会」を結成し、若手の会初代幹事長は、笹原先生（A02-3研究分担者）に決定しました。
▶笹原先生、若手の会宜しくお願いします！
❷ 領域ワークショップを3月9日(水)・10日(木)に竹橋の一橋会館で開催し、また初日には早速、若手の会主催の「若手シンポジウム」を開催することにしました。
❸ 領域ニュースレター「Living in Space News Letter」を年2回発行することを決定しました。
▶ちなみに記念すべき創刊号は、平成28年2月末日を予定。担当は日出間。本当にご苦労様です。ぜひ皆さん、原稿提出の期日は忘れずに（笑）。
❹ 領域ホームページ（http://living-in-space.jp/）が開設されました。ぜひご覧ください。

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 15-16
16/02/26 10:07

キックオフミーティング報告　平成27年10月6日（火）

A03-3
研究分担者

一條 知昭
大阪大学・大学院薬学研究科

今年度より発足した新学術領域研究「宇宙からひも解く新たな生命制御機構の統合的理解(宇宙に生きる)」のキックオフミーティングが平成27年10月6日に東京・一橋大学一橋講堂にて開催された。本ミーティングへの参加者数は、総括班と11の計画研究班で構成される本領域の関係者から80名、一般から52名、報道関係から3名の合計135名であった。

古川代表による領域の紹介

瀬原淳子先生（京都大学；A01-3代表）の司会のもと、浅島誠先生（東京大学；領域アドバイザー）によるご挨拶からキックオフミーティングが開始され、引き続き古川聡先生（JAXA；領域代表、A02-5代表）より、ご自身の宇宙での経験を盛り込みつつ本新学術領域「宇宙に生きる」のプロジェクトの意義、学術的なねらいを紹介いただいた。次に［A01］重力応答の分子細胞基盤、［A02］宇宙滞在の高次恒常性への影響、［A03］宇宙で想定される環境リスクの順で、各計画研究班代表より、研究内容や公募研究にて期待する研究項目についての紹介がなされた。休憩を挟んだのち、世界最先端の睡眠研究を推進されている柳沢正史先生（筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構；A02-4研究分担者）から「睡眠・覚醒の謎に挑む」と題する特別講演を賜り、最後に、向井千秋先生（東京理科大学;領域アドバイザー）から「宇宙に生きる」新学術領域研究に対する期待を込めたご挨拶を頂き、閉会となった。

多くの方に参加いただきました

技術交流会での一コマ

今回のミーティングは、領域の内容を初めて公の場で紹介することから、フロアからの質疑応答も活発で、当初予定していたスケジュールでは時間が足りないほどであり、参加者の本領域への興味が非常に大きなものであることを改めて感じることとなった。

キックオフミーティング後の技術交流会も、領域関係者が一同に会する初めての機会になったことから、今後約4年間続く本学術領域の発展や新規の共同研究に向けた情報交換が会場のいたるところで行われており、盛況裏に終えることができた。私も多くの先生方と話をでき、若手からも本領域の発展に関与していかなければならないことを強く再認識できた場となった。

「宇宙に生きる」新学術領域計画研究班メンバー

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 17-18
16/02/26 10:07

若　手　研　究　者　紹　介　❶

有人惑星探査ミッションに向けた宇宙放射線防護のためのリスク評価研究

A03-1 低フルエンス粒子線の動物個体への影響と生体の適応に関する多面解析

● 研究分担者／永松 愛子　（JAXA・有人宇宙技術部門）

研究の概要

現在、国際宇宙ステーション（International Space Station; ISS）の実験機会を用いて、宇宙放射線に関する研究・技術開発を担当している。日本人宇宙飛行士の被ばく管理のための個人線量計測や「きぼう」船内の環境モニタリングなどの宇宙放射線計測機器の開発と軌道上運用およびデータ解析、ISS で取得したデータをベンチマークデータとして高精度化を行っている「宇宙放射線被ばく線量シミュレーションモデル」の構築と次世代居住モジュールの遮蔽材料の最適化評価、そして生物個体を使った宇宙放射線の低線量・長期被ばく影響の研究に携わっている。宇宙放射線計測技術の構築と被ばく管理、シミュレーション、生物影響研究は、2020 年以降に計画されている月・火星の有人惑星探査のための放射線防護とミッションマネージメントに必須の基礎技術である。宇宙放射線に対するリスク評価には、宇宙放射線計測機器での実測といった物理的な側面と、宇宙飛行士個人や放射線感受性の高い臓器への影響を評価する生物学的な側面があり、両者が相補的な関係である。

日本の宇宙放射線生物研究の歴史は、日本の有人宇宙活動史とともに発展し、ますます重要視されている。宇宙環境の最大の特徴として、「宇宙放射線環境」は「微小重力環境」とともに、長期宇宙に滞在する際の最大の特徴であり、同時に最も考慮すべきリスクのひとつであるからだ。

1992 年 9 月、毛利宇宙飛行士の初宇宙飛行であるスペースシャトルによる「ふわっと '92」第 1 次材料実験（STS-47/FMPT：First Material Processing Test）では、ヒト培養細胞を用いた実験では、細胞が遺伝的に不安定な状態で、微小重力下で宇宙放射線の影響を受けると、突然変異頻度が上昇することが確認されている（池永ら、京都大学）。ロシア宇宙ステーションミール／スペースシャトルドッキング実験機会による STS-89/91 では、ヒトメラノーマ細胞のポストラベル法により、細胞内の DNA 損傷の可視化が行われた（大西ら、奈良県立医科大学）。

1998 年 11 月に国際宇宙ステーションの組み立てが開始され、2000 年 11 月から宇宙飛行士の長期滞在活動が始まった。日本の宇宙実験棟「きぼう」のが 2008 年 6 月に打ち上げられ、船内での宇宙医学／有人宇宙技術開発、科学利用（ライフサイエンス・材料）、人文・社会科学、応用利用および船外利用実験など、宇宙環境を生かした幅広い実験が行われている。「きぼう」の打上により、スペースシャトルではできなかった数十日から年単位での長期宇宙実験がはじめて可能となった。「きぼう」船内に搭載されている培養細胞装置の中の人工重力発生装置を用いた模擬 1G 区とμ G 区（宇宙環境）を比較し、「宇宙放射線環境」と「微小重力環境」のどちらが優位に影響しているのか、培養細胞を使った実験も可能となった（「Rad Gene テーマ」大西ら、奈良県立医科大学）。　初期の放射線生物影響の宇宙実験では、菌類や昆虫、培養細胞が中心だったが、マウス凍結 ES 細胞（「Stem Cell テーマ」森田ら、大阪市立大学）、マウス凍結受精卵（「Embryo Rad テーマ」柿沼ら、放射線医学総合研究所）の長期搭載実験になり、メダカ・ゼブラフィッシュ個体実験から、マウス個体をつかった実験が始まっている。

これまでの地上における放射線生物影響研究としては、培養細胞やマウスを用いた数百 mGy から数 Gy オーダーの急性照射や間欠照射による照射実験がほとんどであり、これらの実験の線源として、γ線が使われてきた。重荷電粒子や陽子照射の実験も数例あげられるが、ISS の環境よりもはるかに高線量でなおかつ短期実験に限られている。

放射線の急性・高線量被ばく時の生体影響は、長年の疫学調査（Pierce and Preston, Radiat. Res., 154, 178-86, 2000）に基づき、高線量急性照射における細胞・組織・個体レベルの放射線応答や突然変異・発がん過程はよく調べてられているものの、宇宙環境に相当する低線量（率）での急性或いは慢性照射に対する生物影響リスクは高線量域でのデータを元に外挿して推定するしかないのが現状である。

ISS が飛行する高度 400km の宇宙放射線環境は、銀河宇宙線や太陽活動により生じる太陽粒子線、磁場に捕捉された陽子線により構成され、これらに起因する船内の被ばく線量は、1 日当たり 250 ～ 350 μ Gy/day (「Area PADLES テーマ」永松ら、JAXA) であり、これは UNSCEAR (原子放射線の影響に関する国連科学委員会) の線量レベルの定義を考慮すると、（極）低線量領域に相当する。現在実施中のシミュレーション評価結果では、月面宇宙放射線環境（宇宙船内）も低線量領域に入るが、太陽フレアの発生などダイナミックな宇宙環境の変動により、宇宙飛行士はミッション期間中常に、ISS よりもはるかに高い宇宙放射線による被ばく影響を受け続けることになる。

2015 年 1 月に JAXA が出した「国際宇宙探査シナリオ」では、2020 年頃に、ECLSS (The Environmental Control and Life Support) や宇宙放射線防護などの要素技術を考慮した深宇宙居住モジュールの打上が検討されている。有人月面探査のミッション期間として 60 日、火星については往復と火星表面での滞在期間をあわせて 900 日を計上している。

根井班（A03-1）では、メダカを使った荷電粒子および中性子による低フルエンス粒子線照射による放射線影響実験を主に担当する。メダカは重粒子加速器の照射視野（10cm Φ）内に複数匹同時照射が可能であり（図 1 ）、ゲノムが解読済みのため、ヒト遺伝子との相同遺伝子情報を活用できるなど、放射線生物影響研究には非常に有効な個体と考えている。また「きぼう」搭載実験のサンプルシェア解析との比較実験も可能なため、地上－宇宙実験との比較解析も進めている。

本新学術領域研究を通して、個体の放射線応答および適応過程を解明し、リスクを低減するにはどのような外的および内的要因が有効か、明らかにしたい。最終的には、火星への有人惑星探査は安全なのか？という解を出すことが目標である。

図 1 放射線医学総合研究所 重粒子加速器 HIMAC でのメダカの照射試験の様子

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 19-20　16/02/26 10:07

若　手　研　究　者　紹　介　❷

ゼブラフィッシュを用いた宇宙滞在による筋萎縮メカニズムの解明

A01-3 骨格筋の発達・維持・萎縮における深依存性の分子基盤の理解

● 研究分担者／佐藤 文規（京都大学・再生医科学研究所）

研究の概要

人類初の有人宇宙飛行以来、宇宙環境が人体に与える様々な影響を対象とした研究が行われてきました。特に、筋萎縮および骨密度低下に代表される筋骨格系への影響は明確であり、宇宙飛行士の健康維持という観点からだけでなく、筋骨格系の萎縮 / 維持メカニズムの解明という観点からも非常に興味深い研究対象となっています。しかし、宇宙滞在実験はサンプル数や実験条件の制限および繰り返し実験の難しさからそのメカニズムには不明な点が多く残されています。そこで私たちの研究グループは、長期的かつ安定的に宇宙滞在実験が可能であり、比較的多くのサンプル数を確保できる水棲動物を用いて、宇宙環境における筋萎縮メカニズムの解明を試みています。

ゼブラフィッシュ宇宙滞在実験

今回実施した宇宙滞在実験では、発生学・遺伝学・行動学など多分野での研究実績があり、データベースが整っている小型魚類のゼブラフィッシュを用いました。ゼブラフィッシュはヒトやマウスと同じ脊椎動物であり、骨格筋の発生・発達・維持においても共通点が多く認められます。近年のゲノム編集技術の発展によりモデル生物としての有用性がさらに高まり、筋疾患モデルとしての使用例も報告されています。2014 年 9 月 26 日のソユーズ TMA-14M 宇宙船（40S）による打ち上げよりゼブラフィッシュ宇宙滞在実験が開始され、軌道上 2 日目、36 日目、地上帰還後 2 日目、33 日目と経時的にサンプルを得ることに成功しました。また、給餌条件等を揃えた地上対照サンプルも既に得られています。

▲ ゼブラフィッシュ "SpaceSwim"

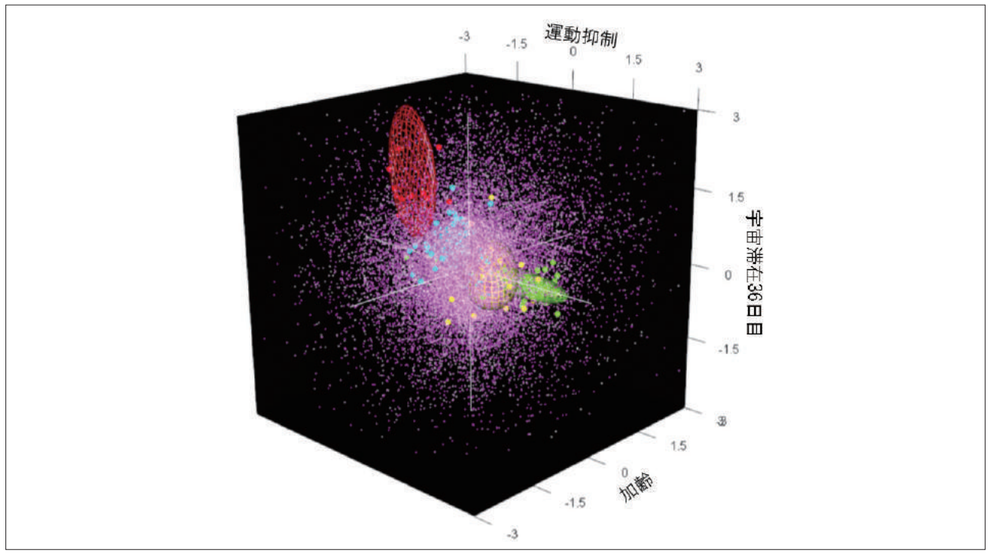
トランスクリプトーム /Pathway 解析

解析は次世代シーケンサーを用いたトランスクリプトーム解析を中心として進めています。宇宙滞在実験に先行し、人やマウスで筋萎縮を誘発することが知られている運動抑制および加齢条件下のゼブラフィッシュ骨格筋のトランスクリプトーム解析も実施しており、運動抑制に関しては廃用性筋萎縮の特徴であるプロテアソーム系遺伝子の著しい発現量増加が確認されています。これらの各条件下の遺伝子発現変動を統合的に解析することにより、宇宙滞在特異的および他の筋萎縮条件と共通な筋萎縮 pathway を明らかにしていきたいと考えています。

最後に、やはり繰り返し実験ができないことが宇宙滞在を対象とした研究のネックであり、地上で飼育していながら宇宙滞在と同じ状態の骨格筋を再現する " 疑似宇宙滞在ゼブラフィッシュ " の開発はできないだろうかと日々考えています・・・

研究概要および軌道上 ISS で飼育されるゼブラフィッシュの様子等は下記サイトでご覧になれます。

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/second/zebrafishmuscle/



▲ 各条件下の遺伝子発現変動 3D-Plots（各色楕円体はある Pathway 関連遺伝子全体の変動を示している。）

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 21-22　16/02/26 10:07

関連学術集会イベントカレンダー

【1】第14回日本予防医学会学術総会

会期 2016年6月18日～19日
会場 日本科学未来館（http://www.miraikan.jst.go.jp/）
ホームページ http://jspm.jp.net/activity/gakujutu/index.html

今回は、大会長の松崎一葉教授によりメインテーマを「予防医学のコスモス的展開～宇宙に生きる～」とし、向井千秋先生以来の宇宙医学を究極の予防医学ととらえる視点から特別講演とメインシンポジウムを企画しています。なお、日本予防医学会は、会員数約300名の学際的学会で、毎年学術集会には100名程度が参加する比較的小規模の学会ですが、みなさん大変勉強熱心で毎年最新の予防医学に関する幅広い内容で構成されております。

【2】日本睡眠学会第41回定期学術集会

会期 2016年7月7日（木）・8日（金）
会場 京王プラザホテル（http://www.keioplaza.co.jp/）
ホームページ http://www.c-linkage.co.jp/jssr41/

日本睡眠学会はその黎明期から、生理学、生物学、臨床医学、臨床検査学、心理学、看護学など睡眠に関連した多彩な分野の人が集まり、睡眠について多元的に考える学際的伝統を持って発展してきた学会です。定期学術集会では、広い領域の会員が所属分野を超えて議論し、新たなパースペクティブを開くことを目的にしています。

今回の定期学術集会は、こうした学際的な伝統を発展させようと、「睡眠の事実・意味・価値」をテーマにしました。様々な睡眠の知見を持ち寄って広く睡眠の事実に目を開く、モデルを作り仮説を検証し睡眠の意味を理解する、法則をまとめ分野を超えた睡眠の価値について考える、こうした営みの中で学問の枠を超えて睡眠学が人類に貢献ができるという思いを込めました。ポスターセッションは、広く睡眠に関する経験、観察、調査での事実を持ち寄るコミュニケーションの場に、シンポジウムは睡眠のメカニズム、病態、社会的影響など、睡眠の意味を考える学際的なディスカッションの場に、ワークショップは専門的な知識や新たなスキルを得る場に、教育講演は睡眠の価値について学ぶ場にしたいと考えています。

【3】日本宇宙生物科学会第30回大会・第62回日本宇宙航空環境医学会ジョイントミーティング

会期 2016年10月13日～15日
会場 愛知医科大学たちばなホール
ホームページ http://www.jsbss.jp/event/event_detail.asp?id=18282

宇宙生命科学研究分野の裾野を広げ、更なる進展を目的に、一般社団法人日本宇宙生物科学会、および日本宇宙航空環境医学会の学術大会を初めて合同で開催いたします。シンポジウムでは、「月・火星探査」、「ISS実験とその後」、「ドクターヘリ」や宇宙飛行士を経験された先生方の講演も予定しております。

【4】11th Asian Microgravity Symposium（AMS2016）

会期 2016年10月25日～29日
会場 北海道大学
ホームページ http://www.jasma.info/ams2016/

2年毎に開催されているAsian Microgravity Symposiumの第11回大会が、今年10月に北海道大学（Chair: Prof. Osamu Fujita, Hokkaido University, Japan）で開催されることになりました。日本国内での開催でもありますので、ぜひ多くの大学院生、若手研究者を含め、ふるってご参加いただきたく存じます。

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 23-24
16/02/26 10:07

領域名簿・編集後記

新学術領域研究「宇宙に生きる」2015年度名簿

領域代表者 古川 聡　宇宙航空研究開発機構（JAXA）有人宇宙技術部門・主幹開発員

1) 総括班

岩崎 賢一　日本大学 医学部・教授
嶋津 徹　JAXA 有人宇宙技術部門・主幹開発員
瀬原 淳子　京都大学 再生医科学研究所・教授
高橋 昭久　群馬大学 重粒子線医学研究センター・教授
長瀬 博　筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授
那須 正夫　大阪大学 大学院薬学研究科・教授
成瀬 恵治　岡山大学 大学院医歯薬学総合研究科・教授
根井 充　放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター・プログラムリーダー
東谷 篤志　東北大学 大学院生命科学研究科・教授
東端 晃　JAXA 有人宇宙技術部門・主任開発員
日出間 純　東北大学 大学院生命科学研究科・准教授
古川 聡　JAXA 有人宇宙技術部門・主幹開発員
松崎 一葉　筑波大学 大学院医学医療系・教授
村井 正　JAXA 有人宇宙技術部門・参事
村上 敬司　JAXA 有人宇宙技術部門・主幹開発員
森田 啓之　岐阜大学 大学院医学系研究科・教授

2) 計画研究班

	研究代表者	研究分担者	連携研究者
A01-1	成瀬 恵治　岡山大学 大学院医歯薬学総合研究科・教授	高橋 賢　岡山大学 大学院医歯薬学総合研究科・助教 曽我部 正博　名古屋大学 医学系研究科（研究院）・特任教授	二川 健　徳島大学 大学院医歯学研究科・教授 小林 剛　名古屋大学 医学系研究科（研究院）・講師 片野坂 友紀　岡山大学 大学院医歯薬学総合研究科・助教
A01-2	東谷 篤志　東北大学 大学院生命科学研究科・教授	東端 晃　JAXA 有人宇宙技術部門・主任開発員	佐藤 修正　東北大学 大学院生命科学研究科・准教授
A01-3	瀬原 淳子　京都大学 再生医科学研究所・教授	佐藤 文規　京都大学 再生医科学研究所・特定助教 飯田 敦夫　京都大学 再生医科学研究所・助教	
A02-1	岩崎 賢一　日本大学 医学部・教授	小川 洋二郎　日本大学 医学部・助教 青木 健　日本大学 医学部・助教 柳田 亮　日本大学 医学部・助手 篠島 亜里　日本大学 医学部・助教	鈴木 孝浩　日本大学 医学部・教授 前田 剛　日本大学 医学部・准教授 廣瀬 倫也　日本大学 医学部・助手 近藤 裕子　日本大学 医学部・助手
A02-2	森田 啓之　岐阜大学大学院医学系研究科・教授	上田 陽一　産業医科大学 医学部・教授 梶 博史　近畿大学 医学部・教授 村谷 匡史　筑波大学 大学院医学医療系・准教授 岩崎 真一　東京大学 医学部附属病院・准教授	山本 義春　東京大学 教育学研究科（教育院）・教授
A02-3	松崎 一葉　筑波大学 大学院医学医療系・教授	笹原 信一朗　筑波大学 大学院医学医療系・准教授 宇佐見 和哉　筑波大学 大学院医学医療系・助教 大井 雄一　筑波大学 大学院医学医療系・助教 斉藤 環　筑波大学 大学院医学医療系・教授	
A02-4	長瀬 博　筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授	柳沢 正史　筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授 船戸 弘正　筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授 徳山 薫平　筑波大学 体育系・教授 北川 博之　筑波大学 計算科学研究センター・教授	小久保 利雄　筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授 裏出 良博　筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授 岩本 邦弘　名古屋大学 医学系・講師 梅村 雅之　筑波大学 計算科学研究センター・教授 佐藤 誠　筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構・教授 大蔵 倫博　筑波大学 体育系・准教授 木塚 朝博　筑波大学 体育系・教授
A02-5	古川聡　JAXA 有人宇宙技術部門・主幹開発員	緒方 克彦　JAXA 有人宇宙技術部門・総括開発員 大島 博　JAXA 有人宇宙技術部門・主幹開発員 鈴木 豪　JAXA 有人宇宙技術部門・主任医長 阿部 高志　JAXA 有人宇宙技術部門・研究員 村井 正　JAXA 有人宇宙技術部門・参事 村上 敬司　JAXA 有人宇宙技術部門・主幹開発員 佐藤 勝　JAXA 有人宇宙技術部門・主幹開発員	井上 夏彦　JAXA 有人宇宙技術部門・主任開発員 野沢 佑子　JAXA 有人宇宙技術部門・開発員
A03-1	根井 充 放射線医学総合研究所（NIRS） 放射線防護研究センター・プログラムリーダー	永松 愛子　JAXA 有人宇宙技術部門・主任開発員 王 冰　NIRS 放射線防護研究センター・チームリーダー 勝部 孝則　NIRS 放射線防護研究センター・主任研究員 藤森 亮　NIRS 放射線防護研究センター・チームリーダー 丸山 耕一　NIRS 福島復興支援本部・主任研究員 中島 徹夫　NIRS 放射線防護研究センター・チームリーダー	二宮 康晴　NIRS 放射線防護研究センター・研究員 田中 薫　NIRS 放射線防護研究センター・主任研究員 劉 翠華　NIRS 放射線防護研究センター・主任研究員 Guillaume Vares　NIRS 放射線防護研究センター・研究員
A03-2	高橋 昭久　群馬大学 重粒子線医学研究センター・教授	日出間 純　東北大学 大学院生命科学研究科・准教授	
A03-3	那須 正夫　大阪大学 大学院薬学研究科・教授	嶋津 徹　JAXA 有人宇宙技術部門・主幹開発員 谷 佳津治　大阪大谷大学 薬学部・教授 杉田 隆　明治薬科大学 薬学部・教授 槇村 浩一　帝京大学 大学院医学研究科・教授 堀 克敏　名古屋大学 工学研究科・教授 山口 進康　大阪大学 大学院薬学研究科・准教授 山崎 丘　帝京大学 大学院医学研究科・講師 内井 喜美子　大阪大谷大学 薬学部・助教 中谷 肇　名古屋大学 工学研究科・助教 一條 知昭　大阪大学 大学院薬学研究科・助教 藤山 英保　鳥取大学 農学部・特任教授	研究協力者 馬場 貴志　鳥取大学 農学部・プロジェクト研究員

3) 領域アドバイザー

浅島 誠　東京大学名誉教授
向井 千秋　東京理科大学副学長

編集後記

新学術領域研究「宇宙に生きる - 宇宙からひも解く新たな生命制御機構の統合的理解」の、領域ニュースレター「Living in Space News Letter」の創刊号が完成しました。お忙しい中、寄稿して下さいました先生方に感謝申し上げます。本ニュースレターでは、班員の研究内容、研究成果、大型特殊施設や活躍中の若手研究者の紹介をはじめ、海外の宇宙生命科学研究の動向などを発信し、班員をはじめとした読者の皆様と積極的に交流していきたいと考えております。本ニュースレターに関しての掲載の希望、ご意見などございましたら

「Living in Space News Letter」編集企画担当・日出間（j-hidema@ige.tohoku.ac.jp）までご連絡ください。（J.H.）

2016_宇宙に生きる_02（影無し）.indd 25-26　16/02/26 10:07