科研費　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」

一般公開シンポジウム　要旨集

2020.

2.29（土）

15:15-18:45 一橋講堂

科研費　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」　一般公開シンポジウム

宇宙に生き、地上で活かす

2020 年 2 月 29 日（土）

一橋講堂

科研費　新学術領域研究「宇宙に生きる」一般公開シンポジウム

宇宙に生き、地上で活かす

2020年2月29日（土）15：15-18：45

はじめに

15：15-15：35	**「新学術領域研究「宇宙に生きる」5年間の取組」** 古川　聡　（領域代表・宇宙航空研究開発機構）

領域研究から

15：35-16：00	**「宇宙に生きるゼブラフィッシュ」** 瀬原　淳子（京都大学）
16：00-16：25	**「宇宙から還って来ると立てない：重力感知器官がおかしい！」** 森田　啓之（岐阜大学）
16：25-16：50	**「宇宙で人体の血のめぐりはどう変わる？」** 岩崎　賢一（日本大学）
16：50-17：05	**休憩**
17：05-17：30	**「マウスを用いた放射線リスクの評価と防護」** 柿沼　志津子（量子科学技術研究開発機構）
17：30-17：55	**「宇宙での細胞機能を理解するための可視化技術開発」** 阪上ー沢野　朝子（理化学研究所）

特別講演

17：55-18：35	**「宇宙空間における対話可能性」** 斎藤　環（筑波大学）

おわりに

18：35-18：45	古川　聡　（領域代表・宇宙航空研究開発機構）

オーガナイザー：東谷　篤志・日出間　純（東北大学）

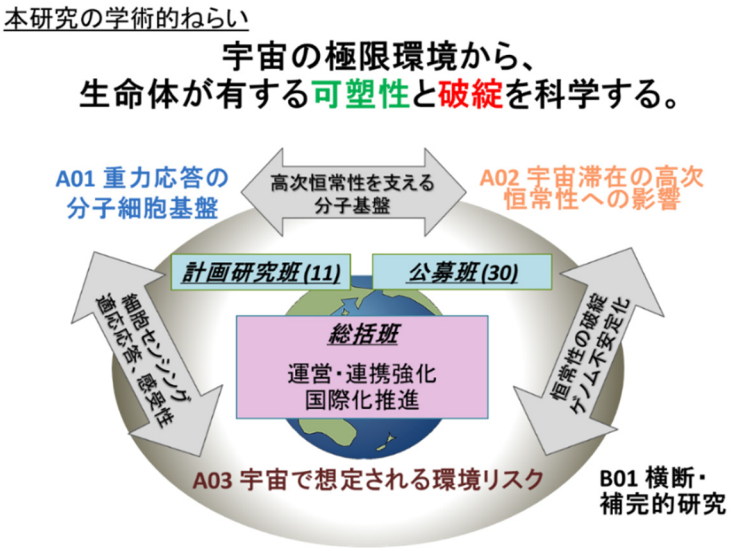
新学術領域研究「宇宙に生きる」5 年間の取組

領域代表
古川　聡
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
宇宙飛行士・運用管制ユニット
宇宙医学生物学研究グループ

医師・宇宙飛行士である演者は、5 ヶ月半におよぶ宇宙滞在で極限的ストレスを経験しました。無重力による骨格筋萎縮や骨量減少、宇宙放射線被ばく等、宇宙滞在による様々な医学的課題を解決して宇宙で人の健康を保つためには、それら課題の統合的研究が必要であり、それは同時に地上の高齢化・ストレス社会における疾病治療や予防・リスク回避にも資すると考え、新学術領域研究「宇宙に生きる」を組織しました。

A01 では細胞や小型モデル動物を用いて重力応答の分子細胞基盤を、A02 では人を中心に宇宙滞在の高次恒常性への影響を、A03 では宇宙放射線・微生物叢の変化など宇宙環境リスクを取り上げ、さらに横断・補完的研究から成る B01 を加え、11 の計画研究班と 30 の公募班が連携して研究を推進しています。

国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟を利用した研究や地上研究において、モデル動物から細胞レベル研究までの共同作業により、宇宙滞在が人体に及ぼす影響とそのメカニズムが少しずつ明らかになってきています。放射線と無重力の複合影響を調べるため 3D クリノスタットと X 線ならびに重粒子線のそれぞれ同期照射装置を世界初で開発したこと等、5 年間の研究成果を紹介いたします。

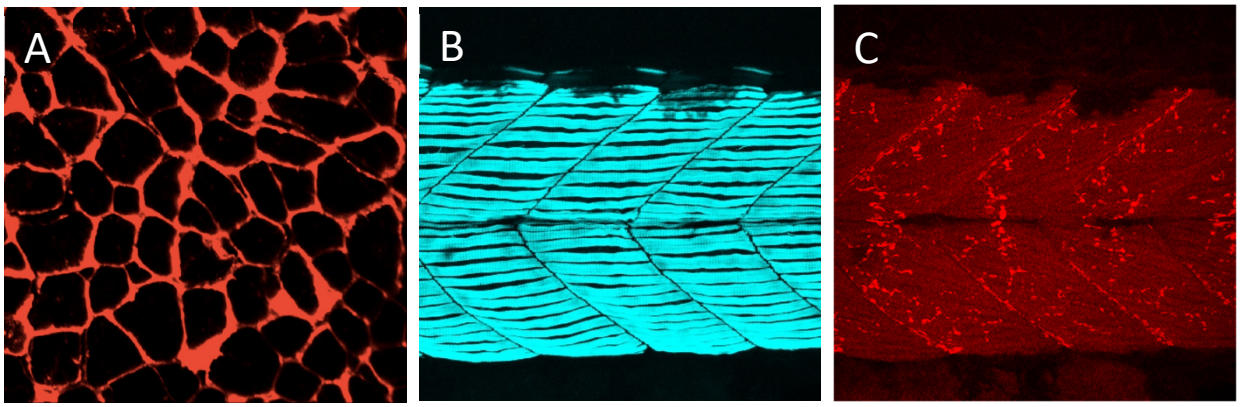


宇宙に生きるゼブラフィッシュ

瀬原　淳子

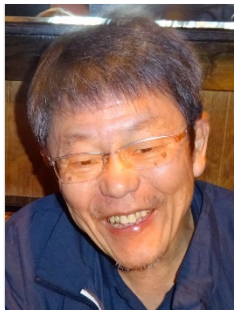
京都大学　ウイルス・再生医科学研究所

竹から生まれて月に帰ってしまうかぐや姫・・・昔も今も、地上に住む私たちにとって、広大な宇宙はあこがれですね。でもひょっとすると 20XX 年には、「火星在住のヒメ・カグヤさんが地球に出張する」なんていうことも実現するするかもしれません。そんな夢を見つつ研究しているのが宇宙生命科学。私たちのグループは無重力の筋肉への影響を探るために、ゼブラフィッシュという小さな魚を国際宇宙ステーションに送りました。彼らの宇宙滞在の様子などを紹介します。



（A）ゼブラフィッシュの骨格筋の横断面
　　（アクチン-赤色蛍光タンパク質を発現するゼブフィッシュを生きたまま観察）
（B）ゼブラフィッシュの骨格筋を横から見た様子
　　（ミオシン重鎖に対する抗体で染色）
（C）ゼブラフィッシュの骨格筋も運動神経に支配されている
　　（神経伝達物質アセチルコリンのレセプターに結合するブンガロトキシン(蛍光ラベル)で染色）

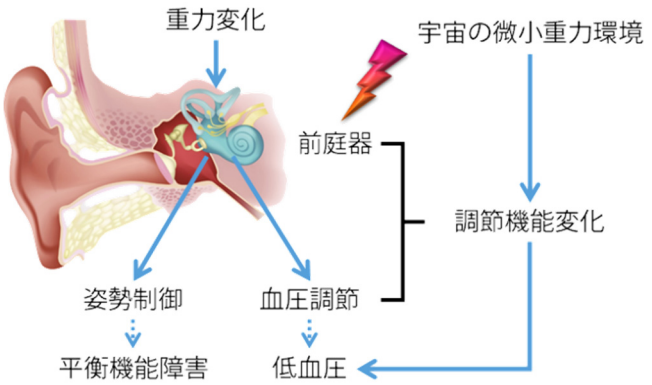
宇宙から還って来ると立てない：重力感知器官がおかしい！



森田　啓之

岐阜大学大学院 医学系研究科

長期宇宙滞在から帰還直後の宇宙飛行士は自力では立てず，両脇を抱えられるように補助されている映像を見ることができます。国際宇宙ステーションでの運動プログラムが充実し，筋力低下はみられないにも関わらず，自力歩行がままならない状態の原因は，重力を感知して種々の身体機能を調節する仕組みの可塑的変化であるということが分かってきました。地上で生活している私たちにとって重力は最も日常的で，しかも最も重要な外乱であり，重力の大きさや方向の変化に対して，種々の身体機能を調節する仕組みが備わっています。例えば，寝ている状態から立ち上がる時には，体軸に対する重力方向が変化して身体が傾きますが，重力方向に体軸が一致するように調節して姿勢を制御します。また，立ち上がりと同時に下半身に血液が貯留して有効な循環血液量が減少し，血圧が低下しますが，低下を補正するように調節系が働き，血圧は保たれます。これらの調節は，鼓膜の奥の内耳に存在する重力の感知器官である前庭器を介して行われます(図参照)。しかし，重力がほぼゼロに等しい国際宇宙ステーション内では，これらの調節は必要ありません。使われないものは退化し，その機能が変化します。これを可塑的変化といいます。宇宙に滞在すると前庭系を介する調節が宇宙仕様になり，そのままの状態で地上に帰還すると地上での重力方向の変化にうまく対応できず，立ち上がった時にフラフラします。この現象を解明するために行った，宇宙マウス実験と宇宙飛行士を対象にした実験について解説したいと思います。



図．立ち上がり時の前庭系を介する調節とその可塑的変化。

宇宙で人体の血のめぐりはどう変わる？

岩崎　賢一

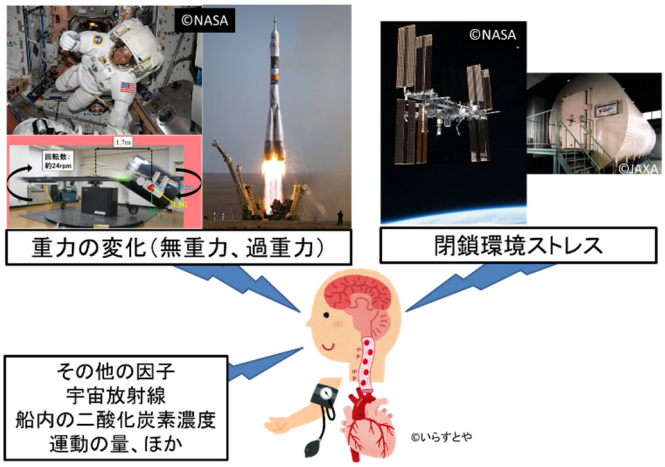
日本大学 医学部 社会医学系衛生学分野

人が宇宙飛行をする時には、体のなかの血のめぐりを変えてしまう可能性のある様々な環境因子にさらされます。代表的なものは、多くの人に知られている宇宙にいる際の無重力（微小重力環境）です。また、限られた空間で過ごさざるを得ない閉鎖隔離環境という状態もあり、ストレスを感じる人もいます。さらに、宇宙と地上を行き来する際には大きな重力（過重力）が体にかかります。そのほかにも、たくさんの因子があります（下図）。例えば、宇宙放射線や船内の二酸化炭素濃度などです。

近い将来、宇宙飛行士が火星に行ったり、一般の人が宇宙旅行する際には、宇宙で血が正しく体をめぐって、脳や目などの重要な臓器にきちんと働いてもらわなければいけません。そのためには、宇宙飛行する際に血のめぐりが、おかしくならないように医学的にもサポートすることが重要と思われます。そこでまずは、「宇宙飛行で人体の血のめぐりがどう変わる？」のか調べていく必要があります。

我々の研究班は、一つ一つの環境因子（地上模擬実験）と、複数の環境因子が合わさった場合（実際の長期宇宙飛行）について研究してきました。シンポジウムでは、特に脳の血のめぐりが変わる可能性があるのか、実験の結果などを説明します。

図：宇宙飛行をする時に様々な因子が人体の血のめぐりに影響を与える可能性があることのイメージ図
（我々の研究では、脳の血のめぐりが長期の宇宙飛行後や、過重力負荷の間や、閉鎖環境滞在によって変わる可能性が分かってきました。）



マウスを用いた放射線リスクの評価と防護

柿沼　志津子

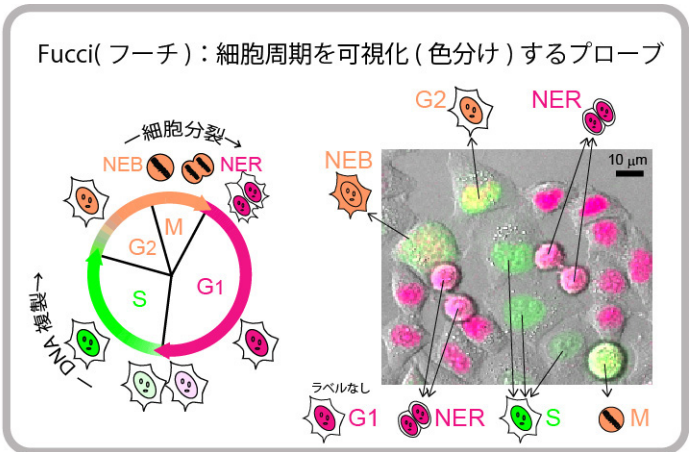
量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所
放射線影響研究部

宇宙に行ったら、私たちは地上と同じように生活できるでしょうか？
宇宙に行くと、地上とは違うところがいくつかあるようです。その一つは地球に引っ張られている「重力」が無いこと、もう一つは、「放射線」の量が多くなることです。私は、放射線について研究しました。
「放射線」についてどのくらい知っていますか。放射線は見えませんし、匂いもしません。普段の生活では、放射線の存在を気にすることはありませんが、私たちはもともと放射線に囲まれて生活しているのです。これまでの研究から、一定量以上の放射線を被ばくすると、量が多くなるほど長期的には発がんなどの健康影響がでる可能性が高くなることが分かっています。一方、私たちは、被ばくがない場合でもがんになるため、少ない量の放射線では発がんの増加は確認されていません。宇宙では、地上に比べて放射線の量が多く、国際宇宙ステーションでは、２日間で地上の１年分に相当する量の放射線を被ばくすると言われています。また、宇宙空間での放射線は宇宙放射線といわれ、地上で被ばくする放射線とは異なる種類の放射線が含まれます（例えば星が爆発したときにできた鉄イオンなど）。そこで、あらかじめ宇宙放射線を被ばくしたときの健康影響を調べておくことが必要です（放射線リスクの評価）。
また、被ばくする線量を制限して、健康影響が出ないようにすること（放射線防護）も大切です。
そこで私たちは、宇宙放射線の影響を調べるために、地上でできる研究として、マウスを用いて宇宙で被ばくする放射線の寿命や発がんに対する影響を調べました。また、実際の宇宙空間での影響を調べるために、マウスの凍結胚を国際宇宙ステーションに約１年搭載し、地上に戻ってきてからマウス個体になるかどうかを調べる Embryo Rad（エンブリオラド）実験を行いました。講演では、これらの研究成果を紹介します。

宇宙での細胞機能を理解するための可視化技術開発

阪上―沢野　朝子

理化学研究所 脳神経科学研究センター
細胞機能探索技術研究チーム



アポロ 11 号で人類が地球外の天体に降り立ってから 50 周年の昨年、NASA アメリカ航空宇宙局はアルテミス計画＝再び月を目指す有人宇宙探査計画を打ち出しました。
さらに月を拠点とする、"Moon to Mars mission" においては、人類の火星到達を目指すとしており、JAXA 宇宙航空研究開発機構もまた “将来の国際有人宇宙探査と今後の地球低軌道宇宙活動に関する検討” などを重点的に推進しています(http://iss.jaxa.jp/about/)。

しかし宇宙はまだまだ未知の世界です。私たちが長期間宇宙の旅に出たならば何がおこるでしょう？微小重力、宇宙放射線曝露や閉鎖環境は、私たちの心と体にどのような影響を及ぼすでしょうか。生命科学の観点から、私たちは宇宙空間における人体の変化をもっともっと研究し理解していかなければなりません。これは月や火星で人類が健全に活躍するためには欠くことができない研究領域なのです。

私達は、2008 年のノーベル化学賞で知られる緑色蛍光タンパク質(GFP)技術を利用し可視化することで様々な生命現象を解き明かしてきました。そして今これらの技術を宇宙空間における生命科学研究に応用しています。みなさんの体を構成する細胞たちは、宇宙ステーション、月、火星ではきっと違った顔を見せているはずです。見てみたくはないですか！そんな宇宙の旅の入り口に皆さんをご招待いたします。

「宇宙空間における対話可能性」

斎藤　環

筑波大学大学院　人間総合科学研究科
ヒューマン・ケア科学専攻
社会精神保健学分野

宇宙飛行士は閉鎖空間での共同生活において、さまざまなストレスを経験します。物理的環境の要因としては、無重力環境であることに加え、ノイズや照明、あるいは衛生環境などがストレスとなり得えます。また社会的要因としては、人員構成や指揮系統、組織の構成などに起因する対人ストレスが想定されます。加えて個人的要因としては、訓練やタスクの難易度、あるいは生活の単調さ、緊張度や生理的ストレスなどの影響を受けることが予想されます。こうした要因によって長期間の宇宙滞在においては、パニック障害やうつ状態、心身症などが生ずる可能性があるとされています。しかし宇宙空間において、精神科医や心理士などが常駐することは困難であり、そうした問題への対応は、服薬もしくはセルフケアが主体とならざるを得ません。

フィンランドで開発された「オープンダイアローグ」は、近年急速に注目を集めつつある統合失調症急性期のケアの手法（思想／システム）です。1980 年代から実践されており、ほとんど入院治療や薬物治療を行わずに、きわめて良好な治療成績を上げているとの報告があります。

その基本的手法は以下の通りです。発症直後の急性期、患者や家族からの依頼があってから 24 時間以内に、「専門家チーム」が結成され、患者の自宅を訪問します。本人や家族、そのほか関係者が車座になって座り「開かれた対話」を行います。この対話は、クライアントの状態が改善するまで、ほぼ毎日のように続けられます。その対象は統合失調症に限らず、うつ病や依存症、ひきこもりに至るまで、その適用範囲は多岐にわたります。演者らはすでに外来診療においてオープンダイアローグ的な手法の導入を進めており、従来型の治療よりも高い成果を報告しています。

　オープンダイアローグは短期間の研修によって、非専門家でも実践することが可能です。長期に及ぶ閉鎖空間の滞在において、心理ストレスの緩和から心理クライシスのケアに至るまで、対応可能な手法として位置づけることが可能です。
本講演では、オープンダイアローグの治療機序や有効性についてのエビデンスを紹介しつつ、宇宙空間での応用可能性について検討します。

本シンポジウムは、本領域研究成果を広く公開することを目的として、日本学術振興会より助成を受け開催いたします。

「宇宙に生きる」事務局
茨城県つくば市千現2-1-1 宇宙航空研究開発機構内
Mail: Z-OFFICE_LIS@ml.jaxa.jp