

## 国際宇宙ステーションにおけるヒト神経細胞宇宙実験「Neuro Rad」

— ヒト長期宇宙滞在 神経細胞に何がおこるか? —

馬嶋 秀行

鹿児島大学大学院医歯学総合研究科 先進治療科学専攻  
腫瘍学講座 顎顔面放射線学分野・宇宙環境医学講座

## ISS Space Experiment using Human Neuroblastoma Cells “Neuro Rad”

— Long-term manned space mission -What occur in human neuron-like cells? —

Hideyuki J. Majima

Kagoshima University Graduate School of Medical and Dental Sciences  
Professor & Chairman  
Department of Oncology, Maxillofacial Radiology Division  
and Department of Space Environmental Medicine

8-35-1 Sakuragaoka, Kagoshima 890-8544  
TEL +81-99-275-6270, 6272 FAX +81-99-275-6278  
email: hmajima@dent.kagoshima-u.ac.jp

### Abstract

Space environment includes space radiation exposure and microgravity. Space astronauts have been counting over 450 people among over 30 countries. One major concern regarding long-term manned space missions is the effect of accumulative doses of space radiation (daily dose is 0.2 ~ 1 mSv). Such missions will inevitably expose astronauts to significant doses, are thought to result in increase of risk, including carcinogenicity, neurotoxicity, and lifespan changes. These effects occur by nuclear and cytosol dysfunction, particular signal transduction or protein synthesis change and mitochondrial damage. In addition, microgravity may affect cellular metabolisms, signal transduction, etc., and might lead into synergistic effects with space radiation, which may result in further increase of risk. To clarify involvement of genome expression by 20 or 30 days exposure of space environment, we will perform soon the space experiment (Neuro Rad) in April, 2010, at International Space Station, launching a human neuroblastoma cell line, SK-N-SH cells, which maintain neuron function. The human space mission and its possible risk are reviewed, and the outline of “Neuro Rad” experiments are introduced.

**Key words:** Long-term manned space mission, space environment, space radiation, microgravity, neuron function

はじめに

鹿児島大学大学院医歯学総合研究科宇宙環境講座は、平成15年の大学院統合とともに新たに設立され発展、歩んできた。2010年4月には、我々の研究が国際宇宙ステーションでいよいよ実施されることになっている。本稿では、宇宙環境講座についての説明他、この宇宙

研究プロジェクトの研究内容、進捗状況等を紹介する。

アメリカ合衆国およびロシア（旧ソビエト連邦）における宇宙開発競争

有人宇宙飛行の歴史を表にまとめた（表1）。人類最初の有人宇宙飛行は旧ソ連のボストーク1号1961年

## 世界の有人宇宙開発の歩み

ロシア(旧ソ連)		アメリカ		中国・インド	
57年	「スプートニク1号」打ち上げ	58年	米航空宇宙局(NASA)設立		
61年	ユーリ・ガガーリン宇宙飛行	61年	アラン・シェパード宇宙飛行		
		61年	ケネディ米大統領月着陸演説		
65年	「ボスホート2号」船外活動	65年	「ジュミニ」ランデブー実験		
67年	「ソユーズ1号」帰還失敗、宇宙飛行初死亡事故	69年	「アポロ11号」が初の月着陸に成功		
71年	宇宙ステーション「サリュート1号」打ち上げ	70年	「アポロ13号」酸素タンク爆発、月に着陸せず帰還	70年	中国初人工衛星「東方紅1」
		73年	「スカイラブ1号」を打ち上げ		
75年	「アポロ」と「ソユーズ」軌道上でドッキング	75年	「アポロ」と「ソユーズ」軌道上でドッキング	75年	インド初人工衛星「アリアバード」
		81年	スペースシャトル「コロンビア」初飛行	80年	インド初自力打ち上げ衛星「ロヒニ」
		84年	レーガン米大統領国際宇宙ステーション計画提唱		
86年	宇宙ステーション「ミール」建設	84年	シャトルで、命綱なしの船外活動		
88年	旧ソ連版シャトル「ブラン」無人打上(計画中止)	86年	スペースシャトル「チャレンジャー」爆発事故		
95年	「ミール」宇宙滞在最長437日間記録				
		04年	ブッシュ米大統領、火星探査を含む新宇宙戦略発表	03年	中国初有人宇宙船「神舟5号」
		04年	民間初の宇宙船が高度100キロに到達	07年	インド宇宙カプセル打ち上げ・回収 有人宇宙飛行へ
		05年	NASA、新型宇宙船など月面有人探査計画発表	08年	中国「神舟7号」船外活動

表1 世界の有人宇宙開発の歩み。アメリカ、ロシア（旧ソビエトを含む）、中国、インドにおける有人宇宙開発の歩みを示した。



図1 ロシア、モスクワにあるロシアアカデミー本部近くのガガーリン広場にそびえ立つガガーリン少佐ステンレス像。1980年建設。



図2 アポロ計画で打ち上げ使用されたサターンVロケット。月にアポロ月探査司令船、機械船、月着陸船(LM)を送り込むために開発されたロケット。全長110mにおよぶ史上最大のロケット。



図3 人類月面着陸の新聞ニュース。1969年7月20日にアポロ11号月面着陸成功の新聞記事。ニール・アームストロング船長の月に降り立っての言葉が書かれている。



図4 1969年7月20日、アポロ11号のオールドリン宇宙飛行士が踏みしめた月面の足跡。

4月12日発射によるガガーリン少佐(図1)の飛行であった。「地球は青かった。」の言葉を残している。人類最初の月探査は1969年7月16日、ニール・アームストロング船長、マイケル・コリンズ司令船操縦士、エドウィン・ユージーン・バズ・オールドリン Jr. 月着陸船操縦士搭乗のアポロ11号であった。アポロ11号を搭載したサターン V 型ロケット(図2)はケネディ宇宙センター第39複合発射施設から発射され、7月20日、アームストロング船長とオールドリン Jr. 月着陸船操縦士は人類として初めて月面に降り立った(図3、4)。コリンズ司令船操縦士は、その間司令船で月軌道上を周回していた。人類は地球の歴史上初めて地球以外の天体の上に降り立ち、アームストロング船長は有名な次の言葉を残した。

「これは一人の人間にとっては小さな一歩だが、人類にとっては偉大な飛躍である。

*That's one small step for [a] man, one giant leap for mankind.*

この飛行により、ジョン・F・ケネディ大統領が1961年5月25日の合同議会の演説で表明した「1960年代の終わりまでに人類を月面に到達させる」という公約が実現された。「私は我が国が、この10年間(60年代)が終わるまでに人間を月面に到達させ、なおかつ安全に地球に帰還させることを約束する。

*"I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth."*

次の12号は成功したが、13号では機械船の酸素タンクが爆発するという事故が発生し、これにより月面着陸は中止せざるを得なくなったが、三人の飛行士は無

事に地球に帰還することができた。トム・ハンクス主演の映画にもなっている。その後の14号から17号までの飛行はすべて成功し、特に最後の3回では月面車を利用して広範囲に月面を探索するミッションが実行された。最後の17号は1972年12月7日に発射され、12月19日、無事地球に帰還した。ユージーン・サーナン船長は2009年現在、最後に月を離れた人間となっている。

アポロ探査の証明は、最近になり、2008年5月、日本の宇宙探査機(月周回衛星)かぐやが、アポロ15号の着陸船のロケット噴射によるクレーターを撮影し、これにより、アポロ宇宙船が実際に月に着陸したことが確認された。また、NASAは、2009年7月、月探査機「ルナー・リコナイスランス・オービタ(LRO)」によって撮影されたアポロ11号、14号、15号、16号、17号の5つの着陸地点の画像を公開した。月着陸船とその影が鮮明に写っているほか、特にアポロ14号の着陸地点では、月面に置かれた科学装置や宇宙飛行士の足跡と推測される画像も捉えている。これらの有人宇宙探査の発展は、米ソの冷戦の賜物ともいえよう。

#### 国際宇宙ステーション計画(International Space Station; ISS)

国際宇宙ステーション計画が最初に持ち上がったのは、1980年代初期のレーガン米大統領による冷戦期における西側諸国の宇宙ステーション「フリーダム計画」であった。最初の国際宇宙ステーションの開発は、1988年9月に締結された日米欧の政府間協定により着手された。一方、ソ連は「サリュート」に続く宇宙ステーション「ミール」による宇宙滞在を実現していたが、1991年末のソ連崩壊による混乱と財政難で、ミー

ルは宇宙空間で劣化した。その後、1998年にはロシア、スウェーデン、スイスを加えた国際宇宙ステーション協定が署名され、これにより ISS 計画の参加国は、アメリカ、ロシア、カナダ、日本、ESA 加盟の各国（ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリス）の15カ国となっている。これとは別に、ブラジル宇宙機関がアメリカと二国間協定を結んで参加している。1998年にロシアが製造した「ザリヤ」モジュールが打ち上げられて ISS の建設が開始された。このように、米ソの冷戦後に歴史的国際宇宙ステーション建設計画が立てられた。しかし、米国や欧州の財政難、スペースシャトル「チャレンジャー」の爆発事故、続く冷戦終結による政治的アピールの必要性低下によって計画は遅々として進まなかった。また、2003年にスペースシャトル「コロンビア」の空中分解によって建設は一時中断し、その後の調整で建設規模が縮小した。2008年3月から3回に渡り、いよいよ日本の実験棟「きぼう」が打ち上げられた（図5、表2）。



図5 国際宇宙ステーション (ISS) の像

**きぼう建設計画推移**

「きぼう」日本実験棟の船内保管室	2008年3月	土井隆雄宇宙飛行士搭乗スペースシャトル「エンデバー号」	STS123/ 1J/A
「きぼう」日本実験棟の船内実験室とロボットアーム	2008年5月	星出彰彦宇宙飛行士搭乗スペースシャトル「ディスカバリー号」	STS124/ 1J
「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームと船外パレット	2008年10月	若田光一宇宙飛行士搭乗スペースシャトル「エンデバー号」	STS127/ 2J/A

表2 きぼう建設計画推移. 我が国の宇宙実験棟 (Japanese Experiment Module; JEM), 別名「きぼう」は、3回にわたって、国際宇宙ステーション (ISS) に打ち上げられ、建設された。

宇宙環境が与える影響

宇宙環境とはどういうものであるのか? 図6に宇宙環境の因子を示した。宇宙で人類が生活するには、微小重力影響、宇宙放射線影響および閉鎖環境が医学的問題となる。閉鎖環境は、バクテリアおよび心理的影響が問題となる。

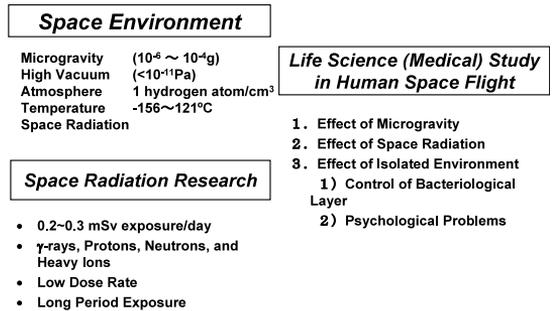


図6 宇宙環境因子

宇宙放射線の被曝は、地球上でも年およそ 1 mSv の量がある。これが、地上およそ350~400km のISSでは1日に0.2~1.0 mSv の被曝となる。もし、半年間ISSに滞在すると、36~180 mSv の被曝を伴うことになる。我が国の法律 (表3) では、ICRP 勧告90に基づき、一般公衆の一年間の放射線被曝の限度 (実効線量限度) は、1 mSv、放射線業務従事者 (妊娠可能な女子に限る) の法定の三カ月間の放射線被曝の限度は、5 mSv、放射線業務従事者 (妊娠可能な女子を除く) の一年間の放射線被曝の限度は、50 mSv、放射線業務従事者 (妊娠可能な女子を除く) の一回の緊急作業で許される放射線被曝の限度は、100 mSv (妊娠可能な女子は緊急作業が禁止されている。)と定められている。従って、長期宇宙滞在における放射線被曝のリスクは大きいことが容易に想像される。現在まで、450名以上の宇宙飛行士が誕生している (<http://hoshiconstaff.jp/?eid=141>)。表4に、現在までの宇宙滞在記録を示した。最長単独飛行では、ロシアの Valeri Polyakov による 437.7 日、宇宙滞在最長記録では、ロシアの Sergei Krikalev による803.4日の記録が最長宇宙滞在記録である。彼らは、現在も健在であるがそれは、たまたま選ばれた人間であるのか、また、将来どのようなかはわからない。宇宙環境では、宇宙線被曝に加えて微小重力環境にある。微小重力は、地球に生まれ育った生命体にとって今まで経験していな

## 線量限度

## 1) 一般

線量限度	法令等名・条文番号	法令等名・条文番号
	放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(文部科学省告示)	医療法施行規則
実効線量3月間につき 250 $\mu$ Sv	第十条その2第一項	第三十条の十四の第三号 第三十条の二十六第4項
実効線量年間 1mSv	第十四条その2 第十四条その4	第三十条の十一第2項

2) 放射線業務従事者(放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(文部科学省告示))  
放射線診療従事者(医療法施行規則)  
放射線業務従事者(電離放射線障害防止規則)

線量	線量限度	法令等名 ・条文番号	法令等名 ・条文番号	法令等名 ・条文番号
		放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(文部科学省告示)	医療法施行規則	電離放射線障害防止規則
実効線量	5年ごとに 100mSv	第五条第一項	第三十条の二十七 第一項	第四条その1
実効線量	1年間に50mSv	第五条第二項	第三十条の二十七 第二項	第四条その1
実効線量	女性3ヶ月5mSv	第五条第三項	第三十条の二十七 第三項	第四条その2
実効線量	妊娠中1mSv	第五条第四項	第三十条の二十七 第四項	第六条第一項
等価線量	眼 年150mSv	第六条第一項	第三条の二十七 その2 第一項	第五条
等価線量	皮膚 年500mSv	第六条第二項	第三条の二十七 その2 第二項	第五条
等価線量	妊娠中腹部 2mSv	第六条第三項	第三条の二十七 その4 第三項	第六条第二項

表3 線量限度

## 宇宙滞在記録

宇宙に1年以上滞在	25名 うちアメリカ3名 ロシア(旧ソ連を含む)22名
最長単独飛行記録	Valeri Polyakov(ロシア): 1994年1月8日に Soyuz TM-18にて発射され Mir LD-4 に 437.7 日間滞在、1995年3月22日に Soyuz TM-20にて帰還。その間 7,075 回地球を周回し 300,765,000 km 飛行した。 Sunita Williams (アメリカ): 女性の最長記録者。2007年に国際宇宙ステーション (International Space Station; ISS) Expedition 15 に195 日間滞在。2007年7月22日STS-117にて帰還した。
宇宙滞在最長記録	Sergei Krikalev(ロシア): 803日 9時間39分(2.2年)宇宙に滞在。Soyuz, the Space Shuttle, Mir, そしてISSに6回飛行。 Peggy Whitson(アメリカ): 376日 17時間22分宇宙に滞在。ISSに2回飛行。

表4 宇宙滞在最長記録

い環境である。微小重力が酸化ストレスを誘発する報告もある。また、宇宙線と微小重力が相乗効果を伴い、人体に影響する可能性も高い。

## 宇宙環境が与えるリスク

ヒトが宇宙に行くときどのような影響があるのか？ リスクとは細胞とか個体の死ということである。通常、生物実験では、エンドポイントが何であるかで実験結果を得る。それぞれのエンドポイントでは、最小の値で有意差を表せる量である。放射線では、染色体異常等感度の良いエンドポイントでも0.1 Gyで、通常は0.5

Gy あるいは1.0 Gy 照射してコントロールと比較して有意差を示す結果が得られる。それ以下の線量では通常のエンドポイントを使用すると有意差が得られない。放射線生物学研究においては、これらの低線量放射線被曝の影響は大きな問題となっている。線量効果関係を低線量側に延長しても、それらの効果が直線上に乗ってくるという仮説、Linear Non-threshold 仮説 (LNT 仮説) がある。しかしながら、この仮説は未だ決着がつかない<sup>1)</sup>。従って、それらの線量で結果を得るには異なるエンドポイントを用いる必要がある。

DNA マイクロアレイ、transcriptomics、proteomics は、このような線量でも細胞内遺伝子初変化、タンパク質量変化を調べることができ、しかも細胞全体の細胞内代謝変化を知ることができる。我々は、ヒト神経細胞種 SK-N-SH 細胞を用い、宇宙環境宇宙線量に相当するエックス線を照射し、細胞内の遺伝子発現変化を調べてみた。線量は、0.1, 1.0, 10, および100 mGy 照射を行い、照射後、30分、および2時間後の遺伝子変化を調べてみた。RT-PCR 法にて調べた。その結果、

1) isocitrate dehydrogenase 2 (*IDH2*), *CYP40*, *AIF*, *BAX*, *BIP*, *HSPA6* が 0.1, 1.0, 10, 100 mGy 照射によりダウンレギュレートされることが明らかになった。

2) phosphofructokinase (*PFKL*) が、0.1, and 1.0, mGy

照射によりダウンレギュレートされることが明らかになった。

- 3) *MnSOD*, and *VDAC1* が 10, and 100 mGy 照射によりダウンレギュレートされることが明らかになった。
- 5) *p53* は, 10, and 100 mGy 照射によりアップレギュレートされることが明らかになった。

このように、細胞死に関する遺伝子の低線量放射線照射による発現変化が示された。細胞死はアポトーシス、ネクローシス、オートファジーがあり、その機序について解明されつつある。これらは、ミトコンドリアの関与が明らかにされつつある<sup>2)</sup>。宇宙長期滞在による宇宙線被曝でも、このような機序関与の可能性が高い。我々は、ヒト神経細胞を用い、宇宙線の影響を明らかにするべく宇宙研究を行なう予定である。

ISS における細胞宇宙実験

我が国は、ISS に対し、全体の12.4%の支援を行なっている。そのほとんどは、JEM (Japan Experimental

Module, 別名「きぼう」の建設 (表 2) による。その他にも、ISS に物資を輸送する H-II Transfer Vehicle (HTV) 建設により貢献を果たしている (<http://www.youtube.com/watch?v=rWOZRxiGyoE>)。ISS における我が国のライフサイエンス研究は、JAXA のホームページ (<http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/first/>) に記載されている通り (表 5) である。ライフサイエンス研究では、ライフサイエンス系実験は「細胞培養装置、クリーンベンチ」と記載されている、奈良県立医大、理化学研究所、東京大学、京都工業繊維大学、東北大学、徳島大学、東北大学、鹿児島大学、富山大学および大阪市立大学による10の研究プロジェクトが採択されている (表 5 A)。ヒト細胞を用い、長期宇宙放射線の影響を調べる研究は、鹿児島大学の我々の研究プロジェクトだけでとなっている。我々の宇宙研究プロジェクト課題名は「宇宙放射線と微小重力の哺乳類細胞への影響」で、コードネームは Neuro Rad である (表 5 A)。同インターネットサイトに我々の研究内容のレジュメ

JAXA「きぼう」日本実験棟—「きぼう」での実験

科学利用分野		研究代表者
実験課題		
流体物理解験装置	マランゴニ対流におけるカオス・乱流とその遷移過程 (Marangoni Exp)	横浜国立大学 西野耕一
	マランゴニ対流における時空間構造 (Marangoni UVP)	JAXA/ 北海道大学
溶液結晶化観察装置	高プラントル数流体の液性マランゴニ振動流遷移における表面変形効果の実験的評価 (Dynamic Surf)	JAXA科学本部 松本聖/嶋谷康弘
	氷結晶成長におけるパターン形成 (Ice Crystal)	北海道大学 古川義純
温度勾配炉	ファセットのセル状結晶成長機構の研究 (Facet)	JAXA科学本部 福富裕光
	微小重力下におけるTLZ法による均一組成SiGe結晶育成の研究 (Hicari)	JAXA科学本部 木下善一
細胞培養装置 クリーンベンチ	哺乳動物培養細胞における宇宙環境曝露後のp53調節遺伝子群の遺伝子発現 (Rad Gene)	奈良県立医大 大西武雄
	ヒト培養細胞におけるTK変異体のLOH/パターン変化の検出 (LOH)	理化学研究所 谷田員文夫
	両生類培養細胞による細胞分化と形態形成の調節 (Dome Gene)	東京大学 浅島誠
	カイコ生体反応による長期宇宙放射線曝露の総合的影響評価 (Rad Silk)	京都工業繊維大学 古澤壽治
	線虫 <i>C.elegans</i> を用いた宇宙環境におけるRNAiとタンパク質リン酸化 (GERISE)	東北大学 東谷篤彦
	蛋白質ユビキチンリガーゼCblを介した筋萎縮の新規メカニズム (Myo Lab)	徳島大学 二川健
	微小重力下における水の水分活性とオーキシン制御遺伝子の発現 (Hydro Tropi)	東北大学 高橋秀幸
	宇宙放射線と微小重力の哺乳類細胞への影響 (Neuro Rad)	鹿児島大学 馬嶋秀行
	微小重力環境における高等植物の生活環 (Space Seed)	富山大学 神原慶一郎
	重力による穀類芽生え細胞壁のフェルラ酸形成の制御機構 (Ferulate)	大阪市立大学 若林和幸

<http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/first/>

表 5 A JAXA 「きぼう」日本実験棟 - 「きぼう」での実験。科学利用分野における実験課題。ライフサイエンス系実験は「細胞培養装置、クリーンベンチ」と記載されている、10プロジェクトであり、このうちヒト細胞を用い、長期宇宙放射線の影響を調べる研究は、鹿児島大学の我々の研究プロジェクトだけとなっている。

JAXA「きぼう」日本実験棟-「きぼう」での実験

応用利用分野		
	実験課題	研究代表者
蛋白質結晶生成装置	蛋白質結晶生成実験(HQPC)	大学・研究所等の研究者
細胞培養装置	微小重力環境を利用した2次元ナノテンプレートの作製	JAXA宇宙環境利用センター 名古屋工業大学
	微小重力環境でのナノスケルトン作製	JAXA宇宙環境利用センター 東京理科大学

有人宇宙技術開発分野	
	研究代表者
JEM船内放射線計測(Area PADLES)	JAXA宇宙環境利用センター
ハイビジョン映像の取得(HDTV)	JAXA宇宙環境利用センター
軌道上における質量型生体機能モニター装置の検証	JAXA有人宇宙技術部
ビスフォスフォネート剤を用いた骨量減少・尿路結石予防対策に関する研究 (宇宙飛行士の飛行前後などのデータ取得をNASAと共同で実施)	徳島大学 松本俊夫

教育・文化利用分野	
	研究代表者
教育利用ミッション 宇宙通財 「宇宙と生命」を学ぶ教育ミッション サンプルリターンミッション	JAXA宇宙環境利用センター
文化・人文社会科学利用パイロットミッションによる芸術分野の利用(10件)	東京藝術大学 筑波大学 お茶の水女子大学 京都市立芸術大学

船外実験プラットフォーム実験	
	研究代表者
全天にわたるX線天体の長期・短期変動の研究	JAXA科学本部 理化学研究所
宇宙環境の計測とその部品・材料に及ぼす影響に関する研究	JAXA総研本部
超伝導技術を用いたサブミリ波リム放射サウンダの軌道上実証ならびに地球大気環境の実験的観測	JAXA科学本部 情報通信研究機構

<http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/first/>

表5B JAXA「きぼう」日本実験棟-「きぼう」での実験。応用利用分野，有人宇宙技術開発分野，教育・文化利用分野及び船外実験プラットフォーム実験における実験課題。

が示されてある（宇宙放射線と微小重力の哺乳類細胞への影響（Neuro Rad）（[http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/first/life04\\_17.pdf](http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/first/life04_17.pdf)））。我々の実験プロジェクトは、ヒト神経由来細胞 SK-N-SH を用い、ISS に 2 週間および 3 週間まで 37℃ にてカルチャーさせる搭載実験である（図 7 - 12）。打ち上げはシャトル Discovery

にて、2010年4月5日を予定している STS131/19A ミッションにて行なわれる（図 9）。山崎直子宇宙飛行士が乗り組む予定である。細胞は、回収後、マイクロ DNA アレイおよび real time RT-PCR にて特に酸化ストレス関連の遺伝子発現変化を調べ、また、ミトコンドリア DNA 障害を調べる予定である（図10）。これ

Introduction

How does a mammalian cell damage occur following Space radiation exposure and microgravity ?



- Evaluation of realistic risk associated with the space mission will be in urgent demand to protect them adequately based on both physical and biological knowledge.
- Considering cellular metabolisms or homeostasis, which affect their risk, examinations of gene expression change would be important.

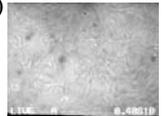
図7 鹿児島大学 ISS 搭載宇宙実験プロジェクト “Neuro Rad” の研究緒言

Experimental materials

Cell line :

- SK-N-SH (Human Neuroblastoma Cell Line)
- A nerve cell (a neuron) is an important and essential cell

SK-N-SH



Cultured for 20 days

Cell Culture for ISS experiment:

- at 37°C in CBEF
- in 5% CO<sub>2</sub> supply using “CO<sub>2</sub> POUCH” which maintain adequate concentration of CO<sub>2</sub>
- at 1G and 1μG
- for about 2 weeks (short-term cultivation) and about 3 weeks (long-term cultivation)



CO<sub>2</sub> POUCH In Meas Exp CO<sub>2</sub> Bag

図8 “Neuro Rad” の実験方法および実験材料

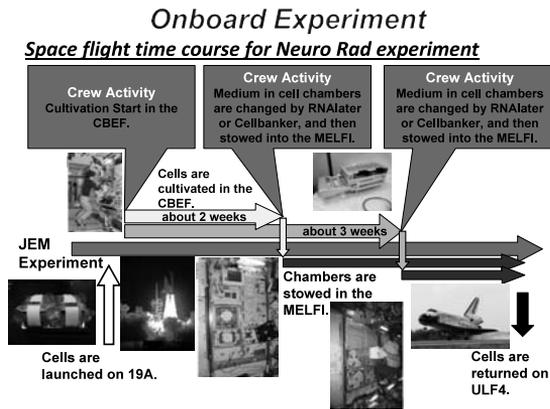


図9 ISSにおける“Neuro Rad”実験計画説明

### Investigators

**Principal Investigator :**  
*Hideyuki J Majima*  
(Kagoshima University)

**Co Investigators :**  
*Noriaki Ishioka*  
(Kagoshima University & JAXA)

**Experiment Team :**  
*Hiroko P Indo*  
(Kagoshima University)  
*Kazuo Tomita*  
(Kagoshima University)  
*Sachiko Yano* (JAXA)  
*Fumiaki Tanigaki* (JAXA)  
*Hiromi Suzuki* (JSF)  
*Daisuke Masuda* (JAMSS)  
*Yuuichi Takahashi* (JAXA)  
*Toru Shimazu* (JSF)




図12 “Neuro Rad”の実験共同研究者

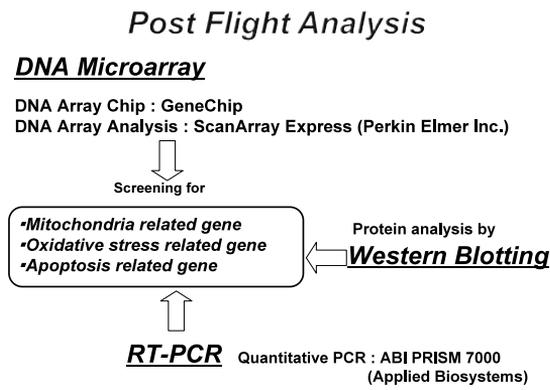


図10 “Neuro Rad”宇宙実験後解析方法



図13 “Neuro Rad”のデカル

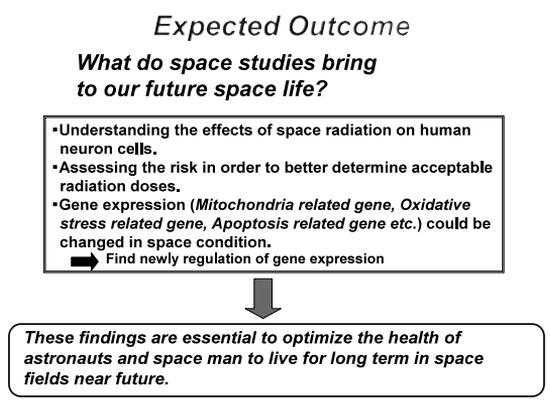


図11 “Neuro Rad”の予想される実験結果

らの研究成果は、人類が長期宇宙滞在を行なうにあたってのリスクを理解することに役立つと考えている (図11) 我々のプロジェクトの共同研究者を図12に示した。それぞれの実験プロジェクトは、デカルを作成する。我々のデカルを図13に示した。このデカルは、私とコラボレーションにより東京大学大学院情報学環教授 河口洋一郎教授 (<http://www.iii.u-tokyo.ac.jp/~yoichiro>) (種子島出身) にデザイン、作成していただいた。ここにあらためて感謝したい。さらに、Neuro Rad宇宙研究プロジェクトを今まで支えてくださった関係各位に感謝いたします。

## 文 献

- 1) Valentin, J. (ed.) ICRP99 : Low-dose extrapolation of radiation related cancer. *Annals of the ICRP*, 35, 1-142, 2005
- 2) Majima, H. J., Indo, H. P., Tomita, K, Iwashita, Y., Suzuki, H., Masuda, D., Shimazu, T., Tanigaki, F., Umemura, S., Yano, S., Fukui, K., Higashibata, A., Yamazaki, T. Q., Kameyama, M., Suenaga, S., Sato, T., Yen, H.-C., Gusev, O., Okuda, T., Matsui, H., Ozawa, T. and Ishioka, N.: Bio-assessment of risk in long-term manned space exploration - cell death factors in space radiation and/or microgravity: a review - . *Biol. Sci. Space*, 23, 43-53, 2009