

STS-107 Space Shuttle Mission

生命科学宇宙実験 NASDAミッション

～タンパク質からからだのはたらきまで～

解 説 書

平成14年6月

宇宙開発事業団

目 次

はじめに	1
1 . STS-107 NASDAミッションの意義	2
1 . 1 生命科学研究の意義	2
1 . 2 NASDAミッションの目的	4
2 . STS-107ミッション全体概要	6
3 . NASDAの実験概要	9
3 . 1 タンパク質の実験	9
3 . 1 . 1 先導的応用化研究	9
3 . 1 . 2 一般公募研究	10
3 . 1 . 3 技術検証実験	11
3 . 2 宇宙環境が生物におよぼす影響の研究	12
3 . 3 宇宙実験教育プログラム	15
3 . 4 飛行後のデータの解析について	17
3 . 4 . 1 タンパク質結晶成長実験	17
3 . 4 . 2 ラットを用いた宇宙実験	17
3 . 4 . 3 宇宙実験教育プログラム	18
3 . 5 実験内容	19
3 . 5 . 1 タンパク質結晶成長実験	19
3 . 5 . 2 宇宙環境が生物におよぼす影響の研究	29
3 . 5 . 3 宇宙実験教育プログラム	41
4 . 実験機器	45
4 . 1 タンパク質結晶成長実験装置	45
4 . 1 . 1 蒸気拡散法について	47
4 . 1 . 2 CMPCGを用いた実験	48
4 . 2 シャトル搭載用動物飼育装置	49
5 . 宇宙環境利用の取組み	52
5 . 1 現在までの取組み	52
5 . 1 . 1 地上研究公募	52
5 . 1 . 2 フライト実験テーマの募集	54
5 . 1 . 3 宇宙環境を利用した教育活動	60
5 . 1 . 4 宇宙実験へのプロセス	61

5.2	今後の宇宙環境利用の方向性	62
5.2.1	各国の情勢	62
5.2.2	日本の取り組み	62
6	参考資料	64
6.1	作業スケジュール	64
6.1.1	打上前作業	64
6.1.2	軌道上作業	64
6.1.3	帰還後作業	66
6.2	STS-107ミッション宇宙飛行士の経歴	67
6.2.1	STS-107ミッションに関係する日本人宇宙飛行士	67
6.2.2	STS-107ミッション搭乗宇宙飛行士	68
6.3	スペースシャトルシステムについて	72
6.3.1	スペースシャトル開発の経緯と全体概要	72
6.3.2	スペースシャトルの主要機能の概要	74
6.3.3	シャトル内での生活等	74
6.3.4	各オービタの概要	76
6.3.5	シャトルミッション関連施設	77
6.4	国際宇宙ステーションについて	78
6.4.1	国際宇宙ステーション建設の目的	78
6.4.2	国際宇宙ステーション建設の経緯	78
6.4.3	国際宇宙ステーションの仕様	79
6.4.4	国際宇宙ステーションの主な構成部分	80
6.4.5	打上げスケジュール	80
6.4.6	国際宇宙ステーションへの日本の参加	82
6.4.7	国際宇宙ステーションの運用概要	85
7	問合わせ先	86
8	用語集	87

はじめに

地球上に生命が誕生して30数億年がたちました。

海で生まれた生命体は、その生活圏を陸へ、空へと広げてきました。生活圏を広げていく力こそ生命の持つ適応力の現れであり、その本質的な能力なのです。

そして20世紀後半、知能をもった生命である人類は、ついにその目を宇宙へ向けました。人はいつしか地球から飛び出し、その活動領域を未知の世界へ広げようと思いました。

生命の本質が導く大きな流れ。それが宇宙開発を根底で支えています。

この生命の本質を解き明かしていくために、今回の宇宙実験計画、STS-107ミッションがあります。

宇宙開発事業団では、タンパク質の立体構造およびその機能を調べる「タンパク質結晶成長実験」と、宇宙環境が生物におよぼす影響を解明するための「ラットを用いた実験」を行います。また高校生による国内初の宇宙実験をあわせて実施し、21世紀を担う青少年の理科教育への貢献を目指します。

1. STS-107 NASDAミッションの意義

1.1 生命科学研究の意義

人の全遺伝子情報を解読する“ヒトゲノム計画”がほぼ終わろうとしています。

ゲノムとは、細胞の中に存在する遺伝情報の総体で、遺伝子と、遺伝子の発現を制御する情報などが含まれるものです。私たち人類、そしてほとんど全ての生物の中に存在し、生命活動そのものであるともいえるタンパク質は、その遺伝子から作られます。つまり、遺伝子はタンパク質の設計図だということができるのです。

ゲノム解読がほぼ終わろうとしている現在、私たちはタンパク質の設計図を手にしようとしています。しかし、生命現象をより確かに把握するためには、それだけでは十分ではありません。どのようなタンパク質が、何をきっかけに作られ、それがどのようなタンパク質のネットワークを構築して生命現象を担っているのかを解明することが必要となります。

それぞれのタンパク質の機能はその形や構造で決まるため、それらを解明することは、人体の仕組みを明らかにしたり、さまざまな病気に対する的確な治療薬を開発する、といった成果につながります。そのため、世界的な競争下において先進各国、各企業において戦略的に取り組まれている研究分野となっています。ですから、“ポストゲノム”として、タンパク質の構造解明に向けた研究が急速に加速されているのです。

日本においても、「活力のある長寿社会の実現」、「物質生産・食料・環境への対応」といった社会の要請にもとづき、生命科学に重点を置いた研究開発が国家プロジェクトおよび企業戦略として進められています。そのなかでも特に注目されているのが、タンパク質関連の研究なのです。

タンパク質の機能を解明するには、機能と密接に関係するタンパク質の3次元構造を正確に知る必要があります。その手法のひとつが、タンパク質の結晶を育成してその構造をX線回折によって解析する方法です。タンパク質の構造のうち最も重要な部分の構造を解明するためには、原子の位置を非常に正確に特定しなければなりません。そのため、タンパク質の分子が整然と並んだ高品質な結晶を作ることが必要となるのです。そして、この高品質なタンパク質結晶を作る上で非常に有効なのが、重力のない宇宙環境であると考えられているのです。

重力が無くなることで、温度差や濃度差による溶液の対流が無くなり、流れによる乱雑な分子の取り込みが減ると考えられています。タンパク質の分子は重力のない静かな環境でゆっくりとした移動で結晶に取り込まれ、より規則正しい結晶を形成することができます。また、流れが無くなることにより結晶同士の衝突や、容器への付着も減り、高品質な結晶を作ることができます。

実際に宇宙環境を利用したタンパク質結晶成長実験は、欧米を中心に過去19年に渡って多数実施されており、これまでの実験においても非常にきれいな結晶を得ることに成功し、タンパク質の構造解明に貢献した事例があります。今後、さらなるタンパク質の構造解明を進めていくために、“研究の場”としての宇宙環境はとても重要なのです。

宇宙環境はまた、生物学的、医学的実験を行う場としても非常に有効です。

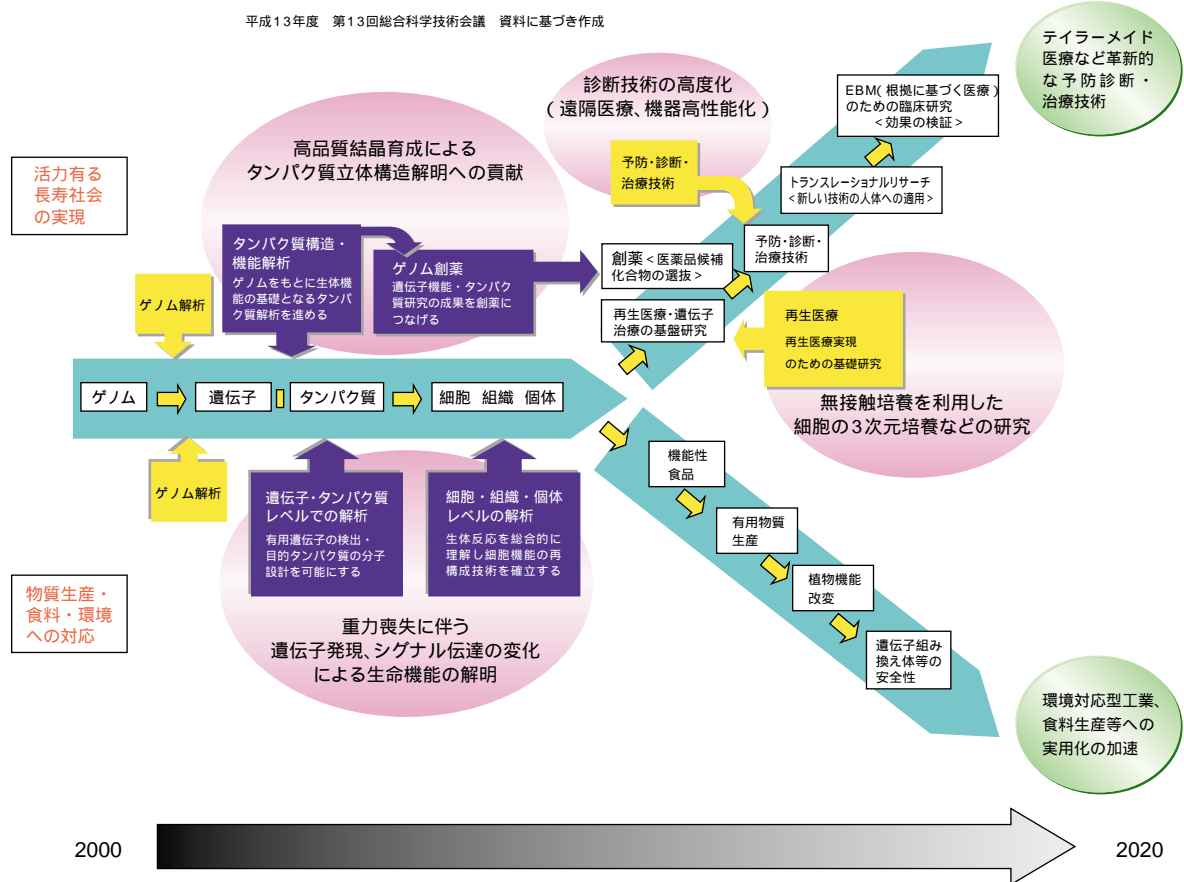
これまでも宇宙環境を利用して、さまざまな生物学的、医学的実験・研究が行われてきました。このような実験や研究は、将来的に人類がその活動範囲を宇宙へと広げることを目的に行われてきました。

常に地球上に存在し、全ての生物がその影響下に置かれている重力。重力が生命現象に対する本質的な役割について理解することは、地球上の動植物や人間がどのように分化・発生したか、どのような進化を遂げてきたか、という基本的な生理メカニズムを理解することに大いに貢献します。また、重力のない環境で生命がどのように反応するのか、適応するのかなどを調べることで、地球上の環境に隠されていた現象が発見・解明されるなど、生命の基本的な仕組みに対する理解を深めることができます。

また、今後人間が重力から解放され、長期間宇宙に滞在したり、地球の重力とは異なる重力を有する他の惑星に旅することを考えた場合、重力がいかに生命体に影響しているのか、どのように生物は重力との関係において自己の位置を感知し、重力や重力変化、微小重力に適応していくのか、といった最も基本的な質問に答えていかなければなりません。さらに、地球上で進化してきた生命体と重力等の地球環境との関係を問い直すことにより生命現象を解明することは、宇宙のスケールで他の生命体が存在する可能性を探究することにもつながります。

現在までの研究によって、宇宙での長期滞在により、いくつかの生物学的、医学的な問題が起ることが解ってきました。

例えば、骨量減少や筋萎縮、免疫系の変化、赤血球の減少、心筋の虚弱化、そして長期間の閉鎖環境に起因した心理的な問題などがその例です。



このような、生体のさまざまな生命現象に重力がいかに影響しているかについての研究成果は、将来的な宇宙滞在のための知見の蓄積に役立つのみならず、現在地球上で問題となっている、骨粗鬆症や平衡感覚機能障害などの医学的病態を解明する上でも大いに役立つことが期待されているのです。宇宙で起こるさまざまな人体の変化は、地上の各種疾病と類似のものが多く、宇宙での医学研究の成果は地上の医療にも反映されていきます。

このように、宇宙で行われる生命科学研究は生命の基礎的な現象を解明するものであり、そこで得られた知見は地上のさまざまな活動に反映、応用され、私たちの生活の質を飛躍的に向上させることにつながっていくのです。

1.2 NASDAミッションの目的

STS-107ミッションで宇宙開発事業団が取りまとめを行なう生命科学実験は、地上での生命科学研究の発展に寄与し、将来的に私たちの生活に貢献することを目指して行われます。宇宙での遺伝子からタンパク質、細胞、組織、個体といった一連の生命現象における新たな発見が期待されているからです。

タンパク質結晶成長実験では、創薬への応用を目指したタンパク質の高品質結晶成長実験や、重力のない環境が結晶の質や成長のメカニズムに与える影響を調べます。このミッションの実験を通じた宇宙環境利用によって、近年急速に発展しているポストゲノム関連研究に貢献することを目指します。

またラットを用いた宇宙実験では、限りある研究資源を有効活用する初めての試みである標本分配型による宇宙実験が行なわれ、今後の宇宙実験のあり方の先駆的な枠組みを効果的に利用しています。これによって得られる実験の成果は、今後の宇宙での滞在を安全にそして効率的に行なうための生体に関するさまざまな貴重なデータとなり、今後の研究を促進することになると期待されています。

そして、そういった最先端の科学研究と同時に、“宇宙実験教育プログラム”として、高校生が研究者と同じ宇宙の実験装置を利用した、本格的な教育プログラムを行います。これは、タンパク質結晶成長実験を通して、タンパク質の機能や役割について理解を深め、21世紀を担う人材の揺籃期に貴重な機会を提供するものです。

さらにこのSTS-107ミッションでは、日本として特筆すべきことがあります。

それはNASAからの要請により、向井千秋宇宙飛行士をNASAジョンソン宇宙センター（JSC）での宇宙実験実施とりまとめ責任者の一人（副ミッションサイエンティスト）として派遣していることです。向井宇宙飛行士は今までに、STS-65および95ミッションに搭乗科学技術者として宇宙飛行を行っており、生命科学、宇宙医学ならびに工学系の数々の実験を実施しました。その経験と実績が高く評価され、今回の大役となったものです。

向井宇宙飛行士は、生命・微小重力科学ミッションについて、ミッションの要求条件の把握と管理、優先順位の評価、各実験の優先順位づけ、緊急時のガイドライン作成などの任務を負い、ミッション期間中の16日間は、24時間体制で連日約12時間にわたり、JSCの管制室において宇宙実験に関わる全体管理および指揮を行います。これらの業務はミッションの成否を握る極めて重要なものであり、向井宇宙飛行士に対するNASAの評価の高さと、参加する科学者からの信頼の

厚さを物語っています。

そして向井宇宙飛行士の今回の経験は、日本が国際宇宙ステーションに提供する「きぼう」日本実験棟における宇宙実験の実施に向けて、「きぼう」で行う科学実験の取りまとめを日本独自で実施するための礎を築く貴重な財産となります。

現在打上げに向けて準備が進められている「きぼう」では、10年以上の長期にわたり、さまざまな科学ミッションが行なわれる予定です。そのミッションの一つひとつは、私たちの社会を支える基幹技術への応用を可能にし、ナノテクノロジー開発へ影響をおよぼし、ゲノム創薬など医薬品の開発などを果たしていくことになるでしょう。また、教育などでの利用により宇宙や自然に対する理解増進をきっかけに新たな価値観を生み出し、さらには文化的な分野での利用により、芸術表現の創出も期待されています。

そしてこのSTS-107ミッションは、日本にとって、「きぼう」を利用して行なわれる研究に向けた大きな一里塚なのです。

2. STS-107ミッション全体概要

平成15年1月に打上げが予定されているスペースシャトル・コロンビア号によるSTS-107 ミッションは、約16日間にわたって微小重力下における様々な宇宙実験を行う科学研究ミッションです。このミッションでは、さまざまな宇宙実験が計画されており、宇宙開発事業団で行なう実験等はその一部です。

STS-107 のミッションは、スペースハブ社が商業目的に開発したスペースシャトル用の宇宙実験室、リサーチ・ダブル・モジュール (Research Double Module : RDM) を利用して行われる様々な宇宙実験が中心になります。このRDM はスペースシャトルの貨物室に搭載され、船内と同様に与圧することができ、宇宙飛行士が特別な宇宙服を必要とせずに作業を行うことができます。なお、RDM は今回が初飛行です。

STS-107 ミッションでは、NASA の生物・物理研究局 (OBPR) による約20件の実験も行われます。その中の米欧が実施するラットを用いた生物実験に、9名の日本人科学者が参加します。さらに、スペースハブ社の行う商業利用プログラムでは、商業利用顧客による宇宙実験が行われます。タンパク質結晶成長実験装置 (CMPCG) を利用して行う実験は、11テーマの実験が日本人研究者により実施されるほか、宇宙開発事業団独自の教育プログラムとして、高校生6チームが宇宙実験に参加します。

さらにこのミッションでは、スペースハブ社が企画した教育プログラムである“S*T*A*R*STM プログラム”も実施されます。このプログラムには、米国、オーストラリア、中国、イスラエル、シンガポールおよび日本の学生が参加しています。日本人学生は、微小重力環境下でふ化したメダカの行動と、地上に戻った後の適応性についての実験を行います。また、欧州宇宙機関 (ESA)、カナダ宇宙庁 (CSA) などの実験も行われます。

STS-107 ミッションには、7名の宇宙飛行士が搭乗します。また、向井千秋宇宙飛行士が副ミッションサイエンティストとして参加し、科学的な取りまとめを行って地上から実験の指示等を行います。

なお、STS-107 ミッションは通算113回目のシャトル飛行であり、コロンビア号は今回で28回目の飛行となります。

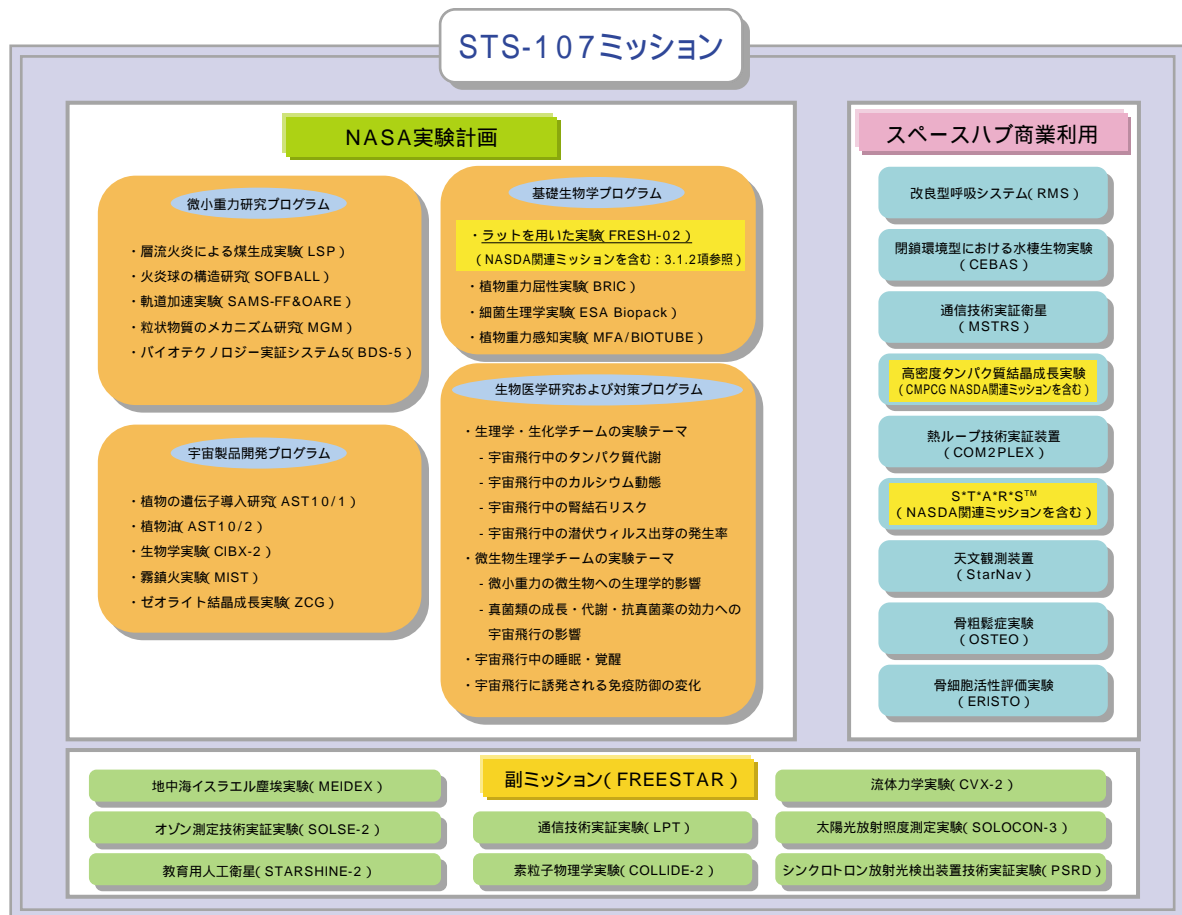


図2-1 STS-107主要ミッション

スペースハブ宇宙実験室について

スペースハブ宇宙実験室にはロジスティック・シングル・モジュール (LSM)、ロジスティック・ダブル・モジュール (LDM)、研究目的用のリサーチ・ダブル・モジュール (RDM) があります。

LSMは1993年に初飛行した最初のモデルであり、これによりスペースシャトルの実験および保管スペースを2倍以上に増やすことができました。1996年にはLSMを2つ連結したLDMが初飛行しました。

LSMとLDMは実験室としての役割のほかに、物資の運搬・補給用にも利用されます。特にLDMは、国際宇宙ステーションへの物資の運搬・補給に大きな役割を担っています。今回STS-107ミッションで初飛行するRDMは、実験室としての機能をより充実させたモデルとなっており、特に生命科学実験に適切に対応できるよう、室内の温度・湿度などの環境管理機能やデータ通信機能が改良されています。

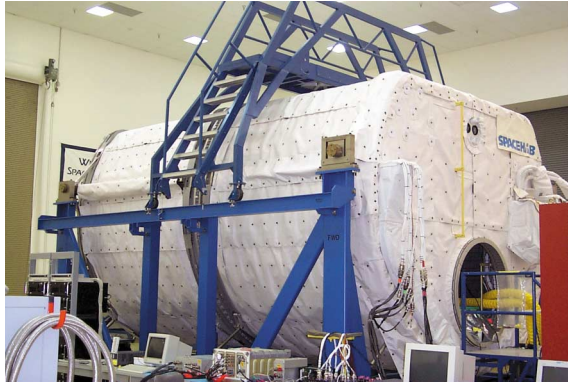


図2-2 スペースハブ RDMの外観
左：前方から 右：後方から

写真提供 スペースハブ社

RDM仕様

実験機器総積載容量	約4,080kg (9,000lb)
電力(軌道上)	3,000W (DC) 690AC (VA)
廃熱量	4,000W
ラック数	6
保管ロッカー数	最大62
保管ロッカー容積	54dm ³ (2ft ³)
積載重量	約27kg (60lb)

1lb(ポンド) = 453.6g、1ft(フィート) = 30cmで換算

宇宙実験室飛行実績

ミッション	飛行年月	種類	ミッション	飛行年月	種類
STS-57	1993年6月	LSM	STS-86	1997年9月	LDM
STS-60	1994年2月	LSM	STS-89	1998年1月	LDM
STS-63	1995年2月	LSM	STS-91	1998年6月	LDM
STS-76	1996年3月	LSM	STS-95	1998年10月	LSM
STS-77	1996年5月	LSM	STS-96	1999年5月	LDM
STS-79	1996年9月	LDM	STS-101	2000年5月	LDM
STS-81	1997年1月	LDM	STS-106	2000年9月	LDM
STS-84	1997年5月	LDM	STS-107(予定)	2002年7月	RDM

詳しくはスペースハブ社ホームページ www.spacehab.com をご参照下さい。

3 . NASDAの実験概要

STS-107ミッションで宇宙開発事業団が行う実験は、大きく以下の3つに大別されます。

- (1) タンパク質の実験
- (2) 宇宙環境が生物におよぼす影響の研究 ~ラットを用いた宇宙実験~
- (3) 宇宙実験教育プログラム

3 . 1 タンパク質の実験

3 . 1 . 1 先導的応用化研究 (応用研究)

創薬などへの応用を目指した、5テーマを実施します。


研究者名 / 所属機関	テーマ名	ジャンル	研究概要
裏出 良博 (財)大阪バイオサイエンス研究所 第2研究部研究部長	睡眠物質及びアレルギー物質合成酵素の結晶成長実験と医薬品への応用	構造解析と医薬品開発への応用	睡眠物質及びアレルギー物質合成酵素の結晶化を目的とした宇宙実験を行い、居眠り防止薬や抗アレルギー薬等の開発につなげる。
北 潔 東京大学大学院 医科学系研究科教授	新規抗寄生虫薬の結晶解析に基づく分子設計	構造解析と医薬品開発への応用	宇宙実験で得られたタンパク質の立体構造解析の結果により、新規の抗寄生虫薬の開発につなげる。
杉尾 成俊 三菱化学(株) 横浜総合研究所 主任研究員	加齢性疾患の病因蛋白質に対する特異的阻害剤の創薬支援研究	構造解析と医薬品開発への応用	加齢性疾患等の病因タンパク質の結晶化を目的とした宇宙実験を行い、タンパク質の立体構造解析の結果から医薬品の開発につなげる。
石黒 正路 (財)サントリー生物有機科学研究所 部長研究員	光受容膜蛋白質の結晶化研究	構造解析と医薬品開発への応用	宇宙環境を利用して光受容膜タンパク質の結晶化を行い、立体構造の解析結果から、受容体の立体構造と機能を解明し医薬品の合理的設計・開発に応用する。
鈴木 榮一郎 味の素(株) ライフサイエンス研究所 特別主席研究員	高分解能結晶解析に基づく未来志向型酵素の開発	構造解析と高機能性酵素の開発	近未来の食糧、生活必需品、医薬、環境等のニーズに則し、宇宙実験で得られた高品質結晶の構造データと、地上実験や計算科学情報とを組合せて、高機能な酵素を設計・開発する。

上記の先導的応用化研究による5つの実験テーマの内容については、それぞれの企業における固有の研究のため、1年後に発表される成果報告をもって代えさせていただきます。また、顔写真の掲載は見合わせて頂きます。

3.1.2 一般公募研究（基礎研究）


基礎研究を主眼においた一般公募による科学研究について5テーマを実施します。

研究者名 / 所属機関	テーマ名	ジャンル	研究概要
<p>高妻 孝光</p>  <p>所属：茨城大学 専門分野：金属タンパク質の構造と機能に関する研究（STS-84で宇宙実験を実施）</p>	蒸気拡散法におけるタンパク質結晶化条件と結晶品質との関連性に関する研究	結晶成長メカニズムの解析	結晶の成長する早さを大きく変えることができるタンパク質を使い、結晶生成の駆動力と生成結晶の品質との関連を明らかにすることで、タンパク質結晶成長機構の解明に資する。タンパク質結晶成長の駆動力と結晶品質との相関に着目した微小重力下で行った研究は例が無く、微小重力下における高品質タンパク質結晶成長条件の最適化に寄与するのみならず、結晶成長機構の解明にも寄与することが期待される。
<p>小田 順一</p>  <p>所属：福井県立大学大学院 生物資源学研究所教授 専門分野：不斉合成、生物有機化学、構造生物学</p>	ガン細胞の薬剤耐性に関与する酵素タンパク質の微小重力環境を利用した高品質結晶化	構造解析	ガン細胞の薬剤に対する抵抗力に関わる酵素（グルタミルシステイン合成酵素：GCS）を微小重力下で結晶化させ精密構造解析を行い、抗ガン剤等の医薬品開発に向けた基礎的なデータの取得を行う。
<p>田之倉 優</p>  <p>所属：東京大学大学院 農学生命科学研究科教授 専門分野：タンパク質のX線とNMRによる3次元構造解析、並びにタンパク質工学（STS-84で宇宙実験を実施）</p>	活性酸素防護に関与するニトロ還元酵素の微小重力環境を利用した高品質結晶化	構造解析	細胞内の物質を活性酸素から保護する酵素（ニトロ還元酵素 NfsB）の高品質結晶化を行い、酵素の立体構造と機能の関係を明らかにする。ガンの薬物治療への応用も期待される。
<p>山根 隆</p>  <p>所属：名古屋大学大学院 工学研究科教授 専門分野：酵素の結晶構造に基づく機能の解析と高性能酵素の分子設計（STS-84で共同研究者として参加）</p>	新機能抗体創製のための動物レクチン（コンジェリン）の微小重力環境を利用した高品質結晶化	構造解析	バクテリアなど細胞を集合させる作用（凝集反応）を持つタンパク質（コンジェリン）の高品質結晶化を行い、凝集の働きを解明する。ガン細胞の認識に優れた新しい機能を持つ抗体創製のため超高分解能 X 線回折データ取得を行う。

<p>三木 邦夫</p>  <p>所属：京都大学 大学院 理学研究科教授 専門分野：タンパク質結晶学、構造生物学（STS-84で宇宙実験を実施）</p>	<p>生物学上重要な超分子タンパク質の微小重力環境を利用した高品質結晶化</p>	<p>構造解析</p>	<p>生物の生命維持に必須な2つのタンパク質複合体(AhpC:細胞内で有害な過酸化水素を捕獲・分解する。Rubisco:二酸化炭素を空気中から取り込む。)の高品質結晶化を行い、それらの立体構造を決定することで、生体内に存在する超分子タンパク質の機能を解明する。</p>
---	--	-------------	--

3.1.3 技術検証実験

タンパク質結晶化の最適化技術開発を実施します。


研究者名/所属機関	テーマ名	ジャンル	研究概要
<p>依田 真一</p>  <p>所属：宇宙開発事業団 宇宙環境利用研究システム 主任研究員</p>	<p>蒸気拡散法による微小重力実験最適化技術の検証</p>	<p>実験技術の確立</p>	<p>地上でのタンパク質結晶化条件および宇宙での結晶化最適条件を予測するための一連の技術開発を行い、宇宙実験を確実に成功させるための共通かつ基盤となる技術を確立する。今回の実験では、開発中のこの技術が有効であることを検証する。</p>

3.2 宇宙環境が生物におよぼす影響の研究 ~ラットを用いた宇宙実験~

アメリカとフランスの研究者らが実施する実験で使用される標本以外の有効活用をはかるため、国際的に募集選定された以下の4分野、9テーマについて標本分配型（サンプルシェア）による研究を行ないます。

研究者名 / 所属機関	テーマ名	ジャンル	研究概要
<p>石原 昭彦</p>  <p>所属：京都大学 総合人間学部助教授 専門分野：神経化学、神経・筋系の可塑性(適応能力)に関する研究。(STS-58では、大阪大学大平教授との共同研究で宇宙実験を実施)。</p>	ラット骨格筋における遺伝子発現・消失に対する宇宙飛行の影響	筋骨格系	宇宙環境に滞在することにより起きる筋肉および脊髄の変化に関連した遺伝子の出現および消失の仕組みを解明する。本研究は、国際ライフサイエンス宇宙実験の候補テーマとして選定されたプロジェクトに関連した先行研究として行なわれる。
<p>大平 充宣</p>  <p>所属：大阪大学 健康体育部教授 専門分野：宇宙生理学、特に神経・筋の可塑性における重力の役割の解明。(STS-58で宇宙実験を実施)</p>	ラットの速筋及び遅筋後肢筋の特性に及ぼす宇宙飛行の影響	筋骨格系	微小重力環境がおよぼすラットの骨格筋の特性に対する影響を、速筋(前脛骨筋)と遅筋(長内転筋)で比較し、筋肉の変形しやすい性質(可塑性)のメカニズムを解明する。
<p>安井 夏生</p>  <p>所属：徳島大学 医学部運動機能外科学教授 専門分野：整形外科、特に仮骨延長術を応用した四肢機能再建術</p>	宇宙フライトにより萎縮した骨における新規骨芽細胞抑制蛋白オステオアクチピンの解析	筋骨格系	微小重力下での骨や軟骨内の遺伝子発生に関する変化を解析し、骨の形成に深く関わっているとされているタンパク質オステオアクチピンの骨萎縮についての役割を研究する。これによりオステオアクチピンの分子構造と機能が解明することができ、骨粗鬆症や変形性関節症など、多くの骨・関節疾患の治療法開発につながる。
<p>福本 学</p>  <p>所属：東北大学 加齢医学研究所 病態臓器構築研究分野教授 専門分野：病理学、特に疾患の肉眼や顕微鏡による所見からの診断。</p>	宇宙飛行後ラット肝におけるチトクロームP450とストレス関連分子の発現解析	代謝内分泌系	宇宙飛行後のラットの肝臓における代謝変化について、代謝に深く関わる物質(チトクロームP450:ストレスによって誘発される分子および薬剤の代謝、活性化に関わる酵素)の遺伝子および免疫組織学の観点から解析する。またこれにより、宇宙環境が全身へおよぼす影響を肝機能変化から解明する。さらに宇宙実験で得られた結果をもとに地上で同様の代謝環境を作り出し、宇宙滞在中の薬剤の効果を予想できるようにする。

<p>宇佐美 真一</p>  <p>所属：信州大学 医学部耳鼻咽喉科学講座教授 専門分野：耳鼻咽喉科、主に内耳で、特に難聴の遺伝子診断をはじめ内耳疾患の分子生物学的な解明。</p>	<p>微小重力が末梢前庭の遺伝子発現に及ぼす影響</p>	<p>神経系</p>	<p>重力を感知する前庭器官の遺伝子におこる変化を検出し、どのようなメカニズムで生物の体が新しい重力環境に適応していくのかが明らかにする。本研究は、国際ライフサイエンス宇宙実験の候補テーマをとして選定されたプロジェクトに関連した先行研究として行なわれる。</p>
<p>柴田 克己</p>  <p>所属：滋賀県立大学 人間文化学部 生活文化学科食生活専攻教授 専門分野：栄養化学、食品化学、代謝栄養学。 (STS-42, -84等計9回の宇宙実験を実施)</p>	<p>宇宙環境がラットの補酵素 NAD 代謝に及ぼす影響</p>	<p>代謝内分泌系</p>	<p>宇宙飛行後のラット肝臓中の補酵素(ニコチン酸アミドジヌクレオチド; NAD)含量を測定し、宇宙飛行士の健康維持のために必要なビタミン量の提言をする。</p>
<p>大西 武雄</p>  <p>所属：奈良県立医科大学 医学部生物教室教授 専門分野：宇宙放射線と微小重力の生物に与える影響の研究。(通算21回の宇宙実験を実施)</p>	<p>ラット臓器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</p>	<p>宇宙放射線の生物影響</p>	<p>宇宙空間においてガン抑制遺伝子の一つである p53 が制御する遺伝子群の発現を解析することにより、宇宙環境での p53 を中心とした遺伝子の情報伝達系の解明に役立っている。</p>
<p>郡 健二郎</p>  <p>所属：名古屋市立大学大学院 医学研究科 病態外科学講座 腎・泌尿器科学分野教授 専門分野：泌尿器科学、特に尿路結石、前立腺疾患、およびアンドロロジーの研究</p>	<p>宇宙環境の造精機能への影響 アポトーシス関連因子および造精機能に關与する転写因子の発現と定量化</p>	<p>代謝内分泌系</p>	<p>精巣内に発生する局所的に死滅する細胞の要因およびタンパク合成を調節する DNA 上の情報が RNA に写しとられる過程の要因を通して、宇宙環境において造精機能障害がおきるメカニズムを解明する。</p>

<p>山崎 将生</p>  <p>所属：福島県立医科大学 医学部生理学第一講座講師 専門分野：循環生理学、宇宙医学生理学、 神経科学。(STS-90に主任共同研究者として参加)</p>	<p>Fisher344 ラット における大動脈神経 の神経線維構成に及 ぼす微小重力の影響</p>	<p>神経系</p>	<p>血圧を調節する自律神経機構が成人において宇宙で影響を受けるかどうかを知る参考にするため、成熟ラットを宇宙の微小重力環境に滞在させ、帰還後にラットの血圧調節に関わる血圧変動を受容し、その入力（興奮）を伝える圧受容器反射の求心性神経のひとつである大動脈神経（AN）の神経線維構成を電子顕微鏡で調べる。STS-90 ニューロラブ実験では仔ラットを宇宙で育て、帰還後、ANの神経線維構成が地上群と異なり、かつ、圧反射が弱いこと、また、仔ラットを育てた成熟雌ラットでも神経構成が変わることを明らかにした。今回の研究によって、異なる種および性でも同様変化が観察されるかを確かめて、先の実験結果を補いその詳細を明らかにし、それらの結果を、宇宙での血圧の調節と血流の分配における大動脈神経性圧反射機能の理解のために供し、更に宇宙飛行士の健康維持対策に役立てる。</p>
---	--	------------	---

3.3 宇宙実験教育プログラム

宇宙開発事業団はSTS-107ミッションにおいて、さまざまなタンパク質の実験が行われる宇宙用のタンパク質結晶成長実験装置を使い、高校生に宇宙環境を利用した実験機会を提供します。

この宇宙実験教育プログラムは、高校生の参加チームが実際にタンパク質の結晶化を行う国内初の宇宙実験教育プログラムで、タンパク質の構造やはたらきを理解するだけでなく、同世代の青少年に対しても、科学および宇宙環境利用に対する幅広い興味と深い関心を持てるような取り組みとして行っています。

またこのプログラムには、向井宇宙飛行士がタンパク質の専門家と共に、タンパク質についての基礎知識や結晶化の方法・宇宙実験の進め方などについて説明し、参加チームの支援を行っています。

今回のこの宇宙実験教育プログラムには、日本全国から149チーム（89校）が参加しており、これらのチームの地上でのタンパク質結晶成長実験実施とレポート提出を受けて審査会が開催され、宇宙実験チームとして選定された6チームが独自の実験条件によるスペースシャトルでの結晶成長実験を行います。また参加している全てのチームは、タンパク質と結晶に関する自由研究を行い、最終研究レポートを作成します。なお、研究レポートの内容は審査され、優秀賞が選ばれます。

表3.3-1 宇宙実験参加チーム

	都道府県	高 校 名	チーム構成
1	北海道	北海道札幌啓成高等学校	2人
2	茨城県	土浦日本大学高等学校	2人
3	茨城県	茗溪学園高等学校	5人
4	埼玉県	埼玉県立浦和第一女子高等学校	12人
5	山口県	山口県立厚狭高等学校	6人
6	宮崎県	宮崎県立五ヶ瀬中等教育学校	6人

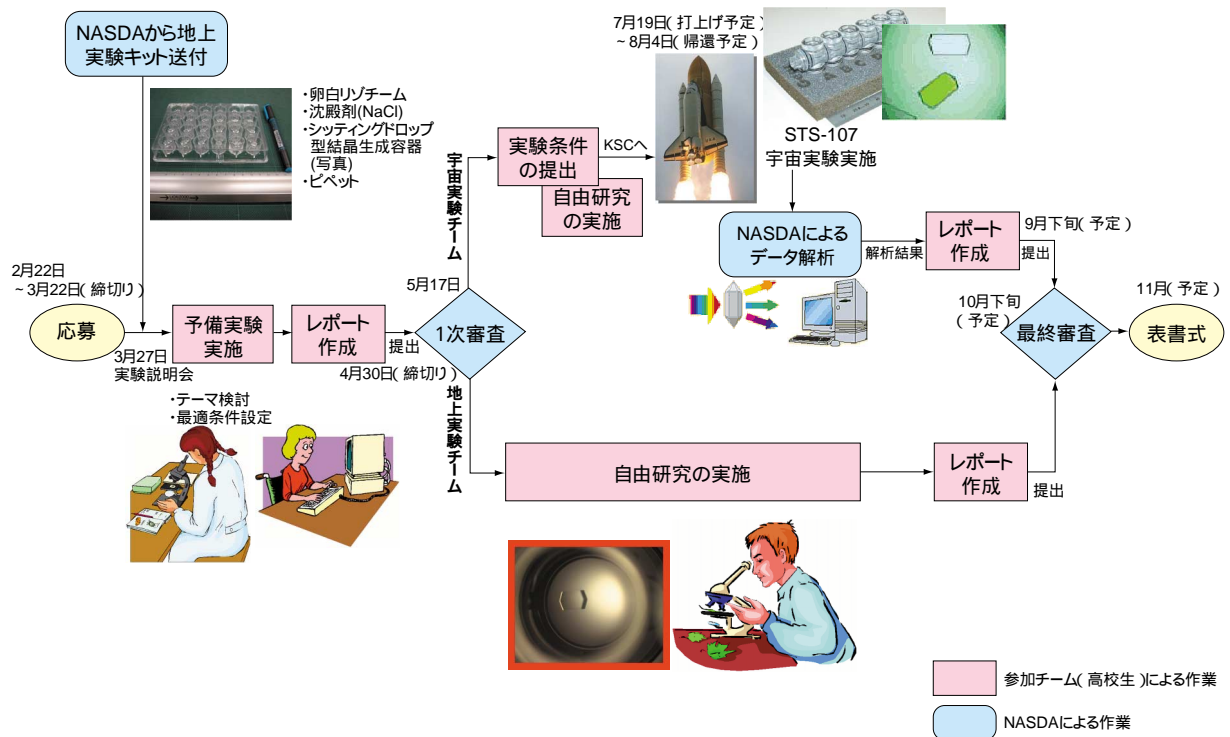


図3.3-2 STS-107宇宙実験教育プログラムの流れ

宇宙開発事業団では、こうした取組みによって青少年の“理科離れ”に対する一助となるよう活動をしています。これまでも日本人宇宙飛行士のスペースシャトル搭乗機会や、国際宇宙ステーションに長期滞在する宇宙飛行士との交信枠を利用したものなど、さまざまな教育イベントを行っています。また今後とも継続的にあらゆる機会を捉え、効果的な教育イベントを実施し、「きぼう」を利用した同様のイベントなどの実現を目指しています。

3.4 飛行後のデータ解析について

3.4.1 タンパク質結晶成長実験

先導的応用化研究

先導的応用化研究の5テーマについては、いずれも微小重力で得られると期待される高品質結晶を用いた立体構造の解析が大きな目的であるため、タンパク質分子の構造解析を行います。すべての解析は、(財)高輝度光科学研究センターが運営する、世界でも最大規模の放射光施設 SPring-8 (スプリングエイト)で行うことを前提として計画しています。

SPring-8での解析は、一般公募研究テーマと同様に行なわれ、微小重力効果について系統的な情報として整理されます。

一般公募研究

結晶の数・大きさの情報から、核形成時間、結晶成長速度を概算で推定し、地上実験との差異があるかどうかを検討します。また、結晶の形態を観察し、表面に微結晶が付着しているかどうかを調べ、微小重力効果を考察します。

さらに結晶の品質評価を行うために、X線回折によるデータの収集を、SPring-8等で実施します。微小重力下で得られた結晶および地上で得られた結晶を、最大分解能、回折データのS/N比である I/I_0 、温度因子等の指標で比較し、微小重力による品質向上の有無を解析します。

高妻テーマ以外の4テーマについては、微小重力で得られると期待される高品質結晶を用いた構造解析が大きな目的であるため、タンパク質分子の構造解析を行います。

技術検証実験

宇宙実験で得られた結晶について、不純物の取り込み量、結晶内分布を解析します。さらに結晶のX線回折による品質評価を行い、地上で生成した結晶との比較によって、拡散支配性の強さと結晶品質との相関、不純物取り込み量と結晶品質との相関等を調べます。

上記の実験結果は、速報を帰還1ヶ月後を目途に、また最終成果を1年後に公表する予定にしています。なお、これらの情報は、宇宙開発委員会等へ報告するとともに、宇宙開発事業団のホームページ上(国際宇宙環境利用データベース：<http://idb.exst.nasda.go.jp/home.html>)で、公開する予定です。

ただし、先導的応用化研究に関しては、研究終了後、特許等の取得に関連する部分について、5年間非公開にすることがあります。

3.4.2 ラットを用いた宇宙実験

取得された標本は、国際公募で選定されたラットサンプルシェア代表研究者に輸送し、研究者によって解析が行われます。実験結果は、標本を引渡したあとになる帰還後1ヶ月を目途、最終成果を1年後に公表する予定です。なお、これらの情報も同様に、宇宙開発委員会等へ報告するとともに、宇宙開発事業団のホームページ上(国際宇宙環境利用データベース：<http://idb.exst.nasda.go.jp/home.html>)で、公開する予定です。

3.4.3 宇宙実験教育プログラム

宇宙実験で得られた結晶のX線回折による構造解析を宇宙開発事業団で行います。このデータは、宇宙実験チームによって実験チームの作成する最終レポートにまとめられます。またレポートは宇宙実験チームおよび地上実験チームから提出されたすべてのレポートを、帰還約3ヶ月後に審査員が審査し表彰します。結果等については、宇宙開発委員会等へ報告するとともに、宇宙開発事業団のホームページ上 (<http://jem.tksc.nasda.go.jp/education/sts107/>) で、公開する予定です。

3.5 実験内容

3.5.1 タンパク質結晶成長実験

タンパク質とは

生物は遺伝子情報に基づき、酵素、ホルモン、神経伝達物質等の10万種ものタンパク質を作り、身体の臓器、筋肉等を構成するだけでなく、これらが相互に作用することにより、遺伝子の複製、タンパク質をはじめとした生体物質の合成、光や味の感知から情報伝達、酸素の運搬、病原体などから身体をまもる免疫システムなど、あらゆる生命の営みをつかさどっています。

タンパク質は遺伝子情報に基づいて、細胞内の微小粒子(リボソーム)で20種類のアミノ酸を数十から数千個ひも状につなぎ合わせて作られます。作られたタンパク質は原子同士の結合(化学結合)の仕方や直接結合していない原子間の電気的な結びつき(水素結合)によって、それぞれのタンパク質固有の複雑な3次元構造を作りだします。

この固有の構造によってタンパク質は鍵と鍵穴のように特定のタンパク質とのみ作用することによって(図3.5.1-1)、10万種以上のタンパク質の複雑なネットワークを構築して生命現象が営まれています。

この構造が熱や酸で変形してしまうと、ゆで卵からヒナがかえらないようにタンパク質が持つ機能は失われてしまいます。

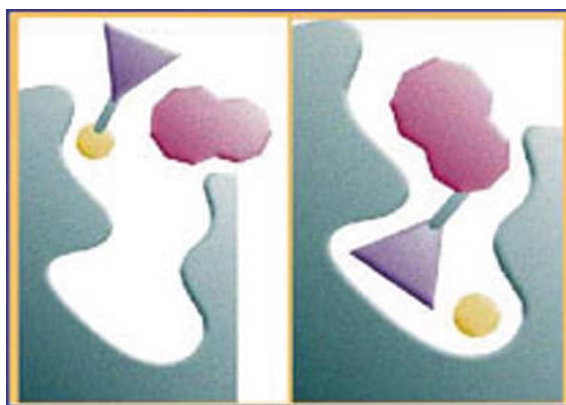


図3.5.1-1 鍵と鍵穴の関係

タンパク質構造・機能解析分野の進展

昨今のヒトゲノム解析により、遺伝子とその塩基配列がわかりましたが、これらは人体の“設計図”に過ぎません。この設計図に基づきタンパク質は作られますが、どのようなタンパク質が、何をきっかけに作られ、それがどのようなタンパク質の相互作用のネットワークを構築して生命現象を担っているのかが研究の対象になってきています。これらを解明することによって、人体の仕組みを解明し、病気に対する的確な治療薬の開発などが可能になります。

また、ヒトだけでなく、動物、植物、微生物のゲノム研究、タンパク質構造機能研究を進めることにより、環境ストレス耐性、病害虫抵抗性のある農産物による革新的な食糧増産技術や、バイオプロセスによる有用物質生産、環境汚染物質の分解技術等への応用が期待されています。

日本においても、「たんぱく3000」プロジェクト(文科省)、「特定蛋白質の構造解析(バイオインフォマティクス)等」(経産省)、「イネゲノムにもとづく蛋白質構造解析等」(農水省)、「疾病関連タンパク質の機能解析」(厚労省)等の国家的な研究プロジェクトが開始され、各中核研究機関を拠点とする産・学との連携によって研究が展開されつつあります。

また産業界においても、タンパク質の働きの解明による、疾病の診断・治療法開発、医薬品開

発、食品開発等に関する研究が進められており、「ゲノム創薬」の分野においては製薬企業22社による「蛋白質構造解析コンソーシアム」が設立され、研究開発活動を開始しています。

これらの分野は、世界的な競争下において、先進各国、各企業において戦略的に取り組まれており、医薬品開発の糸口、いわゆるシーズとなる疾患関連標的タンパク質の発見と、その構造データといった知的財産の確保が急務となっています。

なぜ宇宙でタンパク質の結晶をつくるのか？

タンパク質の構造を解明するためには、大きく2つの手法があります。

一つはタンパク質が規則正しく整列した結晶を作成し、これにX線を当てることで、タンパク質の原子によって回折したX線を分析し、原子の3次元的配列を推定します。

もう一つは核磁気共鳴装置(NMR)を用いて、タンパク質分子に強い磁場をかけ、そこから得られる結果を用いて、原子の3次元配列を推定します。

NMRを用いた解析では、現時点では分子量3万程度の比較的小さなタンパク質までしか構造解析ができないため、タンパク質結晶のX線解析が構造解析手法の主流となっています。しかしながら、タンパク質の構造のうち最も重要な鍵穴の部分（活性部位）の構造を解明するためには原子の位置を非常に細かく特定する必要があり、そのためにはタンパク質が整然と並んだ高品質な結晶をつくる必要があります。

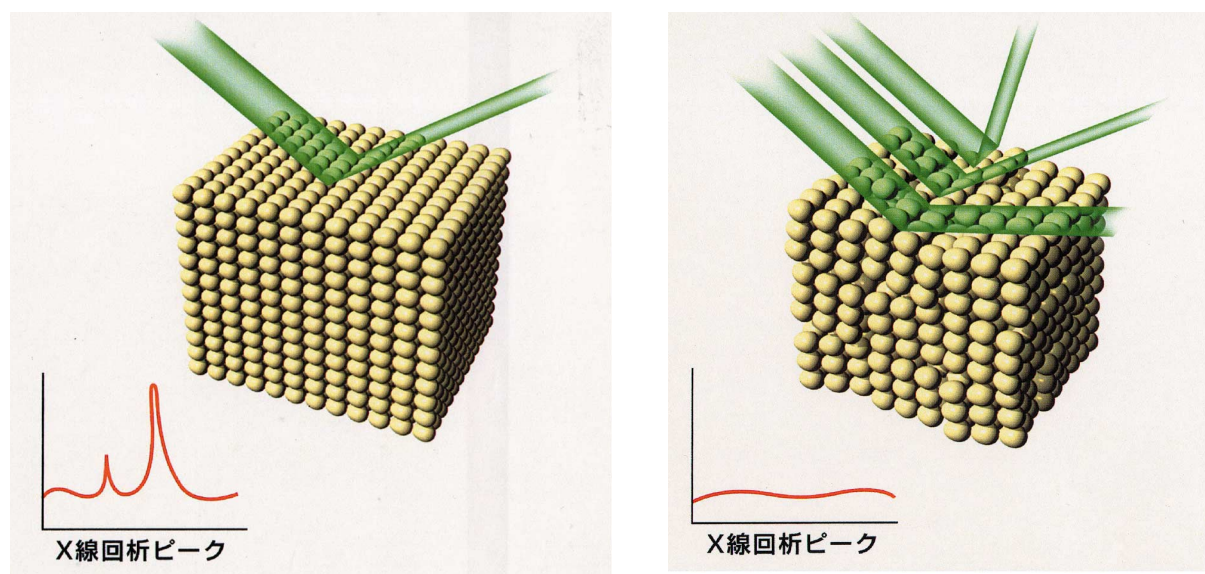


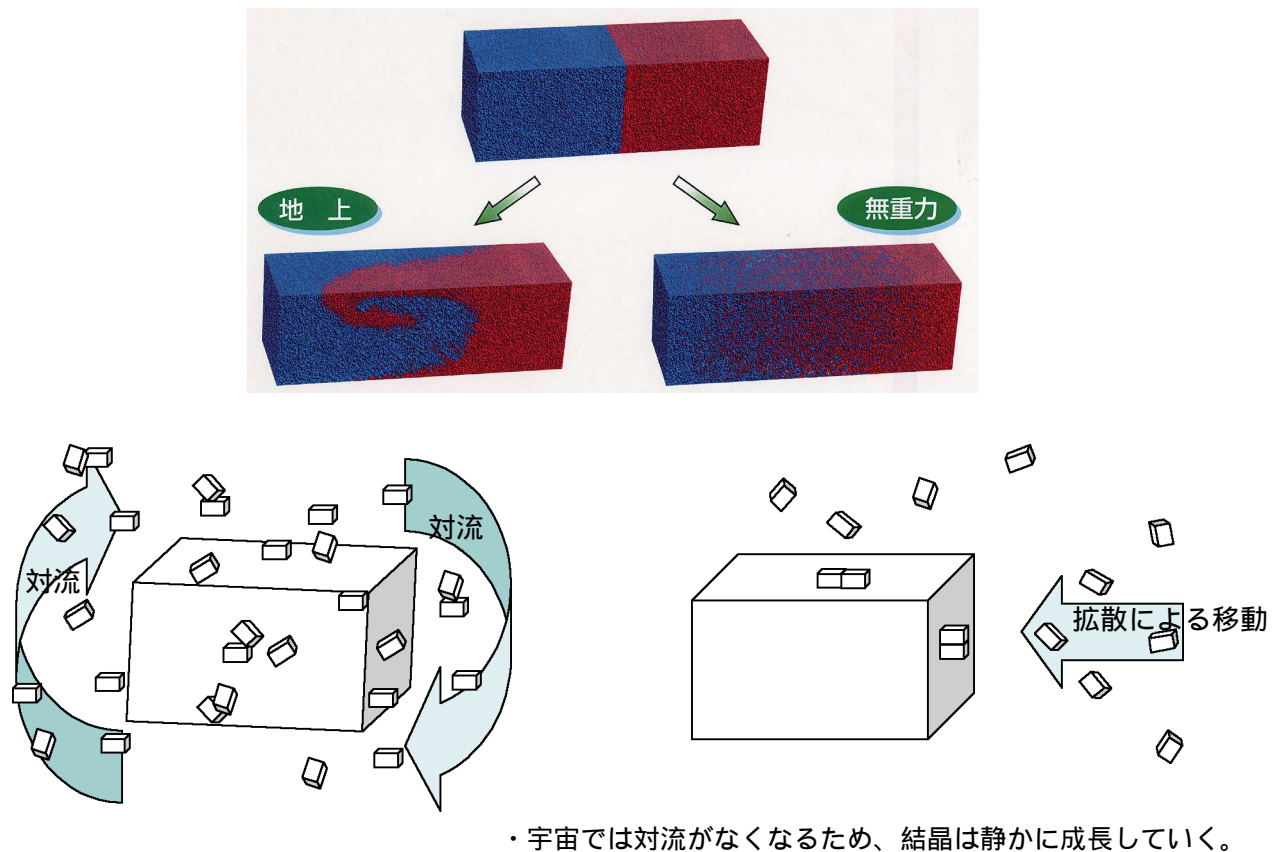
図3.5.1-2 X線回折

図3.5.1-2のように、タンパク質分子が整然と並ぶことで、X線回折像がはっきりし、そこから求められるタンパク質を構成する原子の3次元配列をより鮮明に見ることができるのです。

この高品質なタンパク質結晶をつくる上で、宇宙の微小重力環境が非常に有効であると考えられています。

結晶の品質（分子配列の整然さ）を下げる要因としては、急速な結晶成長、結晶周りの溶液の流れによる乱雑なタンパク質分子の結晶への取り込み、結晶同士の固着などがあります。重力が

無くなることで、温度差や濃度差による溶液の対流が無くなり、流れによる乱雑な分子の取り込みが減り、タンパク質は静かな環境でゆっくりした移動で結晶に取り込まれ、より規則正しい結晶となっていきます。また、対流が無くなることにより結晶同士の衝突や、容器への付着も減り、高品質な結晶をつくることができます。



・宇宙では対流がなくなるため、結晶は静かに成長していく。

図3.5.1-3 宇宙での結晶化の様子

実際に宇宙環境を利用したタンパク質結晶成長実験は、欧米を中心に過去19年に渡って多数実施されており、実験装置も開発・改良されてきています。特に高品質化に関しては、米国のこれまでの宇宙実験結果によれば、表3.5.1-4のような高品質結晶が得られています。

表3.5.1-4 最近の米国宇宙実験における分解能改善例

号 数	装置名	打上年月日	タンパク質名	宇宙実験による分解能改善幅			宇宙実験で 得た結晶の 分解能
				0-0.3	0.3-0.5	0.5-1.0	
STS-76M3	GN2 Dewar	03/22/1996	Leg Hemoglobin			X	1.4
STS-79M4	GN2 Dewar	09/16/1996	Catalase			X	2.3
STS-81M5	GN2 Dewar	01/12/1997	Canavalin		X		1.9
STS-81M5	GN2 Dewar	01/12/1997	Satellite Tobacco Mosaic Virus			X	1.3
STS-84M6	GN2 Dewar	05/15/1997	Cellulase			X	2.8
STS-84M6	GN2 Dewar	05/15/1997	Concanavalin B		X		1.2
STS-84	CRIM VDA2	05/15/1997	Lectin (Cratylla mollis)			X	1.7
STS-84M6	GN2 Dewar	05/15/1997	Thaumatococin		X		1.2
STS-94	CRIM VDA2	07/01/1997	Glyceraldehyde-3-phosph ate Dehydrogenase	X			2.0
STS-94	Amb/PCAM	07/01/1997	Pike Parvalbumin			X	0.9
STS-85	STES PCAM	08/07/1997	Eco R1 endonuclease			X	1.9
STS-85	STES PCAM	08/07/1997	HIV-1-Protease			X	1.8
STS-85	STES PCAM	08/07/1997	Respiratory syncytial antibody			X	1.5
STS-95	STES VDA2	10/29/1998	Proteinase K	X			0.98

http://pcg.tecmasters.com/imp_1.html 等より再構成

分解能は <http://pcg.tecmasters.com/proteinexp.html> より

タンパク質の構造解析分解能と利用に必要な精度

- ・分解能 3.5 : タンパク質の分子内のらせん構造やシート構造は検出することができるが、水素結合の配向性等は検出することができない。(地上での結晶は、2 後半台より分解能の悪い場合が多い)
- ・分解能 2.0 : 化合物(薬剤)がタンパク質に結合するときの分子間相互作用の様子がわかり、タンパク質構造のカタログデータとして有効。
- ・分解能 1.5 : 炭素 - 炭素の原子間距離を見ることができ、構造決定の正確さも非常に高くなり、活性部位の構造も明確になる。薬剤分子設計(SBDD: Structure-Based Drug Design)ではこの程度の精度が必要。
- ・分解能 1.0 : 個々の水素原子が識別されることになり、活性部位と化合物(薬剤)の結合状態が判別できる。これにより詳細な薬剤分子設計が可能となる。(宇宙でのチャンピオンデータは0.9)

(1) 蒸気拡散法におけるタンパク質結晶化条件と結晶品質との関連性に関する研究

研究者：高妻 孝光(助教授)

所属機関：茨城大学理学部

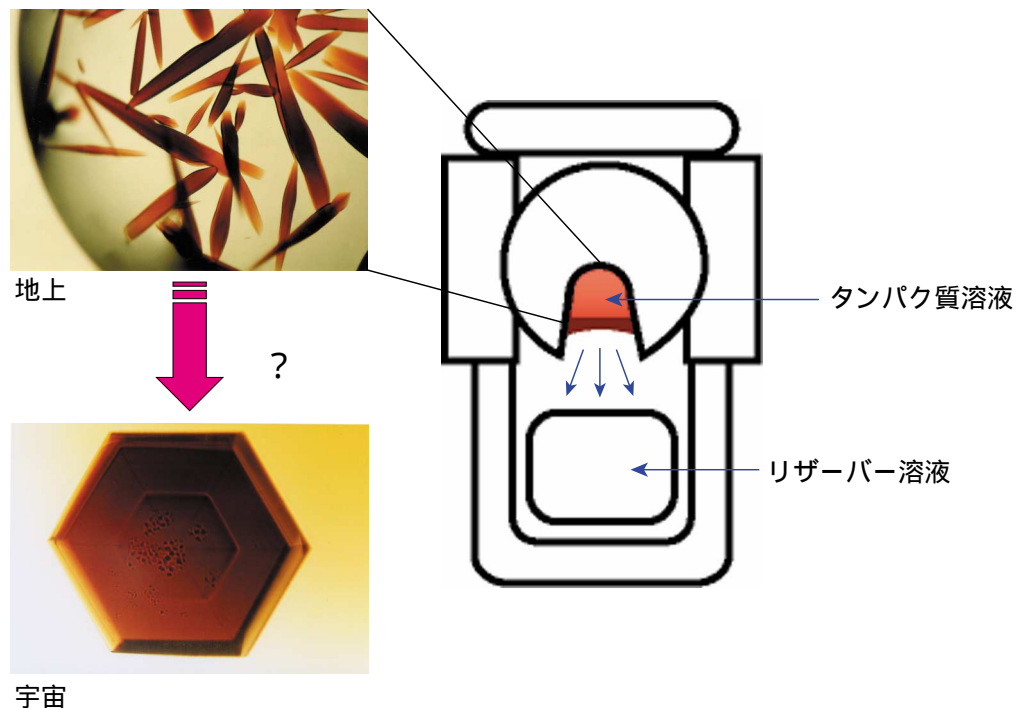
実験内容

この研究では、タンパク質の結晶化手法における代表的な方法である「蒸気拡散法」を用いて、結晶を成長させる条件と結晶の品質との関連についての研究を行います。

蒸気拡散法では、タンパク質溶液中の水蒸気が蒸発することにより、タンパク質の濃度が徐々に上昇し結晶ができてきますが、実験条件を工夫することによって、蒸発速度を変え、早く結晶を作ることが可能です。蒸発が早いと小さな微結晶が多数でき、また、結晶成長が早すぎるために結晶の品質が良好ではないことがすでに予備実験によって明らかにされています。

しかし宇宙実験では、結晶周囲の濃度勾配が維持され、緩やかな条件下でゆっくりと成長すると考えられるため、品質が向上すると予想しています。

本研究では、初期のタンパク質濃度や水蒸気蒸発の速度を制御し、得られる結晶について、タンパク質結晶化条件と結晶品質（回折分解能、温度因子、均質性等）との関係を明らかにします。また、モルフォロジー（結晶の形）の変化の有無、および得られた結晶の個数等を解析し、微小重力下での結晶成長のしくみを検討します。



(2) ガン細胞の薬剤耐性に関する酵素タンパク質の微小重力環境を利用した高品質結晶化

研究者：小田 順一（教授）

所属機関：福井県立大学 大学院
生物資源学研究科

実験内容

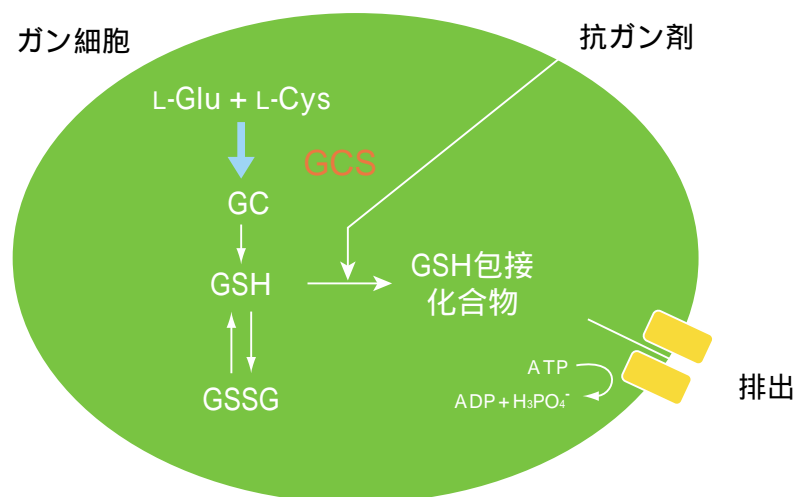
-グルタミルシステイン合成酵素（GCS）は、「グルタチオン」の合成に関する酵素です。グルタチオンはさまざまな機能を持つトリペプチドというアミノ酸が3つ結合したものです。

細胞内のグルタチオン濃度が低下すると、薬剤によって毒性が発現する可能性が高くなってしまいます。しかしながら、ガン細胞などを死滅させたい場合は、逆に、グルタチオンが十分に存在するとガン細胞の薬剤耐性が強くなり、死滅しなくなるため問題となってしまいます。

そのため、抗ガン剤への応用を目的として、GCSの構造と機能の情報をベースとして、GCSの機能阻害を行うための研究が注目されているのです。

GCSの機能を解明するためには、GCSの構造解析を行なう必要がありますが、重力環境下では結晶成長が充分進行しないため、解析に適した良質な単結晶を得ることができませんでした。

今回の実験では、対流のない微小重力環境下での結晶成長実験を行い、得られた良質なGCS結晶の構造解析により、ペプチド結合（2個のアミノ酸の一方のカルボキシル基と、他方のアミノ基が脱水縮合して生じたタンパク質構造の主要な結合様式）生成に関する触媒反応機構を明らかにし、ガン細胞がさまざまな薬剤に対して抗力を発揮する多剤耐性に関するGCSの阻害を行なう薬剤開発を目指します。



ガン細胞の多剤耐性について

(3) 活性酸素防護に寄与するニトロ還元酵素の微小重力環境を利用した高品質結晶化

研究者：田之倉 優（教授）

所属機関：東京大学 大学院 農学生命科学研究科

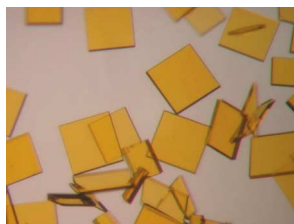
実験内容

生命現象において中心的な存在であるタンパク質は、ヒトでは3万種類にも上るといわれており、それら一つひとつがきちんと決まった構造を成しています。その立体構造に基づいて、まるで鍵と鍵穴の関係のようにタンパク質同士は相互作用し、その機能を発揮しています。つまり、生命現象を理解するにはタンパク質の機能と構造を合わせて把握することが非常に重要といえます。

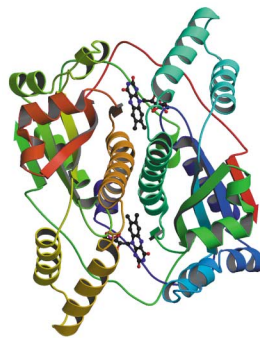
本研究では、さまざまなタンパク質のうち、体に有害な活性酸素から細胞を保護する役割などをもつと考えられているニトロ還元酵素（NfsB）の高品質結晶化により詳細な構造解析を行い、そのはたらきについて解明します。

このニトロ還元酵素 NfsB は、ガンの薬物治療への応用研究も活発に行われています。例えば、ガン細胞に特異的な抗体にニトロ還元酵素を結合させておき、ニトロ化合物のプロドラッグ（そのままの形では不活性であるが、生体内で化学的变化を受けて初めて活性を示すようになる薬物のこと）を投与すると、ガン細胞のみが、活性化され毒性を持ったプロドラッグにより除去される仕組みなどがあります。

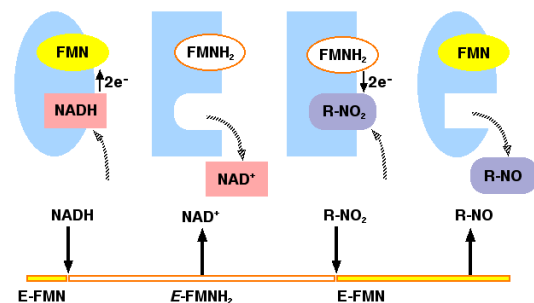
本研究の成果は、こうした仕組みの効率化などにも役立てることができます。



地上実験で得られた結晶



ニトロ還元酵素NfsBの結晶と立体構造



水色が酵素本体である。補酵素であるFMNが電子供与体であるNADHから2電子を受け取り、それをニトロ化合物に渡して還元する。

NfsBの反応モデル

(4) 新機能抗体創製のための動物レクチン(コンジェリン)の微小重力環境を利用した
高品質結晶化

研究者: 山根 隆(教授)

所属機関: 名古屋大学 大学院 工学研究科

実験内容

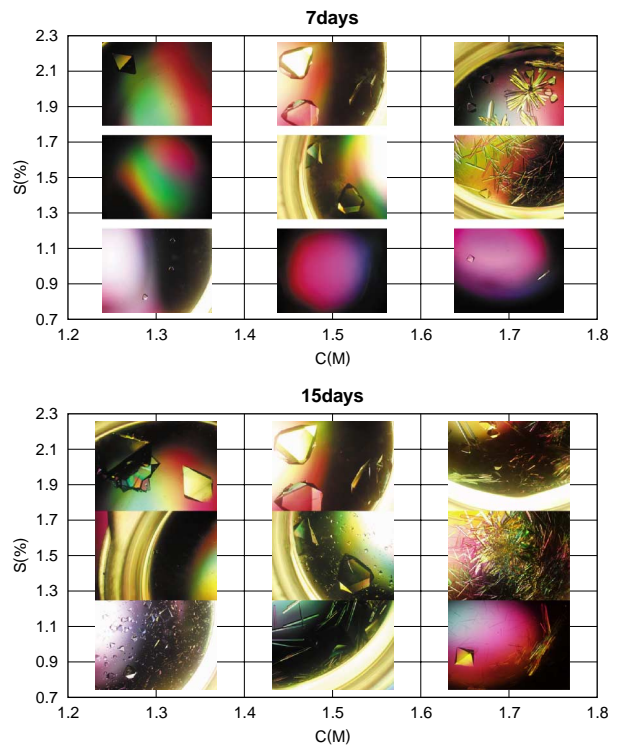
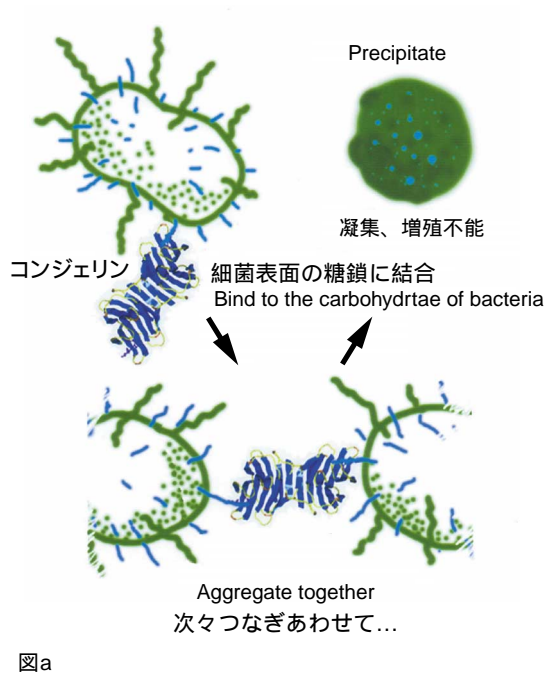
レクチンは動植物や細菌で見出される糖結合性タンパク質です。動物レクチンは、発生・分化・形態形成、免疫などさまざまな生命現象に関係するタンパク質です。細胞表面の糖鎖(糖分子が2つ以上あつまったもの)と結合し、細胞を凝集させ、寄生生物の受精後の繁殖作用(胚発生)を妨げる機能があるなど、生体防御機能が備わっているとされています。

例えば、アナゴの体表の粘膜から抽出されるコンジェリンは、バクテリアを凝集させる作用があり、アナゴの生体防御に役立つ自然免疫性を示します。(下図a)

本研究では、アナゴコンジェリンの糖鎖認識機構の原子レベルでの解明と、コンジェリンの生体防御に関する機能向上に向けた分子設計を目的として、高品質な結晶育成を行います。(下図b)

また今回の微小重力実験で得られた結晶を用いて、1 (オングストローム)分解能レベルの構造解析を目指しており、コンジェリンの糖鎖認識機構に関する水分子や水素原子についての詳細な情報を取得します。

その結果、ガン細胞などの特有な糖鎖だけを認識し、生体防御を行なう新機能抗体等の開発に役立てることが出来ます。



図b: コンジェリンIIのタンパク質濃度(縦軸) - 沈殿剤(横軸)の組み合わせに対する結晶成長(上7日後、下15日後)

(5) 生物学上重要な超分子タンパク質の微小重力環境を利用した高品質結晶化

研究者：三木 邦夫（教授）

所属機関：京都大学 大学院 理学研究科

実験内容

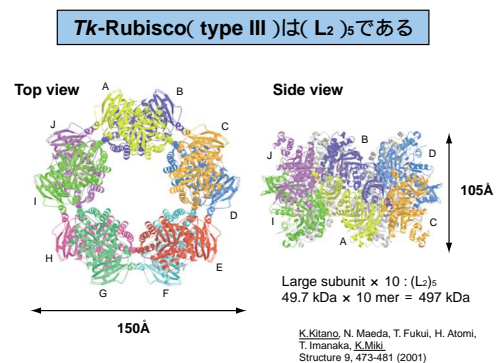
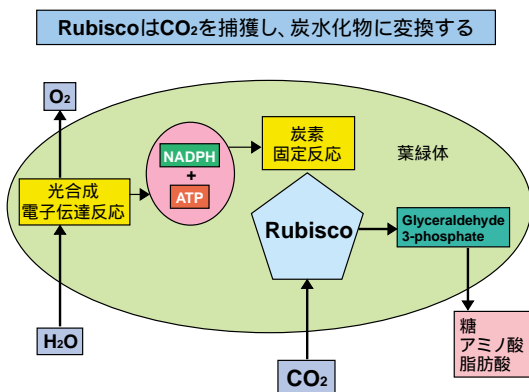
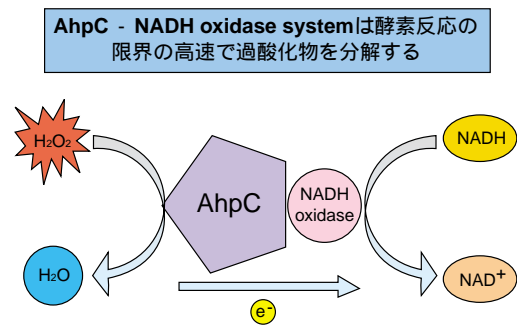
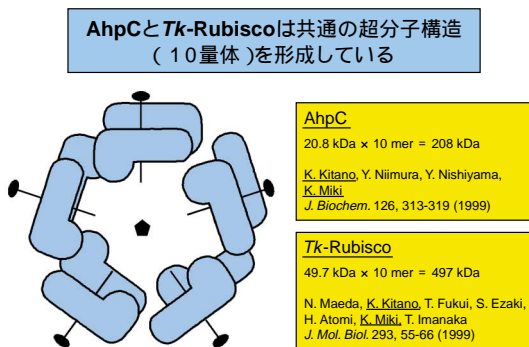
タンパク質複合体を宇宙環境で結晶化させ、品質の高い結晶を作ることで、そのタンパク質の精密な立体構造を決定します。対象になるタンパク質は、AhpCとRubiscoという生物学的に重要な2つのタンパク質です。

AhpCは、細胞のガン化、糖尿病、老化をはじめとする多くの病気の主な原因となる過酸化物を、他の酵素よりもはるかに強力な力で分解する機能をもっています。またRubiscoは、植物の光合成能力を支配する重要な酵素であり、二酸化炭素（CO₂）分子を捕獲して生命維持に必要な化合物に取り込ませる機能を持っています。

これまでの研究の結果、AhpCおよびRubiscoが超分子（この場合は、分子が10個集まった複合体）を形成しており、この超分子構造によって、過酸化水素（H₂O₂）やCO₂などの小さな分子を効率よく取り込む機能が生み出されていることが分かっています。

今回の実験では、この機能をより詳細に調べるために、地上では作ることが難しい高品質の結晶を宇宙環境で作って、AhpCでは4、Rubiscoでは3を越える高分解能の回折データを測定し、2つの超分子タンパク質の立体構造を精密に解明することを目指します。

この研究により、AhpCの立体構造からは薬剤分子設計による医学的な応用のための貴重なデータを、またRubiscoからは、地球環境の保全や人類の食糧確保に役立つ植物種を作り出すための情報を得ることができます。



(6) 蒸気拡散法による微小重力実験最適化技術の検証

研究者：依田 真一（主任研究員）

所属機関：宇宙開発事業団

宇宙環境利用研究システム

実験内容

本実験では、タンパク質の結晶成長実験における微小重力環境の有効性に関する研究と、地上での実験を通して確立した「宇宙実験に最適な結晶化条件の設定方法」の検証実験を行いません。

現在、タンパク質結晶成長における微小重力環境の有効性については、結晶の浮遊沈降の抑制、対流がないことによって起きる溶質拡散層の形成、不純物拡散層の形成の3つとされています。

溶質拡散層効果を明らかにするために、拡散支配性の強さと結晶品質向上度との相互関係を調べ、効果の出やすい結晶化条件についてガイドラインを作っていきます。また、不純物拡散層効果については、ある特定の不純物について、宇宙での結晶への取り込みの様子と結晶品質との関係を調べることで、微小重力実験を実施する際の試料純度を決定するためのデータとします。

宇宙環境を使ったタンパク質結晶成長実験を行うとき、研究者ごとに、取得したい“結晶のサイズ”“結晶の数”などの要望が異なります。これらを左右するのが、じつはタンパク質結晶化溶液中のタンパク質濃度、沈殿剤濃度なのです。

また、蒸気拡散法の場合、結晶化するまでの時間は、結晶化溶液中の沈殿剤濃度と、リザーバー中の沈殿剤溶液の濃度比にも依存します。つまり何日かけてどのくらいのサイズの結晶をどのくらいの数作るかということは、初期のタンパク質結晶化溶液の濃度と、沈殿剤濃度比によって決められるのです。また、一般的に時間をかけてゆっくり結晶を作ると、大きくて品質のよい結晶ができることも明らかになってきました。

しかし、今回の宇宙実験では、スペースシャトルを利用して16日間という短期間で結晶化実験を行わなければなりません。そのため、できる限り遅い速度で結晶を成長させ、しかも、16日間で確実に十分な大きさの結晶を育成する必要があります。

この相反することを実施するためには、タンパク質溶液と沈殿剤溶液をそれぞれどのような濃度に設定するかということにかかってきます。それは、宇宙実験を成功させるための第一歩であり、最も重要なことなのです。

宇宙開発事業団では、すべてのタンパク質結晶成長宇宙実験を成功させるため、結晶成長に関する研究を行い、宇宙での結晶化手法のガイドライン確立を目指してきました。

今回の実験は、このガイドラインの確立に向け、結晶化条件の設定方法が有効な手法かどうか検証するものです。

3.5.2 宇宙環境が生物におよぼす影響の研究 ～ラットを用いた宇宙実験～

地球の生命と宇宙環境

重力は常に地球上に存在します。地球上の全ての生き物は重力の影響下に置かれており、この環境の下に進化を遂げてきました。地球上の生命現象に対する重力の本質的な役割とはなんでしょう。この重力の役割を理解することは、地球上の動植物や人間の分化および発生、進化に関わる基本的なメカニズムを全体的に理解していくことに大いに貢献することになります。

そして重力がない宇宙環境では、この疑問に答えるための実験を行うことができます。

21世紀は国際宇宙ステーションによって、人類が本格的に宇宙へ進出する時代になります。しかし、長期間宇宙に滞在したり、地球の重力とは異なる重力を有する他の惑星に旅することを考えた場合、重力がいかに生命体に影響しているのか、どのように生物は重力との関係において自己の位置を感知し、重力や重力変化、微小重力に適応していくのか、宇宙放射線の影響はあるのだろうか、といった最も基本的な質問に答えていかなければなりません。そして生体が異なる重力環境に適応したとしても、地球に帰還した時の再適応に重大な生理学的問題が存在することも考えなくてはなりません。

人類が長期間にわたって安全に宇宙で暮らすためには、まだまださまざまなことを調べていかなければならないのです。

宇宙での生命科学実験の歴史

生物を使つての宇宙実験は、人間が宇宙飛行を始めるよりも前に開始されました。そのころの最大の関心は、“生物が宇宙飛行できるか？”“宇宙環境が生物にどのような影響を与えるか？”であり、人間の宇宙飛行の可能性を確認することでした。

人類初の有人宇宙飛行を争っていた米国と当時のソ連は、1960年代の初期から各種の生物を宇宙船に載せ研究を進めてきました。その結果の積み重ねにより米国はアポロ計画で人間の月往復を実施しました。その後、アポロ計画の延長として実施された「スカイラブ」計画では、人間の宇宙での長期滞在とその影響に焦点をあてた実験が行われました。この時点までの実験のねらいは「宇宙で生物はどんな影響を受けるか？」であり、実際に「やってみる」実験が主体でした。

スペースシャトル、スペースラブの飛行が開始される頃になると、人間をはじめとする生物に対する宇宙環境の影響に関する知識がある程度蓄積され、仮説に基づいた実験の計画が可能になりました。また、ロシアのミール宇宙ステーションでの1年を超える宇宙長期滞在により、長期滞在に関するデータの蓄積も進みました。

スペースシャトルが飛行を開始したのが1981年。遺伝子の解析を中心とする「分子生物学」の手法が発展し始めたのもほぼ同じ時期でした。そして、分子生物学が宇宙ライフサイエンス実験に積極的に取り入れられるようになったのは90年代の後半になってからです。さらにヒトを初めとした各種生物種のゲノムの解析が進むことにより、重力の影響について遺伝子やその生成物であるタンパク質レベルでわかるようになってきました。

宇宙環境を利用した生命科学研究がもたらすもの

宇宙で行われる生命科学研究は生命の基礎的な現象を解明するものではありませんが、そこで得られた知見は地上のさまざまな活動に反映、応用され、私たちの生活の質を大きく向上させる可能性があります。また、宇宙で起こるさまざまな人体の変化は、地上の各種疾病と類似のものが多く、宇宙での医学研究の成果は地上の医療にも当然のことながら反映されていくこととなります。

平成13年3月に閣議決定された第2期科学技術基本計画では、当面5年間の科学技術政策として生命科学、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料の4分野に重点化を図ることとされています。宇宙環境を利用した生命科学/宇宙医学研究は従来の生物学の枠内には留まらない、情報処理やナノテクノロジーその他先端技術を必要とする新たな融合領域で、これらの重点分野とは相互に貢献し、密接に関連しています。

宇宙環境では、隔離された閉鎖環境に起因する徹底した省資源や、完全リサイクルの必要性などの高度な条件が要求されます。その制約を克服するため、長期宇宙飛行を可能にする生物分解・廃棄物低減・廃棄物再利用技術の開発や、特異な環境でも生育し得る各種の耐性を備えた植物の開発、小型イネの栽培など宇宙農学による閉鎖環境における効率的な食物生産技術と生命維持のための物質循環系の開発、等の研究や技術開発が必要とされます。これらの研究成果は科学技術基本計画の重点分野推進に際して強力な原動力となり得るのです。新材料や医薬品の創製、新たな生産技術や医療法の開発、地球環境保全につながる技術の獲得など、社会の発展や生活の向上に寄与する研究開発が行われることが期待されています。

ラットを用いたサンプルシェア研究とは

今回STS-107ミッションで実施される「ラットを用いた宇宙実験」では、サンプルシェア研究と言い、数少ないラットの宇宙飛行機会を最大限に活用するために、標本分配型の研究プログラムとして行われます。

この標本分配型研究は、アメリカとフランスの研究者らによるラットを用いた宇宙実験で使用する標本（サンプル）以外の臓器や組織を利用して行われます。これらの臓器や組織に対して新たな研究テーマを国際的に募り、選ばれた研究者に標本を分配するもので、宇宙実験としては初めて行われるものです。またデータの比較解析を行うために、地上対照標本についても合わせて標本の分配が行なわれます。

今回のサンプルシェア研究では、日本から9つのテーマが参加し、筋骨格系、代謝内分泌系、神経系、宇宙放射線の生物影響といった分野の研究が実施されます。これらの成果は今後の宇宙ステーションにおける実験につながっていくものと期待されます。

本実験によって得られた成果は、宇宙実験実施後1年を目途に公開される予定です。

なお、コロンビア号が宇宙から帰還した直後に、医師としての経験を生かして古川聡宇宙飛行士が、NASAケネディ宇宙センター（KSC）において標本の収集作業に参加します。これは将来の「きぼう」での同種の作業へ向けた技術の修得や、実作業を通じた研究者との貴重な意見交換を目的としています。

(1) ラットの骨格筋および脊髄における遺伝子の発現・消失に対する宇宙飛行の影響

研究者：石原 昭彦（助教授）
所属機関：京都大学 総合人間学部

研究概要

筋肉は瞬発力を生み出す速筋と、重力に逆らう方向に働き持久力を生み出す遅筋から構成されています。一方、脊髄には神経細胞があり、その細胞が神経線維を伸ばして筋肉を動かします。

この研究の特徴は速筋と遅筋の筋肉としての特性の変化を、脊髄の神経細胞の変化とともに調べることです。

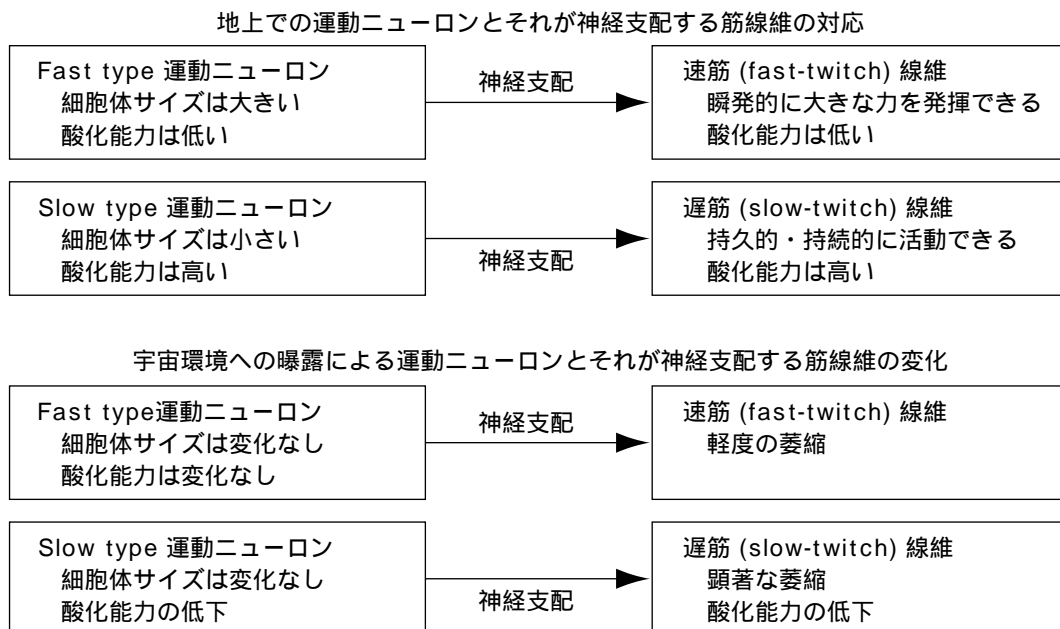
宇宙に滞在すると筋肉、特に遅筋が萎縮することが分かっており、さらに遅筋の特性が速筋の特性へ移行する現象が起きます。加えて、遅筋を動かす運動神経細胞の能力の低下も生じます。

これらの変化とともに、宇宙滞在により新たに発現する遺伝子や消失する遺伝子もあるものと思われま

す。本研究では、こういった遺伝子の発現および消失について明らかにするとともに、宇宙環境に対する神経・筋活動の適応機構を明らかにして、宇宙飛行士が宇宙滞在において安全に活動が行えるような処方を開発することを目的としています。

宇宙飛行をする8匹のラットおよび、16匹の地上対照用ラット(宇宙実験用動物飼育装置を使った飼育、および通常ケージでの飼育 各8匹)の長指伸筋と長内転筋および脊髄を摘出し、液体窒素で凍結して、筋肉線維の分布を分析します。

脊髄については神経細胞における酵素活性の変化を化学反応によって検出し、どのように運動神経細胞が筋肉の動きを制御しているか、またそれには遺伝子がどのようにかかわっているか解明します。



Slow typeの運動ニューロンとそれが神経支配する遅筋線維は、選択的に宇宙環境への曝露による影響を受けます。本研究では、それらに関する骨格筋と脊髄における遺伝子の発現と消失について検討します。

(2) ラットの速筋及び遅筋後肢筋の特性に及ぼす宇宙飛行の影響

研究者：大平 充宣（教授）

所属機関：大阪大学 健康体育部

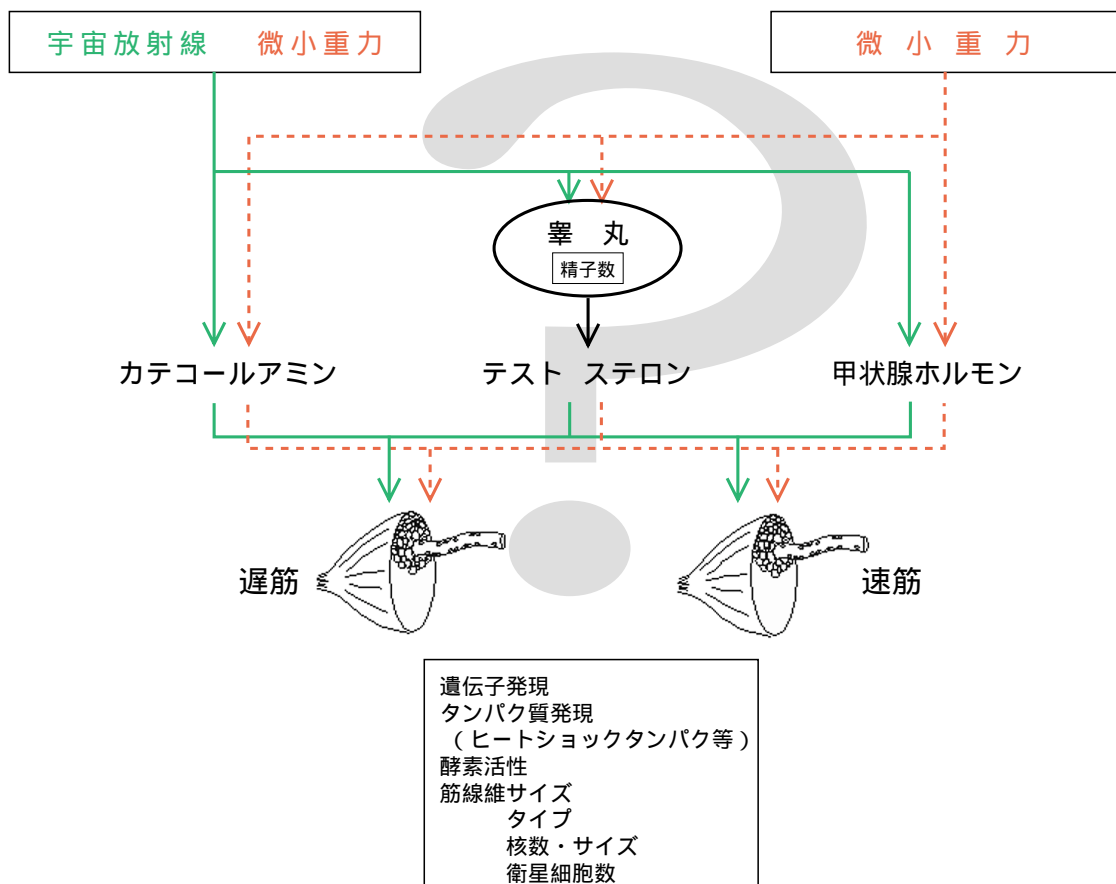
研究概要

筋肉におこる変化のメカニズムを解明するため、無重力環境への曝露がラットの骨格筋の特性に及ぼす影響を、速筋（前脛骨筋）と遅筋（長内転筋）で比較します。

筋肉は瞬発力を生み出す速筋と、重力に逆らう方向に働き持久力を生み出す遅筋から構成されています。宇宙飛行を終えたラットおよび地上対照用ラットの前脛骨筋と長内転筋を比べ、筋肉の重量、筋線維の種類および大きさ、筋細胞核の数、筋細胞核におけるDNA含有量、さまざまな酵素活性、各種ストレスにより出現するタンパク質、および各種遺伝子発現等を分析します。

また、血漿中甲状腺ホルモン（T3およびT4）、カテコールアミン、テストステロンおよびそれと関連の深い睾丸中の精子数なども分析します。

さらに、宇宙放射線の影響が少ない地上で、後脚の筋肉の抗重力活動のみを抑制したグループと比較しながら検討し、宇宙飛行に対する生体の適応機構を明らかにし、宇宙飛行士の安全管理等を目指した処方の解明を目的とした研究を行います。



(3) 宇宙フライトにより萎縮した骨における新規骨芽細胞抑制蛋白質オステオアクチピンの解析

研究者：安井 夏生（教授）

所属機関：徳島大学 医学部 運動機能外科学

研究概要

生物は地球上で暮らすかぎり無意識に重力の影響を受けています。特に運動などをしていない状態でも骨や筋肉には常に力学的負荷がかかっており、このことが骨や筋肉の強度を保つ上で役立っています。さらに骨や筋肉には力学的負荷に応じて、それに対抗できるだけの強度が自然に維持される仕組みが備わっています。

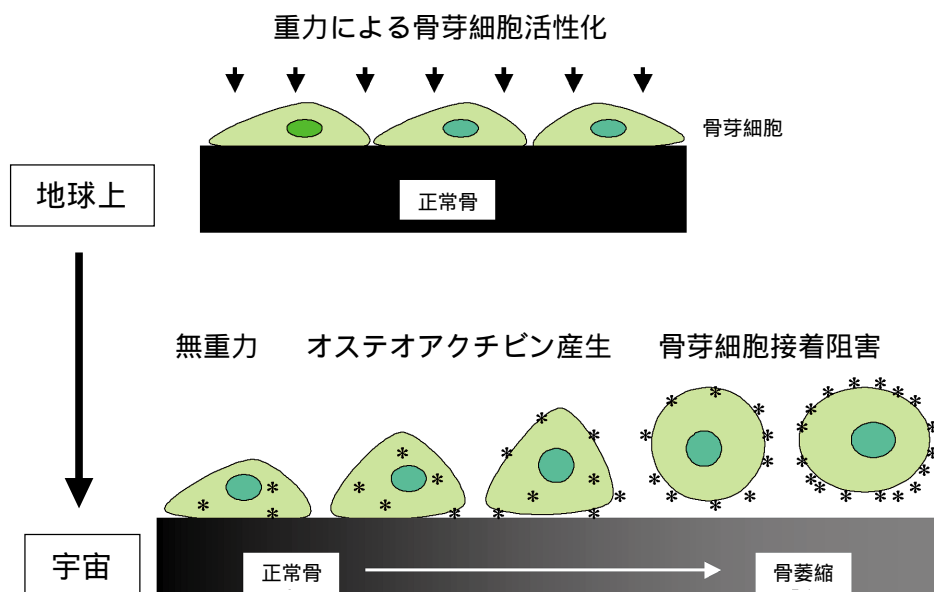
宇宙遊泳から帰還した飛行士の骨や筋肉には強い萎縮がみられることは良く知られています。スペースシャトルの狭い空間では運動不足もありますが、同じ狭い空間でも地球上の重力環境では筋萎縮や骨萎縮はおきないことから無重力という環境が骨や筋肉の萎縮をきたすものと考えられています。

骨や筋肉の細胞は重力という力学的負荷を感じる仕組みをもっていることとなります。私たちは細胞がどのようにして力学的負荷を感じとり、その信号を核まで伝え遺伝子発現に結びつけるかという研究を続けています。

すでに筋肉については無重力環境で4つの新規遺伝子の発現が増強していることをつきとめました。その中でオステオアクチピンとよばれる膜結合型糖タンパクに注目し、その遺伝子発現が無重力環境でどう変化するかを調べる予定です。

宇宙遊泳を行ったラットの骨ではオステオアクチピンの遺伝子発現が増強している可能性が高く、もしそうであれば無重力環境により過剰産生されたオステオアクチピンが、骨芽細胞の骨マトリックスへの接着を阻害することにより骨萎縮が進行するのではないかと考えています（下図a）。

本研究により骨粗鬆症や変形性関節症など多くの骨・関節疾患の治療法の開発につながる可能性があります。また今年には運動器の10年（Bone and Joint Decade）の3年目にあたり、この分野の研究のさらなる進歩が期待されます。



図a

(4) 宇宙飛行後ラット肝におけるチトクロームP450とストレス関連分子の発現解析

研究者：福本 学（教授）

所属機関：東北大学 加齢医学研究所
病態臓器構築研究分野

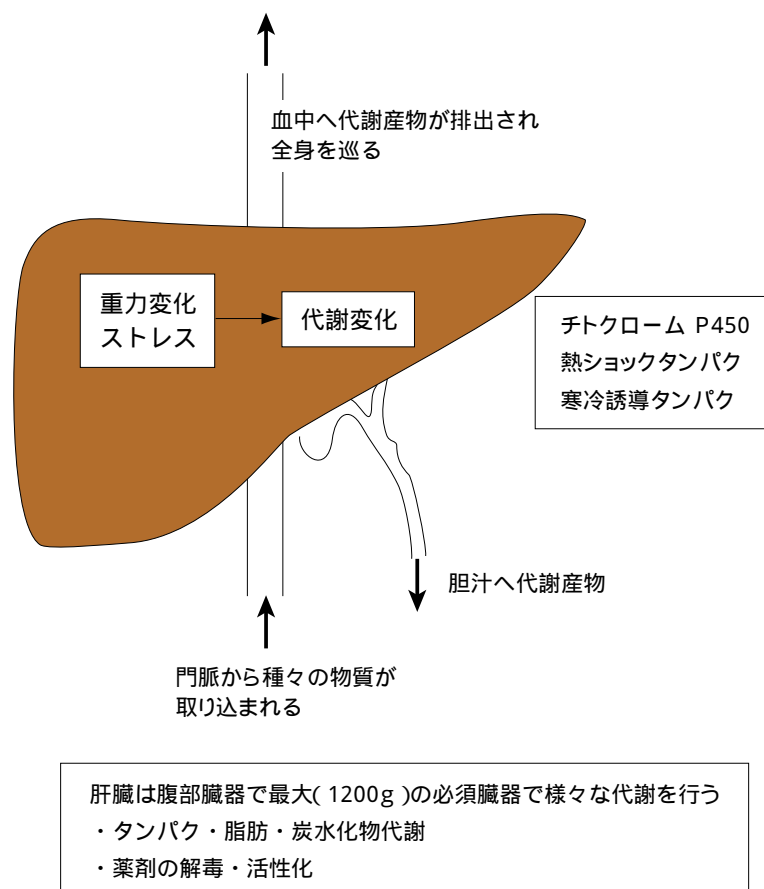
研究概要

薬剤代謝の中心的役割を持つ肝臓での代謝変化を、薬剤の代謝・体外への排除を行なう酵素群であるチトクロームP450 (CYP)の発現によって解析します。

CYPは、薬剤や外来物質の代謝・排除を行なう一方、物質によっては酸化されて生体への毒性を発揮させることがあります。肝のCYP量が宇宙飛行後で減少するという過去の実験報告はありますが、さらに個々のチトクロームの量的変化について検討する必要があります。

また、宇宙飛行は離着陸時の重力の大きな変化・無重力・宇宙放射線被ばくなど、生体にとって大きなストレスが加わると考えられます。ストレス誘発分子である熱ショックタンパクと寒冷誘導タンパクと、各CYPの遺伝子とタンパクの発現の解析を通して、宇宙環境の全身への影響を、肝機能の変化から解明します。

この研究によって、種々のCYPやストレスによって誘導される分子の発現量を人工的に変化させることができ、地上で宇宙空間と同様な代謝状態をつくり出し、宇宙飛行士が宇宙滞在において安全に活動が行なえるよう、事前に薬剤の効果を予想することが可能となります。



(5) 微小重力が末梢前庭の遺伝子発現に及ぼす影響

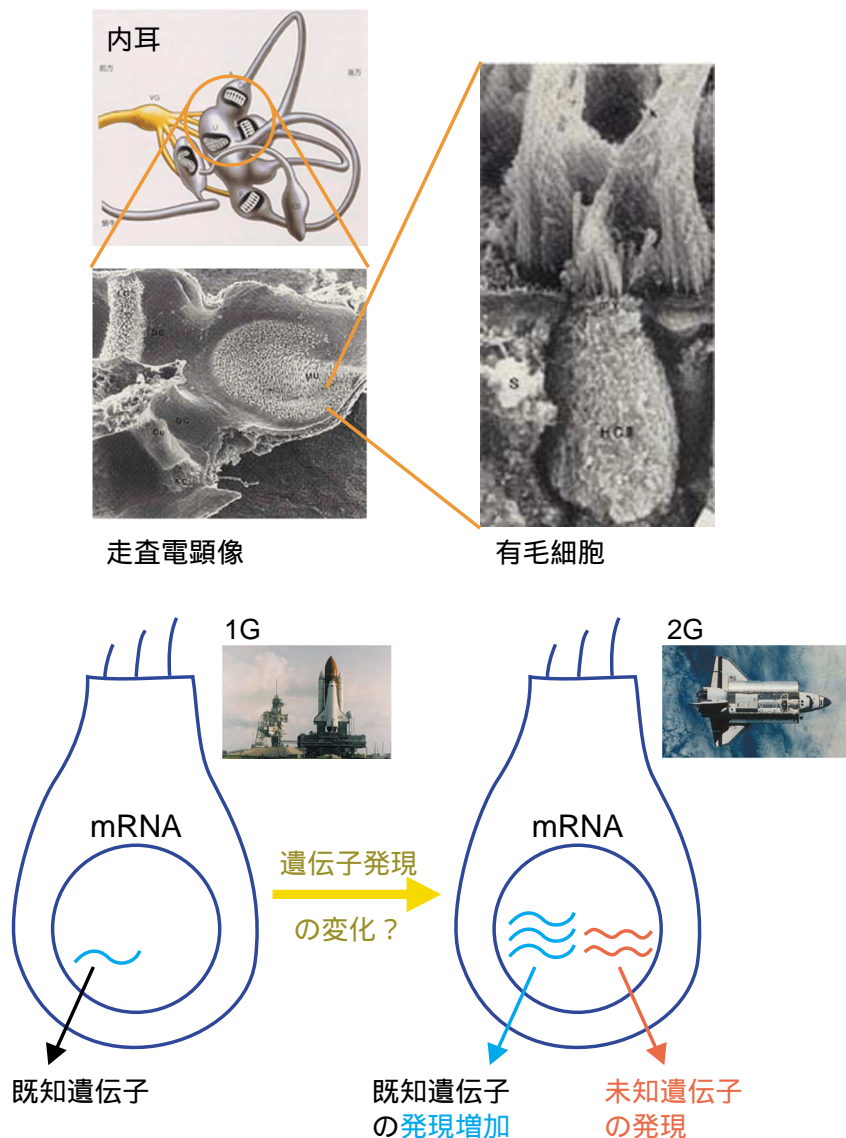
研究者：宇佐美 真一（教授）

所属機関：信州大学 医学部 耳鼻咽喉科学講座

研究概要

無重力状態では加速度が生じないため、前庭末梢器で感じる加速度について変化が起き、これが「宇宙酔い」の一因となっていると考えられています。重力の変化（微小重力環境）が前庭末梢器にどのような影響をおよぼすか、また1Gの環境のもとで進化してきた生物がどのように微小重力環境に適応していくかについては、一般的には脳が主な役割を担っていると考えられてきましたが、近年では器官レベルでも種々の変化が起きていることが推測されています。

そのため生物が無重力状態におかれた際に、重力を感知する前庭末梢器（内耳の器官）にどのような変化がおきるかを遺伝子レベルで検出し、今後人類が宇宙空間に長期滞在するためには解決しなければならない重要なテーマの一つである前庭末梢器において、どのようなメカニズムが働いて生体が新しい重力環境に適応していくのかを、解明していきます。



(6) 宇宙環境がラットの補酵素NAD代謝に及ぼす影響

研究者：柴田 克己（教授）

所属機関：滋賀県立大学 人間文化学部
生活文化学科食生活専攻

研究概要

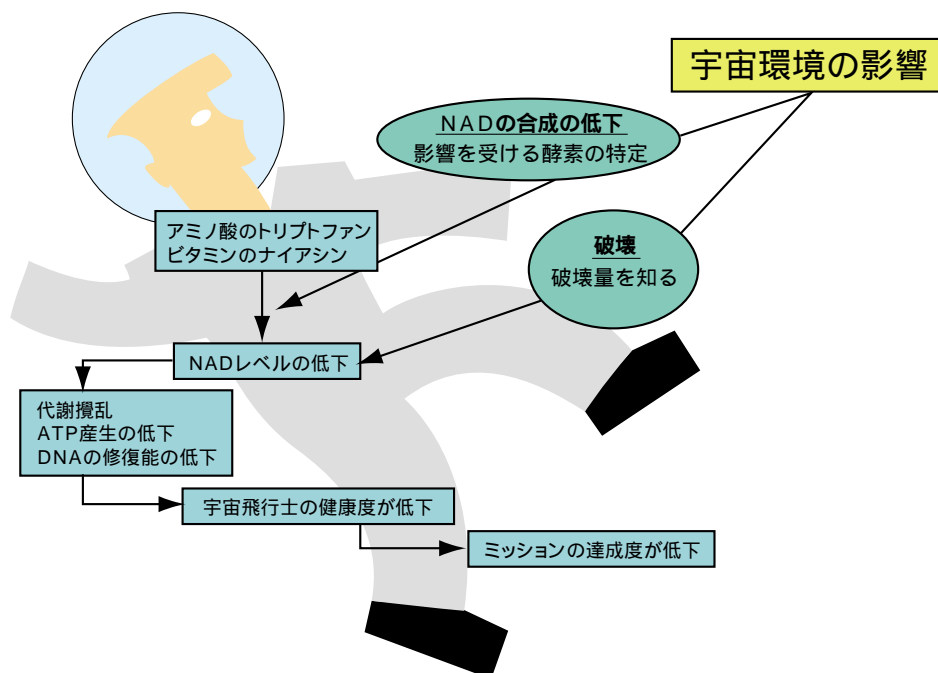
ニコチン酸アミドアデニンジヌクレオチド(NAD)は約500種類の酵素（生体内で物質代謝に関与する）の補酵素（補酵素：酵素がタンパク質の他に低分子の有機化合物を持つ場合、その化合物をいう。）として機能しています。さらに、損傷を受けたDNAの修復やエネルギーの源となるATP（アデノシン5'-三リン酸）の生産にも必須な化合物であり、生体内代謝の最重要物質といえます。

そのため哺乳動物では、肝臓によってアミノ酸のトリプトファン（必須アミノ酸として、生体内でインドール・セロトニン・ニコチン酸などの生成に関与する生理上重要な物質）からつくられ全身に供給しているため、NADが不足する可能性は少なくなっています。しかし、きわめて強いエネルギーを持つ放射線を長時間浴びると、トリプトファンから生合成される以上のNADが消費されるために、肝臓と血液中のNAD含量が低下してきます。

今までの研究により、NAD定量方法を改良し、ラットの種々の組織・臓器中のNAD含量およびヒトの血液中NAD含量も測定し、含量が低下した状態で適量のビタミンB複合体の一つであるナイアシン（ニコチン酸）を服用することが、宇宙環境下での健康維持に重要となることが分かっています。

今回は宇宙環境下でナイアシンの必要量がどの程度高まるかを明らかにする基礎データを取得するため、地上での対照ラットと宇宙環境に曝されたラットの肝臓中のNAD含量を測定することにより、含量の低下がどの程度かを調べます。

またそれにより、宇宙環境下での最適ナイアシン量を推定し、13種類のビタミン必要量をすべて明確にする実験に発展させ、宇宙飛行士の健康維持のために必要なビタミン量を明らかにします。



(7) ラット臓器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

研究者：大西 武雄（教授）

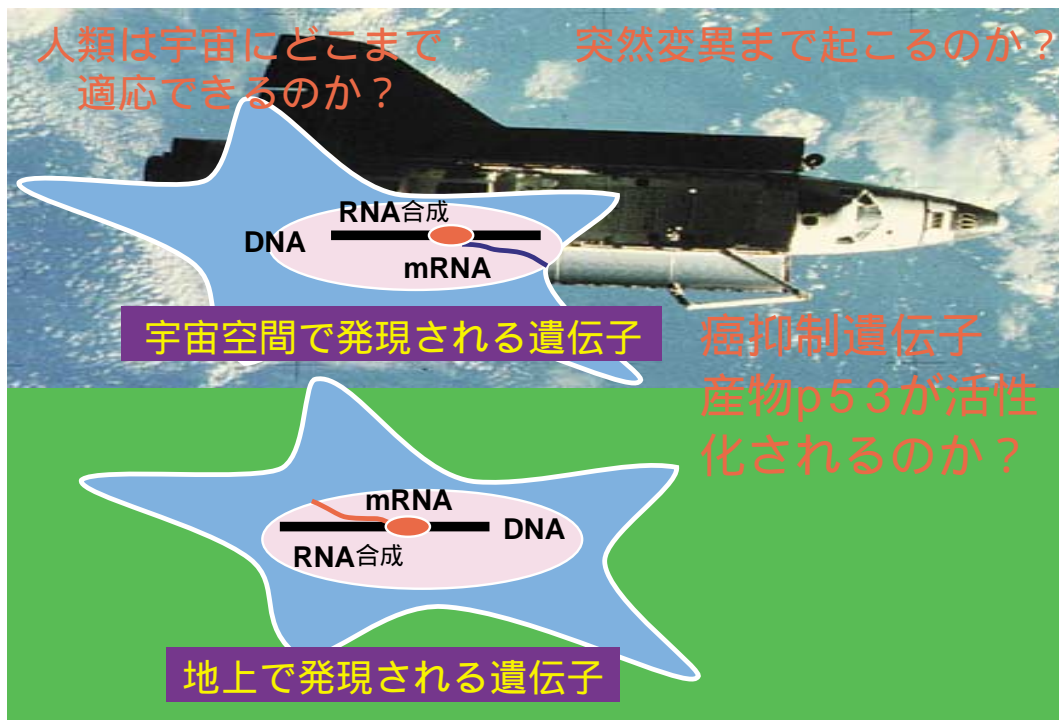
所属機関：奈良県立医科大学 生物学教室

研究概要

宇宙環境下での1日の放射線被曝量は、地球上での日常生活であびる放射線被曝限度のおよそ1年分（1mSv）に相当します。人が宇宙ステーションなどに長期間宇宙に滞在するようになると、放射線によって体内の遺伝子情報が変化を受けガン化する可能性があるため、細胞がもつ遺伝的安定性のしくみの解明が必要となります。

この研究では、ガン抑制遺伝子の一つであるp53と、その下流の遺伝子であるWAF1およびBaxを含めたガンを抑制する遺伝子群の全体像を探ります。これまでの研究で宇宙環境ではp53タンパク質量が増加することが分かっています。細胞にとってストレスとなるさまざまな環境因子がp53を中心とした遺伝子の情報伝達に関する経路を誘導することも分かっています。（WAF1が宇宙環境で誘導されれば細胞増殖が停止し、その間にDNA損傷を修復することができます。また、Baxが誘導されれば損傷をもった細胞にアポトーシスという死を引き起こすことになると考えられます。）

そこで、免疫組織染色（組織を特異的に標すことができる染色方法で、顕微鏡観察を行なう方法）、cDNAマイクロアレイ法（遺伝子発現の度合いを解析する方法）などにより、宇宙環境が引き起こす遺伝子発現を網羅し解析します。そのことによって、人類が宇宙環境にどのくらい適応できるかを予測し、宇宙飛行士が安全に宇宙で活動できるようにします。



(8) 宇宙環境の造精機能への影響

～アポトーシス関連因子および造精機能に関する転写因子の発現と定量化～

研究者：郡 健二郎（教授）

所属機関：名古屋市立大学大学院 医学研究科

病態外科学講座 腎・泌尿器科学分野

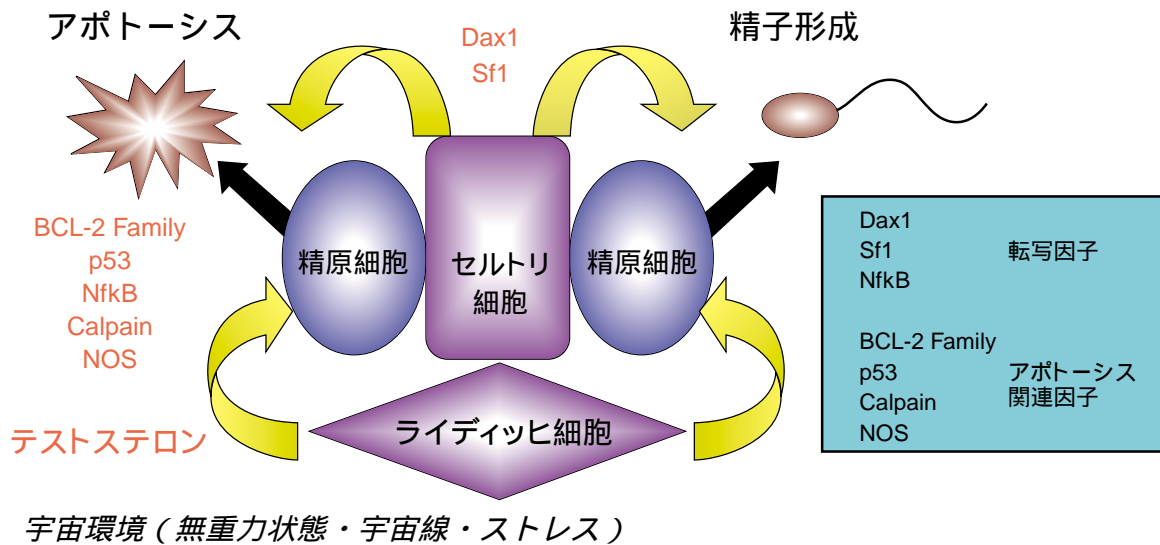
研究概要

宇宙環境において、生殖機能が正常に維持されるかどうかは、宇宙において生活する上で重要な課題のひとつです。特に、無重力環境におけるストレスやホルモンの変化、あるいは宇宙線による造精機能への障害など危惧されています。またこのことは、実際に宇宙飛行したラットによって造精機能障害が認められていますが、その仕組みは全く不明です。

一方、造精機能の仕組みは、地上においても不明点が多く、男子不妊症、性分化異常症、先天性性腺疾患の原因と病状を解明することは、治療に大いに役立つと考えられています。

これまでに、造精機能の仕組みを解明するため、ラットやマウスなどの実験動物を使った造精機能障害疾患モデルをつくり、造成機能障害疾患についての研究が行なわれてきました。これらの研究により、Dax1、Sf1、NfkappaBなどの転写因子（DNA上の遺伝情報がRNAに写し取られるための因子）やBcl-2 family、p53、Calpain、NOSなどの因子が、さまざまな造精機能障害疾患モデルの動物精巣において、精子の形成とアポトーシス（細胞の自滅）に関連して、その遺伝子の発現に変化をもたらしていることがわかってきています。つまりこれらの因子が、造精機能の維持に重要な役割を果たしていると考えられます。

この研究は、これら因子の発現の変化を通して、宇宙環境下で造精機能障害がおきる仕組みについて詳細に解明します。



(9) Fisher344ラットにおける大動脈神経の神経線維構成に及ぼす微小重力の影響

研究者：山崎 将生(講師)

所属機関：福島県立医科大学

医学部生理学第一講座

研究概要

ヒトや哺乳動物の血液循環を調節する機構のひとつに血圧反射があります。これは日常行動の中で血圧を安定させ一定レベルに維持するために重要な役割を担っています。

血圧反射の仕組みは、動脈壁の中にある圧受容器と呼ばれる神経終末器である「血圧センサー」が、血圧上昇を血管の歪みとしてとらえて、その情報を電気信号として脳内の循環中枢に伝えます。その中枢内の神経細胞群が脊髄や脳幹部から出る自律神経に連絡してその自律神経の興奮が、心臓と血管の動きを適宜変えて作用して血圧を元に戻すというものです。

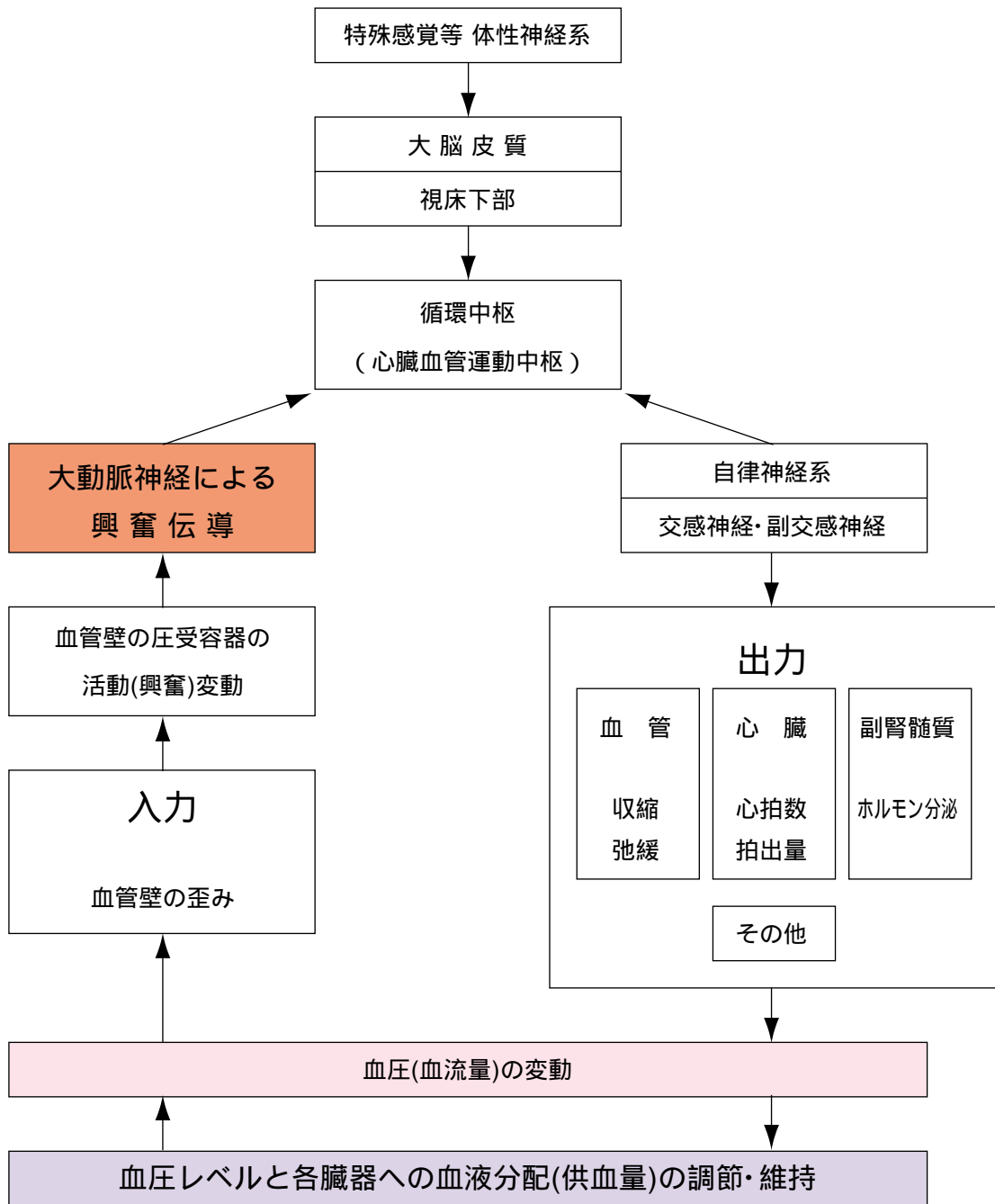
この研究の対象となっている大動脈神経とは、こうした仕組みの中で血圧の情報を脳へ運ぶ自律神経のひとつなのです。

STS - 90ニューロラプミッション(16日間の飛行;1998年)で幼少ラットを用いた宇宙実験から、微小重力環境は大動脈神経性血圧反射機構の発達に影響をおよぼすことを機能と構造の両面から見出し、宇宙で哺乳動物が育つと、この血圧反射は地上で育つのに比べて感度が低くなることを明らかにしました。また、私共は宇宙で幼少ラットを育てた母ラットの大動脈神経についても電子顕微鏡で観察し、地上の母ラット群に比べて、この神経の構成線維中でも、主に血圧の高いレベルで活動する無髄神経線維が少なくなっており、成熟動物でも血圧反射の感度が低くなる可能性を見出しました。

今回の研究ではこの継続研究として、微小重力環境で普通に暮らしたラットで、大動脈神経の神経線維構成を詳しく調べます。同時に前回と異なる種および性別のラットを用いて、性差や種差の有無も明らかにします。

これにより、循環調節機構についてその宇宙環境への適応や、長期にわたる宇宙滞在、更には地上帰還後の重力環境への再曝露により生じる循環系の失調の仕組みなどを考察します。また往還機に搭乗する宇宙飛行士や国際宇宙ステーションにおける宇宙滞在者の循環器系の検査や循環器系失調の対策のための有効な基礎データを供し、その対策作りに反映させることができます。

大動脈神経性圧受容器反射



諸因子	血圧(流量)		大動脈神経の興奮	大動脈神経の無髄神経本数
地上の重力場	*			-
宇宙での微小重力場	変動減少*		変動減少	減少

* : 体位変換、運動、その他による変動

微小重力下では血液循環の位置エネルギーがほぼ0となり、各体位の重力方向の血圧差(Gradient)も無くなり、また、無重量時の運動量減少により、その結果圧受容器反射の活動が減弱すると考えられる。

(日本宇宙航空環境医学、39巻 2002(発行予定)、MERSSシンポジウム山崎将生掲載図より)

3.5.3 宇宙実験教育プログラム

高校生を対象に、タンパク質に関する実験・研究活動を通して、タンパク質とは何か、タンパク質の構造と機能、微小重力を利用する実験の意義などについて、学ぶことのできる機会を提供しています。

実施内容

応募した高校生チーム（89校、149チーム）は、以下の流れで平成14年3月27日に行なわれた説明会後から実験等の活動を行っています。

(1) 予備実験の実施（平成14年3月～4月）

応募した高校生チームに、宇宙開発事業団からタンパク質結晶成長実験キットを配布し、それを用いて良質なタンパク質結晶を作る実験条件を探し出します。

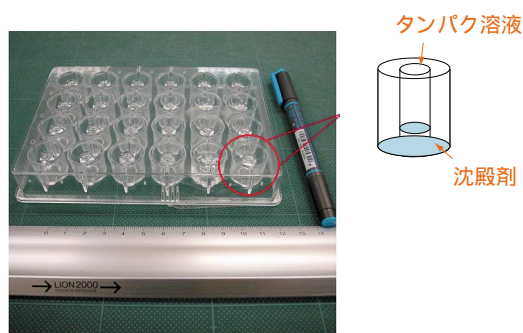


図3.5.3-1 実験キット（結晶化用のトレー）

(2) 1次レポート作成（4月30日締切り）

予備実験の結果をもって、1次レポートを提出します。

(3) 1次審査（5月17日結果発表）

予備実験結果と実験過程が優秀だった6チームが、宇宙実験チームとして選抜されます。選抜チームには実際の宇宙実験機会が与えられます。

宇宙では一般公募研究や先導的応用化研究で使われるものと同じ実験装置を利用し、タンパク質（リゾチーム）の結晶を作ります。

(4) 自由研究の実施（5月～8月）

選抜にもれたチームも含めて、宇宙ではなく地上で、タンパク質と結晶に関する自由なテーマで研究をします。また宇宙開発事業団からも、研究例を紹介するなど、テーマ設定の支援をします。

(5) 最終研究レポート作成と最終審査・表彰（9月下旬レポート締切り予定）

最終的な研究レポートを提出します。厳正な審査により、優秀と認められたチームが表彰されます。

宇宙実験チームの紹介（カッコ内はチーム人数）

北海道札幌啓成高等学校（2人）

【選考理由】

丁寧な実験を行っていて、ほとんどの実験で結晶を得ている。実験の経過をよく観察しており、結果に対する考察も妥当。良好で大きな結晶を多くの実験で得ており、宇宙での結晶化実験への期待が持てる。

【参加チームより】

「もっと簡単にできる実験だと思っていたので、実験キットが届いたときはとても驚きました。しかし、実験を進めていくと、発見と驚きの連続でとても楽しく取り組むことができました。そして、『きっとダメだろうな』と思っていた6チームに選ばれたので、初めは信じられませんでした。宇宙実験へ向けて、良い結果が出せるように、これからも頑張りたいと思います。」

土浦日本大学高等学校（2人）

【選考理由】

長い期間にわたって忍耐強く丁寧に観察を続けたことは大変素晴らしい。また、実験道具、レポート構成など、さまざまな点で工夫と配慮が伺われる。

【参加チームより】

「最初は軽い気持ちで応募したが、説明会に行くと想像以上に大規模なイベントに驚いた。その日から愛するバト部を休み、放課後理科室で実験に没頭する日々が始まった。そんな中で大きく綺麗な結晶ができた時は本当に感動し喜び合った。一次審査を通った時、正直耳を疑った。しかし、通過したことで今までの熱意が倍増した。現在はより良い結晶化の条件を求めて燃えている。この限られたスペースでは伝えきれないほどに。」

茗溪（めいけい）学園高等学校（5人）

【選考理由】

大変よく勉強され、実験が計画されている。実験条件の絞り込み、結果の整理、考察と、どれをとってもよくできた立派なレポート。結晶の模型化もよいアイデア。

【参加チームより】

「最初に、今回宇宙実験に参加できて、本当によかったと思います。普段、このような実験をしたこともなかったので、最初はとても戸惑いました。しかし、先生方の指導によって、基本実験を無事終え、その結果を基にして、自分たちで実験条件を考え、実験を行うことができました。また、顕微鏡を使っての観察、データ解析などという作業にもかかわることができました。実験を始めるまでは、タンパク質について全く知りませんでしたが、実験を進めながらタンパク質のみについてではなく、実験器具の使い方や実験計画の立て方などいろいろなことについて学べたと思います。それから、今まで、何でこんなこと勉強するんだろうと思ってた知識がふとしたところに出てきて、化学や生物だけにとどまらず、数学などのいろいろな学問を学ぶ理由が一瞬見えたような気がしました。この実験をするまでは全く勉強は好きではありませんでした。しかし、ふとしたところから今まで学んだことが出てきて、少し勉強をする気にな

ったような気がします。実験を進めるうちに知りたいことがたくさん出てきて、自ら学べたような気がします。このような機会にめぐり合えて、本当によかったと思います。これからも、最終レポート提出まで頑張りたいと思います。」

埼玉県立浦和第一女子高等学校（12人）

【選考理由】

実験の目的、研究に取り組もうとしている動機がしっかりと記述。緩衝液理論も事前に調べており、シリカゲル法の開発をはじめ、数々の独創的な試みがなされている。考察のレベルも高く、微小重力下での実験についても触れている。膨大な内容を本文と資料に分離し、読みやすくしている。

【参加チームより】

「宇宙実験チームに選ばれたという知らせを聞いたとき、私達の胸にとてもうれしい気持ちと新たな決意が同時にこみ上げてくるのを感じました。今回の実験は短期間で結果を出さなくてはならなかったのも、大変ハードでした。でも向井千秋さんに握手をしていただいたことを励みに頑張ってきました。初めてきれいな単結晶の析出に成功し、顕微鏡で見たときの感動は今でも忘れません。宇宙での結晶データがどうなるか楽しみです。」

山口県立厚狭（あさ）高等学校（6人）

【選考理由】

酢酸ナトリウム系の緩衝溶液とは別に、鶏卵のpHに近い条件をリン酸緩衝溶液で試して、大きな結晶の成長条件を探したことは評価大。結晶の観察やレポートの書き方もきちんとしている。

【参加チームより】

「無限の可能性を秘めた宇宙空間を飛ぶスペースシャトル。その中で、私たちの実験が行われると思うと、今も胸が高鳴る。宇宙実験での最適条件を探るため、クラブの部員で議論をしながら実験を重ねた。その過程で、これまで抽象的な存在だったタンパク質や宇宙を身近なものとして感じることができ、科学の醍醐味を味わった。私たちの導き出した条件に自信を持ち、結果に期待したい。最後に、意義深いこの活動に参加させていただき、心から感謝申し上げます。」

宮崎県立五ヶ瀬（ごかせ）中等教育学校（6人）

【選考理由】

全体的にレポートのまとめ方がよい。結晶の大きさや実験条件の記載がきちんとしている。図と実験の対応も分かりやすい。最終レポートに対しても課題の提案がされている。

【参加チームより】

「私たち6人は、1次レポートを元にディスカッションで決定した条件で取り組んでいます。自分達が調製する水溶液がスペースシャトルに乗っかるのかと思うととてもわくわくし、また頑張らずにはいられません。微小重力下で造られたタンパク質結晶の立体構造解析（X線回折）結果が手元に届くのが今から待ち遠しい気持ちです。こんな自分がいたなんて本当に驚きです。シャトル打上げの日、私たち6人は五ヶ瀬町でカウントダウンします。」

参考：審査委員

- 委員長 細矢 治夫（お茶の水女子大学 名誉教授）
委員 八木 達彦（静岡大学 名誉教授）
委員 安岡 則武（姫路工業大学 名誉教授）
委員 岩崎 不二子（電気通信大学 電気通信学部量子・物質工学科 教授）
委員 平山 大（東京都立忠生高等学校 教諭）

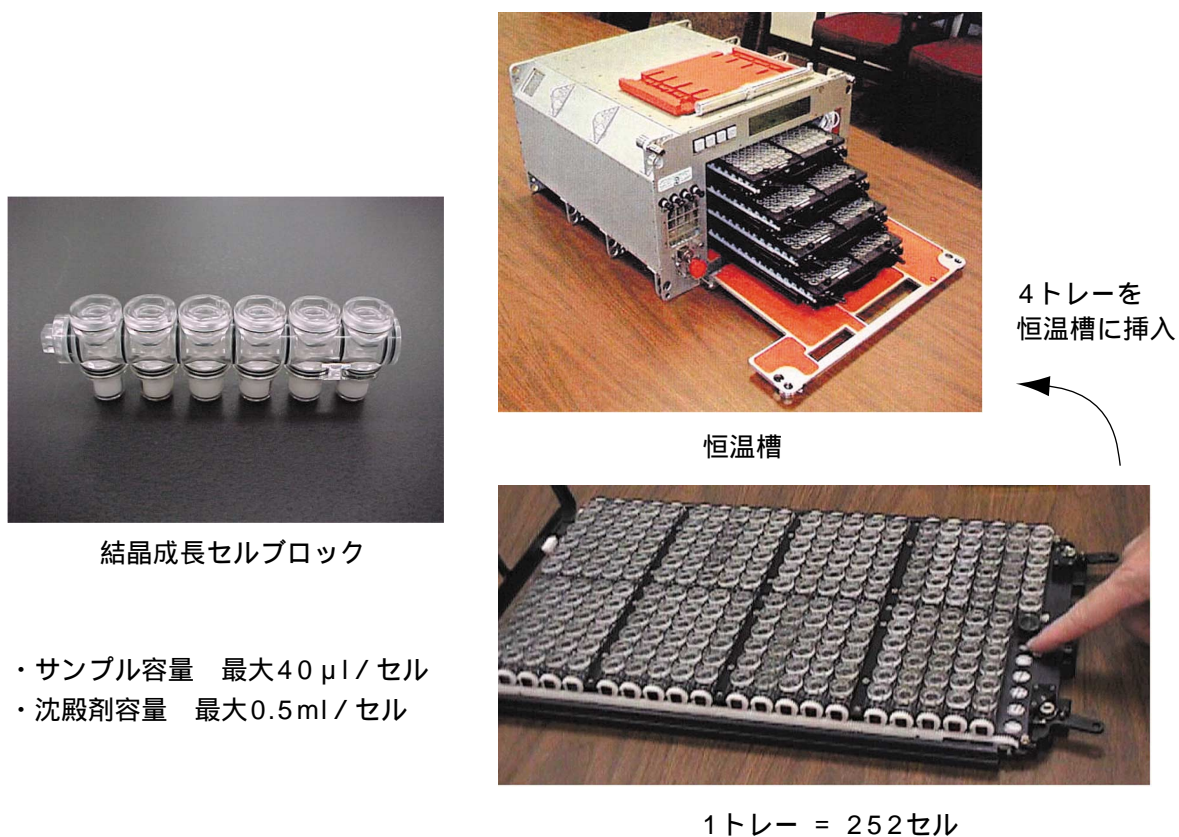
4. 実験機器

4.1 タンパク質結晶成長実験装置

STS-107ミッションのタンパク質結晶成長実験では、米アラバマ大学が開発したタンパク質結晶成長実験装置（CMPCG）が使用されます。CMPCGは高品質のタンパク質成長を促進する装置であり、結晶成長セル（HDPCG：High Density Protein Crystal Growth）とそれをセットするトレーおよび恒温槽（CRIM：Commercial Refrigeration Incubation Module）から構成されます。

HDPCGは蒸気拡散法を利用した1008個の結晶成長セルを備えています。6つの結晶成長セルが一つのブロックを構成しており、1枚のトレーには、42ブロック、252個の結晶成長セルがあります。恒温槽には4枚のトレーが収納されます。各トレーは恒温槽から取り出して、実体顕微鏡により観察を行うことができます。宇宙開発事業団では、この全結晶成長セル内の306セル分（51ブロック分）を利用して実験を行う予定です。

恒温槽は結晶成長に適した環境を保持する装置であり、4～40の間で温度調整が可能です。今回は、装置内の温度を約20に保ちます。またCMPCGは、スペースシャトルのミッドデッキ・ロッカー1個分のスペースに収まるよう設計されています。CMPCGの概観を下図4.1-1に示します。



写真提供：アラバマ州立大学バーミングハム校 / スペースハブ社

図4.1-1 CMPCG装置概要図

4.1.1 蒸気拡散法について

蒸気拡散法とは、タンパク質溶液と低濃度の沈殿剤の混合液（ドロップ）と高濃度の沈殿剤溶液（リザーバ）を密閉容器に静置し、両者の蒸気圧差を利用してタンパク質結晶を作る方法で、結晶化実験法としては最もポピュラーなもののひとつです。

蒸気圧とは、液体と気体が平衡状態にある場合に気体が液体におよぼす圧力です。蒸気拡散法では、タンパク質溶液と沈殿剤溶液の沈殿剤濃度比を通常約 1 : 2 に調整するため、沈殿剤溶液の蒸気圧が相対的に低くなり、両者の濃度が等しくなるまでタンパク質溶液から沈殿剤溶液へと水分が徐々に移行します。水分の移行によってタンパク質溶液中のタンパク質濃度が上昇し、結晶化濃度以上になると結晶が析出します。

蒸気拡散法にはドロップの設置方法によって、図4.1-3に示すようにハンギングドロップ法とシッティングドロップ法などがありますが、今回利用する装置はハンギングドロップ法です。タンパク質溶液の濃度、沈殿剤溶液の種類や濃度、pHなどを変えることにより結晶のでき方が変化するため、これらの実験条件は結晶作りの重要なポイントとなります。

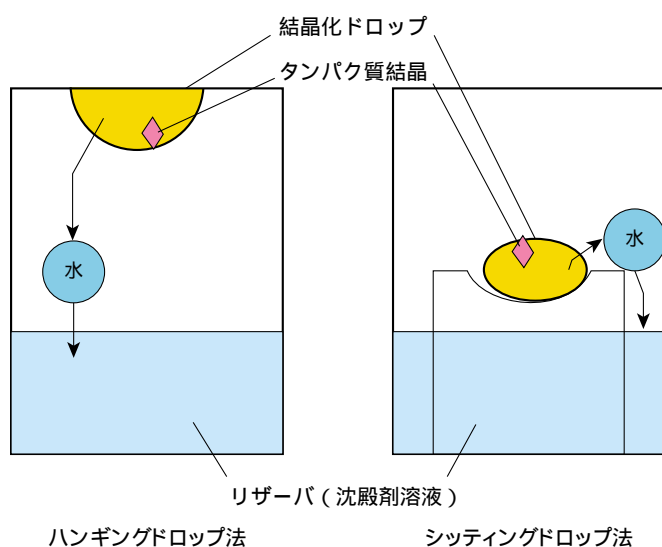


図4.1-3 蒸気拡散法の仕組み

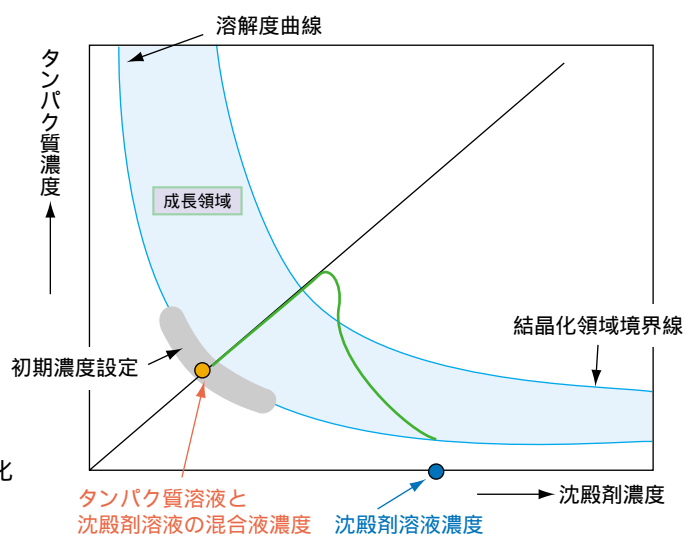
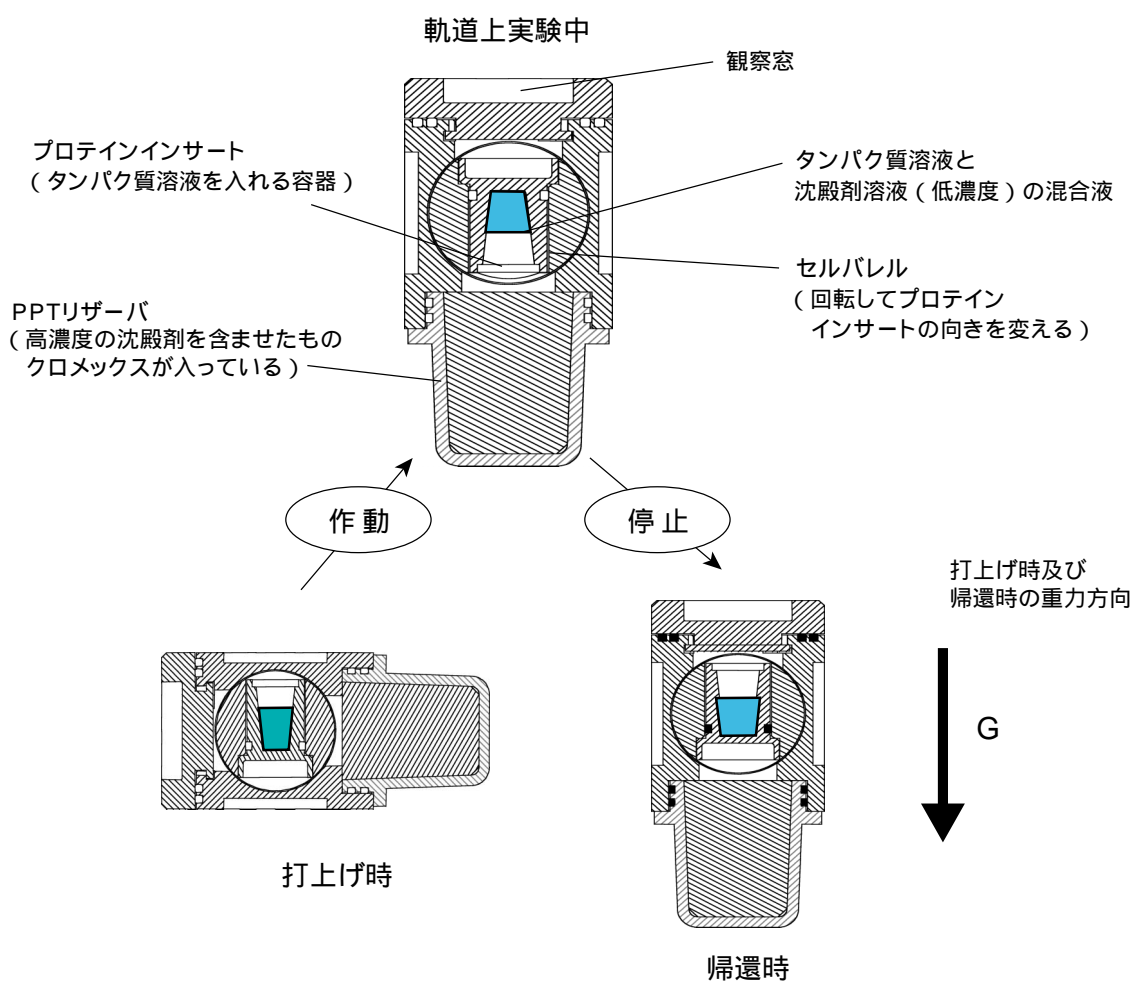


図4.1-4 タンパク質結晶成長時の濃度変化

4.1.2 CMPCGを用いた実験

CMPCGを用いた実験では、図4.1-5に示す結晶成長セル（HDPCG）を利用して、タンパク質溶液と沈殿剤溶液は予め混合された状態で、セル内のポリカーボネイト製プロテインインサートにセットされます。インサートの容量として20 μl および40 μl のいずれかを選択することが可能です。また今回、タンパク質の精製量が極端に少ない実験テーマ用に、5 μl の容量のインサートを調達し、先導的応用化研究のテーマで利用しています。水分を吸収するための沈殿剤溶液は、容量0.5 mlのPPTリザーバ内に親水性ポリエチレン製の多孔体（クロメックス）に吸収させた状態でセットされます。



PPT : Precipitant(沈殿剤)の略

資料提供 : アラバマ州立大学バーミングハム校 / スペースハブ社

図4.1-5 結晶成長セル（HDPCG）の運用

タンパク質溶液の充填は、あらかじめ地上で行い恒温槽に収納されます。軌道上でクルーにより、セル内のプロテインインサートの方向が転換され、蒸気拡散が始まります。ミッションの期間中、クルーにより毎日の進捗状況確認が続けられます。帰還直前には再びプロテインインサートの方向が転換され、蒸気拡散が停止します。帰還後、得られた結晶を日本へ持ち帰り、X線による構造解析が行われます。

4.2 シャトル搭載用動物飼育装置

シャトル搭載用動物飼育装置(AEM)は、250グラム級のラットを最大6匹まで飼育できる装置です。スペースシャトルの標準型ミッドデッキ・ロッカー(改良型ドア付き)に搭載可能です。着脱式プレートを装着することにより、飼育エリアを2分割することができます。AEMは、シャトルの離着陸時には保管用ロッカーに固定・収納されます。

軌道上では、ロッカーから部分的に取り出して、装置の上部に装着されているLexan(ポリカーボネートガラス)製のカバーから観察および撮影を行うことができます。環境温度レコーダーを装着することにより、装置内の最大4カ所の温度を自動的に記録することが可能となります。

装置内の空気管理は、フィルターを通してキャビン内の空気とAEM内の空気を循環させることにより行います。4つのファンによりAEM内がわずかに陰圧となるため空気の流れがコントロールされ、微粒子状の物質も残らずフィルターにより除去される仕組みとなっています。空気は装置前面の吸気口からAEM内に送り込まれ、サイド・パネルに沿って後方へ送られます。そして、吸気フィルターを通して飼育エリアへと流れ、その後排気フィルターを通して再びAEM前面から排出されます。リン酸処理を行ったファイバーグラス製の高效率静電気フィルターを吸気・排気の双方に使用しているため、キャビン内が微粒子性の物質により汚染されることはありません。フィルター内の活性炭により、動物臭を抑えるとともに、AEM内の尿を中和します。このフィルター・システムの消臭効果は20日間有効であるとされています。

AEM内には4灯の白熱灯が装着されており、タイマーにより自動的に12時間毎の明暗サイクルが設定されています。このタイマーは異なる時間のサイクル設定も可能です。また、万が一AEM内の電力が遮断された場合でも明暗サイクルに影響が出ないよう、バックアップ電池が装備されています。装置内温度の過上昇を防ぐため、4灯の白熱灯のうち2灯のみが使用され、残りの2灯は予備となっています。白熱灯は破損しないよう、透明なカバーで保護されています。

バー型に成形されたラット用の餌料は、ミッション中いつでも食べられるようにAEM内の4つのトレーに配置されます。ラット用の飲料水は4つの給水口から供給され、AEM内の給水器に給水バルブを通してギャレー(スペースシャトルの調理設備)の補助ポートから直接補給される仕組みになっています。

【仕様】

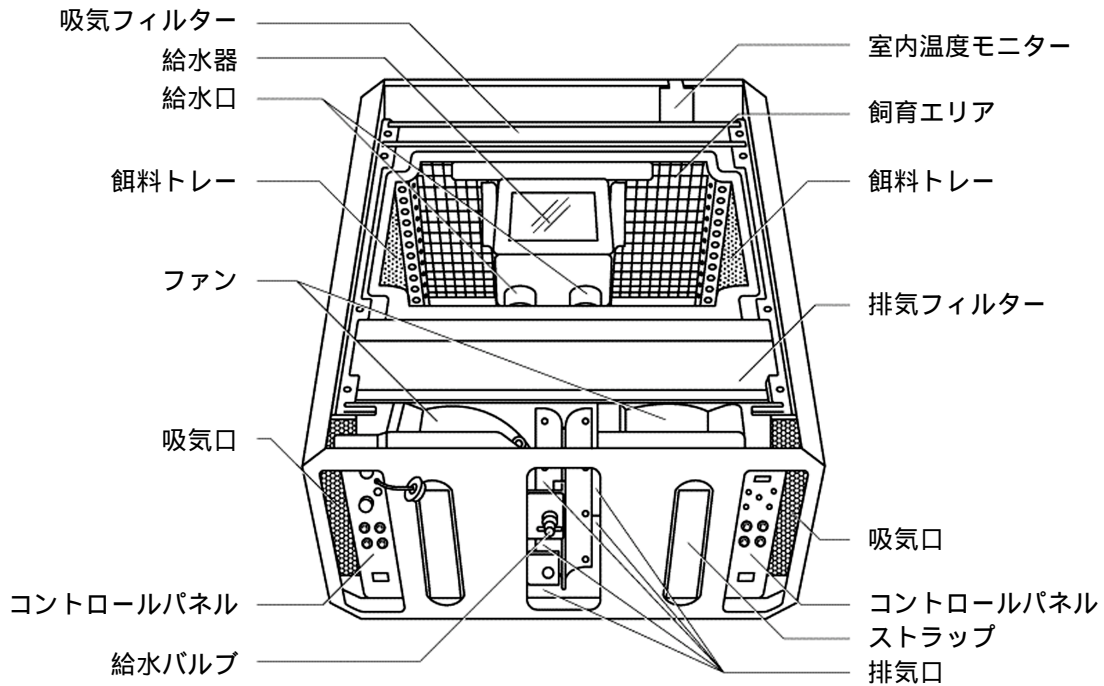
サイズ：43.69(W) × 51.05(D) × 24.50(H) cm

重量：約25～27kg (ラット、餌料、水を含む)

電力：28W(白熱灯2灯)

温度：船内より3～8 高めに設定

取得データ：温度、ラットの飲水量 (クーラーによりモニター)

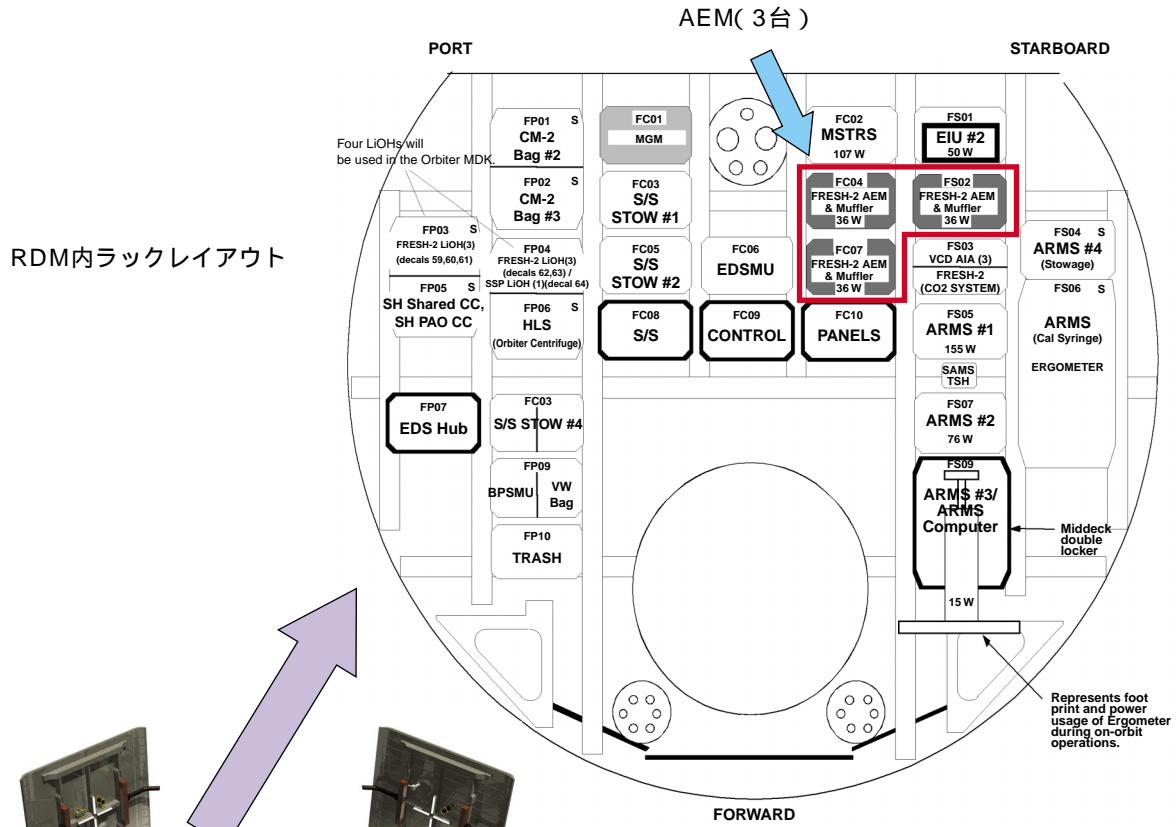


資料 / 写真提供 NASA

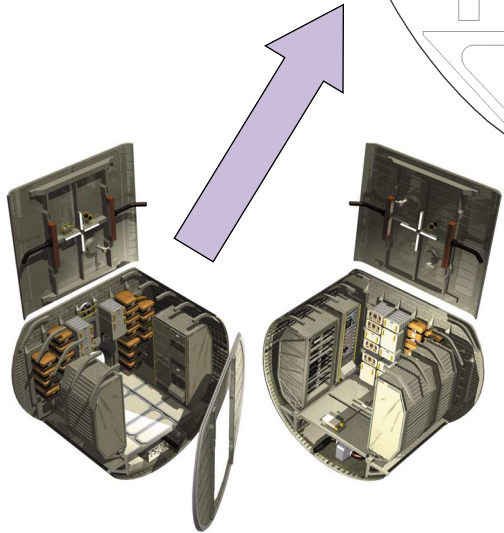
AEMの実物

図4.2-1 AEMの構成および仕様

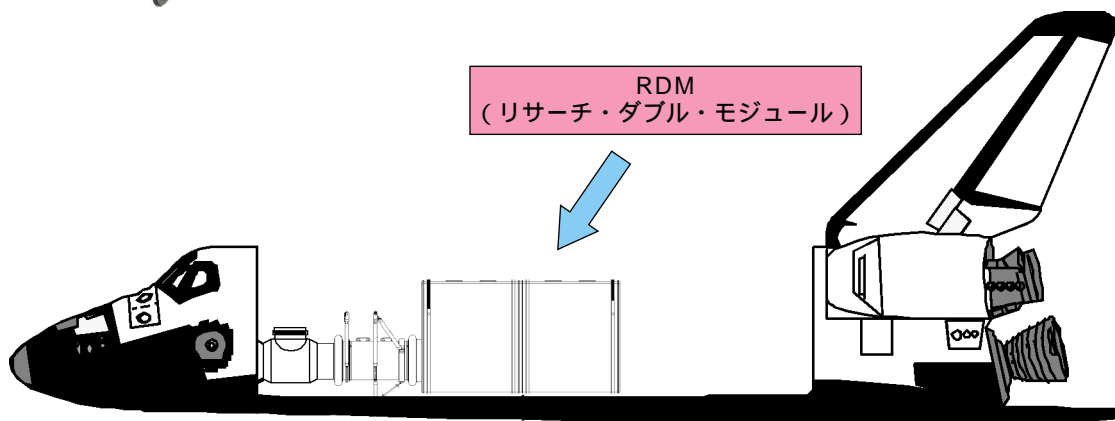
AEMの設置場所



RDM内ラックレイアウト



資料提供 スペースハブ社



スペースシャトル 貨物室レイアウト

図4.2-2 AEMの設置場所

5. 宇宙環境利用の取組み

5.1 現在までの取組み

宇宙開発事業団は、日本の実験棟「きぼう」の本格的利用に向けて幅広い分野での宇宙環境利用を推進するにあたり、利用分野に応じたさまざまな利用テーマの募集とテーマを進めるにあたっての支援を実施しています。

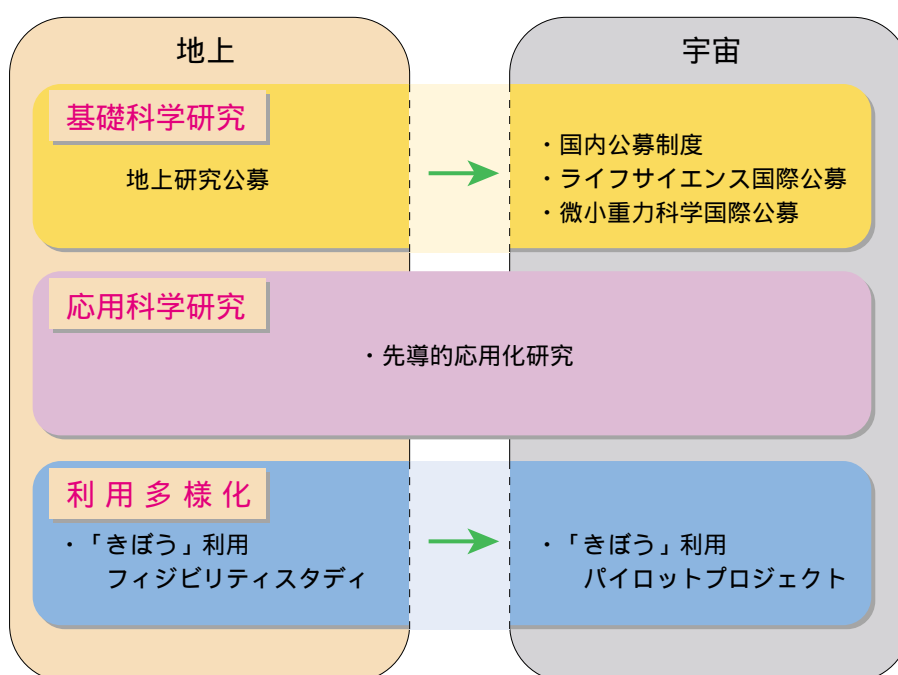


図5.1-1 宇宙環境利用に関するさまざまな制度

5.1.1 地上研究公募

地上研究公募制度は、「きぼう」を中心とした国際宇宙ステーションにおいて、宇宙環境を利用する実験を目指した研究の促進を目的として行なっています。これは、地上におけるさまざまな分野の研究を宇宙環境利用に結びつけ、宇宙実験の実施に必要な地上での実証研究の蓄積や、具体的な実験計画の提案などを行うための、地上研究機会を国内の研究者に提供するものです。

この地上研究公募制度は、実際の宇宙実験を行なうための提案に結びつけるものとして、研究者の方々に効果的に利用されています。

この制度は、大学、国公立試験研究機関、民間企業などに所属する研究者等を対象として表5.1-2に示す8分野、3つの研究区分、最大3年間の地上研究について年1回公募を実施しています。本制度の実施にあたっては、宇宙開発事業団が(財)日本宇宙フォーラムに制度運営を委託し、(財)日本宇宙フォーラムに設置した有識者から構成される「公募地上研究推進委員会」において審査、選定を行います。

選定された研究テーマは、(財)日本宇宙フォーラムと研究者との共同研究・委託研究等の形態で実施しています。また、研究に必要な、航空機、落下施設などの短時間微小重力施設、宇宙医学、生物を用いた実験のためのNASDA研究施設、電磁浮遊炉などの共通の実験装置を研究者

に提供しています。

この制度は平成9年度より開始し、これまで5回のテーマ募集選定により、延べ460テーマを採択し、地上研究を実施しています。

また、今後の地上研究の質を向上させることを目的として、研究者間の情報交換を通じて、研究の深化、類似研究の回避、シャトルや国際宇宙ステーションにおける宇宙実験を目指した地上研究の効果的な進め方を議論する、研究コミュニティ会合なども開催してきています。

表5.1-2 地上研究公募の実施分野

分野	概要
微小重力科学分野	微小重力環境の特徴を利用する物質科学と材料工学、流体物理、燃焼科学とその応用など。
微小重力物理学分野	微小重力環境の特徴を利用して、「自然現象を理解するための基礎理論の検証」や「重力に鋭敏な物理現象や化学現象の解析」を行う基礎物理学(統計物理学、凝縮系物理学、化学物理)の研究分野。
生物科学分野	宇宙環境を利用した生命現象に関わる原理や法則性の解明を目指す基礎科学研究。生命現象に基づく技術に宇宙環境を利用する研究分野。
バイオメディカル分野	生物科学と宇宙医学に重なる研究分野。科学的な側面を重視した基礎医学関連を中心とした研究およびヒトの生物学に関連する生命科学研究。宇宙環境の影響に対する生体応答のメカニズムの解明を主体とし、宇宙環境を利用した基礎医学研究も含む研究分野。
宇宙医学分野	臨床応用を視野に入れた医学研究。人体の宇宙環境への適応や、宇宙から地上に帰還した際の再適応を支援する研究。
宇宙科学分野	「きぼう」の船外実験プラットフォームの特徴を生かし、高エネルギー宇宙線(粒子線、X線、ガンマ線)の体系的観測を実現するための基礎研究や将来観測ミッションの創出につながる研究など。
地球科学分野	船外実験プラットフォームの特徴を生かし、地球環境の観測と監視および、地球観測システムと観測センサーの高度化のための実証など。
宇宙利用技術開発分野	宇宙利用の実現を支えるための宇宙工学など、科学技術の基盤構築のための研究。宇宙利用の高度化・多様化、将来の宇宙インフラストラクチャ構築、宇宙利用に必要な基礎データ整備を目指す研究など。

表5.1-3 研究区分の概要(平成14年度から)

研究区分	課題計画研究	重点研究	萌芽研究
研究目標	<ul style="list-style-type: none"> ・ 確実かつ、科学的成果の提示できる宇宙実験テーマの創出に向けて、有望研究課題を例示するもの。 ・ 研究代表者の下に複数の研究グループを構成し、体系的に研究を実施する。 	軌道上実験に向けて、科学的実験要求を地上実験や解析などで明確にする。	軌道上実験に向けた、新規性の高いアイデア・発想を具体化する。

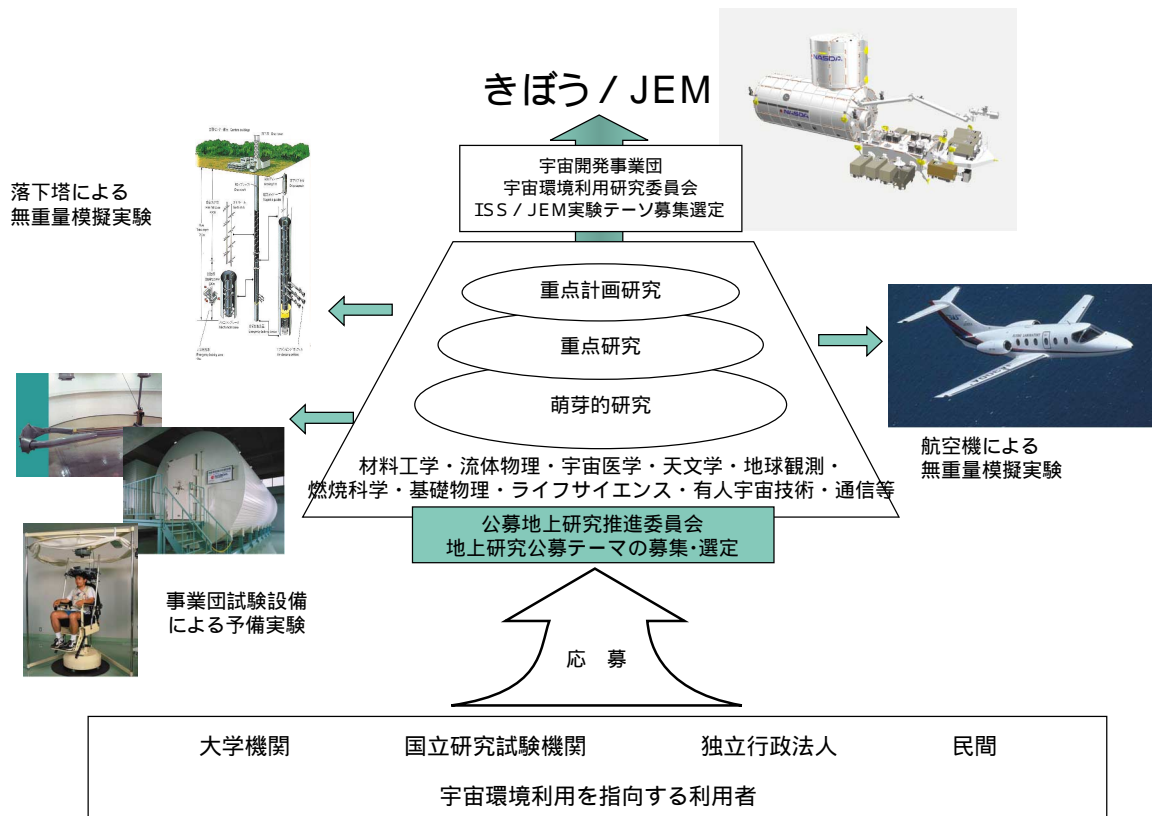


図5.1-4 「きぼう」利用のしくみ

5.1.2 フライト実験テーマの募集

「きぼう」やスペースシャトル等を利用する実際の宇宙実験用フライト実験テーマについては、希望する人たちに広く機会を提供するため、テーマを公募しています。テーマの募集については、その利用目的に応じて、科学研究分野、応用研究分野、その他多様な利用を行う分野があり、それぞれの分野の特徴に応じた募集プログラムが整備されています。

(1) 科学研究

科学研究分野では、長時間かつ良質の微小重力環境を利用した物質科学、生命科学・医学分野に関する研究や、常時宇宙空間に曝された「船外実験プラットフォーム」を利用した、理工学・通信、宇宙観測、地球観測あるいは宇宙インフラストラクチャ整備のための基盤的・先端的な技術開発等の分野での多様な利用が期待されています。

こういった宇宙実験を効率的に行うため、物質科学、生命科学等の分野においては、幅広い研究者のニーズを反映させた「共通実験装置」と呼ばれる汎用的な実験装置および実験支援機器の開発を進めており、これらの装置を用いた実験テーマを公募しています。

また、「きぼう」の船外実験プラットフォームを利用する実験については、装置開発を前提とした研究テーマを公募しています。

公募に際しては、宇宙開発事業団の外部諮問委員会である宇宙環境利用研究委員会においてテーマ募集の実施方針を設定し、それに基づきテーマ公募を実施します。提案された実験テーマに

については、同委員会での科学的意義の評価、宇宙開発事業団で行う技術的実現性の評価を踏まえて選定されます。

国内公募制度

日本が単独で行う利用テーマの公募制度であり、これまで2回実施されています。

- ・平成5年：第1回「きぼう」船内実験室利用国内公募一次選定
- ・平成9年：第1回「きぼう」船外実験プラットフォーム利用初期利用テーマ選定

表5.1-5 第1回「きぼう」船内実験室利用一次選定テーマ

材料科学分野		
代表研究者	所 属	テーマ標題
高柳 英明	NTT	微小重力下における気相からの大形・高品質鉛錫テルル単結晶の育成
河野 通方	東京大学	微小重力場における予混合気の高温白金表面での点火
茂木 徹一	千葉工業大学	微小重力環境下での非混合偏晶合金の凝固過程のその場観察
川崎 和憲	IHIエアロスペース	光干渉顕微その場観察による液体の拡散係数及び温度拡散係数の測定
塚本 勝男	東北大学	溶液からの結晶成長その場観察
古川 義純	北海道大学	樹枝状結晶の成長過程のその場観察による結晶の形態形成に対する微小重力の効果(STS-R2で実施予定)
宮田 保教	長岡技術科学大学	固液界面安定性に対する重力の影響(STS-R2で実施予定)
稲富 裕光	宇宙科学研究所	透明有機結晶を用いた包晶反応過程の直接観察(STS-R2で実施予定)
福中 康博	京都大学	宇宙ステーションに於ける電気化学的界面現象の解析
武田 靖	北海道大学	フローティングゾーン結晶成長法における流体部の無重力場における流動現象
東 久雄	大阪府立大学	液柱を利用したベナール対流の実験
大西 充	航空宇宙技術研究所	マランゴニ対流の定常流からカオス流への遷移過程と流れの内部構造の観察
河村 洋	東京理科大学	マランゴニ対流におけるカオス・乱流とその受動的制御
生命科学分野		
代表研究者	所 属	テーマ標題
村上 彰	浜松医科大学	単細胞動物の細胞増殖におよぼす微小重力環境の影響と重力変化に対する適応の研究
最上 善広	お茶の水女子大学	宇宙空間における生体寿命の変動 - 細胞クローン寿命の解析 -
浅島 誠	東京大学	両生類培養細胞による細胞分化と形態形成の調節
山下 雅道	宇宙科学研究所	微小重力下での両生類無尾目幼生・成体の行動

条井 康宏	東京医科歯科大学	骨髄細胞長期自動培養による免疫・造血系細胞、骨系細胞の成熟分化、機能発現に及ぼす微小重力影響の解明
跡見 順子	東京大学	無重力下における培養筋細胞の伸展応答 - 形態と遺伝子発現による解析 -
神阪盛一郎	富山大学	微小重力環境における高等植物の生活環
馬嶋 秀行	鹿児島大学	宇宙放射線および微小重力環境の哺乳類細胞に対する影響に関する研究

表5.1-6 第1回「きぼう」船外実験プラットフォーム公募選定テーマ（初期利用ミッション）

代表研究者	所属	テーマ標題
松岡 勝	宇宙開発事業団 (元理化学研究所)	全天X線監視ミッション
有本 好徳	通信総合研究所	光通信実験ミッション
増子 治信	宇宙開発事業団/ 通信総合研究所	サブミリ波リム放射サウダ実験ミッション
五家 建夫	宇宙開発事業団	宇宙環境計測ミッション

国際公募制度

国際公募制度は、現在建設中の国際宇宙ステーション（ISS: International Space Station）で実施される実験を行うに当たり、国際宇宙ステーションに参加する各国宇宙機関が提供する実験装置等を効率的に相互に利用し、最大の科学的成果を得ることを目的として、国際的に実験テーマを募集、選定する制度です。

現在、微小重力科学、生命科学の2つの分野において国際公募制度が実施されており、NASA、ESA、をはじめとする各国宇宙機関が参加している国際微小重力科学戦略会合(IMSPG: International Microgravity Science Strategic Planning Group)、国際ライフサイエンス戦略会合(ISLSWG: International Space Life Sciences Strategic Working Group)が中心となって制度の運営、募集および選定を実施しています。

募集にあたっては、利用可能な実験装置、想定される実験時期等募集内容を国際間で調整し、共同で募集を行います。提案されたテーマについて、合同で科学評価を行い、装置開発機関による技術評価、装置利用に関する国際調整を経て、各国が主体的にテーマを選定します。

日本国内においては、宇宙開発事業団の外部諮問委員会である宇宙環境利用研究委員会が評価選定作業を行います。

これまでの国際公募における選定状況は以下のとおりです。

- ・平成11年：第2回ライフサイエンス国際公募候補テーマ 4テーマ選定
- ・平成12年：第3回ライフサイエンス国際公募候補テーマ 1テーマ選定
- ・平成14年：第1回微小重力科学国際公募候補テーマ 5テーマ選定
- ・平成14年：第4回ライフサイエンス国際公募候補テーマ 6テーマ選定

表5.1-7 ライフサイエンス国際公募宇宙実験候補テーマ

第2回公募 宇宙実験候補テーマ		
代表研究者	所属	テーマ標題
古澤 壽治	京都工芸繊維大学	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
石原 昭彦	京都大学	ラットの骨格筋繊維および脊髄運動ニューロンに及ぼす微小重量ならびに神経筋活動の影響
宇佐美真一	信州大学	微小重力の前庭系神経伝達機構に及ぼす影響
平崎 鋭矢	大阪大学	宇宙飛行が歩行中における眼球・頭部・体幹部の姿勢調節戦略におよぼす影響について
第3回公募 宇宙実験候補テーマ		
大西 武雄	奈良県立医科大学	哺乳類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
第4回公募 宇宙実験候補テーマ		
谷田貝文夫	理化学研究所	宇宙環境因子のヒト培養細胞への影響
内藤 富夫	島根大学	オタマジャクシの発生異常とストレス解析
高沖 宗夫	宇宙開発事業団	破骨細胞の重力感受
若林 和幸	大阪市立大学	植物細胞壁の力学的強度への重力影響
二川 健	徳島大学	筋肉細胞を用いた筋萎縮の研究
ピアソン ジェームズ	国立循環器センター	血管の形成と重力影響

表5.1-8 微小重力科学国際公募宇宙実験候補テーマ

第1回公募 宇宙実験候補テーマ		
代表研究者	所属	テーマ標題
大高 雅彦	宇宙開発事業団	高プラントル数流体の液柱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
栗林 一彦	宇宙科学研究所	微小重力下におけるシリコンの無容器結晶化
伊丹 俊夫	宇宙開発事業団/ 北海道大学	液体構造の複雑性の系統的変化を示す14(IVB)族液体における自己拡散および不純物拡散に及ぼす短距離秩序の役割
木下 恭一	宇宙開発事業団	微小重力下におけるIn _{0.3} Ga _{0.7} As均一組成単結晶の成長
藤田 修	北海道大学	宇宙船内低速空気流中における電線の燃焼特性におよぼす材料諸特性の影響

(2) 応用研究

先導的応用化研究

近年、米国や欧州などでは、学問的成果だけではなく、人類の多様な生命活動に役立つ具体的成果の効率的な創出を目指すために、産業界の利用促進に向けた取り組みを積極的に進めています。

先導的応用化研究制度は、宇宙実験で得られた成果を地上の製品開発等へ応用し、宇宙環境利用の有効性を早期に実証することが可能と判断された研究テーマを選んで行なわれます。選ばれた研究テーマは、地上から宇宙での実験を経て取得された成果の応用に至るまでを、宇宙開発事業団と提案者との共同研究として実施するものです。

提案は、1つの企業の単独、あるいは産・学・官の連携など、さまざまな形態が可能になっています。原則として、宇宙開発事業団は、

- (1) 宇宙実験の実現に向けた地上研究および宇宙実験に必要となる装置・技術の開発並びに支援
- (2) 宇宙利用ノウハウの提供、宇宙実験機会の確保・提供
- (3) 宇宙実験の実施

を分担しております。

また提案者には、

- (1) 宇宙開発事業団分担以外の目的を達成するための地上研究
- (2) 宇宙実験成果の生産活動等への応用までの作業

を分担して頂いています。

今回、STS-107による宇宙実験対象テーマとしては、全てタンパク質立体構造に基づく産業応用を目指した研究になっています。

産業界は、生命科学の各分野、環境分野、情報通信分野そしてナノテクノロジー・材料分野で、私たちの生活に直接役立つ製品を開発する大切な役割を担っています。

これらさまざまな分野で、先導的応用化研究制度が今後の研究開発に広く活用されるよう推進していきます。

表5.1-9 STS-107ミッションで行われる先導的応用化研究テーマ

代表研究者	所 属	テーマ標題
裏出 良博	(財)大阪バイオサイエンス研究所	睡眠物質及びアレルギー物質合成酵素の結晶成長実験と医薬品への応用
北 潔	東京大学	新規抗寄生虫薬の結晶解析に基づく分子設計
杉尾 成俊	三菱化学(株)	加齢性疾患の病因蛋白質に対する特異的阻害剤の創薬支援研究
石黒 正路	(財)サントリー生物有機科学研究所	光受容膜蛋白質の結晶化研究
鈴木榮一郎	味の素(株)	高分解能結晶解析に基づく未来志向型酵素の開発

(3) 多様な利用

「きぼう」利用多様化

現在宇宙で建設中の国際宇宙ステーションでは、2000年11月から宇宙飛行士の常時滞在が始まり、国際宇宙ステーション計画に参加する国は、宇宙開発の過程で得られた成果や映像等の利用による新たな産業創設に向けた取り組みを積極的に進めています。

日本国内でも先導的応用化研究制度を開始しており、さらに教育、文化、芸術、メディア、ビジネス、娯楽、そのほかさまざまな分野まで対象を広げ、研究者・技術者にとどまらず広い層の国民が参加し、公共の利益に限らず個人、企業の利益に役立てることができる、新しい「きぼう」利用のための制度拡充を行っています。

それにより「きぼう」の利用可能性の具体的検討や、本格利用に向けた制度構築の検討に役立てることを目的に、「きぼう」の新たな利用アイデアについて新しい取り組みを行なっています。

この取り組みでは、従来から先導的応用化研究等で実施している研究開発目的以外の利用アイデアを公募し、新しいタイプの利用機会を「きぼう」組み立て開始に先立ち提供するとともに、その実施経験を将来の利用制度の検討に役立てています。

その一環として、2001年よりアイデア募集とその実現可能性についての検討(フィジビリティスタディ：Feasibility Study)を実施しています。

・第1回アイデア募集：

34件の応募から9つのアイデアが選ばれ、フィジビリティスタディを行いました。そのうち4つのアイデアについてはフィジビリティスタディを継続し、そのうち1つについては、先進性、実現性が高いことから、平成14年度にパイロットプロジェクトとして実施に向け、詳細検討を進めることが決定致しました。

・第2回アイデア募集：

32件の応募から3つのアイデアが選ばれ、フィジビリティスタディに取り組んでいます。

表5.1-10 利用多様化制度 第1回フィジビリティスタディ&パイロットプロジェクトテーマ

提案者、団体	テーマ標題
パイロットプロジェクト テーマ	
(株)電通	ISS映像を活用したCM制作実験・実施プロジェクト (ロシアサービスモジュールで実施済み)
フィジビリティスタディ テーマ	
石川島播磨重工業(株)ほか	宇宙ロボットコンテスト -「空(そら)を、かける。」 (平成13年度で研究終了)
(株)アイ・エイチ・アイ・エアロスペース	スターメール (平成14年度パイロットプロジェクトとして実施)
石川島播磨重工業(株)	宇宙ガーデニング (平成13年度で研究終了)
女性宇宙フォーラム(市民団体)	「きぼう」利用拡大のための宇宙における食文化の検討プロジェクト(平成13年度で研究終了)

女性宇宙フォーラム(市民団体)	「きぼう」利用拡大のための宇宙における服飾の検討プロジェクト(平成14年度も研究継続)
東日本国際大学 浅井義彦助教授	「きぼう」搭載カメラを利用した宇宙教育システム(Space Eye Net)(平成14年度も研究継続)
お茶の水女子大 石黒節子教授 東洋琴学研究所ほか	宇宙舞踊 (平成13年度で研究終了)
女性宇宙フォーラム(市民団体)	アートのワークショップ (平成14年度も研究継続)
(株)電通	宇宙VIマーク作成&ブランド化プロジェクト (平成13年度で研究終了)

表5.1-11 利用多様化制度 第2回フィジビリティスタディ選定テーマ

提案者、団体	テーマ標題
スペースレフ合資会社	「きぼう」に関連する画像、ビデオ、音声等を一般国民に広く利用を普及させるための手法
日清食品株式会社	「Space Ram」 新しい宇宙食の開発・宣伝・地上事業への展開
(株)アイ・エイチ・アイ・エアロスペース	スターメール発展型サービス(スター・キャンプ)

詳細は右記のホームページでご覧になれます。URL: <http://jem.tksc.nasda.go.jp/sokushinshitsu/index.html>

5.1.3 宇宙環境を利用した教育活動

宇宙開発事業団では、日本人宇宙飛行士のスペースシャトル搭乗機会など宇宙環境を利用した教育活動の機会を提供してきました。

宇宙環境は、例えば物理の重量と質量の関係を理解する上で、その現象を顕著に見ることのできる“場”を提供できるばかりではなく、青少年においては科学技術に対する興味を増大させ将来の科学技術への素養となる礎を築くことにつながります。また、ユネスコで提唱される“生涯教育”の理念に基づいて、自己の充実・啓発や生活の向上のために、一生涯を通じた個人の“学習の場”として活用できます。

今まで行なわれてきた教育活動は、

- ・ STS-47：小学生を対象にした宇宙授業(毛利 1992年)
- ・ STS-65：館林市内の中学生代表10人と無線交信(向井 1994年)
- ・ STS-72：ヒューストンの日本補習学校6年生との宇宙授業(若田 1996年)
- ・ STS-95：植物育成対照実験(向井 1998年)
- ・ STS-99：アースカム、レーダ電波反射実験(毛利 2000年)

また、国際宇宙ステーションに宇宙飛行士が常時滞在するようになった2000年11月以降は、滞在中の宇宙飛行士と直接交信を行う教育活動も2回行っており、3回目に向けて現在準備中です。

- ・ 宇宙ステーションと話そう！～毛利宇宙飛行士のインターネットライブ～(2001年6月)
- ・ ISS-SCS宇宙講座～宇宙に求めるもの、宇宙がもたらすもの～(2001年11月)

5.1.4 宇宙実験へのプロセス

5.1に挙げた各種公募制度、研究助成制度を利用し、国際宇宙ステーションで行う宇宙実験は、下記のプロセスを経て実施されます。

- (1) 利用テーマの公募：利用分野の特徴や利用ニーズ、国際宇宙ステーションでの実施状況を考慮して、分野ごとに適切な時期にテーマの公募を実施し、実施の意義、実施の可能性等の評価を踏まえて、選定します。
- (2) 実験準備：選定されたテーマの詳細化を図り、具体的な実施計画の立案、安全性の確認、テーマ実施に必要な試料や装置の製作等を研究者と宇宙開発事業団が共同で行います。
- (3) 利用計画設定：国際宇宙ステーション上でテーマ実施に必要な電力、通信量、作業時間等に基づき、特定期間の実験スケジュール、輸送計画を検討し、国際的な調整を踏まえて、具体的な実験の実施時期を決定します。
- (4) 実験の実施：実験試料をスペースシャトル等で宇宙ステーションに運び、必要に応じて地上の研究者との調整を行いながら軌道上で実験を行います。回収された試料やデータは研究者に引き渡され、解析が行われます。

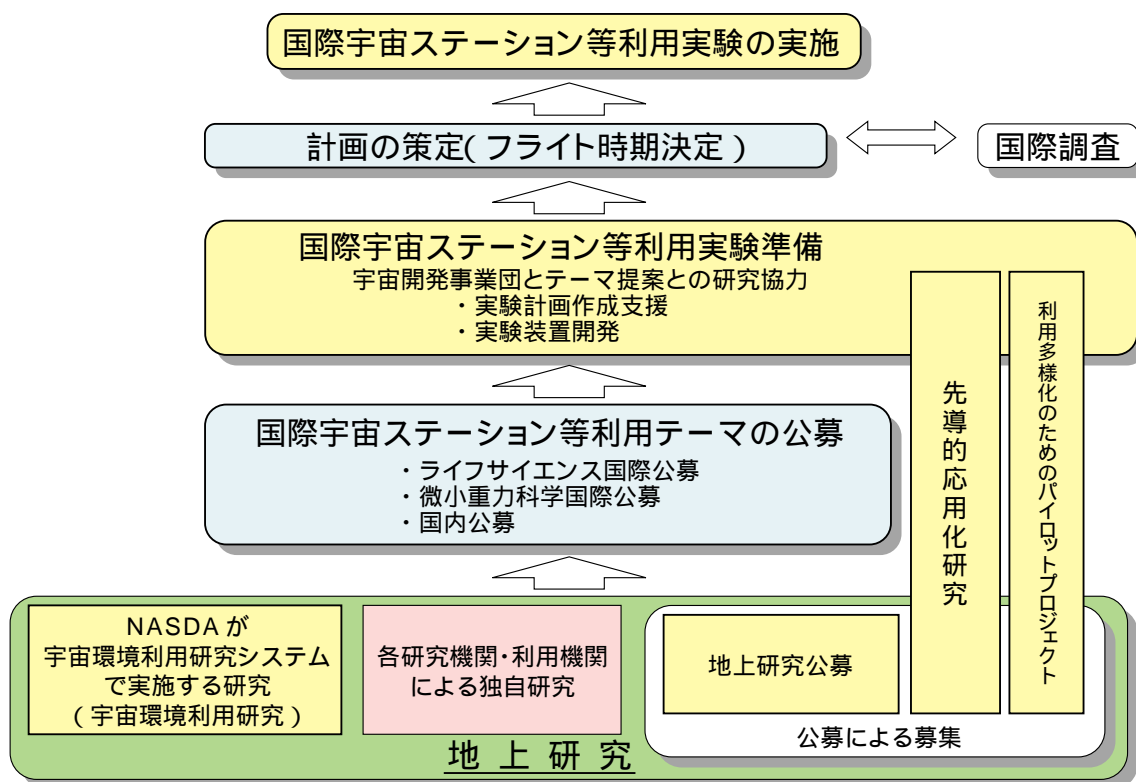


図5.1-12 宇宙実験プロセス

5.2 今後の宇宙環境利用の方向性

5.2.1 各国の情勢

国際宇宙ステーション（ISS）における宇宙環境のさまざまな利用が計画されています。宇宙環境における研究は、物理、生物、科学等の基礎科学への理解を深めることに役立つほか、今までにない材料や医療品の創製等の成果が期待されています。このように私たちの生活の質向上に役立つ宇宙環境の利用の推進を、各国が戦略的事業として位置づけています。

NASAは、宇宙環境を利用した科学ミッション、特に生物・物理研究に力点を置いており、2000年度には、生物・物理研究局（OBPR）が新たに独立した戦略事業として立ち上げられました。OBPRは、科学・生物・物理学の基本的知識を得て、地上での応用、ひいては宇宙旅行等、人間の宇宙滞在のための応用を生み出す研究をその活動の主眼としています。これらの研究は宇宙の商業利用を視野に入れたものであり、産業界への知識・技術サポートの提供や、ISSをはじめとする宇宙資産を用いた商業研究の取り組みを育成するなど、産業界、科学界との協力により将来的な宇宙由来の商業商品・サービス・テクノロジーの振興を目指しています。さらに、宇宙研究における学術的成果を広く一般に周知し、宇宙研究・科学に対する関心を増大させるとともに、知識・能力・資産を共有することによって米国の科学的・技術的・学術的業績の前進を目標としています。

欧州における宇宙環境利用の位置づけも、単なる科学研究のみならず、欧州産業界の世界における競争力強化を目指したものとなっています。ESAは、新たに国際宇宙ステーションを活用した欧州生命・物理科学及び応用プログラム（ELIPS）の開始を決定しました。これは、宇宙環境を利用した科学ミッションの実施を通じて、ISS利用コミュニティが得る恩恵を極大化して、生命・物理科学分野における欧州の競争力を高めるとともに、生命・物理科学の基礎研究とその商業利用を実施するプログラムであり、官民のパートナーシップ強化による産業界の活性化を目標とするものです。

ロシアはISS計画において研究施設をいくつか提供する予定ですが、ロシア国内の財政事情等により、政府資金による研究プログラムは活発ではないようです。研究モジュール提供の予定もあるものの、開発が行われるかどうかは疑問視されています。その一方で、ロシア要素を利用した商業利用計画は、国内および国際間の政策、法令に先行して活発に進められています。ロシア航空宇宙局は、今後のソユーズ・タクシーフライト全機に民間人宇宙旅行者を搭乗させる可能性について発表しています。また、米国のスペースハブ社とロシアのエネルギア社による共同プロジェクトであるエンタープライズモジュール、米国のボーイング社とロシアのフルニチェフ社による共同プロジェクトである商業宇宙モジュールについては、ロシア航空宇宙局から、ロシア提供予定の汎用ドッキング・モジュールの代わりに打上げ、ISSに取り付けたいとする希望が出されています。

5.2.2 日本の取り組み

日本は、宇宙環境の利用を推進するため、宇宙環境の利用者に対する対応および支援体制の整備に取り組んでいます。将来の科学技術の進歩を見据えて、宇宙環境の利用者のニーズをくみ取り、宇宙環境利用の共通的・基礎的な知見や技術を効率的に蓄積することにより、具体的成果を

早期に創出することを目指しています。

宇宙環境を利用する上で必要とされる基盤技術の確立を図るために、地上における予備的な実験手段を開発、利用するとともに、今後必要とされる宇宙実験技術の開発へとつなげる努力を行っています。さらに、これらの手段や技術を利用者に提供することにより、宇宙実験の普及に貢献します。

ISSを利用した実験では、さまざまな視点からの研究を進めることにより有意義な成果が生み出されることを目標として地上研究提案の公募を行い、多くの分野にわたる研究者が宇宙研究に参加できる機会の提供を確保します。今後行われる日本の実験棟「きぼう」を利用したさまざまな研究に対応できるよう、搭載用共通実験装置の開発・検証を行うとともに、きぼうの運用手順の開発・整備も行っています。

また、「きぼう」やスペースシャトルでの実験機会を利用した教育プログラム等を提供し、科学技術教育への貢献に努めます。具体的な計画としては、野口宇宙飛行士が搭乗予定のSTS-114ミッションにおいて、教育関連のミッションを行う予定であり、現在NASAと調整しています。無重力空間での力の強さや方向性などについて道具を使って解説するものや、宇宙空間に滞在することによる地上との感覚の違いなどについて、実験をする予定です。

さらに、国際宇宙ステーションの長期滞在クルーとの交信を行う教育イベントを過去2回にわたって行い、青少年の科学技術に対する関心を高めることに大きな成果を上げてきました。今後もこのようなイベントを継続的に実施していく予定です。

また、STS-107ミッションのような科学ミッションで行われた実験で継続的な実験・研究が必要なものについても、「きぼう」が本格運用される前に積極的にフライトの機会を確保できるよう調整しています。そして、有人宇宙飛行だけではなく、無人でも行える実験についても打上・実験機会を検討しています。

6. 参考資料

6.1 作業スケジュール

6.1.1 打上前作業

タンパク質結晶成長実験

打ち上げ6日前～4日前に全実験試料のチェックを行い、問題がないことを確認します。また、あらかじめ設定された条件で、試料の調製を行います。

試料充填は打ち上げ2日前にアラバマ州立大学バーミングハム校(UAB)によって実施されます。決められた充填順序に基づき、試料を充填30分前までにUAB側へ引き渡します。研究者はUAB側の試料充填作業に立ち合い、問題ないことを確認します。

ラットサンプルシェア研究

この実験は、アメリカとフランスの研究者らによる実験に必要な標本の取得終了後に実施されるため、宇宙実験(軌道上操作)にかかわる打上前作業はありません。帰還後の作業のために、実験に関わる物品等の準備や、NASAと宇宙開発事業団の標本収集チームによるリハーサルなどが行われます。

宇宙実験教育プログラム

打ち上げ6～4日前に全実験試料のチェックを行い、問題がないことを確認します。また、あらかじめ設定された条件で試料の調製を行います。

試料充填は打ち上げ2日前にUABによって実施されます。決められた充填順序に基づき、試料を充填30分前までにUAB側へ引き渡します。宇宙開発事業団はUAB側の試料充填作業に立ち合い、問題ないことを確認します。

6.1.2 軌道上作業

STS-107ミッションは、24時間の運用体制で臨む科学ミッションとなっています。そのため軌道上および運用管制での作業は、“RED”と“BLUE”の2つのシフトに分かれ行われます。

MET	タンパク実験装置	ラット飼育装置	チーム
0d 5h 45m	実験装置作動開始		RED
0d 6h 20m		空気清浄確認	
0d 22h 15m	機器チェック		BLUE
1d 8h 40m	機器チェック		RED
1d 16h 40m		空気清浄確認	BLUE
1d 17h 00m		水交換	
1d 18h 35m	機器チェック		BLUE
2d 7h 00m	機器チェック		RED
2d 15h 35m	機器チェック		BLUE
2d 16h 55m	機器チェック		
2d 18h 20m		空気清浄確認	

3d 8h 20m	機器チェック		RED
3d 18h 10m		空気清浄確認	BLUE
3d 20h 00m	機器チェック		
4d 7h 50m	機器チェック		RED
4d 16h 00m		空気清浄確認	BLUE
4d 19h 40m	機器チェック		
5d 7h 10m	機器チェック		RED
5d 14h 10m		空気清浄確認	BLUE
5d 19h 10m	機器チェック		
6d 6h 25m	機器チェック		RED
6d 14h 15m		空気清浄確認	BLUE
6d 14h 55m		水交換	
6d 17h 40m	機器チェック		
7d 6h 40m	機器チェック		RED
7d 14h 40m		空気清浄確認	BLUE
7d 15h 10m	機器チェック		
8d 5h 30m	機器チェック		RED
8d 15h 15m		空気清浄確認	BLUE
8d 17h 15m	機器チェック		
9d 6h 15m	機器チェック		RED
9d 13h 50		空気清浄確認	BLUE
9d 17h 55m	機器チェック		
10d 6h 15m	機器チェック		RED
10d 9h 55		空気清浄確認	BLUE
10d 10h 35m		水交換	
10d 16h 25m	機器チェック		
11d 6h 45m	機器チェック		RED
11d 13h 00m		空気清浄確認	BLUE
11d 18h 05m	機器チェック		
12d 5h 30m	機器チェック		RED
12d 16h 45m		空気清浄確認	BLUE
12d 17h 40m	機器チェック		
13d 5h 05m	機器チェック		RED
13d 10h 30m		空気清浄確認	BLUE
13d 17h 45m	機器チェック		
14d 4h 40m	機器チェック		RED
14d 16h 45m		空気清浄確認	BLUE
14d 17h 25m		水交換	
14d 18h 25m	機器チェック		
15d 4h 45m	機器チェック		RED
15d 8h 20m		空気清浄確認	BLUE
15d 9h 35m	実験装置停止		

MET = Mission Elapsed Time : ミッション経過時間
(d・h・mはそれぞれ日・時間・分を表す。)

6.1.3 帰還後作業

タンパク質結晶成長実験

- (1) 米国にて凍結を行わないテーマ（高妻、三木、北、裏出（一部）、宇宙開発事業団技術検証（一部））

帰還約4時間後に、スペースハブ社とUABが、帰還したタンパク質結晶成長実験装置の恒温槽から上記テーマに該当する結晶成長ブロックを取り出し、スペースハブ社の実験機器準備棟（SPPF）にて宇宙開発事業団に引き渡します。

宇宙開発事業団および研究者は、各セル内の結晶の写真撮影を行います。写真撮影後、結晶成長ブロックはUABに引き渡され、20℃に保たれて日本へと輸送されます。輸送時に問題がなかったことを確認するために、日本到着後に再び写真撮影を行います。その後、研究者へ引き渡され、それぞれの研究者による解析作業が開始されます。

- (2) 米国にて凍結を行うテーマ（山根、田之倉、小田、裏出（一部）、杉尾、石黒、鈴木、宇宙開発事業団技術検証（一部））

結晶の凍結を急ぐ必要のあるテーマについては、UABにて凍結作業を行います。

UABはSPPFで(1)の実験テーマのブロックを取り出した後、恒温槽をUABに輸送し、帰還約9時間後に、研究者へと試料を引き渡します。まず、各セル内の結晶の写真撮影を行い、その後3日間の間に結晶の凍結作業を行います。凍結作業が終了した後、日本へ輸送します。

ラットサンプルシェア研究

アメリカとフランスの研究者らによる実験に必要な標本の取得が終了した後、NASAと宇宙開発事業団の標本収集チームが、ケネディ宇宙センターあるいはドライデン飛行研究センターで標本の取得を行います。地上対照標本取得へむけた準備作業は、帰還10日前から開始され、飛行標本および地上対照標本の収集作業は帰還後から帰還6日後まで行われます。

宇宙実験教育プログラム

帰還約4時間後、スペースハブ社とUABが、帰還したタンパク質結晶成長実験装置の恒温槽から教育プログラムの結晶成長ブロックを取り出し、SPPFにて宇宙開発事業団に引き渡します。宇宙開発事業団は、各セル内の結晶の写真撮影を行い、撮影後、結晶成長ブロックはUABが一括して20℃に保って日本へと輸送します。輸送に問題がなかったことを確認するために、日本到着後に再び写真撮影を行い、宇宙開発事業団にてデータの解析作業を実施し、結果は各宇宙実験チームへ提供されます。宇宙実験チームはこの解析データをもとに、最終レポートを作成します。

6.2 STS-107ミッション宇宙飛行士の経歴

6.2.1 STS-107ミッションに関係する日本人宇宙飛行士

副ミッションサイエンティスト

向井千秋 (Chiaki Mukai)

宇宙開発事業団 (NASDA) 宇宙飛行士 / 医師・医学博士

生年月日 / 出生地 : 1952年5月6日、

群馬県館林市で生まれる。

経歴 : 1977年慶応大学医学部を卒業し、医師免許を取得。

1988年に医学博士号を取得する。同大学医学部外科学教室助手を経て心臓血管外科医として活躍後、1985年8月に宇宙開発事業団の搭乗科学技術者に選ばれ、日本およびアメリカで訓練を開始する。

1990年4月に第一次材料実験 (STS-47) / 「ふわっと'92」の交代搭乗員に選ばれ、搭乗訓練および地上支援を行った。1994年7月8日のSTS-65ミッションでアジア人女性として初めての宇宙飛行を行う。STS-65ミッションでは微小重力実験 (第2次国際微小重力実験室計画) などを行い、14日17時間55分飛行して、当時のスペースシャトルの最長飛行記録を更新した。1998年3月に実施された宇宙環境における神経科学分野の実験を目的とした宇宙実験計画である「ニューロラブ計画」(STS-90) では、交代搭乗員として地上よりスペースシャトルの実験を支援した。

また、1998年10月29日に打ち上げられたSTS-95・ディスカバリー号に、史上最高齢の宇宙飛行士となったジョン・グレン米上院議員らとともに搭乗し、医師としての経験を生かし9日間のフライトで生命科学や宇宙医学の分野の実験を実施。日本人としては初めて、2度目の宇宙飛行を行った。



ラットを用いた宇宙実験の地上サポート

古川 聡 (Satoshi Furukawa)

宇宙開発事業団 (NASDA) 宇宙飛行士 / 医師・医学博士

生年月日 / 出生地 : 1964年4月4日、

神奈川県横浜市で生まれる。

経歴 : 1989年3月東京大学医学部医学科卒業。

2000年に同大にて医学博士号を取得する。1989年~1999年、東京大学医学部附属病院第1外科学教室勤務。

1989年JR東京総合病院 麻酔科、1990年~1994年茨城県立中央病院外科、1994年には桜ヶ丘病院外科にても勤務。消化器外科の臨床および研究に従事。1999年2月に、宇宙開発事業団より国際宇宙ステーション (ISS) に搭乗する日本人宇宙飛行士の候補者として、星出彰彦、角野直子とともに選定される。

1999年4月から宇宙開発事業団が実施する日本人宇宙ステーション宇宙飛行士の基礎訓練に参加、同訓練修了後、2001年1月宇宙飛行士として認定される。



6.2.2 STS-107ミッション搭乗宇宙飛行士（写真提供：NASA）

船長（コマンダー）

Rick D. Husband（リック・ハズバンド）

NASA宇宙飛行士 / 米空軍大佐

生年月日 / 出生地：1957年7月12日、

テキサス州アマリロ生まれ。

経歴：テキサス工科大学にて機械工学の学士号取得。

カリフォルニア州立大学フレズノ校にて機械工学の修士号取得。米国空軍パイロット訓練学校卒業後、F-4型戦闘機インストラクター、F-15型戦闘機テストパイロットを経て、1987年にはプラット&ホイットニー社のエンジン開発にプログラム・マネジャーとして参加。40種類以上の航空機を乗りこなし、飛行時間は3800時間を超える。

NASAでの経験：1994年12月にNASAに宇宙飛行士候補生として選ばれ、1995年3月よりジョンソン宇宙センターにて訓練を開始。約1年にわたる訓練の後、スペースシャトルのアップグレード、搭乗員往還機（CRV）等の業務に携わる。1999年にSTS-96でパイロットとして初飛行。宇宙滞在記録235時間。



操縦士（パイロット）

William C. McCool（ウィリアム・マッコール）

NASA宇宙飛行士 / 米海軍中佐

生年月日 / 出生地：1961年9月23日、

カリフォルニア州サンディエゴ生まれ。

経歴：米海軍アカデミーにて応用化学の学士号取得。

メリーランド大学にてコンピューター・サイエンスの修士号取得。

米海軍大学院にて航空工学の修士号取得。1992年に米国海軍テストパイロット学校を卒業後、主に先進能力型EA-6B電子戦機の試験飛行を行う。また、機体の耐用年数の研究や航空機搭載電子装置のアップグレード業務にも携わる。24種の航空機を乗りこなし、飛行時間は2800時間を超える。

NASAでの経験：1996年4月にNASAに宇宙飛行士候補生として選ばれ、2年間の訓練の後パイロット宇宙飛行士としてスペースシャトル搭乗資格を認定される。コンピューター支援部門で技術業務を担当した後、シャトルのコックピット・アップグレード業務に携わる。今回が初飛行。



搭乗実験運用統括技術者（パイロード・コマンダー）

Michael P. Anderson（マイケル・アンダーソン）

NASA宇宙飛行士 / 米空軍中佐

生年月日 / 出生地：1959年12月25日、

ニューヨーク州プラッツバーグ生まれ。

経歴：ワシントン大学にて天文学 / 物理学の学士号取得。

クレイトン大学にて物理学の修士号取得。卒業後、米空軍で通信、情報システム関連の業務に従事。1986年、空軍パイロット訓練学校を卒業。空中給油機であるKC-135型機やシャトル搭乗員の練習機・連絡機としても使用されているT-38A型小型戦闘機に搭乗し、飛行時間は3000時間を超える。

NASAでの経験：1994年12月にNASAに宇宙飛行士候補生として選ばれ、1995年3月よりジョンソン宇宙センターで訓練を開始。1年間の訓練を修了し、ミッションスペシャリストとしてスペースシャトルの搭乗資格を認定される。STS-89で初飛行。今回が2回目の飛行となる。宇宙滞在記録は211時間。



搭乗運用技術者1（ミッションスペシャリスト1：MS1）

Kalpana Chawla（カルパナ・チャウラ）

NASA宇宙飛行士

生年月日：（本人の希望により非公開）

出生地：インドのカーナルで生まれる。

経歴：パンジャブ工科大学にて航空工学の学士号取得。

テキサス大学にて航空宇宙工学の修士号取得。コロラド大学にて航空宇宙工学で博士号取得。

NASAでの経験：1988年より、エイムズ研究センターに勤務。流体力学等の研究に従事。1993年、オーバーセット・メソッド社（カリフォルニア州）に副社長・研究者として勤務する。1994年12月にNASAに宇宙飛行士候補生として選ばれ、1995年3月よりジョンソン宇宙センターで訓練を開始。1年間の訓練を修了し、ミッションスペシャリストとしてスペースシャトルの搭乗資格を認定される。EVA / ロボティクスおよびコンピューター部門で技術業務を担当した後、STS-87にロボットアーム担当として搭乗。今回が2回目の飛行。宇宙滞在記録は376時間。



搭乗運用技術者2（ミッションスペシャリスト2：MS2）

David M. Brown（デイビッド・ブラウン）

NASA宇宙飛行士 / 米海軍大佐

生年月日 / 出生地：1956年4月16日、

バージニア州アーリントン生まれ。

経歴：ウィリアム・アンド・メアリー大学にて生物学の学士号を取得。

イースタン・バージニア・メディカルスクールにて医学博士号を取得。サウス・キャロライナ医大でのインターン後、米空軍の航空医官訓練を修了。1988年に航空医官としては10年ぶりに、パイロット訓練生として選定される。飛行時間は2700時間以上（うち1700時間は高性能戦闘機での飛行時間）。

NASAでの経験：1996年4月にNASAに宇宙飛行士候補生として選ばれ、同年8月よりジョンソン宇宙センターで訓練を開始。2年間の訓練を修了し、ミッションスペシャリストとしてスペースシャトルの搭乗資格を認定される。国際宇宙ステーション（ISS）のペイロード開発業務に携わった後、コックピット・セットアップ等の宇宙飛行士支援業務に従事。今回が初飛行となる。



搭乗運用技術者3（ミッションスペシャリスト3：MS3）

Laurel Blair Salton Clark（ローレル・クラーク）

NASA宇宙飛行士 / 米海軍中佐

生年月日 / 出生地：1961年3月10日、

アイオワ州アメス生まれ。

ウィスコンシン州ラシーンで育つ。

経歴：ウィスコンシン・マディソン大学にて動物学の学士号と医学博士号を取得。在学中より米海軍の潜水医学部門の訓練に参加。2年間におよぶ海中の医療救助活動の後、潜水医官に認定される。その後、航空医学訓練を受け、海軍航空医官となる。

NASAでの経験：1996年4月にNASAに宇宙飛行士候補生として選ばれる。ジョンソン宇宙センターで2年間の訓練を修了し、ミッションスペシャリストとして同年8月よりスペースシャトルの搭乗資格を認定される。1997年から2000年まで宇宙飛行士室のペイロードおよび居住部門で勤務。今回が初飛行となる。



搭乗科学技術者（パイロードスペシャリスト：P S）

Ilan Ramon（イラン・ラモン）

イスラエル空軍大佐

生年月日 / 出生地：1954年6月20日、

イスラエル、テルアビブ生まれ。

経歴：1974年、イスラエル空軍学校卒業。テルアビブ大学にて電気・

コンピューター工学の学士号取得。A - 4型戦闘機、ミラージュIII-C、F - 4型戦闘機の飛行時間は3000時間を超え、また、F - 16型戦闘機の飛行時間は1000時間以上。

NASAでの経験：1997年、NASAよりマルチスペクトルカメラを使用するスペースシャトル・ミッションのためのパイロードスペシャリストとして選定される。1998年7月から訓練を開始。イスラエル人初のスペースシャトル搭乗となる。



6.3 スペースシャトルシステムについて

6.3.1 スペースシャトル開発の経緯と全体概要

NASAはアポロ計画の末期であった、1972年よりスペースシャトルの開発に取り組み始めました。NASAの課題は、宇宙輸送システム（STS：Space Transportation System）の開発費と運用費をいかに低下させるかということでした。そこで、スペースシャトルは反復使用が可能であること、デルタ翼（三角翼）で帰還時に自由に操縦でき、かつ貨物搭載量がこれまでになく大きいという点を強調することにより、議会を通過させたのです。

民間会社に基本設計を委託した当初の計画は、ジャンボ機なみの有翼ロケットに中距離飛行機なみの軌道船（オービタ）を乗せ、途中で切り離された後の有翼ロケットも有人で操縦され、地上に帰還するという合理的なものでした。しかし、このシステムの開発費は余りにも高額であったため議会の承認を得ることができず、現シャトルの構想へと変更。1972年に大統領の承認を得ました。

1981年4月12日、宇宙輸送システム1号機(STS-1)のコロンビア号が、米国フロリダ州のNASAケネディ宇宙センターより、2人の飛行士を乗せて3日間にわたる初飛行に成功しました。この成功によって、衛星の回収や修理、複雑で大規模な有人宇宙実験など今まで不可能とされていたことが可能となりました。宇宙飛行は新しい時代を迎えることになったのです。

なお、1981年の初飛行以来、21年間で100回以上打ち上げられてきたスペースシャトルは、その後少しずつ改良が行われており、毎年、信頼性・安全性の向上、打上げ・運用費用の削減、機能向上が図られています。

表6.3-1 スペースシャトルの主要諸元

	オービタ	外部燃料タンク (ET)	固体ロケットブースタ (SRB)	シャトル全体
全長	37.2m	47.0m	45.5m	56.1m
直径	23.8m(翼幅)	8.4m	3.7m	23.8m(翼幅) 23.9m(ET+オービタ 垂直尾翼上部)
高さ	17.3m(着陸時)	-	-	-
重量	オービタ重量 (SSME 3基含む、 ペイロードは含まず) コロンビア 82.2t ディスカバリ 78.6t アトランティ 78.3t エンデバー 78.7t (98.1月現在)	全重量 約750t (推進剤含む) 推進剤重量 720t 構造重量 29.9t (注:98年6月から使われ るようになったSLWTは約 3,400kg軽量化されたた め、重量は26.5tである。)	全重量 約589t/1基 (推進剤含む) 推進剤重量 496t/1基 構造重量 87t/1基	打上げ時全重量 約2,038t (ペイロードを含む) (注:ミッションにより、 約2,020~2,050tと異 なる。)
推力	SSME 1基あたり (推力104%時) 178トン(海面上) 221トン(真空中)	-	1,495ト(海面上)/1基	SSME 3基 534t SRB 2基 2,990t 打上げ時合計 約3,524t
その他	カーゴベイ 長さ 約18.3m 直径 約4.6m			

SLWT(Super Light Weight Tank)

コロンビア号だけが重いのは、製造時期が古く、構造材が他のオービタと多少異なるためです。

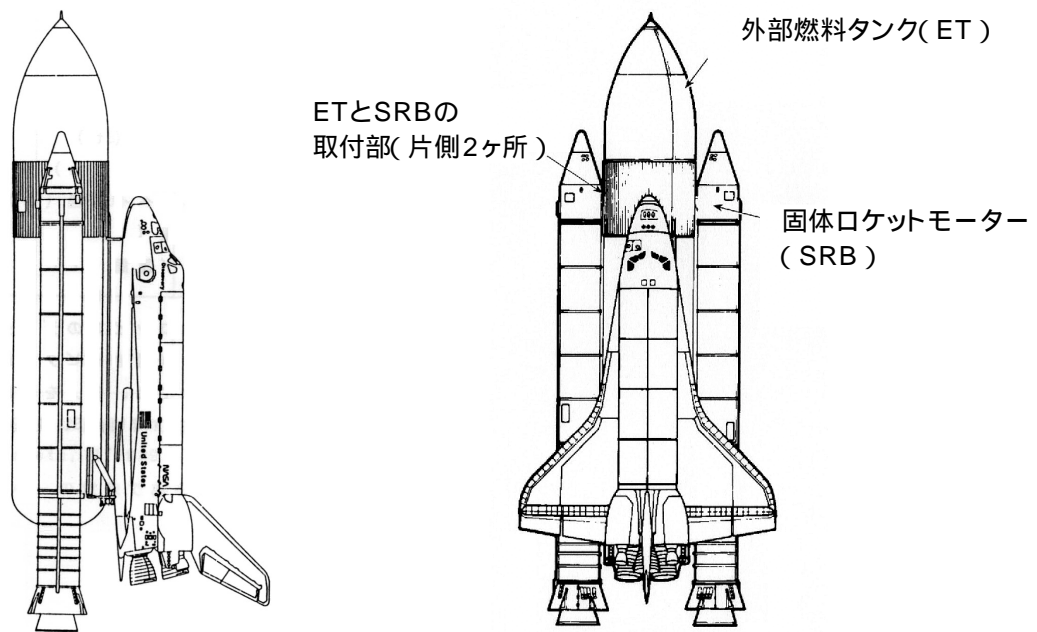


図6.3-2 スペースシャトルの全体図

スペースシャトル・システム

全長	56.1m
翼幅	23.8m

外部燃料タンク(ET)

長さ	47.0m
直径	8.4m

固体ロケット・ブース(SRB)

長さ	45.5m
直径	3.7m
推力	1,495トン/(1本)

オービタ

長さ	37.2m
翼幅	23.8m
着陸時の高さ	17.3m
カーゴベイの長さ	18.3m
主エンジン推力	534トン/(3基合計)

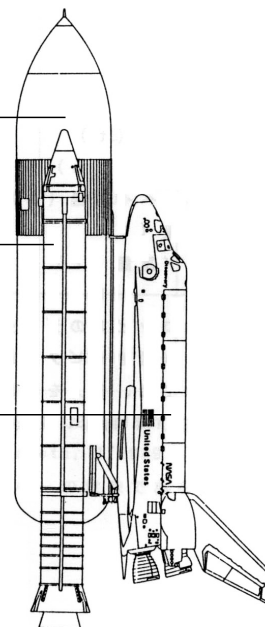


図6.3-3 スペースシャトルの形状及び主要諸元

6.3.2 スペースシャトルの主要機能の概要

スペースシャトルのオービタ（軌道船）の概要を図3に示します。

オービタには、与圧された操縦席と居住部、荷物を搭載するペイロードベイ、ペイロードを放出したり回収したりする際に使用するリモート・マニピレータ・システム(RMS)、軌道制御を行うためのOMSエンジン、姿勢制御やゆっくりとした軌道変更を行うためのRCSスラスタ、打上げ時のみ使用されるメインエンジン（SSME）等が装備されています。

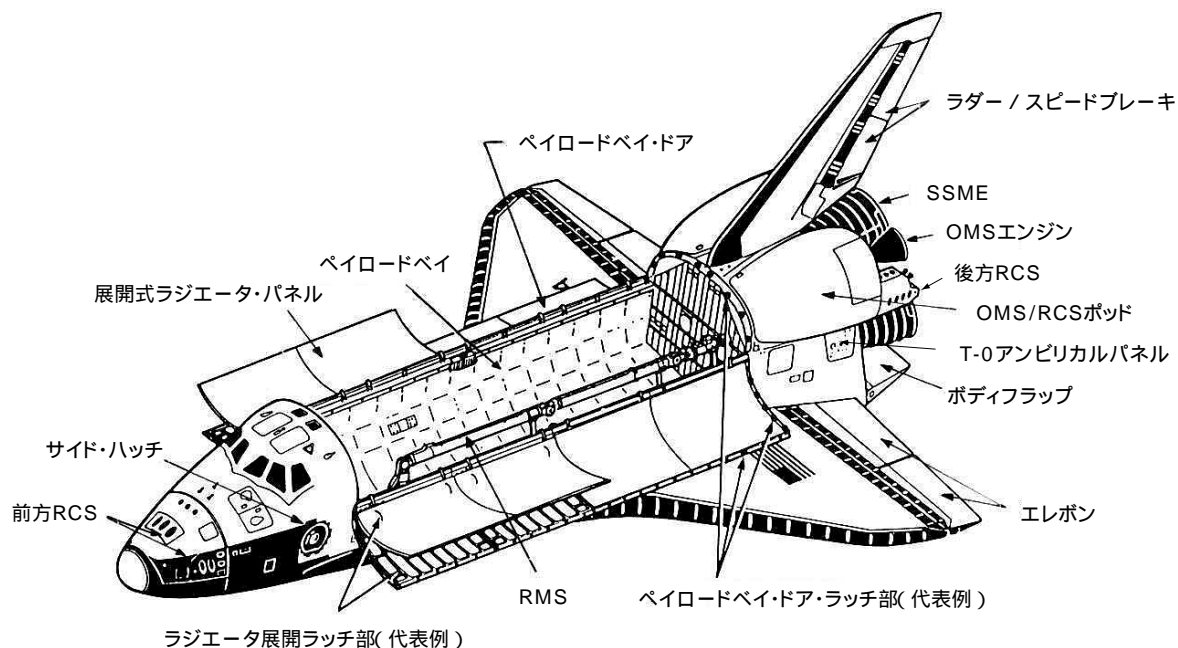


図6.3-4 オービタの全体

6.3.3 シャトル内での生活等

(1) シャトル打上げ/帰還時の服装

スペースシャトルの打上げ/帰還時には、宇宙飛行士は、ヘルメットの付いたオレンジ色（不時着時に遠くから発見しやすくする為）の与圧可能な飛行服を着用します。打上げ時には、搭乗員の中で操縦を担当する船長とパイロットは操縦席に座り、2名の搭乗運用技術者（ミッション・スペシャリスト：MS）はフライドデッキの後部に座り、残りのMS及び搭乗科学技術者（ペイロード・スペシャリスト：PS）はミッドデッキに取り付けられた折りたたみ式の座席に座ります。飛行服の着用は打上げ及び帰還時のみで、飛行中の日常活動、実験等を行う際は、地上にいる場合と同じような服装、例えばポロシャツとズボン等を着用します。

(2) 飛行中のクルーの活動場所

スペースシャトルのオービタ船内には、宇宙飛行士が作業を行う以下の2つの部屋があります。
フライト・デッキ：シャトルの操縦席。

シャトルの操縦、宇宙空間での姿勢制御の他、オービタ全体のシステムコントロールと共に、地上との通信が行われます。また、宇宙及び地球の観測（写真撮影等）もここから行われます。

ミッドデッキ：食事、睡眠など宇宙飛行士の日常生活の場所。

料理は引出しテーブルのあるギャレー（調理設備）で加熱したり、水を加えて簡単に調理し

て食べます。睡眠をとる場合は、ミッドデッキの右舷側壁に取り付けた3段または4段式の睡眠区画及び、壁に取り付けた寝袋を利用します。ミッドデッキでは、各種の作業打合せ及び宇宙実験等が行われます。 オービタのキャビンの構造を図4に示します。

(3) シャトル内での作業

毛利、向井宇宙飛行士が飛行したFMPT、IML-2ミッションでは、2交代で作業を行い、若田、土井宇宙飛行士が飛行したSTS-72、87ミッション及び、向井宇宙飛行士の2回目の飛行STS-95ではクルーが全員同じ時間帯に仕事をして就寝する、シングル・シフトで生活しました。このようにシャトル内での作業体制はミッション要求に応じて設定されています。

また一日の作業時間は、8時間程度が目安とされていますが、重要な作業やイベントがある場合には、1日10時間から10時間半程度の作業時間をとることもあります。

睡眠時間はおよそ8時間で、その前後の2時間半から3時間で食事、オービタの各システムの点検、就寝前のチェックなどを行います。また、筋力の極度の低下や骨粗鬆症などの予防のために、筋力トレーニングを毎日行ないます。

(4) シャトル内での食事・トイレ

飛行中の食事は、様々なメニューが考えられており、それらの中には、レトルトやフリーズドライ（凍結乾燥）食品、缶詰、果物等、数多くの種類が含まれています。選定に当たっては、もちろん宇宙飛行士の好みも考慮されますが、無重力状態で飛散しないことや、においの強い食物等を含まないことが、宇宙食の条件になります。

シャトルのトイレはミッドデッキの後方にあり、吸引式の便座を備えています。扉を閉めることができるので、トイレは睡眠区画（睡眠用の小さな個室）と共に飛行中の搭乗員にとってシャトル内で完全なプライバシーを保てる唯一の場所となります。

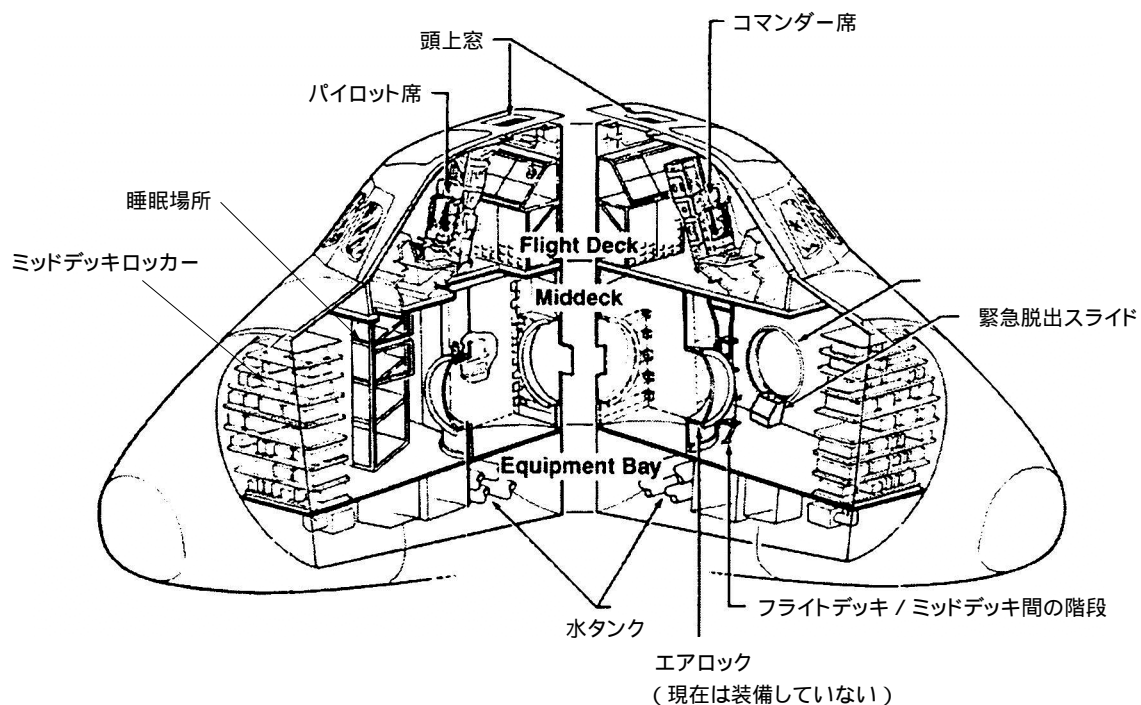


図6.3-5 キャビンの構造

6.3.4 各オービタの概要

NASAにより製作された6機のオービタの概要を表2に示します。現在稼働中のオービタは、コロンビア号、ディスカバリ号、アトランティス号、エンデバー号の計4機です。

表6.3-6 各オービタの概要

オービタ(OV)番号	オービタ名	概要
OV-101	エンタープライズ	1977年に試験機として製作され、滑空着陸試験に使用された。1979年にはET, SRBを取り付けた状態でKSC射点のインタフェース試験に使用された。また1984年には同様にバンデンバーグ射点での試験に使用された。 軌道飛行用ではないため、1985年にスミソニアン博物館に移された。1987年には着陸時のブレーキネット試験に使用された。
OV-102	コロンビア	2番目に製作されたオービタで、1981年4月12日にSTS-1*でシャトル初の軌道飛行を行った。1981年11月12日のSTS-2*により2回運用された最初の宇宙機となった。
OV-099	チャレンジャー	もともとは強度試験用に作られたが、改修を施し運用機となった。1983年4月4日にSTS-6*ミッションで初飛行。1986年1月28日のSTS51-L*のミッション打上げ時に事故(チャレンジャー事故)で喪失。
OV-103	ディスカバリ	1984年8月30日、STS41-D*ミッションで初飛行。
OV-104	アトランティス	1985年10月3日、STS51-J*ミッションで初飛行。
OV-105	エンデバー	チャレンジャーの代替機。1987年8月に組立が開始された。1992年5月7日にSTS-49*ミッションで初飛行。

注) * : 各スペースシャトルミッションへ与えられるミッション番号で、これらの番号と飛行の順番は一致していません。

6.3.5 シャトルミッション関連施設

シャトルミッションに関わるNASA施設の役割を以下に要約します。

ケネディ宇宙センター（KSC）

- ・ISSハードウェアの組立・点検・シャトルへの組込み
- ・スペースシャトルの組立・点検
- ・シャトルの打上げと着陸

打上げは、ケネディ宇宙センターのシャトル用射点（Pad39）で行われ、打上げ管制センター（ロンチ・コントロール・センター：LCC）が各打上げに対し責任をにないます。今回のミッションで使用されるスペースシャトルは、同センター内にある滑走路へ着陸する予定です。なお、シャトルの着陸地としては、この他にカリフォルニア州のドライデン飛行研究センター等があります。

ジョンソン宇宙センター（JSC）

- ・クルーの飛行訓練
- ・クルーの健康管理
- ・シャトルの飛行管制
- ・ISSプログラムの管理、ISSの開発

シャトルのリフトオフ後、着陸までの飛行コントロールは、ジョンソン宇宙センターのミッション・コントロール・センター（MCC）が船長、パイロットと交信しながら行います。

ゴダード宇宙飛行センター（GSFC）

- ・通信ネットワークの管理

ホワイトサンズ試験施設（WSTF）

- ・追跡・データ中継衛星の地上局
- ・代替着陸地
- ・緊急着陸地

ドライデン飛行研究センター（DFRC）

- ・代替着陸地
- ・緊急着陸地

6.4 国際宇宙ステーションについて

6.4.1 国際宇宙ステーション建設の目的

国際宇宙ステーション（ISS）は、地上から約400km上空に建設される巨大な有人施設です。1周約90分というスピードで地球の周りを回りながら、地球や天体の観測、そして実験・研究などを行っています。2006年の完成を目指して、アメリカ、日本、カナダ、ヨーロッパ各国、ロシアが最新の技術を結集して計画を進めています。完成後は、10年間以上使用する予定となっています。

宇宙ステーションの主な目的は、宇宙の特殊な環境を利用したさまざまな実験や研究を長期間行える場所を確保し、そこで得られた成果を活かして科学・技術をより一層進歩させること、そして、地上の生活や産業に役立てていくことにあります。宇宙ステーション内部では、宇宙飛行士が「宇宙ならではの」環境を利用して、さまざまな分野の実験・研究を行います。

6.4.2 国際宇宙ステーション建設の経緯

1982年5月、米国航空宇宙局(NASA)は、スペースシャトル計画に続く有人宇宙計画として、将来の宇宙環境利用のため、また月・惑星探査のための中継基地として利用するため、国際宇宙ステーション計画の概念設計を開始しました。またNASAはこの計画を国際協力により進めることとし、1982年中頃から友好国に対して計画に参加するよう呼びかけ、同年6月、日本に対しても参加要請がありました。これを受けて日本は、内閣総理大臣の諮問機関である宇宙開発委員会の下に宇宙基地計画特別部会を設置し、日本が国際宇宙ステーション計画に参加する場合の基本構想について検討を開始しました。

1984年1月、レーガン大統領が国際宇宙ステーション建設に正式にGoサインを表明すると、同年6月、米国はロンドンサミットにおいて、サミット関係各国に対し国際宇宙ステーション計画への参加を呼びかけました。参加各国は、国際宇宙ステーション計画について、経済の強化と生活の質の向上を導く技術開発をもたらす計画であると評価し、1985年4月にはカナダが、同年6月には欧州(ESA)が、宇宙ステーション計画予備設計了解覚書に署名しました。日本は1985年5月、科学技術庁とNASAとの間で、宇宙ステーション計画予備設計了解覚書を署名し、我が国においても予備設計が開始されました。

予備設計時の宇宙ステーションでは、宇宙ステーションの全体計画をフェーズ1、フェーズ2の2段階に分けて建設することを決定しました。当面宇宙実験を中心としたフェーズ1について各参加国と本格的開発に着手するための調整が行われ、1988年9月に関係各国との間で政府間協定(IGA：Inter Government Agreement)が、またその後、NASAと各国の実施協力機関との間で了解覚書(MOU：Memorandum of Understanding)が締結されました。このIGAは1989年6月の国会で承認されました。これにより国際宇宙ステーション計画は、予備設計段階から開発段階へと移行したのです。

宇宙ステーションの本格的開発着手後、参加各国は設計の見直し、スケジュールの調整を行いつつ、全体として詳細設計の初期段階まで開発が進められました。1993年2月、NASAは、国際パートナーと密接な調整を図りつつ、再設計チームを編成し、90日間をかけて3つの見直し案を作成しました。また、1998年1月30日に、新たにロシア、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（IGA：Inter Governmental Agreement）が署名され、国際宇宙ステーション計画への参加国は、現在15ヶ国となっています。

6.4.3 国際宇宙ステーションの仕様

国際宇宙ステーションの仕様は以下の通りです。

表6.4-1 国際宇宙ステーションの仕様

項目	諸元等	
寸法	108.5m × 88.4m (サッカーのフィールドと同じくらい)	
重量	約453.6トン	
電力	総発電電力 75kW	
全与圧部容積	1303m ³ (ボーイング747型ジェット旅客機 2機分の客室容積に相当)	
与圧モジュール棟数	実験モジュール (6棟)	<ul style="list-style-type: none"> ・米国実験棟「デスティニー」 ・ロシア研究棟(2棟) ・欧州実験棟「コロンバス」 ・「きぼう」日本実験棟 ・セントリフュージ
	居住モジュール (2棟)	<ul style="list-style-type: none"> ・米国居住棟 ・ズヴェズダ(ロシア)
曝露搭載物取付場所	トラス上4箇所 きぼう船外実験プラットフォーム10カ所	
常時滞在搭乗員	6～7名 (組立期間中は3名)	
軌道	円軌道(高度 330～480km) 軌道傾斜角51.6°	
輸送手段	組立	スペースシャトル(米) ソユーズロケット、プロトンロケットなど(露)
	補給	スペースシャトル(米) ソユーズロケット、プロトンロケットなど(露) アリアン(欧) H-IIA(日)
通信能力	米国 追跡・データ中継衛星(TDRS)システム その他,露,日,欧のデータ中継衛星システム	

6.4.4 国際宇宙ステーションの主な構成部分

巨大な国際宇宙ステーションには、宇宙飛行士が安全に、確実に仕事をするためのさまざまな機能や工夫が盛り込まれています。滞在できる宇宙飛行士は、最大で7名。宇宙飛行士が使用する主なモジュールや設備は以下の通りです。

表 6.4-2 主な構成部分

実験モジュール	宇宙飛行士が実験や研究を行う場所。
居住モジュール	宇宙飛行士が生活する場所。各国の宇宙飛行士が共同で使用します。
ロボットアーム	モジュールなどの大型パーツを宇宙ステーションに取り付けたりするときに活躍する“ロボットの腕”。宇宙ステーションの中心にある構造体「トラス」の上を移動します。
ノード	モジュールとモジュールをつなぐ接続部。居住モジュールが取り付けられるまでは居住空間となり、その後は倉庫として有効活用されます。「ノード」以外に「ドッキングモジュール」もパーツ同士をつなぐ役割をもっています。
エアロック	宇宙飛行士が船内と船外を行き来するための、出入り口。
太陽電池パネル	太陽の光をパネルが受けて、ステーションに電力を供給します。パネルはつねに太陽の方向へ向くように回転しています。

6.4.5 打上げスケジュール

1998年から国際宇宙ステーション(ISS)の建設が始まりました。ISSの構成要素は40回以上に分けてスペースシャトルやプロトン、ソユーズロケットにより打ち上げられます。

表6.4-3 国際宇宙ステーション組立スケジュール

打上げ日(現地時刻)	フライト番号	主な打上げ要素
1998.11.20	1A/R	ザーリヤ(FGB:基本機能モジュール)
1998.12. 4	2A	ユニティ(ノード1)、与圧結合アダプタ1,2(PMA-1,2)
1999. 5.27	2A.1	補給艙装フライト
2000. 5.19	2A.2a	保全修理フライト
2000. 7.12	1R	ズヴェズダ(SM:サービス・モジュール)
2000. 9. 8	2A.2b	補給艙装フライト
2000.10.11	3A	Z1トラス、PMA-3 (若田宇宙飛行士)
2000.10.31	2R	ソユーズTM(搭乗員3名常駐開始)
2000.11.30	4A	P6トラス(太陽電池パネル、ラジエータ含む)
2001. 2. 7	5A	デスティニー(米国実験棟)
2001. 3. 8	5A.1	補給艙装フライト、レオナルド(MPLM:多目的補給モジュール)
2001. 4.19	6A	米国実験棟用ラック、宇宙ステーションロボットアーム、UHFアンテナ
2001. 7.12	7A	ジョイント・エアロック、高圧ガスタンク
2001. 8.10	7A.1	補給艙装フライト
2001. 9.15	4R	ドッキング室 1(DC1)
2001.12. 5	UF1	実験ラック
2002. 4. 8	8A	S0 トラス
2002. 6. 5	UF2	実験ラック、モバイル・ベース・システム(MBS)
2002.10. 7	9A	S1 トラス
2002.11.23	11A	P1トラス
2003. 3	ULF1	利用補給フライト (野口宇宙飛行士)
2003. 5	12A	P3/4トラス、太陽電池パネル
2003. 7	12A.1	P5トラス、補給艙装フライト
2003.10	13A	S3/4トラス、太陽電池パネル
2003.11	13A.1	補給艙装フライト
2004. 1	15A	S6トラス、太陽電池パネル
2004. 2	10A	ノード 2
2004. 7	ULF2	利用補給フライト
2004. 9	ATV1	欧州輸送機
2004.10	1E	欧州実験棟(COF)
2005. 1	UF3	補給艙装フライト
2005. 4	UF4	カナダ特殊目的ロボットアーム
2005. 7	UF5	補給艙装フライト
2005.10	UF4.1	補給艙装フライト
2006. 1	UF6	補給艙装フライト
2006. 3	1J/A	「きぼう」船内保管室
2006. 7	1J	「きぼう」船内実験室、「きぼう」ロボットアーム
2006.10	ULF3	利用補給フライト
2006.11	3R	汎用ドッキングモジュール(UDM)
2007. 1	9A.1	ロシア多目的モジュール、科学電力プラットフォーム(SPP)
2007. 4	UF7	生命科学実験施設(セントリフュージ)
2007. 6	2J/A	「きぼう」船外実験プラットフォーム、船外パレット
2007.11	ULF5	利用補給フライト
2007.11	HTV1	宇宙ステーション補給機(HTV)技術実証機
2008. 1	14A	キューボラ

(注)国際間で合意した計画です。(2002年10月15日現在)終了したミッションについては、実績の打上げ日を示しています。

6.4.6 国際宇宙ステーションへの日本の参加

「きぼう」日本実験棟

日本が開発を担当するのは、「きぼう」と呼ばれる実験棟です。宇宙飛行士が長期間活動できる、日本では初めての有人施設で、最大4名まで搭乗できます。きぼうは主に「船内実験室」「船外実験プラットフォーム」という2つの実験スペース、それぞれに付いている「船内保管室」および「船外パレット」、実験や作業に使用する「ロボットアーム」および「衛星間通信システム」の6つから成り立っています。「船内実験室」には、実験試料などを「船外実験プラットフォーム」とやりとりするためのエアロックがあります。

船内実験室

きぼうの中心となる実験スペースで、宇宙飛行士が普段着で実験を行うことができます。主に微小重力環境を利用した実験を行います。内部には、さまざまな装置を備えた10個の実験ラックが設置されています。サイズは長さ11.2メートル、輪切りにしたときの直径が4.4メートル。大型観光バスがすっぽり収まる大きさです。

船外実験プラットフォーム

宇宙ステーション外部で、常に宇宙空間にさらされた環境で実験を行うスペースです。室内ではなく、宇宙環境をそのまま実験に使用できるのは、国際宇宙ステーションでもこことトラスだけです。船外実験プラットフォーム上の実験ペイロードや機器の交換は、主に船内実験室から宇宙飛行士がロボットアームを操作して行われます。

船内保管室

実験装置や試料、消耗品などを保管する倉庫の役割をもつスペースです。船内実験室と同じ1気圧の空気で満たされており、宇宙飛行士が普段着で船内実験室と行き来できます。また、取り外してスペースシャトルで地球に運び、材料などを積んで再び戻る、輸送手段としての機能も持っています

船外パレット

実験装置や試料などを保管する倉庫の役割をもつスペース。船外実験プラットフォームの先端に取り付けられ、船外実験プラットフォームで使用する実験装置や試料などを保管します。また、取り外してスペースシャトルで地球に運び、材料などを積んで再び戻る、輸送手段としての機能も持っています。

ロボットアーム

船外実験プラットフォームの実験で、人間の代わりに作業を行う「腕」となる部分です。本体の「親アーム」は大型装置の移動など、先端の「子アーム」は細かい作業を行うときに使用します。親アームにはテレビカメラが取り付けられていて、船内実験室内から作業を確認することができます。

衛星間通信システム

日本独自で地上との双方向通信を行います。データ中継衛星を介して「きぼう」の実験データや画像や音声などを地上に伝送したり、地上からのコマンドや実験計画などを受信するシステムです。

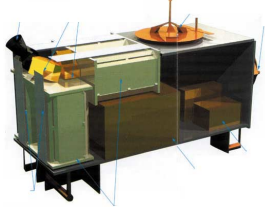
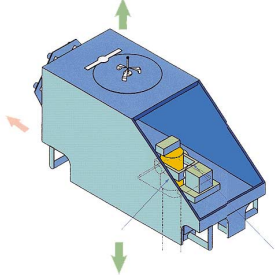
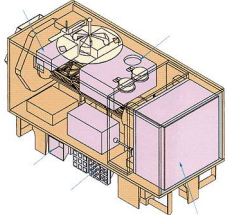
「きぼう」に搭載される実験装置

表6.4-4 「きぼう」の船内実験室に搭載される共通実験装置

ラック名称	ラック構成品	主要機能
勾配炉ラック 	温度勾配炉	<ul style="list-style-type: none"> ・真空電気加熱炉で、3つの加熱室の加熱パターンを独立に制御することで研究者の希望する温度勾配を提供 ・試料カートリッジは自動交換機能により地上から操作可能 ・半導体結晶、合金等の実験が可能
細胞ラック 	細胞培養装置	<ul style="list-style-type: none"> ・動物、植物、微生物の細胞、組織、小型の個体等を用いて生命の基本現象を研究するために、温度、湿度、炭酸ガス濃度を制御した培養環境を提供 ・小型セントリフュージもあり、微小重力と加重力量条件下(2.0g)での実験が可能
	クリーンベンチ	<ul style="list-style-type: none"> ・ライフサイエンス実験を実施する際、クルーへの汚染を回避するため無菌操作が可能な閉鎖作業空間を提供可能 ・位相差・蛍光顕微鏡による観察が可能
流体ラック 	流体物理実験装置	<ul style="list-style-type: none"> ・マランゴニ対流現象をはじめとした流体の基礎的挙動の研究を目的として、3次元流速分布、2次元断面観察、非接触赤外放射計等を具備
	溶液・タンパク質結晶成長実験装置 ・溶液結晶化観察装置 ・タンパク質結晶生成装置	<ul style="list-style-type: none"> ・光学干渉計を用いた溶液から、結晶成長過程のその場観察実験が可能 ・タンパク質の結晶化を行なう装置（実体観察可）
	画像取得処理装置	<ul style="list-style-type: none"> ・実験画像データをMPEG2方式で圧縮（5チャンネル同時）、記録及び再生が可能
帯域炉ラック 	帯域炉	<ul style="list-style-type: none"> ・ハロゲンランプ（1500W）を加熱源とした多目的集光電気炉 ・実験試料に対して、2軸方向からのX線その場観察、可視観察、放射温度計測および熱電対温度計測を具備 ・セラミックヒータ付きカートリッジによる加熱も可能 ・半導体結晶等の実験が可能
'MELFI'	冷凍冷蔵庫	<ul style="list-style-type: none"> ・生物試料の冷蔵、冷凍保管(-80 , -20 , +4)

MELFI : Minus Eighty degrees Laboratory Freezer for ISS

表6.4-5 「きぼう」の船外実験プラットフォームに搭載される実験装置（初期利用装置）

ミッション名	ミッション概要
<p>超伝導サブミリ波リム放射サウンダ - (SMILES)</p> 	<p>オゾン層はフロン等人工起源の物質に由来する塩素、窒素、臭素等の酸化物によって破壊されている。SMILESは、成層圏大気中のこれら微量分子が放出するサブミリ波(電波)を超伝導センサー技術により地球規模での分布と変化を観測し、地球環境保護への貢献を果たす。</p>
<p>全天X線監視装置(MAXI)</p> 	<p>これまでの全天X線観測衛星は、主として銀河系内の活動的な天体を観測してきた。MAXIはこれを超えて銀河系外で起こっている活動天体のダイナミックな振る舞いと、活動銀河系の分布を観測することにより、宇宙の「大規模構造」を明らかにすることを目指している。</p>
<p>光通信実験装置(LCDE)</p> 	<p>将来の有人宇宙活動においては、現在、地上の光ファイバーネットワークで導入されようとしている数ギガビットの伝送速度を持った高速かつ双方向の超高速宇宙光通信システムが必要で、LCDEでは、地上との間で2.5ギガビットクラスの超高速宇宙光通信の宇宙実証を目指している。</p>
<p>宇宙環境計測装置(SEDA - AP)</p> 	<p>SEDA - APは、ISSが曝されている各種宇宙環境(中性子、高エネルギー軽粒子、重イオン、ダスト、原子状酸素、プラズマ等)を計測するとともに、宇宙環境が人工衛星やロケットに使用される部品、材料に与える影響等の評価も併せて実施する。</p>

「宇宙ステーション補給機」(HTV : H-II Transfer Vehicle)

HTVは、国際宇宙ステーション(ISS)へH-IIAロケットを使用して物資を輸送するための軌道間輸送機です。HTVは自動で宇宙ステーションへ接近、近傍で停止し、宇宙ステーション側のマニピレータによって把持され、所定の場所に係留されます。また、HTVの貨物室(補給キャリア)は、輸送する荷物(カーゴ)の構成に合わせて2種類の形態があります。ISSと地上間の物資の移動を、米国のスペースシャトルやロシアのソユーズだけに頼るのではなく、我が国もその役割の一部を担うことによりISS計画に貢献しようとするものです。

「セントリフュージ」

セントリフュージ(生命科学実験施設, Centrifuge)は、国際宇宙ステーション計画において重力環境が生物に与える影響について研究を行うための実験施設です。このセントリフュージは、生物実験用の隔離処理室装置(生命科学グローブボックス, LSG: Life Sciences Glovebox)、人工重力発生装置(セントリフュージロータ, CR: Centrifuge Rotor)、それらを搭載する与圧モジュール(人工重力発生装置搭載モジュール, CAM: Centrifuge Accommodation Module)から構成され、LSGは2004年、CRとCAMは2006年に上げられる予定です。このプロジェクトはNASAのスペースシャトルによる日本の実験モジュール「きぼう」の上げの費用代替として、日本がセントリフュージの開発を行い、NASAへ提供するというものです。

6.4.7 国際宇宙ステーションの運用概要

国際宇宙ステーション(ISS)は1998年に宇宙での建設が始まり、完成するのは2006年の予定です。2000年11月には3名の宇宙飛行士が組立途中のISSに滞在を開始し、すでに一部の運用が開始されています。本格的な運用は2006年以降となる予定です。米国はISS全体の運用について調整を行い、米国、ロシア、日本、欧州(ESAの11ヶ国)、カナダ、の各国・機関がそれぞれ開発したISSのシステムや装置を、各国が責任をもって運用します。ロシア以外の国際パートナーとISS間の通信連絡は、米国のホワイトサンズ地上局と米国のデータ中継衛星(TDRS)を経由して行われます。日本は独自に開発中のデータ中継技術衛星(DRTS)も使用しますが、主として膨大な実験データを地上に送信するために使用する方針です。これにより高額の国際通信回線料金を節約することが出来ます。ロシアはロシア国内の衛星追跡局を活用し、ISSとの直接交信が可能な時間帯にのみISSとの通信連絡を行い、TDRSはバックアップとして使用する方針です。

7. 問い合わせ先

名 称	連 絡 先	問い合わせ内容
宇宙開発事業団 ・ 広報室	〒105-8060 東京都港区浜松町2-4-1 世界貿易センタービル28階 TEL:03-3438-6111 / FAX:03-5402-6513 E-mail:proffice@nasda.go.jp http://www.nasda.go.jp/	全般的なお問い合わせ
・ 宇宙環境利用システム本部 宇宙環境利用推進部 国際宇宙ステーション広報	〒305-8505 茨城県つくば市千現2丁目1番地1 筑波宇宙センター TEL: 0298-68-3074 / FAX: 0298-68-3950 E-mail:KIBOKOHO@nasda.go.jp http://jem.tksc.nasda.go.jp/utiliz/collect/index.html	微小重力科学・ライフサイエンス及び宇宙医学分野 国際公募
・ きぼう利用相談室	〒105-8060 東京都港区浜松町2-4-1 世界貿易センタービル27階 TEL: 03-3438-6639 / FAX: 03-5777-0354 E-mail: kibo-sokushin@nasda.go.jp http://jem.tksc.nasda.go.jp/sokushinshitsu/index.html	きぼう利用多様化
(財)日本宇宙フォーラム 公募研究推進部	〒105-0013 東京都港区浜松町1丁目29番地6号 浜松町セントラルビル8階 TEL:03-3459-1653 / FAX:03-5470-8426 E-mail:koubo@jsforum.or.jp http://www2.jsforum.or.jp/kenkyu/h13annai/index.htm	地上研究公募制度
(財)宇宙環境利用推進センター 宇宙実験推進部 先導的応用化研究担当	〒169-8624 東京都新宿区西早稲田3-30-16 HORIZONビル4F TEL:03-5273-2442 / FAX:03-5273-0705 E-mail:sepd@jsup.or.jp http://www.jsup.or.jp/frame/ouyoka.htm	先導的応用化研究
(財)大阪バイオサイエンス研究所 第2研究部 裏出 良博(代表研究者)	〒565-0874 大阪府吹田市古江台6-2-4 TEL:06-6872-4851	睡眠物質およびアレルギー物質合成酵素の結晶成長実験と医薬品への応用
東京大学大学院医学系研究科 北 潔(代表研究者)	〒113-0033 東京都文京区本郷7丁目3番1号 TEL:03-5841-3526	新規抗寄生虫薬の結晶解析に基づく分子設計
三菱化学(株) 横浜総合研究所 杉尾 成俊(代表研究者)	〒227-8502 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町1000 TEL:045-963-3663	加齢性疾患の病因蛋白質に対する特異的阻害剤の創薬支援研究
(財)サントリー生物有機科学研究所 石黒 正路(代表研究者)	〒618-8503 大阪府三島郡島本町若山台1丁目1番1号 TEL:075-962-6164	光受容膜蛋白質の結晶化研究
味の素(株) 広報部 メディア担当	〒103-8315 東京都中央区1丁目15番1号 TEL:03-5250-8180	高分解能結晶解析に基づく未来志向型酵素の開発

8 . 用語集

A - Z

ATP :	アデノシン三リン酸(adenosine triphosphate)。生体内のエネルギーの貯蔵・供給・運搬を仲介する重要な物質。
BAX :	p53によって誘導され、アポトーシスを促進するタンパク質、またはその遺伝子。Bcl-2ファミリーに属する。
Bcl-2、Bcl-2 family :	原ガン遺伝子の一種。アポトーシスを抑制する機能を持つタンパク質を規定する。相同性を持つ遺伝子群をBcl-2ファミリーと総称する。
Calpain :	タンパク質分解酵素の一種。特に細胞内シグナル伝達系に働くタンパク質を分解してその調節に関わる。
cDNA :	相補DNA(complementary DNA)。伝令RNAを鋳型として人工的に合成した単鎖DNA。RNAに比べて安定に保存できるため、研究上の用途が広い。
Dax1 :	転写因子の一種。生殖腺の分化を調節することによって性決定に働く。
DNA :	デオキシリボ核酸。4種のデオキシリボヌクレオチドが直鎖状に重合した分子。逆方向の鎖状分子と塩基を介した対合により二重螺旋構造を形成する。遺伝情報の担体物質。
Fisher344 :	医学研究に多く用いられるラットの系統の一種。
Nf B、Nf-kappaB :	転写因子のひとつ。主として免疫系の細胞で分化調節に働いている。
NOS :	一酸化窒素合成酵素(Nitric Oxide Synthetase)。伝達物質の一種である一酸化窒素を合成する酵素。
P53 :	ガン抑制作用を持つ分子量53,000のタンパク質、またはその遺伝子。細胞分裂を抑制するタンパク質の遺伝子を活性化する転写因子。
P53調節遺伝子群 :	p53遺伝子を調節する一連の遺伝子。

RNA :	リボ核酸。4種のリボヌクレオチドが直鎖状に重合した分子。タンパク質合成装置であるリボソームを構成するリボソームRNA、DNA上のアミノ酸配列情報を写し取った伝令RNA、伝令RNAの情報に合わせて特異的アミノ酸を結合する転移RNAなどがある。その他、遺伝子の複製や修復、タンパク質の合成過程の様々な段階で調節機能を担うRNAや酵素活性を有するRNA等も多く知られている。植物ウイルスや一部の動物ウイルスではRNAが遺伝情報を担っている。
Sf1 :	転写因子のひとつ。
WAF1 :	細胞に障害が起こった場合にp53によって誘導される、細胞周期制御やDNA修復を制御する遺伝子。
X線構造解析 :	X線の結晶による回折を利用して、結晶を構成する分子の立体構造を明らかにすること。
- グルタミルシステイン合成酵素 :	グルタチオンを構成する3つのアミノ酸のうち、グルタミン酸とシステインを結合させる酵素。

あ

アポトーシス :	細胞の自殺機構。プログラム細胞死とも言われる。発生段階などで不要になった細胞を取り除くシステム。
アミノ基 :	1価の基 NH ₂ をいう。
アミノ酸 :	分子内にアミノ基 NH ₂ とカルボキシ基 COOHとをもつ化合物の総称で、遺伝情報をもとに細胞内で合成される。タンパク質はアミノ酸が鎖状につながって立体的な構造を作り上げたもの。
位相決定 :	位相とは、波動など周期的現象において、1周期内の進行段階を示す量。ある原点に対して、波がどの程度遅れているか、進んでいるかを示す。X線回折においては、結晶に照射したX線が、回折されて結晶から出てくるが、このX線の波の位相がどうなっているかを調べなければならない。これを位相決定という。

遺伝子発現：	特定の遺伝子に規定されるタンパク質が合成され働きを表すこと。DNA上の遺伝情報が伝令RNAに転写され、更にタンパク質に翻訳される。細胞には特異的な転写の開始を精密に制御する機構が備わっていて、必要な遺伝子が必要な時にだけ発現するように調節している。したがって転写の開始をもって遺伝子発現と見なすことも多い。遺伝子の活性化、あるいはタンパク質の誘導等と表現することもある。
宇宙放射線：	地球外に起原をもつ電離放射線。銀河中心由来と考えられる高エネルギー重粒子線、太陽フレア由来の陽子線、電子線、電磁波放射線、および荷電粒子線が地球磁場に捉えられた磁場捕捉放射線等がある。
塩基配列：	遺伝情報となる核酸の4種類の塩基の配列順序。RNAに含まれる塩基はウラシル、シトシン、アデニン、グアニンであり、DNAにはチミン、シトシン、アデニン、グアニンが含まれる。塩基3つの並び方がタンパク質のアミノ酸1個に対応する。
オステオアクチビン：	骨の代謝に関与するタンパク質の一種。機械的刺激（過重など）を感知し、局所的な骨の形成を制御している可能性が高い。

か

過酸化脂質：	体内に取り入れた酸素を用いエネルギーを生み出す過程において生ずる活性酸素と体内の脂肪（不飽和脂肪酸）とが反応してできる産物。
活性酸素：	原子状態の酸素や過氧化物など電子状態が不安定な酸素原子の化合物。生体内ではアポトーシス・老化・白血球の殺菌作用など多くの生理現象に関与することが報告されている。
カテコールアミン：	分子内にカテコールの構造をもつ生体アミンの総称。ドーパミン・ノルアドレナリン・アドレナリンなどがあり、副腎髄質細胞、脳または末梢の神経細胞で生合成される。ホルモンとしてはたらくほか、神経伝達物質としても重要。
カルボキシル基：	原子団COOH。
ガン抑制遺伝子：	ガン化を抑制する働きを持つタンパク質を規定する遺伝子の総称。
寒冷誘導タンパク：	寒冷刺激やストレスの結果として誘導されるタンパク質。

基質認識機構：	酵素の作用を受けて変化する物質をその酵素の基質という。酵素が、ある物質を「基質」であると認識するメカニズムのこと。
胸腺：	心臓の上方に位置する脊椎動物のリンパ組織のひとつ。リンパ球の分化増殖に関与。ここで生成されたリンパ球を T 細胞と呼び免疫機能の中樞的役割を担う。
凝集反応：	赤血球や細菌などが、酵素や抗体等の働きで結びつけられて塊として沈殿する現象。酵素や抗体等の量を簡便に調べる方法として用いられる。
筋骨格系：	生体を構成する筋肉系および骨系の総称。
グルタチオン：	グルタミン酸・システイン・グリシンの3つのアミノ酸からなるペプチド。動植物・微生物に広く存在する。容易に酸化され、酸化型グルタチオンとなる。生体内の酸化還元反応及び解毒作用に重要な役割を果たす。
脛骨：	二本の下腿骨のうち内側にあって、下腿の実質上の主幹と向こうずねを成す太い骨。
血圧反射：	血圧が変動したときに、それを元に戻そうとする反射機構。
血漿：	血液から血球を除いた残りの液状成分。脊椎動物では水分のほか、タンパク質・糖質・脂質・無機塩類・代謝物質を含み、物質の輸送・ガス交換・血液凝固・免疫に関与するほか、浸透圧や水素イオン濃度の調節などによって内部環境を整えるのに重要な役割を果たす。血液から血球とフィブリンを主とする凝固成分を除いた液は血清と呼ぶ。
後肢筋：	四足動物の後ろの二本の足の筋肉の総称。
光受容体：	生物が光刺激を受け取るための特定の器官または生体物質。
光受容膜タンパク質：	光量子のエネルギーを生体信号に変換する働きを持つタンパク質。特定の波長を吸収する発色団を結合する。ほ乳動物の視物質を構成するオプシンはその一つ。

- 構造解析： 「タンパク質の構造解析」という場合は、タンパク質の分子がどのような立体的な構造（形）をしているかを調べることをさす。タンパク質分子は多くの原子からなっているため、タンパク質分子を構成する各原子の立体的配置を調べることと同義。解析方法としては、X線結晶構造解析やNMR（核磁気共鳴法）などがある。
- 酵素： 生体内の化学反応に触媒として作用する高分子物質。生体内で物質代謝に関与する。タンパク質またはこれと補酵素と呼ばれる低分子物質との複合体。触媒する反応の型によってオキシダーゼ、レダクターゼ、ヒドロラーゼ、デヒドロゲナーゼ、イソメラーゼなどに分類され、それぞれ特定の化合物に対して特異的に作用する。
- 骨芽細胞： 間葉系の細胞で骨を作る働きをする。粗面小胞体が発達した大型の細胞で骨基質を合成、分泌する。骨の形成が進むにつれて自ら分泌した骨基質の中に埋め込まれて骨細胞となる。
- 骨格筋： 骨格に付着してこれを運動させる筋肉。脊椎動物では横紋があり、随意に動かせる。

さ

- サブミリ波： 600GHz帯の電磁波。赤外線と電波の中間に位置する。
- 錯体： 金属元素または金属類似元素の原子またはイオンを中心として、これに配位子（原子・原子団・分子またはイオン）が結合した集団の総称。錯イオン、錯塩のほか、ニッケル・カルボニル（ニッケル原子に4個の一酸化炭素分子が配位）のような非電解質をも含む。
- 酸化型酵素： 電子伝達系の酵素等において、酸化還元中心が酸化された状態、つまり電子を受け取る前の状態を指す。
- 重原子同型置換法： タンパク質の立体構造解析における「位相問題」を解決するために開発された方法。結晶を重い金属などが入った溶液に漬けると、タンパク質分子の表面に金属原子が結合する場合がある。回折強度はその結合した重原子によって変化するため、金属原子が結合していない結晶との回折強度の差から、重原子の位置を明らかにすることができる。タンパク質分子中の1原子だけでも、正確な位置がわかれば、「位相問題」が解け、タンパク質分子全体を構成する他の原子の位置も明らかにすることができる。

循環調整機構：	血圧の調節と、組織への血液の配分を調節する仕組み。
蒸気拡散法：	最も汎用的に用いられているタンパク質結晶化方法。タンパク質と結晶化剤、緩衝液からなる液滴と、液滴中よりも濃い結晶化剤を含む「リザーバー」溶液を、空気層を挟んで容器内に密閉する。すると、蒸気平衡に達するまで液滴内の水分がリザーバー側に移動するため、液滴内のタンパク質濃度及び結晶化剤濃度が相対的に高まり、結晶化に至る。
上腕骨：	上腕を形成する骨。上は肩甲骨に、下は尺骨・橈骨(とうこつ)に連なる。
新機能抗体：	抗体とは、抗原が生体の免疫系と接触する(抗原刺激)ときに免疫系でつくられる、抗原と高度に特異的な反応をするタンパク質。実体は免疫グロブリン。今までにない機能をもつ抗体のことをここでは新機能抗体と呼んでいる。
神経(前庭)系：	神経を構成する一系の器官。脳と脊髄からなる中枢神経系と、脳および脊髄から出て全身に分布する末梢神経系とからなる。
性分化異常症：	個体発生の雌雄の区別が生ずる際の異常。生殖腺の分化異常など。
精巣上体：	精巣の生産物を運ぶ導管の一部。精巣の上端に帽子のようにかぶさる頭部と細長い体部・尾部とから成り、精管に続く。副睾丸ともいう。
精巣：	動物の雄の生殖腺。精子を形成し、雄性ホルモンを分泌する。脊椎動物では一般に定まった位置に左右一対あり、多くの哺乳類では腹腔より下降して陰嚢(いんのう)内に収まる。睾丸とも呼ばれる。
脊髄：	脊柱管内にある中枢神経。延髄から続いて細長い円柱状をなし、内側にH字形をした灰白質があり、その周囲を白質がとりまいている。脊髄膜で覆われ、さらに脊椎骨で保護されている。中枢神経と末梢神経との刺激伝達の中継と反射機能をつかさどる。
先天性性腺疾患：	性ホルモンを分泌する器官(雄では精巣、雌では卵巣)の先天異常。
前庭末梢器：	内耳の一部。渦巻管と半規管との間にある不規則な卵形および球形の部分。半規管とともに平衡感覚を感受する。

前脛骨筋： 下腿の筋肉の一つで、足の関節部での背屈（つま先を上げる）させる筋肉。速筋のひとつ。

速筋： 速筋繊維が多数を占める筋肉。収縮スピードが速いが持久力に乏しい。

た

代謝： 生体内の物質の入れ替わりやエネルギーの出入り。

内分泌： 腺（内分泌腺）でつくられる物質（ホルモン）が、直接、血液やリンパ液に分泌される現象。

大腿骨： 股関節と膝関節の間の太い骨。

大動脈神経： 血圧の情報を脳へ運ぶ自律神経のひとつ。大動脈に分布し、血圧上昇時に血圧を下げて一定に保とうとする神経。

大動脈神経性圧反射機構： 大動脈神経を介した、血圧および血液の分配を調節する仕組み。

脱水縮合： 2種の化合物間の反応で、水の脱離により、新しい結合をつくる反応をいう。

男子不妊症： 男性側に原因がある不妊。精子の形成不全や異常などが含まれる。

タンパク質： 生細胞の主要な成分をなす、アミノ酸が鎖状に繋がったポリペプチドが折りたたまれて立体構造を形成した有機高分子物質。生体の重要な構成成分であるとともに、酵素、ホルモンなど生理活性物質およびその母体として、生命現象にきわめて深い結びつきをもっている。

超分子： 多数のタンパク質分子が集合して生じる会合体。

タンパク質複合体： タンパク質同士あるいはタンパク質と他の化合物などが結合したものの。

チトクロームP450： 細胞内に存在するヘムを含むタンパク質の一群。主に肝臓において薬剤など外因性物質や種々の内因性物質を代謝する。

遅筋：	遅筋線維が多数を占める筋肉。収縮スピードは遅いが、持久力が高い。
長指伸筋：	下腿の筋肉の一つで、足および指を背屈させる筋肉。速筋のひとつ。
長内転筋：	下肢を内転（下肢を体幹へ近づけること）させる筋肉。遅筋のひとつ。
沈降反応：	コロイド粒子のような微細な粒子が重力の作用によって沈む現象。
沈殿剤：	結晶化剤ともいう。タンパク質溶液に混合させることで、タンパク質を結晶化させる作用をもつもの。一般に硫酸アンモニウムやポリエチレングリコールなどが用いられる。
テストステロン：	雄性ホルモンのうち、最も強い作用をもつ物質。主として精巣で合成され、第二次性徴の発現などの作用をもつ。
転写因子：	遺伝子発現の最初の段階に働く多種多様なタンパク質の総称。基本的な転写を行う基本転写装置を構成する基本転写因子と、DNAの特異的な配列を認識して基本転写装置によって決められる転写効率を左右する転写制御に働く転写制御因子がある。
動物レクチン：	レクチンとは、植物・動物・微生物等に存在するタンパク質または糖タンパク質のうち、糖に対する特異的結合活性をもった物質の総称。動物のもつレクチンを動物レクチンという。
トリプトファン：	アミノ酸の一種。トリプトファン：アミノ酸の一種。

な

ナイアシン：	ニコチン酸。ビタミン B 複合体のひとつ。動物体内では主として補酵素中にニコチン酸アミドとして存在する。
内耳：	脊椎動物の耳の最奥部。複雑な形の骨に包まれ、内部にほぼ同形の膜様構造物がある。半規管・前庭・渦巻管に分けられ、前二者は平衡感覚を、後者は聴覚をつかさどる。
ニトロ還元酵素：	体に有害な活性酸素から細胞を保護する役割などをもつと考えられているタンパク質。

熱ショックタンパク： 生体が生理的温度より5～10度高温（熱ショック）にさらされると、急速に合成が起こるタンパク質。熱ショックのほか、低酸素や炎症などのストレスによっても合成が誘導される。

は

発生： 細胞の増殖・分化・形態形成などにより、ある生物系（組織・器官・個体など）が単純な状態から複雑な状態へ発展すること。主に受精卵から出発する個体発生をさす。

脾臓： 脊椎動物のリンパ系器官で腹部左側に位置する。赤血球の貯留、古い赤血球や血小板の破壊、リンパ球の産生などを行う。

不純物拡散層： 結晶の周囲には、不純物の濃度の薄い領域が形成される場合がある。ここでは、この領域のことを不純物拡散層と定義した。

副腎： 左右の腎臓の上に密着する内分泌器官。表層部の皮質と中心部の髄質とに分かれ、前者は副腎皮質ホルモンを、後者は副腎髄質ホルモンを分泌する。

分化： ある細胞が別の機能をもつ細胞に変化すること。

分子設計： 目標とする化学反応性、生物活性、その他様々な物理的性質を発現することが期待される分子性物質の分子構造を予測し、それらを合成・構築するための出発物質、経路、方法を探索する技法。分子性物質の構造と活性・物性との相関に関する理論的、または経験的知見、ならびに有機合成化学の膨大な知見を指導原理として、これらを定性的または定量的に組み合わせて行なう。具体的には、量子化学、統計力学、熱力学、分子軌道理論、化学反応論、分子力場理論、グラフ理論、フラクタル理論などが用いられるため、近年では分子設計の過程にコンピューターを用いた計算およびグラフィックスが頻繁に用いられている。医薬品設計はこの分子設計の一部である。

変形性関節症： 関節の主として軟骨の変性のため、運動痛や変形、運動制限をきたす疾患。股関節・脊椎などに生じやすい。多くは老化現象としてみられる。

ペプチド： 同種または異種の アミノ酸が2個またはそれ以上で、互いに一方のカルボキシ基と他方のアミノ基との間で脱水して酸アミド結合、すなわちペプチド結合(CO NH)を形成してできる化合物の総称。

補酵素NAD代謝： 生体内に多量に存在する補酵素(酵素反応を触媒する物質)のひとつであるNAD(ニコチン酸アミドジヌクレオチド)の変化を言う。生体内で重要な酸化反応をつかさどる。

ポルフィリン： 生体内で電子伝達を行うのに重要な働きをしている物質で、例えば赤血球内のヘムの中心として酸素運搬を担うものであり、植物中では光合成を行うのに必要不可欠である葉緑素内で電子伝達を行っている物質である。

ま

マイクロアレイ法： 数千～数万種の生体高分子間の相互作用を包括的に解析する方法。スライドガラス等の表面に生体高分子を数千個以上の微小なスポット状に貼り付けておき、試料液中にある特異的な結合分子を一時に同定できる。cDNAマイクロアレイを用いると、細胞や臓器での遺伝子発現の状態を包括的に解析できる。

末梢前庭： 前庭末梢と同義語。

免疫組織染色： ある組織に特定の物質があるかどうかを、その物質と特異的に反応する抗体を利用して染色し観察する方法。

免荷実験： 負荷をかけないような実験。たとえば長期臥床や実験動物の後肢を地面に接しないようにして荷重を取り去り、筋萎縮を起こさせるような実験。

や

溶質拡散層： 結晶は、溶質分子を取り込んで成長する。そのため、結晶の周囲は、溶質の数が少なくなる。この濃度の薄い領域のことを溶質拡散層とよぶ。地上ではこの濃度の薄い領域は対流によって乱されるが、宇宙ではこれが維持される。

- ラット： 齧歯目,ネズミ科のネズミ属に属するドブネズミに近縁な実験動物。多くの系統や病態動物などが作られている。ダイコクネズミ、シロネズミともいう。ハツカネズミ（マウス）に比べて大型で体重は400g前後になる。
- 立体構造： タンパク質のような生体高分子の分子全体が、水素結合、イオン結合、疎水性相互作用などで特定の3次元立体構造に固定されたものをいう。
- 立体構造解析： 分子を構成する各原子の位置の3次元座標を、X線構造解析やNMRなどの手段によって正確に求めること。

参考文献：岩波 理化学辞典第5版
三省堂 国語辞典 大辞林 第二版
医師薬出版 最新医学大事典 第2版