

## 宇宙環境における生命科学の研究

### 宇宙に行くと、地球の生き物の「有り様」が見えてくる

なぜ、宇宙ステーションで生き物の実験をするのでしょうか？それは「地上の生き物が宇宙に行ったらどうなるだろう」という率直な疑問から出発しました。

1990年代に行われた初期の宇宙実験では、宇宙での滞在が生き物に与える影響を調べるのが主な目的とされていました。その後、宇宙実験が進められるにつれ、過去の宇宙実験や地上の研究の成果を踏まえて、宇宙実験によって検証すべき具体的な「仮説」を立てて実験が行われるようになりました。また、生命科学の進歩を反映して、生物個体の変化とともに、その変化を細胞やタンパク質、遺伝子などの働きから理解しようとする実験になってきました。ただし、宇宙で生き物が大きく影響を受ける要因として「微小重力」と「放射線」があげられる点は、変わりありません。

#### ○「重力」に縛られてきた生き物たち

私たち地球の生き物は、ずっと重力(1G)の影響を受けて進化してきました。地上にいる私たちがいかに重力に縛られているか、また重力に助けられているかは、重力のないところに行かないとわからないのです。

たとえば、宇宙飛行士は宇宙で長い間くらししていると筋肉が衰えたり、骨の密度が低下したりします。それは私たちの筋肉や骨を維持するのに、重力がはたらいっていることが重要だということを意味します。

植物の細胞壁もそうです。海から陸に上がってきた植物は、重力に逆らって倒れずに伸びるように、自分の体を支える「細胞壁」を発達させてきました。ところが宇宙ではこの細胞壁に変化が起きようです。細胞壁の変化を宇宙実験で調べることによって、地上で植物が重力に逆らって倒れずに伸びる基本的メカニズムを解明することができます。

つまり宇宙実験は、地上では見えなかった生き物の「有り様」を理解するのに役立つのです。それらは宇宙で人間が健康で暮らし、火星など遠い天体へ宇宙飛行を行う場合にも役立ちますし、骨粗鬆症や筋萎縮など、地上の医療にも重要な情報を提供してくれると期待されています。

#### ○「宇宙放射線」にさらされます

宇宙が地球の環境と大きく違うポイントの二つ目は宇宙放射線の



STS-95ミッションで植物実験をしている向井宇宙飛行士

存在です。地球には、宇宙放射線に対するバリアーがあります。地球自体が大きな磁石になっているために、地球の周りには磁力線がとりまき、宇宙放射線がそのまま地表に達することを防いでくれるのです。また地球の大気もフィルターの役割を果たしています。

一方、宇宙には遠い銀河や太陽からやってくる宇宙放射線があります。量が多いのは太陽からの放射線で、特に太陽フレアという爆発が起こると、エネルギーの高い放射線が大量に飛んできます。また稀に銀河で新星爆発が起きると、鉄や炭素など非常にエネルギーの高い粒子が飛び出します。宇宙はこれら様々な放射線が混ざり合って飛び交う環境です。

放射線は、生き物の細胞の中にあるDNAに傷をつけることが知られています。もともと生き物は生命維持の基本的能力の一つとして、DNAにできた傷を元に戻す修復能力を身につけていますが、その能力を超えて傷がついてしまったり、能力自体がうまく機能しなくなったりすると、細胞が死んでしまったり突然変異として残ってしまったりする可能性があります。

国際宇宙ステーションで宇宙飛行士があびる放射線は1日あたり0.2~0.3ミリシーベルトと換算されています。この量は地上で浴びる自然放射線量の約40倍です。ただし、地上の放射線とは中身が違うので単純に比較はできません。飛行士の健康を維持するためには、宇宙であびる放射線の種類や量を計測することに加えて、生物を使って影響を詳しく評価することが求められています。その結果は放射線による影響を防ぐ方法の開発につながります。

## 「モデル生物とは」—宇宙実験の主人公たち—

ここで宇宙実験に登場する生き物たちのことを、少し紹介しましょう。たとえば線虫や、カイコ、植物のシロイヌナズナは研究者達が好んで使う生き物です。なぜでしょう？

それは、これらの生き物たちの全ゲノムが解明されているからです。つまり色々な現象が起きたときにどの遺伝子が原因かをすぐに議論できますし、突然変異体もどの遺伝子が原因でどの機能が違うかがわかっています。このような生き物たちは、それぞれ植物や昆虫、動物たちの代表選手という意味から「モデル生物」と呼ばれています。同時に、部分的にはヒトのモデルとして活用できる、という利点を見逃すわけにはいきません。

たとえば、線虫と人との間には大きな隔りがあるものの、線虫には筋肉も神経も消化器官も生殖器官もあり、遺伝子DNAからタンパク質が作られるという基本的な原理は同じです。ですから、たとえば人の筋肉への宇宙滞在の影響を調べたいときに、線虫の筋肉で実験して原因となる細胞を突き止め、遺伝子を特定すれば、ヒトのモデルになりうるのです。

さらに、線虫の細胞数は959ですがそのすべての細胞について、受精卵が分割して行ってやがて神経や筋肉になっていくときに、元々の細胞がどこにあったかさかのぼることができます。つまり、全細胞の家系図が明らかになっているのです。この2つの特徴を組み合わせると、どの遺伝子にダメージを加えると、どの細胞が影響を受けるという、遺伝子と細胞の情報を組み合わせることが可能になります。

シロイヌナズナの場合には、全ゲノムがわかっていることは線虫と同じです。植物体が小さく実験の場所をとらないこと、世代交代が短い期間で行われること、突然変異体の種類が多いことなどから、植物研究者の7割は使っているという人気の、モデル植物です。

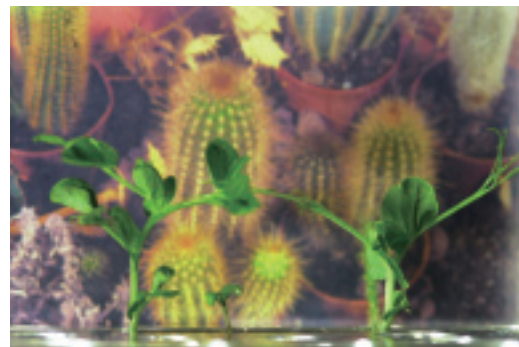
## 宇宙でも1Gの部屋を作るわけ—対照実験—

科学者達が「この現象は、ある『要因』が関係して起こっているのではないかと考え、それを実験で証明する場合、その「要因」以外の条件を同じにして比較する実験が必要です。そのような実験を対照実験といいます。生命科学系の宇宙実験の場合、微小重力と宇宙放射線がその「要因」にあたります。

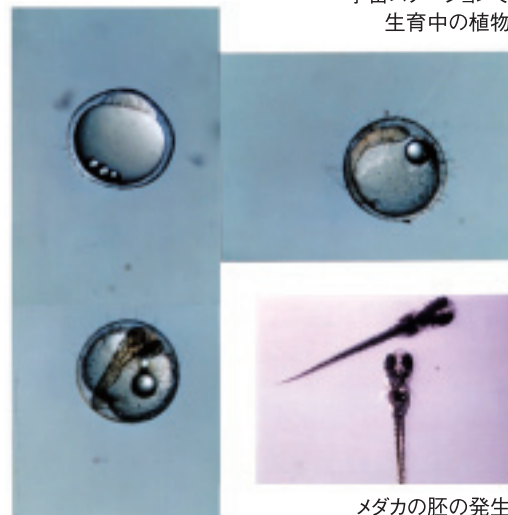
特に微小重力を「要因」として地上と宇宙でのちがいを明確にしようとする宇宙実験の場合は、宇宙ステーションの中の微小重力環境での実験に加えて、宇宙で人工的に作り出した1G環境で「軌道上1G対照実験」をおこないます。

1Gなら、地上で対照実験をすればよいのではないかと考える人がいるかもしれませんが、しかし、宇宙に行く生物試料は、ロケット打ち上げにともなう振動や1G以上の加速度の影響を受け、さらに宇宙では宇宙放射線の影響も受けるため、地上に置いたままのものとは条件が違うのです。そのため実験全体としては、宇宙の微小重力環境での実験、軌道上1G対照実験、地上に置いたままの試料による対照実験の3つを組み合わせるようになります。

軌道上1G対照実験のために、日本の細胞培養装置には微小重力の区画と、重力をコントロールできる回転テーブルがついた区画の2つが作られています。テーブルを回転させることによって、0Gから2Gまでの重力を人工的に作り出すことができます。



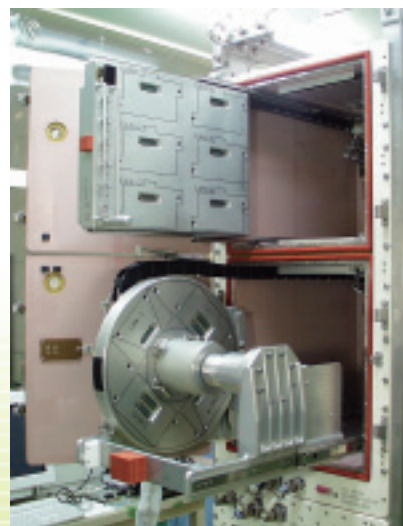
宇宙ステーションで  
生育中の植物



メダカの胚の発生



線虫



細胞培養装置 (CBF)