

1.提案の必要性

地球には黄金比という、効率的にも、美的にも優れた比率が自然界に存在する。本ミッションは、微少重力空間において、黄金比がどのように変化するかを測定し、宇宙における新たな比率を解明することを目的とした実験生物プラントの提案である。以下より、ここでは、この新たな宇宙比率のことを「青金比」と呼ぶ。

具体的なミッションの内容としては、地球上で黄金比の形状をもち、進化の課程において異なる分類の生物として、ウスカワマイマイとセイヨウタンポポを選定する。選定した生物を継代飼育により観測、比較することによって、青金比の数値化を行う。ミッションの応用として、青金比は今後の宇宙開発において様々な構築物を創造する際に利用できる効率的な比率であると考えられる。宇宙医学の発展や、宇宙におけるデザインの更なる美の追求に貢献できると考えられる。

2.地球環境と生物の形状との関係

生物は環境に適応するために、体の形体を変化させてきた。地球に生きる生物は、少なからず地球環境に影響されていると考えられる。

生物の進化については、ダーヴィンの進化論を初め、様々な説が研究されてきている。

生物の陸上への進出は、まず植物によって行われた。脊椎動物が進化するのはいくらか後になっている。陸の上は、海に比べ、植物にとってもより生育には厳しい環境だった。海の中では単純な構造で海の上を漂っていれば生きていくことが出来たが、陸上ではそうはいかない。重力に耐えら

れるだけの強靱さと、水分を吸収し輸送する仕組みなどが必要になる。植物は自分の体の構造を適用させながら、河川沿いに陸地に進出していったのである。

続いて、昆虫、魚類、両生類と陸上に進出していくこととなる。陸上への適応は乾燥と重力に対する適応でもある。両生類はより乾燥に強い皮膚をもち、四肢で体重を支えることが可能になり、内蔵を守るために肋骨もしっかりしたものとなった。

生物の上陸にともなって、その身体には劇的な十二の変化が発生した。それは、1. 骨髄造血の発生 2. 硬骨の発生 3. 心臓脈管系の冠動脈の発生 4. 肺への変容 5. 赤血球・白血球の分化 6. リンパシステムの発生 7. 大脳新皮質の錐体路運動神経の発生 8. 毛細血管の発生 9. 交感神経の発生 10. 恒温性の発生 11. 主要組織適合抗体の発生 12. 楯鱗(皮歯)の獣毛への変化。これらの変化は重力作用が6倍になり、酸素の濃度が30倍となり、生活媒体が比熱一の水から氷に近い空気へと変わり、比重の面でも一から八百分の一へと変わったことでもたらされた。

以上のことから、生物の形状は重力と関係があると考えられる。生物は産まれた時から、地球上で1Gの重力をうけて成長している。今後人類が宇宙へと進出して行く環境は、微小重力下での生活となる。そこでの生物の成長の仕方も、宇宙環境に適したものとなることが考えられる。

3. ミッションに使用する生物の選定

Step 1 : ホイタッカーの生物分類法

現在広く受け入れられている5界説の分類方法では、大腸菌などのモネラ界、アメーバなどの原生生物界、コケ・シダ・種子植物の植物界、キノコなどの菌界、軟体・節足・脊椎動物の動物界に分けることができる。提唱したのは、Whittaker(1969)である。生物の進化には大きく3つの方向があると考えられる。1番目は光合成をして動かずに生活する植物の方向、2番目は運動して餌を食べる動物の方向、3番目は体の表面で有機物を溶かして吸収して生活する菌類の方向である。細胞の構造が異なる原核生物を区別し、前述の3つの方向に進化して、よく発達した構造を持った仲間をそれぞれに植物界、動物界、菌界としてまとめた。そして、単細胞の生物では、それぞれが3つのどれかの方向に進化してきたのだとしても、その程度が低いので区別が難しい状態であるとして、まとめて原生生物と名付けた。

以上をふまえ、本実験で使用する生物は、植物界、動物界、菌界から選定を行うこととする。

植物	動物	菌
(例) コケ植物 シダ植物 種子植物	(例) 軟体動物 節足動物 脊椎動物	(例) キノコ カビ 酵母

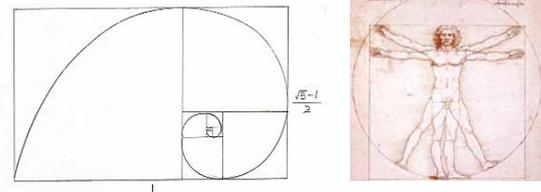
ホイタッカーの生物分類

Step 2 : 地球上での黄金比率による選定

①黄金比とは

1 : 1.61803...

が黄金比と言われている。人間にとって最も安定し、美しい比率とされ、建築や美術的要素の一つとされる。縦横2辺の長さの比が黄金比になっている長方形は、どんな長方形よりも美しく見えるといわれている。歴史的背景にも、数多くの黄金比についての研究がされており、レオナルド・ダ・ヴィンチにも発見されていた。



左 : 黄金比

右 : ウィトルーウィウスによる人体比例図

②フィボナッチ数列

n番目のフィボナッチ数列を F_n で表すと、

$$F_0 = 0$$

$$F_1 = 1$$

$$F_{n+2} = F_n + F_{n+1} \quad (n \geq 0)$$

で定義される。

この数列の規則は、前の2つの項の値になっている。1つの子の細胞は1時間経つと親の細胞になり分裂可能となる。その親の細胞は、親細胞と子細胞に分裂する。この様に分裂を繰り返すと、細胞の数はフィボナッチ数列に当てはまって増えていく。

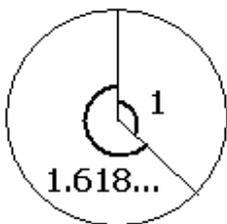
では、このフィボナッチ数列と黄金比がどのように関係しているかだが、フィボナッチ数列の隣

同士の数の比をとると、その比が次第に黄金比に近づいていく、という性質がある。つまり、フィボナッチ数列の隣同士の数の比は、黄金比に近づいている。

フィボナッチ数列の生成規則は、ウサギのつがいの増加や、細胞の増加の様子をうまく模倣しているように、自然界に潜むある規則を表しているようにも見える。また黄金比の性質は、美しいだけでなく、長方形の中にぴったり収まるという意味で形の上での最適な状況を表している。これらが自然界の様々なものの中に頻繁に見つけることができる。

■草木の枝分かれの仕組み

木は幹がある程度太くなると枝が出る。その枝もある程度太くなるとさらにさらに枝を出す。この枝の本数にもフィボナッチ数列が現れる。枝分かれについては、黄金比も関連している。幹の周りのどの方向に枝を出すかに関係している。木は自分の枝の葉が、上からの太陽光を最大限に受けられるように、1周 360° を黄金比に分けた角、すなわち黄金角ごとに枝を出すのが、最適である。



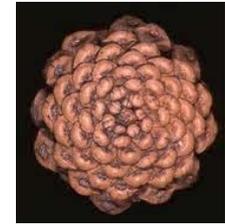
左：黄金角数式

右：黄金角数式による枝の生え方

■植物の螺旋模様

黄金角の位置で生えた芽が成長して次第に大きくなり、外側に紡がっていく様子を観察すると、

黄金角で生えた芽は、少しずつずれながら、螺旋模様を作る。ひまわり、バラ、松かさの模様などに見られる。



左：ヒマワリ

右：松かさ

■オウムガイの螺旋

動物界での成長に伴う体の変化は大きく分けて2通り存在する。一つはある形が相似形に拡大されていくというもの。人間の骨格がこれにあたる。そして、もう1つがある体の部位の一部に相似な微小図形が継ぎ足しされていくものである。前者の成長の課程は前項2の step.2 で述べた黄金比率などの規則性は存在しない。一方、後者での成長の課程では黄金比の観点から非常に興味深い、この成長過程を持つ生物にはしばしば成長に伴う形状変化に黄金比が見られる。オウムガイの成長がこれにあたる。

オウムガイの螺旋は対数螺旋と呼ばれており、数学的に美しい性質をもつ螺旋である。対数螺旋はどこで切ってもすべて相似な曲線ということになる。この性質は生物の形を考える上で、非常に常用な意味をもつ。生物の成長(亀の甲羅など)は全体の形が変わらない様に、常に相似形を保ちながら伸びていく。その伸びた成長した部分が、空間を隙間無くうめる時、黄金比の長方形と対数螺旋が浮かび上がってくる。



オウムガイの断面図

Step 3 : 比較対象生物の選定

以上のことから、比較対象生物の選定を行う。植物の方向からは、綿毛の配列が黄金比である「セイヨウタンポポ」を選び、動物の方向からは、殻の螺旋をもった「ウスカワマイマイ」を選定する。菌類の方向からは、現在の研究では黄金比をもったきのこなどの菌類生物が存在するかどうか、明らかになっていないので、今回の比較対象生物からは外すこととする。



左：セイヨウタンポポ



右：ウスカワマイマイ

Step 4 : 選定された生物の特徴と有用性の検証

Step 3で実験生物として、セイヨウタンポポとウスカワマイマイを選定した。これらの生物は、飼育の容易性や産卵数の多さ、交配の容易性等、以下の点で優れた特徴を有しているため、微少重力空間における形状最適比率の解明において有用性の高い実験材料と考えられる。

1) 形状の観察性

セイヨウタンポポは、綿毛の羅列にフィボナッチ数列が認められ、ウスカワマイマイは貝殻の比率に黄金比が認められる。2種ともに形状が明確であるため、形状変化の観察が容易である。また、初期発生が体外で進行するため、成長に伴う変化や発生過程を非侵襲で観察することが可能である。

2) 飼育の容易性

セイヨウタンポポ、ウスカワマイマイはともに飼育が容易であり、宇宙実験での操作手順の簡易化、操作時間の短縮が可能となる。また、日本全国に生息し、非常に生命力が高い生物であるため、宇宙実験の打ち上げに合わせ年間を通じて実験試料の随時供給が可能である。

3) 微少重力空間での継代飼育

生物の形状に対する環境要因の影響を調べるためには、生殖を含めた生物の全ライフサイクルを観察する必要がある。そのためには、一定の環境下において、継代飼育による長期的な影響を調べることが重要となる。先行研究である微少重力空間におけるメダカの生物実験より、実験世代は3世代とする。ウスカワマイマイは三世代目の殻が成長するまでを、セイヨウタンポポは綿毛がつくまでを実験期間とする。重力を経験したことがない生物がどのように成長するのかを観察する。

実験生物の選定にあたり、黄金比率を持つ生物としてオウムガイの飼育も挙げられたが、飼育の難しさに加え、ライフサイクルが平均10年と長く、超長期的な継代飼育の環境維持やコストの面で非現実的である。その点、先述の2種類の生物はともに飼育が容易であり、ライフサイクルはウ

スカワマイマイが1年、セイヨウタンポポも通常は春に開花するが生育期間中であればほぼ年間を通じての開花が可能であるため、適当な長さの継代飼育が可能であると想定される。

4) 飼育による気付き

ウスカワマイマイを実際に飼育してみてわかったこととして、まずは餌について提案する必要がある。緑色の野菜を好んで食した傾向があるのと、殻の生成のために、卵の殻のような炭酸カルシウムを含んだ餌を与える必要がある。

ウスカワマイマイは雄雌胴体の生き物であり、特定のパートナーをもつ生き物ではないので、短期間で数匹と交配する特徴がある。また産卵する際には卵を産み付ける土となる場所が必要となるが、宇宙空間で、土を設置することは難しいので、かわりとなる、ゲルシートを使用することとする。

現在日本で確認されているセイヨウタンポポは花粉をもたず、受粉することなく種子ができるクローンタンポポである。しかし、世代を超え形状の変化を目的とするのならば、花粉による他の遺伝子をもったセイヨウタンポポとの受粉ができるものを、実験対象にすることが必要だと考えられる。

4.提案するプラントの構造及び実験方法について

本提案は、ISSでの長期間の実験を想定している。

本提案モジュール本体は生体の第一世代から第三世代までの飼育容器（以下ポット）、可動アーム、生体飼育時の地盤の働きをするゲル層の生成・廃棄容器、自動給餌・空気の循環ポンプ・湿

度調節・人工太陽光の供給を行う生命維持装置、これらをシールドする外装から構成される（図1, 2, 3）。生体ごとに一つのモジュールに納め、各モジュールをスタッキングすることにより一つの生体飼育モジュールとする（図2）。今回の実験ではウスカワマイマイとセイヨウタンポポの各モジュールをスタッキングし、飼育中に何らかの支障が発生した場合に備え、ウスカワマイマイとセイヨウタンポポのスタッキングしたモジュールを三つ重ね合わせた、計六段のモジュールを実験モジュールとし実験を行う。

中央の生命維持装置は各ポットにパイプでつながっており、自動給餌・空気の循環ポンプ・湿度調節・人工太陽光の供給を行う（図3）。本提案では微小重力空間で育った個体から生まれた純宇宙個体について黄金比の計測を行うため生物を三世代にわたって飼育する。また、各世代の個体が交わらないよう飼育空間を隔離する必要があるため、世代ごとに飼育場所を変える必要がある。ポットはドーム形状をしており、底面中央に開閉可能な仕切りを有している。その下部にウスカワマイマイでは卵を産みつけるゲル層を先端に有する可動アーム、セイヨウタンポポでは綿毛を吸着するゲル層を先端に有する可動アームが接続される。可動アームは生命維持装置と同軸上に軸をもつ回転アームであり、軸中心にアームが回転し先端部をポット下部に接続する（図3）。ゲル層の生成・廃棄容器では使用後のゲル層の回収と新しいゲル層の配置を行う。シールドは内部の保護、外部への感染防止の役割を持つ。

本提案モジュールでは世代隔離のシステムとして、世代ごとに飼育空間を分け、発生した卵・綿毛を次世代の飼育空間に移動させることにした。手順として、ウスカワマイマイのモジュール

では可動アームがポット下部に接続された際、仕切りが開き、卵の産みつけが可能となる。産みつけ後、可動アームは次世代の飼育容器へ接続され次世代のウスカワマイマイがふ化する。ふ化後、仕切りを閉じ、可動アームを廃棄容器へ移動しゲル層を廃棄する。次に生成容器で新しいゲル層を取り付け、ふ化したウスカワマイマイの産卵用としてポット下部へ接続する。セイヨウタンポポのモジュールでも同様の作業を行う。

上記の作業を繰り返し第三世代が生体になれば測定終了とし、殻の螺旋比率と種の螺旋配列の比率を測定する。

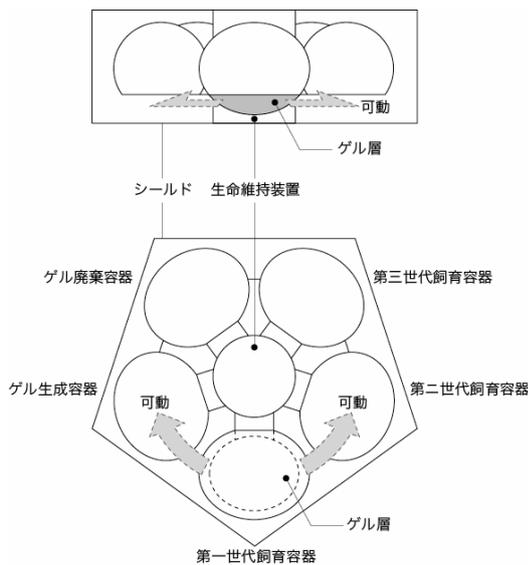


図1: モジュールトップビュー、サイドビュー

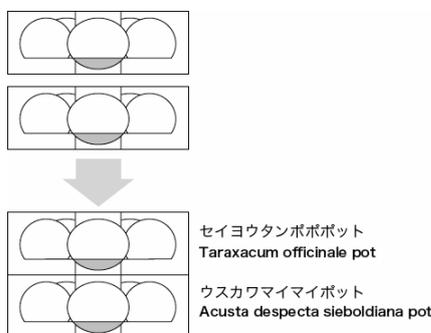


図2: モジュールのスタッキング

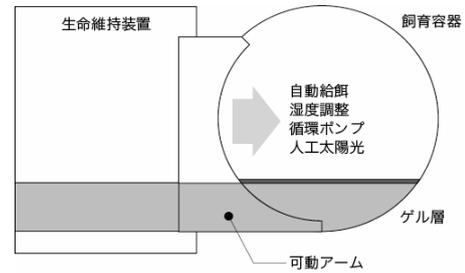


図3: 生命維持装置と可動アーム詳細

また、この実験に想定される結果を以下に記す。

ケース1:

2種類の実験生物に新たな共通の比率が確認された場合、微小重力空間における形状最適比率が解明され、青金比の数値化が可能となる。

ケース2:

2種類の実験生物に黄金比が確認された場合、微小重力空間における最適比率が地球環境と同様の黄金比であることがいえる。

ケース3:

2種類の生物にそれぞれ異なる比率が確認された場合、新たな実験対象生物の選定をおこない、本実験の再試行を試みる。

7.展望

1) 実験における展望

現段階では菌界の黄金比が定義されていないため、菌界を本実験生物の選定から外すに至った。しかし、今後、地球上で菌界に一定の比率が解明されれば、本実験に加えることが可能となる。菌界を実験生物に加え比較対象を増やすことで、ホ

イタッカーによる生物分類を網羅することが可能となり、微少重力空間における形状最適比率の解明において定量的なデータ取得が可能となる。

2) 実験結果における展望

本実験により、微少重力空間における形状最適比率が解明され、青金比が数値化された場合、以下の領域への発展が期待される。

①宇宙医療領域への発展

地球上では、生物の細胞分裂は黄金比に即している。青金比を測定することで、微少重力空間での細胞分裂の比率を解明する初期段階の研究と位置づけられるため、宇宙居住者の成長や発達の研究や、食物、居住動物の発育など、今後の宇宙医学の発展に貢献できると考えられる。

②宇宙におけるデザイン領域への発展

青金比率の確定により、デザイン史上に新たな美の価値基準が誕生する。微少重力空間における美的感覚にも影響をもたらす可能性があるため、建造物に応用することで宇宙飛行士や居住者の精神的緩和をはかり、ミッションの効率化を向上させるなど、将来の宇宙関係デザインに青金比の適用が期待される。

8. 結言

将来、人類が宇宙空間に移住することが考えられる。微少重力空間における新たな比率を数値化、活用することで、居住者のための生活環境や人工物開発に対して速やかな適応や快適な空間提供に繋がると考えられる。最後に、このミッション

が宇宙における構造物やデザインにおいて有用な効果をもたらすことを期待する。

9. 参考文献

渡邊泰治著『黄金比の謎 美の法則を求めて』
科学同人出版 2007

西原克成著『究極の免疫学』講談社インターナショナル 1998

江藤邦彦著『法隆寺にひそむ白銀比 五稜郭にひそむ黄金比』ベレ出版 2009

大垣内宏著『カタツムリの生活』築地書館 1997
最上善広(2005)宇宙で生物学実験：

<http://bios.cc.ocha.ac.jp/MOGText/Lec/Appendix2.pdf>

水棲生物を用いた宇宙環境利用研究と実験装置開発：

http://www.jaros.or.jp/space%20utilization%20view/h14_chapter7.pdf

水棲生物実験装置 (AQH)：

<http://kibo.jaxa.jp/experiment/pm/aqh/>

生物の分類：

http://www.gregorius.jp/presentation/page_07.html

ウニの成体骨格に対する重力環境の影響の検討：
清本正人・黒谷明美・江口星雄・山口守