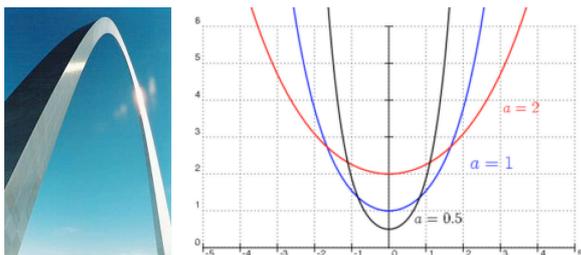


1. 緒言

地球上での生物の形態は、常に重力との戦いによる進化を繰り返してきた。それは言い換えると、物体にはたらく重力に打ち勝つ為に進化を続けてきたのである。そして、このような進化の過程で出来た自然物の形状や構造を分析することで数学的な比率や数式として表す事ができると分かった。それは地球上での「自然界における幾何学的法則（幾何学的自然法則：國本研究室による造語）」として「ジオメトリックアート」などと呼ばれ、現在、建築やグラフィックデザイン、プロダクトデザインといった多くの産業分野において用いられている。その代表例として「黄金比」がある。黄金比とは、地球上で実用的かつ美しいとされている比であり、『 $1 : 1 + \sqrt{5} / 2$ 』で表される。一般的な近似値として『 $1 : 1.618$ 』（約 $5 : 8$ ）が使用される。

その他の例として、カテナリー曲線は、美しさと構造的強さが同時に成り立っているよい例である。カテナリー曲線とは、ロープや電線などの両端を持って垂らしたときにできる曲線である。力学的に安定しているため、建築、橋梁においてもカテナリーアーチとして使用されている。しかし、宇宙空間という微小重力空間における黄金比の様な幾何学的自然法則の新しいカタチは解明されていない。



左：カテナリー曲線を用いたゲートウェイ・アーチ
右：カテナリー曲線の例

本提案は地球上での、幾何学的自然法則を微小重力空間下へ持ち出し、その変化を探ることで、「微小重力空間下での幾何学的法則」を発見することを目的としている。具体的ミッションとしては、今日、地球上での人工物等にも利用されているハチの巣の構造（ハニカム構造）を対象とし、ハチを微小重力空間下で飼育し、その環境下でハチが構築する巣の構造を観察・分析することで、微小重力空間下での未知の幾何学的自然法則を導き出すとすることを目的としたプラントのデザイン提案である。

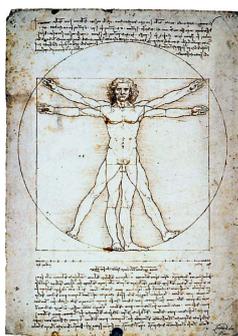
2. 提案の必要性（背景）

a. 黄金比の歴史

黄金比は、古代ギリシアの彫刻家ペイディアス (Pheidias, 紀元前490年頃 - 紀元前430年頃) が初めて使用したとされ、レオナルド・ダ・ヴィンチ (Leonardo da Vinci, 1452年4月15日 - 1519年5月2日) も発見していた。最も美しく、実用性に優れた $1:1.618$ という一对の比である。現在は、一般的な名刺などのカード類や航空機のギリシャのパルテノン神殿、エジプトのピラミッドなどの歴史的建造物のその建築寸法に黄金比が使われている。音楽の世界でも、モーツァルトのソナタやベートーヴェンの交響曲第五番、さらにバルトーク、ドビュッシー、シューベルトの作品でも、黄金比が構成上の大きな要素を占めている。また、自然界にも表れ、植物の葉の並び方や巻貝の中にも見つけることができる。これらはフィボナッチ数列といった数式で表される事も多くある。



左：レオナルド・ダ・ヴィンチ
右：ウィトルウィウス的人間



宇宙空間では、重量刺激がなくなることで骨のカルシウムとリンは溶け出し、尿や便中に過剰に排泄される。これは宇宙空間での滞在において大きな問題であり、その対策が講じられてきた。そうした骨のカルシウムの研究は、地上において高齢化に伴って増加している骨粗鬆症の研究に貢献している。他にも重量変化による人体への影響として、循環器系や免疫系の研究が行われている。

b. 生活の宇宙空間への移行

1961年のガガーリンの有人宇宙飛行から始まり、アームストロングらによる人類初の月面調査など、これまでに人類は宇宙へ何度も挑戦してきた。200名以上が宇宙へ行き、滞在期間も2時間から1年以上と長期に及んでいる。現在はついに国際宇宙ステーション時代であり、宇宙飛行士だけでなく、一般人も近い将来宇宙へより進出していくと考えられる。宇宙への展開により、様々な分野において微重量空間での実験が行えるようになり、これまで地球重量下で行うことができなかったそれらの実験により得た成果は、生命メカニズムの解明の面で多分野にわたって応用・活用できる可能性がある。さらには地球環境の悪化や人口の過剰によって宇宙へ進出する必要が出てくることも予想され、将来宇宙空間に人類が住むようになった場合の対策指針としての可能性が期待される。

c. 微小重力空間での長期滞在が生体に及ぼす影響

宇宙という微小重力空間では人体に様々な影響を与え、宇宙に滞在する際の障害となり得るため、その影響を調査することで重量と生命の関係性を明らかにするのに貢献する。例えば宇

将来宇宙へ生命が進出する際、これまで縛られてきた重量からの解放により生命の機構やメカニズムを調査・研究することは人類をはじめとした地球生命の継続的な存続のために重要な意味をなす。

3. ミッションに使用する生物の選定

本研究では、微小重力空間における生物の成長過程を観察するにあたり、以下の要件設定をもとに観察対象となる生物の選定を行った。

■成長のサイクルが早いこと

今後、人類の宇宙空間への進出を考えると、早期の実験・適用が求められる。現在の自然界に生息する、幾何学的形態を表している生物の中には、螺旋形状で知られるオウムガイなどの巻貝類も挙げられるが、成長するのに数年から数十年かかるため、期待される結果を得るには長期の実験を要する。そこで、実験結果が得られる周期が数日から数ヶ月以内で、早期に結果を得ることができる生物を選定する。

■幾何学的な構造を有すること

展望として宇宙空間での住居の構築への応用も考えられる為、幾何学的な構造体を生成する

生物が望ましい。それは、幾何学的自然法則を身体自体にもつ場合と比べ、その変化が顕著に表れやすいと考えられるためである。

■選定結果

以上の要件から、本研究では蜂に注目した。蜂は普段、木や屋根裏など地上からある程度離れた場所に巣を作るため、微小重力空間と重力以外の条件が酷似している。さらに、展望として本提案で導き出した法則を構造体に応用する事も考えられる為、蜂の中でもハニカム構造を用いた巣を構築するミツバチ・アシナガバチ・スズメバチを実験対象とする事で、実験結果からの早期適応が期待される。ハニカム構造とは、正六角形が無数に並んだ構造体で、美しさと強度を同時に保ち、少ない材料で最も効率よく敷き詰められる。この構造は、その無限に羅列出来る汎用性から、現在航空機や建築構造、音響機器への応用が進んでいる。ここでは、微小重力下での蜂の巣の観察を通して、微小重力化での新しい構造体の生成へとアプローチできると考える。



左上：スズメバチの巣
左下：ミツバチの巣
右上：アシナガバチの巣



左：ハニカム構造を利用した建築物
右：ハニカム構造を利用したイス

4. 巣の構築方法

蜂の巣作りの主な手法は、働き蜂の役割を持つ蜂が、外界から蜜を採取し、腹部に貯める。やがて巣に戻った際、腹部の中で蜜蝋となった粘液を吐き出し、六角形を形作りながら構築していく。ミツバチは半透明の巣、アシナガバチは半放射状に、スズメバチは硬い壁で全体を覆うなど、種類により形態は異なる。しかし、一貫して六角形の形状は保たれている。

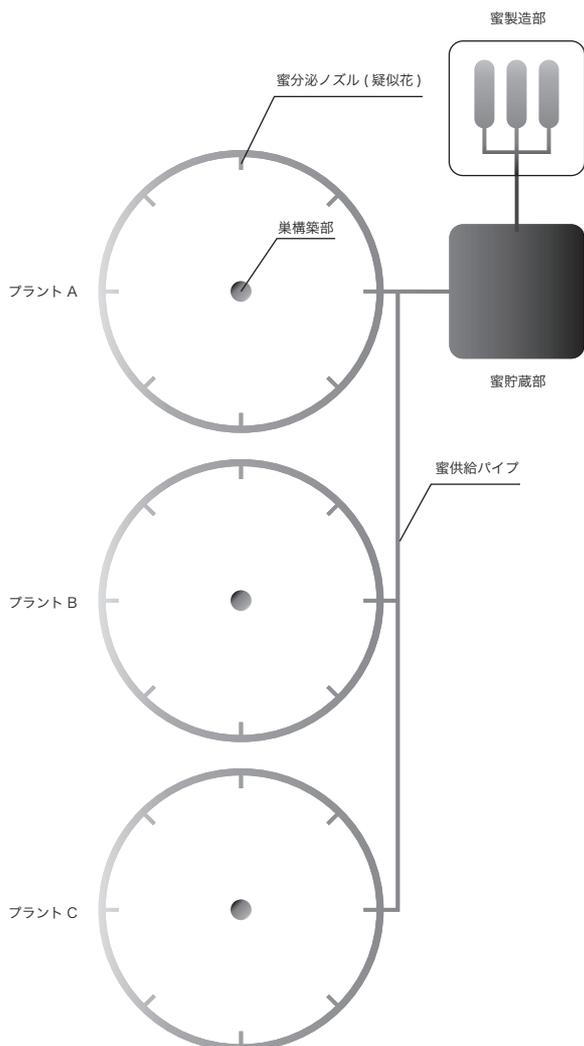
5. 提案するプラントの構造について

①疑似花による蜜の断続的供給

蜂が巣を構築するのに必要な「蜜」を空間の周囲から供給する。地球上の環境を再現するため、擬似的な花を用意し、中心部に管を通し、蜂が自然と蜜を採取出来るようにする。

②方向性を認識させない内面構造

蜂自身に上下の方向性を認識させないため、疑似花を周囲360度に配置し、巣を作り始めるベースとなる球を空間の中心に配置する。



図：提案するプラントの構造 (概念図)

6. 実験方法

プラントA,B,Cにそれぞれ、スズメバチ、ミツバチ、アシナガバチを放す。この時、それぞれの蜂は、分封時の蜂とする。この状態で、巣が出来ると約一ヶ月間観察を続け、結果として出来た巣の構造と、その構築過程を調査する。分封とは、新しい女王バチに巣を譲るために、古い女王バチが沢山の働きバチやオスバチと共に巣をはなれることで、巣分かれともいわれる。

7. 展望

① 住居空間への応用

研究を通して微小重力空間での最適な構造体を持った形状を生成して研究することにより、スペースコロニーや宇宙ステーションといった宇宙での居住空間として活用できると考える。

② 「美」の応用

また、発見された構造体の分析により、地球上での「黄金比」とは異なった数学的な分析とプロポーションの発見を行うことが出来れば、新たな「美」の比率として応用できると考える。また、宇宙空間は、地球よりも高次元であると言われているため、地球上とは違った三次元の軸を持ったプロポーションの比率が発見できるのではないかと考える。それにより、微小重力空間での生活が始まった時の、プロダクトデザインにおける「スタイリングから、構造的なエンジニアリング」までの応用が可能である。

③ 宇宙空間における医療への応用

宇宙空間での医療のあり方に方向性を示す事が期待される。地球上で進化した人間の身体には、様々なかたちで、幾何学的自然法則が適用される。そのため、宇宙空間での幾何学的自然法則を導き出す事は、微小重力下での人間の身体的変化を知ることにつながり、結果として宇宙空間内での人間の成長の過程を理解することになる。つまり、それらの情報をもとに、微小重力空間下での人体にとって適切な形状をもった人工骨や人工臓器などのプロダクトを提案することも可能と考える。

8. 結言

近い未来に人間が地球を離れ宇宙空間に移住する事は十分に考えられる。微小重力空間という特殊な環境においての新しい居住空間や人工物の開発のためには、基準となる新しい幾何学的自然法則を発見、活用する事で、速やかな宇宙空間への適応と、快適な生活に繋げることができると考えられる。また、養蜂プラントの環境を変える事で、様々な状況における理想的な幾何学的自然法則を導き出す手段として利用ができると考えられ、今後、人類が展開していくあらゆる環境での応用も可能になると考える。

最後に、この実験が宇宙での人工物の構築において有用な効果をもたらすことを期待するものである。

9. 参考文献

ジョージ・ドーチ著 多木浩二訳；デザイン自然学 青土社 1999

Kimberly Elam : Balance in Design BNN
2005

カスパー・シュワーベ、石黒敦彦： ジオメトリック・アート 2006

JAXA ホームページ : <http://www.jaxa.jp/>