

テーマ名：宇宙旅行で心を癒す「ミジンコが棲む小さな地球」

(静電気力を重力の替わりとしてプランクトンを飼育する方法)

鳥羽商船高等専門学校	制御情報工学科	三村 恭弘
		弓場 豊大
		大山 雄佑
		宮本 賢太郎
	商船科	加藤 圭一
	指導教官	伊藤 友仁

1. 緒言

現在の宇宙飛行の快適さは、アポロ宇宙船の時代などに比べ飛躍的に進歩している。スペースシャトルのように、1～2週間程度の短期間の宇宙滞在であれば、衣・食に関してほとんど不満なく過ごせる。しかし、人間が比較的長期にわたって滞在する宇宙ステーションでは、無重力や閉鎖的空間によって人間が感じるストレスはかなり大きいと思われる。宇宙に長期滞在する場合の生活ストレスを軽減するために、運動、ゲーム等のレクリエーション、音楽を聴くなどさまざまなことが行われているようだ。しかし、一番効果的にストレスを取り除いてくれるのは、宇宙船の窓から眺める地球の姿ではないだろうか。地球周回軌道から眺める青い地球は、宇宙飛行士にとって大きな癒し効果をもたらすものであろう。しかし、将来の火星旅行などのように、地球から遠く離れる場合はこれを期待することはできない。そこで我々は、長期宇宙旅行の際に人の心を癒してくれる、地球の形をしたプランクトン観賞用の小型水槽、「ミジンコが棲む小さな地球」を作ること考えた。

今回のミッションは、地球を遠くはなれて宇宙旅行する際に、人の心を癒してくれるプランクトン観賞用の小型水槽を提案するものである。この水槽には、癒し効果のみならず、重力に替わって静電気力を用いてプランクトンを飼育することの可能性を確かめるといった、生物学的な実験要素が含まれている。重力に替わる静電気力として、電界中に置かれた物体を、電界が強い方向に引張る力、すなわち誘電泳動力を利用することに着目した^{1,2)}。高周波の交流電界を利用することで、プランクトンは感電することなく、誘電泳動力を重力と思うので、あたかも地上に生息しているかのごとく水槽で飼育することが期待できる。今回、プランクトンとして、心臓や消化器などの生物の基本的な器官を備え、それらを外部から観察できるミジンコを選んだ。まず事前の地上実験として、淡水棲のプランクトンであるミジンコに関して、誘電泳動力が働くか否かを実験的に確かめ、最適な電界条件などを求めた。これらの基礎実験の結果に基づき、地球の形をしたプランクトン観賞用の小型水槽、「ミジンコが棲む小さな地球」の構造を検討し、長期宇宙旅行の必需品として提案した。

2. ミジンコについて

(1) ミジンコの生態と擬似的重力の必要性

地球上の池や水たまりに棲むミジンコ(図1)は、触覚を動かして水の中でリズムカルなホッピング運動をしている。触覚を止めると、下方に下がり動かすと上に昇る。つまり、重力を常に感じながら生活している。おそらく、無重力になるとミジンコは大きいストレスを感じ、死んでしまうと考えられる。魚のように大きな浮力を利用しないので、ミジンコが感じる重力は、生活に不可欠なものと考えられる。ミジンコを宇宙の無重力環境で飼育する場合、重力に替わる擬似的な力を常に与える必要が有る。



図1 ミジンコ
(体長1~2mm)

(2) ミジンコを選んだ理由

宇宙でプランクトンを飼育するにあたって、ミジンコを選んだときは、以下のようなものである。

宇宙旅行での人間に与える癒し効果

- ・人の手の様な触覚は、小さなヒトのようで愛らしい。
- ・短い周期で、子供が生まれ、繁殖の様子が分り易い。
- ・飼育水槽を、「小さな地球」の形にした場合、住人として最適な大きさである。

生物学的な研究目的

- ・微小な生物に対し、静電気力のような擬似的重力の有効性を調べることができる。
- ・心臓、消化器等の基本的な臓器を備えた生物で、半透明の殻を通して直接観察できる。
- ・繁殖の仕方や、色などで環境のチェックができる。

3. 「小さな地球」で重力の代わりに静電気力(誘電泳動力)を使う

(1) 重力の替わり静電気力(誘導泳動力)を使う理由

宇宙船内での種々の制約を考慮すると、以下の条件を満たすことが望まれる。

遠心力を得るような大掛かりな回転装置を必要としない。

大電力を必要としない。

加熱、加圧等の爆発のある危険性のある工程、装置がない。

これら3つの条件を、満たすものとして、静電気力が利用できると考えた。

(2) 誘電泳動力³⁾について

図2(a)の平等電界中の中性粒子は、電界により分極されるが、平等電界中では粒子左側の負電荷に働く左向きの力と、正電荷に働く右向きの力は平衡しているため粒子は運動しない。それに対し、図2(b)の不平等電界では、粒子の分極は同様に起こるが、粒子の左側と右側の電界の強さが異なる。すなわち、電界の強い左向きの力の方が大きいため、粒子は電界の強い左へ引き寄せられる。直流電界中半径Rの粒子に働く誘電泳動力は、

$$F = 2\pi\epsilon_1 R^3 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + \epsilon_1} \nabla E_0^2$$

で与えられる。ここで E_0 は電界、 ϵ_1 は周囲の誘電率、 ϵ_2 は粒子の誘電率を表す。また、電極に印加される電圧の極性が反転しても、粒子に誘導される分極の向きも反対極性になるので、力の向きは変わらない。したがって、交流電界の場合でも粒子には電界の強いほうへ引力が働くことが、誘電泳動力の特徴である。

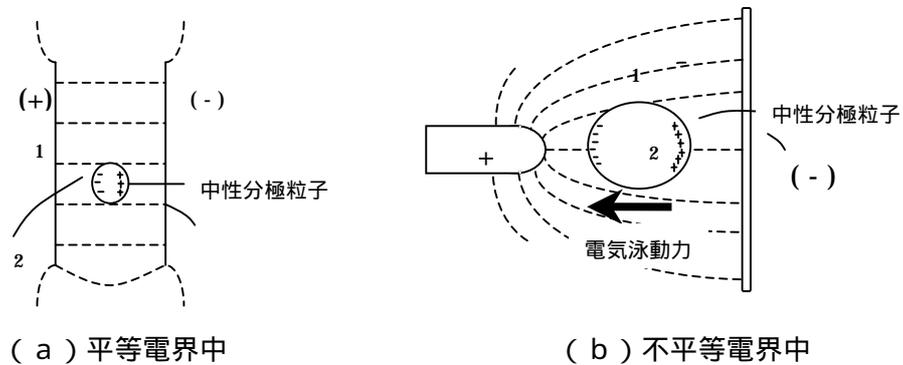


図2 平等及び不平等な電界に置かれた粒子

(3) ミジンコに対して有効な電界

誘電泳動力は直流電界と交流電界の両者によって発生する。どちらの電界が、水棲プランクトンのミジンコに適するかを検討した。「ミジンコが棲む小さい地球」という水槽を作るためには、水槽内に電極を配置して不平等電界を作り出す必要がある。水中に電極を入れ、電圧を印加した際に起こり得る現象を推定し、検討した結果を表1に示す。

表1 水槽内の電極間に直流、交流電圧を印加した際の現象予想

	直流電界	交流電界
水の状態	<ul style="list-style-type: none"> 水には不純物イオンが存在し、イオンが移動することで通電する。 水が沸騰する 	<ul style="list-style-type: none"> 水に不純物イオンが存在しても、交流の周波数が高ければイオンが動けず通電しない。 見かけ上変化なし
ミジンコへの影響	<ul style="list-style-type: none"> 電界によって体が分極を起こす。 誘電泳動力が働く 水の沸騰、感電によりミジンコは死んでしまう。 	<ul style="list-style-type: none"> 電界によって体が分極を起こす。 誘電泳動力が働く 高周波になると、ミジンコの体内で通電せず感電死しない。(何となく電気を感じる程度?)

表の検討結果より、高周波交流電界による誘電泳動力がミジンコに対し有効な力であることを事前に確かめることにした。

4. 実験室で行った誘電泳動力の実験

(1) 誘電泳動力が引力となることを確かめる実験

不平等な高周波交流電界中でのミジンコの挙動に関して、図3の対向電極を配置した装置を用いて、ミジンコに誘電泳動力が働くことを確かめた。この電極は厚さ0.3mmのステンレス版を向かい合わせたもので、電極先端部の電界が強くなるような不平等電界が発生する。

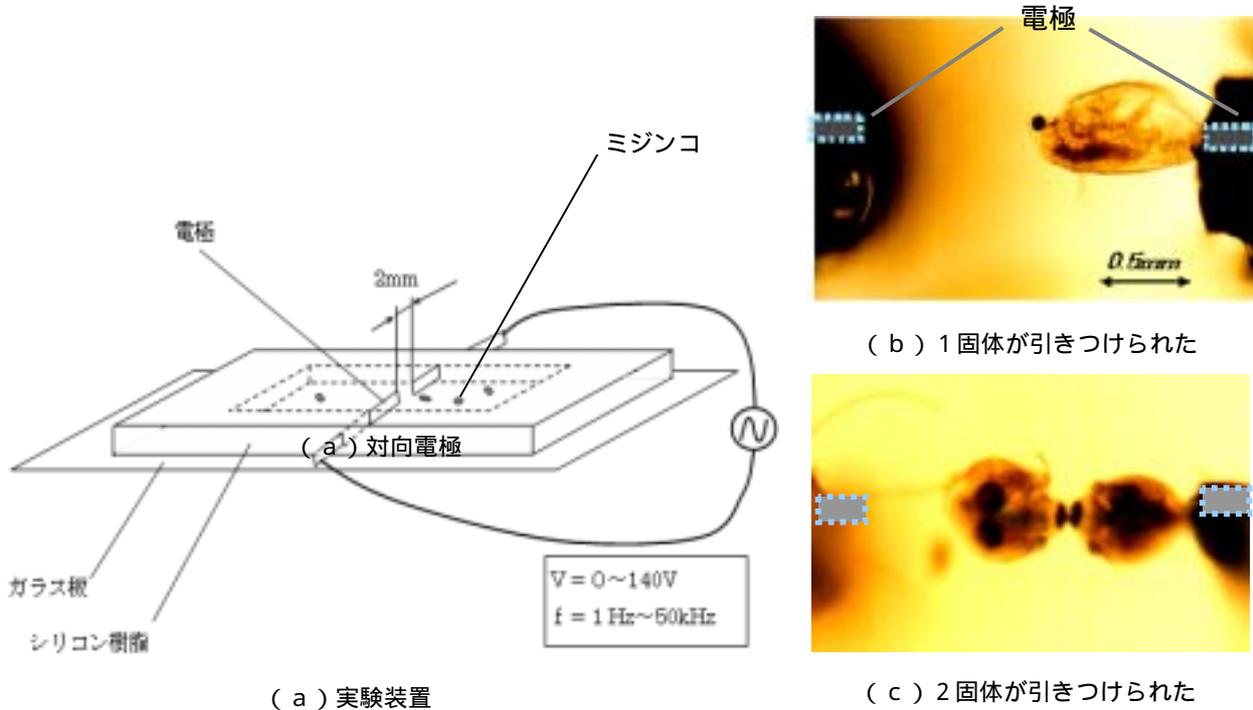


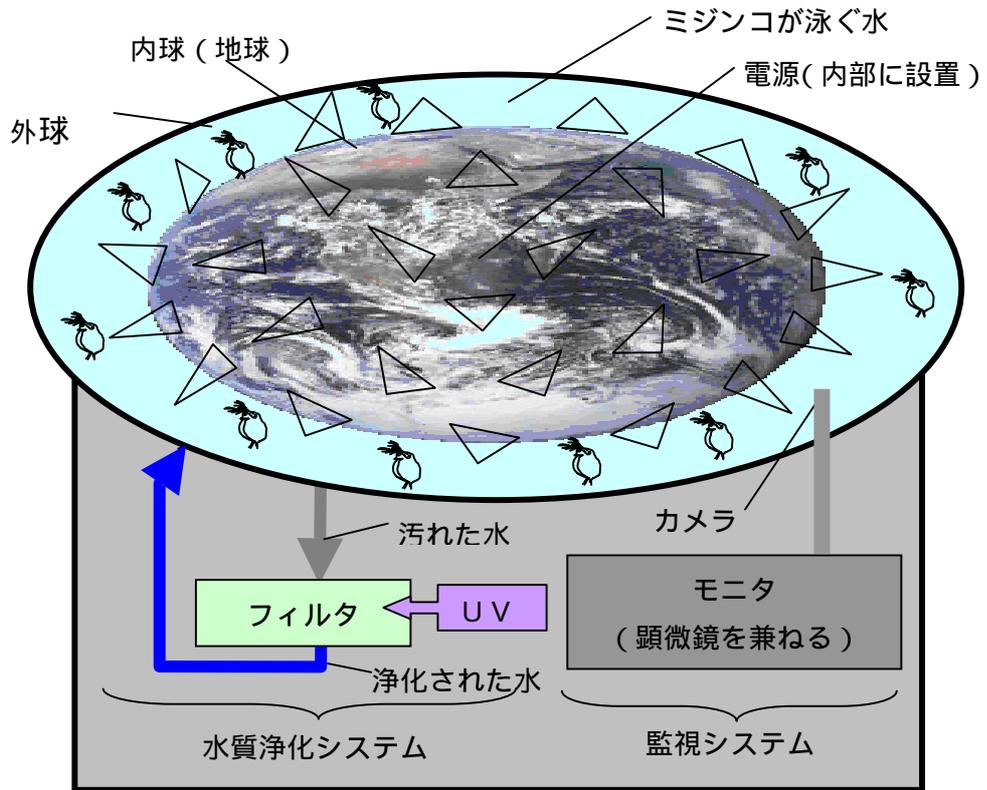
図3 電極を対向配置した装置と電極先端に引きつけられたミジンコ

図3の各写真は、対向電極が作り出した静電気力にミジンコが、電極先端に捕らえられたものである。電極先端の電界の強いところに向かって、吸引力となる誘導泳動力が発生していることが分る。電圧除去すると、ミジンコは泳ぎ去りダメージはほとんどなかった。

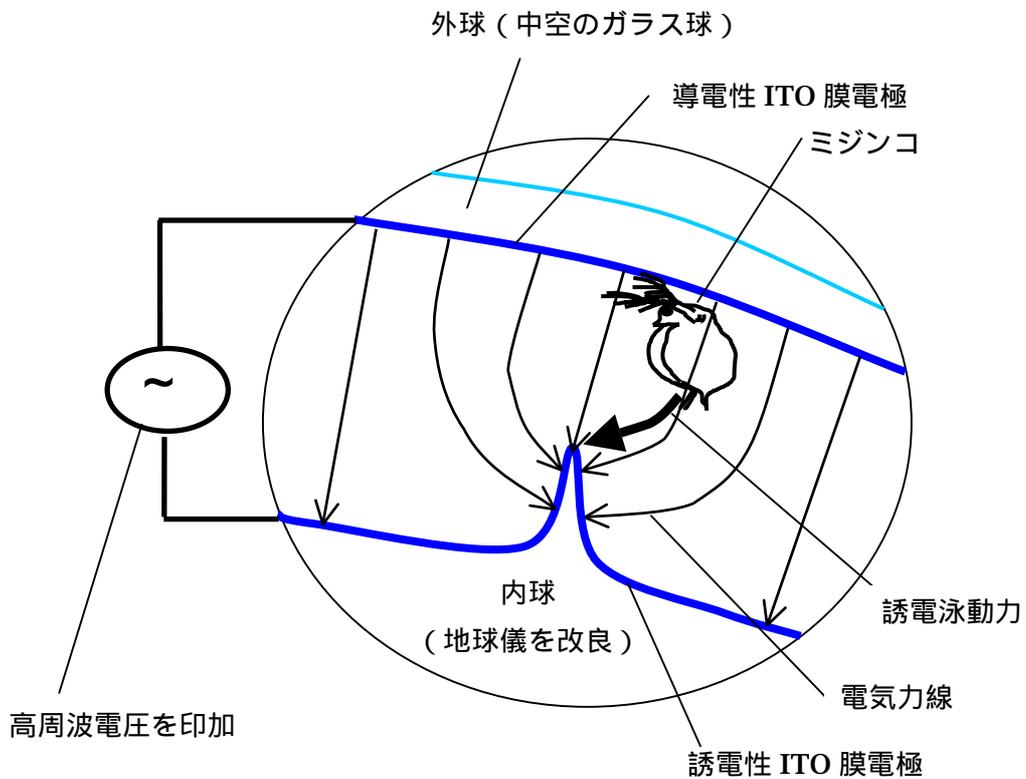
(2) 実験の結論

交流高周波電界を用いることで、電極先端部付近の電界の強い方向にミジンコは引っ張られた。即ち、水中のミジンコには、誘電泳動力が有効に働き、重力の替わりとなり得ることが判明した。ミジンコに有効な電界周波数は、約50kHzで、電界強度の目安は、間隔2mmに配置した電極間の場合、20~70Vであった。

5. 案する「ミジンコが棲む小さな地球」
 (直径約30cmのものを想定する)



(a) 全体図



(b) 内球と外球の隙間の拡大図

図4 小さな地球の概要図

(1) 小さな地球の構造

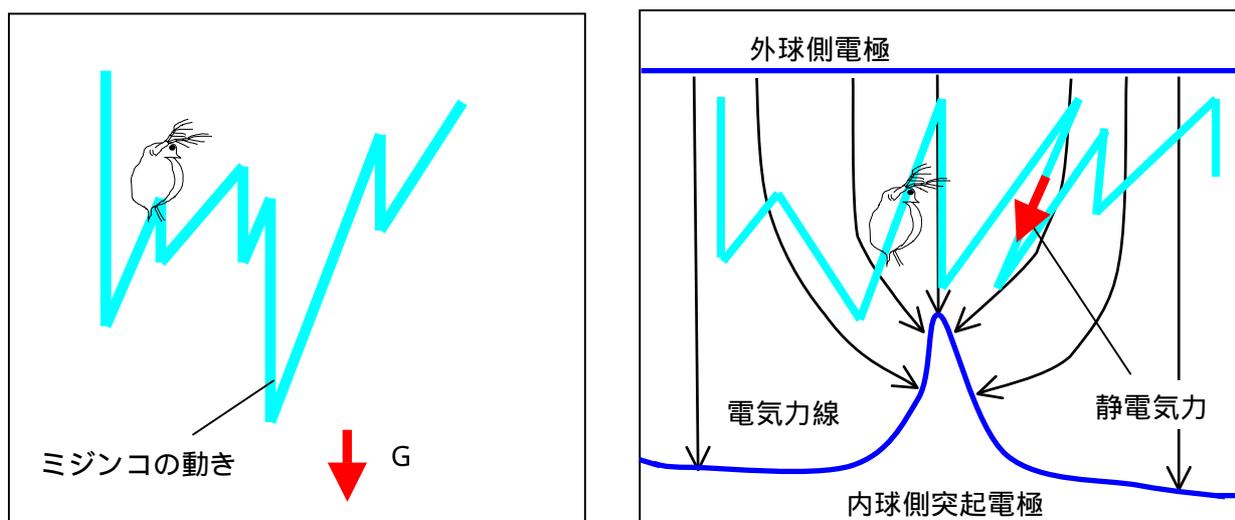
図4のような、プランクトン観賞用の小型水槽「ミジンコが棲む小さな地球」を制作する。主要部は地球儀の表面を防水加工した内球、それと同心のガラス製の外球（直径約30cm）から成り立つ。内球と外球の間に数センチメートル程度の隙間に水を入れ、プランクトンを飼育する。内球には図のような突起が多数配置されている。この突起は透明なガラス製で、その表面と地球儀表面には導電性のITO膜（ITO（ In_2O_3 : Sn）とは導電性が大きい透明薄膜）が付けられている。また、外球も透明ガラス製で、その内表面全体に導電性のITO膜が付けられている。つまり、外球の内面全体が一つの電極、それと対になる突起を含む内球表面がもう一つの電極ということである。右の拡大した図に示すように、この電極間に電圧を印加した場合、突起先端付近に電界が集中し電界強度が強くなる。更に、高周波の交流電圧を印加すると付近のプランクトンに対し誘電泳動力が働き、突起電極の先端方向へ引力が働く。すなわち、プランクトンはこの力を重力と勘違いしてくれる。水の浄化には光触媒付のフィルタを用い、水垢が増えたときに紫外線（UV）ランプでこれを分解除去する。また、小型カメラでミジンコの様子写し、を拡大映像がモニタ画面に写される機構などが盛り込まれている。

(飼育するプランクトン)

使用するプランクトンは、外部から観察が可能な心臓や消化器などの基本的な器官を備え、人の手のような触角をもったミジンコが人間の心の癒しには最適と思われる。

(2) 「小さな地球」で予想されるミジンコの動き

ミジンコは地球上で、図5(a)のように重力によって下降し触覚を動かす度に上昇するホッピング運動をする。一方、図5(b)は宇宙の無重力下にある「小さな地球」の突起電極付近のミジンコの動きを予想したものである。重力の代わりに、突起電極先端方向に誘電泳動力が働き、地上とほぼ同じホッピング運動をすることが予想される。つまり、地球と同様な重力環境下にあると勘違いして動くことが期待できる。



(a) 重力下での動き

(b) 予想される不平等電界下での動き

図5 地上（重力場中）と「小さな地球」の電界中で予想されるミジンコの動き

(3) 「小さな地球」のその他の構造

水質浄化システムを内蔵し、「小さな地球」内の水質環境（必要なバクテリアの数など）を一定に保つことができる。また、浄化用のフィルタには光触媒が付いており、UVランプで掃除が簡単に行える。

ミジンコの餌となる植物性プランクトンなども、ミジンコとともに育てる。

（餌を与える必要がなくなり、「小さな地球」を完全に密閉し続けることができる。）

高周波交流電源を内球の中に収めることで、スペースの有効活用を実現している。

カメラを備え、拡大映像で常にミジンコの状態を確認することができる。

6. 将来の夢

「ミジンコが棲む小さな地球」が宇宙飛行士に癒しを与えることを期待する。また、将来的に技術が進み、海水中での誘電泳動が可能となれば、海水棲プランクトンを飼育できる。それを餌とし、魚の養殖が宇宙で可能となる。宇宙で刺身や寿司を食べることもできるかもしれない。

7. まとめ

将来、人間が地球から遠く離れた宇宙を旅する場合、宇宙飛行士に視覚的な癒しを与える、地球をイメージしたプランクトン観賞用小型水槽「ミジンコが棲む小さな地球」を考えた。宇宙でミジンコが重力と勘違いするように、静電気力（誘電泳動力）を利用することに着目した。地上の実験において、不平等な交流電界下で、誘電泳動力がミジンコに対して有効に働くことを確かめた。将来、我々の提案が実現し、宇宙旅行の必需品となることを期待する。

参考文献

- 1) 伊藤友仁 「交流電界中における水棲微生物の挙動」 静電気学会論文集 p.345 (1999)
- 2) 花里孝幸 「ミジンコその生態と湖沼環境問題」 名古屋大学出版会 (1998)
- 3) 上田寛ほか 「静電気辞典」 朝倉書店 (1988)