

## パラボリックフライトを利用した微小重力下における 三次元磁力線の観察の試み

東京理科大学理学部第二部物理学科      ○渥美 智也(Tomoya ATSUMI)  
東京理科大学理学部第二部物理学科      ◇堤まりな(Marina TSUTSUMI)  
東京理科大学工学部工業化学科      ◇中嶋彩夏(Ayaka NAKAJIMA)  
東京理科大学工学部工業化学科      ◇渡邊ゆう子(Yuko WATANABE)

### 概要

物理現象を示した図は、物理を学ぶときに理解を助けてくれる。良い例として、鉄粉を利用して磁場を可視化する図がある。人間の目で、磁場を直接見ることはできないが、鉄粉を利用することで可視化できる。しかし、本来三次元で可視化されるべき磁場は、鉄粉が重力の影響を受けてしまうために、2次元の可視化に制限されてしまうのである。そこで、パラボリックフライトという飛行技術を利用して人工的に微小重力空間を作り出し、三次元磁力線を観察してみようというのが本実験の主旨である。

## 1 序論

### 1-1 導入

学問の本質を理解することはとても重要である。物理学は、自然現象の因果関係を数式を用いて理解する学問である。そのため、式自体の意味を理解することは大変重要である。

物理学の理解の容易さは分野によって異なる。例えば、力学と電磁気学を比較する。力学は、物体の運動を記述する分野である。力学の特徴として、巨視的視点から物体の運動を理解することができる。電磁気学は、電磁場と言われる空間の歪みを記述する。電場や磁場は、目で見ることができない。電磁場の原因となる電荷や電流の振る舞いを記述するためには、微視的視点が必要である。電磁気学に関わる物理現象の振る舞いは、力学よりも図や写真として収めるのは難しい。また、抽象的な数学を用いるため物理現象と数式を対応させるのが、力学よりも難しい。そのため、図は電磁気学を理解する上で非常に有効であると考えている。

19世紀後半、マクスウェルは電磁気学に関する4つの方程式をまとめた。方程式を定式化して、電磁気学は様々なものに応用され始めた。電磁気学が始まりとされる“場の概念”

と“近接作用の概念”は、電磁気学の深い理解を促進するだけでなく、物理学の発展にも著しい影響を与えた。この二つの概念の中でも、特に“場の概念”が物理学を大きく発展させたと言っても過言ではない。しかし、“場”は、目に見えない、かつ抽象的な数学を用いるので理解するのが難しい。

本実験の目的は、磁場の三次元構造を観察することで“場の概念”と“近接作用の概念”の理解を促進するような中高生対象の教材を開発することである。

“近接作用”は、岩波書店 電磁気学 I によると「電荷の間に力が働くのは、間の空間にある種の変化が生じ、それが力を伝えるからだと考えた。このような近接作用の考え方を発展させ...」と記述されている。すなわち、近接作用とは、“場”が電荷や磁性体に力を伝えるという考え方である。

## 1-2 本実験の目的

磁場の三次元構造の動画を撮影することで、場の概念と近接作用の概念の理解を促進する教材を開発することである。

## 1-3 三次元観察の現状と今回の実験提案

磁場を見るのに東京書籍の改訂「物理基礎」によれば、砂鉄を用いた実験が紹介されている。しかし、教材に記載されている実験環境では、砂鉄が地球の重力の影響を受けるため、磁力線を観察するときには二次元に制限されている。しかし、本来、磁場は三次元で存在している。

磁場を三次元で見るために様々な方法が試されてきた。主な実験は2つある。1つ目は、立体的なコンパスが入った容器を複数用意し、立体的に並べる。容器の中心に永久磁石をおくことで三次元磁場を観察する方法である(参考文献[1])。(図1参照)

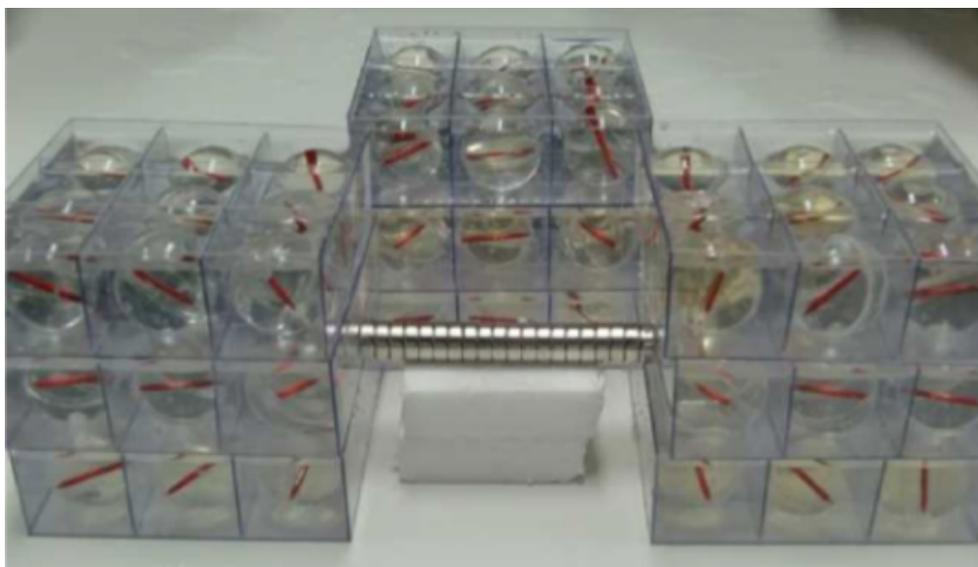


図 1 複数のコンパスを利用した三次元磁力線の観察

2つ目は、油の入った透明な容器の中に鉄粉を入れることで三次元磁力線を観察するという方法である。(図2参照)



図2 油を使った三次元磁力線の観察【引用: <https://www.3bs.jp/physics/magnetic/u8491925.html>】

これらの観察方法には2つの問題がある。1つ目は、液体の粘性抵抗が砂鉄の運動を阻害するため、空気中と同じような抵抗が少ない状態で磁場の変化を観察することが難しいという点である。2つ目は、重力によって砂鉄が2次元に制限されてしまうために、磁場の構造も二次元に制限されてしまう点である。これらの二つの点を解決するために、私たちは微小重力空間で実験することを提案する。

## 2 本論

### 2-1 パラボリックフライトの説明

微小重力実験は、パラボリックフライトを利用して行う。パラボリックフライトとは、飛行機が放物線の軌跡を描くような飛行パターンのことである(図3参照)。実験装置を積

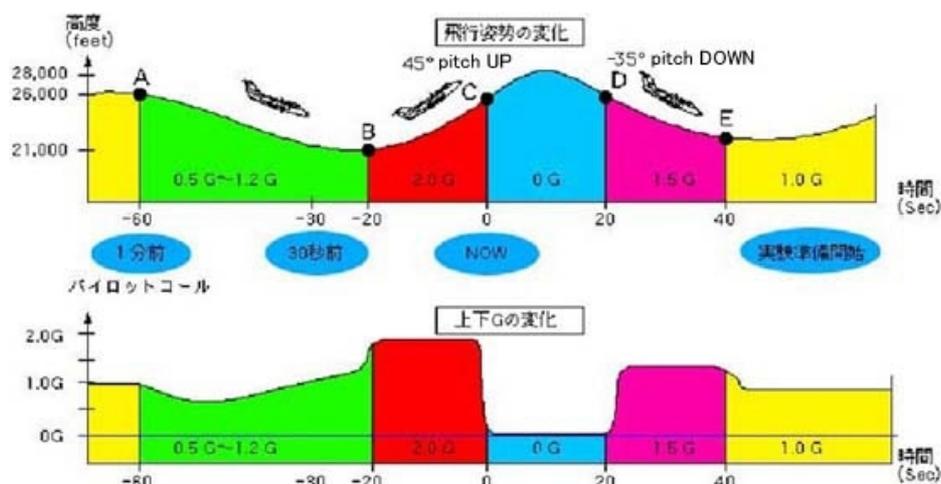


図3 パラボリックフライトの様子【引用: <http://iss.jaxa.jp/education/parabolic/experiment.html>】

んだ飛行機でパラボリックフライトを行うことで、装置の周りに 20 秒程度の微小重力状態を作り出すことができる。この 20 秒の間に三次元磁力線を観察することが本実験の目標である。

表 1 実験装置の材料

名前	数	特徴
透明アクリル板	3	薄さ2mm 中央に8mmの穴
白アクリル板	3	薄さ2mm 中央に8mmの穴
発泡スチロール	1	
ベルクロテープ	1	
プラスチック用接着剤	1	
鉄心	1	直径6mm 長さ180mm
鉄粉	1	50g
銅線	3	直径0.6mm 長さ30m
バッテリーケース	2	単三用バッテリーケース
ダルマスイッチ	1	
GoPro(HERO4)	2	
GoPro retainer	1	
GoPro vest	1	

## 2-2 実験装置の説明

飛行中の機内で実験を行うということで、実験装置の縦横高さの合計の長さが 800mm 以内、5kg 以下の重さ、乾電池を利用するなどの制限があった。そのような条件下のもと実験装置を自作した。(図 4, 表 1 参照)

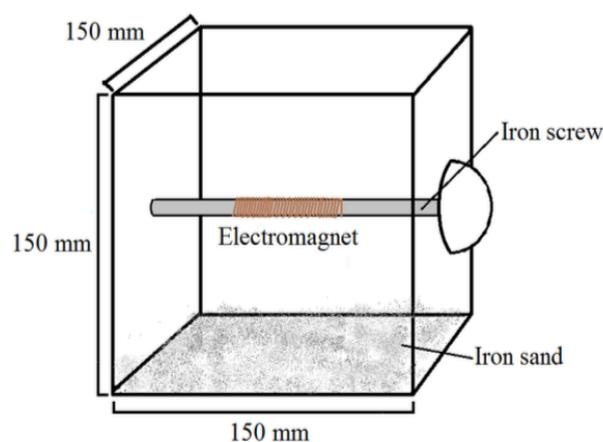


図 4 実験装置

今回の実験では、電磁場の生成消滅の様子を確認するために電磁石を採用した。観測結果を三次元で確認するために GoPro(HERO4)を正面と上に配置し、動画を撮影した。(図5参照)

6枚の亚克力板をプラスチック用接着剤で接着することで完全に密閉した容器を作成した。容器の中には、銅線が約2000回巻かれた電磁石を中心に配置し、50gの砂鉄を封入した。容器の側面には、バッテリーケースが装着されている。また、微小重力環境で実験しているときに装置自体が実験者の手を離れてしまう事態を防ぐためにベルクロテープを側面に貼った。そして、実験時にはそのベルクロテープを座席のシートベルトに巻くことで万が一の場合に備えた(図6参照)。

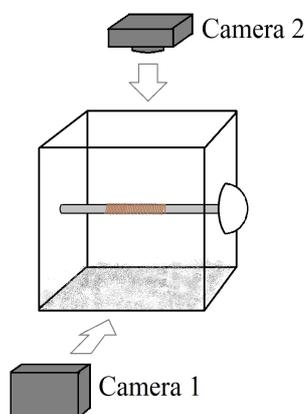


図5 カメラ配置

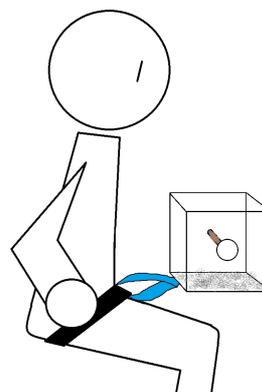


図6 ベルクロテープの装着

### 2-3 実験説明

本実験は、微小重力空間が維持される20秒の間で行われた。観測時間が非常に短いことから、実験時の作業をなるべく少なくするように努めた。同時に、万が一実験が失敗した時のためのバックアッププランを複数用意した(図7参照)。

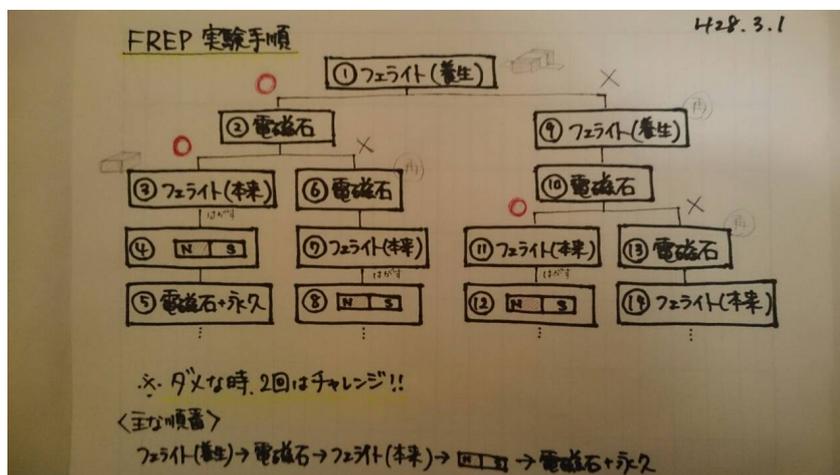


図7 バックアッププラン

本実験には、観測者が二人いる。説明のために観測者 A と観測者 B とする。観測者 A はあらかじめ、GoPro vest を使って胸に GoPro を装着する。その状態で実験装置を持つことで正面から三次元磁力線の観測ができる。観測者 B は上から撮影するために、GoPro に自撮り棒を装着して、上から三次元磁力線を観測する。

## 2-1 実験手順

微小重力になる前から GoPro で動画の撮影を開始する。次に、微小重力状態を確認してから、観測者 A が実験装置の側面に配置されたダルマスイッチの電源を ON にする。それによって、磁場を生成する。箱内に砂鉄が分布するように箱を揺らすことで、空間に砂鉄を分布させ、三次元の磁力線を観察する。微小重力状態の終了を確認してから、電磁石のスイッチを OFF にする。これが、1 回分の実験の流れである。

本実験では、観測者 A は堤、観測者 B は山本が担当した。

## 2-4 実験結果

本実験は 2016 年 3 月 1 日ダイヤモンドエアサービス社の MU-300 を使って行われた。およそ 1 時間半のフライトで合計 7 回の微小重力実験を行った。砂鉄を用いた三次元磁力線の実験は全 7 回のうち 3 回である。それぞれの実験結果について述べる。

1 回目の実験では、スイッチを入れておよそ 3 秒の間に磁力線を観察できた。(図 6 参照) 時間とともに、砂鉄が両極に集中した。



図 8 1 回目の実験

2回目の実験では、装置自体を90度回転させて、電磁石が縦になる配置にした。1回目と同様に、最初の数秒間は三次元磁力線が確認できたが、時間とともに両極に砂鉄が集中した。



図 9 2回目の実験

3回目の実験では、1回目と同じように電磁石を横になるように配置をし、1回目と同様の実験結果が得られた。



図 10 3回目の実験

本実験を通して、空气中で三次元的に磁力線を観察することに世界で初めて成功した。また、電源スイッチのON/OFFの切り替えで場の有無を制御することも撮影できた。し

かし、実験回数を重ねるごとに磁場の観察が難しくなった点が明らかになった。

## 2-5 実験の問題点と解決法

本実験で明らかになった問題は、実験中に両極に砂鉄が集まってしまうという点である。この問題は、砂鉄がどのように磁化されるのかというメカニズムに関係していると考えている。

簡単のために、S極付近に存在する砂鉄が磁化する様子を考える。観測者がスイッチの電源を入れると、電流が回路の中を流れ、電磁石の周囲に磁場が生成される。磁場の生成によって、砂鉄のS極に近い面にN極、反対側にS極が誘起される。そして、電磁石の磁場の影響を受けて電磁石のS極に集まり始める。電磁石のN極付近の砂鉄の様子も同様である。これが、極に砂鉄が集中してしまうメカニズムだと考えた。

このメカニズムを仮定して、私たちは交流電源を使うことを提案する。交流電源を使うことで電磁石の極を高速で入れ替えることができる。結果として、砂鉄を磁化した場所に留まらせることができるだろうと考えた。その結果、長時間の間、三次元磁力線の形を維持することができると考えている。

## 2-6 今後の展望

本実験で三次元の磁場の存在を確認した(図6,7,8参照)。教材を開発するにあたって、三次元の磁力線の形を保つことは非常に重要である。磁力線は磁場の構造を可視化しているだけでなく、磁力線の本数という視点から見ると磁場の大きさを表している。磁場に関するガウスの法則によると磁力線の合計本数と磁場の大きさには関連がある。電気力線と電場も同様である。磁力線の形を一定に保つことができれば、磁力線の本数を数えることができるため、磁場に関するガウスの法則を実験的に確かめることができると考えている。

## 3 結論

実験を通して場の概念と近接作用の概念の理解を促進する教材の開発が可能であることがわかった。今回の実験で、三次元の磁力線の観察ができることがわかったが、問題点も浮上した。問題点は、砂鉄が微小重力下で浮遊しているときに、電磁石の磁場によって磁力線を形成するが、時間とともに両極に砂鉄が集中してしまう点である。この問題は、電源装置を交流にすることで解決できると考えている。この問題点を解決できれば、はっきり磁力線を観察ができるようになるだろう。そして、磁力線の本数が数えることができるようになれば、磁場に関するガウスの法則を実験で確かめることができると考えている。

## 参考文献

- . [1] Nakamoto, G. and Nakano, T.: Development of a teaching material for three dimensional visualization of magnetic field, *Bulletin of Faculty of education, Ehime University*, 2015, pp. 163-168 (in Japanese).
- . [2] Umeda, T., Ishii, Y., and Maehara, T.: Development of a teaching material for three dimensional visualization of magnetic field, *Bulletin Part2 of Graduate school of education, Hiroshima University*, **60**(2011), pp. 15-20 (in Japanese).
- . [3] Novespace, <http://www.novespace.fr/en/vol.html> (accessed April 23).
- . [4] Kunitomo, M. and 10 others: *Physics*, Su-ken Publishing, Japan, 2012, pp.266-269.

本実験は、東京理科大学が主催する宇宙教育プログラムのパラボリックフライト実験で行われました。また、昨年、愛媛県松山市で開催された ISTS 31th にて研究代表者の渥美が本実験成果を口頭発表しました。

### 【自己紹介】

名前: 渥美 智也

1996年12月24日生まれ。東京都立科学技術高等学校卒業、東京理科大学4年次に在籍中(卒業予定)。現在は宇宙物理学系の研究室に配属され、次元等の基礎物理の研究をしたいと思っている。大学院は、物理学ではなく芸術系に進学したいと考えている。科学(物理学)と芸術と情報(プログラミング)を学べる教材を開発し、日本の教育を変えたいと思っているとか... とにかく、好奇心だけは誰にも負けたくないらしい。

Twitter に Processing や openFrameworks の作品を up してます。

フォローはコチラ [@atsumi\\_tomoya](https://twitter.com/atsumi_tomoya)