

第22回衛星設計コンテスト

事務局使用欄
受付番号

年 月 日

アイデア概要説明書

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） 微小重力学習システムの開発			
作品名 副題（これは公式文書では省略する場合があります） 体験と理論の融合			
	氏名(フリガナ)	学校名、学科	学年
代表者(正)	清水 佳祐 (シミズケイスケ)	和歌山県立海南高等学校教養理学科	2年
代表者(副)	佐々見 和也 (ササミカズヤ)		2年
メンバ1	上野 大和 (ウエノ ヤマト)		2年
メンバ2	川尻 悠真 (カワジリユウマ)		2年
メンバ3	谷口 陽亮 (タニグチヨウスケ)		2年
メンバ4	西本 太一 (ニシモトタイチ)		2年
メンバ5	福本 大智 (フクモト ダイチ)		2年
メンバ6			
メンバ7			
メンバ8			

2. アイデアの概要（プレスリリース等で使用するのので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

「宇宙ステーション内部は、無重力である」ということがよく話題になる。しかし、「なぜ無重力になるのか」という疑問を持つ人も少なくない。そこで、実験・観察を通して地球周回と微小重力の関係を楽しく学ぶ、体験型の微小重力学習システムの開発を行った。本システムは、重力という身近でありながら実感しにくい力の観察・測定、自由落下による微小重力空間の形成、国際宇宙ステーションの観察・速度算出を通し微小重力について実感的な理解を得ることをめざした。

3. 目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

(a) 目的（今回考えたアイデアを何に利用するか等）
「宇宙ステーションの内部はなぜ無重力なのか」と不思議に思う人も少なくない。そこで、実験・観察を通し、宇宙ステーションや衛星の地球周回と微小重力の関係を体験的・理論的に学ぶプログラムの開発をめざした。本システムを活用すると、座学では実感しにくい地球周回と微小重力の関係を自ら見て、自ら考えて理解することができる。また、国際宇宙ステーションの観察、速度の算出を通し、衛星の速度、飛行高度など衛星設計の基盤を学ぶことができる。

(b) 重要性・技術的意義等(ex:宇宙空間で利用する理由、他にない技術など)
本システムを活用すると、地球周回衛星等の理解にかかせない、地球周回運動と微小重力の関係について学ぶことができる。技術的には、速度センサー、加速度センサーなどの機器を使用した測定を採用、視覚的な観察と測定による正確なデータに基づく理論的な解釈が融合できるように工夫した。例えば、微小重力形成実験で、ボールの浮かび上がりが微小重力によるものであることを確認するため、加速度センサーによる測定を行った。また、宇宙ステーションの実際の速度算出と物理学の公式から導き出される理論値を比較、飛行速度など衛星設計の基盤を理論・実践から学べるようにした。

4. アイデアの概要

※ミッション全体の構成・ミッション機器の形状・質量・機能・運用軌道など、図を使用するなどして分かりやすく説明して下さい。

宇宙ステーション、地球を周回する衛星等で微小重力環境が観察される理由を学ぶ、体験型の学習プログラムを開発を行った。

(1) 重力について学習する。

① 重力について視覚的に学ぶ

高所より自由落下するボールを連写モードで撮影、物体は加速していることを視覚的にとらえ、地球上の物体には重力という力がはたらいていることを理解する。

② 重力について理論的に学ぶ

ボールを速度センサー上部から自由落下させる。
 上のセンサーが測定した速度 V_1 [m/s]、下のセンサーが測定した速度 V_2 [m/s]、センサー間の距離を L [m]とする。
 以下の式に代入し、重力加速度を算出する。

$$V_2^2 - V_1^2 = 2gL$$

測定結果から、物体の種類や大きさに関係なく、地球上の物体には同じ大きさの重力加速度がはたらいていることを学ぶ。

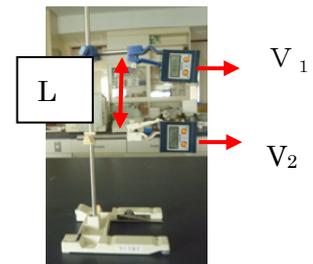


図1 重力加速度測定装置

(2) 自由落下中の物体の加速度を測定する。

ボール、デジタルカメラ、加速度センサーを搭載した容器を高所から自由落下させる。デジタルカメラをビデオモードにし、ボールの様子を撮影する。加速度センサーで落下中の加速度を測定する。

(加速度センサーはZ軸が鉛直方向になるように設置した)

ビデオカメラ撮影で、落下中にボールが浮かび上がる様子が確認された。それが、微小重力によるものであることを確認するために加速度センサーでの測定を行う。結果、自由落下前には 9.8m/s^2 であった加速度が、自由落下時に 0m/s^2 近くになることが分かる。

物体にはたらく重力と鉛直上向きの慣性力がつりあい、加速度が 0m/s^2 になったといえる。これにより、自由落下している物体の内部は微小重力になることを学習することができる。

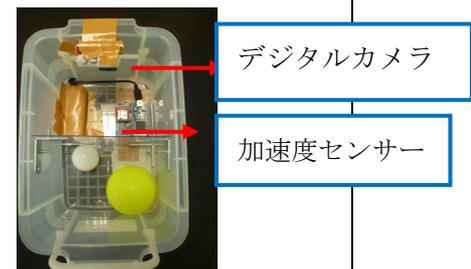


図2 自由落下時、加速度測定装置

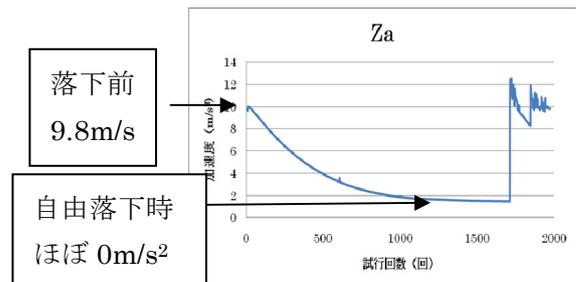


図3 自由落下時の鉛直方向の加速度

(3) 宇宙ステーション内部はなぜ微小重力か？

学習(1),(2)をもとに「宇宙ステーション内部はなぜ微小重力なのか」について考察を行う。

[考察 1]

地球を周回する物体には、重力がはたらく。したがって、その物体は自由落下しているといえる。自由落下しているとき、重力と逆向きに慣性力がはたらく。地球を周回している物体の場合、遠心力である。重力と遠心力がつりあうことにより、物体の内部は微小重力となる。

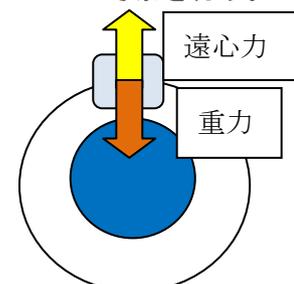


図4 遠心力と重力のつり合い

[考察 2]

物体は、軌道の接線方向に移動している。この移動とともに物体は自由落下するために、常に円軌道上の運動を維持する。この等速円運動が保たれるとき、重力と遠心力がつりあい微小重力が形成される。

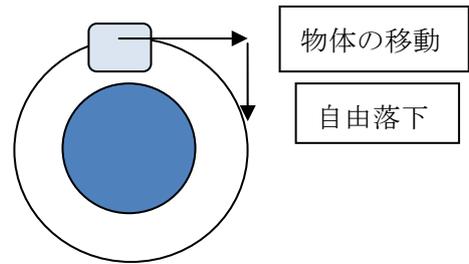


図 5 物体の移動と自由落下

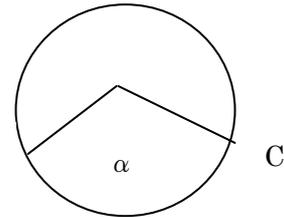
(4) 国際宇宙ステーションはどのような速さで運動しているか？

「重力とつりあう遠心力を得るためには、どれくらいの速さで地球を周回しなければならないのか」周回速度は、高校物理の公式を使用しても算出することはできる。しかし、国際宇宙ステーションの運動を実感的に学習できるように、測定により算出を行うプログラムを考案した。

[算出方法]

観測地点 B, C 間の距離を L[km], A, B 間の角度を α° とすると、

$$L = 2\pi (R+H) \times \frac{\alpha}{360} \quad (R[\text{km}] \text{ 地球半径 } H[\text{km}] \text{ 飛行高度})$$



B, C 地点における天体の子午線通過時間の差を $\Delta t[\text{s}]$ とすると速度は、

$$V = \frac{L}{\Delta t} \text{ となる。}$$

実際に、2014/6/3 の和歌山市と富山市の測定データを使用し算出すると $V=7.87\text{km/s}$ となり、

物理学の公式 $V = \sqrt{\frac{GM}{R+H}}$ から得られる理論値 7.68km/s とほぼ等しい値が得られた。

この学習により、地球を周回している天体はその軌道を維持するために 7.87km/s もの速さで移動していること、その速さで周回したとき重力と遠心力がつりあい微小重力となることを実物を通して学習することができる。

5. 得られる成果

※宇宙で利用することにより、どのような効果があるかなど。

この学習プログラムを利用すると、自分の目で確かめ、感じながら体験的に宇宙ステーション等で観察される微小重力について理解することができる。重力、微小重力形成、宇宙ステーションの運動の考察、国際宇宙ステーションの速度の算出と微小重力の検証と体系立てたプログラムを工夫しているため、スムーズに学習が進められる。本システムで学習した、国際宇宙ステーションの高度と速度の算出は、衛星設計における高度や速度設計に役立つと考えられる。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

※「ここは新しいアイデアである」という部分や、このアイデアによって世の中のここに役立つなど、特に主張したい箇所。

単なる体験だけではなく、光学機器やセンサー類を活用した実験を通して、体験と理論の融合を図り、理論に裏付けられた学習システムの開発を試みた。この学習プログラムを活用すると、体系的に宇宙ステーション内で微小重力が観察される理由を学ぶことができる。また、学んだ結果は、衛星設計における、高度、周回速度の設定にも十分生かされると考えられる。本開発において、宇宙に興味のある他の人達と協力し、宇宙ステーションの速度の測定を行った。この経験は、衛星設計、天体観察等における協力が今後生かされると考えられる。

以上

アイデアに関する説明資料

1. 学習システム開発内容

(1) 重力加速度についての学習

① 地球上の物体には重力がはたらいっていることが視覚的に理解できる教材の開発を行った。

高所からボールを自由落下させ、デジタルカメラの連写モードで撮影した。今回は、3階の渡り廊下からサッカーボールを落下させ、0.25sに1回のスピードで連写撮影した。

右図に示すように、一定時間毎のボールの変移が増加していく、すなわちボールは加速していることが容易に理解できる。ボールの加速より、物体には鉛直下向きに重力がはたらいっていることが理解できる。



図1 重力加速度の観察

② ①の重力を理論的に裏付けるために重力加速度を測定する教材の開発を行った。

ボールを速度センサー上部から自由落下させる。

上のセンサーが測定した速度 V_1 [m/s]、下のセンサーが測定した速度 V_2 [m/s]、センサー間の距離を L [m] とする。以下の式に代入し、重力加速度が算出される。

$$V_2^2 - V_1^2 = 2gL$$

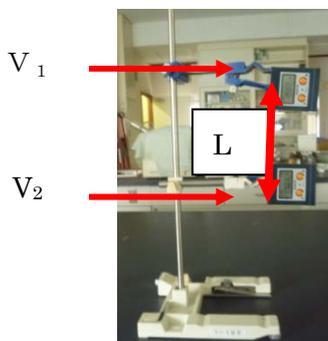


図2 重力加速度の測定装置

白いボール

	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	加速度(m/s ²)
1	1.88	2.55	9.69
2	1.71	2.45	9.94
3	1.62	2.36	9.82
4	1.60	2.35	9.88
5	1.80	2.47	9.54
		平均	9.81

ゴルフボール

	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	加速度(m/s ²)
1	1.43	2.24	9.91
2	1.27	2.13	9.75
3	1.64	2.37	9.76
4	1.70	2.41	9.73
5	1.70	2.43	10.05
		平均	9.84

黒いボール (半径 2.0cm)

	V_1 (m)	V_2 (m/s)	加速度(m/s ²)
1	1.22	2.11	9.88
2	0.99	1.98	9.80
3	1.67	2.39	9.74
4	0.68	1.85	9.87
5	1.52	2.29	9.78
		平均	9.81

黒いボール (半径 1.5cm)

	V_1 (m)	V_2 (m/s)	加速度(m/s ²)
1	1.54	2.30	9.79
2	1.44	2.24	9.81
3	1.51	2.29	9.88
4	1.03	2.00	9.80
5	1.28	2.14	9.80
		平均	9.80

図3 加速度測定

各ボールで5回の試行を行い、その平均値をとる。今回の実験では、いずれのボールでも加速度は 9.80m/s^2 でほぼ等しい値が得られた。したがって、地球上の物体には、種類、大きさにかかわらず、同じ 9.8m/s^2 の加速度がかかることが理解できる。すなわち、地球上の全ての物体には重力がかかっていることを学習することができる。

(2) 自由落下時の加速度測定

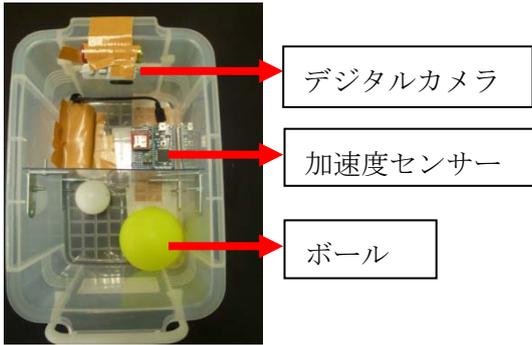


図4 微小重力形成装置



図5 微小重力形成実験風景

デジタルカメラ、加速度センサー、ボールを搭載した容器を自作し、高所より自由落下させる。デジタルカメラで自由落下中のボールの様子を撮影する。また、加速度センサーで鉛直方向の加速度の測定を行う。鉛直方向がZ軸になるように設置、測定を行う。今回は、校舎4階から装置を自由落下させた。

結果、自由落下中にボールが浮かび上がる様子が観察された。

加速度センサーでの測定の結果、自由落下前には 9.8m/s^2 であった加速度が、自由落下中に 0m/s^2 になることが分かった。

自由落下中に、鉛直下向きの重力と逆向きの慣性力が釣りあい加速度が 0m/s^2 になったといえる。

これより、自由落下する物体の内部は微小重力になることが理解できる。

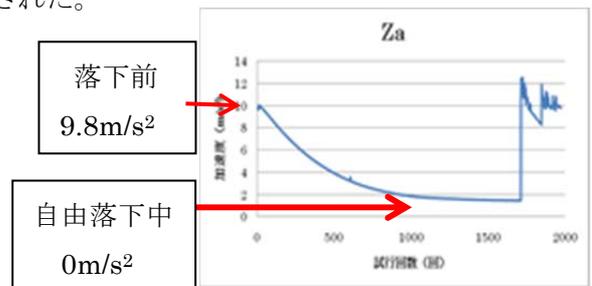


図6 自由落下時の鉛直方向の加速度

(3) 宇宙ステーション内部が微小重力なることの考察

(1)(2)での学習内容を活用し、宇宙ステーション内部が微小重力になる理由について考察を行う。

[考察 1]

地球を周回する物体には、重力がはたらく。したがって、その物体は自由落下しているといえる。自由落下しているとき、重力と逆向きに慣性力がはたらく。地球を周回している物体の場合、遠心力である。重力と遠心力が釣りあうことにより、物体の内部は微小重力となる。

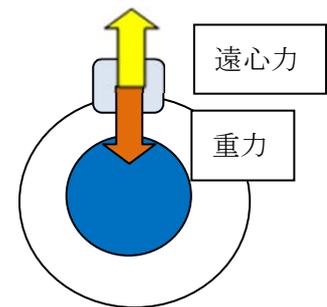


図7 遠心力と重力の釣り合い

[考察 2]

物体は、軌道の接線方向に移動している。この移動とともに物体は自由落下するために、常に円軌道上の運動を維持する。この等速円運動が保たれるとき、重力と遠心力が釣りあい微小重力が形成される。

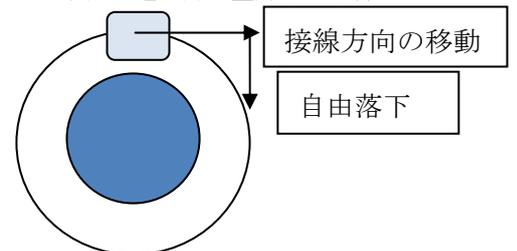


図8 天体の運動と自由落下

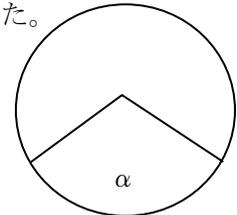
(4) 国際宇宙ステーションはどのような速さで運動しているか?

「重力とつりあう遠心力を得るためには、どれくらいの速さで地球を周回しなければならないのか」周回速度は、高校物理の公式を使用しても算出することができる。しかし、国際宇宙ステーションの運動を実感的に学習できるように、測定により速度算出を行うプログラムを考案した。

[算出方法]

観測地点 B, C 間の距離を L[km], A, B 間の角度を α° とすると、

$$L = 2\pi (R + H) \times \frac{\alpha}{360} \text{ となる。 (R[km] 地球半径 H[km] 飛行高度)}$$



B, C 地点における天体の子午線通過時間の差を Δt [s] とすると

図 9 B, C 間の距離と角度

速度は、 $V = \frac{L}{\Delta t}$ となる

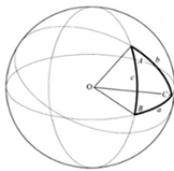


図 10 曲面三角法

	子午線通過時刻	緯度	経度
和歌山市	20:59:30	34.33	135.17
富山市	21:00:30	36.70	137.21

図 11 国際宇宙ステーション子午線通過時刻(2014/6/3)

実際に、2014/6/3 の和歌山市と富山市の測定データを使用し算出した。

曲面三角法を用い、二地点間の角度 α は、 $\cos a = \cos b \times \cos c + \sin b \times \sin c \times \cos A$ で表される。

2 地点間の緯度 $\varphi 1, \varphi 2$ 、経度 $\lambda 1, \lambda 2$ をあてはめると以下の式になる。

$$\cos a = \cos(90^\circ - \varphi 1) \times \cos(90^\circ - \varphi 2) + \sin(90^\circ - \varphi 1) \sin(90^\circ - \varphi 2) \times \cos(\lambda 1 - \lambda 2)$$

実際のデータをあてはめ算出すると

$$\cos a = \cos 55.77^\circ \times \cos 53.30^\circ + \sin 55.77^\circ \times \sin 53.30^\circ \times \cos 2.04^\circ = 0.9982 \text{ となり、}$$

和歌山市と富山市間の角度は 4.00° となる。この日の宇宙ステーションの高度は 415km 、地球の半径は 6356km である。これより、和歌山市、富山市間の距離 L(km) は以下のように求められる。

$$L = 2 \times 3.14 \times (6356 + 415) \times \frac{4.00}{360} = 472.46\text{km} \quad \text{子午線通過時間の差は } 60 \text{ 秒であるので、}$$

$$\text{宇宙ステーションの速度は、 } 472.46 \div 60 = 7.87 \text{ km/s} \text{ となり、}$$

物理学の公式 $V = \sqrt{\frac{GM}{R+H}}$ から得られる理論値 7.68km/s とほぼ等しい値が得られた。

この学習により、地球を周回している天体はその軌道を維持するために 7.87km/s もの速さで移動していること、その速さで周回したとき重力と遠心力がつりあい微小重力となることを、実物を通して学習することができる。

2. 本学習システムの有用性

- (1) 実験、観察を通し、視覚的に微小重力の仕組みについて学ぶことができる。
- (2) センサー類を用いた計測、算出などを通し、理論的、体系的に微小重力について学ぶことができる。
- (3) 国際宇宙ステーションの速さの実測を通し、実感的に微小重力について学ぶことができる。
- (4) 周回速度や飛行高度の理解は、宇宙における物体の運動の理解を深め、衛星設計などに役立つ。
- (5) 宇宙ステーションの速度測定は、複数で協力して行う。このような協力は、今後の衛星設計、天体観測などに役立つと考えられる。