

月面上であそぶ動くおもちゃものづくり教材の開発

松永 泰弘

(静岡大学学術院教育学領域)

Development of Moving Toys as Teaching Materials for Making and Playing on the Moon

Yasuhiro MATSUNAGA

Abstract

To enhance children's interest in space, educational materials involving the construction of moving toys designed for play and inquiry on the lunar surface have been developed. Assuming scenarios in which children play on the Moon using toy-based instructional materials previously created by the authors, this study seeks to elucidate the motion of such toys under lunar conditions. Furthermore, it compares the motion of toys on Earth and on the Moon, thereby clarifying the differences between these environments.

Key words: Moon, Moving toys, Teaching materials, Making, Playing, Inquiry

1. 緒言

平成 20 年 (2008 年) に成立した宇宙基本法¹⁾は、人類の宇宙への夢の実現のために、日本の宇宙開発利用推進を謳い、月その他の天体を含む宇宙空間の探査および利用において、国、大学、民間事業者等が相互に連携・協力し、宇宙開発利用の効果的な推進に必要な施策を講ずるものとして定められた。日本の宇宙政策は文科省中心の技術開発から国家戦略としての宇宙進出へと大きく転換し、その後の宇宙政策の基盤となった。令和 5 年 (2023 年) には、宇宙基本法第 24 条に基づき、宇宙安全保障構想を踏まえた新たな宇宙基本計画²⁾が閣議決定され、安全保障環境の急変と宇宙産業の構造変化を強く意識し、安全保障・産業・探査のすべてにおいて宇宙を国家戦略の中心に据える方向へ大幅な戦略転換を行った。宇宙政策委員会が策定した宇宙技術戦略^{3), 4)}では、日本の国家的な技術開発の指針として、衛星・探査・輸送・共通技術の 4 分野で、2030 年代までのロードマップが提示された。

一方、JAXA は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構法⁵⁾により 2003 年に設立され、宇宙科学に関する学術研究及び宇宙航空に関する基礎・基盤的な研究開発、人工衛星等の開発、打上げ、追跡および運用等の業務を総合的に行うことにより、学術研究の発展、宇宙科学技術および航空科学技術の水準の向上ならびに宇宙の開発及び利用の促進を図ることを目的としていたが、宇宙基本法制定とともに安全保障政策の一部を担う機関へと位置づけが変化した。幕張メッセで開催された「防衛・セキュリティ総合展示会 DEFENCE & SECURITY EQUIPMENT INTERNATION -AL (DSEI) JAPAN 2019」に陸域観測技術衛星「だいち 2 号」、また、「防衛装備技術国際会議/展示会 MAST Asia 2019」には、スペース・デブリ対策としての宇宙状況把握 (SSA) システムの解説パネルとともに、こどもたち

の宇宙への夢を育んできた「はやぶさ 2」の実物大模型を展示した⁶⁾。防衛省を戦略パートナーとして、月探査、宇宙輸送、衛星利用、宇宙状況把握、有人宇宙活動など、宇宙開発の取り組みを強化している⁷⁾。

文部科学省は、宇宙基本法を踏まえ、宇宙のフロンティアを拓き、安心・安全で豊かな社会の実現、産業振興、人類社会の発展、国際協力等を推進⁸⁾し、月面での持続的な有人活動を前提とした宇宙空間での生活の初期段階の到来を現実的な未来として想定している。また、将来の宇宙開発利用を支える人材の育成として、宇宙に関心を有する青少年の裾野の拡大に向けて、年齢層に応じたきめ細かな支援、小中学生に対しては宇宙分野への関心の向上を主眼とした教材開発の必要性を強調している⁹⁾。

このような背景のもと、宇宙への関心を高めるための教材開発、また、将来における月その他の天体を含む宇宙空間でのものづくり教育を準備するために、月面上であそび・探究する動くおもちゃものづくり教材の開発^{10), 11)}が行われてきた。これまでに開発してきた動くおもちゃものづくり・あそび・探究活動を月面上でのおもちゃの動作を空想し、探究活動などを実施することを想定し、月面上におけるおもちゃの運動に関する研究をさらに深め、振り子などの単純な運動から衝突を繰り返すおもちゃの複雑な運動まで、地球上と月面上で比較することで、月面上の運動を明らかにする。

2. 月面上の物体の運動

月面上での基本的な物体の運動について考える。月面と地球上との違いを重力加速度 g の値のみに限定されると仮定する。地球上の標準値は $g = 9.80665m/s^2$ 、月面上では $g = 1.6249m/s^2$ であり、6.035 分の 1 倍となる。単純化するために 6 分の 1 と近似する。

自由落下運動 (図 1) に関しては、式(1)の関係が成

り立ち、月面上の加速度、速度 v 、移動距離 y は6分の1の値、また、同じ高さ落下するのに要する時間は $\sqrt{6}$ 倍となる。

$$v = -gt, y = -\frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

同様に、放物運動(図1)において、月面上の最高到達点 s 、到達距離 h 、到達するのに要する時間 t ともに6倍となる。

長さ l の振り子(図2)の運動方程式と周期 T は

$$\ddot{\theta} = -(g/l)\theta, T = 2\pi\sqrt{l/g} \quad (2)$$

で与えられ、月面上の振り子周期は $\sqrt{6}$ 倍となる。また、最高到達高さ h と最下点速度 v にはエネルギー保存則

$$mgh = mv^2/2 \quad (3)$$

が成り立つ。ここで、 m は重りの質量である。式(3)より、同じ角度での静止状態を初期状態とすると、月面上での最下点での速度は $\sqrt{6}$ 分の1倍となることがわかる。また、最下点で同じ水平方向速度を初期条件とすると、最高到達点の高さは6倍となる。

角度 φ の斜面を転がる半径 R 、質量 m の円柱(図3)の運動方程式は

$$mgsin\varphi - F = ma, FR = I\ddot{\theta}, a = R\ddot{\theta} \quad (4)$$

で与えられる。ただし、 F は摩擦力、 a は円柱中心の x 軸方向の加速度、 θ は円柱の回転角であり、円柱の慣性モーメント I は次式で与えられる。

$$I = (1/2)mR^2$$

したがって、加速度 a 、角加速度 $\ddot{\theta}$ は次式を得る。

$$a = (2/3)gsin\varphi, \ddot{\theta} = (2/3R)gsin\varphi \quad (5)$$

同じ条件($\varphi=1^\circ$, $R=0.03m$)で、運動解析ソフトウェア Working model 2D を用いてシミュレーション解析を行う。地球と月面上の角速度の時間変化を図4に示す。

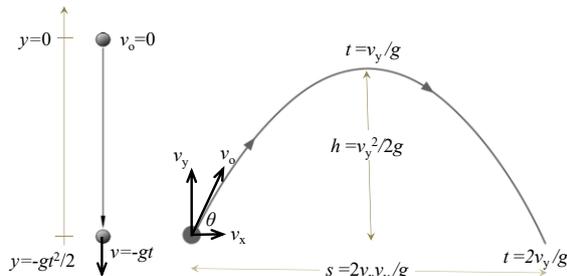


図1 自由落下運動と放物運動

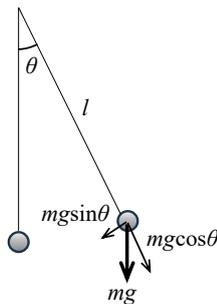


図2 振り子運動

す。角加速度の値は解析解式(5)と一致し、月面上の角加速度、角速度は1/6の値となる。また、同じ距離を転がるのにかかる時間は $\sqrt{6}$ 倍となる。

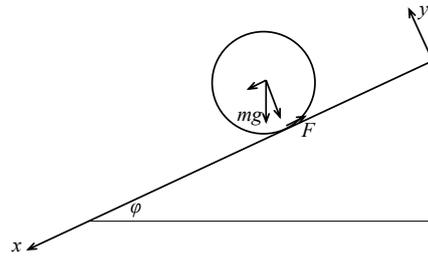


図3 斜面を転がる円柱

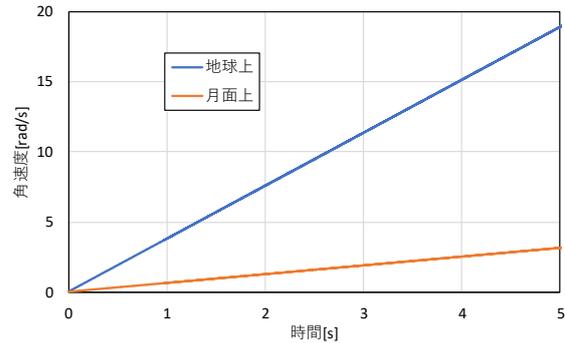


図4 地球と月面上の斜面を転がる円柱の角速度の時間変化 ($\varphi=1^\circ$ $R=0.03m$)

3. 月面上での動くおもちゃの運動

本章では、著者らが開発した幼児、小学生を対象とした科学的探究教材の運動について分析する。位置エネルギーを運動エネルギーに変換し、移動するものづくり教材について月面上の運動をシミュレーション解析ソフト Working model 2D により解析する。

3.1 偏心軸車輪模型

斜面を偏心軸の車輪が転がり動く偏心軸車輪模型¹²⁾を図5、6、表1に示す。偏心軸の後輪が接続棒で前輪とつながっている構造で、材料に t2.5 のMDF を使用し、レーザー加工で切断して部品を製作した。車輪の半径 30mm に対して、後輪軸の偏心量を 10mm と 20mm の2種類に設定する。

地球上での実験により、模型の地球上での運動を明らかにする。角度 1° の斜面に対して後輪軸の偏心量 20mm の模型車輪角速度の時間変化を図7(a)に示す。

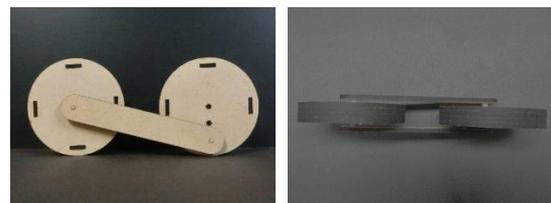


図5 偏心軸車輪模型(左)正面(右)上面

初期条件は車輪の間隔が最も離れた状態とした。実験で撮影した動画を 30fps の画像に分解し、CAD 上で車輪の回転角を測定した。実験結果とシミュレーション結果 (図 7(b)) は、動画解析の誤差を考慮するとほぼ一致した結果がえられたといえる。車輪の間隔が最も離れた初期状態から車輪間が近づく段階では前輪より

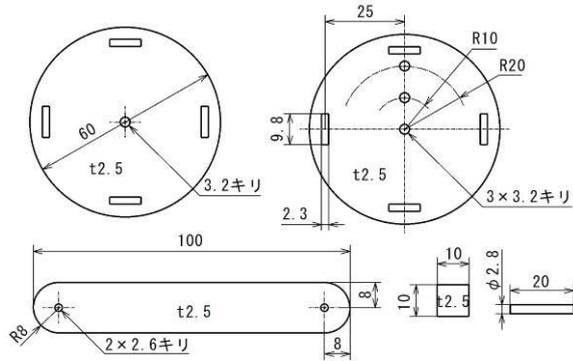
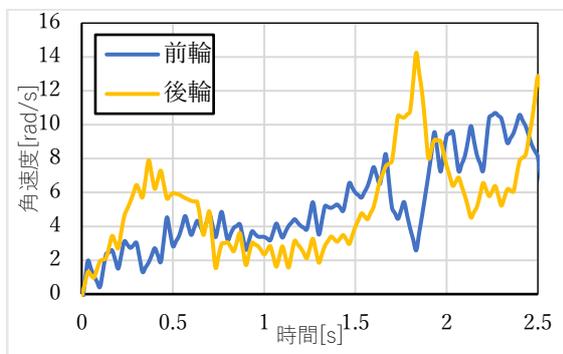


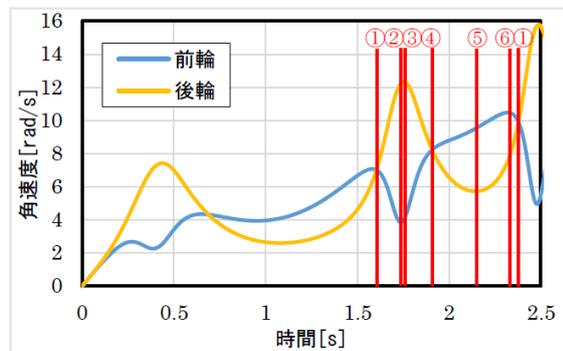
図 6 偏心軸車輪模型の部品 (JW-CAD)

表 1 偏心軸車輪模型の部品表

部品	材料	寸法[mm]	数	質量 [g]
前輪	MDF	$\phi 60 \times 2.5$	4	22.5
後輪		$\phi 60 \times 2.5$	4	22.3
連接棒		$100 \times 16 \times 2.5$	2	6.3
軸	竹ひご	$\phi 2.8 \times 20$	2	0.2
スペーサ	ストロー	$\phi 4.0 \times 1$	4	0.1



(a) 実験結果



(b) シミュレーション結果

図 7 偏心量 20mm の模型の角速度の時間変化

も後輪の角速度が大きくなり、最も接近した状態から車輪間が遠ざかる段階では前輪の角速度が大きくなる。

模型の運動について、シミュレーション結果を用いて各ステップ①～⑥における模型の状態を図 8 に、また、説明を以下に示す。

- ①：前輪と後輪の角速度が同一の値をとるとき、2つの車輪は最も離れている状態にある。
- ②：前輪の角速度が最小値をとるとき、後輪の偏心軸は底面に対して最下点の位置(6時方向)に到達する手前である。
- ③：後輪の角速度が最大値をとるとき、後輪の偏心軸は底面に対して最下点の位置(6時方向)を通り過ぎた直後にある。
- ④：前輪と後輪の角速度が再度同一の値をとるとき、2つの車輪は最も近い状態にある。
- ⑤：後輪の角速度が最小値をとるとき、後輪の偏心軸は底面に対して最上点(12時方向)に到達する手前の位置にある。
- ⑥：前輪の角速度が最大値をとるとき、後輪の偏心軸は 10 時方向の位置にある。

以上の運動を繰り返し、模型は加速する。

次に、月面上での模型の運動について、重力加速度を地球の 6 分の 1 で設定し、シミュレーション解析を行う。偏心量 20mm の模型の角速度を図 9 に示す。図 9 において、両輪の角速度が一致する状態 (図 8 のステップ①と④) のときの時間を 3 つのポイントで分析すると、月面上での時間は $\sqrt{6}$ 倍となることが明らかとなった。3 つの物体 (車輪と連接棒) の連動した運動であっても、円柱単体の運動と同様、同じ距離移動するのに要する時間は $\sqrt{6}$ 倍で一致することがわかる。ま

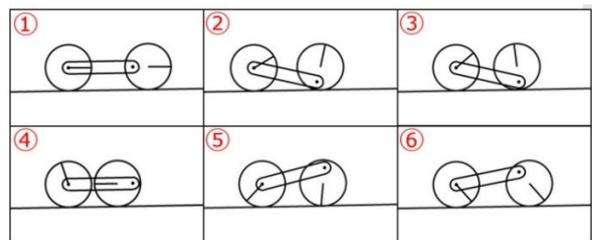


図 8 各ステップにおける偏心軸車輪模型の状態

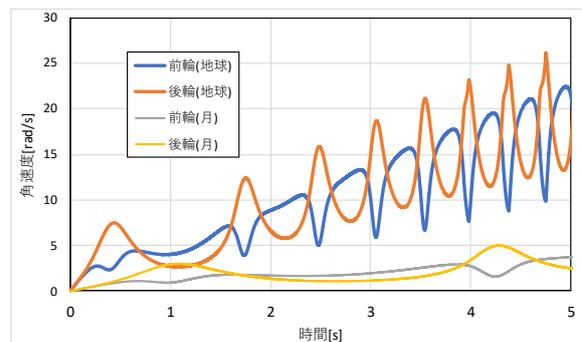


図 9 偏心量 20mm の模型の角速度の時間変化

た、両輪の角速度が一致するとき、月面上では角速度が $\sqrt{6}$ 分の1倍となることが明らかとなった。これは角速度を比較するときの時間が $\sqrt{6}$ 倍の値となっていることによる。角速度に関しても、円柱単体の運動と同様、1/6の値となるような運動をしていることが予測される。ここで、「となるような運動」と表現したのは、角速度が複雑に変化している運動を比較しているため、単純に同時刻で角速度を比較できないためである。偏心量 10mm の模型のシミュレーション結果を図 10 に示す。車輪の間隔が最も離れた初期状態から車輪間が最も近づくまで（ステップ①～④）の時間は、偏心量 10mm の方が長い、周期は偏心量 10mm の方が短いことがわかる。これは、初動時における接続棒の自重による回転モーメントが小さくなるためである。

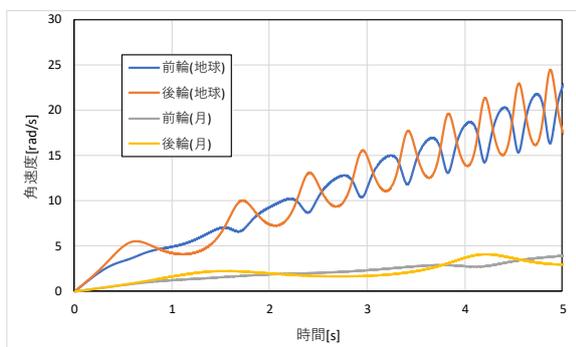


図 10 偏心量 10mm の模型の角速度の時間変化

3.2 ビー玉が転がり揺れながら移動する模型

斜面をビー玉が転がり揺れながら動く模型¹³⁾を図 11、表 2 に示す。中空円筒の胴体下部内部にビー玉が挿入され中空円盤状のコルクシートで蓋をされている構造で、ビー玉は模型内部で回転と移動を行う。衝突

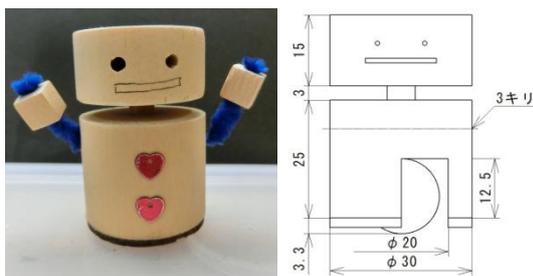


図 11 ビー玉で動く模型と設計図 (JW-CAD)

表 2 ビー玉模型の部品および材料

部品	材料	寸法[mm]	数	質量[g]
頭	丸棒	$\phi 30 \times 15$	1	5.4
胴体	丸棒	$\phi 30 \times 25$	1	6.4
首	丸棒	$\phi 6 \times 12$	1	0.3
腕	モール	$\phi 4 \times 100$	1	0.2
手	角材	$\square 6 \times 6$	2	0.2
球体	ビー玉	$\phi 15 \sim 16$	1	5.6
蓋	コルクシート	t2 $\phi 30, \phi 15$	1	0.2

を伴う模型の運動について明らかにする。

地球上での実験と同じ条件で、2次元の模型（ビー玉を直径と質量が等しい円柱に置き換える）で近似したシミュレーション解析により地球上での運動を明らかにする。実験結果は、ビー玉の動きが観察できないため省略する。角度 10° の斜面に対して模型と円板の角速度、模型の角度の時間変化を図 12 に示す。

模型の運動について、シミュレーション結果を用いて各ステップ①～⑨における模型の状態を図 13 に、また、説明を以下に示す。

- ①: 初期状態は円板が模型内部後方に存在し、円板は模型内上部、後方コルク、斜面の 3 点に接触し、模型が最大に後方に傾いている瞬間。
- ②: 模型前方コルクが斜面に接触する瞬間。このとき、円板は①と同様、3 点に接触している状態。
- ③: 円板が前方コルクと接触する瞬間。このとき、模型は、前方コルクが斜面と接しており、円板は模型内前方部に位置している。
- ④: 模型が進行方向に最大に傾く瞬間。このとき、模型、円板ともに、③と同様の状態。
- ⑤: 円板の回転が停止し、円板が逆方向への回転をはじめめる瞬間。このとき円板は、模型内前方に触れ、模型内上部と斜面には触れていない状態。
- ⑥: 再び円板の回転が停止し、進行方向への回転をはじめめる瞬間。円板は、模型内前方と斜面に触れ、模型内上部には触れていない状態。
- ⑦: 模型前方部が斜面から浮く瞬間。このとき円板は、模型内上部と模型内前方、斜面に触れている状態。

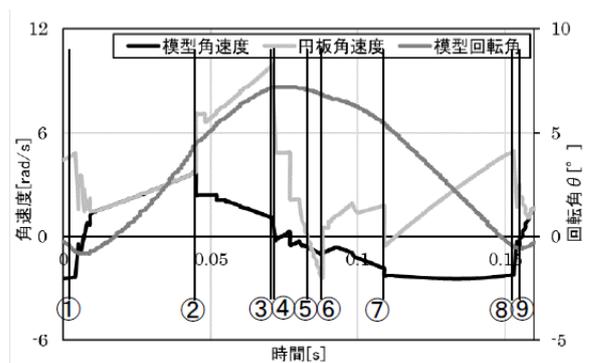


図 12 ビー玉模型の角速度および回転角の時間変化

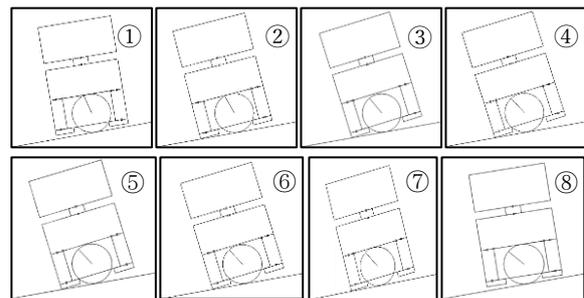


図 13 各ステップにおけるビー玉模型の状態

⑧：円板と模型内後方コルクが接触する瞬間。このとき、円板は模型内後方に存在している。

⑨：①と同じ初期状態に戻る。

以上の運動を繰り返し、模型は揺れながら斜面を移動する。また、模型の最大揺れ角度、最大角速度は小さな変動を示しながらほぼ一定の値を取る。

次に、月面上での模型の運動について、重力加速度は地球の6分の1で設定し、シミュレーション解析を行う。模型の角速度および回転角の時間変化を図14、揺れの周期を表3に示す。月面上での周期は振子の周期や偏心車輪模型の周期とは異なり、 $\sqrt{6}$ 倍(=2.449)と厳密な一致はないことが明らかとなった。3周期目の月面上と地球上の周期の比は2.51となり、約2.5%

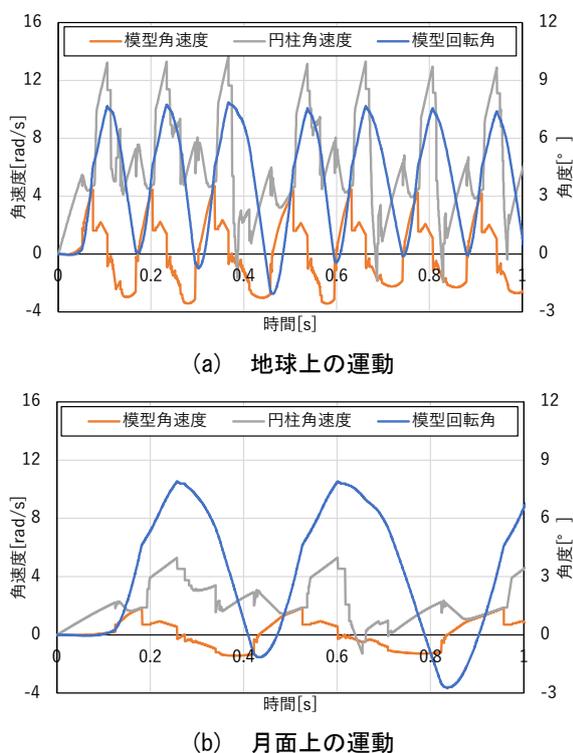


図14 ビー玉模型の角速度および回転角の時間変化

表3 月面上と地球上における揺れの周期

No.	周期[s]		周期の比 T_m/T_e
	月面上 T_m	地球上 T_e	
1	0.344	0.128	2.68
2	0.432	0.133	3.25
3	0.427	0.170	2.51
4	0.425	0.126	3.37

表4 月面上と地球上における角速度の極大値

No.	角速度の極大値[rad/s]		角速度の比 ω_m/ω_e
	月面上 ω_m	地球上 ω_e	
1	1.848	4.446	0.416
2	1.855	4.462	0.416
3	1.850	4.702	0.393
4	1.851	4.427	0.418

の誤差で近い値を示しているが、4周期目の比は37.7%の誤差となり最も大きな誤差となっている。斜面に衝突する時の姿勢が変わることによる影響であり、想定した $\sqrt{6}$ 倍(=2.449)より大きな比となっている。また、月面上と地球上の模型角速度の極大値を表4に示す。月面上での角速度は振子の速度や偏心車輪模型の角速度とは異なり、 $\sqrt{6}$ 分の1倍(=0.408)と厳密な一致はないことが明らかとなった。1, 2回目の極大値における月面上と地球上の比は0.416となり約1.8%の誤差であり、最も誤差の大きい3回目の極大値の比でも約3.6%の誤差となり、想定した $\sqrt{6}$ 分の1倍(=0.408)に近い値を示した。

3.3 梯子踏棧回転落下模型

回転落下模型¹⁴⁾を図15に示す。回転落下模型は円孔付スリットを模型の上下に有し、梯子踏棧(図16)との相互作用で落下・衝突(静止)・回転を繰り返し、梯子踏棧間を移動する模型である。模型には回転落下運動において重要な役割を果たす3つの箇所があり、踏棧溜り、スリット、スリット入口に分類される。踏棧溜りは、模型が回転運動を行うための空間としての役割を持ち、踏棧との接触部が滑らかに移動できるよう円孔形状とする。スリットは、模型が踏棧溜りに到達するための経路としての役割を持ち、踏棧通過時に模型の姿勢を垂直方向へ整える役割を持つ。スリット入口は、模型スリットが踏棧へ円滑に侵入できるように誘導する役割を持つ。踏棧は、落下中の模型の姿勢を整え、次の踏棧に模型スリットを誘導する役割があるため、踏棧断面が長方形となるよう、市販の角型爪楊枝(断面2.5×5mm)を使用し、梯子踏棧同士の間隔は40mmで固定する。

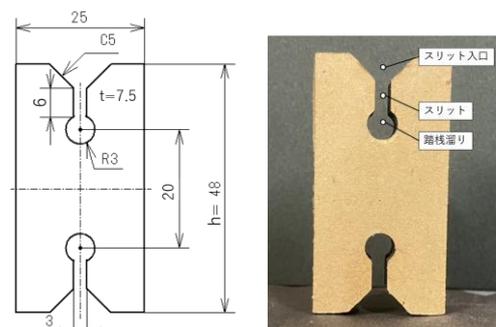


図15 回転落下模型の設計図と製作物の各部分名称

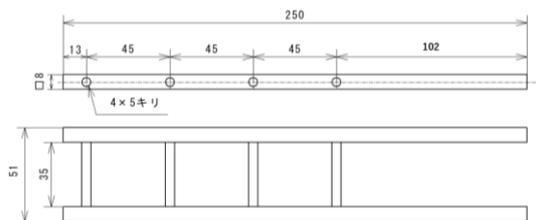


図16 梯子の設計図

地球上での実験と同じ条件で、シミュレーション解析により地球上での運動を明らかにする。模型の角速度の時間変化を上段踏棧から次の下段踏棧に移動する1周期の間で図17に示す。

模型の運動について、シミュレーション結果を用いて各ステップ①～⑤における模型の状態を図18に、また、説明を以下に示す。

①：上段踏棧が上部スリットから抜ける瞬間。模型は垂直に近い状態になり、角速度が0の状態。

①～②：模型が直立した状態で落下する。上段の踏棧を上部模型スリットが抜け、自由落下を行う。模型の角速度は0で一定。

②：下部模型スリット入口から侵入を始める瞬間。模型スリット入口と踏棧が衝突し、角速度は瞬間的に増減する。

②～③：下段踏棧を下部模型スリットが通過する。落下している状態の模型の角速度は大きな変化はなく一定の状態。

③：下段踏棧が模型下部の踏棧溜りと衝突する瞬間。

③～④：模型が下部踏棧を軸に回転を行う。この時、踏棧の角2点と踏棧溜りが接しながら回転を行う。模型下部の踏棧溜りと下段踏棧との接触点は、円孔の周上を移動し、角速度は滑らかに増加する。回転により模型の上下が逆になるため、下段踏棧は上段に、また、模型の下部スリットは上部スリットとなる。

④：上段踏棧が模型の上段踏棧溜りからスリット(踏棧溜り入口)に侵入を始める瞬間。

④～⑤：上段踏棧の角2点で上部踏棧溜りに接していた部分が1点で模型と接するようになり、模型の踏棧溜り入口が踏棧の角と接触して角速度は増加する。その後、踏棧がスリット内にある状態となり、角速度が減少する。

⑤：上段踏棧を模型上部スリットが通過を始める瞬間。

⑤～①：上段踏棧が模型スリットを通過する。この時にスリットに踏棧に侵入(落下)しているとき、踏棧と模型スリットが衝突し、模型が傾く。そしてそれを繰り返すことで模型は直立の状態に近づく。この時、角速度が0付近で増減する。

①に戻る。

以上の運動を繰り返しながら、回転落下を行いながら梯子踏棧を移動する。模型の運動は、ステップ②～④の回転運動とステップ④～①の落下運動で構成され、基本的な自由落下運動と回転運動と比較し推測することが予想される。

次に、月面上での模型の運動について、重力加速度は地球の6分の1で設定し、シミュレーション解析を行う。地球上と月面上における模型の角速度の時間変化を図19、上段踏棧から次の下段踏棧に移動する間の周

期を表5に示す。

図19より、地球上での回転落下運動では踏棧との衝突時に回転方向が一定になりやすく、月面上では時計回りと反時計回りが交互に行われることがわかる。

1周期内の最大角速度は、月面上では約15rad/sでほぼ一定であるのに対し、地球上では37～47rad/sと約25%(最小値に対する最大値と最小値の差)で変動し、月面上での角速度の変動の割合が地球に比べて極端に

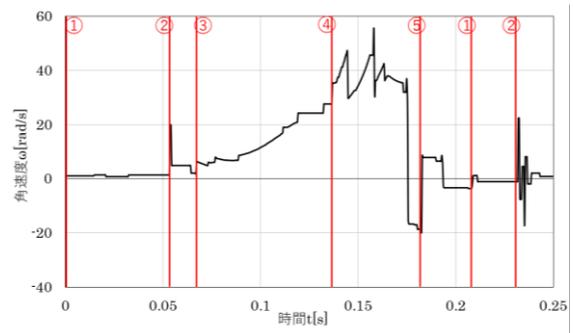


図17 回転落下模型の角速度の時間変化

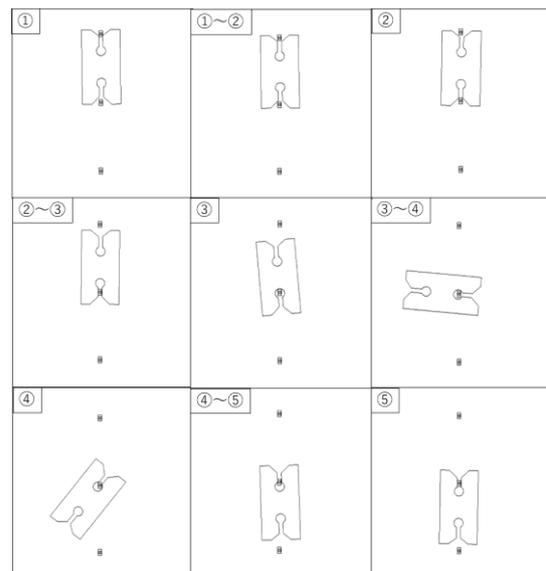


図18 各ステップにおける回転落下模型の状態

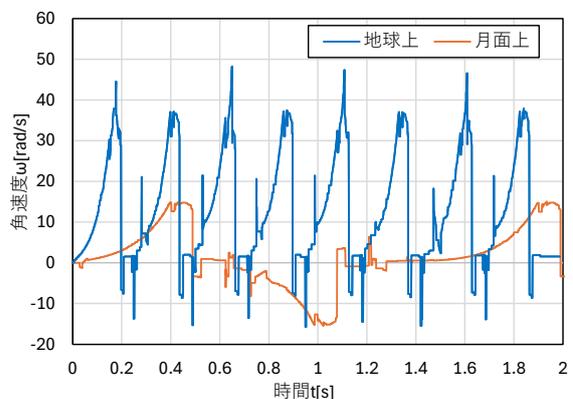


図19 地球上と月面上の回転落下角速度の時間変化

表 5 月面上と地球上における揺れの周期

踏棧	周期[s]		周期の比 T _m /T _e
	月面上 T _m	地球上 T _e	
1-2	0.590	0.238	2.48
2-3	0.911	0.228	4.00
3-4	0.639	0.233	2.74
4-5	0.817	0.230	3.55
5-6	0.591	0.242	2.44
6-7	0.963	0.260	3.70
7-8	0.668	0.234	2.85

小さいことがわかる。また、月面上での角速度は地球上の 0.319~0.405 倍となり、振子の速度や偏心車輪模型の角速度とは異なり、 $\sqrt{6}$ 分の 1 倍 (=0.408) と厳密な一致はないことが明らかとなった。極大値が 37rad/s のとき 0.405 倍となり、想定した $\sqrt{6}$ 分の 1 倍 (=0.408) に近い値を示した。

表 5 より、周期は変動し、地球上の周期が 20%弱の変動内（最小値に対する最大値と最小値の差）にあるのに対し、月面上の周期は 63%あまりの変動となり、割合で比較して 3 倍以上の大きさで変動することが明らかとなった。また、月面上での周期は振子の周期や偏心車輪模型の周期とは異なり、 $\sqrt{6}$ 倍 (=2.449) と厳密な一致はないことが明らかとなった。踏棧 1-2、5-6 の周期は、それぞれ地球上の 2.48、2.44 倍と近い値を示したが、最も大きな周期の比は 4.00 となり、指定した値 $\sqrt{6}$ (=2.449) と 63%あまりの違いを生じた。

最大角速度と周期は密接に関係があることがわかる。月面上では、重力加速度が地球上の 6 分の 1 となることで、踏棧衝突時に踏棧に留まる時間が長くなる。そのため、周期も長くなりばらつきも大きくなる傾向を示す。一方、最大角速度は、ほぼ停止状態から回転が始まるため一定に近い値となる。逆に、地球上では最大角速度のばらつきが大きくなる。

4. 結 言

将来の月面での持続的な有人活動を前提に、宇宙空間での生活の初期段階の到来を現実的な未来として、小中学生の宇宙への関心を高めるための教材開発を行った。開発した動くおもちゃものづくり・あそび・探究活動を月面上で空想すること、および実施することを想定し、月面上におけるおもちゃの運動について、振子などの単純な運動から衝突を繰り返すおもちゃの複雑な運動まで、地球上と月面上で比較することで月面上での運動を明らかにした。明らかにした内容を以下に示す。

- ・月面の重力環境（地球の約 6 分の 1）において物体の運動を解析し、自由落下、放物運動、振り子、円板の転がり運動のいずれも加速度・速度・角速度が地球上の 6 分の 1 倍、運動に要する時間は $\sqrt{6}$ 倍となることを明らかにした。

- ・2 つの車輪と接続棒からなる偏心車輪模型の運動を解析し、振り子、円板の転がり運動と同様、加速度・速度・角速度が地球上の 6 分の 1 倍、運動に要する時間は $\sqrt{6}$ 倍となることを明らかにした。
- ・斜面をビー玉が転がりながら揺れて移動する模型、および、梯子踏棧を回転落下しながら移動する模型について月面上での運動を解析し、加速度・速度・角速度が地球上の 6 分の 1 倍、運動に要する時間が $\sqrt{6}$ 倍となることとの厳密な一致は得られないことが明らかになった。これらのおもちゃは、模型と月面、もしくは部品同士の衝突時に、地球上とは異なる姿勢で衝突により、その差を生じていることがわかる。ただし、厳密な一致は得られないが、加速度・速度・角速度が地球上の 6 分の 1 倍、運動に要する時間が $\sqrt{6}$ 倍に近い運動として予測できることが明らかになった。

今後の展望として、剛体のおもちゃ以外に、力に対して変形する弾性体のおもちゃ教材¹⁵⁾について、月面上での運動は未着手のままである。また、著者の研究¹⁰⁾後、2022 年にタカトミーから SORA-Q¹⁶⁾ が発売された。SORA-Q の名称は、SORA は宇宙を意味する「宙（そら）」、Q は宇宙に対する「Question（問い）」「Quest（探求）」、「探求」の「求」、「球体」、横からのシルエットが「Q」に似ていることから付けられている。2024 年にはこどもたちを対象に SORA-Q を使用した取組み「宇宙でもあそぼう」が実施されている。今後も大学・企業による、宇宙空間であそぶおもちゃの開発が進められることが予想される。

謝 辞

本研究を執筆するにあたり、データ取得に協力していただいた学生、久代義顕¹²⁾氏、安達美佑¹³⁾氏、黒田浩平¹⁴⁾氏に深く感謝申し上げます。

本研究は、松永泰弘研究基金の助成による。

参考文献

- 1) 内閣府：宇宙基本法（平成二十年法律第四十三号）（2008）
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=420AC100000043>
- 2) 内閣府：宇宙基本計画（令和 5 年 6 月 13 日 閣議決定）（2023）
https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/kaitei_fy05/honbun_fy05.pdf
- 3) 内閣府：宇宙技術戦略（令和 6 年 3 月 28 日 宇宙政策委員会）（2024）
<https://www8.cao.go.jp/space/gijutu/siryoku.pdf>
- 4) 内閣府：宇宙技術戦略（令和 6 年度改訂）（令和 7 年 3 月 25 日 宇宙政策委員会）（2025）

- https://www8.cao.go.jp/space/gijutu/honbun_20250325.pdf
- 5) 平成十四年法律第百六十一号「国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構法」 (2002)
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=414AC0000000161>
 - 6) 小寺隆幸：軍事に前のめりになっている JAXA の姿勢を問う，論座（朝日新聞社） (2020)
<https://webronza.asahi.com/science/articles/2020020600005.html>
 - 7) 山川宏：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構の最近の取組 (2025)
https://www.soumu.go.jp/main_content/001009375.pdf
 - 8) 文部科学省：宇宙航空分野における研究開発
https://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/space/index.htm
 - 9) 文部科学省：文部科学省における宇宙分野の推進方策について (2012)
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/059/houkoku/_icsFiles/afieldfile/2012/12/19/1329049_001.pdf
 - 10) 松永泰弘：月面上であそび・探究する動くおもちゃ教材，第 11 回教科開発学研究会発表論文集，pp.13-16 (2021)
 - 11) 松永泰弘，黒田浩平：月面上でつくって探究する梯子踏棧回転落下模型，第 42 回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集，pp. 44-47 (2025)
 - 12) 松永泰弘，久代義顕：斜面を移動する偏心車輪模型の運動解析，日本産業技術教育学会誌，第 64 巻，第 4 号，pp.253-259 (2022)
 - 13) 松永泰弘，安達美佑：ビー玉が転がり斜面を揺れながら移動する木のおもちゃの運動解析，日本産業技術教育学会誌，第 63 巻，第 1 号，pp.13-21 (2021)
 - 14) 松永泰弘，黒田浩平：梯子踏棧を移動する回転落下模型教材の運動解析，第 42 回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集，pp.27-30 (2024)
 - 15) 松永泰弘，前田耕典：みらい創造科教材としての紙製 4 足受動歩行模型の開発，静岡大学教育学部研究報告，人文・社会・自然科学篇，第 65 号，pp.165-179 (2015)
 - 16) タカラトミー：SORA-Q
<https://www.takaratomy.co.jp/products/sora-q/>
(参考文献のすべての URL は 2026 年 1 月 7 日確認)