

トップガンジャーナル

Journal of TopGun



令和3年3月17日 第70号

「動くおもちゃの科学を探求しよう！」

令和2年12月9日（水）14:30～16:30、トップガンの課外講座「動くおもちゃの科学を探求しよう！」が静岡大学教育学部附属浜松中学校西館2F授業研究室で行われました。受講者は、静岡大学附属浜松小学校13名（小学校3年生1名、5年生5名、6年生7名）、附属浜松中学校7名（中学校1年生6名、2年生1名）計20名でした。講師の先生は、静岡大学教育学部教授 兼任静岡大学教育学部附属特別支援学校校長 松永 泰弘 先生 並びに、同研究室大学院生 安達美佑さん、学部生 守谷太雅さんです。



左から松永先生、院生 安達さん、学部生 守谷さん

今回の参加校 静岡大学附属浜松小学校/附属浜松中学校

講座の概要

レーザーで加工した部品を組み立てて動くおもちゃをつくります。斜面を揺れながら移動する様子を観察しながら、その動作について探求します。部品として用意されたおもりをつけるなど、おもちゃに変更を加え、動きの変化を観察し、動作原理を深めます。

活動レポート

松永先生による課外講座「動くおもちゃの科学を探求しよう！」が始まりました。

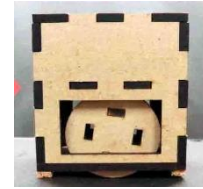




今回の動くおもちゃを開発した大学院生 安達美佑さん



1号

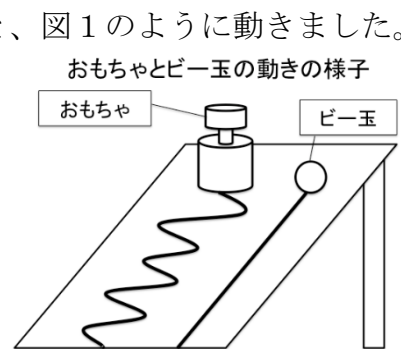


2号

木の人形のおもちゃを組み立て、斜面の上に置くと、図1のように動きました。実は、中にビー玉が入っています（図2）。ビー玉だけなら真っ直ぐ転がるはずなのに、このおもちゃはジグザグに不思議な動きをしながら降りていきます。まるで人間のようです。斜面の角度を変えて実験したところ、斜面の角度が急になると倒れてしまいます。私たちも斜面が急だと倒れそうになることがあるでしょう。おもちゃの下に付けるコルクは、滑り止めの機能となっています。この木の人形のおもちゃは木材が主な材料となっているため、温かみを出し、親しみやすいものとなっていました。また、頭と手があることで人間のように見え、より親しみやすさを感じます。

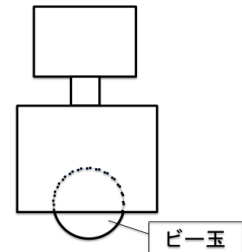
次に、クラフト（図3）を切り取って模型を組み立てました。ビー玉の代わりに円柱（タイヤ）みたいなものになっています。円柱（タイヤ）の回転の様子が見られるように窓が付いています（図4）。模型の動きを観察した結果、窓から円柱（タイヤ）の動きが見えました。ちょっと回転してちょっと止まっているのを確認できました（図5）。模型の重心が後ろにある時に、円柱（タイヤ）が回転し、模型の重心が後ろから前に移動し、コルクの部分でブレーキがかかることで円柱（タイヤ）も止まり、円柱（タイヤ）が止まった反動で模型の重心が後ろになると、また円柱（タイヤ）が回転するという動作を繰り返して動いていることがわかりました（図6）。

余談になりますが、私が小学生の頃にやっていたスケートでも、後ろに重心を乗せると滑ってしまいやすかったことを覚えています。



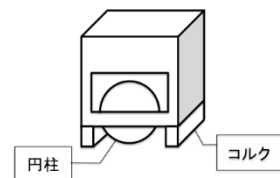
【図1】おもちゃとビー玉の動きの様子

おもちゃの構造の模式図



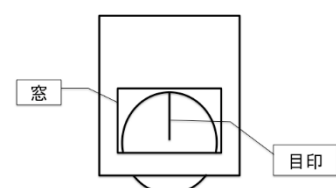
【図2】おもちゃの構造の模式図

模型の構造の模式図(全体)



【図3】模型の構造の模式図(全体)

模型の構造の模式図(正面)

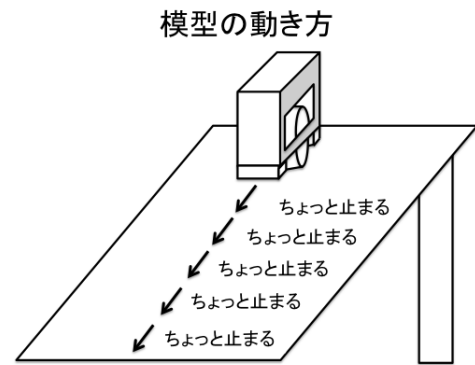


【図4】模型の構造の模式図(正面)

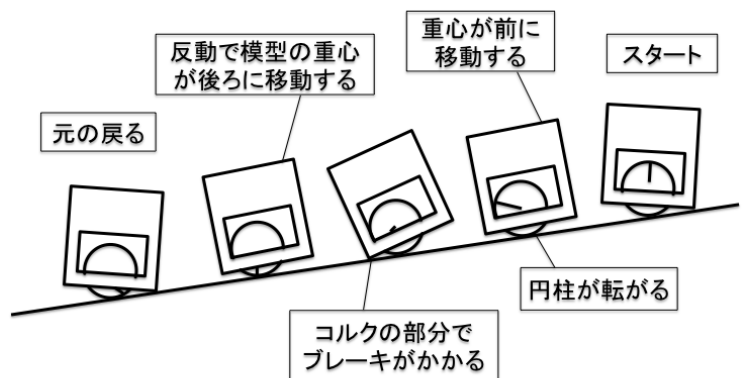
模型は、木の人形のおもちゃと違って真っ直ぐ降りていました。ちょっと進んで、ちょっと止まるを繰り返していたことは木の人形のおもちゃと同じでした。木の人形のおもちゃは、模型と同じ仕組みで動いていることがわかりました。斜面を急にしてみたところ、模型も倒れてしまうことがわかりました。

木の人形のおもちゃと模型の共通点、相違点についてです。共通点としては、斜面を急にすると倒れてしまいました。相違点としては、木の人形のおもちゃの方が、模型に比べて斜面があまり急でなくても倒れてしまうことと、ジグザグに進むことです。ビー玉はいろいろな方向に転がるので、ジグザグに進み、円柱（タイヤ）は1つの方向（下）にしか転がれないので、真っ直ぐ進むのだと思います。

（大橋柚佳）



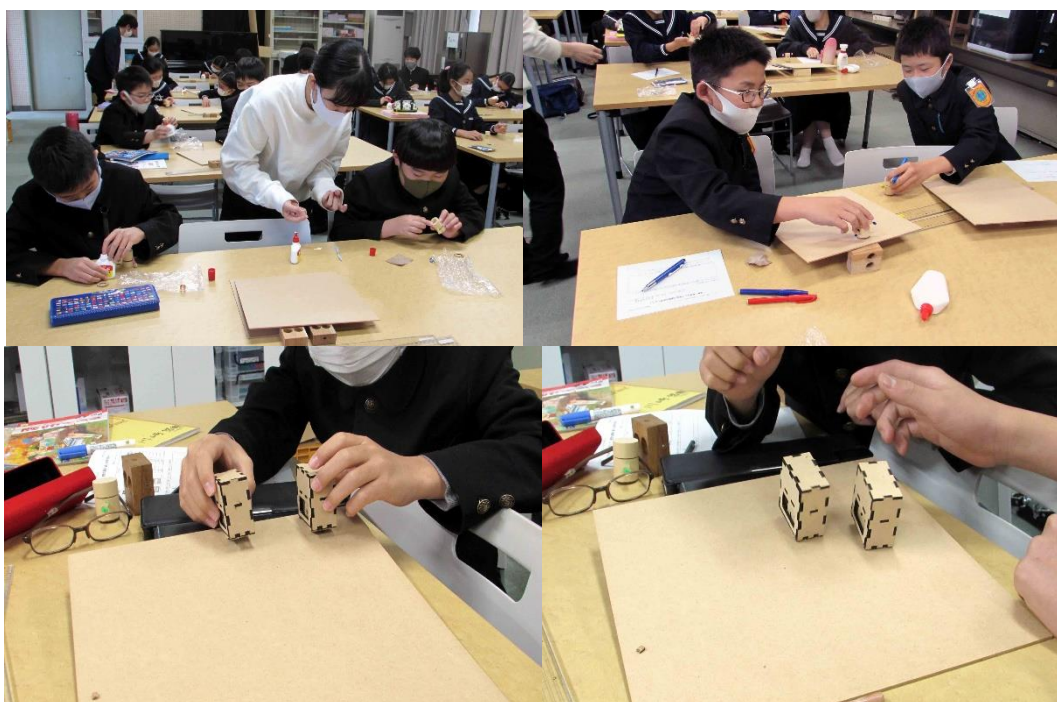
【図5】模型の動き方
模型が動く様子



【図6】模型が動く様子

<活動のようす>





動作する仕組みについて分かったことを発表するようす

【受講者の皆さんの感想】

小3 川崎凜愛 いろいろなことがわかった。そしてどのように動くのかわかった。

小5 小野志真 とても楽しかった。おもちゃをこれから分解して、どうやってこう動くかを考えてみたくなった。

小5 柏原渚 動く仕組みを考えられて良かったです。仕組みが面白かったです。

小5 櫻井純之介 おもちゃも作れたし、仕組みもわかったりしたので楽しかった。

小5 白石礼 楽しかった。また来たい。

小5 戸田なつみ 自分で作れてよかったです！作るのが好きなので作れてよかったです。もっと他のいろいろなおもちゃを作りたいです。家族にじまんしたいです。

小6 川崎悠輝 おもちゃ作り、実験が面白かったです。

小6 小山千紗 もっとビー玉の構造について考えたかった。なぜ、“木”なのか。動く構造について考えることができた。構造が見えるものを作れて良かった。とても分かりやすい説明だった。

小6 篠崎凌佑 とてもおもしろかった。またもっと組み立てやすくなってほしいと思っています。

小6 鈴木悠華 なぜ、坂を動くことができるのかということが分かりました。とても楽しく受講できました。また、機会があれば参加したいと思います。

小6 鈴木若奈 トップガンに興味があったから参加しました。5年の時に動くおもちゃについてもりや先生に教わったから興味を持ちました。紙で作る動くおもちゃも小学校で作ったので今回も参加できて良かったです。

小6 田中大地 木でこんなに面白い工作とかができるのが楽しかった。また機会があったら参加してみたい。

小6 富士田稜晴 実験を通じて仕組みを探求したのでおもしろかった。

中1 大橋柚佳 実際に作り、観察し、考察までしたことで、自分が知りたいこと、疑問に思ったことを知れたり、確かめたりすることができる。自分の手と目で確認することができ、楽しかった。おもちゃも模型も簡単に組み立てることができたことが良かったと思う。小学校高学年から大人は仕組みについて考え、小学校中学年くらいから下の学年は遊びとして、広い範囲の世代で楽しむことのできるものであったと思う。

中1 小野志結 今までこういうことをやったことなく、とても良い経験になった。理科でもあまりやらないことができてとても楽しかった。

中1 小杉悠輔 おもちゃの仕組みを考えるのはとても難しかったです。楽しかった。また、不思議なおもちゃを探したり、簡単なものをつくったりしてみたいと思います。今日はありがとうございました。

中1 登内杏美 とても楽しい講座でした！おもちゃが前に進む原理を考えるのがとても楽しかったです！他の参加者さんの意見を聞いて、なるほどと納得する意見もありました！大学院生の人とても優しく、先生方もとても面白く、飽きることがなかったです！自分で仮説を立てて実験を試みるという一つの動作を何度も何度も繰り返し、答えを見つけ出すことがとても面白く、探求がどんどんはかどりました！今回は本当にありがとうございました！

中1 深川竜壺 模型の運動を考えることで研究のおもしろさを感じることができたと思う。とても充実した講座になっていたと思う。

中1 桃井希颯 一人一人に寄りそってくださったので、とても安心しました。研究の楽しさについて知るきっかけになりました。とても楽しかったです！ありがとうございました。

中2 堀場幸也 最後に fps あたりの計測を行ったもので、表・グラフで周期についてふれており、自然科学の授業に丁度良いものだと思います。小学生の理科の授業の発展例として凄いいと思います。

解説

今回は「動くおもちゃの科学を探求しよう！」というテーマで、動くおもちゃづくり、あそび、探求する活動を行っていただきました。開発してきた動くおもちゃの中でも、斜面をビー玉/円柱が転がり揺れながら移動するおもちゃ(図7, 8)を取り上げました。模型ということばではなく、おもちゃとしたのは、研究が知的あそびの延長線上にあること、あそびは主体的で積極的なものであること、研究とはすべてにおいて自由であること、などを意識しています。

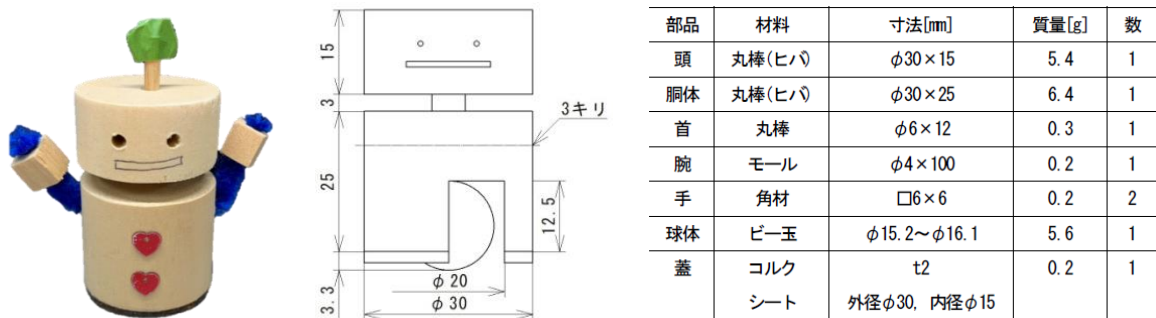


図7 ビー玉のおもちゃと組立図・部品表

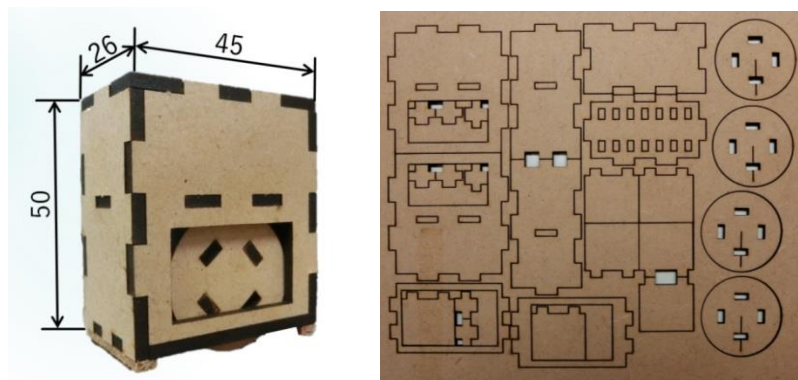


図8 レーザー加工の組立式おもちゃと部品

受講生の探究の様子、大橋柚佳さんのレポートの内容は、大学生の研究の手法に非常に近いものを感じました。実験を行い、観察する基本ができていると感じました。ビー玉を使用した木のおもちゃは、胴体の中のビー玉の動きが見えません。受講生の一人が透明の長い定規を使用して、机の間で斜面をつくり、下から覗いて観察している様子を見かけました。簡単には見えないものを何とかして観察しようという挑戦・工夫は非常にだいじなことです。また、大橋さんの描いた図1~6は、ことばだけでは伝わりにくい内容や動きを、わかりやすい図で示してあります。文章からは、3次元的な動きと2次元的な動きの違い、各瞬間での模型と円柱の状態を正確に示そうとしていることが読み取れます。

大学院生が研究した内容の一部を以下に示します。大橋さんの内容と比較してみてください。

2次元の物体で近似し、シミュレーション解析を行い、模型と円柱の角速度（1秒(second)当たりの角度の変化、 $180^\circ = \pi \text{ rad}$ ）と模型の回転角の時間変化を図9に示します。運動が変化する瞬間をStep①～⑨とし、各Stepにおける模型の状態を図10に示します。大橋さんが示した図6と図10は同じことを表していることがわかります。おもしろいですね。

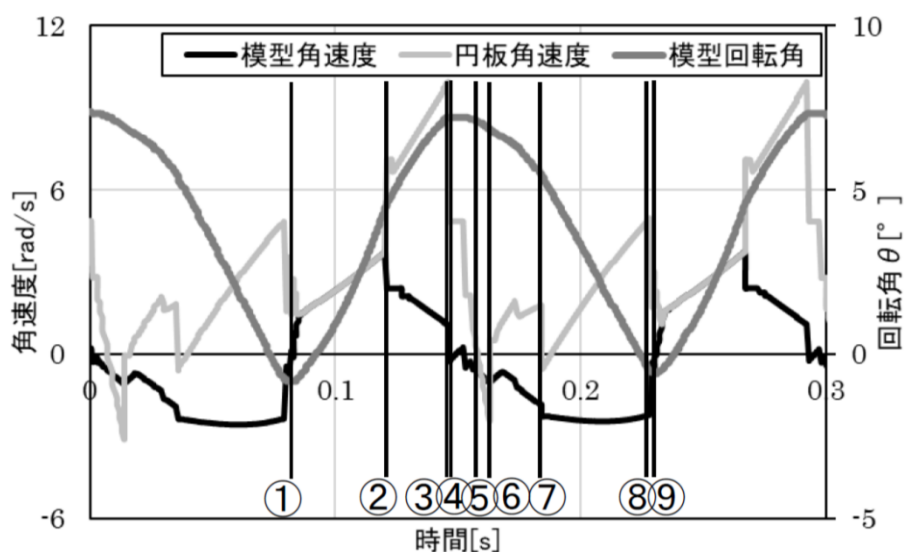


図9 模型と円柱の角速度と模型の回転角の時間変化

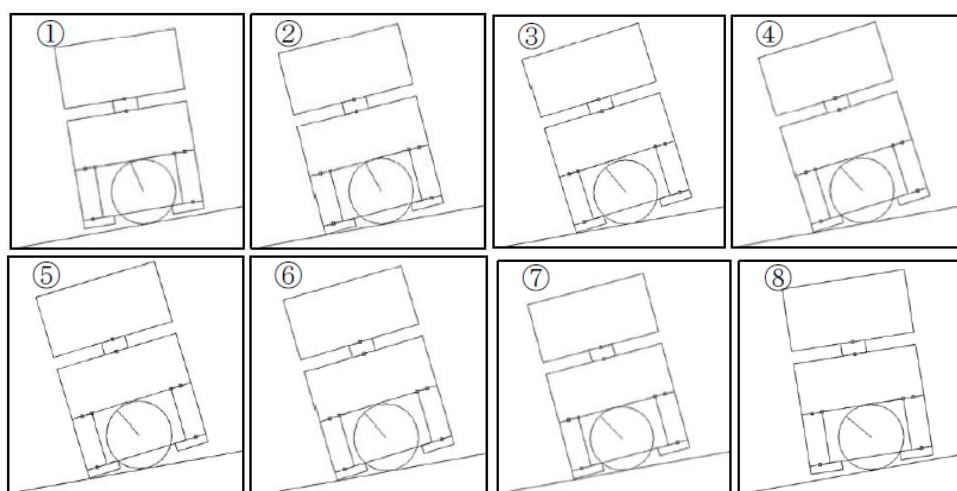


図10 各ステップにおける模型と円柱の状態

Step①：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。

模型と円板は角速度が一致していることから、一体となって、斜面との接点(瞬間中心)周りに回転する。重力による正のモーメントが作用し、角速度は増加する。

Step②：模型前方コルクが斜面に接触する瞬間。このとき、円板は Step①と同様、3点に接触している状態。

模型前方部が斜面に触れると、まず模型内上部が円板から離れ、続いて模型内後方に存在していた円板が模型内後方コルクから離れることで、斜面以外に触れるものがなくなり、角速度が大きくなりながら進行方向への回転を続ける。このとき、模型は前方コルクの接点まわりの回転をしているが、模型に作用する重力のモーメントは負のモーメントとなることで、角速度は減少する。

Step③：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。

模型は慣性力で、角速度を下げながらも斜面との接点を中心(瞬間中心)に進行方向への回転を続ける。円板は、前方コルクに接触したことで、角速度を大きく下げ、進行方向への回転を続ける。

Step④：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、Step③と同様の状態。

模型は、模型前方部を支点として、模型には重力のモーメントとして負のモーメントが働くため、逆方向への回転をはじめ。また、円板は模型内前方コルクに触れ、少し斜面から浮き上がる。

Step⑤：円板の回転が停止し、円板が逆方向への回転をはじめの瞬間。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。

模型は慣性力で逆方向への回転を続ける。模型内前方(コルク部)に触れ、浮いていた円板は、重力によって、斜面に戻ろうとし、逆方向への回転をはじめ。このとき、円板は模型内上部とは接触していない。

Step⑥：再び円板の回転が停止し、進行方向への回転をはじめの瞬間。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。

模型は引き続き、模型前方(コルク部)を支点として、逆方向への回転を続ける。円板は、模型内前方部に触れながら、進行方向へ回転していることから、模型内前方部と円板はすべりを生じており、その後、円板は模型内上部と接触する。

Step⑦：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。

模型はほぼ一定の角速度をとりながら、円板上をすべりながら逆方向に回転している。このとき、模型と円板の接点よりも、模型の重心位置は後方にあり、模型に作用する重力のモーメントは負のモーメントとなっている。また、円板は斜面との接点より重心が前方に存在するため、進行方向への回転を行い、模型と円板の接点が後方に移っていく。

Step⑧：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。

模型は進行方向、円板は逆方向の回転をするが、摩擦力の相互作用で、模型と円板の角速度が一致に近づく。

Step⑨：Step①と同じ初期状態に戻る。

さらに、実験や理論的解析との比較を行っていますが、省略します。2つの物体（模型と円柱）からなる単純な構造のおもちゃですが、複雑な動きをしていることがわかります。

つぎに、みなさんに問題です。月面上での模型の動きについて考えてみてください。重力加速度は、地球上： $g = 9.80665\text{m/s}^2$ 、月面上： $g = 1.6249\text{m/s}^2$ であり、同じ質量の物体の重力は地球の6.035分の1倍 \approx 6分の1倍となります。例えば、物体が自由落下するときの加速度、速度、落下高さは、月面上では6分の1倍となります。また、物体をある角度で投げ上げた場合、到達高さ、距離、滞空時間は、月面上では6倍となります。さらに、振子の周期は、月面上では $\sqrt{6}$ (≈ 2.449) 倍となります。

月面上と地球上で模型を動かしたときのシミュレーション結果を図 11, 12 に示します。月面上の模型は地球上よりもゆっくりと動き、動きだしにおいて、時間は $\sqrt{6}$ (≈ 2.449) 倍近くかかり、その後、よりゆっくりした運動になります。理由は、みなさん考えてみてください。

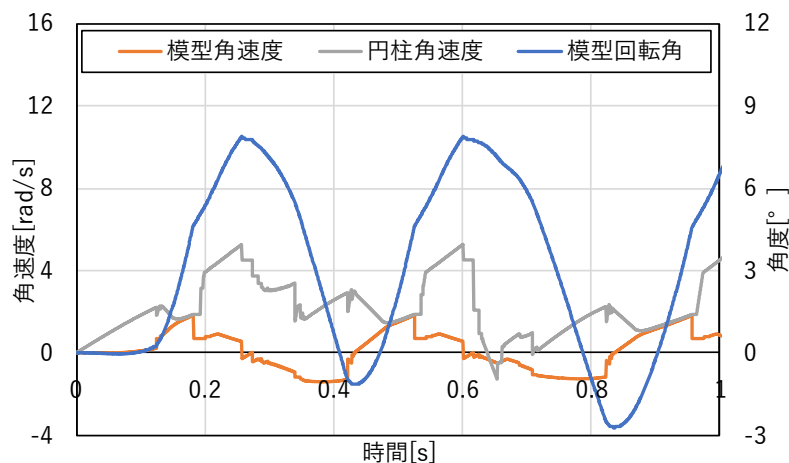


図 11 月面上での模型と円柱の角速度と模型の回転角の時間変化

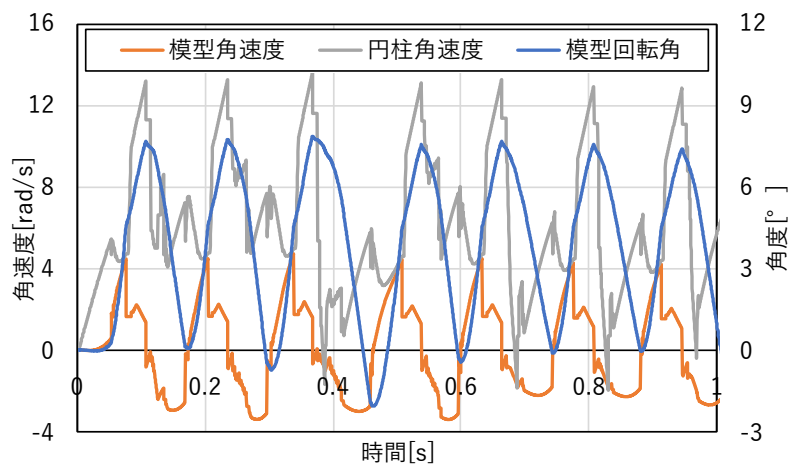


図 12 地球上での模型と円柱の角速度と模型の回転角の時間変化

10年後、20年後、100年後になるかも知れませんが、月面上で実験を行い、実験値と比較してみたいですね。その時が楽しみです。

(松永泰弘)

編集部子ども記者より

今回、このトップガンジャーナルを書くことになりましたが、講座から時間が経ってしまったので、家でもう一度実験し直しました。

今回の講座では、私たち普段、何気なく行っている歩行について考えさせてくれました。おもちゃの動き方が想像とは異なる動きだったり、ジグザグに動いたりするところが人間らしく、私たちが普段、何気なく行っている歩行について考えやすくなっていました。

歩行の原理を観察する時に、中の動きを見ることができたことで、楽しい実験にすることができました。最近の電化製品などは、中がどのようなになっているのか、不思議に思っても中を見ることができません。中の動きを見ることができると、自分の考えがあっているのか、それとも自分の考えと異なるのか確認することができます。また、自分でおもちゃを作ったり、模型を組み立てたりと、自分で作ることができたことも、楽しい実験となった1つの理由だと思います。自分の手と目で実験できたことにより、私たちの歩行に対する興味をより一層引き出させてくれました。歩行だけでなく、他のことも自分の手と目で実験していきたいと思います。

トップガンジャーナル子ども記者
静岡大学教育学部附属浜松中学校1年 大橋 柚佳