

左上一箇所でホチキス留め

筑波大学

朝永振一郎記念

## 第15回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SE0048

応募部門 : 小学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : フラフープの謎にせまれ! ~謎解きと成功の秘訣~

学校名 : 東京都 国立筑波大学附属小学校

学年 : 5年生

代表者名 : 平井 沙季

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

フラフープの謎にせまれ！

～ 謎解きと成功の秘訣～

筑波大学附属小学校 5年 平井 沙季

# 1. 研究目的

新型コロナウイルスの影響で3ヶ月も休校になった上、私は手を骨折してしまい、運動不足になってしまった。私でもできる運動はないかと探していたところ、フラフープならできそうだと思い練習を始めた。最初は上手くいかなかったが、ある時、突然時計回りなら回せるようになった。しかし、なぜフラフープは落ちずに回るんだろう？ 回り続けるコツは何だろう？ どんなフラフープを使えばいいのだろう？ と疑問が浮かんできた。これらの疑問を明らかにする事を研究の目的としたい。

## 2. なぜフラフープは落ちずに回るのか？

### ① 予想

フラフープは何もしなければ、手を離れた瞬間地面に落ちる。つまり、重力で下に落ちてしまうのだから、重力と等しい横向きの方が必要なのではないかと考えた。(図-1) しかし、フラフープについて検索しても、資料がなかなか見つからない。そこで、同じようにまわって回転するもの、静止している時とは違う動きをするものを参考にしたらどうかと思い、コマと自転車が思いついた。コマも回っていないければ倒れたままだし、自転車も回転していないければ倒れてしまう。回転していないと、出てこない力があるのではないかと予想を立て、その力の正体を調べることにした。

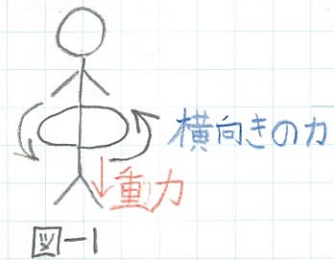


図-1

### ② 結果

#### ① 慣性力・遠心力

『力の事典』、『力の大研究』、『よくわかる重力と宇宙』を読むと、以下のことが分かった。

- ものには外から力が働かない限り、同じ動きを続けようとする性質があり、その性質を「慣性」と言う。例えば、走っている電車が急停車した時、乗っている人は前に進み続けようとするので、体が前に押されたように感じる。このように、前に進み続けようとする力のことを「慣性力」という。
- 電車などがカーブに入った時、乗っている人は外側に押されたようになって、体も外側に傾く。慣性に従って体は真っすぐ走るつもりなのに、乗物が曲がるから、まるで誰かに押されたように傾いてしまう。このように円の外側に引っぱる強い力を「遠心力」という。遠心力は回転した時に働く慣性力の1つである。



## ② ジャイロ効果

本で慣性力と遠心力を理解できたので、他にも回ることによって発生する力がないか、科学技術館に調べに行った。係の方に相談すると、5階にあるジャイロブランコに案内された。そこで、ブランコ中央にあるディスクを立て、左手で支えながら右手でハンドルを回し、ディスクをゆくり左に傾けると、ブランコごと左に回転し、右に傾けると、ブランコは右に回転した。(写真-1) 不思議で意味が分からなかったから質問してみると、『ドラえもんふしぎのサイエンス』という本を勧められた。読んでみると、以下のことが分かった。



写真-1

- 回転パワーのことをジャイロという。ジャイロは慣性の法則に含まれる力で、回転する物体は同じ姿勢を保とうとする性質を持っている。勢いよく回転している間は安定して姿勢を保っているけれど、勢いなくなるとバランスを崩してしまう。

- 方向保持性 (ジャイロが姿勢を保とうとする力)

回転体が時計回りに高速で回っていると、回転力は赤い矢印のように軸の先に向かって真っすぐ働く。(図-2) 逆に回転体を反時計回りに回すと、回転力は反対側の軸に向かう。

一見真逆だけれど、どちらも地面に対して垂直の力が働く。

- プレセッション (力が加わると回転運動が変わる)

回転体の軸に上から押さえつけるような力を加えると、回転体を中心に、軸が緑の矢印の方向に回り始める(図-3)ふつう

なら押された軸が下がると思うけれど、ジャイロの力が加えられた力を軸に対して真横の力に変えてしまう。

- ジャイロ効果は回転しないと出てこない力で、重い回転体が早く回っているほど、方向保持性とプレセッションは強くなる。

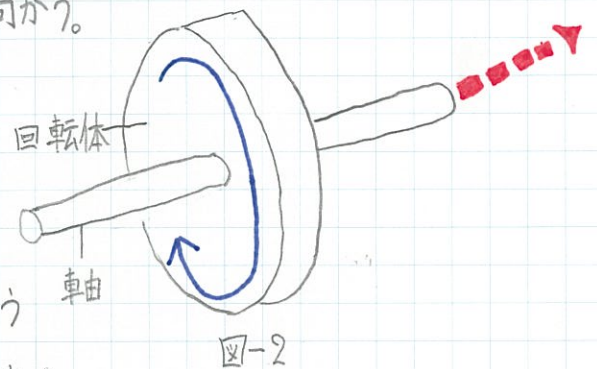


図-2

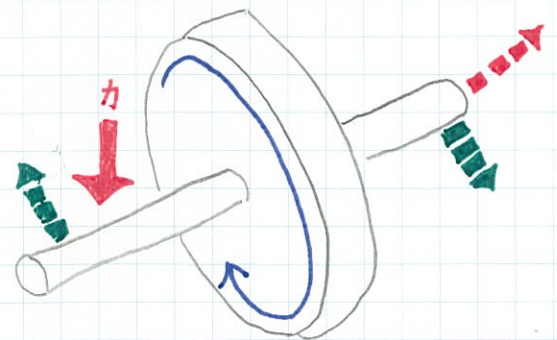


図-3

## ③ 考察

物体には回転しないと出てこない力があり、フーフーフを落ちずに回すためには3つのことが重要だと考えた。

- 回転させた時に働く遠心力は、円の外側に引く強い力で、重力と遠心力が釣り合うようにフーフーフの回転数を保つこと。(図-4)



・ ジャイロ効果は、勢いよく回転している間は姿勢を保っているけれど、勢いなくなるとバランスを崩してしまう。従って、フラフープを落ちずに回すためには、まず出だしで勢いよくしっかりフラフープを水平に回転させ、慣性の法則が成り立つようにすること。

・ 慣性力が働き安定して回っている間に、自分の体を上手に使ってタイミングをつかみ、フラフープを回し続けるコツをつかむこと。



少しずつフラフープが落ちずに回るなぞが解けてきたが、フラフープを回し続けるコツは分からないままだった。また、コマと自転車は回転軸が90度違うだけで、ジャイロの方向保持性により、垂直方向の力が働いているから倒れずにすみ、自転車がカーブできるのはプロセッションの働きによるものだと考えた。

### 3. フラフープを回し続けるコツは何か?

#### ① 実験

理論的になぜフラフープは落ちずに回るのか理解できたので、今度は分からないままになっているフラフープを回し続けるコツを明らかにしたい。そこで、フラフープをセロハンテープの芯に、鉛筆を鉛筆に見立て、フラフープがどのように回り出し、回転を続けるのかコツをイメージできると仮定し、以下の手順で実験した。

①. セロハンテープの芯を回し始めるには、鉛筆がセロハンテープの芯から離れないよう常に芯にくっついたままの状態ですら3~5回転円を描いた。この状態にしないと芯は回らなかった。

②. 3~5回転すると、セロハンテープの芯から遠心力と思われる外向きの力が手に伝わってきた。今までと同じように、芯に鉛筆をつけたままの状態ですら円を書き続けると、芯は同じ速度で回り続けたが、鉛筆を前後に動かすと勢いよく回転し始めた。ジャイロは勢いよく回転している方が姿勢を保てるので、鉛筆を前後に動かすことにした。ちなみに、左右は動かさなかった。

③. ①~②を時計回り・反時計回り、両方とも20秒を10回ずつ3日間実験し、回転回数データを記録して平均値を出した。

#### ② 結果

・ 時計回りは112.8回、反時計回りは96.5回で、時計回りの方が回転した。(表-1) また、鉛筆の筆跡も時計回りの方が無駄が少なく、反時計回りの方が前後の動きが大きかった。(写真-2・写真-3)

・ 細かく鉛筆を前後に動かすほどセロハンテープの芯の回転数は上がった。しかし、動かす方が速すぎると飛んでしまうし、遅すぎると回転が止まってしまった。

・ 鉛筆が傾いていたり、垂直な姿勢を保てないと、回転が止まったり、芯が飛んでいたりしてしまったりした。



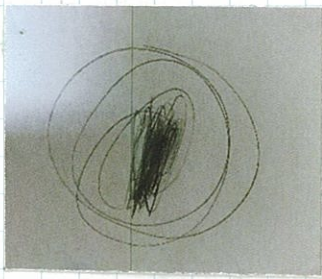


写真-2 時計回り

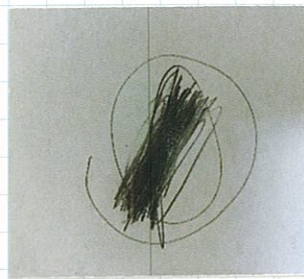


写真-3 反時計回り

	時計回り	反時計回り
1日目	105.1回	94.6回
2日目	106.8回	98.0回
3日目	126.4回	96.9回
平均値	112.8回	96.5回

表-1

### ③考察

- ・フラフープを回す第一のコツとして、回し出しを極め、何もしないでおのずと3~5回転回っていられるようにする。これは、フラフープ自体が回転を保とうとするよう、慣性の方則を成り立たせるために重要なことである。そのためには、フラフープが体にくっついたままの状態でも回し出しの方がいい。
- ・3~5回転後、タイミングよく体を前後に動かせば、安定して回転を保ち続けられる。
- ・時計回りの方がフラフープを回しやすい。しかし、私の手のクセでこのような結果になった可能性もあるので、それぞれにこの実験をしてから、どちらの回し方がふさわしいか判断した方がいいかもしれない。回転すればすぐ程時計回りの方が鉛筆に安定性を感じ、前後に動かすスピードが速かった。これが地面に対して垂直に傾くジャイロの方向保持性によるものであれば、時計回りの方がフラフープを回しやすい。なぜなら、反時計回りは、方向保持性が頭の方に向かうので、時計回りより重心そのものがとりにくい可能性がある。それは実験の筆跡に表れた前後の振り幅の大きさからも読みとれる。
- ・頭がひもで引はられているように、体の軸を地面に垂直にして、姿勢よくフラフープを回す。

## 4. コツを実践！フラフープ達人になれるかな？

実験を通し、回し出しで慣性の法則を成り立たせること、回転に合わせ、タイミングよく腰を前後に動かして回転を保つこと、垂直に立つことが重要だと分かった。そこで、今度はフラフープを使ってコツを実践し、実験結果の正しさを判断したい。また、ゼロハンテープの芯では試せなかったフラフープを回す位置についても調べたい。時計回りは安定して回せるので、位置の実験以外は反時計回りで実験した。

### ①実験と結果

#### ②回し出しを成功させるためには？

ゼロハンテープの芯を回し出す時に重要だったことは、鉛筆が芯から離れないように、常にくっついた状態のまま円を描くことだった。そこで、フラフープで実践する時も、フラフープの中央に立つのではなく、左右どちらかに寄り立ち、フラフープが密着した状態で回転させた。



時計回りの場合、フラフープの右側に右腰をつけ、左腰に当てるように左手でフラフープを水平押し出し、(緑色の星印)時計方向に回転させた。(紫色の矢印 写真-4)反時計回りは逆に行った。(写真-5)



写真-4



写真-5

### ⑥ 垂直に立ちつつ、腰を前後に動かすとは?

足を一步前に出す、腰幅に開く、足を閉じるという3つの方法を試した。10回フラフープを回し、持続回転時間と回転数の平均を出した。その後、それぞれの1回転あたりの時間も計算し、同様に平均を出した。連続3回1分超えした場合はその時点で打ち切った。(表-2)

足を一步前に出す方法が一番リズムにのりやすく、膝、足首を柔軟に使うことができ、8回目で打ち切りになった。腰幅に開くと左右に腰が動いてしまい、足を閉じると10秒ごとに落ちそうになった。

	足を一步前に出す	腰幅に開く	足を閉じる
持続回転平均時間	41.4秒	35.3秒	27.1秒
回転平均価	102.6回	76.1回	48.9回
1回転あたりの秒数	0.4秒	0.47秒	0.7秒

表-2

### ⑦ フラフープを回す位置は?

日に肩、当たり前のように腰でフラフープを回しているが、コマは重心が低いほど安定して回転すると書いてあった。そこで、厚紙を直径5.0cmに切り、中心につまようじを刺して、下から1.5cm、3.0cm、4.5cmの位置につけ持続回転時間を測定した。(写真-6)直ぐに倒れてしまったので、ダンボールを2枚ずつ追加してみると、回転時間が伸びた。1日10回実験して平均値を出し、3日間繰り返して測定した。(表-3)

	1.5cm	3.0cm	4.5cm
1日目	23.7秒	4.8秒	0.7秒
2日目	24.0秒	5.1秒	0.6秒
3日目	24.7秒	5.1秒	0.6秒
平均値	24.1秒	5.0秒	0.6秒

表-3

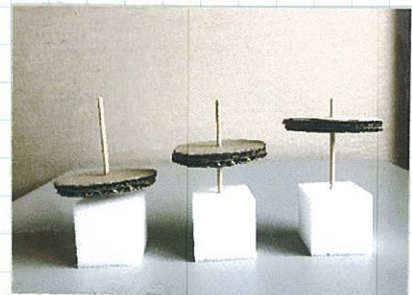


写真-6



以上の結果、フラフープは腰ではなく、太もも辺りで回した方が回転時間が長くなるのではないかと思い、太もも、腰、胸のフラフープ持続回転時間を10回ずつ測定し、平均値を出した。その際、太もも65cmを基準に腰囲、胸囲をバスタオルで調整し、同じ太さになるよう調節した。(表-4) 予想に反し、太ももは30秒も回らなかった。太ももの位置で回転させると、手の長さが足りずに姿勢が前かがみになり、回し出してから姿勢が崩れてしまうことがフラフープに応用できない理由だと考えた。また、胸は逆に手がひっかかってしまい、回転の妨げになってしまった。

	太もも	腰	胸
平均値	6.5秒	30秒	2.0秒

表-4

## ②考察

反時計回りにフラフープを回せるようになるためには、フラフープの左側に左月要をつけ、右腰に当てるように右手でフラフープを水平に才出し、反時計方向に回転させること、タイミングよく前後に月要を動かすこと、足を一歩前に出し、頭が引られるように垂直な姿勢を保つことが大切だ。実際、この実馬兎をしただけで、今までほとんど回せなかった反時計回りが驚く程上達した。足を一歩前に出して回す方法は6回目から3回連続1分以上回せるようになった。もっと慣れればみんなもフラフープ達人になれるのではないかと手応えを感じた。

## 5. おすすめのフラフープはどれかな？

### ①実験

フラフープを回すコツも分かったので、次はどんなフラフープが最適か実験してみたい。本やインターネットで色々調べていた時に、かには公式があると知り、とても驚いた。あまりにも難しくほとんど分からなかったけれど、遠心力の公式は

$$\text{遠心力} = \text{質量 (kg)} \times \text{速度 (m/s)}^2 \div \text{半径 (m)} \quad (\text{公式1})$$

と書いてあった。この式を参考に遠心力について考えてみると、質量の違うフラフープと半径の違うフラフープを準備すれば、おすすめのフラフープを探る糸口になるのではないかと考えた。遠心力の公式を見ると、遠心力は質量が重く、速度が速く、半径が小さいほど強くなる。従って、フラフープを選ぶには、フラフープが重く、速く回すことができ、半径が小さいほど遠心力が大きくなり、落ちにくくなるのではないかと予想し、次の手順で実馬兎を行った。



②質量の違うフラフープ(①②③④)

1本約500g直径63cm プラスチック製のフラフープを4本用意した。(写真-7)①1本のみ、②2本セット、③3本セット、④4本セットの4種類のタイプを準備し、ビニールテープで固定した。フラフープを回すコツを実験しているうちに、思いがけず反時計回りも回せるようになってしまったので、当初の予定を変更し、1分間に何回回せるか3回測定し、それを2日間続けを行った。そして、それぞれ1回転あたりの時間を計算し、平均値を出した。



写真-7

③半径の違うフラフープ(⑤⑥⑦)

1パーツ約25gを6パーツ接続させると直径66cmになるフラフープ(写真-8・⑤)、7パーツ・直径78cm(写真-9・⑥)8パーツ・直径90cm(写真-10・⑦)の3種類のウレタン素材のフラフープを準備し、質量の違うフラフープと同様の実験を行った。直径のみ変えて実験したから、パーツが増えるにつれ約25gずつ質量が増えることで、多少誤差が出てしまった。



写真-8      写真-9      写真-10

②結果

実験の結果を表にまとめた。(表-5) なお、遠心力の公式を用いる際、速度については、距離÷時間、距離は円周(直径×3.14)、時間は1回転にかかった秒数を使った。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
写真							
質量(kg)	0.54(1本)	1.09(2本)	1.77(3本)	2.27(4本)	1.59(6パーツ)	1.77(7パーツ)	2.01(8パーツ)
半径(m)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	0.39	0.45
円周(m)	1.98	1.98	1.98	1.98	2.07	2.45	2.83
1回転にかかった時間(S.秒)	0.4	0.45	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
速度(m/s)	4.95	4.4	3.96	3.96	4.14	4.08	4.72
遠心力	41.35	65.95	86.74	111.24	82.58	75.55	99.51

表-5



- ・①~④は、質量が重くなるほど遠心力も大きくなり予想通りの結果になった。
- ・⑤~⑦は、⑤⑥⑦の順に半径が大きくなるほど遠心力は弱くなると予想していたが、⑦が3つのうちで最も速度が速く、遠心力が大きかった。
- ・⑥⑦は38cmも円周に差があるのに、どちらも1回転0.6秒で回っていた。
- ・遠心力が強ければ強いほど、重力に負けずに回転を続けられると予想したが、遠心力が最も強い④は胡要への衝撃が痛く、最も回しずらかった。
- ・④ほどではなかったが、③も腰が痛くなり回しずらかった。しかし、同じ質量の⑥は全く腰に痛みはなかった。
- ・③と⑥は質量が同じで、半径が小さい方が遠心力が強くなるという予想通りの結果になった。

### ③考察

- ・⑦が思いかげず遠心力が強く、速度も速かったので、何かの間違いかもしれないと不思議に思い、ほとんどフラフープが回せない兄に①~⑦まで回してもらったところ、⑥と⑦だけは10回程回すことができた。そこで、同様に父にも回してもらおうと⑥だけは回すことができた。今までは、遠心力を基準として遠心力が大きいフラフープを選べばいいと思っていたけれど、1周あたり0.6秒で回転するフラフープを選ぶことが初心者にはいいのではないかと考えた。なぜなら、④と⑦を比べると質量は26g差はあるものの、④は最も遠心力が大きいのに兄も父も全く回らなかったから。初心者は④のように直径が小さいものは回しずらく、1周あたり0.5秒以下になると、タイミングを合わせずらくなるのではないかと思った。
- ・私は休校中から時計回りを練習していたので、時計回りなら15分位回せるようになったが、実際に回してみても、遠心力より直径が大事という感覚がある。私にとっては、⑤⑥⑦より①~④の直径63gが回しやすく、重さは①の0.5kgが一番回しやすかった。中級以上になると、どんなフラフープでもとりあえず回せるようになるが、大きすぎず重すぎないものがおすすめのフラフープになるのではないかと考えた。
- ・およそ1500gを超えるフラフープについては、石更い素材のプラスチック製ではなく、ウレタン製など柔らかな素材を選んだ方がいい。
- ・兄が上達していく過程を見ていると、①は特に苦戦しており、先に③と④が回せるようになった。従って、直径が小さくて苦戦している場合は、質量を重くすれば上達の近道になる。兄が回しても私が回しても回転周期に大きな差はなく、③④の回転周期が0.4~0.5秒で落ち着くと、回転時間が伸びた。その後、タイミングがつかめたのか、次第に①も回せるようになり、どんなフラフープでも回せるようになった。



## 6. フラフープはなぜがいっぱい!

フラフープの実験をしていくうちに、フラフープが思いがけない動きをするので、ますますフラフープのなぞを解きあかしたくなった。

### ① フラフープ4本回しをしてみると!?

表-5④の実験で直径63cm重さ500gのフラフープ4本をビニールテープで固定して回してみたら、最も回しづらく、腰も痛かった。そこで、4本バラバラに回してみると、ビニールテープで



写真-11

固定するより痛みは少なく、しかも4本が乱れることなく同じように回転した。(写真-11)また、フラフープが落ちる時には、必ず一番下のフラフープが落ち、1本落ちると他3本も総崩れして落下した。そこで、フラフープには最適な回転周期があるのだと思い、前回の実験同様、1分間に何回回せるのか3回測定し、それを2日間続けた。それぞれ1回転あたりの時間を計算したところ、全て0.5秒で回転しており、表-5④の結果と同じ数値になった。また、一番下のフラフープが落ちる時には、必ずフラフープが腰骨の下に落ちている時だったので、腰骨より高い位置で回すことも重要であると改めて感じた。

### ② 時計回りにフラフープを回しながら反時計回りにターンしてみると!?

時計回りにフラフープを回しながら反時計回りにターンしてみると、なぜかフラフープが落ちてしまった。反時計回りにフラフープを回しながら時計回りにターンしてみると、同じくフラフープは落下した。今度は回転の方向を同じにして、時計回りにフラフープを回しながら時計回りにターンしたり、反時計回りにフラフープを回しながら反時計回りにターンしてみると、フラフープは安定して回転し、落ちることはなかった。なぜこのようなことになるのか不思議に思い調べてみたが、石雀実な答えは見つからなかった。私は逆方向に同じ力かそれ以上の回転がかかると、フラフープの回転にブレーキがかかり、落下するのだと思った。フラフープ4本回しの時、1本落ちると他3本も総崩れするように、フラフープは奇跡とも思えるような微妙な力のつり合いによって回転が保たれており、ほんの少しの力加減でもバランスが崩れると落ちてしまうのではないかと考えた。

## 7. まとめ

フラフープが回るには、慣性力、遠心力、ジャイロ効果が働く必要がある。そのためには、フラフープが何もしないで自ら3~5回転できるようにフラフープを密着した状態で回転させ、回し出しを極めることが



大切だ。その後はフラフープを腰の位置でタイミングよく前後に動かし、ひざ・足首を柔らかく使う。足を1歩前に出し、頭は上に引、はられるよう姿勢を整える。

フラフープの回しやすさの基準としては、遠心力より、1回転にかかる時間に着目した方が分かりやすい。初心者には0.6秒に1周回転するようなフラフープを選んだ方がいい。あまり直径が小さく、軽いフラフープは避け、目安として直径78cm、重さ1700gくらいのものであれば、成り上がる可能性が高い。慣れてくると、回転数も上がり、0.4~0.5秒に1周回転するものも回せるようになる。どんなフラフープでも回せるようになるが、1700gを超えるフラフープを選ぶのであれば、腰を痛めないようウレタン製など柔らかい素材のものを選んだ方がいい。

直径が同じフラフープは4本ビニールテープで固定しても、4本バラバラのまま回しても縦質量が同じであれば、1回転にかかる時間は同じになる。フラフープを回している時、逆方向の動きをすると回転にブレーキがかかるのか、フラフープは落下してしまう。フラフープは簡単な遊びではあるが、ほんの少しでもタイミングが合わなかったり、別の力が加わると落下してしまい、力の法則から考えると、なぜに落ちた遊びである。

力の世界を学んだのは初めてだったが、目に見えない世界を理解するのは難しかった。小学生用の図が以外に式だらけで全く分からなかった。しかし、フラフープのことを調べているのに、月が地球の周りを回っているのは地球の重力と月が公転する遠心力が釣り合っているからなど、惑星のことまで世界が広がり驚いた。ジャイロの力にしても、ゲーム機やスマートフォン、自動車などにジャイロセンサーが使われていたり、船舶や飛行機の正確な方向を指すコンパスの役割があることを知った。さらに、ジャイロパワーは国際宇宙ステーションや深海でも活かされていて、フラフープを知ることで無限に世界が広がっていきななんて思ってもいなかった。

骨折と新型コロナウイルスがなければフラフープをする事はなかった。ニュートンが万有引力の法則を考え出した時も黒死病が流行したので、安全な母の農園に移り、りんごが落ちたのを見たからだと言っていた。そう思うと新型コロナウイルスの新しい生活の中に今回のような新しい発見があるかもしれない。ステイホームや骨折はつらかったけれど、この時期だからこそ普段やらない事にチャレンジし、科学の世界を通じて、新しい生活様式を楽しんでいけたらと思う。

## 8. 参考文献

- ・ 佐藤勝彦 『よくわかる重力と宇宙』 PHP研究所 2017年
- ・ リチャード・ハモンド著 鈴木将訳 『目で見る物理』 さえら書房
- ・ 大井喜久男・大井みさほ・三輪広明・松浦博和 『力の事典』 岩崎書店 2012年
- ・ 『ドラえもんふしぎのサイエンスV01.⑧』 小学館 2013年