

筑波大学

朝永振一郎記念

## 第14回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ0763  
応募部門 : 中学生部門  
応募区分 : 個人応募  
題名 : 吊り橋と振動のメカニズム  
学校名 : 筑波大学附属中学校  
学年 : 3年生  
代表者名 : 北島 優紀

※ 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。

左上一箇所でホチキス留め

筑波大学

朝永振一郎記念

## 第14回「科学の芽」賞 応募用紙

応募部門：中学生部門

応募区分：個人応募 ・ 団体応募

題名：吊り橋と振動のメカニズム

関連する項目：物理 ・ 化学 ・ 生物 ・ 地学 ・ その他

この作品は他のコンクールにも出品したか（する予定か）

はい（ ） ・ いいえ

学校名：筑波大学附属中学校

学年：3 年

代表者名：北島優紀  
キタ ジマ ユウキ

# 吊り橋と振動のメカニズム

3年4組29番

北島優紀

## 1. 動機

私は学校の修学旅行で「お茶コース」を選び、大井川流域の静岡県川根本町に行きました。そこで私は吊り橋を渡りました。その吊り橋では振動を縦にも横にもななめにもかなり感じ、担当の先生が事前学習で吊り橋の構造と、揺れにくさについておっしゃっていたのを思い出し、吊り橋の構造と振動の関係について調べてみることにしました。

## 2. 本論

### ①先生がおっしゃっていた事

私が渡った吊り橋は下の写真のような構造になっており、



よりの方が振動が

おさえられると言う。

→1人の時が、たくさんの方が渡る時のゆれが、構造の違いによる振動の差を調べていくことにする。

## 3. 実験方法

以下の2つの実験方法を考えて研究を行った

実験 1~3 様々な構造、種類の橋において、振動(前後上下へ動いた距離)を記録できる装置を自作し、振動の仕方とその大きさを比較した。

実験 4 実験 1~3 で使った吊橋の強度を調べる装置を自作し、吊橋の強度と、振動の関係を調べた。

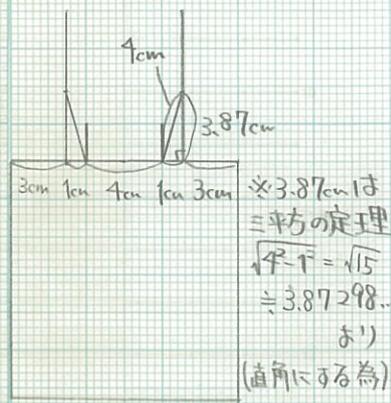
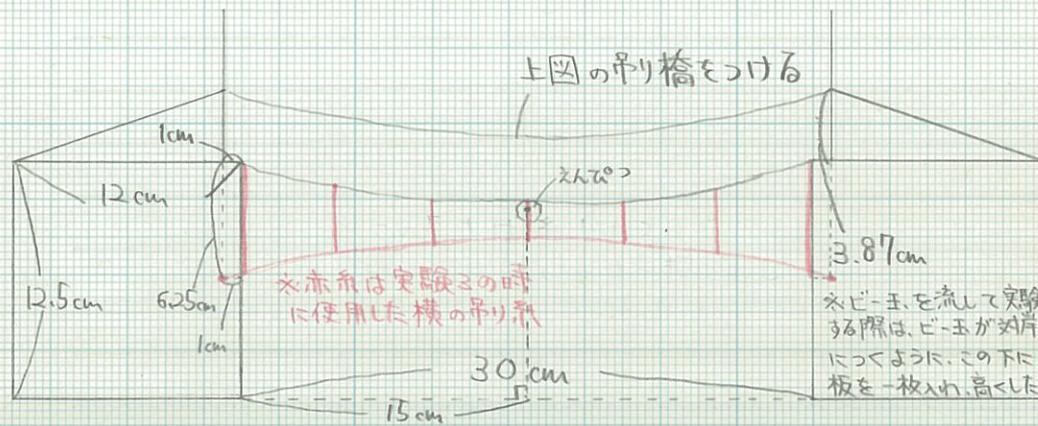
# 4. 実験装置の条件

## ① 吊り橋本体の構造

ま、すぐ延ばした時

4cm

※中の糸の本数は実験によって変える ※また糸の本数と同じ発泡スチロール(4cmx0.5cmx0.6cm)の床板をつけ、その上に、プラスチック板の道をのせる



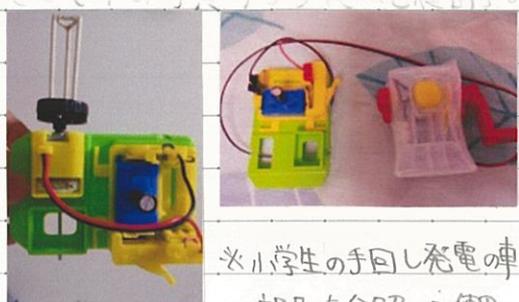
※縮尺は上が1目盛り2mm、下2図が1目盛り4mm



使用したもの  
 竹くし、つままうじ、発泡スチロール(土台)  
 発泡スチロール(橋板)、プラスチック板(道)  
 糸(初めの用、細め)、えんぴつB、ビニール紐(道)

## ② 振動を測る装置

振動を測る装置で私が一番最初に思いついたのは「地震計」だった。



そこで、車輪の部分のモーターを活用して、紙を自動で巻き取るような装置を作り、吊り橋の中心に鉛筆をつけて、振動の記録が残るような装置を考えた。

※小学生の手回し発電機の部品を分解して使用する

しかし、実際に使ってみると、振動時間は1秒にも満たない位だった上、紙の巻き取りがとてま早く、鉛筆跡がほとんど残らなかった。

※上の写真の木の棒の部分に長い紙をつけて、モーターを動かすと、紙が巻き取れるだろうと考えた

また、この方法では進行方向に対する前後の振動が計測できないため違う方法と考えることとした。

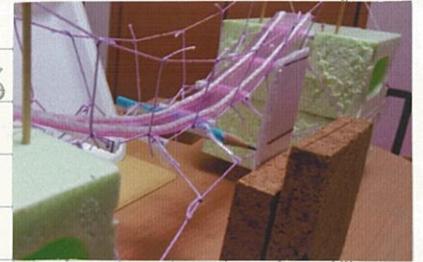
そこで、1秒にも満たないとても小さな振動なら、固定した紙(3cm x 4cm)でも鉛筆の跡が最初から最後まではまきりかかると思い、下の写真のように固定したものを使うこととした



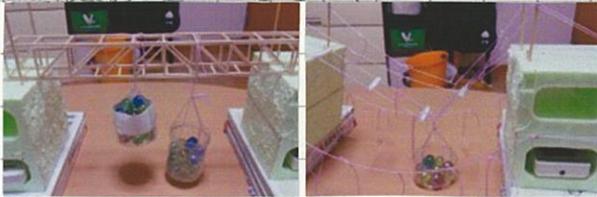
結果かなり、はっきりとわかったので、この方法を使うこととした。また最初の鉛筆跡は印をつけておき、後から見てわかりやすいようにした。

※左の台紙に紙をセロテープで貼る  
※鉛筆跡はかなり薄いので、実験後、光を下から当てて確認した

▼橋に鉛筆をつけ、記録している様



### ③ 強度を測る方法



左の写真のように吊り橋の中心にかごをつけ、重じ規格のビー玉が何個乗るかによって強度を調べる。(かごが床についた時点の個数)

## 5. 実験

**実験1** 吊り橋を単独歩行と集団歩行をした時振動は変わるのか



※ビー玉の転がし方の工夫

左の写真のように角度をつけて台をつくり、常に一定の条件で転がるようにした

<実験方法> 吊り橋の上部にある吊り糸の本数を6本、8本、15本として、吊り橋をつくり、振動計を用いて、振動の変化を調べた。(この時、つり糸とつり糸の間かくは一定になるように作った)。振動を作るのはビー玉を転がすこととし、1個、2個、8個で行うことで単独歩行と集団歩行を再現した。

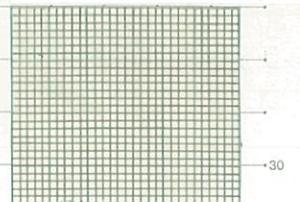
### <実験結果>



※データの取り方



		① 上下運動(上) ※出発点から何mm上に鉛筆跡が動いたか										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
6本の吊り橋	1	1	1	1	1	1	2	1	0	0.2	0.7	0.89
	2	0.5	1.8	1.2	1	0.1	2	2.3	0	0	0	0.89
	8	0	0	4.2	2.5	1.5	3.2	1.8	0	0	1.2	1.44
		② 上下運動(下)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
6本の吊り橋	1	2	4	4	3	3	5	2	3.8	5.1	0.3	3.22
	2	4	3	3.5	3.8	3.1	3.5	3.5	4.2	4.1	4.1	3.68
	8	11.5	10.5	5.5	7.2	7.1	7.3	6.2	9.5	8.2	8.1	8.11
		③ 進行方向に対する前後運動(前) ※出発点から何mm前に鉛筆跡が動いたか										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
6本の吊り橋	1	0.8	1	0.8	1	1	1	0.9	1.8	0.9	1	1.02
	2	1.1	1	1.2	0.8	1	0.5	0.8	0.9	2.3	0.8	1.04
	8	0.2	1.5	1.2	0.5	0.1	0.5	1	1.2	0.4	0	0.66



上は8本の吊り橋に8個のビー玉流した5回目のデータ。出発点は赤、なぞった線は黒で上から書いた。  
ここの赤点を下の1mm x 1mmの格の1点に合わせて移動距離を前後、上下の移動距離をデータ化した。

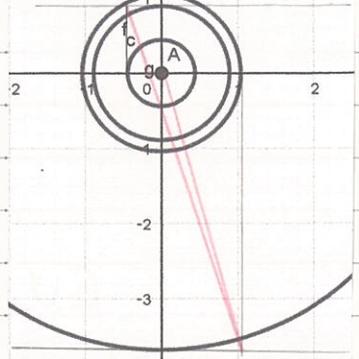
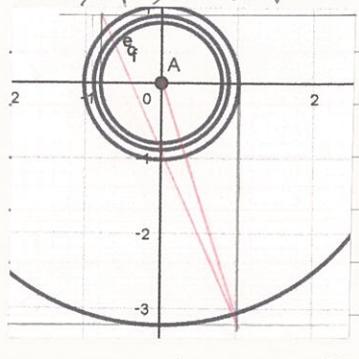
① 進行方向に対する前後運動(後)

個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	25	0.5	0.5	0.3	0.4	0.2	0	0	1.1	2.5	0.8
2	0	0.3	0.2	0.1	2.2	1.2	0	0.4	0	0	0.44
8	1	2.1	0.5	1	1.7	0.7	0.2	0.5	1	1.2	0.99

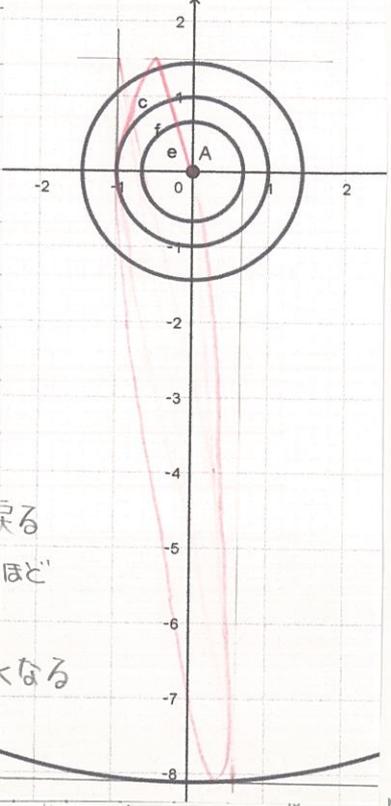
\*単位はすべてmm

NO. \_\_\_\_\_  
DATE \_\_\_\_\_

・取った平均のデータと実際の線の道すじから考えられるモデルの線のとをジオジブラで描き、平均の線を作った



▶ ビー玉 8個



6本の吊り橋にビー玉1個

ビー玉2個

特徴 (6本の吊り橋の時)

- ・ビー玉1個、2個の時は、まず下がりながら前へ行き、その後、上がりながら後3へ戻る
- ・ビー玉8個の場合は、まず上がりながら後3へ行き(上の最高点に達した時、後3に1/2ほどの場所)、その後なめらかな曲線を描きながら、下がり前に戻る
- ・ビー玉の個数が増えると上の運動は少し大きくなり、下の運動はとても大きくなる
- ・ビー玉の個数を変えても、前後運動の大きさはあまり変わらない

① 上下運動(上)

個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
8	1	4	12	X	2	0	3.1	0.2	1.2	0	1.74
本	2	0.2	0.8	0	0.2	1.2	1	0.8	0.1	0.5	0.38
の	8	5.2	9.2	12	8.5	5.7	4.5	4.2	3.4	2.1	5.4

② 上下運動(下)

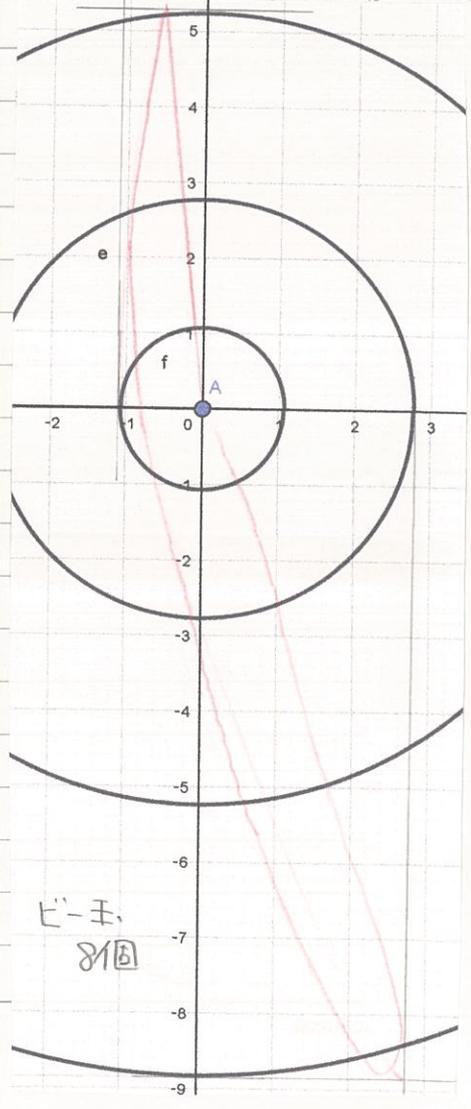
個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
8	2.3	3.5	3.5	X	2.3	4.2	2.8	3.2	2.5	3.6	3.1
本	2	3.5	2.4	2.6	4.1	1.4	0.9	2.1	2.2	3.2	2.56
の	8	12.1	15.5	6.3	9.8	10.2	7.6	5.4	7.8	7.4	6.2

③ 前後運動(前)

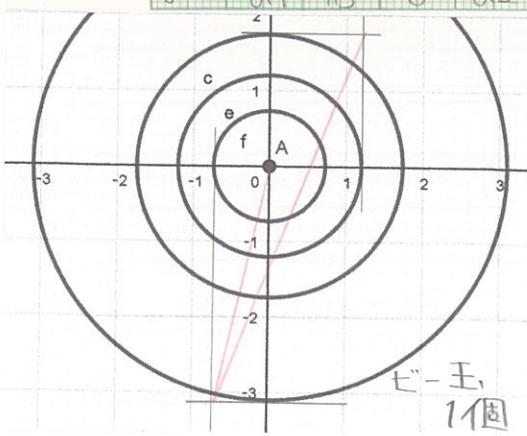
個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
8	2	1.2	3	X	1	1.8	0.8	0.1	0.8	0.1	1.2
本	2	0.1	0.2	0.2	0	0.6	1.2	0	0.2	0.2	0.28
の	8	5.1	3.5	2.1	3.4	4.2	3.2	2.0	2.2	1.2	0.8

④ 前後運動(後)

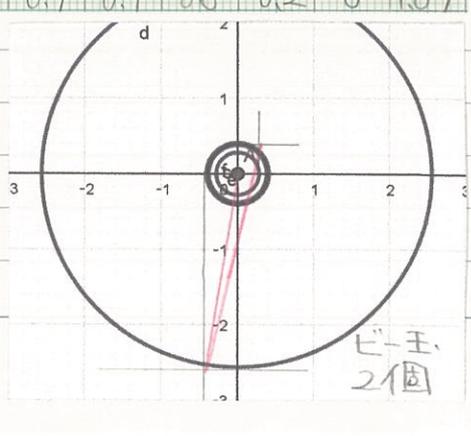
個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
8	2	1	1.2	X	1.2	0	0.3	0.4	0.2	0.3	0.73
本	2	0.5	0.4	0.5	0.8	0.1	0	0	0.1	1	0.41
の	8	0.1	1.5	0	0.2	0.8	0.7	0.4	0.8	0.2	1.07



ビー玉 8個



ビー玉 1個

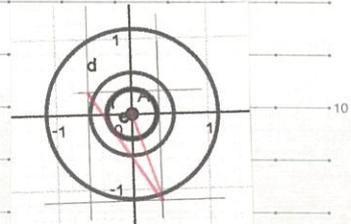


ビー玉 2個

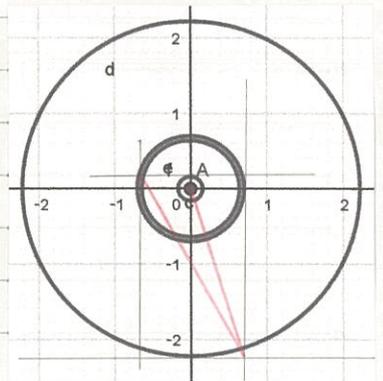
特徴 (8本の吊り橋の時)

- ビー玉 1個、2個の時はまず下がりながら後ろへ行き、その後上がりながら前へ戻る
- ビー玉 8個の場合はまず上がりながら後ろへ行き(上の最高点に達した時、後ろに $\frac{1}{2}$ ほどの場所)その後、最初の地点よりも高い場所で後ろの最大点に達し、なめらかな曲線を描きながら下がり、前へ戻る
- ビー玉の個数が増えるると上下運動の大きさが大きくなる
- ビー玉 1、2個では前後運動はあまり見られないが、8個になると前後運動も大きくなる
- ビー玉 8個になると、一度上がって下がるような鉛筆跡になる

① 上下運動 (上)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
15本の吊り橋	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
	1	0.3	2	0	0	0.1	0.7	0	0	0	0.1	0.32
	2	0.1	0.1	0.1	0.2	0	0.7	0.1	0	0.6	0	0.16
	8	0	8	X	0.5	4.8	1.8	6.7	7.1	5.8	4.2	4.32
② 上下運動 (下)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
15本の吊り橋	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
	1	0.5	1.2	3	1	1.2	1.1	1	1.2	0.3	0.8	1.13
	2	1.5	2	1.8	2.4	3	0	4	3.2	1.1	3.2	2.22
	8	6.2	4.5	X	5	5.4	5	4.4	3	4.2	5.8	4.17
③ 前後運動 (前)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
15本の吊り橋	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
	1	1	1.1	0	0.1	0.4	0.2	0.5	0.1	0	0	0.34
	2	0	1	0.1	0.4	1.5	2	0.1	0.4	0.6	0.9	0.7
	8	1.1	2.1	X	6	5.2	2.8	3.2	2.8	1.4	1.6	2.91
④ 前後運動 (後)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
15本の吊り橋	個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
	1	1	2.8	0	0.3	0	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.55
	2	0	1.2	0.5	1.1	0	0	2	1.2	0.4	0	0.64
	8	0.2	1.2	X	5.8	0.4	1.8	1.1	3.2	0.4	0.3	1.6



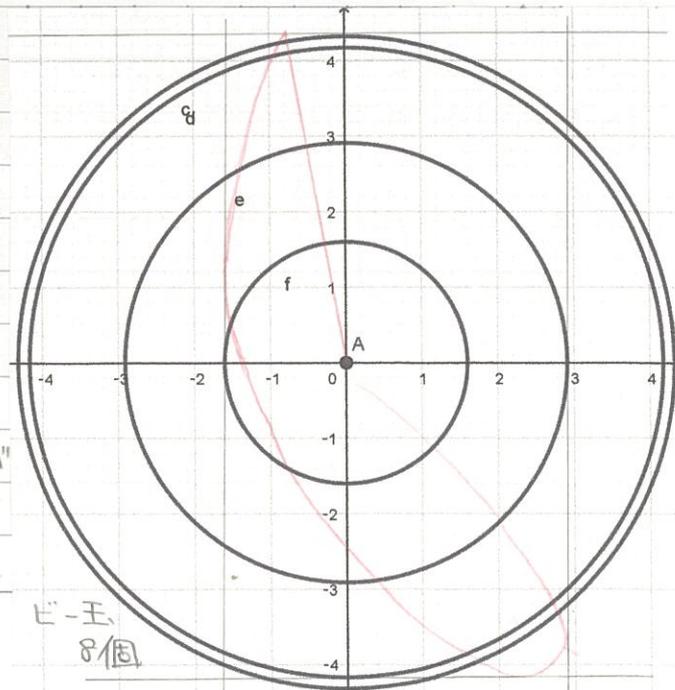
15本の吊り橋にビー玉 1個



ビー玉 2個

特徴 (15本の吊り橋の時)

- ビー玉 1個、2個の時は、まず下がりながら前へ行き、その後、上がりながら後ろへ戻る
- ビー玉 8個の場合は、まず上がりながら後ろへ行き(上の最高点に達した時、後ろに $\frac{1}{2}$ ほどの場所)その後、なめらかな曲線を描きながら、下がり前へ戻る
- ビー玉の個数が増えるると上下への運動がとて激しくなる
- ビー玉 1、2個では前後運動はあまり見られないが、8個になると、とても大きくなる
- ビー玉 8個になると、一度上がって下がり、元に戻る



ビー玉 8個

### <考察>

- ・ 単独歩行よりも集団歩行の方が上下、前後どちらにも振動が大きくなる。
- ・ 単独歩行の時は1度しか振幅がないが、集団歩行になると2~3回変化がある。
- ・ 集団歩行の際、最初に後ろにいきながら上がるのは、吊り橋の形が「」から「」に変化したからだと考えられる。
- ・ 集団歩行になると単独に比べ上下の振動がとて大きくなる。
- ・ データの中に(特に6本の吊り橋)にはビー玉が最後まで上がらず、モデル線と大きく異なるものもあったが、およそ単独歩行では直線的な上下の運動、集団歩行では曲線を含むゆるゆる運動である。

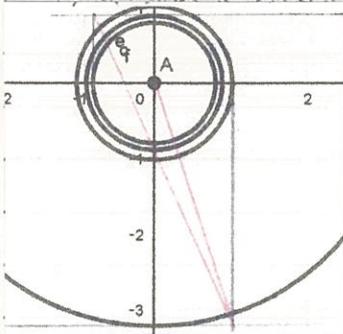
### 実験2 吊り橋を吊る糸の本数を変えた時、振動は変わるのか

#### <実験方法>

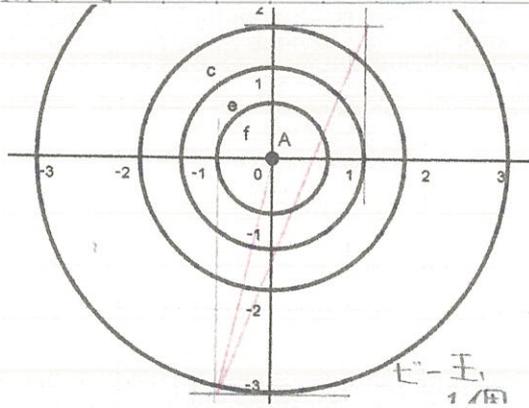
吊り橋の上部にある吊り糸の本数を6本、8本、15本として吊り橋をつくり、振動計を用いて振動の変化を調べた。この時、ビー玉1個と8個の場合でそれぞれ調べた。

#### <実験結果>

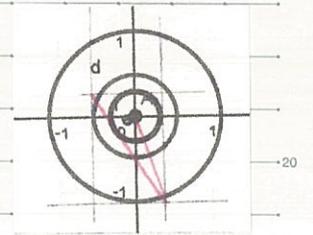
※実験1の結果を参照に比べる



・6本の吊り橋にビー玉1個

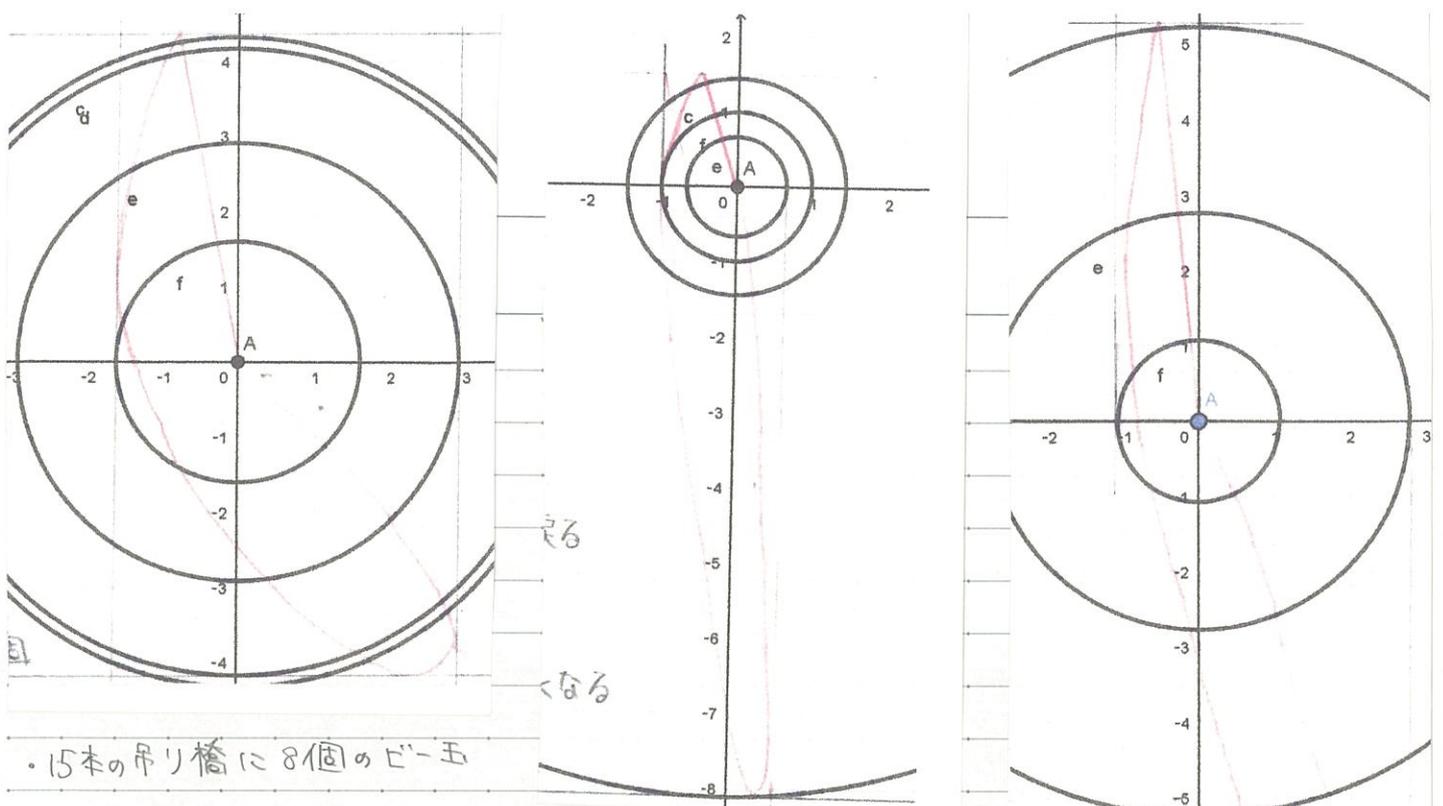


・8本の吊り橋にビー玉1個



・15本の吊り橋にビー玉1個

- ・ 上下振動の大きさは 8本 > 6本 > 15本の順となっている
- ・ 前後振動の大きさも 8本 > 6本 > 15本の順となっている
- ・ ビー玉1個の場合、6本と15本の時は初めに下がりながら前へ行きその後、後ろに行きながら上がるが、8本では逆になる



・15本の吊り橋に8個のビー玉

・6本の吊り橋に8個のビー玉

- ・上下振動の大きさは 8本 > 6本 > 15本の順となっている
- ・前後振動の大きさは 15本 > 8本 > 6本の順となっている
- ・ビー玉8個の場合、6、8、15本でも、同じような形となる

・6本の吊り橋では写真のように上がりきかない  
ビー玉もあり、正確とは言い切れないデータ  
なりました



〈考察〉

- ・予想では 6本 > 8本 > 15本の順に振動が大きいのと思っていたが、ビー玉の流れと6本の吊り橋が共鳴したのか、8本 > 6本 > 15本の順に振動が大きかった。
- ・共鳴する場合を除き、一般的に吊り糸が多い方が振動をおさえられる
- ・吊り糸の本数を変えても、ビー玉の個数が同じなら振動の仕方は同じだった

【実験3】吊り橋の構造の違いによって、振動は変わるのか

〈実験方法〉

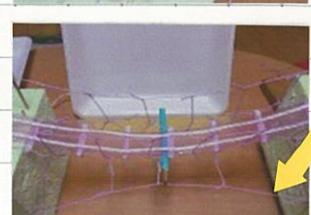
吊り橋の上部にある吊り糸の本数を6本、8本、15本として吊り橋をつくり、横からなるように吊り糸で支えた。この時転がすビー玉は1個、2個、8個、それぞれで実験を行い、実験1の結果と比べた

〈実験結果〉

本数	① 上下運動 (上)										平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0.5	0	0.3	1	0	0.1	0.8	0	0	0	0.27
2	0	0.4	0	0.2	1.2	0.2	0.7	0.5	0.8	0	0.7
8	0	0.2	2.4	1.2	3.1	3.2	2.8	2.2	3.2	2	2.03

吊り橋	② 上下運動 (下)										平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1.8	2	0.4	1.2	3	2.8	0.9	2.8	2.1	1.6	1.86
2	3.8	2	3.4	0.8	2.8	2.2	2.1	0.5	2.3	2.2	2.21
8	3.8	5.1	7.1	5.2	5.6	5.8	3.8	5.4	3.5	4.1	4.94



▲ 橋の様子

KOKUYO

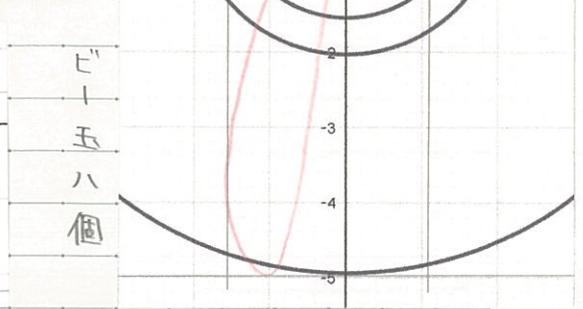
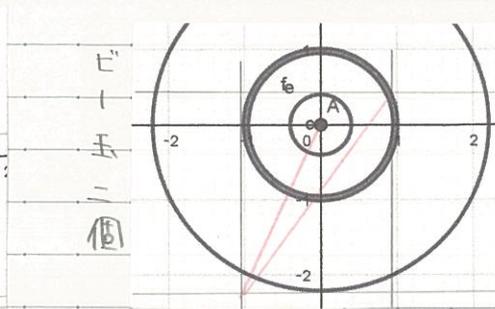
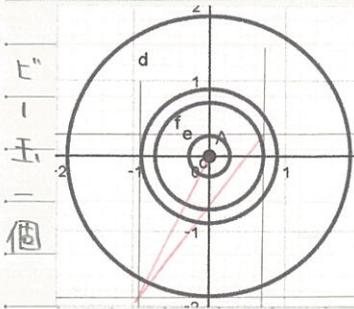
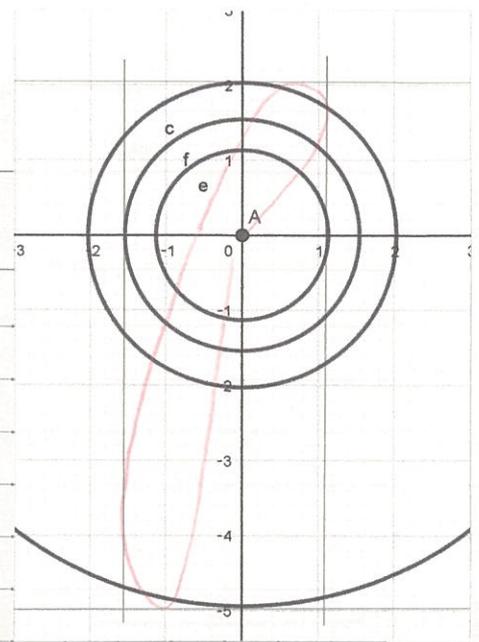
なるように追加した横

③前後運動 (前)

個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	0.8	0	0.7	1.2	2.1	0	0.3	1.1	0.9	0	0.77
2	1.8	0.2	0.5	2.1	0	1.1	1	0.2	0.7	2.2	0.95
8	1.2	0.2	2.2	0	2.1	1.1	0.8	0.7	2.1	1.2	1.13

④前後運動 (後)

個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	1	1.8	1	0.8	0.2	1.5	0.8	0.8	0.4	0.6	0.89
2	0.4	0.9	2.8	0.6	1.1	1.8	1.1	0.7	0.2	0.8	1.01
8	2.8	1.1	0.3	1.3	2.9	1.4	1.2	1.8	1.7	0.9	1.54



特徴

- ・ビー玉 1個、2個の時はまず下がりながら後3へ行き、その後上がりながら前へ戻る
- ・ビー玉 8個の場合はまず上がりながら前へ行き、その後、下がりながら後3へ行き、最後戻る。
- ・ビー玉の個数が増えると上下運動、前後運動共に大きくなる。

①上下運動 (上)

個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	0	0.2	0	0	0.4	0.5	0.1	1.2	0.2	0.6	0.32
2	0.3	1.5	1.8	0.1	3.2	0.2	0.2	0	1.3	0.5	0.91
8	3.2	0.6	2.7	2.2	2.9	1.3	1.1	3.1	1.2	X	1.98

②上下運動 (下)

個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	2	1.2	1.5	1.4	1.5	0.5	3.4	1.5	1.4	2.1	1.65
2	1.4	1.3	2.8	3.2	2.2	2.1	2.5	2.8	1.5	2.3	2.21
8	5.8	5.4	5.7	1.8	3.9	3.2	3.9	5.2	2.8	X	4.19

③前後運動 (前)

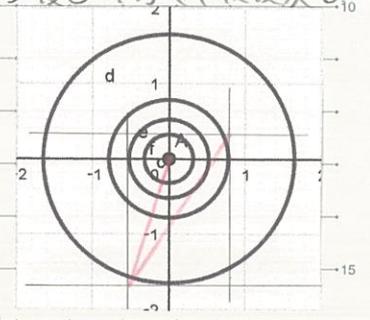
個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	0.5	0	0	0	1.2	0.8	1.2	2.1	0.8	1.2	0.78
2	0	0.1	0.3	0.1	1.8	0.9	1.1	0.2	1.9	1.3	0.77
8	0.2	1.1	0.9	1.1	1.2	0.2	2.2	1.4	1	X	1.03

④前後運動 (後)

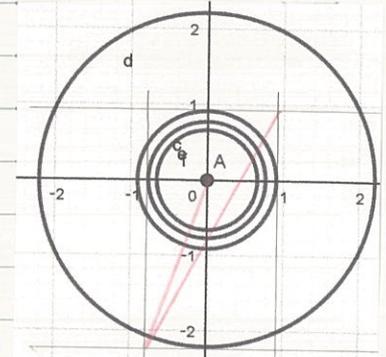
個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	0.2	0	1.1	1.2	0	0.4	0.6	1.1	0.2	0.4	0.52
2	1.5	0.3	1.8	0.8	0	0.6	0.5	0.9	0	0.2	0.66
8	2.8	3.4	3.2	1.1	1.1	0.1	1.2	1.6	0.8	X	1.7

特徴

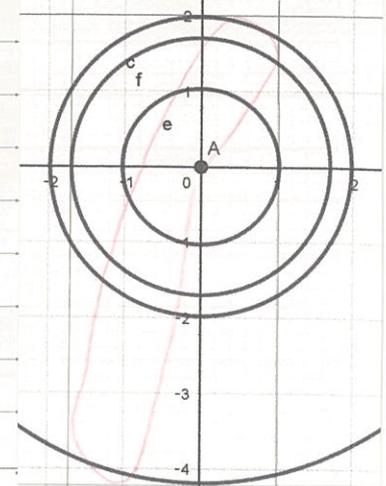
- ・ビー玉 1個、2個の時はまず下がりながら後3へ行き、その後上がりながら前へ戻る
- ・ビー玉 8個の場合はまず上がりながら前へ行き、その後下がりながら後3へ行き、最後戻る
- ・ビー玉の個数が増えると、上下運動、前後運動ともに大きくなる



ビー玉 1個



ビー玉 2個



ビー玉 8個

①上下運動 (上)

個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	0.8	2	1	2.2	1.9	0.1	0.1	0.2	0.8	0.2	0.93
2	0.7	3	1.4	0.2	2.7	2.8	0.8	1.7	0.9	1.1	1.5
8	6.4	3.1	9.1	7.4	3.3	6.8	2.8	3.4	3.2	3.8	4.93

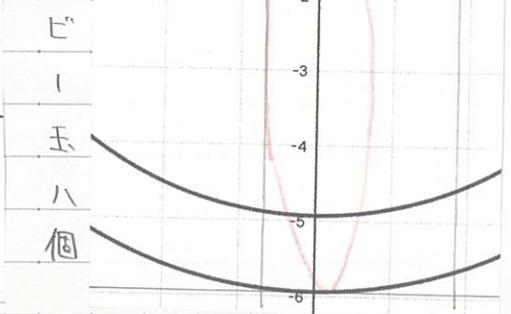
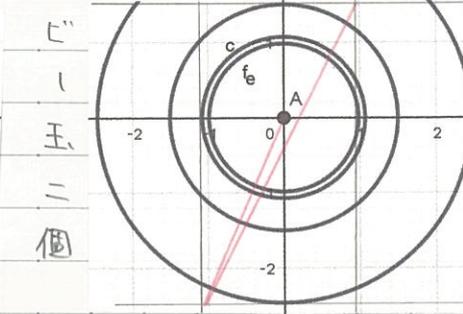
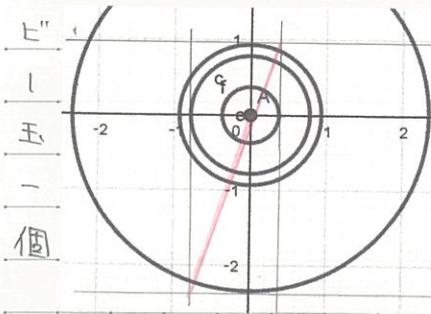
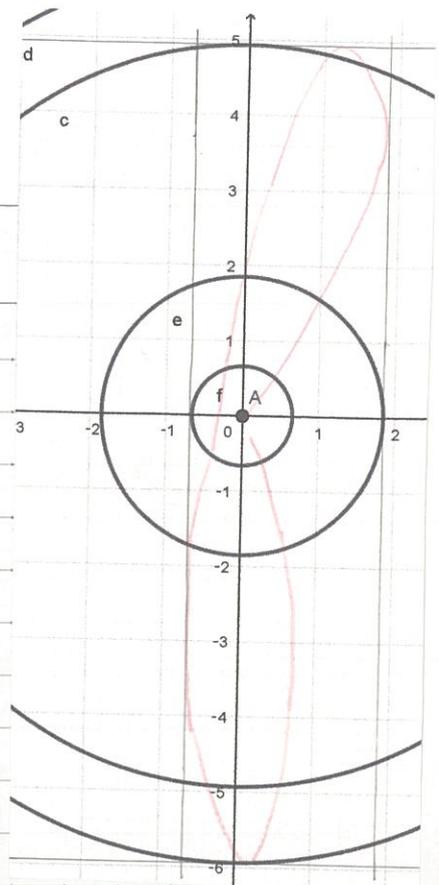
② 上下運動 (下)											
個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	2.6	2.8	3.2	1.2	1.5	3.1	2.8	2.2	2.1	1.9	2.34
2	1.8	2.2	2.1	3.3	1.2	4.2	3	1.8	2.8	2.2	2.16
8	6.9	6.2	10.2	6.8	6.8	3.4	6.2	4.8	4.7	3.4	5.94

③ 前後運動 (前)											
個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	0	0.6	0.2	0.3	1.2	0.1	0.1	0	0.8	0.4	0.37
2	0.8	1.6	0.6	0.2	1.2	1.2	1.6	1.1	1.2	0.3	0.98
8	0.2	2.8	3.1	3.4	3.3	2.1	0.4	0.2	1.2	1.8	1.85

④ 前後運動 (後)											
個	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1	1.2	0.9	0.7	0.8	0	1	1.3	1	0.4	0.5	0.78
2	0.9	1.2	1.1	0.9	2.1	1.1	1.1	0.3	1.1	0.9	1.07
8	0.3	0.9	0.1	0.8	0.2	0.4	1.2	0.4	0.8	1.5	0.66



特徴

- ビー玉 1個、2個の時、8個の時共に、吊り糸 6、8 本の時と同じ振動の仕方だった
- ビー玉の個数が増えると上下運動ともに大きくなる
- ビー玉 8個の時の振動がとて大きかった

<考察>

- 横に係をつけた 罫 の構造にすることで 15本の場合を除いて 罫 よりも上下に対する振動をおさえることができる
- ビー玉 8個の時最初に前に行きながら上がるのは N になっている床板を横系が N のように引張っているからだと考えられる。
- 罫 でも 罫 でも前後の振動の大きさはあまり変わらない。
- 罫 と 罫 では振動の順番(仕方)が大きく異なる

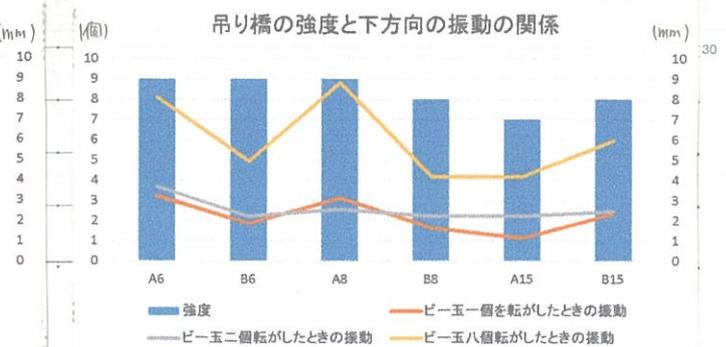
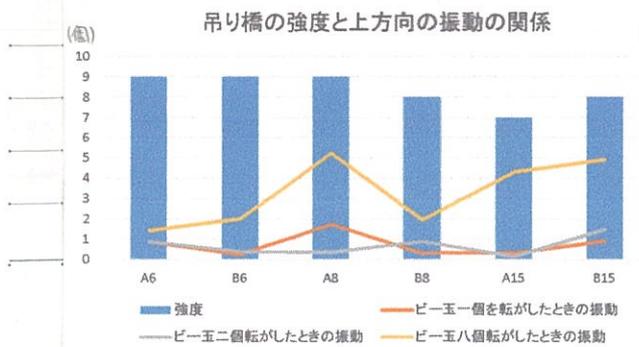
実験4 吊り橋の強度と振動の関係

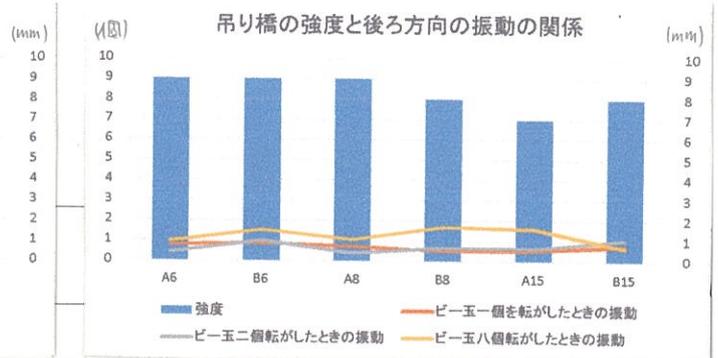
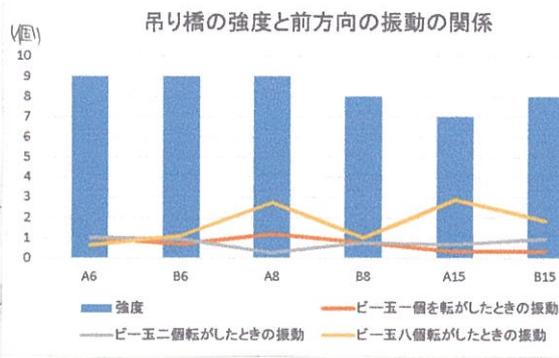
<実験方法>

3.③で書いた通りに強度を測り、それと振動の大きさのデータと一緒にグラフにする

<実験結果>

※Aは罫、Bは罫を表す。※数字は吊り糸の本数 ※強度の単位はビー玉の乗った個数 ※振動の単位はmm





<考察>

- ・ 吊り橋の構造や、吊り糸の本数が変わっても、吊り橋の強度はほとんど変わらず。吊り橋の強度はほぼ土台の強度である
- ・ 吊り橋の強度と振動の関係はほぼ見られないと言っても良い
- ・ 吊り橋にはその長さの吊り橋に適した、吊り糸の本数があり、多すぎても少なすぎてもいけない
- ・ また、吊り橋には共鳴してしまう構造、吊り糸の本数があり、その場合振動がとてつもなく大きくなる

※ トラス橋でも強度比較をすると  
ビー玉 50 個でもぐずれなかつた  
トラス橋 はとても強いことがわかった



6. 結論

- 実験1~4の結果から考えられる吊り橋と振動の関係は、
- ① 単独歩行と集団歩行では振動の仕方が大きく異なり、集団歩行になると上下運動がとてつもなく大きく、振幅も2~3回ある
  - ② また、鉛筆跡がぬじめる場合もあり、複雑な動きとなる
  - ② 吊り橋にはその吊り橋に適した吊り糸の本数とすると一度振動をおさえることができる。また共鳴のようになってしまう吊り糸の本数もある
  - ③ 吊り糸の本数を変えても、ビー玉の個数(実際には人数)が同じなら振動の仕方は同じである
  - ④ 柵よりも風筒の構造の方が上下に対する振動をおさえることができる  
またこの2つでは振動の順番(仕方)が大きく異なる
  - ⑤ 吊り橋の強度と振動の関係はほぼ見られない

7. 感想

吊り橋を実際に渡ってみて楽しいと思った事から発生した疑問を自分の手でデータ化して見えるようにすることができてとても良かった。糸の本数を変えたり構造を変えたり、歩行方法を変えるだけで目に見えてわかる振動の違いがあるのでとても面白かった。実験は同じ作業をずっと繰り返したり、準備するのに時間がかかったりと、地味なものだったが、昨年よりもさらに科学の世界への関心が広まった。