



沖縄電力社長賞

音はふしぎがいっぱいだ —音の伝わりについて—

沖縄市立泡瀬小学校 4年 新里 優馬

物理部門

研究のきっかけ

お母さんの運転している車に乗って、ボーッとしていたら、まどがあいていたのでとなりを走っている車の音や風の音が聞こえてきた。いつもは気がつかないけど、いろんな音がしているんだなぁと思いました。家に帰って、スプーンでコップをたたいてみたら音がなりました。ぼくは、ピアノをならっているの、この音ってドレミの何の音かな？ と思い、いろんな物をスプーンでたたいてみました。高い音ひくい音いろいろでドレミに分けるのは、けっこうむずかしいです。そのうちになんで音が聞こえるの？ と思いました。音について調べてみようと思いました。

調べたこと(スーパー理科辞典)

なぜ音が聞こえるのか

音を出す物がふるえる(しん動)と、そのしん動が空気に伝わり、空気中を伝わっていきます。

空気中を伝わってきた音は、ぼくたちの耳(じかく)で受け止められ、(こまく)をしん動させます。そのしん動が耳の器官を通して、脳(のう)に伝えられ、ぼくたちは音として感じとることが出来るのです。

物のしん動 → 空気中などを伝わる → 耳のこまくをしん動させる → 脳で「音」として感じる

音の正体は物体のしん動ということがわかった。

コップなどをスプーンでたたくと、しん動して音がなった。



★ボール → とう器のコップ → あきカン → プラスチックの順番でよくしん動していた。ボールが一番高い音だった。



- ボールのそこをたたくと、音になってハップオースチロールの玉がとび上がった。
- 下からたたいた方がひびいて、ハップオースチロールの玉が高く飛んだ。

- 声を出しながら、手をのどにあてると、のどがふるえていた。



音がなる時、物がしん動していることがわかった。

↓
物の音の他に声の音でためしてみようと思った。

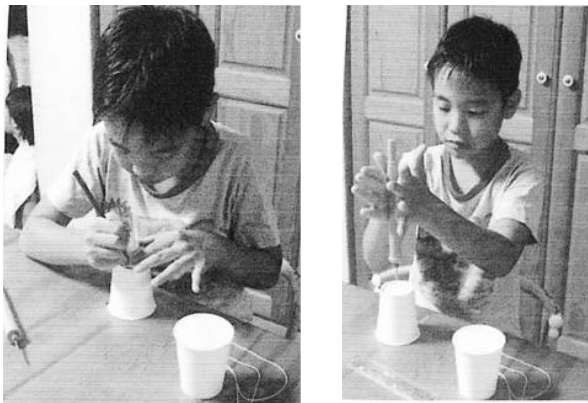
↓
実験①

実験① ①
声はどこまで聞こえるか(空気と糸) 1~40m

方法

1m 5m 10m 15m 20m 25m 30m 40mの糸電話を作る。

- 糸電話
- ① カップをつけないでふつうに話す。
 - ① カップだけ口にあてて話す。
 - ①②③④⑤
 - ① ピンとはった糸電話で話す。
 - ② 話すがわから10cmのところをつまんで話す。
 - ③ 話すがわから40cmのところをつまんで話す。
 - ④ 聞くがわから10cmのところをつまんで話す。
 - ⑤ 聞くがわから40cmのところをつまんで話す。
 - ①②③④⑤
 - ① ゆるめた糸電話で話す。
 - ② 話すがわから10cmのところをつまんで話す。
 - ③ 話すがわから40cmのところをつまんで話す。
 - ④ 聞くがわから10cmのところをつまんで話す。
 - ⑤ 聞くがわから40cmのところをつまんで話す。



話す言葉

「聞こえますか」
 「聞こえたら右手をあげてください」
 などのしつ問を5つする。

声の大きさ

いつも話しているぐらいの大きさ。
 大きさが同じになるように気をつけた。

場所

家の前の道路

回数

1つの実験につき3回~5回

予そう

【1】 カップを口にあてる(実験①)と空気が止められて、カップをつけない(実験①)でふつうに話したときよりも早く聞こえなくなる。(きよりが短い)
 ぼくの予そうでは、実験①25m 25mプールのはし

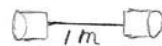
とはして友だちと話ができたから。実験①15m それよりもきよりが短いと思うから。

【2】 糸電話(実験①)は、25mぐらいで声が聞こえると思った。なぜなら、25mプールで友だちと話ができたことがあるし、声のとどくと同じくらいのきよりだと思ったから。

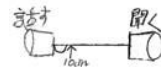
【3】 糸電話をゆるめたり、つまんだりすると(実験②~⑤) **①~⑤**、聞こえなくなると思った。なぜなら本で読んだ事があるし、糸がしん動しなくなるから。



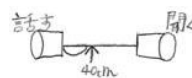
糸電話 1m



- ① カップをつけないでふつうに話す。◎
- ① カップだけ口にあてて話す。◎
- ① ピンとはった1mで話す。◎



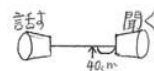
② 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。○



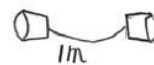
③ 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。○



④ 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。○



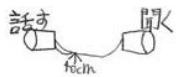
⑤ 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 2



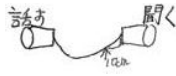
① ゆるめた1mで話す。○



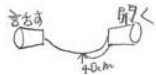
② 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 3

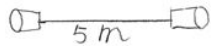
気づいたこと

つまんだり、ゆるめたりしたら、本では聞こえないとかいてあったが、聞こえたのでびっくりしました。たしかに糸がふるえて、声が伝わっているのがわかった。

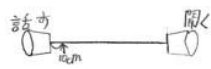
◎ピンとはる① → ○ゆるめる**1**ピンとはる**2****3****4**
→ ゆるめる**2****3****4** → ピンとはる**5** → ゆるめる**5**の順番でよくきこえた。

同じようにつまんでいるのに聞くがわから、40cmをつまんだ**5**が一番声が小さくなった。

糸電話 5 m



- ① カップをつけないでふつうに話す。◎
- 1 カップだけ口にあてて話す。◎
- 1 ピンとはった5mで話す。◎



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。○



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 2



1 ゆるめた5mで話す。○



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 2



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△

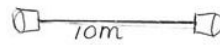


5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 3

気づいたこと

- ・5mも1mと同じようにつまんだり、ゆるめたりしても聞こえた。
- ・つまんだ時の聞こえ方が1mの時の順番とちがう所があったが、40cmをつまんだ**5**が一番聞こえにくいのは1mと同じだった。

糸電話 10m



- ① カップをつけないでふつうに話す。◎
- 1 カップだけ口にあてて話す。○
- 1 ピンとはった10mで話す。◎



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。○



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。○



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。○



5 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 2



1 ゆるめた10mで話す。△



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 2



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 2

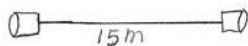


5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 3

気づいたこと

カップだけ口にあてて話すと声が小さくなった。ゆるめた**5**が一番声が小さい。(1m5mと同じ)

糸電話15m



- ① カップをつけないでふつうに話す。○
- ① カップだけ口にあてて話す。○
- ① ピンとはった15mで話す。◎



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。○



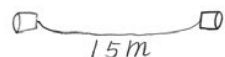
3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 2



1 ゆるめた15mで話す。○



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 2

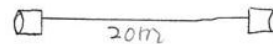


5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 3

気づいたこと

- ・カップだけ口にあてて話す10mよりも、さらに小さい声になったが聞きとれる。
- ・ピンとはった15m①は10m①と同じぐらい聞こえた。
- ・ゆるめた**5**が一番小さい音になった。

糸電話20m



- ① カップをつけないでふつうに話す。○
- ① カップだけ口にあてて話す。△
- ① ピンとはった20mで話す。○



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△



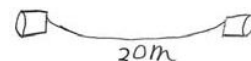
3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 3



1 ゆるめた20mで話す。△



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 3



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 3



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 4

気づいたこと

- ・カップをつけないで話すと、ぼくの声は少し小さくなったが、聞きとれた。お母さんの声は聞こえないことがあった。
- ・ゆるめた**5**が一番小さかった。
- ・「ん」が聞こえにくかった。
- ・カップだけ口にあてて話す**1**、新しい言葉だと聞きとれないことがあった。くりかえすとわかる。

糸電話25m



- ① カップをつけないでふつうに話す。○
- ① カップだけ口にあてて話す。△
- ① ピンとはった25mで話す。○



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△



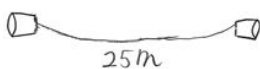
3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 2



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 3



1 ゆるめた25mで話す。△



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 2



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 3

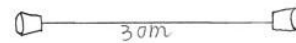


5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 4

気づいたこと

- ・カップをつけないで話すと、ぼくの声は聞きとれたが、お母さんの声は聞こえなかった。
- ・カップだけを口にあてて話すと、ぼくの声も聞きとれるときと、聞きとれないときがあった。
- ・ゆるめた**5**が一番音が小さかった。
- ・「ん」の音は、カップの中に鼻を入れないと、聞きとりにくかった。

糸電話30m



- ① カップをつけないでふつうに話す。○
- ① カップだけ口にあてて話す。△
- ① ピンとはった30mで話す。○



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 2



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 3



1 ゆるめた30mで話す。△



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 2



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 3

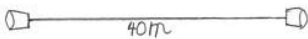


5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 4

気づいたこと

- ・カップを付けなくて話しても、聞きとれた。
 - ・カップだけ口にあてて話すと、聞きとれないが、たまに音が聞こえた。
- ゆるめた**5**が一番音が小さかった。

糸電話40m



① カップをつけてふつうに話す。×

① カップだけ口にあてて話す。×

1 ピンとはった40mで話す。△



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 2



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 3



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 4



1 ゆるめた40mで話す。△ 2



2 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 3



3 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 3



4 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 4



5 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 5

気づいたこと

- ・カップをつないでそのまま話すと、ぜんぜん聞こえなかった。
 - ・ピンとはって話すと、30mよりも小さい音になったが、聞きとれた。
- ・ゆるめた**5**が一番音が小さかった。

聞こえ方を分類した表 1

		◎	○	△	△ 2	△ 3			◎	○	△	△ 2	△ 3
1 m	1	1	2'	5	5'		5 m	1	1'	2	2'	5'	
		2	3'					4	3	3'			
		3	4'							4'	5		
		4											
10 m	1	2	1'	4'	5'		15 m	1	1'	3	4'	5'	
		3		3'				2	4	5			
		4		2'						2'			
				5						3'			
20 m	1	2	1'	3'	5'		25 m	1	1'	2	4'	5'	
		3	2'	4'				2	3'	5			
		4		5				3	4				
30 m	1	1'	2	5	5'		40 m	1	1'	2	4'	5'	
		4	3	4'				2	3'	5			
			2'					3	4				
			3'										

120m①～⑤ ①'～⑤' 同じ△

◎	とてもよく聞こえる
○	聞こえる
△	少し小さく聞こえる
△2	△より小さく聞こえる
△3	△2より小さく聞こえる
△4	△3より小さく聞こえる
△5	△4より小さく聞こえる
×	聞こえない

聞こえ方を分類した表2

	①	①'	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	
1 m	◎	◎	◎	○	○	○	△2	○	△	△	△	△3	
5 m	◎	◎	◎	△	△	○	△2	○	△2	△2	△	△3	
10m	◎	○	◎	○	○	○	△2	○	△2	△2	△	△3	
15m	◎	○	◎	○	△	△	△2	○	△	△	△2	△3	
20m	○	△	○	△	△	△	△3	△	△2	△3	△3	△3	
25m	○	△	○	△	△	△	△2	△3	△	△2	△2	△3	△4
30m	○	△	○	△2	△2	△	△3	△	△2	△2	△3	△4	
40m	×	×	△	△2	△2	△3	△4	△2	△3	△3	△5	△5	
120m	△	△	△2	△2	△2	△2	△2	△2	△2	△2	△2	△2	

結果とまとめ

実験①

- ・カップをつけないでふつうに話すと、15mまでよく聞こえた。
- ・20m～30mは聞こえた。
- ・40mから聞こえなかった。

実験②

- ・カップをつけて話すと、5 mまでよく聞こえた。
- ・10mから15mは聞こえた。
- ・20mから30mは小さくなって聞こえた。
- ・40mから聞こえなかった。

実験③

- ・糸電話は40mまで聞こえた。

実験④～⑤ ①'～⑤'

- ・たこ糸の糸電話は、つまんだり、ゆるめたりしても40 mまで聞こえた。
- ・糸電話のどの長さもピンとはると、一番よく聞こえて、聞かざら40cmのところをつまむと、一番小さく聞こえた。

考えた事

予そう【1】は15m(実験②)くらいで聞こえなくなると思っていたのですが、結果は小さくなるけど30mまで聞こえました。実験①・②の結果で40mから聞こえなくなる事は、同じでしたがカップをつけて話した方が早く声が小

さくなりました。カップをつけて話をすると、カップがふるえていました。カップがふるえたという事は、見えないけど空気のふるえがカップに伝わったという事が考えられます。カップを口に当てたら空気が止められるのではなくて、カップの中の空気がふるえて、それでカップをふるえさせて、そのカップが外の空気をふるえさせて音として聞こえている事がわかりました。

カップをつけない方が遠くまで大きく聞こえるという事は、カップはふるえを伝えるけれど、声のふるえを少し止めてしまうという事もわかりました。

実験⑥～⑦ ①'～⑤'

ぼくの予そうの【2】、【3】では、25mだったけれど結果は40mまで聞こえた。それにつまんだりゆるめたりしても聞こえた。カップから空気よりもカップに糸をつなげた方が声は遠くまで聞こえる。

糸電話の糸をつまむとふるえが手に伝わって来て、ふるえを止めたように思ったが、たこ糸が太かったためか、ふるえを全部止められず、つまんでも糸電話は聞こえたのかもしれないと思った。もう少し細い糸でやったら聞こえなくなるのかな。

どの長さの糸電話もゆるめて、聞かざら40cmのところをつまんで聞くと一番小さい声になりましたが、覚えてもよくわからなかったです。



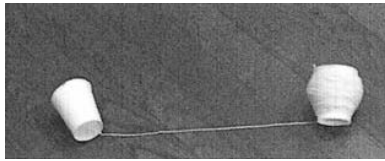
- ・泡瀬のぼくの家の前で実験をしている様子。



実験① ②
声はどこまで聞こえるか(空気と糸) 120m

目的

実験1で40mまで糸電話で声が聞こえた。どのぐらいまで糸電話の音が聞こえるのかためす。



方法

120mの糸電話を作る(糸はたこ糸)。

①①①～⑤①①～⑤①①と同じ実験をする。

話す言葉、声の大きさ、回数は実験①と同じ。

場所

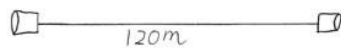
東村の畑(家の前の道路では50m以上になると道路を横ぎってきけんなため、おじいちゃんの家の近くの畑で行った)



予そう

①①①は40mで聞こえなかったもので、120mだと聞こえないと思う。①①①～⑤①①①①は40mで音が少し小さくなったので、120mでは全部聞こえないと思う。

糸電話120m



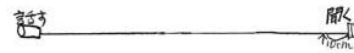
- ① カップをつけないでふつうに話す。△
- ①① カップだけ口にあてて話す。△
- ①①① ピンとはった120mで話す。△ 2



- ② 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



- ③ 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 2



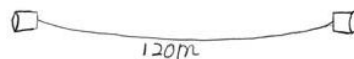
- ④ 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 2



- ⑤ 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 2

気づいたこと

- ・ぼくの家がある泡瀬では、ふつうの声で話すと40mでぜんぜん聞こえなかったのに、おじいちゃんのすんでいる東村の畑では、ふつうの音が120mでも聞こえたのでびっくりした。
- ・カップを口にあてて話しても聞こえた。とてもびっくりした。



- ①①① ゆるめた120mで話す。△ 2



- ② 糸電話話すがわから10cmのところをつまんで話す。△ 2



- ③ 糸電話話すがわから40cmのところをつまんで話す。△ 2



- ④ 糸電話聞くがわから10cmのところをつまんで聞く。△ 2



- ⑤ 糸電話聞くがわから40cmのところをつまんで聞く。△ 2

気づいたこと

- ・ピンとはった120mでも、ゆるめでもつまんでも小さい音だったけど、はっきり聞こえてどれも同じように聞こえてふしぎだった。
- ・声が聞こえる所まで下がると、165.9mだったから、びっくりした。

結果とまとめ

結果①①①①①～⑤①①①①～⑤①①①①

- ・すべての実験で音が少し小さかったが、聞こえた。(音だけだと165.9mまで聞こえた)

考えたこと

予そうとちがって、本当にびっくりした。泡瀬では40mはなれると糸電話でしか聞こえなかったのに、山原の東

村では120mなのにすべての実験で声は小さかったが聞きとれた。

泡瀬とちがっていたことは

- ① 回りがともしずかだったこと。
- ② たてものではなく横に木があったこと。
- ③ この日は一日じゅう晴れていてとても暑かったこと。(最高気温32.6°)
- ④ 道路の真ん中が下がっていたこと。



本で調べたこと(音のふしぎ百科②)

- ・音は大きく、ひくく回りがしずかで温度が高いほうが伝わりやすい。
- ・音は反しゃする。
- ・音は温度のひく方に曲がっていく。
- ・本で調べたことから考えてみると①③はえいきょうしていたと思う。いろいろなじょうけんで音の伝わり方がかわることがわかった。

実験② ①
録音した声はどこまで聞こえるか(言葉を聞きとれる。音が聞こえる)

目的

声の大きさを同じにするために、声を録音してさい生し、どこまで聞きとれるか実験する。

- ① 言葉を聞きとれるきよりと、音が聞こえるきよりをくらべる。
- ② 録音した声とふつうにしゃべった時に聞こえるきよりをくらべる。

方法

声を録音して

- ① 録音した言葉が聞きとれるところまで後ろに下がって、そのきよりを測る。
- ② 言葉として聞きとれなくても、音として聞きとれるところまで後ろに下がってそのきよりを測る。

声の大きさ

実験①と同じくらいの大きさの声を録音する。

録音した言葉

きこえますか、りんご、ぶどう、みかん、パイナップル、タコ、イカ、ウシ、ブタ、キリン、ライオン

場所

家の前の道路

時間

夕方6時

予そう

- ① 言葉を聞きとれるきよりは、実験①と同じくらいの30mぐらいまでは聞こえる。
- ② 音として聞きとれるきよりは、言葉として聞きとれるきよりよりも長い。

結果とまとめ

言葉として聞きとれるきより

	ゆうま	お姉ちゃん
1回目	21.45m	16.20m
2回目	22.00m	18.72m
3回目 (ちがいい日)	22.50m	20.56m
4回目	22.60m	20.00m
5回目	23.05m	16.00m
平均	22.32m	18.29m

音として聞こえるきより

	ゆうま	お姉ちゃん
1回目	40.67m	31.29m
2回目	24.00m	37.60m
3回目 (ちがいい日)	42.10m	41.40m
4回目	45.85m	41.40m
平均	38.15m	32.92m

実験②①

- ・言葉として聞きとれるきよりは、ゆうま平均 22.3 m お姉ちゃん平均 18.29 m
- ・言葉として聞きとれるきよりは、ぼくの方が 4.03 m長かった。
- ・ふつうに話す、カップをつけて話す(実験①30mまで聞こえた)よりも録音した声の方がきよりが短かった。

実験②②

- ・音として聞きとれるきよりは、ゆうま平均 38.15 m お姉ちゃん平均 32.92 m
- ・音として聞きとれるきよりは、ぼくの方が 5.23 m長かった。
- ・音として聞きとれるきよりは、言葉として聞きとれるきよりよりも長かった。

ミシン糸

- ・3mと5mは、たこ糸よりも音が小さい。
- ・つまむと小さくなったが、聞こえた。
- ・ゆるめて聞いたら、ほとんど外から聞こえているようだったが、反対の耳を押さえると小さい音だけが聞こえていると感じた。

はりがね

- ・はりがね30cmはあまりひびかないが、3m5mと長くなるとひびきが大きくなり、ゆるめた方がさらにひびいた。
- ・つまむとひびきが小さくなった。

ゴム

- ・ピンとはってもおくて小さくひびいて聞こえる。つまんだり、ゆるめるととても小さい音だったが、聞こえた。

予想と結果

	ピンとはった時		10cmつまんだ時		ゆるめた時	
	予そう	結果	予そう	結果	予そう	結果
たこ糸 (3m)	◎	◎	○	○	○	○
ミシン糸 (3m)	○	○	×	△	×	△
ミシン糸 (5m)	○	○	×	△	×	△
はりがね (3m)	○	○	△	○	△	○
はりがね (30cm)	○	○	○	○	○	○
はりがね (5m)	○	○	△	○	○	○
まいたはりがね (3m→30cm)	○	○	○	○	○	○
ゴ (3m)	○	△	△	△	△	△

予そうと結果がちがっていた →

- ・ゴム(3m)ピンとはった時
- ・ミシン糸(3m)10cmつまんだ時
- ・ミシン糸(5m)10cmつまんだ時
- ・はりがね(3m)10cmつまんだ時
- ・はりがね(3m)ゆるめた時
- ・はりがね(5m)10cmつまんだ時
- ・ミシン糸(3m)ゆるめた時
- ・ミシン糸(5m)ゆるめた時

考えた事

- ・たこ糸は予想通りだった。
- ① ミシン糸はつまんだり、ゆるめたりすると細いので、ふるえがずっと止まって聞こえなくなると思っていたのに、とても小さい音だが、たしかに聞こえた。本にも聞こえなくなるとかいてあったのに、なぜなのかわ

からない。

- ② はりがねはひびくことがわかった。まくとさらにひびく金ぞくなどのかたいの方が、ふるえやすいのかなと思った。3m・5mでゆるめると少しまいたようなじょうたいになるので、とてもひびいたと思う。

はりがね30cmはひびきは小さくつまむと、ひびきがほとんどなくなった。3m5mはとてもよくひびくので、つまむとひびきが小さくなり、聞きやすくなった。

- ③ ゴムはピンとはっても、おくて小さくひびいて聞こえた。つまむとひびきがなくなって、さらに小さくなって聞こえた。ゆるめるとほとんど外から聞こえているようだが、反対がわの耳をふさぐとたしかにコップの中から聞こえた。この実験の中で一番小さい音だったと思う。

そざいによって音の伝わりかたが、ちがうのがわかった。

まとめ

- ・音の正体はしん動であることがわかった。

(家の前の道路にて1mから40mの8種類の糸電話の時)

- ・ふつうに話しても、コップを口にあてて話しても40mで聞こえなくなった。
- ・コップを口にあてて話す方が、ふつうに話すよりも聞こえる声は早く小さくなった。
- ・糸電話でピンとはっても、ゆるめても、つまんでも40mまで聞こえた。
- ・どの長さの糸電話もピンとはると、一番よく聞こえ、聞くがわから40cmのところをつまむと一番小さく聞こえた。

(山原にて120mの糸電話の時)

- ・ふつうに話す、カップを口にあてて話す、糸電話でピンとはる、ゆるめる、つまむのすべての実験で声は小さかったが、120mまで聞こえた。
- ・音はまわりが静かで、温度が高いほうが伝わりやすかった。

- ・音は空気より糸の方が伝わりやすかった。
- ・ふつうに話した声と録音した声の大きさはかわらないが、ふつうに話した声の方が少し遠くまで聞こえた。
- ・音として聞きとれるきよりは、言葉として聞き取れるきより長い。
- ・家の前の道は車が通っていない時でも54~55dBあるなど、いつもは気づかない音が常にまわりであって、音の伝わり方にえいきょうしている。
- ・ミシン糸よりもたこ糸の方がよく聞こえた。
- ・はりがねはひびきながら音を伝え、ゆるめることでさら

にひびいた。

- ・ゴムは音が伝わりにくい。

作った楽器 ①

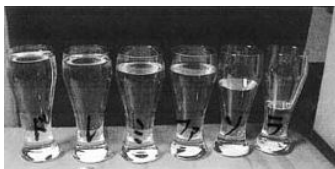


コップの楽器 たたいてしん動を起こして、音を出す楽器
 スプーンでたたいてひびかせると、音の高さのちがう音かいになるような気がする。コップをおさえてたたくと、ドレミファソラシドに聞こえる(音の高さがあう?)
 お姉ちゃんに聞くと、きれいな音かいではないといわれた。きれいなドレミを作るのはむずかしいと思った。大きい方がひくい音で、小さい方が高い音が出る?

作った楽器 ②

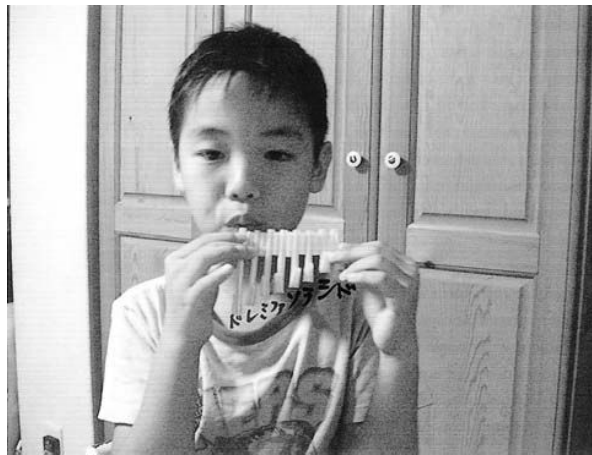


ガラスコップの楽器
 たたいてしん動を起こして、音を出す楽器。
 何度もためしたが、ドレミファソラまでしか、作れなかった。
 水の量が多い方がひくい音で、水の量が少ない方が高い音ができる。



手に水をつけて、ガラスコップのふちをこすっても水面がしん動して、音がでた。

作った楽器 ③



笛 ふいてしん動を起こして、音を出す楽器
 ストローの中に息をふきかけて音をだすのが、とてもむずかしかった。練習をそうとうしないと音が出せない。

- ★長い方がひくい音
- 短い方が高い音ができる。



作った録音き



録音き
 紙コップに向かって話すと、声のふるえがカッターの刃に伝わってビニールシートに声が録音される。(シートを回しながら話す)
 できたみぞに刃をあわせてビニールシートを回すと声を聞けることがわかった。
 でもぼくが作った録音きは、音はするが声として聞きとれなかった。いろいろためしたが、むずかしかった。

エジソン式録音機(市はんキット)をせい作



紙コップ向かって話すと、声のふるえがはりに伝わってプラスチックコップに録音される。

(電池式で一定の速さで紙コップがまわるようになっている)

できたみぞにはりをあわせて、もう一度電げんを入れると、みぞにそってはりが動き、声がさい生された。すごい！

「泡瀬小学校4学年 新里優馬です。これでじこしょうかいをおわります」と録音したので、金魚のスイッチをおして聞いてみて下さい。

感想

音の正体はしん動であることがわかりました。

空気も糸もはり金もゴムもはりも、ふるえて音を伝えることができます。コイルじょうのはり金はとてもひびいておもしろかったです。

自分で作った録音機は、何度ちょう戦しても録音することができなかつたのですが、キットになったエジソン式録音機をせい作すると録音でき、自分の声をさいせいできました。音は本当にしん動で伝わるんだと実感でき

ました。

この実験で一番不思議だったことは、泡瀬では40mはなれると、ふつうの声はまったく聞こえないのに、山原ではすがたもはっきりみえない120mのきよりで、ふつうに話す声ははっきりと聞こえたことです。泡瀬は静かだと思っても、まわりにはいろんな音があつてきくことを意識しないと聞こえない音もあるんだとびっくりしました。

実験をすすめていくうちにアイフォンの音の大きさをかん単にはかることができることを知り、目にみえない音が数字になってでてきてうれしかったです。今度山原にいった時にどれくらいまわりに音があるのか。また、他のうるさいと思う場所などいろんな場所で音の大きさを調べてみたいです。

後はけいたい電話は何もつながっていないし、空気によって声もとどかない遠い所の人とも話ができるので不思議です。どうやって声を伝えるのかしらべてみたいと思いました。

今後もいろいろなことを調べたり、研究していきたいです。

最後に手つだってくれたお父さん、お母さん、お姉ちゃん、ありがとうございました。感しゃします。

参考にした本

- ・なんでも実験2 作って鳴らそう！ おもしろ楽器どこまでとどく？ きみの声(理論社)
- ・スーパー理科事典(増進堂・受験研究社)
- ・ドラエモンカと電気 音 光がわかる(小学館)
- ・音のふしぎ百科①②(樹立社)



講評

音はふしぎがいっぱいだ —音の伝わりについて—

音の正体に疑問を持ち、身の回りの素材を使って科学的にデータを収集して結論を見いだしていることは科学を追究する上でとても大切な視点です。その手法が本研究で実践されていることはとても理論的で素晴らしいです。

糸電話や紙コップ等で音の伝わる距離や場所を変えて実験することにより、普段の生活の中で何げなく聞こえていた音の伝わり方のようすが気温や場所に影響されることを実感したことも大切です。

また、やん原の安全な広いところで音の伝わる限界を確かめてみるのも楽しいかもしれません。もしかしたらそのことで音の本質がみてるかも？

糸電話で音の伝わる本質(振動)を素材を変えて聞いたり、上手く表などを活用して考察していることも評価に値します。

一方、音の研究との関わりで蓄音機を作成しているところも研究の広がりが感じられそのことが、さらに通信機器(携帯電話等)の仕組みが電波と深い関わりがあることに気付くかもしれません。

自然の不思議さを粘り強く試行錯誤して追求していくとあらゆる事象の見方や考え方に厚みができてもっと楽しく物事を感じ取ることができるでしょう。

さらなる研究の継続に期待します。



橋の構造と強度

国立大学法人琉球大学教育学部附属中学校 3年 玉城 知真
宜志富 紹馬
小河原 慎哉

物理部門

1. 研究の動機

もともと、橋をはじめとする様々な建築物が好きで、特にフランスの「ポン・デュ・ガール」や、四国と本州の間にまたがる「明石海峡大橋」等の特徴的な形を持つ橋や、私たちが最も見る機会が多い「水平な橋」等を見て、『それぞれの橋に使われている構造には、一体どれくらいの強度があるのだろうか』と不思議に思い、その答えを追求してみたかったから。

2. 研究の内容

現在使われている橋の中で、一般的に普及している橋「水平な橋」と「アーチ橋」を中心に見て、種類を大まかに分類し、それぞれの橋の加えられた力に対する力のかかり方や耐久性を調べるために、実際にモデルとして小さな橋を作って実験をする。

最終的にはどのような形・種類の橋が、どのような組み合わせで、どのような条件のもとにおいて効果が発揮され、もっとも橋の強度・耐久性が高くなり、現実的かつ実用的なのか理想をたてる。また、この時の現実的、実用的というのは、実験には限りなくパターンが存在するので、必要な強度がより少ない材料で得られる時とし、その基準は比較が可能な範囲で私たちが適当に定めた。

3. 実験

実験 1 ①

「アーチ橋」と歩道橋のような「水平の橋」を厚紙で作って、重りを載せ強度を測る。



■目的

現在普及している「アーチ橋」と「水平な橋」のモデルに棒で力を加え、床板(橋桁)を中心に見て、2cm沈んだ時の橋の幅(柱の付け根から柱の付け根まで)と、強度やその他の関連性を探す。

■この実験で使用する道具

- ・厚紙※で作った「アーチ橋」
- ・厚紙※で作った「水平な橋」

※・厚紙の幅は5cmに統一

- ・重さ、厚みは一定
- ・長さは15cm(床板と柱部分の合計) + 固定のための両端2cmずつの計 19cmに統一。
- 水平な橋の場合、橋の幅と柱の高さは、 $(15 - \text{橋の幅}) \div 2 = \text{柱の高さ}$ に当てはめて決定する。

例えば、橋の幅2cmならば、

$$(15 - 2) \div 2 = 6.5$$

よって高さは6.5cmに決める。

- ・細長くて幅のある棒 (同じ面を使う)
- ・調理用デジタル秤(g単位)

■方法

厚紙を紙の幅5cm、紙の長さ19cmの大きさに切り取り、上の使用する道具に書かれているとおりに、幅を1cm、2cm、3cm、4cm、5cm、7cm、9cm、11cmに変え、水平の橋の場合、それに伴って橋の高さ(柱の長さ)を計算し折り曲げる。そして、「アーチ橋」と「水平な橋」を8種類ずつ作り、

それぞれに細長い棒で力を加えていき、沈んだ深さが2 cmに達したときの力(重さ)を調べる。特に橋の長さとの関係を調べる。

■予想

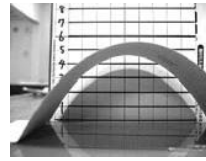
「水平な橋」は長くなればなるほど、地面と接している所と中心の接していない所の、地面から支えてもらう力の差が開いて弱くなると思う。反対に、「アーチ橋」は中心に加わった力をうまく分散するので、長くなっても「水平な橋」よりは変わらないと思う。

■結果

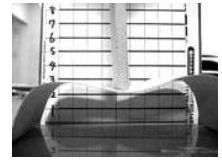
●アーチ橋

幅	耐えた重さ
1 cm	230 g
2 cm	130 g
3 cm	150 g
4 cm	200 g
5 cm	230 g
7 cm	230 g
9 cm	200 g

11cm

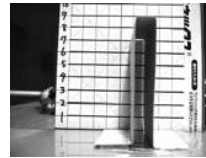


150 g

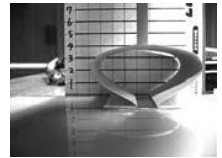


●水平橋

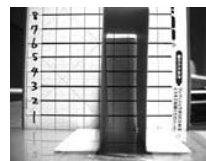
1 cm



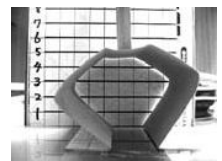
耐えた重さ



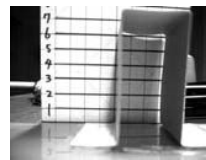
2 cm



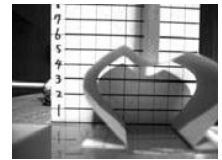
500 g



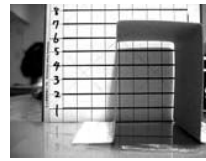
3 cm



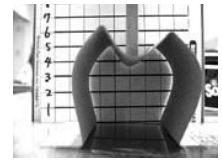
230 g



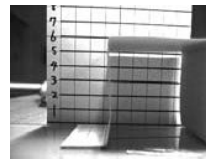
4 cm



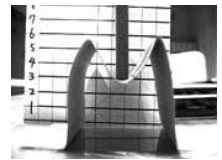
370 g



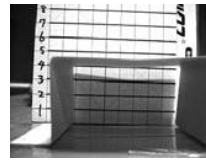
5 cm



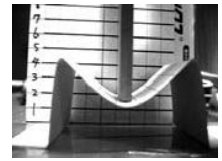
200 g



7 cm



170 g



9 cm



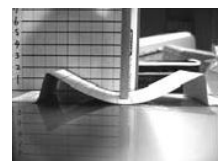
80 g



11cm



40 g



横幅	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	7 cm	9 cm	11cm
アーチ	230 g	130 g	150g	200g	230g	230g	200g	150g
水平	230g	500g	230g	370g	200g	170g	80g	40g

橋の形と重りの重さで沈んだ距離の関係を表にするとこのようになった。(数値はおよそ)

■考察

- 橋の幅が長くなればなるほど、「アーチ橋」のほうが強度は変わらなかった。つまり長い橋を作る場合は「アーチ橋」のほうが適している。

■問題点

- 床板自体の強度を調べる目的であったが、紙の長さを一定にするという基準にしてしまい、柱との関係が含まれるデータになっているので、欲しいデータが取れていない。もう一度実験の仕方や条件を検討してみる必要がある。

実験 1 ②

■目的

実験 1 ①の失敗から、床板自体の強度のみを調べるために、厚紙の繊維の方向まで正確にそろえ、前回の実験よりもっと確実なデータを得る方法を考え再実験した。

■方法

水平の橋とアーチの橋を、厚紙から同じ方向(繊維の向きによって結果が異なるため)で、紙の幅を 3 cm と定め、橋の幅が 5 cm ~ 30 cm の 5 cm 間隔になるように切り取り、それらを実験 1 ①と同じようにして 3 回記録をとる。

水平な橋の場合は、柱が固定されてしまうと紙が破れるまで沈まず、柱を固定している力の問題になるので、摩擦が少ない力学台車を 2 つならべて、その間に橋を架ける。

アーチ橋の場合は、アーチの形を統一するために半円を使い、直径 5 cm ~ 30 cm まで 5 cm 間隔で大きくしていく(紙の長さ = 直径 $\times 3, 14 \div 2$)。そして、アーチ橋は柱も必要なく、重りを載せた時に沈む余裕があるので地面に固定する。

■予想

実験 1 ①のように平均的に、床板自体の強度をみるとアーチ橋のほうが強いと思う。

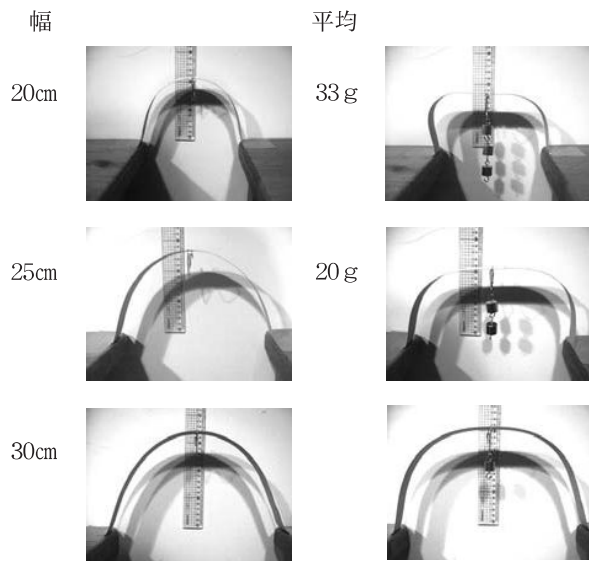
■結果

●水平な橋

幅	平均
5 cm	400 g
10cm	63 g
15cm	43 g
20cm	33 g
25cm	20 g
30cm	10 g

●アーチ橋

幅	平均
5 cm	400 g
10cm	63 g
15cm	43 g



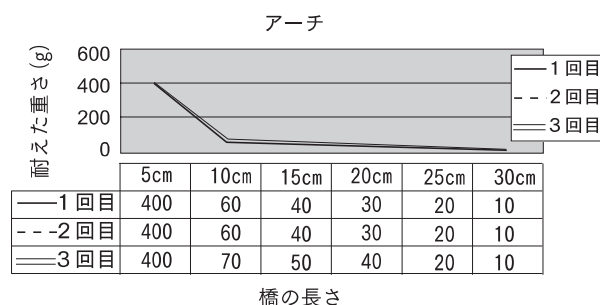
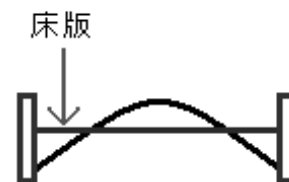
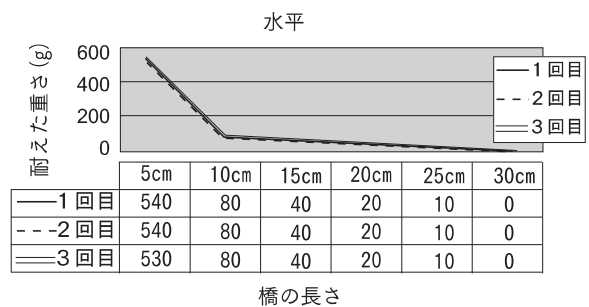
・反対に、幅が広い橋をかける場合、水平な橋よりアーチ橋のほうが適しており、柱と遠く、柱に支えしてもらえないので、アーチという構造自体が高い強度を持っていると言える。

実験 2

実験1でアーチ状の橋に強度があることがわかったが、実際の橋は平面でなくてはならないので床版(しょうばん)があり、そこにアーチ状の支えがつき、その支えの構造で強度がかなり増すと考えられる。

そこで次は橋に床版と支えの構造を付け加えてどのような支えの組み方のときに高い強度を示すのかを調べてみる。

おもに床版とアーチの支えの位置関係を調べてみることにした。



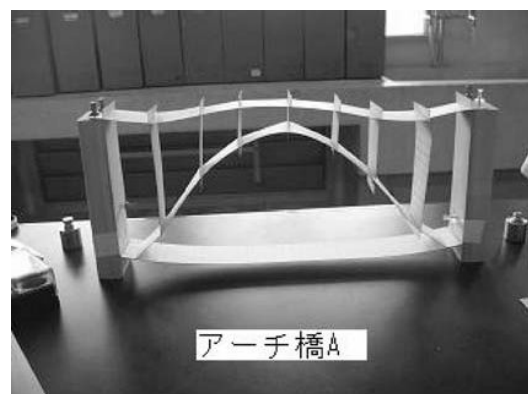
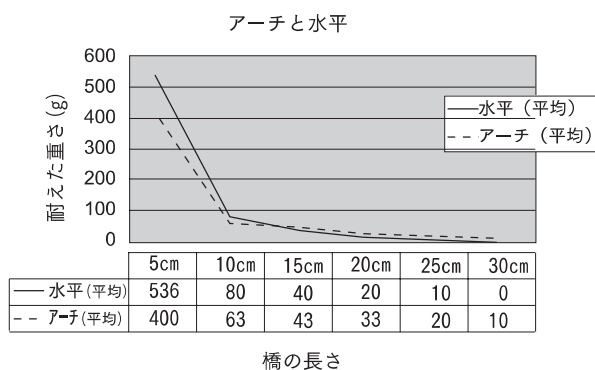
目的

考えられるパターンの橋を厚紙で実際に作ってみて強度を測る。

そのときの構造や床版とアーチの位置関係もみる。

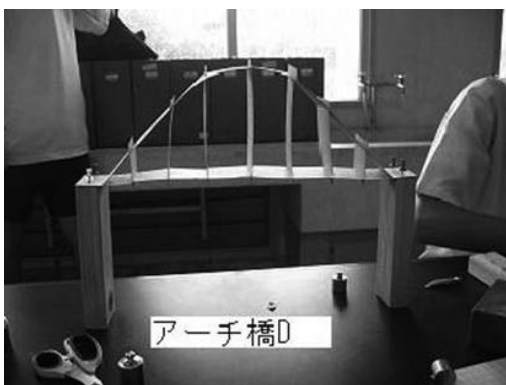
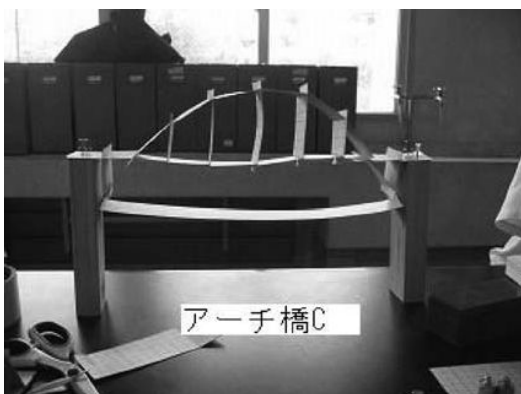
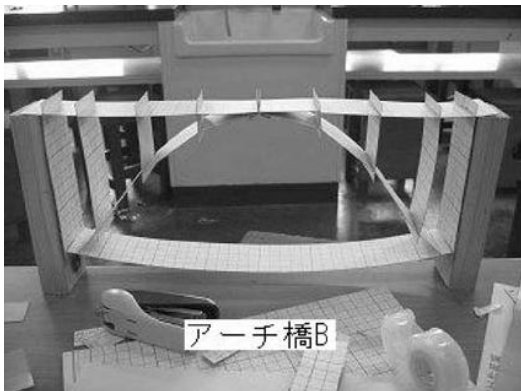
この実験で使用する道具

- ・床版とアーチの支えが少し離れているアーチ橋 A
- ・床版とアーチの支えが接しているアーチ橋 B
- ・床版の下からアーチの支えが交差しているアーチ橋 C
- ・床版の上にアーチの支えがあるアーチ橋 D
- ・重り(分銅)



考察

- ・幅が短い橋をかける場合、アーチ橋より水平の橋が適しており、柱と近いので、少なからず柱に支えられているということが言える。



■方法

それぞれの橋に重りを少しずつのせていって、ゆがみ方や、たえきれぬ重さを記録していく。

アーチにどのように力が加わっているかみるために部分的に重さを記録する。

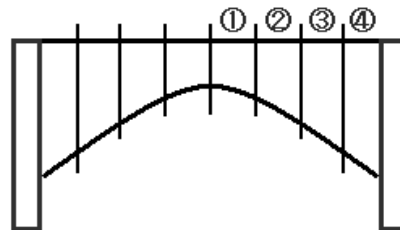
■予想

アーチ橋Cが高い強度を示すと思う。理由は床版とアーチの支えが接している部分がこのなかで一番多いから固定されて、強度が増していると思う。

逆に床版とアーチの支えが接していないアーチ橋は、アーチの支え自体が安定せず、すぐに倒れてしまうと思う。

■結果

アーチ橋 A



片方に重りを載せた場合

	20 g	50 g	70 g	100 g
①	×	×	×	耐え切れない
②	×	少し歪んだ	結構歪んだ	かなり歪んだ
③	少し歪んだ	少し歪んだ	少し歪んだ	結構歪んだ
④	×	×	×	少し歪んだ

両側から重りを載せていった場合

	20 g	50 g	70 g	100 g
①	×	傾いて倒れた	耐え切れない	倒れた
②	×	少し歪んだ	少し歪んだ	倒れた
③	×	少し歪んだ	少し歪んだ	かなり歪んだ
④	×	×	×	×

↑倒れた

|耐え切れない

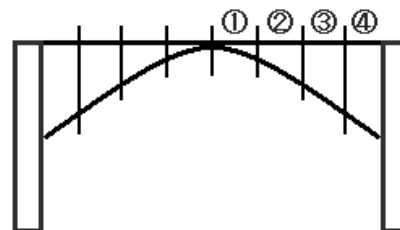
|かなり歪んだ

|結構歪んだ

|少し歪んだ

↓ × 変化ナシ(動かない)

アーチ橋 B



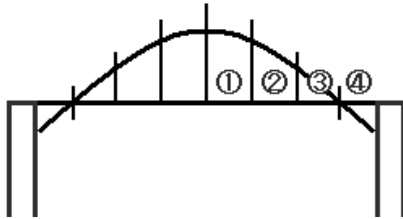
片方に重りを載せた場合

	20 g	50 g	70 g	100 g
①	×	×	×	耐え切れない
②	×	結構歪んだ	かなり歪んだ	耐え切れない
③	×	少し歪んだ	結構歪んだ	かなり歪んだ
④	×	×	少し歪んだ	×

両側から重りを載せていった場合

	20 g	50 g	70 g	100 g
①	×	少し歪んだ	かなり歪んだ	耐え切れない
②	×	×	×	×
③	×	×	×	×
④	×	×	×	×

アーチ橋 C



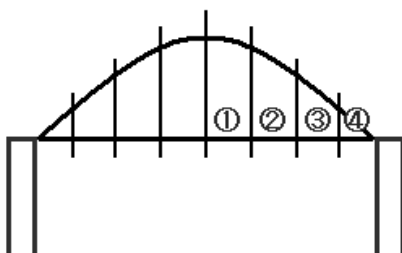
片方に重りを載せた場合

	20 g	50 g	70 g	100 g
①	×	×	×	×
②	×	×	×	×
③	×	×	かなり歪んだ	かなり歪んだ
④	×	×	×	×

両側から重りを載せていった場合

	20 g	50 g	70 g	100 g
①	×	×	×	×
②	×	×	×	×
③	×	×	×	×
④	×	×	×	×

アーチ橋 D



片方に重りを載せた場合

	20 g	50 g	70 g	100 g
①	×	×	×	×
②	×	×	×	少し歪んだ
③	×	×	×	少し歪んだ
④	×	×	×	×

両側から重りを載せていった場合

	20 g	50 g	70 g	100 g
①	×	×	×	×
②	×	×	×	×
③	×	×	×	×
④	×	×	×	×

■考察

表を見てわかるようにアーチ橋 D が一番強度があり、アーチ橋 A が一番低い強度を示した。アーチの支えが床版の上にある形がこの中でもっとも強度のある構造の組み方ようだ。この理由として、アーチの部分と床板に上から力が加わる時、アーチは外に広がろうとし、床板(水平な部分)は内側へ引っ張ろうとする。この動きが、アーチの部分と床板の末端が接しているときに行われれば、それぞれが互いの動きを制限しあい、形を保とうとしていると言える。

また、どの橋も片方に重りを載せるより、両側から同じ重さの重りを載せていったほうが重さに耐えている。これは恐らく、アーチの支え同士が互いに支えあっているからではないか。

実験 3 ①

実験 2 でアーチ状の支えが床版の上にある形の橋が強いことがわかったが、アーチ橋 D は 1 箇所床板とアーチが支えあっているため、柱がなくとも橋がなりたつ。

しかし、最初の実験 1 でやった「水平な橋」も接続箇所が両側の一つずつであるため柱がなくとも橋になるタイプだ。しかも実際に歩道橋などで水平な橋は存在する。

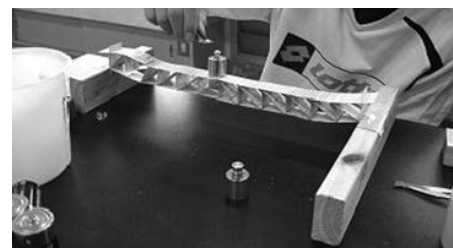
そこで思ったのが、アーチ橋では構造について実験したが「水平な橋」の構造は実験していない。調べたところ、「水平な橋」にも構造があり、それを「トラス」と言うそうだ。このトラスを加えれば、最初の実験でやった橋と比べてかなり高い強度が得られそうだ。

というわけで「水平な橋」の構造も実験してみることにした。

■目的

現在よく用いられているトラス橋のモデルを厚紙で実際に作ってみて橋の強度を測る。

そのときのトラスの長さも全てあわせて、組み方だけ比較できるようにする。





■この実験で使用する道具

- ・ジグザグの構造になっているワーレントラス
- ・ジグザグを重ねたダブルワーレントラス(紙の量はワーレントラスの2倍)
- ・ジグザグが対称になっているハウトラス(紙の量はワーレントラスの1.5倍)
※・厚紙の幅は3cmに統一・重さ、厚み、長さは一定
- ・重り(分銅と単一乾電池約130g)

■方法



それぞれの橋に重りを少しずつのせていって、ゆがみ方や、たえきれぬ重さをはかってみる。

今回はトラスの橋が折れ曲がるまで重りを積んでいく。(橋が初期の位置より5cm下がった時点で折れたとみなす)

■予想

ダブルワーレントラスが一番正則的で偏りのない組み方になっているため、強度が高いと思う。ダンボールの断面のようなワーレントラスはしなりやすそうだが壊れにくそうにも見える。

■結果

	しなりはじめた重さ	折れた重さ
ワーレントラス	50g	80g
ダブルワーレントラス	390g	520g
ハウトラス	100g	400g

■考察

予想と同じくダブルワーレントラスが一番重さにたえた。しかし、このダブルワーレントラスはワーレントラスを二つ組合わせているだけなのに、もとのワーレントラスに比べて2倍以上の強度を持っていた。これは紙の量の問題もあるだろうが、柱同士が互いに支えあっているためでもあると思う。しかし、紙の量の問題からもわかるように、材料費が高つくのも予想できる。

実験 3 ②

実験3①では、代表的なトラス橋のモデルを作り、どのタイプの支えの組み方がいいのかということを導き出した。ここでは、そもそもトラスの構造はどのような仕組みで成り立っているのか、順番は逆になるが調べてみることにした。

■目的

トラスの仕組みを下のような視点で調べ、実験3①での結果と照らし合わせてみて、一般的なトラス橋は構造上、理にかなっているか確認する。

- 1、実験3①の最後で予想した、「内側の柱同士が支えあっている」ということが実際に起こっているか
- 2、△の字型に組んでいる時の内側の柱の距離
- 3、▽の字型に組んでいる時の内側の柱の距離

■この実験で使用する道具

厚紙 幅3cm 各実験にある写真のようなパターンのトラス橋を作る。

(1)内側の柱同士が支えあっているのか

内側の柱が支えあっていることを調べるために、それぞれの柱が接触しあっているものから、ほとんど接触していないものまでを5段階で作り強度を測ってみる。

柱と柱の間	平均
8 cm	約203 g
6 cm	約230 g
4 cm	約260 g
2 cm	約306 g
0 cm	約600 g

(2) △の字型に組んでいる時の内側の柱の距離

ワーレントラスの△部分1つに注目して、内側の柱の距離を変えるとどうなるか、5段階で強度を測ってみる。

柱と柱の間	平均
10cm	約600 g
8 cm	約900 g
6 cm	約1250 g
4 cm	約1666 g

柱と柱の間	平均
0 cm	約2000 g

(3) ▽の字型に組んでいる時の内側の柱の距離

この実験は内側の支えが第二の柱の役目を果たしており、実験1②の「水平な橋」での柱と床板の関係からして、距離が短いほうが強いことがわかっている。ここでは念のためとして、極端な2つのみの強度をはかった。

柱と柱の間	平均
10cm	50 g
2 cm	約1,633 g

■考察

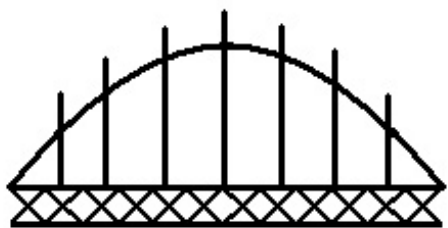
- 1、予想と同じように柱と柱が接触していると、互いが互いを押し合いそれは支えあうことになるので、結果的には形を維持することになっていることが導かれる。
- 2、柱と柱の間が短い＝△内部の角度が小さいと上からの力への強度が高いということがわかった。
- 3、予想通り、柱と柱の間が短い＝▽内部の角度が小さいと上からの強度が強いということになる。

よって、実験3④でダブルワーレントラスの強度が高かったのは、他のものより2と3の点で優れていたからだとわかる。そしてトラスは三角形の2つの性質を利用していることも分かった。

4、最終的な考察

実験を終えて、
実験1の結果と照らし合わせると一枚板の強度だとアーチ状のほうが強いが、
支えの構造があると、トラス橋のほうが強いということになる。

つまりこの実験の結論的には、床版にトラス構造を用いて、支えとしてアーチを使えば最も強度のある橋が作れるだろう。



5、まとめ

どのようにして強度のある橋を作るかを考えるために、厚紙で実際に橋を作って実験し、アーチの特性とトラスの特性を理解した結果、柱に対する接続が少ないアーチの支えにし、床版(あるいは橋げた)にダブルワーレントラスを使えば一番強度のある橋が作れるということを調べた。

6、研究の反省と今後の課題

厚紙で橋を作って実験したはいいが、厚紙は一度折れ曲がってしまうと、それを使って再び実験を行うことができないので、重いものからのせてしまわないように注意しなければならなかった。今後の課題として、吊り橋・斜張橋についても研究してみたいと思う。

7、参考文献

- ・鉄道構造物探見 JTBキャンブックス_小野田 滋
- ・アーチの力学 橋をかけるくふう_板倉聖宣
- ・「橋げた」の工事がはじまるよ！
<http://www.ktr.mlit.go.jp/jousou/kouji/old/hasigeta/>



講 評

橋の構造と強度

建築物が好きということから橋の構造についての研究ですが、日々の生活の中の疑問に対して、あれこれ考えることはとても大切で、今回のような科学的な視点からの探求ということでも素晴らしいです。水平橋とアーチ橋をまず比較していますが、その途中で結果に他の要素が含まれてしまったことに気づいた点が素晴らしいです。単に実験を重ね、得られた結果から考察するのではなく、得られたデータの信頼性、妥当性を吟味することは研究そのものを左右するのでとても重要です。また、1回目の実験でアーチ橋に敗れた水平橋ですが、トラス構造を用いることで強度が上がることを見つけ、実験、考察を行っています。物事を改善するために、検討を重ねることはとても素晴らしい視点です。更に、橋の構造で終わるのではなく、橋を支える柱の形にまで着目していますが、橋の強度というものを一面的に考えるのではなく、多面的に総合的に考えられています。そして、最終的には、水平橋とアーチ橋をミックスした理想の橋を提案している点が非常に素晴らしいです。

今後、改善・検討して欲しい点は、実験を行う際に様々な条件設定でおこなっていますが、次回からは同じ条件設定でも複数回行い、データの処理はその平均値を取るように心がけましょう。実験には、誤差がつきものであるため、データの信頼性・妥当性の向上に必要なことです。また、得られた考察と実際に作られている橋とを比較し、考察の有効性、妥当性を確認すると同時に、新たな検討事項が見つかると思いますので、今後の研究に期待します。



カオス水車

沖縄県立開邦高等学校 2年 玉木 奏海 伊計 かおり
仲里 世梨奈

物理部門

1. 概要

真上から水を流しているにも関わらず、動きが一定にならない「カオス水車」を、シミュレーションでだけでなく、実際に製作し、解析してみた。

ここでいうカオスとは、決定論的な方程式に従うのに、周期性を持たず、不規則な乱雑挙動を示す現象である。

2. 研究の動機

- ・方程式があるのに、定まった値が出ないカオス現象に大変興味を抱いた。
- ・シミュレーションを見て、予想できない動きをするカオスを深く知りたいと思った。
- ・実際に自分たちでもカオスを作って、身近に感じたいと思った。
- ・自分たちもカオスについて独自の考えを持ちたいと思った。

3. 研究の目的

- ・どのような条件でカオス現象が起きるのかを考える。
- ・カオス現象を、カオス水車を作って実験することでこういうものなのかを実際に見る。
- ・カオスの独特の動きの規則性を見つける。(不規則性の中の規則性)
- ・シミュレーションの中で特徴を発見する。
- ・初期値の敏感性を観察する。
- ・カオスの動き、規則性を分析し、方程式にする。

4. 研究の仮説

- ・流量を多くするほど回転速度が速くなる。
- ・初速度を速くすればするほど方程式が複雑になる。
- ・上に向かうカップの中にはもう水が入っていない。
- ・右、左と傾くのに、規則性がある。

5. 実験方法

(1) 試作機の製作

- ① 使用したもの
 - ・CD ディスク ・木の棒
 - ・ペットボトル
 - ・スズランテープ
 - ・押しピン ・輪ゴム
 - ・プラスチックポット
 - ・プリンカップ ・ボンド
 - ・割り箸 ・ヒートンねじ

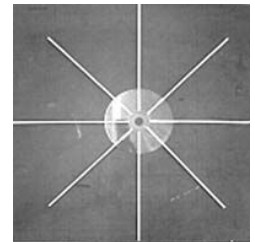


図1 割り箸をつけたディスク

② 試作機の構造

1. 2枚のCD ディスクに割り箸8本をそれぞれ放射線状で等間隔に挟み、くっつける。これを2個作る。(図1)
2. CD ディスク中央の穴に木の棒を通す。(図2)
3. 木の棒のディスクがない側を、穴を開けたペットボトルに通し、ペットボトルを固定する。
4. カップの横と底に穴を開け、横の穴に1の割り箸を通す。

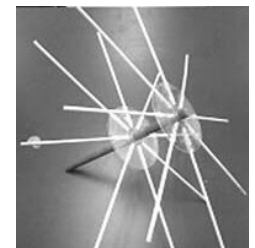


図2 棒を通した後

③ 実験方法

ホースを手で持ち真上から水を流す。

④ 結果

水が溜まり、初速度を与えてもうまく回らなかった。

⑤ 反省点

- ・ペットボトルの穴を「はんだごて」で開けたので水車が回る時の摩擦が大きくなってしまった。
- ・カップが水を全て受け止められていない。
- ・カップと軸の摩擦が大きくてカップが水平に保たなかった。
- ・カップの重さがそれぞれ等しくなかった。
- ・カップが揺れすぎたため、水車全体に影響を与えてしまった。
- ・ホースを手で持っていたために水が出る場所が定まっていない。
- ・水量を決めていない。

(2) カオス水車の製作

① 試作機から改良したところ

- ・回転軸における摩擦を減らすため、潤滑油で滑らかにした。
- ・セロハンテープや反古紙をプラスチック用接着剤で固めてくっつけ、かごの重さを69.5gに統一した。
- ・カップ同士の間隔を、ぶつからない程度に調整した。
- ・カップが傾くのを極力抑えるため、底にゴム栓をつけた。
- ・カップ内の水がすべてカップの中央に集まるように、横から見て半円をぶら下げたような形状にした。
- ・CDディスクと木の棒の代わりに、より摩擦の少ない一輪車の車輪を使用した。

② 使用したもの

- ・一輪車の車輪 ・針金
- ・反古紙
- ・プラスチックの羽
- ・ハンガー
- ・カップ(図3参照)
- ・潤滑油 ・おもり
- ・車輪の支え台
- ・冷水用ポット ・ゴム栓
- ・プラスチック用接着剤



図3 完成したカオス水車

③ カオス水車第2号の構造

1. 車輪に等間隔で穴を8つ開け、ハンガーを通し、カップを通してぶら下げる。

2. 図3のように、針金で台に固定する。

④ 実験とデータの解析

- ・ポットに穴をあけてホースを通し、スタンドに固定する。
- ・初速度を一定にするために、ビニルテープの先におもりをつけそれを水車に設置し水車に水を流すと同時に落とす。
- ・回転速度を調べるために光センサーを2本設置し、レーザー光は中心に対して17°の角度となった(図4)。
- ・光センサーで読み込んだデータをもとに、水車の軸が一つのレーザー光を遮ってから、もう片方のレーザー光を遮るまでの時間を求め、回転した角度をその時間で割って速度を求める。速度は半時計回りのときを正とする。(図4)
- ・求めた時間と速度を利用して、加速度を求める。

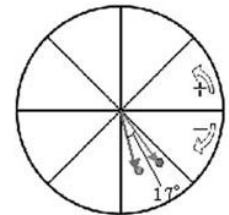


図4 レーザー光があたる位置

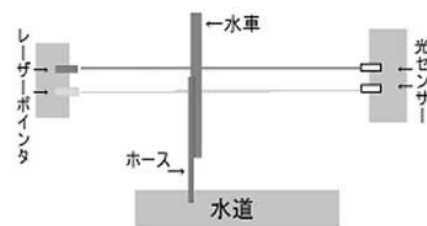


図5 装置の配置図

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	時間(秒)	回転/分	回転/秒	video	回転	回転/分	速度	加速度
472	47	898	106	369	—	—	0.0	-34.5556
473	47.1	1	966	39	○	—	0.0	-34.5556
474	47.2	2	82	39.1	○	—	0.0	-34.5556
475	47.3	1	966	39.2	○	—	0.0	-34.5556
476	47.4	2	84	39.3	○	—	0.0	-34.5556
477	47.5	1	966	39.4	○	—	0.0	-34.5556
478	47.6	2	70	39.5	○	—	0.0	-34.5556
479	47.7	1	966	39.6	○	—	0.0	-34.5556
480	47.8	2	69	39.7	○	—	0.0	-34.5556
481	47.9	1	966	39.8	○	—	-35.1	-34.5556
482	48	1	69	39.9	○	—	-35.1	-34.5556
483	48.1	175	966	40	—	—	-35.1	-34.5556
484	48.2	1006	72	40.1	—	—	-35.1	-34.5556
485	48.3	1006	966	40.2	—	—	-35.1	-34.5556
486	48.4	1006	85	40.3	—	—	-35.1	-34.5556
487	48.5	1006	966	40.4	—	—	-35.1	-34.5556
488	48.6	1004	69	40.5	—	—	-35.1	-34.5556

図6 データ解析の画面

6. 実験結果

- ・流量：86ml 穴の大きさ：直径1cm
- ・水車は不規則的に右回りや左回りを繰り返す、回転速度は一定にならなかった。
- ・光センサーの測定結果や撮影されたビデオをもとに、各時間における回転速度、加速度を求めた。
- ・速度と加速度のグラフをとると、2つの渦巻きが縦に並ぶ図形となった。(図5)

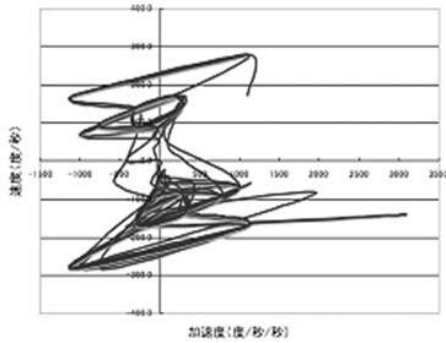


図7 加速度と速度のグラフ

7. シミュレーション

シミュレーションと比較することで実際のモデルからカオス現象を見つけることができると思ったため、シミュレーションを用いた。ここでは、文献「パソコンで見る複雑系・カオス・量子」に付属されていたプログラムによってシミュレーションを行なった。

(1) 実行

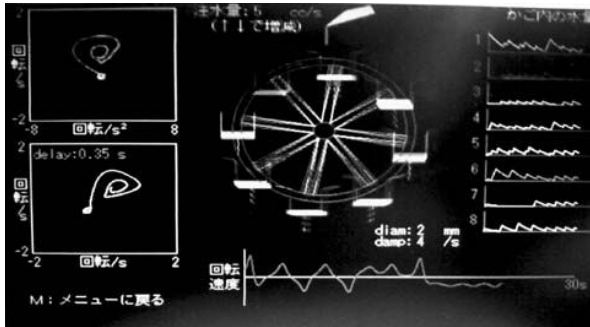


図8 シミュレーション画面

左上のグラフ：回転速度を縦軸，回転加速度を横軸としたグラフ

左下のグラフ：回転速度を縦軸，delay の後に書かれている秒数分後の速度を横軸としたグラフ

中心の上の図：水車の動きを表す

右下のグラフ：回転の速度

左の8つのグラフ：それぞれのかごに入っている水量

(2) 分析

回転角を x_j (ラジアン) とすると，速度 (w) は回転距離を時間で微分したものである

$$\frac{dx_j}{dt} = w_j \quad (j \text{ には水車の番号})$$

となり，初速度の場合は $j = 1$ を代入する。

瞬間1において，全てのかごに入っている水の質量は $\sum_{i=1}^8 m_i \theta_i$ であり，

I_f をかご (空の水車) の慣性モーメント， l を水車の半径とすると，

定義より，水車の慣性モーメントは

$$I_f \sum_{i=1}^8 m_i \theta_i + I_f$$

回転方向に働く重力の大きさは $\sin x_1(i)$ であり，水全体の質量は $\sum_{i=1}^8 m_i \theta_i$ ，

水車の半径が l ，重力加速度が g ということから，水による力のモーメントは

$$l \cdot \sum_{i=1}^8 m_i \sin x_1(i) \cdot g$$

となる。

また，回転の減衰率より，抵抗は

$$k_1 I_f w_1 + k_2 I_f (w_1 - w_2)$$

(k_1 : 1番目の水車の回転減衰率 k_2 : 2番目の水車の回転減衰率) と表せる。

ここで，ニュートンの運動方程式 $F = ma$ より，

$$a = \frac{F}{m} = \frac{ml}{m} = \frac{ml}{ml}$$

となる。さらに，加速度 (a) は速度を時間で微分したものである，

$$a = \frac{dw_1}{dt} = \frac{gl \sum_{i=1}^8 m_i \sin x_1(i) - k_1 I_f w_1 - k_2 I_f (w_1 - w_2)}{I_f + l \sum_{i=1}^8 m_i \theta_i}$$

である。

使用したシミュレーションではこの式が用いられており，パラメーターとして，注水量，かごの穴の直径，初速度，回転の減衰率，下のグラフの横軸で用いられるアトラクタ構成の遅延時間を入力すると，画面に速度などのグラフ及び水車が回転する様子が表示される。

(3) 結果

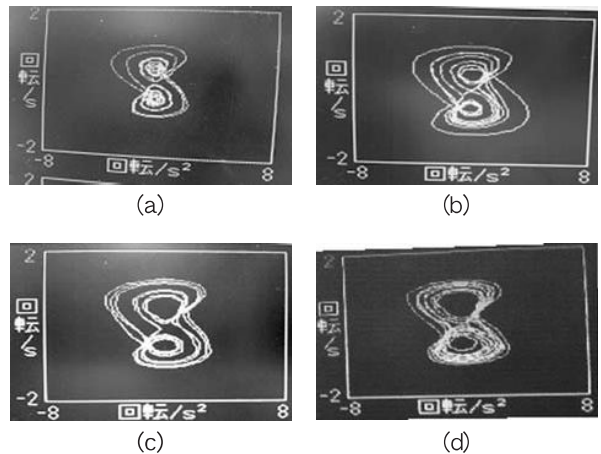


図9 現れたグラフ

(a) 注水量 5.0 ml/穴の直径 2.0 mm

(b) 注水量 5.0 ml/穴の直径 1.0 mm

(c) 注水量 10 ml/穴の直径 2.0 mm

(d) 注水量 10 ml/穴の直径 3.0 mm

水車の動きを調べてみると，回転速度が一定もしくは左右に微弱に揺れるときを除き，おおむねこのような図形が表示される。モデルのグラフのような二つの渦巻きが並ぶ図となった。

(4) 現実モデルとシミュレーションとの違い

- ・現実モデルとシミュレーションの水車の大きさ

- ・現実モデルでは、回転減衰率と初速度を具体的に調節できない
- ・かごの形状
- ・現実モデルではかごの中の水が完全に出きらない。

しかし、シミュレーション・現実モデルでは共にグラフが上下に渦巻きができ、チョウチョのような形状になる。2つの異なる条件下でのグラフが同形ととらえられるので、この水車の動きはカオス現象であることがわかる。

8. まとめ

シミュレーションではグラフが回転の向きが変わるたびに、起動が上下の中心間を行き来し、回転の度に少しずつ違う軌道を描き、複雑な図形になる。

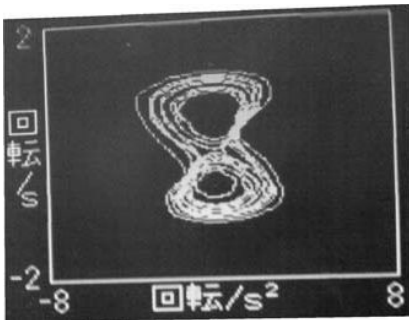
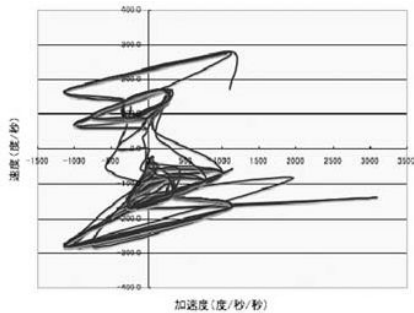


図10 実際モデルとシミュレーションのグラフ

9. 今後の課題

- ・カオス水車の動きを図形的な観点以外でカオス現象であるということを証明する。
- ・初期値感性性についてもっと深く考察できるようにする。
- ・シミュレーションに、より近いグラフを実際モデルで描けるようにする。
- ・自分たちでシミュレーションをプログラミングする。

参考文献

- ・科学シミュレーション研究会著、「パソコンで見る複雑系・カオス・量子」、講談社、1997年
- ・大観覧車 | 牛乳パックで作ろう | ミルクコミュニティクラブ
<http://www.mc-club.com/enjoy/make/craft48.html>



講評

カオス水車

予測できない複雑な様子を示す現象がカオスといい、最近の物理学の最先端の研究分野の一つになっていて経済学・社会学の分野においても注目されている現象である。この現象を調べるために実際にカオス水車を製作している。この水車の複雑な回転の運動を光センサーとコンピュータで解析した速度と加速度の関係のグラフがほぼ自己相似形になっている。また、水車の運動を既成のシミュレーションソフトで解析して得たグラフも自己相似形になっている。この2つの結果から水車の運動がカオス現象であるということを検証している。高校では扱うには難しいこの現象に興味を持って取り組んで検証できたということでのこの作品の科学的成果を評価することができる。

課題としては、カオス水車の完成度をもっと高めること、カオス理論について内容の充実に努めてほしいと思います。