

自由研究をするに当たって・・・

加須市立大桑小学校

夏休みに入り、自由研究を進められているでしょうか。これから準備したり、計画を立てたりする人もいます。そこで、気をつけていきたいことやまとめ方の工夫等、自由研究の^{さんこう}参考になればと思い、作りました。夏休み前に配っている、「理科自由研究の進め方」と合わせて見ると、より参考になるかと思っています。

計画、^{じゅんび}準備など、考えることが多く、とても手間のかかるものと感じている人もい
るでしょう。手間と^{ねつりょう}熱量にあふれた研究を、より有意義なものとするための^{ざいりょう}材料
として、ぜひご活用ください。1人ひとりの研究がよいものとなるよう、^{おうえん}応援して
おります！

〈目次〉

- | | | |
|-----|---|----|
| (1) | そもそも「 ^{かがくてき} 科学的」とは・・・？ | 2 |
| (2) | ここが ^{たいへん} 大変！ 科学的な ^{じっけん} 実験・ ^{かんさつ} 観察、 ^{ぶんせき} 分析の ^{ほうほう} 方法 | 4 |
| (3) | ^{うで} 腕の見せどころ！ ^{じっけんけっか} 実験結果のまとめ方 | 7 |
| (4) | どうやって書くの？ ^{さんこう} 参考にした本や ^{ろんぶん} 論文、ウェブサイトの書き方 | 10 |
| (5) | 自由研究をちょっと ^{じっさい} 実際に作ってみました（仮） | 12 |



(1) そもそも「科学的」とは・・・？

じっしょうせい
実証性

さいげんせい
再現性

きゃっかんせい
客観性

上の3つは、「科学の3要素」と呼ばれるものです。何かの観察や実験に取り組み、1つのことからについて結論を出す研究を行う人は、特に気をつけてみてください。

- ・実証性 : 問題に対する仮説が、観察・実験等により確かめることができるもの
- ・再現性 : 同じ条件であれば、誰が取り組んでも同じような結果が得られること
- ・客観性 : 観察・実験等を通して得られた結論が、他の人が見ても、事実（実験結果）を通して納得できること

例えば、「『おばけ』とは何ですか？」という問題を科学的に解決してみましょう。



① 実証性について

「おばけ」というものの正体を確かめようとしても、まず実体がない、ましてや、生み出すこともできない、この時点で観察や実験で確かめることが難しいですね。つまり、実証性があまり無いということになります。

② 再現性について

「いやいや、目で見えなかったとしても、『おばけ』がいると、周りの気温が低^{ひく}くなるのですよ。」と話す人がいるとしましょう。そこで、「おばけがいる」と話している人に、「おばけ」を部屋に連れてきてもらい、温度が下がるか実験してみましょう。その結果、下の表のようになりました。

	部屋の温度の変化
1人目	1℃下がった
2人目	1℃上がった
3人目	温度は変わらなかった

何人かに「おばけ」を連れてきてもらいましたが、温度の変化がそれぞれちがいますね。「誰がやっても同じ結果になる」というわけではないようです。つまり、「再現性」がないことになります。



③ 客観性について

「いやいやいや、それでも私は『おばけ』を見たんだ」と話す人が何人もいたとしましょう。1人は「おばあさんの姿^{すがた}だった」、もう1人は「犬の姿だった」、・・・。「おばけ」を見た人が、それぞれちがう姿だった、と言うではありませんか。つまり、「見る人によって姿がちがう」というわけです。これでは、客観性があるとも言いきれません。

まとめ

目指せ！「実証性」「再現性」「客観性」3つクリアで「誰がやっても、何度やっても、結果を通して結論が納得できる」科学的な研究

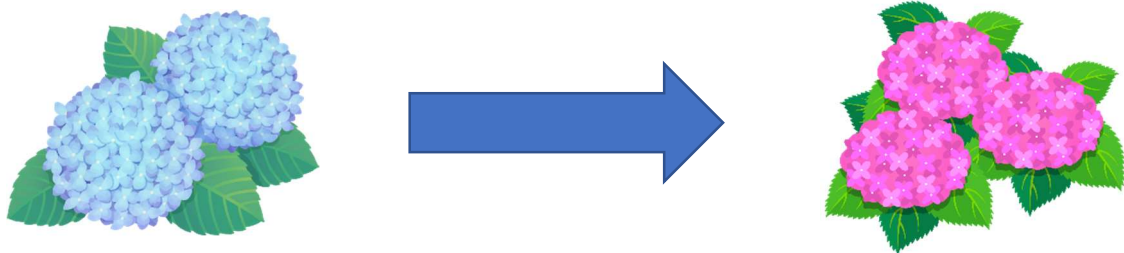
(2) ここが大変！ 科学的な観察・実験、分析の方法

「科学的」とは、ということについて考えてみました。これからは、いよいよ自由研究の中心となる実験・観察のお話です。最初に、大切なことを2点挙げ、具体的に考えていきましょう。

- ① 観察・実験の条件は、問題解決するために適切か。
- ② 観察・実験の回数、データの数 is 適切か。

アジサイと土壌の pH (酸性度) を例に説明していきます。アジサイの色は、土壌の pH と関係があることが知られており、品種にもよりますが、酸性度が高いと青、低いとピンクや 紫 に色を変える性質があります。

ここでは、「青いアジサイがピンクや紫に変わるのは、酸性度がどのくらいになったときか」ということを問題としましょう。



① 観察・実験の条件は、問題解決のために適切か

今回の問題で関わりがありそう条件は、「アジサイの品種」、「pH(酸性度)」、「土」、「アジサイの色」ですね。今回は、複数のアジサイをプランターで育てることにしましょう。プランターに入れる土に肥料を混ぜることで、土の pH を変えた上で育てていき、どのように色が変化するか、観察することにします。



今回の実験で使うものをまとめてみると、次のようになります。

アジサイの品種： レッツダンス（青）

プランターに入れる土： 土 10L を 7 : 3 （鹿沼土 7L : 腐葉土 3L）で合わせる

pH（酸性度）の調節： 苦土石灰（土 1kg に 1.5 g 混ぜると、pH を 0.5 上げられる → pH を 0.1 上げるには、土 1kg に 0.3g）

pH測定：市販の土壤酸性度測定器（どこのメーカーのものを使ったのか具体的に書きます）

使うものが決まったところで、次のような条件で観察したところ、下のようになりました。

アジサイ A 育て方

- 水を毎日 2 回（350mL ペットボトルで）
- 土に苦土石灰 30 g 入れ、pH を 5.2 にする
- 日の当たる屋内で育てる（室温 25 度）

アジサイ B 育て方

- 水を毎日 1 回（350mL ペットボトルで）
- 土に苦土石灰 60 g 入れ、pH を 5.4 にする
- 日の当たる屋外で育てる（日中 35 度）



この実験結果から、「pH を変えたことにより、アジサイの色が変わった」ということは言えるでしょうか？

結論から言うと、「pH によってアジサイの色が変わったとは言い切れない」です。
なぜかという、変化させている条件が多すぎて、何が原因かということが分からないからです。育てた条件を下にまとめてみます。

	水あげ	pH	温度
アジサイ A	2 回	5.2	25 度
アジサイ B	1 回	5.4	35 度

今回の実験条件だと、pH 以外も変えてしまっているので、もしかしたら、水の量や温度が要因ということも考えられます。「pH によって、アジサイの色が変わる」ということを確かめるには、次のように「pH のみ」を変化させる必要があります。

	水あげ	pH	温度
アジサイ A	2 回	5.2	25 度
アジサイ B	2 回	5.4	25 度

この実験条件で色が変わるのであれば、「pH が変わったから、アジサイの色が変わった」ことを言い切ることができます。

まとめ

実験の計画を立てるとき、実験で条件を変えてよいのは、1 つの実験で

1 つだけ。その他の条件は、そろえて同じにしましょう。

② 観察・実験の回数、データの数適切か

①で観察・実験の条件について、お話ししました。①の条件で様々な pH を変えて、実験した結果、アジサイの色は下の表のようになったとします。

表 土の pH と実験で育てたアジサイの色の関係性

土の pH	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2
色	青	青	青	紫	紫	ピンク	ピンク

この表から考えると、pH が 5.4 から 5.6 の間から、アジサイの色が変わっていると、読み取ることができます。しかし、この実験だけでは、正しいと言い切るのは難しいです。なぜなら、同じ条件での実験を「1 度しか」行っていないので、データの信用性が低いからです。本当にそのようになるのか確かめるためには、何度も同じように実験をし、同じ結果になるか確認していく必要があります。

表 土の pH を変えたときのアジサイの色の变化

1 回目	土の pH	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2
	色	青	青	青	紫	紫	ピンク	ピンク
2 回目	土の pH	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2
	色	青	青	紫	紫	紫	ピンク	ピンク
3 回目	土の pH	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2
	色	青	青	青	紫	ピンク	ピンク	ピンク

上の3回の結果から、青から紫に色が変わるのは pH が 5.4 から 5.6 の間という結論が、実験 1 回るときと比べて、より信用のおけるものになってきます。

物理学の実験でも、データの数が多いほど、信頼性^{しんらいせい}が大きくなります。例えば、Aさん、Bさんの2人でペットボトルロケットを飛ばして距離^{きょり}を記録しました。それぞれAさんは約44m、Bさんは約42m飛ばすことができたそうです。Aさんの方が、より遠くまで飛ばせたと感じますが、細かく聞いてみると、Aさん、Bさんのことで下の表のようなことが分かりました。

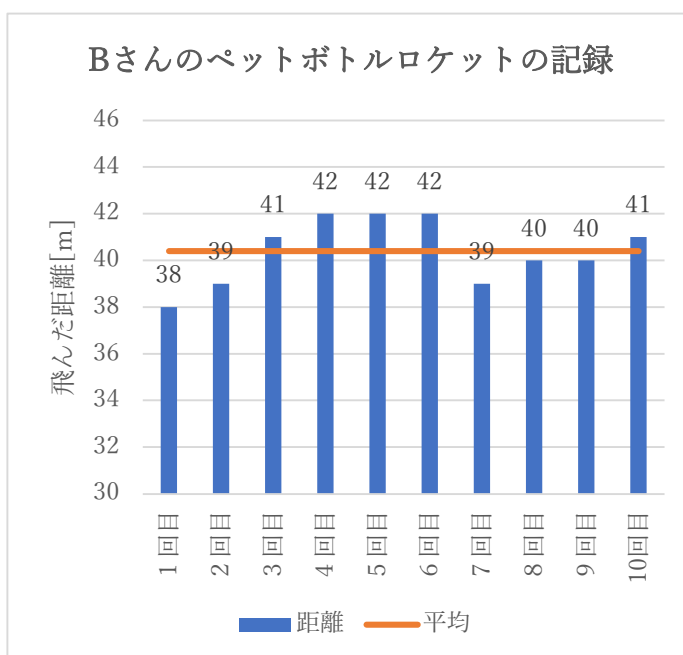
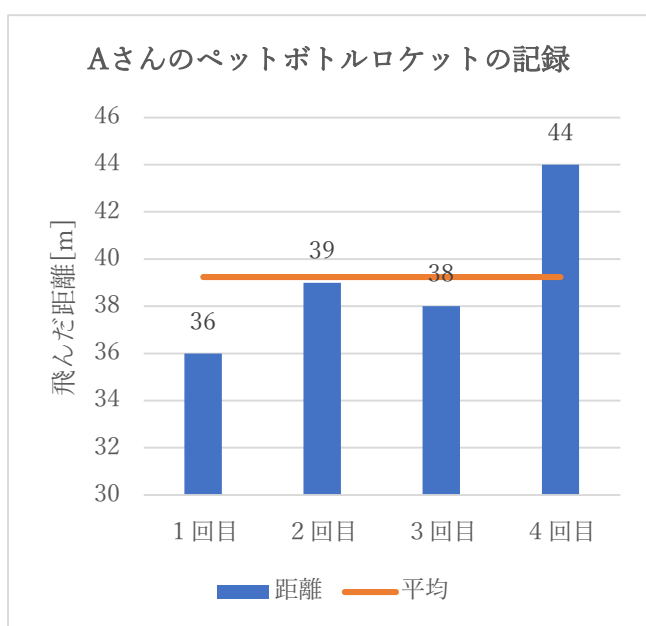
表 Aさんのペットボトルロケットの記録

	1回目	2回目	3回目	4回目
飛んだ距離 ^{きょり}	36 m	39 m	38 m	44 m

表 Bさんのペットボトルロケットの記録

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
飛んだ距離 ^{きょり}	38 m	39 m	41 m	42 m	42 m	42 m	39 m	40 m	40 m	41 m

Aさん、Bさんの記録を、ばらつきが分かりやすい形で、2人の記録をグラフにまとめると、下のようになります。



Aさんは最高で44m飛ばせていますが、ばらつきが大きく変わっています。一方で、BさんはAさんよりも飛ばせた距離は短いですが、距離のばらつきが小さいです。グラフのオレンジの線を見ると、より安定して飛ばすことができたのは、Bさんということになります。

このように、何回実験したかということによっても、データの信頼性が大きく変わってきますね。植物や動物の研究では、何度も実験するのが難しいものもありますが、物理や気温のことについては、データを取りやすいものもあります。そのときは、たくさん実験したり、測定したりして、多くのデータを集めましょう！

まとめ

観察・実験を多くできればできるほど、実験結果の信頼度アップ！

できるだけ多くの回数、実験をやってみましょう！

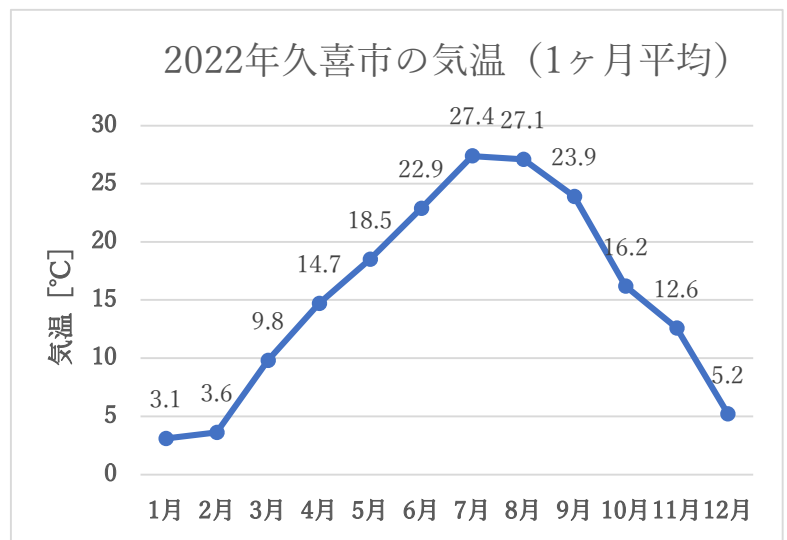
(3) ^{うで}腕の見せどころ！ 実験結果のまとめ方

実験結果は、研究で結論を出すときに、その理由や^{こんきょ}根拠となる大切な部分になります。大切なのは、研究したことや測定したことによって、まとめ方を変えて、分かりやすい工夫をすることです。変化を^{きろく}記録するのか、数を記録するのか、どのようにまとめるかによって、読み取りやすさが^{まった}全く変わります。いくつかの例を^{しょうかい}紹介するので、まとめ方の参考にしてみてください。

① 気温や長さなど^{すうち}数値で分かるものをまとめるとき

表 2022年久喜市の1ヶ月の^{へいきん}平均気温

月	気温 [°C]	月	気温 [°C]
1月	3.1	7月	27.4
2月	3.6	8月	27.1
3月	9.8	9月	23.9
4月	14.7	10月	16.2
5月	18.5	11月	12.6
6月	22.9	12月	5.2



平均気温は、気象庁「過去の気象データ^{げんさく}検索」より引用

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=43&block_no=0359&year=2022&month=&day=&view=（2023年7月25日参照）

左の表では平均気温が1つの表にまとまっているので、あまり場所を取らずに見ることができます。右のまとめ方では、グラフになっているので、変化がより分かりやすくなりました。このように、まとめ方を変えるだけで、より多くのことに気づけるようになるかもしれません。



表 → 変化のないものをまとめたり、実験の条件をまとめたりするとき

折れ線グラフ → 変化のあるものをわかりやすくまとめるとき

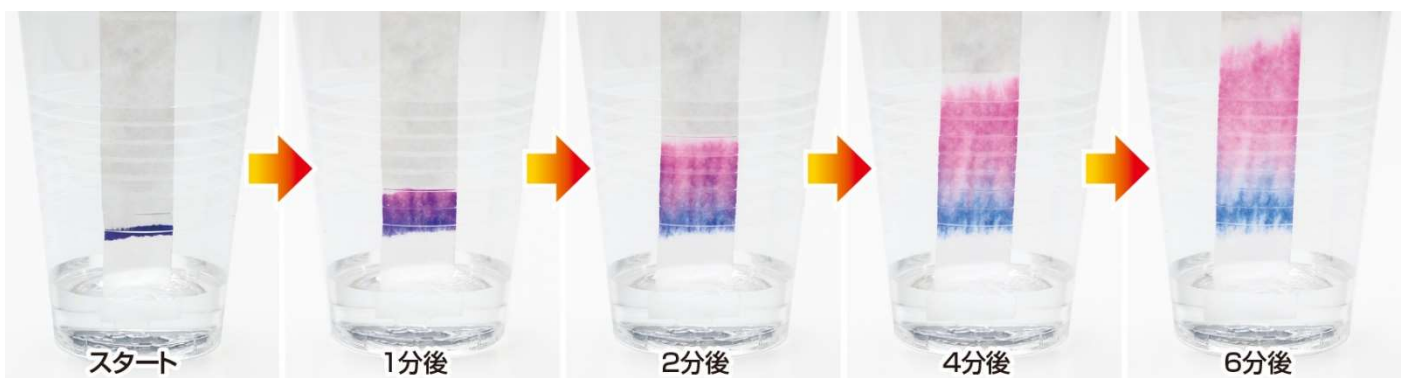
表やグラフ以外にもまとめ方があるので、どのまとめ方がよいか、調べながら取り組んでみてください。

② 数値では説明しにくいものをまとめるとき

（植物・動物の変化、ペーパークロマトグラフィーなど）

動物や植物の変化、化学実験など変化前と変化後の様子を、実験結果として記録したい場合は、^{しゃしん}写真やイラストを用いて変化を記録するという方法もあります。

ペーパークロマトグラフィーの変化を記録している例を紹介します。



図は「Gakken キッズネット 実験ペーパークロマトグラフ」より引用

https://kids.gakken.co.jp/jiyuu/category/try/paper_chromatograph/ （2023 年 7 月 25 日参照）

記録の仕方によっては、こちらの方法が分かりやすくなることもあります。写真や図のみで結果としてしまうと、どのように読み取ればよいか分からなくなるので、文で説明を付け足していくと、より分かりやすい実験結果になります。

(4) どうやって書くの？ 参考の本や論文、ウェブサイトの書き方

自由研究をする上で、本や論文、ウェブサイトを調べて、それに書かれていることを使ってまとめたり、実験をしたりすることがあるかもしれません。しかし、それらに書かれていることは、自分の文章ではありません。ですから、自分が書いている文と区別^{くべつ}するために、「参考としたもの」として、何を引用^{いんよう}したものか書いておく^{ひつよう}必要があります。書き方の1つとして下にのせますので、使ってみてください。研究の参考で使ったものは、間違い^{まちがい}のないようにのせましょう。

• 使った本をのせるとき

「**著者名**、**本の題名**、**出版社名**^{しゅっぱんしゃ}、**出版年**^{じゅんぱん}」の順番でのせます

(例) 長沢工、ぼくらの天文・気象・地球 ⑤ 地球はどうぐくか、岩崎書店、1986

• 学術論文をのせるとき

「**著者名**^{ちよしゃ}、**論文名**、**誌名**^{しめい}、**出版年**、**巻数**^{かんすう}、**号数**、pp.始め－終わり。」の順番でのせます。

(例) 岡崎智鶴子・松枝大治・金井豊・三田直樹・青木正博・乙幡康之、北海道然別地域^{ほっかいどうしかりべつちいき}で

採取^{さいしゅ}されたオパールの鉱物学^{こうぶつがく}・地球化学に関する予察的研究^{よさつてきけんきゅう}、地質調査研究報告^{ちしつちようさけんきゅうほうこく}、

2015、第66巻、第7号、pp.169 - 178

• 使ったウェブサイトをのせるとき

「**著者名**、**“ページ名”**、**サイト名**、**(更新日)**^{こうしん}、**入手先 URL**、**ページを見た日**」の順番でのせます

(例) JAXA、**“スピードと飛距離にビックリ!! ー基本型水ロケットー” ー基本型水ロケットー**
<https://edu.jaxa.jp/contents/other/rocket/pdf/78832.pdf> (2023 年 7 月 21 日参照)

(5) 自由研究、実際にちょっと作ってみました(仮)

夏休み前に配った「自由研究の進め方」と今まで書いてきた要素^{ようそ}を加えながら、自由研究を模^もした、型の1つとして作ってみましたので、参考としてご活用ください。この研究例のデータは、実際に実験をしたものではありません。ですから、データの転用^{てんよう}等は控^{ひか}えてください。また、同じテーマで研究してもかまいませんが、必^{かなら}ず自分で実験したものをデータとして使ってください。

あしあと お ダンゴムシの足跡を追え

こうたいせいてんこうはんのう じっしょうじっけん
～ダンゴムシの交替性転向反応の実証実験～

題名、研究テーマは大きく書こう！
サブテーマは、少し小さめに。

自由研究の表紙はイラストや写真等も使いながら、たくさんの人の目を引きつけられるように工夫をしましょう。

加須市立大桑小学校
○年□組△番 大桑 太郎

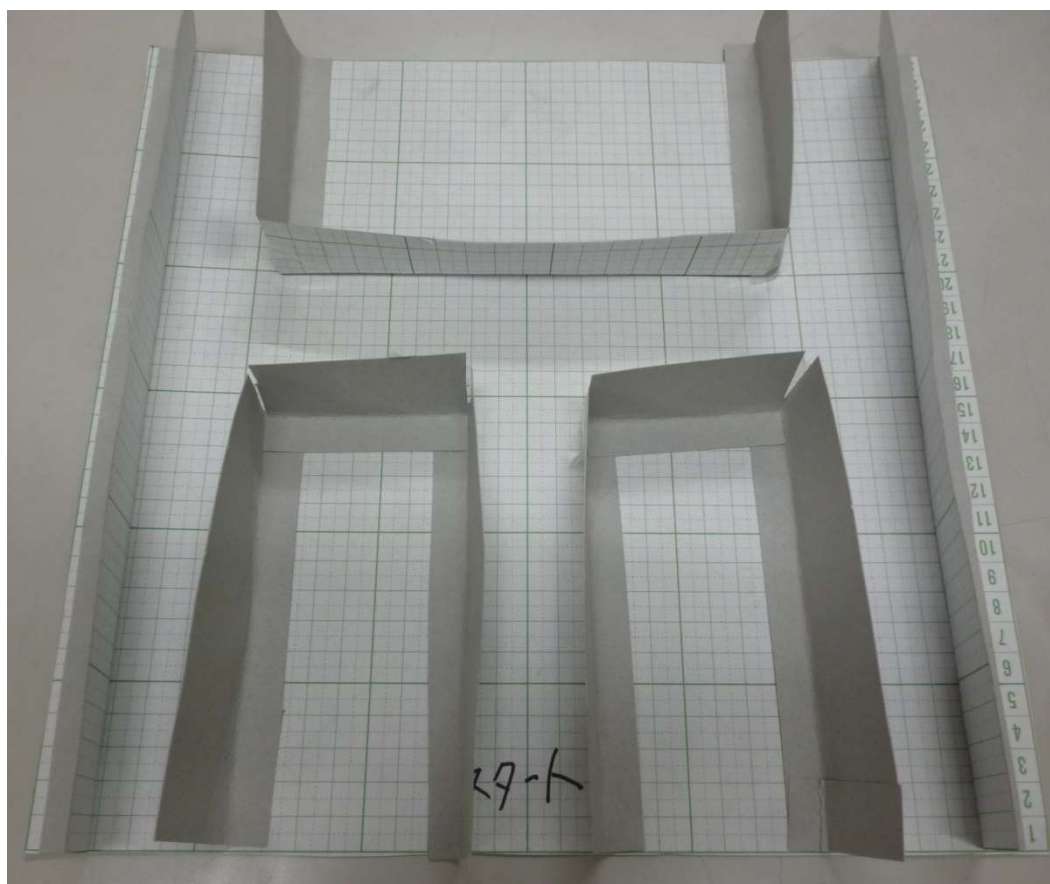
目次

目次があると、見る人が分かりやすく、
まとめるときも確認しやすくなります

1	研究のあらすじ・・・・・・・・・・	3
2	動機・・・・・・・・・・	4
3	ダンゴムシの特徴・・・・・・・・	4
4	交替性転向反応について・・・・・	5
5	研究方法・・・・・・・・・・	6
6	実験結果・・・・・・・・・・	7
7	結果から考えたこと・・・・・・・・	9
8	今後の課題・・・・・・・・・・	9
9	感想・・・・・・・・・・	11
10	参考にした本・ウェブサイト・・	11

1 研究のあらすじ

学校の理科の学習でダンゴムシの^{かんさつ}観察をしました。その中で、ダンゴムシの多くが、同じような動き方をしていることを^{ふしぎ}不思議に思い、本で調べたところ、ダンゴムシには「交替性転向反応」という習性があることを知りました。そこで、その^{しゅうせい}習性が本当なのかどうか確かめるために、何匹かのダンゴムシに^{なんびき}迷路を進んでもらい、T字路でどちらに曲がるか、その回数を数え、結果をまとめました。その後、考察を行い、結果からダンゴムシの行動について分かったこと、この研究から今後の課題を考えました。



交替性転向反応の実験で用いた迷路

研究の内容を短くまとめましょう。「あらすじ」の部分で見通しを持てるように、目次の順番で書けるとよいと思います。実験の様子についても、どのように観察・実験等しているか、写真等で示せると分かりやすいです。

2 研究の動機

理科で、身近な生き物についての学習をしました。いろいろな虫の観察をしているうちに、ダンゴムシに興味を持ち、しばらく観察をしました。そのときに、ダンゴムシが壁にぶつかったあとに、その多くが同じ向きに進んでいることに気がつきました。ダンゴムシの動き方には、何かルールがあるのかなと思い、本で調べたところ、ダンゴムシは、「壁にぶつかると右に曲がり、もう1度壁にぶつかると左に曲がる」という「交替性転向反応」と呼ばれる習性があることを知りました。そこで、その習性が本当なのか確かめてみたいと思い、実験してみることにしました。

観察や実験の前に調べたこと、研究の参考となる知識等をのせましょう。「知らない人が読む」ことを考えて書けるとよいですね。

動物・植物の研究 → その生き物の特徴を書く

現象についての研究 → その現象の説明を書く

3 ダンゴムシの特徴

オカダンゴムシ（*Armadillidium vulgare*: 甲殻亜門等脚目オカダンゴムシ科）は本州で広く分布し、落ち葉や庭石の下、湿った土の中などで生息する。体長は約10mmで、色は灰色がかった黒色だがメスは白色の斑点を備えるものが多い。頭部には2対の触角（第1、第2触角）があり、個体は第2触角を盛んに動かし、周囲の環境を探る。1対の複眼も頭部にあり、光を感知する。歩脚は胸節に7対、計14本ある。中枢神経系は、他の節足動物と同様に、食道上、下神経節、胸部神経節といった複数の神経節とそれらを接続する縦連合から成るはじご状神経系を形成している。繁殖期は春と秋の年2回である。土中で越冬可能なため、数年に渡って生存できる。機械刺激に対し、体をアルマジロのように球形化させられる。（森山・右田：2013）

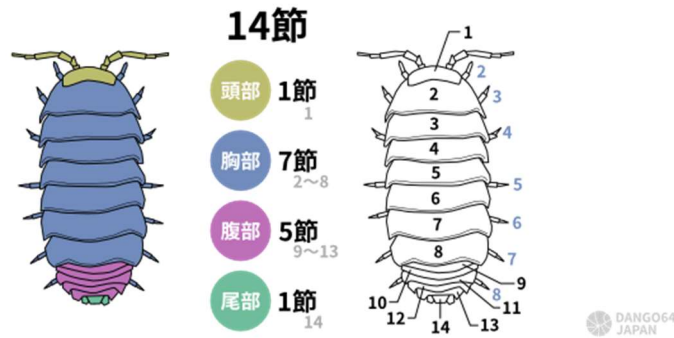


図 ダンゴムシの体の構造

「DANGO64JAPAN ダンゴムシの構造&体のつくりを徹底解剖」より引用

<http://dango64jp.starrypages.net/karada.html> (2023年7月25日参照)

4 交替性転向反応について

「右に曲がったら、次は左に曲がる」、「左に曲がったら、次は右に曲がる」といった行動特性を示すこの反応は、今までも多くの研究者により分析されています。交替性転向反応が起こる要因として、ダンゴムシが向きを変える際に生じる左右の脚への負荷のバランスを同じにしようとする「BALM (bilaterally asymmetrical leg movements) 仮説」が広く受けられているとのこと。この仮説では、T字路を右に曲がると、大回りする左脚の運動量が増加し、負荷が増します。左右の脚の負荷を等しくするために、右脚の運動量が増加し、左脚の運動量が減少します。この状態で、分岐路にさしかかると、転向方向は最初の分岐とは逆の左になる、と考えられています。

しかし、研究者の中には、この仮説以外にも別の要因があり、交替性転向反応には、複数の要因が関わっていると主張している方もおり、ダンゴムシの行動特性については、現在でも研究が続けられています。(森山・右田：2013 を参考に記述)

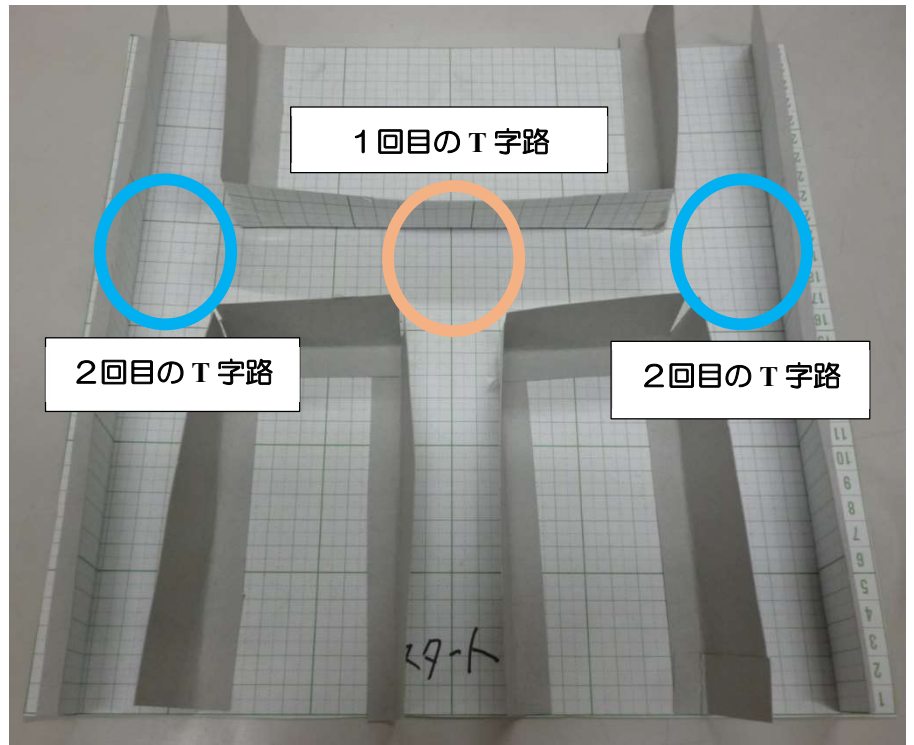
調べることにして、もし研究されている方がいれば、その方の研究等も参考できるとよいかもしれません。説明するのが難しい場合は、図を引用することで分かりやすくなることもあります。

5 研究方法

自分の家の庭にいるダンゴムシを4匹だけ採集し、自作した迷路の中を進ませて、T字路での曲がる方向を数えました。実験は、次のような手順で行いました。

方眼画用紙で右図のような迷路を作りました
迷路の高さは、ダンゴムシが乗り越えられないよう、高さ 4cm の壁にしています。

実験方法は、どのような手順で
取り組んだか、数値等を用いて
具体的に書きましょう。



- ① スタート地点にダンゴムシを置き、様子を観察しました。
- ② 1回目のT字路で、「右」、「左」、「後ろ」のどちらの方向に曲がったのか記録しました。後ろに進んだ場合は、1回目のみの記録としました。
- ③ 「右」、「左」に進んだ場合には、2回目のT字路でどちらの方向に曲がったのか記録しました。
- ④ ①から③を1匹のダンゴムシについて、200回ずつ行いました。

実験や観察では、数が多いほど信頼性のある結果を得ることができます。1回で終わり、ということがないようにしましょう。

6 実験結果

それぞれのダンゴムシの1回目、2回目でT字路をどの方向に曲がったのか、その結果を表にしました。また、交替性転向反応が見られた部分を赤で囲み、交替性転向反応の表れた割合をまとめました。

ダンゴムシA 1回目に後ろに進んだ回数：8回

実験日

2023年7月22日

実験の日時等も加えると、より信頼性のある実験になります。

		1回目		回数
		右	左	
2回目	右	23	60	83
	左	78	31	109
回数		101	91	192

交替性転向反応が表れた割合：71.9%

ダンゴムシB 1回目に後ろに進んだ回数：17回

実験日

2023年7月22日

		1回目		回数
		右	左	
2回目	右	13	59	72
	左	90	21	111
回数		103	80	183

交替性転向反応が表れた割合：81.4%

ダンゴムシC

1 回目到最后に進んだ回数：5 回

実験日

2023 年 7 月 23 日

		1 回目		回数
		右	左	
2 回目	右	3 3	8 4	1 1 7
	左	6 5	1 3	7 8
回数		9 8	9 7	1 9 5

交替性転向反応が表れた割合：7 6. 4%

ダンゴムシD

1 回目到最后に進んだ回数：2 3 回

実験日

2023 年 7 月 23 日

		1 回目		回数
		右	左	
2 回目	右	1 0	5 3	6 3
	左	9 1	2 3	1 1 4
回数		1 0 1	7 6	1 7 7

交替性転向反応が表れた割合：8 1. 4%

4 匹のダンゴムシ全てで、その習性である交替性転向反応が見られ、その割合から、1 0 回中 7 ~ 8 回という高い頻度で起こっていた。

7 結果から分かること

- どの個体も交替性転向反応が高い割合で見られたが、中でも1回目のT字路を右、2回目のT字路を左に曲がる回数が多かった。
- 1回目のT字路を後ろにもどる回数も一定数あったことから、ダンゴムシの行動は、必ずしも習性で決まっているわけではないことも分かった。

今後の課題、今回の実験を発展させたら分かるかもしれないことを考えてみましょう。しっかりと観察や実験をした人だけができる特権です。

実験結果をまとめて課題を見つけ、方法を変えて実験してみたい場合は、「実験2」として続けることも可能です。さらに、研究が深まるので、チャレンジできる人は、ぜひやってみましょう。

8 今後の課題

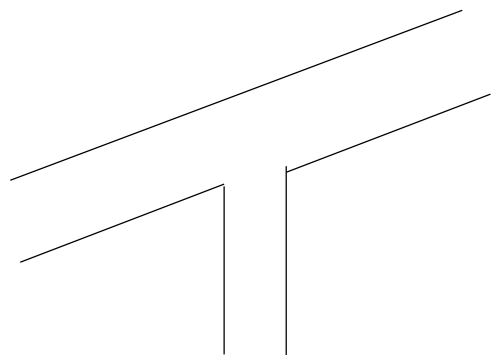
- 今回の実験では、直角のT字路を2回通るように迷路を作りました。今回の実験をもとに、次のような迷路では同じような行動が見られるか
けんしょう
検証してみたいと感じました。

迷路1：T字路を少し斜めに角度をつけた迷路

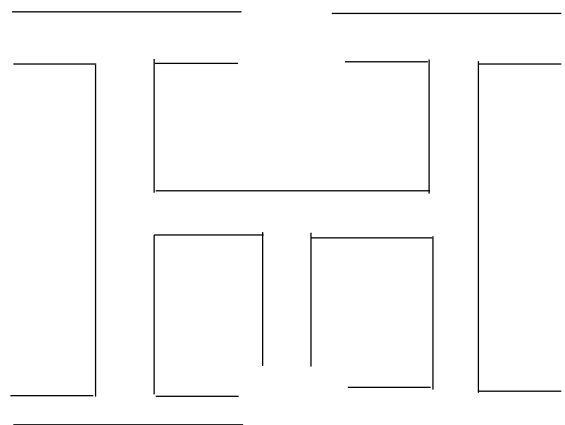
迷路2：T字路を2回ではなく、3回、4回と分岐させた迷路

この2つの場合に、交替性転向反応がどのくらいの割合で生じるか

ひかく
比較していきたいと感じました。

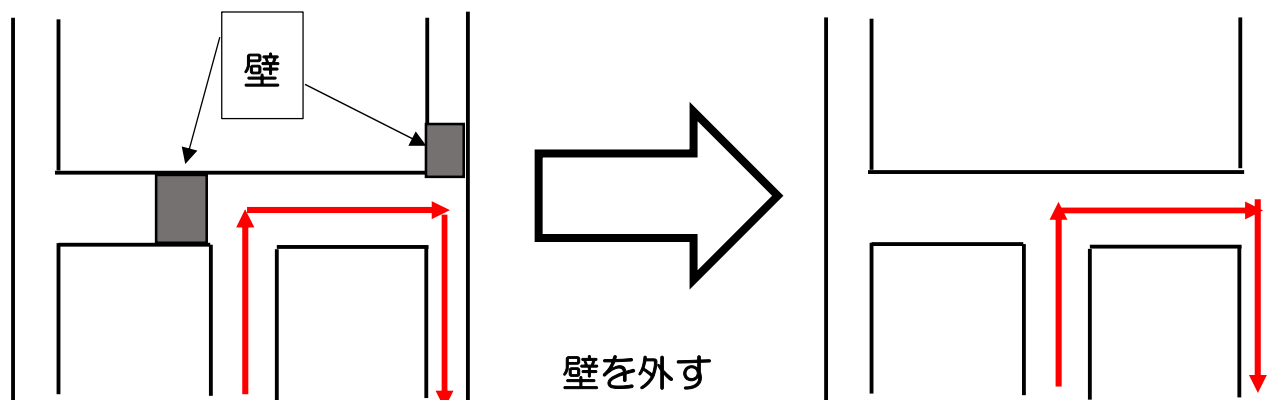


迷路1



迷路2

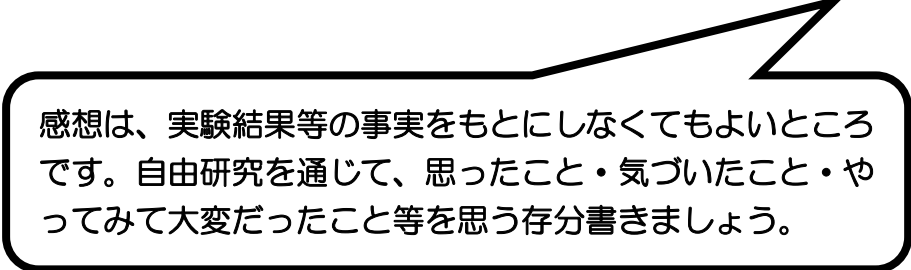
- また、ダンゴムシには^{がくしゅうのうりよく}学習能力が備わっているか検証してみたいです。例えば、T字路の片方に^{かたほう}壁を^{かべ}設け、その迷路を10回進んでもらい、壁を外したときにも、壁ありで実験したときと同じ方向に多くの回数曲がれば、学習したということが言えるのではないかと感じました。



今後の課題、今回の実験を発展させたら分かるかもしれないことを考えてみましょう。しっかりと観察や実験をした人だけができる特権です。

9 感想

今回の研究から、ダンゴムシという生き物の奥深さを感じ、ほかにも特徴のある習性をもつ動物がいないか興味がわきました。様々な動物の行動をよく観察し、変わった習性がないか発見しながら、生活していきたいと思います。



感想は、実験結果等の事実をもとにしなくてもよいところ
です。自由研究を通じて、思ったこと・気づいたこと・や
ってみて大変だったこと等を思う存分書きましょう。

10 参考にした本・ウェブサイト

森山徹・右田正夫 2013 ダンゴムシの意思決定 第27回人工知能学会全国大会
https://www.jstage.jst.go.jp/article/pjsai/JSAI2013/0/JSAI2013_2L4OS24d3/_pdf/-char/ja