

沖縄県教育長賞

第35回沖縄青少年科学作品展

島グッピーのメスはキレイなオスが好きか？

沖縄カトリック小学校

5年 辻 嵐太

研究の動機

ぼくは以前、長谷川真理子著の「クジャクの雄はなぜ美しい？」という本を読みました。

その中で、きれいなオスがより多くのメスをひきつけるので子孫をより多く残す事が出来ると書いてありました。

沖縄には野生化したグッピー（通称島グッピー）があちこちにたくさん生息していて、ぼくも家で飼っていた事があります。オスは派手な青やオレンジなどカラフルですがメスは地味です。

ぼくの家では野生化したグッピーだけでなく、ペットショッ

プで買った来たグッピーも飼った事があります。売られているグッピーは品種改良されているので、オスは島グッピーよりも色や形がずっと派手で目立ちます。

「クジャクの雄はなぜ美しい？」にはグッピーでもやはりきれいなオスがメスによく好かれると書かれていました。

そこで、これは島グッピーにも当てはまるのか。もしそうなら島グッピーのメスにペットショップで買ったオスを与えたらどうなるのか。野生のオスにはない位カラフルなペットショップのオスに出会ったメスはもっ

と強くひき付けられるのではないか。

人間に例えると、突然ジョニーデップの様なハリウッドスターがやって来たら、たちまち目が釘付けになるのではないかという事です。

この想像が正しいか実際にためしてみたいと思いました。

3

方法

4

採集・実験容器

・2012年8月に那覇市金城町のため池で約400匹のグッピーを捕まえて(図1)その中から選んだ個体を使って実験しました。
・100円ショップで買った1辺約10cmのほぼ立方体の透明プラスチック容器を24個用意しました。

本当はもようの無い容器が欲しかったけれど見つからなかったため、容器の一面にもようが印刷されたものになりました。

しかも、もようの色が同じ容器をたくさんそろえることができなかったため、黄色のもようの

5



図1、グッピーの採集

6

物と緑のもよりの物を12個ずつ
買いました。緑と黄色を選んだ理由は、ピンクや紫より水草や藻などの自然な色に近いと思、たからです。容器にそれぞれカルキを抜いた水(1リ)を入れた、もようを反対の無地の面が前面になるよう容器をうつし横並びに置き(図2)真ん中には緑色のもの、両脇には黄色のものを置きました。

7



図2、実験の様子

8

オスの特ちょうの観察

・採集したグッピーの中から体の大きさや色が様々なオスを16匹選び実験が始まる前に体の特徴をスケッチしました(図3)。
・また全ての観察が終了したらオスを水からとりだし写真を取り、定規で体の長さをミリ単位で測りました(図3)。
スケッチと写真を両方使ったのは、写真ではヒレの特ちょうが観察しにくいからです。
・これらのオスは名前(記号)をつけて区別し、実験終了まで1匹ずつコップで飼育しました(ただし途中で死亡したものは除きます)(表1)。

9

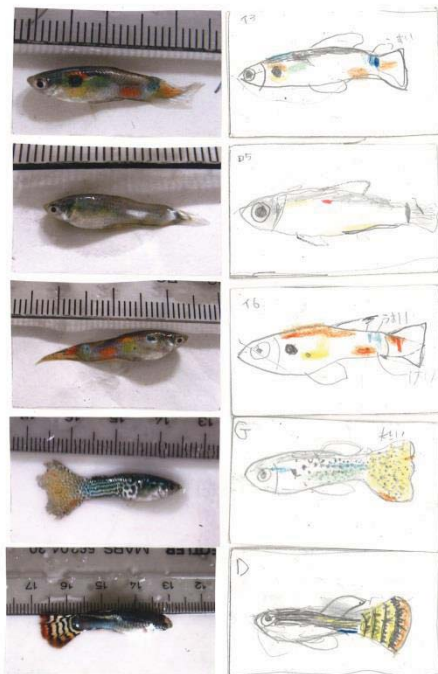


図3 実験に使ったオスの写真とそのスケッチの例
上3匹は野生オス、下2匹はペットショップで買ったオス

10

個体名	体重(cm)	赤はん点数	黒はん点数	青はん点数	黄はん点数	総はん点数
(1) 野生オス						
イ1	2.9	3	1	1	0	5
イ2	2.5	4	2	1	1	8
イ3	2.6	3	2	3	1	9
イ4	2.6	3	2	3	2	10
イ5	2.7	4	4	3	2	13
イ6	2.6	5	3	3	1	12
イ7	2.8	3	3	3	0	9
イ8	2.4	2	3	2	1	8
ロ1	2.4	1	2	2	0	5
ロ2	2.1	2	1	2	0	5
ロ3	2.2	3	3	1	0	7
ロ4	2.2	1	2	1	0	4
ロ5	2.3	0	2	1	0	3
ロ6	2.4	1	1	2	0	4
ロ7	2.6	1	1	1	0	3
ハ4	1.8	2	3	2	0	7
(2) ペットショップで買ったオス						
A	2.7					
B	2.6					
C	3.2					
D	3.3					
E	3.8					
F	3.2					
G	3.9					
H	3.1					
J	2.6					

表1. 実験に使ったオスの特ちょう。ただし、ペットショップで買ったオスの見た目は野生オスと大きくちがうためはん点の数を数えることができなかった。

11

実験1 メスは派手なオスと地味なオスのどちらに興味を示すか。

1 回目の観察

・真ん中の容器にメスを1匹、左右の容器にオスを1匹ずつ入れました。2匹のオスはなるべくはんてんの数や色の様子が異なる組み合わせになるよう調整しましたが、あとで色別に見たらはん点の数が同じだ、たものもいます。

・容器と容器の間には厚紙の敷居を入れておき、観察開始までお互いの姿が見えないようにしました。

12

・メスを入れた容器の外壁の正面中央に縦線を油性サインペンで書いてメスが左半分に居るか右半分に居るか分かる様にしました。(図2)

・敷居を取り除いた後、1分間隔で30回計29分間、メスが黒線の右側にいたか、左側にいたかを記録しました。メスがちょうど中央の線の上にいたときには、左右に0.5回ずつにしました。

2 回目の観察

・左右のオスの組み合わせを適当に変えてまた同じ観察を行いました。もしメスが容器の左側または右側で泳ぐくせがあった

13

場合を考え、それぞれのオスについてメスの向かって右側に置く場合と左側に置く場合を半々にしました。

・1、2 回目の観察をメスを取り替えながら(オスも16匹の組み合わせを適当に変えながら)メス24匹分観察しました。使ったメスも名前(記号)を付け、実験終了まで一匹ずつコップで飼育しました(ただし途中で死んだものはのぞきます)。

14

実験2 メスはペットショップで売られている派手でカラフルなオスと野生のオスのどちらに興味を示すか。

・実験1の2回目の観察が終わった後で、使ったメスに実験1の2回目の観察でより興味を持たれた(メスがより多い回数近づいていた)オスはそのままにし、もう一方のオスをペットショップで購入した野生のグッピーより派手でカラフルなオスに変えて、実験1と同様の一分毎に30回メスの位置の記録を行いました。これもメス24匹分の記録を取りました。

15

・メスが容器の左側または右側で泳ぐくせがあった場合を考え、ペットショップのオスを右側に置く場合と左側に置く場合を半々にしました。

・ペットショップで購入したオスは計9個体いましたが、それらの特ちょうも実験前にスケッチしておきました(図3右)。また、実験終了後にオスを水から取り出し写真を取り(図3左)定規で身体の長さを1ミリ単位で測りました。

16

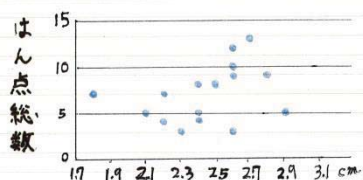
実験3 メスはメスとオスのどちらに興味を示すか

・実験1と2で、個体にもよりますが、メスはカラフルなオスや大きなオスの近くで泳ぐ傾向があるのがわかりました(結果にも書きました)。ただ、わずかですが、野生のオスは大きな個体は色もよりカラフルな傾向がある様にも見えしました(図4)。もしそうならメスはカラフルなオスでなく、単に大きな個体に引き寄せられただけの可能性もあるのでは?と考えました。

・そこで、メスがオスとメスのどちらにひかれるか実験しまし

17

体長と総はん点数の関係



体長と色別はん点数の関係

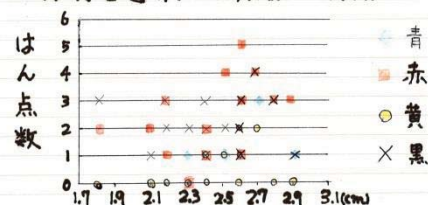


図4

野生のオスの身体の大きさ(体長)とはん点数の関係。
横軸が体長(cm)で、たて軸がオス左右どちらが片側から見て数えたはん点数

18

た。なぜなら野生のグッピーではオスよりメスの方が大きな個体が多いからです。メスがもし大きな個体に近づいて泳ぎたがるだけなら、オス側でなくメスの側で長く泳ぐかもしれません。

・実験2が終了した後、ペットショップで購入したオスを野生の大きなメスに変え、実験1、2と同じ様に1分間30回の観察をしました。この実験でもオスを右側に置くものと左側に置くものを半々にしました。これもメス24匹分の記録をとりました。
・実験終了後メスの身長の高さも1ミリ単位で測りました。

19

実験4 メスはメスとペットショップのオスのどちらに興味を示すか

・実験1から3までが終了した後（結果に書きましたが、メスはメスとペットショップのオスに強くひかれました）ペットショップで購入したカラフルなオスとメスの組み合わせでも実験したくなりました。これをやった理由は、ペットショップのオスは品種改良されていて体も野生のものより大きく、実験に使った野生のメスと同じ位の大きさだからです。この実験で、メスと同じ位の大きさの派手なオス

20

にひかれるか、地味なメスにひかれるのか分かるかもしれません。

・左右の容器に片方にペットショップのオス、もう片方にメスを入れ、これまで同様1分間30回の観察をしました。この実験でもオスを右側に置くものと左側に置くものを半々にしました。ただ、実験1〜3から日にちが経っているため、死亡した個体も多く、メス10匹分の記録しかとれませんでした。

・使ったメスは実験終了後、身体の高さを測りました。

21

結果

22

結果

実験1 メスはカラフルなオスの近くを泳ごうとするか？

・図5～10がその結果です。

まず、図の見方を説明します。

図5～10では、まずある特ちょう（例、赤のはん点数の多さ）に注目し、その特ちょうがより強い（例、赤のはん点数がより多い）オスの側でメスが泳いでいた回数（30回中の）の割合（％）を、メス個体ごとに計算しました。そしてこの割合を20％ごとに区切り、各区切りの中に何匹のメスがいたかを度数グラフにし

ました。度数グラフが真ん中（50％）より左にかたよっていれば「その特ちょうがより強いオス側」を泳ぎたがるメスが多かった事を示します。ただし、左右に置いたオスの特ちょうを示す値（赤点の数など）が同じであった事例は図には入れませんでした。ですから、くり返しの回数が24（メスの個体数）より少なくなっているグラフもあります。

・メスに同時に見せた2匹のオスは色や大きさが様々だったので、

(1) 赤いはん点数（図5）

- (2) 青いはん点数（図6）
- (3) 黄色いはん点数（図7）
- (4) 黒いはん点数（図8）
- (5) はん点の総数（図9）
- (6) オスの体の大きさ（図10）

という特ちょうに注目し、それぞれ図にまとめました。

実験の1回目、2回目で両脇のオスのペアを別のペアと取り替えています。

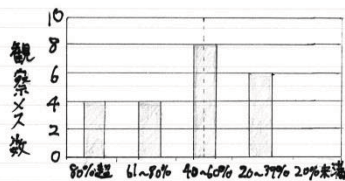
グラフは1回目の観察と2回目の観察で別々にかきました。

(1) 赤いはん点数（図5）

・1回目の実験では、赤点の多いオス側で80％以上の割合（時間）を過ごしたメスが4匹いたのに対して、赤点の少ないオス側で80％以上過ごした（図の20％未満）メスは1匹も居ませんでした。2回目の実験でも赤点の多いオス側で80％以上の割合で泳いでいたメスが5匹いたのに対して、赤点の少ないオス側で80％以上過ごしたメスは1匹だけでした。

・メスによって結果がかなりちがいますが、ごくわずかですが全体的に見てメスには赤いはん

1回目の観察



2回目の観察

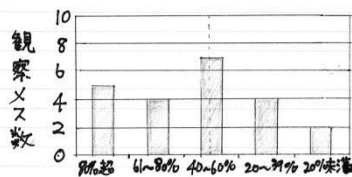


図5

赤いはん点のより多いオスの側で過ごした時間の%

点の多いオスの近くを泳ぐ傾向があるように見えます。

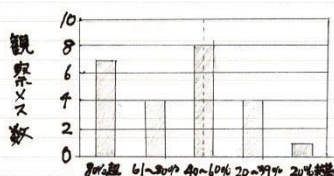
(2) 青いはん点数(図6)

・赤いはん点の結果に似ていて、1回目の実験ではわずかですがメスには青いはん点の多いオスの近くを泳ぐ傾向があるように見えます。2回目の実験でもこの傾向は感じられますが、1回目の観察の時よりさらに弱い印象です。

(3) 黄色のはん点数(図7)

・これも赤点、青点の結果に似

1回目の実験



2回目の実験

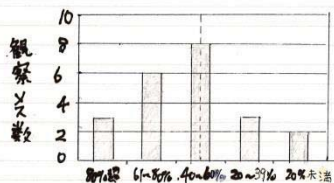


図6

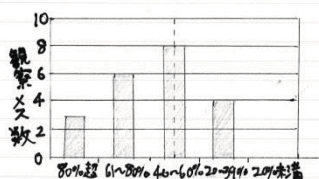
青いはん点のより多いオスの側で過ごした時間の%

ています。1回目の実験では多くのメス(8個体)が黄点の多いオスにも少ないオスにも同じ位の割合で近づいています。黄点の多いオスの近くをより長く泳いだ(61%以上)個体が9個体だったのと比べ、黄点の多いオス側に居た割合が40%未満の個体は4個体だけでした。2回目の実験もだいたい同じ傾向でした。

(4) 黒いはん点数(図8)

・図8の結果は他の色の結果と違う印象を受けます。1回目の実験ではメスは黒点の多いオス

1回目の実験



2回目の実験

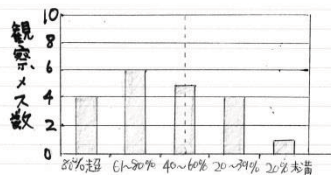
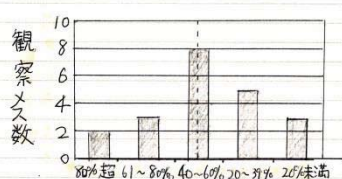


図7

黄色いはん点のより多いオスの側で過ごした時間の%

31

1回目の実験



2回目の実験

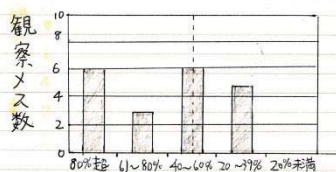


図8

黒いはん点のより多いオスの側で過ごした時間の%

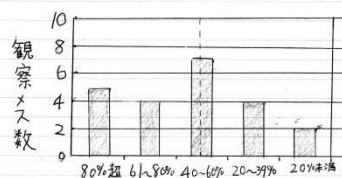
32

側にも少ない側にも同じ位の割合で居るか、やや少ないオス側に長く居る様な傾向があるようにも見えます。2回目の実験ではこれとは逆に、20%未満が0個体で、黒点のより多いオス側で泳ぐ傾向になりました。

(5)はん点の総数(図9)

・赤点、青点、黄点と同じ様な結果になりました。1回目、2回目の実験ともに、はん点の数がより多いオス側を泳ぐ傾向がみえました。

1回目の実験



2回目の実験

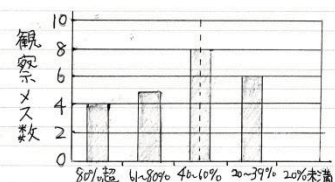


図9

はん点の総数のより多いオスの側で過ごした時間の%

33

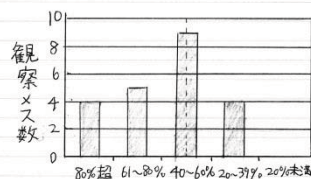
34

(6)体の大きさ(図10)

・1回目の実験では、より大きいオス側で80%以上の時間を過ごしたメスが4匹居たのに対して、体の小さいオス側で80%以上の時間を過ごしたメスは0匹でした。2回目の実験ではこの傾向は弱くなりましたが、それでも「大きなオス側」でより長い時間を過ごしたメスの数が半数を超えました。

・メスにおいて結果がかなり異なりますが、全体的に見てメスにはより大きなオスの近くを泳ぐ傾向があるようです。

1回目の実験



2回目の実験

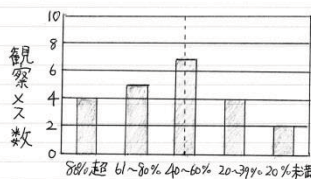


図10

体長のより大きなオスの側に過ごした時間の%

35

36

実験2 メスは野生オスの近くよりもペットショップで買ったとてもカラフルなオスの近くを泳ごうとするか?

・結果(図11)は、野生オスをメスの両側に置いた実験1よりもはっきりとしていました。メスはペットショップで買ったオスの側で長時間泳いでいる強い傾向がでました。ペットショップのオス側で61%以上の時間を過ごしたメスが15匹居たのに対し、その時間の割合が41%以下だったメスは3匹しかいませんでした。

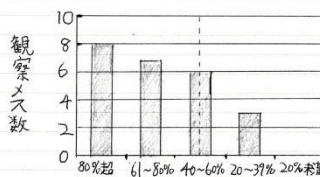


図11

メスはペットショップで買ったオスと野生のオスのどちらに興味を示すか。
横軸はペットショップのオスの側で過ごした割合

37

38

実験3 メスはオスとメスのどちらの近くを泳ごうとするか

・結果(図12) この結果にはびっくりしました。メス側に80%を超える時間(図の20%未満)居たメスが24匹中16匹も居ました。メスはオスよりメスの側に居たがる様です。

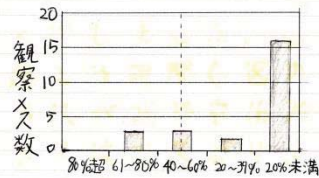


図12

メスはオスとメスのどちらに興味を示すか。
横ひくはオスの側で過ごした時間の割合。

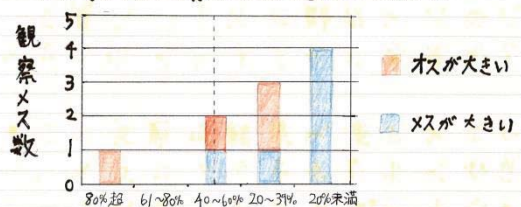
実験4 メスはペットショップで買ったオスと野生メスのどちらの近くを泳ごうとするか?

・この実験は結果が楽しみでした。メスにどちらも「よくひきつけられた」メスとペットショップのオスを選ばせたら、どちらに近づくのか?

・その結果、メスはペットショップのカラフルなオスよりも地味なメスにより近づきたがる傾向を示しました。(図13上)

・少し見方を変え、両サイドのグッピーの大きさを比べて図にしたのが図13下です。今度はより大きな個体の近くをメスが泳

A ペットショップで買ったオス側で過ごした時間%



B. より大きな個体側で過ごした時間%

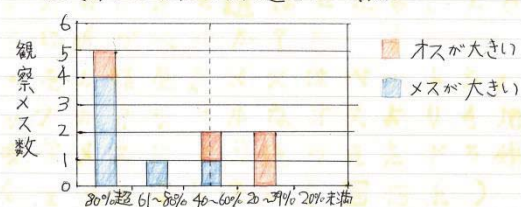


図13

メスはペットショップで買ったオスとメス(野生)のどちらに興味を示すか。

A: ペットショップで買ったオス側で過ごした時間%
B: より大きい(横の長い)個体側で過ごした時間%
ただし、オスの方が大きかった事例は4つ、メスの方が大きかった事例は6つあった。

ぐ傾向がみえました。

。この実験を10回行った中で、両サイドのメスとペットショップ・オスの大きさを比べてみると、メスが大きかったのが6回、オスが大きかったのが4回でした。これを考えながら図13を見ると次の事がわかりました。

オス側にメスが長く居た例(図13上の一番左の赤棒)はオスがメスより大きかった場合でした。また、オスがメスより大きかった他の3例でも中央メスはメスの側に長くどまりながらも、オス側にもそこそこの時間どまっていた。

考察

実験結果から、那覇市内で野生化しているグッピー(島グッピー)のメスは、近くに2匹のグッピーが居た場合

- ①オスよりメスの近くを
 - ②より体の大きな個体の近くを
 - ③両方ともオスなら、よりカラフルな個体の近くを
- ①②③の順で側を泳ぐ傾向が強いことがわかりました。

「グッピーのメスはキレイなオスを好むというのが本当なら、品種改良されたペットショップのオスは野生オスに比べてもの

すごくモテるにちがいない」というぼくの予想は当たりました。

しかし全この実験が終わった後、「この結果は本当にメスが交尾相手として、よりカラフルなオスを選んだ結果なのだろうか？」という疑問がわいてきました。

メスが他のグッピーに近づくのが交尾のためだけなら、メスはオスとメスが近くに居た場合はオスの近くに行くはずですが。でも、結果はこの予想とは正反対でほとんどのメスはメスに近づいて行きました。

グッピーはメダカの仲間だといわれています。「メダカの学校」で歌われている様にメダカは群れて泳ぎます。

実験の結果は、単にメスが群れを作るための行動ではないかとも考えられます。メスはメス同士で群れを組みたがるのかもしれないです。また、群れを作る時、より身体の高い個体はメスの目に付きやすく、メスはそちらに近づいたのかもしれない。

さらにペットショップのオスはたいてい野生オスより体が高く、野生オスの間でも、より大きなオスはよりカラフルな傾

向がある様なので(図4)、実験1から4の結果の全ては、メスがより大きな個体に引き寄せられた結果とも考えられます。しかし、メスがより大きな個体にひかれやすいだけなら、実験1では体の大きさでまとめた図10の結果が一番は、きりするはずで。でも図10の結果は、はん点のちがいでまとめた他の結果(図5~9)とあまり差がなく、わずかな傾向が見られるだけでした。また、野生オスの体が大きいとはん点も多しという関係も、ごくわずかに見られるに過ぎません(図4)。

おそらく、メスには群れを作

るために他のメスや大きな個体に近よって泳ぐ性質と、交尾のために好みのオス(カラフルまたは大きなオス)に近寄る性質の両方があるのかもしれませんが。今回の研究結果は、この2つのえいきょうが混ざったものではとぼくは考えます。

本によれば「グッピーのオスはメスに求愛し、メスは気に入ったオスの求愛を受け入れる」とあります。今回の実験で、ぼくはオスがメスに求愛しているかどうか分かりませんでした。なぜなら何が求愛行動なのかぼくには、きりわからなかった

からです。オスの求愛行動をはっきり観察できれば、メスが群れるために他の個体に近づいたのか、交尾のために近づいたのかを区別できるかもしれません。

反省と今後の課題

メスがどちらの個体の近くを泳いでいたかを単に記録するのではなく、メスやオスの行動を詳しく観察し、メスがどちらの個体の求愛をより多く受け入れたのか調べると良いと思いました。このためには、容器ごとにオスとメスを「お見合い」させる実験ではなく(これは「クジャクの雄はなぜ美しい？」に書かれていた、ソードテールフィッシュの実験法をヒントにしました)、同じ1つの容器にグッピーを入れて観察する実験方法を工夫する必要があると思います。

ただ、もしメス1個体に対しオスの2個体を同じ容器に入れるとすれば、オス同士のけんかのえいさようが心配です。弱いオスはただそれだけで、メスに近寄れないかもしれないからです。以前家で飼っていたグッピーでも「いばっているように見える」オスが他のオスを追いかけて、あわすような場面をよく見ました。どうすればいいかは今は思いつきませんが、これからの課題です。

那覇のため池で採ったオスは、どれも見た目に大きな違いがありません。印象を受けました。実

51

験1でメスの好みははっきりしなかったのはそのせいかもしれません。那覇よりも山原の川で野生化しているグッピーの方が色あざやかではん点に変化が多いという話を人から聞いた事があります。同じ実験を山原など他の場所で採ったグッピーでもためしてみたいです。

また、「カラフルな」個体は単にはん点が多いのではなく、いろいろな色のはん点が入り混じっているからぼくにはそう見えるのですが、もようの複雑さをどう表現したらいいのかぼくには思いつきませんでした。

52

何日間にもわたって実験をしている間にグッピーが死んでしまった事がありました。実験に使った個体は元々そんな物を選んでいたのであまり死にませんでしたが、実験に使わないグッピーを大きな水そうでまとめて飼っていた所、かなりの数のものにカビが生えて死んでしまいました。(残ったグッピーは今でも家のベランダで飼っています)健康状態が実験に影響した可能性もあるし、生き物はむずかしいと思いました。飼い方をもう少し工夫すれば良かったです。

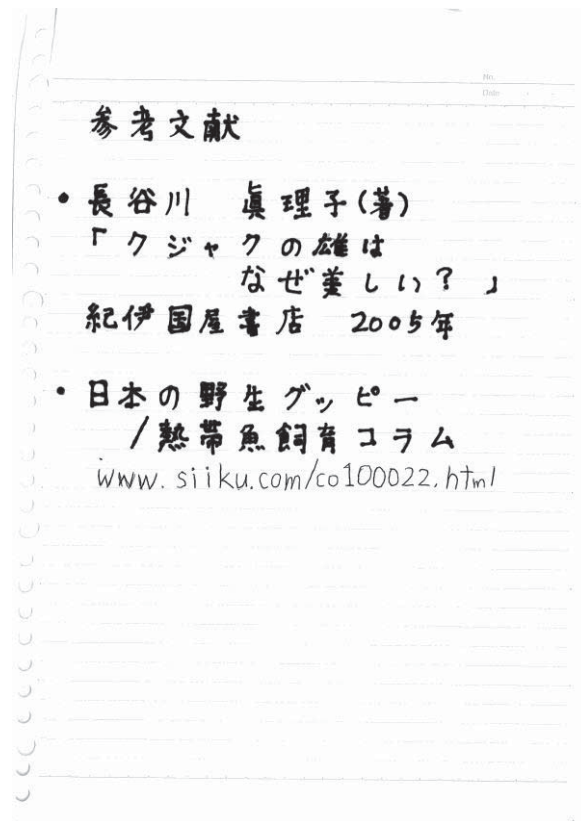
実験期間中に子供を産んだメ

53

スが2匹いました。妊娠しているメスが居た事が実験結果にえいさようがあったかもしれません。オスの求愛を受け入れるのは妊娠していないメスだけの可能性が大きいと思います。

今後、どんな状態のメスを使えば良いのが調べてみたいです。

54



55

講 評

「クジャクのオスがメスをひきつける」という話題から、『野生化したグッピーのメスは、ペットショップのカラフルなオスによりひきつけられるのではないか』という仮説を立て、複数の条件を制御した実験を通して、検証を行っています。観察の手法が細かくコントロールされ、データも豊富です。

オスの模様の基本データも、写真とスケッチで表されており、肉眼での観察の深まりが伺えます。

仮説「ペットショップのカラフルなオスはすぐくもてるだろう」は、検証されましたが、残された疑問、「メスは『群れ』をつくるために、大きなメスによりそうのか」、「交尾のために大きなカラフルなオスを選ぶのか」について、今後とも実験・観察を通して研究を広げていってほしいものです。

「反省と今後の課題」では、結果を真摯^{しんし}に受け止め、「オスのけんか^{けんか}」の懸念や「メスの妊娠による影響」について考える姿勢に、今後の研究の発展が期待されます。

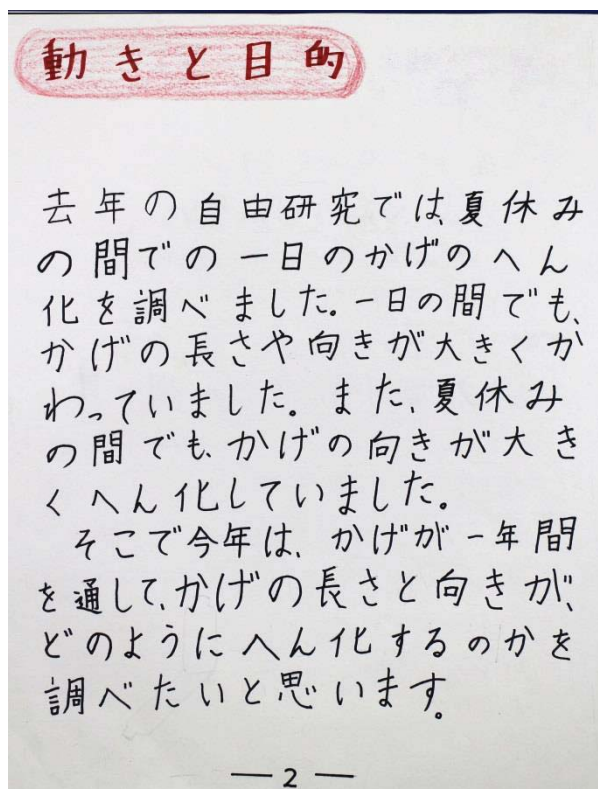
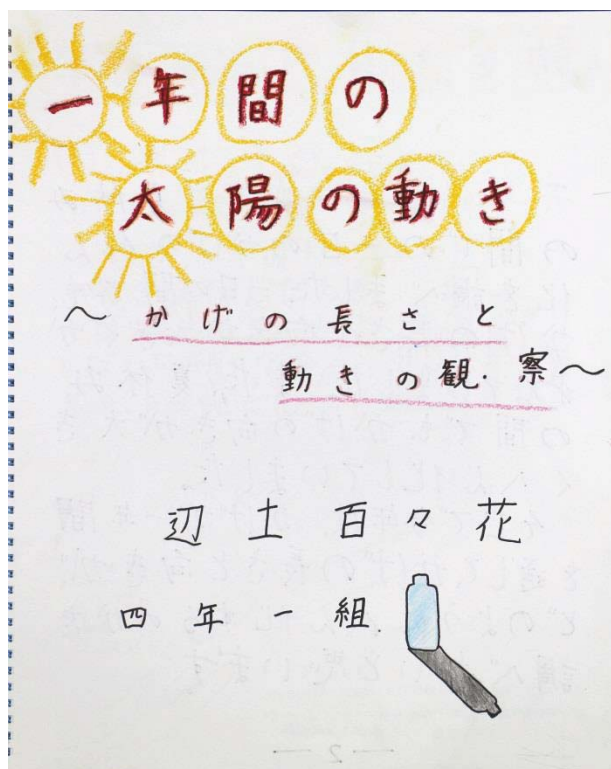
沖縄県教育長賞
第35回沖縄青少年科学作品展

一年間の太陽の動き

～かげの長さや動きの観察～

沖縄カトリック小学校

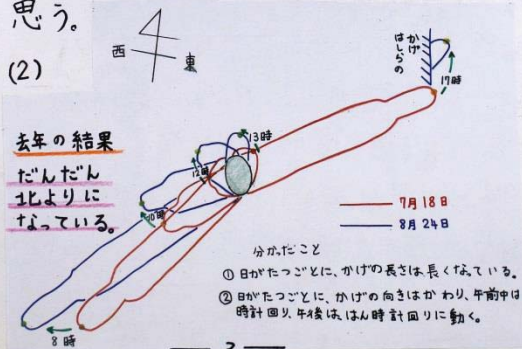
4年 辺土 百々花



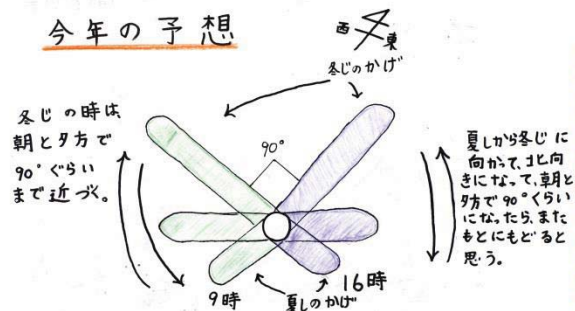
予想

(1) 去年は、夏休みの間で、
かげの長さは長くなっていた。
そこで、一年通してみると、かげ
の長さはだんだん長
くなり、冬じをすぎたら、
したいに矢短くなり、一
年たったらもとにもどると
思う。

(2)



今年の予想



去年は、夏休みの間で「同じ時間に計ったかげ」
の向きが北よりにい動し、一日の間にへん化する
かげのい動角度が小さくなっていた。そこで
一年を通してみるとかげの向きは、夏から冬に
向けて、だんだん北よりになっていく、かげのい
動角度が 90°くらいになたら、また南の方に
向かって、もどっていく一日の間のかげのい動
角度も広がっていくと思う。

方法

(1) 去年は、だ「円形のボトルを選んで」
しまい、日の当たる方向がかわってしまい
ました。今年は丸いくつかのボトルを使
うことにしました。



ガムテープで画板の置き場所を印しま
した。一年間を通してまわりに何もな
く、建物のかげが入らない所で、かげ
を計ることにしました。

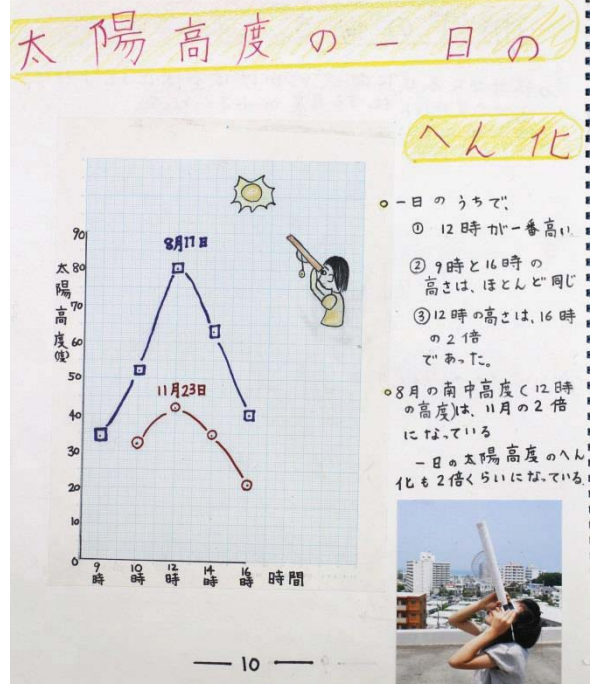
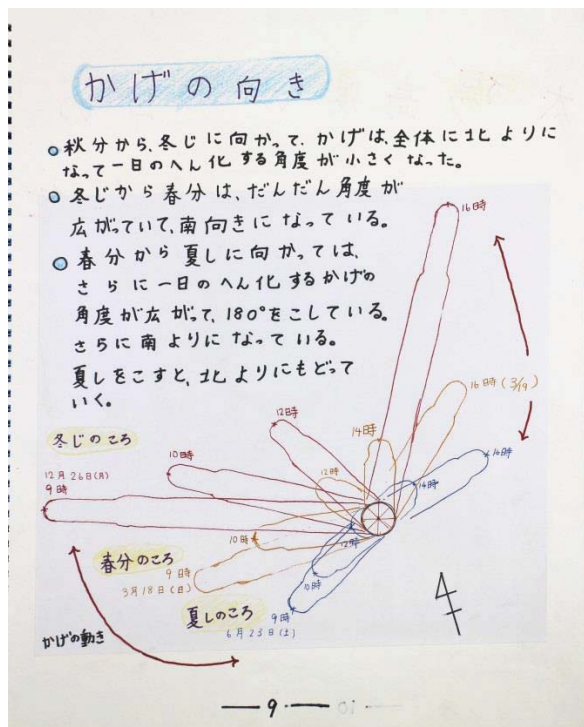
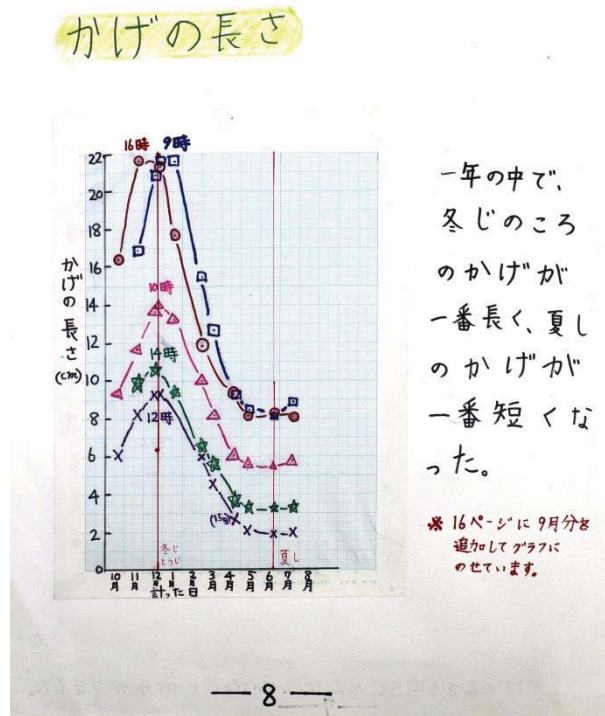
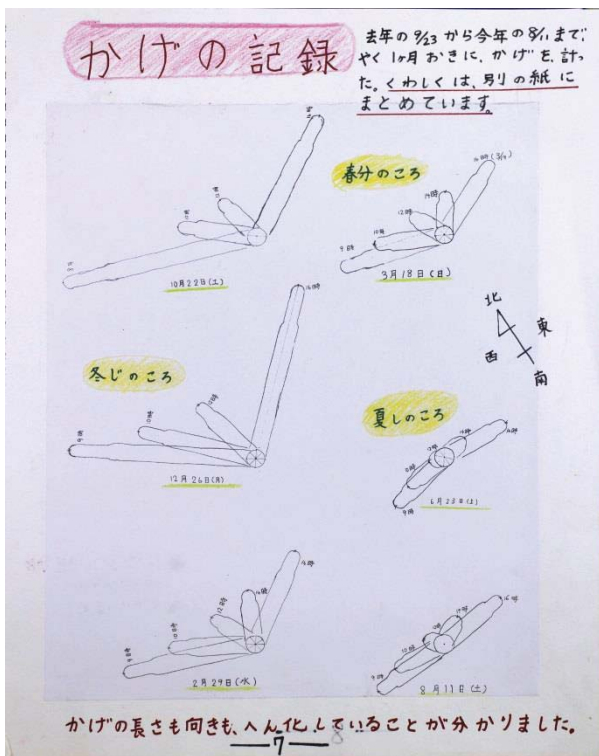
(2) 12時に南中高度を計ることにしました。
南中高度を計るため、南中高度そくていきょうを
作りました。太陽につつを向けて、十字線
に太陽を合わせます。おもりか付いている糸を
分度器ごとおさえて角度を決めます。
このそくていきょうは、真上が0°にならしま
うので、計った角度を90°からひいて、水平線
からの角度（太陽高度）としました。



手に持っているのは、
作った南中高度計です。

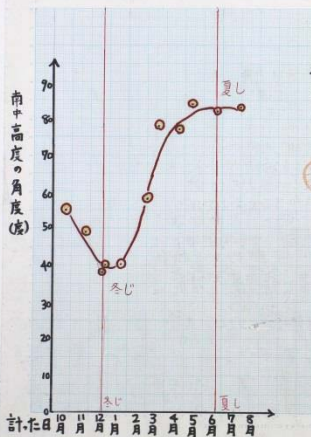


南中高度計さのぞいている
様子。



一年間の南中高度

のへん化



一年間で南中高度(12時の太陽高度)は、冬じのころが、一番低くて、夏じのころが一番高くよること分かった。

データがカタカタしている理由

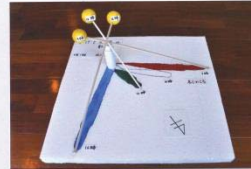
- ① 風が強い時 ひもがゆれてしまったはずで、ひもをおさえる時、ずれてしまうことがあった。
- ② 高度が高いと、顔におもりがかかかてしまい、正しい角度が計りにくかった。

※ 17ページに 8月分を忘カしてクラブにのせています

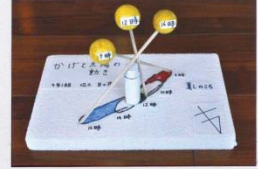
— 11 —

かけと太陽の

もけい



冬じのころ



夏じのころ

- 太陽は、夏じのころが高くなって、冬じのころがひくくなることがよく分かる。
- 夏じのころは、9時の太陽が高くにあるので、日が上ってから、9時の太陽が高さになるまでに時間がかかることが分かった。だから、夏じのころは、日が上がるのが早いと思う。
- 冬じのころは、夏じのころにくらべて、かけの先からボトルの上までの長さが長い。—12—

まとめ

- 一年を通してのかけの長さについて

予想したとおり、冬じのころが一番長く、夏じのころが一番短い。

- 一年を通してのかけの向きについて

秋分から冬じは、北に動き、一日のへん化する角度が小さくなり、9時と16時で90°くらいになっている。また、春分から夏じは、南向きに動き、一日のへん化する角度が広がって、180°をこえている。

- 一年を通しての太陽高度について

太陽高度計を作った。

冬じのころが一番ひくく、夏じのころが一番高くなっていた。夏じの近くでは、南中高度がほぼ90°(1/3で84°)になっていた。

— 13 —

反せい

むずかしかったこと

- 一年を通して、建て物のかけが入らない所をさがすのがむずかしかった。

- 休日に、一日中晴れている日が少なかった。特に、二月は最後の日ぐらいしか晴れていなかった。それ以外でも、風が強い日が多くて計るのが大変だった。

- 高度計で高度を計るのがむずかしかった。

※ おもりをもと重くして、風で動かないようにすればよかった。

※ ひもの長さは、顔に当たらないように、短くすればよかった。—14—

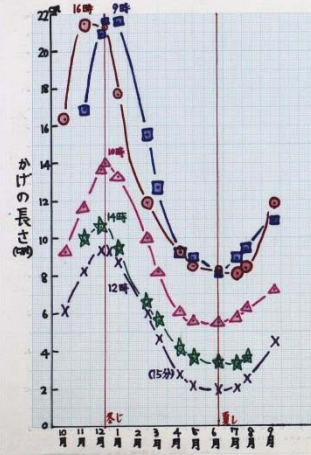
さん考

「かけ」 立花 あい子

時間たいや季節によるかけの長さのちがいは、太陽の高さかかわるためにおこる。一日のうち、朝夕は太陽の位置がひくいのでかけは長くなり、昼間は高いので短くなります。物をゆかに置いて、かい中電灯の光を当て、かけを写すとよく分かります。冬と夏のかけの長さかちかうのは、太陽が真南にきて、最も高く上った高さ(南中高度)かちかうためです。一年で最も昼が短い「短じ」の南中高度は、 31° 、最も昼が長い「夏し」では、 78° です。南中高度は一年中へん化するので、一日中、一年中を通してかけはつねに、へん化しつづけている。

※ この本に書いてあることで、実験結果ではちがいます。それは、おきなわが南の方にあるからです。 — 15 —

かけの長さ

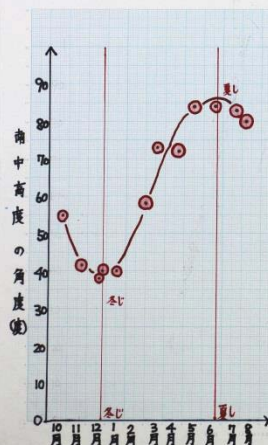


一年の中で、冬じのころのかけが一番長く、夏しのかけが一番短くなった。

※ 8ペ-ジの追加。
9月分を新たにのせました。

— 16 —

一年間の南中高度の変化



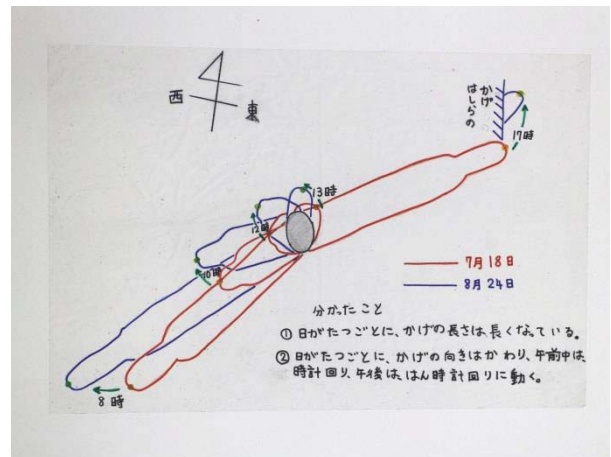
一年間で南中高度(12時の太陽高度)は、冬じのころが一番低くて、夏しのころが一番高くなること分かった。

○データががたがたしている理由

- ① 風が強い時、ひもがゆがれてしまったり、指でひもをおさえる時、ずれてしまうことがあった。
- ② 高度が高いと、床におもりがかかると、正しい角度が計りにくかった。

※ 11ペ-ジの追加。
8月分を新たにのせました。

— 17 —



分かったこと

- ① 日がたつごとに、かけの長さは長くなっている。
- ② 日がたつごとに、かけの向きはかわり、午前中は時計回り、午後からは反時計回りに動く。

-18-

講 評

太陽の影の観察にペットボトルを使ったり、ラップの芯を利用した南中高度測定器の制作といった身近なものを利用しているところが良いと思います。1年間、地道に継続して観測・測定をしました。そのために一日中影にならない観測地点を探したり、休日で且つ一日中晴れている日（特に冬季）が少ないことに苦労しています。

結果のところ、教科書に掲載している内容で十分予想できていますが、自分自身で確かめるため、自分のいる地点（沖縄）の具体的な南中高度等を観測した意義は大きいと思います。

今回のデータから太陽の位置のわかる模型を作っているので、さらに日時計（沖縄版）を作成してみるなど、発展させて下さい。



消化酵素の働きについて

那覇市立神原中学校

2年 福本 紘子

1. 研究テーマ

消化酵素の働きについて

2. 研究に至った動機

私たちは、毎日三度の食事をとっている。そして、栄養分となって体内に吸収され、生きる原動力となる。

しかし、食事を食べすぎると、おなかが緩くなって下痢になったり、また、ガスや空気など、ゲップとして出てしまう時がある。風邪などの体調が悪い時には吐き気がしたり、食べた物がきちんと消化されずに胃がもたれたり、ムカムカする時もある。

その時、胃ではどのようなことが起こっているのか不思議に思い、消化について興味を持った。

また、健康的な普段とではどのような違いがあるのか知りたくなった。

食べたものを消化しやすいようなものに変えている物質はなんなのか、その物質は食べ物を消化する以外にもどのような働きがあるのか、炭水化物・タンパク質・脂肪・ビタミン・ミネラルなどの消化・吸収はどのように行われているのか、それぞれの栄養素の消化を助ける物質は、種類によって異なるのか知りたくなった。

3. 研究の目的

授業で、ご飯粒に唾液を加え、ご飯粒に含まれるデンプンが糖に変化する実験を行った。この実験で、口に入った食べ物に含まれるデンプンが、唾液によって胃で消化されやすいような状態になることが分かった。

唾液は、唾液腺から分泌される無色・無味・無臭の液体であり、大部分は水分で、ムチンやデンプン分解酵素のプチアリン、アミラーゼなどが含まれる。そして、唾液は、胃・腸などの消化管の一部であることが知られている。

この唾液によって、胃で消化されやすい状態になった食べ物は、その後食道を通過して胃に運ばれる。

胃では、胃液が分泌され、食べ物を消化する。胃は、ヒトを含めた脊椎動物の消化管の袋状になった部分で、食道に続く。食物を一時的に貯留し、胃液による科学的消化と、胃壁筋肉の伸縮による機械的消化によって、食物を粥状として腸へ送る。

食べ物の消化には、「消化酵素」という消化腺から消化管内に分泌される物質が深く関係している。

胃液に含まれている消化酵素には三つの種類があり、

1. 炭水化物消化酵素（カルボヒトラーゼ）
2. タンパク質分解酵素（プロテアーゼ）
3. 脂肪分解酵素（リパーゼ）

などが知られている。

膵臓では、脂肪の消化を助ける膵液が分泌されている。

*脂肪分解酵素（膵臓のリパーゼと膵液に含まれるステアプシンがある）

これらの消化酵素は、薬味として使われている大根・生姜・山葵などに含まれているかどうか調べてみることにした。

大根には、ジアスターゼという消化酵素が含まれている。これは、炭水化物分解酵素は、デンプンを分解し体内に吸収されやすいブドウ糖に変化させることができるのか調べる。

固い肉を柔らかくするときに、パパイヤ・ヨーグルト・パイナップル・玉ネギ・生姜などを使って柔らかくすることが知られている。

これらの食品には、タンパク質分解酵素が含まれているのか調べる。

胃腸薬にも、消化酵素は含まれているのか調べる。

4. 研究計画・準備

実験1：《じゃがいもからデンプンを取り出す》

- ・皮付きじゃがいも 100g、皮無しじゃがいも 100g をそれぞれガーゼで濾し、白い粉を取り出す。
- ・皮付きじゃがいもと皮無しじゃがいもをすりおろした時、すりおろしたじゃがいもの汁とガーゼで濾したもの
の糖度を尿試験紙で測定する。

実験2：《じゃがいもから取り出した白い粉はデンプンと言えるのか》

- ・皮付きじゃがいもと皮無しじゃがいもから取り出した白い粉に水各 5ml と沸騰したお湯 200ml を加えながら
かき混ぜ、固まる様子を観察する。

実験3：《デンプンが固まるのに最適なのは何度か》

- ・じゃがいものデンプンとして片栗粉を使う。
水の入った鍋を火にかける。
耐熱食器に片栗粉各 5g と水各 20ml を加え、湯銭にかける。かき混ぜながら温度計で温度を調べる。温度は、
30℃・40℃・50℃・60℃・70℃に変え、固まる様子を調べる。

実験4：《大根の消化酵素（ジアスターゼ）はデンプン分解酵素であると言えるのか》

- ・大根の絞り汁と水を比べる。
固まったデンプンに大根の絞り汁 30ml を加え、40℃の温度を保ちながら 10 分間放置する。
- ・固まったデンプンに水 30ml を加え、40℃の温度を保ちながら 10 分間放置する。
- ・10 分後、糖度を尿試験紙で測定する。

実験5：《適切な胃の中の温度は何度か》

- ・大根の絞り汁には、消化酵素（ジアスターゼ）が含まれている。
胃で分泌される消化酵素（アミラーゼ）は取り出すことができないので、大根の絞り汁（ジアスターゼ）を各
30ml 使用する。
- ・水の入った鍋を火にかける。
固まったデンプンの温度を 30℃・40℃・50℃・60℃に変える。大根の絞り汁を入れて混ぜ、10 分間温度を
保ちながら観察する。
10 分後、30℃・40℃・50℃・60℃の温度の観察をし、尿試験紙で糖度を測定する。
糖度が高くなると、粘り気、味がどう変化するか調べる。

実験6：《適切な消化酵素の量はどれくらいか》

- ・大根の絞り汁（消化酵素）の量を 10ml・20ml・30ml・40ml・50ml と変える。
- ・固まったデンプンの温度を 40℃に保ち、大根の絞り汁を加えて 10 分間放置する。
- ・10 分後、それぞれの変化を観察する。
尿試験紙で糖度を測定する。
- ・糖度が高くなると、粘り気、味はどう変化するか調べる。

実験7：《胃腸薬に消化酵素は含まれているのか》

- ・固まったデンプンに熱湯 100ml と 200ml をそれぞれ加え、胃腸薬を一包 (1.4g) ずつ入れる。
 - ・温度を 40℃に保ちながら 10 分間観察する。
 - ・10 分後の糖度を尿試験紙で測定する。
- ☆この2つの液体各 15ml をアルミカップに入れ、10 分間煮詰める。

実験8：《1日の糖の摂取量を調べる》

- ・朝食、昼食、夕食を作り、食品に含まれる糖の量を調べる。

実験9：《タンパク質分解酵素の働き》

- ・ステーキ牛肉を1.5 cm角に切る。
- ・肉を柔らかくするときを使うパパイヤ、プレーンヨーグルト、パイナップル、玉ネギ、生姜に10時間漬ける。
- ・10時間後の肉の厚み、色を観察する。
- ・その肉を焼き、何も手を加えていない肉と食感を比べる。

※糖度を測定するために、尿試験紙を使用する。

【注意点】

- ・尿試験紙は、糖分の検出を調べるタイプのものを使用する。
 - “尿試験紙の保管及び取扱い上の注意”
 - ※直射日光を避け、なるべく涼しいところに保管してください。
 - ※密栓をして保管してください。密栓をしないと試験紙が使えなくなる原因となります。
 - ※水に濡れる所で保管しないでください。試験紙が使えなくなる原因となります。
 - ※小児の手の届かない所に保管してください。
 - ※必要な枚数の試験紙だけを取り出し、直ちに容器のフタをきちんと閉めて保管してください。フタの閉め方が不十分な場合、試験紙が湿気を吸って試用期間内でも正しく検査できなくなります。
 - ※開封後はなるべく早めに使用してください。
 - ※乾燥剤は取り出さないでください。
 - ※冷蔵庫に保管しないでください。
 - “測定手順に関する注意”
 - ※試験紙を長時間液に浸したりすると、試薬が流れてムラになり、正しい測定結果が得られなくなりますので、濡らす時間は約1秒を守ってください。
 - ※試験紙の表面に余分な液がついていますと、判定結果に影響を与えることがありますので、ティッシュペーパー等を試験紙のふちに軽くあて吸い取ってください。
 - “判定に関する注意”
 - ※液に浸してから正確に30秒後の色で判定してください。30秒を過ぎると色が濃くなり、判定を誤る可能性があります。
 - ※自然光又はそれに近い蛍光灯の下で判定してください。
 - ※色調表に試験紙を近づけて判定してください。

色調表↓

0～(検出限界以下)		50	100	500	2000
—		±	+	++	+++
ほとんど糖は検出されませんでした。			少し糖が検出されました。	多めの糖が検出されました。	

5. 研究の予想

実験1：《じゃがいもからデンプンを取り出す》

デンプンは水に溶けない性質があり、その性質を利用することでデンプンを食材から取り出すことができる。

実験2：《じゃがいもから取り出した白い粉はデンプンと言えるのか》

デンプンが粉末になった片栗粉と同じ白色なので、デンプンだと思う。デンプンは、温めると糊化して粘性の高い半透明の液体になる。

実験3：《デンプンが固まるのに最適なのは何度か》

でんぷんは、生物が生きていく上で必要不可欠な栄養分である。
毎日体内に取り入れられている養分だから、体内と同じ温度が最も溶けやすい温度だと思う。

実験4：《大根の消化酵素（ジアスターゼ）はデンプン分解酵素であると言えるのか》

市販の片栗粉（デンプン）を使って調べる。大根に含まれている消化酵素（ジアスターゼ）はデンプンを分解する酵素の一つである。

実験5：《適切な胃の中の温度は何度か》

熱発すると体温が高くなるのと同じように、胃の中の状態が変われば普段と同じような食べ物の消化は行われなと思う。

実験6：《適切な消化酵素の量はどれくらいか》

食べたご飯につりあった量

実験7：《胃腸薬に消化酵素は含まれているのか》

もともと消化不良などを改善するための薬なので、胃腸薬にも食べ物の消化を助ける働きのある消化酵素が含まれていると思う。

実験8：《1日の糖の摂取量を調べる》

カロリーと同じ 2000 g だと思う。

実験9：《タンパク質分解酵素の働き》

固い肉を柔らかくするといわれるパパイヤには、タンパク質分解酵素（パパイン）が含まれていて、パイナップルには、タンパク質分解酵素（ブロメライン）が含まれている。

その他の固い肉を柔らかくするときに使われるヨーグルト・玉ネギなどにも、固い肉を柔らかくする働きがあるが、タンパク質分解酵素と似たような働きがある。

6. 実験

実験1 《じゃがいもからデンプンを取り出す》

[準備するもの]

〈材料〉 じゃがいも(皮付き)…100g
じゃがいも(皮無し)…100g
水…400ml

〈用具〉 ピーラー、まな板、包丁、
プラスチックコップ
ガーゼ、尿試験紙、おろし金、
ボウル、はかり
計量カップ



[実験]

- ① じゃがいも(皮付き)と(皮無し)をそれぞれ 100g ずつおろし金ですりおろし、味に変化は出るかどうかを調べるために味見をする。

すりおろす前の状態

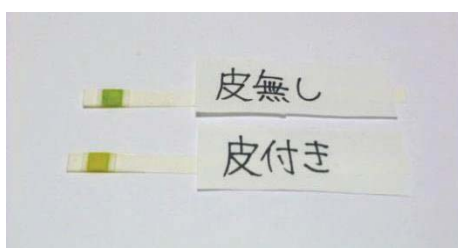


すりおろした状態



味⇒ (皮付き)皮の苦みがある。少し舌がヒリヒリする。
(皮無し)皮付きより甘い。皮の苦みは少ない。

- ② 尿試験紙ですりおろしたじゃがいもの汁の糖度を測定する。



皮無し・・・500++
多めの糖が検出された。
皮付き・・・2000+++
多めの糖が検出された。

- ③ すりおろしたじゃがいものぬめりがなくなるように、400ml の水の中で濡らしたガーゼで包み 5 分間濾す。



←すりおろしたじゃがいもを濡らしたガーゼで包み、濾している様子

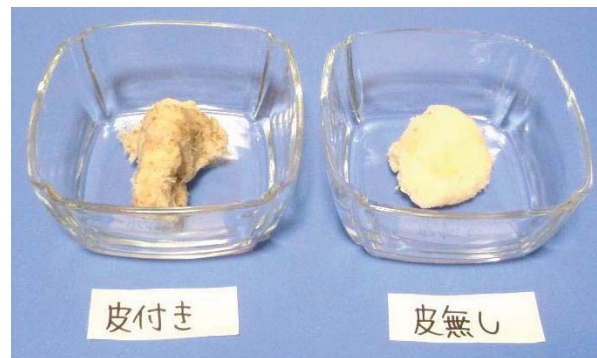
400ml の水の色の変化



(皮付き) 色・濃い
灰汁の量・多く、きめが細かい
味・とても苦い
灰汁独特のあじがする。

(皮無し) 色・薄い
灰汁の量・少なく、きめが荒い
味・ほんのり甘い
全く苦みがなく、灰汁
の味もしない。

濾したじゃがいものかす
重さ・(皮付き)27 g
(皮無し)22 g

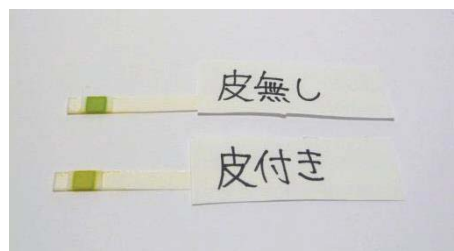


④ 尿試験紙で濾したじゃがいもの糖度を測定する。



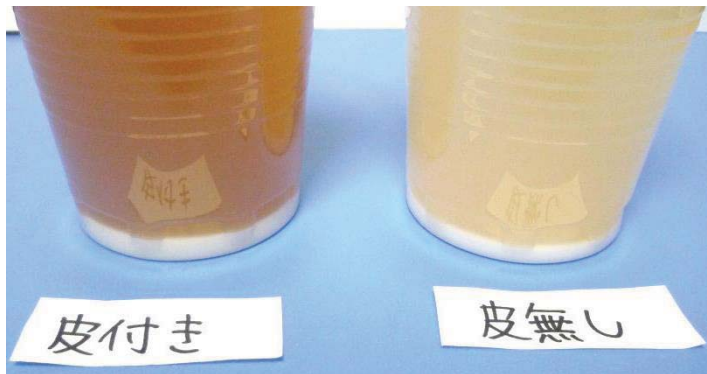
皮無し・・・0-
ほとんど糖は検出されなかった。
皮付き・・・50±
ほとんど糖は検出されなかった。

⑤ 濾したじゃがいもの液の沈殿した白い粉を混ぜて均一の濃度にし、尿試験紙で糖度を測定する。



皮無し・・・100+
少し糖が検出された。
皮付き・・・50±
ほとんど糖は検出されなかった。

- ⑥ 上澄みの方を捨て、下の方に沈殿した白い粉を残りの液体と一緒にプラスチックコップに移し、もう1度沈殿するのをしばらく待つ。



白い粉が下の方に沈殿した様子

←

- ⑦ もう1度上澄みの方を捨て、ティッシュペーパーできれいに水分を拭き取り白い粉だけを残す。
⑧ 丸1日ラップをかけ冷蔵庫で保存し水分を飛ばし、指先で触れてもべた付かなくなるようにする。

固まった白い粉



重さ・(皮無し)24 g

(皮付き)24 g

色・(皮無し)白い

(皮付き)皮の色のため、少し黒っぽい。

皮が細かい粒になって見える。

- 皮付き・皮無しの2種類のじゃがいもから白い粉が出てきた。

糖度は、皮付きじゃがいもの方が 2000+++と高く、皮無しは 500++と低い。このことから、じゃがいもの皮にも糖が含まれていると言える。

濾したじゃがいもの絞り汁を混ぜて均一の濃度にし、糖度を測定すると、皮付きは 50±と低くなっており、皮無しは 100+との結果が出た。このことから、皮付きじゃがいもの絞り汁には、皮などの細かい不純物が混じっていることがわかる。

しかし、まだこの白い粉がでんぷんだと断言することができない。

▼実験2で、白い粉の正体を証明する。

実験2 《じゃがいもから取り出した白い粉はデンプンといえるのか》

* 片栗粉に熱湯を加えて混ぜ合わせると、餅のように固まる。これは、片栗粉の原料となるデンプンにその性質があるからである。

実験1でじゃがいもから取り出した白い粉に熱湯を加えると、片栗粉と同じように固まる性質があるのかどうか調べる。

〔準備するもの〕

〈材料〉 じゃがいも(皮付き)から取り出した白い粉…5g
水…5ml 熱湯…200ml
じゃがいも(皮無し)から取り出した白い粉…5g
水…5ml 熱湯…200ml

〈用具〉 マドラー、耐熱食器 - 2 個、水、大きめの鍋、計量スプーン、尿試験紙、はかり、計量カップ、ガスコンロ

【注意点】

- ・ じゃがいものから取り出した白い粉に熱湯を一気に入れると、固まりができてしまうことがある。
- ・ ⑨では、胃の中の温度を再現するため 40℃を保つこと。40℃より高くなると、反応がうまく出ないこともあるので注意する。
- ・ じゃがいもから取り出した白い粉を水 5ml で解いてから耐熱食器ごと湯煎にかけ、熱湯 200ml を少しずつ加える。

〔実験〕

- ① 実験1でじゃがいもから取り出した白い粉をスプーンで削り粉末にし、それぞれ 5g ずつ用意する。



← 粉末になった白い粉
どちらもサラサラしていて、片栗粉のようにキラキラとした粒が多く見られた。

- ② 耐熱食器がつかえるくらいの水を鍋に入れ、沸騰させる。
③ 耐熱食器に①で用意した白い粉と水 5ml を加えよく混ぜ合わせる。
④ ②の鍋で湯銭にかけながら 200ml の熱湯を少しずつ加え、粘り気が出て透明に固まるまでマドラーでよくかき混ぜる。



粘り気の様子
(皮無し)
色・白く透明
粘り気・とろみが出た
粘りがある
匂い・じゃがいもの匂いがある



(皮付き)
色・白く透明
粘り気・とろみが出た
粘りが強い
匂い・じゃがいもの匂い

皮が黒い粒々になって所々にある。

どちらの粉でも、
粘り気が強く透明に固まった。
→



- ⑤ おろし金で大根をすりおろしたのちガーゼで絞り、絞り汁をそれぞれ 30ml 用意する。
大根をすりおろしている様子 ガーゼで絞っている様子



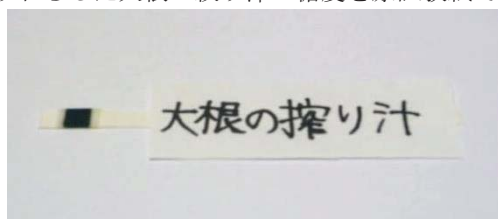
大根の搾り汁

大根の搾りかす

味

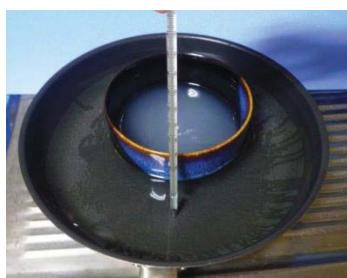
絞り汁・大根の甘酸っぱい味がする。
少し舌がヒリヒリする。
絞るかす・紙を食べているような食感。
大根の味はすっかり抜けている。

- ⑥ すりおろした大根の絞り汁の糖度を尿試験紙で測定する。



2000+++
多めの糖が検出された。





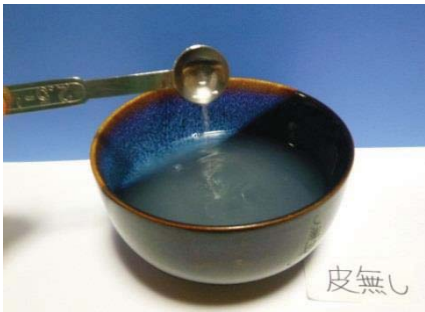

- ⑦ 耐熱食器に片栗粉 5g・水 5ml を加え、湯銭にかけながら熱湯 200ml を加えてよく混ぜる。
⑧ 片方の片栗粉液に、①で作った大根の絞り汁を 30ml 加え、もう片方に水 30ml を加える。
⑨ 胃の中の温度に近い 40℃のお湯を張った大きめの鍋に⑤の食器を 2 個入れ、10 分間放置する。



⑨ 40℃を保つこと！

温度計で常に温度を測り、40℃のお湯を張った鍋で
10 分間放置している様子

⑩ ⑥の液体の見た目、糖度、味、粘り気を調べる。

	皮無し	皮付き
観察	<p>皮付きより白色の濃度が薄く、より透明度がある。</p> 	<p>白色の濃度が薄く、透明度がある。 皮が水面に細かくなって浮かんでいる。</p> 
糖度	<p>500++ 多めの糖が検出された</p> 	<p>500++ 多めの糖が検出された</p> 
味	<p>じゃがいもより大根の味が強く、ほのかに甘みがある。 大根の辛さは無い。</p>	<p>じゃがいもと大根の味がし、ほのかに甘みがある。 大根の辛さは無い。</p>
粘り気	<p>液はさらさらしているが、指先に少し粘り気が残る。</p> 	<p>液はさらさらしているが、指先に少し粘り気が残る。</p> 

●市販の片栗粉と同じように固まった。

糖度は、皮付きじゃがいもは 500++、皮なしじゃがいもは 500++と等しい。

胃に見立てた耐熱食器の中で、じゃがいもから取り出した白い粉(食べ物)が大根の絞り汁に含まれている物質によって分解され、尿試験紙を緑色に変化させた。つまり、糖が作られた。

大根に含まれている物質には、デンプンを分解し、麦芽糖に変える働きがある。

以上のことから実験 1 でじゃがいもから取り出した白い粉は、デンプンであることが証明された。

▼湯銭にかけると、デンプンは固まるのが早くなった。

このことを踏まえ、デンプンが固まるのに適した温度を実験 3 で調べる。

実験3 《デンプンが固まるのに最適なのは何度か》

* 片栗粉はじゃがいもから取り出したデンプンである。
そのため、今回は市販の片栗粉で実験を行う。

[準備するもの]

〈材料〉 片栗粉…5g×4 水…20ml×4

〈用具〉 耐熱食器-4個、はかり、マドラー、
大きめの鍋、温度計、計量スプーン、
ガスコンロ、
布巾(湯銭の時、鍋の底に敷くため)



[実験]

- ① 鍋の底に布巾を敷く。
- ② 耐熱食器がつかるくらいの水を鍋に入れ、沸騰させる。
- ③ 耐熱食器に片栗粉 5g と水 20ml を加え、マドラーでかき混ぜながら湯銭にかけ、温度をそれぞれ 40℃・50℃・60℃・70℃に設定して実験する。

40℃



色・片栗粉とほとんど同じ色
真っ白
粘り気・粘り気は無い
水のようにさらさらしている

50℃



色・白く濁っている
40℃より白色が薄くなっている
粘り気・指先がヌメヌメする

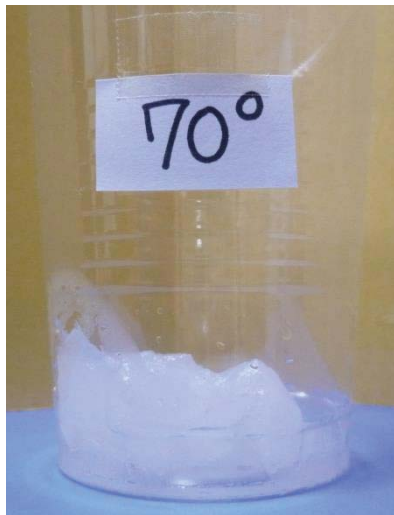
60℃



色・半透明

粘り気・糸を引く粘り気がある
はちみつのような弾力がある

70℃



色・透明に近い状態
最も透明度が高い

粘り気・丸められるほど粘り気がある
餅のような弾力がある

※60℃を過ぎたところから温度の上昇が急に緩やかになり、
70℃になるまでとても時間がかかった。

●デンプンは、60℃を過ぎたところから粘り気が急激に強くなった。

60℃以下では、粘り気がなく、白っぽかった。

今回の実験に適した固まり具合は、60℃であることが分かった。

片栗粉液が60℃を過ぎたところから温度上昇が緩やかになり、温度が上がりにくくなった。

69℃まで温度は上昇した。

▼デンプンが溶けるのに最適な温度は60℃だと分かった。

体中で行われている消化でも同じことが言えるのか、実験4で調べる。

実験4 《大根の消化酵素（ジアスターゼ）はデンプン分解酵素であると言えるのか》

[準備するもの]

〈材料〉 片栗粉…5g×5 水…5ml×5
熱湯 60℃…200ml×5
大根の絞り汁
…10ml・20ml・30ml・40ml・50ml

〈用具〉 マドラー、耐熱食器-2個、水、
大きめの鍋、温度計、尿試験紙、
計量スプーン、はかり、
計量カップ



[実験]

【注意点】

- ・片栗粉に熱湯を一気に入れると、固まりができてしまうことがある。
- ・片栗粉を水 5ml で解いてから耐熱食器ごと湯煎にかけ、熱湯 200ml を少しずつ加える。

- ① 耐熱食器に片栗粉 5g と 5ml の水を加え、よく混ぜ合わせる。

片栗粉 5g と水 5ml を混ぜた状態

→



- ② 大きめの鍋にお湯を張り、沸騰したところで火を止め、耐熱食器ごと湯煎にかけながら耐熱食器の中の温度が 60℃になるまでしばらく置く。
- ③ 200ml の熱湯を少しずつ加えて透明になって固まるまで混ぜる。

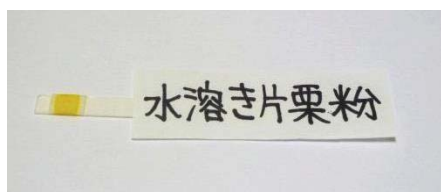
200ml の熱湯を少しずつ加え、混ぜる



熱湯を加え、透明に固まるまで混ぜている様子

←

- ④ ③で作った片栗粉液の糖度を尿試験紙で測定する。



ほとんど糖は検出されなかった

- ⑤ 片方の片栗粉液に、実験2で作った大根の絞り汁を 30ml 加え、もう片方に水 30ml を加える。
 ⑥ 胃の中の温度に近い 40℃のお湯を張った大きめの鍋に③の耐熱食器を入れ、10 分間放置する。
 ⑦ ⑥の液体の見た目、糖度、味、粘り気を調べる。

	大根の絞り汁	水
観察	半透明でやや白っぽい。 	半透明 
糖度	2000+++ 多めの糖が検出された 	0- ほとんど糖は検出されなかった 
味	ほんのりと甘い。大根の味がする。	片栗粉の粉っぽさがある。甘くはない。
粘り気	指先がぬめぬめする感じがある。 粘り気がある。 	指先がかすかにぬめぬめする感じがある。 粘り気はあまりない。 

●大根の絞り汁と片栗粉液を混ぜた方の溶液につけた尿試験紙が、緑色に変化した。

糖度は、大根の絞り汁は 2000+++で、水は 0-とほとんど検出されなかった。
 つまり、糖ができていたことが分かった。片栗粉液と水の方は、糖ができなかった。
 大根の絞り汁には、デンプンを糖に変える働きのある消化酵素が含まれている。
 この消化酵素を『ジアスターゼ』と言う。

☆消化を助ける「ジアスターゼ」☆

*大根には「ジアスターゼ」という消化酵素が含まれている。このジアスターゼは、人間の体内では唾液に含まれており、食べ物を消化し分解する働きがある。具体的には、デンプンを分解し、麦芽糖に変える働きがある。私たちが普段食べている食品には、大根のように消化酵素を多く含んでいるものが多い。
 また、ジアスターゼは胃腸の働きを助け、消化不良を解消したり、胃の調子を整えるはたきがあり、胃腸薬としても使われている。

▼実験5では、胃の中の温度を変化させても食べ物が消化されることに影響は出るのか調べる。

実験5 《適切な胃の中の温度は何度か》

*風邪をひいて体温が普段より高くなると、体に異変が生じる。
胃の中でも、温度が変わると食べ物の消化に影響が出るのか調べる。

[準備するもの]

〈材料〉 片栗粉…5g×4
大根の絞り汁…30ml×4
水…5ml×4 熱湯 60℃…200ml×4

〈用具〉 まな板、包丁、ピーラー、おろし金、
ボウル、ガーゼ、
耐熱食器-4個、マドラー、大きめの鍋、
はかり、計量スプーン、ガスコンロ、
布巾、温度計、計量カップ



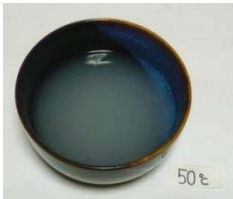


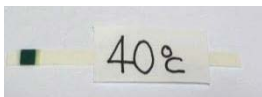
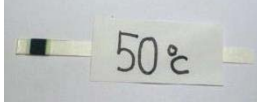







[実験]

【注意点】

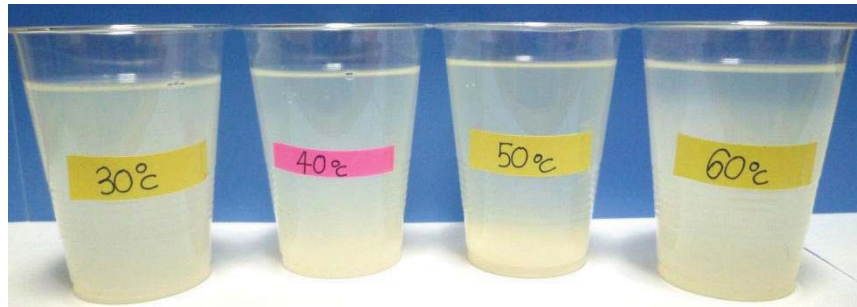
- ・片栗粉に熱湯を一気に入れると、固まりができてしまうことがある。
- ・片栗粉を水 5ml で解いてから耐熱食器ごと湯煎にかけ、熱湯 200ml を少しずつ加える。

- ① 耐熱食器に片栗粉 5g と水 5ml を加え、よく混ぜる。
- ② 耐熱食器の中が 60℃ になるように、湯煎にかけながら熱湯 200ml を加え、透明になって固まるまで混ぜる。
- ③ 実験 2 で作った大根の絞り汁を 30ml 加える。
- ④ 30℃・40℃・50℃・60℃の温度のお湯に、耐熱食器ごとそれぞれ湯煎にかけながら 10 分間温度を一定に保つ。
- ⑤ 10 分後、30℃・40℃・50℃・60℃の片栗粉液の糖度を尿試験紙で測定する。
- ⑥ ④の4種類の液体の見た目、糖度、味、粘り気を調べる。

	30℃	40℃	50℃	60℃
観察	半透明 	半透明だが、やや白っぽい 	半透明 	透明度が最も高く、食器の底が透けて見える 
糖度	2000+++ 多めの糖が検出された 	2000+++ 多めの糖が検出された 	2000+++ 多めの糖が検出された 	500++ 多めの糖が検出された 
味	大根の味がする。 少し、大根の辛さが残っている。	大根の味がする。 ほんのりと甘い。	大根の味がする。 少し、大根の辛さが残っている。	大根の辛さが最も強く、後からくる。 甘みは無い。
粘り気	粘り気は無く水っぽい。 少しぬめぬめする。 	粘り気がある。 指先がぬめぬめする。 	粘り気は無く水っぽい。 少しぬめぬめする。 	粘り気は無い。 さらさらしている。 

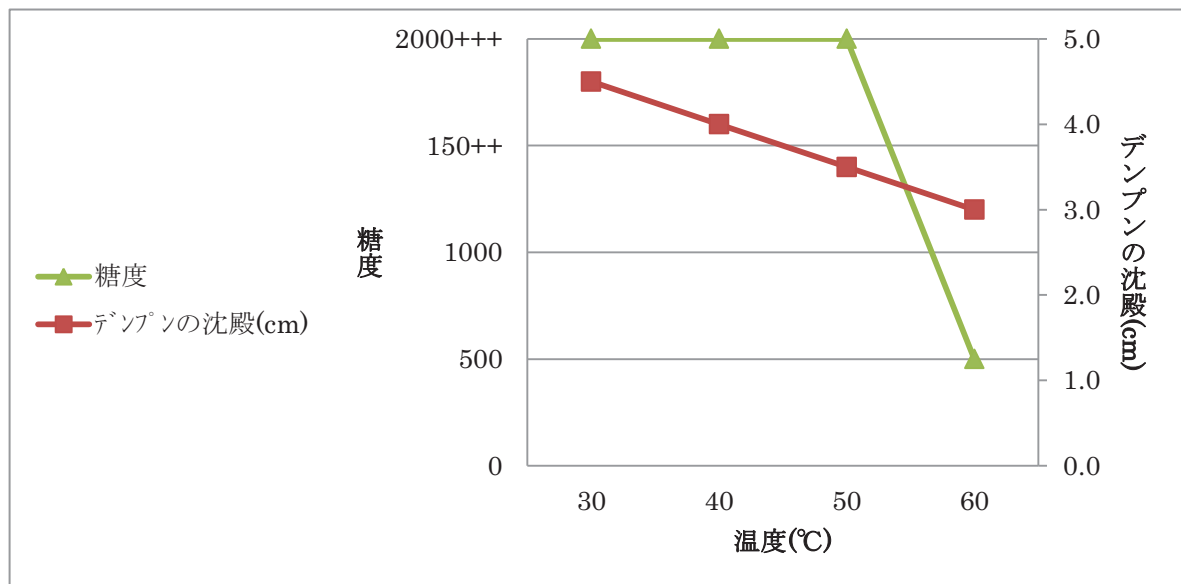
デンプンの沈殿物と色の度合いを比べる

0.9cm / 0.8cm / 0.7cm / 0.6cm



弱い ← 白色が → 強い

デンプンの沈殿物・糖度・温度の関係



- ・ 温度が 30℃～50℃の時、糖度の値は 2000+++で、でんぷんの沈殿も高くなる。
→デンプンが糖に変化し、軽くなったために、沈殿の値が大きい。

● 胃の中の温度に近い 40℃を基準に、30℃～50℃の 10 度ずつの温度で食べ物の消化が行われた。

糖度は、30℃～50℃では 2000+++、60℃では 500++となった。

30℃と 50℃の温度は、大根の辛さが残っているが、40℃ではほんのりと甘い。

このことから、40℃の方が消化が行われやすいため、糖度が舌で感じられた。

以上のことから、胃の温度は 40℃に保たれていると言える。

※20℃は、熱湯の中に氷を入れて温度を下げる必要があったので今回の実験では行わなかった。

▼実験 6 では、消化酵素の量を変えても、食べ物の消化に影響は出るのか調べる。

実験6 《適切な消化酵素の量はどのくらいか》

〔準備するもの〕

〈材料〉 片栗粉…5g×5 水…5ml×5 熱湯 60℃…200ml×5






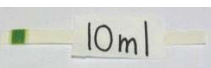
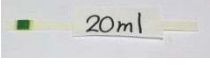
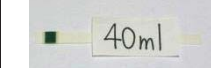
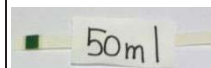





大根の絞り汁…10ml・20ml・30ml・40ml・50ml

〈用具〉 耐熱食器-5 個、マドラー、大きめの鍋、尿試験紙、はかり、計量スプーン、計量カップ、温度計、布巾、ガスコンロ

〔実験〕

【注意点】

- ・片栗粉に熱湯を一気に入れると、固まりができてしまうことがある。
 - ・片栗粉を水 5ml で解いてから耐熱食器ごと湯煎にかけ、熱湯 200ml を少しずつ加える。
- ① 耐熱食器に片栗粉 5g と 5ml を加えよく混ぜる。
 - ② 大きめの鍋に水を張り、沸騰したところで火を止め、湯銭にかけながら耐熱食器の温度が 60℃になるまでしばらく置く。
 - ③ 200ml の熱湯を少しずつ加え、透明になって固まるまで混ぜる。この溶液を 5 つ作る。
 - ④ ③で作った片栗粉液に実験 2 で作った大根の絞り汁を、それぞれ 10ml、20ml、30ml、40ml、50ml 加える。
 - ⑤ 胃の中の温度に近い 40℃のお湯を張った大きめの鍋に④の耐熱食器を入れ、10 分間放置する。
 - ⑥ ⑤の液体の見た目、糖度、味、粘り気を調べる。

	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
観察	透明度が最も高く、底が見える。 	透明度が 30ml より高い。 	半透明 	30ml より白っぽい。 	最も白っぽい。 
糖度	100+ 	500++ 	2000+++ 	2000+++ 	500++ 
味	かすかに大根の味がする。 甘みは無い。	かすかに甘みがある。	大根の味がする。 ほんのりと甘い。	大根の味が 30ml より強い。 少し辛みがある。	大根の味が最も強い。 辛みがあり舌がひりひりする。
粘り気	粘り気が最も弱い。 かすかに指先がぬめぬめする。 	粘り気が 30ml より弱い。 少し、指先がぬめぬめする。 	粘り気がある。 指先がぬめぬめする。 	粘り気が 30ml より弱い。 少し指先がぬめぬめする。 	粘り気は無く、さらさらしている。 水と同じ感触。 

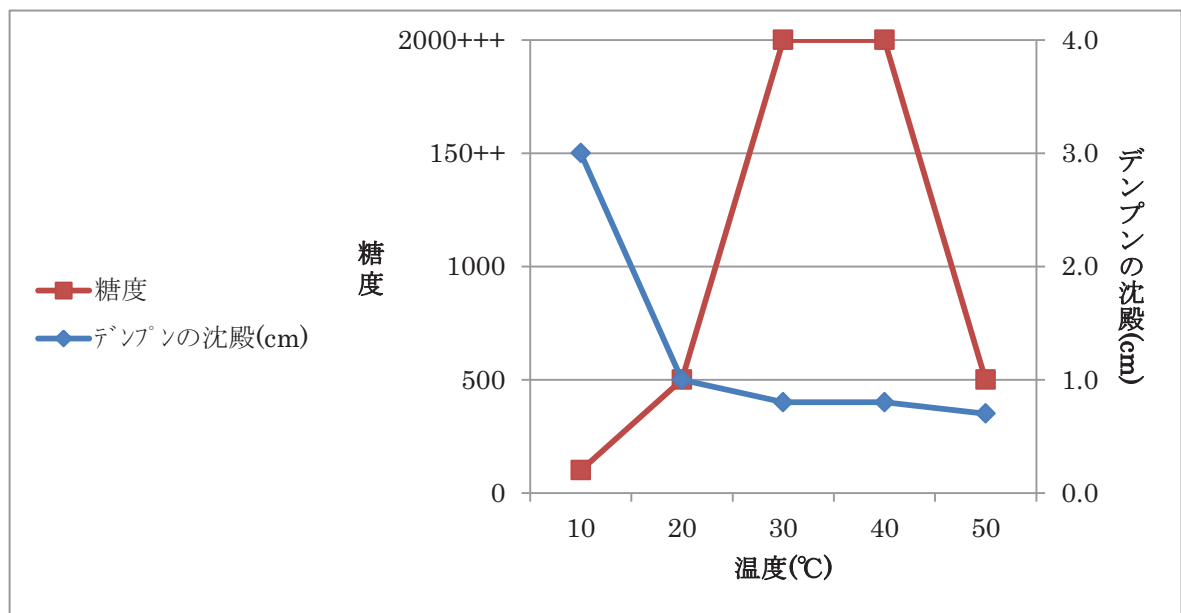
デンプンの沈殿物と色の度合いを比べる

3cm / 1cm / 0.8cm / 0.7cm / 0.6cm



弱い ← 白色が → 強い

デンプンの沈殿物・糖度・消化酵素の関係



- ・消化酵素の量が、30ml～40ml の時、糖度の値も 2000+++ で最も高く、デンプンの沈殿は低い。
→胃の中の消化酵素の量は、30ml～40ml で保たれている。

●胃の中の消化は、大根の絞り汁(消化酵素)30ml を基準に、30ml～40ml の間で行われている。

糖度は、30ml～40ml は 2000+++、20ml と 50ml は 500++、10ml は 100+ となった。

味は、30ml と 40ml の大根の絞り汁で、30ml はほんのりと甘く、40ml は大根の辛さが残っていた。

このことから、30ml の量が消化が行われやすく、ほんのりと甘い。

以上のことから、消化酵素の適した量は、30ml といえる。

消化酵素は量が多すぎても少なすぎても食べ物が消化されず、適した量が必要だと分かった。

▼実験 7 では、胃の消化の働きを助ける胃腸薬でも消化酵素と同じ結果が得られるのか、調べる。

実験7 《胃腸薬に消化酵素は含まれているのか》

＊実験3の胃の中の状態を再現する方法を利用して、片栗粉液(食べ物)に胃腸薬を加え、消化を助ける働きがあるかどうか調べる。

〔準備するもの〕

＜材料＞ 粉末状の胃腸薬(ビオヂアスターゼ 2000)・・・1.4g
片栗粉・・・5g 水・・・5ml 熱湯 60℃・・・100ml
粉末状の胃腸薬(ビオヂアスターゼ 2000)・・・1.4g
片栗粉・・・5g 水・・・5ml 熱湯 60℃・・・200ml

＜用具＞ マドラー、耐熱食器-2個、大きめの鍋、水、
アルミケース-2個、アルミホイル、焼き網、
温度計、はかり、計量カップ、計量スプーン、
尿試験紙、ガスコンロ、布巾



〔実験〕

【注意点】

- ・片栗粉に熱湯を一気に入れると、固まりができてしまうことがある。
- ・片栗粉を水 5ml で解いてから耐熱食器ごと湯煎にかけ、熱湯 200ml 又は 100ml を少しずつ加える。
- ・実験前と実験後で味を比べるため、片栗粉液と胃腸薬の味見をしておく。

片栗粉液・・・粉っぽく、片栗粉の味がする／胃腸薬・・・ハーブとはっかのとてもきつい味がする

- ① 耐熱食器に片栗粉 5g と水 5ml を加え、よく混ぜる。
- ② 大きめの鍋に水を張り、沸騰したところで火を止め、湯銭にかけながら耐熱食器の温度が 60℃になるまでしばらく置く。これを2つ作る。
- ③ 一方の耐熱食器には熱湯 100ml を、もう一方には熱湯 200ml を少しずつ加えてとろみをつける。
- ④ 胃腸薬 4.1 グラムをそれぞれ③のコップに加える。



胃腸薬を片栗粉液に加えている様子

- ⑤ 胃の中の温度に近い 40℃のお湯を張った大きめの鍋に入れ、10 分間放置する。



濃い方(熱湯 100ml)・・・2000+++
多めの糖が検出された
薄い方(熱湯 200ml)・・・2000+++
多めの糖が検出された

- ⑥ ④の液を小さじ 3 杯(4.5ml)アルミケースにとり、焼き網の上で煮詰める。粘り気が出るまでよく混ぜ、煮詰まったら火を止めて冷ます。

⑦ ⑤の液体の見た目、糖度、味、粘り気を調べる。

	濃い方(熱湯 100ml)	薄い方(熱湯 200ml)
観察	<p>白く濁っている。 アルミケースの底が 所々見える。</p> 	<p>半透明。 アルミケースの底が 全て見える。</p> 
糖度	<p>2000+++ 多めの糖が検出された</p> 	<p>2000+++ 多めの糖が検出された</p> 
味	<p>胃腸薬の味がとても強いが。 かすかに甘くなっている。</p>	<p>胃腸薬の味が強い。 濃い方(熱湯 100ml)より、甘みが強い。</p>
粘り気	<p>少し粘り気がある。 スプーンですくうと、水あめが薄くなった様 な感じがある。 指で触るとさらさらしている。</p> 	<p>粘り気は無い。 スプーンですくうと、水っぽさがわかる。 指で触るとさらさらしている。</p> 

● 片栗粉液に市販の胃腸薬を加え、煮詰めると甘みが出た。つまり、デンプンが分解され麦芽糖に姿を変えた。

糖度は、100ml と 200ml では 2000+++と等しい。

味は、100ml はかすかに甘く、200ml は甘みが強い。

これらのことから、胃腸薬には食べ物の消化に必要な消化酵素が含まれており、食べ物の消化を助ける働きがあるといえる。

胃腸薬には、一定の濃度のデンプンを消化させる働きがある。

▼実験8では、タンパク質分解酵素の働きを調べる。

実験8 《1日の糖の摂取量を調べる》

1日に摂取する食事の中にどの種類の糖がどのくらい含まれているのか調べた。

《ある日の1日の食事》

〔朝食〕

①卵サンドイッチ・・・食パン3枚分

- ・卵 4個…213 g ・砂糖 大さじ4…46 g
- ・塩 1つまみ ・ごま油 大さじ1
- ・食パン 10枚切りサイズ3枚…86 g

②サラダ・・・2人分

- ・トマト 中2個…138 g
- ・きゅうり 1本…167 g
- ・青じそドレッシング お好み



{この食事に含まれていた糖質}

食パン→糖質 41.28 g / 砂糖→糖質 46 g / トマト→糖質 4.554 g / きゅうり→糖質 2.672 g

合計 97.565 g

〔昼食〕

①ハンバーガー・・・1個分

- ・ロールパン(丸型) 1個…60 g
- ・レタス 1枚…18 g
- ・ハンバーグ1個 ⇒合びきひき肉…400 g ふ…200 g
- 卵1個…53 g 玉ネギ…400 g
- ニンジン…100 g 生姜…5 g
- 塩…2 g 胡椒…少々
- ・ケッチャップ…5 g



②ポテト・・・2人分

- ・じゃがいも 2個…300 g ・片栗粉 大さじ3…21 g ・胡椒 適量 ・塩 適量 ・油 大さじ3程

③コールスロー・・・4人分

- ・キャベツ 1/3玉…460 g ・ニンジン 1/3本…70 g ・きゅうり 1本…160 g
- ・マヨネーズ …18 g ・塩 小さじ1/2…1 g ・砂糖 小さじ6…12 g
- ・酢 大さじ3…13 g ・胡椒 少々

{この食事に含まれていた糖質}

ロールパン→糖質 28.8 g / レタス→糖質 0.228 g / 玉ネギ→糖質 30.4 g / ニンジン→糖質 10.37 g

ケチャップ→糖質 1.425 g / じゃがいも→糖質 50.4 g / キャベツ→糖質 22.54 g / きゅうり→糖質 2.656 g

マヨネーズ→糖質 0.54 g / 酢→糖質 0.169 g

合計 159.528 g

【夕食】

①味噌汁・・・4人分

- ・チンゲン菜 2株…146 g
- ・味噌 大さじ 1.5…28 g
- ・豆腐(絹でも木綿でも OK)…150 g
- ・昆布…5 g
- ・水 3カップ

②ご飯 一合…180 g

③肉じゃが・・・4人分

- ・じゃがいも 小5個…240 g
- ・ニンジン 1本…182 g
- ・砂糖 大さじ 3…35 g
- ・牛肉…200 g
- ・玉ネギ 1個…340 g
- ・醤油 大さじ 4…63 g
- ・水…400ml
- ・酒 50ml
- ・ほんだし 小さじ 2…4 g

④白菜のおひたし・・・4人分

- ・白菜 4枚…354 g
- ・塩 小さじ 1…2 g
- ・鶏ガラスープの素 小さじ 2…4 g
- ・ごま油 少々
- ・醤油 少々
- ・ごま 少々



{この食事に含まれていた糖質}

豆腐→糖質 1.2 g / ごはん→糖質 57.06 g / じゃがいも→糖質 40.32 g / ニンジン→糖質 11.102 g

玉ネギ→糖質 25.84 g / 酒→糖質 2.5 g / 醤油→糖質 4.97 g / 白菜→糖質 6.726 g /

鶏ガラスープの素→糖質 0.666 g

合計 185.384 g

● 朝 97.565 g + 昼 159.528 g + 夜 185.384 g = 合計 442.477 g

私たちは1日に442.477 gもの量の糖を摂取していることがわかった。

実際の砂糖に置き換えてみると、結構な量になった。

太ったり病気にいかかったりしないよう、糖の摂り過ぎには気をつけたい。

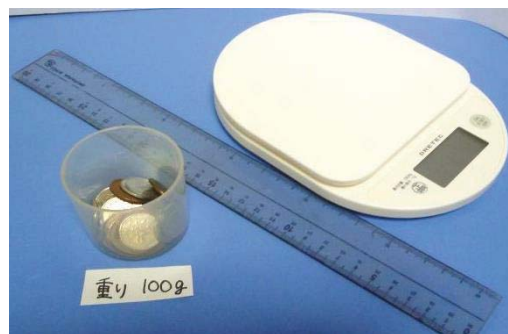
実験9 《タンパク質分解酵素の働き》

[準備するもの]

〈材料〉 牛肉…2cm 角×4
プレーンヨーグルト…大さじ1
パパイヤ…適量 パイナップル…適量
玉ネギ…適量 生姜…適量



〈用具〉 まな板、包丁、おろし金、ボウル、
ものさし、はかり、小皿-5枚、
計量スプーン、タイマー、
100gの重り、フライパン、
ガスコンロ



[実験]

- ① パパイヤ・パイナップル・玉ネギをそれぞれみじん切りにし、生姜をおろし金ですりおろす。
- ② ステーキ用の牛肉を 2cm×2cm に4つ切り、重さ・厚さを測定する。
 - ・ 100gの重りを約5秒間乗せ、跳ね返ってきた肉の弾力の厚さを測定する。



この部分の
跳ね返ってきた弾力を測定する。





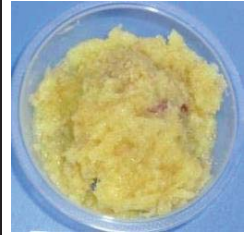



この厚さを測定
約 1.7cm









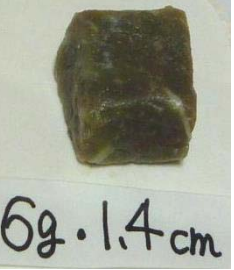
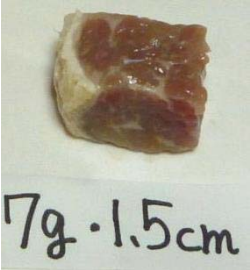
- ③ 小皿にステーキ肉を載せ、それぞれにプレーンヨーグルト・パパイヤ・パイナップル・玉ネギ・生姜に漬け込む。

④ 約 10 時間、冷蔵庫でそれぞれの食材に肉を漬け置きする。

—10 時間前—






	プレーンヨーグルト	パパイヤ	パイナップル	玉ネギ	生姜
10 時間 前 の 様 子					
観 察 ・ 弾 力	<p>・肉は、きれいな赤みを帯びている。 ・指で押すと、跳ね返ってくる。</p> <p>何も手を加えていない状態の肉 → </p>				

—10 時間後—

	プレーンヨーグルト	パパイヤ	パイナップル	玉ネギ	生姜
10 時 間 後 の 様 子	 7g・1.6cm	 6g・1.4cm	 6g・1.4cm	 7g・1.4cm	 7g・1.5cm
	ドロップが出ている		ドロップが出ている	ドロップが出ている	
大 き さ ・ 観 察 ・ 弾 力	 7g・1.3cm 厚さ → -0.3cm 黒ずんでいて、赤みが消えている。 形が崩れるほど柔らかくなっている。 指で押しても弾力は無く、繊維が崩れている。	 5g・1.4cm 重さ → -1g 少し黒ずんでいる。 10時間前の感触とほとんど変わらない。	 5g・1.3cm 重さ → -1g 厚さ → -0.1cm 黒ずんでいる。 形が潰れるほど柔らかくなっている。 ハンバーグの種のような粘り気がある。	 6g・1.4cm 重さ → -1g 濃い緑色に変色している。 表面は柔らかくなっているが、芯の方は固くなっている。	 7g・1.5cm 変化なし 少し黒ずんでいる。 表面が最も柔らかくなっているが、芯の方は変わらない。

- ⑤ 70℃に熱したフライパンで、約2分間加熱する。
 ⑥ 何も手を加えていない肉と、食品に漬けて置いた肉を食べ比べる。

とても柔らかくなっている…◎ 柔らかくなっている…●
 変化なし…▲ 固くなっている…×

	プレーンヨーグルト	パパイヤ	パイナップル	玉ネギ	生姜
元の肉との比較	少し柔らかくなっている。 	ほとんど変化なし。 	柔らかくなっている。 	周りは柔らかくなっているが、芯の方は固くなっている。 最も固くなっている。 	表面の方がとても柔らかくなっているが、芯の方はあまり変化がない。 最も柔らかくなっている。 
食感・風味	中まで火が通っている。 歯ごたえがあり、生肉を食べているよう。 チーズの酸っぱいような酸味がある。 後味がさっぱりしていて、口の中に何も残らなかった。	半生 かすかにパパイヤの味がする。 あとは、何もしていない状態の肉とほとんど変化なし。	半生 歯ごたえがなく、柔らかい。 口に入れた瞬間、パイナップルの風味が広がる。	中まで火が通っている 周りは、少し柔らかくなっているが、芯の方は固くなっている。 全体的に固くなっている。 口に入れた瞬間、玉ネギの風味が広がる。	半生 弱い力でかみ切れるほど柔らかくなっている。口に入れた瞬間、生姜の辛さで、舌・喉の奥がひりひりする。

●生姜以外の食品は、元の肉より重さが軽くなったり、大きさが小さくなっていた。

生姜は、重さや厚さに変化は見られなかった。

食感

ヨーグルト＝歯ごたえがあり、生肉を食べているよう。

パパイヤ＝何もしていない状態の肉とほとんど変化なし。

パイナップル＝歯ごたえがなく、柔らかい。

玉ネギ＝周りは少し柔らかくなっている。芯の方は硬い。全体的に固くなっている。

生姜＝弱い力で噛み切れるほど柔らかくなっている。

これらのことから、肉を柔らかくするとされる食品には、消化酵素が含まれているものもあれば、消化酵素の働きを助ける成分が含まれているものもある。

例外として、パパイヤには、「パパイン」と言う消化酵素が含まれているが、パパイヤがまだ若いため、消化酵素の働きは弱い。

生姜は、「生姜焼き」と言う料理があることを裏付けるかのように、最も柔らかくなっていた。

7. 結果

実験1：《じゃがいもからデンプンを取り出す》

分かったこと

- 1). 皮付き・皮無しの2種類のじゃがいもから白い粉が出てきた。
 - 2). 糖度は、皮付きじゃがいもの方が2000++と高く、皮無しは500++と低い。このことから、じゃがいもの皮にも糖が含まれていると言える。
 - 3). 濾したじゃがいもの絞り汁を混ぜて均一の濃度にし、糖度を測定すると、皮付きは50±と低くなっており、皮無しは100+との結果が出た。このことから、皮付きじゃがいもの絞り汁には、皮などの細かい不純物が混じっていることがわかる。
- しかし、まだこの白い粉がでんぷんだと断言することができない。

実験2：《じゃがいもから取り出した白い粉はデンプンと言えるのか》

分かったこと

- 1). 大根に含まれている物質には、デンプンを分解し、麦芽糖に変える働きがある。
以上のことから白い粉は、デンプンであることが証明された。
- 2). 市販の片栗粉と同じように固まった。
- 3). 糖度は、皮付きじゃがいもは500++、皮なしじゃがいもは500++と等しい。
- 4). 胃に見立てた耐熱食器の中で、じゃがいもから取り出した白い粉(食べ物)が大根の絞り汁に含まれている物質によって分解され、尿試験紙を緑色に変化させた。つまり、糖が作られた。

以上のことから実験1でじゃがいもから取り出した白い粉は、デンプンであることが証明された。

実験3：《デンプンが固まるのに最適なのは何度か》

分かったこと

- 1). デンプンは、60℃を過ぎたところから粘り気が急激に強くなった。
- 2). 60℃以下では、粘り気がなく、白っぽかった。
- 3). 片栗粉液が60℃を過ぎたところから温度上昇が緩やかになり、温度が上がりにくくなった。
- 4). 69℃まで温度は上昇した。

以上のことから、今回の実験に適した固まり具合は60℃である。

実験4：《大根の消化酵素（ジアスターゼ）はデンプン分解酵素であると言えるのか》

分かったこと

- 1). 大根の絞り汁と片栗粉液を混ぜた方の溶液につけた尿試験紙が、緑色に変化した。
- 2). 糖度は、大根の絞り汁は2000++で、水は0-とほとんど検出されなかった。
つまり、糖ができていたことが分かった。片栗粉液と水の方は、糖ができなかった。
- 3). 大根の絞り汁には、デンプンを糖に変える働きのある消化酵素が含まれている。
- 4). この消化酵素を『ジアスターゼ』と言う。

実験5：《適切な胃の中の温度は何度か》

分かったこと

- 1). 胃の中の温度に近い40℃を基準に、30℃～50℃の10度ずつの温度で食べ物の消化が行われた。
- 2). 糖度は、30℃～50℃では2000++、60℃では500++となった。
- 3). 30℃と50℃の温度は、大根の辛さが残っているが、40℃ではほんのりと甘い。
このことから、40℃の方が消化が行われやすいため、糖度が舌で感じられた。

以上のことから、胃の温度は40℃に保たれていると言える。

実験6：《適切な消化酵素の量はどれくらいか》

分かったこと

- 1). 胃の中の消化は、大根の絞り汁(消化酵素)30ml を基準に、30ml～40ml の間で行われている。
 - 2). 糖度は、30ml～40ml は 2000+++、20ml と 50ml は 500++、10ml は 100+となった。
 - 3). 30ml と 40ml の大根の絞り汁で、30ml はほんのりと甘く、40ml は大根の辛さが残っていた。
- このことから、30ml の量が消化が行われやすい。

以上のことから、消化酵素の適した量は、30ml といえる。

消化酵素は量が多すぎても少なすぎても食べ物が消化されず、適した量が必要だと分かった。

実験7：《胃腸薬に消化酵素は含まれているのか》

分かったこと

- 1). 片栗粉液に市販の胃腸薬を加え、煮詰めると甘みが出た。つまり、デンプンが分解され麦芽糖に姿を変えた。
- 2). 糖度は、100ml と 200ml では 2000+++と等しい。
- 3). 味は、100ml はかすかに甘く、200ml は甘みが強い。

以上のことから、胃腸薬には食べ物の消化に必要な消化酵素“ビオヂアスターゼ 2000”が含まれており、食べ物の消化を助ける働きがあるといえる。

胃腸薬には、一定の濃度のデンプンを消化させる働きがある。

実験8：《1日の糖の摂取量を調べる》

分かったこと

朝

食パン →糖質 41.28 g
砂糖 →糖質 46 g
トマト →糖質 4.554 g
きゅうり →糖質 2.672 g

昼

ロールパン →糖質 28.8 g
レタス →糖質 0.228 g
玉ネギ →糖質 30.4 g
ニンジン →糖質 10.37 g
ケチャップ →糖質 1.425 g
じゃがいも →糖質 50.4 g
キャベツ →糖質 22.54 g
きゅうり →糖質 2.656 g
マヨネーズ →糖質 0.54 g
酢 →糖質 0.169 g

夜

豆腐 →糖質 1.2 g
ごはん →糖質 57.06 g
じゃがいも →糖質 40.32 g
ニンジン →糖質 11.102 g
玉ネギ →糖質 25.84 g
酒 →糖質 2.5 g
醤油 →糖質 4.97 g
白菜 →糖質 6.726 g
鶏がらスープの素 →糖質 0.666 g

合計 97.565 g

合計 159.528 g

合計 185.384 g

朝 97.565 g + 昼 159.528 g + 夜 185.384 g = 合計 442.477 g

- 1). 私たちは1日に442.477 gもの量の糖を摂取していた。
- 実際の砂糖に置き換えてみると、結構な量になった。

実験9：《タンパク質分解酵素の働き》

分かったこと

- 1). 生姜以外の食品は、元の肉より重さが軽くなったり、大きさが小さくなっていた。
- 2). 生姜は、重さや厚さに変化は見られなかった。

食感

ヨーグルト＝歯ごたえがあり、生肉を食べているよう。

パパイア＝何もしていない状態の肉とほとんど変化なし。

パイナップル＝歯ごたえがなく、柔らかい。

玉ネギ＝周りは少し柔らかくなっている。芯の方は硬い。全体的に固くなっている。

生姜＝弱い力で噛み切れるほど柔らかくなっている。

これらのことから、肉を柔らかくするとされる食品には、消化酵素が含まれているものもあれば、消化酵素の働きを助ける成分が含まれているものもある。

例外として、パパイアには、“パパイニン”と言う消化酵素が含まれているが、パパイアはまだ若いため、消化酵素の働きは弱い。

生姜は、「生姜焼き」と言う料理があることを裏付けるかのように、最も柔らかくなっていた。

8. 考察

1日の食事で糖を442.477g摂取。

朝は97.565g、昼は159.528g、夜は185.384gである。

1日に摂取する糖質の望ましい量は、60g～120gである。

体の中で、1gあたり4kcalになる。

1日2000kcal必要な人では、およそ60%程度の1200kcalを糖質からとるのが望ましい。

これは、ごはんにすると茶碗約5杯分である。

健康な人の血液中には、血液10中におおよそ1gのブドウ糖が含まれている。

これをdℓの単位で換算すると、100mg/dℓになる。これが血糖で、一定の濃度を保っている。

健康な人で、1日の血糖値は70～130mg/dℓのあいだを変動している。

実験8で作った食事の中に、糖を含む食品があった。

米には、単糖類であるブドウ糖(グルコース)が含まれており、脳や身体のエネルギーになる、血糖値を保つなどの働きがある。だから、米を主食として食べる国があると言える。

豆腐には、多糖類であるデンプンが含まれており、多数のブドウ糖が結合した貯蔵多糖類で、甘味はない。豆腐の原料である大豆は「畑の肉」と呼ばれ、昔から重宝されてきた食材である。

これらのことから、私たちが普段何気なく食べている食品の中には、糖が含まれていると言える。

昔から多く食べられてきた食品には、それなりの理由がある。

デンプンは、じゃがいもなどの芋類に多く含まれる。

デンプンの粘り成分は、60℃の温度で働くので、デンプンの凝固温度は60℃であるといえる。

デンプンに水を加え、60℃まで温めることで、加水分解し糊状になるが、酵素を加えていないため、糖は検出されなかった。

大根の絞り汁を加える事で糖が検出されたことから、大根にはジアスターゼという炭水化物分解酵素が含まれていることがわかった。

つまり、デンプンは大根の絞り汁に含まれる消化酵素によって消化が行われ、ブドウ糖が生成された。

消化酵素は、デンプン以外の他の食品でも消化を行い、糖を生成する働きがある。

これらのことから、食べ物の消化は消化酵素によって行われていると言える。

体の中で行われている食べ物の消化を、「食べ物→片栗粉液(デンプン)」、「消化酵素→大根の絞り汁」で再現した。

胃の中の温度に近い40℃を基準に、30℃～50℃の10度ずつの温度で食べ物の消化が行われた。

胃の中の温度は、30℃～50℃であるといえる。

糖度は、30℃～50℃では2000++、60℃では500++となった。

30℃と50℃の温度は、大根の辛さが残っているが、40℃ではほんのりと甘い。

このことから、40℃の方が消化が行われやすいため、糖度が舌で感じられた。

人の正常な体温は36℃～37℃で、夜にはわずかに低下し、日中はわずかに上昇する。1日で約1℃の日周変化を示す。そのため、胃の中の温度が30℃になると体温が保てなくなる。胃の中の温度が50℃では、高熱で死に至る。よって、胃の中の平均温度は40℃が最適であるといえる。

実験の前日に、私は生の玉ねぎの入ったサンドイッチを食べた。

そのサンドイッチはとても辛く、生の玉ねぎはハンバーグなどに含まれる熱を通した玉ねぎと何が違うのか、調べた。

単糖類のブドウ糖が集まったものが、多糖類のデンプンである。

生のハンバーグは単糖類のブドウ糖が散らばっている状態だが、熱を加えることによって結合し、多糖類のデンプンとなる。

そのため、ハンバーグの玉ねぎやニンジンのように、じゃがいも以外の植物も熱を加えるとデンプンができ、分解されてショ糖になるため甘く感じる。

だから、玉ねぎは生だと辛い、熱すると甘くなる。

9. 備考

『酵素の働きを知ること、酵素の仕組みを考える』

一 酵素

- ・細胞内で作られ、生命体のほとんどの化学反応の触媒の働きをする。特定の反応だけに働く特異性がある。
- ・タンパク質を主体とする高分子化合物酵素の分類。

1) 酸化還元酵素

酵素の役割：生命維持

＊生命体の酸化還元反応を触媒する酵素

- ①細胞の呼吸、発酵生合成における物質
- ②エネルギー代謝に重要な役割を果たす。

2) 転移酵素

酵素の役割：消化酵素の働きを助ける

＊化合物の基を転移させる反応を触媒する酵素

3) 加水分解酵素

酵素の役割：消化酵素の働きを助ける

＊加水分解とは、化合物に水が作用して起こる分解反応のことで、加水分解の際に触媒として働く酵素

- ①生体内で、デンプンやタンパク質の加水分解を促進する
(エステラーゼ、アミラーゼ、プロテアーゼ、ヒドロラーゼなどがある)

4) 付加脱離酵素 (リアーゼ)

酵素の役割：子供から大人へと変化するとき、老化

＊基質から非加水分解的にある基を取り去り、二重結合を残す（または、二重結合にある基を付加する）酵素

5) 異性化酵素

酵素の役割：男女を区別

＊異性体間の転換を触媒する酵素

6) 合成酵素（リガーゼ）

酵素の役割：消化酵素の働きを助ける

＊2個の分子を結合させるような反応を行う酵素

①タンパク質と同じ性質を示す。

②消化酵素の働きを助ける非透析性であり、熱に不安定である。

※触媒とは？

化学反応の前後でそれ自身は変化しない。

反応の速度を変化させる物質反応を速くする触媒＝性触媒

物質反応を遅くする触媒＝負触媒

・酵素の分類より

＊加水分解酵素は、養分などの消化吸収のための化合物の加水分解を行う消化酵素で、その種類にはエステラーゼ・アミラーゼ・プロテアーゼ・ヒドラーゼ等があり、消化に深く関わっている。

実験3・4 デンプンが固まる温度と炭水化物分解酵素

－炭水化物分解酵素－

糖	酵素	
多糖類	ポリアーゼ	α -アミラーゼ（糊精化酵素） β -アミラーゼ（糖化酵素）
二糖類 三糖類	オリガーゼ	マルターゼ（ α -グルコシダーゼ） ラクターゼ（ β -ガラクトシターゼ）

- ・ α -アミラーゼ（糊精化酵素）によってデンプンを分解する。
- ・大根の炭水化物分解酵素は、根に含まれており、アミラーゼという。
このアミラーゼは、ジアスターゼともいう。

実験3

- デンプンの粘り成分は60℃の温度で働くので、デンプンの凝固温度は60℃であるといえる。

実験4 上の炭水化物分解酵素の表と実験結果から↓

- デンプンに水を加え、60℃まで温めることで、加水分解し糊状になるが、酵素を加えていないため、糖は検出されなかった。
- 大根の絞り汁を加える事で糖が検出されたことから、大根にはジアスターゼという炭水化物分解酵素が含まれていることがわかった。
- 片栗粉液 60℃以上の温度上昇は緩やかで、1℃上昇するのに2倍～3倍時間がかかった。
- 65℃以上になると、上昇温度はさらに緩やかになり、69℃まで上昇した。

これらのことから、

- ・多糖類のデンプンは α -アミラーゼ（粘性化酵素）、 β -アミラーゼ（糖化酵素）の二つの働きによって加水分解され、グルコース（ブドウ糖）に分解されることがいえる。
- ・アミラーゼにより加水分解した糖は、ブドウ糖として血中に存在し、血統量を維持する。
- ・一方、貯蔵炭水化物“グリコーゲン”として、筋肉、肝臓に貯蔵され、その他の組織のエネルギー源となる。

実験5 適切な胃の温度は

- 実験5の結果より、胃の中の温度は、30℃～50℃であるといえる。

人の正常な体温は36℃～37℃で、夜にはわずかに低下し、日中はわずかに上昇する。1日で約1℃の日周変化を示す。そのため、胃の中の温度が30℃になると体温が保てなくなる。胃の中の温度が50℃では、高熱で死に至る。よって、胃の中の平均温度は40℃が最適であるといえる。

実験6 適切な消化酵素の量

- また、実験6の結果より、消化酵素の量は、30ml～40mlの間である。

30mlは、デンプンが分解されて糖に変化したためほんのりと甘いのにに対して、40mlでは、大根の辛味が残っているので、消化酵素の量は30mlといえる。

実験7 胃腸薬と消化酵素の関係

- 片栗粉液に胃腸薬を加えると、デンプンが加水分解され糖が検出されたことから、胃腸薬には消化酵素が含まれていることがわかった。
- 消化酵素“ビオヂアスターゼ 2000”は炭水化物分解酵素で、デンプンを分解し、麦芽糖に変化させる働きがある。
また、胃腸薬は水100mlと200mlの糖度は、同じ2000+++であるのに対して、水200mlの方が甘みが強く感じられた。
これは、水200mlの方が適量で、加水分解されやすいと考える。

『胃腸薬と副作用との関係』

ー肝臓のグリコーゲン（貯蔵炭水化物）と血糖値との関係ー

血糖値	下がる	上昇
グリコーゲン	分解	合成

上の表からわかること↓

- *血糖値が下がると、グリコーゲンは分解されることから、エネルギー代謝が激しく、痩せやすい体質になり、筋力が発達し運動能力が上がる。また、病気になりにくくなり、糖尿病のリスクが下がる。
- *血糖値が上昇すると、グリコーゲンが合成されることから、エネルギー代謝が衰え、体に脂肪がたまりやすくなり、太りやすい体質になる。また、糖尿病のリスクが上がる。

- これらのことから、筋肉・肝臓に貯蔵されたグリコーゲンと血糖値の関係は、生命維持に欠かせない役割を果たしている。
また、胃腸薬を過剰に摂取しすぎると、血糖値が上昇し、糖尿病になりやすいことがいえる。

- 糖尿病になると、通常は1dlあたり60mg～80mgのほぼ一定に保たれているブドウ糖の濃度が異常に高くなる。

そして、喉の渇き・多尿・空腹感・倦怠感などの自覚症状が出る。さらに、感染症・動脈硬化・白内障などの合併症をおこしやすくなると言われている。

『体内の消化酵素の働き』
一体内の消化酵素

“唾液（口）”

- 主要な酵素は、炭水化物分解酵素**プチアリン（アミラーゼ）**で、デンプンを麦芽糖に分解する。● 消化液は、無色透明である。

“胃液（胃）”

- 消化酵素として、**ペプシン（タンパク質分解酵素）**や微量の**リパーゼ（脂肪分解酵素）**、カゼインを固める**キモシン（タンパク質凝固酵素）**を含む。

- 消化液は、無色透明で酸性。

☆ **キモシン（タンパク質凝固酵素）** → チーズなどの乳製品を固まらせる。

※ 胃液が酸性なのは、約 0.5% の水溶液で pH1.0～1.5 の強酸性であるため。

塩酸は、胃腺から分泌された**ペプシノゲン（ペプシン）**を活性化させて**ペプシン（タンパク質分解酵素）**に変化させ、食物中の細菌を殺すのに役立つ。

“膵液（膵臓）”

- 膵臓で生成され、十二指腸に分泌される。

- 消化酵素として、

**トリプシン（タンパク質分解酵素）、キモトリプシン（タンパク質分解酵素）、
アミラーゼ（炭水化物分解酵素）、リパーゼ（脂肪分解酵素）**

が分泌される。

- 無色透明のアルカリ性で、最適 pH8 程度で胃液の酸性を中和する。

★ 体の奥へと進むにつれ、消化酵素の分泌される量は増え、複雑な働きをする。

☆ 消化液の主要な酵素である、**ペプシン（タンパク質分解酵素）**の成人の分泌量は、1日に、2～3ℓといわれている。

- 胃液の塩酸は、ペプシンをタンパク質分解酵素に変化させ、食中毒などの予防にも役立っている。

実験8

一日の糖の摂取量を調べる

糖質の 少ない 食品	糖質の 多い 食品
1. こんにゃく	1. ごはん 2. 餅 3. うどん・そば 4. コーンフレーク 5. ビーファン 6. さつまいも 7. じゃがいも
1. 豆腐 2. 納豆 3. 湯葉	1. あずき 2. いんげん豆 3. そら豆
1.アーモンド 2. カシューナッツ 3. ごま 4. ピーナッツ	1. ぎんなん 2. 栗
1. かぶ 2. きゅうり 3. 大根 4. なす	1. かぼちゃ 2. とうもろこし 3. レンコン
きのこ類	
1. アボカド 2. ココナッツ	1. イチゴ 2. ミカン 3. リンゴ
1. ウイスキー 2. コーヒー（無糖） 3. 紅茶 4. 焼酎 5. 日本酒 6. ラム酒	1. 果実100%ジュース 2. コーラ 3. 紹興酒 4. 日本酒 5. ビール 6. ワイン（甘口）
1. 胡椒 2. 醤油 3. 酢 4. 人工甘味料	1. ケチャップ 2. 砂糖 3. 白味噌 4. みりん 5. メープルシロップ

実験9

タンパク質分解酵素の働きを調べる

ータンパク質分解酵素の働きー

パイナップル＝ブロメライン(タンパク質分解酵素)

パパイヤ＝ パパイン(タンパク質分解酵素)は、果実に含まれている。

☆凝乳作用を持つプロテアーゼの総称→キモパパイン

ヨーグルト＝乳酸菌(タンパク質分解酵素を助ける)

☆糖を分解して乳酸を作る細菌を乳酸菌という。

生姜＝ジンゲロンと油状のショウイガオール(タンパク質分解酵素の働きを助ける)

☆発汗・健胃薬の働きがある。

玉ネギ＝二硫プロピルアリールと硫化アリールを含み、強い刺激臭と殺菌力がある。

●これらの成分は、消化液の分泌を促し、発汗・利尿・興奮作用がある。また、ビタミンB¹の吸収を助ける。タンパク質…生物の細胞の主成分であり、生命現象に直接深く関与している。

10. 今後の課題・感想

胃で食べ物が消化され、栄養分として吸収される仕組みについて調べ、私達人間の体をより詳しく知ることができた。

日常生活の中でとる食事に含まれるデンプンが、消化酵素によって分解され、エネルギーとして体内に吸収されることで生きており、人間の体は、精密で複雑なつくりをしているのだと思うと、自分の体をもっと健康的にしようと身を持って実感した。

また、食べた物を消化する働きのある消化酵素が、普段何気なく食べている野菜・果物に多く含まれていることを知り驚いた。これからは、普通の食事と消化酵素が多く含まれている食品を意識して上手に組み合わせ、体の調子を整えていきたい。

キャベツやニンジンなどの糖質を多く含む野菜に熱を通すと、甘みが増していて、美味しくなっていた。煮込み続けると甘くなるものの代表として、ジャムがある。そのジャムを糖質の多い野菜で作ることはできないかと思った。ぜひ、やってみたい。

硬い肉を身近な食材を使って柔らかくする方法などは、安い値段の中で作る料理の幅が広がり、どれも今後の生活に生かせそうだ。また、柔らかくした肉の表面を顕微鏡で観察し、柔らかくする前と後の様子を比較したい。そして、さまざまな種類の果物で実験を行い、肉の表面の変化に違いは出るか調べたい。さらに、その中の一つであるパイナップルに含まれるタンパク質分解酵素がどれだけ肉を消化することができるのか調べてみたい。他の果物には食べ物を柔らかくする消化酵素が含まれているのか、またその消化酵素の種類は何かを今後の課題として追求していきたい。

胃腸の調子が悪いからといって胃腸薬を摂取しすぎると、逆に糖尿病などの病気のリスクが上がることを知り、きちんと摂取量を守ろうと思った。そして、今回の実験を生かし、薬に頼らずに消化酵素の多く含まれる食品を食べることで胃もたれなどを解消していきたい。

今は、部活や遊びなどで体を活発に動かしているため消費するエネルギーは多いが、大人になると運動する機会が減り、消費するエネルギー量は少なくなる。

よって、自分の生活に合わせた「My 食事スタイル」を考えていく必要がある。

10. 参考文献

- ・「満点レポートが作れる！ すぐできる、よくわかる！ 自由研究 中学生の理科 ベーシック」

監修者 野田新三 発行者 永岡修一

- ・ <http://kids2.gakken.jp> 「酵素の多い食品」
- ・ デジタル大辞泉（小学館） 電子辞書より
- ・ 科学小事典 電子辞書より
- ・ 生物小事典 電子辞書より

講 評

私達は普段の生活の中で、朝、昼、晩、3食の食事を食べ、それらが私達の消化器官で消化・吸収されることによって、成長するために利用されたり、体の調子を整えるための材料として体内で利用されています。日頃は問題ないのですが、時にはお腹の調子が悪いことがあり、大人の場合は胃腸薬などを飲み調子を整えることもありますね。普段の生活、とりわけ自分の体のしくみにスポットを当て研究するきっかけになることは、自分の体に着目することから、健康管理にも結びつき、ひいては家族や友人などの健康にも繋がると考えられます。それは科学という学問的にもすばらしいことですが、「食」への興味関心にも繋がることにもなり、大変よい姿勢だと思います。

今回のレポートでは、目的にアプローチするための実験項目を細かく設定し、実験結果を導き出しています。一つ一つの実験方法や結果のまとめ、結果から導き出される結論のまとめ方がとても丁寧です。レポートの書き方のお手本になるほど整理された書き方であることが、評価されています。また、実験に使用した準備物を写真に撮り、レポートに載せたり、実験の段階に合わせて写真とコメントを見やすく表にするなどのまとめ方は、大人顔負けなほどしっかりできています。審査委員として今後の研究が楽しみです。

ところで、実験6の「適切な消化酵素の量はどれくらいか」では、大根の搾り汁が一番多い50mlの場合の糖度が500++を示し、20mlを除いた他の量の搾り汁(30ml～40ml)では、糖度が2000+++を示すことや味などを理由に、適量を30mlと結論づけています。この結論は、絞り汁の中に含まれている水の量を考慮していません。単に絞り汁の水分が多く、分解された糖分が薄くなってしまった可能性もあります。むしろ消化酵素は、より多い方がデンプンの分解には効果的だと思います。また、レポートの実験実施前や後に、文献等から調べた内容がありますが、これらは実験後の結果や考察などでまとめた方が良いでしょう。その方が、実験で得られた結果なのか、文献から調べた物なのか明確になり、まとまりも良くなるでしょう。今後のテーマや実験内容に期待しています。がんばってください。

<審査のポイント>

研究目的を調べるための実験項目を細かく設定し、実験結果を実験方法や実験結果のまとめ、結果から導き出される考察等のまとめ方が非常に丁寧です。レポート作成のひな形としても評価できます。また、実験に使用した準備物や実験の課程を細かく記録し、表やグラフにしてまとめていることが高く評価されます。

沖縄県教育長賞

第35回沖縄青少年科学作品展

沖縄の野生ラン ダイサギソウの研究 PartⅢ

うるま市立具志川東中学校

3年 識名 和生

I テーマ設定理由

沖縄の野生ランの一つである、ダイサギソウは環境省のレッドデータカテゴリーで絶滅危惧1B類に位置づけられ、近い将来絶滅する危険性の高い植物である。

ダイサギソウが絶滅する理由は、ダイサギソウの自生する環境が開発により、減少していることや、園芸目的で盗掘されていることである。

沖縄県においてもダイサギソウは、以前は多く見られたが近年は大きく減少している。

2012年度は、引き続いて自生地調査を行い、3年間の生育状況・形態・環境の変化を比較調査した。また、沖縄の土壌実験の継続調査、手軽にできる播種実験の経過をまとめた。

これらの調査でダイサギソウの自生地の状況を知り、手軽にダイサギソウが増殖できる方法を見つけ出し、それが保護活動へ役立てることを目標とした。

II これまでの調査結果

1 2010年度

2010年度からダイサギソウの自生地の調査を開始した。ダイサギソウには適度な水分、日光、日陰がバランスよく必要と分かり、その差が各調査エリアの個体数の差になっていると分かった。また、開花時期には開花調査を行い、個体の大きさが大きいほど、花芽がつく確立が高くなる傾向にあることが分かった。そして、ダイサギソウの無菌播種（クリーンベンチを使った）を行い、ダイサギソウの増殖にも挑戦した。



調査の様子

2 2011年度

2011年度は、引き続き自生地調査を行い、2010年度との生育状況・形態・環境の変化を調査した。その結果、気象環境の影響で2010年度より生育が悪くなっていることが分かった。また、沖縄の土壌によってダイサギソウの生育に影響がでるのかを、沖縄の代表的な土壌をサンプリングしてダイサギソウの球根を植え付け観察した。そして、無菌播種を行ったダイサギソウを順化できるか、クーリンカ（石炭灰）に植え付けた。さらに、より手軽にかつ誰でもダイサギソウを増殖できないか挑戦した。

III 調査内容

1 調査概要

- ①ダイサギソウの自生地調査
- ②自生地花芽調査（9月下旬）
- ③自生地開花調査（花芽調査後）
- ④沖縄の土壌別ダイサギソウの生育調査
- ⑤手軽にできるダイサギソウの播種実験



学名 Hbenaria dentata (Sw) Schltr. (1919)

和名 ダイサギソウ

2 自生地調査日

2012年7月16日、7月21日、7月23日、8月4日、8月8日、8月9日、8月11日、
9月22日、10月7日

3 自生地調査場所

「ヤンバル」のある地域

※詳しく記すと、盗掘される場合があるので公開できない。

4 自生地調査方法

- (1) 竹を約50センチに切り、ビニールテープ（2012年度は赤色）を上部に張り付け、テプラで作ったシールを貼り、ラベルとする。
- (2) 昨年立てたラベル（黄色）を目印に、ダイサギソウをマークして調査した。
- (3) 調査しやすいように、周辺の雑草を刈り取った。草刈りはダイサギソウの保護にもつながる。草が茂り過ぎると光不足で枯れる。
- (4) 昨年のラベルを抜き、新しくラベルを差した。
- (5) ダイサギソウの有無・葉数・草丈（上の葉の付根生長点までの距離）・最も広い葉の葉幅を調査した。
- (6) 今年度新しく発見できた個体には、（発見したエリア名）-○と番号を一時的につけ、No.452 から後を今年度の新個体として付け直した。
- (7) 調査場所は例年どおり7つのエリアに分けて調査した。

5 沖縄の土壌別ダイサギソウの生育調査

- (1) 沖縄の代表的な土壌、国頭マージ、島尻マージ、ニービ、ジャーガル（クチャ）をサンプリングする。
- (2) 無菌播種で増殖したダイサギソウの球根を各土壌に植え付け、その生育の様子を観察する。
- (3) 国頭マージ、島尻マージ、ニービ、ジャーガルの4区で生育を比較する。

6 手軽にできるダイサギソウの播種実験

- (1) カメラのフィルム用マウントケースに、お茶パックをカットして貼り付け、ケースとする。そのケースの中に綿棒一杯分のダイサギソウの種子を入れる。
このケースに入れることで、水に流されやすいダイサギソウの種子を流されにくくした。
- (2) ポットの7分目までクリーンカ（火力発電所から出る石炭灰）を入れ、ケースを置く。
①クリーンカのみ②ダイサギソウの球根③ネジバナ④コケを植える
4つの実験区をつくり、どの区で増殖できるか調査する。

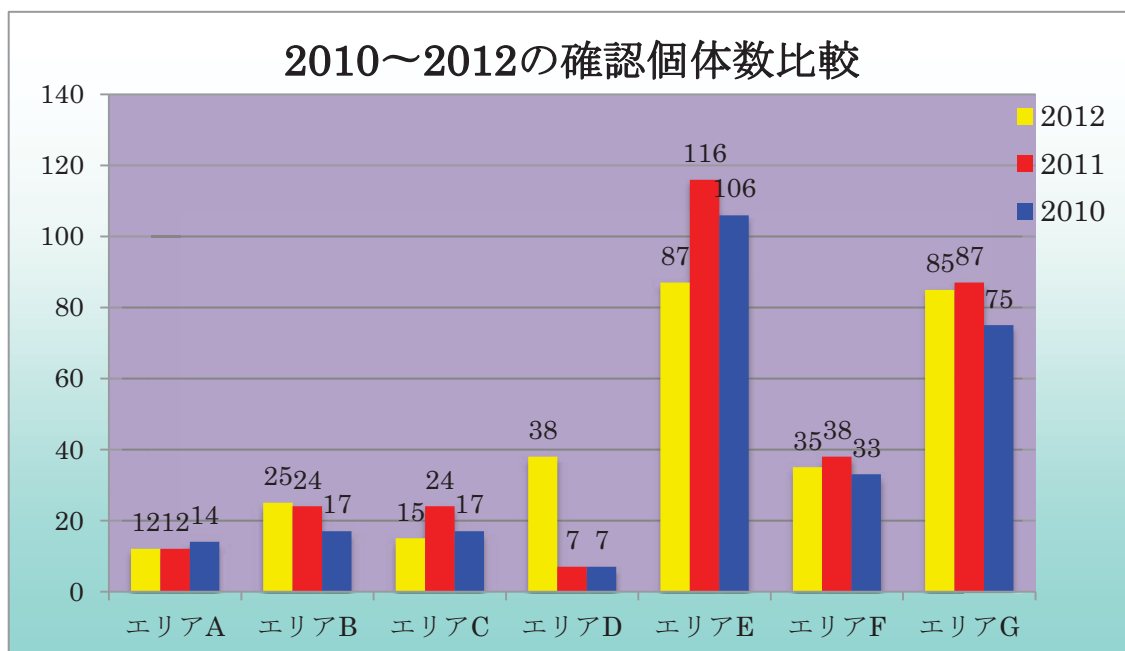


種子をケースに入れる

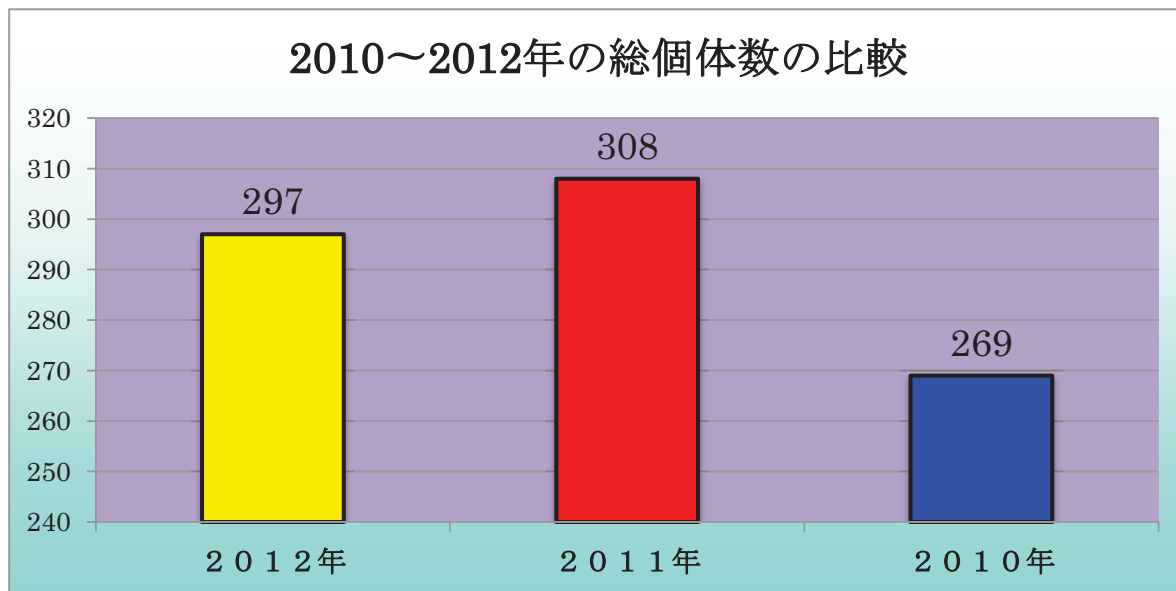


播種実験後5ヶ月目の様子

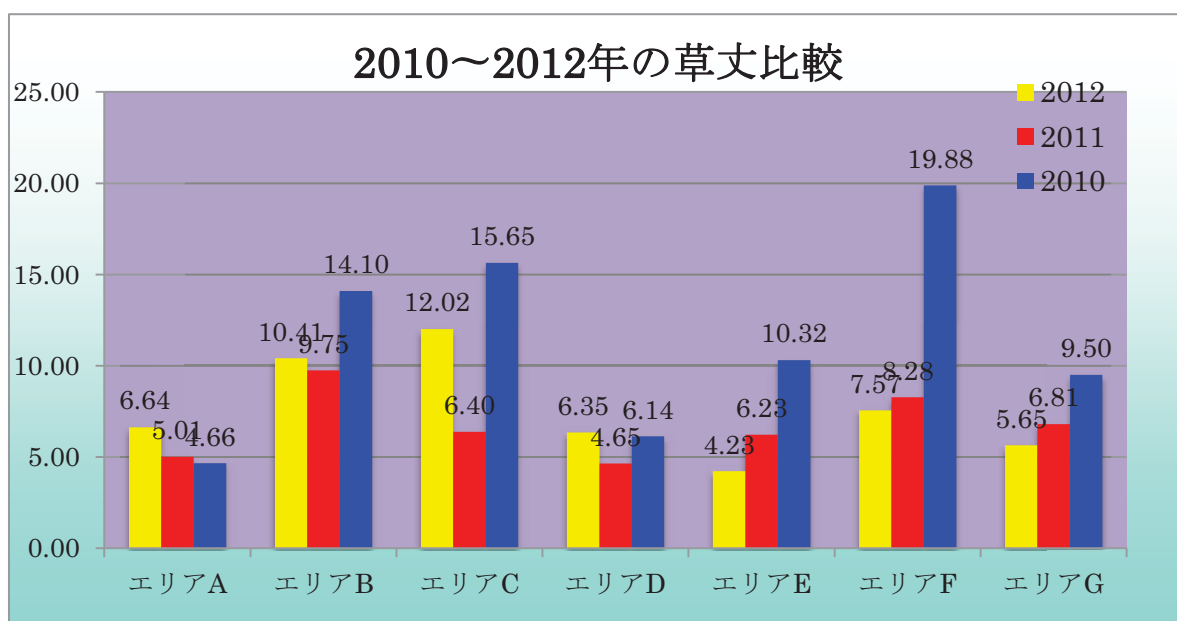
IV 調査結果
自生地調査



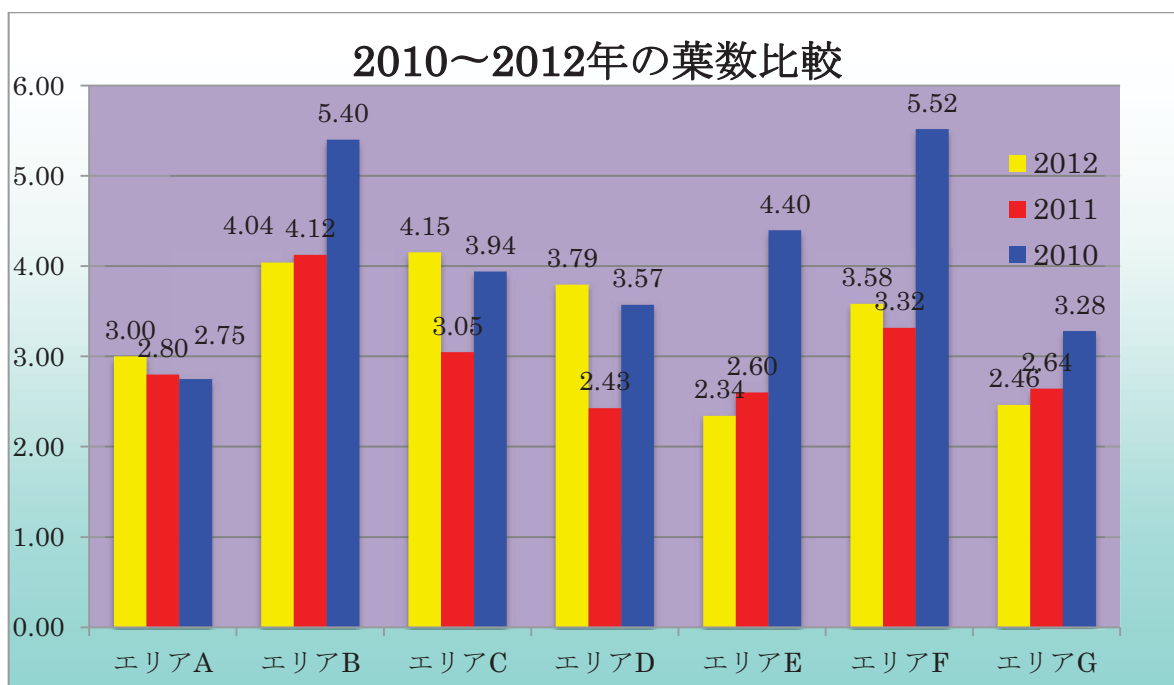
2012年度は、エリアEが最も多く87個体、最も少ないのはエリアAの12個体となっている。エリアDが大幅に個体数を増やしたが、これは新個体を数多く発見したからである。一方、エリアC、Eが大きく個体数を減らしている。エリアCは林床（林のすぐ側）に位置するエリアであり、林床の木の枝が広がり、日当たりが悪くなったことの影響を受け、個体数が減少したと思われる。エリアEは2011年度、台風9号の被害や梅雨明けの乾燥の影響を大きく受け、それが2012年度の個体数の減少につながったと思われる。



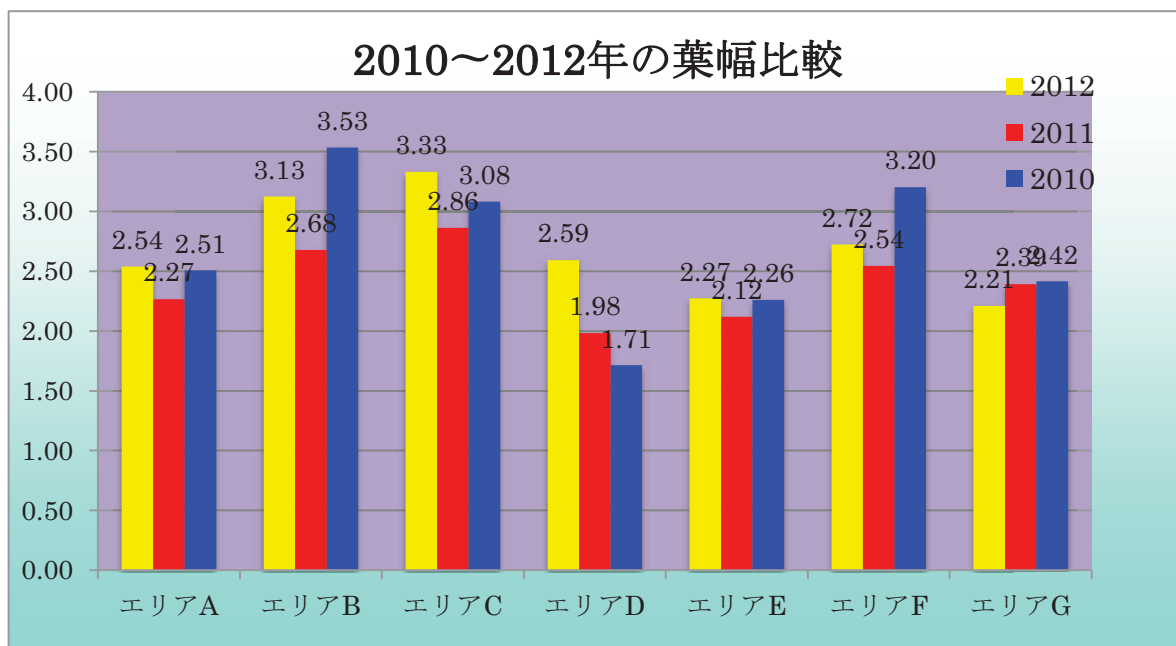
3年間の推移を見ると、2010年度から2011年度にかけて個体数が大きく増加し、2011年度から2012年度にかけて多少減少している。2012年度の総個体数は297個体で2011年度より11個体減少している。大きな減少ではないため、個体数は維持できているといえる。多少の増減は、気象の影響や食害により増減すると考えられる。草刈りなどで環境を維持することが重要である。



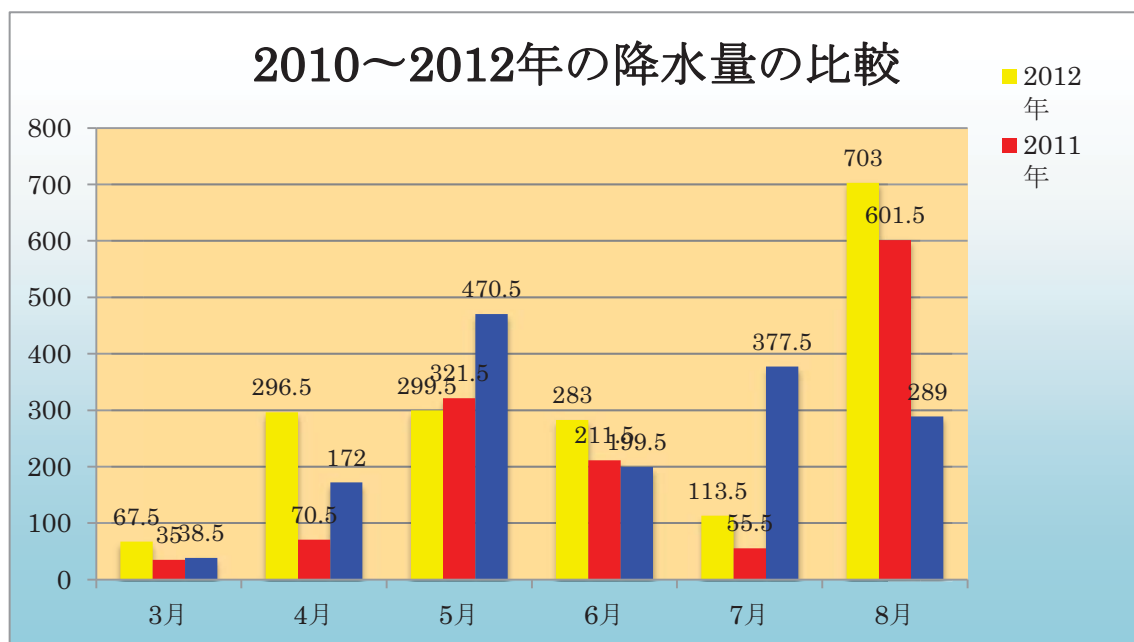
2012年度はエリアCが最も高く 12.02 cm、最も低いのはエリアEで 4.23 cmとなっている。エリアE、F、Gは草丈が低くなっている。これは、2011年度、台風9号の被害が大きいエリアであることや梅雨明けの乾燥の影響を大きく受けたので、2012年度にも波及したものと考えられる。また、エリアCは草丈が約2倍に高くなっているが、これは2011年度、台風9号の影響をほとんど受けなかったからと考えられる。なお、2010年度の草丈が高いのは「葉を伸ばし、葉の先端まで」を草丈とし、2011年度からは「一番上の葉の成長点」に変更したため2010年度は高い値になっている。



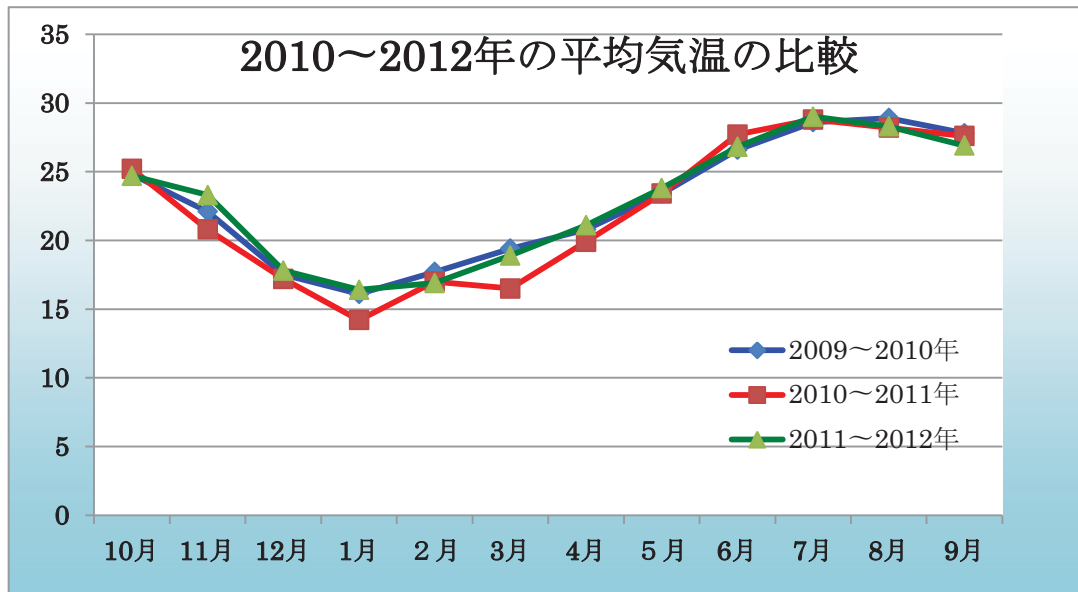
2012年度はエリアCが最も多く 4.15 枚、最も少ないのがエリアEの 2.34 枚となっている。2011年度、台風の影響を大きく受けたエリアE、Gは、2011年度と比較して葉数が減少している。一方、2011年度、台風の影響をほとんど受けていないエリアC、Dは2010年度の値も抜き、大きく葉数が増加している。



2012年度はエリアCが最も大きく3.33 cm、最も小さいのはエリアGで2.21 cmとなっている。2012年度を比較すると、2011年度より小さくなったのはエリアGだけだった。葉幅は、2011年度と同じく、個体数の少ないエリアB、Cが高い値になっており、これは、エリアB、Cは個体数が少ないが、大きい個体が多いことを示している。今年度はこれまで（8月11日）は順調に成長している。



2012年度は、3、4、6、8月の降水量が2010、2011年度より多い。特に4月は、2010年度の約1.7倍、2011年度の約4倍も増加している。7月は、2010年度と比較すると約三分の一と少ないが、乾燥していた2011年度と比較すると約2倍に高くなっている。ダイサギソウの生長する時期の7月に水分が少ないと生育が悪いことがわかる。8月は2011年度が非常に高いが、これは台風9号が2日間沖縄本島に停滞したためである。また、2012年度も非常に高いのは、台風15号が沖縄に接近したためである。



1月～4月が寒かった2011年度に比べ、2012年度は2010年度と似た値を示している。ダイサギソウは気温を感じて球根から発芽するので2011年度は発芽が遅れ、開花時期にもずれが生じたと考察したが、もしそれが正しいなら、2012年度は2011年度より開花時期が早くなると考えられる。2011年度は開花時期のピークが10月下旬であったが、2012年は9月下旬となり1ヶ月早くなると予測された。しかし、実際には、台風17号が沖縄に上陸してしまったため、開花したダイサギソウを確認することはできなかった。ただ、9月22日の調査ではつぼみが多数確認できたので、今年は9月下旬であったと思われる。

沖縄の土壌別の生育調査

2011年度振り返り

2011年8月28日の途中経過



国頭マージ（左） ダイサギソウが自生する土壌だが、生長は遅め。

最大個体の葉の長さは5.2 cm。

島尻マージ（中央左） 土壌のなかでも生長は良く、大きい個体も多い。

最大個体葉の長さ7 cm。

ジャーガル（中央右） 生長はあまり良くない。最大個体葉の長さ5.6 cm。

ニービ（右） 比較的生長は良い。最大個体葉の長さ5.9 cm。

仮説では、ダイサギソウが自生する国頭マージの生育が良いと考えた。しかし、若干の差は見られるが、大きな差は見られなかった。しかし、まだ結論を述べるには早いので、これからも調査を続ける。

2012年（今年度）8月17日の途中経過



- | | |
|------------|--|
| 国頭マージ（左） | 大きい個体も出てきており、生長は良い。
最大個体の葉の長さは6.9 cm。生存個体 5 個体 |
| 島尻マージ（中央左） | 花芽が付いた個体もあり、とても生長が良い。
最大個体の葉の長さ11.3 cm。花芽形成個体あり。生存個体 6 個体 |
| ジャーガル（中央右） | 1 個体しか発芽せず、かなり生長が悪い。
最大個体の葉の長さも測れない程小さい。生存個体 1 個体 |
| ニービ（右） | ほとんどの個体が発芽し、生長もかなり良い。
最大個体の葉の長さ9.1 cm。生存個体 9 個体 |

2011年度は大きな差は見られないとしたが、2012年度はジャーガルとその他の土壌に非常に大きな差が見られた。今回使用したジャーガルは、ゴロゴロしていて土が鉢から流れ出たので、球根を包み込むことができなかったのと、pH が強アルカリ性であるため生育不良になったと考えられる。一方、排水性の良い島尻マージやニービが比較的生長が良いことは、毎日水やりをしているため、保水性の良い土壌より透水性の良い土壌の方が生育は良くなったものと考えられる。排水性が一番よい土壌のニービで生存個体数9個と高かった。これからも調査を続け、経過を見ていきたい。

手軽にできるダイサギソウの播種実験

種まきから約3ヶ月たった2012年3月25日、一度掘り返して様子をみたところ、特に変わった様子はなかった。

しかし、種まきから約8ヶ月たった8月18日、掘り返したところ、ダイサギソウの球根を一緒に植えた実験区で、種子が発芽、球根が出来ているのが確認できた。

球根が出来ているポットでは、一緒に植えたダイサギソウの球根がマウントケースに必ず接していた。中には、3月に掘り返した時、ケースから飛び出し、さらに葉が出ている球根もあった。球根が出ていたポットは4つで、全部で148の球根が出来ていた。



ケースの中に球根が確認できた



種子が発芽して球根ができている

球根はその日のうちにクーリンカ（石炭灰）に植え付けた。乾燥によってダイサギソウが枯れることを防ぐため、下に水を溜めて給水させる底面給水を使用した。また、発芽していた4つのポットには、クーリンカのみのポットから種子が入ったケースを移して植え直し、発芽しなかった種子でも、球根に触れさせることで発芽するのか実験することにした。



種子が発芽していたのは、すべてダイサギソウの球根実験区で、それも球根がマウントケースに接していたものだけだった。このことから、ダイサギソウの球根が接していると、種子が発芽する確率が高くなると考えられる。理由として、ダイサギソウの球根に付着していたラン菌が種子の発芽を促進させると考えられる。また、これまでは、クリーンベンチなど高額な機器を用いた無菌播種でないと増殖が難しかった。このように雑菌がある状態で雑菌に弱いランの種子を発芽させることは難しく、**発芽に成功した**ことはかなりすごいことといえる。インターネットで検索してもこのようにダイサギソウを増殖した例は検索できなかった。そして、発芽させることができる条件がある程度分かり、誰でも増殖できることがわかったことは、人工的に球根を増殖できるため盗掘被害も減り、自生地を保護することにつながるともいえる。

V ダイサギソウの保護・啓発活動

この研究のスタンスとして、「増殖したダイサギソウは、自生地には植え付けない」というのがある。増殖した個体を植えることにより、生態系が乱れるのが理由である。なお、増殖した個体は保護・啓発活動に使う。この3年の研究で自生地のダイサギソウを守るためには、ダイサギソウが種子より増殖しやすい環境を維持することが重要であることがわかった。容易に増殖はしないが、維持することは可能であることが自生地調査でわかった。

インターネット資料を調べていたところ、「四国カルストで花道楽」というサイトで、高知県の高校が、増殖させたダイサギソウを植物園や他の場所に植えていることに対して、「専門家は必ずしも肯定していない」と書かれていた。高地県では、ダイサギソウは絶滅危惧Ⅰ類に指定され、県の条例により採取すると50万円以下の罰金になることもあるという。だからといって、むやみに植えたりするのはどうか、「ボランティアによる適度な介入は好ましいがあくまでも野生の植物」ということである。この研究のスタンスに近い考えだったので、とても共感できた。

2011年度、この研究は、「琉球新報」「ウチナー紀聞」に取り上げられた。このような取材を受けることも、啓発活動につながり、盗掘・開発などを防ぐ抑止力にもなる。ダイサギソウを盗掘者や自生地の開発から守るためにも、保護・啓発活動を続けていきたい。

VI 考 察

2012年度（今年度）は297個体のダイサギソウを確認する事ができた。2011年度と比較すると、11個体減少している。大きな減少ではないため、個体数は維持できているといえる。多少の増減は、気象の影響や食害などにより発生すると考えられる。2010年度から引き続いての協力者の定期的な草刈りによって環境は維持できているといえる。2012年度の調査でも個体数が維持できていることが分かり、ダイサギソウの保護がしっかりできている。

2012年度（今年度）は新個体が50個体増え、自生地のダイサギソウの増殖にもつながっている。特にエリアDは新個体が25個体も発見できた。一方、未確認個体も多かった。これは、2011年、7月の降水量が極端に少ないことによる乾燥、カタツムリ等による食害、昨年8月に沖縄本島を襲った台風9号の2日間もの停滞などで2011年度は生育が悪く、それが2012年度（今年度）にも波及したものと考えられる。

ダイサギソウの生育は、草丈、葉数、葉幅ともに、2011 年度、台風 9 号の影響を大きく受けたエリア E、G では低くなり、あまり影響を受けなかったエリア B、C では高くなった。月によって降水量の差が激しかった 2011 年度に比べ、2012 年度は安定しているため、2011 年度よりはダイサギソウの生育は良かった。これから台風などの影響がなければ、2010 年度のような開花が見られると予測できる。開花調査が楽しみだったが、台風 17 号の沖縄直撃により、自生地は壊滅的被害を受けた。

沖縄の土壌による発芽の影響は、2011 年度は若干の差が見られたとしたが、2012 年度（今年度）はジャーガルとその他の土壌に非常に大きな差が見られた。ジャーガルの生育が悪くなった原因として、ゴロゴロして土が鉢から流れ出たので、球根を包み込むことができなかったのと、pH が強アルカリ性であったことが考えられる。一方、島尻マーヅやニービはとても生育が良かった。毎日の水やりをしているため、保水性の良い土壌より排水性のよい島尻マーヅやニービは生育が良かったものと考えられる。実験結果よりジャーガル以外であれば、ダイサギソウの生育には大きな問題はないようである。しかし、ダイサギソウの分布は、国頭マーヅ土壌であるので、なぜ国頭マーヅ土壌で分布するのか土壌の pH や自生地の植物との共生環境をもっと調査する必要がある。

より簡単にダイサギソウを増殖させる方法として行った播種実験では、種子が発芽していたのは、すべてダイサギソウ球根実験区であった。それも一緒に植えた球根がマウントケースに接していたものだけであった。このことから、ダイサギソウの球根が種子と接していると、種子が発芽する確率が高くなると考えられる。理由として、ダイサギソウの球根に付着していたラン菌が、種子の発芽を促進させると考えられる。これまでは、クリーンベンチなど高額な機器を用いた無菌播種でないと増殖させることは難しかった。このように雑菌がある状態で雑菌に弱いランの種子を発芽させることは難しく、成功したことはかなりすごいことといえる。雑菌がある状態でのダイサギソウの発芽は、今までに事例がなかった。そして、発芽させることができる条件がある程度分かり、誰でも増殖できることが分かったことは、人工的に球根を増殖できるため盗掘被害も減り、自生地、ダイサギソウを保護することにつながるといえる。

VI-II 考察その②（花芽・開花調査後の考察）

つぼみの個体は 66 個体あり、2011 年度より 4 個体増加した。開花個体は 2011 年度と同じく 9 月 22 日の花芽調査では確認できなかった。2011 年度は開花時期が 2010 年度より約 1 ヶ月遅くなっていたが、今年度も少し遅くなっている。原因として、2011 年度のずれが今年度にも波及していると考えられる。しかし、2011 年度よりは早く、9 月下旬には開花していたと予想される。

花芽調査（9 月 22 日）の約 1 週間前に、**台風 16 号**が沖縄に上陸したため、自生地も大きな影響を受けた。**台風 16 号**は「返しの風」が強く、エリアの位置関係上、エリア B、C が大きな被害を受け、エリア G はあまり被害を受けなかった。また、各エリアとも草丈が高い個体が台風の影響を受けやすく、つぼみが折れたり、飛ばされている個体も多かった。草丈が低い個体はつぼみが確認できた。後 1 週間では開花も確認できる状況である。

開花調査（10 月 7 日）では、エリア G の No. 451 を除き、全ての花芽が**台風 17 号**の影響により折れたり、飛ばされたり、枯れ上がったりした。特に、エリア E は雑草などが茂っていなかったため、台風の影響を大きく受け、個体の確認さえできなかった。また、**台風 17 号**も「返しの風」が強く、エリア B、C が大きな被害を受けていた。No. 451 は個体の前に高い土手があり、返しの風を避けられたと考えられる。

9 月 22 日の調査様子（台風 16 号の被害）



花芽が折れた個体



根元から折れた個体



花芽が残った No454, 455 個体

10月7日の調査様子（台風17号の被害）



No. 451 個体のみ花芽残る



花芽は枯れ上がる



No454 も枯れる（上の写真と比較）

10月7日の調査で、開花個体を確認する予定であったが、台風17号の前にダイサギソウは壊滅的状态となった。この3年間で何回か台風が来たが、これほどの被害ははじめてである。自然の脅威を感じた。今年度は、種子での自然増殖はほぼないと考えられる。しかし、ダイサギソウは地中に球根を残しているので次年度また復活することを期待する。

VII これからの課題（計画）

- ①No. 451 の個体の開花を確認する。
- ②土壌別の生育比較は、島尻マージ no. 1 の開花や、これからの変化の観察を続けていきたい。
- ③手軽にできる播種実験は、発芽してできた球根が順調に生長するか調査する。手軽にできる播種実験について新たに国頭マージとクーリンカ（石炭灰）区をつくり、分布土壌である国頭マージと発芽について関係がないか調査したい。
- ④手軽にできる増殖方法で増殖率を高める方法を工夫する。

※③、④の実験は平成25年1月6日に実施した。

VIII 参考資料

フリー百科事典ウィキペディア	http://ja.wikipedia.org/wiki
日本のレッドデータ	http://www.jpnrdb.com/
Yahoo! JAPAN オークション	http://auctions.yahoo.co.jp/
琉球新報 ryukyushimpo.jp	http://ryukyushimpo.jp/
生活雑日記帳	http://blogs.yahoo.co.jp/katsu_london/folder/581372.html
怠け者の散歩道	http://ele-middleman.at.webry.info/
クマガイ草と木地玩具	http://kumagaisou.blog.so-net.ne.jp/
風に誘われて	http://blog.goo.ne.jp/kyoko-u_july
気象庁ホームページ	http://www.jma.go.jp/jma/index.html
四国カルストで花道楽	http://blogs.yahoo.co.jp/hanadouraku2

講 評

自生地の開発や園芸目的の採取で絶滅の危機に瀕しているダイサギソウの保護をめざして、野外における生態と播種による人工増殖の方法を根気よく調べた作品です。特に播種実験については、種子を同種の球根に近接させた場合発芽するという結果を得ており、すばらしい発見だと考えられます。考察においては、人工増殖したダイサギソウを野外に植えることの是非についても触れていて、研究に取り組む中で保護のあり方に関する見識が進展している様子が伺われます。今後も、播種による人工増殖の方法確立や野外個体群の保護をめざして研究を前進させて行って欲しいと思います。

自生地調査は、野生個体群の動態（個体数の変動や生長など）を明らかにすることが目的と思われます。動態のパターンを検出し、気象条件等との関係を明らかにするためには、長い年数のデータを蓄積することが必要になりますので今後も研究を頑張って継続してください。なお、自然条件下で生物の生態を調査する際は、調査者による個体への影響をなるべく排除することが基本です。その意味で、自生地調査における個体周辺の除草は再考を要します。除草した方が、その個体の生育は良くなるかもしれませんが、その場合は人為影響下での個体群動態を調べることとなり、自生地調査の目的が不明確になると思います。

播種実験では、ダイサギソウ球根に共生する菌類が種子の発芽を促すという仮説を得ました。この仮説を検証することも、面白いテーマになると思いますので自由な発想で果敢に挑戦して欲しいと思います。



液状化現象が起こりやすいところはどんなところなのか ～ P a r t 2 ～

国立大学法人琉球大学教育学部附属中学校
2年 金城 仁菜

【動機】

昨年、“液状化現象が起こりやすいところはどこなのか？また、どのような状況の時にその現象が起こりやすくなるのか？”ということについて実験を行ったところ以下の条件がそろった時に液状化現象が起こりやすいということがわかった。

（液状化現象が起こりやすい条件）

- ・粒子が大きい
- ・水の量が多い
- ・揺らす時間が長い
- ・建物は重い
- ・建物の底面積が狭い

しかしながら、昨年の実験結果では、実験機材の不足等の理由により地震と想定した震動に強弱をつける実験や埋め立て地を想定して地面の中に色々な層（砂利、砂、土など）を作って震動を与える実験などが出来なかった。

そこで今回の実験では、「振動の強弱が液状化現象の発生にどのような影響があるのか？」また「地層の状態が液状化現象の発生にどのように影響をするのか？」ということについて調べてみたいと思った。

【目的】

どのような状況の時に最も液状化現象が発生しやすいのかを調べる。

実験①～震動の強弱と液状化現象との関係性～

震動の強弱が液状化現象の発生状況にどのように影響するのかを調べる

実験②～容器の大きさと液状化現象との関係性～

容器大きさ（底面積や深さ）の違いがどのように液状化現象の発生に影響するのかを調べる

実験③～地中に層を作る～

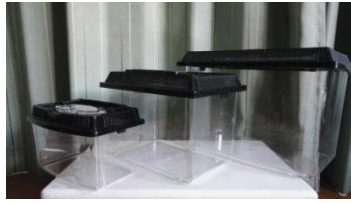
仮想の地層を作りその層の違いが液状化現象の発生にどのような影響するのかを調べる

実験④～液状化現象が発生した後の地質～

液状化現象が発生した後の地面の状況は時間経過に伴いどのように変化するのかを調べる

【準備するもの】

- ・プラスチック容器
- ・ガラス瓶
- ・粒子の大きさが違う土(粒子大、粒子小の二種類)と砂利
- ・計量カップ
- ・震動を起こす機械
- ・計り
- ・水
- ・カメラ



・プラスチック容器



・計量カップ



・土



・joietto
震動を起こす機械



・はかり



・はかり

【実験①】震動の強弱と液状化現象との関係性

実験方法

- ① 粒子の大きさが違う 2 つの土を 5 k g ずつ容器に入れる
- ② ①の容器それぞれに 6 0 0 c c の水を加える
- ③ それぞれの容器に入った粒子の違う土の上に 6 0 g の粘土が入ったガラス瓶を建物として置く
- ④ それぞれの容器に一回目は強い震動、二回目は弱い震動を与えるとそれぞれの容器の地質にどのような変化が起こるのか、また土の上に置いた 6 0 g の瓶にどのような変化があるのか調べる

予想

予想においては、粒子の大きさの違いは瓶の沈み方に大きく影響すると思う。液状化現象は前回の実験結果からもわかるように粒子の大きい地質の方がより発生しやすくなり、瓶の沈み方も深くなると考えられる。一方震動の強弱の違いについても、粒子の大きさの違いと同様に液状化現象の発生に大きな影響があると予想出来る。また、瓶の状態も震動の強弱に関係して状況が異なると思う。

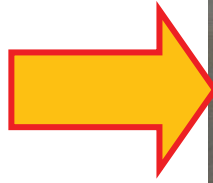
《実験①の結果》

弱い震動を与えた場合

☆粒子大



▲震動を与える前



30 秒後…



▲震動を与えた後

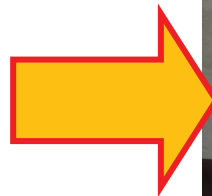
1 回目	2 回目	3 回目	平均
0.3 cm	0.6 cm	0.6 cm	約 0.5 cm

約 0.5 cm 沈んだ

☆粒子小



▲震動を与える前



30 秒後…



▲震動を与えた後

1 回目	2 回目	3 回目	平均
1.6 cm	1.7 cm	1.2 cm	約 1.5 cm

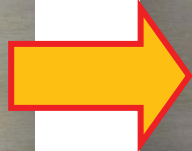
約 1.5 cm 沈んだ

強い震動を与えた場合

☆粒子大



▲震動を与える前



30 秒後…

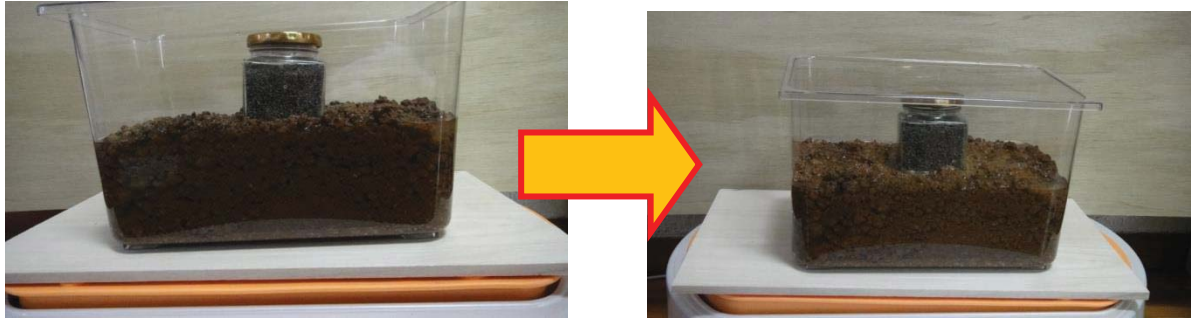


▲震動を与えた後

1 回目	2 回目	3 回目	平均
8.6 cm	9 cm	9.4 cm	約 9 cm

約 9 cm 沈んだ

☆粒子小



▲震動を与える前

30 秒後…

▲震動を与えた後

1 回目	2 回目	3 回目	平均
1.2 cm	3 cm	1.8 cm	約 2 c m

約 2 c m 沈んだ

実験をしてわかったこと

実験 1 の結果としては、震動が弱い場合粒子が大きい地質より粒子の小さい地質の方が、液状化現象がより強く発生した。また、建物として置いた瓶も粒子の小さい方が粒子の大きい地質よりも沈み方が深かった。一方、震動が強い場合は震動が弱い時とは逆で粒子が大きい地質の方がより液状化現象が発生した。地表の上に置いた瓶の沈み方も粒子の大きい地質の方が深く沈んだ。

予想と実験結果の違い

実験 1 の結果は実験前に予想した内容と異なるものであった。その内容は震動が弱い時の結果で、予想では粒子が大きい地質の方がより液状化現象が発生しやすい状況にあり、瓶の方も深く沈むと考えていたが、実験結果は逆の状況であった。

そこでこの結果を検証してみたところ以下のことがわかった。

粒子が大きい地質は少し砂を含んでいるものであった。そこに水分が加わり、震動が発生したことで地質全体に水分が行き渡り粒子の隙間が詰まった（固まった）状態になったと考えられる。そのことにより液状化現象が発生しにくくなり、結果瓶が沈まなかったと考えられる。

考察

普通、粒子が小さい粘土のような土の場合、地中の水の量によっても違うが地中の水が地表に出てくるような液状化現象は起こりにくいと考えられる。一方で粒子が大きい土の場合は、震動により地中の水が粒子の隙間を伝って地表に出て来る液状化現象が起こりやすいと考えられる。また、今回の実験①で震動が弱く、震動の時間が短い場合、水を含んだ土の上に一定の重さが加わった時に容器の土が固まるような状態になることがあるとわかった。これは海水浴に行った際に砂浜の砂に水を加えその上から重さを与えるとその砂がギュッと固まる現象と同じだと考えられる。

【実験②】容器の大きさと液状化現象との関係性

実験方法

- ① 粒子の大きさが異なる 2 つの土を 5 k g ずつ、大きさの違う（大・中・小）容器に入れる
- ② ①の容器にそれぞれ 6 0 0 c c の水を加える
- ③ それぞれの容器に入った粒子の違う土の上に 6 0 g の粘土が入ったガラスの瓶を建物として置く
- ④ それぞれの容器を強で 3 0 秒間震動させた後、大きさの違う容器の地質にどのような変化が起こるのか、また土の上に置いた 6 0 g の瓶にどのような変化があるのか調べる

予想

土の量、水の量、震動の時間ならびに強さも同じであれば、入れる容器の大きさが違ってもその液化現象の発生の仕方には影響しないと思う

《実験②結果》
容器（大）



地質	粒子大
沈んだ深さ	約 0.5 cm
状態	液状化現象が速く起き、水は全体的にたくさん出てきた。



地質	粒子小
沈んだ深さ	まったく沈みなし
状態	地表は湿っただけで、水はほんの少し出てきた。

容器（中）



地質	粒子大
沈んだ深さ	ほぼ沈みなし
状態	表面に泡みたいなのが出てきていて、少し湿っていた。



地質	粒子小
沈んだ深さ	約 0.5 cm
状態	水は出ていなく、表面は少しだけ湿っていた。

容器（小）



地質	粒子大
沈んだ深さ	約 5 cm
状態	最初は変化がなかったが 20 秒を超えたぐらいから急激に水が出てきた。同時に瓶は沈んだ。



地質	粒子小
沈んだ深さ	約 0.7 cm
状態	土の表面は湿る程度であったが、粒子の細かいものの中では一番瓶が沈んだ

実験をしてわかったこと

大・中・小それぞれの容器に同じ 5 k g の土と同じ 6 0 0 c c の水を入れた場合、一番底面積が広い大きい容器は入れた土が広く広がるために土の深さが一番浅くなることがわかった。同時にその状態の容器に強い一定の震動を加えると容器の一番下に溜まった水が地中からすぐに粒子の間に入り土の表面に液状化現象として現れることもわかった。

同様に一番小さい容器の場合は、土の深さは一番深い容器の側面の距離が一番短いことがわかった。この状態に強い震動を加えると地中の水が容器の側面にあたることで水が浸透する早さが増し、地表に水が出てくる液状化現象の発生も早いことがわかった。

予想と実験結果の違い

容器の大きさが違うことで液状化現象の発生には関係ないと思っていたが、実験を行った結果、底面積の違い、側面と側面の間の距離の違いが大きく関係していることがわかった。

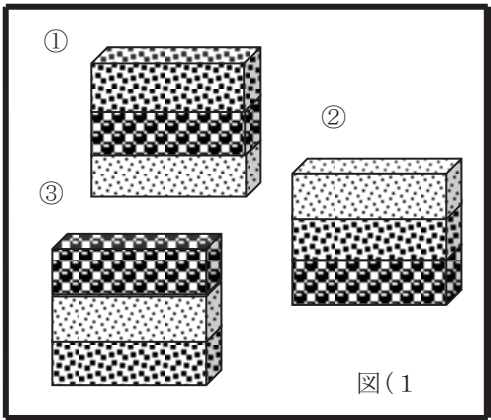
考察

実験の結果からわかるように地中にある水と地表の距離が短いほど液状化現象が起こりやすいことがわかった。これは海を埋め立てた深さが浅い場所に地震が発生したときと同じ状況だと言える。また、地中にある側面と側面の距離が短い場合は地中にある水が震動によって側面にぶつかり上昇する速さが増す事がわかった。この現象はコップに入った水を揺らした時、水がコップの側面にあたり波がだんだん大きくなることと同じ状況だと考えられる。

【実験③】地中に層を作る

実験方法

- ① 粒子の大きさが違う(砂利・土・砂)を準備する
- ② その3種類を右の図のように層にする
(6 kg・600 cc)
- ③ どのパターンだと液状化が起きるのか、
また起こりやすいのかを調べる



図(1)

結果予想

まず、砂利は粒子が一番粗く水を通しやすいがその後の変化(沈む、固まるなど)が少ないと思う。次に土はこれまでの実験からもわかるように粒子が一番細かいが一度水を含むと粘土のように変化し、やわらかくなることがわかっている。最後に砂は粒子が粗いが一度水分を含むと粒子の間に詰まり、固まることがあるというのもわかった。このことから一番液状化現象が起こりやすい状況は、粒子が一番粗い砂利の上に砂、そして一番地表に土が場合だと思う。逆に一番液状化現象が起こりにくい状況は、粒子が粗い砂が一番下にあり、その上に一番粒子が細かい土、一番上の地表に粒子が一番粗い砂利という場合だと思う。

《実験③結果》



地中	砂→砂利→土 (上→中→下)
沈んだ深さ	ほぼ沈みなし
状態	揺らす前と全く変化なし



地中	土→砂→砂利 (上→中→下)
沈んだ深さ	約 2 cm
状態	砂のところまで水がきていた。 土が湿り沈んだ。



地中	砂利→土→砂 (上→中→下)
沈んだ深さ	倒れた
状態	土までは湿っていた。 砂利が一番上にあると、安定感がなく倒れる。

実験をしてわかったこと

今回の実験で一番下が粒子の細かい土、次の層が砂利そして地表に砂という層の場合は液状化現象が起こりにくいということがわかった。

逆に一番下に砂利、次に砂、地表が土という層の時は、液状化現象が起こりやすいこともわかった。

また、液状化現象は発生しなかったが、一番上が砂利の場合はその重さによって全体の地層が沈みながら大きく地層が揺れ建物が倒れた。

予想と実験結果の違い

液状化現象が起こりやすい状況については、予想と実験結果が一緒であったが、液状化現象が起こりにくい状況については、一番下に砂、次に土そして一番上に砂利の層という予想に対して実験の方は一番下に土、次に砂利そして一番上に砂という結果になった。

考察

砂の地質は、震動により粒子の隙間に水分を吸収しやすいが震動が無くなると

逆に吸収した水分を放出することでもわかった。一方、土は震動を加えても粒子が細かい分水分を吸収するのに少し時間がかかるが、一旦吸収するとその水分はなかなか放出することなく粘土のような状態になることがわかった。今回、液状化現象が起こりやすかった状況とは、震動を加えることで二番目の層にあった砂が一番下の砂利に入り込んで行き地層全体に沈下現象が起こる、そこに同じ震動によって水分が上昇して行き一番上の土に吸収されるときである。

逆に液状化現象が起こりにくかった状況は、一番下の土がある程度水を吸収し粘土質に変化するが、その上の砂利が粘土質になった土に極端に入り込んで行くことは無く、地盤沈下のような現象は起こらなかった。二番目の砂利の層は水分を吸収することは無いので震動で上昇した水は一旦一番上の砂の層まで届き吸収されるがすぐに水分が放出され、砂利の層を通過して一番下にある土の層まで戻ったようである。一番上の砂は固まった状態になり水分は無かった。

【実験④】液状化現象が発生した後の地質

実験方法

- ① 粒子の大きさが違う2つの土を5kgずつ容器に入れる
- ② ①の容器それぞれに600ccの水を加える
- ③ それぞれの容器に入った粒子の違う土の上に60gの粘土が入ったガラス瓶を仮想建物として置く
- ④ それぞれの容器を強で30秒間震動させて止める。その後震動させない状態で5分後・1時間後・12時間後・24時間後の経過を観察する

※経過を観察する内容は、水の様子・土の状態・表面の様子・地中の様子。

結果予想

30秒間震動を与えたことで液状化現象が発生すると考えられる。その後粒子の小さい地質の方は、震動により地中に水分が浸透し粘土のような状態になり、瓶も時間の経過と共に徐々に沈むと思う。また、粒子の大きい地質の方については、地質の中に少し砂が含まれていることから一旦水を吸収するがすぐに水が下の方に沈み地表の部分が固まるのではないかと思う。その時土の上に置いた瓶もある程度沈むが土が固まる段階で沈まなくなると思う。

《実験④観察結果》

～5 分後～



地中	粒子大
沈んだ深さ	9 cm
状態	水→濁っていて、上に溜まっている 土→柔らかい。



地中	粒子小
沈んだ深さ	約 2 cm
状態	水→所々に溜まり、濁っている 土→緩くなっている。

～1 時間後～



地中	粒子大
沈んだ深さ	約 9 cm
状態	水→だんだん透明になっていて、 まだ溜まっている。 土→かたくなっている、下にさがっている。



地中	粒子小
沈んだ深さ	約 2 cm
状態	水→所々の水も透明になっている。 土→まだ濡れていてやわらかい

～12 時間後～



地中	粒子大
沈んだ深さ	約 9 cm
状態	水→透明になっていた。 土→建物が抜けない程硬い



地中	粒子小
沈んだ深さ	約 2 cm
状態	水→だいぶ透明になっている。 土→徐々に硬くなってきている。

～24 時間後～



地中	粒子大
沈んだ深さ	約 9 cm
状態	水→上に溜まり、すごく透明 土→硬く、下にまた下がっていた。



地中	粒子小
沈んだ深さ	約 2 cm
状態	水→無くなっている 土→少しベタついた感じだが、硬い。

実験をしてわかったこと

今回の実験でわかったことは粒子が大きい地質の場合出てきた水は何時間放置していてもまた地中に戻ることはなかった。一方で粒子の細かい地質の場合は震動によって出てきた水の量が少なかった分地中の中で吸収され粘土のような状態になった。更に時間が経過すると水分は下の方に行き地表の土は硬くなった。

予想と実験結果の違い

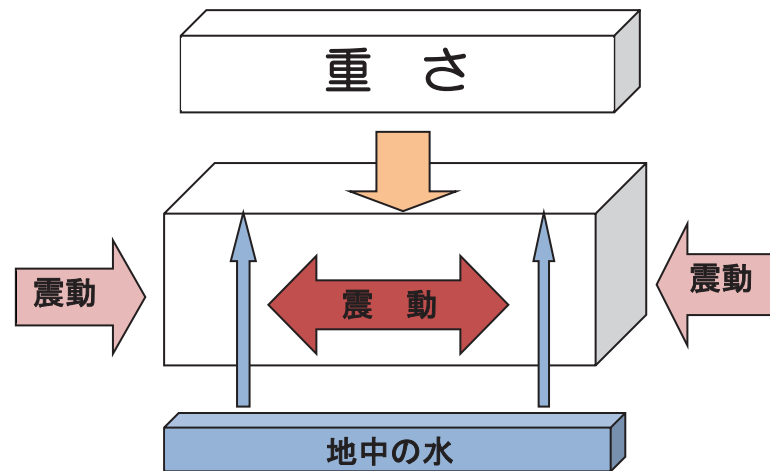
予想では粒子が細かい地質の場合時間の経過と共に粘土質になって瓶も沈み続けると思ったが実際実験してみると粘土質になったが瓶が沈み続けることは無く時間が経過するにつれて地表がかたくなった。また粒子が大きい地質は一旦吸収した水がすぐに下に沈むと思っていたが実験を行ったところ水は長時間放置していても地表に溜まり続けた。

考察

粒子の細かい地質の場合は一旦地表に上昇した水が時間の経過と共に地中に戻り地表が乾いた状態になることが明確になった。粒子の大きい地質の場合は逆に一度水分を含むとそのまま沈下し、水の方が地表に溜まるという状態になった。水の量や震動の大きさにも関係するが粒子の大きい地質の場合は、粒子の隙間を水が通りやすい為に液状化現象がおこりやすく、発生した現象も続くことがわかった。

【実験全体の考察】

今回の実験でわかったことは、地表と地下にある水との距離が短く、震動により地中の水が揺れて壁のようなものに当たるその距離が短く、地表からある程度の重さが加わった場合に液状化現象が一番起こりやすいということである。



【まとめ】

今回の実験では、「震動に強弱をつける」という実験を行うことができた。

そのおかげで前回の実験では解決が出来なかった課題を解決することができ以前より液状化現象についての理解が深まった。

- ①液状化現象の発生は震動の強弱や震動の時間に関係する
- ②液状化現象の発生はその場所の広さや地中の深さに関係する
- ③液状化現象の発生はその場所の地層に関係する
- ④液状化現象の発生は地中にある水の量に関係する

※将来自分の家を建てることがあれば、埋め立て地は避けたいと思います。

【課題】

これまでの実験では、粒子が細かい土と粒子が大きい土を使って実験をした。

次回実験を行う機会があれば容器の中に完全な埋め立て地の構造を作りそこに地震が発生したという状況で実験を行いたい。

講 評

昨年から引き続き行った、地震に伴う液状化についての研究です。今回の研究では、4通りの実験中3つの実験から、液状化の起こりやすい条件をまとめています。特に粒径の違う2つの土壌を使用することで、条件の絞り込みが簡潔にまとめられています。また、最後の実験では粒径の違いによって、液状化が起こった後の水の動きにも注目しています。災害発生後の対策に役立つ可能性があります。

今回の研究で注目されるのは、実験3で行った内容です。粒径の異なる3タイプ（土、砂、砂利）の層構造の状態で、液状化が起こりやすい組み合わせと、起こりにくい組み合わせがあることです。この結果について興味のある点は、粒径の異なる物質を使用して埋め立てることで「液状化を未然に防げる、もしくは最小限に被害を抑えることができる埋立地が作れる」という可能性が考えられるからです。この様な視点で考えてもすばらしい研究だといえます。沖積層で形成された堆積構造と、人工的に埋め立てた堆積構造を比較してみるのも面白いでしょう。今後さらなる実験を繰り返すことで、新たな見解が見いだせると思います。これからもがんばって下さい。



におい成分の解析

昭和薬科大学附属高等学校
2年 濱崎 祐 長嶺 英朗
1年 赤嶺 周 大田 花音 伊集 実成

[全体の目的]

昨年の研究で、私達はゲットウの独特のにおいに興味を持ち、ゲットウのにおい成分を水蒸気蒸留によって取り出し、時間が経つにつれて、においがバラのにおいからレモンのにおいに変化していることが確認された。そこで、留出液をTLCで展開し発色させ、スポットを確認した。そのTLCスポットの色やRf値から、ゲットウにはバラのにおい成分であるゲラニオールが含まれると考えられた。さらに、においの変化をもとに成分をTLCで分析した結果、ゲットウのにおいの変化はにおい成分の違いであると考察できた。

本研究では、「においの変化はにおい成分の違いである」という昨年の結論をもとに、より正確ににおい成分の検証を行うことを目的とした。そこで、TLCの情報を数値化することができる画像処理ソフト *Image J* を用いてTLCの情報を数値化してグラフにした。そのグラフの縦軸(色の濃さ)、横軸(スポットの面積)の値に着目し、においやTLCと比較して成分を同定した。また、においの変化の追跡、ゲラニオールやシトラールを含む他の天然物の成分同定などの研究手法の応用を行った。

私達は以下の指針を立て、研究に着手した。

研究1 ゲットウの成分同定

昨年度の実験では、TLC とにおいの変化のみでゲットウの成分同定を行ったが、今年度は TLC スポットの位置や色の濃さを数値化したグラフもあわせて、成分同定を行う。

研究2 においの追跡

研究1のゲットウの実験で、においの違いは成分の違いであることが分かった。そこで、ゲラニオールの酸化実験とゲラニオールとシトラールの成分比を変える実験を行い、においに変化が表れているスポットで、グラフがどのように変化しているか追跡し、成分を比較する。

研究3 レモングラスの成分同定

研究1・2の結果をもとに、レモングラスを用いて、ゲラニオールやシトラールが含まれる他の天然物でも成分同定されるのか調べる。

[実験方法]

1. 水蒸気蒸留

試料を水蒸気蒸留し、一定時間ごとに留出液を取り出した。

〈蒸留方法〉

－準備－

底にキリで穴を開けた空き缶・乾燥した試料・半分に切った空き缶（底側）・ガスバーナー・スタンド・三脚・蒸留水・500 mL ビーカー・酢酸エチル・市販のグラニオール・市販のシトラール・TLC アルミナシート・展開槽・展開溶液（ヘキサンと酢酸エチルを 4:1 で混合した溶液）スクリュー管・毛細管・アニスアルデヒド・パスツール・試験管・駒込ピペット(5 mL)

－方法－

A. 簡易蒸留装置の作製

図 3 のように底に穴を開けた空き缶に乾燥した試料 50 g を細かく切って入れ、半分に切った空き缶に蒸留水 100 mL を入れた。

2 つの空き缶を合わせてテープで密閉し、空き缶の口に誘導管付きゴム栓をはめ込み、誘導管につないだゴム管の先を氷水で冷やされた試験管に入れ、図 5 のような簡易蒸留装置とした。



図 3: 底に穴を開けた空き缶



図 4: 底に穴を開けた空き缶と
半分に切った空き缶



図 5: 簡易蒸留装置

B. ゲットウ・レモンガラスの蒸留

(1) A. で作製した簡易蒸留装置をスタンドで固定して、強火で加熱した。

(2) ゲットウは初留が始まってから 5 分ごと、レモンガラスは 3 分ごとに留出液を試験管に採った。

(3) (2) で得られた 5 分毎の留出液を下図のように TLC シートにグラニオール及びシトラールと共に打ち、展開溶液（ヘキサン：酢酸エチル＝4:1）で展開し、発色試薬（アニスアルデヒド）に浸して加熱した。その後発色したスポットの位置と色を調べた。

2. 蒸留液打ち

全ての時間の留出液を取り出した後、蒸留液を時間ごとに TLC アルミナシートに打った。(図 6)



図 6: 蒸留液を打っている様子

3. TLC シートの展開

展開溶液で TLC アルミナシートを展開させ、アニスアルデヒドに浸し、加熱してスポットを確認した。

(図 7・図 8・図 9)

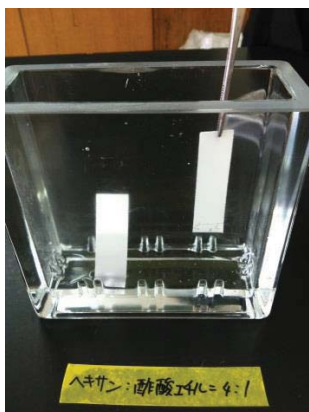


図 7: 展開している様子

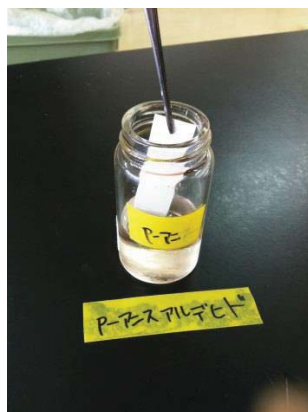


図 8: アニスアルデヒド

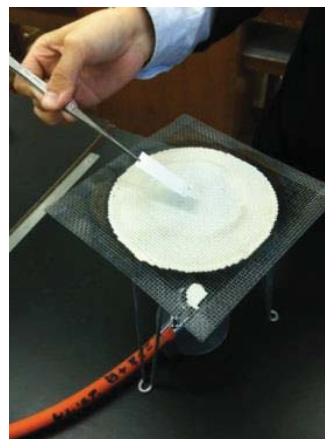


図 9: TLC シートを加熱する様子

4. Image J によるグラフ化

加熱した TLC シートを写真に撮り、画像解析ソフト *Image J* でスポットをグラフにした。(図 10・図 11)

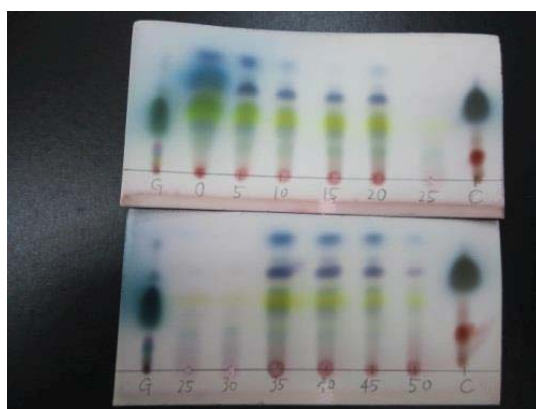


図 10: 加熱後の TLC シートの例

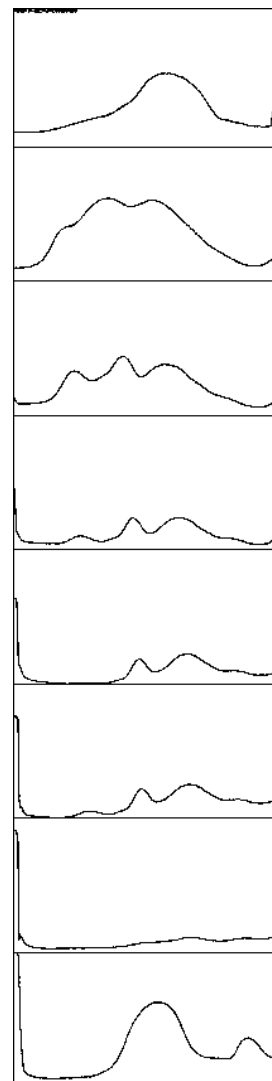


図 11: 図 10 のグラフ

研究1 ゲットウの成分同定

[目的]

昨年度の実験で、ゲットウのにおいの変化は成分の変化であることが分かった。その研究を受け、蒸留実験で得られた TLC シートのスポットを定量化し、画像処理ソフト *Image J* を用いて解析し、成分同定を行う。

[方法]

ゲットウの葉を水蒸気蒸留し、得られた留出液をTLCで展開して、そのTLCシートを *Image J* で解析した。

[結果]

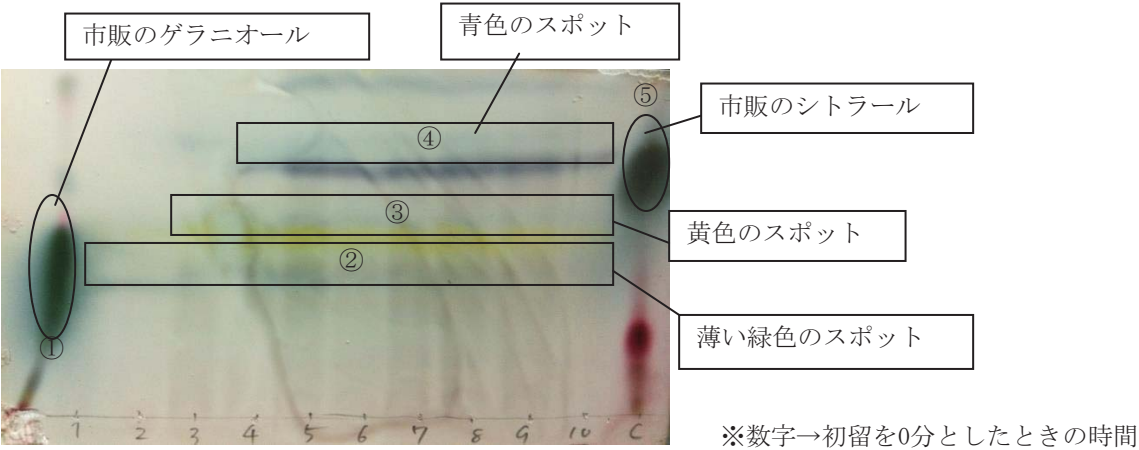


図 11：今年の TLC シート

図 11 は、蒸留開始から 30 分後までの留出液を時間ごとに打って並べたものである。

- 3～6 分 : 薄い緑色のスポット(②)が確認された。
- 9 分 : 薄い緑色のスポット(②)に加え、黄色のスポット(③)が確認された。
- 12 分～30 分 : 既出の薄い緑色(②)、黄色(③)のスポットに加え、青色のスポット(④)が確認された。

薄い緑色のスポット(②)は市販のゲラニオール(①)と Rf 値が一致しており、スポットの色も近いので、ゲラニオールだと確認できた。しかし、青色のスポット(④)は市販のシトラール(⑤)と Rf 値は同じだが、色が異なっているので、TLC からはシトラールだと確認できなかった。

表 1：においの変化

時間(分)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
におい	←		草のにおい	→							
					←		バラのにおい	→			
									←		レモンのにおい

蒸留開始～9 分	12 分～15 分	18 分～21 分	24 分～30 分
草のにおいがした	草のにおいと バラのにおい	バラのにおい	バラと 弱いレモンのにおい

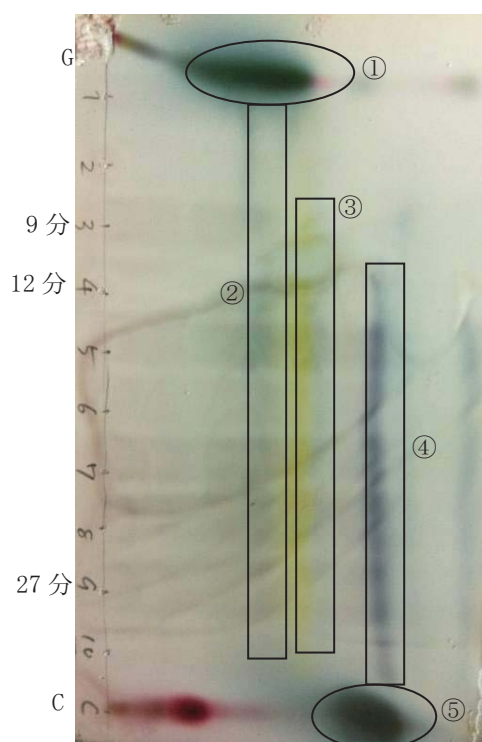


図 11

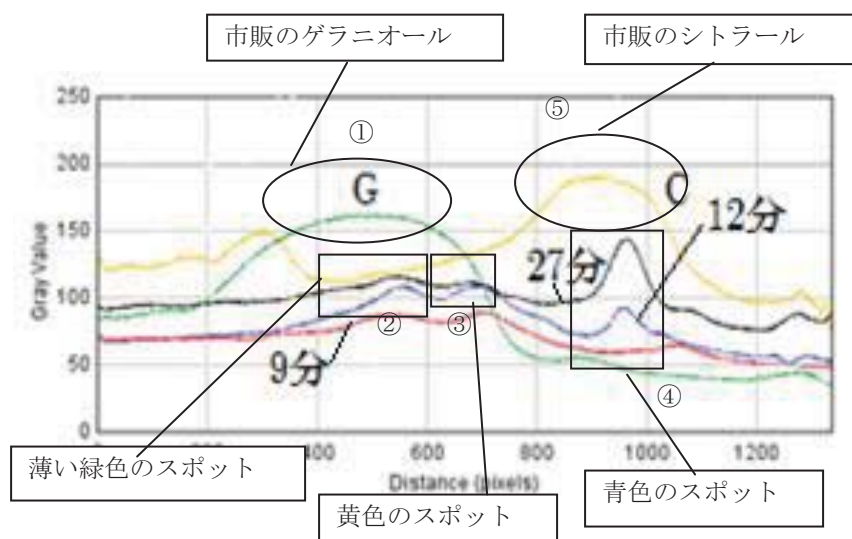


図 12: 図 11 のグラフ

TLC より、②はゲラニオールであると確認できたが、グラフでは、①と②のピークがずれているため、確認できなかった。しかし、④と⑤のピークは同じ範囲内にあるので、④はシトラールだと確認できた。

[考察]

図 11 より、スポットの範囲(横軸)と色の濃さ(縦軸)からゲットウにはゲラニオールとシトラールが含まれていると考えられる。また、12 分のグラフの②のピークは 9 分より高く、27 分のグラフの④のピークも 12 分より高いことは、においの変化(表 1)と一致している。これより、においの変化はグラフで追うことができると確認できた。しかし、図 11 での Rf 値は一致しているが、図 12 でグラフのピーク位置は大きくずれており、成分をはっきりと特定することはできなかった。そこで、私たちはグラフの形が異なるのは試薬の濃度の違いではないかと考えた。

追加実験 スポットの検証

[目的]

研究 1 で作成したグラフのスポットのピークの位置は一致したが、高さは一致しなかったため、成分の同定には不十分だった。その結果から、グラフの外形に影響を及ぼす要因があるのか疑問に思い、TLC シートのスポットの範囲や色の濃さに着目し、①TLC シートの発色具合の違い、②TLC シートに試薬を打つ量の違いという 2 つの追加実験を行う。そのために検証する要因(①、②)以外の、1 回に打つ試薬の量や展開する高さ、といった条件はすべて統一する。

1. TLC シートの発色具合の違い

[方法]

- (1) 市販のゲラニオールとシトラールを用い、1 枚の TLC シートに Rf 値、試料のスポットの大きさが同じになる様、濃度、回数を統一して打った。
- (2) その TLC シートを展開し、発色剤をつけ、十分乾いたのちにはさみで 3 枚に分け、発色具合を変えて解析した。
- (3) スポットを打った TLC シートに紫外線ランプをあて、スポットの位置を確認し、解析した。
- (4) 解析データをグラフにした。

[結果]

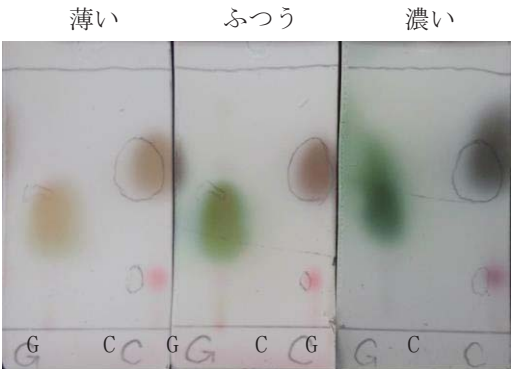


図 13：発色具合を変えた TLC
(右にいくにつれて発色具合が強い)

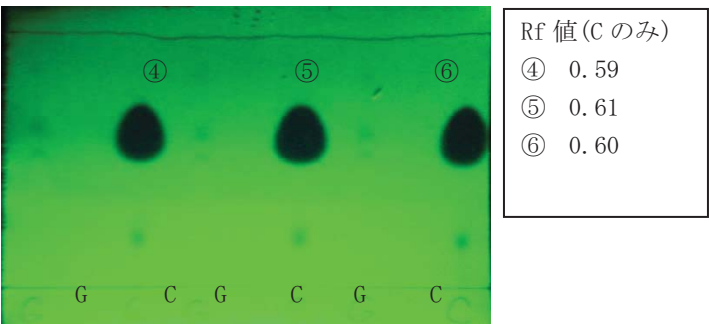


図 14:図 13 の UV

発色	Rf 値		スポットの色	
	G	C	G	C
薄い	0.42	0.62	黄色	薄い茶色
ふつう	0.40	0.62	緑	茶色
濃い	0.47	0.66	濃い緑	黒

表 2：図 13 の Rf 値とスポットの色

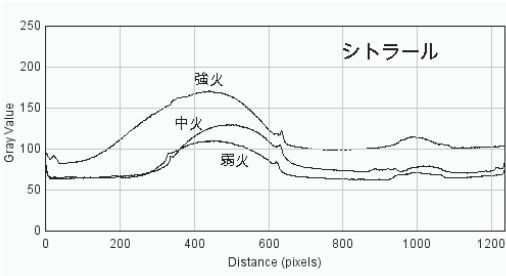


図 15：発色の強さが違う
シトラールのスペクトルのグラフ

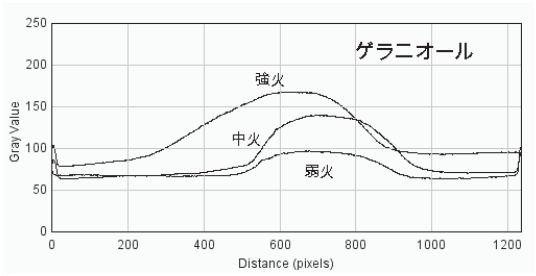


図 16：発色の強さが違う
ゲラニオールのスペクトルのグラフ

図 13 より、発色具合を強めると、スポットの色が両試薬とも濃く出ているのが確認できる。
そして、図 15・16 においても、濃く発色することでグラフの縦軸(色の濃さ)の数値が高くなり、横軸(色の識別範囲)が広がっていた。
このことから、発色の強さによって解析結果が変わってくることが確認できた。

2. 試薬の濃度

[方法]

- (1) 市販のシトラールを用い、それぞれの TLC シートに、1 回に打つ量を一定にして回数を 1～5 回で変えて打った。
- (2) TLC シートを展開し、発色剤をつけ、全体の発色具合が一定になるように発色させた。
- (3) スポットを打った TLC シートに紫外線ランプをあて、スポットの位置を確認し、解析した。
- (4) 解析データをグラフにした。

[結果]

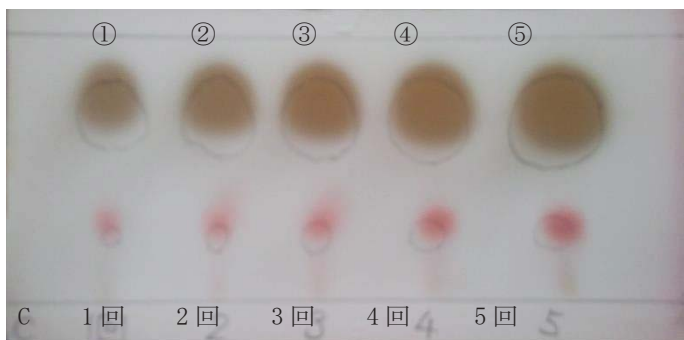


図 17. 打つ回数の違うシトラールの TLC 写真

Rf 値

① 0.75 ② 0.74 ③ 0.72 ④ 0.71 ⑤ 0.69

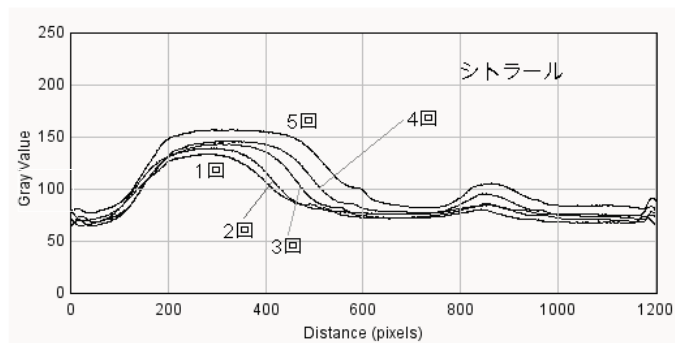


図 18. シトラールのスペクトルのグラフ

図 17 より、打つ回数を増やしていくと、TLC スポットの面積は大きくなり、色は濃くなっていき、Rf 値は下がっていた。

同様に図 18 においても、グラフの縦軸(色の濃さ)の数値は高くなり、横軸(色の識別範囲)も広がっていることが確認できた。

よって、打つ濃度が異なるとグラフが変化することが確認できた。

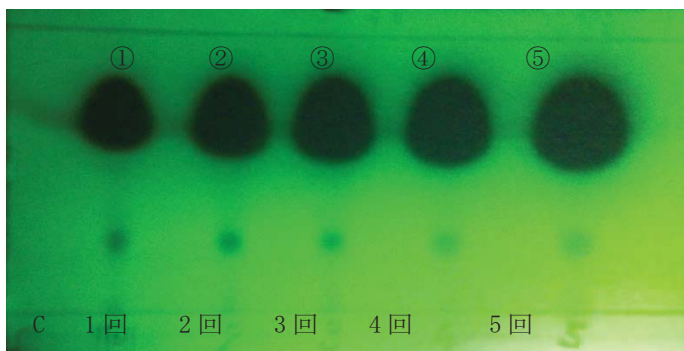


図 19. 打つ回数の違うシトラールの TLC の UV

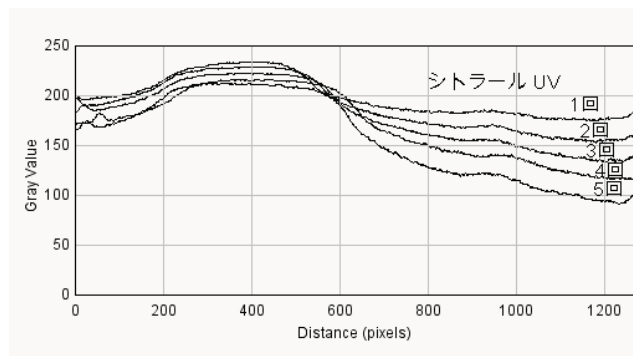


図 20. シトラールの UV のスペクトルのグラフ

Rf 値

① 0.68 ② 0.68 ③ 0.68 ④ 0.68 ⑤ 0.67

図 19 でも、打つ回数を増やすとスポットが大きくなっているのが確認できる。

しかし、図 20 では打つ量を増やすとグラフの横軸(識別範囲)が広がっているのが確認できるが、縦軸(色の濃さ)は下がってきている。

〔追加実験の考察〕

図 15・16・18・20 より、発色の強さ、試薬の濃度によってグラフの形は異なってくると考察できる。発色を濃く、または試薬の濃度を上げると、スポットが大きく、濃く表れて、グラフの縦軸の数値は高くなり、横軸の範囲は広がる。

また、打つ回数を増やすと図 17 の Rf 値が下がっていったのは、スポットの面積が大きくなり中心の位置が変化しているから、図 20 の縦軸の値が低くなっていったのは、図 19 の TLC を見ると、右下の方が左上と比べて明るくなっていたからだと考えられる。

〔研究 1 のまとめ〕

追加実験より、図 12 のグラフのピークがずれているのは市販のゲラニオール、シトラールと留出液の濃度が異なっていたからである。よって、図 11 で②のスポットはゲラニオール、④のスポットはシトラールだと考えられる。試薬と留出液の濃度を工夫するのは、今後の課題である。しかし、ゲットウの成分を文献で確認したところ、ゲットウにシトラールは含まれていないことがわかった。そこで私たちは、実験で得られたシトラールはゲラニオールが酸化されて生成したものではないかと考えた。

研究 2 におい成分の追跡

ゲラニオールの酸化実験

〔目的〕

研究 1 ゲットウの成分同定において、TLC と *Image J* 解析の結果から、においの違いは成分の違いであることがわかった。そこでにおいに変化が起きているスポットで、成分がどのように変化しているかを検証する。また、実験からゲラニオールとシトラールが検出されたが、ゲットウの成分中にはシトラールが含まれないことが文献*1 よりわかった。そこで、検出されたシトラールはゲットウ中のゲラニオールが酸化されて生成したものではないかと考え、酸化の様子を市販のゲラニオールとシトラールを用いて観察し、ゲラニオールが化学変化してシトラールになったのかを検証する。

〔準備〕

〈器具〉毛細管、TLC アルミナシート、スクリー管、ストップウォッチ、パスツール管、ピンセット、展開槽、脱脂綿、ガスバーナー、三脚、マッチ

〈試薬〉ゲラニオール、シトラール、ヘキサン、酢酸エチル、アニスアルデヒド、酸化マンガン(IV)

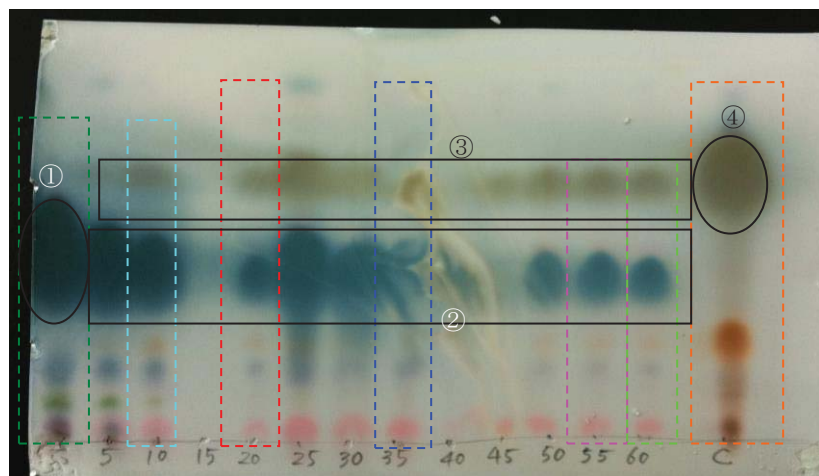
〔方法〕

- (1) スクリー管に酸化マンガン(IV) 1.0g、ヘキサン 10 mL、ゲラニオール 0.10 mL 加えた。
- (2) スクリー管を攪拌し、5 分毎にパスツール管で試料を少量取り、脱脂綿をつめた別の試験管で濾過した。
- (3) においを確認した後、TLC で展開した。
- (4) TLC に紫外線ランプをあて、スポットの位置を確認した。
- (5) TLC を発色剤につけ、発色させた。
- (6) (4)(5)の TLC を *Image J* で解析した。

〔結果〕

TLC

下図はゲラニオール酸化実験後の TLC である。



G 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 C (分)

図 21: ゲラニオールの酸化実験の TLC

青色のスポット (②) は、反応時間を進めると大きさが小さくなっている。

茶色のスポット (③) は、反応時間を進めても、スポットの大きさに変化はなかった。

青色のスポットは、ゲラニオールのスポット (①) と Rf 値と色が近かったことから、青色のスポットはゲラニオールであると同定された。

茶色のスポットは、シトラールのスポット (④) と Rf 値と色が近かったことから、茶色のスポットはシトラールであると同定された。

下図はゲットウの蒸留実験後の TLC である。

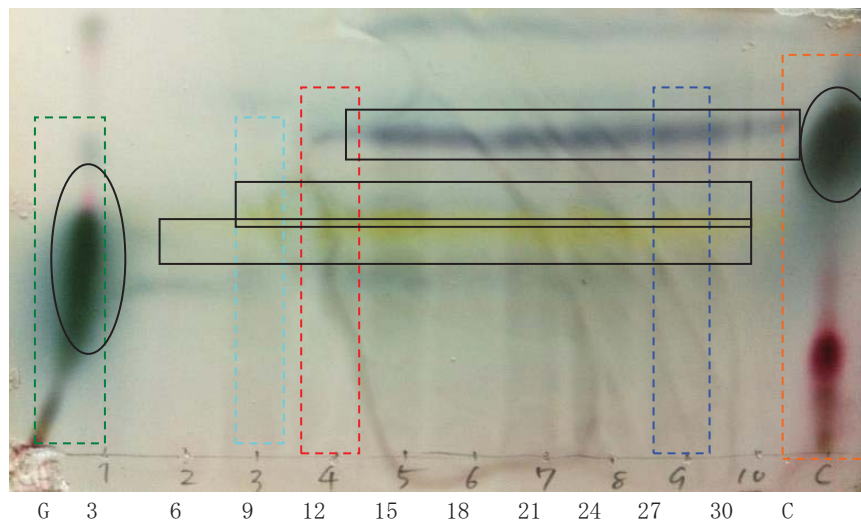


図 11: ゲットウの蒸留実験の TLC

表 4: ゲットウの蒸留実験の Rf 値

時間	Rf 値	
	G	C
ゲラニオール	0.50	
9 分	0.47	0.76
12 分	0.47	0.74
27 分	0.49	0.74
シトラール		0.71

表 4 は、研究 1 の蒸留実験においてにおいの変化があった時間を抜粋したものである。

ゲットウの蒸留実験の TLC と比較したところ、似たようなスポットは得られなかった。

においの変化

表 5: ゲラニオール の酸化実験のにおいの変化

時間	におい
ゲラニオール・0 分	バラのにおい
10 分	バラにレモンが少し混ざったにおいがした
20 分	バラのにおいが弱くなり、レモンのにおいが強く感じられた
35 分	レモンのにおいがした
55 分	レモンのにおいが強くなった
60 分	レモンのにおいがとても強く感じられた
シトラール	レモンのにおい

表 6: ゲットウ の蒸留実験のにおいの変化

時間	におい
ゲラニオール	バラのにおい
9 分	草のにおいがした
12 分	草にバラが少し混ざったにおいがした
27 分	バラにレモンが混ざったにおいがした
シトラール	レモンのにおい

表 6 は、研究 1 の蒸留実験においてにおいの変化があった時間を抜粋したものである。

ゲットウの蒸留実験のにおいの変化と比較すると、ゲラニオールの酸化実験の 10 分とゲットウの蒸留実験の 27 分のにおいがほぼ一致した。

表 7: 2 つの実験で似たようなにおいが感じられた時間

	時間	におい
ゲラニオールの酸化実験	10 分	バラにレモンが少し混ざったにおいがした
ゲットウの蒸留実験	27 分	バラにレモンが混ざったにおいがした

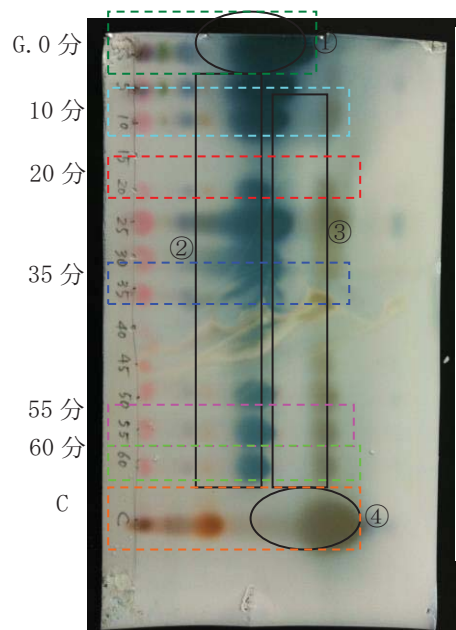


図 22: ゲラニオール の酸化実験の TLC

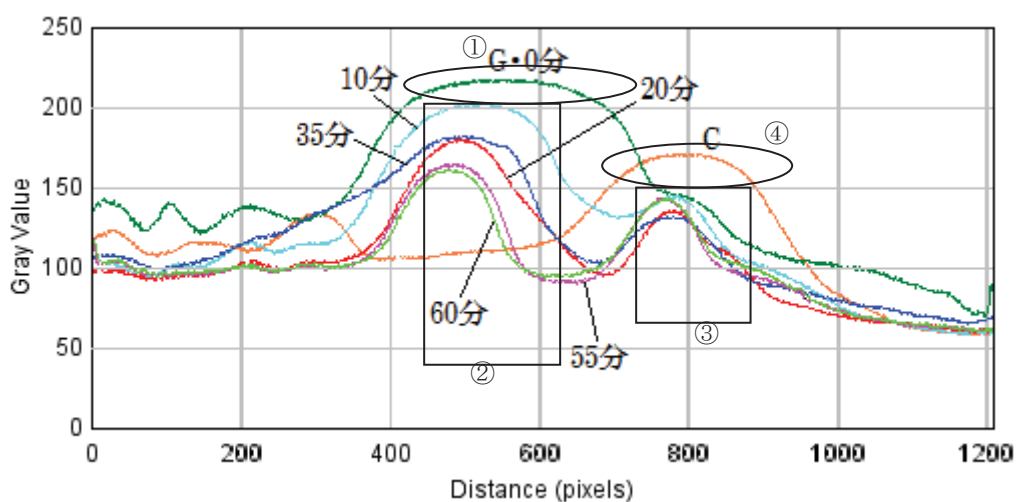


図 23: ゲラニオール の酸化実験のグラフ

TLC の色と Rf 値で同定できたゲラニオールのグラフのピークは、時間を進めるにつれて縦軸の値が小さくなっている。

シトラールのグラフのピークにはあまり変化が見られなかった。

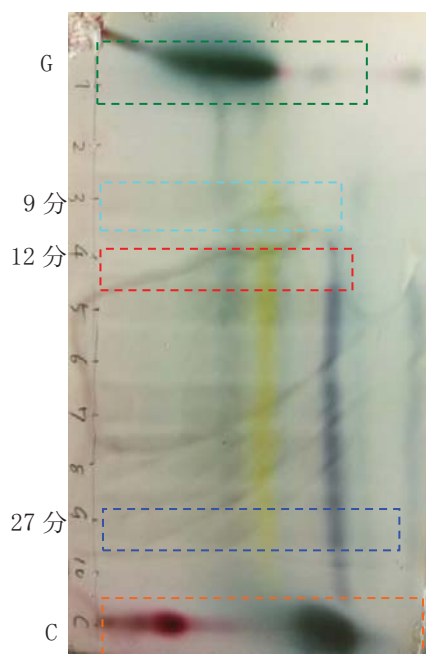
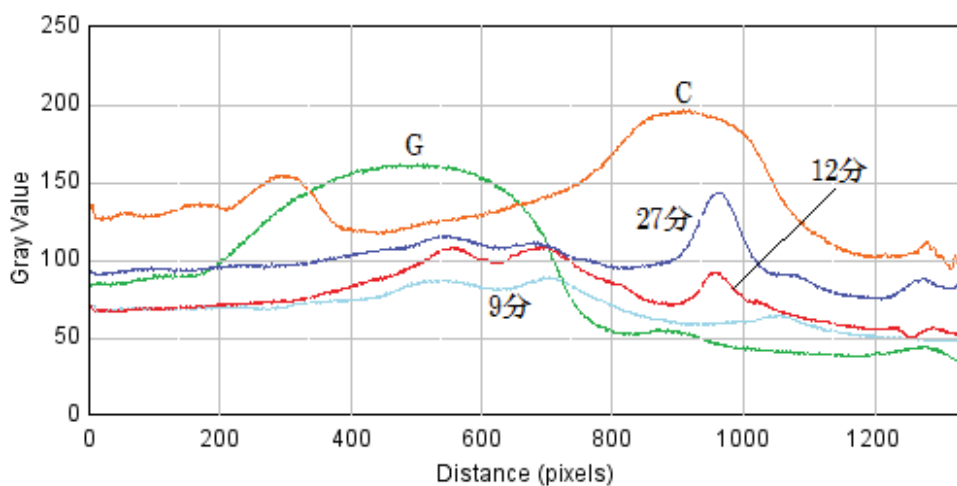


図 24: ゲットウの蒸留実験の TLC

ゲットウの蒸留実験で得られたグラフと比較すると、においが一致した時間で、市販のシトラールと同じ位置にあるピーク同士の縦軸、横軸の値が同じだった。



[考察]

(1) においの変化に伴い、成分はどう変わっていったのか。

表 5: ゲラニオールとシトラールの酸化実験のにおいの変化

時間	におい
ゲラニオール・0 分	バラのにおい
10 分	バラにレモンが少し混ざったにおいがした
20 分	バラのにおいが弱くなり、レモンのにおいが強く感じられた
35 分	レモンのにおいがした
55 分	レモンのにおいが強くなった
60 分	レモンのにおいがとても強く感じられた
シトラール	レモンのにおい

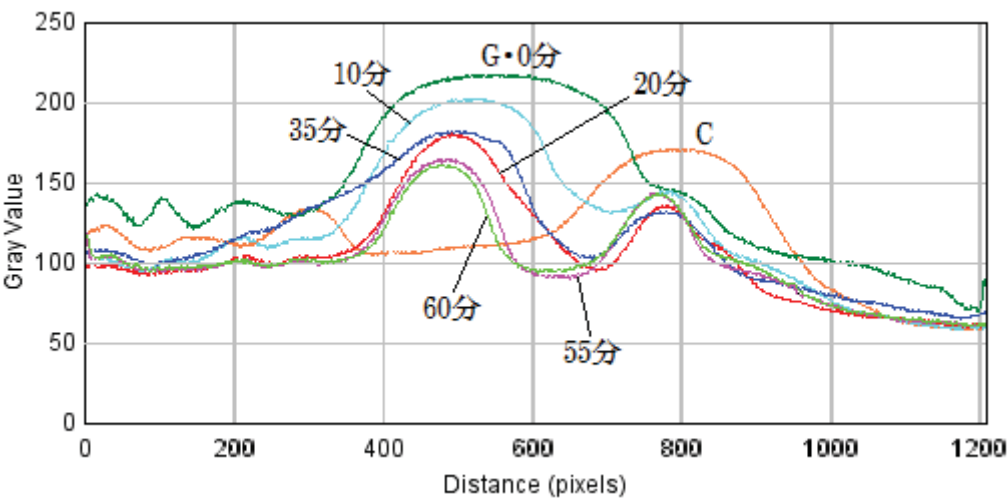


図 23: ゲラニオールの酸化実験のグラフ

図 31・32 において、時間が経過してバラのにおいが弱くなるにつれ、ゲラニオールの縦軸のピークの値が小さくなっている。また、シトラールのグラフのピークは変化していないにも関わらず時間が経過するにつれてレモンのにおいが強くなっている。

このことから、においの変化はにおい成分の成分比が変化していることを表していると考えられ、バラのにおいが強いときはゲラニオールの成分比が大きく、レモンのにおいが強くなるにつれてゲラニオールの成分比が小さくなり、シトラールの成分比が小さくなっていることが分かった。

ゲットウの蒸留実験におけるスポットとにおいとグラフをまとめた。

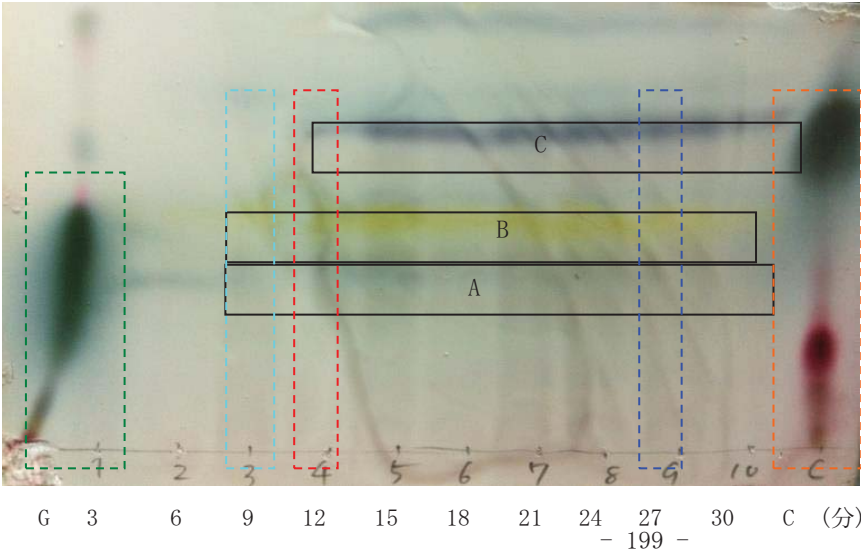


図 11: ゲットウの蒸留実験の TLC

ゲラニオールグラフとにおい

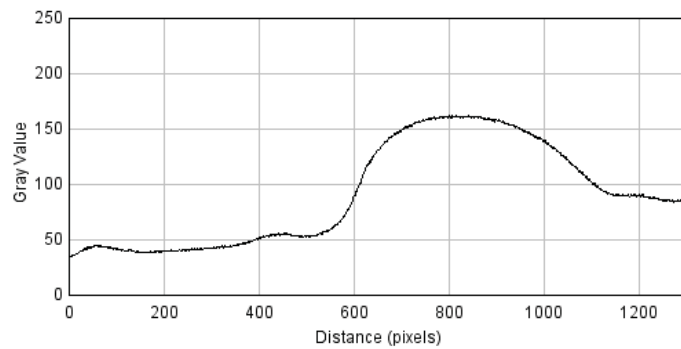


図 26:ゲラニオールのグラフ

- ・スポットの種類:ゲラニオール
- ・におい:バラのにおい

9 分のグラフとにおい

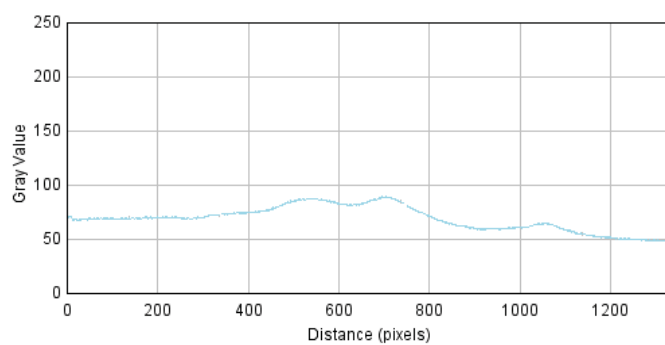


図 27:9 分のグラフ

- ・スポットの種類:スポット A、B
- ・におい:草のにおい

12 分のグラフとにおい

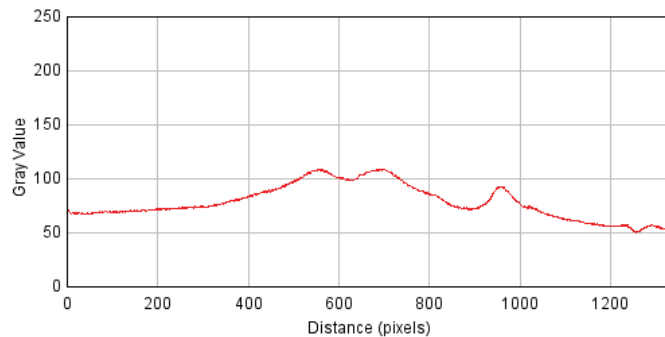


図 28:12 分のグラフ

- ・スポットの種類:スポット A、B、C
- ・におい:草にバラが混じったようなにおい

27 分のグラフとにおい

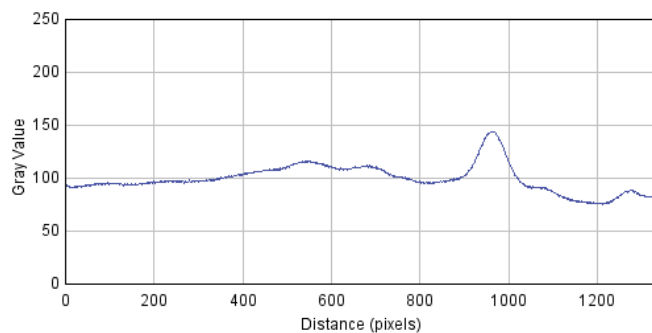
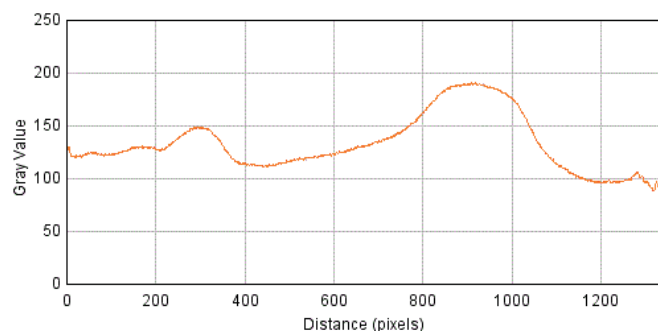


図 29:27 分のグラフ

- ・スポットの種類:スポット A、B、C
- ・におい:バラにレモンが混ざったにおい

シトラールのにおい



- ・スポットの種類:シトラール
- ・におい:レモンのにおい

図 30:シトラールのグラフ

(2) 研究 1 で、ゲットウに含まれているゲラニオールは酸化されてシトラールになったのか。

ゲットウの蒸留実験の TLC スポット④がシトラールなのか検証するために、ゲラニオールの酸化実験の①TLC スポットが一致した時間、②においが一致した時間におけるグラフの外形と比較して考察した。

①TLC スポットが一致した時間

図 11・図 21 を比較しても、似たようなスポットは見つからなかった。

そこで、似たようなにおいがした時間におけるグラフの外形を比較した。

②においが一致した時間

表 7 を比較すると、ゲラニオールの酸化実験の 27 分とゲットウの蒸留の 10 分の留出液のにおいがほぼ一致した。

その時間のグラフを重ねると、以下のようになった。

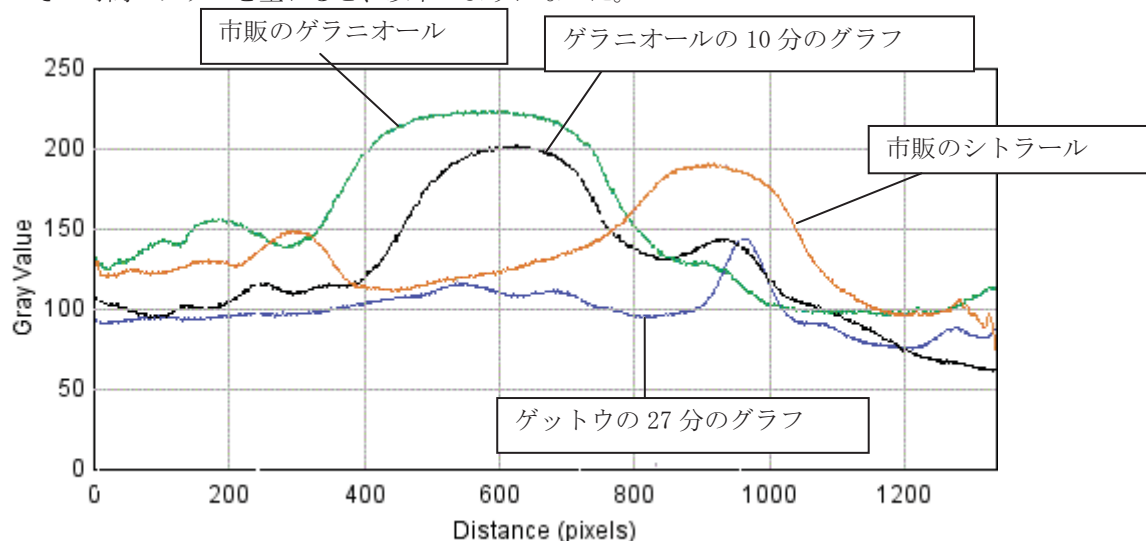


図 31:ゲラニオールの 10 分のグラフとシトラールの 27 分のグラフを重ねたもの

2つのグラフで、ゲラニオールのピークの縦軸の値は一致しなかったが横軸の値はほぼ一致した。また、シトラールであると考えたグラフのピークは、縦軸・横軸ともにほぼ一致した。

このことから、ゲットウの蒸留実験の TLC で出てきたスポット④はシトラールであると考えられ、ゲットウの蒸留を行っていくうちにゲラニオールが化学変化して変わったものだと考えられる。

【研究 2 のまとめ】

- ・においの変化は成分比の違いを表している。

ゲラニオールの酸化実験をしたことで、においの変化に伴いグラフの形、におい成分の比が変化することが分かった。それにより、におい成分が変化することによって、感じられるにおいが変わると分かった。

- ・ゲットウの蒸留実験の TLC にあったシトラールは、ゲラニオールが酸化されたもの。

似たようなにおいが感じられた時間の、ゲットウの蒸留実験の TLC とゲラニオールの酸化実験の TLC を *Image J* 解析してグラフを重ねた結果、シトラールのピークが縦軸も横軸もほぼ一致した。それにより、ゲットウの蒸留実験の TLC 上にあった茶色のスポットは、ゲラニオールが酸化されてシトラールになったものと分かった。

研究 3 レモングラスの成分同定

【目的】

研究 1、2 の結果をもとに、ゲラニオール、シトラールが含まれている身近な天然物で研究手法を応用させるため、レモングラスを蒸留し成分同定を行う。

【方法】

- (1) レモングラスの葉を水蒸気蒸留した。
- (2) TLC で展開した。
- (3) TLC を紫外線ライトにあて、スポットを確認した。
- (4) 発色剤につけ発色させた。
- (5) TLC を *Image J* で解析した。

〈TLC の解析に紫外線を用いる理由〉

TLC の分析において、物質の構造上の特徴により、紫外線吸収があるものは発色するため、判断しやすくなる。また、発色する前に紫外線を用いることで、TLC の発色の強さを無視することができ、より精度の高い *Image J* のグラフを作成できる。

【結果】

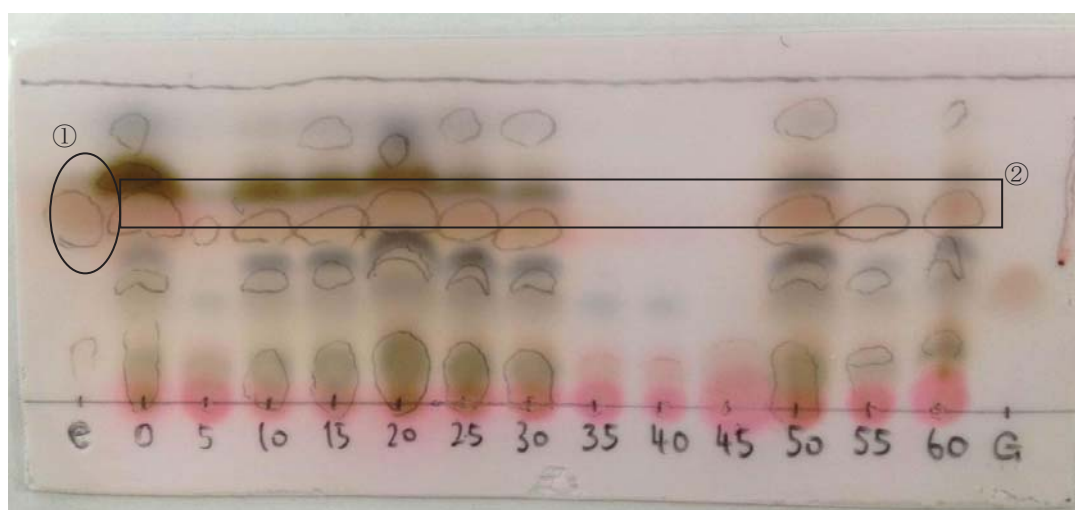
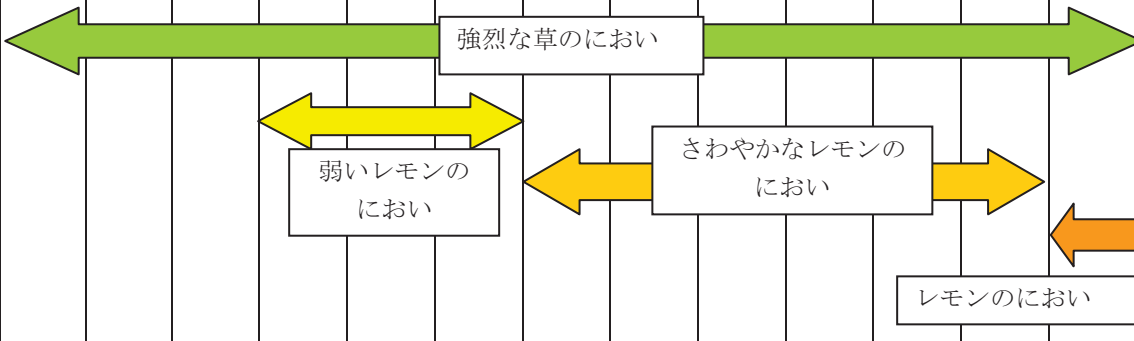


図 32 : レモングラス 0～60 分の TLC

上図は、蒸留開始から 60 分後までの TLC である。

留出液のスポットの色、Rf 値はほとんど変わらなかったが、5 分、35 分～45 分、55 分ではスポットが出てこなかった。留出液の薄茶色のスポット(②)は、市販のシトラールのスポット(①)と Rf 値が近く、色も濃さも一致していることからシトラールだと確認できる。

表 8 : においの変化と比較対象の時間と Rf 値

時間(分)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
においの変化													

時間(分)	市販(C)	0分～10分	15分～25分	30分～55分	60分
Rf 値	0, 67	0.74	0.78	0.75	0.71
においの変化	強いレモンのにおいがした	強烈な草のにおいがした	草のにおいの中にかすかにレモンのにおいがした	草のにおいの中にさわやかなレモンのにおいがした	草のにおいの中にレモンのにおいが強くなってきた

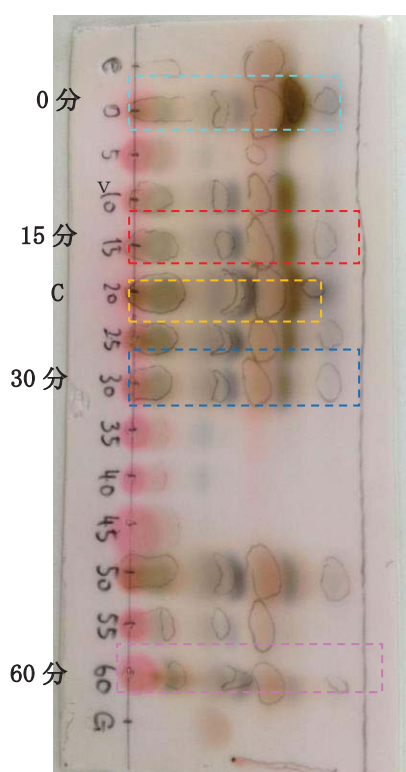


図 32 : 留出液を打った TLC

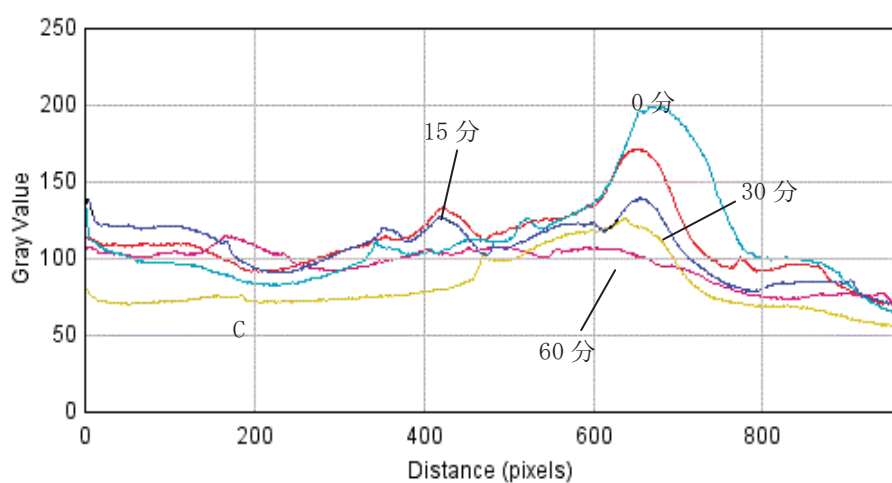


図 33 : 図 32 を Image J で解析したグラフ

表のシトラールの Rf 値と留出液の Rf 値は一致していないが、TLC、におい、図 43 よりピークが同じことから、レモンガラスにはシトラールが含まれていると確認できる。

また、図 33 より、時間が経つにつれて、シトラールのピークは減少している。

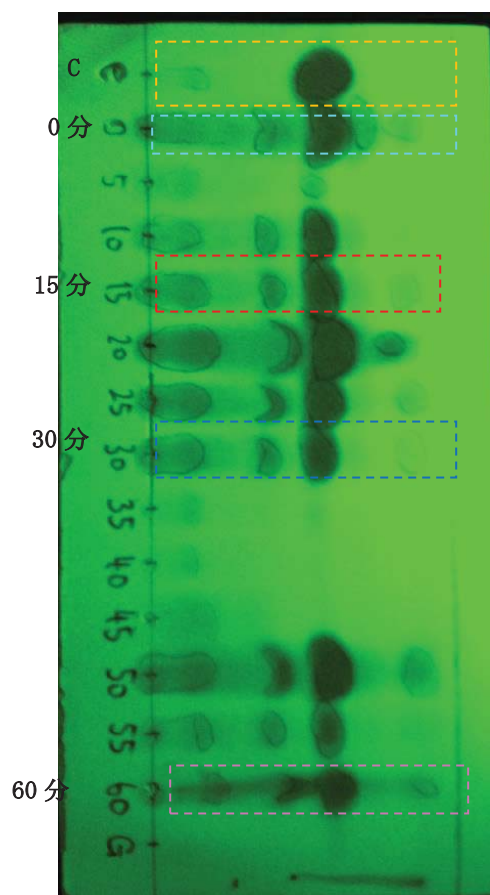


図 34: 留出液を打った TLC (UV)

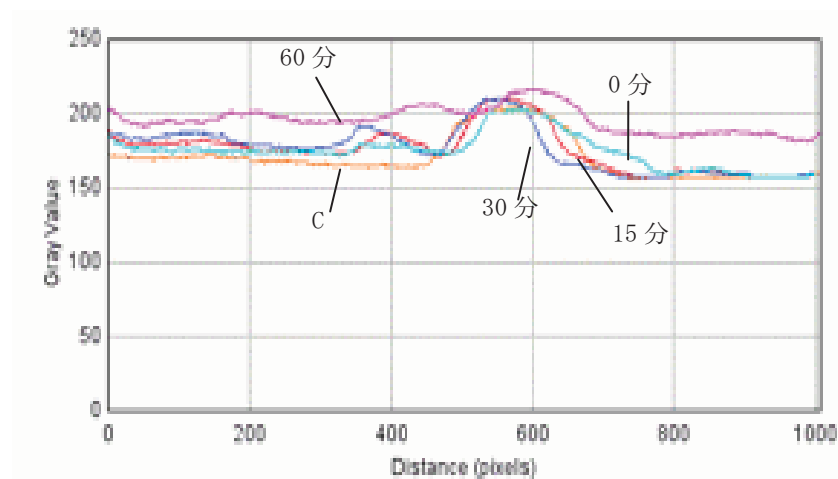


図 35: 図 34 を *Image J* で解析したグラフ

図 35 のグラフより、市販のシトラールと留出液のグラフは一致していた。
よって TLC、図 35 とあわせてレモングラスにはシトラールが含まれると証明できた。

[考察]

図 35 よりレモングラスにはシトラールが含まれていることが分かった。しかし、表 8 より私たちの鼻ではシトラールのレモンのようなにおいを確認することが出来なかった。それは図 32 の TLC より、レモングラスに含まれるシトラール以外の成分が混じっていて判別出来なかったからだと考えられる。

また、図 33 より時間が経つにつれシトラールが減少しているのは、蒸留することで成分が薄くなっていくからだと考えられる。

シトラールは減少しているが、レモンのにおいが強くなったのは他の成分による草のにおいが弱くなってきたからであると考えられる。

[研究のまとめ]

本研究において、TLC だけでは成分同定を行えないようなスポットであっても *Image J* による成分同定を行うことによって、成分同定された。また、昨年の研究の疑問であったゲットウの蒸留実験で得られたシトラールが、においの変化とグラフをもとに、ゲットウの酸化反応によって出てきたものだと分かった。

研究手法の応用のために行ったレモングラスの成分同定で、シトラールが含まれていると分かったので、他の天然物でも同定を行えるということが分かった。

[参考文献]

- *Image J* について
<http://rameshontech.blogspot.jp/2010/10/tlc-using-image-j.html?m=1>
- ゲットウの成分について
『月桃の精油成分について』 藤田治重

講 評

昨年からの継続研究ということで、興味深く拝見させていただきました。継続研究の場合、前回の研究でやり残した部分の探求や、研究成果の再現などは、研究者にとっては当たり前でありながら、時間の経過や研究するメンバーが変わったりする中では、なかなか難しい課題と考えています。しかし、今回の研究ではそれらを克服し、前回の研究でも活用した ImageJ という、オープンソースによる画像処理ソフトウェアを用いて、研究対象となる物質の同定や定量の手法を確立しています。これは、詳細に条件を変え行っている基礎実験の成果だと思います。

さらに、TLC（薄層クロマトグラフィー）を用いて有機化合物の同定を行ったり、有用な有機化合物を突き止める研究は、過去にも色々ありますが、同定方法をこのようなソフトウェアを用いて確立したことは、研究者並の成果だと思います。この手法を用いて、レモングラスに含まれている成分の同定を確認実験として行っていることも、研究手法や実験結果の信用性を向上させる緻密さを感じ、大変評価しています。

また、昨年の課題となっていたゲットウからの抽出物の中に、グラニオール以外にシトラールという物質が含まれるが、そのシトラールは加熱による副産物として多く存在することも突き止めており、研究の課題解決を成し遂げられたことを高く評価しています。今回、一連の研究で確立した成分同定法を活用した研究を楽しみにしています。

<審査のポイント>

最も評価されるのは、対象となる植物から抽出された物質の成分同定法を確立したことにあります。画像処理ソフトウェアを使って物質の同定を行うために、TLCにおける分離条件を詳細に検討し、画像処理ソフトウェアを使って同定することを試行錯誤して成功に導いたことが評価されているポイントです。また、別の植物の抽出物で同様の同定実験をしていることも、研究の有効性を自ら検証する姿勢が評価されています。



オキナワコカブトを用いた甲虫類の生活環のモデル化

沖縄県立開邦高等学校

2年 田場 ありか 中林 ゆい 垣花 友季子 具志 日南子

1. はじめに

沖縄県と鹿児島県の一部を含む琉球列島は亜熱帯に属しており、西表島全域や石垣島の於茂登岳、沖縄本島北部のヤンバルの森などでは特異的な生態系が保持されている(安間、2001)。また、琉球列島は地形・地質学的な要素に起因する生物の分布にも日本本土と比較すると特異性が見られ、北琉球、中琉球、南琉球に区分されている(木村、2002)。このように多様な生物相からなる生態系の中で、特に昆虫に着目してみると、島嶼という環境下で独自の進化を遂げた昆虫だけでなく熱帯や温帯地域と共通の昆虫も多く存在する(西田ら、2003)。特にコガネムシの仲間はヤンバルテナゴコガネなど大陸との共通種や、オキナワカブトなどの日本本土との共通種などが生息しているが、それぞれに島嶼化による変異が知られている(安間、2001)。

2011年の冬、私達は開邦高校敷地内の清掃活動中に頭部が欠損した昆虫を見つけた。これまで見たことのない甲虫であったことから興味を持ち、図鑑で調べてみると、オキナワコカブト(*Eophileurus chinensis okinawanus*)というカブトムシの仲間であることが分かった。オキナワコカブトは日本本土にも生息しているコウチュウ目コガネムシ科カブトムシ亜科に属するコカブト(*E. chinensis*)の亜種であり、沖縄県においては沖縄本島を始め、先島諸島に至るまで広く分布している(下地、2012)。さらにコカブトの分布域は日本、朝鮮半島、中国、台湾と東アジア広域にまたがっており、コカブトが日本本土ではあまり見かけない昆虫であるのに対して(森、2008)、南西諸島においてオキナワコカブトは普通種とされている(下地、2012)。しかし、オキナワコカブトの研究はほとんどなされておらず、生活環が約三ヶ月と短いこと、肉食であること以外、はっきりとした生態は不明なままである。また、コカブトが属するコウチュウ目は、その生活環の長さや飼育の困難さから研究があまり進んでおらず、今のところモデル生物となる種も存在せず、昆虫のモデルとしてよく知られているショウジョウバエとの比較がなされているのみである(吉川ら、2009)。

そこで私達は、このオキナワコカブトの生息状況、生態、生活環について詳細な調査を行うことにした。オキナワコカブトは生活環が約三ヶ月と短いとされており、その生活環の短さからコウチュウ目のモデル生物として利用出来るのではないかと考えた。モデル生物選定の条件としては、研究対象となる生命現象が観察しやすいこと、飼育・培養が容易であることがあげられる(吉川ら、2009)。この他に大きすぎる生物や成長の遅い生物、特殊な餌が必要な生物はモデル生物として適さないとされている。コカブトは体が小さく成長が早いという点、近縁であるカブトムシの飼育方法がある程度確立されており(川上、2002)、比較的容易に飼育できることから、モデル生物に適していると考えられる。また、コウチュウ目におけるモデル生物の確立および生活環のモデル化は、生態が不明な甲虫類の生息状況の解明につながるだけでなく、沖縄県に生息している希少な甲虫類の生活環境を保護し、種を保存するための一助になると考えられる。

2. 調査・実験方法

(1) 調査地の設定

オキナワコカブトの生息地調査のために、開邦高校の生徒および職員をランダムに選択し、オキナワコカブトの写真を提示して、「この昆虫を知っているか」、「この昆虫を見たことがあるか」という項目を設定してアンケートを行った(辻ら、1994)。なお、見たことがあるという返答があった場合には目撃地点とその環境を尋ねた。生息地については沖縄本島を緯度、経度ともに 06' で区切ったメッシュ図を作成して北から番号を振り、沖縄本島を 30 のメッシュに分けた。さらに目撃地点が含まれるメッシュについては着色してその分布域とした。

(2) マットの含水率

飼育条件を設定するため、マットおよび幼虫を採集した場所の腐葉土の含水率を求めた。重量測定には電子天秤(Scout II, OHAUS®)を用いた。調査地のうち、幼虫が採集された6番メッシュから2カ所、11番メッシュから1カ所、24番メッシュから1カ所の計4ヶ所の腐葉土を採集し、調査直後と2週間の風乾後にそれぞれ重さを測定した。幼虫飼育用のカブトムシ用熟成マット(ヘラクレスマット, b-pro)についても同様な操作を行い、含水率を求めた。風乾前のサンプルをb、風乾後のサンプルをaとしたとき、サンプルの含水率(MC)は以下の式①で算出した(前田ら、1974)。

$$MC = (b-a)/b \times 100 \cdots \text{式①}$$

(3) 雌雄判別

一般的にカブトムシやクワガタムシは角などに性的二型がはっきりみられるが(長谷川、2005)、オキナワコカブトの雌雄には顕著な性的二型が見られない(酒井ら、2007)。しかし、生活環を知るためには雌雄判別が必須であるため、文献調査および観察から雌雄判別法を確立した。

(4) 分布地の調査および飼育方法

オキナワコカブトの調査は、分布していると思われる区域の倒木や腐葉土を掘り起こし、内部に生息している幼虫の有無を確認した(福田ら、2009)。

オキナワコカブトの成虫のうち、同地域で採集された雌雄を交配し、産卵させた。交配はカブトムシ用熟成マットを8割ほど充填したケースに産卵木としてクヌギやサクラの枯れ枝を包埋し、雌雄をセットした。卵および幼虫は1個体ずつプリンカップに入れてカブトムシ用熟成マットで飼育した(海野ら、1998、鈴木ら、2009)。幼虫は産卵に用いたものと同じカブトムシ用熟成マットで飼育し、前蛹となった個体はくぬぎマット(ふるさとMAX くぬぎマット, 株式会社フジコン)に移しかえた。また、成虫は一頭ずつおがくずを敷いたケースに入れて飼育した(岩波ら、1991)。

(5) 体重測定

オキナワコカブトの幼虫6個体の体重を一週間に一度測定して記録した。測定には電子天秤(AW320, SHIMADZU)を用いた。測定には11番メッシュから2011年2月に得られた成虫が産卵した卵のうち、ふ化した幼虫全個体を用い、ふ化直後から前蛹直前まで測定を続けた。前蛹および蛹は強い刺激を加えると死亡する恐れがあるため、体重測定は行わなかった。成虫に関しては羽化直後および摂食を始めた時点で体重を測定した。同様に、24番メッシュから2012年8月に得られた成虫のF₁でも測定を行った。また、幼虫に関しては他の甲虫類と比較するために、オキナワコカブトと同様の環境で飼育したオキナワコカブト3個体で同様の実験を行った。

(6) 体長測定

週に1度、幼虫と直径2cmのスケールを並べた写真を撮影し、糸と定規を用いて求めた値から幼虫の体長を比で求めた。また、成虫はデジタルノギス(DKt-0001c, 高儀)で体長、胸部の長さ、胸部の幅、鞘翅の長さを測定した。

(7) 密度効果

2012年6月に11番メッシュで採集されたオキナワコカブト成虫から得られた卵を一つの容器に1個体を入れたものを3セット、2個体入れたものを5セット、3個体入れたものを1セット作成した。これらの体重を一週間に一度測定し、生息している環境における密度の高さによって成長速度や大きさがどのように変化するかを調べた。

(8) 成長解析

マット交換直後および一週間後のマットの重量を測定した。また、マット交換一週間後については糞を分離して重量を測定した。さらにマット交換一週間後のマット、糞それぞれについて2週間風乾させ、重量を測定した。含水率の産出はそれぞれ式①に従った。摂食前のマットについては生重と含水率から乾燥重量を算出した。摂食前のマットの乾燥重量(Dm)、残ったマットの乾燥重(Drs)、糞の乾燥重(Dex)、試験前の幼虫の体重(W1)および試験後の幼虫の体重(W2)から、摂食量(E)、体重増加量(ΔW)、呼吸量(Re)、排泄量(D)を求めた。

$$\text{摂食量 (E)} = (\text{Dm} - \text{Drs}) / \text{day} \cdots \text{式②}$$

$$\text{体重増加量 (}\Delta W\text{)} = (\text{W2} - \text{W1}) / \text{day} \cdots \text{式③}$$

$$\text{排泄量 (D)} = \text{Dex} / \text{day} \cdots \text{式④}$$

$$\text{呼吸量 (Re)} = \{ (\text{Dm} + \text{W1}) - (\text{Drs} + \text{Dex} + \text{W2}) \} / \text{day} \cdots \text{式⑤}$$

これらの値は体重増加と相関があると見なし、週数と体重増加における近似曲線の積分値と比較した。

(9) エサの嗜好度

週に1度オキナワコカブトの成虫のメス2匹とオス1匹に対し、黒糖、高タンパク、パイナップル、ピーチ、バナナ、オレンジ、メロン、ブドウ、イチゴ、パイン・バナナ、マンゴー、ヨーグルト、ライラックの昆虫ゼリーと、牛脂を与え、エサの好みを調べた。エサの食べ方によってポイントをつけ、全て食べたら3ポイント、食べた形跡があれば1ポイント、食べた形跡がなければ0ポイントとし、ポイントの平均値を算出して嗜好度を求めた。

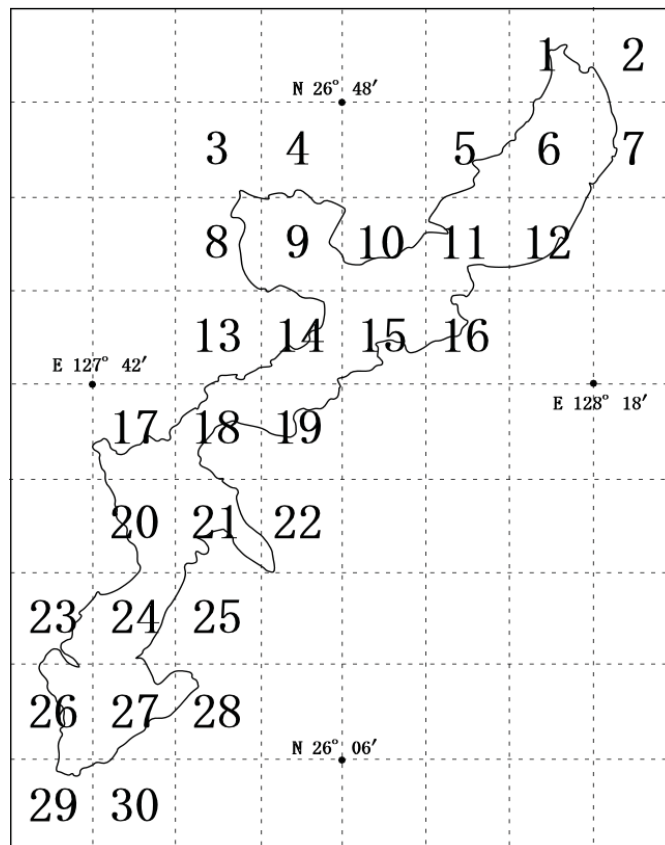
(10) 交配実験

11番メッシュから2011年2月に得られた成虫のF₁を用いて交配実験を行った。用いた個体の体重の平均値を求め、それより重い個体を(L)、軽い個体を(S)とおき、♀(L) × ♂(L)、♀(L) × ♂(S)、♀(S) × ♂(L)、♀(S) × ♂(S)の組み合わせで容器に入れ、マウントまでの時間、交尾の時間を測定した。

結果

(1) メッシュ図の作成

グーグルアースの地図を元に、作画ソフトCanvas8を用いて沖縄本島の白地図を作成し、沖縄本島全域を包括する北緯26° 54′ から26° 00′ までの範囲および東経127° 36′ から128° 24′ までの範囲を緯度、経度ともに06′ ごとに区切ってメッシュ図を作成した(図1.)。なお、メッシュ番号は沖縄本島の北西から南東にかけて番号を振った。



※沖縄本島を緯度、経度ともに6′ ごとに区切りメッシュ図を作成した。

図1. メッシュ図

(2) アンケート結果

開邦高校校内の生徒および職員 115 人にオキナワコカブトの写真(図 2.)を見せてアンケート調査を行った(表 1.)。アンケート調査のうち、有効票は 115 であり、適正な調査結果が得られたと考えられる。調査の結果、オキナワコカブトを見たことがある人は約 26%であり、調査人数の約 1/4 以上に発見されていることが分かった。また、目撃地は設定したほぼすべてのメッシュ内にまたがっており、2 番メッシュ、3 番メッシュ、4 番メッシュ、7 番メッシュ、8 番メッシュ、13 番メッシュ、22 番メッシュ、25 番メッシュ、29 番メッシュ、30 番メッシュ以外のメッシュでは目撃されていることが分かった(図 3.)。これらのメッシュは沿岸部であり、幼虫が生息していると考えられる腐葉土や成虫が生息している森林がなく、人が入りにくい地域であるために確認されていないと考えられる。このように沖縄本島全域で広く目撃されているオキナワコカブトであるが、知っている人が約 6%と、非常に認知度が低いことも分かった。



図 2. オキナワコカブト(成虫)

表 1. アンケート結果

調査人数(人)	知っている人(%)	見たことがある人(%)
115	5.88	26.47

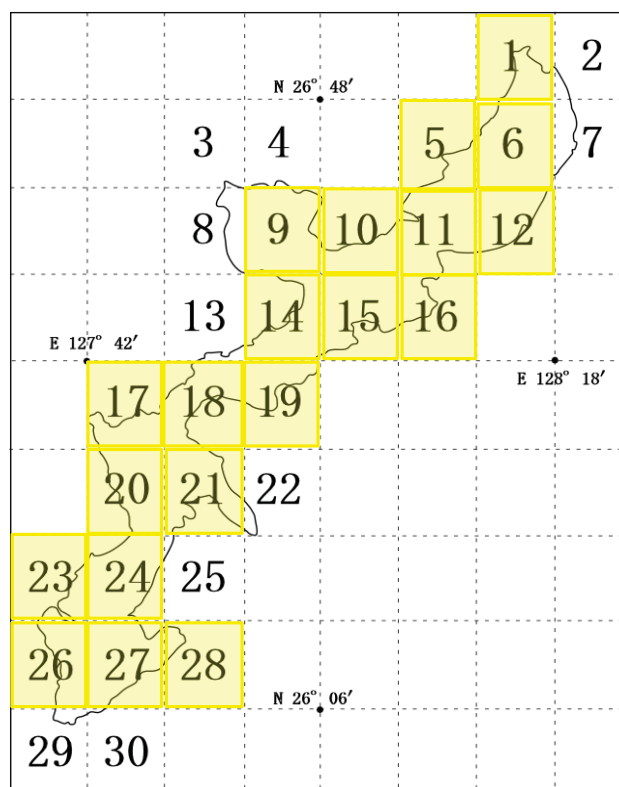


図 3. アンケート調査によるオキナワコカブトの発見メッシュ

また、その生息地については適度な湿り気がある朽木や腐葉土がある場所および街灯下などで多くオキナワコカブトの目撃情報があつたこと、沿岸部での目撃例が少なかったことから、山地だけでなく、民家付近の腐葉土など広く分布していると考えられる。

我々はアンケート調査の結果から、特に目撃情報が多かった 6 番メッシュ、11 番メッシュ、24 番メッシュ、27 番メッシュ内の複数地域を調査地として選定した(図 4.)。

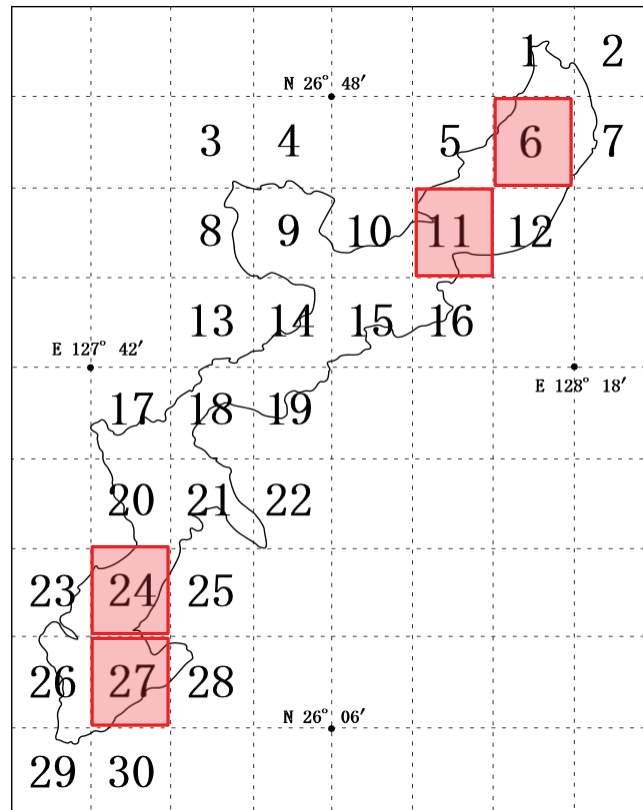
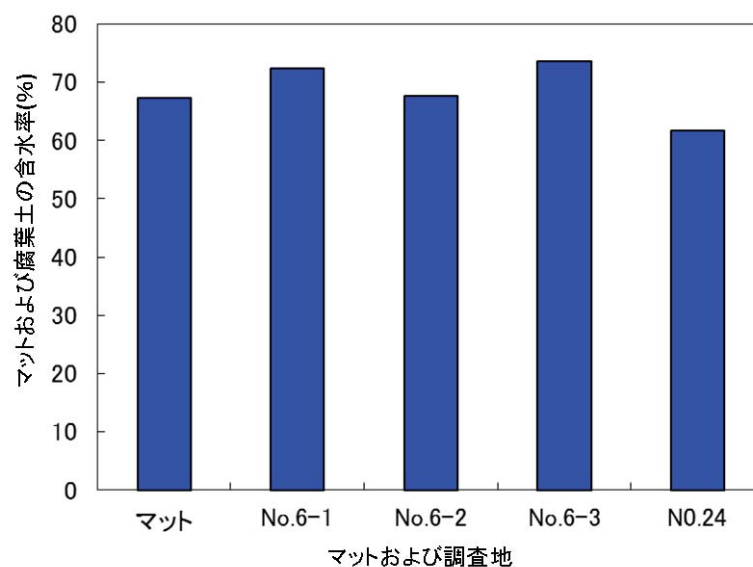


図 4. 調査区分図

(3) 含水率

図 5 はマットおよび生息地の腐葉土の含水率である。6 番メッシュ内における調査地 3 か所および 24 番メッシュ内における調査地 1 か所の腐葉土の含水率を測定したところ、調査地における差はほとんどなく、含水率は 70%程度であった。また、飼育しているマットの含水率も同程度であり、この条件のマットでオキナワコカブトは産卵をしたことから、産卵用マット、幼虫飼育用マットとも含水率は 70%程度が適当であると考えられる。



※ナンバーは調査地の属するメッシュナンバーを示す。

図 5. マットおよび調査地の腐葉土の含水率

(4) 雌雄判別

オキナワコカブトは成虫の性的二型がカブトムシほどはっきりとしないため、一見しただけでは雌雄判別が困難である。また、クワガタムシやカブトムシなどでは幼虫時に卵巣の発達などによって雌雄判別が可能であるが、オキナワコカブトの幼虫は卵巣などに顕著な特徴がみられず、幼虫時の雌雄判別は不可能であった。下地(2012)によると、成虫の交尾器の差異で雌雄判別する方法がもっとも適当であるが、前胸部のくぼみと跗節の太さからも判別できることが分かった。また、カブトムシと同様に、雌雄における角の大きさにも差異があることが分かった。

オキナワコカブトの体長や体重は性差より個体差が大きく、体長や体重については性的二型が見られなかった。しかし、オスはメスに比べて前胸部のくぼみが広く、角が長く前肢の跗節が太い傾向が見られた。(図 6-1、図 6-2)。文献には、雌雄で前胸部のくぼみの大きさに差異があるとあったが、オスの個体の中には、前肢の跗節は太いが胸部のくぼみがはっきりとくぼんでいないものがいた。したがって胸部のくぼみには個体差があり、胸部のくぼみで判断することは雌雄判別に適さないと考え、本研究における雌雄判別は前肢の跗節の差異を利用することにした。

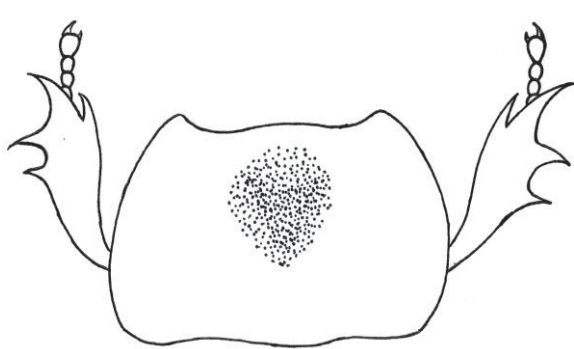


図 6-1. 雄の前胸部と跗節

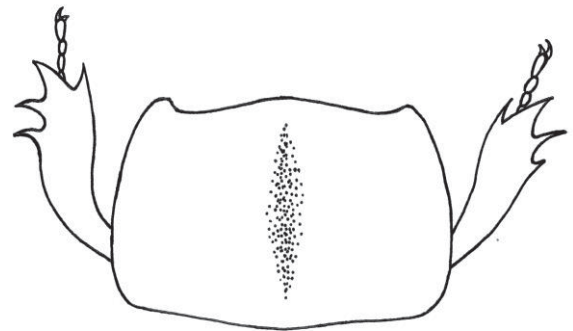


図 6-2. 雌の前胸部と跗節

(5) 調査地点付近の様子

野外調査は6番、11番、24番、27番メッシュの調査地について行った。6番メッシュ1の調査地は道に落ちた倒木であり、日陰であるため湿っていた(図 7-1)。また、倒木の下には腐葉土が堆積しており、オキナワコカブトと見られる幼虫の生息が確認出来た。この幼虫を飼育したところ10月に羽化し、オキナワコカブトであることが確認できた。6番メッシュ2の調査地は道に落ちた倒木であり、日陰であるため湿っていた。甲虫類の幼虫が確認出来たが、これはオキナワコカブトではなかった(図 7-2)。6番メッシュ3の調査地は道沿いの側溝であり、枝などが混ざる広葉樹の腐葉土が堆積していた。調査地は日陰で、腐葉土は湿っており、オキナワコカブトと見られる幼虫の生息が確認出来た(図 7-3)。この幼虫を飼育したところ9月に羽化し、オキナワコカブトであることが確認できた。11番メッシュの調査地は廃材置き場であり、丸太が積まれていた。調査地の廃材には直射日光が当たっており、表面は乾燥していたが、廃材の下や材の中はしめっており、リュウキュウツヤハナムグリと思われる幼虫が確認出来た(図 7-4)。24番メッシュの調査地は落ち葉などが積まれた集積所であり、枝や丸太が散乱していた。調査地は日陰であり、腐葉土は湿っており、腐葉土および倒木の下からシロテンハナムグリ、オキナワコカブトと思われる幼虫が確認出来た(図 7-5)。このオキナワコカブトとみられる幼虫を飼育したところ9月に羽化し、オキナワコカブトであることが確認できた。27番メッシュの調査地は林床の窪地であり、落ち葉、枯れ枝などが堆積していた。腐葉土は湿っていたが比較的リター層は薄く、甲虫類の幼虫は確認できなかった。27番メッシュの調査地については8月から12月までバナナトラップを仕掛け、週に一度確認した(図 7-6)。8月から9月にかけては採集者にトラップが荒らされ、何も確認できなかった。10月から11月にかけてはヒラタクワガタ、ムラサキオカヤドカリ、アフリカマイマイがトラップによっているのが確認できたが、12月には生物がトラップを採餌した様子が見られなくなった。



図 7-1. 6 番メッシュ調査地 1 付近の様子



図 7-2. 6 番メッシュ調査地 2 付近の様子



図 7-3. 6 番メッシュ調査地 3 付近の様子



図 7-4. 11 番メッシュ調査地付近の様子



図 7-5. 24 番メッシュ調査地付近の様子



図 7-6. 27 番メッシュ調査地、バナナトラップ

(6) 発生測定

2012 年 6 月から 10 月まで、オキナワコカブト 6 ペアの産卵を継続観察し、それらの F_1 の成長についても観察を行った。観察した 6 ペアのうち 00 系統、01 系統、02 系統、03 系統は 11 番メッシュ、U 系統は 24 番メッシュで得られたペアであった。これらはペアで産卵マットにセットしたため、交尾行動は確認できなかった。G 系統については 24 番メッシュで得られたメスであり、この採集地ではオスが得られなかったためメスのみを産卵マットにセットした。継続産卵週数は 00 系統で 8 週間、G 系統で 5 週間、01 系統で 2 週間、02 系統で 1 週間、03 系統で 7 週間、U 系統で 4 週間とばらつきが大きく、初産月による差も見られなかった。幼虫の期間は 6 月から産卵を始めた 00 系統ではおよそ 5 週間であったのに対して 7 月にセットした 01 系統、02 系統、

03 系統の幼虫期間は 6 週間であり、8 月にセットした U 系統でもおよそ 6 週になっていた。初産月の違いによって幼虫期間が異なるのに対して、前蛹および蛹の期間は約 4 週間と、初産月の違いによる影響は見られなかった(図 8.)。

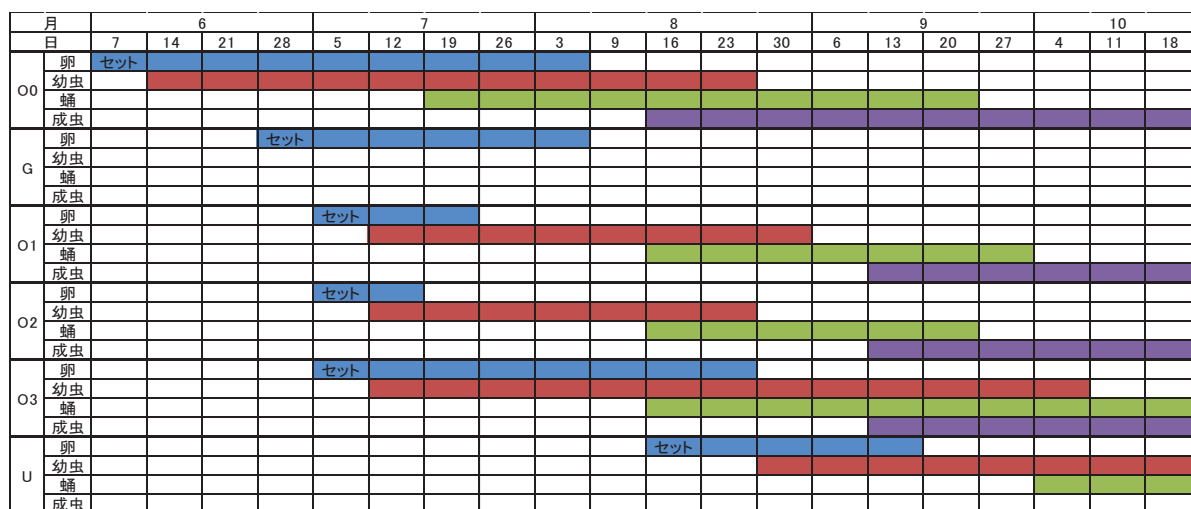


図 8. 各ステージの継続週数

オキナワコカブトの発生過程において生存個体に対して正常にふ化、蛹化、羽化できた個体および生存している成虫の割合を算出し、それぞれ羽化率、蛹化率、羽化率、成虫生存率とした(図 9.)。クワガタ仙人のブログ(2012 年 5 月 17 日アクセス)によると、オキナワコカブトのふ化率は約 70%、羽化率は約 50%であるのに対し、オキナワコカブトはふ化率、蛹化率、羽化率、成虫生存率のいずれにおいても高い割合を示した。オキナワコカブトの生存率が比較的低かったのはふ化率と羽化率であった。ふ化率が低い要因は産卵された受精卵のうち、産卵後期のものはふ化しなかったことに起因し、羽化率が低い要因は蛹の状態で羽化不全を起こし成虫になれなかった個体があったことに起因していた。

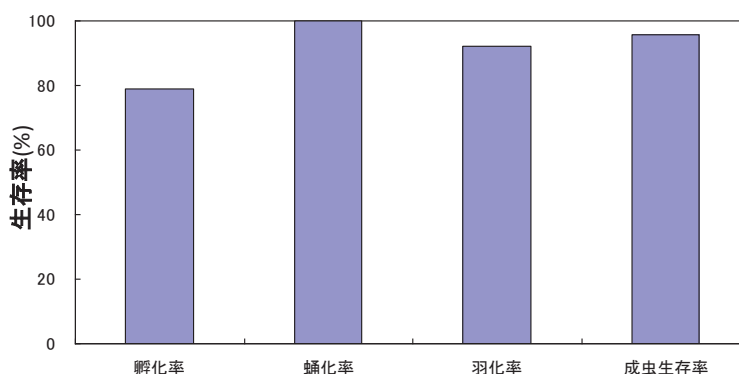


図 9. オキナワコカブトの発生過程における生存率

発生段階を観察した結果、卵の期間が約 1 週間、幼虫の期間が約 5 週間、前蛹および蛹の期間が約 4 週間であった。また、羽化後 2 週間で採餌行動および交尾行動が見られたため、ふ化後 11 週間で生殖が出来るまでに成長すると考えられる。さらに下地(2012)によると成虫の寿命は 2 ヶ月から 3 ヶ月とのことであったが、飼育中の個体は 2012 年 2 月に採集した成虫が 2012 年 10 月現在まで生存していた。これを元にオキナワコカブトの卵から羽化および採餌までの期間を形態ごとに区切り、週数を平均化した(図 10.)。一般的な昆虫の場合、成虫は産卵後に死ぬが、オキナワコカブトに関しては産卵による成虫の死亡は見られなかった。しかし複数同時飼育時には死亡、食い荒らされて散乱した個体が見られたため、成虫同士の共食いがおきていると考えられるが、個別飼育すると死ぬ個体がなかった。また自然条件下でも一年を通して成虫が見られることから、成虫の寿命はカブトムシやノコギリクワガタなどの年一化型の甲虫類に比べて長いと考えられる。

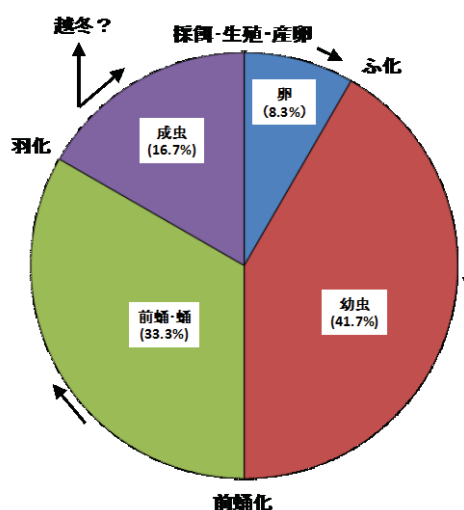


図 10. オキナワコカブトの生活環

観察したオキナワコカブトのうち、00 系統の幼虫については週に 1 度ずつ体重および体長を測定した。測定した値のうち、ふ化後 1 週目の体重を基準として各週における体重の増加率を求め、さらに最小二乗法で求めた近似曲線と比較した。00 系統の幼虫の体重は前蛹直前まで二次関数的な増加をし、その相関係数も $r=0.999$ と高い値を示した(図 11.)。

体長の増加率も体重と同様にふ化後 2 週目を基準として算出した。体重が二次関数的な増加をするのに対して、体長は一次関数的な増加を示した(図 12.)。

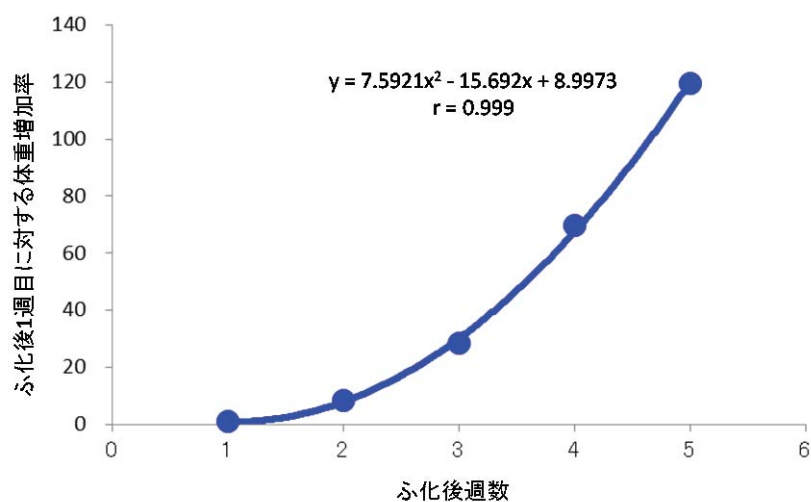


図 11. オキナワコカブトの幼虫の体重増加率(00 系統)

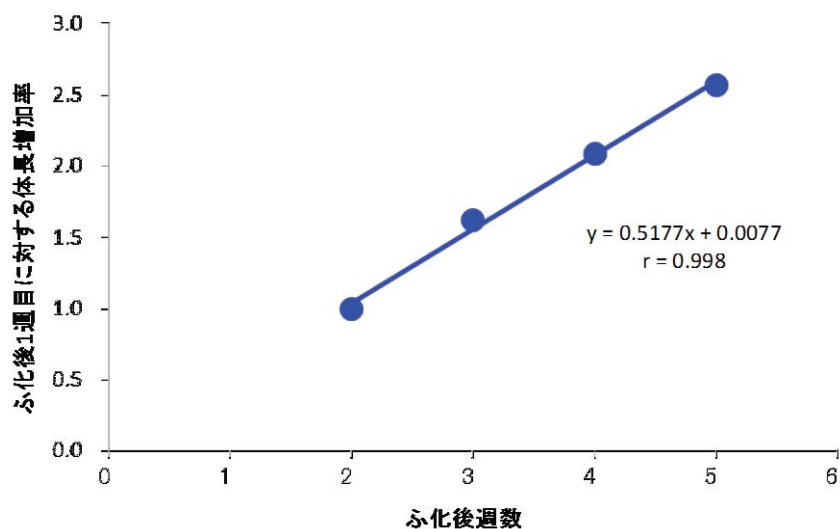


図 12. オキナワコカブトの幼虫の体長増加率(00 系統)

同様にU系統でも各週の増加率を求め、最小二乗法で求めた近似曲線と比較した(図 13.)。U 系統の幼虫の体重も 00 系統同様に、二次関数的な増加をした。しかし、ふ化から前蛹直前までの週数は 6 週であり、00 系統より 1 週間長かった。00 系統と U 系統を比較すると、前蛹までの週数に差はあったものの、二次関数の係数に大きな差は見られなかった。

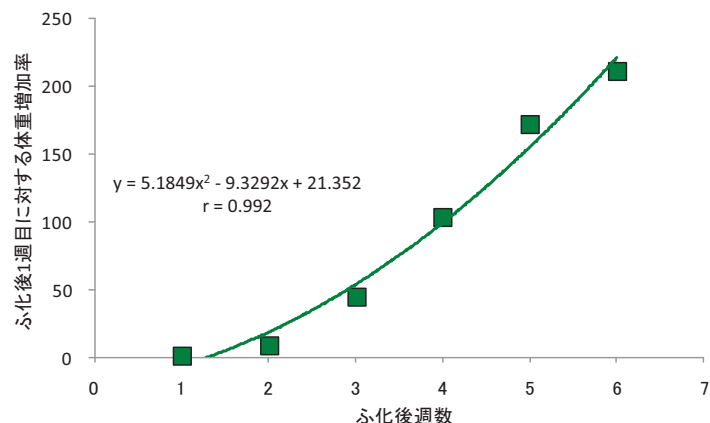


図 13. オキナワコカブトの幼虫の体重増加率(U 系統)

さらにオキナワカブトの幼虫についても同様な実験を行ったところ、ふ化後 8 週目まではオキナワコカブトと同様に二次関数的に成長率が增大したが、8 週目以降は成長率は減少し始め、2012 年 10 月現在までの成長曲線はシグモイド曲線になった(図 14.)。

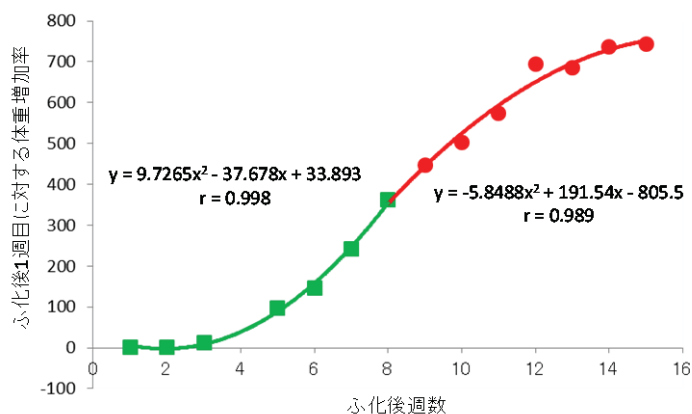


図 14. オキナワカブトの幼虫の体重増加率

さらに図 11. と図 14. をもとにオキナワコカブトとオキナワカブトの幼虫の成長率を比較してみると、オキナワコカブトが前蛹になる直前のふ化後 5 週までは成長率が近似していることが分かった(図 15.)。

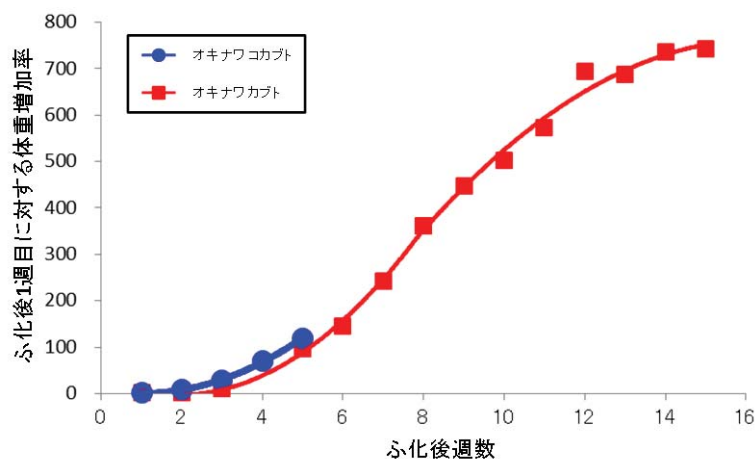


図 15. オキナワコカブトとオキナワカブト幼虫の体重増加率の比較

オキナワコカブトの雌雄判別は幼虫期には不可能であり、羽化を待って性比を確認した。羽化した成虫は00系統、U系統いずれも性比はメス：オスが1：1になった。一般的に甲虫類の幼虫時の最大体重と成虫時の体長は比例すると言われている。そこで、幼虫時の最大体重と成虫時の体長、幼虫時の最大体長と成虫時の体長を雌雄それぞれについて比較したが、いずれも相関は見られなかった(図16.、図17.)。

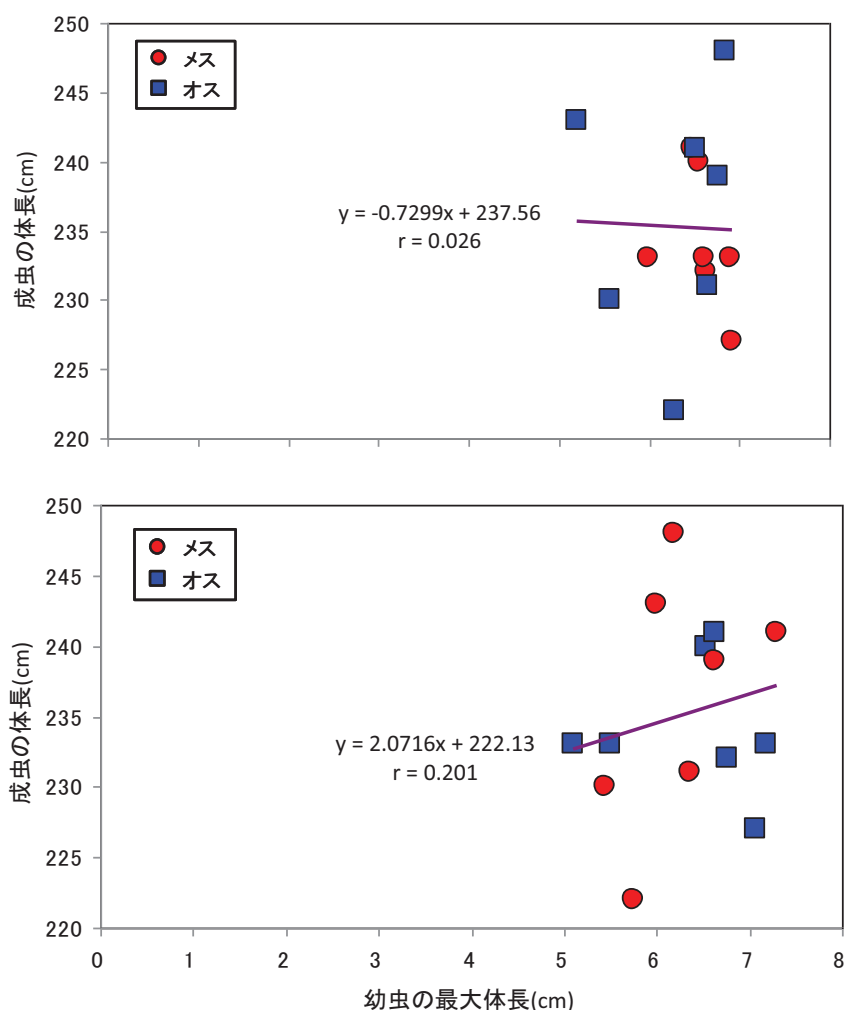


図 17. 成虫の体長と幼虫の最大体長の比較

(7) 密度効果

7月12日にプリンカップに入れたセットのうち幼虫を2頭同時に飼育した5セットのうち3セットについては7月19日に幼虫が1頭になっていた。飼育したマットを調べてみると、幼虫の頭部が出てきた。3頭同時に飼育したセットについては7月19日に2頭になっており、8月9日には1頭になっていた。このセットでも飼育していたマットを調べてみると、幼虫の頭部が発見できた。一般的に飼育中の甲虫類の幼虫が死亡するときはマットの表面に出てくるが、死亡したコカブトの頭部はマット中にあり、頭部以外の部位は見つからなかったこと、また、コカブトの飼育にはミールワームなどを幼虫の餌として用いることもあることから、幼虫同士の共食いが起こったと考えられる。

共食いが起こったと考えられるセットと共食いを起こさなかったセットを比較すると、幼虫の期間が異なり、共食いをしたセットではふ化後5週間後、共食いをしなかったセットで6週間後には前蛹に達した。この実験を行った時期の幼虫期間は6週間であり、共食いをすることで幼虫期間が短くなっていた。また、2頭で飼育していたセットの幼虫1頭あたりの体重は単体で飼育していたセットの個体より大きくなり、1.7倍となった。しかし2頭で飼育し、共食いをしなかった幼虫1頭あたりの体重増加率は2頭1セットで共食いをした個体の体重増加率と近似した(図18.)。

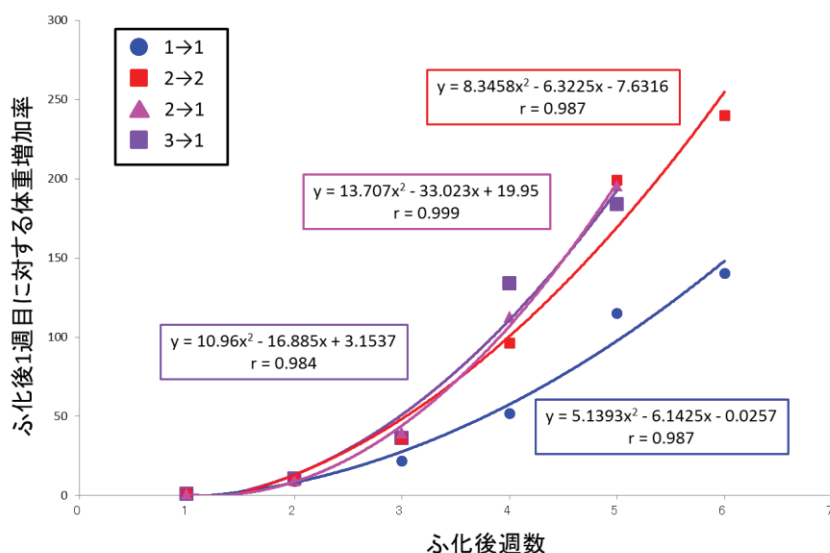


図 18. 幼虫における密度効果

(8) 成長解析

00 系統からほぼ同じ時期にふ化した 3 個体を選出し、ふ化後 4 週目のマット交換時にマットと幼虫の重量を測定し、ふ化後 5 週目との変化を比較した。これを元に 1 日あたりの摂食量、体重増加量、排泄量、呼吸量を求めたところ、排泄量は体重増加量の 1.6 倍となり、摂食量に対する成長効率は 31.8%であった。さらに摂食量の 18.7%は呼吸によって失われていると考えられる(図 19.)。さらにふ化後 4 週目とふ化後 5 週目の各重量の増減を比較したところ、幼虫の体重と比較しても糞および呼吸量が大きな割合を占めることが分かった(図 20.)。

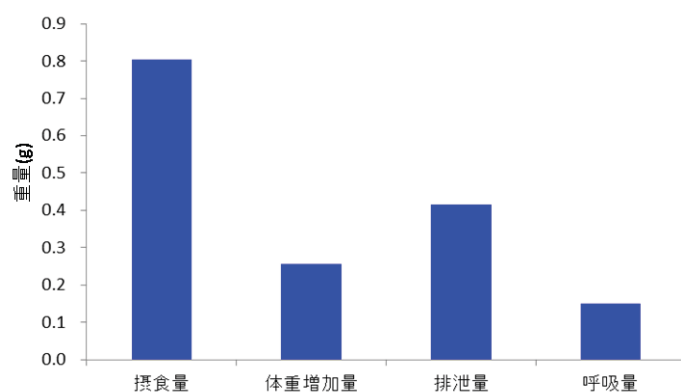


図 19. 一日あたりの摂食量・体重増加量・排泄量・呼吸量

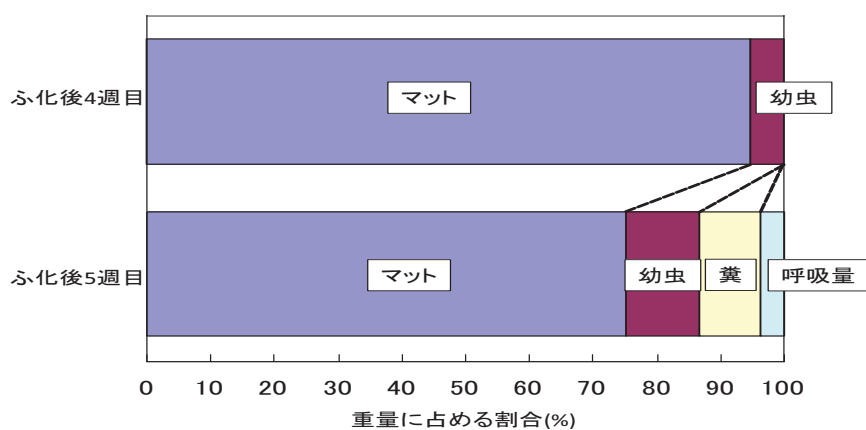


図 20. ふ化後 4 週目およびふ化後 5 週目の重量変化

オキナワコカブト幼虫の体重増加率の近似曲線、 $y = 7.5921x^2 - 15.692x + 8.9973$ の積分値 $y = 2.5307x^3 - 7.846x^2 + 8.9973x$ にふ化4週目からふ化5週目の体重増加量を代入してふ化1週目からふ化5週目の体重増加量を求めたところ、実際の体重増加量に近似な値である 2.41g が得られた(図 21.)。この式を用いてふ化1週目からふ化5週目の摂食量、排泄量、呼吸量を求めた。摂食量および体重の増加量から成長効率を求めたところ、31.8%であり、摂取したマットの約 32%を成長に利用していることが分かった(図 22.)。

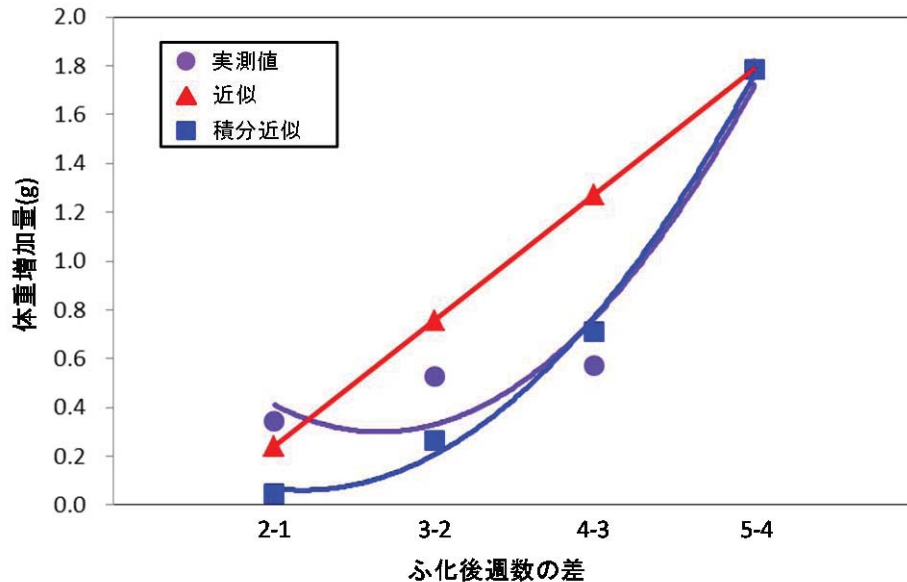


図 21. 体重増加量の実測値と近似値の比較

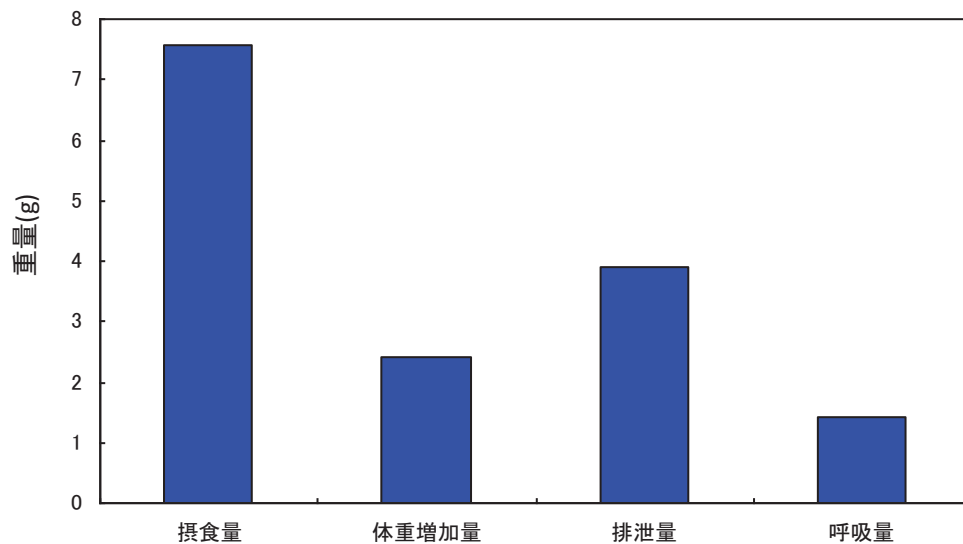


図 22. ふ化後1週目から5週目までの重量の推定値

餌は牛脂と高タンパクゼリー以外はよく食べたことから、オキナワコカブトは雑食であると考えられる。対して11番メッシュから2011年2月に得られた成虫は牛脂も食べた。また、F1が牛脂と高タンパクゼリーを食べなかった理由として、性成熟をしていないことが考えられる。

(9) エサの嗜好度

オキナワコカブトは昆虫の死骸を餌にする肉食であることが知られている。しかし今回の実験では、果物や黒糖のゼリーはよく食べたものの、高タンパクゼリーはあまり食べられず、牛脂は一切食べられていなかった(図 23.)。そこで、11 番メッシュから 2011 年 2 月に得られた成虫 6 個体に牛脂を与えてみると、5 個体で牛脂を食べた形跡が見られた。

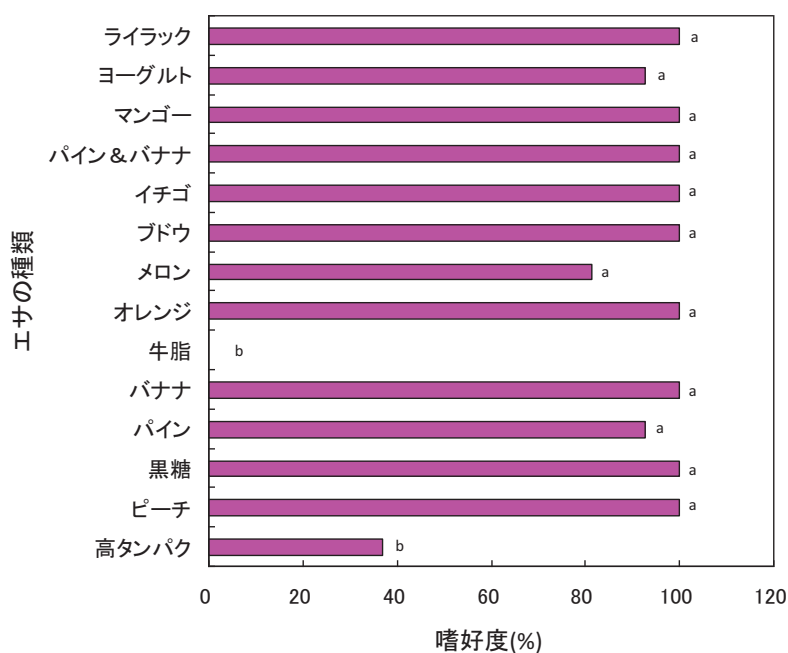


図 23. オキナワコカブト成虫の嗜好度

(10) 交配実験

交配実験は体重で組み合わせを変えて実験したが、相手の大きさで交尾相手を選ぶことはなかった。交尾の際、オスは鍵爪のような前肢の跗節でメスの鞘翅を固定して交尾器を挿入していた(図 24.)。交尾行動はまず、オスがメスを追跡し、マウント後に交尾器を挿入した。オスがメスを追跡する時間は、マウント後に交尾に至らない例や雌雄ともに動かなくなることがあったため測定が不可能であったが、マウントの時間は平均して 4.7 分、交尾の時間は平均して 72.0 分であった(図 25.)。また、1 匹のオスが何度も交尾することが出来るかを調べるために、一度交尾に成功したオスを他のメスと交配させると二度目も交尾に成功した。しかし、交尾したメスはすべて産卵にはいたらなかった。また 12 月になり、気温が低くなると交尾行動が見られなくなった。



図 24. オキナワコカブトの交尾

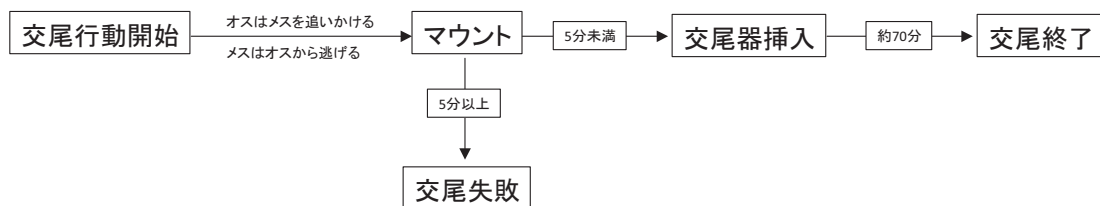


図 25. オキナワコカブトの交尾行動のフローチャート

4. 考察

アンケート結果よりオキナワコカブトは、認知度は低いものの沖縄本島全域に分布していることが分かった。また、オキナワコカブトの幼虫が確認できた環境の共通条件として、十分な腐葉土があること、日陰であること、適度に湿っていることがあげられた。このような幼虫の採集地の様子から、木の洞や側溝に堆積した腐葉土、倒木周辺の腐葉土などに産卵すると考えられ、幼虫が生育する場所は人間生活の影響の有無とは関係ないと考えられる。したがって、腐葉土が蓄積した山林のくぼ地や街路樹の下の腐葉土などでも発生すると推察される。オキナワコカブトの分布域が広範囲におよび、市街地などでも見られる理由は、幼虫の生息地が限定されないことに起因すると考えられる。

産卵および幼虫の飼育に使用したマットと調査地の含水率に大きな差異はなかった。これより、飼育環境は調査地の環境と類似したものであると考えられ、産卵および幼虫の飼育に際しては含水率 70%程度の完全に発酵した腐葉土を用いるのが適当であると考えられる。

オキナワコカブトの幼虫の経時的な体重変化を測定したところ、下に凸の二次関数に近似な曲線が得られた。一般的に生物の成長は、生育初期の緩慢な成長に引き続いて急速な成長がおこり、さらに成長は緩やかになるため、ロジスティック曲線に近似となる。これはオキナワコカブトの幼虫でも見られた体重増加であり、オキナワコカブトではふ化後 8 週目までは下に凸の二次関数に近似な曲線となったが、ふ化後 8 週目以降は上に凸の二次曲線に近似な曲線となり、全体としてロジスティック曲線となった。このことはオキナワコカブトの場合はふ化後 8 週目に幼虫の体重変化の変曲点があることを示唆している。しかし、オキナワコカブトの幼虫においては下に凸の二次関数に近似な成長をし、ふ化後 5 週目から 6 週目で前蛹となったため、幼虫の体重変化に変曲点は見られなかった。また、ふ化後 2 週目から 3 週目および 4 週目から 5 週目の間に急激な成長が見られることから、2 週目に脱皮して 2 齢幼虫となり 4 週目に脱皮して 3 齢幼虫になると考えられる。また、体長の増加は、体重とは異なり一次関数に近似となった。体重と体長の増加から、オキナワコカブトは幼虫の初期は伸長成長をし、徐々に肥大成長に移ると考えられる。一般的な完全変態型の昆虫は比較的硬い頭部の成長のために脱皮をし、伸長成長および肥大成長に移る(斉藤ら、1996)。本研究で見られたオキナワコカブトの成長もこれに準じていると推察される。

通常カブトムシは 1 年近くかけて卵から生殖が出来るまでに成長する。それに対して、オキナワコカブトは発生測定の結果より、卵の期間が約 1 週間、幼虫の期間が約 5 週間、前蛹および蛹の期間が約 4 週間であった。また、羽化後約 2 週間で採餌行動および交尾行動が見られたため、ふ化後約 11 週間で生殖が出来るまでに成長すると考えられる。このようにオキナワコカブトの生活環が通常のカブトムシより著しく短い理由のひとつとして、より早く成虫になる必要があるためであると推測できる。今回オキナワコカブトの幼虫を発見できた 6 番メッシュにはヤンバルクイナやケナガネズミなど昆虫を常食する鳥類や哺乳類も多く生息している。また、24 番メッシュでも昆虫類を捕食する鳥類などが生息していると考えられる。それにもかかわらず、オキナワコカブトは腐葉土や朽木の比較的浅い深さに卵を産み、幼虫や蛹もそこで成長する。これは天敵に捕食される可能性が高いことを意味しており、出来るだけ早く成虫となり天敵から逃げるなどして身を守る必要があると考えられる。

密度効果の実験では、同時に複数個体を飼育していたマットの個体数が減ったこと、オキナワコカブトの幼虫の頭部が発見できたこと、また、個体数が減ったマットに残っていた個体の成長が単体で飼育していたオキナワコカブトより早く成長していたことより、幼虫同士の共食いがおこったと考えられる。しかし、個体数が減らなかったセットもあったため、共食いがおきるのは両者の体長に差があるなど何らかの条件があると考えられる。本実験で共食いを起こした個体は、起こさなかった個体に比べて豊富な養分を得られたと考えられるが、それによって成虫の体が大きくなることはなく、蛹化までの期間が短くなっただけであった。これはオキナワコカブトが体を大きくするのではなく世代時間を短くすることで環境に適応しているためであると考えられ、幼虫期を短くすることで幅広い環境に適応していると考えられる(松香、2000)。密度効果の実験からオキナワコカブトは、産卵期間をずらして共食いによる個体数の減少を防いでいると考えられ、ほとんどのメスが長期にわたって産卵

を続けた理由も、1ヶ所に集中して産卵するのではなく、複数ヶ所に分散して産卵することで幼虫の個体密度を下げ、共食いの危険性を回避していると考えられる。一般的に生物は生息空間が相対的に狭くなると体を小さくする。これは負の密度効果と呼ばれ、昆虫類だけでなくほ乳類などでも見られる現象であるが、オキナワコカブトの場合はプリンカップに1頭飼育した場合と2頭飼育した場合を比較すると、2頭飼育した場合の方が1頭あたりの体重が増加した。このことからオキナワコカブトの幼虫の成長に負の密度効果は起こらず、2匹の個体がお互いに相手よりも成長することで自身の被食の危険性を回避しようとする何らかの機構がはたらいたと考えられる。オキナワコカブトは単独飼育すると産卵後の死亡数が少なく、高い割合で成虫となることが分かった。しかし、目撃情報が少なかったのは、幼虫同士で共食いが起こり、それによって個体数が減少するからであると考えられる。また、オキナワコカブトが生息している環境は腐葉土や朽木のあるところなど限られた環境下であるために、オキナワコカブトの生息できる場所が人の目に付きづらいことも目撃情報が少ない要因の一つになっていると考えられる。

一般的にオキナワコカブトの成虫は野生で他の昆虫の死骸を食べるなど肉食であることが知られている(下地、2012)。しかし、今回の実験では果物や黒糖のゼリーを好んで食べたこと、パイナップル畑での目撃情報があったことから、実際は雑食かつ多食性であることが考えられる。また、野生の個体が牛脂を食べたのに対してF₁は牛脂を食べなかったことから、性成熟していない成虫は動物性のものを食べないのではないかと推察される。昆虫類にはスクアレンからステロイド骨格を組み立てる合成系はないが、コレステロールはよく取り込まれ、ホルモンの原料になるステロイドが合成される(山崎ら、1986)。オキナワコカブトの成虫は成熟した個体や産卵中の個体がよく牛脂を食べていたため、生殖、産卵のために他の昆虫を食べることによってホルモンの原料となるステロイドや動物性タンパクを補っているのではないかと考えられる。また、若いF₁の成虫が牛脂や高タンパクゼリーを好まなかったのは、羽化して間もないために性成熟をしていないからであると考えられる。通常のカブトムシはえさ場を争う時に大きな角を使う。これに対してオキナワコカブトは、大きな角を持たない代わりに多食性になることで、餌に困らず、生息範囲を広げることが出来たのだと推察される。

オキナワコカブトのオスは交尾行動の際に前肢の附節の鍵爪になっている部位でメスの鞘翅を固定していた。また、オスの前胸部のくぼみは個体によって大きさに差があったのに対し、前肢の附節は全ての個体で太く、鍵爪のようにになっていた。オキナワコカブトにおいてオスの前肢の附節がメスと比べて太いという形質は交尾行動に使用するためのものであり、オキナワコカブトは角や体格などには性的二型が見られないが、前肢の附節には性的二型が見られると言える。つまりオキナワコカブトの雌雄判別には前胸部のくぼみではなく、前肢の附節を確認する方法が非破壊でかつ確実であると考えられる。しかし、幼虫時には性差がはっきりせず、雌雄判別は不可能であった。ヒラタクワガタやノコギリクワガタの場合、幼虫時には卵巣が形成されるため、体外から観察できる卵巣によって雌雄を判別できる(下地、2006)。しかし、オキナワコカブトは幼虫時に卵巣が発達しないことから、成虫時に卵巣を発達させると考えられ、羽化後2週間では交尾行動が可能になるものの、産卵には時間がかかると考えられる。その間メスはオスから受け渡された精子を受精のうに貯蓄し、卵が発達してから産卵に至ると考えられる(松香、2000)。また、産卵後期の卵が発生しなかった理由はこれに起因すると考えられ、受精のう内の精子が枯渇して卵が受精できず、未受精卵として産卵されたために発生がおこらなかったと考えられる。

交配実験では、相手の大きさによる交尾の成功率に差はなかった。ただし、交尾行動の際、オスが前肢の附節でメスの鞘翅をつかんでいたため、メスがあまりにも大きすぎる個体だと交尾が困難になると考えられる。オキナワコカブトの体格に性的二型が見られないのは、この交尾行動に起因すると考えられ、オスとメスの体格がほぼ同じであることで交尾の成功率を上げていると考えられる。本研究では10月以降に交尾した個体の産卵は確認できなかった。冬季には気温を28度に調節しても産卵しなかったこと、冬場に朽木の中でじっとしている成虫が発見されたこと、野外で幼虫が発見されたのが6月から9月ごろまでであったこと、気温が下がると交尾行動も見られなくなったことなどから、オキナワコカブトのメスは冬場には産卵せず、何らかのメカニズムで季節を感知し、春から夏にかけて産卵していると推察される。

カブトムシやクワガタムシなどの甲虫の多くは性的二型がはっきりとしており、オスにおいて角や大顎、大きな体などが発達し、メスではあまり発達しない。これは性淘汰のうち同性内選択がはたらいていると考えられており、オス同士でメスの獲得のために特殊な器官が発達する(松香ら、2000)。しかし、オキナワコカブトの場合は性的二型がはっきりしない。この理由のひとつとして、生息範囲内における密度が小さいため、オス同士の競争が起こりにくいためだと考えられる。しかし、交尾行動をとっている間は個体の移動が制限されるため、他のオスに発見される可能性がある。そのためオキナワコカブトのオスは長時間交尾を継続することでつがいを独占していると考えられる(松香ら、2000)。さらにクモやハナムグリにおいて長時間交尾は受精率を上げるために行われているという研究もあり(マーグリスら、1993)、オキナワコカブトの長時間交尾も同様な意味があると推察される。

本研究の結果、オキナワコカブトは沖縄本島全土に分布し、生息条件や発生時期を把握できれば比較的容易に発見出来ることが分かった。また飼育に際しては共食いにさえ気をつければ広い飼育場所や特殊なエサが必要なく、成虫、幼虫ともに容易に飼育できることが分かった。また、その生活環は一般的な年一化型の昆虫と比較すると極端に短く、幼虫期における体重増加量は下に凸の二次関数の曲線 $y = 7.5921x^2 - 15.692x + 8.9973$ に近似することが分かった。さらに、この近似曲線の積分値 $y = 2.5307x^3 - 7.846x^2 + 8.9973x$ と体重増加量には比例関係が見られたことから、摂食量、排泄量、呼吸量などにも同様に比例関係にあると考えられる。求めた数式を用いて成長効率を算出したところ、その値は約 30%であった。一般的な哺乳類の成長率は約 10%であると考えられており、これと比較すると非常に効率よく餌を体重に変換していることが分かる。しかし、オキナワコカブトは他の年一化型の昆虫類より成虫が長生きすると考えられるため、成長が見られない成虫期には採餌量の大半を生命維持に用いていると考えられることから、全体で見ると総成長率の 10%則に従っていると考えられる。

熱帯地方や亜熱帯地方では年一化型ではない昆虫類が多く分布しており、沖縄県においてもオキナワコカブト以外にもルイスツノヒョウタンクワガタなどが知られているが、その生態については明らかになっていない。また、今回比較対象として用いた年一化型の甲虫であるオキナワコカブトについても生活環の詳細は判然としない。本研究の結果からオキナワコカブトは甲虫類の生活環のモデルとして有力であると考えられ、ルイスツノヒョウタンクワガタのような生態の大部分が未知である昆虫類のモデルとして活用できるだけでなく、年一化型の生活環を持つ昆虫類における生活環の解明の一助になると考えられる。

6. 謝辞

本研究は沖縄大学ジュニア研究支援の補助金を受けて実施しました。ここに厚く御礼申し上げます。また、いつもご指導してくださった開邦高校理科教諭の宮城仁志先生、稲嶺弘樹先生には大変お世話になりました。さらにアンケート調査において快くご協力していただいた開邦高校職員および生徒の皆様、オキナワコカブトの生育条件や分布について情報提供をいただいた開邦高校理科教諭の新城憲一先生、名護商工高校理科教諭の名嘉一史先生、琉球大学の佐々木健志先生、クワガタ仙人様に感謝申し上げます。

7. 参考文献

- ・合原一幸ほか、2010、科学 2010 年 12 月号、いまモデル化が求められる理由、岩波書店
- ・青木淳一ほか、2010、沖縄大学地域研究所ブックレット 12 オープンミュージアム!やんばるの森のまか不思議～沖縄・やんばるから考える日本の森林と生物多様性～第 465 回沖縄大学土曜教養講座・生物多様性シリーズ Part3、沖縄大学地域研究所
- ・東清二ほか、1987、沖縄昆虫野外観察図鑑 第 2 巻甲虫目、沖縄出版
- ・安藤裕、1991、昆虫発生学入門、財団法人東京大学出版会
- ・岩瀬重雄、2008、高校数学公式活用事典、旺文社
- ・岩波洋造ほか、1991、絵をみてできる生物実験 Part II、講談社サイエンティフィク
- ・岩波洋造・森脇美武、2001、絵をみてできる理科実験、講談社サイエンティフィク
- ・海野和男、2001、人気の外国産を含むクワガタムシ&カブトムシ、株式会社永岡書店
- ・海野和男・筒井学、1998、虫を採る・虫を飼う標本をつくる、偕成社
- ・小原嘉明、1997、昆虫生物学、株式会社朝倉書店
- ・川上洋一、2002、親子 de 採集&飼育カブト・クワガタ 2、株式会社人類文化社
- ・河野和男、2007、カブトムシと進化論ー博物学の復権ー、新思索社
- ・木村政昭、2002、琉球弧の成立と生物の渡来、沖縄タイムス社
- ・木元新作、1993、集団生物学概説、共立出版
- ・クワガタ仙人のブログ、<http://ameblo.jp/hak0164/>、2012 年 5 月 17 日アクセス
- ・Tomas Roslin、1999、Spatial ecology of dung beetles、Academic dissertation of the University of Helsinki
- ・後藤由紀子、2002、沖縄のクワガタムシⅣ、第 24 回沖縄県青少年科学作品展作品集、(株)沖縄電力
- ・後藤由紀子、2004、沖縄のクワガタムシⅥ～6 年間のまとめ～、第 26 回沖縄県青少年科学作品展作品集、(株)沖縄電力
- ・斎藤哲夫ほか、1986、新応用昆虫学 三訂版、朝倉書店
- ・酒井香・藤岡昌介、2007、日本産コガネムシ上科図説 第 2 巻 食葉群 I、TAITA Publishers(Czech Republic)
- ・下地幸夫、2006、沖縄のクワガタムシ、新星出版株式会社
- ・下地幸夫、2012、沖縄のカブトムシ、新星出版株式会社
- ・新城明久、1999、生物統計学入門ー計算マニュアルー、朝倉書店
- ・鈴木知之、2011、朽木に集まる虫ハンドブック、株式会社文一総合出版
- ・鈴木範男ほか、2009、身近な動物を使った実験 4、三共出版

- ・ 泰中啓一・吉村仁、2007、生き残る生物絶滅する生物、日本実業出版社
- ・ 辻新六・有馬昌宏、1994、アンケート調査の方法、朝倉書店
- ・ 富岡憲治ほか、2003、時間生物学の基礎、裳華房
- ・ 西田睦ら、2003、琉球列島の陸水生物、東海大学出版会
- ・ 日本生態学会編、2012、シリーズ現代の生態学 5 行動生態学、共立出版
- ・ 瀬野裕美、2007、数理生物学個体群動態の数理モデリング入門、共立出版
- ・ 長谷川真理子、2005、クジャクの雄はなぜ美しい?、紀伊国屋書店
- ・ 福田晴夫ほか、2009、増補改訂版 昆虫の図鑑採集と標本の作り方、南方新社
- ・ ホルスト R. ティーメ、2006、生物集団の数学(上)、日本評論社
- ・ ホルスト R. ティーメ、2008、生物集団の数学(下)、日本評論社
- ・ 本郷儀人、2012、カブトムシとクワガタの最新科学、メディアファクトリー新書
- ・ 前田正男・松尾嘉郎、1974、図解土壌の基礎知識、農山漁村文化協会
- ・ 松香光夫、2000、昆虫の生物学、玉川大学出版部
- ・ 湊和雄、2012、沖縄やんばるフィールド図鑑、実業之日本社
- ・ 森昭彦、2008、身近なムシのびっくり新常識 100、サイエンス・アイ新書
- ・ 森上信夫、2009、樹液に集まる昆虫ハンドブック、株式会社文一総合出版
- ・ 安間繁樹、2001、琉球列島 生物の多様性と列島の生き立ち、東海大学出版
- ・ 山崎幹夫ほか、1986、天然の毒 毒草・毒虫・伏谷伸宏、講談社サイエンティフィク
- ・ 横川忠司、2008、日本のクワガタムシハンドブック、株式会社文一総合出版
- ・ 吉川寛・堀寛、2009、研究をささえるモデル生物—実験室いきものガイド、(株)化学同人
- ・ 吉武成美ら、1980、昆虫実験法—研究編、学会出版センター
- ・ 吉武成美ら、1981、昆虫実験法—材料・実習編、学会出版センター
- ・ 吉田賢治、2000、カラー図鑑クワガタムシ・カブトムシ、成美堂出版
- ・ リン・マーグリズ+ドリオン・セーガン、1993、不思議なダンス 性行動の生物学、青土社

講 評

カブトムシの仲間は子供から大人まで人気があり、常に興味を惹く昆虫の一つです。その一方で環境の変化や採集圧、外来種の影響等で必ずしも安定した生息環境が維持できているわけではありません。甲虫類にはオキナワカブトやヤンバルテナゴコガネなど希少種や保護対象の種も多く、その反面、その生態や生活環はまだまだ解明できていません。こういった希少種や保護対象の種を保護する一つとして、飼育する手法がありますが飼育の失敗は回避したいところです。こういった事を考慮すると、これらの生物の保護に寄与できる生活環や生態の把握できたモデルとなる近縁種が存在することは、いろいろな知見を得るためにとても大切なこととなります。今回のレポートではこれらの事柄に対して、期待を十分に抱かせる、可能性のある研究内容と思います。日常の生活で拾い上げた不完全な死骸から、大きなテーマへとつなげた事も大きな魅力の一つとなっています。研究テーマを達成するために不可欠な、「普通種であること」を証明するために、基礎的データとなる生息域を確認する調査を行ったことも評価できます。疑問を解決する研究が、個別の得意な話題に終始してしまう事が多い中、その土台となる分布域を把握したことはとても良いことだと思います。加えてこの研究ですばらしい事は、1つの結論をだすために、いろいろな指標を用いて多角的に統合的に検討を加えている姿勢です。1つの実験結果から1つの結論を導くことは大変危険で、1つのデータを関連のある複数のデータと比較して結論を導くと非常に説得力のある結論となります。同時に、他のレポートと比較して特徴的な事は参考文献の多さです。研究内容に対する文献調査を、確実に様々な角度から行うことは、研究成果の既知と未知を明確にして、客観的な結論を導くことに繋がります。パネル内容も提示内容を絞って、第三者に分かりやすく伝える配慮が感じられます。今回の研究内容では、データ数がまだ少ないことが少し残念です。

今後の期待としては、遺伝的多様性と行動特性との関係や、雌雄の区別法の新たな開発、近縁種との比較によるモデルとしての妥当性の強度を測る研究などがあります。

沖縄県教育長賞

第35回沖縄青少年科学作品展

台風の風速に関する研究 —同じ気圧傾度でなぜ風速が異なるか—

沖縄県立球陽高等学校
1年 松田 留佳、小橋川 南、金城 侑那

I 動機・目的

平成24年8月26日～27日にかけて沖縄本島に台風15号（26日9時現在、中心気圧910hPa、中心付近の最大風速50m/s）が直撃した。当初、沖縄気象台は、「沖縄本島地方の観測史上で過去最大規模となり、那覇で観測したこれまでの1位の記録73.6 m/sに匹敵する記録的な暴風が吹く恐れがある」と厳重警戒を呼び掛ける異例の会見を行った（図1）。しかし、観測された風速は予測されていた風速を大きく下回り、最大瞬間風速は球陽高校で27.3m/s、名護で38.1m/s（予想の半分）しかなかった。その3週間後、台風16号（9月15日9時現在、中心気圧905hPa、中心付近の最大風速55m/s）が沖縄本島を直撃した。沖縄気象台は、15号と同様に「最大瞬間風速70m/sの猛烈な風が吹く恐れがある」と警戒を呼び掛けた。最大瞬間風速は、球陽高校で35.8m/s、国頭村奥で55.3m/sを記録した。予測の時点では、両台風とも最大瞬間風速70m/sと予想されていたが、15号よりも16号の方が風速が強く、被害も大きかった。

更にその2週間後、台風17号（9月29日9時現在、中心気圧930hPa、中心付近の最大風速45m/s）が沖縄本島を直撃した。沖縄気象台は「最大瞬間風速60m/sの猛烈な風が吹く恐れがある」としたが、15号、16号のような厳重警戒を呼び掛ける記者会見は行わなかった。最大瞬間風速は球陽高校では42.5 m/s（その後データ途絶える）、那覇市で61.7m/sを記録した。球陽高校では、校舎の壁にある校章が一部吹き飛ぶ、クラスの窓が割れるなどの被害があった。また、沖縄全体ではトラックが横転する、電柱が折れる、県内全戸の過半数が停電するなどの被害があった。17号は、沖縄本島を立て続けに襲った3つの台風の中では最も影響が大きかった。

私たちはこの3つの台風が、①眼が沖縄本島を通過した ②接近通過時の中心気圧が低かった ③同じ時期に直撃したという点で、大変似た特徴を持つ台風なのに、どうして風速がこんなにも違ったのか疑問に思った。そこで、学校独自の観測に成功した15号と16号（図2）について、観測結果をもとに気圧傾度を算出し、台風15号の風速が予想を大きく外れて弱かった原因を分析することを研究目的とした。また、17号については、風速が猛烈に強かった原因を、記録に残っている部分だけを用いて分析することを研究目的とした。



図1 厳戒を呼び掛ける新聞記事
（沖縄タイムス 2012年8月25日）

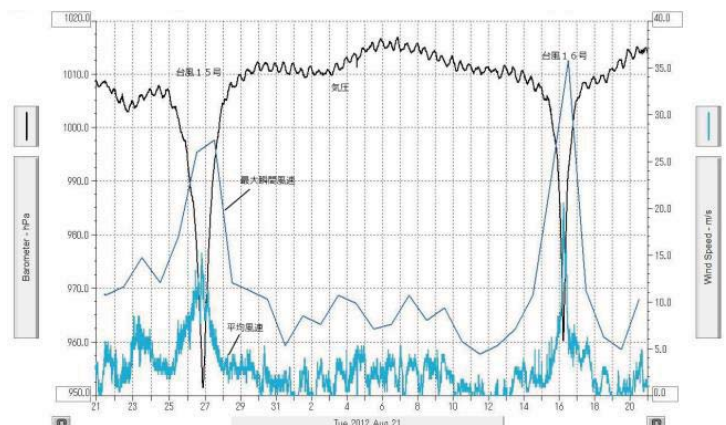


図2 球陽高校独自観測結果

Ⅱ 研究の方法

1 観測装置

- (1) メーカーと製品名 DaVIS VantagePro2
 (2) 気象観測要素 (解像度、レンジ、公称精度)

表 1 気象観測要素

気象要素	解像度	レンジ	公称精度
気圧	0.1hPa	880~1080hPa	±1.0hPa
気温 (屋外)	0.1℃	-40~+65℃	±0.5℃
気温 (屋内)	0.1℃	0~+60℃	±0.5℃
湿度 (屋外)	1%	0~100%	±3% (90%以上のとき4%)
湿度 (屋内)	1%	10~90%	±5%
露点温度	1℃	-76~+54℃	±1.5℃
降水量	0.25mm	0~999.9mm (日雨量)	±4%
風向	1°	0~360°	±7°
風速	0.5m/s	1~68m/s	±5%または1m/sの大きい方
日射量	1W/m ²	0~1800W/m ²	±5%
紫外線量	20未満:0.1MED 20以上:1MED	0~199MED	±5%

(3) 設置場所

北緯 26 度 19 分 8.4 秒東経 127 度 47 分 5.4 秒

球陽高校は、沖縄本島中部の沖縄市の標高 100m の高台にあり、周辺に高い建造物はない。観測装置は、校舎の最も高い場所に設置した (図 3、図 4)。



図 3 球陽高校の位置 (yahoo 地図より)



図 4 気象観測装置

2 方法

台風 15 号、16 号、17 号について以下の方法でデータ解析を行った。ただし、台風 17 号では、台風の接近中に風速計のデータが途絶えたため、その前までのデータを用いた。

(1) 気圧傾度（等圧線に対して直角に測った 1 km あたりの気圧差）を求める

①観測データから直前 1 時間の気圧変化 a (hPa) を求める。

②直前 1 時間の等圧線間隔 r (km) は、地上天気図から台風の進行速度 v (km/h) と同じである (図 5)。

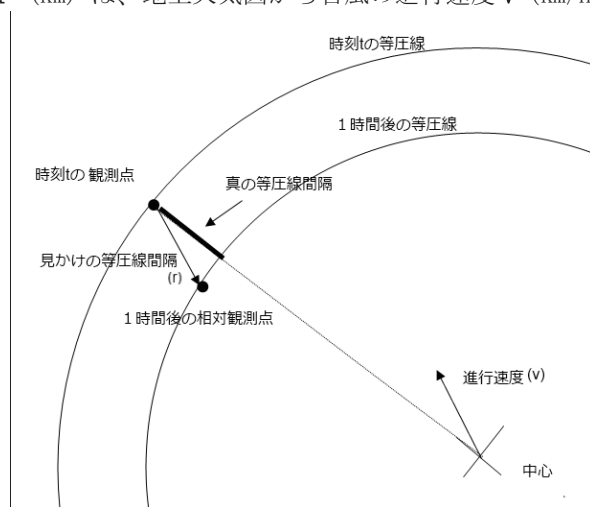


図 5 真の等圧線間隔と見かけの等圧線間隔

③地上天気図から台風の中心方向 β (°) を読み取る。その際、北を 0°として時計回りに 360°で計測する。

④台風の進行方向 α (°) と台風の中心方向より台風の進路と台風の中心方向のなす角 θ (°) を次式で求める。

$$\theta = \alpha - 180 - \beta$$

すると、見かけの等圧線間隔 r (km) と等圧線と直角に測定した真の等圧線間隔 d (km) のなす角が θ であるから、

$$\text{真の等圧線間隔} = \text{見かけの等圧線間隔} \times \cos \theta$$

$$d = r \cdot \cos \theta$$

となる (図 5, 図 6)。

ただし、 θ が 85°以上 95°以下の範囲では $\cos \theta$ の値が急激に変化する。 θ の少しの誤差で真の等圧線間隔が大きく変化してしまうため、計算対象から除外した。

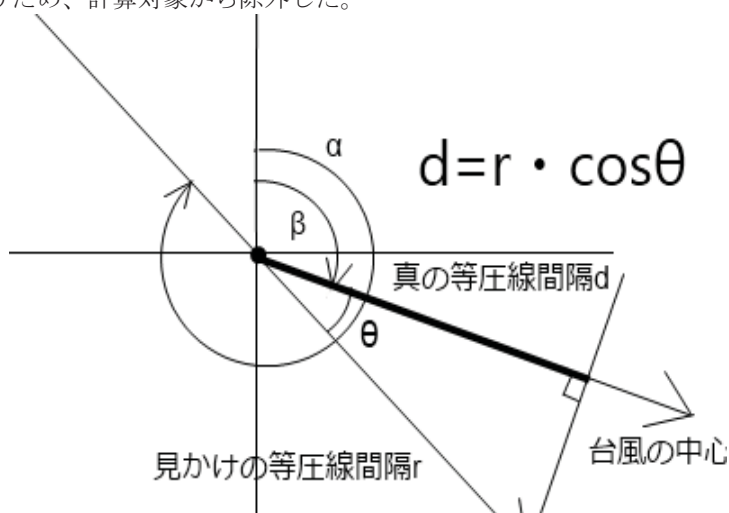


図 6 真の等圧線間隔の測り方

⑤直前 1 時間の気圧変化 a (hPa)、等圧線間隔 d (km) より

$$\text{気圧傾度} = a/d \text{ (Pa/km)}$$

となる。

ただし、中心が最接近し気圧が上昇に転じたら、前 1 時間気圧変化ではなく後 1 時間気圧変化を計算した。

(2) データ解析方法

- ①各台風の気圧傾度 a/d (Pa/km)、平均風速、最大瞬間風速の時系列変化グラフを描き比較する。
- ②各台風の気圧傾度と平均風速の相関図を描き比較する。
- ③気象レーダー画像との関係を調べる。

【補足】用語説明

- ・気圧傾度…1 km あたりの気圧差 (Pa/km)。空気は高圧側から低圧側へ流れることから、気圧傾度の値が大きくなるほど強い風が吹く。
- ・平均風速…10 分間の間に計測された風速の平均値 (m/s)。一般に「風速」は「平均風速」を指す。
- ・最大風速…平均風速の最大値 (m/s)。
- ・最大瞬間風速…定められた時間内に計測された瞬間風速の最大値 (m/s)。本研究では、10 分間ごとの最大瞬間風速を用いた。

Ⅲ 結果

1 観測および計算結果

検証範囲は、球陽高校の気圧が 1000hPa 未満を観測した時間帯とした。天気図が作成されていない時間帯の中心方向は比例配分して求め、進行速度は次に観測された進行速度を同じ値とした。

球陽高校の気圧が 1000hPa 以下の月日・時刻・中心気圧・進行方向・進行速度・中心方向（北から時計回り）は以下の通りである。

(1) 台風 15 号

月日	時刻	中心気圧 (hPa)	進行方向	進行速度 (km/h)	中心方向 (°)
8 月 25 日	12:00	940	NNW	15	135
8 月 25 日	15:00	930	NW	15	132
8 月 25 日	18:00	930	NW	15	132
8 月 25 日	21:00	920	NW	15	135
8 月 26 日	3:00	920	WNW	10	135
8 月 26 日	6:00	920	NW	15	135
8 月 26 日	9:00	910	WNW	15	135
8 月 26 日	12:00	910	NW	15	130
8 月 26 日	15:00	910	NW	15	120
8 月 26 日	18:00	910	NNW	20	90
8 月 26 日	21:00	920	NW	20	45
8 月 27 日	3:00	930	NW	20	0
8 月 27 日	6:00	940	NW	20	355
8 月 27 日	9:00	950	NNW	20	355
8 月 27 日	12:00	950	NNW	20	353
8 月 27 日	15:00	960	NNW	30	350
8 月 27 日	18:00	960	NNW	30	352
8 月 27 日	21:00	960	NNW	30	355

(2) 台風 16 号

月日	時刻	中心気圧 (hPa)	進行方向	進行速度 (km/h)	中心方向 (°)
9 月 15 日	12:00	905	NNW	20	175
9 月 15 日	15:00	905	NNW	20	172
9 月 15 日	18:00	905	NNW	20	170
9 月 15 日	21:00	910	N	20	175
9 月 16 日	3:00	925	N	20	160
9 月 16 日	6:00	925	N	25	90
9 月 16 日	9:00	925	N	25	30
9 月 16 日	12:00	925	N	25	25
9 月 16 日	15:00	930	N	30	20
9 月 16 日	18:00	930	N	35	16
9 月 16 日	21:00	935	N	35	15

(3) 台風 17 号

8:40 に風向・風速計が壊れたため 9:00 以降の中心方向は求めている。

月日	時刻	中心気圧 (hPa)	進行方向	進行速度 (km/h)	中心方向 (°)
9 月 29 日	3:00	930	NE	20	228
9 月 29 日	6:00	930	NE	20	225
9 月 29 日	9:00	930	NE	25	— — —
9 月 29 日	12:00	935	NE	30	— — —
9 月 29 日	15:00	935	NE	30	— — —

2 風速と気圧傾度の時系列変化

(1) 台風 15 号

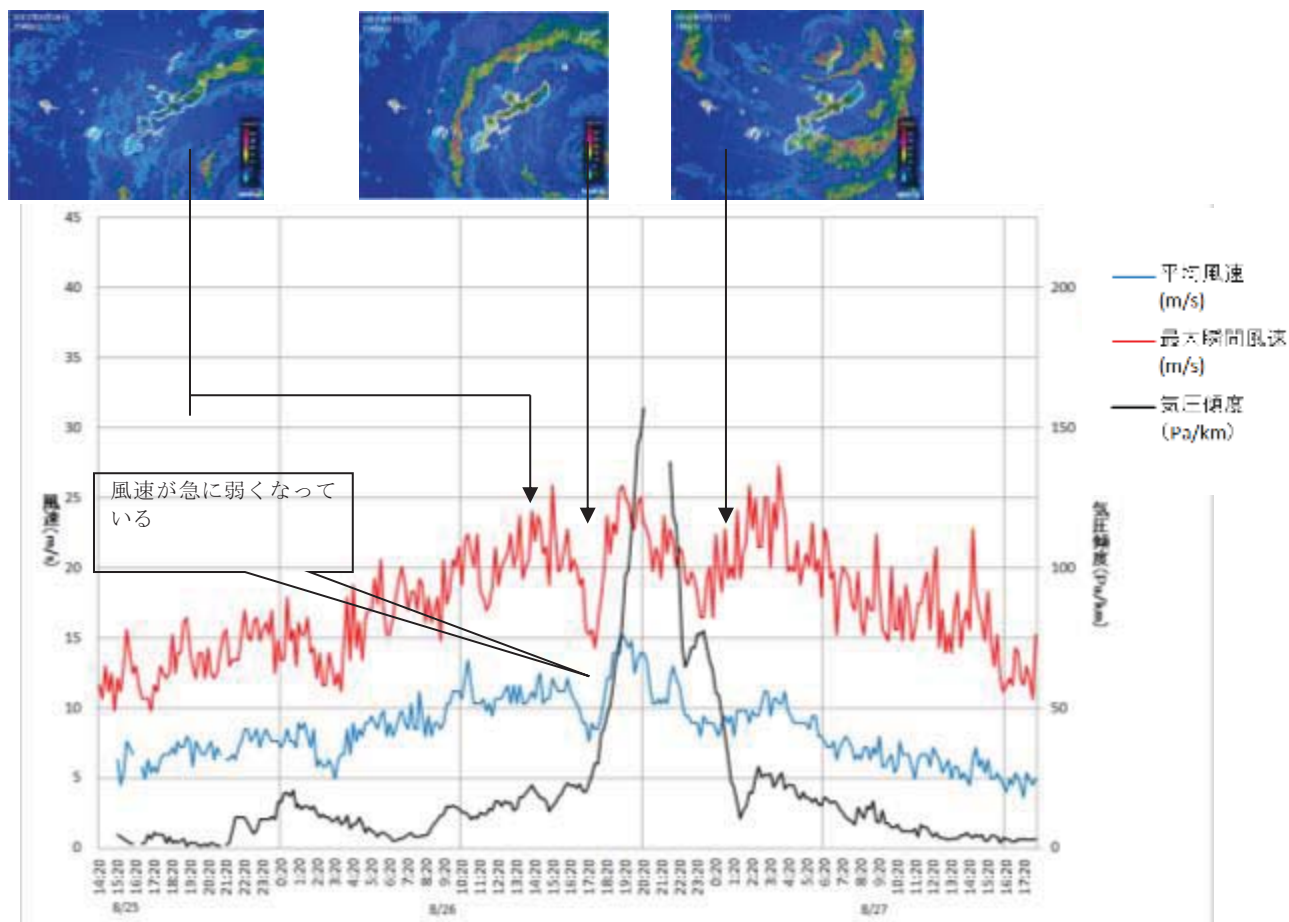
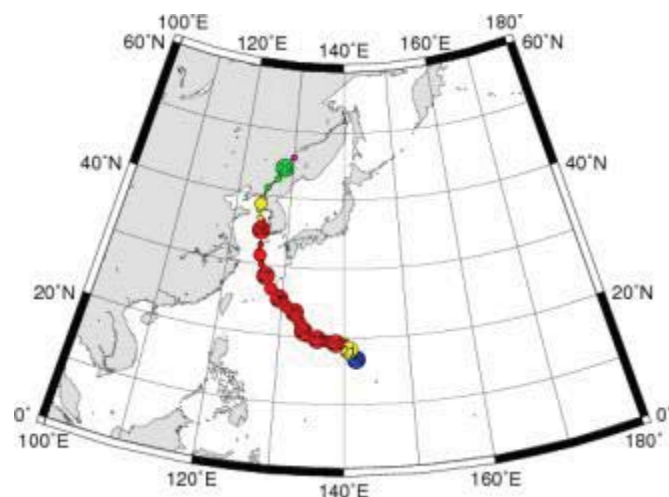


図7 風速と気圧傾度の時系列変化 (台風 15 号)

気圧が 1000hPa 未満になったのは、8 月 25 日 14:20 から 27 日の 18:10 にかけての約 3 日と 4 時間であった。

風速と気圧傾度の時系列変化 (図 7) より、26 日 16:00 から 26 日 19:00 にかけて、台風の接近に伴い気圧傾度の値が急に大きくなっていることが分かる。しかし、その時間帯は一時的に平均風速が約 5 m/s、最大瞬間風速では約 7 m/s 弱まっている様子が分かる。



(2) 台風 16 号

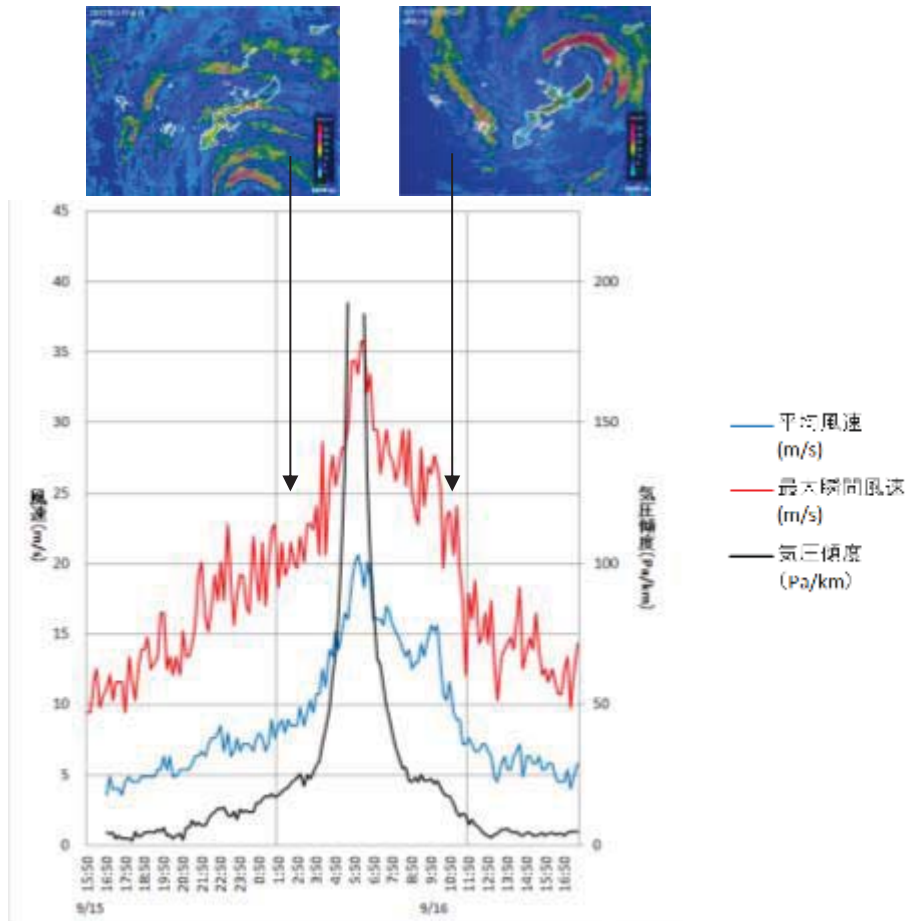
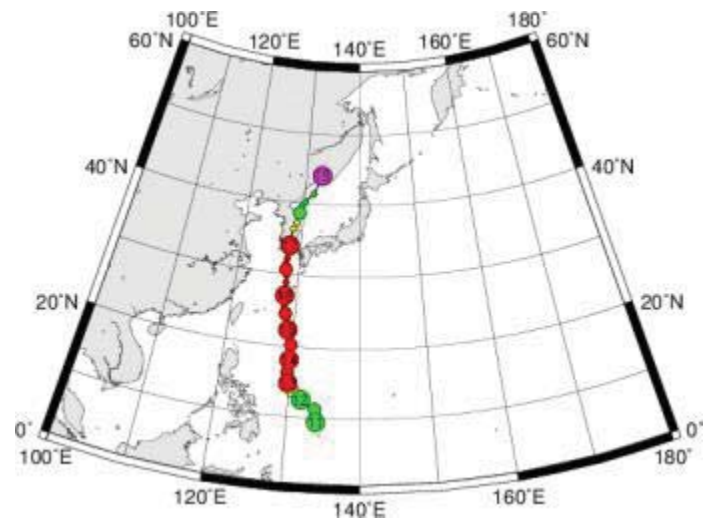


図8 風速・気圧傾度の時系列変化（台風 16 号）

気圧が 1000hPa 未満となったのは、9 月 15 日 15: 50 から 16 日 17:30 にかけての約 2 日と 2 時間であった。

風速・気圧傾度の時系列変化（図 8）より、気圧傾度の値の増加とともに平均風速・最大瞬間風速も強まっていることが分かる。

接近と風速の変化の様子から、標準的な台風と言える。



(3) 台風 17 号

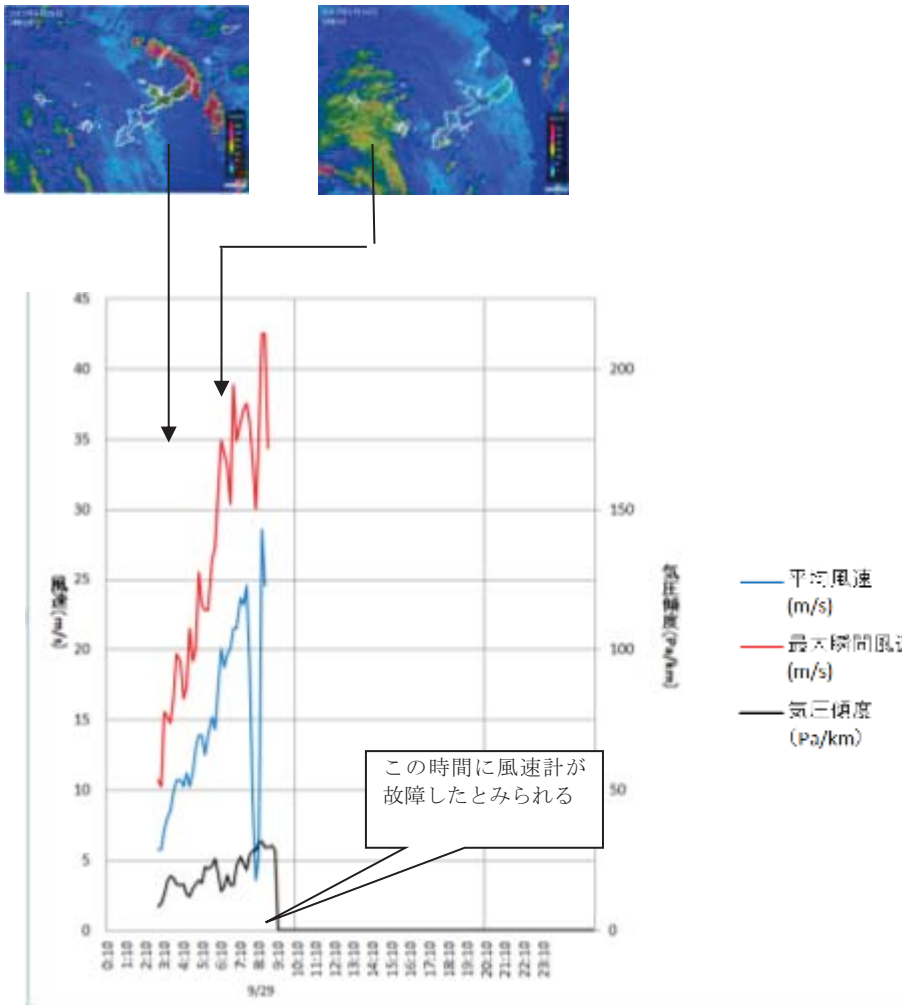
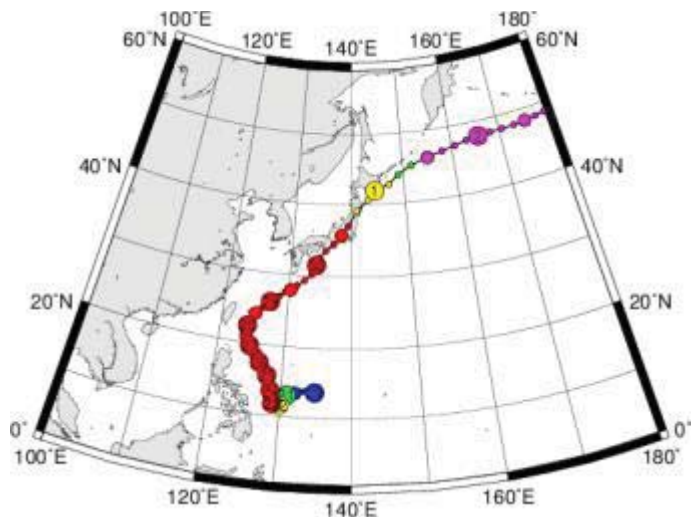


図9 風速・気圧傾度の時系列変化（台風 17 号）

台風 17 号の観測では接近中の 9 月 29 日 8:40 に風速のデータが途絶えた。

風速・気圧傾度の時系列変化（図 9）より、15 号、16 号とは異なり、気圧傾度の値の急激な増加がみられないが、風速が急激に強まっているのが特徴である。



3 気圧傾度と平均風速の相関図

(1) 台風 15 号

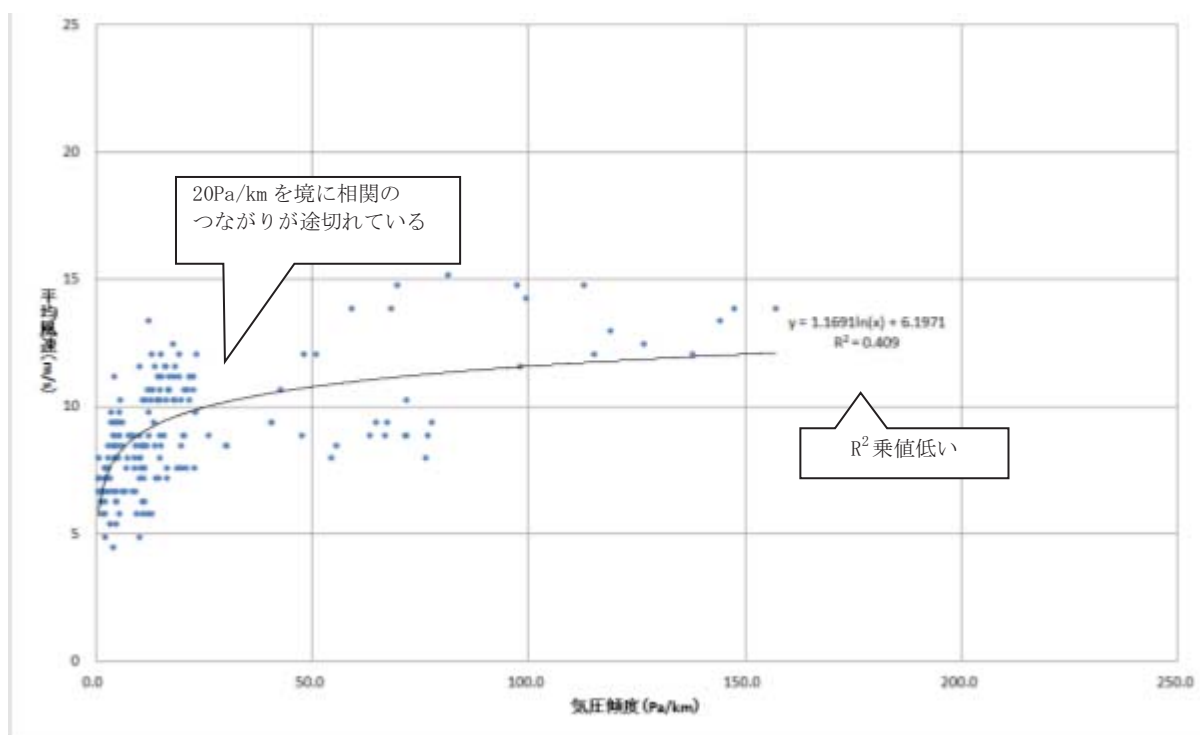


図 10 気圧傾度と平均風速の関係（台風 15 号接近時）

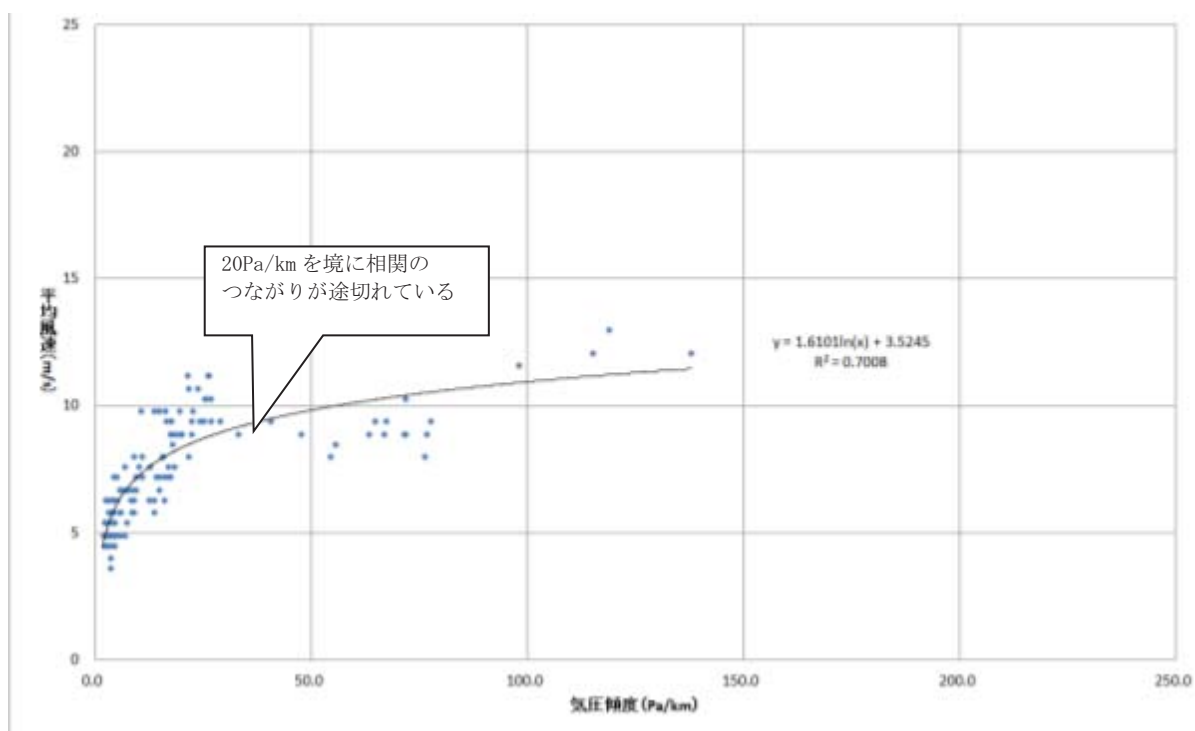


図 11 気圧傾度と平均風速の関係（台風 15 号通過後）

(2) 台風 16 号

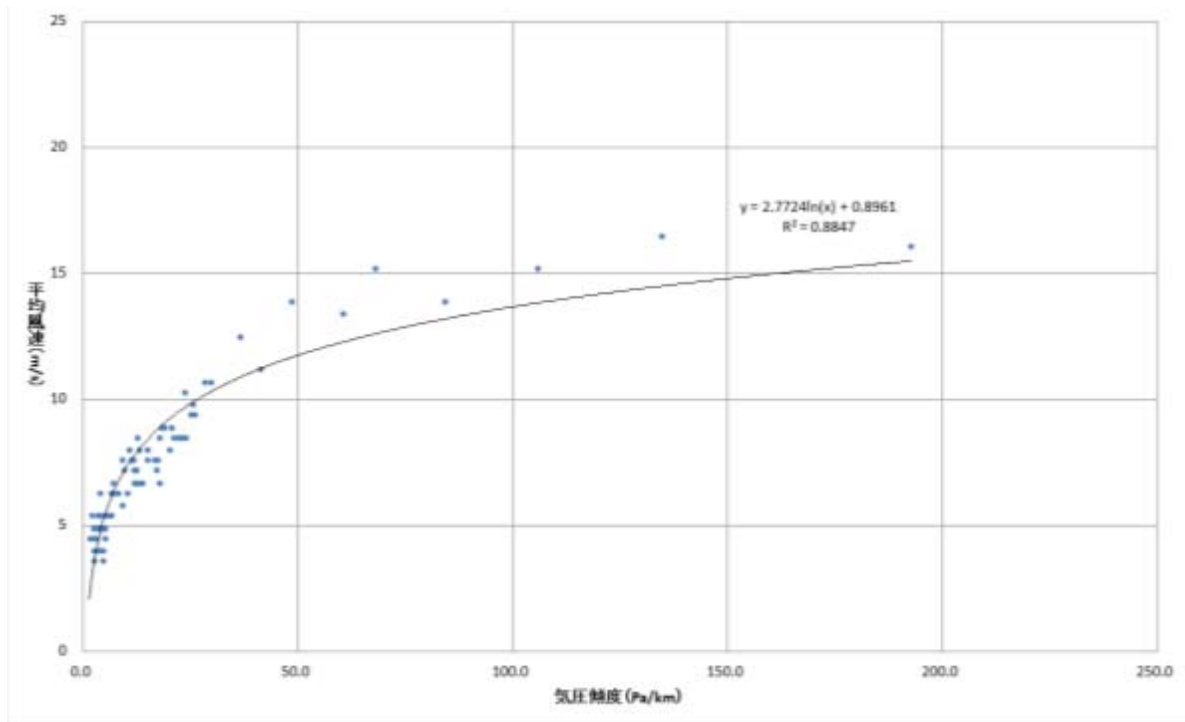


図 12 気圧傾度と平均風速の関係（台風 16 号接近時）

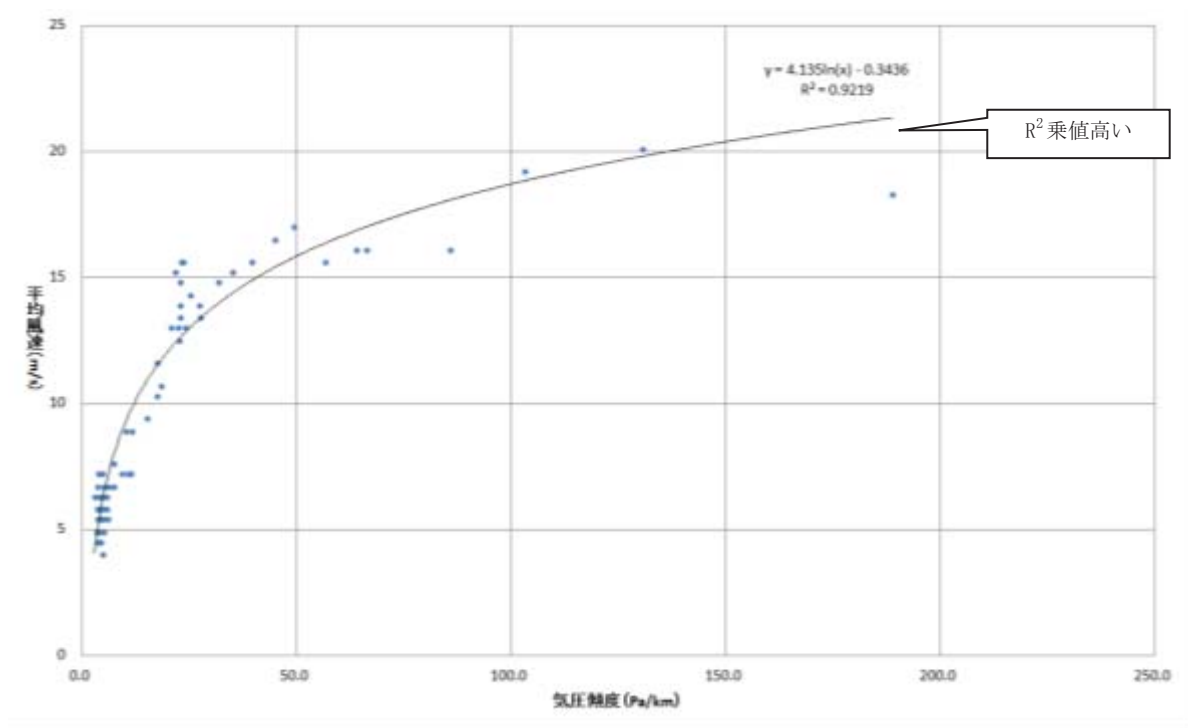


図 13 気圧傾度と平均風速の関係（台風 16 号通過後）

(3) 台風 17 号

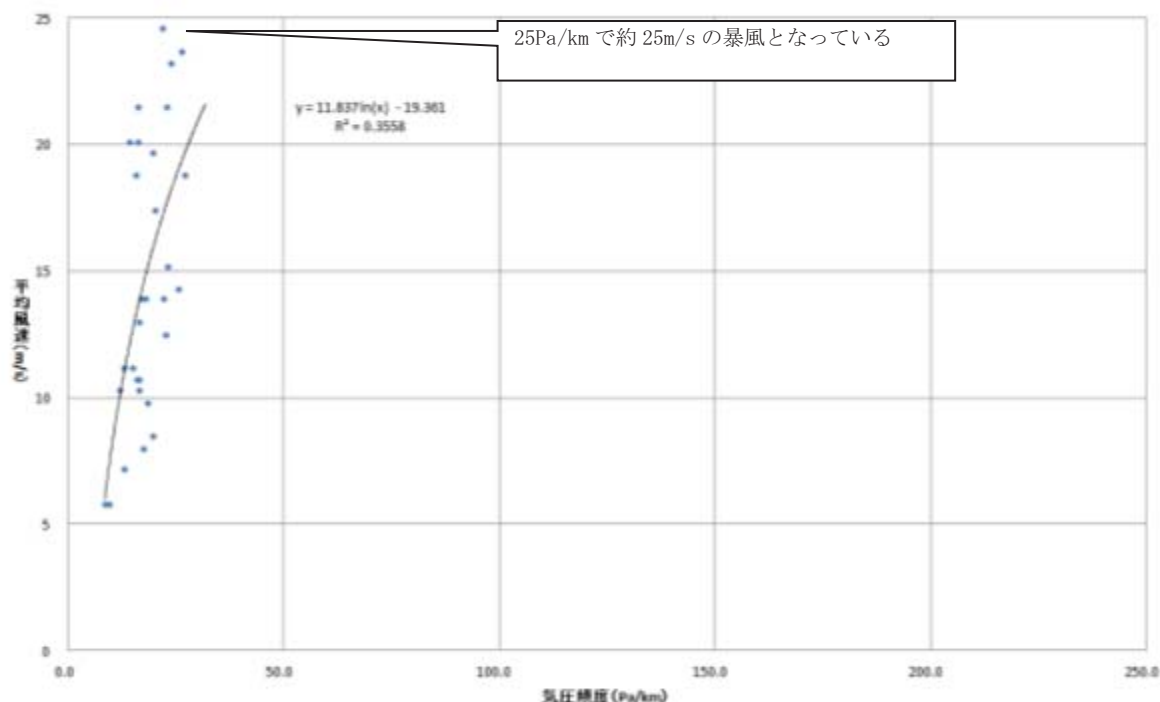


図 14 気圧傾度と平均風速の関係（台風 17 号接近時）

気圧傾度と平均風速の相関図（図 10～図 14）を見ると、気圧傾度と平均風速にはグラフ中に示した近似曲線（各点の最も近くを通る曲線）のような正の相関があることが分かる。

近似曲線の近似式と R-2 乗値（近似曲線がデータによく合う曲線かどうかを示す指標で一般的には、0.5～0.8 なら回帰式が成立する可能性があることを示し、0.8 以上であれば、成立する可能性がかなり高いことを示すと言われている）は次の通りである。

台風 15 号（接近時）	$y = 1.1691 \ln(x) + 6.1971$	$R^2 = 0.409$
（通過後）	$y = 1.6101 \ln(x) + 3.5245$	$R^2 = 0.7008$
台風 16 号（接近時）	$y = 2.7724 \ln(x) + 0.8961$	$R^2 = 0.8847$
（通過後）	$y = 4.1351 \ln(x) - 0.3436$	$R^2 = 0.9219$
台風 17 号（接近時）	$y = 11.837 \ln(x) - 19.361$	$R^2 = 0.3558$

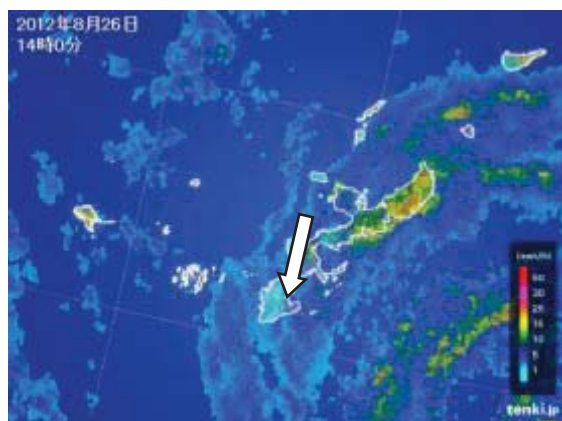
接近時と通過後の近似式を比べると、15 号では接近時約 1.2 と通過後約 1.6 でほぼ似た係数となっている。しかし、16 号では接近時約 2.8 に対し、通過後約 4.1 と通過後の方が係数は大きくなっている。このことから、通過後の「吹き返しの風」方が気圧傾度の割に風速が強くなっていたことが分かる。

17 号では近似式の係数が約 11.9 とほかの台風より極めて大きいことから、気圧傾度の割に風速が猛烈に強くなっていたことが分かる。

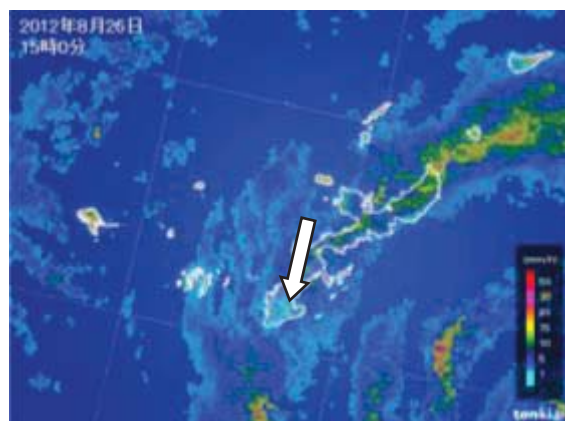
4 気象レーダー画像と球陽高校で観測された風速・風向

(1) 台風 15 号

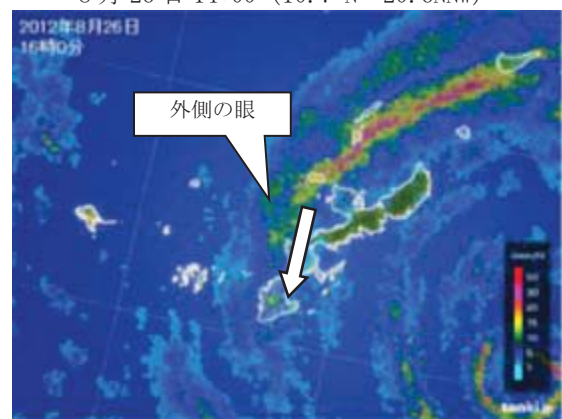
各時刻の () 内の値は平均風速と風向・最大瞬間風速と風向を示す。図中の矢印は球陽高校での平均風速 (長さは風速) を示す。



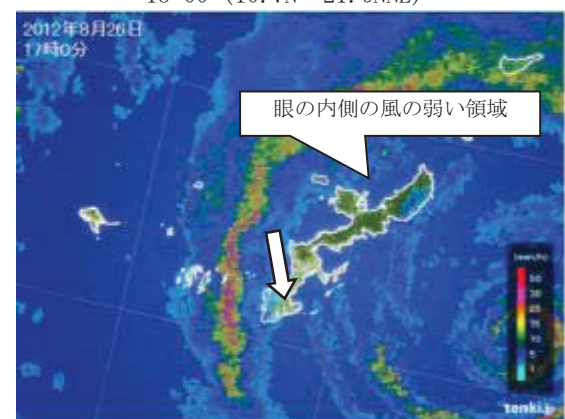
8 月 26 日 14:00 (10.7 N 20.6NNW)



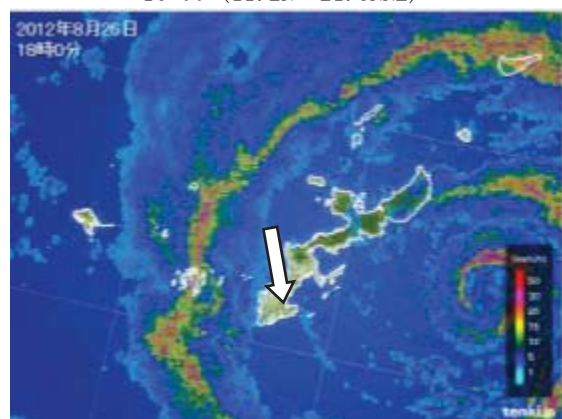
15:00 (10.7N 21.0NNE)



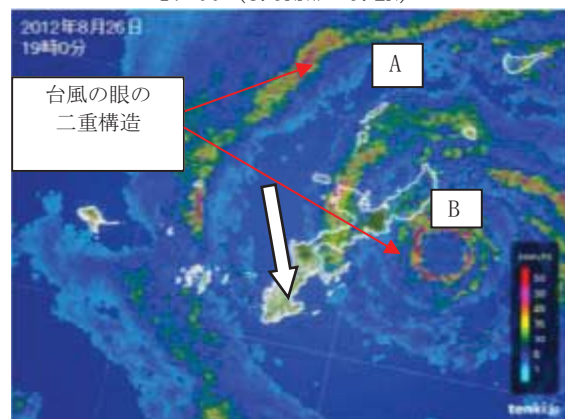
16:00 (11.2N 21.5NNE)



17:00 (8.9NNW 9.2N)



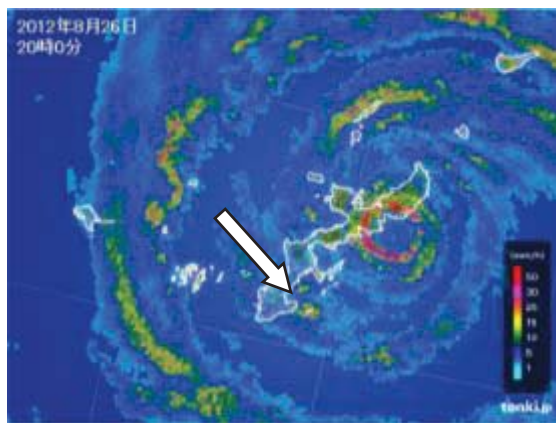
18:00 (9.4NNW 17.9N)



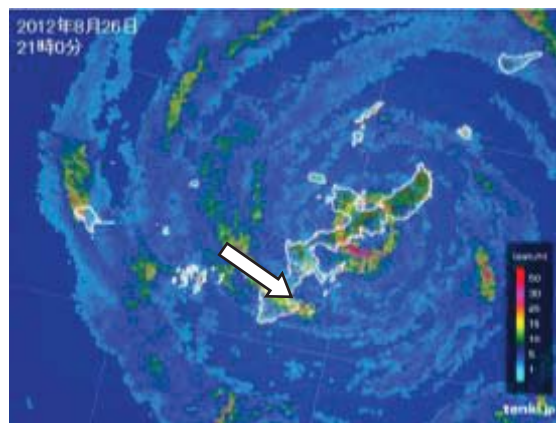
19:00 (14.8NNW 25.5NNW)

眼の直径

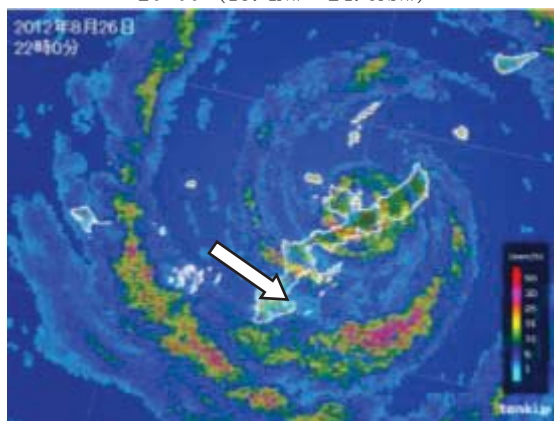
A:約 185km B:約 20km



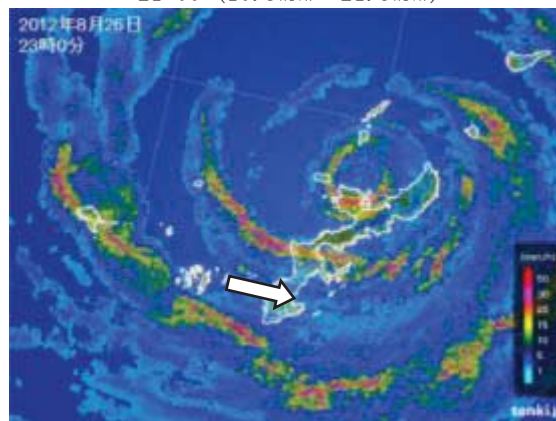
20:00 (13.4NW 24.6NNW)



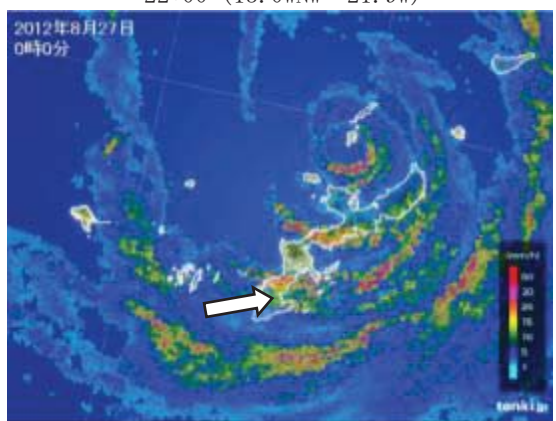
21:00 (10.3WNW 21.5WNW)



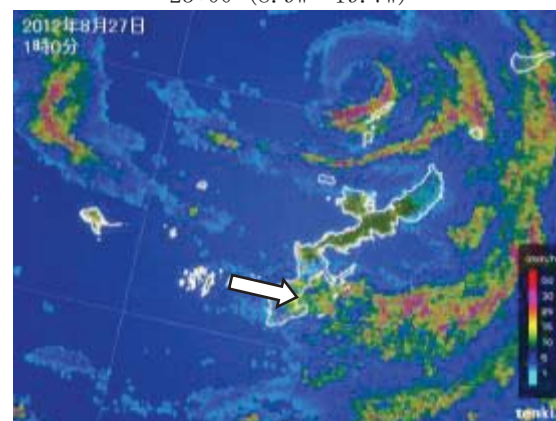
22:00 (13.0WNW 21.9W)



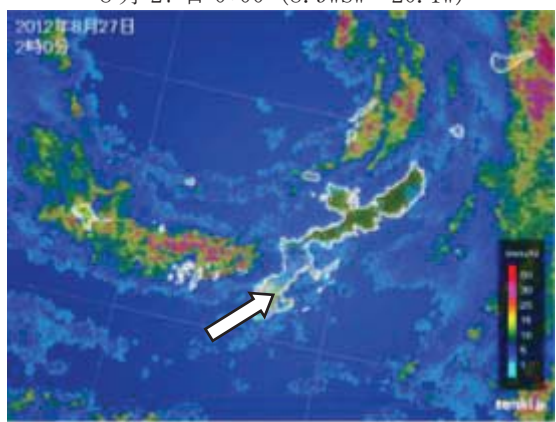
23:00 (8.9W 19.7W)



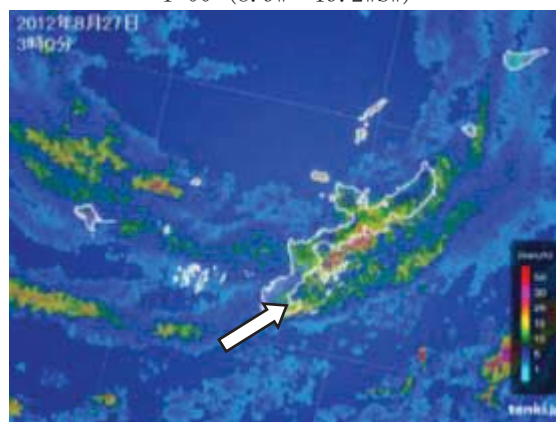
8月27日 0:00 (8.9WSW 20.1W)



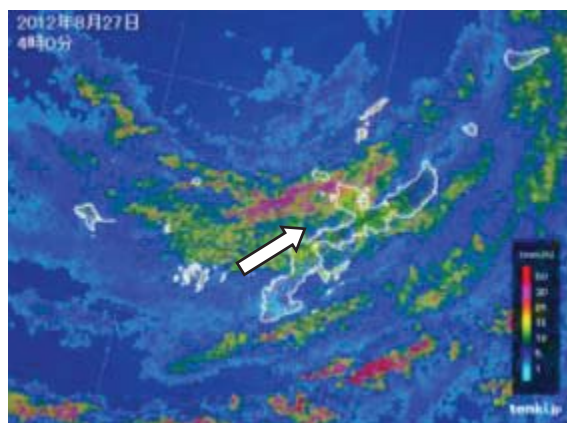
1:00 (8.9W 19.2WSW)



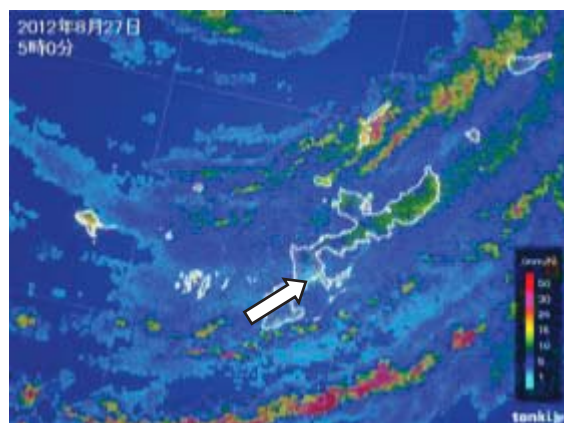
2:00 (9.8SW 21.9WSW)



3:00 (11.2SW 25.0SW)



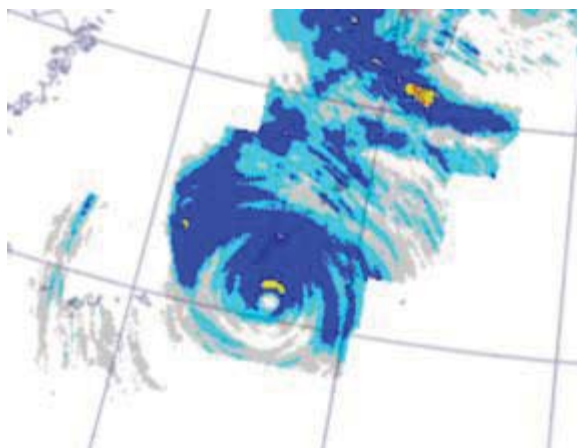
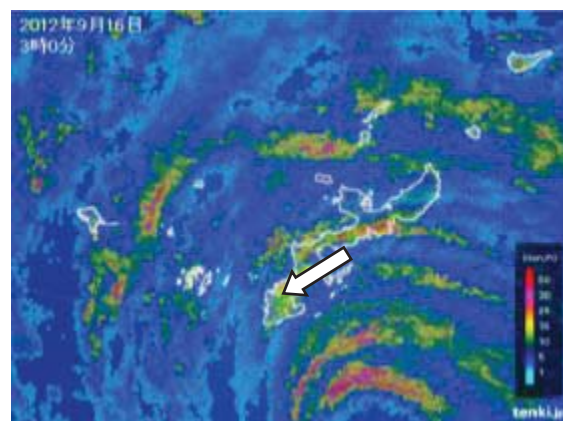
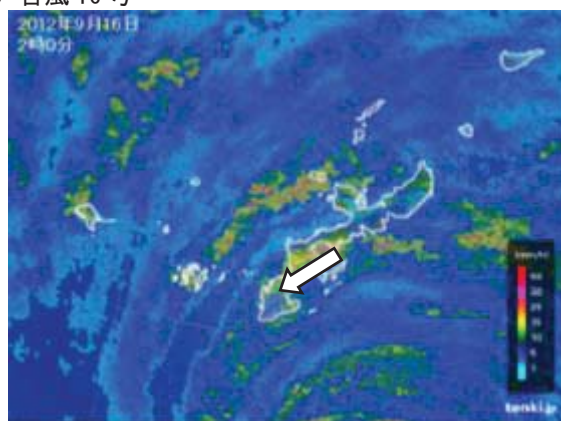
4:00 (10.3SW 25.0SW)



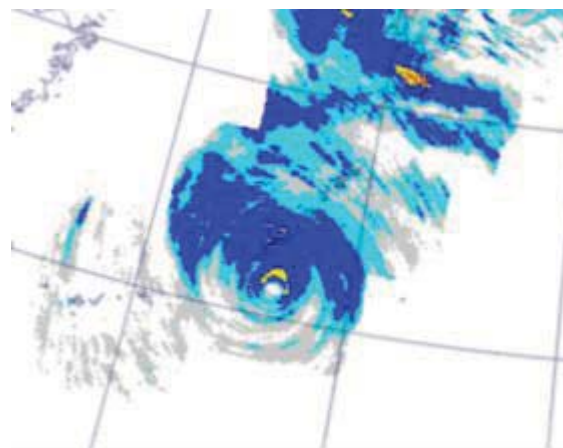
5:00 (8.9SW 18.8SSW)

図 15 台風 15 号の気象レーダー画像 (tenki.jp より)

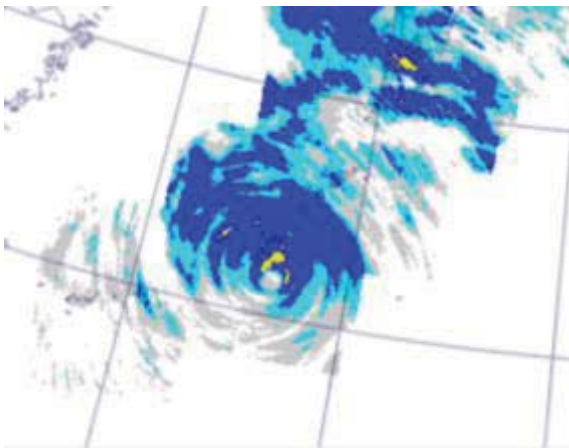
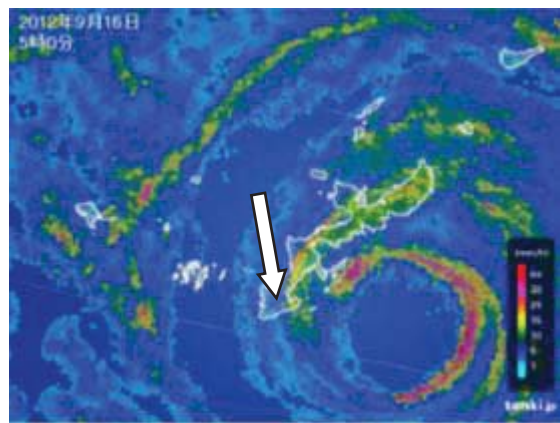
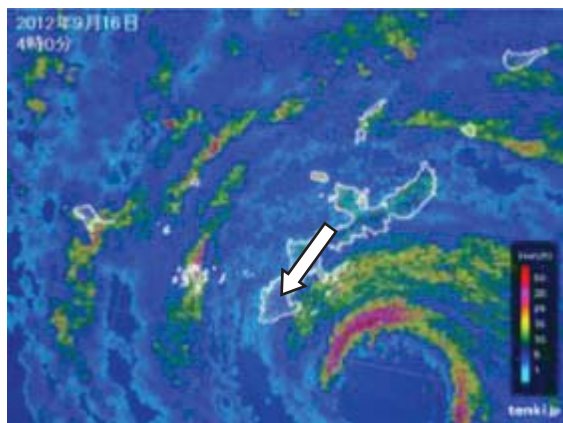
(2) 台風 16 号



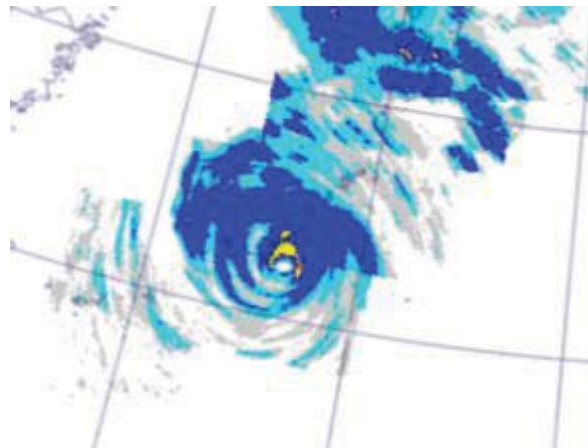
9 月 16 日 2:00 (8.9NE 21.5ENE)



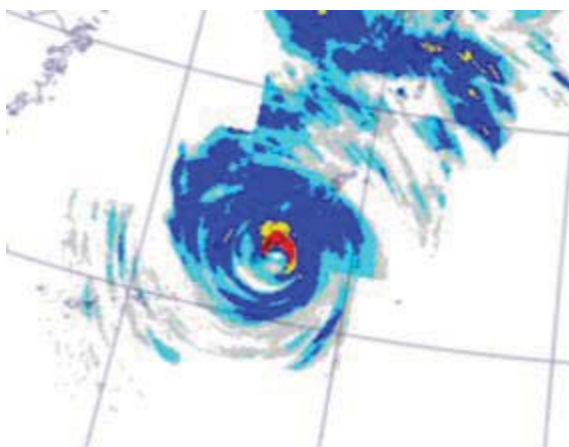
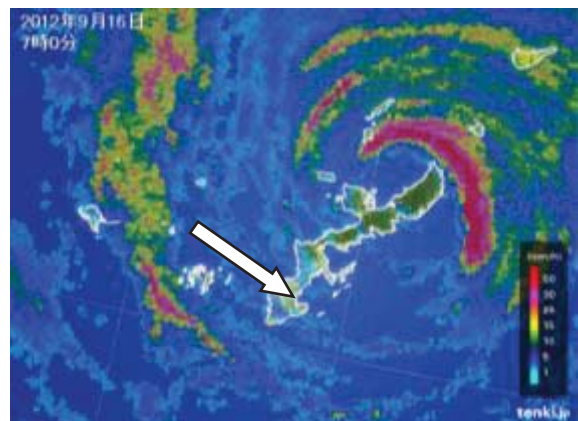
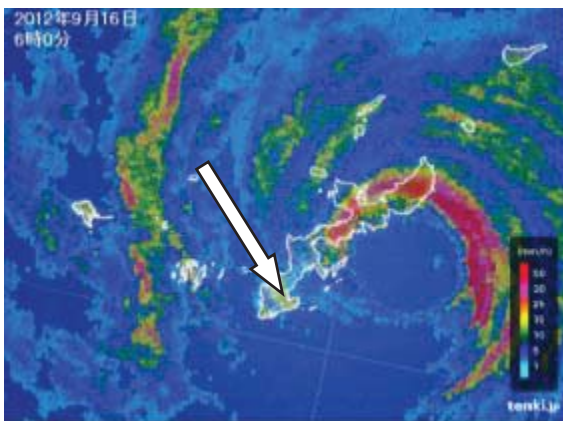
3:00 (9.8NE 21.9ENE)



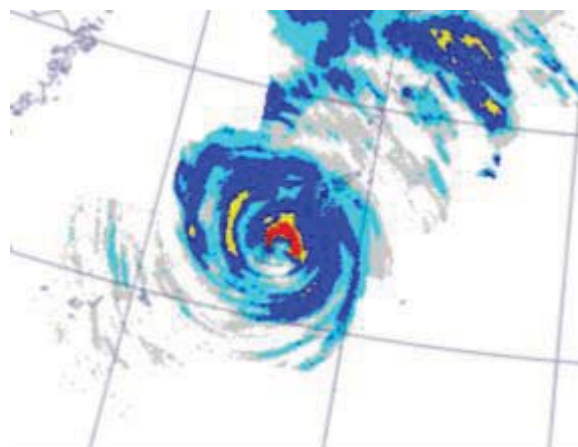
4:00 (10.7NNE 20.6ENE)



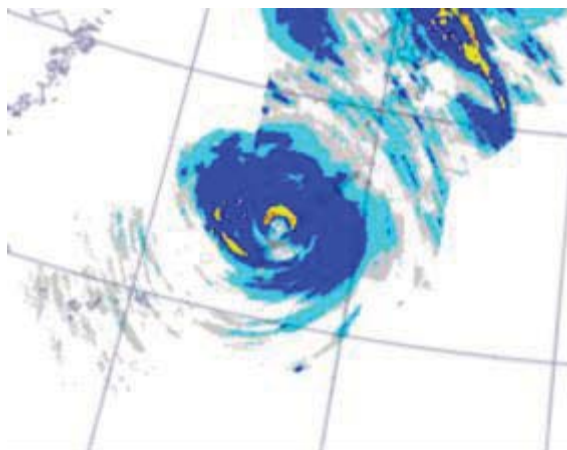
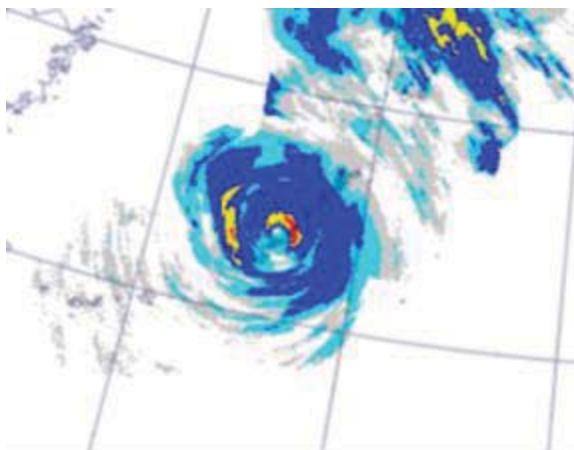
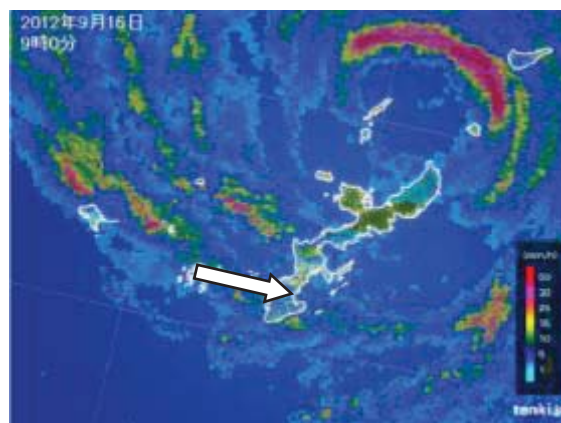
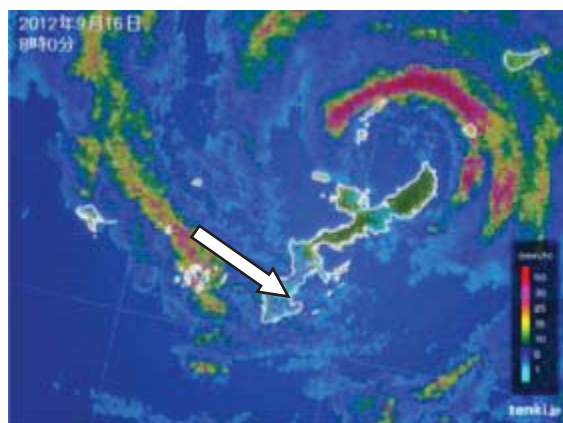
5:00 (13.9NNW 26.8NNW)



6:00 (20.6NW 33.5NNW)

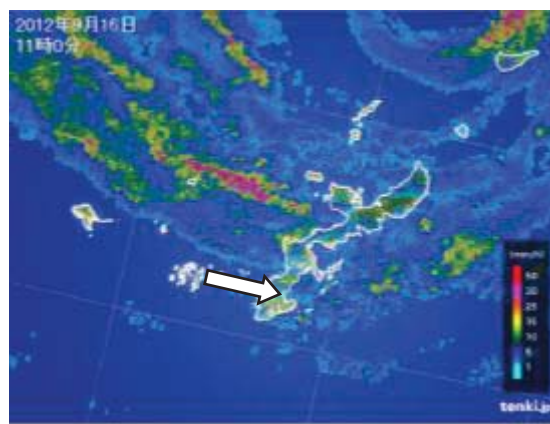
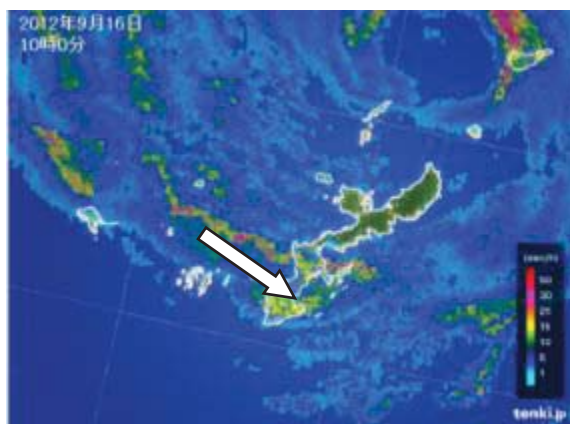


7:00 (16.1WNW 29.5NNW)



8:00 (15.2°N 25.9°W)

9:00 (13.0°N 23.7°W)



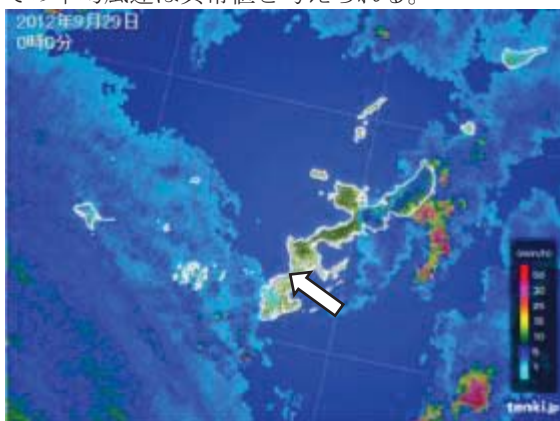
10:00 (15.2°N 27.7°W)

11:00 (9.4°N 20.6°W)

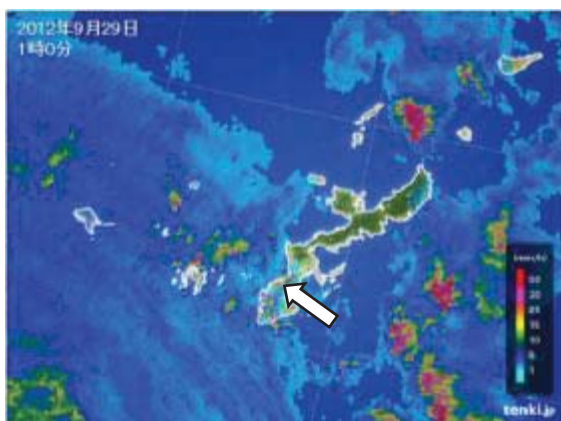
図 16 台風 16 号の気象レーダー画像 (tenki.jp WNI より)

(3) 台風 17 号

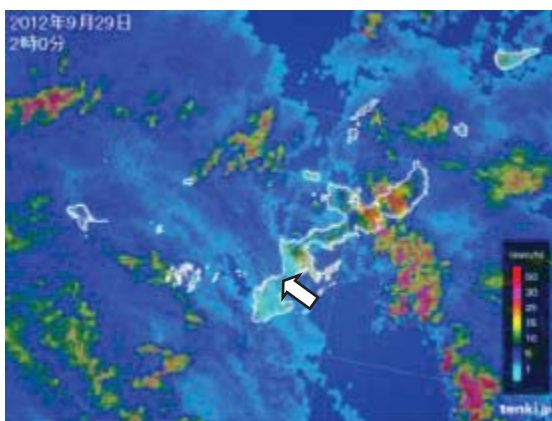
風向に関しては、風向計が暴風により回転したため正確ではない。また、7:50 から風速データが途絶えた 8:50 までの平均風速は異常値と考えられる。



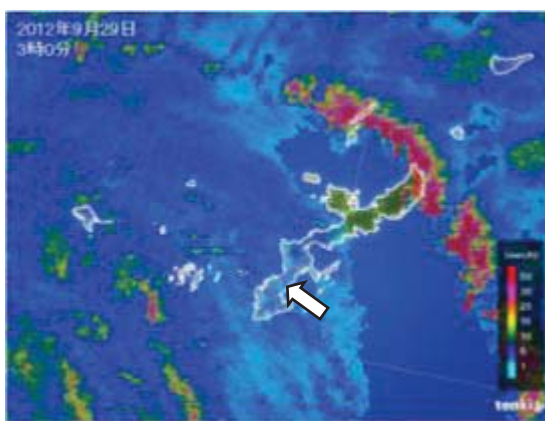
9 月 29 日 0:00 (7.6ESE 14.3SE)



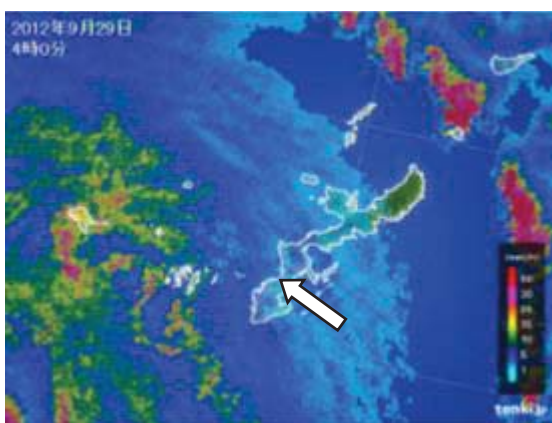
1:00 (4.5ESE 11.6ESE)



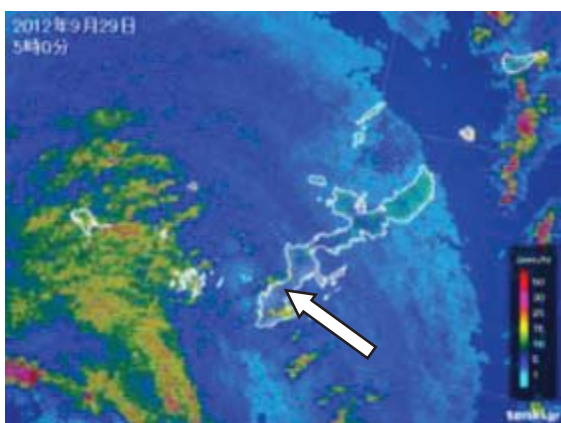
2:00 (4.9E 10.7SE)



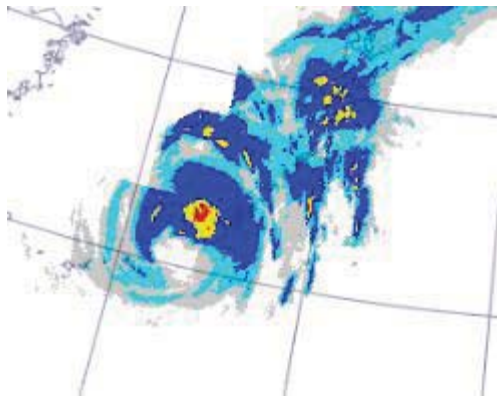
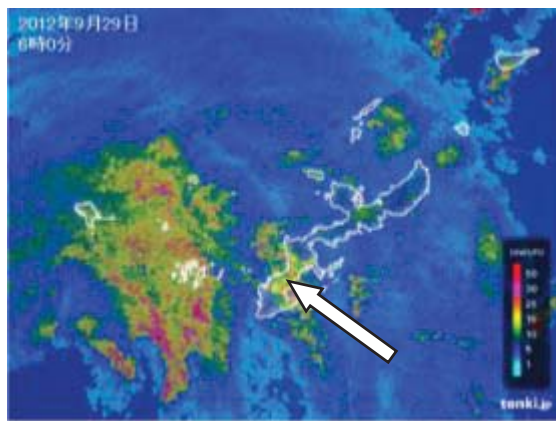
3:00 (5.8ESE 10.3E)



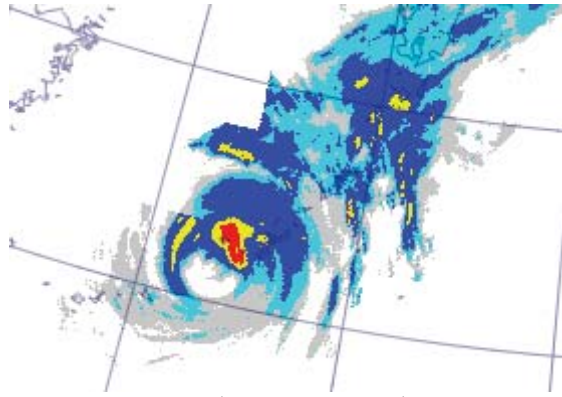
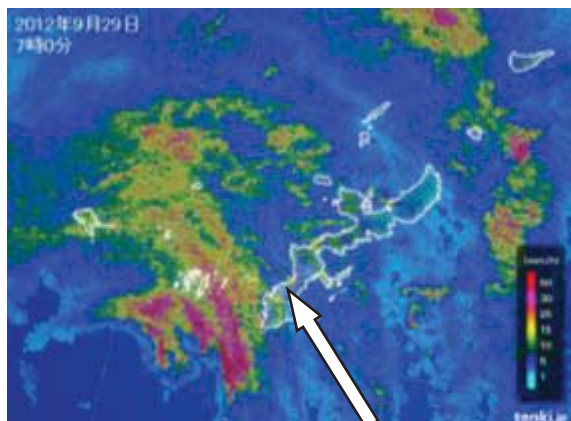
4:00 (10.7ESE 19.2SE)



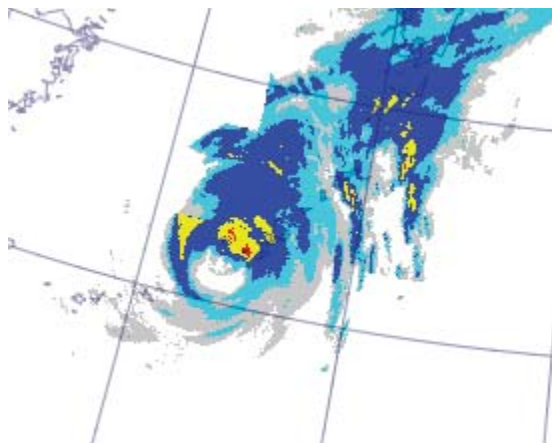
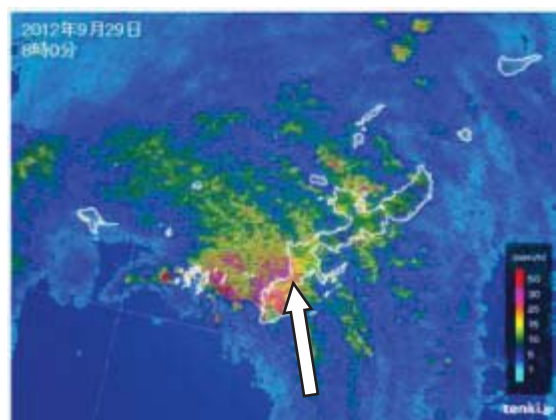
5:00 (13.9ESE 25.5ESE)



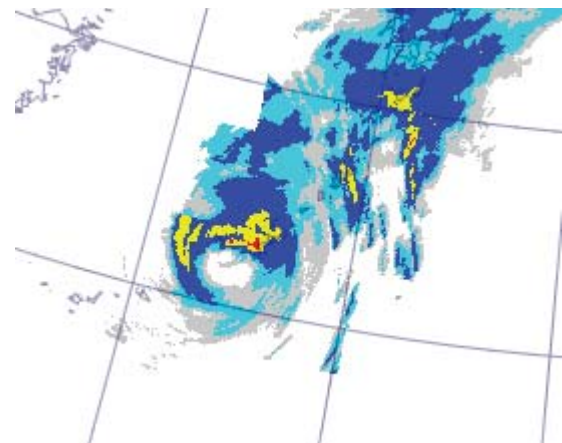
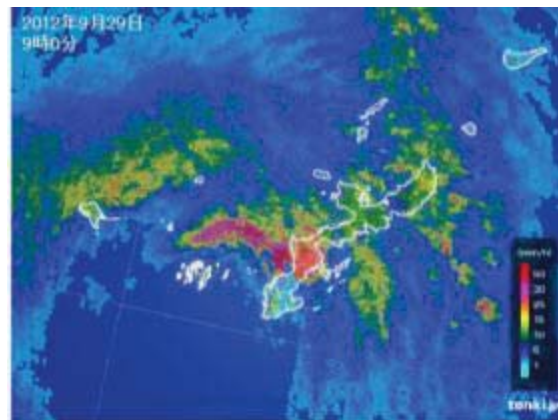
6:00 (17.4ESE 31.3E)



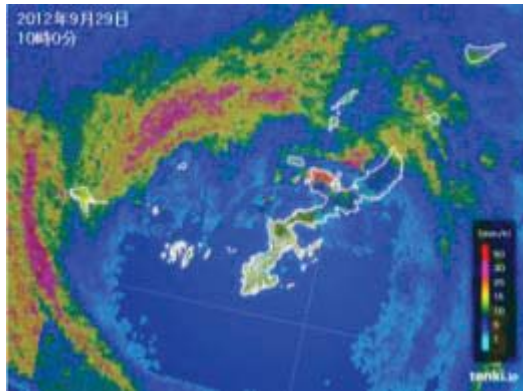
7:00 (21.5SE 34.9SE)



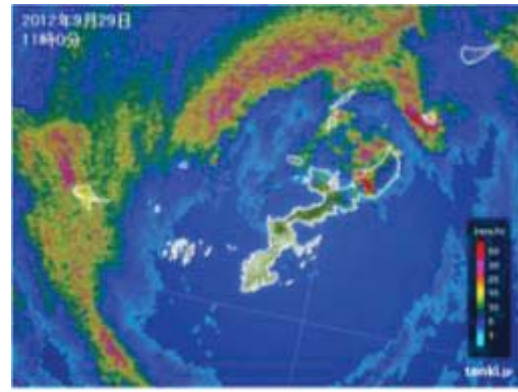
8:00 (3.6SSE 30.0SSE) ※異常値?



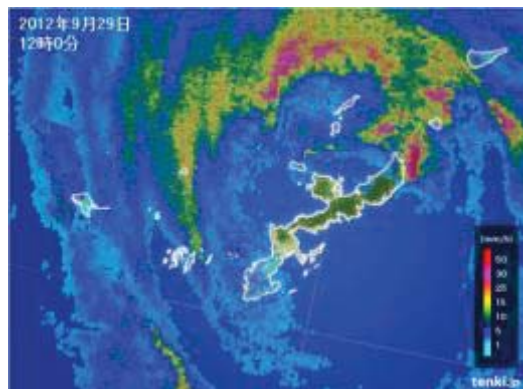
9:00 (記録なし)



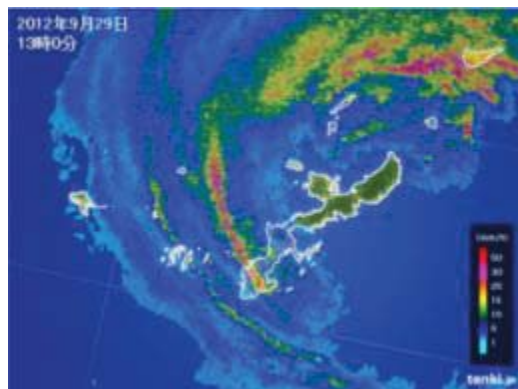
10:00 (記録なし)



11:00 (記録なし)



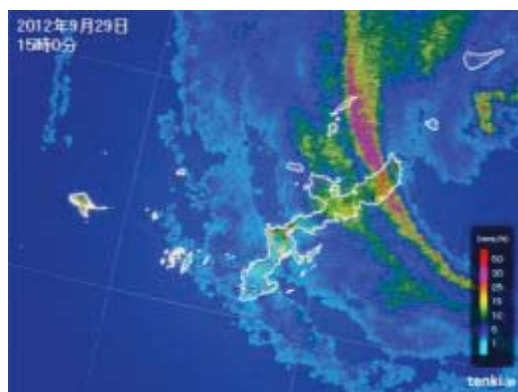
12:00 (記録なし)



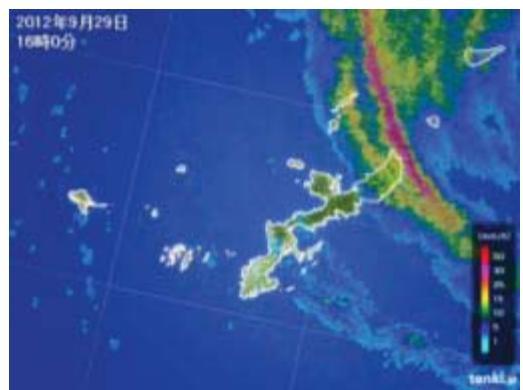
13:00 (記録なし)



14:00 (記録なし)



15:00 (記録なし)



16:00 (記録なし)



17:00 (記録なし)

図 17 台風 17 号の気象レーダー画像 (tenki.jp WNI より)

IV 考察

1 台風 15 号と台風 16 号の比較

台風 15 号と 16 号の気圧傾度と平均風速の相関図（図 10～図 13）を比較すると、16 号の相関図では気圧傾度と平均風速の相関はつながりのあるきれいな曲線状になっているが、15 号の相関図では気圧傾度は 20～25 (Pa/km) を境につながりが途切れているように見える。R-2 乗値も、15 号は 0.4～0.7 と低いのに対し、16 号は 0.9 と高い。そこで、気圧傾度と平均風速に非常に高い相関関係がある「台風 16 号を標準的な台風」と仮定して比較することにした。

15 号の気圧傾度と平均風速の相関図（図 10, 図 11）を見ると、気圧傾度が 20 (Pa/km) 以上で 16 号（図 12, 図 13）と比較すると気圧傾度の割に風速が弱いことが分かる。そこで、気圧傾度が 20 (Pa/km) 以上の時間帯を調べてみるとその時間帯は 26 日 16:00 から 27 日 4:50 であった（図 7）。このことから、この時間帯に風速が弱くなる出来事があったと推測できる。

そこで、台風 15 号の気象レーダー画像（図 15）を調べてみると、26 日 18:00 の画像より台風 15 号の眼は二重構造になっていることが分かった。ここで、二重構造の眼の外側を A、内側を B とする。それぞれの眼の直径は、A: 約 185km、B: 約 20km であった。一方台風 16 号の気象レーダー画像（図 16）より、16 号の眼の直径は約 50km であることが分かった。台風の眼の直径は一般に 20～200km と言われているので、15 号の眼 A の直径は台風の眼の中でも最大サイズ、眼 B の直径は最小サイズである。16 号の眼の直径は標準的なサイズである。なお、15 号の眼 A と眼 B の間にある雨雲に関しては、図 18 に示したように螺旋状に眼 B に向かっていくので、これは眼の壁雲ではなくスパイラルバンドである。

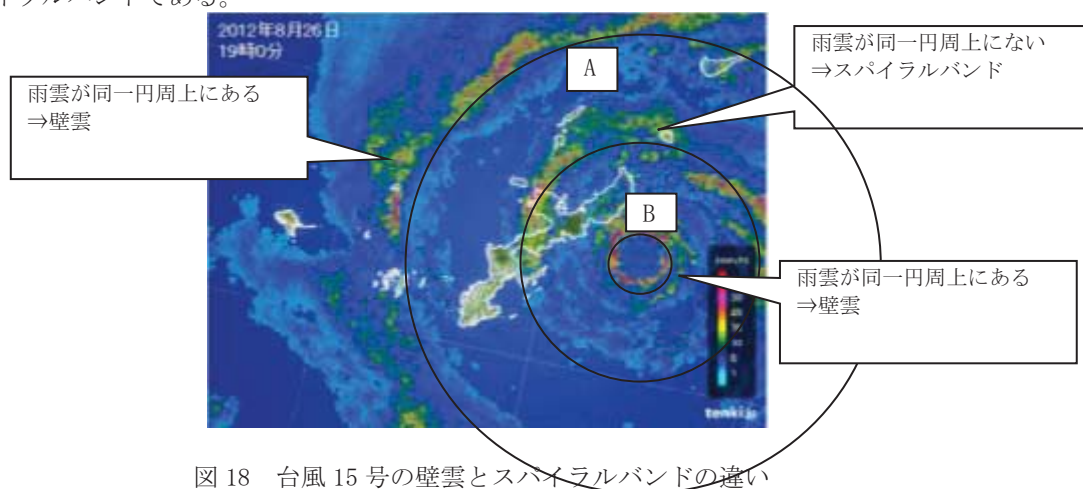


図 18 台風 15 号の壁雲とスパイラルバンドの違い

台風 15 号の気象レーダー画像（図 15）によると、球陽高校では、26 日 16:00 までの画像では雨雲がかかっていた、26 日 17:00 からの画像では一番外側の台風の眼 A の領域に入ったため降雨がなくなったことが分かった。27 日 4:00 には、球陽高校は台風の外側の眼 A の領域から抜けたことが分かった。外側の眼 A に入っていた時間帯は、気圧傾度が大きくなっているにもかかわらず風速が強まらずに逆に弱まっていることが分かる（図 19）。

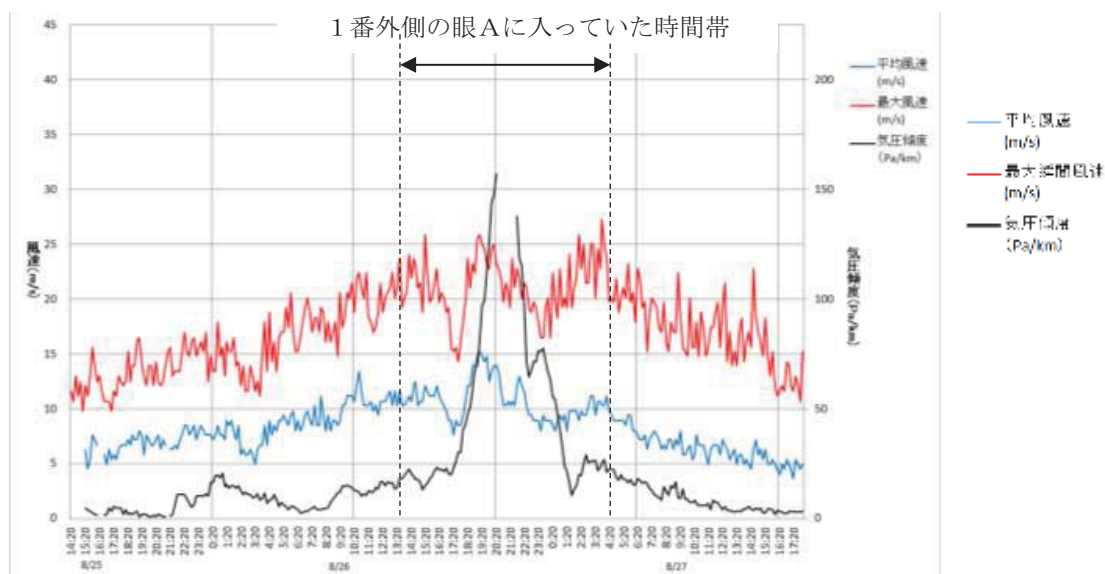


図 19 台風の眼に入った時間帯（台風 15 号）

図 19 によると、台風 15 号が眼に入る直前の気圧傾度は約 20Pa/km で、その時刻は最大瞬間風速約 20m/s、平均風速約 10m/s である。台風 16 号（図 8）で同じ気圧傾度 20Pa/km での風速を調べると、最大瞬間風速約 20m/s、平均風速約 8m/s とほぼ同じである。つまり、15 号と 16 号は気圧傾度 20Pa/km までは同じ風速であったが、その後 15 号では外側の眼 A に入ったため球陽高校での風速は弱くなり、16 号では眼が一つで外側の眼が無かったため風速が強くなっていたと考えられる。

よって、15 号の風速が 16 号より弱かった理由は、15 号が眼の二重構造をもち、外側の眼 A の内側の領域に沖縄本島が入っていたからだと考えられる。

上昇気流の模式図（図 20 左）のように、眼を取り囲む壁雲では上昇気流によって水平方向に吹いて来た暴風が上空へ移動させられる。そのため台風の眼の内側では、風速が弱くなる。眼の二重構造をもつ台風では、模式図（図 20 右）のように外側の眼 A の上昇気流により風は暴風になる前に上空へ運ばれる。そのため、眼 A の内側は、風速が弱くなったと推測される。

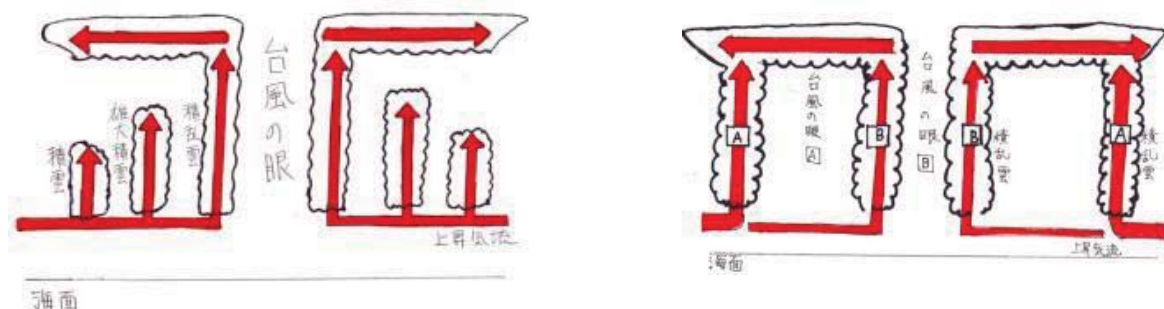


図 20 標準的な眼が 1 つの台風と眼が 2 つある台風の上昇気流の模式図

この考えがもし正しいとしたら、逆に風のルートの上流に風を上空に運ぶ雨雲がなければ暴風は上空へ移動させられないため、風速がより強くなるはずである。そこで、「17 号の風速が最も強かった原因は風のルートの上流に雨雲が無かったためである」という仮説を立て検証することにした。

2 台風 17 号の風速が強かった原因に関する考察

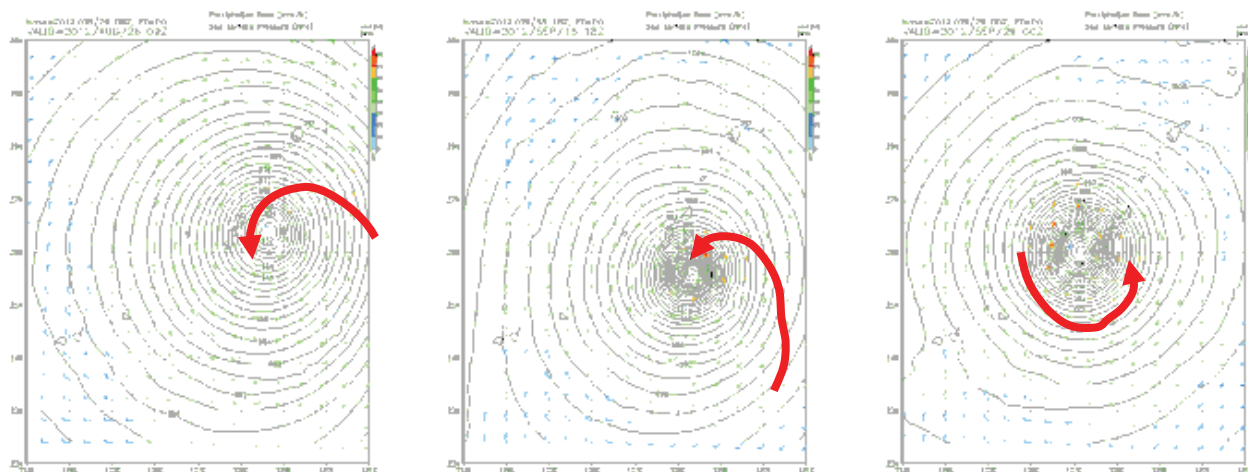
(1) 台風 17 号の風速

気象レーダー画像（図 17）より、球陽高校は 9 月 29 日 9:00 の画像では壁雲の真下であり、10:00 の画像ではほぼ眼の中心にある。また、29 日 14:00 には、眼のような領域から抜けたことが分かった。よって 10:00 から 14:00 までの時間は、球陽高校は台風之眼に入っていたことが分かる。

台風 17 号の気圧傾度と平均風速の相関図（図 14）と標準的な台風と仮定した台風 16 号の接近時の気圧傾度と平均風速の相関図（図 12）を比較すると、気圧傾度が 20Pa/km のときの風速は、16 号では約 7~9m/s であるが、17 号では風速は約 8~22m/s であった。17 号では 16 号の最大瞬間風速並みの風が平均風速として吹いていたことが分かる。

(2) 流線解析

台風 17 号の風速が 16 号より強かった原因は、上流に壁雲がなかったことによると推測し、最接近時刻の球陽高校に吹いた風の流線解析を 1000hPa 以下の範囲のみを対象として行った（図 21）。流線解析には、風向が格子点ごとに描かれている GPV 予想図を用いた。流線解析を行った結果、最接近時に球陽高校に吹いた風は図 21 中の矢印のようなルートであることが分かった。



台風 15 号（8 月 26 日 18:00）

台風 16 号（9 月 16 日 3:00）

台風 17 号（9 月 29 日 9:00）

図 21 GPV 予想図から求めた球陽高校に吹いた風の流線解析結果

以下に、最接近時刻とその1時間前のレーダー画像に流線解析結果を当てはめた画像を示す（図22）。

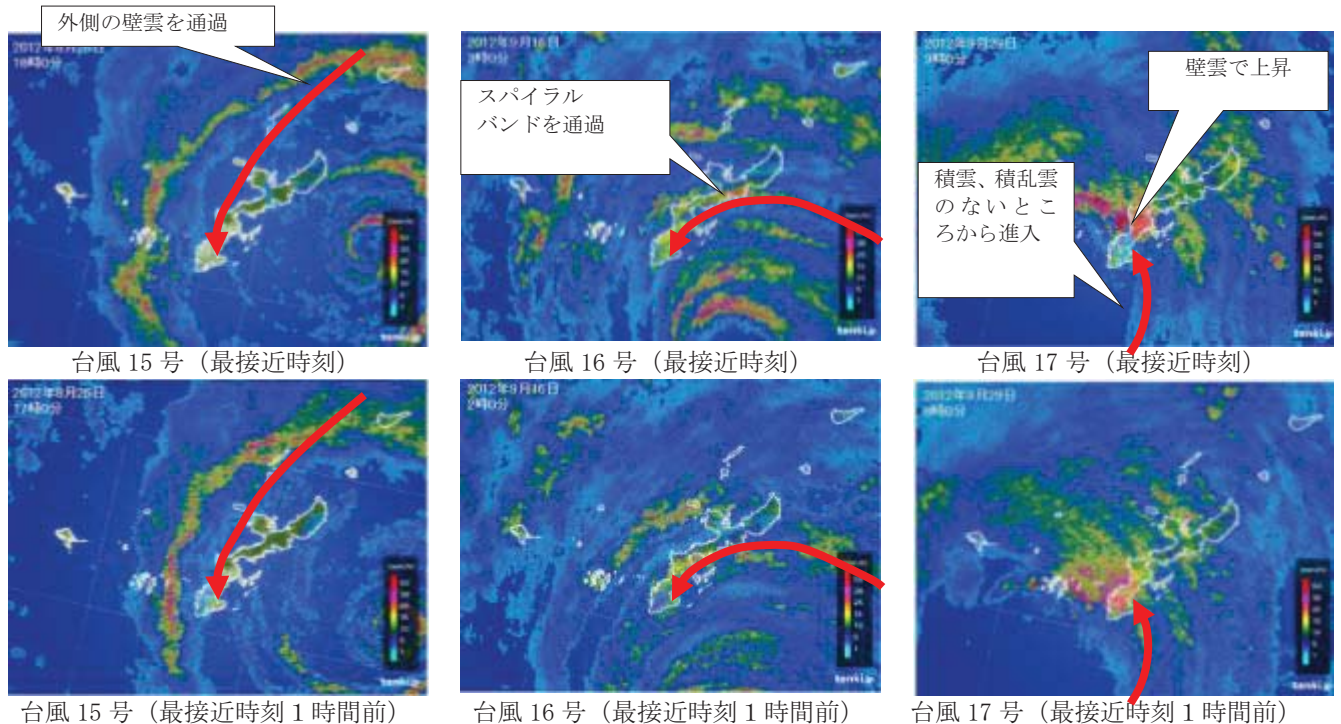


図 22 レーダー画像に当てはめた球陽高校に吹いた風の流線解析結果

① 台風 15 号

風の流線解析結果（図 21、図 22）より、台風 15 号では、球陽高校に吹いた風は外側の眼 A を横切って通過してきたものであることが分かった。考察 1 で述べた通り、風のルートの上流に外側の眼 A の壁雲があり、そこで暴風になる以前に風は上空へ移動したため球陽高校では風が弱かったと考えられる。

② 台風 16 号

風の流線解析結果（図 21、図 22）より、台風 16 号では、球陽高校に吹いた風は、所々にあるスパイラルバンドの積雲や雄大積雲を通過したものであることが分かった。これは、眼が 1 つの標準的な台風の風の吹き方であると考えられる。よって、順調に気圧傾度が低い中心付近に侵入したため暴風となったと考えられる。

③ 台風 17 号

風の流線解析結果（図 21、図 22）より、台風 17 号では、球陽高校に吹いた風は、上流では目立った積雲、雄大積雲がない場所を通過し、一方下流側では壁雲の強い上昇気流があることが分かった。このため、風は何の妨げもなく順調に気圧傾度が低い中心付近に侵入し、さらに最も風が強い壁雲が下流に位置したため猛烈な暴風になったと考えられる。

以上のことから、台風 17 号が沖縄本島で、気圧傾度が小さかった割に風速が強かった原因は、①上流に目立った雨雲がなく、暴風が上空へ移動させられなかったこと ②下流に壁雲があり、そこで強い上昇気流が発生していたこと これらの相乗効果であると考えられる。

V 結論

台風の風速は、たとえ同じ気圧傾度でも大きく異なる。風速が異なる原因は、風のルート上の雨雲分布にある。今回の解析により、以下の 4 つのパターンがあることが分かった。

- ① 風のルート上流に壁雲があるときは、風が上空へ運ばれるため風は弱くなる。（15 号）
- ② 風のルート上流に強い雨雲が無いときは、上空へ運ばれないため風は強くなる。
- ③ 風のルート下流に強い雨雲があるときは、強い上昇気流が発生するため風は強くなる。
- ④ 風のルート上流に強い雨雲が無く、下流に強い雨雲があるときは、②③の相乗効果により猛烈に強くなる。（17 号）

VI 課題

- ① 台風 15 号 16 号ともに雨量計測に失敗した。その原因は、雨量カップに土がたまったことによる目詰まりや、暴風で雨量計が振動したことである。雨量計の定期的なメンテナンスと雨量計を暴風の当たらない場所への移設が必要である。
- ② 気象庁の観測データ（気圧・風速・雨量）を用いて同様の検証を行う必要がある。
- ③ 台風 17 号の観測データが接近の途中で途切れてしまった。暴風に耐えきれぬ観測機器の導入が必要である。
- ④ 今回の研究で、気象レーダー画像の雨雲分布と台風の風速の関係を大まかではあるが示すことができた。今後は、他の台風についても同様の結果が得られるか検証したい。

＜参考文献＞

- ・「沖ノ島島で観測した台風 9713 号の眼」(海洋技術センター 中埜岩男ほか)、海洋技術センター試験研究報告 第 41 号
 - ・「沖縄地方における台風接近時の最大瞬間風速に関する研究 事例解析 1」(沖縄気象台 大城栄勝ほか)
 - ・「台風第 14 号グラフデータ」(宮古島気象台ホームページ)
- <http://www.jma-net.go.jp/miyako/kakosiryou/ty0314/ty0314graph/ty0314graph.htm>、
アクセス日：2013.1.8
- ・「過去天気」(日本気象協会)
- <http://tenki.jp/past/>、アクセス日：2013.1.8
- ・「デジタル台風」(国立情報学研究所)
- <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>、アクセス日：2013.1.8
- ・「Labs Channel」(weathernews)
- <http://labs.weathernews.jp/>、アクセス日：2013.1.8
- ・沖縄タイムス 2012.8.25～29
 - ・琉球新報 2012.9.16～18
 - ・琉球新報 2012.9.22～10.2

講 評

昨年（平成 24 年）に沖縄本島を直撃した 3 つの台風（15、16、17 号）について、自動観測装置等で観測した膨大なデータ（気温、湿度、風速、風向、気圧、雲量等）が簡潔にわかりやすくグラフ化されています。台風の通過前、通過時、通過後を 5 分ごとに記録していることから、それぞれの台風の通過にともなう気象状況の変化をしっかりととらえることができます。また、パネルも 3 つの台風の特徴を比較できるレイアウトになっており工夫が見られます。このように、観測結果を丁寧にまとめている点は高く評価できます。

しかしながら、教科書の気象分野で学ぶ内容を確認する程度の考察にとどまっており、研究のオリジナリティーに欠けます。3 つの台風の特徴と災害の様子から、その原因についてもう少し探究を深め、今後の防災の在り方について具体的に提示できればさらによかったと思います。今後の研究の発展に期待します。

沖縄県教育長賞

第35回沖縄青少年科学作品展

未利用資源を使った商品開発 パートⅢ ～シークワサー果皮粉末を活用した加工品への挑戦～

沖縄県立北部農林高等学校

3年 宮城 愛 仲村 裕子 新垣 啓介 比嘉 一貴 鉢嶺 侑花乃
仲里 倅 大城 美貴
2年 山城 南希 比嘉 章乃 大城 なずな
1年 並里 峻輝 山川 歩美 岸本 奈美 山城 祥平 松田 栄樹

研究の目的

昨年、シークワサーの有効成分「ノビレチン（ポリフェノール）」が一番豊富に含まれている果皮に注目し、捨てられていたシークワサー搾り粕を様々なものに利用できる加工原材料として“粉末化”に成功しました。今年は、その粉末を活用した加工品の開発を目指しました。

研究の仮説

シークワサー搾り粕を活用した商品開発ができれば、捨てられていた搾り粕の資源有効活用につながり、これまで処理に困っていた加工会社も助かり地域産業の発展につながる。

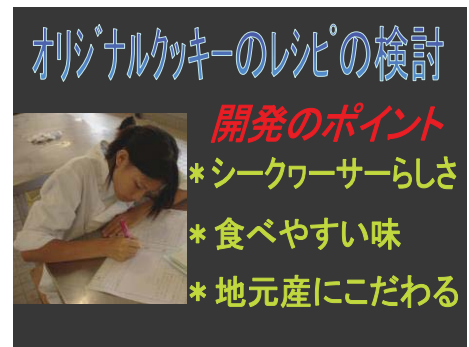
研究方法

Step 1 新しい特産品開発

(1) オリジナルクッキーのレシピ作り

沖縄県は観光立県ということもあり、これまでの地元で生産、消費の『地産地消』だけでなく、地元で生産、他県でも消費をモットーに『地産他消』の発想から、右の図の3つのポイントにこだわり商品作りを検討しました。

粉末に含まれるポリフェノールは苦味成分であるため、最も良い味にするために苦労しました。シークワサーらしさや食べやすい味にするために、何度も試作品を製造し、シークワサー果皮粉末の添加量や原料配合については全て試食調査を行い決定しました。



※図 レシピの検討



※アンケート調査の様子

試食アンケート					
粉末量	総合評価	砂糖の量	総合評価	塩の量	総合評価
4%	3.9	20%	4.0	0%	3.8
5%	4.2	25%	4.2	1%	4.0
6%	4.1	30%	4.4	2%	3.9

※5段階評価(1:悪い～5:良い)

また、地元で天然の海水を使用して塩づくりをしている、本校を卒業された松村さんの『あっちゃんの塩』を原料として使うことで差別化を図りました。



※あっちゃんの塩見学

これで3つのポイントにこだわったオリジナルクッキー“シークワサーball”の完成です。出来上がったオリジナルクッキーの一般生菌数・

大腸菌群を調べた結果、賞味期限を90日と決定しました。



↑
シークワサーballクッキー完成

(2) 成分分析

シークワサーには、他の柑橘類より、ポリフェノールが多く含まれており、その中でもノビレチンは果皮含有量が高く、血糖値・血圧、発ガン抑制などの効果があるといわれています。

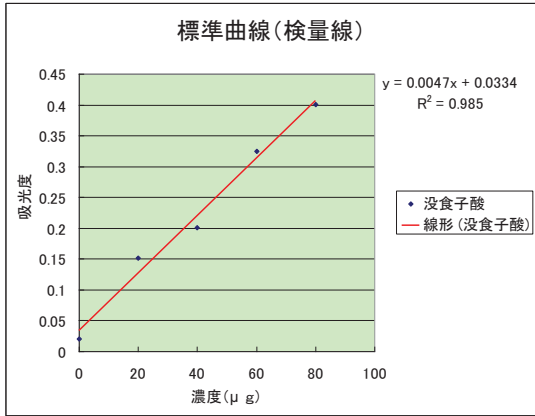
そこで、ノビレチンの分析方法を、琉球バイオリソースの与那覇さんに教えていただき、フォリン-デニス法で比色定量を行いました。発色が弱いため総ポリフェノールを定量しました。

ノビレチンについては、琉球バイオリソースで調べていただきました。



※呈色の様子

結果は下図の通りで、シークワサーball には、ノビレチンやポリフェノールが含まれていることがわかりました。ポリフェノールは、ガンや生活習慣病を予防すると言われていていることからその効能に期待できます。

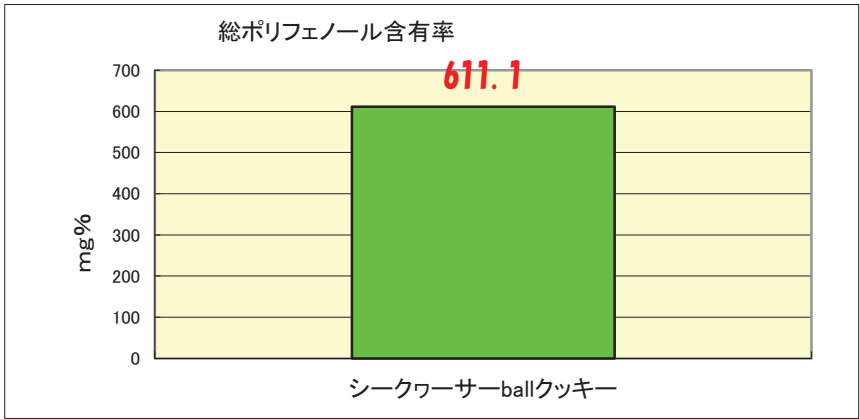


※スタンダード没食子酸の検量線

シークワサー ball クッキー成分表	
脂質	32.1%
タンパク質	8.2%
炭水化物	15.0%
ノビレチン	11.57mg%
ポリフェノール	611.1mg%

※図 オリジナルクッキー成分分析結果

※ノビレチン以外は学校で調べました。



※総ポリフェノールの定量結果

(3) 全国販売に向けた商品戦略

空港、土産品店での販売も視野に入れていたところ、(株)南風堂で、これまでの取り組みを紹介するチャンスを得ました。会長からは、『県外では柚子の皮を使った土産がたくさんあり地元を活性化している。ぜひ、私たちも協力したい。』と嬉しい言葉を頂きました。

今後は、郷土の活性化を目的に、パッケージにふるさとの景色を入れ、郷土の魅力を全国に発信できる商品として、商品名を新しく“Seaクワサークッキー”(意味：海と山の恵を食べる)とし、キャラクターも親しみやすいものにしました。

ついに、製造・販売していくことが決まり、長年シークワサー搾り粕を使って取り組んできた成果が実った瞬間でした。



※裏



Step 2. 普及活動

(1) 道の駅『許田』

全国へ販路を広げるために検討したところ、年間 100 万人の観光客が訪れる、道の駅『許田』で、店舗をお借りする事が出来ました。合計 7,790 個のシークワサーball を製造・販売し、全て完売しました。県外の方からも励ましの言葉を頂き、私たちの取り組みを全国へ発信することができました。



※道の駅の店舗をお借りしました。



※沖縄タイムス(2012. 5. 4)

(2) 名護スイーツコンテスト

昨年行われた『美ら甘！名護スイーツコンテスト』に応募したところ、決勝審査まで残り、高校生では初の特別賞を頂きました。審査員の方からは、『資源を有効活用している素晴らしい取り組みで、好感が持てます』と評価していただきました。



※発表の様子



※出品したオリジナルクッキー

(3) 県内に向けた販売活動の取り組み

(株)南風堂で私達の開発した“^{シークワサー}Seaクワサー山クッキー”が、H24年6月24日より地元道の駅『許田』を販売拠点とし、県内土産品店・空港などに向け販売をスタートしています。その様子はマスコミでも大きく取り上げられPRができました。

現在、Seaクワサー山クッキーの県内主要取扱い店は、那覇空港をはじめ、国際通りなどの土産品店やスーパーなど 29 店舗で幅広く販売されています。

ついに、搾り粕を活用した商品を開発・販売することができ、郷土の活性化にもつなげることができてとても嬉しいです。これからも、私達の活動を通して北部地域の活性化につなげていきたいです。

那覇、南部

琉球の里あしびなー店、おきなわ屋本店、ミージャ国際通り店、ミージャ国際通り 2 号店
ナカムラ物産、琉球 MARKET（松尾）、福福堂、琉菓真帆つかざん店（サンエー内）
タイラ、ひめゆり会館、那覇空港ビルディング

中北部

やんばる物産、KBCSHOP かりゆしオーシャンスパ売店、KBCSHOP マリオネット売店
リザンシーパーク琉球物産館ちゃんぷるー、ラグナガーデンラグナスタイル店
なかゆくい、琉菓真帆具志川店（サンエー内）、海の駅チャンプルー、チサンリゾート沖縄美ら海
プライベートリゾートオクマブーゲンビリア、イオン北谷、イオン具志川、イオン名護
マックスバリューストック、マックスバリューストック、マックスバリューストック、マックスバリューストック

離島

サイプレスリゾート久米島

※平成 24 年 9 月 6 日現在での取扱店



※那覇空港ビルディングでの販売の様子

(4) やんばる産業まつり

これまでの私たちの取組みが評価され、10 月に行われた第 28 回やんばる産業まつりにおいて、（やんばるの素材を活用加工しパッケージデザインまで学生が作り上げた点が評価され）特別奨励賞を頂きました。『明日のやんばる地域を担う人材として大いに活躍していくことを期待します』と激励されました。



※やんばる産業まつり奨励賞

(5) 県民環境フェア in なご

北部地区で初めて開催された，県民環境フェア in なごで、北部農林高校として参加し，シークワサーの搾り粕を粉末にした商品開発を発表しました。『地域の課題に高校生が積極的に取り組んでいる研究内容ですばらしかったです。』と審査員からも好評でした。



※活動紹介の様子

まとめ

- 1 有効成分ポリフェノールの定量分析ができ，新しい特産品開発ができた。
- 2 郷土の魅力を全国に発信できる商品として“Sea クワサークッキー”の発売が開始され、**500kg**の搾り粕の資源有効活用ができた。
- 3 数多くの普及活動に参加でき，シークワサー搾り粕の有効活用をPRできた。

今後の課題

- 1 地元のシークワサー搾り粕を使い，粉末から商品開発まですべて名護市でできる仕組みをつくる。
- 2 粉末を使った新たな商品開発を行い，地域農産物の資源有効活用につなげる。

おわりに

これまで未利用資源だったシークワサーの搾り粕。

シークワサーの栽培，供給，販売のすべてにおいて，主体となって各企業とつながり，新たな市場を確立することができました。

これからも『シークワサーブランドの価値』をさらに高め，『郷土活性化』を合言葉に活動していきます。

講 評

本研究は昨年度からの継続研究で、本県北部地域の特産物であるシークワサー（ヒラミレモン）の廃棄物（搾り粕）に着目し、昨年度は加工原材料としての利用を図るため搾り粕の「粉末化」に成功しています。本年度の目的は、その粉末を活用した加工品を開発することで、搾り粕の処理に困っている果汁加工事業者の経済的負担だけでなく栽培農家等の地域産業の振興を図ることである。研究の目的や仮説の設定など明瞭な研究の目標設定が窺える。また、乾燥方法や苦み分の除去、成分分析についても安易に専門機関に頼らず校内の施設を活用しているところに日頃の学習が生かされていると思います。

シークワサーのポリフェノールには、機能性成分（ノビレチン）が含まれていることが知られており、ノビレチンが人体に対し多様な効能があることも分かっています。しかしながら、シークワサー果肉に含まれるノビレチンは極僅かで、果皮に多く含有することから搾汁後の残渣物の食品素材としての利用が検討されています。

粉末化した食品素材を元に製造された、オリジナルクッキー「シークワサーboll」には、地元の塩を用いた差別化の工夫が図られています。また、地元企業と連携し、商品名「Sea クワ山クッキー」を県内のお土産店や空港などで販売するなど県内・県外へ発信できる商品を作り上げています。

<審査のポイント>

本研究には、1年生から3年生までの計15名の高校生が関わり、食品科学科シークワサープロジェクトチームとして研究が進められてきたようです。多くの高校生が問題に対し協力して取り組む協調性、研究で培われる創造性や継続性、地元企業との連携や商品の普及活動を通してコミュニケーション能力などの社会性が育まれたと思われます。これらの能力や態度は、将来社会人として仕事をしていく上で必要な力であり、本研究によって生徒の産業人としての資質向上に大きく役立つものと思います。本研究が、沖縄県の産業を担う人材の育成に大きく寄与していると評価し、「教育長賞」の受賞作品となっています。



Ultraviolet Rays Undercover

紫外線の潜入

Amelia Earhart Intermediate School
アメリア イアハート インターミディエイト スクール
Reina Callahan
リーナ カラハン

Introduction & Research

I spend a lot of time outdoors, especially here in Okinawa since it is a subtropical island that benefits from many days of sunshine throughout the year. Everyone always tells me about how powerful the sun shines here in Okinawa. My Okinawan grandmother is always worried about me playing soccer outside because of the sun. Sometimes my soccer team will have practice in the blazing sun for most of the day.

My mom and dad are constantly reminding me to apply sunscreen on the parts of my body that are exposed to the sun's powerful rays, but I wondered if the sun gets through any of my soccer uniforms or other types of clothes that I wear when I am outside. Can different types of material in clothing make a difference in protecting my skin from ultraviolet radiation?

Through conducting research about the sun, I learned more about its different rays. The sun emits different kinds of light: visible light, infrared light that is felt as heat, and invisible ultraviolet radiation.

Ultraviolet radiation (UV) is part of the electromagnetic-light spectrum that reaches the Earth from the sun. It has wavelengths shorter than visible light, making it invisible to the naked eye. These wave lengths are called UVA, UVB or UVC. UVA rays are the longest of the three, and account for up to 95 percent of the UV radiation that reaches the Earth's surface. UVA rays are common during all daylight hours throughout the year, and can even penetrate clouds and glass. UVB rays are the most intense during the hours of 10:00 AM and 4:00 PM from April to October. UVB rays do not significantly penetrate glass. UVC rays are the shortest of all three types of rays. Most UVC rays are absorbed by the ozone layer and do not reach the Earth.

Ultraviolet light has more energy than visible light and causes chemical reactions in objects and animals on Earth. Ultraviolet rays cause the skin to increase its production of a brown chemical called melanin. We see this as a tan. However, too much melanin can cause skin problems. By damaging the skin's cellular DNA, excessive UV light produces genetic

mutations that can lead to skin cancer. The *U.S. Department of Health* and the *World Health Organization* have identified UV as a proven human carcinogen. UV radiation is considered the main cause of non-melanoma skin cancers, including basal cell carcinoma and squamous cell carcinoma. These cancers strike more than one million people every year.

UVB light is responsible for many skin problems, such as sunburns and many forms of skin cancer while UVA light is more deep-penetrating and causes tanning and wrinkling.

Surprisingly, more than 80 percent of skin damage from the sun's rays occurs by the time a person is 18 years old. Other health concerns related to UV rays include cataracts (eye diseases), aging of the skin, and a suppression of the immune. As you can see, it is important for people to protect their skin when they are in direct sunlight.

According to the *American Academy of Dermatology*, here are some eye-opening skin cancer facts:

- More than 3.5 million skin cancer cases affecting 2 million people are diagnosed annually.
- It is estimated that there will be about 131,810 new cases of melanoma, the deadliest form of skin cancer in 2012.
- The major risk factor of melanoma of the skin is exposure to ultraviolet light.
- In 2010, new research found that daily sunscreen use cut the incidence of melanoma in half.

The amount of UV rays depend on the time of day, the season, the cloud cover, the type of surface on which they strike, elevation, and where the rays strike the Earth. The UV rays are stronger near the equator. So, there are many variables involved when calculating exposure to UV rays. Is clothing another variable that can help control or block your exposure to harmful UV radiation? I wondered about which clothing material would best block UV rays.

Through my research, I have learned that clothing can protect you from the harmful effects of ultraviolet radiation based on the type of fabric, the tightness of the weave, and the color. While sunscreens are rated with an SPF, or sun protector factor, clothes are rated with a UPF or ultraviolet protection factor. A UPF factor indicates the amount of UV light that is absorbed by your clothes. For example, a shirt with a UPF factor of 50 will allow 1/50th or 2% of the surrounding UV light to penetrate to your skin.

According to one of my sources, lightweight, light-colored, or loosely woven clothes have much lower UPF ratings than dark, tightly-woven clothes. While they might be uncomfortable on the beach, brand new jeans provide much better protection from the sun than a white T-shirt.

While conducting my research, I wonder what kind of UPF rating my soccer uniforms would have. I know that many Nike and Adidas advertisements talk about the high-tech benefits of their soccer jerseys and how these jerseys will increase your level of performance. But, I wonder how these uniforms will test when it comes to UPF and skin protection. Do so-called high performance materials make a difference when it comes to the UPF factor?

In closing, new technology in UPF and increased scientific knowledge have led to the development of many artificial materials with high UPF ratings, it is almost like "sunscreen" for your clothes. Also, some products are available in a spray which allows you to spray your clothes to increase your UPF. Only clothes with a UPF of 15-50+ may be labeled as sun-protective. Clothes that are marketed with a sun-protective claim are usually UPF 50+. Also, like regular clothing, sun-protective clothing may lose its effectiveness if pulled too tight or stretched out, if it becomes damp or wet, or if it is washed and worn repeatedly. My dad has

even listened to me talk about my research. He ordered a sun-protection shirt online from a company called Coolibar. Coolibar is an Australian company that has been a leading developer in clothes made with high UPF factors. Australia is one of the world leaders in establishing regulation for sunscreens and sun-protective clothing.

It will be interesting to see what scientists develop in the coming years; perhaps we can develop products that block all UV radiation from reaching our skin whether it is covered with clothes or not.

Statement of Question

My experiment focused on the question of what type of fabric will possess the best UVB-blocking abilities. The purpose of the project was to see which material would be the most effective in protecting the skin from hazardous ultraviolet radiation, specifically UVB rays. Fabrics that restrict the amount of UVB light from passing through them would be considered to be the most effective.

Hypothesis

If different types of fabric are used to measure UV transmittance, then the fabrics with the highest percentage of polyester will be the most effective in reducing the amount of UVB light allowed to pass through the fabric.

Variables

Independent Variable Type of Fabric

Dependent Variable Amount UVB Light Allowed to Pass through the Fabric (mW/m^2)

Constants Color of Material, Amount of Material, Elapsed Time for Each Trial, Experimental Settings of Location, Time, and Place

List of Materials

- 1- Vernier UVB- Ultraviolet Light Sensor
- 1- Vernier LabQuest Hand-Held Data Collection Device
- 1- Rectangular Support 5" x 8" Base, 5/16"x 18"
- 1- 1 ½" Round Jaw Utility Clamp
- 1- Piece of Cardboard measuring approximately 4" x 6"
- 10- Different Types of Fabric

Fabric swatch size- at least 1 ½'x 1 ½" to cover the end of the UVB sensor, all fabrics should be the same color, for this experiment all were Navy Blue.

- Fabric 1 – 100 % Cotton
- Fabric 2 – 80% Cotton/ 20% Polyester
- Fabric 3 – 60% Cotton/40% Polyester
- Fabric 4 – 50% Cotton/50% Polyester
- Fabric 5 – 100% Polyester (Clima365)
- Fabric 6 – 100% Polyester (H Green)
- Fabric 7 – 100% Polyester (TekGear)
- Fabric 8 – 100% Polyester (Nylon)
- Fabric 9 – 100% Polyester (Haggar Q)
- Fabric 10 – 100% Polyester (ClimaLite)

Computer with word processing and spreadsheet software

STEM Connections

Science, technology, engineering, and mathematics have become a focus for students of all grades in the United States. President Obama wants us to be more competitive with students from around the world in these areas. My science fair project includes many STEM connections. I was able to use new technology with my project when I decided to use *Vernier* software and technology. This was the first time that I used sensors and portable data collection devices. So, it was hard at first, but eventually the frustration turned into a lot of fun. My dad let me use his LabQuest for my activity.

The LabQuest is a portable interface used to collect sensor data with its built-in graphing and analysis application. The sensor I used for my project was a UVB sensor. This sensor is an ultraviolet light sensor that responds primarily to UVB radiation. . It is used for any experiments that use sunlight.

The units measured with this type of sensor are in milliWatts per square meter (mW/m²) which is the standard measurement for UVB radiation.

Of course, I had to analyze and prepare all of my data and graphs on the computer using *Microsoft Word* to present my findings, and *Microsoft Excel* to produce visual representations of my data. Finally, there was a lot of math involved when I needed to calculate the mean averages for all of my trials. I am glad that my project made a lot of STEM connections.

Procedure

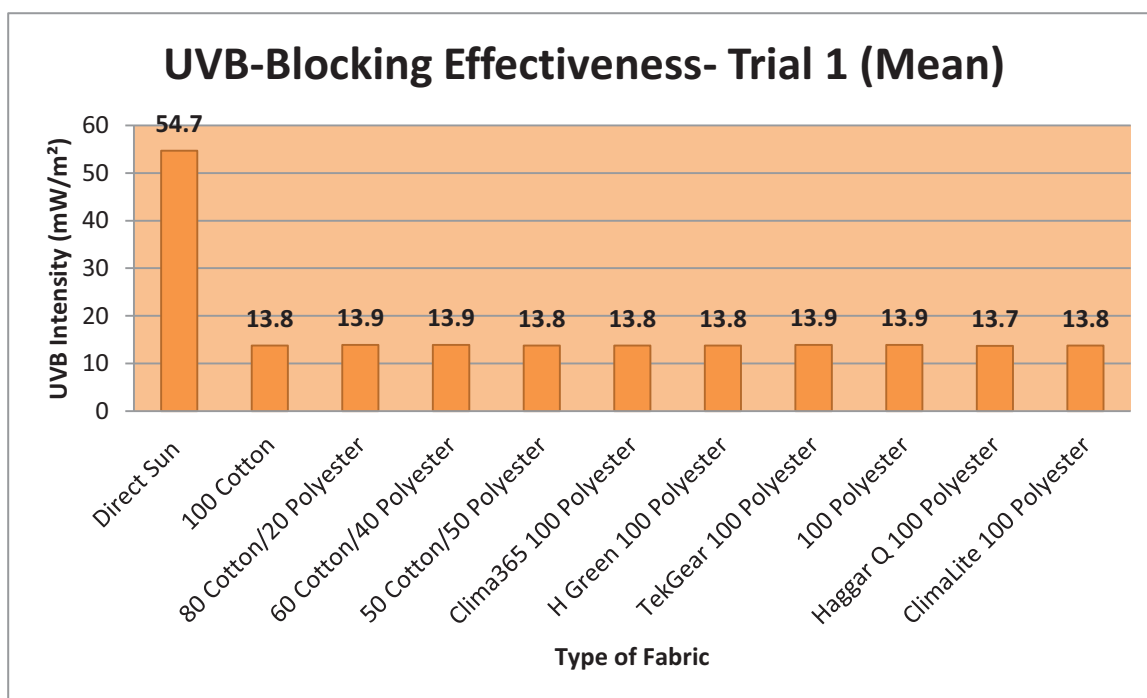
1. Obtain the different fabrics and other materials listed above.
2. Prepare the piece of cardboard by cutting out a circle with the circumference of 10 centimeters in the middle of the cardboard piece. This hole will be used to place the fabric over when testing for UVB penetration with the sensor.
3. Gather materials for the experiment. Experiment should be conducted on a sunny day for best results.
4. Attach the UVB sensor to the LabQuest. Be sure that the LabQuest is reading the sensor before beginning. Make sure that you have fully charged batteries before beginning in order to make your LabQuest portable, otherwise you need an extension cord.
5. Use the shadow of the UVB Sensor to aim it correctly without looking directly at the sun. Hold the sensor with your thumb and first finger, pointing the sensor in the general direction of the sun.
6. Find the sensor's shadow and observe how it changes shape as you move the sensor around. Move the sensor around until the shadow becomes a small round circle. This shows that the sensor is now pointing directly at the sun.
7. Keeping the sensor orientation in mind, clamp the UVB Sensor onto the rectangular base. Once the sensor is securely on the base, you are ready to begin collecting data.
8. Place one of the fabrics over the piece of cardboard. Practice holding the cardboard over the sensor. The hole with the fabric across should be placed directly above the sensor. It is okay if the fabric lightly touches the tip of the sensor.
9. When all is ready, click the green arrow on your LabQuest to begin data collection. After 20 seconds, click on the red square to stop the data run.
10. Click Analyze on your LabQuest, then click Statistics. This will give you the mean average of UVB Intensity for this fabric for this trial. Record the mean in your data table. Next click on the Table icon for a detailed list of UVB Intensity in mW/m^2 in 4-second increments for 20 seconds. Record this information in your data table. The units are measured in milliWatts per square meter (mW/m^2) which is the standard measurement for UVB radiation.
11. Repeat steps 8-10 for each fabric in your experiment. You may want to take some beginning data of direct sun to see how much of a difference each fabric makes when compared to the sunlight.
12. Repeat the procedure from 3-5 times for each fabric in order to make sure that you have repeated trials.
13. Graph your results, analyze your data, and formulate your conclusion to include recommendation for improving this experiment.

Data Analysis and Graphs

Each UVB Intensity (mW/m^2) number listed for each type of fabric is a mean average computed by the LabQuest *Vernier* data collection device. The UVB sensor records the UVB Intensity at four second intervals for a period of twenty seconds. These calculations are then averaged together to create a mean for each type of fabric. The units are measured in milliWatts per square meter (mW/m^2) which is the standard measurement for UVB radiation.

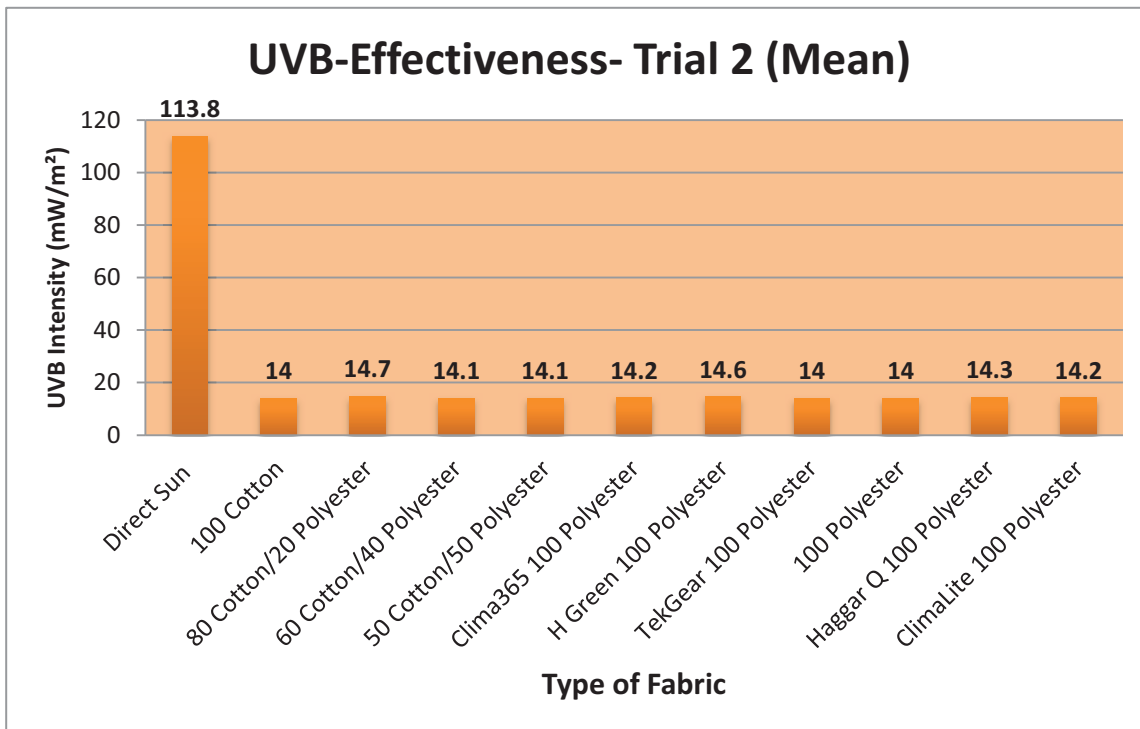
UVB Intensity (mW/m^2) Trial 1

MATERIALS/TIME (Seconds)	0	4	8	12	16	20
Direct Sun	53.8	54.3	54.8	55	55.5	56
100 Cotton	13.9	13.7	13.9	13.7	13.7	13.7
80 Cotton/20 Polyester	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9
60 Cotton/40 Polyester	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9
50 Cotton/50 Polyester	13.9	13.7	13.9	13.9	13.7	13.9
Clima365 100 Polyester	13.7	13.7	13.9	13.9	13.9	13.9
H Green 100 Polyester	13.9	13.9	13.9	13.7	13.7	13.9
TekGear 100 Polyester	13.9	13.9	14.4	13.7	13.7	13.9
100 Polyester	13.7	13.9	14.2	13.9	13.9	13.9
Haggar Q 100 Polyester	12.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9
ClimaLite 100 Polyester	13.8	13.7	13.8	13.9	13.8	13.8



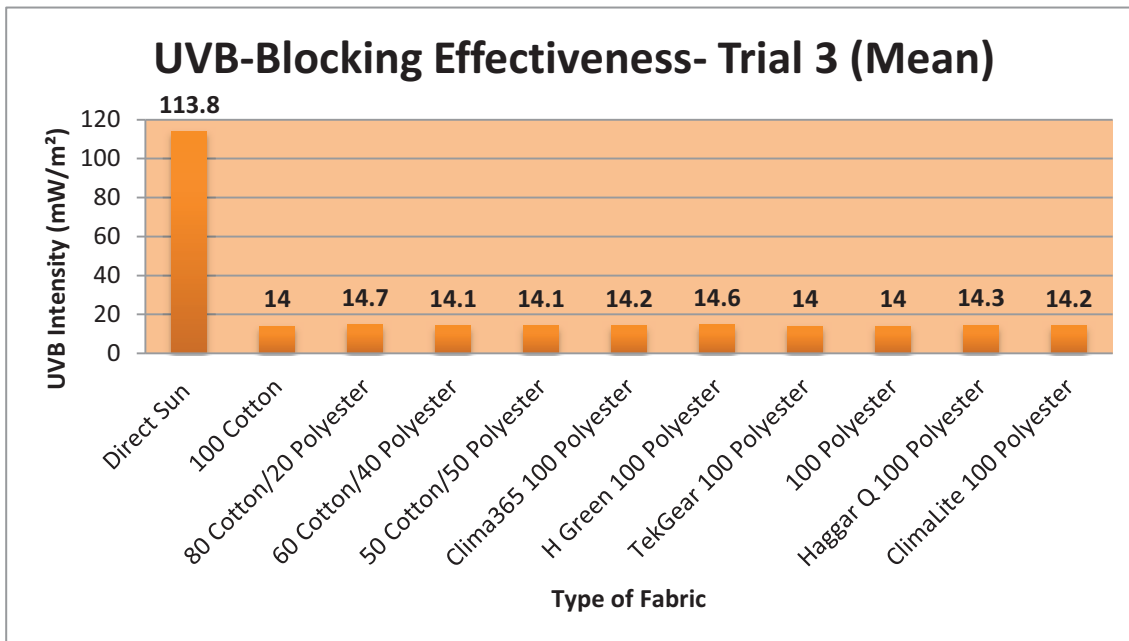
UVB Intensity (mW/m²) Trial 2

MATERIALS/TIME (Seconds)	0	4	8	12	16	20
Direct Sun	112.3	111.8	112.1	110.9	111.9	112.4
100 Cotton	14.1	13.9	13.9	14.2	14.2	14.1
80 Cotton/20 Polyester	13.7	13.7	13.9	14	14.1	13.8
60 Cotton/40 Polyester	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
50 Cotton/50 Polyester	13.9	13.7	14.1	13.7	13.9	14
Clima365 100 Polyester	13.8	13.8	14	14	13.9	13.9
H Green 100 Polyester	13.7	13.8	13.8	13.6	13.6	13.8
TekGear 100 Polyester	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
100 Polyester	12.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9
Haggar Q 100 Polyester	13.8	13.8	13.8	13.8	13.7	13.9
ClimaLite 100 Polyester	14	14.1	14.1	13.6	13.9	13.9



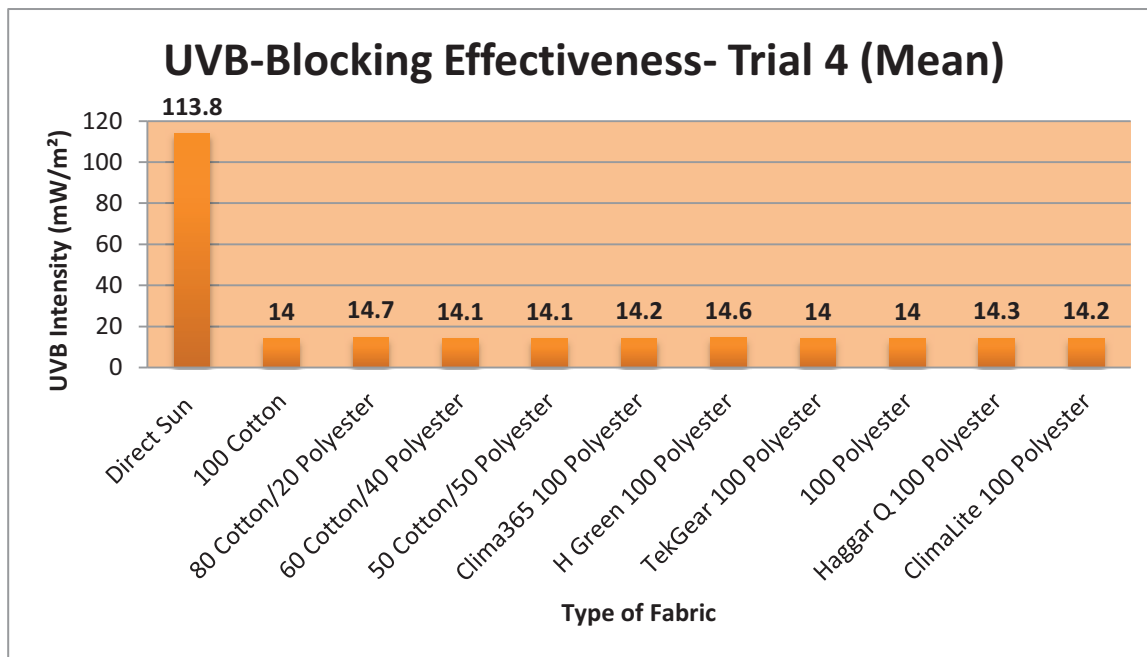
UVB Intensity (mW/m²) Trial 3

MATERIALS/TIME (Seconds)	0	4	8	12	16	20
Direct Sun	176	175.7	176.3	176	176.1	176
100 Cotton	14.5	14.5	14.3	14.3	14.1	14.1
80 Cotton/20 Polyester	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7
60 Cotton/40 Polyester	13.8	13.9	13.9	14.2	14.2	14.2
50 Cotton/50 Polyester	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1
Clima365 100 Polyester	13.3	13	13.5	13.3	13.1	13.4
H Green 100 Polyester	14.4	14.4	14.4	14.4	14.5	14.5
TekGear 100 Polyester	14.3	14.3	14.4	14.3	14.3	14.3
100 Polyester	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1
Haggar Q 100 Polyester	14.2	14	14	14.4	14	14
ClimaLite 100 Polyester	14	14	14	14	14	14



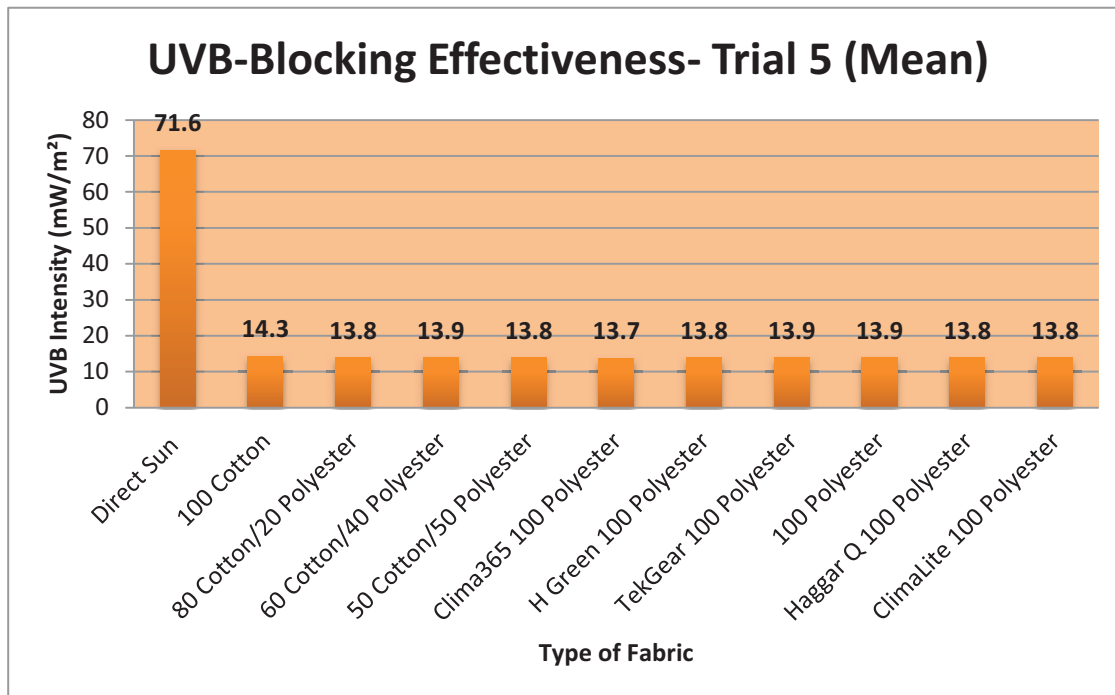
UVB Intensity (mW/m²) Trial 4

MATERIALS/TIME (Seconds)	0	4	8	12	16	20
Direct Sun	113.8	114.2	113.8	113.7	113.6	113.6
100 Cotton	14	14.1	13.9	14	14	14
80 Cotton/20 Polyester	14.7	14.7	14.7	14.8	14.7	14.8
60 Cotton/40 Polyester	14.1	14.1	14	14.2	14.3	13.9
50 Cotton/50 Polyester	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1
Clima365 100 Polyester	14.2	14.2	14.2	14.3	14	14.2
H Green 100 Polyester	14.6	14.6	14.5	14.7	14.5	14.6
TekGear 100 Polyester	14	14	14	14.1	14.1	14
100 Polyester	14	14.1	14.1	13.4	14.1	14.5
Haggar Q 100 Polyester	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
ClimaLite 100 Polyester	14.2	14	14.4	14.2	14.2	14.2



UVB Intensity (mW/m²) Trial 5

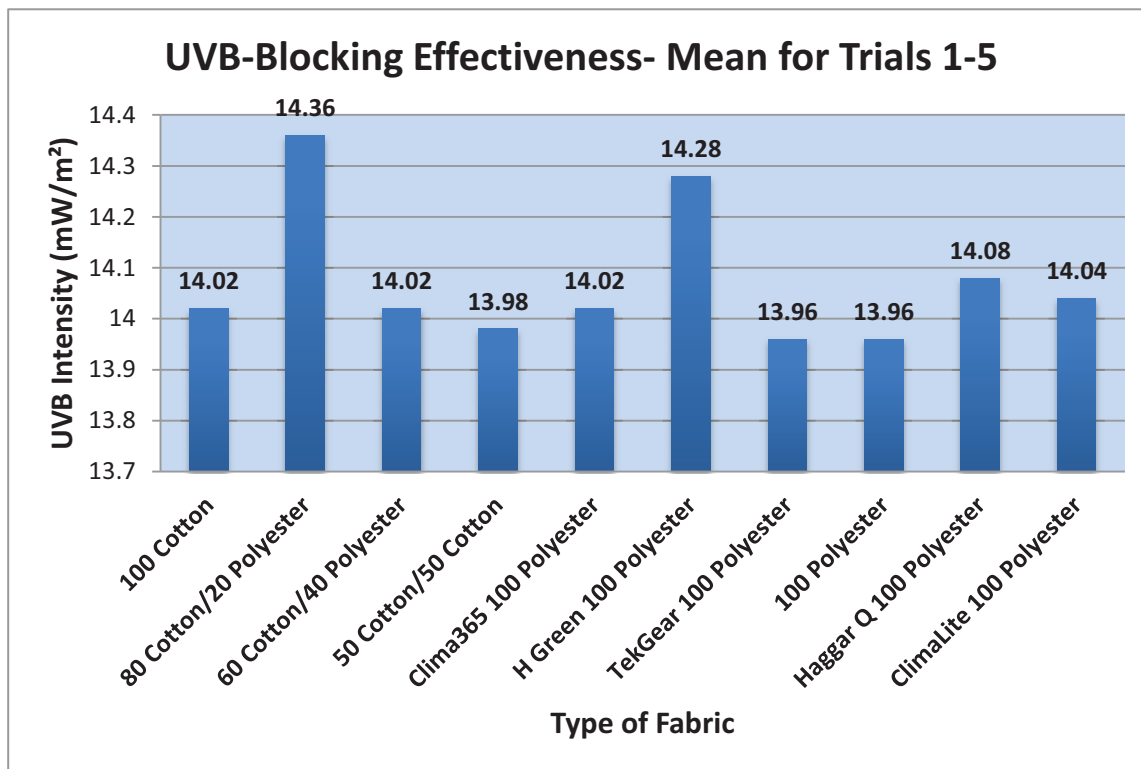
MATERIALS/TIME (Seconds)	0	4	8	12	16	20
Direct Sun	68.5	70.7	71.5	72	72.7	74
100 Cotton	14.2	14.3	14.3	14.3	14.1	14.5
80 Cotton/20 Polyester	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
60 Cotton/40 Polyester	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9
50 Cotton/50 Polyester	13.9	13.7	13.9	13.9	13.7	13.9
Clima365 100 Polyester	13.8	13.8	13.8	13.5	13.6	13.8
H Green 100 Polyester	13.9	13.9	13.9	13.7	13.7	13.9
TekGear 100 Polyester	13.9	13.9	14.4	13.7	13.7	13.9
100 Polyester	13.7	13.9	14.2	13.9	13.9	13.9
Haggar Q 100 Polyester	13.8	13.5	13.8	13.8	13.8	13.8
ClimaLite 100 Polyester	13.7	13.7	13.9	13.9	13.9	13.9



Data Summary

UVB Intensity (mW/m²) Trials 1-5 Mean Averages

Type of Fabric	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	MEAN
100 Cotton	13.8	14	14	14	14.3	14.02
80 Cotton/20 Polyester	13.9	14.7	14.7	14.7	13.8	14.36
60 Cotton/40 Polyester	13.9	14.1	14.1	14.1	13.9	14.02
50 Cotton/50 Cotton	13.8	14.1	14.1	14.1	13.8	13.98
Clima365 100 Polyester	13.8	14.2	14.2	14.2	13.7	14.02
H Green 100 Polyester	13.8	14.6	14.6	14.6	13.8	14.28
TekGear 100 Polyester	13.9	14	14	14	13.9	13.96
100 Polyester	13.9	14	14	14	13.9	13.96
Haggar Q 100 Polyester	13.7	14.3	14.3	14.3	13.8	14.08
ClimaLite 100 Polyester	13.8	14.2	14.2	14.2	13.8	14.04



UVB-Blocking Effectiveness of Different Materials

Most to Least Effective (Mean for Trials 1-5)

Type of Fabric	UVB Intensity (mW/m ²)
100 Polyester	13.96
TekGear 100 Polyester	13.96
50 Cotton/50 Cotton	13.98
100 Cotton	14.02
60 Cotton/40 Polyester	14.02
Clima365 100 Polyester	14.02
Haggar Q 100 Polyester	14.08
H Green 100 Polyester	14.28
80 Cotton/20 Polyester	14.36

Lower averages of UVB Intensity indicate that the tested material is more effective in blocking UVB radiation.

Conclusion

My hypothesis was partially supported by the data. On average, the 100% polyester sample proved to be the most effective in blocking out UVB rays. The mean, after five trials, for this material was 13.96 mW/m², which was the lowest of all of the material tested. But, the other samples with different amounts or types of polyester finished in different orders depending on the trial. To my surprise, the 100% cotton sample proved to be a better UVB-blocking material than over fifty percent of the other tested materials. The worst UVB-blocker tested was the 80 Cotton/20 Polyester sample. This was very interesting for me because this material came from an *Okinawan Kariyushi Wear* shirt of my Dad's. These shirts are like Hawaiian shirts in Hawaii, everybody wears these shirts in Okinawa.

The amount of polyester in a material was not a good predictor of its ability to block out UVB radiation. I was surprised to discover that there was not much difference between all of the materials. I thought that there would be a wide range of UVB-blocking abilities in the different materials.

Based on my findings, I would be interested to see if the density of the fabric played a factor in UVB protection. I tested a few different samples of 100% polyester. These samples were all made of polyester, but some seemed to be woven tighter. For example, the H Green polyester sample looked like it had small air holes in the material. Maybe this material was designed to keep someone cool in hot weather, and not designed for UVB protection.

If I were to do this experiment again, I would concentrate on the type of fabric rather than the materials used to make the fabric. I would conduct more research on the new

technology used in UPF clothing and materials. Finally, I would conduct as many trials as possible, maybe even a hundred trials in order to get more accurate results.

Acknowledgements

I would like to thank all of my teachers. I especially want to thank Ms. Collins and Ms. McKnight for all of their support with my project. Also, I want to thank my mom and dad for all of their help in getting my materials, conducting my experiment, and in preparing my display board. I could not have finished my work without their help and guidance. Finally, thank you to all who organized the science fairs for giving me a chance to enter my project.

References

- Bailey, C. (2012, April 12). *Are Your Summer Clothes Good Enough to be Sun Protective Clothing?* Retrieved November 23, 2012, from Dr. Cynthia Bailey- Skin Care website: www.drbaileyskincare.com
- Benduhn, T. (2009). *Energy for Today- Solar Power*. Pleasantville, NY: Weekly Reader Books.
- Epstein, J. H., & Wang, S. Q. (2012). *Understanding UVA and UVB*. Retrieved November 18, 2012, from Skin Cancer Foundation website: www.skincancer.org/prevention/
- Graham, I. (2008). *Discovering Space: The Sun*. North Mankato, MN: Smart Apple Media.
- Ride, S., & O'Shaughnessy, T. (2003). *Exploring our Solar System*. New York, NY: Crown Publishing.
- Safeguard Your Skin and Make the Smart Choice to Use Sunscreen this Summer*. (n.d.). Retrieved November 23, 2012, from American Academy of Dermatology website: <http://www.aad.org>
- Shirt Color and Protection from UV*. (n.d.). Retrieved November 15, 2012, from All Science Fair Projects website: www.all-science-fair-projects.com/print_project_1362_91
- Vernier Experiments- UV Light and Clothing*. (n.d.). Retrieved November 22, 2012, from Vernier website: http://www.vernier.com/experiments/esv/22/uv_light_and_clothing/
- UV Protection Factor or "UPF"*. (n.d.). Retrieved November 23, 2012, from Coolibar- Sun Protection you Wear website: www.coolibar.com/custerv/

概 要

1. 動機

沖縄は、太陽光が多い亜熱帯の島です。私は、多くの時間を屋外で友人とサッカーをして過ごします。皆、私に日差しから肌を守りなさいと言います。どの布地の素材がより多くの紫外線を遮ってくれるのでしょうか？

2. 手順

この研究の目的は、危険な紫外線放射から、特に紫外線 B 波から私の肌を 1 番守ってくれる素材は何なのかを確認することでした。異なる布地からなる素材を紫外線放射センサーを使用し検査しました。LabQuest 社のデータ収集装置を使用してデータを収集しました。

3. 結果

私のデータでは、全ての素材が紫外線を防ぐという意味では mW/m^2 単位で計測したところほとんど同じでした。計測は各素材で 5 回行い、各素材の平均を計算し、紫外線 B 波を遮る素材の効果にランクをつけました。

4. 考察

100% ポリエステルと表示されていても、密度が違うことを知り、各素材の密度が異なることが分かりました。検査した全ての素材が有害な紫外線 B 波が肌に届くのを遮ってくれることが出来ると分かりました。更なる研究で、紫外線防止素材の新しい技術について研究したいです。

講 評

This project was very well developed. The research provided information on UV radiation and the effect of UV radiation on the human body. Skin cancer is a huge problem and developing ways to limit the skin's exposure to UV radiation will help reduce the number of skin cancer cases.

It is important to think like a scientist and by using Vernier probe ware, you used data collection tools that are similar to professional scientists. It was nice to see so many trials completed as this provided validity of your data and your data collection methods.

Recommendations for further study and experimentation include using different colored fabric and using fabrics that have different weaves and thicknesses. It would also be interested to conduct this experiment on children's clothes, since you noted in your research that 80% of damage to the skin occurs before the age of 18.

この作品は、非常によく展開されていました。研究は、紫外線に関する情報と紫外線の人体に対する効果を紹介していました。皮膚がんは大きな問題です、そして、紫外線に対する皮膚の露出を制限する方法は皮膚がんの数を減らすのに役立ちます。

科学者のように考えることは重要です、バーニアの調査機器を用いて、プロの科学者が使用するものと同様にデータ収集ツールを使用していました。

データとデータ収集方法の有効性を提供するために、多くの実験を繰り返し、完成させていたことが良かったです。

今後の研究と実験への提案として、異なる色のついた、異なる織りと厚さを持つ素材も使うことです。皮膚への損傷の 80% が 18 才になる前に起こると指摘しているので、子供服を用いてこの実験を行うことも良いかもしれません。



Fear Factor: 'Flooding'

恐怖の要因：氾濫療法

Zukeran Elementary School
ズケラン エレメンタリー スクール

Jacob Nevells
ジェイコブ ネヴェルス

Abstract

Fear is an emotion that all individuals experience. Fear is a necessary emotional response that allows individuals to make appropriate “fight or flight” responses that protect us throughout our entire life. However, there are fears that do not require a “fight or flight” response, that psychologists believe can be overcome through various techniques, one of which is “flooding”. My hypothesis was that if individuals were subjected to the same haunted house twice while wearing heart rate monitors, their second exposure to the fear would result in less of a pulse rate increase as opposed to the first exposure to the same haunted house. My test results indicated that for the majority of participants, pulse rates did decrease on their second exposure to the haunted house. In addition, the average of all 16 participants’ peak pulse rate and average heart rate showed a significant decrease, 10.6 beats per minute and 6 beats per minute respectively, on their second trip through.

Will multiple exposures to the same fear result in reduced physical/physiological reactions on subsequent exposures?

Variables:

Independent Variable: Number of exposures to the haunted house

Dependent Variable: Participants pulse rate

Controlled Variable: Haunted house

Hypothesis:

If individuals are subjected to the same haunted house twice while wearing heart rate monitors, their second exposure to the fear will result in **less** of a pulse rate increase as opposed to the first exposure to the same haunted house.

Background Research

Fear is one of many emotions that humans can experience. “Fear is a feeling of alarm or fright caused by the expectation of danger” (The American Heritage Student Dictionary, 2013). This reaction is also referred to as the “fight or flight” response. The fight or flight response, “refers to a psychological reaction that occurs in the presence of something terrifying

either mentally or physically” (The fight or flight response: Our body’s response to stress, 2010). The purpose is to prepare the body to either fight or flee the threat, either real or imaginary. Scientists have been studying this physiological process for more than 70 years including how to help people reduce their body’s response when exposed to them.

One scientist who has studied fear is Joseph LeDoux. “Joseph LeDoux demonstrated that the critical structure for eliciting a fear response is the amygdala -- the central part of the survival portion of the limbic system” (Johnston, 1999, p.113). The limbic system is an area of the brain in charge of one’s emotions and moods. In the limbic system, several areas of the brain work together. “It is here that you connect feelings with strong physical reactions, for example, fear with a fast heartbeat” (LeVert, 2002, p.19). The brain then sends signals in the form of nerve impulses to the spinal cord. “The spinal cord is a cable of nerve tissue that transmits messages to and from the brain and the rest of your body” (LeVert, 2002, p.23). The nerves that interpret these messages from the brain and spinal cord are called autonomic nerves.

There are two types of autonomic nerves; sympathetic and parasympathetic. The balance between these two nerves is involved in heart rate management. “The sympathetic nerves excite the body, speeding up its processes in response to stimuli. The parasympathetic nerves bring the processes back to normal” (LeVert, 2002, p.29). The balance of these two systems provides us the right amount of information when fear is present and when it goes away. For example, when someone is exposed to a fear, the sympathetic nerves tell your heart to work or pump faster. One way to measure this reaction is by measuring a person’s pulse rate.

The repeated exposure to similar situations leads to familiarity. This greatly reduces the fear response and also forms the basis of some phobia treatments, which depend on slowly minimizing the fear response by making it feel familiar. For example, “psychologists will try to extinguish fear by flooding techniques—they suggest that clients repeatedly expose themselves to the feared stimulus” (Carlson & Hatfield, 1992 p. 469).

Materials List

- Sixty dollars to cover the entrance fee of the 16 participants to Haunted House
- Two Sportline dual use heart rate monitor watches
- Permission to use the 18th Civil Engineer Battalion (CEB) “Slaughter House” haunted house on November 2nd and 3rd, 2012
- Self-constructed participant survey
- Informed consent (included on self-constructed survey)
- Table for workstation while at the haunted house
- Two chairs for workstation at haunted house
- Two 8 ½” x 11” clipboards
- Dozen #2 pencils

Experimental Procedure

- Obtain permission from the 18th CEB to utilize their “Slaughter House” on Kadena AB to conduct the experiment on November 2nd & 3rd, 2012.
- Solicit volunteers from the line awaiting entry into the “Slaughter House”.
- Explain to volunteers what the purpose of the experiment is and that it will require two trips through the haunted house (taking up to 1.5 hours to complete both trips).
- Explain to volunteers that the second trip through the haunted house will be paid for by the researcher.

- Ask volunteers to sign the informed consent portion of the survey and explain the confidentiality of the volunteers' survey data.
- Have Volunteers fill out a survey for the experiment.
- Attach heart rate monitors to the volunteers and record their heart rates prior to entry into the "Slaughter House".
- Send the volunteers through the "Slaughter House" on their first trip.
- After completion of first trip, access the stored data in the heart rate monitor to record their "Peak" heart rate and "Average" heart rate during the trip.
- Erase all data in the heart rate monitor.
- Send the volunteers through the "Slaughter House" on their second trip.
- After completion access the stored data in the heart rate monitor to record their "Peak" heart rate and "Average" heart rate during the trip.
- Thank volunteers for participation.

Data Analysis

Participants Heart Rates in Beats Per Minute

Participant	Resting Heart Rate	Trip 1 Peak	Trip 1 Avg	Trip 2 Peak	Trip 2 Avg	Peak Change	Avg Change
1	90	139	128	131	124	-8	-4
2	109	123	110	113	103	-10	-7
3	70	138	96	123	75	-15	-9
4	117	189	132	155	135	-34	3
5	79	200	161	144	110	-56	-51
6	107	190	159	172	144	-18	-15
7	80	157	123	126	111	-31	-12
8	87	107	96	103	95	-4	-1
9	90	142	136	157	126	15	-10
10	101	112	101	113	96	1	-5
11	117	140	101	132	98	-8	-3
12	120	153	139	144	138	-9	-1
13	85	123	97	130	120	7	23
14	113	143	128	145	132	2	4
15	118	160	150	161	136	1	-14
16	96	152	137	149	142	-3	5
Average	98.6875	148	124.625	137.375	117.8125	-10.625	-6.0625

Discussion

With sixteen volunteers tested while walking through a haunted house (controlled variable) on consecutive trips (independent variable), their individual pulse rates (dependent variable) were measured and recorded to show how repeated exposure to a specific fear would affect their body's natural reaction. Eleven of the volunteers showed a decrease in "peak" pulse rate while twelve volunteers showed a decrease in average pulse rate while participating in their second trip through the haunted house. The average change in peak pulse rate for all sixteen volunteers was -10.6 bpm, while the average change in average pulse rate for all sixteen volunteers was -6bpm. Five of the volunteers showed an increase in peak pulse rate

on the second trip while only four volunteers showed an increase in average pulse rate during the second trip (Table 2).

Conclusion

My hypothesis was that if I send volunteers through a haunted house wearing heart rate monitors, their heart rate will increase more the first time through than it does the second time through. The tests were conducted smoothly, and for the most part supported my hypothesis. While a few of the participants showed an increased pulse rate on the second trip as compared to the first trip through, the data overwhelmingly shows that second trips through the haunted house produced a significant drop in both Peak Pulse Rates and Average Pulse Rates for the group as a whole.

Ideas for Future Research

The survey I constructed for my research was used to collect demographic information as well as gauge the participants' feelings towards haunted house experiences. Due to my limited sample size of 16, I think a good idea for future research would be to examine in more depth how results would change with a larger sample size as well as how age and gender affected pulse rate over multiple exposures.

Acknowledgements

I would like to thank the Airmen of the 18th CEB for allowing me to use their "Slaughter House" to conduct my experiment. I would also like to thank my mom and dad who provided time and resources to allow me to complete my research project.

Bibliography

- Carlson, J. G., & Hatfield, E. (1992). *Psychology of emotion*. Orlando, FL: Harcourt Brace Janovich College Publishers.
- Johnston, V.S., (1999). *Why we feel: The science of human emotions*. New York: Helix.
- LeVert, S. (2002). *The Brain*. New York: Benchmark Books.
- The American Heritage Student Dictionary* (1st ed.). (2013). Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt Publishing.
- Young Diggers. (2010, February). *The fight or flight response: Our body's response to stress*. Retrieved November 9th, 2012, from <http://youngdiggers.com.au>

Appendix 1

FEAR FACTOR SURVEY

I am asking for your voluntary participation in my 4th grade science fair project. The goal of my project is to determine if pulse rate is a good indicator of fear or excitement. Please be assured that any information provided will be kept completely anonymous. If you would like to participate, please sign on the line directly below and complete the following survey.

Participant Signature & Date: _____

INSTRUCTIONS: Please darken the circle next to your answer choice and write your answer on the line where necessary. Please answer all of the questions to the best of your ability.

1. How many times do you estimate having gone through a Haunted House?
 - 0 to 1
 - 2 to 3
 - 4 to 5
 - more than 5

2. How many times do you estimate you have gone through this Haunted House prior to taking this survey?
 - 0 to 1
 - 2 to 3
 - 4 to 5
 - more than 5

3. Do you normally seek out experiences that are fearful?
 - YES
 - NO

4. Do you mostly feel excited before walking through a Haunted House?
 - YES
 - NO

5. Do you feel excited before walking through this Haunted House?
 - YES
 - NO

6. Do you think fear is fun?
 - YES
 - NO

7. Tonight, are you going through the Haunted House alone?
 - YES
 - NO

- 8. Tonight, are you going through the Haunted House with someone?
 - YES
 - NO

9. What is your gender?

- MALE
- FEMALE

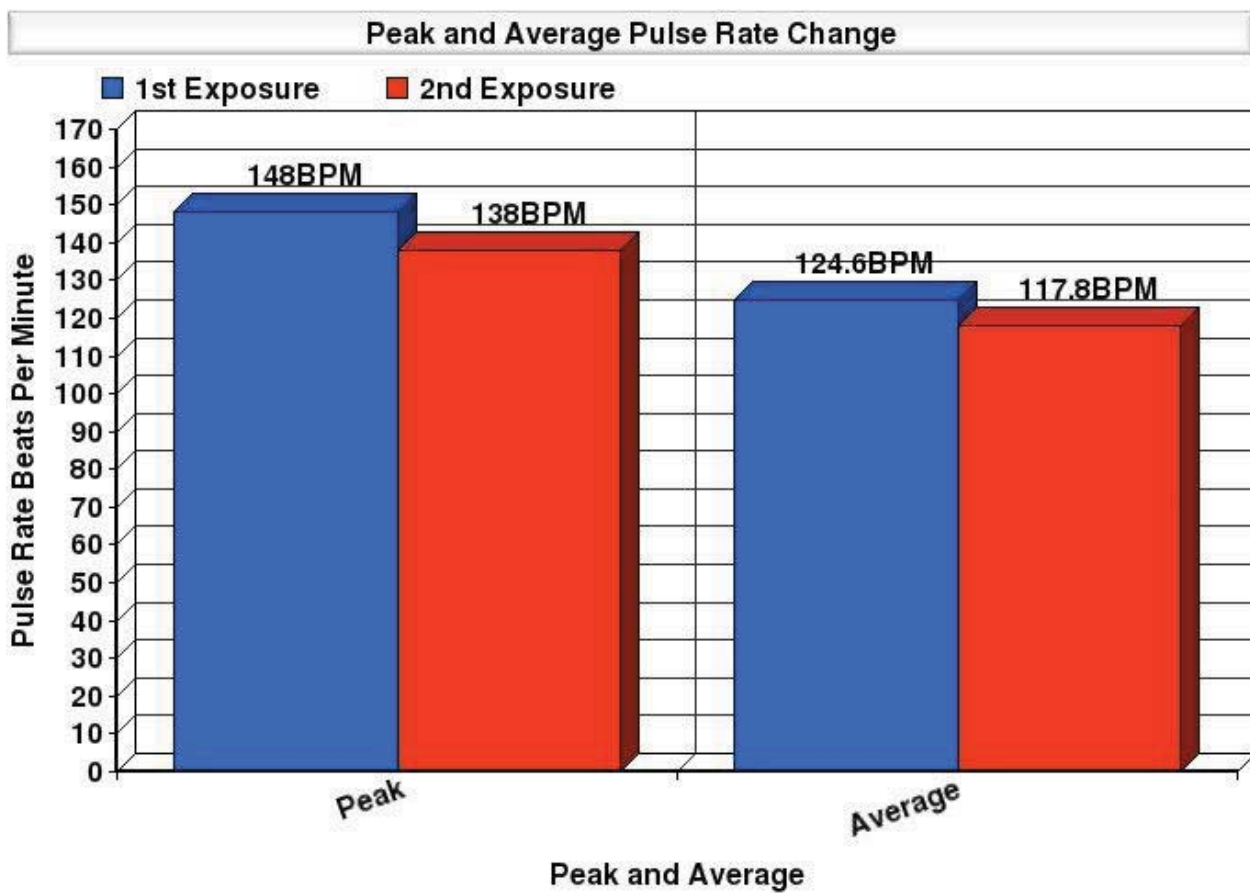
10. What is your age? _____ Resting HR: _____ Peak HR 1st time: _____ Peak HR 2nd time: _____

Table 1

Variables:

Independent Variable	Dependent Variable	Controlled Variable
Number of Exposures	Participants Pulse Rate	Haunted House

Table 2



概 要

1. 動機

恐怖は、人間が生きていく上で自己防衛する時に闘争・逃走反応時に必要な感情反応です。しかしながら、闘争・逃走反応を必要としない恐怖もあり、精神科医は様々な技術を用いることで可能となると信じており、その一つが汨濫療法です。同じ恐怖に繰り返し遭遇することにより心理的反応が低下するということはあるのでしょうか？

2. 手順

まず、実験を行うために嘉手納空軍基地の第18施設大隊の「不気味な畜殺場」の使用許可を貰いました。次に、列に並んでいる人から不気味な畜殺場の中を2度歩いて調査に協力してくれる治験者を集めました；事前同意を取り、不気味な畜殺場に対する一般的な感情をとらえ、人口学的情報として集めました。そして、治験者に心拍モニターを付け、「不気味な畜殺場」に入る前からの心拍数を2回とも測りました。最後に、2度歩いた後に心拍モニターに集められたデータから最大心拍数と平均心拍数を収集しました。

3. 結果

治験者16名で実験を行い、不気味な畜殺場に入る2度目の方が11名の治験者の最大心拍数が低下して、12名の治験者の平均心拍数が低下しました。データでは、大多数の参加者の心拍数が2度目の時に低下していたことを示していました。さらに、16名の参加者全員の平均最大心拍数と平均心拍数は顕著に低下しており、2度目はそれぞれ毎分10.6と6でした。

4. 考察

私の仮説では、もし治験者が心拍モニターを装着して不気味な畜殺場に入ったら2回目よりも1回目のほうが心拍数が高いと考えました。数名の参加者の心拍数は最初より2度目のほうが上がっていたことが分かり、2度目の時の最大心拍数と平均心拍数が圧倒的に下がっていたことがグループ全体として見られました。人は怖い時に異なった反応を示す事が分かりました；特定の恐怖感を持っている人に対し反復遭遇法を用いて助けることができると分かりました。また、この実験を改良するために不気味な畜殺場を通る時の道を全く同じものにする必要があることが分かりました。

Human beings have always been curious about the world around them their responses to environmental stimuli. Making sense of the human body's response to fear and studying ways to reduce a person's fear and anxiety is a very interesting topic. It is obvious that you were thinking like a scientist as you developed your experiment.

This experiment was very well designed and the attention to details, such as keeping as many variables controlled as possible, should be commended. Your data collection and discussion showed a strong understanding of the scientific process. Even though your sample size was small, your experimental design allowed for a random sample, which is very good.

Recommendations for future study and experimentation include increasing your sample size, focusing on a specific age group, and comparing responses by gender. Continued experimentation on this topic could lead to a better understanding of fear and development of strategies that would help people overcome their fears and anxieties.

人間は、常に回りの世界、環境刺激への自分の反応を知りたいがります。恐怖に対する人体の反応を理解して、人の恐怖と不安を減らす方法を研究するということは、非常に面白いトピックでした。実験を発展させていたので、あなたが科学者のように考えていたことがよくわかりました。

この実験は非常によく計画されており、できるだけ多く、多種の対象を用いることに細かく配慮したことは、賞賛に値します。データ収集と議論は、科学的プロセスへの深い理解を示していました。たとえサンプル量が少なかったとしても、実験計画に無作為サンプルを考慮に入れていました。それが非常に良いことでした。

今後の研究と実験への提案として、サンプル量を増やして、年齢層にも着目し、性別によつての反応を比較することです。このトピックの研究を継続した実験は、恐怖をより理解し、人が己の恐怖と不安を克服するのに役立つ戦略を開発することにつながるかもしれません。



How far is that castle? Does the weight of a trebuchet's counterweight change the distance it throws?

あの城までの距離は？

平衡錘投石機の釣合い錘は、飛距離をかえるか？

Kadena Middle School

カデナ ミドル スクール

Michael Montoya

マイケル モントヤ

Why I Chose this Project

I chose to do my project on a trebuchet because of the complex simplicity of it. I saw a trebuchet on T.V. once, taking down the walls of a castle. I wondered how a simple machine such as a lever could have so much potential power. So, I decided to do this project on them. Ancient weaponry is a topic that has always interested me

What is a Trebuchet?

The earliest trebuchets were derived from the fustibalus, a Latin word for “staff sling”. A staff sling was a length of wood with a sling at one end, not unlike lacrosse sticks. The sling had one cord attached to the staff, while the other would have a loop which would slip off and release the projectile. Staff slings were very effective due to the fact that you could make them at lengths varying up to two meters. The extra length gave the staff more time to accelerate, giving the projectile more force. Like modern lacrosse sticks, the thrower would hold the stick with both hands; but unlike lacrosse sticks, throwers would usually have both hands on the base of the staff and fling the projectile over their heads, allowing for steeper trajectories.

The fustibalus quickly evolved into the traction trebuchet, a trebuchet that required people to pull on ropes that were tied onto the short side of the throwing arm. The longer side of the throwing arm had a sling at the end where the projectile would fit. The traction trebuchet was smaller than future models and also had a much shorter range, but made up for its weakness with a more portable design and a faster rate of fire than future designs. Smaller traction trebuchets could be operated by a single person and one rope, but more effective models were sized for 15-45 men, usually two people pulling one rope.

The Greek invented the hand trebuchet (cheiromangana), which was basically a staff sling on a pole. A lever mechanism propelled the projectiles. Operated by a single man, they were deployed by emperor Nikephoros II Phokas. They were used to disrupt the enemy's formations in open-field combat.

The counterweight trebuchet, the most powerful of the trebuchets, was developed by the Byzantine Empire during the 12th century. A counterweight trebuchet was deployed to destroy enemy forts. It utilized gravity through the use of a counterweight to accelerate a projectile at high speeds. The trebuchet in itself being a first class lever, the use of the sling as a secondary fulcrum further multiplied the speed at which the projectile was flung, making the trebuchet much deadlier.

The Math Behind a Trebuchet

A trebuchet itself is a first class lever, so it should come as no surprise that physics manifest a great deal of importance, should one be designing a trebuchet themselves. For example, you can easily calculate the distance that a trebuchet throws with the formula

$x = \frac{gt^2}{2}$, where “t” is the amount of time the projectile stays in the air and “g” is the rate of gravity (32.2 feet per second).

You can also calculate the velocity of a projectile using another formula. The formula to calculate a projectile’s velocity is “v=gt”, where “v” is velocity, “g” is the rate of gravity, and “t” is the amount of time the projectile spends up in the air.

There is also math regarding the design of a trebuchet. A proper trebuchet should have a throwing arm that is a 3:1 or 4:1 ratio, in proportion to the weight arm. Donald B. Siano (Trebuchet Mechanics, March 28, 2001) recommends using a counterweight that has a mass 100 times greater than the mass of the payload. He said that it is, however, possible to use a much lighter counterweight and get an equally good design.

Statement of Question:

My experiment is focused on the question: Is there a relationship between the weight of a trebuchet’s counterweight and the change in distance between each weight?

Hypothesis:

If I increase the weight of a trebuchet’s counterweight, then the amount of increase in distance will be directly proportionate to the amount of increase.

Variables:

Manipulated Variable: The weight of the counterweight

Responding Variable: The distance the trebuchet fired in meters

Constants: The type of projectile, the trebuchet design, and the location of testing, number of trials conducted in for each counterweight

Control: Zero weights and a golf ball

List of Materials

- Ten 1-meter long PVC pipes with 25mm diameter.
- 14 nuts (metal, not food)
- 30 screws
- 14 washers (metal, not appliances)
- 1 threaded rod
- 4 zip ties
- Red electrical tape
- Black duct tape
- Six 90-degree angle joints
- Six T-shape joints that form two 90-degree angles
- 550 cord
- Black leather pouch
- 3 tennis balls
- 4 golf balls
- Four 2 ½ lb. weights
- 1 latch
- 5 rubber cushions to rest between the weights
- 1 wooden block
- 1 bent nail

Procedures

1. Decide what you are testing.
2. Conduct initial background research.
3. Construct a hypothesis.
4. Design trebuchet on paper.
5. Determine what supplies are required based on the design.
6. Go to store and buy the supplies listed on the supplies list.
7. Cut PVC into one 27.5 cm long rod, three 39.5 cm long rods, four 28cm long rods, three 40cm long rods, four 14.75cm long rods.
8. Assemble the trebuchet according to design.
9. Indoor testing using balls of paper.
10. Adjust design as necessary.
11. First trials to see if the trebuchet fires – if it does, go to step 14. If not, go to step 12.
12. Go home and tweak the design, i.e. the sling, weight arm, etc.
13. Repeat step 11.
14. Continue on to the official trials, in which you measure the weight of the counterweight and the distance the projectile is flung. Be sure to use the metric system for maximum accuracy.
15. Go home and average the distances and start working on the data table for your results.
16. Put together a supplies list and procedures list.
17. Start constructing the display for your project.
18. Create your conclusion based on results.

DATA ANALYSIS

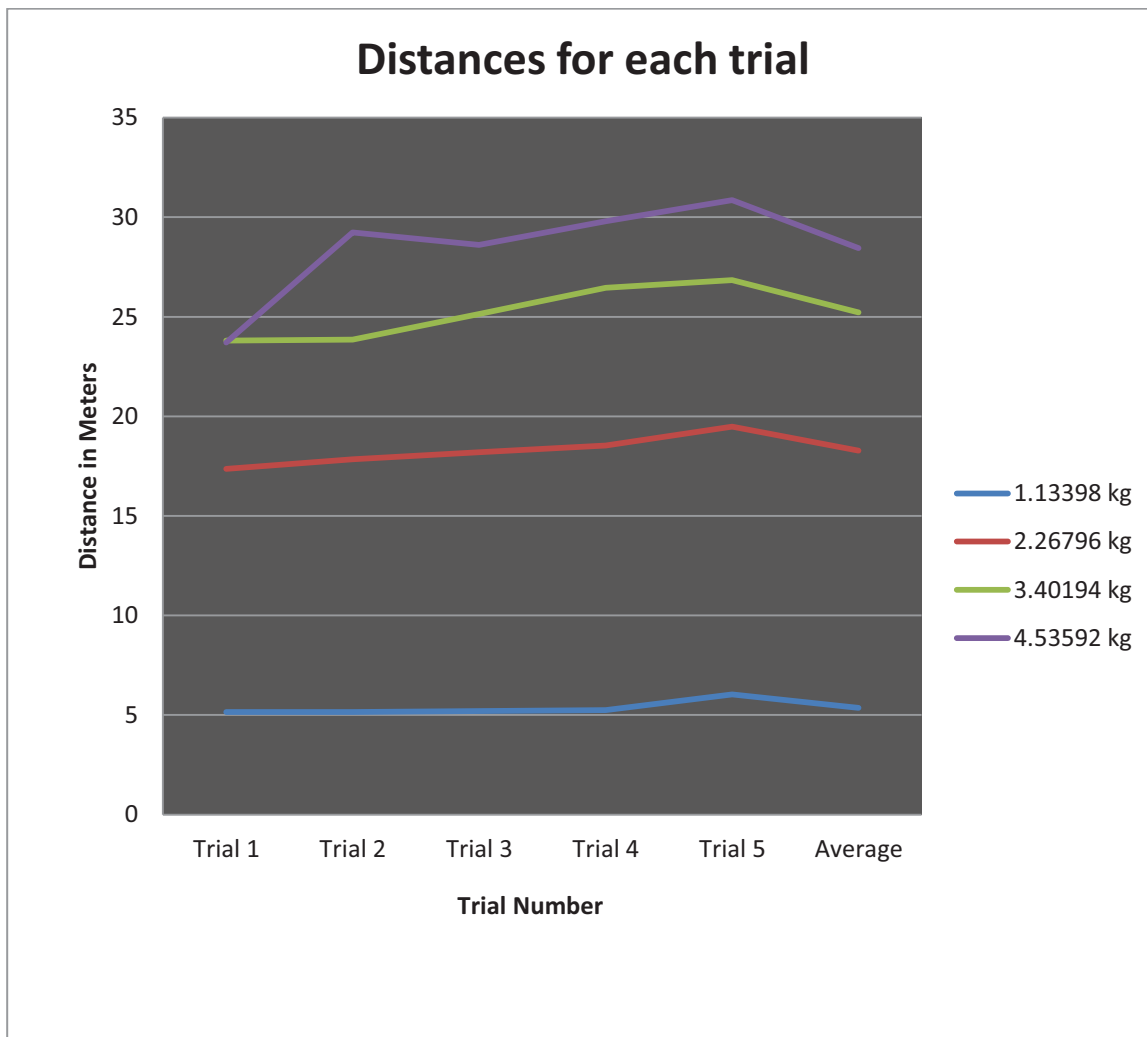
A

	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	Average
1.13 kg	5.15m	5.16m	5.2m	5.25m	6.04m	5.36m
2.26 kg	17.36m	17.84m	18.2m	18.54m	19.48m	18.284m
3.40 kg	23.8m	23.86m	25.14m	26.45m	26.84m	25.218m
4.53 kg	23.7m	29.24m	28.6m	29.8m	30.86m	28.44m

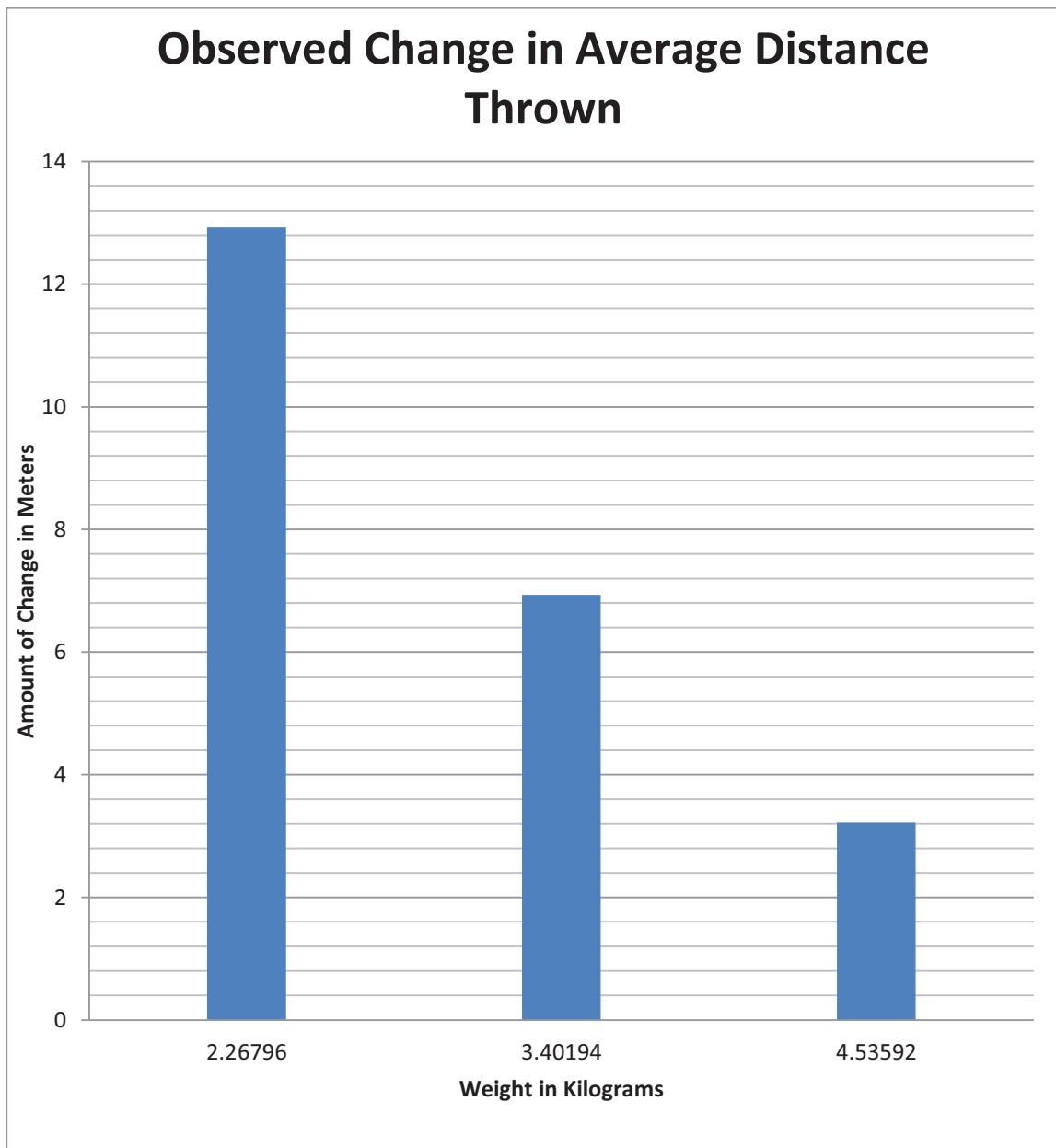
B

A m o u n t o f W e i g h t s	1 = Control	0
	2	12.924m
	3	6.934m
	4	3.222m
	5	1.497157
	6	0.695679m
	7	0.323259m
	8	0.150208m
	9	0.069797m
	10	0.032432m
	11	0.01507m
	12	0.007003m
	13	0.003254m
	14	0.001512m
	15	0.000703m
	16	0.000326m
	17	0.000152m

- A. This is the data during each of the five trials for each weight and the average of the trials. My independent variable is the weight of the counterweight. The dependent variable is the distance of the throw.
- B. The trend of the change in distance, where the left side is the amount of weights. The right hand side is the amount of change in the average distance of the throw in meters. Numbers 2-4 are based off of observed patterns, while numbers 5-17 consist of simulated results based on our observed trend.



The graph shows that the throws were mainly consistent, excluding Trial 1 of the four-weight trial. The rope had gotten tangled prior to launch, which decreased the overall effectiveness of the trebuchet.



Because the average distance thrown for 1. 13398 kg would be exactly equivalent to the amount of change it was not included in this graph. 0 kg would get you 0 meters, so 0 kg had no distance to compare to.

Conclusion

My hypothesis was not supported by my data. I observed that for each time I added weight, the change in my trebuchet's throwing distance decreased. Eventually, adding weight will not increase the throwing capability at all, but rather hinder it. This opposed my hypothesis, as doubling and/or tripling the weight of the counterweight did not double and/or triple the distance. My project did have some limitations, though. The materials used to make the trebuchet are flexible, so they absorbed some of the force that could have made the throws more efficient. Also, the string was too easy to tangle, so whenever I shot the trebuchet with a tangled string, it performed poorly. In the future, if I were to repeat this experiment, I would use wood for the body of the trebuchet because it is less flexible.

Acknowledgements

I would like to thank my father for helping me build the trebuchet, transport it, and test it. I would like to thank my mother for helping me with my research and proofreading my research paper. I would like to thank my former 5th grade teacher, Mr. Michael Callahan, for giving me guidance on the format of the research paper. I would also like to thank my current science teacher, Ms. Mary Anne Harris, for all the help she gave me in designing my graphs, experiment, and research paper.

References

Building a Trebuchet Basics (Aug. 23, 2009) Retrieved Nov.1, 2012 from www.howtomakeatrebuchet.com

Trebuchet Physics (n.d.) Retrieved Nov.1, 2012 from www.stormthecastle.com

History of the Trebuchet (n.d.) Retrieved Nov. 1, 2012 from www.howtobuildatrebuchet.blogspot.jp

Macdonald, Fiona. (1995) *How Would You Survive in the Middle Ages?* Connecticut: Grolier Publishing.

Gravette, Christopher. (1994) *Castle*. London: Dorling Kindersley Limited.

概 要

1. 動機

私の実験は以下の疑問に焦点を置きました：トレバシェットの異なる重さの釣合い錘と飛距離には関係があるのか？

2. 手順

トレバシェットの実験がしたかったので、最初からトレバシェットをデザインしました。父に手伝ってもらい、PVC パイプ、ナット、ウォッシャー、ネジ、ネジ棒、結束バンド、‘550’コードを用いてトレバシェットを作りました。テニスボール 3 個とゴルフボール 4 個を投射物として使用しました。また、釣合い錘としての錘も使用しました。トレバシェットが寸法どおり出来上がってから 4 個の異なる重さを錘として使用し、5 回実験を行いました。全ての実験終了後、収集したデータでグラフを作りました。

3. 結果

グラフでは、投射は一回目の錘を 4 個使用したものを除いて大部分に一貫性がありました。投射の前にトレバシェットのロープが絡まり、トレバシェットの全般的有効性が低下しました。

4. 考察

私の仮説は、データでは証明できませんでした。毎回錘を加える度にトレバシェットの投射距離が減少したことに気づきました。結局、錘を加えることは飛距離を伸ばすどころか邪魔をしていることが分かりました。

講 評

Understanding simple machines is important as people create complex devices. The trebuchet, even though it was originally designed hundreds of years ago, still provides inspiration for many of the devices we use today. The explanations regarding the physics and the mathematical formulas used in designing and understanding the trebuchet is much appreciated.

Your skills as a scientist are demonstrated through your use of multiple trials and the accuracy of your data collection. Your careful observations of your trebuchet in action helped provide an explanation as to why the data did not support your hypothesis. As you continue forward in your experimentation with the trebuchet, one possible extension to this experiment could be to construct the trebuchet using different materials.

人々が、複雑な装置を作製するために単純な機械を理解することは重要です。投石機は、たとえそれが数百年も前に設計されたものだとしても、我々が今日使う装置の多くにヒントを提供しています。投石機を理解し、設計する際に物理学や数式を用いて説明している点が非常に評価できる。科学者としてのあなたの熟練度は、複数回の実験使用とデータ収集の正確さを通して示されています。投石機実験での注意深い観察は、データがあなたの仮説を支持しなかった理由に関する説明に役立っていました。投石機の実験を進めるために、この実験での 1 つの可能性として、異なる材料を使って投石機を作ることと考えられると思いました。