

SUPER SCIENCE HIGH SCHOOL SCIENCE LABORATORY

NARA WOMEN'S UNIVERSITY SECONDARY SCHOOL



2008年度 SSHサイエンス研究会 研究論文集



奈良女子大学附属中等教育学校

2008 年度 SSH サイエンス研究会
研究論文集

奈良女子大学附属中等教育学校

2009 年 2 月 1 日

2008 年度 SSH 生徒研究論文集

目次

あいさつ	p.
奈良女子大学附属中等教育学校のカリキュラム	p.

第 I 部 研究論文

物理班

ライントレースカーの開発	p.
曲げセンサを用いたアームロボットの作製	p.
電動車いすの開発	p.
筋電位計測システムの開発とその応用	p.
惑星運動シミュレータの開発	p.

数学班

暗号の種類とその構造	p.
----------------------	----

生物班

猿沢池のプランクトン	p.
アゲハチョウのサナギの解剖に関する実験報告	p.
バイオエタノールに関する基礎実験	p.
ベンソンの実験と ATP	p.
カルスの基本的研究	p.
乳酸菌と植物の共生	p.
プラナリアの白色化死について	p.
シカのフンを用いた除草剤の開発	p.

地学班

ダイラタンシー	p.
黄鉄鉱の秘密を探る	p.
ハイスピードカメラによる事象の撮影	p.
高々度発光現象(スプライト)の観測	p.

第 II 部 活動報告

「サイエンス夏の学校」参加報告	p.
「NSL 講座」参加報告	p.
「台湾 ISSS」参加報告	p.
「かがくのひろば」実施報告	p.

はじめに

文部科学省から指定を受け、2005 年度より 5 年間の計画で進めて参りましたスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の取り組みも、本年度で 4 年が経過します。中高 6 年一貫教育校の特色を生かして、前期課程生（中学生）から数学的リテラシーおよび科学的リテラシーの育成を積極的に行って参りました。また、SSH 指定を機に創設しました「サイエンス研究会」では、生徒たちがサイエンスの魅力を体験しながら、自由に実験・研究を行えるような環境を整えて参りました。本年度も生徒たちは自分たちの疑問から出発して、自由な発想で活発な研究を行い、得られた成果を全国 SSH 生徒研究発表会や各種の学会で果敢に発表しました。そして、数々の輝かしい賞を受賞するという快挙を成し遂げました。本論文集はこれらの生徒たちの研究成果をまとめたものです。いずれの論文からも生徒たちの熱意と努力が伺えます。皆様にも是非、ご一読いただき、忌憚のないご意見、ご助言をいただければ幸いです。

3・4 年生対象の NSL 講座では、大学教員による数学的内容および理科学的内容を融合した先端的話題に関して集中講義がありました。また、本年度から SSH 重点枠プログラムの指定を受けて、国際連携の取り組みも一層進展しました。昨年 5 月には韓国の KSA との科学技術交流を、ビデオ会議システムを利用して実施し、8 月には「台湾 ISSS」として高雄女子高級中学（高校）との研究交流を行い、成功裏に終わりました。さらに、「かがくのひろば」では、本校の前期課程生が本学附属幼稚園・附属小学校の園児・児童に科学の面白さを伝えました。これらの報告もあわせて掲載いたします。

末筆になりましたが、SSH 運営指導委員の先生方を始め、大学・研究機関の先生方、さらにさまざまな面でご支援いただきました多くの皆様に心から感謝を申し上げます。来年度も生徒たちの活動を温かく見守り、ご指導、ご鞭撻いただきますようよろしくお願い申し上げます。

奈良女子大学附属中等教育学校
校 長 前 川 昌 子
(生活環境学部教授)

平成20年度教育課程表

奈良女子大学附属中等教育学校

学年 時間	1年	2年	3年	4年	5年		6年					
	共通	共通	共通	共通	文系	理系	文系	理系				
1	国語基礎 (4)	国語基礎 (4)	国語総合 (3)	国語総合(5)	現代文(2)	現代文(2)	現代文(2)	現代文(2)				
2					古典(2)	古典(2)	古典(2)	古典(2)				
3												
4												
5	社会・地理 (3)	社会・歴史 (3)	現代社会 (2)	現代社会(2)	古典講読(1)	古典講読(1)	日本史B(3) 世界史B(3) 地理B(3) *(3)	日本史B(3) 世界史B(3) 地理B(3) 政治・経済(3) *(3)				
6			現代史 (2)		化学Ⅰ(3) 生物Ⅰ(3) 地学Ⅰ(3) *(3)	化学Ⅰ(3)	日本史B(3) 世界史B(3) 地理B(3) *(3)	日本史B(3) 世界史B(3) 地理B(3) *(3)	世界史B(3) 政治・経済(3) △(0 or 3)	化学Ⅱ(4) △(0 or 4)		
7												
8	基礎数学Ⅰ (4)	基礎数学Ⅱ (4)	代数・幾何Ⅰ (2)	現代史(2)	日本史B(3) 世界史B(3) 地理B(3) *(3)	日本史B(3) 世界史B(3) 地理B(3) *(3)	世界史B(3) 政治・経済(3) △(0 or 3)	化学Ⅱ(4) △(0 or 4)				
9												
10												
11	探究数学(1)	探究数学(1)	解析Ⅰ (3)	代数・幾何Ⅱ(3)	世界史B(3) 文化と社会(3) △(0 or 3)	物理Ⅰ(3) 生物Ⅰ(3) *(3)	化学Ⅰ(3) 生物Ⅰ(3) 地学Ⅰ(3) △(0 or 3)	物理Ⅱ(4) 生物Ⅱ(4) △(0 or 4)				
12												
13												
14	基礎理科Ⅰ (3) TA	基礎理科Ⅱ (4)	自然探究Ⅰ 地球環境 (4)	解析Ⅱ(2)	世界史B(3) 文化と社会(3) △(0 or 3)	物理Ⅰ(3) 生物Ⅰ(3) *(3)	発展現代文(2) 選択漢文(2) 基礎理科(2) △(0 or 2)	物理Ⅱ(4) 生物Ⅱ(4) △(0 or 4)				
15												
16												
17	音楽(2)	音楽(2)	自然探究Ⅱ ・物質とエネルギー ・生命科学 (4)	解析Ⅲ(3) 総合数学(3) *(3)	解析Ⅲ(3)	古典講読(1) 世界史特講(2) 日本史特講(2) 地理特講(2) △(0 or 2)	代数・幾何Ⅳ・ Ⅳ特論(3) △(0 or 3)					
18												
19												
20	美術(2)	美術(2)	生活デザイン(2) *(2)	音楽Ⅰ(2) 美術Ⅰ(2) 生活デザインⅠ(2) 科学と技術(2) *(2)	代数・幾何Ⅲ(3) 音楽Ⅱ(2) 美術Ⅱ(2) 生活デザインⅡ(2) △(0 or 2 or 3)	代数・幾何Ⅲ(3)	数学特論Ⅲ・Ⅳ(2) 芸術Ⅲ(2) 倫理(3) △(0 or 2 or 3)	解析Ⅳ・ Ⅳ特論(5) △(0 or 5)				
21												
22												
23	工創基礎1 生活基礎1 (3)	工創基礎2 生活基礎2 (2)	技術総合 家庭総合 (2)	家庭総合(2)	Reading(2) △(0 or 2)	Reading(2) △(0 or 2)	Reading(2) △(0 or 2)	Reading(2) △(0 or 2)				
24												
25												
26	体育(3)	体育(2)	体育(3) (4講座一斉展開)	体育(2) (4講座一斉展開)	情報B(2) TA	情報B(2) TA	体育(3)	体育(3)				
27												
28												
29	Introductory English(S) (3)	Introductory English(S) (3)	Integrated English (2)	Integrated English (3)	体育(3) (4講座一斉展開)	体育(3) (4講座一斉展開)	Topic StudiesⅡ(3)	Topic StudiesⅡ(3)				
30	NET(1)	NET(1)	NET(1)	NET(1)								
31	Basic English(1)	Basic English(1)	Basic English(1)	NET(1)								
32	道徳(1)	道徳(1)	環境学(2)	世界学(2)	生活科学(2)	生活科学(2)	Writing(2) △(0 or 2)	Writing(2) 生物Ⅰ(2) △(0 or 2)				
33	HR(1)	HR(1)	NSL講座(1) △(0 or 1)	NSL講座(1) △(0 or 1)					Writing(0.5) NET(0.5) *(1)	Writing(0.5) NET(0.5) *(1)	数学特論ⅠⅡ(2) △(0 or 2)	数理科学(2) 数学特論ⅠⅡ(2) 倫理(2) △(0 or 2)
34												
35												
短期集中 9月	総合学習 探求	総合学習 探求	アカデミック ガイダンス	アカデミック ガイダンス	テーマ研究(0.5) △(0 or 1)	テーマ研究(0.5) △(0 or 1)	テーマ研究(0.5) △(0 or 1)	テーマ研究(0.5) △(0 or 1)				
			SSHテーマ研究(1) △(0 or 1)	SSHテーマ研究(1) △(0 or 1)	SSHテーマ研究(1) △(0 or 1)	SSHテーマ研究(1) △(0 or 1)	SSHテーマ研究(1) △(0 or 1)	SSHテーマ研究(1) △(0 or 1)				

*選択必修: 標記の科目から必ず1科目を選択する △自由選択: 選択しなくてもよいし、選択するときはその単位数になるよう標記の科目から選択する

6年の数学科の科目については、半期毎に単位認定を行う

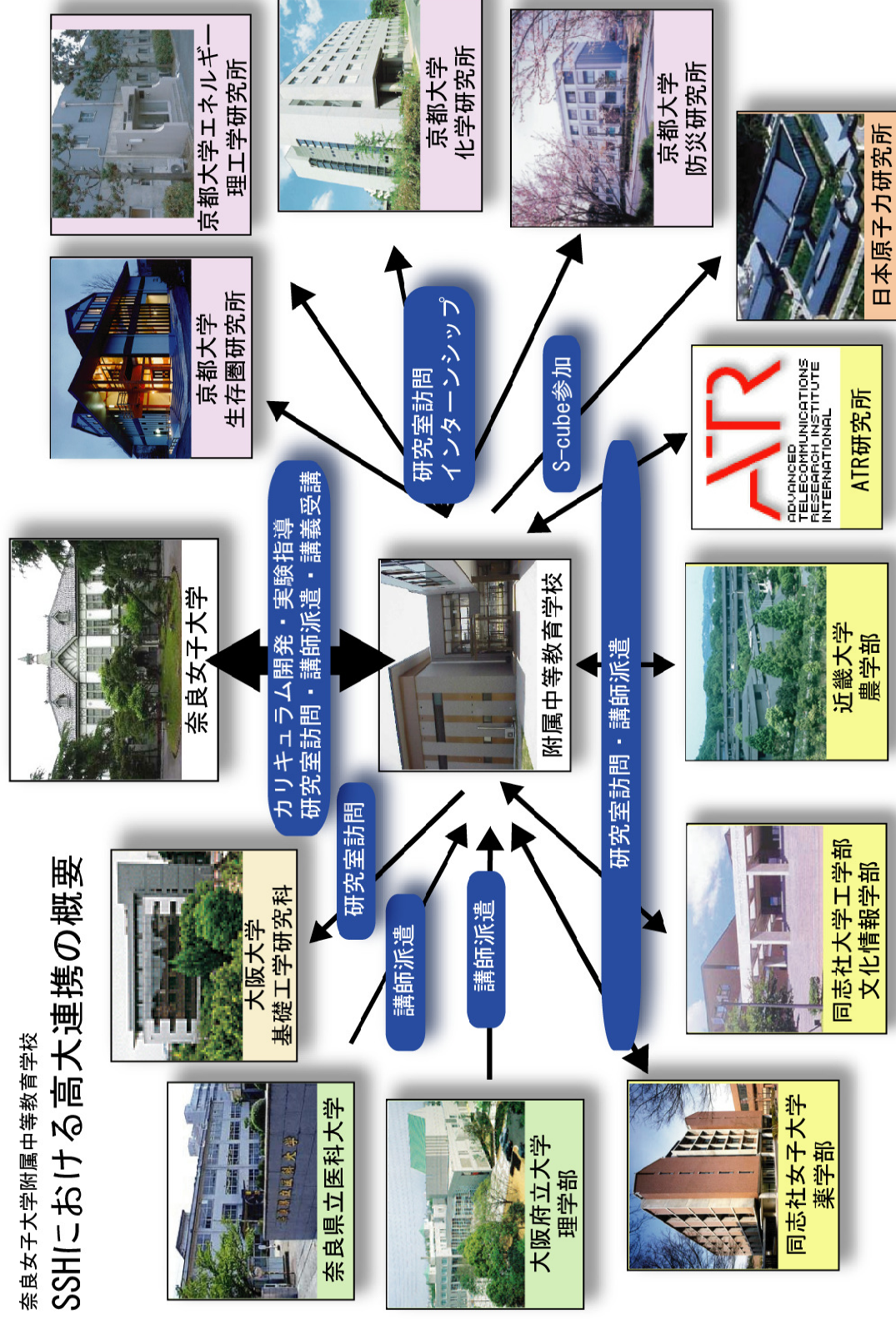
奈良女子大学附属中等教育学校 6年一貫SSHカリキュラム

カテゴリー	1年	2年	3年	4年	5年	6年
授業	基礎・基本	「探究数学」 英語科20人授業 創作科「情報基礎」	「環境学」 英語科「Integrated English」 国語科「表現」	「世界学」	「情報B」 英語科「Topic Studies」	
	数学的 リテラシー	作図ツールを活用した幾何学習 具体的操作活動 による幾何学習	グラフ電卓を活用した関数学習			
	科学的 リテラシー	実験・観察技術の完全習得	理科「課題研究入門」		理科「課題研究」	
	問題解決能力	総合学習「探求」	「環境学」 「アカデミックガイダンス」 「NSL講座」	「世界学」	「数理科学」 「テーマ研究」	
課外	基礎・基本			「サイエンス基礎講座」		
	数学的 リテラシー				AHS・梨花女子大学附属高校とのテレビ会議システムを利用した数学教育	
	科学的 リテラシー	「サイエンス夏の学校」		大学・研究所を訪問しての観察・実験		
	問題解決能力				「理数講義プログラム」 インターンシップ 本学の講義受講	

生徒全員が対象

「サイエンス研究会」・希望して選ばれた生徒が対象

SSHにおける高大連携の概要



第 I 部

研究論文

ライントレースカーの開発

2年B組 羽鹿 諒
指導教諭 末谷 健志

1. 要約

私は H8-3664F とフォトセンサを用いて、ライントレースカーの開発に成功した。これにより、黒線と白線を見分けて追跡する技術を習得できた。また、センサ技術の基本を学ぶことができた。

キーワード マイコン、赤外線、フォトインタラプタ、PWM、モータードライバ、充電池

2. 研究の背景と目的

私は、今年度 H8-3664F というマイクロコンピュータ（以下、マイコン）を用いて研究を行っている。

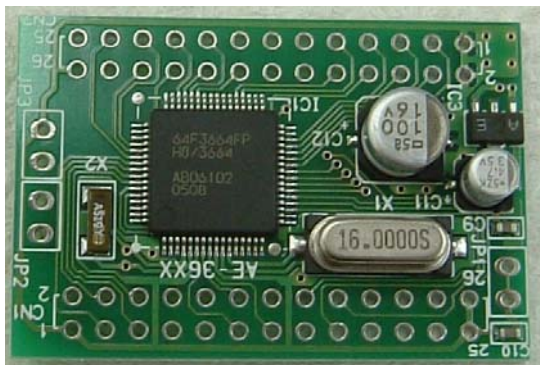


図1 H8-3664F マイコン(黒色の IC)

これまで、PC からマイコンを経由して LED の点灯・消灯を制御することをはじめとして、可変抵抗でサーボモータを制御する、といったことを行ってきた。しかし、これらは全て書籍に掲載されている回路図とプログラムを用いて製作したものだった。

そこで、自分で0から全て作ることを目標として今回の研究に至った。

また、その書籍に掲載されていたのは、

自分で制御したりするロボットが多く、自立型、つまりそれ単体で動くものはごくわずかだった。そこで、コンピュータのソフトや人間の操作に頼らない自立型ロボットを製作することで、今後の研究にも役立てることができると思った。

そして、センサを搭載させて自動的に走行させ、固定された動作ではあるがロボットが自ら走行することで、センサを扱う技術と、自立型ロボットを作るための制御方法、それぞれの基礎を学ぶことを目的とした。

今回の研究で目標としていたことをまとめると、以下ようになる。

- ・ プログラムの製作（アナログ入力・PWM 出力）
- ・ 自立型ロボットの制御
- ・ センサの制御
- ・ ライントレース回路の製作
- ・ DC モータの制御

3. 研究内容

(1) 研究事項

《研究 1》 ライントレースセンサ回路を試作し、白色の位置にあるときと、黒色の位置にあるときとの出力される電圧差を計測する。

《研究 2》 アナログ入力プログラムを製作し、(A/D 変換)デジタル出力により LED の点灯・消滅を行う。

《研究 3》 研究 2 のプログラムに PWM 信号を出力するように変更を加え、DC モータを制御する。

(2) 仮説

《研究 1》 黒色のとき、約 5V、白色のときに 0V が出力される。

《研究 2》 次に行う DC モータの制御の際、左右のどちらのモータが機能しているか、またはどちらに曲がるかが一目で分かるようになる。

《研究 3》 DC モータは、機械的な反応が瞬時にできないため、PWM 信号を送ると電圧を調整するのと等価になり、制御ができる。

(3) 研究方法

《研究 1》

今回、ライントレース回路を製作するにあたり、「フォトインタラプタ」と呼ばれるセンサを用いた。



図 2 フォトインタラプタ

このセンサは、赤外線的光が黒色には吸収され、白色では反射するという原理を利用しているもので、赤外線 LED とフォトトランジスタが一体になっているセンサである。

テスト回路を作る際、データシートやインターネットを用いて回路を参照し、参考にしたが、それぞれにおいて抵抗値や回路はばらばらであった。そこで、最も重要だった負荷抵抗について、赤外線 LED 側の抵抗はオームの法則より、次のように求めた。電圧を E、電流を I、抵抗を R とすると、

$$R=E/I$$

という式が成り立つ。そこで、次のような式を立てた。

$R=5/0.02$ (電圧 = 5V、電流 = 20mA)
よって、抵抗値は 250Ω となる。

このテスト回路では輝度を調整するため、 500Ω の半固定抵抗を用いた。

また、フォトトランジスタ側は正確にどの位の負荷抵抗を入れるとよいか不明だったため、 $50k\Omega$ の半固定抵抗を入れて実験した。今回の回路図を図 3 に表す。

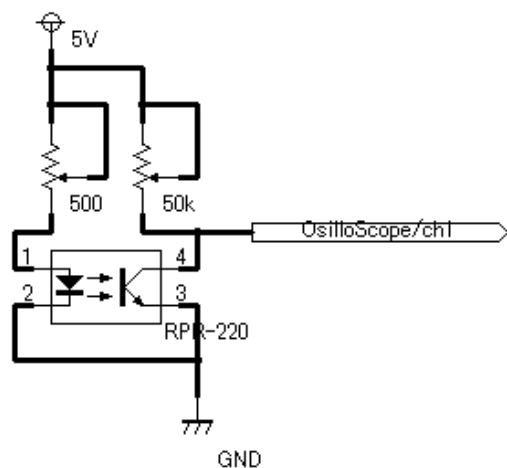


図3 テスト回路

そして、テスト回路の出力をオシロスコープに接続し、電圧を測定する。

《研究2》

この研究では、MITの松下光次郎氏に提供していただいたA/D変換値をハイパーターミナル上に表示するプログラムを用いてA/D変換ができる値かを調べた後、独自で処理プログラムを製作し、白か黒かを判別し、LEDにその結果を表すという実験を行った。

また、LEDは2つ、左モータ・右モータに見立ててプログラムを製作し、実行した。このプログラムの条件は以下の通りである。

- ・ 8ビットのA/D変換を行う（センサ3つ分）。
- ・ 上記の結果を2つのLEDに表す。
- ・ センサが黒の位置にあるときに1、白の位置にあるときに0と読み取るようにする。

《研究3》

研究2のプログラムにPWM信号を出力するような改造を加え、DCモータを制御できるようにする。

これまでにでてきた「PWM信号」とは、Pulse Width Modulationの略で、変調方式の一つである。

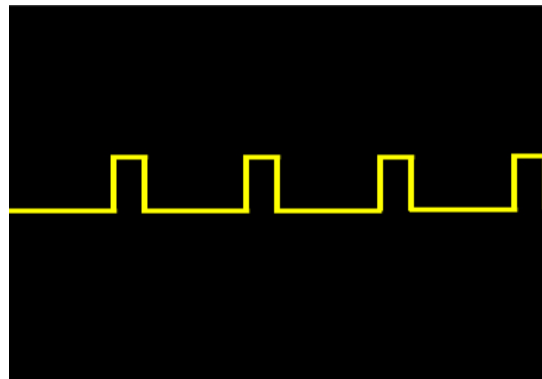


図4 PWM信号

これは、簡単に言うと、高速で電源のON/OFFを繰り返しているもので、サーボモータやDCモータの制御に適したものといえる。

そこで、この実験ではPWM信号をモータドライバICに流し、それを經由してモータを制御することにした。

モータドライバICというのは、中にHブリッジ回路という回路を内蔵したICのことである。



図5 モータドライバ

これを用いることにより、たとえ制御するために用いる信号が低電流・低電圧だっ

たとしても、大電流・大電圧を必要とする高出力のモータを制御することができる。また、もちろん普通のモータも制御することができるので、様々な用途に応用されている。

(4) 研究結果

《研究 1》

電源装置を用いた測定実験では、センサが地面から約 2.5mm の距離で黒 5.11V～4.48V、白 3.63V～3.11V まで、とおおよそ 1V 以上の電圧差があった。これによって、アナログ入力がうまくいく値が出力されたといえる。

また、9V→5V 安定化電源を用いた場合でも、上記と同様の結果が得られた。

《研究 2》

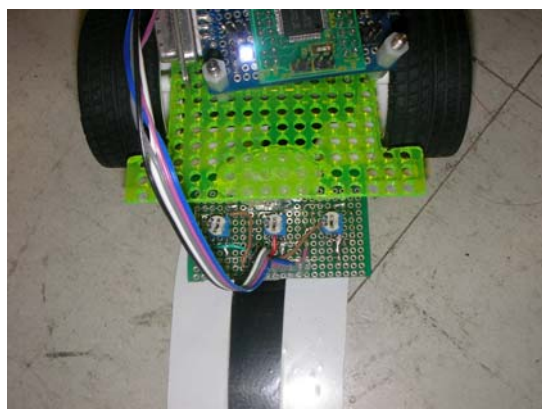


図 6 実験風景

今回の実験では、図 6 のように白・黒・白とラインを並べたところに研究 1 において最適とされた高さにセンサを配置し、テストした。

このときは、プログラムで設定したとおりに LED が発光した。

《研究 3》

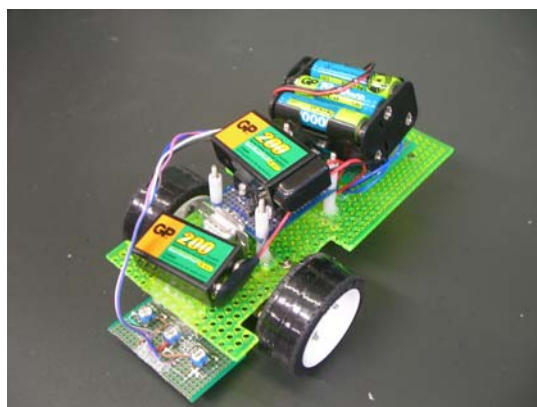


図 7 電源を搭載したところ

実験では、図 7 のようなプロトタイプを製作し、実験した。



図 8 トレースコース

実験する際は、図 8 のようなコースをビニールテープで設置し、走行実験を行った。結果的には、走行は成功であった。

4. 考察

《研究 1》

この研究では、ハンダ付けの際に用いる基板の固定台を用いてセンサの高さを調節し、測定した。また、実験を 2 段階に分けて行った。2 段階で行うことで、それぞれ電源を違うものにしても違いが現れないか、

という検証を行った。1段階目は、電源が比較的安定している電源装置を用いてセンサ部の電源として、オシロスコープで電圧を測定する。2段階目は9V電池を三端子レギュレータ5Vに安定化した電源を用いた。測定時の条件は以下の通りだ。

- ・ 電源装置の電源：5V/0.2A
- ・ 9V→5V安定化電源：5V/1.2A
- ・ 2段階目では1段階目の測定のうちA/D変換の数値を測定するのみを行った。
- ・ 白と黒で1V以上の差があったときに測定を止める。
- ・ 用いたセンサ：フォトインタラプタ
ローム社 RPR-220

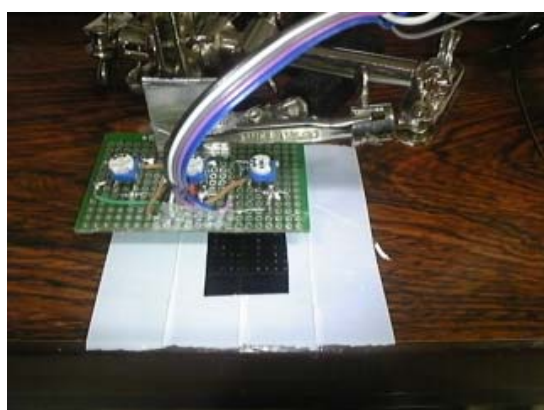


図9 測定時風景①



図10 測定時風景②

まず、このセンサの出力電圧を測定するにあたって、前もって製品のデータシートやインターネットなどを用いて必要な諸条件を調べていた。また、先輩にもアドバイスをいただいていた。その結果、実際に計測しない限りはマイコンで読み取ることができる値が出力されるかは分からないということが分かっていた。そのため、焦点距離である6mmをベースに、1mmずつ下げていき、半固定抵抗を調節して測定した。

《研究2》

この研究では、まず最初にMITの松下光次郎氏に提供していただいたA/D変換値をハイパーターミナル上に出力するプログラムと研究1で製作したセンサ回路を用いてA/D変換値を測定した。

068	109	237	228	200	192	188	189
173	033	179	190	250	244	235	228
160	012	216	200	255	254	254	254
180	111	240	234	255	255	255	254
119	137	243	235	237	244	247	247
148	241	045	110	248	243	239	233
146	244	012	038	255	254	252	251
131	242	013	038	250	250	250	249
127	242	016	040	234	237	236	236
245	019	164	157	255	255	255	255
245	023	163	159	255	255	255	255
248	010	159	155	255	255	255	255
246	016	166	161	255	255	255	255
L C R							

図11 ハイパーターミナル上に出力されたA/D変換値出力パターン

図11より、L・C・Rはそれぞれセンサの位置を表している。(Left, Center, Right)そして、四角で囲んでいるところがそれらの値である。それぞれを見ると分かるのが、まず、数値の大幅な違いである。一番上の

ブロックでは、L はシルバー、C は白、R は黒の位置にある。このとき、L は 068～180、C は 012～137、R は 216～243 という値が出力されている（R においては、比較のために 179 という値は省略している）。また、ひとつ下のブロックでは、L はシルバー、C は黒、R は白の位置にある。このとき、L は 127～148、C は 241～244、R は 012～045 という値がそれぞれ出力されている。これらの結果より、白は 012～137、黒は 216～244 という値が出力されており、A/D 変換によるはっきりとした判定が可能であることが分かる。また、特別に測定したシルバーにおいても、白と重複するところはあるが、068～180 という値が出力されており、ある程度の判別も可能であることが分かった。

次に、A/D 変換プログラムの製作を行った。A/D 変換とは、アナログ・デジタル変換の略で、マイコンの機能の一つであり、マイコンに入力されたアナログ信号（電圧の変化）をデジタル信号（0 か 1、すなわち ON か OFF）に変換するものである。

プログラムは、C 言語で記述している。また、プログラムは秋月電子通商の H8 マイコン開発キットに付属している C コンパイラやヘッダファイルを用いて製作した。さらに、参考文献[1]も参考にして製作した。

プログラムの内容を下記に表す。

- ・ センサの値は A/D 変換ポート 3ch 分を用いて入力、8bit モードで読み取る。（0～255）
- ・ A/D 変換値が 0～170 のときを白、170～255 のときを黒とする。
- ・ センサ信号を処理するため、パターンを 7 つ設定する（黒を 1、白を 0 とすると、

「1/1/0」「1/0/0」「0/1/1」「0/0/1」「0/1/0」「0/0/0」「1/1/1」）。

また、出力の I/O ポート 2ch には動作確認用の白色 LED がついている。

製作したプログラムの流れを下図に表す。

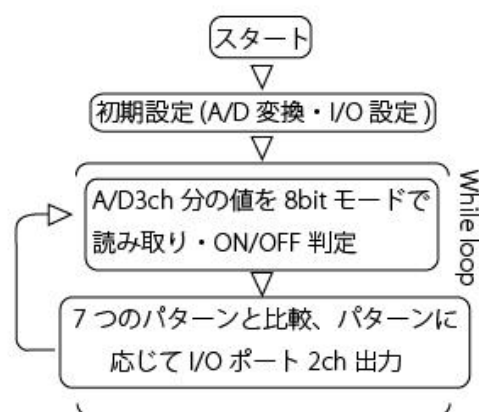


図 12 プログラムの流れ

《研究 3》

この研究では、「PWM 出力プログラムの製作」と「DC モータの制御」を目的として実験を行った。

この実験で用いるプログラムは、研究 2 で製作したプログラムに PWM 出力のコードを追加したものである。

今回のプログラムの流れを下図に表す。

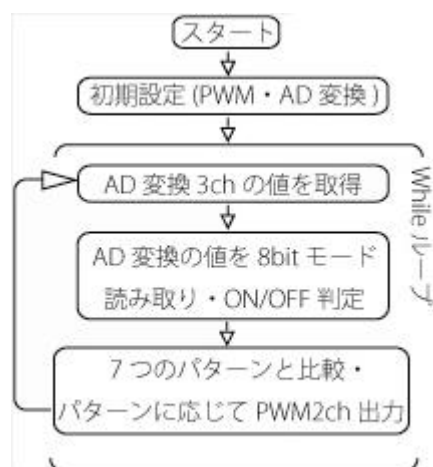


図 13 プログラムの流れ

また、DC モータの制御ではマイコンからモータドライバに PWM 信号を送り、DC モータを制御する方式をとった。

PWM 信号を送ることで、電圧を可変するのと等価になり、DC モータのスピードを細かく変えられて制御にとっても適している。

しかし、マイコンから出力される PWM 信号は 5V 出力だが電流がとても微弱なものなので、このまま直にモータに接続してもパワーが弱く、動かない可能性がある。そのため、モータドライバを間接的に用い、モータ用の別電源で動作させた。

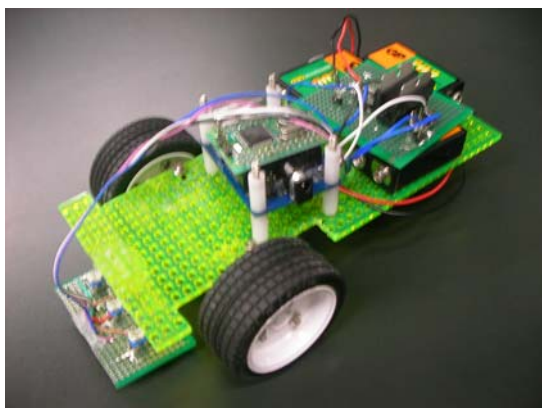


図 14 製作したライトレースカー

5. まとめと今後の課題

今回の研究では、以下のことを調査あるいは実験できた。

- ・ フォトインタラプタを用いたセンサ回路の製作
- ・ センサ出力値の計測
- ・ アナログ入力・PWM 出力プログラムの製作
- ・ モータドライバ回路の製作
- ・ ライトレースカーの製作

しかし、センサのデータシートに表記された、センサの焦点距離での測定ができな

かった。このセンサは本来、6 mm までの距離にある、白色と黒色を判別できる。かつ 6 mm が最適な距離とされているが、今回の実験では、2.5mm と比較的低い位置でしか検知できなかった。

また、今回 DC モータの制御に PWM 信号を用い、何度か実験をした上で PWM 信号にはそれぞれ以下のようなメリットとデメリットがあった。

<メリット>

- ・ モータやサーボモータなど、アクチュエータの動作の調整にとっても適している。
- ・ カーブなどの角を曲がるとき、左右のモータのスピード調整が簡単にできる。

<デメリット>

- ・ とても微弱なものであり、直接アクチュエータの制御ができない。
- ・ スピード調整は簡単にできるが、実際のどの位の出力値かが分からない。

今後は、メリットを生かしながら、デメリットを解決し、また、PWM 信号を用いたアクチュエータの制御を中心に研究を進めたいと思っている。

6. 参考文献・サイト

- [1]「ぼくらのマイコン・ロボット工作」、横井浩史・松下光次郎共著、CQ 出版社 (2006)
- [2]Wikipedia (PWM 制御)
- [3]ローム社：RPR-220 データシート
www.rohm.co.jp/products/databook/s/pdf/rpr-220-j.pdf
- [4]東芝セミコンダクタ：TA7291P データシ

ート

www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/ja/LinearIC/TA7291F_TA7291SG_ja_datasheet_070613.pdf

[5]秋月電子通商「AKI-H8/3664fp マイコンモジュールキット」

http://www.aki-den.jp/kit_manual/%83%7d%83C%83R%83%93%8a%d6%8cW/A34_AKI-H83664%83%82%83W%83%85%81%5b%83%8b.pdf

7. 謝辞

今回の研究にあたり、MIT の松下光次郎先生にハードウェア技術やプログラミングなどの指導、また、A/D 変換値をハイパーターミナル上に表示するプログラムを提供していただきました。また、ライントレースカーのアドバイスや、技術指導を物理班顧問の末谷健志先生、サイエンス研究会物理班の先輩方にいただきました。

お世話になった方々、本当にありがとうございました。

曲げセンサーを用いたアームロボットの作成

3年A組 庄野 裕貴
指導教諭 末谷 健志

1. 要約

曲げれば抵抗値の変わり、曲がり具合を検知できる、いわゆる「曲げセンサー」を用いて、手の動きに連動して動くアームロボットの作成に成功した。

キーワード 曲げセンサー、H8、サーボモーター、AD変換、アームロボット

2. 研究の動機

昨今、ロボットが身の回りにも様々に登場するようになった。

調べてみると、その構造は比較的単純で、ある程度の知識と技術があれば製作が可能のように思えた。そこで、手始めにアームロボット（手の指などの基本的な構造を備えたロボット）に注目し、実際に制作してみた。



図1 H8

3. 研究目的

次の条件を満たすアームロボットを製作する。

- ① 手の動きと連動してロボットが動くこと
- ② 安価であること

H8は、マイクロコンピュータの一種であり、書き込まれたプログラムに従って、サーボモーターなどの動作に必要な信号をはき出す。プログラムは改変が可能で、安価で手軽なハードウェアコントロールとして、ロボットに限らず、多くの家電製品に採用されている。

4. 仮説

曲げセンサーをインターフェースに用いることで、直感的に操作が可能な手の動きと対応するアームロボットをつくることができる。

5. 研究内容

＜研究1＞可変抵抗を用いたアームロボットの製作

テキストを参考にして、製作した。このテキストに紹介されていたロボットは、3つの部分から構成される。

- ① H8(マイコン)
- ② サーボモーター
- ③ 可変抵抗

アームロボットに限らず、基本的なロボットの構造および動作には、この3つがあれば良い。それぞれを以下に簡単に説明する。



図2 サーボモーター

アームロボットが何かものをつかむためには、手の関節のように曲がる必要がある。これを実現するのがサーボモーターである。一般的なDCモータとは異なり、ある程度負荷がかかっても、指定した角度を保つことが可能である。当然、DCモータのように電流を流せば動く、という単純なものではなく、角度制御に必要なパルス信号を入

力しなければならない。本研究では、このモータを3つ使用した。



図3 可変抵抗

可変抵抗は、つまみのまわり具合で、抵抗値が変化する。一定電流を流しておくことで、抵抗値の変化により、H8に入力する動作電圧を変化させることができる。

《研究2》 曲げセンサーを用いたアームロボットの制作

研究1を土台にして、曲げセンサーを用いたアームロボットを製作した。研究1における可変抵抗を曲げセンサーに変更する。すなわち、構成としては、

- ① H8(マイコン)
- ② サーボモーター
- ③ 曲げセンサー

曲げセンサーについて、簡単に説明する。

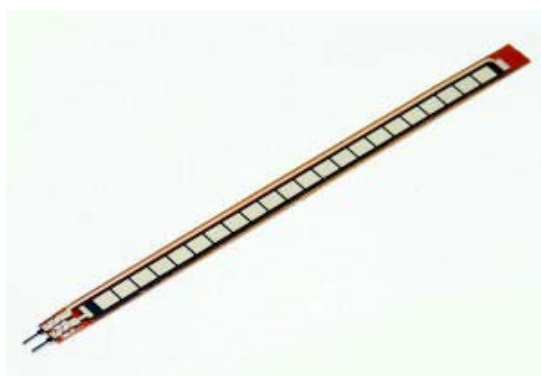


図4 曲げセンサー

曲げセンサーは曲がり具合によって、抵抗値が変化するインターフェイスである。今回曲げセンサーを使用するにあたって、

可変抵抗との違いを調べた。

曲げセンサーは、曲げセンサーの真ん中で曲がることによって、アナログ信号を出すので図5のように分度器をあてながら、曲げセンサーを曲げ、測定した。



図5 測定の様子

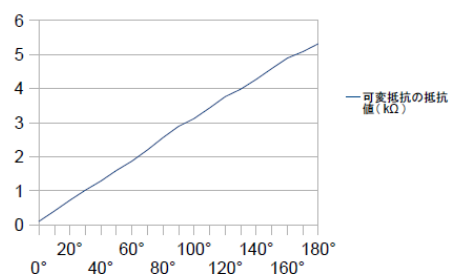
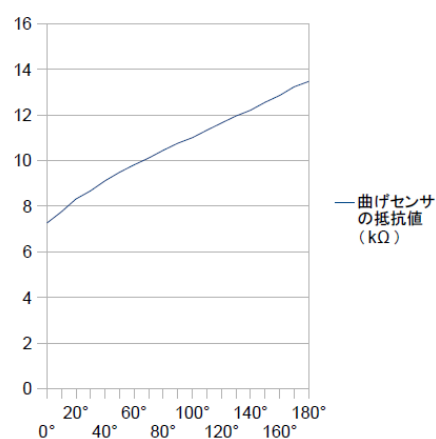


図6 曲がり具合による抵抗値の変化

図6の上側は、曲げセンサーの曲がり具合によって抵抗値が変化することを示すグ

ラフである。このグラフより、 1° あたり 33Ω ずつ抵抗値が増えている。

図6の下側は可変抵抗のボリュームのまわし具合によって抵抗値が変化することを示すグラフである。このグラフも 1° あたり 30Ω ずつ抵抗値が増えている。

これらより両者とも操作に対して抵抗値が同じように直線的に変化している。したがって、この研究以前に制作したアームロボットの可変抵抗部分をそのまま曲げセンサーに置き換えることが可能であると考えた。

6. 結果

(1) 製作結果

《研究1》

可変抵抗を動かすことによって、3つの各サーボモーターを制御することができた。

《研究2》

曲げセンサーを動かすことによって、3つの各サーボモーターを制御することができた。曲げセンサーを手袋に縫いつけ、これを手にはめて動かすことにより、研究1よりも、アームロボットを直感的で分かりやすく操作ができた。



図7



図8 アームロボット

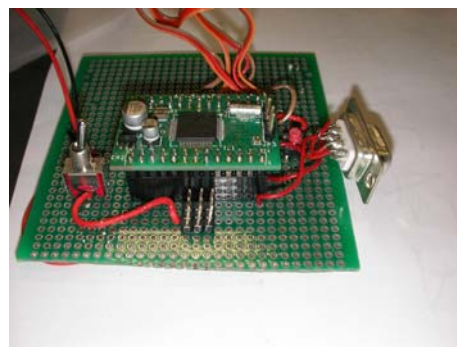


図9

(2) 制作費用

H8・・・1,600円

サーボモーター・・・1,600円×3

曲げセンサー・・・2,200円×3

可変抵抗・・・70円×3

合計 13,000円

8. まとめと今後の課題

曲げセンサーというインターフェイスを用いて、人間の手の動きに対応して動くアームロボットの制作に成功した。曲げセンサーを用いれば、さらにさまざまなものを直感的に操作できると考えている。具体的には、サーボモーターを制御したときに使用したデジタル信号を用い、通常のモーターを制御し、ラジコンカーを直感的に曲げセンサーでコントロールしたい。

9. 参考文献

- [1] 「ぼくらのマイコンロボット・ロボット工作」、横井浩史、松下光次郎共著、

10. 謝辞

この研究を進めるにあたりハードウェア技術やプログラミング技術などに関して、さまざまな方々に助けていただきましたが、特に物理班の顧問である末谷先生とMITの研究者である松下光次郎先生には数々のご指導をいただきました。先生方に深く感謝します。

11. 資料

(1) 動作原理



- ① 関節を曲げることによって曲げセンサーが曲がる。
- ② 曲げセンサーが曲がると電圧が変化し、アナログ信号がH8に送られる。
- ③ H8の中でアナログ信号がデジタル信号に変換され、デジタル信号がサーボモーターに送られる。
- ④ デジタル信号をうけて、サーボモーターが回転する

(2) H8の制御命令と説明

```
#include <3664.h>
```

```
void main (void)
```

```
int x0,int x1 ,int x2
```

(上の命令はアナログ信号をH8に送るさいに使用するピンを設定している。)

```
TW. TMRW. BIT .PWMB =1
```

```
TW. TMRW. BIT .PWMC =1
```

```
TW. TMRW. BIT .PWMD =1
```

(上の命令はH8からサーボモーターに送るさいに使用するピンを設定している。)

```
TW. TMRW. BIT .CCLR =1
```

```
TW. TMRW. BIT .CKS =1
```

```
TW. TCRW. BIT. TOB=1
```

```
TW. TCRW. BIT . TOC =1
```

```
TW. TCRW . BIT. TOD =1
```

```
TW. GRA =40000
```

```
TW. GRB =1400
```

```
TW. GRC=1400
```

```
TW. GRD =1400
```

```
TW. TMRW. BIT =1
```

(上の命令はサーボモーターに最初の信号を設定している。)

```
AD. CSR. BIT. ADST=0
```

```
AD. CSR. BIT. SCAN=1
```

```
AD. CSR. BIT. CKS=1
```

```
AD. CSR. BIT. CH=2
```

(上の命令はアナログ信号をデジタル信号に変えるための初期設定をしている。)

```
While(1)
```

```
if (TW. TSRW. BIT. IMFA==1)
```

```
TW. TSRW. BIT . IMFA=0
```

```
AD. CSR. BIT. ADST=1
```

```
while(AD. CSR. BIT. ADST ==0)
```

```
AD. CSR. BIT . ADF=0
```

```
AD. CSR. BIT. ADST=0
```

(上の命令はアナログ信号をデジタル信号に変えている。)

```
x0=(int) (AD. DRA>>8)
```

```
x1=(int) (AD. DRB>>8)
```

```
x2=(int) (AD. DRC>>8)
```

(上の命令はH8がアナログ信号からデジタル信号に変換した値を読み取っている。)

```
TW. GRB=1400+ (x0) ×25
```

```
TW. GRC= 1400+ (x1) ×25
```

```
TW. GRD=1400+ (x2) ×25
```

(上の命令は読み取った値もとにサーボモーターを動かす命令である。)

電動車いすの開発

5年B組 樋口 幸太郎
指導教諭 末谷 健志

1. 要約

今回私は、自動追尾型買い物カートの緻体を製作した経験を生かして、電動車いすの開発を行った。市販の車いすを電動化することで、人を乗せた状態で動作させることに成功した。しかし、左右の駆動車輪の速度差の問題が残ってしまった。今後は、駆動方法の見直しを行い、より実用的な電動車いすを開発していこうと考えた。

キーワード ギヤ、リレー、DC モータ、PIC、H ブリッジ、キックボード、
電動車いす

2. 研究の背景

私は以前、5cm以下のマイクロ足歩行ロボットやライントレーサ、4足歩行ロボットを0から開発したが、それらは実際に社会で役に立つロボットではなかった。そこで、何か実際に役に立つロボットが作れないかと考えた。そこから、以前開発したPICのシリアル通信とモータ制御技術を組み合わせることで、電動車いすを作ろうと考えた。市販の電動車いすは高価なため、自作すれば安くできると考えたからである。

3. 研究目的

電動車いすを開発する。

《研究1》基礎設計

①ギヤ比

②筐体

《研究2》市販の電動キックボードの利用

《研究3》市販の車いすの利用

4. 研究内容

(1) 研究仮説

《研究1》基礎設計

①ギヤ比

カートの速度とモータの回転速度からギヤ比を計算し、約50cm/sec(人の歩く速さの半分)の速度で動作させることができる。

②筐体の製作

モータとタイヤにギヤを取り付けることで、重いものを乗せてもカートの移動が可

能になり、タイヤの空回りが少なくなる。

《研究2》市販の電動キックボードの利用

市販の電動キックボードを改造して、電動車いすを制作する。

《研究3》市販の車いすの電動化

市販の車いすに駆動車輪を取り付け、人を乗せて動作する。

(2) 研究方法

《研究1》基礎設計

①ギヤ比

カートを約50cm/sec(人の歩く速さの半分)の速度で動作させるために、タイヤの直径とモータの1秒あたりの回転数を求める。

②筐体

(i) 1×4の木材を使用し、本体のフレームを製作する。

(ii) モータとギヤの組み合わせには精度が必要なため製図する。製図にはJw_cadを用いた。

(iii) 図面に基づき駆動部を加工し、組み立てる。

《研究2》市販の電動キックボードの利用

(i) 市販の電動キックボードを2台用意する。

(ii) 電動キックボードを木材で固定し、電動車いすをつくる。

《研究3》市販の車いすの利用

(i) 市販の車いす(電動でない)を用意する。

(ii) 電動キックボードの駆動部を i に取り付ける。

(3) 結果

《研究 1》基礎設計

①ギヤ比

タイヤの直径とモータの回転数を計測した結果、次のようになった。

$$\begin{aligned}\text{タイヤの直径 } & 7.5\text{cm} \\ \text{モータの回転数} & = 2.7 \text{ 回/sec} \\ \text{移動距離} & = 7.5 \times \pi \times 2.7 \\ & = 63.585(\text{cm/sec})\end{aligned}$$

これは必要な速度（人の歩く速さの半分 $\approx 50\text{cm/sec}$ ）を満たしているので、使用したモータに対するギヤ比は 1 : 1 に決めた。

②筐体の製作

本体のフレームと駆動部を組み立てた。

しかし、実験中に故障が頻発した。これは、ギヤの歯があまりにも小さいために、加エミスや動作中の衝撃によって軸がずれてしまうと、お互いのギヤの噛み合わせが悪くなり、空回りしてタイヤが回らなくなりギヤが擦れ合うことによって起こったものだった。

ギヤの歯を深いものに交換したところ、噛み合わせの部分が大きくなり、確実にカートを動作させることができた。故障も減り、修理の手間も省けるようになった。

《研究 2》市販の電動キックボードの利用

人を乗せた負荷の高い状態で、ある程度の速度で前進と後退ができた。しかしながら、左右に曲がる際にコードが発火した。

《研究 3》市販の車いすの利用

人を乗せた状態で、前進と後退、左右旋回に成功した。また、カーペット上での動作にも成功した。研究 1, 2 に比べて、電動車いすに必要な基礎的な駆動機能は、確保できた。しかし、左右の駆動車輪でわずかながら動作のレスポンスや速度が違いうので操作しにくいという欠点があった。

5. 考察

《研究 1》基礎設計

①ギヤ比

結果から、ギヤ比を計算したことによってカートを必要な速度で動かすことができ、目的を達成できた。

②筐体の製作

本体を製作した結果、ギヤを用いることによって安定してカートを動作させることに成功した。設計を改良することで PC のセッティングを楽にし、小さく軽くできないかと考えている。

《研究 2》市販の電動キックボードの利用

コードが発火した原因は 5 つあると考えられる。

①駆動部にキックボードを使ったから

キックボードの駆動部の減速比が小さかったため、トルクが十分に出なかった。したがって、規定値以上の負荷がかかってしまったと考えられる。

②バッテリーの接続に耐圧の低い DC コネクタを使ったから。

モータの駆動中にモータの軸が強制的に止められると、過電流が流れる。それによってコネクタ及び導線が発熱したと考えられる。

③本体が重かった

本体部分だけで 30kg の重量があり、規定値以上の負荷がかかった。軽量化につとめたが、本体底面の補強に木を多く使い、重くなってしまった。

④駆動車輪の幅が狭かったから。

駆動車輪の幅が狭いほど、曲がるときに駆動部が多くを必要とする。本体を小さく作ろうとするあまり、幅を狭くしすぎた。

⑤駆動車輪の直径が小さかったから。

キックボードの駆動車輪は直径が 14cm であり、自転車（直径約 70cm）の 1/5 の大きさだった。一般に駆動車輪の直径が小さいほど、車輪は多くの力を必要とする。よって、動かなかった。

《研究3》市販の車いすの利用

左右の駆動車輪で速度が違った原因は、利用した市販されているキックボードの個体差が大きかったことによる。また、キックボードの車輪と車いすの車輪が時折はずれてしまい、これも動作を不安定にさせた。

個体差に対する補正とキックボードの車輪と車いすの車輪を密着させる部分にさらなる改良が必要となった。

6. まとめと今後の課題

自動追尾型買い物カートの筐体を製作した経験を生かして、安価な電動車いすの開発を行った。

その結果、市販の車いすを電動キックボードと組み合わせることで、人を乗せることの出来る、安価な電動車いすを実現できる道筋を得た。

しかしながら、より現実的な電動車いすを実現するためには、駆動部分にさらなる構造的改良が必要であることが分かった。

7. 参考文献

[1]「エコ電気自動車のしくみと製作」、日本太陽エネルギー学会編、オーム社(2006)

8. 謝辞

ご指導頂いた末谷先生、ありがとうございました。

9. 資料

自動追尾型 買い物カート

- ・ギヤ比の計算
- ・筐体の製作
- ・ギヤの改良

図1 研究の全体像①

電動車いす

- ・キックボードの改造
- ・市販の車いすの電動化

図2 研究の全体像②



図3 《研究1》基礎設計

図3のように、別の研究である「自動追尾型買い物カート」として製作した筐体を改良した。



図4 《研究2》市販のキックボードの利用



図4 《研究3》市販の車いすの利用

図4のように、市販の車いすにそれぞれ電動キックボードを密着させ、電動化を試みた。

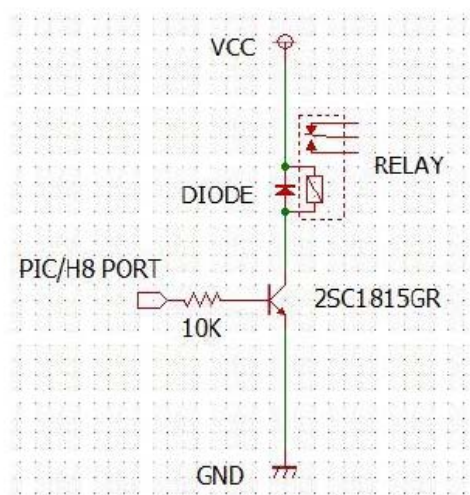


図5 駆動系の回路図

駆動系の回路には、図5のように、モータの直接制御にはリレー回路を、リレーに対する動作信号は、PICを用いた

筋電位計測システムの開発とその応用

5年A組 西田 惇

指導教諭 末谷 健志

1. 要約

近年、コンピュータの普及により様々な処理が行えるようになった。しかし現在のコンピュータインターフェイスは、コンピュータに慣れない人にとっては決して扱いやすいデバイスではない。そこで私は人間の体の状態、特に腕の動作を操作対象に反映させれば直感的に電子デバイスやソフトウェアを制御できるのではないかと考えた。これを実現するために、筋肉の制御信号を取得・解析するシステムを低コストで構築し、かつ安定的に動作させることに成功した。実際に、このシステムを用いてモーターカーやゲームを筋電位つまり腕の動作だけで操作したところ、操作方法を学ぶ時間を必要とせず直感的に対象を操作することができた。

キーワード インターフェイス、筋電位（EMG）、信号増幅、ノイズフィルタ、FFT(周波数解析)

2. 研究背景

現在、コンピュータやロボットなど、様々な家電製品や電気機器が発達し続け、高度化している。しかし、それに伴って、操作方法が複雑化し、便利だが使いにくい状態にある例がたくさんある。そこで私は、人間の腕の動作という側面から、直感的で分かりやすいインターフェイスの開発に取り組んだ。

3. 目的

非常に微弱な筋電位を増幅、不要なノイズを除去する電子回路を開発する。また、増幅された信号をコンピュータで認識し、新しいコントローラとして使えるようにする。

4. 研究内容

(1) 仮説

〈研究Ⅰ〉「筋電位計測システムの開発」

人間の筋電位をスイッチングに用いることのできるレベルまで電氣的に増幅（10万倍）する電子回路を開発できる。

〈研究Ⅱ〉「単純閾値判定を利用した応用デバイスの開発」

取得した筋電位のスイッチングデータを新しいインターフェイスとして利用し、様々なソフトウェアやハードウェアのコントローラとして応用できる。

〈研究Ⅲ〉「フーリエ解析を利用した腕動作識別アルゴリズムの開発」

取得した筋電位波形を周波数解析することにより、腕の動作を詳細に認識することができる。

＜研究Ⅳ＞「腕動作自動識別ソフトウェアの開発」

研究Ⅲにおいて開発したアルゴリズムを用いて腕の状態を詳細にかつリアルタイムに識別できるソフトウェアを開発できる。

(2) 研究方法

＜研究Ⅰ＞「筋電位計測システムの開発」

差動増幅回路および、ローパス、ハイパスなどの各種フィルタなどハードウェアレベルの研究

＜研究Ⅱ＞「単純閾値判定を利用した応用デバイスの開発」

- ① 筋電位を利用したモーターカーの制御方法の検討と開発
- ② 筋電位を利用したゲームソフトの制御方法の検討と開発
- ③ 筋電位を利用した簡易筋電義手の制御方法の検討と開発

＜研究Ⅲ＞「フーリエ解析を利用した腕動作識別アルゴリズムの開発」

- ① 取得した筋電位波形の最大周波数から腕動作を識別するアルゴリズムの検討と開発
- ② 取得した筋電位波形のエネルギー分布の中央値から腕動作を識別するアルゴリズムの検討と開発
- ③ 取得した筋電位波形のエネルギー分布の中央値を二次元にグラフにプロットし腕動作を識別するアルゴリズムの検討と開発

＜研究Ⅳ＞「腕動作自動識別ソフトウェアの開発」

腕動作識別アルゴリズムを採用した腕動作自動識別ソフトウェアの開発

(3) 研究結果

＜研究Ⅰ＞「筋電位計測回路の開発」

そもそも筋電位とは、人体に流れる生体電位のことである。私たちが筋肉を動かす直前に、脳は神経を介して筋肉に電気的な信号を送る。この電気的な信号が筋電位(EMG:electromyogram)と呼ばれ、皮膚表面に $10\mu\text{V}\sim 100\mu\text{V}$ と微弱ながら漏れている。これをコンピュータで認識できるようにするには、増幅器と不要なノイズを除去するフィルタ回路が必要となる。構築したシステムは図1のようになった。

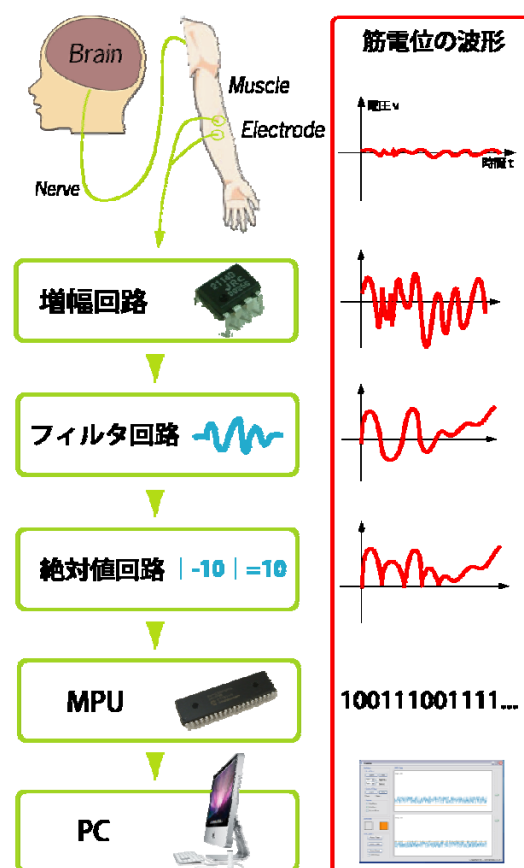


図1 開発したシステムの全体図

■電極の設計

まず筋電位を取得するための電極を開発した。当初は医療用のディスク電極を使用していたが、入手がやや困難であることから使用を諦めた。まず製作したのが導電性の高い銅板を用いた電極である。しかしすぐに酸化してしまい扱いにくいことから、スズを主成分とする半田を溶解し、電極に用いた(図2)。

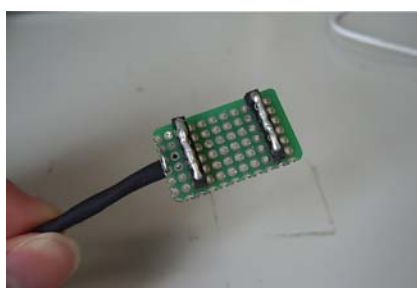
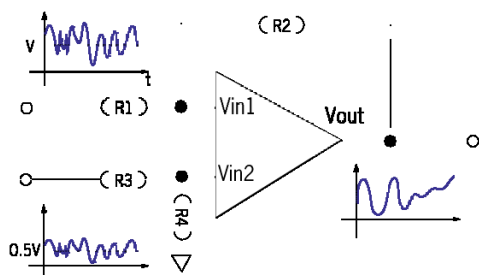


図2 製作した電極

■増幅回路の設計

今回、私は「差動増幅回路」と呼ばれる回路を採用した(図3)。これは、2極間の電位差($V_{in1}-V_{in2}$)を増幅するため、図3のように、外来ノイズが混入しても減算される。これにより、商用電源(60Hz)や蛍光灯から混入するノイズを打ち消すことができ、筋電位信号のみを抽出できる。製作した増幅器は図4のようになった。



$R1=R3, R2=R4$ ならば、出力電圧 V_{out} は

$$V_{out} = \frac{R2}{R1} (V_{in1} - V_{in2})$$

図3 差動増幅回路の仕組み

■フィルタ回路の設計

増幅回路により増幅された信号には、筋電位信号の他に、取り除けなかった商用電源からのノイズや、筋電位以外のその他のノイズが多く含まれている。そこで、不要なノイズをカットするためにフィルタを製作した。製作したフィルタは、特定の帯域のみをカットできる「ノッチフィルタ」と特定の帯域のみを通す「バンドパスフィルタ」である。



図4 製作したアンプボード

製作したノッチフィルタ(図5)とバンドパスフィルタ(図6)の周波数特性図を以下に示す。

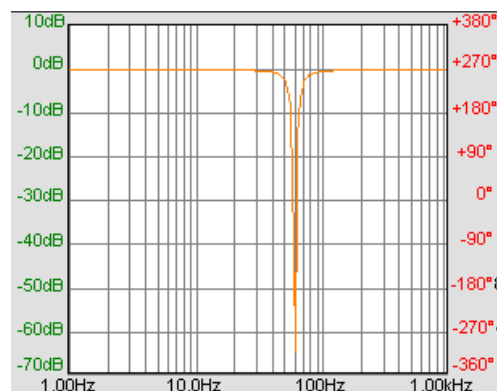


図5 ノッチフィルタ周波数特性

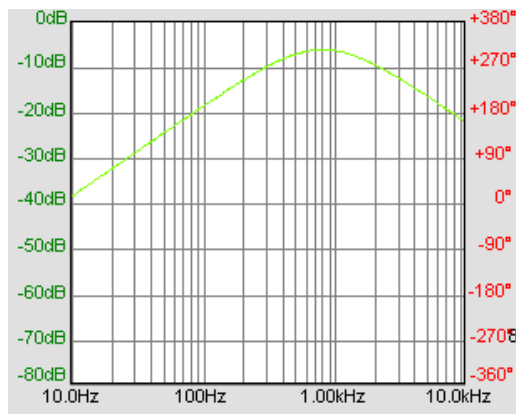


図6 バンドパスフィルタの周波数特性

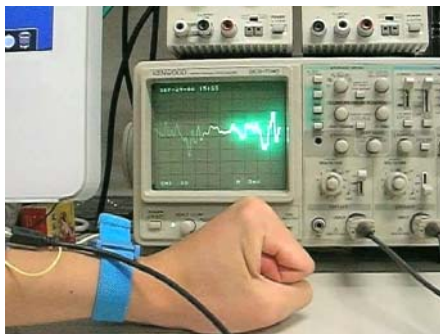


図7 設計した増幅回路で増幅した筋電位信号の様子

バンドパスフィルタは、ハイパスフィルタとローパスフィルタで構成される。製作したフィルタ回路の特性について説明する。まず、周囲の電源コードや機器など商用電源に由来する交流ノイズ 60Hz(西日本)をノッチフィルタで除去し、筋電位の周波数帯域(10Hz～1 kHz)以外の信号を除するためにバンドパスフィルタに通す。これらにより、筋電位以外の不要なノイズをほぼカットすることが可能となった(図7)。

■絶対値回路の設計

フィルタを通過した信号は、振幅±4.5Vの電位で構成されている。そのままでは正電源で動作するマイクロコンピュータで

アナログ-デジタル変換を行うことができないため、筋電位信号の絶対値を求める必要がある(図8)。

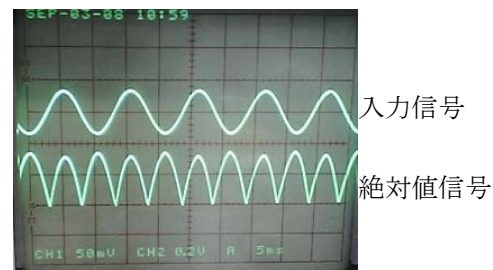


図8 Sin波に対する絶対値を出力している様子



図9 製作したMPUボード

〈研究Ⅱ〉「単純閾値判定を利用した応用デバイスの開発」

RS232でPCに送られた筋電位信号から、腕の状態をある程度認識できないかと考え、VisualStudio2005を用いて単純閾値判定ソフトを0から開発した(図10)。フォームには、マイクロコンピュータとの通信の設定を行うためのボタン、閾値判定に関する設定をおこなうボタン、筋電位信号が閾値を超えたかを表示するアイコンとグラフ、その他のソフトウェアを呼び出すためのボタンがある。

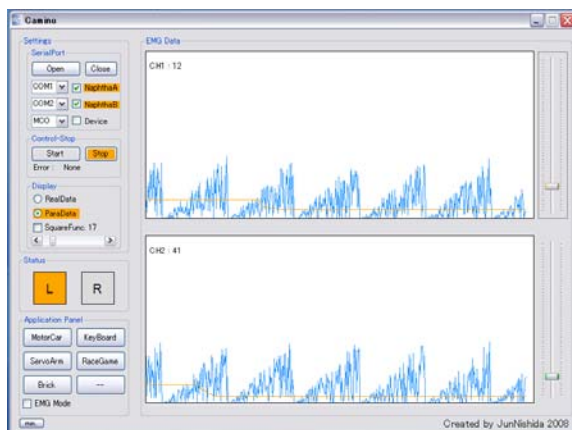


図 10 開発したソフト

■単純閾値判定アルゴリズムの考案

はじめに私は、「加算判定法」というものを開発した(式 1)．原理は非常に単純で，取得した筋電位信号 50 サンプルの総和がある一定の定数を超えれば，論理値 1 (=ON)として扱うものである．しかしこのアルゴリズムでは，少しでも腕に力が入ると定数を超えてしまい，ハードウェアやソフトウェアの制御には不向きだった．

$$Sum = \sum_{i=1}^n x_i (n = 50) \quad (\text{式 1})$$

そこで次に，「自乗平均判定法」というものを開発した．これは，取得した筋電位信号 20 サンプルそれぞれを 2 乗し，その平均の平方根を求め，その値が定数より大きければ論理値 1 として扱うものである．このアルゴリズムにより，ある程度力を入れることによって，スイッチング動作を行うことができるようになった(図 11)．

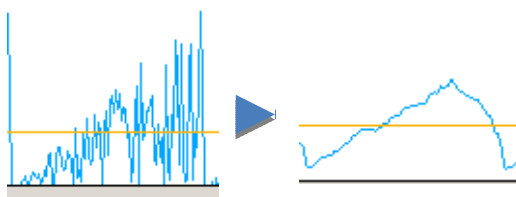


図 11 自乗平均法適用前と後の波形

これにより，正確にかつ安定的に筋電位の信号をスイッチング動作に応用することが可能となった(図 12)．

単純閾値判定ソフトによって得た筋電位のスイッチングデータを他の処理でも使えるようにするため，フォーム内に他のソフトを呼び出すボタンを配置した．これにより，筋電位のスイッチングデータをそのまま使用して他のソフト及びハードウェアを制御できる．

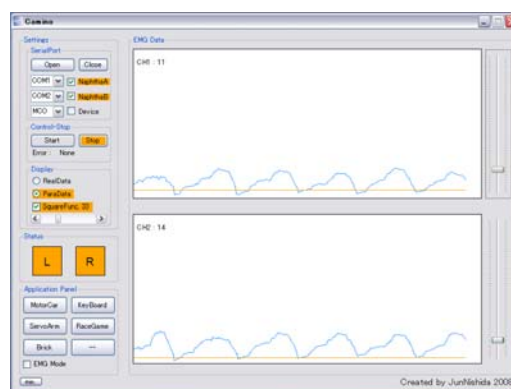


図 12 図 10 で表示されている入力信号に自乗平均法を適用した様子

〈研究Ⅱ〉「単純閾値判定を利用した応用デバイスの開発」

今回開発した単純閾値判定ソフトは，取得した筋電位信号を元に左右の腕のスイッチング情報を生成することができる．そこで，このスイッチング情報を用いてハードウェアの制御やソフトウェアの操作を行えないかと考えた．

①筋電位を利用したモーターカーの制御方法の検討と開発

解析ソフトによって得られたスイッチング情報(例：左腕 OFF，右腕 ON)を元にモーターカーを制御する信号をモーターカー

制御ソフトで生成する．モーターカーのシステムの全体図を図 15 に示す．モータ制御信号はコンピュータに接続された無線装置を介してモーターカーに搭載された無線装置に送信され，その信号に応じてマイクロコンピュータがモータードライバーを介してモータを制御する(図 13)．図 14 は動作の様子を示す．

製作したモータ制御回路の仕様を以下に示

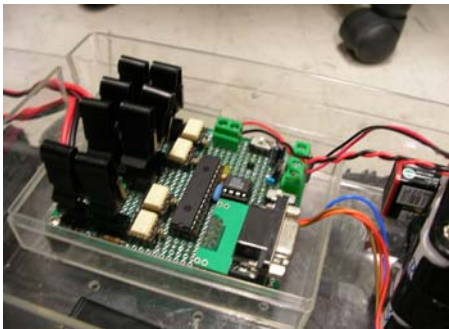


図 13 製作したモータ制御ボード

す．

マイコン	PIC16F873A
通信方式	RS232 ， 38.4kbps
プログラム	自作アセンブリ言語
モータ最大駆動電力	60W
制御回路方式	FET-H ブリッジ回路
電源電圧	PIC9V ， Motor6V
動作パターン	前後進，左右旋回

モーターカーの動作表を以下に示す．

左腕	右腕	動作のパターン
OFF	OFF	停止
OFF	ON	直進
ON	OFF	旋回
ON	ON	停止

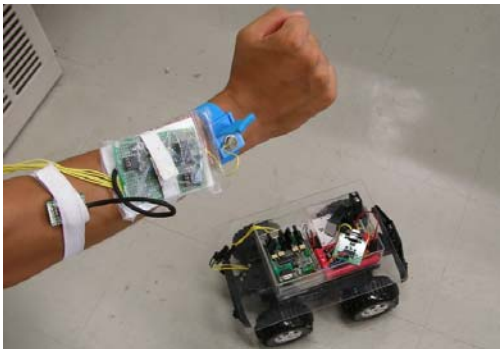


図 14 モーターカーの動作の様子

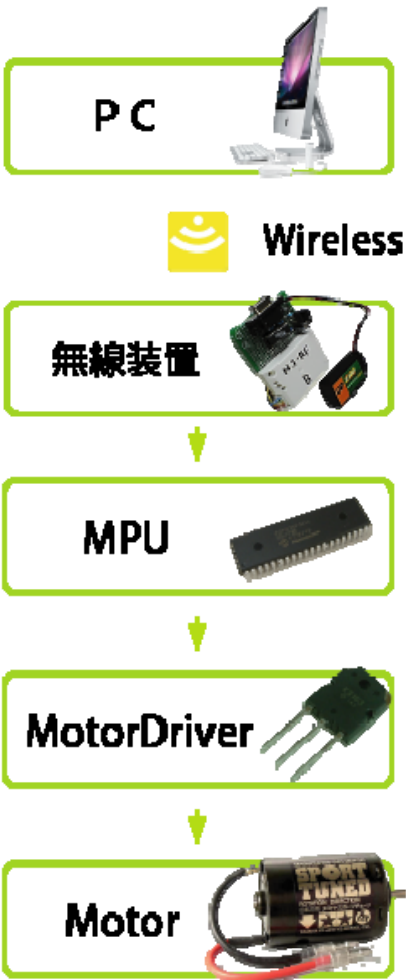


図 15 モーターカーシステムの全体図

②筋電位を利用したゲームソフトの制御方法の検討と開発

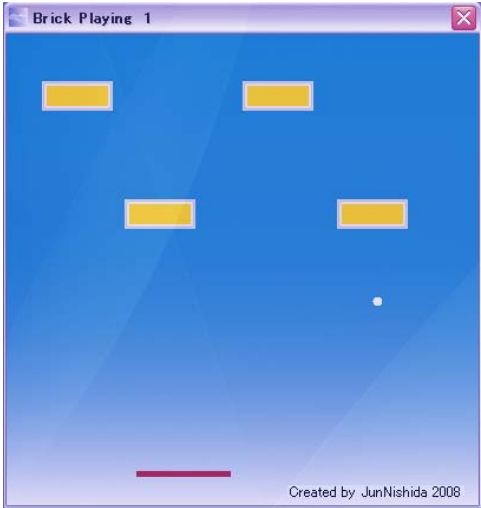


図 16 ゲームのプレイ画面

単純閾値判定ソフトによって得られたスイッチング情報(例：左腕 OFF，右腕 ON)を元にバーを左右に動かすことによってゲームをプレイすることができる(図 16，図 17)。

バーの動作表を以下に示す。

左腕	右腕	バーの動作
OFF	OFF	静止
OFF	ON	右移動
ON	OFF	左移動
ON	ON	停止



図 17 ゲームのプレイ風景

③筋電位を利用した簡易義手の制御方法の検討と開発



図 18 サーボモータ制御信号生成ソフト

単純閾値判定ソフトで平滑化アルゴリズムとして採用した「自乗平均法」で求めた筋電位波形の振幅の値をサーボモータの回転角に対応させることによって簡単な義手を制御することができる(図 19)。生成されたサーボモータ制御信号は、シリアルケーブルを介してサーボコントローラーに送信され、サーボモータを制御するパルス信号に変換される。

サーボモータの動作表を以下に示す。

右腕	サーボモータの動作
力をいれる	振幅に対応して開く
力をぬく	閉じる状態に戻る

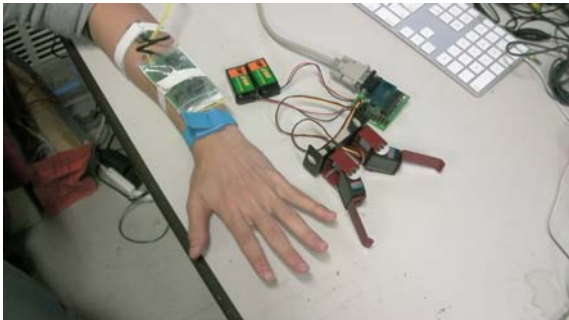


図 19 簡易義手の制御風景

＜研究Ⅲ＞「フーリエ解析を利用した腕動作識別アルゴリズムの開発

これまでの研究により, 筋電位波形を PC で読み取り, 力を入れているか否かの 2 値の情報をういてデバイスをコントロールすることができた. しかしこのシステムでは, 片腕から得られる情報が極端に少なく, より複雑な動きができる義手が製作できないなど, 応用デバイスの範囲に限界がある. そこで, 筋電位波形の単なる振幅ではなく, 波形の形から腕の複数の動作を認識する必要がある. そのためには, フーリエ解析 (FFT) を行う必要があった. ここでは, 脱力, 掌屈 (手首を下に曲げた状態), 掌握 (グー), 開 (パー), この 4 つの動作の認識を試みた.

取得した筋電位波形のフーリエ解析を行うために, フーリエ解析結果を書き出す機能のある「RH1FFT」と呼ばれるソフトウェアを用いた (図 20).

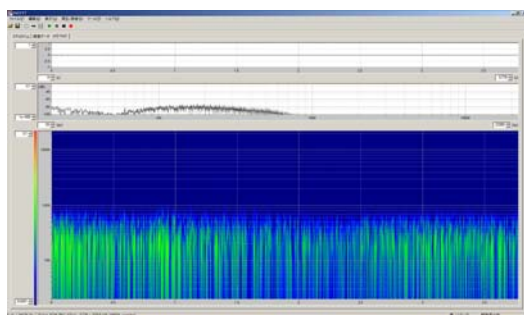


図 20 フーリエ解析を行うソフトウェア

①取得した筋電位波形の最大周波数から腕動作を識別するアルゴリズムの検討と開発

はじめに私は, 各腕の動作では周波数分布の最大値が異なると単純に考えた.

方法: 腕に電極 1 つを取り付け, 周波数分布から周波数の最大値を算出, 各腕動作を識別する.

結果: 以下に開状態と掌握状態の周波数分布を示す.

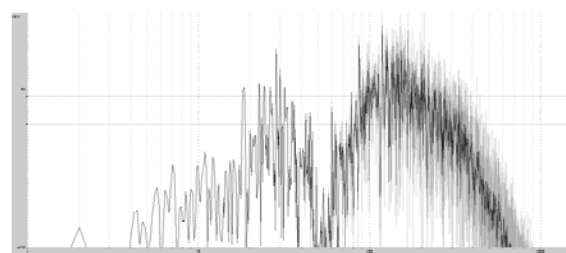


図 21 開状態の周波数分布

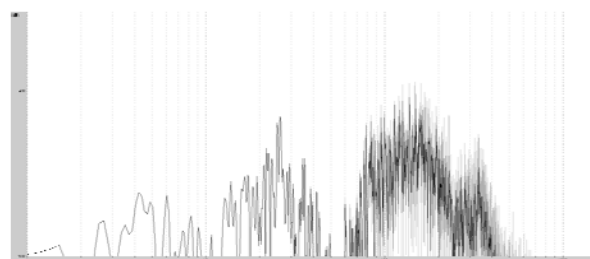


図 22 掌握状態の周波数分布

横軸周波数 (Hz), 縦軸振幅 (dB)

■考察

上記のグラフより, 振幅に差はあるものの, ある特定の周波数が大きな値を示すことはなかった. これは, 腕を動作させる際, 複数の筋繊維が同時にかつ複雑に使用され, 様々な周波数が混入するためであると考えられる.

■まとめ

周波数分布の最大値では腕の動作識別は不可能である.

②取得した筋電位波形のエネルギー分布 (周波数×振幅) から腕動作を識別するアルゴリズムの検討と開発

次に、筋電位波形のエネルギー分布(Af-f グラフ)から腕の動作を識別するアルゴリズムの開発に取り組んだ。

方法：腕に電極一つを取り付け、筋電位波形のエネルギー分布から各腕動作を識別する。

結果：以下に開状態と掌握状態のエネルギー分布を示す。

横軸周波数，縦軸エネルギー

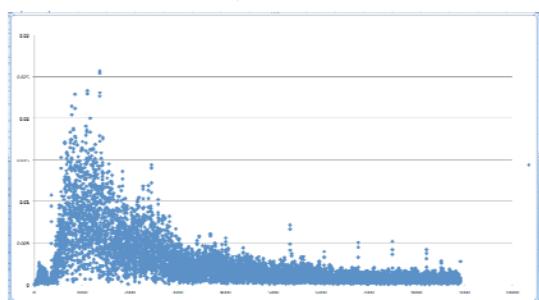


図 23 開状態の周波数分布

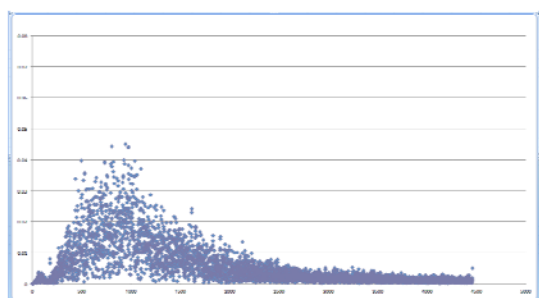


図 24 掌握状態の周波数分布

■考察

グラフをみると、正規分布に近い形にな中央値を求め、横軸に各腕動作の中央値をとり、グラフにプロットしてみた。

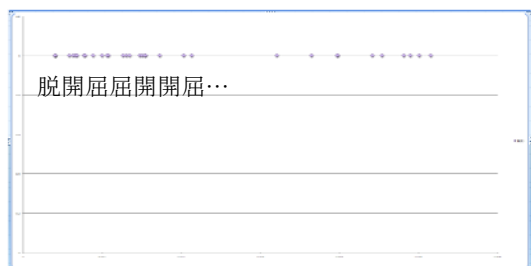


図 25 各腕動作の中央値分布

っていることがわかる。そこで、これらの

■結果

複数の動作の中央値が混在し、腕の動作は識別が不可能だった。

■まとめ

電極一つから得られる筋電位波形の中央値から各腕動作の識別は不可能である。

③ 取得した筋電位波形のエネルギー分布(周波数×振幅)の中央値を二次元にグラフにプロットし腕動作を識別するアルゴリズムの検討と開発

前段階で開発したアルゴリズムは、電極一つから得られる筋電位波形の中央値から各腕の動作の識別を試みたが失敗した。そこで、単純に、使用する電極を2つに増やして実験を行った。

■方法：

腕に電極2つを取り付け、筋電位波形のエネルギー分布から中央値を算出、各腕動作を識別する。

■結果：

次に各腕の動作のエネルギー分布を示す。

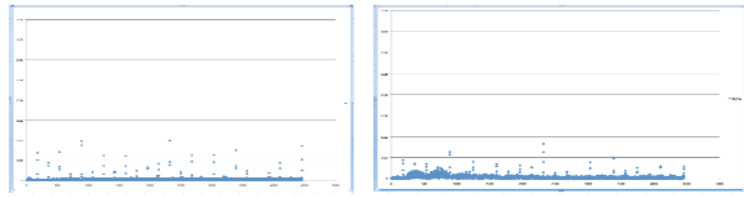


図 26 脱力状態のエネルギー分布

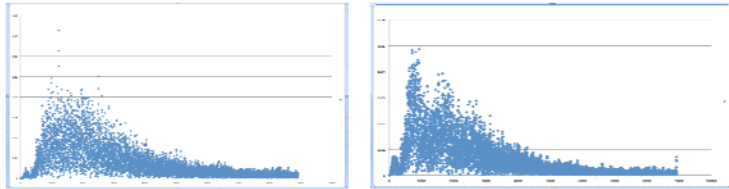


図 27 開状態のエネルギー分布

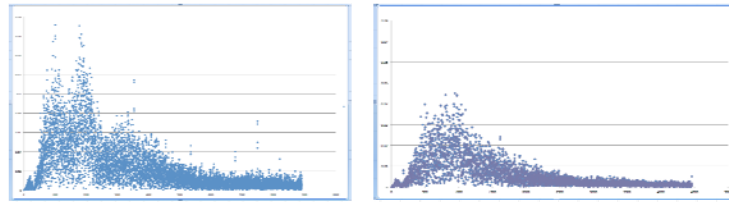


図 28 掌握状態のエネルギー分布

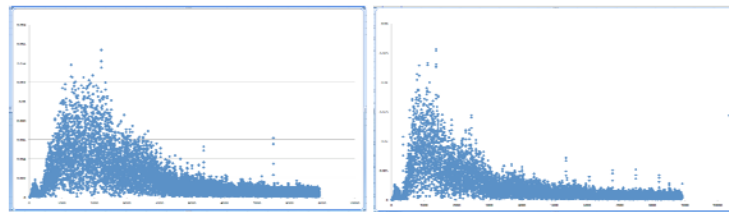


図 29 掌屈状態のエネルギー分布

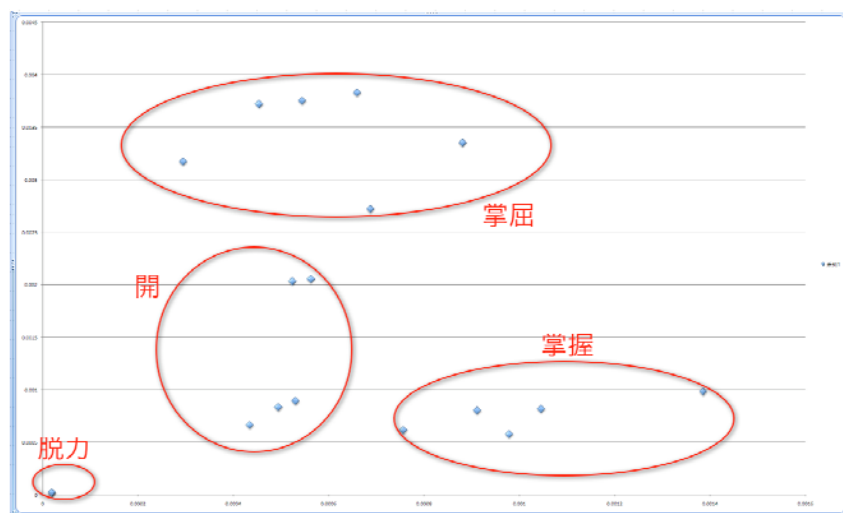


図 30 各腕動作の中央値分布

横軸 一つ目の電極の中央値 縦軸 二つ目の電極の中央値

■結果

驚いたことに、各腕の動作ごとにカテゴリズできることが分かった。

この結果を踏まえて、違う人で同じ実験を行えばどのようなグラフが現れるのか、個人差の研究を行った。以下に実験結果を示す。

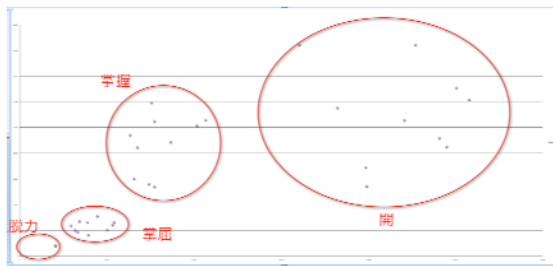


図 31 別の被験者での各腕動作の中央値

各腕動作の位置関係は異なるものの、それぞれの腕動作についてカテゴリズできている。つまり、事前に被験者が腕ごとのデータを登録しておけば、後に照合し、認識することが可能である。

〈研究Ⅳ〉「腕動作自動識別ソフトウェアの開発」

研究Ⅲにおいて、少ない電極数から複数の腕動作を識別可能なアルゴリズムを発見した。そこで、これまでフーリエ解析を市販品に頼っていた部分を全て自作し、リアルタイムで腕の複数の動作を識別できるソフトウェアの開発を行う。現在、開発途中であるが、FFTをリアルタイムで行うレベルまでできた(図 32)。

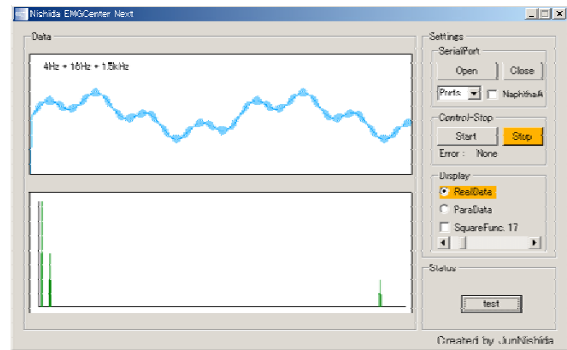


図 32 開発中の腕動作自動認識ソフトウェア

図32について：4Hz+16Hz+1.5kHzの入力信号に対して、画面下のグラフで周波数スペクトルを求めている様子。それぞれの周波数を検出できていることが分かる。また、取得したスペクトル分布からエネルギー分布、中央値を算出するプログラムも動作に成功した。

5. 考察

現段階において、増幅した筋電位をスイッチとして、ハードウェア、ソフトウェアの動作信号を生成するシステムを構築することができた。また、少ない電極数から複数の腕動作を識別できるアルゴリズムを発見した。本研究において明らかになったことは、以下の3点である。

- ① 同じ筋肉でも、長時間使っていると電位が小さくなる。
- ② 腕の動作によって、筋電位波形のエネルギー分布の中央値が異なる。
- ③ 同じ箇所筋電位波形のエネルギー分布を測定しても、個人によって腕動作の分布グラフの位置関係が異なる。

特に③については、皮膚表面の保水率の違いや、同じ人でも使用する筋繊維が若干異なることからくるものと考えられる。

6. まとめと今後の課題

(1) まとめ

〈研究Ⅰ〉「筋電位計測システムの開発」

- ① 電極の開発
- ② 筋電位信号を増幅する回路の開発
- ③ 不要なノイズを除去するフィルタ回路開発
- ④ 筋電位データの閾値判定アルゴリズムの開発

これらにより、筋電位を安定的に取得し、解析するシステムを構築することができた。

〈研究Ⅱ〉「筋電位計測システムの応用」

- ① 筋電位を用いたモーターカーの制御
- ② 筋電位を用いたゲームの操作

これらに成功したことにより、筋電位信号のスイッチング情報をもとにハードウェア、ソフトウェア両面においてコントローラとして使用できることが分かった。

〈研究Ⅲ〉「フーリエ解析を利用した腕動作識別アルゴリズムの開発」

2つの電極から得られる筋電位波形のエネルギー分布の中央値を求めることにより、4つの腕動作を識別することができるアルゴリズムを発見した。

〈研究Ⅳ〉「腕動作自動識別ソフトウェアの開発」

現段階で、任意の周波数を含んだ波形をリアルタイムにフーリエ解析することができ、ソフトウェアを開発することができた。

これらの研究により、筋電位を計測し、電子デバイスのインターフェイスとして使用できるシステムを低コストでかつ安定的に使用できる道筋を示せた。

(2) 今後の課題

脳から送られてくる信号をダイレクトにハードウェアやソフトウェアに伝えるシステムは、直感的な操作であったり、人間の物理的限界を超えるといった意味において非常に将来性を感じさせる。本研究により、このシステムを「安価」かつ「シンプル」に実現する道筋を示すことができたと思う。

①ハードウェアでの今後の応用

現在、片腕の筋電位信号から4つの腕の状態を認識できるアルゴリズムの開発に成功している。そこで、このアルゴリズムを採用した非常に安価な筋電義手を開発する(図33)。これは、腕を無くした方の代替手首として、またはお年寄りの手首のパワーアシストとして機能する。動作例として、「握る」・「つまむ」・「まわす」・「開く」といった日常生活で必要不可欠な動作を行うことができる。

②ソフトウェアでの今後の応用

現在、得られた筋電位信号をコンピュータの動作に反映させることに成功している。そこで、手の握った状態を把握することで

ドラッグ&ドロップなどの操作をより直感的に行える，第三のコンピュータインターフェイスの開発を行っていききたい(図34)．これは既存のコンピュータインターフェイスに付け加えて使用する．動作例として，指をチョキにすると切り取り，パーで貼り付け，親指と小指を広げると拡大，手首で払う動作をするとデスクトップ上のウィンドウを払いのけるなど，実際の指の行為となるべく近い操作が可能となる．これをさらに応用させると，仮想空間内における3Dオブジェクトを直感的に操作することもできるようになる．

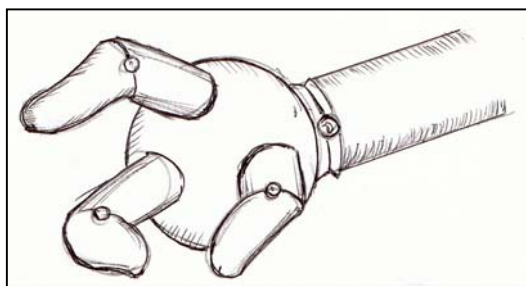


図 33：設計中の筋電義手



図 34：開発中の新しいPC インターフェイス

③腕動作識別アルゴリズムの改良

筋電位波形は，電極-皮膚間の接触状況や時間によって変動することが分かった．今後は電極の改良及び判定アルゴリズムの改良を行っていききたい．具体的には，研究Ⅲにおいて発見した腕動作識別アルゴリズムが，筋電位波形の時間変動に対して自動的に校正するアルゴリズムの開発を行う．

7. 参考文献

- [1]トランジスタ技術 CQ 出版
- [2]OP アンプ実用回路設計 CQ 出版
- [3]表面筋電図 東京電機大学出版

8. 謝辞

この研究を進めるに当たり，ハードウェア技術に関して，MIT 研究員の松下光次郎氏，顧問の末谷健志先生には数々のご指導をいただきました．また，予算面などで，前川校長先生，吉田信也副校長先生に多大なご協力をいただきました．

お世話になった先生方，大変ありがとうございました．

惑星運動シミュレータの開発

5年C組 前澤俊哉

指導教諭 末谷健志

1. 要約

私は、複数物体の放物運動と衝突のシミュレーションを行う、物理シミュレータの制作に成功した。また、その制作知識を元に、惑星運動シミュレータを開発した。

キーワード シミュレーション、斜方投射、万有引力

2. 研究の背景

学校で学ぶ物理の力学分野の各公式は、簡潔ではあるものの、イメージがし辛いという一面を持っている。そこで、物理現象のシミュレーションを行うことにより、より物理が理解しやすくなるのではないかと考え、研究するに至った。

3. 研究の目的

研究 I

複数物体の衝突をシミュレートし、反発係数が1のとき、物体全体での力学的エネルギー保存則が成り立つことを確認する。

研究 II

研究 I で学んだ知識をもとに、惑星運動シミュレータを制作し、太陽系の惑星の誕生をシミュレートする。

4. 研究内容

(1) 仮説

<研究 I 物体衝突シミュレータ>

シミュレータを制作し、複数の同質量の物体が反発係数1で衝突し続けるとき、物体全体の力学的エネルギーの和が一定となることを確認できる。

<研究 II 惑星運動シミュレータ>

シミュレータを制作し、惑星運動のシミュレーションを行うことにより、太陽系の誕生を確認できる。

(2) 研究方法

<研究 I 物体衝突シミュレータ>

物体の衝突シミュレータを C++言語を用いて制作する。シミュレータは、壁に囲まれた空間の中で物体を斜方投射し、物体と壁、または物体同士の衝突判定を行う。斜方投射の公式は以下の通りである。

$$v_x = v_{0x}, \quad v_y = v_{0y} - gt$$

$$x = v_{0x}t, \quad y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

(v:速度、g:重力加速度、t:時間)

物体と壁あるいは物体同士の衝突後、衝突後の物体の速度を反発係数の公式と運動量保存則に基づいて決定する。

$$e = -(v'_A - v'_B) / (v_A - v_B)$$

$$m_A v'_A + m_B v'_B = m_A v_A + m_B v_B$$

(e:反発係数、v:速度、m:質量、' :衝突後)

また、物体全体の力学的エネルギーの和を以下の式により算出し、グラフ化する。

$$w = \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{2} m_k v_k^2 + m_k g h_k \right)$$

(m:質量、v:速度、h:高さ)

なお、物体の XY 平面上の初期位置と初速度は乱数を用いて決定した。

<研究Ⅱ 惑星運動シミュレータ>

研究Ⅰと同様、C++言語を用いてシミュレータを制作する。シミュレータは、ある一定の範囲内に大量の物体をランダムに配置し、物体に初速度を与えたのち万有引力の法則に基づいて各物体を運動させる。万有引力の法則の公式は、以下の通りである。

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

(F:万有引力、G:万有引力定数、M,m:質量、r:物体間の距離)

物体の初速度は、上記の万有引力の式と向心力の式を連立させて求められる。以下に向心力の式と物体の初速度を求める式を示す。物体と太陽の距離が小さいほど物体の初速度は大きくなる。

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

$$v_{0x} = -\sqrt{G_s / r} \frac{y}{r}, \quad v_{0y} = \sqrt{G_s / r} \frac{x}{r}$$

(F:向心力、m:質量、v:速度、r:太陽との距離、G_s:日心重力定数)

各物体は、太陽との万有引力により太陽の周りを円運動するが、物体間に働く万有

引力により軌道がずれ、他の物体と衝突する。衝突後、物体は衝突してきたもう一方の物体を吸収し、質量を増す。その物体はまた別の物体と衝突し、さらに質量を増していく。この過程を幾重にも得ることにより、莫大な質量を持つ惑星が誕生するはずである。

(3) 研究の結果

<研究Ⅰ 物体衝突シミュレータ>

物体衝突シミュレータの制作に成功した(図1)。このシミュレータでは、Δt、重力加速度、物体の半径と個数、反発係数の値を自由に変えることができる。

これを用いて反発係数が1のときのシミュレーションを行い、横軸に時間、縦軸に力学的エネルギーをとったグラフを表示した(図2)。このグラフから、全物体の力学的エネルギーの和が一定となることを確認できた。また、反発係数が1未満のとき力学的エネルギーの和が徐々に減少し(図3)、反発係数が1より大きいとき力学的エネルギーの和が徐々に増加することもわかった(図4)。

<研究Ⅱ 惑星運動シミュレータ>

実際にシミュレータを制作した(図5)。このシミュレータでは、物体の衝突回数を視覚的に把握するため、物体の半径を衝突分だけ変更させ、物体を表示している。

このシミュレータを用いて、約二週間をかけてシミュレーションを行った。シミュレーションの条件は図6のとおりである。シミュレーションの結果を図7、図8、図9に示す。

5. 考察

＜研究Ⅰ 物体衝突シミュレータ＞

シミュレーションを通じて、反発係数と力学的エネルギーの和の関係を確認できた。ここでは、この関係について数式の面から考察したい。

反発係数の式と運動量保存則の式を連立すると、

$$v'_A = \{v_A m_A + v_B m_B + e m_B (v_B - v_A)\} / (m_A + m_B)$$
$$v'_B = \{v_A m_A + v_B m_B + e m_A (v_A - v_B)\} / (m_A + m_B)$$

となる。この式から、 $m_A = m_B$ かつ $e = 1$ であるとき、 $v'_A = v_B$ かつ $v'_B = v_A$ となることがわかる。よって、全体で見た物体の運動エネルギーは変化せず、力学的エネルギーの和が一定に保たれるのである。

$e > 1$ 、 $e < 1$ のときも同じように考えることができる。

＜研究Ⅱ 惑星運動シミュレータ＞

図 10 は、太陽からの距離 r を横軸に、その太陽からの距離 r から $r+10$ の間に存在するすべての物体の平均半径を縦軸にとったグラフである。なお、グラフの横軸の単位は 10^9 m であり、150[Pixel]付近が地球、780[pixel]付近が現在の太陽系の木星の位置にあたる。ここでは、最下部のグラフからシミュレーションで 50000 ターンごとのグラフを表示している。このグラフから、各物体は衝突を繰り返して成長しているものの、ピークは分散的であり、惑星系は誕生していないと言える。

惑星系を誕生させるためには、このグラフのピークを収束させ、さらに大きな質量を持った物体を点在させることが必要だ。

そのためには、物体の数を増やすことが重要である。

6. まとめと今後の課題

今回の研究において、複数物体の放物運動と衝突のシミュレーションを行う、物理シミュレータの制作に成功し、力学的エネルギー保存則が成り立つことを確認できた。しかし、惑星運動シミュレータによる太陽系の形成は確認できなかった。

今回の惑星運動シミュレータの研究では、物体の個数を 2 万個にしてシミュレーションを行ったが、物体の個数を多くすることにより、形成される太陽系がより現実のものに近づくと予想される。この場合、計算量が莫大になってくるため、計算量を削減し処理速度を向上することが課題となる。

7. 参考文献・サイト

- [1]物理のエッセンス、(河合出版)
- [2]ゲーム開発のための物理シミュレーション入門、(オーム社)

8. 謝辞

今回の研究を指導してくださった末谷先生とサイエンス研究会物理班メンバーに深くお礼申し上げます。

9. 資料

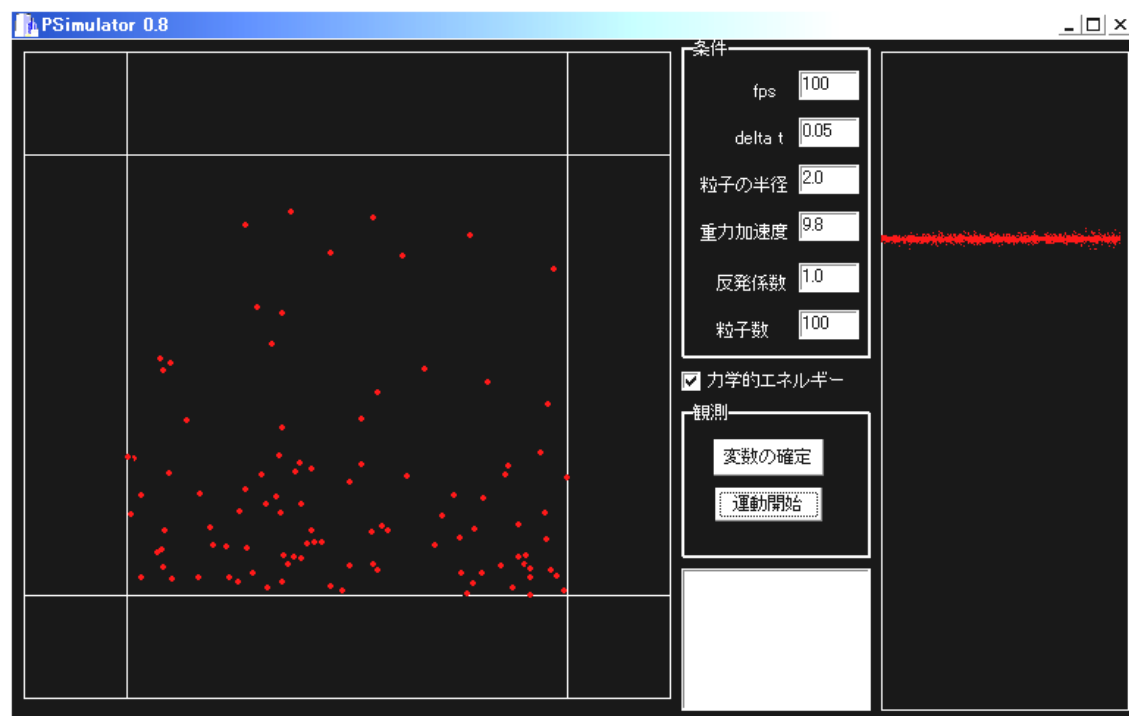


図1 物体衝突シミュレータ

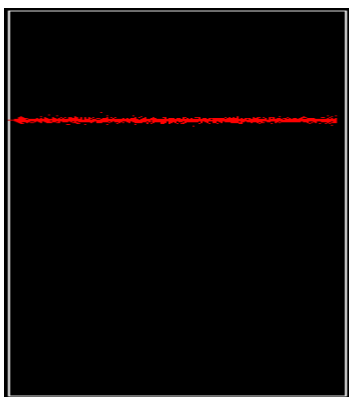


図2 $e = 1$

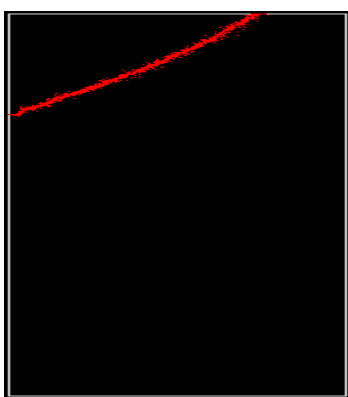


図3 $e = 1.01$

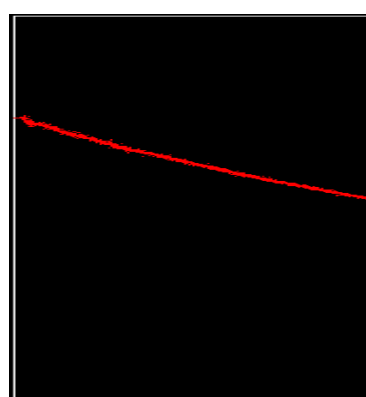


図4 $e = 0.99$

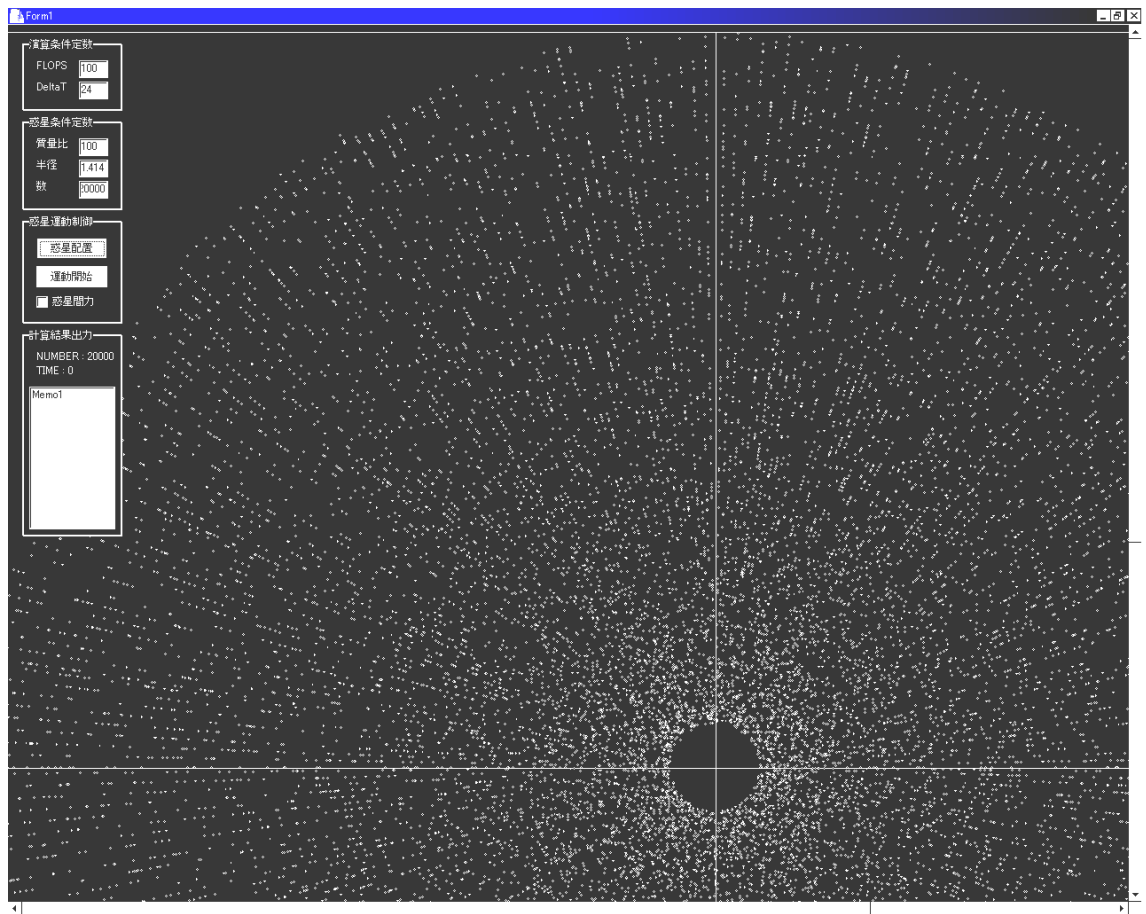


図5 シミュレータ

<時間>

1 ターンあたりの時間 24 [h]

<宇宙>

サイズ 1680×1680[pixel]

10^9 m/pixel

<物体>

物体の質量 3.51×10^{10}

(イトカワと同じ質量)

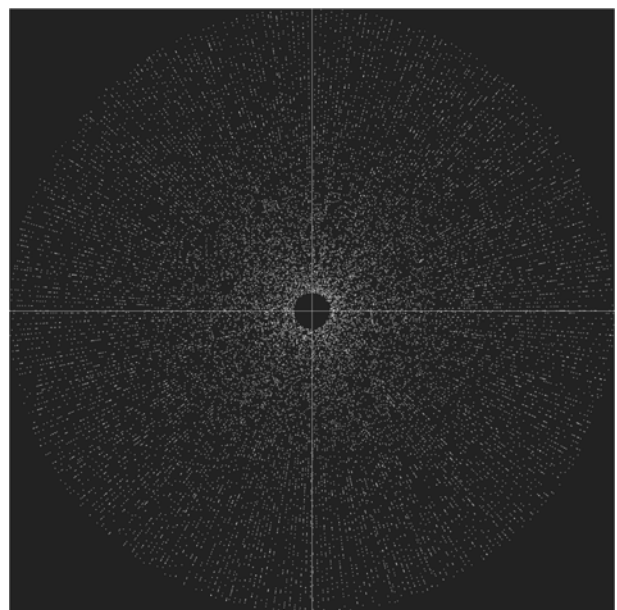


図7 0 ターン目 (粒子数 20000)

図6 条件

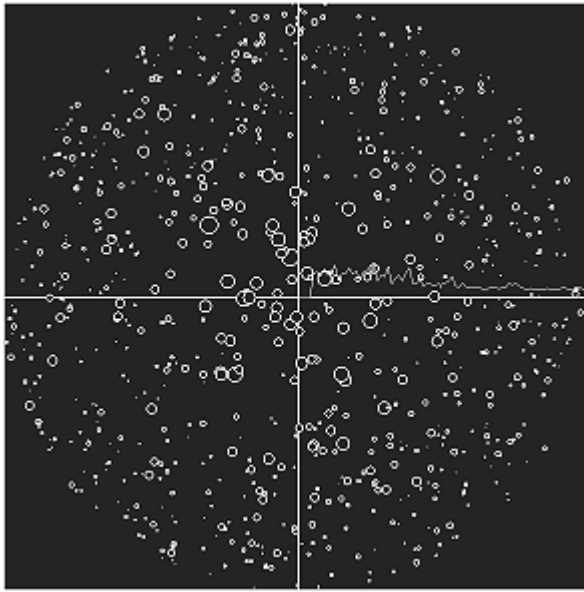


図 8 950000 ターン目 (粒子数 5000)

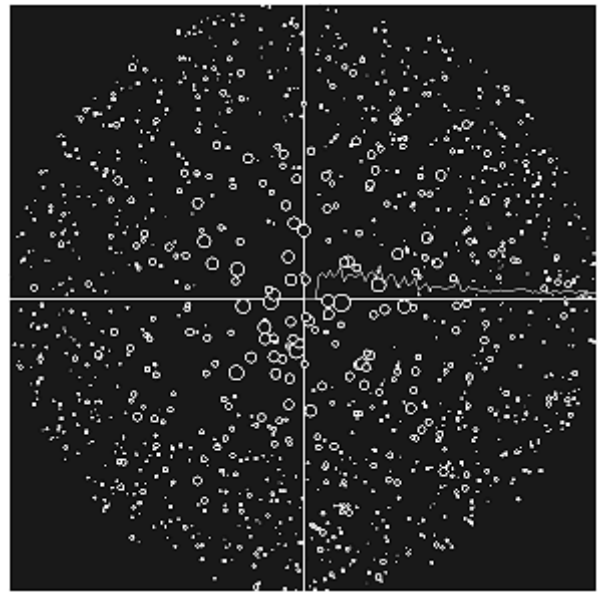


図 9 1900000 ターン目 (粒子数 2000)

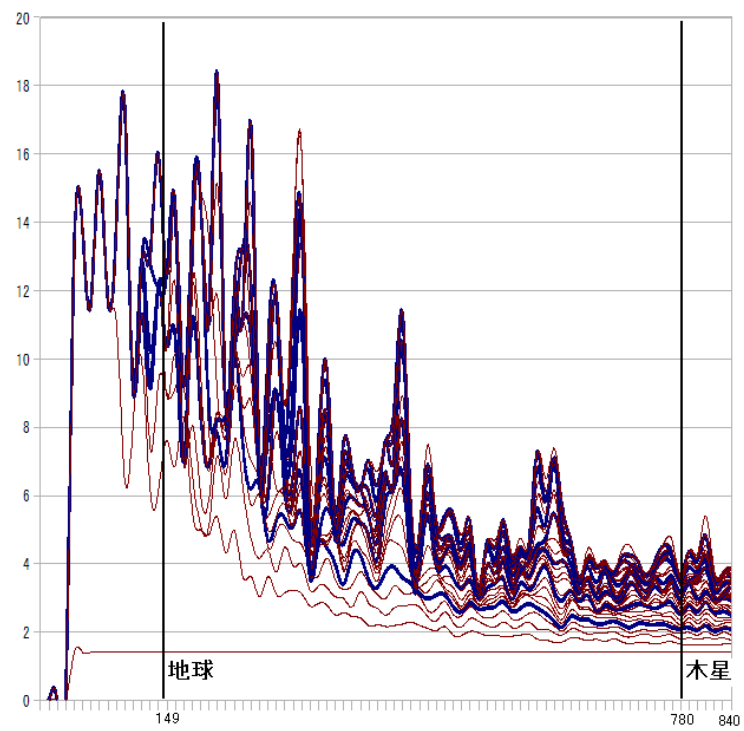


図 10 太陽からの距離と物体の平均半径

暗号の種類とその構造

2年B組	森 宇宏
2年C組	佐藤 圭
2年C組	清水 悠平
指導教諭	川口 慎二

1. 要約

サイエンス研究会数学班は、暗号理論と数学の関係について、参考文献[1]を輪読しながら、研究活動を行っている。本稿では、「シーザー暗号・スキュタレー暗号・単一換字暗号・DES・AES・公開鍵暗号」の6種類の暗号について、その暗号の歴史や(数学的)構造、暗号化と復号化の手順、またそれぞれの有する特徴を紹介する。

キーワード 暗号化、復号化、鍵、平文、解読、シーザー暗号、スキュタレー暗号、単一換字暗号、DES、AES、公開鍵暗号

2. 研究の背景と目的

現在は、生活のいたるところにコンピュータが用いられ、実に様々な情報がやり取りされている。氏名や住所といった個人情報保護するため、また、インターネットを介した金銭や物品の受け渡しにおける安全性の確保のため、データを暗号化し、必要以上にさらさないことが求められている。このような情報の管理は古代でも同様であり、戦争や外交などの機密情報を交換するために、様々な暗号が考案され、そのたびに解読されるという歴史を辿ってきた。現在でも、より安全性の高い暗号を開発するために、日々研究と改良が重ねられている。

そのような暗号の基礎理論には、整数の剰余や楕円曲線といった数学的概念が利用されている。本稿では、種々の暗号の構造や解読方法を紹介しながら、そこに隠れた数学的な概念を紹介する。

3. 研究内容

日本語で用いられる文字（ひらがなやカタカナなど）でも、アルファベットと同じように暗号のために用いることができるが、分かりやすくするために、本稿ではアルファベットのみを使って説明する。なお、小文字（a, b, c, …）で平文のアルファベットを表記し、大文字（A, B, C, …）で暗号文のアルファベットを表記することにする。

まず、暗号理論の基本事項についてまとめておこう。一般に、情報をやり取りする際に、送り手を**送信者(sender)**、受け取り手を**受信者(receiver)**という。送信者から送られた情報を受信者が受け取るまでに、悪意ある第三者がその情報を知ることがある。このような悪意ある第三者を**盗聴者(eavesdropper)**と呼ぶことにする。

送信者は、情報が盗聴者に漏れないように、伝えたい情報を受信者のみが理解でき

るように形を変えて送ることにします。このとき、元々の情報を**平文(plaintext)**、形を変えた文章を**暗号文(ciphertext)**といい、このような処理のことを**暗号化(encrypt)**という。受信者は、送られてきた暗号文を、送信者とあらかじめ決めておいた規則によって再変換することで、最初の情報を手に入れることが可能になる。このあらかじめ決めておいた規則を**鍵(key)**といい、その処理を**復号化(decrypt)**という。

数学や情報科学では、問題を解決する手順のことを**アルゴリズム(algorithm)**という。暗号理論でも、「**暗号化のアルゴリズム**」や「**復号化のアルゴリズム**」という言い方で、暗号化や復号化の手順を指すことがある。さらに、暗号化・複合化のアルゴリズムをまとめて**暗号アルゴリズム**という。

3-1. シーザー暗号

シーザー暗号(Caesar cipher)とは、平文で使っているアルファベットを一定の文字数だけずらすことにより暗号化を行う。暗号の中でも、アルゴリズムが単純であり、誰にでも暗号化が容易にできる。

いま、アルファベットを3文字ずらすことによって暗号化を行うとする。この場合、平文のaは3文字の先のDに暗号化され、bはEに、cはFに、以下同様に続けていき、vはYに、wはZにそれぞれ暗号化される。さらに、xはアルファベットを一周してAに暗号化される。同様に、yはBに、zはCにそれぞれ暗号化される。図1を見ると、アルファベットを「ずらす」様子がわかるだろう。

■シーザー暗号の暗号化

ここで、秘密にしたい情報を angou (暗号) だと仮定する。この単語を秘密にしたまま受信者に届けるとする。このとき平文は

angou

の5文字である。

下のように平文を3文字ずつずらし、暗号化する。

a→D

n→Q

g→J

o→R

u→X

これで、「angou」という平文が「DQJRX」という暗号文に変換できたことになる。「angou」という単語なら意味はわかるが、「DQJRX」では意味がわからない。

シーザー暗号では「アルファベットの文字をずらす」という操作が「暗号化のアルゴリズム」に相当し、ずらす文字数が「鍵」に相当する。この例では、鍵は3である。

■シーザー暗号の復号化

さて、受信者が、DQJRX という暗号文を受け取ったとする。暗号文のままでは意味は分からないので、復号化して平文に戻す作業を必要とする。シーザー暗号の復号化は暗号化のときと同じ鍵を使い、逆方向にずらす操作を行う。上の例なら、3文字だけ逆方向にずらせばいいのである。つまり、

D→a

Q→n

J→g

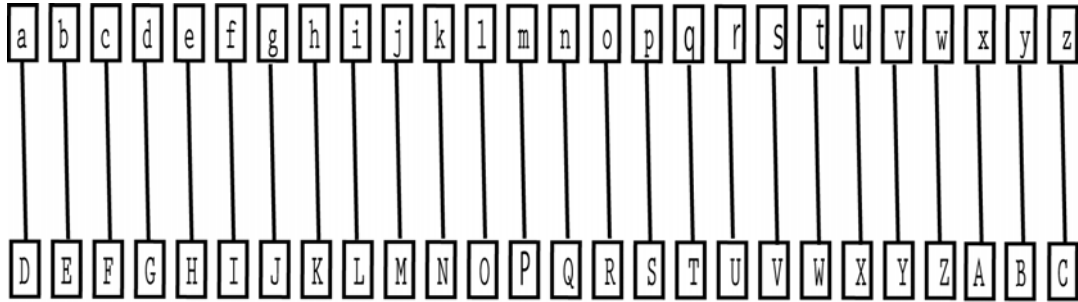
R→o

X→u

というように復号化する。

これで元の平文「angou」に戻すことが

できた。このとき、3 という鍵は送信者と受信者との間で前もって決めておき、共有しておく必要がある。



指定の文字数だけずらす (この場合は3)

図1 シーザー暗号の仕組み

■シーザー暗号の解読

送信者と受信者以外の人間が、送信者の送った暗号文を知り、その平文を解読したいとする。

DQJRX→鍵0で復号化→dqjrx
DQJRX→鍵1で復号化→cpiqw
DQJRX→鍵2で復号化→bohvp
DQJRX→鍵3で復号化→angou
DQJRX→鍵4で復号化→zmfnt
DQJRX→鍵5で復号化→ylems
DQJRX→鍵6で復号化→xkdlr
DQJRX→鍵7で復号化→wjckq
DQJRX→鍵8で復号化→vibjp
DQJRX→鍵9で復号化→uhaio
DQJRX→鍵10で復号化→tgzhn
DQJRX→鍵11で復号化→sfygm
DQJRX→鍵12で復号化→rexfl
DQJRX→鍵13で復号化→qdwek
DQJRX→鍵14で復号化→pcvdj
DQJRX→鍵15で復号化→obuci

DQJRX→鍵16で復号化→natbh
DQJRX→鍵17で復号化→mzsag
DQJRX→鍵18で復号化→lyrzf
DQJRX→鍵19で復号化→kxqye
DQJRX→鍵20で復号化→jwpxd
DQJRX→鍵21で復号化→ivowc
DQJRX→鍵22で復号化→hunbv
DQJRX→鍵23で復号化→gtmua
DQJRX→鍵24で復号化→fsltz
DQJRX→鍵25で復号化→erksy

となり、このうち意味の通じるものを探すと、「鍵=3」のとき angou を見つけることができる。これで解読ができたといえる。このように、考えられるすべての鍵のパターンを試みて、その中から鍵と平文を見つける解読方法をブルート・フォース・アタック (brute-force attack) または全数探索 (exhaustive search) という。

このように、暗号としての構造が単純なシーザー暗号は、送信者と受信者以外でも

解読が可能になってしまう欠点がある。

3-2. スキュタレー暗号

スキュタレー暗号(Scythia Cipher)は、古代ギリシアの都市国家スパルタで用いられていた暗号で、「スキュタレー」とは「棒」という意味である。最も古くから存在する暗号として知られている。

■スキュタレー暗号の暗号化

- ①長い帯状のもの（紙など）を長い棒（鍵になる棒）に巻きつける。
- ②巻きつけた鍵となる棒に、縦一列に伝えたい文（平文）を書く。
- ③平文とは関係のない文字を、同じように縦一列に紙が埋めつくされるまで書く。

■スキュタレー暗号の解読方法

暗号文の書かれた帯状の文を、暗号化で使った棒と太さが同じ棒に巻き、できた文の中から、意味の通じる部分を見つける。

暗号文を送る人と受ける人はお互いに同じ太さの棒を持っていなければいけない(この場合、この同じ太さの棒が鍵となる)。

3-3. 単一換字暗号

平文のアルファベットを鍵の数だけ「ずらす」ことによって暗号化したものがシーザー暗号だった。しかし、このように規則的に変換しなくとも、アルファベット 26 文字それぞれに 1 対 1 の対応関係があれば、どんな対応関係でも暗号文が作れそうである。このように、平文を構成するアルファベットを別のアルファベットに変換する暗号のことを**単一換字暗号(simple**

substitution cipher)という。単一換字暗号の対応表の例を図 2 に示す。

■単一換字暗号の暗号化

単一換字暗号の暗号化は平文を 1 文字ずつ換字表にしたがって変換していく作業の繰り返しである。

例えば **angou** という単語を暗号化してみましょう。図 2 より

a→D

n→A

g→C

o→O

u→X

となり、暗号文は **DACOX** になる。

■単一換字暗号の復号化

単一換字暗号の復号化は、暗号化のときに使った換字表を使い、暗号化の逆を行う作業である。単一換字暗号の復号化のときには暗号化のときに使った換字表が必要なので、送信者と受信者は同じ換字表をお互いに持っておく必要がある。この換字表が単一換字暗号の「鍵」なのである。

■単一換字暗号の鍵空間

「angou」をシーザー暗号（鍵=3）で暗号化すると、「DQJRX」になる。一方、単一換字暗号（鍵は図 2 の換字表とする）で暗号化すると「DACOX」になる。これらはどちらも意味が分からないが、この暗号文を見ただけで、シーザー暗号と単一換字暗号のどちらで解読すればよいかは分からない。シーザー暗号はブルート・フォース・アタックで解読できたが、単一換字暗号はブルート・フォース・アタックで

解読することは難しい。なぜなら、単一換字暗号の方がシーザー暗号よりもはるかに多くの鍵の候補があるからである。それを確かめるため、鍵の総数を計算する。

単一換字暗号の平文で使われるアルファベット a にたいしては、A, B, C, …, Z の 26 文字 (26 通り) のいずれかが対応する。b に対しては a を暗号化したものを除外した 25 文字 (25 通り) が、以下同様に考えると c には 24 文字 (24 通り) のいずれかが対応する。よって単一換字暗号の鍵の総数は、26!

$=403,291,461,126,605,635,584,000,000$ 個であることがわかる。これだけ多いとブルート・フォース・アタックで調べるのは困難である。たとえば 1 秒間に 10 億個の鍵というスピードで調べたとしても、全て

の鍵を調べ終わるのに 120 億年以上の時間がかかってしまうからである。平均すると、正しい鍵が見つかるまでの時間は約 60 億年なので、単一換字暗号の解読に対するブルート・フォース・アタックは良い方法ではない。このように、ある暗号に対して、使うことのできる「すべての鍵」の集合のことを**鍵空間(keyspace)**という。

■頻度分析による単一換字暗号の解読

ブルート・フォース・アタックで単一換字暗号を解読することは困難であることが分かった。そこで発明されたのが**頻度分析**と呼ばれる暗号解読法である。頻度分析とは、暗号文中の文字の頻度と他の一般的な文章の文字の頻度と調べて (英語の文章などの場合、頻度の高い単語としては

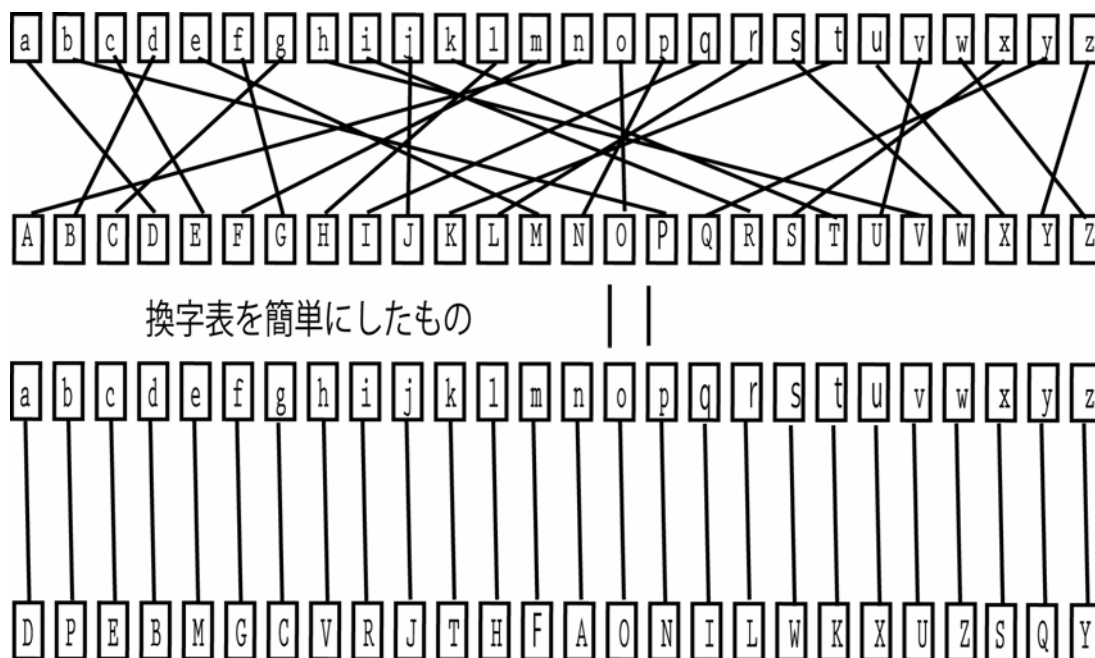


図2 単一換字表

the や in など、アルファベットでは A や T など) その 2 つを比較し、暗号文を解読する方法である。この頻度分析を使えば単一換字暗号も解読することができる。

3-4. DES

DES (Data Encryption Standard)とは 1997 年にアメリカ合衆国の連邦情報処理標準規格 (FIPS) に採用された対称暗号である。世界中の政府や銀行で用いられてきたが、コンピュータの進歩のため、現在ではブルート・フォース・アタックにより解読できるようになってしまった。RSA 社が行っている DES の鍵を見つけるコンテスト (DES challenge) の結果を見てみよう。

- ・ 1997 年 DES challenge I 96 日
- ・ 1998 年 DES challenge II-1 41 日
- ・ 1998 年 DES challenge II-2 56 時間
- ・ 1999 年 DES challenge III

22 時間 15 分

でそれぞれ解読されている。DES による暗号文は短時間で解読できるようになったため、過去の暗号文を復号化する以外 DES を用いるべきではない。

■DES の暗号化プログラム

DES は 64 ビットの平文を 64 ビットの暗号文に暗号化する**対称暗号アルゴリズム (symmetric cryptography algorithm)**である。

ここで、対称暗号アルゴリズムを説明するために、準備を行う。いままで、文字列の暗号について説明してきたが、現代はコンピュータによって情報がやり取りされることが多い。コンピュータでは、0 と

1 が並んだ**ビット列 (bit sequence)**でいろいろな情報を表現する。例えば、文字も

$m \rightarrow 01101101 \quad t \rightarrow 01110100$

のように 8 個の 0 と 1 の列としてあらわされる。このように、文字をビット列に対応させることを**符号化 (encoding)**という。上のルールによる文字とビット列の対応は **ASCII** と呼ばれている。

ビット列の処理において、**XOR (exclusive or)**、日本語でいう「**排他的論理和**」という計算規則がある。1 ビットの情報に対して XOR を施すと、

$0 \text{ XOR } 0 = 0 \quad 1 \text{ XOR } 0 = 1$

$0 \text{ XOR } 1 = 1 \quad 1 \text{ XOR } 1 = 0$

となる。0 を偶数、1 を奇数と見たとき、通常の和「+」のパリティ (偶奇) に一致するので、「XOR」の部分で「 $\oplus$ 」という記号で書く場合もある。さらに、2 つの情報

$A: 01001100 \quad B: 10101010$

に対して XOR を施すと、 $A \text{ XOR } B$ は、

$A: 01001100$

$B: 10101010$

$A \oplus B: 11100110$

となる。XOR には位上がりはないため、この規則を施せば、 $(A \text{ XOR } B) \text{ XOR } B = A$ であることが容易に確かめられるであろう。

さて、DES の暗号化アルゴリズムについて説明しよう。DES は、64 ビットの平文をまとめて 64 ビットの暗号文へと暗号化する。この 64 ビットごとのまとまりを**ブロック (block)**と呼ぶ。7 ビットおきに、1 ビットずつエラー検出用の情報が入るため、鍵のビット長は実質 56 ビットといえる。一般に、ブロック単位で処理を行う暗号アルゴリズムを**ブロック暗号 (block**

cipher)と呼ぶため、DES はブロック暗号の一種になる。

DES で1度に暗号化できるのは、64 ビットだけであるが、それより長いビット長の平文を暗号化するためにはDES による暗号化を繰り返す必要がある。この繰り返しの方法をモード(mode)という。

■DES の構造

DES の基本構造は、Horst Feistel が作った、ファイステルネットワーク(Feistel network)などと呼ばれるものが使われている。この構造はDES だけでなく多くのブロック暗号にも採用されている。ファイステルネットワークは、ラウンド(round)と呼ばれる暗号化の1ステップを何度も繰り返すことで暗号化を行う。DES の場合はラウンドを16回繰り返す。

図3にしたがってファイステルネットワークの1ラウンドを説明する。

- ①文字をASCIIに変換する。
 - ②ASCIIを左右均等に分ける。
 - ③右をそのまま暗号文に挿入する。
 - ④右をラウンド関数 f に送る。
 - ⑤ラウンド関数 f は、右とサブ鍵(subkey)を使って、ランダムに見えるビット列を計算(XOR)する。
 - ⑥得られたビット列と左とのXORを計算した結果を暗号化された左とする。
- しかしこれでは「右」はまだ暗号化さ

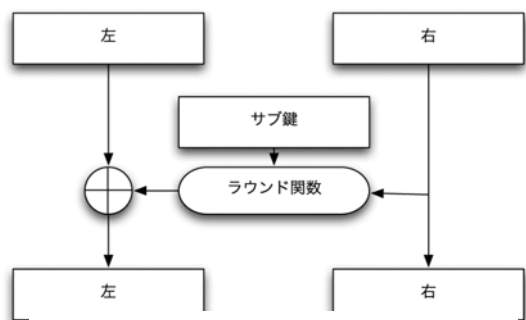


図3 ファイステルネットワーク
(1ラウンド分)の仕組み

れていない。そこで次のラウンドのときは、出力の右と左を入れ替え、さらに異なるサブ鍵を用いて処理を行う。

複数のラウンドを持つファイステルネットワークを行う際も基本は同様であるが、ラウンドとラウンドの間では左右を入れ替えて、最終ラウンドの後では、左右の入れ替えを行わない点異なる。

ところで、ファイステルネットワークで復号化を行うにはどうしたらよいだろうか。例えば、ファイステルネットワークの1ラウンド分の出力を、同じサブ鍵のファイステルネットワークにもう1度入れると、ラウンド関数 f がどんな関数であっても、正確にもとにもどるのである。これはXORの性質(同じ数同士のXORは0になること)から説明できる。

つまり、ファイステルネットワークの復号化は、サブ鍵を使う順番をラウンドごとに逆にすることでできるのである。ファイステルネットワークの構造そのものは、暗号化と復号化で全く違いがない。

■ファイステルネットワークの性質

- (1)ファイステルネットワークは、好きなだけラウンド数を増やすことができる。ラウンド数をいくら増やしても、復号化できなくなる心配はない。
- (2)ラウンド関数 f にどんな関数を使っても良い。ラウンド関数 f は、復号化のことを考慮することなく、どんなに複雑にしてもよい。

ファイステルネットワークは、暗号化のアルゴリズムの中から「暗号の本質的な部分」をラウンド関数 f として抽出したことになる。ファイステルネットワークを使

えば、必ず復号化できることが保証される。暗号アルゴリズムを作ろうという場合は、複雑なラウンド関数 f を考えるよう努力すればよいのである。

3-5. AES (Rosalinde)

AES (Advanced Encryption Standard)

とはこれまで標準であった DES に代わって新しい標準となる対称暗号アルゴリズムである。世界中の企業や暗号学者が AES の候補として多数の暗号アルゴリズムを提案しましたが、2000 年に Rijndael という対象アルゴリズムが AES として選定された。

■Rijndael (ラインダール)とは

Rijndael はベルギーの研究者 Joan Daemen と Vincent Rijmen が設計したブロック暗号アルゴリズムで 2000 年に次世代の標準暗号アルゴリズム AES として選定された。

Rijndael のブロック長は 128 ビットで、鍵のビット長は 128 ビットから 256 ビットまで 32 ビット単位で選択することができる（ただし、AES の規格上では、鍵長は 128, 192, 256 ビットの 3 種類だけである）。

■Rijndael の暗号化と復号化

Rijndael は DES と同じく、複数のラウンドから構成されている。図 5 に 1 ラウンド分の概略を示しました。

DES ではファイステルネットワークという基本構造が使われていましたが、Rijndael ではファイステルネットワークではなく SPN 構造(SPN structure)とい

う構造が使われている。

- ①Rijndael の入力ブロックは 128 ビット、すなわち 16 バイトである。16 バイトの入力に対してそれぞれ 1 バイトごとに **Sub Bytes** という処理が行われる。Sub Bytes というのは、1 バイトの値 (0~255 のいずれかの値) を添え字とし、256 個の値を持っている換字表から 1 個の値を得るという処理である。
- ②Sub Bytes の次に行われるのが、**Shift Rows** という処理である。これは、Sub Bytes の出力をバイトごとに混ぜこぜにする処理である。図 5 の線をたどって行けば、規則的に混ぜているのがわかる。
- ③Shift Rows の次に行われるのが、**Mix Columns** という処理である。これは、4 バイトの値をビット演算により別の 4 バイトの値に変換する処理である。
- ④最後に Mix Columns の出力とラウンド鍵との XOR をとる **AddRoundKey** という処理を行う。

これで Rijndael の 1 ラウンドが終わる。実際は以上のラウンドを 10~14 回繰り返すことになる。

以上の構造をみると、1 回のラウンドで入力のすべてのビットを暗号化している。1 回のラウンドで入力の半分のビットしか暗号化しないファイステルネットワークに比べて、ラウンド数を少なくできるメリットがある。また、SubBytes はバイトごとに、ShiftRows は行ごとに、MixColumns は列ごとに並列処理ができるというメリットもある。図 6 に Rijndael の 1 ラウンド分の復号化を示す。この図から、

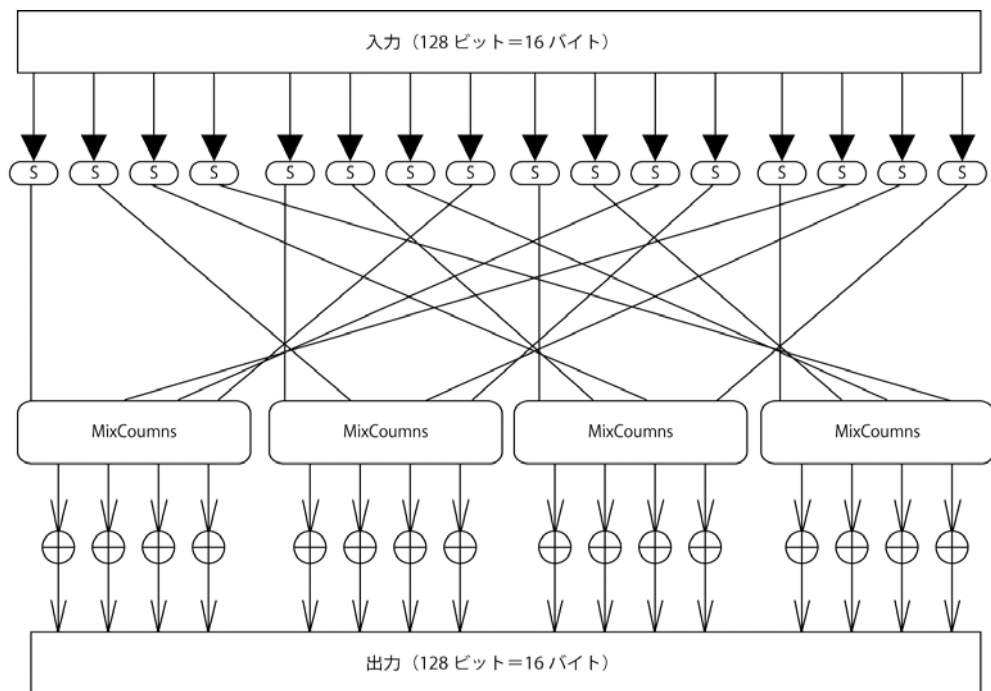


図 5 Rijndael の暗号化(1 ラウンド)

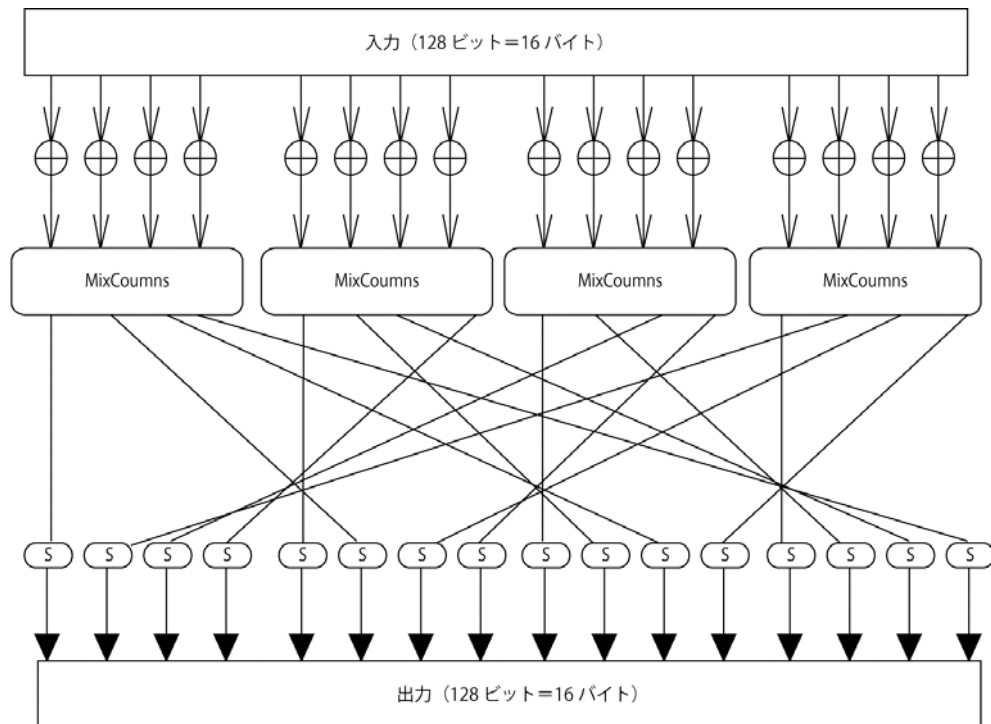


図 6 Rijndael の復号化(1 ラウンド)

SubBytes

ShiftRows

MixColumns

のそれぞれに対して、

InvSubBytes

InvShiftRows

InvMixColumns

という逆の処理(逆演算)が用意されていることがわかるだろう。これは、Rijndael は、ファイステルネットワークのように、1つの構造で暗号化と復号化を行うことができないことに起因する。

■Rijndael の解説

Rijndael に対しては今までにない新しい種類の攻撃が懸念されている。Rijndael のアルゴリズムでは、平文から暗号文を作り出す計算を数式で表現することが可能なのである。これは過去の暗号アルゴリズムにはなかった特徴である。もしも Rijndael の数式を数学的な操作によって解くことができるなら、Rijndael を数学的に解読できることになる。これは、過去になかった攻撃の可能性を示唆している。

ただし、これはあくまで可能性の話であり、Rijndael に対する有効な攻撃は、現在のところ見つかっていない。

3-6. 公開鍵暗号

■鍵配送問題

対称暗号を使おうとするとすぐに**鍵配送問題(key distribution problem)**にぶつかる。鍵配送問題とは、たとえばメールを送る際に他人に平文を知られないように暗号化した文章を送っても、受信者が復号

化の鍵を持っていなければ受信者は平文を理解することはできない。この問題を解決するために鍵を暗号文と一緒に送ると、このメールを他人が見ていた場合、簡単に暗号化されてしまう。つまり、「鍵を送らなければならないが、送ってはいけない」という状況が生じるわけである。

このような鍵配送問題解決策はいくつかあり、その中の一つに公開鍵暗号がある。

公開鍵暗号とは「暗号化の鍵」と「復号化の鍵」の2つの鍵を用いた暗号アルゴリズムである。送信者は「暗号化の鍵」を使ってメッセージを暗号化し、受信者は「復号化の鍵」を使って暗号文を復号化しである。公開鍵暗号を使う場合はこの2つの鍵をきちんと理解しておく必要がある。ここで「暗号化の鍵」と「復号化の鍵」を区別するとつぎのようなことがわかる。

- (1)送信者が必要なのは「暗号化の鍵」だけである。
- (2)受信者が必要なのは「復号化の鍵」だけである。
- (3)盗聴者に知られて困るのは「復号化の鍵」だけである。
- (4)「暗号化の鍵」は盗聴者に知られてもかまわない。

したがって、受信者が「復号化の鍵」を手元においておき「暗号化の鍵」だけを送信者におくと「復号化の鍵」を配送する必要がなくなり、鍵配送問題を解決できる。

公開鍵暗号における「暗号化の鍵」は一般に公開することができる。このような鍵のことを「**公開鍵(public key)**」と呼ぶ。公開鍵は受信者にメールで渡そうが、webで公開しようが構わない。盗聴者に公開鍵が盗聴されることを気にすることもない。

一方、「復号化の鍵」は絶対に公開してはいけない。このような鍵を「**プライベート鍵(private key)**」と呼ぶ。プライベート鍵は、他人に見せたり、渡したりしてはいけない。プライベート鍵は自分の通信相手にさえも知らせてはいけない。

公開鍵とプライベート鍵は2本で1対1になっているため、これらの鍵のことを「**鍵ペア(key pair)**」と呼ぶ。公開鍵で暗号化した暗号文は、その公開鍵とペアになっているプライベート鍵でなければ復号化できない。鍵ペアをなしている2本の鍵は、互いに密接な数学的関係がある。このため、公開鍵とプライベート鍵をそれぞれ個別に作ることはできない。

公開鍵暗号の利用者は、他人に公開しても良い公開鍵と、自分だけが使うプライベート鍵からなる鍵ペアを作成する。

■公開鍵暗号の歴史

1976 年、Whitfield Diffie と Martin Hellman により公開鍵暗号のアイデアが発表された。公開鍵暗号の具体的なアルゴリズムは提示されなかったが、暗号化の鍵と復号化の鍵を分けることと、公開鍵暗号がどのような特性を備えているべきかが示された。

1977 年、公開鍵暗号の具体的なアルゴリズムとして、Ralph Merkle と Martin Hellman による**ナップサック暗号**が作られました。この暗号アルゴリズムは特許がとられましたが、後になって安全ではないことがわかりました。

1978 年、3 人の研究者 Ron Rivest, Adi Shamir, Leonard Adleman は公開鍵暗号アルゴリズムの 1 つとして現在よく知ら

れている **RSA (Rivest-Shamir-Adleman)** を発表しました。RSA は、現在の公開鍵暗号において事実上の標準といえる。

■公開鍵を使った通信の流れ

それでは、公開鍵を使った通信の流れを見ていこう。公開鍵の通信では受信者が先に動き出す。

- ①受信者は公開鍵・プライベート鍵の鍵ペアを作る。
- ②受信者は、自分の公開鍵を送信者に送る。
- ③送信者は、受信者の公開鍵を使ってメッセージを暗号化する。
- ④送信者は、暗号文を受信者に送る。
- ⑤受信者は、自分のプライベート鍵を使って、暗号文を復号化する。

図 7 を見ると送信者と受信者の間で何が行われているかを確かめてもらいたい。流れているのは公開鍵と暗号文だけなので、盗聴者は暗号文を解読することはできない。盗聴者は公開鍵を持っているかもしれないが、公開鍵は「復号化の鍵」ではなく「暗号化の鍵」なので復号化することはできない。

■公開鍵暗号でも解決できない問題

公開鍵暗号によって鍵配送問題は解決できた。しかし、これですべての問題が解決されたわけではない。入手した公開鍵が、本当に正しい公開鍵であるかどうかを判断する必要があるからである。これは公開鍵の**認証(authentication)**の問題である。また、公開鍵暗号は対称暗号に比べて処理速度が何百倍も遅いという問題もある。

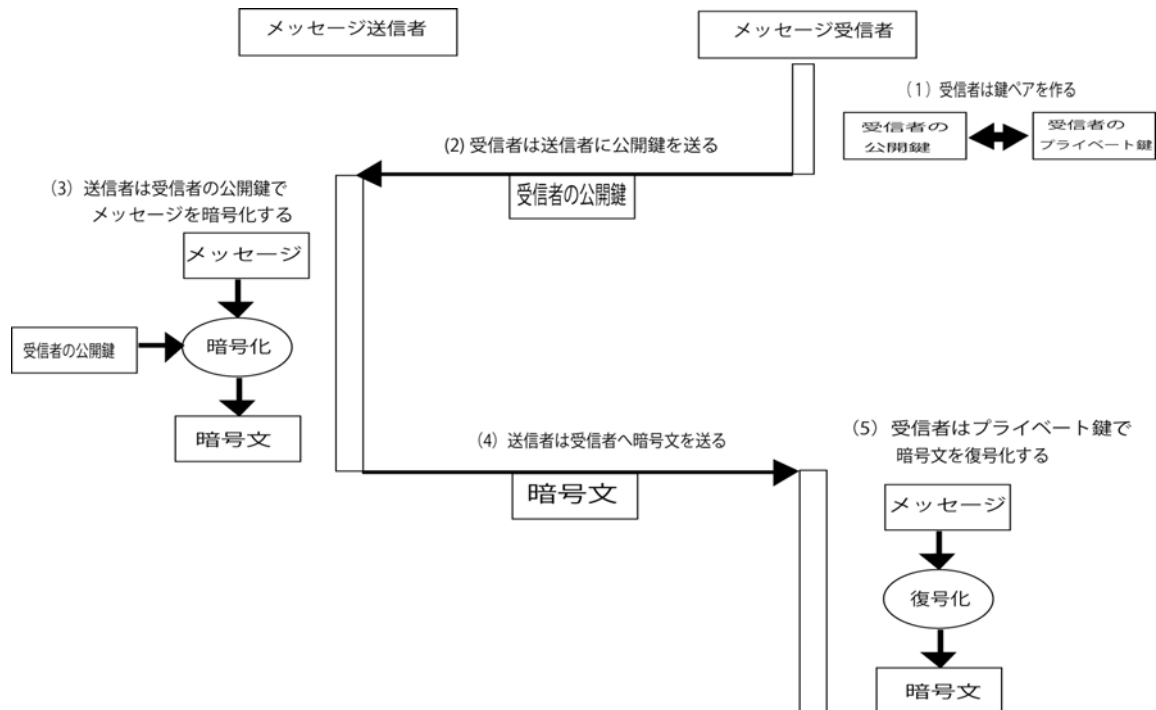


図7 公開鍵暗号における暗号化と復号化の流れ

4. 考察

シーザー暗号は、アルファベットを「ずらす」数が、スキュタレー暗号では、棒の太さが鍵である。スキュタレー暗号では、もとの巻紙で一定の間隔で平文の文字が並ぶことになる。例えば、7文字の間隔で平文を構成する文字が並んでいる場合、巻紙の端から文字に番号を付けていくと、7で割った余りが等しい番号の文字を読んでいけばよいことになる。一般に、2つの整数 m, n を整数 a で割った余りが等しいとき、 m と n は a を法として合同(equivalent modulo a)であるといい、

$$m \equiv n \pmod{a}$$

と表す。つまり、スキュタレー暗号には、「整数の合同」という数学的概念が利用されている。

5. 今後の課題

本年度は、参考文献[1]を輪読し、6種類の暗号について、その暗号アルゴリズムと特徴を調べてきた。しかし、これらの暗号の背景にある数学についてはまだ十分に考察できていない。今後はそのような数学についてもさらにまとめていきたい。

6. 参考文献

- [1]「暗号技術入門—秘密の国のアリス」
結城浩、SoftBank Creative (2003)
- [2]「暗号の科学」、熊谷直樹、すばる舎、(2007)

7. 謝辞

顧問の川口先生には、研究活動において様々なアドバイスをいただきました。ありがとうございました。

猿沢池のプランクトン

2年C組 野依 莞奈
2年A組 坂田 実咲
2年A組 浪江 智子
指導教諭 矢野 幸洋

1. 要約

奈良八景に選ばれている猿沢池の水質、および生態（プランクトン）について調査した。その結果、気象条件により発生するプランクトンに違いがあることがわかった。

キーワード 猿沢池、プランクトン、藻類、藍藻類

2. 研究の背景と目的

学校の近くにある猿沢池には、『澄まず 濁らず 出ず入らず 蛙はわかず 藻は生えず 魚が七分に水三分』という七不思議があるといわれている。その七不思議を解明するために、生態（主にプランクトン）および水質などを調べ、その実態を明らかにすることにした。

猿沢池から採集条件を変えて採水し、プランクトンやpHにどのような変化が現れるかを調べる。

3. 研究内容

(1)採集方法

きれいに水洗いしたペットボトルで池の水を汲み取る。1回の採集で約1リットルの水をサンプルとして持ち帰った。

(2)研究結果

①-1 サンプルナンバー1

採集日：10月22日(水)

観察日：10月22日(水)

天気：雨 気温：19℃

水温：15℃ pH：5.5

・ミクロキスティス

- ・ミクロキスティス ベーゼンゼルギー
- ・アウラコセイラ アンビグア（変種）
- ・アウラコセイラ グラヌラータ
- ・アフアノカプサ
- ・アフアニゾメノン フロスアクアエ

①-2 サンプルナンバー1

観察日：10月24日(金)

pH：7.8 日なたで常温保存したもの

- ・ミクロキスティス ベーゼンベルギー
- ・ミクロキスティス ノバセッキ
- ・ミクロキスティス ビリディス
- ・マユケイソウ（ディプロネイス属）
- ・アウラコセイラ アンビグア

②-1 サンプルナンバー2

採集日：11月21日(金)

観察日：11月21日(金)

（1本をアルコールに入れて保存、もう1本はそのまま）

天気：曇時々雨 気温：11℃

水温：10℃ pH：6.5

- ・ケイソウ類のなかま

②-2 サンプルナンバー2

観察日：11月26日(水)

日なたで常温保存

- ・コスマリウム
- ・ケイソウ類のなかま

②-3 サンプルナンバー2

観察日：12月1日(月)

- ・ミクロキスティス ベーゼンベルギー
- ・アウラコセイラ アンビグア (変種)
- ・ミクロキスティス エルギノーザ
- ・ハリケイソウ

③ サンプルナンバー3

採集日：11月28日(金)

天気：曇 気温：14℃

水温：12℃ pH：7

※上層部と底の部分とで、どのような変化が現れるのかを調べるためにペットボトルに重りをつけて沈め、引き上げて水を採水。水深は55cm。

④ まとめ

- ・全ての実験で発見されたプランクトンの中に、動物プランクトンは含まれていなかった。
- ・採集したあと日数を経たものは、プランクトンより断片のようなゴミが多かった。

<観察できた植物プランクトン>



左上：コスマリウム

左下：ミクロキスティス ベーゼンベルギー

4. 考察

①のpHの値より、池の水はわずかであるが酸性である。考えられることとしては、酸性雨の影響や植物プランクトンの呼吸などがあげられる。動物プランクトンがほとんど見つけられず、このことは食物連鎖が成り立っていない可能性もあり、生態系に何らかの支障をきたしていると考えられる。

ミクロキスティス属、アウラコセイラが間隔をあけて観察すると増えていた。細胞数の多さから生命力が強いと推測できる。

5. 今後の課題

観察期間が短かったので、十分なデータがそろっていなかった。よって、現段階では明確な結論には至れなかった。

今後は長期的に観察を行い、更なるデータ収集をしていきたいと思う。また、水質においてもpHのみに限らず、その他の数値も集めて因果関係を追及していきたい。

6. 参考文献

- [1]「やさしい日本の淡水プランクトン図解ハンドブック」、一瀬 論、若林 徹哉監修、滋賀県立衛生環境センター。

7. 謝辞

今回の観察にあたり、指導してくださった矢野先生には深く感謝致します。

アゲハチョウのサナギの解剖に関する実験報告

3年B組 飯島 麻穂

3年C組 井上 なずな

指導教諭 櫻井 昭

1. 要約

私たちは、チョウの翅の色や模様は、チョウが変態するときの「サナギ」時に決まると仮定し、アゲハチョウのサナギの解剖を行った。その結果、サナギの中にペースト状のものがああり、色によってチョウとなったときの体の部分が大まかに分かれていた。そこで、色ごとに組織を掻き出してサンプリングした。また、リンプンの色を決める遺伝子の発現がサナギ時に盛んに行われているのか、その発現は部分によって異なるのか、調べるための準備として、とりあえずチョウのゲノム DNA 抽出にむけての準備をした。

キーワード アゲハチョウ、サナギ、組織、ゲノム DNA、遺伝子の発現、
マイクロ・ピペット、マイクロ・チップ

2. 研究の背景と目的

これまでの研究から、チョウの翅の色と、模様がリンプンで決まることが分かった。リンプンは本来細胞であり、そのリンプンとなる細胞は、どのようにサナギの中で存在しているのか、実際に観察するために、チョウのサナギの解剖を試みた。また得られた組織には細胞が含まれているはずであるため、その細胞からゲノム DNA の抽出を行い、翅の模様に関わる遺伝子レベルの解析を行いたいと考えている。

3. 研究内容

(1) 仮説

サナギの時点でチョウの翅になると思われる部分と、そうでない部分には何らかの外見的（組織的）違いがある。

(2) 実験方法

① チョウの育成

アゲハチョウの幼虫を野外で捕獲し（岩本先生に提供していただいた）、アゲハチョウの幼虫を比較的温度が安定したガラスケースの中で育てた。十分に水分を含んだオアシスに、柑橘系の葉（金柑の葉）を餌として与え、サナギになるまで育てた。尚、いつサナギになったのか個体毎に記録した。

② サナギの解剖

解剖皿、解剖バサミ、虫ピン、ピンセットを用いて解剖を行った。解剖皿にサナギを乗せ、背中から解剖バサミで開いて、虫ピンで固定し、サナギの中身を確認した。

③ 保存方法

サナギの中はペースト状で、体の部分によって組織の色が異なっていた。そこで、その色で分類し、マイクロ・ピペットで中身を取り出し、マイクロ・チューブに保存

した。このマイクロ・チューブは -30°C で冷凍保存した。

(3)実験結果

解剖の結果、サナギの中はペースト状であり、大まかに組織が体の部分で異なっていた(図1)。その色は、黄色、赤色、半透明色、緑色などがあった。黄色の部分が左右対称に配置されてあったので成虫になったときその部分が翅になると考えられる。黄色の部分の間には内臓かと思われる赤いペーストの塊があった。



図1

4. 考察

実験結果より、サナギ期のチョウの体内組織には、からだの部分によってそれぞれ組織の色が異なっていた。そして組織の色の分布は、成虫になったときの各器官の配置と大まかではあるが一致していた。しかし、今回の実験では「配置」という観点からしか調べておらず、仮説が確実に検証できない結果となってしまった。よって、今後は、文献調査などを行い、サナギ期に配置された内部組織は、その場所から他の部分へ、サナギの体内を移動することなくそのまま各器官へと分化していくことを確認する必要があると考えている。また、組織の色が何によるものなのかもあわせて調べ

る必要があると考えている。

5. まとめと今後の課題

今後、サンプリングした組織から DNA 抽出を試みたいが、組織の色の分布が器官の配置と一致するか不明であるため今後はより深く調べ遺伝子解析へと繋げたい。

6. 謝辞

指導してくださった櫻井先生、岩本先生に深く感謝します。

バイオエタノールに関する基礎実験

3年C組 中西 夏輝
3年C組 吉川 啓明
3年A組 高杉 典史
3年B組 谷口 亜紳
3年A組 田村 猛
指導教諭 矢野 幸洋

1. 要約

アルコール発酵を利用して、タマネギやキンカンからバイオエタノールを作る研究を行った。その中間報告を行う。

キーワード バイオエタノール、アルコール発酵、ブドウ糖、タマネギ、キンカン

2. 研究の背景と目的

実験を始める前から、菌についてある程度の予備知識を持っていた。そこでこれを生かすために、菌について研究しようということになった。

菌を使った身近なものを考えた結果、酒や味噌などがあがった。何回かの話し合いの後「酵母を使って不要なもの(生ごみなど)をアルコールに変え、それを使って料理をしてみよう」という課題を立てた。不要なものをエネルギーに変えることによって環境問題対策にもなるであろう。

3. 研究内容

(1) バイオエタノールについて

石油や天然ガスから合成して生産されるエタノールを合成エタノールという。それに対して、サトウキビやトウモロコシなどのバイオマスを発酵させ、蒸留して生産されるエタノールのことをバイオエタノールと呼ぶ。

<アルコールの発生>

アルコールは、ブドウ糖を酵母によって発酵させることによって発生する。

今回の実験は、生ごみ等からアルコールを発生させる前に、どのようなものから効率よくアルコールが作れるかについて調べるための実験を実施した。

(2) 実験

実験Ⅰ タマネギからアルコールをつくる

まず、身近ですぐに手に入るタマネギからアルコールを作成することに挑戦した。

調べてみるとタマネギはショ糖をたくさん含んでいることがわかった。ブドウ糖も含まれているのではないかと予想して実験を行った。まず条件を変えて3つ用意した。タマネギは十分すりつぶして使用した。

A：ブドウ糖＋水

B：タマネギ＋水

C：水のみ

これらに酵母1gを加え、約40℃のお湯につけた。

<予想>

A：気体が発生し、アルコールができる。

B：気体が発生し、アルコールができる。

C：反応は起こらない。

<結果>

3分後の様子を次に示す。

A：ビーカーに気泡を確認

B：わずかに気泡を確認

C：変化無し

ここで、それぞれ4mlをピストンで吸

い上げ、発生する気体の量を調べた。

1分後から2分刻みに記録をとった。

表1 A, B, Cにおける容積の変化

時間(分)／ 容積(0.1ml)	A	B	C
0	40	40	40
1	50	40	40
3	55	41	40
5	58	42	40
7	63	44	40
9	66	46	40
11	73	47	40
13	76	48	40
15	80	50	40
17	84	50	40
19	90	51	40
21	92	53	40
23	100	53	40

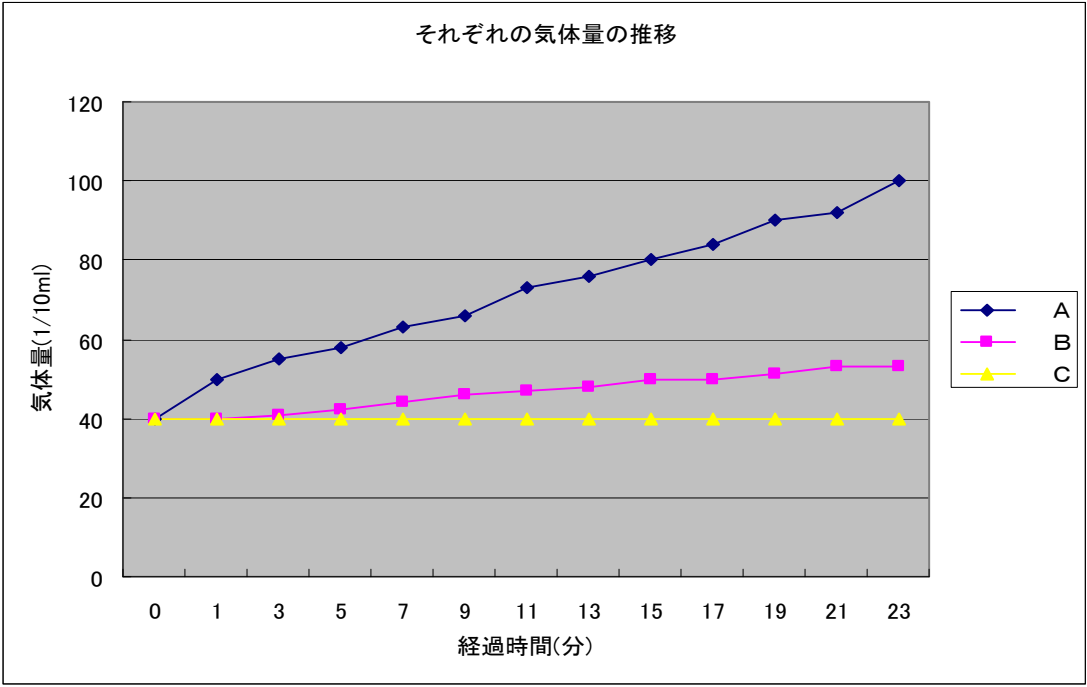


図1 気体量の推移

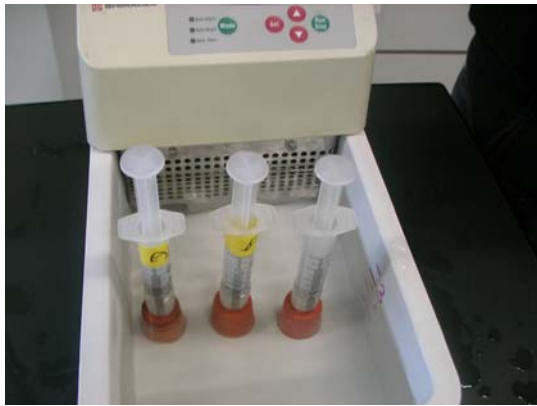


図2 実験Ⅰの様子。40℃に保ち、発酵を促している。

発生した気体を石灰水に通したところ、白く濁ったので、二酸化炭素であることが確認できた。

実験Ⅱ キンカンによるアルコール発酵

学校で栽培していたキンカンをつかってバイオエタノールの作成を試みた。

A：ブドウ糖＋グルコース

B：キンカンの果肉

C：キンカンの皮

D：水

実験Ⅰと同じようにして、ピストンに4mlずつ吸い上げて40℃に保った。

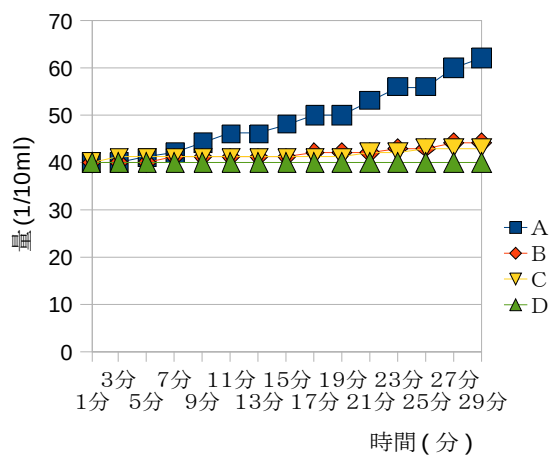


図3 A, B, Cの量の変化



図4 実験Ⅱの様子。この状態で気泡が確認できた。



図5 図4で発酵させたAで発生した気体を石灰水に通すと白く濁った。



図6 実験Ⅱの結果。Aの二酸化炭素発生量が一番多かった。Aのピストンが明らかに他よりあがっている。

A、B、Cからは予想どおりに二酸化炭素が発生した。

矢野先生と岩本先生に、多大なご指導を賜りました。この場で、深く感謝申し上げます。

4. 考察

実験ⅠのBから二酸化炭素が発生したので、アルコール発酵が起こり、アルコールが発生したと考えられる。このことから、タマネギにはブドウ糖が含まれていることがわかる。

しかし、今回アルコール検知実験が上手くいかなかったので、アルコールの存在を証明することはできなかった。

実験Ⅱも同じようにB、Cから二酸化炭素の発生を確認できたので、アルコール発酵が起こっていると推定できる。

このことから、キンカンは、果肉・皮ともにブドウ糖が含まれていることがわかった。

5. 今後の課題

アルコール検知実験を成功させないと、次の段階へすすめないなので、まずこの実験を成功させる。現段階では、調べた通りに実験を進めても全く反応がなかった。濃度80%のアルコールを使用しても反応が見られなかったので、一から実験方法を見直す必要がある。まだ、目標の「いらないもの」からアルコールを作成していないので、これからはそれも試したい。

6. 参考文献

- [1]「フォトサイエンス 生物図録」、
鈴木孝仁監修、数研出版.

7. 謝辞

サイエンス研究会生物班の活動において、

ベンソンの実験と ATP

4 年 A 組 行松 和輝

4 年 B 組 國松 大悟

指導教諭 矢野 幸洋

指導教諭 櫻井 昭

1. 要約

光合成の第四過程は光なしで行えるはずなのでそれを確かめてみるための実験をベンソンの実験で行うことと、ATP が脱脂綿に含ませただけでその上に根付いた植物がその ATP を利用できるのかということを調べる。

キーワード ベンソンの実験、ATP

2. 目的

前に行ったベンソンの実験を簡易にするとともに正確なデータを取る。また、本当に ATP を含ませた脱脂綿を置くことで ATP が吸収されるのかを調べる。

3. 緒言

ベンソンの実験とは、光合成の第四過程を光なしでも行えるということを確認した実験である。

具体的に言うと、光合成をするためには二酸化炭素と光エネルギーと水が必要であり一つでも欠けると光合成ができなくなる。

そこで植物に光を当てはするが、二酸化炭素を無くしておく。そうすると光合成はせずに光エネルギーだけたまる。

その光エネルギーによって光合成の第四過程までを行う。

そして、その状態で光を無くし二酸化炭素を入れると、ある一定の時間だけ光合成が行われるという実験である。

ベンソンの実験における右図の C を作り出すために僕たちは、石灰水を用いて、それにより水中の二酸化炭素を吸収させて実験を行った。

4. 研究内容

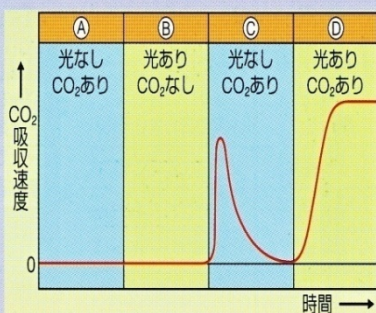
【研究 1】ベンソンの実験の改良とデータの収集

(1) 仮説

光なしでも光を当てた後なら、光合成する。つまり、C で二酸化炭素が吸収されるということである。よって pH 値が上がるということである。

●ベンソンの実験 (1949 年)

A → B では光合成(CO_2 の吸収)は起こらないが、B → C では光合成(CO_2 の吸収)が起こる。



光合成では、光エネルギーを使ってある反応(明反応)が起こり、その後、その生成物を使って CO_2 の固定が行われることを示した。

(2) 実験方法

《使用するもの》

- ・ 試験管 1 本
- ・ 5 %石灰水×0.5m l
- ・ オオカナダモ 1 個 (1.2g)
- ・ 試験管立て 1 個
- ・ 純水 23m l
- ・ 電気スタンド 1 個
- ・ pH 計

《実験方法》

- (1) 試験管に純粋を 2 3 m l 入れる。
- (2) (1)の状態の試験管の pH 値を①とする。
- (3) (2)の状態の試験管に石灰水を 0.5 m l 入れる(ここの pH 値を②とする)。
- (4) (3)の状態の試験管にオオカナダモを入れ 15 分間 2000 ルクスの光に当てる(当て終えた後の pH 値を③とする)。
- (5) (4)の後試験管に、二酸化炭素を 24 m l 注入する(pH 値を④とする)。
- (6) (5)の試験管を暗室に 10 分間放置する(pH 値を⑤とする)。



図 1

(3) 実験結果

pH 値	①	②	③	④	⑤
A	7.1	7.6	7.7	4.0	4.9
B	7.2	8.2	8.2	5.1	5.3
C	7.1	7.8	7.9	4.9	5.1
D	7.1	9.0	6.2	5.2	5.1
E	7.2	9.2	6.5	4.9	5.5
F	7.1	8.9	6.4	4.9	7.1
G	7.2	8.7	6.1	5.3	6.3

ベンソンの実験によると、上の④から⑤にあたり、pH 値が上がれば（中性に近づけば）成功である。なぜなら、二酸化炭素が吸収されるということは pH 値が中性に近づくということである。

(4) 考察

上の表において A,E,F,G では④から⑤にかけての pH 値が、結構上がっているため、実験は成功したと見られる。しかし、それに対して B,C,D ではその値の変化が余りないため、実験が失敗しているように思われるが、これはこの3つは、②から③にかけての pH 値の変化も少なく、光合成していなかったと考えられるため、それが原因であると考えている。

また、何故この3つがあまり光合成をしなかったかについてであるが、僕たちの実験では図 1 のように、光を一定方向から当て続けた。そのため、光に近い側においてあるものは光を吸収しにくかったのだろうと考える。

【研究 2】ATP の呼吸に与える影響

(1) 実験目的

元来の目標である、光なしで光合成を行わせるということを達成するためには、光合成の第四過程で使われる化学物質を植物に取り込ませることができるかを知ることが必要となる。そこで、その化学物質のひとつである ATP を植物は脱脂綿に含ませただけの状態では吸収できるかを調べる



図 2

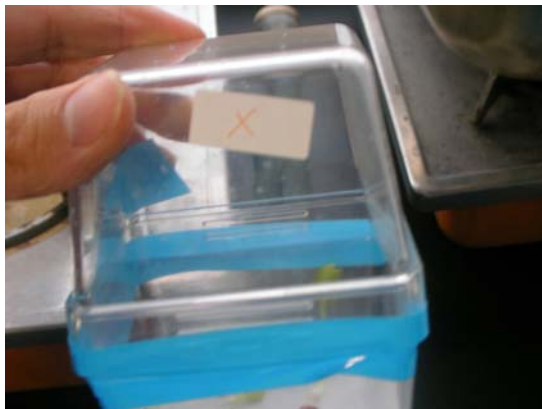


図 3

(2) 仮説

ATP を入れた容器で育てた方が ATP を吸収することになり、呼吸量が多くなることで容器によく水滴がつくと思う。

(3) 実験方法

脱脂綿に ATP 1 % を 2 ml だけ含ませたものと、脱脂綿に水 2 ml 含ませたものをそ

れぞれ 2 個用意する。

1 つの容器にカイワレ大根を 3 本ずつ入れ、そこに上の脱脂綿を入れる。よって、4 つ容器が必要になる。また、コントロールとして何も入れてない容器も準備する。それらの 5 個を暗室にいれ一日置いて様子を見る。

(4) 実験結果

図 2、図 3 から分かるように ATP を入れた容器のほうが入れてないものよりも水滴が多く付いた。

(5) 考察

この実験は前回行った実験の確認である。前回にも行ったが、それは一度しかやっておらず本当に正しかったのかという疑問をもったため行った実験である。

今回でも ATP を入れた方がたくさん水滴が付いていたので、ATP をしみ込みさせた脱脂綿を入れただけで呼吸に何らかの影響があったものと考えられる。しかし、この研究成果を発表するたびに多くの先生方から質問を受けたように、ATP は非常に分子量が大きく、そんなに簡単には植物の細胞内には入らないはずである。

何故なら、もしそんなことが可能になれば、植物の細胞内から、ATP ほどの大きさのものは全て流れ出してしまうということになるからである。よって、僕たちはこの呼吸が激しくなる要因になったものは、ATP ではなく、それが分解されて違う分子量の小さいものとなり、吸収されたのだと考えている。

そこで、これは今後の予定だが、吸収されたものが本当に ATP であるのか確かめ

るために、ATP を光らせて細胞内に通常以上に存在するかをみたいと思う。また、どのようにして光らせるのかについてだが、ルシフェリンという化学物質は ATP と反応して発光するのでそのことを用いて、本当に ATP の存在を確かめられるのかなども実験していこうと思う。

5. 今後の課題

今回の第一の研究（ベンソンの実験の追実験）によって分かったことは、植物の光合成の効率を調べるために、植物が育つまでの間、長い時間待って研究しなくても、僕たちの考えた方法を使うことによって、ほんの 30 分程度で植物の光合成効率を調べて結果を出すことができるようになったことである。

そしてまた、第二の研究から分かったことは、ATP を脱脂綿に湿らせるだけで植物の呼吸量が多くなるということである。

しかしながら、まだよく分からないことも多々ある。その代表的なものが先に研究 2 の所でも書いたように、ATP という化学物質を簡単に植物の細胞内に簡単に入れることが実際に可能なのかということであり、これについては今後、細胞内まで見ていくことで、結論を出したいと思っている。

6. 参考文献

- [1]「フォトサイエンス生物図録」、鈴木孝仁
監修、数研出版

7. 謝辞

指導してくださった矢野先生、櫻井先生
には感謝申し上げます。

カルスの基本的研究

4年A組 山中祥五

指導教員 矢野幸洋

1. 要約

未分化の状態であるカルスについて、形成方法の確認を行い、カルスの効率の良い形成方法やカルス作成に適した植物の種類を調べた。それらの成果は細胞融合などの研究に応用できる。また、カルスの分化についても研究を行った。

キーワード カルス、形成層、細胞融合

2. 研究背景と目的

今までプロトプラストについて研究してきており、酵素を用いてプロトプラストを作成することができた。プロトプラスト以外のものを用いて細胞融合できないか調べていたところ、未分化の（茎、葉、根などに役割が決まっていない）状態であり、さまざまな組織になる可能性のあるカルスを用いると、より簡単に細胞融合ができるのではないかと考えた。そこで、カルスについて、まずどのような性質があり、どのような役割をするのかを調べることにした。

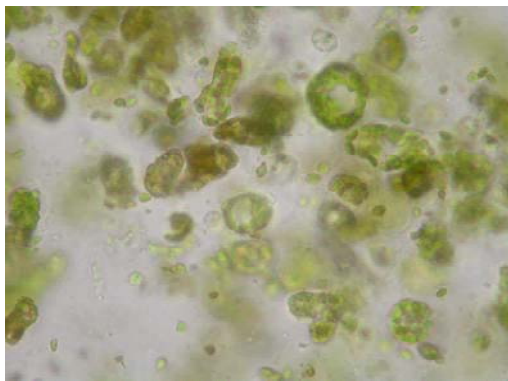


図1 プロトプラスト

カルスを確実に作るのは難しく時間もかかるので、一般的な方法を使い、カルスになるところを観察することで、さらに効率が良いカルスの生成方法を考える。最終的には、それによって作ったカルスを使い、プロトプロストとの細胞融合ができるのか、どのような反応が起こるのかなどを調べる。

4. 研究内容

(1)仮説

- ・組織培養は無菌状態を完璧にすればするほど成功率が上がる。
- ・カルスは形成層が見えやすいニンジンなどを使わないと作りにくい。
- ・カルスは培地の 2,4-D を調節することで分化することができる。

(2)研究方法

実験Ⅰ カルスの作成

器具を乾熱滅菌したものとそのままのものを用い、どちらもオートクレーブで処理した。この方法により乾熱滅菌の有無によるそのカルス形成の差を比べる。

また、材料には一般的にカルスの実験に用いられるニンジンとあまり用いられることの無いサツマイモを使ってカルス形成の差も調べる。

<方法>

- ① 培地はWhiteの培地にハイポネックスを加えたものを使用する。また比較実験のために 2,4-Dが入っていない培地（コントロール）も使う。コントロールを使ったのは、2,4-Dが入っていないとカルスにならないことを確かめるためである。なお、2,4-Dを含む培地にカルスを入れると分化が始まることが知られている。
- ② 材料は、形成層が分かりやすいニンジンと、形成層が分かりにくいサツマイモと使う。どちらも根の部分であるという共通点がある。



図2 ニンジンの形成層を取り出す

- ③ 恒温室に置いておく。



図3 サツマイモの根の一部を取り出す



図4 カルスの形成

<結果>

- ・5月14日 実験開始
- ・5月23日 B3の植物に変化あり。
- ・5月30日
B1, A4の培地にカビらしきものが発生した。またコントロール以外の植物自体にも変化があった。
- ・6月4日
A1, A5, B3 からカルス形成が観察された。それ以外の培地にカビが発生した。

表 1 カルスの形成

	コントロール A	A1	A2	A3	A4	A5
植物	ニンジン	ニンジン	ニンジン	ニンジン	サツマイモ	サツマイモ
カルス生成	×	○	×	×	×	○
	コントロール B	B1	B2	B3	B4	
植物	サツマイモ	ニンジン	ニンジン	サツマイモ	サツマイモ	
カルス生成	×	×	×	○	×	

※A はビーカーを乾熱殺菌したもの、B は乾熱殺菌なしのものである。また個体を区別するために番号をつけた。



図 5 ニンジンから作ったカルス



図 6 サツマイモから作ったカルス

実験Ⅱ 分化の実験

学校に保存してあったカルスを用い、分化の実験をする。

<方法>

- ① 2.4-Dが入っていない培地にカルスを入れる（分化には 2.4-Dは不要といわれている。）
- ② 恒温室に置いておく

<結果>

2 個体を植え替えしたが、2 個体とも 5 日ほどでカビが生えた。

4. 考察

- ・実験Ⅰでは成功率の低いカルスの実験が 10 個中 3 個成功して、まずまずの結果だと思われる。
- ・カルスの実験が成功するかどうかはカビが生えるかどうかで決まるので、殺菌を確実にしていない場合は成功しないと考えていたが、意外にも器具を殺菌したとき時と変わらないぐらいの成功率であった。結局、実験が成功するかどうかは実験中の管理が重要だと考えられる。
- ・よく使われるニンジンとの比較実験として使ったサツマイモが、意外にも成功した。ニンジンにかぎらず、いろい

ろな植物でカルスを作ることができる
と考えられる。

- ・ニンジンでは形成層が見やすく、その形成層を使って実験をするが、形成層を使うのは盛んに細胞分裂をするからであり、成功率も高くなると思われる。
- ・実験Ⅱでは分化を確認する前にカビがはえてきたため、分化することを確認できなかった。2個体ではあるが、分化の実験は成功率が低いことに気づいた。

6. 今後の課題

- ・ニンジン以外の植物でカルスを作ることが出来たのはかなり意外な結果だったので、今後は他の植物でもカルスを形成し、それを使えば何かもっと別の実験ができると思われる。例えば、違う種類を使った細胞融合などが考えられる。
- ・カルスはどんな植物からでも作れ、たくさん増やすことができる。そのため、効率の良いカルスの作成方法や分化させ、成長させる方法を発見することは大きな課題なので、まずはカビが生えないようにカルス形成をする方法を考える必要がある。また、根以外の部分からカルスを作成することも目標になる。
- ・一般的にカルスは植物が傷ついたときに傷口を覆うようにできる組織で、さまざまな細胞へと分化ができるという特殊な性質を持っている。そのようなことが細胞壁の無いプロトプラストと細胞融合することで、特別な反応が起こると考えられる。この点についても

今後詳しく調べていきたい。

6. 参考文献

- [1]「生物小事典」、丘英通・岩波洋造監修、三省堂
- [2]「わかりやすいバイオテクノロジー」、三井正洋他、評伝社
- [3]「フォトサイエンス生物図録」、鈴木孝仁監修、数研出版

乳酸菌と植物の共生

4 年 C 組 市瀬 拓人

指導教諭 矢野 幸洋

指導教諭 櫻井 昭

1. 要約

乳酸菌は整腸作用などがあり人間の体に良いとされている。これを植物に適用すると動物の体内での働きと同じ効果が得られると予想し、乳酸菌を植物に取り込ませてその効果を確認めた。また、乳酸菌を用いた自然農薬の開発とその働きの確認実験を行い、効果の一部が確認できた。

キーワード 乳酸菌、乳酸、アデノシン三リン酸、自然農薬

2. 研究背景と目的

植物は乳酸菌の存在する特定の環境下においては、通常の栄養剤と同じくらい植物を長持ちすることが、筆者のこれまでの研究で分かっている。

しかし、これにはどのような物質が関与しているのかが不明であった。まず、その物質を特定し、それからその物質の特定の活用方法を見出すことにした。

次に、その物質が植物にどのように影響し、かつ、どのように用いると最も効果的なのかについて、実用化も視野に入れて追求することにした。

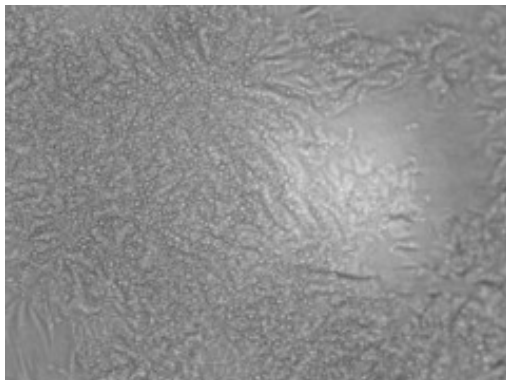


図 1 乳酸菌の単離培養(×400)

3. 研究内容

乳酸菌についての基礎実験を行い、次に課題の解決のための実験を行った。

§1 基本事項

主にヨーグルトに用いられている菌には乳酸菌とビフィズス菌があり、乳酸菌は縦に長い形（桿菌という）をしておりビフィズス菌は Y 字型の菌である。

この中でも今回は乳酸菌について研究することにした。乳酸菌は原核生物に分類され *Lb. casei*（カゼイ菌）などが有名である。乳酸菌も種類により様々な特徴があるが、全ての乳酸菌についていえることはペプチドグリカンと呼ばれる細菌特有の細胞壁が一般的な細菌よりも厚いという特徴である。

これまでに乳酸菌は動物の小腸などに生息し、悪玉菌を破壊する生物であるとされてきた。しかし、最近では植物などからも乳酸菌が発見されている。

また、乳酸菌は動物の腸内の悪玉菌を撃退するだけでなく外界においても様々な雑菌や細菌を撃退することが証明されている。

§2 基礎実験

《基礎実験Ⅰ》カタラーゼ陰性の確認

乳酸菌はカタラーゼという物質を含まず、陰性を示す。

(1) 実験方法

乳酸菌を過酸化水素水に浸す。酸素が発生するとカタラーゼ陽性菌、何も発生しなければカタラーゼがないのでカタラーゼ陰性菌となる。一部の孢子で増える乳酸菌はカタラーゼ陰性を示さない。

(2) 実験結果

ヨーグルトに含まれる乳酸菌はカタラーゼ陰性だった。

《基礎実験Ⅱ》グラム染色法

細菌は主に、グラム染色法という染色方法で大きく2種類に分けることができる。この種類の違いは、細菌で細胞壁にあたりとされているペプチドグリカンの有無、又は厚みの違いである。

このグラム染色法は、ペプチドグリカンの有無、又は厚みの違いを利用して、細胞膜の染色を行った後、エタノールで洗う。洗浄しても陽性菌であれば、しっかりと染色されているので染色液がペプチドグリカンに残り、観察できるというものである。

(1) 実験方法

・使用薬品

ルゴール(Lugol)液：

ヨウ素 1g、ヨウ素カリウム 2g、蒸留水 300ml (先ずヨウ素カリウムを少量の蒸留水に溶かし、次にヨウ素液を加

え、溶かしてから残りの蒸留水を加える。)

A 液：

クリスタルバイオレット 0.3g、
95%エタノール 20ml

B 液：

シュウ酸アンモニウム 0.8g、
蒸留水 80ml

混合液：

前日に A 液と B 液を混合し、使用当日に濾過する。

・染色方法

①スライドガラスに白金耳で蒸留水を 1 滴と乳酸菌をいれ、よく伸ばす。

②乾燥させる。

③ガスバーナーの上を 3 回ほど通す (固定される)。

④染色用混合液を 1 滴、滴下する (1 ~ 3 分)。

⑤染色トレーで洗う (2 回)。

⑥乾燥させる。

⑦ルゴール液を 1 滴、滴下する (1 分)。

⑧染色トレーで洗う (2 回)。

⑨乾燥させる。

⑩エタノールを 1 滴、滴下する (30 秒)。

⑪染色トレーで洗う (2 回)。

⑫乾燥させる。

⑬サフラニン液を 1 滴、滴下する (1 分)。

⑭染色トレーで洗う (2 回)。

⑮完全に乾かす。

⑯顕微鏡で観察する。

※これを、染色時間を 1 分、2 分、3 分と 3 種類をそれぞれ 5 回ずつ施し、合計 15 種類実施した。

(2) 実験結果

図 2 のように乳酸菌の細胞壁 (ペプチド

グリカン) が赤紫色に染まった。

よって、グラム陽性菌である乳酸菌と確かめられた。

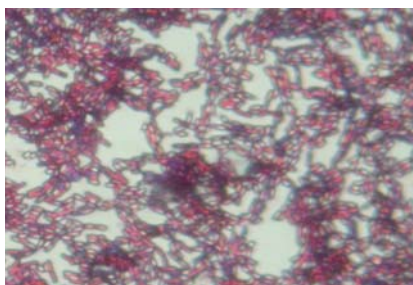


図2 グラム陽性を示す乳酸菌

§3 課題実験

《実験Ⅰ》植物の生育に対する乳酸菌の効果の研究

乳酸菌は植物の生育にとって肥料の役割をするのではないかと思い、乳酸菌水溶液の中でオオカナダモを培養するという実験を行った。

(1)仮説

オオカナダモは乳酸菌なしの状態より、乳酸菌水溶液で培養するほうが枯れずに長持ちし、よく生育する。

(2)実験方法

①乳酸菌(市販のヨーグルトに含まれているもの)を一晩約35℃で培養させる。

②次の3つのフラスコを用意する。

A：栄養分と①の乳酸菌を入れたもの

B：Aと同じ濃度の栄養分をAと等量入れたもの(乳酸菌は入れない)。

C：栄養分かわりにAと等量の水を入れたもの(乳酸菌は入れない)。

③A～Cを同じ環境条件下において、2日目に、オオカナダモを同じ分量入れる。

④2週間ほど培養し、オオカナダモの様子を観察する。

(3)実験結果

それほど大きな違いは無かったが、やや乳酸菌入りの培養液で育てたオオカナダモの方がしっかりと育っていた。

(4)考察

少なくとも乳酸菌の生成物は植物に対して何らかの影響をもたらしている。

《実験Ⅱ》植物に効果のある物質の特定

実験Ⅰにおいて、乳酸菌が植物の成長過程において何らかの良い影響をもたらしているということが分かったので、次に、乳酸菌の生成する物質のうちの何が植物に働いているのかを調べる実験を行った。

(1)仮説

乳酸菌は以下のような働きを行っている。

* 基本反応式



によって乳酸菌によって生成される物質は $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ (乳酸)とATP(アデノシン三リン酸)であり、そのどちらかが影響を与えていると考えられる。

(2)実験方法



図3 左から市販の養分、ATP、乳酸

前ページの図3は、左から市販の養分・ATP・乳酸をそれぞれ1%の濃度の水溶液にオオカナダモを同量ずつ入れ培養したものである。市販の養分は比較のために用いた。

(3)結果

3日後には明らかな違いが出ていた。市販の養分は大変よく育ち、ATPは一部が枯れ、乳酸は大半が枯れてしまった。

(4)考察

おそらく市販の養分はそれぞれの物質の割合や濃度が適量になっている為良く育った。

しかし、今回用いたATPや乳酸は植物に対しての分量が適量とはいえなかったため、枯れてしまったと思われる。

《実験Ⅲ》乳酸の最適濃度

前回の実験では薬品の濃度が1種類だった。今回は、乳酸に着目して様々な濃度で実験を行った。

(1)仮説

実験ⅡにおいてATPと乳酸の量が適切でなかったと推定される。よって、乳酸の濃度をいろいろに変えて行う。おそらく適当な濃度というものがあるだろう。

(2)実験方法

乳酸水溶液を 10^{-1} mol/L～ 10^{-8} mol/Lまでの濃度で作成し、それぞれについて同質量のオオカナダモを培養する。

(3)結果

10^{-1} mol/L のときは大半が枯れてしまった。また、 10^{-8} mol/L と 10^{-6} mol/L を比べると、この場合は濃度が薄い方が濃度の濃い方よりも効果があった。

つまり、 10^{-6} mol/L は 10^{-1} mol/L よりも、

また 10^{-8} mol/L よりも効果があった。



10^{-1} mol/L



10^{-6} mol/L



10^{-8} mol/L

図4

(4)考察

実験結果より、濃度が濃すぎても薄すぎても効果がないと言えるが、適当な濃度であれば、植物に何らかの効果をもたらしているということがわかる。

《実験Ⅳ》乳酸の抗菌作用と濃度

前回の実験で、適当な量の乳酸があれば、植物に有益であるということであった。このことをさらに詳しく調べてみると、乳酸菌には抗菌作用があり、そのことと関係している可能性がある。つまり、乳酸菌がつくる乳酸のもつ外界から侵入した菌に対する抗菌作用が影響していることが考えられるため、乳酸に注目した。この実験は乳酸を含むLB培地と乳酸を含まないLB培地を作成し、両者を比較し、雑菌の繁殖度合

を観察比較するものである。

(1) 仮説

乳酸菌の抗菌作用は生成する乳酸と関係があると考えられるので、乳酸が含まれている培地は雑菌が繁殖しないであろう。

(2) 実験方法

① 乳酸菌を次の濃度に調整した LB 培地を作成する。

10^{-1} mol/L、 10^{-2} mol/L、 10^{-3} mol/L
同時に乳酸を含まない LB 培地を作成する。

② ①の培地を室内に3日間放置する。

(3) 結果

下の写真のように乳酸($C_3H_6O_3$)の濃度が高ければ高いほど雑菌が繁殖しなかった。

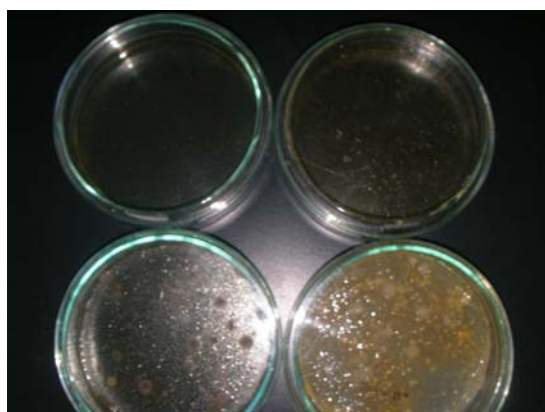


図5 1mol (左上)、 10^{-1}mol/L (右上)、 10^{-2}mol/L (左下)、乳酸なし(右下)

(4) 考察

乳酸菌が殺菌・除菌効果を持つのは、乳酸菌の生成する乳酸のためであると推測できる。

5. 今後の課題

今回の乳酸菌を用いた実験で、乳酸菌の単離培養のほか、自然やヒトにやさしい農薬の開発に向けた大きな一歩を踏み出した。具体的には、乳酸菌の生成する乳酸が様々

な雑菌に対して抗菌作用を持っていることが証明された。

また、これからはこのことを利用して乳酸が最もよく効く雑菌類を発見し、乳酸菌を用いた人体や土地に無害な自然農薬の実用化に向けて研究を進めたいと思う。

6. 参考文献

- [1]「キャンベル生物学」、Neil A. Campbell、Jane B. Reece 著、小林興監訳、丸善株式会社
- [2]「フォトサイエンス生物図録」、鈴木孝仁監修、数研出版

7. 謝辞

今回の実験において(株)グリコ乳業の瀧澤さんには、多くの助言を頂戴し、乳酸菌についての文献を郵送していただきました。この場をお借りして感謝いたします。

また、日頃の SSH サイエンス研究会の活動等において指導をしていただいた本校教諭の矢野先生、櫻井先生には深く感謝しております。ありがとうございました。

最後になりましたが、今、この論文を読んでもらっている全ての方々にもこの研究を知っていただいたことに感謝いたします。

8. 資料

(1) 固形ゲル LB 培地成分

LB 培地は細菌類の培養に向いている培地である。

- Luria-Bertani 25g
- (LB 培地用試薬 : Tryptone, Bacto 10g • Yeast extract, bacto 5g • NaCl 10g)
- Agar, Powole (寒天粉末) 1.5g

・蒸留水 100ml

(2)主に使用したヨーグルトの成分

種類別	発酵乳
無脂乳固形分	11.5%
乳脂肪分	3.0%
原料名	乳製品、生乳、 乳たんぱく質濃縮物

・栄養成分（100 g）

エネルギー	70kcal
たんぱく質	5.0 g
脂質	3.0 g
炭水化物	5.8 g
ナトリウム	48mg
カルシウム	160mg

(3)主に使用した牛乳の成分

無脂乳固形分	8.3%以上
乳脂肪分	3.5%以上
原料名	生乳 100%

・栄養成分（100ml）

エネルギー	64kcal
たんぱく質	3.1 g
脂質	3.6 g
炭水化物	4.7 g
ナトリウム	4.6mg
カルシウム	103mg

プラナリアの白色化死について

4年C組 寒河 裕人

指導教諭 櫻井 昭

1. 要約

以前プラナリアに光を照射して分裂の様子を観察していたところ、すべて白くなって死んでしまったのでその原因について追及した。

キーワード プラナリア、白色化死

2. 研究背景

プラナリアは水の中の暗い所に生息している。プラナリアは有性生殖するが、分裂も行うといわれている。そこで以前異なる波長の光がプラナリアの分裂に及ぼす影響について調べるために分裂実験を行っていたところ、実験開始から2、3日後に全個体が白くつぶれたように死んでしまった。その異常な死に方に興味を持ったので、死因解析をした。



図2 テトラポット内のプラナリア

3. 目的

- ・プラナリアを死亡させた原因がなにかを調べる。
- ・細胞内で起こった変化を調べることによって細胞レベルで死因を解析する。

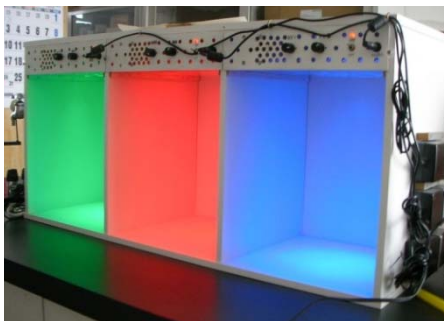


図1 光照射装置

4. 研究内容

●死因追究実験

(1) 仮説

プラナリアが死んでしまう原因について次の3つの仮説を立てた。

- ① 光に当たると死ぬ。
- ② 水の量によって死ぬ。
- ③ 温度が高くなって死ぬ。

そこで、図1の光照射装置を用いて実験を行った。

(2) 実験

実験Ⅰ 光照射実験(仮説①)

※実験方法

(1) 7つのテトラポットにそれぞれ8分目ほどの水を入れる。

(2) (1)に5匹ずつプラナリアを入れ、ふたをする。

(3) (2)を410luxに設定した赤色光、青色光、緑色光、白色光、紫外線、赤外線に当て、光が当たらないものを1つ用意する。

※実験結果

4/9～4/16の8日間

実験終了まで全てのプラナリアが生きていて、変化は特になかった。

実験Ⅱ 水量実験 (仮説②)

※実験方法

(1) テトラポットの2分目、4分目、6分目、8分目の水をそれぞれ2つずつ、計8つ用意する。

(2) (1)に5匹ずつプラナリアを入れ、ふたをする。

(3) (2)のうち2分目、4分目、6分目、8分目それぞれ1つずつ計4つを白色光(410lux)に当て、残りの4つを光が当たらないようにする。

※実験結果

4/24～4/30の7日間。

4/26 暗室の8分目のプラナリアが1匹分裂

4/30 暗室の6分目が1匹死亡

他の日、他のプラナリアは生きていて変化なし。

実験Ⅲ 水温実験 (仮説③)

※実験方法

(1) 4つのテトラポットにそれぞれ6分目ほどの水を入れる。

(2) (1)に5匹ずつプラナリアを入れる。

(3) 穴があいたテトラポットのふたに温度計を差し込み、(2)にそのふたをする。

(4) (3)のうち3つを光が入らないようアルミホイルでおおう。

(5) (4)を赤色光(4410lux)、青色光(2300lux)、白色光(410lux)のところに置き、残りの1つを暗室に置く。

※実験結果

6/18から6/19の2日間

6/18 白色光 22℃ 赤色光 22.0℃

青色光 21.8℃ 暗室 22.1℃

6/19 白色光 31℃ 赤色光 34.0℃

青色光 31.0℃ 暗室 22.5℃

赤色光のプラナリアは全滅していた。あとは生きていた

(3) 考察

実験Ⅰの結果より、光(強さ)により死ぬという仮説は間違っているだろうと考えられる。

実験Ⅱの結果より、水位(水量)が上がる(増える)ことによって死ぬという仮説は間違っているだろうと考えられる。

実験Ⅲの結果より、水温上昇により死ぬという仮説は正しいと考えられる。

以上のことより、31℃～34℃の間にプラナリアが死ぬ温度があるのだろうと考えられる。

●死亡過程観察実験

(1) 仮説

今までの結果を見る限り、すべての個体がつぶれたように死んでいて、黒い部分も

少し残っていたので、体が真ん中あたりで裂けて白いものが出てきているのではないかと考えた。

(2) 実験

□ 実験方法

- (1) テトラポットの6分目の水を用意する。
- (2) (1) にプラナリアを3匹入れ、ふたをする。
- (3) (2) を温度が41℃に設定された恒温室の中に設置する。
- (4) コマ撮りをするカメラをその恒温室に設置し1日中コマ撮りをさせ、プラナリアが死亡する過程を観察する。

※実験結果

インターバル3分でコマ撮りをしたところ、47枚目あたり(実験開始からおよそ2時間18分後)にプラナリアに異常が確認され(図4)、92枚目あたり(実験開始からおよそ4時間33分後)に死亡が確認された(図5)。

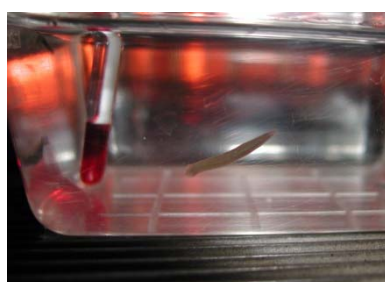


図3 実験開始直後のプラナリア



図4 プラナリアの異常確認
(くねくねしている)

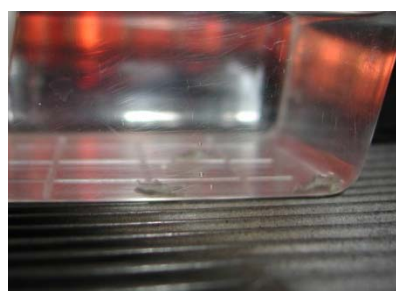


図5 プラナリアの死亡確認

(3) 考察

仮説通り、写真を撮った順番に見ていくと体が裂けていき、白いものが体の中から出てくる様子がわかった。そして、途中でプラナリアが体をよじっていることから苦しんでいるのではないかと考えられる。よって、プラナリアにとって「高温」とは過酷な環境であり、形態が崩れてしまうほどのダメージを細胞レベルで受けるのではないかと考えられる。

5. 今後の課題

今回の実験では、「高温」という環境下での観察を行ったため、より細かく「どの温度でプラナリアは死んでしまうのか」ということを詳しく調べる予定である。また、プラナリアは死ぬ温度になったら急に死んでしまうのか、それとも徐々に温度が上がっていくにつれてダメージを受けていくの

かを調べようと考えている。そして、なぜ水温上昇によって死んでしまうのかを調べる。それには、死んだプラナリアの個体を顕微鏡で観察し、細胞内に変化が起こっているのかいないのか、また起こっているとしたらどんな変化なのかを調べる必要があると考えている。そして死亡過程観察実験において、体の中から出てきた白いものは何なのかを調べ、なぜ体が裂けるのか、その白いものはなぜ死んだら出てくるのか、ということも同様に調べていこうと考えている。

6. 謝辞

今回の研究をするにあたり、指導していただいた櫻井先生に深く感謝いたします。

シカのフンを用いた除草剤の開発

4年C組 林 由佳里

指導教諭 櫻井 昭

1. 要約

世界遺産に指定されている、古都奈良。いにしえより神の使いとして敬われているシカが生息する飛火野には青いシバが広がっている。なぜ飛火野のシバはいつも短く青く広く保たれているのだろうか？私はこのシカとシバには何か関係性があり、その関係を媒介するのがフンではないかと考えた。シカのフンの中には *Zoysia japonica* を含む数種の植物の種子が含まれていることが確認されている。ではシカが食している種子とはどのようなものか。これらの種子はどのような種類のものか確認するため、フンを砕いて埋めてみた。するといくつかの種類の芽が出てきたが、*Zoysia japonica* 以外のものは枯れ、*Zoysia japonica* だけ成長を続けた。牛や豚などの動物のフンを用いた肥料では *Zoysia japonica* 以外の植物も成長する。通常ならば、シカのフンは肥料になれるはずだ。だがなぜ *Zoysia japonica* だけ成長したのか？なぜ他の植物は枯れたのか？私は強い疑問を感じ、研究を始めた。まず植物を枯らすことのできる物質の特定を試みた。そして私は考えられる、菌・窒素・植物由来の化学物質であるアレロパシー物質などのすべての要因を実験した。すると観察実験を重ねるにつれ、*Zoysia japonica* 以外の植物を枯らす原因が *Zoysia japonica* から抽出される物質であると考えに至った。またこの物質を含む溶液を抽出し効果を確認できた。この現象を利用してシカのフンから天然素材の環境に優しい除草剤を作れるのではないかと着想した。

キーワード シカのフン、*Zoysia japonica*、*Poa pratensis*、アブラナ、シバ種子
アレロパシー

2. 緒言

私の学校のごく近くに奈良公園飛火野がある。そこには青いシバが生えており、数多くのシカがいる。飛火野にはシバが多く生育し、他の草の生育は殆ど見られない。だが、このシバのみが除草剤なしで、広い飛火野の敷地をカバーするのは難しいのではないかと考えた。シカが食する事による刈り込み、及びシカや人による踏みつけのみではシバは他の植物の侵入を許してしまうからだ。シバは庭やグラウンド、ゴルフ場などで見ることができる。これらのシバは奈良公園のものと同様に刈り込みや踏み

つけの作業を行っている。そして、たいいていの場合、クローバーなどの外来の植物に入り込まれないようにするため、除草剤を散布している。除草剤などの薬物は環境に悪影響を与えと考えられている。我が校もグラウンドにシバを植える事業を始めたが、環境悪化を防ぐため、除草剤の散布を控えている一方で、雑草の侵入に悩まされている。なぜ奈良公園には除草剤を散布していないにもかかわらず、シバ以外の草があまり生えていないのだろうか？私は奈良公園の生態系、特に奈良公園に落ちているフンにその答えが隠されているのではないかと

考えた。そして、それを使えば、環境に優しい除草剤を作ることができるのではと考え、私は研究に着手した。

3. 研究目的

シカのフンに含まれる発芽を抑制する物質を抽出する。

4. 研究過程

I 土に埋めたフンの観察

奈良公園においてシバ(学名 *Zoysia japonica*、以下 *Zoysia japonica*)が多く生育するのはシカのフンの影響なのではないかと考えた。常にシカのフンが落ちている奈良公園には *Zoysia japonica* が盛んに生育しているからだ。そこで奈良公園からシカのフンを採取し、バーミキュライトに埋めて観察を行った。

0)予備実験

あらかじめ、種子の発芽する好条件を確認するため、予備実験を行った。

その結果、種子の発芽実験には温度管理と水が必要不可欠であることが分かった。又、1つの実験結果が出るまでには2週間の期間を要する為、実験期間中、条件を満たし続けなくてはならない。

乾燥気味になるインキュベータ内や真夏の温度管理は極めて困難である。インキュベータを用いず実験を行える5月～6月と9月～10月の間に実験を行った。

1)実験方法

①牛乳パックにバーミキュライトを270cc入れた培養器を用意する。

②あらかじめ奈良公園で採取したシカのフン50粒を砕いて培養器に埋める。(H19 10/20採取。)

③予備実験で春秋の気候に合わせるとシバの発芽率が安定すると実証済みであるため、日較差を大きくした温室に②を入れ、イオン交換水を与え、2週間観察する。

2)仮説

①シカのフンの中には5月と10月に *Zoysia japonica* の種子が入っていると確認しているため、*Zoysia japonica* の種子が発芽する。

②*Zoysia japonica* 以外の種子もシカのフンの中に入っていると考えられるので、*Zoysia japonica* 以外の種子も発芽する。

3)観察結果

2週間後、シカのフンから *Zoysia japonica* の種子の発芽が認められた。その後さらに2週間 *Zoysia japonica* の種子の発育を継続観察した。その時、*Zoysia japonica* 以外の種子の発芽も認められた(図1)。しかし *Zoysia japonica* 以外の植物は、発育不全となって枯れた。



図1 *Zoysia japonica* の子葉と双子葉

4)考察

シカのフンを埋めることによって *Zoysia japonica* の発芽及び育成は認められたが、*Zoysia japonica* 以外の子葉は枯れてしまった。シカのフンには *Zoysia japonica* 以外の植物の成長を阻害する性質があると考えられる。このことを利用して、シカのフンによるシバの除草剤開発ができるのではないかと考えた。そしてまずはシカのフンが *Zoysia japonica* の成長に影響を与えず、他の種子の発芽を抑えるという現象を厳密に確認することにした。そこで土の入った牛乳パックにシカのフンと *Zoysia japonica* 種子やその他の種子植物の種子を入れ、数週間観察を行うことにした。

II 植物の発芽実験・観察

II-1 シカのフンが *Zoysia japonica* の発芽に与える影響についての実験

I の実験の後も奈良公園の *Zoysia japonica* は生育不全にならずに成長を続けた。故に *Zoysia japonica* は奈良公園のシカのフンの影響を受けにくいと考えられる。これを確認し、*Zoysia japonica* に関する実験を行う為、私は奈良公園のシカのフンを持ち帰り、実験した。

1) 仮説

シカのフンの影響やフンに含まれる *Zoysia japonica* の種子の影響を *Zoysia japonica* の種子は受けないだろう。

2) 実験方法

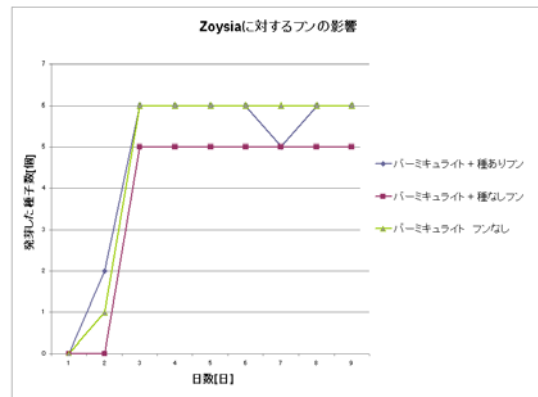
- ①牛乳パックに 270 cc のバーミキュライトを入れた培養器を三個用意する。
- ②シカのフンの中には *Zoysia japonica* が実をつける時期(5 月頃と 10 月頃)に種子が入っていることが確認されている。シカのフンに入っている *Zoysia japonica* の種子が与える影響を考慮するため、*Zoysia japonica* の種子が入っているシカのフン(5/17 採取)と入っていないもの(4/1 採取)とシカのフンを入れない培養器を 3 個用意して比較する。
- ③培養器にそれぞれ 100 粒ずつの種子を入れ、イオン交換水を与え、2 週間観察を行う。
- ④同じ実験を 2 週間ずらして、3 回行った。



図2 フンを入れての *Zoysia japonica* の発芽

3) 観察・実験結果

横軸に日数、縦軸にその日の発芽数をとって実験を行った。牛乳パックにバーミキュライトとシバの種の入ったシカのフン、種のないシカのフン、コントロールを作成し、観察を行った。



①どの培養器も 5 ～ 6 個の発芽で大差がみられなかった。

②9 日以降も発芽は認められなかった。

4) 考察

①グラフより、どの培養器も発芽した種子数がかかわらないので、*Zoysia japonica* はシカのフンの影響を受けにくい。

②フンの中に *Zoysia japonica* 種子が入っていても、入っていても発芽した種子数が変わらない。よって、*Zoysia japonica* の発芽には、フンに入っている *Zoysia japonica* 種子の影響を受けにくい。

5) まとめ

シカのフンの影響及び、シカのフンに含まれる *Zoysia japonica* の種子の影響のどちらも *Zoysia japonica* は受けにくいことがわかった。

II-2 シカのフンが *Zoysia japonica* 以外の種子に与える影響

II-1 より、奈良公園の *Zoysia japonica* の種子はシカのフンの影響を受けにくいことがわかった。では *Zoysia japonica* 以外の種子はシカのフンの影響を受けるのだろうか。このことを確認するため、私はアブラナとシバの一種ケンタッキー・ブルーグラス(学名 *Poa pratensis*、以下 *Poa pratensis*)を使って比較対照実験を行った。

1) 仮説

①アブラナは双子葉植物で種子も大きく、発芽率も高い(ほぼ 100%)植物なので *Poa pratensis* よりも発芽する数が多いが、シカの

フンの影響を受けるだろう。シカのフンを埋めたとき、双子葉植物の子葉が枯れてしまった。故に同じ双子葉植物であるアブラナも影響を受けると考えた。

②単子葉植物は *Zoysia japonica* 以外、奈良公園であまり見かけないので *Poa pratensis* の発芽する数は多くない。

2)実験方法

①牛乳パックにバーミキュライトを270cc入れた培養器を4つ用意する。



図3 アブラナ、*Poa pratensis* とフン

②培養器ひとつあたり、大きさをそろえたシカのフンを20粒ずつと、アブラナの種子を25粒入れたものと、*Poa pratensis* の種子50粒。さらに、それぞれのコントロールを作成した。また、シバの他に、*Poa pratensis* を用いたのは発芽率が高く安定しており、容易に大量に入手できるためである。

③イオン交換水を与えて3週間観察を行う。

④同じ実験を2週間ずらして2回行った。

【検証方法】

統計学入門([1])によると、サンプル数 n に対して実験の効果が出たとされる数は $\sqrt{n}$ となる。故に今回、25粒(50粒)のサンプルを用いたため、5本(7本)発芽数に差が出た時、実験の効果があつたとする。

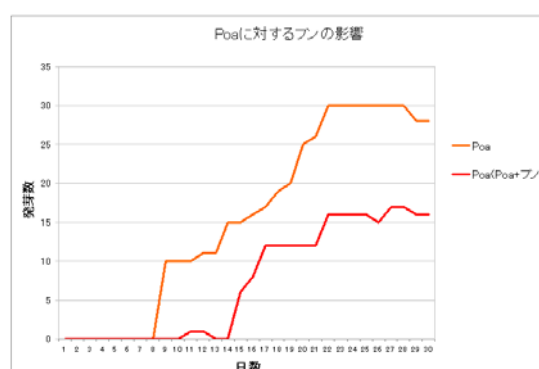
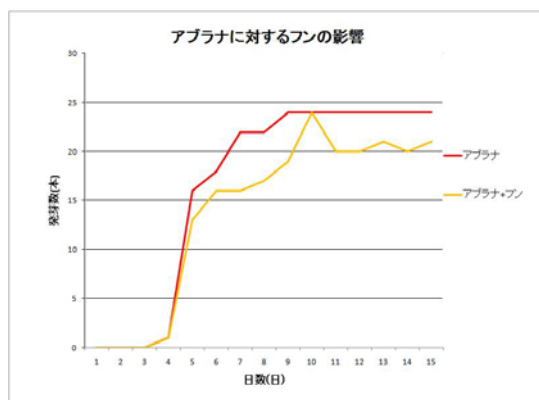
3)観察・実験結果

培養器にシカのフンと *Poa pratensis* またはアブラナを入れて観察を行った。横軸に日数を、縦軸にその日発芽している種子数をとった。

4)考察

①アブラナは *Poa pratensis* よりも最終的な差が小さくフンの影響を受けにくかった。だが、シカのフンにより除草効果があることがわかった。

②*Poa pratensis* はアブラナよりも上昇の仕方



が緩やかであるのでフンの影響を受けやすく、かなり発芽率が低くなったと考えられる。③*Poa pratensis* の発芽が始まった時とアブラナの発芽が始まった時には空白があった。故にシカのフンは *Poa pratensis* の発芽を一週間ほど遅らせる効果が見られたと考えられる。

III フンが植物の発芽を抑制した理由

シカのフンがアブラナと *Poa pratensis* の発芽を抑えた理由として、i) ~ iii) の様な理由が考えられる。

i) フンに含まれる菌の影響

シカの体内では、胃の中や腸内に菌を保有し、植物の栄養を吸収している。また、文献調査で放線菌がある一定の植物の成長を促進することがあるとわかった。

故にシカのフンの中にもそのような菌がいると考えた。

ii) シカのフンに含まれる窒素の影響

シカのフンなど動物のフンにはアンモニア

などの大量の窒素が含まれている。窒素は植物にとって最重要の養分だが、過多になると、植物の免疫力が衰える。シカのフンのこのような要因によって植物が枯れると考えた。

iii) シカのフンに含まれるシバ(葉)の影響
予備調査でシカのフンの中にシバの繊維を発見した。このことから、シカはシバを食してシバの成分を取り込んでいると考えた。シバの葉からアレロパシーという他の植物や他の生物に阻害的あるいは促進的な何らかの作用を及ぼす物質がでると文献調査でわかった。
故にシカのフンの中の *Zoysia japonica* の成分が他の種子の発芽に何か影響を及ぼしていると考えられる。

IV 私はこれらの i) ~ iii) の影響を考慮した実験を行った。

i) フンの菌を培養する

なぜIIのような現象が起こったのだろうか。私は原因を追及するため、まず菌の培養を行った。菌の培養実験を行ったのは、文献調査で放線菌がある一定の植物の生長を促進することがあるとわかったからだ。そこで放線菌をフンから取り出すことが可能なのではと考え、培養実験を行った。

1) 実験方法

①滅菌水と砕いたフンを VORTEX で攪拌する。

②遠心機で 1000g で 3 分遠心する。

③遠心した上澄みを 300 μ l 取り、LB 培地で 37 $^{\circ}$ C の状態で 3 日間培養する。



図4 培養する様子

2) 実験結果

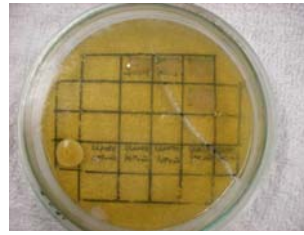


図5 二種類の菌

二種類の細菌が培養できた。一種類の菌はひどい腐乱臭を呈していた。もう一つの種類の菌は寒天培地の表面ではなく寒天培地の中にコロニーを形成していた。

このことから、嫌気性の菌でフンに含まれていても外気にさらされると死んでしまうと考えた。

3) 考察

これらの菌の特徴はシカのフンを用いた実験に全く観察されなかった。故にこれらの菌は種子の除草に関係するとは考えにくい。菌以外での除草効果を一度考えることにした。

ii) 窒素濃度の測定

IIの実験の際、発芽したアブラナの芽を一本取り出してコントロールと比較してみた。



図6 コントロールとシカのフン入りの比較

シカのフンを入れた培養器で発芽させた芽はコントロールより茎が太く、根が細長かった。この症状は窒素過多の症状と酷似していた。ただ、窒素過多の最大の特徴である細胞壁の肥大は、顕微鏡で観察したものの両者にあまり変わりはない。

しかし、可能性のある要因はすべて調べようと思い、土の窒素濃度を測定した。シカのフンや奈良公園の土は窒素濃度が高い為に他の種子が成長しにくいのではないかと、*Zoysia*

japonica においては長年の間にアンモニアなどの窒素過多の状態に耐性が培われたのではないかと考えたからだ。

1) 仮説

① 奈良公園とシカのフンの窒素濃度は本校の中庭などの土壌よりも高い。

② 一週間室温で放置したシカのフン、奈良公園の土、本校の中庭の土は硝酸、亜硝酸濃度が増加している。

2) 実験方法

窒素濃度が高いと考えられる奈良公園の土、シカのフン、バーミキュライト、窒素濃度が標準的と思われる学校の中庭の土、この4つを比較する事にした。

① シカのフン、バーミキュライト、奈良公園の土、学校の中庭の土を採取し、それぞれ1gずつ取り、イオン交換水で全量20mlになるように溶かす。

② シカのフン、バーミキュライト、奈良公園の土、中庭の土をそれぞれ20ml VORTEX チューブに入れ、攪拌する。

③ 攪拌したものを1mlずつ取り出し、遠心分離器で6000g 5分遠心する。

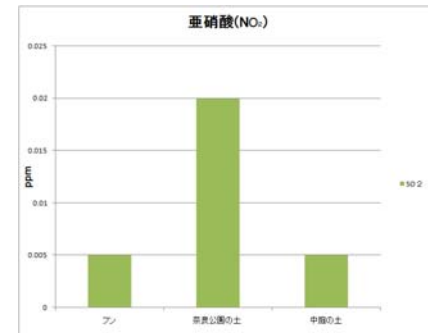
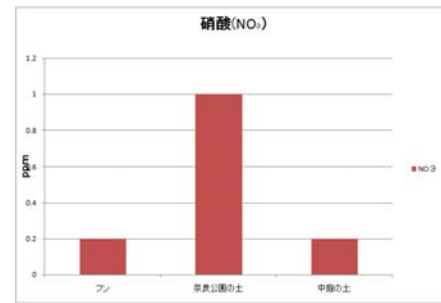
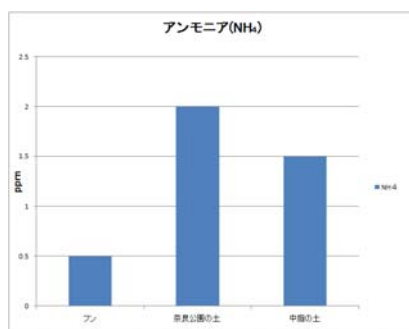
④ 分離したものを市販のパックテストで窒素濃度(アンモニア濃度、硝酸濃度、亜硝酸濃度)を測定する。

⑤ 2週間後、2週間後と室温(28℃)で放置したシカのフンの窒素濃度を測定する。

⑥ 今回パックテストを用いて窒素濃度を測定したのは、安価でかつ簡単に測定でき、今回の実験の目的は通常の土と窒素濃度を比較する為だからである。

3) 実験結果

実験結果を窒素濃度のグラフで表す。



グラフ4 窒素濃度の比較

フン、奈良公園の土、中庭の土を採取し、それぞれの態窒素濃度を測定した。縦軸に濃度をとっている。

① バーミキュライトは値がすべて0だった。

② 1週間後、2週間後と放置したシカのフンの窒素濃度もあまり変化がなかった。

4) 考察

奈良公園の土の窒素濃度・アンモニア濃度、及びシカのフンの窒素濃度・アンモニア濃度、これらは種子を窒素過多で枯らすには低すぎるため、窒素過多によって種子の発芽が抑さえられるということはないだろうと考えた。また、窒素の多い土壌に生息するはずのナンキンハゼやイラクサが奈良公園にあまり見られないことから、窒素過多による除草効果はないと考えた。

シカのフンは1週間、2週間後ぐらいでは窒素濃度に変化を起こさないため、*Zoysia japonica* やその他の種子に影響を及ぼすとは考えにくい。

iii) -1 シバのアレロパシーについて

ではなぜ奈良公園にはシバが多く生息するのだろうか。文献調査でアレロパシーというものを知った。アレロパシーとは、「植物から放出される化学物質が他の植物や微生物・昆虫に対して阻害的あるいは促進的な何らかの作用を及ぼす現象」と定義され

ている。文献調査で *Zoysia japonica* にも他の草に対するアレロパシーがあることが確認されていた。また、*Zoysia japonica* のアレロパシー物質は葉から放出されていることがわかった。シカのフンの中にはシバの葉の繊維が入っているため、シバの葉に含まれるアレロパシー物質が入っていると考えられる。しかし、アレロパシーの化学物質の特定や抽出方法については、かなり文献調査を試みたが、特許の問題もあり、極めて困難であることがわかった。文献調査には限界があるため、私は実験を行った。

1) 仮説

① *Zoysia japonica* の葉を入れた培養器の発芽数が、何も入れていない培養器(コントロール)よりも少なければ *Zoysia japonica* の葉が他の種子の発芽を抑制すると言えるだろう。

② イオン交換水のみを与えているため、効果が出ればアレロパシー物質は水溶性であると言えるだろう。

2) 実験方法

まず、アレロパシー物質が油性か水溶性かを確かめる為に、次のような実験を行った。

① 牛乳パックにバーミキュライト 270cc を入れた培養器を 4 個用意する。



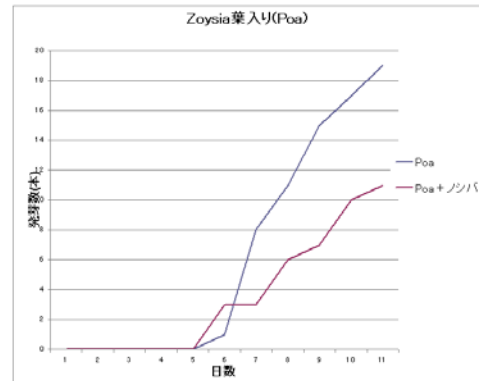
図7 アブラナ、*Poa* と *Zoysia japonica* の葉

② アブラナ 25 粒と *Poa pratensis* 25 粒、奈良公園から採取した *Zoysia japonica* の葉を細かく (2 mm から 5 mm) 剃刀で刻んだものをそれぞれ 0.5g ずつ培養器に入れていく。

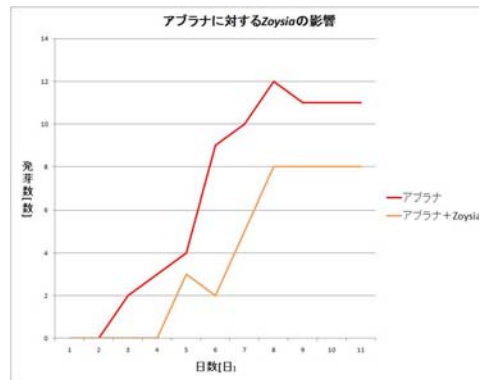
③ それぞれのコントロールを作る。

④ イオン交換水を与えて 2 週間観察を行う。

3) 実験結果



グラフ 5 *Zoysia japonica* を入れた発芽率



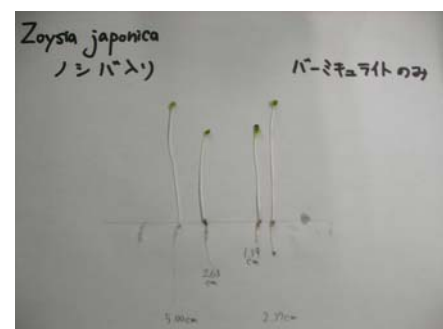
グラフ 6 *Zoysia japonica* を入れた発芽率

① *Zoysia japonica* を入れた培養器の発芽率が何も入れないものよりも発芽率が低いことがわかる。

② *Zoysia japonica* の葉を入れた培養器はアブラナ、*Poa pratensis* 共に発芽が遅れ、さらに発芽率も低くなった。

4) 観察

では *Zoysia japonica* の葉を土にいたアブラナの状態はどうなのだろうか。私はアブラナを取り出して観察した。



茎の長さがほとんど等しいアブラナを抜き、根の長さを観察した。*Zoysia japonica* を入れないアブラナの根の方が短く、*Zoysia japonica* を入れたアブラナの根が細長かった。この症状はシカのフンを入れたときのものと一致していた。このことからシバのアレロパシー物質はシカのフンにも入っていると考えられる。

5) 考察

①*Zoysia japonica* の葉にはアレロパシーがあり、水溶性ではあるが、ゆっくりと流れ出す為、シカの体内ですべて流れ出してしまうことはない。

②シカのフンの中には *Zoysia japonica* の残留アレロパシーがある。これが作用して、*Zoysia japonica* 以外の植物の育成を排除していたと考えられる。

iii) - 2 アレロパシー物質が水溶性であることを確認する

さらに、*Zoysia japonica* のアレロパシー物質が水溶性であることを確認する為、*Zoysia japonica* の葉を湯で抽出した抽出液、つまり“お茶”を作り、実験した。クローバーはアレロパシーの強い植物である。今回、*Zoysia japonica* のアレロパシー物質の強さを確認する為、イオン交換水を入れる培養器の他に、クローバーの抽出液を入れる培養器を作った。

1) 仮説

Zoysia japonica の抽出液を入れる培養器の発芽数はイオン交換水を入れる培養器よりも少ない。

2) 実験方法

①*Zoysia japonica* の葉、クローバーの葉を採取し、乾燥させる。

②乾燥させた *Zoysia japonica*、クローバーの葉を 2g 取り、それらを切らずに 40℃の湯で 60 時間抽出する。それぞれの葉の出廻りしは腐敗しやすくなるので、捨てることにした。

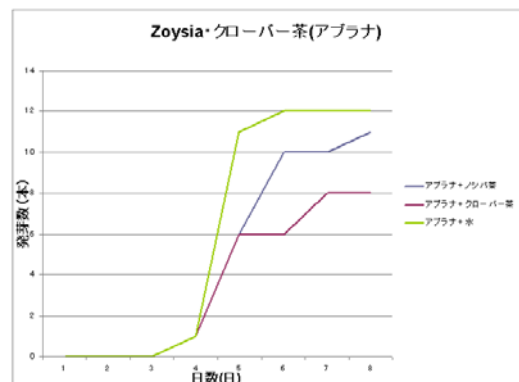
③ 3 つの培養器にアブラナの種子を 25 粒ずつ入れ、それぞれの容器にイオン交換水、*Zoysia japonica* の抽出液、クローバーの抽出液を毎日 30cc ずつ与えて観察を行う。



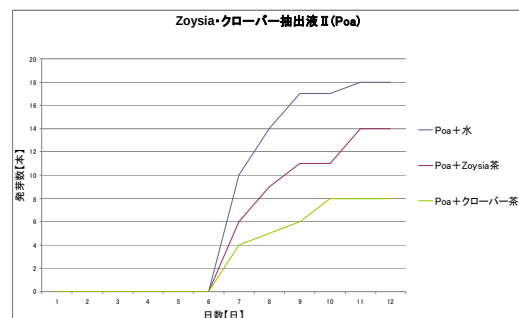
図9 *Zoysia japonica* 茶とクローバー茶を入れた実験

3) 実験結果

牛乳パックに *Zoysia japonica* 茶、クローバー茶、水を入れ、それぞれを観察した。



グラフ7 アブラナとアレロパシー



グラフ8 *Poa* とアレロパシー

横軸に日数、縦軸にその日の発芽数をとった。

①*Zoysia japonica* 抽出液、クローバー抽出液を与えた培養器は水のみを与えたものより共に低い発芽率となった。

②*Zoysia japonica* の抽出液よりもクローバーの抽出液の方が除草効果は高い。

4)考察

今回、シバの葉からアレロパシー物質を抽出しようと試みた。結果、ある程度アブラナや *Poa pratensis* の発芽は遅くなり、発芽率も低くなったが、シカのフンよりは除草効果は劣った。次回からどのように抽出すればよりアレロパシー物質が多く抽出できるか、なぜアレロパシー物質が他の植物の成長を阻害するのか、また *Zoysia japonica* のアレロパシー物質とシカのフンに含まれる除草効果を持つ物質は同一のものかどうかなどの疑問を解決したい。

iii)-3 *Zoysia japonica* のアレロパシー物質の特性

Zoysia japonica はアレロパシー作用を持ち、アレロパシー物質は水に溶けることができることがわかった。ではアレロパシー物質は他にどのような特性があるのだろうか。私は抽出した後の植物の葉も用いて実験した。

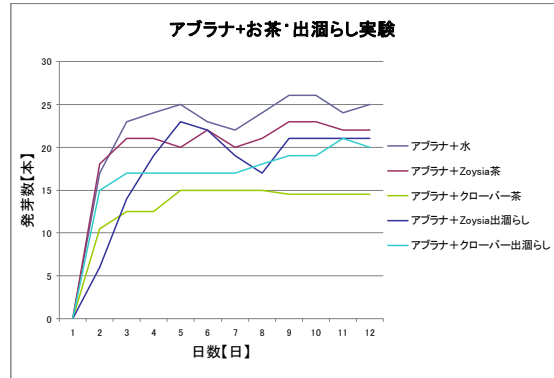
1)仮説

抽出した後の植物(お茶の出涸らし)には水溶性のアレロパシー物質が水中に溶け出す為、お茶よりもアレロパシー効果は低く、除草効果は殆どない。

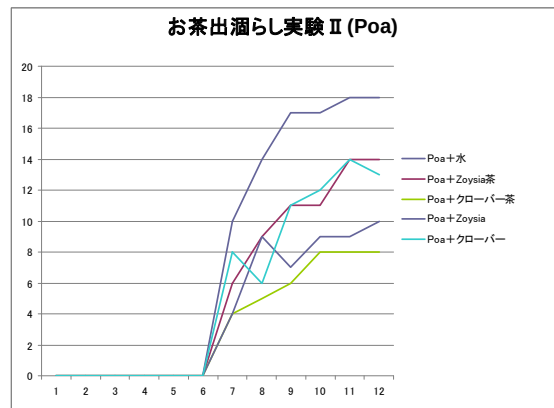
2)実験方法

- ① *Zoysia japonica* を細かく刻み、2g を 40℃～50℃で 88 時間抽出する。(今回の実験では、シバのアレロパシー物質がより早く、濃度を上げて抽出をし、出涸らしの不活性を示す為に前回よりも抽出温度をあげた)
- ② *Zoysia japonica* の出涸らしを 2g 取り、乾かす。
- ③ *Zoysia japonica* の抽出液を一日に 50cc 与える条件、出涸らしを土に混ぜた条件、コントロールの条件を作り、*Poa pratensis* とアブラナの発芽率を観察する。

3)実験結果



グラフ 9 アブラナ+お茶・出涸らし実験



グラフ 10 Poa+お茶・出涸らし実験

4)考察

- ① *Zoysia japonica* 茶、*Zoysia japonica* 茶出涸らしは共にアブラナ、*Poa* を除草する。
- ② クローバー茶、クローバー茶出涸らしは共にアブラナ、*Poa* を除草する。
- ③ クローバー茶は *Poa* を強く除草することが示されたが、クローバー茶の出涸らしにはクローバー茶ほど大きな効果が出なかった。
- ④ *Zoysia japonica* 茶出涸らしは強く *Poa* の除草をするが、アブラナにはあまり効果がない。
- ⑤ *Zoysia japonica* のアレロパシー物質はゆっくりと水に溶け出すがクローバーのアレロパシー物質は比較的短時間で水に溶け出す。このことにより、*Zoysia japonica* のアレロパシーはシカの体内にあるあいだでは、十分に放出しないで、フンのなかに他の植

物を除草する効果のあるアレロパシーを残していると考えられる。

5. まとめ

なぜシカのフンを入れた容器には *Zoysia japonica* 以外の植物が成長しないのだろうか？この疑問を解決するため、研究に挑んだ。そして、シカのフンを入れることによって植物が成長しなくなるという現象を私が初めて確認した。

紆余曲折した結果、シカのフンによる除草効果はシカのフンの中にある葉から放出しているアレロパシー物質だという結果を導き出した。*Zoysia japonica* の葉から放出しているアレロパシー物質は水溶性で、ゆっくりと水に溶け出すためシカの体内にある間では、十分に放出せずフンとなって、シカが排出する。この天然物質であるアレロパシー物質を利用してシカのフンから除草剤を作り出すことは可能だと思う。これには利点が2つある。第1には自然に優しい有機除草剤であること。第2にはフン中の種子による発芽により相乗効果があり、より遠く、より広くシバをグラウンド・カバーすることができる。

6. 展望

* 色々な種類の *Zoysia japonica* のアレロパシー物質を特定したいと思う。また、校庭のシバであるバミューダ・グラスの除草剤も開発したいと思う。

* 植物のアレロパシーと動物のフン中の種を利用して、放牧により砂漠化している地域の飼料革命ができると思う。

* これから、安芸の宮島もシカの為に芝生を植えようとしている。奈良公園の様に美しいシカとシバの実現を、この研究を利用して遂行して欲しいと思う。

* 決められた期間と空間においての動物と植物を食料として生成していくことにも利用できるのではないかと考えられるので、宇宙農業開発などにも役立つと考えている。

7. 参考文献

- [1] 「統計学入門」、平林宏朗
- [2] 「シカが育てるシバ草原」、高槻 成紀
- [3] 「植物とアレロパシー」
<http://www.pref.nara.jp/nogyous/nousou/midori-min>
- [4] 「暖地型芝草におけるアレロパシーと雑草の抑制'99」、伊藤健一、浅野義人、千葉大学園芸学部、千葉大学大学院自然科学研究科
- [5] 「火星居住のための昆虫を考慮した宇宙食の構想」、片山直美、山下雅道、和田秀徳、三橋淳、宇宙農業サロン
- [6] 「鹿愛護会 HP」 www.naradeer.com

8. 謝辞

この研究を進めるにあたり、奈良女子大学生生活環境学部植野洋志教授にご助言を頂きました。この場を借りてお礼申し上げます。

ダイラタンシー

3年B組 中井 美嘉
3年B組 山本 奈都美
指導教諭 藤野 智美

1. 要約

私たちサイエンス研究会地学班は、液状化現象について調べていたところ、「ダイラタンシー現象」という言葉を知り、興味を持ったので本やインターネットを利用して調べてみた。また、実際にダイラタンシー現象を体感するための実験を行った。

キーワード ダイラタンシー、レオロジー、ダイラタント流体

2. 研究の背景と目的

地盤の液状化とは、埋め立て地などの水を含んだ砂の地盤で起こりやすい現象である。このような土地では砂粒どうしの隙間に水が多く含まれている。地震等の振動によって砂地の地盤がゆるみ、並んでいた砂粒がばらばらの状態で水に浮いて液体のようにふるまう。これにより建物は地面に沈み、反対に地下にあったマンホールや地下鉄の駅が地上にでてくる等の災害が起こる。

この液状化現象を調べていたところ、ダイラタンシーという言葉を知った。調べてみると、この現象はレオロジーという分野に関係することがわかり、液状化現象との関わりが気になったので、調べてみた。

ダイラタンシー現象とは、「普段は液体の性質を示すが、力を加えと一時期的に固体の性質を示す」現象のことである。力を加えることを止めると、また液体の性質を示す。

物理学者のオズボーン・レイノルズが

発見したことから、「レイノルズ現象」と言われることもある。

また、この現象が起きる流体を「ダイラタント流体」という。ダイラタント流体は非ニュートン流体である。

ダイラタンシー現象は、片栗粉と水を混ぜたものや、海岸などでよくみられる。能登半島の千里浜はこれであるため、砂浜に自動車を走らせてもタイヤが沈まずに、ちゃんと走れるのである。

バラエティ番組で取り上げられるほど、身近で親しみやすい現象だといえる。

※物質の変形や流動に関する学問のことを総じてレオロジーという。レオロジーは流体の粘性などを対象にした学問分野で、その代表がニュートン流体と非ニュートン流体である。流体とは自由に変形できる気体や液体のことで、その粘性というのは要するに流体の流れる上での摩擦抵抗（これはむしろ地学よりも物理に近

いと言える)である。簡単に説明すると、ニュートン流体というのは、加える力と物質の変形(流動)が比例関係にある流体のことで、水や潤滑油など身近にもよく存在する。対して、非ニュートン流体は複雑な成分の流体で成り立つ現象であり、加える力によって粘度(流れる速さ、物体の固さ)が変わる。ダイラタンシーは、この非ニュートン流体の性質をもつ物体である。

今回は、液状化現象ではなくダイラタンシー現象自体に焦点を当てて研究を行い、ダイラタンシー現象を体感して、この現象はどうして起こるのか、原因は何なのかを理解した。

3. 研究内容

(1) ダイラタント流体の作り方

ダイラタンシー現象は、料理をする人ならだれでも見たことのある身近な現象である。水溶き片栗粉を作る際に、この現象は多くみられる。

つまり、ダイラタント流体を作るには、片栗粉と水を混ぜるだけでよい。この二つの割合は、情報源によってまちまちであり、粉質によって必要な水の分量は変わってくる。

■用意するもの

- 容器(ボウルのようなもの。この中にダイラタント流体を作る)
 - 片栗粉 200cc(適宜)
 - 水 100cc(適宜)
- 片栗粉と水の比率はおおよそ2:1と

する。

■作り方

- ①容器に片栗粉をいれる。
 - ②片栗粉を入れた容器に水を加え、かきまぜる。
 - ③ダイラタンシーのできあがり。
- 握っている間のかたく、手を離すとドロドロに溶けてしまう。

※もし出来上がったものが粉っぽかったり水っぽかったりした場合、必要に応じて水か片栗粉を加える。

手順の②でいきなり全ての水を入れずに、少しずつ加えて様子を見ていけば、水の入れ過ぎを防げるので、片栗粉の量に限りがあっても失敗することなく作れて安全である。図1に作成時の写真を掲載する。

(2) 仮説

片栗粉を水に混ぜるとダイラタンシー現象特有のふるまいをした。調べた結果、ダイラタンシー現象は片栗粉の粒子が最密充填に水中で並ぶために起きているということがわかった。

そこで、私たちは他の粒子でもダイラタンシー現象は起きるのではないかと推測した。

※最密充填とは、粒子間の隙間が最小になる粒子の並び方のことである。粒子は互いに結合されておらず、また、変形できない。この並び方をした粒子は、縦からの圧力に弱い。リングなどをピラミッド状に積み上げたものが最密充填構造に近い積み上げ方と言える。



図1 ダイラタンシー作成の様子

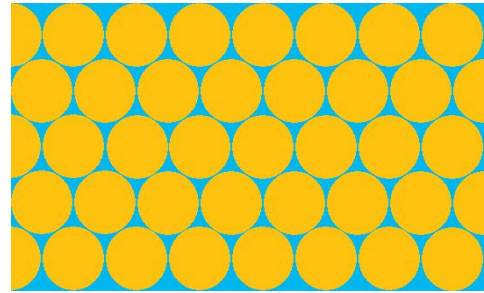


図2 最密充填構造

3) 研究方法

きな粉、砂糖、食塩、小麦粉、白玉粉、片栗粉、コーンスターチをそれぞれ水に混ぜて触り、様子を見る。

(4) 研究結果

片栗粉とコーンスターチでダイラタンシー現象が見られたのに対し、他のきな粉、砂糖、食塩、小麦粉、白玉粉では見る事ができなかった。

片栗粉とコーンスターチの水溶液はダイラタント流体である。

また、加える水の量によって結果は大きく変わった。水と混ぜることによってダイラタンシー現象を起こす片栗粉も、水分が少なすぎると粉っぽくなり、流体にはならないのである。とはいえ、水を多く加えると上手くいくというわけではなく、ダイラタンシー現象を起こすためには適宜の水分量が必要であることがわかった。私達は、これをおおよそ水：片栗粉が3：2の割合であると考えた（ある程度比率が異なっても問題にはならない）。

4. 考察

実験結果から、片栗粉とコーンスターチ以外にはダイラタンシー現象の起こ

る食品は身近に存在しないことがわかった。

最初私達は、これは粒の大きさが原因だと考えていた。しかし、海辺の砂でも同様の現象が起こることから、粒のサイズが直接的には現象の発生の有無と関係しないと考え、ダイラタンシーが起こるか否かは粒子の粒の大きさの均一性と、粒子の並び方によって決まるという結論に達した。

<片栗粉で成功した要因>

先ほどの考察をもとに、片栗粉の粉について考えてみる。片栗粉は植物のデンプンを精製した調理用の粉である。デンプンの粉は水に溶けない小さな粒でできていて、その大きさが比較的均一である。この性質から、先ほど述べた最密充填構造をとると考えられる。最密充填構造でできる粒子間の隙間に水が入り込む。力を入れるとすき間が広がり、水が吸い込まれることで表面は乾いた状態になる。これによって固体の状態になる。力を緩めると隙間が狭まって、水が表面に流れ出る。これによって液体の状態になる。このような性質は片栗粉の大きさとその均一性によって引き起こされたと考える。

<その他の実験結果について>

今回の実験結果から、片栗粉とコーンスターチの粒子の並び方は最密充填の性質を持っているが、他の食品はそうではないということがわかる。

小麦粉は見た目が片栗粉と似ており、原料のほとんどは片栗粉と同じデンプ

ンである。しかし、こちらは粘り気のあるタンパク質も含んでいるため、水を加えると粘りが出てしまい、ダイラタンシー現象は起きないのである。

最密充填という粒子の構造自体、水に溶けない微粒子によってできるものなので、水に溶けてしまう食塩や小麦粉でこの現象が起きないことは当然とも言えるだろう。

粉に加える水分量については、多すぎても少なすぎてもダイラタンシー現象は起こらないということがわかった。

<ダイラタンシー現象の仕組み>

実験結果を受けて、ダイラタンシー現象の起こる仕組みを簡単に述べてみる。

ダイラタント流体に力を加える（外側から圧力をかける）と最密充填の粒子と粒子の間の隙間がなくなって、水分は内側に閉じ込められる。それによって物質の表面は固まり、外見は固体のようになる。ダイラタント流体は固体になるのではなく、一時的に固体の性質を持つのである。元々あった水分は、無くなったわけではないので、力を緩めるとまたすぐに滲み出てきて、物体は流体の性質に戻る。

このとき、水分が少なすぎると、粒子は自由動き回ることにはできないので、当然この現象は起きない。では、水が多すぎる場合はどうだろう。粒子に対する水の量が多くなってしまうと、粒子間の隙間が最も狭い最密充填にはならないので、ダイラタンシー現象は起きない。力を加えても（圧力をかけて

も) 水が物体の内側に閉じ込められることはなく、粒子の隙間から滲み出てしまう。

ダイラタンシー現象は海岸や片栗粉のほか、水田などの泥沼でもみられる。圧力をかけると固くなるため、上を走ることはできるが歩けない。力を入れた瞬間は非常に硬くなるため、実際にダイラタンシーの水田に飛び込んで、怪我をしたという事例もある。

＜ダイラタンシーと液状化現象＞

ダイラタンシーと液状化現象の関係性については、今回調べた「ダイラタンシー」と、「液状化現象としてのダイラタンシー」はどちらも同じ現象だが、その起こる仕組みに違いがあるのではないかと考えた。

調べてみたところ、物体の中の面に対して平行方向に働く力を作用させることにより、体積変化が生じる現象が「ダイラタンシー」であるといえる。

体積が収縮する場合は、変形によって粒子が下方の隙間に充填する。粒子の混ざっている物質が水の場合は粘性が大きいので、粒子が他の粒子間の隙間の通過に時間がかかり、動きは複雑になる。すると、下へ沈む速度が遅くなるため、一度水に浮いたような状態になる。このとき粒子同士の接触が無くなり、液体のように柔らかくなる。これが液状化現象である。

一方、膨張する場合は、粒子間の隙間が拡大していく。粒子間の物質が水だとすると、隙間が膨張しようとするためにそこに水が入らないので、表面が

ひび割れる。これが一般にいうダイラタンシーであり、今回実験を行った現象でもある。

5. 今後の課題

今回わかったことは、ダイラタンシーという現象があり、またダイラタンシー現象は片栗粉やコーンスターチ、あるいは海浜の砂といった限られた物質（即ち粒子の粒の大きさが均一に細かく、その粒の詰まり方が最密充填であるもの）でしか起こらないことだ。

ダイラタンシー (Dilatancy) とは、英語で「膨らむ」という意味である。ダイラタンシー現象は水に溶けない微粒子が一定の割合で最密充填に水と混ざった流体に起きる。また、この水が多すぎても少なすぎてもこの現象は起きない。

ダイラタンシーと真逆の現象に、「チキソトロピー」というものがある。これはケチャップや底なし沼、ボールペン、ペンキなどで起こる、ダイラタンシー以上に身近な現象だ。

チキソトロピーとは、最初は固体だけけれど、掻き混ぜるなどして力を加えると一時的に液体の性質をもつようになり、加えるのをやめるとまた固体に戻る現象のことである。力を加えた時間、強さによって流動の様子が変わる。

チキソトロピーは特にレオロジーの代表的な対象である。これも非ニュートン流体の一種だ。

液状化現象について調べるのと同時に、流体の特性を知るために、こちらについても考えていきたい。

6. 参考文献

- [1]「米村でんじろうのサイエンスプロダクション」

<http://www.denjiro.co.jp/>

- [2]国土交通省 北陸地方整備局「液状化現象とは？」

<http://www.hrr.mlit.go.jp/>

- [3]中日新聞

<http://www.chunichi.co.jp/>

- [4]「化学の質問ありまへんか。」

<http://www.chemistryquestion.jp/index.htm>

7. 謝辞

多忙にも関わらず貴重な時間を割いて
私たちのために力添えをして下さった
藤野先生、誠にありがとうございました。

黄鉄鉱の秘密を探る

3年B組 小山 諒子

3年B組 古川 雄規

指導教諭 藤野 智美

1. 要約

サイエンス研究会地学班はのいくつかのテーマに別れて研究活動を行っている。その1つのテーマが地質であり、実際に鉱物を採取し、その鉱物について調査した。ここでは、その報告を行う。

キーワード パイライト、黄鉄鉱、硫化鉱物、大峠

2. 研究の背景と目的

普段、パワーストーンとして売られている鉱石は数多い。私達はそれらの鉱石の中から、パイライトという独特の形や色をしたものに興味を持ち、何故このような形になるのか、また、この石の持つ性質は何なのかということ調べてみたいと思った。

パイライトは通称「愚者の黄金」(fool's gold : 1872年初出)とも呼ばれており、外観が金(Au)に酷似していることで有名である。そのためかパワーストーンとしては、金運が上がるという名目で売られていることが多い。

また、鉱石ラジオに用いられることもあり、比較的ポピュラーであるといえる。今回は実際に奈良県で黄鉄鉱の産地として有名である大峠という場所があることを知り、この鉱物を実際に取りに行くことにした。さらに、採集した鉱物に対して、簡単な実験を行った。今後はその検証方法を事例に基づいて調べていきたい。

さらには、鉱石ラジオのキットを購入したので、自分達の採集してきた鉱石を使って、その鉱石ラジオを聴いてみたいと思う。

3. 研究内容

《黄鉄鉱とは》

・特徴

黄鉄鉱とは、硫化鉱物の一種であり、一番普通に産する硫化鉱物である。結晶しやすい鉱物の一つで、その形は五角12面体、立方体が多い。正8面体は比較的まれである。

英名である「パイライト」は、ギリシャ語「火」を意味する「pyr」に由来する。これは、黄鉄鉱をハンマーなどで叩くと火花を散らすことから名付けられた。

何故立方体のような形になるのかというと、鉱物を形成する結晶が「等軸晶系」と言われるもので、原子やイオンが積み重なってできた結晶が一定の形をしている(結晶の中に、長さの等しい軸が直角に交わっている)ので、黄鉄鉱は

自然条件下で見事な立方体を形成することができる。結晶の表面には条線があることが多い。外観色は淡い真鍮色から黄金まで様々でる。条痕色はほぼ黒の緑黒色。硬度は6－6.5。比重は4.95－5.10。鉄よりも固いが、湿気には弱く非常に脆くなる。

また、何らかの原因で表面が分解され、褐色を示すことがあり、その鉱石は「武石（ぶせき）」あるいは「升石（ますいし）」と呼ばれる褐鉄鉱として扱われる。

ちなみに、黄鉄鉱と同じ化学組成式(FeS_2)を持つ、白鉄鉱という鉱石もある。しかし同じ組成からどちらの鉱物ができるかは、生成の条件に大きく左右される。低温でアルカリ性の場合には白鉄鉱が、高温で酸性の場合には黄鉄鉱が生成される。金属鉱石を掘っている鉱山で、この鉱石を産出しない所はまずないが、金属鉱山でなくとも、黄鉄鉱はあらゆる岩石に含まれている。温泉作用を受けて変質した岩の中、粘土や粘土質の岩石の中にできることも多い。さらにはアンモナイト等の化石が黄鉄鉱化していることもある。

《大峠での採集》

① 採集地について

これらの下調べのもと、私達は実際に黄鉄鉱を採集しに行くことにした。奈良県での産地を調べたところ、奈良県桜井市と宇陀市の間にある大峠という産地を見つけた。実際に行ってみると、すぐ近くに大峠トンネルがあり、車では行きやすいところだった。私達は、桜井駅から「談山神社」方面のバスに乗り、「不動

滝」という駅で降りて数キロを歩いて登った。

9月6日、初めて大峠に行ったときは登り始めて30分程度のところにある露頭（以後、ポイント）でしばらく穴を掘ってみたが見つからなかった。その後、さらに30分程度登ったところに、広場のようなところがあり、その粘土質の露頭で数個の黄鉄鉱を採掘した。さらに少し険しい山道を少し登ると、粘土質の部分が広く広がっており、そこで多数の黄鉄鉱を採集できた。



図1 大峠の位置

② 採集地の土の特長

大峠は非常に特徴的な土をしており、普通の土とは違い、主に赤茶色や白色の粘土質の土があった。文献により調べたところ、水分が非常に多いことと、その白色の粘土の色は黄鉄鉱の産地の特徴であることがわかった。

③ パイライトの他の産地との比較

パイライトは当然日本に限らず、条件が整っていれば、世界中の鉱山で産出される。主な産地として、フランスのナブ

ハン鉱山(Navajun Mine, La Rioja)が挙げられる(図2)。写真で見る限りでは赤茶色と白色の土の層があり、大峠と似ている。図3～図5に今回大峠で実際に採集してきた黄鉄鉱の写真に掲載する。この写真からもわかるように、黄鉄鉱は基本の形を立方体として、様々な形を取ることがわかる。



図2 ナブハン鉱山



図3 黄鉄鉱 その1



図4 黄鉄鉱 その2



図5 黄鉄鉱 その4

今回私達が採集した黄鉄鉱は、粘土質の土の中から見つかった。

《粘土について》

黄鉄鉱が採れる場所にある粘土は何なのか、それはまだはっきりわかっていないが、とりあえず可能性として次の2つの鉱物を挙げる。

・カオリン

中国江西省の景德鎮近くの高嶺(高綾)から採掘される。白色粘土が優れた陶磁器原料であることが広く知られてから、世界各地の同じような粘土は産地名の高嶺がなまってカオリンと呼ばれるようになった。その後、カオリンの主成分がシリカ(二酸化珪素 SiO_2)、アルミナ(Al_2O_3)、水(H_2O)であることが明らかになり、この3成分からできているカオリンは粘土のもっとも純粋なものと考えられ、鉱物名としても用いられるようになった。

カオリンの鉱物には、カオリナイト、ナクライト、ディッカイト、ハロイサイトという4種類の鉱物が含まれている。中でもカオリナイトは、アルミニウムの含珪酸塩で、超微粒子の集合体として産出する「粘土鉱物」の代表的なものである。製紙、化学工業などに広く用いられている。凝灰

石、長石などが変化してできる。白色塊状で吸水性があり、舌を吸い付ける。また、特有の臭いを持つ。

・セリサイト(絹雲母)

化粧品原料、また各種工業用原料に使用されているセリサイト(絹雲母)は粘土鉱物で、雲母族に分類される、白雲母に近い化学組成を持っている。

一般的に知られている絹雲母(セリサイト)の特徴は微細で真珠光沢をもち、滑性を有している。絹雲母(セリサイト)は白雲母、金雲母等の雲母族の一種で肉眼ではほとんど見ることでできない微細な結晶である。その名称は鉱物名としてではなく野外名として用いられている。絹雲母の成因は以下の3つが挙げられる。

- ・熱水の活動により生成されたもの
- ・変成岩中に生成されたもの
- ・堆積岩の続成作用により生成されたもの

なお、この持ち帰った粘土の判定方法として指感による判定がある。カオリナイトは比較的サラサラした感じであり、セリサイトなどの雲母粘土鉱物はツルツルした感じで、絹糸光沢を示すとされている。

今回は土を採集してからかなりの時間が経っていたため、粘土が乾いてしまい、この測定はできなかった。そこで、黄鉄鉱と黄鉄鉱の産地の水を使って、以下のような実験を行った。

【実験1】黄鉄鉱の性質を調べる

I. 希硫酸に浸す

結果：何も起こらなかった。

II. 塩酸に浸す

結果：何も起こらなかった。

III. 水酸化ナトリウムに浸す

結果：何も起こらなかった。

IV. ハンマーで叩く

結果：粉々になった。名前の由来であるはずの火花も出なかった。

V. テスターを使って、電気伝導性があるかどうかを調べる

結果：場所によってはあるようだった。

VI. 磁石を近づける

結果：何も起こらなかった。

VII. 黄鉄鉱を金槌で砕いた粉末を水道水および蒸留水に入れ、BTB溶液の反応をみる

結果：どちらの場合も液性の変化はみられなかった。

[考察]

《I、IIの結果より》

黄鉄鉱は酸性の液中では非常に安定するということが確認できた。本来であれば、塩酸や硫酸は金属を溶かす性質を持っている。今回の結果より、合金になると金属としての性質が大きく変化するのではないかと予想される。また、採取してきた水の性質が酸性であったこととの関係性もあるように感じられた。

《IIIの結果より》

アルカリ性の液中では何か反応があるかもしれないと仮説を立ててIIIの実験を行ったが、何の反応も見られなかった。

しかしこの3つの実験に関しては、反応を見るまでの時間が短かったため、何の反応もなかったと言い切ることは難しいと思うので、次回はある程度長い時間、液中に浸して実験を行ってみようと思った。

《Ⅳの結果より》

4の結果からは、黄鉄鉱には金のような展性や延性はなく、劈開もないことが確認できた。火花が散らなかったのは、黄鉄鉱の大きさか酸化が原因ではないかと考えられる。

《Ⅴの結果より》

硫化鉱物にはたいてい半導体の性質があるらしいので、それが関連しているだろうと考えた。

《Ⅵの結果より》

鉄が磁石に引きつけられることから、黄鉄鉱も同じように磁石に引きつけられると予想を立てていたもので、少し意外だった。そして黄鉄鉱の性質は、鉄と全く異なるということがわかった。

《Ⅶの結果より》

金属の粉末自体、水に溶けるわけではないため、その性質は変化しないのではないかと思った。また、蒸留水は、それ自身が酸性を示したことが意外であった。これは、蒸留水が普通の水に比べて、二酸化炭素を溶かしやすい性質があるためであることがわかった。

【実験2】 黄鉄鉱の産地の水を調べる

以下の3種類の水について、その性質をパックテストによって調べたところ、以下のような結果になった。

I. 黄鉄鉱を採取した粘土から出てきた水

結果：酸性を示した。

II. 粘土を採取した場所から少し下ったところを流れている小川の水

結果：弱酸性を示した。

III. 水道水

結果：中性を示した。

[考察]

この結果より、黄鉄鉱が産出する土壌は酸性であることがわかった。これは、文献で調べた結果とよく一致している。また、黄鉄鉱を塩酸や硫酸に浸したときの安定性とも強い関連性があると感じられる。

4. 今後の課題

私達地学班は黄鉄鉱について興味を持ち、その性質について調べたが、詳細についてはまだ調べきれていない。今後はこれまでよりも、電子顕微鏡などのいろいろな器具を用いてさらに深く調べていこうと思う。

また今後の目標として、黄鉄鉱の成立過程を理解し、可能ならば黄鉄鉱の精製を行ってみたいとも考えている。

これらをより深く知るために、もう一度採集地へ出向いたりする必要もあるであろうし、より専門的な、鉱石という範疇を越えた知識も習得すべきだろうと考える。

5. 参考文献・サイト

[1] 温泉の科学

http://www.asahi-net.or.jp/~ue3t-cb/bbs/special/science_of_hotspring/science_of_hotspring_5-4-5.htm

[2] 「楽しい鉱物図鑑」、堀 秀道

6. 謝辞

今回の活動において、藤野先生に多大なご指導を賜りました。本当に有難うございました。

ハイスピードカメラによる事象の撮影

3年A組 大鳥 佐紀

3年A組 栗生 優芽

指導教諭 藤野 智美

1. 要約

私たち地学班は、地学現象について研究している。活動にあたって、隕石の衝突など、実験できないものを別のモデル事象を使って擬似的に観察し、そこからシミュレーションすることを考えた。事象の変化の過程を細かく確認できると、より精密なシミュレーションを行うことができる。そこでハイスピードカメラの利用に辿りつき、現象を細かい区切りで撮影して繋げ、肉眼では確認できない細かい過程まで見るできるようになった。今回はその観察結果を報告する。

キーワード ハイスピードカメラ、慣性の法則

2. 研究背景

地学現象といえば、隕石の衝突や火山の噴火などが思いつく。しかしシミュレーションを実現させるのは難しい。そこで我々はそれらのシミュレーションとその撮影を目標として、まずは撮影自体を練習することにした。そこで **Ezvirtual Can Demo** という、パソコンに接続して使用する小型カメラで、スピードを競うゲームの様子を何枚かの静止画として撮影し、それをパソコンに繋げて動画化した。

このカメラは一秒間に数回、連続してシャッターを切り、動きをコマ切りにして静止画像のかたちで記録するものである。

できあがった静止画をムービーメーカーで編集すると、紙芝居やパラパラ漫画のようなぎこちない映像になる。

連写により、短い期間の動作を捉えることができるので、細かい現象の観察に適している。一瞬の出来事をじっくりと見られ

るという点で、このカメラはハイスピードカメラと類似している。

しかしこのカメラでは画質が悪いために細かい動きまで撮影することができず、よって良い結果は得られなかった。

そこで私たちは、もっと綺麗で詳細な画像を得たいと思い、ハイスピードカメラを購入した。

よって、まずはハイスピードカメラを使いこなせるよう、身近な現象をいくつか撮影して、その現象の変化の過程を確認した。

3. ハイスピードカメラとは

ハイスピードカメラとは、一瞬の動きを撮影することを目的としたものである。

今回購入したものは **CASIO EX-F1** という名前のハイスピードカメラで、その大きな特徴として、一秒間に最大 1200 コマを撮影する機能がある。このようなハイスピードカメラの用途として、スポーツ技術の研

究などが挙げられる。例えば野球のスイングをとっても、ボールの速さや向きとのタイミング、打った後の軌跡などを、非常に細かく研究することができる。撮影はこのようなスポーツ技術の研究に非常に適している。

4. 研究内容

プリンの落下、人の跳躍、水風船（風船の中に水道水を入れて膨らませたもの）の破裂、液体に水滴を落下させたときの水面の様子を観察した。その機能により、非常に短い間隔で現象の変化を観察することができ、できあがったスロー映像によって、普段は確認できないような現象の変化を捉えることができた。

《研究1》プリンの落下

プリンは皿の上に落ちた際、一度弾力を感じさせるような動きで浮き沈みし、それからもとの形に戻った。その弾み方は非常に興味深く、このような硬さをもつ物体に同じ実験を試したとき、規則性があるかどうかなどを調べてみたいと思った。

最終ページの図1にプリンが沈んだ後、また跳ね上がったときの写真を示す。

《研究2》人の跳躍

一人の生徒が段差から飛び降りる様子を撮影した。跳躍の際、直前で一度膝を曲げて低く沈み、それから勢いよく跳躍する様子が見られた。

この結果から、このカメラで細かく現象を検証することができることがわかった。このことから、様々な面においてこのカメラの活用が期待される。先にも述べたが、

肉眼で見ただけでは確認できない動きも記録されるので、スポーツ技術の検証において大きな役割を果たすと考えられる。

《研究3》水風船を割る

風船が破裂したとき、その中の水は球体を維持したまま落下する。そして地面などにぶつかり、下方から徐々に飛散していく。最初、球体を維持していたことには、慣性の法則が関係していると考えた。

※慣性の法則

慣性の法則とは、物体に外部からの力が働いていないときや、物体が受ける力がつりあっている状態のときに、物体が今までの状態を保とうとする性質のことである。このとき、静止している物体は静止したままであり、動いている物体は、今運動している方向に今と同じ運動をし続ける。つまり、この慣性という性質は物体には本来その速度を保とうとする性質があることを示している。

慣性の法則の例として、乗り物の中でブレーキをかけると、体が前のめりになることや、エレベーターで体が軽く感じたり重く感じたりすることがあげられる。前者は、それまである方向に運動していた乗り物が急に静止したために起こる。乗っている人間は進行方向への運動状態を続けようとするため、電車だけが止まると進行方向に倒れることになる。また後者では、静止していたエレベーターがいきなり上または下に動き出したために、乗っている人間がそれまでの静止状態を保とうとして、エレベーターの進む方向とは逆の方向に力が働くため、体が重く

あるいは軽くなったように感じるようになる。

今回の水風船の破裂の観察では、この慣性の法則を顕著に捉えることができた。風船の中の水は、風船の形状に沿った球の形をとって静止している。これは空気の圧力と風船の内部からの力の関係によるものである。風船に針を刺して風船のゴムを破ると、水は重力に引かれるままに落ちていくことになる。この際に慣性の法則が成り立ち、風船が割れても、はじめの一瞬はそれまでの静止状態を保とうとしている様子がよくわかる。普段の肉眼での観察ではどれだけ目を凝らしても、この状態を確認することは難しい。自由に動き回るはずの液体が、受けた力を失っても慣性の法則に従ってもとの形を維持しようとする様子を観察できたことが大変興味深かった。

《研究4》液体を張った容器の中に一滴の水滴を落とす

落とした液体は《研究3》のように球体のまま牛乳の中に落ち、その振動は水が落ちた場所（波源）を中心にして地震のように同心円状に広がっていった。しかし、この振動は容器の端まで辿り着くとそこで消えてしまい、反射する様子は見られなかった。波が小さすぎたために観察できなかった可能性もある。このような小さな波紋も、やはり同心円状に広がっていくことが確認できた。これは水面に広がる波に共通する性質であると考えられる。

今度液体を使って実験することがあれば、液体上に障害物を置き、広がった波紋に障害物がぶつかったときの現象を細かく観察したい。図3に液体表面を波が広がってい

ったときの写真を示す。

5. 今後の課題

今回、ハイスピードカメラを使用し、肉眼では確認できないような瞬間的な事象を観察し、そのために、ハイスピードカメラが適していることが確認できた。

次はモデル実験による地学現象のシミュレーションを行い撮影したい。そのためにシミュレーションにおけるプログラミングが必要となる。

しかし私達はプログラミングのことについては全くの素人であるから、これからプログラミングを学んでいく必要がある。

プログラミングは決して簡単ではないだろうが、これから地道にやっていこうと思っている。

7. 参考文献・サイト

[1]カシオ オフィシャルサイト

http://dc.casio.jp/product/exilim/ex_f1/

[2]「高等学校 物理Ⅰ」、啓林館

8. 謝辞

地学班の活動や、初めて論文を書くにあたって、藤野先生に多大なご指導を頂きました。この場をお借りして、御礼申し上げます。

< 観察された事象 >

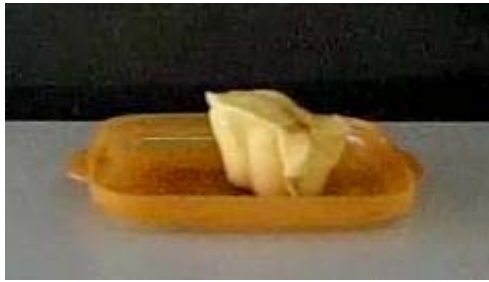


図1 プリンの落下



図2 水風船の割れた瞬間



図3 液体に落とした水滴の波紋

高々度発光現象(スプライト)の観測

5年A組 三口 雄大

指導教諭 藤野 智美

1. 要約

私たちサイエンス研究会地学班のテーマの1つに高々度発光現象(スプライト)がある。近年まで記録が難しかったスプライトは、今日の技術向上と高感度カメラの性能が上がったことによって研究が可能になった。そして今年、高知工科大学と全国29校のSSH校が連携してスプライトの同時観測を行うことになり、私たちは本校を代表してこのコンソーシアムに参加することとなった。ここではその活動内容と観測結果を報告する。

キーワード 雷、高々度発光現象、スプライト、同時観測

2. 研究背景

私たちがよく目にする雷という発光現象は、実は落雷のメカニズムの一部ではない。例えば、今回研究するスプライトは、落雷と関係の深い高々度発光現象の仲間である。高々度発光現象というのは、雷雲のできる対流圏よりもさらに高い中間圏で発生する発光現象のことである。スプライトは、この高々度発光現象の1つである。雷よりもさらに高い位置で、ほんのわずかに光る発光現象である。このほかにも、エルブスやブルージェットと呼ばれる数種類の発光現象がこの仲間としてあげられる。

19世紀初頭に存在が予測され、落雷に伴ってできると考えられていたが、発光時間が非常に短く、また、雲より高いところで起きるスプライトは、その存在を確かめることができず、単なる理論として見なされてきた。しかし、最先端の技術によってそれを確認する方法が確立したので、観測がより身近なものとなり、研究が可能になったのである。スプライトについてはまだ詳

しいことがほとんど分かっていないので、今回の同時観測による新しい発見が期待される。

3. 研究目的

先にも述べたように、本研究は高知工科大学と全国のSSH校が連携して行い、これによって世界的な成果を収めている。1つの現象を同時に観測するという活動には、以下のような目的、意義があるといえる。

〈今回の同時観測の目的〉

- ・発光メカニズムの解明

雷とスプライトの特徴の対応関係を詳細に調べることで、スプライトの発光についてだけでなく、雷の発生メカニズムの本質にも迫ることができると期待される。

- ・スプライトの持つスペクトルの確認

分光観測を行い、スプライトがどのような色で構成されているのか確認することによって、発光のメカニズムや直接観測することが困難とされてきた中間圏の様子を予

測することができる。

- ・立体像の解明

多地点から観測することで花火が球状に広がっていることが確認できるように、高々度発光現象の立体像を解明することが同時観測によって可能である。これは、今回の同時観測における最大の目的であり、立体像は観測地点が増えるほど正確に予測することができる。なお、立体像の確認は世界的にも例がほとんどない。

〈同時観測を行うことの意義〉

- ・正確な観測結果を得る

1つの発光現象を様々な位置から確認することによって、より正確にその姿をとらえることができる。さらに、その現象の立体的な像も得ることができる。

- ・発光現象を逃さず捕える

複数の観測者がいることで、発生が予測できない発光現象を確実にとらえることができる。複数の学校が集まることで、それぞれの欠点を補い合うこともできる。

- ・スプライトの多発地域を特定する

日本は数少ない冬季のスプライトが観測できる地域である。まだまだ未解明な部分の多い日本の冬季スプライトの分布についても調べることができる。

- ・情報を共有する

始まったばかりの研究であるため、少しでも多くの情報を得て、それを共有することが大切である。より多くの観測結果と情報が得ることが新しい発見へとつながる。

4. 研究内容

(1) 仮説

現在、スプライトに関して以下のような

仮説が立てられる。どれも今回の同時観測の目的と意義に沿っているので、これらの仮説の真偽が観測によって明らかにされることが期待される。

①スプライトの発生メカニズムは地上に落ちてくる雷や雷雲に帯電されている電子と関係があるのではないか。

②高々度発光現象のスペクトルに、大気中（それらが発生する中間圏）に存在する粒子による色が見られるのではないか。

③本来、夏季に見られるはずのスプライトが、日本では冬季にも観測されるのは、地形や暖流などによるものではないか。

(2) 研究内容

〈高々度発光現象とは〉

高々度発光現象というのは、雷雲のできる対流圏よりもさらに高い中間圏で発生する発光現象のことである。スプライト、ハロー、エルブス、ブルージェットなどが例として挙げられる。スプライトはニンジン形の形をしたもの、それを束ねたようなカラム状のものがあり、それぞれキャロット型、カラム状スプライトと呼ばれている。他にも縦に伸びている青い光をブルージェット、さらに高度の高いところで発生する直径300キロメートルほどの光の輪をエルブスと呼んでいる（図1参照）。

巨大な積乱雲でもせいぜい発生するのは高度10キロメートルまでだが、この発光現象は80キロメートルにも達する。気球でさえも到達が困難となるほどの高さなので、観測は地面か宇宙からの観測に限られる。さらに、発光時間が非常に短いため、以前はその存在を確かめることさえも、とても難しかった。

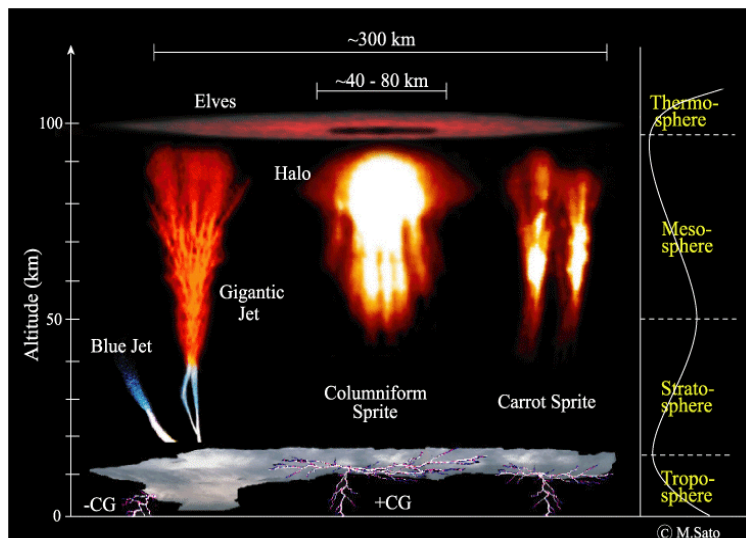


図1 スプライト

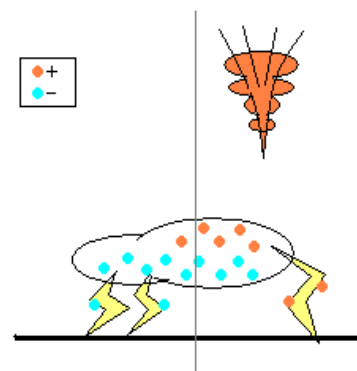


図2 発光のメカニズム

しかし、アマチュアの観測者が偶然観測に成功し、一気に注目度が増すことになる。現在では、UFO キャプチャーという空中の動体を検出できるソフトにより、この非常に稀な現象を確実にとらえることができるようになった。そして、専門の研究者だけでなく、高校生にも撮影が可能になった。

通常、雷は雷雲の中の負電荷を中和するために地面に落ちることが多い（図2の中央より左側）が、稀に正電荷の中和に伴って発生することがある（図2の中央より右側）。正電荷の雷の直後、気圧の低下により、電離している大気、密度が局所的に高い電離層と雷雲の間に下向きの強い電場がかかる。すると、正や負の電荷を持つ粒子はその方向に移動しようとして大気中の粒子にぶつかり、新しい電子を出すのだが、電離層では連鎖的にこの反応が起こるため大量の電子が生成され、電流が生まれる。これがスプライト放電の主なメカニズムであると考えられている。

〈コンソーシアムでの活動報告〉

2008年11月、SSH コンソーシアム高知研究会（全21校が参加）へ出席した。参加継続校各校の取り組み状況、結果、課題を聞き、今後の観測活動について議論した。ここでは、今回のコンソーシアムでの研究内容について詳しく述べる。

I. 各校の取り組み状況

はじめに、以前からこのコンソーシアムに参加している学校の現在の取り組み状況について発表があった。

・長野県立諏訪清陵高校

（成果） 41 事象 123 本スプライトを観測し、愛知県立一宮高校との同時観測に成功した。

（課題と考察） 観測の結果、日本海側で発生するスプライトには冬季の能登半島に見られるものが多い。また、スプライト観測機器の応用として、流星の動画撮影、電波観測、太陽のプロミネンス観測に役立てる

ことができるのではないかと。

・静岡県立磐田南高校

(成果) 観測中、偶然エルブスを発見した。エルブスの3点同時観測に成功した。

(研究内容) 積分球を利用して、CCDカメラの特性を理解し補正することにより、スプライトの正確な明るさを知ることができた。鳥取県沖で観測したエルブスについて算出した結果、その形状は北に長い楕円形であり、日本海上約90キロメートルであった。

(課題と考察) エルブスの3点同時観測は史上初であり、その高度は予想されている平均高度とほぼ一致した。次は、観測点の高度も計算に入れて、より正確な高度を算出したい。落雷のタイミングがエルブスの発生と同じであることから、低気圧や前線などにより発生する雷雲と関係があるのではないかと考えている。今後は、気象状況との関係についても調べていきたい。

・鹿児島県立錦江湾高校

(成果) 35 事象 111 本スプライトを観測した。

(研究内容) 九州での観測例がなく、カメラを北方向にむけていても、発見することができなかったため南九州の上空を観測したところ、屋久島付近でスプライトを観測できた。

(課題と考察) 観測されたスプライトは屋久島上空であることから、雷雲の発生と屋久島の地形に関係があるのではないかと。カメラを南に向けていると、直射日光が入りやすくなるために高感度カメラが壊れてしまうのかもしれないので、工夫していきたい。

い。

・岡山県立一宮高校

(研究内容) 室内でのスプライト観測がうまくいかないので、カメラの設置場に工夫をした。暗幕を利用して、夜間の室内での反射光がカメラに入らないようにした。ピントを合わせるためにはまず、比較的明るい流星が写るようにして、そこから微調整をしていくようにする。

(課題と考察) スプライトの観測できる時期は少ないので、失敗の原因を追及することや今回のコンソーシアムをととても大切にしている。早くスプライトの存在を確認できるようにになりたい。

以上は、今回までの参加校の発表の一部である。各校、得られた結果は様々なものであるが、彼らはそれぞれしっかりとした考察を持っている。十分な成果が得られなかった高校でも、その失敗を次に活かせるような工夫をしているようだった。発生が多発する地域、季節が特定できている高校もあり、本校のこれからの観測においてもとても役立ちそうな技術や工夫もたくさん見られた。

Ⅱ. 今後の課題

発表での課題、後の議論で生まれた課題をまとめると、以下のようになる。本校で観測するときにも注意したい。

・カメラの保護

カメラを南に向けると直射日光が入りやすくなってしまう。ほかにも屋外で観測するとき、雨や風からカメラを保護する方法

について考えたい。

- ・カメラの微調整

スプライトをしっかり捉えるには微調整が必要不可欠である。それについては、会議の後半で説明があった。

- ・スプライトと気象状況との関係

落雷のタイミングが発光現象と同じであることから、低気圧や前線などにより発生する雷雲と関係があるのではないかな。

- ・同時観測で得られる立体像について

今まではエルプスはきれいな同心円状の輪であると考えられてきたが、観測によって得られた立体像は楕円であった。これからの同時観測の意義として立体像の解明があげられた。

- ・スプライト観測機器の応用

高感度カメラをこのためだけに使用するのはもったいないので、他のことにも使って役立てたい。

Ⅲ. コンソーシアムを終えて

今回のコンソーシアムは、新規参加校がスプライトの同時観測を行うための説明会でもあり、配布された資料だけではわからないことや参加者の活きた経験を参加することによって聞くことができた。それを受けて、以下の点についてまとめる。

〈観測点について〉

北陸地方では、地形により、冬季の雷雲の発生やスプライトの発生することが多いとされている一発雷の数が比較的多いので、前回までの観測点は日本海上に3点（西からO、Z、U）であった。しかし、鹿児島県立錦江湾高校によるの屋久島付近の上空でのスプライトの報告や参加校の増加により、

今回からは観測点を太平洋側にも設けて、全部で6点（O、Z、U、S、K、Y）行うことになった。本校の同時観測点は（Z）である。観測地点の分布図を図3にのせる。

〈電波観測について〉

同時観測の規模が以前のコンソーシアムよりも大きくなって、カメラによる撮影だけでなく雷や高々度発光現象から発生する電波も観測しようという意見が出てきた。

〈カメラの微調整について〉

①角度

スプライトはとても高い高度での現象なので、ある程度離れていても撮影ができる。しかし、離れるほど仰角が小さくなっていくので山や建物に隠れやすい。奈良は盆地ではあるが観測点が近いので、撮影ができるであろうと考えられる。撮影ができないところは、電波観測に移行する。

②しぼり

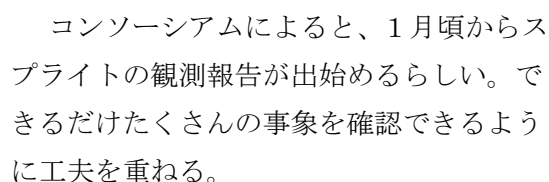
スプライトはとても明るい発光現象なので、ある程度しぼりをしぼっても撮影ができる。発光現象と同時に起きる雷の光が強いので、観測点に近い観測者は注意しなければならない。しかし、あえてその雷を撮ってみるのも新しい発見につながるかもしれないので、いろいろ試してみたい。

③ピント

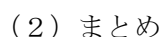
ピントが観測点に合っていないと、スプライトははっきり写らない。そこで参加校からのアドバイスがあった。始めは流星がとれるくらいにしておいて、そこから徐々に写っているスプライトにピントを合わせるようにしていくといいそうである。

他にも動体検出ソフト UFO キャプチャ

測が始めていく。本校は、同時観測点（Z）に向けてカメラを設置することになっている。初めは角度、ピントを合わせるために、定期的に画像を確認して UFO キャプチャー（動体検出ソフト）やアナライザー（観測したスプライトを分析するソフト）の使い方に慣れる。



その後、観測したスプライトについて考察して、研究結果をまとめる。その際に他校の結果と考察も参考にして、自分の成果の評価、反省をする。さらに今後の観測について議論する予定である。



コンソーシアムではたくさんの学校が集まり高々度発光現象・スプライトの謎を次々に解き明かしている。本校でも、結果が残せるような観測をしたい。

それぞれ工夫をしながら、すでに観測に成功している高校もたくさんあるようだった。このコンソーシアムは海外で発表された世界的な結果や史上初の記録などをたくさん残している。本校は新規参加校として、12月ごろから観測活動を行っていく予定である。今回の説明会でそれについての知識をしっかりと身につけたので、今後の観測活動で活かしていきたい。

(1) 今後の予定

7. 参考文献

- ## 8. 謝辭

今回の研究にあたって、ご指導してくださった藤野先生、他校の研究協力者の方々に深く感謝いたします。

第 II 部

活 動 報 告

「サイエンス夏の学校」参加報告

2年C組 清水 悠平

指導教諭 矢野 幸洋

1. 要約

1, 2年生 33 名が和歌山県白浜町の京都大学瀬戸臨界実験所およびその周辺で、専門の先生から磯の生物や地質について講義を受け、数学を学んだ。これらにより自然科学の研究方法を学ぶことができた。

キーワード 磯の生物、地質、数学、協同、交流

2. 研究の背景と目的

私は去年「サイエンス夏の学校」に参加し、そのときに海の生物、地質などを間近で見てすごいと思った。そして友達と一緒に寝泊りできたことが楽しかった。そのため今年も参加しようと決めた。

今年度も夏の学校に参加して、たくさんの生物や特色ある地層などを見学した。これらを見学するのも「サイエンス夏の学校」の目的だと思うが、もう1つ大きな目的があると思う。それは1, 2年生が交流することだ。

3. 研究内容

(1) 磯の生物観察と水族館見学

僕たちの班は海藻について調べました。海藻は根、茎、葉の区別がなく、多くの胞子で増える「植物」の仲間である。海産の種子植物も少ないながら存在するが、それは「海草（うみくさ）」とよばれ、生息場所なども海藻とは異なる。海藻は、体の色が緑色の「緑藻」、茶色の「褐藻」、赤色の「紅藻」の3種類に分けられ「緑藻」は浅いところに、「紅藻」が最も深いところまで生息するといわれている。

ほかにウニ、ナマコなどについて調べた。現地では磯に行きたくさんの生物を捕まえ、観察した。

さらに、実験室へ採集物を持ち帰り、詳しく観察・実験した。



図1 磯での観察と採集



図2 実験室での調査

（２）地質観察

地質観察では実際に白浜の海岸に露出している地層に行き、地層のスケッチをした。

１枚の地層がどこまでつながっているか追いかけたり、泥岩岩脈や小断層を見つけてスケッチした。

また、千畳敷にいき立体的に地層を観察したり、連痕・葉理・級化成層の見られる地層を観察した。



図３ 地層の観察

（３）数学実習

数学実習では数字２つとその間の数字を掛け合わせた数を２つ用意し、それらの和を求める活動をした。（たとえば１，５と２，５の数字があると $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5$ と $2 \times 3 \times 4 \times 5$ の和を求める。この場合答えは２４０となる。）この答えをいかに簡単に求めるかを考える活動だった。この授業は普段学校でやっているような代数などとは違い、発想力が必要な問題だった。だが、あきらめることなく自力で問題を解くことができ、自分なりの解き方を導き出すことができた。



図４ 数学実習

４．考察 一何を学んだかー

普段あまり接することがない他学年との交流が印象的だった。ともに研究をし、話し合うことで先輩後輩の関係ができ、信頼関係もできると思う。この関係は社会人になっても必要だろう。

また夏の学校は、普段学校では習べないような内容を、恵まれた環境で身近に学ぶ場でもある。また一方では、先輩後輩がともに生活をする場でもあった。

５．今後の課題

今年の夏の学校でのスケジュールは結構窮屈だったと思う。窮屈にするのではなく、間に自習の時間を作り、実際に研究にし、疑問に思ったことや、興味深かったことを各自で調べ、より理解ができるような時間がほしかった。来年はぜひ実現してほしい。

６．謝辞

実験所で主に磯の生物の指導していただいた宮崎先生および、地質の説明に来てくださった本校の元教諭屋鋪先生には深く感謝します。

「NSL 講座」参加報告

4 年 A 組 西口真悠子
 4 年 B 組 糸山 和香
 4 年 B 組 前田真里花
 指導教諭 藤澤 育子
 指導教諭 野上 朋子

■全体の概要

2008 年 8 月 22 日(金)～27 日(水)の 5 日間、SSH プログラム「NSL 講座」に参加した。今年度のテーマは「タンパク質」であった。NSL 講座とは、「自然科学リテラシー(Natural Science Literacy)」の頭文字をとってつけられた講座であり、3, 4 年生を対象に集中講義形式で行わるものである。今年度の日程を以下に示す。

テーマ：「タンパク質について」

日 時	場所	講師（所属）	内容
8 月 22 日(金) 9:00～12:00	本校 化学教室	藤澤育子先生 野上朋子先生 (本校教諭)	オリエンテーション 講義「タンパク質とは」 実験「タンパク質の性質」
8 月 23 日(土) 9:00～16:00	奈良女子大学 理学部	中澤 隆先生 (奈良女子大学 理学部教授)	講義「ヒトはなぜタンパク質を食べるのか」 実習「タンパク質がタンパク質を分解する」
8 月 25 日(月) 9:00～16:00	(株)ペプチド 研究所	西内祐二先生 (ペプチド研究 所研究部長)	講義「命を支えるアミノ酸・ペプチド・タンパク質」 実験「対掌体(味・におい)のデモンストラーション的な紹介」
8 月 26 日(火) 9:00～16:00	奈良女子大学 生活環境学部	植野洋志先生 (奈良女子大学 生活環境学部教授)	講義「タンパク質化学の歴史」 実験「タンパク質の定量法、酸加水分解、アミノ酸分析、SDS-PAGE など」
8 月 27 日(水) 9:00～12:00	奈良女子大学 理学部	小林 毅先生 (奈良女子大学 理学部教授)	講義「『空間の向き』と鏡の世界」

参加者は 3 年 2 名、4 年 12 名の合計 14 名であった。

NSL 講座(1日目)参加レポート

4年A組 西口真悠子

1. 概要

2008年8月22日(金)、NSL 講座「タンパク質とは」(講師: 奈良女子大学附属中等教育学校教諭 藤澤育子先生)に参加し、タンパク質について学んだので、以下に報告する。

講義: タンパク質やそのタンパク質を構成している α -アミノ酸の構造や性質などについて、様々な角度から学んだ。

実験: 卵白を用いて、構成元素の検出方法や呈色反応、変性の実験を行うことでタンパク質の性質を確認した。

キーワード タンパク質、アミノ酸、ペプチド結合

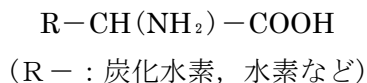
2. 講義内容

(1) タンパク質とはどんなものか

α -アミノ酸がペプチド結合した形の生体高分子化合物である。核酸(DNA)とともに生命の根源をなす重要な物質で炭素、水素、酸素、窒素、硫黄などの元素を含んでおり、身体の大部分や酵素、ホルモン、抗体等もタンパク質でできている。

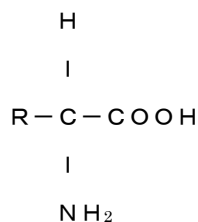
(2) α -アミノ酸とは何か

分子内にアミノ基($-\text{NH}_2$)とカルボキシ基($-\text{COOH}$)をもつ化合物をアミノ酸という。アミノ酸の一般式は次のように示される。



同じ炭素原子に2つの官能基が結合しているアミノ酸を α -アミノ酸という。

α -アミノ酸の構造式は右のように表さ



れる(ただし、Rはいろいろな原子団である)。

① アミノ酸の性質について

・グリシン(RがH)以外の α -アミノ酸には、不斉炭素原子があるため、光学異性体がある。天然のタンパク質中の α -アミノ酸はほぼ一方のL体に限られている。

※光学異性体: 図1のような、互いに鏡像の関係にあり、重ね合わせることのできない構造をもつ鏡像体。

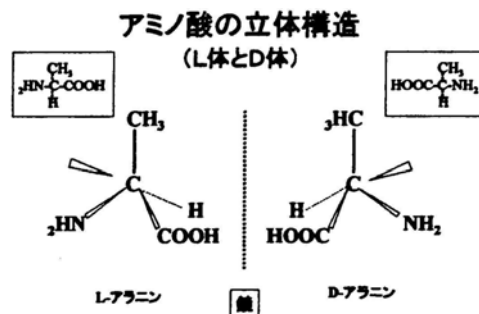


図1

また、鏡像体は、融点・沸点、密度、溶解性、化学的性質も等しいが、旋光性

(光の偏光面を回転させる性質)のみが異なり、生物体に対する作用が異なるのが一般的である。

- ・ アミノ酸は、極性溶媒の水には溶けやすいが、無極性の有機溶媒には溶けにくい。
- ・ 分子内に酸性のカルボキシ基と塩基性のアミノ基をもつため、塩基とも酸とも塩をつくる両性化合物である。

②アミノ酸の検出方法：ニンヒドリン反応
アミノ酸にニンヒドリンの水溶液を反応させると、青紫～赤紫に呈する。遊離したアミノ基をもつアミノ酸やタンパク質の検出に利用される。

(3) ペプチド結合とは

アミノ酸のカルボキシ基が別のアミノ基と脱水縮合して、アミド結合($-\text{CO}-\text{NH}-$)を形成することによって、アミノ酸がポリマー(高分子化合物)となり、タンパク質を形成する。このアミド結合をペプチド結合とよぶ。2分子のアミノ酸が縮合してできたものをジペプチド、3分子でできたものをトリペプチド、10個以上でできたものをポリペプチドという。

(4) タンパク質の構造

タンパク質はアミノ酸の重合体(ポリマー)ある。

- ・ 1次構造：タンパク質を構成しているアミノ酸の配列順序。同じ種類のタンパク質では、構成するアミノ酸の種類、配列が決まっている。
- ・ 2次構造：分子のポリペプチドの鎖はペプチド結合している1つのアミノ酸の $-\text{CO}-$ 基とそのアミノ酸から4番目のアミノ酸の $-\text{NH}-$ 基との間の水素結合に

よって固定されているので、らせん構造である α -ヘリックス構造をとる。また、分子間の水素結合により形成された構造は β -シート構造と呼ばれる平面状の構造となる。

- ・ 3次構造：ポリペプチドの鎖はその側鎖に働く作用やジスルフィド結合などの影響で複雑な立体構造をもつ。

(5) タンパク質の性質

①塩析：水に溶けると親水コロイド溶液となり、多量の塩類を加えると塩析する。

②変性：加熱や酸によって凝固する性質。
これは、ペプチド鎖間の水素結合や相互作用が変化し、タンパク質の構造が変化するために起こる。

③ビウレット反応：タンパク質水溶液に水酸化ナトリウム水溶液と硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えると、紫色になる反応。これはペプチド結合が2つ以上あるトリペプチド以上に起こる反応でタンパク質の検出に用いられる。

④キサンプロテイン反応：タンパク質水溶液に濃硝酸を加え加熱すると黄色になり、水酸化ナトリウムを加え、塩基性になると橙色になる反応。これは、ベンゼン環をもつタンパク質にみられる反応で、ベンゼン環がニトロ化するために起こる現象である。

⑤窒素原子の確認方法：タンパク質に濃水酸化ナトリウム水溶液を加え加熱させ、アンモニアを発生させることで、タンパク質中の窒素原子の存在が確認できる。

⑥硫黄原子の確認方法：⑤の反応後に酢酸鉛(Ⅱ)水溶液を加え、黒色沈殿である硫化鉛(Ⅱ)が生じれば、タンパク質中に硫黄原子が含まれていることがわかる。

(6) タンパク質の分類

- ・単純タンパク質：加水分解で α -アミノ酸が得られるもの。アルブミン(卵白)、ケラチン(髪、爪)、フィブロイン(絹糸)など。
- ・複合タンパク質：加水分解で α -アミノ酸、糖、リン酸、色素なども得られるもの。ムチン(唾液)、カゼイン(牛乳)、ヘモグロビン(血液)など。

(7) 酵素

酵素とは、生体内の種々の化学反応を触媒する機能をもつタンパク質。主成分はタンパク質。

3. 実験「タンパク質の性質」

タンパク質の代表として卵白を用いて、その構成元素や変性、呈色反応などの化学的性質を調べた。

[実験器具]

試験管、試験管はさみ、ビーカー(100ml)、駒込ピペット、ガラス棒、薬さじ、マッチ、沸騰石、ガスバーナー、防護メガネ

[実験薬品]

卵白、塩化ナトリウム、粒状水酸化ナトリウム、0.5mol/l 酢酸鉛(Ⅱ)水溶液、水酸化ナトリウム水溶液(6 mol/l、0.5mol/l)、0.5mol/l 硫酸銅(Ⅱ)水溶液、濃硝酸、濃塩酸、エタノール、1%ニンヒドリン水溶液、赤リトマス紙

[実験操作]

- (1) 卵白をビーカーにとり、約6倍の水に加えて激しく攪拌する。これに塩化ナトリウムを少しずつ加えて激しく攪拌し、透明な卵白溶液をつり、この溶液を9本の試験管A~Iにそ

れぞれ3mlずつとった。

(2) 成分元素の検出

- ①卵白水溶液Aに水酸化ナトリウムを2, 3粒加え、沸騰石を数粒加えて、2~3分間煮沸させた後、試験管口に水で湿らせたリトマス紙を近づけた。
- ②次いで、濃塩酸をつけたガラス棒を近づけた。
- ③冷却後、酢酸鉛(Ⅱ)水溶液を水滴加えた。

(3) 呈色反応

①ビウレット反応

卵白水溶液Bに、6 mol/l 水酸化ナトリウム水溶液を1~2滴加えて振り、さらに硫酸銅(Ⅱ)水溶液を1滴加えて振った。

②キサントプロテイン反応

卵白水溶液Cに、沸騰石を数粒加えて、濃硝酸を0.5ml加え加熱する。冷却後、6 mol/l 水酸化ナトリウム水溶液を加えてアルカリ性にした。

③ニンヒドリン反応

卵白水溶液Dに、沸騰石を数粒加え、0.5mol/l 水酸化ナトリウム水溶液を1ml加えて、数分間加熱し、さらにニンヒドリン水溶液を数滴加えて穏やかに加熱し、色の変化を観察した。

(4) タンパク質の変性

- ①卵白水溶液Eを穏やかに加熱した。
- ②卵白水溶液F~Iに酢酸鉛(Ⅱ)水溶液、硫酸銅(Ⅱ)水溶液、濃塩酸、エタノールをそれぞれ1~2mlずつ加えて変化を観察した。

[結果]

○操作（２）A. 卵白を NaOH で分解後、

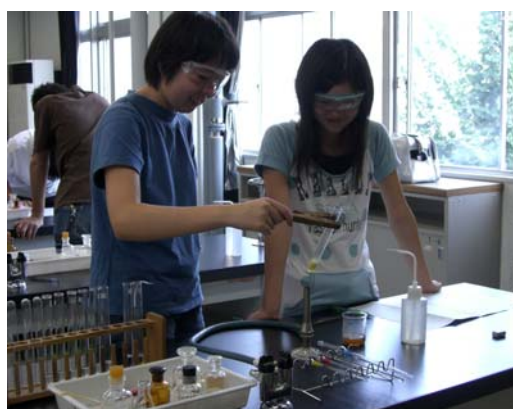
実 験 操 作	結 果
① リトマス紙を近づける	青色に変化
② 濃塩酸を近づける	白煙が出る
③ 酢酸鉛(Ⅱ)を加える	黒色沈澱

○操作（３）

	加えた試薬	結 果
B. ビウレット反応	NaOH	変化なし
	CuSO ₄	紫色に変化
C. キサントプロテイン反応	HNO ₃	黄色に変化
	NaOH	オレンジ色に変化
D. ニンヒドリン反応	ニンヒドリン水溶液	薄い黄色→黒色→透明な黒色

○操作（４）

操 作	結 果
E.加熱	白色に凝固
F.酢酸鉛(Ⅱ)	白色に凝固
G.硫酸銅(Ⅱ)	緑色の液体に白色に凝固
H.濃塩酸	白色に凝固
I.エタノール	上が白色に凝固



[考察]

- ・ 操作（２）の結果から、卵白のタンパク質には窒素が含まれており、また②の反応で



という反応が起こったと考えられる。

- ・ 操作（３）でのビウレット反応の結果から卵白のタンパク質中には、トリペプチド以上のペプチド結合があると考えられる。また、キサントプロテイン反応からはこのタンパク質中にベンゼン環があることがわかる。
- ・ 操作（４）の結果からタンパク質の変性は、強い酸やアルコール、重金属イオンや熱が加えられたときに起こると考えられる。

4. この講義に参加した感想

今回、この講義に参加して、今までよく耳にしていたタンパク質というものがどういうものであるか、どんな性質があるのか、何に含まれているのかなど、これからタンパク質について学んでいく上で必要となる知識をたくさん学ぶことができた。

今までタンパク質について学習したことなかったもので、次の日からの発展した講義を聴く上での強い味方となってくれる知識を得られ、さらにもっとタンパク質について学んでいきたいと思える充実した内容の講義だった。

特に、タンパク質の性質を実際に確かめる実験は、机上の学習だけでなく、自分の目で反応を見ることができ、タンパク質の面白さ、化学の面白さを実感することができた。

この講義で感じた、もっと学んでいきたいという思いを胸に、これからも化学について、タンパク質について学習を進めたいと思った。

NSL 講座(2 日目)参加レポート

4 年 B 組 前田真里花

1. 概要

2008 年 8 月 23 日(土)、NSL 講座「ヒトはなぜタンパク質を食べるのか」(講師: 奈良女子大学理学部教授 中沢隆先生)に参加し、タンパク質について学んだので、以下に報告する。

講義: なぜタンパク質が研究され始めたのか、なぜヒトはタンパク質を摂らなければならないのか、タンパク質はどのように分解されるのか、などについて考えた。

実験: 身近なさまざまな食材を用いて、実際にタンパク質の分解や、塩析を行った。どのような場合は分解しないのか、なども学ぶことができた。

キーワード Perutz、タンパク質、分解、酵素、塩析

2. 講義内容

(1) Perutz(ペルツ)

タンパク質を最初に研究し始めたのはイギリス人の Perutz である。タンパク質のないところに生命はない、タンパク質の構造がわかれば生命の神秘がわかるのではないかと、ということで研究を始めた。そして現在、地球上すべての生命がタンパク質を有していることがわかっている。

(2) タンパク質の分解

酵素はタンパク質でできている。すなわち、タンパク質を分解するのはタンパク質である。食べ物のタンパク質は体内で酵素の働きによりアミノ酸になり、別のタンパク質に作り変えられるので、コラーゲンを食べたからといってコラーゲンを体に補充できるわけではない。

ちなみに、タンパク質を化学反応でアミノ酸に分解するためには pH 1 以下の 6 mol 塩酸、110℃で 6 ~ 12 時間加熱という大き

なエネルギーが必要になる。それに対して体内で消化する場合にはほとんどエネルギーを使わないので、人間の体は大変に効率がよいと言える。

3. 実験

(1) ゼラチン(コラーゲン: タンパク質)と葛粉(デンプン)の酵素による消化実験。
[操作]

①ゼラチン、葛粉をそれぞれ温水に溶かしてから室温に放置して適当な容器(3 個)の中で固める。

②固まったゼラチンに A ~ C をそれぞれ加えて軽く混ぜ、様子を見る。

A. 生パイナップルの小片 1 切れ

B. 缶詰パイナップルの小片 1 切れ

C. A をレンジで 3 分加熱したもの

③固まった葛に A ~ C をそれぞれ加えて軽く混ぜ、様子を見る。

A. 生パイナップルの小片 1 切れ

B. タカジアスターゼ(消化酵素剤)

C. 唾液

[結果]

ゼラチン

A：ゼラチンが溶けて液体になった。

B：変化なし。

C：少しだけゼラチンが溶けた。

葛

A：少し溶けた。

B：完全に溶けた。

C：少し溶けた。



[考察]

ゼラチンの実験から、生パイナップルはタンパク質の分解酵素をもち、缶詰パイナップルは分解酵素をもたないということがわかった。Cが少ししか溶けなかったのは加熱したために酵素の構造が変化し、活性がなくなったためと考えられる。

葛の実験からは、生パイナップルよりも唾液、唾液よりも消化酵素剤の方が消化を促進するということがわかった。

(2) 塩析実験

[操作]

①卵白に、ほぼ同量の水を加えてほぼ一様になるまで静かにかき混ぜ、これを3つのコップA, B, Cに分ける。

②Aをレンジで加熱。

③Bに食塩を静かにかき混ぜながら徐々に

加えていく。

④②で出てくる固形物をガーゼでろ過し、固形物を元のコップに戻す。これに始めとほぼ同量の水を加えてよくかき混ぜる。

⑤④でできた混合物とコップCにパイナップルの小片を加えてしばらく様子を見る。

[結果]

②白い固体ができた。

③白くどろどろしたものができる。

④固形物は水に溶けなかった。

⑤④は溶けたが、Cは変化なし。



[考察]

これは Perutz の時代にタンパク質を得る方法だったそうだ。卵に NaCl を加えることにより、タンパク質が塩析する。

②で白い固体ができたのはゆで卵の白身のようなもの。③はタンパク質が塩析したのだろう。⑤-④が溶けたことより、④でできた混合物がタンパク質であったことが確認できた。



NSL 講座(3 日目)参加レポート

4年B組 前田真里花

1. 概要

2008 年 8 月 25 日(月)、NSL 講座「命を支えるアミノ酸・ペプチド・タンパク質」(講師：ペプチド研究所研究部長 西内祐二先生)に参加し、タンパク質について学んだので、以下に報告する。

講義：生命を支えているタンパク質について、それが生命の中でどのように機能しているのかを中心に学んだ。

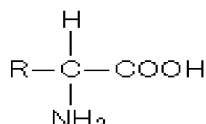
実験・見学：アミノ酸を実際になめて、L体とD体による味の違いを体感した。その後、メイラード反応によるにおいの体験、酵素によりペプチド結合を切断する実験、を順に行い、最後にペプチド研究所内を見学させていただいた。

キーワード アミノ酸、タンパク質、ペプチド、糖

2. 講義

(1) アミノ酸とは

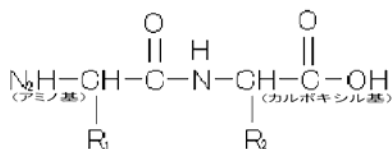
アミノ酸とは、私たちが生きるために不可欠なタンパク質をつくる部品である。構造式は下図のようになり、アミノ酸の性質は側鎖(R)で決まる。



体内で合成できるものを非必須アミノ酸
といい、できないものを必須アミノ酸とい
う。

(2) タンパク質の構造

- ・ 1次構造：アミノ酸の配列のこと。



アミノ基の方の末端を「N末端」とい

い、カルボキシル基の方の末端は「C末端」という。

- ・ 2次構造：次の2種類がある。水素結合による。

 α -ヘリックス構造:らせん状の構造。

β -シート構造：平面的な構造

- ・ 3次構造：R-の疎水結合によりさらに折りたたまれ、中央に疎水性の部分、表面には親水性の部分を位置し、3次元的構造になる。

- ・ 4次構造：タンパク質分子が複数、疎水結合により会合して初めてタンパク質の機能を発揮する。

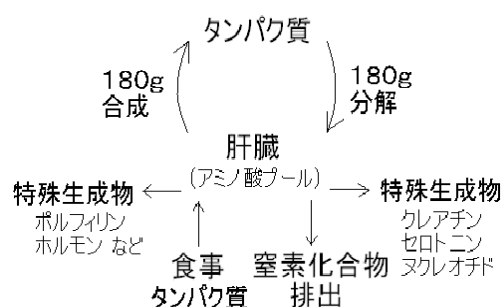
例えば、狂牛病(BSE)の原因はプリオンというタンパク質であり、 β -シート構造が増えると感染型プリオンタンパク質になることもわかっている。

(3) タンパク質の生体内での働き

- ・タンパク質が原料となる。アミノ酸の性

質がタンパク質の性質を決定する。

- ・アミノ酸誘導体となり、ホルモンなどの働きをもつ。
- ・ペプチド、タンパク質、ホルモン、ステロイドなどになる。
- ・アミノ酸の生体内での流れは次のとおり。食物として摂取されたタンパク質は消化されてアミノ酸となり、腸管から吸収されて肝臓に運ばれ、組織タンパク質などの原料となる。下図のようにアミノ酸は体内で再利用されるのである。



(4) 生理活性ペプチド

生体内において生理的作用を及ぼすペプチドを“生理活性ペプチド”という。ホルモンとしての情報伝達、神経系の制御など、体内の正常な機能を維持する役割がある。ドーパミンは幸せホルモンといわれ、減少すると意欲減退、増加すると幻覚の症状が出る。また、ケシに含まれるモルフィンは鎮痛作用を示すペプチドであるなど、様々な形で何らかの疾患と関係し、鎮痛作用を示すものやなるものもある。これらのペプチドは、1つのアミノ酸が欠けただけで失活してしまう。生物の毒を研究すると、薬に応用できるなど、生理活性ペプチドと疾患は深く関わっており、医薬品作りのために研究されている。

3. 実験

(1) ペプチドの味見

- (a) 何種類かのアミノ酸を実際になめることでL体とD体の味の違いを学んだ。例えば、グルタミンの場合であれば、L体は塩味と苦味、D体は甘味があることを体験した。L体とD体で味が全く違うものもあり驚いた。



- (b) アスパラギン酸とフェニルアラニンからなるジペプチドの甘味料であるアスパルテームと、ショ糖、グルコースを実際になめてみた。アスパルテームはショ糖の200倍の甘さであるが、カロリーは60分の1なのでダイエットコーラにも用いられている。



(2) メイラード反応によるにおい体験 ～においの素とは？～

メイラード反応とはアミノ酸またはタンパク質と還元糖を加熱すると褐色化する反応。これが発する様々なにおいを体験した。
[準備]

アミノ酸(味の素、システイン塩酸塩、プロリン、バリン、グルタミン酸)、糖(グルコース、砂糖)、ホットプレート、アルミカップ

[操作]

- ①ホットプレートを180～200℃に設定しておいた。
- ②アルミカップにアミノ酸、糖を入れ、ホットプレート上で加熱し、水溶液色とにおいの変化を調べた。比較するため、アミノ酸のみ、糖のみをホットプレート上で加熱し、観察した。

[結果]

	100℃	180℃
砂糖+味の素	黄粉	煎餅
グルコース+システイン塩酸塩	生肉	肉スープ
グルコース+プロリン	トウモロコシ	ポップコーン
グルコース+バリン	ライ麦パン	チョコレート
グルコース+グルタミン酸	ほぼ無臭	カラメル



(3) 酵素消化

酵素によりペプチド結合を切断する実験。阻害剤を加えると酵素はペプチド結合を切断できないことを確認した。

[準備]

1液：N-ベンゾイルアルギニン-パラニトロアニリド(基質)

2 a 液：ロイペプチン(阻害剤)

b 液：緩衝液

3 液：トリプシン(酵素)

[操作]

- ①AとBの試験管に1液を100μLずつ加えた。
- ②Aの試験管に2 a 液を、Bの試験管に2 b 液を100μLずつ加えて軽くふり混ぜた。
- ③AとBの試験管それぞれに、3液を10μLずつ加えてふり混ぜた。
- ④時間の経過とともに色が変わっていくのを観察した。

[結果]

ロイペプチンという阻害剤を入れたAの試験管では、色の変化が見られなかったが、阻害剤を入れなかったBの試験管では、色の変化が見られ、ペプチド結合が切断されたことを確認することができた。



4. ペプチド研究所の見学

最後に、ペプチド研究所の施設、設備を見学させていただいた。それぞれの研究室でいろいろな実験、開発研究が行われていることなどを丁寧に説明していただいた。

NSL 講座(4 日目)参加レポート

4 年 B 組 糸山 和香

1. 概要

2008 年 8 月 26 日(月)、NSL 講座「タンパク質の機能の探求」(講師:奈良女子大学生活環境学部教授 植野洋志先生)に参加し、タンパク質の定量法、アミノ酸分析、SDS-PAGE について学んだので、以下に報告する。

講義:アミノ酸の構造を見る方法を学習した。タンパク質の定量法、酸加水分解、SDS-PAGE、Western blot の方法と、目的を学んだ。

実験:紫外線吸光度法を用いて、タンパク質の定量法の実験を行った。また、SDS-PAGE、Western blot の実験を行った。

キーワード タンパク質の定量法、SDS-PAGE、Western blot、アミノ酸、タンパク質

2. 講義内容

(1)タンパク質の構造を見る必要性

タンパク質を学ぶことで、病気を治すことも、防ぐことも可能となってくる。タンパク質とは、アミノ酸が多数連結(重合)してできた高分子化合物であり、1次構造から4次構造までの階層構造をもつ。1次構造では1本鎖で、R-が離れているため機能しないが、折りたたんで(folding)3次構造になり、R-が近づき合うことで機能を果たすようになってくる。機能を知るには構造(形)をみななければならない。

(2)タンパク質の定量(Beer's law)

タンパク質を含む溶液を染める。染まる程度を光学的に測定することで、溶液に含まれているタンパク質の濃度を調べることができる。溶液に紫外線を当て、その吸光値(光の吸収強度)が高いほど、溶液中のタンパク質量が多いことになる。

(3)SDS-PAGE 解析

網目状の構造をもつ SDS-PAGE 用ゲルに、大きさのわかっているタンパク質と、大きさのわからないタンパク質を流し込み、電圧をかけて、大きさの分らないタンパク質がゲル上をどれだけ移動したかによって、タンパク質の大きさを調べる電気泳動法である。

(4)Western blot

SDS-PAGE 解析でタンパク質の分離を行った後、そのゲルをメンブレンに転写し、抗体を利用して染めることで、抗体と結合するタンパク質を可視化する方法である。

3. 実験

数班に分かれて、実験を実施した。ここでは、「タンパク質の定量」の実験について報告する。

○「タンパク質の定量」(Beer's law)

[目的]

サンプル(ゼラチンに生パイナップルの小片を加えたもの)のタンパク質濃度を測定する。

[原理]

染色液(プロテイン圧制)の中の色素「クーマシーブリリアントブルー(Coomassie brilliant blue、略称 CBB)」がタンパク質と結合すると、最大吸収波長が 465nm から 595nm に移動する。これより、タンパク質濃度の測定が可能になる。

[方法]

(1) 染色液の 4 倍希釈

染色液 10ml に純水 40ml を加え、50ml の希釈溶液を調製した。

サンプルのタンパク質濃度は、タンパク質濃度のわかっている溶液から作成した検量線を基に測定する。よって、まずは BSA(ウシ血清アルブミン)溶液を用いて、検量線を作成する。

(2) 各 BSA 溶液の調製

タンパク質濃度[mg/ml]が 0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.8 の溶液を、1.0mg/ml BSA 溶液からそれぞれ調整した。

(3) 検量線の作成

(a) BSA と CBB の吸着反応

- ①各 BSA 溶液を 20 μ l 試験管に入れた。
- ②希釈した染色液を 1 ml 加え、試験管ミキサーでよく混ぜた。
- ③室温で 5 分間反応させた。

(b) 各 BSA 溶液のタンパク質濃度の測定

- ①水 20 μ l に希釈した染色液 1ml を入れた溶液の、595nm における吸光度

をブランクとした。

- ②各 BSA 溶液の 595nm における吸光度を 2 回ずつ測定した。
- ③②の測定値から①のブランクの値を引くことで吸光値を算出した。
- ④③をグラフ化(縦軸：595nm における吸光値、横軸：タンパク質濃度 [mg/ml]))して検量線を作成し、近似式 $y=ax$ を求めた。

(4) サンプルのタンパク質濃度の測定

(a) タンパク質と CBB の吸着反応

サンプルについて、(3) (a)と同様の方法で反応させた。

(b) サンプルのタンパク質濃度の測定

(3) (b)と同様に、サンプルの 595nm における吸光度を 2 回測定した。その測定値を検量線の近似式に代入し、サンプルのタンパク質濃度を算出した。

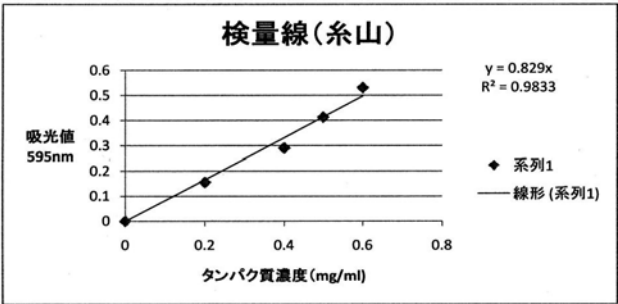
[結果]

方法 (3) の検量線作成における、吸光度の測定結果を表 1 に示す。

表1 タンパク質濃度(mg/ml)と吸光度

タンパク質濃度 (mg/ml)	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
吸光度① (nm)	0.421	0.679	0.672	0.822	1.003	1.043	1.005
吸光度② (nm)	0.444	0.599	0.522	0.734	0.857	0.974	0.843
吸光度①-フラスコ①	0	0.258	0.251	0.401	0.582	0.622	0.584
吸光度②-フラスコ②	0	0.155	0.078	0.29	0.413	0.53	0.399

また、表 1 のデータをグラフ化したところ、次のグラフのようになった。



上のグラフより、検量線の近似式は、

$$y=0.829x$$

である事がわかった。

方法（４）のサンプルのタンパク質濃度の測定における、吸光度の測定結果を表２に示す。

表２ サンプルのタンパク質濃度の測定

サンプル	1 倍希釈
吸光度① (nm)	0.643
吸光度② (nm)	0.675
吸光度①-ブランク①	0.281
吸光度②-ブランク②	0.313
[吸光度-ブランク]の平均値	0.297

この結果を、グラフ１の検量線の近似式 $y = 0.829x$ に代入すると、サンプルのタンパク質濃度を求めると、

$$x = 0.297 / 0.829 = 0.3582 \dots \approx 0.358$$

よって、サンプルの１倍希釈のタンパク質濃度は約 0.358mg/ml とわかった。



[考察]

標準液での測定より、タンパク質濃度と吸光度は比例した。このことより、サンプルの２倍希釈、３倍希釈の吸光度の値は１

倍希釈よりも低く、タンパク質濃度も下がると考えられる。

４．その他の実験

その他のタンパク質の構造を調べる実験を次に紹介する。

<SDS-PAGE> (=SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動)

タンパク質を分離する方法の一つ。アクリルアミドと呼ばれる化合物で出来たゲル(寒天のような篩い構造のもの)中にタンパク質を通過させる(泳動させる)ことで、一定時間での移動度とタンパク質を構成するアミノ酸の数(別に分子量で表現する)が比例することから、タンパク質を分類する方法である。長い分子ほどゲルの篩いの目に引っ掛かって移動度は小さくなり、短い分子はどんどん先へ移動してしまう。

SDS=荷電した界面活性剤(石鹼のような化合物)で、これをアミノ酸の正に荷電した残基に結合させることで、分子すべてを負に荷電した状態にする。これを泳動させると、移動度とタンパク質分子の長さ(分子量)が比例する結果が得られる。



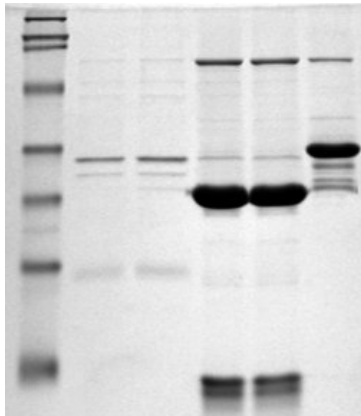


図1 SDS-PAGE

左1列：分子量を決めるためのマーカー
右5列：分析対象のタンパク質



<Western blot>

Western blotting は、SDS-PAGE 後のゲルを電気にかけることでメンブレンに転写して、抗体を使ってタンパク質をマークし、その抗体への抗体(二次抗体)をかけたあとで、多くはAP(alkaline phosphatase)によって発色するものである。

4. NSL 講座の参加した感想

今回学んだタンパク質の分離の方法は始めて聞く内容だったが、本物の実験器具を使っただけの実験で、とても分かりやすく、楽しく学ぶことができた。

本プログラムで特に印象に残った内容は、ゲルを用いてタンパク質の分離を行ったとき、タンパク質の大きさによってゲル上を移動する距離が違ってくるということである。また、タンパク質の機能を見るためには様々な方法があるということも知った。

学生の方達と一緒に実習をさせていただいたことで、大学に入ってからの実験や講義に興味をもつことができ、非常に楽しく過ごすことができた。

タンパク質に対する抗体を用いることで、特異的にタンパク質を検出することができる。



NSL 講座(5日目)参加レポート

4年B組 糸山 和香

1. 概要

2008年8月27日(水)、NSL 講座『空間の向き』と鏡の世界」(講師：奈良女子大学理学部教授 小林毅先生)に参加し、鏡の位置の関係、二次元で考える鏡の位置の関係について学んだので、以下に報告する。

講義：光学異性体から、「鏡の関係」について考えた。また実際に軍手を用いて、不思議な「鏡の関係」を実感した。

講義：数直線で表せる「鏡の関係」について学習した。また、「鏡の関係」を計算でもとめ、その計算の意味を考えた。

キーワード 鏡の位置の関係、空間の向き、正・負の向き、ベクトル

2. 講義

(1) 化学の世界から

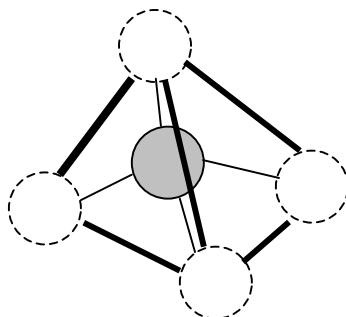


図1 炭素原子 C

炭素原子には4つの手があり、時と場合によって様々な物質(原子)が結びつく。物質は図1の点線の箇所に結びつく。そのことによって、原子同士のつながり方が全く同じであるが、ぴったり重ねようとするとうまく合わない関係をもつものが生まれる。それが光学異性体である。

(2)ぴったり重なるものはいくつあるか
数字の同じものはどれも同じ物質と考える

と、次のような立体の場合、ぴったり重なるのは何通りあるか。

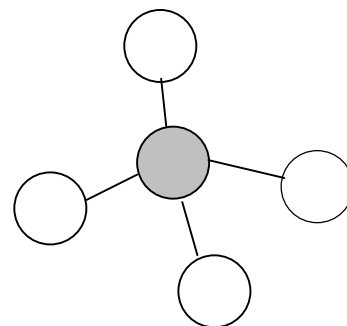


図2

図2のように、どう動かしても変わらない(ぴったり重なる)。



図3

色々な配置のものができるが、図3のように動かすと全て同じ配置になる。

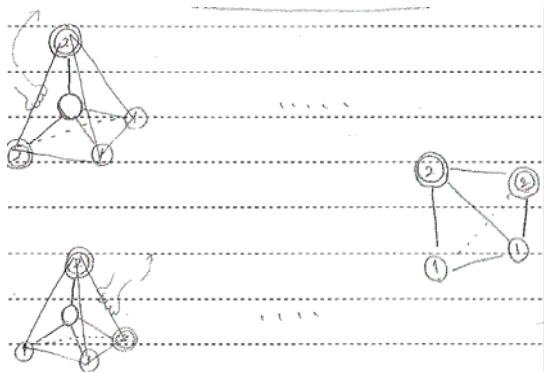


図4

同様に色々な配置のものができるが、図5のように動かすと全て同じ配置になる。



図5

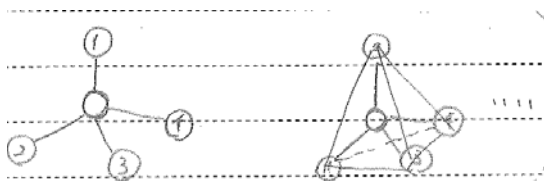


図6

これらは、図6の①・②のどちらかに重なる。①、②の2つは重ならないが、鏡に映すと重なる。

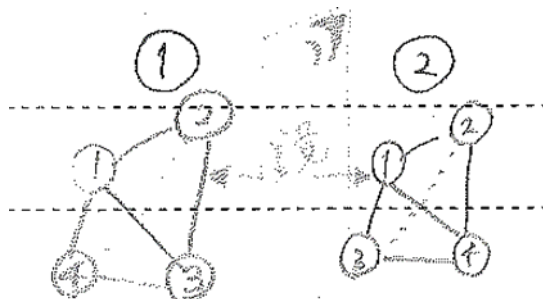


図7

このような位置関係のもの2つを「鏡の位置の関係」と呼ぶ。光学異性体も鏡の位置の関係である。

(3) 身の回りにある鏡の位置の関係にあるもの

<サイコロ>

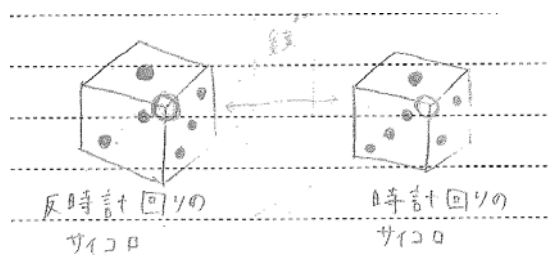


図8

100円均一ショップに売っているサイコロには目の回り方が時計回りのものと反時計回りのものがある(図8)。よって図中の丸で囲んだ角から考えると、サイコロの面の配置は鏡に映した関係になる。

<ハサミ>

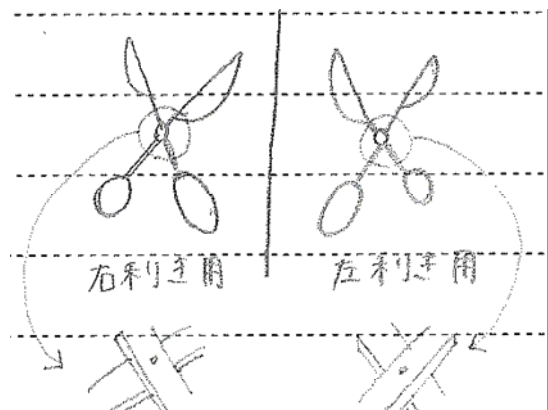


図9

右利き用と左利き用では、持ち手の輪の大きさ、中心(刃を留めているところ)の左右の刃の重なり方は、鏡に映した関係になっている。

(4) 区別する3本の矢印

軍手は、左右の区別無く使う事ができる。しかし、普通の手袋では、左右の区別をする。軍手と手袋はどのような点で違っているのか、実際に軍手を使って考えてみた。

その結果、「手袋は柄で裏表が明確だが、軍手には柄がなく、裏表が分かれていない」ということがわかった。

また、図 10 のように

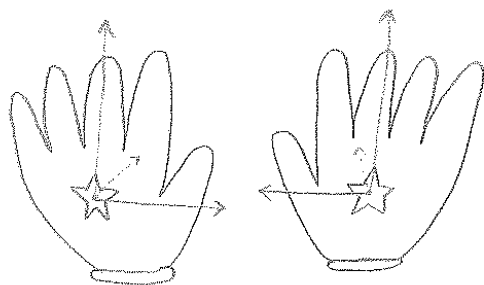
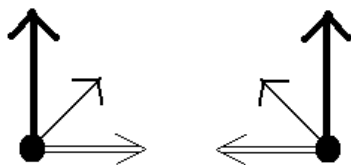


図 10

手袋の親指の方向、人差し指の方向、柄のある方向の3つの矢印を考える。



この3つの矢印は鏡の位置の関係にあり、重なる事はない。よって手袋は左右の区別がついている。

しかし、軍手は柄のある方向の矢印がない。上の矢印の一つでも欠けると、重なる事ができるので、軍手は左右の区別がついていない。

(5) 鏡の位置の関係を数字で表す

・一次元で考える

数直線を用いる。

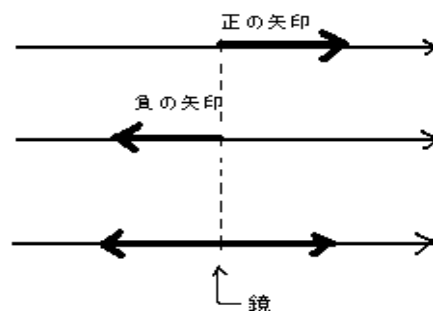


図 11

図 11 のように正の矢印・負の矢印、鏡の位置の関係にある矢印とする。

また、

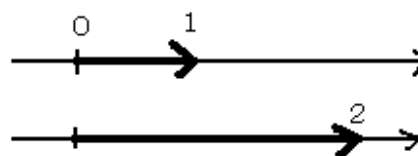


図 12

図 12 において、下の矢印は、上の矢印に比べて正の度合いが2倍であるとする。矢印1の向きの度合を矢1と表すとする。

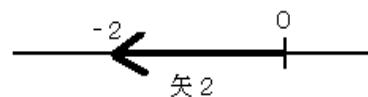


図 13

図 13 の数直線は矢2 = -2 と表せる。このとき、図 14 の数直線は上から順に

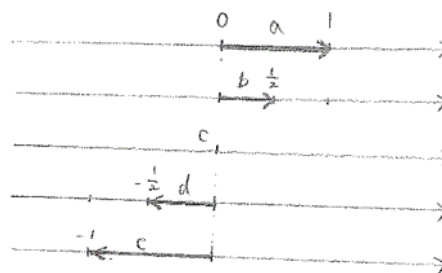


図 14

$$\begin{aligned}\boxed{\text{矢 a}} &= 1 \\ \boxed{\text{矢 b}} &= 1/2 \\ \boxed{\text{矢 c}} &= 0 \\ \boxed{\text{矢 d}} &= -1/2 \\ \boxed{\text{矢 e}} &= -1\end{aligned}$$

と表すことができる。

・ 2次元で考える

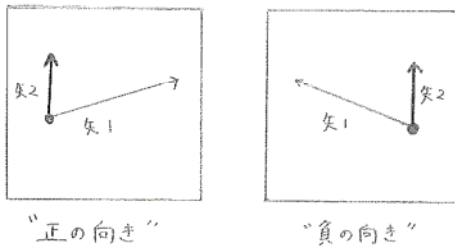


図 15

2次元での矢印は必ず、左下の2つのどちらかの矢印になる。また、それぞれを「正の向き」、「負の向き」とする。

図 16 右側矢印の向きの度合いはいくつになるか。

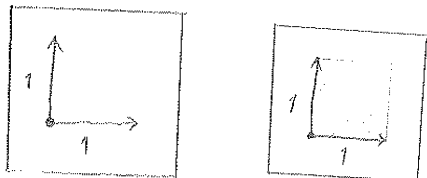
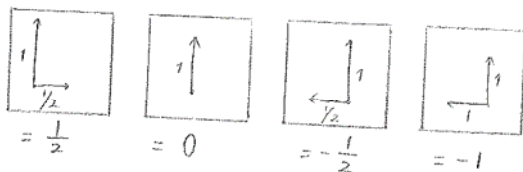


図 16

この向きの度合いは、2つ矢印の間のできる面積とする。ゆえに、図 16 にある矢印の向きの度合いは1である。

同様に



となる。

これを認めるならば、

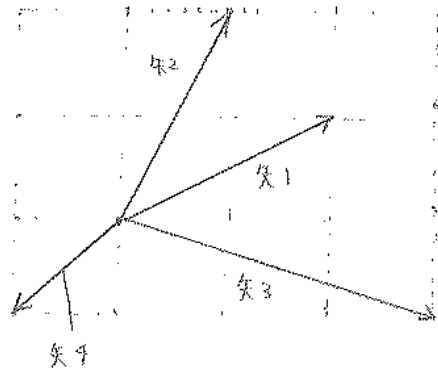


図 17

$$\begin{aligned}\boxed{\text{矢 1}} &= \begin{bmatrix} 2 & 1 \end{bmatrix} \\ \boxed{\text{矢 2}} &= \begin{bmatrix} 1 & 2 \end{bmatrix} \\ \boxed{\text{矢 3}} &= \begin{bmatrix} 2 & -1 \end{bmatrix} \\ \boxed{\text{矢 4}} &= \begin{bmatrix} -1 & -1 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

と表せる。また、公式

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = a d - b c$$

を利用して次のような計算をした。



図 18

向きの度合いはいくらか？

$$\begin{array}{c}
\begin{array}{|c|c|} \hline 2 & 1 \\ \hline 1 & 2 \\ \hline \end{array} \\
= 2 \times \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 1/2 \\ \hline 0 & 3/2 \\ \hline \end{array} \\
= 2 \times 3 \times \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 1/2 \\ \hline 0 & 1/2 \\ \hline \end{array} \\
= 2 \times 3 \times \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 0 \\ \hline 0 & 1/2 \\ \hline \end{array} \\
= 3 \times \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 0 \\ \hline 0 & 1 \\ \hline \end{array} \\
= 3
\end{array}$$

4. NSL講座の参加した感想

この講座を受けて、今まで全く気に留めていなかった、身の回りにある鏡の関係のものや、3方向の矢印を意識するようになった。

最後の方の内容は少し難しかったが、小林先生のわかりやすい説明と、黒板に書かれた丁寧な絵や図で、理解することができた。

本講義で特に印象に残った内容は、2つの矢印では重ねることができるのに、たった異なった3本の矢印だけで鏡の位置の関係になるということです。不思議で、また、面白いなと思いました。

■最後に (NSL 講座に参加した感想)

今回この NSL 講座で学んだタンパク質はまだ学校では学習していない内容で、5 日間の講義を理解できるかとても不安だったが、身近な内容や私たちが日常的に体験していることを取り入れての講義だったので、とてもわかりやすく面白い講義だった。

5 日間毎日、タンパク質について講義を聴き、実験を行うという機会は今までにはなかったので、途中でいやにならないかと最初は不安だったが、実際は毎日の講義それぞれが充実しており、5 日間集中して講義が聴けるすばらしい講座だなと思った。

5 日間それぞれに印象的だった内容はたくさんあったが、その中でも特に私は植野 洋志先生の講義で行った実験が印象に残っている。2 日目(中沢 隆先生)の講座で作成したサンプル(プロテアーゼ処理したタンパク質溶液)を用いて、タンパク質濃度を測定するタンパク質定量の実験を行った。自分たちが作成したサンプルのタンパク質の濃度を実際に大学で使用されている実験器具を使い行う実験は、私たちにとってとても新鮮で刺激的な体験となった。また、実験の難しさ、面白さ、精密にすることの大切さを、身をもって感じる事ができた。今までの講座とのつながりを感じることができ、改めてタンパク質の奥深さを実感させられた実験となった。

5 日間すべての講義・実験を通して学んだことは知識としてはタンパク質について語る上でのほんの序章かもしれない。しかし、私たちは今回の NSL 講座に参加したことで、タンパク質のおもしろさや奥深さ、先生方のタンパク質に対する熱い思いはしっかりと学ぶことができたと思う。

この講座で学んだたくさんのことを糧に、楽しみながら、これからたくさんのことを勉強していきたいと心の底から思った。

■参考文献・サイト

[1]楽しい高校化学の HP

<http://www2.yamamura.ac.jp/chemistry/chapter6/lecture2/lect6021.html>

[2]タンパク質の構造の HP

<http://www.tennoji-h.oku.ed.jp/tennoji/oka/2006/06ko3-36.html#ペプチド結合>

[3]Wikipedia 「タンパク質」、「ポリアクリルアミドゲル電気泳動」

<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

[4]実験編 SDS-PAGE

<http://www.246.ne.jp/~takeru/chalk-less/lifesci/bioexp/sds-page.html>

[5]タンパク質の電気泳動

<http://web-mcb.agr.ehime-u.ac.jp/bunnshi/page.htm>

「台湾 ISSS」参加報告

2年B組 羽鹿 諒
3年A組 庄野 祐貴
4年B組 國松 大悟
4年C組 林 由佳里
6年C組 中嶋 研人
指導教諭 末谷 健二
指導教諭 櫻井 昭
指導教諭 川口 慎二

1. 要約

2008年8月18日(月)から22日(金)にわたり、台湾の高雄女子高級中学校を訪問し、相互の研究成果を発表しあうとともに、共同実験を行い、海外の高校生と科学に関して、英語によるコミュニケーションをはかるとともに、英語によるプレゼンテーションを行った。

また、高雄女子高級中学校への訪問以外にも、台湾の国立自然科学博物館において、台湾の自然、科学技術に関する研究を行った。さらに、民主紀念館や忠烈祠といった歴史遺産を訪問したり、現地の高校生たちと交流を持ったりすることにより、台湾文化に触れる機会も多く、視野が大きく広がった。5日間の活動について報告する。

■目的

他国の同年代の生徒と共に、一つの課題に取り組むことにより、コミュニケーション能力と思考力を養う。また、他国の文化を知ることにより、グローバルな見識を身に付ける。

* ISSS *

International Salon of Super Science Student の略。

- ・海外先進校に出向き、議論や共同研究を行なう
- ・海外先進校で生との研究指導を行なっている教師へのインタビュー等により、「発見する力」を伸ばす指導方法を探る。

■研修場所

研究交流：高雄女子高級中学校（台湾・高雄市）

研 修：国立自然科学博物館（台湾・台中市）

国立台湾民主紀念館（台湾・台北市）

台北101展望台（台湾・台北市）

キーワード 国際交流、コミュニケーション、プレゼンテーション、グローバル

2. スケジュール

■ 1 日目 (8 月 18 日) 【移動・準備】

9:15 集合

(関西国際空港 4 階 国際線出発口中央付近)

11:15 関西国際空港 発

<CX565 便 (キャセイパシフィック航空)>

昼食: 機内食

14:20 桃園国際空港 着

※第一ターミナル出口正面左手にてガイドの迎え有り。

桃園国際空港 発 <専用車>

桃園駅 着

14:52 桃園駅 (台北) 発 <台湾新幹線>

17:00 左営駅 (高雄) 着 <専用車>

華王大飯店 (キングダム ホテル) 着

18:10 ロビー集合、夕食

20:00 翌日の打ち合わせ、ワークショップの確認

21:00 解散、自由時間

23:00 就寝

■ 2 日目 (8 月 19 日) 【研究交流 I】

6:30 起床

7:00 ロビー集合、朝食 (ホテル)

<徒歩>

8:30 高雄女子高級中学校 着

・開会式

・Green Energy に関する研究発表
(高雄女子)

① Solar cell

② Fuel cell

③ Biomass

・サイエンス研究会の研究発表
(本校)

① 学校紹介 (庄野)

② ロボット研究 (庄野)

③ Cubic Controller (中嶋)

④ 光合成の第 4 過程 (国松)

⑤ シカのフンとシバの関係 (林)

12:00 昼食

13:30 ロボットワークショップ (本校)

講師: 羽鹿

助手: 中嶋、庄野、国松、林

17:00 ホテル 着

18:00 ロビー集合、夕食

19:30 ロビー集合、翌日の打ち合わせ

21:30 解散、自由時間

23:00 就寝

■ 3 日目 (8 月 20 日) 【研究交流 II】

6:30 起床

7:00 ロビー集合、朝食

<徒歩>

8:30 高雄女子高級中学校 着

・科学研究ワークショップ
(高雄女子)

12:00 昼食

13:00

・生徒、教職員交流会

・閉会式

16:30 ホテル 着

18:00 ロビー集合、夕食

19:30 ロビー集合、翌日の打ち合わせ

21:00 解散、自由時間

23:00 就寝

■ 4 日目 (8 月 21 日) <移動・博物館見学>

7:00 起床

7:30 ロビー集合、朝食

9:30 ロビー集合 <専用車>

10:30 左営駅 (高雄) 発 <台湾新幹線>

11:40 台中駅（台中）着、昼食
 12:40 国立自然博物館見学
 16:00 ロビー集合 <専用車>
 16:52 台中駅（台中）発 <台湾新幹線>
 18:15 台北駅（台北）着 <専用車>
 夕食
 20:00 六福客棧 着
 チェックイン・荷物整理など
 21:00 ロビー集合、明日の打ち合わせ
 22:00 解散、自由時間
 23:00 就寝

■5日目（8月22日）<移動・台北市内見学>

7:00 起床
 7:30 ロビー集合、朝食
 8:30 ロビー集合 <専用車>
 9:30 忠烈祠 見学（衛兵交代式を見学）
 <専用車>
 9:50 台湾民主記念館 見学
 <専用車>
 10:50 台北 101 着
 フードコートにて自由昼食
 <専用車>
 14:00 桃園国際空港 着
 16:05 桃園国際空港 発
 <CX564 便（キャセイパシフィック航空）>
 19:40 関西国際空港 着
 20:00 解散

3. 1日目報告

台北桃園国際空港についた瞬間、中華系特有の香辛料のにおいがして、日本より湿度も温度も高く、日本とまったく別の空気を感じた。また、空港から台湾新幹線の駅に向かう途中、道路を見ると、とても道路が広く（日本の2倍以上の広さはあるだろう。）、たくさんの原付バイ

クが走っていた。2人乗りなどは普通に見かけられ、3人乗りもよく見られた。たくさん原付バイクがあるせいか、ほとんどの広い道路には原付バイク専用の道路が整備されていた。なぜここまで、原付バイクが普及しているのかというと、安く、ガソリンも上がっているためだそう。台湾の街中には細い路地も多く、移動もしやすいのだろう。図1が台湾の街の様子である。台湾では右側通行でした。



図1 高雄市内

台湾の食事はやはりおいしいです。また、もうひとつ台湾の特徴の最たるものともいえたのが、お茶を買う際に注意しないと、とても甘いお茶を買ってしまう羽目になります。

これは、言ってみれば日本の新幹線であり、しかも、日本の会社が鉄道を製作しているため、車体の形は、日本の「のぞみ」と同じ形でした。しかし、それを実際に動かしている会社は、何と日本の会社ではなくフランスの会社でした。

日本だったら回収されるチケット（図2）が、この台湾の高速新幹線（高鐵）では、回収されないのです。



図2 高鐵のチケット

さらに、1日目には、観光地である「蓮池潭（れんちたん）」へ行きました。当時、この蓮池潭では工事が行われており水が抜かれていたのですが、通常は大きな池にたくさんの蓮が浮いているそうです。そして後ろに見える二つの塔はそれぞれ7階建てになっており、6階まではだれでも立ち入れるようになっていました。その6階から僕たちは、その池の周囲を見渡すことができたのですが、何とその池の周囲には、幾つもの塔や寺が建っておりさらには、三蔵法師などの像がありました。



図3 蓮池潭

4. 2日目報告

2日目は高雄女子高級中学校交流行事の初日である。この日の大きなイベントは2つであり、午前は双方の口頭発表、午後はロボットのワークショップである。この中で一番重要なのがワークショップである。なぜなら、ワークショップは聴衆が内容を理解し、自ら動いてくれないといけないからである。このワークショップの説明を行うのは羽鹿であった。残りの生徒はワークショップをうけている台湾の生徒の指導を行った。

しかし、前日になって2つの問題が発生した。1つ目はワークショップに使用するロボットの制御コントローラーが壊れたこと。2つ目は羽鹿の説明が伝わりにくいことであった。庄野と中嶋は制御コントローラーを修復するためにホテルの部屋でハンダごてや電子工作機具を用い

必死で作業をしていた。その様子は、まるで異国の地で理科講義室が再現されたようだった。部品が足りなくなるという事態も発生したし、壊れた回路の部品を使うことによって乗り切った。羽鹿は末谷先生と川口先生ともに説明のセリフは考えていた。練習すれば英語の発音もよくなるらしく、前よりも分かりやすくなっていった。このあと羽鹿はスライドを作り直すことになり、結局徹夜した。生物班の人たちもどうも口頭発表がうまくいかないようであり、必死で櫻井先生と夜遅くまで作業をしていた。全員総動員で真夜中まで仕事をしていた。

そして、当日。ドキドキしながら、高雄女子高級中学校に向かった。ワークショップに使う機具（特にコントローラー）はもう壊れてほしくないで、大切に抱えていった。まずは口頭発表である。発表会場は思いのほか、とてもいいところで生徒の雰囲気もよさそうだった。まずは相手の学校の紹介、研究発表でその次は我々の研究発表である。

発表することはふたつ。こちら側の自己紹介と自分の発表だ。できるだけ、面白くきいてもらえればいいという末谷先生の方針で、相手の生徒に問いかけたり、冗談をいったりと工夫した。でも、この方法は雰囲気が悪ければ、とても白けるという面ももっている。吉とでるか凶とでるか。賭けであった。

結果は…、大成功である。これにより、勢いに乗って、奈良女子大学付属中等教育学校としての口頭発表は成功に終わった。

生物班の発表では、質問時間に入ったとき、予想もしていなかったのだが向こうの先生から、質問されました。そのおおまかな内容は、「ATPはそのものの粒子が大きくて、そんな簡単に植物の中に取り込まれ何ののではないか？」というものでした。それを確かめるため以前に、前実

験をしているのですが、その前実験の欠点も指摘されたため、返答に詰まってしまいました。このことについては研究を続けていきたいと思っています。



図4 研究発表の様子

午前の活動が終わり、相手の学校から昼食として、弁当、フルーツのパック、台湾風あんみつ、タピオカティーが支給された。弁当に比べて、デザートが多くて驚いた。タピオカティーとは砂糖を入れたミルクティーにタピオカ（ある植物の茎のデンプンを糊化させ、乾燥させたもの）を入れたものである。

そして、運命の午後。ワークショップが始まる。基本的にワークショップではものが壊れることが多いのだが、奇跡的になにも壊れていない。それを慎重に扱い、準備する。生徒が集まってくる。羽鹿も昨日の成果から、それなりに説明が伝わっているようだった。そして、この会場の雰囲気が良かった。みんなが緊張している羽鹿を応援している雰囲気だったのだ。羽鹿の説明が終わると、庄野、中嶋、國松、林がいっせいに分かっている生徒のところに行き、実際にものを用い、説明した。生徒たちはすべて理論的に話し合ってから、行動に移していたので、それは見習うべきだと思った。時間が少なかったせいか、ロボットが完成していない班もあったが、ほとんどの班が完成させていた。

その後、どのロボットが一番面白いかという

ことでそれぞれに紹介をしてもらい、優秀なところには林から、台湾でも人気のあるジャニーズセットを手渡された。なんとか成功した。



図5 ワークショップの様子

次は、大急ぎで高雄女子高級中学校のワークショップに向かった。ワークショップは物理（太陽電池）、化学（燃料電池）、生物（砂の中の生物）から選択する形であった。

太陽電池では、教室に入るとレゴのような太陽電池で動かすモーターセットで車を作る説明書を読みながら、作ったがすぐにできてしまったので軽量化を行ったところでこの日のワークショップは終了した。

ホテルのレストランで夕食として飲茶を食べた後、高雄の生徒とともに高雄の夜市に行った。雨の日以外はやっていて、いろいろなものがそろそろ屋台の集まりだ。高雄の生徒たちは台湾で一番おいしいものを紹介してくれるという。臭豆腐。本当に豆腐はタンパク質からできているせいかアンモニアとなにかを混ぜたような結構強烈なおいがる。これにたいしての感想は人によってさまざまだが、不思議な味のする、そこそこおいしいものだった。日本にはない味である。

5. 3日目報告

3日目は高雄女子高級中学校との交流行事の2日目である。

この日の午前は昨日のワークショップの続きである。太陽電池を用い、太陽の平行光線に当てて角度による違いを測定し、太陽電池の発電量を計算するなどをした。結局発電量はパネルが小さいせいか1Wにも満たなかった。豆電球がつくか、つかないかぐらいの弱い電力であった。

グリーンエネルギーについての探求実験でも、化学(燃料電池)では、燃料電池の前段階である電気分解や、単なる原始的な電池つまり電気陰性度の違いを用いたものを作らせてもらいました。ここで学んだことは、本当にちょっとした作りで大きな電圧を作り出せるということでした。初めに作ったのは銅板に硫酸銅を湿らせたろ紙をマグネシウムリボンでくくりつけただけのシンプルな仕組みのものでした。しかし驚くことに、この単純な仕組みのもので、小さな置時計のベルを鳴らすことができたのです。

その他、電気陰性度を確認する実験として、銅板、ニッケル、アルミニウムなどを用いて電圧を調べました。

前半は、プレゼンテーションを聞きました。ここでは、燃料電池の歴史や種類、そして、どのような使い道があるのかについて説明を受けました。この発表を聞いて新しく分かったことは、もうすでに日本では、東芝が、燃料電池で動くMP3プレイヤーを大衆向きに売り出しているということでした。またこのこと以外にも、どの種類の燃料電池が、どのくらいの費用がかかってまたどれだけの精度を持つのか。などということを知ることができました。

午後に高雄女子高級中学校の数学の先生とともに、図6のようなピースを30ピース使って、きれいな多面体をつくろうというワークショップを行った。最初の慣れないうちは難しく感じられたがなれると簡単だった。本校のみんな

が熱中し、本来ならば行われるはずだったスポーツイベントも時間の関係でなくなってしまった。

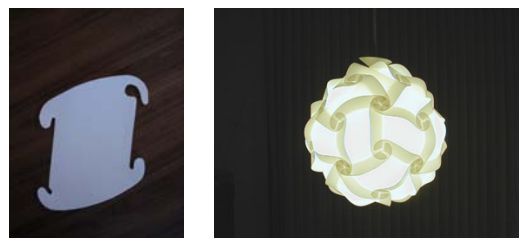


図6 立体パズル

120面体もできるという話をきたのでその日の夜3時間かけて作ったが、運搬の関係から、泣く泣く壊した。学園祭でまた作ろうと思う。



図7 分野別ワークショップの様子

6. 4日目報告

4日目は高雄から台北に行く移動日だったが、途中の台中で国立自然科学博物館に立ち寄った。ここでは人文科学が多く、古代中国の科学技術や恐竜の時代から現代までの流れが多い。別の建物には物理を展示しているところがあり、さまざまな力学や光の現象などを展示していた。

ここで印象に残ったものをいくつか紹介しよう。

① 恐竜のロボット

まぶたや尻尾の動きがとてもリアルで構造はどうなっているのか気になった。これは是非一度は見るべきだ。

② エジプトのミイラ

前から古代エジプト文明には興味を持っていたので、見た時は本当に感動しました。髪や歯が鮮明に残されていて、本当に紀元前から残されているのかと考えるととても楽しかったです。

③地震計

これは昔何かの資料集で見たことがあったので感銘が深かったのですが、昔にしてはかなり画期的な地震計でした。仕組みがどうなっているかという、ものすごく簡潔に説明すると、つぼの中に棒が入っていて、その棒が自身の前揺れに反応して、地震が来た方向に倒れます。その時、ボタンみたいなものを押しその方向のつぼに水が流れていきます。これによって地震がどこから来たかわかるようになっているのです。

④活版印刷

北京オリンピックの開会式のときに中に人が入ったもので実演していたので知っている人もいますが、中国が発明した三大発明の一つです。

これが発明されるまでは何度も同じことを書かなくてはいけなかったのがこれができるからは文字を一度はめ込むだけで同じものが何度も刷れるようになったのですから本当に大発明と呼べるでしょう。

さらにこの発明の素晴らしいところは、これ以前の印刷術というのは、石に一回掘ってそれを何度もするというものだったので、応用が利きませんでした。この印刷方法では、一度完成してもまたそれをばらして組み替えることによって何度も違う文面を書き上げることができるのでそこがすごいと思いました。



図8 活版印刷

⑦針治療

この博物館には東洋医学の話も展示してありました。鍼灸銅人と呼ばれるものがありました。人体模型の最初は、前16年に犯罪者の解剖記録を人体模型にしたものですが、これは、1027年に鍼灸の模型としてつくられたものです。

この使い道は鍼灸の試験用だったみたいです。また今では、この針治療も近代化して、電気針なるものができているようでした。

また図9は、その針治療の場所を示したものです。針治療の針の発展は

「石針→竹針→骨針→金銀針→昆針」である。



図9 針治療

⑧火薬

これも中国の大きな発明の一つですが、これは発明のされ方が面白いです。そもそものルーツは方士が、錬金術を試みていた時に偶然見つけ出したもののようです。

この日は夕食として小籠包が出された。台湾

の名物だ。レンゲの中にちょこんと乗せ、やけどしないように汁を出し、汁をそそり、肉を食べる。肉汁がとても美味しかった。少し油っこいので、すこし食べるのがおいしいのかもしれない。

7. 5日目報告

短のような長のような台湾交流行事もついに最終日。名残惜しくなってきた。この日は台北の観光だった。まずは国民革命忠烈祠に行き、そこを守る衛兵の交代式を見に行った。「国民革命忠烈祠」とは国民革命や戦争で亡くなった人々の慰霊を慰める場所である。衛兵の交代は規律正しく行われていた。この衛兵たちは台湾の軍隊のエリートであるそうだ。



図10 衛兵交替の様子

中正紀念堂などを巡ったあと、世界一高い建物台北101に向かった。真下から見ると、天まで続くようだった。



図11 台湾101

まさにバベルの塔のようであった。せっかくなので89階の展望台に登り見渡してみると台北中が一望できて、素晴らしかった。なんでこんなに高い建物が倒れないのかということの中に動くとても大きい玉のようなものがあって、揺れを質量に変換することによって、揺れるのを止めるそうだ。

8. まとめと感想

初めての台湾で初めてのものの初めて会う人ばかりでとても面白く、新鮮だった。自分自身初めてプレゼンを人前でして、英語でたくさん交流して、自分が一回り大きくなった気がする。今後はこれを糧にして、頑張っていきたい。

実際にこのツアーに参加して思ったことは外国でも、本当に、何とかやっていけるということでした。そういうことについてこのツアーに参加して大きな自信を得ることができました。

最後にこの機会を設けて下さった、日本、台湾両国の方々に礼を言いたいと思います。本当にありがとうございました

「かがくのひろば」実施報告

サイエンス研究会化学班	2年A組	勝野友紀菜
	2年A組	松尾 芳美
	2年B組	内海 風香
	2年B組	矢野 仁美
	指導教諭	野上 朋子
数学班	2年B組	森 宇宏
	2年C組	佐藤 圭
	2年C組	清水 悠平
	指導教諭	川口 慎二

1. 要約

サイエンス研究会は、校種間連携活動「かがくのひろば」の取り組みで、附属幼稚園と附属小学校において、成果の普及活動を行っている。今年度は数学班が附属幼稚園で「ならべてなにができるかな」という活動を、化学班が附属小学校6年生に対し「酵素の不思議」の授業を行った。今回の「かがくのひろば」は、附属学校園文部科学省研究開発学校公開研究会の公開授業の一つとして、全国の先生方にも参観していただいた。

日時：2008年11月14日（金）

10：00－10：45(45分間) 附属小学校6年月組／附属幼稚園5歳児

10：55－11：40(45分間) 附属小学校6年星組

場所：奈良女子大学附属幼稚園 遊戯室／附属小学校 理科室

数学班では、昨年度一枚の折り紙を折ってから、はさみを入れることで、様々なかたちができることを体験する「折って切ってみよう」という活動を行い、大変好評であった。この経験をもとに、今年度は、いくつかの基本図形(ピース)を並べてできるかたちの不思議さを体験してほしいという観点から題材を選んだ。

一方、化学班は、夏期休暇中に実施されたNSL講座で「タンパク質分解酵素」の実験をしたことを先輩から聞き、興味を持ったので、今回の授業のテーマを「酵素」とした。授業内容は、小学生にもわかりやすいように、できるだけ身近な食品を扱うことに努めた。

以下に、数学班と幼稚園児の活動や、化学班が小学生に対して行った授業をした内容とその様子について、それぞれ報告する。

キーワード かたち、パズル、酵素、タンパク質、タンパク質分解酵素、基質特異性、熱変性

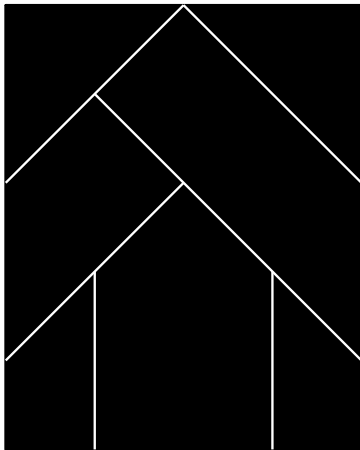
2. 活動内容

今年度の活動内容に関連して、それぞれの内容や様子について報告する。

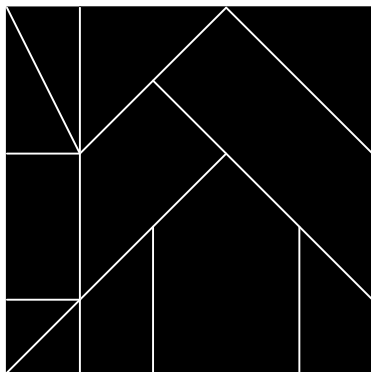
2-1. 数学班

(1) 題材

「タングラム」の一種で「ラッキーパズル」と呼ばれるパズルを用いた。「ラッキーパズル」とは 4×5 の長方形を下図のように7つのパターンに分割して、それらを並び替えることでいろいろなかたちを作るパズルである。



下図のように、正方形から切り出せば、横のあまった部分からさらにピースを切り出せるため、できるかたちのバリエーションは多くなる。



(2) 活動の流れ

まずは、自己紹介を行い、あらかじめ作っておいたかたちを見せた。「これは何に見える？」というクイズを取り入れながら、今回の活動内容を説明した。

折り紙に上図のような切り取り線を入れたものを用意し、その線に沿ってはさみを入れる。できたピースを自由に並べて、どんなかたちができるのか試行錯誤してみた。できたかたちを厚紙の上に貼り付けておく。ピースはすべて使う必要はなく、重ねて貼り付けてもよい。



ある程度、完成してきたところで、代表の園児の作品をみて、「これは何かな？」と当てっこをしながら、互いの作品を鑑賞した。最後に、会場の参観者に向けて、「こんなのができたよ」と報告して活動を終えた。

(3) 園児の様子

昨年度も同じ園児を対象として、「かがくのひろば」を実施していたため、園児の中には、私たちを覚えてくれていた子もいてうれしかった。

実際に作業が始まると、みんな本当に一生懸命で、折り紙を切り取ってできたピー

スをあれこれ工夫しながら並べていた。ひっくり返したり、回転させてみたり、重ねてみたり、2つをくっつけてみたり、一人ひとりの工夫の仕方がみんな違って、とてもおもしろかった。



たくさんのテーブルをまわって、「どんなのができた？」と聞いてみると、みんな自分の作品を「見て、見て」とか、「怪獣ができた」といって自慢げに見せてくれた。こっちが意図しないようなかたちをつくってくれた子や、驚くほど丁寧にかつ上手に並べてかたちを作ってくれた子がいた。

最後に、時間の許す限り、園児の作品を一人ずつ見ながら、みんなで当てっこをした。作るほうの発想だけでなく、見て当てようとする子たちの発想力や想像力には、とても驚かされた。幼稚園の先生方やお客さんたちに成果を見てもらって終わりとな

った。



2-2. 化学班

(1) 酵素とは

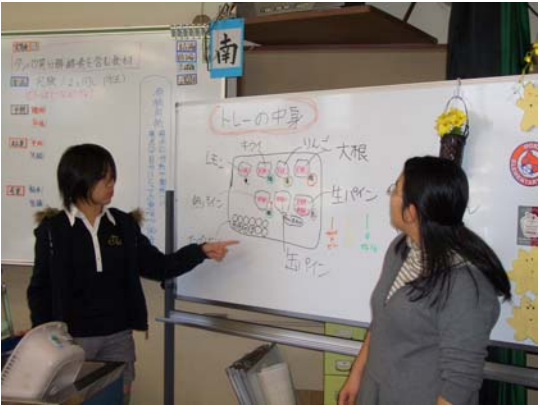
酵素とは、生体内でおこる化学反応を助ける物質のことである。必要なときに遺伝子の情報をもとにして細胞内でつくられるタンパク質である。酵素は温和な条件で効率よく反応を進行させる働きがあり、酵素自身は変化しない。生物の生理作用はいくつもの化学反応が連続しておこるものであることから、酵素はほとんどの生命現象にかかわる大切な物質であるといえる。反応ごとに決まった酵素が働きので、酵素の種類も非常に多い。細菌のような単純なからだのつくりの生物でも、1,000 種以上の酵素を持ち、全てで 4,000 種もの酵素に名前が付けられ登録されている。そのため、酵素の働きと分類の研究が世界中で行われている。また、酒や味噌などの発酵食品も微生物の酵素を利用してつくられる。

今回の授業で扱う「タンパク質分解酵素(プロテアーゼ)」とは、タンパク質を分解する酵素のことである。プロメライン、アクチニジンなどの種類があり、消化管内に分泌されるタンパク質分解酵素は、タンパク質をアミノ酸に分解して栄養成分として

取り込むのを助ける。タンパク質分解酵素を含む食品として、パイナップルやパパイヤがよく知られている。



で挟むように持ち、軽く振ることに注意した。これは手から伝わる体温によってゼリーが溶けるのを防ぐ為である。5分間後、サンプル瓶の中の様子を確認した。



(2) 実験

酵素の性質や働きを確認するために、以下に示す4つの実験を行った。

- 実験1「パイナップルがもつ酵素」
- 実験2「酵素は熱に弱い」
- 実験3「タンパク質分解酵素をもつ食品」
- 実験4「タンパク質以外を分解する酵素」

《実験結果》

	ゼリー	寒天	葛
反応の有無	有	無	無

ゼリーにパイナップルを入れたものだけ、ゼリーが徐々に溶けていき液化していく現象が見られた。

実験1「パイナップルがもつ酵素」

《目的》

この実験ではパイナップルに含まれるタンパク質分解酵素がゼリー、葛、寒天それぞれにどのような反応を示すかを確認する。

《準備物》

ゼリー（タンパク質）、葛（デンプン）、寒天（食物繊維）、パイナップルの小片（1cm角、3個）、サンプル瓶（3個）、爪楊枝（3本）

《実験方法》

ゼリー、寒天、葛の入った3個のサンプル瓶に、爪楊枝に刺したパイナップルの小片をそれぞれ加え、10秒間振り放置した。このとき、瓶のふたと底を親指と人差し指



《考察》

タンパク質でできているゼリーにのみ酵素反応が見られたことから、パイナップルはタンパク質を分解する酵素（タンパク質分解酵素）を持つことがわかった。また、寒天や葛では酵素反応が見られなかったことから、パイナップルはデンプンや食物繊維を分解する酵素は持たないこと、タンパ

ク質分解酵素はタンパク質のみに作用する（基質特異性がある）ことがわかった。

実験2「酵素は熱に弱い」

《目的》

次に実験1で確認したタンパク質分解酵素の働きと熱の関係を調べる。この実験にはゼリーと生のパイナップルと缶詰のパイナップルと電子レンジで加熱したパイナップルを用いる。

《準備物》

ゼリー（タンパク質）、生のパイナップル片（1 cm 角、1 個）、加熱処理したパイナップル片（1 cm 角、1 個）、缶詰のパイナップル片（1 cm 角、1 個）、サンプル瓶（3 個）、爪楊枝（3 本）

《実験方法》

ゼリーの入った3個のサンプル瓶に生のパイナップル片と缶詰のパイナップル片、加熱したパイナップル片をそれぞれ入れ、10秒間振り放置した。5分後、サンプル瓶中の様子を確認した。

《実験結果》

パイナップルの種類	生	加熱	缶詰
反応の有無	有	無	無

ゼリーに生パイナップルを加えたものだけが反応し、他2つには反応が見られなかった。

《考察》

酵素反応が見られた生のパイナップルを加熱したあとで変化が見られなくなったことから、パイナップルに含まれるタンパク質分解酵素は熱に弱い（熱変性）ことがわかった。また、缶詰のパイナップルでは反応が見られなかったことから、缶詰のパイ

ナップルはタンパク質分解酵素の働きがないことがわかった。これは、缶詰の製造工程で熱処理がされ、パイナップル中のタンパク質分解酵素が失活するため、反応しなくなったといえる。



実験3「タンパク質分解酵素をもつ食品」

《目的》

パイナップル以外の食品でタンパク質分解酵素が含まれている食品を確認する。

《準備物》

ゼリー（タンパク質）、大根の小片（1 cm 角、1 個）、キウイフルーツの小片（1 cm 角、1 個）、レモンの小片（1 cm 角、1 個）、リンゴの小片（1 cm 角、1 個）、サンプル瓶（4 個）、爪楊枝（4 本）

《実験方法》

ゼリーの入った4個のサンプル瓶に、大根、キウイフルーツ、レモン、リンゴの小片をそれぞれ加え10秒間振り放置した。5分間後、観察した。

《実験結果》

	大根	キウイ	レモン	リンゴ
反応の有無	無	有	無	無

大根やレモンに酵素反応が見られると予想した児童が多かったが、キウイフルーツ

にだけ反応が見られ、ゼリーが液状になった。

《考察》

この結果から、キウイフルーツだけにタンパク質分解酵素「アクチニジン」が含まれ、他の大根、レモン、リンゴにはタンパク質分解酵素が含まれないことがわかった。



納豆やパパイヤにもタンパク質分解酵素が含まれていることが知られている。納豆については、事前に同様の実験を行った結果を提示することで確認した。また、パパイヤについては、パパイヤに含まれるタンパク質分解酵素「パパイニン酵素」はよく洗剤に加えられていることから、市販されている洗剤を提示することにした。

実験4「タンパク質以外を分解する酵素」

《目的》

大根には、デンプンの分解に作用する「ジアスターゼ」が含まれている。葛を使ってその働きを確認する。

《準備物》

葛（デンプン）、大根の小片（1cm 角、1個）、サンプル瓶（1個）、爪楊枝（1本）

《実験方法》

葛の入ったサンプル瓶に大根の小片を入れ、10秒間振り放置した。5分間後、観察

した。

《実験結果と考察》

葛が液状になった。この実験結果から、デンプンの分解に働きかけるジアスターゼを確認することができた。

3. 「かがくのひろば」を実施した感想

一方的に話す発表とは違い、30人ほどの幼稚園児や小学生を相手にして臨機応変に返答すること、説明することが最も難しかった。幼稚園児は作業に集中し、一生懸命形づくりを行っている姿が新鮮であった。また、小学生に授業をすることなどあまり体験できるものではないので、今回は貴重な経験をさせてもらったと思う。

4. 参考文献・サイト

- [1] 「ニューステージ新訂化学図表」、浜島書店編集部編、浜島書店
- [2] 「酵素のABC」、中村隆雄著、学会出版センター(1998)
- [3] 朝日子供新聞わくわく理科タイム
http://www.asagaku.com/rika_time/2006/5/0531.

5. 謝辞

今回の活動において、附属幼稚園の柿元みはる先生、附属小学校の小幡肇先生、谷岡義高先生にはたくさんの指導や助言をいただきました。この場で深く御礼申し上げます。

また、活動の計画や実施に当たり、顧問の川口先生、野上先生には、アドバイスをいただき、ありがとうございました。

2008年度SSHサイエンス研究会
生徒研究論文集

2009年(平成21年) 2月1日 発行

国立大学法人 奈良女子大学附属中等教育学校
〒630-8305 奈良市東紀寺町1丁目60-1

TEL. 0742-26-2571

FAX 0742-20-3660

<http://www.nara-wu.ac.jp/fuchuko/>



SUPER SCIENCE HIGHSCHOOL

SCIENCE LABORATORY

NARA WOMEN'S UNIVERSITY SECONDARY SCHOOL