

個人情報保護の観点から  
生徒名を削除し、研究した  
生徒人数を表記しました

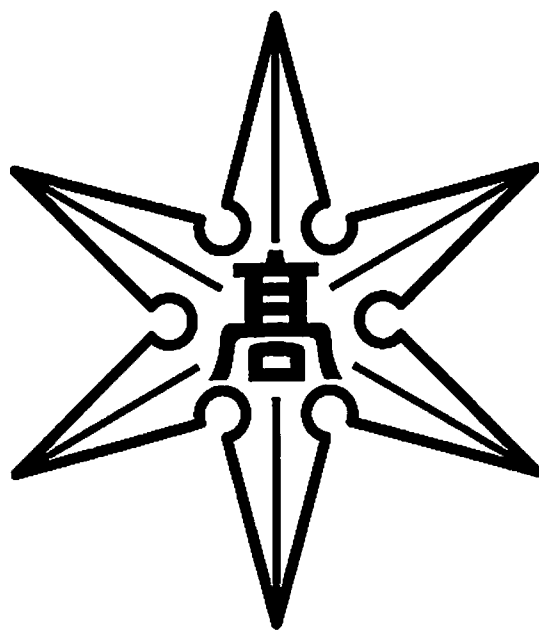
義一第

【未来に向けて  
探究する高田】  
平成30年度  
文部科学省SSH  
指定校(第2期)

令和2年度MC課題研究Ⅲ

理数科3年

課題研究論文集



新潟県立高田高等学校

## 課題研究論文集発刊に寄せて

新潟県立高田高等学校長 加藤徹男

本校は、平成30年度にスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の二期目の指定を受けており、今年度末で一期目の指定から通算8年目が終了しようとしています。一期目の様々な取組の成果を基礎として、二期目は、「探究する高田～科学的探究による深い思考力と国際交流による高い表現力の獲得、そして世界に向けた『第一義』の追求～」を研究テーマとして様々な事業に取り組んでいます。

しかし、令和2年1月に国内で新型コロナウイルス感染者が確認され、次々に感染者が増加していく中で、3月2日から学校が臨時休業となりました。その後、4月6日に始業式（放送で実施）と入学式を行い、通常授業を再開しましたが、全国を対象とした政府の緊急事態宣言を受けて4月15日から再び臨時休業となりました。5月11日以降は、分散登校による登校日や授業日の設定ができるようになりましたが、通常授業は6月1日まで再開できませんでした。そうした関係から、課題研究への取り組みについても、例年であれば3月の春休み中に実験を重ね、4月に研究成果をまとめて課題研究発表会に臨むという本来のスケジュールから大幅に遅れ、6月下旬にようやく課題研究発表会を開催できることになりました。しかし、実験期間が短かったため十分な回数の実験を行えず、満足いく結論が得られなかったグループもありました。また、県境を越えての人の移動が制限されたことで、運営指導委員の皆様から発表会にご出席いただくことができませんでした。

そうした状況の中で、本校生徒4人のグループが取り組んだ「回転水槽実験における流体内部の可視化」の研究発表が、8月28日にリモート会議システムを使用して行われた、SSH生徒研究発表会最終審査において、審査委員長賞を受賞できたことは、生徒と職員にとって、とても大きな励みとなりました。この研究テーマは、平成28年度から今年度まで、生徒たちが主体的に受け継いできたものであり、継続することで研究内容を深めてきたことが実を結んだと感じています。当日の発表をインターネットを通して視聴していた理数科1、2年生には、さらに課題研究に対して積極的に挑戦してほしいと願っています。

さて、本冊子はSSH事業で理数科の生徒たちが取り組んできた課題研究の論文集です。テーマ設定から生徒の主体性に任せ、教師はできるだけ細かい指示を出さないようにと心がけて参りました。研究論文の中には、実験回数が少なくデータが不足しているものや実験結果の分析が甘く仮説を十分に検証できていないものもあると思います。そうした点については、他のSSH校の取組なども参考にしながら、引き続き改善に取り組んでいきたいと考えています。

最後に、課題研究を進めるに当たり、大学等の研究機関や地元企業の皆様、運営指導委員の皆様方、そして科学技術振興機構様、新潟県教育委員会様など、大変多くの関係者各位から、熱心なご指導と温かいご支援をいただきましたことに厚く御礼申し上げ、論文集発行のご挨拶とさせていただきます。

## 目次

1	巻頭言	校長 加藤 徹男	1
2	目次		2
3	サイエンスコース生 研究論文		
	summary (要約)		4
	① 8パズルについての考察		6
	② 回転水槽実験における流体内部の可視化		11
	③ 水平方向の振動におけるブラジルナッツ効果		16
	④ 段差を乗り越えるタイヤのデザイン		20
	⑤ 音波消火器		24
	⑥ 冷凍庫人工雪発生装置の作成		28
	⑦ 硫酸銅(Ⅱ)メタノール配位結晶の検証		32
	⑧ 納豆菌コンクリートを用いた水質浄化法		35
	⑨ 髪の毛を限りなく元の状態に戻す		39
	⑩ 食用油の劣化防止方法		42
	⑪ 植物の抗菌作用(フィトンチッド)の研究		48
	⑫ ミドリゾウリムシの細胞内共生		51
4	メディカルコース生 研究論文		
	① 尊厳死の合法化と自己決定権		56
	② 手術による負担軽減を目指して		59
	③ エピジェネティクスと生活習慣		61
	④ 個別化医療の有用性について		64
	⑤ 開頭手術とガンマナイフの有用性		67
	⑥ 日本の医療費の課題について		70
	⑦ 小児医療の未来		72
	⑧ 寿命を司るものとは		76
	⑨ 認知症の告知から考える病気の告知の意義		79
	⑩ 肺がんの治療法		82
5	編集後記		84

# サイエンスコース生 研究論文



## ◇英文による研究要旨 (Summary)

### ① 8パズルについての考察

We studied about 8-puzzle. It was introduced in a famous math-website. We tried to research the moving progress from mathematical perspective. This time we largely studied two things. First, the proportion of “possible position” and one of “impossible position”. This problem has already been solved. But we found a new way which is easier to understand to solve this question. Second, we studied about the rule about the fastest moving progress. About this study we couldn't solve the problem completely. But we could know the characteristics of 8-puzzle.

### ② 回転水槽実験における流体内部の可視化

These experiments are the 4th year at our school, since last year, we have been conducting experiments focusing on the inside of fluids. We tried to clarify the flow mechanism by visualizing the three-dimensional convection in the experimental tank. It is considered that the up flow and the down flow are generated with the change of the flow velocity.

### ③ 水平方向の振動におけるブラジルナッツ効果

We studied the Brazil-nut effect which it is a phenomenon where large objects rise to the top of a mixture. It has not been solved yet, so we tried to clarify it. We found that large spheres rose by small spheres pushing when shaking a container horizontally. Furthermore, large spheres rose higher when we changed the amplitude and frequency, or the vibrations, the proportion of small spheres in a container and so on. In addition, we recognized the height of large spheres in the container is in proportion to the force of shaking the container. From now on, we are going to elucidate the relation between fluidity of the small spheres and this phenomenon.

### ④ 段差を乗り越えるタイヤのデザイン

We studied front tire of wheel chair which can climb up higher steps with smaller force in order to reduce stress of users. We made small plastic models of front wheel that has different designs and compared their performance. In the experiment, we mainly focused on distance from point of effort to axle. As a result of our study, sector-shaped type could climb up the highest steps. In addition, it was the best to make the diameter of front tire half the distance from center to ground.

### ⑤ 音波消火器

We studied sound wave fire extinguishers, which are capable of putting out flames by manipulating sound waves. Most powder fire extinguishers we use today have difficulty with disposal of powdered fire extinguishing agents and the agents pose potential health risk to people. On the other hand, sound wave fire extinguishers do not have these problems because all you need is electricity. We figured out the relationships between the resonance and strength of sound, different frequencies, or the existence of trumpet horns. However, we were not able to understand the system of resonance well, so we would like to do some extra experiments in order to gain further understanding.

### ⑥ 冷凍庫人工雪発生装置の作成

We studied about making snowflakes in freezer. We were interested in the “Nakaya Diagram”, which describes the relations among temperature, excess density of vapor and the shape of a snowflake. We tried to make a simple apparatus which could make snowflakes and observe the process of being formed them, using with things which can get easily such as plastic bottle, a camera, and a freezer. We could shoot the process of growing snowflakes.

### ⑦ 硫酸銅(Ⅱ)メタノール配意結晶の検証

Cooper sulfate anhydride absorbs water and becomes a blue hydrate, so it is used to detect trace amounts of water. In the previous study, it was considered that copper sulfate anhydride was dissolved in methanol, and the extracted crystals were coordinated with methanol. The purpose of this research was to further deepen the previous research, but as I proceed with the research, I felt doubts about this crystal. As the verification proceeded, it was judged that it was not a methanol coordinate.

### ⑧ 納豆菌コンクリートを用いた水質浄化法

We had a study to know about that concrete blocks which is attached bacillus Natto have effect to improve water quality. In this study, we used detergent and soap as instances of pollutants. We dissolved that in water and soak concrete block there. According to corrected that solution every 3 days and extract surfactants by toluene, we measure absorbance and amount of surfactants in solution.

As a result, we knew that concrete blocks have effect, but we could not say all that bacillus Natto have effect.

Also, we thought that the substance that had the property of moving ethyl violet from the aqueous layer to the toluene layer was gradually leaching out of the concrete.

### ⑨ 髪の毛を限りなく元の状態に戻す

Hair is damaged everyday due to the effects of hair dryers and curling irons. In this study, we clarified which components contained in commercially available repair agents acted effectively on which part of the hair, and conducted an experiment to restore the hair to its original state as much as possible. As a result of the experiment, it was found that raw keratin, which is a protein, is useful for the internal structure of hair, and PVP is useful for the external structure.

### ⑩ 食用油の劣化防止方法

We studied the prevention of deterioration methods of edible oil. We use a lot of oil when frying and large amounts are wasted. It's harmful for the environment. So we decided to research the way to prevent oil deterioration. The main cause of it is oxidation. Thus we researched how antioxidant ingredients contained in food could prevent it ; umeboshi, mandarin skin, tea leaves and potatoes skin and tea leaves. As a result, we discovered that umeboshi and potatoes could prevent oil deterioration.

### ⑪ 植物の抗菌作用（フィトンチッド）の研究

We studied efficiency of an antimicrobe called phytoncide. B.P.Tokin is one of the first researchers of phytoncide. He defines it as “phenomenon that hurts higher plants emits harmful matter for micro-organisms”. Today, it is also known as the matter that effects relaxing. Some scientists say that it has an immune effect to protect itself. However its details are not elucidated. So we are going to study about what the phenomenon is. As a result, the number of colony has decreased by 10% in many experiments.

### ⑫ ミドリゾウリムシの細胞内共生

We studied intracellular symbiosis of Paramecium bursaria. Paramecium bursaria is a unicellular organism that has a symbiotic relationship with chlorella. Paramecium bursaria can be symbiosis again after being removed chlorella from it. We made Paramecium bursaria eat various green algae and researched conditions for intracellular symbiosis.

# 8 パズルについての考察

3 年理数科 2 名

## 1. 序論

8 パズルは、図 1 のように  $3 \times 3$  のボード上に 1～8 の数字がそれぞれ書かれた 8 枚の駒があり、1 駒分の空きを利用して駒をスライドし、駒を目的の配置（ボード左上から 1 2 3 4 5 6 7 8（空）の順になる状態）にするパズルである。今回私たちはとあるサイトで 8 パズルについて紹介されている記事を見つけ、実際に遊んだこともあり、その動かし方や解き方を数学的に表すことができないかと興味を持った。私たちは置換の考え方を利用して、8 パズルの可能な盤面と不可能な盤面の数や、最長手数 of 解明を目的として研究を行った。

## 2. 先行研究

可能な盤面の判別法とその証明はすでに先行研究で分かっている。

定理：

判別対象のある盤面（操作を行う前の盤面）を  $s$

初期盤面（完成した状態の盤面）を  $t$  とする

8 パズルが完成できる  $\iff s$  を  $t$  にする置換のパリティ(偶奇)と空きマスの最短距離が等しい。

例：

図 2 の盤面は可能な盤面であるかどうかについてしらべる。定義に沿って、(213496785)と表せる。初期盤面になるように置換していくと

2 1 3 4 9 6 7 8 5 (2 $\longleftrightarrow$ 3)

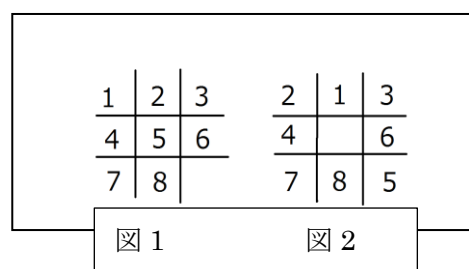
1 2 3 4 9 6 7 8 5 (9 $\longleftrightarrow$ 5)

1 2 3 4 5 6 7 8 9

以上より 2 回の置換で初期盤面に戻せるので、置換のパリティは偶…①

また、空きマスの最短距離は 2 よりその偶奇は偶…②

①、②より置換のパリティ(偶奇)と空きマスの最短距離の偶奇は等しい。よって図の盤面は可能な盤面である。



証明：

定理の $\rightarrow$ を証明する

判別対象の 8 パズルの盤面は可能な盤面とする。このとき、初期盤面までに駒を移動させた回数  $N$  の偶奇を二通りの方法で考える。

・一回の操作で空きマスは必ず 1 マス移動するので、 $N$  の偶奇と「判別対象の盤面から初期盤面の空き」の最短距離」の偶奇は等しい。

・一回のスライドは互換に対応しているので  $s$  から  $t$  への置換は  $N$  回の互換で表せる。よって  $N$  の偶奇と「 $s$  から  $t$  への置換のパリティは等しい」

以上より定理の $\rightarrow$ が証明できた。

## 3. 定義

- ・駒：ボード上の 1～8 のいずれかの数が書かれたもの
- ・盤面：8 パズルの 1～8 の駒がボード上に並べられた状態

- ・操作：1つの駒と空きマスの交換 1回の操作を一手とする。
- ・初期盤面：図1のように、1~8の駒と空きマスがボード上にある状態。
- ・可能な盤面：初期盤面（図1の状態）に戻せる盤面のこと。
- ・盤面の表し方：初期盤面で1~8の駒が置かれている順に表す。空きマスは9で表す。  
例えば、図1の盤面は(123456789)と表し、図2の盤面は(213496785)と表す。
- ・ある盤面の最短手数：可能な盤面はその定義からN手で元の盤面に戻せる。そのようなNの中で最小の値。
- ・8パズルの最長手数：最短手数としてありうるNの値の中で最大の値

#### 4. 研究方法

私たちは8パズルについて初めに3駒、4駒、5駒と、いくつかの駒だけが入れ替わった盤面について、可能な盤面と不可能な盤面の比を考えた。その時、可能な盤面と不可能な盤面の割合が1:1に近づいていることに気づき、可能な盤面と不可能な盤面の数が等しくなるという予想を立て、以下の証明を行った。

命題 8パズルの可能な盤面と不可能な盤面の比は1:1である。

証明 空きマスが初期盤面にあるとき、

$\alpha$  ( $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, 9$ ) の可能な盤面に対して、 $a_i$  ( $i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ )

をそれぞれk個 ( $k=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ) ずらした盤面を $\alpha_k$ とすると、

$\alpha_0$  ( $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, 9$ )

$\alpha_1$  ( $a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_1, 9$ )

⋮

$\alpha_7$  ( $a_8, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, 9$ )

ここで、集合  $S = \{\alpha_k \mid k=0, 1, \dots, 7\}$  とし、集合Sを循環と呼ぶこととする。 $\alpha_k$  を ( $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, 9$ ) の盤面にするための盤面の駒の交換の回数を考えると、

$\alpha_1$  を  $\alpha_0$  にするとき、 $\alpha_1$  について  $a_1$  を一つ左に置換していくと、

( $a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_1, 9$ )

↓

( $a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_1, a_8, 9$ )

↓

( $a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_1, a_7, a_8, 9$ )

↓

⋮

↓

( $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, 9$ )

よって、 $\alpha_1$  を  $\alpha_0$  にするとき、その置換の回数は7回である。

$\alpha_2$  を  $\alpha_1$  にするときも置換の回数は7回であるため、 $\alpha_2$  を  $\alpha_0$  にする置換の回数は14回である。同様にすると、 $\alpha_k$  を ( $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, 9$ ) の盤面にするための盤面の駒の交換の回数は、

$\alpha_k \dots 7k$

空きマスは初期盤面の位置にあり、空きマスの初期盤面への最短距離は0であるため、

$k=0, 2, 4, 6$  のとき  $\alpha_k$  は可能な配置

$k=1, 3, 5, 7$  のとき  $\alpha_k$  は不可能な配置

となる。

また、この操作によって空きマスが初期盤面と同じ位置にあるすべての盤面が表れることを示す。

空きマスが初期盤面の位置にあるとき、可能な盤面全体の集合を  $P$  とする。

$P$  の要素の個数を  $m$  個とし、 $P$  の  $m$  個の要素を、

$$\alpha(1), \alpha(2), \alpha(3) \cdots \alpha(m)$$

と表す。すなわち、

$$P = \{ \alpha(k) \mid 1 \leq k \leq m \}$$

とする。このとき、 $P$  の要素の任意の  $\alpha(k)$  について循環を考えると、

$$\alpha_0(k), \alpha_2(k), \alpha_4(k), \alpha_6(k) \text{ は可能な盤面}$$

$$\alpha_1(k), \alpha_3(k), \alpha_5(k), \alpha_7(k) \text{ は不可能な盤面}$$

ここで、どの  $\alpha(k)$  の循環にも表れない不可能な盤面を、 $\beta(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, 9)$  とすると、 $\beta$  の循環

$$\beta_0(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, 9)$$

$$\beta_1(b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_1, 9)$$

:

$$\beta_7(b_8, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, 9)$$

のいずれもまたどの循環にも表れない。

$\beta_k(k=0, 1, \dots, 7)$  を  $\beta_0$  にする置換の回数を考えると、

$$\beta_k \cdots 7_k$$

$\beta_0$  は不可能な盤面であり、初期盤面に戻す置換の回数の偶奇が奇数であるため、

$$\beta_1, \beta_3, \beta_5, \beta_7 \text{ は可能な盤面}$$

ここで、 $\beta_1$  について循環を考えると、

$$\beta_1(b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_1, 9)$$

$$\beta_2(b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_1, b_2, 9)$$

:

$$\beta_0(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, 9)$$

これは、 $\beta_0$  の循環と一致し、仮定よりどの  $\alpha(k)$  の循環にも表れないが、 $\beta_1$  が可能な盤面であるため、 $\beta_1$  の循環に現れる盤面はすべていずれかの  $\alpha(k)$  の循環に含まれる。

これは、仮定と矛盾する。

したがって、この操作によって空きマスが初期状態にある 8 パズルのすべての盤面が表れ、また可能な盤面と不可能な盤面がちょうど半分ずつ存在する。

同様のことが空きマスが任意の位置であるときにも成り立つ。

よって、8 パズルの可能な盤面と不可能な盤面の割合は 1 対 1 である。

このように循環を定義すれば、 $n$  が奇数の時、一般に  $n^2-1$  パズルについて可能な盤面と不可能な盤面の数の比が 1 : 1 であることも成り立つ。

この循環を用いた証明は、 $n$  が奇数のとき、 $\alpha_k$  から  $\alpha_{k-1}$  に戻す互換の回数の偶奇が奇となるため、 $k$  の値によって偶奇が変わり、循環に現れる可能な盤面と不可能な盤面の数の比が 1 : 1 となることで証明することができたが、 $n$  が偶数のとき、 $\alpha_k$  から  $\alpha_{k-1}$  に戻す互換の回数の偶奇が偶となるため、うまく証明することができない。そこで、次の証明にあるように、循環の定義の仕方を少し変えて証明した。

命題 2 以上の偶数  $n$  について、 $n^2-1$  パズルの可能な盤面と不可能な盤面の比は 1 : 1

証明 空きマスが初期盤面の位置にあるとき、 $\alpha(a_1, a_2, a_3, \dots, a_{n^2-1}, n^2)$  の可能な盤面 ( $n^2$  は空きマス) に対して、

$a_i (i=1,3,5,\dots,n^2-3,n^2-1)$ をそれぞれ  $2k$  個 ( $k=0,1,2,\dots,n^2/2,(n^2-2)/2$ ) ずらした盤面を  $\alpha_k$  とすると、

$$\alpha_0 (a_1,a_2,a_3,\dots,a_{n^2-1},n^2)$$

$$\alpha_1 (a_3,a_2,a_5,\dots,a_1,n^2)$$

$$\alpha_2 (a_5,a_2,a_7,\dots,a_3,n^2)$$

⋮

$$\alpha_{n^2-2} (a_{n^2-1},a_2,a_1,\dots,a_{n^2-1},n^2)$$

$\alpha_k$  の盤面を  $\alpha_{k-1}$  に戻す置換の回数は  $(n^2-2)/2$  回である。 $(k=0$  のとき、 $0$  回)

よって、 $\alpha_k$  を  $\alpha_0$  に戻すための置換の回数は、

$$\alpha_k \cdots ((n^2-2)/2) \times k$$

$n$  は偶数であるため、 $n^2$  は  $4$  の倍数であり、このことより、

$$n^2-2=2L \quad (L \text{ は正の奇数})$$

と表されるため、

$k$  が偶数のとき、 $((n^2-2)/2) \times k$  は偶数

$k$  が奇数のとき、 $((n^2-2)/2) \times k$  は奇数

$\alpha_0$  は可能な盤面であるため、 $\alpha_0$  を初期盤面  $(1,2,3,\dots,n^2-1,n^2)$  に戻す置換のパリティは偶、空きマスは初期盤面の位置にあるため、空きマスの最短距離の偶奇は偶、これらより、

$k=0,2,4,\dots,n^2-3$  のとき  $\alpha_k$  は可能な盤面

$k=1,3,5,\dots,n^2-2$  のとき  $\alpha_k$  は不可能な盤面

$\alpha_0$  に対して  $\alpha_k$  の集合を循環と定義する。

このとき、循環に現れる可能な盤面と不可能な盤面の数の比は  $1 : 1$  である。8 パズルの可能な盤面と不可能な盤面の数の比が  $1 : 1$  であることの証明と同様に集合  $P$  を定義することで、この操作によって空きマスが初期盤面の位置にある  $n^2-1$  パズルのすべての盤面が現れることを示せる。

よって、命題が真であることが示せた。

また、私たちは、可能な盤面と不可能な盤面の数の比が  $1 : 1$  であるならば、不可能な盤面についても可能な盤面と同じように一つの盤面に戻すことができるのではないかと考え、次の命題を考えた。

**命題** 8 パズルの不可能な盤面はすべて  $(1,2,3,4,5,6,8,7,9)$  の盤面に戻せる。

**証明** 可能な盤面は定義よりすべて初期盤面に戻せる。そのため、可能な盤面の  $7$  と  $8$  を入れ替えた盤面はすべて  $(1,2,3,4,5,6,8,7,9)$  の盤面に戻すことができる。

このことより、任意の可能な盤面の  $7$  と  $8$  の駒を入れ替えた盤面が不可能な盤面であることを示す。

ある可能な盤面を  $\alpha (a_1,a_2,a_3,a_4,a_5,a_6,a_7,a_8,a_9)$  とし、 $\alpha$  の  $7$  と  $8$  の駒を入れ替えた盤面を  $\beta$  とする。 $\alpha$  は可能な盤面であるため、盤面  $\alpha$  を初期盤面に戻す駒の交換の回数と空きマスの初期盤面との距離の偶奇は等しい。

ここで、 $\alpha$  の  $7$  と  $8$  の駒を入れ替えると空きマスは動かないため、空きマスの初期盤面との距離は変わらないが、初期盤面に戻す駒の交換の回数は  $1$  増えるため、盤面  $\beta$  を初期盤面に戻す駒の交換の回数と空きマスの初期盤面との距離の偶奇は一致しない。

よって盤面  $\beta$  は不可能な盤面である。

ここで、この操作によってできる盤面は可能な盤面と  $1$  対  $1$  に対応しており、可能な盤面と不可能な盤面の割合が  $1$  対  $1$  であることから、可能な盤面の  $7$  と  $8$  を入れ替えた盤面すべては 8 パズルの不可能な盤面と一致する。

したがって、不可能な盤面はすべて (1,2,3,4,5,6,8,7,9) に戻すことができる。

続いて私たちは  $n^2-1$  パズルの最長手数について一般式で表そうとした。

まず、 $n^2-1$  パズルの最長手数について、次のような予想を立てた。

予想) ある盤面を初期盤面に戻す操作の過程で、同じ盤面が繰り返し現れなければその操作の手数は最短手数といえる。

しかし実際に、8 パズルのいくつかの盤面で同じ盤面が現れないように 2 通りの方法で動かしたとき、異なる手数で初期盤面に戻ったことから、 $n^2-1$  パズルの最長手数についてこの予想が常には成り立たないことが分かったため、 $n^2-1$  パズルの最長手数について一般式で表すことができなかった。

## 5. 結論・展望

今回私たちが行った研究の 8 パズルについて、先行研究の多くはアルゴリズムを用いたかたちで 8 パズルの配置数や最長手数を求めている。そこで私たちはより単純なかたちで配置数や最長手数を表すことができないかと考え、置換を用いて 8 パズルだけでなく、一般に  $n^2-1$  パズルについて可能な盤面と不可能な盤面の比が 1 : 1 であることが示せた。最長手数についても予想を立てたが、うまくいかなかった。今後は最長手数についてより深く研究し、最長手数に関して言える規則性について考察していきたい。

## 6. 謝辞

この研究に携わった高田高校の先生方に、この場を借りてお礼申し上げます。

## 7. 参考文献

<https://mathtrain.jp/8puzzle>

# 回転水槽実験における流体内部の可視化

3年理数科 4名

## 1. 要旨

この実験は本校において今年で4年目になるが、昨年からは、流体内部に注目した実験を行っている。我々は実験槽内の三次元的な対流を可視化することで、流動の仕組みを解明することを試みた。実験の結果、流動の速度変化に伴って上昇流や下降流が発生していると考えられる。

## 2. 研究目的

回転水槽実験とは、円筒形の水槽を3つ重ねて外側の水槽から順に温水、常温水、氷水を入れ、回転台に乗せて回転させることで、中緯度地域の大气の循環を模したものである(図1参照)。常温水の入った水槽を実験槽とする(図2)。実験槽に現れる波形は中央槽と外槽の温度差によって生じるものであり、偏西風の動きと対応している。

回転水槽実験といえば、アルミニウム箔を用いた実験が有名だが、私たちは画像1を見て、アルミ箔が集まっている部分で下降流が、弾けている部分では上昇流が発生しているのではないかと考えた。また、昨年度の研究で「上層と下層の対流が反対の向きで半波長ずれている」という事実が確認された(画像2)。そこで我々は、回転水槽内を可視化して、流動の仕組みを明らかにしたいと考えた。そのために本研究では、まず実験槽中層の流動の可視化を試みた。

## 3. 研究方法

外槽の温度を50℃～20℃程度に保ち、6秒に一回転の速さで台を回転させ、赤外線画像で波形が確認されてから実験を開始する。実験槽に生じる波形の蛇行の様子を可視光カメラと赤外線カメラで撮影した。

仮説としては、昨年度の課題研究の実験槽上層と下層が連動しているという結果から、図3のようになると考えた。

### 実験1

【目的】上層からの下降流・下層からの上昇流を可視化する。

【方法】実験装置を回転させて波形が安定したところで染料を実験槽上層と下層に注入し、染料の運動を実験装置上部に取り付けたカメラの赤外線画像と可視光画像を参照して、実験槽の対流運動を観察する。染料には墨運堂社のマーブリングセットを用いた。

### 実験2

【目的】下層からの上昇流のみを可視化する。

【方法】実験装置の条件は実験1と同様にして、染料を実験槽下層のみに注入し、染料の運動を実験1と同様に撮影した画像を参照して実験槽の対流運動を観察する。染料は実験1と同様。

### 実験3

【目的】染料より水に対する追随性の高いナイロンパウダー(粒子径4.1[ $\mu\text{m}$ ],比重1.02)を用いて、下層からの上昇流のみを可視化する。

【方法】実験装置の条件は実験1,2と同様にして、ナイロンパウダーと水の混合液を実験槽下層に注入し、ナイロンパウダーの運動を実験1,2と同様に撮影した画像を参照して実験槽の対流運動を観察する。ナイロンパウダーには、日本カノマックス株式会社のものを用いた。



## 4. 結果

実験1：上層に注入した染料が重力によって落下し、上手く中層を可視化することはできなかった。

(画像3参照)

実験2：下層に注入した染料は横から撮影したことにより、上下方向の対流運動を観察することができた。上昇流は中央槽側から外槽側へ向かう中腹で、下降気流は外槽側から中央槽側に向かう中腹で発生しているようであった(画像4参照)。

実験3：下層に注入したナイロンパウダー混合液は横から撮影したことにより、上下方向の対流運動を観察することができた。上からの画像では外槽側の渦が二つ以上発生しているものも確認できた。また、横からの画像から中層に分布しているナイロンパウダーが少ないことが分かった。(画像5参照)

## 5. 考察

実験結果を受けて、なぜこのような流動になるのか考察した。ここでは、内部の流動が見やすいように実験槽を半径方向に切って伸ばした図を用いる(図4-0)。

実験槽内部には、外槽から熱が与えられることと中央槽へ熱が奪われることによって、半径方向に対して温度差が生まれる。すると、外槽側で温められた流体は上昇し、中央槽側で冷やされた流体は下降するため(図4-1)、下層では外槽側が低圧、中央槽側が高圧となる(図4-2)。ここで、圧力差があるとき高圧から低圧へ圧傾度力がはたらくため(図4-3)、下層では中央槽側から外槽側へ向かう流れが、上層では外槽側から中央槽側へ向かう流れが発生する。それによって、流体はこのように循環する(図4-4)。

まず、上層に注目する。図4-5は先ほどの圧傾度力と上層の流動を図示したものだ。これらに加えて、水槽が反時計回りしていることによって回転系に対して相対的に運動する流体(この実験でいえば水)にはたらくコリオリの力が加わる(図4-6)。これは運動に対して直交右向きにはたらくもので、大きさは流速に比例する。上層では、外槽側から中央槽側へ向かう流れがあるため、コリオリの力は回転と同じ(反時計回りの)向きにはたらく。次第に流速が速まり、コリオリの力が発達すると、圧傾度力とコリオリの力が釣りあい、反時計回りの流れができる(図4-7)。さらに、流れの両側に温度差があるとき(図4-8)には、温度差を解消しようとする作用が加わるため(図4-9)、外槽側からは温められた流体が、中央槽側からは冷やされた流体が侵入することで、流れが蛇行する(図4-10)。この蛇行に伴って流れの両側に渦が発生し(図4-11)、これらの渦は遠心力を伴うため、流れもこの力を受ける。

次に、圧傾度力と遠心力のはたらく向きに注目する(図4-12)。中央槽側の渦から受ける遠心力と圧傾度力は同じ向きであるため強め合い、流れを加速させる(図4-13)。一方、外層側の渦から受ける遠心力と圧傾度力は逆向きであるため弱め合い、流れを減速させる(図4-14)。速度変化をまとめると図4-15のようになる。このため加速した流体が減速した流体にぶつかり下に潜り込むため、下降流が生まれる(図4-16)。逆に、減速した流体は加速した流体に追いつけないため、下にあった流体が浮き上がり上昇流が生まれる(図4-17)。これらの上昇流・下降流は鉛直下向きに真っすぐであるため(図4-18)上層の波形と下層の波形は約半波長ずれている。

下層では、中央槽側から外槽側へ向かう流れがあるため(図4-19)、コリオリの力は回転と逆の(時計回りの)向きにはたらく(図4-20)。このために下層の流れは上層の流れと逆向きになる。その後の運動の仕組みは、上層とほぼ同様である。圧傾度力とコリオリの力、さらに水槽の底面から受ける摩擦力がつりあってできた流れ(図4-21)に、温度差のある流体が侵入し(図4-22)、渦の遠心力による影響で上昇流や下降流が発生する(図4-23)。

また、上層でできた上昇流・下降流は下層の渦に、下層でできた上昇流・下降流は上層の渦に吹き込むため、渦は高圧性や低圧性となる(図4-24)。

## 6. 結論（課題）

実験槽中層の流動は図5のようになる。

今後の課題としては、まず各方向に加わる力のベクトルの数値化をしていきたい。さらに、実験3において低圧性の渦が二つに分裂した原因を探っていきたいと思う。また、この考察は先行研究のアルミ箔を用いた実験と矛盾する箇所があるので、考察を重ねていく。

## 7. 参考文献

- (1)H29 年度高田高校課題研究 フルツの実験における波形の変化の条件(2017)
- (2)H30 年度高田高校課題研究 フルツの実験における流体中の温度変化(2018)
- (3)H31 年度高田高校課題研究 回転水槽実験における流体内部の測定(2019)

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を賜った新潟県立高田高等学校の物理科石田勝幹先生はじめ、本研究にご協力いただいた皆様に深く御礼申し上げます。

## 9. 図表・画像

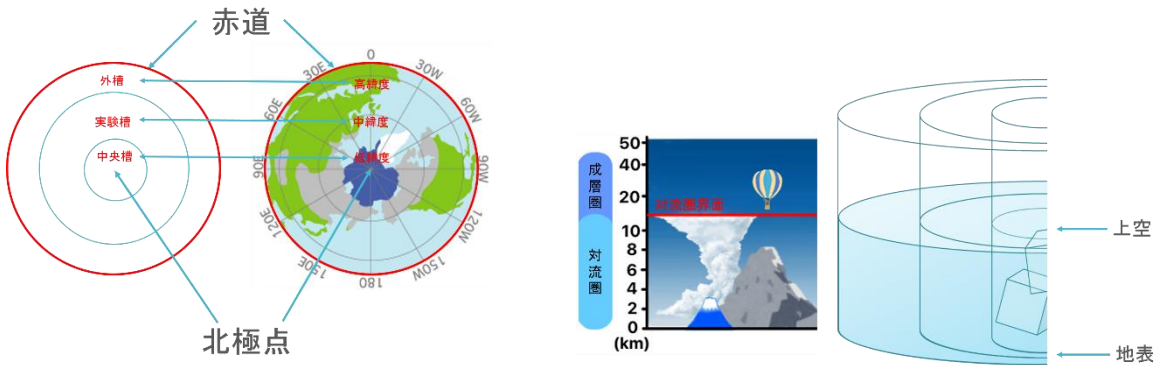


図1

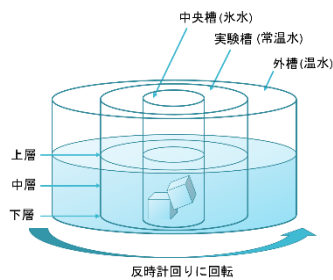
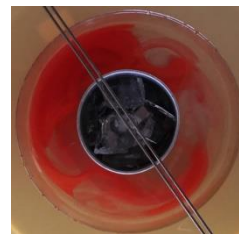


図2



画像1



画像2

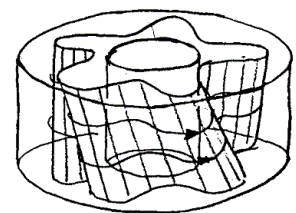
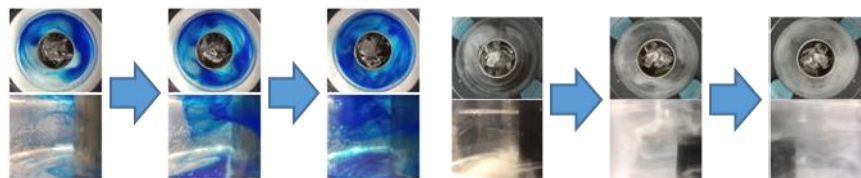


図3



画像3



画像4

画像5

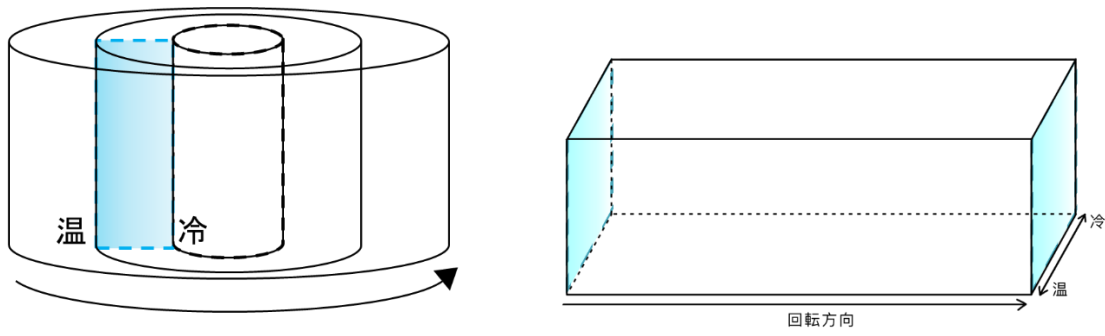


図 4-0

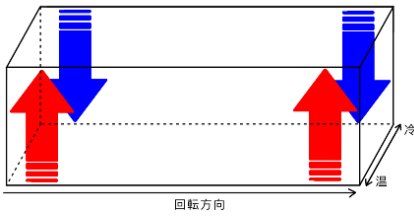


図 4-1

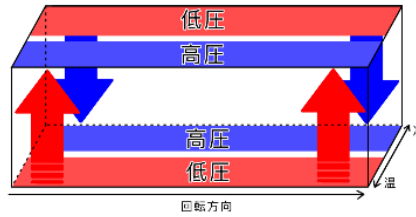


図 4-2

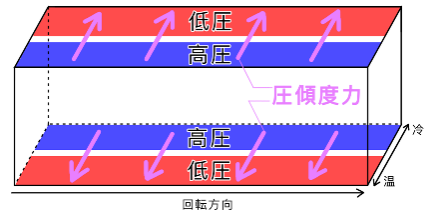


図 4-3

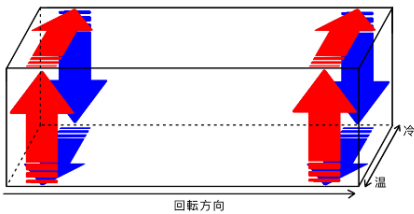


図 4-4

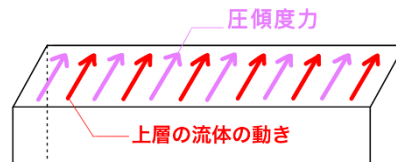


図 4-5



図 4-6

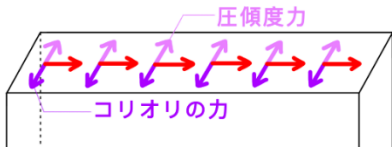


図 4-7

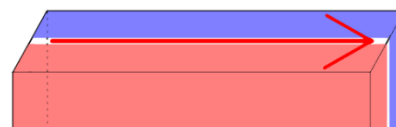


図 4-8

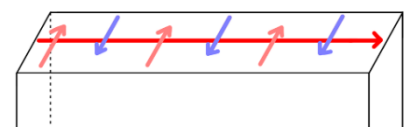


図 4-9

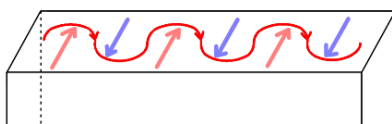


図 4-10



図 4-11

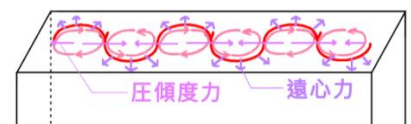


図 4-12

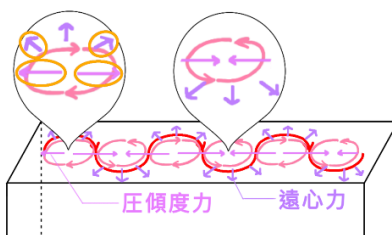


図 4-13

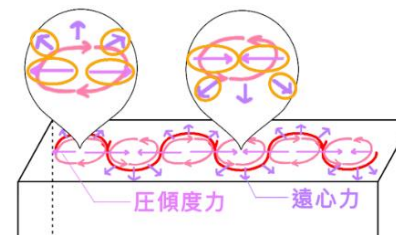


図 4-14

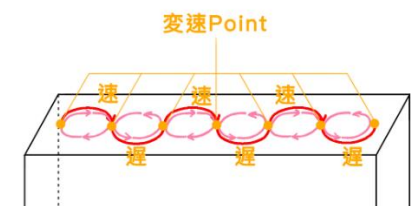


図 4-15

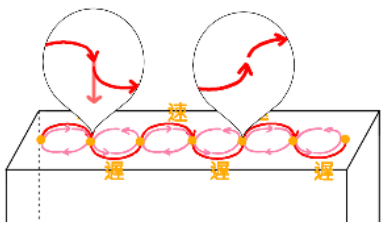


図4-16

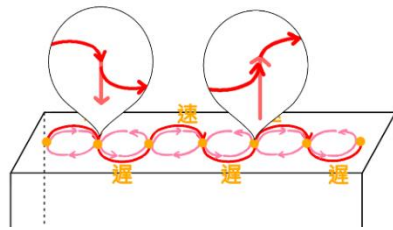


図4-17

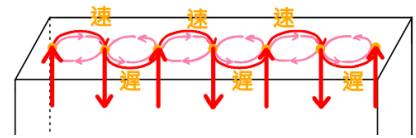


図4-18

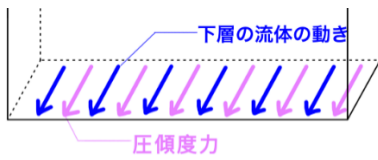


図4-19

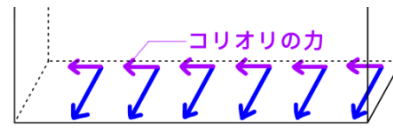


図4-20

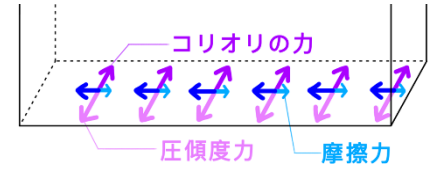


図4-21

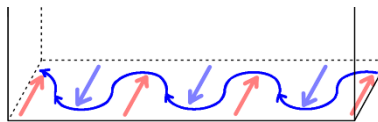


図4-22

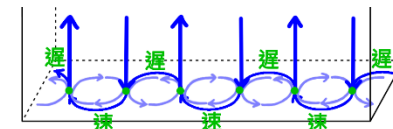


図4-23

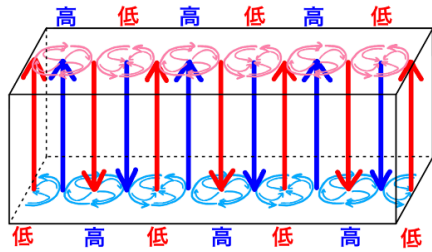


図4-24

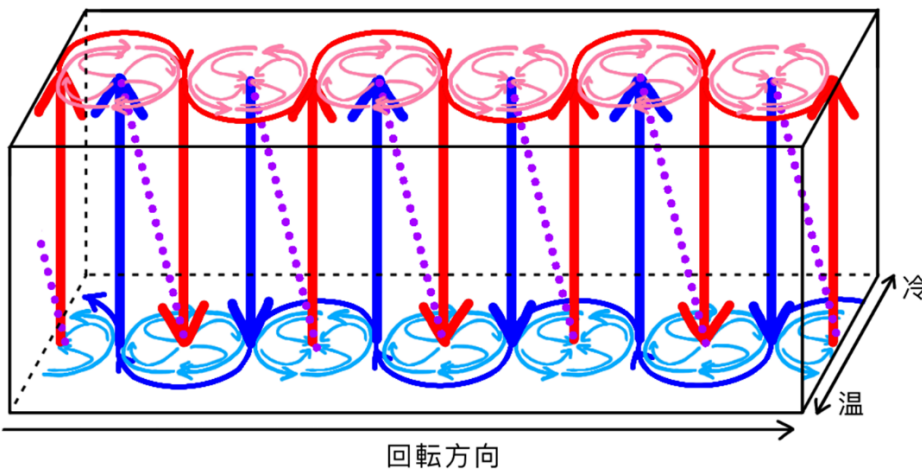


図5

- 上昇・下降流 (上層由来)
- 上昇・下降流 (下層由来)
- ⋯ 渦の軸

# 水平方向の振動におけるブラジルナッツ効果

3年理数科 3名

## 1. 要旨

本でブラジルナッツ効果と呼ばれる、異なる大きさからなる粉粒体を振ると、大きな粒子が浮き上がってくる現象があることを知り、興味をもった。先行研究によると、容器内の粉粒体の動きを説明する仮説に、沈み込み説と対流説の2つの仮説があることが分かった。また、先行研究では粉粒体を振る際に容器を水平方向に振動を与えているものがなかったことから本研究では、粉粒体を水平方向に振動させ、その結果、小球は沈み込み説に当てはまる動きをすることが分かった。また、水平方向の振動においてブラジルナッツ効果が起きる条件式を立て、それをもとに条件を変えて実験を行い、同一容器で行った実験では大球の上昇した高さに比例関係がみられた。

## 2. 研究目的

ブラジルナッツ効果についての先行研究において、粉粒体が上下に浮き沈みするようにして大きい粒子を持ち上げる対流説と、粉粒体が大きい粒子の下に潜り大きい粒子を持ち上げる沈み込み説の二つの仮説があった。また、現象を起こす際に容器に垂直方向の振動を与えることが多く、水平方向の振動を与えている報告がなかった。そこで私たちは水平方向に振動を与えた際の粉粒体の動きに着目し、ブラジルナッツ効果の解明を試みた。

## 3. 研究方法

実験 1:振動を与えたときの小球、大球の動きを調べるために、白の小球の集団の中に白の小球と密度の等しい黒の小球の層ができるように小球を円筒容器に底からの高さが合計 6 cmとなるまで入れ、水平方向に振動させる。黒の小球の層の位置を小球全体の上部、中部、下部の3種類とし、それぞれで実験・観察をする。容器に与える振動が一定になるよう、机に振幅が 15 cmとなるように印をつけ、メトロノームを用いて振動数が BPM200(1.67Hz)となるようにして実験を行った。容器を水平に振動させた場合は、小球は大きく動くことはなく振動前の状態をほぼ保つと予想した。

実験 2:実験 1 よりブラジルナッツ効果が起こる条件式を立て、様々な条件で実験を行い、妥当性を検証した。実験の条件は、振幅 15 cm、BPM200(1.67Hz)、小球の層の厚さ 6 cmを基準として、振幅は 10,15,20,25cm、振動数は BPM175(1.46Hz),200(1.67Hz),225(1.88Hz),250(2.08Hz)、容器は直径 11 cm,16 cm、容器内の小球の層の厚さは 6cm,7cm とし、それぞれ試行回数 10 回で実験を行った。ただし、小球の数を増やしたときは振幅が 15 cmの場合では比較が難しかったことから、基準の振幅を 20 cmにした。ブラジルナッツ効果が起こる条件式より、振幅、振動数、容器の大きさ、大球の上に乗る小球の数によって大球の上昇する高さに差が出ると考えた。

## 4. 結果

実験 1:上部、中部の小球は容器の壁面に沿って広がるとともに上下方向に少量分布している。また、下部では白の小球が黒の小球を侵食するようにして小球の層の壁面に近い部分が少なくなり、中央部が隆起した。また、上部、中部に比べて下部は小球の動きが小さかった。

実験 2:それぞれの条件で実験を行ったところ、図 2 から図 5 のような結果になった。10 回の振動で、

上昇しない条件下では振動の回数を増やしても大球は上昇しないこと、上昇する条件下では、振動の回数を増やすごとに大球が急激に上昇することが確認できた。また、条件式で示した値が大きくなる時(図2の振幅が25cmの時、図3の振動数がBPM250(2.08Hz)の時、図4の容器の直径が16cmの時、図5の小球の層が6cmの時)の方が同じ回数でもより大きく上昇していることが分かる。

## 5. 考察

実験1:上部、中部の小球は振動を与えたときに容器の壁に衝突することにより部分的に上下方向に広がり、壁面に沿って上下に広がった小球が水平方向の振動によって小球の層の内部に向かって水平方向に移動することによって結果のような動きになったのだと考えられる。また、下部の小球は中部の小球が壁面に沿って動くことで下部の層の壁面側が侵食される。また、下部の動きが小さいのは、上に乗る小球の重さによって動きが制限されているからだと考えられる。尚、この動きは容器の壁面で起こったことから、小球の層の中心にあった大球の動きに影響は無かったと考えられる。結果から、水平方向に振動を与えたときブラジルナッツ効果は対流ではなく小球が沈み込むことによって起こっていると考えられる。この観察から、ブラジルナッツ効果が起こる条件は次式で表されると予想した。

$$\left| \left\{ km \left( \theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) + M \right\} A \omega^2 \sin \omega t \right| - \left\{ lm \left( \theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) + M \right\} g > 0 \quad \text{①}$$

ここで、 $m$ 、 $M$ はそれぞれ小球と大球の質量、 $A$ は振幅、 $t$ は振動を与えた時間、 $\omega$ は振動における角振動数、 $\theta$ は大球の中心と大球に接する小球の中心をつなぐ直線と大球の中心を通る水平面が成す最大の角、 $k$ は容器の壁と大球の間の小球の数、 $l$ は大球の上に乗っている小球の数、 $g$ は重力加速度である。①式の左辺の絶対値の内部は小球が大球に与える力の鉛直上向きの成分を表し、残りの部分は大球の重力と大球の上にある小球が大球に与える力の合力を表している。これが正の値をとるとき、大球には上向きの力が加わっていることになり、ブラジルナッツ効果が起こる。負の値をとるとき、大球には下向きの力が加わっていることになり、ブラジルナッツ効果が起こらない。また、左辺の値が大きいほど上向きの力が大きいためブラジルナッツ効果が起こりやすい。

①の条件式の導出は次のように行った。

まず、小球の鉛直上向きの力を求める。小球は単振動しているため、加速度は $A\omega^2 \sin \omega t$ 、質量は $m$ で $k$ 個あるから水平方向への力は $kmA\omega^2 \sin \omega t$ となる。これが大球に加える鉛直上向きの力は $kmA\omega^2 \sin \omega t \cos^2 \theta$ となり、水平面とのなす角を $0$ から最大角 $\theta$ までの範囲で積分して

$\left| km \left( \theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) A \omega^2 \sin \omega t \right|$ となる。大球の質量は $M$ だから、 $MA\omega^2 \sin \omega t$ となり、二つをまとめて

$\left| \left\{ km \left( \theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) + M \right\} A \omega^2 \sin \omega t \right|$ となる。これに大球の上にある小球から加わる鉛直下向きの力と大球に加わる力を引くと①式左辺ができる。これが正の値のときブラジルナッツ効果が起こる。この①式から $k$ 、 $A$ 、 $\omega$ を大きくするとブラジルナッツ効果が起こりやすくなり、 $l$ 、 $g$ を大きくするとブラジルナッツ効果が起こりにくくなる。

実験2:①式を満たさない条件下では振動の回数を増やしても上昇しないこと、①式を満たす条件下では、大球が上昇していくことから①式はブラジルナッツ効果が起きるかの判別ができるを考える。また、大球が振動の数を増やすにつれて急激に上昇していくのは、上昇するにつれて大球の上に乗る小球の数(①式、 $l$ )が小さくなっているからだと考えられる。図6は、それぞれの条件において容器を10回振るまでに容器に加えた力積と大球の上昇の関係を調べた結果である。力積が大きくなるにつれて大球の

上昇も大きくなっている。また、容器の直径と小球の層の厚さを変えたときは、力積がほとんど同じであるにもかかわらず、値が大きく外れているデータ点が2つある。これらは基準の条件に比べ、容器内における小球の動く度合い(以下、小球の流動性とする)が異なることが原因だと考えられる。

## 6. 結論 (課題)

この研究では水平方向に振動を与えたときに小球が大球の下に沈み込むことによりブラジルナッツ効果が起こり、与える振動の振幅や振動数、また、容器の直径や小球の層の厚さの条件を変えることで、大球の上昇の度合いが変化することが確認できた。また、①式が成り立つときは容器に与えた力積に比例して大球が上昇し、①式が成り立たないときは大球がほとんど上昇しないことが確認できた。さらに、容器の直径と小球の層の厚さを変えたときはほかの結果から大きく外れたことから、容器の大きさや小球の層の厚さが同一であるならば、①式によってブラジルナッツ効果の起こりやすさを評価できるが、容器の大きさや小球の層の厚さによる違いを評価するには、容器内の小球の流動性についても考慮した条件式を用いなければならないと考えられる。今後は、振動を与えたときの小球の流動性を調べ、ブラジルナッツ効果が起こる条件式に反映することを試みたい。

## 7. 参考文献

・[PDF]E21.粉粒体の不思議を科学しよう！ 磯部雅晴  
堀口俊行・香月智・小川あずさ 回転円筒による2粒径混合粗粒材の偏析実験と個別要素法解析

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の細部まで指導して下さった新潟県立高田高等学校の教職員の皆様に深く御礼申し上げます。

## 9. 図表・画像

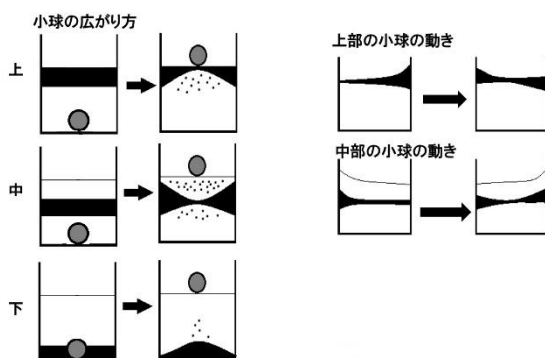


図 1) 水平方向に振動を与えたときの小球の動き

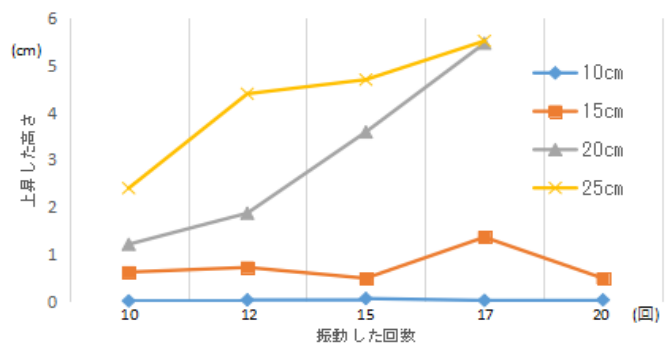


図 2) 振幅の大きさと大球の上昇した高さ



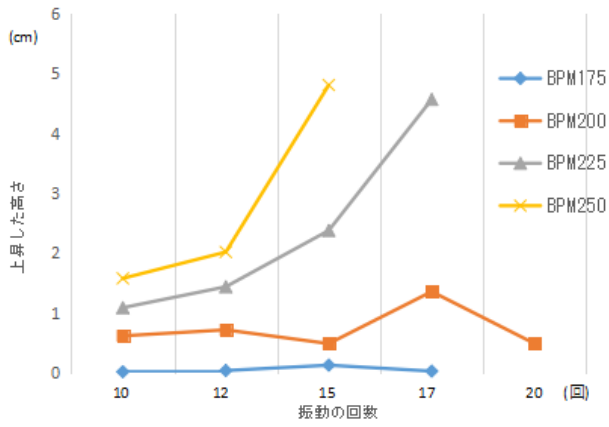


図 3) 振動数の大きさと大球の上昇した高さ

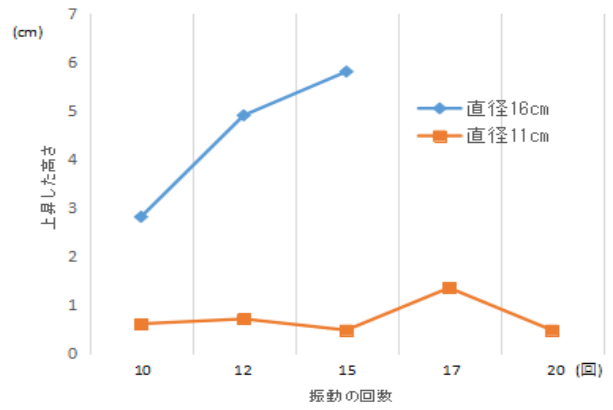


図 4) 容器の直径の大きさと大球の上昇した高さ

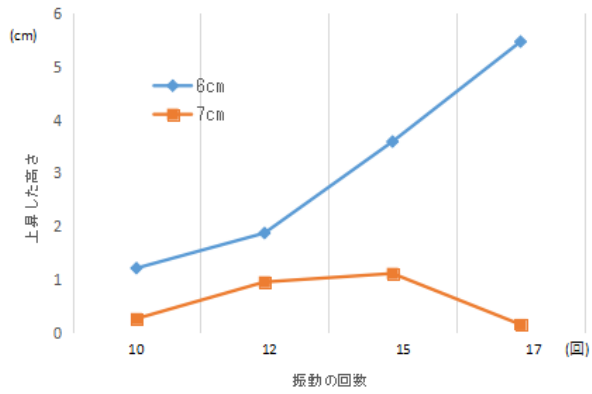


図 5) 小球の層の厚さと大球の上昇した高さ

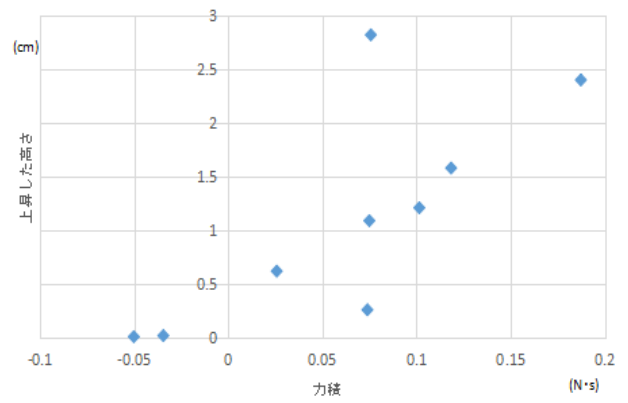


図 6) 力積の大きさと大球の上昇した高さ



# 段差を乗り越えるタイヤのデザイン

3年理 2名

1.

## 2. 要旨

私たちは車椅子の使用者の負担を減らすため、より高い段差を小さな力で乗り越えられる車椅子の前輪について研究をした。発泡ポリスチレンを用いて異なるデザインの前輪を模したモデルを作成し比較した。実験では主に力のモーメントのうでの長さに注目し、乗り越げに必要な力について考察をした。実験の結果、扇形の側板を有するモデルが最も高い段差を乗り越げることができ、そのタイヤの半径は地面と扇形の側板の中心までの距離の半分が良いということが分かった。

## 3. 研究目的

- ・車椅子の使用者が高い段差を自分の力のみで乗り越げるためには、重心を移動して前輪を浮かせる必要がある。このように不自由の多い車椅子の使用者の負担を減らせないかと考えた。
- ・詳しく調べてみると、タイヤにも様々な形のものがあり、段差を乗り越げることの特化しているものもあることを知った。そこで、より小さな力で高い段差を乗り越げるタイヤのデザインを探ることにした。

## 3. 研究方法

《実験1》

(実験方法)

- ・高い段差を小さな力で乗り越げるタイヤのデザインを探るため、①通常型(図1A)、②三輪型(図1B)、③扇型(図1C)の3つの前輪を模したタイヤを発泡ポリスチレンの断熱材(商品名「スタイロフォーム」)で作成する。以下、③扇型の前輪部分のうち、内側にあるタイヤを内輪、扇形の側板を扇と呼ぶ。(図2)

- ・前輪の高さは20cm以下、前輪の重さは輪軸等を含め300g、段差と接触する前輪タイヤの間隔は15cmに統一する。

- ・デジタルのニュートンばかりで後輪の軸を水平に押し、段差に前輪部分のタイヤを垂直に侵入させる。前輪が段差を乗り越げるまでに必要な力(g重)の最大値を測定し記録する。

- ・スタイロフォーム1枚の段差(3.0cm)から始め、何枚分の段差まで乗り越えられるかを確認する。

(仮説)

- ・①通常型について、タイヤは接触部分を軸に回転運動をしているので、力のモーメントのつりあいから必要な力を計算でき、最も大きな力が必要なのは動き出したと考えた。(図3)

- ・予備実験で半径が大きいタイヤのほうが必要な力は小さく、乗り越えられる段差は高くなることが分かっている。③扇型は段差を乗り越げる際、疑似的に半径15cmのタイヤを使用していることになるので、①通常型よりも高い段差を小さな力で乗り越えられると考えた。

《実験2》

(実験方法)

- ・③扇型の内輪の半径、扇の半径を変え、性能を上げようと考えた。地面から扇の中心までの距離(全高)を15cm、越える段差を6.0cmで固定する。扇の半径は14cm、13cmの2種類、内輪の半径は6.0cm、7.5cm、9.0cmの3種類のものを作成し、これらを組み合わせて6通りの条件で試行、比較する。なお、この実験において内輪、扇の半径を変える際は重りを用いて前輪の重さを統一する。重りは内輪の輪軸に結んで取り付ける。

(仮説)

・③扇型では、内輪が段差に接触するとき最も大きな力を必要とする。そのため内輪の接触時について考えると、前輪（内輪と扇）にかかる重力の作用点は、おおよそ内輪の中心を通る鉛直線上にあるといえるので、モーメントのつり合いより必要な水平方向の力は前輪の重さに【重力のうでの長さ】/【加える力のうでの長さ】（以下この値をうでの長さの比と呼ぶ）をかけることで求められる（図3、4）。扇の半径を変えずに内輪の半径を変える場合、この値が最も小さくなるのは、内輪の半径が全高の半分となるときであり、計算上は半径がそれより大きいとかえって大きな力を必要とする。この実験では全高を15cmで統一しているため、内輪の半径は7.5cmの時に最も必要な力が小さくなると思った。

・③扇型が必要とする力は内輪の中心、内輪と扇の交点の位置関係で決まると考えられる。全高を15cmに固定し、内輪の半径を変えずに扇の半径を大きくすると、両者の交点は必要な力が小さくなる方向に移動していくため扇の半径は大きい方がよいと考えられるので、14cmの時に最も必要な力が小さくなると思った。

・実際に町の中にある段差は3cm以下であるものが多いが、この実験では内輪と扇の半径を変えることによる必要な力の変化を見やすくするために6cmの段差を乗り上げさせた。

#### 4. 結果

《実験1》

・表1は前輪が段差を乗り上げるために必要な力の最大値を上記のタイヤについて10回ずつ測定したものの平均の値、値の範囲

（測定された値の最大値と最小値の差）である。

- ・各タイヤが乗り上げられた段差について、  
①通常型は段差が9cmになると軸の高さよりも高くなり、上方向の力が生まれず動かなかったため、3.0cmと6.0cmの2通りで測定した。  
②三輪型は段差が6cmになると3つのタイヤをつなぐ側板が段差に触れてしまい、回転できなかったため、3.0cmのみ測定した。  
③扇型は段差が12cmになると扇の曲面が段差の角に届かなくなり乗り上げられなかったため、3.0cm、6.0cm、9.0cmの3通りで測定した。

表1（実験1の結果）

タイヤ(段差)	必要な力 (値の範囲)
①通常(3.0cm)	269.3 (20g重)
①通常(6.0cm)	654.7 (22g重)
②三輪(3.0cm)	556.9 (96g重)
③扇型(3.0cm)	365.6 (23g重)
③扇型(6.0cm)	395.5 (34g重)
③扇型(9.0cm)	396.4 (51g重)

《実験2》

・表2は③扇型の前輪が段差を乗り上げるまでに必要な力の最大値を内輪の半径を変えて10回ずつ測定したものの平均の値である。

・仮説のように内輪の半径が全高の半分であり、扇の半径が大きい時が最も少ない力で段差を乗り上げられた。

表2（実験2の結果）

内輪	扇	
	13cm	14cm
6.0cm	678.7	418.8
7.5cm	542.3	348.1
9.0cm	593.0	363.5

#### 5. 考察

《実験1》

・①通常型について、仮説に基づき必要な力を計算すると、計算によって得られた値と実験で得られた値のずれは、重力のうでの長さにするると0.5cmにも満たないものであったため、誤差としてよいと考えた。また、仮説通り動き出しに最も大きな力を要していた。

- ・②三輪型について、段差を乗り越える過程で高い位置にあるタイヤが段差側に倒れるので、不安定である。10回の試行の中で測定値の範囲が約100gととても大きかったのはそのためだと考えた。
- ・①通常型と③扇型はタイヤと段差の接触部分を軸に回転運動をするため、段差の高さによって回転の中心が変わる。しかし、②三輪型は段差に接触したタイヤの輪軸を中心に回転運動をするため、必要な力は段差の高さによって変化しないと考えた。(図5A)
- ・③扇型は、「外側の扇部分で乗り上げ」(図5B)た後に、「内輪が乗り越える」(図5C)という2段階の動作を経るが、後者の方がより大きな力を必要とした。これは扇の半径よりも内輪の半径の方が小さいためと考えられる。
- ・内輪は図1Aにおける扇と内輪の交点で段差と接触するため、内輪は常に同じ高さ(図6のTU)の段差を乗り越えていると考えられる。つまり、内輪が乗り越える際に必要な力は内輪の中心と内輪と扇の交点の位置関係によって決まると考えられる。段差が変わっても③扇型の必要な力があまり変わらないのはこのためだと考えた。
- ・乗り越えられる段差の高さ、必要な力の大きさ、乗り越えの際の安定性などの観点からこの3種類のタイヤのうち③扇型が最も優れていると考えた。

#### 《実験2》

- ・③扇型の性能について、仮説は正しいように思えた。しかし、図4のグラフが $x=7.5$ 付近でおよそ対象になっているのに対し、内輪が9.0cmのときと7.5cmのときの値の差が7.5cmのときと6.0cmのときの値の差よりも小さくなっており、この点は計算結果に反している。これは、車体が傾くことによって生まれる影響を考慮していなかったことが原因と考えられる。

## 6. 結論(課題)

- ・より高い段差を小さな力で乗り越えることにおいて、実験1では、③扇型が最も優れており、実験2では、③扇型において内輪の半径は地面から扇の中心までの距離の半分、扇の半径は大きい方が最も性能が良かった。
- ・予想した結果が得られた理由として、質量がほぼ無視できるほど小さいスタイロフォームを使ったことや、計測・計量をできるだけ正確に行ったことがあげられると思う。しかし、条件が統一されていないことで仮説と結果とのずれが生じたことがあった。また、今回行った実験は数mm押し込むだけで測定値が大きく変わってくるような誤差が生まれやすいものだったので、誤差が生まれにくくなるようにモデルや測定方法を工夫していく必要があると考えた。
- ・今回は単純なモデルを使用した実験だったが、上記の理由などによりもっと実際の車椅子に即した実験装置にする必要があると考えた。また、扇を複数枚使う、ばねの弾性力を利用する、など試してみたいものが多くあるので、引き続き使用者の負担を減らす車椅子の前輪について研究を進めたい。

## 7. 参考文献

- (1)大阪産業大学「介護車両における段差乗り越え装置に関する研究」  
[http://www.fbi-award.jp/sentan/jusyou/2004/cx\\_osaka\\_sangyo.pdf](http://www.fbi-award.jp/sentan/jusyou/2004/cx_osaka_sangyo.pdf)
- (2)YouTube「段差乗り越え補助キャスター」[https://www.youtube.com/watch?v=8oW0\\_ZkJSLk](https://www.youtube.com/watch?v=8oW0_ZkJSLk)

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の細部まで指導して下さった新潟県立高田高等学校の教職員の細谷先生、白石先生をはじめ、ご協力していただいたすべての方に感謝します。

## 9. 図表・画像

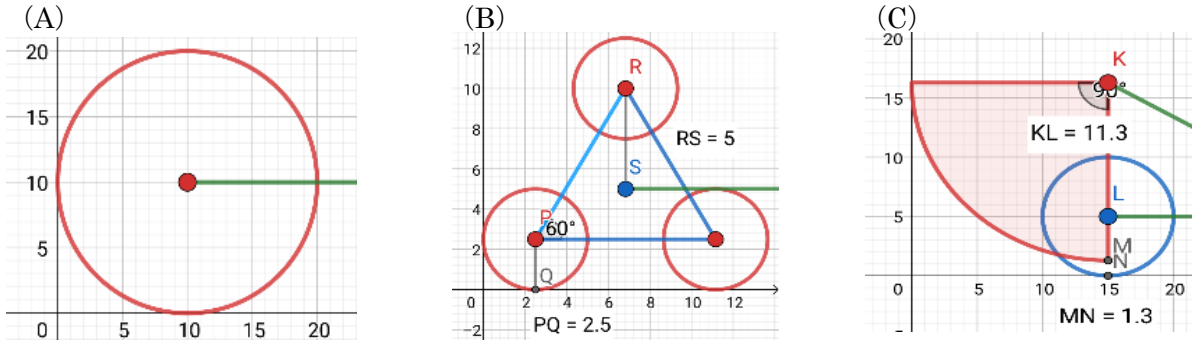


図 1 (A) は通常型、(B) は三輪型、(C) は扇型の図面である。図中の軸の目盛りはそれぞれの寸法 (単位はcm) を表す。

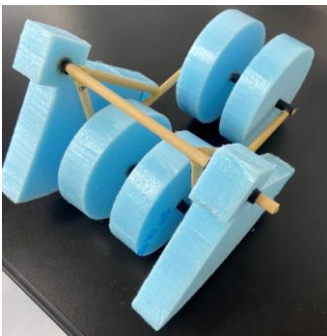


図 2 扇形の側板を有する  
タイヤ (扇型) の全景。  
(A)

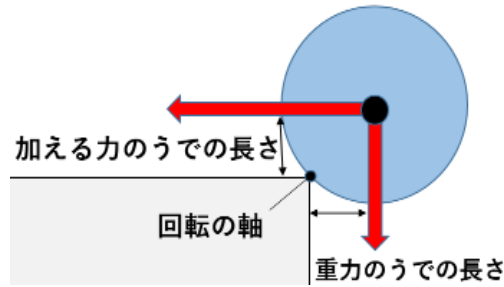


図 3 段差に接触した際の重力のうでの  
長さに加える力のうでの長さ。  
(B)

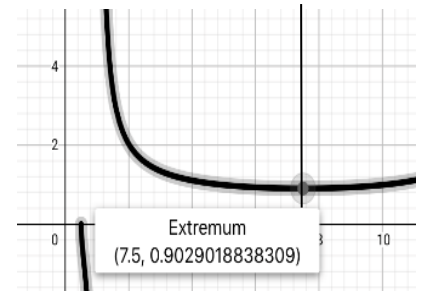


図 4 横軸は内輪の半径、縦軸  
はうでの長さの比を表す。  
(C)



図 5 タイヤが段差を乗り越える様子。(A) は三輪型のタイヤ、(B) は扇型のタイヤのうち扇で乗り越える段階、(C) は内輪で乗り越える段階。

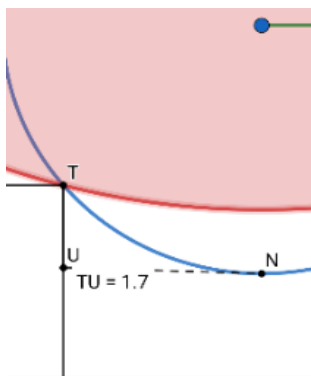


図 6 内輪接触時の様子。  
TU は内輪が乗り越  
える必要のある高さ。

# 音波消火器

3 年理数科 2 名

## 1. 要旨

私たちは、音波によって消火を行う音波消火器についての研究を行った。現在普及している、多くの消火剤噴射型消火器は、消火剤の後始末、人体への悪影響といった問題点がある。一方で、音波消火器は、電気を使用し、スピーカーから発生する音波によって火を消すため、消火剤噴射型消火器の問題点を解決することができる。私たちは、研究を通して、共鳴、音の強さ、振動数、実験で用いたラッパホーンの関係性を見出すことができた。しかし、共鳴の仕組みに関しては完全に理解することができなかった。そのため、その仕組みをより深く理解できるように、追加の実験を行っていきたいと思う。

## 2. 研究目的

現在普及している多くの消火剤噴射型消火器は、消火剤の補給と後始末の大変さ、人体への悪影響といった問題点がある。その一方で、音波消火器は、消火剤の代わりに電気を使用し、スピーカーから発生する音波によって、周りの空気を吹き飛ばして火を消すため、消火剤噴射型消火器の問題点を解決することができる。そして、私たちは、消火の際の火に近づくリスクを減らすために、音波消火器を研究する上で先行研究には無かった「遠くの火を消す」という目的のもとで、以下のような実験を行い、研究を進めていった。

## 3. 研究方法

この研究においては、音波をスピーカー付き低周波発振器で発生させ、消火対象にカメヤマのダルマ 90g の蠟燭を使用した。(図 1、2)

### (1) 先行研究：

ある音速における振動数と波長の関係を表す公式

$$V = f\lambda \quad (V: \text{音の速さ [m/s]、} f: \text{振動数 [Hz]、} \lambda: \text{波長 [m]})$$

音速と温度の関係を表す公式

$$V = 331.5 + 0.6 t \quad (V: \text{音の速さ [m/s]、} t: \text{温度 [}^\circ\text{C]})$$

上記の公式で求めた音の速さの理論値をもとに、130～210Hz の振動数の音を蠟燭の火に当て、火の変化を調べた。

### (2) 実験 1：ラッパホーンの有無両方の場合における、共鳴時の音の強さの変化について調べる。

塩ビパイプの長さが 1.0m、0.25m の時におけるラッパホーンの有無両方の場合について、管口付近で針金にかけた縦 2.0 cm、横 1.5 cm のティッシュペーパーが動く様子を比べた。

### (3) 実験 2：共鳴する振動数を調べる。

塩ビパイプの長さが 1.0m、0.25m の時におけるラッパホーン有無両方の場合について、固有振動数の公式

$$f(m) = mV/2L \quad (V: \text{音の速さ [m/s]、} L: \text{塩ビパイプの長さ [m]、} m=1,2,3,\dots)$$

上記の公式で求めた理論値を参考にして、管口付近で蠟燭の火が消える範囲を調べた。私たちは、音波を当て続けた後に、火が消え、煙が上がった瞬間を消火とみなした。(図 3) はラッパホーンがない状態で消火を行った様子である。

### (4) 実験 3：共鳴する振動数における、管口からの距離と火の消え方の関係について調べる。

塩ビパイプ 1.0m、0.25m の時におけるラッパホーン有無両方の場合について、管口から 1.0 cm 間隔で蠟燭を遠ざけ、消火の可否を調べた。この時、音の振動数は実験 2 で求めたもののうち、

最も火の消え方が強かったものに設定した。以下は実験で用いた固有振動数である。

- ① 塩ビパイプ 1.0mのラップホーン有りの場合 振動数 95Hz
- ② 塩ビパイプ 1.0mのラップホーン無しの場合 振動数 163Hz
- ③ 塩ビパイプ 0.25mのラップホーン有りの場合 振動数 305Hz
- ④ 塩ビパイプ 0.25mのラップホーン無しの場合 振動数 575Hz

#### 4. 結果

##### (1) 実験 1

ティッシュペーパーは、ラップホーンが無い場合は動かなかった。ラップホーンが有る場合は、鉛直方向から音波の進行方向に約 45° 動いた。ティッシュペーパーは管口が大きい程、音の強さは弱まり、動かなかった。また、管口が小さい程、音の強さは強まり、よく動いた。このことから、管口の大きさと音の強さは反比例すると考えた。

##### (2) 実験 2

塩ビパイプ 1.0m でラップホーンがある場合は 47~355Hz、ない場合は 163~172Hz、0.25m でラップホーンがある場合は 47~355Hz、ない場合は 575~595Hz であった(表 1)。仮説では、固有振動数の公式  $f(m) = mV/2L$  ( $f(m)$ : 固有振動数、 $m$ : 倍音、 $V$ : 音の速さ[m/s]、 $L$ : 塩ビパイプの長さ+ラップホーンの長さ[m])の  $L$  の値がラップホーンを取り付けることで大きくなり、 $f(m)$  の値が小さくなるため、ラップホーン有りの方が共鳴する振動数が小さくになると考えていたが、それが概ね正しいことが分かった。

	塩ビパイプ 1.0m	塩ビパイプ 0.25m
ラップホーン有り	85~255 Hz	47~355 Hz
ラップホーン無し	163~172 Hz	575~595 Hz

表 1 ラップホーンと固有振動数の関係

##### (3) 実験 3

塩ビパイプが 1.0m でラップホーンがある場合は 0~5.0cm の範囲で消火することができたが、ない場合は 0cm のときのみ消火することができた。塩ビパイプが 0.25m でラップホーンがある場合は 0~4.0cm の範囲で消火することができたが、ない場合は 0cm でしか消火することができなかった(表 2、3)。表 2、3 中の○は消火成功を、×は消火失敗を表している。以上よりラップホーンがある場合の方がより遠くの火を消すことができるということが分かった。

	0cm	1.0cm	2.0cm	3.0cm	4.0cm	5.0cm	6.0cm	7.0cm	8.0cm	9.0cm	10cm
有り	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
無し	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

表 2 塩ビパイプ 1.0m の場合のラップホーンの有無による消火可能な距離

	0cm	1.0cm	2.0cm	3.0cm	4.0cm	5.0cm	6.0cm	7.0cm	8.0cm	9.0cm	10cm
有り	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
無し	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

表 3 塩ビパイプ 0.25m の場合のラップホーンの有無による消火可能な距離

音波によって振動した空気がラップホーンによって圧縮され、ラップホーンの管口から空気が放出される時、単位面積当たりの空気を振動させる力がより大きくなるからだと考えられる。管口部分から出



る音が強い程、遠くの火を消すことができる。従って、ラップホーンがある場合の方が遠くまでの火を消すことができる。

## 5. 考察

実験1では、管口の大きさと音の強さは反比例すると考えられる。これは、ラップホーンが塩ビパイプに比べ、管口が小さいため、音の単位面積当たりの空気を押す力が大きいためだと考えられる。

実験2では、結果値に幅があることから、ラップホーンがある場合の方が消火の可能な振動数の幅が広いと考えられる。しかし、その原因を解明することができなかつたため、今後の追加実験で調べたい。

実験3では、ラップホーン有りの方がより遠くの火を消すことができたのは、音波によって振動した空気がラップホーンによって圧縮され、単位面積当たりの空気を振動させる力がより大きくなるからだと考えられる。

3つの実験を通して、ラップホーンの有用性が実証された。ラップホーンがあることで、様々な振動数で、より遠くの火を消すことができることから、ラップホーンは音波消火器には必要不可欠なパーツであると言える。ラップホーンの内部の共鳴の様子を詳しく知ること、より効果的な形状を考えたい。

## 6. 結論（課題）

この研究では、音の強さ、ラップホーンの有無両方の場合における共鳴する振動数、ラップホーンの効果について調べることができた。しかし、ラップホーン内部の共鳴の様子を視覚化するすべがなかつたために、実際にどのように共鳴しているのか想像がつかず、ラップホーンと塩ビパイプの関係性を数式などで客観的に証明することができなかつた。また、途中で研究手法や計画を変更したために、各実験の試行回数が少なくなつてしまった。そのため、ラップホーンなどの特殊な形状の管の内部で起こる共鳴の仕組みを数式で示すことができるように、今後も追加研究を行いたい。なお、今後は塩ビパイプの管口からの距離がより離れた位置にある火を消すにはどのような工夫を施せばよいかをラップホーン内部の共鳴をしっかりと理解した上で考えていきたい。そして、最終的には、実際の火事現場で使用するできるように、安全安心な音波消火器の実用化を目指したい。

## 7. 参考文献

- [https://www.jst.go.jp/cpse/jissen/pdf/houkoku/SG160015\\_matome2018\\_010.pdf](https://www.jst.go.jp/cpse/jissen/pdf/houkoku/SG160015_matome2018_010.pdf)  
長崎県立長崎北陽台高等学校「音波消火器について（2018）」
- <https://mitok.info/?p=18320>  
世界が驚いた「音波消火器」はわりとお安く作れる！（ただし卓上サイズに限る）

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究を指導して下さった新潟県立高田高等学校の柳健太教諭に感謝申し上げます。

## 9. 写真



図1：実際に使用した音波消火器



図 2 ①



図 2 ②

図 2 : 塩ビパイプにラップホーンが付いた状態

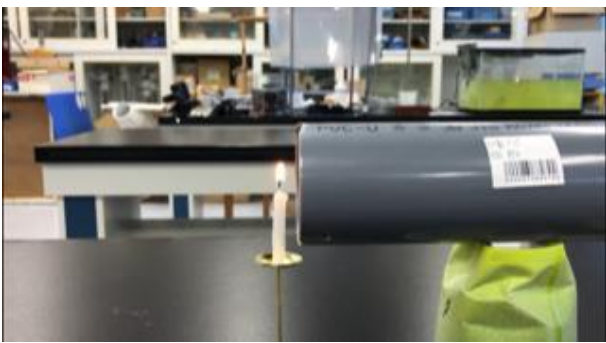


図 3 ①

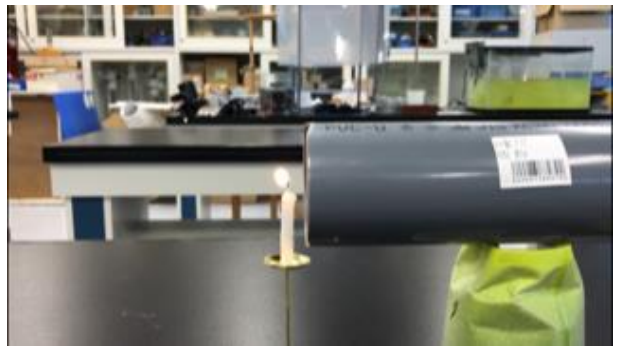


図 3 ②

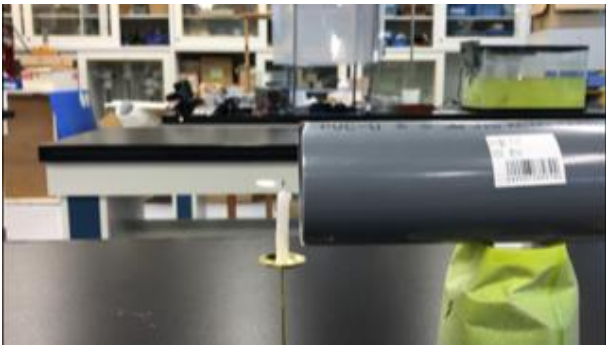


図 3 ③

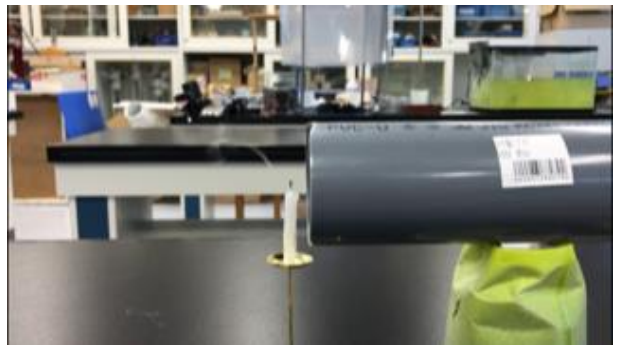


図 3 ④

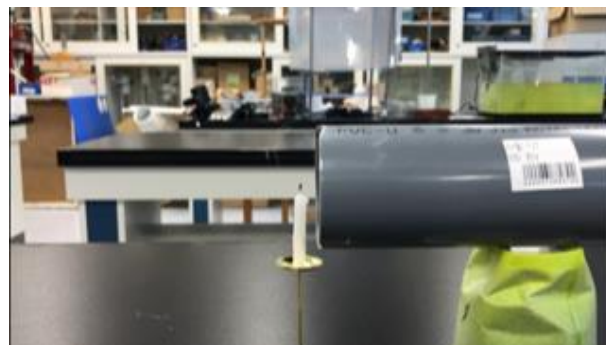


図 3 ⑤

図 3 : 消火の一連の流れ (音波の進行方向に火が傾き、煙を上げて消えた。)



# 冷凍庫人工雪発生装置の作成

3年理数科 2名

## 1. 要旨

中谷宇吉郎は温度、空気中の水蒸気量という条件を変えることにより雪の結晶の形が変化するということを中谷ダイヤグラムという表にまとめた。私たちはこの研究に興味を持ち、雪の結晶が形成されるメカニズムについて研究したいと考え、冷凍庫やペットボトルなど、家庭にある身近なものを用いて、結晶が生じる過程を簡便にカメラで撮影する装置を作ることを試みた。

## 2. 研究目的

- (1) 雪の結晶を冷凍庫内で発生させるため、庫内の水蒸気量と庫内温度の関係を見つける。
- (2) 冷凍庫内で雪の結晶を撮影しやすい装置を作成する。

## 3. 研究方法

### (1) 予備実験

目的

予備実験1 常温下での時間あたりの電熱線の発熱量を測定する。

予備実験2 冷凍庫での時間あたりに奪われる熱量を測定する。

これにより、本実験で使用する電熱線の長さや実験で加える電力の値、水量を設定する。

方法

右の表1の条件で予備実験1,2を行った。水温をデータロガー(図1)で測定することで、水に加えられた熱量を測定する。

(表1)

	実験環境 (気温)	電熱線の有無	水量	起電力
予備実験1	常温下 (24°C)	あり	50mL	1.5V
予備実験2	冷凍庫 (-20~-15°C)	なし	50mL	0V

(図1) データロガー (島津理化 SPARK)



### (2) 本実験

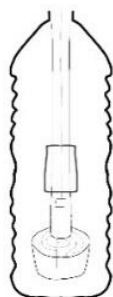
目的

実験1 結晶ができやすい装置や実験条件を調べる。

実験2 結晶ができる過程をカメラで撮影できるかどうかを調べる。

方法

装置1、装置2、装置3を作成し、実験1,2を行った。

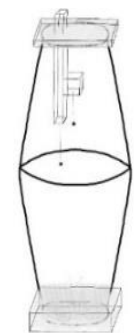


装置1

2L ペットボトルの中央にラップの芯(直径3cm程度)を取り付け、芯の中に綿の糸を垂らした。底に設置した蚊取り線香状の電熱線30cmに単一電池二本をつないだ。撮影する部分のペットボトルとラップの芯に穴を開けた。小型にライトにより糸を照らしながら、デジタルカメラで結晶ができる様子を撮影した。

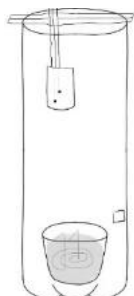
装置2

1.8Lの麦茶のポットを2つグルーガンで貼り合わせた。装置の底は水が漏れないよう、発泡スチロールに穴をあけ、差し込んだ。装置の底には蚊取り線香状の形の50cmの電熱線を入れた。上から高



さが調節できるようにした棒の先にアンゴラウサギの毛をつけたものを吊るした。毛の下側には小型の釣り用の重り（ガン玉）を取り付けた。水を装置に直接入れ、電熱線に電流、電圧値を調節できる電源装置をつなぎ、ウェブカメラで結晶ができる様子を撮影した。

なお、ウサギの毛を使用したのは、中谷宇吉郎の先行研究において、様々な素材を試した結果、ウサギの毛が最も雪の結晶が付きやすいということが明らかになっているためである。ペットショップにいるアンゴラウサギの毛は非常に細く、また最も入手しやすかったため、それを使用した。



### 装置 3

1.5Lの炭酸ペットボトルを2つグルーガンでつなぎ合わせた。上部からアンゴラウサギの毛を取り付けた割り箸を垂らした。毛の下側に小型の釣り用の重り（ガン玉）を取り付けた。装置の下には水を入れるための紙コップが入っており、中に電熱線 50cmが入っている。電熱線に電流、電圧値を調節できる電源装置をつなぎ、ウェブカメラで結晶ができる様子を撮影した。

### 実験 1

実験条件を変え、垂らした糸に結晶ができるかを調べた。また、装置 3 では水温と装置内の気温をデータロガーで測定した。

### 実験 2

カメラのレンズに 10 倍、20 倍の対物レンズを取り付け、結晶ができる過程をカメラで撮影した。器壁に霜が付きやすい容器 2 では、器壁に車用撥水シートを貼る、油を塗る、メガネ用の曇り止めを塗るなど、霜が付きにくいような工夫を施し、実験を行った。

また、実験 1,2 を行ったときの条件は後述の表の通りである。

	電圧	水量	冷凍庫の設定 (庫内温度)	電流	水面からの高さ
装置 1	3.0Vで固定 (単一乾電池 2本)	20mL	1.5 (-20~-15°C)	測定する	15cm, 20cm
装置 2	15Vで固定	80mL	1.5 (-20~-15°C)	測定する	5cm, 15cm, 25cm, 35cm, 45cm
装置 3	測定する	25mL, 30mL, 35mL, 40mL, 50mL	1.5(-20~-15°C)、 8(-22~-20°C)	1.00A, 1.20A, 1.50A	25cm

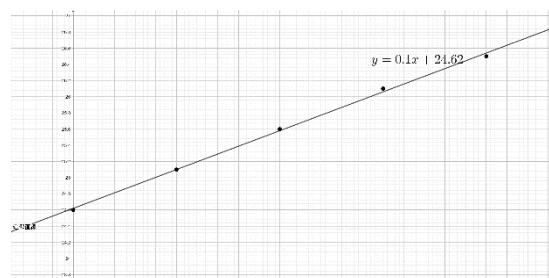
## 4. 結果

### (1) 予備実験 1

ニクロム線に 1.5V の電圧を加えたとき、電流値は 0.66A だった。

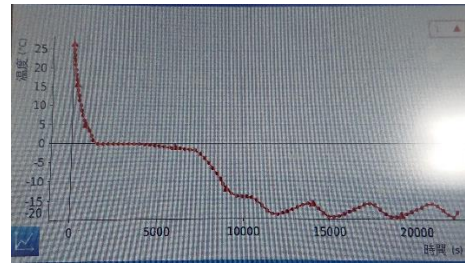
また、経過時間と水温の関係は以下の表、グラフの通りとなった。

時間 (分)	0	5	10	15	20
水温 (°C)	24.6	25.1	25.6	26.1	26.5



(2) 予備実験 2

温度変化は右のグラフのようになった。  
 1500 秒付近で凝固点に達した。  
 5000 秒付近で再び温度が低下し始めた。  
 10000 秒付近で冷凍庫内の温度と同じになり、以降は温度が周期的に変化していた。



(3) 本実験

①装置 1 に対して

実験 1 単一電池二本 (3.0V)、水量を 20mL、冷凍庫の設定を 1.5 (庫内温度が $-20^{\circ}\text{C}\sim-15^{\circ}\text{C}$ ) で固定したとき、雪の結晶は糸につかなかった。そのため、実験 2 は行わなかった。

②装置 2 に対して

実験 1 電圧値を 15V、水量を 80mL、冷凍庫の設定を 1.5 で固定したとき、電流値は 2~3A になった。また雪の結晶は糸に安定してついた。

この装置を用いた実験では、ウサギの毛を水面から 5cm、15cm、25cm、35cm、45cm の高さから垂らし、最も結晶がついた高さを調べた。その結果、水面から 25cm の高さの条件の時に最も結晶が多くついた。

実験 2 容器の内壁に霜がついてしまい、装置外から結晶ができる様子をカメラで撮影することができなかった。

③装置 3 に対して

結果は右の表、図の通り。

なお、○：実験 1 では結晶がついた

実験 2 ではカメラで撮影できた

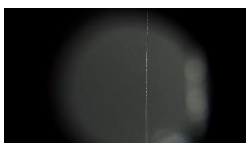
△：実験 1 で庫内温度が低いときには結晶の核ができるが、庫内温度が高いときにはそれが解けてしまった

×：実験 1 では結晶がつかなかった

実験 2 ではカメラで撮影できなかった

また、カメラで撮影できた、結晶ができる過程は下の写真の通り。

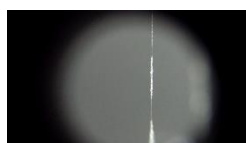
電流	電圧	装置内気温	装置内水温	水量	冷凍庫の設定	実験1	実験2
1.50A	5.6V	14~9°C	25~30°C	25mL	1.5	×	×
1.50A	3.7V	15~10°C	9~11°C	50mL	1.5	×	×
1.20A	3.0V	16~12°C	5~7°C	50mL	1.5	×	×
1.00A	2.6V	19~15°C	2~3°C	50mL	1.5	×	×
1.50A	4.7V	15~10°C	25~35°C	30mL	1.5	△	×
1.50A	4.9~5.2V	14~9°C	30~32°C	35mL	1.5	×	×
1.50A	5.2V	12~7°C	32~33°C	40mL	1.5	×	×
1.50A	5.6V	19~18°C	27~29°C	30mL	8	×	×
1.50A	4.9~5.2V	20~18°C	25~26°C	35mL	8	○	×
1.50A	4.9~5.2V	21~19°C	27~29°C	40mL	8	○	×
1.50A	6.0V	22~19.5°C	33~35°C	40mL	8	○	○



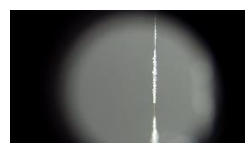
30 分後



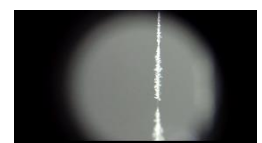
1 時間後



1 時間 30 分後



2 時間後



2 時間 30 分後

5. 考察

(1) 予備実験 1、2

予備実験 1 における電力[W]、予備実験 2 における 1 秒あたりに奪われる熱量[J·s<sup>-1</sup>]は以下の表の通りとなった。なお、水の密度は 1.00g·cm<sup>-3</sup>、水の比熱容量は 4.18J·g<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>、氷の比熱容量は 2.10J·g<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>、水の融解熱は 334J·g<sup>-1</sup>であるとする。

	予備実験1		予備実験2
	電圧・電流値から求められる電力[W]	水の温度から求められる電力[W]	
0°C~	約1.04W	約0.35W	約-3.71J·s <sup>-1</sup>
0°C	—	—	約-4.77J·s <sup>-1</sup>
~0°C	—	—	約-0.32J·s <sup>-1</sup>

この結果より、本実験で使用する電熱線の長さを 30cm、電圧値を 3.0V、水量を 20mL としたとき、水の温度から求められる電力と 1 秒間に奪われる熱量はほぼ等しくなるため、本実験での装置 1 の実験はこれらの条件で行った。

## (2) 本実験

### ①装置 1 に対して

結晶ができなかったのは綿の糸の表面の状態、太さなどにより結晶が付きにくいこと、容器の凹凸により装置内の状態が一様でなく結晶ができるのに必要な上昇気流が生まれにくいこと、糸と電熱線の距離が近く、十分に冷却されないことなどが原因として考えられる。これらの問題を解決するために、装置 2 を作成した。

### ②装置 2 に対して

糸をより結晶が付きやすいウサギの毛に変更した。容器を凹凸がなく、また装置 1 よりも結晶が冷えるために高さが必要と考え容器を変更した結果、性能が向上したと考えられる。先述の通り容器に霜がつかないように様々な方法を試みたが、器壁が曇ったり、霜がついたりしてしまい、カメラでの撮影ができなかった。次に容器に穴を開けることで確実に結晶ができる様子をカメラで撮影ができるのではないかと考えた。また、装置 2 は硬いプラスチック容器のため加工しづらいので、加工しやすい、円筒形のペットボトルを使用して装置 3 を作成した。

### ③装置 3 に対して

カメラで撮影した際に穴をあけた部分は結晶ができにくかった。これは、穴の部分から水蒸気を含んだ空気が逃げてしまったためだと考えられる。それを解決するための斜め上方からの撮影を試みたがセットが難しく、成功したのは 1 回だけとなってしまった。

## 6. 結論 (課題)

実験により、空気の温度が約-13℃以下となる時、結晶が付き始めることが分かった。これはカメラに写っていた結晶が、空気の温度が約-13℃の時から成長していったからである。

雪の結晶ができる条件、撮影できる条件として、次の点が考えられる。

- ・電熱線からの高さ
  - ・容器の形 (円筒形に近い形)
  - ・それらに起因すると考えられる上昇気流
  - ・空気中の水蒸気量
  - ・空気の温度
  - ・結晶の核となるものの素材
- が影響すると考えられる。

さらに、上昇気流による糸の少しの揺れでも、画面上では大きく揺れているように見え、揺れるたびにピントがずれていってしまった。オートフォーカス機能を持つようなカメラで実験を行ったほうが、鮮明に映像が撮れると考えられる。また、倍率もコンピュータの方で調整できるようになればなお良い。また実験観察から、容器に穴をあけないほうが、結晶ができやすいことがわかった。器壁に穴をあけずに撮影を可能にするために、曇ったり器壁に霜がついたりしないような方法を確立したい。

## 7. 参考文献

平松式ペットボトル人工雪発生装置 <http://www.tesio.net/~dhpress/hiramatsusnow/pet.htm>

中谷宇吉郎 雪の科学館 <https://yukinokagakukan.kagashi-ss.com/ukichiro/>

## 8. 謝辞

この研究をご指導して下さった、高田高等学校関沢秀栄先生に深く感謝申し上げます。

# 硫酸銅(Ⅱ)メタノール配位結晶の検証

3 年理数科 2 名

## 1. 要旨

硫酸銅(Ⅱ)無水物は水分を吸収して青色の水和物になるため、微量な水の検出に利用される。本校の先輩先行研究(平成30年)では、硫酸銅(Ⅱ)無水物はメタノールに溶け、取り出した結晶はメタノールが配位していると考えられている。本研究では当初、先行研究をさらに深めることを目的としていたが、研究を進めていく中でこの先輩の考察について疑問を感じた。そして検証を進めると、メタノールの配位物ではないことを示すいくつかの結果がみられ、最終的に水和物と判断する結論に至った。

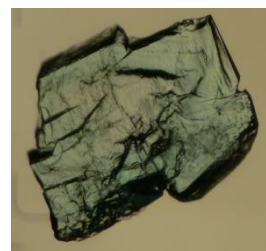


図1 (先行研究で得られた結晶写真 H 30)

## 2. 研究目的

硫酸銅(Ⅱ)メタノール溶液から析出した結晶の配位物がメタノールであるか検証する。

## 3. 研究方法

実験1: 先行研究(H29)の再現実験の実施

メタノール(99.8%以上)、エタノール(99.5%以上)、酢酸(99%以上)を、それぞれ2本ずつ5.0ml試験管に量り取る。そこに0.010g、0.020gの硫酸銅(Ⅱ)を入れて様子を見る。(ここでの硫酸銅(Ⅱ)というのは $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を加熱して無水物にしたものを用いた。以下、硫酸銅(Ⅱ)は全て無水物とする。

実験2: メタノール溶液の結晶の溶解度(析出量)の確認

硫酸銅(Ⅱ)が溶けたメタノール溶液から結晶を取り出すために、メタノール50mlに硫酸銅(Ⅱ)を過剰量入れ攪拌し、一晚以上放置する。上澄み液を取り出し、蒸発させて蒸発皿に残った固形物の質量を量る。

実験3: 水和物の性質を探る 1 デシケーター(濃硫酸)の脱水作用による変化

硫酸銅(Ⅱ)無水物をメタノールに溶して得られた結晶を、濃硫酸が入ったデシケーターの中に入れ、外観や質量を硫酸銅(Ⅱ)五水和物の変化と比較した。

実験4: 炭酸ナトリウムで水を取り除いたメタノールに対して検証する

メタノール(99.8%以上)中に、わずかに含まれる水が配位する可能性を考え、メタノールに含まれる微量な水を取り除く目的で、メタノールに炭酸ナトリウムを過剰量加え、一晚以上放置した。上澄み液を採取・ろ過して溶液に得られたメタノール溶液に対して、硫酸銅(Ⅱ)を実験1と同様に溶かし、色等を確認した。

実験5: 実験4の上澄み液を用いて硫酸銅(Ⅱ)を含む結晶を採取・検証する

実験4で得られたメタノールに硫酸銅(Ⅱ)を溶かした溶液に対して、上澄み液を取り出し蒸発させ、結晶を取り出し、外観を観察。さらに水溶させ炎色反応を観察した。

実験6: 実験5で得られた結晶を熱分解し、得られる水溶液の性質から配位しているのがメタノールかどうか確認する

硫酸銅(Ⅱ)五水和物とメタノール溶液から取り出した結晶をそれぞれ熱分解する。得られる液体のにおい、揮発性、引火性、有機物に対する反応(マジックインキ)を確認する。



#### 4. 結果

結果1 先行研究と同様、メタノールに硫酸銅(II)を溶かした試験管だけが青くなり、銅が溶解しているように見えた。

結果2 (表1) 実験1の溶液の上澄み液から、メタノールに対する溶解度を析出量から確認した。

	メタノール溶液の量	結晶の質量
1	10ml	0.018g
2	20ml	0.024g

粒もしくは粉状の物質が、0.1%~0.2%程度溶けていると考えられる。

結果3 (表2) 硫酸銅(II)五水和物の質量変化と色の変化

	はじめ	1週間後	3週間後	4週間後	5週間後
変化量(g)	0.500g	0.413g	0.396g	0.382g	0.378g

5週間で0.122g減少した。加えて、色も青から薄い水色に変化したことから配位していた水が吸湿されたのではないかと考えられる。



図2 (析出した固体)

(表3) メタノールから取り出した結晶

はじめ	2週間後	3週間後
0.717g	0.724g	0.723g

3週間でほとんど減少しなかった。質量変化が硫酸銅(II)五水和物と比べてもまったく減少しないので、「メタノールが配位している」、「配位している水が少ない」、「または水が配位していない」のいずれかではないかと考える。

結果4 炭酸ナトリウムを入れて吸湿した後のメタノールに硫酸銅(II)を入れたものは、溶液が青くならなかった。このことから、実験1でメタノールに硫酸銅(II)を加えたものが青くなったのは、わずかに含まれる水に溶解したためではないかと考えることが出来る。また、メタノールの純度が上がったため、溶ける量が減った、もしくは水和物ではなくなったために青色にならなかったとも考えられる。

結果5 実験4の溶液を蒸発乾燥して得られた固形物が白色に近かったため、硫酸銅(II)に由来する物質か、炭酸ナトリウムに由来する物質かを検証した。

○炎色反応の確認：

少量の固形物を少量の水に溶かして炎色反応を確認した。

炭酸ナトリウムを加えなかったものは黄緑色を示したが、炭酸ナトリウムを加えたメタノールから得られたものは、黄色からオレンジ色の炎色反応が確認された。

○硫酸との反応：

固形物をシャーレにとり、直接硫酸(1.0mol/L)を作用させた。

炭酸ナトリウムを加えたメタノールから得られた固形物では気泡が発生したが、もう一方は発生しなかった。

このことから、炭酸ナトリウムを加えたメタノール溶液には、硫酸銅(II)があまり溶けていないのではないかと考えられる。これは、メタノール中にわずかに含まれる水が無くなったた

めなのか、炭酸ナトリウムが溶け込んだため、硫酸銅(Ⅱ)が溶けにくくなったためなのか、いずれかではないかと考える。

結果 6 硫酸銅(Ⅱ)五水和物を熱分化したところ、2.0 g でおおよそ 3～4 滴ほどの液体を取り出すことができた。また同様にメタノールから取り出した結晶も同様に液体が取り出すことができた。この 2 つの液体について比較を行った。

- ・採取された液体の蒸発速度に大きな差はなかった。
- ・採取された液体はどちらも硫酸銅(Ⅱ)無水物を加えると青色になった。
- ・メタノール溶液から取り出した結晶から得られた溶液は、スライドグラスに書いた油性ペンの文字を溶かさなかった (図 3 上)。同様にメタノールでは、油性ペンの文字を溶かした (図 3 下)。

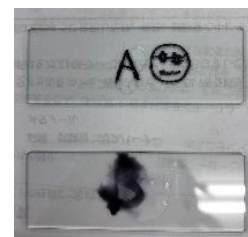


図 3 (析出した固体)

これらの結果より、得られた配位していた物質を熱分解して得られた液体は、水である可能性が高いと考える。

## 5. 考察

実験 3 の結果では、取り出した結晶はメタノールが配位している可能性を示していた。しかし実験 4、5 ではメタノールではなく、水が配位している可能性を示す結果となった。そして実験 6 において、結晶から熱分解で得られた液体は水であると判断するに至った。これらの結果から判断して、この結晶は水が配位したものであると考える。

メタノール溶液から得られた結晶が実は水が配位したものであると判断したときに、実験 3 の結果をどうとらえるか考察した。脱水による質量変化が少なかったのは、得られた結晶は、配位する水の配位数が、五水和物と比べて少なかったためだと考えることで、つじつまが合うと考えている。

## 6. 結論

先行研究でメタノールが配位していると考えられていた結晶は、水が配位したもの (水和物) と判断する。

## 7. 参考文献

- ・ H30 年度高田高校課題研究 硫酸銅(Ⅱ)に関する水和物以外の結晶の作成について
- ・ 岡山理科大学 理学部 化学科 HP  
[www.chem.ous.ac.jp/~gsakane/cuso4.html](http://www.chem.ous.ac.jp/~gsakane/cuso4.html) 日本栄養・食糧学会誌第 64 巻第 5 号 pp.1

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり研究の細部まで指導して下さった新潟県立高田高等学校の先生方に深くお礼申しあげます。

# 納豆菌コンクリートを用いた水質浄化法

3 年理数科 2 名

## 1. 要旨

納豆菌を付着させたコンクリートブロックに水質浄化作用があるか知るため実験を行った。本実験では、比較対照として水道水を、水質汚染物質として石けん水、合成洗剤水溶液を用いた。この中に納豆菌を付着させたコンクリートブロックまたは付着させないコンクリートブロックを沈め、3 日ごとに溶液を採取したものの吸光度をエチルバイオレットという色素を用いて測定し、洗剤の減少量を求めた。

その結果、コンクリートブロックからはエチルバイオレットを水層からトルエン層に移動させる性質をもつ物質が徐々に溶け出していたのではないかとということが分かった。

## 2. 研究目的

世界では水質問題が解決されていない地域が存在している。環境問題に関心を向けていた私たちは水質汚染の改善のため、納豆菌をコンクリートに付着させたもの（以下、納豆菌コンクリートと記載）に注目した。元々ポーラスコンクリートは木炭と同様に無数の孔をもっており、骨材に天然ゼオライトを用いていることから、水溶液中の有機物を吸着する性質を持ち、水質の改善につながるという論文も存在している。そんな中、一部の納豆菌をポーラスコンクリートに付着させると、水溶液中の有機物の量がより減少し、水質の改善が促進されるという記事を発見した。そこで、私たちは納豆菌コンクリートが納豆菌を付着させていないコンクリートブロック以上に水質浄化作用を促進させるのかということの研究することで、社会に貢献したいと考え、研究を始めた。

## 3. 研究方法

実験では、水質汚染の代表として、台所用合成洗剤「チャーミーグリーン」（以下、合成洗剤と記載）と、洗濯用粉石けん「そよ風」（以下、粉石けんと記載）の 2 種類を用意した。洗剤分子を水質汚染物質としてみなした理由としては、

〈家庭における生活排水の中で界面活性剤による汚染の割合が多いこと〉

〈界面活性剤は難分解性であり、かつ微生物の膜を溶解する性質を持つこと〉

〈その中でも合成洗剤は高い毒性、浸透性、残留性を持つこと〉

〈陰イオン界面活性剤は洗浄力が高い反面、排水処理場における異常発泡や COD 規制水域における排水基準を満たしていないこと〉

などが挙げられ、洗剤を実験に利用することが妥当であると判断した。

（注：COD…水質汚濁の指標のひとつ。化学的酸素消費量と呼ばれる。水中に有機物などの物質がどれほど含まれるかを、過マンガン酸カリウムなど酸化剤の消費量を酸素の量に換算して示され、この値が大きいほど水中の有機物が多いことを示し、水質汚濁の程度も大きくなる傾向がある。）

合成洗剤、粉石けんはともに界面活性剤であり、水中ではともに電離し、界面活性剤の働きをする部分が陰イオンになっている。この水溶液にエチルバイオレット（濃紫色色素）と呼ばれる物質を加えると、溶液中で陽イオンとなって溶けるため、陰イオンである界面活性剤と結合することで電荷が中和され、トルエン層に抽出される。この特性を利用し、抽出した溶液を吸光度計を用いて測定することで溶液中に存在している洗剤分子の量を測定した。

測定にあたり、合成洗剤と粉石けんの検量線を作成した（図 1、図 2 参照）。それぞれの洗剤容器に表記されている実際に使用する際の濃度を「原液」とし、それを 10、100、1000、10000 倍に薄めたものを作成し、それぞれ 10 mL ずつ採取した。これに、エチルバイオレット溶液（0.56 g/L）を 10 mL 加え、トルエン 20 mL とともに分液漏斗に入れた後、10 分間振とうしてから静置し、採取したトルエン



層をガラスセルに入れ、吸光度を測定した。スペクトラムの結果と先行研究で行われた定量分析の方法から、吸光度の上昇した点（ピーク）の、光の波長 599 nm の数値を使用し、検量線を作成した。

本実験では、水道水、石けん水、合成洗剤水溶液に、納豆菌を付着させたコンクリートブロック、付着させていないコンクリートブロックをそれぞれ沈め、3 日ごとに溶液を採取し、検量線測定時と同様の方法で吸光度を測定した。なお、納豆菌コンクリートブロックは水道水 3.5 L に納豆菌 3 g 溶かし、コンクリートブロックをおおよそ 1 日沈めた後、乾燥させたものを使用した。また、石けん水及び合成洗剤溶液は、検量線作成時に使用した溶液のうち、100 倍希釈のものを使用した。

#### 4. 結果

結果のグラフの数値は、光の波長 599 nm の数値である。(図 3～8 参照)

- (1) 図 3 と図 4 を比較するとどちらも 7 日目までの測定において吸光度が急増して最大となり、その後は徐々に減少するも、16 日目の測定時には増加した。このように納豆菌の有無に関わらず、グラフの形はどちらも類似していた。
- (2) 図 5 と図 6 を比較すると 4 日目の測定時から吸光度が増加し、7 日目に最大値を検出し、その後徐々に減少した。グラフの形はどちらも類似しており、納豆菌を付着させたコンクリートブロックを沈めた図 5 の結果は納豆菌を付着させていない図 6 と比べ、明確な差はみられなかった
- (3) 図 7 と図 8 を比較すると納豆菌を付着させたコンクリートブロックを沈めた図 7 では、10 日目の検出時において最大値を検出するまで吸光度が増加していき、その後徐々に減少した。納豆菌を付着させていない図 8 では 7 日目の検出時に最大値を検出し、その後徐々に減少した。吸光度が最大となった期間は異なるがグラフ全体の形はどちらも類似していた。また、納豆菌をコンクリートブロックに付着させた図 7 の方が、図 8 に比べて吸光度がやや大きくなる傾向がみられた。
- (4) 図 5 と図 7、図 6 と図 8 を比較すると、粉石けん水に比べて合成洗剤水溶液の方が、吸光度がやや大きくなっていることが分かった。

#### 5. 考察

- (1) 当初の仮説では、界面活性剤を加えていない図 3 と図 4 の実験ではエチルバイオレット（陽イオン色素）をトルエン層に移動させる陰イオンが水溶液中に存在しないと考えていたので、吸光度の値は 0 のままであると予想していたが、実際には結果 (1) に示したように、7 日目の測定時に吸光度が最大となり、界面活性剤を加えた実験（図 5 から図 8）と似たようなグラフの傾向を示した。

このことから、陰イオン界面活性剤と同様の働きを持ち、エチルバイオレットをトルエン層に移動させる陰イオン性の物質がコンクリートブロックから徐々に溶け出していったのではないかと考えた。

また、7 日目の測定以降徐々に吸光度が減少する理由として、コンクリートブロックから徐々に溶け出したと考えられる物質は一定の濃度に達した後、互いに凝縮し、時間とともに濃度が減少したなどといったことが推測される。

- (2) 当初の仮説では、界面活性剤はエチルバイオレットと水溶液中で結合し、吸光度はより大きくなるかと予想していたが、実際には結果 (2) 及び結果 (3) に示したように、7 日目あたりで吸光度が最大となり、その後徐々に減少するという傾向は同じであった。

このことから、今回の実験ではコンクリートブロックから徐々に溶け出した物質が吸光度の測定に与える影響が大きいと、粉石けんや合成洗剤の界面活性剤が結果に与える影響を確認することはできなかった。

- (3) 当初の仮説では、納豆菌コンクリートブロックを沈めた後、納豆菌が洗剤分子を分解するため、納豆菌を付着させていないコンクリートブロックを沈めた方に比べて吸光度はより減少すると予想していたが、結果は図 3 と図 4、図 5 と図 6、図 7 と図 8 を比較してわかるように、明確な違いは

見られなかった。

このことから、今回の実験では納豆菌の量が十分であったか、また、十分によく付着していたかを確かめることができなかつたため、納豆菌が洗剤分子の分解にどの程度関わるか確認することができなかつた。

(4) 結果 (4) から、エチルバイオレットと結合してトルエン層に移動する作用は、粉石けんの分子に比べて合成洗剤の分子の方がやや大きいことが確かめられた。

## 6. 結論 (課題)

この実験では、コンクリートブロックを沈めると、そこから徐々に溶け出した物質により、エチルバイオレットがトルエン層に抽出されることが分かった。しかし、検量線とグラフを比較したとき、使用した 100 倍希釈の溶液より明らかに吸光度の大きいものがあることから、溶液内の納豆菌の増殖、もしくはコンクリートの微粉が混ざったことにより吸光度の値を大きくしたのではないかと考えることもできる。コンクリートブロックから徐々に溶け出した物質については未だ仮説であり、今回の実験で確認する段階には至らなかつた。

結果 (4) で示したようにエチルバイオレットがトルエン層に抽出される作用は粉石けんの分子に比べて合成洗剤の分子の方がやや大きいことが確かめられたものの、その理由については確認することはできなかつた。

今回の実験では納豆菌が洗剤分子を分解するかどうかを確認したいと考えていたが、コンクリートブロックの影響が大きかつたため、納豆菌の作用を確認することはできなかつた。

溶液のろ過によるコンクリート微粉の除去などといった過程を通すことで、洗剤分子の量のみを測定する実験方法を工夫する必要があることが分かった。課題が山積みであり、検証できたことは少ないが、反省点として以後の研究に役立てたい。

## 7. 参考文献

- ・JIS 工業廃水試験方法
- ・界面活性剤の定量分析に関する調査研究  
(黒江 美穂 物質計測標準研究部門有機基準物質研究グループ)

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の細部まで指導していただいた新潟県立高田高等学校の教職員の皆様方をと、研究の参考にさせていただいた研究グループの皆様方に多大なる感謝をこの場をお借りして申し上げます。

## 9. 図表・画像

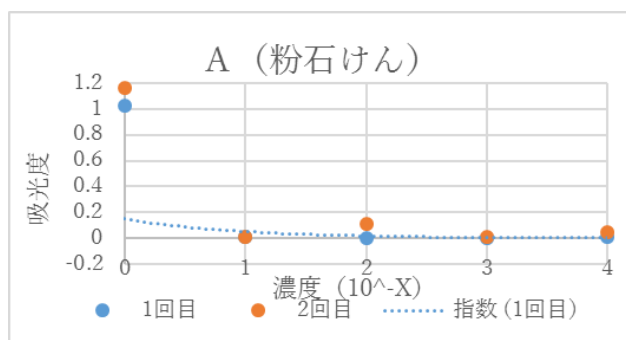


図 1. 粉石けん水溶液の検量線

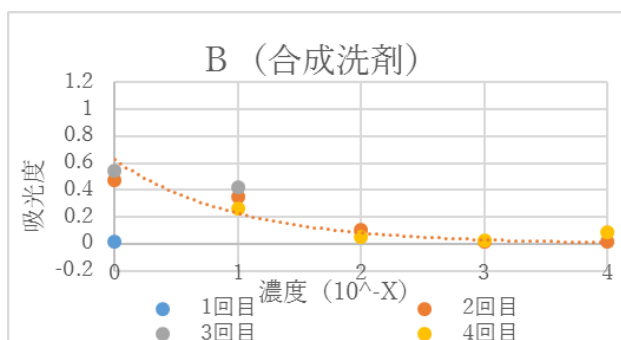


図 2. 合成洗剤水溶液の検量線

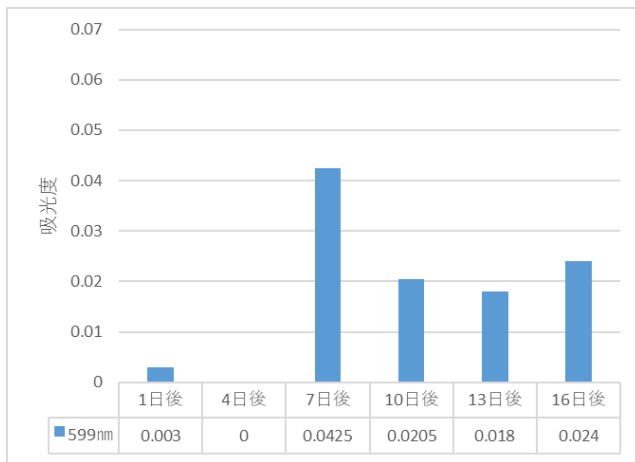


図 3. 水道水+納豆菌コンクリート

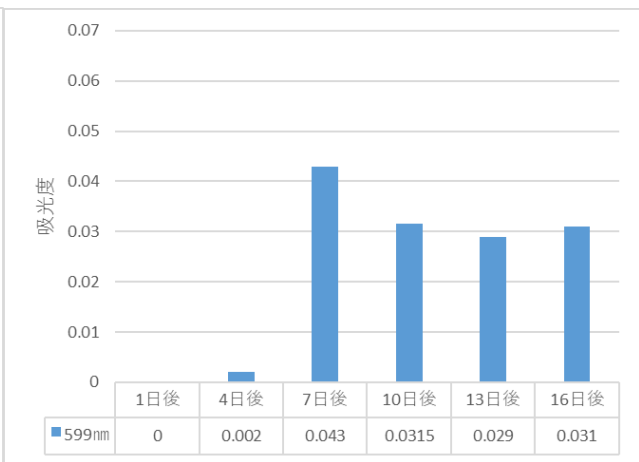


図 4. 水道水+コンクリート

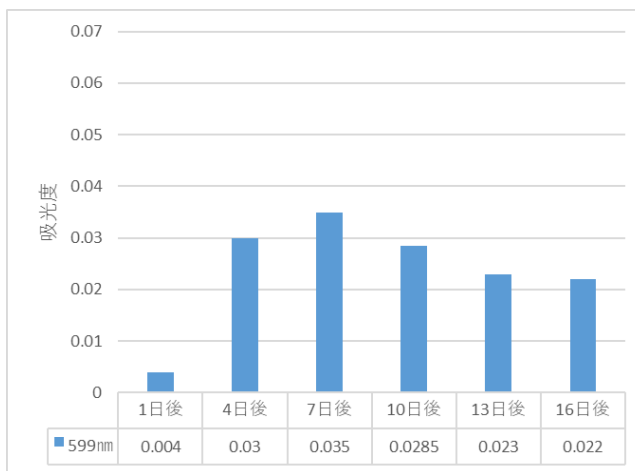


図 5. 粉石けん水溶液 100 倍希釈  
+納豆菌コンクリート

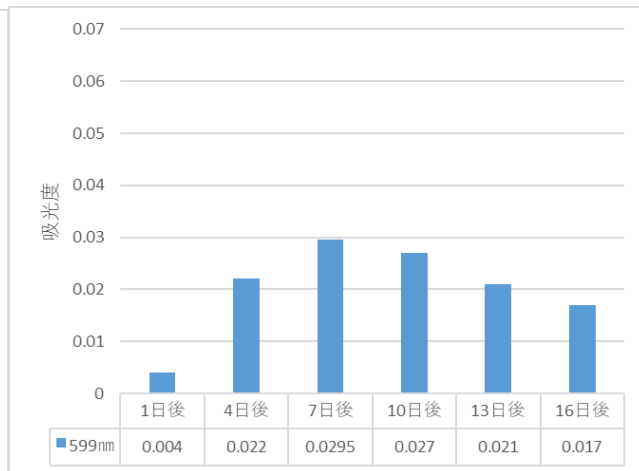


図 6. 粉石けん水溶液 100 倍希釈  
+コンクリート

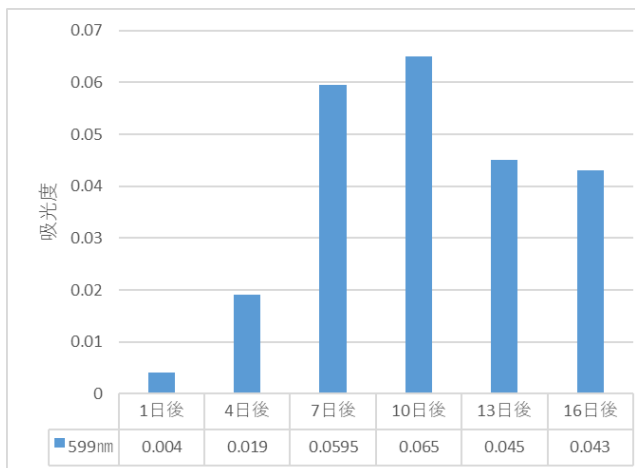


図 7. 合成洗剤水溶液 100 倍希釈  
+納豆菌コンクリート

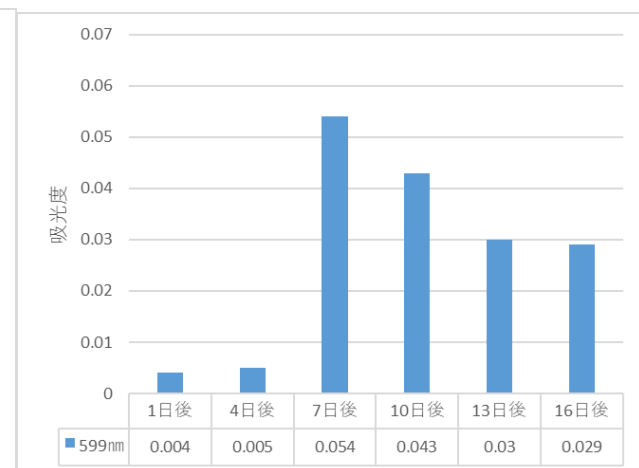


図 8. 合成洗剤水溶液 100 倍希釈  
+コンクリート

# 髪の毛を限りなく元の状態に戻す

3年理数科 4名

## 1. 要旨

髪の毛はヘアドライヤーやヘアアイロンなどの影響で日々ダメージを受けている。本研究では市販の補修剤に含まれる成分のうち、どの成分が髪の毛のどの部分に有効に作用しているのかを明らかにし、髪の毛をできる限り元の状態に戻すための実験を行なった。実験の結果、髪の毛の内部構造にはタンパク質である生ケラチン、外部構造にはPVPが有用であることがわかった。

## 2. 研究目的

髪には自己修復機能がないため枝毛やダメージは、そのままでは元に戻らない。髪に与えたダメージは自分自身でケアをしなければダメージは残ったままである。髪の毛はタンパク質から構成されているためアミノ酸を補ってあげることに重点がおかれる。本研究では毛髪の構造であるコルテックス、メデュラ、キューティクル層(図1)のうちどこに働きかけるのが最も効率的なのか明らかにし、限りなく元の状態に戻すことを目指す。

## 3. 研究方法

### 実験1 効果的な修復試薬の検討

#### a) 修復試薬(表1)の調整

- ① マレイン酸、シスチン、グルタミン酸をそれぞれ精製水に溶かし飽和水溶液にした。PVPは溶解度が大きいので、実験が行いやすい粘度になるよう適宜希釈した。
- ② 生ケラチンは溶液の状態です。信州TLO様から提供していただいたのでそのまま使用した。

#### b) 強度測定

- ① 試験管に30%過酸化水素水と毛髪を入れ、恒温槽につけて60℃前後に保ち10分間ブリーチ処理を施した。
- ② 修復試薬をシャーレに適量入れて①の毛髪を浸し、5分放置した。
- ③ 強度測定用ばねばかり(図2)を用いて、毛髪を引き、髪が切れる瞬間のばねばかりの目盛りをスマートフォンで撮影した。

### 実験2 ケラチンフィルム(図3)を用いた修復試薬の保護効力の検討

- ① ケラチンフィルムに修復試薬を入れ、5分間置いた後、修復試薬を除いた。
- ② ①に30%過酸化水素水を入れ5分間置いた。
- ③ ②の過酸化水素水を試料に用いて、ケルダール法により過酸化水素水中に流出したタンパク質量を測定した。

### 実験3 熱処理後のケラチンフィルムの色差変化による修復試薬の保護効果の比較

ケラチンフィルムを、マレイン酸、グルタミン酸、シスチン、PVPk90、アミノ変性シリコンに10分つけたものを、ホットプレート(推定200℃)で同時に10分間加熱した。その後、最初にタンパク質が変性して茶色くなったものを基準として、色差によるダメージ評価を行った。

## 4. 結果

**実験1** 生ケラチンは、他の試薬に比べて効果が高かった

**実験2** ケルダール法による定量はタンパク質が上手く検出されなかった。

**実験3** 内的要因の試薬に浸したケラチンフィルムは、外的要因の試薬に浸したケラチンフィルムと比較して早い段階で茶色く変化した。

## 5. 考察

**実験1** (表2) 生ケラチンは、他の試薬に比べて効果が高かった。不足したケラチン分を補うため、効果があったと考えられる。痛んだ髪はメデュラ部に空洞が生じていて、主な原因はCaイオンである。マレイン酸にはCaイオンに対しキレート効果があるため、空洞を圧縮し、強度向上に繋がったと考えられる。仮説で予想していた構成アミノ酸が最も高い修復効果が得られるというのは誤りであったが、ブリーチ処理のみの時より数値が上がったので、修復にはつながっているといえる。PVPが、ブリーチのみの時より数値が上がったのは髪をコーティングしたためであり、髪自体を修復したとは言い難いが、髪の強度向上に繋がっていることは判明した。

**実験2** 試薬に流出したタンパク質の量が少なすぎたこと、もしくは流出していなかったことが考えられる。

**実験3** 熱に対しては外部をコーティングするような修復試薬の方が保護力が高いことがわかる。ケラチンフィルムは代替毛髪であり、主にコルテックスを再現したもので、内的要因の試薬ではホットプレートの熱という外部から加わるダメージには耐性がなかったと考えられる。一方、外的要因の試薬では毛髪の外側の熱や物理的ダメージを防ぐキューティクルを再現できたため、本実験では内的要因の試薬よりも顕著に効果が見られたのだろう。

## 6. 結論 (課題)

今回の研究では、修復力の検討が難しく、それぞれの試薬の保護効果の検討を代替として行った。今後は修復力の検討法をもっと模索していきたい。内部には生ケラチン、外部にはPVPと各構造に有効な成分は分かったが、内部と外部どちらかよりダメージの修復に効果的なのかは検討ができなかった。また保護効果についてもケルダール法で測定しようとしたが、上手くいかなかったため、今後は他のタンパク質量の測定方法を検討したい。また実験3については再現性を示していきたい。

## 7. 参考文献

ケルダール法による粗タンパク質の定量

[https://gakuen.gifunet.ed.jp/~contents/kou\\_nougyou/jikken/SubShokuhin/10/genri.html](https://gakuen.gifunet.ed.jp/~contents/kou_nougyou/jikken/SubShokuhin/10/genri.html)

株式会社信州 TLO

<http://www.shinshu-tlo.co.jp/>

「ケラチンフィルム」を用いた各種毛髪ダメージ評価試験

[https://soarir.repo.nii.ac.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=18560&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=45](https://soarir.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=18560&item_no=1&page_id=13&block_id=45)

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の細部まで指導して下さった新潟県立高田高等学校の化学科の登内由貴先生、ケラチンフィルム・生ケラチンを提供して下さった株式会社信州 TLO 様に深く御礼申し上げます。

## 9. 図表・画像

図 1

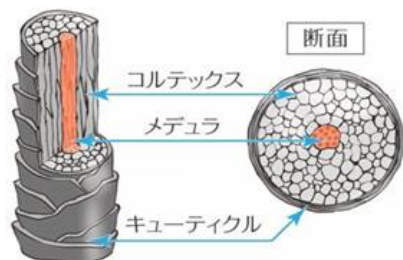


図 2



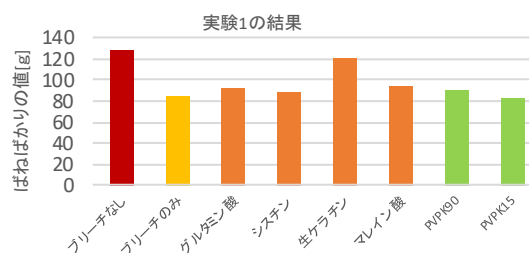
図 3



表 1

試薬	期待される効果
マレイン酸	メデュラの空洞減少による美髪効果と強度向上
シスチン	髪から流出した構成アミノ酸を補うことによる強度向上
グルタミン酸	髪から流出した構成アミノ酸を補うことによる強度向上
生ケラチン	髪の構成物質であるケラチンを補うことによる強度向上
PVP K15	キューティクルをPVPで覆うことによる美髪効果と強度向上

表 2



# 食用油の劣化防止方法

3年理数科 2名

## 1. 要旨

保存環境や揚げる食材での油の劣化度合い、また、油の劣化を防ぐ方法について研究した。油の保存環境を調べる実験1では、POV試験紙で実験を行い、暗所での保管が一番油の劣化を防ぐことが分かった。揚げる食材による油の劣化を調べる実験2では、TPM値を利用して実験を行った。揚げる食材による変化を比較することができなかったが、揚げカスがあると数値が安定せず、高くなってしまふことを発見した。油の劣化を防ぐ方法を調べる実験3では、実験2での改善点を踏まえつつ、抗酸化作用を持つ食材を利用して実験を行った。結果、梅干しやジャガイモの皮を入れることで油の劣化を防げると分かった。

## 2. 研究目的

家庭で揚げ物をする際、一度に大量の油を使用する。油を何回まで使うことができるのかしっかりと明記されていない場合も多く、そのため、1回の使用で油を捨ててしまう家庭も多い。私たちは、油を1回の使用で捨ててしまうのはもったいないと考え、より長く利用できる方法を研究することにした。実験1では、油の保管方法と油の劣化の関係を調べた。油の保管場所は暗所が最も適しているとされるが、それが本当かどうかを検証した。実験2では、油を一週間おきに繰り返し使用した場合の劣化の度合いを、TPM値を使用して測定した。実験3では、食材によって3日おきに繰り返し揚げた時の油の劣化に違いがあるのかを調べた。実験4では抗酸化作用のある食材を使った場合に油の劣化に違いがあるかを調べた。私たちは油の劣化の主な原因の一つである酸化に着目し、抗酸化作用のある食材を保管時に油の中に入れてたりなどすることで、油の劣化を抑えられると考え、実験を行った。

## 3. 研究方法

すべての実験において、使用した油は日清キャノーラ油である。

<実験1> 油の保存方法と劣化の関係

・実験1-1

材料：食用油

方法：未使用の油を以下の4つの環境に放置して、1週間ごとのPOV試験紙の変化を調べた。POV値とは過酸化値の略称のことである。油脂中の過酸化脂質量を計測するため、油の自然劣化度合いを調べるのに適している。値が10以下はほとんど劣化なし、10~30は劣化が進みかけている、30以上は劣化が進み劣化臭がするとされている。油を空気中に長期間放置すると、油成分中の不飽和脂肪酸が酸素を吸収し過酸化脂質が生じる。油は容器の中に50mlずつ入れた。

保管方法は以下の4か所である。

1~3は容器のふたで中身を密閉した。

1. 冷蔵庫に保管
2. 暗所に保管
3. 日光に当てて保管
4. 日光に当てて、蓋をせずラップをかけて密閉せずに保管

・実験1-2

実験1-1で4の変化が急激であったため、いつ油が劣化したのかを詳しく計測することができなかった。そのため、4の条件を変えずに、計3日間、1日ごとにPOV値の測定実験を行った。

この実験以降は testo という機械を用いて TPM 値を測り、油の劣化を調べた。

TPM 値とは、油脂(トリアシルグリセロール)を主体とする非極性化合物を除く分解物・重合物などの酸化物質質量を算出した値である。空気、熱、水分などの要因による油の劣化を測定することが可能なため、フライ油の劣化を調べるのに適している。ドイツ、フランスでは 24%で交換の目安とされている。

<実験 2>繰り返し油を使用した場合の劣化の度合い

材料：食用油 (500ml)、鶏肉 (200 g)

方法：実験 1 で一番保存状態のよかった暗所での保管を行い、実験 2 を行った。1 週間ごとに、計 4 週 5 回、同じ油で揚げ、油の加熱や使用による TPM 値の変化を調べた。TPM 値の測定は揚げた後の時点で行った。実験 2 では鶏肉の素揚げを、食用油の量は 500ml、保管方法は、フライパンに入れ、アルミホイルをかけて常温で保管と条件をそろえた。

<実験 3>食材の違いによる劣化の度合い

実験の調理では食材ごとに揚げる時間が異なる。そのため、揚げる時間の長さによって油の劣化に変化が生じると考え、比較的揚げる時間が長い鶏肉と時間の短いピーマンを使用した。また揚げているときにカスが多く出ると劣化すると考え、衣があり、カスが多く出るピーマンの天ぷらも用いた。

材料：食用油 (1L)、ピーマン (200 g)、鶏肉 (200 g)、天ぷらの粉

方法：保管方法は、前回と同様に、カスを取り除いた後、フライパンに入れ、アルミホイルをかけて常温で保管をした。揚げるものを変えて、3 日おきに計 3 回揚げ、TPM 値の変化を比較する実験を行った。TPM 値の測定は揚げた後、カスを取った後の 2 つの時点で行った。ピーマン、ピーマンの天ぷら、鶏肉の素揚げを揚げる時間は、それぞれ、60 秒、60 秒、180 秒とした。さらに以下の 4 点を改善した。

1. カスがついたり、残っていたりすると TPM 値が上がるため、揚げた後に油をこし、カスを除くこと
2. 1 の変更に伴って、カスをとる前、取った後の値を計測すること
3. 測定値の正確性を高めるために、2 回計測し、平均を求めること
4. 500ml では実験の終盤で油の量が少なくなったため、倍の 1L で行うこと

<実験 4>抗酸化作用を持つ物質が油の劣化に与える影響

材料：鶏むね肉 (200 g)、食用油 (1L)、梅干し、みかんの皮、茶葉、ジャガイモ

方法：作るものは鶏の唐揚げ、加熱時間は 720 秒、保管方法はカスを取り除いた後、フライパンに入れ、アルミホイルをかけて常温で保存と条件をそろえて、以下 7 つの条件で 3 日おきに計 4 回揚げ、TPM 値の変化を比較する実験を行った。TPM 値は原則として、揚げた直後と油をこした後に測定した。

前回からの改善点として以下の 2 点がある。

1. 油の加熱時間の違いによって TPM 値に変化が生じたかもしれないと考え、油の加熱時間をそろえた
2. 1 の変更に伴って、TPM 値を測るタイミングを時間に変更したこと

条件

1. 保管時に梅干しを 2 つ入れ、取り出してから鶏の唐揚げをつくる。
2. 保管時に梅干しを 2 つ入れ、鶏の唐揚げとともに揚げた後に取り出す。
3. 保管時にミカンの皮を 2 個分入れ、取り出してから鶏の唐揚げをつくる。
4. 保管時に緑茶の茶葉をティーパック 2 個分 (4 g) 入れ、取り出してから鶏の唐揚げをつくる。
5. 鶏の唐揚げをつくった後にジャガイモの皮 (25g) を揚げる。
6. 鶏の唐揚げをつくった後にジャガイモの皮 (50g) を揚げる。
7. 鶏の唐揚げをつくる (対照実験)

これらの条件を選んだ理由は、次のとおりである。まず梅干しは、抗酸化作用を持つピノレスチノールやリオネシノールなどの植物ポリフェノールを持つため。ミカンの皮は、抗酸化作用のあるビタミン C を含む食材の中で、一般家庭で手に入りやすいもの、かつ廃棄されやすいものであると考えたため。緑茶は、カテキンなどの抗酸化作用を持つ植物ポリフェノールを多く含むため。ジャガイモは、皮に含まれる食物繊維が油の酸化物を吸着するといわれているためである。



## 4. 結果

実験 2 以降は、揚げ油として繰り返し使用した油の、2 回目、3 回目以降の数値の変移を分かりやすく示すために、1 日目の値を 0 をとして補正した図を作成した。

(グラフ) は一回目に計測した値を 0 として、その値との差を表している。

### <実験 1-1>

(図 1) より、一番酸化が防げた場所は冷蔵庫だった。だが冷蔵されて保管していたため、油には白い膜が張り、油はどろどろしてしまったため、使用可能かどうかは不明だった。冷蔵庫の次に酸化を防げたのは 2 の暗所での保管だった。3.4 の日光に当てていた油は色が落ち、粘度が高まった。また、油のにおいがきつくなった。

### <実験 1-2>

2 日目で劣化に至り、3 日目で完全に劣化した。

### <実験 2>

(図 2) (グラフ 2) より、5 回の使用で油は劣化した。カスが油の中に残っているときに計測すると、TPM 値が高くなる傾向があった。また、油の中に残ったカスは、実験の回数を重ねるごとに鶏肉につくようになった。また、カスがついた鶏肉の色は、ついていない鶏肉に比べ濃かった。

### <実験 3>

(図 3) (グラフ 3) より、ピーマンの天ぷらが一番 TPM 値の変移が大きかった。鶏肉の素揚げはカスがあると TPM 値が高い傾向にあった。ピーマン、ピーマンの天ぷらはカスをとる前後で、TPM 値はあまり変化しなかった。すべての実験において、カスを取る前の TPM の値が定まりづらかった。実験の回数を重ねるごとに食材にカスがつくようになった。

### <実験 4>

(図 4) (グラフ 4) より、TPM の基準値に対し、実験の全ての結果において、大きく下回った。梅干し、ジャガイモ (実験 1.2.5.6) は TPM 値の変移が対照実験と比較して下回った。ミカン、緑茶 (実験 3.4) では TPM 値の変移が対照実験と比較して上回った。

## 5. 考察

### <実験 1>

暗所での保管が一番、劣化防止に効果があると考えた。3.4 において臭いがきつくなったのは、容器に密閉されていたため、油のにおいがこもったからだと思った。油を日光に当てると劣化が促進されると考えた。油の色が落ち、粘度が高まったのは、空気に触れていることと相関があると考えた。

### <実験 2>

5 回の使用で油は劣化した。2 回目、5 回目の実験で、TPM 値が急激に上昇したのは、油中に多くのカスがあったためだと考える。

### <実験 3>

条件によって値は変化したが、油の加熱時間が、条件によって変わってしまったため、確実な結果とは言えないと考えた。水分含有量の多い食材を揚げると水分が油に出てくるため、TPM 値が一定にならないのではないかと考えた。鶏肉の素揚げにおいて、カスがある時の TPM 値は高く、カスをとると TPM 値が低くなる傾向があるので、鶏肉の素揚げから出たカスの有無と油の劣化に関係性があると考えた。油から異臭がするようになると値が上昇するように感じられたので、油の劣化と油の臭いには関係性があると考えた。対照実験から油の加熱のみでも、油の酸化が進むのではないかと考えた。

### <実験 4>

梅干しの実験結果から、梅干しに含まれる植物ポリフェノールのピノレシノールやリオネシノールが油中で抗酸化物質として働くため、梅干しが劣化防止に効果があると考えた。さらに、ジャガイモの実験結果から、ジャガイモの皮で油中の汚れを取り除くことが劣化防止には効果があると考えた。ミカン

と茶葉の実験結果から、ミカンの皮に含まれるビタミンCと、茶葉に含まれるカテキンには、油の劣化を防止する効果は少ないのではないかと考えた。

## 6. 結論（課題）

### <実験1>

一番酸化が防げた場所は冷蔵庫だった。だが冷やしているため表面が固形化し、使用可能かどうかは不明。日光に当てた油3.4は色が落ち、粘度が高まった。また、油の臭いがきつくなった。

よって、暗所での保管が一番油の劣化防止には効果があると考えた。

### <実験2>

鶏肉を揚げるときにTPM値が高くなっていった。また、揚げた直後や温度が高い時のTPM値も高い傾向があった。次回から、カスをとる前、取った後の値を測定する。また、油の温度によつてのTPM値の変化を調べる。そして、測定値の正確性を高めるため、複数回計測し、平均をとる。今回の実験では、油の色が黄色く濃くなったが、油が劣化すると、油の色に変化が生じるのか調べたい。

### <実験3>

ピーマンとピーマンの天ぷらはTPM値が安定していなかったため、計測しづらかった。そのため、計測には鶏肉のほうが向いていたと考えた。

油を使用する度に食材によつて油の粘度の変化が異なつたが、なぜ両極端な結果になつたのか調べるために、油の色や臭いなどの成分について調べる。水分量が多い食材を揚げると酸化しやすいという仮説が本当か調べる。油の温度が上昇するとTPM値が上がる場合と変化しない場合があつたのはなぜか調べる。また、TPM値の上昇は油を加熱したために起こつたのか、放置していたために起こつたのかを調べる。また、家庭でよく使う食材の中で油の酸化を促進しやすい食材を探し、どうすれば酸化を防げるかを調べる。食材により、加熱時間が異なつていたので、次回は加熱時間をそろえて実験する。

### <実験4>

梅干しやジャガイモの皮を油に入れることで、食用油の劣化を防止できた。

本当にビタミンCが油の劣化防止に効果がないのか調べるため、ミカンの皮よりもビタミンCの含有量が多いユズの皮でも実験を行う。ジャガイモの皮以外の食物繊維がある食材でも劣化は防げるのかを調べる。唐揚げ以外の揚げ料理でもジャガイモの皮や梅干しによる油の劣化防止は可能か調べる。あげる頻度や回数などの条件を変えた時の油の劣化の変化を調べる。

### <全体を通して>

保管場所は暗所で、使用するときジャガイモの皮や梅干を油の中に入れることがよいことが分かつた。1回の使用ごとに油をこすことで油の鮮度をより維持できる。たくさんのデータを収集し、実験の正確性を上げていきたい。

## 7. 参考文献

POV値 <https://www.atago.net/product/?l=ja&f=new/products-aom-top.php#HCT35887>

油脂劣化 [https://www.nagoya-bunri.ac.jp/information/memoir/files/2009\\_12.pdf](https://www.nagoya-bunri.ac.jp/information/memoir/files/2009_12.pdf)

TPM値 <http://www.clear-rock.jp/wp-content/uploads/2016/12/testo270とは%EF%BC%9F.pdf>

茶葉カテキンの抗酸化作用について 松崎妙子. 原征彦

ビタミンC含有量 <https://www.eiyoukeisan.com/calorie/nut-list/vitamin-c.html>

梅の抗酸化作用 [www.umekounou.com/umelignan/index.html](http://www.umekounou.com/umelignan/index.html)

## 8. 謝辞

監督、指導をしてくださつた全ての先生方にこの場を借りて御礼申し上げます。

## 9. 図表・画像

### <実験1>

(図1) POV 値の変移

POV 値	1.冷蔵庫	2.暗室	3.日光 (フタアリ)	4.日光 (フタナシ)
初日	0	0	0	0
1週間後	0	0	30	30
2週間後	0	0	30	30
3週間後	0	0	30	50
4週間後	0	5	30	50
5週間後	0	40	50	20
6週間後	0	40	50	30
7週間後	0	50	50	50
8週間後	0	40	50	50
7週間後	0	40	50	50

実験 1-2	4.日光 (フタナシ)
初日	0
一日後	10
二日後	30
三日後	50

### <実験2>

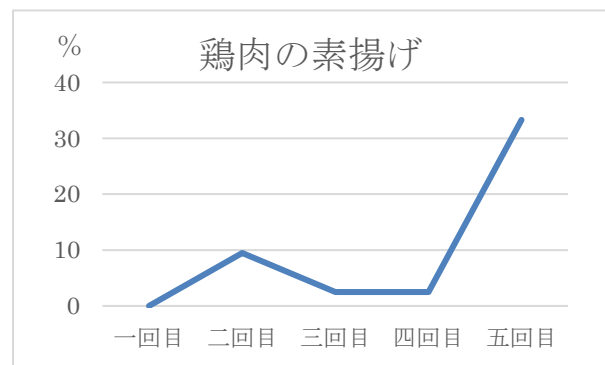
(図2)

実験 2	鶏肉の素揚げ
一回目	7.5
二回目	17
三回目	10
四回目	10
五回目	40.8

補正した図

実験 2	鶏肉の素揚げ
一回目	0
二回目	9.5
三回目	2.5
四回目	2.5
五回目	33.3

(グラフ2) こした後の TPM 値の変移



### <実験3>

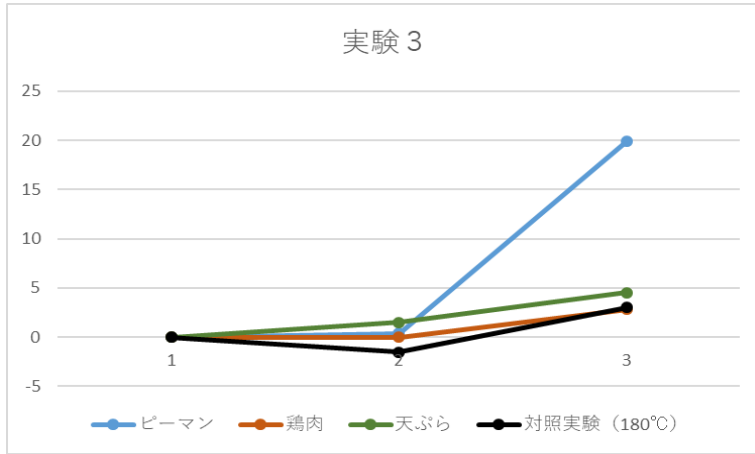
(図3)

実験 3	ピーマンの素揚げ	鶏肉の素揚げ	ピーマンの天ぷら	対照実験
一回目	7.1	5.5	5.3	6.3
二回目	7.5	5.5	6.8	4.8
三回目	27	8.3	9.8	9.3

補正した図

実験 3	ピーマンの素揚げ	鶏肉の素揚げ	ピーマンの天ぷら	対照実験
一回目	0	0	0	0
二回目	0.4	0	1.5	-1.5
三回目	19.9	2.8	4.5	3

(グラフ 3) こした後の TPM 値の変移



<実験 4 >

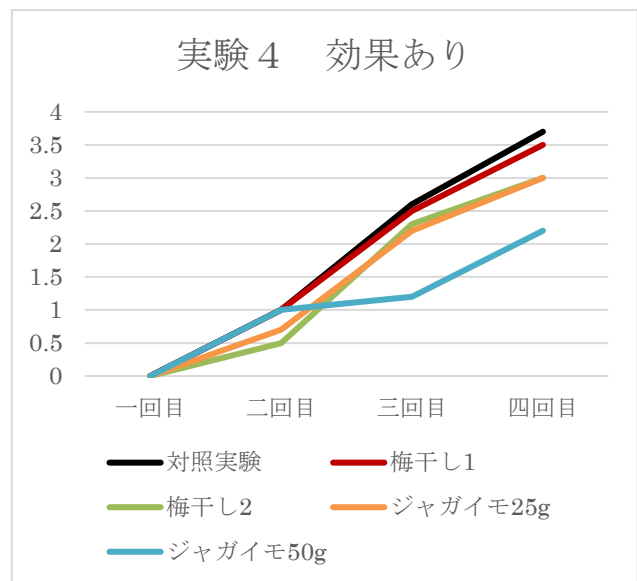
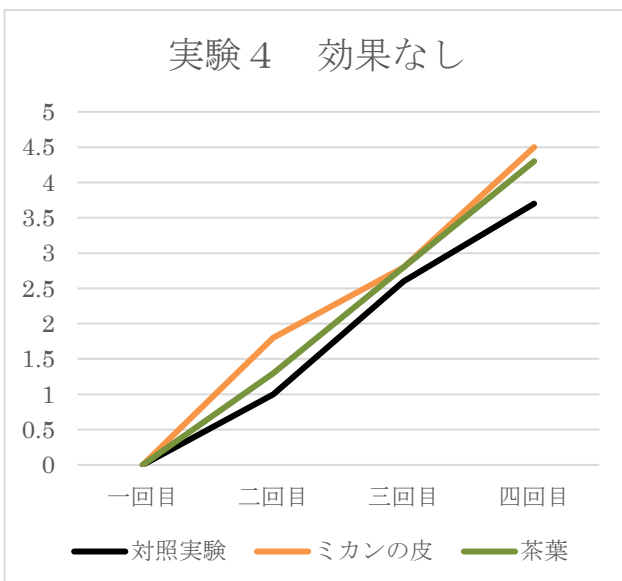
(図 4)

実験 4	対照実験	梅干し 1	梅干し 2	ジャガイモ 25 g	ジャガイモ 50 g	ミカンの皮	茶葉
一回目	5.8	5.5	6	4.8	5.3	5	6
二回目	6.8	6.5	6.5	5.5	6.3	6.8	7.3
三回目	8.4	8	8.3	7	6.5	7.8	8.8
四回目	9.5	9	9	7.8	7.5	9.5	10.3

補正した図

実験 4	対照実験	梅干し 1	梅干し 2	ジャガイモ 25 g	ジャガイモ 50 g	ミカンの皮	茶葉
一回目	0	0	0	0	0	0	0
二回目	1	1	0.5	0.7	1	1.8	1.3
三回目	2.6	2.5	2.3	2.2	1.2	2.8	2.8
四回目	3.7	3.5	3	3	2.2	4.5	4.3

(グラフ 4)こした後の TPM 値の変移 (効果あり、効果なしで比較)



# 植物の抗菌作用（フィトンチッド）の研究

3年理数科 3名

## 1. 要旨

私たちは植物の持つ不思議な特性であるフィトンチッドというものに興味を持ち、その抗菌、殺菌効果を調べるために実験を行った。本実験では培地に菌を含んだ液を塗布し、そこに植物を作用させ、何も作用させていないものと比較して菌の増殖量がどれだけ変化するかを調べた。結果は植物を作用させた培地のほうが菌の増殖量が減っていることが分かった。

## 2. 研究目的

今回の研究をするにあたって私たちは植物の離れたところにある菌を殺すという特性に特に注目し、この現象を研究することに決めた。そもそもフィトンチッドとは、植物が傷ついたときに周りにいる生物が死ぬ現象を発見したB.P トーキン氏が名付けたものだが、氏の著書によるとその効果などは植物によってさまざまであるとされている。現在では様々な植物でこの現象の原因物質が発見され、必ずしも生物を殺す作用だけではなくはなく、森林浴などの際に人体にリラックス効果などを与えるものの原因物質としても考えられている。現在分かっている、このようなフィトンチッドの特徴から、我々は植物から離れた菌に植物がどの程度作用するかを調べた。

## 3. 研究方法

本研究では、植物試料を増殖する前の菌を塗布した培地に作用させ、どれだけ菌の増殖を抑えることができたかを、何も作用させていないものとコロニー数を測定して比較した。

<培地>

肉エキス 5.0 g、寒天 7.5 g、ペプトン 5.0 g を 500ml の水に溶かし、オートクレーブを用いて 121℃、2 気圧、15 分の条件で滅菌し、液体培地を作成した。また、この培地を直径 80mm の滅菌シャーレに移した。以後の実験では、この培地を使用した。

<試料>

使用した試料は時期を問わず入手できるということや、先行研究で使用されていることから、校庭に生えているスギとマツを選択した。

<菌>

校庭で採取した腐葉土を蒸留水に入れてかき混ぜ、その後放置し、その上澄みを 1 倍 10 倍 100 倍と濃度を変え、希釈して培地に塗布し、恒温器で 22℃、72 時間の条件で放置した。その後、そこに生えていた菌の中から今後の実験で数を数えやすいようにコロニーを形成するものを 2 種選定し、それぞれ個別に培地で培養し、後の実験に使用した。またこの呼び名をその菌の色から黄色菌と白色菌とする。

<実験>

白色菌・黄色菌を別々に培養したコロニーの中から直径が 5 ミリほどのものを選び、これを蒸留水 500ml に溶かし、さらに 100 倍に希釈したものをマイクロピペットで 0.1ml 培地に滴下し、コンラージ棒で均一に培地に塗布した。スギ、マツの葉（以下試料）を細かく切り、さらに乳鉢ですりつぶしたものを 0.5 g 量りとり、菌を塗布したシャーレの蓋に置いて（図 1）恒温器で 22℃、72 時間の条件で培養した。

## 4. 結果

同様の条件でそれぞれ 4 枚のシャーレを作成し、それぞれに形成されたコロニーの平均値を求めた。A,B,C,D の記号はシャーレの区別のためのもので、記号による差はない。この実験では白色菌では試料

なしのシャーレに菌が広がって生え、菌苔を形成してしまいコロニーが形成されなかった（図4）がスギではコロニーの数が平均 17.5 個（図2）、マツは平均 21.5 個（図3）となった（表2）。また黄色菌では培地のコロニー数の平均が資料なしで 428.75 個であったのに対し、スギは 10.5%少ない 383.75 個（図5）、マツでは 10.1%少ない 385.5 個（図6）であった。（表3）

## 5. 考察

この実験では、黄色菌に関してはコロニー数が試料なしの場合に比べ、スギ 10.5%、マツ 10.1%少なかったことから、それぞれの植物が持つ揮発性物質が菌に作用したのではないかと考えられる。また、白色菌では、試料なしのシャーレにコロニーが形成されなかったが、菌の生えている面積で比較すると明らかに試料なしのシャーレよりも試料ありのシャーレのほうが菌の生えている面積が小さいため、程度は比較しがたいが減少していることは言えるのではないかと考える。

## 6. 結論（課題）

スギ、マツともにコロニーの数が少なくなっていることから黄色菌ではこれらの試料によって菌の増殖が少しではあるが抑えられていることが分かった。さらに菌と試料は接触させていないため、接触していない菌に、これらの試料は何らかの作用を及ぼして、増殖を抑えていることが分かった。しかし、植物が接触していない菌に増殖を抑える作用をしていることは分かったが、どのような物質が働いてその結果になったのかなどの詳しいことは分からなかった。また同様の実験をこれ以外にも行ったが、培地に塗布する菌の希釈率により菌の増殖率が大きく変動し、実験ごとの一つのシャーレに生える菌数の制御が難しく、培地に生えるコロニー数の制御も課題である。

## 7. 参考文献

- ・ B.P.トーキン、神山恵三（1980） 植物の不思議な力=フィトンチッド
- ・ 趙 希鵬（2007） 各種細菌に対するフィトンチッドの殺菌・制菌効果に関する研究
- ・ 細菌培養の基礎 培地の作り方 <http://guides.lib.kyushu-u.ac.jp/c.php?g=774908&p=5559408>

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の細部まで指導して下さった新潟県立高田高等学校の教職員の皆様をはじめ、この活動を支えて下さった先生の皆様に感謝いたします。

## 9. 図表・画像

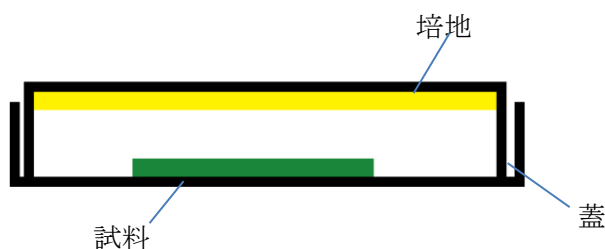


図 1

試料 \ No.	A	B	C	D	平均
スギ	18	21	14	33	17.5
マツ	14	16	24	16	21.5
なし	※	※	※	※	—

※菌が一様に広がってしまったため

表 2 白色菌での実験結果

試料 \ No.	A	B	C	D	平均
スギ	415	406	387	327	383.75
マツ	359	404	388	391	385.5
なし	460	421	411	423	428.75

表 1 黄色菌での実験結果

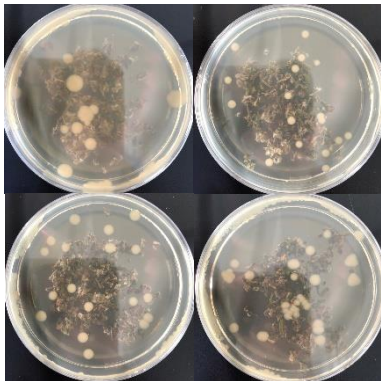


図 2 白色菌.スギ

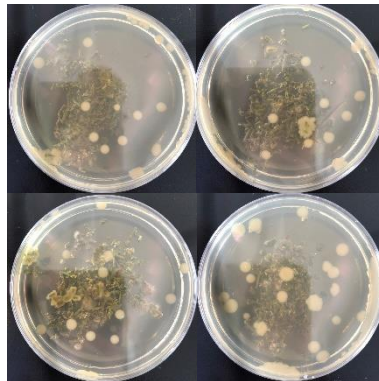


図 3 白色菌.マツ

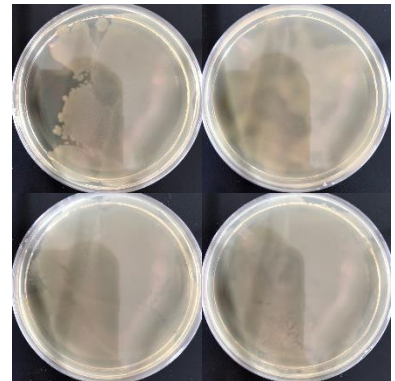


図 4 白色菌.試料なし

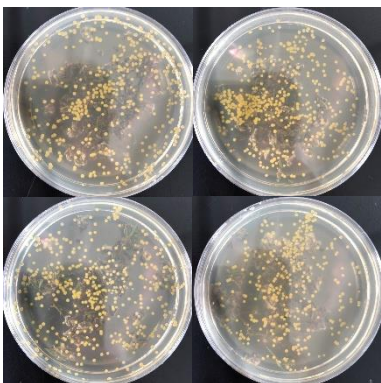


図 6 黄色菌.スギ

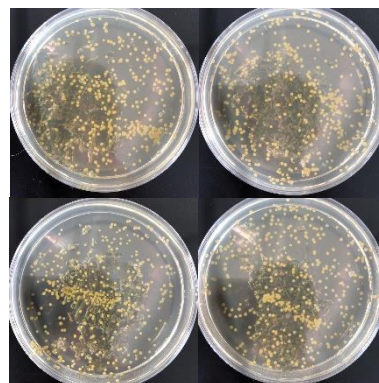


図 5 黄色菌.マツ

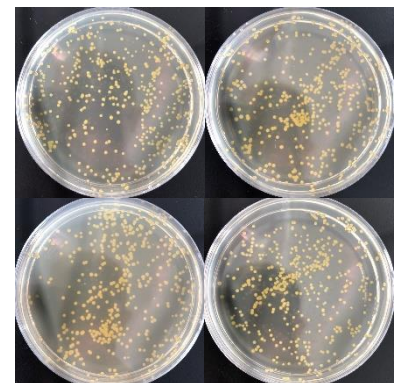


図 7 黄色菌.試料なし



# ミドリゾウリムシの細胞内共生

3年理数科 2名

## 1. 要旨

ミドリゾウリムシ(*Parmecium bursaria*) (画像1)とは細胞内にクロレラを共生させている単細胞生物であり、共生クロレラを除去したものにもう一度クロレラを捕食させると再共生することができるため、細胞内共生説の実験に用いられる生物として知られている。私たちはクロレラを再共生させる仕組みを調べるべく、ミドリゾウリムシに様々な微生物を与え、どのような条件で再共生が起こるのか実験した。

## 2. 研究目的

先行研究によると、白化ゾウリムシに捕食されたクロレラを包む食胞がPV膜に分化して細胞表層に定着することで再共生する事が分かっているが、私たちはなぜこのように再共生することができるのか疑問に思った。そのため、白化ゾウリムシにクロレラや葉緑体を与え、同じように共生が起こるのか実験することと、再共生が起こる過程を追跡・観察することで再共生が起こる条件の解明を試みた。

また、研究を開始するにあたり、大量のミドリゾウリムシと白化ゾウリムシが必要なため、安定した培養方法と共生クロレラの除去方法の確立を試みた。

## 3. 研究方法

### I. ミドリゾウリムシの培養と共生クロレラの除去

#### 実験1：ミドリゾウリムシの培養

以下の7種類の培養液を用いて安定した培養を試みた。

- (1) ボルヴィック(ミネラルウォーター)を300mlの三角フラスコに150ml入れ、餌としてクロロゴニウムを5日に一回、少量ずつ与える。アルミホイルで蓋をする。
- (2) 蒸留水500mlに対しエビオス錠1粒を溶かし、300mlの三角フラスコに150ml入れ、アルミホイルで蓋をする。
- (3) 蒸留水100mlに対しドライイースト顆粒30粒を溶かし、300mlの三角フラスコに150ml入れ、アルミホイルで蓋をする。
- (4) 蒸留水1Lに対して酵母エキス1gを溶かし、300mlの三角フラスコに150ml入れ、アルミホイルで蓋をする。
- (5) 蒸留水1Lに対してハイポネックス0.1gを溶かし、300mlの三角フラスコに150ml入れ、アルミホイルで蓋をする。
- (6) ボルヴィックをジャム瓶に入れ、餌としてクロロゴニウムを5日に1回少量ずつ与える。キッチンペーパーで蓋をする。

全て22度に保ち、ライトを照射した状態で培養する。定期的に振って攪拌した。

#### 実験2：白化ゾウリムシの作成

ミドリゾウリムシの培養液にタンパク質合成阻害剤(シクロヘキシミド)を最終濃度が10 $\mu$ g/mlになるように混合し、共生クロレラを除去する。これを白化ゾウリムシと呼ぶ。

### II. 再共生の過程の追跡と観察

#### 実験3：共生クロレラを取り込んだ食胞がPV膜に分化する様子を観察する。

- (1) 白化ゾウリムシに共生クロレラを与え、顕微鏡で追跡し、食作用や食胞からPV膜へ分化する様子を観察する。

(2) ミドリゾウリムシと共生している状態のクロレラの PV 膜を観察する。

実験 4 : クロレラや、他の緑藻の葉緑体を与えた場合に再共生が起こるのか調べる。

与えたクロレラや葉緑体が白化ゾウリムシの細胞表層に定着して原形質流動の影響を受けていない状態を共生していると判断した。

(1) ミドリゾウリムシの細胞からとりだした共生クロレラを、白化ゾウリムシに再共生させる。

ミドリゾウリムシをマイクロピペットでとり、シャーレに垂直にあてて噴出させると、ミドリゾウリムシの細胞が破壊され、共生クロレラを取り出すことができる。これを白化ゾウリムシに与え、室温 22 度で放置した。

(2) 単独で生活しているクロレラ(*Chlorogonium capillatum*)(画像 2)を白化ゾウリムシに与える。

(3) ミドリムシ(*Euglena gracilis*)の葉緑体(画像 3)を白化ゾウリムシに与える。

ホモジナイザーを用いて細胞を破壊し、取り出した葉緑体を白化ゾウリムシに与える。

(4) オオカナダモ(*Egeria densa*)の葉緑体(画像 4)を白化ゾウリムシに与える。

(3) と同様の方法で取り出した葉緑体を白化ゾウリムシに与える。

## 4. 結果

### I

実験 1 : ミドリゾウリムシの培養

(1) ミドリゾウリムシがあまり増殖せず、1 か月ほどで全て死滅してしまった。

(2) ~ (5) 雑菌や細菌が増殖し、ミドリゾウリムシは死滅してしまった。

(6) 安定して培養することに成功した。空気の循環が良くなったためと考えられる。また、ミドリゾウリムシは水面近くで浮遊していると考えていたが、瓶の底に集まる傾向があると分かった。

実験 2 : 白化ゾウリムシの作成

1 回目の試行では 1 週間ほどで全ての個体が白化したが、2 回目以降では 1 週間を過ぎても完全に白化していなかった。そのためシクロヘキシミド水溶液を追加して濃度を上げたところ、20  $\mu\text{g}/\text{ml}$  で全ての個体が白化した。実験で使用した白化ゾウリムシは全てこの濃度で作成した。

完成した白化ゾウリムシ(画像 5)は細胞の萎縮が見られ、濃度を上げて萎縮の大きさはほとんど変わらなかった。また、1 か月ほどで死滅してしまうので白化ゾウリムシ自体は培養せず、実験を行う前にその都度作成することとした。

### II

実験 3

(1) 1 時間ほどで食作用が見られ、食胞が確認できた(画像 6)が、PV 膜へ分化する様子は確認できなかった。

1 つの膜に複数個クロレラが入った状態で流動しているものが食胞である。

(2) 白化ゾウリムシを作る段階で、共生クロレラの周りに膜が見えるようになった。

シクロヘキシミドの影響により PV 膜が剥離したためと考えられる。

実験 4

(1) 1 時間ほどで捕食が確認され、翌日にはほとんどの個体で共生が確認された。

取り出した共生クロレラに PV 膜がそのまま残っていて、スムーズに共生できたためと考えた。

(2) 1 週間観察を継続したが、共生は確認できなかった。

与えたクロレラが大きすぎたために共生しなかったのではないかと考えていたが、大きさを測った結果、共生クロレラとほとんど変わらなかった。(表 1)

(3) 1 週間観察を継続したが、共生は確認できなかった。

食作用は見られたため、捕食しても PV 膜が形成されず、全て消化されたと考えられる。

(4) 観察 1 日目で白化ゾウリムシが死滅した。

原因は不明。細菌やバクテリアは繁殖しておらず、腐臭もしなかった。

## 5. 考察

ミドリゾウリムシの培養は容器を口が広いものに変えたことで成功した。研究開始当初は栄養や日照が大切であると考え、培養液を変えたりライトを増やしたりと試行錯誤していたが、空気の循環を良くすることが安定した培養には重要だと分かった。また、白化ゾウリムシは生存能力が低くなってしまったので、白化させた状態で培養することは難しいと考えた。

クロレラや葉緑体を与える実験では、共生クロレラ以外では共生が起こらなかった。与えたものの大きさの違いが原因かと考えたが、大きさを計測したところいずれも共生クロレラとほとんど変わらなかった。捕食する様子は確認できたため、共生クロレラに PV 膜が残っており、それにより消化を免れ、再共生できた可能性があると考えた。

## 6. 結論（課題）

食胞ができる様子は確認できた。PV 膜は、白化ゾウリムシを作る段階でクロレラが委縮したことにより、顕微鏡で観察することができた。今後は、食胞から PV 膜へ分化する様子を観察したい。共生クロレラを与えた白化ゾウリムシから 1 時間おきに一部を取り出し、シクロヘキシミドを与えることで PV 膜ができているか確認できると思う。

共生クロレラ、単独で生活しているクロレラ、ミドリムシの葉緑体を与えて再共生するかの実験では、大きさがほとんど変わらないにも関わらず、共生クロレラ以外では共生が起こらなかった。この原因は、取り出した共生クロレラに残った PV 膜により消化を免れ再共生できた、あるいは白化ゾウリムシが共生クロレラのみを識別して取り込んだのではないかと考えた。

これらを裏付けるために、共生クロレラを単離培養して、PV 膜を持たない共生クロレラを与え共生するか確かめることと、ミドリゾウリムシの細胞を破壊する段階で PV 膜が壊れていないかの観察をしたい。

## 7. 参考文献

- ・研究者が教える動物実験/日本比較生理化学会編集 共立出版
- ・「細胞内共生説」のモデル材料ミドリゾウリムシ/児玉有紀

## 8. 謝辞

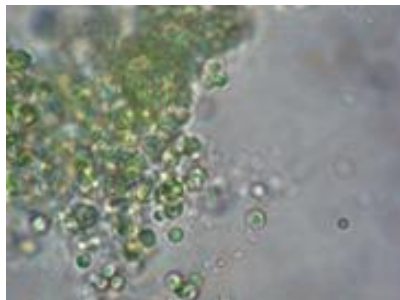
本研究を進めるにあたり、ご協力をいただいた神戸大学大学院理学研究科 洲崎敏伸教授、研究の細部まで指導して下さった新潟県立高田高等学校の教職員の皆様をはじめ、ご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。

## 9. 図表・画像

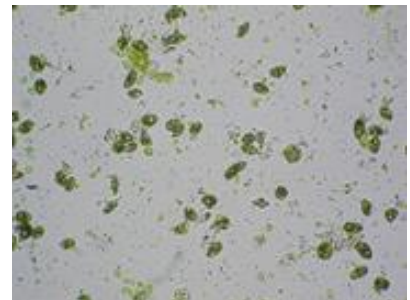
画像 1



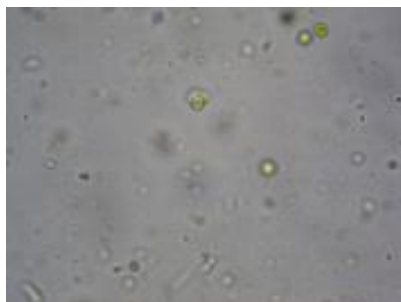
画像 2



画像 3



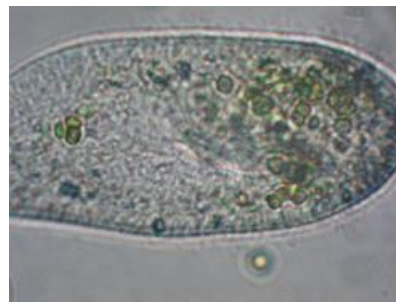
画像 4



画像 5



画像 6



画像 7

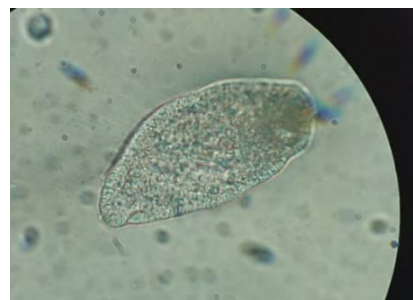


表 1

共生クロレラ	5.5 $\mu\text{m}$
単独生活しているクロレラ	4.4 $\mu\text{m}$
ミドリムシの葉緑体	3.3 $\mu\text{m}$
オオカナダモの葉緑体	5.1 $\mu\text{m}$

# メデイカルコース生 研究論文

## 尊厳死の合法化と自己決定権

3年理数科 1名

### はじめに

学校で倫理を勉強していて興味深い思想を学んだ。j s ミルは近代ヨーロッパの功利主義者であり、彼の考え方に現代の医療倫理に通ずるものを見つけた。気になったので調べてみたところ、彼の主張する自由の考え方、他者に危害を加えない限り、個人の自由は保障されるべきという考えは現代の尊厳死に関する自己決定権のあり方の根幹になっているようだった。私は気になったので調べて見ることにした。

### 尊厳死とは

現代は医療が大変発達しており病院での延命治療の末亡くなる人が増えている。医療が発達する以前はほとんどの人が自宅で近親者に囲まれながら安らかな最期を遂げていた。しかし医療の技術が進歩したので多くの人の延命が可能になり、その寿命も伸びている。

しかし少なからず、患者の意に添わない形で延命が行われており、この無意味な延命がかえって患者の苦痛となっている現状は否めない。そうしたことから尊厳死のような考え方が普及したのではないだろうか。日本尊厳死協会は尊厳死を終末期の患者の意思に基づき延命治療を中止すること定義するがやはりこの考え方は現在、広く社会に伝播している。

### 日本における尊厳死

日本において尊厳死は自然死と同一視される。つまり一切の延命治療を行わないという意味で、チューブをつないで食べ物を与えたりすることで、家族との最期の交流ができなくなる延命治療への批判的なニュアンスをこめて用いられる。この考えを支持する人にはある共通した考え方があり、それ

は他の生物と同様に人間も自然の成り行きで衰え、そのまま自然な死、動物的で自然で原始的な死を迎えようという考え方である。人為的に寿命をコントロールできる現代に至っては自然な死そのものを迎えるのはむしろかしい。しかし、この自然な死を迎えよとする考え方が日本中に広がっているのも事実なのだ。

### 医師や看護師の意見

医師の中でも長い間論争が繰り広げられている。尊厳死を死の自己決定権の行使として認めるべきという意見と、患者の自殺あるいは死を助長するような行為の一切を禁ずるべきと意見する医者もいる。医師の中では意見が割れるこの問題だが日本社会では尊厳死を容認する風潮が高まっているのも事実だ。しかしながら日本ではそのことを規定する法律がないのに、暗に尊厳死が行われていることもあり、患者のなかにもそれを望む人も多いようだ。ではそもそもなぜこの尊厳死という考え方がそこまでの議論を生むのだろうか。その1つのきっかけになった富山県のある病院での事例を紹介する。

### 射水市民病院事件

尊厳死運動に大きな影響を与えた事件として2006年に明るみに出た事件である。2000年から2006年にかけて7名の患者が外科部長によって人工呼吸器を外された事で死亡した。県警はこれを受けて、医師ら関係者数名を書類送検した。しかし、調査を進めていくにあたり、その患者に意識がないうえ、人工呼吸器をはずすことに対する家族の同意が得られていたようだった。マスコミも当初は医師らの行為を積極的安楽死として批判していたが、その後のヒアリングを頭して患者の家族が望んだ形だと思われるようになるとマスコミの報道も変わっていった。結局医師らは不起訴となった。これまでに延命措置を注視した医者が有

罪判決を受けていたのに今回の事件で医者は初めて無罪になった。類似した事件から判断できるのは患者を直接死に至らしめる安楽死は有罪に、延命治療を中止するような行為は無罪になりやすいことだ。

法律制定とまではいかなかったものの、どうやらこの事件以降厚生労働省は尊厳死に関してのガイドラインを策定し、以降日本医師会もまたさらに明確な基準を設けたようだ。日本ではこの事件をきっかけに大衆に尊厳にかんする考えが認知されたといえる。では世界の動向はどのようなものであるのかをくわしくみていく。

## 世界各国での尊厳死の現状

日本では合法化こそされていない尊厳死の考えは世界では比較的肯定的な立場をとる。投薬などによる安楽死を法律で区に認める区は3、4カ国しかないものの、延命治療をやめることで尊厳死を迎えさせることを法律で容認する国はヨーロッパの大部分に見られ、アングロアメリカ、アジアの一部までにいる。他にも法律に明文化してないだけで尊厳死を認める国はとて多く、またそれを認めるのはなにも先進国だけではないという現状もある。特に医療が発達した先進国では自然死を認める傾向が強い。しかし、このデータだけでは何も意味がない。なぜなら各国で尊厳死の定義されるところの意味が異なるからである。例えば日本では延命治療をやめることを概して尊厳死と呼ぶが、アメリカでは投薬などによって命を絶つ我々が安楽死と呼ぶような意味合いも含まれているようだ。このような世界の動向からか、近年は日本でも法制度化を求める運動も多いのでそれについて言及したい。

## 日本での賛成派と反対派

日本尊厳死協会は日本での尊厳死推進運動をしている。さらにこの団体はリヴィングウィルという

指針に基づいて尊厳死運動をしているようだ。リヴィングウィルというのは死期が近い患者が宣言書を書いて尊厳死の意思を提示することで尊厳死が認められるべきであるという考え方である。会員はこの宣言書に自分の意思を表明しているのだ。一方で尊厳死に否定的な団体もある。尊厳死の法制化をみとめない市民の会や安楽死法制化を阻止する会は尊厳死に否定的だ。しかしこの団体は尊厳死自体を否定するのではなくて法制化に対する抗議を行う団体のようなのだ。尊厳死というプライベートな問題に国家が介入するのを嫌っているようだ。さらに国が明確な法律を定めると多くの人が助かる命をたつことを助長することになるのではないかと懸念している。

## 日本での法制化運動

賛否両論がある尊厳死の問題だが、やはりその先駆けとなったのは日本尊厳死協会である。この団体は国会に法律の策定を請願したり、署名を提出している。しかしいずれの法律も可決されないままである。それには尊厳死を認めない市民の会などといった反対派閥の存在が大きい。また、国家の法制化にはリスクが付きまとう。確かに個人の十分権利を幅広く認め個人の決定を尊重することは現代においてとても大切なことだが、これを法律で認めて尊厳死を推進することで社会の多様性が失われることも否めない。

日本に尊厳死が法制化されることはあるのか。あったとしてもまだ遠い未来のことであろう。

## 自己決定権について

自己決定権は自分の命のあり方を自分で決めるという権利のことで、冒頭でも紹介した通り、自己決定権の考え方の基盤になっているのはミルの考え方である。他人に危害を加えない限りは何をしても許されるという自由の捉え方は現代の大衆の考えにジャストミートしておりこれが推されている理由も理解しやすい。このことだけを聞けば誰



もがこの権利を認めると思う。しかし問題はそう単純ではない。

果たして患者の命の決定権は患者だけに委ねられたものなのだろうか。患者の体は他でもない患者個人のものだから患者に決定権があって当然だと考える人もいるが、今まで自分の力だけで生きてきた人はこの世に誰もいない。誰もが誰かの比護の元に誰かに大切にされて生きてきた。その体はもはや個人のものと言えるだろうか。自分以上に自分のことを大切に思う人がいることを忘れてはならない。自己決定権をどこまで認めるのかと言う問いは難解だ。

### 私の考え

尊厳死を考えることは人間の生き方を見つめなおすことでもある。これを考える上で大切なのは片方の側面から尊厳死を捉えるのではなく多角的に尊厳死を捉え批判的に吟味することが必要だ。先述した通り自分の体はその人個人だけのものではない。尊厳死についてはましてその法制化にはさらに慎重な吟味が必要だ。

## 手術による負担軽減を目指して

3年理数科 1名

はじめに

近年の日本人の死因の大きな割合を占める病気としてがん、心臓病、肺炎などがある。この中でも心臓病は特にたくさんの種類があり、難病指定されているものや治療の難しいものも少なくないために、心臓病について関心を持った。また、心臓病には外科的治療が有効な手段の一つであり、現在でも広く行われているが、胸部の切開や人工心肺の使用を伴う治療であるために、患者の体力を考慮する必要がある。特に高齢者や子供は体が弱かったり体力がなかったりするため、思うように治療が進められない場合がある。そのため、患者の負担を減らすような治療法はないのであろうかと考えたことがきっかけでカテーテル治療へと行きついた。ここでは、カテーテルがどのような患者にとって合っているか、カテーテルによって可能になったこと、またその有用性を示す。

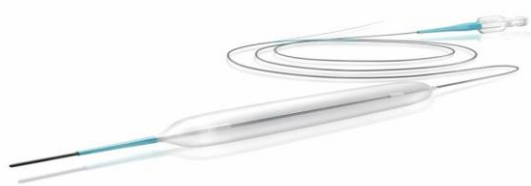


図1 カテーテルの外観

### 1. カテーテル治療の概要

カテーテルとは直径2mmほどの細い管であり、主に足の付け根、手首、ひじの動脈から挿入して病変部に血管を通して到達させる。そこでバルーンを拡張させることで血管の狭窄を治療する。バルーンによる治療では30~40%の確率で再狭窄を起こすため、完治が大いに期待できるものではなかったが、ステントを用いたステント留置術が開発されたことで再狭窄の確率は大幅に減少した。もともと虚血性心疾患の治療法として確立され、現在では狭心症や心筋梗塞、大動脈瘤、冠動脈バイパス術の負担軽減案などとして用いられる。

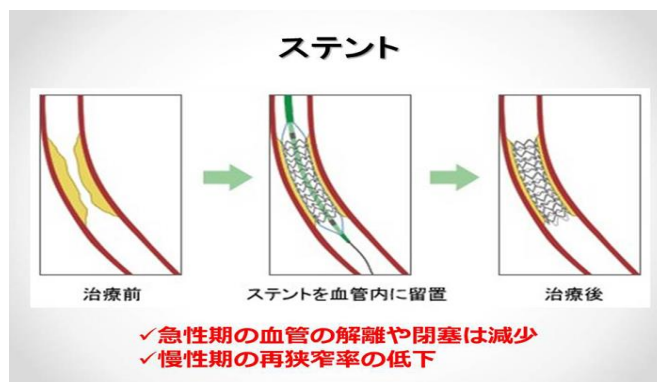


図2 ステントを用いたカテーテル

### 2. カテーテル治療の特徴

カテーテルは、先にも述べたように負担軽減できる治療法であるが、その利点としては

- ・傷口が小さく目立たない
- ・術後の回復が早い
- ・全身麻酔をせずに済む
- ・生存率が高い

ということが主にあげられる。カテーテル治療による傷跡はカテーテルの挿入部だけであり、その大きさは外科的手術の場合に比べてかなり小さい。また、傷口が小さいために術後の回復が早く、退院も比較的早いことが利点として挙げられる。そして、局所麻酔は全身に及ぼす影響が少ないため呼吸が安定し、安価である。生存率に関しては、図3のようにカテーテル治療は投薬治療と比べて生存率が高く、外科治療と比べてもその割合は並んでいる。これは、投薬治療に対してカテーテル、外科手術は根本となる病変部を治療し、改善しているからである。

ここまでカテーテルの利点を述べてきたが、完ぺきな治療法ではなく、欠点もある。欠点としては

- ・できる手術はかぎられている
- ・頻繁に経過観察が必要

などが挙げられる。カテーテル治療は基本的に血管を通して患部に到達させるものである。そのため、血管系の病気に対する治療に秀でているが、血管とあまり関係がない治療には向かない。そのため、外科的治療のように様々な病気に有効なわけではない。ただし、近年は科学技術の進展に即してカテーテルも進化しており、新たな治療法が確立されている。カテーテル治療は早く退院できることが利点ではあるが、その分

経過観察の期間は短いため、頻りに病院に行くことができない人にはあまり向かない。これに対して外科治療は自身の血管ではなく人工血管を使うことが多く、感染に弱い。

このように、カテーテル治療にも欠点があるため、治療法を比較し、医師と相談して自身の状況に合った治療法を選択することが一番重要なことである。

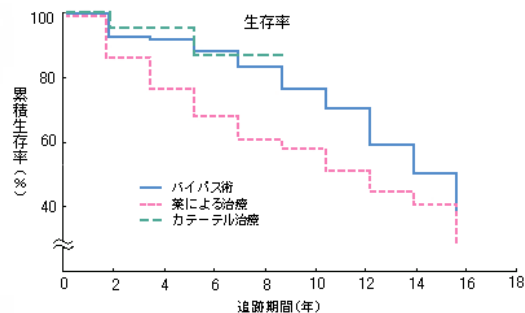


図3 各治療の生存率の比較 (国立循環器病研究センター調べ)

### 3. カテーテルの発展

これまでカテーテルは局所的な使い方をし、それをデメリットとして扱ったが、それは解消されつつある。というのも、カテーテル治療を応用した新しい治療法が開発され、多方面での利用が見込まれているからである。その例の一つとして、エキシマレーザーがあげられる。エキシマレーザーも血管の狭窄等に対する治療で用いられるが、その主な用途は血栓やコレステロールの塊を壊すことである。エキシマレーザーにはレーザーの照射装置が取り付けられており、レーザーによってそれらを壊すことで狭窄を解消するのである。レーザー光によって分子結合を直接切断させるが、生体組織には熱損傷を与えない安全なレーザーである。ここでは、カテーテルの血管を通して病変部まで到達させることができるという利点を生かし、さらにレーザーという新しい技術を用いて、新しい治療法が開発された。

そして、これよりさらに革新的な治療法が、TAVIである。TAVIは主に大動脈弁狭窄症に対する治療法である。今までは外科的治療がほとんどの割合を占めていたこの病気であるが、これもカテーテルでの治療が一部可能になった。この治療では、カテーテルに折りたたんだ生体弁を取り付け、狭窄部で生体弁を広げて

留置する。TAVIの登場によって、血管だけではなく弁の置換にもカテーテルが使えるということが分かった。

これらのように、カテーテルを応用した治療法は今もたくさん開発されている。今まで体力的に治療ができなかった患者の治療を可能にしてきた新しい術式は、カテーテルの存在意義を象徴的に表しているといっても過言ではない。

### 4. まとめ・考察

一番大切な事は、医師とともに自分の状況を観察し、どの治療法を選択するかであるが、カテーテルがその選択肢に加わったことで患者にとってより良い医療を提供できるようになった。カテーテルは新しい術式として、さらに今まで手術を受けられなかったような患者に対して施すことのできる治療として発達し、年々症例数は上昇している。これまでに示したように、全身への応用が期待でき、投薬治療との併用でカテーテル治療の割合は増加していくと考えられる。しかし、まだまだカテーテルの存在は世間に浸透していない。カテーテルは患者のQOLを考慮した対応が出来るため、これが広まることで多くの命が救われ、医学の発展に寄与すると考える。

ただ、治療が成功したことと病気が治ったという事は別のことである。カテーテル治療は患者の負担を軽減できる方法であるが、治療を繰り返すことで体へのダメージは大きくなる。カテーテルが主に治療する心臓血管系の病気は、冒頭で述べたように日本人の死因の大きな割合を占めており、その原因に生活習慣が挙げられる。生活習慣を改善する事で、病気になる可能性は減少し、カテーテルで治療するよりも良い「予防」になる。カテーテルの有用性を知ってもらうとともに、自身の生活習慣を見直してもらうと良いだろう。

### 参考文献

- <http://www.ncvc.go.jp/cvdinfo/pamphlet/heart/pamph44.html>
- <http://sk-kumamoto.jp/issue/piazza49.pdf>
- <https://www.sakakibara-hp.com/treatment/approach/ischemic/excimer/>

## エピジェネティクスと生活習慣

3年理数科 1名

はじめに

新潟県は長年、医師不足や、それによる地域医療の問題に悩まされている。これを解決することはもちろん重要ではあるが、私たちにできることはまずないだろう。そこで、個人の努力によりそもそも患者そのものを減らすことに着目し、エピジェネティクスについて調べた。

### 第1章 エピジェネティクス

#### ○エピジェネティクスとは

例えば一卵性双生児は全く同一の遺伝子を持っているが、成長につれ個体差が顕著になる。もし双子を全く異なる環境で成長させれば、全く異なる特徴を持つこともあるだろう。このように生物はDNAではないもので、形質の制御を行う仕組みが存在する。これをエピジェネティクスという。

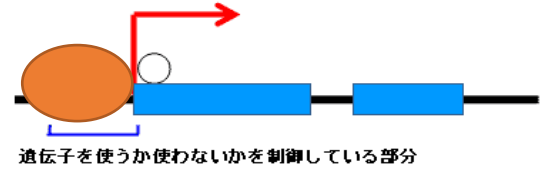
#### ○具体例

ヒトの各細胞は同一のDNAを持ち、最終的には老化という共通の形質を獲得するものの、異なる組織、器官を形成するように分化する。これもエピジェネティクスの仕組みによるものである。

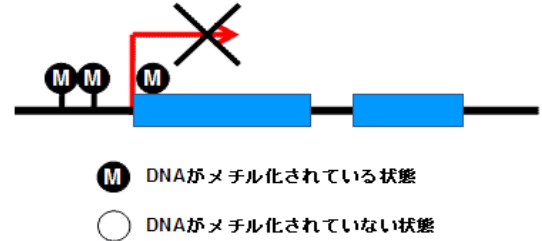
#### ○エピジェネティクスの仕組み

別々の細胞に分化できるのは、どの遺伝子が働くかを調整する目印がある。この目印は、DNAにつくものであるDNAメチル化とヒストンにつくものであるヒストン修飾というものがある。DNAメチル化はDNAのCpGアイランドという領域（プロモーター領域においてシトシンとグアニンが並ぶジヌクレオチドが多く含まれる領域）にメチル基が結合し転写を行えないようにする。また、一度メチル化したDNAは複製されたDNAにもすぐに同様のメチル化がなされ、その後の細胞にも受け継がれていってしまうことが分かっている。

使える遺伝子



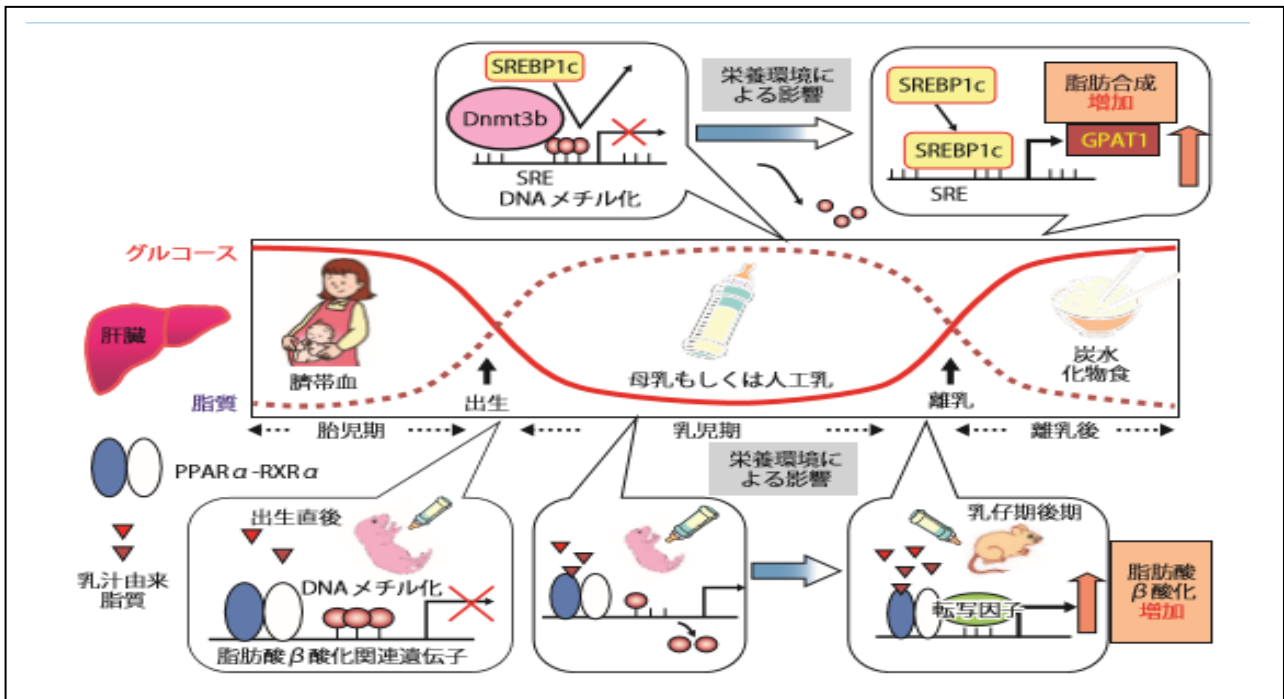
DNAメチル化により使えなくなった遺伝子



上図のように、DNAメチル化の起きた状態ではRNAポリメラーゼの結合ができなくなり転写を行うことができない。正常に組織、器官を形成するためには不可欠の仕組みである一方で、不要なメチル化により、本来は必要である遺伝子が機能しなくなり疾患につながることも多い。また、DNAメチル化そのものも遺伝により個人差で発生しやすさが異なっており、ほかにも環境からの影響も大きく受ける。一度不要なメチル化が起こってしまえば元に戻ることは難しいが、健康であれば健康なエピジェネティックな情報を子孫に残すことができる。これがエピジェネティクスの仕組みである。

### 第2章 肥満との関係

エピジェネティクスが関連する疾患は多岐にわたる。がん、糖尿病、心血管疾患などの病から、自閉症、鬱などの精神疾患、発達障害などにも影響があるとされている。これらの症状の中から、多様な疾患の素地となる生活習慣病の1つである‘肥満’とエピジェネティクスの関係、そして子孫に顕著に影響を与えてしまう例についての研究をここでは取り上げる。次の図は、胎児期から誕生後の栄養状況と、その際のエピジェネティックな機能を示したものである。



○胎児期に母親が低栄養であるとき

この場合、子はインスリン生成にまつわるDNAのいくつかがメチル化され、インスリン生成遺伝子の転写を抑制されやすい。インスリンは糖新生を抑制するため、この子は肥満、糖尿病にかかりやすい。胎児期に低栄養であったために、代謝を効率よく行うようエピジェネティック制御をされたことが相対的に過栄養の状態をもたらすと推定される。

○胎児期に母親が過栄養であったとき

新生児を解析すると、臍帯血のゲノムにおいて PLGL1 (Pleiomorphic adenoma gene-like1) 遺伝子の DNAメチル化増加と MEG3 (Maternally expressed gene 3) 遺伝子および LEP (Leptin) 遺伝子のDNAメチル化の減少が見られる。これらが肥満を引き起こす機構は明確ではないが、これらの特徴を持つ場合肥満になりやすいことが分かっている。母親の肥満が胎児の遺伝子のDNAメチル化に影響を及ぼすことが明らかとなった。

○医療への応用

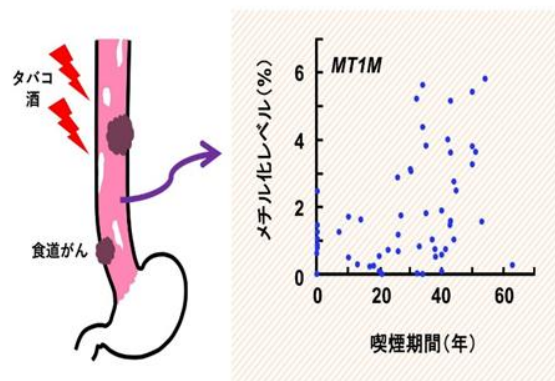
出生前から離乳後のマウス肝臓における遺伝子DNAメチル化の解析を行ったところ、胎仔期と比較して乳仔期のマウス肝臓では脂肪酸β酸化関連酵素遺伝子のDNA脱メチル化と発現が亢進していた。またこの時期のDNA脱メチル化は核内受容体 peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR)

α 依存的であることが明らかになった。また、ヒトでも成人の肝臓では胎児と比較して脂肪酸β酸化関連酵素遺伝子のDNA脱メチル化の亢進とともに遺伝子発現の増加がみられた。乳児期の肝臓では、PPARα 依存的なDNA脱メチル化により脂肪酸β酸化が制御されることがわかった。これは妊娠期から授乳期にPPARαをエピジェネティックに活性化することで、子の脂質代謝をより健康的に行わせ、肥満を防ぐことができる。

### 第3章 生活習慣との関係

喫煙とDNAメチル化

食道扁平上皮がん患者においてその原因として同定された39個のDNAメチル化のうち、5個が明らかに喫煙期間と相関がみられた。





## 終章

エピジェネティクスが悪く働けば、自身に様々な疾患のリスクを負うだけでなく、子孫にまでも悪影響を与えうる。飲酒や喫煙がリスクになることはもちろん、ストレスが精神疾患のもととなるなど、自身の生活を見直していく必要がある。

また、研究のように疾患の原因となるエピジェネティクスを同定し、目的のDNAに対しエピジェネティックに修飾する方法を確立することで、遺伝的要素が多く、死亡率の高いがんなどの疾患のリスクを、遺伝子を改変するなどの倫理的問題が生じない方法で減らすことが期待できる。

新潟県は地域医療において、医師が不足し、相当な激務であるという。エピジェネティクスを良い方向へ働かせた健康な人が増えれば、病院ではなく、代替医療などで対応が可能になるかもしれない。患者が減ることによる病院側のデメリットももちろんあるが、医療の提供環境が良いに越したことはない。

昨今の新型コロナウイルスを受け、基礎疾患の有無、健康な体の重要性が再度示された。病気、健康に関心が高まっている今、この機会を生かし、一人一人が生活を見直さなければならない。

## 参考文献

<https://www.ncc.go.jp/jp/ri/division/epigenomics/project/030/010/20170911155412.html>

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/naika/104/4/104\\_697/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/naika/104/4/104_697/_pdf)

[https://www.jpn-geriatrics.or.jp/publications/other/pdf/perspective\\_geriatrics\\_48\\_4\\_305.pdf](https://www.jpn-geriatrics.or.jp/publications/other/pdf/perspective_geriatrics_48_4_305.pdf)

# 個別化医療の有用性について

3年理数科 1名

## §1 研究の動機

私は小学生の時に偏頭痛を発症した。今までに7種類の頓服薬を試してきたが、薬が効かなかったり、逆に頭痛が増すこともあった。もっと効率的に、かつ患者の負担が少ない治療の探し方はないかと調べたところ、「個別化医療」という言葉に惹かれ、調査しようと思った。

## §2 導入

「個別化医療」とは「バイオテクノロジーに基づいた患者の個別診断と、治療に影響を及ぼす環境要因を考慮に入れた上で、多くの医療資源の中から個々人に対応した治療法を抽出し提供すること」である。

これまで、同じ病気と診断された患者には同じ治療が行われてきた。しかし、同じ治療でもその効果や副作用の出方にばらつきがあった。それから研究が進むにつれて、このような個人差には患者の遺伝子や体質、生活習慣などが大きく関わっていることが分かった。また、これまで同じものとされてきた病気に遺伝子や分子レベルでばらつきがあることも分かった。

「個別化医療」は、遺伝子情報や身長、体重、性別、生活習慣、人生観、患者の家族関係、経済状況など、患者のあらゆる情報を組み合わせより最適な治療法を提供することができる(Fig.1)。

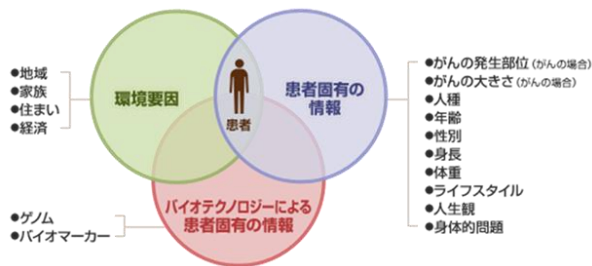


Fig.1 がんの場合の個別化医療の要因

遺伝子の個別診断には、個々人の体内から細胞片を取り出し、医薬品の効果があるかどうか治療

前に予め検査をする「コンパニオン診断」、次世代シーケンサーという高速遺伝子解析装置を使って病気の原因となる多数の遺伝子を一度にまとめて調べる「遺伝子パネル検査」などがある(Fig.2、3)。

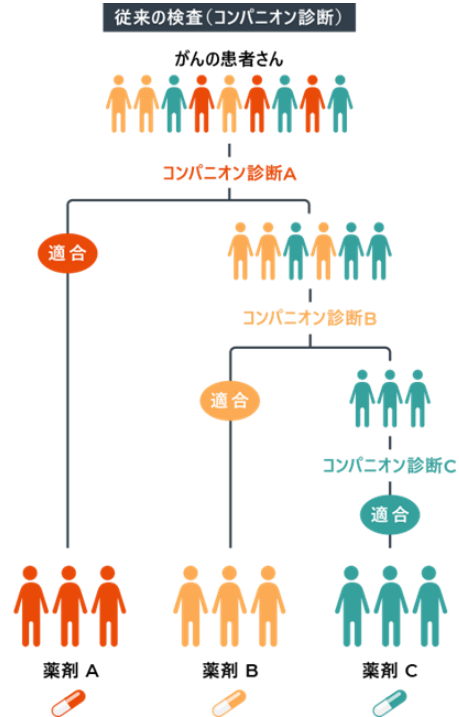


Fig.2 コンパニオン医療の大まかな流れ

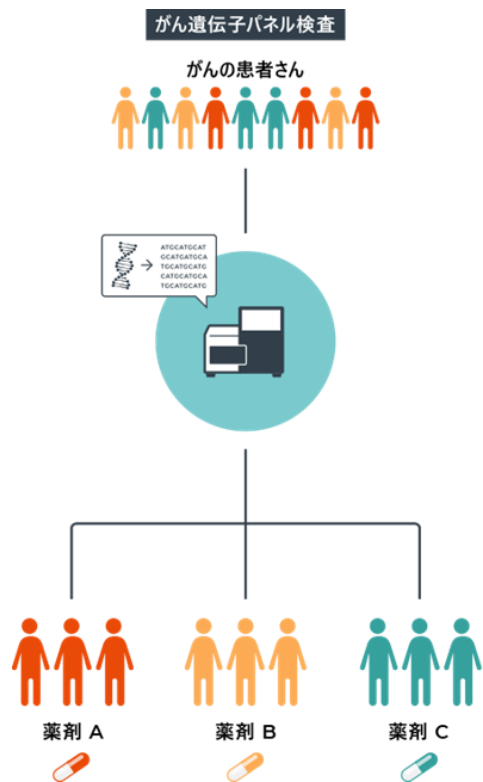


Fig.3 がん遺伝子パネル検査の大まかな流れ

環境要因は患者のライフスタイル、生活歴、人生観、宗教、経済的な問題など、様々である。患者の治療を成功させることだけが医療従事者の勤めではない。患者が安心して社会復帰できるように、仕事や家事、学業と両立して治療が行えるようにすることが大切である。この環境要因もきちんと考慮して、初めて個別化医療と言えるのである。

個別化医療は

- ① 病院で医師の診察を受け、聞き取り調査や包括同意<sup>注1</sup>を行う
- ② 手術や内視鏡検査等で検体(細胞片や腫瘍など)を採取する
- ③ 大学病院や企業などの検査機関に検体を移送して遺伝子を解析する
- ④ 解析の結果を受けて、医師らがミーティングを行う
- ⑤ 患者に結果を伝え、最終的な治療の決定をするという流れになっており、①～⑤までで1～2か月ほどの時間を要する。

### §3 個別化医療の代表例「がん」

現在、日本人の死因第1位は「がん」である。がんは個別化医療が非常に浸透している病気である。

がんには様々な種類がある。そのため治療方法も様々である。特に抗がん剤は患者の病状に適応したものをを見つけることは難しく、副作用も強いため、患者が辛い思いをすることも少なくない。そこで、前述の遺伝子パネル検査をがん細胞に適用して患者のがん細胞の遺伝子を特定し、それを元に治療を行うことができる。2019年6月にがん遺伝子パネル検査は保険適用となった。

がん患者は、手術をするため入院をする人、抗がん剤治療を入院して受ける人、放射線治療のために通院している人などいろんなタイプの患者がいる。患者にある腫瘍の大きさや病気の進行度、患者の意向や家族の希望、家庭の状況によっても治療を決める事ができる。

また現在、個別化医療はがんだけでなく、呼吸器や神経系など様々な分野に広がりつつある。

### §4 課題

がんだけを取り上げても個別化医療は非常に有効なものに思えるが、まだ新しい試みであり、且つヒトの遺伝子を取り扱うため、課題は下記のように山積している。

- ① 万人が遺伝子検査などを受けられるわけではない
- ② 疾患の原因遺伝子とは別にほかの疾患になりやすい遺伝子が見つかる可能性がある
- ③ 遺伝性の疾患が見つかることで血縁の家族の健康に不安が生じることがある
- ④ 検査ができて、治療法や治療薬が見つからないことがある
- ⑤ 医療保険が適用されなかった場合、治療費が非常に高額である
- ⑥ 個別化医療を受けることができる医療機関や検査やカウンセリングなどができる医療従事者が不足している。
- ⑦ 遺伝子検査の品質、精度、解析結果の正しい解釈を保つ必要がある
- ⑧ 遺伝子検査の結果などの個人情報適切かつ厳重に保護する必要がある …など

特にここでは①、⑥についてがんを例に取り上げたいと思う。

がん遺伝子パネル検査の対象となる人は、

- ・標準的な治療が終了し、他の治療を検討する人
- ・標準的な治療法がない人
- ・原発巣が不明ながんを患った人
- ・希少がんを患った人
- ・小児がんを患った小児

である。検査には固形がんが必要なため、血液のがん患者はこの検査の対象となっていない。と同時に、健康な人ががんになるリスクを調べる、というようなことはできない。…①

また全国には「がんゲノム医療連携病院」<sup>注2</sup>に指定されている医療機関が206カ所ある。しかしそのほとんどは都市部に集中し、ゲノム検査に関しては全国に12カ所しかない「がんゲノム医療中核拠点病院」<sup>注3</sup>まで行く必要がある。…⑥



## §5 考察

これまでの研究を通して、個別化医療を世の中に浸透させ、これからの医療において当たり前のように使うためにはまだまだ課題が多すぎると感じた。少なくとも上記のような課題は必ず解決されなければならない。遺伝子は人間の最高の個人情報である。また、聞き取り調査などで医師が得た情報も取り扱いによっては大きな問題を起こしかねない。個別化医療を現在の医療と合わせるには医療体制や法律の大幅な変更が求められるだろう。

しかし、個別化医療は個々の事象に合わせて診察、検査、治療を行うことが出来ることがわかった。そのため患者の負担は大幅に減り、病気の早期発見、完治、寛解、社会復帰が可能になると思われる。また、健康な人が自分の病気のリスクを知るために使うことが出来るようになれば予防医療などにも有効であるため、高齢化が進む日本の医療には非常に有用だろう。そのほかにも医療費の削減、重複投薬や副作用を防ぐことも可能だと思われる。

総じて、個別化医療はこれからの日本の医療に大きな利益をもたらすこととなるだろう。

### 注1：包括同意とは

診療上で発生する試料などについて将来の研究等に利用することに一括で同意すること。

### 注2：がんゲノム医療連携病院

厚生労働省が認定した、「がんゲノム医療」を積極的に扱う病院。「がんゲノム医療中核拠点病院」「がんゲノム医療拠点病院」「がんゲノム医療連携病院」の3つに分かれている。

### 注3：がんゲノム医療中核拠点病院

「がんゲノム医療」をけん引し、臨床試験や治験を担う病院。大学病院に多く、現在は12か所である。

### 参考文献

国際個別化医療学会「パーソナライズド・メディシン（個別化医療）とは」

<http://www.is-pm.org/profile/personalized-medicine.html>

中外製薬「よくわかる個別化医療」

<https://www.chugai-pharm.co.jp/ptn/bio/phc/index.html>

国立がん研究センター「がんゲノム医療とは」

<https://www.ncc.go.jp/jp/ncch/genome/080/index.html>

国立がん研究センター中央病院

<https://www.ncc.go.jp/jp/ncch/index.html>

YOMIURI SPECIAL 116 受けたい医療2019  
年度版 読売新聞医療部編

## 開頭手術とガンマナイフの有用性

3年理数科 1名

### 序章

外科手術は常にリスクが伴う。一概にリスクが伴うと言っても場合によるので、その中でも特に細心の注意を払う必要のある、頭蓋についてとりあげようと思った。開頭手術はリスクが大きいので、切開の必要がない放射線治療を行うとほとんどの症例に対し安全に、かつ後遺症を出さずにより良い治療を行うことができるのではないかと考えた。放射線治療のひとつで患部に直接 $\gamma$ 線（ガンマ線）を当てるのが可能な定位的放射線治療装置のガンマナイフと開頭手術を比較して調べたいと思った。

### 第1章 仮説

一般的に放射線治療を行うにあたって、放射線の線量、分割回数、範囲、照射方法などを選ぶことができる。従って状況に応じて、幅広く様々な角度からアプローチをすることが可能である。特に定位的放射線治療であるガンマナイフならば全ての症例に対する治療法として有効であると考えた<sup>注1</sup>。

### 第2章 調査内容

今回調べたことから腫瘍の大きさは3cmが基準であり、3cm以上の腫瘍になると手術を選択することが分かった。放射線治療は小さなものによく効き、大きなものには効果を得にくいという傾向がある。

#### 第1節 開頭手術

腫瘍ができた位置によってアプローチ方向を決める必要がある。位置によって毛髪を剃り、皮膚を切開して表面の筋肉をずらした後、頭蓋骨に専用のドリルで穴を開け、部分的に骨を外して脳に到達する。腫瘍がさらに奥にある場合、脳ベラ<sup>注2</sup>などでず

らす。利点として、直接腫瘍を切り取るので確実であることが挙げられる。また欠点としては、以下の7点が挙げられる。

- ・毛髪を剃る必要がある場合がある。毛髪を剃る必要がない頭の手術は、例えば眼窩<sup>注3</sup>などにできた場合のおでこからアプローチするものがある。
- ・傷跡が残る。
- ・頭蓋骨を部分的に一時的に切除することから、頭の形が変形する。具体的には凹む。
- ・術後、てんかん<sup>注4</sup>が起こる。
- ・腫瘍の位置で難易度が変わる。例えば、脳の表面にある場合と頭蓋底にある場合。
- ・正常な細胞との癒着が多い場合には完全に腫瘍を切り取ってしまうことは不可能<sup>注5</sup>。
- ・治療費が高い。

#### 第2節 ガンマナイフ

放射線治療のひとつで $\gamma$ 線を使う。定位的放射線治療装置なので頭を固定する。照射口から出た放射線がヘルメット<sup>注6</sup>の内部に焦点を結ぶように設計されている。（図1）

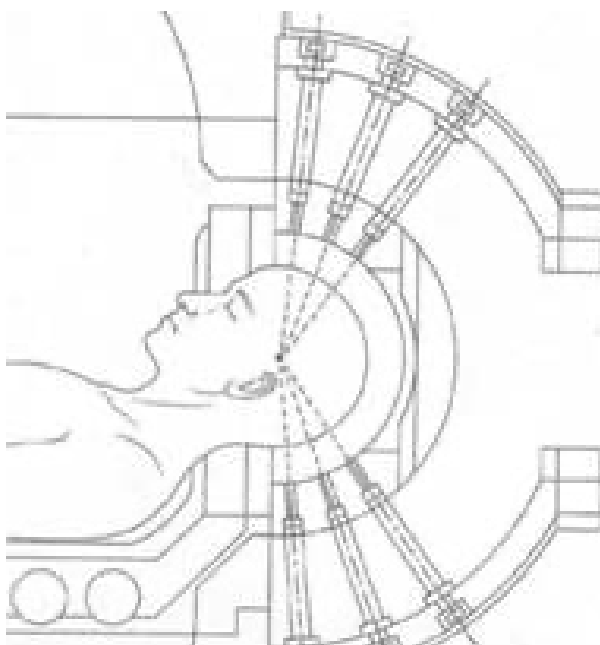


図1 ガンマナイフ イメージ図

ガンマナイフに関する利点としては、以下の8点が挙げられる。

- ・皮膚を切開する必要がないので、傷口が残らない。
- ・限定した位置にピンポイントで狙いを定めることができ、誤差は±0.5mmと精度が高い。(図2)
- ・一本一本のγ線が細いので周囲の正常な細胞に傷をつけない。
- ・体への負担が少ないので、体力が低下している高齢者などへの治療も可能。
- ・手術だと不可能な奥深くにある腫瘍の治療が可能。
- ・複数個の腫瘍<sup>注7</sup>にも対応可能。(図2)
- ・治療にかかる時間が大幅に短縮される。
- ・入院期間も短く、術後は2、3日程度で日常生活に戻る。
- ・治療費は、腫瘍の個数や大きさなどによって請求額が変わることはなく、開頭手術に比べたら定額。

また、欠点として治療中に頭部を固定する必要があることから、患者がストレスを感じるなどがある。頭部の固定は局所麻酔を用いて行われる。小児の場合は、全身麻酔を用いて行う。

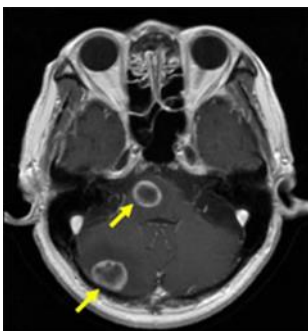


図2 治療前

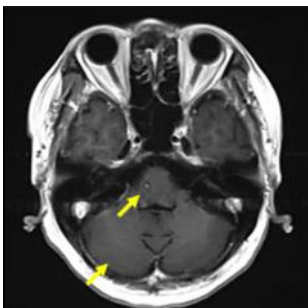


図2 治療後

治療費については、一般的な健康保険に加入している場合には、自己負担は3割、また、70～74歳の方の場合は、生まれた年によって治療費の1～2割を負担するが、一定以上の収入がある被保険者の方

とその被扶養者の方は定額3割と定められている。75歳以上の方で後期高齢者医療制度に該当する場合は、自己負担は治療費の1割となる。

### \_\_\_第3節 治療選択

開頭手術とガンマナイフの利点、欠点を踏まえる以前に腫瘍の大きさに応じた判断が前提である。

## 終章

### \_\_\_第1節 結論

ガンマナイフの放射線治療が一概にすべての症例に対して有用であるとは言えないことが分かった。

### \_\_\_第2節 今後の展望

ガンマナイフ治療は脳血管奇形<sup>注8</sup>にも効果があることが今回の調査で同時に分かったので腫瘍に限定せず、開頭手術とガンマナイフの治療に適応する幅広い疾患について調べたい。また、ガンマナイフに関わる医師たちの多施設共同研究が現在も行われているので、それについても深く調べられたらと思う。

<sup>注1</sup>放射線は正常な細胞にも影響を及ぼす。放射線壊死。例えば、乳腺の治療で放射線治療を行った場合、放射線が肺までかかると呼吸困難などが起こる。当の目的である乳腺が治ったとしてもその代償として肺を患うことになる。

<sup>注2</sup>組織又は解剖学的部位を分離するために用いる手術器具をいう。脳内手術時、任意の箇所折り曲げた扁平な表面は視野を広げ、組織を損傷させないように圧力を拡散することで、組織等を保護する。

<sup>注3</sup>眼球が収まる頭蓋骨のくぼみを指す。

<sup>注4</sup>脳内の神経細胞の過剰な電氣的興奮に伴って、意識障害や痙攣などを発作的に起こす慢性的な脳の病気。

<sup>注5</sup>ここでいう完全に腫瘍を切り取るとは、正常な細胞ごと腫瘍を切ること。

注<sup>6</sup>頭を固定する器具。前頭部と後頭部、各2箇所をねじで固定する。図1の頭部の周りを囲む半円がこれに当たる。この他にフェイスマスク固定がある。

注<sup>7</sup>転移性脳腫瘍は1個とは限らない。何カ所の脳転移までならガンマナイフで治療してよいか、という点については、議論はあるが、条件を満たせば少なくとも10個程度の脳転移はガンマナイフにより安全に治療を行えることが報告されている。

注<sup>8</sup>脳動静脈奇形、海綿状血管腫。胎児期から小児の時期にかけてできる脳の血管の奇形。脳動静脈奇形ではこの毛細血管がなく、ナイダスに置き換わっているため、動脈からの血液が一気にナイダスに流れ込み、静脈に抜けていく。このため、ナイダスや静脈に負担がかかり、その血管が破れて出血することがある。ナイダスとは血管のかたまりを指す。

#### 参考文献

<http://www.gamma-knife.jp/radiotherapy/index.htm>

日本ガンマナイフ学会

<https://square.umin.ac.jp/neuroinf/cure/002.html>

脳神経外科疾患情報ページ

# 日本の医療費の課題について

3年理数科 1名

## 第1章

### ○はじめに

現在の日本の医療課題として、莫大な医療費の増加が挙げられる。日本の医療費はいったん減少した2016年を除き、過去26年間増加し続けている。医療費増加によって考えられる問題や、それらの原因を明らかにし、解決策についてまとめた。

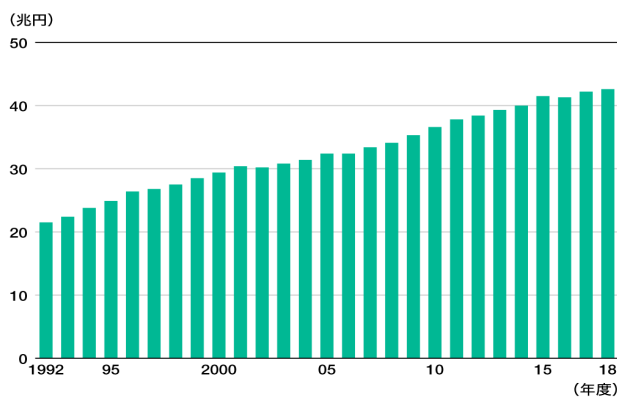
## 第2章

### ○調査内容

#### 調査1

<医療費の現状と課題>

##### 概算医療費の推移



##### 概算医療費の推移(資料1)

厚生労働省によると、2017年度時点での国民医療費は4兆3千710億円で、国民一人当たりの医療費は33万9900円。それぞれ、2016年度より2.2%、2.4%増加した。(資料1)からわかるように、2018年度時点での概算医療費は4兆2千600億円となっている。1992年から、約20兆円増加したことがわかる。また、いわゆる「団塊の世代」が75歳に突入する2025年には、国民医療費は6.9兆円になる見込みである。

医療費がこのまま増加し続ければ、現在私たちが納めている税金や、社会保険料だけではまかなえなく

なり、私たちの生活に不利益が生じることが考えられる。今後、国の財政赤字の悪化、国民が負担を負いきれなくなること、また、医療費が年金を上回る勢いで増加することが予測されており、社会保障制度そのものの破綻が懸念されている。

#### 調査2

<問題の原因>

これらの医療費の高騰について考えられる原因を主に三つまとめた。

##### ◆ 高齢化の影響

現在日本の総人口に占める65歳以上の割合は28.7%と過去最高となっている。高齢者の増加に伴い、病気になる方が増えるため、病院に通う回数も多くなる。日本の医療保険制度では、高齢者は1割負担であるため、必要以上に医療機関を受診する方が多いのも現状である。

##### ◆ 医療技術の進歩や高額薬剤の影響

現在の飛躍的な医療技術の進歩により、新しい医療機械や器具、技術などが使われるようになり、私たちの健康に大いに役立っている。しかし、当然これらに必要な費用も増加する。オプジーボと呼ばれる抗がん剤は、一人当たり年間3500万円近くかかるとされ、C型肺炎治療薬においては一回の治療で500万円近くかかるとされる。

##### ◆ 受診回数の多さ

国民が安易に医療機関を受診することも、医療費増加の主な原因として挙げられる。(資料2)からわかるように、2013年度時点で国民一人当たりの年間外来受診回数は、イギリスが約5回、アメリカが約4回であるのに対し、日本は12.8回と、他の先進国と比べても3倍近い数値となっている。また、日本の受診回数が他の国と比べて多い理由は、日本の医療制度が大きく影響していると考えられる。日本では、

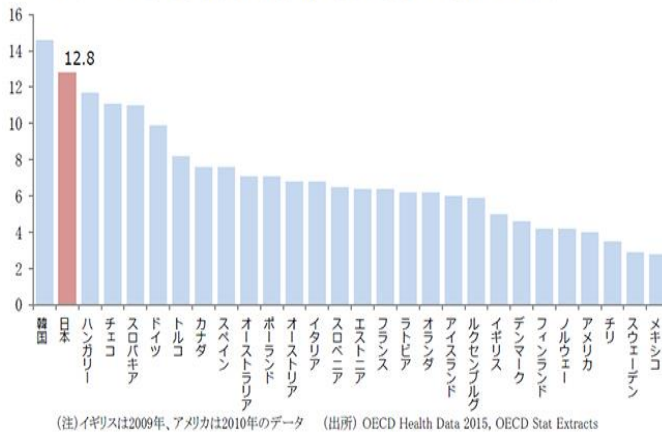


自分で医療機関を選択し、直接専門医に診てもらえることができる。我々にとって、自由に医療機関を選択できることは大変恵まれたことであるが、受診回数の多さはそれが裏目に出た結果だとも言える。

仕組みである。段階を踏んだ上で専門医に診てもらえるため、安易に医療機関を受診することで発生する無駄な医療費を抑え、医療費削減につながると思う。

## 第4章

### ◆ 一人あたり年間外来受診回数(医科)の国際比較(2013年)



国民一人当たりの年間外来受診回数(資料2)

## 第3章

### ○解決策

これらの私たちの未来を脅かす重大な課題の解決策を考え、まとめた。

#### 1. 予防医療の推進

一つ目に挙げるのは、予防医療。一人一人が健康的な生活を心がけ、病気にならないことがまず第一に大切だと考える。そうすることで、医療機関を受診する必要がなく、薬も発生しないため、医療費の増加を抑えることができる。

#### 2. ホームドクター制の導入

主にアメリカや北欧で導入されている制度。「調査2」でも述べたとおり、日本は自己の身体に不調が生じた場合、直接専門医に診てもらえるフリーアクセス制である。しかし、ホームドクター制では、症状が出たら、まずホームドクターに診てもらい、患者が重症であった場合に限り専門医に診てもらおうという

### ○考察と今後の展望

医療費高騰は、様々な原因が重なって起こる問題なのだということがわかった。日本は、制度の違いにより、他の先進国に比べて一人当たりの年間受診回数が多い。ホームドクター制の導入には、安易に医療機関を受診することで発生する無駄な医療費を抑えるという点では大きなメリットがあるが、国民が自分の意志で行く医療機関を決めることができない、また、患者が重病であった場合、病名がわからないまま病気が進行してしまうというデメリットもある。高齢者を含め、安易に医療機関を受診しないように心がけることが非常に重要である。少子高齢化が社会問題とされる中、私たち若者がこれから社会を担っていかねばならない。その中でこの医療費増加の問題は、私たちのこれからの生活のためにも解決しなければならない問題であり、一人一人が現状を把握し、実行に移す必要がある。医療技術の進歩は、様々な病気が治る可能性が増え、素晴らしい面もたくさんある。だがしかし、そのために、病気になっても後から治すことができる、極端に言えば、病気になっても大丈夫だ、と、国民が無意識に感じているのではないかと私は考える。私はこれから、この問題を自分自身でしっかり受け止め、健康な生活を心がけたい。また、ホームドクター制にはデメリットがいくつか挙げられたので、デメリットの少ない、より良い解決策を、これからも考えていきたい。

### ※参考文献

- <https://www.nippon.com/ja/japan-data/h00561/>
- <https://koureisya.com/problem/medical-expenses-problem/>
- [http://www.hokeni.co.jp/outline/h/post\\_1178.html](http://www.hokeni.co.jp/outline/h/post_1178.html)

## 小児医療の未来

3年理数科 1名

### はじめに

小児医療は未来の日本社会を創っていく子どもたちの健康を守るという重要な役割を担っている。一方で、現代の日本は少子高齢化に伴い、少ない子どもを大切に育てようという傾向が強まり、小児医療の需要は大きくなってきている。そこで私は今の小児医療にはどのような課題があり、その課題に対してどのような対策をとっていくことが必要なのかを調べ、今後の小児医療の在り方について考えた。

## 第1章

### ○現状・問題点

様々な問題がある中で、特に対策が必要だと考えられているものをあげた。

#### ・小児科医、小児医療施設の偏在

各都道府県において都市部に集中している。そのため、都市部から離れた地域では小児科専門医に診てもらえなかったり、遠くの病院まで通院しなければならない、といった問題が生じている。特に遠くの病院へ通院、あるいは入院する必要がある場合、患者だけでなくその家族にも大きな負担がかかる。

また、都道府県別に見てみると、必ずしも人口が多いところに医師がたくさんいるわけではない。

\* 図1 参照

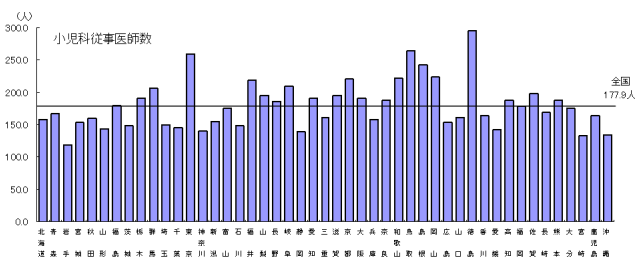


図1

#### ・小児科医の不足

小児科は残業が比較的多く、採算性も低い診療科である。そのため、小児科の医師数は不足している状況が続いている。これにより、医師一人当たりの受け持ち患者数が増え、医師の負担は大きくなっている。

#### ・小児救急医療の不十分性

時間外受診者数は年々増加傾向にある。

\* 図2 参照

しかし、地域によっては夜間や休日に小児救急に対応できる医師がいない場合もあり、救急対応が遅れてしまうケースもある。

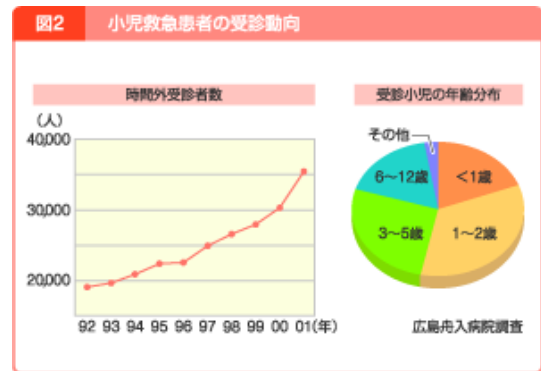


図2

#### ・小児科の医局への入局者数の減少

地方の医師不足の地域で働く医師の多くが大病院の医局から派遣されている。しかし現在は働き方改革の影響もあり、労働時間がしっかり決められていて、設備の良い病院で働きたいという医師が多く、その人たちは医局には所属せずに自分で病院を選んで働く人も多い。当然彼らは都市部の病院を選び、結果的に地方で医師不足になる。

#### ・NICUやPICUの慢性的な不足

20年ほど前と比べて、現在の低体重児出生数、低体重児出生率はともに増加傾向している。

\* 図3参照

その一方で、NICU（新生児集中治療室）の利用や医療の発展により、新生児の死亡者数と死亡率はともに低下している。このことから、NICUの需要が高まっていることがわかる。しかしながら、これらの子供専用の集中治療室は全国的にまだまだ普及が進んでいない。より多くの新生児の命を助けるためには、今よりも充実した新生児治療の場が必要となる。

また、小児の急性期医療にはPICU（小児集中治療室）の利用が適している。ここでは、一般的な集中治療室とは異なり、小児の治療に適した医療器材がそろえられている。しかし、現在はPICUの数が少ないため、PICUでの治療を必要としている子どもたちは最適な治療を受けられていない状況にある。

#### ・新生児科医の減少と不足

図3は低体重児の出生数と全出生数に対するその割合を示している。グラフから、低体重児の出生数とその割合は年々増えてきていることがわかる。一般に低体重児や心臓病や呼吸障害などの重症を抱える新生児はNICUに入り、新生児科の医師のもと、必要な治療を受ける。このような治療を必要とする新生児が増える一方で、その子どもたちの治療にあたる医師が減少してしまえば、十分な医療を提供できないケースが今後増えてくると予想される。

\* 図3参照

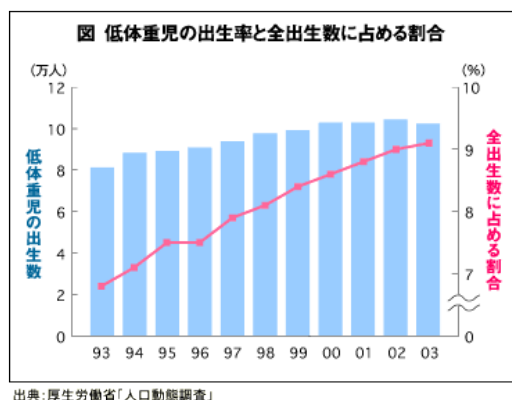


図3

## 第2章

### ○課題

第1章の現状と問題点から、今後の小児医療における課題についてまとめた。

#### ・小児科の人材確保

全国的にも、都道府県単位で見ても小児科医の偏在がある。都市部に医師が集中し、地方では小児科の医師数が全国平均を大きく下回る。このままでは都市間の医療格差がますます広がると予想される。また、労働環境を整備して、医局への入局者を増やしていく必要がある。

#### ・小児医療体制の整備

特に二次小児救急医療、三次小児救急医療などの高度小児専門医療の体制整備が早急に必要である。医療体制が不十分な地域に住む子どもたちの救急医療にどう対応していくのか、ということを一市町村で検討していく必要がある。

#### ・適正受診に関する普及啓発運動の推進

子どもが救急外来を受診する場合、その約8割ほどが入院等の必要のない軽症患者である。どんな症状の時に救急外来を受診すべきなのか、ということを知っておく、また、かかりつけ医をもっておく、といったことが必要である。救急外来が本来の役割を果たすためにも、適正受診の啓発は必要である。

#### ・NICUやPICUの病床確保

治療を要する子どもをほかの病院へ搬送するという手段もあるが、この方法では子どもの体だけでなく、その子どもの親にも精神的な負担がかかると考えられる。

集中治療を必要としている子どもたちが最適な環境で十分な治療を受けられるようにするため



には、これらの集中治療室を各地に整備することが必要である。特に搬送先の病院までの距離が遠い場所では、より早く対策をとることが求められている。

### 第3章

#### ○解決策

第1章、第2章の問題点と課題に対しての解決策をまとめた。

#### ・小児科の人材確保のために

小児科医が特に不足している都道府県では、大学で小児科の地域枠を設けて、小児科医の地域への定着を図り、医師の偏在をなくすように努めることが1つの対策案だ。これには国との連携も欠かせない。いくつかの私立大学や一部の国公立大学において、特定診療科枠として小児科の地域枠が設けられていて、好事例となっている。これは、小児科だけでなく、産科や精神科など、医師不足が懸念されているほかの診療科も同じである。この地域枠の活用によって、全国各地の医師の偏在の問題を少しずつでも解消していけたら良いと考える。

#### ・小児救急医療の体制整備のために

夜間や休日における小児救急に対応できるように、小児救急に対応できる救命医を育成したり、こども病院を設置したりすることがあげられる。現在、こども病院は全国に20か所程度しかないが、この病院がもっと全国各地に広がっていけば、早く治療にとりかかることができ、死亡率の低下（救命率の上昇）や病状悪化の軽減などが期待できる。よって、救急医療の体制を整備することはとても重要である。

#### ・適正受診を推進するために

1つ目は小児救急冊子の配布が効果的である。この冊子には、子どもの急なけがや体調の急変にどのように対応したらよいか書かれている。実際に新潟県や富山県、滋賀県でこの冊子が配布されていて、状況に応じて冷静に対応することができたり、不要な救急外来への受診が減るなどといった効果が出ている。この活動を全国的に広めていくことで、適正受診へと誘導できるようになる。特に患者数が多い都市部では、いち早くこの冊子を配布することにより、本当に救急外来での処置が必要な患者への治療がスムーズにできるようになると考える。

\* 図4参照



図4

2つ目は#8000の認知を広め、実際に利用してもらうことである。#8000とは、夜間や休日に子どもの体調が急変して対応に困ったとき、この番号に電話することで小児科医や看護師から適切なアドバイスもらえるものである。しかしこの事業の認知度は低く、有効活用できていない。この事業を多くの人に活用してもらうためにも、病院でのポスターの掲示やパンフレットの配布が必要であると考えられる。またこれを通して適正受診につなげていくことが大切である。

\* 図5参照



図5

・ NICUの病床不足解消のために

病床不足解消のために保育器などの医療器具を増やすことはもちろん、行政や地域の医療スタッフと協力して早めに在宅医療に移行することが必要である。確かに未熟児で生まれた子や障害をもって生まれた子の親たちの中には、在宅医療に対して大きな不安を抱く人も多い。だから在宅医療の連携システムを各地域でしっかりと整えて、それを患者の家族と共有し、いつでも不安なことを相談できる環境を作ることが必要である。例として挙げられるのが、保健師やケアマネジャーへの相談である。これはNICUに入院していた子どもだけでなく、在宅医療を行うすべての患者に対しても言えることだ。

\* 図6参照

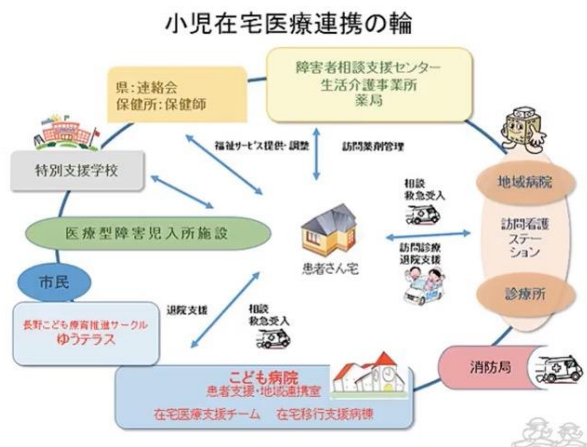


図6

第4章

○まとめ・考察

現代の日本の小児医療には、数多くの課題があることがわかった。今後の日本において小児医療の充実を図っていくには、行政機関と各大学、そして地域の医療ネットワークの連携がより一層重要になってくると感じた。そして、できるだけ早く各地域で小児医療の体制を整えることが必要だと考えた。また、行政による適正受診への誘導は小児科の医師不足に対応できるとともに、救急医療の有効な利用にもつながると考えた。現在の日本では医療費の多くが税金によってまかなわれているが、小児科に限らず、すべての診療科で適正受診を促すことで日本の経済への負担を減らすことができるのではないだろうか。また、多くの人が小児医療の課題を認識し、さまざまなサービスを利用することが重要だと考える。これらのことを実行していくことで、これからの小児医療を支え、より良い医療を提供できるようになると思う。ただし、今後の小児医療の発展を考えたときに課題となるのが財政面の問題である。需要と財政面のバランスを見極めながら、設備を整えていくことが必要だ。最後に、今後の医療分野においては、住民と医療従事者、そして行政が一体となって医療ネットワークを作り、地域主体の医療を展開していくことが重要だと考える。

参考文献

[日本小児科学会](http://www.jpeds.or.jp/)

<http://www.jpeds.or.jp/>

[厚生労働省「人口動態調査」](http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html)

「第7次医療計画における取組状況」

<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html>

## 寿命を司るものとは

3年理数科 1名

はじめに

医療行為の存在意義ともいえる命という概念の中で最も普遍的で不可避なものであると認知されているであろう「寿命」について、私は医療従事者を志す上で深くこのことについて知り、本当に不可避なものなのか調べたいと思った。また、寿命の延長及び保存が半永久的に可能になればそのことが人類にもたらす恩恵は言うまでもなく多大なものであろうと考えた。そこで、「寿命」の成立プロセスと、「寿命」の延長方法をおおまかに2つの観点から調べ、考察した。

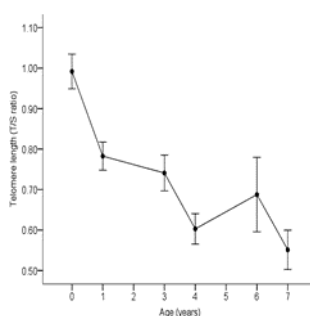
### 導入

・2つの観点というのは、「テロメア」と「解糖系亢進」である。

・テロメアとは、染色体の末端に位置する翻訳されない連続的な塩基配列からなる小粒子である。細胞分裂の際に少しずつ消耗され、長さが5 Kbp (bpは1塩基対)ほどになると細胞分裂が停止する(ヘイフリック限界)。テロメア配列延長は特異的RNA逆転写酵素であるテロメラーゼが担い、テロメラーゼ大量発現により細胞老化は抑止される。

テロメアがヘイフリック限界によって細胞寿命を制限していると考えられるため、テロメアを伸長及び保護できれば寿命を延ばすことが可能ではないかと考え、2つの観点のうちの1つとしてテロメアに着目した。

・テロメアの長さや寿命の長さの関係についてはBritt J. Heidingerらがキンカチョウという小鳥を用いて調べた。すると、初期の成長期が終わる生後25日に近いほど、つまり早期のライフステージにおいてテロメアは寿命予測因子として十分有用であること、年を重ね後天的なダメージを受けたテロメアから寿命を予測するのは困難であることがわかった。この結果は裏を返せば、ライフステージ初期のテロメアの長さをライフステージ後半で維持・獲得することができれば細胞は生まれた当時とほぼ同等の余命を維持・獲得できる可能性があることを示唆していると考えた。

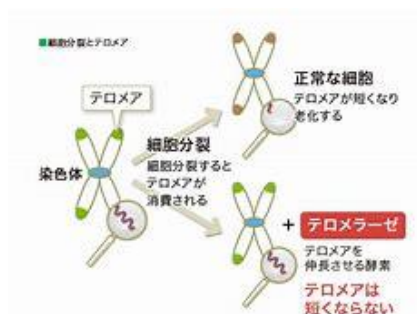


↑細胞とテロメアの長さの関係

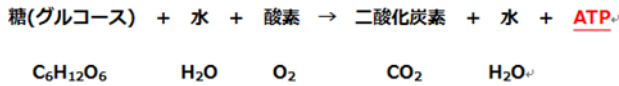
・解糖系とは、生物のエネルギー生産様式の一つである。呼吸と解糖系はどちらもエネルギー源(ATP)を得るための反応であるが、両者には次のような差異がみられる。

呼吸は電子伝達系において酸素を用いるため、酸素との単純接触の機会が多くなり、酸化ストレスを受けやすい。普通の細胞は酸素が十分量あるとき解糖系よりもエネルギー効率の良い呼吸を優先的に行う(パスツール効果)ため、解糖系を亢進する細胞と比べて酸化ストレスの蓄積が多い。

一方、解糖系は酸素を用いないため、酸化ストレスを受けにくい(活性酸素との接触の機会が少ない)というわけである。



## 酸素を使った呼吸の反応式



ここで酸化ストレスに関する説明を少ししておこうと思う。酸素は外部からの様々な刺激を受けて反応性の高い活性酸素に変化する。活性酸素の過剰生産は様々な疾患を引き起こす原因となるため、それを防ぐために生体内には抗酸化防御機構が備わっている。酸化ストレスとは、活性酸素の量が抗酸化防御機構の抗酸化能力 (capacity) を上回った状態のことを指すものである。

・解糖系の亢進は同族の動物に比べ異常な寿命の長さを持つハダカデバネズミや、不死化細胞であるがん細胞のワールブルグ効果に象徴されるように、細胞寿命延長に関与していると考えられる。この解糖系亢進を通常の体細胞で起こすことができれば細胞寿命延長が可能であろうと考えた。

・ワールブルグ効果とは、がん細胞が低酸素状態において、酸素を必要とする呼吸よりも解糖系を亢進する効果のことである。

元来がん細胞の中心部に部分的に起こる低酸素状態によって好氣的なエネルギー生産量の低下を、嫌氣的なエネルギー生産様式である解糖系を亢進することで補おうという、低酸素適応のためのものだという見解だったが、通常酸素分圧下 (O<sub>2</sub> 20%) でも解糖系を更新することから、低酸素適応だけではワールブルグ効果を説明できないことが後に判明した。これがワールブルグ効果の矛盾である。現在では京都大学の近藤先生らの研究結果から、解糖系亢進は細胞老化抑制と抗酸化ストレス効果の獲得が目的であるとされている。

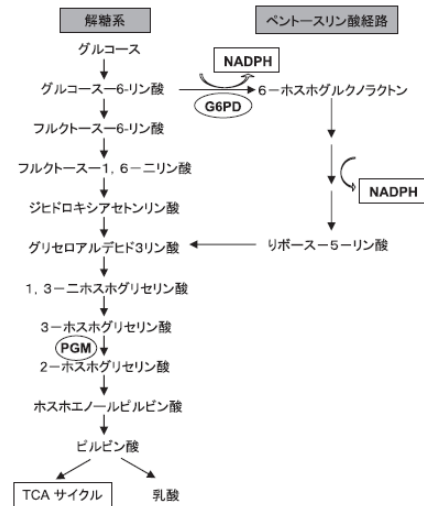


図1 解糖系代謝経路とペントースリン酸経路の模式図

## 研究結果

・マウスのテロメア長はヒトに比べ非常に長い (約5倍)。しかし、マウスの初期線維芽細胞 (MEF) はヒト初期線維芽細胞に比べて急速に細胞老化し増殖停止する。よって、テロメア長以外に細胞老化に影響する因子の存在が考えられる。京都大学の近藤先生らは、ワールブルグ効果の矛盾に着目し、解糖系に細胞老化に関わる何かがあるのではないかと睨んだ。そこで、MEFを用いて、解糖系で働く酵素の一つであるホスホグリセリン酸ムターゼ (PGM) 遺伝子の発現量と解糖系亢進及び細胞老化の程度を調べる実験を行った。

この実験では解糖系が細胞老化にもたらす影響を調べるため、体細胞 (ここではMEF) において様々な解糖系の代謝レベルで実験を行うことで解糖系と細胞老化との関係性を示す必要があったため、近藤先生らは解糖系酵素の一つであるPGMの発現のレベルを調節することで、解糖系自体の代謝レベルの調節を行ったのである。

そうした結果、図1に示す通り、解糖系亢進と細胞老化に反比例の関係が見受けられた。これより、解糖系亢進による細胞老化抑制効果が明らかになった。解糖系亢進による細胞老化抑制の最大の要因として抗酸化ストレス効果が考えられ、これらのことからワールブルグ効果の新たな科学的知見 (解糖



系亢進による細胞老化抑止と抗酸化ストレス効果)が見出された。

図1	解糖系	細胞老化
PGM過剰	亢進	抑制
PGM少量	抑制	促進

## 考察と課題

・寿命は細胞老化と密接な関係にあり、図2に示されるような様々な因子や解糖系などの反応経路が成立プロセスとなっていた。

ワールブルグ効果の新たな科学的知見から解糖系亢進が細胞がん化を誘導する可能性を見出した。これより、解糖系と細胞がん化の関係性の全容を解き明かすことが寿命の延長、さらにはがん予防にもつながる1つの重要な課題になると考えた。

テロメアの延長については、体細胞では逆転写酵素(テロメラーゼ)の発現を調節する仕組みが備わっておらず、強制的な活性化が難しいという点が課題である。理論上は人為的に別のプロモーターを付加したテロメラーゼ遺伝子群を導入することにより細胞の不死化を行うことができるとされているが、テロメア延長だけでは抗酸化ストレスは得られず、図2に示されるように、酸化ストレスがテロメアの後天的ダメージ及び細胞老化誘導シグナルとなることから、細胞寿命を延ばすには、テロメア延長に加えて抗酸化ストレス効果の獲得、もしくは人為的な酸化ストレスの除去・予防を可能にすることが求められる。

つまり、酸化ストレスの除去・予防法が確立された上で、特定のプロモーターを付加したテロメラーゼ遺伝子群を全身の体細胞に導入する施術が確立することと、それに加えて解糖系とがん化の関係性を解明し、解糖系代謝亢進の人体への導入による安全性、寿命延長の可能性を研究していくことが、人類が長い間希求し続けた細胞寿命延長の概略的なメソッドになるのではないかと考えた。

## 終わりに

今回、寿命の成立プロセスと延長方法について「解糖系亢進」と「テロメア」という2つの観点から調べ考察していった中で、寿命に影響をもたらす様々な因子の存在とその相互作用や、科学的知見に基づく寿命延長の十分な可能性といった、大変有益で、現実的かつ夢があるような様々なことを見出すことができた。しかしながら、本文では「寿命」を「細胞寿命」と近似させて考えたり、一部の代謝機構にのみ注視して考えていたり、倫理的な問題については考えていなかったりと、まだまだ懸念すべき事象は多々存在する。そのため、私は今後もこのことについて調べ、あるいは自らが研究現場に立ってさらに深く追求していきたいと思う。

## 参考文献

近藤 祥司：代謝シフトによる細胞老化制御(2007)、エイジングにおける解糖系代謝(2009)

近藤 祥司、三河 拓己、稲垣 暢也：解糖系酵素 PGM とストレス酸化シグナル(2016)

Britt J. Heidinger, Jonathan D. Blount, Winnie Boner, Kate Griffiths, Neil B. Metcalfe, and Pat Monaghan: Telomere length in early life predicts lifespan(2011)

植村 浩：酵母(Saccharomyces cerevisiae)の解糖系の制御機構に関する最近の話題(1994)

## 認知症の告知から考える病気の告知の意義

3年理数科 1名

### はじめに

一年間メディカルコースとして活動してきて活動の一環で、少年への重病の告知について考えた。重病の少年に告知をすることに家族は反対するが、少年は自分の本当の病気を知りたがっている。そのような状況で自分が医師だったらどうすべきか考えた。さらに、病気の告知には、その社会の考え方や価値観が反映され、時代とともに病気の告知の在り方も変わってきており、今日ではがんの告知が進んでいることを知った。そこで、現代の大病であり、関心が高まっている認知症の告知はどうなっているのか、認知症特有の症状である認知機能の低下は告知にどのような影響を与えていて、がんの告知とどのような違いを生み出しているのか、また、そもそも告知を行う意義について考えてみたいと思った。

### 第1章 文献調査

#### ○告知の重要性について

現代では、医療技術の進歩により様々な病気に対する治療法が確立され、平均寿命が延びるとともに生活の質を高めようとする声が高まっている。また、高齢化が進み、緩和ケアや在宅ケアなどによる長期療養を行わなければならない人が増加した(図1)。図1から、2040年には既存病床数の2倍以上の入院が必要な患者があると予測され、多くの人が病院ではない場所で治療を受けなければならないことが分かる。これらのことからその後の治療方針を決めるうえで重要であるとして、病気の告知への関心が高まっている。それによって、患者の人権の尊重が重視され、それに基づく自己決定権、そしてインフォームドコンセントの重要性が主張されるようになった。

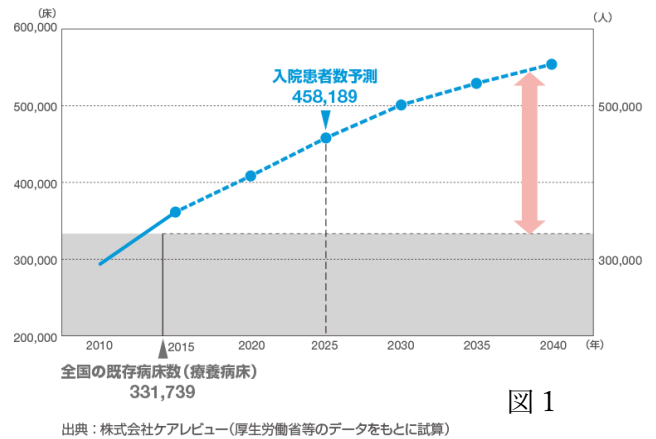


図1

### 第2章 研究

#### ○日本における告知の現状

がんの告知はかなり進んでいる(図2)。1980年代にはがんの告知率は約15%だったが2013年には約70%ほどになっていることが分かる。がんの告知が進んでいる背景には、がんというものが治る病になってきたことが大きい。がんの5年生存率は大きく改善されてきている(図3)。生存率は1960年から2000年までの間に男性は約30%、女性は約15%ほど上昇している。また、告知を受けたほうが自分の病と正しく付き合えるという考え方が強くなってきたことなどが考えられる。がん告知のメリットとデメリットは何だろうか。メリットは一番は患者が前向きに病気と向き合えるようになることだ。その他には地域医療の連携において患者が自分の病気を知らないことは不都合であること、がんの告知による精神的ショックは一時的なものであるが、周りの人が本当のことを教えてくれていないのではないかという不信感、孤独な気持ちは続いていくものであるということ、亡くなる前にやっておかなければならないことや準備をしやすいことなどがある。デメリットは、その患者への精神的ショックが計り知れないものであることだ。患者が告知を受けて前向きになれるのかそれともつらさを引きずってしまうのかそれが告知をする前には分からないのが告知の難しさだと思う。

図2 日本におけるがん患者への病名告知率の推移

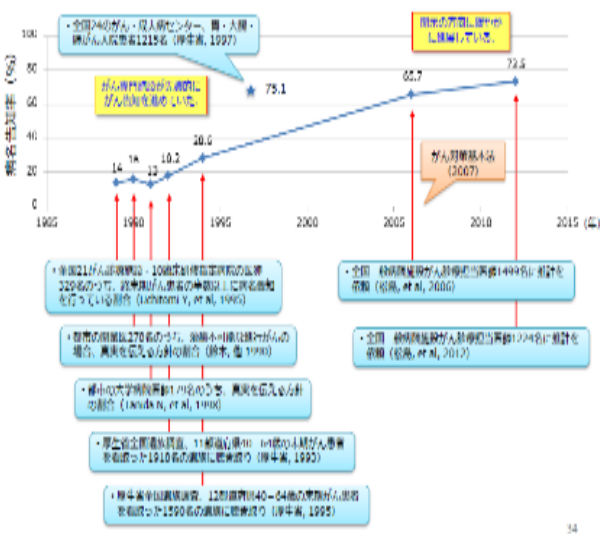
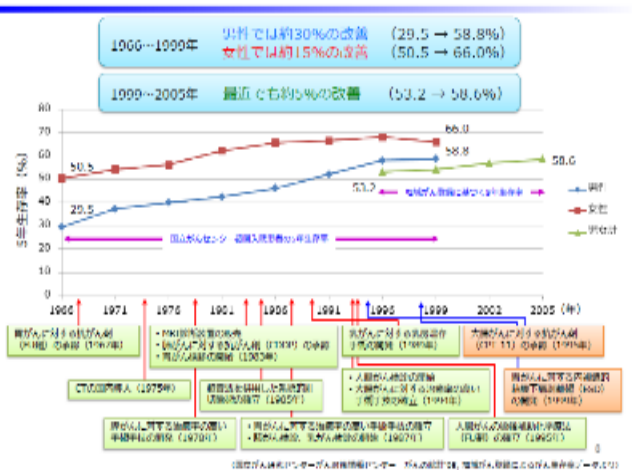
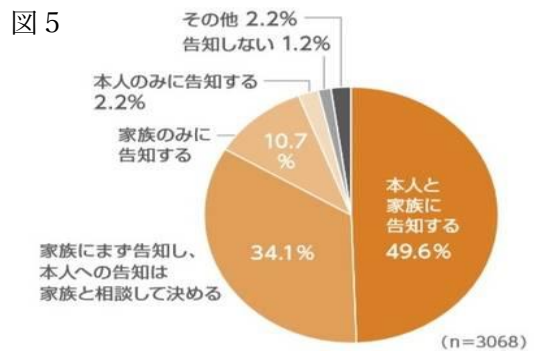


図3 がん患者の5年生存率は大きく改善してきている



認知症は完治は難しく私たちがともに付き合っていかなければならない病気であると思う。だからこそ認知症の告知というのは必要なことだと思うが、認知症の告知には大きな壁がある。それは、患者の認知機能の低下が伴うことだ。認知症の告知をしない医師には、患者に伝えてもこちらの言うことが理解されない、自分が認知症であるという部分ばかりが強く認識されてしまって患者の得することがあまりないのではないかと考える医師が多い。実際、認知症を告知する医師の割合は、5割ほどでがんに比べると低い。



認知症の告知の場合、多くの医師が家族に相談してから告知を決めるという場合が多い(図5)。なぜなら認知症は発覚してから家族の支援を必要とするものであり、家族の意見というのは大切なものだからだ。しかしここで見てほしいデータがある(図6)。

○認知症の告知について

現代の大きな病に認知症がある。認知症の患者は年々増加傾向にある(図4)。2060年には現在の1.5倍から2倍ほどの認知症患者がいると予測されている。

図4

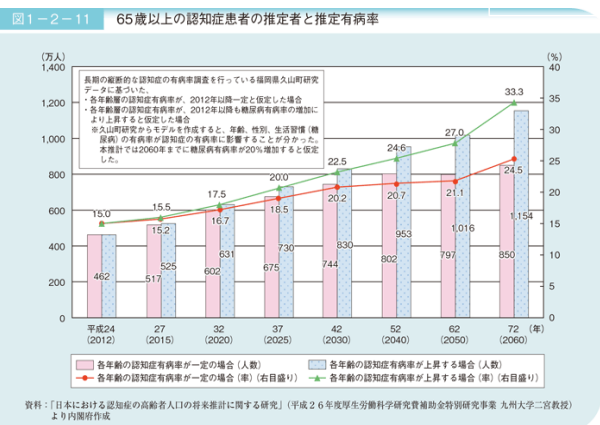


図6

表3-1 がん告知に対する世論調査(朝日新聞2000/9/27)

問1 医師は患者本人に癌であることを	
知らせたほうがいい	53%
知らせないほうがいい	24%
問2 あなたは癌にかかったら	
知らせて欲しい	76%(59)
知らせないで欲しい	19%(34)
問3 家族が癌になったら	
本人に知らせる	37%(21)
知らせない	46%(64)

「もし自分のがんになったら告知してほしい」人は76%で多いけれども、「もし家族ががんになったら本人に告知をしてほしい」人は37%、「本人には知らせない」人が46%であり、自分が病気になったら告知をしてほしいという人は多いけれども、自分

の家族が病気になった場合は告知はしてほしくないという人のほうが多いのである。よって家族の意見のみによって告知をするか判断するのはふさわしくないと思う。まして認知症の場合であればなおさら、その後のサポートをしていくのは家族なので病気ということを知らせないほうがサポートをしていきやすいなど家族の意見が入ってしまうかもしれない。告知というのは、あくまで患者本人の意向に従って行われるべきだと考える。とするならば認知症の告知というのはどのように行われるべきなのであろうか。

私は認知症の告知には賛成で告知を行うことをスタンダードにしていくべきだと考えている。それは、患者本人のことを考えたときに、これからの長い闘病生活において、だんだんと今までできていたことができなくなっていく自分へのつらさやもやもやした気持ちのまま過ごすよりも、自分は認知症であることを受け入れて、認知症について正しく知り、できることに目を向けていくほうが幸せなのではないかと思うからだ。また、家族への告知も大切であると思う。なぜなら、それからサポートしていくのは、家族であって家族の同意は欠かせないものだからだ。家族に対して伝えるときに、告知について前向きに考えていただけるように説得をすることがこれからは大事になってくると思う。

## 終章 研究を通して考えたこと

認知症の告知について考えてみて、告知の意義というのは、その後に、最も患者の望む形の生活を実現させることにあったと思った。ただその患者が告知を望んでいるのかいないのかが告知前には分からないのが告知の難しさだとも感じた。一人ひとり告知に対する考えは違うから、家族で病気をする前に自分は告知をしてほしいのか相談しておくことがよい方法だと思う。

このような倫理的な問題に関しては、どちらが正しいかは分かりづらく、言うのは簡単だけれど実際にやるのは難しいことが多いと思う。今後は、実際の医師や認知症を経験した人の考えを聞いてみた

いと思っている。現場の方の意見を聞くことで新たに得られることがあると思う。この告知について以外にもまだまだ考えるべき問題がたくさんあると思う。今後はそれを考えていきたいと思っている。

### 参考文献

<https://manetatsu.com/2017/08/100739/>

<https://www.m3.com/open/iryolshin/article/660598/>

<https://medical.nikkeibp.co.jp/leaf/mem/pub/series/1000research/201911/563208.html>

<http://www.sbilife.co.jp/knowledge/guide/zaitaku/index2.html>



## 肺がんの治療法

3年理数科 1名

はじめに

私は肺がんの治療について調べてみようと思った。肺がんは日本の死因の最たるものだからだ。調査したところ、がん細胞のみを攻撃する「分子標的治療薬」や、免疫細胞を再活性化してがん細胞を退治する「免疫チェックポイント阻害薬」の登場で、困難だったステージ4の進行肺がんの治療も可能になるかもしれないということが分かったので、そのことについて詳しく調べた

### 第1章 分子標的治療薬

○肺がんの原因となる遺伝子変異の種類と分子標的治療薬

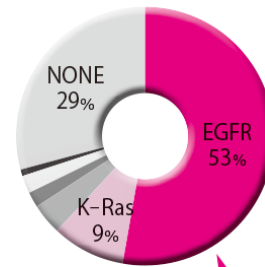
分子標的治療薬は、がん細胞の表面にある、増殖や転移などに関係する分子を標的にして、がんをねらい撃ちする薬。治療前に患者さんのがん細胞を採取し、遺伝子検査で分子標的治療薬が有効なタイプのがんなのか、そうでないのかを調べて、変異が認められた場合にはそれに対応する薬が使われる。

肺がんのドライバー・ミューテーションとしては、「EGFR遺伝子変異」と「ALK融合遺伝子」が代表的。EGFRの遺伝子変異に対しては、現在、ゲフィチニブ（商品名イレッサ）、エルロチニブ（商品名タルセバ）、アフィチニブ（商品名ジオトリフ）の3種の分子標的治療薬が承認されている。EGFRの次に見つかったのが、ALK融合遺伝子で、この分子標的薬にはクリゾチニブ（商品名ザーコリ）とアレクチニブ（商品名アレセンサ）がある。なお、EGFR遺伝子変異やALK融合遺伝子がない肺がんの患者さんには、これらの薬はあまり効果がない。日本人の場合、肺がんの患者の約半分が腺がんで、その半分がEGFR遺伝子に変異がある陽性である。この比率には人種差があり、特に東アジア人には陽性の人が多く、白人は15%くらい。また、イレッサは喫煙歴のない女性の腺がん患者さんによく効くといわれている。ALK融合遺伝子陽性は腺がん患者さんの

4～5%である。

### 腺がんの患者さんの遺伝子異常

資料提供/順天堂大学大学院医学研究科呼吸器内科



日本人の腺がんの半数以上はEGFR遺伝子変異陽性なので、薬（イレッサ、タルセバ）が効きやすい。

○分子標的治療薬の薬剤耐性の問題

EGFR遺伝子変異が陽性の患者さんに、効果が見込まれるイレッサやタルセバ、ジオトリフなどの分子標的治療薬を投与しても、多くの場合、8～14カ月すると治療効果がなくなってきてしまう。がん細胞がこれら分子標的治療薬に対して耐性を獲得してしまうからだ。こうした患者さんからがん細胞を取って遺伝子を調べると、約半数の患者さんで、T790Mという耐性遺伝子（抵抗力を与える遺伝子）が陽性になっていることが分かったため、T790M陽性となったがんに対して効果がある薬としてオシメルチニブ（商品名タグリソ）が開発され、臨床で使えるようになった。この薬は、一時的にはがんが画像上ほとんど消えてしまうほどの劇的な効果があるが、1年前後使っているとまた耐性ができてしまうケースがほとんどである。しかしこの耐性遺伝子も見つかっており、現在、薬剤が開発されている。

○肺がんの分子標的治療薬の副作用

分子標的治療薬は、従来の抗がん剤に比べると正常細胞へのダメージが少なく、副作用が少ないというメリットもある。ただし、確率は低いとはいえ、間質性肺炎などの重篤な副作用を起こすことがあるため注意が必要である。

### 第2章 免疫チェックポイント阻害薬

○免疫チェックポイント

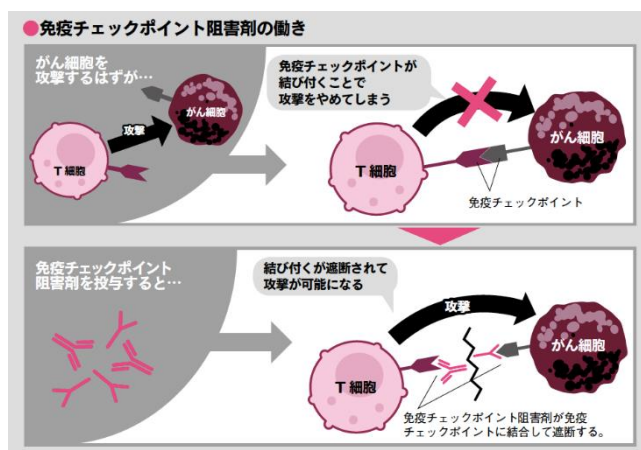
T細胞は、細菌やウイルスなどの異物が体内に入

ってくると、樹状細胞のようにそれを知らせる抗原提示細胞を通じて、異物の情報を得る。このとき樹状細胞は司令塔の役目を果たし、T細胞を活性化したり、働きを抑えたりして、コントロールしようとするが、がん細胞は、このT細胞の働きを抑える機構を巧みに模倣しようとするのだ。抑制の信号を送るための樹状細胞のリガンドと同じリガンドをがん細胞が出すのである。がん細胞が出した抑制信号を受け取ったT細胞の働きにはブレーキがかかってしまう。この機構が、免疫チェックポイントである。

T細胞の受容体で免疫チェックポイントに関係するものには、PD-1、CTLA-4などがある。一方、これに合致するリガンドでがん細胞にも発現しているものにはPD-L1があり、このPD-L1がPD-1にT細胞が働かないように信号を送る。

#### ○免疫チェックポイント阻害薬

T細胞のブレーキのスイッチが入らないようにT細胞とがん細胞が結合するのを阻害する薬が免疫チェックポイント阻害薬である。



日本では、根治切除不能な悪性黒色腫にニボルマブ（オプジーボ）とイピリムマブ（ヤーボイ）が、切除不能な進行・再発の非小細胞肺癌にニボルマブが承認されている。他社の抗PD-1抗体や、抗LAG-3抗体、抗PD-L1抗体、抗OX40抗体などが各国で治験段階にある。転移して打つ手がなくなったがん患者さんに長期生存が可能な薬が登場して世界中の期待を集めている。

免疫チェックポイント阻害薬は、現時点では一定のがん種にのみ有効とされ、どのようながん種に有効か

は、各国で研究が進められている。この薬剤の大きな特徴の1つに、従来の治療に比べ、副作用の頻度が少ない点が挙げられる。しかし、ときには、I型糖尿病や間質性肺炎などの重篤な副作用を起こすこともあるので注意が必要だ。

もう1つの特徴があり、効果がある人には、その効き目が長持ちするという点だ。

例えば、進行性の悪性黒色腫の患者さんの約2割が10年を超えて生存しているとのデータもある。免疫チェックポイント阻害剤は直接がん細胞を攻撃するものではなく、T細胞に働きかけてがんをたたく薬のため、耐性の問題が起こりにくいと考えられる。

#### 終章

今後の課題としては、薬価が高い点をどうするかということが挙げられる。

保険が適用されるため、患者さんの負担はそれほど重くはないが、今後、適応範囲が広がれば、国の保険財政がもたなくなりそうだ。

また、免疫チェックポイント阻害剤については、単独での奏効率は2～3割といわれる。これは、そもそもがん患者さんでは健康な人に比べて、攻撃する免疫が十分に機能していないことも一因と考えられる。このことから、患者さんの免疫細胞を体外で活性化させて体に戻す「免疫細胞治療」と組み合わせれば大きな効果が得られるのではと期待されている。ただし免疫チェックポイント阻害剤は、実際の治療で使われるようになってからまだ日が浅い。そのため、今後期待される併用療法を安全に、効果的に行うためにも、慎重に研究を進める必要があるだろう。

#### 参考文献

##### [肺がん治療最前線](https://gan-mag.com/lung/6180.html)

<https://gan-mag.com/lung/6180.html>

##### [免疫の働きを復活させるがん治療薬](https://gan-mag.com/immunooncology/5834.html)

<https://gan-mag.com/immunooncology/5834.html>

## 編集後記

令和2年度理数科3年課題研究論文集は、理数科の生徒が2年生から取り組んだ課題研究の成果をまとめたものです。サイエンスコース生はこれまでの研究を、メディカルコース生は3年生4月以降に新たに設定したテーマについて、この論文集にまとめました。

今期の理数科生はSSH指定6期生、またメディカルコース3期生となります。1年生では研究機関より講師を招いての講演や、様々な実験講座を体験してきました。これらの経験を踏まえ、2年生の始めに研究テーマを決定し、研究に入りました。

2年生の12月には中間発表会を終え、年を明けて研究もいよいよ仕上げに入るという時に、新型コロナウイルスが流行しました。感染予防のため令和2年3月～5月中旬まで生徒はほぼ自宅待機が続き、課題研究の授業は満足にできない状態となりました。例年4月に校外の施設を借りて行っていた発表会は6月に延期され、外部からの講師は招かずに校内での発表会に縮小せざるを得ませんでした。7月に予定されていた県内のSSH校による課題研究発表会や、8月に予定されていた一堂に会しての全国SSH課題研究発表会も中止となりました。

令和元年12月27日(金) 北信越SSH課題研究指導力向上研修会
----------------------------------

課題研究中間発表会
-----------

本校にて
------

令和2年 6月16日(火) 課題研究発表会(メディカル)
------------------------------

本校にて
------

令和2年 6月23日(火) 課題研究発表会(サイエンス)
------------------------------

本校にて
------

このような状況下においても、生徒達は放課後や休日を利用して時間を編み出し、課題研究に取り組みました。全国SSH課題研究発表会はリモートで行われ、日本学生科学賞にも出品することができ、以下のような評価を得ました。

### <SSH全国課題研究発表会>

- ・審査委員賞 「回転水槽実験における流体内部の可視化」

### <第64回日本学生科学賞 新潟県大会>

- ・優秀賞 「音波消火器」
- ・奨励賞 「水平方向の振動におけるブラジルナッツ効果」  
「冷凍庫人工雪発生装置の作成」

SSH課題研究の取り組みは、自然科学や科学技術の発展に貢献する人材育成の一環として実施されていますが、本校からもこのような人材が一人でも多く現れてくれることを期待してやみません。最後に、課題研究に御協力いただいた各位に深く感謝を申し上げます。

(笠原 拓司)