令和元年度指定
スーパーサイエンスハイスクール

令和２年度

課題研究集録

令和３年３月

岩手県立一関第一高等学校・附属中学校

目　　次

理数科３年

普通科２年

クモの糸の有用性を探る

～繊維としての素質～

岩手県立一関第一高等学校理数科３年
阿部夢羽　佐々木那琉　下村星璃花　鈴木秀香

要約
　私たちは，クモの糸を繊維として利用するときの有用性について，強度，染色，水に濡らしたときの縮み方に着目して調べた。その結果，強度と水に濡らした時の縮み方には，特異的な性質を見出すことができなかった。 染色については, クモの糸は洗浄しても色が落ちしにくいという性質が見られた。
〈キーワード〉　クモの糸　強度　染色　縮み

Finding the usability of spider thread

－Nature as a fiber－

ABE Yu　SASAKI Naru　SHIMOMURA Serika　and　SUZUKI Shuka

ABSTRACT
We were shocked by the strength of the spider’s thread. In this study, we examined how strong it is when using spider‘s thread as a fiber, focusing on strength, dyeing, and how it shrinks when wet. As a result, strength and shrinkage upon wetting with water did not show any specific properties, but dyeing showed no discoloration.
Keywords:　spider thread, strength, dyeing, shrinking

１　はじめに
　私たちは，直径 1cm に束ねたクモの糸がジャンボジェット機 1 台分を支えることができると知り，クモの糸の強さに興味を抱いた。クモの糸は現在，衣類の繊維に応用するための研究がすすめられ，実用化も行われている。多くの企業がクモの糸の研究をしているが，その多くは何らかの化学物質を混ぜて，クモの糸をより強いものにしようとしているものがほとんどであり，クモの糸本来の強さに言及している研究は少ないと分かった。また，クモの糸が既存の繊維より強いとは信じがたい。そこで，ほかの繊維と比べて，繊維にするのにどの点で優れているのかを比較しようと考えた。私たちは，強度，染色，水に濡らした時の縮み方に着目し，実験を行った。

２　研究方法
　１）　強度についての実験
　【使用器具】
・クモの糸
・綿
・イージーセンス　力センサ（株式会社ナリカ）
・スタンド
・クランプ
・モーター
・電池
・導線
・糸撚り機（Fig.1）
（電動消しゴムの消しゴム部分を取り，その部分にフックの形に巻いた針金を取り付けたもの）

Fig.1 Thread twisting machine

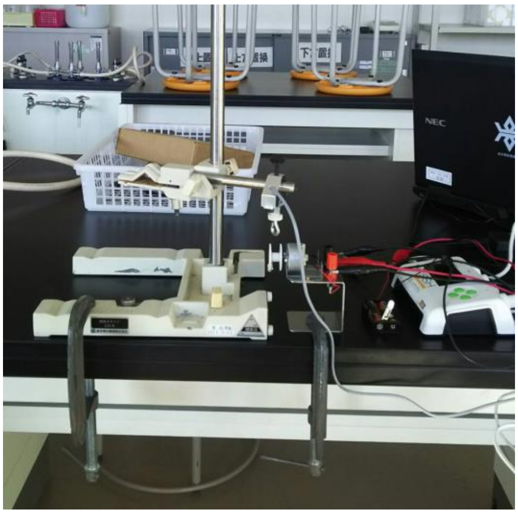


Fig.2 Experiment equipment

【実験方法】

クモの糸の強度を知るために，糸撚り機を用いて，クモの糸を 1 本, 2 本, 4 本, 6 本, 8 本で撚り，それぞれの糸を力センサにひっかけて，モーターの回転を利用して引っ張り，力センサが示した力の最高値を比べた。また,比較対象として綿 1 本でも同様の実験を行った。

２） 糸の染色

【使用器具】

・クモの糸
・インディゴ
・アリザリン
・アンモニア水
・耐水性アクリル絵の具
　スクールガッシュ　ももいろ
（ぺんてる）
・蒸留水
・ビーカー
・多繊交織布（株式会社　ナリカ）
・ボーケンステインⅡ
（多繊交織布の付属の染色液）

【実験方法】

現在出回っている繊維とクモの糸は染まり方において，どのように違うかを調べるために，インディゴ，アリザリン，スクールガッシュ　ももいろ，ボーケンステインⅡに染める染色実験を行った。

インディゴは，お湯で溶かし，インディゴを溶質とした水溶液にした。

アリザリンは，アリザリン 1g と蒸留水 100ml の水溶液と,0.1ml の 28% 水酸化アンモニウムと蒸留水 100ml のアンモニア水を混ぜ, pH6.4 まで調整した溶液にした。

耐水性アクリル絵の具は，水と混ぜて水溶液とした。

ボーケンステインⅡは，水で 20 倍希釈し，ビーカーに入れて加熱沸騰させ，クモの糸と多繊交織布をそれぞれ 2 分間煮沸した。その後,流水で洗い，乾燥させた。

それぞれの染色液で染めた後，目視で色を見比べた。

３） 水に濡らした時の縮み方

【使用器具】

・クモの糸
・ペトリ皿
・ピンセット
・三角定規

【実験方法】

水に浸かった時間によって，クモの糸の縮み方がどのようになるかを調べるために実験を行った。

クモの糸の最初の長さを Fig.3 のように三角定規で測り，その後，ピンセットを使って水で満たされたペトリ皿にクモの糸を入れた。30 秒, 1 分, 1 分 30 秒の 3 回測定し,30 秒ごとに糸を取り出して長さを測り，また 30 秒

つけるということを 3 回繰り返した。

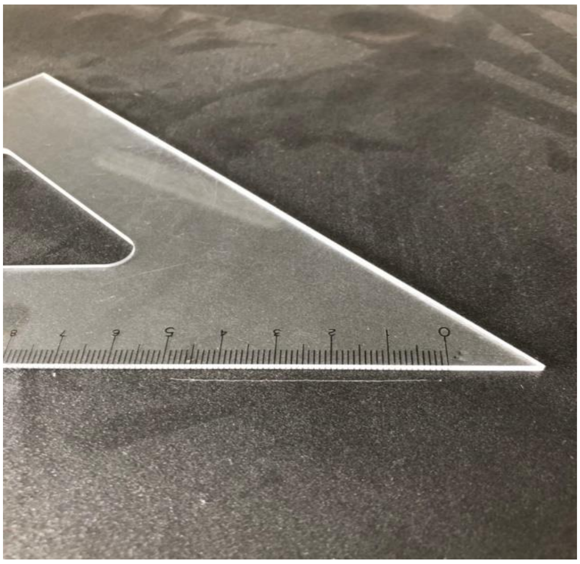


Fig.3 How to measure the thread

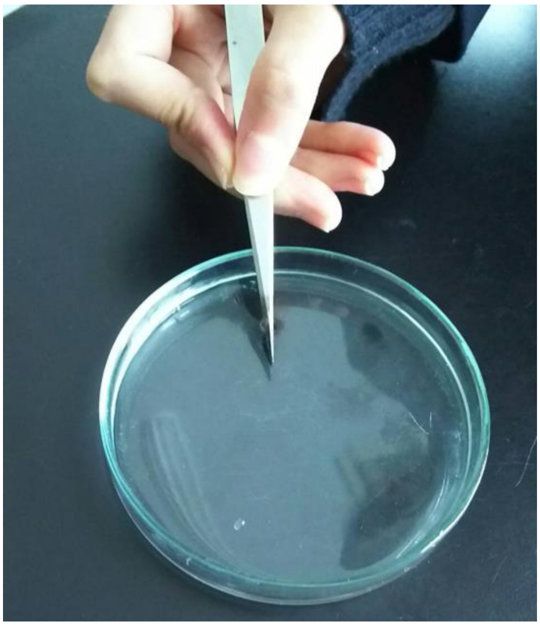


Fig.4 How to wet the thread

３　結果

１）強度についての実験

綿を使用し，人の力で引っ張る実験をした。

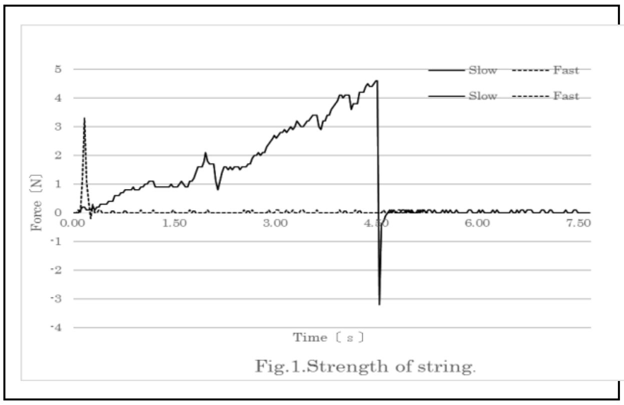


Fig.5 Strength of string

Fig.5 において実線は，人がゆっくり力を加えたとき，点線は人が勢いよく引っ張り,力を加えたときの力のかかり方をそれぞれ表している。このグラフから，ゆっくりと力を加えた方が勢いよく引っ張った時よりもかかった力が大きくなったことがわかる。

次に，人が引っ張った時の個人差をなくすため，代わりにモーターを使用した。

Table.1 Strength of spider thread and string

Number of spider thread					String
1	2	4	6	8	
0.1N	0.1N	0.1N	0.1N	0.2N	4.5N

Table.1 は，綿とクモの糸を引っ張った時の力センサが示した最大値を表している。なお，綿はモーターで切れなかったため，手で引っ張った時の最大値を示している。この結果から，束ねる糸の本数を多くするほど，クモの糸が耐えられる力の大きさが大きくなることが分かったが，クモの糸は綿 1 本が耐えられる力を上回ることができないことがわかる。

２）　糸の染色

インディゴを用いた還元染めは，インディゴが完全に溶けきらず，インディゴの粒

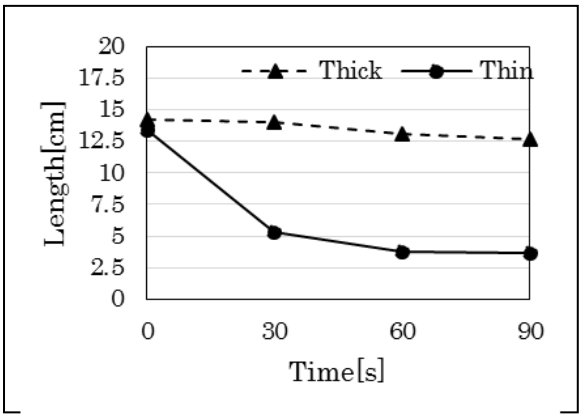
子が付着しただけになった。このことからインディゴによる染色は適さないと言える。

アリザリン，絵の具，ボーケンステインⅡによる染色の実験からは，他の繊維は染色剤本来の色とは異なった色に染まったのに対し，クモの糸は染色剤本来の色に染まることがわかる。よって，染めたときに染色剤の色から変色することはないと言える。

また，絵の具で染色して洗浄しても色落ちしないということがわかった。

３）　水に濡らした時の縮み方

クモの糸を使って実験を行った。



Difference of thickness.

Fig.6 は，糸の太さが違う時の水につけた時間ごとの縮み方を調べたものである。点線は太い糸，実線は，細い糸について示している。このグラフから，糸が太いほど縮みにくいことがわかる。

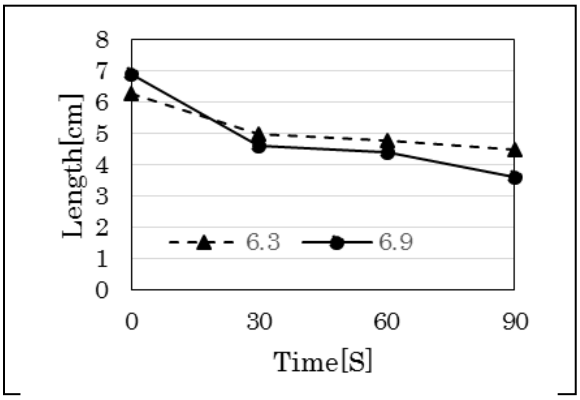


Fig.7 は，糸の太さが似ているときの水につけた時間ごとの縮み方を調べたものである。このグラフから，縮み方がほぼ同じであることが分かった。

4　考察・まとめ

１）　強度についての実験

クモの糸が綿の強度よりも小さくなった理由として，クモの糸自体の劣化が考えられる。我々は，クモが活発に活動する夏から秋にかけて大量にクモの糸をとったため，実験を行うまでに時間が経ってしまった。クモの糸の主成分はタンパク質であるため，糸自体の劣化が考えられる。また，とった糸は太さに大きくばらつきが見られたため，同じ本数を撚っても太さが異なったことも要因としてあげられる。

２）　糸の染色

クモの糸の主成分はタンパク質であるため，他の繊維とは異なり，染色剤が繊維の何らかの性質に反応することなく，そのまま色がつく。洗っても色落ちしない原因として，クモの糸は，１本といっても，その１本は，Fig.8 のように何本かかの極めて細い糸が絡み合ってできているため，その細かい隙間に入り込むことで色落ちしないと考えられる。

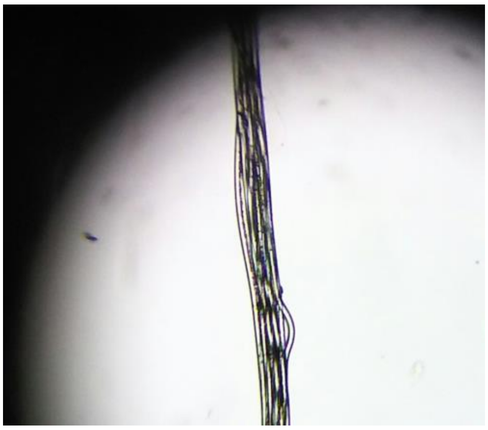


Fig.8 Structure of spider thread

倍率　15x10 倍（顕微鏡）

３）　水に濡らした時の縮み方

自然界にあるクモの巣は，端が木や柱などに固定されているため，雨が降っても縮

んで壊れることがないのではないかと考えた。また，糸が太いほうが縮みにくいのは，1 本を構成している極めて小さな糸が密に絡み合っているためだと考えた。

糸自体の縮みだけでなく，水につけたり，水から出したりしたときの衝撃も縮む要因だと考えられる。

5　今後の課題

1）　強度についての実験

今回は目視で綿 1 本と同じ太さになったということで，クモの糸を最大で 8 本まで撚ったが，正確に密度などを測ってそろえていきたい。しかし，そのためには測定する機械が必要である。また，綿 1 本と同じ力の強さを示すときのクモの糸の本数を調べてみたい。

2）　糸の染色

さらにたくさんの種類の，例えば，油絵具，藍染などを試してみたい。また，タンパク質の構造を理解し，最も適した染色剤を調べたい。

3）　水に濡らした時の縮み方

今回は，水から取り出した直後に長さを計測していたが，時間をおき，乾燥してからの計測も行いたい。

謝辞

本研究を進めるに当たり、ご指導いただいた君成田隆房先生には厚く御礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

参考文献

・理化学研究所
・クモの糸は夢の繊維！？最強の新種蜘蛛とクモの糸研究最前線
・日本家政学会誌　シリーズくらしの最前線 96

茶殻消臭効果の最適条件を探る

岩手県立一関第一高等学校理数科３年
小野寺創牙　河内勇弥　千葉俊
小野寺志織　小野寺玲

要約

私たちは，茶殻の消臭効果について興味を持ち，茶葉の種類，抽出回数，金属イオンの有無に着目して調べた。その結果，「紅茶」「抽出１回」「金属イオン有り」のとき，最大の効果を得た。これは，抽出によって成分が抜け，その隙間にアンモニアが吸着される「物質的効果」，発酵によって生じたテアフラビンが金属イオンと錯イオンを形成し，アンモニアを吸着する「化学的効果」によると予想した。

＜キーワード＞　茶殻　アンモニア　消臭

The best condition of deodorization effect by used tea leaves

ONODERA Sogo　KAWACHI Yuya　CHIBA Shun　ONODERA Shiori and ONODERA Rei

ABSTRACT

We searched deodorization effect by used tea leaves by changing kind of tea leaves, the number of extracted, metallic ions. As a result, once-extracted black tea leaves with metallic ion is the best. We considered that the components were come out by doing extraction and ammonia was absorbed into the space. Also, theaflavin make complex ions with metallic ions and decomposes ammonia by fermenting.

Keywords:　tea leaves　ammonia　deodorization

1　はじめに

お茶は，日本はもちろん，世界中で広く親しまれている飲料である。また，お茶に含まれる成分は様々な効能を持つことが知られており，がん予防や抗酸化作用，抗菌効果，消臭効果などがある。我々は，先人の知恵として古くから信じられてきた「茶殻の消臭効果」に注目した。実際に，茶殻による消臭効果を生かした製品は開発されているが，その効果の大きさに関する報告例は少ない。増田ら（2004）は，市販の緑茶・ほうじ茶・ウーロン茶・紅茶の４種類の茶を用い，それらを未使用と１回抽出に分けて実験をし，茶葉よりも茶殻の消臭効果が大きいと述べている。また，宮本ら（2013）は，緑茶のみを用いて，塩化ナトリウム・硫酸アンモニウム鉄(Ⅱ）六水和物・硫酸アンモニウム鉄(Ⅲ)十二水和物・硫酸銅(Ⅱ)五水和物・硫酸アルミニウム十八水和物・硝酸ニッケル六水和物の６種類の金属イオンを浸して実験し，金属イオンを含ませた茶葉，特に鉄(Ⅱ)イオン，鉄(Ⅲ)イオン，アルミニウムイオン，銅(Ⅱ)イオンの時に消臭効果が大きくなることを述べていた。

それらを踏まえて，私たちは茶殻を利用してより高い消臭効果を得るという目的のもと実験を始めた。具体的には，茶葉の種類や抽出回数・金属イオンの有無等によって効果に差が出るのかを調べる実験である。

発酵段階による効果の違いを調べるため，茶葉は緑茶・紅茶の２種類を用意した。金属イオンは硝酸アルミニウム・硝酸鉄（Ⅲ）・硝酸銅（Ⅱ）を使用した。硝酸アルミニウムについては，先行研究でアルミニウムイオンが最も高い消臭効果を示していたため，使用することにした。なお，陰イオンによる影響を無視するため，金属イオンはすべて硝酸化合物でそろえることとした。

2　方法

1）実験材料

1－a）使用した茶葉とその処理

市販の緑茶（トップバリュ〔日本産〕），

紅茶（日東紅茶〔インド，スリランカ産〕）を用いた。それぞれ未抽出の茶葉，1回抽出した後の茶葉を使用した。ここでいう「抽出」とは、茶を煮出す操作を意味している。抽出は，各種メーカーの推奨している煎れ方を参考にした。緑茶は茶葉 2g に対して沸騰した水 130ml の割合で 1 分間抽出した。また，紅茶は茶葉 2g に対して沸騰した水 150ml の割合で 1 分間抽出した。茶葉はお茶パックに入れ，熱湯を注いだ後はかき混ぜるようにして十分に茶の成分が液体中に浸出するようにした。その後、お茶パックの封を開けて広げ、それらを風通しの良い場所で十分に陰干しした。なお，乾燥の前後で質量が 80 パーセント以上減少することを「乾燥した」と定義する。

1－b）金属イオンの処理

金属イオンとして 1.0×10^{-3}mol/L の硝酸アルミニウム，硝酸鉄（Ⅲ），硝酸銅（Ⅱ）を使用した。茶殻と金属イオンの合成では，茶殻 4.0g を，それぞれの金属イオン溶液 20ml に 30 分間浸した。その後、抽出後と同様に乾燥の工程を行った。

1－c）臭気物質

今回は臭気物質として 15mol/L のアンモニアを使用した。なお，これは濃度変化を十分に観察するために，検知管の測定範囲を考慮した濃度である。マイクロピペット（CLEAR BOY〔株式会社エル・エム・エス〕）を用いて 130μL 測り取り，30mL の試験管の中に入れた。この時、試験管には三方活栓を差し込んだゴム栓を取り付け、活栓を通してアンモニアの封入、取り出しを行った。その後，ドライヤーで 1 分間加熱してアンモニアを気化させ，さらに 1 分間放置して試験管内の濃度を均一にした。アンモニアの検知には，気体検知管［株式会社ガステック（2.5ppm~60ppm）］を用いた。

1－d）実験装置

1Ｌのペットボトルの中で消臭実験を行った。気体注入のための穴をペットボトルの下部に開け，三方活栓を取り付けた。さらに､結合部のわずかな隙間を埋めるため、プラスチック用ボンド（GP クリヤー）を塗って気密性を高めた。また，ゴム栓に穴を 2 つ開け，初期値用と測定値用の 2 本の検知管を差し込んだ。それを飲み口に差し込み，十分に密閉した。実験装置を Fig.1 に示す。

Fig.1　Experimental device.

2）実験方法

2－a）実験条件

Table.1 に示すように，緑茶と紅茶の未抽出の茶葉と 1 回抽出した後の茶殻を，3 種の金属イオンにそれぞれ浸したもの，浸さないものに分け，計 16 種類用意した。消臭時間は 5 分間，10 分間，20 分間，30 分間と条件を変えた。なお，アンモニアの水に溶けやすいという性質上，湿度の高い雨の日は実験誤差防止のため、実験を行わなかった。

Table.1　Experimental sample

Kind	Number of extractions	Metal ions
Green tea leaves	0	－
Green tea leaves	0	Al
Green tea leaves	0	Cu
Green tea leaves	0	Fe
Green tea leaves	1	－
Green tea leaves	1	Al
Green tea leaves	1	Cu
Green tea leaves	1	Fe
Black tea leaves	0	－
Black tea leaves	0	Al
Black tea leaves	0	Cu
Black tea leaves	0	Fe
Black tea leaves	1	－
Black tea leaves	1	Al
Black tea leaves	1	Cu
Black tea leaves	1	Fe

2－b）実験手順

0.50g の茶殻と，気化させたアンモニア 7.0ml を注射器で Fig.1 の実験装置へ注入した。拡散のため 1 分間放置し，1 本目の気体検知管でアンモニア濃度の初期値を測定した。一定時間が経過した後，2 本目の検知管でアンモニア濃度を測定した。なお，施行の際には，茶殻がアンモニアと十分に

触れるよう，Fig.1 のように装置を倒して実験を行った。

3　結果

1）データの処理

検知管で濃度を測る際，実験装置内のアンモニアを一部吸引するため，検知管が示す値と実際のアンモニアの濃度に誤差が生じてしまう。その誤差を修正するため，茶殻を用いずにブランクの初期値と測定値の誤差を測定した。その結果を Table.2 に示す。

Table.2 experimental data of not using tea leaves

	default(ppm)	measured(ppm)	percentage(%)
1times	48.0	44.0	91.7
2times	63.0	58.0	92.1
3times	54.0	52.0	96.3
average	55.0	51.3	93.3

これより，以下の計算で実験値を補正し，初期値を 100%に揃えた。

$$\left(\frac{\text{測定値}}{\text{初期値}}\times 100\right)\times\frac{100}{\text{残存率の平均値}}$$

検知管の測定範囲が 2.5ppm~60ppm であるため，下限である 2.5ppm を下回ったものは極小であるとみなし，グラフ上では 0%と表記した。

2）ブランクとの比較

Fig.2 に，未抽出の緑茶を加えた時と，加えていないときのアンモニアの残存量を示す。茶葉を加えていない場合でも，30 分後にはアンモニアが 10%減少した。これは実験装置の隙間からアンモニアが漏れているためであると考えられる。一方，茶葉を加えたとき，30 分後にはアンモニアが 90%減少した。このことより，実験装置は完全には密閉できていないが，茶葉を加えた時の消臭効果を測定するには十分の機能を備えていることが分かった。

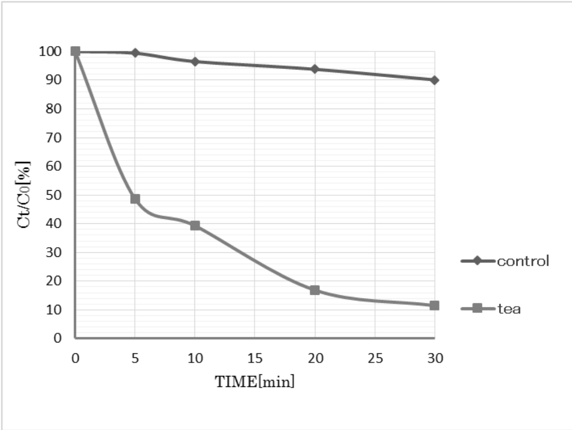


Fig.2 Remaining concentration of Ammonia at several time.
[Not extracted Green tea leaves & non-leaves]

3）実験結果

実験結果のグラフを Fig.3，Fig.4，Fig.5，Fig.6 に示す。

Fig.3 より，金属イオンを加えていない茶殻に比べ，金属イオンを用いた茶殻では早い段階で消臭効果が見られた。しかし，金属イオンの有無に関わらず 30 分後にはすべての茶殻でアンモニア残存量が 10%付近に収束した。

Fig.4 より，5 分の段階で金属イオンの有無に関わらず，アンモニア残存量が 20%を下回っている。10 分では，金属イオンを加えた茶葉と加えていない茶葉の差は，小さいことがわかる。

Fig.5 より，金属イオンを加えていない茶葉に比べ，加えた茶葉の方がより早く，大きな消臭効果が得られた。また，金属イオンを用いたものと，そうでないものの差が大きいことが分かる。

Fig.6 より，金属イオンの有無に関わらず 5 分の段階でアンモニア残存濃度が 15%を下回っており即効性があるといえる。加えて，4 種のグラフはほぼ同じような軌道をたどった。

Fig.3 と Fig.4，Fig.5 と Fig.6 のそれぞれを比べると，どの茶葉でも抽出後に消臭効果が向上していた。

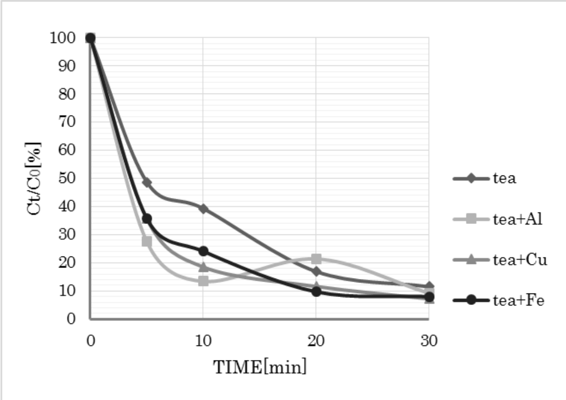


Fig.3 Remaining concentration of Ammonia at several time.
[Not extracted Green tea leaves]

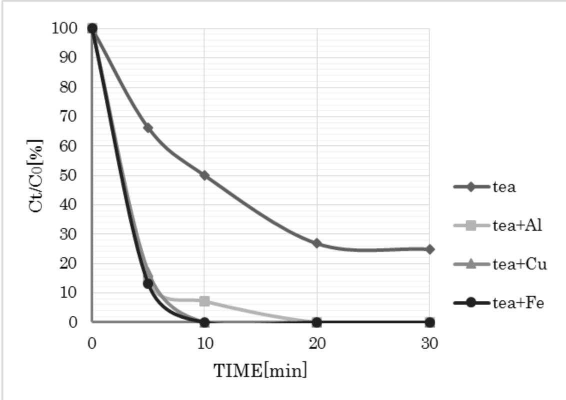


Fig.5 Remaining concentration of Ammonia at several time.
[Not extracted Black tea leaves]

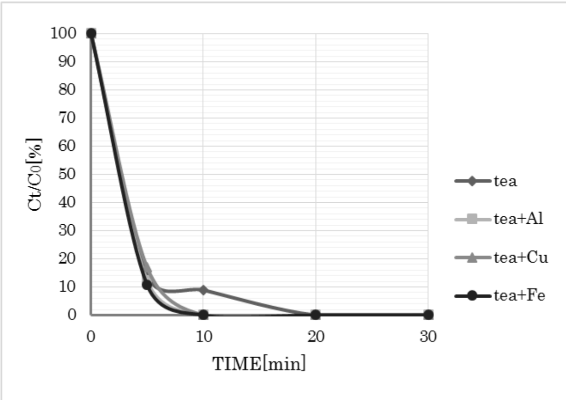


Fig.4 Remaining concentration of Ammonia at several time.
[Once-extracted Green tea leaves]

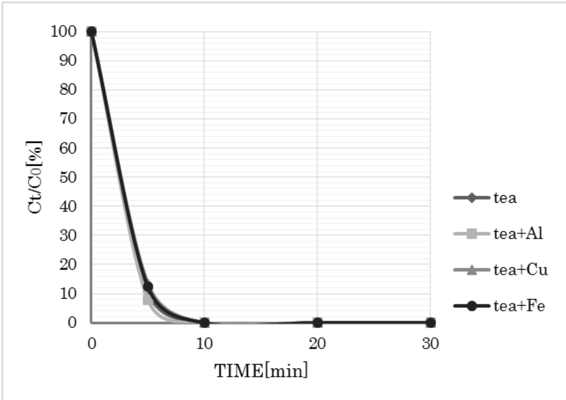


Fig.6 Remaining concentration of Ammonia at several time.
[Once-extracted Black tea leaves]

また，Fig.3 と Fig.5 より，未抽出の茶葉に金属イオンを用いることによる消臭への有用性も見受けられる。金属イオン処理をしたものに注目すると，今回はアルミニウムイオン，銅(Ⅱ)イオン，鉄(Ⅲ)イオンの 3 種類で実験を行い，消臭効果の増大が認められた。しかし，種類の違いによる消臭効果の大きさに差はみられなかった。

よって，種類に関係なく金属イオンを含ませた茶葉は大きな消臭効果を持つことがわかる。

4 考察

以上の結果を踏まえると，我々が得た茶殻消臭効果の最適条件は「紅茶」「抽出 1 回」「金属イオン有り」であった。

そこで消臭効果を増大するための要因について 2 点考察をした。

1 点目は，「抽出」が茶殻に及ぼす影響である。緑茶，紅茶ともに抽出 1 回の茶殻に大きな消臭効果があったことから「抽出」による茶殻の変化が消臭効果の大きさに関わっていると考えられる。一般に，抽出過程において茶葉中に含まれる多くの成分は液体中に溶脱する。その物質が抜け出た後には茶殻の表面に多数の細孔が存在していると考えられる。よって茶殻にアンモニア分子が接触することで，比較的分子量の小さいアンモニアは茶殻の細孔に取り込まれるという消臭のメカニズムが予想される。したがって，茶殻による消臭とは茶殻の表面構造が臭気物質を吸着する

物理的消臭であると考えられる。

2 点目は，茶葉の「発酵段階」による影響である。茶葉は発酵段階によって大きく 3 種の烏龍茶，完全発酵の紅茶がある。この場合の「発酵」とは一般的な意味合いとは異なり，茶葉中の酸化酵素を活性化することによりカテキン類の重合体を形成すること，と定義されている。

茶葉中のカテキンも主に 4 種に分類されるが，緑茶中にはその内のエピカテキンとエピガロカテキンがそれぞれ 1 分子の状態で存在している。それらが重合し，エピカテキンとエピガロカテキンからなる 2 分子の物質，テアフラビン(縮合型タンニン)が多く含まれているものが紅茶である。エピカテキン，エピガロカテキン，テアフラビンの構造式をそれぞれ Fig.7，Fig.8，Fig.9 に示す。つまり，発酵によって緑茶と紅茶に含まれる主要成分は大きく異なるといえる。我々の研究結果を踏まえると，無金属の茶葉においては緑茶の消臭効果が大きかったが，金属を加えた茶殻に関しては紅茶が高い消臭効果を示した。主要成分の違いと絡めて考察すると，カテキン類と金属イオンの組み合わせより，テアフラビン(縮合型タンニン)と金属イオンの組み合わせにおいて効果が高まるのではないかと予想される。したがって，テアフラビンと金属イオンの強い結びつきが，臭気物質を吸着，または分解する化学的消臭であるとも考えられるのではないか。

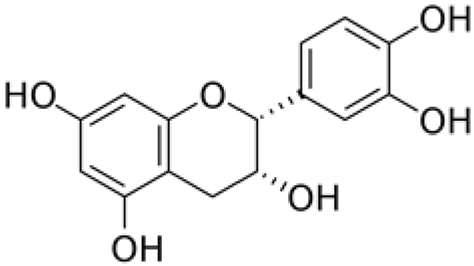


Fig.7 Structural formula of epicatechin.

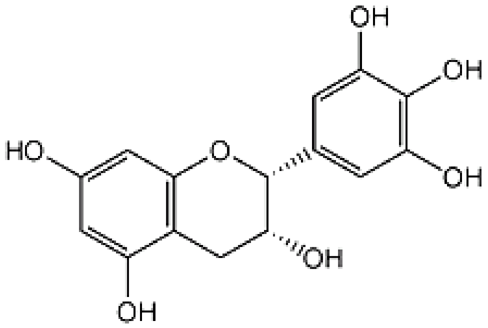


Fig.8

Structural formula of epigallocatechin.

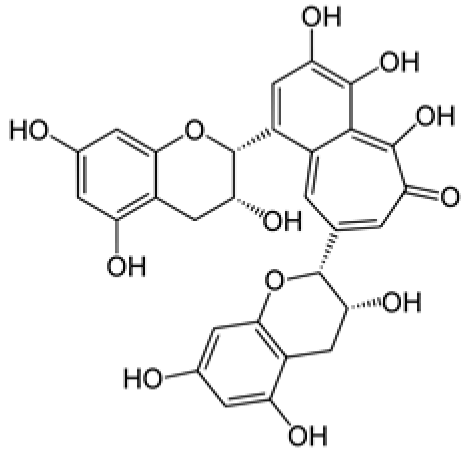


Fig.9 Structural formula of theaflavin.

5　まとめ

我々は茶殻による消臭効果に注目し，その効果がより大きくなる条件を見つけるために研究を行った。条件として，茶葉の種類や抽出回数を変えて違いを観察した。また、消臭効果を持つとされる金属イオンとの併用も試みた。実験には臭気物質の代表例ともいえるアンモニアを用い，実験前後の濃度の減少率で比較した。結果として，先行研究では注目されていなかった，「紅茶」「抽出 1 回」「金属イオン有り」において最大の消臭効果を得た。そのほかには，全体を通して抽出後の茶殻に，大きく即効性のある消臭が見られた。また，今回は代表的な金属として知られるアルミニウムイオン，銅(Ⅱ)イオン，鉄(Ⅲ)イオンを用い，効果の大小を比較しようと試みたが，今回の実験では効果の優劣を判断することはできなかった。ただ，金属イオンには一様に消臭効果を高める作用があることが分

かった。我々は以上の結果から，茶殻の消臭効果の最適条件に関わる要素として「抽出」、「発酵段階」そして「金属イオン」があるのではないかと考察した。

6　今後の展望

今後は考察をより確かなものにするために茶殻の表面構造の観察によって細孔の有無を確認する必要がある。また，半発酵である烏龍茶についても同様の実験を行い，発酵段階の関係性を明らかにするとともに，カテキン等の成分物質のみの実験も行いたい。抽出回数も１回に留まってしまったため，回数を増やし抽出回数と消臭効果の大きさの関係も深めていきたい。

紅茶と緑茶のどちらも金属イオンの処理を行ったほうがアンモニアの減少量が大きくなったことから，茶葉の持つ成分と金属イオンを合わせて使うことでより大きな消臭効果が得られることも分かったので，その関係性についても調べたい。そのためには，金属イオンとカテキン数の錯イオンの構造にも着目する必要があるだろう。

今回使った気体検知管でアンモニアの減少率から茶殻の消臭効果を調べることができた。しかし，アンモニアを最大でどのくらいの吸収できるのかを調べることができなかったものがあったので，測定可能なアンモニアの ppm が大きいものを使うなどして，それぞれの茶葉や金属イオンの性質を比較したい。

謝辞

本研究にご助力いただいた一関第一高等学校　千田哲幸先生，君成田隆房先生に心から感謝いたします。

参考文献

1) 宮本佳澄美，瀬口和義（武庫川女子大学生活環境学部生活環境学科）(2013)：茶殻の金属処理によるアンモニアの消臭効果
https://mukogawa.repo.nii.ac.jp
2) 増田淳二，森脇洋，福山丈二（大阪市立環境科学研究所）（2004）：茶殻を用いた消臭の効果について
https://www.jstage.jst.go.jp

整数の $(-N)$ 進法表記について

岩手県立一関第一高等学校理数科 2 年課題研究数学 A 班
後 藤 駿 樹　尾 形 紘 介　阿 部 直 路
若 槻 起太郎　佐々木 颯 汰　藤 村 朋 生

We use a positional numeration system for represent numbers. Now, most of the people all over the world use the decimal system. In the computer, the binary system is used. Generally, we can think of N-ary representation for positive integer N. But there is few description of N-ary representation for negative integer N.

We investigate N-ary representation for negative integer N, the posibility to represent any number, ways for perform four arithmetic operations, also N-mal (decimal) operations.

Moreover we invetigate repeating N-mal representation for negative N. We can extend the Midy's theorem of repeating decimal for repeating N-mal repeating for negative N.

[Keyword] N-ary representation for negative integer N, arithmetic operations, N-mal (decimal) operations, repeating decimals, Midy's Theorem

1 はじめに

1.1 10 進位取記数法について

私たちが日常生活にいて使用している記数法は，大きな数を表すために，百, 千, 万と大きな数になるたびに新しい記号を用意することなく，0，1，$\cdots$，8，9 の 10 個の数字だけを用いて, 数字の置かれている位置とその数字を合わせて数を表すという記数法であり，「10 個をひとまとめとする」という意味でこのような記数法のことを「10 進位取記数法」と呼んでいる．

一般の自然数 N に拡張して，任意の自然数 X は

$$X = a_n{\cdot}N^n{+}a_{n-1}{\cdot}N^{n-1}{+}\ \cdots\ {+}a_1{\cdot}N^1{+}a_0{\cdot}N^0$$

と一意的に表すことができ，

$$X = a_na_{n-1}\cdots a_2a_{1[N]}$$

とように表し，自然数 X の「N 進法表記」という．

基数となる N を自然数以外に拡張することについては，ドナルド・クヌースが複素数を用いることを考えている．(〈1〉wikipedia 広義の記数法)．また, Web 上「ハマグリの数学」(〈2〉ハマグリの数学) では「マイナス 2 進数で数を数えなさい」というタイトルで，「ビルゲイツの入社試験」の問題の紹介として，$N = -2$ の場合の N 進法表記の加法の解説があった．そして最後に，減法について・乗法について・除法について・小数についても自分で研究してみようという記述があった．

そこで我々は，負の整数 N に対する，さらに一般化した N 進法表記について考えることにした．

我々が考えたのは，負の整数 N に対する N 進法表記（以後 $(-N)$ 進法表記という）について，(1)N 進法表記の可能性, (2)N 進法表記の一意性, (3)N 進表表記の 2 数の加法, (4) 減法, (5) 乗法, (6) 除法, (7) 小数表示をきちんと定式化することを目標に研究を始めた．さらにこの $(-N)$ 進法表記の応用例を探すことに重点をおいて取り組み, $(-N)$ 進法表記無限小数の極限値についての結果を得た．またその結果，数学 B 班が研究している「Midy の定理」(〈3〉Midy の定理) を $(-N)$ 進法小数の場合に拡張することに成功した．

以下，自然数 N に対する N 進法表記について確認したのちに $(-N)$ 進法表記を考えるために，自然数に対する割り算の関係を負の整数についても拡張する．その後に上記 (1)〜(7) を順に述べていく．

2 N 進法表記について

2.1 自然数 N に対する N 進法表記

普通に使われている表記は 10 進法表記といい，10 個でひとかたまりを作っていくものであった．ここで 10 ではなくて，N 個でひとまとまりを作ることを考えることもできる．

N 進法表記を得るための計算を考えてみよう．

まず, X 個を N 個ずつのかたまりに分ける．

$X \div N$ の商 Q_1 がかたまりの個数，余り R_1 が残った半端を表す．

$$X = N \times Q_1 + R_0 \qquad (0)$$

できた Q_1 個を，また N 個ずつまとめて大きなかたまりを作る．

以下同様に繰り返すことによって，左右のような関係式 $(0) \cdots (k) \cdots$ ができる．

$$Q_1 = N \times Q_2 + R_1 \qquad (1)$$
$$Q_2 = N \times Q_3 + R_2 \qquad (2)$$
$$Q_3 = N \times Q_4 + R_3 \qquad (3)$$
$$\cdots \qquad \cdots$$
$$Q_k = N \times Q_{k+1} + R_k \qquad (k)$$
$$\cdots \qquad \cdots$$

式 (1) を式 (0) に代入すると

$$X = N \times (N \times Q_2 + R_1) + R_0$$
$$= N^2 \times Q_2 + N \times R_1 + R_0$$

さらにこの式に式 (2) を代入して

$$X = N^2 \times (N \times Q_3 + R_2) + N \times R_1 + R_0$$
$$= N^3 \times Q_3 + N^2 \times R_2 + N \times R_1 + R_0$$

同様にして

$$X = N^k \times Q_k + \quad \cdots \quad + N^2 \times R_2 + N \times R_1 + R_0$$

という関係式ができる．

この操作を繰り返していくと，できあがる大きなかたまりの個数 Q_k はどんどん少なくなっていく．N 個のかたまりが作れなくなるまでつづけることができる．そうなると，式 (n) で $Q_{n+1} = 0$ となり，最終的に

$$X = R_n \cdot N^n + R_{n-1} \cdot N^{n-1} + \quad \cdots$$
$$\cdots \quad + R_2 \cdot N^2 + R_1 \cdot N + R_0 \qquad (n)$$

と表されることになる．

これを X の「 N 進法表記」という．

3　$(-N)$ 進法表記の可能性について

N 進法表記は，N として負の整数を考える事ができるのであろうか？

すべての整数 X に対して，負の整数 N に対する N 進法表記を考えるために，自然数 A, B に対する割り算 $A \div B$ の商 Q と余り R に対する関係式 $A = BQ + R$ を，負の整数に対しても拡張する．

3.1　割り算の関係式

3.1.1　割り算の関係式（正の整数 X に対して）

自然数 N を一つ定めたとき, $N < 2N < 3N < \quad \cdots$ となる．このとき，任意の自然数 X に対して,

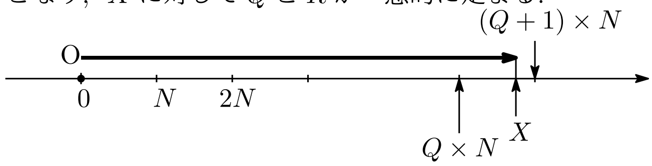
$$QN \leqq X < (Q+1)\,N$$

を満たす自然数 Q がただ一つ存在する．（アルキメデスの公理）

したがって，$R = (Q+1)\,N - X$ とおくと

$$X = QN + R \qquad 0 \leqq R < N$$

となり，X に対して Q と R が一意的に定まる．



この Q を X を N で割ったときの商といい，R を余りという．

3.1.2　割り算の関係式（負の整数 X に対して）

負の整数 X に対してはどうであろうか.

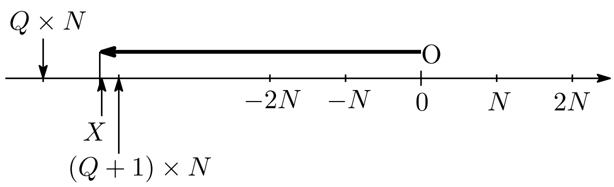
自然数 N を一つ定めているとき,

$$\cdots < -3N < -2N < -N < 0 < N < 2N \ \cdots$$

であるから，任意の負の整数 X に対して

$$QN \leqq X < (Q+1)\,N$$

を満たす負の整数 Q がただ一つ存在する．



したがって，$R = (Q+1)\,N - X$ とおくと

$$X = QN + R \qquad 0 \leqq R < X$$

となり，X に対して Q と R が一意的に定まる．

この Q と R については別の考え方もできる．負の整数 X に対して $-X$ を考えると，これは正の整数であり，これについて

$$-X = Q' \times N + R' \qquad 0 \leqq R' < -N$$

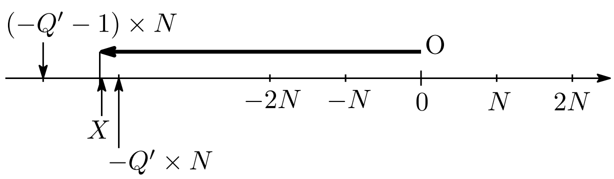
をみたす Q' と R' が一意的に定まる．（$Q' > 0$）である

両辺に -1 をかけて

$$X = -Q' \times N - R'$$

このようにして商 $-Q'$ とあまり $-R'$ が一意的に定まるけれども，このようにして定まる余りは負の整数となる．上の式は次のように考えると

$$X = (-Q'-1) \times N + (N - R')$$



これは　$Q = -Q' - 1$，$R = N - R'$　とすると，最初に考えた Q と R に一致する．

前者にように考えるのは，余り R が負にならないようにするときである,

3.1.3　割り算の関係式
（余りの絶対値が小さくなるように）

自然数 N を定めているとき，任意の整数 X に対し

$$X = QN + R$$

をみたす Q と R を考えるとき，

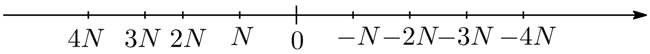
$$-\frac{N}{2} < R \leqq \frac{N}{2}$$

となるように，すなわち，(負の余りも許容して) 余りの絶対値が小さくなるように商と余りを決めることもある．

3.1.4　割り算の関係式（割る数が負のとき）

N が負の整数のときには，

$$\cdots < 3N < 2N < N < 0 < -N < -2N < \ \cdots$$



となっているので，上で考えたのと同様に，正の整数 X に対しても負の整数 X に対しても

$$X = QN + R$$

となり，X に対して Q と R が一意的に定まる．余りについては考える状況に応じて適宜適当な条件をつけて考える．

以下で，負の整数 N に対する N 進法表記を考えるときは，余りとしては

$$X = QN + R \qquad (\ 0 \leqq R < |N|\ )$$

となるように考えることとする．

3.2　$(-N)$ 進法表記可能であること

定理 1. 任意の整数 N を定めたとき，任意の整数 X が N 進法表記可能である．すなわち，
$0 \leqq a_k < |N|$ をみたす整数 a_k（$k = 0,\ 1,\ \cdot\ , n$）が存在して

$$X = a_nN^n + a_{n-1}N^{n-1} + \ \cdots\ + a_2N^2 + a_1N^1 + a_0$$

と表せる．(N, X は正の整数でも負の整数でもよい．)

Proof. 整数 A と B に対して割り算 $A \div B$ を考えるとき，前節で述べたように，余り R が $0 \leqq R < N$ を満たすように決めることとして，A を B で割った商 Q と余り R を考える．このとき，

$$A = BQ + R$$

（Q は整数, R は $0 \leqq R < |B|$ を満たす整数）

という関係式を満たす．

このように考えたとき，X を N で割った商 q_0 と余り r_0 を取る．

$$X = Nq_0 + r_0 \qquad 0 \leqq r_0 < |N| \tag{0}$$

q_0 を N で割った商を q_1 と余り r_1 を取る．

（$|q_0| < |X|/N$）

$$q_0 = Nq_1 + r_1 \qquad 0 \leqq r_1 < |N| \tag{1}$$

式 (1) を式 (0) に代入すると

$$X = N\,(Nq_1 + r_1) = q_1N^2 + r_1N + r_0 \tag{1*}$$

引き続き，q_1 を N で割った商を q_2 と余り r_2 を取る．

（$|q_1| < |q_o|/N$）

$$q_1 = Nq_2 + r_2 \qquad 0 \leqq r_2 < |N| \tag{2}$$

式 (2) を式 (*) に代入すると

$$\begin{aligned} X &= (Nq_2 + r_2)\,N^2 + r_1N + r_0 \\ &= q_2N^2 + r_2N^2 + r_1N + r_0 \end{aligned} \tag{2*}$$

以下，

$$X = q_kN^k + r_kr^k + \ \cdots\ + r_1N + r_0 \tag{k*}$$

が成り立っているときに
q_k を N で割った商 q_{k+1} と余り r_{k+1} を取る．

（$0 \leqq r_{k+1} < |N| \quad |q_{k+1}| < |q_k|/N$）

$$q_k = Nq_{k+1} + r_{k+1} \tag{k}$$

式 (k) を式 (k^*) に代入すると

$$\begin{aligned} X &= (Nq_{k+1} + r_{k+1})\,N^k + \ \cdots\ + r_1N + r_0 \\ &= q^{k+1}N^{k+1} + r_{k+1}N^{k+1} + r_1N + r_0 \end{aligned} \tag{k+1*}$$

となる．ここで，q_k は自然数で，$\cdots < |q_k| < |q_{k-1}| < \cdots < |q_0|$ となるので，いつかは 0 になってしまう．n で初めて $q_n = 0$ になったとすれば

$$X = r_nN^n + \ \cdots\ + r_1N + r_0$$

となり，整数 X の N 進法展開は可能である．　□

例 1. 負の整数 $X = -19$ を $N = -2$ 進法表記にしてみよう．

$$\begin{array}{r|r l}
-2 & -19 & \\ \hline
-2 & 10 & \cdots 1 \\ \hline
-2 & -5 & \cdots 0 \\ \hline
-2 & 3 & \cdots 1 \\ \hline
-2 & -1 & \cdots 1 \\ \hline
-2 & 1 & \cdots 1 \\ \hline
 & 0 & \cdots 1
\end{array}$$

より

$$\begin{aligned} -19 = 1 \times (-2)^5 + 1 \times (-2)^4 + 1 \times (-2)^3 \\ +1 \times (-2)^2 + 0 \times (-2)^2 + 1 \end{aligned}$$

ということになるので，

$$-19_{[10]} = 111101_{[-2]}$$

という (-2) 進法展開が得られた．

(-2) 進法展開によると，負の整数も表記できる．

以上の過程で現れる商を余りは一意的に定まるので，$(-N)$ 進法展開は一意的に定まることはわかっているのだが，一意性について次の節で示す．

4　$(-N)$ 進法表記の一意性について

定理 2.

$$\sum_{k=0}^{n} a_k \cdot N^k = 0 \text{ であれば,}$$

任意の k について $a_k = 0$ である．

Proof. $a_k \neq 0$ となる k が存在すると仮定する．
そのような k の中の最大のものを K とすると

$$a_K N^K = -\sum_{k=0}^{N-1} a_k \cdot N^k$$

この等式の右辺について

$$\begin{aligned}
右辺 &= -\sum_{k=1}^{K-1} a_k N^k \leqq \sum_{k=1}^{K-1} |a_k||N|^k \\
&\leqq \sum_{k=1}^{K-1} (N-1)\cdot N^k = (N-1)\frac{N\left(N^{K-1}-1\right)}{N-1} \\
&= N^K - N
\end{aligned}$$

一方, 左辺は

$$左辺 = a_K \cdot N^K \geqq N^K$$

これは矛盾である．

したがって，任意の k について　$a_k = 0$ □

系 1.

$X = \displaystyle\sum_{k=0}^{m} a_k \cdot N^k = \sum_{k=0}^{n} b_k \cdot N^k$ とすると

$n = m$　かつ　任意の k について　$a_k = b_k$

Proof. 一般性を失うことなく，$m \geqq n$ と仮定してよい．

このとき，$k \geqq n$ となる k については，$b_k = 0$ と定めることによって

$$\sum_{k=0}^{m} b_k \cdot N^k = \sum_{k=0}^{n} b_k \cdot N^k$$

としてよい．このとき，

$$\sum_{k=0}^{n} (a_k - b_k)\cdot N^k = 0$$

となるので，定理より

任意の k（$0 \leqq k \leqq n$）について　$a_k - b_k = 0$

特に，$k >$ n については　$a_k = 0$ なので

$$X = \sum_{k=0}^{m} a_k \cdot N^k = \sum_{k=0}^{n} a_k \cdot N^k$$

となり，$n = m$ である．

以上より，$n = m$ かつ　$a_k = b_k$ $(k = 1, 2, \cdots, n)$ □

5　$(-N)$ 進法展開における加減乗除

5.1　加法

整数 N を基数とする N 進法表記による和算を考える．

n 桁で表記される $A = \displaystyle\sum_{k=0}^{n} a_k \cdot N^k$ と m 桁の $B = \displaystyle\sum_{k=0}^{m} b_k \cdot N^k$ に対して，A と B の和 $A + B$ を考える．

$n > m$ のときは，$k = m + 1$ から $k = n$ までは $b_k = 0$ と決めれば,

$$B = \sum_{k=0}^{m} b_k \cdot N^k = \sum_{k=0}^{n} b_k \cdot N^k$$

と考えることができて

$$\begin{aligned}
A + B &= \sum_{k=0}^{n} a_k \cdot N^k + \sum_{k=0}^{m} b_k \cdot N^k \\
&= \sum_{k=0}^{n} a_k \cdot N^k + \sum_{k=0}^{n} b_k \cdot N^k \\
&= \sum_{k=0}^{n} (a_k + b_k)\cdot N^k
\end{aligned}$$

となり，基本的には「各桁の数を加えればよい」のであるが，$a_k + b_k$ が N 以上になるときに「繰り上がり」が生じる．このことは，$n < m$ のときも同様に考えることができる．

※ $N < 0$ のときの注意

$N' = |N|$ とすると　$N = -N',\ N' > 0.$

$A = \displaystyle\sum_{k=0}^{n} a_k \cdot (-N')^k$ と m 桁の $B = \displaystyle\sum_{k=0}^{m} b_k \cdot (-N')^k$ に対して，A と B の和 $A + B$ を考える．$n \neq m$ のときでも，上に述べたように $n = m$ の場合として考えてよい,

$$\begin{aligned}
A + B &= \sum_{k=0}^{n} a_k \cdot (-N')^k + \sum_{k=0}^{n} b_k \cdot (-N')^k \\
&= \sum_{k=0}^{n} (a_k + b_k)\cdot (-N')^k
\end{aligned}$$

ここで，$a_k + b_k > |N|$ となるときには，$0 \leqq a_k + b_k - |N| < |N|$ であるから

$$\begin{aligned}
&(a_{k+1} + b_{k+1})(-N')^{k+1} + (a_k + b_k)(-N')^k \\
&= (a_{k+1} + b_{k+1})(-N')^{k+1} \\
&\qquad + \{N' + (a_k + b_k - N')\}(-N')^k \\
&= (a_{k+1} + b_{k+1})(-N')^{k+1} \\
&\qquad + N' \cdot (-N')^k + (a_k + b_k - N')(-N')^k \\
&= (a_{k+1} + b_{k+1})(-N')^{k+1} - \cdot(-N')^{k+1} \\
&\qquad + (a_k + b_k - N')(-N')^k \\
&= (a_{k+1} + b_{k+1} - 1)(-N')^{k+1} \\
&\qquad + (a_k + b_k - N'))(-N')^k
\end{aligned}$$

となって，「繰り上がり」が起こるときには、一つ上の桁が 1 減るということが起こる．

例 2.

例えば，$A = 78_{[10]} = 231_{[-7]}$，$B = 234_{[10]} = 523_{[-7]}$ のときには $A + B = 312_{[10]} = 16054_{[-7]}$ の計算においては

$(-7)^2$ の位は 7 になるが，繰り上がって，$(-7)^3$ の位の -1 になる．

$$-1 \times (-7)^3 = 1 \times (-7)^4 + 6 \times (-7)^3$$

つまり，$7 \times (-7)^2$ を繰り上がたいが,

$$\begin{array}{rccccc}
 & & & 2 & 3 & 1 \\
+) & & & 5 & 2 & 3 \\ \hline
 & & & 7 & 5 & 4 \\
 & & & \downarrow & & \\
 & & 7 + & 0 & 5 & 4 \\
 & & & \downarrow & & \\
 & & -1 & 0 & 5 & 4 \\
 & & \downarrow & & & \\ \hline
 & 1 & 6 & 0 & 5 & 4
\end{array}$$

$(-7)^3$ の桁からは 1 引けないので，もう一つ上の $(-7)^4$ の桁に繰り上げて，それを繰り下げた $(-7)^3$ の桁に $7 \times (-7)^3$ をつくり，ここから 1 引く．

5.2 減法

n 桁で表記される $A=\sum_{k=0}^{n} a_k\cdot N^k$ と m 桁の $B=\sum_{k=0}^{m} b_k\cdot N^k$ に対して，A と B の和 $A+B$ を考える．

$n>m$ のときは，$k=m+1$ から $k=n$ までは $b_k=0$ と決めれば，

$$B=\sum_{k=0}^{m} b_k\cdot N^k=\sum_{k=0}^{n} b_k\cdot N^k$$

と考えることができて

$$\begin{aligned}A-B&=\sum_{k=0}^{n} a_k\cdot N^k-\sum_{k=0}^{m} b_k\cdot N^k\\&=\sum_{k=0}^{n} a_k\cdot N^k-\sum_{k=0}^{n} b_k\cdot N^k\\&=\sum_{k=0}^{n}(a_k-b_k)\cdot N^k\end{aligned}$$

となり，基本的には「各桁の差を取ればよい」のであるが，a_k-b_k が負の数になるときに「繰り下がり」が生じる．このことは，$n<m$ のときも同様に考えることができる．

$N<0$ について

$N'=|N|$ とすると　$N=-N'$，$N'>0$.

$A=\sum_{k=0}^{n} a_k\cdot(-N')^k$ と m 桁の $B=\sum_{k=0}^{m} b_k\cdot(-N')^k$ に対して，A と B の和 $A-B$ を考える．$n\neq m$ のときでも，上に述べたように $n=m$ の場合として考えてよい，

$$\begin{aligned}A-B&=\sum_{k=0}^{n} a_k\cdot(-N')^k-\sum_{k=0}^{n} b_k\cdot(-N')^k\\&=\sum_{k=0}^{n}(a_k-b_k)\cdot(-N')^k\end{aligned}$$

ここで，$a_k+b_k<0$ となるときには，$0\leqq a_k-b_k+|N|<|N|$ であるから

$$\begin{aligned}&(a_{k+1}-b_{k+1})(-N')^{k+1}+(a_k-b_k)(-N')^k\\&=(a_{k+1}-b_{k+1}+1)(-N')^{k+1}-(-N')^{k+1}\\&\qquad+\{-N'+(a_k-b_k+N')\}(-N')^k\\&=(a_{k+1}-b_{k+1}+1)(-N')^{k+1}-(-N')^{k+1}\\&\qquad+(-N')^{k+1}+(a_k-b_k+N')(-N')^k\\&=(a_{k+1}-b_{k+1}+1)(-N')^{k+1}\\&\qquad+(a_k-b_k+N')(-N')^k\end{aligned}$$

となって，「繰り下がり」が起こるときには、一つ上の桁が 1 増えるということが起こる．

例 3.

例えば，$A=234_{[-7]}$，$B=115_{[-7]}$ のとき

$$A=2\times(-7)^2+3\times(-7)+4$$

$$B=1\times(-7)^2+1\times(-7)+5$$

の差 $A-B$ を計算すると

$$A-B=(2-1)\times(-7)^2+(3-1)\times(-7)+(4-5)$$

さて，ここで $(-7)^0$ の位の $(4-5)$ の部分は

$$4-5=-7+7+4-5=-7+6$$

となって，(-7) が隣の $(-7)^1$ の位に 1 加えられることになる．

これまでの 10 進法縦書き筆算の感覚でいうと，

4 から 5 は引けないので　隣の位から 1 繰り下げる

隣の位は $(-7)^1$ の位なので，

隣の位に 1 加えて $(-7)^0$ の位に 7 を加える．

したがって，$7+4$ から 5 を引くことになる．

A と B の $(-7)^2$ の位, $(-7)^1$ の位, $(-7)\,7^0$ の位をそろえて縦に並べておき，各位の数同士をひき算して該当の位に書く．

$(-7)^0$ の位は $4-5$ で引けないので,$(-7)^1$ の位から繰り下げて $+7$ とする．隣の $(-7)^1$ の位にとっては，

$$\begin{array}{rccc} & 2 & 3 & 4\\ -\,) & 1 & 1 & 5\\ \hline & & \downarrow & \downarrow\\ & 2 & 3+1 & 4+7\\ -\,) & 1 & 1 & 5\\ \hline & 1 & 3 & 6\end{array}$$

1 の位に 7 分けたことになるので，7 減るが，これは -7 が 1 つ増えたと考える．

5.2.1 乗法

n 桁で表記される $A=\sum_{k=0}^{n} a_k\cdot N^k$ と m 桁の $B=\sum_{k=0}^{m} b_k\cdot N^k$ に対して，A と B の積 $A\times B$ を考える．

$$\begin{aligned}A\times B&=\sum_{k=0}^{n} a_k\cdot N^k\times\sum_{l=0}^{m} b_k\cdot N^l\\&=\sum_{l=0}^{m}\left\{\left(\sum_{k=0}^{n} a_k\cdot N^k\right)\times b_k\cdot N^l\right\}\\&=\sum_{l=0}^{m}\sum_{k=0}^{n}(a_k\times b_k)\cdot N^{K+l}\end{aligned}$$

例 4.

例えば，$A=16_{[-7]}$，$B=23_{[-7]}$ の積を考えてみよう．

$$A=16_{[-7]}=1\times(-7)^1+6$$

$$B=23_{[-7]}=2\times(-7)^1+3$$

なので

$$\begin{aligned}A\times B&=\Big(1\times(-7)^1+6\Big)\times\Big(2\times(-7)^1+3\Big)\\&=\Big(1\times(-7)^1\Big)\times\Big(2\times(-7)^1\Big)\\&\qquad+\Big(1\times(-7)^1\Big)\times 3\\&\qquad\qquad+6\times\Big(2\times(-7)^1\Big)\\&\qquad\qquad\qquad+6\times 3\\&=(1\times 2)\times(-7)^2+(1\times 3)\times(-7)\\&\qquad+(2\times 6)\times(-7)+6\times 3\end{aligned}$$

ここで,

$$2\times 6=12=(-1)\times(-7)+5$$
$$6\times 3=18=(-2)\times(-7)+4$$

なので

$$\begin{aligned}
&=(1\times 2)\times(-7)^2\\
&\qquad+(1\times 3)\times(-7)\\
&\qquad\qquad+\left\{(-1)\times(-7)^2+5\times(-7)\right\}\\
&\qquad\qquad\qquad+\left\{\ (-2)\times(-7)+4\ \right\}\\
&=(2-1)\times(-7)^2+(3+5-2)\times(-7)+4\\
&=1\times(-7)^2+6\times(-7)+4
\end{aligned}$$

これを縦書筆算形式で書くと，かけられる数 $A=16_{[-7]}$ とかける数 $B=23_{[-7]}$ を一の位（$(-7)^0$ の位）を揃えてたてに並べて書く．

$$\begin{array}{rccc}
 & & 1 & 6 \\
\times\,) & & 2 & 3 \\ \hline
 & & & 18 \\
 & & & (2\times 7+4) \\
 & & \downarrow & \downarrow \\
 & & -2 & 4 \\
 & & 3 & \\
 & & 12 & \\
 & & (1\times 7+5) & \\
 & \downarrow & \downarrow & \\
 & -1 & 5 & \\
 & 2 & & \\ \hline
 & 1 & 6 & 4
\end{array}$$

(a) かける数 B の 1 の位＝ $(-7)^0$ の位の 3 をかけられる数 A の 1 の位＝ $(-7)^0$ の位の 6 をかけて $3\times 6=18$．
$18=2\times 7+4$ なので，2×7 が繰り上がって 4 が残る．隣の桁は $(-7)^1$ の桁なので 7 が 2 つ繰り上がるということは -7 が -2 個繰り上がることなので，隣の桁に -2 と入れる．
(b) かける数 B の 1 の位＝ $(-7)^0$ の位の 3 をかけられる数 A の $(-7)^1$ の位の 1 をかけて $3\times 1=3$．
そこで 3 を $(-7)^1$ の位の位置に入れる．
(c) かける数 B の $(-7)^1$ の位の 2 をかけられる数 A の 1 の位＝ $(-7)^0$ の位の 6 をかけて $2\times 6=12$．
$12=1\times 7+5$ となるので，1×7 が繰り上がって 5 が残る．隣の桁は $(-7)^2$ の桁なので 7 が 1 つ繰り上がるということは -7 が -1 個繰り上がることになるので，隣の桁に -1 と入れる．
(d) かける数 B の $(-7)^1$ の位の 2 をかけられる数 A の $(-7)^1$ の位の 1 をかけて $2\times 1=2$．
そこで 2 を $(-7)^2$ の位の位置に入れる．

以上の (a)〜(d) の結果より，$(-7)^2$ の位に入っている -1 と 2 を加えて 1，$(-7)^1$ の位に入っている -2 と 3 と 5 を加えて 6, $(-7)^0$ の位にある数は 4 だけなので 4，これらの結果を各位の位置に書き入れて計算完了．

5.3　除法

n 桁で表記される $A=\sum_{k=0}^{n}a_k\cdot N^k$ と m 桁の $B=\sum_{k=0}^{m}b_k\cdot N^k$ に対して，割り算 $A\div B$ を考える．（$m<n$ とする）

二つの正の整数 A,B に対して，「$A\div B$」という計算は，$A=B\times Q+R$（$0\leqq R<B$）を満たすような商 Q と余り R を求める計算である．

$$A=\sum_{k=0}^{n}a_k\cdot N^k=\sum_{k=0}^{m}a_k\cdot N^k\times N^{n-m}$$ 簡単のため，A が 3 桁で B が 2 桁のときを考えるとき，

$$A=A_1N+A_2$$

と分解して考えたとき

$$A_1=B\times Q_1+R_1$$
$$R_1\times N+A_2=BQ_2+R_2$$

となれば,

$$\begin{aligned}
A&=A_1N+A_2\\
&=(BQ_1+R_1)\,N+A_2\\
&=BQ_1N+(R_1N+A_2)=BQ_1N+BQ_2+R_2\\
&=B\,(Q_1N+Q_2)+R_2
\end{aligned}$$

となって，求める商は Q_1N+Q_2 で, 余りは R_2 となることがわかる．

割り算の筆算形式は，上に述べた計算をもとにしている．

$$\begin{array}{r|rr}
 & Q_1N & +Q_2 \\ \hline
B\,) & A_1N & +A_2 \\
 & BQ_1N & \\ \hline
 & R_1N & +A_2 \\
 & & BQ_2 \\ \hline
 & & R_2
\end{array}$$

例 5.

(1) たとえば $A=263_{[-7]}$，$B=21_{[-7]}$ に対して，$A\div B$ を考えてみよう．

$$A=2\times(-7)^2+6\times(-7)+3$$
$$B=2\times(-7)+1$$

であるから,

$$Q_1=1\times(-7)$$

として，$B\times Q_1$ を計算すると，一番上の桁の $2\times(-7)^2$ を作ることができる．

$$\begin{aligned}
B\times Q_1&=(2\times(-7)+1)\times(1\times(-7))\\
&=2\times(-7)^2+1\times(-7)
\end{aligned}$$

$A=2\times(-7)^2+6\times(-7)+3$ なので，$B\times Q_1$ によって，$(-7)^2$ の項はなくすことができた．そこで $Q_2=2$ とすることにより，さらに A に近づけることができる．

$$B\times Q_2=(2\times(-7)+1)\times 2=4\times(-7)+2$$

以上より,

$$\begin{aligned}
&A-(B\times Q_1+B\times Q_2)\\
&=\left(2\times(-7)^2+6\times(-7)+3\right)\\
&\qquad-\left(2\times(-7)^2+1\times(-7)+4\times(-7)+2\right)\\
&=1\times(-7)+1
\end{aligned}$$

以上より,

$Q = Q_1 + Q_2 = 1 \times (-7) + 2$
$R = 1 \times (-7) + 1$

上の計算を筆算形式で書いたものを左に示す.

(a) 「たて」

仮商 $Q_1 = 1 \times (-7)$ を考え $(-7)^1$ の位に 1 をたてる.

$$\begin{array}{r} 1\;2 \\ 2\;1\,\overline{)\,2\;6\;3} \\ \underline{2\;1} \\ 5\;3 \\ \underline{4\;2} \\ 1\;1 \end{array}$$

(b) 「かけ」

仮商 Q_1 に B にかけた結果の $21_{[-7]}$ を下に書いて

(c) 「引き」

(b) の結果を割られる数 A の上位 2 桁部分から引く.

(d) 「おろす」

割られる数の残っている $(-7)^0$ の位の 3 を下ろして, $53_{[-7]}$.

これを割られる数として上記 (a)〜(d) を繰り返す.

この例は, (c)「引き」の段階で繰り下がりがなく「順調に」計算がすすむけれども・・・

(2) 次の例をみてみよう.

$A = 1515$, $B = 12$ のときの $A \div B$ を計算しよう.

$$\begin{array}{r} 1\;4\;1 \\ 1\;2\,\overline{)\,1\;5\;2\;5} \\ \underline{1\;2} \\ 3\;2 \\ \underline{4\;8} \\ 1\;5 \\ \underline{1\;2} \\ 3 \end{array}$$

$32 \div 12$ の計算では注意が必要である.

$$\begin{array}{r} 2 \\ 1\;2\,\overline{)\,3\;2} \\ \underline{2\;4} \\ 2\;5 \end{array}$$

引き算の際に繰り下がりが起こる.

商として, もう少し大きな値を立てることができる.

$$\begin{array}{rr} & 3\;\;2 \\ & \;\downarrow \\ & 4\;\;9 \\ -\,) & \underline{2\;\;4} \\ & 2\;\;5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ 1\;2\,\overline{)\,3\;2} \\ \underline{4\;8} \\ 1 \end{array} \qquad \begin{array}{rr} & 3\;\;2 \\ & \;\downarrow \\ & 4\;\;9 \\ -\,) & \underline{4\;\;8} \\ & 1 \end{array}$$

6 $(-N)$ 進小数

6.1 10 進小数について

一般に, 1 より小さい数を表すのに, 10 進法表記であれば, 次のような小数表記を用いる

$$0.a_1a_2a_3\ \cdots\ a_n\ \cdots$$

$$= a_1 \times \frac{1}{10} + a_2 \times \frac{1}{100} + \ \cdots\ + a_n \times \frac{1}{10^n} + \ \cdots$$

$$= a_1 \times 10^{-1} + a_2 \times 10^{-2} + \ \cdots\ + a_n \times 10^{-n} + \ \cdots$$

6.2 $(-N)$ 進小数

N を正の整数とするとき,10 進小数をもとにして $(-N)$ 進小数を考える.

$$\begin{array}{rcccc} & 0. & q_1 & q_2 & q_3 \\ \hline n\;) & 1 & & & \\ & n \times 0 & & & \\ \cline{2-3} & r_0 & r_0 \times (-N) & & \\ & & n \times q_1 & & \\ \cline{2-4} & & r_1 & r_1 \times (-N) & \\ & & & n \times q_2 & \\ \cline{3-5} & & & r_2 & r_2 \times (-N) \\ & & & & n \times q_3 \\ \cline{4-5} & & & & r_3 \end{array}$$

10 進小数のときと同じようにして, $\dfrac{1}{n}$ の計算を考えてみましょう. $1 \div n$ を計算していく.

$$1 = n \times 0 + r_0 \quad (\quad r_0 = 1 \quad) \qquad \cdot\cdot\cdot (0)$$

次に上の計算の余り r_0 に $(-N)$ をかけて, $r_0 \times (-N) \div n$ を計算する. 3.1 節では, 負の数の割り算を考えた. ここでは, 割られる数が負の数 $r_0 \times (-N)$ なので, 商を q_1 は負の数にとり 余りを r_1 は 0 以上の数になるようにする.

$$r_0 \times (-N) = n \times q_1 + r_1 \qquad \cdot\cdot\cdot (1)$$

となる.

以下同様に余りに $(-N)$ をかけて同様の計算を進める.

$$r_1 \times (-N) = n \times q_2 + r_2 \qquad \cdot\cdot\cdot (2)$$
$$r_2 \times (-N) = n \times q_3 + r_3 \qquad \cdot\cdot\cdot (3)$$
$$r_3 \times (-N) = n \times q_4 + r_4 \qquad \cdot\cdot\cdot (4)$$
$$r_4 \times (-N) = n \times q_5 + r_5 \qquad \cdot\cdot\cdot (5)$$
$$r_5 \times (-N) = n \times q_6 + r_6 \qquad \cdot\cdot\cdot (6)$$

式 (0) の両辺に $(-N)$ をかけて

$$1 \times (-N) = n \times 0 \times (-N) + r_0 \times (-N)$$

余り r_0 の $(-N)$ 倍のところに式 (1) を代入して

$$\begin{aligned} 1 \times (-N)^1 &= n \times 0 \times (-N) + (n \times q_1 + r_1) \\ &= n \times (0 \times (-N) + q_1) + r_1 \end{aligned} \qquad \cdot\cdot\cdot (1')$$

式 (1') の両辺に $(-N)$ をかけて

$$\begin{aligned} 1 \times (-N)^2 &= n \times \Big(0 \times (-N)^1 + q_1 + r_1\Big) \times (-N) \\ &= n \times \Big(0 \times (-N)^1 + q_1\Big) \times (-N) + r_1 \times (-N) \end{aligned}$$

余り r_1 の $(-N)$ 倍のところに式 (2) を代入して

$$\begin{aligned} 1 \times (-N)^2 &= n \times \Big(0 \times (-N)^2 + q_1 \times (-N)\Big) + (n \times q_2 + r_2) \\ &= n \times \Big(0 \times (-N)^2 + q_1 \times (-N) + q_2\Big) + r_2 \end{aligned}$$

以下同様にして,

$$\begin{aligned} &1 \times (-N)^6 \\ &= n \times \Big(0 \times (-N)^6 + q_1 \times (-N)^5 + q_2 \times (-N)^4 \\ &\quad + q_3 \times (-N)^3 + q_4 \times (-N)^2 + q_5 \times (-N) + q_6\Big) \\ &\quad + r_6 \end{aligned}$$

両辺を $(-N)^6$ で割って

$$1 = n\times\Big(0\times(-N)^0 + q_1\times(-N)^{-1} + q_2\times(-N)^{-2} + q_3\times(-N)^{-3} + q_4\times(-N)^{-4} + q_5\times(-N)^{-5} + q_6\times(-N)^{-6}\Big) + r_6\times 10^{-6}$$

この式の $(\quad)$ の中が $1\div n$ の商であり，$\dfrac{1}{n}$ の小数展開になっている．

$$\begin{aligned}\frac{1}{n} &= 0.\ q_1\ q_2\ q_3\ q_4\ q_5\ q_6\ \ \cdots_{[-N]}\\ &= 0\times(-N)^0 + q_1\times(-N)^{-1} + q_2\times(-N)^{-2}\\ &\quad +q_3\times(-N)^{-3} + q_4\times(-N)^{-4} + q_5\times(-N)^{-5}\\ &\quad +q_6\times(-N)^{-6} + \cdots\end{aligned}$$

6.3 例

$\dfrac{1}{7}$ を (-10) 進法による小数表示で表そう．

$$A = BQ + R \qquad 0 \leqq R < 10$$

-10 進法における小数の各桁は 0 以上とするので，商 Q が正になるように，余りは負となるような計算をした方がよい．

$$\begin{array}{rlllll} & 1. & 9 & 5 & 8 & \\ \hline 7\ ) & 1 & & & & \\ & 7 & & & & \\ \hline & -6 & 60 & & & \\ & & 63 & & & \\ \hline & & -3 & 30 & & \\ & & & 35 & & \\ \hline & & & -5 & 50 & \\ & & & & 56 & \\ \hline & & & & -6 & \end{array}$$

この筆算では以下のように計算が行われている。

$$\begin{aligned}&1 = 7\times 1 + (-6)\\ &-6\times(-10) = 7\times 9 + (-3)\\ &-3\times(-10) = 7\times 5 + (-5)\\ &-5\times(-10) = 7\times 8 + (-6)\\ &\cdots\end{aligned}$$

よって，$\dfrac{1}{7} = 1.958958958\cdots_{[-10]}$

これを普通の 10 進小数に変換しよう．

偶数乗のところは

$$(-10)^{2k} = 10^{2k}$$

になり，奇数乗のところは

$$(-10)^{2k-1} = -10^{2k-1}$$

となる．したがって，

$$\begin{aligned}\frac{1}{7} &= 1.958958958\ \ \cdots\ {}_{[-10]}\\ &= 1\times(-10)^0 + 9\times(-10)^{-1} + 5\times(-10)^{-2}\\ &\quad +8\times(-10)^{-3} + 9\times(-10)^{-4} + 5\times(-10)^{-5}\\ &\quad +8\times(-10)^{-6} + 9\times(-10)^{-7}\\ &\quad +5\times(-10)^{-8} + 8\times(-10)^{-9}\ \ \cdots\\ &= 1\times 10^0 - 9\times 10^{-1} + 5\times 10^{-2}\\ &\quad -8\times 10^{-3} + 9\times 10^{-4} - 5\times 10^{-5}\\ &\quad +8\times 10^{-6} - 9\times 10^{-7} + 5\times 10^{-8}\\ &\quad -8\times 10^{-9} + \ \ \cdots\\ &= 0\times 10^0 + 10\times 10^{-1} - 9\times 10^{-1}\\ &\quad +4\times 10^{-2} + 10\times 10^{-2} - 8\times 10^{-3}\\ &\quad +8\times 10^{-4} + 10\times 10^{-5} - 5\times 10^{-5}\\ &\quad +7\times 10^{-6} + 10\times 10^{-7}\\ &\quad -9\times 10^{-7} + 4\times 10^{-8}\\ &\quad +10\times 10^{-9} - 8\times 10^{-9}\ \ \cdots\\ &= 0\times 10^0 + 1\times 10^{-1} + 4\times 10^{-2} + 2\times 10^{-3}\\ &\quad +8\times 10^{-4} + 5\times 10^{-5} + 7\times 10^{-6}\\ &\quad +1\times 10^{-7} + \ \ \cdots\\ &= 0.142857\cdots_{[10]}\end{aligned}$$

7　N 進法循環小数の分数表記

循環小数 $0.\dot{a}_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}\dot{a}_k$ は，$a_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k$ の数の並びが繰り返すもので，繰り返す部分の先頭と最後に $\dot{a}_1$ のように $\dot{}$ をつけて．循環部分を表しながら，これが無限に続くことを表している．

$$\begin{aligned}&0.\dot{a}_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}\dot{a}_k\\ &= 0.a_1 a_2\cdots a_{k-1}a_k a_1 a_2\cdots a_{k-1}a_k a_1 a_2\cdots a_{k-1}a_k\cdots\end{aligned}$$

「無限に続く」という言葉の意味は次のように正確に定義される．

k 個の数 $a_1, a_2,\ \cdots\ , a_{k-1}, a_k$（$0 \leqq a_i < |N|$）がこの順番に並んだ k 桁の整数を $[a_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k]$ とあらわすこととする．これは

$$\begin{aligned}&[a_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k]\\ &= a_1\cdot N^{k-1} + a_2\cdot N^{k-2} +\ \cdots\ + a_k\cdot N^0\end{aligned}$$

ということである．

$$\begin{aligned}&0.\dot{a}_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}\dot{a}_k\\ &= 0.a_1 a_2\cdots a_{k-1}a_k a_1\cdots a_{k-1}a_k a_1\cdots a_{k-1}a_k\cdots\\ &= 0.a_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k + 0.\underbrace{00\ \cdots\ 00}_{k\text{ 個}}a_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k\\ &\quad +0.\underbrace{00\ \cdots\ 00}_{k\text{ 個}}\underbrace{00\ \cdots\ 00}_{k\text{ 個}}a_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k\\ &\quad +0.\underbrace{00\ \cdots\ 00}_{k\text{ 個}}\underbrace{00\ \cdots\ 00}_{k\text{ 個}}\underbrace{00\ \cdots\ 00}_{k\text{ 個}}a_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k\\ &\quad +\ \cdots\\ &= \frac{a_1\cdot N^{k-1} + a_2\cdot N^{k-2} +\ \cdots\ a_k\cdot N^0}{N^k}\\ &\quad + \frac{a_1\cdot N^{k-1} + a_2\cdot N^{k-2} +\ \cdots\ a_k\cdot N^0}{N^{2k}}\\ &\quad + \frac{a_1\cdot N^{k-1} + a_2\cdot N^{k-2} +\ \cdots\ a_k\cdot N^0}{N^{3k}}\\ &\quad +\ \cdots\\ &= \frac{a_1\cdot N^{k-1} + a_2\cdot N^{k-2} +\ \cdots\ a_k\cdot N^0}{N^k}\\ &\quad \times\left(1 + \frac{1}{N^k} + \frac{1}{N^{2k}} + \ \ \ldots\right)\\ &= \frac{[a_1 a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k]}{N^k}\left(1 + \frac{1}{N^k} + \frac{1}{N^{2k}} + \ \ \ldots\right)\end{aligned}$$

ここで，最右辺の $\left(\,\right)$ の中は，初項 1, 公比 $\dfrac{1}{N^k}$ の無限等比級数の和であり，公比がの絶対値は 1 より小なのでこの級数は収束しその和は

$$1+\frac{1}{N^k}+\frac{1}{N^{2k}}+\ \cdots\ =\frac{1}{1-\frac{1}{N^k}}=\frac{N^k}{N^k-1}$$

であるから，無限級数 $0.\dot{a_1}a_2\ \cdots\ a_{k-1}\dot{a_k}$ の和は

$$\begin{aligned}0.\dot{a_1}a_2\ \cdots\ a_{k-1}\dot{a_k} &= \frac{1}{N^k-1}\cdot[a_1a_2\ \cdots\ a_{k-1}a_k]\\ &= \frac{1}{N^k-1}\sum_{i=1}^{k}N^{k-i}a_i\end{aligned}$$

例 6.

(1) 10 進法の循環小数 $0.\dot{1}23\dot{4}_{[10]}$ については，

$$0.\dot{1}23\dot{4}_{[10]}=\frac{[1234]}{10^4-1}=\frac{1234}{9999}$$

(2) 7 進法循環小数 $0.\dot{5}3\dot{1}_{[7]}$ については，

$$0.\dot{5}3\dot{1}_{[7]}=\frac{[531]}{7^3-1}$$

ここで，$[531]=5{\cdot}7^2{+}3{\cdot}7{+}1=5{\cdot}49{+}3{\cdot}7{+}1=267$

$7^3-1=343-1=342$

したがって，

$$0.\dot{5}3\dot{1}_{[7]}=[531]7^3-1=\frac{267}{342}=\frac{89}{114}$$

(3) (-3) 進法の循環小数 $0.\dot{1}\dot{2}$ については

$$0.\dot{1}\dot{2}_{[-3]}=\frac{[12]}{(-3)^3-1}$$

ここで，$[12]=1\cdot(-3)^1+2\cdot(-3)^0=-3+2=-1$

$(-3)^2-1=9-1=8$

したがって，

$$0.\dot{1}\dot{2}_{[-3]}=\frac{[12]}{(-3)^3-1}=\frac{-1}{8}=-\frac{1}{8}$$

8　級数展開による小数化

関数の級数展開の式

$$\frac{1}{1-x}=1+x+x^2+\ \cdot$$

を利用して，$m\div n$ の計算をせずに $\dfrac{m}{n}$ の N 進小数展開を得ることができる．

$1+x+x^2+\ \cdots$ は初項 1 公比 x の無限等比級数である．$|x|<1$ のときにはこの級数は収束し，その和は

$$1+x+x^2+\ \cdots\ =\frac{1}{1-x}$$

である．

同様に，$|x|<1$ であれば

$$\begin{aligned}&1-x+x^2-x^3+x^4\ \cdots\\ &=1+(-x)+(-x)^2+\ \cdots\ =\frac{1}{1+x}\end{aligned}$$

例 7.

(1) $$\frac{65}{99}=\frac{65}{10^2-1}=\frac{65}{10^2}\cdot\frac{1}{1-\left(\frac{1}{10}\right)^2}$$

$$\begin{aligned}&=\frac{65}{10^2}\cdot\left\{1+\left(\frac{1}{10}\right)^2+\left(\frac{1}{10}\right)^4+\left(\frac{1}{10}\right)^6+\ \cdots\right\}\\ &=\frac{65}{10^2}\cdot 1.\dot{0}\dot{1}_{[10]}=0.\dot{6}\dot{5}_{[10]}\end{aligned}$$

(2) $-\dfrac{217_{[10]}}{1001_{[10]}}$

$$\begin{aligned}217_{[10]}&=3\cdot(-10)^2+9\cdot(-10)^1+7\cdot(-10)^0\\ &=397_{[-10]}\end{aligned}$$

であり，

$$1001_{[10]}=10^3+1=-(-10)^3+1$$

したがって，

$$\begin{aligned}&-\frac{217_{[10]}}{1001_{[10]}}=\frac{397_{[-10]}}{(-10)^3-1}=\frac{397_{[-10]}}{(-10)^3}\cdot\frac{1}{1-\left(-\frac{1}{10}\right)^3}\\ &=\frac{397_{[-10]}}{(-10)^3}\cdot\left\{1+\left(-\frac{1}{10}\right)^3+\left(-\frac{1}{10}\right)^6+\ \cdots\right\}\\ &=0.\dot{3}9\dot{7}_{[-10]}\end{aligned}$$

9　$(-N)$ 進法における Midy の定理

循環小数についての興味深い性質がある．

定理 3 (Midy の定理)**.** 5 より大きい素数 p と，p とは互いに素である正の整数 m に対し，分数 $\dfrac{m}{p}$ が循環節の長さが偶数（$2d$ とする）の循環小数となるとき，循環節の最初の k 桁で表される数を A，最後の k 桁で表される数を B とすると

$$A+B=10^d-1=\underbrace{999\cdots9}_{d\ \text{個}}$$

が成り立つ

本校 2019 年度課題研究数学 B 班は，この定理の条件を弱くして，より強い主張になる次の定理を証明した．

定理 4.

N は正の整数，n は素数とする．また，m は n とは互いに素であるとするとき，$N^d+1\equiv 0\pmod n$ をみたす n より小さい整数 d が存在して，$2d$ より小さい l に対しては $N^l\not\equiv 1\pmod n$ が成り立てば，分数 $\dfrac{m}{n}$ が循環節の長さが偶数（$2d$ とする）の循環小数となり，$1\leqq k\leqq d$ をみたす任意の整数 k について，循環節の第 k 番目の数を a，第 $d+k$ 番目の数を b とするとき

$$a+b=N-1$$

が成り立つ

負の整数 N についての N 進法により計算が確立されたことにより，この定理を負の整数 N について拡張する．

定理 5.

N は負の整数，n は素数とする．$N^d + 1 \equiv 0 \pmod{n}$ をみたす n より小さい整数 d が存在して，$2d$ より小さい l に対しては $N^l \not\equiv 1 \pmod{n}$ が成り立てば，分数 $\dfrac{1}{n}$ が循環節の長さが偶数（$2d$ とする）の循環小数となり，$1 \leqq k \leqq d$ をみたす任意の整数 k について，循環節の第 k 番目の数を a，第 $d+k$ 番目の数を b とするとき

$$a + b = -(N-1)$$

が成り立つ

Proof. q_0，$r_0 = 1$ として

$$1 = n \times q_0 + r_0 \qquad \cdots (0)$$

$$r_0 \times N = n \times q_1 + r_1 \qquad \cdots (1)$$

ここで，$N < 0$ のときには，$q_1 > 0$ とするために $r_1 < 0$ となるように定める． 以下 q_0，q_1，$\cdots, q_k$，r_0, r_1，$\cdots, r_k$ が定まったとき, r_1, r_2，$\cdots .r_k < 0$

$$r_k \times N = n \times q_{k+1} + r_{k+1} \qquad \cdots (k+1)$$

として q_{k+1}，r_{k+1} を順に決めていく．

条件より　$k = d$ になったときにはじめて $N^d \equiv -1 \pmod{n}$ となる．

このとき q_{d+1}，r_{d+1} については

$$r_d \times N = n \times q_{d+1} + r_{d+1}$$

として決めるが，$r_d = -1$ なので

$$-1 \times N = n \times (-q_1) + r_{d+1}$$

となり，$r_{d+1} \equiv -r_1$ であることがわかる．以下同様にして，

$$r_{d+k} \equiv -r_k \qquad (k = 1, 2, \ \cdots, \ d)$$

これより，$r_k + r_{d+k} = -n$ である．

このとき，式 (k) と式 $(k+d)$ より

$$r_k \times N = n \times a + r_k$$

$$r_{d+k} \times N = n \times b + r_{d+k}$$

これを辺々加えて

$$(r_k + r_{d+k}) \times N = n\,(a+b) + (r_k + r_{d+k})$$

$$-n \times N = n\,(a+b) - n$$

ゆえに　$a + b = N - 1$

□

例 8.

$$\begin{array}{rrrrrrrr}
 & 1. & 10 & 3 & 3 & 1 & 8 & 8 \\ \hline
37\,) & 1 & 0 & & & & & \\
 & 37 & & & & & & \\ \cline{2-4}
 & -36 & 0 & & & & & \\
 & & 37 & 0 & & & & \\ \cline{3-5}
 & & 1 & 0 & 0 & & & \\
 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ \cline{3-6}
 & & & -1 & 1 & 0 & & \\
 & & & 1 & 1 & 1 & & \\ \cline{4-6}
 & & & & -1 & 0 & & \\
 & & & & 3 & 7 & & \\ \cline{5-7}
 & & & & 2 & 7 & 0 & \\
 & & & & 2 & 9 & 6 & \\ \cline{5-8}
 & & & & & -2 & 6 & 0 \\
 & & & & & 2 & 9 & 6 \\ \cline{5-8}
 & & & & & & -3 & 6
\end{array}$$

$\dfrac{1}{37} = 1.\dot{1}03318\dot{8}_{[-10]}$　となり，

$$10 + 1 = 11$$

$$3 + 8 = 11$$

ということで定理が成り立っている．

10　循環節の長さの変化

10 進循環小数を -10 進循環小数に変換したときに，循環節の長さが変化することに注目している．10 ではなくて N ではどうなるかなど，まだまだ調べてみなければいけないと考えているが，現在のところ，以下のような予想を持っている．

予想

$N = 10$ のときの循環節の長さが k のときの $N = -10$ のときの循環節の長さについて

● $k = 2m - 1$ のときには　循環節の長さは 2 倍になる

● $k = 2\,(2m-1)$ のときには　循環節の長さは半分になる

● $k = 4m$ のとき　循環節の長さは変化しない

11　考察

web-site〈1〉に紹介された「ビルゲイツの入社試験」の問題「-2 進法による加法を考える」に端を発したこの研究により，私たちは一般に $(-N)$ 進法について正確な定式化を行い，一般に知られる N 進法と同様に自由に加減乗除の計算ができるようになった．本研究と同時に進行していた課題研究数学 B 班の「Midy の定理」が示した循環小数の不思議な性質について，$(-N)$ 進法小数表示においても類似の性質を持つことを発見した．私たちが研究した $(-N)$ 進法の世界に豊かな数学の世界が広がっていることを確信することとなった．

同じ分数でも，10 進法と (-10) 進法では循環節の長さが変化する現象を見ると，「Midy の定理」に現れるような未知の現象がまだまだありそうである．

$(-N)$ 進法については研究しきれていないことが多く残されていると考えている．今後も研究を続けていきたい．

12　参考文献

〈1〉広義の記数法, ttps://ja.m.wikipedia.org/wiki/

〈2〉ハマグリの数学「マイナス 2 進法で数を数えなさい」, https://hamaguri.sakura.ne.jp/mainasu2.html

〈3〉E. Midy , De Quelques Propriétés des Nombres et des Fractions Décimales Périodiques, Nantes, 1836.

分数の小数展開の秘密

岩手県立一関第一高等学校理数科 2 年課題研究数学 B 班
永山虹空　鈴木智也　細川享平　德永卓　佐々木拓海

2020 年 3 月 5 日

There is an amusing and amazing theorem on repeating decimals. It is called “Midy’s Theorem”. We formulate our own version, and investigate the secret of the theorem.
We found how to know the length of repeating decimals, if the fraction has the Midy’s property (999 rule) which was not mentioned by Midy, and prooved the Midy’s theorm by ourselves. Moreover, we have some extension of it.
[Keyword] repeating decimals, Midy’s Theorem

1 はじめに

1868 年, フランスの数学者である E.Midy は, 驚くべき数論を証明した. 以下がその定理である.
定理：p を 5 より大きい素数とし,m(m は正の整数) と p は互いに素とする.m/p の循環節の長さが偶数になる (2k とおく) とき, 循環節の初めの k 桁と最後の k 桁の合計は常に 999・・・9 となる.
例えば 3/7 は

$$3/7 = 0.\dot{4}2857\dot{1}$$

となる.3/7 の循環節は [428571] だが, これを前半部と後半部に分けると [428]、[571] となり, これらを足すと [999] となる.
我々は 10 進数で 100 までの自然数の逆数を調べ,Midy の定理で性質が示された数と, そうでない数における循環節の長さについて様々な場合があることを発見した.
この論文では, 分数の循環節の長さがどのように決定されるかを示し, 我々が学校で習う基本的な数論だけを使用し Midy の定理を証明している.

証明　proof1　鈴木智也　proof2　德永卓
proof3　細川享平　proof4　永山虹空

2 商と余りの作る数列

$\dfrac{1}{n}$ の循環節が持つ性質を紐解くために, まず初めに $1 \div 7$ の筆算を表示する.

$$
\begin{array}{rccccccccl}
 & 0. & 1 & 4 & 2 & 8 & 5 & 7 & & \\
\cline{2-8}
7\,) & 1 & 0 & & & & & & & \\
 & & 7 & & & & & & & \\
\cline{2-3}
 & & 3 & & & & & & & \Longleftarrow r_1 \\
 & & 2 & 8 & & & & & & \\
\cline{3-4}
 & & & 2 & 0 & & & & & \Longleftarrow r_2 \\
 & & & 1 & 4 & & & & & \\
\cline{4-5}
 & & & & 6 & 0 & & & & \Longleftarrow r_3 \\
 & & & & 5 & 6 & & & & \\
\cline{5-6}
 & & & & & 4 & 0 & & & \Longleftarrow r_4 \\
 & & & & & 3 & 5 & & & \\
\cline{6-7}
 & & & & & & 5 & 0 & & \Longleftarrow r_5 \\
 & & & & & & 4 & 9 & & \\
\cline{7-8}
 & & & & & & & 1 & & \Longleftarrow r_6
\end{array}
$$

各段で行われている計算は, 次のようになる.

$r_0 = 7 \times 0 + r_0,\quad q_0 = 0\ ,\ \ r_0 = 1 \quad \cdots \quad (0)$
$r_0 \times 10 = 7 \times 1 + 3,\quad q_1 = 1\ ,\ \ r_1 = 3 \quad \cdots \quad (1)$
$r_1 \times 10 = 7 \times 4 + 2,\quad q_2 = 4\ ,\ \ r_2 = 2 \quad \cdots \quad (2)$
$r_2 \times 10 = 7 \times 2 + 3,\quad q_3 = 2\ ,\ \ r_3 = 6 \quad \cdots \quad (3)$
$r_3 \times 10 = 7 \times 8 + 4,\quad q_4 = 8\ ,\ \ r_4 = 4 \quad \cdots \quad (4)$
$r_4 \times 10 = 7 \times 5 + 5,\quad q_5 = 5\ ,\ \ r_5 = 5 \quad \cdots \quad (5)$
$r_5 \times 10 = 7 \times 7 + 1,\quad q_6 = 7\ ,\ \ r_6 = 1 \quad \cdots \quad (6)$

$r_6 = r_0 = 1$ となっているので, この筆算のあとには (1)〜(6) 続く.
これらの筆算と式から商が作る数列は $1, 4, 2, 8, 5, 7$, 余りが作る数列は $1, 3, 2, 6, 4, 5$ であると言える.
また視点を変えて見てみると,

$$
\begin{array}{rccl}
 & & 1 & \\
\cline{2-3}
7\,) & 1 & 0 & \\
 & & 7 & \\
\cline{2-3}
 & & 3 & \Longleftarrow \quad r_1
\end{array}
\qquad
\begin{array}{rcccl}
 & & 1 & 4 & \\
\cline{2-4}
7\,) & 1 & 0 & 0 & \\
 & & 7 & & \\
\cline{2-4}
 & & 3 & 0 & \\
 & & 2 & 8 & \\
\cline{3-4}
 & & & 2 & \Longleftarrow \quad r_2
\end{array}
$$

$10 \div 7$

$10^2 \div 7$

$$
\begin{array}{r}
142\\
7\,\overline{)\,1000}\\
\underline{7}\\
3\\
\underline{28}\\
20\\
\underline{14}\\
6
\end{array}
\quad \Longleftarrow \quad r_3 \quad
\begin{array}{r}
1428\\
7\,\overline{)\,10000}\\
\underline{7}\\
3\\
\underline{28}\\
20\\
\underline{14}\\
60\\
\underline{56}\\
4
\end{array}
$$

$10^3 \div 7$ $\qquad$ $10^4 \div 7$

上の４つの筆算から次のような性質が得られた.

Theorem 1. 一般に $1 \div n$ の筆算過程における余りがなす数列 $\{r_n\}$ は次の式で表される.

$$r_n \equiv 10^n \pmod n$$

10 進法小数表示だけでなく，あらゆる自然数 a における a 進法小数表示での $\dfrac{1}{n}$ の性質を調査するために，商がつくる数列 $\{q_n\}$ と余りが作る数列 $\{r_n\}$ を調査した.
商がつくる数列 $\{q_n\}$ と余りが作る数列 $\{r_n\}$ は，次のように決定される.

q_0 と r_0 は，$\qquad 1 = q_0 \times n + r_0 \qquad (0)$

よって $q_0 = 0,\ r_0 = 1$

$(0)\times a$ より $\quad a = aq_0 \times n + ar_0 \qquad (※)$

次に，$q_1,\ r_1$ を求める．これらは $a \cdot r_0 \div n$ の商と余りにより決定される.

$$
\begin{aligned}
ar_0 &= q_1 \times n + r_1\\
&= q_0 \times n + ar_0 = aq_0 \times n + q_1 \times n + r_1\\
&= (aq_0 + q_1) \times n + r_1 \qquad (1)
\end{aligned}
$$

$(1)\times a$ より，$a^2 = a\,(aq_0 + q_1) \times n + ar_1 \qquad (※)$

$r_1, r_2, \cdots r_k$ と $q_1, q_2, \cdots q_k$ が決定されるとき，

$$a^k r_0 = \left(a^k q_0 + a^{k-1} q_1 + \cdots + aq_{k-1} + q_k\right) \times n + r_k \qquad (k)$$

が成り立ち，$(k)\times a$ よりが，

$$
\begin{aligned}
&a \times a^k r_0\\
&= a\left(a^k q_0 + a^{k-1} q_1 + \cdots + aq_{k-1} + q_k\right) \times n + ar_k \qquad (☆)
\end{aligned}
$$

$q_{k+1},\ r_{k+1}$ は $a \cdot r_k \div n$, and $ar_k = q_{k+1} \times n + r_{k+1}$ の商と余りの数列であるから次のような計算が成り立つ.

$$a^{k+1} r_0 = a\left(a^{k+1} q_0 + a^k q_1 + \cdots + aq_k + q_{k+1}\right) \times n + r_{k+1} \qquad (k+1)$$

したがって，$1 \div n$ の商と余りの数列 $\{q_n\}$ と $\{r_n\}$ は誘導的に決定される.

$$r_n \equiv a^n \times r_0 \pmod n$$

また，$r_0 = 1$ より

$$r_n \equiv a^n \pmod n$$

Theorem 2. a 進数での $\dfrac{1}{n}$ の計算過程で現れる余りの数列 $\{r_k\}$ は次のようになる.

$$r_k \equiv a^k \qquad (\bmod\ n)$$

(※),(☆),$(k+1)$ より，我々は次の結論を得た.

Corollary 1. $\dfrac{1}{n}$ の a 進小数展開を計算していくときに現れる余りの系列 $r_1, r_2, r_3, \cdots$ は

$$r_k \equiv r_1^k \qquad (\bmod\ n)$$

ただし，$r_1 = \mathrm{Mod}\,(a, n)$

が成り立つ.
ただし，a を n で割った余りを $\mathrm{Mod}\,(a, n)$ と表した.

. 式 $(k+1)$ と式 (☆) よ Proof り，$r_{k+1} \equiv a \cdot r_k$
さらに式 (※) $a = aq_0 \times n + ar_0$ より
$r_{k+1} \equiv a \cdot r_k = (aq_0 \times n + ar_0) \cdot r_k \equiv ar_0 \cdot r_k \equiv r_1 \cdot r_k$
が成り立つ.
したがって，数列 $\{r_k\}$ は初項が r_1, 公比が r_1 の等比数列になるので

$$r_k \equiv r_1^k \qquad (\bmod\ n)$$

が成り立つ.

3　循環しない分数

たとえば，$\dfrac{1}{2} = 0.5,\ \dfrac{1}{4} = 0.25,\ \dfrac{1}{5} = 0.2$ のように，無限小数にはならない分数もある．$1 \geqq n \geqq 100$ の範囲において，$\dfrac{1}{n}$ の小数展開が循環しない n をあげると

1, 2, 4, 5, 8, 20, 25, 32, 40, 50, 80, 100

である．このことから次のことがわかる.

Proposition 1.　自然数 n が

$$n = 2^k \cdot 5^l \quad (\ k = 0, 1, 2,\ \cdots,\ l = 0, 1, 2,\ \cdots\ )$$

であるとき，$\dfrac{1}{n}$ は有限小数となる.
逆に，$\dfrac{1}{n}$ が有限小数となるとすると，n は上記のように表すことができる.

Proof 1.

(1) $k \geqq l$ のとき

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2^k \cdot 5^l} = \frac{5^{k-l}}{2^k \cdot 5^k} = \frac{5^{k-l}}{10^k}$$

ここで，5^{k-l} を 10 進法表記したものを右詰にして左に 0 を補って $k-1$ 桁の数の列を作ったものを $[5^{k-l}]$ と表すこととすれば

$$\frac{1}{n} = 0.\underbrace{[5^{k-l}]}_{k\text{ 桁}}$$

となり，有限小数となる．

(2) $k<l$ のときは

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2^k\cdot 5^l} = \frac{2^{l-k}}{2^l\cdot 5^l} = \frac{2^{l-k}}{10^l}$$

ここで，2^{l-k} を 10 進法表記したものを右詰にして左に 0 を補って $l-1$ 桁の数の列を作ったものを $[2^{l-k}]$ と表すこととすれば

$$\frac{1}{n} = 0.\underbrace{[2^{l-k}]}_{l\text{ 桁}}$$

となり，有限小数となる．

逆に，$\dfrac{1}{n}$ が有限小数 $0.a_1a_2\ \ \cdots a_m$ で表されるとすると

$$\frac{1}{n} = 0.a_1a_2\ \ \cdots a_m = \frac{[a_1a_2\ \ \cdots a_m]}{10^m}$$

ここで，$[a_1a_2\ \ \cdots a_m]$ とは

$$a_1\cdot 10^{m-1}+a_2\cdot 10^{m-2}+\ \cdots\ +a_m\cdot 10^0$$

のこととする．これより

$$n = \frac{10^m}{[a_1a_2\ \ \cdots a_m]}$$

左辺の n は整数なので， 右辺も整数となる． したがって，$[a_1a_2\ \ \cdots a_m]$ は 10^m の約数であり，$[a_1a_2\ \ \cdots a_m] = 2^p\cdot 5^q$ と表せ， したがって，$n=2^k\cdot 5^l$ と表せる．

これは，正の整数 a に対して a 進小数表示をするときには次のように拡張される．

Proposition 2. $a=p_1^{k_1}p_2^{k_2}\cdots p_m^{k_m}$ とするとき，
自然数 n が

$$n=p_1^{l_1}p_2^{l_2}\cdots p_m^{l_m}$$

$$(\ l_i=0,1,2,\ \cdots\ ,i=0,\ 1,\ \cdots m\ )$$

ただし，すべての l_p が 0 ではないとする．

であるとき，$\dfrac{1}{n}$ の a 進法小数表示は有限小数となる．
逆に, $\dfrac{1}{n}$ が a 進法有限小数となるとすると，n は上記のように表すことができる．

Proof 2. $s=\max\limits_{i=0,1,\cdots,m}\{p_i\}$ とすると

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{p_1^{l_1}p_2^{l_2}\cdots p_m^{l_m}} = \frac{p_1^{s-l_1}p_2^{s-l_2}\cdots p_m^{s-l_m}}{a^s}$$

ここで，$p_1^{s-l_1}p_2^{s-l_2}\cdots p_m^{s-l_m}$ を a 進法表記したものを右詰にして左に 0 を補って $s-1$ 桁の数の列を作ったものを $[p_1^{s-l_1}p_2^{s-l_2}\cdots p_m^{s-l_m}]$ と表すこととすれば

$$\frac{1}{n} = 0.\underbrace{[p_1^{s-l_1}p_2^{s-l_2}\cdots p_m^{s-l_m}]_{[a]}}_{k-1\text{ 桁}}$$

となり，a 進法有限小数となる．

逆に，$\dfrac{1}{n}$ が a 進法有限小数 $0.q_1q_2\ \cdots\ q_{k[a]}$ であるとすると

$$\frac{1}{n} = 0.q_1q_2\ \cdots\ q_{k[a]} = \frac{[q_1q_2\ \cdots\ q_k]}{a^k}$$

ここで，$[q_1q_2\ \cdots\ q_k]$ とは

$$q_1\cdot a^{k-1}+q_2\cdot a^{k-2}+\ \cdots\ +q_k$$

のこととする．これより

$$\frac{a^k}{[q_1q_2\ \cdots\ q_k]}$$

左辺の n は整数なので, 右辺も整数となる．したがって，$[q_1q_2\ \cdots\ q_k]$ は a^k の約数なので

$$[q_1q_2\ \cdots\ q_k] = p_1^{l_1}p_2^{l_2}\cdots p_m^{l_m}$$

という形になり，

$$n=p_1^{k_1-l_1}p_2^{k_2-l_2}\cdots p_m^{k_m-l_m}$$

とあらわすことができる．

4　混循環小数と純循環小数

小数第一位から循環する循環小数を純循環小数といい、小数第 m 位（$m\geqq 2$）から循環する循環小数を混循環小数という．

分数 $\dfrac{1}{n}$ が混循環小数であるとしよう．

$$\frac{1}{n} = 0.s_1s_2\cdots s_{m-1}\dot{q_1}q_2\cdots\dot{q_k}$$

とすると

$$\frac{1}{n} = 0.s_1s_2\cdots s_{m-1}+0.\underbrace{0\ 0\ \cdots\ 0}_{m-1\text{ 個}}\dot{q_1}q_2\cdots\dot{q_k}$$

$$= \frac{[s_1\ s_2\ \cdots\ s_{m-1}]}{10^{m-1}} + \frac{1}{10^{m-1}}\cdot 0.\dot{q_1}\ q_2\ \cdots\dot{q_k}$$

こここで,$x=0.\dot{q_1}\ q_2\ \cdots\dot{q_k}$ とすると

$$10^kx = q_1\ q_2\ \cdots q_k.\dot{q_1}\ q_2\ \cdots\dot{q_k}$$

$$x = 0.\dot{q_1}\ q_2\ \cdots\dot{q_k}$$

より　$\left(10^k-1\right)x=[q_1\ q_2\ \cdots q_k]$

ただし，$[q_1\ q_2\ \cdots q_k] = q_1\cdot 10^{k-1}+q_2\cdot 10^{k-2}+\ \cdots\ +q_k$

したがって

$$\frac{1}{n} = \frac{[s_1\ s_2\ \cdots\ s_{m-1}]}{10^{m-1}} + \frac{1}{10^{m-1}}\cdot\frac{[q_1\ q_2\ \cdots\ q_k]}{10^k-1}$$

これより

$$n = \frac{10^{m-1}\cdot\left(10^k-1\right)}{(10^k-1)\,[s_1s_2\ \cdots\ s_{m-1}]+[q_1q_2\ \cdots\ q_k]}$$

左辺 n は整数であるから右辺も整数である．分母第 2 項の $[q_1q_2\ \cdots\ q_k]$ の約数は分母第 1 項と分子の 10^k-1 に同じ約数があるので，約分しても分子の 10^m がすべて約分されつくすことはないので， 右辺は 10 を因数にもつ．したがって，n も因数 2 と因数 5 を持つ．n の因数 2 と因数 5 を取り尽くして

$$n=2^k\cdot 5^l\cdot n'$$

とすると，n' の中にはもう 2 や 5 の因数を持たないとしてよい．

したがって，$\dfrac{1}{n}$ が混循環小数であるときは，n はかならず因数 2 または因数 5 を持つことが示された．

対偶をとれば，n が 2, 5 の因数を持たなければ，$\dfrac{1}{n}$ は純循環小数であるということになる． 逆に, 整数 n が因数として 2 または 5 を持つとき， すなわち $n=2^k\cdot 5^l\cdot n'$（n' は 10 と互いに素，$n'\neq 1$）と表されるとき，

(1) $k \geq l$ のとき

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2^k \cdot 5^l \cdot n'} = \frac{5^{k-l}}{10^k} \cdot \frac{1}{n'}$$

n' は因数として 2，5 を含まないので $\dfrac{1}{n'}$ は純循環小数となり，後に第 8 節で示すように，$\dfrac{m}{n'}$ は $\dfrac{1}{n'}$ と同じ循環節の長さをもった純循環小数となる．したがって，$\dfrac{1}{10^k}$ によって循環節の始まりが k 個ずらされる．

(2) $k < l$ のとき

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2^k \cdot 5^l \cdot n'} = \frac{5^{l-k}}{10^l} \cdot \frac{1}{n'}$$

以下 (1) と同様にして示される．

以上より

Theorem 3. 正の整数 n に対して，$\dfrac{1}{n}$ を 10 進小数表示するとき，混循環小数となる必要十分条件は

$n = 2^k \cdot 5^l \cdot n'$　　n' は 10 と互いに素

（k，l は 0 以上の整数とする．）

のときであり，このとき，$m = \max\{k, l\}$ とするとき，この混循環小数は小数第 m 位から循環節が始まる．

この定理は a 進法小数展開のときには次のようになる．

Theorem 4. a を 1 より大きい整数とし，$a = p_1^{k_1} p_2^{k_2} \ \cdots \ p_m^{k_m}$ と素因数分解されるとする．ただし，p_1，p_2，$\cdots$ p_m は素数, k_1，k_2，$\cdots$ k_m は 0 以上の整数とする．
正の整数 n に対して，$\dfrac{1}{n}$ を a 進小数表示するとき，混循環小数となる必要十分条件は

$n = p_1^{l_1} p_2^{l_2} \cdots p_m^{l_m} \cdot n'$　　n' は a と互いに素な正の整数

のときであり，このとき，$M = \max\limits_{p=1,2,\cdots,m} \{l_p\}$ とするとき，この混循環小数は小数第 M 位から循環節が始まる．

Proof 3. $\dfrac{1}{n}$ は混循環小数になるとする．

$$\frac{1}{n} = 0.s_1 s_2 \cdots s_{M-1} \dot{q_1} q_2 \cdots \dot{q_k}$$

とすると，

$$\begin{aligned}\frac{1}{n} &= 0.s_1 s_2 \cdots s_{M-1} + 0.\underbrace{00\cdots0}_{(M-1)\text{ 個}}\dot{q_1} q_2 \cdots \dot{q_k} \\ &= \frac{[s_1 s_2 \cdots s_{M-1}]}{a^{M-1}} + \frac{1}{a^{M-1}} \cdot 0.\dot{q_1} q_2 \cdots \dot{q_k} \\ &= \frac{[s_1 s_2 \cdots s_{M-1}]}{a^{M-1}} + \frac{1}{a^{M-1}} \cdot \frac{[q_1 q_2 \ \cdots \ q_k]}{a^k - 1}\end{aligned}$$

これより

$$n = \frac{a^{M-1} \cdot \left(a^k - 1\right)}{\left(a^k - 1\right)[s_1 s_2 \cdots s_{M-1}] + [q_1 q_2 \cdots q_k]}$$

左辺 n は整数であるから右辺も整数である．分母第 2 項の $[q_1 q_2 \ \cdots \ q_k]$ の約数は分母第 1 項と分子の $a^k - 1$ に同じ約数があるので，約分しても分子の a^{M-1} がすべて約分されつくすことはないので，右辺は a を因数にもつ．したがって，n も因数 $p_1, p_2, \cdots p_m$ を持つ．n の因数 $p_1, p_2, \cdots p_m$ を取り尽くして

$n = p_1^{l_1} p_2^{l_2} \ \cdots \ p_m^{l_m} \cdot n'$

とすると，n' の中にはもう因数 p_1, p_2，$\cdots$ p_m を持たないとしてよい．

したがって，$\dfrac{1}{n}$ が混循環小数であるときは，n はかならず因数 p_1, p_2，$\cdots$ p_m を持つことが示された．

対偶をとれば，n が因数 p_1, p_2，$\cdots$ p_m を持たなければ，$\dfrac{1}{n}$ は純循環小数であるということになる．

逆に, 整数 n が因数 p_1, p_2，$\cdots$ p_m を持つとき，すなわち　$n = p_1^{l_1} p_2^{l_2} \ \cdots \ p_m^{l_m} \cdot n'$（$n'$ は a と互いに素，$n' \neq 1$）と表されるとき，

$M = \max\limits_{p=1,2,\cdots,m} \{l_p\}$

とすると

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{p_1^{l_1} p_2^{l_2} \ \cdots \ p_m^{l_m} \cdot n'} = \frac{p_1^{k_1 - l_1} p_2^{k_2 - l_2} \ \cdots \ p_m^{k_m - l_m}}{a^{M-1} \cdot n'}$$

n' は a とは互いに素なので，$\dfrac{1}{n}$ は a 進小数では純循環小数隣，後に第 8 節で示すように $\dfrac{m}{n}$ は $\dfrac{1}{n}$ と同じ循環節の長さをもった純循環小数となる．したがって，$\dfrac{1}{a^M}$ によって循環節の始まりが M 個ずらされる．したがって，循環節は小数点第 M 位からはじまる．

5　循環節の長さ

第 2 節では，正整数 n に対して，$\dfrac{1}{n}$ を a 進小数展開をするとき，$1 \div n$ の計算途中で現れる商の列 $\{q_n\}$ と余りの列 $\{r_n\}$ について考えた．Theorem 1 は余りの列 $\{r_n\}$ が,

$r_n \equiv a^n \pmod{n}$

であることを示している．

a^n を n で割った余り r_n は，0，1，2，$\cdots$，$n-1$ の n 個のいずれかである．

$r_n = 0$ となるのは，a^n が n で割り切れるときであり，それはすなわち，$\dfrac{1}{n}$ が有限小数になるときである．3 節の Proposition 1，Proposition 2 で示したように，n が a の因数しか持たないときである．10 進小数を考えるときには，n が 2, 5 の因数を持たないときのことである．

このときには，r_n は 1，2，$\cdots$，$n-1$ のいずれかである．$1 \div n$ を計算していくとき，$r_0 = 1$ であり，r_2，r_3，$\cdots$ と異なる余りが出るとしても，最大でも r_{n-2} までしか異なる余りが出続けることはできない．次の定理がなりたつ．

Theorem 5 (フェルマーの小定理)**.**

n は素数とし，a と n は互いに素とするとき

$a^{n-1} \equiv 1 \pmod{n}$

. $1 \cdot a$, $2 \cdot a$, $3 \cdot a$, $\cdots$ $(n-1)a$

の $n-1$ 個について，$k \cdot a$ を n で割った商を Q_k，余りを R_k とする．すなわち

$$
\begin{aligned}
1 \cdot a &= Q_1 \times n + R_1 \\
2 \cdot a &= Q_2 \times n + R_2 \\
3 \cdot a &= Q_3 \times n + R_3 \\
&\cdots \quad \cdots \\
(n-1) \cdot a &= Q_{n-1} \times n + R_{n-1}
\end{aligned}
$$

とする．

このとき，これらの余り R_1, R_2, R_3, $\cdots$ R_{n-1} は全て異なる．

実際，$k \cdot a$ と $l \cdot a$ が同じ余りをもつとするならば

$$
\begin{aligned}
k \cdot a &= Q_k \times n + R_k \\
l \cdot a &= Q_l \times n + R_l
\end{aligned}
$$

において，$R_k = R_l$ となるので，辺々引くことにより

$$(k-l) \cdot a = (Q_k - Q_l) \times n$$

となる．この式の右辺は n の倍数なので，左辺の $(k-l) \cdot a$ も n の倍数である．

ところが，a と n は互いに素であるので，このことから，$k-l$ が n の倍数となる．

ここで，$0 \leq k \leq n-1$, $0 \leq l \leq n-1$ なので，$-(n-1) \leq k-l \leq n-1$ なので，この $k-l$ が n の倍数であるということは，$k-l=0$ でなければならない．

したがって，$k=l$ となる．

そこで，これら $n-1$ 個の式を辺々かけあわせると

$$
\begin{aligned}
&1 \cdot a \times 2 \cdot a \times 3 \cdot a \times \quad \cdots \quad (n-1) \cdot a \\
&= (Q_1 \times n + R_1) \\
&\quad \times (Q_2 \times n + R_2) \\
&\qquad \times (Q_3 \times n + R_3) \\
&\qquad\quad \times \cdots \times (Q_{n-1} \times n + R_{n-1}) \\
&= Q \times n + R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot R_{n-1}
\end{aligned}
$$

ここで，$n-1$ 個の R_1, R_2, $\cdots$, R_{n-1} は，すべて $0 \leq R_k \leq n-1$ であり，すべて異なるので，これらの積は

$$R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot R_{n-1} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot (n-1)$$

となる．したがって

$$
\begin{aligned}
&1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot (n-1) \times a^{n-1} \\
&\qquad = Q \times n + 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot (n-1)
\end{aligned}
$$

となるので，

$$1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot (n-1)\left(a^{n-1} - 1\right) = Q \times n$$

この等式の右辺は n の倍数である．ところが，n は素数のときには，1, 2, 3, $\cdots$, $n-1$ は n と互いに素であるので，等式の左辺が n の倍数になることから

$a^{n-1} - 1$ は n の倍数 すなわち

$$a^{n-1} \equiv 1 \pmod{n}$$

この定理は次のように拡張される．

Theorem 6 (オイラー)**.**

a と n が互いに素であれば，オイラーの φ 関数を用いて

$a^{\varphi(n)} \equiv 1 \pmod{n}$

. $1 \cdot a$, $2 \cdot a$, $3 \cdot a$, $\cdots$ $(n-1)a$

の $n-1$ 個について，$k \cdot a$ を n で割った商を Q_k，余りを R_k とする．すなわち

$$
\begin{aligned}
1 \cdot a &= Q_1 \times n + R_1 \\
2 \cdot a &= Q_2 \times n + R_2 \\
3 \cdot a &= Q_3 \times n + R_3 \\
&\cdots \quad \cdots \\
(n-1) \cdot a &= Q_{n-1} \times n + R_{n-1}
\end{aligned}
$$

とする．

このとき，これらの余り R_1, R_2, R_3, $\cdots$ R_{n-1} は全て異なる．

実際，$k \cdot a$ と $l \cdot a$ が同じ余りをもつとするならば

$$
\begin{aligned}
k \cdot a &= Q_k \times n + R_k \\
l \cdot a &= Q_l \times n + R_l
\end{aligned}
$$

において，$R_k = R_l$ となるので，辺々引くことにより

$$(k-l) \cdot a = (Q_k - Q_l) \times n$$

となる．この式の右辺は n の倍数なので，左辺の $(k-l) \cdot a$ も n の倍数である．

ところが，a と n は互いに素であるので，このことから，$k-l$ が n の倍数となる．

ここで，$0 \leq k \leq n-1$, $0 \leq l \leq n-1$ なので，$-(n-1) \leq k-l \leq n-1$ なので，この $k-l$ が n の倍数であるということは，$k-l=0$ でなければならない．

したがって，$k=l$ となる．

また，k と n が 1 でない公約数 d を持つとき，$k \cdot a = Q_k \times n + R_k$ の左辺は d を約数にもち，右辺の $Q_k \times n$ も d を約数に持つので，R_k も d を約数にもつ．逆に k が d 約数に持たなければ，右辺の $Q_k \times n$ は d を約数に持つことから R_k は d を約数に持たない． そこで，これら n と互いに素になる k・・・ $\varphi(n)$ 個の式を辺々かけあわせると

$$
\begin{aligned}
&\underbrace{1 \cdot a \times 2 \cdot a \times 3 \cdot a \times \quad \cdots \quad (n-1) \cdot a}_{n\text{ と互いに素となる }k} \\
&= (Q_1 \times n + R_1) \\
&\quad \times (Q_2 \times n + R_2) \\
&\qquad \times (Q_3 \times n + R_3) \\
&\qquad\quad \times \cdots \times (Q_{n-1} \times n + R_{n-1}) \\
&= Q \times n + \underbrace{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot R_{n-1}}_{n\text{ と互いに素となる }k}
\end{aligned}
$$

ここで，$n-1$ 個の R_1, R_2, $\cdots$, R_{n-1} は，すべて $0 \leq R_k \leq n-1$ であり，すべて異なるので，これらの積は

$$\underbrace{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot R_{n-1}}_{n\text{ と互いに素となる }k} = \underbrace{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot (n-1)}_{n\text{ と互いに素となる }k}$$

となる．したがって

$$\underbrace{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot (n-1)}_{n\text{ と互いに素となる }k} \times a^{\varphi(n)} = Q \times n + \underbrace{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot (n-1)}_{n\text{ と互いに素となる }k}$$

となるので，

$$\underbrace{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \quad \cdots \quad \cdot (n-1)}_{n\text{ と互いに素となる }k} \left(a^{\varphi(n)} - 1\right) = Q \times n$$

この等式の右辺は n の倍数である．ところが，n は素数のときには，$\underbrace{1,\ 2,\ 3,\ \ \cdots\ ,\ n-1}_{n\text{ と互いに素となる }k}$ は n と互いに素であるので，等式の左辺が n の倍数になることから

$a^{\varphi(n)} - 1$　は　n の倍数　　すなわち

$$a^{\varphi(n)} \equiv 1 \qquad (\bmod\ n)$$

例.

$a = 10,\ n = 21$ の場合，

$\dfrac{1}{n}$ の計算に現れる余りの列 $\{r_n\}$ は

$1 = n \times 0 + 1$　　より　$r_0 = 1$

$10r_0 = 10 = 21 \times 0 + 10$　より　$r_1 = 10$

$10r_1 = 100 = 21 \times 4 + 16$　より　$r_2 = 16$

$10r_2 = 160 = 21 \times 7 + 13$　より　$r_3 = 13$

$10r_3 = 130 = 21 \times 6 + 9$　より　$r_4 = 4$

$10r_4 = 40 = 21 \times 1 + 19$　より　$r_5 = 19$

$10r_5 = 190 = 21 \times 9 + 1$　より　$r_6 = 1$

$r_6 = 1$ となったので，以下 r_1〜r_6 を繰り返す．そして，商も 0，4，7，6，1，9 の順に繰り返すことになり，$\dfrac{1}{n}$ の小数展開は

$$\frac{1}{n} = 0\dot{0}4761\dot{9}$$

となる．

Theorem 1 あるいはその Corollary により，上のように決まる余りの数列 $\{r_k\}$ は

$r_k = 10^k$　あるいは　$r_k = r_1 \times r_{k-1}$

として求めることもできる．

$21 = 3 \times 7$ で 3 と 7 は互いに素なので $\varphi(21) = \varphi(3 \times 7) = \varphi(3) \times \varphi(7) = 2 \times 6 = 12$ であるから

$$a^{\varphi(21)} = a^{12} = \left(a^6\right)^2 = 1$$

となり，Theorem 6 は確かに成り立つ．

この場合，余りの集合 $\{r_n\}$ は $\{r_1,\ r_2,\ \cdots,\ r_6\}$ という 6 個の要素からなり，この 6 が循環節の長さでもある．

オイラーの定理 Theorem 6 は，循環節の長さは $\varphi(n)$ 以下であることを主張している．

上の例では，$\varphi(21) = 12$ であるのに，それよりも小さい $d = 6$ について

$$a^d \equiv 1 \qquad (\bmod\ n)$$

となっている．

この例のように $\varphi(n)$ より小さい d について，$a^d \equiv 1 \pmod n$ であれば，$k = 1$ から $k = d$ までを繰り返すことになる．したがって，$\varphi(n)$ は d の倍数である．

Theorem 7 (主定理)**.**
1 より大きい自然数 n，a に対して

(i) n と a が互いに素ではないとき
$\dfrac{1}{n}$ は a 進有限小数

(ii) n と a が互いに素であれば
$\dfrac{1}{n}$ は a 進循環小数となり
$a^d \equiv 1 \pmod n$ をみたす最小の自然数 d を考えると，この d が循環節の長さであり，
d は $\varphi(n)$ の約数である．

6　循環節の長さ・・・n が素数の場合

「$a^d \equiv 1 \pmod n$ をみたす最小の自然数 d」はどのようにしてきまるのであろうか？

n が素数の場合を考えよう．正の自然数 a が因数として n を持つ場合には，$\dfrac{1}{n}$ は有限小数となるので，a と n は互いにその場合を考えることになる．

n が素数の場合，1 より小さい $1, 2, 3,\ \cdots\ , n-1$ は n と素になるので，

$$\varphi(n) = n - 1$$

となる．

n は素数なので $n-1$ は偶数であり，$\dfrac{n-1}{2}$ は整数となり，

$$a^{n-1} - 1 = \left(a^{\frac{n-1}{2}} + 1\right)\left(a^{\frac{n-1}{2}} - 1\right) \equiv 0 \pmod n$$

ここで，もしも $a^{\frac{n-1}{2}} - 1 \equiv 0,\ \pmod n$ が成り立つようであれば，
$\varphi(n) = n - 1$ より小さい整数 m で

$$a^m \equiv 1,\ \pmod n$$

を成り立たせるものが存在することになる．$\dfrac{n-1}{2}$ が偶数であれば，同じように和と差の席に素因数分解されてさらに小さい m が存在する可能性がある．

また，$\dfrac{n-1}{2}$ が奇数の場合には，$\dfrac{n-1}{2} = 2k - 1$ であれば

$$a^{2k-1} - 1$$
$$= (a-1)\left(a^{2k-2} + a^{2k-3} + \ \cdots\ + a + 1\right) \equiv 0 \pmod n$$

$a - 1 \equiv 0,\ \pmod n$ でなければ

$$a^{2k-2} + a^{2k-3} + \ \cdots\ + a + 1 \equiv 0,\ \pmod n$$

このように，$a^{n-1} - 1$ を素因数分解したときの各因数

の中で $a^d-1\equiv 0$ ， $\pmod n$ となる最小の d を探すことにより，これを満たす最小の d すなわち $\dfrac{1}{n}$ の循環節の長さを求めることができる．

例えば, $n=13$, $a=10$ の場合を考えてみよう．

$$\begin{aligned}&10^{13-1}-1=10^{12}-1\\&=\left(10^6+1\right)\left(10^6-1\right)\\&=\left(10^2+1\right)\left(10^4-10^2+1\right)\times\\&\quad\times(10+1)\left(10^2-10+1\right)\times\\&\quad\quad\times(10-1)\left(10^2+10+1\right)\end{aligned}$$

ここで

$10^2+1=101$　これは　素数

$10^4-10^2+1=9901$　これは　素数

ゆえに　$10^6+1\not\equiv 0$ ， $\pmod{13}$

$10+1=11$　これは素数

$10^2-10+1=91=7\times 13$

したがって　$10^2-10+1\equiv 0$　$\therefore$　$10^3+1\equiv 0$

$10-1=9=3^2$　これは素数

$10^2+10+1=111=3\times 37$

したがって　$10^2+10+1\equiv 0$　$\therefore$　$10^3-1\not\equiv 0$

したがって　$\therefore$　$10^6-1\equiv 0$

これから　$a^m\equiv 1 \pmod n$ をみたす最小の m は 6

$\therefore d=6$

実際に

$$\frac{1}{13}=0.\dot{0}7692\dot{3}$$

であり $\dfrac{1}{13}$ の循環節の長さは 6 である．

7　Midy の定理の証明・・・その 1

a は正の整数, n は素数とする． $\dfrac{1}{n}$ を a 進法小数展開したときに循環節の長さが偶数 $2m$ であると仮定する．このとき，循環節の最初の m 個を右詰に並べてできる m 桁の整数を A とし，最後の m 個によってできる m 桁の整数を B とするとき

$$A+B=a^m-1$$

となる．ただし，m 個のなかの先頭のいくつかが 0 であるときはには必ずしも m 桁とはなるとは限らない．

$\dfrac{1}{n}$ を a 進法小数展開したときに循環節の長さが偶数 $2m$ であることから,

$$a^{2m}\equiv 1 \pmod n$$

であり,

$2m$ より小さい正の整数 l に対しては

$$a^l\not\equiv 1 \pmod n$$

である．

$$a^{2m}-1=(a^m+1)(a^m-1)\equiv 0 \pmod n$$

であるけれども，$a^m-1\not\equiv 0 \pmod n$　なので

$a^m+1\equiv 0$　すなわち　$a^m\equiv -1 \pmod n$

さて，A は第 2 節でみたように，a^m を n で割ったときの商であり，そのときの余りは $n-1$ となる．

$$a^m=A\times n+(n-1) \tag{1}$$

さらに，B はこの余り $n-1$ から割り算を初めた m 個を並べたものであるので

$$(n-1)\,a^m=B\times n+1 \tag{2}$$

という関係がある．

(1) + (2) とすると

$$n\times a^m=(A+B)\times n+n$$

これから　$A+B=a^m-1$

が成り立つ．

特に $a=10$ のときには,

$$a^m-1=10^m-1=\underbrace{999\ \cdots\ 99}_{m\text{ 個}}$$

であるので，分子が 1 である $\dfrac{1}{n}$ についての Midy の定理が証明された．

Midy の定理の主張する性質は, 以下に示すように, 前提とする条件を若干弱めたうえでより強い性質が主張できることが証明できる．

Theorem 8. a は正の整数, n は素数とする． $a^d+1\equiv 0 \pmod n$ をみたす n より小さい正の整数 d が存在して， $2d$ より小さい l に対しては $a^l\not\equiv 1$ が成り立てば， $\dfrac{1}{n}$ を a 進法小数展開したときに循環節の長さが偶数 $2d$ であり，このとき，$1\leqq k\leqq d$ を満たす任意の整数 k について，循環節の第 k 番目の数を A とし，第 $d+k$ 番目の数を B とするとき

$$A+B=a-1$$

となる．

Proof 4. $a^d+1\equiv 0 \pmod n$ をみたす n より小さい正の整数 d が存在すると仮定する．このとき

$$a^{2d}-1=\left(a^d+1\right)\left(a^d-1\right)\equiv 0 \pmod n$$

が成り立ち，$2d$ より小さい l に対しては $a^l\not\equiv 1$ であるので，この $2d$ が $a^m\equiv 1 \pmod n$ をみたす最小の整数となるので，循環節の長さは $2d$ である．

このとき，$1\leqq k\leqq d$ に対しては，$a^k\not\equiv 1 \pmod n$ であるので,

$$\begin{aligned}&a^1=q_1\times n+r_1\\&a^2\equiv a\times r_1=q_2\times n+r_2\\&\cdot\cdot\cdot\qquad\cdot\cdot\cdot\qquad\cdot\cdot\cdot\\&a^d\equiv a\times r_{d-1}=q_d\times n+r_d\end{aligned}$$

となるときの r_1，r_2，$\cdots$，r_{d-1} はすべて異なり，± 1 とも異なり，$r_d\equiv -1 \pmod n$ より　$r_d=n-1$ である．そして,

$$\begin{aligned}&a^{d+1}\equiv a\times r_d=q_{d+1}\times n+r_{d+1}\\&a^{d+2}\equiv a\times r_{d+1}=q_{d+2}\times n+r_{d+2}\\&\cdot\cdot\cdot\qquad\cdot\cdot\cdot\qquad\cdot\cdot\cdot\\&a^{2d}\equiv a\times r_{2d-1}=q_{2d}\times n+r_{2d}\end{aligned}$$

となるとき,

$$\begin{aligned}&r_{d+1}\equiv r_d\times r_1=-1\times r_1=n-r_1\\&r_{d+2}\equiv r_d\times r_2=-1\times r_2=n-r_2\end{aligned}$$

・・・　　　・・・　　　・・・

$$r_{d+d} \equiv r_d \times r_d = -1 \times r_d = n - r_d$$

となるので

$$r_k + r_{d+k} = r_k + (n - r_k) = n$$

であり，

$$\begin{aligned} a_k + a_{d+k} &= (q_k + q_{d+k}) \times n + (r_k + r_{d+k}) \\ &= (q_k + q_{d+k}) \times n + n \end{aligned}$$

ここで，

$$a^k + a^{d+k} = a^k + a^k \cdot a^d = a^k \left(1 + a^d\right)$$

なので

$$a^k + a^{d+k} \equiv (q_k + q_{d+k}) \times n + n$$

より

$$\frac{a^d + 1}{n} \cdot a^k = q_k + q_{d+k} + 1$$

ここで，$a^d + 1 \equiv 0 \pmod{n}$ より　$\dfrac{a^d+1}{n}$ は整数である．また，

$$0 \leqq q_k \leqq a - 1,\ 0 \leqq q_{d+k} \leqq a - 1$$

より　$-1 \leqq q_k + q_{d+k} \leqq 2a - 1$　なので，これより

$$q_k + q_{d+k} + 1 = a \quad \text{ゆえに} \quad q_k + q_{d+k} = a - 1$$

Midy の定理の主張するのは
「循環節の最初の m 個を右詰に並べてできる m 桁の整数を A とし，最後の m 個によってできる m 桁の整数を B とするとき

$$A + B = a^m - 1$$

となる.」
ことであったが，実際には 2 分割した 2 つの整数 A, B の対応する各桁の数 a, b について

$$a + b = a - 1$$

が成り立つことがわかった．この強い意味での性質を「Midy の性質」と呼ぶこととする．

8　n が素数のときの $\dfrac{m}{n}$ の循環節

n が素数で，正の整数 a と n は互いに素とする．このとき，$\varphi(n) = n - 1$ であり，$\dfrac{1}{n}$ の a 進小数表示は循環節の長さが d の循環小数となる．このとき d は $\varphi(n) = n - 1$ の約数となっており，$a^d \equiv 1 \pmod{n}$ となる．

$\dfrac{1}{n}$ を a 進小数表示するための $1 \div n$ の計算に現れる商 q_k と余り r_k を考える．
a^k を n で割ったときの商が q_k, 余りが r_k であり

$$a = q_1 \times n + r_1$$

$$a^2 = q_2 \times n + r_2 \qquad a^2 \equiv a \times r_1 \pmod{n}$$

・・・　　　・・・　　　・・・

$$a^k = q_k \times n + r_k \qquad a^k \equiv a \times r_{k-1} \pmod{n}$$

・・・　　　・・・　　　・・・

$$a^d = q_d \times n + r_d \qquad a^k \equiv a \times r_{k-1} \pmod{n}$$

となっている．このとき，

$$R_a(n) = \{r_k\} \qquad r_k \equiv a^k \pmod{n}$$

$$Q_a(n) = \{q_k\}$$

循環節の長さが d であることから，r_1，r_2，$\cdots$，r_d はみな異なり，$r_d = 1$ であり，したがって $R_a(n)$ は d 個の要素をもつ有限集合である．

$a = 10$，$n = 7$ のときの $\dfrac{1}{n}$ を見てみよう

```
          0. 1  4  2  8  5  7
   7 ) 1  0
          7
          3                    ⟸ r1
          2  8
             2  0              ⟸ r2
             1  4
                6  0           ⟸ r3
                5  6
                   4  0        ⟸ r4
                   3  5
                      5  0     ⟸ r5
                      4  9
                         1     ⟸ r6
```

この場合，

$$r_1 = 3,\ r_2 = 2,\ r_3 = 6,\ r_4 = 4,\ r_5 = 5,\ r_6 = 1$$

となる．

このとき，$\dfrac{3}{n}$ の小数展開を求めると

```
          0. 4  2  8  5  7  1
   7 ) 3  0
       2  8
          2  0
          1  4
             6  0
             5  6
                4  0
                3  5
                   5  0
                   4  9
                      1  0
                         7
                         3
```

となる．

$\dfrac{1}{n}$ の計算で $r_1 = 3$ が出たところから計算が始まる，同じ余りが出ると，そこから先は $\dfrac{1}{n}$ の計算と同じことを繰り返していき，r_1，r_2，$\cdots$，r_6 と同じ順に余りが決まっていき，それに対応して商 q_1，q_2，$\cdots$，q_6 と同じ順で商も決まっていく．

一般に，$\dfrac{m}{n}$ の小数展開を考えよう．
$m > n$ のときには帯分数に直して整数部分を除いた分数の小数展開を考えることになるので，$m < n$ と仮定しても一般性を失わない．

m を n で割ったときの商を q_0, 余りを r_0 とすると，

$$m = q_0 \times n + r_0$$

実際には　$m < n$ と仮定すると　$q_0 = 0,\ r_0 = m$ である．この後

$$a \times r_0 = q_1 \times n + r_1$$

$$a \times r_1 = q_2 \times n + r_2$$

$$\cdots \qquad \cdots \qquad \cdots$$
$$a \times r_{k-1} = q_k \times n + r_k$$
$$\cdots \qquad \cdots \qquad \cdots$$
$$a \times r_{d-1} = q_d \times n + r_d$$
となり，$r_{k+1} = a \times r_k$ という漸化式は $\dfrac{1}{n}$ のときと同じである．

したがって，$\dfrac{m}{n}$ を a 進小数表示するときにあらわれる余りの作る集合は
$$mR_a(n) \equiv \{m \times r_1,\ m \times r_2,\ \cdots,\ m \times r_d\} \pmod{n}$$
となる．

$r_1,\ r_2,\ \cdots,\ r_d$ はすべて異なることから，$m \times r_1,\ m \times r_2,\ \cdots,\ m \times r_d$ もすべて異なり，$m \times r_d = r \times 1 = m$ となる．

このことから，$(n-1)$ 個集合 $mR_a(n)$，$m = 1, 2, \cdots, n-1$ のうち，異なる集合は $\dfrac{n-1}{d}$ 個あることになる．

例 1. $a = 10,\ n = 7$ のときの $\dfrac{1}{n}$ については

$n = 7$ は素数なので $\varphi(n) = n - 1 = 6$
$$\begin{aligned} 1 &= 0 \times 7 + 1 &\Longrightarrow\quad 10 \times 1 &= 1 \times 7 + 3 \\ 10 \times 3 &= 4 \times 7 + 2 &\Longrightarrow\quad 10 \times 2 &= 2 \times 7 + 6 \\ 10 \times 6 &= 8 \times 7 + 4 &\Longrightarrow\quad 10 \times 4 &= 5 \times 7 + 5 \\ 10 \times 5 &= 7 \times 7 + 1 \end{aligned}$$
となるので，$10^d \equiv 1 \pmod{n}$ となる最小の整数 d は
$$d = 6$$
$\dfrac{n-1}{d} = 1$ なので分子 m が $1, 2, 3, 4, 5, 6$ のいずれの時でも余りに現れる数はみな同じになる．　$R_{10}(7) = \{3, 2, 6, 4, 5, 1\}$ であり
$$\begin{aligned} R_{10}(7) &= 3R_{10}(7) = 2R_{10}(7) \\ &= 6R_{10}(7) = 4R_{10}(7) = 5R_{10}(7) \end{aligned}$$

したがって，循環節を作る数の並びも, 以下のように先頭が異なるだけでようにすべて同じになる．

$$\frac{1}{7} = 0.\dot{1}4285\dot{7} \qquad \frac{3}{7} = 0.\dot{4}2857\dot{1} \qquad \frac{2}{7} = 0.\dot{2}8571\dot{4}$$
$$\frac{6}{7} = 0.\dot{8}5714\dot{2} \qquad \frac{4}{7} = 0.\dot{5}7142\dot{8} \qquad \frac{5}{7} = 0.\dot{7}1428\dot{5}$$

例 2. $a = 10,\ n = 41$ のときの $\dfrac{1}{n}$ を見てみよう

$n = 41$ は素数なので $\varphi(n) = n - 1 = 40$
$$\begin{aligned} 1 &= 0 \times 41 + 1 &\Longrightarrow\quad 10 \times 1 &= 0 \times 41 + 10 \\ 10 \times 10 &= 2 \times 41 + 18 &\Longrightarrow\quad 10 \times 18 &= 4 \times 41 + 16 \\ 10 \times 16 &= 3 \times 41 + 37 &\Longrightarrow\quad 10 \times 37 &= 9 \times 41 + 1 \end{aligned}$$
となるので，$10^d \equiv 1 \pmod{n}$ となる最小の整数 d は
$$d = 5$$
$R_{10}(41) = \{10, 18, 16, 37, 1\}$ であり，
$$\begin{aligned} R_{10}(41) &= 10R_{10}(41) = 18R_{10}(41) \\ &= 16R_{10}(41) = 37R_{10}(41) \end{aligned}$$
$$\frac{1}{41} = 0.\dot{0}243\dot{9} \qquad \frac{10}{41} = 0.\dot{2}439\dot{0} \qquad \frac{18}{41} = 0.\dot{4}390\dot{2}$$
$$\frac{16}{41} = 0.\dot{3}902\dot{4} \qquad \frac{37}{41} = 0.\dot{9}024\dot{3}$$

$2R_{10}(41) = \{20, 36, 32, 33, 2\}$ であり，
$$\begin{aligned} 2R_{10}(41) &= 20R_{10}(41) = 36R_{10}(41) \\ &= 32R_{10}(41) = 33R_{10}(41) \end{aligned}$$
$$\frac{2}{41} = 0.\dot{0}487\dot{8} \qquad \frac{20}{41} = 0.\dot{4}878\dot{0} \qquad \frac{36}{41} = 0.\dot{8}780\dot{4}$$
$$\frac{32}{41} = 0.\dot{7}804\dot{8} \qquad \frac{33}{41} = 0.\dot{8}048\dot{7}$$

$3R_{10}(41) = \{30, 13, 7, 29, 3\}$ であり，
$$\begin{aligned} 3R_{10}(41) &= 30R_{10}(41) = 13R_{10}(41) \\ &= 7R_{10}(41) = 29R_{10}(41) \end{aligned}$$
であり，
$$\frac{3}{41} = 0.\dot{0}731\dot{7} \qquad \frac{30}{41} = 0.\dot{7}313\dot{0} \qquad \frac{13}{41} = 0.\dot{3}170\dot{7}$$
$$\frac{7}{41} = 0.\dot{1}707\dot{3} \qquad \frac{29}{41} = 0.\dot{7}073\dot{1}$$

同様に，$4R_{10}(41) = \{40, 31, 23, 25, 4\}$ であり，
$$\begin{aligned} 4R_{10}(41) &= 40R_{10}(41) = 31R_{10}(41) \\ &= 23R_{10}(41) = 25R_{10}(41) \end{aligned}$$
となり
$$\frac{4}{41},\ \frac{40}{41},\ \frac{31}{41},\ \frac{23}{41},\ \frac{25}{41}$$
の循環節に並ぶ数字は一つずつずれるけれども同じものが同じ順に並ぶ．

以下同様に，
$$\begin{aligned} 5R_{10}(41) &= \{9, 8, 39, 21, 5\} \\ 6R_{10}(41) &= \{19, 26, 14, 17, 6\} \\ 7R_{10}(41) &= \{29, 3, 30, 13, 7\} \\ 11R_{10}(41) &= \{28, 34, 12, 38, 11\} \\ 15R_{10}(41) &= \{27, 24, 35, 22, 15\} \end{aligned}$$
である．

$\dfrac{m}{41}$ という 40 個の分数は，$40 \div 5 = 8$ 組ずつが同じ余りの数列から循環節が決まる．

9　$\dfrac{1}{n_1 \times n_2}$ の小数展開

$\dfrac{1}{n_1 \times n_2}$ の循環節の長さを d とすると
$$a^l \equiv 1 \pmod{n_1 \times n_2}$$
をみたす最小の l が d である．

$a^d = n_1 \times n_2 \times Q + 1$　であるから，
$$a^d = n_1 \times n_2 Q + 1$$
$$a^d = n_2 \times n_1 Q + 1$$
より　$a^d \equiv 1 \pmod{n_1}$　かつ　$a^d \equiv 1 \pmod{n_2}$ である．

n_1 と n_2 が互いに素であるとき，$\dfrac{1}{n_1}$ の循環

節の長さを d_1, $\dfrac{1}{n_2}$ の循環節の長さを d_2 とする．すなわち

$a^l \equiv 1 \pmod{n_1}$　をみたす最小の l が d_1

$a^l \equiv 1 \pmod{n_2}$　をみたす最小の l が d_2

である．このとき，d_1 と d_2 の最小公倍数を L とする．

$L = d_1 \times m_1$, $d_2 \times m_2$　とすると

$$a^L = \left(a_1^d\right)^{m_1} \equiv 1 \pmod{n_1}$$
$$a^L = \left(a_2^d\right)^{m_2} \equiv 1 \pmod{n_2}$$

となるので,

$$a^L = n_1 \times Q_1 + 1$$

となり, さらに Q_1 を　$Q_1 = n_2 \times Q_1' + R_1$ とすると

$$a^L = n_1 \times n_2 \times Q_1' + n_1 \times R_1 + 1 \qquad (1)$$

同様に

$$a^L = n_2 \times Q_2 + 1$$

となり, さらに Q_2 を　$Q_2 = n_1 \times Q_2' + R_2'$ とすると

$$a^L = n_1 \times n_2 \times Q_2' + n_2 \times R_2 + 1 \qquad (2)$$

$(1) - (2)$ とすると

$$0 = n_1 \times n_2 \times (Q_1' - Q_2') + n_1 \times R_1 - n_2 \times R_2$$

したがって　$n_1 \times R_1 = n_2 \times R_2 - n_1 \times n_2 \times (Q_1' - Q_2')$ となり，n_1 と n_2 が互いに素であることから，R_1 は n_2 で割り切れることがわかる．これより

$$a^L \equiv 1 \pmod{n_1 \times n_2}$$

である．

ここで，$d > L$ と仮定すると

$$a^d \equiv 1 \pmod{n_1 \times n_2}$$
$$a^L \equiv 1 \pmod{n_1 \times n_2}$$

より　$a^d - a^L = \left(a^{d-L} - 1\right) a^d \equiv 0 \pmod{n_1 \times n_2}$

$a^d \equiv 1$ より $a^{d-L} - 1 \equiv 1$

$d - L < L$ でなくても，同様に繰り返すと有限回で $d - L < L$ となる．これは L の最小性に矛盾する．

したがって $d = L$ である．

以上のことから，次の定理を得る．

Theorem 9. n_1 と n_2 が互いに素であるとき，$\dfrac{1}{n_1}$ の循環節の長さを d_1，$\dfrac{1}{n_2}$ の循環節の長さを d_2 とすると $\dfrac{1}{n_1 \times n_2}$ の循環節の長さ d は

$$d = \mathrm{LCM}\,(d_1, d_2)$$

n_1 と n_2 が互いに素でないとき，例えば p を素数として $n_1 = n_2 = p$ のときには，$\dfrac{1}{p}$ の循環節の長さを d とすると，$\dfrac{1}{p^2}$ の循環節の長さは

$$p \times d$$

となるという予想を持っている．

例 3.

(1)　$\dfrac{1}{7}$ の循環節の長さは 6 であり

$\dfrac{1}{7^2}$ の循環節の長さは $42 = 7 \times 6$ である．

(2)　$\dfrac{1}{13}$ の循環節の長さは 6 であり

$\dfrac{1}{13^2}$ の循環節の長さは $78 = 13 \times 6$ である．

(3)　$\dfrac{1}{37}$ の循環節の長さは 3 であり

$\dfrac{1}{37^2}$ の循環節の長さは $111 = 13 \times 3$ である．

例 4. (1) $\dfrac{1}{21} = \dfrac{1}{3 \times 7}$ の循環節について

$\dfrac{1}{3 \times 7} = 0.\dot{0}4761\dot{9}$ であり，Midy の定理の条件「循環節の長さが偶数 $2d$」を満たしている． もちろん分母は素数でなくて合成数であるが， 循環節の前半を $A = 047$, 後半を $B = 619$ とすると

$$A + B = 047 + 619 = 666$$

となり，999 ではないが，6 が 3 つ並ぶ.

これについては，次のような計算が何か秘密を解く鍵かもしれないと考えている．

$$1000 = 21 \times A + 13 = 21 \times 47 + 13 \qquad (1)$$
$$13 \times 1000 = 21 \times B + 1 = 21 \times 619 + 1 \qquad (2)$$

$(1) + (2)$ とすると

$$(1 + 13) \times 1000 = 21 \times (A + B) + (13 + 1)$$
$$\frac{(A + B) \times 3}{2} = 1000 - 1$$

これより　$A + B = \dfrac{2 \times 999}{3}$

$A + B$ ではなくて，桁ごとに加えて 9 になる性質を「Midy の強性質」といったが，これは桁ごとでは成り立たないが $A + B$ が全体として 666 になるという意味で「Midy の弱性質」である．

この現象は $A + B = \dfrac{2 \times 999}{3}$ が整数になるようになればよいので，999 の約数との関係になると考えている．

(2) $\dfrac{1}{259} = \dfrac{1}{7 \times 37}$ の循環節について

$\dfrac{1}{7 \times 37} = 0.\dot{0}0386\dot{1}$ であり，循環節の長さが 6 である．

$$1000 = 259 \times A + 158 = 259 \times 003 + 158 \quad (3)$$
$$158 \times 1000 = 259 \times B + 1 = 259 \times 61 + 1 \quad (4)$$

$(3) + (4)$ とすると

$$(1 + 158) \times 1000 = 259 \times (3 + 61) + (158 + 1)$$
$$159 \times 1000 = 259 \times 64 + 159$$

ここで，$224 = 2^5 \times 7$　$999 = 3^3 \times 37$　$259 = 7 \times 37$

より　$A + B = \dfrac{224 \times 999}{259} = 2^5 \times 3^3$

これより　$A + B = 864$

まだまだ興味深い現象があるようである．

10　参考文献

[1]E.Midy 1836,
De Quelques Proprieies des Numbres et des Fractions Decimales Periodiques,Nantes,1836

乳酸はカビに勝てるか？

岩手県立一関第一高等学校理数科３年
横山菜月　元島樹　佐藤明都　藤田竜ノ介

要約

乳酸がカビを死滅させるのかどうか，寒天培地でカビを培養し、乳酸など添加物を変えて対照実験を行い調べた。結果，乳酸がカビの成長を阻害するが，完全に死滅させることはできないとわかった。
〈キーワード〉　乳酸　カビ　pH

Fighting with Mold and Lactic acid

YOKOYAMA Natsuki, MOTOJIMA Tatsuki , SATO Akito and FUJITA Ryunosuke

ABSTRACT

We investigated a contrastive experiment to find whether the lactic acid kill the mold or not.
As a result, though the lactic acid disturb the mold's growing, but it couldn't kill the mold completely.
Keywords:　lactic acid, mold, pH

1 はじめに

私たちは最初漬物の保存性の高さに興味があった。それは糠に含まれる塩分と乳酸菌によるものと知られている。また私たちは乳酸を用いたカビ取り商品が売られていることを知り，漬物の乳酸菌が作り出す乳酸がカビを死滅させているのではないか，と考え研究を進めた。先行研究として「乳酸カビ取り洗浄剤」製造元検証実験があり，複数のカビに対する殺カビ率が示されている。この実験ではポテトデキストロース寒天培地が使われていたが，用意することが困難であったため，私たちが用意できる寒天培地（サブロー寒天培地参考）を用いて実験することにした。この研究の目的は，乳酸がカビを死滅させるかどうか調べることである。

2 方法

＜準備物＞
寒天末(昭和化学株式会社)
D(+)-グルコース(和光純薬工業株式会社)
ペプトン(昭和化学株式会社)
純水
電気コンロ(SK-65 株式会社石崎電機製作所)
ガラス棒
三角フラスコ
アルミホイル
オートクレーブ(BS-235　株式会社トミー精工)
鍋(市販物)
シャーレ(大　小)
インキュベーター(BITEC-300LB　株式会社島津理化)
食品添加物　乳酸(健栄製薬株式会社)
クリーンベンチ(卓上式　MCV-710ATS, PHC 株式会社)
ピペット
白金耳
薬包紙
薬さじ
電子ばかり(SCOUT pro spg4001f OHAUS)
温度計(株式会社安藤計器)
ビーカー(100ml, 300ml など作成量に応じて適宜選択)
メスシリンダーエタノール(昭和化学株式会

社)

レモン汁(ポッカレモン 100 ポッカサッポロフード&ビバレッジ株式会社)

＜培地成分＞
純水 100ml あたり
寒天末 2.0g
グルコース 4.0g
ペプトン 1.0g
（寒天濃度 2%）

＜実験の準備＞
Ⅰ　培地作成
① だまを作らないようにするために、始めに寒天末と用意した純水のうち半分程度をビーカーに入れ，電子コンロで熱しながら，ガラス棒でかき混ぜて溶かす。(80℃以下を保つ)
② ①が溶けたら、残りの純水・グルコース・ペプトンをすべてビーカーに加え，引き続き熱してかき混ぜる。
③ 三角フラスコに②を移し，アルミホイルで蓋をしてオートクレーブで 120℃・20 分間滅菌する。
④ 滅菌が終了した寒天培地はそのまま冷蔵庫で保管する。
⑤ 使用する際は、電子コンロで湯煎して再度溶かす。溶けたものをシャーレにそそぐ。

Ⅱ　カビの採集
実験用に冷蔵庫で保管していた寒天培地に白いカビのようなもの（以後カビと呼ぶ）が見られたので、新たに作った寒天培地に塗擦し、インキュベーター内(25℃・照明有 18:00~6:00 無 6:00~18:00, 以下同)で培養した。これを培地 E とした。
さらに，このカビの単離をするために、培地Ｅ上で成長したカビを新たに作った２つの寒天培地に塗擦し，インキュベーター内で培養した。それぞれを培地 E1,E2(元カビ)とした。実験で用いるカビ脱脂綿は E1,E2 から切り取ったものを使用した。
また E1,E2 から切り取ったカビを移した寒天培地を E3,E4 とし, 新たな元カビを作った。
(E3 はカビの成長が見られず廃棄, E4 は L-E4-1,2 N-E4-1 作成後不注意により落下,　廃棄)
（寒天培地に用いたシャーレはいずれも大）

＜実験方法＞
Ⅰ 事前に作成した寒天培地をシャーレ小に注ぎ, 固まったら E1,E2,から 1 ㎝四方に切り取ったカビをのせる。
Ⅱ ピペットで乳酸 1ml を測りとり、①にカビが覆われるようにかけ，対照実験として乳酸をかけない培地も用意し、カビの成長具合を調べる。
なお, L は乳酸有を, N は乳酸無を表す。L-E1 は E1 から切り取ったカビに乳酸をかけた培地を表し，一つひとつを"L-E1-1" "L-E1-2"のように区別する。

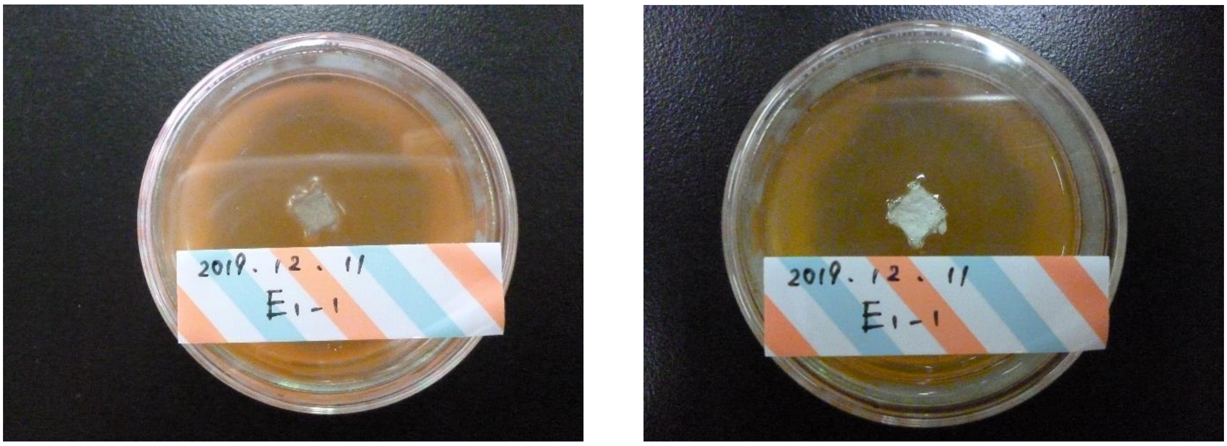
3 結果
乳酸ありの培地のカビに成長は見られなかった。一方，乳酸なしの培地のカビは大きく成長した。

Table 1　Experiments

Medium	Growth of Mold mildew
L-E1-1	−
L-E1-2	−
L-E1-3	−
L-E1-4	−
L-E1-5	−
L-E1-6	−
L-E2-1	−
L-E2-2	−
L-E2-3	−
L-E2-4	−

L-E4-1	−
L-E4-2	−
N-E1-1	+
N-E2-1	+
N-E2-2	+
N-E4-1	+
N-E1-2	+
N-E1-3	+

(A)



(B)

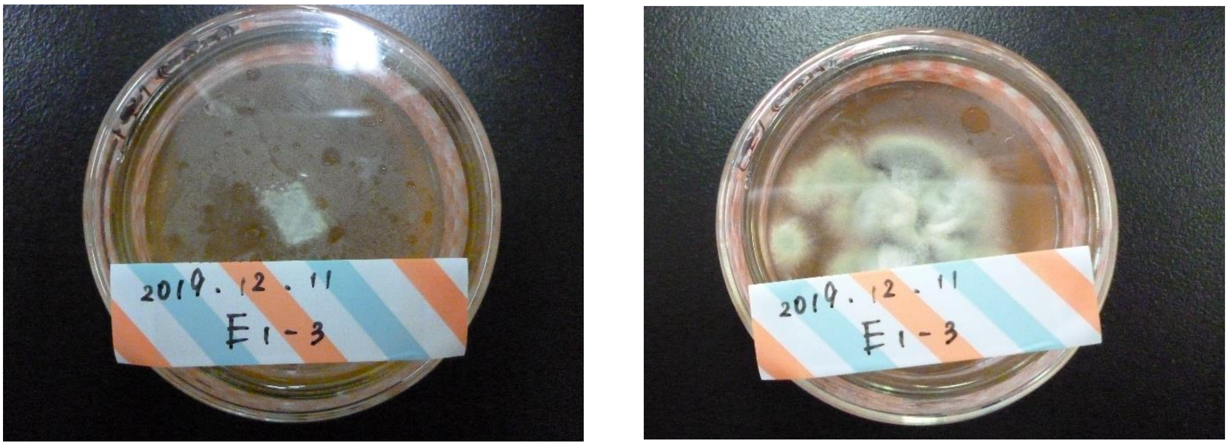


Figure 1. Comparison with and without lactic acid
(A)　Before and after of L-E1-1(mold covered with lactic acid)
(B)　Before and after of N-E1-1(mold without lactic acid)

4 考察

乳酸ありの培地のカビは成長せず，乳酸なしの培地のカビは成長したことから，乳酸はカビを死滅させると考えられる。ただし，目視での判断であるため，カビが死滅したとは言い切れない。そこで，一度乳酸をかけた後，純水を用いて培地の乳酸を取り除き，カビの成長を観察した。（表 2 ）結果は以下の通りである。

Table 2　The first verification

Medium	Growth of Mold

L-E1-3’	+
L-E1-4’	+
L-E2-3’	+
L-E2-4’	+

※なお　W-E1-3’,W-E1-4’,W-E2-3’,W-E2-4’は乳酸を取り除いた培地である。

Figure 2. Before and after of medium removed lactic acid(L-E1-3’before&after

乳酸を取り除くとカビは成長したことから，乳酸はカビを死滅させるのではなく，成長を抑制すると考えられる。

私たちが用いた乳酸は液体であったが，カビの中には，乾燥を好むものが存在するため，液体状態の乳酸によりカビの成長が抑制されたとも考えられる。そこで，純水をかけた培地を用意し，カビが成長するかどうか観察した。（表 3 ）結果は以下の通りである。

Table 3　The second verification

Medium	**Growth of Mold**
W-E1-1	+
W-E1-2	+
W-E2-1	+
W-E2-2	+

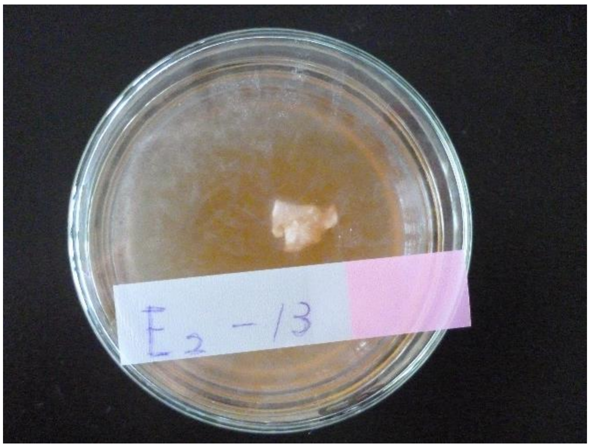
Figure 3. Mold covered with water(W-E1-1before&after)

培地のカビは成長したことから，乳酸が液体であることは，カビの成長に関与しないと考えられる。

乳酸の pH に注目すると，乳酸は弱酸性であるため，酸がカビの成長に関与しているのではないかと考えた。そこで，身近な酸としてレモン汁を培地にかけた。（表 4 ）

Table 4　The third verification

Medium	**Growth of Mold**
Le-E1-1	+
Le-E2-1	+



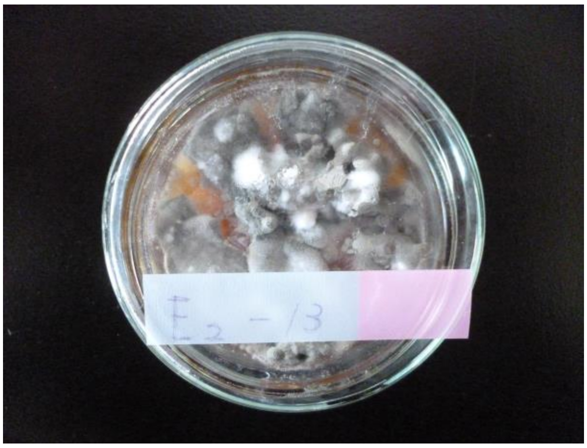


Figure 4. Mold covered with lemon juice(Le-E1-1 before & after)

レモン汁をかけてもカビは成長したことから，酸はカビの成長を抑制しない，または実験に用いたカビが耐酸性であると考えられる。しかし，レモン汁に含まれるクエン酸は呼吸基質であることから，レモン汁はカビの成長を抑制したのではなく，むしろ促進したとも考えられる。レモン汁は混合物であるため，純物質の酸（塩酸や酢酸など）を用いて実験すべきだった。また酸の化学的構造に注目すれば，より研究が発展したと思われる。そもそも私たちが用いた乳酸の質量パーセント濃度は 90 %であったため，浸透圧がカビの成長抑制に関与していた可能性がある。浸透圧を揃えて実験を進めるべきであった。今後は乳酸の他の特徴に注目し，カビの成長を抑制した原因が何か探っていきたい。また私たちはカビの同定まで行うことはできず、実験も一種類のカビに焦点を当てたものであるので，今後カビの同定を行ったうえで複数の種類のカビにおいても同様の結果が得られるのか実験する必要がある。

5 結論

はじめに、（第　1　節）で示した研究目的に対して、乳酸はカビを死滅しているのではなく成長を抑制しているということまでしめすことができた。漬物においても、乳酸菌が作り出す乳酸の働きによってその保存性の高さを生み出していると言える。しかし、乳酸がどのようにカビの成長を抑制しているのかを明らかにすることはできなかった。

6 謝辞

この研究を行うにあたり，助言，指導していただいた高橋昭宏先生，尻引美和子先生へ感謝申し上げます。

7 参考文献

高鳥浩介　久米田裕子（2013）：カビのはなし～ミクロな隣人のサイエンス～，朝倉書店，153p.

北里環境科学センター(1997):カビに対する抵抗性，飛雄商事株式会社,https://www.hiyu.co.jp/products/kabiknight/data/kabi.pdf　(2019.6.5)

寒天で！水蒸気爆発のモデル化

～山体崩壊のモデル化を目指して～

岩手県立一関第一高等学校理数科３年
小泉百花　石川寿々花　大木初奈　工藤りんか　藤原夏菜香

要約
私たちは水蒸気爆発による山体崩壊のモデル化の実験を行った。寒天を蒸気だまり，発泡ビーズを地層に見立ててモデル化をした。寒天の底部を凍らせ，寒天内部を密閉し，内部でドライアイスをお湯で急激に気化させて圧力を高めた。その上に発泡ビーズを載せると，崩壊させることができた。
〈キーワード〉　寒天　水蒸気爆発　山体崩壊　密閉された蒸気だまり　モデル化

With *Kanten*! Modeling a Phreatic eruption

ーAiming at modeling of Sector collapseー

KOIZUMI Momoka, ISHIKAWA Suzuka, OKI Hana, KUDO Rinka and FUJIWARA Kanako

ABSTRACT
We conducted some experiments for making a model of sector collapse caused by phreatic eruption. To make the model, we regarded *kanten* (a kind of agar) as a vapor pocket and polystyrene beads as a stratum. We sealed the hollow of domed *kanten* by freezing the bottom of the *kanten*, and lifted the pressure in the hollow by vaporizing dry ice with hot water. When we covered the *kanten* with polystyrene beads, it collapsed.
Keywords:　kanten, phreatic eruption, sector collapse, sealed vapor-pocket, modeling

１　はじめに

2018 年 12 月 22 日,インドネシア沖の火山島アナク・クラカタウ山が山体崩壊により大規模に崩れて，スンダ海峡周辺に大きな津波を引き起こし， 400 人以上の死者を出した。このニュースから山体崩壊に興味を持ち研究することにした。山体崩壊は，地震や火山噴火に比べて先行研究が少ない。流動や堆積など，一部のプロセスのモデルは提唱されているが，山体崩壊という現象全体のモデル化はされていないため，詳しい過程がわかっていない。例えば鎌田ほか (2002)[1] は，火山体崩壊に伴う岩屑なだれの流動メカニズムの実験的解析と地質堆積物への適用について研究し，飯澤ら (1999)[2] が提唱した小麦粉と円盤を用いた「動圧モデル」は，岩屑なだれの流動プロセスとしてだけでなく，堆積プロセスとしても有効だと結論付けた。しかし，このモデルは流動・堆積に限られたもので，山体が崩れはじめる時点からの，山体崩壊の一連のプロセスを表したモデルではない。したがって，実際の火山に適用して，特定の地質や地質構造に対してもモデル化できるのかは明らかにされていない。まして，モデル化を通してハザードマップに反映できる段階にはない。よって，私たちは山体崩壊のモデル化を通して，一連のプロセスの一例を明らかにし，ハザードマップとの関係性を示し，多くの人に山体崩壊を認知してもらうことを目指し，研究を行った。

山体崩壊とは大規模に火山が崩壊することである。その要因は，大きく分けて３つある。火山体の内部でマグマが貫入し火山体が膨張して発生するもの，水蒸気爆発によるもの，地震などの地殻変動によるものである。その中から私たちはより先行研究が少なく，実験を行いやすいと考えた水蒸気爆発による山体崩壊のモデル化をすることにした。

2　研究の方針

私たちがモデル化を目指した水蒸気爆発による山体崩壊について触れる。水蒸気爆発が起こるには, 山体内部の帯水層に高温のマグマが接触して, 水が気化して大量の水蒸気が発生することが必要となる。この大量の水蒸気は密閉された空間を形成する。これを,「密閉された（シーリングされた）蒸気だまり」と呼ぶ。密閉された蒸気だまりは，圧力に耐えられなくなって爆発的な噴火を起こし火山体を変形させ，その変形に伴って地層が崩壊する。

この一連の現象をモデルに落とし込むために，私たちは水蒸気爆発と山体崩壊を分けてモデル化することにした。はじめに水蒸気爆発のモデル化，その後水蒸気爆発による山体崩壊のモデル化を行った。水蒸気爆発のモデル化では密閉された蒸気だまりを変形させることに着目し，山体崩壊のモデル化では地層の崩れ方を反映させることに重点を置いた。

3　研究全体を通して用いた装置・材料

水蒸気爆発において私たちが着目した,「密閉された蒸気だまり」を形成するために，内部に空洞のある，ドーム型の寒天（以下では寒天とする）を作製し，用いることにした。

Fig.1 domed *kanten*

Fig.2 the hollow of domed *kanten and cross section*

当初は小麦粉や土などの材料も考えていたが，寒天を選んだのは，次の 5 つの条件を満たしたからである。その条件は，①固さを変えられること，②変形ができること，③安定して同じ形を作れること，④内部に空洞を作れること，⑤硬度が低く崩壊させやすいことである。繰り返し実験をするには更に，安価であり，常温で扱えるという条件を満たしていることも必要であった。また，寒天は外気温によって固さが変わることから夏季～秋季は 1.0%， 冬季（12 月 ）は 0.90%， 冬季（ 1 月 ）は 0.80% の濃度で実験を行った。以下は，実験に用いた寒天の材料，及び作り方である。

・材料 （ 寒天 1 つ当たり ）

水（610mL)，寒天（ 濃度に応じて量を計算 ）

・用具

ボウル（ 容積 1L，直径 160mm，高さ 87mm），鍋，ガスコンロ（ ファミリーカセットコンロ ：東邦金属工業 ），ボール（ 直径 114.6mm: 大創産業 ），角材（ 高さ ：20mm ），枠（ 自作 ），電子天秤 (Scont Pro Model，max=200g,d=0.01g: OHAVS CORPORATION,USA），メスシリンダー（PYREX,200mL)

・自作の枠について

角材（30 × 115 × 30mm）を図のように釘で接合した。

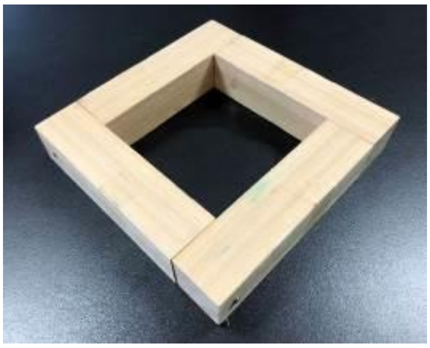


Fig.3 wood frame

・寒天の作り方

①水 610mL ，寒天を電子天秤で測りとる。

②水と寒天を鍋で加熱する。

③沸騰して寒天溶液が 600mL になったら 50 ℃程度になるまで冷ます。

④ボウルに寒天溶液を流し込み，ボールを 46mm 沈め、空洞を作る。その上に角材, 枠,

おもりを載せてボールを固定して寒天を十分な時間置いて固める。

Fig.4 How to make the *kanten*

４　実験　水蒸気爆発のモデル化

ここでは，実験を通して，蒸気溜りに見立てた寒天が内部での急激な気体の膨張により変形，及び亀裂（クラック）が生じて崩壊したときに，それを水蒸気爆発のモデルとする。

❶エアーコンプレッサーを使用した実験

エアーコンプレッサーから噴出する空気量の単位は bar(バール）で$1\mathrm{bar}=10^5\,\mathrm{Pa}=10^3\,\mathrm{hPa}$ と定義される。

(1) 用具及び装置について

エアーコンプレッサー（軽搬形ベビコン：株式会社日立産機システム），三脚，プラスチック板（中央にコンプレッサーの管が通る穴を開けたもの）

Fig.5 the air compressor

(2) 実験方法

装置の上に寒天を載せ，プラスチック板の穴からコンプレッサーの管を通し，寒天内部に送風する。6.5bar，1.5～3.5bar で 0.5bar 刻みで実験を行った。

(3) 結果

(a) 6.5bar のとき

寒天の 1 点に穴が開き，空気と寒天が吹き出した。

Fig.6 result of an experiment using air compressor

(b) 1.5～3.5bar

寒天に亀裂が生じなかった。

(4) 考察

次の 3 点の問題点が明らかになった。①6.5bar のときは風圧が強すぎた。②1.5～3.5bar では風圧が足りなかった。③コンプレッサーを使うと風圧が 1 点にかかり，蒸気だまりの内部に水蒸気が充満して発生する水蒸気爆発のモデル化はできないと考えられた。よって，入浴剤を寒天内部に入れて，発生する気体が充満するようにする方法を考案した。

❷入浴剤を使用した場合

(1) 用具及び装置について

入浴剤（薬用入浴剤温浴：扶桑化学株式会社）(40g) 袋，ガムテープ，三脚，❶で使用したプラスチック板

(2) 実験方法

プラスチック板の上に寒天を載せる。袋に砕いた入浴剤と水（50mL）を一緒に入れ，プラスチック板の下にガムテープで固定して入浴剤の反応を待つ。

Fig.7 experimental device using a bath salt

(3) 結果

9 分以上経過しても変化が見られなかった。

(4) 考察

入浴剤の気体発生量が少ないことから崩壊が発生しなかった。よって，瞬間的に気体を充満させる方法として，風船を寒天内部の空洞で膨らませて割るという方法を考案した。

❸風船を使用した場合

(1) 用具及び装置について

風船（ 天然ゴム製，マルサ斉藤ゴム ），❶で使用したプラスチック板，三脚，❶で使用したコンプレッサー

(2) 実験方法

風船を使用した場合の実験では膨らんだ風船が寒天にどのような影響を及ぼすかを調べるため，風船を空気が入る分だけ入れ続けた場合と風船を空洞の大きさまで膨らませた後，針を使って割るという 2 種類の方法を考えた。

Fig.8 experimental device using a balloon

(a) 割れるまで膨らませる場合

装置に濃度 1.0% の寒天を載せ，プラスチック板の穴から内部の空洞に風船を通す。風船にコンプレッサーを使って風船が割れるまで空気を入れる。

(b) 空洞の大きさまで膨らませた後，針で割る場合

装置に濃度 1.0% の寒天を載せ，プラスチック板の穴から内部の空洞に風船を通す。コンプレッサーを使って空洞の大きさに合わせて風船を膨らませた後，上部から針を使って風船を割る。

(3) 結果

(a) 割るまで膨らませる場合

風船の体積が大きくなり過ぎてしまい，それが寒天を破壊した。

(b) 空洞の大きさまで膨らませた後，針で割る場合

崩壊が発生しなかった。

(4) 考察

(a) 割るまで膨らませる場合

膨らんだ風船が寒天を破壊するという現象は想定していた崩壊と異なっており，モデルとして採用することができなかった。

(b) 空洞の大きさまで膨らませた後，針で割る場合

風船から発生する気体の量が十分でなかったため崩壊が発生しなかった。

この一連の実験から，実験装置の問題点が明らかになった。それは，モデルとしては水蒸気爆発を反映していない次の 2 つの現象である。 1 つが，山体に見立てた寒天がプラスチック板から浮き上がる現象，もう 1 つが山体内部の蒸気だまりを模した寒天下部の穴から空気が抜けて圧力が下がる現象である。これらの問題を解決するため，蒸気だまりを密閉し，気体を蒸気だまりの内部にため込む方法として，ドライアイスを用いて冷やした金属板上に寒天を載せて凍らせる方法で底部の密閉の実現を試みた。

❹ドライアイスを使用した場合

(1) 用具及び装置について

銅板（300mm × 300mm），水槽（ プラスチック製 ），ドライアイス（ 寒天内部の空洞に入れるもの 20g ，銅板上に載せるもの ）

(2) 実験方法

水槽を裏返して机に置き，その上に銅板を載せられるようにする。ドライアイスで －10 ℃になるまで冷やした銅板の上に，寒天内部の空洞に入れるドライアイスを設置し，それに被せるように寒天を載せる。銅板をドライアイスで冷やし，寒天の底部を凍らせた後，経過を観察する。

Fig.9 experimental device using dry ice

(3) 結果
寒天の底部が凍った。また，途中で寒天が脈打つような反応が見られ,亀裂が生じて気体が抜け，崩壊しなかった。
(4) 考察
寒天の底部が凍っていたため,内部が密閉されたと考えられるが,ドライアイスの気化が遅く,崩壊するほどの圧力を瞬間的にかけられなかった。そこでドライアイスの量を40g に増やして実験を行ったが,寒天は崩壊しなかった。そのため，湯をかけてドライアイスの反応を促進させることを考えた。また,湯とドライアイスが接触しやすくするよう，ドライアイスをペトリ皿に入れて寒天内部に入れることにした。さらに，寒天の底部を凍らせる効率を向上させるため,プラスチック製の水槽を，金属製の容器に変更し，金属製容器の中にもドライアイスを入れることにした。

❺ドライアイスと湯を使用した場合
(1) 用具及び装置について
銅板（300mm×300mm），金属製容器(直径 200mm，高さ 60mm)，ペトリ皿(直径 90mm，高さ 20mm)，漏斗(上部口径 62mm，下部口径 5.0mm)，ドライアイス（寒天内部の空洞に入れるもの 40g，銅板を冷やすもの),お湯（200mL，70 ℃程度）
(2) 実験方法
中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き，その上に銅板を載せて，ドライアイスで －10 ℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 40g をペトリ皿に入れ，銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし，寒天の底部を凍らせた後,寒天の上部から漏斗を使い，湯を流し込む。
(3) 結果
寒天の底部が凍った。注いだお湯が寒天から漏れ出していなかった。蒸気だまり下部から亀裂が入り，徐々に崩壊が進んだ。

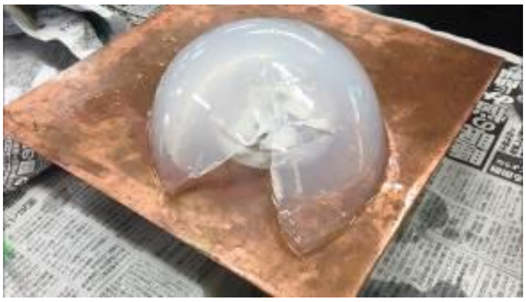


Fig.10 result of an experiment using dry ice and hot water

(4) 考察
ドライアイスにより冷やした金属板の上に寒天を載せ,寒天の底部を凍らせることで寒天内部の密閉に成功した。そのことにより,岩石の重みによる圧力で密閉されている実際の火山体の構造,「シーリングされた蒸気だまり」のモデル化ができた。また，その内部でのドライアイスの気化により瞬間的に二酸化炭素を大量に発生させることで寒天内部の圧力が急激に増加した。その結果，寒天は膨張し，亀裂が生じて崩壊した。以上のことから,水蒸気爆発のモデル化に成功した。
この実験を踏まえて,実験で使用した蒸気だまりを模した寒天に山体の構造を加えて山体崩壊のモデル化を行うことにした。

５　実験　山体崩壊のモデル化

４❺の実験を踏まえて，この実験で使用した蒸気だまりを模した寒天に，岩体・地層に見立てた山体の構造を加えて山体崩壊のモデル化を行う。山体崩壊が起こったとみなす現象は，蒸気だまりを模した寒天の，内部での急激な気体の膨張による変形・崩壊に伴って起こる，岩体・地層に見立てたものの移動とする。

山体崩壊をモデル化する方法として，はじめに寒天自体の物性を変えることにした。そこで寒天を固める前に少し混ぜ合わせることで不均一な山体の状態を再現することを試みた。その寒天をクラッシュ寒天と表現する。

・クラッシュ寒天の作り方
①水 610mL，寒天を電子天秤で測りとる。
②水と寒天を鍋で加熱する。
③沸騰して寒天溶液が 600mL になったら鍋の中で冷ましながら寒天を 5 回かき混ぜる。
④ボウルに寒天溶液を流し込み，ボールを 46mm 沈め，空洞を作る。その上に角材，枠，おもりを載せてボールを固定して寒天を十分な時間放置して固める。

❶クラッシュ寒天と湯を使用した場合
(1) 用具及び装置について
銅板（300mm×300mm），金属製容器（直径 200mm，高さ 60mm），ペトリ皿(直径 90mm，高さ 20mm)，漏斗（上部口径 62mm，下部口径 5.0mm)，ドライアイス（寒天内部の空洞に入れるもの 40g，装置を冷やすもの），湯(200mL 70 ℃程度)
(2) 実験方法
中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き，その上に銅板を載せて，ドライアイスで −10 ℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 40g をペトリ皿に入れ，銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた濃度 1.0% のクラッシュ寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし，寒天の底部を凍らせた後，寒天上部に漏斗をさして湯を流し込む。
(3) 結果
寒天を装置に載せたときから湯を流し込むまでの間に寒天が崩れた。
(4) 考察
クラッシュ寒天は通常の寒天より脆いため，装置の上に載せてからできるだけ早く湯を流し込む必要がある。よって，湯を水風船に入れ，空洞内に置いて針で割ることで装置に寒天を載せた後すぐにドライアイスを気化させる方法を考察した。

❷クラッシュ寒天と水風船を使用した場
(1) 用具及び装置について
水風船（天然ゴム製，マルサ斉藤ゴム)，銅板（300mm×300mm)，金属製容器（直径 200mm，高さ 60mm)，ペトリ皿（直径 90mm，高さ 20mm)，漏斗（上部口径 62mm，下部口径 5.0mm)，ドライアイス（寒天内部の空洞に入れるもの 40g，装置を冷やすもの），湯（200mL，70 ℃程度），きり
(2) 実験方法
中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き，その上に銅板を載せて，ドライアイスで −10 ℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 40g と湯が入った水風船をペトリ皿に入れ，銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし，寒天底部を凍らせた後，きりを使って風船を割る。
この実験では風船の体積と破裂の勢いが寒天に及ぼす影響を調べるため水風船に入れる湯の量を (a)150mL, (b)100mL に分けて実験した。

Fig.11 balloon on dry ice

Fig.12 experimental device using a balloon and dry ice

(3) 結果
(a) 150mL
風船が割れた勢いで寒天に亀裂が生じた。
(b) 100mL
寒天が塊になって崩れた。

Fig.13 result of an experiment using a balloon and dry ice

(4) 考察

(a) 150mL

風船が割れた勢いで寒天が崩れる現象は気体の膨張によって起きる崩壊と異なり，モデルとして採用できない。

(b) 100mL

山体崩壊は，断層面や深層風化層などの脆弱な地質条件の特定の面で起きることが多い。クラッシュ寒天はそのような脆弱な状態を反映したものである。しかし,寒天が塊となって崩れたため,クラッシュ部分がどのように山体崩壊に関与したのかを検証できなかった。そこで，火山体を構成する岩体や地層を粒子状の物質で見立てて蒸気だまりを模した寒天の上に載せて実験することにした。その粒子状の物質として砕いて使用できること，学校で入手しやすい廃品のリサイクルとしてチョークを使用することにした。

❸チョークを使用した場合

(1) 用具及び装置について

銅板（300mm×300mm），金属製容器(直径 200mm ，高さ 60mm)，ペトリ皿(直径 90mm，高さ 20mm)，漏斗(上部口径 62mm ，下部口径 5.0mm)，ドライアイス（ 寒天内部の空洞に入れるもの 70g ，装置を冷やすもの ），湯（200mL，70 ℃程度 ），きり，ダストレスチョーク(砕いてふるいにかけ， 75μm~1mm のものを使用)

外気温が下がってきて､寒天の濃度調整を行っても寒天の崩壊が起こらなくなったため，4❺のドライアイスとお湯を使った実験をドライアイスの量を変えながら繰り返し行い，ドライアイスの量を 70g にして実験を続けることに決めた。

なお，砕屑したチョークは使用後，5 色混合チョークとして活用している。

(2) 実験方法

チョークの量による寒天の覆われ方を調べるためにチョークを(a)100g,(b)200g,(c)600g 使用する 3 種類の実験を行った。

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き，その上に銅板を載せて，ドライアイスで −10 ℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 70g をペトリ皿に入れ，銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし，寒天の底部を凍らせた後，チョークを載せる。きりで寒天の 1 点に穴を開け，そこに漏斗を挿して湯を寒天内部に流し込む。

(3) 結果

(a) 100g

チョークの量が少なく寒天を覆いきれなかった。また全体的にチョークが寒天の水分で濡れていた。さらにドライアイスの気化による気体膨張では寒天は崩壊しなかった。

(b) 200g

チョークで寒天を覆いきれたが寒天の側面の大部分はチョークを薄くしか載せることができず、寒天の水分で濡れていた。また，ドライアイスの気化による気体膨張では，寒天が濡れたチョークにより堰き止められたため，崩壊には至らなかった。

Fig.14 experimental device using chalks

(c) 600g

チョークで寒天を完全に覆いきれた。また，ドライアイスの気化による気体膨張では，寒天とチョークにひび割れが見られた。崩壊には至らなかった。

Fig.15 the cracks on the chalks and the *kanten*

(4) 考察

(a),(b) では蒸気だまりを完全に覆いきれていないことから山体のモデルとして不適切だと考えられる。

また (b),(c) では水分が染み込んだチョークによって寒天が堰き止められたことから崩壊が見られなかった。よって，チョークより密度が小さく，水はけが良いと考えた軽石を使用することにした。

❹軽石を使用した場合

(1) 用具及び装置について

銅板（300mm×300mm），金属製容器（直径 200mm，高さ 60mm），ペトリ皿（直径 90mm，高さ 20mm），漏斗（上部口径 62mm，下部口径 5.0mm），ドライアイス（寒天内部の空洞に入れるもの 70g，装置を冷やすもの），湯（200mL，70 ℃程度），きり，軽石（砕いてふるいにかけ，75μm 以上のものを使用）

(2) 実験方法

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き，その上に銅板を載せて，ドライアイスで −10 ℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 70g をペトリ皿に入れ，銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし，寒天の底部を凍らせた後，軽石を載せる。きりで寒天の 1 点に穴を開け，そこに漏斗を挿して湯を寒天内部に流し込む。

この実験では軽石の量による寒天の覆われ方を調べるために軽石を(a)175g,(b)250g 使用する 2 種類の方法を試す。

Fig.16 experimental device using pumice stone

(3) 結果

(a) 175g (b) 250g

寒天全体を覆えたが，寒天の側面の軽石の量が少なく，軽石が寒天の水分によって濡れている部分があった。また，その部分が固まっていた。寒天は膨張したものの崩壊は見られなかった。

(4) 考察

砕いて粉末状にしたことで，軽石もチョークと同様に寒天の水分を吸い，密度が大きくなり，寒天の崩壊を堰き止めた。このことから軽石での実験も難しいと考えた。よって軽石よりもさらに密度が小さく，水はけの良いと考えられる発泡ビーズを使用することにした。

❺発泡ビーズを使用した場合について

(1) 用具及び装置について

銅板（300mm×300mm），金属製容器（直径 200mm，高さ 60mm），アルミホイル製自作ペトリ皿（直径 90mm，高さ 20mm），漏斗（上部口径 62mm，下部口径 5.0mm），ドライアイス（寒天内部の空洞に入れるもの 70g，装置を冷やすもの），湯（200mL，70 ℃程度），きり，発泡ビーズ，囲い（自作）

(2) 囲いについて

発泡ビーズが寒天に載り切るようにするため製作した。

作り方: ポリプロピレン製の板（137.5mm, 390mm）を 4 枚用意し，左右 113mm のところから 70mm 切り込みを入れて作った。

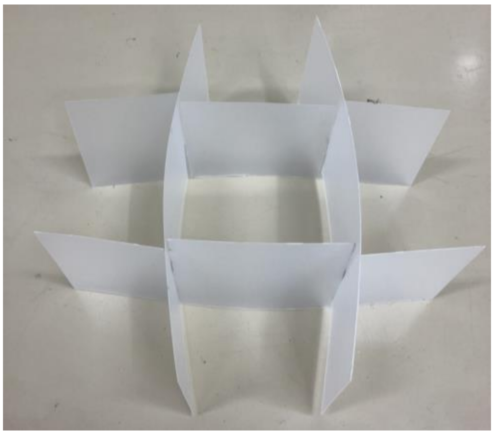


Fig.17 polypropylene frame

(3) アルミホイル製自作ペトリ皿について

ここまでの実験で,寒天が崩壊する際ペトリ皿に引っかかり,崩壊を妨げている現象が見られたため,引っかかっても寒天の崩壊を妨げないよう,変形可能なアルミホイルでペトリ皿を作る。

作り方:アルミホイルを重ねて, 直径 90mm , 高さ 20mm の円筒状になるように形を整えた。


Fig.18 petri dish made of aluminum foil

(4) 実験方法

事前に寒天に発泡ビーズ載せて実験をしたところ,発泡ビーズが寒天に吸着せず,載せることができなかった。それを踏まえて,発泡ビーズに水を混ぜ合わせて寒天に載せることにした。

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き,その上に銅板を載せて,ドライアイスで －10 ℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 70g をペトリ皿に入れ,銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし,寒天の底部を凍らせた。その上から 120mL の水と混ぜた 40.0g の発泡ビーズを囲いを使用して載せる。その後,きりで蒸気だまりの1点に穴を開け,そこに漏斗を挿して 70.0℃程度の湯を流し込む。

(5) 結果

寒天に亀裂が入って崩壊し,それに伴って発泡ビーズが崩落した。


Fig.19 experimental device using polystyrene beads


Fig.20 the experimental device after collapse

(6) 考察

密閉された蒸気だまりとみなした寒天内部の圧力を高めることで上に載せた発泡ビーズが崩落したことから,山体崩壊のモデルの一例を示せたと考えられる。

6　まとめ

冷やした金属板の上に内部に空洞のあるドーム型の寒天を載せ,寒天の底部をドライアイスを用いて凍らせることで,密閉された蒸気だまりの構造をモデル化することに成功した。また,ドライアイスに湯を挿入して気化させその内部の圧力を高めることで寒天が崩壊したため,山体崩壊の原因となる水蒸気爆発のモデル化に成功した。さらに,蒸気だまりを模した寒天の上に岩体や地層に見立てた発泡ビーズを載せて実験を行ったところ,寒天の崩壊に伴って発泡ビーズが崩落した。こ

のことから，水蒸気爆発による山体崩壊のモデルの一例を示せたと考えられる。

７　今後の展望

山体崩壊のモデル化の実験で成功したとみなせるものの回数が，発砲ビーズを使用して最後に行った 1 回であるため，再現性の検証のため試行回数をさらに増やす必要がある。また，今回作成したモデルの形と脆弱な面の位置を模した不均一な物質状態を過去に山体崩壊が発生した山（ 福島県の磐梯山など ）に近付けて実験を行い，実験で崩壊した物体が広がった範囲が，過去に山体崩壊が発生した山の被害範囲と一致するかを調べ，モデルの妥当性を検証していく。妥当性が証明された場合，ハザードマップを強化するために，被害範囲を想定したい山を絞り，想定実験を行っていく。

８　謝辞

本研究を進めるに当たりまして，本当に多くの方々から御指導,御鞭撻,そして御協力を賜りました。この場を借りて謝辞を述べさせていただきます。

私共の指導教員をしてくださった一関第一高等学校教諭の茂庭先生には，テーマ設定や研究の進め方，研究内容はもちろんのこと，発表の仕方においてもたくさんのアドバイスをいただきました。ユーモアを交えて，楽しく，わかりやすく御指導してくださり，心から研究活動を楽しむことができました。本当にありがとうございました。

京都大学理学研究科火山物理学分科修士 1 回生の菅原嵩史さんには，モデルとしての実験装置の扱い方，山体や崩壊現象の特徴，実験の手法についてたくさんのアドバイスをいただきました。私共の質問にひとつひとつ丁寧に対応していただき，とてもありがたく思いました。非常に感謝しております。

岩手大学の土井宣夫教授には，岩手山の性質や山体内部で起こる現象についてたくさんのご助言をいただきました。また，岩手山についての論文の提供もしてくださり，たいへん参考になりました。ありがとうございました。

そのほか，たくさんの一関第一高等学校の先生方に御協力を賜りました。宮本先生，柿木先生には実験方法についてアイデアを提供していただきました。佐藤先生には寒天の調理について教えていただきました。また，長野先生，尻引先生には実験道具を貸し出していただきました。

皆様の御協力なしではこのように論文を書くまで研究を進めることはできませんでした。本当にありがとうございました。

９　引用文献

1 鎌田浩毅　須田恵理子　齊藤武士　飯澤功　酒井敏（2002）：火山体崩壊に伴う岩屑なだれの流動メカニズムの実験的解析と地質堆積物への適用，材料 Vol.51 ， No.2 ， 168-175

2 飯澤功　酒井敏　須田恵理子　齊藤武士　鎌田浩毅（1999）：ながれ，18 ， http://www.nagare.or.jp/mm/99/

１０　参考文献

・片山信夫　梅沢邦臣(1958)：鬼首図幅地質説明書
・国土交通省国土地理院(2013 年 12 月)：1:25,000 火山土地条件図解説書（栗駒山地区）
・土井宣夫　伊藤真由子　畠山育王(2017)：栗駒山 1944 年噴火の火口群と火災泥流の磐井川流下実態 ～一関市立本寺中学校による住民聞き取り調査を中心に～
・独立行政法人防災科学技術研究所　自然災害情報室(2009)：防災基礎講座
・土木学会誌 Vol.104　No.6　June 2019
・Takashi Inokuchi(2006): Properties of sector-collapse and debris avalanches on Quaternary volcanoes in Japan

ドミノの運動

～伝播速度の分析～

岩手県立一関第一高等学校理数科３年　物理１班
白井洸多　並岡大希　千葉太翔　西山直哉　濱田陽音　濱田優音

要約
ドミノ倒しはよく知られた遊びだが，その速さ（転倒の伝播速度）がどのように決まるのかにはわかっていない点が多い。私たちは，これまであまり研究されていない加速過程や，曲線上のドミノ倒しについて実験を通して研究を行った。その結果，スタート直後（４～５個目まで）急激に加速することや，一定以上の角度の曲がりでは速度が減少することを見出した。これらの現象は，寄りかかるドミノの個数がスタート直後に急増し，そのため力積が増加することや，曲線上では力が分解されて力積が減少することによって説明できる。
〈キーワード〉　ドミノ倒し　加速過程　　曲線上での減速

Physics of Domino Toppling

－Analysis of the acceleration and deceleration－

Kota Shirai, Daiki Namioka, Hiroto Tiba, Naoya Nishiyama, Haruto Hamada, and Yuto Hamada

ABSTRACT
We are interested in physics of domino toppling.　To reveal what determines the propagation speed, we investigate the acceleration at a start and the deceleration on a curve.　The results of our experiments show that the propagation speed increases rapidly just after the start and decreases gradually on a curve. We can account for this phenomenon by an increase of the impulse associated with a rapid increase of the leaning dominoes around the propagation front, and by a gradual decrease of the impulse due to the decomposition of the force on a curve.
Keywords:　Domino toppling ,　acceleration process,　deceleration on a curve

1. はじめに

ドミノは世界中に知られた遊びだが，波の伝搬を可視化するためのモデルや力学の物理教材としても利用されている。私たちはドミノ倒しの伝播速度に興味を持ち，詳しく調べてみることにした。

杉山（2009）では，ドミノの転倒の伝播速度がほぼ一定となることや，ドミノの間隔に応じてその伝播速度が変化することなどが明らかにされている。私たちは，同様の実験を行い結果を検証するとともにより高い精度で実験を行い，また直線ではなく曲線状での伝播速度がどのようになるのか調べる。

2. 直線上におけるドミノ倒しの伝播速度

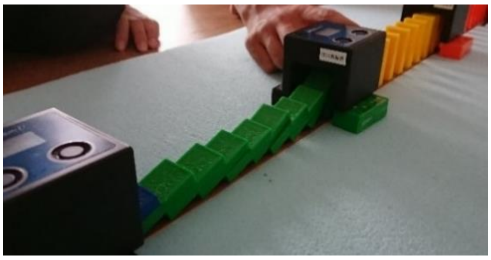
2-1. 先行研究の検証

杉山（2009）で示されたようにドミノが等速直線運動するか検証実験を行う。

2-1-1. 実験方法

杉山（2009）ではストップウォッチを用いた目測での測定が行われていたが，伝播速度を算出するためのドミノの伝播にかかる時間のデータをより正確にするため，速度を測定するビースピＶ（株式会社ナリカ製）で Fig.1 のように設置して測定した。その測定範囲は 0～999.9cm/s で測定精度は 0.1cm/s である。

(a)



(b)

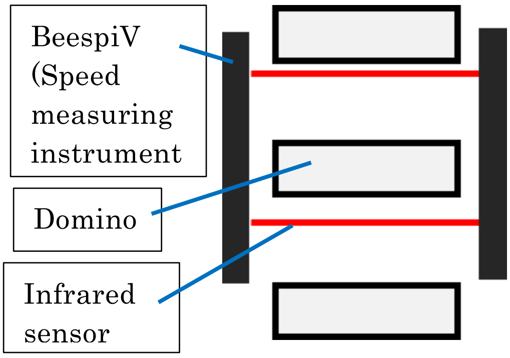


Fig.1 (a) Appearance of the measurement,
(b) Layout of dominoes and BeespiV

使用したドミノは杉山(2009)と同一規格の厚さ×幅×高さ=0.8cm×2.3cm×4.6cm（体積=8.464≒8.5cm^3，質量 m=8.0g）のプラスチック製のものである。実験場所は，教室の床面などではドミノが床面を滑り倒れ方にばらつきが出るため (Fig.2a)，木製の角材に紙やすり（240 番）を接着したものを土台とした（Fig.2b)。

一つ目のドミノの初速度を一定にするため，自分たちで力学的エネルギー保存則を用いた振り子型スタート装置（Fig.3）を製作し，そこで転倒のきっかけとなる最初のドミノに速度は，重力加速度の大きさを g，振り子の糸の長さ l を 38cm とすると，

$$v = \sqrt{2gl(1 - \cos 5^\circ)} \fallingdotseq 17 \text{ [cm/s]}$$

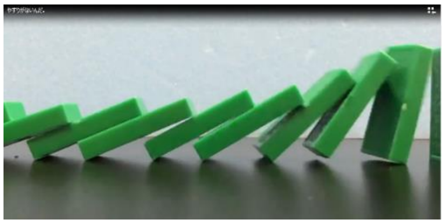
となる。

また，使用するドミノの個数は100 (+α) 個とし，1.6cm の間隔で一直線状に並べた。

2-1-2. 実験結果

実験は 40 回繰り返し行い，ドミノ 10 個おきの伝播速度を測定した。測定結果を Fig.4 に示す。横軸は測定地点のドミノがスタート地点から何個目かを，縦軸は測定地点での伝搬速度を，エラーバーは標準偏差を表す。

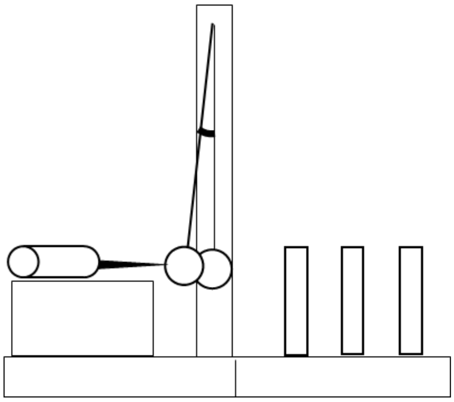
(a)



(b)

Fig. 2 Dominoes seen from the side
(a) Experiment on the floor,
(b) Experiment on the sand paper

(a)



(b)

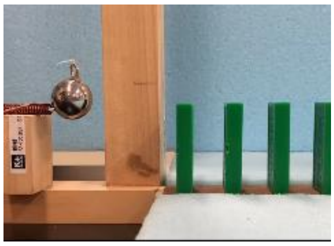


Fig.3 Pendulum-type starter (a) Schematic picture (b) Photograph

グラフより有意な差が見られないことから，ドミノはほぼ等速直線運動した（伝播速度がほぼ一定）と考えられ，杉山（2009）と同一の結果が得られた。

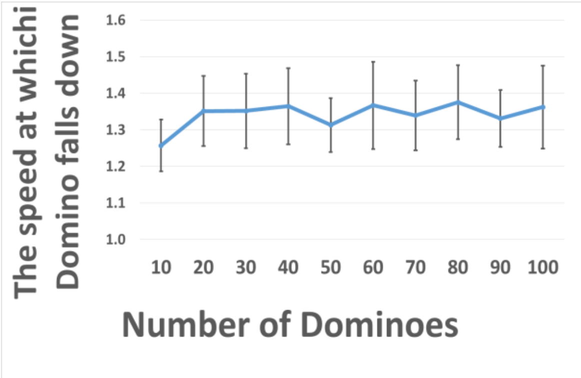


Fig. 4 Variation of propagation speed

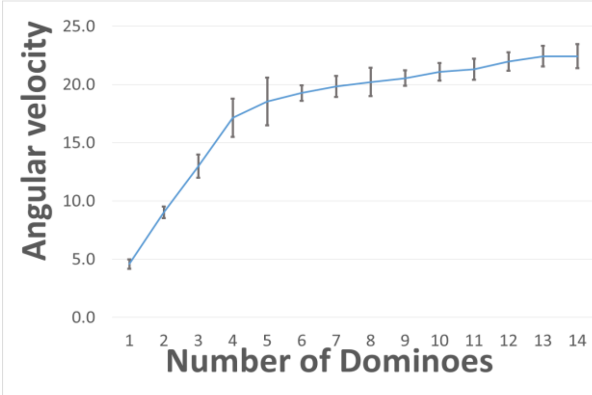


Fig. 5 Variation of angular velocity after the start

2-2. スタート時の加速過程

2-2-1. スタート直後の速度変化

2-1 節より 10 個目以降の伝播速度は一定と見なせることがわかったが，1～9 個目の変化については分かっていない。目視による観測では，スタート直後にドミノの伝播速度は加速しているように見える。そこで，2-1 より高精度で伝播速度を測定し，スタート直後の伝播速度の変化について調査する。

2-2-2. 実験方法

本実験では，データの測定精度を上げるため，ストップウォッチで測定するとともに，倒れていくドミノをスローカメラで撮影し，その映像から時間の値（最後尾のドミノが転倒を開始してから終了するまでの時間）を読み取ることで計測した。また，測定した速度はドミノ単体の角速度である。

2-2-3. 実験結果

40 回繰り返して得られた結果を Fig. 5 に示す。横軸はドミノのスタート地点からの個数を，縦軸はドミノ単体の角速度を，エラーバーは標準偏差を表す。

Fig. 5 のグラフより有意な差が見られたことから，ドミノは番号〈1〉～〈14〉の間で加速運動をしていることが分かった。

特に，大きく加速しているのは番号〈1〉～〈4〉の間である。そこで，スタート直後の映像解析から，後ろから寄りかかるドミノの個数がスタート直後に 1 個から 5 個程度に急激に増加すること（5 個目以降はほぼ一定）がわかった（Fig. 6）。したがって， 番号〈1〉～〈5〉での急激な加速は後ろから寄りかかるドミノの個数の増加によるものだと考えられる。

また，番号〈6〉～〈14〉でも緩やかに加速をしていることから，等速直線運動がはじまるのは少なくとも番号〈14〉のドミノ以降からではないかと考えられる。

(a)
(b)
(c)

Fig. 6 The start of falling of (a)the 3rd, (b)the 5th, (c)the 7th domino

2-2-3 考察

ドミノが加速する際に起きている現象について，次のように考察した。番号〈2〉以降について図のようなモデルを考えると(Fig. 7)，番号〈x〉が転倒する間に番号〈x－1〉が番号

〈x〉に与える力積が，計測した角速度に影響を与えていると考えられる。その力積は，運動量と力積の関係式より

$$mv' - mv = F\Delta t$$

と与えられる。

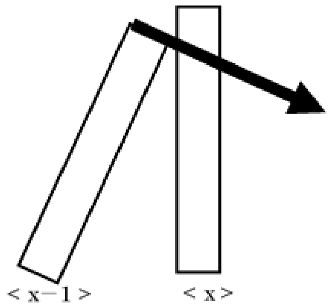


Fig.7 Model of domino falling

この式にある F〔N〕は番号〈x−1〉が番号〈x〉に与える力を表しており，Δt〔s〕は番号〈x−1〉と番号〈x〉の接触時間を表している。よって，力積の増加は，接触時間の増加，番号〈x−1〉から受ける力の増加，または両方によると考えられる。ここで，角速度が増加すると接触時間は短くなることから，スタート直後の力積の増加は番号〈x−1〉が〈x〉を押す力が増加したためだと考えられる。

2-3 この実験の結論

杉山（2009）で述べられていた通り，ドミノは等速直線運動をすることが確認された。また，新たにスタートから１４個目までは加速することがわかった。さらに，その際，５個目までは急激に加速し，その後，加速度を減少させながら緩やかに加速し，徐々に等速運動に近づいてゆくことが分かった。

この現象は，後ろから倒れかかるドミノの個数による変化で説明でき，後続のドミノから前方のドミノに加わる力積が，伝播速度を決定する大きな要因になっていることがわかった。

3. 曲線のドミノ倒し

3-1. ３つの仮説

ドミノ倒しの伝播速度がどのように決まるのかをより深く理解するため，私たちはさらに曲線上に並べたドミノでの実験を行う。曲線上の場合と直線上のドミノの結果を比較することで，伝播速度の決定要因についてもより深く理解できるだろう。この実験ではドミノを円周上に並べる。

ここで，私たちは３つの仮説を立てた。

仮説Ⅰ：先行研究（杉山,2009）でドミノ間の距離（間隔）に応じて速度が変化したとすると，曲線上のドミノ倒しの場合も，ドミノが衝突するまでの距離が等しければ速度も一定（等速運動）となる。

仮説Ⅱ：曲線の場合，衝突の際に力積の方向と速度の方向にずれが生じるため，伝播速度が減少する。

仮説Ⅲ：曲線の場合，接触するのが「点」となるため，力が無駄なく伝わり，加速する。

これらの仮説の妥当性を確かめるため，曲がり方をいろいろと変えて実験を行う。

3-2. 実験方法

まず，ドミノを曲線に並べる際の条件について述べる。今回の測定ではドミノが等速直線運動となった後であることを初期条件とした。そのため直線状に間隔 1.6cm で 26 個並べ，それに続いて曲線状に並べた（Fig.8）。

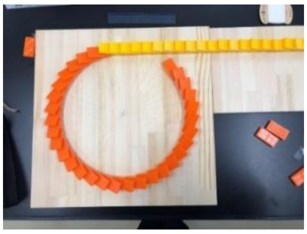


Fig.8 Photograph of the domino falling on the curve

曲線上への並べ方は，下記の条件(a)，(b)を満たすように並べた（Fig.9）。

条件：

(a) 隣接するピース同士において，ピースの辺の延長線のなす角 θ を一定にすること。

(b) 番号〈x〉のドミノの頂点Ｂが番号〈x+1〉のドミノの面Ａに衝突するまでの距離を，すべて 1.6cm にすること。

条件(a)については，本実験では $\theta = 10°$ から 35°まで 5°区切りで（計６パターンについて）実験を行った。また，条件(b)については，ドミノ間の距離が 1.6cm となる半径 r の導出は以下の手順によって行った。

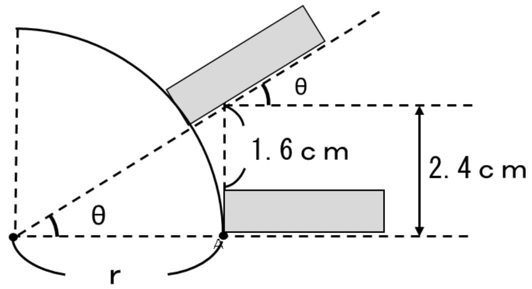


Fig.9 Schematic picture of the domino falling on the curve

Fig.9 より，線分 AB は 1.6cm，ドミノの厚さが 0.8cm となるので，線分 AC は 2.4cm となる。円の半径をr[cm]として，線分 OA と線分 OC のなす角をθとすると，

$$\tan\theta=\frac{\mathrm{AC}}{\mathrm{OC}}=\frac{2.4}{r}$$

が成り立つので

$$r=\frac{2.4}{\tan\theta}$$

となる。この方法で求めた半径の円に接するようにドミノを並べた。

土台については，ドミノが滑ることがセロハンテープによって改善され，曲線の場合紙やすりの目の方向による引っかかり等の懸念がある事から使用しなかった。

次に，測定方法について説明する。Fig.10 のように曲線に入る際のドミノの番号を〈0〉とし，番号〈x〉のドミノが転倒を開始してから，番号〈x+3〉が番号〈x+4〉に接触するまでの時間を計測して，４個おきに（つまり，x=0，4，8 での）伝播速度を求めた。

４個での区間の長さLは，ドミノの厚さが 0.8cm，ドミノの間隔が 1.6cm だから，

$$長さL=\left(厚さD+間隔d\right)\times 個数$$

$$=\ (0.8[\mathrm{cm}]+1.6[\mathrm{cm}])\times 4=9.6[\mathrm{cm}]$$

である。測定方法は，2-2 節で示した加速過程の実験のときと同様に，カウントしているストップウォッチと共に倒れていくドミノをスローカメラで撮影して，その映像から時間の値を読み取ることで計測した。

3-3. 実験結果

実験結果を Fig.11 に示す。横軸は計測区間を表し，縦軸はドミノの伝播速度を表している。角度が大きくなるほど，プロットしたデ

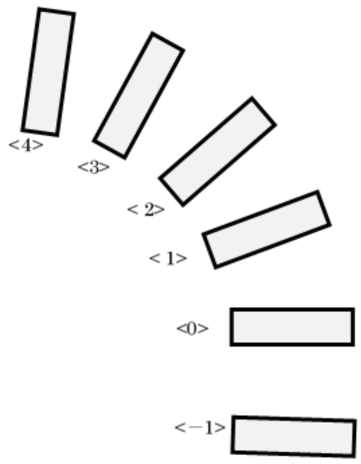


Fig.10 Domino number

ータの数が少なくなるのは，その個数で円を１周してしまうからである。なお，初めの区間（〈-x〉～〈-x+4〉）は直線区間を表している。

3-4. 実験結果

実験結果を Fig.11 に示す。横軸は計測区間を表し，縦軸はドミノの伝播速度を表している。角度が大きくなるほど，プロットしたデータの数が少なくなるのは，その個数で円を１周してしまうからである。なお，初めの区間（〈-x〉～〈-x+4〉）は直線区間を表している。

20°より大きい角度の場合のときは伝播速度が有意に変化しており，ドミノが減速していることがわかった。

3-5. 考察

ドミノを曲線上に並べた場合，ドミノが次のドミノに衝突するときの角度が 0 ではなくなり，後ろのドミノから受ける力は分解され，進行方向の力の成分が減少する。そのため，転倒中のドミノが受ける力積が減少し，減速してゆくと考えられる。

具体的には，角度θが小さい場合，後ろのドミノから受ける力の進行方向の成分は角度が小さいため元の力の大きさと大きく変わらない（Fig.12)。そのため，ドミノに与えられる力積にも大きな差が現れず，直線の時に似た結果になると考えられる。

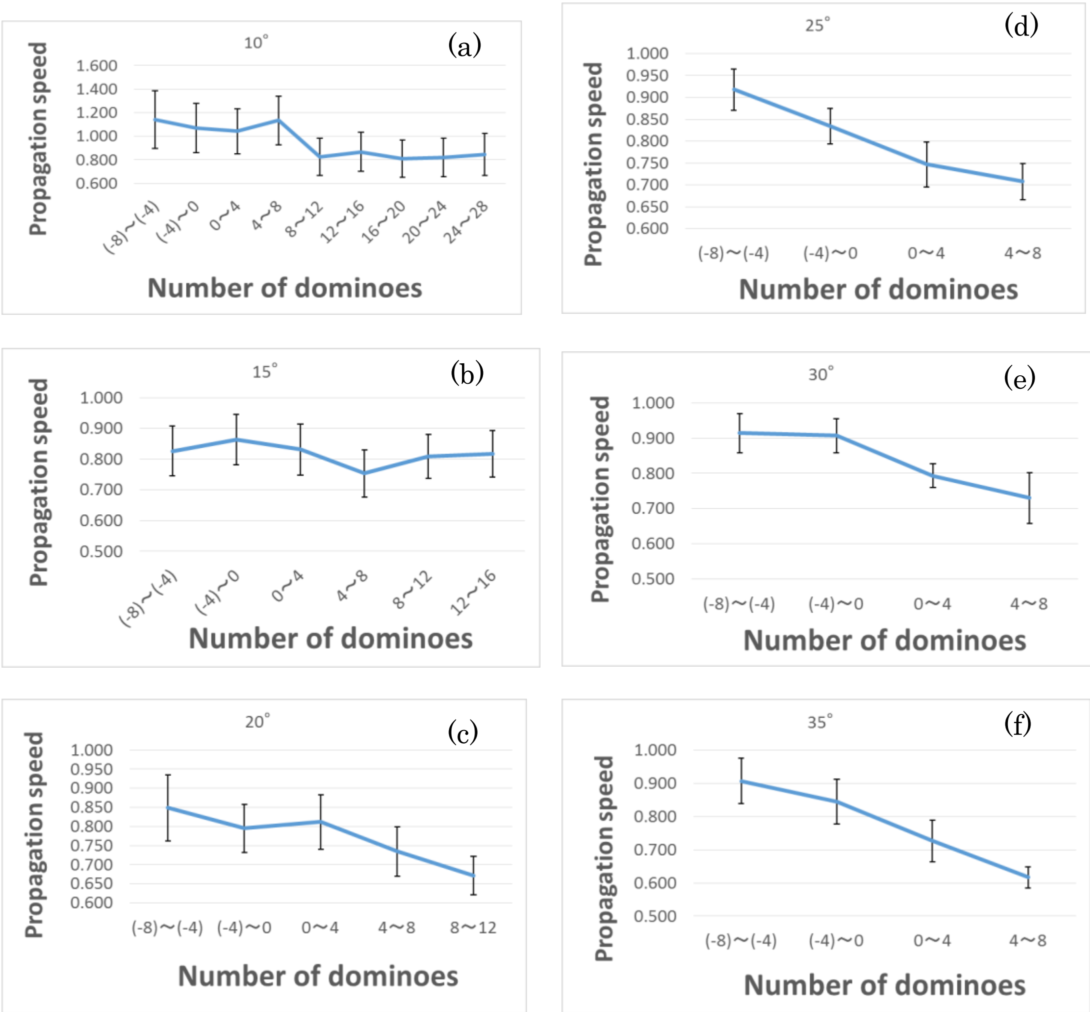


Fig.11 Propagation speed (a) θ =10°，(b) θ =15°，(c) θ =20°，(d) θ =25°，

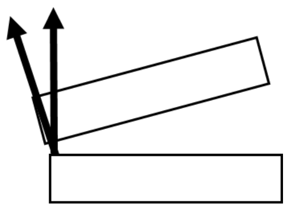


Fig.12 The case of a small angle

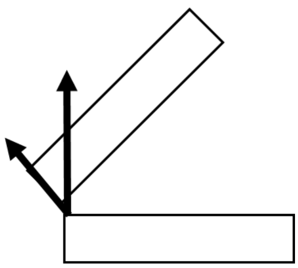


Fig.13 The case of a large angle

他方，角度θが大きい場合，後ろのドミノから受ける力の進行方向の成分は，元の力の大きさより大きく減少する (Fig.13)。そのため，転倒中のドミノが受ける力積も減少し，減速すると考えられる。

以上より，曲線上のドミノ倒しの場合も，後ろのドミノから加わる力積の大きさが，伝播速度を決定する要因になっていると考えられる。

3-6. この実験の結論

ドミノ倒しの伝播速度について，衝突時の角度が伝搬速度に影響を与えていることがわかった。また，このことから仮説Ⅰと仮説Ⅲは棄却され，仮説Ⅱが立証された。

4　まとめ

実験を通してドミノの伝播速度がどのように決まるのかについて研究した。特に，加速過程について調査するとともに，曲線上にドミノを並べた場合の伝播速度について調べた。その結果，ドミノ（の転倒）はスタートから５個目まで急激に加速した後，加速度を減少させながら緩やかに等速直線運動に近づいていくという特徴的な加速過程を持っていることが分かった。また曲線の場合では，一定以上の角度になると減速することが分かった。

謝辞

本研究を進めるに当たり，ご指導いただいた柿木康児先生並びに佐々木隆浩先生に厚く御礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

参考文献

杉山了三(2009)：ドミノで地震波のモデル実験，岩手の地学教材と実験 2009 年度版，102-113」

自由落下運動におけるエネルギー変換について

～空気抵抗力のした仕事の証明～

岩手県立一関第一高等学校理数科３年
志賀裕太　片方優　山谷悠斗　遠藤大誠　千田純平　和田一希

要約
私たちは，自由落下運動におけるエネルギー変換について興味を持った。そして，その際に失われるエネルギー（変換ロス）が実際に空気抵抗によるものであるかどうかを検証しようと考えた。まず，自由落下運動時の物体の速度を測定し，理論値の速度との差から失われたエネルギー量を求めた。その後，レイノルズ数などを考慮して理論上の空気抵抗による仕事量を求め比較した。結果，数値に開きはあったものの同じオーダーの結果が得られ，失われたエネルギーの一部は空気抵抗によるものであると結論づけた。

〈キーワード〉　レイノルズ数　空気抵抗係数　力学的エネルギー保存則

Energy Transformation on the Free-Fall Motion

～A Demonstration of Work of Air Resistance～

SHIGA Yuta　KATAGATA Yu　ENDO Taisei
WADA Kazuki　YAMAYA Haruto　CHIDA Junpei

ABSTRACT
We had an interest in how air resistance works and we wanted to try to prove it. In experiment of Free-fall motion,　we measured velocity of iron ball and calculated amount of work from an error from theoretical value. After that,　considering Reynolds number and so on,　we calculated amount of work in the theory. As a result,　although there was an error,　we could get result of same order and concluded that the proof was successful.

<keywords>　Reynolds number　Air resistance coefficient
The law of the conservation of energy

1. はじめに

私たちの生活には，エネルギー変換を利用するものが多数存在する。その一例として，熱エネルギーを電気エネルギーに変換する火力発電などが挙げられる。この場合，すべての熱エネルギーが電気エネルギーに変換されることはなく，タービンなどの原動機を運動させるといった過程で，エネルギーの損失が生じている。私たちはそのような身近にあるエネルギー変換に興味を持ち，研究を行うことにした。

空気中の自由落下運動は,位置エネルギーが運動エネルギーに変換される。空気中では，空気抵抗力が生じるため，真空中に比べて落下速度が減少する。そこで，私たちはその際に失われるエネルギー量を求め，理論上考えられる空気抵抗による仕事量と比較し，実際に一致するかどうか検証することを目的として研究を行う。

2.　鉄球が失ったエネルギー

本節では，鉄球の自由落下運動における速度測定器から，鉄球の運動エネルギーを求め，位置エネルギーとの差から失われたエネルギーを求める。

使用したものは，鉄球 1 個（半径$1.30\times 10^{-2}\ m$，質量$35.8\times 10^{-2}\ kg$）と，速度測定器（ビースピ V，ナリカ製）精度は，0.01 m/s である。

落下する鉄球の速度を測定するため，速度測定器を鉛直方向に設置し，速度測定器の二つの赤外線センサーの中点を基準とし，鉛直方向に高さ 1.00 m の点から鉄球を自由落下させる（Fig.1）。

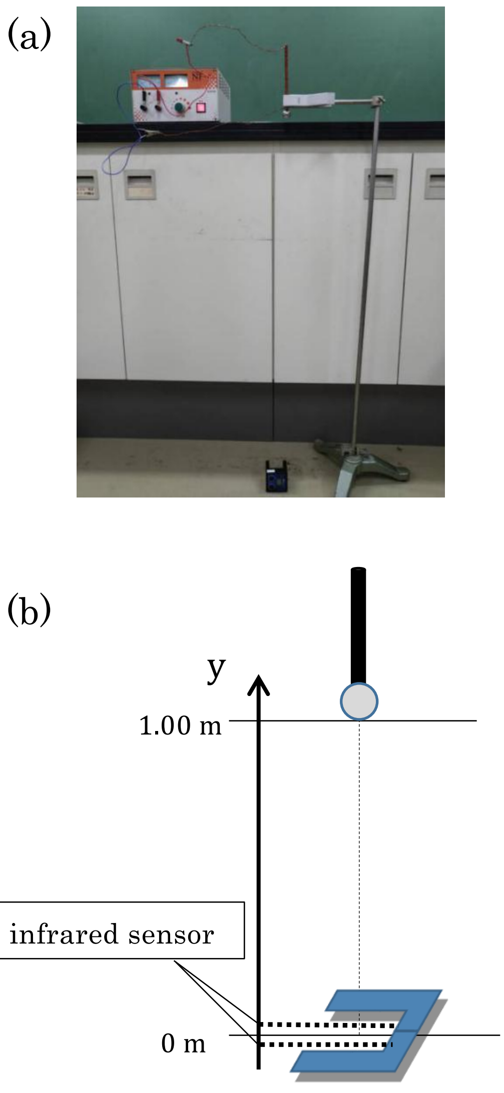


Fig.1 (a) Photo of the experiment
(b) Schematic diagram

Table 1 the numerical value

Number of trial [No.]	Velocity [m/s]	Number of trial [No.]	Velocity [m/s]
1	4.42	11	4.39
2	4.41	12	4.39
3	4.38	13	4.38
4	4.40	14	4.42
5	4.40	15	4.38
6	4.39	16	4.41
7	4.38	17	4.40
8	4.41	18	4.38
9	4.39	19	4.38
10	4.37	20	4.38

その際，高さ 1.00 m の点で電磁石と接触させ，電磁石への電流を切ることで鉄球が自由落下できるようにする。本実験を 20 回試行する。

結果を Table 1 に示す。

これより，標準偏差は 0.01 m/s となることから，鉄球の平均速度v_{obs}（m/s）は，

$$v_{obs} = 4.39 \pm 0.01 \mathrm{m/s} \quad (1)$$

となった。空気抵抗力による影響を無視すると，力学的エネルギー保存則より，鉄球の落下する前の位置エネルギーU[J]と落下後の運動エネルギーE[J]が保存される。

重力加速度 g を 9.80 m/s^2，落下距離 h を 1.00 m とすると，理論的に求められる 1.00 m での速度v_{cal}（m/s）は，

$v_{cal} = \sqrt{2gh}$　＝4.43 m/s となる。これは実験で得られた平均速度v_{obs}よりも大きく，その差が空気抵抗力による鉄球の失ったエネルギー損失となると考えることができる。

以上より，鉄球が失ったエネルギーΔE[J]は，

$$\Delta E[J] = mgh - \frac{1}{2}m{v_{obs}}^2$$

$$= 5.93\times 10^{-3}\ [J]$$

と求められた。

3.　空気抵抗力がした仕事の導出

前節の鉄球のエネルギー損失ΔE[J]は，空気抵抗力による仕事と考えられる。本節では，10.0 cm ごとに速度を測定し，理論的に求めた空気抵抗係数の値を用いて，空気抵抗力による仕事を求める。前節と同様に，高さ 1.00 m から鉄球を落下させる。その際，速度測定器を 10.0 cm ごとに設置し，10.0 cm ごとの鉄球の速度を測定する。これを 20 回試行する。（Fig.2）

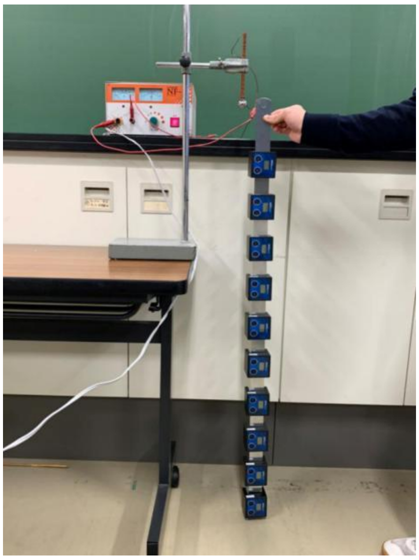


Fig.2 Photo of the experiment

結果を Table2 に示す。測定不能の場合は空欄とし，速度の平均値を求める際には，測定値のみを用いた。この結果から求めた 10.0 cm ごとの平均速度$v_{ave}{}^2$を次の Table 3 に示す。

Table 3 the average velocity of every point

Height h[m]	Average velocity v_{ave}[m/s]
1.00	0
0.900	1.39
0.800	1.97
0.700	2.41
0.600	2.77
0.500	3.12
0.400	3.40
0.300	3.69
0.200	3.93
0.100	4.15
0.000	4.39

この球は加速度が変化しているため，その球に対する空気抵抗力のした仕事を求めるのは難しい。ここでは鉄球は 0.100 m おきに等速直線運動をしているものとして考える。各区間の速度を隣り合った端点の速度の平均として考えると，Table 4 のようになる

Table 2　Velocity of the object on the free-fall motion

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.900	1.39	1.41	1.38	1.39	1.39	1.39	1.38	-	1.37	1.37	1.38	1.37	1.38	1.38	1.38	1.42	1.42	1.41	1.41	1.42
0.800	1.97	1.96	-	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	2.01	2.01	2.01	2.01	2.00
0.700	2.42	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.40	2.40	2.41	2.40	2.40	2.40	2.43	2.41	2.46	2.40	2.39	2.41	2.41
0.600	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.77	2.77	2.78	2.77	2.77	2.77	2.79	2.81	2.72	2.76	2.76	2.72	2.72
0.500	3.10	3.09	3.11	3.11	3.11	3.10	3.11	-	3.09	3.11	3.09	3.10	3.18	3.17	3.13	3.09	3.11	-	-	3.25
0.400	3.39	3.36	3.39	3.40	3.40	3.39	3.41	3.39	3.39	3.41	3.39	3.39	3.39	3.43	3.43	3.41	3.39	-	3.44	3.44
0.300	3.68	3.66	3.69	3.70	3.70	3.70	3.71	3.69	3.69	3.72	3.69	3.69	3.69	3.75	3.65	3.72	3.66	3.68	-	3.71
0.200	3.97	3.88	3.95	3.95	3.93	3.97	-	3.98	3.96	3.94	3.95	3.94	3.96	3.91	3.91	3.88	3.91	3.89	3.89	3.93
0.100	-	4.15	4.13	4.11	4.15	4.17	4.15	4.13	4.14	4.17	4.15	4.16	4.15	4.16	4.16	4.13	4.17	4.16	4.16	4.17

Table 4 Average velocity of each section

The height from standard h [m]	The average velocity v_{ave}[m/s]
1.00	0.696
0.900	1.68
0.800	2.19
0.700	2.59
0.600	2.95
0.500	3.26
0.400	3.55
0.300	3.81
0.200	4.04
0.100	4.27
0.000	

ここで空気抵抗力のした仕事w_{all}[J]を求める。w_{all}は 0.100 m ごとに空気抵抗力がした仕事を積分して得られる。付録より空気抵抗係数 k を$k = 1.41 \times 10^{-4}$とし Table.4 の値を用いると，

$$w_{all} = \sum_{i=1}^{10}(k{v_{ave\,i}}^2 h)$$
$$=1.41 \times 10^{-4} \times 1.00 \times \sum_{i=1}^{10}({v_{ave\,i}}^2)$$
$$= 1.35 \times 10^{-3} \ \ [\mathrm{J}]$$

と求まる。この値は 2 節で求めた鉄球が失ったエネルギーΔE[J]の約 23%となるものの，同じオーダーで求めることができた。今回の実験より，鉄球が失ったエネルギーの全てが空気抵抗によるものであることを示すことは難しいが，一部は空気抵抗によって説明できることは示された。

4. おわりに

本論文では，鉄球の自由落下に着目し，位置エネルギーが運動エネルギーに変換される際のエネルギーの損失量を求め，それが空気抵抗力による仕事で説明できるかどうか実験で示すことを試みた。その結果，鉄球のエネルギーの損失量の約 23%を空気抵抗力による仕事で説明できることが示された。しかし，数値には大きな開きが見られ，実験の精度や空気抵抗係数の値など，他の要因によって空気抵抗力による仕事を正しく求められていない可能性がある。今後は，その差についてさらに検証していく必要がある。

参考文献

1)寺島幸生ら：速度測定玩具”ビースピ”を用いた定量的な力学実験教材の開発

2)Oki：初心者のための航空力学講座，https://pigeon-poppo.com/reynoldsnumber/

3)国立天文台(2019)：理科年表，丸善出版，1192p

付録　～空気抵抗係数 k の導出～

空気抵抗のした仕事量を求めるにあたって，流体力学の概念が必要となる。以下の思考においては全て以下の数値を利用する(Table A)。

m= $35.8 \times 10^{-2}\ kg$： mass of iron ball
g= $9.80163 m/s^2$: gravitational acceleration at Iwate
$\pi = 3.14159$
$\mu = 1.822 \times 10^{-5} Pa \cdot s$: viscosity coefficient
r= $1.30 \times 10^{-2}\ m$: radius of iron ball
ρ=1.205kg/m : density of the air
s=5.31$\times 10^{-4}$m : area of projection

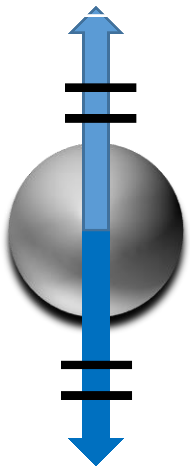
Table A　Conditions of the experiment

物体は最終的に空気抵抗力と物体に働く重力がつりあう（Fig.A)。このときの速度を終端速度とし，v_fと表す。

$$mg = k{v_f}^2 \quad (1)$$

が成り立つ。

Fig.A　force balance



空気抵抗力は一般に抗力であるから，抗力D［N］について考える。D とは、物体が流れの方向の成分から受ける力のことを言う。自由落下におけるDは空気が鉛直方向に流れる際の物体が受ける力である。D は以下の式で表される（ニュートンの抵抗法則）。

$$\mathrm{D}=\frac{1}{2}C_D\rho v^2 s \quad (2)$$

(2)よりvはC_Dに依存する①。ここでのC_Dは抗力係数のこと， sは流れの方向から見た投影面積を表す。

C_Dについて考えるために，レイノルズ数 Re という値が必要となる。Re とは流体の慣性力と粘性力の比で表される数のことを言う。流れにおいて，どれぐらい粘性の影響があるのかを調べる尺度である。Re は，以下の式で表される。

$$\mathrm{Re}=\frac{\rho v L}{\mu}=\frac{2\rho v r}{\mu} \quad (3)$$

よって，(3)より Re はvに依存する②。Re<1であれば層流領域，$1<$Re≤ 2975であれば遷移領域，Re>2975であれば乱流領域と呼ばれる。

ここで，

層流領域では$C_D=\frac{24}{Re}$

遷移領域では$C_D=\frac{24}{\sqrt{Re}}$

乱流領域では$C_D=0.44$

と表される。よって，C_Dは Re に依存する③。

①②③よりv，C_D，Re は互いに依存しあっている。よって，条件を満たすか確認する必要がある。

(2)で$v=v_f$のとき$\mathrm{D}=mg$となるから，

$$D=\frac{1}{2}C_D\rho {v_f}^2 s = mg \quad (4)$$

と表される。v_fで考えると（1）よりkを求めることができる。このことを利用する。

Re<1、$1\leq \mathrm{Re}<2975$の場合を仮定して計算すると，最終的に条件に適さず，
$\mathrm{Re}>2975$のみ条件と一致することから，本実験における Re 数は2975 より大きいことがわかる。（以下計算式）

$\mathrm{Re}>2975$のとき

$C_D=0.44$を(2)に代入すると

$$\mathrm{D}=\frac{1}{2}\times 0.44\times \rho v^2 s$$
$$=0.22\rho\pi r^2 v^2$$

となる。(i)と同様に考えて

$$0.22\rho\pi r^2 {v_f}^2 = mg$$

これをv_fの式にすると

$$v_f=\sqrt{\frac{mg}{0.22\rho\pi r^2}}$$

最初に示した数値を代入して

$$v_f=\sqrt{\frac{35.8\times10^{-3}\times9.80163}{0.22\times1.205\times3.14159\times1.69\times10^{-4}}}$$
$$=4.99\times 10\mathrm{m/s}$$

よって Re は

$$\mathrm{Re}=\frac{2\times1.205\times4.99\times10\times1.3\times10^{-2}}{1.822\times10^{-5}}$$
$$=8.58\times10^4$$

これは$\mathrm{Re}>2975$をみたす。
よって適する。

したがって、この球の$v_f=4.99\times 10\mathrm{m/s}$

(1)を用いてkは

$$k=\frac{mg}{{v_f}^2}$$
$$=\frac{35.8\times10^{-2}\times9.80}{(4.99\times10)^2}$$
$$=1.41\times10^{-4}$$

と求めることができた。

学力の差はどこで生まれるのかに関する研究

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
千葉結乃　秋尾桜子　小野寺慶喜　金今日花里　北野椰々

要旨

私たちは、学力の差を生む要因について小テスト・アンケートを用いて調査し、習慣的に知識活動を行っている生徒は高い学力を持つ傾向にあると考察した。

〈キーワード〉　　学力　習い事　ピアノ

１　はじめに

近年、岩手県の学力が全国的に見て低いとニュースや新聞等で目にする機会が多いと感じた。実際に 2019 年度全国学力テストによると、小学生においては、正答率 66.5%で 14 位と比較的に上位であるものの、中学生では、正答率 60.7%で 41 位だった。なぜ小学生と中学生で順位に差があるのか疑問に思い、学力の差がどこで生まれるのか研究する必要があると考えた。

私たちは、知的活動により学力の差が生まれると考え、その中でも習い事の有無が最も学力の差を生む要因であると仮説を立てた。

そこで、一関一高の生徒を対象とした小テストを行い、班内で立てた仮説を基にしたアンケートの結果から、いかなる要素が学力を決定づけるのかを考察する。

２　研究方法

本調査は、一関一高の２年生(229 名、6 クラス)を対象とする。

・小テスト内容

国語・数学・英語から各２問、計６問の基本的な問題を出題する。

・アンケート内容

(1) 家庭での学習時間について(〇時間)

(2) 朝食を食べる頻度について
　①　毎朝
　②　週 5～4
　③　週 2～1
　④　なし

(3) 住んでいる市町村

(4) 習い事について
　①　有・無
　②　いつからいつまでか
　③　習い事の内容　(複数回答可)

(5) 本(マンガを含まない)を読む頻度
　①　毎日
　②　週 5～4
　③　週 2～1
　④　読まない

(6) 新聞を読む頻度
　①　毎日
　②　週 5～4
　③　週 2～1
　④　読まない

以上二つの情報を基に、高得点者（ここでは小テスト 5 点以上）の共通項を見出す。

３　結果

・小テスト基本情報
　平均点　3.7/6
　高得点者数　42

　アンケート項目より
　・習い事（ピアノ）
　→<u>13 人</u>
　・読書冊数（週 4 日以上）
　→3 人
　・家庭での学習時間（2 時間以上）
　→<u>13 人</u>
　・新聞（週 4 日以上）→2 人

表１　アンケート結果

	高得点者	非高得点者	全体
ピアノ	13 人	24 人	37 人
家庭学習	13 人	63 人	76 人
読書	3 人	15 人	18 人
新聞	2 人	9 人	11 人

４　考察と結論

小テストとアンケートの結果から、習い事が高得点者たちに最も多く見出された共通項であることが分かった。特にピアノを幼少期から始めている人が高得点者であった。ピアノは、視覚、聴覚、触覚を同時に使うため、その高度な活動が学習にも、影響を及ぼすと考えられる。

しかし、学習時間においては、全体の２割程度しか高得点者がいなかった。そのため、学習時間だけでなく、学習内容にも個人差があるか研究する必要があったと考えられる。

今後の研究としては、高得点者に共通する学習内容を研究する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり，大内寿文先生、茂庭隆彦先生に沢山のご指導をしていただきました。ありがとうございました。

参考文献

https://education-career.jp/magazine/data-report/2019/ranking-achievement-test-2018

岩手県式部活動が学力にもたらしてきた影響

〜本校附属中学校を例に〜

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
小野寺海斗　小野寺琉香　中村孟徳　橋野義明　村上直也

要約

岩手県式部活動が本県中学生の学力に負の影響を与えてきた可能性が高いことが分かった。全員加入でなくなった後も生徒が主体性をもって行う部活動がなされることが望ましいと考える。

〈キーワード〉 部活動　岩手県　主体性

１　はじめに

・研究背景

岩手県中学生の学力が低いことはいくつかの調査によって明らかにされている。これについて岩手県独自の部活動スタイルが影響を与えていると考え、そこで岩手県式部活動について調べることとした。

・先行研究

先行研究では岩手県独自の部活動様式と関連がある可能性が示唆されていたが具体的なプロセスは明示されていなかった。※１，２

・仮説

岩手県式部活動は岩手の中学生の学習成績に負の影響を与えてきた。

・研究目的

これまで部活動への全員加入が基本だった本校附属中学校でも、2020 年度より部活動参加が任意化された。部活動の在り方が見直される中、これまでの岩手県独自の部活動スタイルの影響を精査して、今後の望ましい部活動の在り方を探ることが本研究の目的である。

２　研究方法

・研究手順

（１） 部活動が学力に与える影響を探る

（２） 岩手県式部活動の特徴を探る

（３） 学力に与える影響の変化を探る

（４）部活動がない場合の放課後時間の使い方を探る

・調査方法

先行研究調査　インターネット検索

３　結果

研究手順の番号通りに報告していく。

（１） 部活動が学力に与えるプロセス（※４を参考にした。）は、表１より正の影響と負の影響の２つに分かれる。正の影響には学習意欲の向上、学校適応の向上、リテラシー（何らかの形で表現されたものを適切に理解・解釈・分析し、改めて記述・表現する能力のこと）の向上があげられる。負の影響については、家庭学習時間の減少、ストレスの発生があげられる。

表１

正の影響	負の影響
① 学習意欲の向上※５	④ 家庭学習時間の減少※８
② 学校適用※６	⑤ ストレスの発生※９
③ リテラシーの向上※７	

（２）「いわて県式部活動」の特徴は全員加入と学校中心の生活の２つにある。
（※1，２，３を参考にした。）

ⅰ全員加入（99％の県内中学校で生徒の全員加入が行われている）により一部で積極性のない部活動が行われている。（表２は本校附属中学校のアンケート結果である。）

ⅱ部活動終了後のスポーツ少年団活動による学校中心の生活

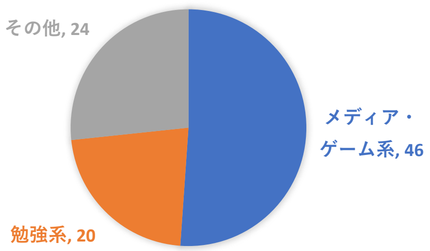
表２

部活動が選択加入性だったら加入したか	全員加入性のために主体性のない部活をしていたか
はい　　５９人	**はい　　12 人**
いいえ　　18 人	いいえ　　63 人

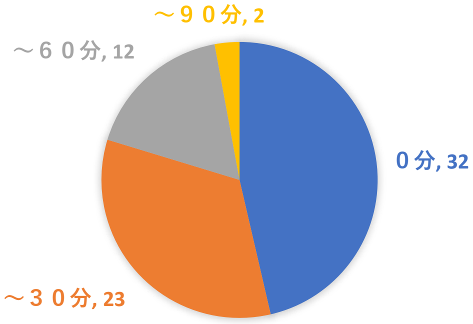
（３）一般的な部活動と岩手県式部活動とを比較した結果を表３にまとめた。本来部活動で養われるべき能力が養われていないばかりか、生徒に負の影響を与える可能性もあることが分かった。その結果が学習意欲や学習時間の調査に表れていると考えられる。

（４）　部活がない場合の時間の使い方を本校附属中学校にアンケートを行ったところ、下図のような結果を得た。ここから部活動を行わない生徒の学習時間が増加する可能性を読み取れる。

部活動がない場合の放課後９０分の使い方（分）平均値



部活動がない場合の勉強時間の増加分（人）（９０分中）



４　考察・結論

学習成績に影響を与える要因は部活動だけではないが、岩手県式部活動が生徒の学習成績に負の影響を与えてきた可能性があることがこの探究活動で分かった。部活動参加が任意になったことにより、自由時間の確保がなされて学習時間の増加や校外活動への参加が期待できる。また、生徒の主体性が高まり、学習意欲の向上や学校適応が促進されると考えられる。部活動参加が任意になった今後も指導者が生徒の自主性を尊重し適切な時間の部活動が築かれていくことが望まれる。

表３

	一般的な部活動	岩手県式部活動	関連が予想される岩手県の実態
①	部員主体性が部活動への意欲を向上させる可能性がある※５	主体性がないため学習意欲を向上させられない。部活に参加しない場合よりも低くなる可能性もある。※９	学習意欲全国最下位※１１
②	主体的な部活動参加が協調性を学校適応（学校に行く、授業を受けることが楽しいと思えるか）を促し学力を向上させる。※６	主体性がないため、部活動を通じて学校適応することが難しく、不参加の場合よりも低い可能性がある※９	
④	帰宅後の時間が確保されている。	学校中心の生活であり、自由時間の確保が難しい（都道府県別中学生の部活動加入率と平日３時間以上家庭学習している生徒の割合には不の関係がある※10、11 より相関係数-0.4604）。	岩手県の家庭学習時間は全国トップクラスで短い※11

謝辞

本研究を行うにあたり岩手県立大学　渡部芳栄先生より多大なるご協力をいただきました。本当にありがとうございました。また、インタビューに協力してくださった門間先生、菊池先生、指導してくださった金田先生、多田先生、ご指導・ご協力ありがとうございました。

参考文献

※１　渡部ほか（２０１７）「岩手県の中高生の学力やキャリア形成に関する調査研究－沿岸部と内陸部の格差を生んでいるものは何か－ 」

※２　長沼（２０２０）「運動部活動の活動時間と学力には『弱い負の相関』あり」

※３　中澤（２００９）「中学校部活動の指導・運営の現状と次期指導要領に向けた課題に関する教育社会学的研究　　－８都県の公立中学校とその教員への質問紙調査をもとに－」

※４　今宿ほか（２０１９）「学校運動部活動の効果に関する研究の変遷と課題」

※５　石田・亀山（２００５）「中学校の部活動が学習意欲に及ぼす影響　－ 部活動集団の特徴と部活動への意欲に注目して－ 」

※６　白松（１９９７）「高等学校における部活動の効果に関する研究　　－学校経営戦略の一視角－」

※７　州（２０１７）「中学・高校時代の生徒会活動及び部活動がリーダーシップに及ぼす影響について　－PROG テストのデータを用いて－」

※８　岡安ほか（１９９２）「中学生の学校ストレッサ―の評価とストレス反応との関係」

※９　岡田（２００９）「部活動への参加が中学生の学校への心理社会的適応に与える影響－部活動のタイプ・積極性に注目して－」

※１０　「都道府県別中学生部活動参加率」
https://todo-ran.com/t/kiji/22293

※１１　国立教育政策研究所　平成２９年度全国学力・学習状況調査の調査問題・正答例・解説資料について　（県立大　渡部先生よりご提供いただきました。

岩手地域経済の活性化

〜私たちは裕福になりたい〜

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
小野寺皓紀　木村紗月　菅原蒼史　照井涼太　三浦夢生　南浦通凡

〈キーワード〉　　農業　街づくり　人口増加　高齢化　過疎化

１　はじめに

１)仮説

・放棄された田畑が多く、土地が有効活用されていないから

・人口が減少しているから

・都市に若者が流出して、農村部に高齢者が増え、農業の担い手がいなくなったから

２）解決方法

① 人を集める街づくりを目指す。

② 地理的要因の解決

③ 特色ある産業

２　研究方法

書籍・インターネットを活用し、過疎化・高齢化地域の情報を集める

３　結果

岩手県二戸市

〈課題〉過疎の食い止めと雇用創出

〈手法〉集落ぐるみで環境改善、都市住民との交流

岩手県宮古市

〈課題〉行政改革による財源の捻出、多様な子育ての支援、活気ある産業

〈手法〉地理的ハンデを逆手に取った産業振興、学校統合、県内一安い保育料

岩手県陸前高田市

〈課題〉地域交流の活性化

〈手法〉スマホアプリ『Ingress』の活用

宮城県石巻市

〈課題〉産業活性化、都市と漁村との交流

〈手法〉商社経験者による漁村と都市との結び付け、漁業体験イベントなどを通じて交流を進めるなど地域漁業の再生

新潟県十日町市池谷

〈課題〉震災からの復興と限界集落からの脱出

〈手法〉震災復興ボランティアと住民が一丸となった町おこし、特産品のブランド化エコツーリズム系のイベント化

京都府宇治市

〈課題〉文化の振興

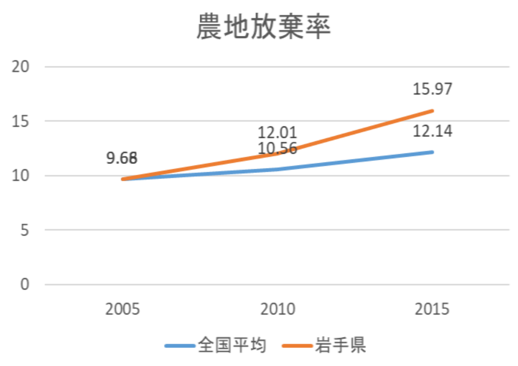
〈手法〉源氏物語を核とした街づくり、企業誘致

兵庫県豊岡市

〈課題〉環境改善

〈手法〉太陽光発電装置製造会社の立地・バイオマス耕の活用

また、地理的観点で、岩手県の特徴を見た際に、農地放棄率が全国平均に比べ著しく上昇していることが分かった。よって、所有者がいない農地をいかに活用するかが重要になる。



４　考察

１：他地域からの移住者を受け入れる「オープン性」（地域の受け入れ態勢）

リモートワークの拡大により地域に現役世代が戻り、地域移住意欲も高まる今、新たな人や若い世代を呼び込むためには重要。

２：共感できる価値観を反映した街づくりコンセプトを決め、他にない地域の魅力に共感するターゲットを絞り込み、そのニーズに合致した街や生活をデザインする。

３：効果的なＰＲ
マーケティングやシティーセールスを行う。

５　結論

全国から農業に従事したい人・企業を誘致するために
①補助金の提供
②道具・土地の無償提供
を行い
「農業大国岩手」
をコンセプトにPRを展開
地域経済の立て直しを図る

参考文献

・総務省ホームページ
・resas

https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/daijin_kurumaza/pdf/jirei.pdf

・http://www.takada-jc.ac.jp
・u-shizuoka-ken.repo.nii.ac.jp
・https://ci.nii.ac.jp/naid/110004614566

SNSで地域振興　～厳美渓～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
金田准季　佐藤優　徳永瑠香　千葉萌　森谷葉月

要約

地元一関の観光客の減少がコロナ禍により益々著しいことに対し、私たち高校生ならではの方法で観光客を増やすことはできないかと考えた。そんな時拡散性があり、私たちにとって一番身近であるSNSが一番利便性があると考えた。そこでSNS（YouTube,Instagram,Twitter）を利用し、観光地の魅力の拡散を試みた。

〈キーワード〉　観光客　インバウンド　厳美渓

１　はじめに

この研究の一番の目的は、地元一関への観光客を増やすことだ。その主な理由として、訪日外国人間顧客が増えていく中で一関を含め岩手県への観光客が極めて少ないと感じたからだ。実際に岩手県は魅力度ランキング35位、訪日外国人数のランキングにおいて最下位から８番目であった。(引用：観光庁)
このような現状から国内外問わず観光客を呼び込むためにはどうすれば良いのか考えるようになった。

そしてもう一つの目的は、SNS（Twitter Instagram LINE など)を通じて一関の魅力を知ってもらい、たくさんの観光客が一関を訪れるようにすることだ。高校生に一番馴染みがあり、海外への情報発信が簡単であることがSNSにこだわった理由である。また、SNSのメリットデメリットについても研究で明らかにしたい。

２　研究方法

①　アンケート調査
SNSの利用に関するアンケートを行う。

②　観光業従事者の方へのインタビュー
飲食店「いつくしだんご」でチーフマネージャーの小岩さんに以下の質問をした
・厳美独自のお団子について
・厳美の歴史について
・厳美渓の景観について
・コロナ禍の営業について

③　Twitter, Instagramを利用し、YOUTUBEで動画を作成し、フォロワーの動向を見た。

３　結果

本校２年生229人を対象に、SNS利用に関するアンケートを行った。

◎アンケート内容
Q1. よく使用するSNS
①LINE　②Instagram　③Twitter　④TikTok

Q2. よく見るYouTubeのジャンル
①お笑い系　②炎上系　③グルメ系　④チャレンジ系　⑤ブログ系　⑥教育系

Q3. 地元(一関市、岩手県)の自慢の場所

Q4. 地元(一関市、岩手県)の有名人と言えば

※回収率は,２年生は35%だった。
※今回は,Q1とQ3のみ取り上げる。

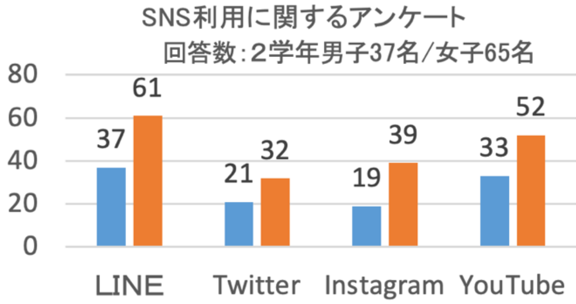
SNS利用に関するアンケートでは、男女ともにLINEの使用率が９割を超えていた。これはチャット機能がほとんどのため､情報を拡散する手段として限りがあると考えた。

そこで、２番目に利用されているYouTubeに着目した。(図１）YouTubeは年齢問わず使用者が非常に多く、10億人以上のアクティブユーザーへと情報を拡散できる。(引用:YouTube)

YouTubeの拡散性、大衆的な側面を理解し

た上で PR 動画を作成し、実際にアップロードを試みた。また、PR 動画の題材としてアンケートの答案で非常に多かった厳美を選んだ。

PR 動画の内容として、厳美渓の渓谷、かっこう団子、吊り橋などを取り上げた。視聴回数は 120 回を上回り、予想を上回る多くの方が視聴してくださった。また、YouTube のアカウントを含めた SNS の総フォロワー数は１００人近くにも上った。



（図1）

おすすめスポット	回答数
中尊寺金色堂	33
厳美渓	15
猊鼻渓	13
宮沢賢治童話村	7
小岩井農場	6
浄土ヶ浜	5
江刺藤原の郷	5
龍泉洞	5
ジャズ喫茶 BASIE	2
その他	5

（図３）

さらに SNS 利用においての利点を３つにまとめた。

①魅力を視覚的・直感的にアピールできる

SNS では、写真一枚などで街の情報を伝えることが可能だ。文字だけではなく、力を直感的に理解しやすい写真を活用することで観光の活性化などにつながる。また写真が好きなユーザーやその街に関心があるユーザーなど、ターゲット層も幅広く指定しやすくなっている。

②ハッシュタグの活用

SNS におけるハッシュタグ機能を使って地方創生を行うことで、ユーザーを巻き込んだ PR が可能になる。例えば、ハッシュタグを作ることで観光客の多くがその街のどこに魅力を感じているかを直感的に観測できるほか、ユーザー側もハッシュタグを介して街の撮影スポットなどを簡単に見つけられる。

③SNS の拡散性を利用できる

地域の名物イベントやお祭りなど、自治体からの発信ではなくともそれ以外の話題から、時流をうまく活用し、さらなる認知度の向上や集客の増加が見込める。

４　考察

まず、現代の若者は旅行雑誌やパンフレットなどよりも SNS で旅行先を決めているという情報を基に、YouTube で PR 動画を投稿し、さらに SNS での拡散を試みた。

アンケートの結果から、男女により SNS の利用はかなり差があると考える。女性の方が SNS に関して興味関心があると捉えた。また、SNS で情報を拡散するのにおいても、女性のインフルエンサーや活力を生かしていけば上手く拡散できると思った。

フォロワーの分析から、見ず知らずの大人なども数多くいた。このことから、高校生間だけでなく一般の一関市民の方々まで観光情報が行き渡っていたと思う。

今後、私たちの動画や拡散した情報をきっかけに、国籍・年齢を問わず一関を訪れる観光客が増えたら成功だといえるだろう

５　結論

現在は、新型コロナウイルス感染症の拡大によって観光業へのダメージは大きいと判断できる。今回のような SNS での発信を続けていけば、いつでもどこでも利用可能という利点を武器に、観光客を集めていくことが可能であると思う。今回だけでおよそ 100 人ほどの人々をフォロワーとして、視聴者として協力してもらう事ができた。これは研究として成功だと言えるし、今後も活動を続けていけば倍以上の観光客増加も期待できると思う。

謝辞

本研究を行うにあたり，インタビューに答えてくださった厳美の岩井さん、撮影に協力

してくださった厳美周辺の飲食店の方々、アンケートに協力してくださった二学年の皆さん、そして柿崎先生、ありがとうございました。

参考文献

観光省
https://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/in_out.html

YouTube Social Impact
https://socialimpact.youtube.com/intl/ja/why-youtube/

岩手県における少子高齢化問題

～少子高齢化と共存していくために～

岩手県立一関第一高等学校　普通科 2 年
伊東多香子　大竹真央　菊池一真　菅原陸　千葉朝陽

要約

私たちは，少子高齢と聞いてマイナスなイメージが多いことに気がついた。まず，本校の 2 学年にアンケートを取り，岩手県の将来がどうなるのか予測した。そして，アンケートの結果から岩手県の特徴を活かした未来を作るきっかけを考えた。結果，全国的にアピールできるところを守り続ける，古い街並みを活かした産業，地域ごとの自治体活動，自給自足・地産地消を行うことが最適だと判断した。

〈キーワード〉　少子高齢化　地域活動　地域発展

1　はじめに

岩手県における現在と将来の少子高齢化問題を把握し，岩手県の特色を活かした街づくりのきっかけを考えた。

少子高齢化が進むことによって，次世代の労働力は低下し，それと同時に日本の経済力も低下する。少子高齢化を止めることはできないため，逆に少子高齢化を活かした地域づくりが必要だと考えた。

インターネットから岩手県は少子高齢化が進むことが予測された。そのため，岩手県の将来は年少人口が減少し，高齢人口が増加することが予測され，現在よりも少子高齢化が進むと思われる。

進行し続ける少子高齢化の下で，岩手県の特色を活かした街づくりが不可欠である。

2　研究方法

まず初めに，本校の 2 学年 229 人を対象としたアンケートを取った。アンケートの趣旨は，インターネットの予測情報だけでなく，身近な人たちの情報を取り入れることによって，より自分たちの環境に適した結果を取得することだ。質問内容は，①就職・定住を考えたとき，地元に戻ってきたいと思うか。②①の理由。③地元の発展において，足りないと思うものは何か。の 3 つである。

次に，上記の結果を踏まえて，岩手県の特色を活かした街づくりはどのようなものなのか考えた。

3　結果

＜アンケート＞

①の結果については，戻ってくると回答した人 66 人，戻らないと回答した人 106 人，わからないと回答した人 1 人であった。②，③の結果については以下の表にまとめた。

	戻ってくると回答した人	戻ってこないと回答した人	わからないと回答した人
②①の理由	役に立ちたい・安心・家族が近い・恩返し・住み慣れているなど	不便・就職先がない・賃金が低いなど	想像できないから
③地元の発展において足りないもの	交通網・人口・魅力・経済力・施設など	人口・魅力・経済力・施設・教育の質	経済力

＜岩手県の特色＞

森林度 95%を活かした林業，歴史のある景観，リアス海岸を活かした水産業，約 8 か月感染が見られなかったことなどが挙げられる。

4　考察

アンケートの結果から，半数以上の人が地元には戻らないと回答しており，インターネットの結果だけでなく，アンケートからも岩手県の少子化が進むことが分かった。

少子高齢化を阻止することはできないため，岩手県の人口問題を伴わない経済活性化が必

要である。そこで私たちは，上記のように岩手県の特色を挙げ，それらから経済発展を行うことが大切だと考えた。

アンケートでは、本校の生徒にしかアンケートを取らなかった。そのため，身近な人たちを対象に高齢化について調べることはできなかった。若い世代以外の人にもアンケートを取るべきだった。

５　結論

3. 結果で述べたように，岩手県には岩手県ならではの特色がある。これらの特色を活かした街づくりは以下のような例がある。

全国的にアピールできるところを守り続ける，古い街並みを活かした産業，地域ごとの自治体活動，自給自足・地産地消。

上記のような活動をすることで，少子高齢化が進んでも，経済が維持，活性化することに繋がると考えた。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導いただいた佐々木俊樹先生，佐々木淳一先生，アンケートにご協力いただいた一関第一高等学校 2 学年の生徒の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

地域経済分析システム RESAS
https://resas.go.jp/#/13/13101

緊急事態における SNS の役割

～これからの社会における SNS との付き合い方～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
東海林央　佐藤宗太　小野笑　小野寺杏海　佐藤玲奈

要約

コロナ禍における SNS の役割をアンケート等を用いて考える中で、SNS が誰でも簡単に使える匿名性の強い空間となってしまったために問題が起こったとわかったため、運営側が誹謗中傷への対応を強化したり、人々がデマに流されない行動を心掛けることが必要だと結論付けた。

〈キーワード〉　SNS 、誹謗中傷、デマ

１　はじめに

昨今のコロナ禍で SNS が情報源となった反面、様々なトラブルの発生源ともなってしまったので、SNS の正しい役割を見出したいと考えた。その中で私たちは SNS の身近さと匿名性で、現実では面と向かって言えないような誹謗中傷をするなど、攻撃的になってしまったと仮説を立てた。

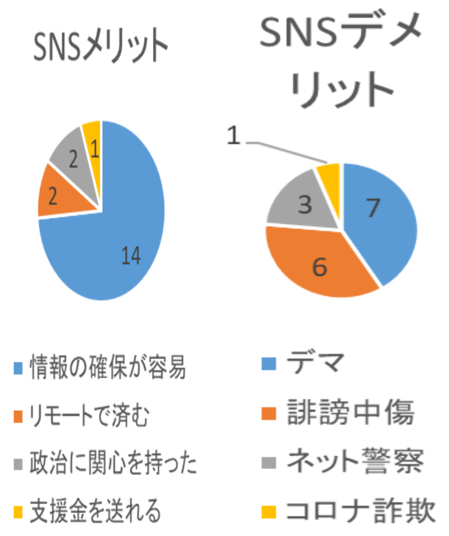
現代の生活に深く溶け込んでいて、メリットも多数あると考えられる SNS が、人々の攻撃の温床になっているのは問題だと思うため、コロナ禍で SNS が果たしてきた役割を考え、再びこのような事態に陥った時により安全に、より快適に過ごすことが出来るようにするためこの研究を進める。

２　研究方法

・アンケートを用いコロナ下での SNS のメリットとデメリットを挙げる。
（アンケート内容・SNS のメリットとデメリットを挙げてもらう。 対象…一関一高２年 A 組　44 人）
・SNS のデメリットの改善策を考察する。

３　結果

SNS の主なメリット・デメリットは次のようなものが挙げられた。



※その他
メリット…ストレス解消、フードロス対策　等
デメリット…明るい話題がなくなった情報過多　等

４　考察

アンケート結果から SNS の身近さや手軽さ、匿名性でデマや誹謗中傷などのトラブルが発生したと考察する。

これから考えうること…

・低年齢層を含めた普及率の拡大
・それに伴うトラブルの増加

＜予防策として＞
・電子機器に慣れていない高齢者などを対象とした使用方法の講座の開催
・攻撃的なコメントに対する制限の強化
・マスメディアの活用
・広いソースからの情報収集を心がける

５　結論

コロナウイルスによるパンデミックの対策にはSNSの情報伝達力が大きな役割を果たしていると考える。しかしながらその裏で様々なトラブルが発生しているのも事実だ。私たちには簡単にデマや不確かな情報を鵜呑みにしないことが求められている。

これからの感染症のパンデミックや自然災害などの緊急時においてSNSには世界をつなぐ情報ツールとしてメリットを生かした役割を担う必要があると考える。

参考文献

・Spectee ＜コラム＞　さらに普及が進むSNSと、防災・危機管理への活用

嵐の活動休止が日本へもたらす影響

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
佐々木琉偉　金野愛未　熊谷絵理奈　羽柴尚希　千葉桃寧

要約

2020 年末をもって国民的アイドルの「嵐」が活動を休止した。彼らの活動休止による経済損失を補うためには,新しいアイドルグループの輩出や,近年の台頭が注目される若手アイドルグループの活動が不可欠であると考える。

〈キーワード〉　嵐　経済損失　年間収入

１　はじめに

昨年末をもって嵐という国民的アイドルが活動休止となった。彼らが活動休止となった今,日本国内へどのような影響が及ぼされ,日本経済がどのように変化し得るかを考えた。経済損失が生じる場合,それを補うための対策も考える必要がある。

２　研究方法

・アンケート（本校２学年対象）

嵐の認知度を本校の生徒を対象としたアンケートで調査分析する。

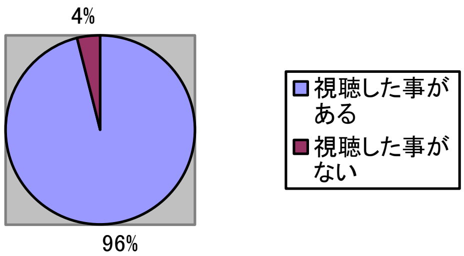
・文献調査

３　結果

本校２年生 183 名にアンケートを実施した。

◎アンケート内容

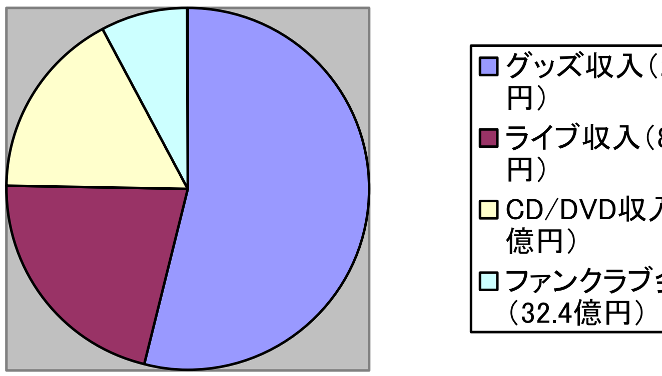
嵐のメンバーが出演するバラエティー番組・ドラマを視聴した事があるか。



◎文献調査

複数の文献や記事、アンケートのデータを用いて調査した。

ファンクラブ年間収入・コンサート・グッズ代・CD 収入を元に算出した嵐の活動休止によって見込まれる経済損失額は 414 億円に達している事が分かった。



４　考察

文献調査から得られた経済損失額は、例として挙げると東京ディズニーランドのシンデレラ城が 20 城建つ計算になる。また、アンケート結果から、嵐の認知度は明らかである。彼らの活動休止による経済損失額を補うためには、近年の活躍が期待されている若手ジャニーズグループの活動や、新グループの輩出が必要だと考える。

例として、ドラマの主題歌にもなった「ジャニーズ West」というアイドルグループが出した最新のシングルの売り上げ推定額は

約 3 億円とされる。このようなグループの活動によって、嵐の活動休止による経済損失を補っていく事が可能だと考える。

５　結論

嵐の活動休止による影響は甚大なものである事が分かった。その経済損失額を補うためには、これからのアイドルグループの活動が不可欠だ。

謝辞

本研究を行うにあたり，研究への的確な助言をくださった校内の先生方、ポスター発表会で質問くださった方々、校内発表会等でご指摘をくださった方々、その他大勢の方々のおかげで研究を進める事が出来ました。ありがとうございました。

参考文献

・https://www.fnn.jp/article//-/2074
・https://xtrend/Nikkei.com/atcl/contents/18/00243/00003
・https://www.oricon.co.jp/prof/25626/rank/single/
・https://rankkinclip.com/next-arashi-ranking

「いづい」から見る岩手県の生活

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
梅村琴音　阿部彩　中里莉彩　布谷楓

要約

標準語では表せない岩手の方言を探ることで、そこから浮かび上がる岩手ならではの生活について考察する。

１　はじめに

・研究背景(動機)

「いづい」「あめる」「あんや」「んだ」などなどなど、標準語では言い表せない言葉があることに気が付いたから。

・仮説

一例として「あめる」という言葉を挙げる。これは、岩手県の気候が寒冷だったため、他の暑い地域より腐るまでに時間があり、「あめる＝腐る手前」という岩手県特有の言葉が生まれ使われてきたのではないかと考えられる。

よって、これと同様に、岩手を表す特有の言葉を調べることで、岩手県特有の姿が見いだせるのではないかと仮説を立てた。

・研究目的

古代語を残すと言われる方言、特にその中の岩手弁でしか表せない方言を探ることで、岩手県の元来の姿を見出す。

２　研究方法

アンケートを作成し、先生方や２学年生徒 114 人(3 クラス)、班員の家族や知り合いなど、県内各地の様々な年代の方々から方言を収集した。それらを集計・分類し、特徴を調べた。

３　結果

アンケートの質問は以下の三点である。1，知っている方言　2，その方言の使用頻度が高いかどうか　3，その方言の意味

集計においては、同じ意味を表すが地方によって発音が異なる語(いづい・えんづいなど)は同一語として数え、「使用頻度が高い」と答えた場合は２点、それ以外の場合は１点として合計を換算した。

以下、合計点が３点以上のものを、カテゴリー別に分類したものを挙げる。

表１　雪国に特有であると考えられる語

語	意味	点	備考
すっぱね	水たまりなどを歩いたことでズボンが汚れた様子	4	
きゃっぽ	靴に水が入る	13	
ひゃっこい	冷たい	24	
たごまる	袖・布団がぐちゃっとなる	6	重ね着をすることで起こる
あめる	食べ物が悪くなる(腐る、の手前)	11	寒冷地のため腐るまでに時間を要したからか

表２　働かないことを表す語

語	意味	点	備考
かばねやみ	なまけもの	7	
ねまる	休む・座る	19	命令形(ねまれ＝座れ)で使うことが多い
こわい	疲れた	16	肉体労働の結果としての、心地よい疲労に使用されることが多い

がおる	疲れる	4	肉体労働の結果としての、ひどい疲労感をいう
ねふてぇ	眠い	5	

表３　主に子供を表す・咎める語

語	**意味**	**点**	**備考**
おだづ	ふざける	12	
ほでなす	バカ	7	
せづね	うるさい	4	
めんこい	かわいい	21	テレビ局の影響が考えられる
おがる	成長する	5	

表４　屋内で使用される語

語	**意味**	**点**	**備考**
まがす	こぼす	3	一般的な「こぼす」より程度が甚だしい
かます	かき混ぜる	10	「かき混ぜる」より程度が大きい
うるかす	水につけて柔らかくする	8	米・豆・雑穀などに対して使う。食器を水に浸すことも言う

表５　その他３点以上だったもの

語	**意味**	**点**	**備考**
べご	牛	4	農業関連
あぺとぺ	でたらめ	4	
けっちゃ	裏返し	4	服の表裏が逆の状態
おしょす	恥ずかしい	19	岩手県人の性格を表すものか
なげる	捨てる	29	
あぐど	かかと	5	
まなぐ	目	5	
てんび	額	4	
いだ	(ものが)あった	5	物に対しても「いる」と使うことがある
ぼっだぐる	殴る、動物を追い払う	4	農産物を荒らす動物の存在を示唆か

４　考察

今回調べ、分類できたものの中では特に、雪国､農業関係の言葉が多く見られた。また、家の中を表すものや、子供を咎める方言なども目立った。

これらから、・岩手県の気候は寒冷で、いわゆる雪国である・農業で生計を立てていたことが多く、そこでは子供たちも大切な働き手であった　といった岩手県の姿が見いだせる。「働かないこと」を表す語が多いのは、寒冷地の農業においては働き手の確保が重要であり、怠ける者がいたらすぐに咎めなければならなかったからだと考えられる。家の中を表す言葉が多いのは、生活に密着している空間であるから当然と言えるが、「しとねる」「かます」などの語は、岩手の郷土料理をつくる際によく使われるものであるため、これらも特有といえよう。

ゆえに、方言から岩手県特有の姿や生活を再現することはできたため、仮説は正しかったと考えられる。

５　結論

岩手の方言はこの土地に根付いたものであり、それらから逆に岩手の姿を見出すことは可能であった。しかし、これらの方言が本当に岩手に特有のものかどうかは、比較検証ができていないため現段階では明言できない。よって今後は、他の地方の方言との比較をしていきたい。

また、今回方言から再現した岩手県の姿が本当に正しかったのか、歴史を参考に検証していかなければならないと考えている。

参考文献

『北東北の悪口辞典―青森・岩手・秋田の方言集』　　小田正博

性的少数者への配慮から考える自由度の高い社会

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
鈴木智菜　立花唯　藤原光　渡邉星

要約

私たちは、性的少数者とそれを取り巻く環境に興味を持った。彼らが差別や困難にあうことのない社会とはどのようなものなのか，現状を確かめるためのアンケートと，当事者たちの相談に乗っている方々へのインタビューを行った。結果、性的少数者に配慮した社会の基本的な在り方は，性的少数者に限らない様々な指向を尊重できることがわかった。

〈キーワード〉　セクシュアリティ，思想，社会福祉

１　はじめに

最近,テレビや本などで LGBT という言葉を目にすることが多くなっている。しかし，に関する知識がほとんどない人もいる。まず，LGBT とは，レズビアン（女性同性愛者），ゲイ（男性同性愛者),バイセクシャル(両性愛者),トランスジェンダー（性別越境者）の頭文字を取った単語でセクシュアルマイノリティの総称の 1 つである。そして，LGBT の人々は，多くの問題を抱えている。例えば，学校での制服，仕事や就職時の差別，その他にも結婚や医療などの差別の問題や，通常であれば受けられる権利やサービスが受けられないといった現状がある。しかし，性的少数者の人々も平等に差別を受けることなく暮らせる社会が望ましい。そのため，そのような社会の実現のために性的少数者が抱えている問題を詳しく知り，彼らが住みやすい社会のために必要なことを考え，提案する。

２　研究方法

調査１

LGBT についての理解が現状どの程度であるのかを明らかにするため，2 学年の 3 クラス（A，C，F）及びに先生方を対象に LGBT の認識に関するアンケートを実施した。2 学年 95 名，教職員 29 名の計 124 名から回答が得られた。

内容

(1) LGBT という言葉を知っているか
　① 知っているし，意味も分かる
　② 聞いたことはあるが，意味は分からない
　③ 分からない
(2) 男らしさ、女らしさは重要か
　① 重要である
　② 重要でない
(3) 親しい人に LGBT と打ち明けられたらどうするか

調査２

性的少数者の実態を知るため，性的指向や性別違和などの相談を受けている岩手県男女共同参画センターに電話でインタビューを行った。

３　結果

結果１

アンケートの結果，以下の回答を得られた。

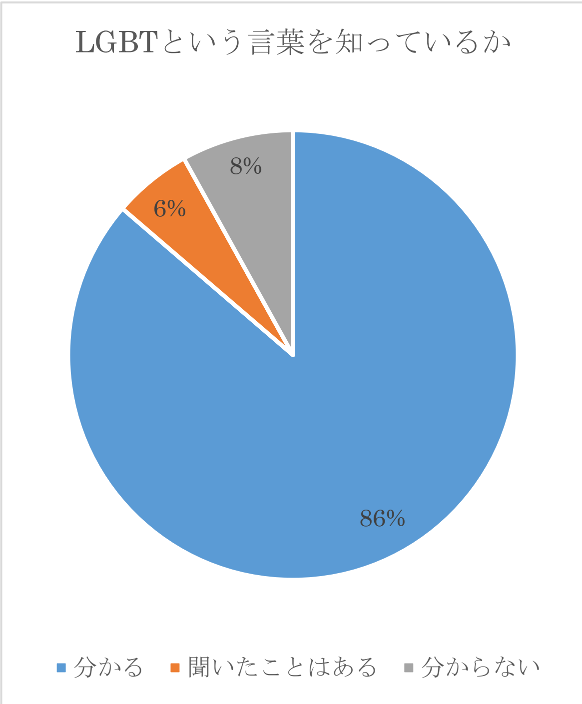


図１

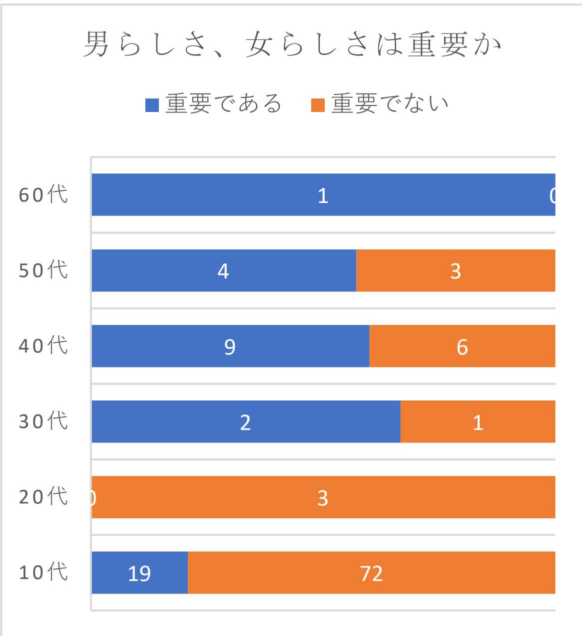


図２

※10 代というのはアンケートに回答してくださった２年生で，20 代から 60 代までは先生方である。

親しい人に LGBT と打ち明けられたらどうするか

変わらない……………………………17 人
受け入れる……………………………5 人
少し気遣う……………………………4 人
考える…………………………………2 人
カミングアウトするか訊く………1 人
少し驚く………………………………1 人
理由を訊ねる…………………………1 人
再構築する……………………………1 人

結果２

以下はインタビューから分かったことのまとめである。

最も多い相談は，周囲の理解が得られないことや，アウティング（自分が性的少数者であることを告げ口）されることについてだという。自分の性的指向を打ち明けても分かってもらえない生きづらさ，また，当事者の親から接し方や理解の仕方の相談もあるそうだ。打ち明けられた側が良かれと思って取った行動が，かえって当事者を苦しめてしまう場合もある。もしも親しい人に打ち明けられたなら，本人にどうしてほしいか訊ねるのが良いという。

差別以外では，特にトランスジェンダーの人から男女別のトイレ，結婚・就職について，また自分の好む衣服を買いに行けない等で困っていることが判明した。

そして、首都圏に移り住まなければならないのだろうかという相談も多い。理由として，安全に手術ができる病院の数，性的少数者どうしで交流できるコミュニティの数，地方特有の閉鎖感があるという。心と体の性が一致していない人が性転換手術を受けたい，専門のカウンセリングを受けたいと思っても，東北にはそのようなジェンダークリニックがない。岩手県のコミュニティは片手に収まる程度しかなく，自分が居心地の良いコミュニティを探すには数の多い都会が良い。理解を得にくく差別意識の強い地方で暮らすのは息苦しい。地方よりも都会の方が性的少数者にと

って暮らしやすいのだ。

４　考察

アンケート結果について，図１より，LGBT についての認識があまりない人は 10 人に 1 人以上おり，現状，性的少数者に配慮できる社会であるとは言い難い。

図２より，10 代，20 代よりも 30 代から 60 代に「重要である」と回答する傾向が見られる。とはいえ，男性らしさや女性らしさに固執しないことを善とし，重要視することを悪とすると，本研究の「指向の多様性を認める」という主旨と矛盾する。しかし，これは例えば性的指向に理解にない教師が生徒に「らしさ」を強要してしまう可能性があるということだ。

インタビューでは，もし親しい人に打ち明けられたら本人に何をしたらよいか訊くのが適切であると分かったが，3 つ目の質問の回答にはばらつきがあり，実際どうしたらよいか分からない人が多いと予想できる。地方で生じる差別というのも，その知識や理解の不足が関わっている可能性がある。

また性的少数者をサポートするには，多目的トイレの設置や，結婚や仕事に関する条例の作成，医療の充実，コミュニティの確保といった改革も必要である。

５　結論

現状，性的少数者についての理解や知見が不十分であることが根底にあり，施設や法の整備も進んでいないことから，彼らに配慮した社会であるとはいえない。

この状況を打破するためには，早い段階から性的マイノリティに関する継続的な教育をしていくことや，現在もこの環境に苦しんでいる人のための法改正などが求められる。

したがって，「性的少数者に配慮した社会」とは，一人一人が多様性を理解しながら、法規などで困難から守ることのできる社会であり，これは同時に、性的少数者に限らない様々な志向を尊重することができる。

謝辞

本研究を行うにあたり，インタビューに応じてくださった岩手県男女共同参画センターの山屋理恵様，對馬絵理様，西田祐子様，アンケートにご協力くださいました一関第一高等学校２年生，先生方，そして担当の金田先生，多田先生にお礼申し上げます。

参考文献

法務省：LGBT について考えよう
http://www.moj.go.jp/JINKEN/LGBT/index.html
参議院：LGBT の現状と課題
https://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rippou_chousa/backnumber/2017pdf/20171109003.pdf

ペアワークの効果

岩手県立一関第一高等学校　普通科２年
勝部仁美　里舘侑真　東海林裕太郎　菅原蓮　千葉洋希　藤江もも香

要旨

現在、わが校ではペアワークが多用されていて、先生方も意識的に授業に組み込んでいる。しかし、その効果は目に見えるものではなく実感しにくい。私たちはどのような場合においてもペアワークの方が個人学習よりも学習効果が高いと推測した。そこで私たちはそれを検証するために、思考力と暗記を測定する２種類のテストをそれぞれ行い、ペアワークと個人学習で比較することで学力的な効果を明らかにした。また、生徒と教師を対象に、ペアワークと個人学習に関するアンケートを行い、心理的側面と生徒の実感としてどうであったかを明らかにした。

〈キーワード〉　　教育　思考力

１　はじめに

現在、本校ではペアワークが多用されているが，その効果は目に見えるものではなく，実感しにくいものである。ペアワークは本当に効果があるか，学習者や教科によって効果は異なるか等，不確かなことが多い。吉満たか子（ 2006 ）によると，親しい相手とのペアワークが最も効果を発揮し，親しくない相手とのペアワークはストレスを生み学習を阻害するが，親しい相手との馴れ合いは時に学習に悪影響を与えるということがわかっている。しかし，この研究では，心理的な面に焦点が当てられ，学力面での効果は明らかにされていない。そこで私たちは，暗記系の学習も思考系の学習もペアワークの方がよい成績になるという仮説の下，実際にペアワークに関する実験やアンケートを行い，ペアワークの学力的な効果を明らかにしようと試みた。私たちはこの研究を通して，我が校の教育形態の改善とそれに伴う学力の向上及び難関大学合格率上昇，最終的には加速するグローバル化へ対応できる人材の育成を目指す。

２　研究方法

上記の仮設を検証するために，個人学習を行うグループとペアワークを行うグループの２つの群に分け，対照実験を行った。暗記能力に対する有用性を調べるため，本校 2 年 B 組の生徒 45 人を対象として単語テストを実施し，思考能力に対する有用性を調べるために，本校文系生徒 89 名を対象に物理の小テスト及び生徒へのアンケートを実施した。また，今回の調査では，それぞれの群の平均点を比較し，ペアワークの効果を観察した。

１．テスト(英語，暗記系)

今回の調査では，前述のとおり，本校 2 年 B 組の生徒 45 人を対象とし，実験は 2 日に分けて行った。 1 日目はペアワークで学習し， 2 日目は個人で学習した。なお，ペアワークの形態については指定をしなかった。また，実験で使用する単語の難易度を統一するため，英検 1 級の単語を無作為に抽出した。実施時間は両日とも記憶する時間を 7 分間，テストを行う時間を 3 分間とし，合計 10 分間で行った。単語数は 10 個，1 問につき 1 点とし， 10 点満点であり，平均点で比較した。

２．テスト（物理、思考系）

思考力をはかるために物理の小テストを実施した。物理は、文系では履修しておらず、個人間での差が比較的小さく純粋に思考力をはかれる教科であると考え、選択した。

対象：２年 AB 組の生徒

実験方法：7 分間の小テストを A 組には個人で、B 組にペアワークで同じ問題を解いてもらった。

採点基準

今回の実験では、思考力を測ることが目的なので、あっているかいないかは問わなかった。比較したポイントは答えを出すために必要な次の３つ

①分解することがわかっているか。（サインやコサインなど､三角関数を利用しようとしたことがわかる内容があればカウントした。）

②最高点で速度が０になることが分かっているか｡（ｖ＝０があればかうんとした）

③t_2がt_1の２倍になることが分かっているか（$t_2 = 2t_1$があればカウントした）

３. アンケート（生徒）

被験者・・・２年Ｂ組の生徒

設問・・・

１．個人学習の感想
２．ペアワークの感想
３．個人学習のメリット・デメリット
４．ペアワークのメリット・デメリット
５．個人学習とペアワーク、どちらがより良いか、その理由
６．ペアワークをこれからの授業で行いたいと思うか、その理由

４．アンケート（先生方）

被験者・・・先生方

設問・・・

１．授業にペアワークを取り入れているか、その理由
２．（１．で YES と答えた先生方へ）ペアワークに効果を感じているか、その理由、ペアワークを授業に取り入れてみての感想
３．これから、ペアワークを授業に取り入れたい（取り入れ続けたい）と思うか、その理由

3　結果

⑴ 英語

	平均（点）	満点（人）	最低点	分散
個人	9.52	34/42	3	1.678
ペア	9.07	23/41	5	1.7

⑵ 物理

個人学習 正答率（%）	ペアワーク 正答率（%）
① 4.5% ② 11.4% ③ 6.8%	① 17.5% ② 20.0% ③ 2.5%

(3)先生方へのアンケート

設問	票	理由・感想
①	YES 8 NO 0	・発言のハードルを下げる ・思考の共有 ・言葉でのアウトプットによる理解
②(1)	YES 8 NO 0	・発言に自信が持てる ・成績が上がった ・苦手な生徒ができるようになる ・質問が活発になる ・対話によって記憶定着
②(2)		・効果を感じた ・楽しい ・授業に活気が出た ・話してばかりだと集中力が切れる
③	YES 6 NO 1 悩んでいる 1	＜YES＞ ・効果が得られている ・授業の活性化 ・発言に自信を持たせる ・アクティブラーナーの育成 ＜NO＞ ・ペアワークを行わなくても発言できる雰囲気が理想 ＜悩んでいる＞ ・メリットを実感しているが、コロナ予防を考えるとどのように実施すべきか、得意な生徒には有用ではないのではないか、と悩む

(4)生徒へのアンケート

設問	票	理由・感想
①		・集中できる ・自分のペースでできる ・暗記は個人学習のほうが良い ・行き詰ると辛い ・集中できない ・眠くなる
②		・楽しい ・忘れていた部分もペアのおかげで解けた ・計算はペアのほうが良い ・意見の多様性が生まれる ・二人ともわからないと効果がない ・集中できない ・暗記には向いていない ・お互いに気を使いあってしまった
③		＜メリット＞ ・自分のペースで、自分のやりたいことができる ・単純な作業は行いやすい ・集中できる ＜デメリット＞ ・行き詰まると頼れるものがない ・眠くなる ・集中力が続かない
④		＜メリット＞ ・わからないところを補い合える ・楽しい ・考えが深まる ・意見の多様性が生まれる ・お互いに成長できる ＜デメリット＞ ・話題が脱線することがある ・できる人がいたらその人に頼りきりになってしまう ・どっちもわからないと打つ手がない ・気を遣う
⑤	個人 12 ペア 22 どちらも　1	＜個人＞ ・集中できる ・暗記系は個人のほうが良い ・自分の学習スタイルで学べる ＜ペアワーク＞ ・楽しい ・意見に多様性が生まれる ・教えあうことでお互いに得する ・思考が深まる ＜どちらも＞ ・それぞれに長所がある
⑥	YES　34 NO　4	＜YES＞ ・意見が多様化する ・眠くならない ・楽しい ・教えあいで相互にメリット ・思考が深まる ＜NO＞ ・集中できない ・慣れていない人とやるときしんどい ・ペアの片方に頼りきりになってしまう ・ペアを強制的に組むならいいけど、各自で組むのは辛い

4　考察

＜英語のテスト結果から＞

ペアワークより個人学習のほうが良かった理由としては，反復回数に差があったことがあげられる。反復回数が多いほど記憶に残りやすいが，ペアワークでは 1 単語にかける時間が増え,結果的にその回数が少なくなり，記憶できなかったのではないかと考える。また，今回は記憶する時間を長くとりすぎたため，両群の間に大きな差は見られなかった。

＜物理のテスト結果から＞
①２グループ間の差が２倍より大きい→一定の効果があると考えられる。
②既習事項であるため両クラスともに割合が高かった。
③ペアワークをしたグループの方が割合が低い。B では２問目まで解けなかった人が多い。
→一人の時より解くのに時間がかかる
＜先生方へのアンケート結果から＞
ペアワークを導入するメリットとしては、発言を活発にする、集中力を持続させる、思考の共有、主体的な学びを実現できるなどがあり、実際に効果を感じている。しかし、感染症予防の観点や得意な生徒への有用性に悩みを持つ先生もいらっしゃる。
＜生徒へのアンケートから＞
個人学習は集中できる、自分のペースで学習できるなどのメリットがあるが、飽きる、行き詰ると打つ手がないなどのデメリットがある。
ペアワークは、教え合うことで互いに成長できる、楽しく学習できる、思考が深まる、意見の多様性が生まれるなどのメリットがあるが、ペアの片方に頼りきりになってしまう、気を遣ってしまう、どちらも分からないと打つ手がない、話が脱線してしまうなどのデメリットがある。

５　結論

これらのことから、個人学習は暗記力、ペアワークは思考力を問う問題にそれぞれ有効であり、これを踏まえてペアワークを活用する場面を選択することが重要であると考える。

謝辞

　本研究を進めるにあたりご指導いただきました、大内寿文先生、アンケートやテストにご協力くださいました､一ノ関第一高校職員、2 年 AB 組の皆様、関係者の方々に、お礼申し上げます。

参考文献

吉満たか子．外国語授業におけるペアワークの有効性　タスク活動を取り入れた英単語学習
https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/files/public/2/24815/20141016150102883361/h-gai
kokugokenkyu_10_169.pdf

世界から学ぶ教育システム

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
佐藤奏　伊東美智　小野寺有優　小野寺美奈　熊谷渚　野沢美風

要約

世界的に見て日本の教育水準は高く、またその教育内容も年々変化しつつある。教育システムについて考えたとき、私たちは周囲から聞こえる「授業時間が長い」「疲れて集中できない」などの声を拾い、そこに日本の教育の問題点があるのではないかと考え、それを基に改善点を考えることにした。日本、英国、フィンランドの三ヶ国の授業時間などを比較した結果、一コマの時間や合計時間は日本が最も長いものの、学力は観点別にそれぞれ順位が異なっていた。また､フィンランド等では自身で教科を選びカリキュラムを組む体制があった｡このことから、授業時間と学力には明確な関係が無いことと、日本には生徒自身に学びの選択の機会が足りないことが言える。

１　はじめに

（１）動機

教育システムの定義とは「教育上のある目的を実現するためのもので、社会的に公認され、定着している組織」（文科省）であり、学校教育は「すべての国民に対して、その一生を通ずる人間形成の基礎として必要なものを共通に修得させるとともに、個人の特性の分化に応じて豊かな個性と社会性の発達を助長する、もっとも組織的・計画的な教育の制度であり､国民教育として普遍的な性格をもち、他の領域では期待できない教育条件と専門的な指導能力を必要とする教育を担当するもの」(中教審答申)である。私たちは当然ながら、日本の教育システムの中で学校教育を受けている。普段学校で生活している中で、よく「疲れた」という声を聞くのは、この国の教育システムに原因があるのではと考えた。そこで、教育において「先進国」と呼ばれる国々と日本の教育システムを比較することにより、今の日本の問題点のいくつかの例を探り、改善案を考えることに至った。先述の通り、教育システムは文科省が定めており、各都道府県に学習指導要領として教育内容を通達している。今回はその中の授業時間や始業時間など､時間の観点から研究するものとし、ここでの「疲れた」とは授業での疲労により集中力が低下している状態のことを指す。

（２）先行研究

インターネットで他国の教育システムについて調査した結果、日本と他国では始業時間や長期休暇の期間、学校制度や義務教育機関の違いなどについて理解できた。具体的に述べると、スウェーデンでは基礎学校、高校、大学の授業料は無償である。フィンランドではプレスクール（保育学校）から大学院まで学費がかからず、給食費や文房具代等も支給される。オランダでは義務教育課程において公立・私立共に無償である。一方でニュージーランドのように、義務教育課程でも学費が有償の国もある。

（３）仮説

私たちは日本（本校）で「疲れた」という声を聞くのは、学校制度や義務教育期間が異なるからではなく、他国と比べて始業時間が早く、一コマの授業時間が長いことが原因であると考えた。

２　研究方法

仮説を検証するために、まず図書館の本で世界の様々な国の教育システムについて情報を集めた。次に､英国出身の Daniel　Delaney 様に直接インタビューを行い、日本の高校と英国の高校のスケジュールから意識の違いまでを比較し、良い点、悪い点を考えた。これに加え、ＯＥＣＤ（経済協力開発機構）の生徒学習到達度調査で日本、英国、フィンラン

ドの結果を比較した。

インタビューでの質問内容

1. 一日のスケジュールの違い
2. 授業開始時間
3. 部活動はあるのか
4. 授業で主に何を使用するのか(教科書、プリント等)
5. 先生と生徒の割合
6. クラス編成について

３　結果

一関二高に勤務する Daniel　Delaney 様へのインタビューを通し、英国の授業のスケジュールや学校生活について伺った。また、ＯＥＣＤ加盟国で学習環境が整っているとされるフィンランドの高校についてインターネットで調べた。今回用いたデータは、学習到達度調査（2018）で、以下の表が調べた内容についてである。

(表１:調査対象国の学校の比較)

質問	日本(関高)	英国	フィンランド
スケジュール	50 分 7 コマ	35 分 9 コマ	45 分 7 コマ
授業時間	8:35～ 16:10	9:00～ 15:30	学校の 裁量
部活動	あり (任意)	無し	無し
形式	教科書	プリント	教科書

スケジュールに着目すると、日本の高校は５０分７コマに対し、英国は３５分９コマとなっている。それに比例して全体の授業時間も短くなっている。部活動については、日本だけが取り入れていることが分かった。授業を受ける媒体にも特色があり、日本とフィンランドは教科書を積極的に使用しているが、英国は主にプリントで、状況に応じて様々な教科書等の媒体を使うことが分かった。これによって生じるメリット、デメリットを日本と英国についてまとめた。

(表２:日本と英国の学校の違いとメリット、デメリット)

	日本	英国
メリット	授業内容の定着(スケジュール) 目標達成方法の取得(部活動) 公立学校での授業内容の統一(形式)	集中力の持続(スケジュール) 個人に自由時間が委ねられる(部活動) 自由な授業作りが可能(形式)
デメリット	個々の集中力の違いによる学力差(スケジュール) 部活動と学習の両立(部活動) マニュアル通りの授業(形式)	短期間での授業内容の定着の必要(スケジュール) 学校、先生により授業スタイルに差がある(形式)

日本は授業内容の定着や部活動によって一つの目標を達成する経験を高校生活通しすべて行える一方で、全国の公立高校が統一された学習指導要領に基づいて授業をするため、個々の学力や集中力の差に配慮した授業はしにくい。

英国は日本に比べて自主的で、自らが学習スタイルを選択することができる。しかし、35 分９コマで学習した内容を定着させることが求められ、学校や先生によって授業スタイルに差があるために、自分に一番適した学習を自分で行っていくことが必要になる。

(表２: OECD 生徒の学習到達度調査)

	日本	英国	フィンランド
読解力	１５位	１４位	7位
数学的リテラシー	６位	１８位	１６位
科学的リテラシー	5位	１４位	６位

先述したメリット､デメリットを OECD による世界の学力調査に照らし合わせると、日本、英国、フィンランドの間には、順位の観点からは歴然とした相関性は見られないことがわかる。加えて、フィンランドの学習カリキュラムは、幅広く教科選択肢を設け、その中から興味のある分野を自由に選択し、それぞれの時間割を設定し、クラスメイトとも違う授業を受けるような形式がある。データが存在するＯＥＣＤ加盟国の順位データだけでは学力の良し悪しを判断することは難しいが、このようなカリキュラムで順位の変動が起こると予想できる。

４　考察、今後の展望

結果より、合計授業時間が長いことによる学力の関係は特に見られなかった。一方で、日本は他国に比べて自身で学習分野を選択する環境が整っておらず、教科の好き嫌いに関わらず学習しなければならない。また、「受け身の教育」と揶揄されることもある現在の日本の授業スタイルでは、自発的、能動的な授業に比べて自主性や個性を発揮する時間が相対的に増えてしまい、それが集中力の低下に繋がっていると考えた。

今回の調査では時間以外の項目で比較することがあまりできず、また、比較対象とした国も少なかった。そのため、何を改善すれば日本の教育システムは向上するのかという具体案を考えることはできなかった。比較対象の国、比較する内容を増やし、再考する必要があると考えている。

５　結論

表１を見ると、日本、英国、フィンランドで比べた場合、カリキュラムに違いは見られた。特に、スケジュールと学習時間で比べると、英国の３５分７コマやフィンランドの学校の裁量で決まるなど、大きな違いが見られた。一方、表２のＯＥＣＤによる学力調査の結果を見ると、日本は読解力で比べた場合、二ヶ国より順位は下であった。だが、その他の部門で比べると日本が上回っていることから、総合的に見て学力に大きな差は無い。よって､学習時間と学力に相関性は見られない。

学習時間以外で外国との関係を見ると、フィンランドは幅広く教科の選択肢を設けたり、その中から個人の興味のある分野を自由に選べたりと大きな特徴が見られた。フィンランドの幅広い教科選択など、興味を引き出すカリキュラムの設定は、日本も取り入れるべきだと考える。選択肢があり、興味のあることを学べた方が充足感や満足感が得られるだろう。問題の一つに考えられる、興味関心の低さも改善され、疲労を感じられることが少なくなるだろう。このように、各国のカリキュラムの特色は学力で判断できるとも言えず、いろいろな考察ができる。いずれにしろ、日本より学力の高い国を前提として学力と学習時間、カリキュラムの関係性をみなければならない。よって、はっきりとした結果は見られなかった。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導いただいた茂庭先生，インタビューに応じてくださった Daniel　Delaney 様にお礼申し上げます。

参考文献

文部科学省初等中等教育局参事官（高等学担当）(2019）:高等学校教育の現状について

文部科学省・国立教育政策研究所（2019）：ＯＥＣＤ生徒の学習到達度調査 2018 年調査（PISA2018）のポイント

中教審答申「今後における学校教育の総合的な拡充整備のための基本的施策について」（2020）

音楽と発酵

～音楽は聴くだけのものじゃない！？～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
浅沼 玲奈　菊池 花恋　佐々木 満帆　佐藤 好恵　髙橋 怜奈

要約

世の中には，音楽を聴かせることで作られている発酵食品がある。そこで，私たちは，自分たちが作れる発酵食品でも音楽による変化がみられるか疑問に思い，実験によって明らかにした。発酵時間が短く済む身近な発酵食品で実際に発酵させることで実験を行い，その後発酵を感じられるかアンケートを取った。その結果，音楽は身近な発酵食品においても，発酵を促進させられる効果があることが分かった。しかし，コロナ渦で多くの人にアンケートが取れず，十分なデータを集めることが出来なかった。使用する音楽を変えるなど，実験方法を変えることで新たなデータを得られ，音楽と発酵の関連性を強められたのかもしれない。また，一関との関連性を強める為にも，一関の音楽を聴かせる実験も行うべきだった。

〈キーワード〉　発酵　音楽

１　はじめに

発酵食品の中には，モーツァルトを聴かせて特別な発酵をさせているものがあるが，自分たちが作れる発酵食品でも音楽による変化がみられるかの興味を持ち，研究を行った。

『音楽と発酵は関係ある?』によると，そもそも音は波で，空気などの中を伝わる。物体が振動すると，近くの空気が押されてその部分だけ空気が濃くなり，空気の濃い部分が近くの空気を押し，空気の濃い部分が移っていく。これは水面に小石を投げ入れたときに広がって伝わる波の様子に似ている。音の波は，空気中だけでなく，個体・液体にも伝わる。それらを受け，20 年ほど前から，クラシック音楽を聴かせて焼酎を仕込んだり，味噌を熟成させたりする『音楽仕込み』『音楽熟成』と呼ばれるものが実践されている。

微生物は生き物だが，聴覚を持たない。それなのになぜ，音楽が発酵の手助けとなるのか。それは音が『空気の振動』であることが大きく関係しているからだ。音楽熟成過程で多く使用されているモーツァルトの楽曲は 8000Hz の高音を含む。聴覚を持たない微生物は空気や液体からこの振動を感じ取るとされているのだ。そもそも発酵とは，微生物によって食べ物の成分が分解され，そのときに生まれた成分に栄養素や食品を長持ちさせる効果などが含まれている場合の反応のことを言うのだ。本研究では，音楽を聴かせることで振動を与え，微生物の働きを促進させる実験行った。

２　研究方法

今回私達が実験対象とした発酵食品は，
ぬか漬け・ヨーグルト・キムチ・パンの４種類だ。この発酵食品の発行段階でモーツァルトの音楽を聴かせるものと聴かせないものとを作り，実際に試食してもらい音楽を聴かせたものとそうでない物では味に違いがあるか，そうでないかを試食者に判断してもらう。

３　結果

A…音楽を聴かせた物　B…聴かせていない物

食品	発酵時間（分）	結果 A が良いと回答した人数
ぬか漬け	1480	A…3/3　B…0/3 変化あり　旨味、塩分が増した
ヨーグルト	480	A…3/3　B…0/3 変化あり　酸味、粘り気が増した
キムチ	120	A…2/3　B…1/3 変化あり　辛味、酸味が増した
パン	34	A…3/3　B…0/3 変化あり　甘味、柔らかさが増した

上記の表から分かるように,ぬか漬け・ヨーグルト・パンは試食者全員が味の変化があると回答した。キムチは３人中２人の試食者が味の変化があると回答した。

４　考察

発酵の度合いが正確には分からないが全ての発酵食品に味の変化があったため,音楽は発酵に影響を与えていると考えられる。

５　展望

今回の研究では,コロナウイルスの影響によって,多くの人にアンケートを取ることができず,十分なデータを得ることが出来なかった。また,一関は音楽が盛んで,有名なアーティストが多い。例えば,演歌歌手の藤圭子(宇多田ヒカルの実母)である。地元と関連付けるためにも,使用する音楽を変えるなど,実験方法を変えることで新たなデータを得られ,一関の文化と発酵の関連性を強められたのかもしれない。

謝辞

本研究を進めるにあたってご指導いただきました,高橋真菜先生,実験のアンケートに協力していただいた各家庭の皆様,関係者の方々に,お礼申し上げます。

現状と心理から考察するいじめ対策の鍵

～いじめを減らす施設の提言～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
西城百花　伊藤乃愛　菊池貴敬　菅原瑞　千葉慈英　千葉梨太郎

要約

日本では今も昔も「いじめ」の問題がある。いじめの件数があまりにも多すぎるため、いじめ件数を０にすることは私達高校生の力では難しいと考えた。よって、いじめ件数の「減少」を目的とした解決方法を考える。全国のいじめ件数の多くを占めるのは教育現場である。特に小学校でのいじめ件数は最多の件数を占めている。小学校の「いじめ」の現状を知り、いじめをする心理を考え、具体的な解決方法を考える。調査方法は高校生９０人対象としたアンケート及び意識調査と小学校でのフィールドワークだ。アンケートから分かったことは、いじめをする心理は「優越感を味わうため」と「仲間意識を持つため」ということだ。フィールドワークでは一関市内の小学校の生徒指導課の先生に話を聞き、昔と今のいじめの傾向の違いについてお話を伺った。小学校ではいじめの減少を促すためにいじめに関する公共機関との連携を取っている。だが調べたところ、そのような公共機関の利用者数が全国のいじめ件数よりも遥かに少ないことに気づき、自分たちで新しくいじめ減少に貢献する施設を考えることにした。

Ⅰ　序論

1　動機・研究目的

私たちが過ごしてきた学校生活の中で、いじめについて考える授業や、実際にいじめについて先生から指導されたことがある。それだけいじめというのは学校生活の中で身近な存在となっており、近年いじめに関する定義や対応が法律化されるなど、社会問題にもなっている。

平成30年度のいじめ相談件数は約50万件。そのうち小学校からの報告は約43万件。全国的に見て小学生のいじめが多い。私たちが住んでいる岩手県のいじめ相談件数は全国トップ10に入るほどの多さだ。令和元年度の全国いじめ相談件数は約61万件と、過去最多を記録した。

平成25年に「いじめ防止対策推進法」が発布された。それに記載されているいじめの定義第二条は、「この法律についていじめとは、児童等に対して、当該児童等が在籍する学校に在籍している等児童等と一定の人的関係にある他の児童等が行う心理的又は物理的な影響を与える行為（インターネットを通じて行われるものを含む。）であって、当該行為の対象となった児童等が心身の苦痛を感じているものをいう。」というものだ。いじめの定義は今や身体的なものだけではなく精神的なもの、インターネット上のものも含まれるということが分かる。さらに続いてこの法律の基本理念第三条は、「1. いじめの防止等のための対策は、いじめが全ての児童等に関係する問題であることに鑑み、児童等が安心して学習その他の活動に取り組むことができるよう、学校の内外を問わずいじめが行われなくなるようにすることを旨として行われなければならない。2. いじめの防止等のための対策は、全ての児童等がいじめを行わず、及び他の児童等に対して行われるいじめを認識しながらこれを放置することがないようにするため、いじめが児童等の心身に及ぼす影響その他のいじめの問題に関する児童等の理解を深めることを旨として行わなければならない。3. いじめの防止等のための対策は、いじめを受けた児童等の生命及び心身を保護することが特に重要であることを認識しつつ、国、地方公共団体、学校、地域住民、家庭その他の関係者の連携の下、いじめの問題を克服することを目指して行わなければならない。」というものだ。以前とは違い、いじめが本格的に禁止され罪にも当たる時代だ。

法律ができてから約 7 年が過ぎているが昨年度は全国いじめ相談件数が過去最多を記録した。法律化、定義化されても減らない現状を変えなければならない。それは将来の社会を担う私たちに課せられた難題だと考えたので、この研究を行うことにした。

2　いじめの現状及び対策

釣谷（2004）によると、いじめはいつも悲惨な結果になってから報道の過熱によって世間の関心が高まり、関係者、各機関への非難・いじめ対策の必要性が叫ばれる一方で、全国的な事態は良い方に進展しているようには思えないという。現在のいじめをめぐる対応には、子どもに関係する公的施設の対応がある。具体的には①24 時間いじめ相談ダイヤル事業②児童相談所③人権相談 110 番④警察での少年相談窓口が挙げられている。今後の新たないじめの被害深化を防ぐためには、学校の体制変換が必要だと主張している。具体的には他教職員・専門職との連携の強化や、子どもへの指導の見直しが挙げられている。

さらに佐藤（2018）によると、いじめの構成要素は①攻撃的行為②継続性③力の不均等の 3 つに分類されるという。①攻撃的行為と②継続性については、SEL（教育性）によって社会性の向上と情動の安定を図り攻撃的言動をなくしたり、いじめから適切に避難したり対処する方法を具体的に学ぶことで、いじめ状態の「継続」を断ち切る。いじめの③力の不均等さについては大人のスーパービジョンや介入（司法性）を増やすことによって解消する。今後のいじめ防止対策は、いじめの多様な性格を考慮した、働きかけの特性とその対象が包括的ないじめ防止対策の検討が求められていると佐藤は主張している。

Ⅱ　仮説

過去に比べていじめ相談件数が増えている理由としてインターネットの普及が考えられる。以前にはなかったインターネット上で誹謗中傷できる環境がいじめの数を増進させる引き金となっていると考えられる。ここから、①「いじめが増える原因にはインターネットの普及が関わっている」という仮説を挙げる。また、家庭環境によって嫌悪感や不満、苛立ちが募りいじめをするということが考えられる。ここから、②「いじめをする心理には家庭環境が関わっている」という仮説を挙げる。そして、前述のインターネットの普及もあり、身体的に害を与えるいじめよりも言葉や態度での、精神的に害を与えるいじめが多いと考えられる。ここから、③「いじめの具体的な内容は、身体的暴力ではなく、精神的に害を与えるものが多い」というのを仮説に挙げる。

Ⅲ　調査方法

いじめに関する調査は、本校生徒のへのアンケートと小学校の先生へのインタビュー、インターネットでの検索の 3 つである。それぞれの調査目的と調査対象について述べ、次にその調査内容について紹介する。

1　調査目的と対象

調査Ⅰ

今の学生のいじめの経験や、捉え方の違いを知るために朝学習の時間を使って本校第二学年 89 名にいじめに関するアンケート及び意識調査を実施した。

調査Ⅱ

全国的な統計上いじめが多い小学校におけるいじめの現状を知るために、市内の小学校を訪問し生徒指導課の先生にお話を伺った。

調査Ⅲ

いじめに関する知識及び対処方法を深めるため、いじめ削減に貢献する施設（チャイルドライン・児童相談所）とその施設の利用者数/全国のいじめ相談件数で利用者数を割り出す。そこから気付いたことを挙げ具体的な取組について調べる。

2　調査内容

調査Ⅰアンケート

⑴　これまでに人をいじめたことがあるか。
　①　はい　②いいえ

⑵　⑴で①と回答した人は、その原因は何か。また、どのようなことをしたか。

⑶　これまでにいじめられたことがあるか。
　①　はい　②いいえ

⑷　⑶で①と回答した人は、①その時の年齢はいくつか。また、②どのようなことをされたか。

⑸　これまでにいじめを見たことがあるか。
　①　はい　②いいえ

⑹　⑸で①と回答した人は、①その時の年齢はいくつか。また、②どのようなことをしていたか。

⑺　あなたの立場はどちらか。［目的］⑺と⑻を比べて立場の違いでいじめの捉え方に差があるのかを調べるため。
　① 友達をいじる
　② 友達にいじられる
⑻　以下の項目でいじめに該当するものはどれか。複数回答有。［目的］⑺と同様。また、「いじめ防止対策推進法」に記されているいじめの定義と比べて、捉え方のずれを調べるため。
　① 授業中に発言したら笑われた
　② 友達に強く叩かれた
　③ 3人でいるときに目の前で他の2人が自分抜きで遊ぶ約束をした
　④ 自分の欠点を直球に言われた
　⑤ 友達に根も葉もない噂を流された
　⑥ 自分の陰口を言われていると知った
　⑦ 友達に足をかけられて転んだ
⑼　「いじり」と「いじめ」のボーダーラインはどこか。

調査Ⅱ質問内容
⑴　いじめの具体的な事例とその対処方法
⑵　よく見られるいじめの原因
⑶　回答者である先生が小学校の時にあったいじめの具体的な内容
⑷　今と昔のいじめの傾向といじめ防止を目的とした教育の違い
⑸　学校全体のいじめ防止対策の具体例
⑹　いじめをする心理に家庭環境は関与していると思うか
⑺　いじめ撲滅は可能だと思うか
⑻　今日大人同士のいじめや嫌がらせは珍しくないが、将来児童が大人になったときいじめの加害者にならないために高学年にどのような指導をしているか、もしくは他学年と同じ指導をしているか
⑼　新型コロナウイするによって、児童の様子に変化はあるか

調査Ⅲ内容
　いじめ削減に貢献する施設についてインターネットで調べ、そこから気付いたことを挙げて自分たちで新しい施設の提言をする。

Ⅳ　結果

1　調査Ⅰ

⑴いじめたことがある	14%
⑵①原因	相手の立場が弱かった
②内容	省く・避ける・無視する
⑶いじめられたことがあるか	24%
⑷①年齢	8歳・12歳
②内容	無視する・仲間外れ
⑸いじめを見たことがある	36%
⑹①年齢	8歳・11歳・12歳
②内容	無視・仲間外れ・悪口
⑺①友達をいじる	27%
②友達にいじられる	36%
⑻いじめに該当するもの	②⑤⑥⑦
⑼ボーダーライン	愛があるかないか･笑って流せるか、など十人十色

　いじめアンケート及び意識調査では以上のことが分かった。⑻いじめに該当するものについては、⑺で①「友達をいじる」立場②「友達にいじられる」立場別に集計した。そうしたところ、ほとんどの項目は選択した人数の割合に差はなかったが、⑻②「友だちに強く叩かれた」という項目は①「友達をいじる」立場②「友達にいじられる」立場によって選択した人数の割合に大幅に差が開いた。①「友達をいじる」立場は選択した人数の割合が13%だったのに対し②「友達にいじられる」立場は51%だった。

2　調査Ⅱ

　一関市内にある小学校に伺い生徒指導課の先生からお話を伺った。いじめ対策としては①いじめた側の児童と漏れのない事情調査をするが、家庭環境については聞かない。②早期発見のためにクラスの児童と頻繁に話し合いを行う。③いじめた側もいじめられた側にもカウンセラーと話す機会を設け、心の安定を図る。以上の3つのことをしていじめ対策をしているとのことであった。また、今と昔とではいじめの内容が変わってきていて、昔は身体的ないじめが多かったのに対し今では精神的に干渉するいじめが多く、オンライン

ゲームやＳＮＳなどの普及も相まって言葉を使ったいじめが多くなってきている。そのため、カウンセラーや児童相談所との連携を取り、心理面への対応に力を入れているということだった。

3　調査Ⅲ

いじめ削減に貢献する施設について、今回はいじめや虐待、その他の悩みについて話を聞くチャイルドライン、主に虐待について話を聞く児童相談所に焦点を絞って調べた。令和元年度の全国いじめ相談件数は約 61 万件。この全国のいじめ相談件数と施設の利用者数を比べ、利用率を出す。令和元年度の全国のいじめ件数は 61 万件。チャイルドラインの利用者数が 27 万件で利用率は 44%。相談内容の内訳は人間関係で 26%、いじめは 5.3%。児童相談所の利用者数が 15 万人で利用率が 15%だった。相談内容の内訳は虐待が 86%、その他が 14%。児童相談所に関してはいじめに関する相談よりも虐待に関する相談の方が圧倒的に多いため利用率は信頼できるデータではない。どちらの施設もいじめに関する利用率が悪く、効果的に働いていないことが分かった。

Ⅴ　結論と考察

1　仮説の検証

①「いじめが増える原因にはインターネットとの関係があるのではないか」という仮説についてだ。フィールドワークの「昔は身体的に害を及ぼすいじめが多かったが、今はオンラインゲーム内での誹謗中傷や煽りが多い」という結果から、昔に比べインターネットの普及によりその匿名性を利用して言葉で人を傷つける事例が多いことが分かったのでこれは立証された。

②「いじめをする心理には家庭環境が関係しているのではないか」という仮説についてだ。フィールドワークの「家庭環境についての調査は行っておらず、記録も一切取っていない」という結果から、家庭環境との関係の有無は今回調査ができなかったのでこれは立証できなかった。

③「いじめの内容は暴力ではなく暴言や精神的ダメージを与えるものなのではないか」という仮説についてだ。いじめアンケート及び意識調査の「身体的ないじめよりも、省く・避ける・無視するという精神的ないじめが多い」という結果から、これは立証された。

2　調査Ⅰについて

いじめに関わった年齢としてあげられたのは 8 歳・11 歳・12 歳だった。その理由としては、小学生以下の子どもは「いじめ」というものを把握しきれていない。「いじめをしている」という意識がないままいじめているのではないかと考えられる。いじめは何かと聞かれ、多くの人は明確に言い定めることができないだろう。子ども達にいじめとは何かを教えるためにまず大人(教育者)がいじめについて理解を深めていく必要がある。また、いじめられた具体例としても「無視する」「仲間外れ」など、指導者からすると気付きにくいものだった。些細なことに気付けるように常にアンケート･カウンセリング等は欠かせない。

内容⑺①「友達をいじる」立場と②「友達にいじられる」立場とではいじめの捉え方の違いが見られた。いじめという定義についてよく理解しておらず、自分の判断に任せていじめをする人がいるかもしれない。いじめの定義や基準は難しいものだが、児童・生徒・教師の中でボーダーラインをしっかり決めて共有していかなければいじめは減らない。今回のいじめアンケート及び意識調査で分かったこのいじめの捉え方の相違は、いじめ削減にブレーキをかける問題点だと考えられる。いじめをする心理については、相手の立場を自分自身の中で測り、下に見るという傾向があることから、自分の立場、地位というものを上にして自己正当化し、自分の中の劣等感や不満を掻き消そうという心理が働いていると考えられるので､「優越感を味わうためにいじめをする」という結論に至った。さらにいじめは普通､複数対一人で行われることから、一人の人間をいじめることで内輪の「共通意識」や「仲間意識」が生まれ結束し、それを楽しむためにいじめをするというのも一つの理由だと考えられる。

3　調査Ⅱについて

オンラインゲームの普及による昔と今のいじめの違いについて知ることができた。小学生でも簡単にインターネットや SNS にアクセスできる今、顔も知らない人とオンラインで出会い、対戦できる機会が増えている。これらは匿名性が高いため、誰でも簡単に悪口を

書き込んだりすることが可能である。調査を行った小学校でも、ネット対戦で誹謗中傷されたことを訴えた児童がいたらしい。このような現代だからこそ、早期からメディアリテラシーを養うために指導していく必要がある。

今回は家庭環境についての調査ができなかった。家庭内で生まれる不満や孤独感、自己嫌悪をどこかにぶつけたい、発散したいと思うのは当然のことだが、親や保護者は自分よりも権力が大きく抗いにくい存在だ。そんな時、自分よりも弱く、簡単に抗える存在がいて、その場に親や保護者がいない場所は学校だろう。家庭で溜め込んだ鬱憤を自分よりも弱い立場の人間にぶつけ、ストレスを発散するというのはあり得ない話ではない。だから私たちはいじめをする心理には家庭環境が大きく関わっていると考える。今後はこの仮説を立証し、深刻な問題として、解決策を練っていきたいと思う。

4　調査Ⅲについて

いじめ対策の一つであるカウンセラーの関与について詳しく調べてみることにした。カウンセラーとは臨床心理士などが教育機関において心理相談常務に従事する心理職専門の人のことだ。カウンセラーは児童から相談されたことを担任に報告する義務があり、場合によっては児童相談所に通告する義務がある。カウンセラーは毎日学校にいるわけではない。特に中学校、高等学校は来校する頻度が非常に少ない。これでは信頼関係を短期間で築くことは困難だ。よって、学校のいじめ対策を今一度見直す必要があると考えた。珍しいことに、ある小学校では児童相談所の職員が週に一回程度カウンセラーとして学校を訪問するのだという。学校はスクールカウンセラーだけでなく児童相談所の人や他の施設との連携を取っている。つまり児童相談所などの施設との関係性が重要になってくることが分かった。

いじめ削減に貢献する施設について調べたところ利用率が低いことが明らかになった。これには何かしらの利用しにくい原因があるのだと思う。チャイルドラインでは電話対応のため匿名性には優れる。しかしだからこそ人間味が損なわれ、安心感に欠ける。表情や態度によって人が受ける印象は変わるため、電話でなくても直接対面し、且つ匿名性も維持する方法はないだろうか。

Ⅵ　提案

そこで私たちは自分たちでいじめに関する施設を作り、従来の施設の問題点を改善し、更に利用しやすい環境を作ろうと考えた。

具体的には、①チャイルドラインのような匿名性を維持したまま直接の対話方式にすること。理由は、チャイルドラインでは電話対応のため匿名性には優れるが、人間味が損なわれ安心感に欠けるからだ。また、人と実際に対面して話すことで佐藤（2018）の提言である、社会性の向上によって①攻撃的行為と②継続性を解消するためだ。②他の施設と併設させること。理由は単体の施設だと通行人からその施設を利用することが分かってしまうので他人の目を気にすることなくその施設に入れるようにするためだ。③食事しながら話せるスペースをとること。理由は堅苦しい対談ではなく、人間の営みを共にしながら話すことでリラックスして打ち解けやすくなると考えたからだ。また、リラックスした状態で話すことで佐藤（2018）の提言である、情動の安定を図り①攻撃的行為と②継続性を解消するためだ。④年齢は問わないこと。理由は子ども向けの相談所だと大人に近づいてきた中学生や高校生が利用しにくく、子どもから大人まで幅広い年齢層の相談受付を可能にすることで学生の利用率を上げようと考えたからだ。⑤規模は小さめにすること。理由は建設費や人件費を抑えその分施設数を増やし全国展開にするためだ。⑥公共機関との連携を取ること。理由は記録を丁重に保管し、いじめの再発を防止に努めるためと、佐藤（2018）の提言である、多くの大人の介入によって③力の不均等を解消するためだ。細かい内装や職員、方法などは検討中だ。

謝辞

本研究を行うにあたり、フィールドワークで伺った小学校生徒指導課千葉先生、ご指導くださった一関第一高校茂庭隆彦先生、アンケートにご協力くださいました皆様に、お礼申し上げます。

参考文献

・Resemom Bizs.remom.jp

・2019 チャイルドライン年次報告書
childline.or.jp
・厚生労働省「児童虐待の防止対策の状況について」www.whlw.go.jp
・文部科学省 mext.go.jp
・釣谷涼子　2004,「学校におけるいじめへの対策―子どもの心身を守るには―」
f.waseda.jp
・佐藤浩一　2018,「学校における効果的いじめ防止要素の考察―包括的いじめ防止プログラムの開発に向けて―」
jstage.jst.go.jp

「文学の國いわて」関連事業の有効性の検証

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
岩渕 咲枝　大貫 亜弥　藤野 航輔

要約

岩手県で 2018 年度から行われている「文学の國いわて推進事業」についてのアンケート調査を行い，その結果を通じて岩手県の文学をさらに盛り上げるための考察をした。アンケートを通じて，活動の知名度こそ低いものの，活動参加者への感想アンケートでは高い満足度を得られていた。今後この事業を通じて岩手県の文学もさらに盛り上がっていくだろう。

キーワード：地域振興、文学、事業

1　研究背景

岩手県は数々の優秀な作家を輩出していることから，2018 年度から「文学の國いわて推進事業」と称して様々な活動を行ってきている。しかし，その知名度は高くはないのではないか，と考え実態調査と考察からなる研究を行った。

2　目的

「文学の國いわて推進事業」の認知度調査と実態調査から，よりこの取り組みを盛り上げる方法を考察する。

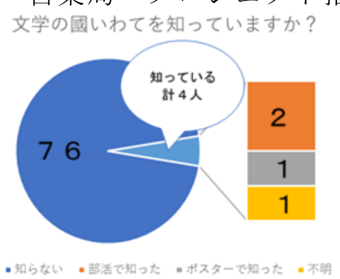
3　研究方法

i.　アンケート

- 内容
  - イ）「文学の國いわて」を知っているか
  - ロ）岩手県の出身作家とその執筆作品，岩手県が舞台の作品を挙げる
    （ただし，近年の作家に対する認知度を図るというアンケートの性質上いずれも宮沢賢治と石川啄木を除いた）
- 対象
  - イ）一関第一高等学校二学年文系
  - ロ）一関第一高等学校教師
    （2A 44 名＋2B 45 名＋教師 55 名 うち回収 80 名［回収率 55.5 %］）

ii.　取材（メールによる質疑応答）

- 内容
  - イ）「文学の國いわて推進事業」を行う目的
  - ロ）これまでにどのようなイベントを行ってきたか
  - ハ）宣伝方法として行ったこと、これから行う予定のことはなにか
  - ニ）経済成長として見受けられるものはなにか
  - ホ）盛岡市以外でのイベント開催の予定の有無
  - ヘ）今後の方針・目標はなにか
  - ト）参考にした取り組みの有無
- 対象
  - イ）岩手県　文化スポーツ部　文化振興課　文化芸術担当
  - ロ）テレビ岩手　営業局　プロジェクト推進部



4　結果

イ）アンケート結果

上のグラフは「文学の國いわて」を知ってい

るか，という問いへの回答である。また、どのような方法で知ったのかの内訳も示している。岩手県の出身作家とその執筆作品，岩手県が舞台の作品は多数挙がった。

ロ) 取材結果

テレビ岩手は県が行っている事業を手伝っているという関係性上，両者の回答は同じものであった。

また、以下の結果は抜粋である。

イ) 「文学の國いわて推進事業」を行う目的
⇒岩手県における文芸活動の振興を図るため

ロ) 宣伝方法として行ったこと，これから行う予定のことはなにか
⇒チラシ･ポスターの配布, テレビ CM, 県公式 HP での記載，記者クラブへのプレスリリース

ハ) 経済成長として見受けられるものはなにか
⇒経済成長とのかかわりは複雑すぎて確認できないが，令和元年度の講演会参加者を対象とした感想アンケートでは，五段階評価中「1 とても良かった」が 71 %,「2 良かった」が 26 %だった.

5　考察

予想通り,「文学の國いわて推進事業」に対する知名度は低かった。しかし，宣伝方法は多様であり，満足度も高かった。これから事業を進めていくとともに認知度も上がるだろう。

6　結論

「文学の國いわて推進事業」に対する認知度はかなり低いが，県民の岩手県の文学に対する意識は低いとは言えない。また，事業としても高評価を得ているため今後の事業展開に期待できる。

謝辞

最後になりますが，お忙しい中取材に応じてくださった岩手県文化スポーツ部文化振興課文化芸術担当者様とテレビ岩手営業局プロジェクト推進部様、きめ細やかな指導をしてくださった石川先生にささやかな感謝の念を申し上げます。

参考文献

テレビ岩手「文学の國いわて 2020 開催について」https://www.tvi.jp/bungakunokuni/（2020.12.2）［現在削除済］

一関を多子若年化へ

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
岩渕晟也　木川田千紘　佐々木結子　千葉菜々子　松田美咲

要約

一関市が直面している「少子高齢化」問題。私たちは一関を真逆の意味をもつ「多子若年化」にするため必要なこととは何かを考えた。文献調査やフィールドワークを通し，一関の現状や少子高齢化の影響などを調べ，また，若者の意見を得るため本校の二年生を対象にアンケート調査を実施した。それらの結果として，これから必要になっていくのは，将来を担っていく自分たちが課題や現状を理解し行動を起こすということだと感じた。

〈キーワード〉　多子若年化　少子高齢化　人口減少

１　はじめに

少子高齢化や人口減少が進行している一関の現状を打開するために,まず,高校生が理想とする「まち」とは何かを調査する。そして高校生である私たちの目線かられからの一関の在り方を導き出し,活性化へと繋げようと考えた。

２　研究方法

Ⅰ　文献調査

インターネットを利用し，岩手県や一関市の現状を表わすデータや，少子高齢化対策に成功している福祉大国 スウェーデンの取り組みなどについて調査。

Ⅱ　フィールドワーク

少子高齢化に関係があると考えた一関市役所の地産地消・外商課，政策企画課，観光物産課へ出向きヒアリングを行う。

Ⅲ　アンケート調査

本校の２学年を対象にアンケートを行い、若者の一意見としてデータを得たうえで考察につなげる。

３　結果

Ⅰ．文献調査

①一関の人口について

2020 年時点での人口は，10~14 歳の年少人口が 21.6%，15～64 歳までの生産人口が 66.1%,65 歳以上の老齢人口が 37%となっている。65 歳以上の高齢者の割合が 7%以上を超えている場合「高齢化社会」,14%以上で「高齢社会」，21%以上で「超高齢化社会」，と呼ばれている中で，一関市は 37%とかなり高齢化が進んでいると言える。

②人口減少による影響

「一関市まち・ひと・しごと創生総合戦略」によるとこのような人口減少により，労働力不足による生産性の低下，後期高齢者の増加による医療・福祉・介護の需要の増加，社会保障関係費などの増加による市財政の硬直化,通勤通学者の減少による公共交通機関の維持への影響など，地域経済や地域医療・福祉・介護への影響のほかにも，行財政や生活利便性などの多面においての影響が懸念されている。

③有効求職者数・賃金について

有効求職者数（新規求職申込者→前月から繰り越された求職者数と，その月の新規求職数の合計）を調査したところ，2018 年のデータでは東京が約 203 万人なのに対し，岩手県では約 24 万人，近隣の宮城県では約 42 万人という結果となった。

また，1 人あたりの賃金（2018 年）は，全国平均が 461 万円なのに対し，岩手県は 358 万円と大きな差がある。しかし，全国の企業創業比率順位(新しく事業を起こした順位)を調査すると，岩手県は 12 位で 50.4%と埼玉県と同率で，近隣の福島県が 45 位，秋田県が 46 位，山形県が 47 位となっており，企業活動が減少している東北地方の希望ともいえる。

④少子化対策成功例 スウェーデン

1930 年代まで出生率が減少していたスウェーデンは，女性が働きながら子供を育てられる環境を整える必要があると見直され，1947 年の児童手当導入以降，男女平等の観点から家庭と仕事の両立のしやすい社会を目指して進められてきた。

◆取り組みの具体例
・手厚い両親手当(世界初)
出産･育児休業中に収入補填が受けられる。子供一人につき、両親合わせて 390 日まで、勤務時の給与の約 8 割が支給される。

・男性の育休取得促進のための仕掛け
先述の「両親手当」では，手当の対象となる 480 日のうち，各 60 日は父親，母親がそれぞれ取得する分と決まっている。
→スウェーデンの男性の育休取得する分と決まっている。

・スピードプレミアム
2 年 6 か月以内に次の子供を出産すると，前の子供と同額の両親手当が支給される。

・時短勤務
子供が 8 歳になるまで，両親は労働時間を最大 4 分の 1 短縮することができる。

・看護休暇
12 歳未満の子供が病気になった時のために，年間 120 日まで有給休暇が与えられている。

・公的保育制度の充実
法律により,両親の入所希望後 3〜4 か月以内に，自宅にできるだけ近い場所で保育サービスが提供されなければならない。

●保育施設を増やす，といったことだけでではなく,充実した育休制度や男性の育児参加,多様な働き方への理解など，様々なテーマから取り組んだ結果，成功モデルとなったといえる。

Ⅱ　フィールドワーク
◆地産地消外商課
・農業での少子高齢化の対策は難しいため，一関としては農業の衰退を防止するための支援を行っている。
・定住というのは無理だとしても，姉妹都市や他県，また地元のイベントで地域の物産や特産品を使い宣伝している。

◆政策企画課
・一関の課題は，社会増減(県外への流出者による人口の増減)より自然増減(人の出生・死亡による人口の増減)での「出生」をあげること。
・高齢者の増加によって，介護の需要や健康づくりの増進が求められるようになり,また,自動車免許の返還の増加など日常生活に影響が出るようになった。そのために，若者だけではなく高齢者の生活への不安を取り除き，安心して暮らせるようなまちづくりを行っていく。
・2040 年までに人口を 8 万 6000 人になるよう目指す。
・学生に自分たちの地域について考え，関心を持ってほしい。

◆観光物産課
・観光客を増やすために，若い世代には SNS を通じて，お年寄りにはパンフレットを使用してPRをする。また，環境整備や観光客の受け入れ態勢強化,PRの人材育成も行っている。
・一関を観光客にとっての通過地点にするのではなく，滞在してもらえるように目指す。また，英語表記を増やし，外国人の観光づくりを改善する。
・子供のうちから地元を知る経験が必要であり，成人してから地元のPRをする一員となってほしい。

Ⅲ　アンケート調査
本校の二年生に大きく三つの問いに答えてもらった。
1，理想とする「まち」とは？
左から，
・子育て支援の充実
・娯楽施設の充実
・交通のアクセスがいい
・医療施設の充実

・学ぶ環境が整っている
・その他
の計 6 つから選んでもらった。

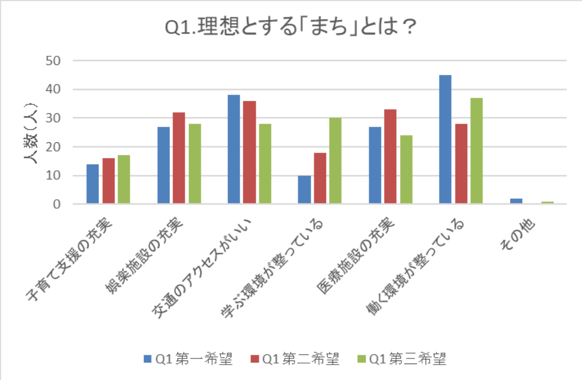


図 1　理想とする「まち」とは？

図 1 より,「働く環境が整っているまち」を理想としている人が多い結果となった。次いで,「交通のアクセスがよいまち」が多くなった。

2, 将来,「都会・地元」どちらに住みたいか？

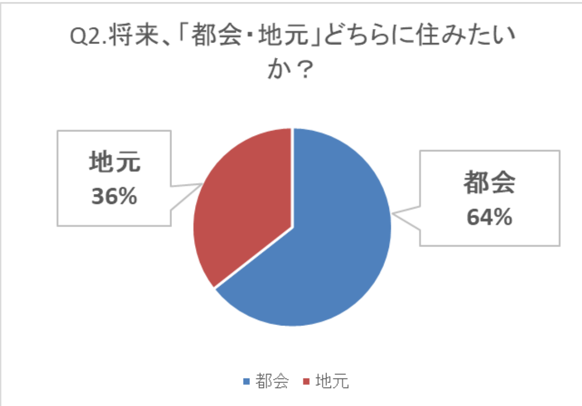


図 2　将来,「都会・地元」
どちらに住みたいか？

この結果,『都会』が 64%,『地元』が 36% という結果となり，50 人近い差が生まれた。
『都会』に住みたいと答えた人の中で最も多かった理由は,「就職のため」だった。次いで,「交通のアクセスのよさ」,「娯楽施設の充実」となった。
逆に『地元』に住みたいと答えた人では,「実家があるから」という理由が最も多かった。

3, 地元についてどのように考えているか？

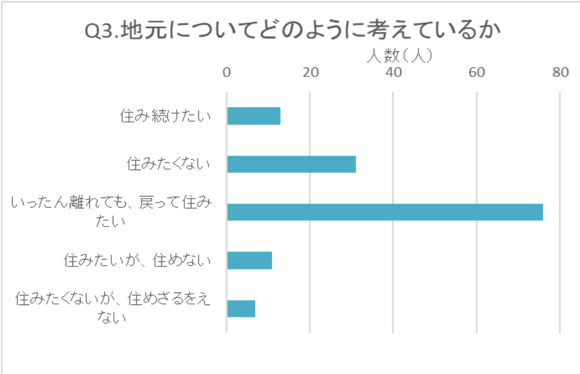


図 3　地元についてどのように
考えているか？

4　考察

仮説では，子育て支援の充実や若者向けの娯楽施設を増やせば若者が集まり，少子高齢化・人口減少の解決につながるのではないかと考えていたが，アンケートの結果から，職場環境や交通のアクセスなどの生活の面での充実が求められていることが分かった。
また，二学年全体としてのグラフの結果からは,「職場環境が整備されている」ことが理想的な街として多く挙げられ，将来都会に住みたいと考える人が多い結果となり，その理由としても就職のためだった。

5　結論

以上のことから，一関市は少子高齢化の社会状況下にあることは確かであり，その影響を受けているといえる。また，今後も影響を受けていくだろう。
今回の課題研究を通して，将来を担っていく若者である自分たちが現状や課題を知っておくこと，また，そのほかにも地域の現状を知り，地域活性化のために行動を起こすことが大事であると感じた。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご協力してくださった市役所の方々や一関一校の二年生の皆さん，そして，担当してくださった先生方，ありがとうございました。

参考文献

・一関市まち・ひと・しごと創生総合戦略

・成功例として有名なスウェーデンの少子化対策とは？：https://chiik.jp/articles/mxUpi
・地域経済分析システム(RESAS)

社会情勢とテレビドラマの相関関係に迫る

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
高橋佳乃子　千田彩海　千葉亜矢乃　松谷空歩

要約
1970 年代から現在までのテレビドラマの中で高視聴率を記録した作品を対象とし,様々な観点と関連付けながらヒットの要因を探った。その結果,社会情勢がプラスの時はホームドラマが,マイナスの時は恋愛ドラマが高視聴率を記録する傾向にあると分かった。

〈キーワード〉　　ヒットドラマ　社会情勢　テレビ局

１　はじめに

人々の日常生活を彩るメディアとして,テレビドラマが挙げられる。そんなテレビドラマには社会情勢とどのような相関関係があるのかということについて研究を行った。

研究動機は二つある。一つ目は,どのようなドラマが人々の心に刺さり,社会的ブームまで漕ぎつくのか気になったということ。二つ目は,「近年,ドラマ業界は低視聴率に悩まされている」という話を聞き,その原因を突き止めたいと思ったということだ。

また,この研究をきっかけとして,多くの人が改めてドラマの存在価値に注目し,ドラマを観ることによって自分の感性や心に刺激を受け,より充実した生活を送るための一助にしたいと思い,研究を行った。

そこで,研究を始めるにあたり,「社会情勢がプラスの時は,ヒロインが奮闘するものや心の温まるホームドラマが,マイナスの時は,人気俳優が主役のものやハッピーエンドのものがヒットする」という仮説を立てた。

宅森（2014）は，書籍の引用と分析により,好況期には純愛系のドラマが,不況期には強い女性が登場するドラマがヒットする傾向にあると結論付けていた。しかし,景気以外の社会情勢やテレビ局などとの関連が不明瞭だったので,それらを中心に調査することにした。

２　研究方法

①インターネット調査

「年代流行」というウェブサイトを参照し,ヒットドラマを調査した。1970 年代・80 年代・90 年代からそれぞれ 4 作品ずつ,2000 年以降はそれぞれの年から 4 作品ずつ選び,放送時期と時間帯・ジャンル・視聴率・出演者・放送局,そして,ドラマが放送される１クール前，つまり,制作期間の社会情勢を調査した。社会情勢は,オリンピックや世界遺産登録,日本代表チームの優勝などがあった時期はプラス,戦争や災害,テロや大きな事件などが起きた時期はマイナスとして数えた。

②アンケート調査

本校２年生 229 人と職員 45 人を対象に,テレビドラマに関するアンケートを行った。アンケート内容は以下の通りである。

Q1. 次の中で観たいドラマのジャンルはどれか。
　①時代劇　②学園　③刑事　④ホーム
　⑤恋愛　　⑥ミステリー　⑦ビジネス
　⑧医療　⑨SF　⑩ヒューマン
Q2. 興味のないドラマのジャンルはどれか。（選択肢は Q1 と同じ）
Q3. 次の中でドラマを観るきっかけとなるものはどれか。
　①出演者　②主題歌　③テレビ局
　④曜日・時間帯　⑤原作　⑥その他
Q4. 一番好きなドラマは何か。
Q5. 次の中で一番面白いドラマを制作していると思うテレビ局はどれか。
　①フジテレビ　②日本テレビ
　③テレビ朝日　④TBS　⑤NHK
Q6. 好きな俳優・女優は誰か。
Q7. 演技が上手だと思う俳優･女優は誰か。
Q8. テレビとその他のサービス(Hulu 等)のうち,どちらでドラマを観ることが多いか。

※回収率は,２年生は 43%,職員は 20%だった。

3　結果

まずは，インターネット調査において，高視聴率を記録したドラマのジャンル別割合は，恋愛（19%），医療（16%），ホーム（15%）の順に多かった。（**図1**）

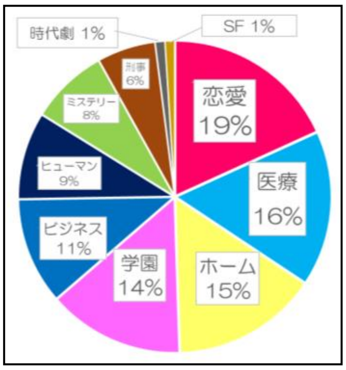


図1　高視聴率を記録したジャンル（インターネット調査の結果）

続いて,アンケートの Q1 では,恋愛（26%），ミステリー（18%）,学園（13%）の順に多かった。（**図2**）

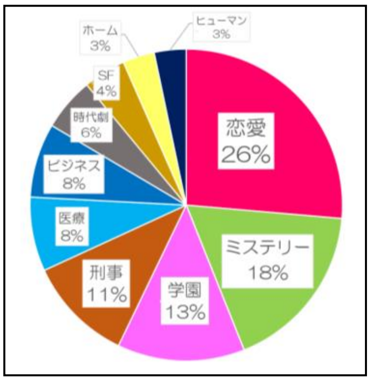


図2　観たいドラマのジャンル（アンケート調査の結果）

そして、インターネット調査において，社会情勢がプラスの時に高視聴率を記録したドラマのジャンル別割合は，ホーム（20%），恋愛（16%），医療（16%）の順に，マイナスの時には，恋愛（21%），医療（16%），学園（14%）の順に多かった。（**図 3** 及び**図4**）

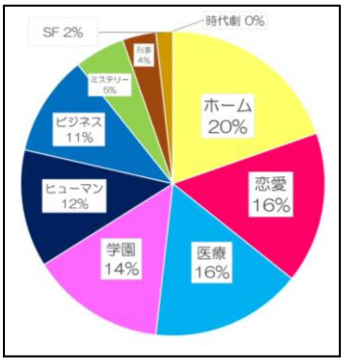


図 3　社会情勢がプラスの時に高視聴率を記録したジャンル（インターネット調査の結果）

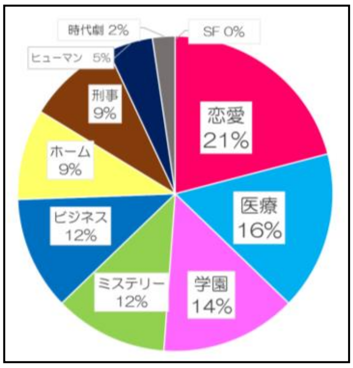


図 4　社会情勢がマイナスの時に高視聴率を記録したジャンル（インターネット調査の結果）

さらに，インターネット調査において，高視聴率を記録したドラマのテレビ局別割合は，フジテレビ（37%），TBS（32%），日本テレビ（17%）の順に多かった。（**図 5**）

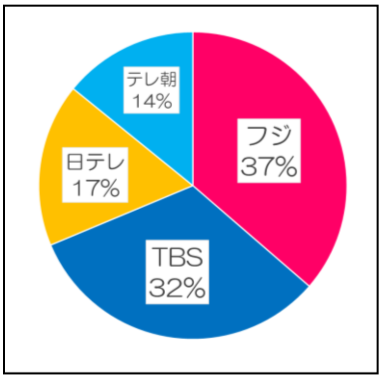


図 5　高視聴率を記録したテレビ局別割合（インターネット調査の結果）

最後に，アンケートの Q5 では，日本テレビ（43%），TBS（32%），フジテレビ（11%）の順に多かった。（**図 6**）

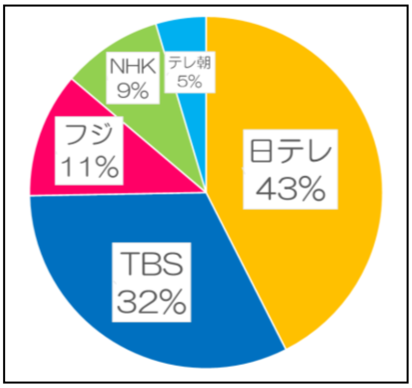


図 6　面白いドラマを制作しているテレビ局（アンケート調査の結果）

4　考察

まず，高視聴率を記録したジャンルでも，観たいドラマのジャンルでも，恋愛ドラマの割合が一番大きかったことから，恋愛ドラマの人気が高いと考えられる。また，インターネット調査では医療ドラマ・ホームドラマが，アンケート調査ではミステリードラマ・学園ドラマが上位に入っており，違いがみられた。これについては，アンケート調査の対象者の大半は学生であったため，好みが集中してしまったのだと考えられる。

また，社会情勢がプラスの時はホームドラマが最も高視聴率を記録する傾向にある。これは，テレビドラマにおいても幸せな家庭を描くことで，視聴者がリアルに感じている家庭内での幸せをさらに増幅させる効果を狙っているのではないだろうか。それに対して，社会情勢がマイナスの時は恋愛ドラマが最も高視聴率を記録する傾向にある。これは，心が荒んでいる視聴者に刺激と高揚感を与えることで，生きる活力をもたらそうとしているためであると考えられる。

そして，高視聴率を記録したテレビ局別割合と面白いドラマを制作しているテレビ局の割合では，どちらもTBSが32%を占めていて2番目に大きい割合だったが，フジテレビと日本テレビは異なる結果になっていた。これに関しては，日本テレビは子供・若い世代向け，フジテレビは働く世代向けのドラマが多く，アンケートの対象の大半を占めていた高校生は主に日本テレビのドラマを観ることが多いからなのではないかと考えられる。

最後に，研究動機に対しては，主に恋愛ドラマが人々の心に刺さり，社会的ブームまで漕ぎつくのだという結果が得られた。二つ目に挙げた「近年，ドラマ業界は低視聴率に悩まされている」という話に関しては，恋愛ドラマがヒットしすぎたあまり，ストーリーが一様になってしまい，人気がなくなってきているのだという見方もできる。

5　結論

社会情勢がプラスの時にはホームドラマが，マイナスの時には恋愛ドラマが高視聴率を記録する。ただし，恋愛ドラマは，社会情勢に関わらず高視聴率を記録しやすく，視聴者からの需要も大きい。

現在は，新型コロナウイルス感染症の拡大によって経済活動や社会生活に大きな影響が及ぼされているため，社会情勢はマイナスであると判断できる。今回得られた結果も踏まえると，ヒットするドラマを制作するには，今までにはないような恋愛をテーマにし，フジテレビ・TBS・日本テレビのうち，いずれかのテレビ局で放送すればよい。

今回は，アンケートの対象年齢が限定的で，有益な結果が得られなかった。よって，今後は，対象とする年齢層を広げ，インターネットで得られた結果と照らし合わせてみたい。また，考察で挙げた「恋愛ドラマのマンネリ化」は本当に起こっているのか検証したい。

謝辞

本研究を行うにあたり，的確な助言をくださった担当の先生方，アンケートにご協力くださった生徒及び職員の皆様，その他大勢の方々に心から感謝申し上げます。

参考文献

宅森昭吉（2014.5.2）：経験則でみる ふしぎ経済学～TV ドラマで占う景気～，NIKKEI STYLE, https://style.nikkei.com/article/DGXNMSFK3002X_Q4A430C1000000 （2020.12.1）

時差3か月！？遅れてやってきたコロナの謎

岩手県立一関第一高等学校普通科2年
千葉遼人　千葉隼人　小野寺椋　熊谷日向子　桂田姫菜

要約

岩手県が新型コロナウイルスの感染者の確認が他県と比べて極端に遅かった理由をデータの比較から推測することで，今後の感染症への対策案を講じる。研究の結果から，感染リスクを下げる様々な要因があることが分かった。以上のことから，感染症を予防するには免疫力を高く維持することに加えて，行政の感染症対策に真摯に受け入れることなど，当たり前の生活行動が必要だと分かった。

〈キーワード〉新型コロナウイルス，免疫力，感染対策

1　はじめに

＜動機＞

2020 年に新型コロナウイルスが世界中で流行し，日本でも東京オリンピックが延期に追い込まれるなど，感染拡大が一向に収束していない。そのような中，岩手県で感染者第一号が確認されたのは 7 月 29 日だった。岩手県に次いで最初の感染者が確認されたのが遅かったのは鳥取県で 4 月 10 日であり，ここには3ヶ月以上の差があった。岩手県の感染拡大が最も遅かった理由を見つけるため，探究活動の題材とした。

＜仮説＞

私たちは岩手県における新型コロナウイルスの感染拡大が遅かった理由について次の二つの仮説を立てた。

ⅰ人と接する機会が少ない

ウイルスは主に飛沫感染や空気感染によって広がる。そのため，人口が多く人口密度の高い大都市においては，公共の施設などで密集・密接した環境が作られやすく，感染拡大につながるのではないかと考えた。岩手県は人口密度が全国2番目に低く大都市も少ないため，そのような環境が作られにくい。

ⅱ話し方に特徴がある

口をあまり開かずに会話をすると飛沫防止になり感染リスクの低下につながるので，岩手県民は口をあまり開かない話し方をするのではないか。

ⅲ免疫力が高い

岩手県民は免疫力が高いので感染者が少ないのではないか。また，免疫力を高める共通の食習慣があるのではないか。

2　研究方法

インターネットを利用して，岩手県の特徴が顕著に表れているデータを複数収集し，ほかの 46 都道府県のデータと比較しながら共通点と相違点を調査。

3　結果

以下の表は，各仮説について関連していると考えられるデータの一部である。

＜仮説ⅰについて＞

上位	人口	人　口密度	訪問率	通勤・通学時間
東京	1位	1位	1位	4位
大阪	3位	2位	2位	5位
神奈川	2位	3位	9位	1位
福岡	9位	6位	5位	11位
愛知	4位	5位	8位	9位
下位	—	—	—	—
山形	36位	42位	42位	38位
秋田	38位	45位	43位	43位
青森	31位	41位	35位	43位
鳥取	47位	37位	38位	40位
岩手	32位	46位	41位	34位

・訪問率は，日本を出国する訪日外国人（1年以上の滞在者，日本への移住者，日本に入国しないトランジット客，乗員を除く）を対象に行った聞き取り調査である。
・人口，人口密度，訪問率は高位から順に，通勤・通学時間は長いほうから順に順位付けをしたものである。

＜仮説ⅱについて＞

岩手県にはズーズー弁と呼ばれる方言が広まっている。ズーズー弁とは一般的には東北地方の方言の俗称であり，日本語の方言学では音韻上「し」対「す」，「ち」対「つ」及びその濁音の区別がない方言を指して使われている。

＜仮説ⅲについて＞

上位	睡眠	わかめ消費量	納豆消費量	大根消費量
東京	41位	24位	18位	8位
大阪	40位	38位	45位	17位
神奈川	45位	20位	17位	6位
福岡	36位	32位	25位	28位
愛知	41位	33位	30位	23位
下位	—	—	—	—
山形	3位	9位	5位	22位
秋田	1位	2位	9位	11位
青森	2位	4位	7位	14位
鳥取	16位	23位	36位	36位
岩手	4位	1位	3位	1位

・消費量のデータは，一世帯当たりの購入金額に基づくものである。

＜免疫とのかかわり＞

細菌やウイルスに対する免疫は睡眠中に保たれ強化される。

わかめは栄養成分ココイダンを多く含み，免疫に関わるNK細胞を活性化させる働きがある。

納豆はビタミンKを豊富に含み，骨を丈夫に，感染後の悪化防止になっている。

大根は，ビタミンCを多く含み，免疫力や抵抗力を上げている。またコラーゲンも含んでいるため，丈夫な皮膚や粘膜を形成し病原体が体内に侵入するのを防いでいる。

4　考察

＜仮説ⅰについて＞

データより感染者が比較的多い5県には，人口が多く表中のすべての項目において上位にランクインしているという共通点があることが分かった。一方で感染者が比較的少ない5県はすべてのランキングにおいて下位にあることが分かった。このことより人と接する機会が少なくなり，感染拡大のつながる環境が作られにくい。

＜仮説ⅱについて＞

岩手県で使われているズーズー弁は曖昧な発音をするため，口をあまり開かないと考えられる。また岩手県は寒冷な気候帯に属しているため，冷たい外気が体内に入るのを防ごうとし無意識的に口をあまり開かない話し方になっているとも考えられる。

＜仮説ⅲについて＞

感染者が少ない5県には，睡眠時間が長いことが見受けられたため，岩手県民は全体的に免疫力が高いと考えられる。他の3項目では，感染者の少ない県ほど順位が高いといった一貫性はあまり見られなかったが，岩手県は上位にあるため，岩手県民の免疫力を高める要因としては十分に考えられる。

5　結論

以上より，岩手県で新型コロナウイルスの感染者が確認されたのが他県に比べてはるかに遅かったのは，人と接する機会が少ない環境，飛沫を減らす方言，生活習慣による免疫力の向上，これらの条件が重なり合って感染リスクが低下していたためだと言える。

そのため，私たちができるのは十分な睡眠を取ること，先述したような免疫力を高める食品を積極的に摂取すること，政府の感染拡大防止のための取り決めや対策に真摯に従うことである。しかしこれはあくまで推測であり未知のウイルスに対して確実な証拠を得るための実験は行っておらず，それは不可能に近い。実際，現在岩手県では感染者が増加し続けているので私たちが考察した要因の他に

も岩手県の感染者数を左右する要因はあるのだろう。
　私たち高校生にできることは微力だが，日々更新されていく情報に目を向け，また新たな要因を模索していきたい。

謝辞
　本研究を遂行にするにあたり，佐々木俊樹先生をはじめとする多くの先生方にご指導をいただき，研究・論文作成において大変活用させていただきました。
　ご協力くださったすべての方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

学研：都道府県別の面積・人口，
https://gakken-ep.jp/extra/chiridata/pdf/data04/09.pdf(2020.6.30)
日本政府観光局：都道府県別訪問率ランキング，
https://statistics.jnto.go.jp/graph#graph--inbound--prefecture--ranking(2020.7.14)
総務省統計局：社会生活基本調査から分かる47都道府県ランキング，通勤・通学時間が長い！？ランキング，
http://116.91.128.50/data/shakai/2016/rank/zuhyou/rank12.xls(2020.11.10)
glico:都道府県別睡眠ランキングも発表！睡眠不足の日本人にはアミノ酸が必要って本当？，
https://www.glico.com/jp/health/contents/aminosan/(2020.10.20)
久保哲朗：都道府県別統計とランキングで見る県民性[とどラン]都道府県別わかめ消費量ランキング，
https://todo-ran.com/t/kiji/14662（2020.9.8）
久保哲朗：都道府県別統計とランキングで見る県民性[とどラン]都道府県別納豆消費量ランキング，
https://todo-ran.com/t/kiji/11483(2020.9.8)
久保哲朗：都道府県別統計とランキングで見る県民性[とどラン]都道府県別大根消費量ランキング，
https://todo-ran.com/t/kiji/21907（2021.2.10）

非行を未然に防ぐために

～１人で悩まないで～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
小野寺華　伊藤瑞穂　佐藤鈴奈　村上洸斗　吉田大悟

要約

私たちは，少年犯罪に焦点を当てて研究を行った。研究方法として，本校２年生へのアンケート，それをもとにして一関保健センターで聞き取り調査を実施した。研究結果として，市内の少年犯罪の件数は横ばいであること，カウンセリングの効果は認められつつも，相談環境を不安視する意見もあるということが分かった。ここから，非行防止のために,「個人情報の厳守・SNS を用いた相談・未然に防ぐ意識」を重要視すべきという結論に至った。

〈キーワード〉少年犯罪　心理学　カウンセリング

１　はじめに

現在の日本では，成年の犯罪だけでなく未成年の犯罪が問題視されている。実際に長崎県佐世保市では，小学生による殺人事件が起こっている。家庭環境や友人間でのトラブルが少年犯罪の一つのきっかけとなっているようだ。私たちは，一関市内では少年犯罪はどのような現状にあるのか，また市内の少年犯罪の防止を進めたいと考えた。仮説として，「家庭・学校での生活環境の悪化によるストレスが非行につながる」,「ストレス軽減のために相談機関の充実が必要である」を定めた。少年が非行に走ってしまう理由を探る，非行防止のための対策を考えるという目的で研究を進めていく。

２　研究方法

過去に起きた少年犯罪のケースや他の都道府県の対策を探るために，文献調査を行う。一関第一高等学校２年生を対象として，カウンセリングに関するアンケート調査を行う。質問内容は以下の通り。(有効回答数 164)

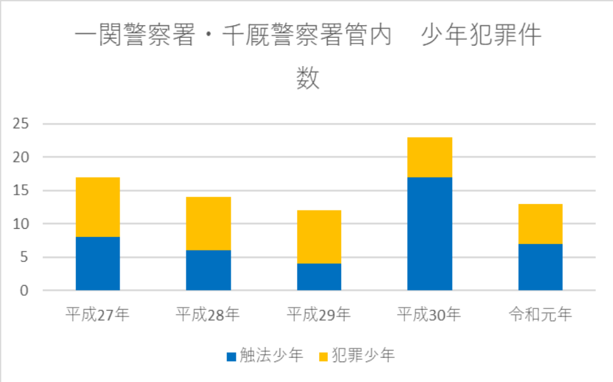
Q1. 学校のカウンセリング(相談室等)を使用したことがありますか。(小中高問わず)
　Q1-はいと答えた人
　　使用時に入りづらさを感じましたか。
　Q1-いいえと答えた人
　　使用したいと考えたことはありますか。
Q2. 学校のカウンセリング(相談室等)は必要だと感じますか。また，そのように考える理由を教えてください。
Q3. あなたには，嫌なことがあった時に相談できる相手がいますか。
　Q3-はいと答えた人
　　それは誰ですか。(複数回答可)
　Q3-いいえと答えた人
　　相談できる相手を欲しいと思いますか。また，そのように考える理由を教えてください。

得られたデータはエクセルを用いてまとめ分析を行う。また，フィールドワークの一環として一関保健センターを訪問し，職員の方に市内の少年犯罪の現状について伺う。調査内容は以下の通り。

Q1. 一関市の少年犯罪・補導の件数は，最近５年間でどのように変化しているか。
Q2. 子供が犯罪を行う原因には何があるか。
Q3. 家庭児童相談室・少年センターでは、どのような取り組みを行っているのか。
Q4. 市内で，このような施設はほかにもあるのか。
Q5. 私たちは，少年犯罪はストレスや悩みを抱えることが一因であると考えている。悩みの相談は少年犯罪の防止に効果があるのか。

これらを通して，犯罪がストレスの解消の選択肢とならないための条件を探る。

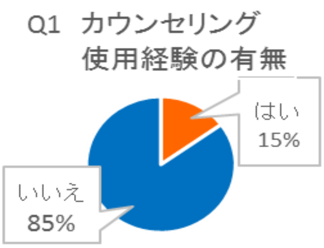
３　結果

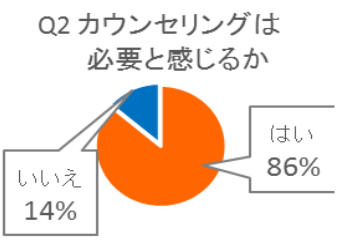


	H27	H28	H29	H30	R1
触法少年（14 歳未満）	8	6	4	17	7
犯罪少年（14 歳～19 歳）	9	8	8	6	6
合計	17	14	12	23	13

少年犯罪の過去 5 年の推移を見ると，小学生の年代に比べ，中高生の割合が多い。主な犯行内容として，万引き・深夜徘徊などがある。

【アンケート結果】（有効回答数 164）





アンケート結果については，対象者の 80%以上がカウンセリングの必要性を理解しているという結果を得た。一方で相談環境に不安や疑問を抱いている意見があった。

【他の都道府県での取り組み】

- 東京都
  SNS を用いた相談機関を推進する法案が可決されている。
- 長野県
  AI での相談シミュレーションが行われている。

４　考察

一関保健センターでのフィールドワークでは，市内での少年犯罪の件数は少ない傾向にあることが分かった。フィールドワークでは，家庭環境，育児放棄，貧困，いじめが原因として挙げられると回答をいただいた。市内でも貧困などが原因とみられる犯罪の事例もあると伺った。やはり，少年犯罪には家庭・学校の環境が深く関わっているようだ。この状況の改善のため，保健センター管内の少年センターでは街頭補導の実施・相談機関の案内の配布などを行っている。実際に，補導員の方の体験によると，深夜徘徊中の学生に声をかけたところ，それがきっかけになり悩み相談につなげられたケースがあったそうだ。犯罪の防止には，相談機関の充実が必要だと考えられる。その相談環境についてはアンケート結果より，学校の相談機関で相談をしたところ，その相談内容が担任に明かされていたというケースがあった。相談機関があるにも関わらず，その環境が整っていない場合もあるのだということが分かった。また近年の技術の発展に伴い SNS や AI といった匿名性のある相談手段に注目が集まっているようだ。調査から，相談機関は犯罪防止のために一定の効果があるとわかった。

５　結論

先ほどの考察から，私たちは「少年の非行を防止するに必要な 3 つの観点」を定めた。

① 個人情報の厳守
個人情報への不安を訴える意見が見られたため。

② SNS による相談
若者に身近なツールで気軽に相談できる環境をつくる。アンケート結果では，インターネット上の方が楽だという意見があった。

③ 非行を未然に防止するという意識
ストレスによって犯罪に走ってしまいそうな子供に大人が迅速に気づく環境が大切である。これを「攻める防犯」という。犯罪が起きるまでのひとつひとつのプロセスの妨げを行うことである。少年センターの取り組みは一種の攻める防犯といえる。

参考文献

反省させると犯罪者になります
岡本茂樹著　新潮社　2013 年出版

少年リンチ殺人―ムカついたからやっただけ
日垣　隆著　新潮社　2010 年出版

謝るならいつでもおいで
―佐世保小六女児同級生殺害事件
川名隆信著　新潮社　2017 年出版

手洗いの方法による効果の違い

～今だから知りたい！身近な感染症対策～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
相澤美唯菜　小野寺千里　佐々木雅貴　千葉奈緒　藤井紗希

要約

私たちは，手洗い，消毒による殺菌効果を様々な条件から比較し，感染症対策に繋げたい。
〈キーワード〉　手洗い　消毒　感染症対策

１　はじめに

新型コロナウイルスで日常生活が脅かされ，手洗い，消毒の重要性が増していることを踏まえ，それらの効果を目に見える形で示し，手洗い，消毒の意識の向上をはかる。

先行研究では，手洗いによる予防効果は示されていたものの，石鹸の種類による比較と消毒液を用いた実験は見受けられなかった。

仮説としては，液状で，手指の細部までまんべんなくいきわたる液体石鹸と消毒液の予防効果が高いと考える。

２　研究方法

食パンを用いた対照実験

〈実験用具〉

固形石鹸　液体石鹸　消毒液

食パン（8 枚切り）

〈実験方法〉

1. 手を押し付けない
2. 1 日手を洗わない状態
3. 水で手を洗った状態
4. 液体石鹸で手を洗った状態
5. 固形石鹸で手を洗った状態
6. 消毒液のみ使用した状態
7. 液体石鹸と消毒液を使用した状態
8. 固形石鹸と消毒液を使用した状態

これらの条件で，食パンに手を押し付けて条件別の対象物を用意し，2 週間後に観察する。

カビの生えた量（目視で確認できたもの）を手の保有していた菌とみなす。

３　結果

①基準	②手洗わない	③水洗い	④液体石鹸
			
変化なし	黒カビが生えた	少し黒カビが生えた	青カビが生えた

⑤固形石鹸	⑥消毒液のみ	⑦液体＋消毒	⑧固形＋消毒
			
変化なし	変化なし	変化なし	青カビが少し生えた

４　考察

カビの生え方には，量と種類の２つの差が生まれた。発生したカビのうち，黒カビはアルコールに弱く，比較的除菌が容易である。それに対し，青カビは常に浮遊している菌であり，パンに最初に生えるといわれていることから，手の洗浄にかかわる結果として黒カビの量が大きく関与していると考えられる。

液体石鹸，固体＋消毒液の実験結果から，石鹸，消毒の除菌効果が大きいことが分かった。しかし，完全な除菌効果がどの手段でも期待できるとはいえないと考えた。

青カビの発生については，培地である食パンの管理が甘く，手以外からの菌の混入の可能性があったことから生じた結果だと考えられる。

新型コロナウイルスの影響で，動画サイトに厚生労働省をはじめ，様々な有名アーティストが幅広い世代に向けて多くの手洗い動画を投稿している。そこで推奨されている手洗いの方法や洗浄時間と細菌の減少量との関係を裏付ける実験に発展させ，さらなる感染症対策へつなげていきたい。

５　結論

細菌の除去には，液体石鹸と消毒液の使用が効果的である。

謝辞

本研究を行うにあたり，沢山の方々から暖かいご指導ご鞭撻を賜りました。心より感謝申し上げます。

参考文献

カビの種類６つと特徴と違い一覧！食品や住宅のカビはどれ？
https://taskle.jp/media/articles/541

不快音に対する瞳孔の反応

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
大杉竜也　阿部優太朗　石川史弥　後藤大亮　千葉尊

要約

私たちは，不快音とは何か，快音と不快音を聞いた時の人体の反応はどのようなものか興味を持った。自分たちで快音と不快音を発生させ，オシロスコープで解析し，聞いた時の瞳孔の反応を写真に撮って調べた。結果，快音を聞いた時には瞳孔が大きくなり，不快音を聞いた時には小さくなった。

〈キーワード〉　快音　不快音　瞳孔

1　研究方法

・使用する機材

オシロスコープ，音圧計（単位 dB)，マイク
定規
陶器製の皿，鉄製のフォーク，
発泡スチロール，靴裏がゴムの靴，ピアノ
カメラ（スマホやタブレットに備わっているもの）

・実験方法

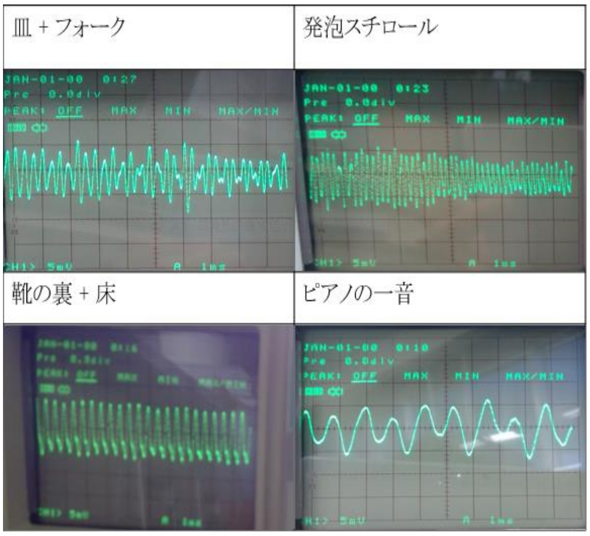
本実験では，「皿をフォークでひっかく音」「発泡スチロールをこすり合わせる音」「靴の裏を床とこすり合わせる音」を不快音と定義し，対照実験のために快音として「ピアノの一音」を快音と定義した。

今回は人の瞳孔の反応を観察するため，それぞれの音を聞く直前の被験者の瞳孔の写真を撮る。音の波形や音圧をオシロスコープと音圧計で計測するため，音の発生源の近くに固定する。実際に音を鳴らし，測定をする。聞いた直後の被験者の瞳孔の写真を撮影する。

本実験では,「皿をフォークでひっかく音」と「ピアノの一音」を聞いた時の瞳孔の反応を計測する。この時，カメラと眼球の距離に差が出てしまい，実験結果が正確に計測できなくなるのを防ぐため，各写真上での黒目と瞳孔の大きさを定規で計測し，黒目の直径における瞳孔の直径の長さの割合を，有効数字三桁の小数で表す。この値が大きいほど，黒目における瞳孔が占める面積が大きいということである。

2　結果

結果、佐竹・渡辺（2014)，高橋（2016）と同じように，不快音は波形が不規則で周波数が高かった。対して快音「ピアノの一音」は同じような波形が繰り返され、
周波数も不快音に比べて低いということが分かった。(表 １)



それぞれの音の波形　（表 １ ）

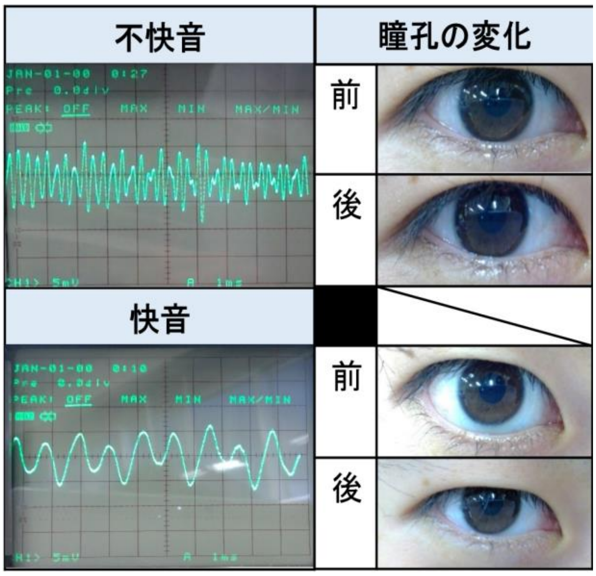
音圧はそれぞれ

皿 ＋ フォーク	発泡スチロール
100.7 dB	103.9 dB
靴の裏 ＋ 床	ピアノの一音
100.9 dB	80.3 dB

それぞれの音の音圧（表 ２ ）

となった。不快音は総じて快音より音圧が高い結果となった。

瞳孔の変化はこのような結果になった。



不快音（フォーク ＋ 皿）と快音（ピアノの一音）を聞く直前と直後の瞳孔の写真と波形（表 3 ）

黒目に対する瞳孔の割合は，

不快音			
前	0.382	後	0.371
快音			
前	0.416	後	0.418

黒目における瞳孔の直線の長さの割合（表 4 ）

となった。不快音は聞いた時は瞳孔が縮み，快音を聞いた時は瞳孔が広がった。

3　考察

表 1 より，今回不快音と定義した音の波形が快音と定義した音の波形より不規則であり，表 2 より不快音は快音より音圧が高いということが読み取れる。このことから，不快音は不規則な波形を持ち，音圧が高いと考える。しかし，本実験では，快音と不快音の種類が少なかったため，一概に不快音の波形が不規則で音圧が高いと断言はできない。音の種類を増やし，本当かどうか確かめたい。

表 4 より不快音を聞いた時に瞳孔は縮んでおり，快音を聞いた時は広がっていることが読み取れる。人間の筋肉は緊張すると縮み，リラックスすると伸びる。このことから，瞳孔は筋肉によって伸び縮みするので，不快音を聞いた時に体は緊張し，快音を聞いた時は体がリラックスしていると考える。

だが瞳孔は目に入る光などの要因で簡単に伸び縮みしてしまうため，正しい実験結果を計測できているとは言えない。光などの要因を最低限にするため，暗い場所で実験を行ったりするなど，工夫をして再実験したい。

4　結論

実験結果から，波形が不規則的であることと音圧が高いことが不快音に共通している。

そして不快音を聞いた際，瞳孔は広がる。

5　はじめに

竹崎・渡辺（2014）と高橋（2016）の先行研究では，一般的に不快な音と言われている「黒板を爪でひっかく音」は普段聞いている音に比べ，波形が不規則で周波数が高いということが分かっている。

Science Portal（2020）によると，英語の L と R を聞き分けた時に，瞳孔に反応がみられることが分かっている。

この二つの研究より，私たちは不快な音は本当に波形が不規則なのかを確かめるとともに，不快音を聞いた時に瞳孔に反応はあるのか気になった。

謝辞

本研究を行うにあたり，柿木先生には，機材の提供と研究を進めるにあたっての助言をいただきました。

参考文献

竹崎弥侑，渡辺都（2014）：黒板をひっかく時に出る寒気がするほどの不快音の研究，平成 26 年度岡山県立玉島高等学校理数科課題研究論文.

高橋将悟（2016）：第七回東京理科大学坊ちゃん科学賞研究論文コンテスト作品集高等学校部門，p123

Science Portal（2020）：英語の L と R の聞き分け能力は瞳孔反応でわかる，科学技術復興機構（JST），公開日：（ 2020.7.17 ）

サイコロの確率

～同じ条件を加えた時にサイコロは$\frac{1}{6}$かどうか～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
石川幹太　金野新平　佐藤倫　三浦昌也

要約
本研究ではサイコロの出る確率が１/６になることを否定するべく、実際に自分たちで作成した装置を用いて検証した。
〈キーワード〉　サイコロの確率　統計　自由落下

１　はじめに

すべての面において同様に確からしいサイコロを企業に依頼して作成してもらい、そのサイコロを同じ条件で落下させる装置で振る.

2011 神戸大学の教授及び学生らによる選考研究では「サイコロの確率は１/６に近くなる。」と結論付られていた。この研究ではサイコロボックスを使っていたため、さらに条件を加えて検証することにした。

＜仮説＞

一定の条件をサイコロに与えて振ることによって、同じ面がでる。

２　研究方法

まず、サイコロの確率を求めるために３つの実験装置を考案した。

①　洗濯バサミ型
②　電磁石型
③　自由落下型

・実験装置の選択

本実験では蝶番を用いて自由落下させることで、視覚的に「同じ落下をしている」と判断できるようにした。　（　図１　）

使用材料

①　実験スタンド
②　手釘　銅線　アロンアルファ　ウレタンマット　電池単３　エナメル線
③　アルミ板　ステンレス板　蝶番

また、①②③は以下の論文で同じ内容とする。

本実験では両側検定を行った。その際に用いた計算式一覧は以下の通り。

サンプル　99 回　102 回　103 回　104 回　103 回　92 回　99 回

母比率の両側検定

帰無仮説：サイコロの確率は１／６である
対立仮設：サイコロの確率は１／６ではない
意水準　0.05
棄却域　$-1.96 \leqq \alpha \leqq 1.96$
計算式

$$x = \frac{z - np}{\sqrt{np[1-p]}}$$

x　統計量
n　試行回数
p　目的の面が出た回数

３　結果

⑴実験装置の決定

研究方法の通り３パターンを本実験に入る前に行った。

①　実験スタンドに付属しているアームを用いて実験を行ったが、先端の一方にゴム状のラバーが付いていたことで同時に離れなかったため、条件を一致させることが出来ないとみなした。

②　回路を正しく作成したが、電圧を上げてもサイコロを挟むことが出来なかったため、本実験には用いることが出来ないとみなした。　図２

③　図１用いて実験を行った結果、図３のように全ての回に置いて同様に落下していたため、この装置は条件を一致させられるとみなした。

⑵　③を用いて本実験を行った結果

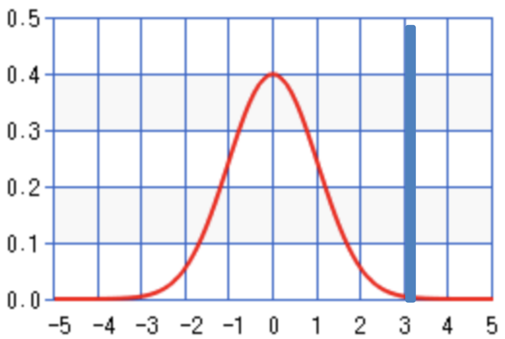
	1	2	3	4	5	6	Sum
1	14	19	17	19	15	15	99
2	12	19	19	19	17	16	102
3	14	18	19	16	19	17	103
4	14	20	20	18	15	17	104
5	12	20	18	21	19	13	103
6	10	18	23	20	17	16	104
7	12	17	20	14	14	15	92
8	14	20	22	13	13	17	99
	103	153	161	144	134	132	827

左端の行はサンプルを採取した順
その隣のマス目は各目のでた回数を示す。

⑵
表　　横マス　サイコロの目
　　　縦マス　試行回数

この結果を用いて両側検定を行うと
　　　　　　1.82
となる。
正規分布図は以下の通り。

以下のグラフは理想的な統計量のグラフに**本実験の統計量を示した**



以上の結果より、統計量は 1.82 で棄却域の範囲内であるから、「有意水準 5%において、対立仮設を棄却し、帰無仮説を採択する」という結果になる。

4　考察

以上の結果から「サイコロの確率は１／６ではない」とこの実験では言えない。また、私たちの研究目的であった「サイコロの確率は１/６ではない」ことの証明はできなかった。

今回目的とした結果が得られなかった原因として、サイコロをふる回数が少なかったことと、落下した後の条件が全て一致していなかったことが考えられる。

サイコロの落下過程が同じかどうか画像を重ねて検証するなどもっと細かく分類して検定を行いたい。

5　結論

本実験においては
「サイコロの一つの面が出る確率は１/６ではない」と言うことができない。。

謝辞

本研究を行うにあたり御指導及び助言、環境を作って下さった柿崎朗先生、宮本次郎先生、柿木項康児先生本当にありがとうございました。

参考文献

原俊雄先生（神戸大学大学院理学研究科物理学専攻）
絹川亨先生（神戸大学大学教育推進機構）
園田英徳先生（神戸大学大学院理学研究科物理学専攻）
竹内康雄先生（神戸大学大学院理学研究科物理学専攻）による神戸大学サイコロ実験

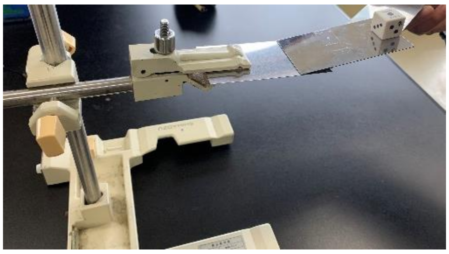


図１　自由落下型
本実験ではこの実験装置を採用した。

図２　電磁石型
写真からわかるように完全に挟めていないことが明らか。

東北本線時刻表　改正案

～より良いダイヤのために～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
笹野康生　相馬優希　藤野柊那　石川七海　小野寺風佳　佐藤祝佳

要約

私たちは、普段電車を利用するにあたって、「電車に間に合わない」「本数が少ない」など、時刻表が不便だと感じた。自分たちでアンケートやインタビューを行って現状を把握し東北本線一ノ関～花巻間の時刻表の改正案を考えた。結果、バスや新幹線との連携などがうまくいかず、改正案の時刻表が施行できないことが分かった。

〈キーワード〉　　東北本線時刻表

１　はじめに

私たちは、普段電車を利用するにあたって、「電車の時間に間に合わない」「本数が少ない」など、現在の時刻表に不便を感じた。そのため、時刻の訂正や車両の増減によって不便さの解消になるのではないかという仮説を立て、よりよい電車利用のための時刻表を改善するという目標のもと、研究を進めた。

２　研究方法

① 現在の時刻表について周りはどのように思っているかアンケートで調査分析を行う。
② JR 東日本一ノ関駅にインタビューを行い、現在の時刻表について詳しく理解する。
③ ①②を基にして時刻表の作成条件を設定し、実施に作成する。
④ 時刻表を作成してみる。

３　結果

本校の２年生(２１３人)にアンケートを実施した。

◎アンケート内容
Q1.あなたは何を利用して登下校していますか？
Q2.電車を利用している人は現在の時刻表に不満がありますか？
Q3.何かの機会に電車を利用したことがありますか？
Q4.電車を利用した際､時刻表に不満がありましたか？
Q5.現在の時刻表に意見がありますか。

	あり	なし
電車通学	78(37%)	135(63%)
不満	58(74%)	20(26%)

アンケート結果

結果、上の表の通りになった。意見としては
・電車の本数を増やしてほしい
・車両数を増やしてほしい
・電車の発車時間を少し遅くしてほしい
があった。

次に JR 東日本一ノ関駅に時刻表に付いてのインタビューを行った。

◎インタビュー内容
1.誰がダイヤを考えていて、どのような意図で今のダイヤにしているのか？
→JR 東日本には輸送計画を行う部署があり、ご利用状況や輸送計画上の制約より、現在のダイヤになっている。
2.一日に走らせることのできる本数は決まっているのか。また、現在電車の本数は増やせるのか？
→一日に走らせることのできる本数は決まっている。また、物理的に増やすことは可能。
3.乗車率が高い時間帯はいつなのか？
→通勤・通学時間帯になっている。

アンケートや時刻表を基に私たちは時刻表

の作成条件を決め、東北本線(一ノ関～花巻間)の仮時刻表を作成した。

時刻表作成条件

1. 電車の本数は変更しない
2. 時間の改正は最大 20 分
3. 不満が多い時間帯を中心に改正する
4. 変更の意図を明確にする
5. 一関一高に限る

時刻表変更点

変更前	変更後	変更理由
12 時 28 分	12 時 45 分	午前授業の時間帯に合わせるため
16 時 28 分	16 時 35 分	部活がない生徒が間に合うようにするため
18 時 39 分	18 時 25 分	17 時電に乗れない部活があり帰りを早めるため

4 考察

調査の結果を基に、私たちが利用しやすい仮の時刻表を作ったがいくつか問題点が上がった。JR 職員へのアンケートで、現在の利用者数では十分な本数でありこれ以上本数を増やすことが不可能だったというのが事実だという結果より、元の本数を変えることができなく、あまり理想に届かなかったこと。今回の研究をする際に交通機関との時間を考慮できず、東北本線のみに焦点を当ててしまったため作った時刻表は使用することができないことが考えられた。また前後の発車時刻との適当な間隔を確保するため２０分以上の間隔を開けることができなかった。

研究発表会の質疑応答の場で今後どのような研究をしていくのかという質問を受けた。今回作成した時刻表は自分たちだけで考えたので次回作成する時刻表は他の交通機関とうまく連携が取れて、一関一校に限らず一関市内の他校や東北本線を利用する社会人が利用しやすい時刻表を作成したいと考えている。

そして作成した時刻表を私たちだけでなく本校の生徒に提示しより良い時刻表を作成したい。

5 結論

理想通りとは言えず、作成した時刻表で実際に運行することはできないが、決まったルールで様々なデータやアンケートからある程度、私たち関高生が使用しやすいものに改正することができた。

謝辞

本研究を行うにあたり、アドバイスをしてくださった本校の先生方、アンケートやインタビューにご協力いただいた JR 東日本一ノ関駅の皆さま、一関一高２学年生の方々のおかげで研究をスムーズに進めることができました。ありがとうございました。

お湯 VS 氷水

～ペルチェ素子から電気を生み出す～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
小野寺裕己 伊東七海　岩渕巧実　佐々木琉花

要約

私たちは,ペルチェ素子のゼーベック効果を利用して,発電量を測定した。氷（0℃）と熱湯（80℃）の間にペルチェ素子を挟み,８Ωに設定した可変抵抗器を用いて電気量を測定したところ,最大 0.20W の発電に成功した。

〈キーワード〉　　ペルチェ素子　温度差　発電

１　はじめに

ペルチェ素子はゼーベック効果を利用して発電を行うデバイスである。地球温暖化が問題視されている今日,再生可能エネルギーに注目が集まっている。私たちは,ペルチェ素子を用いて発電することが再生可能エネルギーの普及につながると考え,調べることにした。

関一・金野ら（2017）の研究では，空気でペルチェ素子を冷却していたため,発電持続時間が短いという問題があった。そのため,私たちは氷を用いてペルチェ素子を冷却することで,外気温による冷却よりも安定して発電することが可能になるのではないかと考えた。

本研究の目的はペルチェ素子による発電の持続時間を向上させることである。

２　研究方法

金野ら（2017）からペルチェ素子を使って電気を生み出すには加熱面と冷却面の温度差が重要であることが分かった。それらのことから発電装置を作り,温度差変化と時間経過による発電量の変化を調べた。

（１）材料

- ペルチェ素子
- 可変抵抗器（８Ωに設定）
- 電圧計
- 電流計
- ポット
- ステンレス製容器
- 氷
- 熱湯
- 食塩

（２）温度差変化の実験手順

① 熱湯と氷水をそれぞれステンレス製容器に入れる。
② 2 つの容器の間にペルチェ素子を挟む。(図 1 を参考)
③ 熱湯の温度を計測する。
④ 熱湯に冷水を加え,温度を 5℃ずつ下げる。
⑤ 40～80℃までの電流と電圧を測定する。
⑥ 得られたデータから電気量を求める。

（３）時間経過の実験手順

① 熱湯と氷水(＋食塩)をそれぞれステンレス製容器に入れる。
② （２)②と同様。
③ 30 秒ごとに電流計と電圧計を測定する。
④ （２)⑥と同様。

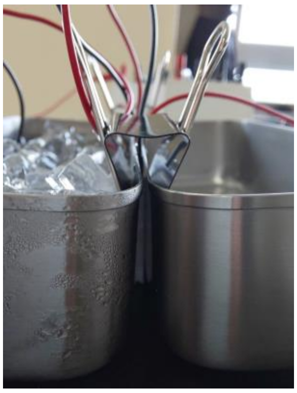


図１　ペルチェ素子による発電装置

３　結果

図 2 に,温度差と電気量に関係を示す。40～80℃の温度差範囲において,温度差と電気量は比例の関係と見なしてよい。

図 3 に,時間経過に伴う電気量の変化を示す。熱湯及び氷水の容器に挟み込んだ瞬間に,最大で 0.20W の電気量が測定された。時間経過によってお湯が冷め,氷との温度差が縮小し,同時に発電量も減少した。食塩を加えることによって温度差が大きくなることを期待して追加実験を行ったが,測定開始時のお湯の方の温度が低くなってしまったため,氷水のみの方が電気量の大きくなった。

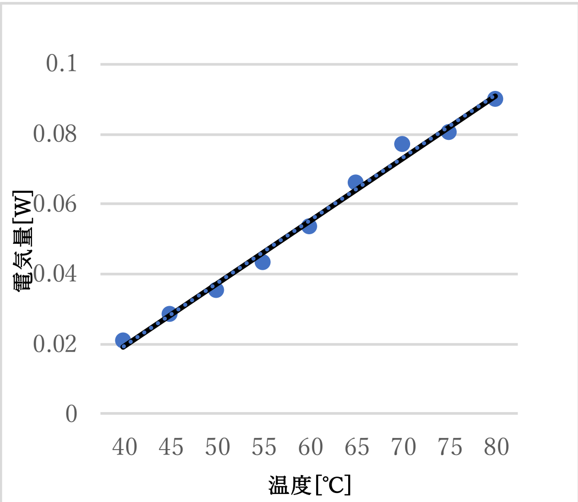


図２　温度差と電気量の関係

この温度の範囲においては生じる電気量は比例の関係にあると見なしてよい。

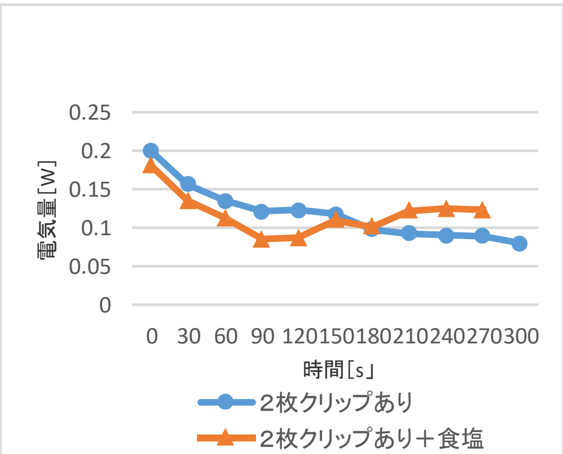


図３　時間経過に伴う電気量の変化

４　考察

図 3 より時間経過とともに温度差が縮小し,発電量が減少したが,氷水のみの場合には測定開始から 300 秒後も発電を続けた。食塩を加えた際に発電量が測定の途中から上昇し,正確な原因は分からなかったが,これらはペルチェ素子と容器の冷却,加熱する面がずれたと推測される。そこで,改良版実験装置を考えた。まず,二つの容器を銅などの熱伝導性の高いものにする。次に,実験装置全体を発泡スチロールなどの断熱材で覆い,食塩の入れるタイミングに注意する。さらに,電気量を増やすためにペルチェ素子の枚数を増やす。それらの結果を正確にするために,試行回数を重ねる。

５　結論

氷水を用いたことにより,本研究の目的である発電継続時間は延びた。

謝辞

本研究を行うにあたり，君成田隆房先生から丁寧かつ丁寧なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

金野隆充，佐々木喜啓，織田侑樹，及川天地，佐藤辰哉（2017）：炊き出し発電！？~温度差を利用し電力を生み出せ~，平成 29 年度岩手県立一関第一高等学校理数科課題研究

リアルマリオカート

～バナナは本当に滑るのか～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
菊池飛翔　小原翼　菊池蓮　熊谷翔斗　菅原健治　菅原竣　小野寺佑香

要約

本研究の目的は、バナナの皮が本当に滑るのかを調べることである。まず、方法は、バナナの皮の静止摩擦係数を測り比べ、また、ラジコンを使って滑るかどうかを調べた。その結果として、バナナよりもネギの方が滑ることが分かった。そして、ラジコンにはバナナの皮による影響はなかった。

＜キーワード＞　静止摩擦係数、バナナ、ネギ

１　はじめに

私たちは、ギャグ漫画やアニメ、コメディ映画でお約束のアクシデント、「バナナの皮で滑って転ぶ」。また「マリオカートのバナナの皮のアイテム」。それらのようにバナナの皮は本当に滑るのか疑問に思いこの研究を行うことにした。

２　研究方法

・研究材料

バナナ、リンゴ、ネギ、ラジコン、サランラップ、おもり、ばねばかり

・研究方法

（1）静止摩擦力を調べる

①床にサランラップのみを敷いた状態でおもりを置き、ばねばかりで引き静止摩擦係数を３回調べ平均をとる。

②バナナの皮の粘液成分、ネギの液体、リンゴの皮の汁をサランラップの上に満遍なく薄く塗り①と同じく静止摩擦係数を３回ずつ調べ平均をとる。

（2）ラジコンで滑るかを調べる

①サランラップのみを敷いた床の上をラジコンを走らせ印をつけたところでブレーキをかける。

②バナナの皮の粘液成分を満遍なく薄く塗り、印でブレーキをかけて止まった場所までの長さを比べる。

３　結果

サランラップのみ、リンゴ、バナナ、ネギの静止摩擦係数を調べたところ、サランラップのみの場合、力 140 の時静止摩擦係数 0.054、リンゴは、力 130 の時静止摩擦係数 0.050、バナナは、力 121 の時静止摩擦係数 0,048、ネギは、力 76 の時静止摩擦係数 0.029 という結果になった。

資材	力	静止摩擦係数
サランラップのみ	１４０	０．０５４
リンゴ	１３０	０．０５０
バナナ	１２１	０．０４８
ネギ	７６	０．０２９

・ラジコンを走らせた結果は少量の差しか起きなかったことからバナナの粘液成分を塗っても変化が起きないことが分かった

４　考察

リンゴやバナナの果汁では、静止摩擦力に大きな変化は見られなかった。反対に、ネギの粘液では静止摩擦力が明らかに小さくなった。しかし、実験の試行回数自体がまだ少ないことや、実験に使ったラジコンが非常に軽かったことから、誤差が大きくなってしまった可能性も考えられるため、引き続き実験していきたいと考える。

５　結論

今回の研究では、時間が足りない中で行ったがバナナの研究で分かったことは、バナナよりもネギの方が滑りやすいということが分かった。また、実際にはバナナの粘液成分では、ラジコンではあったが滑るには静止摩擦係数が足りないことが分かった。

謝辞

本研究を行うにあたり，大竹信之先生、佐藤功司先生､柿木康児先生 私たちの研究に携わってくださりありがとうございました。

参考研究

バナナの皮の科学　北里大学医療衛星学部医療工業化教授　馬渕　清資

バスケットボールがボードに跳ね返ってゴールする条件

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
三浦詢貴　鈴木柚那　高橋紬　松本慶

要約

バスケットボールが，ボードにはね返りゴールする条件について，映像を分析し，シュートを打つ際の角度と初速度，ゴールでの角度と速度について調べた。その結果，打つ際の角度が 66.8°，初速度は 9.54m/s。ゴールでの角度では 70.8°，速度は 4.78m/s になることが分かった。

〈キーワード〉　反射　反発係数　初速度　角度

１　はじめに

バスケットボールをシュートしたときに，ゴールに直接入るための一番入りやすい角度が 45° になることが報告されている (Gigzine,2016)。バスケットボールがボードに当たって跳ね返った場合に,ゴールに入る角度について知りたいと考え,バスケットボールがボードで跳ね返ってゴールに入る角度(ゴールリングとボールの速度の向き斗のなす角)が 45° になるという仮説を立てて調べた。

２　研究方法

ボードの接地面の高さを計測するためにボードの横に計測用紙を張る(図 1)。4 人にシュートを打ってもらい，その時の打点の位置と初速度，シュートが入るまでの時間を計測する。このときのボールに生じる空気抵抗は無視する。バスケットボールの空間位置の時間変化から反発係数を求める。

＜関係式＞

$$v_0 \cos\theta = \frac{x}{t}$$

$$v_0 \sin\theta = \left(\frac{y+gt^2}{2}\right)$$

$$v_0 = \sqrt{\left(\frac{x}{t}\right)^2 + \left(\frac{y+\frac{1}{2}yt}{t}\right)^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y+\frac{1}{2}gt^2}{x}\right)$$

$$\tan\theta = \frac{v_0 \sin\theta}{v_0 \cos\theta} = \left(\frac{y+\frac{1}{2}gt^2}{x}\right)$$

数研出版より反発係数の式は

$$e = \sqrt{\frac{h'}{h}}$$

得られたデータと以上の関係式から、反発係数は 0.66，初速度 v_0と仰角 θ，ボードで跳ね返った後にゴールに入る角度 θ' とそのときの速度 v' を計算して求める。ボールは 7 号球（直径 24.5 ㎝)を使用する。

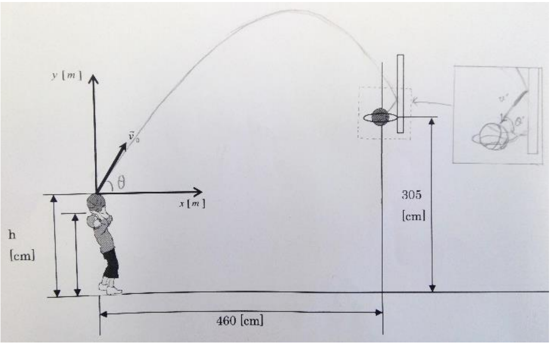


図１　シュートした位置とゴールの位置

３　結果

ボールを打つ時の仰角が大きいほどボードとボールの間のなす角が小さくなり、ボードに反射した後に反発係数によって水平方向の速度が小さくなりゴールに入りやすくなることが分かった。

表２　得られた角度と速度の関係

	平均	ボードで跳ね返って入った場合	リングに当たって入った場合
v_0(m/s)	9.48	9.54	9.50
θ(deg)	62.1	66.8	58.6
v'(m/s)	5.62	6.30	6.27
θ'(deg)	56.2	70.8	62.7

４　考察

仮説ではボードに衝突した後のボールの速度の向きとゴールリングとのなす角は 45°という仮説だったが、実際は入る角度は 45°よりも大きく,入る角度の平均は 56.2° という結果になった。このことから,私達が立てた仮説を立証するためには,今回の実験の方法を改善していく必要があると考えた。実験では,何人かの人に協力してもらったが,抽出対象の各々の身体能力,身長,打点の位置などをデータとして正確に揃えることが出来なかったことで,角度が変化する要因として考えられる初速度,仰角,打点の位置を上手くデータを抽出することが出来なかった。そのため,今後はパチンコなどの固定発射台のような機械を用いてボールを放つ際の角度や高さの条件を揃えて,そこから求められる速度を,設定した角度と高さに合わせて区分化し,今回の実験で立証できなかった仮説をもっと正確なデータとして示すことができるようにしたい。

５　結論

今回の実験では，45° で入るための条件をある人のデータを用いて求めた時，$ev_0 \cos\theta = v_y$の式から，45° で入るための初速度 v_0は 49.6 になり，

$$v_0 \sin\theta = \left(\frac{y + gt^2}{2}\right)$$

上の式と三角比の表より，そのときの仰角 θ は 10° になった。実験では，実際の初速度 v_0の平均は 9.48，仰角 θ の平均は 62.1 だったことから，45° で入るためには，水平方向により強い初速度を与えなければいけないことが分かった。加えて,バスケットボールがボードに反射してゴールに入るという条件を満たしているシュートが非常に少なかった。そのため,データの比較もしにくかった。このことを踏まえても,実験をするにあたって機械的なものにする必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導いただいた柿木康児先生には厚く御礼申し上げます。

参考文献

Gigazine(2016):バスケットボールの理想的なシュート条件は解明済み NBA や強豪大学では理想的なシュートマシン「Noah」が導入されている。
http://gigazine.net/news/20160609-noah-basketball-machine/(2016 年 6 月 19 日)(2020 年 12 月 8 日閲覧)
数研出版　國友正和(2017)

暗記力を高めよう！

～色の有効活用について～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
石川 凜　遠藤 春音　菊池 凌　髙橋 実優　林 美咲

要約

私達は，色彩と暗記力に関係があるのかに興味をもった。先行研究によると，青は暗記に良いとされている。今回私達は，この先行研究をもとにテストとアンケートを行った。その結果，青がずば抜けて良いわけではなく，先行研究とは異なる黒や赤のほうが良い結果になった。このことは，データの数が異なったことやデータが少なすぎたことが背景にあるのではないかと思った。

〈キーワード〉　色彩　暗記　学力

１　はじめに

私達は，以前から青ペンが暗記に効果的をいうことを知っていた。このことから今回，以下の研究を行うことにした。また，この研究を行った理由としては県内有数の進学校である本校でも，同様の結果が見られるかを調査したいと思ったためである。

今回の研究は，本校附中生および高校生の学力向上に役に立つのではないかと思った。

この研究が正しいのかどうかを確かめるため以下の方法で研究を進める。

２　研究方法

①　テスト

中高生を研究対象とし，漢字と英単語のテストを行った。

②　アンケート

個人的に覚えやすいと感じた色と理由を聞いた。

この実験から，漢字，英単語のテストの平均点数とアンケートによる結果が得られた。

また，漢字と英単語のテストで受けている人数が異なるため，平均で結果を出した。

３　結果

表１　テストの平均点数（15 点満点）

	漢字	英単語
黒	8.5	9.0
赤	8.2	11.0
青	8.0	11.0

表２　アンケート結果
「個人的に覚えやすい色は」

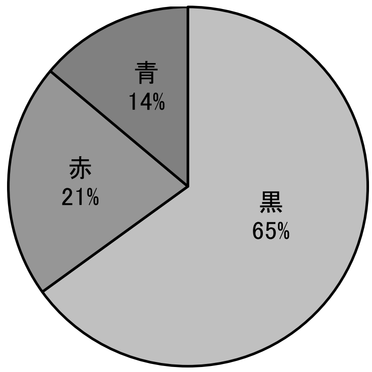


表１のテストの平均点数の結果によると，漢字では黒の点数が最も良く 8.5 点，次に赤の 8.2 点となっている。また，英単語では，赤と青が同率で 11.0 点という結果になっている。

しかし，表２のアンケートによると，黒が65％を占めていて，その理由として，覚えやすい気がしたという回答があった。その次に赤で 21％だ。また，その理由として，間違いを指摘されている気がしたという回答があった。

４　考察

仮説では，青ペンが暗記に効果的としていたが，今回の結果から，色による得点の差はほとんどなかった。これによって，色による暗記力の向上は見られなかったことがわかる。

今後の課題としては，まずテストを受ける人数が異なっていたこと，及び，データの数が少なかったことが挙げられる。これらの課題を解決するには,研究対象者の数を増やし，より正確なデータを増やすべきではないかを思う。

５　結論

今回の研究では，先行研究にあった「暗記には青色が最適」という結果が残念ながら得ることができなかった。しかし，今回の結果から，普段慣れている黒色を好む人が多いことがわかった。このことは，中学生並びに高校生のシャープペンシルの使用が招いていると思われる。このことを生かした，学習方法を今後考えていきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導いただきました，髙橋真菜先生，アンケートやテストにご協力くださいました，一関第一高等学校附属中学校,職員の皆様に,お礼申し上げます。

参考文献

『青ペンの暗記効果がすごい！　青ペン書きなぐり勉強法のやり方』

https://anki-study.com/using-blue-pen-for-memorization

家庭で作れる石鹸の洗浄力の評価

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
加藤木花奈　佐藤帆乃香　千葉光起　千葉はるか　藤森智也　松谷知歩

要約

私たちは、身近な材料と簡単な方法で洗浄力の高い石鹸をつくることを試みた。なたね油、オリーブ油、ごま油を材料として作った石鹸の洗浄効果を確かめたところ、ごま油で作った石鹸において高い洗浄効果が見られた。

〈キーワード〉　　石鹸　油　洗浄効果

１　はじめに

2020 年は日本だけでなく全世界で新型コロナウイルスが広まった。そんな中、感染予防として手洗いが推奨されている。そこで私たちは手洗いの際に使う石鹸に着目し、石鹸にはどのくらい菌や汚れを落とす能力があるか気になった。そして、より洗浄力の高い石鹸を作りたいと考えた。

２　実験

石鹸は油脂と水酸化ナトリウムから図１に示す反応式で作ることができる。文献から、廃油を使って家庭でも石鹸を作れることが分かったため、次の実験を行った。

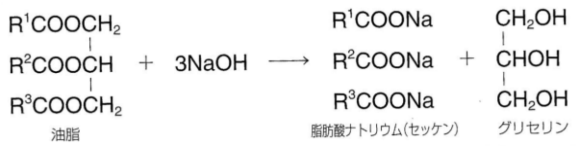


図１　石鹸の反応式

⑴ 材料

- ・水酸化ナトリウム　　・水
- ・なたね油　　　　　　・オリーブ油
- ・ごま油　　　　　　　・ペットボトル
- ・電子天秤　　　　　　・布（5×5 ㎝）
- ・ソース　　　　　　　・醤油
- ・恒温振とう機　　　　・沸騰石

⑵ 石鹸の作り方

①ペットボトルに水 25ｇ、水酸化ナトリウム 15ｇを入れる。
②①のふたを閉めて人肌程度になるまで冷ましながら混ぜる。
③②に油を入れ、ふたを閉めてビニール袋に入れて縛る。
④とろみがつくまで 2～30 分振る。
⑤1～2 週間放置して固まったら完成。

(3)洗浄効果の調べ方

①布にソース、醤油をそれぞれスプーン一杯分を染み込ませ、１週間放置する。
②①と水 20 ㎖、石鹸１ｇ、沸騰石３粒を容器に入れる。
③恒温振とう機に②をセットし、25℃で 480 回（160 回/分×３分）振る。
④②の容器から石鹸水を取り出し、真水 20㎖ を入れ③を再度行う。
⑤容器から布を取り出し乾燥させ、汚れの落ち具合を調べる。

３　結果

表１と表２にソース汚れと醤油汚れの洗浄効果の比較を示す。目視で比較したところ、ソース、醤油ともにごま油で作った石鹸が一番汚れが落ちる事が分かった。

４　考察と今後の課題

表３に油脂を構成する脂肪酸の割合を示す。ごま油にはリノール酸が 41.3ｇ、オレイン酸が 41.7ｇと 3 つの油の中で最も多く含まれており、どちらも二重結合を多く持っていることが分かった。ごま油から作った石鹸の洗浄力が高かったことから、オレイン酸やリノール酸由来の石鹸の洗浄効果が高いと考えられる。

今後の課題として、二重結合を多く持っているとなぜ洗浄力が上がるのかということが挙げられる。また、今回の洗浄効果は目視で比較したため、次は RGB 法などを用いてさらに正確に比較したい。加えて、ウイルスや菌の除去にはどの石鹸が効率的なの

か調べたい。

５　結論

今回は、なたね油、オリーブ油、ごま油、廃油の 4 種類で石鹸を作ったところ、全ての油において石鹸を作ることに成功した。また、ソースと醤油を使い、汚れの落ち具合を調べたところ、ごま油で作った石鹸が一番効果的であることが分かった。

６　謝辞

本研究を行うにあたり，君成田隆房先生、千田哲幸先生から丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

７　参考文献

ペットボトルで簡単！廃油石鹸の作り方。
http://setuyaku.hatenablog.com/entry/2014/10/02/143656

表１　石鹸の洗浄効果の比較（ソース汚れ）

	洗浄前	洗浄後
水のみ		
なたね油（廃油）		
なたね油		
オリーブ油		
ごま油		

表２　石鹸の洗浄効果の比較（醤油汚れ）

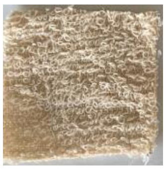
	洗浄前	洗浄後
水のみ		
なたね油（廃油）		
なたね油		
オリーブ油		
ごま油		

表３　油脂を構成する脂肪酸と含有率(%)

	なたね油	オリーブ油	ごま油
ステアリン酸以外の飽和脂肪酸	13.8 g	7.4 g	14.2 g
ステアリン酸	2.0 g	2.1 g	4.8 g
オレイン酸	10.5 g	28.1 g	41.7 g
リノール酸	9.8 g	19.0 g	41.3 g

ラーメンと暮らせば

～身近な食材による減塩効果を探る～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
鈴木晶　小山爽　鈴木巴菜　千葉愛佳

要約

私たちは、日本人が好んで食べるラーメンのスープを減塩し，脳卒中死亡率の低下を目指すという目的で，スープに様々な食材を入れて減塩を試みた。その結果，身近な食材である切干大根，高野豆腐を入れたときに塩分濃度を減らすことができた。

〈キーワード〉　ラーメン　減塩　脳卒中

１　はじめに

岩手県では脳卒中死亡率が全国で１位であり、その原因として塩分の摂りすぎが挙げられる。私たちは、日本人が好んで食べるラーメンのスープの塩分を減らすことができれば、健康寿命が向上すると考えた。

参考文献から、細かい穴の空いた構造になっている性質をもつ多孔質食品はイオンを吸収しやすいことが分かった。また、海藻は栄養塩が多いほど大きく育つことがわかった。これらのことから、多孔質食品や海藻をラーメンのスープの塩分に入れることで、塩分濃度を減らすことができるのではないかと考えた。

２　研究方法

①ラーメンスープ（東洋水産株式会社・マルちゃん正麺　醤油味）と濃度 2%の食塩水を調整する。ラーメンスープはパッケージの要領を使って調整する。
②ラーメンスープと食塩水をそれぞれ３つのビーカーに 80mL ずつはかり取る。
③各ビーカーにわかめ、切干大根、高野豆腐を 3g ずつ電子天秤で量って入れる。
④各ビーカーの０分、１５分、３０分の塩分濃度計る。

３　結果

私たちは､｢多孔質食品や海藻が塩分濃度を減少させる働きを持つ」という仮説を確かめるために、食塩水の塩分濃度変化について調べた。その結果を図１に示す。切干大根と高野豆腐では時間の経過とともに塩分濃度の減少が見られた一方、わかめでは逆に塩分濃度が上昇した。

図２に、ラーメンスープの塩分濃度変化を示す。食塩水のときと同様、切干大根と高野豆腐では塩分濃度が減少することがわかった。

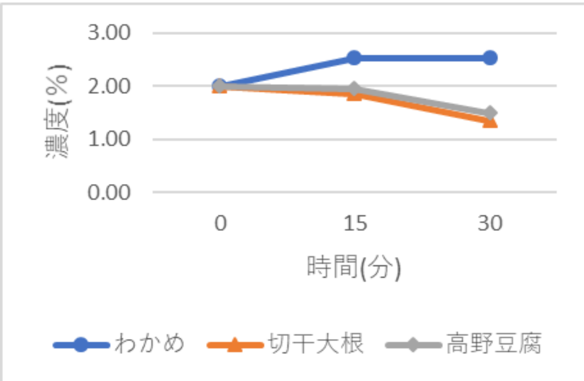


図 1．食塩水の塩分濃度変化

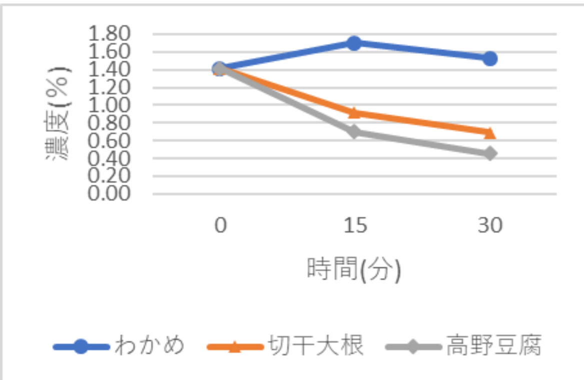


図 2．ラーメンスープの塩分濃度変化

４　考察

切干大根と高野豆腐の共通点として乾燥させた多孔質食品という点が挙げられるが，今回の研究ではそれが塩分の吸収にどのように関係したかはわからなかった。そのため，今後は顕微鏡を用いて断面を観察するなどして詳しいメカニズムを知りたい。

５　結論

切干大根と高野豆腐によって、ラーメンスープの塩分濃度を減らすことができた。

謝辞

本研究を行うにあたり，協力していただいた君成田隆房先生、千田哲幸先生に、深くお礼申し上げます。

参考文献

食品の物性－3－多孔質食品の物性
http://id.ndl.so.jp/bib/000000018560
水辺の学習塾｜海の生態系を支える河川システム研究会
http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00037/k00290/river-hp/kasen/study/umi/umi04-3.html

自己催眠によって自己肯定力を高めよう

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
伊藤大吾　菊池幹大　互野千暖　小野寺紗彩　及川結菜

要約

私たちは、自己催眠の実際の効力に興味を持った。自分たちでインターネットから催眠について過去の心理学者達がどのような研究をしているか調べ、学校スクールカウンセラーの沖田先生に様々なことをインタビューした。その結果、自律訓練法や催眠・自己催眠は実際に効果はあるが、「自分自身を信頼すること」、「催眠の基本をしっかりと理解し正しく行使すること」が守れないと安全とは言えず、効果が出ないことが分かった。そこで、自律訓練法などの正しい実践方法をまとめ高校生に伝えることを目的とし研究を進めていきたいと思う。

〈キーワード〉　　自己催眠　自律訓練法　瞑想　精神コントロール

１　はじめに

現在、スポーツ界で主にパフォーマンスを向上させ、学生の勉強効率を高めるため安定したメンタルコントロールが問題になっている。多くのスポーツ選手や学生が試合前などの時間に各々独自の方法を用いてメンタルコントロールを行っていることを耳にした。また、門前進氏の論文に代表されるようにこれまでに催眠、自己催眠について数々の研究が行われてきた。

そこで私たちは自己催眠と、自律訓練法に焦点をあてて研究を進めていこうと思う。

２　研究方法

インターネットで心理学と自律訓練について調べていくうちに私たち高校生には自己催眠の実験を行うことは不可能であることが分かった。そこで、いくつかの疑問点や質問したい内容をまとめて学校スクールカウンセラーの沖田先生に聞いてみた。このとき、自己催眠の危険性についても明確にさせた。そのほかにも自分たちで過去の心理学者の研究を調べてみた。

・質問内容

（１）　自己催眠によって実際にパフォーマンスは上がるのか。

（２）　実際に効果的な精神コントロールの方法はあるのか、また沖田先生の知っている方法を教えて下さい。

（３）　自律訓練法とは何か。

（４）　瞑想とは自己催眠の一部に入るのか、またその効果について。

（５）　精神コントロールに必要な事は何か。

３　結果

（１）実際にパフォーマンスの向上が期待できる効果がある。しかし自己催眠とは短期的な暗示による効果のため真面目にコツコツと努力するほうが合理的であるようだ。また、「自分自身を信頼すること」、「催眠の基本をしっかりと理解すること」の二つが守れないと安全とは言えない。

（２）・ポジティブな独り言を言う。

→ネガティブな発言はパフォーマンスの低下につながる、しかし訓練すればネガティブ思考をポジティブ思考に変える方法を習得できる。

・目標宣言する

→有名なテニスプレイヤーのセリーナ・ウィリアムズは力強いメッセージを書いた紙をコートのあらゆるところに貼っていたと書いている。セリーナ自身もそうしたメッセージがずっと心に焼き付いていたし、自分が成功したのもこのメッセージのおかげだと述べている。またこの目標を書くときはできるだけシンプルに、視覚化することが何よりも大事である。

（３）自律訓練法とは、「催眠によってもたらされるすべての状態を得ることができるような、生理的な合理的訓練法であり、心身の全般的な変容をもたらすものである」と心理学者のシュルツ（1884−1970 独）は述べている。

また自律訓練法は単にリラックスのため方法ではなく、意図的に心身の状態を変換できるようになる、自己の心身の状態を理解できるようになる、などの心身の自己管理につながっていく。

（４）バスケットで知られるマイケルジョーダンやコービーブライアントのような選手は大切な試合の前には瞑想で心を静めていたという。自分の呼吸に完全に集中することで、周囲のあらゆるものから自分自身を切り離し、心を「リセット」して神経を静めることが大切である。

（５）（２）の内容と一部重複するが、視覚化した目標を毎日呪文のように唱えること、唱えるタイミングは起床時か睡眠前が最適で唱えるときはまっすぐ立ち上がり頭を高くあげてリラックスする、自分が唱えていることは必ずできると信じることが大切である。

４　考察

これまでの調査とインタビューを通して私たちは自己催眠や自律訓練法は自己の潜在的意識を一時的に引き出すための手段であり自己の能力に間接的に影響を与えるようなものではないかと考える。潜在意識を引き出しその力を今後自分の能力として自由に扱えるようになることが大事なことではないかとも考える。

５　結論

（2）（4）（5）のように誰にでもできるような方法精神コントロールで自己に影響を与えている事例より自己催眠とよばれるものは案外簡単に行えることが判明した。自己催眠によって自己に影響をあたえることは容易であるかもしれないが行うときは事前の催眠の知識や注意点を守ることが大事である。私たちは研究をすすめるにあたり事前の知識が足りなかったため自分たちで検証することができなかった。これが少し心残りではあるが今後研究した内容を実践する機会を日常生活で設定し、そこで実践してみたいと思う。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導いただきました本校教員の金田先生、多田先生、本校スクールカウンセラーの沖田先生、そのほかに協力していただいた方々に、お礼申し上げます。

参考文献

アスリートが実践する精神と肉体を連動させる方法－「自己催眠をかける」－
（2015、02，17　Igor Tomic　訳・春野ユリ）
筑波大学人間　杉江征教授
自律訓練法入門（Autogenic Training）
吉田かずお
自律訓練法～セルフメンタル、コントロールメソッド（バンローリング 2018/02/01）

Make electricity with Food

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
北村栄大　甘利修良　清野祥　工藤颯真　須藤綺竜

要約

私達は、ジャガイモと二種類の金属板を使って発電を試みた。ジャガイモの個数を増やすことで電力が大きくなることがわかった。これにより災害時の電力確保が期待できる。

＜キーワード＞ジャガイモの個数、リン酸

１　はじめに

私達は災害時に電気が止まった際、身近にあり、保存がきくもので発電できれば、電力確保ができると考えた。そこで私達はジャガイモを用いて、スマートフォンの充電ができる程度の電気を生み出すことを目標に研究を行った。

先行研究ではジャガイモ、ワニロクリップ、銅板、亜鉛板、LED, カッターを使って発電することが示されている。

ジャガイモの利点として、世界中どこども入手可能、数ヶ月の貯蔵可能、墓の食物よりもリン酸に富んでいるという３点がある。リン酸との化学反応で電流が発生することから、ジャガイモの個数をかえることによって、電力を多く得ることができると考えた。

２　研究方法

(1) 使用器具と材料

- ジャガイモ
- 電極（銅板、亜鉛板）
- 電圧計
- 導線
- ガスコンロ
- アルミ皿

(2) 手順

①ジャガイモを皮がついたまま茹でた。
②茹でたジャガイモに銅板と亜鉛板を平行に差し込み、ジャガイモ電池を作った。
③ジャガイモ電池を直列つなぎでつないだ。
④電圧と電流を測定した。
⑤豆電球、発光ダイオードにつなぎ、点灯するか調べた。
⑥個数を変えて①～⑤までの手順を繰り返した。

３　結果

１個ごとに発生した電圧と発光ダイオードの点灯を調べたところ、つないだジャガイモの数が２個目の時に発光ダイオードが弱く点灯した。２個目以降は同様に発光ダイオードが点灯したが、２個目の時よりも強く、安定していた。また個数に応じて測定された電圧の量は増加したが、電流の値に変化はあまり見られなかった。さらにジャガイモ１個あたりの電圧の平均増加量は 0.875Ｖであった。図１および２はジャガイモの個数に応じた電圧、電流の変化量を示したものである。

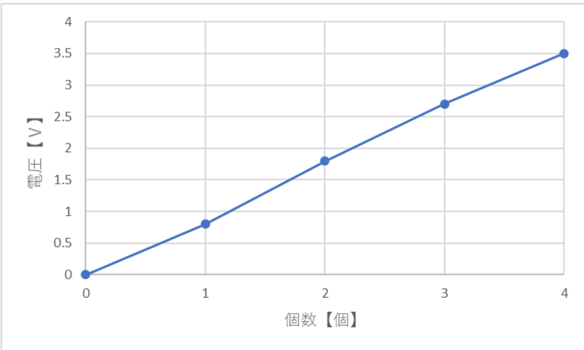


図１　ジャガイモの個数と電圧の関係

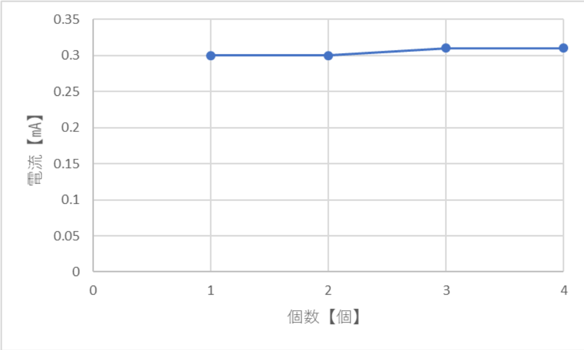


図２　ジャガイモの個数と電流の関係

４　考察

個数と電圧は比例の関係にある。スマートフォンを充電するためには５V の電圧が必要であるため、スマートフォンを充電するにはジャガイモは最低６個必要だと考える。今後は、ジャガイモに含まれる電解質とジャガイモの個数が電圧にどのような影響をあたえるか調べる。また、ジャガイモ以外の食べ物でも同様の実験を行って発電力を調べる。

５　結論

身近にあるもので、リン酸に富んでいる食物であれば個数を変えることによってスマートフォンを持続的に充電できるほどの電力を確保することができる。リン酸以外にも電力を生み出す成分があると考えられるので、ほかの食物の成分を調べ、ジャガイモと同様の実験を行い、災害時に電力確保が見込める食物の可能性を広げていけると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり，君成田先生、千田先生をはじめ研究に携わっていただいたすべての方々に感謝申し上げます。

参考文献

【ScienceAtHome】じゃがいもや人間で電池を作ってみよう！　WWW. Igarashimiki.com

」

YouTube って社会に貢献しているの？

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
岩渕貴章　小野菜々美　小野寺一翔　鎌田春杜　熊谷浩平　佐藤希和

要約

ここ数年で YouTube というメディアが世間に広く浸透した。加えて、YouTuber という職業も社会では一目置かれ､最近はテレビ番組の出演や企業案件の CM などでも目にするようになった。そこで私たちは、YouTube に注目し私たちが考えた独自の観点から、一関市とのかかわりとも関連付けながら、YouTube が私たちの身の周りでどのように影響を与えているかについて考えた。班内で「YouTube がもたらす影響」について話し合ったところ､「ボランティアや募金活動といった社会貢献活動のサポートなることができる」と意見が出た。そこで「YouTube って社会に貢献しているの？」というテーマを設け調査を開始した。

１　仮説

YouTube の強い拡散力を生かした PR にはメリットが多く、一関市でも利用されているのではないかと仮説を立てた。また YouTuber には、社会貢献活動を行っている人が多いのではないだろうかとも仮説を立てた。

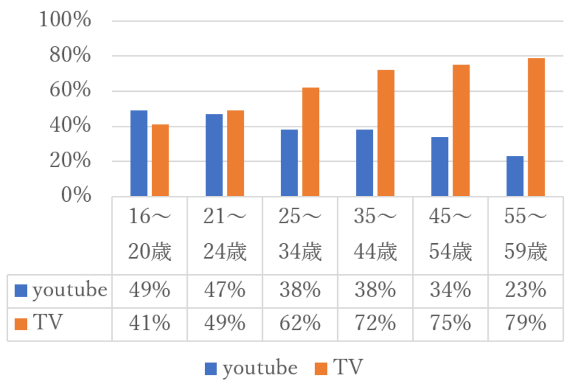
２　研究方法

① YouTuber がどのような目的でつくられたのかを調査する。
② 他のメディアと比べ、YouTube の利用者数や、年齢層を調査する。
③ YouTube で人気のあるチャンネルを調べ慈善活動している人の割合を調査する。
④ 実際に YouTube を使って PR を行っている一関市役所観光物産課にインタビューをしてその効果などを伺う。

３　結果

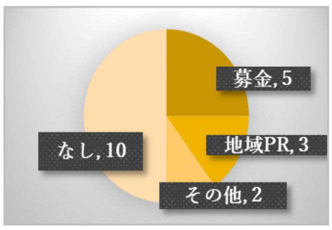
①YouTube を活用することにより、影響力として４つの定義があることがわかった。次の世代に語りかける､10 億人以上のアクティブユーザーに届ける､メッセージを深く伝える､行動を促す、の４つである。18～34 歳のユーザーに対する YouTube のリーチは米国全てのケーブルネットワークを上回る。インターネットユーザーの約３分の１が YouTube を利用しているつまり毎月１５億人にストーリーを伝え、社会貢献活動に関わってもらえる可能性があり､YouTube は９０か国、合計 76 言語に対応する世界的なプラットホームであり YouTube は世界中の大半の動画が毎日視聴される場所であり社会に変化をもたらすメッセージを新しいレベルで伝えることができること。動画は視聴者とつながり、刺激を与えられる強力なツールであり、視聴者と感情面でつながり行動に移してもらうこと。これらの影響力があることがわかった。

②年齢別で YouTube と TV の毎日利用率を調査した所、以下のことがわかった。



これらのことから、若者の方がより、YouTube の利用率が高いことが分かった。つまり YouTube の活用によって、メッセージをより多くの若者に伝えることができるため、新しい世代で担う支援者を募りやすくなることが期待できる。

③チャンネル登録者数の多い Youtuber のうち慈善活動を行っている人の割合。



」

これによると、調査した２０人のうち半数にあたる１０人が何らかの社会貢献活動を行っていることが分かる。その影響について詳しく調べるため、最も多かった募金についてさらに調査を進めた。その結果が以下のグラフである。

新型コロナウイルス対策募金総額に占めるHIKAKINNが立ち上げた窓口の占める割合。
（その他には、日本財団の赤い羽根募金、アミューズ募金が含まれる。）

このグラフの通り、今回のコロナ禍で寄せられた募金総額のうち約四分の一が人気YouTuber、HIKAKIN が立ち上げた口座に寄せられたものであり、その影響力の強さがうかがえる。

④市役所インタビュー
一関市役所観光物産課物産係に訪れ、PR 動画を担当している方に伺った話が以下のとおりである。
「従来のポスターやチラシでは興味のある人しか手に取らなかったが、動画によって気軽に見てもらえるようになった。また、直接情報を得られない遠くの地域や外国の方からの問い合わせもあった。」
「また、平泉のように流行に乗った動画などで、PR に成功している地方自治体もあり、地域復興にも役立っている。」

４　結論

当初想定していたよりも、多様な社会的役割を YouTube は果たしていた。その中でも多かった募金について調べてみたところ、今回のコロナ禍で、大きな支援となっていることが分かった。世界中に 20 億人以上のユーザーを抱える YouTube だからこそできる手段での社会貢献もあったことから、YouTube は社会貢献していると結論付けた。

参考文献

https://kai-you.net/article/76163
https://ytranking.net/ranking/

この研究を進めるにあたり、ご協力下さった一関市役所　観光物産課物産係
山崎政義様　西城幸恵様に大変感謝申し上げます。

動物による農作物被害の対策について

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
菅原　菜央　髙橋　優香　千葉　南　畠山　莉奈

要約

私たちは、一関の動物による農作物被害について興味を持った。自分たちで被害を減らす具体的な方法を先行研究を元に考え、実際に被害のあった現場に動物を遠ざける仕掛けとカメラを約１か月設置し、効果を調べた。結果、設置後時間が経つにつれて、動物の出没頻度が上がっており、日を追って音や色など、仕掛けに慣れたと考えられる。

〈キーワード〉　動物被害　農作物被害　害獣対策　五感

１　はじめに

一関市内において、野生動物による農作物被害が毎年多く発生している。そこで私たちは、極力費用がかからない対策を考案することで一関市の農作物被害を減らせないかと考えた。また、考案した対策はどのくらいの効果が得られるのか検証も行った。

検証場所ではイノシシの目撃情報があったため、先行研究ではイノシシの生態とイノシシへの対策を調べた。対策として、イノシシ専用対策シートや電気柵があるが費用がかかることが分かった。また、野生動物の嫌うものは、大きな音を出すもの、彼岸花、たばこ、香辛料等の臭気、青色（LED・テープ）であることが分かった。

そして、自分たちでも作れるようなものでも、畑等の周囲に動物の嫌がる色のテープや大きな音を出すものを配置することにより動物を遠ざけ、被害を減らすことができると考えた。

２　研究方法

検証場所の実際に被害のあった２本の栗の木の周囲を支柱を立てて囲い、さらに青色のすずらんテープで囲った。(図１）高さ１m程の園芸用支柱数本おきに鈴を付け、風により音が鳴るようにした。(図２）また、動物が来ると考えられる栗の実が散らばった地面が映るように木に設置したセンサーカメラで、中の様子を記録した。(図 3）期間は 9 月 16 日～10 月 19 日の 34 日間行った。

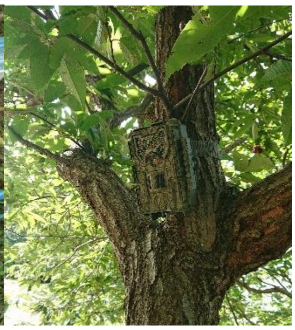
検証場所では、カモシカ，ハクビシン，イノシシ，タヌキ，クマの出没情報があり、サツマイモや栗を栽培していた。

後日、カメラの記録から動物の出没頻度をまとめた。

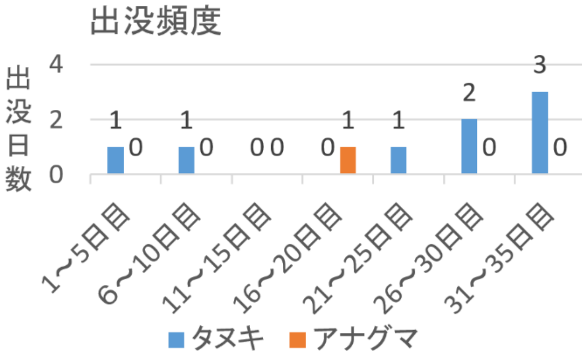
図１

図２

図３



３　結果



出没した動物はタヌキとアナグマ。１～２５日目までは、5 日ごとに約 1 匹だったが、２６日以降は 5 日ごとに２匹、３匹と増加していることが分かる。

４　考察

5 日ごとの動物の出没数が 21 日目から最終日にかけて増加していることから、
柵や風鈴などを設置後､時間が経つにつれて､動物の出没頻度が上がっていたと言える。また､今回見られたのはほぼタヌキだったため､仮に同一個体とした場合、音や色に慣れて効果が薄れた可能性がある。

５　結論

今回の研究により、電気柵や専用の対策シートなど費用がかかるものを用いなくても一時的な対策はできるが、その効果は徐々に薄れてゆくと考える。また、高齢者でも準備が簡単にできるとは言い難いことや、様々な害獣に対し兼用できるかどうかなどの課題が残る。先行研究との共通点は、動物の嫌うものを仕掛けても、いずれ慣れてしまうという点である。

謝辞

本研究を行うにあたり、多くの方々にご支援頂きました。検証場所を提供してくださった髙橋さん、ご指導とご助言を賜りました先生方に心から感謝いたします。ありがとうございました。

参考文献

イノホイ；猪の行動、生態について
https://inohoi.com/animal-damage/103

鹿対策. Com
https://shika.higaitisaku.com/sh/orders/com

磐井川の水質調査

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
石原大輔　遠藤寛太　小岩史苑　佐々木理孝　菅原真帆

要約

身近な川の現状を知るためにＣＯＤ測定を行って、磐井川の水質調査を行った。その結果、磐井川は、汚れていることが分かった。しかし、上流や下流の汚れ具合や、汚れの原因がまだ分からないので、これから調査していきたい。

〈キーワード〉　　磐井川　　水質　ＣＯＤ

１　はじめに

磐井川の水質を調べるためにＣＯＤ測定を行った。磐井川の水質を調べて生物環境に与えている影響を知るためという目的のもと実験を進めた。

２　研究方法

・ＣＯＤとは、水中の有機物を酸化剤で化学的に分解する場合に必要となる酸素量のこと。これにより水中の有機物量が分かり、水の汚れも分かる。
・実験器具　５０ｍｌビュレット、２００ｍｌコニカルビーカー×２、２００ｍｌメスシリンダー、ウォーターバス、駒込ピペット×２、クリアピペット１０ｍｌ（チップ２本）
・実験方法
上流と下流で水を採取して COD パックテストと日本工業規格の一つである工業廃水試験方法に記載の「酸性過マンガン酸カリウムによる酸素消費量」に準拠して COD を測定する。
・試薬
河川水（磐井川)、純水、０．００５mol/L 過マンガン酸カリウム水溶液、０．０１２５mol/L シュウ酸ナトリウム、6mol/L 硫酸硝酸銀水溶液

学校付近の磐井川の正確なＣＯＤ数値を測定するため、短い距離で二か所を測定する。
地点Ａ　緯度:38.925 経度:141.125
地点Ｂ　緯度:38.932 経度:141.131
地点 A、地点 B から水を採集し、ＣＯＤ実験を行った(方法については参考文献より)。

３　結果

ＣＯＤ数値（２か所）
５．４９（ｍｇ/L)
５．５１（ｍｇ/L)
【平均】‥５．５０（ｍｇ/L)…差はほぼなし。
ＣＯＤ数値目安では５～１０ｍｇ／Ｌ内であり、川の水質的には汚れており、汚濁に強いフナやコイなどが住めるレベルである。

４　考察

・ＣＯＤの数値から磐井川の水質が良くないことが分かり、その原因が上流のどこかにあると考えられる。

5 結論

磐井川の水質調査を行った結果、磐井川が汚れている事が分かった。しかし、汚濁の原因はわからなかったため、汚濁の原因をこれから調べる必要がある。

謝辞

研究に携わってくれた先生方、ありがとうございました。

参考文献

http://www.Osaka-c.ed.jp/mikunigaoka/zenniti/08-SSH-SGH/2015pd8/bolj.pd8

http://www.tokyowangan.jp/yougo/yougo09.html

身近なもので抗菌しよう！

～調味料編～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
髙橋青志　岩沼秀果　髙橋遥香 佐藤菜々花　小原真白　鈴木里桜

要約

私たちは寒天培地にカビを培養させ塩,梅干し,酢,緑茶,マヨネーズ,レモン汁,をつけインキュベータに入れ観察した。その結果,塩,マヨネーズ,レモン汁をつけた培地は繁殖がみられ,酢は少し繁殖がみられた。また、梅干し,緑茶の培地は繁殖がみられなかった。

〈キーワード〉　寒天培地　　カビ　　殺菌作用

１　はじめに

現在,新型コロナウイルスの感染が拡大している。アルコール消毒や手洗いなどが感染拡大を止めるために使われているが,ほかにも消毒や殺菌方法があると思い,最も身近な食品の分野から調べようとした。生活の中で,低コストでできる殺菌方法の発見になると思った。

しかし,コロナウイルスを用意するのは困難なので,身近な体に有害なものとしてカビを使用することにした。

仮説としてはレモン汁や酢など酸性が強いものに殺菌作用があると思った。さらに,一般的に殺菌作用があるといわれている梅干し,緑茶も殺菌作用が大きいと考えた。

２　研究方法

①シャーレに寒天培地をつくり手のひらを培地につけ,インキュベータに入れて,カビ,菌を２週間培養させる。
②①の培地から,白金耳を用いて新たな６つの寒天培地にカビ,菌をまんべんなくつける（図１）。
③カビ,菌をつけた寒天培地の中心のみに,緑茶,酢,レモン汁,梅,マヨネーズ,塩 0.05g をそれぞれ加え,インキュベータに入れ,２週間培養させる（図２）。
④各培地での繁殖の仕方を観察し,増殖したかどうかをそれぞれ調べる。

図１.カビを移し替える様子

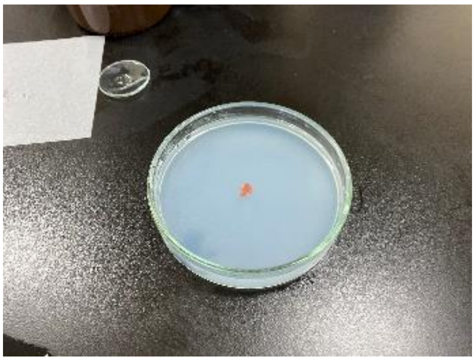


図２.試料を配置した様子

３　結果

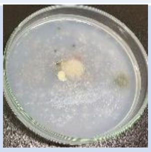
食品	
塩	
梅干し	
酢	
緑茶	
マヨネーズ	
レモン汁	

図 3. 各食品における培地の様子

図 3 より, 塩, マヨネーズ, レモン汁では, 全体的に繁殖した。逆に, 梅干し, 酢, 緑茶では, あまり繁殖が見られなかった。

４　考察

調べたものによって結果が異なったため, それぞれに含まれる成分が関係していると考えた。梅干し, 酢には酸性であるという共通点がある。このことから, レモン汁を除いた, 酸性の強い食品, 調味料に殺菌作用があると考えた。また, 緑茶の効果が大きかったことから, 緑茶に含まれるカテキンの殺菌作用が働いたと考えられる。

カビ, 菌だけでは効果が完全に証明されたわけではないので, 今後は大腸菌などを使って, 結果の信憑性を高めたい。

５　今後の課題

レモン, 酢, 梅干しのうちレモンが最も強い酸性にもかかわらず, 抗菌作用が見られなかったことから, pH に基づいた実験, 一般的に緑茶に含まれるカテキンは風邪予防に適していると考えられることから, カテキンの含有量に基づいた実験を展開していきたい。

６　結論

本研究により, レモンを除いた強酸性の食品, 調味料に加え, 緑茶にも抗菌作用があることが分かった。よって, 身近なもの特な食品の分野で抗菌することが可能であることが証明された。

参考文献

AXEL 微生物検査の手順(大腸菌群、大腸菌)

血管が青く見えるのはなぜか

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
石澤 茜音　後藤 侑紗　佐藤 美月　千葉 彩桜

要旨

本研究は，身近なもので血液や血管，肌を再現し，なぜ血管が青ばんで見えるのかをするため，また，何かの役に立つかもしれないいつかのために実施した。肌を寒天，血管をゴムチューブ，血液を食紅や絵の具で再現して実験を行った。今回行った３つの実験から，肌や血液，血管の成分と流れる血液の速さは関係ないということが考えられる。

＜キーワード＞　血液，血管，不透明

１　はじめに

我々は血液関係で研究をしたいと考えていた。そんな折にふと，なぜ腕に見える血管の中には暗赤色の血液が流れているのに，青ばんで見えるのか疑問に感じたのである。

先行研究がないか調べてみたものの，該当しそうな研究は見つからず，自分たちで研究してみることにした。

仮説として，血液や血管，肌などの成分が何らかの作用を起こしているのではないか，また，光の錯覚が起きているのではないかと考えた。

２　研究方法

肌越しの血管が青ばんで見えるのは血液や血管，肌の成分によるものなのかどうかを調べるため以下の実験を行った。身近な材料を使用し，血液や血管，肌を再現した。

材料

・寒天
・ゴムチューブ
・食紅（赤，黄）
・水性絵の具（赤，黒）
・午後の紅茶（ミルクティー）
・赤い手縫い糸

実験１

肌色に近づけるため食紅の赤と黄で薄く色付けた寒天を肌に見立てて，その中に血管に見立てた半透明のゴムチューブを通し，そこに血液に見立てた食紅で色付けた色水を流した。

実験２

肌に見立てる寒天を牛乳寒天（ミルクティー入り）にして，やや不透明にした。また，血液に見立てる色水を絵の具の赤と黒を混ぜた色水にして不透明にした。実験１と同様に肌に見立てた牛乳寒天（ミルクティー入り）に血管に見立てた半透明のゴムチューブを通し，血液に見立てた絵の具の赤と黒混ぜた色水を流した。

実験３

牛乳寒天（ミルクティー入り）に寒天を薄く切るために使用した赤い手縫い糸を血管と血液に見立てたゴムチューブと色水の代わりに通した。

３　結果

結果１

寒天の中を通った色水は赤いままだった。

結果２

寒天の中を通った色水は赤いままだった。赤色が見えにくくなった。

結果３

寒天を切るために使用した赤い手縫い糸が寒天の中で青ばんで見えた。

４　考察

結果１

実際の肌より透明度が高く，色水も実際の静脈血よりも明るく薄い色だったから寒天の中を通った赤い色水が赤いままだったのではないかと考えられる。

結果２

ゴムチューブが厚すぎるのかもしれない。また，寒天の透明度が低く，そもそも見えにくいためと考えられる。

結果３

寒天の中を通した赤い手縫い糸が青ばんで見えたことから，血液や血管，肌の成分や流れる血液の速さは関係ないのではないか。

５　結論

肌越しに見える血管が青ばんで見えるのは，血液や血管，肌の成分や流れる血液の速さは関係なさそうだ。血管の中を通した色水が油性の場合や液体ではなく個体だった場合も検証したい。今回，実験にはいたらなかったが，光の錯覚が関係していそうだ。

参考文献

「色と形を探求する」
編著者　佐藤仁美・二河成男　NHK 出版

Recovery of Taste

～ワースト１位からの脱却～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
餘目琴葉　小野寺日莉　佐々木愛梨　渡辺茉那　須藤周太郎　千葉和

要約

本研究は脳卒中の原因として生活習慣病が挙げられることを踏まえ，食生活における味覚の改善方法を提案するために実施した。甘味，塩味，酸味，旨味，無味で各３段階の濃度の異なる検査液を用意し，それを目を瞑りながら飲用し検査用紙（図 1）に記入することで個人の味覚感度を調査した。また，食生活と運動状況のアンケートも実施した。その結果，朝食の摂取状況と運動量は味覚感度との関係性が見られなかった。しかし，食事時間は長い人の方が実際の検査液と感じた味が一致していた割合（これ以降正答率と表記する）が高く，インスタント食品の摂取頻度が少ない人の方が正答率が高かったことから，食事時間とインスタント食品は味覚感度との関係性が見られた。したがって，味覚の改善方法として食事時間とインスタント食品の摂取状況の見直しが必要であると考えられる。

＜キーワード＞　脳卒中　生活習慣病　味覚

１　はじめに

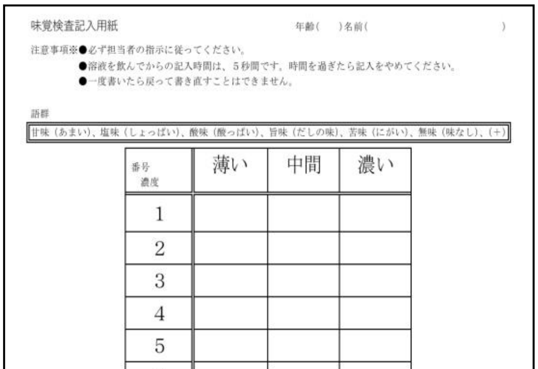
岩手県は H22 年に全国で行われた「脳卒中死亡率」の調査で男女共にワースト１位という結果がある。なぜ岩手県がそのような結果なのか？と疑問に思い研究を開始した。そこで脳卒中の原因として生活習慣病が挙げられることが分かり，食生活における味覚の改善が生活習慣病の予防につながると考え，その改善方法を提案するための研究を行った。

２　研究方法

本研究では，味覚感度と生活習慣の関係について調査した。対象者は，子供，高校生，大人，65 歳以上の各５名ずつで計 20 名である。

（実験 1）味覚感度の調査

1～6 の番号が書かれた紙コップに甘味（上白糖），塩味（塩），酸味（レモン），旨味（だしの味），苦味（コーヒーの粉），無味（味なし）の検査液を順に 10ml ずつ入れる。目を瞑り検査液を口に含みながら飲用する。検査用紙（図 1）の６つの味の語群から当てはまるものを選び用紙に記入する。このときの記入は検査液を飲んでから５秒間とし，その後の訂正は認めないものとする。手順を繰り返し，薄い・中間・濃い，の３段階行う。



味覚検査記入用紙　　年齢（　）名前（　）

注意事項※●必ず担当者の指示に従ってください。
●溶液を飲んでからの記入時間は、５秒間です。時間を過ぎたら記入をやめてください。
●一度書いたら戻って書き直すことはできません。

語群
甘味（あまい）、塩味（しょっぱい）、酸味（酸っぱい）、旨味（だしの味）、苦味（にがい）、無味（味なし）、（＋）

番号 濃度	薄い	中間	濃い
1			
2			
3			
4			
5			
6			

図１　味覚検査記入用紙

（実験 2）生活習慣の調査

アンケート実施日までの１週間のことでⅠ朝食は毎日取るか。Ⅱ運動はどのくらいの頻度で行うか。Ⅲ食事時間（食事を取っている時間）はおよそどのくらいか。Ⅳインスタント食品を食べた日は何日あ

ったか。これら 4 つのアンケート調査を行った。

3　結果

実験 1 の薄い・中間，の 2 段階の濃度の結果は正答率が総じて低い結果にあったため,『味覚検査における各溶液の正答率（グラフ縦軸)』は実験 1 の濃い段階の濃度のものを使用する。

Ⅰ朝食の摂取状況（図 1）では，朝食をとらなかった人の塩味・無味の正答率が低かった。Ⅱ運動状況（図 2）では，運動量が多い人でも甘味・うま味の正答率が低かった。Ⅲ食事時間（図 3）では，食事時間が 1 時間程度だった人の塩味・酸味・無味の正答率が高かった。Ⅳインスタント食品の摂取状況（図 4）1 週間で 4 日インスタント食品を摂取していた人の塩味・うま味・無味の正答率が 0%だった。

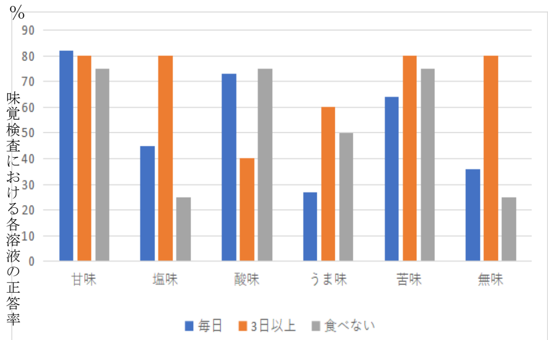


図 2　朝食の摂取状況

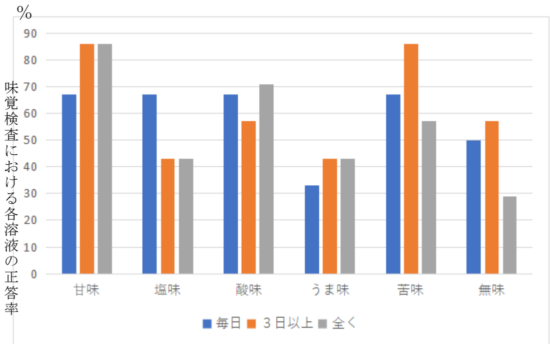


図 3　運動状況

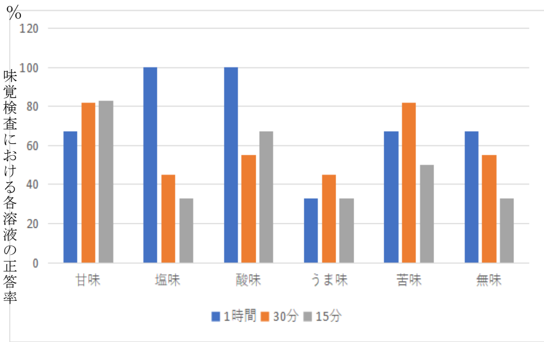


図 4　食事時間

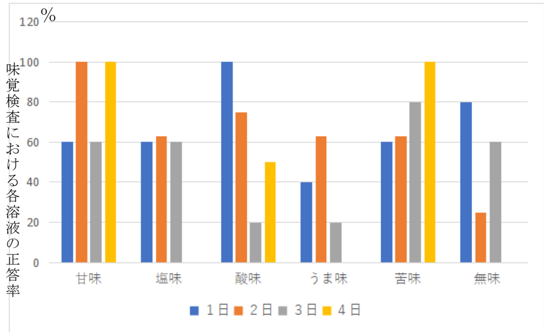


図 5　インスタント食品の摂取状況

4　考察

朝食の摂取状況では，朝食をとらなかった人の塩味・無味の正答率が低かったものの，朝食をとらずとも正答率が高いものがあったため，味覚感度との関連性はないと考える。運動状況では，運動量が多かったものの，甘味・うま味の正答率が低かったため，同様に味覚感度との関連性はないと考える。食事時間では，食事時間が 1 時間程度の人の塩味・酸味・無味の正答率が高く，全体としても食事時間が長いほど正答率が高くなる傾向が見られたため，味覚感度との関連性があると考える。また，食事時間が長いほど咀嚼の回数が増加し，味を良く感じることができるため，味覚感度が向上するのではないかと考えられる。インスタント食品の摂取状況では、1 週間で 4 日摂取している人の塩味・うま味・無味の正答率が 0%であったため，味覚感度との関連性があると考える。また，インス

タント食品の濃い味付けに慣れてしまうことで塩辛いものの味覚感度が低下してしまうと考えられる。

5　結論

味覚感度は，食事時間とインスタント食品の摂取状況により変化する説が濃厚である。そのため，味覚の改善にはこれらを見直すことが有効である。

謝辞

本研究を行うにあたり，助言を賜り，ご指導してくださった大竹伸之先生，佐藤功司先生に多大なる感謝の念をこの場をお借りして申し上げます。

参考文献

大森玲子（2013 - 03）: 世代間における味覚感度の比較，宇都宮大学教育学部紀要. 第 1 部，201 - 210.

日本の農業を切り拓く

～振動による植物の成長速度の変化～

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
飯島　陽斗・田代　翔也・橋本　凛太郎・畠山　弘太郎・林　開都

要約
私たちは、植物に、音などの振動を与えることで、成長にどの様な変化が出るかを研究した。その結果、振動を与えた個体の方が、与えなかったものに比べて大きく成長したが、理由や相関関係までは明らかにすることができなかった。

〈キーワード〉　　植物　振動　音　成長速度

１　はじめに

音と植物（2016）では、音楽を聞かせることによって､植物の成長速度が早まったとあり、それならば、振動でも成長するのではと思った。そこで振動と音を加えることで何らかの刺激を与えないよりも成長速度が上がるという仮説をたてた。そして、振動と植物の成長速度の関係を明らかにすることで農作物の生産効率の向上に貢献できる可能性を探るという研究目的のもと実験を進めた。

２　研究方法

実験方法

種（ライ麦）を透明なカップに５粒ずつ入れ、振動・音・無刺激の三つの条件下で育てた。振動は、割りばしで作った台にモターを取り付けて振動を与えた。(図１)。音は、電子ブザーの音を直接与えた。箱の中で育てたため光は与えていない。温度も同じ場所で育てたため大きな差はない。そして、それぞれの長さのみを測定し、一日の成長幅の平均値を求めた。この平均値より、各サンプルの前日比と最終的な成長幅を比較した。なお、刺激を与えた時間帯は､午前８時３０分から 12 時 30 分である。なお、種子の状態から刺激を与え始めたため発芽していない個体も０㎝成長したとして、平均値を算出する際に参考にした。

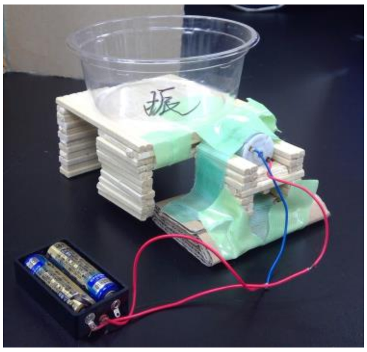


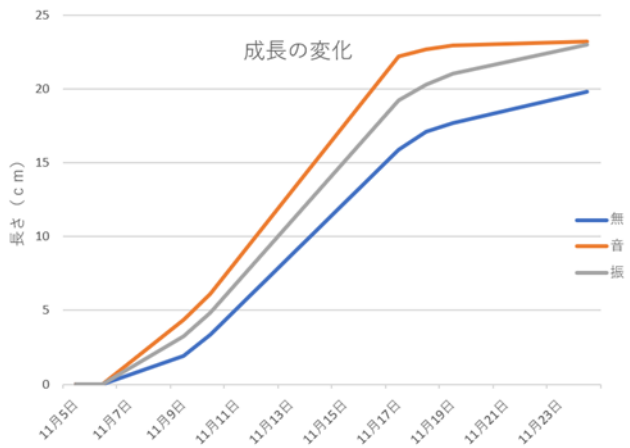
図1.

図2.

図3.

3　結果

最終的に何もしなかったサンプルよりも、刺激を与え続けたサンプルの方が大きく成長した。なお、この差は、平均値によるもので個体差のためとは考えにくい。よってこの差は有意なものとみなすことができる。



【各個体の成長の変化】

4　考察

音や振動を与え続けたサンプルの方が大きく成長したことから、音も振動も植物の成長に何らかの影響を及ぼすと予想できる。

5　結論

今回の研究において、明確な根拠や相関関係を明らかにすることはできなかった。よって、仮説の実証は失敗である。

今回の研究の反省点として

・実験の母数が少なかった。

・装置のトラブルにより何度か実験を中断せざるを得なかった。

今後は、実験回数を重ね、より明確な関係性を明らかにしていくとともに、音の種類や。振動の大きさなどを変えて様々な条件下で実験していくべきだろう。また、装置の改良、分泌される成分などにも目を向けつつ研究を進めていきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、様々助言いただきました、本校の教員である佐藤功司先生、大竹信之先生両名に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

音と植物の成長　（2016）
http://www.takajo-hs.gsn.ed.jp
でんきと暮らしの知恵袋
https://enechange.jp

本校周辺の磐井川に住むホタルの生息状況と水質・環境調査

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
及川桃果　小野寺夏唯　佐々木景都　髙橋奏多　緑川陽和

要約

２学年とその親を対象としたアンケートをもとに現在のホタルの生息状況を調査した結果、磐井川周辺ではホタルの目撃情報が無かったため、本当に磐井川にはいないのか、いる川とは何が違うのかを､周辺環境とパックテストや酸化還元滴定による COD 測定により水質を調べた。その結果、本校周辺の磐井川は COD 値 5.49 ㎎/l でホタルが生息できる環境ではないことが分かった。

＜キーワード＞ホタル　COD 値　人工照明　木陰　排水　磐井川　夏梨川

１　はじめに

関一の校歌や関高音頭や逍遥歌には「ホタル」､「磐井川」というフレーズが何回か出てくるので、本当に磐井川にホタルがいるのか調べた。磐井川周辺にホタルがいるのか、いないのかを明らかにすることで、環境の現状を知り、ホタルと共に生きていくために、私たちがこの地域でどのように暮らしていけばいいかのヒントを見つけることを目的とし、学校周辺の磐井川の水質と周辺の環境が良いとホタルは生息し、悪いと生息してないという仮説のもと、研究を行った。

２　研究方法

ホタルがいる川として、アンケートでホタルの目撃情報があった夏梨川を対象とし、学校周辺の磐井川と水質､周辺環境を比較した。水質を調査するために、川の COD 値を水質調査の基準として使用するため、実験で値を算出した。

実験

試薬として、磐井川の河川水、夏梨川の河川水､純水､過マンガン酸カリウム溶液(0.005 ㏖/L)、シュウ酸ナトリウム水溶液（0.0125 ㏖/L)、硫酸（6 ㏖/L)、硝酸銀水溶液を用意する。実験器具は､200mL コニカルビーカー、50mL ビュレット、200mL メスシリンダー、ウオーターバス､駒込ピペット､ホールピペットを用意する。

① ビュレットに過マンガン酸カリウム水溶液を満たしておく。
② メスシリンダーを使って河川水 100mL をコニカルビーカーにとり、駒込ピペットを用いて硫酸約 10mL と硝酸銀水溶液 5 mL を加える。これにホールピペットを用いて過マンガン酸カリウム水溶液 10.0mL を加える。この溶液をウオーターバス（湯温 80℃程度）で 30 分加熱する。溶液が赤紫色であることを確認する。
③ コニカルビーカーをウオーターバスから取り出し、ホールピペットを用いてシュウ酸ナトリウム水溶液を 10.0mL 加え、よくかき混ぜる。1 分程度時間をおいて、溶液の色が無色（白濁）になることを確認する。
④ ①のビュレットを用いて、過マンガン酸カリウム水溶液で滴定する。過マンガン酸カリウム水溶液の赤紫色が消えなくなったところを反応の終点とする。いつ反応が終了してもおかしくない、ごく微量の滴定になるので、一滴ずつ慎重に行う。ビュレットは最小目盛りの 10 分の 1 まで (0.02mL まで)読む。
⑤ ②～④の手順を 3 回繰り返す。
⑥ 純水 100mL についても､同様に実験を行い、ブランクを測定する。

実験で出た値で磐井川と夏梨川の水質を比較した。

周辺環境の比較は、4 つの項目で行った。1 つ目は、ホタルが生息するために夜は暗くなければいけないので、人工照明の有無についての項目で。2 つ目は、成虫の休息場所とな

る木陰の有無について、3 つ目は、河川水が汚濁する原因である、川への排水があるかどうかについて比較した。

３　結果

実験結果

磐井川の COD 値は 5.49mg/L、夏梨川の COD 値は 0.32mg/L になった。

水質の比較では、磐井川の COD 値の方が大きくなった。

周辺環境の比較では、人工照明の項目では、夏梨川には、人工照明が周辺に無く、一関第一高校周辺の磐井川の近くには、車通りや建物も多いため、人工照明がたくさんあった。木陰は、夏梨川の周りには草木が多く茂っていたが、磐井川には無かった。排水は、夏梨川には無かったが、磐井川には排水が流れこんでいた。

表　磐井川と夏梨川の水質・周辺環境の比較

	磐井川	夏梨川
人工照明の有無	△	○
木陰の有無	×	○
排水の有無	△	○
COD 値	×	○

○は生息できる環境
△はおおむね生息できる環境
×は生息できない環境　（参考文献より）

４　考察

COD の測定及び水質調査を行ったところ学校周辺の磐井川の水質は、夏梨川の水質と比べ、COD の値が大きかったことから汚れていると分かった。ホタルが生息できるとされている COD 値は、0.5～3.4mg/L と言われている（参考文献より）ため、磐井川の値 5.49mg/L はこれを満たしておらず、生息できる環境にはないと考えられる。これを踏まえ、ホタルが生息できる条件を調べ、人工照明、木陰、排水などの条件においても比較したところ、磐井川はホタルが生息できる環境になく、夏梨川の環境とまったく異なるものだった。このことから、磐井川には現状だと生息できず、生息していないと結論づけた。

５　今後の課題

磐井川にホタルを取り戻す方法を考える。今のところは、ホタルが住める環境を人工的に作り出したいと考えている。木陰がたくさんある場所、人工照明がなくて夜が暗い場所、和の水が綺麗で長期間安定している場所、エサのカワニナが生息できる場所、などのホタルが暮らすために必要な条件を川沿いすべての地域で整えていくことが、環境を保全していく上では理想的だ。しかし、磐井川は市街地も通るため、周辺の明かりを完全になくすことが困難である、生活排水が流れているなど実現しにくい条件もある。そこで、川沿いすべてを変えようとするのではなく、まずは、小規模にホタルが暮らしていくための場所を人工的に作り出すことができたらよいのではないかと考えている。

謝辞

本研究を行うにあたり，指導をしてくださった、大竹信之先生はじめ、担当してくださった先生方のおかげで研究を進めることができました。本当にありがとうございました。

参考文献

東京にそだつホタル
http://www.tokyo-hotaru.com/jiten/conditions/html

周波数を利用して暗記力を高める

岩手県立一関第一高等学校普通科２年
阿部七瀬　佐藤三奈　瀧澤陸　平石那々美

要約

私たちは,暗記力の向上を目的にこの実験を行った。普段勉強する中で音楽を聴く人は多く見られるが,先行研究によると効果はないことが分かった。そこで周波数と暗記力の関係性について周波数について調べた。得たソルフェジオ周波数をもとに,174Hz の周波数を用いて実験を行った。その結果,174Hz 周波数は暗記力の向上に繋がらないことが分かった。

＜キーワード＞　　ソルフェジオ周波数,暗記力

１　はじめに

私たちは普段,音楽を聴きながら勉強をしているが,先行研究では,音楽は集中力に効果がないことが分かった。そこで,音楽ではなく周波数により集中力を高めることができるのではないかと考え,周波数による暗記量への影響を調べた。

２　目的

周波数が一関一高の生徒の暗記力向上に有効であるか研究する。

３　実験

実験１

よく学生が勉強場所として利用している FERMERS,STARBUCKS,銀だこ,一関図書館の 4 つの場所で,Sonictool というスマートフォンアプリを用いて 30 秒間周波数を測定し,平均値を比較した。

実験２

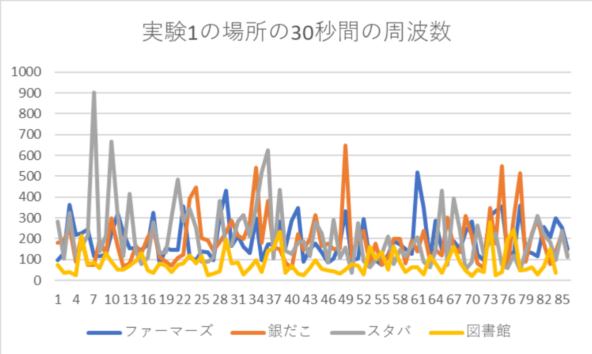
人の身体に様々な影響を与えるというソルフェジオ周波数を調べた。その中でも心を安定させる周波数である 174Hz を取り上げて実験を進めた。2 学年 32 人を集め,暗記力を測定するためのテストを行った。まず,アルファベットがランダムに並べられた手本を配布し,１分間で暗記してもらう。この時,174Hz の音を聞く人を16人,聞かない人を16人に分けて行った。次に白紙に暗記したアルファベットを手本どうりに 30 秒間でどれだけ書けるかのテストを行い,正答数を集計した。この時,周波数は流していない。

４　結果

ソルフェジオ周波数について,以下のことが分かった。

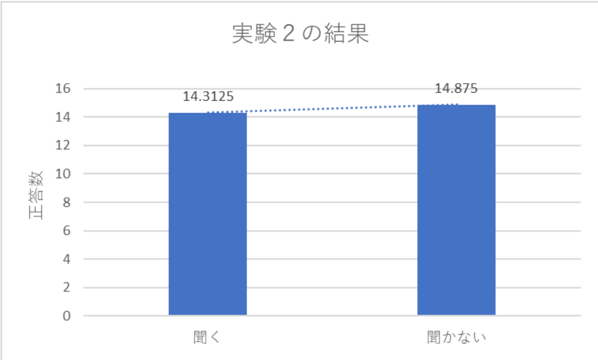
ソルフェジオ周波数の種類	
174Hz	心を安定させる。
285Hz	自然治癒力を促し,心身を整える。
396Hz	トラウマ,恐怖から解放する。
417Hz	マイナスから変化を促す。
528Hz	DNA の損傷を修復する。
639Hz	人とのつながりを癒す。
741Hz	表現力を向上させる。
852Hz	直観力を覚醒させる。
963Hz	高次元,宇宙意識と繋がる。

実験 1 の結果は平均値が大きい順に STERBUCK 209.461,FERMERS 194.047,銀だこ 193.652,一関図書館 81.102 となった。



実験 2 の結果は音を聞かない人のほうが聞い

た人よりも正答数が多かった。



５　考察・結論

これらの研究により,心を安定させる周波数である 174Hz を用いても,暗記力は向上しなかった。私たちは心を安定させることで,集中力が高まり,暗記力が向上すると考えたが,逆にリラックスさせてしまい,暗記力が低下してしまった。今後は他のソルフェジオ周波数に暗記力を向上させる効果があるか,検証する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導いただきました馬場隆太先生をはじめとする多くの方々に,深くお礼申し上げます。

参考文献

・ソルフェジオ周波数
https：studygeek.jp/（勉強中）ＢＧＭを流すメリット！集中できる音楽と/
・実験に使用したＢＧＭ
https://m.youtube.com/watch?v=566VrjGgxgE