目　　次

棒胴機におけるキャンバーと角度の効果 …… 2
Effect of angle of attack angle and camber in Boudouki
小野瀬 琳人　佐川 愛純　深津 優行　三谷 宥昂

隕石の衝突における角度の作用 …… 6
Effect of angle for impact of the meteorite
上野 広士朗　黒澤 太良　坂本 凌

様々な滴定曲線と緩衝作用について …… 10
Titration curves and Buffer effects
荒川 健琉　黒沼 天芽　佐藤 朱里　里見 凜

効率的にビタミン C を摂取出来る野菜を作る方法 …… 14
How to make vegetables that can take vitamin C efficiently
髙森 萌綾　薗部 天慎　岩堀 風太　師子鹿 朱梨

簡易的にインクの汚れを落とす方法の検討 …… 19
How to remove ink stains with easily available items
栁内 彩美　篠崎 昴　西谷 陽太郎

希薄溶液の性質を示す濃度の限界 …… 24
Concentration for the properties of the dilute solution
河野 颯太　佐川 颯　岡﨑 主真　北畠 歩夢

発光バクテリアの単離と培養条件の検討 …… 29
Examination about isolation of luminescent bacterias and culture conditions
岡﨑 遥花　神長 あこ　小林 大成　角田 亜弥

ゴキブリの交替性転向反応 …… 34
Turn Alternation of Turkestan Cockroach
枝谷 拓斗　海老沢 悠仁　住谷 朱里　根本 花菜

塩類集積した土壌での植物の生育状況と除塩方法 …… 38
The growth of plants in saline soil and desalting from soil
細越 皓多　島田 琉斗　阪元 美沙希　石塚 梨紗

コリドールで勝ちたい！！ …… 41
To be the champion of Quoridor
大内 達樹　木村 遥　松﨑 裕哉

Look And Say 数列の規則性の考察 …… 46
Consideration of the rules of Look And Say sequence
工藤 茉緒　鈴木 峻丞　髙橋 幸子　早川 泰太

棒胴機におけるキャンバーと角度の効果

小野瀬 琳人　佐川 愛純　深津 優行　三谷 宥昂

Effect of angle of attack angle and camber in Boudouki

Rinto ONOSE, Azumi SAGAWA, Yuan FUKATSU, Hirotaka MITANI

Abstract

Today real plane's wings, in order to fly efficiently, use camber ;bulge of front part of wing and angle of attack ;wing's angle in direction of flying. For some experiments, four planes were created, plane A which has camber and attack of angle, plane B which has camber, plane C which has attack of angle, plane D which has no change. At first, the flow of air was observed by using wind tunnel. Second, each plane's lifting power was measured by electronic balance. Third, drag was investigated.Comparing each plane's lift drag ratio, plane B's and plane D's were twice as high as plane A's and plane C's. From these results, camber or no change are suited to Boudouki.

１　はじめに

棒胴機（Fig.1）は紙飛行機の一種であり, 割り箸飛行機とも呼ばれる。リサイクル工作として子供でも簡単に作ることができるのが大きな特徴である。

Fig.1　Boudouki

飛行機に関する研究は多く見られるが，棒胴機を扱っている研究はあまり見られない。また，棒胴機は折り紙飛行機と比べて人が作ることによって生まれる誤差が少ないため，本研究では棒胴機を使用した。

実際の飛行機の主翼には，揚力を発生させるため, 主翼に角度（迎え角）や上面をふくらませたキャンバーが設けられている。本研究では，棒胴機の主翼に迎え角やキャンバーを設けた際に, 主翼周りの空気の流れがどう変化するのか。揚力と抗力はどのくらい生じているのか。この二点を風洞を用いた実験を行うことによって明らかにして，より遠くへ飛ぶ棒胴機の製作の手助けとなることを目的とした。

２　機体および風洞の製作

Ⅰ　機体の製作

割り箸，厚さ#200 のケント紙，ビニールテープ，爪楊枝，木工用ボンドを用いて作成した。機体は「りんぺい先生の作って遊んでサイエンス　割りばし・ハガキ飛行機」に従って作成した。また，主翼の面積を区切りの良い数値にするため, 主翼の横幅のみ 14.8cm から 15.0cm に変更した。そして，キャンバーと角度の二つの条件を変えて A~D の４つの機体を作成した。主翼に設ける角度は 5°とした。機体 A はキャンバーと角度, 機体 B はキャンバーのみ，機体 C は角度のみをそれぞれの主翼に設けた。機体 D の主翼は何も変化させなかった。また，すべての機体の重さは 4.3g で統一した。ここで作成した機体は実験Ⅱ，Ⅲに用いた。

Ⅱ　風洞の製作

空気の流れを一様にするため，5cm 程に切ったストローを並べて，整流格子を作成した。また，空洞部分は木の板とアクリル板で作成し，送風部分には扇風機を使用した。

3　実験方法

Ⅰ　風洞実験

棒胴機の主翼周りの空気の流れを可視化するため, 作成した風洞を用いて実験を行った。風洞の空洞部分に実験に用いた機体の主翼の表面積を 2 倍に拡大した翼を置いた。（ここで，拡大したそれぞれの主翼を便宜上のため主翼 A, 主翼 B, 主翼 C, 主翼 D と名付ける。）その後、線香 20 本を整流装置の入り口付近に置き, 小型扇風機（風速 0.55m/s）の吸い込む力を用いて，翼周辺の線香の煙の動きを見た（Fig. 1）。

Fig.1　Picture of the wind tunnel

Ⅱ　揚力の測定

機体を電子天秤に乗せ電子天秤の値を 0.0 g に設定する。正面から整流格子を通して風速 4.94m/s の風を当てて天秤の減少した数値を計測した。計測は，それぞれの機体で 10 回ずつ行った。

Fig. 2　Condition of the measurement of lift

Ⅲ　抗力の測定

機体の後ろに軽い紐をつけ，その先に重り（20.0g）をつけてその重りが電子天秤の上にちょうど触れるように置く。その後電子天秤の値を 0.0 g に設定し, 実験Ⅱと同じ風速の風を当て，天秤の増加した値を計測した。計測はそれぞれの機体で 10 回ずつ行った。

Fig.3　Condition of the measurement of drag

4　結果

Ⅰ　主翼周りの空気の流れの結果

キャンバーのある主翼 A（Fig.2），B（Fig.3）では線香の煙がキャンバーの曲線に沿って流れているのが確認できた。主翼 C（Fig.4）では更に翼前方の上部に目視で煙の乱れが確認できたため、角度を大きくして再度同様の実験を行ったところ同部で煙が逆流する様子が撮影できた（fig.6)。また, 主翼 A は主翼 B に比べて翼下部の煙が濃かった。一方，主翼 D（Fig.5）では煙は変化せず直進して流れていた。

Fig.1　Appearance of smoke of wing A

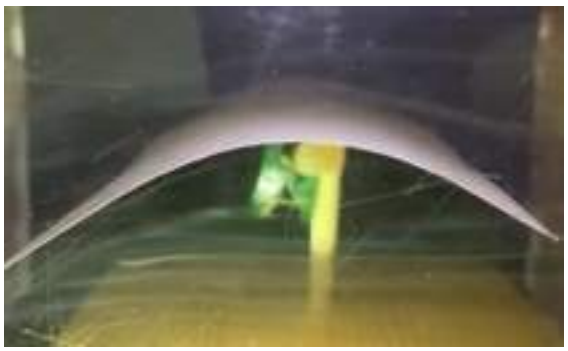


Fig.2　Appearance of smoke of wing B

Fig.3　Appearance of smoke of wing C

Fig.4　Appearance of smoke of wing D

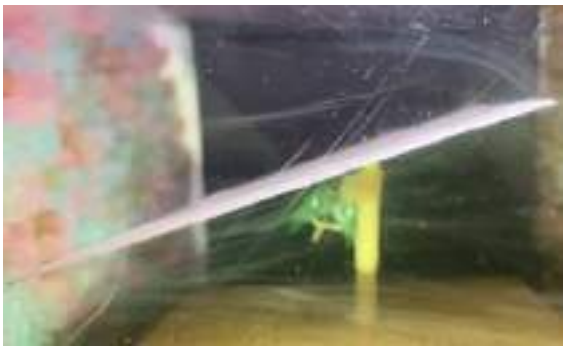


Fig.5　Appearance of adverse current

Ⅱ　揚力の測定結果

測定結果は Table 1 に示す。また，それぞれ機体の試行 10 回の平均値は, 機体 A 4.8g, 機体 B 4.5g，機体 C4.6g，機体 D 4.2g であった。

Table 1　Results of the measurement of lift

（単位：g）

回数	機体 A	機体 B	機体 C	機体 D
1	4.8	4.5	4.5	4.3
2	4.7	4.4	4.7	4.3
3	4.8	4.6	4.6	4.2
4	4.8	4.6	4.5	4.1
5	4.8	4.5	4.7	4.2
6	4.8	4.6	4.7	4.1
7	4.8	4.6	4.7	4.1
8	4.7	4.5	4.6	4.1
9	4.9	4.5	4.6	4.1
10	4.8	4.4	4.6	4.3
平均	4.8	4.5	4.6	4.2

主翼を何も変化させなかった機体 D と比べて機体 A，B，C は揚力が大きかったことから，キャンバーと迎え角は棒胴機においても揚力を発生させることが確認できた。

Ⅲ　抗力の測定結果

測定結果は Table 2 に示す。また，それぞれ機体の試行 10 回の平均は機体 A 0.2g, 機体 B 0.1g，機体 C 0.2g，機体 D 0.1g であった。

Table 2　Results of the measurement of drag

（単位:g）

回数	機体 A	機体 B	機体 C	機体 D
1	0.3	0.1	0.3	0.0
2	0.3	0.1	0.0	0.0
3	0.3	0.1	0.2	0.0
4	0.2	0.2	0.2	0.0
5	0.1	0.1	0.1	0.0
6	0.4	0.1	0.1	0.3
7	0.2	0.2	0.1	0.2
8	0.3	0.1	0.5	0.1
9	0.2	0.1	0.3	0.2
10	0.1	0.1	0.5	0.1
平均	0.2	0.1	0.2	0.1

機体 A の抗力が大きかったのは，風洞実験で見られたように主翼下部に空気を多く受けたことが原因であると推定できる。また，機体 C の抗力が大きかったのは，風洞実験で見られた翼上部の空気の乱れや逆流が起こったことが原因であると推定できる。これら二つの実験の結果から揚力を抗力で割った値である揚抗比をそれぞれの機体で求めると，機体 A が 24，機体 B が 45，機体 C が，となった。機体 D の揚抗比が機体 C の揚抗比よりも大きいことから，棒胴機に 5°の角度を設けるのは適切でないと推定できる。また，機体 B 抗比が機体 A 揚抗比よりも大きいことから，棒胴機にキャンバーと角度の両方をつけるのは，受ける抗力が大きくなってしまうため適切でないと推定できる。

行ったすべての実験を踏まえると，棒胴機は主翼を変化させない，もしくはキャンバーを設けるのが適当であると推定できる。

５　参考文献

WEB 版『航空と文化』　二宮康明　「日本で生まれ育った高性能紙飛行機」（2020/9/9）
(http://www.aero.or.jp/web-koku-to-bunka/2015-02/2015-02.html)

りんぺい先生の作って遊んでサイエンス　割りばし･ハガキ飛行機（2020/9/9）
（https://static.hokkaido-np.co.jp/files/pdf/manabun/rinpei/rinpei201805.pdf）

隕石の衝突における角度の作用

上野 広士朗　黒澤 太良　坂本 凌

Effect of angle for impact of the meteorite

Koshiro UENO, Taira KUROSAWA, Ryo SAKAMOTO

Abstract

The impact angle of meteorites when dinosaurs become extinct is 60 degrees, and it is known that the damage is the most significant. By an iron ball hitting on clay at various angles, the traces formed by collision were observed. And then, in order to stabilize the speed of the iron ball, a device for ejecting the ball using a magnet called Gaussian accelerator was used. The difference in the strength of the collision by the angle was examined. Volume increased in the order of 30 degrees, 90 degrees, 45 degrees, and 60 degrees. As a result, it was found that 60 degrees was the strongest of the collision. It is thought that the amount of energy and the power which goes round the soil are related.

1　はじめに

恐竜が隕石によって絶滅した話は有名である。その隕石は「チクシュルーブ（Chicxulub）」と名付けられ，現在のメキシコのユカタン半島（Fig.1）を襲った。直径 6 マイル（約 9.6 ㎞），衝突速度約 20 ㎞/s で衝突した。衝突によるクレーターの直径は 177km 以上あり，地球上に存在する既知のクレーターの中では 3 番目に大きい。そのクレーター内には，飛行機や自動車エンジンの点火プラグの電極の材料に使われ，地殻中にはほとんど存在していない「イリジウム」が高濃度で検出された。小惑星は推定で TNT 火薬 100 兆トン分を超える規模の爆発を起こして地球に激突したとされ，それによりいろいろな災害が起こった。まず，衝突により巨大地震が発生した。その時のマグニチュードは 11 以上でその威力は，過去 150 年間のすべての地震を合わせたほどと言われている。衝突の衝撃は，地形によっては最大 305m の巨大な津波を引き起こす。また，3250 億トン以上の硫黄，10 兆トンの二酸化炭素，1000 億トンの一酸化炭素，さらには 1000 億トンのメタンが一気に放出され，その結果，小惑星の衝突直後，太陽がそれらの気体による雲によって遮られ，植物が光合成できなくなり，恐竜などの生物の 50%から 75%が死滅したといわれている。

隕石は地面とのなす角，60 度の角度で落ち，ほかの角度で落ちていた場合よりも，災害の規模が大きくなったことが最近の研究で判明したことを知った。下向きのみに力がはたらく 90 度ではなく，なぜ 60 度がそれほどの結果を生んだのかを実験によって調べ，考察した。

Fig.1　The Yucatan Peninsula in Mexico

2　実験方法

Ⅰ　ガウス加速器とは

磁石の力によって金属球を射出することができる装置である。磁石に複数個の鉄球を並べて置き，置かれた磁石に他の磁石をぶつけることによって一端の鉄球が加速して射出される。これは，磁石間の引力によるエネルギーが端の鉄球に運動エネルギーとして伝わるためにおこる。実験において，球の速度を安定させるためにガウス加速器を用いた。鉄球（直径 2.0 ㎝），磁石（直径 2.0 ㎝）を（Fig.2）のように置いた。

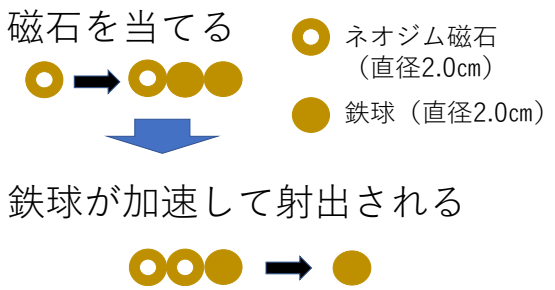


Fig.2　Gaussian accelerator

Ⅱ　粘土の実験準備

市販の粘土を適当な大きさに同様に切る。もとの状態の粘土で実験を行うと，穴の大きさに明確な違いが見えないため，湯の中で粘土を 10 分間熱することで違いが分かりやすいようにした。1.5 L の水（粘土が水に被る程度）を電磁調理器（温度 ; 200 度）を用いて沸騰させる。熱した粘土にガウス加速器を用いて，粘土の表面から鉄球の下側までの高さ 5.0 ㎝から発射した鉄球をぶつけて穴を作った。できた穴の体積をビュレットを用いて測定した。（Fig.3）に実験装置の様子を図示する。

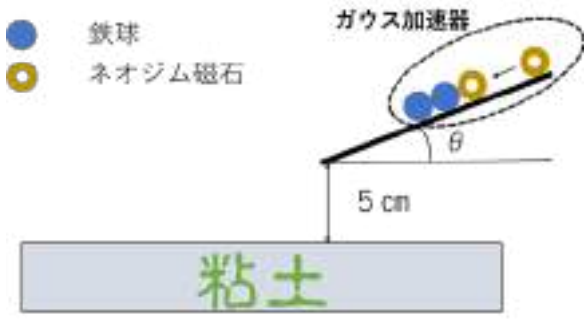


Fig.3　Experimental device

3　結果

Table 1　Results of volume by each angle

	30 度	45 度	60 度	90 度
1 回目	0.82	1.31	1.76	1.01
2 回目	1.20	1.06	2.01	0.83
3 回目	0.96	1.15	1.78	0.93
4 回目	0.68	1.17	1.78	1.26
5 回目	0.93	1.42	1.88	0.98
6 回目	1.30	1.56	1.75	1.47
7 回目	0.91	1.62	1.60	0.86
8 回目	0.67	1.52	1.43	0.68

（単位：㎤）

体積の測定結果を（Table 1）に示す。それぞれの角度の結果の飛び値を抜かした平均の値は，30 度は 0.93 ㎤，45 度は 1.35 ㎤，60 度は 1.75 ㎤，90 度は 1.00 ㎤となり 60 度の時の体積が最も大きくなった。

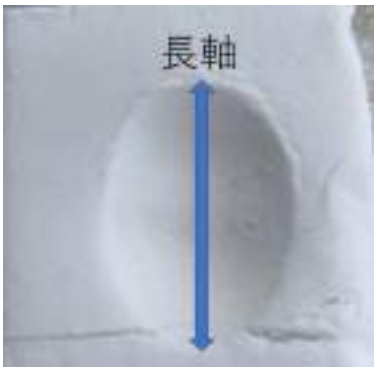


Fig.4　Definition of long axis

（Fig.4）のように長軸を決めそれぞれの角度で粘

土に残った跡において測った。

Table 2　Results of Length of the long axis

	30 度	45 度	60 度	90 度
1 回目	3.2	2.6	2.5	1.8
2 回目	3.0	2.6	2.3	1.9
3 回目	2.8	2.4	2.2	1.8
４回目	3.0	2.7	2.0	2.0
5 回目	3.2	2.5	2.1	1.8
6 回目	2.9	2.5	2.2	2.0
7 回目	3.3	2.6	2.1	1.6
8 回目	3.0	2.7	2.1	1.6

(単位：㎝)

長軸の長さを（Table 2）に示す。平均の値は，30 度は 3.1 ㎝，45 度は 2.6 ㎝，60 度は 2.2 ㎝，90 度は 1.8 ㎝となった。

体積と長軸の結果から，30 度は長軸の長さは最も長いが，体積の大きさは小さかった。また，下向きのみに力が働くと考えた 90 度も体積は大きくならなかった。

Fig.5　Trace at 30 degrees

Fig.6　Trace at 45 degrees

Fig.7　Trace at 60 degrees

Fig.8　Trace at 90 degrees

それぞれの角度で射出したときにできた跡を上図に示す。30 度（Fig.5）の時ほかの角度でぶつけた粘土よりも大きな盛り上がりが見られた。

４　考察

Ⅰ　鉛直下向き方向の力による影響

角度が大きくなるほど鉛直下向き方向

の力が大きくなり，体積が大きくなると予想していたが，実験結果からは，一番鉛直方向の力が大きい 90 度よりも 60 度のほうが体積が大きくなったことから，鉄球の力以外にも体積を増やす要因があると考えた。

Ⅱ　水平方向の力による影響

土の中を深く進むにつれて土が圧縮し固くなるため，進むためにはより大きい仕事が必要となる。30 度で鉄球を衝突したときに，粘土の表面に盛り上がりが見えた。この盛り上がりは，鉄球が衝突した際に水平方向にかかる力によって，粘土の表面をえぐったことでで き，角度が小さくなるにつれて，大きくなっている。このことから，粘土をえぐる力は角度が小さくなるほど大きくなる。また，土の中を深く進むにつれて土が圧縮し固くなるため，進むにはより大きい仕事を必要とする。しかし，土をえぐる力が大きくなるにつれて，土が圧縮されるのを抑えることができる。そこから少ない仕事でより深く進むことができると予想したが，一番えぐる力が大きい 30 度よりも 60 度のほうが体積が大きいことが分かった。

考察ⅠとⅡより，鉛直下向き方向の力と土をえぐる力を比較的受ける 60 度が最も隕石の衝撃が大きかったと考えられる。

５ 今後の展望

粘土では 60 度が最も衝撃が大きいという結果が得られたが，ほかの媒質でも同様の結果が得られるのか実験する。

50 度から 70 度の間の角度でも実験することで角度と衝撃の大きさの正確な関係性を調べる。

６　参考文献

6600 万年前，恐竜を絶滅させた小惑星の衝突直後に起きたことがわかった　Aylin Woodward　翻訳 Toshihiko Inoue　(2020/6/24)
(https://www.businessinsider.jp/post-198659)

恐竜を絶滅させた「隕石」は「凶悪な角度」で地球に突入した　石田雅彦　(2020/6/24)
(https://news.yahoo.co.jp/byline/ishidamasahiko/20200602-00181468/)

超高速ガウス加速器日本ガイシ　(2020/7/22)
(https://site.ngk.co.jp/lab/no240/)

様々な滴定曲線と緩衝作用について

荒川 健琉　黒沼 天芽　佐藤 朱里　里見 凜

Titration curves and Buffer effects

Takeru ARAKAWA, Amame KURONUMA, Akari SATO, Rin SATOMI

Abstract

While the amount of drip is constant in the titration curve, the amount of change in pH is not constant. To compare their shapes, sodium hydroxide, sodium carbonate, and sodium hydrogen carbonate, also created mixed solutions among them. They titrated with hydrochloric acid. In order to investigate the reaction of two levels of neutralization in more detail, from the point of chemical equilibrium, it turns out that there is a big difference in equilibrium constants from 'Broensted theory'. There is points that has buffer effect.

1　はじめに

滴定曲線において滴下量が一定であるのに対して pH の変化が一定ではない。そこで，いくつかの滴定曲線の形を比較するために水酸化ナトリウム，炭酸ナトリウム，炭酸水素ナトリウム，それらの混合溶液を作成し，塩酸で滴定した。その中で，二段階中和がみられた反応をより詳しく調べるために化学平衡の点から，なぜ先に反応する物質と後から反応する物質があるのかということを考察した。また，滴定曲線の中で緩衝作用がはたらいているように見えた箇所に酸と塩基を追加していき pH の変動を調べた。

2　実験方法

I (Fig.1)の器具を用いて，炭酸ナトリウム水溶液と塩酸を用いて滴定し，滴定曲線を作成する。

⑴ Na_2CO_3aq (0.10mol/L) 100mL を調整する。

⑵ HClaq (0.10mol/L) を調整する。

① Na_2CO_3aq (0.10mol/L) 10mL を HClaq (0.10mol/L) で滴定し，滴定曲線を作成する。

II 様々な滴定曲線を作成し，比較する。

⑶ $NaHCO_3$aq (0.10mol/L) 100mL を調整する。

⑷ Na_2CO_3aq (0.10mol/L) 100mL を調整する。

⑸ NaOHaq (0.10mol/L) 100mL を調整する。

⑹ HClaq (0.10mol/L) 100mL を調整する。

② $NaHCO_3$aq (0.10mol/L) 10mL を HClaq (0.10mol/L) で滴定し，滴定曲線を作成する。

③ $NaHCO_3$aq (0.10mol/L) 5.0mL+ Na_2CO_3aq (0.10mol/L) 5.0mL を HClaq (0.10mol/L) で滴定し，滴定曲線を作成する。

④ Na_2CO_3aq (0.10mol/L) 5.0mL+ NaOHaq (0.10mol/L) 5.0mL を HClaq (0.10mol/L) で滴定し，滴定曲線を作成する。

⑤ $NaHCO_3$aq (0.10mol/L) 5.0mL+ NaOHaq (0.10mol/L) 5.0mL を HClaq (0.10mol/L) で滴定し，滴定曲線を作成する。

III　IIで作成した滴定曲線から，緩衝作用の大きさを調べる。

⑺ ②～⑤において，緩衝作用が最も大きいと思われる(グラフの傾きが最も緩やかである)点における溶液を②'～⑤'とし，作成する。

⑻ ②'～⑤'それぞれに NaOHaq (0.10mol/L) 5.0mL 又は HClaq (0.10mol/L) 5.0mL を加える。

⑼ pH の変動をグラフにし，大きさを比較する。

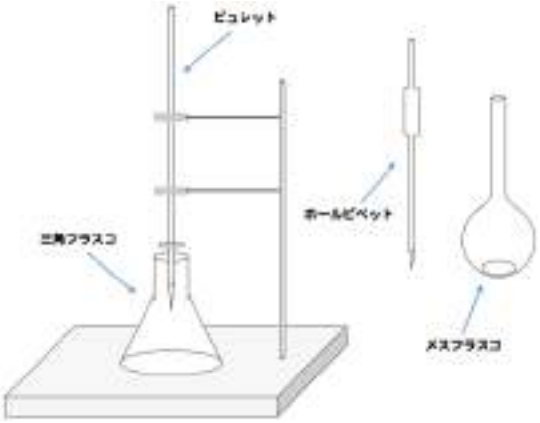


Fig.1　Instrument of titration

3　実験結果

Ⅰ　①では，(Fig.2)のように，中和点が二つある二段階中和が見られた。このことから，水溶液中では二段階に炭酸ナトリウムが反応したと判断できる。化学(実教出版株式会社)より，それぞれの点で次のような反応が起きている。

i　$Na_2CO_3+HCl \rightarrow NaCl + NaHCO_3$

ii　$NaHCO_3+HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2$

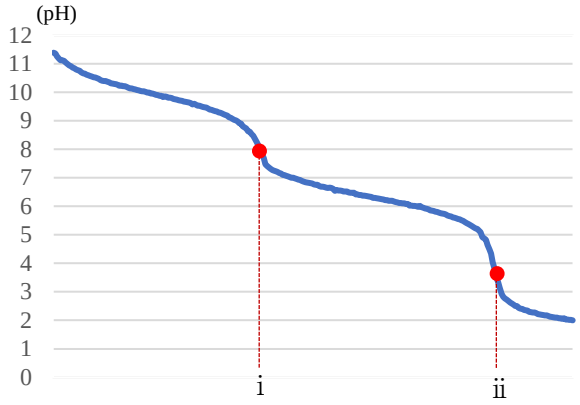


Fig.2　Titration curve of ①

Ⅱ　②では，(Fig.3)のように，中和点が一つの滴定曲線が見られた。

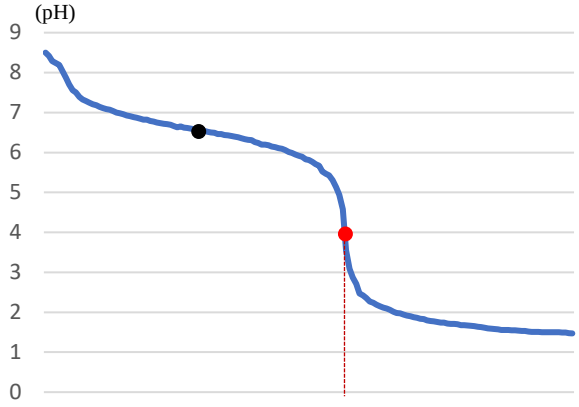


Fig.3　Titration curve of ②

③では，(Fig.4)のように，中和点が二つの滴定曲線が見られた。ここで，滴下を開始した点から中和点 i まで，中和点 i から中和点 ii までの滴下量の比は，1：2 になっていると推測される。

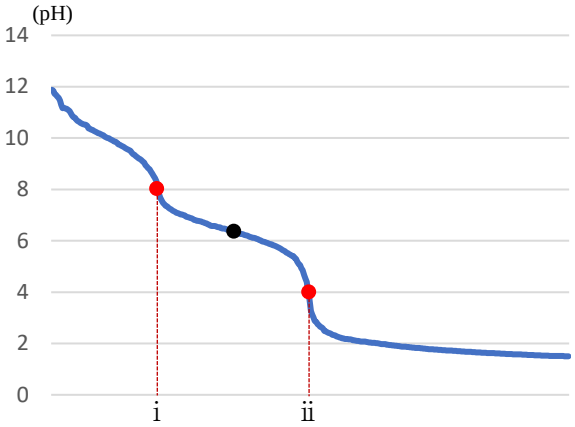


Fig.4　Titration curve of ③

④では, (Fig.5)のように，中和点が二つの滴定曲線が見られた。ここで，滴下を開始した点から中和点 i まで，中和点 i から中和点 ii までの滴下量の比は，2：1 になっていると推測される。

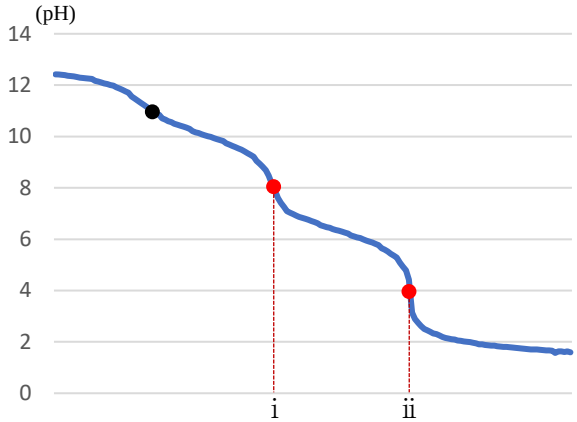


Fig.5　Titration curve of ④

⑤では，(Fig.6)のように，中和点が二つの滴定曲線が見られた。ここで，滴下を開始した点から中和点 i まで，中和点 i から中和点 ii までの滴下量の比は，1：1 になっていると推測される。

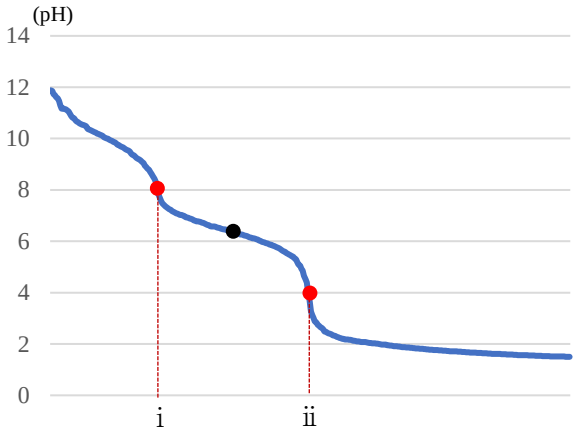


Fig.6　Titration curve of ⑤

Ⅲ　pH の変化をグラフにすると，(Fig.7～10)のような曲線を得ることができた。

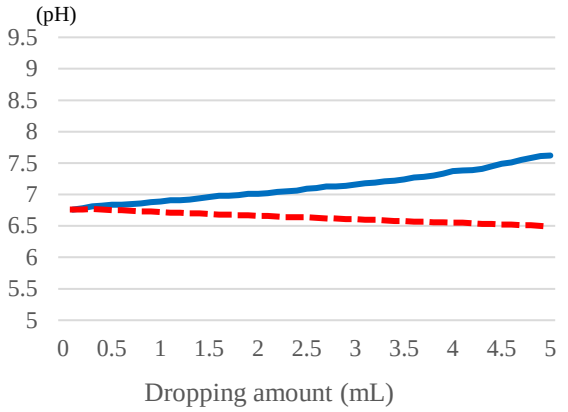


Fig.7　pH fluctuation of ②’

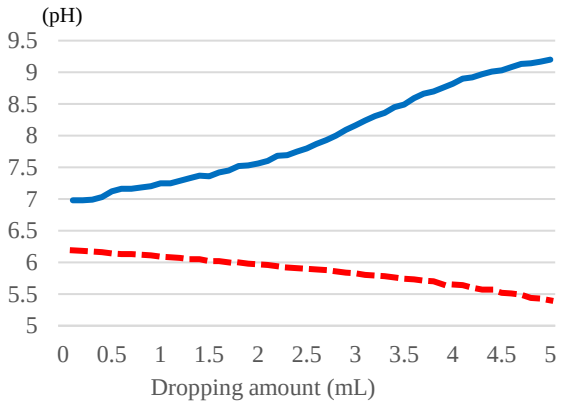


Fig.8　pH fluctuation of ③’

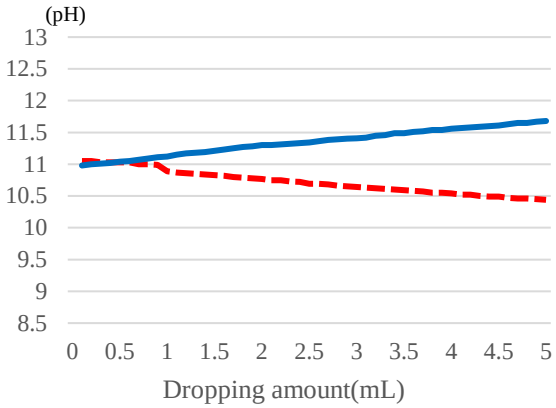


Fig.9　pH fluctuation of ④’

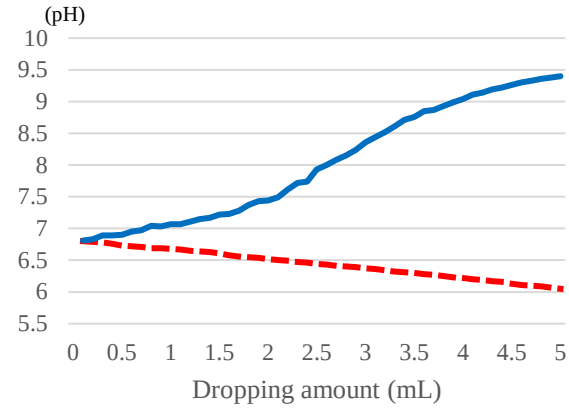


Fig.10　pH fluctuation of ⑤’

4　考察

Ⅱにおいて，ブレンステッド・ローリーの定義より，炭酸は

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

$$HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H^+$$

上記の 1 番目の反応の平衡定数をK_1，2 番目の反応の平衡定数をK_2とする。

塩基として扱うときは

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + OH^-$$

と反応する。

加水分解する時は，平衡定数をK_bとし，

CO_3^{2-} $(K_b = 10^{-3.7})$

HCO_3^- $(K_b = 10^{-7.7})$

OH^- $(K_b = 10^{1.7})$　である。

よって，

$$K_1 = \frac{K_w}{10^{-7.7}} = 1.0 \times 10^{-6.3}$$

$$K_2 = \frac{K_w}{10^{-3.7}} = 1.0 \times 10^{-10.3}$$

つまり，炭酸は二段階で電離を行い，

かつ $1 > K_1 > K_2$ であるため，
炭酸ナトリウムは段階的に酸と反応する。
したがって，③の中和反応では

$Na_2CO_3+HCl \rightarrow NaCl+NaHCO_3$

$NaHCO_3+HCl \rightarrow NaCl+H_2O+CO_2$

反応式から，炭酸ナトリウム水溶液 5.0mL が塩酸と反応して，炭酸水素ナトリウム 5.0mL が生成する。その後，最初に混合した炭酸水素ナトリウム 5.0mL と，生成した炭酸水素ナトリウムが塩酸と反応する。故に，グラフの第一中和点までと第二中和点までの滴下量の比率が 1：2 になると思われる。

④の中和反応では

$NaOH+HCl \rightarrow NaCl+H_2O$

$Na_2CO_3+HCl \rightarrow NaCl+ NaHCO_3$

$NaHCO_3+HCl \rightarrow NaCl+H_2O+CO_2$

反応式から，水酸化ナトリウム水溶液 5.0mL と共に混ぜた炭酸ナトリウム水溶液 5.0mL が塩酸 10mL と反応する。その後，生成した炭酸水素ナトリウム 5.0mL が塩酸 5.0mL と反応する。故に，グラフの第一中和点までと第二中和点までの滴下量の比率が 2：1 になると思われる。

⑤の中和反応では

$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$

$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2$

上記の反応式から，水酸化ナトリウム水溶液 5.0mL が塩酸 5.0mL と反応する。その後，残りの炭酸水素ナトリウム 5.0mL が 塩酸 5.0mL と反応する。故に，グラフの第一中和点までと第二中和点までの滴下量の比率が 1:1 になると思われる。

Ⅲでは，(Fig.7～10)を比較すると，(Fig.7,9)は pH の変化が小さいことから，

緩衝作用が働いていると推察される。また，(Fig.10)には緩衝作用があまり働いておらず，(Fig.8)についても，測定開始時の pH が変わってしまったものの，同様であると推察される。

５　参考文献

化学基礎．実教出版株式会社

化学．実教出版株式会社

土谷萌，永井琴菜，室井なつの，山口美優．2020．酢酸と酢酸ナトリウム混合溶液における緩衝作用について．*令和元年度茨城県立緑岡高等学校課題研究論文集*

効率的にビタミンＣを摂取出来る野菜を作る方法

髙森萌綾　薗部天槙　岩堀風太　師子鹿朱梨

How to make vegetables that can take vitamin C efficiently

Moa TAKAMORI, Tenma SONOBE, Huta IWAHORI, Akari SHISHIKA

Abstract

Vitamin C is known as nutrients which are the most efficient regarding beauty. One of the vitamin C's effect is Antioxidant action, so to ingest vitamin C enables become beautiful skin. With using the effect, the goal is to make vegetables which have high in vitamin C content. Broccoli sprouts which are able to grow easily were given sodium ascorbate aqueous solution to increase concentration of vitamin C. Experiments were conducted with the hypothesis that increasing the concentration with increased the vitamin C content of broccoli sprouts. Raised broccoli sprouts for 7 days, sodium ascorbate solution was proportional to the vitamin C content of broccoli sprouts.

１　はじめに

近年，ビタミンＣは抗酸化作用，がん予防,動脈硬化の防止，美容効果などで注目されている。しかし，ビタミンＣは体内での合成が不可能でありビタミン C は食物などから摂取するしかない。現在ビタミンCを摂取する方法としては野菜や果物を摂取するのが一般的であり，ビタミンＣを多く含む食材としてはキウイフルーツやレモン，ピーマンなどがある。しかし，炭水化物やたんぱく質中心の食生活においては野菜や果物を充分に摂取しないことによりビタミンCが不足していると言われている。ビタミンＣが欠乏すると，コラーゲンが合成されないことにより微小血管が損傷し壊血病となる。

本研究ではブロッコリースプラウトの生育にアスコルビン酸ナトリウム（$C_6H_7NaO_6$）を使用することで効率的に人間がビタミンCを摂取出来るようにすることが目的である。そのため，生育におけるアスコルビン酸ナトリウムの影響を調べ，検体のビタミン C 含有量を DNPH 法を用いて測定した。DNPH 法とは，酸化剤を用いて L-アスコルビン酸を全てデヒドロアスコルビン酸に変換する。次に 530 nm 付近に特異的な吸収を持つ DNPH 誘導体化し L-アスコルビン酸とデヒドロアスコルビン酸を合わせた総ビタミンＣとして定量を行う。また，本実験ではアスコルビン酸ナトリウムとビタミン C を同じ働きをするものとして扱う。

２　実験方法

Ⅰ　$C_6H_7NaO_6$を用いた成長実験

棒びん（120mL）の底面（約 20 ㎠）と同じ大きさの脱脂綿を底に敷き詰め，ブロッコリースプラウトの種を 60 個蒔いたものを6つ用意する。種を蒔く際には精製水 6mL で脱脂綿をしめらせる。その後それぞれに濃度が精製水 0.01%，0.1%，0.3%，0.5%，1%の $C_6H_7NaO_6$aq を脱脂綿が乾いたときに 6 ㎖与え，7 日間成長過程を記録する。茎の長さの平均をとりグラフにした。

Ⅱ　$C_6H_7NaO_6$を用いた成長実験

前実験の結果より，濃度を 0.1%以下にに絞った。

棒びん（120mL）の底面積と同じ大きさの脱脂綿を底に敷き詰め，ブロッコリースプラウトの種を 60 個蒔いたものを 6 つ用意する。種を蒔く際には精製水 6mL で脱脂綿を

しめらせる。その後それぞれに濃度が 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.07%, 0.09%, 0.1% の $C_6H_7NaO_6$aq を脱脂綿が乾いたときに 6mL 与え, 7 日間成長過程を記録する。茎の長さの平均をとりグラフにした。

Ⅲ　アスコルビン酸滴定

実験Ⅱで育てたブロッコリースプラウトと精製水 10mL をすり鉢に入れすりつぶした。それを 5ｇとり，5 倍量の 6%メタリン酸溶液で超音波器を使用してした。攪拌したものをフラットキャップ型 PCR チューブに入れ遠心分離（15000rpm,10min, 4 ℃）。上清を別のチューブに移し, 直ぐに使用しない場合は-20℃で保存した。全ての操作を氷上で行った。その後，測定操作法（Table 1）に従い操作し，検量線を作成した。検量線を基にビタミンＣ濃度を求め, ブロッコリースプラウトがビタミンＣを吸収したか調べた。

Table 1　Measurement operation method

	検体・検体盲検		標準※4
試料	試料 200μL		標準液 200μL
試薬①	12μL		12μL
室温にて 3～5 分放置			
試薬②	70μL		70μL
ここまでの全容量は，282μL になる。 別のチューブ ↓　に分注　↓ A 液　B 液 ↓　↓　↓			
	検体	検体盲検	標準
	A 液 80μL を分注	A 液 80μL を分注	B 液 80μL を分注
試薬③	20μL	—	20μL
37℃で 3 時間放置※2			
85%硫酸※3	100μL	100μL	100μL
試薬③	—	20μL	—
室温にて 30 分放置			
各検体の実質吸光度は，検体の吸光度から検体盲検の吸光度を引いた値。 標準の吸光度は補正をしない。			

試薬①：酸化剤

試薬②：5%メタリン酸/2%$SnCl_2$

試薬③：DNPH　（44%硫酸で溶解）

※1 試薬②は使用直前によく振って使用する。
試薬②を加えたら，紫色が十分に消えるまで放置する。

※2 赤色の沈殿が析出する。

※3 前操作で生成した沈殿をよく溶かして使用する。

※4 表(Table 2)に従ってビタミンＣ標準溶液を試薬④で希釈する。

Table 2　Dilution method

No.	ビタミンＣ標準原液	試薬④ 5%メタリン酸	濃度
1	—	400μL	0
2	5μL	395μL	2.5 μg/mL
3	10μL	390μL	5 μg/mL
4	20μL	380μL	10 μg/mL
5	40μL	360μL	20 μg/mL

3　結果

Ⅰ　$C_6H_7NaO_6$を用いた成長実験の結果

Table 3　results of experiment Ⅰ

濃度（%）	精製水	0.01	0.1	0.3	0.5	1
長さ（mm）	18	23	19	8	7	3

Fig.1　Growth result (purified water)

Fig.2　Growth result (0.01%)

Fig.3　Growth result (0.1%)

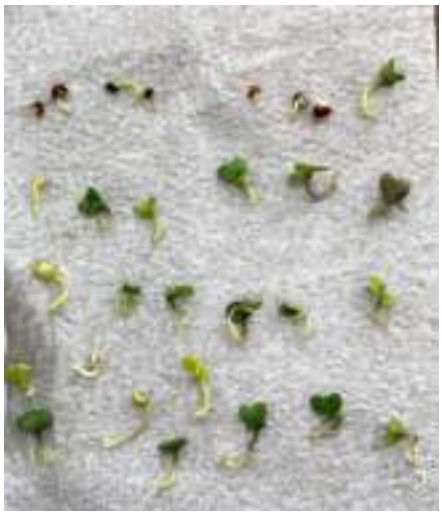


Fig.4　Growth result（0.3%）

Fig.5　Growth result (0.5%)

Fig.6　Growth result (1%)

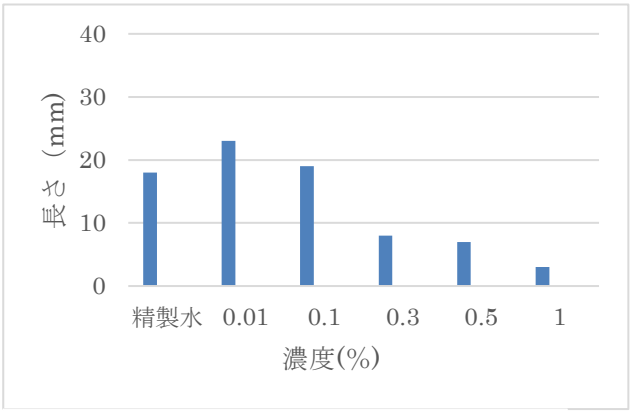


Fig.7　Growth result

予備実験において，0.01％が最も成長した。0.1％も精製水と同程度に成長したが，0.3％よりも濃度を濃くすると，根腐れしてしまったため，実験で用いる濃度の範囲を 0.01％～0.1％にした。

Ⅱ　$C_6H_7NaO_6$を用いた成長実験の結果

Table 4　Growth results

濃度（%）	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.1
長さ（㎜）	34	27	31	34	33	28

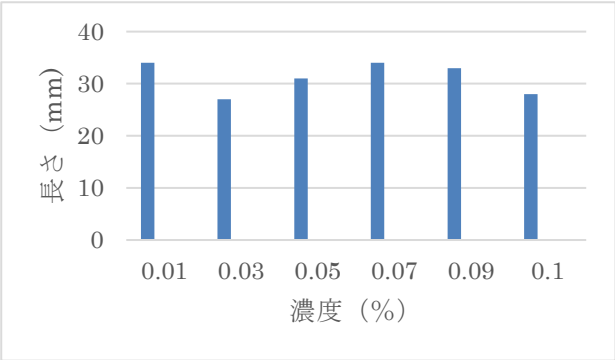


Fig.8　Growth result

Fig.9　Growth result

Ⅲ　アスコルビン酸滴定の結果

Table 5　Absorbed vitamin C concentration

濃度（%）	0.01	0.05	0.07	0.09	0.1
ビタミンC　濃　度（μg/mℓ）	2.83	4.50	7.83	5.33	8.67

グラフ(Table 5)からビタミンC濃度を求めた結果，与えたアスコルビン酸ナトリウムの濃度と植物内のビタミンC濃度は0.07%を除き比例していることが分かった。0.07%の検体の吸光度は測定過程で何らかのミスがあったと考えられる。

５　考察

今回のアスコルビン酸ナトリウム水溶液とブロッコリースプラウトを用いた成長実験から，成長結果に規則性はなかった。そのため，濃度が0.1%以下という条件下の中では，濃度と伸び率の間に関係性はないと思われる。よって，アスコルビン酸ナトリウム水溶液の濃度の上昇にともないブロッコリースプラウトのビタミンC含有量が増えていることから，濃度の高いアスコルビン酸ナトリウム水溶液を用いる方が効果的であるといえる。今回の研究では，作った野菜を実際に食べる事ができなかったため，美容効果の有無の確認はできていないが，理論上効果は出る可能性が高いと考えられる。

また，一般的に植物は道管で水分を，師管で栄養分を吸収しているとされている。しかし，今回の実験から考えると，ブロッコリースプラウトにアスコルビン酸ナトリウム水溶液を与え

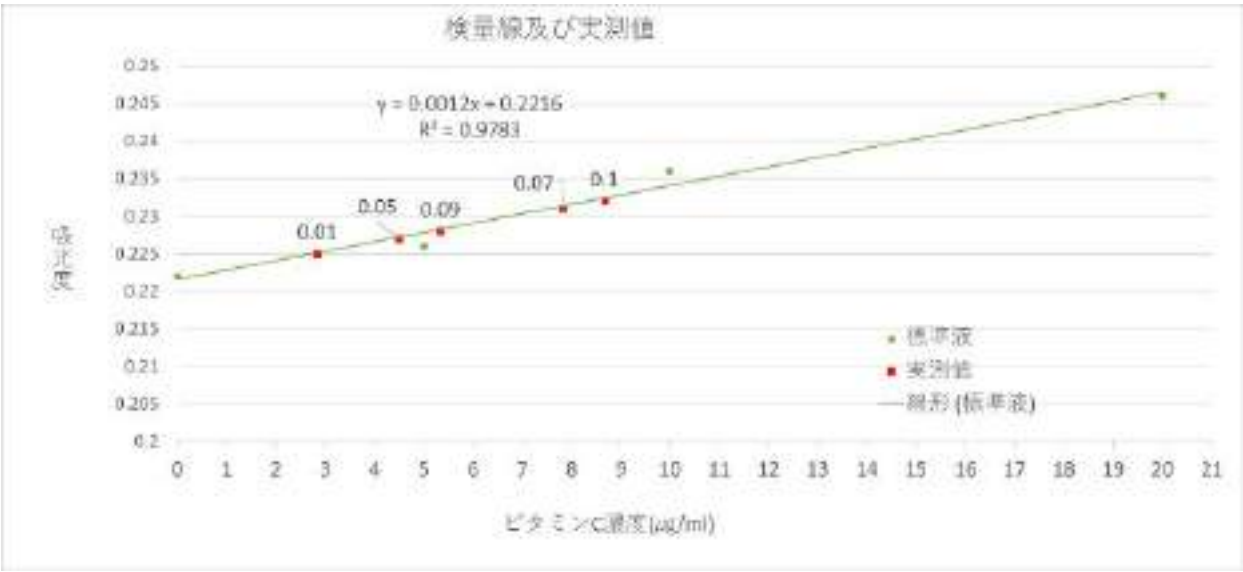


Fig.10　Absorbed vitamin C concentration

るとビタミンC含有量が増加したことから道管でも栄養分を吸収することが可能であると思われる。

人体的な実験は必要だと思われるが，将来的に家庭でビタミンC含有量の多い野菜を作ることは可能であり，美容効果も期待できると考えられる。

６　参考文献

富士フイルム和光製薬株式会社
134-03-2・L(+)-アスコルビン酸ナトリウム・L(+)-Ascorbic Acid Sodium Salt・196-01252・198-01251・190-01255【詳細情報】｜試薬-富士フイルム和光純薬(2020/9/30)
（https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/product/detail/W01W0199-0125.html）

鶴原製薬株式会社
医療用医薬品 ： アスコルビン酸 （アスコルビン酸注射液 100mg「ツルハラ」）(2020/9/30)
（https://www.kegg.jp/medicus-bin/japic_med?japic_code=00065576）

コスモ・バイオ株式会社
ビタミンC 定量キット 臓器・組織・血漿中ビタミン C（L-アスコルビン酸）の測定（2020/9/16）
（ https://www.cosmobio.co.jp/product/detail/00250011.asp?entry_id=1519）

コスモ・バイオ株式会社
ビタミンC定量報告書（トマト）- 野菜／果物への応用の検討 -　(2020/9/16)
（ https://www.cosmobio.co.jp/product/uploads/document/SML_ROIK02_tomato.pdf）

釜谷 美則　“はかる”ための基礎知識 吸光光度法　(2020/9/30)
（ https://www.jsac.or.jp/bunseki/pdf/bunseki2008/200804nyuumon.pdf）

簡易的にインクの染みを落とす方法の検討

柳内 彩美　篠崎 昴　西谷 陽太郎

How to remove ink stains with easily available items

Ayami YANAI, Subaru SINOZAKI, Yotaro NISITANI

Abstract

If the ink from the ballpoint pen gets on the shirt, it will be difficult to clean up. We discussed what to do when ballpoint pen ink gets on shirts. First, the shirt fabric was marked with a ballpoint pen, and the ink removal effect of the easily available material was examined. As a result, cleansing oil removed ink the most. Next, the differences between the types of cleansing oils were examined. As a result, cleansing oils which removed ink clearly contained oils of vegetable origin. For that reason, we think that vegetable oils remove ink clearly most.

１　はじめに

誰しもうっかりペンのインクがシャツなどについてしまったことが一回はあるのではないだろうか。その際，インクが付着した箇所を水で流したり，洗濯してインクを落とそうと試みたりしても綺麗に落とせなかったことがほとんどだろう。

インクは，主に色素と溶剤の２つから構成される。ボールペンに使われるインクは大きく分けて油性と水性がある。油性インクと水性インクの違いは,溶剤に有機溶剤を使用しているか,水を使用しているかである。また，近年油性と水性に代わる第３のボールペンとしてゲルインクボールペンが登場した。水性インクにゲル化剤を混ぜることによって，ペン内部では高粘度でありながらも筆記をする際には低粘度に変化するという変わった特徴を持っている。水性ボールペンと油性ボールペンのメリットを兼ね備えており，軽い書き味でなめらかに筆記出来るのに加えて，乾きが早く，耐水性にも優れているため，私たちの周りでは非常に多く使われている。

私たちは，ワイシャツにインクが付着する事を想定した。インクの中でも私たちが所持していた，ゲルインクボールペンのインクが一番私たちの生活に根強いと考え，ワイシャツに付着したゲルインクボールペンの汚れを落とすことに着目した。なお，ワイシャツを選んだ理由は学生である私たちが普段着用しており，最もインクが付着することが多いと考えたためである。

本研究では，ワイシャツにボールペンインクが付いてしまったときに何か気軽に手に入るもので応急的にでも処置し，インクを落とすことが出来ないかの検討を行った。また，共通点からそれらのどの成分が汚れを落とすのに作用しているのかを推測した。

Fig.1　The shirt is dirty with ink.

２　実験１（簡単に手に入る液体での検証）

＜方法＞

８×８㎝に切った綿 80%, ポリエステル 20%のワイシャツの生地に，黒色の水性ボールペンと赤色のゲルインクボールペン（水性顔料）でそれぞれバツ印を書いたものを試験材料とした。それを簡単に手に入る，インクが落ちそうなもの(種類の違う２種類の除光液, クレンジングオイル, ベビーオイル, 濃縮洗濯洗剤)(事前に行ったインターネット調査での情報から判断し, 100 円均一ショップやホームセンター等で購入）に漬け込み，30 分放置し，水洗いをした。身近なものを使って落とすことを想定し，洗い流すのには水道水をそのまま使用した。

Fig.2　Shirt fabric marked with a ballpoint pen.

＜結果＞

実験１の結果を以下に示す（Table 1)。この実験条件においては，クレンジングオイルが一番効果があった。有力視していた除光液ではほぼインクを落とすことが出来なかった。

Table 1　Results of experiment 1

使用したもの	黒	赤
除光液①	×	×
除光液②	×	×
クレンジングオイル	△	○
ベビーオイル	△	△
洗濯用洗剤	△	△

○：ほぼきれいになった

△：薄くなった

×：変化なし

除光液①：アセトン有，エタノール無

除光液②：アセトン有，エタノール有

Fig.3　Result 1 (red ink, cleansing oil).

３　実験２

（様々なクレンジングオイルでの検証）

＜方法＞

実験１の結果から，クレンジングオイルに焦点を当てた。クレンジングオイルにも様々なものが存在するため，どのようなクレンジングオイルがボールペンインクを落とすのに適しているのかを検証した。実験１と同様の生地に赤色のゲルインクボールペンでバツ印を書いたものを試験材料とした。その生地を６種類(A～F) のクレンジングオイルにそれぞれ浸し，15 分放置した。その後水道水で洗い，乾燥させた。インクの落ち具合を数値化し比較するために，カラー成分測定サイト「色とりどり」を利用してカラーデータを分析した。

＜結果＞

写真の一部分から測定すると，番薄い場所を測定するのか，バツ印の中央の部分を測定するのか決める必要があるが，インクが完全に落ちたり色が薄くなったりする場所がまちまちであることから，写真全体から色の割合を測定することにした。

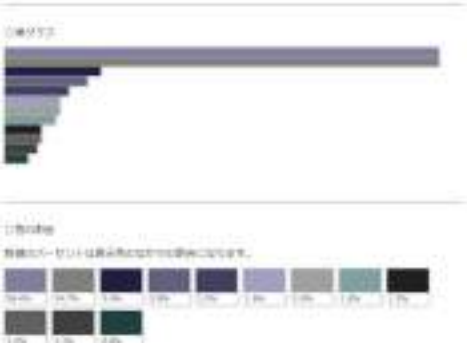
カラー成分測定サイト「色とりどり」を使用すると写真全体に含まれている色の詳細とその割合，RGB 値がわかる。グラフ（Fig.4）は写真全体に含まれていた色の詳細と割合を示したものである。

ワイシャツ生地に赤で×印をつけたも

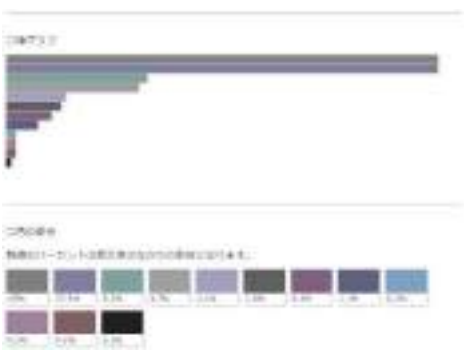
A　ミネラルオイル，植物性の油含有

D　水含有

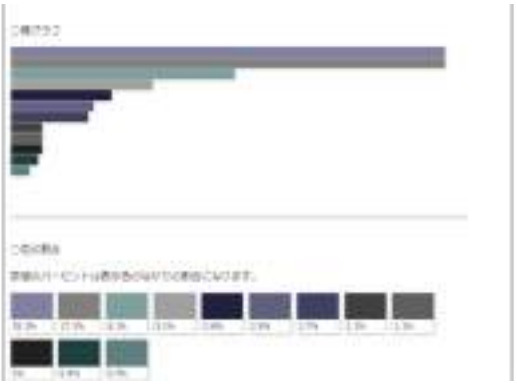
B　ミネラルオイル含有



E　ミネラルオイル，植物性の油含有



C　水，植物性の油含有



F　植物の成分含有

Fig.4　Results of experiment 2 (color data).

４　実験３（ミネラルオイルでの検証）

＜方法＞

実験１，実験２と同様に，ワイシャツ生地に赤色のゲルインクボールペンでバツ印を書いたものを試験材料とした。その生地をオイル系クレンジングオイルのベース成分であるミネラルオイル（流動パラフィン）に浸して 15 分及び 30 分放置した。その後水（水道水）で洗い流し乾燥させた。

＜結果＞

実験３の結果が以下の写真である（Fig.5）。15 分の場合も 30 分浸けた場合もほとんど変化は見られなかった。

15 分

30 分

Fig.5　Results of experiment 3.

５　考察

実験１では，黒色のゲルインクボールペンと赤色のゲルインクボールペンとで結果に違いがみられたことから，黒色と赤色のゲルインクボールペンとでは含まれている水性顔料成分に違いがみられると考えられる。また，インク染みに対して効果があると考えていた除光液（アセトン，エタノール）はほぼ効果が無く，クレンジングオイルやベビーオイルといった油系統のものの方が効果があった。

実験２では，使用したボールペンが水性顔料のゲルインクボールペンであるため，水を多く含む試料Ｃ，Ｄの方が他のクレンジングオイルよりも効果があると考えていたが，試料Ｄのみ赤紫の割合が減少し，赤紫の RGB 値が基準のものに含まれていた赤紫と比べて Green と Blue の数値が減少していたこたから白に近づいていると考えられる。しかし試料Ｃに含まれている赤紫の割合はほとんど変化が見られなかったことから，水が最も多く含まれているクレンジングオイルは赤色のインクを落とすのに効果的ではないと考えられる。

６種類のクレンジングオイルのうち“植物性の成分”配合と表記されているクレンジングオイルまたは植物性の油が含まれている試料Ａ，Ｅ，Ｆは,他のクレンジングオイルに比べて赤紫の割合が低かったことから，植物性の油が含まれているクレンジングオイルがインクを落とすのに最も効果的だと考えられる。しかし，植物性の油が含まれていて水が最も多く含まれている試料Ｃは基準に比べて赤紫の割合が減少していないことから，水が多く含まれているクレンジングオイルよりもミネラルオイルが多く含まれているクレンジングオイルのほうがインクを落とすのに効果的だと考えられる。また，商品の表示には“植物性”との表記しかなく，何の油であるかまではわからなかった。

実験１の結果から，クレンジングオイルに最も多く含まれている流動パラフィン（ミネラルオイル）にインクを落とす効果があると考えて

いたが，単体では落とすことができなかったため，複合的な要因があると考えられる。

６　まとめ

今回の私たちの実験においては，ワイシャツに水性ゲルインクボールペンのインクが付いてしまった場合，お母さんに怒られる前にできることは,植物成分配合のクレンジングオイル(水系のクレンジングローションやジェルではない)で洗ってみることである。

７　参考文献

ボールペンのインクの種類を分かりやすく解説！油性・水性・ゲルインクの違いは？
（https://mono-hack.com/post/487）（2020/6/17）
簡単な油性ペンの落とし方！生活１１０番
（https://curama.jp/magazine/1102/）（2020/6/17）
油性ペンのインクを落とす。くらしのマーケット
（https://www.seikatsu110.jp/clean/cl_house/58834/）
（2020/6/17）
写真の色情報を調べよう！カラー成分測定「色とりどり」
（https://ironodata.info/extraction/irotoridori.php）
（2020/6/17）

希薄溶液の性質を示す濃度の限界

河野 颯太　佐川 颯　岡﨑 主真　北畠 歩夢

Concentration for the properties of the dilute solution

Sota KAWANO, Hayate SAGAWA, Kazuma OKAZAKI, Ayumu KITABATAKE

Abstract

In high school chemistry textbooks, there is a unit called “Properties of Dilute Solutions”. However, there is no reference in the textbook for the concentration at which this property is expressed. If it is purposely limited to "dilute", the properties should differ depending on the concentration. So, the limits of concentration showing the properties were investigated by measuring the freezing point and the vapor pressure. From the results of the freezing point depression measurements, it is considered that the limits of concentration that indicate the properties of dilute solutions exists between 3.78 mol/kg and 3.92 mol/kg.

1　はじめに

希薄溶液とは，溶質の濃度が十分に薄い溶液であり，溶媒粒子が多数の溶媒分子によって溶媒和され，互いに離れている（Fig.1）。一方濃厚溶液では，溶媒粒子同士の接近する機会が多くなり，溶媒粒子間での相互作用があらわれる。この相互作用によって，濃厚溶液は希薄溶液とは異なる性質を示す。理想溶液の性質を示すほど希薄な溶液は理想希薄溶液と呼ばれ，溶媒の種類が同じであれば溶質の種類に関係なく濃度だけによって決まる束一性を示し，溶媒の蒸気圧が純溶媒の蒸気圧より低くなる「蒸気圧降下」，沸点が純溶媒よりも高くなる「沸点上昇」，溶液の凝固点が純溶媒の凝固点より低くなる「凝固点降下」の性質があり，以下の式で表される関係がある。

$$\Delta t = Km$$

Δt：凝固点降下度 [K]，沸点上昇度 [K]
K：モル凝固点降下 [K･kg/mol],
　　モル沸点上昇 [K･kg/mol]
m：質量モル濃度 [mol/kg]

高等学校化学の教科書には，これらの「希薄溶液の性質」について記載されている。また，浸透圧のファントホッフの法則，気体溶解のヘンリーの法則も成り立つ。

しかし，希薄と言える濃度の基準については教科書には記載されていない。「希薄」とわざわざ限定しているのであれば，濃度により性質が異なるはずである。そこで，本研究では希薄溶液の性質を利用して，希薄と言える濃度の基準を見つけることを目的とした。

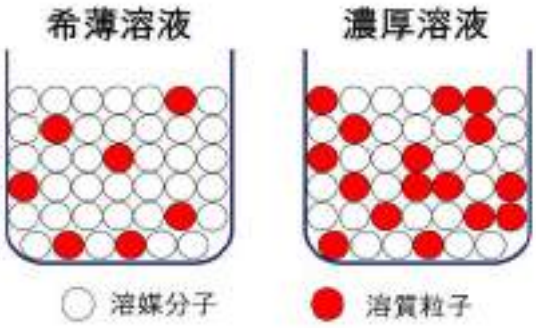


Fig.1　The image of difference between dilute solution and rich solution.

2　実験方法

実験Ⅰ　凝固点の測定

様々な濃度の塩化ナトリウム水溶液の凝固点を測定した。調製した塩化ナトリウム水溶液を，急激な温度変化を防ぐために二重にした試験管に入れ，それを砕いた氷と寒剤を入れたビーカーに入れた。寒剤として凍結防止剤として売られている塩化カルシウム二水和物を再結晶させて得た塩化カルシウム六水和物を用いた。この寒剤を入れた氷にデジタル温度計のセンサーを刺し，十分に冷却出来ていることを確認しながら行った。試験管内の温度変化はパソコンと接続したデータロガー(Labdisc)を用いて測定した（Fig.2）その後，得られた冷却曲線から凝固点を割り出した。

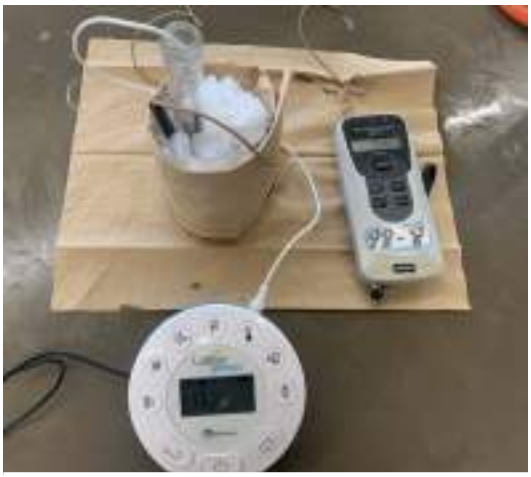


Fig.2　Experimental device of freezing point depression

実験Ⅱ　蒸気圧の測定

様々な濃度の塩化ナトリウム水溶液の蒸気圧を測定した。塩化ナトリウム水溶液を丸底フラスコに入れ，フラスコの口は，コックと圧力センサー，温度センサーを取り付けたシリコン栓で栓をした（Fig.3）。コックにアスピレーターをつなげ，限界まで減圧した。減圧できたら，熱湯が入ったトールビーカーの中にフラスコを入れ，ホットスターラーで攪拌しながら加熱した。研究開始当初は，電気ポットにフラスコを入れていたが，攪拌ができない問題があったため，先述のようにホットスターラー（最大温度設定 540℃）を使用することにした。トールビーカー内の熱湯は，実験の効率化のため，あらかじめ電気ケトルで加熱したものを利用した。また，トールビーカーには断熱材としてシリコンスポンジを巻いて熱が逃げるのを防止した。さらに，フラスコの首の部分を，なるべく口近くまで熱湯につけられるように，上から塩ビ管（内部に熱湯が入るように穴を開けた）を被せ，それをクランプでつかんで支えた（Fig.4）。

沸点付近の蒸気圧を測定し，グラフから 1013hPa となる温度を推定して，その溶液の沸点とした。

Fig.3　Sensor and cock

Fig.4　Experimental device of boiling point elevation

3　結果

実験Ⅰ　凝固点の測定

実験Ⅰの結果を以下に示す。なお，実験は複数回行い，同様の冷却曲線が得られることを確認した。

Table 1　Results of experiment 1
(freezing point depression)

濃度 [mol/kg]	2.97	3.24	3.78	3.92	4.05
理論値 [℃]	-11.0	-12.0	-14.0	-14.5	-15.0
実験値 [℃]	-11.0	-12.0	-14.0	-15.1	-16.9
差 [℃]	0.0	0.0	0.0	-0.6	-1.9

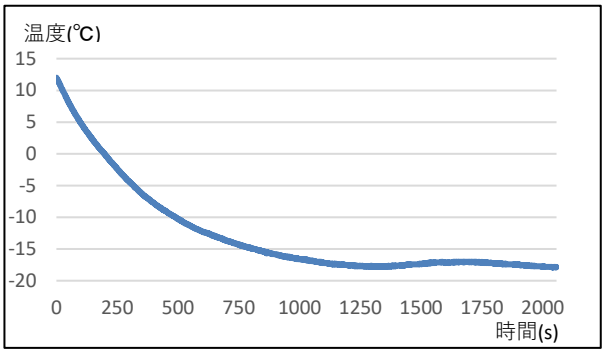


Fig.5　Cooling curve of 2.97 mol/kg NaCl*aq*

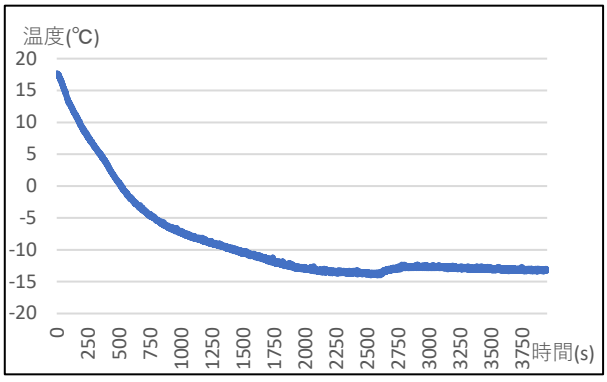


Fig.6　Cooling curve of 3.24 mol/kg NaCl*aq*

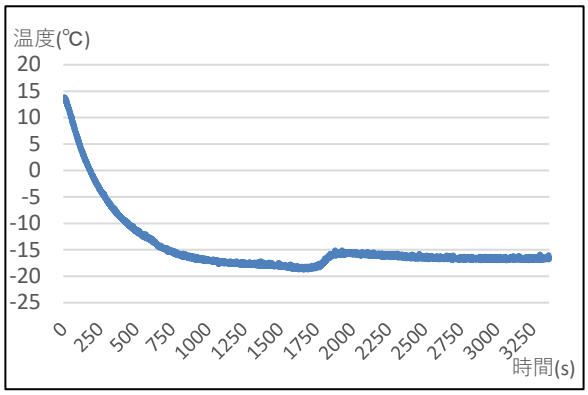


Fig.7　Cooling curve of 3.78 mol/kg NaCl*aq*

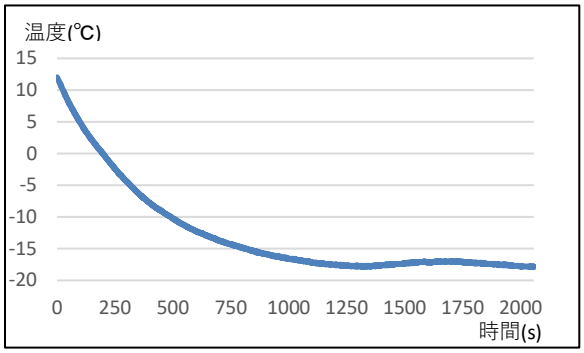


Fig.8　Cooling curve of 3.92 mol/kg NaCl*aq*

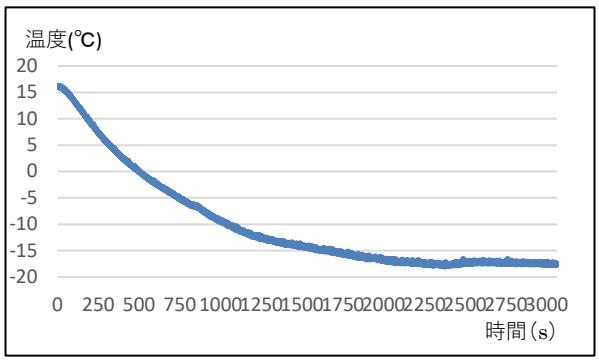


Fig.9　Cooling curve 4.05 mol/kg NaCl*aq*

濃度 3.78 mol/kg 塩化ナトリウム水溶液の場合，凝固点の理論値は－14.0℃である。実際の測定値は－14.0℃となり，理論値と一致した。同様に，2.97 mol/kg，3.24 mol/kg のときも理論値と一致した。

濃度 3.92 mol/kg の場合，凝固点は－14.5℃である。実際の測定値は－15.1℃となり，理論値と僅かなずれが見られた。

濃度 4.05 mol/kg 塩化ナトリウム水溶液の場合，凝固点は－15.0℃である。実際の測定値は－16.9℃となり，理論値と大きなずれが

見られた。

実験Ⅱ　沸点，蒸気圧の測定

実験Ⅰで凝固点降下が$\Delta t = Km$に従った濃度の最大値 3.78 mol/kg の塩化ナトリウム水溶液で実験を行った。

濃度3.78mol/kg塩化ナトリウム水溶液の沸点上昇度は 3.89K である。実際の測定値は1.2Kとなり，理論値と大きなずれが見られた。

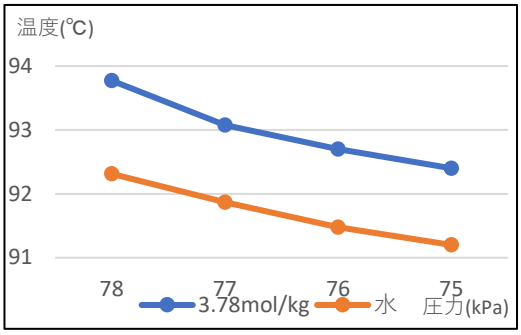


Fig.10　Results of boiling point elevation

4　考察

実験Ⅰから，凝固点の測定から，$\Delta t=Km$に従う濃度の限界は3.78 mol/kg～3.92 mol/kgの間にあると考えられる。つまり希薄溶液と推定できる濃度の境目が 3.78 mol/kg～3.92 mol/kg の間に存在する。

実験過程で得た結果についての考察

希薄溶液ではないと考えられる濃度の水溶液が理論値よりも実験値が低い値を示した。これについて塩化ナトリウムの電離度に関して推察すると電解質である塩化ナトリウムが水に溶けるとき，電離したナトリウムイオンと塩化物イオンは水和されて溶解されていくから，水中では完全に電離するはずである。しかし，電解質水溶液の濃度が大きくなると，イオン間にクーロン力が働き，個々のイオンが独立して行動しにくくなり，いくつかのイオンがまとまって行動することから，見かけ上電離度が低下する。（卜部. 2019. 化学の新研究, p163-164）

水溶液中で塩化ナトリウムは完全電離しているならば，先述の見かけ上の電離度の低下から考えて温度の下がり幅の実験値は理論値よりも小さくなるはずである。しかし，我々が行った実験結果では，温度の下がり幅が理論値よりも大きい値をとった。これらのことから，使用した純粋に何らかの物質が溶解されていて，水溶液に含まれる溶質の粒子の数が全体として多くなり，結果的に凝固点降下度[K]の増加が生じた。しかし，この仮説は使用した純水の凝固点が0℃であることを検証済みであるので可能性としては低いと考えられる。

今回我々が得た実験結果が真であると仮定して，濃厚溶液である凝固点降下度の実測値が理論値よりも大きな値をとった理由は1．イオン-水分子間の相互作用，2．イオン-イオン間でのクーロン力による相互作用によるものだと考えられる。

水溶液の濃度が高くなるにつれて生じる過冷却の温度変化が小さい原因は二つ考えられる。

1. 濃度が大きくなるにつれて水溶液の凝固点が下がるため，寒剤の冷却能力が足りず，結果的に緩やかに冷却してしまうことになったため。
2. 濃度が大きいことが理由で，凝固するために必要な結晶核が生成されやすい環境が作り出されたため。

実験Ⅱについての考察

実験Ⅱから，凝固点の測定では希薄とみなせる 3.78 mol/kg 塩化ナトリウム水溶液は理論値よりも高い蒸気圧を示したため，この濃度の水溶液は希薄でないと考えられる。これは実験Ⅰの考察でも取り上げた内容である，塩化ナトリウム水溶液の濃度が大きくなることによって，イオン間でのクーロン力が働き，いくつかのイオンがまとまって行動することにより電離度が低下する。蒸気圧の実験値が理論値よりも大きい値を示したことから電離度が低下した可能性も挙げられるが，3.78 mol/kg 水溶液における理論値は沸点上昇度 3.89 K，実験値 1.24 K で

あり，その差が 2.79 K と大きな差を示していることから電離度の低下で説明することは不可能である。他の点から考えると実験器具の不具合が濃厚である。塩化ナトリウム水溶液の沸点および蒸気圧を測定したときに純水の蒸気圧と同等の値をとることが複数回あったためである。純水の蒸気圧測定では文献値と誤差はあるものの，同等の値を実験によって検証していることから，実験装置自体が問題ではないと考えられる。よって実験を試行し続けていく中で，実験器具に不具合が起きたと考えるのが妥当である。

実験Ⅰ，実験Ⅱについて

実験Ⅰと実験Ⅱの結果からは凝固点降下と沸点上昇・蒸気圧降下では，希薄であるといえる濃度の基準が異なると考えられるが，実験Ⅱについては精度の乏しい点があるため，再度改良を施し検証する必要がある。

５　今後の展望

実験精度の向上のため，装置改良を行う。具体的には，実験Ⅰでは，これまで液体を凝固させてきたが，逆に固体を溶解させる逆測定を行う，実験Ⅱでは，これまで温度センサーをフラスコ内の溶液をつけずに蒸気の温度を測定していたが，溶液にセンサーが付くようにすることで溶液の液温を測定するなどの方法が考えられる。

溶質をスクロースなどの非電解質に変えた場合，濃厚溶液での電解質溶液との凝固点や沸点，蒸気圧の変化の違いについて検証する。

溶媒をベンゼンなどに変えた場合，水と比べて希薄といえる濃度に違いがないか検証する。

６　参考文献

数研出版「化学」-希薄溶液の性質-

生活と化学-溶液化学(希薄溶液の束一性)

（http://sekatsu-kagaku.sub.jp）（2019/12/5）

兵庫県立柏原高等学校　理科部　水蒸気圧の測定研究

静岡県立清水東高等学校　自然科学部　糖溶液での凝固点降下度と理論値とのズレ

卜部吉庸 2018　化学の新研究 改訂版 三省堂

YUNOKI Tomoya. 2012. The development of the teaching material on the crystal by using a familiar material. *Japan Society for Science Education*, 36, 361-362

発光バクテリアの単離と培養条件の検討

岡﨑 遥花　神長 あこ　小林 大成　角田 亜弥

Examination about isolation of luminescent bacterias and culture conditions

Haruka OKAZAKI, Ako KAMINAGA, Taisei KOBAYASHI, Aya SUMITA

Abstract

Some organisms emit light on their own by building symbiotic relationships. Luminescent bacteria that are making symbiotic relationships with squid is focused on. Luminescent bacteria is living in underwater, and some of them can emit light themselves others can't emit lighting without making it. However, Most luminescent bacteria live only with animals, and today no luminescent bacteria makes it with plants. If it makes out that Luminescent bacteria's culture conditions, it will help symbiosis of plant, so we analyzed about Luminescent bacteria's growing laws in the agar medium and liquid medium. When agar medium mixed with extract of squid grow, the more it emit light, the more near the rate of sodium chloride in sea water. Liquid medium made of squid's extract emit light when the rate of sodium chloride is 3.5%, but the light is invisible, so the Luminescent bacteria's culture conditions should be reconsidered.

１　はじめに

弱く光るもの，色鮮やかに光るもの，点滅するもの…と生物によって発光の仕方は様々である。そもそも，生物の発光には化学発光と共生発光などがある。化学発光とは化学反応によって励起された分子が基底状態に戻る際，エネルギーを光として放出される現象である。一方で，共生発光とは化学発光をする微生物がほかの生物に共生して発光する現象である。ここで注目するのが，発光バクテリアである。発光バクテリア（Luminescent bacteria）とは，生物発光を行うバクテリアのことで，バクテリアに含まれるルシフェラーゼという酵素がアクセリーヌタンパク質による発光反応を受け，ルシフェリンによる発光を促進する。その光の調節はコロニーを形成することで行われる。発光バクテリアはそのほとんどが海に生息しており，個で生きるものや共生していきるものがある。共生している発光バクテリアのほとんどが動物と共生していて，植物と共生している発光バクテリアは今のところ存在しない。本研究では，イカの体表に生息している発光バクテリアを採取して，寒天培地や液体培地を用いて培養または生息条件を調べ，発光バクテリアと植物との共生の手助けとなることを目指した。

２　実験方法

実験１「培養温度の検討」

発光バクテリアを用いた実験するうえで，まずは培養する温度に着目した。そこで，温度に関する対照実験を行った。発光バクテリアがよく育つ適正温度，イカの部位による発光の違いを知ることを目的とする。

発光バクテリア，スーパーなどで買えるイカでも発光バクテリアは十分発光することができると知った。そこで，今回の実験ではスーパーで買ってきたスルメイカを使用した。蒸留水 200ml に人工海水の元を 7.2g 入れ，塩分濃度 2.8%の人工海水を作った。

市販のイカを鰭，胴，脚に解体し，それぞれ

を人工海水に浸した。人工海水の量は解体したイカの体表にかからない限りとする。その後，7 ℃， 10 ℃， 25 ℃ で 1 日 静 置 し た 。(Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3)。

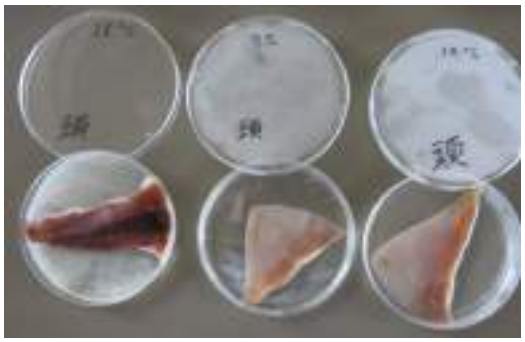


Fig.1　Picture of fins

Fig.2　Picture of squid’s body

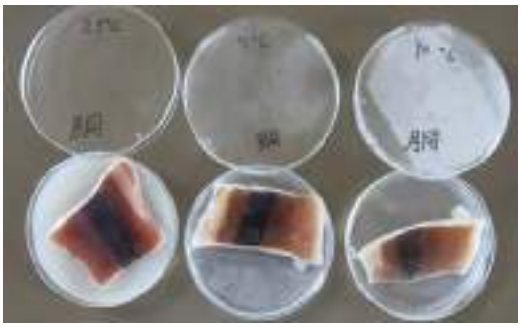


Fig.3　Picture of squid paw

結果

25℃の胴の部分のみ発光を目視することができた（Fig. 4)。25℃の鰭，脚，7℃，10℃の各部位では発光を確認することができなかった（Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6)。

Fig.4　Result of experiment

Fig.5　Result of experiment

Fig.6　Result of experiment

考察

強い発光を確認できた所ほど斑点が多く大きいコロニーを形成すると推定できる。

発光バクテリアの発光に適した温度は 25℃付近ではないかと判断した（Fig. 4)。参考文献では，17～18℃や 20～25℃で発光バクテリアが生育することがわかった。実験 1 の結果より 25℃のみで発光が確認されたため，参考文献で分かった生育温度も考えに入れ，培養温度を 20℃で行うことにした。

本実験では，菌の増殖は確認できたが長期間の発光は見られず，３，４日で発光を目視することができなくなった。菌を長持ちさせるのに温度以外で影響するのは培地の塩分ではないかと推測した。

本実験では塩分濃度 2.8%人工海水に浸す実験を行い，発光バクテリアのコロニー形成を確認した。しかし，塩分濃度 2.8%人工海水に浸さず，冷暗所およびインキュベーター内に数日間置いた。この場合においても，イカ体表における発光バクテリアのコロニー形成が確認された。

実験２「発光バクテリアの単離」

イカの外套膜から発光バクテリアの採取を行った。実験１の方法より塩分濃度 2.8%人工海水とイカの外套膜を用いて培養させた。しかし培養容器を動かすと，人工海水がイカの体表にかかってしまい，発光バクテリアが採取しにくくなると考えた。そのため実験２においては，イカの外套膜のみ容器に入れ，20℃のインキュベーター内に置いた。

数日間観察を続け，暗所にてイカ体表に発光部があることを確認した。目視での観察と写真撮影を行った。発光バクテリアの単離には，イカ抽出液寒天培地を用いることにした。イカ体表から，目視にて発光が認められた部位より，滅菌した竹串を用い釣菌し，イカ抽出液寒天培地に植菌した。その後，画線分離法を用いて植菌し，20℃のインキュベーター内で培養した。培養は，平板培地より発光部を釣菌し，イカ抽出液寒天培地へ植菌した。この操作を複数回行うことで，発光バクテリアを単離させた。以降の実験に用いる発光バクテリアとする。

実験３「培地の塩分濃度の検討」

発光バクテリアの培養する培地の塩分濃度のみを変えて実験を行うことにした。他の条件は**実験１**を参考に進める。発光バクテリアの生育および発光する状況がはっきりと見ることができると考え，イカ抽出液寒天培地を用いた。イカの成分で生息しているのかと考え，抽出液の塩分濃度を利用して，濃度を変化させる。

抽出液は，イカの外套膜や脚を蒸留水に入れて加熱し，イカの成分を抽出した。

イカ：水＝１：３の質量比になるようにし，ビーカーに入れる。20 分間加熱後，ろ過し，冷却後塩分濃度計を使い，濃度を測定した。

塩分以外にもイカから成分が抽出されているが，それは実験を行うにあたって抽出液を調製するたびに同じ成分が抽出されていることとする。

寒天培地の塩分濃度の調整方法については，初めに作成した，抽出液の濃度を計測したところ 0.5%であったため，質量パーセント濃度を求める式よりイカに含まれている塩化ナトリウムは 0.3ｇだと推定できる。変化させたい量に合わせて，不足している塩化ナトリウムを追加していく。追加した塩分量や，塩分濃度は下の表に示す。発光する塩分濃度を絞るために大まかな濃度で実験をした。

Table 1　Result of experiment

	塩分濃度	抽出液	塩化ナトリウム	追加した塩化ナトリウム
A	0%	60ml	0g	0g
B	0.50%	60ml	0.30g	0g
C	19%	60ml	14.4g	12.4g

20℃における塩化ナトリウムの溶解度は溶解度曲線より 19%である。

結果

表（Table.1）に示した実験結果より，塩分濃度 0.5%のみで発光が確認できた。次に発光バクテリアが発光する塩分濃度の上限を調べるため，塩分濃度の範囲を絞り，実験を行うことにした。

Table 2　Result of experiment

	塩分濃度	抽出液	塩化ナトリウム	追加した塩化ナトリウム
D	7%	60ml	4.2g	3.9g
E	10%	60ml	6.7g	6.2g
F	13%	60ml	8.9g	8.6g
G	16%	60ml	11.4g	11.1g

上記の結果（Table.2）より D～G のすべてにおいて発光が確認できなかった。さらに詳しく知るために７%以下の濃度で調べることにする。

Table 3　Result of experiment

	濃度	抽出液	塩化ナトリウム	追加した塩化ナトリウム
H	1.5%	60ml	0.91 g	0.66 g
I	2.5%	60ml	1.50 g	1.25 g
J	3.5%	60ml	2.20 g	1.95 g
K	4.5%	60ml	2.80 g	2.55 g
L	5.5%	60ml	3.50 g	3.25 g

Fig.7　Result of experiment

結果

塩分濃度 4.5%までは光ったが, 5.5%は写真で見られるぐらいだった。実験結果, 0.5%から 4.5%までは発光が見られたが 5.5%はかろうじて撮影が可能であり,6.5%以降は発光が見られなかった。数日後　長い時間をかけて発光するもの，一気に強く発光するものがあった。塩分濃度が，低めのものは，はじめは，発光がなかなか見られなかったが，数日後に見ると，発光していた。塩分濃度が高いと翌日に一気に発光した（Fig.7)。

考察

海水に含まれている塩化ナトリウムの割合（2.6%）に近いほど強く発光すると判断する（Fig.7)。また，塩分の濃度によって，急激に発光するものや長期的に弱く発光するなど，菌の発光の仕方に違いが現れたこの寒天培地での実験の結果をもとに，液体培地を作成することにした。

実験４「液体培地への移行」

実験３では，発光バクテリアを植菌するとき竹串を用いていたため，培地によって，菌の量にばらつきができてしまっていた。そこで，**実験４**では事前に菌を液体培地で増殖させたものを，塩分濃度 0.50%～5.5%に調整した液体培地に同じ分量（60ml）入れた。液体培地はインキュベーター内で振とう培養（200rpm）し，約 1 日後に観察を行った。

結果

各塩分濃度での発行の有無については表に示した通りの結果となった（Table.4)。寒天培地では発光バクテリアの発光が確認できた塩分濃度の液体培地では,培地に濁りが見られたので,発光バクテリアが増殖していることが確認できたが，発光を目視することはできなかった（Fig.8)。写真では，カメラの ISO 感度を高くし,撮影したところ発光が確認できた(Fig.9)。

Table 4　Results of liquid medium

塩分濃度(%)	0.50	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
発光の有無	×	×	×	△	×	×

※△→目視では確認できなかったが写真では確認できた。

×→発光なし

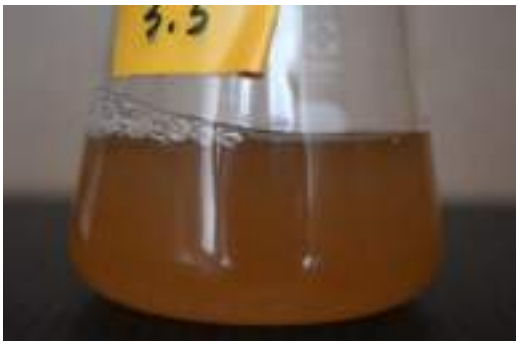


Fig.8　State in a bright place
(ISO3200　露出 1/20 秒)

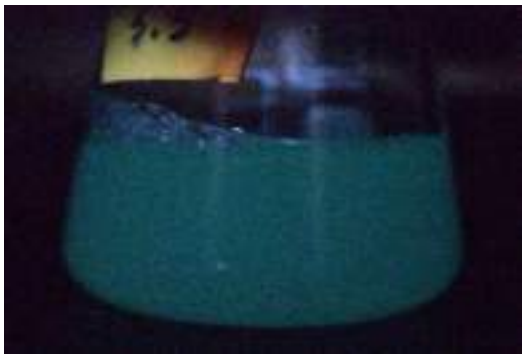


Fig.9　State in a dark place
(ISO32000　露出 30 秒)

考察

実験４の結果から液体培地に使用した塩分濃度は,寒天培地では発光を目視できていたため,塩分濃度以外に発光しない理由があると推定する。

３　参考文献

板屋民子，飯島正雄，斉藤貢一，正木宏幸，青木敦子，齋藤章暢, 安藤佳代子, 徳丸雅一, 坂東正明. 1992. 発光する玉子焼にぎり寿司から分離した発光細菌の検討

佐藤雄一. 2010. 発光バクテリアにおける発光特性の解析ならびに発光変調を引き起こす蛍光タンパク質 LumP の構造生物学的解析

池田威秀，秋山豊子. 2012. 発光バクテリアを用いた実習プログラムの開発

桑原眸. 2018. 海洋性発光細菌の発光誘導因子の解明とバイオアッセイへの応用

近江谷克裕. 2016. 化学と教育 64 巻 8 号. 発光生物の光る仕組みとその利用

ゴキブリの交替性転向反応

枝谷 拓斗　海老沢 悠仁　住谷 朱里　根本 花菜

Turn Alternation of Turkestan Cockroach

Hiroto EDAYA, Yuto EBISAWA, Akari SUMIYA, Haruna NEMOTO

Abstract

It is said that invertebrate show turn alternation. However, there is no precise data to prove it, so we focused on Turkestan Cockroaches (*Shelfordella lateralis*). They move fast enough to have an experiment efficiently. We made them walk in a maze. As a result, Turkestan Cockroaches showed turn alternation with high probability. No antenna one also showed it, but the probability was lower. If only one side of the maze was wet, they moved the other side with high probability. However, when both sides were wet, the success rate was dropped a little.

１　はじめに

交替性転向反応とは,連続する分岐点があるとき,高い確率で右に曲がった後は左に,左に曲がった後は右に曲がるという,無脊椎動物に多く見られる習性である。天敵から逃げるための行動,あるいは脚にかかる負担を分散するための行動と考えられている。本研究では,今まで実験に用いられていなかったゴキブリを用いて,触角やコースの条件を変えて交替性転向反応の実験をした。この実験を通じて,無脊椎動物の習性に対する理解を深めるのが目的である。

２　先行研究

本校では長年に渡って交替性転向反応に関する先行研究が行われており,ダンゴムシやミミズ,ワラジムシなどの様々な無脊椎動物を用いて,様々な実験方法や実験器具を作成し,実験が行われていた。使用した生物によってばらつきはあるが交替性転向反応を示すという結論は毎年出ていた。

３　実験方法

欠損の無いゴキブリ,触角を抜き取ったゴキブリ,頭部を切断したゴキブリを用意する。実験には,ペット用の餌として市販されているレッドローチを使用した。(Fig.1)ゴキブリのサイズにあった大きさの迷路を作成し,交替性転向反応を示した回数に応じた0点から 3 点までの点数を迷路の出口に設置した。(Fig.2)下のコースを歩かせる実験をそれぞれ 100 回行い,点数と最初に曲がった方向を記録する。また,ゴキブリの光に対する反応を調べるため,ゴキブリに紫外線,可視光線を照射し,反応を観察した。

Fig.1 Cockroach for experiment

実験に使用したゴキブリ

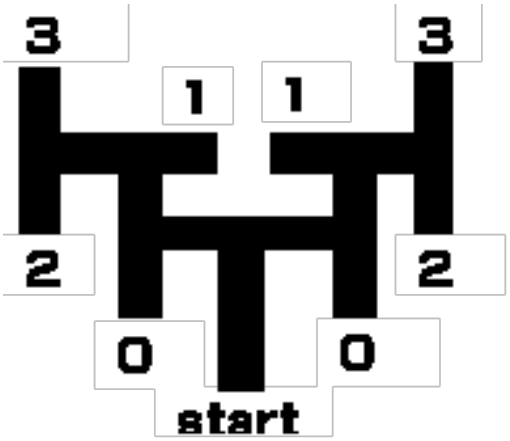


Fig. 2 Maze of experiment

Fig. 3 Probability of turn alternation

［実験 1］

欠損のないゴキブリ,触角を抜き取ったゴキブリ,頭部を切断したゴキブリを歩かせた。

［実験２］

迷路の半分を水で濡らしたコースと全部を水で濡らしたコースを用意し,欠損のないゴキブリを用いてそれぞれのコースを歩かせた。

［実験３］

ゴキブリに可視光線,紫外線を照射し,光に対する反応を観察した。

４　結果

［実験１］

欠損のない個体は８割以上の確率で３点を示したのに対して,触角のない個体は 7 割強の確率で 3 点を示した。(Fig. 3)頭部を切断した個体は５割の確率で 3 点を示した。（この個体は歩行速度が著しく低下したため,実験は４回で終了した。）

最初の分岐点で曲がった方向の割合は,触角ありの個体よりも触角なしの個体の方が若干右に曲がる回数が多かったが,そこまで大きな差はなかった。(Fig. 4 Fig. 5)

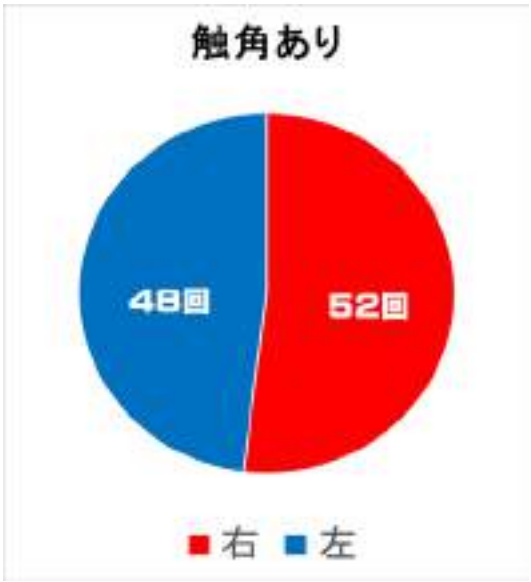


Fig. 4 Direction of first turning(normal individual)

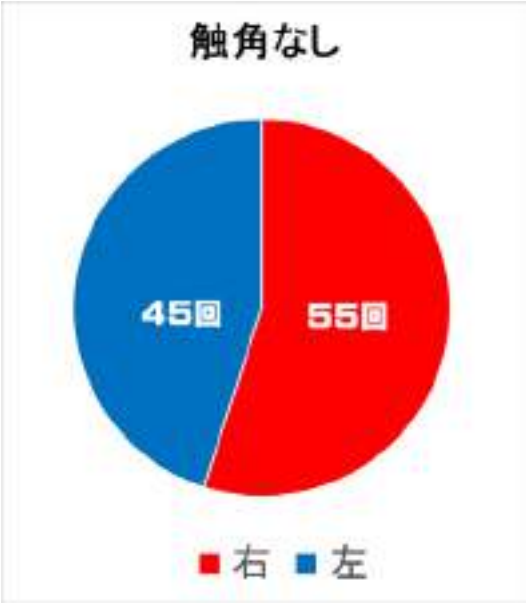


Fig.5 Direction of first turning(no antennae individual)

先行研究で用いた無脊椎動物との 3 点を示した。比較すると,ゴキブリは他の生物より高い確率で交替性転向反応を示すことが分かった。(Fig.6)

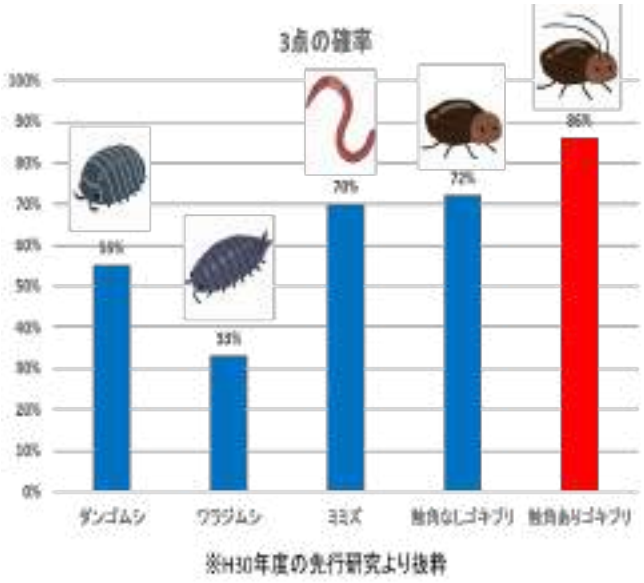


Fig.6 Comparison for other bugs

頭部を切断したレッドローチは歩行速度が著しく低下したため,実験として不適切であると判断し,それ以上頭部や触角を切断する実験は行わなかった。(Fig.7)

点数	回数
0点	2回
1点	0回
2点	0回
3点	2回

Table Result of no head individual

［実験２］

右半分を水で濡らしたコースでは,7 割の確率で 3 点を示した。全体を水で濡らしたコースでは,6 割以上の確率で 3 点を示した。(Fig.8)

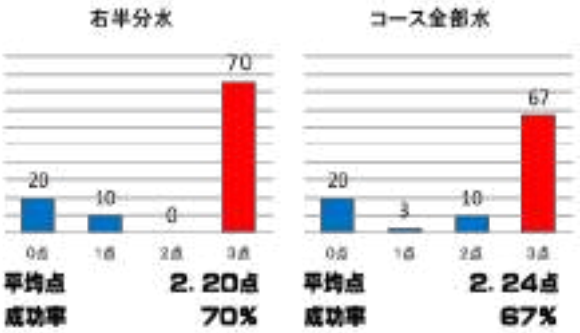


Fig.8 Probabirity of ATR(wet floor)

最初の分岐点で曲がった方向の左右の割合は右半分を水で濡らしたコースでは,8 割以上の確率で最初の分岐点で左に曲がり,全体を水で濡らしたコースでは,左右どちらにも同じくらいの確率で曲がった。(Fig.9 Fig.10)

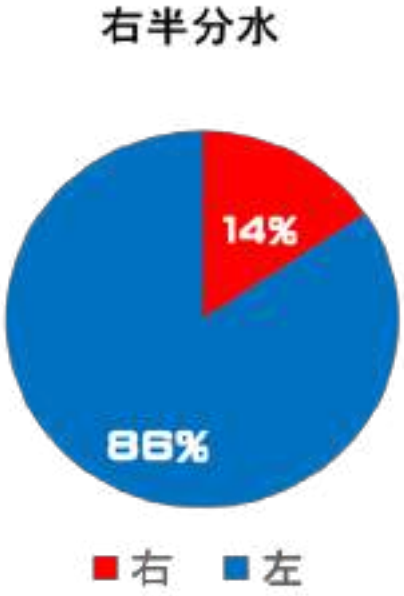


Fig.9 Direction of first turning (right side wet)

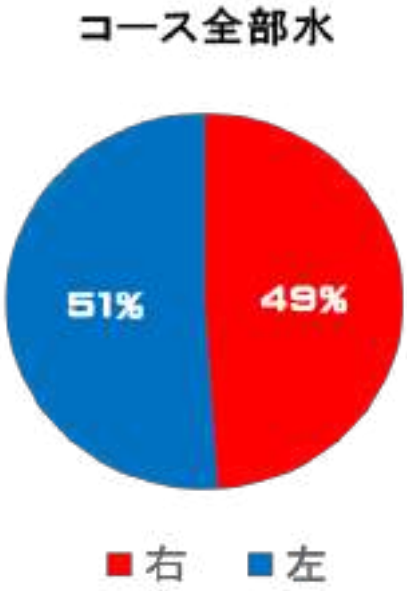


Fig.10 Direction of first turning (both sides wet)

［実験３］

ゴキブリは可視光線,紫外線のどちらにも反応を示さなかった。

５　まとめと考察

触角を失うと,交替性転向反応を示す確率が僅かに低下するので,触角は交替性転向反応に影響を及ぼすが,触角がなくても高確率で交替性転向反応を示すと考えられる。

右半分を水で濡らすと左に曲がる確率が上がったことから,ゴキブリは水を嫌うと考えられる。

長期に渡って繁栄しているゴキブリが,交替性転向反応を高確率で示すことより,交替性転向反応とは,天敵から逃げるための行動である可能性がある。

６　参考文献

・https://woriver.com/17047/（R2　6/24）
・https://hachuarium.com/feed/redroach-esa
(R2 12/2)
・H30 年度　先行研究「無脊椎動物による交替性転向反応」（R3　1/21）

塩類集積した土壌での植物の生育状況と除塩方法

細越 皓多　島田 琉斗　阪元 美沙希　石塚 梨紗

The growth of plants in saline soil and desalting from soil

Kota HOSOGOSHI, Ryuto SHIMADA, Misaki SAKAMOTO, Risa ISHIZUKA

Abstract

Salt damage is caused by evaporation of soil moisture and appearance of salt. This salt causes plants ion stress, then plants cannot grow. Also, in Africa, salt damage promotes the desertification. First, we made various kinds of saline soil and grew up komatsuna. Second, we compared with eggplant grown in normal soil and saline soil. As a result, leaves and stem bent low and fruit wilted from lack of water. Third, with desalination method, we were able to confirm a decrease in salt concentration.

１　はじめに

インターネットで，塩害が発生している地域を調べ，白地図に赤で示した（Fig. 1)。塩害とは，土壌に塩分が大量に含まれることで植物の成長が阻害されることである。灌漑農業を行うことで，地下にある塩分が毛細管現象によって地表に集積する。集積した塩分によって，植物にイオンストレスなどの悪影響を及ぼしてしまう。イオンストレスとは植物体内に入った過剰なイオンにより葉の枯死や，代謝の阻害を引き起こす原因のことである。

コマツナはアブラナ科に属する野菜であり耐塩性がある植物である。また，ナスはナス科の野菜で，コマツナよりも耐塩性が低い植物である。

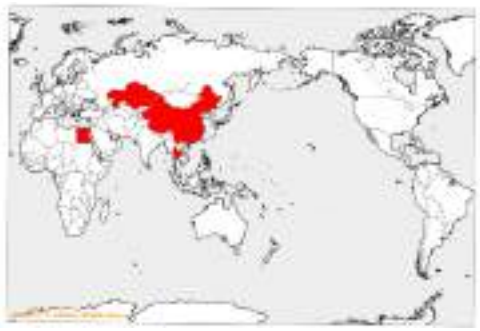


Fig.1 Areas where the main salts are accumulated

土壌から塩分を除く方法としては，土を水であらったり炭酸カルシウムを混ぜたりする方法がある。しかし，この方法をしたことによって，どのくらい塩分濃度が下がるのか正確な数値は分からない。そこで本研究では，コマツナとナスを通常の土壌と塩類集積した土壌で育て，どのように成長の度合いが出るか調べる。また，塩類集積した土壌に除塩作業を行い，除塩前と後の土壌の塩分濃度を計測し数値を比較することで，どちらの操作が効率的なのかを調べる。

２　実験方法

Ⅰ　土壌の塩分濃度とコマツナの生育の比較

５本の四角い２Ｌペットボトルを，カッターを用いて切断し，プランターを作成する。水はけを良くし根腐れを防ぐためにペットボトルの底の四隅に錐で穴をあける。市販のプランター培養土（天然粒土）350ｇ，肥料（窒素：リン酸：カリウム＝８：８：８）3.00ｇをそれぞれのプランターに入れる。蒸留水を用いて，１％，３％，５％,10％の塩化ナトリウム水溶液を作り，それぞれ種をまいた土壌にかけ入れ，１つは蒸留水を与える。

蒸留水，１％，３％，５％,10％の塩化ナトリウム

水溶液を加えた土壌をA, B, C, D, Eとする。２日に１回塩化ナトリウム水溶液を与え，成長過程を観察する。

Ⅱ　ナスを植える下準備

土(10kg)に塩化ナトリウムを加えていないものをa, bとおく。また，土(10kg)に 塩化ナトリウム(100g)を混ぜたものをc, dとおく。また，a, b, c, dの全てに肥料30gを加えた。

Ⅲ 塩類集積した土壌を除塩する方法

土(300g)に 3%塩化ナトリウム水溶液(200ml)を加えた。土に溶液が浸透しなかったので，ろ過をし，塩性化した土壌（以下，塩性土壌）を取り出した。ろ紙についた土は乾燥させて取り出し，塩性土壌に戻した。

除塩方法は，土を大量の水で洗った後，炭酸カルシウムを加えた。それぞれの操作が終了したとき，土壌中の塩分濃度が下がったかを塩分濃度計を使って調べ，通常の土壌の塩分濃度と比べた。今回測定に使用した塩分濃度計は，株式会社竹村電機製作所のポケットマルチテスターPCST 35であり，使用方法は，土壌を一部採取し蒸留水を加え，振り混ぜた後静置し，その上澄み液にテスターを浸け測定する。

３　観察

Ⅰ　コマツナの生育状況

実験の当初は，与える水や塩化ナトリウム水溶液を15mLに設定した。しかし，この条件では，生育が始まるはずのAでも発芽しなかった。そこで与える量を50mLに変更し，観察を続けた。その結果をTable１に示す。

12 月 9 日の観察ではAとBに着目して比較した。Aの芽の長さは９㎜で，子葉の色は黄緑色であるのに対し，Bの芽の長さは８㎜で，子葉の色はAより濃い緑色だった。

12 月 16 日の観察では，Aの茎の長さは最長1.5cm，葉の色は濃い緑色であり，一部が欠けている葉があった。Bの茎の長さは最長1.5cm，葉の色は濃い緑色と白色を帯びたまだらな色になっていた。また，小さい葉には枯れているような黄色がかった葉が存在した。この日の観察では，Eの土壌において白色の固体が確認できた。

Table1　Growth of Komatsuna

	11/2	12/4	12/7	12/9
A 蒸留水	種まき	発芽しなかった		発芽した（２本）
B 1％		発芽した（２本）	芽が増え伸びた	芽が増え伸びた
C 3％		発芽しなかった		
D 5％				
E 10%				

Ⅱ　ナスの生育状況

観察を続けるうちに，塩性土壌で育てているc，dの見た目が弱々しくなり，葉の色が薄く，実はほとんどならなかった。唯一，dにおいて一つだけ結実したが，多数結実したa, bと比較すると，実が干からびてしまった。具体的にc, dでは、茎が細くなり草丈も a, b　　より低く，葉は全て落ちてしまった。(Fig.2)

Fig2.　Compare to eggplants

Ⅲ　実験Ⅲの結果

実験の手順に従って操作を行い，手順ごとに測定した結果をTable 2に示す。

ここから分かる通り，炭酸カルシウムを加えた後

より，水洗いのみの方が土壌の塩分濃度は低い値を示した。また，炭酸カルシウムを加えた後に通常の土壌の塩分濃度とほぼ同じになった。

Table 2　Experiment III

	濃度(%)
通常の土	0.6
塩性土壌	1.24
水洗い(礫)	0.21
水洗い(泥)	0.22
炭酸カルシウム(礫)	0.56
炭酸カルシウム(泥)	0.56

４　考察

Ⅰ　実験１の考察

コマツナの茎が曲がったり，葉が黄色になったりするのは，イオンストレスによってコマツナの中の水分が土壌中に抜けたからと考えられる。また，塩分を大量に与えたことで土が固まったことから，土壌中の微生物が死滅し，土壌の塩性化が発生したのではないかと推測する。

Ⅱ　実験２の考察

ナスが育たなかったのは，塩類集積が原因と推定する。また，ナスがコマツナに比べて耐塩性が弱いがナスが育ったのは，コマツナの実験は塩化ナトリウム水溶液を継続的に与えたが，ナスの実験は塩化ナトリウムを土に含ませて水を与えたため，塩化ナトリウムの含有量が変化したからと考える。

Ⅲ　実験３の考察

水で大量に洗ったときに塩分濃度が急激に低下したのは、土と水を分類するためにろ過を用いたからと考える。また、炭酸カルシウムを用いることで塩分濃度がわずかに上昇したのは、塩分濃度計の計測方法がイオンによって測定していたからではないかと考えられる。

５　実験のまとめ

この実験を通して，土壌中の塩分を取り除くことに成功した。しかし，灌漑している地域のような大規模な農業において実験で行った大量の水を使った除塩方法は現実的ではないと考えた。また，ナスとコマツナの栽培で塩害が植物に甚大な影響を及ぼしていることが分かった。今後の展望としては，安全かつ大規模な除塩方法を模索していきたい。また，塩害が原因であるイオンストレスを阻害できるような方法を発見していきたい。

参考文献

株式会社カクイチ　Think and GrowRicci
https://www.kaku-ichi.co.jp/media/crop/earth-building/salt-damage (2020/12/9)
EIC ネット 環境情報案内・交流サイト
https://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=267 (2020/12/9)
鳥取大学 乾燥地研究センター 特任教授 北村義信
乾燥地における塩類集積の脅威と対策
http://www.jiid.or.jp/ardec/ardec53/ard53_key_note3.html (2021/5/12)
岐阜県産業経済研究センター
土壌資源･食糧問題からみたアルカリ土壌改良
https://www.gpc-gifu.or.jp/chousa/infomag/gifu/100/6-chon.html (2021/7/7)

コリドールで勝ちたい！！

大内 達樹　木村 遥　松﨑 裕哉

To be the champion of Quoridor

Tatsuki OUCHI,　Haruka KIMURA,　Yuya MATSUZAKI

Abstract

Quoridor is a board game that the first person reaches the opposite side is the winner. First,　we focused on the number of squares to the goal. By adding number to how to move polls and put the wall. We hypothesized that the player who have small number will win. In conclusion,　our conditions of number were not perfect and the hypothesis did not reach solution. Second,　we focused on the number of roads to the goal. We hypothesized that the player whom roads is smaller will win. In conclusion,　the player who have fewer the number tend to win.

１　はじめに

コリドールとは，1997 年にフランスで販売されたボードゲームで，その年のメンサセレクトに選ばれている。また，コンピュータ・オリンピックの種目にもなっている。しかし，日本ではまだ知名度が低くプレイ人口も少ない。その為，必勝法が分かれば大会で優勝出来ると考えた。しかし，相手を邪魔しながらゴールを目指すシンプルなルールにもかかわらず，考えられる手数が多すぎることなどからまだ必勝法が見つかっていない。

そこで，ゲームを有利に進める方法を見つけることを目的に研究を進めた。また，全てを自分たちで調べたかったため，インターネットや文献等で情報を得ずに研究を行った。

２　ルール

コリドールは 9×9 マスのボードの一番手前の列の中央にコマを置いてゲームをスタートする。2～4 人で対戦することができ，合計 20 枚の壁を，2 人時は 10 枚，3 人時は 6 枚，4 人時は 5 枚を各プレイヤーに分ける。毎ターンごとにプレイヤーは「コマを 1 マス動かす」「壁を置く」のどちらかを選ぶことができ，先に反対側の 1 列どこかにコマが到達した人の勝ちとなる。コマは前後左右に動かすことができ，斜めの移動はできない。壁は飛び越えることはできない。コマ同士が隣り合った場合，相手のコマを飛び越えることができる。壁はマスとマスの間にまたがるように置かなくてはならず，ほかの壁と同じ場所に設置することはできないが，壁と壁の隙間を通すような形であれば設置することができる。また，相手がゴールにたどり着けなくなるような置き方はできず，必ず 1 か所以上，ゴールへの道が残るような置き方をする必要がある。（Fig.1）

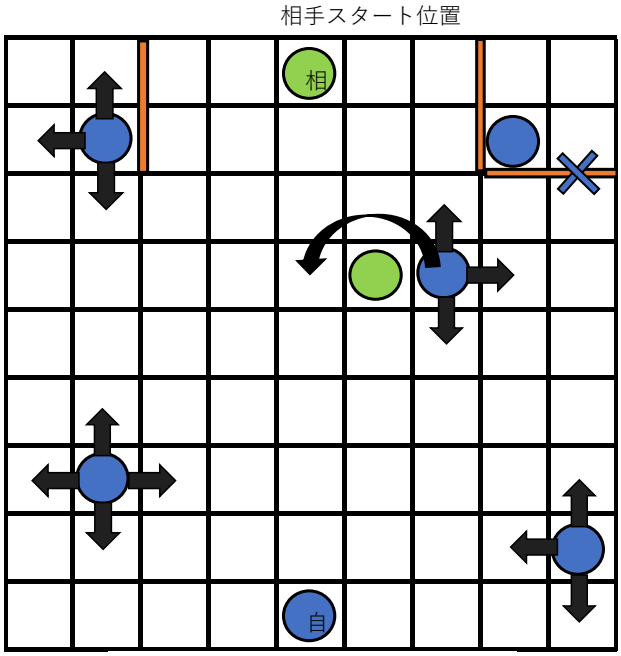


Fig.1　Rule of Quoridor

3　仮説①

このゲームでは１ターンにコマを１マスしか進めることができず，壁を置いて相手のゴールまでの最短距離を延ばすことが醍醐味となってくる。そこで，現在コマのいる位置からゴールまでの最短距離のマス数が少ない＝有利であるという仮説を立てた。

「ゴールまでの最短距離のマス数」を“LIFE”と呼ぶこととする。

壁を置いた時に相手の“LIFE”を増加させる手が，より良い手と考えることができる。そこで，試合中に“LIFE”を数え，どのような手が相手の“LIFE”を増加させるか確かめれば，ゲームを有利に進める方法につながる手がかりを得られるのではないかと考えた。

4　検証①

“LIFE”を数値として可視化するために“LIFE”を正確に数えられる数え方を定義する。コリドールの試合中に数えるため“LIFE”の数え方はより単純であることが求められる。また，対戦の効率化のためボードを 5×5 に縮小し，壁の枚数を 5 枚ずつに減らし対戦した。

初めに，次のように“LIFE”の数え方を定義した。(Fig.2)

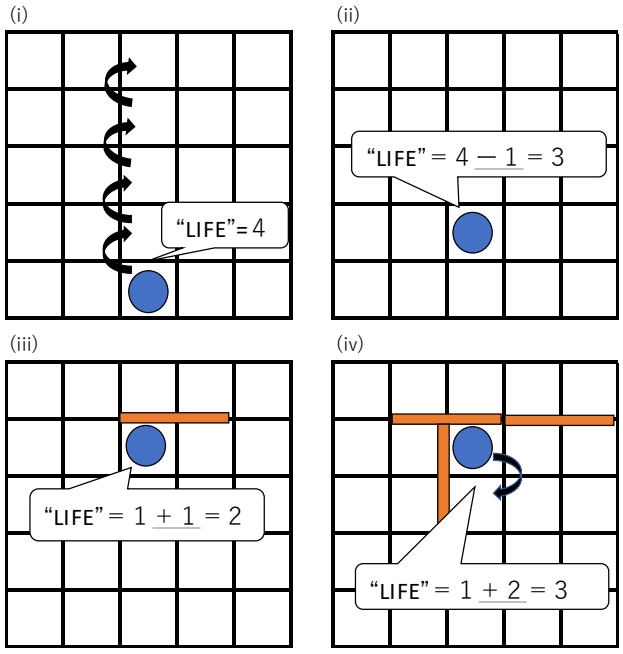


Fig.2　How to count the　“LIFE”

(i)　スタート時　……“LIFE”＝4

(ii)　コマが前後左右１マス動く　……“LIFE”－1

(iii)　目の前に壁がある　……“LIFE”＋1

(iv)　コマが後ろに下がる……“LIFE”＋2

“LIFE”がゼロになるようにコマを進め，自分と対戦相手双方の“LIFE”を数えながら対戦を繰り返した。

5　結果①

“LIFE”の数え方が複雑化してしまい，試合中にコマの動かし方と“LIFE”の両方を同時に考えることができなかった。もともと要求される単純な定義からかけ離れてしまったため，別の視点からゲームを有利に進める方法を見つけられないかと考えた。

6　仮説②

9×9 のボードを 3×3 に縮小して試行回数を増やし，すべてのコマの進め方と壁の置き方を検証すれば，板の置き方やコマの進め方にゲームを有利に進める方法が見いだせるのではないか。

7　検証②

9×9 のボードを 3×3 に縮小して試行回数を増やし，全てのコマの進め方と壁の置き方を検証した。

板の置く場所とコマの動いた場所にアルファベットと数字を設定し (Fig.3)，記録を効率的に取った。

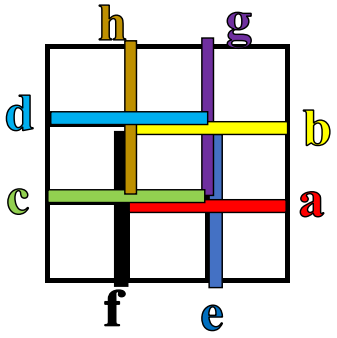


Fig.3　The place put boards

3×3 のボードにおいて，先攻が初手で前進すると必ず負けることがわかっている。そこで，先攻

は初手で，①板を置く②コマを横に動かす，の 2 パターンに固定して考えた。

8　結果②

対戦が終わった時点での板の置き方に着目してデータ化すると，必ず 20 種類のいずれかの形になることがわかった。(Fig,4)

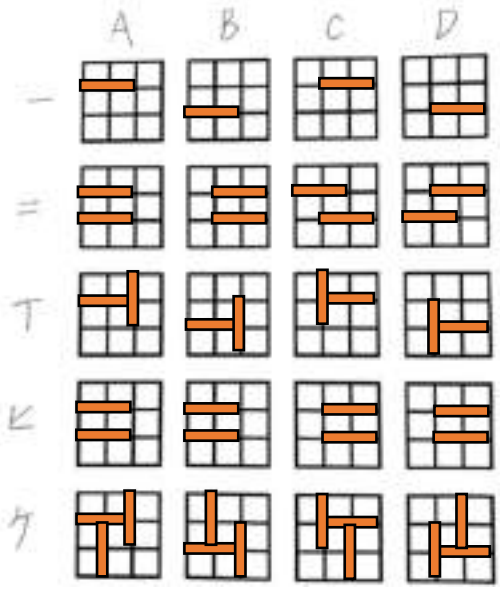


Fig. 4　3×3 How to put boards

そして，3×3 のボードでは必ず後攻が勝つことを確認することができた。先攻の初手が

(i)　　前進するとき

(ii)　　横（左右）に動くとき

(iii)　　b に板を置くとき

の 3 つに分類される。それぞれについてコマの動かし方を示す（Fig.5-1～3）

(i)前進する

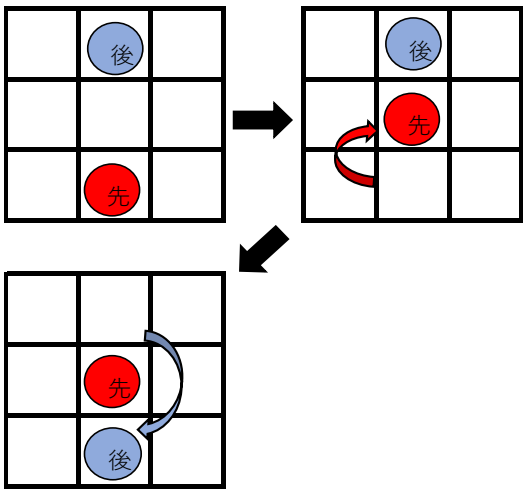


Fig.5-1　(i)Moving forward

(ii)横に動く

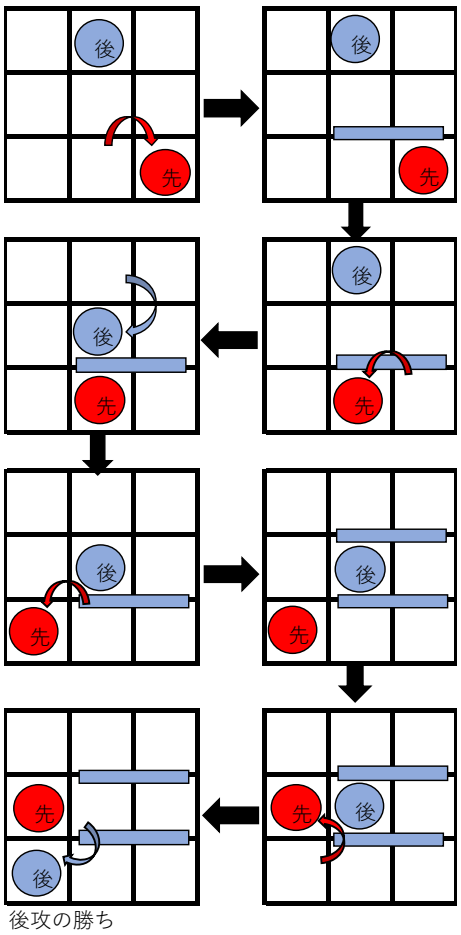
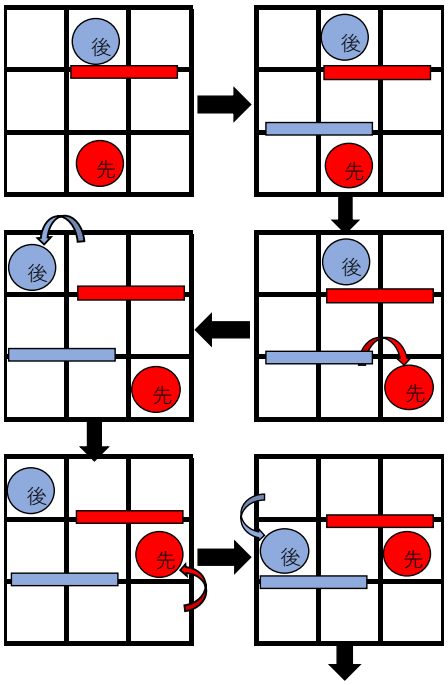


Fig.5-2　(ii)Moving left or right

(iii)bに板を置く



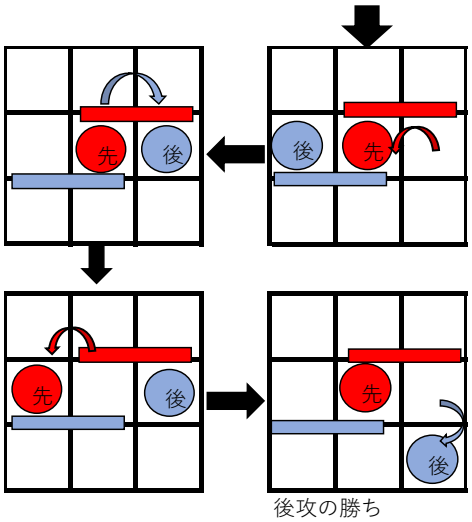


Fig.5-3　(iii)Putting board on b

9　仮説③

ボードのマスを 3×3 から 5×5 に広げて，全てのコマの進め方と壁の置き方を検証すれば，さらにゲームを有利に進める方法が見いだせるのではないかと考えた。

全てのコマの進め方と壁の置き方を検証しようと試みたが，通り数が多すぎた為，全通り試すことを諦めた。

コリドールでは，「ゴールまでの道の選択肢の数」が 2 つ以上ある場合，自分が進もうとした道がふさがれ，遠回りしなければならないシチュエーションがあり，この遠回りが勝敗に大きく関わる。

そのため,「ゴールまでの道の選択肢の数」が少ないほうが遠回りの回数が少なくなり対戦を有利に進められると考えた。

10　検証方法③

自分と相手のルートに着目し検証をした。「ゴールまでの道の選択肢の数」を“ルート”と名付けた。(Fig.6)

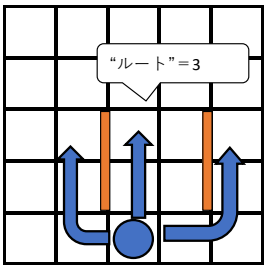


Fig.6　How to count the“Route”

相手の“ルート”を増やし，自分の“ルート”を減らすようにコマを動かし，壁を置いて対戦を重ねた。

コマの動かし方と壁の置き方は以下の通りである。

(1)自分の“ルート”＝相手の“ルート”のとき
→自分のゴールまでのマス数を少なくする

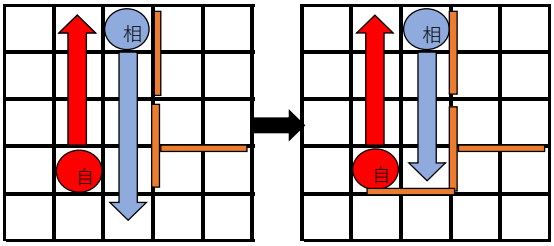


Fig.7-1　My“Route”＝Enemy’s“Route”

(2)自分の“ルート”＞相手の“ルート”のとき
→自分の“ルート”を減らし，相手の“ルート”を増やすように板を置く

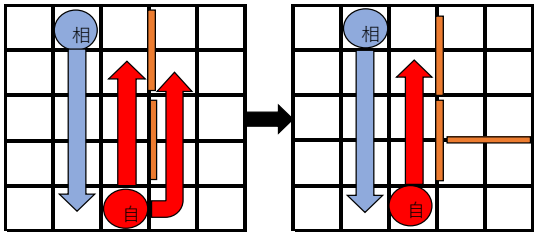


Fig.7-2　My“Route”＞Enemy’s“Route”

(3)自分の“ルート”＜相手の“ルート”のとき
→自分の“ルート”を増やさないようにゴールを目指す

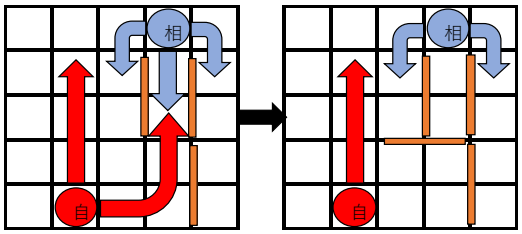


Fig.7-3　My“Route”＜Enemy’s“Route”

11　結果③

5×5 のボードでは，上記の 3 つの考え方に従ってコマを動かしたり壁を置いたりして，仮説の通り“自分のルート”が少なくなるように壁を置きまたは，相手の“ルート”を増やすように壁をおいていくと，勝利できることが多かった。

また，このように手順を重ねた時の勝敗は，先攻後攻に関係なかった。

12　まとめ

コリドールは大変奥深く必勝法を見つけ出すのはかなり困難であることが分かった。

しかし，ルートの考え方はボードの大きさに左右されることなく用いることができると分かった。ルートはこのゲームの勝敗に大きくかかわっていて，対戦中に常にルートを減らし続けることでゲームを有利に進められると推測できる。

そこで9×9マスのボードでも活用できると考え，今後はそれについて研究を進めたい。

Look And Say 数列の規則性の考察

工藤 茉緒　鈴木 峻丞　髙橋 幸子　早川 泰太

Consideration of the rules of Look And Say sequence

Mao KUDO, Shunsuke SUZUKI, Yukiko TAKAHASHI, Taita HAYAKAWA

Abstract

"Look And Say sequence" is made by the number of figure and the figure lined in order. Most sequences have each regulations. Look And Say sequence doesn't have them, but a few rules were found. The more the terms increase, the more rapidly the digits increase. The numbers which make this sequence are only 1, 2, and 3. It has already been found that the increasing rate of the digits converged on 1.3, so we suspected that the proportion and increasing rate of the number of 1, 2, and 3 of each term would converge, and we investigated it. As a result, the proportion converged on 49.5%, 32.0%, 18.5% respectively, and the increasing rate converged on about 1.3. In addition, the average of each term converged on 1.689.

1　はじめに

Look And Say 数列とは，前の項の数字の個数とその数字を順番に読んで次の項を作る数列である。

例えば 1 を初項としたとき，1 は「1 個の 1」と考え，第 2 項は「11」である。「11」は「2 個の 1」であるので，第 3 項は「21」となる。（Fig.1）この数列の一般項について言及している文献は見当たらない。

研究開始当時，学校の授業でいくつかの数列について学んだが，その数列はどれも一般項があるものだった。

本研究では，Look And Say 数列の新たな規則性を見つけることで，数列に関する知識を深め最終的に一般項を見つけることを目指した。また，暗号化など実用的な活用への手助けとなることを目的とした。

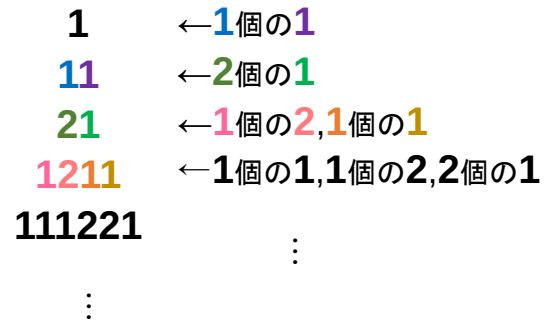


Fig.1　How to make the terms of Look And Say sequence

2　実験方法

Ⅰ　数列の手作業による算出

上記の定義（Fig.1）に従い，数列を手作業で算出した。

Ⅱ　数列のプログラミング言語による算出

Ⅰの作業を進めていく中で，初めに想定していたよりも急激に、桁数が増加した。算出の効率や、誤りを防ぐために文

献（https://qiita.com/e2katsuki/items/a6a73394861d ae8fb82d）を参考にして，プログラミング言語「Python」を用いた以下のプログラムを作成し，数列を算出した。（Fig.2）

```
def look_and_say(number)
    say = ''
    look_digit, *follow_digits = str(number) + 'x'
    look_count = 0
    for next_digit in follow_digits:
        look_count +=
        if look_digit != next_digit:
            say += f'{look_count}{look_digit}'
            look_digit = next_digit
            look_count = 0
    return int(say)

look_and_say(123)
```

Fig.2　The program of Look And Say sequence

Ⅲ　数列のウェブサイトによる算出

「Python」での算出にミスやエラーが増えたため，ウェブサイト「Generate Look-and-say Sequence」を用いた算出に切り替えた。1 と 2 を初項とした数列をそれぞれ第 50 項目まで算出した。

Ⅳ　数列の考察

算出した数列から，規則性がないか考え，初項 1～3 のとき 0，4～9 が現れないこと，桁数が正の無限大に発散すること，1，2，3，の増加率に規則性があると予想した。

また，文献から見つかった性質について証明や検証を行った。

3　結果

＜初項 1 のとき＞

abcb のように，偶数桁目に同じ数字が連続することはない。これは，a 個の b と c 個の b を現しているが，(a+c)個の b とまとめて言うべきだからである。

各項の 1,2,3 の個数の割合はそれぞれ 49.5%，32.0%，18.5%に収束する。（Fig.3）

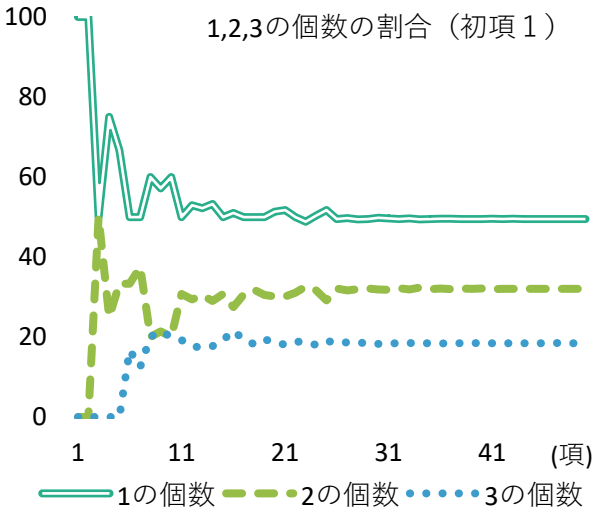


Fig.3　The proportion of the number of 1, 2, and 3

1,2,3 の増加率はそれぞれ約 1.3 へ収束する。（Fig.4）

これにより，桁数の増加率も 1.3 へ収束する。この 1.3 はコンウェイ定数と呼ばれており イギリスの数学研究者である，ジョン・ホートン・コンウェイ氏によって発見された。

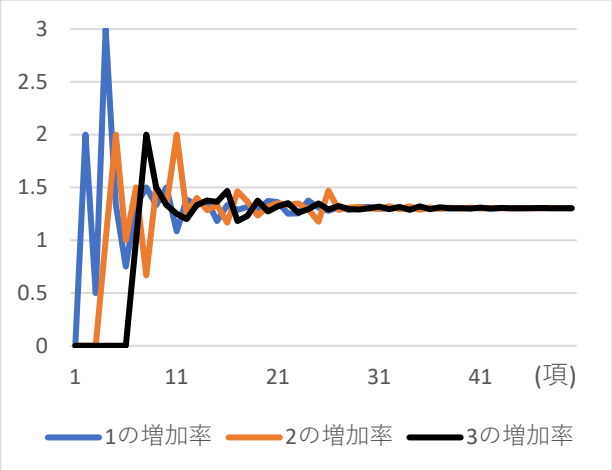


Fig.4　The increasing rate of 1,2,and3

各項の平均値は約 1.689 へ収束する。ここで「平均値」とは「(各項における数の合計）÷

（各項の桁数）」で定義する。また，「個数の割合」を「（各項における 1,2,3 各々の個数）÷（各項の桁数）」で定義する。

例えば、数列が 1,2,3 であれば「平均値」は（1+2+3）÷3 で 2 となる。また「個数の割合」は 1,2,3 がそれぞれ 1 個なので，どの数字も 1÷3 で 0.33…となる。

〈初項 1～3 のとき、0、4～9 が現れないことの証明〉

奇数桁目は偶数桁目の数字の個数を表記しているので，0 は現れない。

また，偶数桁目に 0 が現れるためには，前の項の偶数桁目に 0 が使用されている事が必要である。よって，初項まで遡ると，初項が 0 とならなければならない。

しかし，初項は 1～3 の 1 桁の自然数であるので，0 は偶数桁目に現れない。

この 2 つの事から，0 は奇数桁目，偶数桁目に現れる事はないので，0 は数列には現れない。

a_nの奇数桁目に 4～9 が出たと仮定する。すると，前の項には同じ数字が 4 つ以上連続する必要がある。しかし，偶数桁目に同じ数字が連続することはないので，4 つ以上連続することはない。よって，奇数桁目に 4 以上は現れない。

また，偶数桁目に 4 以上が現れるためには，前の項の偶数桁目に 4 以上が使用されている事が必要である。よって，初項まで遡ると，初項が 4 以上とならなければならない。しかし，初項は 1～3 なので，4 以上は偶数桁目に現れない。

この 2 つの事から，4 は奇数桁目，偶数桁目に現れることはないので，4～9 は数列に現れない。

〈初項 22 のとき〉

各項は 22 を繰り返す。

〈各項が 22 を繰り返すことの証明〉

22 は「2 個の 2」を表記しているので次の項が 22 となる。その次の項も 22 となるので，各項は 22 を繰り返す。

＜初項 1 以外の 0 を含む一桁の数のとき＞

初項 1 のときと数値に差はあるが，各項の 1,2,3 の個数のグラフ（Fig.5）は似た概形をとる。初項 1 以外の一桁のグラフ（一例として Fig.6）もほぼ同様の概形をとる。初項 1 のときと同様に各項の平均値は約 1.689 へ，1,2,3 それぞれの増加率は約 1.3 へ収束する。

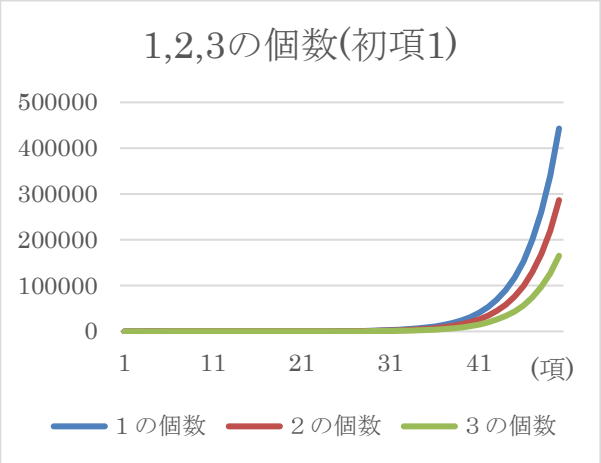


Fig.5　The number of 1, 2, and 3（the first term:1）

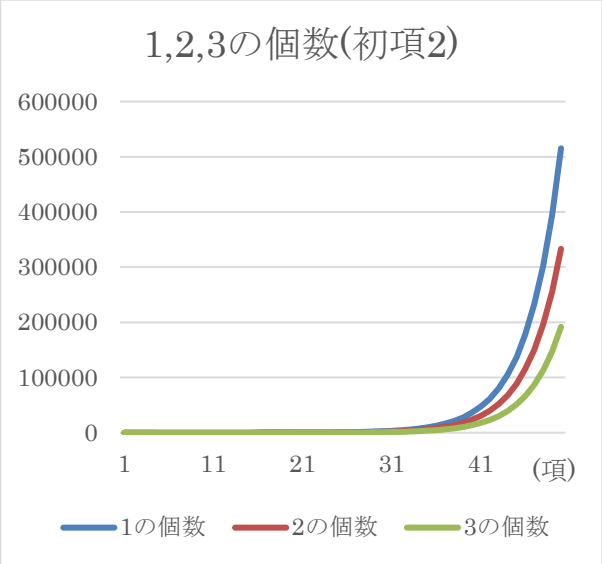


Fig.6　The number of 1, 2, and 3（the first term:2）

<桁数が正の無限大に発散することの証明>

数字の個数は増加を続ける（Fig.5）ことから、桁数は正の無限大に発散すると考えられる。

数列を a_n, 桁数を ℓ_n とすると、$\ell_1 < \ell_2$ は(Fig.1)の通り，$\ell_1 = 1, \ell_2 = 2$ であるため成立する。2 項目以降の桁数 ℓ_n は偶数であり，偶数桁目に同じ数字が連続することはないため，a_n には $\ell_{n/2}$ 個以上の「a 個の b というブロック」が存在する。

よって，1 個のブロックに次の項の 2 桁が対応するので, ℓ_{n+1} は $\ell_{n/2} \times 2$ 以上である。ゆえに、$\ell_{n+1} \geqq \ell_n$，従って，ℓ_n は増加関数であるため，ℓ_n は正の無限大に発散する。

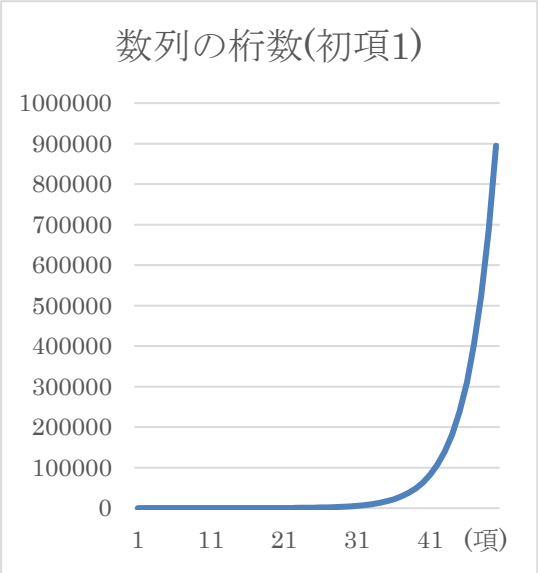


Fig.7　The digits

〈初項 1～9 の 1 桁の任意の自然数の時，0 が現れないことの証明〉

奇数桁目は偶数桁目の数字の個数を表記しているので，0 は表れない。また，偶数桁目に 0 が表れるためには，前の項の偶数桁目に 0 が使用されている事が必要である。よって，初項まで遡ると，初項が 0 とならなければならない。しかし，初項を 1～9 の 1 桁の自然数で，0 は偶数桁目に表れない。この 2 つの事から，0 は奇数桁目，偶数桁目に表れる事はないので，0 は数列には表れない。

４　展望

Look And Say 数列と似たものに連長圧縮がある。連長圧縮とはコンピューターなどでファイルを圧縮するために用いられる方式で、データに連続して現れるものを，文字に置き換えることである。（例 AAABBB→3A3B）データを使用するときは（3A3B→AAABBB）と元に戻す。

この方式はデータ圧縮に用いられている。「各項の桁数が発散する」という性質から，私たちは Look And Say 数列がデータの暗号化に応用できるのではないかと考えた。この数列は構成要素が 1,2,3 のみで種類が少なく規則が複雑であるため，解読が難しい。私たちはこの元に戻す過程で Look And Say 数列を用いることで，暗号化に利用できると考えている。

５　参考文献

Look-and-say sequence (見て言って数列) |高校数学の美しい物語
https://mathtrain.jp/lassequence（2020/11/4）

Generate Look -and-say Sequence-Online Math Tools
https://onlinemathtools.com/generate-look-and-say-sequence（2021/2/3）

#Look And Say 問題を Python で解く-Qiita
https://qiita.com/e2katsuki/items/a6a73394861dae8fb82d（2021/5/26）