

水引交差点の混雑時間帯、混雑区画の検証及びその原因の根拠を持った推察

厚木高

校 2年C組 β1班

要旨

本研究では、昨今問題となっている水引交差点の混雑について、車の台数のみならず、通過した車種など、様々な点からその現状や原因を明らかにすることを目的とし、検証を進めていった。

実験では、厚木市から提供いただいた各種データと先行研究から引用した公式から、混雑具合(本研究では、公式で定義されている損失金額・損失時間の合計値とする)を算出し、算出した数値から混雑区画・時間や、原因を推察した。

その結果、数値をグラフ化することで混雑状況が可視化され、区画ごとに混雑する時間、そしてその原因は異なっていることが示された。

背景・目的

水引交差点では、頻繁に渋滞が発生し、歩行者信号が青であるのにも関わらず車両が歩行者道路を遮断して車を避けるために一時的に車道を通らなければならない危険な状況にあり、事故の発生も危惧される。

さらに、この交差点にはバスや貨物車なども多く通るため、渋滞が発生することで異臭や騒音、公共交通機関であるバスの流れの停滞を引き起こし、様々な点から多様な影響を及ぼしている。

仮説

水引交差点の各時間帯および各区画の混雑具合(損失金額、損失時間)を数値化することで、単なる通過台数以外のデータ(車両種、区画別台数)からどの時間帯が混んでいるか、どの区画が混んでいるかを算出し、原因を推察することができる。

方法

水引交差点の車両の通過台数や車両種のデータを入手する。

先行研究によって得られた損失時間及び金額の公式を利用し、水引交差点の各時間帯及び各区画の混雑による損失時間と損失金額を数値化する。

算出結果を時間帯や区画といった性質ごとに分類し、それらの比較や分析を実施することで、混雑の原因を推察する。

$$\text{損失時間} = \sum t \sum m [((\text{区間の距離} / \text{時間帯の旅行速度}) - (\text{区間の距離} / \text{基準旅行速度})) * \text{車種別交通量} * \text{車種別平均乗車人数}]$$

$$\text{損失金額} = \sum t \sum m [((\text{区間の距離} / \text{時間帯の旅行速度}) - (\text{区間の距離} / \text{基準旅行速度})) * \text{区間車種別交通量} * \text{車種別時間価値}]$$

図1 損失時間と損失金額の求め方

公式に当てはめる値のうち、区間の距離や車種別交通量は厚木市からのデータを使用し、基準旅行速度、車種別乗車人数及び車種別時間価値については、先行研究から引用した以下の値を用いる。

7	基準旅行速度	40km	
8	小型車平均乗車人数	1.30人	
9	バス平均乗車人数	15人	
10	トラック時間価値		32.3
11	バス時間価値		44.1

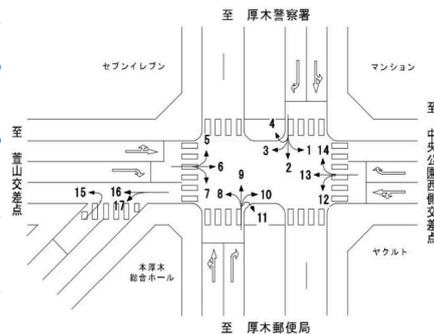
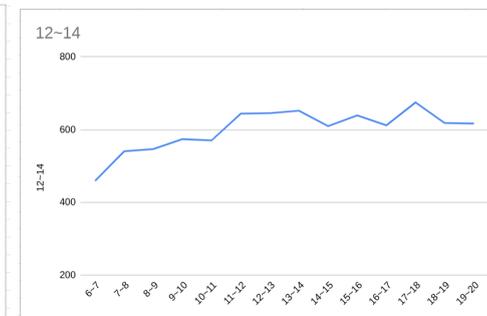
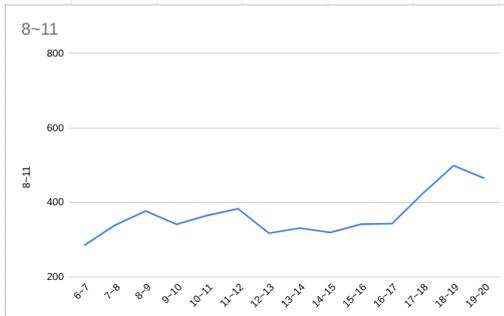
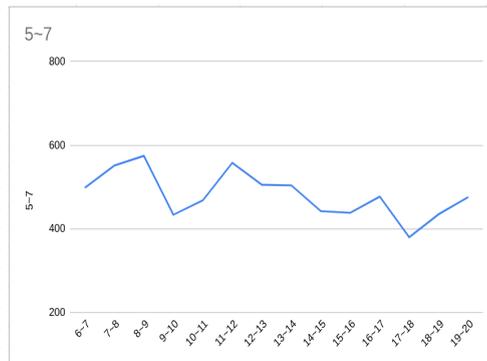
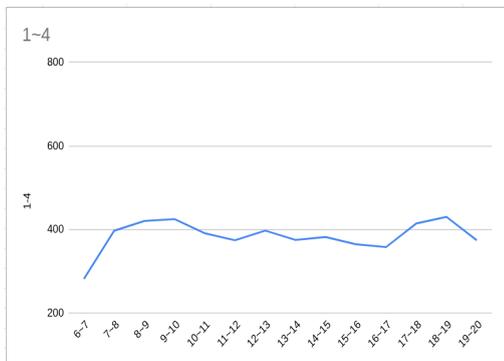


図2 公式に当てはめる数値

図3 区間について

結果



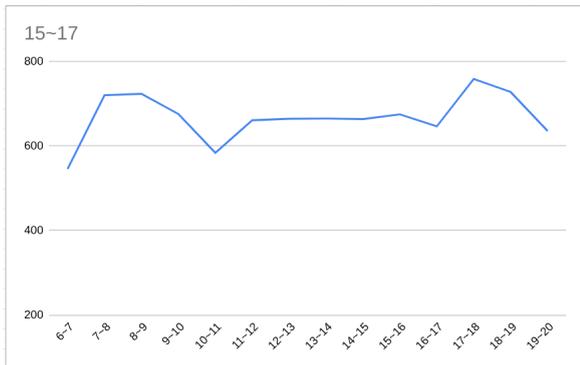


図4~8 時間ごとの各区間の混雑具合

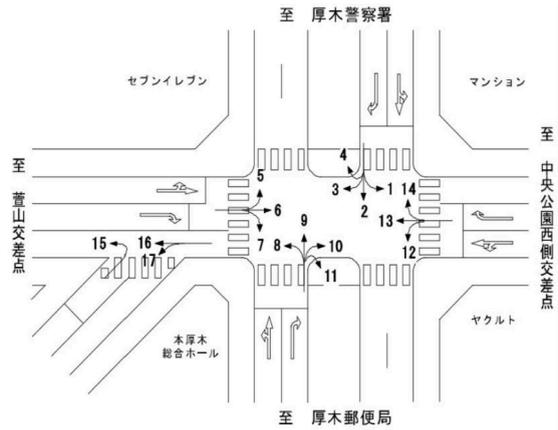


図9 各区間の取り方

考察

- 区間ごとに混雑する時間帯が異なっている

→ 各区間で混雑する理由は異なると考えられる

- 1~4, 8~11区間と比較して5~7, 12~14, 15~17区間の方が全体的に混雑している

→ 129号線よりも603号線の方が交通量が多いため、603号線の混雑を重点的に改善する必要があるのではないか

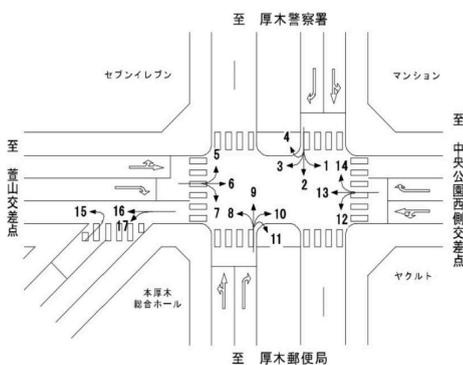


図10 区画配置



図11 129号線と603号線

・15~17区間では、7~9時と17~19時の混雑度が高くなっている

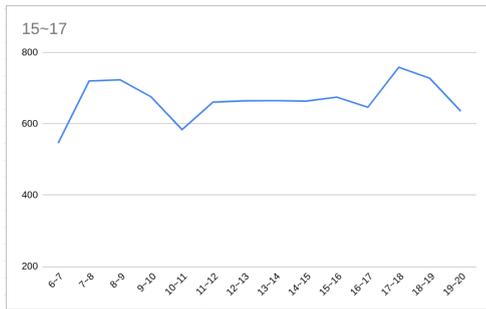


図12 15~17区間の混雑具合

→通勤、通学の時間帯が特に混雑しているため、この時間帯の当該区間の混雑を最優先で解消する必要があるのではないか

・5~7区間の7時から9時、8~11区間の18~19時の混雑度が高くなっている

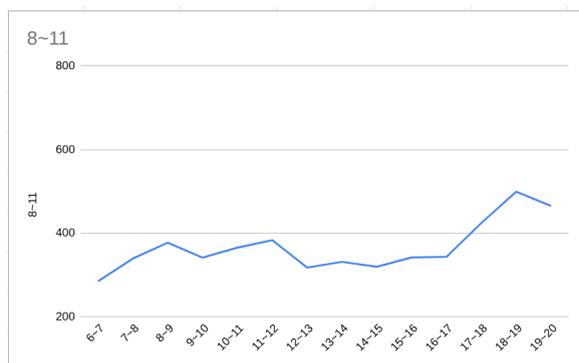
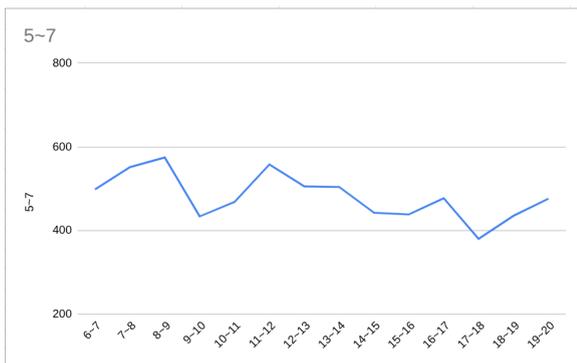


図13 5~7区間の混雑具合

図14 8~11区間の混雑具合



図15 5~7区間と8~11区間の交わり

→通勤時に5~7区間から8~11区間へ移動し、退勤時に8~11区間からの移動が多くなって、混雑しているのではないか

結論

本実験を行うことで、水引交差点の混雑状況について、区画や時間別に詳細に調査し、混雑する時間帯や区画を導き出す事ができた。

一方で、推察するにあたっては、今回調査したデータだけでなく、水引交差点の各区間の延長上に何があるかなどさらなる追加調査が必要であり、本実験のみで根拠を示したうえでの推察することはできなかった。

今後の展望

- ・考察や結論でも触れた通り、この実験のみでは水引交差点の混雑状況を詳細に把握することは可能であったが、その原因の推察に必要な情報は不足していた。

→当該区間の延長上に何があるのかや水引交差点を中心としたより広い交通網の交通状況を調査し、原因の推察を進める。

- ・推察を基に、該当区間の混雑を緩和するための解決策を考え、シミュレーションアプリを活用してその効果を確認する。

参考文献

1 牧村和彦・坂井康一 プローブデータを用いた渋滞損失量の数値化に関する基礎的研究

http://library.isce.or.jp/isce/open/00039/200306_no27/pdf/254.pdf 2025年6月13日閲覧

2 令和6年度厚木高校ヴェリタス2年A組β7班 水引の交差点の渋滞の現状を把握する

https://www.pen-kanagawa.ed.jp/atsugi-h/tokushoku/documents/78a_poster.pdf 2025年6月13日閲覧

自転車スリップの警告システムの作成

神奈川県立厚木高等学校
2年 C組 β2班

1. 要旨

自転車走行時のスリップ事故を防止することを目的として、走行速度と路面の濡れ具合を同時に判定する警告システムの製作を行った。Arduino Uno R3を用い、ホール効果センサによる速度検出と、TCS34725カラーセンサによる路面状態の判別を組み合わせた。センサ値から一定条件を満たした場合に警告を出す仕組みを構築し、理論値および想定値を用いて動作確認を行った。その結果、速度と路面状態を同時に考慮することで、スリップの危険性を段階的に判断できる可能性が示された。

2. 背景・目的

近年、健康意識の高まりや環境への配慮から自転車の利用が世界的に増加している。しかし、自転車は車両と比較して転倒リスクが高く、特に雨天時や路面凍結時のスリップ事故が多発している。また、国土交通省の調査によると、自転車事故の一定割合が「滑り」に起因しているため、こうした技術を活かした安全対策は今後重要性を増すと考えられる。

3. 方法

実験①

①地面の明るさを測定

(この値を乾燥基準値Aとする)

②水を加えた後明るさの値を記録する

③②を地面がそれ以上暗くなくなるまで繰り返す

実験②

乾燥路面下で1mの区間を用意する

自転車を安全に走行させ、1m区間を通った瞬間に危険を感じたか測定

危険と感じなければ速度を上げて測定

最初に危険と感じた速度を測定

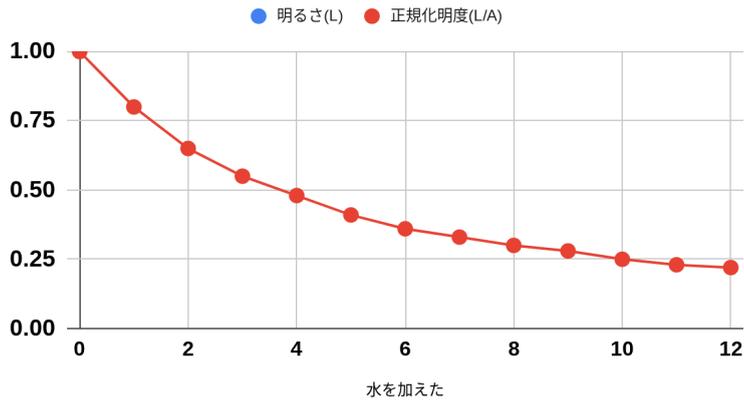
濡れ路面でも同様に測定

4. 結果

実験①

水を加えた回数(回)	明るさ(L)	正規化明度(L/A)
0	800	1.00
1	640	0.80
2	520	0.65
3	440	0.55
⋮	⋮	⋮

明るさ(L) と 正規化明度(L/A)



実験②

1. 乾燥路面

	Aさん	Bさん	Cさん
時速(km/h)	22	25	24

2. 濡れ路面

	Aさん	Bさん	Cさん
時速(km/h)	15	14	18

1.2より

明るさ	路面状態	速度x	
L>440の時	乾燥 →	x>22km/h ならば	→警告△
L<440の時	濡れ →	x>18km/h ならば	→警告△

5. 考察

本研究では、路面の濡れ具合によって明るさの値が変化し、その違いを用いて路面状態を判別できる可能性が示された。これは、路面が濡れることで表面に水膜ができ、光が散乱・吸収されやすくなるため、乾燥時と比べて反射光が減少し、暗く測定されるためだと考えられる。

また、濡れた路面では乾いた路面よりも低い速度で危険を感じやすいという結果が得られた。これは、水によって摩擦力が低下し、ブレーキ時やハンドル操作時に滑りやすくなるため、同じ速度であっても不安や危険を感じやすくなるからだと考えられる。このことから、路面状態と安全な走行速度の間には明確な関係があり、明るさと速度を組み合わせた警告は合理的であるといえる。

一方で、今回の実験では被験者数が少なく、危険だと感じる速度の判断には個人差が含まれている可能性がある。また、測定は同じ場所・同じ時間帯で行ったため、天候や周囲の明るさ、路面の材質が変化した場合に同じ基準が適用できるかは不明である。これらの点は、本研究の結果に影響を与える要因であり、今後の課題である。以上より、本研究の方法は路面状態に応じた安全支援システムとして有効で

ある可能性を示したが、実用化のためには条件を広げた追加実験やシステムの改良が必要であると考えられる。

6. 結論

本研究では、路面の濡れ具合によって見た目の明るさが変化することに着目し、カラーセンサーを用いて地面の状態を判別し、その状態に応じて自転車の走行速度に警告を出す仕組みを検討した。実験の結果、乾燥した路面と濡れた路面では明るさの値に違いが見られ、明るさを用いて路面状態を分類できる可能性が示された。

また、同じ路面でも濡れている場合には、乾いている場合よりも低い速度で危険を感じやすいことが分かり、路面状態と安全な走行速度には関係があると考えられる。このことから、路面の明るさと走行速度を組み合わせることで、危険を事前に警告するシステムは有効である可能性がある。一方で、被験者数や測定場所が限られているため、結果には個人差や環境条件の影響が含まれていると考えられる。今後は条件を広げて検証を行い、より実用的で信頼性の高いシステムへと改良していく必要がある。

7. 今後の展望

今回の実験では、探求の規模と時間を考慮しつつ個人差を考慮できる最小限の人数として三人で実験を行った。しかし、危険だと感じる速度には個人差の影響が含まれていると考えられる。そのため今後は、実験に参加する人数を増やすことで、個人差の影響を可能な限り小さくし、より信頼性の高い基準速度を決めたいと考えている。

また、今回は同じ場所・同じ条件で実験を行いましたが、実際の道路では路面の材質の違い、日向と日陰、周囲の明るさなど、様々な環境条件が存在する。そのため今後は、アスファルトとコンクリートなど路面の種類が異なる場所や明るさの異なる環境でも測定を行い、明るさの値がどの程度変化するのかを調べたいと考える。これにより環境条件が変わっても警告が正しく出せるかどうかを確認し、より多くの状況に対応できるシステムに改良して行きたい。

そして、今回は実験用の構成で測定と警告の仕組みを検討したが、実際に自転車で使用するためには、センサーの取り付け位置や大きさ、走行中でも正しく測定できる安定性などを考える必要がある。今後は実際の走行中でも安全に使えるシステムの作成を目指したいと考えている。

8. 参考文献

自動車技術会論文集編集委員会

実路面の摩擦特性計測に関する研究

自動車技術会論文集, 2022.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/53/2/53_20224171/_article/-char/ja/

閲覧日:2025.6年10~1月

自動車技術会論文集編集委員会

一般路における路面摩擦特性計測システムの構築

自動車技術会論文集, 2023.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/54/1/54_20234021/_article/-char/ja/

閲覧日:2025.6年10~1月

土木学会都市計画委員会

夜間の路面照度が自転車走行挙動に与える影響

土木学会論文集D3, 2016.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejipm/72/5/72_I_585/_article/-char/ja/

閲覧日:2025.6年10~1月

土木学会都市計画委員会

夜間の路面照度が自転車走行挙動に与える影響

土木学会論文集D3, 2016.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejipm/72/5/72_I_585/_article/-char/ja/

閲覧日:2025.6年10~1月

科学技術総合リンクセンター(J-GLOBAL)

湿潤路面の摩擦係数推定手法(深層学習と路面画像を用いた方法)

J-GLOBAL, 2025.

<https://jglobal.jst.go.jp/public/202502257033964376>

閲覧日:2025.6年10~1月

アムスOSRAM株式会社

TCS34725 カラーセンサー(明るさ・色・近接センサー)

ams OSRAMウェブサイト, 2025.

<https://ams-osram.com/ja/products/sensor-solutions/ambient-light-color-spectral-proximity-sensors/ams-tcs34725-color-sensor>

閲覧日:2025.6年10~1月

MDPI Sensors 編集部

非接触型路面状態検知技術の現状と課題

Sensors, 22(24), 9583, 2022.

<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/24/9583>

閲覧日:2025.6年10~1月

神奈川県立厚木高等学校

2年 c組 β3班

1. 要旨

昨今、スピリチュアルと呼ばれるような科学的根拠に基づかない情報がネット上で拡散されていて信憑性があると思う人も多い。もしかしたら正しい情報なのではないかと思ってしまうような文面で投稿されているのがその原因だ。今回のテーマも実際に科学的に証明された論文は出ていないが、証明できたと主張する先行研究も見つけることができたので、徹底的に否定するために再度実験をすることにした。

2. 背景・目的

班員のうちのひとりがテレビで音の影響で植物の生育の具合が変わることが農業に活かせるのではないかという内容を見た。しかし実際にはそんなことはないだろうと考え検証することにした。本実験では先行研究で示されている2つの周波数を浴びせることでえん麦 (*Avena sativa* L) の成長具合に差が生じることを目的とした。また、音の有無や音量の違いについても、影響はないことを証明することを目的として実験した。

3. 仮説

先行研究では音の周波数によって植物の生育具合が変わっているが、それは正しくない。

4. 方法

1. 先行研究が正しいのか再現性を確かめる
2. 先行研究が正しかった場合、流す時間、時間帯、音の強さなので焦点を当て一番伸びる条件を調べる。先行研究が誤りである場合、細かい条件(同じく時間、強さなど)を変えた実験を行い、先行研究に欠陥があることを証明する。

値にできるだけ誤差がないようにするために、以下のようにして成長の長さの値を定義した。

- ・7日目から実験の記録を行うことにする
- ・7日目から14日目にかけて伸びてきた芽の平均値をとり、それを値として記入する。
- ・平均値の値は小数点第2位で四捨五入し、少数第一位までとする
- ・7日目に出ている芽のうち長さが5cm以下のものは含まないものとする。

5. 結果

①A500hz50db B.音なし

日数	A 成長	B 成長
7	8.2	9.6
8	10.1	9.8
9	11.4	11.7
10	11.9	12.1
11	13.1	12.6
12	16.7	12.9
13	17.1	14.3
14	17.8	16.9

②A.500hz B.1000hz

日数	A 成長	B 成長
7	9.1	10.3
8	9.4	11.2
9	11.6	12.5
10	11.8	13.0
11	12.3	13.5
12	12.7	14.0.
13	13.8	14.3
14	13.8	14.5

③A.500hz 50db B.500hz 100db

日数	A 成長	B 成長
7	8.5	9.0.
8	9.4	10.4.
9	10,0	11.0.
10	11.3	12.8
11	12.3	13.1
12	13.6	14.9
13	14.1	15.9
14	15.8	16.5

6. 考察

実験①では多少の成長の違いが伺えたが②では先行研究とは逆で、1000hzの方が成長が促進されたことから先行研究が正しくないのではと考えた。また、先行研究が否定された限り、③で行われた音の大きさによる実験は、A.B.どちらが促進されるかについては調べるができなかった。

7. 結論

3回の実験を通して、先行研究との結果に差異があったので、先行研究は正しくなかったと言える。

8. 今後の展望

反省点として、

- ・しっかり条件を揃えて対照実験ができなかった。
- ・具体的な検定を行わずに実験を進めてしまったため、自分たちの主観が伴ってしまった。
- ・母数が少なかった。
- ・実験環境があまり良くなかった。

9. 参考文献 https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/51/3/51_196/_pdf

強光ストレスがオオカナダモの原形質流動に与える影響 —葉緑体の回避運動と光阻害の時系列的変化—

1. 要旨

本研究では、植物の葉緑体に強光を長時間当て続けると、どのような反応を示すか検討した。オオカナダモ (*Elodea canadensis*) というC3植物を用いて原形質流動の速度変化を測定した。結果として、一時的に葉緑体の速度が上昇し、その後は緩やかに低下することが明らかになった。

2. 背景・目的

植物の葉緑体は光の強さに応じて、次の2つの運動を行う。

弱光下: 光に集まろうとする「集合反応」

強光下: 光から逃げようとする「回避運動」

このことから、強光を長時間当てることにより葉緑体にどんな変化が起こるのかに興味を持った。

オオカナダモ (*Elodea canadensis*) に長時間日光を照射し、原形質流動の速度変化を時系列で測定する。

1. 光を当てた時間と葉緑体の移動速度の関係性について検証

2. 強光が細胞運動に影響を与えるかどうか検証

3. 仮説

1. 強光の照射を長時間続けると、細胞内の運動器官がダメージを受けて、速度が低下または停止するのではないか

2. 速度が回避運動のために、一時的に上昇するが、だんだん緩やかになり、速度が一定になるのではないか。

4. 方法

【材料】オオカナダモ (*Elodea canadensis*) (葉の細胞)

【装置】光学顕微鏡、対物・接眼マイクロメーター、光源(直射日光/高輝度LED)

【条件】照射時間を0分、10分、30分、60分と設定。快晴時に限って実験を行い、野外に顕微鏡を設置して、光量55,000から70,000luxの範囲内で実験を行う。

【測定】接眼マイクロメーターを用いて葉緑体の移動距離を計測し、速度($\mu\text{m}/\text{秒}$)を算出。

計算基準: 1目盛り = $2.5 \mu\text{m}$ (対物1メモリ0.01mm、接眼20目盛り = 対物5目盛りの条件下)。

5. 結果

【0分→10分】照射開始から10分後、葉緑体の速度は照射前に比べて明らかに上昇した。

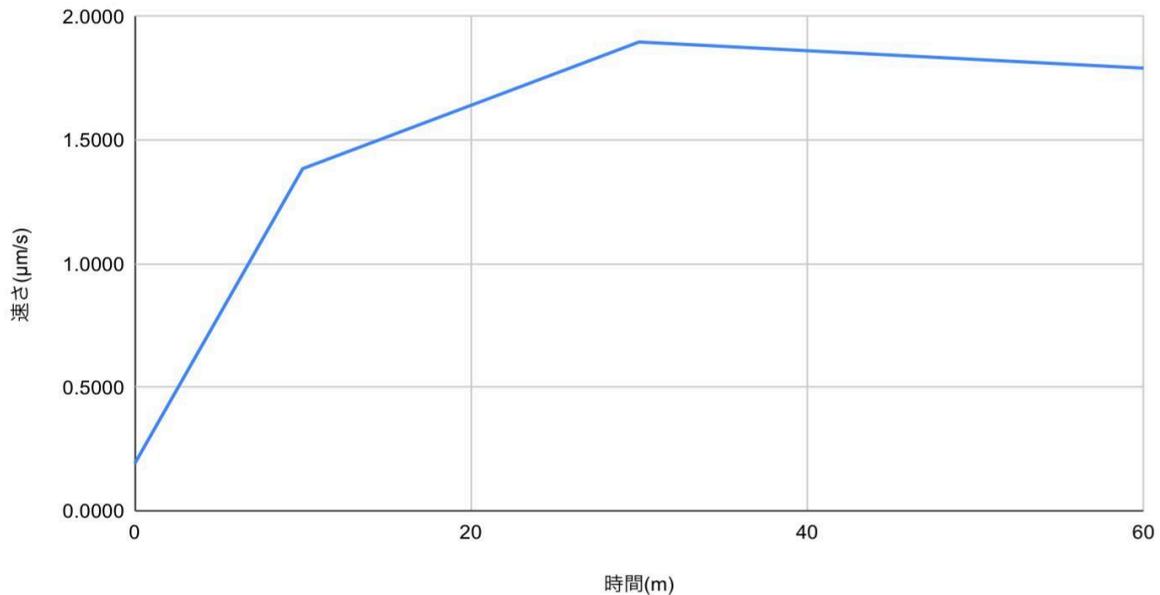
【10分→30分】速度の上昇は続いたが、0分→10分に比べ上昇率はやや低下した。

【30分→60分】緩やかに速度が低下していった。

※総じて葉緑体は細胞の全面に散らばっていたが、光照射後に細胞壁沿いへ移動した。

図1 日光照射時間別原形質流動の速さ

日光照射時間別原形質流動の速さ



6. 考察

【0分→10分の速度上昇について】

本実験において、照射後10分時点で移動速度の上昇が観察されたことから、強光を感知した葉緑体が光障害を回避するため、細胞内の影となる領域、すなわち細胞壁付近へ急速に移動していたと考えられる。

【10分→30分の速度上昇について】

葉緑体の移動速度の上昇が次第に低下したことから、細胞壁側への移動が進行し、安全な位置への回避が完了したために速度が低下したと考えられる。特に、多くの葉緑体において細胞壁側への回避運動が終了し始める時間帯は、10分から30分の間である可能性が示唆された。

【30分→60分の速度低下について】

本研究の結果より、移動はおおよそ30分以内に完了しており、その後は直射日光への継続的にさらされたことによって葉緑体に損傷が生じ、移動速度が低下した可能性が示唆された。これは、強光条件下における光障害により運動機能が低下した結果であると考えられる。すなわち、過剰な光エネルギーによる光酸化ストレスが細胞内に蓄積し、逃避運動のみでは防ぎきれない細胞障害が発生した可能性が高い。その結果、運動に必要なATPの供給不足や、細胞骨格を構成するアクチン繊維の損傷が生じ、運動能力の低下につながったと推測される。

7. 結論

オオカナダモ (*Elodea canadensis*) の葉緑体は、強光照射前と比較して、照射後に移動速度を増加させ、光を回避するための回避運動が活性化することが確認された。一方で、30分を超える長時間の強光照射条件下では、この速度上昇は維持されず、時間の経過とともに徐々に低下した。以上の結果から、植物の光回避能力には一定の限界が存在し、その限界を超える強光曝露により、葉緑体の回避運動および原形質流動の速度が低下することが示された。しかし、本研究で立てた仮説に反して、原形質流動の完全な停止や細胞の壊死は確認されなかった。

8. 今後の展望

今後の課題として、より長時間にわたり強光を照射し、葉緑体の移動速度がどのように変化するかを詳細に解析することで、細胞が実際に損傷を受けているかをより精密に検証する必要がある。また、回復実験として、強光によって速度低下が認められた細胞を暗所へ戻し、葉緑体の移動速度が再び回復するかを調べることで、ダメージの可逆性および損傷の深刻度を評価したい。さらに、種間比較として、水生植物であるオオカナダモ (*Elodea canadensis*) に加え、強い日光環境に適応したC4植物であるトウモロコシ (*Zea mays*) を用いた同様の実験を行うことが考えられる。本研究では葉が厚く顕微鏡観察が困難であったが、観察が可能であれば、光阻害に対して速度低下が生じにくいという結果が得られると予想される。これにより、植物の生息環境の違いによる光適応機構の差異を比較・検討することが可能になると考えられる。

9. 参考文献

1. 後藤 栄治 九州大学 大学院農学研究院 2025/6/9閲覧

「光環境への適応における葉緑体光定位運動の役割」

https://bsi.or.jp/ipn/general/bsi-review/BSI-Review_12A_45-51.pdf

2. 櫻井 英博 (JSPFサイエンスアドバイザー) 日本植物生理学会

「C4植物の出現について」2025/6/10閲覧

https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=5930

糖の種類による焼きメレンゲの比較

神奈川県立厚木高等学校
2年 C組 β5班

1. 要旨

お菓子作りにおいて、作りたい菓子によって使用する糖の種類は変化する。焼きメレンゲを作る際に糖の種類を変えるという実験を行った場合、糖の構造と焼きメレンゲの仕上がりの違いには関係があると考えられる。

先行研究に基づき、糖と卵白を1対1で計量し泡立てた後、100度で30分間加熱して焼きメレンゲを作成した。そして、糖の種類の違いにより、甘さ・焼き色・膨らみのそれぞれの項目においてどのような違いがあるのか検証した。結果として①5つの糖の中でスクロースが一番甘い、②5つの糖の中でトレハロースが一番焼き色が白い、③表面の質感は5つの糖の中でフルクトースが一番艶があった、ということがわかった。また、メレンゲの状態にも違いが見られた。結論として、糖の構造によって焼きメレンゲの仕上がりは変化し、それぞれの項目を総合的に評価した結果、スクロースとトレハロースが一番焼きメレンゲに適している糖だと判明した。

2. 背景・目的

菓子作りでは、作る菓子によって糖の種類を変えることが多い。そこで、糖の種類によって糖度や見た目など、どのように菓子の出来が変化するのかに興味を抱いた。構造の違う糖を用いて焼きメレンゲの仕上がりの変化を明確にする。また、先行研究に準じ、白く、艶・膨らみ・密度があり、甘いメレンゲを作ることも目的とする。

3. 仮説

糖の構造と焼きメレンゲの仕上がりの違いには関係があるのではないかと考えた。そのためメレンゲを実際に作った時に、甘さや色、形状に等による違いが見られるだろう。

4. 方法

- 糖の種類
 - 単糖:フルクトース
 - 二糖類:スクロース、トレハロース、マルトース、ラクトース。

焼きメレンゲ

- 糖と卵白が1:1になるように量る。
- 卵白のみを角が立つまで泡立てる。
- 糖の3分の1を卵白に加え、ハンドミキサーを用いて泡立てる行為を3回繰り返す。
- メレンゲを絞り、100度で30分加熱する。

計測方法

- 甘さ
濃度の違う砂糖水(3%、5%、10%、15%)を用いる
- 焼き色
人の目による比較と写真による比較
- 膨らみ
シャーレの中にメレンゲを入れ、加熱することによる比較

5. 結果

甘さ(甘い順)

スクロース(15%)→フルクトース(10%)→トレハロース(5%前後)→マルトース(3~5%)→ラクトース(3%より下)

焼色(白い順)

トレハロース→ラクトース→マルトース→スクロース→フルクトース
マルトースは黄色くなりやすく、フルクトースは焦げやすかった



写真1トレハロース 写真2ラクトース 写真3マルトース 写真4スクロース 写真5フルクトース

表面の質感(つやがある順)

フルクトース→スクロース→トレハロース→マルトース→ラクトース



写真6フルクトース 写真7スクロース 写真8トレハロース 写真9マルトース 写真10ラクトース

メレンゲの状態

滑らかさがある→フルクトース、スクロース、トレハロース(写真11、12、13)
他にも伸びやつや、まとまりがある。特にマルトースのつやが一番強い。

滑らかさがない→ラクトース、マルトース(写真14、15)

まとまりがなく、ぼそぼそしている。絞るときにも散らばる感覚がある。



写真11フルクトース 写真12スクロース 写真13トレハロース 写真14ラクトース 写真15マルトース

膨らみ具合→ほぼ変化無し

形状の均一さ→絞る人の技術に左右されるため結果なし

6. 考察

甘さについて

本来の糖の甘味度の強さはフルクトース、スクロース、トレハロース、マルトース、ラクトースの順であるが今回の実験結果ではフルクトースとトレハロースの順番が逆であった。理由として、「生成したフルクトースの強い甘さとグルコースとの相乗効果による体感的甘さ」が挙げられる。そもそも、スクロースはフルクトースとグルコースの混合糖である。そのため、グルコースとフルクトースの混合で甘味受容体が増えたためこのような結果になったと考えられる。

焼色について

まずカラメル化とは…糖が熱で分解・脱水・縮合・重合し、褐色物質を作ることによって起きる反応つまり、カラメル化が起きにくい糖ほど白い焼きメレンゲが作れるということ。

焼色については3つの理由が考えられる。

1つは還元性の有無である。そもそも糖は還元糖と非還元糖に分けることができる。

還元糖…遊離のアルデヒド基やケトン基を持ち相手の物質から電子(酸素)を受け取り相手還元する糖。分解しやすい。

非還元糖…還元基がもう一つの糖と結合して遊離しておらず科学的に安定している糖。分解しにくい。

つまり、非還元糖のほうが白い焼きメレンゲになりやすいということである。

今回の実験で使用した糖は、フルクトース・ラクトース・マルトースが還元糖であり、スクロースとトレハロースが非還元糖である。

2つ目はグリコシド結合の強さも関連する。グリコシド結合とは糖のc1位の水酸基と別の糖の水酸基が脱水縮合してできる共有結合のことである。今回実験に用いた糖のグリコシド結合の強弱は弱い順で、マルトース、ラクトース、スクロース、トレハロースの順である。(フルクトースは単糖でありグリコシド結合をしていないため除外)

トレハロースは α -1, 1-グリコシド結合である。

①相手の糖のアノマー炭素と結合している

※アノマー炭素…単糖が環状構造になるときに開閉と作用する炭素。もともとカルボニル基を持つ

②結合が対象で安定している

③ピラノース環(グルコース)同士の結合があり、安定している

スクロース α -1, β -2-グリコシド結合

①相手の糖のアノマー炭素と結合している

②スクロース=グルコース+フルクトースであり、フルクトースは不安定を取りやすい

そのため、トレハロースより結合が弱い

ラクトース β -1, 4-グリコシド結合→ α 結合のほうが熱に弱い

マルトース β -1, 4-グリコシド結合→ α 結合のほうが熱に弱い

3つ目は構成単糖の熱安定性である。

褐変しやすい順で並べるとフルクトース、ガラクトース、グルコースである。

フルクトース単体は最も褐変しやすく、同じ還元糖のラクトース、マルトースのうち、ガラクトースを持つラクトースのほうが褐変しやすいと考えられる。

この3つの理由の内、2つ目の理由であるグリコシド結合の強さが一番作用していると思われる。

表面の質感

前提:卵白メレンゲができる科学的な仕組み

主成分であるタンパク質(オボアルブミン)は泡立てると、変性(構造がほどける)し疎水性部分が空気側へ、親水性部分が水側へ移動してタンパク質同士が薄い膜を作る。この薄い膜が伸びのあるメレンゲのもとになる。

フルクトースがメレンゲの状態でも焼きメレンゲの状態でも一番艶がある理由

- ①吸湿性が強い→表面に光沢膜ができる
- ②溶解度が高く溶け残りが少ないためタンパク質膜を壊さない

ラクトースが一番艶がない理由

- ①溶解度の低さ
 - ②結晶化のしやすさ
 - ③粒子の粗さ
 - ④親水性が強い
- ①～③の理由により、溶け残ったラクトース結晶と硬い粒子が膜を壊してしまうため表面の質感がきれいにならないと考えられる。また、④より、タンパク質の変性を妨げてしまうと考えられる。

7. 結論

表1 各校置くごとに糖を適した順に並べて点数化したもの

	フルクトース	スクロース	ラクトース	マルトース	トレハロース
焼色	1	2	4	3	5
甘さ	4	5	2	1	3
表面の質感	5	4	1	2	3
合計	10	11	7	6	11

この表の各項目の合計点により焼きメレンゲに適している糖は、スクロースとトレハロースである。

8. 今後の展望

今回の実験では、糖1種類でのみそれぞれ焼きメレンゲを作ったため、より白く形が良く艶がある焼きメレンゲを作るために糖を混ぜた混合糖などでの実験が必要と思われる。
また、数値化できる項目が少ないため、数値化できる代替方法なども考える必要がある。

9. 参考文献

1. 富沢商店 基本のメレンゲクッキー | レシピ
<https://tomiz.com/recipe/pro/detail/20210412023226>
(2025年6月9日閲覧)
2. 日本食品化工 単糖類と二糖類の種類と形
<https://www.nisshoku-sp.net/basic/saccharification4.html>
(2025年6月17日閲覧)
3. NAGASEグループ 食品素材サイト糖の基礎知識
<https://www.nagase-foods.com/jp/library/knowledge/sugar/>
(2025年6月17日閲覧)

濡れにくい傘の形の検討

神奈川県立厚木高等学校

2年 C組 β6班

1. 要旨

本研究は雨の日に濡れにくい傘の形を導き出すことを目標にして、和傘、一般的なビニール傘、ドーム型の傘の形を比較した。それぞれの傘に水滴を落下させ、どのくらい傘の柄から離れた地点に落ちるのか測定した結果、ビニール傘に落とした水滴が最も離れた地点に落ちた。よってビニール傘が一番濡れにくいことが示された。

2. 背景・目的

私たちが通う厚木高等学校は駅から遠く、雨の日は長時間傘をさして登校する必要がある。そのため、学校に到着するときには制服が濡れてしまうことが度々ある。そこで、傘の形に着目し、最も濡れづらい傘の形を導き出したいと考えた。本研究では、日本の伝統的な和傘と現代のビニール傘、またビニール傘より湾曲の大きいドーム型の傘の三種類の傘の形の比較を行う。

3. 仮説

先に述べた三種類の傘の形のうち、日本の伝統的な和傘の形の傘が最も濡れにくいと考えられる。本研究は親骨の長さを揃え比較するため、湾曲しておらず、露先付近の生地が傘の柄に対しての角度が最も大きい和傘が最も濡れにくいと思われる。

4. 方法

《必要な道具》

- ・それぞれ親骨60cmのビニール傘・ドーム傘・和傘(和傘のみ今回は30cmのものしか用意ができなかったため、すべての値を2倍にして計算した。)
- ・ポリエチレンのラップと貼り付けるためのセロテープ
- ・大量のコピー用紙
- ・スタンド3つ
- ・支柱
- ・色水
- ・新聞紙(床を濡らさないため)
- ・ピペット
- ・記録用のペン

《準備》

- ・それぞれの傘の生地に石突きより10cm毎に印をつけた。
- ・3種類の傘の素材を揃えるために上から同じポリエチレンの素材でぴったり覆った。
- ・実験結果がわかりやすいように色水を作成した。

〈実験器具の作成〉

- ・傘の中棒の位置が変わらないようスタンドで固定した。
- ・スポイトの高さを調節し水平に水滴を垂らすために、スタンド2つと支柱を使って実験装置を組み立てた。
- ・コピー用紙を2枚つなげ、印をつけた。またその印は傘の柄より20cmの位置からつけ、傘の柄より70cmまでの位置まで印をつけ記録用紙とした。(図1)また、新聞紙で周辺の床が濡れないようにした上で、中棒から20cm離れた位置にこの記録用紙を固定した。



図1 実験の様子

《方法》

1. ビニール傘の10cmの印のところに降水量3mmとなるように5秒間で4mlの色水をピペットより50cmの高さから垂らした。
2. 同時に記録用紙に落ちた水が染み込んで落下地点がわからなくなることを防ぐために、記録用紙の真上からスマートフォンを用いてスローモーションの動画を撮影した。
2. 撮影した動画を参考にして、地面においた記録用紙のどの位置に色水が落下したか記録した。
3. 色水を垂らす位置を20cm、30cm、40cm、50cmに変えて同様に行った。
4. 傘をドーム傘、和傘に変えて同様に色水を垂らす位置を変えながら実験を行った。和傘は親骨が30cmのため、色水を垂らす位置は5cm、10cm、15cm、20cm、25cmとした。

5. 結果

傘の露先から垂直に降ろした点から水滴が落ちた点までを点 y とする。

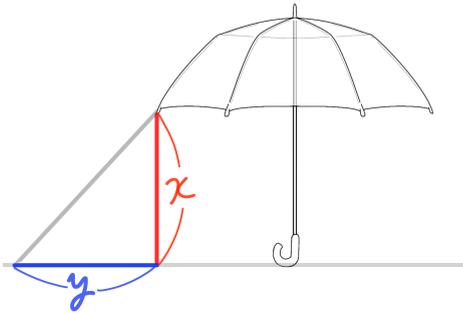


図2 計測方法

ドーム型傘

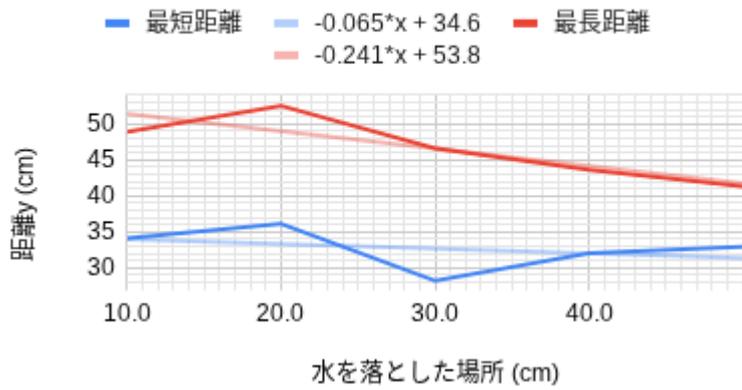


図3 水を落とした場所と距離yの関係(ドーム型傘)

ビニール傘

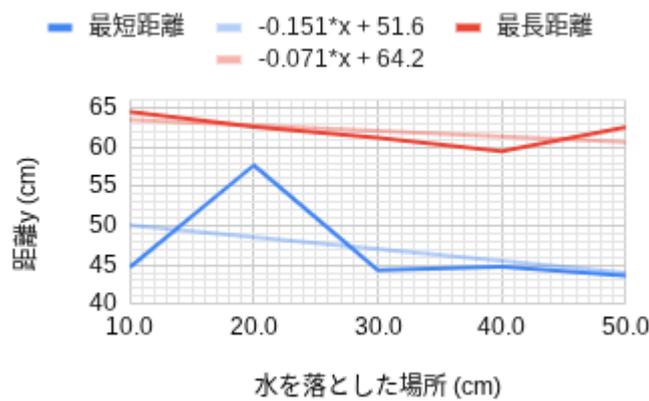


図4 水を落とした場所と距離yの関係(ビニール傘)

和傘(二倍)

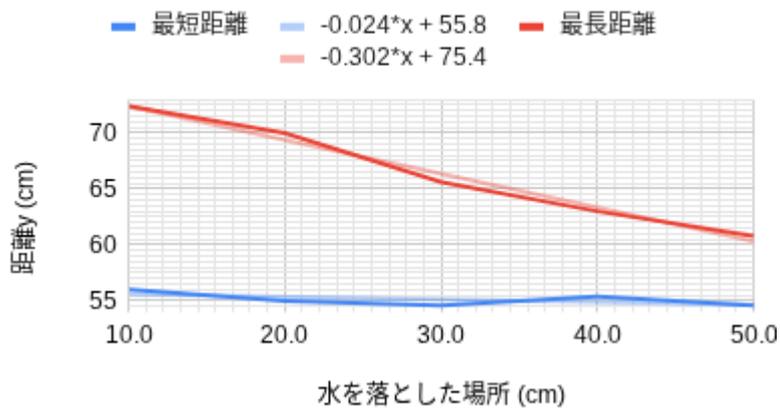


図5 水を落とした場所と距離yの関係(和傘)

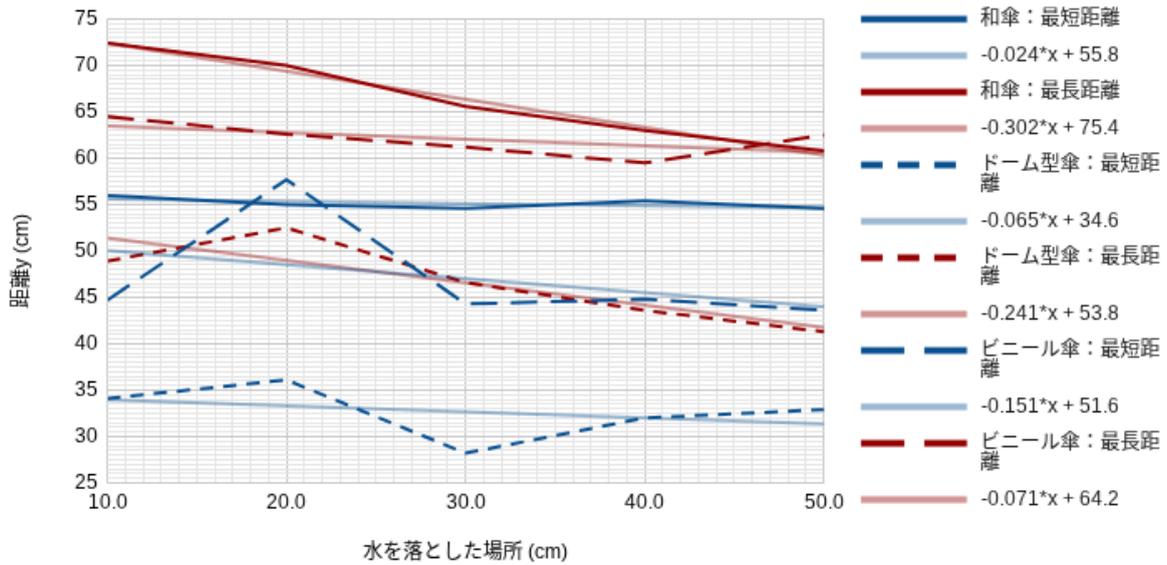


図6 水を落とした場所と距離yの関係(まとめ)

和傘は半分の大きさを使っているため全体のグラフでは和傘のみ距離y、水を落とした場所の値を2倍した。

傘の露先から地面までの距離が傘によって違うため、距離yを傘の露先から地面までの距離(図2のx)で割った値の最短距離と最長距離の平均を傘ごとにまとめた。

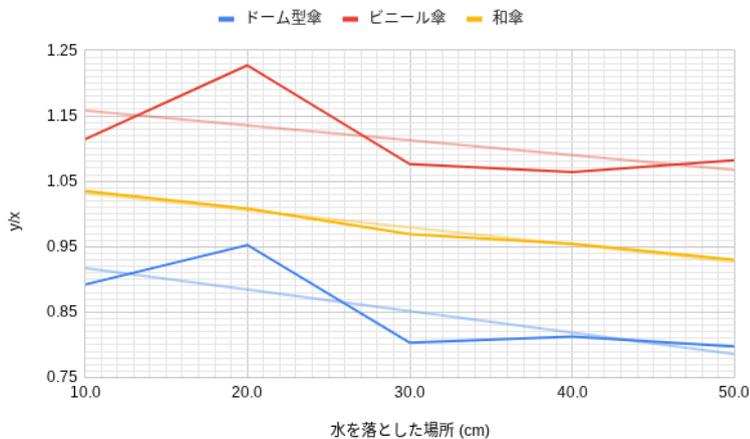


図7 各傘の落下地点までの距離の比のまとめ

6. 考察

ドーム傘は傘の面の部分が急に曲がっているため水滴が垂直に落下しやすく、遠くに飛びづらいため落下地点までの距離が短くなったと考えられる。

和傘は露先から石突きまでの距離が短く、水滴が滑る垂直方向の距離も短かったため重力の影響が小さく、十分に速度が出なかったため落下地点までの距離が短くなったと考えられる。

7. 結論

ビニール傘が一番ぬれにくいと考えられる。

また、ドーム傘、ビニール傘、和傘のグラフがほぼ平行なことから、どんな傘でも石突きに近い場所に落ちた水滴のほうが遠くに飛びやすい傾向があると考えられる。

8. 今後の展望

本研究では、静止した状態で風がなく、真上から雨が降った時を想定して行ったが、実際の雨の日の状態では、雨は斜めに降ることが多いのでその状態でも実験を行いより実用性があり、濡れにくい傘はどれか比較したい。また傘を持って動いたときの濡れにくさの比較も行いたい。

9. 参考文献

1 ウェザーニュース「濡れにくいサイズの”黄金比”とは？ 自分にあった傘の選び方？」

<https://weathernews.jp/s/topics/202207/040225/>

2025年12月22日閲覧

2 小暮健太(2016)「傘の適切な持ち方を支援するシステムに関する研究」

http://www.wil.it.aoyama.ac.jp/abstract/KentaKOGURE_a.pdf

2025年12月22日閲覧

3 傘もよう「日本の傘の歴史」

https://yorozutsugu.jp/category/KASA_STORY/SA003_STORY_002.html?srsltid=AfmBOoo1zII3eoYWDXT4HSYxZEm67tcMJki2A1joRIzD3jSjYaMiKNRE

https://shop.makita-1866.jp/pages/umbrella-parts-explanation?srsltid=AfmBOorCE6ybacFR7_0RJwaTTBIZEWMsYZ28FCoH1U9y-dUCD7Wk2BQ

<https://www.linedrops.jp/news/how-to-insert/#:~:text=%E6%BF%A1%E3%82%8C%E3%81%AA%E3%81%84%E3%81%9F%E3%82%81%E3%81%AB%E6%8A%BC%E3%81%95%E3%81%88,%E6%96%B9%E3%81%A8%E8%A7%92%E5%BA%A6%E3%81%AE%E3%82%B3%E3%83%84&text=%E5%85%B7%E4%BD%93%E7%9A%84%E3%81%AB%E3%81%AF%E3%80%81%E4%B8%AD,%E3%81%8C%E6%BF%A1%E3%82%8C%E3%82%84%E3%81%99%E3%81%8F%E3%81%AA%E3%82%8A%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

2025年12月22日閲覧

テニスコート地面含水量と表層の砂の定着率

神奈川県立厚木高等学校
2年C組 β 7班

1. 要旨

本研究はテニスコートの地面含水量と砂の定着率との関係を明らかにすることを目的とした。テニスコートの砂を採取して押し固め、赤い砂をまいて残存量から定着率を算出した。実験の結果、地面含水量の変化に伴い砂の定着率は谷状のグラフとなった。この結果から地面含水量と砂の定着率には関係性があることが明らかになった。

2. 背景・目的

雨が降ったあとテニスコートの整備をする際、砂を撒いたあと同じようにローラーをかけても日によって砂の食いつき方に違いがあると気づき、テニスコートの砂に含まれる水分量との関係に着目して砂が食いつきやすい条件を探ることにした。また、先行研究では、砂の定着率は横からより上から固めたほうが強い、含水比と砂の種類によって変化する、砂の粒が揃っているときの強度が強いことが示された¹。

3. 方法

テニスコートから採取した少量の砂に量を変えて水を含ませる。その砂をペットボトルのキャップに入れて押し固め、赤い砂を上から載せて押し固めた後、定着していない余分な砂をほうきで掃く。写真分析のプログラムで表面に残った赤い砂の割合を求める。この操作を8つの検体で行う。その後、残った赤い砂の割合と含水率を並べたグラフを作成し、その概形から水分量と砂の定着率の関係性を考察する。

4. 仮説

砂の定着率は水分量と大きな関係性があり、結果として水分率が高くなるにつれて砂の定着率も上がり、山なりのグラフが得られるという仮説を立てた。

5. 結果

	含水率(%)	赤い砂の割合(%)
検体1	8.4	0.9
検体2	8.3	9.9
検体3	10.2	34.5
検体4	9.8	17.5
検体5	7.4	11.1
検体6	4.7	29.0
検体7	3.3	53.2
検体8	6.6	88.0

図1 8つの検体における含水率と赤い砂の割合

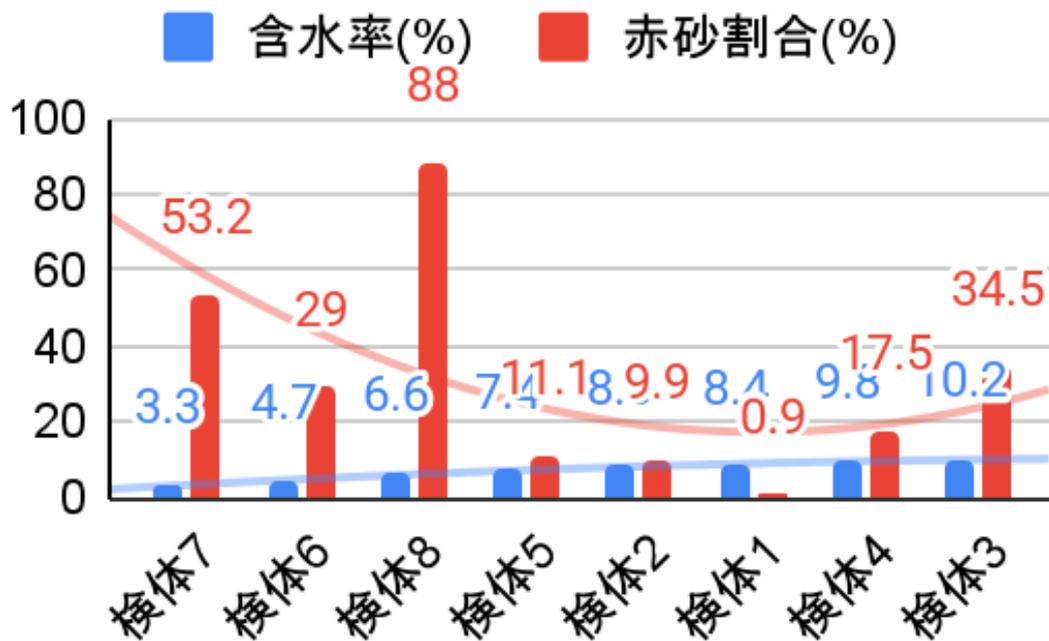


図2 含水率順に並べた赤い砂と含水量との定着率の関係性(%)

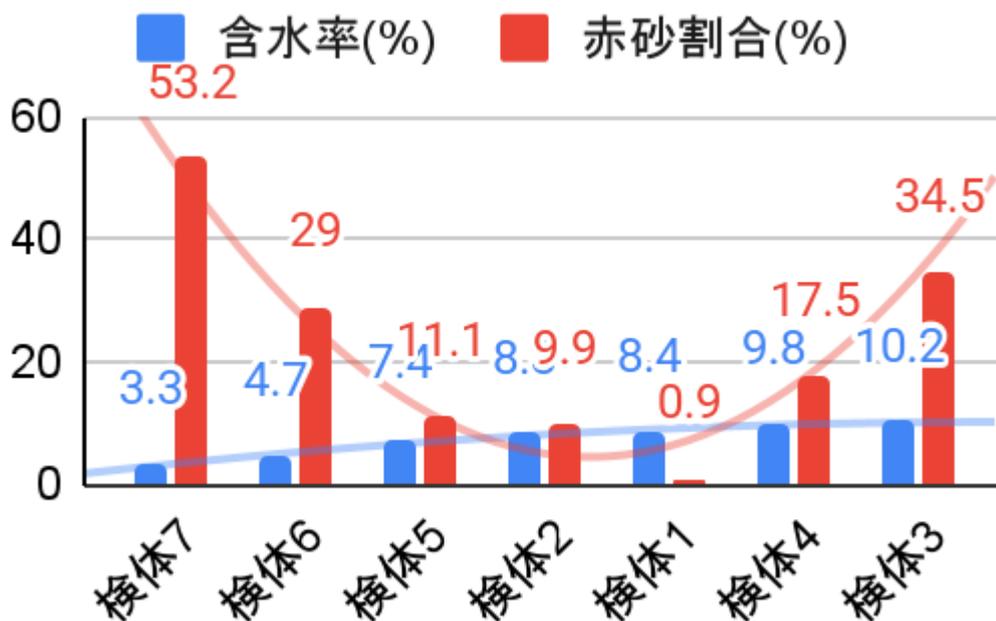


図3 検体8を除いた赤い砂と含水量との定着率の関係性(%)

図1の表の結果をもとに含水率順に並び替え、図2のグラフが得られた。回帰直線を引いたところ、緩やかな正の二次関数になったことがわかる。しかし、外れ値を、平均値 $\pm 3 \times \sigma$ (標準偏差) を超えた値に設定したところ、検体8が外れ値となり除外した。その結果が図3である。検体2のあたりを頂点とした正の二次関数的な関係があり、図2よりもその関係性が大きいことがわかる。

7. 考察

今回の実験では、地面の含水率と砂の定着率には関係があることが確認された。検体8を除いた結果、含水率が中程度の範囲にある検体では砂の定着率が低く、含水率が低い、または高い検体で比較的高い定着率を示す傾向が見られた。含水率が低い場合、砂の粒子同士の摩擦力が大きいため定着率が高くなったと考えられる。含水率が中程度の場合、砂の表面に付着した水分が潤滑剤のような役割を果たし、砂同士や砂と地面との間の摩擦力が低下したことで、砂が定着しにくくなったと考えられる。含水率が高い場合、表面張力によって引き合う力が強く働いたため砂の定着率が上がったと考えられる。

6. 結論

砂の定着率は水分量と大きな関係性があり、一定の含水率まで砂の定着率は下がるがそこからまた上がり、谷状である正の二次関数のグラフとなった。加えて、含水率によって砂に対する水の性質が大きく変化した。

8. 今後の展望

今回の実験では二次関数的な関係性があるという結果が得られたが、今回の実験以上の含水率ではまた定着率が低くなり、三次関数のグラフが得られるという仮説を新たに立て、含水率の極値を調べる。また、ペットボトルキャップよりも大きくした容器を用いて、次回は水分量を大きく変え、検体を増やして比較をする実験を行う。加えて、実際に雨が降り終わって数時間後にコート整備を行い、本当に砂が食いつきやすいのか検証する。

9. 参考文献

1. 鬼塚克忠、林重徳、吉武茂樹、大石英隆(1979)

『締固めた土の圧縮及び強度異方性について』

<https://dl.ndl.go.jp/view/prepareDownload?itemId=info%3Andlip%2Fpid%2F10447463&contentNo=1>

土質工学会論文報告集 2025年5月13日閲覧

空気を読むメダカ達 ～みんなと泳がなきゃだめですか？～

神奈川県立厚木高等学校

2年 C組 β8班

1. 要旨

中学生の頃、メダカ(*Oryzias latipes*)の走流性について学習をした。その性質を利用し、メダカの新たな習性が発見できないかと考えた。また、種の異なるメダカと人間との共通性を明らかにすることで、幅広い分野への応用が期待できると考えた。本研究では、メダカの視覚限界ならびに視覚的な走流性と他個体からの情報との有意差について、装置を用いて検証した。実験の結果、明度差が反応個体数に影響を及ぼした。また、他個体に追従する行動が確認された。特に、静止した模型が走流性反応を抑制したことはその結果を裏付けるものとなり、メダカが物理的な視覚情報よりも周囲の個体状況を優先して意思決定を行い、同調的な反応を取ることが示唆された。

2. 背景・目的

メダカは走性の一種である正の走流性をもつ¹。魚類の走流性は水の流れに対して反応するものであるが²、メダカは周囲の景色の動きに対しても走性を示す³。一般に、正の走流性には住み慣れた環境から流されてしまわないようにしたり(保留走性)⁴、流れに逆らって泳ぐことで上流から流れてくるエサをとらえやすくなったりなどという適応的意義があると考えられている⁴。メダカにみられる走流性以外の顕著な行動的特性は、群れを形成して集団行動をとることである⁵。生物学上の集団行動とは、同一種の複数個体が集まって集団(群れ)を形成し⁶、生存率の向上といった共通利益のために行動を共にすることである。個体が周囲の動向を参照して自身の行動を決定する習性は、多くの種で生存戦略として認められている⁷。

私たちは当初メダカの走流性と視覚情報(明るさや明度差)の関係を調べるための実験を行った。その過程でメダカの集団において走流性反応が抑制されることを発見した。本研究では、メダカがどの程度の明るさ(ルクス)や明度差^{8,9}において視覚情報を得られるのか、また、視覚的な走流性と、周囲の個体に合わせようとする「同調的な反応」のどちらが行動決定に強く影響するのかを解明することを目的とした。

3. 仮説

仮説①:ルクス(周囲の明るさ)や明度差の減少によってメダカの走流性が見られなくなる

【実験1】の考察を受けて新たな仮説②を立てた

仮説②:同調的な反応が視覚刺激よりも優先される

4. 方法

【実験1】視覚限界の検証:明度差と周囲の明るさの影響

独立変数:周囲の明るさ(500/100/10 lx)、ボーダーの明度差(5段階)

	ボーダー①	ボーダー②	ボーダー③	ボーダー④	ボーダー⑤
黒側	#222322	#7a7b7a	#909190	#d2d3d2	#e8e9e8

表1:ボーダーの16進数カラーコード(左に行くほど明度が低い、白側は全て#ffffff)

手順:表1のとおりボーダーの明度差を設定した4.0 cm幅のボーダーを水槽の周りに設置し、周囲の明るさを500 lx、100 lx、10 lxに設定した水槽内で周囲のボーダーを1分間回転させ、メダカが走流性を示すかを観察した。

実験に使用するメダカは白メダカ、ヒメダカ、黒メダカ(各5匹ずつ)を1匹ずつ単独で入れた場合と5匹全て入れた場合で実験を行った。

定義:「走流性を示した」状態を、メダカがボーダーの回転に合わせて泳ぐこととした。ただし、逆方向への遊泳や蛇行が見られた場合、あるいは1周するのに30秒以上かかった場合は除外した。

【実験2】走流性とメダカや模擬メダカから受け取る情報(同調的な反応)との有意差について

〈実験2-1〉集団内での追隨行動

方法:水槽に15匹のメダカを入れ、周囲のボーダーを回転させた。

定義:「追隨行動」を、5周振り返らず走流性を示していた個体が、無造作に後ろを向いた個体につられて走流性と反対方向を向いた場合とした。

〈実験2-2〉模擬メダカを用いた検証

方法: ボーダーは回さずに、模型(図3)のみを動かした場合の反応を観察した。星型の模型でも同様の実験を行い、形状による差を比較した。

〈実験2-3〉同調的な反応と走流性の優先度

方法: 水槽の直径上の両端に、それぞれ模擬メダカ及び障害物を固定(停止)させた状態で、周囲のボーダーのみを回転させた。



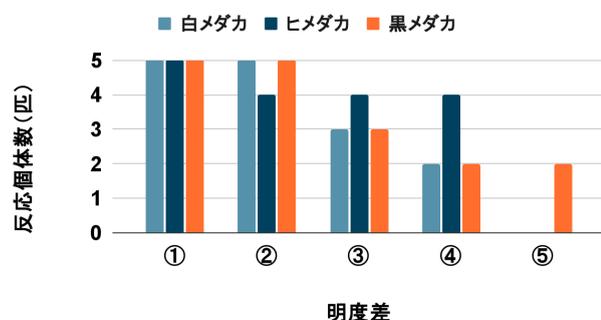
図1:実験1の様子、図2:実験2の様子 図3:模擬メダカ

5. 結果

【実験1】

明度差が小さくなるほど、メダカの走流性の反応が弱くなったが、ルクスによる影響は見られなかった。また、集団の実験において走流性を示す個体数が減少した。(図4、図5)

明度差による反応個体数の変化(1匹)



明度差による反応個体数の変化(5匹)

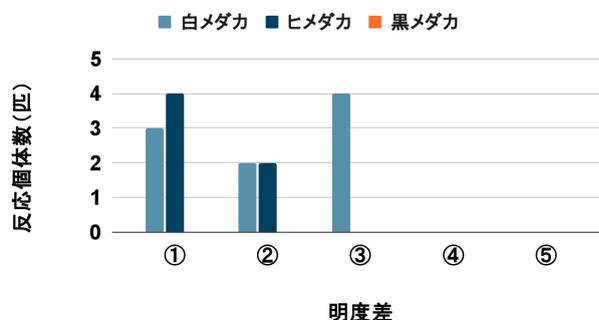


図4:走流性を示した個体数(5匹同時に観察)、図5:走流性を示した個体数(1匹ずつ観察)

【実験2】

〈実験2-1〉集団内での追隨行動

走流性に逆らって無造作に後ろを向いた個体に対し、他の個体が引きずられて反対方向を向く「追隨行動」が確認された。(図6、図7)



図6:メダカの動き(前)、図7:メダカの動き(後)

〈実験2-2〉模擬メダカを用いた検証

模型に対して「追隨行動」が確認された。星型の模型では、模型に追われてメダカが逃げる動きが観察された。(図8、図9)



図8:メダカの動き(前)、図9:メダカの動き(後)

※○は模擬メダカ、●反応を示したメダカ

〈実験2-3〉同調的な反応と走流性の優先度

模擬メダカを確認し、走流性を止める動きが見られた。障害物は走流性に影響を与えなかった。(図10、図11)



図10:メダカの動き(模擬メダカ)、図11:メダカの動き(障害物)

6. 考察

【実験1】集団では1匹ずつで実験した場合よりも反応を示しづらいことが判明した。このことから、メダカも人間と同様に同調的な反応を示すことがある可能性がある。

【実験2】逆向きの個体への追従行動が見受けられたこと、反応を示すものが特定の個体ではないこと、集団ではなく個別での判断が行われていること、仲間と認識した他個体の存在が意思決定を左右したことからメダカには同調圧力が存在することが示唆された。また、その同調圧力は視覚的な走流性よりも優先される可能性がある。

7. 結論

本研究により、明度差が小さくなるほど、メダカの走流性の反応が弱くなり、ルクスによる影響が見られないことが示された。加えて、メダカは人間と同様に仲間に対して同調的な反応を示し、それは単なる視覚的な走流性(物理的な動きへの追従)よりも優先される場合があることが示唆された。メダカは個別の判断だけでなく、周囲の個体の状況を「空気を読む」ように認識して行動している可能性が高い。

8. 今後の展望

本研究では「同調圧力 > 走流性」という可能性があることは分かったが、メダカはボーダーを「仲間の影」として認識している可能性もあるため、今後はより生体に近い精巧な模型やデジタル映像を用い、どの要素がより強い誘引力を持つのかを定量的に立証する必要がある。

9. 参考文献

1. 佐藤賢治他 2020「メダカの行動~刺激に対する適切な反応~」の教材化 仙台市科学館 研究報告 第20号
2. 浜野龍夫他 2004 エビと底生魚を魚道上流端からダム湖に誘導する新手法の検討
Journal of National Fisheries University
3. メダカの走流性の実験 実践生物教育研究会ホームページ
<https://nextftp.com/jissen/6-2.htm> (2026年 1月29日 閲覧)
4. Coombs, S., Bak-Coleman, J., & Montgomery, J. (2020). Rheotaxis revisited: a multi-behavioral and multisensory perspective on how fish orient to flow. Journal of Experimental Biology 223: jeb223008.
5. 中村守純 1973 動物の世界大百科 第12巻 日本メール・オーダー社
6. 基礎生物学研究所 2013 メダカは動きで仲間を引き寄せる
<https://www.nibb.ac.jp/press/2013/12/09.html> (2026年 1月30日 閲覧)
7. 株式会社クボタ 2019 クボタの田んぼ
<https://www.kubota.co.jp/kubotatanbo/livingthing/killifish.html> (2026年 1月30日 閲覧)
8. 名古屋大学 2017 メダカの走流性を用いた色覚情報の識別限界
<https://www.nibb.ac.jp/press/2017/09/04.html> (2026年 1月30日 閲覧)

9.福井県立高志高等学校 2018 メダカの色認識とそれに伴う行動パターンについて

https://www.koshi-h.ed.jp/wp-content/uploads/2018/01/H29_11_killifish.pdf (2026年 1月30日 閲覧)

飲食店シミュレーションソフト“Helios”の開発

神奈川県立厚木高等学校

2年 C組 β9班

1. 要旨

近年、飲食店業界では事前計画の不備による経営判断の難しさが課題となっている。

本研究では、店舗構造・人流・スタッフ配置などを仮想空間上で再現し、収益への影響を分析できる飲食店シミュレーションソフト“Helios”を開発した。

“Helios”を用いて店舗規模ごとの条件比較実験を行い、**基準正規化平均感度**を指標として、各要素が純利益に与える影響度を定量的に評価した。

その結果、収益に対する影響要因は店舗規模によって大きく異なることが明らかとなり、飲食店経営においては店舗特性に応じた合理的な事前計画が重要であることが示唆された。

2. 背景

近年、飲食店業界の廃業率の高さが深刻であり、その原因は「採算性の見通しの甘さ」・「人流の影響や効率の悪い配置」・「デッドスペースの多さ」・「事前計画の甘さ」などにあると言われている。そのため我々は飲食店におけるシミュレーションを再現できるソフト“Helios”の自主開発を試み、そのシミュレーションソフトを用いた研究によって、純利益に影響する各要素の特定・分析をおこなうことができると考えた。

3. 目的

飲食店シミュレーションソフト“Helios”を開発し、飲食店経営における各要素の利益に対する影響度の特定、分析をする。

4. 前提条件

実験の際に利用する項目の定義と諸設定を記載しておく。

【実験における定義】

- ・従業員稼働率 = 営業時間内に店員が動いた(配膳対応等)割合
- ・RevPASH = 売り上げ ÷ (利用可能席数 × 営業時間)
(利用可能な席 1席あたり・1時間あたりに生み出された売上額)
- ・閾値 = (1人の店員が対応できる最大卓数)

【実験における諸設定】

- ・現実の1分 = シミュレーション上の1秒
- ・トイレに行く確率 = 30%
- ・ドア、厨房、トイレ = レイアウト1(p)
- ・営業時間 = 8時間(480秒)・閾値 = 4

また、本研究では各値が利益に与える影響を判断するために「基準正規化平均感度」という指標を導入している。

・「基準正規化平均感度」

= 全施行データが基準値からどれだけ離れているかを平均したもの

【各店舗における基準値の設定】

表1 各店舗の基準設定

店舗規模	従業員数 (人)	卓数 (卓)	来客数 (人)	客単価 (円)	滞在時間 (分)	総利益 (円)
小規模	2	8	60	1000	40	38,760
中規模	4	16	120	2500	60	220,000
大規模	8	32	240	4000	90	612,000

【利益の変動率の計算式】

実験で条件を変更した際の各利益をPとおいたとき、変動率を基準値 P (base)を用いて次の式で算出する。

$$\text{変動率} = |(P - P(\text{base})) \div P(\text{base})| \times 100 (\%)$$

平均感度において全データの変動率を算出し、平均をとることで各項目の持つ影響度を特定することとする。その際次のことに注意する。次の実験1パターン④の場合は1.5, 2.0 mのそれぞれで平均を出しその平均を取る。稼働率、RevPASH は次の実験1,2パターン①～④それぞれで平均を取る。

5. 方法

① シミュレーションソフトを作成する

ソフト名・・・“Helios”(ヘリオス)

⇒飲食店運営に必要な知識に特化した大規模言語モデルを用いて開発した高度分析ソフトウェアである。実際の店舗を介さず人の流れ・時間・空間・経済行動を同一のフレームワーク上で統合し、利益構造を定量的解析及び可視化を実現する。

- ・「数理モデル × 仮想空間 × データ分析」を融合している。
- ・営業時間、来客数、従業員数、座席配置、客単価、卓数などの項目を入力可能。
- ・実効客単価、従業員稼働率、総利益、RevPASHなどが出力される。

②“Helios”による算出値の一致率調査

店舗の「売上(日商・月商)」の妥当性について 【一致率:80%】

各店舗の全パターンの平均日商を30日分(一ヶ月)に換算し、公庫の黒字店舗データと直接比較した。■参照した出典データ 日本政策金融公庫(JFC):『飲食店経営実態調査』

表2 売上の概要

店舗規模	Heliosの平均「純利益(日商)」	Heliosの平均月商(日商×30日)	日本政策金融公庫の統計(月商)	一致率
小規模	約43478円	約130.4万円	150万~200万円	75%
中規模	約196444円	約589.3万円	600万~800万円	84%

労働生産性(店員1人が稼ぐ力)の妥当性について 【一致率:94%】

“Helios”によって算出したスプレッドシート上にある「小・中・大」の店舗サイズにおける平均日商(総利益)を店員数で割り、一人当たりの生産性を算出した。

■参照した出典データ 経済産業省:『経済センサス-活動調査』

店舗規模	店員数	Heliosの平均「純利益(日商)」	一人あたりの生産性(算出値)	経済省統計の目安	一致率
小規模	2名	約43478円	約2,17万円	約2.5万円	87%
中規模	4名	約196444円	約4,91万円	約4,5~5万円	97%
大規模	8名	約548272円	約6,85万円	約6.5~7.5万円	98%

テーブル配置と収益改善の妥当性について 【一致率:78%】

実験1における「ステップ①」を基準値とし、改善策を導入した実験1の「ステップ③」実験2の「ステップ④」でどれだけ利益が伸びたかを算出する。

■参照したデータ『RevPASH(収益最大化)理論』世界 コーネル大学(米)

表4 テーブル配置と収益の概要

改善 フェーズ	Heliosの利益 (小・中・大平均)	利益の増加率(算出 値)	コーネル大学の 理論値	一致率
ステップ① (基準)	約262,732円	基準(±0%)	基準値	・
ステップ③ (時間制限)	約302,544円	+約15.1%	10%~15% 改善	79.2%
ステップ④ (レイアウト)	約340,111円	+約23%	12%~25% 改善	76%

③“Helios”について

〈3Dレイアウトに関する主要なプログラムコード〉

- ・人の動き、座席配置、トイレやドアや厨房の位置に関する。

```

// src/components/Scene/Restaurant.jsx
import * as React from 'react'
import * as THREE from 'three'
import { useCallback, useEffect, useMemo, useRef, useState } from 'react'
import { useThree, useFrame } from '@react-three/fiber'
import { OrbitControls, Edges } from '@react-three/drei'
import type { Config, Side, LiveStats } from '../App'

// ----- utils & colors ----- */
const clamp = (v: number, min: number, max: number) =>
  Math.min(Math.max(v, min), max)

const isFiniteNumber = (v: unknown): v is number =>
  typeof v === 'number' && Number.isFinite(v)

// 全体をホログラム寄りの配色に寄せる
const COL = {
  bg: '#20617',
  floorBase: '#20617',
  floorSide: '#0f172a',
  wall: '#111827',
  ring: '#2243ee',
  door: '#380df8',
  kitchen: '#f97316',
  toilet: '#3b82f6',
  table2: '#ae51ff',
  table4: '#0b2d5c',
  person: '#ffffff',
  staff: '#ff404d',
}

// ----- scene basics ----- */
function SceneSettings() {
  const { gl, camera, scene } = useThree()
  useEffect(() => {
    gl.outputColorSpace = THREE.SRGBColorSpace
    gl.toneMapping = THREE.ACESFilmicToneMapping
    gl.shadowMap.enabled = true
    gl.shadowMap.type = THREE.PCFSoftShadowMap
    gl.setPixelRatio(Math.min(window.devicePixelRatio, 1.5))

    camera.near = 0.15
    camera.far = 80
    camera.position.set(0, 3.2, 7)
  })
}

// ----- default export ----- */
export default function Restaurant({
  s,
  cfg,
  doorLeft,
  doorRight,
  stats,
  running,
  serviceCoef,
  effectiveIncoming,
}: Config) {
  const dispatch = React.Dispatch<React.SetStateAction<Config>>
  const [doorLeft, setDoorLeft] = useState(0)
  const [stats, setStats] = useState(LiveStats)
  const [running, setRunning] = useState(false)
  const [serviceCoef, setServiceCoef] = useState(1)
  const [effectiveIncoming, setEffectiveIncoming] = useState(0)

  const warnedRef = useRef(false)
  return (
    <group>

```

図1 プログラムコード(一部抜粋)

〈コントロールパネルに関わるプログラムコード〉

- ・各項目の数値を実際に入力するのに関係する。

【ステップ1】座席数(オペレーション負荷)実験

⇒卓数を変更したことによる利益の変化を調べる。

操作内容

- ・ 卓数を各店舗の基準値から上下に1卓ずつ変えて実行する。
- ・ ± 1卓 ± 2卓 ± 3卓に変動する。
- ・ その他の項目を固定し、対照実験を行う。
- ・ 今回は四人座席のみ活用する。



図5 8卓の場合(例)

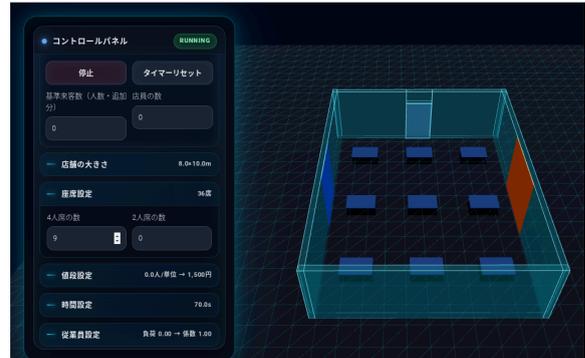


図6 9卓の場合(例)

【ステップ2】価格弾力性実験

⇒価格の変動に対しての来客数の増減による利益変化を調べる。

操作内容

- ・ 基準価格を各店舗の基本パターンに固定する
- ・ 現在価格の項目を基準価格から10%ずつ変える。
- ・ ± 10%、± 20%、± 30%に変動する。
- ・ その他の項目を固定し、対照実験を行う。

【ステップ3】制限時間実験

⇒制限時間の変動で、客単価の変化の影響による利益変化を調べる。

- ・ 基準滞在時間を各店舗の基本パターンに固定する。
- ・ 時間制上限の項目を基準価格から10%ずつ変える。
- ・ ± 10%、± 20%、± 30%に変動する。
- ・ その他の項目を固定し、対照実験を行う。

④実験2 人流(レイアウト)の比較実験

⇒レイアウトと座席間隔を変更して、人流の変化によって利益にどう差が出てくるかを調べる。

座席間隔1.5mと2mのときそれぞれにおいて、異なるレイアウト11通りのシミュレーションを行い、計22通りの結果を元に歩く距離や客同士の干渉がどう利益に左右しているか調べる。

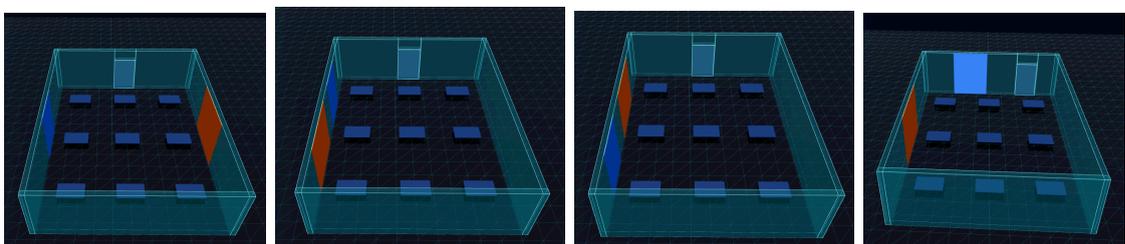


図7 レイアウト1 図8 レイアウト2 図9 レイアウト3 図10 レイアウト4

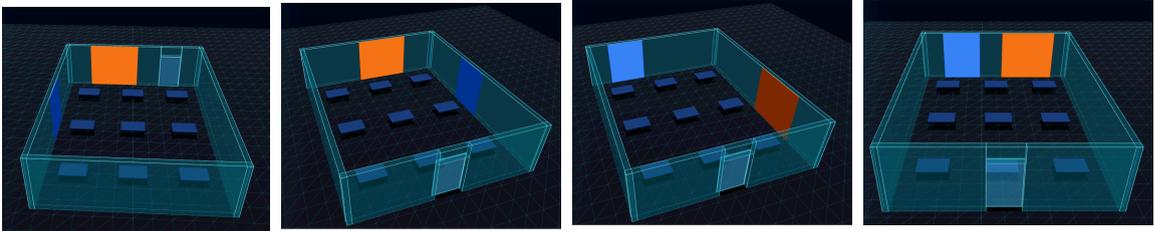


図8 レイアウト5 図9レイアウト6 図10 レイアウト7 図11 レイアウト8

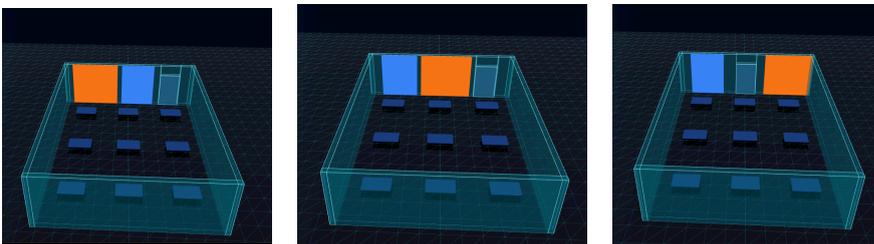


図12 レイアウト9 図13 レイアウト10 図14 レイアウト11

⑤それぞれのステップにおいて、モニタリング項目を記録する。

〈主にデータとして利用する項目〉

- 従業員稼働率、RevPASH、総利益、各変数パラメータ



図15 モニタリング

6. 結果

図16 小規模ステップ1

卓数	5卓	6卓	7卓	8卓	9卓	10卓	11卓
ReVPASH	4479円	4427円	2773円	2367円	2199円	1823円	1847円
稼働率	13%	61%	72%	71%	54%	75%	97%
総利益	43000円	51000円	42592円	38760円	38000円	35000円	39000円

図17 小規模ステップ2

客単価	700円	800円	900円	1100円	1200円	1300円
実効来客数	78人	72人	66人	54人	48人	42人
ReVPASH	1732円	2448円	2754円	3939円	3750円	931円
稼働率	36%	70%	86%	63%	89%	82%
総利益	41000円	39980円	42300円	60500円	57600円	46070円

図18 少規模ステップ3

滞在時間	28s	32s	36s	44s	48s	52s
実効客単価	700円	800円	900円	1100円	1200円	1300円
ReVPASH	2142円	1719円	2695円	4082円	3594円	4740円
稼働率	60%	29%	65%	18%	36%	36%
総利益	51200円	51000円	50000円	39000円	45600円	54000円

図19 少規模ステップ4 1.5m

レイアウト	1	2	3	4	5	6
ReVPASH	2409円	2344円	2038円	6185円	2018円	2150円
稼働率	58%	67%	88%	93%	95%	91%
総利益	37000円	36000円	32000円	38000円	31000円	33000円

レイアウト	7	8	9	10	11
ReVPASH	2741円	2018円	1302円	1563円	1432円
稼働率	83%	86%	96%	85%	89%
総利益	31000円	31000円	20000円	24000円	22000円

図20 少規模ステップ4 2m

レイアウト	1	2	3	4	5	6
ReVPASH	2018円	2995円	2344円	3451円	1628円	1563円
稼働率	87%	93%	91%	89%	66%	80%
総利益	31000円	46000円	36000円	53000円	25000円	24000円

レイアウト	7	8	9	10	11
ReVPASH	1237円	1693円	1693円	1628円	1432円
稼働率	89%	77%	72%	83%	58%
総利益	19000円	26000円	26000円	25000円	22000円

図21 中規模ステップ1

卓数	13卓	14卓	15卓	16卓	17卓	18卓	19卓
ReVPASH	6010円	8278円	8179円	7161円	5974円	5208円	4660円
稼働率	43%	46%	60%	80%	94%	95%	90%
総利益	150000円	222500円	235000円	220000円	195000円	180000円	170000円

図22 中規模ステップ2

客単価	1750円	2000円	2250円	2750円	3000円	3250円
実行来客数	171人	150人	133人	109人	100人	92人
ReVPASH	5811円	5990円	5200円	6535円	7813円	9098円
稼働率	79%	90%	60%	59%	78%	78%
総利益	178500円	184000円	159750円	200750円	240000円	279500円

図23 中規模ステップ3

滞在時間	42s	48s	54s	66s	72s	78s
実行客単価	1750円	2000円	2250円	2750円	3000円	3250円
ReVPASH	5583円	5273円	7399円	7072円	8984円	7617円
総利益	54%	89%	69%	79%	53%	89%
総利益	178500円	184000円	159750円	200750円	240000円	279500円

図24 中規模ステップ4 1.5m

レイアウト	1	2	3	4	5	6
ReVPASH	6597円	5908円	8519円	5816円	6956円	6510円
稼働率	93%	93%	93%	51%	89%	88%
総利益	190000円	170000円	245000円	167500円	200000円	187500円
レイアウト	7	8	9	10	11	
ReVPASH	6510円	5729円	3299円	3819円	3385円	
稼働率	84%	88%	71%	70%	94%	
総利益	187500円	165000円	95000円	110000円	97000円	

図25 中規模ステップ4 2m

レイアウト	1	2	3	4	5	6
ReVPASH	6775円	7901円	7639円	5642円	8684円	7899円
稼働率	92%	86%	88%	58%	94%	88%
総利益	195000円	227500円	220000円	162500円	250000円	227500円
レイアウト	7	8	9	10	11	
ReVPASH	8073円	4167円	3559円	4167円	6163円	
稼働率	63%	87%	94%	78%	89%	
総利益	232500円	120000円	102500円	120000円	177500円	

図26 大規模ステップ1

卓数	29卓	30卓	31卓	32卓	33卓	34卓	35卓
ReVPASH	9440円	10278円	7728円	9961円	8965円	8027円	8929円
稼働率	92%	93%	90%	93%	91%	93%	91%
総利益	580000円	592000円	460000円	612000円	568000円	524000円	600000円

図27 大規模ステップ2

客単価	2800円	3200円	3600円	4400円	4800円	5200円
実効来客数	342人	300人	266人	218人	200人	184人
ReVPASH	6654円	6823円	8555円	9596円	12583円	12695円
稼働率	92%	92%	92%	93%	88%	73%
総利益	408000円	419200円	525600円	589600円	724800円	780000円

図28 大規模ステップ3

滞在時間	63s	72s	81s	99s	108s	117s
実効客単価	2800円	3200円	3600円	4400円	4800円	5200円
ReVPASH	7747円	8229円	9551円	10026円	10703円	12357円
稼働率	100%	91%	92%	91%	91%	88%
総利益	476000円	505600円	586800円	616000円	656700円	759200円

図29 大規模ステップ4 1.5m

レイアウト	1	2	3	4	5	6
ReVPASH	9180円	8073円	5339円	10417円	7357円	6706円
稼働率	94%	85%	87%	92%	87%	81%
総利益	564000円	496000円	544300円	640000円	452000円	412000円

レイアウト	7	8	9	10	11
ReVPASH	5664円	5273円	6234円	5013円	4688円
稼働率	91%	77%	100%	91%	87%
総利益	435600円	450700円	404000円	398700円	400300円

図30 大規模ステップ4 2m

レイアウト	1	2	3	4	5	6
ReVPASH	13167円	11333円	12333円	12083円	12167円	10250円
稼働率	93%	91%	68%	77%	86%	88%
総利益	632000円	544000円	592000円	580000円	584000円	492000円

レイアウト	7	8	9	10	11
ReVPASH	13231円	7000円	7083円	8750円	6559円
稼働率	91%	98%	84%	85%	92%
総利益	63600円	470980円	37000円	420000円	450000円

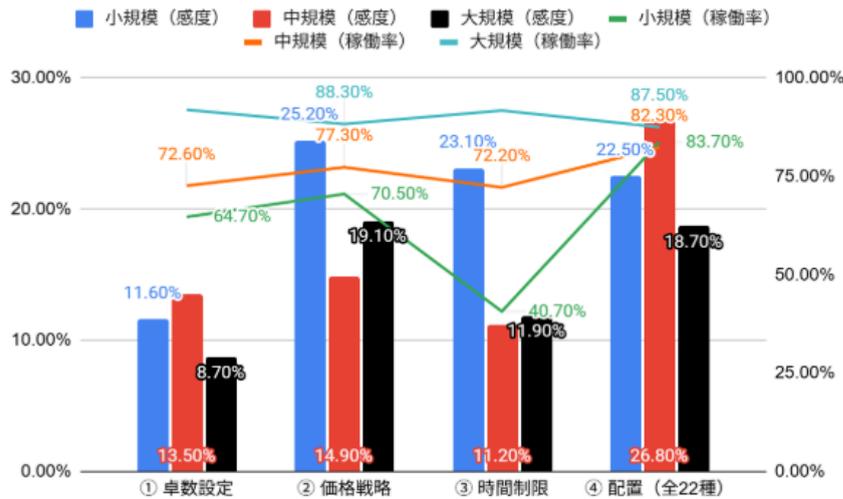


図31 各店舗のパターンごとの数値感度と従業員稼働率

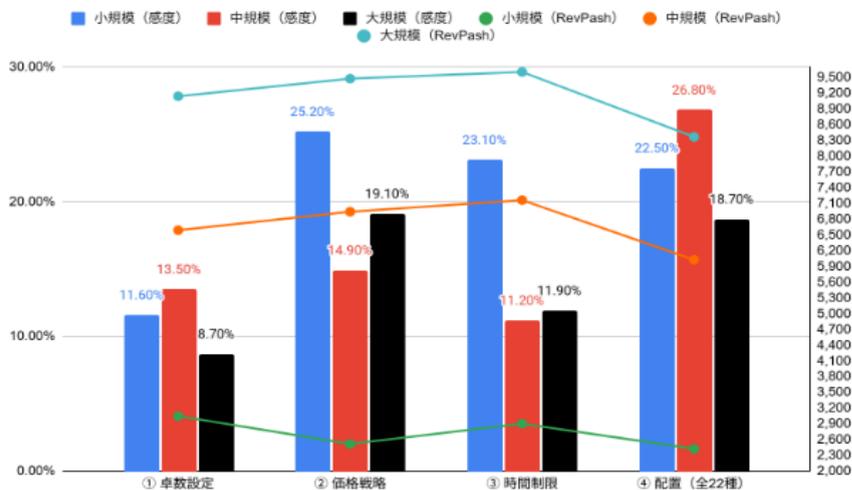


図32 各店舗のパターンごとの数値感度とRevPASH

7. 考察

1. 小規模店の利益は価格設定、滞在時間の影響が大きい。これは、大・中規模店と比べて面積が小さいことが原因だと考えられる。利益を増やすためには、客単価を上げ、滞在時間を短くし回転率を上げることが効果的である。

2. 中規模店の利益はレイアウトの変更による影響が大きい。これは大規模店と比べ面積が小さく、小規模店と比べ卓数が多いことが原因だと考えられる。そのため、空きスペースを極力なくし、より効果的な座席配置の検討が重要である。
3. 各項目の値を変更したときの利益の差異は小さい。そのため、派手な施策をするよりもミスをしないことが重要である。
4. 小規模店において、平均稼働率が下がっている箇所がある。これは滞在時間が短くなることで追加注文が減り、店員の卓に向かう動作が少なくなることが原因ではないか。逆に、大規模店は稼働率に大きな変化がない。これは大規模店は小規模店に比べて面積が大きいいため、一回の配膳による負担が大きいことが原因ではないかと考えられる。
5. どの店舗においても、ステップ④のグラフに表されるRevPASHが右肩下がりである。ステップ④だけは試行回数が22回と多く、効率最悪の外れ値が含まれている。これによってRevPASHの平均値が下がっていると考えられる。
6. 今実験の結果はあくまでシミュレーション上の値であり、現実と完全に一致しているとは言えない。今後は実店舗との提携を通じ、現実との互換性を高めていく必要がある。

8. 結論

一般的に、利益を向上させるためには、単価を上げることや、人件費の削減が重要だと言われている。しかし、今回の研究では、飲食店という一つの括りの中でも、小・中・大規模において利益感度や従業員稼働率、RevPASHで異なる結果が得られた。ここから、各店舗の持つ小規模、大規模などの特性にアプローチするような戦略を考えることが、飲食店ビジネスを成功に導くのではないかと考えられる。

9. 今後の展望

①飲食店との提携

実際の飲食店提携のフィードバックを元に、現実との互換性をより向上させることで、飲食店の起業希望者が起業前に、自分の店の間取りで何度もシミュレーションできると考える。意思決定をサポートするようなプロダクトへ発展させていきたいと思う。

②異なる人流シミュレーションへ応用

飲食店営業にとどまらず、人の動きのシミュレーションを身近なところに活かしていきたい。

(例)

ショッピングモールや学校での緊急時の人流の可視化、ナースコールに対応しやすい配置、オフィスや教育現場の動きなど

③“Helios”自体の強化、改善

“Helios”のver2を現在開発中。人型モデルを改良し、より現実に近い動作が実装される予定である。また、実際の店舗を写真撮影することで、それが反映されるという機能を実装予定である。

1. 参考文献

株式会社日立製作所 2021 社会課題の解決につながるDXへ 2025年10月6日閲覧
<https://www.hitachihyoron.com/jp/archive/2020s/2021/03/activities/index.html>

株式会社日立製作所 2018 人流解析技術を用いたビル内移動の最適化シミュレーション
2025年10月6日閲覧

<https://www.hitachihyoron.com/jp/archive/2010s/2018/02/02a03/index.html>

国土交通省 2024 汎用的な人流シミュレーションシステム 2025年10月6日閲覧

<https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc24-07/>

国土交通省 2022 ウォークアブルな空間設計のためのスマート・プランニング 2025年10月6
日閲覧 <https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-040/>

コーネル大学参考資料

テーブル配置（テーブルミックス）の最適化に関する研究

[Cornell Study Finds Restaurateurs Are Leaving Money on the Table\(Hospitality Net\)](#)

RevPASH（時間あたりの収益）の基本理論

[Implementing Revenue Management in Your Restaurants \(Cornell Commons\)](#)

具体的な改善事例（Chevys Arrowheadの事例）

[Restaurant Revenue Management: Implementation at Chevys Arrowhead](#)

経済産業省

[経済センサス - 活動調査（経済産業省サイト）](#)

日本政策金融公庫

[飲食店経営実態調査結果（令和3年度）](#)