

摩擦係数と模様の関係

○下出鉄平 久保田光星 下島蒼斐
篠原大輝 志水麦人 菅原孟紀

【要約】

靴の裏やタイヤの模様に着目し、模様の違いと摩擦力の関係性を調べることを目的とした。木板の上に6種類の模様をつけた木片をそれぞれ置き、木片が滑り出す直前の状態を条件として測定を行った。木板を斜辺とした直角三角形を作り、その底辺の長さで木片が滑り出したときの高さから、 $\tan \theta$ を算出し、 $\tan \theta = \mu$ を用いて静止摩擦係数 μ を算出する。木片と木板の木目の向きが同じ場合は「縦」、向きが互いに垂直の場合は「横」とした。それぞれの木片に切り込みを入れ、切り込みの本数を変えることで6種類の模様を作った。「①縦のほうが摩擦係数は小さい」と「②切り込みの本数を増やすことで接地面積が減り摩擦係数が小さくなる」の2つの仮説を立て、実験による検証を行った。実験結果において、木目の向きと摩擦係数の関係性はないこと、特定の模様では接地面積の減少に対して摩擦係数が上昇していることが分かった。また、摩擦係数が大きく変化したのは縦の場合が多いことが分かった。タイヤの模様のように縦型中心の模様と摩擦係数の関係性はあると言える。

1. 動機・目的

靴の裏やタイヤに模様の違いがあることに着目した。そこで、模様の違いによる滑りにくさが摩擦力に関係していると考えた。そこで、摩擦係数を測定しその変化から滑りにくさを調べる。その結果から靴の裏やタイヤに使われている模様を参考にして、滑りにくい模様・滑りやすい模様をつくり、比較することで模様の違いが摩擦にどのように影響しているのかを検証する。

木と木の間での摩擦係数を比較し、滑りづらい模様を調べることを目的とした。

2. 仮説

木片が木板の上を滑るとき、木片と木板の木目の向きが平行のときのほうが引っかかりがスムーズに滑り摩擦係数が小さくなると考えた。また、木片と木板の接地面積が減少することに伴い、摩擦が発生する部分の面積が減少し摩擦係数も減少すると考えた。以上のことから2つの仮説を立てた。

- ①木片と木板の木目の向きが同じである縦のほうが摩擦係数は小さい
- ②切り込みの本数を増やすことで接地面積が減り摩擦係数は小さくなる、

3. 方法

図1の木片を使用する。左上から順に①木目に平行、②木目に垂直、③右上から斜め、④左上から斜め、⑤木目に平行かつ右上から斜め、⑥木目に垂直かつ左上から斜めにそれぞれ切り込みを入

れたものである。切れ込みはのこぎりで大まかな切れ込みを入れたあと、棒やすりを用いて切れ込みを調整し木板にそれぞれ切れ込みを入れる。①、②、③、④の木板は三本目までの切れ込みの幅が1cm、四本目、五本目は0.5cm、⑤、⑥はすべて1cmになっている。切り込みを一度に入れる本数は、①、②、③、④は1回目1本、2回目3本、3回目5本で⑤、⑥は1回目2本、2回目に6本入れた。ここで、木目に沿った方向を縦、木目に垂直の方向を横とする。

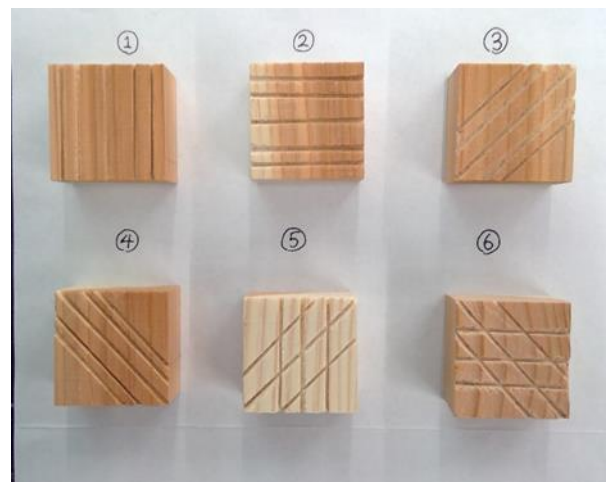


図1 使用した木片

次に、実験装置を図2に示す。木板の上に木片を置き傾斜をつける。傾斜はスタンドの高さを変えてつける。高さを変える時、スタンド、木板はセロハンテープであらかじめ定めておいた位置に戻す。高さを決める際、スタンドの側面に取り付けある1m定規の値を水平に見る。底辺の長さは取り付けてある1m定規で測る。また、高さの決め方は木片が滑ったときの値、滑らなかったときの値との間の値をとりmm単位で刻んで測っていく。スタンドの高さが決まった後、斜辺を作っている木板と底辺になっている木板の高さを30cm定規で測る。その高さは斜辺を作っている木板の下側に位置を統一して測る。この測定値は読み取り、底辺は底辺になっている木板の位置に揃えた定規で測る。計測を一回行うごとに木板と木片はテッシュペーパーで表面を軽くふき取り、できるだけ同じ状態を保つようにした。軽く木板をふき取る時テッシュペーパーが木板の角、切れ込みに引っかからないように注意してふき取る。木板で直角三角形を作り、その底辺の長さと木片が滑り出したときの高さから、 $\tan \theta = \mu$ (摩擦角)を用いて静止摩擦係数 μ を算出する。測定を行う時、摩擦係数をより正確に測るため測定中は測定を行っている教室内の振動、空気の対流を減らすために教室内の人数を少なくし、測定中は作業を行っている人以外は動かないようにし、冬季は暖房器具の稼働を止め測定し、データを取った。この作業を図1の①～⑥のような切り込みを入れた木片で行う。切り込みなしの摩擦係数をデータ平均値0.30に補正した。

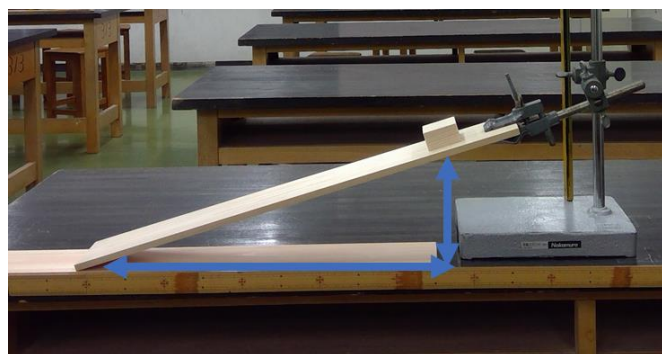


図2 実験装置

4. 結果と考察

木目や表面の状態に個体差があることから傷なしのデータに違いが生じてしまったために0.3を基準として他のデータに補正をかけることで、データの比較を行った。そのデータを図3と図4に示す。グラフの縦軸を摩擦係数、横軸を模様の種類とした。図3のグラフから縦④の切込み1本のととき、摩擦係数が最も大きくなった。図4では縦⑤の切込み2本のとき摩擦係数が最も大きくなった。これに

より、仮説①の木片と木板の木目の向きは関係ないことが読み取れる。図3より、②は縦横ともに1本目が最小となり切り込みの本数を増やすに連れて摩擦係数が増加している。③は3本目までは増加しているが5本目で減少している。また、図3のグラフより①は②より④は③よりも摩擦係数が大きくなったことから、①と④、②と③の模様を組み合わせそれぞれ模様⑤、⑥として同様の実験を行った。

実験の結果、切れ込みを入れる本数が増加しているにもかかわらず摩擦係数が上昇している。このことから、仮説②は正しくない可能性がある。また、図4より⑤と⑥の計測の結果、摩擦係数が縦④より大きくなることはなかった。図4において⑤の2本目のみ他のデータと大きく異なっていたが、それ以外に関しては類似している。また、全体の結果を通していくつかの共通点が見られた。以下に示す。

- ・①、②、③、⑥は基本的に横の摩擦係数が大きくなっている。
- ・④、⑤はすべて縦の摩擦係数が大きい。
- ・①、④において切り込みを1本入れたときに摩擦係数が最大となった。
- ・①～⑥のグラフの概形は縦横に限らず類似している。

今回の実験では1年を通して行ったため、温度、湿度による木片の表面状態の変化が摩擦係数に影響を与えたことが考えられる。

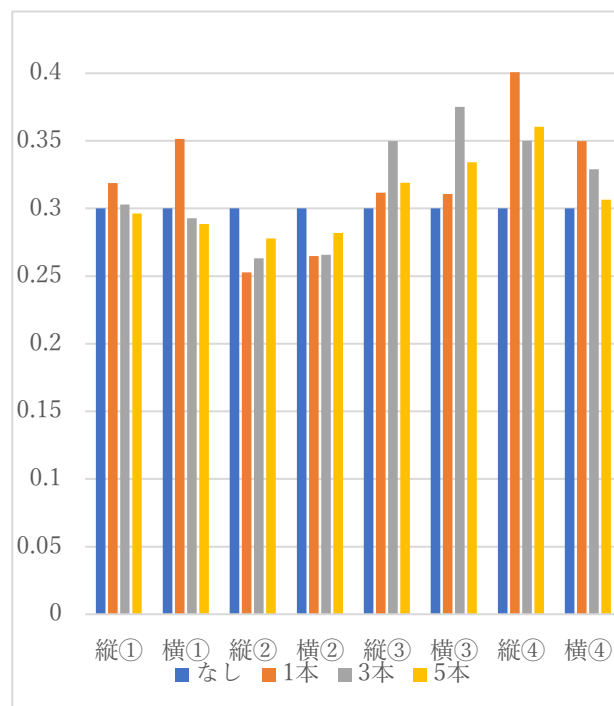


図3 摩擦係数と模様の関係 ①～④

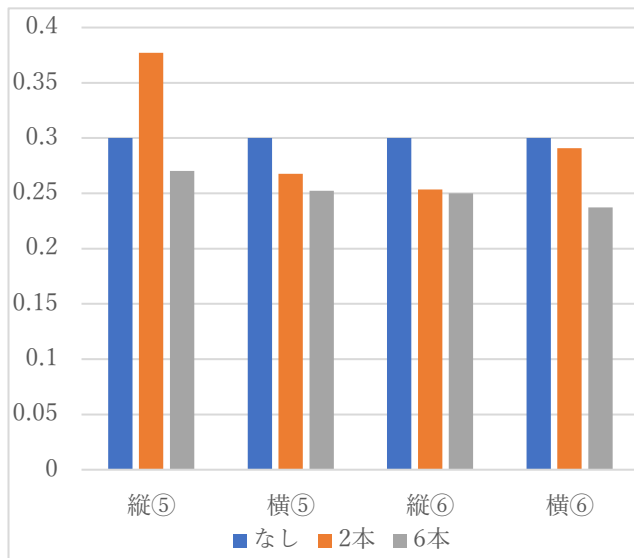


図4 摩擦係数と模様の関係 ⑤・⑥

5. まとめ

基本的には接地面積が減少するにつれて摩擦係数が減少しているが、摩擦係数の増加が見られた模様があることから、模様と摩擦の間には関係性があると考えられる。

また、接地面積を等しくするために今回の実験では簡単な模様でしか試行することができなかったが、模様の違いにより摩擦係数に差異が生じたことや摩擦係数の変化のようすが異なることがわかった。大きく摩擦係数に変化があったのは縦の場合が多い。これは図5に示す実際に使われているタイヤの模様で考えてみても縦に溝が入っていることから滑りづらい模様には縦型を中心とした模様が入っていることがわかった。



図5 タイヤの溝

6. 反省

傷なしの状態で個体差の少ない個体を厳選して用いることができなかった。

同じ模様でも深さや切込みの間隔などの条件を変えて実験を行うことができなかった。

計測日の気温や湿度、天候などの対象物の状態を左右する条件を考慮することができなかった。

7. 参考文献・参考資料

・スタットレスタイヤの画像

https://stat.ameba.jp/user_images/20191008/22/rktokyo/e8/fa/j/o0800053314610209691.jpg?ca_w=800

・数研出版 改訂版「物理基礎」

・

<https://seika.ssh.kobe-hs.org/media/common/SciContests>

8. 謝辞

本研究を進めるにあたって、インテリア科の先生方には実験装置の作製に必要な工具を貸していただき感謝いたします。また、指導担当の小野先生には多くの助言や励ましをいただき感謝いたします。課題研究を通して、グループで物事を円滑に進めていくために必要なことを多く学ぶことができました。

放物運動の実測値と抵抗モデルの比較による空気抵抗の推定

長野県木曽青峰高等学校 課題研究 物理班

2年 上野友瑚, 牛丸一真, 岡本悠甫, 竹腰太一

要旨

私たちは、部活動（野球・サッカー）でプレーする中で、ボールに作用する空気抵抗の影響について興味をもち、研究対象にすることにした。一般に、物体に作用する空気抵抗の判定には風洞を用いた実験が必要となる。しかしながら、大規模な施設が必要となるため、実験の実施は容易ではない。そこで、本研究では、野球の遠投とサッカーのロングキックを事例として、投射されたボールの飛距離を実測することで、ボールに作用する空気抵抗を推定することを目的とした。研究は、投射されたボールの飛距離の実測値と、投射時の初速度と投射角からモデル計算した理論値を比較することによりおこなった。モデル計算は①空気抵抗がはたらかない場合、②粘性抵抗がはたらく場合、③慣性抵抗がはたらく場合の3パターンについておこなった。実測値と理論値を比較した結果、③慣性抵抗がはたらく場合を考慮した理論値が、もっとも実測値を再現できていたことから、投射された野球・サッカーボールには、慣性抵抗が優位に作用していることが示された。

キーワード：サッカーのロングキック、野球の遠投、放物運動、空気抵抗

1. はじめに

部活動で野球やサッカーなど、屋外でおこなうスポーツをプレーする中で、ボールが風の影響を受けることで打球の飛距離が伸びたり、ロングパスの飛距離が想定よりも短くなってしまうといった場面がみられる。そうした経験を通して、ボールが空気からどのような影響を受けるのかについて興味を覚えた。

空気中を移動する物体にはたらく空気抵抗には、粘性抵抗（速度の1乗に比例）と慣性抵抗（速度の2乗に比例）があり、高校物理の教科書では、空気抵抗は物体の速さが比較的小さいときは粘性抵抗の影響が大きく、速さが大きいときは慣性抵抗の作用を大きく受けるとされているが、具体的な速さの数値については言及されていない¹⁾。

物体が受ける空気抵抗の種類を調べた実験例として、増井らがおこなった、おもりとしてクリップを付けた風船を自由落下させる実験がある¹⁾。増井らは、研究を通して粘性抵抗が優先する速度域は極めて限られており、一般に入手可能な測定機器や測定環境では、空気中を移動する物体にはたらく空気抵抗は速度の2乗に比例する慣性抵抗が優先すると指摘している。しかしながら、野球ボールの遠投やサッカーボールのロングキックのような身近な事例を対象として、各ボールが運動中に空気からどのような作用を受けているのかを調べた例は見られない。

そこで本研究では、硬式野球ボールの遠投やサッカーのロングキックを事例とし、それぞれの初速度と飛距離の計測結果をもとにボールに作用する空気抵抗の種類を推定することを目的とした。

2. 方法

2.1 実験・分析方法の概要

本研究では、ボールに作用する空気抵抗の種類を推定するために、屋外で投射したボールの飛距離と、動画解析により求めた投射時の初速度・投射角をモデル式に代入することで算出した理論値との比較をおこなった（図1）。

モデル計算は、空気抵抗を考慮しない①無抵抗モデル（以下、無抵抗モデルとする。）、粘性抵抗のみを考慮した②粘性抵抗モデル（以下、粘性抵抗モデルとする。）、慣性抵抗のみを考慮した③慣性抵抗モデル（以下、慣性抵抗モデルとする。）の3パターンを考えた。モデル計算から算出された理論値のうち、飛距離の実測値を最もよく再現できているモデルが考慮する空気抵抗が、ボールに作用しているとした。

モデルの精度評価には、決定係数 R_1^2 （ピアソンの積率相関係数の2乗値）を用いた。

以下に、飛距離の実測方法、動画解析の方法、モデル計算に用いた式について、詳細を記す。

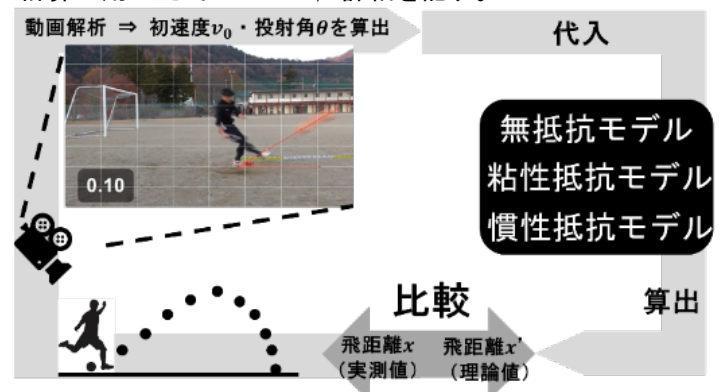


図1 研究の概要

2.2 飛距離の計測

2.2.1 硬式野球ボールの遠投

計測は長野県木曽青峰高等学校グラウンドでおこなった。計測日時は2021年10月29日16-17時である。

計測には、SSK社製の硬式野球ボールを用いた。投球位置にラインを引き、投げ出しの初期位置を一定とするため、助走はおこなわないこととした。飛距離はラインから投げ出されたボールの着地点までを50m巻尺で計測した。なお、投射角・初速度については試行者の任意とした。

投球の様子は、動画解析により初速度・ライン上の高さ（以下、初期高とする。）・投射角を算出するために、Panasonic HDビデオカメラV360MSを用いて投球の様子を撮影した。計測の際、初期高を測定するために、ライン上に鉛直に2m赤白ポールを設置した。また、動画解析で初速度算出の際、投げ出し直後のボールの移動距離を測定する必要があるため、3mスタッフをボールの軌道方向に設置した（図2）。

動画解析の詳細については2.3 動画解析を参照。



図2 遠投の実測と動画解析の様子

2.2.2 サッカーボールのロングキック

計測は長野県木曽青峰高等学校グラウンドでおこなった。計測日時は2021年11月15日16-17時である。

計測には、MOLTEN社製のサッカーボール（ペレダ40005号球）を用いた。サッカーのロングキックも硬式野球ボールの遠投と同様に投射角・初速度は試行者の任意とした。

ロングキックも遠投と同様に飛距離の計測および蹴り出し時の撮影をおこなった。なお、ロングキックの場合、初期高は地表で一定であるため、ライン上でのボールの設置はおこなわなかった。（図3）

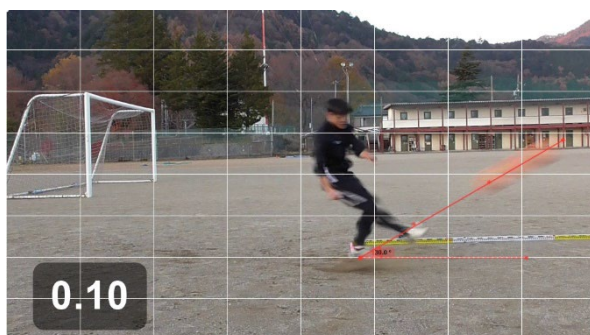


図3 ロングキックの実測と動画解析の様子

2.3 動画解析

飛距離の計測時に撮影した動画を用いて、初期高・初速度・投射角を算出するための動画解析をおこなった。動画解析には、オープンソースの動作分析ソフトKINOVEAを用いた。

初期高 h_0 は、動画内の2m赤白ポールを参考に、0.1m刻みの値を読み取った。また、投射角 θ は、KINOVEAの機能Angle to horizontalを利用し、動画をコマ送りすることで読み取ったボールの軌跡と水平線とがなす角度とした（図4-A）。

初速度 v_0 は、撮影した動画中のある時刻 t_1 および t_2 におけるボールの位置（ x_1 および x_2 ）から算出した。撮影した動画のある時刻 t_1 と t_2 の間の時間 t は2点間の時刻の差 $t_2 - t_1$ と表される。また、各時刻における位置をそれぞれ x_1 と x_2 とすると、2点間の距離 x は2地点の差 $x_2 - x_1$ と表される。はじきの法則を用いると、初速度の水平成分 v_{0x} は、

$$v_{0x} = \frac{x}{t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

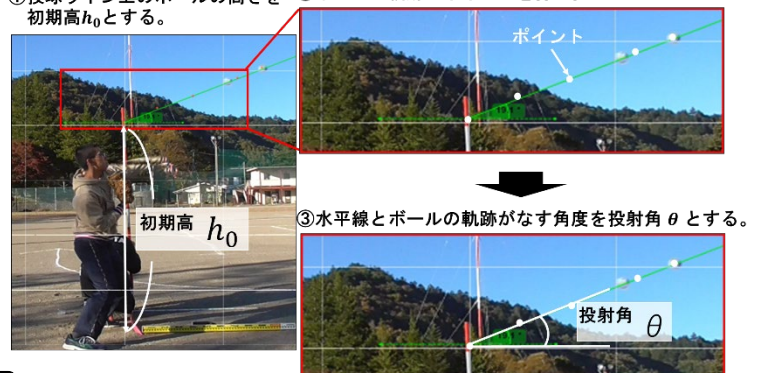
と表される。また、三角比（余弦）の公式より、投射角 θ を用いると、初速度 v_0 は、

$$v_0 = \frac{v_{0x}}{\cos \theta} \quad (2)$$

と表される。

A

- ① 投球ライン上のボールの高さを初期高 h_0 とする。 ② ボールの軌跡にポイントを打つ。



B

- ① ある時刻 t_1 と t_2 のボールの位置にポイントを打つ。 ② 動画内のスタッフの目盛を用いて、2点間の距離を求める。
- ③ 2点間の時間 $t(t_2 - t_1)$ と距離 $x(x_2 - x_1)$ を用いて、初速度の水平成分 v_{0x} を求める。
- $$v_{0x} = \frac{x}{t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$
- ④ 初速度の水平成分 v_{0x} から投射角 θ を用いて、初速度 v_0 を求める
- $$v_0 = \frac{v_{0x}}{\cos \theta}$$
-

図4 動画解析による初期高・投射角・初速度の算出方法

A: 初期高・投射角の算出方法, B: 初速度の算出方法

2.4 モデル計算

2.4.1 モデル計算の概要

モデル計算は、①無抵抗モデル、②粘性抵抗モデル、③慣性抵抗モデルの3パターンについておこなった。なお、粘性抵抗と慣性抵抗の詳細については、文献(1)に詳しい。

各モデルを構成する変数のうち、初期高 h_0 ・投球角 θ ・初速度 v_0 は、動画解析の結果を利用した。

無抵抗モデルは、計測した初速度 v_0 ・初期高 h_0 ・投球角 θ から飛距離の理論値 x を算出した。粘性抵抗モデルと慣性抵抗モデルは、実測値から直接飛距離の理論値 x を算出することができないため、投球後の高さ方向の位置（ y 座標）が0 mになる時刻 t を算出し、それぞれの x 座標を求める式に代入することで求めた（詳細は引用文献[2]を参照）。

以下に、各モデルについての概要を記す。なお、以下の文中の変数の意味及び単位は、それぞれ次の通りである。

x : 飛距離 (m) θ : 投射角 (°) g : 重力加速度 (m/s²)
 v_0 : 初速度 (m/s) h_0 : 初期高 (m) t : 時刻 (s)
 m : ボール質量 (kg) k_1 : 粘性抵抗係数 (kg/s)
 r : ボール半径 (m) η : 空気の粘性率 (kg/(m・s))
 T : 気温 (°C) k_2 : 慣性抵抗係数 (kg/m)
 C_D : 抗力係数 ρ : 空気密度 (kg/m³)
 P : 大気圧 (Pa) A : ボール投影面積 (m²)

2.4.2 無抵抗モデル

無抵抗モデルの飛距離の理論値は、斜方投射されたボールの x および y 座標を表す2式から時刻 t を消去することで求めた。

空気抵抗を考慮しない場合の投げ出されたボールの x 座標および y 座標を表す公式は、それぞれ以下の式(3), (4)で表される。

$$x = v_0 \cos \theta t \quad (3)$$

$$y = h_0 + v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (4)$$

投射されたボールが着地するのは、 y 座標が0となる瞬間なので、式(4)に $y = 0$ を代入すると、その時の時刻 t は、

$$t = \frac{v_0 \sin \theta \pm \sqrt{v_0^2 \sin^2 \theta + 2h_0 g}}{g} \quad (5)$$

と表される。このうち、ボールが着地する時刻は $t \geq 0$ であるため、ボールの着地時刻 t_t は、

$$t_t = \frac{v_0 \sin \theta + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \theta + 2h_0 g}}{g} \quad (6)$$

である。

式(6)の時刻 t_{max} を式(3)に代入すると、空気抵抗を考慮しない場合の飛距離の理論値 x_t は、

$$x_t = \frac{v_0^2 \sin \theta \cos \theta + v_0 \cos \theta \sqrt{v_0^2 \sin^2 \theta + 2h_0 g}}{g} \quad (7)$$

と表される。

2.4.3 粘性抵抗モデル

粘性抵抗モデルは、移動するボール作用する空気抵抗が、すべて粘性抵抗であると考えた場合のボールの運動を表すものである。

粘性抵抗 F_v は速度 v に比例する空気抵抗であり、一般に、

$$F_v = -k_1 v \quad (8)$$

と表される。ただし、 k_1 は物体のサイズや計測時の気温により異なる値で、粘性抵抗係数である。ここで、ボールの半径 r を、空気の粘性率 η をとすると、粘性抵抗係数 k_1 は、

$$k_1 = 6\pi r \eta \quad (9)$$

と表される。

空気の粘性率 η は、観測時の気温を T とすると、次の式で表される³⁾。

$$\eta = 1.458 \times 10^{-6} \times \frac{(T + 273.15)}{T + 383.55} \quad (10)$$

観測時の気温は、観測日時におけるアメダス木曽福島⁴⁾の気温の値を用いた。

また、粘性抵抗 F_v が作用する質量 m の物体の運動を表す運動方程式は、次のように表される。

$$F = ma - k_1 v \quad (11)$$

式(11)を2階積分することで、粘性抵抗を受けながら移動する物体の x 座標および y 座標を表す式が得られ、それぞれ、

$$x = \frac{mv_0 \cos \theta}{k_1} \left(1 - e^{-\frac{k_1}{m}t}\right) \quad (12)$$

$$y = -\frac{mg}{k_1}t + \frac{m}{k_1} \left(v_0 \sin \theta + \frac{mg}{k_1}\right) \left(1 - e^{-\frac{k_1}{m}t}\right) + h_0 \quad (13)$$

である。

ここで、粘性抵抗を考慮した式の場合、無抵抗モデルのように、式(11)から $y = 0$ となる際の時刻 t を解析的に解くことは困難である。そこで、本研究では、表計算ソフト Excel のゴールシーク機能を用いて、式(13)より、時刻 $t > 0$ でかつ y 座標が最も 0 に近づく時刻 t_t を求め、時刻 t_t を式(12)に代入することで、粘性抵抗を考慮した場合の飛距離の理論値 x_t を求めた。

2.4.4 慣性抵抗モデル

慣性抵抗モデルは、移動するボール作用する空気抵抗が、すべて慣性抵抗であると考えた場合のボールの運動を表すものである。

慣性抵抗 F_i は速度の2乗 v^2 に比例する空気抵抗であり、一般に、

$$F_i = -k_2 v^2 \quad (14)$$

と表される。ただし、 k_2 は物体のサイズや計測時の空気の密度により異なる値で、慣性抵抗係数である。ここで、ボールの抗力係数を C_D 、断面積を A 、空気の密度を ρ とすると、慣性抵抗係数 k_2 は、

$$k_2 = \frac{1}{2} C_D \rho A \quad (15)$$

と表される。抗力係数 C_D の値は、硬式野球ボールは 0.3^5 、サッカーボールは 0.25^6 とした。また、空気の密度 ρ は、大気圧を P 、気温を T とすると、次式で表される³⁾。

$$\rho = \frac{0.0034837P}{T + 273.15} \quad (16)$$

観測時の気温は、空気の粘性率と同様、測定時アメダス木曽福島⁴⁾を使用し、大気圧はアメダス飯田の値を用いた。

また、慣性抵抗 F_i が作用する質量 m の物体の運動を表す運動方程式は、次のようにあらわされる。

$$F = ma - k_2 v^2 \quad (17)$$

式(17)を2階積分することで、慣性抵抗を受けながら移動する物体の x 座標および y 座標を表す式が得られ、それぞれ、

$$x = \frac{m}{k_2} \cdot \ln \left(\frac{k_2 v_0 \cos \theta}{m} t + 1 \right) \quad (18)$$

$$y = -\frac{m}{k_2} \ln \left(\cosh \left(\sqrt{\frac{k_2 g}{m}} (t - t_h) \right) \right) + \frac{m}{2k_2} \ln \left(1 + \frac{k_2}{mg} v_0^2 \sin^2 \theta \right) + h_0 \quad (19)$$

と表される。ただし、式(19)中の時刻 t_h は、ボールが最高点に達した時刻である。詳細は文献(2)参照。

ここで、慣性抵抗を考慮した式の場合、粘性抵抗モデルと同様に、無抵抗モデルのように式(19)から $y = 0$ となる際の時刻 t を解析的に解くことは困難である。そのため、粘性抵抗モデルと同様に、表計算ソフト Excel のゴールシーク機能を用いて、式(19)より、時刻 $t > 0$ でかつ y 座標が最も0に近づく時刻 t_t を求め、時刻 t_t を式(18)に代入することで、粘性抵抗を考慮した場合の飛距離の理論値 x_t を求めた。

3. 結果と考察

3.1 飛距離の実測値と動画解析の結果

表1, 2はそれぞれ遠投とロングキックの飛距離の実測値と動画解析で算出した初期高・投射角・初速度の結果を表している。遠投・ロングキックのいずれについても、20回試行をおこなったが、遠投の1球が風の影響でボールの着地点に大きなずれが見られたため、結果から除外している。

表1は、遠投の飛距離の計測結果と動画解析の結果である。飛距離は9.6~35.9 m (平均 23.6 m)、初期高は1.6~2.9 m (平均 1.9 m)、投射角は-3.4~61.6° (平均 23.8°)、初速度は16.1~22.0 m/s (平均 18.5 m/s)であった。表2は、ロングキックの飛距離の計測結果と動画解析の結果である。飛距離は17.8~40.5 m (平均 28.7 m)、投射角は19.0~30.3° (平均 24.5°)、初速度は15.3~23.4 m/s (平均 19.3 m/s)であった。

表1 計測結果(野球ボールの遠投) (n=19)

	最大値	最小値	平均値
飛距離(m)	35.9	9.6	23.6
初期高(m)	2.9	1.6	1.9
投射角(°)	61.6	-3.4	23.8
初速度(m/s)	22.0	16.1	18.5

表2 計測結果(サッカーボール・ロングキック) (n=20)

	最大値	最小値	平均値
飛距離(m)	40.5	17.8	28.7
初期高(m)	0.0	0.0	0.0
初速度(m/s)	23.4	15.3	19.3
投射角(°)	30.3	19.0	24.5

※表1,2の各計測値の最大・最小・平均値は対応していない

3.2 投射角・初速度と飛距離との関係

図5は、動画解析によって算出した、初速度・投射角と、飛距離の実測値との関係を表したグラフである。図5-Aは初速度と飛距離の実測値との関係を表している。グラフより、サッカーボールのロングキック（図中の●）の初速度が大きいほど飛距離が大きくなる傾向がみられる一方で、硬式野球ボールの遠投（図中の○）にはそのような傾向はみられない。図5-Bは投射角と飛距離との関係を表している。図より、ロングキック（図中の●）の投射角と飛距離には強い関連性はみられないものの、遠投（図中の○）は投射角が45°に近いほど飛距離が長くなる傾向がみられる。

これらの結果から、硬式野球ボールの遠投は、サッカーボールのロングキックと比較して、大きさが飛距離に及ぼす影響は小さく、投射角が飛距離に及ぼす影響が大きい傾向がみられる。これは、硬式野球ボールは半径が小さく密度が大きいいため、サッカーボールと比較して空気抵抗の影響を受けにくいためだと考えられる。

一方で、サッカーボールのロングキックの初速度と飛距離との間に弱い相関がみられる理由としては、図5-Bが示すように、ロングキックの投射角の範囲が遠投と比較して小さなものであったため、飛距離が初速度に依存して変化したためと考えられる。

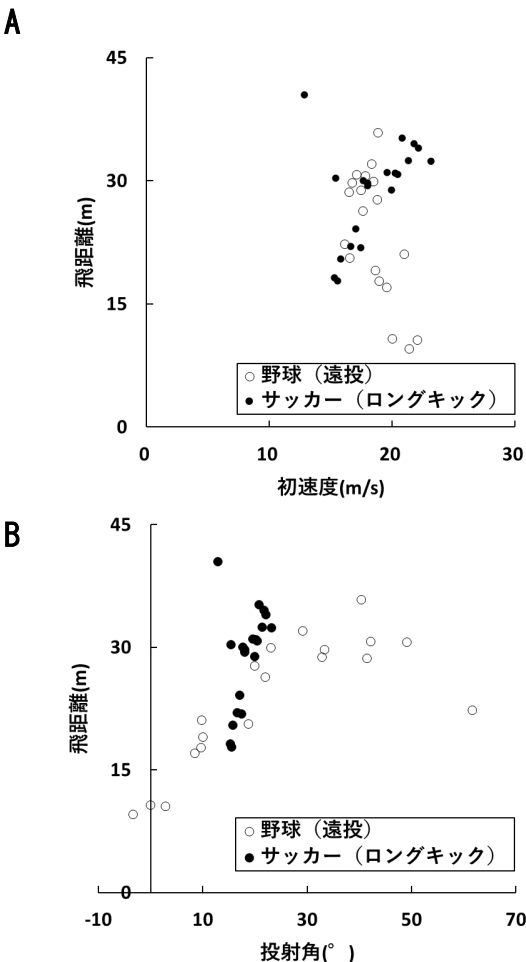


図5 初速度・投射角と飛距離の関係

A: 初速度と飛距離の関係, B: 投射角と飛距離の関係

3.3 モデル間の比較

図6-A, Bのグラフは、飛距離の実測値とモデル計算結果（以下、理論値とする）を、グラフ右の表は、それぞれのモデルの決定係数 R^2 を示している。各モデルの決定係数は、プロットが直線状に並んでいるほど、高い値となり再現精度が高いことを示す。

図6-A, Bのグラフより、野球・サッカーのいずれについても無抵抗モデル-粘性抵抗モデル間の差に比べて、無抵抗モデル-慣性抵抗モデル間の差が大きくなっている。これは、粘性抵抗が優先する速度域は極めて限られており¹⁾、飛距離に及ぼす影響が小さいためと考えられる。また、サッカー（ロングキック）は野球（遠投）と比べて、無抵抗・粘性抵抗モデルと慣性抵抗モデルとの差が大きくなっている。これは、サッカーボールが硬式野球ボールに比べて密度が小さい（大きく軽い）ため、慣性抵抗を受けやすいためだと考えられる。

図6-A, B中の表をみると、遠投・ロングキックのいずれについても、慣性抵抗モデルの決定係数 R^2 の値がほかの2種類のモデルに比べて高い値を示している（遠投：慣性抵抗モデルの決定係数 0.972, ロングキック：0.925）。このことから、空気中を移動するボールには、慣性抵抗が優位に作用していると考えられる。

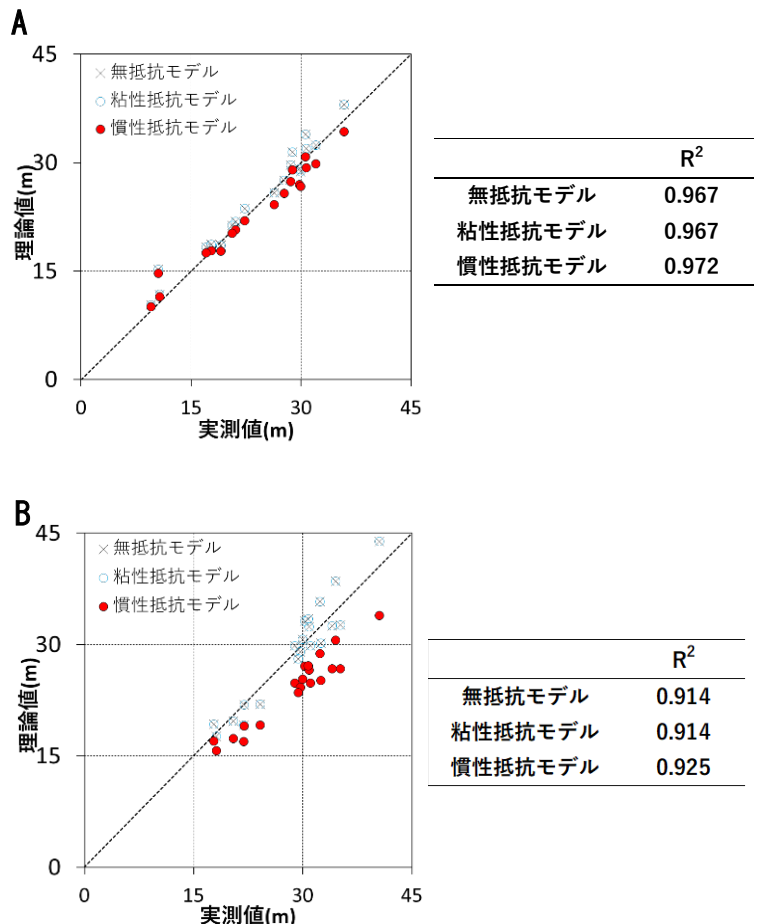


図6 飛距離の実測値と理論値の比較

A: 硬式野球ボールの遠投, B: サッカーボールのロングキック

ただし、一般に、決定係数 R^2 は 0.5 以上であると再現精度が高いことを表すとされている中で、本研究で算出された遠投・ロングキックのいずれについても 3 種類のモデルすべてが決定係数 R^2 は 0.9 以上の値を示しており（遠投の無抵抗・粘性抵抗・慣性抵抗モデルの決定係数 R^2 はそれぞれ 0.967・0.967・0.972，ロングキックの決定係数 R^2 はそれぞれ，0.914，0.914，0.925），モデル間の決定係数 R^2 の差もわずかである。そのため、それぞれのボールに粘性抵抗がはたらいていたという可能性も否定できない。この原因の一つとして、計測したボールの平均初速度が 18.5～19.3 m/s 程度と低速度域に限られていたために、慣性抵抗と粘性抵抗の差が小さかったことがあげられる。図 7 は、サッカーボールを、投射角 45° で初速度を 1 m/s ずつ変化させた際の無抵抗・粘性抵抗・慣性抵抗モデルで算出される飛距離の理論値を示している。図が示すように、無抵抗モデル-粘性抵抗モデル間では速度変化によるモデル間の飛距離の差はみられないが、慣性抵抗モデルは速度が上がるにつれて無抵抗モデルとの飛距離の差が大きくなる傾向がみられる。これは、慣性抵抗は速度の 2 乗に比例して大きくなるため、速度が大きいほど大きな抵抗が作用するためである。

そのため、今後、ボールに作用する空気抵抗を詳細に調べるためには、より高速度域における計測結果を用いることが必要だと考える。また、本研究では実際のスポーツの動作に近い方法で実験をおこなうために遠投・ロングキックという方法をとったが、試行ごとの投射角や初速度の差を小さくするために、ピッチングマシンなどの投射機器を用いることも必要と考える。そのほか、今回は密度が異なる硬式野球ボールとサッカーボールを用いて実験をおこなったが、ピンポン玉やバスケットボールなど、球種による空気抵抗の受け方の違いも考えていきたい。

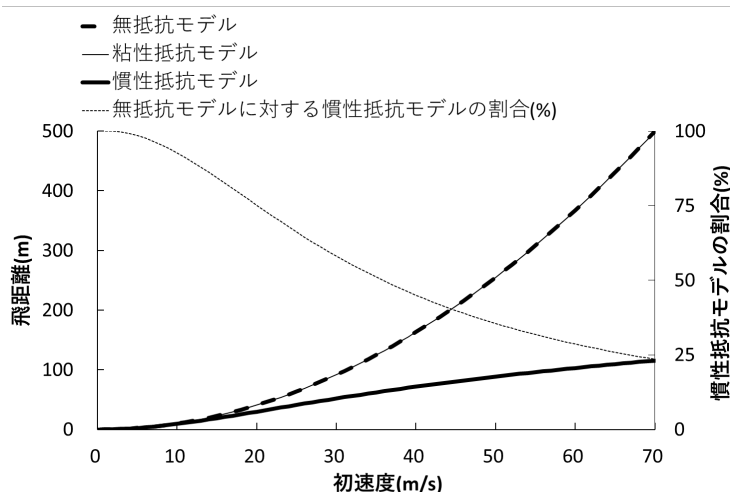


図 7 無抵抗-慣性抵抗モデルの比較

投射角 45° で一定とし、初速度を変化させてときの飛距離の理論値の比較

4. 結論

本研究によって、野球の遠投やサッカーのロングキックの実測値をもとに、ボールに作用する空気抵抗の種類を推定可能であることが明らかとなった。

5. 謝辞

モデル計算の実施にあたり、粘性抵抗モデル・慣性抵抗モデルの計算に用いた数式について、日本スリービー・サイエンティフィックの本郷毅さまにご教授いただきました。記して深く感謝申し上げます。

6. 引用文献

- 1) 増井壮太『高校物理における空気抵抗の正しい理解-風洞実験，理論解析，落下実験とデータ解析を通して-』次世代教員養成センター研究紀要 5(2019) 37-42
- 2) 本郷毅『空気抵抗を考慮した運動方程式の検討』日本スリービー・サイエンティフィック
[https://www.3bs.jp\(2022/1/17 アクセス\)](https://www.3bs.jp(2022/1/17 アクセス))
- 3) NASA U.S. standard atmosphere, 1976, P.19
[https://ntrs.nasa.gov/citations/19770009539 \(2022/02/11 アクセス\)](https://ntrs.nasa.gov/citations/19770009539 (2022/02/11 アクセス))
- 4) 気象庁 [https://www.jma.go.jp/jma/index.html \(2022/02/11 アクセス\)](https://www.jma.go.jp/jma/index.html (2022/02/11 アクセス))
- 5) 谷口哲也『硬式野球ボールに働く空気力の測定』ながれ 25 (2006) 257 - 264
- 6) 『Drag on a Soccer Ball』NASA
[https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/socdrag.html \(2022/1/17 アクセス\)](https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/socdrag.html (2022/1/17 アクセス))

フィトンチッドと廃材の利用

長野県木曽青峰高校

2年 佐野心奏 田口彩奈 楯花奏 根井咲恵

松田里咲 ○麦島彩夏 藤岡呼夏

【概要】

本研究では、フィトンチッドの効果と廃材の最適な利用方法についての研究を行った。特に消臭、防虫、抗菌の3つの効果について実験を行った。消臭については、樹種による消臭効果を調べるために廃材を置いた前後の臭いの違いをアンケート調査した結果、廃材には消臭効果があることが分かった。防虫については、樹種による防虫効果の違いを調べるために樹種による虫の集まり方の違いを調べる実験を行った結果、樹種によって効果の範囲が異なることが分かった。抗菌については、蒸留したものとしてないものにおけるカビの生え方の違いを調べる実験を行った結果、廃材・蒸留済みの廃材には抗菌作用があることが分かった。そのため、クローゼットなど空気の動きが少ない場所で消臭剤として利用するのが有効であり、朴は置く場所を問わず防虫剤として利用できるが、ケヤキは上に置いて利用することが有効であると考えられる。さらに、お風呂場や倉庫などでは防カビ材としても活用できると考えられる。

1. はじめに

長野県木曽青峰高校インテリア科では、実習の際に木材の廃材が生じている。私たちは、そうした廃材を有効活用できないかと考えた。そこで、近年、リラクゼーション効果が期待されているフィトンチッドに注目し、廃材の有効活用を検討した。なお、フィトンチッドとは植物から出る揮発物質である。

フィトンチッドの効果は森林浴によるリラクゼーション効果、防腐効果、疾患予防が期待できる抗酸化能があることなど様々なことが明らかにされている¹⁾。本研究ではその中でも特に「消臭・防虫・抗菌」の3つの効果・作用に着目した。既に、消臭効果、防虫作用、抗菌作用については様々なことが明らかにされている^{1,2)}。例えば、抗菌については木材の種類による抗菌作用に着目した研究が行われている。また、大腸菌やブドウ球菌に

対する抗菌効果も明らかになっている³⁾。

しかし、上記の先行研究では樹種による消臭効果や防虫効果の違い、抗菌作用の持続時間は明らかにされていない。

2. 目的

フィトンチッドの効果に着目し、廃材による消臭効果、防虫効果、抗菌効果があるのか、廃材の種類による防虫効果の違いを調査し、廃材の有効活用の方法を提案する。

3. 方法

3-1 実験試料

本研究では、本校インテリア科の実習等で生じた廃材を実験試料として使用した。

3-2 実験方法

〈消臭〉

フィトンチッドによる消臭効果を確かめる実験は4階男子トイレ、大体育館横女子更衣室を対象地とし、廃材を置く前と置いた後の臭いを比較した。二学年生徒を対象として、対象地に不快な臭いがあると感じるかどうかが事前アンケートを実施した。

このアンケートで「不快な臭いがある」と回答した、男子生徒39人、女子生徒23人に対して、廃材設置後に行った段階評定法に基づく質問紙調査を行った。内容は、「不快な臭いがある・少しある・あまりない・ない」という4件の評定尺度とし、廃材を設置してから1週間後と2週間後にアンケートを実施した。分析にあたっては、「不快な臭いがある」を1点、「不快な臭いが少しある」を2点、「不快な臭いがあまりない」を3点、「不快な臭いがない」を4点の間隔尺度に読み替えた。

アンケート結果の分析では、回答の平均値を求め、その平均値と設定した1点から4点の中間値である2.5点との間で一標本のt検定を実施した。その際、平均値が2.5点より有意に低ければ「臭いがある」とし、2.5点より有意に高ければ「臭いがない」とした。

〈防虫〉

廃材の樹種による防虫効果の違いを調べるために、光走性のある虫を対象とし、日没後の部屋の明かりを利用する実験を行った。大きさを縦10cm、横5cm、厚さ1.5cmに揃えた木片を4種類(朴、松、ケヤキ、サワラ)用意した。網戸の真ん中部分に同じ樹種の廃材を等間隔に3枚貼り付け、その状態でカーテンを開けておいた。20時、21時、22時の3回に分けて観察をし、天気と気温、網戸についている虫の数と位置を記録した。1種類につき5日間観察を行った。また、虫が集まらなかった場合でも木片を貼り付けたことで生じた影によ

る影響が否定できないため、木片と同じ大きさに切った段ボールでも同様の方法で観察を行い、対照実験を行った。この時、コントロール(段ボール)と比べて、虫の数が少なかった時に防虫効果がみられるとする。

〈抗菌〉

廃材とフィトンチッドの関係を調べるために、水蒸気蒸留法を用いて廃材からフィトンチッドを取り出した。蒸留時間は2時間とした(図1)。



図1 蒸留装置の様子

A:1 cm³のヒノキの廃材×5 B:2 時間水蒸気蒸留した1 cm³のヒノキの廃材×5 C:コントロール×5の3種類のシャーレを用意した(図2)。

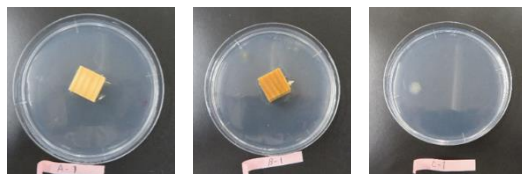


図2 シャーレの様子(左からA,B,C)

寒天培地を空気と触れさせた後、A、Bそれぞれの廃材をシャーレに入れ、27°Cのインキュベータの中で2週間培養した。培養後、かびの生え方、コロニーの数について観察した。A、B、Cの3種類のシャーレのコロニーの数を中央値で比較した。この時、大きく外れた値が出てより傾向が分かると考えたため、平均値ではなく、中央値を用いて比較を行った。なお、Aのシャーレのコロニーの数との差がほとんどないときまでを抗菌作用の持続時間とした。また、Cのシャーレと比較してコロニーの数が少なかったときに、抗菌効果がみ

られるとした。

4. 結果

〈消臭〉

アンケート調査の結果は以下のとおりである。

表 1

性別 \ 回数	事前アンケート	1回目	2回目
男子	1.47※	2.35※	2.23※
女子	1.53※	2.89	3.3

※の数値は有意差あり (p<0.05)

平均値より、4階男子トイレでは間隔尺度の中間値 2.5 点より低かったことから消臭効果がなく、大体育館横女子更衣室では中間値 2.5 より高かったことから消臭効果があったことが分かった。

〈防虫〉

段ボールと比べて防虫効果がみられる廃材もあればみられない廃材もあり、防虫効果は廃材の樹種によって異なるということが分かった。また、防虫効果がみられた廃材のなかでも、効果の結果と同様に廃材の樹種によって効果が及ぶ範囲は異なった (図 3, 4, 5, 6)。

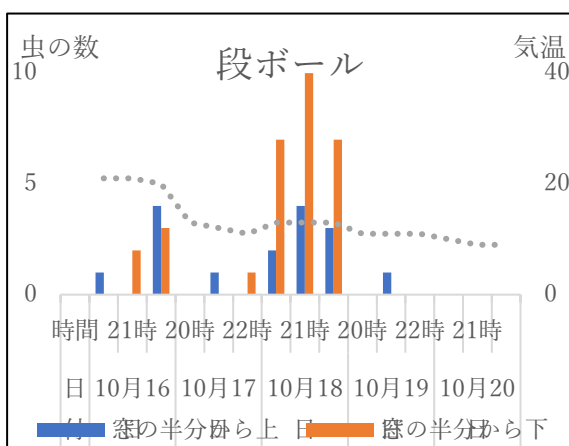


図 3 コントロール

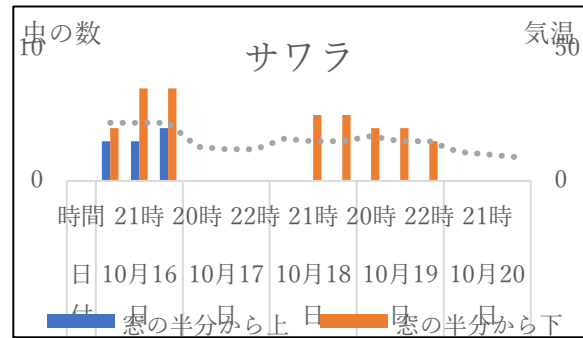


図 4 サワラ

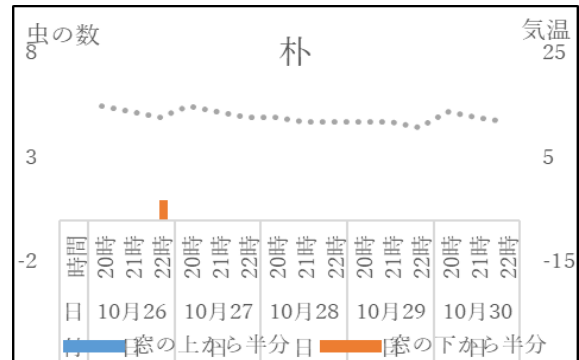


図 5 朴

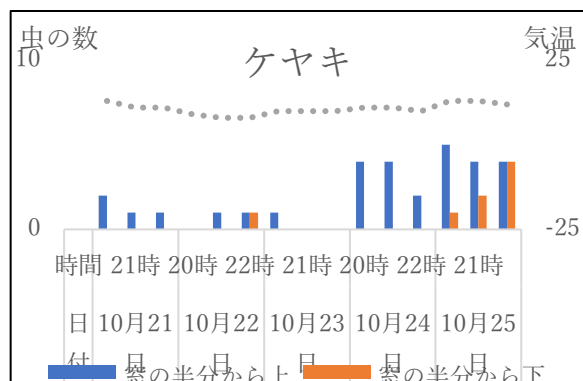


図 6 ケヤキ

〈抗菌〉

A と C を比較すると、Aの方がコロニーの数が少なかった。このことから、廃材には抗菌作用があることが分かった。また、A と B の差はほとんど無かった (表 2)。

表2 実験結果

条件 番号	A	B (蒸留済み)	C (コントロール)
1	3	3	5
2	3	2	30
3	4	3	20
4	2	2	21
5	0	2	23
中央値	3	2	21

5. 考察

＜消臭＞

大体育館横女子更衣室では消臭効果が得られたが、4 階男子トイレではあまり消臭効果が得られなかった。原因として換気を行っていたことや、香り付きの消臭剤が調査期間中に置かれていたために廃材による消臭効果を確かめることができなかったことが考えられる。

女子更衣室のようなところでは消臭効果が確認できたため、クローゼットなど空気の動きが少ない場所で消臭剤として利用するのが有効であると考えられる。

＜防虫＞

実験を行った樹種のうち、朴には上下どちらも、ケヤキは下向きにのみ防虫効果がみられたがサワラには効果がみられなかった。このことから効果の有無、また、効果の及ぶ範囲は樹種によって異なると考えられる。そのため、樹種によって活用方法を変えたほうが良いと考える。

結果から、朴は置く場所を問わず利用できるが、ケヤキは上に置いて利用することが有効であると考えられる。

＜抗菌＞

A と B でコロニーの数に大きな差が見られなかったため、水蒸気蒸留で廃材から抽出された部分以外の成分にも抗菌作用があると考えられる。一方で、蒸留時間2 時間はフィトンチッドを全て取

り出すには短かったとも考えられる。また、水蒸気蒸留をした廃材にも抗菌作用があることから、高温多湿の環境下においても、同様の抗菌作用をもたらすことが推察された。

廃材の活用方法として、高温多湿に強く、カビを抑制することから、お風呂や、倉庫などに置くことが有効であると考えられる。

6. 課題

＜消臭＞

臭いを測定できる機械を用いればより正確な調査結果が得られたのではないかと考える。

＜防虫＞

実験を始めるのが遅く気温が低い日が続いたため夜間に動く虫の量が減ってしまっていた可能性がある。また、帰宅時間によって点灯時間にばらつきがあった。

気温や天気から影響を受けない実験方法を考えられればよかった。

＜抗菌＞

廃材の蒸留時間が2 時間では不十分であると考えられるため、蒸留時間を延ばす、または抽出方法を変えるなどして、廃材に含まれるフィトンチッドを完全に取り出し、廃材の抗菌作用がフィトンチッドによるものであることを明らかにしたい。

7. 謝辞

本研究にあたり、質問紙調査にご協力いただいた木曽青峰高等学校2 学年生徒（令和3 年度）の皆様、廃材を提供してくださいました木曽青峰高校インテリア科の皆様にご心より厚く御礼申し上げます。

8. 参考文献

- (1) 阿部智、谷本真一、久間将義、三原安經、
野村正人(2007)「フィトンチッド液の除
菌および消臭効果について」
- (2) 太田猛彦・北村昌美・熊崎実・鈴木
和夫・須藤彰司・只木良也・藤森隆
(1996) 丸善株式会社「森林の百科事典、
535
- (3) 田中恵、上原巖、竹内啓恵、倉本真峻
(2013) ヒマラヤスギとカツラの抗菌作用
の研究、日本森林学会
- (4) 静岡県木材協同組合連合会
[http://www.s-
mokuren.com/case/000331.php](http://www.s-mokuren.com/case/000331.php) (最終確認
2021 年 11 月 4 日)
- (5) 荒美紀子、岩崎寛、斉藤庸平(2001) 廃材を
利用したウッドチップのフィトンチッド放
出に関する研究

【付録】

フィトンチッドの消臭効果についてのアンケート

私たちは、課題研究でフィトンチッドの消臭効果について調べています。

フィトンチッドとは、樹木に含まれている揮発性物質です。消臭、抗菌、防虫などの効果があるとされています。

消臭効果を確かめる方法として、4階男子トイレと、大体育館横の女子更衣室に廃材を設置しました。廃材は、精油含有率が多いとされている、ヒノキとサワラを使用しました。

廃材を設置してから1週間経ちましたが、消臭効果が実際に得られているのかを確かめるために、以下のアンケートへのご協力をお願いします。

自分の性別のほうの項目に回答してください。

男 子

- (1) 以前行った事前アンケートで「4階男子トイレには不快な匂いがあると感じますか。」という質問に何と回答しましたか？ 該当する番号に○をしてください。

1.「はい」と回答した 2.「いいえ」と回答した

※ 1と回答した方は下記(2)も回答してください。2と回答した方はこれで終了です。ありがとうございました。

- (2) 現在4階男子トイレに不快な匂いがありますか？ 一番近いと感じる番号に○をしてください。

1.ある 2.少しある 3.あまりない 4.ない

女 子

- (1) 以前行った事前アンケートで「大体育館横の更衣室には不快な匂いがあると感じますか。」という質問に何と回答しましたか？ 該当する番号に○をしてください。

1.「はい」と回答した 2.「いいえ」と回答した

※ 1と回答した方は下記(2)も回答してください。2と回答した方はこれで終了です。ありがとうございました。

- (2) 現在大体育館横の更衣室に不快な匂いがありますか？ 一番近いと感じる番号に○をしてください。

1.ある 2.少しある 3.あまりない 4.ない

以上です。ご協力ありがとうございました。

キク科植物の抗菌作用

岩井すみれ 河口桜奈 ○木原菜穂美 小林礼乃

【概要】

本研究では、キク科植物の抗菌作用について研究した。ハルジオン、ヒメジョオン、ノコンギク、キクイモモドキの葉、茎、根を寒天培地の上に置いて培養した。寒天培地上に発生したコロニーの数にt検定を実施し、p値が0.05以上であった場合抗菌作用があると判断した。その結果、ハルジオンの根、ヒメジョオンの茎、キクイモモドキの葉に抗菌作用が見られた。また各実験の寒天のみのシャーレに発生したコロニーの数の平均における有意差が見られた植物のシャーレに発生したコロニーの数の平均の割合を求めた。その結果、実験①ヒメジョオン茎>実験①ハルジオン根>実験②キクイモモドキ葉の順で割合が小さくなったため、本実験で使用した植物の中ではキクイモモドキ葉が一番抗菌作用が強いと言える。

1. はじめに

東京都立多摩化学技術高等学校で行われた研究¹⁾より、ハルジオン(*Erigeon philadelphicus* L.)に抗菌作用があることが明らかになっている。この研究では、デソキシコレート寒天培地を溶解し、大腸菌(*Escherichia coli*)を混釈して平板培地が使用された。また、ポテトデキストロース寒天培地を滅菌し、平板培地を作製した後、黒麹菌や納豆菌をコンラージ棒で広げた。実験方法としては、それぞれの培地の中心にハルジオンの根を刺したり、横に置いたりして37℃で48時間培養している。その結果、ハルジオンの根の切り口付近の大腸菌や黒麹菌、納豆菌は育成しないこと、その効果はクロロゲン酸による可能性が高いことが明らかにされた。また、抗菌物質の特定のためフォーリンチオカルト法を用いて総ポリフェノール量の測定を行い、ハルジオンの総ポリフェノール量は葉>茎>根の順であることが明らかにされた。

しかし、ハルジオンの部位ごとの抗菌作用の比較は明示されておらず、十分な知見が得られていない状況にある。またハルジオンと同じキク科である、ヒメジョオン(*Erigeron annuus*)やノコンギク(*Aster ovatus* var. *microcephalus*)、キクイモモドキ(*Heliopsis helianthoides*)などについての抗菌作用については明らかにされていない。

そこで本研究ではこれらの植物の葉、茎、根を培養し、部位ごとの抗菌作用を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2-1 実験に使用した植物

本研究で使用した植物を表1に示す。

表1：実験で使用した植物²⁾⁷⁾

植物名	植物の特徴
ハルジオン	多年草または1年草で、北アメリカ原産の帰化植物。春から夏にかけていたるところで群生する。主に秋に発生し、ロゼットで越冬し翌春茎が立つ。茎の葉の基部は耳形で茎を抱く形で、葉にも毛がある。茎の中は空洞で高さ50～80 cm。4～5月に茎上部に多数の頭花をつける。全国に分布する。
ヒメジョオン	越年草で、北アメリカ原産の帰化植物。いたるところに群生する。茎の葉は互生しへら形で基部は次第に狭まり柄ははっきりしない。茎はつまっていて高さは50～150 cm。6～9月に茎の上部が多くに分枝し、先に頭状花をつける。全国に分布する。
ノコンギク	多年草で、いたるところに生育する。葉と茎の両面に短い堅い毛があり、全体がざらつく。茎は縦に線があり、分枝して高さ50～80 cm。9～10月に茎上部が分枝して薄紫の頭状花を多くつける。本州から九州に分布する。
キクイモモドキ	多年草で、北アメリカ原産。地下茎は短く、塊茎を作らない。葉はすべて対生し、卵形または長卵形でやや薄く、無毛で表面には少し光沢がある。高さ50～150 cm。7～9月に花が咲く。

2-2 調査方法

実験直前に4種類の植物の個体の大きさが同程度のものを見つけ、根が切れないように採取した。採取した植物はそれぞれ1本ずつ実験に使用した。ハルジオン、ヒメジョオン、ノコンギクは木曽青峰高校内で採取し、ククイモモドキは木曽青峰高校第二グラウンド付近で採取した。次に、寒天5g(販売会社：朝日)・蒸留水500ml・片栗粉2.5g(販売会社：CGC ジャパン)を混ぜた溶液を加熱し、寒天培地を作製した。

採取した植物を葉、茎、根に細かく切り、エタノールに1分間浸し、蒸留水ですすいだ。植物を置く範囲を決めるためコピー用紙にシャーレの型を取り、その中心に半径1cmの円を書いた。型に合わせてシャーレを置き、その半径1cmの円に収まるように各部位を切り、円の中に植物を置いた。1つの部位について抗菌シャーレを4つ用意し、1～4の番号・各部位の名前を書いた。シャーレをインキュベーターの中にいれ、27度で12日間培養した。培養実験は2度行い、1度目はハルジオンとヒメジョオンを使用し(実験①、6月12日～6月30日)、2度目はククイモモドキとノコンギクを使用した(実験②、9月29日～10月11日)^{2) 3) 4) 7)}。

2-3 分析方法

この研究において、「抗菌作用がある」とは、寒天培地上にカビのコロニーが発生しないことまたは発生しにくいことであると定義する。実験後、シャーレに発生したカビのコロニーの数を数え、実験培地とコントロール培地の間でt検定を実施して抗菌作用の有無を判断した。実験に使用した植物に抗菌作用がないとしたときに寒天培地上に実験結果のコロニーの数が現れる確率をp値と呼び、p値が0.05すなわち5%以下の場合、抗菌作用があるものとした。5%の確率で起きることは、めったにない珍しいことといえるため、p値の有意水準を0.05に設定した⁵⁾。

3. 結果

3-1 実験①

ハルジオンの根のp値は0.04、ヒメジョオンの茎のp値は0.04で、ハルジオンの根とヒメジョオンの茎に抗菌作用が見られた。ハルジオンは葉>茎>根の順にコロニーの数が少なくなる傾向がみられたが、ヒメジョオンは葉>根>茎の順に多くなる傾向がみられた(表2)。

表2：ハルジオン・ヒメジョオンを置いた寒天培地上に発生したコロニーの数(上段の数字はシャーレの番号)

		1	2	3	4	合計	平均
ハルジオン	葉	57	53	41	57	208	52
	茎	35	37	42	12	126	31.5
	根	0	29	12	24	65	16.3※
ヒメジョオン	葉	33	18	46	65	162	40.5
	茎	26	19	10	16	71	17.8※
	根	16	52	43	9	120	30
寒天のみ		61	23	79	43	206	51.5

※：P<0.05で有意差あり。

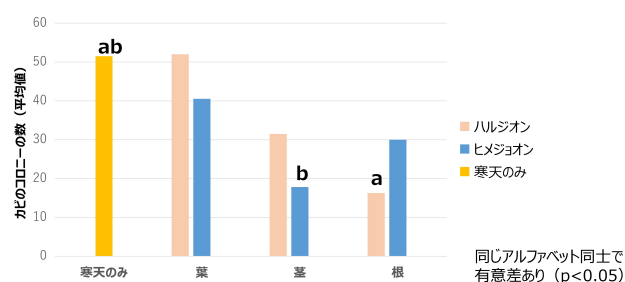


図1：ハルジオン・ヒメジョオンの各部位のカビのコロニーの数(平均値)の比較

3-2 実験②

ククイモモドキの葉のp値は0.02で、ククイモモドキの葉に抗菌作用が見られた。ノコンギクは葉>根>茎の順にコロニーの数が多くなる傾向が見られた。ククイモモドキは根>茎>葉の順にコロニーの数が多くなる傾向が見られた(表3)。

表3：ノコンギク・ククイモモドキを置いた寒天培地上に発生したコロニーの数(上段の数字はシャーレの番号)

		1	2	3	4	合計	
ノコンギク	葉	1	39	31	1	72	18
	茎	4	6	5	10	25	6.25
	根	9	14	7	30	60	15
ククイモモドキ	葉	4	1	4	4	13	3.25※
	茎	14	14	13	21	62	15.5
	根	14	23	9	21	67	16.75
寒天のみ		9	8	9	17	43	10.75

※P<0.05で有意差あり。

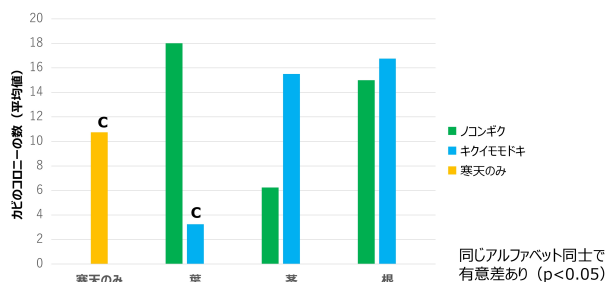


図2：ノコンギク・キクイモモドキの各部位のカビのコロニーの数(平均値)の比較

4. 考察

一方、有意差が見られた実験①ハルジオン根、実験①ヒメジョオン茎、実験②キクイモモドキ葉を比較するため、各実験の寒天のみのシャーレに発生したコロニーの数の平均における有意差が見られた植物のシャーレに発生したコロニーの数の平均の割合を求めた。その結果、実験①ヒメジョオン茎>実験①ハルジオン根>実験②キクイモモドキ葉の順で割合が小さくなったため、本実験で使用した植物の中ではキクイモモドキ葉が一番抗菌作用が強いことが推察された。(表4)

表4：各実験の寒天のみのシャーレに発生したコロニーの数の平均における有意差が見られた植物のシャーレに発生したコロニーの数の平均の割合

	寒天のみの 平均値	各植物の 平均値	割合
実験① ハルジオン根	51.5	16.3	31.7%
実験① ヒメジョオン 茎	51.5	17.8	34.6%
実験② キクイモモドキ 葉	10.75	3.25	30.2%

先行研究¹⁾より、ハルジオンの抗菌作用はクロロゲン酸による可能性が高いことが分かっている。また、クロロゲン酸はキク科植物に多く蓄積されることが報告されており、本研究で植物が発揮した抗菌作用もクロロゲン酸によるものである可能性があると考えられる。

5. 反省と課題

発生したカビのコロニーの数で抗菌作用の有無を判断したが、コロニーの大きさを考慮することができなかった。本研究では機材等の制約で成分分析まで出来なかったが、抗菌物質の定性的な実験にも試みてみたい。

6. 参考文献

- (1) 斎藤美弥、熊代瑛、吉住真奈、2020 「ハルジオンの抗菌作用病原体に対する防御と活用技術」 (https://katosei.jsbba.or.jp/view_html.php?aid=1381 2021年4月16日閲覧)
- (2) 廣田伸七(1999)「ミニ雑草図鑑 雑草の見分け方」全国農村教育協会
- (3) 大作晃一、多田多恵子(2018)「美しき小さな雑草の花図鑑」山と溪谷社
- (4) 下中直人(1974)「カラー植物百科」平凡社
- (5) IMIN 2020「仮説検定とは？初心者にもわかりやすく解説！」2016年8月16日 (<https://ai-trend.jp/basic-study/hypothesis-testing/about-2> 2021年7月19日閲覧)
- (6) 野田新三 2018「寒天培地で微生物を調べよう」2018年7月11日 (<https://resemom.jp/article/2018/07/11/45586.html> 2021年6月8日閲覧)
- (7) 林弥栄 (2013)「野に咲く花」山と溪谷社
- (8) 韓雲哲 2008 「キク科植物のポリフェノール酸化酵素(PP0)に関する研究」

付録

1. 実験に使用した植物の写真



ハルジオン



ヒメジョオン



ノコンギク



キクイモドキ

2. 実験の様子



寒天培地作製の様子



円の中に植物を入れた様子



インキュベーターの中のシャーレの様子

ネジバナの花序のねじれと花の数の関係

木曽青峰高校 2年 下島円

【要 約】

本研究ではネジバナの花序の捻じれと花の数の関係について研究した。調査対象地は、木曽青峰高校の中庭、昇降口前の芝生とし、ネジバナの花の長さ、花の数、巻き方、巻き数を記録した。その結果、無巻きから4回巻きの個体が観察された。また、花の数と花序の長さの間には相関関係があることが明らかになった。次に、巻き数と花の数の関係を明らかにするためそれぞれの巻き数における単位長さあたりの花の数の違いをも検定で比較した。その結果、無巻きと4回巻き、1回巻きと4回巻き、2回巻きと4回巻きの間で有意差が見られた。したがって、巻き数が花の数の増加に影響するには、4回以上巻く必要があることが明らかになった。一方、本研究では4回巻き以下の個体にも無巻きより花序の数が多いい個体が観察されていたため、これは、ネジバナ花序の捻じれと花の数の関係に花序の捻じれの傾きも関係していると考えられた。そこで、1回の捻じれに対する $\tan \theta$ を求め、単位長さあたりの花の数との関係を求めた。その結果、 $\tan \theta$ 値が小さくなるほど、花の数が多くなる傾向が見られたため、傾きが小さくなるほど花を多くつける傾向があると推測された。

1. はじめに

ネジバナ (*Spranthes sinensis*) は、ラン科ネジバナ属の多年草植物で、野原や堤の草地を生育地とし、長野県木曽青峰高校の中庭でも観察することができる。ネジバナの特徴は、らせん状にねじれた穂状花序³⁾を作ることであり、ねじれ方には「右巻き」と「左巻き」、全くらせん状にならない「無巻き」がある¹⁾。また、稀に花序の途中で巻く方向が入れ替わり、左右両方に巻きが見られる「両巻き」の個体もある²⁾。この花序の巻き性は、「右巻き」と「左巻き」がほぼ1対1で出現し、「無巻き」の存在はわずかとされている³⁾。

ネジバナのねじれに主眼をおいた先行研究として、早川・末次(2017)は、ネジバナの花序のねじれの強弱に注目し、送粉昆虫との関わりについて言及している⁴⁾。また、夏野・夏野(2002)は、東京都多摩川の土手から518本の個体を採取し、花穂の長さと巻き数には正の相関があることを報告している⁵⁾。一方、橋本(2002)は、ネジバナのねじれは遺伝的なものではないことを示唆している⁶⁾。しかし、これらの先行研究では、ネジバナの花序がねじることの意味について十分に検討されておらず、花序がねじれる意味に関わる知見が十分に得られ

ていない状況にある。

2. 仮説

そもそも、花序は生殖器官である花をつけている。そのため、ネジバナが花序をねじる意味の一つとして、生殖を有利に進めることが予想される。花序のねじれと生殖に関しては、先述の早川・末次(2017)が送粉昆虫の点から言及しているが、筆者は、花序に付けることが可能な花の数に注目することとした。すなわち、ネジバナは花序をらせん状にねじることにより、同じ高さの「無巻き」よりも多く花を付けることができ、生殖を有利に進めることができると考えた。

例えば、「右巻き」の花序において、半径 r の花のらせんが180度回って、 H の高さに達するとする。半径 r のらせんの水平方向の長さは半円の円周であり、その長さを X とすると、 X は、 $(2r \times \pi) \div 2$ より、 πr となる。一方、垂直方向の高さは H なので、180度回ったらせんの長さ L は、三平方の定理より、下記のようになる。

$$L = \sqrt{X^2 + H^2} = \sqrt{((\pi r)^2 + H^2)}$$

したがって、 $L > H$ となり、同じ高さにおいて、「無巻き」よりも、らせん状にねじれる方が多くの花をつけることができる（図1）。

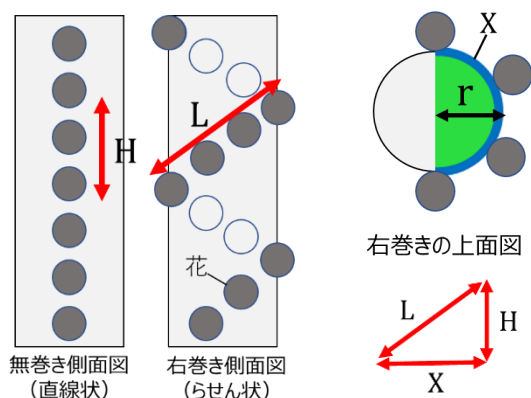


図1 ネジバナの花序のねじれと花の関係モデル

3. 目的

上述した仮説を実際の調査（フィールドワーク）により検証し、ネジバナの花序のねじれと花の数の関係についての基礎的知見を得る。

4. 方法

4-1 調査対象地

本研究では、長野県木曽青峰高等学校の中庭および昇降口前の芝生を調査対象地とした。いずれの調査地も日当たりが良く、定期的な芝刈りにより芝の背丈は低い状態にあった。なお、調査対象地のネジバナの個体群の分布様式は、ランダム分布であった。



写真1 昇降口前の芝生で観察されたネジバナ



写真2 中庭の芝生で観察されたネジバナ

4-2 調査方法

調査は、調査対象地のネジバナの開花状況を目視で判断し、2021年7月16日、21日、28日、30日の4日間実施した。調査手法は、ベルト・トランセクト法を参考にして行い⁸⁾、個体ごとに観察し、記述と写真データにより記録した。観察項目は、花序の長さ、花の数、巻き方、巻き数とし、調査終了後の個体には観察の重複を防ぐため、マーカーを付けていった。

5. 結果と考察

観察されたネジバナは94個体であり、内訳として、「無巻き」が26個体（28%）、「右巻き」が32個体（34%）、「左巻き」が36個体（38%）であった。この結果より、花序をねじる「右巻き」と「左巻き」の個体が「無巻き」の個体に比べて多いことが明らかとなり、先行研究と同様の結果が得られたといえる。なお、観察された巻き数は最大4回であった。

次に、花の数と花序の長さの関係を整理すると図2のように示され、相関関係（ $R^2 = 0.674$ ）が見られた。つまり、花序が長くなるほど、花を多くつけると考えられる。ただし、花序の長さ5cm～10cm付近では分散が大きく、特に、近似曲線に対して花の数が多い個体が複数見られた。このことは、仮説に基づき、同じ長さの花序であっても、花序のねじれの巻き数によって花の数が異なると考えたため、単位長さあたりの花の数を巻き数ごと整理した（表1）。

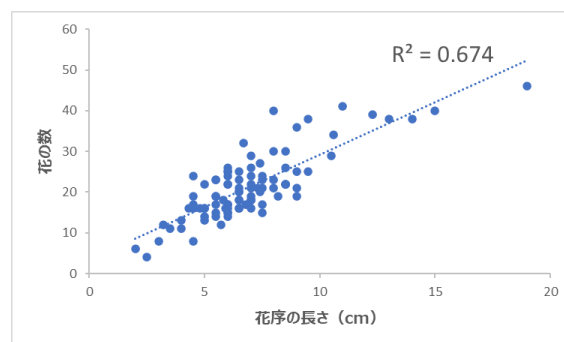


図2 花の数と花序の長さの関係

巻き数と花の数の関係を明らかにするため、 t 検定を実施したところ、無巻き（0回）と4回巻き、1回巻きと4回巻き、2回巻きと4回巻きの間で有意差が見られた（ $p < 0.05$ ）。一方で、無巻きと1回

巻き、2 回巻き、3 回巻きの間では有意差は見られなかった。このことより、巻き数が花の数の増加に影響するには、4 回以上巻く必要があることが明らかになった。

表 1 巻き数と単位長さあたりの花の数の関係

巻き数	0回	1回	2回	3回	4回
花の数/cm	3.0 ^a	2.9 ^b	3.0 ^c	3.3	3.6 ^{abc}

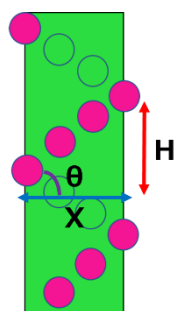
※同じアルファベット (a,b,c) どうしで有意差あり

一方、個体によっては、3 回巻き以下であっても、同等の花序の長さを持つ無巻きの個体より多く花をつける個体も観察された。このことは、単位長さあたり 4 回巻きの個体が花を有意に多くつけることを考慮に入れると、花序のねじれの巻き数と花の数の関係に、巻きの強弱、すなわち、単位長さあたりで花序がねじれる際の傾きも関係していると推察される。

例えば、右巻きの花序において、花序の半周 X として、半周した時の高さを H とする。 X がすべての個体の基部から茎頂までを一定であると仮定する。ねじれの傾きの角度を θ とすると、 $\tan$ は次のような式となる。

$$\tan \theta = \frac{H}{X}$$

上記の式より、1 回のねじりに対する $\tan \theta$ を求め、 $\tan$ 値が小さければ傾きが小さいとし、 $\tan \theta$ 値が大きければ傾きが大きいとし、単位長さ当たりの花の数の関係を整理した (図 3)。



右巻き側面図

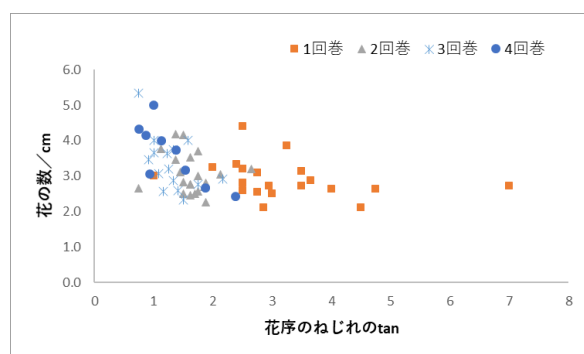


図 3 花序のねじれの $\tan \theta$ と花の数の関係

$\tan$ の値が大きくなるほど、ねじれの傾きが大き

くなることを考慮に入れると、傾きが小さくなるほど花を多くつける傾向がみられた。特に、4 回巻の個体ではこの傾向が有意に見られ (図 4)、ねじれの傾きが小さいほうが花の数を多くつけると考えられる。

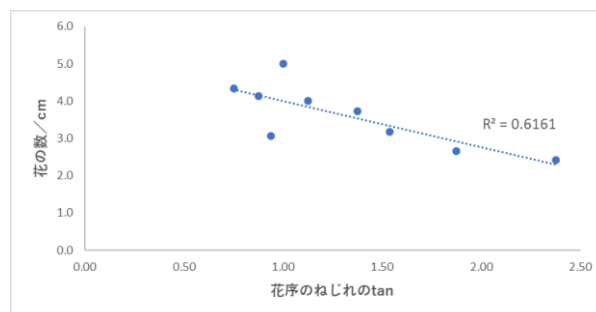


図 4 4 回巻きのみの花序のねじれの $\tan \theta$ と花の数の関係

6. まとめと反省

単位長さあたり、花序の巻き数が 4 回以上であると、無巻きよりも多くの花序をつけていたことから、花序を 4 回以上巻くことで花を多くつけることが可能だと分かった。また、ねじれの $\tan \theta$ の値が小さいほど花序につく花の数が増えることからねじれの傾きが小さいほど、花序を多くつけられることが分かった。しかし、調査個体が少なく巻き方の定義が曖昧であったため無巻きの個体数の割合が先行研究より多くなってしまった。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、2 年 1 組 志水麦人さんには調査協力をしていただきました。他の班にもかかわらず、快く引き受けていただき、本当にありがとうございました。ここに深甚の謝意を表します。

8. 注および参考文献

注) 花のついた枝全体および花のつき方をあわせて花序という。ネジバナの花序は、花が下から上に向かって咲き進み、最後に最上の花が咲く無限花序に大分類され、中でも花が多数、無柄で花序軸にほぼ均等につき、細長く直立する「穂状花序」に分類される。(清水建美 (2010) 『図説 植物用語辞典』, 八坂書房, 76-80.)

1) 北村四郎, 村田源, 小山鐵夫 (1976) 『原色日本

植物図鑑 草本編（下）』，保育社，32-33.

- 2) 夏野義啓，夏野多永（2002）「ネジバナの花穂の巻き方はいかに決まるか」，『遺伝』，56 巻 5 号，104-106.
- 3) 早川宗志，末次健司（2017）「ネジバナの形態変異と分類」，『植調』，56 巻 4 号，11-13.
- 4) 同上書，11，2017.
- 5) 夏野義啓，夏野多永，前掲書，104-106，2002.
- 6) 橋本隆（2002）「微小管がねじれを引き起こすー植物の左巻きねじれの原因たんぱく質を発見ー」，『遺伝』，56 巻 4 号，19-20.
- 7) 独立行政法人土木研究所（2011）『新しい河川植生調査手法（案）』，土木研究所資料 第 4198 号.

【付 録】

○測定値の生データ

<無巻き>

高さ (cm)	花の数	巻き方	巻き数	花序の長さ (cm)
32	22	無	0	8.5
13	4	無	0	2.5
15.8	16	無	0	4.5
16	19	無	0	4.5
25	25	無	0	6
19.3	24	無	0	7
30	25	無	0	9
18	22	無	0	6
19.5	21	無	0	6.5
15	12	無	0	3.2
13.6	11	無	0	3.5
25.5	17	無	0	6
21.5	15	無	0	5.5
24	15	無	0	7.5
19.9	16	無	0	4.3
27	30	無	0	8.5
24	23	無	0	5.5

23.5	16	無	0	7
24	18	無	0	7
17.5	14	無	0	6
26	22	無	0	8.5
21	16	無	0	6
18.5	16	無	0	6.5
17	8	無	0	4.5
23	20	無	0	6.5
20	11	無	0	4

<1 回巻き>

高さ (cm)	花の数	巻き方	巻き数	花序の長さ (cm)
22	22	左	1	5
20.5	16	右	1	4.8
11	6	右	1	2
20	16	左	1	5
16.3	14	右	1	5
34.5	38	右	1	14
21	21	右	1	7.3
14.2	16	右	1	5
22	14	右	1	5.5
20.5	19	右	1	7
22	13	左	1	5
24.7	22	左	1	7
23.5	15	左	1	6
20	16	左	1	5.9
20.5	25	右	1	6.5
15.3	13	右	1	4
18	17	左	1	5.5
18	12	左	1	5.7
27	19	左	1	9
29	25	左	1	9.5
26	21	左	1	8

<2 回巻き>

高さ (cm)	花の数	巻き方	巻き数	花序の長さ (cm)
23	18	左	2	6.5
20	18	左	2	5.8
28	34	左	2	10.6
28	17	右	2	6.8
19	23	左	2	5.5
17.5	17	右	2	4.5
21	19	左	2	5.5
21	18	左	2	7
14	8	右	2	3
20.3	23	左	2	6.5
22.5	21	左	2	7.5
21	26	左	2	7
19	25	左	2	6
25	18	左	2	6.5
16	15	右	2	6
21.5	17	左	2	6
19	21	左	2	7
20	17	右	2	7.5
17	20	右	2	7.4
21	16	右	2	6.5
24.5	26	右	2	8.5

26	22	右	3	8.5
21	23	右	3	8
18.4	20	左	3	6.5
22	27	右	3	7.4
20	32	左	3	6.7
17.8	19	左	3	8.2

<4 回巻き>

高さ (cm)	花の数	巻き方	巻き数	花序の長さ (cm)
22	23	右	4	7.5
38	40	右	4	15
19.5	29	右	4	7
43.5	46	左	4	19
29.5	41	右	4	11
25	36	右	4	9
17.5	26	左	4	6
33	40	左	4	8
31	39	左	4	12.3

<3 回巻き>

高さ (cm)	花の数	巻き方	巻き数	花序の長さ (cm)
27	30	左	3	8
21.5	24	左	3	6
25	22	左	3	6
30	38	左	3	13
29	29	左	3	10.5
22.5	24	右	3	7.5
22.5	38	右	3	9.5
27	24	右	3	4.5
25.8	18	右	3	7
17.5	19	右	3	5.5
26	21	右	3	9

粘菌に適した環境

長野県木曽青峰高等学校 課題研究 生物班
2 年 澤木秀太 藤原秀征 丸山健太郎

1. はじめに

細胞性粘菌は土壌表層に広く分布しており、非常にしたたかな生活様式をもつユニークな生き物である。最終的な分化形態として、子実体と呼ばれる植物のような構造を形成する。子実体は孢子群とそれを支える細胞性の柄(死細胞)からなる。孢子は適当な条件下で発芽してアメーバ状の細胞となり、周囲の餌(バクテリアなど)あるいは栄養豊富な培養液を取り込みながら動物細胞のように分裂・増殖する。周囲の栄養源が枯渇して飢餓状態になると、細胞はやがて走化性に基づくアメーバ運動により集合して多細胞体制を構築し、分化・パターン形成の方向に移行する。また、正確には粘菌はカビなどの真菌とは全く別物の不思議な生命体です。

2. 動機・目的

映画や本などで独特な形状をした生命体を見て、興味を抱いた。そのような生命体の一種である粘菌に焦点を当て自らの手で培養しようと考えた。また、粘菌の生育に適した環境とはどんな環境かをまずは pH の観点から条件を変え培養してみようと考えた。

3. 実験方法

実験① 粘菌の採取と環境の調査

第一回目 (4月)

上松町内の森林2か所で探索する。

A ポイント 川の付近の湿った土地

B ポイント 川の付近であったが乾燥した土地

2か所において粘菌の探索を行い、粘菌がより生育しやすい環境を調べる。

第二回目 (7月) 木
曽福島町内数ポイント
と第一回と同じ上松町
の採取ポイントで探索
する。4月との気温差
を考え、より粘菌の生育しやすい温度を調べる。



実験② 粘菌の培養 (9月～)

理化学研究所生命機能科学研究センターより細胞性粘菌を譲渡していただき、SM 寒天培地にて培養を進める。温度は 21℃とし、餌は大腸菌とする。

実験③ pH 調整した培地での培養

②で培養していた粘菌を、寒天培地の pH のみを変えて培養した。通常培地は pH6.2、塩基性培地は炭酸ナトリウムを混ぜオートクレーブし pH10.0、酸性培地は硫酸を混ぜオートクレーブし pH1.1 としてそれぞれ調整した。

4. 実験結果

実験① 粘菌の採取と環境の調査

第一回目（4月）

Aポイントでは粘菌がよく見られたが、Bポイントでは粘菌が見つからなかった。その後、培養を行ったが失敗した。

第二回目（7月）

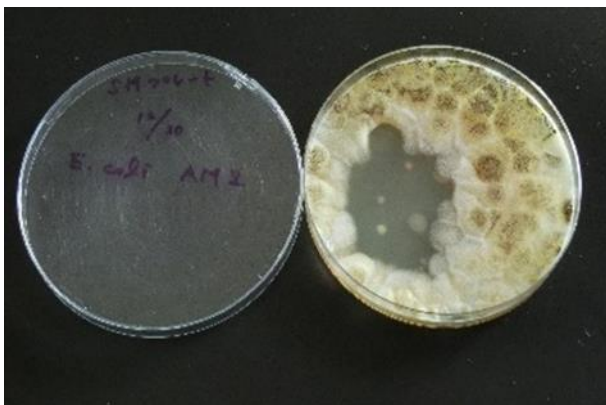
今回の採取では粘菌の採取ができなかった。

実験② 粘菌の培養

譲っていただいた細胞性粘菌（AX2 株）を SM 寒天培地で培養を進めたが、生育しなかった。再度送っていただいた粘菌を SM 培地よりも栄養価の低い 5LP 培地で培養したところ成功したため、3 回目の粘菌まき直しで SM 培地へと変更した。まき直しは一週間程度で行う必要があった。しかし、まき直しの際に使用機器の滅菌が不完全であり、いくつかの培地でコンタミネーションが発生してしまった。



まき直しの様子



コンタミネーションした培地

実験③ pH 調整した培地での培養

pH を変えた 3 種類の培地で培養を進めたところ、通常培地と塩基性培地では粘菌が生育し、酸性培地では粘菌の生育が見られなかった。塩基性培地でも生育はしていたものの、通常培地に比べるとその生育は微々たるものであった。



写真1・通常培地

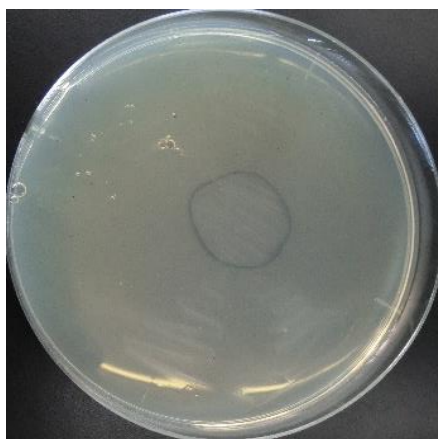


写真2・酸性培地

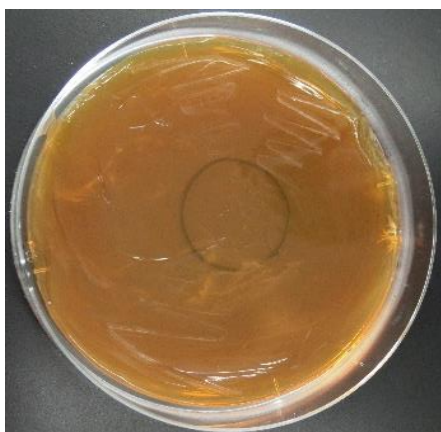


写真3・塩基性培地

5. 考察

実験① 粘菌の採取と環境の調査

A ポイントの湿った土地で粘菌が見られ、B ポイントの乾燥した土地で粘菌が見られなかったことから、粘菌の生育には湿度が重要であり、湿気を多分に含む土地を好むと考えられる。また、4月には粘菌が採取できたが、7月には粘菌が採取できなかったことから、この2回の気温差より気温が高すぎると粘菌の生育に影響すると思われる。

実験② 粘菌の培養

粘菌の培養に失敗した原因として、長距離輸送により粘菌に輸送ストレスがかかったこと、更に9月だったため輸送中の温度が高く粘菌があまりに良くない状態であったにもかかわらず、栄養価の高いSM寒天培地で培養を行ってしまったことが挙げられる。粘菌の生育には、環境に加えて粘菌自体のコンディションが重要になると言える。

実験③ pH調整した培地での培養

参考文献によると、細菌が最も生育するpHは6.5となっているため、今回使用した細胞性粘菌も同様のpHを好む可能性が考えられる。今回の実験で、酸性培地で全く生育しなかったこと、塩

基性培地では生育が見られたことから粘菌は酸性に対する耐性が弱いと考えられる。また、酸性培地で全く生育しなかったこと、中性と塩基性で比べると塩基性培地での生育がかなり遅かったことの理由として、pHが1.1、10.0と酸性、塩基性が強すぎたということが考えられる。

7. 残された課題と今後の展望

①の考察で粘菌の生育には湿度が関係しているということから、湿度によって粘菌の生育スピードがどう変化するかや、今回用いた細胞性粘菌（AX2株）に最も適切な湿度を調べたい。また温度も粘菌の生育に影響していることがわかったため、湿度同様に温度についても調べたい。

③の実験で使用した培地はかなり強酸・強塩基だったため、もう少しpHを小刻みに調整して培養を行い、粘菌の生育にpHが及ぼす影響について調べたい。

8. 謝辞

細胞性粘菌を提供していただきました理化学研究所生命機能科学研究センターの皆様、粘菌採取にご協力いただきました上松町の有志の皆様、本研究を担当して下さった浦野先生、心より厚く御礼申し上げます。

9. 参考文献

- [1]https://nenkin.nbrp.jp/asset/information/NBRP_nenkin_training_course_2015.pdf;jsessionid=82AF5532A8A0AB56A2247B5EDA45808C
- [2]中垣俊之 「かしこい単細胞 粘菌」(2015)
- [3]生物事典
- [4]春日修・三沢均・高木紀美子・谷佳都・池戸正成 「環境水由来レジオネラ属菌の選択培地による効率的検出法の検討」 (H13)
- [5] <http://dicty.jp/dicty>

数学

平面図形の定理の空間への拡張

井口 茜

1 動機

教科書でメネラウスの定理やチェバの定理を知り、空間に拡張したらどのようなようになるか疑問に思ったため。

2 方法

予想

メネラウスの定理は、三角形と、その頂点を通らない1つの直線とがつくる図形において、線分の比の等式として表される。三角形を四面体に、直線を平面にして、面積の比の等式をつくることで空間に拡張することができる。チェバの定理は三角形の内部の点と、その内部の点と各頂点を通る3直線がつくる図形において、線分の比の等式として表される。メネラウスの定理と同様に、三角形を四面体に、直線を平面にして、面積の比の等式をつくることで空間に拡張することができる。

確認の方法

数学ソフトウェア GeoGebra で空間図形を作図する。条件を変えながら、GeoGebra で面積等を計算することで、予想した等式が正しいか確認する。正しいと確信が持てた等式について、その証明を考える。

3 結果

メネラウスの定理の拡張が得られた。

定義

平面 α 上で、3つの平面 β, γ, δ に囲ま

れてできる三角形を $\triangle_{\alpha} \beta \gamma \delta$ で表す。

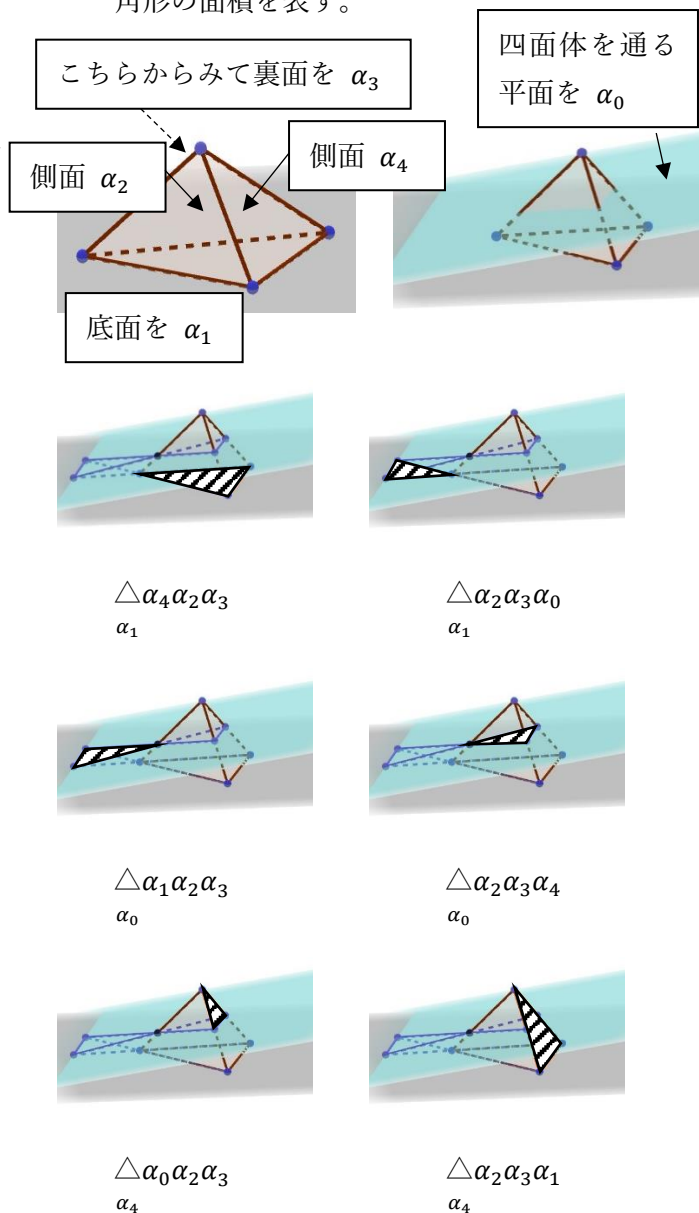
得られた定理（空間のメネラウスの定理）

互いに平行でなく、どの4平面も1点で交わらない平面 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ において次の等式が成り立つ。

$$\frac{\triangle_{\alpha_4 \alpha_2 \alpha_3}}{\alpha_1} \cdot \frac{\triangle_{\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3}}{\alpha_0} \cdot \frac{\triangle_{\alpha_0 \alpha_2 \alpha_3}}{\alpha_4} = 1 \quad (1)$$
$$\frac{\triangle_{\alpha_2 \alpha_3 \alpha_0}}{\alpha_1} \cdot \frac{\triangle_{\alpha_2 \alpha_3 \alpha_4}}{\alpha_0} \cdot \frac{\triangle_{\alpha_2 \alpha_3 \alpha_1}}{\alpha_4}$$

※式中の $\triangle_{\alpha_3 \alpha_0 \alpha_1}$ 等は、それが示す三

角形の面積を表す。



この等式について、平面のメネラウスの定理をもとに証明をすることができた。この等式は辺の比を三角形の面積の比に拡張した式である。メネラウスの定理は空間に拡張することができるといえる。

証明

互いに平行でない 3 つの平面

$\alpha_i, \alpha_j, \alpha_k$ の共有点を P_{ijk} とする。

$\triangle \alpha_1 \alpha_3 \alpha_4$ と線分 $P_{024} P_{012}$ においてメネラウ

スの定理より

$$\frac{P_{124} P_{123}}{P_{123} P_{012}} \cdot \frac{P_{012} P_{023}}{P_{023} P_{024}} \cdot \frac{P_{024} P_{234}}{P_{234} P_{124}} = 1 \quad (2)$$

同様に $\triangle \alpha_1 \alpha_2 \alpha_4$ と線分 $P_{013} P_{034}$ においてメ

ネラウスの定理より

$$\frac{P_{134} P_{123}}{P_{123} P_{013}} \cdot \frac{P_{013} P_{023}}{P_{023} P_{034}} \cdot \frac{P_{034} P_{234}}{P_{234} P_{134}} = 1 \quad (3)$$

$\triangle \alpha_4 \alpha_2 \alpha_3$ の面積は
 α_1

$$\frac{1}{2} \cdot (P_{123} P_{134}) \cdot (P_{123} P_{124}) \cdot \sin \angle P_{134} P_{123} P_{124}$$

と表せる。

同様に $\triangle \alpha_2 \alpha_3 \alpha_0$ の面積は
 α_1

$$\frac{1}{2} \cdot (P_{123} P_{012}) \cdot (P_{123} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{123} P_{013}$$

$\triangle \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3$ の面積は
 α_0

$$\frac{1}{2} \cdot (P_{023} P_{012}) \cdot (P_{023} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{023} P_{013}$$

$\triangle \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4$ の面積は
 α_0

$$\frac{1}{2} \cdot (P_{023} P_{012}) \cdot (P_{023} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{023} P_{013}$$

$\triangle \alpha_0 \alpha_2 \alpha_3$ の面積は
 α_4

$$\frac{1}{2} \cdot (P_{423} P_{024}) \cdot (P_{423} P_{034}) \cdot \sin \angle P_{024} P_{423} P_{034}$$

$\triangle \alpha_2 \alpha_3 \alpha_1$ の面積は
 α_4

$$\frac{1}{2} \cdot (P_{423} P_{134}) \cdot (P_{423} P_{124}) \cdot \sin \angle P_{134} P_{423} P_{124}$$

と表せる。

これらを(1)の左辺に当てはめると

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot (P_{123} P_{134}) \cdot (P_{123} P_{124}) \cdot \sin \angle P_{134} P_{123} P_{124}}{\frac{1}{2} \cdot (P_{123} P_{012}) \cdot (P_{123} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{123} P_{013}}$$

$$\cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot (P_{023} P_{012}) \cdot (P_{023} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{023} P_{013}}{\frac{1}{2} \cdot (P_{023} P_{012}) \cdot (P_{023} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{023} P_{013}}$$

$$\cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot (P_{423} P_{024}) \cdot (P_{423} P_{034}) \cdot \sin \angle P_{024} P_{423} P_{034}}{\frac{1}{2} \cdot (P_{423} P_{134}) \cdot (P_{423} P_{124}) \cdot \sin \angle P_{134} P_{423} P_{124}}$$

ここで、 $\angle P_{134} P_{123} P_{124}$ と $\angle P_{012} P_{123} P_{013}$ は対頂角もしくは

$\sin \angle P_{134} P_{123} P_{124} + \angle P_{012} P_{123} P_{013} = 180^\circ$ であるから

$$\sin \angle P_{134} P_{123} P_{124} = \sin \angle P_{012} P_{123} P_{013}$$

同様に

$\angle P_{012} P_{023} P_{013}$ と $\angle P_{012} P_{023} P_{013}$ において

$$\sin \angle P_{012} P_{023} P_{013} = \sin \angle P_{012} P_{023} P_{013}$$

$\angle P_{024} P_{423} P_{034}$ と $\angle P_{134} P_{423} P_{124}$ において

$$\sin \angle P_{024} P_{423} P_{034} = \sin \angle P_{134} P_{423} P_{124}$$

したがって

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot (P_{123} P_{134}) \cdot (P_{123} P_{124}) \cdot \sin \angle P_{134} P_{123} P_{124}}{\frac{1}{2} \cdot (P_{123} P_{012}) \cdot (P_{123} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{123} P_{013}}$$

$$\cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot (P_{023} P_{012}) \cdot (P_{023} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{023} P_{013}}{\frac{1}{2} \cdot (P_{023} P_{012}) \cdot (P_{023} P_{013}) \cdot \sin \angle P_{012} P_{023} P_{013}}$$

$$\cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot (P_{423} P_{024}) \cdot (P_{423} P_{034}) \cdot \sin \angle P_{024} P_{423} P_{034}}{\frac{1}{2} \cdot (P_{423} P_{134}) \cdot (P_{423} P_{124}) \cdot \sin \angle P_{134} P_{423} P_{124}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(P_{123}P_{134}) \cdot (P_{123}P_{124})}{(P_{123}P_{012}) \cdot (P_{123}P_{013})} \\
&\cdot \frac{(P_{023}P_{012}) \cdot (P_{023}P_{013})}{(P_{023}P_{012}) \cdot (P_{023}P_{013})} \\
&\cdot \frac{(P_{423}P_{024}) \cdot (P_{423}P_{034})}{(P_{423}P_{134}) \cdot (P_{423}P_{124})} \\
&= \frac{(P_{123}P_{134}) \cdot (P_{023}P_{012}) \cdot (P_{423}P_{024})}{(P_{123}P_{012}) \cdot (P_{023}P_{012}) \cdot (P_{423}P_{134})} \\
&\cdot \frac{(P_{123}P_{124}) \cdot (P_{023}P_{013}) \cdot (P_{423}P_{034})}{(P_{123}P_{013}) \cdot (P_{023}P_{013}) \cdot (P_{423}P_{124})} \\
&= 1 \cdot 1 \quad ((1), (2) \text{より}) \\
&= 1
\end{aligned}$$

4 結果②

チェバの定理の拡張が得られた。

得られた定理(空間のチェバの定理)

四面体 ABCD の内部に点 E をとる。

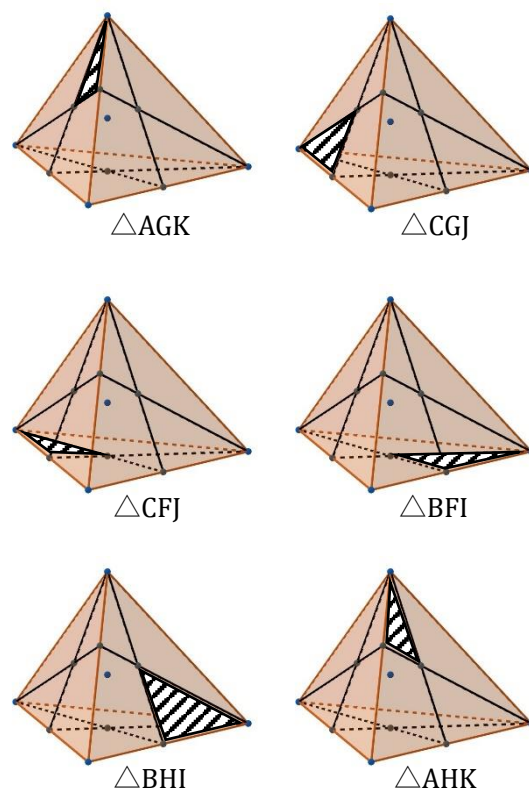
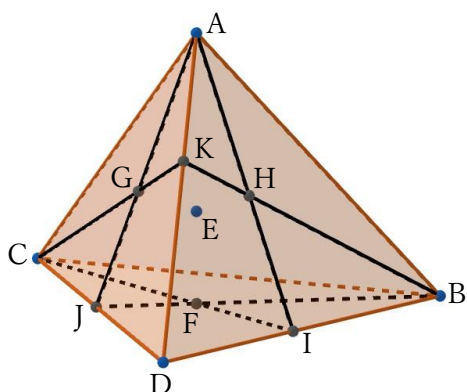
直線 AE, BE, CE と四面体の側面との交点を F, G, H とする。

直線 AH, BF, CG と直線 DB, DC, DA との交点を I, J, K とする。

このとき次の等式が成り立つ。

$$\frac{\triangle AGK}{\triangle CJG} \cdot \frac{\triangle CFJ}{\triangle BIF} \cdot \frac{\triangle BHI}{\triangle AKH} = 1 \quad (4)$$

※式中の $\triangle AGK$ 等は、それが示す三角形の面積を表す。



この等式について、平面のチェバの定理をもとに証明をすることができた。この等式は辺の比を三角形の面積の比に拡張した式である。チェバの定理は空間に拡張することができるといえる。

証明

直線 IE, JE, KE と辺 CA, AB, BC の交点を L, M, N とする。

$\triangle AJB$ において線分 AF, BG, JM はいずれも点 E を通るのでチェバの定理より

$$\frac{JF}{FB} \cdot \frac{BM}{MA} \cdot \frac{AG}{GJ} = 1 \quad (5)$$

同様に $\triangle BKC$ においてチェバの定理より

$$\frac{KG}{GC} \cdot \frac{CN}{NB} \cdot \frac{BH}{HK} = 1 \quad (6)$$

同様に $\triangle CIA$ においてチェバの定理より

$$\frac{IH}{HA} \cdot \frac{AL}{LC} \cdot \frac{CF}{FI} = 1 \quad (7)$$

同様に△ABCにおいてチェバの定理より

$$\frac{AL}{LC} \cdot \frac{CN}{NB} \cdot \frac{BM}{MA} = 1 \quad (8)$$

△AGK の面積は $\frac{1}{2} \cdot GK \cdot GA \cdot \sin \angle AGK$ と

表せる。同様に

$$\triangle CJG = \frac{1}{2} \cdot GC \cdot GJ \cdot \sin \angle CGJ$$

$$\triangle CFJ = \frac{1}{2} \cdot FC \cdot FJ \cdot \sin \angle CFJ$$

$$\triangle BIF = \frac{1}{2} \cdot FI \cdot FB \cdot \sin \angle BFI$$

$$\triangle BHI = \frac{1}{2} \cdot BH \cdot HI \cdot \sin \angle BHI$$

$$\triangle AKH = \frac{1}{2} \cdot AH \cdot HK \cdot \sin \angle AHK$$

と表せる。

これらを(4)の左辺に当てはめると

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot GK \cdot GA \cdot \sin \angle AGK}{\frac{1}{2} \cdot GC \cdot GJ \cdot \sin \angle CGJ} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot FC \cdot FJ \cdot \sin \angle CFJ}{\frac{1}{2} \cdot FI \cdot FB \cdot \sin \angle BFI} \\ \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot BH \cdot HI \cdot \sin \angle BHI}{\frac{1}{2} \cdot AH \cdot HK \cdot \sin \angle AHK}$$

ここで、 $\angle AGK$ と $\angle CGJ$ は対頂角もしくは

$\angle AGK + \angle CGJ = 180^\circ$ であるから

$$\sin \angle AGK = \sin \angle CGJ$$

同様に

$\angle CFJ$ と $\angle BFI$ において

$$\sin \angle CFJ = \sin \angle BFI$$

$\angle BHI$ と $\angle AHK$ において

$$\sin \angle BHI = \sin \angle AHK$$

したがって

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot GK \cdot GA \cdot \sin \angle AGK}{\frac{1}{2} \cdot GC \cdot GJ \cdot \sin \angle CGJ} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot FC \cdot FJ \cdot \sin \angle CFJ}{\frac{1}{2} \cdot FI \cdot FB \cdot \sin \angle BFI} \\ \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot BH \cdot HI \cdot \sin \angle BHI}{\frac{1}{2} \cdot AH \cdot HK \cdot \sin \angle AHK}$$

$$= \frac{GK \cdot GA}{GC \cdot GJ} \cdot \frac{FC \cdot FJ}{FI \cdot FB} \cdot \frac{BH \cdot HI}{AH \cdot HK}$$

$$= \frac{JF \cdot AG}{FB \cdot GJ} \cdot \frac{FC \cdot FJ}{FI \cdot FB} \cdot \frac{BH \cdot HI}{AH \cdot HK} \times \frac{\frac{AL}{LC} \cdot \frac{CN}{NB} \cdot \frac{BM}{MA}}{\frac{AL}{LC} \cdot \frac{CN}{NB} \cdot \frac{BM}{MA}}$$

$$= \frac{\frac{JF}{FB} \cdot \frac{BM}{MA} \cdot \frac{AG}{GJ} \times \frac{KG}{GC} \cdot \frac{CN}{NB} \cdot \frac{BH}{HK} \times \frac{IH}{HA} \cdot \frac{AL}{LC} \cdot \frac{CF}{FI}}{\frac{AL}{LC} \cdot \frac{CN}{NB} \cdot \frac{BM}{MA}}$$

$$= \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{1} \quad ((5) \sim (8) \text{より})$$

$$= 1$$

5 補足

メネラウスの定理,チェバの定理ともに空間に拡張することができた。メネラウスの定理は平面 α_0 が四面体を通る場合と通らない場合ともに,チェバの定理は点Eが内部にある場合と外部にある場合ともに証明することができた。

6 課題

教科書に載っている他の定理についても空間に拡張できるか調べていきたい。

参考図

空間のメネラウスの定理

空間のチェバの定理



音楽を数学的に分析してみた

大原さくら 大村葵 上村千隼
小瀬木悠馬 ○田上美来

要旨 ヒット曲と呼ばれている現代の曲の特徴を様々な観点から比較していく

1.研究動機

音楽は私たちの日常生活において身近な存在であるが、物理・数学的な分野と関わっていると思う人は少ないだろう。しかしながら、数学的な思考を持って音楽を視ることができれば現代音楽の特徴や傾向を明らかにすることができると考える。そこで本研究では、現代の邦楽と洋楽を音の上がり下がり注目して表に表してみ、そこから読み取れる一番多い音や音の動き方、さらにテンポ、曲の長さといった項目を通して得られた結果から、邦楽と洋楽それぞれヒットする曲の条件を見つけ、比較することを目的とした。

2. 仮説

本研究を行うにあたって参考にした先行研究は“数学と音楽の根本的な理論は万国共通であるが、音楽は国や文化の違いによってリズムや雰囲気などに違いが見られる。このことから、いくつかのジャンルの楽譜を可視化・数値化し、分析した。”というようにいくつかの曲を可視化して、表に表すことで見られるであろう傾向を調べている。その結果として、“度数(2音間の距離)が1度のライン(傾き1、同じ音が続く)を対称の軸としてほぼ線対称に分布している。”と述べているため、本研究でも同じような結果が見られるのではないかと思われる。しかし、先行研究ではテンポや曲の長さといった項目についての比較がないため、本研究内で明らかにしていこうと思う。

3.実験・分析方法と結果

I ～音の動き方(音の上がり下がり)の比較方法～

- ① それぞれの曲のサビの部分抜き出してハ長調に移調する。
- ② 例えば、「ソ シ レ ソ ソ レ」の旋律であった場合は「ソ↓シ↑レ↑ソ→ソ↓レ」のように音の上がり下がりを書いていく。オクターブの場合も同様に矢印で記している。また、同音の場合は横棒で表している。
- ③ 表に座標をとるように音の上がり下がり回数を書いていく。
- ④ ③で得た邦楽 18 曲、洋楽 18 曲の表をそれぞれひとつの表にまとめる。

※移調とは

楽曲全体をそっくり別の高さに移すこと。原則として、音程関係は原曲と同じだが、声域や楽器の音域などの制約で変わることもある。

ハ長調に移調した理由は、音階の中でも最も単純で分かりやすいといったためである。

※選曲方法

YouTube 内で発表されている公式の再生回数が 1 億回を超えている曲の中から邦楽、洋楽ともに 18 曲選んだ。YouTube から選曲した理由は App Store の無料アプリランキングのトップを占めているためである。

選曲リスト～邦楽～

- ・ 奏・前前前世・打上花火・夜に駆ける・炎
- ・ まちがいさがし・クリスマスソング
- ・ ピースサイン・Lemon
- ・ 恋するフォーチュンクッキー・さよならエレジー
- ・ パブリカ・Pretender・白日・宿命・千本桜
- ・ ひまわりの約束・恋

選曲リスト～洋楽～

- Call Me Maybe • Uptown Funk • Shape of You
- Sugar • Closer • Baby • Stressed Out • The Lazy Song
- Roar • Shake It Off • Love Me Like You Do • Let it go
- See You Again • Blank Space • Symphony
- What Do You Mean? • Stitches
- This Is What You Came For

I ‘～音の動き方(音の上がり下がり)の結果～

【邦楽】

	シ	#48	2	5	/	/	3	1	2	1	/	/	22	1	
ラ #	4				/	/				1	1	/	/		
ラ	#41			11	/	/	32		1	#47	1	1			2
ソ #	2				/	/				1	/	/			
ソ	26			5	/	/	39	15		14			34		1
ファ #	/		1	/	/	/	7						22		
ファ	5			4	/	/	28	2		20			2		
ミ	24			100	/	/	29	49	4	42			19		
レ #	6				/	/				5	/	/	4		
レ	#113			8	/	/	108	4		9			7		
ド #	/	/	/	2	/	/	/	/	/	1	/	/	/	/	/
ド	18	1	#124	/	/	/	26	5	1	53	1		36	4	3
	ド	ド #	レ	レ #	ミ	ファ	ファ #	ソ	ソ #	ラ	ラ #	シ			
	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B			

【洋楽】

シ	8		7		10			6		37		
ラ #	26		3		1	1						1
ラ	21		16		6			55		5		2
ソ #												
ソ	27		8		39	1		24		55		1
ファ #												
ファ	4		5	1	7	2		4				
ミ	29		58		13	17		44		4		
レ #								1				
レ	98		14		64	5		16		7		
ド #												
ド	73		99		29			26		53		1
	ド #	レ #	ミ	ファ	ファ #	ソ	ソ #	ラ	ラ #	シ		
	C	C #	D	D #	E	F	F #	G	G #	A	A #	B

考察

比較した表の結果から先行研究の結果と同様に、同じ音が続くラインに音の数が線対称になっているという傾向が見られた。さらに、音の分布にバラつきがみられ、邦楽、洋楽ともにドレミの3音が多用されていることがわかった。

II～テンポの比較方法と結果～

それぞれの曲のテンポ(≒BPM)を調べ、既存の表をもとに邦楽と洋楽とを分けてまとめる。
テンポとは、曲の速度を表すものであって、数字で表される。数字は1分間に同じ速さで打つ拍数のことを指している。

【邦楽】

tempo	
60~65	
65~70	
70~75	
75~80	
80~85	
85~90	Lemon
90~95	Pretender 白日
95~100	打上花火
100~105	ピースサイン パブリカ
105~110	
110~115	
115~120	
120~125	恋するフォーチュンクッキー
125~130	
130~135	夜に駆ける
135~140	
140~145	
145~150	
150~155	クリスマスソング 炎 奏 千本桜
155~160	さよならエレジー まちがいさがし ひまわりの約束 恋
160~165	宿命
165~170	
170~175	
175~180	
180~185	
185~190	前前世

【洋楽】

tempo	
60~65	
65~70	Baby
70~75	
75~80	
80~85	See You Again
85~90	
90~95	
95~100	Shape of You Closer Love Me Like You Do Blank Space
100~105	
105~110	
110~115	
115~120	Uptown Funk
120~125	Call Me Maybe Sugar Symphony This Is What You Came For
125~130	What Do You Mean?
130~135	
135~140	Let It Go
140~145	
145~150	
150~155	Stitches
155~160	
160~165	Shake It Off
165~170	
170~175	Stressed Out
175~180	The Lazy Song
180~185	Roar
185~190	

考察

テンポ(≒BPM)という観点から分類すると、邦楽はテンポ150～160の曲が多く、洋楽はテンポ120～125の曲が最も多いという傾向が出た。また、これらのテンポを速度記号で表すと、

♩ = 108～120は Moderato

意味は控えめなスピードで・中位のスピードとなり、

♩ = 120～168は Allegro

意味は快速に・軽快に速くなる。速度記号で分類すると、邦楽は軽快に速い曲、洋楽は控えめなスピードから活き活きと速い曲が最も多いとわかった。

III～1曲に占めるサビの秒数(s)の

比較方法と結果～

それぞれの曲のイントロからサビまでの時間(s)とサビの長さ(s)を計測して表にまとめる。

【邦楽】

3	曲名（邦楽）	イントロからサビ（s）	サビ（s）
	奏	68	28
	前前世	65	25
	恋するフォーチュンクッキー	80	41
	炎	65	35
	まちがいさがし	38	28
	クリスマスソング	74	51
	ピースサイン	59	25
	夜に駆ける	75	28
	Lemon	59	27
	さよならエレジー	63	25
	パブリカ	50	19
	Pretender	94	47
	白日	69	21
	宿命	58	30
	打ち上げ花火	60	20
	千本桜	58	24
	恋	49	21
	ひまわりの約束	57	52
	平均	85	30

【洋楽】

曲名（洋楽）	イントロからサビ（s）	サビ（s）
Closer	58	20
Steressed	52	18
Tha Lazy Song	50	23
Roar	49	21
Black Space	46	41
Love Me Like You Do	61	20
This Is What You Come	85	15
Stitches	45	25
See you again	75	28
Sympony	52	20
What Do You Mean	30	17
Sugar	40	15
Shake it off	42	24
Let it go	60	27
Call Me Maybe	29	31
Uptown Funk	65	27
Shape of you	50	20
Baby	45	30
平均	63	29

考察

結果として、サビの秒数は洋楽・邦楽で大きな差はないことがわかった。しかし、イントロからサビまでの秒数は邦楽の方が長い曲が多いという傾向が見られた。洋楽は曲全体を通して4つのコードをループさせるといった比較的シンプルな構成のものが多く、それに対して邦楽はAメロ、Bメロ、サビといったように異なる進行を使い、楽曲全体の起伏が激しいのが特徴となっているため、このコード進行の違いからイントロからサビまでの秒数に違いがみられたのだと考える。

IV～最多座標の比較方法と結果～

I'の音の動き方について比較した表等をもとに、音の組み合わせである座標に着目して、それぞれの曲の中でどの座標が1番多いのかについて表にまとめる。
※同音間での動きは含まないがオクターブは含む。
※同曲にいくつか最多座標がある場合は①、②というように分けて示してある。

【邦楽】

Lemon	(レ・ド)	4
ひまわりの約束	(レ・ド)	
千本桜	(レ・ド)	
ピースサイン①	(レ・ド)	
恋するフォーチュンクッキー	(ミ・レ)	3
奏	(ミ・レ)	
夜に駆ける	(ミ・レ)	
前前前世①	(ラ・ソ)	3
宿命	(ラ・ソ)	
恋①	(ラ・ソ)	
打上花火①	(ド・レ)	3
クリスマスソング①	(ド・レ)	
Pretender	(ド・レ)	
打上花火②	(レ・ミ)	2
さよならエレジー	(レ・ミ)	
前前前世②	(ソ・ファ)	1
打上花火③	(ミ・ソ)	1
炎	(ソ・ソ)	1
まちがいさがし	(ド・ド)	1
ピースサイン②	(ド・シ)	1
白日	(ミ・ラ)	1
パプリカ①	(ミ・ファ#)	1
パプリカ②	(シ・ラ)	1
恋②	(ド・ラ)	1
恋③	(ソ・ラ)	1

【洋楽】

Closer	(レ・ド)	5
Baby	(レ・ド)	
See you again	(レ・ド)	
Uptown Funk	(レ・ド)	
Let it Go ①	(レ・ド)	
Steressed Out	(ラ・ソ)	2
Suger	(ラ・ソ)	
Roar	(ド・ド)	2
Blank Space	(ド・ド)	
Stitches	(ミ・レ)	2
Let it Go ②	(ミ・レ)	
What Do You Mean?①	(ラ・シ)	2
Shake it off ①	(ラ・シ)	
The Lazy Song	(ミ・ミ)	1
Love Me Like You Do	(レ・ミ)	1
This Is What You Came For	(ラ・ド)	1
Symphony	(ミ・ソ)	1
What Do You Mean?②	(シ・ラ)	1
Shake it off ②	(シ・ソ)	1
Let it Go③	(ド・ソ)	1
Let it Go④	(ファ・ミ)	1
Call Me Maybe	(ド・ミ)	1
Shape of you	(ド・レ)	1

考察

表からは、洋楽と邦楽ともに最多座標が同じであるという結果が得られた。邦楽では4曲、洋楽では5曲がレからドへの音の移動が最多座標となっており、その他はミからレ、ラからソ、ドからレのように1音の間での上がり下がりを経た最多座標とする曲が多いとい

う傾向が見られた。さらに、実験Iのドレミの3音の上がり下がりが多いという結果をこの表からも見ることができ、ドレミの3音で展開されている最多座標は邦楽13個、洋楽13個、合わせて全51個中26個と過半数を占めていることから実験Iの裏付けが取れる。これらの結果から高さの遠い音の間での上がり下がりを経ると不自然で落ち着きのないメロディーに聞こえ、聞き手が好まないようなヒットできない曲になってしまい、反対に、近い音での上がり下がりを用いると、不自然な音飛びを抑えた統一感のあるメロディーになり聞き手が好むヒット曲となるのではないかと考えた。

4.まとめ

4つの研究結果から、仮説として立てた「邦楽と洋楽は違う」という考えは、邦楽と洋楽に大きな違いは見られず、それぞれでヒットする条件を明確にまとめることができなかったため、音の動き方やテンポといった観点からはあまり正しくないということがわかった。またその理由として、グローバル化やインターネットの普及などによって様々な音楽に触れる機会が増えたため、互いに影響し合い、邦楽と洋楽には大きな差がみられなくなっているのではないかと考える。音楽を数学的に分析してみると、邦楽・洋楽どちらもヒット曲は極端な音の上がり下がりがなく、落ち着いた、または軽快なテンポで構成されていることがわかった。まとめて、ヒットする曲とは聞いた時の曲の聞きやすさにあると考える。

5. 参考文献

- ・音楽の数学的分析 藤井美月
http://www.koshi-h.ed.jp/wp-content/uploads/2018/08/H28_14_music-.pdf
- ・人々ピアノサイト <https://www.everyonepiano.com/>
- ・SONG BPM <https://songbpm.com>
- ・LINE MUSIC <https://music.line.me/webapp/today>

英語

英語版木曽町HPの作成

長野県木曽青峰高等学校

2年 鈴木心風 田口俊 ○三沢康晟

1. 動機及び目的

高校生の自分たちから見た木曽町の魅力をより多くの人に伝えると同時に、自分たちも改めて木曽町の魅力をより深く知り、地元に関わることがしたいと思った。また、コロナにより地元の観光業が大きな打撃を受けている中で、自分たちにできることはないかと考え、今の時世では来ることが出来ない、外国人に向けた木曽町のHPを作成することにした。これを見て、コロナが収束した際、多くの外国人に木曽町を訪れてほしい。

2. 内容、方法

自分たちの体験をもとにHPを作成し、木曽御嶽観光局に協力をお願いし、観光局のHPに外部リンクとして掲載していただく。

QRコードやメッセージを用いて、外国人へのインタビューをし、改良を重ね、随時更新する。最終的に5000アクセス数を目指す。

地元観光局の方との話し合い(2021年6月18日)を行った際、その中で、海外の方は日本の歴史への関心が強いということが挙げられ、更に私たちのHPから地元観光局のHP上のツアー紹介に誘導できる流れが理想的で観光客(閲覧数)増加に効果的であることから、地元観光局が現在取り組んでいる御嶽古道の紹介を私たちのHP内でして、完成した段階で地元観光局のHPに外部リンクとして掲載していただくという流れに至った。紹介するにあたって、ただ説明を書くのではなく高校生の視点からユニークに紹介できるとよい、ということで体験記のような形で書くことになった。御嶽古道について調べ、実際にパンフレット通り歩き、HPの作成を開始した。ある程度の形になった段階でアクセスカウンターをつけて公開し、アクセス数の推移を週ごとに確認する。なお、ここでのアクセス数は、初めてサイトを訪れたIPアドレスの数としている。

3. 結果と考察

ホームページを制作するにあたり、オリジナリティを重視し、ホームページ作成ツールは利用せず、コードを記述した。使用したプログラミング言語はHyper Text Markup Language(以下HTML)、

Cascading Style Sheets(以下CSS)、JavaScriptの3つである。

HTMLはサイトの構造を表すために用いた。CSSはHTMLで記述した内容を装飾するのに用いた。JavaScriptは、サイトに動的な要素を追加するために用いた。また、ソースコードの短縮のために、JavaScriptのライブラリであるjQueryを使用した。

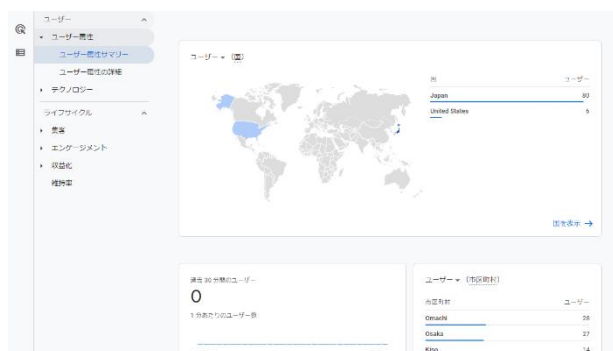
GitHub

```
105 lines (86 sloc) | 3.26 KB
1 <!DOCTYPE html>
2
3 <html lang="en">
4   <head>
5     <meta charset="utf-8"/>
6     <!-- Global site tag (gtag.js) - Google Analytics -->
7     <script async src="https://www.googletagmanager.com/gtag/js?id=G-ZQK760BVLL"></script>
8     <script>
9       window.dataLayer = window.dataLayer || [];
10      function gtag(){dataLayer.push(arguments);}
11      gtag('js', new Date());
12
13      gtag('config', 'G-ZQK760BVLL');
14    </script>
15    <link rel="stylesheet" media="(min-width:767px)" href="css/style-pc.css">
16    <link rel="stylesheet" media="(max-width:767px)" href="css/style-phone.css">
17
18    <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/gsap/2.1.1/TweenMax.min.js"></script>
19    <script src="js/jquery-3.6.0.min.js"></script>
20    <link href="https://use.fontawesome.com/releases/v5.6.1/css/all.css" rel="stylesheet">
21    <link rel="canonical" href="https://kisocho.github.io/ontakekado/">
22    <meta name="viewport" content="width=device-width,initial-scale=1.0,minimum-scale=1.0,user-scalable=yes">
23    <title>The charm of Kiso introduced by Kisocho Highschool students</title>
24
25    <meta name="description" content="We visit good place in Kiso town and tell you our recommendations of Kiso town.">
26  </head>
```

これらを用いて記述したコードファイルを、GitHubに投稿し、ネット上に公開した。

アクセス数の管理には、Google Analyticsを使用した。また、Google上のサイトの状態を管理するために、Google Search Consoleを使用した。

Google Analytics



Google Search Console

HP の内容としては、実際に自分たちで御嶽古道の一部を散策し、情報収集をして、得た知識や感想をもとに、高校生の視点を意識して英語で記述した。初期は写真を多用していたが、サイトの動きが重たくなってしまったため、自分たちでイラストを描画し、それを使用した。また、背景やヘッダーには黒色を使用していたが、黒色は暗く、木曽、御嶽古道のイメージに合わないという意見があったので、白色にして、イラストも明るいイメージを持たせるようなものに変更した。

HP を 2021 年 10 月下旬に公開した。グラフ 1 は 2021 年の 10 月 1 日から 2021 年の 12 月 31 日までのアクセス数の推移を示している。

グラフ 2 は 2022 年の 1 月 1 日から 2022 年の 1 月 17 日までのアクセス数の推移を示している。

観光局の HP に外部リンクとして掲載されたのは 1 月の 14 日である。

1 月 14 日までの総アクセス数が少ないのは、キーワードを設定していない、他サイトとの関連性がない、サイト内の文章が少ない、そもそも知名度がない、など様々な理由から、検索エンジンに評価されなかったためだと考える。

11 月はサイトを更新する回数が少なかった。サイトの更新直後は検索エンジンに評価されやすいため、アクセス数が 11 月に低下し、10 月と 12 月に増加しているのは、サイト更新の頻度が要因の一つだと考えられる。

観光局の HP に外部リンクとして掲載された 1 月 14 日から、十分な日数が経っていないためアクセス数があまり増加しなかった。

公開後に変更を加えた点としては、御嶽古道の歴史を紹介する文章や、自分たちなりの御嶽古道の楽しみ方を伝える文章を加えた、サイトのデザインに統一性をもたせ、動きのある画像も加えた、などである。

グラフ 1



グラフ 2



また、海外の方々へのインタビューの結果、海外の方は石灯籠や神社などの日本文化に関わるものを興味深いと感じるので、そのようなものも紹介すると良いという意見があった。

一方で、交通手段や移動時間、体験にかかる費用なども HP 上に書くとより良い、通り道を外れたところにある木曽特有の建物や食事処、景色などの紹介もするべき、等の意見があった。

4. 反省と課題

HP 作成当初は、プログラミングや HP についての知識が浅く、HP 作成の進捗が当初の計画通りに進まなかった。それにより、公開が遅れたため、アクセス数の推移を十分に確認できず、HP についてのインタビューも十分に行うことができなかった。

また、観光局の HP に外部リンクとして掲載させてもらうのも予定より大幅に遅れたため、アクセス数の十分な増加が見込めなかった。

御嶽古道以外にも木曽町の魅力を伝えるものを紹介したかったが、間に合わせることができなかったため、サイトの内容が薄くなってしまった。SNS を使用するという意見があったが、現在の HP の情報量では、継続的にコンテンツを投稿することが難しく、十分な集客能力を得ることができないと判断したため、行わなかった。



最終的な総アクセス数は 83 だった。
想定していたものよりも伸びなかった原因として、
今までに記述したものを除くと、独自のドメイン
を取得しなかったこと、海外のサイト向けの設定
にしなかったことがあげられる。
独自ドメインにするメリットとして、好きな文字
列を設定できる、信頼度が上がる、わかりやすい
といったものがあげられる。しかし、ドメインを
作成するには予算が足りなかった。
また、海外向けサイト制作の際は、言語を設定す
る、海外向けサーバーを利用する、ターゲットユ
ーザーの国を設定するなど、多くの対策が存在す
るが、知識が浅く、実行する時間と技術が足りな
かった。