

令和7年度指定  
スーパーサイエンスハイスクール  
第Ⅱ期 第1年次

# SSH 課題研究 論文集



令和8年3月

兵庫県立姫路西高等学校

# 目次

1	海面水温と降水量の関係性 第16回坊っちゃん科学賞研究論文コンテスト優良入賞 受賞 全国中高生AI・DS探究コンペティション2025 奨励賞	2
2	戦中戦後の社会情勢からみる形容詞の意味変化 第69回全国学芸サイエンスコンクール 入選	1 2
3	沈殿を用いたダニエル電池のイオンの動きの可視化 令和7年度SSH成果発表会（全国大会）発表 第24回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞 応募	2 2
4	革命児「垂直型風車」で日本の未来の発電について考える 第16回坊っちゃん科学賞研究論文コンテスト 奨励賞 高大連携課題研究合同発表会at京都大学 発表	2 5
5	魚の鮮度と酸性度との関係 第16回坊っちゃん科学賞研究論文コンテスト 奨励賞 第17回サイエンスフェアin兵庫 発表	2 9
6	安全かつ遊戯性の高い滑り台の提案 第16回坊っちゃん科学賞研究論文コンテスト 奨励賞 第17回サイエンスフェアin兵庫 発表	3 2
7	コロナ質量放出（CME）と地震の関係性 第24回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞 応募 日本地震予知学会第11回学術講演会 発表	4 0
8	姫路市にショッピングセンターを建てるなら ～GISを使って立地を考える～ 第69回全国学芸サイエンスコンクール 応募 ひめじ創生SDGsアワード 感謝状 受領	4 5
9	なぜ地方において特定技能在留外国人受け入れが進まないのか 高崎健康福祉大学 高校生論文コンテスト2025 応募 ノートルダム清心女子高等学校 第17回女子生徒による科学研究発表交流会 発表	5 4
10	アブラムシに対する色を用いた忌避・誘引方法 第20回「科学の芽」賞 応募 第17回サイエンスフェアin兵庫 発表	5 7
11	音力発電の性質とその効率化 第24回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞 応募 第17回サイエンスフェアin兵庫 発表	6 3
12	イチョウの撥水性と透湿性に係る考察 第24回神奈川大学 全国高校生理科・科学論文大賞 応募 第17回サイエンスフェアin兵庫 発表	6 6

# 海面水温と降水量の関係性

三島 光太郎 加減 隼人 上月 悠椰 永岡 真羽  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 要旨

本研究では去年の研究に引き続き海面水温と降水量の長期変化の関係性を相関分析と重回帰分析を用いて研究した。その結果冬の太平洋側の降水量と付近の海域の海面水温に正の相関、夏には負の相関が現れた。また冬の北陸の降水量と日本海、東シナ海、四国沖の海面水温に負の相関が現れた。

## キーワード

降水量 海面水温

## 1. 研究背景

近年、気象予測の精度は上がっているが、地球温暖化の影響もあり異常気象のような極端な天気を中心に予測が完璧ではない。そこで、日本で大きな災害をもたらす大雨に注目した。雨として降る水の8割強は海からの蒸発によるものであるため海面水温から降水量の長期的な変化についての関係性を発見できると考えた。

## 2. 研究目的・意義

地球温暖化によって上昇している海面水温と降水量の関係性の評価を行うことで気象予測の精度の向上に貢献する。また、精度の向上による気象情報・避難情報の正確な発信を通して、人々の安全を守り、農業や交通などの産業を守ることに貢献する。

## 3. 研究データ

日本近海の海域の海面水温の平年差(以下、海面水温)を説明変数とし、日本各地の一月合計降水量(以下、降水量)を目的変数として相関分析を行った。海面水温のデータは気象庁より「海面水温の長期変化傾向」を利用した。海面水温のデータは3か月おきであり、1, 2, 3月を冬、4, 5, 6月を春、7, 8, 9

月を夏、10, 11, 12月を秋として区別した。降水量のデータは気象庁のアメダスのデータを利用した。アメダスの地点数は非常に多いため、本研究では降水量の統計開始年が海面水温のデータの統計開始年である1900年よりも前の地点(61地点)のデータを使うことにした。降水量と海面水温のデータはそれぞれ1900年から2023年までを用いた。右図は海面水温の海域区分である。

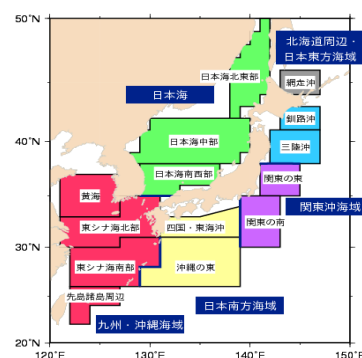


図1 海域区分

## 4. 研究方法

去年の三島らの研究「海面水温からの降水量予測をめざして」では西・東日本の地点の降水量を日本海側・太平洋側に分けてそれぞれ数地点を目的変数とし、またその近くの2海域の海面水温を説明変数として相関分析を行った。本研究ではアメダスの地点を61地点に増やし、各地点と相関分析を行う際の説明変数である海面水温をデータの欠損値の多い網走沖、釧路沖を除いた全12海域で行った。すなわち本研究では全国61地点の降水量を目的変数とし、12海域の海面水温を説明変数として相関分析を行った。

また相関分析と同様に重回帰分析を行った。説明変数である海面水温は解析の信頼性を保つため6つ以下とし、分析結果のt値に着目しt値の絶対値が小さいものを除外して再び重回帰分析をすることを繰り返して影響度が高いと考えられる海域を探した。

上研究では124年という長い期間の相関分析であったため相関係数の絶対値が比較的小さかった。

また、124年の内の古いデータはCOBE-SSTによるものでありデータの信頼性がやや疑問視される。そこで相関係数の数値の向上と、海面水温が降水量に及ぼす影響の変化を捉えることを目的として、上研究を30年おきに相関分析した。戦争などの諸事情によりデータの欠測値が多い1900年から1910年、1940年から1955年までを避けた1911年から1940年(I期)、1961年から1990年(II期)、1991年から2020年(III期)の3つに分けて分析した。10年おきや50年おきなどで分析することも検討したが、欠損値の多い時期を除くと30年おきが時期を3つに分けることができ、短すぎるスパンだと外れ値に影響されやすいため、本研究では考察しやすい30年おきで進める。

相関分析については12海域12か月分それぞれ白地図に相関係数に応じた色をプロットして視覚化した。後出する白地図は一段目が全年(124年間)、二段目がI期、三段目がII期、四段目がIII期である。相関係数と色の定義については分析ごとにそれぞれ次のように定義する。

相関係数r	相関の強さ	色	相関係数r	相関の強さ	色
$0.5 \leq r$	やや強い正の相関	濃い赤色	$0.5 \leq r$	強い正の相関	濃い赤色
$0.3 \leq r < 0.5$	やや強い正の相関	赤色	$0.4 \leq r \leq 0.5$	やや強い正の相関	赤色
$0.2 \leq r < 0.3$	やや強い正の相関	橙色	$0.3 \leq r < 0.4$	やや強い正の相関	橙色
$0.1 \leq r < 0.2$	やや強い正の相関	黄色	$0.2 \leq r < 0.3$	やや強い正の相関	黄色
$-0.1 < r < 0.1$	ほぼ相関がない	白色	$-0.2 < r < 0.2$	ほぼ相関がない	白色
$-0.2 < r \leq -0.1$	ほぼ相関がない	薄水色	$-0.3 < r \leq -0.2$	ほぼ相関がない	薄水色
$-0.3 < r \leq -0.2$	やや強い負の相関	水色	$-0.4 < r \leq -0.3$	やや強い負の相関	水色
$r \leq -0.3$	やや強い負の相関	青色	$-0.5 \leq r \leq -0.4$	やや強い負の相関	青色
			$r \leq -0.5$	強い負の相関	濃い青色

図2 全年(1900~2023)の定義

図3 30年おきの定義

本論文ではまず相関係数の分布が特徴的であった東シナ海北部と沖縄の東の2海域を考察し、その後他海域や30年おきの分析結果を踏まえつつ考察する。また、降水量は海面水温の変化の影響を間接的に受けるため、前述した定義にもあるように、相関係数の絶対値が小さくても相関があると考察する。

先行研究と比較した本論文の新規性としては、相関分析の目的変数である降水量のデータの地点を地域ごとに区切るの(北日本、東日本など)ではなく全国各地のデータをそのまま使ったことで日本の地形や各地点の気候の特徴に基づいた考察ができるようになったことである。また説明変数を降水量のデータの地点の近くの海域だけでなく、日本近海

の全海域それぞれと相関分析を行ったため、離れた海域の海面水温の影響も考えることができるようになったパンだけでなく30年おきでも相関分析を行うことで長いスパンでは埋もれていた相関を出すことができるようになった。また本研究の特徴として棒グラフだけでなく、相関係数による色に基づいた白地図を作成し、視覚的に結果を分かりやすくした。

### 日本の気候の特徴(参考)

#### 1) 気圧配置型の分類

日本の気圧配置の分類を(参1, 吉野正敏ら, (1977))より、以下のI~VIIIに分類した。

I型: 西高東低(冬)型

II型: 気圧の谷型

III型: 移動性高気圧型

IV型: 前線型

V型: 南高北低(夏)型

VI型: 台風型

VII型: 複合型

VIII型: 移行型 または中間型

VII, VIIIを除いて各気圧配置の出現頻度の年変化は下図のようになった。

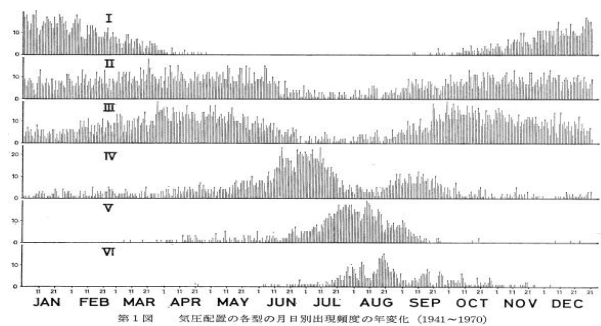


図1 気圧配置の各型の月日別出現頻度の年変化(1941~1970)

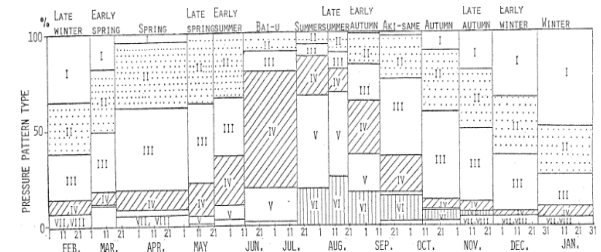


図2 各季節における気圧配置型の出現頻度

図3 各季節における気圧配置型の出現頻度

これらの図を考察にも一部用いるが、これらは1941年から1970年を解析したものである。そのためそれ以外の年の考察で用いる時は、その時代でも1941年から1970年と同様な気圧配置になっている

と仮定する。また日本の気候は根本的に大きく変わっているわけではないためこの解析を考察に利用する妥当性はあると考える。

## 5. 結果

### 5-1 東シナ海北部 結果

図6~9に東シナ海の結果を示した。各月の最上段の全年(1900~2023年)については、1, 2, 11月(特に1月)の西・東日本の太平洋側に正の相関、北陸地方に負の相関が現れた。また、7月の西・東日本の太平洋側に負の相関が現れた。2段目から4段目の30年おきの結果を見てみると全年では見られなかった特徴が見られた。特徴的なのは、1, 2月の相関の分布の変化と夏の負の相関の分布である。1月ではI期・II期の相関が顕著に出ており、III期ではその相関が弱まっている。2月ではI期からIII期にかけて強い正の相関から弱い負の相関に移行しており、I期の太平洋側の正の相関は相関係数が0.5~0.6の地点が多く相関関係が非常に顕著である。また、これからのグラフを用いた相関係数の変化の考察では全国各地方の主要都市と相関が特徴的な全10地点(グラフにおいて左から、札幌、石巻、東京、伏木、敦賀、名古屋、大阪、広島、高知、福岡)を代表例として挙げる。図11~14は相関係数の絶対値が大きい地点の散布図である。

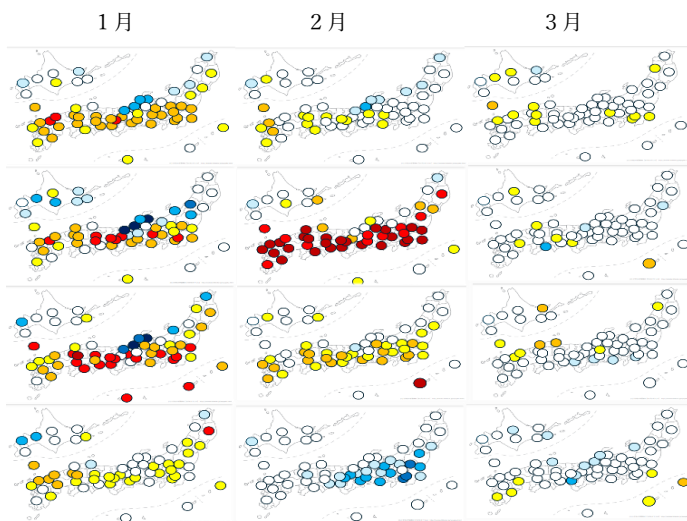


図6 東シナ海北部での地点別相関係数(1月~3月)

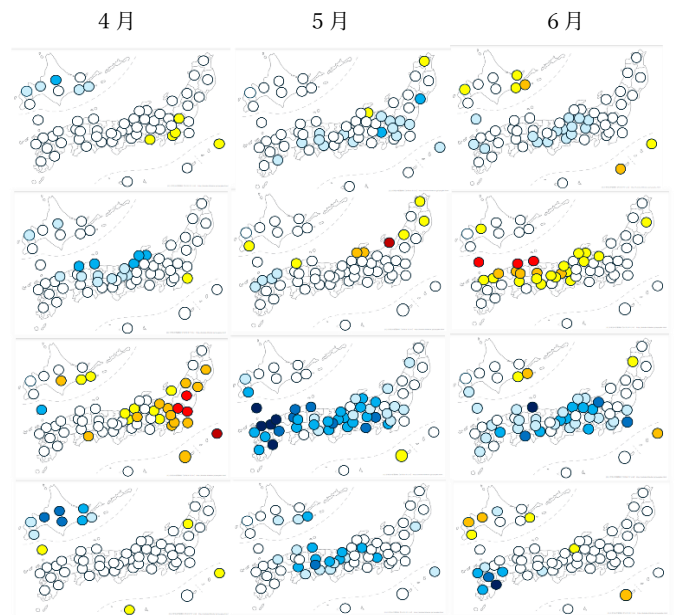


図7 東シナ海北部での地点別相関係数(4月~6月)

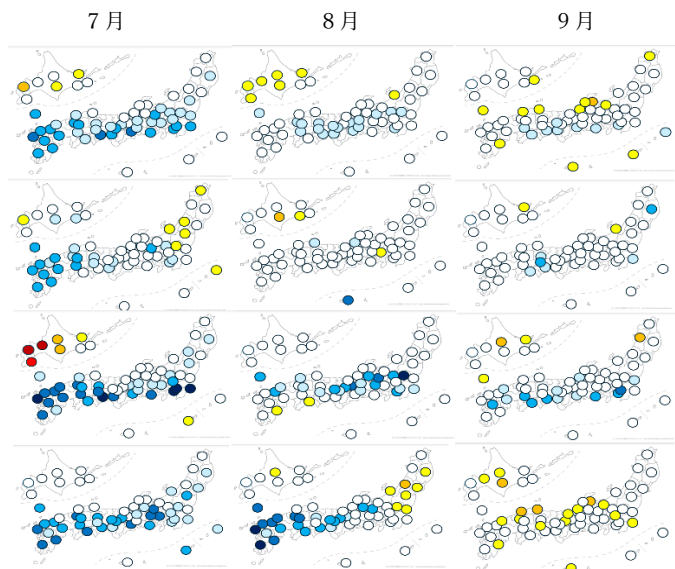


図8 東シナ海北部での地点別相関係数(7月~9月)

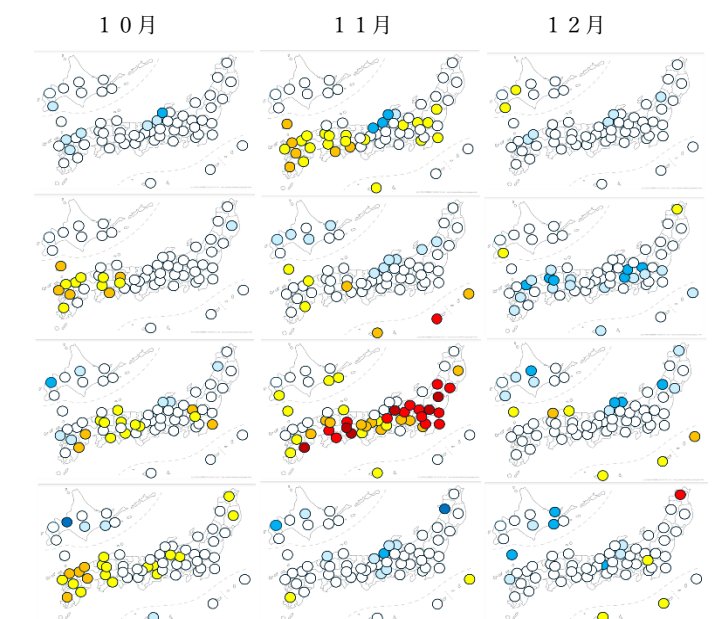


図9 東シナ海北部での地点別相関係数(10月~12月)

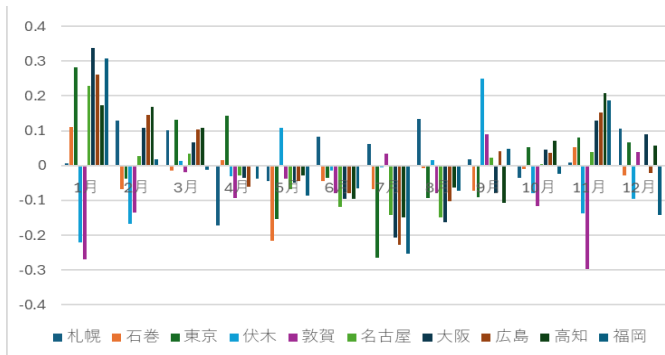


図 10 東シナ海北部の主要地点の相関係数(全年)

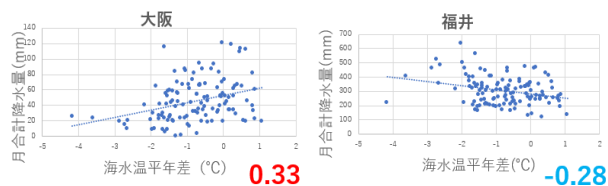


図 11 図 6(1月)についての散布図と相関係数(全年大阪)

図 12 図 6(1月)についての散布図と相関係数(全年福井)

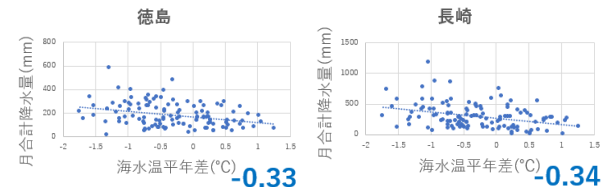


図 13 図 8(7月)についての散布図と相関係数(全年徳島)

図 14 図 8(7月)についての散布図と相関係数(全年長崎)

### 5-2 沖縄の東 結果

図 15~19 に沖縄の東の結果を示した。冬の沖縄の東の海面水温と 1 月の降水量との相関係数の分布は、東シナ海北部と似たような結果となった。しかし、4~7 月の九州から中部地方についての広い範囲で正の相関が現れた。これはその他の海域には見られなかった特徴であるためこの海域は注目すべき海域であると考えた。

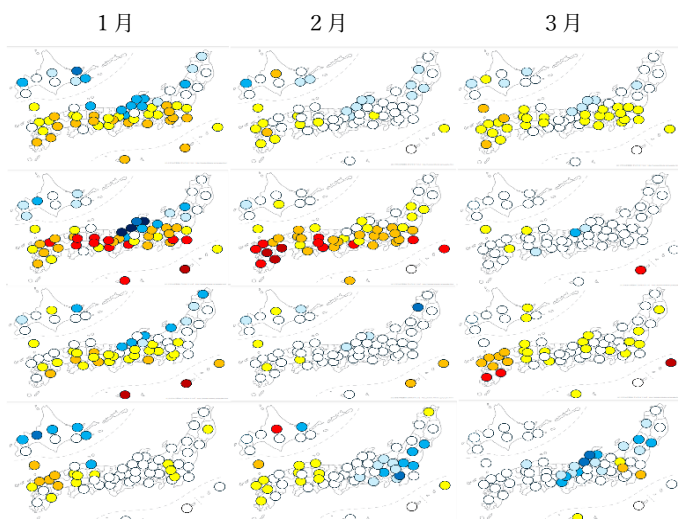


図 15 沖縄の東での地点別相関係数(1月~3月)

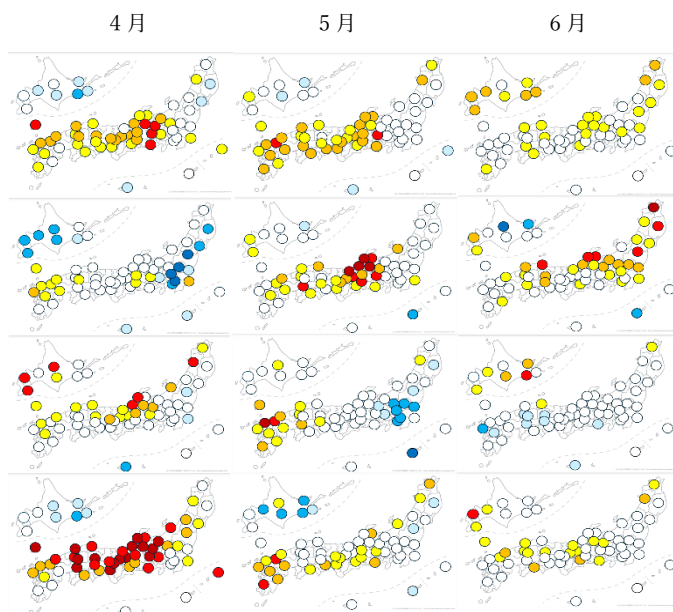


図 16 沖縄の東での地点別相関係数(4月~6月)

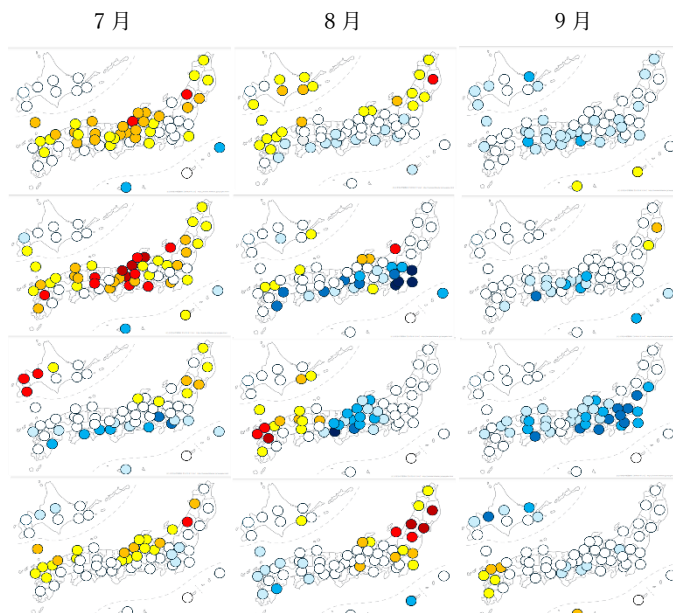


図 17 沖縄の東での地点別相関係数(7月~9月)

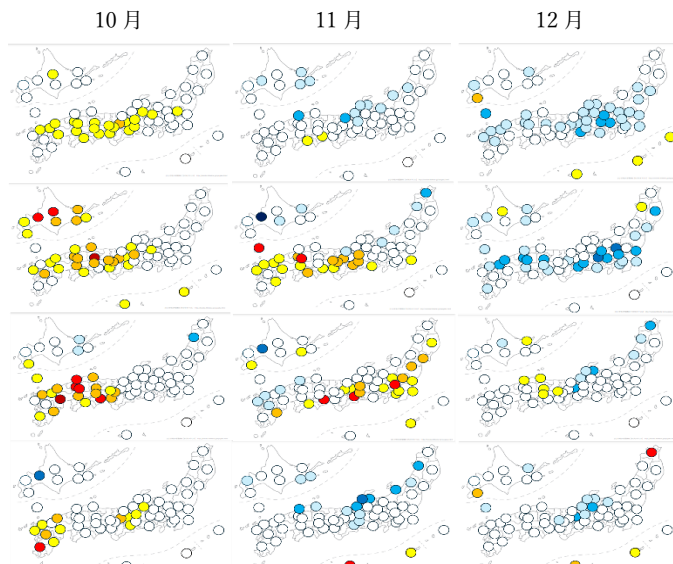


図 18 沖縄の東での地点別相関係数(10月~12月)

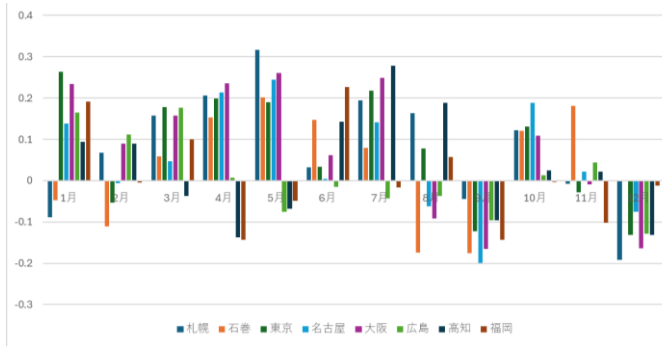
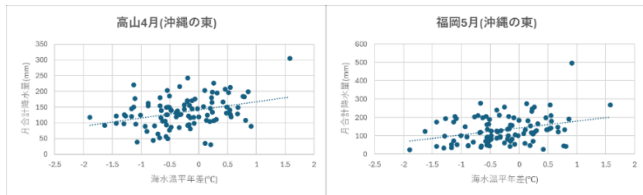


図 19 沖縄の東の主要地点の相関係数(全年)



0.344868

0.316838

図 20 図 16(4月)についての散布図と相関係数(全年高山)

図 21 図 16(5月)についての散布図と相関係数(全年福岡)

## 6. 考察

### 6-1 東シナ海北部(全年)

始めに全年の結果について考察する。冬季3カ月(12~2月)の太平洋側の気圧配置別降水要因は(文献2)より、西高東低の気圧配置では降水量がほとんどなく、日本海または日本南岸を通る低気圧による降水がほとんどの割合を占めていた。そのため、1月の太平洋側の正の相関について、東シナ海北部の海面水温の上昇が太平洋側に雨を降らせる低気圧(主に南岸低気圧)の水蒸気の影響にプラスの影響を与えたと考えた。

冬の気圧配置はI型が多くなり、北陸の降水要因は西高東低の気圧配置型によるものが非常に多くなる。1月を中心とした冬の北陸の負の相関について北陸の降水量が少なくなる場合を考えると、西高東低の気圧配置の頻度ならびに強度が重要になる。(文献2)より選出された寒冬(Cold Winters)、暖冬(Warm Winters)それぞれ3年ずつの冬(12~2月)の気圧配置の出現日数(図22)を見てみる(1960, 1970年代のデータが選出されているが、日本の基本的な気候パターンがこの100年余りで変化していないとする)。寒冬ではM型(冬型)の割合が暖冬に比べて2倍近くになっており、L型(低気圧型)の割合が暖冬より13%減少している。また(文献2)より、M型

降水では日本海側を中心に降水するのに対し、L型降水では北陸・北日本日本海側では降水量が少ないことが分かっている。そのため、海面水温の上昇が暖冬をもたらし、冬型の気圧配置になりやすく、降水量が減少することで、負の相関になったと考えた(文献5参考)。

次に夏の太平洋側の負の相関について考察する。我々の仮説では夏は海面水温が高く水蒸気の供給量が多いことや、年間でも降水量の多い季節のため正の相関が強まるのではないかと考えた。しかし、仮説に反して相関が負に振れた。この結果の要因に太平洋高気圧の活動の影響が考えられる。太平洋高気圧の活動が強まり気温が高くなり、海面水温が高くなるような夏は高気圧の勢力が優勢になるため降水量が減少する傾向にある。そのため海面水温の上昇と降水量の減少が同時に起こることで負の相関が現れたと考えた。

第2表 選出した6冬における各降水要因の出現日数  
Table 2 Numbers of days with each precipitation factor for six selected winters

Year	M	ML	L	O	Total
<b>Cold Winters</b>					
1966/67	30 (33)	10 (11)	32 (36)	18 (20)	90
1967/68	42 (46)	11 (12)	25 (27)	13 (14)	91
1976/77	31 (34)	8 (9)	24 (27)	27 (30)	90
Total	103 (38)	29 (11)	81 (30)	58 (21)	271
<b>Warm Winters</b>					
1971/72	19 (21)	10 (11)	41 (45)	21 (23)	91
1972/73	17 (19)	7 (8)	37 (41)	29 (32)	90
1978/79	17 (19)	7 (8)	39 (43)	27 (30)	90
Total	53 (20)	24 (9)	117 (43)	77 (28)	271

(%)

図 22 選出した6冬における各降水要因の出現日数

### 6-2 沖縄の東(全年)

沖縄の東の4月から7月の正の相関は他の11海域には見られない特徴であった。そのため、この海域特有の水蒸気の供給が日本の降水量に影響していると考えた。ここで、日本の気圧配置の特徴から日本での降水要因を絞ることができると考えた。図4、5を見ると、6月中旬から7月の中旬にかけては梅雨前線によるまとまった降水が考えられるが、4から7月の気圧配置はII、III、IV型の割合が多くなっている。そのため日本の春の気候は前線や前線を伴った低気圧と移動性高気圧が交互に通過しやすい時期であることがわかる。図23は2024年5月13日の日本周辺の天気図であり、春の主な降水原

因の一つとなっているメイストームと言われる気圧配置の一例である。図 16、17 の一段目の 124 年の長期の相関係数を見てみると、6 月は相関係数が少し弱まっているが、4 月から 7 月にかけて西日本を中心に正の相関が強くなっている。この正の相関について、上空の水蒸気の流れ、所謂大気の一部として図 23 のように沖縄の東の海面水温の上昇が移動性高気圧の縁を沿って前線に流れ込む水蒸気量の増加につながったと考えた。前述したように、この相関は沖縄の東特有のものであり、他の海域とは違う形で降水量に影響をもたらしていることも考えられるが、本研究ではあくまでも海面水温の変化による水蒸気量の変化と降水量との関係性という観点で考察を進めていく。また正の相関の分布を見てみると関東地方には正の相関がほとんどないことも特徴的である。これは関東地方の降水のもととなる水蒸気の供給源に占める沖縄の東の割合は小さいためであると考えた。

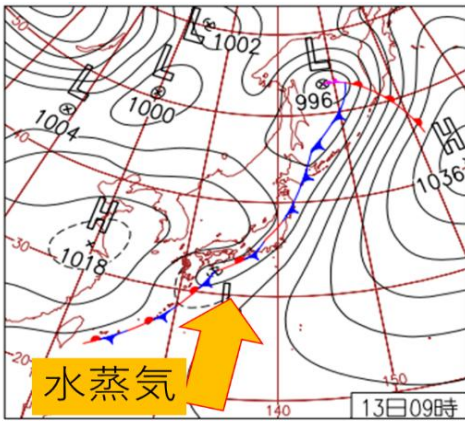


図 23 天気図(2024 年 5 月 13 日)

### 6-3 30 年おきの分析の考察

#### 1. 冬

続いて相関係数の分布の経年変化について考察する。冬の東シナ海北部や沖縄の東などの太平洋側の海域の海面水温と冬の太平洋側の降水量との正の相関は I 期と II 期に比べると III 期では弱まっており、北陸の降水量との負の相関は III 期ではほぼ無相関になっている(図 6, 10, 15, 19)。特に東シナ海北部と沖縄の東と日本海南西部の相関係数の分布が特徴的となった(図 24~26)。30 年おきの分析の考察ではこの 3 海域を中心に用いる。

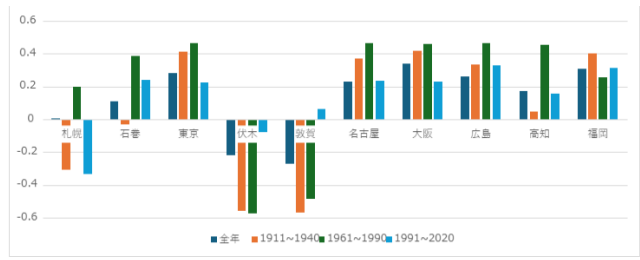


図 24 地点ごとの相関係数の変遷(東シナ海北部 1 月)

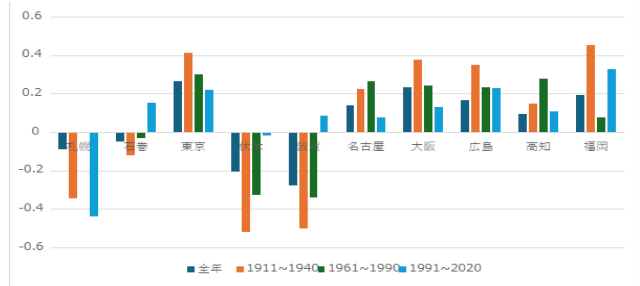


図 25 地点ごとの相関係数の変遷(沖縄の東 1 月)

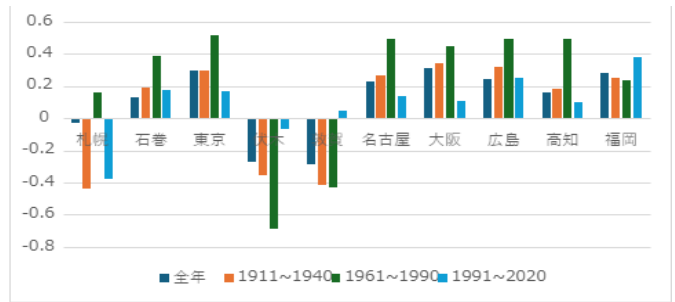


図 26 地点ごとの相関係数の変遷(日本海南西部 1 月)

図 24~26 よりこれらの 3 つの海域と降水量についての相関係数は似たような傾向にあった。このことから、一般的に 1 月においてどの期間でも日本近海の海面水温が上昇すると日本海側では降水量が減少し、太平洋側では降水量が増加する傾向にあると分かった。このことから海面水温のデータは相関分析をする上ではこの 3 海域の海面水温は傾向が似ていることが考えられる。また、多くの地点で相関係数の絶対値が I、II 期に比べて III 期では小さくなっていて、冬の気候は近年になるにつれ海面水温の影響を受けにくくなっていることが示唆される。これは暖冬になりつつある日本の気候において、6-1 の考察に反する結果となった。その理由として 1987 年以降の異常な暖冬が考えられる。1987 年からの 9 年連続の暖冬に代表されるようにこの機を境に暖冬が急増し、寒冬が激減した。また 6-1 の考察は 1960, 70 年代の分析を基にしたものであるため、この冬の気候ジャンプによって冬の降水システムに変化が生まれ、日本近海の海面水温に依存しない、新たな水蒸気の流れが近年の冬の降水に影響を与えていることが示唆される。

## 2. 夏

夏の降水量は太平洋側を中心に付近の海面水温と負の相関を示した。(図 8, 10, 17, 19, 27~29)より海域別にみていくと東シナ海北部と日本海南西部の7月、四国東海沖の8月が特に負の相関が強まっていた。また、全年の分析と同様に30年おきの分析でも沖縄の東では正の相関が中心であり、他の海域にはない特徴となった。

東シナ海の北部の全年の考察にもあるように夏の気候には太平洋高気圧の勢力が大きく関わっていることが指摘されている。また北大西洋高気圧は20世紀において南西方向にシフトしており、その傾向は20世紀後半において顕著になっていることがわかっている(文献6)。それに伴い、北太平洋高気圧の東西方向の変動を示す指数(値は経度)と日本の降水量との相関は、20世紀前半では東日本を中心に正の相関、20世紀後半では九州四国地方で負の相関を示している。つまり太平洋高気圧が日本付近に張り出すと、前者では雨が降りにくく、後者では雨が降りやすくなっているという相関関係が示されている。

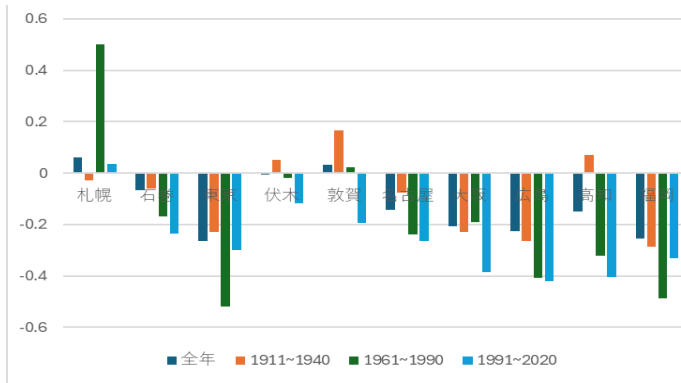


図 27 地点ごとの相関係数の変遷(東シナ海北部 7月)

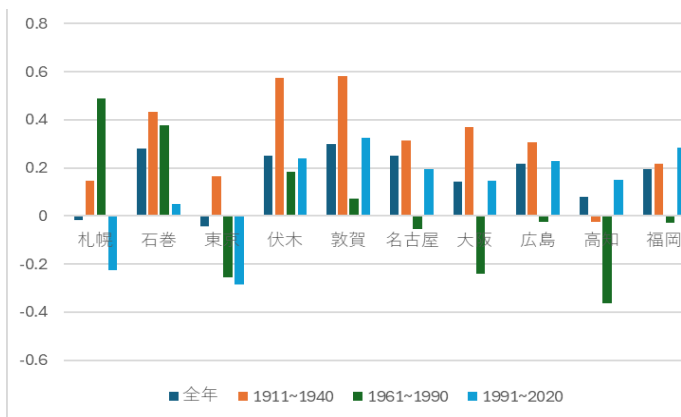


図 28 地点ごとの相関係数の変遷(沖縄の東 7月)

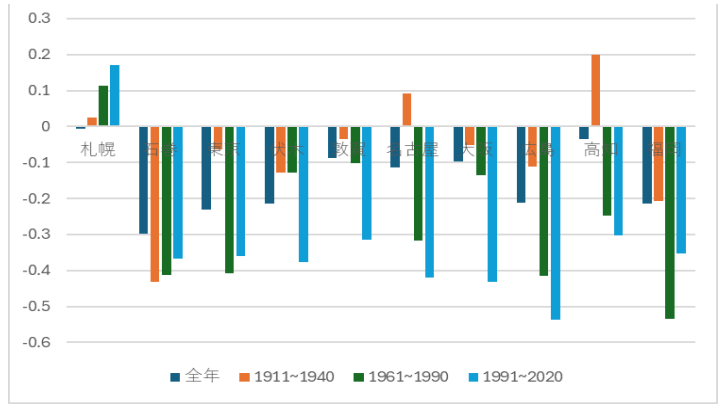


図 29 地点ごとの相関係数の変遷(日本海南西部 7月)

先行研究を考慮して図 27~29 を考察していくと、東シナ海北部と日本海南西部では太平洋側を中心に I 期よりも II、III 期のほうが負の相関が強くなった。夏(ここでは 7 月)の日本の気候は下旬を中心に V 型が多く、太平洋高気圧の活動に左右されることが分かる。よって、ここでの相関係数の変化は近年になるにつれ北太平洋高気圧の配置が日本周辺に移動していたことを因果の一つとして考えるのは妥当に思われる。従って近年は北太平洋高気圧が日本周辺に張り出すことで日本の少雨と周囲の海面水温の上昇が同時に起こるようになり、負の相関が出るようになったと考えた。またもう一つ注目すべき変化として、東京や石巻と比べて西日本のほうが相関係数の減少が大きくなっている。そのため、北太平洋高気圧の張り出しが I 期では届いていなかった西日本まで広がったことが原因の一つと考えられ、推定されたこの因果を支持する内容になった。

また沖縄の東との相関では西日本を中心に相関係数が II 期 < III 期 < I 期となる地点が多くなった。これは他の 2 海域とは異なる特徴である。亜熱帯地域の海面水温の上昇が PJ パターン(Pacific-Japan pattern)を通して北太平洋高気圧の発達につながるということが分かっている。しかし、沖縄の東の海域は亜熱帯に近いものの亜熱帯ではなく、また日本からも離れたところに位置するため、PJ パターンも前述した因果も適応しにくいいため具体的な因果の推定が難しい結果となった。

### 3.1 7月の30年おきの分析について

最後にすべての海域を含めて考える。30年おきの分析では特徴的な相関関係は多くあるが、ここでは特徴が最も大きかった 1 月、7 月の主要都市の相関をすべての海域を含めて考察する。前述した 2 海域 30 年おきの分析と同様に全 12 海域でも 1 月は I、II 期に比べて III 期の相関

係数の絶対値は減少する傾向にあり、7 月はⅡ期に負の相関が特徴的になった(図 30~35)。

全体的に見てみると 1 月の北陸の負の相関と太平洋側の正の相関のコントラストが非常に特徴的である。また表を縦に見ると図 33 の沖縄の東、図 35 の日本海南西部などが特徴的である。さらに、すべての場合に当てはまるわけではないが、関東の東や三陸沖に海域より風上側である日本の北部・西部(冬)または西部・南部(夏)の海面水温との相関のほうが相関が強まる傾向にもある。しかしこれらの考察は前述したとおりすべての場合に当てはまるわけではないため一貫性がなく、因果の推定も難しいため、本研究ではあくまで参考程度に留めておく。

地点名	日本海北東部	日本海中部	日本海南西部	三陸沖	関東の東	関東の南
札幌	0.080475488	-0.254869	-0.43563128	-0.30342	-0.36779	-0.29387
石巻	-0.05002569	-0.023873	0.188366457	0.209811	0.024573	0.146715
東京	-0.33694838	0.0114082	0.293403242	0.369259	0.420907	0.405578
伏木	-0.01659005	-0.189173	-0.35495997	-0.276	-0.39695	-0.34511
敦賀	-0.21566738	-0.383819	-0.41511807	-0.4559	-0.50200	-0.49401
名古屋	-0.07768175	-0.030791	0.263657461	0.233118	0.147356	0.263339
大阪	-0.18920761	0.0307077	0.34267335	0.351187	0.239027	0.313097
広島	-0.0613232	-0.033403	0.320043894	0.203114	0.334213	0.469076
高知	-0.20082022	-0.063652	0.184197216	-0.05522	0.075969	0.203007
福岡	-0.170573	0.0002212	0.253886507	0.221079	0.347056	0.41926

図 30 主要地点での海域ごとの相関係数(1月 1911~1940)

地点名	日本海北東部	日本海中部	日本海南西部	三陸沖	関東の東	関東の南
札幌	-0.10465654	-0.003029	0.163637992	-0.06193	0.120849	0.020371
石巻	0.17026039	0.3813074	0.386979061	0.492592	0.28546	0.127887
東京	0.17301383	0.3337389	0.519075964	0.413511	0.344029	0.320523
伏木	0.19930886	-0.299037	-0.68882733	-0.06258	-0.29352	-0.37964
敦賀	0.21472994	-0.312149	-0.43030737	-0.14347	-0.23069	-0.34532
名古屋	0.14335119	0.3587789	0.490097323	0.45153	0.43971	0.478977
大阪	0.15193773	0.3039034	0.450732581	0.365059	0.37599	0.463848
広島	0.31636965	0.3748471	0.49662907	0.49595	0.403909	0.470741
高知	0.26123176	0.2709608	0.495347611	0.447514	0.497168	0.40915
福岡	0.42395869	0.3732143	0.233327673	0.488995	0.253916	0.08179

図 31 主要地点での海域ごとの相関係数(1月 1961~1990)

地点名	日本海北東部	日本海中部	日本海南西部	三陸沖	関東の東	関東の南
札幌	-0.04004738	-0.285614	-0.37470474	-0.27591	-0.25978	-0.21085
石巻	-0.3538816	0.2808666	0.17223603	0.173803	0.067353	0.216495
東京	-0.31402296	0.2622617	0.17125564	0.075567	0.156289	0.198021
伏木	-0.11959515	0.057411	-0.06351666	-0.1025	-0.28168	0.012767
敦賀	-0.14588757	0.0152586	0.04681032	-0.17873	0.095973	0.051541
名古屋	-0.38054524	-0.010716	0.13737917	-0.17532	0.039095	0.077821
大阪	-0.20383148	0.0643198	0.10870218	-0.14876	-0.10564	0.042207
広島	-0.24575496	0.1975084	0.25397645	-0.13252	0.074015	0.24495
高知	-0.3629674	0.2225629	0.09748609	-0.04092	0.013329	0.269119
福岡	-0.12591191	0.2978325	0.38045072	-0.08762	0.050812	0.295261

地点名	四国・東海沖	沖縄の東	黄海	東シナ海北部	東シナ海南部	先島諸島周辺
札幌	-0.2584935	-0.43849	-0.18896	-0.33292985	-0.31632899	-0.26044969
石巻	0.154146952	0.150002	0.115956	0.241258667	0.180375046	-0.03062743
東京	0.182482694	0.22056	0.209535	0.223932887	0.151769002	-0.01532513
伏木	-0.13891453	-0.02004	-0.12657	-0.07941979	-0.26275228	-0.16036072
敦賀	0.011956947	0.083705	0.016919	0.059853083	0.055626484	-0.03496643
名古屋	0.273653434	0.074971	0.26333	0.234138523	0.224750323	-0.0493159
大阪	0.201939402	0.128383	0.241732	0.231056353	0.22116897	-0.04846061
広島	0.271935251	0.226689	0.488452	0.330300407	0.248905712	0.063616788
高知	0.191351583	0.104682	0.285805	0.154510091	0.209276694	0.030710835
福岡	0.236902107	0.327963	0.370938	0.311638024	0.150163652	0.061498722

図 32 主要地点での海域ごとの相関係数(1月 1991~2020)

地点名	日本海北東	日本海中部	日本海南西	三陸沖	関東の東	関東の南
札幌	-0.123705	-0.1808013	0.025905	-0.09323	-0.02236	0.334949
石巻	-0.350237	-0.4232854	-0.43205	-0.20506	-0.10562	0.249885
東京	0.0020801	-0.0332265	-0.06409	0.243216	0.059779	-0.20161
伏木	-0.174015	-0.2147766	-0.1278	-0.07495	-0.04518	0.246654
敦賀	0.0223232	-0.1940377	-0.03591	0.020195	0.032661	0.21736
名古屋	-0.047561	-0.0648544	0.09098	0.234715	0.05566	-0.14252
大阪	-0.208449	-0.2380761	-0.05153	0.082258	-0.13486	-0.15332
広島	-0.129406	-0.2373732	-0.11212	-0.06665	-0.23968	-0.15132
高知	-0.010913	0.04408719	0.198919	0.213386	0.094524	-0.29467
福岡	-0.076531	-0.333489	-0.20803	-0.01314	-0.23467	-0.08514

地点名	四国・東海沖	沖縄の東	黄海	東シナ海北	東シナ海南	先島諸島周辺
札幌	-0.44255752	-0.34658	0.001353	-0.31080838	-0.37504604	-0.23009591
石巻	-0.0234165	-0.11963	0.066007	-0.03312265	-0.15890109	-0.03247826
東京	0.509153952	0.410889	0.228044	0.411771607	0.469035763	0.480639251
伏木	-0.47541626	-0.51789	-0.44246	-0.56159099	-0.4859584	-0.34877422
敦賀	-0.48005737	-0.50137	-0.56561	-0.56794572	-0.44644673	-0.33210874
名古屋	0.37656763	0.221603	0.301819	0.368094532	0.425326312	0.438769617
大阪	0.496273139	0.377526	0.32152	0.415236625	0.459626818	0.558114781
広島	0.424981729	0.347413	0.17029	0.332785088	0.436381116	0.557044826
高知	0.382706265	0.147075	-0.16409	0.04599141	0.351842927	0.496701639
福岡	0.525166461	0.451452	0.279524	0.403288797	0.520319877	0.492054772

図 33 主要地点での海域ごとの相関係数(7月 1911~1940)

地点名	日本海北東	日本海中部	日本海南西	三陸沖	関東の東	関東の南
札幌	-0.1774	-0.02683	0.113535	-0.09323	0.316329	0.548306
石巻	-0.17524	-0.47143	-0.41194	-0.20506	-0.11971	0.051963
東京	-0.20732	-0.39299	-0.40765	0.243216	-0.45346	-0.41312
伏木	-0.12095	-0.23283	-0.12854	-0.07495	-0.07752	0.183055
敦賀	-0.27567	-0.25425	-0.10103	0.020195	-0.10089	0.032144
名古屋	-0.2982	-0.39642	-0.31776	0.234715	-0.31204	-0.15368
大阪	-0.10733	-0.13777	-0.13501	0.082258	-0.13852	-0.35686
広島	-0.41644	-0.4357	-0.41536	-0.06665	-0.47556	-0.35308
高知	-0.13658	-0.16699	-0.2467	0.213386	-0.24114	-0.29463
福岡	-0.21045	-0.44363	-0.5345	-0.01314	-0.3762	-0.30952

地点名	四国・東海	沖縄の東	黄海	東シナ海北	東シナ海南	先島諸島周辺
札幌	0.464733	0.489251	0.303681	0.501155	-0.10847	0.105947
石巻	0.091599	0.376453	-0.3105	-0.16916	0.170811	0.089841
東京	-0.3683	-0.25669	-0.5124	-0.52086	0.279388	-0.26073
伏木	0.089665	0.183526	-0.04745	-0.01781	-0.29475	0.068658
敦賀	-0.03364	0.071453	-0.14055	0.023039	-0.30347	-0.22788
名古屋	-0.20505	-0.05445	-0.33483	-0.2376	0.220748	-0.19434
大阪	-0.29354	-0.23922	-0.14543	-0.19125	0.200697	-0.2571
広島	-0.37705	-0.02465	-0.42074	-0.40884	0.239698	-0.19815
高知	-0.30741	-0.36205	-0.11062	-0.32073	0.204485	-0.15745
福岡	-0.27777	-0.02817	-0.53388	-0.48659	-0.00651	-0.1443

図 34 主要地点での海域ごとの相関係数(7月 1961~1990)

地点名	日本海北東	日本海中部	日本海南西	三陸沖	関東の東	関東の南
札幌	-0.0336	0.191455	0.17131	0.213587	0.170235	0.145752
石巻	0.403449	-0.33024	-0.36823	-0.40275	-0.34815	-0.05851
東京	0.104224	-0.31785	-0.35998	-0.12122	-0.05926	-0.16061
伏木	0.138901	-0.25929	-0.37693	-0.3231	-0.23742	-0.02742
敦賀	0.165456	-0.11764	-0.31412	-0.08185	-0.1114	0.148095
名古屋	0.178922	-0.35144	-0.42065	-0.27748	-0.19644	-0.09001
大阪	0.273181	-0.3617	-0.43102	-0.18941	-0.05348	0.101145
広島	0.284123	-0.41946	-0.53807	-0.4049	-0.16655	-0.04983
高知	0.075053	-0.26939	-0.30333	-0.06075	0.146707	0.183009
福岡	0.212658	-0.18326	-0.35186	-0.1872	0.05701	0.092591

地点名	四国・東海	沖縄の東	黄海	東シナ海北	東シナ海南	先島諸島周辺
札幌	0.028447	-0.22482	-0.00464	0.034975	-0.23976	-0.17499
石巻	-0.11637	0.0511	-0.41546	-0.23589	-0.03212	0.114971
東京	-0.38873	-0.28518	-0.27394	-0.2987	-0.45702	-0.07204
伏木	0.009283	0.238882	-0.11644	-0.1185	-0.03343	-0.03569
敦賀	0.047602	0.324561	-0.15839	-0.19457	0.03668	0.150309
名古屋	-0.14961	0.19471	-0.24174	-0.26274	-0.08814	0.089912
大阪	-0.17473	0.144465	-0.17341	-0.38702	-0.33614	-0.03318
広島	-0.19235	0.228774	-0.23489	-0.41918	-0.13831	0.087273
高知	-0.16304	0.150732	-0.20606	-0.40307	-0.17839	0.216033
福岡	-0.08048	0.28253	-0.15126	-0.33233	-0.07494	0.07378

図 35 主要地点での海域ごとの相関係数(7月 1991~2020)

## 7. 重回帰分析について

本研究では相関分析と並行して重回帰分析を行った。しかし、あまり具体的な結果は出なかった。重回帰分析はある地点の降水量に大きな影響を与えている海域を調べるために行ったものであるが、t 値の絶対値が 2 以上になる地点と海域の組み合わせも多くはなかった。一部では相関分析の結果を支持するような t 値となった地点もあったが、基本的には相関がある地点でも重回帰分析では有意な結果は得られなかった。また、重回帰分析の回帰式の精度を表す R2 補正值は 0.05~0.15 と非常に低い結果となり回帰モデルを検討することは非常に難しい結果となった。

また、t 値の絶対値が大きい海域に絞る、すなわち重回帰分析の説明変数を減らしても有意な結果は得られなかった。具体的には t 値の絶対値は一部改善が見られたが、R2 補正值は上昇しなかった。そのため、複数の海域の海面水温を説明変数とし降水量を目的変数として重回帰分析を行うことの妥当性が低い可能性が考えられる。

重回帰分析は相関分析の結果を一部支持する形となったが、相関分析の結果に連動しているとは言い難く、信頼性も低い結果となった。

## 8. 結論

1 月を中心とした冬の太平洋側の正の相関は、太平洋側の海面水温の上昇がこの時期に多く通過する南岸低気圧の発達を強める結果となったと考えられた。また、北陸の負の相関は海面水温の上昇に暖冬による気圧配置の変化が伴うことで降水量が減少したと考えた。また、これらの正の相関はⅢ期にかけて弱まり、負の相関は無相関になっている。このことから近年の降水の原因は海面水温の変化の影響を受けにくくなった可能性や、日本近海以外の海面水温や大気の流れの影響が大きくなった可能性を示唆していると考えた。

7 月を中心とした夏の負の相関は北太平洋高気圧の活動と関係していることが示唆された。近年猛暑とともに夏の日本の気候は異常気象と表現されることも多く、より一層の関係性を見出せる可能性がある。

また、沖縄の東の海面水温と 3 月から 7 月の降水量には他の海域にはないこの海域特有の関係性があった。そのため沖縄の東の海面水温の上昇がこの時期に南から前線に流れ込む水蒸気量の増加につながったと考えた。

30 年おきの相関分析については一部考察に結び付けることができたが、結果の中に特徴を見出すことが難しく、具体的な因果を推定することは難しかった。しかし、年代が変わると相関係数にも変化が生じるという結果はとても興味深い結果であった。

## 9. 今後の展望

相関分析について本研究では同じ時期の海面水温のデータと降水量のデータを相関分析したが、次は時系列をずらして海面水温が降水量に遅れて影響を及ぼすことがあるのかを分析する。また、本研究の考察は海面水温と降水量の相関のみを考察している。従って降水量との関係性の精度を高めるためには、降水量に影響を与える他の要素を分析に含めて考察することが求められる。本研究における重回帰分析については信頼性の低さが問題となった。そのため説明変数のデータを工夫することが今後の課題である。

また、本研究はビックデータを扱っているため、高校生が扱える範疇を超えているが、将来はAIを用いた機械学習や深層学習を用いるとより確度の高い結果が得られると考える。

## 10 謝辞

本研究の遂行にあたり、指導教官として終始多大なご指導を賜った、兵庫県立大学環境人間学部准教授奥勇一郎先生に深謝致します。

## 11. 参考文献

1. 気象庁データ (<https://www.jma.go.jp>)
2. Fujibe, F., 2015: Relationship between interannual variations of extreme hourly precipitation and air/sea-surface temperature in Japan. SOLA, 11, 5-9.
3. Umemoto, T. 1991. Differences in distribution of precipitation between warm and cold winters in Japan. Geogr. Rev. Japan 64A: 779-790. (JE)
4. 吉野正敏・甲斐啓子 1977. 日本の季節区分と各季節の特徴. 地理学評論 50: 635-651. DOI:10.4157/grj.50.635.
5. 立花義裕・安藤雄太 2022, 2019/20年の中緯度全体の異常な暖冬をもたらした中緯度の海面水温.
6. 永田玲奈・三上岳彦 2010. 東アジアにおける北太平洋高気圧の長期変動と熱帯太平洋海面水温との関係. お茶の水地理 50: 99-105.

# 戦中戦後の社会情勢からみる形容詞の意味変化

花原 桜 岸本 理央 廣瀬 あこ  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 要旨

本研究では、日本語の形容詞の意味が時代によって変化するのかについて調べた。言語は人々の文化や生活と深く結びついているため、言語の変化を調べることは、人々の思想の変化を解き明かす手掛かりになると考えた。1914年から1953年を研究対象とし、10年ごとに4期間に分けた。各期間に執筆された文学作品から文章データを収集し、Word2Vecに学習させて単語ベクトルを取得、因子分析を用いて2次元の散布図を作成した。散布図の縦軸は具体・抽象、横軸は主観・客観を示していると結論付けた。期間ごとに分布のしかたに違いが見られ、当時の出版統制と関わりが深いと考察した。

## キーワード

Word2Vec 言語 思想

### 1. 研究背景

現在私たちが話したり書いたりする言葉は、古文と呼ばれるような、江戸時代以前に書かれた言葉とは大きく異なっている。例えば、「うつくし(うつくしい)」は古文中では「かわいらしい」という意味を持つ一方で、現代では「美的だ」といった意味で用いられる。時代を追うにつれて意味が変化したのだといえる。私たちは、そのような単語の通時的な意味の変化に注目した。数百年といった長期間で見れば意味が変化するのも当然のように思われるが、それより短期間ならどうだろうか。本研究では、より短い期間での単語の意味の変化に着目し、10年単位で分析を行った。

### 2. 研究目的・意義

言語は漠然とした事物や心情に名前を与え、恣意的に細分化する。その言語主体となる人間は言語によって分類された世界の中で生活しているといえる。したがって、人間の思考や感情は言語の影響を常に強く受けているのである。逆に、人間は曖昧な事物をよりの確に表現できる言葉を探し求める過程の中で、より時代や社会情勢に即した言葉を伝えていく一方で、的確でない言葉は次第に衰退していく。意味変化も同様の原因で起こる。既存の単語の意味だけで表現しきれない事物を、単語に新しい意味を与え、表そうとする。このように、言語と人間の思考や心情は相互に影響を及ぼしあっているのである。

本研究では、人間の思考・心情を大きく変化させると考えられる社会情勢の変化を踏まえて単語の意味変化について調べ、要因を解き明かすことを最終的な目的とした。

### 3. 研究対象

先述のとおり、本研究では言語と思想との関連を調べることを目標としている。日本語における品詞の中でも、形容詞は述語となり感情や状態を表すため、言語主体の主観が反映されやすい。したがって、形容詞は意味の変化を捉えやすいと考え、本研究での研究対象とした。形容詞について、本研究では「橋本文法」と呼ばれる、橋本進吉によって提唱された日本語における文法を参考とした。橋本文法は、現在の学校文法の規範となっており、より多くの人になじみがあると考えたためである。橋本文法では、品詞をまず自立語と付属語に、さらに自立

語を活用するもの、活用しないものに分類している。形容詞は、自立語の中でも活用する品詞であるが、命令形のないものとして分類されている。

#### 4. 先行研究と形容詞の定義

本研究では手法および考察のしかたについて改發、三木、渡邊（2023）「日本語形容詞の通時的な意味変化の傾向」を参考にした。この研究は形容詞における古語から現代語への意味変化をテーマに、11世紀から21世紀を対象として分析を行っている。Word2Vecによる解析の結果、単語の分布から散布図の軸の意味を主観・客観、具体・抽象と決定している。また、時代が進むにつれて主観的な意味を持つ単語が多くなると同時に多義性を失い、使われる文脈が限定されつつあることを指摘した。さらに客観的な単語は、具体度・抽象度がより極端になっていることも示している。

本研究では、形容詞が何を表すかによって意味変化の仕方が異なるのではないかと考え、形容詞を大まかに分類したうえで分析を行った。現代日本語の形容詞に関して、感情・属性の二分類が一般的である。

八亀祐美(2001)「形容詞の評価的意味と形容詞分類」は、形容詞を「認識レベル(=評価対象と評価のむすびつきという客観的レベル)」と「評価レベル(=評価主体による評価付けという主観的レベル)」の2つに分類している。その中で、八亀はいわゆる属性形容詞の大半が認識レベルに分類され、感情形容詞の大半が評価レベルに分類されると説述している。つまり、属性形容詞は客観的、感情形容詞は主観的意味を持つ。

本研究で用いる形容詞は、村上佳恵(2013)「感情形容詞の使用実態」において挙げられている形容詞に準拠した。分類方法は、村上佳恵(2012)「現代日本語の形容詞分類について—

様態のソウダを用いて」に基づいている。この論文では、感情形容詞を「感情・感覚を表し得る形容詞」と定義し、いわゆる様態のソウダを用い、感情形容詞2群と属性形容詞2群の計4群に分類する案を提示している。例えば、「花子は悲しそうだ。」と「花子は明るそうだ。」という2文を比較すると、前者の「悲しい」は、花子の心の様子を推し測っているのに対し、後者の「明るい」は、花子の属性を推し測っている。村上は、前者を「内部ソウダ」、後者を「外部ソウダ」と呼び、以下の3つの指標を用いて、指標1・2を満たすものを感情形容詞と認定している。

指標1：花子は、～そうだ(だった)」が「内部ソウダ」として適格文になる。

指標2：花子は、～そうに～する(した)」が「内部ソウダ」として適格文になる。

指標3：「～そうな名詞」が「外部ソウダ」にならない。

そして指標3は、感情形容詞と認められた形容詞を「対象の状態ではなく、より感情の主体の状態を述べることを志向する性質を持っている」語と、そうでない語に分類をする指標であるとしている。例えば、「うらやましい」は「うらやましそうな話/高待遇/美貌」という言い方はできず、「うらやましそうな顔/声/様子/目」のように「より感情の主体の状態を述べることを志向する性質」を持っている語であり、「きつそうな坂/仕事/スカート/コース」「きつそうな顔/表情/様子/息遣い」の「きつい」は「感情の主体の状態だけでなく、対象の状態も表すことを志向する」性質を持っている語であるという。村上は、「うらやましい」の群を感情形容詞A、「きつい」の群を感情形容詞Bと呼んだ。また、「花子はうるさそうだ。」は、花子に「うるさい」という属性があるように見える外部ソウダであるとする。しかし、「花子はうるさそうに耳をふさいだ。」は心の様子を推し測る内部ソウ

ダであり、指標 2 は満たす。「うるさい」は、属性形容詞であるものの、感情形容詞とも類似点を持つ語として位置付けられており、村上は「うるさい」の群を属性形容詞 C、残りを属性形容詞 D と呼んだ。

## 5. 研究方法

### 1) Word2vec について

本研究では自然言語処理のツールとして Word2vec を用いた。Word2vec は教師なし学習の一種で、同じ文章内で用いられる単語（共起語）は近い意味を持つという仮説分布に基づいて単語をベクトルで表現する手法である。

Word2vec に大量の文章データを読み込ませると、単語の意味を、ほかのどの単語と同じ文に出現（共起）するかという情報から多次元のベクトルに変換することができる。これによって、コンピュータ上で単語の意味を数値として扱い、複雑な演算を行うことができる。本研究は、この利点を生かして単語の意味変化を客観的に示そうと考えた。

### 2) 研究の流れ

#### ①データの取得

対象期間は、人々の思想に大きく影響を及ぼしたと考えられる歴史的出来事を含む期間が良いと考え、1914 年から 1953 年までに設定した。この期間は第一次世界大戦の始まりから、日本の終戦までを含んでおり、戦争中の情勢や思想を反映した作品が多いと考えられる。対象期間に起こった主な出来事とその年代を以下の表に示した。

表 1：対象期間中に発生した主な出来事

年	世界の出来事	日本に関連が深い出来事
1914	第一次世界大戦勃発	
1915		日本、中国に 21 か条の

		要求を提示
1918	第一次世界大戦終結	シベリア出兵 米騒動 原敬内閣成立
1919	パリ講和会議開催 3.1 独立運動 5.4 運動 ヴェルサイユ講和条約調印	
1920	国際連盟発足	
1921	ワシントン会議開催	
1923		関東大震災 虎の門事件
1924		第 2 次護憲運動
1925		ラジオ放送開始 男子普通選挙開始 治安維持法発布
1929	世界恐慌	
1930	ロンドン海軍軍縮会議	
1931		満州事変勃発
1932		日本、満州国建国宣言 五・一五事件
1933		日本、国際連盟脱退
1936		二・二六事件
1937		日中戦争勃発
1938		国家総動員法発布
1939	第二次世界大戦勃発	
1941		太平洋戦争勃発

1944		学童疎開開始
1945	ヤルタ 会談 ドイツ 降伏	東京大空襲 沖縄にアメリカ軍 上陸 広島・長崎に原爆 投下 ポツダム宣言受諾 GHQによる統治 開始
1946		日本国憲法発布
1947		日本国憲法施行
1949		湯川秀樹ノーベル 賞受賞
1950	朝鮮戦 争勃発	朝鮮特需により好 景気
1951		サンフランシスコ 平和条約調印 日米安全保障条約 調印
1952		メーデー事件
1953		テレビ放送開始

この40年を10年ごとに4つの期間に区切り、期間ごとにWord2Vecに学習させるためのデータを取得した。(以下、1914年から1923年を期間1、1924年から1933年を期間2、1934年から1943年を期間3、1944年から1953年を期間4とする。)データは全て電子本掲載サイト「青空文庫」から、各期間の語数がそれぞれ合計30万語以上になるよう取得した。この際、データとして用いる文献は、青空文庫と連携しているサイト「ブンゴウサーチ」のおすすめ人気順上位の作品(2024年10月時点)から取得した。使用した文献は以下の表に示した。

1つの期間中に同じ著者による作品が複数存在することもあるが、作品自体がその時代を象徴していると考えたため、人気順通りに文献を使用した。また、Word2vecは1文の中の共起語をもとに単語をベクトル化しており、本研究で

は機械学習を用いて読点ごとに1文を認識している。1文を適切に認識できるよう、読点のないものを省いて文献を選定した。また、より正確に日本国内の情勢を反映するために、外国の作品を翻訳したものは除外した。

表2:使用した文献

期間	作品	著者
1914- 1923	こころ	夏目漱石
	羅生門	芥川龍之介
	高瀬舟	森鷗外
	藪の中	芥川龍之介
	鼻	芥川龍之介
	蜜柑	芥川龍之介
	事変	芥川龍之介
	あばばば	芥川龍之介
	芋粥	芥川龍之介
	山椒大夫	森鷗外
	大川の水	芥川龍之介
	月に吠える	萩原朔太郎
	愛読書の印象	芥川龍之介
	秋	芥川龍之介
	アインシュタイン	寺田寅彦
	明暗	夏目漱石
	道草	夏目漱石
1924- 1933	蟹工船	小林多喜二
	檸檬	梶井基次郎
	河童	芥川龍之介
	桃太郎	芥川龍之介
	セメント樽の中の手紙	葉山嘉樹
	ある阿呆の一生	芥川龍之介
	便函目地獄	夢野久作
	桜の樹の下には	梶井基次郎
	在りし日の歌	中原中也
	侏儒の言	芥川龍之介
	愛撫	梶井基次郎
	ああ華族様だよと私は嘘 を吐くのであった	渡辺温
	盲腸	横光利一

	最古日本の女性生活根底 茶の本 科学者とあたま 放浪記 魚服記 墨汁一滴 いなか、の、じけん 猟奇歌 キチガイ地獄 或旧友へ送る手紙 思ひ出	折口信夫 岡倉天心 寺田寅彦 林芙美子 太宰治 正岡子規 夢野久作 夢野久作 夢野久作 芥川龍之介 芥川龍之介
1934- 1943	ドグラ・マグラ 女生徒 富獄百景 少女地獄 山羊の歌 風立ちぬ ア、秋 耳無芳一の話 I can speak 死者の書	夢野久作 太宰治 太宰治 夢野久作 中原中也 堀辰雄 太宰治 小泉八雲 太宰治 折口信夫
1944- 1953	人間失格 ヴィヨンの娘 斜陽 桜の森の満開の下 パンドラの匣 お伽草子 津軽 墮落論 桜桃 トカトントン グッド・バイ 白痴	太宰治 太宰治 太宰治 坂口安吾 太宰治 太宰治 太宰治 坂口安吾 太宰治 太宰治 太宰治 坂口安吾

## ②単語のベクトル化

先述の Word2Vec に、取得した文章データを学習させ、形容詞を 100 次元の単語ベクトルで表した。先述のとおり、本研究では村上の形容詞の分類を参考に行っている。全ての期間で 2 回以上出現した単語の中から、村上佳恵 (2012)

「現代日本語の形容詞分類について一様態のソウダを用いて」の表 6 「形容詞群別語彙リスト」の上位から順に選定した。最低出現回数を 2 回としたのは、出現回数の不足による結果の不定性を減らすためである。なお、形容詞の分類ごとに単語数を揃えるため、数が他と比べて少なかった属性形容詞 C と D 各 5 単語を属性形容詞としてまとめた。このようにして、感情形容詞 A、感情形容詞 B、属性形容詞の 3 つの分類で各 10 単語選定した。

前後何語を周辺語として扱うかを表すウィンドウサイズは 5、学習データを何回使用するかを表すエポック数は 100 に設定した。また、Word2Vec に文章データを学習させる際、対象の形容詞のみ期間ごとに表記を変更した。(例: 「嬉しい」の場合 期間 1 「嬉しい 1」、期間 2 「嬉しい 2」、期間 3 「嬉しい 3」、期間 4 「嬉しい 4」)これは、Word2Vec で期間ごとに別でモデルを作成すると軸の反転や原点のずれが起こるので、4 期間の単語の意味を同時に 1 つの散布図に表すことができるようにするためである。

なお、形容詞以外の単語については形容詞と異なる扱いをした。名詞と動詞は形容詞と同様に Word2Vec に学習させたが、時代ごとに表記に変更は加えていないので、同じ単語はすべての時代で同じものとして扱われている。そのため、名詞と動詞は形容詞のベクトル化に影響を与えているが、時代ごとの意味の違いを考慮していないことになるという点に注意が必要である。本研究ではあくまで形容詞のみに注目したため、名詞と動詞の時代ごとの意味の違いは無視した。その他の単語は Word2Vec に学習させていない。

表 3: 使用した形容詞の一覧

感情形容詞 A	感情形容詞 B	属性形容詞
嬉しい	楽しい	面白い
ほしい	重い	珍しい

懐かしい	軽い	うるさい
悲しい	寒い	苦い
恥ずかしい	つらい	やかましい
い		い
惜しい	怖い	ない
切ない	忙しい	いい
空しい	温かい	多い
羨ましい	熱い	高い
可愛い	冷たい	大きい

③散布図に表示

Word2Vecによって単語ベクトルを取得したのち、因子分析を用いて100次元のベクトルを2次元に圧縮し、バリマックス回転を施したうえで散布図に表した。因子分析では、2次元に圧縮する際にグラフに現れる縦軸と横軸の数値がどのような意味を表しているかは、解釈をする必要がある。この手順で、次の研究1、2を行った。

研究1

全ての期間で1つの散布図を作成し、縦軸と横軸がそれぞれどのような意味を持っているかを考察した。

研究2

それぞれの期間での単語の分布のしかたについて考察した。

6. 結果・考察

全ての期間で1つの散布図を作成したところ、図7のようになった。

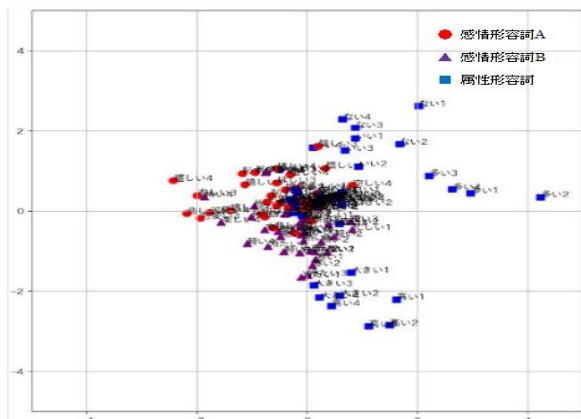


図7:時代ごとの単語の分布

研究1

図7から、感情形容詞Aと感情形容詞Bは横軸に対し負の位置に、属性形容詞は正の位置に多く分布していることが見て取れる。このことから、散布図の横軸は主観性、客観性を表すものであると考えた。(値が小さいほど主観、大きいほど客観) 属性形容詞のうち、原点付近に集まっている単語はすべて、村上(2013)で属性形容詞Cとされた単語であり、これらは話し手の心情を説明する場合もあるので矛盾しないと考えた。

また、改發、三木、渡邊(2023)「日本語形容詞の通時的な意味変化の傾向」における考察を参考に、散布図の縦軸は抽象度、具体度を表しているという仮説を立て、検証を行った。具体・抽象を表す指標として、奈良先端技術大学院大学が構築した日本語抽象度辞書を用いて縦軸の値との相関を調べた。相関の強さの目安は表4の基準を採用した。

表4:相関の強さの目安

相関係数の絶対値	相関の強さの目安
0.7~	強い相関
0.4~0.7	中程度の相関
0.2~0.4	弱い相関
~0.2	ほとんど無相関

相関係数は約0.51となり、中程度の正の相関が見られた。この値はある程度信頼できるものと考え、縦軸は抽象度、具体度を表すものであると結論付けた。(値が小さいほど具体、大きいほど抽象)

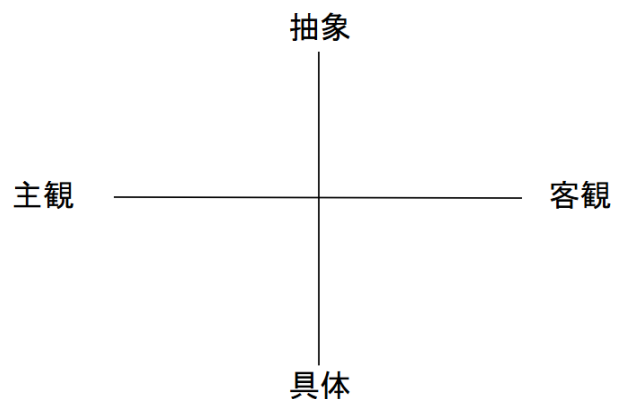


図8:軸の意味の考察

分類、期間ごとに作成した散布図を以下に示す。

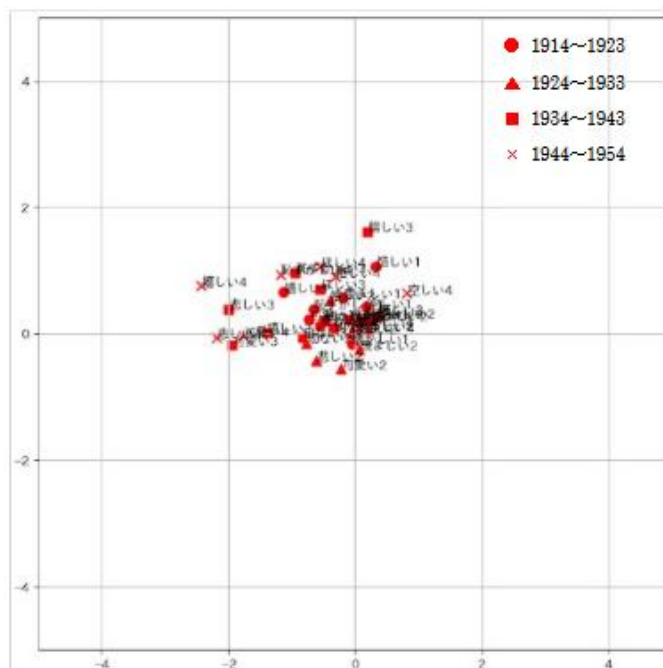


図 9:感情形容詞 A の単語の分布

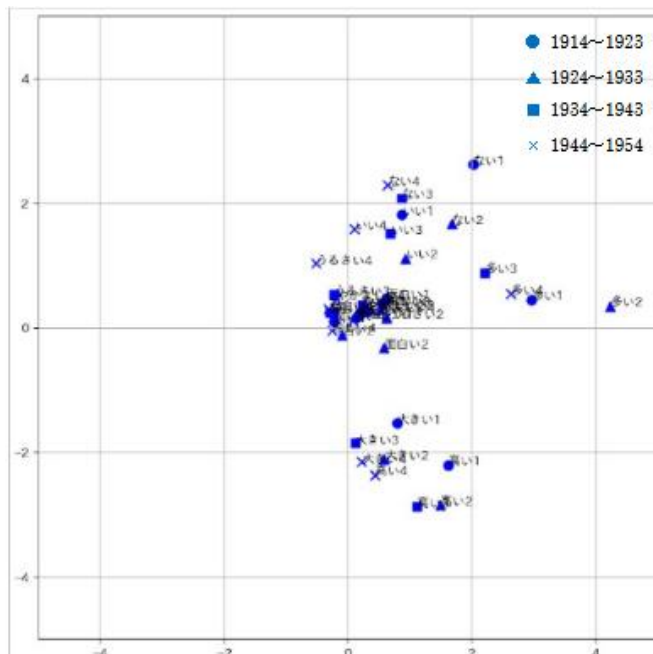


図 11:属性形容詞の単語の分布

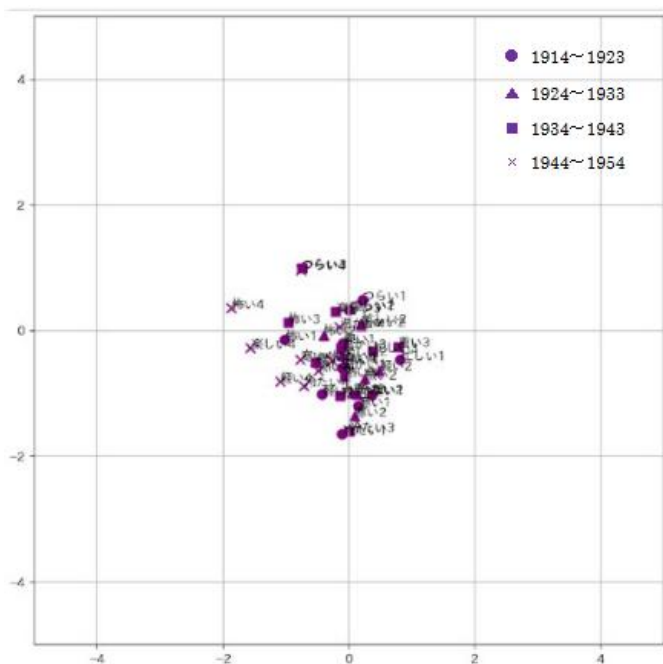


図 10:感情形容詞 B の単語の分布

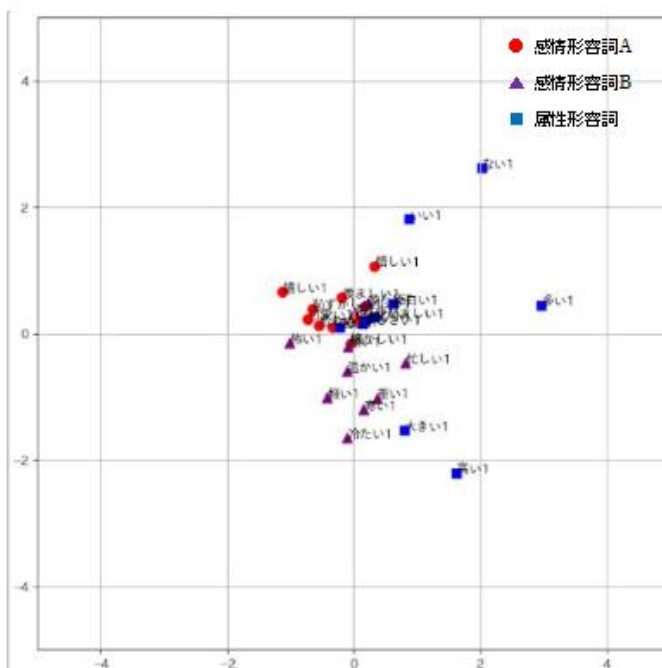


図 12:期間 1 の単語の分布

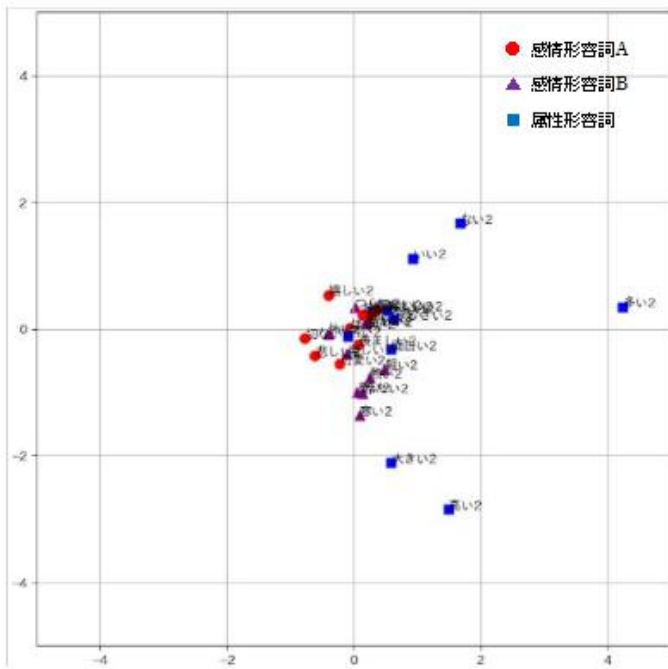


図 13: 期間 2 の単語の分布

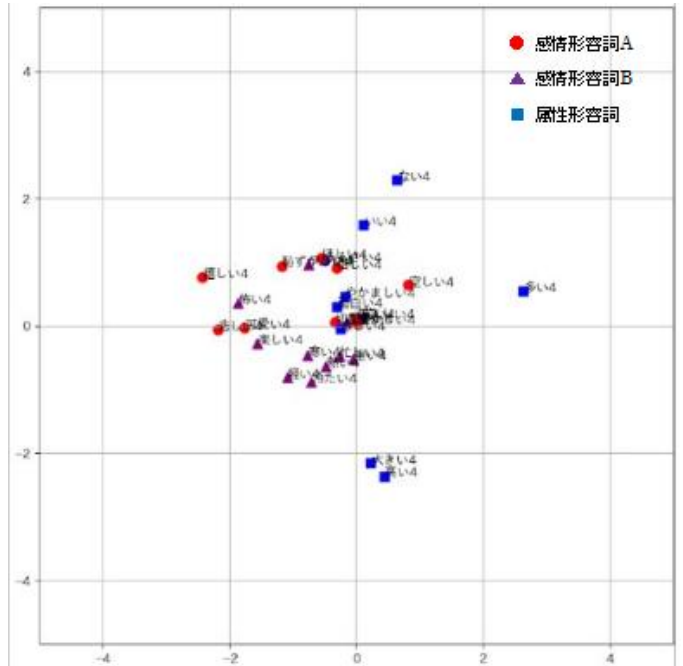


図 15: 期間 4 の単語の分布

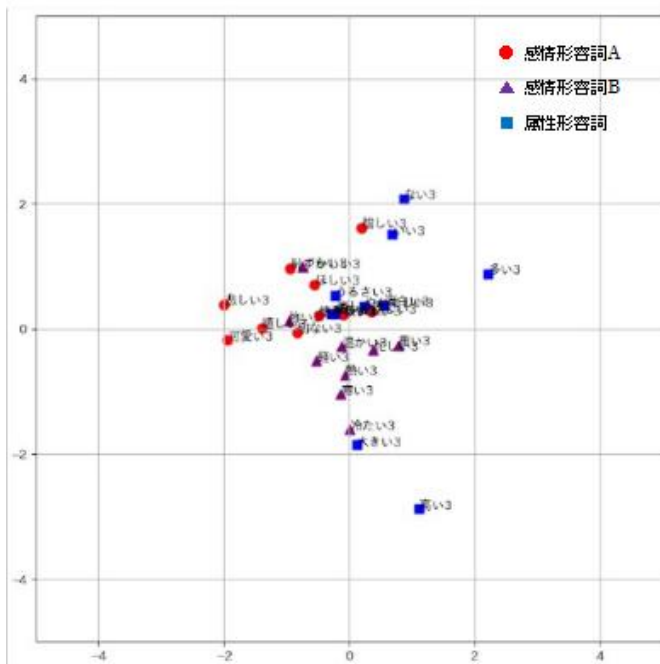


図 14: 期間 3 単語の分布

期間ごとの分布の傾向を調べるため、各期間の座標の重心を散布図に表した。

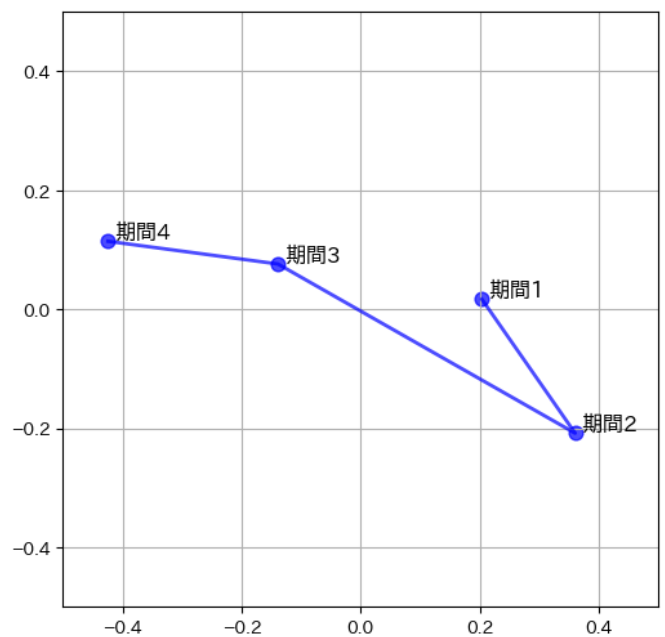


図 16 : 期間ごとの重心

期間 1、期間 3、期間 4 の重心はほとんど一直線上にあり、時間経過に伴って左やや上に移動しているので、主観的かつやや抽象的な意味を持つようになっていったといえそうだが、期間 2 のみ大きく右下にずれており、客観的かつ具体的な意味を持つ形容詞が多い。

また、形容詞の各分類ごとに散らばりの大きさがどのように変化しているのかを調べるため、図9、図10、図11内の座標を使用して縦軸と横軸に対する分散をそれぞれグラフに表すと図17、18のようになった。

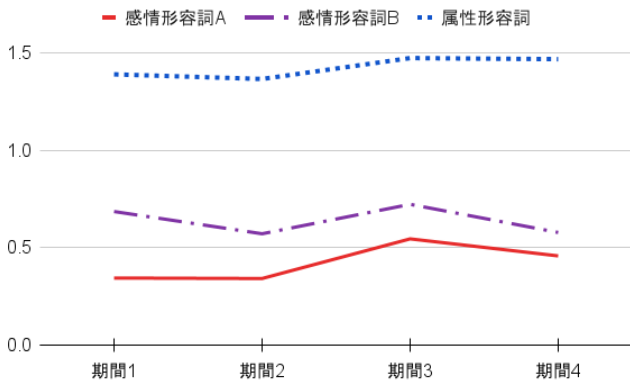


図17: 縦軸に対する分散の大きさ

縦軸に対する分散は、どの期間においても属性形容詞が最も大きい。縦軸は具体・抽象を表すので、属性形容詞は具体度・抽象度が極端なものが多く、感情形容詞は具体度・抽象度の差が小さいといえる。

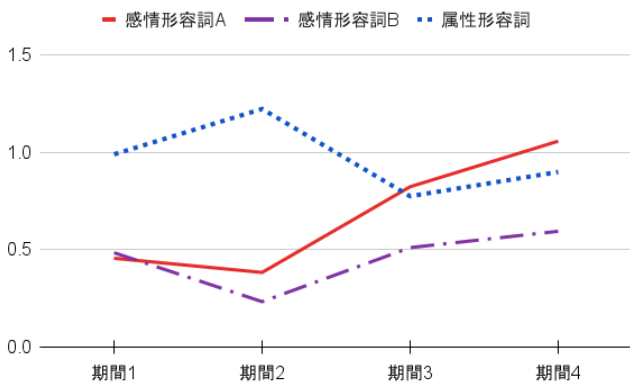


図18: 横軸に対する分散の大きさ

感情形容詞Aと感情形容詞Bは横軸に対する分散の大きさの増減のしかたが似ているが、属性形容詞は異なる動きをしていることがわかる。期間1と期間2を比較すると、感情形容詞は分散が小さくなっているのに対し、属性形容詞は大きくなっている。期間3になると感情形容詞は分散が大きくなり、属性形容詞は小さく

なっている。つまり、感情形容詞が持つ意味の幅と属性形容詞が持つ意味の幅は主観性・客観性においてと感情形容詞Bは横軸に対する分散の大きさの増減のしかたが似ているが、属性形容詞は異なる動きをしていることがわかる。期間1と期間2を比較すると、感情形容詞は分散が小さくなっているのに対し、属性形容詞は大きくなっている。期間3になると感情形容詞は分散が大きくなり、属性形容詞は小さくなっている。つまり、感情形容詞が持つ意味の幅と属性形容詞が持つ意味の幅は主観性・客観性において相補的な関係にある。

図12では感情形容詞が原点付近に集まっており、これらの多くが似た意味を持っていることを表している。実際に図16で、期間1と期間2の横軸に対する分散から、主観性や客観性の絶対値が小さくなったといえる。この期間は治安維持法によって厳しい出版統制が行われており、金ヨンロン(2015)「治安維持法体制下における中野重治の転向五部作と伏字問題 — 『小説の書けぬ小説家』を中心に—」からも「人物や状況の描写にまつわる言葉も伏せ字にされた」とわかる。このことから散布図上の点が1か所に集中しているのは文章上での自由な表現が制限されたことが原因ではないかと考えられる。しかし、期間3、期間4は図13の散布図が表す期間4は出版統制がさらに厳しくなっているにもかかわらず点同士の距離が広がっている。これは、厳しい規制の中で作者たちが伏字を避けるため形容詞の用法を工夫したことと、感情形容詞が持っていた意味を属性形容詞を用いて表すようになったことが影響して、感情形容詞の持つ意味が複数の種類から特定のものに限定されていったからではないかと考えられる。また、図14は、図13に比べ、感情形容詞Aと感情形容詞Bはともに横軸の負の位置に多く分布しており、軸の考察を踏まえるとより主観的になったことがわかる。これは、期間4は終戦だけでなく、終戦後も含まれているた

め、戦争が終わったことで、図 12 や図 13 の時代に比べ、はるかに自由に言論ができるようになったことを表していると考えられる。実際に、1945 年 8 月のポツダム宣言受諾に伴い、出版統制も解除されている。

## 7. 結論および今後の展望

散布図の横軸は主観性・客観性を、縦軸は具体性・抽象性を表していると考えた。属性形容詞は感情形容詞よりも具体性・抽象性を表す単語が多いことが分かった。また、主観性・客観性に関しては感情形容詞の分散と属性形容詞の分散が対称的に変化していることから、感情形容詞が持つ意味を属性形容詞が補う関係性があると考えられる。

期間ごとの散布図ではそれぞれ特徴が見られた。特に期間 2、また期間 3 の単語の分布は出版統制の影響を、期間 4 は終戦の影響を強く受けているのではないかと考えられる。

本研究では文学作品のみをデータとして使用したため、出版統制の影響を強く受けたのだと考えられる。著者数が少なかったことも結果に偏りをもたらしている可能性があるため、今後は新聞や雑誌といったより多様な文献を用いることで、より精度の高い研究を行いたいと考えている。

また、本研究で言及した出版統制や終戦以外に形容詞の意味の変遷に影響を与えたものはないかを検討していきたい。また個々の単語に注目すると、全体的な意味変化の傾向から外れた例外的な単語も見られたため、原因を究明していきたい。

## 8. 引用文献・参考文献

- ・改發尚雅, 三木駆人, 渡邊佳歩(2023)  
「日語形容詞の通時的な意味変化の傾向」
- ・青空文庫 「青空文庫 Aozora Bunko」  
<https://www.aozora.gr.jp/>  
(参照 2025-1-20)
- ・ブンゴウサーチ  
<https://search.bungo.app/about>  
(参照 2025-1-15)
- ・八亀裕美(2001)  
「現代日本語の形容詞述語文」
- ・八亀裕美(2003)  
「形容詞の評価的意味と形容詞分類」
- ・村上佳恵(2012)  
「現代日本語の形容詞分類について一様態のソウダを用いて」
- ・村上佳恵(2013)  
「感情形容詞の使用実態」
- ・奈良先端技術大学院大学  
「日本語抽象度辞書「AWD-J: Abstractness of Word Database of Japanese common words」」  
<https://sociocom.naist.jp/awd-j/>
- ・金ヨンロン(2015)  
「治安維持法体制下における中の重治の転向五部作と伏字問題-『小説の書けぬ小説家』を中心に-」

# 沈殿を用いたダニエル電池におけるイオンの移動の可視化

三宅 哲史

(兵庫県立姫路西高等学校)

## 1. 研究の背景（動機）

中学・高等学校教育では「主体的・対話的で深い学び」の実現が求められている。『【総則編】中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説』でも授業改善の留意点として「授業の方法や技術の改善のみを意図するものではなく、児童生徒に目指す資質・能力を育むために「主体的な学び」、「対話的な学び」、「深い学び」の視点で、授業改善を進めるものであること。」を挙げている。特に理科に関しては主体的で対話的な活動として実験がある。実験については『【理科編】中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説』でも「科学的に探究する力を育成するに当たっては、自然の事物・現象の中に問題を見だし、見通しをもって観察、実験などを行い、得られた結果を分析して解釈するなどの活動を行うことが重要である。」と述べられている。しかし、中学校 3 年で扱う化学変化とイオンの単元のダニエル電池はこの例から外れる。ダニエル電池では電極での反応や電子の移動は、電極の変化や電球が光ったことによりわかる。しかし、多くのイオンは無色なので、イオンの移動を実験により明らかにすることは、非常に困難である。そのため中学生にとっても、現象を覚えるしかなくなってしまい主体的な学習とは言えなくなっている。そこでこれを解決する電池を提案する。

## 2. 研究の目的

イオンの移動を説明するため塩橋を用いる方法もあるが、どのイオンが移動するかまでは塩橋を使ってもわからない。そこで、本研究では金属イオンの沈殿反応を利用し、イオンの動きを可視化することを目的とした。金属イオンの沈殿反応はイオンの組み合わせによって起こるのに加えて色や性質によってどの物質の沈殿であるか判別が可能である。沈殿を起こすために我々は、素焼きの筒に  $\text{CuSO}_4\text{aq}$  と銅板、 $\text{ZnSO}_4\text{aq}$  と亜鉛板をそれぞれ入れた従来のダニエル電池を、水酸化バリウム水溶液で満たしたビーカーに入れた新しいダニエル電池、『バリタ・ダニエル電池』を考案した(図 1)。

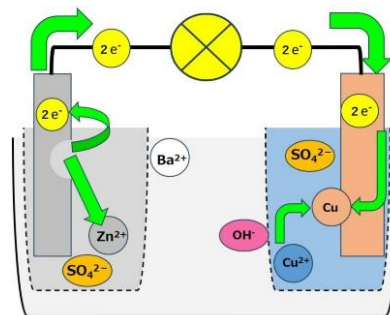
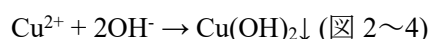
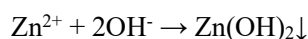
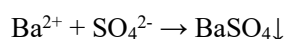


図 1

この電池ではイオンが移動すると以下のいずれかの反応が起きる。



※ 図 1 の点線部は半透膜である

また、 $\text{Zn}(\text{OH})_2$  と  $\text{BaSO}_4$  はどちらも白色であるため目視で判別は不可能だが、 $\text{BaSO}_4$  は希酸に溶けないが  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  は希酸と中和して溶ける。これを用いると酸性になるまでできた白色の沈殿に希酸を加えたときの溶け方の違いで  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  か  $\text{BaSO}_4$  のみの沈殿、もしくはその両方の沈殿かを区別することができる。



図 2 BaSO<sub>4</sub>の沈殿



図 3 Zn(OH)<sub>2</sub>の沈殿



図 4 Cu(OH)<sub>2</sub>の沈殿

実際に作成したバリタ・ダニエル電池が電池反応を起こし、中学校で安全に扱え、かつ、ダニエル電池の内部で起こるイオンの移動を考察することができて、「主体的で対話的な深い学び」の助けとなりうることを期待する。

### 3. 実験方法

#### 【使用薬品・器具】

0.8 mol/L CuSO<sub>4</sub>aq 75 mL(以下 C 液)、0.1 mol/L ZnSO<sub>4</sub>aq 75 mL(以下 Z 液)、希塩酸、\*Ba(OH)<sub>2</sub>aq 300 mL、蒸留水、銅板、亜鉛板、1000 mL ビーカー、素焼きの筒、導線、電流計、電圧計

\*今回使用した Ba(OH)<sub>2</sub> は空気中の CO<sub>2</sub> により一部が BaCO<sub>3</sub> となっていたため、正確に調製はできなかったが質量パーセント濃度は 1%以下である

#### 【実験手順】

1. C 液、Z 液をそれぞれ素焼きの筒に入れ C 液に銅板、Z 液に亜鉛板を入れる
2. 1000 mL ビーカーに 1 の素焼きの筒をおく
3. 銅板と亜鉛板を導線でつなぎ回路を組み立て水酸化バリウム水溶液を間に入れる
4. 反応後、希塩酸を加えてかき混ぜる

### 4. 結果と考察

銅板が正極、亜鉛板が負極となり、約 1.1 V の起電力、約 10 mA の電流が得られた。このことから、この電池は内部抵抗がダニエル電池よりも高いことが分かった。実験中、Ba(OH)<sub>2</sub>aq 中には両方の素焼きの筒から白い沈殿が広がっていき、実験開始から 30 分程で沈殿がはっきり確認できた。最終的に 1 日後にはビーカーの底一面に白い沈殿が生成していた(図 5)が、C 液、Z 液内に沈殿は見られなかった。

Ba(OH)<sub>2</sub>aq 中の沈殿に希塩酸を加えガラス棒で攪拌すると、一部は溶けたが一部は溶け残った(図 6)。よって、白い沈殿は Zn(OH)<sub>2</sub> と BaSO<sub>4</sub> の両方が生成していることがわかった。

以上から、C 液から SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が、Z 液からは Zn<sup>2+</sup>もしくは SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が移動したことがわかる。しかし、C 液から移動するイオンは一種類であるのに対し、Z 液から移動するイオンは二種類であり、Z 液から異なる電気を帯びる陽イオンと陰イオンが移動するという矛盾点がある。そこで C 液に注目する。C 液では銅板の反応により陽イオンの Cu<sup>2+</sup>が減る。このままでは C 液は負に電荷が偏るが、陰イオンの SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が移



図 5



図 6

動するため相殺されて C 液は電荷の偏りがなくなる。このことからこの電池のイオンは溶液が電荷の偏りを解消するように移動することが推測できる。そこで Z 液についても考えると、Z 液では亜鉛板の反応により  $\text{Zn}^{2+}$  が増加して Z 液は正に電荷が偏る。 $\text{SO}_4^{2-}$  が移動すると考えると陰イオンが減りさらに正に偏ってしまうため  $\text{SO}_4^{2-}$  は移動しないと考えられる。一方、 $\text{Zn}^{2+}$  が移動すると多かった陽イオンが減り電荷の偏りはなくなる。以上から実際に移動したのは C 液からは  $\text{SO}_4^{2-}$ 、Z 液からは  $\text{Zn}^{2+}$  であった。これは  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  と  $\text{BaSO}_4$  ができたという実験結果と矛盾しないため正しいとわかる。またイオンが移動したのは溶液が電気を帯びないように移動するためであるとわかる。この考え方を応用し、ダニエル電池におけるイオンの移動も考えることができる。

この電池を授業で扱う場合、まずダニエル電池のそれぞれの電極の反応を考えさせてから、電池はイオンの移動が起きていることに触れて、その後、このバリタ・ダニエル電池を用いてどのイオンが移動するか、なぜ移動するかを考えさせることが望ましい。その時の注意として今回使った沈殿反応はまだ中学生が知らないので事前に教える必要がある。またバリタ・ダニエル電池を使った考察でもまだ難しいため「C 液から移動するイオンは一種類であるのに対し、Z 液から移動するイオンは二種類であり、Z 液から異なる電気を帯びる陽イオンと陰イオンが移動する」という矛盾点を教師が生徒に指摘することで考察の方向性を示すとより多くの生徒が考察できると我々は考えている。

このバリタ・ダニエル電池の内部抵抗はとても大きいですが、今回用いた素焼きの筒の代わりに薄いセロハン膜を用いるとイオンが動きやすくなってより早く反応し電流も大きくなると考えられる。また今回は複雑な考察が必要だったが、C 液と Z 液の素焼きの筒の下にそれぞれ受け皿を置くと、 $\text{BaSO}_4$  は C 液側の受け皿に溜まり  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  は Z 液側の受け皿に溜まって、それぞれに希塩酸を加えると C 液側では沈殿は全く溶けないが、Z 液側は全て溶けるので容易に区別が可能になり考察が簡単になる。生徒のレベルにあわせて使い分けるとよい。

安全性については薄いが強塩基を使っているので注意が必要である。

## 5. 結論

本研究により、ダニエル電池の内部で起こるイオンの移動を可視化することができ、これによってダニエル電池のイオンの移動を考察することが可能となった。まだ難しい点や生徒の安全のために注意しなければならない点があり、沈殿がはっきりと見えるまでに時間がかかるため「考察のできるダニエル電池」の確立に向けて研究を進めたい。

## 6. 参考文献

- 文部科学省 (2017). 『【理科編】中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説』
- 文部科学省 (2017). 『【総則編】中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説』
- 実教出版編修部 (2023). 『サイエンスビュー新化学資料』.

# 革命児「垂直型風車」で日本の未来の発電について考える

橋本 丈嗣 宮川 航 安岡 和希  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 要旨

「垂直型風車」という言葉を今まで聞いたことはあるだろうか。一般的に想像される、風力発電で使われる風車は軸が地面に対して水平な水平型風車である。それに対して軸が地面に対して垂直なのが垂直型風車である。私たちはそんな風車の研究を行った。そして、その中でも羽根の形状がそれぞれ異なるダリウス型風車を 3D プリンターで制作し、各形状の発電量を比較し、一番発電に適したのはいかなる形状なのかを研究した。また、ダリウス型風車は揚力を利用し大きな回転エネルギーを得ることが理論上可能だが、実際には初動がとても遅くそもそも回転しないこともあるため、初動のアシストとなる他の形状の垂直型風車と複合しそれぞれの形状の風車の性質を組み合わせることを検討している。そして最終的には、研究を通して完成した風車を大型化し、実生活に取り入れ各家庭の自家発電の補助的な役割を担っていくことを目標としている。

## キーワード

垂直型風車 ダリウス型風車 風力発電  
3D プリンター

## 1. 研究背景

近年、燃料価格の高騰による影響などから電気代の高騰が続いている上に、我が国のエネルギー発電は火力発電に 70%以上を頼っている。また、クリーンな発電が重要だと声高に言われている世の中で、日本のエネルギー発電をより良いものにするためには再生可能エネルギーを使った発電を進めていかななくてはならない。再生可能エネルギーといってもさまざまあるが、その中でも発電効率が他と比べて優れており私たちが実際に実験しやすいものとして風力発電を選んだ。さらに風力発電の中でも新規性という観点から、あまり世間に知られておらず発展途上の垂直型風車に焦点を当てて研究をすることにした。

## 2. 研究目的・意義

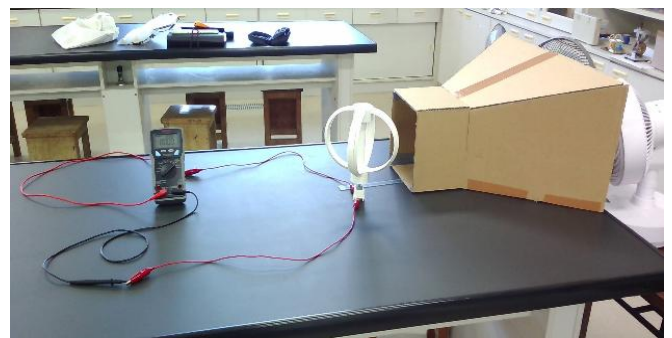
垂直型風車は水平型風車と違い軸が垂直であるという理由から、あらゆる方向からの風を受けて回転することができ、さらに台風級の強風に対する耐久性能を持っている。しかし、発電効率は水平型風車よりも低いため、それほど普及していない。そこで私たちは垂直型風車の発電効率を上げることを目的とした。そして、今回は 3D プリンターを活用して形状が複雑なダリウス型風車（以下、ダリウス型とする）（図 1）を作り、発電効率が一番よくなる形状を探ることにした。そして最終的に完成した風車を大型化し家庭用発電の補助的な機能を満たすことを目標とした。



図 1

## 3. 研究・結果

私たちは作成した風車モデルに風速 5m/s の風を当てて発電量などを記録した（実験時の状況は写真 1）。



（写真 1）

第一に私たちは、ダリウス型が風を受けたときに発生する力に着目した。風車は、風を受けたときの抵抗(抗力)や風を受けた時の羽根の上下の気圧差から生じる力(揚力)で回転するが、どちらの力で回転するかは風車の種類によってさまざまである(抗力、揚力のイメージは図2)。このダリウス型は揚力で回転する風車である。そこで、まずは揚力に注目した。揚力は、羽の迎え角が大きいほど大きくなるため、迎え角が大きい風車のほうが発電量が大きくなるという仮説を立て、その仮説を確かめるべくまずは図3のように揚力のみが発生する形状の羽根(発生する抗力は限りなく小さい)を作り、迎え角を $0^\circ$ と $10^\circ$ に設定し、研究1を実施した。

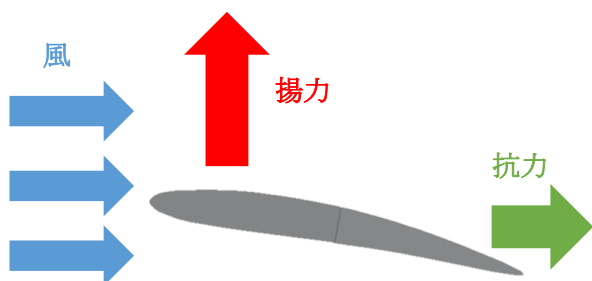


図2

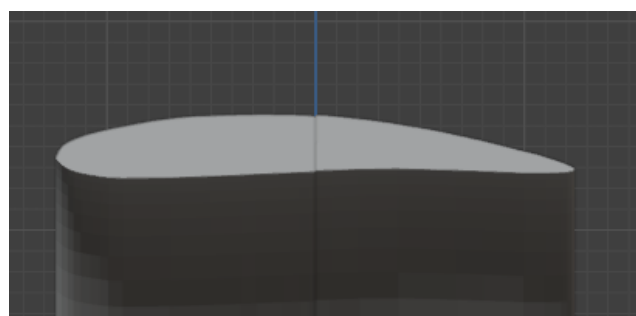


図3

### 研究1

研究1では、図4,5のように迎え角が $0^\circ$ と $10^\circ$ の羽根の風車を作成し、風を当てて発電量を記録した。しかし結果は、作成した2種類の風車は、初動を与えても与えなくてもどちらも全く回転しなかった。

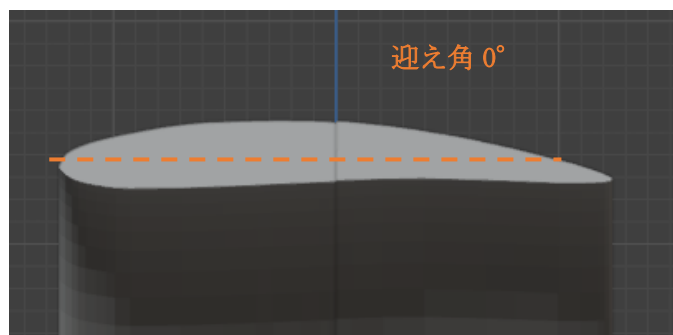


図4

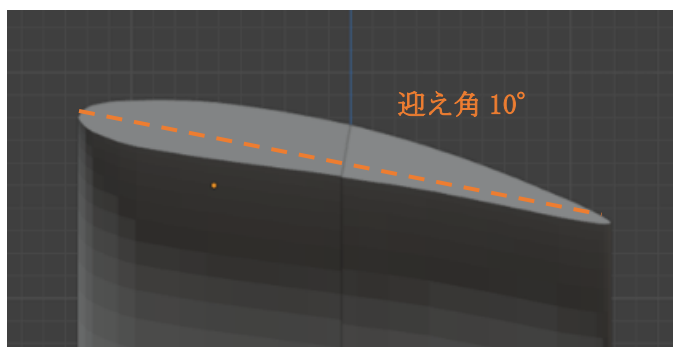


図5

この結果をふまえ私たちは、「家庭用発電レベルの大きさの風車が回転するには抗力が必要」と考え、研究2を行った。

### 研究2

研究1では、風の抵抗をできるだけ減らす形状の羽根を作成していたが、今度は風の抵抗を受けるようにし、揚力とともに抗力も十分発生させる形状の羽根を作成した(図6)。そして、羽根の形状以外は実験1と同じようにして実験を行った。

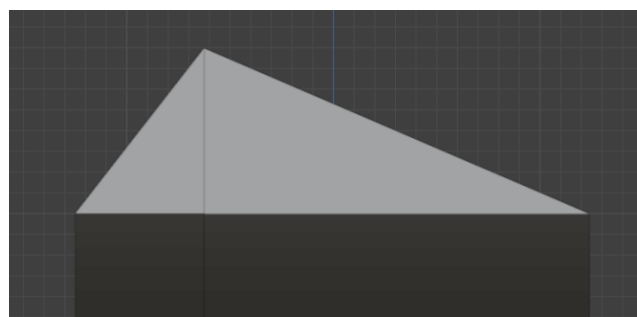


図6

結果、初動を与えなくても風車は回転し、発電しているのも確認できた。つまり、家庭用発電レベルの大きさの風車の回転には、抗力が必須なのである。

ではこの形状を基本として、より発電量が多くなるような風車の羽根の形状を考える。そこで、私たちは羽根の枚数に着目した。先行研究や風車に関する本でダリウス型について調べていると、登場するダリウス型風車はどれも 2, 3 枚羽のものばかりであった。その上、水平型風車においては 3 枚羽のものが最も効率が良いといわれている。ここで、垂直型風車においても同じことが言えるのかと疑問に思い、今回は 3 枚羽と 4 枚羽の風車で実験を行うことにした。そして「4 枚羽ダリウス型は 3 枚羽ダリウス型よりも発生する電力の効率が良くなる」という仮説を立て研究 3 を行った。

### 研究 3

研究 3 では、研究 2 で作成した風車の羽根の形状をもとに羽根の枚数が 3 枚、4 枚のダリウス型（以下、3 枚型、4 枚型とする）を作成し、羽根の枚数以外は研究 2 と同じ条件下で、風車を 30 秒間風に当てて回転させ、5 秒ごとにそれぞれの時点での電力を記録した。そしてその実験を 5 回行いその結果をグラフにした（図 7）。

結果は、4 枚型のほうがわずかに電力は大きくなった。しかし、3 枚型と比べると電力の増加率は使用した材料の増加率よりも低いため、制作コストの面から考えるとより効率的なのは 3 枚型のほうである。

以上の 3 つの研究からまとめると、今回の研究で一番効率的な形状は、揚力と抗力の両方で回転する 3 枚型の風車であるといえる。

### 4. 結論および今後の展望

今後の展望としては、3 つのことに組みたいと考えている。1 つ目が、風による回転の干渉をなくすことだ（イメージは図 8）。これまで作成してきたすべての形状の風車において風車の回転時に回転と逆方向に吹く風の影響で風車が回転しづらい、もしくは全く回転しないということがあった。これは、羽根の厚さが厚かったり羽根の表面積が大きかったりして風に当たる羽根の面積が大きくなることによって、風車が回転する過程で回転の方向と逆方向の抗力が発生してしまうことで風車の回転が干渉されると考察した。よって風による回転の干渉の問題をなくすためには、干渉があってもそれをもろともしない風車の回転のための揚力、抗力をより生み出すことができる風車を作る、または干渉がなるべく起きないようにするという解決策があげられる。前者に関しては回転のための抗力をより多く生み出すために羽根がより風を受けやすい形状にするといった改良が考えられる。そして後者に関しては、前述したことは逆に羽根を薄くすることによって回転方向とは逆方向の風をなるべく受けないようにするという方法が考えられる。

時間と電力の関係（5回平均）

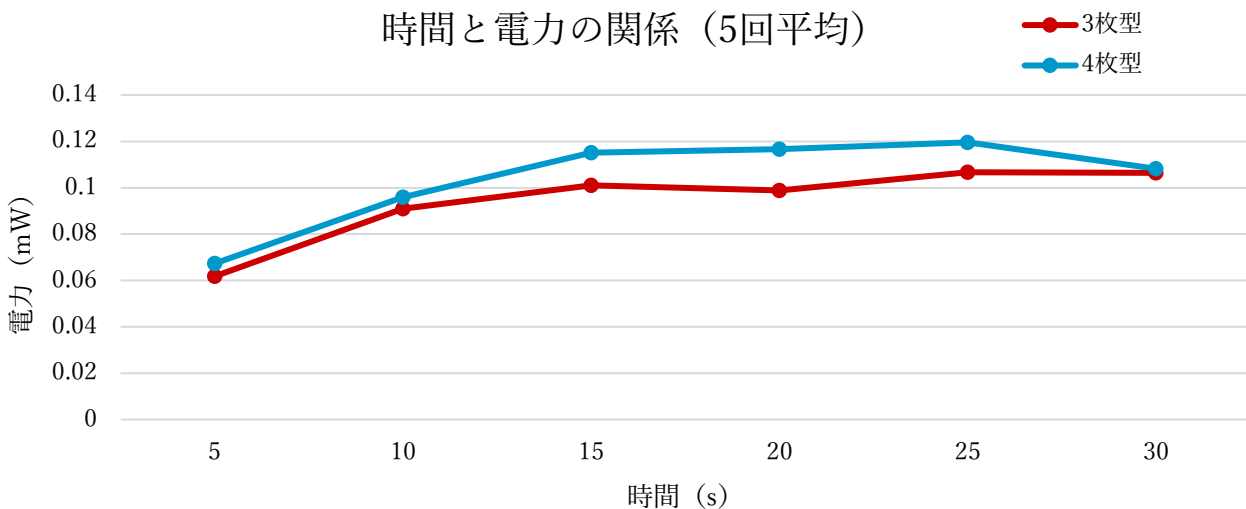


図 7

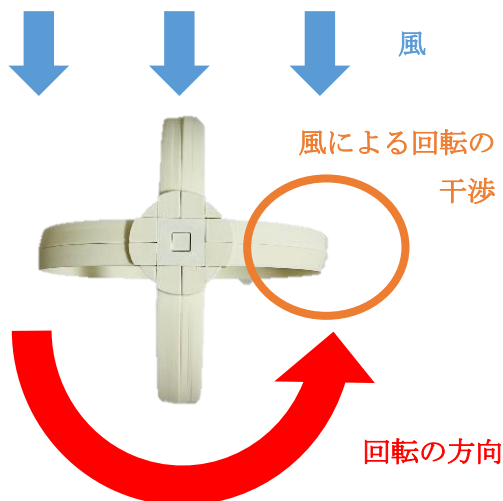


図 8

2つ目は、5枚羽以上の風車を作成して発電の変化を研究することだ。今回は、2、3枚羽以上の枚数の風車で作成したのは4枚羽の風車だけであった。3枚羽と4枚羽の風車における発電比較では家庭用発電レベルの大きさの風車では経済面からも考えるとより効率的なのは3枚羽の風車だと結論付けたが、5枚羽以上の風車では使用する材料が増えたとしてもそれを凌駕する発電をする枚数の風車があるかもしれないため、その可能性を探るためにこの研究をしたい。

3つ目は、ほかの形状の垂直型風車との複合型の作成である。今回の研究では、ダリウス型に限定して実験を行ってきたが、別の形状の風車を組み合わせることでより多くの揚力、抗力を受けられるようになり、より多くの電力を生み出せる風車を作ることができると考えている。実際に簡単な研究ではあるが、ダリウス型とジャイロミル型という型を組み合わせた複合型はすでに作成しており（写真2）、回転数はそれぞれ1つの型のみで回転した時よりも多くなっていた。そのため、今回作成したダリウス型が一番合い、より多くの電力を生み出す効率的な風車の形状はどれかということも研究していきたい。



写真 2

## 5. 引用文献・参考文献

松本文雄・牛山泉・西沢良史.垂直軸風車製作ガイドブック.パワー社,2011.

上田日花里.日本の環境に適した新型風車の開発～小規模風力発電機 ジャイロニウス風車～.電気学会論文誌B（電力・エネルギー部門誌）.2020,140巻,3号, p. NL3\_7-NL3\_10.

# 魚の鮮度と酸性度の関係

牛尾 瑛仁 秋原 俊 増田 裕真  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 要旨

今回私たちは、魚肉の鮮度の変化と酸性度の変化に関係性があるのではないかと考えた。魚のpHをpH測定器で一定の時間間隔を保ちながら測定した。鮮度の変化、つまり時間経過とpHとの相関関係が存在するかどうかを研究した。現在、実験は三回終了している。

## キーワード

酸性度 解糖反応 グルコース 乳酸

## 1. 研究背景

私たちは今回の研究を行うにあたり、3つのリサーチクエスチョンをたてた。

1つ目は「鮮度と酸性度の関係からおいしさは数値化できるものなのか」…①、2つ目は「鮮度が良いということの定義とは」…②、3つ目は「食材の食べる部分別に鮮度の落ち方は違うのか」…③である。また先行研究では、魚肉の酸性度変化について値がどのような経緯でどのような酸性度から始まり、そのようなそれで終わるのかということについて研究されており、その研究結果をもとに、魚肉の鮮度変化に伴って実験を行った。具体的には、酸性度はどのような変化の仕方をするのか、また鮮度の変化を酸性度で数値化できるのかということを表すことを研究目標として研究を行った。

## 2. 研究目的・意義

この研究を行うにあたり、一つの終着点として、「美味しい」という人間の不確かな感覚を定量化することを目標に立てた。それにあたり、鮮度と美味しさの関係に目をつけ、鮮度が落ちること＝腐敗が進むことと定義すると、腐敗が進むことに

よって様々な物質が分解して酸性度が変化するのではないかと考え、鮮度を酸性度で表すことができないかと思い、今回の研究に着手した。

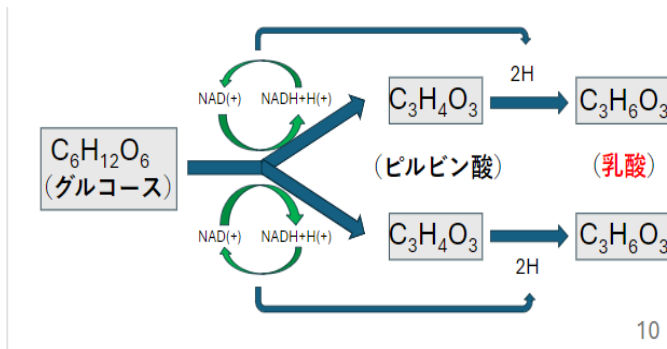
## 3. 研究方法

検体として魚を使用し、時間経過にともなう魚の鮮度の変化をpHメーターを使用して酸性度を測定した。具体的には、検体には鯉・鯖・太刀魚を用い、部位を胸・腹・尾の三つに分け、10分毎に酸性度を測定した。最初の実験では、一つの部位に関して同じ部分にpHメーターをあて続けて実験を行っていたが、その方法ではpHメーターを当てていた部分だけ腐食が早く進んでしまい、正確なデータを取得することができないと判断したため、その次の実験からは、一つの部位をサイコロ状に複数に切り分け、一度酸性度を測定した部分はもう使用しないというような実験方法に変更して実験を行った。また、用いたpHメーターは実験直前に校正を行い、pHメーターの性質上、水分からpHを測定しているため、測定する部分を押しつぶすようにpHメーターの電極部分に押し当て、なるべく水分を絞り出すように測定を行った。また実験は、気温を28度、湿度を60パーセントに維持した室内で行い、検体以外の測定状況をなるべく一定にして行った。(なお、腐食を促進させて実験結果取得を早めるために、気温を少し高めの28度に設定して実験を行っている。) 検体に関しては、生魚または釣りによって検体を確保し、釣り上げ後5分以内に速やかに絞め、釣り上げ後約24時間以内に実験を開始している。

#### 4. 結果・考察

魚には死後、死後硬直が起こるが、それが起こるまでにpHが減少することが知られている。その理由は死後、蓄えていたグリコーゲンがグルコースに分解され、そのグルコースが解糖反応を経ることであると分かっている。ここで、解糖反応を説明する。解糖反応とは、嫌気的な状態（酸素のない状態）のもとでグルコースをピルビン酸に分解、それを乳酸まで分解し、エネルギーの通貨といわれるATPを生成する反応である。

リサーチクエスチョン①、②、③について、おいしさを数値化し、腐敗や鮮度が良いことの定義を決めるための実験データが十分に得られていないため、未だ回答を出せない状況である。



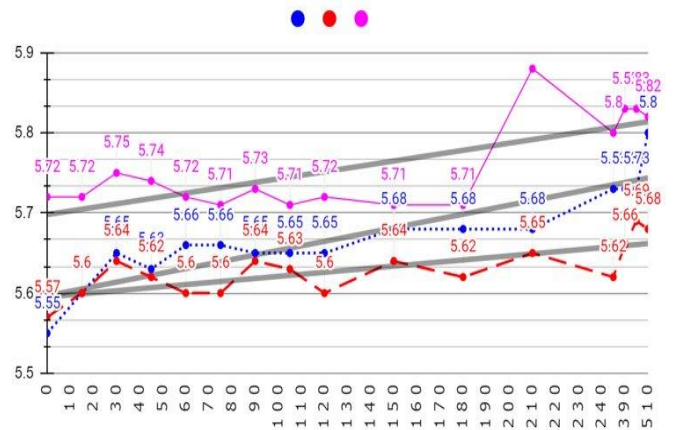
先行研究より、解糖反応によって生成された乳酸と魚肉に含まれるATPアーゼ(ATPを分解する酵素)によりATPがADPに分解され、その時に放出される水素イオンが魚肉の酸性度を下げることがわかっている。また、魚の死後のpH減少にはその魚のグリコーゲン含量が大きく関係していることが分かっており、具体的には白身魚で0.4%以下、赤身魚で1.0%前後となっており、白身魚の方が赤身魚よりもグリコーゲン含量が少ない。そのため、赤身魚の方が白身魚よりも解糖反応の程度が強く、具体的には赤身魚・白身魚のどちらも一定の生存時のpH: 7.2~7.4から赤身魚は5.2~5.6、白身魚では6.0~6.4に落ち着くと分かっている。

〈実験一回目〉

最初の研究では鯖を用いて研究を行った。鯖はよく青魚と呼ばれるが、青魚とは見た目で見え

けられたあだ名のようなものであり、正確には青魚という魚の種類は存在せず、青魚と呼ばれる魚は赤身魚に属する。よって先行研究より、赤身魚のpHの減少を基準として研究を行った。また、この研究は釣り上げてから約9時間経過したサバを用いている。この実験結果が次に示すグラフである。

酸性度測定結果



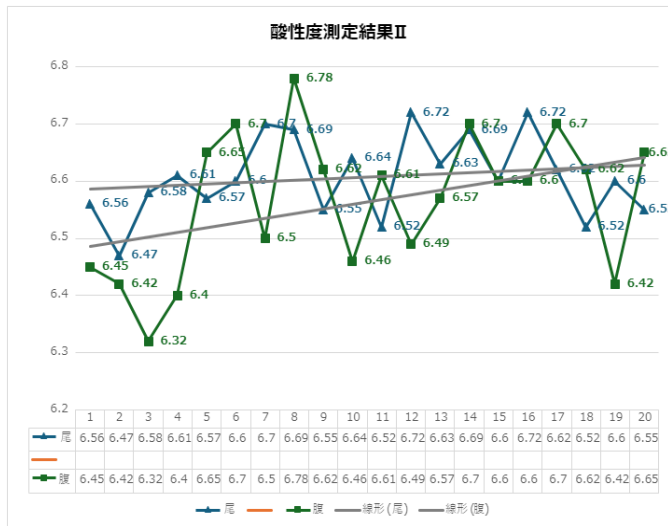
青●は”腹”、赤●は”背”、紫●は”血合い”、のように部位を表している。実験開始時点、つまりグラフで0の点では、腹・背・血合いの順にpHが高くなっている。

上のグラフより読み取れることとして、時間経過とともに、本来であれば減少していくはずのpHが上昇してしまっていることが読み取れる。この理由として、解糖反応がすでに終了してしまっていた可能性があげられる。計測開始時点のpHを見ると、腹と背は5.5付近、血合いは5.7付近のpHを指している。先行研究よりこの値は、赤身魚の解糖反応とATPの分解が終了し、落ち着くpHである。また、全体的にpHが上昇している理由として、塩基性の何らかの物質が生成されたことがあげられるが、その塩基性の何らかの物質とは、おそらくアンモニアであると考えている。魚肉は死後硬直の際、ADPがさらにAMP、IMPへと分解されるが、AMPからIMPへと分解される時に脱アミノ反応によってアンモニアが生じるため、その生成されたアンモニアがpHを上昇させたと考えられる。また、血合いの部分だけ少しpHが高い理由として、血液を

多く含んでいるからだと考えられる。血合いとは魚の背骨周りについている血液を豊富に含んだ部分のことであり、血液を多く含んでいる分、他の部位よりも蓄えているグリコーゲンの量が少なく、pHの値が少し高く出たと考えられる。

〈実験二回目〉

二回目の研究では、太刀魚を用いて研究を行った。太刀魚は白身魚であるため、白身魚のpHの減少を基準として研究を行った。先行研究よりまた、前回の研究の失敗から、釣り上げ後約5時間で研究を開始した。この実験結果が次に示すグラフである。



上のグラフより読み取れることとして、今回も時間経過とともに酸性度が上昇してしまった。この理由は、初回の研究結果と同じ理由であると考えられる。計測開始時点でのpHがどちらも6.5付近であり、先行研究より、白身魚の解糖反応とATPの分解が終了し、落ち着くpHである。よって、死後5時間以内に解糖反応が終了していることが分かった。また、pHがある程度の規則性を持たずに変化してしまっていることがわかる。これは、今回検体として用いた太刀魚に原因があるのではないかと考えている。太刀魚は細長く、体高があまりない魚であるため、切り身が薄く、pHメーターの電極部分を満たすだけの身の厚みが確保できなかったことが、太刀魚が納得のいく実験結果を得ることができなかった原因であると考えている理由である。

5. 結論および今後の展望

まだ、2回しか実験を行っていない現状であるが、現在判明している事実は、解糖反応は5時間以内に終了してしまうこと、絞めた後持ち帰ってからの研究では解糖反応終了に間に合わないことである。改善点として、生きたまま魚を持ち帰り、実験開始直前に魚を絞めてすぐに研究を開始するという方法を考えている。

6. 引用文献・参考文献

- ・「魚肉の鮮度と美味しさ」村田道代・安藤正史・坂口守彦
- ・Nippon Shokuhin Kogyo gakukaishi Vol.42, No. 6, 462~468 (1995) [総説]
- ・「魚介類の鮮度判定法」 遠藤金次
- ・「魚類鮮度研究の現状とその応用」 内山均 August 1971 食衛誌. Vol.12, No.4
- ・「魚介類の死後硬直と鮮度 (K 値) の変化」 小関聡美・北上誠 一・加藤登・新井健一
- ・「魚についての基礎知識」 金田尚志

# 安全かつ遊戯性の高い滑り台の提案

田部 碧海 熊澤 大樹 高橋 克樹 福井 翔  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 要旨

安全で遊戯性の高い滑り台を提案する。現在多く設置されている滑り台の危険性を解消するためには「山形滑り台」が適していると考えた。そのうえで、斜面の角度などの構造を考えるために摩擦係数を求める実験を行った。

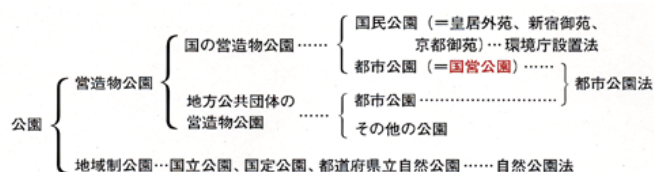


図1 公園の定義

## キーワード

安全性 遊戯性 滑り台

### 1. 研究背景

公園に赴いた際、子供が遊具から落下したり、遊具の骨組みと衝突したりしそうになっていて、危険に思われる場面を多く見かけた。そこで、現在公園に設置されている遊具を安全性の高いものにしたいと考え、研究を始めた。

### 2. 研究目的・意義

公園で遊ぶ子供の怪我を減らす。また、現在普及している滑り台に新規の遊戯性をもたらすことで、子供の遊びに刺激を与える。

### 3. 定義

本研究における「公園」を定義する。国土交通省によると、公園とは図1のように区分される。このうち、「国民公園」や「地域制公園」は主に自然保護の観点で設置されるものである。本研究では遊具に注目しているため、人々のレクリエーションの空間の提供を目的として遊具が設置される「都市公園」と「その他の公園（主に特定地区公園（カントリーパーク）を指す）」を総じて「公園」と呼称するものとする。

### 4. 分析①

次に、考案する遊具の設置対象を公園として定める。子どもが自由に使える遊具は主に公園・学校に設置されているが、学校では鉄棒など教育目的のものも含まれており、遊びではなく競技の練習を目的とした利用も想定されるため、安全性のうえに遊戯性も追求するという本来の趣旨からはずれが生じるからだ。そのうえで、本研究で着目する遊具を決定するために現在の遊具の実態を調べた。図2は全国の公園における遊具の設置数を示したものだ。これより、踏み板式ぶらんこ、滑り台が特に多いことが分かる。よって研究対象の候補をこの2種類に絞った。身近に多く存在し、子供たちが利用する機会の多い遊具について研究したいと考えたからだ。なお、これらに次いで砂場が多くなっているが、本研究では遊具の構造を練り直すことで危険の解消にアプローチするため、候補からは除外した。

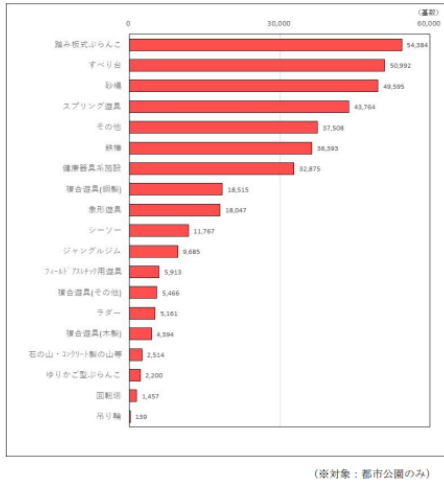


図2 都市公園における遊具等の設置状況

次に事故件数について調べた。図3は、平成21年9月から平成27年12月末日までの調査で、事故の原因となった遊具（公園・広場や学校・保育施設、レジャー施設・店舗等の遊び場に設置されているもの）が特定できているケースの割合を示したものである。ただし、授業など指導中のけがであることが明確なケースは除外されている。これを見ると、滑り台での事故件数が2番目のブランコに2倍近くの差をつけて1番多くなっていることが分かる。

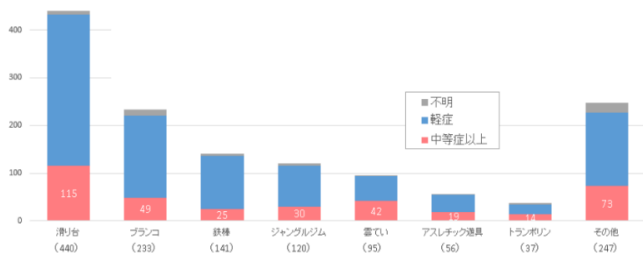


図3 遊具別事故発生件数

しかし、これは公園以外で起こった事故の件数も含まれているため、公園に限定した場合についても調べた。それを示したものが図4である。データ数がやや少ないものの、上とほとんど同様の傾向が見られる。このことから、設置数に対しての事故発生の割合、つまり危険性がブランコよりも滑り台のほうが高いと言える。よって研究対象を滑り台に決定した。

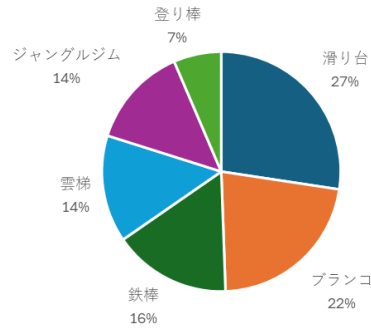


図4 公園における事故の発生場所割合

以上より、本来の遊戯性を保持しつつ、安全性を高めた滑り台を提案することを本研究の目的とする。

## 5. 分析②

滑り台の安全性・遊戯性を高める方法を探るため、滑り台に危険性をもたらしている要素と遊戯性をもたらしている要素（以下、それぞれ「危険要素」「遊戯要素」とする）をそれぞれ分析した。ここで、危険性とは事故の起こりやすさ、遊戯性とは滑り台が本来もつ「滑るという行為によって得られる楽しさ」の得やすさと定義する。

### <危険性>

実際の事故の事例から考える。

事例1	上の子のお迎えについていき、滑り台の一番上に登って遊んでいた。親が上の子に気を取られていた時、落下音がし、見ると滑り台から転落していた。頭部打撲と顔面出血があり、約1週間の入院となった。
事例2	滑り台の手すりのつっぱり部分にポンチヨが引っ掛かり、首が締め付けられる状態となり、救急搬送されたが後日死亡。
事例3	滑り台の滑走面を立ち上がって逆行していた。上から滑り出した別の子供と接触し、約3mの高さから地面へ転落。頭蓋骨骨折の重傷を負った。
事例4	滑り台の柵を越えて遊んでいたところ、高さ3mから墜落し、救急搬送された。胸部・背部を骨折。

事例5	滑り台の上で滑る順番を待っていたところ、柵を越えて横から入ってきた子に押され、そのまま転落。右肘頭骨折のため手術し、入院となった。
事例6	滑り台を滑っていたところ、滑り台の腐食した部分の金属片が指に刺さり治療のため入院となった。

以上の事例より、以下のように危険な要素を抽出できる。

- ・事例1—転落する構造、転落後に自由落下となる構造、落下が危険となる落差
- ・事例2—衣服が引っかかるなどの想定外の事故を発生させる複雑な構造
- ・事例3—正面からの危険を回避できない移動方向の次元性、転落する構造
- ・事例4—想定外の遊びを可能にする複雑な構造、落下が危険となる落差
- ・事例5—割り込みを回避できない狭さ・構造、転落する構造、落下が危険となる落差
- ・事例6—素材の劣化による負傷

これらをまとめると、次のようになる。

- ① 落差を生み出す構造およびその落差
- ② 複雑な構造
- ③ 空間の狭さ
- ④ 素材の特性

これらに加えて、法律で規制されているがために現在広く普及している滑り台では観測しにくい構造を考えるうえで考慮すべき要素として次のようなものも挙げられる。

- ⑤ 角度およびそれに伴って増加する速度
- ⑥ 耐久性

#### <遊戯性>

視覚・触覚から考える。

触覚—滑降面との摩擦の感覚、空気抵抗

視覚—見晴らしを楽しめる高さ、スリルを感じられる落差、スリルを感じられる角度、爽快感を生み出す速度

なお、ここでは落差とは一点から一点へと自然落下する鉛直方向の距離を指し、高さとはある点が存在する水平面全体と地面との距離を指す。つまり、落差は鉛直方向の空間の広がり、高さは水平方向の空間の広がり意識して用いている。摩擦の感覚は速度と素材の特性によるもの、空気抵抗は速度によるものだとさらに細分化してまとめると、次のようになる。

- ① 角度およびそれに伴い上昇する速度
- ② 落差
- ③ 高さ
- ④ 素材の特性

#### <分析>

危険要素と遊戯要素を比較すると、空間の狭さと耐久性だけが危険性のみをもたらす要素、高さだけが遊戯性のみをもたらす要素で、それ以外はどちらにも共通する要素であることが分かった。ここで、構造を考えるうえでの方針を明確にする。危険性と遊戯性に共通する要素については、遊戯性を高めることよりも危険性を低くすることを優先するものと定めた。つまり、初めに遊具を安全にするための条件を考え、次に遊戯性の高さでその条件を絞り込むという具合だ。これは、本研究の目的が安全な遊具を提案することであり、そのうえで遊戯性をどこまで高められるかという構想によるものだからである。

そのうえで、危険要素を解消する方策を考える。

落差を生み出す構造 およびその落差	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落差を小さくする</li> <li>・地続きの構造にする</li> </ul>
複雑な構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手すりや支柱などの構造を変える・取り除く</li> <li>・手すりや支柱などの隙間を埋める</li> </ul>
空間の狭さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・滑降面や滑り台の上の床面を広くする</li> </ul>
素材の特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化しにくい素材を選ぶ</li> <li>・熱を吸収しにくい素材を選ぶ</li> </ul>

角度およびそれに伴って増加する速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・角度を小さくする</li> <li>・角度を大きくして滑降面を短くする</li> </ul>
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化しにくい素材を選ぶ</li> <li>・衝撃に強い構造にする</li> </ul>

このようにまとめると、項目の多さゆえに、複数の条件を同時に満たす構造を一度に導き出すのは難しいことがわかる。そこで、この中でさらに優先順位を定めるため、実際にどの危険要素による事故発生割合が高いのかを調べた。その結果が図5である。

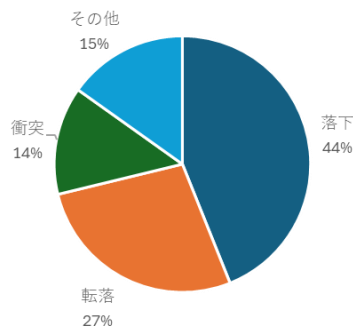


図5 事故発生要因の割合

これより、落下・転落による事故が圧倒的に多く、次いで衝突による事故が多いことがわかる。したがって、落下・転落の原因となる落差問題の解消することを第一の目標とする。

まず、落差を小さくする方策について考える。これは最も単純な問題解消法の一つであるが、デメリットも多く存在する。例えば、落差を小さくすることとは高さを下げることと同義であり、空間の広がりを楽しむ視覚的遊戯性が損なわれたり、速度の低下によって摩擦や空気抵抗が生む「滑っている感覚」が得られなくなったりする。したがって、単に落差を小さくする方向性は遊戯性の保持という観点ではなるべく避けたいものだといえる。

ここで注目したのが地続きの構造である。既存の滑り台のほとんどは細い一直線上の構造であり（以下、これを現行滑り台と呼ぶ）、側面および歩行面・滑降面の下はひらけた空間となっている。落下・転落の原因はこの空間であるため、こ

れが埋まっている地続き型（以下、これを地続き型滑り台と呼ぶ）であれば高さを保ちつつ落差問題を解消できるのではないかと考えた。



図6 地続き型滑り台

図6はその代表的な例である。いずれも滑降面の周囲に落差がない。また、滑降面に十分な広さがあるため、事故要因で落下・転落に次いで多い衝突も防げると考えられる。さらに、地面そのものが滑り台の支えとなっていて耐久性に優れており、それゆえに滑降面の素材の自由度が高い様子も伺える。手すりなどの構造を見てみても、落下対策が必要ないため最小限の仕切りのみとなっていて、衣服が引っかかって宙吊りになるなどの事故は起きにくいことがわかる。このように、地続き型滑り台には現行滑り台では得られないメリットが多い。しかしながら、欠点も存在する。それは、構造の性質上、土地そのものの高低差が必要不可欠であることだ。滑り台の遊戯性を保持するうえでは欠かせない角度やそれに伴う速度は土地の勾配に依存することとなり、そうすると必然的に規模が大きくなってしまふ。これでは、公園のうち比較的規模の小さいものへの設置が難しくなると懸念される。そこで、地続きかつ小規模にできる構造がないか模索した。そこで新たに注目したのが図7の富士山滑り台である。



図7 富士山滑り台

これは名古屋市に見られる滑り台で、山頂部分を中心として放射状に滑降面が広がっている。この型では先述の地続き型滑り台のメリットをほぼ完全に引き継いでいる。さらに、現行滑り台よりは規模が大きくなってしまふものの、他の地続き型滑り台と比べると圧倒的に小規模で設置できる。これらの理由より、私たちは富士山滑り台から着想を得て、安全性と遊戯性を追求した「山型滑り台」を考案することを決定した。

この時点で、落差、複雑な構造、空間の狭さ、耐久性の問題は解消された。したがって、角度およびそれに伴う速度と素材の特性について考えなければならない。ここで、速度は素材との摩擦の大きさに依存するため、先に素材を選択する必要がある。

### 6. 分析③

素材を決定する。まず、一般的に滑り台の滑降面に使用されているコンクリート、ステンレス、プラスチックから絞り込もうと考えた。初めに、安全性の問題から劣化のしやすさ・吸熱のしやすさの観点で各素材を比較する。劣化については、広く普及していることからわかるようにどの素材もある程度の耐性がある。次に、吸熱のしやすさを示す比熱は、順に 880、460、2300[J/(kg・℃)]となっていて、プラスチックが優れていることがわかる。コンクリート、ステンレスに関しては、特に夏場に人間の体温を大幅に超える温度まで上昇するため、候補から除外した。そこで、候補として残ったプラスチックについて再度検討を行う。プラスチックの大きな欠点は、摩擦によって静電気が起こりやすいことである。これは滑る際に不快感を与えるだけでなく、速度にも影響を及ぼすため、遊戯性の面ではかなりの懸念点だ。

ここで注目したのが人工芝素材である。写真3のように実際に使われている素材で、プラスチックで形成されているため劣化にも強い。また、そりを使って滑る芝滑りの方式ならば静電気の影響も受けにくい。さらに、現在普及している芝滑

りは一方向のものがほとんどであり、山型滑り台のように多方向に芝滑りができる構造は新規の遊戯性を生み出すのではないかと考えた。以上から、私たちは芝を滑降面の素材として選択し、子どもの遊びに適した斜面の角度および滑降速度を求めることとした。

## 7. 研究方法①

### 実験①

候補として挙げた人工芝(この実験では丈の短い芝(0.50cm)と長い芝(2.0cm)で分ける)とHDPE(高密度ポリエチレン)の動摩擦係数を調べる。これらの素材でできた板を長さ70.0cm、地面との角度30度で固定し、その上でおもりを滑らせ、最下点での速さを速度測定器を用いて計測する。おもりの斜面との接地面は段ボール、PP(ポリプロピレン)板の2つを検証する。各々の組み合わせでそれぞれ50回ずつ滑らせ、計測した速度を式④に代入して動摩擦係数を求め、それぞれの条件での平均をとる。

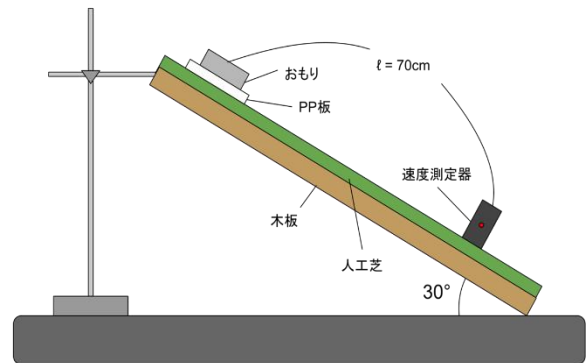


図8 実験①モデル

エネルギーと仕事の関係式

$$mgl \sin \theta - Fl = \frac{1}{2}mv^2$$

動摩擦力

$$F = \mu N$$

垂直抗力

$$N = mg \cos \theta$$

以上より、

$$\text{式: } \mu = \tan \theta - \frac{v^2}{2gl \cos \theta}$$

$m[\text{kg}]$  : 滑らせる物体の質量

$g[\text{m/s}^2]$  : 重力加速度 (9.797 $\text{m/s}^2$ )

$l[\text{cm}]$  : 始点～速度測定器までの木板上距離

$v[\text{m/s}]$  : 速度測定器の値

$\theta[^\circ]$  : 木板の斜面と地面がなす角度

## 8. 結果・考察①

実験①の結果は以下ようになる。

	丈の短い人工芝 (0.50cm)	丈の長い人工芝 (2.0cm)	HDPE
段ボール	0.396 ( $m=0.4082$ )	0.407 ( $m=0.4085$ )	0.268 ( $m=0.4085$ )
PP	0.363 ( $m=0.4065$ )	0.401 ( $m=0.4065$ )	0.313 ( $m=0.4065$ )

斜面の素材が人工芝の場合はおもりの斜面との接地面が段ボールの時より PP 板の時のほうが動摩擦係数が大きいのにに対し、斜面の素材が HDPE 板の場合はおもりの斜面との接地面が段ボールの時より PP 板の時のほうが動摩擦係数が小さくなっている。ここで、それぞれの条件下でのおもりの速度を比較すると以下ようになる。

	丈の短い人工芝 (0.50cm)	丈の長い人工芝 (2.0cm)	HDPE
段ボール	1.47	1.42	1.92
PP	1.59	1.45	1.77

斜面が HDPE 板の時のおもりの速度は斜面が人工芝の時より明らかに速くなっている。

## 9. 研究方法②

実験②

式はおもりにかかる空気抵抗を無視しているため、空気抵抗の考慮の必要性を検証する。PP 同士の動摩擦係数は判明しているため、実験①

と同様の条件で PP 板を固定し、おもりの斜面との接地面を PP 板にして滑らせる。おもりを滑らせる距離を 70.0cm、60.0cm、50.0cm、40.0cm、30.0cm の 5 つに分けて検証し、最下点での速度を測定する。各々の組み合わせでそれぞれ 50 回ずつ滑らせ、計測した速度を式④に代入して動摩擦係数を求め、それぞれの条件下での平均をとる。この実験ではおもりの質量を 406.5g とする。

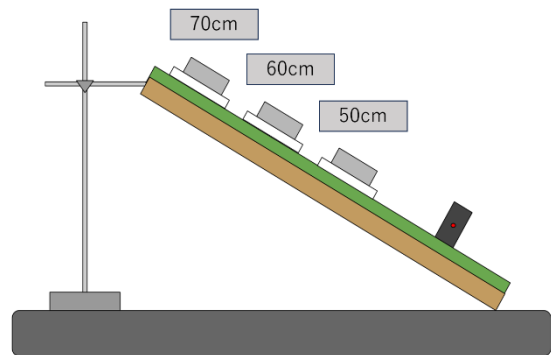


図9 実験②モデル

## 10 結果・考察②

実験②の結果は以下ようになる

距離 (cm)	70.0	60.0	50.0	40.0	30.0
動摩擦係数	0.292	0.282	0.276	0.271	0.265

おもりを滑らせる距離を長くするにつれて、抵抗が大きくなっているため、おもりは空気抵抗の影響を大きく受けていると考えられる。そのため、空気抵抗を限りなく小さくする(速度をできる限り落とす)ことでより精密な結果を得られるのではないかと考えた。

## 11 研究方法③

実験③

結果②より以下のような測定方法で PP 板の摩擦係数を調べる。おもりの重力での自由落下を定滑車によって水平な力に変換し、水平に固定した PP 板の上で物体を滑らせる。滑らせる距離を 5.0cm から 80.0cm まで 5.0cm 刻みで設定し、速

度を計測する。それぞれの条件下で 20 回物体を滑らせ速度を計測する。計測した速度を式③に代入して、それぞれの場合における動摩擦係数を求め、各々の条件下での動摩擦係数の平均をとる。

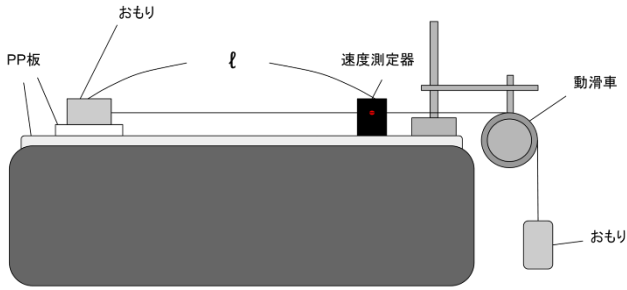


図 10 実験③モデル

エネルギーと仕事の関係式より

$$mgl - \mu Mgl = \frac{1}{2}(M + m)v^2$$

これを整理して

$$\mu = \frac{m}{M} - \left(\frac{m}{M} + 1\right) \frac{v^2}{2gl}$$

ここで  $\frac{m}{M}$  は一定であるため、 $\frac{m}{M} = K$  (定数) とすると

$$\mu = K - (K + 1) \frac{v^2}{2gl}$$

$M[\text{kg}]$  : 滑らせる物体の質量 ( $4.47 \times 10^{-3} \text{kg}$ )

$m[\text{kg}]$  : おもりの質量 ( $11.0 \times 10^{-3} \text{kg}$ )

$g[\text{m/s}^2]$  : 重力加速度 ( $9.797 \text{m/s}^2$ )

$l[\text{m}]$  : 滑らせた距離

$v[\text{m/s}]$  : 速度測定器の値

## 12 結果・考察③

距離 (cm)	速度 (cm/s)	動摩擦係数
5.0	24.8	0.317
10.0	34.6	0.320
15.0	38.2	0.336
20.0	44.6	0.334
25.0	50.7	0.332
30.0	55.0	0.333
35.0	57.2	0.338
40.0	59.0	0.343

45.0	63.5	0.341
50.0	65.6	0.344
55.0	69.2	0.343
60.0	73.1	0.342
65.0	75.4	0.343
70.0	78.6	0.342
75.0	81.0	0.343
80.0	81.4	0.346

滑った距離 (cm)	動摩擦係数 (実験 2)	動摩擦係数 (実験 3)
70.0	0.293	0.342
60.0	0.283	0.342
50.0	0.276	0.344
40.0	0.272	0.343
30.0	0.265	0.333
差	<b>0.028</b>	<b>0.009</b>

結果より実験②に比べ、摩擦係数の変化は緩やかになったため、空気抵抗の影響は小さくなったと考えられる。しかし、これだけでは実験②よりも摩擦係数を図る方法として適切であるとは言い切れない。

## 13 今後の展望

実験をより確実なものにするため、速度をさらに速くするなどして摩擦係数の変化がどうなるかを調べ、空気抵抗の影響を数値として求めたい。そして空気抵抗を考慮した長芝、短芝での摩擦係数の計測を行い、最も適した素材を決定し、滑降面の角度を定めることで、滑り台の構造の考案をしていきたい。また、設置に際して社会的な問題が発生しないかも考慮する必要がある。

## 14 引用文献・参考文献

桑原淳司、仙田満、矢田努(1996年). 「幼児施設の園庭遊具における事故とその安全性について」  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jilal1994/60/5/60\\_5\\_639/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jilal1994/60/5/60_5_639/_pdf/-char/ja). 2024年11月17日

国土交通省（2019）．「都市公園等における遊具等の設置状況・安全点検実地状況(令和元年度末時点)」

<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001487379.pdf>. 2024年11月17日

国土交通省関東地方整備局（2024年）．「国営公園とは？都市公園とは？」

[https://www.ktr.mlit.go.jp/city\\_park/machi/city\\_park\\_machi00000005.html](https://www.ktr.mlit.go.jp/city_park/machi/city_park_machi00000005.html).

2024年11月17日

消費者庁（2016）．「遊具による子供の事故に御注意！」

[https://hyogoms.sharepoint.com/sites/DR78-2712/Shared%20Documents/2712%E9%81%8A%E5%85%B7/160210kouhyou\\_1.pdf?siteid={ED55A684-9974-4656-8C88-8AFD870182CD}&webid={302A8339-3A76-4DF7-A310-043DFD464452}&uniqueid={8E3F406E-BD88-4FD7-B915-51FE81B35CB2}](https://hyogoms.sharepoint.com/sites/DR78-2712/Shared%20Documents/2712%E9%81%8A%E5%85%B7/160210kouhyou_1.pdf?siteid={ED55A684-9974-4656-8C88-8AFD870182CD}&webid={302A8339-3A76-4DF7-A310-043DFD464452}&uniqueid={8E3F406E-BD88-4FD7-B915-51FE81B35CB2}) ouhyou\_1.pdf.

2024年11月17日

# コロナ質量放出（CME）と地震の関係性

藤尾 祥太 三徳 捷吾 横田 結奈 渡瀬 巧  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 1. 研究の背景（動機）

本校 75 回生の柏木創太氏は論文「大地に聞く地震予測」で、東日本大震災発生 30 分前に電離圏総電子数（TEC）の値に異常が発生していたことを提唱した。また、京都大学所属の梅野健教授の論文によると、地表と電離層はそれぞれを極板とする極板間距離がおよそ  $3.0 \times 10^5$  [m] の巨大なコンデンサーのようなはたらきをしており、普段は雷等によって約電位差  $3.0 \times 10^5$  [V] の電位差を維持している。このとき、電場の向きは上空から地表である。更に、地下でも破碎層を誘電体とする巨大なコンデンサーが形成されている。地震発生によりこの破碎層が高温・高圧状態へと変化し、破碎層に含まれている水分が超臨界流体となり比誘電率が著しく低下することによって地中に形成されたコンデンサーの電気容量も比例して低下することで電気量は保存したまま両極板の電位差は  $3.0 \times 10^2$  [V] に増大し、電離層と地表の電位差が小さくなる。その結果地表から電離層への電場が発生する。このときの変化量は  $1.0 \times 10^{-3}$  [V/m] であり、これが TEC 異常の観測される原因である（梅野・水野・高，2024）。

私達はこの研究に対して、地表と電離圏の電位差に比べると地震発生時に作られる地表から電離圏の電場の大きさは微々たるものであるから、この研究とは反対に、太陽活動による巨大なエネルギーが地上に形成されたコンデンサーに影響し、その結果地下のコン

デンサーに耐電圧を超えた電圧がかかることで破碎層の水分に電流が流れ、エネルギー量が大きくなることで地震の誘発につながるのではないかと考えた。つまり、地震発生により電氣的異常が起こると考えられていたのとは反対に、電氣的異常が地震発生のきっかけとなるのではないかと考えたのである。ここで、太陽フレアや磁気嵐と地震に関する研究は多数行われていたが、コロナ質量放出（CME）との関係性を指摘する報告は確認できなかったため CME の影響に着目した。

## 2. 研究の目的

地震調査研究推進本部は、今後 30 年以内に 80% 程度の確率で M8~M9 という規模の地震が発生すると発表した。内閣府によると、最大 32 万 7000 人の死者がでると予想されている。地震の発生を直前に予測することができると、地震の揺れによる被害を大きく減らすことができる。先行研究によって、電離圏異常と地震発生の関係は指摘されている（梅野ほか，2024）。電離圏異常は太陽活動によって引き起こされる場合もあるため、太陽活動と地震の関係を調べることで電離圏異常と地震の関係をより考えることができる。また、太陽活動は観測することができ、予測も行われている。さらに、太陽活動は地震予測に使えると期待されている電離圏異常より発生するのが早く、より早期の地震予測を行える可能性が期待される。そこで、私たちは、太陽活動と地震の関

係性を調べ、地震予測にどのように用いることができるかを調べることを研究の目的とした。

### 3. 実験方法

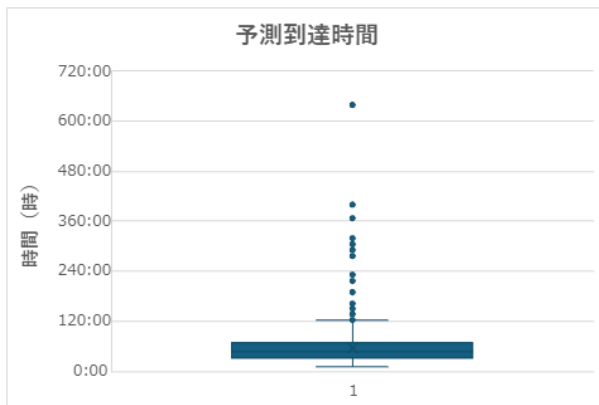
CME が放出する粒子が地球に到達するのには 18 時間～5 日と幅があるため、まずは CME が地球に到達する時刻を予測する。CME のデータは CDAW Data Center (NASA) より 1996 年から 2023 年の、Halo CME と呼ばれる太陽から全方向に放出されるものを取得し、線形速度を用いた。SOHO が観測するまでの時間も求めた上で太陽と地球との距離から CME の発生と地球到達の時間差を計算し予測到達時間とした。ただし計算に用いた線形速度の数値は LASCO の捉えた平均速度として機能するが、実際 CME は加速度運動をしているため加速度が大きい場合は適した近似とは言えない。また、太陽と地球との距離は年間を通して一定ではないが今回は平均距離を用いた。得られた予測時刻を箱ひげ図に表し、5 日を大幅に超える CME は除外して考える。

続けて、CME 到達後に地震の件数が増加しているかを明らかにする。地震のデータはアメリカ地質調査所 (USGS) から全世界でマグニチュード 7 以上のものをダウンロードして使用した。梅野教授によると電離圏異常と相関が見られるのは内陸型地震で M6 以上、海溝型地震で M7 以上であるためどちらも含む M7 以上の地震について研究を行った。検証期間内に発生した地震のうち CME 到達から 1 日以内に発生したものの割合が、普段と変わらないと仮定したときよりも高いと二項検定により判断できれば、CME 到達後に地震の件数が増加していると言える。よって、地震の発生

時刻と CME の予測到達時刻を比較することで、CME の地球到達と地震発生に何らかの規則性を見出すことを試みた。しかし、1996 年～2023 年の 28 年間とはいえ M7 以上の地震となるとサンプル数が決して多いとは言えず、地震発生時刻と CME 到達時刻の比較において CME1 つに地震 1 つが対応しているとは限らない。また、1 日以内と定義したのは、先行研究により太陽活動によって引き起こされる陽子密度の変化と地震 (M5.6 以上) の発生との間に 1 日の時間差で高い相関関係が示されたからである。(Marchitelli, Harabaglia, Troise, & Natale, 2020)

更に私達は CME が持つ運動エネルギーとそれにより誘発される地震の規模についても研究した。地震発生時に発生する地表から電離圏の電場が微弱なものであるため、これら 2 つのデータには相関が見られないと仮説を立て、CME が持つ運動エネルギーとそれにより誘発されると考えた地震のエネルギーの散布図を作成し、相関係数を出して考察する。尚、地震の規模を表すマグニチュードという指標はエネルギーについての対数関数で定義されたものであり、本研究では CME が持つ運動エネルギーとの比較を明らかにするため、マグニチュードと地震が持つエネルギーの変換公式： $E=10^{(1.5M+4.8)}$ を用いた。(ただし、地震が持つエネルギーを  $E[J]$ 、マグニチュードを  $M$  としている。)

#### 4. 結果と考察



予測到達時間の箱ひげ図を示す。外れ値を除いたひげの上端は 129 時間 43 分で、八代 (2021) によって示された 5 日以内に収まっているためこの計算結果は信頼してよいと言えるだろう。また、第三四分位数から四分位範囲の 1.5 倍を超えるデータは外れ値として除外して使用した。その結果検定に使用できる CME は 826 件となった。

ここで、予測到達時間の計算式は CME の線形速度をもとにしているため、LASCO の測定誤差として  $\pm 5\%$  を考慮し再計算したところ、予測到達時間の誤差の最大値はマイナス 6 時間 11 分、プラス 6 時間 50 分となった。

よって「地震発生件数は CME の地球到達後 1 日以内に偏っているわけではない」すなわち「CME の予測到達時刻-6 時間 11 分から 30 時間 50 分の間地震発生件数は普段と変わらない」という仮説を立てる。以降「CME の予測到達時刻-6 時間 11 分から 30 時間 50 分」を期間 T と表記する。調査期間は 1996 年 1 月 1 日から 2024 年 1 月 1 日までの 10,228 日間であり、USGS から取得した M7 以上の地震は 423 件で、期間 T に発生したものは 45 件だった。また、CME が地球に到達した日数は合計 728 日だったことから、この仮説が正しいときこれらの地震のうち期間 T に発生する

件数  $X$  は、二項分布  $B(423, 728/10228)$  に従う。

$X$  の期待値  $m$  と標準偏差  $\sigma$  は (有効数字 3 桁)

$$m = 423 \times 728 / 10228 = 423 \times 0.0712 = 30.1$$

$$\sigma = \sqrt{m \times (1 - 728 / 10228)} = 5.29$$

よって、 $Z = (X - m) / \sigma$  は近似的に標準正規分布  $N(0, 1)$  に従う。

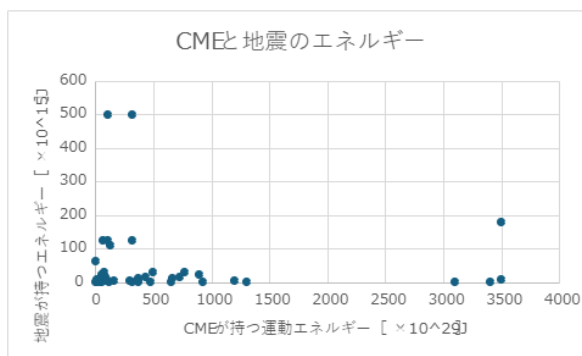
正規分布表から、 $P(-2.58 \leq Z \leq 2.58) \approx 0.99$  であるから、有意水準 1% の棄却域は

$$Z \leq -2.58, 2.58 \leq Z$$

$X=45$  のとき、 $Z = (45 - m) / \sigma = 2.81$  で、この値は棄却域に入るから、仮説は棄却できる。

したがって、CME が地球に到達して 1 日以内の地震発生件数は普段とは異なると判断してよい。

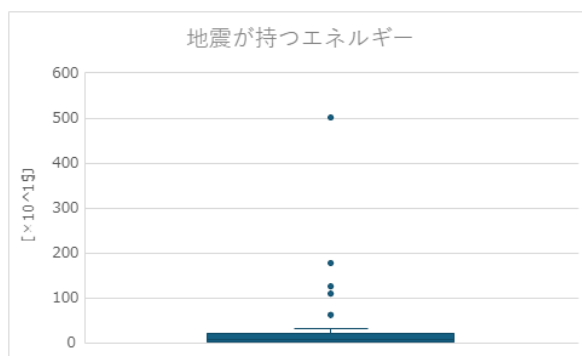
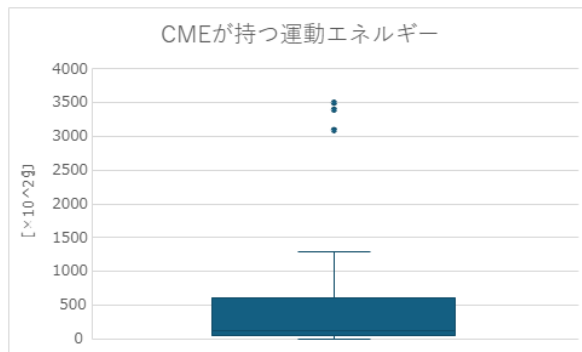
以上二項検定の結果より、CME と地震発生には関係があることがうかがえる。期間 T に地震の発生した事象が、普段と比べ統計的に有意な差をつけて多かったことから、CME が地球に到達してから約 1 日以内に、地震が発生する確率は高くなっていると言えるだろう。



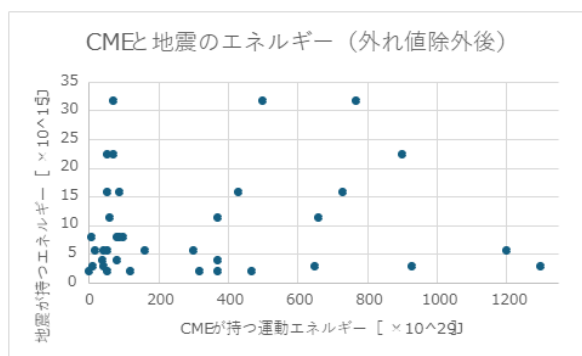
CME が持つ運動エネルギーと地震が持つエネルギーの散布図を上を示す。もし両者に関係があれば、小さなエネルギーを持つ CME は大きなエネルギーを持つ地震を誘発させることができず、また CME が持つ運動エネルギーが大きい

くなればなるほど、誘発されると考えられる地震が持つエネルギーも大きくなるはずである。

ここで、各データを下の図に示す。



この箱ひげ図において、外れ値と判断されたデータを除外して散布図を作成すると以下ようになった。



図から読み取れるように、大きなエネルギーを持つ CME のデータ数が少ないものの、CME が持つ運動エネルギーと地震が持つエネルギーについて正の相関は見られない。

よって CME が持つ運動エネルギーと地震の規模の間には関係はないと言えるだろう。

## 5. 結論

ここまで私たちは、電離圏の異常が地殻に影響を及ぼし地震を誘発する可能性を考え、CME と地震の関係性について研究を行ってきた。CME の地球到達後の地震の偏りについて二項検定を行ったところ、CME が地球に到達してから 1 日以内の地震発生件数は普段よりも多くなっていることが明らかとなった。このことは CME が地球に到達して電離圏異常を引き起こし、地殻に影響して 1 日以内に地震を誘発するという仮説の信憑性を後押しする。加えて、CME がもつエネルギー量とマグニチュードには相関が見られなかったことから、CME の規模に関わらず大地震は起こり得るということがわかる。これはつまり、地表から電離圏への微弱な電場を発生させ得るだけの電氣的異常を CME が電離圏に生み出せば、地震を引き起こすと解釈できるため、私たちの仮説に適合する。以上のことから、CME と地震発生には大いに関係があると考察できる。

今回の私たちの研究は、CME が地球に到達して 1 日以内に地球上のどこかで地震が起きる可能性を示唆するものであり、地震予測へと応用するには大きな課題が残っている。そこで、地震が発生した地点と飛来した CME を被った地域との関係を調査する研究などを進め、地震が発生する可能性が高い地域の特定へとつなげることを今後の展望とする。また、本研究で着目した CME の他に磁気嵐という現象も TEC の値の異常に関与するため、磁気嵐と地震の関係を調査することで新たな地震を誘発する要素を明らかにすることも展望である。

## 6. 参考文献

地震調査研究推進本部. 「南海トラフで発生する地震」.

[https://www.jishin.go.jp/regional\\_seismicity/rs\\_kaiko/k\\_nankai/](https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kaiko/k_nankai/).

2025年3月20日.

梅野健・水野彰・高明慧 (2024). A capacitive coupling model between the ionosphere and a fault layer in the crust with supercritical water. *International Journal of Plasma Environmental Science and Technology*, 18 (1), e01003.

CDAW Data Center (NASA). “SOHO LASCO CME CATALOG” .

[https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/). 2024年11月17日.

USGS. “Search Earthquake Catalog” . <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. 2025年3月20日.

Marchitelli, V., Harabaglia, P., Troise, C. & Natale, G.D. (2020). On the correlation between solar activity and large earthquake worldwide. *Scientific Reports*, 10, 11495.

八代誠司 (2021). 「コロナ質量放出」. 『太陽地球圏環境予測 オープン・テキストブック』, 3-2-3

# 姫路にショッピングセンターを建てるなら

三笠 心菜 石井 沙英  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 要旨

私たちが住んでいる姫路市を、さらに住みやすい地域にすることを目的に、商業施設の立地に注目して研究を行った。研究①では商業施設の事業者、行政、住民の3者にとって利がある商業施設の立地を、法律、需要、アクセスの3観点から分析した。研究②では地域と共生する商業施設とは何かを、姫路市の商業施設の実例の事例を挙げながら考察した。その結果、姫路市の香寺地域に、市民の生活を豊かにし、地域の魅力を伝え、地域と共生し続けることができる商業施設を建てることを提案する。

施設の形態として2種類提案する。1つ目は土地を生かした広い駐車場と、大きなスーパーなどを中心とし、一階建て店舗のみで構成された店並びのもの。

2つ目は、道路を挟んで駐車場のある大きなスーパーを中心にいくつかの店舗が集合したものである。

商業施設の取り組みとしては、地元企業の誘致や駐車場を利用したマルシェ、年齢層の需要に合わせたテナントを提案する。

## キーワード

地域共生 GIS 都市計画 商業施設

### 1. 研究背景・目的

私たちは、食品や衣服の購入、映画のような娯楽など、生活のあらゆる場面で商業施設を利用する。都市生活に欠かせない商業施設は、都市計画の中でも大きな影響を与える。そこで、商業施設はどのように立地しているのか、周辺地域にどのような影響を与えるのかという疑問のもと、新たに設置する商業施設についての研究を始めた。本研究では、より私たちに身近である姫路市に焦点を絞り、研究を行うことにした。

様々な先行研究を調べた中で私たちが最も参考にし

たのが、「これからの社会に求められるショッピングセンターとは：神戸・阪神地域の消費生活をもとに」だ。この研究では、神戸・阪神地域とほかの地域の対照的な特徴のあるショッピングセンターを比較し、周辺住民のアンケートによる利用状況から一般的にどのようなショッピングセンターが求められているのかを示していた。

私たちの研究では、アンケートを使わず、ArcGISによって周辺人口や年齢層などの商業施設の立地と関係のありそうなデータを地図化、分析した。また、実際に商業施設を営業している方の声を聴き、具体的に姫路市のどの地域に商業施設を立てれば地域共生しているのかを示すことを目的とした。

### 2. 研究の流れ

本研究は大きく3つに分けて進めた。

1つ目は、兵庫県や姫路市の都市計画の仕組み、立地の際に必要な法律を学んだ。

2つ目は、GISを用いて、現在の姫路市の商業施設の立地を分析し、それをもとに、どの地域に新しく商業施設を立地するとよいかを考察した。

3つ目は、商業施設へフィールドワークに行き、地域共生の実際の様子等を調べた。

また、より良い立地とは、商業施設の事業者、行政、住民それぞれにとってのメリットを増やし、デメリットを減らせるようなものとした。(表1)は、私たちが行ったフィールドワークをもとにそれらをまとめたものである。

(表 1) 商業施設を立地した際のメリットデメリット

	事業者	行政	住民
メリット	利益	活性化	利便性
デメリット	赤字	空洞化	生活環境

この中から商業施設の立地によって影響が出ることが予想される、利益(その地域の住民の需要)、活性化(人の増加や経済的観点)、利便性(周辺の駅や道路状況)に着目した。

### 1) ショッピングセンターの定義

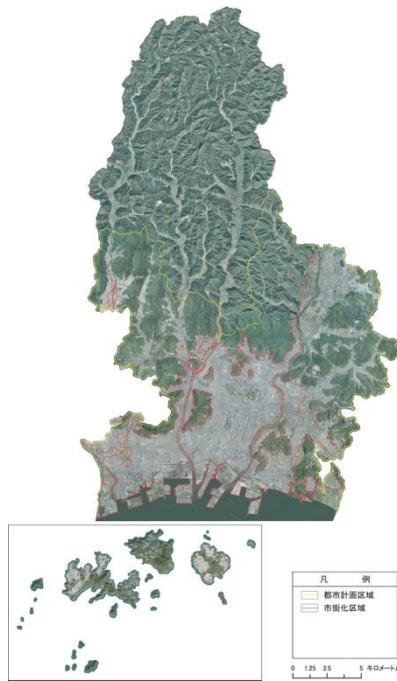
ここで、ショッピングセンターの定義を提示する(一部抜粋)

ショッピングセンターの定義は、以下の4つの条件をすべて満たしている店舗であると日本ショッピングセンター協会によって定義されている。

- 1, 小売業の店舗面積が 1500 m<sup>2</sup>以上であること。
- 2, キーテナントを除くテナントが 10 店舗以上含まれていること。キーテナントとは、当該ショッピングセンターの証券・客層を決定する大きな影響を持つ大型小売店舗である。
- 3, キーテナントがある場合、その面積が全体の 80% 程度を超えないこと。ただし、その他テナントのうち小売業の店舗面積が 1500 m<sup>2</sup>以上である場合には、この限りではない。
- 4, テナント会(商店会)等があり、広告宣伝、共同催事等の共同活動を行っていること。

### 2) 姫路市とは

本研究では姫路市を対象を絞って研究した。ここで姫路市がどのような特徴があるかを述べようと思う。姫路市は、兵庫県の南西部にあり、高砂市、加古川市、加西市、福崎町、市川町、神河町、宍粟市、たつの市、太子町の 5 市 4 町と隣り合っている。JR 山陽本線、JR 姫新線、JR 播但線、中国自動車道や山陽自動車道が通っており、それぞれの地域同士の行き来は比較的しやすい。また、瀬戸内海に面した播磨地域の中央に位置していて、人口は約 51 万人。市域北部は、豊かな森林や田園が広がるとともに、山並みが連なっており、市域の中南部は、世界文化遺産姫路城や姫路駅を中心に市街地が広がっている。



(図 1) 姫路市 (姫路市ホームページから引用)



(図 2) 隣接する地域 (国土地理院地図より引用)

### 3. 結果・考察

#### 1) 研究①〈GISを用いた姫路市の商業施設の立地分析〉

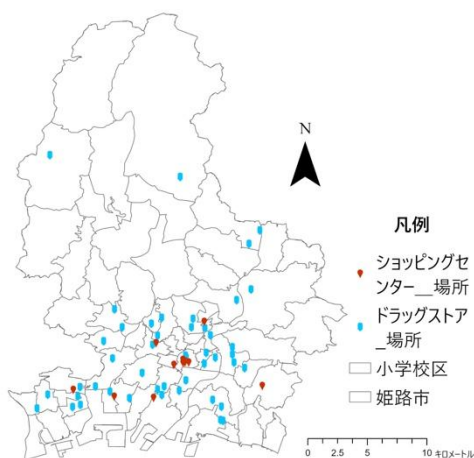
研究①では、法律、需要、アクセスの3つの観点からGISを用いて姫路市を分析し、姫路市のどこに新しく商業施設を建てるべきかを考察した。

まず、現在姫路市にある商業施設の立地を、GISを用いて地図上にプロットした。

次に、商業施設の立地に関係している要素を調べるために、姫路市用途地域、住民の人口・姫路市内の高等学校・鉄道路線と鉄道駅のデータを地図上に表し、分析した。

また、取り扱う商業施設は、規模、証券範囲が大きく、地域に大きな影響を与えるショッピングセンターと、日用品から医薬品まで販売しており、より地域社会や住民と密接にかかわっているドラッグストアとした。そして、使用する商業施設のデータは、一般社会法人日本ショッピングセンター協会のSC白書に記載されている姫路市のショッピングセンターと、iタウンページで「ドラッグストア ゴダイ」「ドラッグストア コスモス」「ドラッグストア ウエルシア」「ドラッグストア マツモトキヨシ」「ドラッグストア キリン堂」と検索して表示されたものとする。

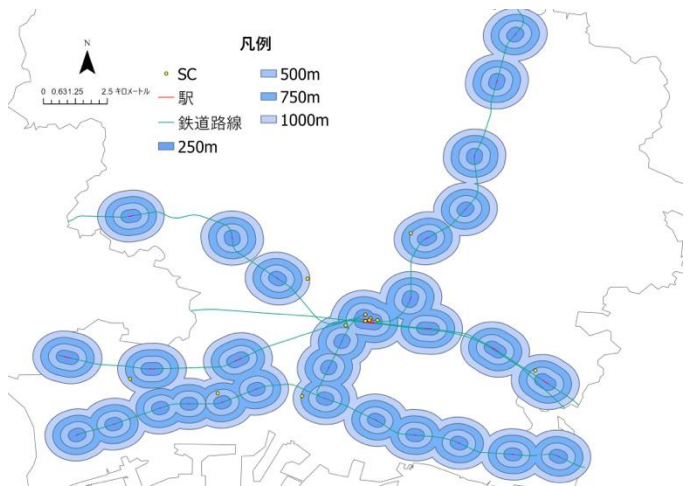
下図3は姫路市のショッピングセンターとドラッグストアの立地を表したものだ。



(図3) 姫路市商業施設立地状況

この図から、姫路市内の南部側にショッピングセンターが立地していて、ドラッグストアは南部に多い傾向がみられるが、北部にも立地していることが分かる。さらに、ドラッグストアはショッピングセンターよりも立地数が多い。実際に調べ、関係者の方に聞いたところ、ドラッグストアの商圈範囲は店舗の規模によって異なるが、店舗から約500m~1000mの範囲である。それに対して、ショッピングセンターの商圈範囲は、20~30kmである。このことから、研究①では、より地域社会に影響を与えられ、ショッピングセンターに注目して分析することにした。

下図4は、姫路市のショッピングセンターと姫路市の各鉄道駅から250m、500m、750m、1000mごとに線を引いたものである。



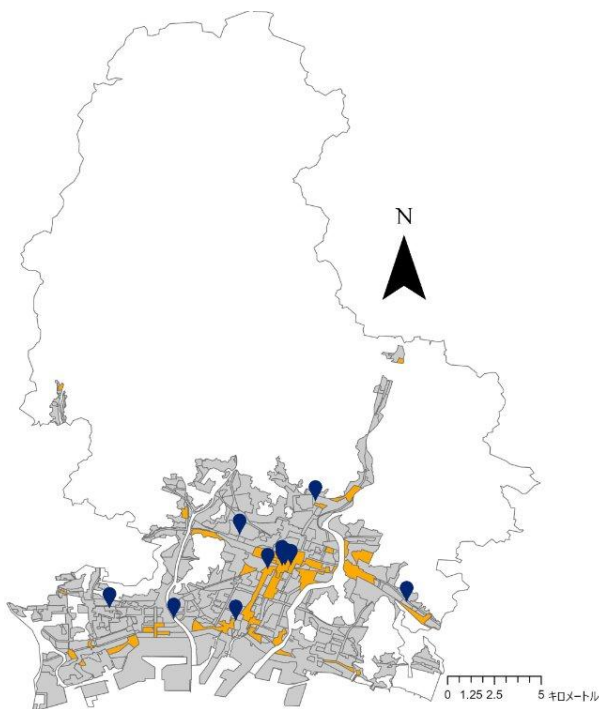
(図4) ショッピングセンターと鉄道駅のバッファー

この図より、鉄道駅から250m内に立地しているショッピングセンターを駅近型、250m外に立地しているショッピングセンターを郊外型とし、分類した。駅近型のショッピングセンターの特徴は、家電量販店などの大型商品を取り扱っている店が少ないことと、有料の立体駐車場や高架下を駐車場にしていることが多く、鉄道でのアクセスを考えているように感じた。一方、郊外型のショッピングセンターは、広大な駐車場があり、主に自動車でのアクセスを考えているように感じた。アクセスの観点で分析する際に、鉄道や自動車などのアクセス方法も考慮しようと考えた。

## I) 法律

実際に立地できるような商業施設を考えるため、まずは法律の観点から考えることにした。

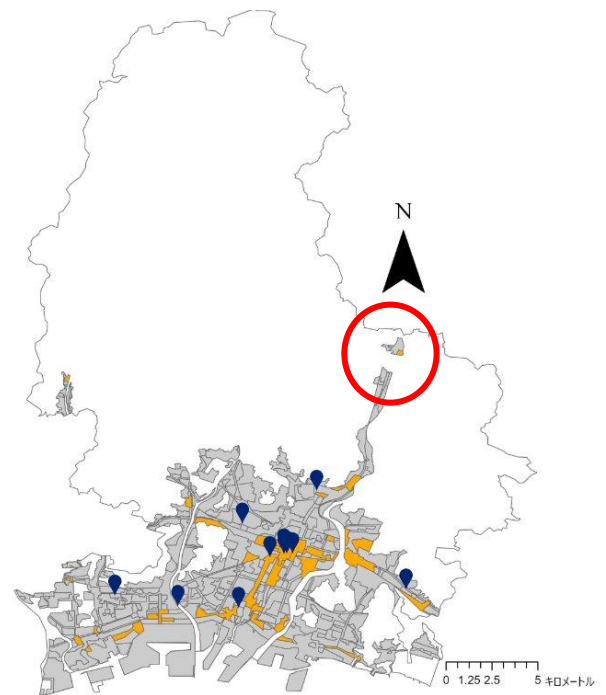
法律の観点からの研究を行うにあたって、兵庫県庁と姫路市役所に FW へ行き、土地利用計画制度について学んだ。そこで、姫路市には、土地をその利用目的によって区分し、建築物などに対するルールを決め、土地の合理的な利用を図り、無秩序な都市の発展を防ぐために、用途地域というものがあることが知られた。用途地域が指定されている地域においては、建築物の用途の制限とあわせて、建築物の建て方のルールが定められている。商業施設を建てることができる地域と建てられない地域もそこに示されている。下図 5 はその用途地域の中でも、1500 m<sup>2</sup>以上の商業施設を建てられる場所をオレンジで、それ以外の都市計画区域を灰色で、そして実際に立地しているショッピングセンターをプロットしたものだ。



(図 5) 姫路市用途地域と SC

凡例
● ショッピングセンター
■ 商業系
■ 住居系、工業系

この図から、実際に立地しているショッピングセンターの多くは、上図 5 で示した商業系の用途地域に立地していることが分かった。この結果と 1 ページ目の〈研究の流れ〉で上げた、「活性化（人の増加や経済的観点）」の観点から本研究で注目する地域を絞り込んだ。絞り込む際、すでにたくさんの商業施設が建っている姫路市南部より、周りに競合の少ない北側で、用途地域で商業施設を建てることが可能である地域を条件とした。その結果、本研究では下図 6 に示した、赤い丸の地域(香寺地域)に注目して研究を進めることにした。

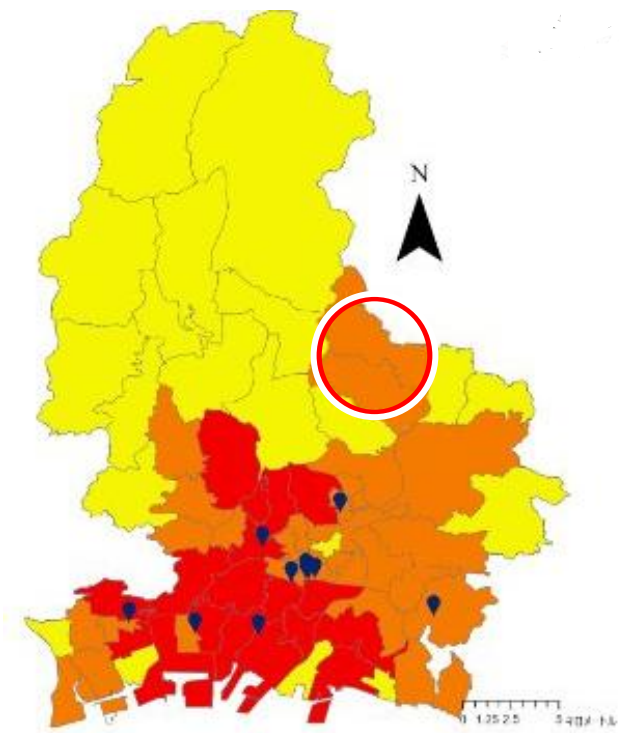


(図 6) 姫路市用途地域と SC

凡例
● ショッピングセンター
■ 商業系
■ 住居系、工業系

## II) 需要

次に、〈研究の流れ〉で上げた、「利益(その地域の住民の需要)」について考えた。住民の需要はその地域の人口に大きく影響していると考えた。図 7 は姫路市ショッピングセンターと小学校区別人口階級区分を表している。黄色から赤色になるにつれて人口が多くなっていることを示す。



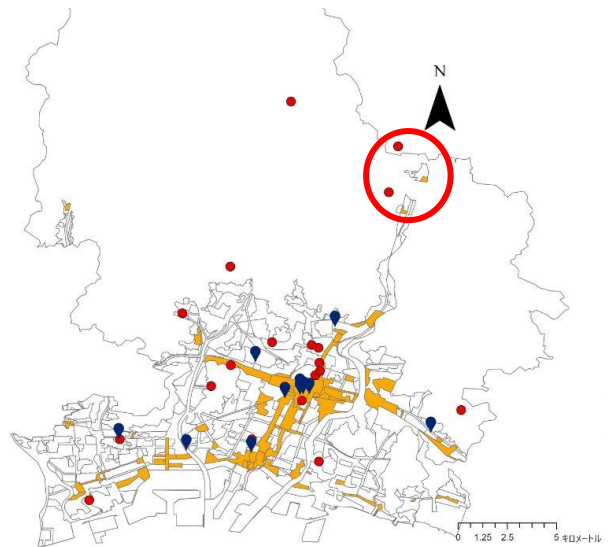
(図7) 姫路市小学校区別人口階級区分とSC

凡例	
●	ショッピングセンター
■	648-4760 (人)
■	4761-10252 (人)
■	10253-18691 (人)

この図からわかるように、赤色やオレンジ色の人口が多い地域にショッピングセンターが立地していることが分かる。よって、人口が多い地域程住民の需要が大きいと考えた。そして、私達が注目した香寺地域は人口が二番目に多い階級であることが分かる。よって香寺地域は消費者や就業者が十分におり、需要があるといえる。

また、下の図8はショッピングセンターと姫路市内の高校、商業施設を建てることのできる地域を表している。

凡例	
●	ショッピングセンター
■	商業系
—	鉄道路線
■	鉄道駅



(図8) 姫路市高校とSC

凡例	
●	ショッピングセンター
■	商業系
●	姫路市内の高校

この図から、注目している香寺地域周辺には高校があることが分かる。これより、学校帰りに寄ったり、勉強をしたりなど若年層からも需要があると考えた。よって、需要の観点からは、香寺地域はショッピングセンターの立地に適していると考えた。

### III) アクセス

最後に、〈研究の流れ〉で上げた、「利便性(周辺の駅や道路状況)」の観点から立地を分析した。

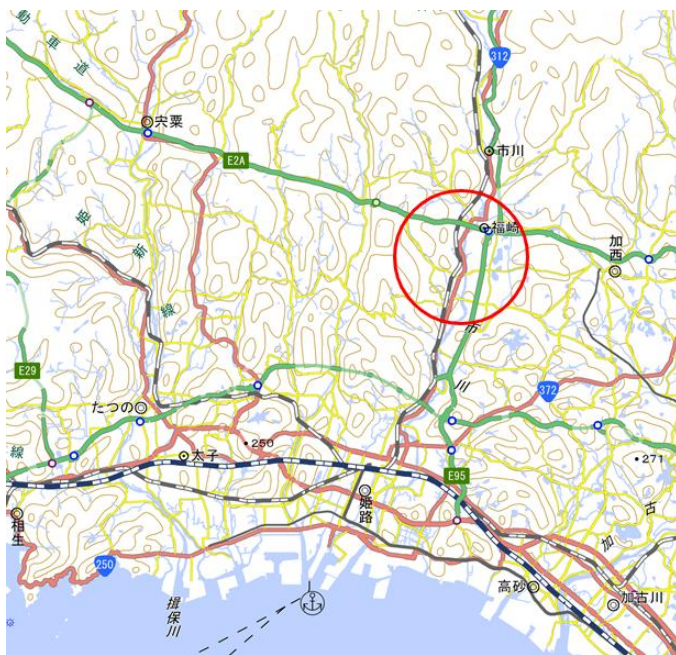
図9はショッピングセンターと鉄道駅、鉄道路線、商業施設を建てられる地域を表している。



(図9) 姫路市鉄道路線・鉄道駅とSC

図9から、ショッピングセンターは鉄道沿いにあることが分かる。これより、商業施設へのアクセス方法として、鉄道を利用している人がいると考えた。よって、鉄道駅の周辺に商業施設を立地することはアクセスの利便性につながる。香寺地域には播但線が通っており、香呂駅と溝口駅がある。このことから香寺地域は鉄道でのアクセスは良い。

下図10は姫路市の交通網を表した地図だ。



(図10) 姫路市の道路 (国土地理院地図より引用)

この地図から、香寺地域には国道312号線があることが分かる。よって、鉄道でのアクセスだけでなく、自動車でのアクセスも可能である。鉄道や自動車でのアクセスも可能なため、地域住民だけでなく、姫路市外からの利用も考えられる。このことから、その地域の人口増加や経済が回ることに繋がると考えた。

I、II、IIIより、私達は姫路市の香寺地域に商業施設を立地することを提案する。



(図11) 香寺地域

図11から分かるように、香寺地域は多くが山地や農地で、香呂駅と溝口駅を中心に住宅地や商業業務地が広がっている。香寺地域の中でも、この2駅の周辺に商業施設を建てることを提案する。

また、「姫路市都市計画マスタープラン」という市民生活や産業を支える施設整備を進める、都市計画の基本方針を示したものがある。香寺ブロックについて書かれたものを抜粋する。

●地域づくりのテーマ

交流を育む田園文化都市

●地域づくりの目標

- ①住環境の工場を目指す田園文化都市づくり
- ②利便性の高い交通拠点づくり
- ③緑と調和したゆとりと潤いのある住宅市街地づくり

これは、他のブロックと比べて、住民がよりよい暮らしをすることを、目標に多く含んでいる。よって、香寺地域には大型商業施設ではなく、緑と調和した田園文化を壊さないような商業施設になるような施設の形態を考える。

2) 研究②

〈FWを通じた地域と共生する商業施設とは〉

私たちは、「ピオレ姫路」と「ゴダイ株式会社開発統括本部」にFWへ行き、実際に施設を運営している立場の方々に話を伺った。

ピオレ姫路は、JR西日本のアーバン開発株式会社で、駅近の立地と幅広い年齢層に向けたテナントを備えたショッピングセンターだ。駅型立地のため商圈範囲も広く、電車でのアクセスも比較的多い。専用の駐車場がないため、車でのアクセスはあまり多くない。香寺地域には駅があり、鉄道でのアクセスも考えられるため、駅型立地のピオレ姫路を選んだ。

ゴダイは、姫路を発祥とする薬局やドラッグストアなどの店舗を展開する、地域密着型の企業だ。今回はドラッグストアの運営に着目している。独立したゴダイドラッグストアでは、その多くが広めの駐車場を持っており、車や自転車でのアクセスが多くを占めている。私たちが焦点を当てた商業施設の形態とは異なるが、地域に根付いた企業運営から地域共生について聞きたいと思い、選んだ。

#### I) 商業施設にとっての地域共生とは

地方の人口減少やインターネットショッピングの流通が原因となり、利用が減っていく商業施設は多くなるだろう。そこで、私たちはこれから商業施設が新設され、存続していくためには、地域の人々の要望に寄り添う運営・地域共生が重要だと考えている。

実際に商業施設の運営に携わっている人は地域共生に対してどのように思っているのか、必要に迫られてなのかあるいは企業として当然なのか、等についてを伺った。

回答は2社とも似たようなものだった。商業施設、地域、市民のそれぞれ利があるように、というのが特に考えられているようだった。ここで利とは、商業施設にとっては利益が出ること、地域にとっては経済が回ること、市民にとっては需要が満たされること、などが挙げられる。

また、当然企業にとっては損が出ない絶妙なバランスが大切だ。どこまで地域の声を聴き反映させるかの塩梅が、地域共生の運営で商業施設の存続にかかわる部分となっている。

ビジネスと道徳のバランス、という言葉も出てきた。運営のための利益追求と、地域共生とを両立させ、地域共生から出せるメリットを最大限にする運営を大切にしている。

#### II) 実際の共生の例

実際に地域共生としてどのような活動をしているかについても伺った。

ピオレでの活動は、数日間地域の企業などが出店することもできる「ピオレラボ」というスペースを作ったり、駅前のイルミネーションを装飾したりといったものだ。ゴダイでは、利益が出るとは言えない深夜までの営業時間の延長や、新商品を安く売ったり、運動の促進や健康診断をしたりといったことを行うイベントの開催がある。

これらの例を、住民、行政、事業者のそれぞれの立場に利があるのかも考え分析した。

##### ・営業時間の延長

→利便性が上がることから住民に利がある

##### ・イベント

→店が出る、経済が回る、人が来て利益が出る

ことから住民、行政、事業者に利がある

##### ・ピオレラボ

→地元企業の活性化から行政に利がある

##### ・イルミネーション

→人が集まりことから行政と事業者に利がある

これらのことから、商業施設側は、利益追求だけでなく、地域と共生していくために、行政や住民にも利があるような活動をしていることが分かる。

#### III) ドラッグストアの展開

ここ数年間で、よく見られるドラッグストアの乱立について、新しく建てる商業施設の立地に参考にしたと聞いた。西高周辺でも、大きな土地が空いたかと思えばドラッグストアができていく印象だ。企業の種類こそ多いものの、商品は似たようなものであるはずなのになぜ店舗展開が進んでいるのかについて伺った。

近年では野菜や肉を置いているドラッグストアもあるようだ。コンビニのような他の商業施設にも言えることだが、利用者が減っている今、商品の幅を増やして利益を上げていることにより、商業施設それぞれの形態の垣根がなくなっている。こういった傾向は利用者にとっても買い回りの必要がなくなり、地域共生の一部ともいえる。よってドラッグストアの重要が高まっているようだ。

## 4. 結論および今後の展望

### 1) 結論

商業施設の事業者、行政、住民のそれぞれにとって利益のある商業施設の立地を、法律、需要、アクセスの観点から、データを地図に表すことで分析し考察した。その結果、実際に商業施設の立地が可能であり、人口や周辺施設の分析より需要があることが考えられる、研究①で示した香寺地域に、市民の生活を豊かにし、地域の魅力を伝え、地域と共生し続けることができる商業施設を建てることを提案する。

地域と共生し続けていくためには、地域の特徴にあった商業施設にする必要がある。ここでは、施設の形態として2種類提案する。

1つ目は、イオンタウン姫路別所というショッピングセンターのような、土地を生かした広い駐車場があり、大きなスーパーなどを中心とした一階建ての店舗で構成された、店並びのものである。



(図 12) イオンタウン姫路別所 (google map より)

この形態は香寺地域の広い土地を有効に利用でき、香寺地域の都市計画の目標に沿っている。

2つ目は、城北マックスバリュとその周辺のような、道路を挟んで両側に駐車場のあある大きなスーパーを中心に、いくつかの店舗が集合したものだ。



(図 13) 城北マックスバリュ周辺 (google map より)

また、香寺地域に商業施設を立地すると、自動車でのアクセスは、主に国道 312 に集中することが予想される。この道は普段の通勤等でも利用されるため、商業施設の立地による混雑は考慮する必要がある。対策としては、駐車場へ右折で入らないようにすることだ。店舗形態の提案として道路を挟んで両側に駐車場を設けるとしたため、道路のどちら側からでも駐車場に入れるようにすることが可能である。それに加えて、駐車場への入り口を複数にすることも有効だと考えた。そして、国道 312 の交通量が増加し、周辺道路の交通も考えられるため、道路の整備をする必要がある。道路についてだけでなく、商業施設を立地すると、交通以外にも騒音や異臭、夜間の営業時間による点灯時間のように、地域住民に与える影響も多く考えられる。立地するまでに地域住民とよく話し合い、商業施設の事業者、行政、住民のそれぞれにとって利益のある商業施設の立地の実現に向けて考えることが必要だ。

商業施設の取り組みとしては、地元企業の誘致や駐車場を利用したマルシェを開く。そうすることで、新しく商業施設を建てたことによる、周辺企業の衰退を防ぐことができる。年齢層の需要に合わせたテナントを提案する。

### 2) 今後の展望

提案した香寺周辺地域の特徴を知り、具体的な共生方法を考えること、また、商業施設のテナントも考慮して分析することである。

## 5. 謝辞

本研究を行うにあたって、GIS の使い方から研究のご指導をしてくださった、兵庫県立大学環境人間科学部 環境人間学科 太田尚孝教授をはじめとする、兵庫県立大学環境人間科学部の大学生 4 名には深く感謝申し上げます。並びに、兵庫県庁、姫路市役所、ゴダイ株式会社開発統括本部、ピオレ姫路でのインタビューにご協力くださったみなさま、謹んでお礼申し上げます。

## 6. 引用文献・参考文献

先行研究

<https://da.lib.kobe-u.ac.jp/da/kernel/0100485447/0100485447.pdf>

一般社団法人 日本ショッピングセンター協会 SC 白書

[https://www.jesc.or.jp/sc\\_hakusho\\_digital/2023/index\\_h5.html#2](https://www.jesc.or.jp/sc_hakusho_digital/2023/index_h5.html#2)

兵庫県庁ホームページ

<https://web.pref.hyogo.lg.jp/>

姫路市ホームページ

<https://www.city.himeji.lg.jp/>

国土数値情報

<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>

姫路市人口動態調査

<https://www.city.himeji.lg.jp/shisei/0000006204.htm>

校区別年齢別人口

<https://www.city.himeji.lg.jp/shisei/0000024002.html>

全国市区町村境界データ

<https://www.esri.com/products/japan-shp/>

姫路市概要

<https://www.city.himeji.lg.jp/himejikids/000007080.html>

<https://www.city.himeji.lg.jp/sangyo/0000003283.html>

国土地理院地図

<https://maps.gsi.go.jp/#11/34.803373/134.767914/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k010u0t0z0r0s0m0f1>

# なぜ地方において特定技能在留外国人受け入れが進まないのか

浅田 こはる

(兵庫県立姫路西高等学校)

## 要旨

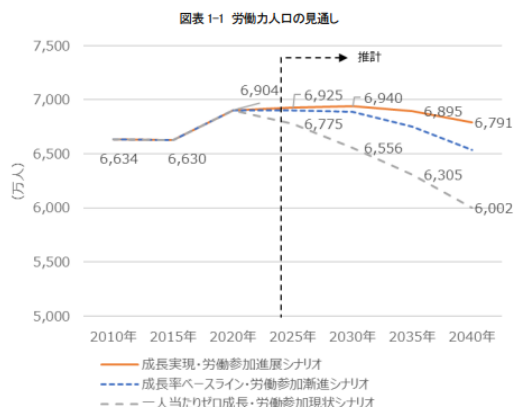
近年、日本では労働力不足が進んでいるが地方においては特定技能在留外国人の受け入れが進んでいない傾向にある。分析を行った結果、経済的問題、教育的問題、労働環境的問題が地方における受け入れを困難にしていることが考察された。

## キーワード

特定技能制度 地方創生 政策提案

## 1. 研究背景

近年、日本では人口減少に起因する労働力不足が進んでいる。

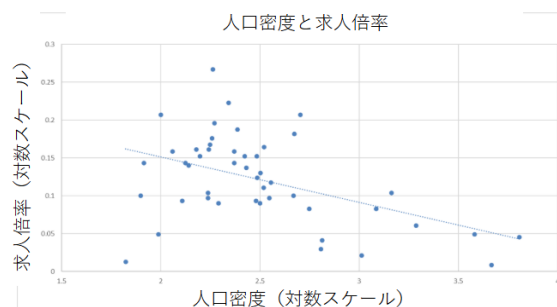


(図 1) 出典：独立行政法人労働政策研究・研修機構 (2024) p. 3

上記の図 1 により、今後日本がどのようなシナリオを辿ろうと、労働力人口は減少するであろうことが考察できる。

また、この労働力不足の状況は地域により

大きく異なっている。図 2 の散布図により、人口密度が大きくなるほど求人倍率が低くなっていることが分かり、このことから人口密度が小さい地方において求人倍率が高い、つまり労働力が不足していることが考察できる。



(図 2) 人口密度と求人倍率

(表 1) 図 2 に係る使用データと加工方法

データ	加工方法	出典	年または年度
人口密度	対数化	e-Stat	令和五年
求人倍率	対数化	e-Stat	令和四年

ここで、本研究においては地方における労働力不足の解決の手段として特定技能制度に着目することにした。特定技能制度は 2019 年 4 月に創設され、現在日本には全国で約 25 万人の「特定技能」在留外国人がいる。(令和 6 年度 6 月末現在)

尚、特定技能制度には「特定技能 1 号」、「特定技能 2 号」の二つの在留資格があり、二つの在留資格は表 2 のように異なる。

(表2) 「特定技能1号」「特定技能2号」対照表

	特定技能1号	特定技能2号
在留外国人 数(令和6 年6月末現 在)	251,594人	153人
在留期間	1年, 6か 月又は4か 月ごとの更 新, 通算で 上限5年ま で	3年, 1年又 は6か月ご との更新
技能水準	試験等で確 認(技能実 習2号を修 了した外国 人は試験等 免除)	試験等で確認
日本語能力 基準	生活や業務 に必要な日 本語能力を 試験等で確 認(技能実 習2号を修 了した外国 人は試験等 免除)	試験等での確 認は不要
家族との帯 同	基本的に認 めない	要件を満たせ ば可能(配偶 者, 子)

しかし、地方における特定技能在留外国人の受け入れ数は一般に少ない。本研究ではその理由を解明することにした。

## 2. 研究目的・意義

この研究の目的は、地方における特定技能在留外国人受入数が少ない理由を解明することである。

また、この研究はSDGs目標11、「住み続けられる街づくりを」そして、地方における受け入れに係る外国人側の問題を解決するという観点からはSDGs目標10、「人や国の不平等をなくそう」に深く関わっている。

## 3. 研究方法

この研究においてはどのような要素が受け入れ数を決めているのかを分析するため、単回帰分析を行うことにした。データは以下の通りであり、全て47都道府県データである。

(表3) 目的変数

データ	加工方法	出典	年または年度
「特定技能1号」在留外国人数	対数化	出入国在留管理庁	令和五年

(表4) 単説明変数(経済指標)

データ	加工方法	出典	年または年度
平均賃金	対数化	厚生労働省	令和五年度
農業産出額	対数化	e-Stat	令和四年
産業産出額	対数化	e-Stat	令和四年

(表5) 説明変数 (教育指標)

データ	加工方法	出典	年または年度
日本語教室数	対数化	文化庁	令和四年
日本語講師数	対数化	文化庁	令和四年
技能実習生数	対数化	e-Stat 在留外国人統計	令和五年

(表6) 説明変数 (労働環境指標)

データ	加工方法	出典	年または年度
平均出勤日数	対数化	厚生労働省	令和四年
所定内労働時間	対数化	厚生労働省	令和四年

(表7) 各指標の相関係数

指標名	相関係数
平均賃金	0.694
農業産出額	0.767
産業産出額	0.800
日本語教室数	0.856
日本語講師数	0.959
技能実習生数	0.837
平均出勤日数	-0.567
所定内労働時間	-0.668

#### 4. 結果・考察

この相関分析により、1において挙げた問いの答えを出すことができた。それは、地方において受け入れ数が少ないことは賃金の低さ・産業が盛んでないこと・教育の機会

の少なさ・労働環境の劣悪さに起因するものだというのである。

これらの点を改善することで、問題の解決が可能となると言えよう。

#### 5. 参考文献

- ・独立行政法人労働政策研究・研修機構 (2024). 「2023年度版労働力需給の推計 (速報)」, p3
- ・内閣官房デジタル田園都市国家構想実現会議事務局 (令和6年3月) 「地方創生に資する地方公共団体の外国人材受入関連施策等について」
- ・e-Stat (令和5年12月) 在留外国人統計
- ・厚生労働省 (令和5年度) 令和5年度賃金構造基本統計調査の概況
- ・厚生労働省 (令和5年度) 地域別最低賃金答申状況
- ・厚生労働省 (令和4年) 第9表 都道府県別、所定内給与額、出勤日数、所定内労働時間
- ・e-Stat (令和5年) 人口推計
- ・e-Stat (令和4年) 生産農業所得統計
- ・e-Stat (令和2年) 工業統計調査確報
- ・文化庁 (令和4年) 日本語教育実態調査
- ・出入国在留管理庁 (令和5年12月) 特定技能在留外国人の公表等
- ・出入国在留管理庁 特定技能ガイドブック
- ・独立行政法人労働政策研究・研修機構 (令和5年) 2023年度版労働力需給の推計 (速報)

# アブラムシに対する色を用いた忌避・誘引方法

三木 琴乃 濱寄 玲李 藤井 千絵 逸見 紗羅  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## キーワード

アブラムシ 色 誘引 忌避

### 1. 研究背景

近年、家で楽しめる趣味として家庭菜園が流行している。家庭菜園をする際、植物の育て方や必要な道具などたくさんの疑問点が生じる。その中で私たちは害虫対策、特にアブラムシが及ぼす被害について注目してその対策を考えることにした。アブラムシは個体数が非常に大きく、植物に寄生して師管液を吸うため、植物は栄養不足になってしまう。他にも、すす病を引き起こしたりウイルス病を媒介したりと植物に対して悪影響を与える。この実験で使用したモモアカアブラムシは、アブラムシの中でも特に広範囲の植物に寄生するため、対策方法を考案できれば多くの作物栽培の現場で役に立つのではないかと考えた。対策に必要な費用が安価で、かつ方法が簡単であるという点を重視し、色や光の反射がアブラムシの行動に影響を与えるという先行研究を参考にして、アブラムシから植物を守る方法を考案した。アブラムシが好む色を植物から離れた場所に置けば、アブラムシを植物よりも色に引き付けることができる。反対に、アブラムシが忌避する色で植物を覆うなどすれば、アブラムシに避けさせることができる。これらの方法は、定期的に使用する必要がある農薬等とは違い、一度設置して効果を確認できれば、長期間放置しても効果を得ることができる。そのため、この方法は私たちの目標に合致していると考

え、実際に効果を得られるよう使用する色について研究を進めることにした。

### 2. 研究目的・意義

アブラムシの色の認識の仕方や好みを調査し、その結果から色を用いてアブラムシを忌避または誘引する方法を考案する。この方法では、必要な道具や費用、交換などの作業が少なく、長期間継続して行える。そのため、アブラムシの対処に悩む人が手軽に実践することができるとともに、植物や環境に直接影響を与えることなく使用することができる。

### 3. 研究方法・仮説

〈使用器具〉

・カラーワイヤー

(日本化繊株式会社 自遊自在 0.9mm  
( (トマト、マリン、カクタス、エッグ、ローズ、スカイ))

・容器 (プラスチック製ケース)

・アブラムシ

(モモアカアブラムシ (*Myzus persicae*))

〈実験方法〉

①カラーワイヤーを3色ごとに分け(※1)、ねじって実験器具を作成した(図1参照)。作成後、器具を容器全体に均等になるように配置した。

②容器の中にアブラムシを放し、どの色に集まるか、どのように動くかなど様子を観察した。

③30分後、すべての器具を容器から回収し、器具についているアブラムシの個体数を部

分・色ごとにそれぞれ集計し記録した。  
④③の結果を分析して、色によってアブラムシの動きに影響が出たのか、またどの色が最も影響を与えたのかについて考察する。

- ※1. 色の組み合わせ (i) 赤・青・緑  
(ii) 桃・黄・水色

(i)では色の三原色、(ii)では(i)の二次色を用いた。色の認識は光の反射が関係しているため、色の三原色ではなく光の三原色を用いて実験を行った。原色と二次色をはじめに調べることで、認識範囲や色の好みの傾向などについて予測できる可能性があると考えた。

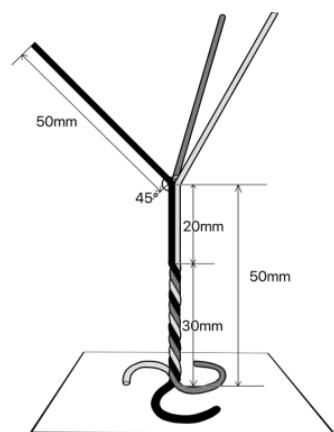


図1 実験器具

実験を行う前に、先行研究などをもとに仮説を立てた。

まず、モモアカアブラムシが最も誘引される色は黄色であると予想した。根拠は、昆虫の色覚についての先行研究(参考文献-1)や有翅アブラムシにおける色彩反応についての先行研究(参考文献-2)において、季節やアブラムシの種類によって変動はあるものの、有翅アブラムシが黄色に誘引されやすいという結果がみられたことである。また、一般的にもアブラムシが黄色に誘引されるといわれており、水を張った黄色のバケツや黄色のテープを植物の近くに置きアブラムシを引き付けるという方法もとられている。こ

れらのことから、モモアカアブラムシも黄色に誘引されるのではないかと考えた。

次に、二番目にモモアカアブラムシがよく誘引される色は緑色であると考えた。緑色は植物本体の色であるからである。それに加えて、緑は黄と波長が近いいためアブラムシが認識しやすいのではないかと考えた。

反対に、モモアカアブラムシが忌避する色は赤色であると予想した。赤は多くの昆虫の認識領域外の色であり、アブラムシもそれに似た色覚を持つと仮定して考えると、認識することができない色には近寄らないのではないかと考えた。

また、先行研究において有翅アブラムシの銀色に対する忌避反応がみられた(参考文献-2)が、色というよりも太陽光が関わっていると考えられるため、色覚だけに限定して行った今回の実験では銀色を使用しなかった。

#### 4. 結果・考察

アブラムシを放して30分後の個体数を色・場所ごとに記録した。表はその結果である。1段目は上部、2段目は土台部分に見られた個体数である。また、「捻れ」の行の2段目は図1の器具についていた個体数の合計である。

<実験日> 2024/11/12

<気温> 14℃

(i) 赤・青・緑

	赤	青	緑	捻れ
1	0	2	3	0
	1	2	0	8
2	6	4	6	12
	0	2	5	35
3	3	7	7	6
	0	1	0	24
4	8	8	13	14
	3	4	16	66

5	9	11	12	11
	1	3	3	50
6	6	3	6	7
	2	3	2	29
7	8	7	19	4
	6	3	7	54
8	2	1	4	4
	0	2	2	15
9	6	8	8	8
	2	4	4	40
10	0	0	1	4
	2	2	6	15
11	0	0	0	0
	0	0	1	1
12	1	0	1	1
	1	1	2	7
13	0	0	0	2
	3	1	0	6
14	0	0	3	2
	0	2	3	10
15	1	1	1	1
	0	2	1	7
16	0	1	1	2
	0	2	2	8
17	1	1	1	0
	1	1	3	8
18	0	2	0	2
	0	2	3	9
19	1	0	0	1
	1	1	1	5
20	1	2	2	1
	1	1	0	8
21	0	1	1	2
	0	0	1	5
全計	77	98	151	410

(ii) 桃・黄・水

	桃	黄	水色	捻れ
1	7	15	10	10
	1	6	0	49
2	2	3	1	0
	1	2	0	9
3	3	7	1	5
	2	4	6	28
4	0	6	1	0
	1	1	0	9
5	0	3	1	3
	1	4	1	13
6	2	5	1	1
	0	1	1	11
7	5	10	1	10
	3	10	1	40
8	2	3	0	4
	2	3	1	15
9	2	2	2	0
	2	2	0	10
10	4	20	4	4
	4	4	2	42
11	1	2	3	2
	0	7	0	15
12	2	3	0	2
	1	1	0	9
13	0	2	0	1
	0	0	0	3
14	0	0	0	0
	1	1	2	4
15	0	1	0	1
	0	2	0	4
16	2	6	2	6
	1	2	1	20
17	1	1	1	3
	0	3	0	9
18	2	6	0	5
	1	15	1	30

19	0	2	0	2
	0	0	0	4
20	1	0	0	1
	0	1	0	3
21	0	2	1	2
	0	3	0	8
22	5	9	1	3
	3	5	0	26
23	1	2	2	7
	4	0	1	17
24	2	4	1	6
	0	2	2	17
全計	72	193	52	395

ここでカイ二乗検定を用いて適合度検定を行った。帰無仮説  $H_0$  を「各色に集まるアブラムシの数は均等である」とし、対立仮説  $H_1$  を「各色に集まるアブラムシの数は均等でない」とする。また、有意水準を  $\alpha = 0.01$  とする。カイ二乗値は以下の式であらわされ、 $\chi^2$  値は自由度  $n-1$  のカイ二乗分布に従う。  
 $n$  個の階級の度数分布における検定統計量

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

$O_i = i$  番目の階級の観測度数

$E_i = i$  番目の階級の期待度数

(i) 赤・青・緑の三色

$$\chi^2 \cong 26.77$$

$$\chi_{0.01}^2(2) = 9.210 < 26.67$$

よって、赤青緑の三色では有意水準 1% において帰無仮説は棄却される。

(ii) 桃・黄・水の三色

$$\chi^2 \cong 110.15$$

$$\chi_{0.01}^2(2) = 9.210 < 110.15$$

よって、桃黄水の三色においても、有意水準 1% において帰無仮説は棄却される。

(I) (II) から、どちらの色の組み合わせでも、各色に集まったアブラムシの数は均等でない判断できる。また、 $p$  値の差がより大きい (II) はより明確な色による差があるといえる。しかし、これだけでは特定の色に対する誘引効果か忌避効果かの判断はつかない。

それぞれの色に集まった個体数の割合を求めた。

	赤	青	緑
1	0.125	0.500	0.375
2	0.171	0.171	0.314
3	0.125	0.333	0.292
4	0.167	0.182	0.439
5	0.200	0.280	0.300
6	0.276	0.207	0.276
7	0.259	0.185	0.481
8	0.133	0.200	0.400
9	0.200	0.300	0.300
10	0.133	0.133	0.467
11	0	0	1.000
12	0.286	0.143	0.429
13	0.500	0.167	0
14	0	0.200	0.600
15	0.143	0.429	0.286
16	0	0.375	0.375
17	0.250	0.250	0.500
18	0	0.444	0.333
19	0.400	0.200	0.200
20	0.250	0.375	0.250
21	0	0.200	0.400
全体	0.188	0.239	0.368

	桃	黄	水色
1	0.163	0.429	0.204
2	0.333	0.556	0.111
3	0.179	0.393	0.250
4	0.111	0.778	0.111

5	0.077	0.538	0.154
6	0.182	0.545	0.182
7	0.200	0.500	0.050
8	0.267	0.400	0.067
9	0.400	0.400	0.200
10	0.190	0.571	0.143
11	0.067	0.600	0.200
12	0.333	0.444	0
13	0	0.667	0
14	0.250	0.250	0.500
15	0	0.750	0
16	0.150	0.400	0.150
17	0.111	0.444	0.111
18	0.100	0.700	0.033
19	0	0.500	0
20	0.333	0.333	0
21	0	0.625	0.125
22	0.308	0.538	0.038
23	0.294	0.118	0.176
24	0.118	0.353	0.176
全体	0.187	0.484	0.132

以上の実験結果と検定の結果より、モモアカアブラムシは、(i)赤青緑においては緑、(ii)桃黄水においては黄に集まることがわかる。また、それぞれの組み合わせにおいてより著しくアブラムシが集まったのは黄である。

これは緑または黄への誘引効果もしくはその他の色への忌避効果を示すものであると考えられるが、そのどちらであるかの判断はつかない。

これについて考察を行った。モモアカアブラムシはアブラムシ科の生物の中でも極めて多くの植物に寄生し、その栄養分を吸って生きる種である。その寄生対象となる植物の代表的なものにキャベツ、コマツナなどのアブラナ科の植物があり、アブラナ科植物は本体の色が緑色、花の色が黄色であることが多い。よって実験において生じたアブラムシの

数の偏りは、緑または黄への誘引効果によるものである可能性が高いと予測する。また、忌避効果については、今回の実験・検定からは判断できなかった。

## 5. 結論及び今後の展望

本研究では、アブラムシの色の認識や好みについて調査した結果、アブラムシが緑または黄に誘引されている可能性があることが分かった。よって、一般的に利用されている水を張った黄色のバケツや黄色のテープを植物の近くに置きアブラムシを引き付けるという方法は、色覚の観点のみから判断すると効果があると考えられる。ただし、実際にこれらの方法を利用する環境には、害虫を遠ざけたい植物自体のにおいや栽培される季節など色覚の他にも非常に様々な要素が存在する。そのため実際は明確な効果が得られない可能性があり、本研究のみでは実際の環境において効果があるかは判断できない。今後の展望については、3種類の実験を新たに行いたいと考えている。

一つ目は、今回の実験で共に誘引効果のある可能性が高いと予測された緑色、黄色の二色を用いた対照実験である。どちらがより強い誘引効果を示すかを調べたい。

二つ目は、今回実験することができなかった橙色、紫色など様々な色を用いた実験、また赤外線や、人間の可視範囲外であるが昆虫は認識することができるかとされている紫外線を用いて実験を行いたいと考えている。それらに対してアブラムシがどのような反応を示し、誘引・忌避効果に関係があるのかを調べたい。また、この実験をすることで、アブラムシが認識できる色の範囲を特定することができると考えている。

三つ目は、各色で明度・彩度を変更した実験である。同系色内でも明度・彩度の違いが与える影響について調査することで、より強い効果を持つ色を発見することができると考えている。

## 6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、適切なお助言と多大なるご支援をいただいたアース製薬株式会社研究開発本部研究部係長玉井一彦氏、またお助言をいただく場をコーディネートしていただいたアース製薬株式会社研究部業務推進室学術推進課係長浅井一秀氏に心からお礼を申し上げます。ありがとうございました。

## 7. 参考文献

- (1) 河野哲・八瀬順也. 物理的防除の特性と利用技術—昆虫の色覚の利用—. 植物防疫. 1996, vol. 50, No. 11, p. 30-33.
- (2) 合田健二. 黄色、銀色に対する有翅アブラムシの色彩反応. 関東東山病虫害研究会年報. 1981, 第 28 集, p. 106-107.

# 音力発電の性質とその効率化

山本 祐生    宮本 賢一郎    八木 琳太郎    吉田 剛  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 1. 研究の背景（動機）

現在、地球温暖化が進んでおり、温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーとして再生可能エネルギーによる発電が注目されている。様々な発電方法の中でも音力発電は研究が進んでおらず、音力発電（圧電素子）の性質を解明することによって社会のクリーンエネルギー化につながるのではないかと考えた。

## 2. 研究の目的

今回の研究を通して音力発電における圧電素子の性質をさらに解明することを研究目的とし、研究によって今後の社会の中でより一層音力発電が普及しクリーンエネルギーがさらに多く利用されるようになることに貢献する。

## 3. 実験方法

### 実験 1

圧電素子をオシロスコープにつなげた状態で圧電素子に音を当ててオシロスコープの波形の変化を調べる。

予想…音力発電において圧電素子は交流の電流を放出する。

### 実験 2

全波整流回路を用いて 30 秒間圧電素子に音を加えて発電させ、コンデンサに溜まった電気を用いてオシロスコープで回路に加わる電圧を計測する。パソコンでトーンジェネレーター(<https://www.onlinemictest.com/ja/tone-generator/>)を用いて音の大きさ、音の振動数、圧電素子と音源との距離の条件を変更して対照実験を行い、どのような条件で最も電圧が大きくなるか調べる。

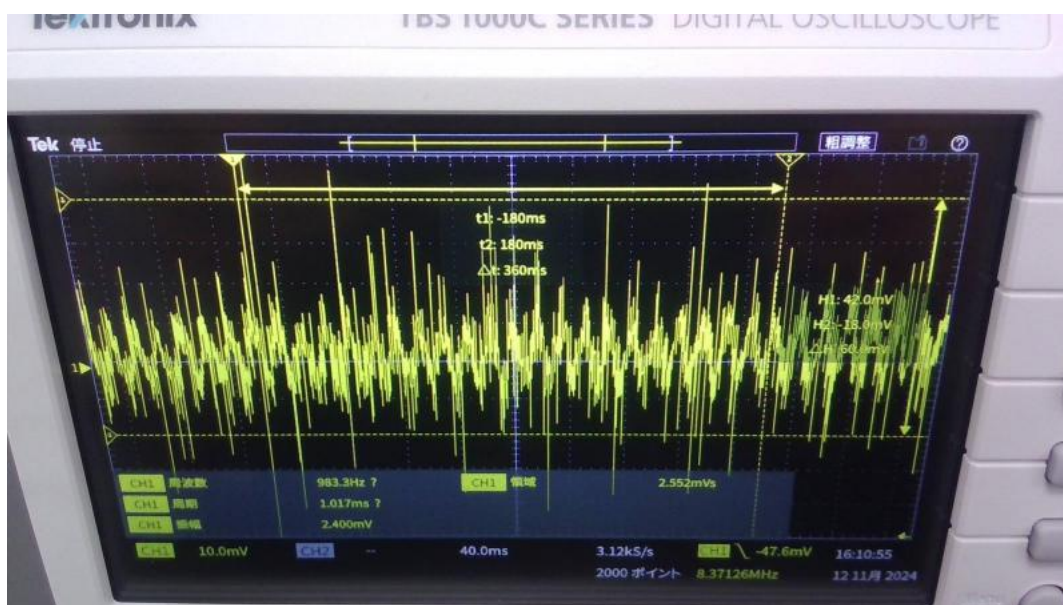
予想…音が大きくなるほど、振動数が大きくなるほど、また音源との距離が近づくほど電圧は大きくなる。

## 4. 結果と考察

実験 1 の結果



↑ 通常時のオシロスコープの波形



↑ 圧電素子に音を加えたとき

考察

- 音を与えた際の発電量が非常に少なく（瞬間的に最大で 50mv 程度）発電量を増やす工夫が必要である。
- 波形が＋方向と－方向の両方に伸びていることから圧電素子は交流を発生させる。

## 実験 2 の結果と考察

大きさ	電圧 (mV)
25%	12.56
50%	12.71
100%	13.44

(周波数 1000Hz、音源との距離 1cm)

周波数	電圧 (mV)
500Hz	12.37
1000Hz	12.71
2000Hz	13.23

(音の大きさ 50%、音源との距離 1cm)

距離	電圧 (mV)
0.5cm	12.95
1cm	12.71
2cm	12.39

(音の大きさ 50%、振動数 1000Hz)

### 考察

- 音が大きいと加わる電圧も大きくなる。
- 周波数が大きいと加わる電圧が大きくなる。
- 音源との距離は 0.5cm のときに最も大きくなる。

## 5. 結論

- 音力発電は交流の発電である。
- 音力発電は音の大きさ、振動数、音源との距離の条件において電圧が変化する。

## 6. 参考文献

- ローム株式会社-ROHM Semiconductor  
“エピゾ (圧電素子) とは?”  
<https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/piezo/what1>
- 全波整流と半波整流 | AC/DC コンバータとは? | エレクトロニクス豆知識 | ローム株式会社-ROHM Semiconductor  
“全波整流と半波整流 (AC/DC 変換)”  
[https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/ac-dc-converters/acdc\\_what2](https://www.rohm.co.jp/electronics-basics/ac-dc-converters/acdc_what2)

# イチヨウの撥水性と透湿性に係る考察

百瀬 泉里 東 菜々子 畑 絢菜 溝口 乃唯 八木 千穂  
(兵庫県立姫路西高等学校)

## 1. 研究背景

ハスのように撥水性と自浄性を兼ね備えた性質は「ロータス効果」と呼ばれている。現在ロータス効果を応用した壁用撥水塗料が広く利用されているが、透湿性が低く、壁の内部が腐食しやすいというデメリットがある。そこでほかに撥水性が顕著な植物を校内のフィールドワークで探したところ、イチヨウの葉が最も高い撥水性を示した。ここで我々は、イチヨウがロータス効果と透湿性を示すならば、透湿性の優れた壁用撥水性塗料の開発につながると考えた。しかしイチヨウの葉に関する先行研究がほとんど見られなかったため、イチヨウの葉の特性について研究を始めた。

## 2. 研究の目的

イチヨウがロータス効果を示すのか解明すると共に、ハスとイチヨウの撥水性・透湿性を比較することを目的とする。本研究を通して、イチヨウを利用した透湿性の優れた壁用撥水性塗料の開発につながる。

## 3. 実験方法

・研究①...イチヨウの表面構造を、スンプ法を用いて光学顕微鏡で観察した。倍率は600倍とした。今回はスンプ液の代わりに透明なマニキュアを用いた。また先行研究のイチヨウのSEM画像から、乳頭状突起の有無を確認する。

・研究②...ヤマサ蒲鉾株式会社が所有する蓮の花苑から譲り受けたハスの葉と、本校に植栽されているイチヨウの葉をそれぞれ木板に張り付ける。木板をそれぞれ傾けて水滴が滑落する角度(滑落角)を測定し、式1より付着エネルギーEを算出・比較した。ここで付着エネルギーは単位面積当たりの仕事量を指す。

$$E = \frac{mg \sin \theta}{2\pi r}$$

式1 付着エネルギー算出式

付着エネルギー: E (mJ/mm<sup>2</sup>)

接触半径: r (mm)

液滴質量: m (g) = 0.1ml \* 1.00g/cm<sup>3</sup>

重力加速度: g = 9.795m/s<sup>2</sup>

滑落角:  $\theta$  (°)

・研究③...吸湿性のある塩化カルシウムを用い、ハスの葉とイチヨウの葉の透湿性を調べた。シャーレにプラスチック板を①~⑥の条件のもと貼り付け40°Cで一時間放置し、質量変化からシャーレ内の塩化カルシウムの水分吸収量を求め比較する。

条件①穴なし

条件②穴あり

条件③穴にハスを貼付

条件④穴に乾燥したハスを貼付

条件⑤穴にイチヨウを貼付

条件⑥穴に乾燥したイチヨウを貼付



図1 研究③実験の様子

## 4.1 結果

・研究①

イチヨウの表面構造に関して、葉表面には筋状の細長い凹凸と(図2)、微細な粒状の凹凸構造がみられた(図3)。ハスの葉表面には、乳頭状突起が多数存在することが先行研究より知られている。本研究では電子顕微鏡が使用できなかったため、イチヨウの葉表面についての先行研究を確認した

ところ（藤田正博、臼杵豊信（2014））、イチヨウの葉表面には乳頭状突起を見つけることはできなかった（図4）。



図2 イチヨウの筋状凹凸(対角線上)



図3 イチヨウの粒状凹凸

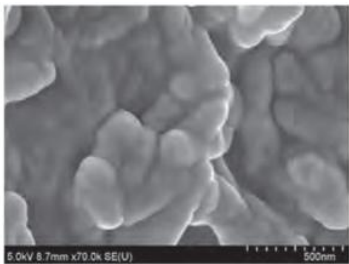


図4 イチヨウの葉表面

・研究②

ハスと比較して、イチヨウの付着エネルギーは約2倍と大きく（表3）、イチヨウの葉には水滴が留まりやすいと言える。従って、イチヨウの撥水性はハスに劣ると考えた。また、イチヨウの滑落角平均値は48.1度であった（表3）。

表1 イチヨウの検体別付着エネルギーEの平均

イチヨウ	検体	$\theta$ (°)	$\sin \theta$	r(mm)	E (mJ/mm <sup>2</sup> )
9/25	①	44.4	0.699	8.50	12.9
	②	53.2	0.800	7.90	15.9
10/9	①	37.8	0.612	9.80	9.83
	②	48.0	0.739	8.00	14.4
	③	51.4	0.776	8.80	14.2
	④	54.0	0.807	8.40	15.1

表2 ハスの検体別付着エネルギーEの平均

ハス	検体	$\theta$ (°)	$\sin \theta$	r(mm)	E (mJ/mm <sup>2</sup> )
10/2	①	26.1	0.440	7.50	9.15
	②	30.6	0.506	7.50	10.5
	③	21.9	0.371	6.90	8.37
10/9	①	11.2	0.194	7.00	4.32
	②	8.8	0.153	7.20	3.33
	③	14.4	0.248	7.00	5.53

表3 イチヨウとハスの付着エネルギーEの平均

	$\theta$ (°)	$\sin \theta$	r(mm)	E (mJ/mm <sup>2</sup> )
イチヨウ	48.1	0.739	8.55	13.7
ハス	18.8	0.319	7.18	6.86

・研究③

ハスと比較してイチヨウはやや透湿性があるように見受けられた（表4）。ただし、塩化カルシウムが水分を含んで固くなっていた所は、主にシャーレのふち部分であった。その原因は、シャーレが密封できておらず、蓋とシャーレの隙間から水蒸気が侵入してしまったからであると考えた。そこでシャーレと蓋の間に粘土を貼り付け、補修実験を行った（表5）。補修実験において、穴をあけなかった条件①と比較したところ、条件⑤⑥の値に大きな差がなかった。

表4 イチヨウとハスの吸湿性

11/7	加熱前質量 (g)	加熱後質量 (g)	増加水分量 (g)
条件① 穴なし	51.78	51.86	0.08
条件② 穴あり	52.04	52.42	0.38
条件③ ハス	2.79	52.87	0.08
条件④ 乾燥ハス	52.3	52.35	0.05
条件⑤ イチヨウ	51.83	52.83	0.11
条件⑥ 乾燥イチヨウ	52.28	52.28	0.07

表5 イチョウの吸湿性(補修実験)

11/18	加熱前質量 (g)	加熱後質量 (g)	増加水分量 (g)
条件① 穴あり	80.53	80.58	0.050
条件② 穴なし	60.19	60.35	0.16
条件⑤ イチョ ウ	58.04	58.09	0.050
条件⑥ 乾燥 イチョ ウ	57.33	57.39	0.060

#### 4.2 考察

先行研究より、接触角が150度以上かつ滑落角が10度以下である場合、自浄性を持つとされている(Koch & Barthlott 2009)。研究①②より、イチョウの平均滑落角は約48度であることから、イチョウは自浄性をもたず、ゆえにイチョウにはロータス効果が発現しないと考えた。また、研究③よりイチョウに透湿性はほとんどないと判断した。

#### 5. 結論及び今後の展望

撥水性が優れているハスと比較するとイチョウの撥水性は弱く、イチョウにはロータス効果はみられなかった。さらに、ハスと同様にイチョウにも透湿性はほぼなかった。季節によりイチョウの撥水性に差異が確認されたが、葉表面の構造やワックス層の厚みや成分の変化が原因であると考えられ、長期の観察が必要である。

#### 6. 引用文献・参考文献

- ・横須賀常信、関根善久(2010)「スンプ法(レプリカ法)による金属組織観察」  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjws/79/4/79\\_332/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjws/79/4/79_332/_article/-char/ja/)
- ・協和界面科学株式会社.(2024)。「滑落法による撥水性の評価」.<https://www.face-kyowa.co.jp/science/literature/contactangle01.html>.2024年11月20日

- ・眞山博幸、山本峰秀、西川直樹、藤永典子、野々村 美宗、横島智、中村振一郎、内田欣吾(2015)。「ロータス効果とペタル効果の再考察」『日本物理学会講演概要集』,70(2),2890.  
[https://doi.org/10.11316/jpsgaiyo.70.2.0\\_2890](https://doi.org/10.11316/jpsgaiyo.70.2.0_2890)
- ・株式会社あすみ技研(2020)。「ロータス効果は油(食用油)もはじく?」.<https://www.contact-angle.jp/contact/faq/column20200717/>
- ・相賀彩織、伊藤純一(2015)。「葉の表面構造と撥水性の発現機構 —イネの葉における微細構造とロータス効果—」  
[https://bsj.or.jp/jpn/general/bsj-review/BSJ\\_Review6B\\_102-111.pdf](https://bsj.or.jp/jpn/general/bsj-review/BSJ_Review6B_102-111.pdf)
- ・小林秀敏、山内健、堀川敬太郎、谷垣健一(2016)。「ハスの葉表面に見られる微細構造の特性と撥水性」『M&M材料力学カンファレンス』,2016,713-714.  
<https://doi.org/10.1299/jsmemm.2016.OS14-13>
- ・中島章(2009)「撥水性固体表面の科学と技術」  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfj/60/1/60\\_1\\_2/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfj/60/1/60_1_2/_pdf/-char/ja)
- ・藤田正博、臼杵豊信(2014)「イオン液体を用いた植物葉からの天然有機化学物の新規獲得法」  
[https://www.kanto.co.jp/dcms\\_media/other/backno7\\_pdf74.pdf](https://www.kanto.co.jp/dcms_media/other/backno7_pdf74.pdf)
- ・Kerstin Koch, Wilhelm Barthlott(2009)「Superhydrophobic and superhydrophilic plant surfaces: an inspiration for biomimetic materials」  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19324720/>
- ・兵庫県教育委員会(H29.11.6)。「凹凸のある試料の観察方法」  
<https://www.hyogo-ed.jp/~rikagaku/jjmanual/network/kyogi173.pdf>