

感染症流行予報

Y. I. <科学④>

1. はじめに

2019年12月に最初の感染者が発見されてから、新型コロナウイルスは世界中で多くの犠牲者を出している。このパンデミックに対して、対策を受けるだけでなくウイルスについて理解を深めて役立つことをしたいと考えた。そこで、変異する確率や早さが分かれば流行の予測がしやすくなり、対策も講じやすくなると考えた。

この研究は被害者を減らす的確な対策のために感染症の流行時期を事前に把握することを目的とする。

2. 研究概要

2.1 研究方法①

2.1.1 情報収集

変異株が最初に検出された時期、及びその変異株が最初に検出されるまでに述べ何人に感染したのかを調べることでウイルスの変異の確率を調べる。

(述べ何人に感染したのかを一つの指標として扱う)
※変異株が最初に検出された時期は月までしか調べられなかった為、その日付はその月の日数の中央値とおいた

2.1.2 整理分析

新型コロナウイルスの特に注意が必要な変異株はVOC・VOI・VUMに分類されている。またそれぞれにギリシャ文字が割り当てられる。特に重要視される変異株(2022年2月22日時点のVOC)について検出された順に示す。

β株 (2020/5 南アフリカ)

α株 (2020/9 イギリス)

δ株 (2020/10 インド)

γ株 (2020/11 ブラジル)

ο株 (2021/11 様々な国で近い時期に)

※β株(他の変異株が流行する前に発生した)を5/16発生とする。

この日までに南アフリカで新型コロナウイルスに感染したのは約11300人。この時点では特に重要視される変異株は、およそ11300人に一度発生する。

2.2 研究方法①の欠点

研究方法①では新型コロナウイルスは株ごとにそれぞれ異質のものであると考えて、別々にデータを探したが、扱うデータの量が多い方法はとても探しきれなかった。研究方法①は結果を残せなかったためこの方法以外に、目的に有効な方法を探した。

目的は被害者を減らす的確な対策のために感染症の流行時期を事前に把握することである。感染症の実態を探る新たな糸口を探した。

2.3 研究方法②

感染症の患者数の推移を表すことができる数理モデル(SIRモデル)が簡易化(微分を扱わず十分に理解できる程まで)されたものをさらに新型コロナウイルスによく対応したものに交換することで、次の感染の波の時期を簡単に求める方法をつくろうと試みる。

参考文献[1]で紹介されている離散版SIRモデルを用いる。

SIRモデルは、感染症の短期的な流行過程を記述する事のできる古典的なモデル方程式で名称はモデルが対象とする感受性保持者 感染者 免疫保持者の頭文字によります。2009年8月28日付で、厚生労働省新型インフルエンザ対策推進本部が、「感染症の数理モデル(クルマック・マツケンドリック型)等を参考とし、図1のように新型インフルエンザの流行動態を想定した。」とされている。

2.3.1 離散版SIRモデルの導出

次の数理モデル(微分方程式)で感染症の患者数の推移が表される。

$$\begin{aligned} dS(t)/dt &= -\beta S(t)I(t) \\ dI(t)/dt &= \beta S(t)I(t) - \gamma I(t) \\ dR(t)/dt &= \gamma I(t) \end{aligned}$$

※但しS(t): 未感染者数 I(t): 感染者数 R(t): 回復者数 定数βは伝達係数 γは回復率(隔離率)

簡易的な(微分を使わない)式に変換するために、tに当たる変数(:時間)を離散化する、つまり時間を連続量としてではなく1日目、2日目、...と捉えることにする。時間t = nh (hは24時間に相当)としてh → 0の極限をとる前の状態で近似し変形すると

$$\begin{aligned} S(n+1) - S(n) &\approx -\beta h S(n)I(n) \\ I(n+1) - I(n) &\approx \beta h S(n)I(n) - \gamma h I(n) \\ R(n+1) - R(n) &\approx \gamma h I(n) \end{aligned}$$

※但しn=0は最初の患者が発生した日

これを離散版SIRモデルと呼ぶ。

ある一つの感染症を対象とし、その感染症の患者数の推移を分析するための数理モデルである。

また、βやγの値は感染対策によって帰ることができるものである。sn, in, rnは数列の第n項であり、初項s0, i0, r0が与えられると、漸化式(離散版SIRモデル)に従って、その後の値が順番に定まる。離散版数理モデルは次のように解釈される。

$S(n+1) - S(n)$	: 未感染者数の変化
$I(n+1) - I(n)$	: 感染者数の変化
$R(n+1) - R(n)$	: 回復者数の変化
$\beta h S(n)I(n)$	: 新規感染者数
$\gamma h I(n)$	: 新規回復者数

βhは感染症の感染力を反映する定数である。
βhS(n)I(n)はn日目からn+1日目に新たに感染する人数である。また、S(n)及びI(n)に比例しているのは未感染者が多いほど、また感染者が多いほど新規の感染者数が

増えると想定しているからである。これは、未感染者と感染者の数が増えれば未感染者と感染者の接触機会が増え、それに伴い感染する事例が増加することに対応している。

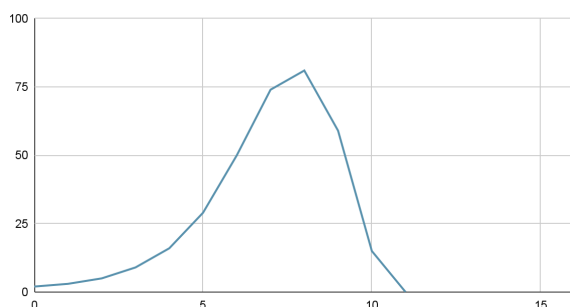
γh は一日の間に、感染者が回復者になる確率を表す。

なお離散版SIRモデルでは議論を簡素化するため対象地域の総人口を一定に保たれるものとするが、実際には生まれたりなくなったりして総人口は変動する。また、実際に計算する際に簡易化するために、 $\beta h S(n) I(n)$ の値は切り捨てて整数にする。 $\gamma h I(n)$ の値は切り上げて整数にする。

未感染者数の数には限りがあるためある時からは新規感染者数が減り始め流行は収束に向かう。実際に以下の値で計算した場合日数: n と感染者数: $I(n)$ の関係は次のようになる。(横軸：日数 縦軸：感染者数)

$\beta h = 0.01$ $\gamma h = 0.5$ $S(0) = 148$ $I(0) = 2$ $R(0) = 0$

Points scored



2.3.2 離散版SIRモデルの利用

新型コロナウイルスに関する各県の人口や感染者数を調べて、 βh の値と γh の値を逆算し、その値の違いで日数と感染者数のグラフの形にどのような変化が現れるかを確かめる。新型コロナウイルスの株ごとにデータを集めることは困難であるから新型コロナウイルスをたった1種類のものとしてデータを集める。本研究はここまでしか進まなかった。

3. おわりに

3.1 結論

本研究では②つの方法から感染症の流行時期を事前に把握することを試みたがどちらもこの目的を達成することはできなかった。

3.2 今後の課題

研究を進める中で、素早く変化を続けるウイルスをどう扱えば良いかがわからなかったため、研究対象がはっきりせず、研究方法を考えたら結果を残せなかった。今後の課題は2つ考えられる。1つは、新型コロナウイルスの進化を無視して既出の2つの方法で情報収集・整理分析することである。他方は新型コロナウイルスの進化の特徴を捉えた上でそれを加味して既出の研究方法を再び試すことである。

また、少し目的から逸れるが、感染症が流行する条件を調べる確な対策を講じたい。新型コロナウイルスと他の感染症を比較して、適切な処置を研究したい。

謝辞

本研究を進めるにあたって、丁寧なご指導をして下さった指導員の菅原先生、数学・情報ゼミの皆さんに深く感謝申し上げます。

参考文献

[1] 松浦真也(2021) 「高校数学で理解する感染症の数理」

<http://www.math.sci.ehime-u.ac.jp/~matsuura/materials/sir.pdf>

コンピュータの画像の分類

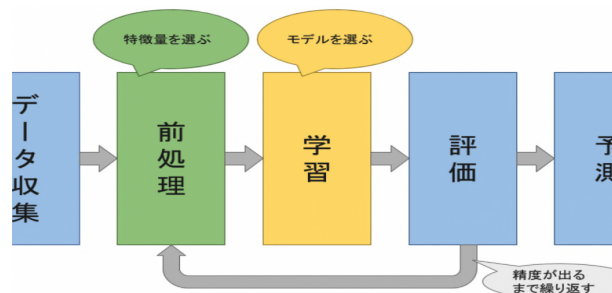
P. V. <科学④>

1.はじめに

広く知られている事実だが、日本は災害大国である。また、その災害件数のうち72%が豪雨、河川の氾濫、土砂災害などの水に関係するものである。これらによる被害はとても大きく、経済的な損失にとどまらず死者が出る時もある。例えば、2018年におこった平成30年7月豪雨は、263名の死者を記録し全国の5000箇所以上で土砂災害がおきた。他にも 4700人近い死者を出した伊勢湾台風や、7万5000棟の建物が被害を受けた令和元年の台風も忘れてはならない。これらの被害規模からみても、被害を予防する方法が必要であるのは明らかである。そこで私は、コンピュータに身の回りの危険な場所を図①の形で感知してもらおうと考えた。また、「危険な場所」というおおまかな括りでは支障が出るので、台風による二次災害の発生源として最も多い川を感知する対象とした。

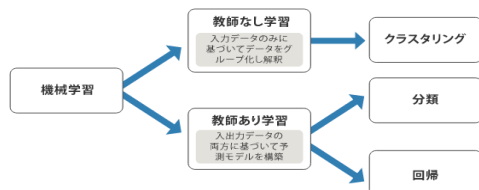
2.方法

先ほども記載したが本研究の目標は、ランダムな川を何らかの形でデータとして与えた時に、それを川だと認識できるプログラムを作ることである。このようなプログラムをつくるために私は機械学習を行うことにした。なお、機械学習の定義は「与えられた多数のデータをもとにコンピュータ(プログラム)が反復的な学習をして、そのデータ間にパターンを見つけること」である。



図①

上の図が機械学習の流れであり、これに沿って研究を行った。また、与えるデータの形は画像とし、川の画像とそうでない画像を与えてそれらを分類する画像分類というものを行った。画像分類にも数種類あり、代表的なものに教師なし学習のクラスタリングというものと、教師あり学習の分類というものがある。



教師あり学習とは、与えるデータにあらかじめ正

解と不正解を与えてデータを分けた状態で学習させるもので、教師なし学習は全てのデータを混在させ、それらを与えて学習させるものである。今回は図②のうち「クラスタリング」と「分類」の2つの方法で試行したが、クラスタリングは満足な結果を出せなかったため、分類の方のみを紹介する。

3.プログラム(分類)

「分類」とはプログラムにあらかじめ正解のデータと不正解のデータを分けて与え、学習させるものである。この方法の利点は、人間側が正解・不正解を指定するのでコンピュータと人間の間で分類する基準についての乖離が起りにくいことである。これを利用して画像分類を行った。今回私が使った、プログラムのプラットフォームは google colabolatoryで、使った言語はPythonである。また、今回は川の画像を30枚、川以外の画像を20枚、合わせて50枚を学習させた。(以下これらの画像を学習データと呼ぶ)

```

import os
import cv2
import numpy as np
import glob as glob
from sklearn.model_selection import train_test_split
from keras.utils import np_utils

path = "img/deep_learning"
folders = os.listdir(path)

classes = [f for f in folders if os.path.isdir(os.path.join(path, f))]
n_classes = len(classes)

X = []
Y = []

for label, class_name in enumerate(classes):
    files = glob.glob(path + "/" + class_name + "/*.png")
    for file in files:
        img = cv2.imread(file)
        img = cv2.resize(img, dsize=(224, 224))
        X.append(img)
        Y.append(label)

X = np.array(X)
X = X.astype('float32')
X /= 255.0

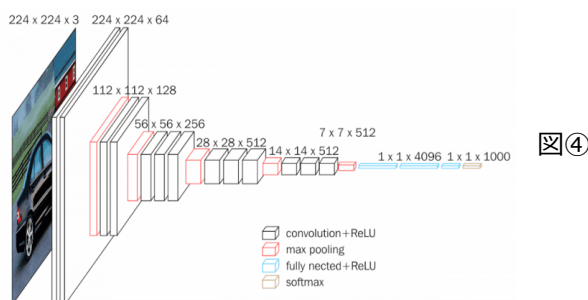
Y = np.array(Y)
Y = np_utils.to_categorical(Y, n_classes)
Y[:5]

X_train, X_test, Y_train, Y_test = train_test_split(X, Y, test_size=0.2)

print(X_train.shape)
print(X_test.shape)
print(Y_train.shape)
print(Y_test.shape)
  
```

図③

最初に学習データを前処理する。まず、学習データが収納されているフォルダからそれらを取り出して一つ一つ分析する。その方法として私は世界中で広く使われているVGG16と呼ばれる学習済みモデルを利用した。(図④)これを使うことによって画像を細かい部分まで分析し、学習データの共通点を見つけることができる。



学習データを前処理し終わったら、学習データの一部をテストデータとして分離させる。これは後でプログラムの学習の精度を求めるためである。簡単に言うと、一度学習させたデータの一部でプログラムに「復習」として簡単な分類をもらい、その復習の結果が最初に人間が与えた分け方とどれくらい近いかを求めることである。今回は50枚のうちランダムな10枚をテストデータとした。(以下テストデータと呼ぶ)

```
from keras.applications.vgg16 import VGG16
from keras.models import Sequential
from keras.models import Model_from_json
from keras.models import Model
from keras.layers import Input, Activation, Concatenate, Dense, Flatten, Dropout

input_tensor = Input(shape=(224,224,3))

base_model = VGG16(weights='imagenet', input_tensor=input_tensor,include_top=False)

top_model = Sequential()
top_model.add(Flatten(input_shape=base_model.output_shape[1:]))
top_model.add(Dense(n_classes, activation='softmax'))

model = Model(inputs=base_model.input, outputs=top_model(base_model.output))

for layer in model.layers[:15]:
    layer.trainable = False

print('# layers=', len(model.layers))

model.compile(loss='categorical_crossentropy',optimizer='adam',metrics=['accuracy'])

model.summary()
```

図⑤

図⑤は学習させるプログラムを示している。まず前処理した画像の大きさを設定する。今回は224×224の大きさで学習させた。また、この学習に必要なソフトとして、kerasをダウンロードした。

```
model.fit(X_train, Y_train, epochs=20, batch_size=16)

score = model.evaluate(X_test, Y_test, batch_size=16)
```

```
Epoch 1/20
3/3 [=====] - 1s 95ms/step - loss: 2.0387 - accuracy: 0.2821
Epoch 2/20
3/3 [=====] - 0s 79ms/step - loss: 0.7339 - accuracy: 0.6154
Epoch 3/20
3/3 [=====] - 0s 79ms/step - loss: 0.6918 - accuracy: 0.5897
Epoch 4/20
3/3 [=====] - 0s 80ms/step - loss: 0.5574 - accuracy: 0.6923
Epoch 5/20
3/3 [=====] - 0s 82ms/step - loss: 0.3823 - accuracy: 0.8205
Epoch 6/20
3/3 [=====] - 0s 79ms/step - loss: 0.3584 - accuracy: 0.8462
Epoch 7/20
3/3 [=====] - 0s 80ms/step - loss: 0.3725 - accuracy: 0.8205
Epoch 8/20
3/3 [=====] - 0s 80ms/step - loss: 0.3166 - accuracy: 0.8205
Epoch 9/20
3/3 [=====] - 0s 81ms/step - loss: 0.0448 - accuracy: 1.0000
Epoch 10/20
3/3 [=====] - 0s 81ms/step - loss: 0.1648 - accuracy: 0.9744
Epoch 11/20
3/3 [=====] - 0s 79ms/step - loss: 0.3318 - accuracy: 0.8718
Epoch 12/20
3/3 [=====] - 0s 80ms/step - loss: 0.0165 - accuracy: 1.0000
Epoch 13/20
3/3 [=====] - 0s 80ms/step - loss: 0.0669 - accuracy: 1.0000
Epoch 14/20
3/3 [=====] - 0s 81ms/step - loss: 0.1338 - accuracy: 0.9487
Epoch 15/20
3/3 [=====] - 0s 80ms/step - loss: 0.0244 - accuracy: 1.0000
Epoch 16/20
3/3 [=====] - 0s 81ms/step - loss: 0.0212 - accuracy: 1.0000
Epoch 17/20
3/3 [=====] - 0s 80ms/step - loss: 0.0093 - accuracy: 1.0000
Epoch 18/20
3/3 [=====] - 0s 81ms/step - loss: 0.0012 - accuracy: 1.0000
Epoch 19/20
3/3 [=====] - 0s 80ms/step - loss: 2.2111e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 20/20
3/3 [=====] - 0s 79ms/step - loss: 3.4271e-04 - accuracy: 1.0000
1/1 [=====] - 0s 263ms/step - loss: 0.3164 - accuracy: 0.9000
```

図⑥

図⑥の1番最後の行の1番右側を見ると、0.9000と書いてあることがわかる。これは、先述したテストデータの学習の精度を表しており、このプログラムが画像分類を行った際の正答率が90%であることを示している。これで、学習は終了した。

次に、実際に川の画像である画像①を使ってプログラムが正常に動くか実験する。



(画像①)

```
▼ output
  ▸ .ipynb_checkpoints
  ▼ others
    ▸ .ipynb_checkpoints
  ▼ river
    ▸ .ipynb_checkpoints
    ▸ testing.png
```

図⑦より(testing.png)と表示されている画像①がriverフォルダに収納されていることがわかり、プログラムが川として認識したことを示している。したがって、プログラムは正常に動いていると言える。

5.考察

本研究から、教師あり学習の分類は簡単な画像分類を行うのに適しているといえる。また、教師なし学習のクラスタリングは簡単な画像分類を行うには向いていないと考えられる。

今回の研究では一定の結果を残すことはできたが、改善点も見られた。まず、学習させる画像の数(50枚)が非常に少なかったことだ。本来画像分類では数百枚～数千枚の画像を学習させるので、画像の数を大幅に増やして行いたい。次に、あまり実用的ではない点である。そもそもプログラムがある場所の画像の川の有無を見分けられたところでそれが災害の被害を少なくするわけではなく、人間だと気付きににくいもっと細かい地形などをプログラムに検出してもらい、多くの種類に画像を分けられないと効果はないのでそこを実現したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、手厚くサポートしてくださった菅原先生に心から御礼申し上げます。

参考文献

- [1]澤田千代子 [今から学ぶ機械学習アルゴリズム] [NIKKEI SOFTWARE] 2022/7
- [2]<https://ja.wikipedia.org/wiki/>
- [3]<https://sasuwu.org/image-classification>

数学的視点から見るダンス

S. K. <科学④>

1. はじめに

ダンスのポーズには、「模範解答」が存在する。先輩たちは後輩に「もっと〇〇したほうがシルエットきれいになるよ」などと言っている場面によく遭遇する。よく言われるのは腰をどこまで落とすか、肘をどれくらい張るかなどだ。しかし、なぜそのポーズが「美しい」のかと質問されてそれを言語化できる人はかなり少ないだろう。ほとんどのダンサーは、様々な人のダンスを見ることで無自覚に、感覚的に「ダンスにおける美しさ」の価値観を磨いていくので、美しさに対する共通認識があるにも関わらずそれはかなり抽象的なものである。自分はそれらの認識を図形的に研究、分解する事でダンスにおける美しさは何なのかを定義したいと考えた。

2. ダンスの現状

2.1 ダンスは音に合わせて体を動かすものであり、アート、音楽の両方の特性を持っている。またダンスは、バトルの場においてはスポーツに、ショーの場においては芸術になるという特徴がある。

2.2 現在のダンスは数え切れないほど多くのジャンルやスタイルが生まれており、同じジャンルのダンスであっても地域によって特徴が違ったり、国によって音へのアプローチの仕方が違うなど非常に多様性に溢れている。

2.3 アートや音楽における美しさに関する数学的な論文は見つかったもののダンスに関する論文や数学的な法則に関する文書などの参考文献は見つけることができなかった。

2.4 パリ五輪の種目にブレイクダンスが選ばれたことから分かるように、これから先ダンスはますますポピュラーなスポーツになることが予想される。まだ研究が進んでいないこともあいまってかなり将来性のあるものと言える。

3. 仮説と調査方法

3.1 仮説

- ・ダンスにも絵画や建築と同じように黄金比が適用される。
- ・黄金比が適用されると仮定すると、黄金比の図は右側に収束しているので重心を右側（自分から見て左側）に寄せると美しく見える。

3.2 実験や調査内容 1

①黄金比の形をダンスのシルエットと重ね合わせてそのシルエットが実際に美しく見えるか検証する。

（黄金比に関する調査には黄金長方形を用いた縦横比の測定と、カノンの法則に基づく人体の理想的比率である頭頂からへそまでの長さ：へそから足底までの長さ＝1：1.6という縦の比に関する測定の二つの方法を用いた。）

②自分が見ていて美しいと感じた動きや形を「GeoGebra」というソフトを用いて平面上に分解してダンスにおける美しさとは何かを調べる。

今回の実験ではダンスのジャンルを点で動くダンス（lock, pop等）と線で動くダンス（waack, jazz等）の二つ

に分けて考え、点で動くダンスだけを分析に用いた

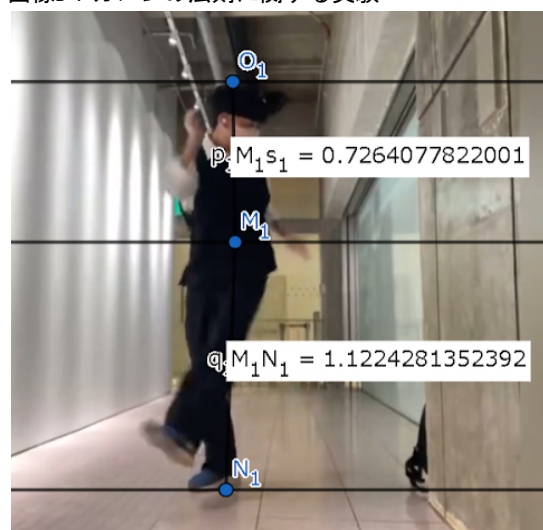
4. 整理・分析

・実験①

画像A：黄金長方形に関する実験



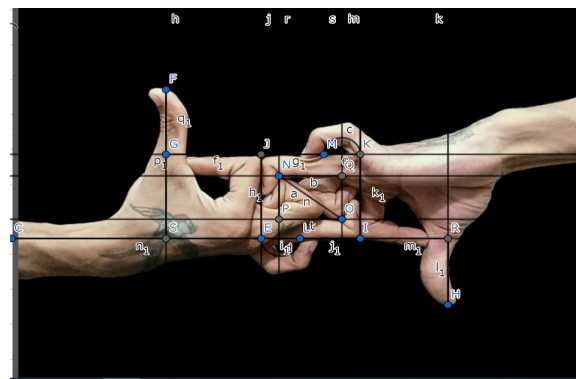
画像B：カノンの法則に関する実験



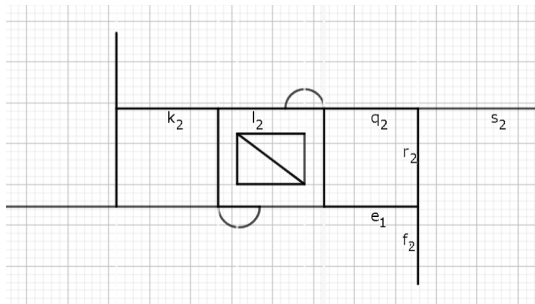
・実験②

初めに「tutting」と呼ばれるジャンルのシルエットに対して関節に点を打ち、それらを繋げるという方法で調査を行った

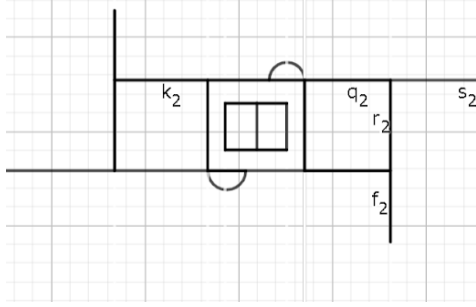
画像C



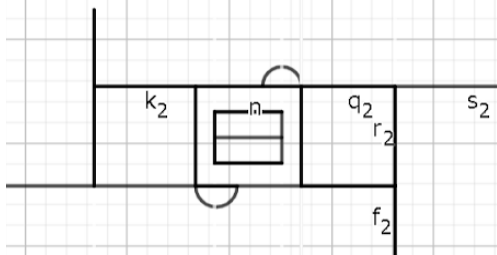
画像D：画像Cのシルエットから得られた図形



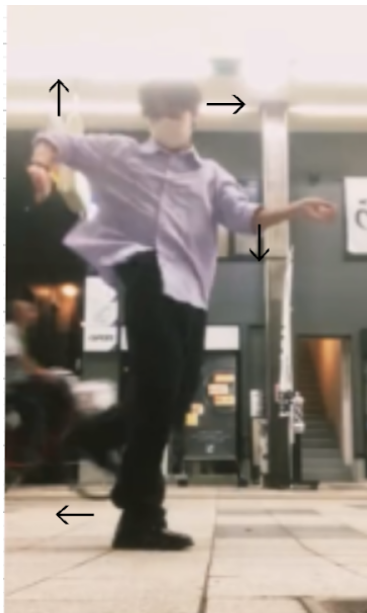
画像E：画像Dとの比較のため一部を変えた図形



画像F：画像Dとの比較のため一部を変えた図形



画像G



5. 考察

・黄金比に関する実験について

画像Aのように黄金長方形の曲線の形に当てはめた実験では美しいと思えるシルエットが多かったため、ダンスにも適応されると考えられる。

また、画像Bのようにカノンの法則に基づく人体の縦の比に当てはめる実験においてはシルエットの美しさとの

間に関係性は見られなかった。

・実験②について

得られた画像D～Fまでを見比べてみると、画像Dが最も直感的に形がきれいと感じた。その理由として、左右の対称性、つまり情報の量が釣り合っているからだと考えられる。大枠は斜めに交差することで、そして中心の四角形の両脇にはほぼ大きさが等しい四角形がそれぞれ左右の情報の量を均等にしている。そして、中心の箱には左下と右上に半円が存在する。これに対して右下から左下を繋ぐような直線を引くことで左右の対称性を保っているのだと考えた。

その後左右の対称性に注目して実験を行っていった結果、美しいと感じたシルエットには画像Gのように体の各パーツがきれいに引っ張りあっているという特徴が見られたため「身体の重心を原点としたときに、各パーツにおけるベクトルの大きさと向き之和が0になると良い」のではないかと考えた。また、シルエットが複雑になればなるほど和が0から遠ざかってしまうため、なるべくシンプルな形を取り、情報量を減らすことでよりシルエットを美しく見せることができると考えられる。

6. おわりに（結び、まとめetc）

3.1 結論

黄金長方形の形も少なからずダンスのシルエットの美しさに関係性があると言える。しかし、常に身体を動かし続けるダンスにおいて黄金比に近い形のシルエットをとることは再現性が低く現実的では無いため実用性はほぼ無いといえる。また、ダンスにおけるシルエットの美しさの1番の基盤としてあるものは「対称性」であり、シンプルな形をとることで視覚的な情報量を減らすことが重要である。

3.2 今後の課題

- ・”自分がみていて美しいと感じた動き”を選んで分解しているので今回のデータは客観性に欠けている可能性がある。アンケートを用いて複数のシルエットを比較し、より多くの人が美しいと感じた動きについての研究を行う。また、アンケートの票数の差から美しいと感じられたものとそうでないものの相違点を研究する。
- ・平面上に分解したが、立体的に分解することでまた違う結果が得られるのではないかな。
- ・今回はダンスを「アート」の面から分解したが、人が心地よく感じる音の取り方、例えば日本でよく言われる5, 7, 5のリズムなどの「音楽」の面から研究が必要。
- ・今回はダンスのジャンルを絞って研究を行ったので、すべてのジャンルに共通していない可能性がある。
- ・初めに得られた実験結果から目処を立てて研究を進めたため、異なる部分に着目したら新たな法則を発見できる可能性がある。

6. 参考文献

https://www.instagram.com/p/CfrVj00vV14/?utm_source=ig_web_copy_link

https://www.instagram.com/tv/CfhHthFqLoy/?utm_source=ig_web_copy_link

ケプラー問題の解析的解法 ～フーリエ級数展開を用いて～

N. K. <科学④>

1. はじめに

惑星の任意の時間における場所を知ろうとしたとき、太陽系の惑星の軌道に関する法則として、次の法則がある。

ケプラーの法則

惑星は太陽を焦点とする軌道を描き、その極座標表示は

$$r = \frac{1}{1+e\cos u} \quad (r: \text{原点から惑星までの距離}, u: \text{偏角}, e: \text{離心率})$$

で与えられる。

しかし、これだけでは任意の時刻における惑星の位置は決定できない。そこで、これを数学的に変形したケプラー方程式を適当に解くことが求められる(ケプラー問題)が、この方程式は厳密には解けないため、フーリエ級数展開を用いて近似を試みた。

2. 研究概要

2.1 方法

ケプラーの法則をもとに導出したケプラー方程式(1)をフーリエ級数展開でtのみの関数に書き直し(2.5)、その近似式と実際の式の誤差がどれほどかを考察する。

2.2 知識

①ケプラー方程式の導入

補題1.(天体と軌道の力学 著木下宙)

ケプラーの法則は以下のケプラー方程式に変形できる。

$$u - e\sin u = nt \quad (1)$$

ただし、e,nは惑星固有の定数、tは時間を表す。
とかける。

②(1.1)のフーリエ級数展開による近似式の導入

(1.14)は、

$$u - nt = e\sin u \quad (2.1)$$

とかけて、sinuは周期2πの奇関数であるので、右辺をフーリエ級数展開すると、

$$u - nt = \sum_{r=1}^{\infty} a_r \sin rnt \quad (2.2)$$

となる。ここで、

$$\begin{aligned} a_r &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e\sin u \cdot \sin rnt d(nt) \\ &= \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^{\pi} -e\sin u \cdot \frac{\cos rnt}{r} + \int_{-\pi}^{\pi} \frac{d(e\sin u)}{d(nt)} \cdot \frac{\cos rnt}{r} d(nt) \right] \\ &= \frac{1}{\pi r} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{d(u-nt)}{d(nt)} \cdot \cos rnt d(nt) \\ &= \frac{1}{\pi r} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(resinu - nu) du \end{aligned} \quad (2.3)$$

である。

補題2(物理のための応用数学 著小野寺嘉孝)

$$\exp\left[\frac{x}{2}\left(t - \frac{1}{t}\right)\right] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(x) t^n \quad (2.4)$$

で定義される $J_n(x)$ をベッセル関数とすると、

$$J_n(x) = \sum_{s=0}^{\infty} \frac{(-1)^s}{s!(s+n)!} \left(\frac{x}{2}\right)^{n+2s}$$

とかける。

補題3(同著)

$$J_n(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(x\sin\theta - n\theta) d\theta$$

である。

よって、(2.3)が

$$a_r = \frac{2}{r} \cdot \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(resinu - ru) du$$

とかけることから、

$$a_r = \frac{2}{r} \cdot J_r(re)$$

したがって、(2.2)は、

$$u = nt + \sum_{r=1}^{\infty} \left(\sum_{s=0}^{\infty} \frac{2}{r} \cdot \frac{(-1)^s}{s!(s+r)!} \left(\frac{re}{2}\right)^{r+s} \right) \sin rnt \quad (2.5)$$

とかける。

3. 仮説と調査方法

3.1 仮説

式(2.5)は式(1)を十分に近似できている。

ただし、「十分に近似できている」とは、(1)を逐次近似法で近似した際の精度小数点以下五桁以上の精度の近似を指す。

3.2 実験や調査内容

(1)の式について考察する。この方程式をtについて解くことができれば、任意の時間に対する惑星の位置を示すパラメータuが得られる。しかし、(1)はsinuはuに依存するため、厳密に解くことは不可能である。だが、sinuの関数と扱うとき、区分的に連続かつ微分可能であるから、sinuをフーリエ級数展開できる。

4. 整理・分析

4.1 実験結果

式(2.5)の有効性を確かめるため、式(1)をコンピュータで解いたuと、式(2.5)のuの、ある時間tの誤差を与える関数(誤差関数D(u)とよぶ)を考える。

①誤差関数の導入

補題4

$f(u) = u - e\sin u$ とする。

u-nt平面において、 $0 \leq u \leq \pi$ で $u \geq nt$ 周期2πの奇関数

$u = f^{-1}(nt)$ とで $(U - e\sin U, U)[0 \leq U \leq \pi]$ のuの差D(U)は、

$$D(U) = |f^{-1}(U - e\sin U) - U|$$

と書ける。

(証明)

$$\frac{d(f(u))}{du} = 1 - e\cos u > 0$$

したがって、f(u)は区間で単調かつ連続なので、逆関数が存在する。

以下、uとntは直交するので、u-nt平面上で考える。

曲線 $nt = f(u)$ 上の点 $P(U - e\sin U, U)[0 \leq U \leq \pi]$ から直線 $u = nt$ におろした垂線の足をHとすると、

$$PH = \frac{|(U-esinU)-U|}{\sqrt{1^2+(-1)^2}} = \frac{e|sinU|}{\sqrt{2}}$$

ここで, $u = nt$ が nt 軸となす角度は $\frac{\pi}{4}$ であるため,
 $u = nt$ と $nt = U - esinU$ の交点を Q とすると,
 PH と PQ のなす角は $\frac{\pi}{4}$ であるから,
 $PQ = \sqrt{2}PH = e|sinU| = esinU \ (0 \leq U \leq \pi)$
これを D_1 とする.

また, $nt = U - esinU$ における, $u \geq nt$ 曲線 $u = f^{-1}(nt)$
上の点 R と点 Q との距離は,
 $RQ = f^{-1}(U - esinU) - (U - esinU)$
これを D_2 とする.

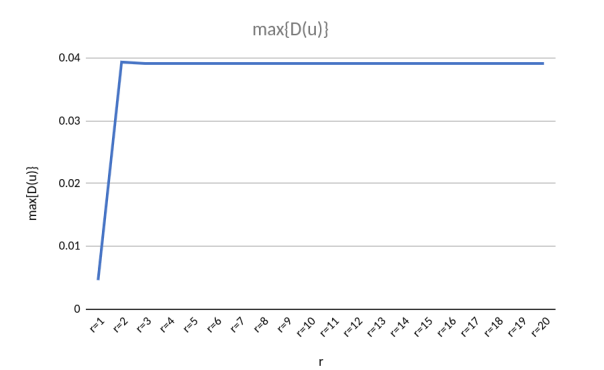
したがって, $u = f^{-1}(nt)$ と $nt = f(u)$ の $nt = U - esinU$
での u の差 $D(U)$ は,
 $D(U) = |D_2 - D_1| = |f^{-1}(U - esinU) - U|$ ■
ここで, $f(u) - u$ は周期 2π の奇関数であるので, この
 U を任意の実数に拡張できる.

②誤差の測定

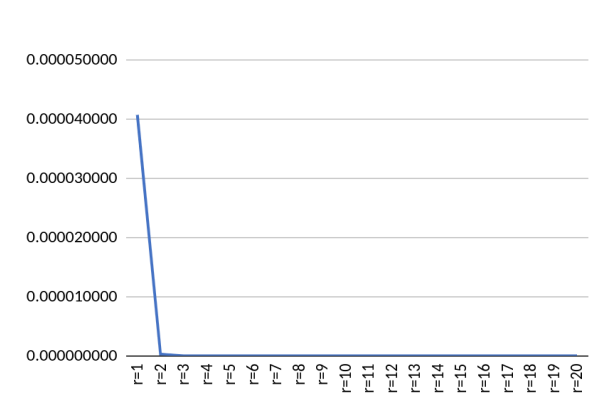
上で求めた $D(U)$ の最大値, すなわち真値との誤差の最大
値を太陽系惑星について考察する. 太陽系惑星(海王星
含む)のなかで離心率が最大, 中間, 最小の水星(Mercury),
火星(Mars) ,海王星(Neptune)を評価する.

planet	Mars	Mercury	Neptune
離心率e	0.0934	0.2056	0.0090

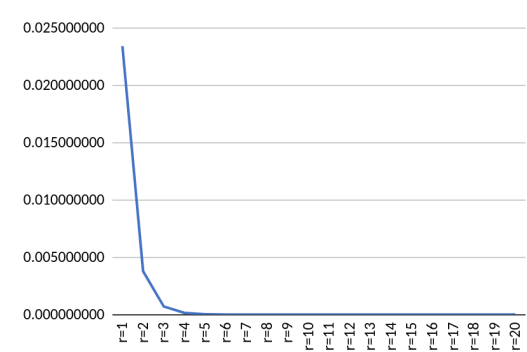
$0 \leq s \leq 100, 1 \leq r \leq 20$
とする.
 $e=0.0934$ (Mars)



$r \geq 2$ で $\max[D(u)] \geq 1.0 \times 10^{-2}$
 $e=0.2056$ (Mercury)



$r \geq 4$ で $\max[D(u)] \leq 1 \times 10^{-9}$
 $e=0.0090$ (Neptune)



$r \geq 8$ で $\max[D(u)] \leq 1 \times 10^{-6}$
縦軸: $\max[D(u)]$, 横軸: r (Excel)
③考察

グラフから, 火星に対して, 誤差の最大値は約0.04程
度になることがわかる. つまり, 十分に近似できている
とはいえない. 一方, 離心率が最小である海王星は誤差
が 10^{-9} 以下になることから十分に近似できている. ま
た, 離心率が最大である水星の誤差が 10^{-6} 以下である
ので, (1)を十分に近似できていると言える.

5. おわりに

5.1 結論

離心率が最大である水星と離心率が最小である海王星
においては(2.5)が十分に近似できているのに対し, 離
心率が中間の火星では誤差が非常に大きくなった. この
ことから, (2.5)は太陽系惑星全てに普遍的に適用でき
ないが, 一部の惑星に関しては運動を十分に近似でき
ることがわかる.

5.2 今後の課題

- ・更に正確な誤差を得るために離心率の有効数字の桁
数を上げる.
- ・なぜ火星の誤差が水星, 海王星に比べて非常に大き
くなったのか調べる.

謝辞

本研究の遂行および本論文の作成にあたり, 終始適切
な助言をしてくださった指導教官の菅原隆介さん, また
ご多忙な中快く研究にご協力頂いた筑波大学数理物質系
武安光太郎助教に感謝いたします.

参考文献

- [1] 佐藤裕『天体と軌道の力学』
- [2] 小野寺嘉孝『物理のための応用数学』
- [3] 大石進一『フーリエ解析』

海外人気のある日本の音楽の特徴

T. S. <科学④>

1. はじめに

近年グローバル化が進み日本の音楽が海外で人気になってきていると言われている。Youtube上の日本の曲には日本のコメントより海外のコメントのほうが多くついている曲もある。去年私はそれに興味を持ち人気のある楽曲の特徴を研究したところ、ミュージックビデオにアニメーションが使用されている楽曲が特に人気であることが分かった。しかし音楽的な面でも人気の理由があるはずであると考え、このテーマについて研究した。

2. 研究概要

2.1 定義について

2.1.1 海外で人気の楽曲の定義

Youtube上の日本人の楽曲のうち、コメント欄上部コメント100件に占める海外コメント(どの言語であろうと海外の方がかいたと思われる全てのコメント)の割合が50%以上である楽曲、またはSpotifyにおいてGlobal Hits from Japan 2022(Spotify上の日本の楽曲のうち海外で多く再生されたトップ50楽曲を集めたプレイリスト)に収録されている楽曲を海外で人気であると定義した。ただしアニメや映画などの主題歌となった楽曲は、今回の研究では音楽的な人気の要因を調査するため研究対象から外している。またASMRなどは楽曲ではないとみなしてこちらも研究対象から外している。

2.1.2 ノリやすい楽曲の定義

リズムパターンが特殊ではなく安心して聞けるようなリズムで、コード進行なども特殊過ぎず、基本は多くの人が特に身構える必要もなく楽しめるような楽曲と定義した。逆に楽曲の中には他の多くの楽曲とは大きく違う独自の路線を進んだ特徴のある楽曲も多く存在する(5拍子や7拍子など変拍子をふんだんに使用した楽曲やあえて不協和音を取り込んだ楽曲、非常に特徴的なリズムパターンを使用した楽曲など)が、そのような楽曲はとても面白いが一緒に踊ったり歌ったりするというよりは主に聞かれることで鑑賞されるもので、ノリやすいとは言えないと考えた。

2.1.3 飽きない楽曲の定義

歌以外の部分で完全な繰り返しが少ない楽曲と定義した。曲の途中でアクセントとなる部分や変化が多く、曲の続きが気になり途中で聞くのをやめることができないような楽曲は飽きないといえるのではないかな。

2.2 研究内容

選んだ海外で人気の楽曲20曲を①コード進行②長さ③構成④リズムの4つの観点で調査した。構成とリズムについては客観的なデータが見つからなかったので私の主観で調査している。

2.3 研究結果

2.3.1 コード進行

想定より使用しているコード進行が多様であったため、今回は楽曲のサビで主に使用されているコードを4つまたは8つ抽出して調査した結果図①のようになった。またこのうちもっとも主要と思われる4つのコードで構成されるコード進行から主音だけを取り出すと図②のような結果になった。ここで図中に表記されているローマ数字は長調も短調も一律に長調とみなし主音の音階名を一般化したものである。図②より主音だけでみると基礎的な部分はある程度似たコード進行が使用されているとわかるが、図①よりサビ全体で見ると曲ごとに様々なコード進行が使用されていてほとんど同じコード進行が使用されていない。またサビ以外のAメロBメロや間奏ではまた別のコード進行が使用されている楽曲がほとんどで、繰り返しではなくサビ前など要所要所で特別なコード進行が使用されている楽曲も多かった。

まとめると主音だけの流れは昔から一般の楽曲でも幅広く使用されてきた進行で安定感がありノリやすいといえる。一方で、他の曲と違って飽きないという点もある。現代音楽では少し前から通称「Just The Two of Us進行」や「丸サ進行」と呼ばれるコード進行(IVM7→III7→VIm7→Vm7-I7)が主に非常に多くのネット音楽と呼ばれるインターネット上で流行した楽曲に使われ、あまりにも使われすぎてマンネリ化しているという声も多かった。そこで一部の作曲家はそのコード進行から差異化した独自のコード進行を使用した音楽を作った。ここで挙げられている楽曲もJust The Two of Us進行を使用している楽曲もあるが派生型を使用するなど、多くは別のコードを使用している。直接海外人気と関連性があるかは不明であるが、周りの楽曲との違いをつけようと意識しているようなコードが使用された楽曲が多いように感じた。こちらは飽きないといえるのではないかな。

2.3.2 長さ

今回収集した楽曲の平均の長さは3:47であった。最近の楽曲は海外の人気があるなしに関わらず楽曲の長さが短くなる傾向にあり、特に今回の研究には関連のないものと思われる。

2.3.3 構成

今回はサビ、Aメロ、Bメロ、Cメロ、前奏間奏後奏の5種類の部分に分けてまとめたところ図③のようになった。図③はサビで分けてある。J-POPの王道の流れと言われるAメロ→Bメロ→サビの流れは特に曲の前半でよく見られた。しかし曲の後半になるとCメロがあるものないものや最後のサビでの転調があるものないものなど様々な構成が見られた。

一般の楽曲の多くは1番と2番をほとんど同じ構成を繰り返すことがほとんどで、またその後Cメロや間奏が入りラスサビで終わるというもはや伝統とも呼ばれる楽曲の流れがあるがほとんどの楽曲では2番以降の構成が大きく変わっていた。飽きない構成になっているといえる。

2.3.4 リズム

リズムも楽曲中の部分によって変わることがあったのでサビの部分のリズムだけを取り出して調査した。リズムをドラムの音に例え、バスドラムの音を・、スネアドラムの音を◎で表したところ、ほぼすべての楽曲で図④のようなリズムとなっていた。細かい音(ハイハットのような音)や他の細かいリズムで入ってる音(つなが目のタムのような音)を無視すると1,3拍目にバスドラム、2,4拍目にスネアドラムが入っていることが多かった。リズムパターンは非常にシンプルな楽曲が多くノリやすいといえる。

3. おわりに (結び、まとめetc)

3.1 結論

以上の結果から私は「ノリやすい」かつ「飽きない」楽曲が海外から人気なのではないかと結論づけた。

3.2 今後の課題

今回の調査は母数が少なくまた偏りがあり、人気のある楽曲に対して人気のない楽曲の対照実験も行っていないため調査結果に対する信憑性が非常に薄い。海外コメント50%~100%の曲を全てひとくりにせずにそのなかでも顕著に人気が現れている楽曲に絞って考察したら結果がもっとはっきり現れたかもしれない。また日本の音楽という広くくりに調査したといったが実際に集めた楽曲は主にインターネット上で人気のあるネット音楽と呼ばれる楽曲がほとんどで、すべての日本の音楽に共通して言えるとは言い難い。さらにひとくちに海外といっても地域によって好みの違いなどもあるようで、それらについても調べてみたい。また音楽理論をもっと深く学んでから考察したら違うことが見えてくるかもしれない。

謝辞

本論文の作成にあたり様々な助言を頂いた探Q指導員菅原先生に深く感謝申し上げます。

参考文献

[1]U-フレット

図①

1	IVM7	IIIm7	VIm7	VIm7					
2	IVM7	IIIm7	VIm7	I					
3	IVM7	V	VIm7	VIm7					
4	IIIm7	V	VIm7	I	IIIm7	III7	VIm7	VI7	
5	IIIm7	V	IIIm7	IV	IIIm7	V	IIIm7	VIm7	
6	IV	IV	IIIm7	VIm7	IIIm7	III	VIm7	VIm7	
7	IIIm7	III7	VIm7	I	IVM7	III7	VIm7	VI7	
8	IVM7	IIIm7	VIm7	I					
9	IVM7	III7	VIm7	VIm7					
10	IVM7	V	VIm7	I7					
11	IVM7	V	III7	VIm7	IVM7	III7	VIm7	I7	
12	IVM7	V7	IIIm7	VIm7	IIIm7	V	b Vldim	VIm7	
13	IVM7	III7	VIm7	VIm7					
14	IVM7	III7	VIm7	I7					
15	IV	V	IIIm7	VIm7	Vldim	III7	VIm7	V	
16	IVM7	V	VIm7	III					
17	IV	V	IIIm7	VIm7	IV	III7	#VIm7	I7	
18	IVM7	III7	VIm7	II					
19	IIIm7	V	IIIm7	VIm7	IIIm7	V	IM7	VIm7	
20	IV	V	IIIm7	VIm7	IV	IIIm7	VIm7	I	

図②

IV	III	VI	VI
IV	III	VI	I
IV	V	VI	VI
II	V	VI	I
II	V	III	IV
IV	IV	III	VI
II	III	VI	I
IV	III	VI	I
IV	III	VI	V
IV	V	VI	I
IV	V	III	VI
IV	III	VI	V
IV	III	VI	I
IV	V	III	VI
IV	V	VI	III
IV	V	III	VI
IV	III	VI	II
II	V	III	VI
IV	V	III	VI

図③

1	S	-	A	B	S'	-	A	-	C	S	S'	A'
2	S	-	A	B	S	-	A	B	-	C	S'	A'
3	A	-	A	B	S	-	A	B	C	-	S	-
4	-	A	B	-	S	-	A	B	S	C	-	-
5	-	A	B	-	S	-	A	B	S	-	S	-
6	-	A	B	-	S	-	A	B	S	-	S	-
7	-	A	B	-	S	-	A	B	-	-	S	-
8	-	A	-	-	S	-	A	B	-	C	S'	A'
9	-	A	B	-	S	-	A	B	S	-	S'	A'
10	-	A	B	-	S	-	A	B	-	-	S	-
11	-	A	B	-	S	-	A	B	-	-	S'	A'
12	-	A	B	-	S	-	A	B	-	-	S	-
13	-	A	B	-	S	-	A	B	S	-	S	-
14	-	A	B	-	S	-	A	B	S	-	S	-
15	-	A	B	-	S	-	C	-	S	-	S	-
16	A	-	A	B	S	-	A	B	S	C	S	-
17	A	-	A	B	S	-	A	B	-	C	S'	A'
18	-	A	B	-	S	-	A	B	-	-	S	-
19	S	-	A	B	S	-	A	B	S	-	S	-
20	-	A	-	-	S	-	A	B	S	B	S	S'

図④

1	2	3	4
●	-	◎	-
●	-	◎	-

how to 第三次ベビーブーム ～日本の未来若者の未来あと老後と赤ちゃん～

Y. F. <科学④>

1. はじめに

現状の日本の大きな課題、社会問題として主に少子高齢化が論じられている。2021年現在、人口に対する高齢者の割合は29%を超えて超高齢社会という区分に振り分けられる。これは世界一位の水準である。赤ちゃんの生まれる数は減り続け老人は長生きし続ける。この状況が続くことによる日本の経済悪化は目に見えるより明らかである。日本は過去にベビーブームを二回経験している。それらの経験を参考にする事で現代に再び第三次ベビーブームを再興させることが可能ではないのか。しかしその際、人口を増やす際にあたってどれくらいのスパンが最も効果的に経済状況に影響を与えることができるのかという問題がある。過去の日本の経済状況と人口を調べ、その関係性を考察する。

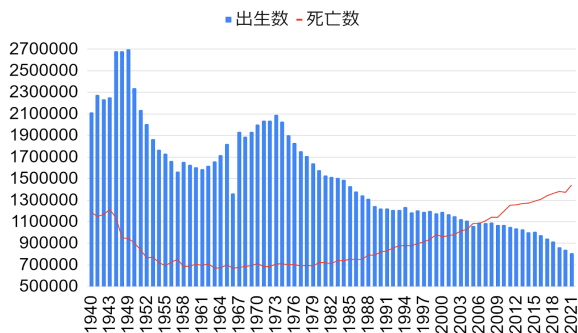
2. 研究概要

2.1 研究方法

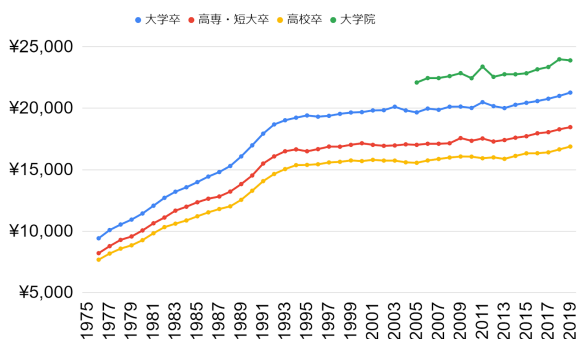
過去の日本の人口状況と経済状況の推移を調べる。経済状況を決める指標としてGDP、保険料、実質GDP、年金、ビックマック指数、所得税など様々な種類のものが挙げられるが今研究では対象を初任給に絞って研究する。初任給を決める他の要因として、社会情勢、政策、自然災害など様々なものが挙げられるが初任給と人口との関係性について研究するため考慮しないものとする。

2.2 情報収集

参考文献 [1] から過去の日本の人口状況の推移をまとめると以下のグラフとなる。



そして初任給(男性)をまとめると以下のようになる。



ところでこの人口のグラフは1943～1947のデータが空白になっている。これは第二次世界対戦の一貫として日本が太平洋戦争への参戦したことや、その激化、敗戦に伴い、人口の統計調査が行われなかったことが挙げられるだろう。(しかしながら初任給のデータが1975年以降のものしかなかったためそれ以前の人口データは無視する)

この2つのグラフを見たところ初任給は人口の増減の影響を受けず変動しているように見える。

2.3 整理分析

このふたつのデータの関連性を調べる。

そのために散布図を作成し、2種類のデータ間の関連性の強さを示す指標となる相関係数を求めていく。

x, y 間の相関係数を R_y^x とすると

$$R_y^x = \frac{(x \text{ と } y \text{ の共分散})}{(x \text{ の標準偏差}) \times (y \text{ の標準偏差})}$$

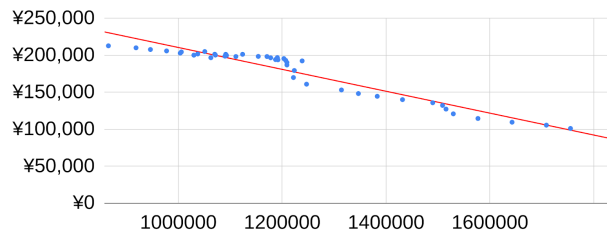
上の式で相関係数は求まる。

相関係数が1に近いほどこの2つのデータはより強い関係性を持つことになる。

先程の2つのグラフから

横軸出生数(人)、縦軸初任給(円)で散布図を取る。進学先別の初任給をそれぞれの進学数の数の割合を求めて全体に対する初任給の平均をとるのは難しかったため参考文献[3]から大学進学率(過年度卒を含む)は56.6%と過半数を超えていることから初任給の中でも大学卒のデータを使用する。なお女性ではなく男性のデータを使用したのも同様の数の観点が理由になっている。

以下散布図



上図の通り

相関係数 $R_y^x = -0.9654489434$

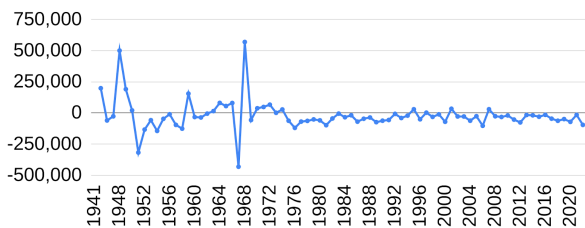
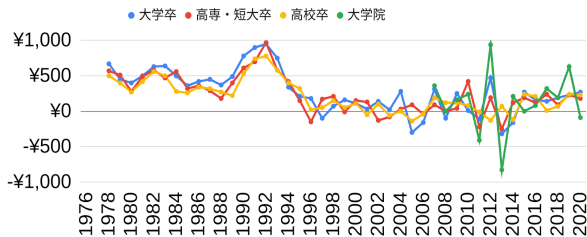
これにより負の相関を持つので人口が増えると初任給は減ると考察できる。ところでこの結果には違和感が残る。この結果はあくまでも、ある年の人口、出生数とそれに対応する初任給を照らし合わせているだけに過ぎない。今研究では人口が初任給に与える影響、つまりところ人口が変化すると初任給がどう変化するかを調べなければならない。そのために初任給、人口をとともにその前

年比のデータにして、その増加量の関係性を調べることにする。

以下2つ

初任給の前年比のグラフ

人口の増加量の前年比(出生数から死亡数を引いた数の前年比)のグラフ

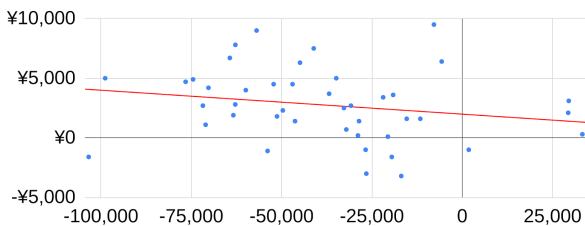


この2つも関係性はなさそうなので散布図をとって関連性を調べてみる。

以下散布図

横軸人口の増加量の前年比[人]

縦軸大学卒(男性)の初任給の前年比[円]



上図の通り

相関係数 $R_y^x = -0.2025557557$ となる。

3. おわりに

相関係数を見ると、その数字の大きさから初任給と人口の増減に直接的関係はなく、互いに及ぼす影響はほぼない事がわかる。これより、初任給の変化の要因としては他により適するものがあると言ってよい。第2節で紹介した様々な経済状況を示す指標と人口のデータを丁寧に処理していけば第三次ベビーブームや経済復興の足がかりがつかめるように思える。一見関係のなさそうな食料自給率などが初任給に影響を与えていたらおもしろい。今後はこの関連をさらに詳しく研究していきたい。

謝辞

筑波大学研究員、菅原隆介先生に数々の助言を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

[1] 令和3年(2021)人口動態統計(確定数)の概況, 結果の概況

<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei21/index.html>

[2] 令和元年賃金構造基本統計調査結果(初任給)の概況, 印刷用資料のダウンロード, 概要

<https://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/chingin/kouzou/19/index.html>

[3] 学校基本調査ー令和4年度 結果の概要ー, 令和4年度学校基本調査の公表について

https://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa01/kihon/kekka/k_detail/1419591_00007.htm

自動運転の安全性

H. M. <科学④>

1. はじめに

今、世界中の自動車メーカー（トヨタ、日産、ホンダなど）が自動運転に力を入れており、自動運転はものすごい速さで進化している。数年後には完全自動運転になり、多くの人がハンドルを握らなくなる時が来ることが予測される。また、自動運転の機能を用いたら事故が防げたり、仮に事故が起きたとしてもあまり大きな事故にならずに済むはずである。しかし、実際には自動運転で事故が起きている。加えて、小さな事故から死亡事故まで様々な規模の事故が発生している。そこで、自動運転の安全性を検証するために制動距離に着目して実験した。

2. 自動運転の現状

2.1 自動運転とは？

自動運転とは、乗り物や移動体の操縦を人の手によらず、機械が自立的に行うシステムのことである。

自動運転は、自動車が作られたときから考えられていたことで、いち早く自動運転に注目した自動車メーカーは米GMであった。米GMは1939から1940年にあったニューヨーク万国博覧会で20年後の未来を具現化したジオラマを展示した。この展示は自動運転に関するものであった。日本で最初に自動運転に着手したのは、1960年頃の通産省工業技術院機械試験所（現「産業技術総合研究所」）である。日本では自動運転の自動車が公道を走行できるようになったのは2020年4月からである。

2.2 自動運転で事故が起きている

自動運転は今も進化を続けている。しかし、自動運転の事故は多発している。東京オリンピックのときに起こった事故は記憶にも新しいだろう。

2.3 自動運転レベルについて

自動運転レベルは自動化される操作の段階によって6つに分かれており、レベル0～2は運転操作の主体が人間であり、レベル3～5は運転操作の主体が自動運行装置になる。日本では今、自動運転レベルは3であり、特定の走行環境条件を満たす限定された領域において、自動運行装置が運転操作を代替することができる。

3. 仮説と調査方法

3.1 仮説

人が運転をするよりも自動運転による運転のほうが停止距離は短く、先に停車するはずである。

3.2 実験や調査内容 1

unityによるシミュレーションを用いた実験。この実験では、自動運転と数式上での制動距離の関係について調べる。まず、unity内で車を作る。この車のタイヤの摩擦係数を0.75（乾いた時の舗装路面の摩擦係数は、0.5～1.0）とする。次に、unity内にあるカメラ機能を用いて実際に自動運転時に用いられるカメラがつけられている場所にカメラを設置し、そこから見える視覚を用い

て自動運転を再現する。そして、人にぶつかる実験をする。

る。

カメラからの距離を決める。速度は60km/hのみで行う。

3.3 実験や調査内容2

ラジコンを用いて実験をする。（自動車に近づけるためラジコンを用いた。）この実験によって、実験1同様自動運転と数式上での制動距離の関係について調べる。

制動距離＝車の速度の二乗÷（254×摩擦係数）・・・

①

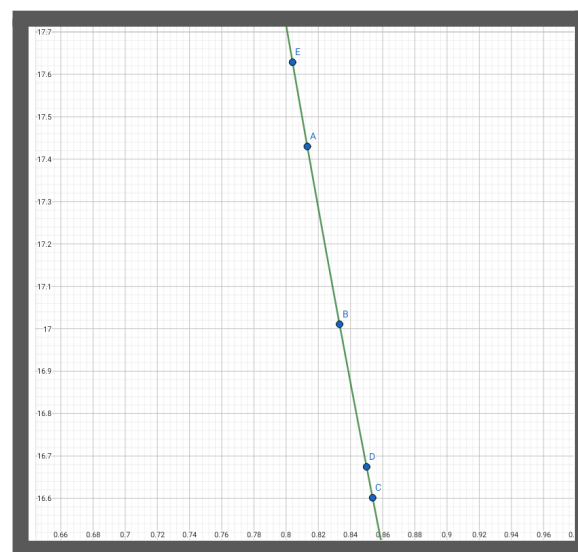
この式の数値を自動運転による走行時の制動距離とする。この数値と実際に自動運転をして出た制動距離の値の誤差がどのようなものであるかを調べる。

ラジコンの速度を60km/h（約16.7m/sと仮定する。）

ラジコンのサイズ10.4cm（車10台分の通過時間から決める。）とする。

制動距離と速度から摩擦係数を決める。

グラフ1（①の式を用いる）



グラフ1より摩擦係数0.83とする

乾いた時の舗装路面の摩擦係数は0.5～1.0であるため、舗装路面に近い

4. 整理・分析

実験1について

車の設計をまず行い、作り上げることができた。しかし、その後のプログラミングがうまく行かず、うまく実験をすることができなかった。

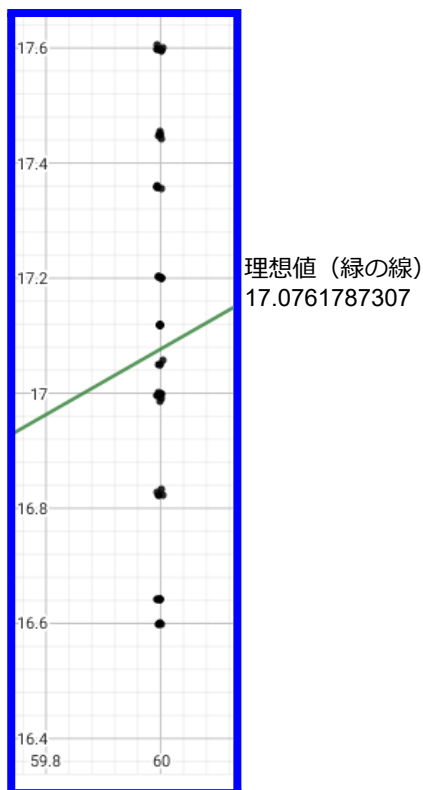
実験2について

電池の消耗による影響をなくするためできる限り短期間で行った。実験をすることができた。

5. 考察

実験2について

グラフ 2



縦軸：制動距離 横軸：速度

グラフ 2 は、①の数式上の制動距離（理想値）と実験結果を表したグラフである。
グラフより自動運転による走行時の制動距離の値と実際に自動運転をして出た制動距離の値との誤差は最大0.5278mであることがわかる。

6. おわりに（結び、まとめetc）

3.1 結論

自動運転では画像処理を行う時間の間に進む距離だけが空走距離に値する。しかし、カメラが画像処理をする時間は極めて短く空走距離はほとんど無い。よって、自動運転では空走距離を考える必要がなく、人の運転では60km/hの場合、平均16.7mの空走距離がある。そのため、先ほど出した誤差と空走距離を足した分だけ自動運転は手前で止まる。よって、自動運転のほうが安全である。

3.2 今後の課題

今のカメラでは500m先まで識別することができる。つまり、動かない障害物にあたるとはならない。そのため、障害物を動かしての実験をしたい。また、様々な速度で実験をする必要がある。実験 1 での実験を完成させたい。

謝辞

菅原隆介先生のご指導により探究活動をより充実させたものにすることができました。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 自動運転について
https://jidounten-lab.com/u_32604#193940GM
- [2] 制動距離について <https://job-con.jp/>
- [3] 自動運転レベルについて
<https://www.apiste.co.jp>
- [4] ラジコンについて
<https://www.takaratomy.co.jp/products/driftpackagenano/>
- [5] 画像処理について
https://jssl.jp/column/column_222/
- [6] unityの使用方法
<https://learn.unity.com/course/unity-tutorials-for-beginners-jp>

情報社会から考える報道倫理 ～報道機関と民間との繋がりに着目して～

A. M. <科学④>

1. はじめに

時事問題について興味があり、よくニュース(インターネット、テレビ)を見るが、その際に、SNSなどで報道機関等への批判ツイートを見かける事が稀にあり、なぜなのかと考え、探ってみた。すると、報道(情報)の印象操作、偏向報道という投稿などが政治、民間、流行、国際など人が興味を惹かれる内容に対する物で見られた。

(まず、当探究では「数字」を用いて、情報の受け手を騙るような一連の仕組みを 印象操作を行っている とする。)

そこで、主に、以下の5点に着目して研究を行った。

- ・印象操作で何をしたいのか
- ・報道機関にどのようなメリットがあるのか
- ・どうしたら報道倫理に反するような行為をなくせるのか
- ・このような情報を受け取る際、受け取る側は情報に対してどう対処すべきなのか
- ・どのように情報を見極めるべきなのか

様々な印象操作についての研究や、記事、公人などの意見がある中で、本活動では、実際の報道などの具体例を示し、できるだけ分かりやすく報道倫理、印象操作、偏向報道への向き合い方を示したい。

2. 研究概要

2.1 具体例の情報収集方法

メディアの、数字を用いた統計などの印象操作が行われている物の内、メディアの受け手となる国民の意見をSNSなどにて収集する。また、研究に必要と思われる、関連性のある情報を収集する。

2.2 研究対象

数字を使った情報の中でも統計やグラフの代表的な棒グラフ、円グラフ、折れ線グラフに絞って研究を行う。

2.3 研究方法

以下のような手順で考察する。

- [1] (1.)で定義した、印象操作が施されている表、グラフをサイト、及びSNSで収集する。
⇒画像として収集。その際、「Twitter」というアプリを用いた。
- [2] 集めた統計等データを前述(1.)での疑問と関連付けて共通点などで、見えてくることを考察する。

3. 研究結果・考察・整理分析

以下より、研究の結論を示す。

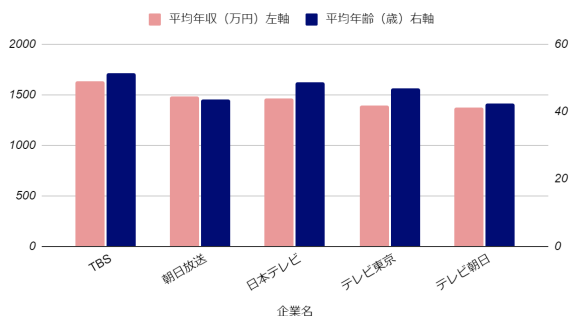
3.1 印象操作の意図・目的①

初めに、「私企業のメディアは企業の利益を求める」という事である。企業(報道機関)の利益はGRP単位(延べ視聴率)で決まる。GRPとは、

$$\text{GRP} = \text{CM本数} \times \text{視聴率} = \text{広告収入}$$

という仕組みになっている。したがって、広告収入と視聴率は正の相関関係にある。さらに、ニュースは幅広い年齢層が見る為、視聴率は良くとれる。その為、GRP単位に基づいて広告収入も得ることができる。故に業界の利潤は良く、年収も高い。(図1)

平均年収(万円) と 平均年齢(歳)



(図1: 民放5社社員の平均年収の比較)

3.2 印象操作の意図・目的②

次に、我々の置かれている環境について。

現在我々はCOVID-19という新しい環境に対応せざるを得ない状況にある。そこで、人々に危機感を持ってもらいたいが為、情報を誇張する。悪意を持っている訳ではないと考えることができるが、その分、誤解を招き易くなっている。そこが印象操作を起こしているのではないかと考えられる。
(例えば、(図2)において、縦軸に着目する。縦軸の間隔の数値が異なり、増減の程度考え方が難しくなってしまうがちなってしまう。さらに、横軸に着目すると、横軸には入るはずの「感染者推移」の時間軸が定まっていないため、同期間の比較ではないともとることができてしまうと考えざるを得ない。これらのことから、中国人においては感染者は「減少」し、日本人の感染者は「増加」しているにあるとは一概には言えない。)

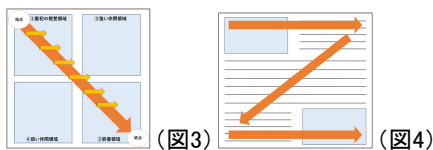


(図2: COVID-19の感染者推移の二国間の比較)

3.3 情報を受け取る側の問題

人間の視線に何らかの関係があると考えた。

①配置: 人間の視線の動きが主に、ゲーテンベルグ・ダイヤモンド、Z型、F型があるということに基づき、画像、文書などに於いて、レイアウトがなされている。(例: 図3: ゲーテンベルグ・ダイヤモンド、図4: Z型の視線の動き)



(図3) (図4)

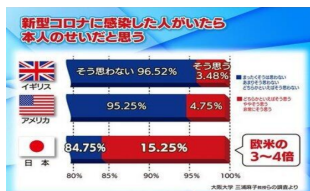
しかし、集めたデータから考えると、統計にこのようなレイアウトがなされているとは思えない。すなわち、画像や文書とは統計とは異なっていると言ふため、レイアウト(配置)は無関係なのではないかと考えた。

そこで、配置では特徴がつかみ辛いことから、統計の表、グラフが含む、大きさや色などが関係してくるのではないかと考えた。

②大きさや色: 配置では特徴が掴みづらいことから、大きさや色に情報を受け取る側は問題があるのではないかと考えた。参考文献[5][6]より、色の心理効果というものは科学的に証明されており、

大きい程目立つ色 RGB配色の偏りが大きいという類いが相手への印象を与えやすいことが分かった。例として(図5)~(図7)を挙げる。

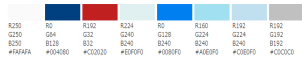
(図5)はとある報道番組で映ったCOVID-19関連のアンケート結果である。この図では数値表示方法および比較方法が不適切であると考えることができる。また、(図6)、(図7)は(図5)のグラフに含まれる色の成分抽出、類分けをした物である。(一部略)これらによると、文字のサイズが大きい程目立ち、RGBの偏りが大きい色ほど目立ち、占める割合も高いことが分かる。また、青色と赤色すなわち寒色と暖色の様に、彩度の高い対称的な色を使うことで、互いを際立たせていると考えられる。



(図5)

抽出された色をキーカラーにした配色パターン

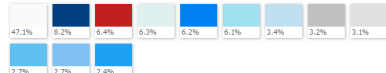
好きな色を選んで下さい。好みの色からその色に合う配色を配色球道から選出します。



(図6)

色の割合

数値のパーセントは表示色のなかでの割合になります。



(図7)

4. おわりに

4.1 結論

印象操作や偏向報道は単なる当人の自己満足や面白可笑しく情報の受け手を操作しているのではないということが分かった。最終的には当探究での「私企業のメディアは企業の利益を求める」という論に落ち着くのではないかと考える。また、我々の置かれている環境(当探究の例ではCOVID-19)に対してのような、情報を受け取る側への有益な情報提供の場合もみられるが、それもほとんどは注目を集

める、視聴率を上げるための一素材であると思われる。また、画像や文書が関係しないとした時、統計「自体」に含まれる、フォント、色などに問題を持っていると疑うべきではないかと考える。

これらの事から、メディアの受け手として社会を生きる我々は、上記に挙げたような、メディアの負の現状が無くならない以上は、情報を過信しすぎず、疑い深すぎず、適切に情報を扱っていくという能力が、我々が情報社会に向き合っていく上で必要であると考えられる。

4.2 今後の課題

当探究ではグラフにおける数字を用いた印象操作についてを主として研究を行った為、今後は「報道」全体における印象操作を研究し、より幅の広い「報道倫理」についてを考えていきたい。

謝辞

筑波大学研究員の菅原隆介指導員に数々の助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

引用画像

(図2)

https://twitter.com/_onakagatotoro/status/1263250763913945089 より

(図5)

<https://www.j-cast.com/2020/09/23395016.html> より

参考文献

[1] テレビ局決算から見える視聴率と収益の新しい関係～視聴率至上主義の終焉～

<https://news.yahoo.co.jp/byline/sakaiaosamu/20190517-00126232>

[2] 視聴率について。視聴率とそのTV局の利益はどのように関係しているのでしょうか？

<https://finance.yahoo.co.jp/money/experts/questions/q108188580>

[3] 延べ視聴率

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%BB%B6%E3%81%B9%E8%A6%96%E8%81%B4%E7%8E%87>

[4] GRPと線引き

<https://www.television-ad.com/ad-basic/grp.html#:~:text=GRP%EF%BC%88Gross%20Rating%20Point%EF%BC%89%E3%81%A8.%E3%82%921GRP%E3%81%A8%E8%A8%80%E3%81%84%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

[5] 【2019年最新版】マスコミ業界の年収は高い？平均年収ランキングまで紹介

<https://www.manpowergroup.jp/staff/column/career/mass-media-salary.html>

[6] 色で感情が動く！？色を持つ心理効果と活用方法

<https://kimoto-sbd.co.jp/tsutatsukulab/2018/01/21771/>

[7] プロのデザイナーから学ぶ目立つ色を使った配色

https://www.i-nobori.com/column/prominent_color_match

[8] カラー成分測定「色とりどり」

<https://ironodata.info/extraction/irotoridori.php>

[9] カラーサイト.com

https://www.color-site.com/image_pickers

[10] 知っておきたい人の視線の動き方。視線の動きを意識してユーザーを導く。

https://reblo.jp/media/reblo_more/039/

正多角形の折り紙による作図可能性

R. Y. <科学④>

1. はじめに

折り紙の国際会議が定期的開催されるほどに、折り紙は1つの研究分野として広い裾野を有している。研究対象には工学的な応用に関するものが多くを占めるが、数学的に興味深い問題もある。その一つが折り紙による正多角形の作図である。定規とコンパスのみで作図可能な正 n 角形として、正3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 16, 17, ... 角形などが知られている。逆に作図不可能な正三角形は正7, 9, 11, 13, 14, ... 角形などがある。しかし、その一部は折り紙を用いることを許せば作図可能(以下ネウシス作図可能)である。そして、定規とコンパスのみでは作図できないことが証明されている正七角形を折り紙で折ることができることが分かっている。作図可能である理由は、定規とコンパスでは2次方程式までしか解くことができないが、折り紙では3次方程式を解くことができるからである。この報告書ではその理由について詳しく調べる。

なぜ応用数学としての折り紙が必要なのか。自然界の中にも同様な折畳み構造がみられる。植物は春になり暖かくなると小さな蕾に折り畳まれていた葉が成長し最終的には大きな葉を展開する。このような自然界で工夫されている折り紙のような折畳みを利用することで、より効率的に収納できる構造物を作製することができる。折り紙の工学的な応用例として、宇宙で使用するアンテナや太陽パネルへの応用がある。折り畳み技術を利用して作製されたアンテナやパネルは、限られたスペースしかないロケット内では小さく折り畳まれ宇宙空間内で簡単に展開可能な構造になっている。また、物を効率よく折り畳む技術は医療にも応用されつつある。細胞折り紙とは、細胞が持つ力を利用してマイクロプレート折り畳み微細な立体構造を作る技術だ。通常、細胞は培養すると平面状になるが立体構造を作ることによって実際の生体内に近い環境を作ることができ医療や生命科学への応用が期待できる。このように科学としての折り紙を扱った研究は数学にとどまらない。

2. 研究概要

2.1 研究方法

一つの正多角形が描けたら、その倍の角数の正多角形を描くことはできるため、奇数角形の正多角形について調べることが本質的に重要である。(例えば、正十角形が描ければ、角を2つおきに結べば正五角形になる。) よって正奇素数角形の作図可能性を調べればよい。正三角形、正方形は明らかに作図可能であるから、この研究では正五角形、正七角形、正十一角形についてしらべる。正 n 角形を描くには $\cos(2\pi/n)$, $\sin(2\pi/n)$ を作図する必要がある。 $\alpha = 2\pi/n$ とおくと、正 n 多角形を作図するためには点 $(\cos\alpha, \sin\alpha)$ が作図できればよい。

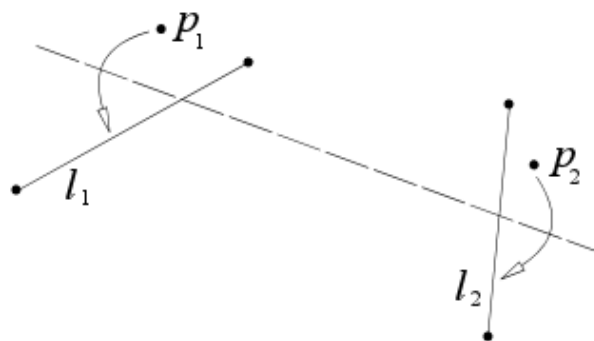
しかし、 $\sin\alpha = \sqrt{1 - \cos^2\alpha}$ であることを用いれば $\cos\alpha$ が作図できれば充分である。そのため、円分多項式 n が素数のとき、 $\phi_n(x) = x^{n-1} + x^{n-2} + \dots + x + 1$ を用いて、 $\cos\alpha$ が根に現れる方程式を作る。これで得られた根を、複素平面上にプロットし点を結ぶと、半径 r の円に内接する正 n 角形になる (r の原始 n 乗根)。これを用いて、複素数平面上の曲線 $z^n = 1$ 上の点が正 n 角形になる

ことを確かめる。

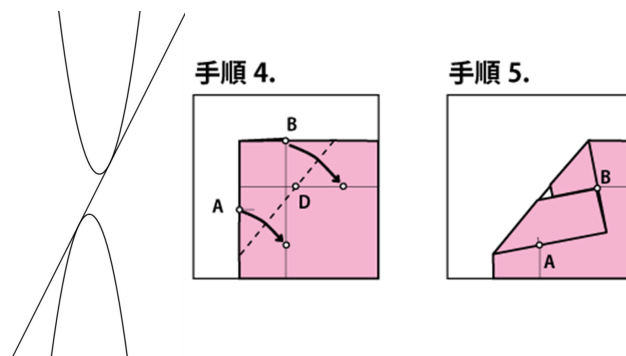
2.2 折り紙公理

折り紙幾何学には7つの公理がある。折り紙公理は折り紙幾何学の一連の規則がまとまっている。藤田-羽鳥の公理は、紙を一回の操作で一本の折り目を付ける「単純折り」をするときに理論上可能である7通りの基本的な操作を記述している。ただし、紙の厚さは無いものとし、伸縮しないものとし、全ての折り線は直線であると仮定する。また、ここでの公理は数学的な意味での公理の要件を満たすものではない。

注目すべきはその公理6である。公理6「2点 p_1, p_2 と2本の直線 l_1, l_2 が与えられたとき、 p_1 を l_1 上に重ね、かつ p_2 を l_2 上に重ねる折り方がある。」を使って作図をすると、根は0, 1, 2, 3個の場合がある。これにより最大の根が2個であるコンパスと定規の幾何学よりも強力な公理になる。



公理6で3次方程式が解けるのはなぜか。まず、適当に決めた点 P に直線 l が重なるように折る操作を繰り返すと点 P を焦点とする放物線の包絡面が描ける。ゆえに、公理6の「与えられた2点を別々の2直線に同時に重ねるように折る」操作は、焦点をそれぞれ p_1, p_2 、準線をそれぞれ l_1, l_2 とする2つの放物線の共通接線を求めることに等しい(左下)。



具体的には、放物線 $4ay = x^2$, $4d(x+b) = (y-c)^2$ ($a > 0, d > 0$) の共通接線の傾き t は3次方程式 $ax^3 + bt^2 + ct + d = 0$ の解であるため、3次方程式を解くことに等しいと見なせる。また、この性質は実際に、正七角形の作図手順4に表れている(右上)。

また、公理6と折り目の交差点としての点の定義だけで、すべてのコンパスと定規の構造が含まれているといえる。

2.3 n=5 (正五角形)について

原始5乗根は $(k,5)=1$ より

$k=1, 2, 3, 4 \pmod{5}$ の4個ある.

ここで円分多項式を用いると

$$\zeta^5 - 1 = (\zeta - 1)(\zeta^4 + \zeta^3 + \zeta^2 + \zeta + 1) = 0$$

$$\phi(x) = \zeta^4 + \zeta^3 + \zeta^2 + \zeta + 1 = 0$$

よって原始5乗根は $\zeta^4, \zeta^3, \zeta^2, \zeta$.

次に, 原始5乗根の間の置換を考える.

体 $\mathbb{Q}(\zeta)/\mathbb{Q}$ のガロア群は

$$G = \text{Gal}(\mathbb{Q}(\zeta)/\mathbb{Q}) = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4\}$$

これは σ_2 が生成する位数4の巡回群

$$G = \langle \sigma_2 \rangle = \{\sigma_2, \sigma_4, \sigma_3, \sigma_1\}$$

その真の部分群は位数2の巡回群

$$G = \langle \sigma_4 \rangle = \{\sigma_4, \sigma_1\}$$

$\langle \sigma_4 \rangle$ が動かさない元は $\sigma_4(\zeta + \zeta^4) = \zeta + \zeta^4$

より, $\zeta + \zeta^4 = \zeta + \frac{1}{\zeta}$ で, 中間体は $\mathbb{Q}(\zeta + \frac{1}{\zeta})$ のみである.

$$\phi(\zeta) \text{ を } \zeta^2 \text{ で割って } \zeta^2 + \zeta + 1 + \frac{1}{\zeta} + \frac{1}{\zeta^2} = 0$$

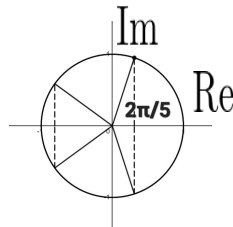
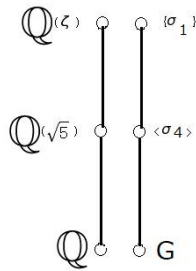
$$x = \zeta + \frac{1}{\zeta} \text{ とおくと, } x^2 + x - 1 = 0$$

$$\text{これを解いて, } x = \zeta + \frac{1}{\zeta} = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}$$

$$\text{Re}(\zeta) = \frac{-1 + \sqrt{5}}{4}$$

$$\text{Im}(\zeta) = \sqrt{1 - \left(\frac{-1 + \sqrt{5}}{4}\right)^2} = \frac{\sqrt{10 + 2\sqrt{5}}}{4}$$

平方根だけで表すことができたため, 正五角形は作図可能, ネウシス可能であることが示された.



2.4 n=7 (正七角形)について

原始7乗根は $(k,7)=1$ より,

$k=1, 2, 3, 4, 5, 6 \pmod{7}$ の6個ある.

$n=5$ (正五角形)と同様にして,

$$\phi(x) = \zeta^6 + \zeta^5 + \zeta^4 + \zeta^3 + \zeta^2 + \zeta + 1 = 0$$

次に, 原始7乗根間の置換を考える.

体 $\mathbb{Q}(\zeta)/\mathbb{Q}$ のガロア群は

$$G = \text{Gal}(\mathbb{Q}(\zeta)/\mathbb{Q}) = \langle \sigma_3 \rangle = \{\sigma_3, \sigma_2, \sigma_6, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_1\}$$

という位数6の巡回群だから,

その真部分群は位数3の巡回群 $\langle \sigma_2 \rangle = \{\sigma_2, \sigma_4, \sigma_1\}$

位数2の巡回群 $\langle \sigma_6 \rangle = \{\sigma_6, \sigma_1\}$

$\langle \sigma_2 \rangle$ が動かさない元は $\zeta + \zeta^2 + \zeta^4$ だから

対応する中間体は $\mathbb{Q}(\zeta + \frac{1}{\zeta})$ である.

$\langle \sigma_6 \rangle$ が動かさない元は $\zeta + \zeta^6$ だから

対応する中間体は $\mathbb{Q}(\zeta + \frac{1}{\zeta})$ である.

$$\phi(\zeta) \text{ を } \zeta^3 \text{ で割った } \zeta^2 + \zeta + 1 + \frac{1}{\zeta} + \frac{1}{\zeta^2} = 0$$

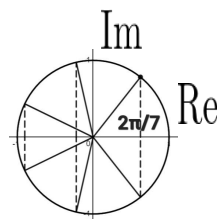
に留意しつつ, $x = \zeta + \frac{1}{\zeta}$ を変形すると

$$x^3 + x^2 - 2x - 1 = 0$$

これを解いて,

$$\text{Re}(\zeta) = -\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\sqrt{\frac{7(1+3\sqrt{3}i)}{2}} + \frac{1}{3}\sqrt{\frac{7(1-3\sqrt{3}i)}{2}}$$

$$\text{Im}(\zeta) = \sqrt{1 - (\text{Re}(\zeta))^2}$$



これは, 立方根を使うことで表すことができるため, 正七角形は作図不可能だが, ネウシス作図は可能であることが示された.

2.5 n=11 (正十一角形)について

$n=7$ (正七角形)と同様にして,

$$x^5 + x^4 - 4x^3 - 2x^2 + 3x + 1 = 0$$

これは, 平方根と立方根を使うことで表すことができないため, 正七角形は作図もネウシス作図も不可能であることが示された.

3. おわりに

3.1 結論

具体的に正五角形, 正七角形, 正十一角形の方程式を立てることで, 作図可能, ネウシス作図可能, ネウシス作図不可能の3つに自分で分類することができた. これによって, ユークリッド幾何における定木とコンパスによる作図では二次方程式までしか解けないのに対し, 折り紙の幾何学では三次方程式を解くことができることの具体例が, 得られた. さらに, 実際の正七角形の作図手順と照らし合わせることで具体的に折り紙公理の強力な部分を確認された. また, 正多角形に注目することで, 作図と方程式の関係について理解が深まった.

3.2 今後の課題

今回の研究で, 正十一角形は「単純折り」では折れないことがどんな意味を持つのか具体的に確かめられた. しかし, 正十一角形は「多重折り」を用いると折ることができる. 多重折りとは, 1回の操作で2本以上の折り線を同時につける折り方である.

また, アルペリンとラングにより, 一般の n 次方程式は $(n-2)$ 重折りによって解くことができると示されている. 正十一角形を折るためには, 5次方程式を解く必要があるため, 3重折りを用いる必要がある. しかし, $(n-2)$ 重以下で折ることができる可能性が残っているため, 研究の余地がある. この「多重折り」に興味をもったので今後も研究を続けたい.

謝辞

本研究を進めるにあたり, 筑波大学数理物質系 日本学術振興会特別研究員PD菅原隆介には, 指導教員として終始熱心なご指導を頂きました. 心から感謝いたします.

参考文献

- [1] Jorge C. Lucero, Division of an Angle into Equal Parts and Construction of Regular Polygons by Multi-fold Origami, 2006.
- [2] Joseph Rotman 「ガロア理論」 (2012).
- [3] Robert J Lang, Origami and Geometric Construction, 2003.
- [4] Roger C. Alperin and Robert J. Lang, One-, Two-, and Multi-fold Origami Axioms, 4SOME: The fourth International Conference on Origami in Science, Mathematics and Education, 2006

ボーカロイドと人間の歌声の違い ～歌声の“人間らしさ”とは～

Y. Y. <科学④>

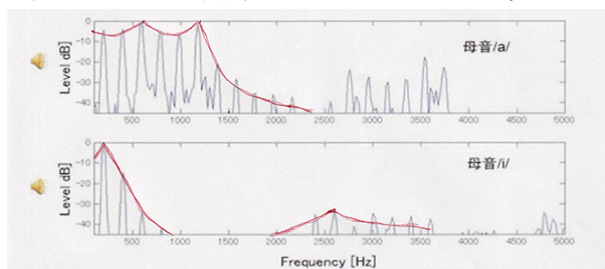
1. はじめに

ボーカロイド(=VOCALOID)とは、ヤマハが開発した音声合成技術、およびその技術に応用したソフトウェアの総称である。インターネットの普及や動画投稿サイトの発展などによりボーカロイドは近年非常に有名になってきているが、好ましく思わない人も一定数存在し、好みがはっきり分かれる傾向にあるように思われる。ボーカロイドがあまり好きではないという人の意見として、「感情がこもっていないように聞こえる」という意見が多く見受けられた。無論人間の歌手の場合でも、その歌手を好ましく思わない人というのは一部存在している。しかしボーカロイドの場合、種類が多数あって一つ一つ違った声をもっている。このことを鑑みて、特定のボーカロイドの声ではなく、ボーカロイド共通の「歌声の無機質さ」が受け入れられないという人が多いのではないかと予想される。ここでは、ボーカロイドの歌声がなぜ無機質な歌声に聞こえてしまうのか、人間の声と具体的に何が異なっているのかを調べ、歌声を“人間らしい”歌声たらしめる要素とはなにがあるのかについて考察する。

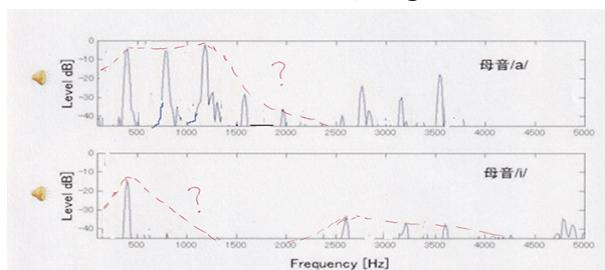
2. 研究概要

2.1 声の波形

音とはつまり波であり、それが空気などの媒質を伝わることで私たちは音を聞くことができる。音の一種である声も波であり、それを波形に起こしたとき、ボーカロイドの声と人間の声とはなにか違いがあらわれるのではないかとこの予想のもと、声をスペクトルで表し、それらを比較する。ここでのスペクトルとは、光や音の波などの複雑な情報をその成分に分解し、成分ごとの大小に従って配列したもののものであり、またフォルマントとは、音声の周波数スペクトルに表れる、周囲よりも強度が大きい周波数帯域のことである。以下の2つの図は、人間の女性の声、初音ミクの声のスペクトルで表し、それぞれ周波数成分の頂上を結んだものだ。



↑人間の女性の声…①

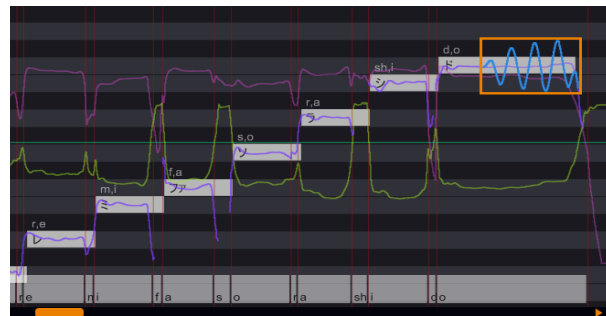


↑初音ミクの声…②

声の周波数成分の頂上を結ぶと、フォルマントと呼ばれる盛り上がり2つ現れる。左側に寄っている、離れているといったような2つのフォルマントの位置関係の違いによって、異なる母音は区別される。しかし②の図では、①の図と比較してもわかるように、スペクトルが疎になっていてどこにフォルマントがあるのかわかりにくくなっている。そのため、初音ミクの歌声は母音が区別しにくくなっており、このことは、音韻性が悪い、つまり何と言っているのか歌詞が聞き取りにくいという特徴を持つことを示している。その原因となっているのは初音ミクの歌声の基本周波数の高さである。先述したグラフには基本となる周波数と、その2以上の整数倍の周波数を持つ音の成分が表されるため、基本周波数が高い声はスペクトル表示をしたとき②のようなグラフになり、音韻性が悪い特徴を持つ。

2.2 歌声の要素と人間らしさ

次に各音符の音程と長さのみ設定した状態での歌声と、そこから歌声の様々な構成要素を変化させたあとの歌声を比較する。以下はVoiSonaという音声創作ソフトウェアの編集画面である。



音符やそれらに対応した歌詞を打ち込んでただそれを発声させただけでは、どこか人間離れしたような「機械に歌わせている」という感じの拭えない歌声であった。ただし、①桃色の線、②黄緑色の線、③紫色の線の3つのパラメーターが変わったとき、分かりやすくより“人間らしい”歌声になったように聞こえた。これら3つそれぞれについて、より人間らしいと感じられた歌声にあらわれた特徴は次のようであった。

①：音量

1つの音符の中でも大きくなったり小さくなったりと音量が一定でなく、また音符の長さの最後には小さくなっている。

②：息の量

同じく一定でなく、また音程が切り替わる直前に多くなっている。

③：ピッチ（細かい音程の変化）

本来各音符の中心をまっすぐ通っているはずが、多少の揺らぎがあり、安定していない。また次の音符へ少し上もしくは下の音程からなめらかに音程が切り替わっている。

これらから、多少の不安定さがあること、そして音符

同士が完全には繋がっていないことの2つが共通している。反対に、歌声が完全に一樣であったり、音符の継ぎ目がなめらかでなく、一瞬で音程が切り替わっていたりすると、人間の歌声ではないと感じるのだろうと考えられる。

3. おわりに

3.1 結論と考察

機械で合成した歌声が人間の歌声とは違った印象を与える一因として、基本周波数の高さ、そしてそれに付随する音韻性の悪さがあるということがわかった。

また、歌声を構成する様々な要素がある程度不安定であるより人間らしい歌声に聞こえ、逆に安定しすぎていると人間離れしているような、無機質な歌声に聞こえると考えられる。やはり人間の場合、どれだけ意識しても完全に息の量を一定にすることはできないなど機械ほどの精度はなく、声に揺らぎが生じる。そのため、人はボーカロイドの歌声を聞いたとき、記憶の中の人間の声と比較することで実際の人間では不可能な水準の正確さを感じ取っていて、人間ではなく機械で合成した歌声だ、と無意識のうちに判断しているのではないだろうか。

3.2 今後の課題

今回、歌声の“人間らしさ”という点に着目したが、その定義は主観的で曖昧なものであった。加えて人間らしい歌声であるという判定も自分一人で行ったため、全体的に客観性に欠ける内容となってしまった。複数の音源を比較したアンケートの回答を集計するなど工夫の余地があったと考える。他にも母音と子音の発声タイミングの調整などができ、それら機能を活用したり歌声に関する知識をさらに身に付けておいたりすれば歌声をより大きく変化させることができたと思われる。

また、最近では人間と区別がつかないと言われるようなボーカロイドや、もととなる人間が存在しない完全に機械のみで合成したボーカロイドなどが開発されており、今回のように一つに限定せず複数のボーカロイドを比較して考察するなどまだまだ議論の余地を残していると考えられる。

謝辞

筑波大学研究員の菅原隆介さんには数々の助言をいただくなど手厚いご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

[1]「ニコニコ動画的ボーカロイドの歴史を“970,686本の投稿動画”とともに振り返ってみた」. ニコニコニュース. 2020.

<https://news.nicovideo.jp/watch/nw8598369>, (参照2022-7) .

[2]トロピカルボーイ. 「初音ミクの歌声を分析してみた——音響学のエキスパートがボカロに科学的視点でゼまる！ 周波数、波形、歌唱法… “電子の歌姫” だけが持つ魅力とは？」. ニコニコニュースORIGINAL. 2020. <https://originalnews.nico/289115>, (参照2022-8) .

[3]Techno-Speech, Inc. 「MANUAL VoiSonaの使い方を知ろう.」. https://voisona.com/manual_song/, (参

照2022-8) .

[4]「【ソング】調声基本編」. CeVIOユーザー互助会@ウィキ. 2022. <https://w.atwiki.jp/ceviouser/>, (参照2022-8) .