

ISSN 0915-6089



形の科学会誌

第37巻第2号2022

Bulletin of the Society for Science on Form



形の科学会

<https://katachi-jp.com/>

目次

【論文】

ドライビングシミュレータ操作時の視線データの機械学習による
映像酔い評価システムの開発

藤掛和広, 板津佳希, 高田宗樹..... 59

指紋分布の偏りと血管形成因子異常の関係

岡崎登志夫..... 73

嗅覚刺激時の胃電図を記述する数理モデルの最小埋め込み次元に関する推定

高井英司, 中根滉稀, 高田宗樹..... 83

【シンポジウム討論記録】

第93回 93

【会告など】

会告..... 98

原稿募集 100

ドライビングシミュレータ操作時の視線データの機械学習による映像酔い評価システムの開発

藤掛和広^{1*)}, 板津佳希²⁾, 高田宗樹²⁾

1) 中京大学心理学部 愛知県名古屋市昭和区八事本町 101-2

2) 福井大学大学院 福井県福井市文京 3-9-1

*fujikake@lets.chukyo-u.ac.jp

Development of VIMS Evaluation System by Machine Learning of Gaze Data during Driving Simulator Operation

Kazuhiro FUJIKAKE¹⁾, Yoshiyuki Itada²⁾, and Hiroki TAKADA²⁾

1) School of Psychology, Chukyo University 101-2, Yagotohonmachi, Showa, Nagoya

2) Graduate School of Engineering, University of Fukui 3-9-1, Bunkyo, Fukui

(2022年8月31日受付, 2022年12月2日受理)

Abstract: Research on elderly drivers often uses the driving simulator (DS). This study developed a Visually induced motion sickness (VIMS) evaluation index using data collected with a noncontact eye-tracking system for DS experiments. The participants included eight elderly people with visual and balance functions that did not interfere with their daily life. The participants' gaze data were measured at all DS trials and they answered the simulator sickness questionnaire (SSQ) before and after each trial. The participants were divided into two groups on the basis of their SSQ results. The results of the learning model's validation showed a high rate of correct answers. The results suggested that the learning model obtained using machine learning was an effective evaluation index for VIMS during the DS trial.

Keywords: Visually induced motion sickness (VIMS), Gaze data, Elderly people, Driving simulator (DS), Machine learning

1. はじめに

高齢ドライバの交通事故災害の予防は重要な課題であり、高齢ドライバを対象とした研究ではドライビングシミュレータ (Driving Simulator : DS) が多く利用されている。国内では、65歳以上の高齢者が交通事故死者数に占める割合は55.4パーセントと高い[1]。また、65歳から74歳は、他の年齢層と比較して事故を起こしやすいことが明らかとなっている[2-3]。高齢ドライバを対象とした研究で利用されるDS実験には長所と短所がある。DS実験の長所としては「擬似的な体験であるため事故による怪我は発生しない」「交通場

面の設定や再現が容易である」「実験条件の調整が可能である」等が挙げられる。DS 実験の短所としては「映像酔い (Visually induced motion sickness : VIMS) の発生」が挙げられる。その他の短所として、「現実感との乖離」「コスト」等も挙げられるが、近年は、DS に関連するハードウェアが高性能化・低コスト化したことから、現実感やコストの問題は解消されつつある。しかしながら、映像酔いは視野の拡大に伴い症状が悪化することから、表示画面の大型化によって、映像酔い発生リスクの増大が指摘されている [4]。

DS 利用に伴って発生する映像酔いは、乗り物酔い等と同じ動揺病の一種と見なされている [4]。視覚情報に起因する動揺病は、視覚性動揺病と分類される。映像酔いは、視覚情報と三半規管等の前庭系の不調和によって発生すると考えられていることから、眼球運動制御系の関与が予想されている [4]。映像酔いに伴う身体症状としては、気分の悪さ、嘔吐感 (胃のむかつき)、めまい、立ちくらみ等が挙げられる。

映像酔いの身体症状として、眼球回旋運動の発生が知られている [4]。眼球回旋運動とは、視線を軸として回転するような目の動きである。眼球回旋運動は、前庭 (特に、耳石器官) や視覚刺激によって発生する。前庭からの刺激によって発生する眼球回旋運動は、vestibular counter-rolling (vestibular torsional counter rolling) と呼ばれている。身体 (頭部) を左右のどちらかの方向に傾けると、眼球は身体 (頭部) の傾きと反対方向に回転することで、視界を保持する [5]。また、眼球回旋運動は、耳石器官からの直線加速度による反射で、動揺病の身体症状として姿勢のふらつきが発生している場合も眼球回旋運動が発生していると考えられている [6]。

映像酔いの評価手法としては多くの方法が挙げられる。映像酔いの主観評価である SSQ (Simulator Sickness Questionnaires) や、立位時の足圧中心 (Center of Pressure : COP) の測定等が利用されている [7-8]。さらに、胃電図の測定によって、嘔吐感 (胃のむかつき) を評価する方法も検討されている [9]。さらに、眼球付近を眼電図によって測定することで、眼球回旋運動による評価も検討されている [10]。映像酔いを評価する尺度としては SSQ がよく知られており、シミュレータ体験前後に測定した MSQ (Motion Sickness Questionnaire) のデータから因子分析により抽出した有効主観 16 項目からなる [11]。また、SSQ スコアを用いた研究では、振動負荷による乗り物酔いを訴えるグループから、直立時の立脚幅の違いが乗り物酔いの発生率に差をもたらすことが報告されている [12]。

COP データによる映像酔いの評価としては、「総軌跡長」「外周面積」「単位面積軌跡長」「疎密度」の定量化指標が使用されている [13-16]。総軌跡長は、COP の移動距離の総和を示し、姿勢がふらついている場合には数値は増大する。外周面積は、COP の移動した軌跡の外周郭によって囲まれる内側の面積で、姿勢がふらついている場合には数値は増大する。単位面積軌跡長は、総軌跡長を外周面積で除した数値で、姿勢が安定していれば数値は増大し、ふらつきが見られる場合には数値は低下する。疎密度は、平面図上のデータのバラツキを示す定量化指標で、正方形で区切られた各分割を COP が通過した回数によって算出される数値である。疎密度の値は、姿勢が安定していれば、局所的に密度が高い分割が発生して、数値が 1 に近づくこととなる。そして、姿勢にふらつきが見られる場合には、疎密度の数値は増大する。これらの COP の定量化指標は、ディスプレイに表示された動画像の注視に伴って発生する映像酔いの評価として有効なことが示されている [17-18]。さらに、立体映像の注視に伴って発生する映像酔いの評価指標としても有効なことが示されている [17-19]。これらの評価指標は、動画像や立体映像の注視時の COP データか

ら算出している点が特徴として挙げられる。

映像酔いの評価には、幾つかの解決すべき課題がある。胃電図や筋電図による眼球運動による酔いの生理指標は、電極装着や専用の機器が必要なため、実験協力者の負担が大きく、利用場面も限定されている。また、DS の利用での映像酔い評価の場合には、座位によるペダル操作が伴うために、COP による評価は適切ではない。さらに、COP や胃電図、筋電図による眼球運動による酔いの生理指標に関しては、酔いの進行過程の複雑な変化についての一貫した結果が得られていない[13-14]。SSQ による内観報告については、自由度の高い評価が可能であるものの、客観性が低く、精度も高くない。そして、映像酔いを主観的に捉えられる状態まで症状が進行した場合、酔いの症状が1日程度持続することもある[20]。このことから、映像酔いの症状が深刻化する前に、その兆候を早期に検出することが DS 実験には求められる。

実験協力者への負担が少なく、利用場面の多い生理指標の測定方法として、非接触型の視線計測機器の利用が挙げられる。非接触型の視線計測機器であれば電極の装着は必要ないことから、データ取得に実験協力者への負担は少ない。非接触型の視線計測機器の計測方法としては、角膜反射法が使用されている。角膜反射法とは、光源を角膜に照射して角膜上の光の反射点と瞳孔を識別し、光の反射点やその他の幾何学的特徴を基に眼球の方向を算出する手法である[21-23]。

本研究の目的は、非接触型の視線計測機器を用いて DS 走行時に計測した視線データから、映像酔いの評価が可能なシステムを開発することである。また、DS 走行時自体の視線データを分析することで、映像酔いの早期発見が可能となる評価システムの開発を検討する。評価システムは、視線データを対象とした機械学習によって開発する。機械学習は、潜在的な規則性を検出することに優れた特徴を有することから、従来の評価システムよりも有効な指標になることが期待される。本研究の仮説は、機械学習の解析によって得られるモデルは、眼球回旋運動などの映像酔いに伴う視線データの特徴に関する判定が可能である。

なお、本研究は、既に公表されている著者らの研究論文に加筆・修正を施したものである[24-25]。



図1：実験風景と実験機材。

2. 方法

2.1. DS の構成と走行内容

本実験の DS は、5つの画面（実験協力者から正面の画面までの視距離は 1 m 程度）、ハンドル、アクセルペダルとブレーキペダル、制御用 PC で構成されている（図 1 参照）。

実験協力者は 1 分程度の練習走行 1 回と 5 分間程度の実験走行 5 回の計 6 回、DS 走行を体験する。なお、一般的に DS 走行に伴う映像酔いは、ブレーキによる減速時と右左折時の画面表示に誘発されると考えられている。そのため、DS の実験走行コースは、一時停止交差点 2 箇所、右左折箇所 2 箇所とした（図 2 参照）。

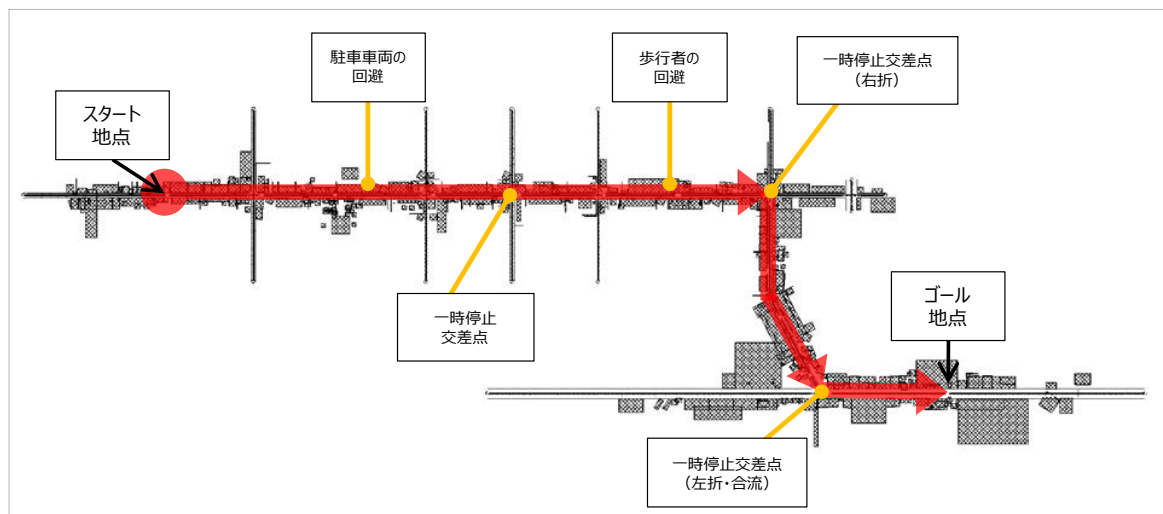


図 2：走行コース。

2.2. 実験協力者

実験協力者は人材派遣会社を通じて公募し、日常生活に支障のない視覚機能・平衡機能を有する高齢者 8 名を対象とした（表 1 参照）。実験協力者には、DS 走行に伴い乗り物酔いに似た症状が発生する可能性があることと、酔いや気分の悪さを感じた場合には速やかに実験の中断することを説明した。さらに、一定時間の休憩後に、症状が緩和しない場合は実験を中止すること、中止に伴う不利益はないことを説明した。これらの内容について同意の得られた高齢者を、本実験の実験協力者とした。

DS 走行に伴う映像酔い症状については、実験前後の実験協力者自身の内観報告に基づいて映像酔いの有無と共に、SSQ の回答結果を記録した。SSQ の結果から「映像酔いあり（4 名）」「映像酔いなし（4 名）」の 2 群に分類した。実験協力者 E は、実験前の SSQ の得点が高いものの、開始時点での内観報告において「気分は悪くない」「急いできたので汗をかいている」という回答がされたことから実験参加が可能と判断し、実験の対象とした。

本実験は、福井大学の倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号 H2018003）。

表 1：実験協力者と SSQ.

実験協力者	映像酔いの 有無	年齢	SSQ (総合得点)	
			pre	post
A	なし	76	0.0	0.0
B	なし	73	0.0	0.0
C	なし	74	0.0	0.0
D	なし	73	0.0	0.0
平均 (標準偏差)		74.0 (1.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
E	あり	81	33.7	59.8
F	あり	72	1.9	11.2
G	あり	79	0.0	3.7
H	あり	84	3.7	11.2
平均 (標準偏差)		79.0 (4.4)	9.8 (13.8)	21.5 (22.3)
全体の平均 (標準偏差)		77.9 (4.5)	4.9 (10.9)	10.8 (19.1)

2.3. 視線データ計測

実験では、安静時の 60 秒間と DS 走行中の視線データを計測した。実験協力者には、DS 走行中は日常の運転と同様に周囲の安全に気を配りながら走行するように教示した。機械学習による解析は、DS 走行 1 回目と 5 回目の走行終了前 30 秒間の視線データを対象とした。

視線計測機器は、トビー・テクノロジー社製の Tobii Pro X2-30 (サンプリングレート、60 Hz) を使用した。また、解析ソフトもトビー・テクノロジー社製の Tobii Pro Studio (ver. 3.3.2) を使用した。当該の視線計測機器は、角膜反射法による視線計測を行う。視線計測機器は、実験協力者正面のハンドル制御ユニット上に設置した (図 1 参照)。また、実験協力者の 1 m 程度後方で、頭部から上方 1.5 m の高さにシーンカメラを設置した。視線データは、シーンカメラ (ロジクール社製 HD Webcam C270) の解像度 (幅 640×高 480 pixel) に対応してプロットされる (1 pixel は、注視する画面上では 1 mm 程度の大きさである)。また、視線データは、左右の両眼毎に出力される。そのため、視線計測機器によって取得される視線データは、DS の 5 つの画面の内、中央画面を注視する両眼毎の平面座標の値である。

本研究では、視線データから算出された注視点を解析した。視線データを利用した映像酔い評価に関する先行研究では、両眼毎の視線データから算出された平均値を両眼での注視点として解析している [25-26]。このことから本研究においても、両眼の平均値を注視点として解析した。また、解析した視線データは、回旋を含む視線移動を対象とした。

3. 機械学習による学習モデル

視線データを機械学習にて解析するために、事前の処理を実施した。はじめに、取得した視線データは、欠損値の削除及び標準化（平均 0，分散 1）を行った。次いで、系列長を 5 秒間とした時系列データを 0.1 秒間隔で抽出して、データセットを作成した。

機械学習は、作成したデータセットの解析によって実施した。学習モデルは 1 次元畳み込みニューラルネットワークで、畳み込み層とプーリング層で特徴を抽出して分類（2 値分類）した。ネットワークの構造としては、層が 14 層、活性化関数は中間層に ReLU 関数、出力層に Sigmoid 関数を用いており、エポック数は 20 回とした（表 2 参照）。機械学習における学習用データとテストデータの評価は、全ての実験協力者のデータがテスト事例となるよう検証を繰り返す leave one out 法を用いた。

表 2：モデル構造。

Layer Name	Input	Conv	Conv	Pooling	Conv	Conv	Conv	Pooling	Conv	Conv	Flat	Dropout (0.3)	Dense	Dense
Output Shape	300×2	300×64	300×32	150×32	150×32	150×16	150×16	75×16	75×8	75×8	600	600	128	1
Kernel Size		8	8		8	8	8		8	8				
Filters		64	32		32	16	16		8	8				
Parameters	0	1344	16544	0	8352	4176	2128	0	1064	552	0	0	76928	129

* Conv : Convolution + ReLU + BatchNormalization

* Pool : Max Pooling

* FC : fully Connected + ReLU

機械学習によって得られた学習モデルの評価は、DS 走行 1 回目の走行終了前 30 秒間と、DS 走行 5 回目の走行終了前 30 秒間、映像酔いあり群及びなし群の DS 走行 1 回目と 5 回目の走行終了前 30 秒間の視線データで実施した。データセットの総数は DS 走行 1 回目の走行終了前 30 秒間が 1239，DS 走行 5 回目の走行終了前 30 秒間が 1074，映像酔いあり群のみの DS 走行 1 回目と 5 回目の走行終了前 30 秒間が 1322 であった。学習モデル作成の際のデータ数は学習用データ：テストデータ=3：1 とした。識別のラベルについては、映像酔いなしの実験協力者の視線データを陰性（Negative）とし、映像酔いありを陽性（Positive）とした。学習モデルから、各データセットを、「酔いなしを酔いなしに分類（TN）」「酔いなしを酔いありに分類（FP）」「酔いありを酔いなしに分類（FN）」「酔いありを酔いありに分類（TP）」に分類した（表 3 参照）。映像酔いあり及びなし群の DS 走行 1 回目と 5 回目の走行終了前 30 秒間では、DS 走行 1 回目のデータを陰性（Negative）、DS 走行 5 回目のデータを（Positive）とした。学習モデルから、各データセットを、「走行 1 回目のデータを走行 1 回目のデータに分類（TN）」「走行 1 回目のデータを走行 5 回目のデータに分類（FP）」「走行 5 回目のデータを走行 1 回目のデータに分類（FN）」「走行 5 回目のデータを走行 5 回目のデータに分類（TP）」に分類した。この分類結果に基づいて、正解率、適合率、再現率、F 値を算出して評価項目とした（表 4 参照）。

表 3：解析結果の分類項目.

分類項目	内容
TN (TrueNegative)	: 酔いなしを酔いなしに分類 (正解)
FP (FalsePositive)	: 酔いなしを酔いありに分類 (不正解)
FN (FalseNegative)	: 酔いありを酔いなしに分類 (不正解)
TP (TruePositive)	: 酔いありを酔いありに分類 (正解)

表 4：分類の評価指標.

指標	内容	式
正解率 (Accuracy)	全予測正答率	$(TP+TN)/ (TP+FP+FN+TN)$
適合率 (Precision)	正予測の正答率	$TP/ (TP+FP)$
再現率 (Recall)	正に対する正答率	$TP/ (TP+FN)$
F値 (F-score)	適合率と再現率の 調和平均	$(2*Precision*Recall)/ (Precision+Recall)$

4. 結果

DS 走行前後の安静時の視線データを、平面上に図示した (図 3 及び図 4). 映像酔いなしの視線データ (実験協力者 C) では、DS 走行前後で顕著な違いは見られなかった (図 3 参照). 映像酔いありの視線データ (実験協力者 F) では、走行前に比べて走行後の視線データは拡散しているように見える結果であった (図 4 参照). また、走行前の視線データについて両者を比較すると、映像酔いありの実験協力者の視線データの方が拡散しているように見られる結果であった.

学習モデルを DS 走行 1 回目の視線データを評価した結果 (表 5), DS 走行 5 回目の視線データを評価した結果 (表 6), 映像酔いあり群のみの走行 1 回目と 5 回目の視線データを評価した結果 (表 7) を示した. 表 5 及び表 6 は実験協力者の対応がない組み合わせにて学習モデルを評価し, 表 7 は同一の実験協力者の走行前後のデータにて学習モデルを評価した.

機械学習では入手したデータに対する予測・分析の精度を重視しており, データの成り立ちは不明としている [27-28] ことから, データの対応の有無に関わらず同様の方法・評価項目で検討した. なお, 学習モデルの評価は, 映像酔いありと酔いなしのデータセット数が同程度の実験協力者同士をペアとなるように組み合わせた.

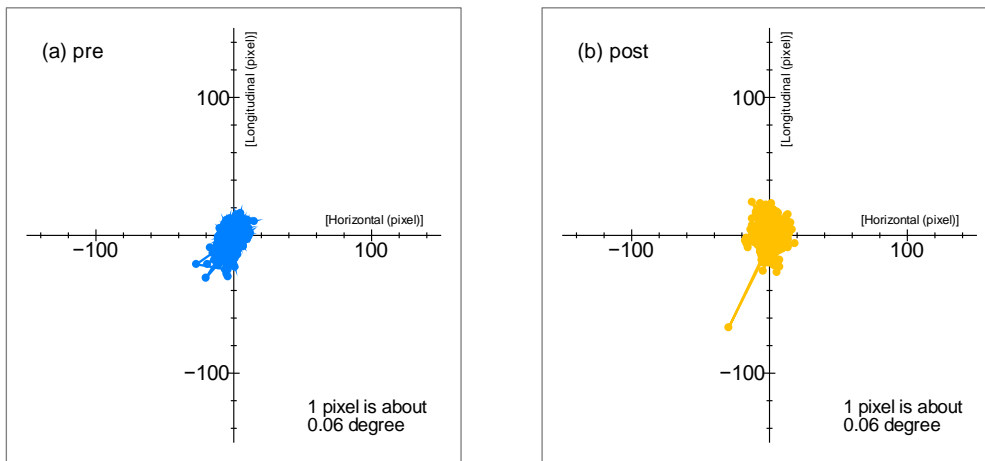


図 3：映像酔いのない実験協力者の安静時の視線データ（実験協力者 C）。左側（a）は走行前の視線データで、右側（b）は走行後の視線データ。

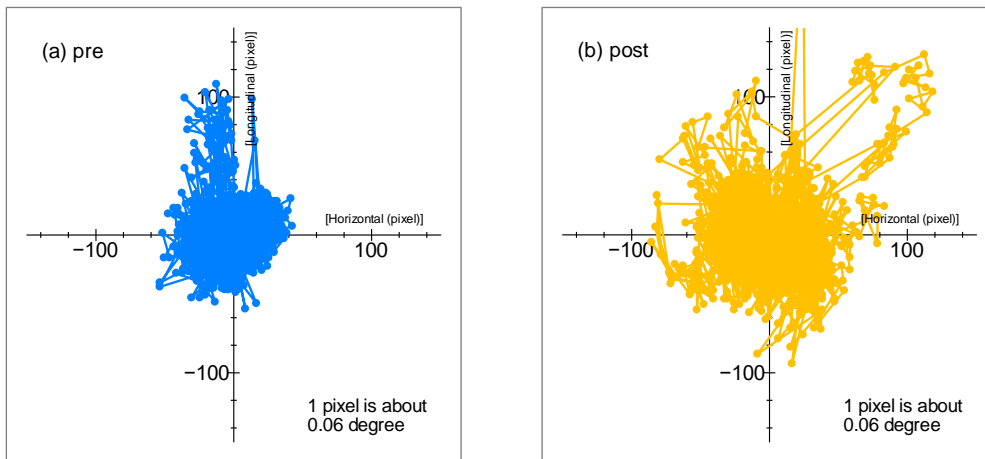


図 4：映像酔いのある実験協力者の安静時の視線データ（実験協力者 F）。左側（a）は走行前の視線データで、右側（b）は走行後の視線データ。

表 5：実験走行 1 回目の結果。

映像酔い あり	映像酔い なし	TN	FP	FN	TP	正解率	適合率	再現率	F値
E	A	109	98	58	141	61.6	59.0	70.9	64.4
F	B	0	50	0	95	65.5	65.5	100.0	79.2
G	C	0	102	0	209	67.2	67.2	100.0	80.4
H	D	64	108	44	161	59.7	59.9	78.5	67.9
平均						63.5	62.9	87.3	73.0
標準偏差						3.0	3.5	12.9	6.9

表 6：実験走行 5 回目の結果.

映像酔い		TN	FP	FN	TP	正解率	適合率	再現率	F値
あり	なし								
E	A	95	42	52	142	71.6	77.2	73.2	75.1
F	B	18	27	5	52	68.6	65.8	91.2	76.5
G	C	0	84	0	199	70.3	70.3	100.0	82.6
H	D	85	109	23	141	63.1	56.4	86.0	68.1
平均						68.4	67.4	87.6	75.6
標準偏差						3.2	7.5	9.7	5.1

表 7：映像酔いあり群の結果.

DS走行 1回目/5回目	TN	FP	FN	TP	正解率	適合率	再現率	F値
E	170	29	132	62	59.0	68.1	32.0	43.5
F	55	40	5	52	70.4	56.5	91.2	69.8
G	151	58	102	97	60.8	62.6	48.7	54.8
H	200	5	115	49	67.5	90.7	29.9	45.0
平均					64.4	69.5	50.5	53.3
標準偏差					4.7	12.9	24.7	10.5

表 8：映像酔いなし群の結果.

DS走行 1回目/5回目	TN	FP	FN	TP	正解率	適合率	再現率	F値
A	49	158	0	135	53.8	46.1	100.0	63.1
B	96	76	102	90	51.1	54.2	46.9	50.3
C	26	24	13	32	61.1	57.1	71.1	63.4
D	102	0	80	4	57.0	100.0	4.8	9.1
平均					55.7	64.4	55.7	46.5
標準偏差					3.7	21.0	34.9	22.2

学習モデルを DS 走行 1 回目の視線データで検証した結果を、正解率の平均が 63.5 % で、適合率の平均は 62.9 % であった (表 5 参照)。学習モデルを DS 走行 5 回目の視線データで検証した結果、正答率の平均が 68.4 % で、適合率の平均は 67.4 % であった (表 6 参

照). 学習モデルを映像酔いあり群の DS 走行 1 回目と DS 走行 5 回目の視線データで検証した結果, 正解率の平均が 64.4%で, 適合率の平均は 69.5%であった (表 7 参照). 学習モデルを映像酔いなし群の DS 走行 1 回目と DS 走行 5 回目の視線データで検証した結果, 正解率の平均が 55.7%で, 適合率の平均は 64.4%であった (表 8 参照).

DS 走行前後の視線データを対象とした学習モデルの結果について, 2 群間の代表値に差がないことを帰無仮説とする Wilcoxon の符号順位検定の片側検定を行った. その結果, DS 走行 1 回目よりも DS 走行 5 回目の学習モデルの正解率が有意に高い傾向であることが示された ($p < 0.1$).

5. 考察

本研究では, 非接触型の視線計測機器を用いて DS 走行時の視線計測を行い, 映像酔いの評価が可能なシステムの開発について検討した. 評価システムは, 取得した視線データを対象とした機械学習によって開発した.

本研究の結果から, 機械学習の解析によって得られるモデルは, 眼球回旋運動などの映像酔いに伴う視線データの特徴に関する判定が可能であるという仮説は支持された. 機械学習によって作成したモデルを評価した結果, DS 走行 1 回目の視線データでの評価よりも, 走行 5 回目の視線データでの評価の方が正解率は高かった. この結果は, DS 走行 1 回目よりも 5 回目のデータを対象としたモデルの評価では, 映像酔いなしを映像酔いなし (TN) と, 映像酔いありを映像酔いあり (TP) に分類したデータセット数が多かったことが影響しているといえる. さらに, 映像酔いあり群となし群ごと評価では, 映像酔いあり群の方が正解率と適合率が高かった. このことから, 映像酔いが発生していないと考えられる DS 走行前の視線データに対しては, 作成した学習モデルでは十分な判定ができていない可能性が示唆される.

本研究では, 両眼毎の視線データの平均値を注視点として解析したものの, 今後の研究では各眼球を独立して解析する必要があるといえる. 先行研究では, 強い集中力と操作性の悪さを強いるようなパソコン・ゲームを長時間にわたって行わせた場合に, 左右眼で別々の方向に回旋する現象が観察されている [29]. このことから, 今後の研究では各眼球の視線データを個別に解析することで, より精度の高い評価システムを開発する. また, 注視する対象や時間を変更した場合の評価システムについても検討することが必要であるといえる.

生体信号データによる映像酔い評価の研究から得られた知見は, 本研究に類似する結果であったことから手法及び結果は妥当であった. 心拍数と映像酔いに関する研究では, SSQ の回答の値が高くなるにつれて心拍数も有意な増加を示し, 心拍数の簡単な測定が酔いの程度の小さな変化を捕らえる指標となる可能性を示唆している [30]. 胃電図, 心電図, 手掌・足底発汗, 指尖血流, 呼吸に関わる胸郭運動と主観による酔いの自覚に関する研究では, 酔いあり群では心電図, 心拍数, 発汗量は, 映像注視前後で有意に増加し, 呼吸周期は映像注視中及び注視後においても徐々に増加したことが示された [31]. 動く視覚刺激に対する COP と自律神経反応に関する研究からは, 心臓の交感神経と副交感神経の活動が個人の乗り物酔いの主観的な評価の指標になる可能性を示唆している [32]. 立体映像に伴う映像酔いと視聴時間に関する研究では, 視聴開始 5 分後には胃電図に有意な変化が認め

られ、立体映像を 60 分間注視した群は 2D 映像を 60 分間注視した群よりも COP が大きくなっていることが示され、立体映像の長時間視聴により自律神経系がまず影響を受け、平衡機能が徐々に低下していくことを示している [33]。これらの研究では映像刺激の注視に伴い酔いの反応が認められ、さらに身体への影響も認められている。本研究の機械学習によって得られたモデルでも、映像刺激の注視に伴い映像酔いの評価がなされたことから妥当な結果であったと考えられる。また、これらの知見から、映像酔いの発生に伴い COP 及び自律神経系に変化が認められている。姿勢のふらつきに伴い眼球回旋運動が発生することが知られている [5] ことから、眼球運動に着目した本研究の手法は妥当であるといえる。

測定に伴う負担が少ないことから、本研究の手法は有効であるといえる。生体信号データの有効性を示す研究も幾つかあるものの、データ取得に伴う負荷が指摘される [30-33]。これらの研究は、映像酔い評価の精度の向上、映像酔いの早期発見、映像酔い発生メカニズム等の期待がなされる。しかしながら、生体データ取得に関しては電極の装着に伴う負担や、COP 測定では即時性が低いことが指摘される。このことから、本研究で利用した非接触型視線計測機器を利用した映像酔いの手法は測定に伴う負荷がほとんどないことから、有効性が高いといえる。

6. おわりに

本研究では、非接触型の視線計測機器を用いて DS 走行時の視線計測を行い、映像酔いの評価が可能なシステム開発について検討した。DS 走行時の視線データを対象に機械学習による判定モデルを作成した結果、正解率 6 割を越える精度の映像酔いの判定モデルが示された。このことから、機械学習の解析によって得られるモデルは、眼球回旋運動などの映像酔いに伴う視線データの特徴に関する判定できる可能性があり、解析対象とするデータの変更や解析モデルの再考等によって、さらに精度の高い判定が可能となるといえる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K11905 の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] 内閣府: 「令和 2 年度版交通安全白書」 (2020)
- [2] イタルダ・インフォメーション: 「高齢者の四輪運転中の事故」, 交通事故総合分析センター, 68 (2007)
- [3] 桑田佳奈: 「高齢ドライバーの頻出事故分析手法の検討」, 自動車技術, 69(1), pp. 90-95 (2015)
- [4] 近江政雄, 氏家弘裕: 「映像情報による自己定位と映像酔い」, Bio Medical Engineering, 18(1), pp. 32-39 (2004)
- [5] I. Howard: “Human visual orientation”, New Jersey: John Wiley & Sons Ltd (1982)
- [6] E. Marg: “Development of electro-oculography; standing potential of the eye in registration of eye movement”, AMA Archives of Ophthalmology, 45, pp. 69-185 (1951)

- [7] J. F. Golding: “Phasic skin conductance activity and motion sickness”, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 63(3), pp. 165–171 (1992)
- [8] H. Wan, S. Hu and J. Wang: “Correlation of phasic and motion sickness-conductance responses with severity of motion sickness induced by viewing an optokinetic rotating drum”, *Perceptual and motor skills*, 97(3), pp. 1051-1057 (2003)
- [9] 木下史也, 高田宗樹, 藤掛和広, 杉浦明弘, 高田真澄: 「運動負荷が胃腸活動及び胃電図に及ぼす影響に関する研究」, *デサントスポーツ科学*, 39, pp. 103-113 (2018)
- [10] B. Shackel: “Eye movement recording by electro-oculography”, in: Venables PH, Martion I ed. *A manual of psychophysiological methods*, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, pp. 300–334 (1967)
- [11] R. S. Kennedy, L. E. Lane, K. S. Berbaum, M. G. Lilienthal, “A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness,” *International J Aviation Psychology*, 3, pp. 203-220 (1993)
- [12] L. M. Scibora, S. Villard, B. Bardy, T. A. Stoffregen, Wider stance reduces body sway and motion sickness,” in *Proceedings of VIMS 2007*, pp. 18-23 (2007)
- [13] 中川千鶴, 大須賀美恵子: 「VE 酔い研究及び関連分野における研究の現状」, *日本 VR学会論文誌*, 3(2), pp. 31-39 (1998)
- [14] 平柳要: 「乗り物酔い(動揺病)研究の現状と展望」, *人間工学*, 42(3), pp. 200-211 (2006)
- [15] K. Fujikake, M. Miyao, R. Honda, M. Omori, Y. Matuura and H. Takada: “Evaluation of high quality LCDs displaying moving pictures, on the basis of the results obtained from statokinesigrams”, *FORMA*, 22(2), pp. 199-206 (2007)
- [16] 藤掛和広, 高田宗樹, 大森正子, 長谷川聡, 本多隆文, 宮尾克: 「液晶ディスプレイによる動画表示の評価における重心動揺計の利用」, *人間工学*, 44(4), pp. 208-217 (2008)
- [17] F. Kinoshita and H. Takada: “Numerical analysis of SDEs as a model for body sway while viewing 3D video clips”, *Mechatronic Systems and Control*, 47(2), pp. 98-105 (2019)
- [18] M. Miyao, M. Takada and H. Takada: “Visual issues on augmented reality using smart glasses with 3D stereoscopic images”, *Proceedings of the HCII 2019, Florida*, 11572, pp. 578-589 (2019)
- [19] T. Tanimura, H. Takada, A. Sugiura, F. Kinoshita and M. Takada: “Effects of the low-resolution 3D video clip on cerebrum blood flow dynamics”, *Adv Sci Tech Eng Syst J*, 4(2), pp. 380-386 (2019)
- [20] U.S. Navy: “OPNAVINST”, 3710.7T. (2004)
- [21] L. R. Young and D. Sheena: “Methods and designs; Survey of eye movement recording methods”, *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 7, pp. 397–429 (1975)
- [22] T. N. Cornsweet and H. D. Crane: “Accurate two-dimensional eye tracker using first and fourth Purkinje images”, *Journal of the Optical Society of America*, 63, pp. 921-928 (1973)
- [23] H. D. Crane and C. M. Steele: “An accurate three-dimensional eye tracker”, *Applied Optics*, 17, pp. 691-705 (1978)
- [24] 藤掛和広, 板津佳希, 高田宗樹: “視線データの機械学習による映像酔い評価システムの開発”, *電気学会論文誌 C*, 142(10), pp. 1107-1114 (2022)

- [25] K. Fujikake, R. Ono, H. Takada: “Development of an index for evaluating VIMS using gaze data”, International Conference on Human-Computer Interaction 2021 (HCI International 2021), pp. 545-554 (2021)
- [26] K. Fujikake: “Measurements for visual function, including gaze, and electrooculography (EOG)”, in: Takada H, Yokoyama K ed. Bio-information for Hygiene, Springer, Berlin, pp. 45-56 (2021)
- [27] L. Breiman: “Statistical Modeling: The Two Cultures”, Statistical Science, 16(3), pp. 199-231 (2001)
- [28] T. Fawcett, D. Hardin: “Machine Learning vs. Statistics”, Silicon Valley Data Science, <https://www.svds.com/machine-learning-vs-statistics/> (2017)
- [29] 星野聖: 「眼球回旋運動の左右同時計測」, 映像情報メディア学会誌, 55(11), pp. 1539-1542 (2001)
- [30] S. Holmes, M. Griffin: “Correlation Between Heart Rate and the Severity of Motion Sickness Caused by Optokinetic Stimulation”, Journal of Psychophysiology, 15, pp. 35-42 (2001)
- [31] N. Himi, T. Koga, E. Nakamura, M. Kobashi, M. Yamane, K. Tsujioka: “Differences in autonomic responses between subjects with and without nausea while watching an irregularly oscillating video”, Autonomic Neuroscience, Basic and Clinical, 116, pp. 46-53 (2004)
- [32] Y. Yokota, M. Aoki, K. Mizuta, Y. Ito, N. Isu: “Motion sickness susceptibility associated with visually induced postural instability and cardiac autonomic responses in healthy subjects”, Acta Otolaryngologia, 125, pp. 280-285 (2005)
- [33] Y. Matsuura, H. Kato, Y. Mori, F. Kinoshita, T. Takaishi, H. Takada: “Evaluation of An Hour-Long Stereoscopic Film on Human Body by using Functional Test of Autonomic Nervous System”, Bulletin of Society for Science on Form, 30(1), pp. 66 (2015)

指紋分布の偏りと血管形成因子異常の関係

岡崎登志夫

ヤマザキ動物看護大学大学院 東京都八王子市南大沢 4-7-2

t_okazaki@yamazaki.ac.jp

Relationship between biased fingerprint distributions and abnormalities in angiogenic factors

Toshio Okazaki

Graduate School of Yamazaki University of Animal Health Technology

(2023 年 1 月 11 日受付, 2023 年 3 月 9 日受理)

Abstract: Fingerprints can be classified into loop, whorl, and arch shapes. I searched the literature and classified diseases according to bias in fingerprint distributions into the following five groups: diseases associated with loop patterns only, diseases associated with whorl patterns only, diseases associated with arch patterns only, diseases associated with loop and arch patterns, and diseases associated with whorl and arch patterns. I then searched for abnormalities in factors related to angiogenesis in each group of diseases. Genetic abnormalities in BRCA and DSCR, genes involved in angiogenesis, were observed in diseases associated with loop patterns only. Increased EPO expression was observed in diseases associated with whorl patterns only. Increased PDGF expression was observed in diseases associated with arch patterns only. Abnormalities in factors related to angiogenesis may affect the vein distribution and shape of fingerprints.

Keywords: fingerprint, bias, angiogenic factor, disease

1. 目的

指紋の形は概ね蹄状紋（流れ）、渦（環）状紋、弓状紋に分類されるが（図.1）、蹄状紋はさらに前腕骨の橈骨側（親指側）に流れるか、尺骨側（小指側）に流れるかによって、橈側蹄状紋と尺側蹄状紋とに区別される[1-3]。それぞれの指における各指紋の出現頻度は人種によって異なっているが[4, 5]、指紋の形は一生涯変化しないことから、古くから個人識別のツールとして使用されてきた[6, 7]。一方、指紋分布の偏りと疾病との関係については、古くから知られているが[8]、それらが互いに関連する理由が不明であることから、根拠の乏しい怪しい研究として、医学的観点からはほとんど顧みられてこなかった。しかし、最近私は、指紋の形が指皮下の細静脈血管分布と密接な関係があること[9]、そして、その細静脈血管分布が指皮下の血液（組織液）の流れと密接な関係があり、指紋の形と関

連することを報告した [10]。これらの研究によって、指紋分布の偏りと疾病の関係が、根拠の乏しい怪しいものではなく、一気に説明可能な研究対象になりつつある。すなわち、血管形成や血液循環にかかわる因子の異常を伴う疾病においては、それによって血管分布や血流が変化し、指紋分布に何らかの偏りが生じる可能性がある。さらにまた、逆に指紋分布に何らかの偏りがある疾病は、血管形成や血液循環にかかわる因子の先天性異常を伴う可能性があることとなり、先天性疾患の発症原因の究明にも貢献しうるものと考えられた。そこで、本研究においては、これまで報告された指紋分布の偏りと疾病の関係を整理し、さらにこれらの疾病における血管形成や血液循環にかかわる因子の先天性異常に関する報告を検索し、これらの因子の異常が血管分布や血流の変化を通して、指紋分布の偏りにどのようにかかわっているのかについて推察した。

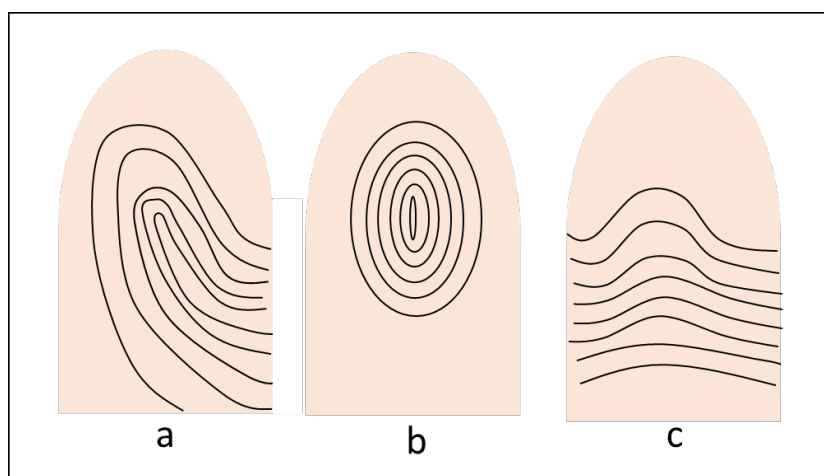


図 1：代表的な指紋の形 a：蹄状紋； b：渦（環）状紋； c：弓状紋

2. 疾病と指紋分布の偏りの関係

一般に、指紋分布異常に関する研究では、年齢や性別を一致させた健常コントロール集団と患者の指紋分布を比較して、それぞれの疾病患者の指紋分布の特徴的偏りが報告されている。本研究ではまず、特定の指紋の出現頻度が顕著に高かったり、低かったりする疾病に関する文献をピックアップし、その指紋分布の偏りの違いによって分類した。さらにそれらの疾病の血管形成にかかわる因子異常に関する文献を検索し、グループごとに整理した（表 1）。この表中には、文献 9 に基づいて、偏りを示した特定の指紋の皮下細静脈血管分布の状態をカッコ書きで追記した。

2.1. 蹄状紋単独増加の疾病

蹄状紋単独増加例としては、①乳がんの女性患者 100 例の指紋分布を調べ、コントロールと比較した結果、蹄状紋の数が 10 指中 6 つ以上の場合、乳房がんのリスクが 46 倍高かったが ($p < 0.01$)、渦状紋が 10 指中 6 つ以上の場合、乳房がんとは逆相関を示した ($p < 0.01$) [11]。②アルツハイマー病と指紋分布の関係については否定的な報告例もあったが [12]、アルツハイマー型の老年性認知症が疑われた 50 例について指紋分布を調べた結果、尺側蹄状紋出現頻度がコントロールと比較して約 3 倍高かった [13]。③21 トリソミー（ダウン

症)患者 50 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの尺側蹄状紋出現頻度が 62.5%であったのに対して、患者では 94.6%と高く、コントロールの渦状紋出現頻度が 31.1%であったのに対して、患者では 4.0%と低かった[14]。同様にダウン症患者 235 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの尺側蹄状紋出現頻度が、男性では 57.65%、女性では 62.87%であったのに対して、男性患者では 75.3%、女性患者では 76.90 と高く、コントロールの渦状紋出現頻度が、男性では 35.93%、女性では 31.0%であったのに対して、男性患者では 19.32%、女性患者では 18.45%と低かった [15]。

2.2. 渦（環）状紋単独増加の疾病

渦（環）状紋単独増加例としては、① β サラセミア患者 67 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの蹄状紋出現頻度が 59%であったのに対して、患者では 49%と低かったが、コントロールの渦状紋出現頻度が 25%であったのに対して、患者では 40%と有意に高かった ($p < 0.05$) [16]。②急性リンパ性白血病の子ども 24 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの渦状紋出現数が 77 指であったのに対して、患者では 112 指と多く、コントロールの蹄状紋出現数が 148 指であったのに対して、患者では 112 指と少なかった[17]。③先天性心臓病患者 150 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの渦状紋出現頻度が 25.0%であったのに対して、患者では 55.8%と高く、コントロールの蹄状紋出現頻度が 69.0%であったのに対して、患者では 36.2%と低かった[18]。④心筋梗塞の遺伝性は明らかではないが、日系アメリカ人の男子 800 例の心筋梗塞患者の指紋分布を調べた結果、コントロールの渦状紋出現頻度が 29.52%であったのに対して、患者では 52.22%と有意に高く (< 0.01)、コントロールの蹄状紋出現頻度が 50.30%であったのに対して、患者では 23.33%と有意に低かった (< 0.01) [19]。また同様に、心筋梗塞と診断された 100 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの渦状紋出現頻度が 0.295 であったのに対して患者では 0.358 と有意に高く (< 0.05)、コントロールの蹄状紋出現頻度が 0.503 であったのに対して、患者では 0.402 と有意に低かった (< 0.01) [20]。

2.3. 弓状紋単独増加の疾病

弓状紋単独増加例としては、①自閉症の子ども 78 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの第 I 指から第 V 指の弓状紋出現頻度がそれぞれ 5.2、19.2、15.4、5.1、7.7%であったのに対して、患者ではそれぞれ 9.7、32.5、27.3、9.0、9.0%と高く、コントロールの渦状紋出現頻度がそれぞれ 39.0、33.3、15.4、44.9、15.4%であったのに対して、患者ではそれぞれ 23.6、24.7、10.4、26.9、9.0%と低かった[21]。②てんかんと診断された 50 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの弓状紋出現頻度が、男性では 1%、女性では 6%であったのに対して、男性患者では 6%、女性患者では 10%と高く、コントロールの渦状紋出現頻度が、男性では 46%、女性では 24%であったのに対して、男性患者では 40%、女性患者では 16%と低かった [22]。③ダウン症患者の母親 128 例の指紋分布を調べた結果、コントロールと比較して弓状紋の出現頻度が有意に高く ($p < 0.0001$)、渦状紋の出現頻度は有意に低かった ($p < 0.05$)。父親 71 例の指紋分布を調べた結果、コントロールと比較して渦状紋と尺側蹄状紋の出現頻度が有意に低かった ($p < 0.05$ 、 $p < 0.06$) [23]。

2.4. 蹄状紋増加・弓状紋増加の疾病

蹄状紋増加・弓状紋増加例としては、①若年発症成人型糖尿病患者の男性 75 例、女性 75 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの尺側蹄状紋出現頻度が男性では 52.67%、女性では 56.67%であったのに対して、男性患者では 64.49%、女性患者では 64.40%と高く、コントロールの弓状紋出現頻度が男性では 4.33%、女性でも 4.33%であったのに対して、男性患者では 6.94%、女性患者では 5.87%と高かった。コントロールの渦状紋出現頻度が男性では 40.93%、女性では 36.83%であったのに対して、男性患者では 25.63%、女性患者では 26.93%と低かった。これらの指紋の違いは、男性では両手とも有意水準 0.5%で有意であったが、女性では左手のみ有意水準 2.5%で有意であった[24]。

2.5. 渦（環）状紋増加・弓状紋増加の疾病

渦（環）状紋増加・弓状紋増加例としては、①脳性麻痺の男児 28 例、女児 17 例の指紋の出現頻度を調べた結果、男児コントロールの渦状紋 74 指に対して患者では 151 指、男児コントロールの弓状紋 4 指に対して患者では 7 指と、いずれも有意に高く、男児コントロールの尺側蹄状紋 167 指に対して患者では 108 指と有意に低かった（ $p < 0.001$ ）。女児の渦状紋では男児のような傾向はみられなかったが、尺側蹄状紋では男児同様、コントロール 144 指に対して患者では 83 指と有意に低かった（ $p < 0.001$ ） [25]。②脆弱 X 症候群の男児 39 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの第 III 指の渦状紋と弓状紋と橈側蹄状紋の出現頻度がそれぞれ 15.8、7.8、1.8%であるのに対して、患者では 25.6、20.5、10.3%と有意に高く、コントロールの第 III 指の尺側蹄状紋出現頻度が 74.6%であったのに対して患者では 43.6%と有意に低かった（ $p < 0.01$ ）。この傾向は左右の指で同様であった[26]。③セリアック病の子ども 36 例の指紋分布を調べた結果、コントロールの渦状紋や弓状紋の出現頻度が、3.5%と 0.4%であったのに対して、患者では 6.1%と 7.3%と高かった[27]。

3. 偏った指紋分布を示す疾病の血管形成因子異常

3.1. 蹄状紋単独増加の疾病別血管形成因子異常

前章でピックアップされた蹄状紋単独増加の疾病の①乳がん、②アルツハイマー、③21トリソミー（ダウン症）の血管形成因子異常を検索した。①乳がん感受性因子（BRCA）1/2 キャリアーの家族性乳がん患者では、特発性の乳がん患者に比べて組織の微小血管密度や核の低酸素誘導因子（HIF）-1 α 発現割合も高く、HIF-1 α によってアップレギュレートされる血管内皮増殖因子（VEGF）も高いことが知られている[28]。②アルツハイマー患者では変異神経原線維に BRCA1 が局在した[29]。BRCA1 は抗血管新生タンパク質・トロンスポンジン-1 の発現を抑制する[30]。また、アルツハイマー病の β アミロイドペプチドは、血管内皮増殖因子受容体 2(VEGFR-2)を介したシグナル伝達を阻害する[31]。③ダウン症では、ダウン症関連因子（DSCR-1）が、カルシニューリン/T細胞特異的細胞質成分（NFAT）経路を介して VEGF を減少させ、血管新生を阻害することが知られている[32, 33]。

3.2. 渦（環）状紋単独増加の疾病別血管形成因子異常

前章でピックアップされた渦（環）状紋単独増加の疾病の① β サラセミア、②急性リンパ性白血病、③先天性心臓病、④心筋梗塞の血管形成因子異常を検索した。① β サラセミア患者では血清中のエリスロポエチン（EPO）レベルが著しく高いことが知られている[34]。②未治療の急性白血病患者では EPO レベルが高いが、これは組織の酸欠または肝臓や骨髄の産生能増加に起因するのではないかと考えられている[35]。③先天性心疾患では、酸欠によって誘導される HIF の働きによって EPO レベルが上昇するが[36]、EPO は血液細胞に作用するばかりでなく、血管新生調節因子アンジオポエチン-1（Ang-1）を介して血管新生を促進することが知られている[37, 38]。④心筋梗塞も、先天的要因に起因する例では、先天性心疾患と同様の血管形成制御機構の影響を受けるものと考えられた。

3.3. 弓状紋単独増加の疾病別血管形成因子異常

前章でピックアップされた弓状紋単独増加の疾病の①自閉症、②てんかんの血管形成因子異常を検索した。①自閉症の子どもでは、コントロールと比較して VEGF レベルに違いは見られなかったが、血小板由来増殖因子（PDGF）レベルが有意に増加していた[39]。近年、PDGF は VEGF 受容体（VEGFR）とも親和性を有することが知られており[40]、脳の微小血管異常発現が関係する可能性がある。②てんかんでは血液脳関門が機能不全であり、微小血管の異常変化が観察されている[41]。これらの異常は虚血性脳の VEGF によって引き起こされると考えられるが、VEGFR はグリア細胞と内皮細胞の両方で発現するため[42]、同時に血管新生異常をも引き起こしている可能性がある。てんかんモデルマウスでは、組み換え PDGF の B 鎖ホモダイマーがけいれんを抑制することが明らかにされており、PDGF の放出異常がてんかんの原因ではないかと考えられている[43]。

3.4. 蹄状紋増加・弓状紋増加の疾病別血管形成因子異常

前章でピックアップされた蹄状紋増加・弓状紋増加の疾病の①若年発症成人型糖尿病の血管形成因子異常を検索した。①若年発症成人型糖尿病の耐糖異常はインスリン分泌不全に起因するが、インスリンは VEGF mRNA 発現を誘導することが知られており [44]、当該疾患では VEGF レベルは低下すると考えられる。

3.5. 渦（環）状紋増加・弓状紋増加の疾病別血管形成因子異常

前章でピックアップされた渦（環）状紋増加・弓状紋増加の疾病の①脳性麻痺、②脆弱 X 症候群の血管形成因子異常を検索した。①脳性麻痺の子ども 32 例について、リポ多糖刺激後の末梢血単核球の腫瘍壊死因子（TNF）- α 発現レベルを調べた結果、コントロールと比較して有意に高かった[45]。②脆弱 X 症候群の子どもと青年 84 例の脆弱 X 精神遅滞タンパク質（FMTP）は有意に低下していた[46]。FMTP は TNF の働きを制御することが知られている[47]。③セリアック病にはトランスグルタミナーゼ 2（TG2）に対する自己抗体が関与するとされているが[48]、TG2 の発現は、TNF- α とインターフェロン γ によって相乗的に増強されることが知られている[49]。

表1. 指紋分布に偏りのある疾病と血管形成に関連する因子異常

指紋と血管分布	(遺伝性) 疾患	因子異常と血管新生
蹄状紋単独増加 (太い細静脈の非対称分布)	① 乳がん (BRCA1/2変異陽性)	HIF増加—VEGF増加—血管新生促進
	② アルツハイマー (BRCA1局在)	BRCA1によるトロンボスポンジン-1発現抑制—血管新生促進 βアミロイドペプチド—VEGFRシグナル伝達阻害—血管新生低下
	③ ダウン症 (DSCR-1陽性)	VEGF低下—血管新生低下
渦(環)状紋単独増加 (太い細静脈の対称分布)	① βサラセミア	EPO増加—血管新生促進
	② 急性リンパ性白血病	EPO増加—血管新生促進
	③ 先天性心臓病	HIF増加—EPO増加—血管新生促進
	④ 心筋梗塞	HIF増加—EPO増加—血管新生促進
弓状紋単独増加 (細い細静脈の対称分布)	① 自閉症	PDGF増加— (VEGF増加—血管新生促進)
	② てんかん	PDGF増加— (VEGF増加—血管新生促進)
	③ ダウン症患者の両親	?
蹄状紋/弓状紋増加	① 若年発症成人型糖尿病	インスリン分泌低下—VEGF低下—血管新生低下
渦(環)状紋/弓状紋増加	① 脳性麻痺	TNF-α 増加
	② 脆弱X症候群	FMTP低下
	③ セリアック病	TG2自己抗体産生—血管新生阻害

BRCA:乳がん感受性遺伝子、DSCR-1:ダウン症候群関連因子、HIF:低酸素誘導因子、VEGF:血管内皮細胞増殖因子、VEGFR:血管内皮細胞増殖因子受容体、EPO:エリスロポエチン、PDGF:血小板由来増殖因子、TNF:腫瘍壊死因子、FMTP:脆弱X精神遅滞タンパク質、TG2:トランスグルタミナーゼ2。

4. まとめ

今回、指紋分布に偏りのある疾病とその血管形成にかかわる因子異常について、網羅的に検索し、その結果を表1にまとめた。この表から明らかなように、指紋分布の偏りと血管形成にかかわる因子異常との間に何らかの関連性があることが示唆された。すなわち、蹄状紋単独増加の疾病としては、乳がん、アルツハイマー、ダウン症が検索され、いずれも直接的に血管形成に作用する因子ではないBRCAとDSCRという遺伝子の関与が示唆された。これらの因子は血管形成に直接作用するものではないが、間接的に血管形成に影響し、太い細静脈の非対称分布の原因になっているのかもしれない。渦状紋単独増加の疾病としては、βサラセミアと急性リンパ性白血病という血液疾患や、先天性心臓病と心筋梗塞という循環器疾患が検索され、いずれもEPOが増加していた。EPOは血管新生調節因子Angiopoietin-1(Ang1)を介して血管新生をコントロールすることが知られており[38]、この因子の増加が、指末節の太い細静脈形成の対称分布に関与しているのかもしれない。弓状紋単独増加の疾病としては、自閉症とてんかんという神経発達障害が検索され、いずれもPDGFが増加していた。PDGFについては、微小血管から新たな血管を形成するほとんどすべての過程に関与することが知られており[50]、PDGFに関連する因子の変化/変動が、細い細静脈や毛細血管の対称分布に関与しているのかもしれない。また、弓状紋単独増加例としてダウン症患者の両親の例が検索されたが、今後そのPDGFがダウン症のトリソミーとどのように関連するのか検証していく必要があると考えられた。蹄状紋と弓状紋増加の疾病の若年発症成人型糖尿病ではペプチドホルモンのインスリンが、渦状紋と弓状紋増加の疾病の脳性麻痺、脆弱X症候群、セリアック病では、TNF、FMTP、TG2自己抗体などのタンパク質

因子が関与していたが、インスリンや FMTP や TG2 は、その作用や発現において TNF- α と密接に関連することが知られている [51]。これらの因子が互いに影響しあいながら、蹄状紋と弓状紋や渦（環）状紋と弓状紋など複数の指紋の出現頻度増加の原因となっているのかもしれない。

今後、指紋分布の偏りから、これまで原因不明であった病気の遺伝的要因が解明され、さらに、指紋分布に偏りのある疾病の遺伝的変異の原因に関する詳細が明らかになり、その治療法が少しでも進歩することを期待したい。

参考文献

- [1] Penrose LS, Ohara PT. The development of the epidermal ridges. *J Med Genet.* 1973;10(3):201-208.
- [2] Chong MMS, Ngee TH, Jun L, Gay RKL. Geometric framework for fingerprint image classification. *Pattern Recognit.* 1997;30(9):1475-1488.
- [3] Singh A, Gupta R, Zaidi SHH, Singh A. Dermatoglyphics: A brief review. *IJAAMS.* 2016;1(3):111-115.
- [4] Cummins H, Midlo C. Palmar and plantar epidermal configuration (dermatoglyphics) in European Americans. *Am J Phys Anthropol.* 1926;9: 471-502.
- [5] Furuhashi T. The difference of the index of fingerprints according to race. *Jap Med World.* 1927;7(6):162-4.
- [6] Herschel W. J. Skin furrows of the hand. *Nature.* 1880;23:76.
- [7] Faulds H. On the skin-furrows of the hand. *Nature.* 1880;22:605.
- [8] 穂吉敏男, 高井省三, 乗安整而. ダウン症患者の指紋および手掌理紋. *医学研究.* 1982;52(4):145-150.
- [9] 岡崎登志夫. 指紋の形と静脈分布の関係について. *形の科学会誌*, 第 30 巻, 第 2 号, 104-114, 2015.
- [10] 岡崎登志夫. 指紋の形と動的赤外線サーモグラフィーによって推定された血流との関係. *形の科学会誌*, 第 36 巻, 第 1 号, 1-7, 2021.
- [11] Natekar PE, DeSouza EM, Motghare DD, Pandey AK. Digital dermal patterns in carcinoma of breast. *Anthropologist.* 2006;8(4):251-4.
- [12] Beer C, Okra-Podrabinek N, Feteanu D, Taurand S, Hervy MP, et al. Dermatoglyphic patterns in dementia of the Alzheimer type: a case-control study. *J Epidemiol Community Health.* 1992;46:512-516.
- [13] Weinreb HJ. Dermatoglyphic patterns in Alzheimer's disease. *J Neurogenet.* 1986;3(4):233-46.
- [14] Boroffice RA. Down's syndrome in Nigeria: dermatoglyphic analysis on 50 cases. *Niger Med J.* 1978;8(6):571-6.
- [15] Rajangam S, Janakiram S, Thomas IM. Dermatoglyphics in Down's syndrome. *J Indian Med Assoc.* 1995;93:10-13.

- [16] Solhi H, Hashemieh M, Nejad MLD, Vishteh H-R K, Nejad MR. Diagnostic value of fingerprint patterns: An explorative study on beta-thalassemia diagnosis. *Bangladesh Med Res Counc Bull.* 2010;36:27-31.
- [17] Bukelo MJ, Kanchan T, Unnikrishnan B, Rekha T, Ashoka B, Rau AT. Study of finger print patterns in children with acute lymphoblastic leukemia. *Forensic Sci Med Pathol.* 2011;7(1):21-5.
- [18] Brijendra S, Renu G, Dushyant A, Rajneesh G, Sunil K. Dermatoglyphic's in congenital cardiac disease. *Int J Biomed Res.* 2014;5(10):610-3.
- [19] Rashad MN. Dermatoglyphic traits in patients with cardiovascular disorders. *Am J Phys Anthropol.* 1975;42(2):281-283.
- [20] Rashad MN, Mi MP, Rhoads G. Dermatoglyphic studies of myocardial infarction patients. *Hum Hered.* 1978;28(1):1-6.
- [21] Walker HA. A dermatoglyphic study of autistic patients. *J Autism Child Schizophr.* 1977;7(1):11-21.
- [22] Khan K, Jethani SL, Rohatgi RK, Goel D, Ali S. Qualitative palmar dermatoglyphic patterns in cases of idiopathic generalized epilepsy. *Int J Res Med Sci.* 2014;2(2):733-737.
- [23] Matsuyama N, Ito Y. The frequency of fingerprint type in parents of children with Trisomy 21 in Japan. *J Physiol Anthropol.* 2006;25(1):15-21.
- [24] Ravindranath R, Thomas IM. Finger ridge count and finger print pattern in maturity onset diabetes mellitus. *Ind J Phys Anthropol and Hum Genet.* 1995;49(7):153-6.
- [25] Simsek S, Taskiran H, Karakaya N, Fistik T, Solak M, Cakmak EA. Dermatoglyphic analyses in children with cerebral palsy. *Neurobiology.* 1998;6(3):373-80.
- [26] Simpson NE, Newman BJ, Partington MW, Optiz JM. Fragile-X syndrome III: Dermatoglyphic studies in males. *Am J Med Genet.* 1984;17(1):195-207.
- [27] Tahan S, Medeiros EH, Wehba J. Dermatoglyphic patterns in celiac disease. *Arq Gastroenterol.* 1997;34(3):196-204.
- [28] Saponaro C, Malfettone A, Ranieri G, Danza K, Simone G, Paradiso A, et al. VEGF, HIF-1 α expression and MVD as an angiogenic network in familial breast cancer. *PLoS One,* 2013;8(1):e53070.
- [29] Evans TA, Raina AK, Delacourte A, Aprelikova O, Lee HG, Zhu X, et al. BRCA1 may modulate neuronal cell cycle re-entry in Alzheimer disease. *Int J Med Sci.* 2007;4(3):140-5.
- [30] Grillo J, DelloRusso C, Lynch RC, Folkman J, Zaslavsky A. Regulation of the angiogenesis inhibitor thrombospondin-1 by the breast cancer susceptibility gene-1 (BRCA1). *Breast J.* 2011;17(4):434-5.
- [31] Patel NS, Mathura VS, Bachmeier C, Beaulieu-Abdelahad D, Lapote V, Weeks O, Mullan M, Daniel P. Alzheimer's beta-amyloid peptide blocks vascular endothelial growth factor mediated signaling via direct interaction with VEGFR-2. *J Neurochem.* 2010;112(1):66-76. doi: 10.1111/j.1471-4159.2009.0642.x.
- [32] Baek K-H, Zaslavsky A, Lynch RC, Britt C, Okada Y, Siarey RJ, et al. Down syndrome suppression of tumor growth and the role of the calcineurin inhibitor DSCR1. *Nature.*

2009;459(7250):1126-30.

- [33] Qin L, Zhao D, Liu X, Nagy JA, Hoang MV, Brown LF, et al. Down syndrome candidate region 1 isoform 1 mediates angiogenesis through the calcineurin-NFAT pathway. *Mol Cancer Res.* 2006;4(11):811-20.
- [34] Paritpokee N, Wiwanitkit V, Bhokaisawan N, Boonchalermvichian C, Preechakas P. Serum erythropoietin levels in pediatric patients with beta-thalassemia/hemoglobin E. *Clin Lab.* 2002;48(11-12):631-4.
- [35] Aydogdu I, Ilhan O, Beksac M, Koc H, Akan H, Konuk N, Uysal A. Serum erythropoietin level in patients with leukaemia on cytostatic treatment. *Haematologia (Budap).* 1998;29(2):133-137.
- [36] Yin H-L, Luo C-W, Dai Z-K, Shaw K-P, Chai C-Y, Wu C-C. Hypoxia-inducible factor-1 α , vascular endothelial growth factor, inducible nitric oxide synthase, and endothelin-1 expression correlates with angiogenesis in congenital heart disease. *KJMS.* 2016;32:348-355.
- [37] Van der Meer P, Voors AA, Lipsic E, Van Gilst WH, Van Veldhuisen DJ. Erythropoietin in cardiovascular diseases. *Eur Heart J.* 2004;25:285-291.
- [38] Kertesz N, Wu J, Chen TH-P, Sucov HM, Wu H. The role of erythropoietin in regulating angiogenesis. *Dev Biol.* 2004;276:101-10.
- [39] Zakareia FA, Al-Ayadhi LY, Al-Drees AA. Study of dual angiogenic/neurogenic growth factors among Saudi autistic children and their correlation with the severity of this disorder. *Neurosciences (Riyadh).* 2012;17(3):213-8.
- [40] Mamer SB, Chen S, Weddell JC, Palasz A, Wittenkeller A, Kumar M, Imoukhuede PI. Discovery of high-affinity PDGF-VEGFR interactions: Redefining RTK dynamics. *Scientific Reports.* 2017;7:16439. doi:10.1038/s41598-017-16610-z
- [41] Van Lanen RH, Melchers S, Hoogland G, Schijns OE, Van Zandvoort MA, Haeren RH, Rijkers K. Microvascular changes associated with epilepsy: A narrative review. *JCBFM.* 2021;41(10)2492-2509.
- [42] Ogaki A, Ikegaya Y, Koyama R. Vascular abnormalities and the role of vascular endothelial growth factor in the epileptic brain. *Front. Pharmacol.* 2020;11:20. doi:10.3389/fphar.2020.00020
- [43] Miele C, Rochford JJ, Filippa N, Giorgetti-Peraldi S, Obberghen EV. Insulin and insulin-like growth factor-I induce vascular endothelial growth factor mRNA expression via different signaling pathways. *J Biol Chem.* 2000;275(28):21695-21702.
- [44] Masuda Y, Miura N, Kawarada Y, Kawagoe M, Shimizu T, Sugiyama T, et al. Platelet-derived growth factor B-chain homodimer suppressing a convulsion of epilepsy model mouse EI. *Biochem Biophys Res Commun.* 1996;223(1):60-3.
- [45] Lin CY, Chang YC, Wang ST, Lee TY, LinCF, Huang CC. Altered inflammatory responses in preterm children with cerebral palsy. *Ann Neurol.* 2010;68(2):204-12.
- [46] Gothelf D, Furfaro JA, Hoeft F, Eckert MA, Hall SS, O'Hara R, Erba HW, Ringel J, Hayashi KM, Patnaik S, Golianu B, Kraemer HC, Thompson PM, Piven J, Reiss A. Neuroanatomy of fragile X syndrome is associated aberrant behavior and the fragile X mental retardation

- protein (FMRP). *Ann Neurol.* 2008;63(1):40-51. doi:10.1002/ana.21243.
- [47] Garnon J, Lachance C, Di Marco S, Hel Z, Marion D, Ruiz MC, et al. Fragile X-related protein FXR1P regulates proinflammatory cytokine tumor necrosis factor expression at the post-transcriptional level. *J Biol Chem.* 2005;280(7):5750-63.
- [48] Kalliokoski S, Sulic A-M, Korponay-Szabó I, Szondy Z, Frias R, Perez MA, et al. Celiac disease-specific TG2-targeted autoantibodies inhibit angiogenesis ex vivo and in vivo in mice by interfering with endothelial cell dynamics. *PLoS ONE.* 2013;8(6):e65887.
- [49] Bayardo M, Punzi F, Bondar C, Chopita N, Chirido F. Transglutaminase 2 expression is enhanced synergistically by interferon- γ and tumour necrosis factor- α in human small intestine. *Clin Exp Immunol.* 2011;168(1):95-104.
- [50] Battegay EJ, Thommen R, Humar R. Platelet-derived growth factor and angiogenesis. *TIGG.* 1996;8(42):231-251.
- [51] 高栗郷. インスリン抵抗性の新たな発症機序の解明 ～インスリン情報伝達系に対するスタチン及び TNF- α の影響～. *YAKUGAKU ZASSHI.* 2018;138:1329-1334.

嗅覚刺激時の胃電図を記述する数理モデルの 最小埋め込み次元に関する推定

高井英司^{*1), 2)}, 中根滉稀²⁾, 高田宗樹²⁾

1) 曾田香料株式会社, 〒270-0233 千葉県野田市船形 1573-4

2) 福井大学大学院工学研究科, 〒910-8507 福井市文京 3-9-1

*eiji.takai.p6@soda.co.jp

Estimation of the Minimum Embedding Dimension of a Mathematical Model Describing Electrogastrograms During Olfactory Stimulation

Eiji Takai^{1), 2)}, Kohki Nakane²⁾, and Hiroki Takada²⁾

1) Soda Aromatic Co., Ltd., 1573-4 Funakata Noda, Chiba 270-0233, Japan

2) Graduate School of Engineering, University of Fukui,
3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8507, Japan

(2023年1月13日受付, 2023年3月11日受理)

Abstract: To investigate the effect of odor on the electrogastrogram (EGG), the EGGs were measured during olfactory stimulation with different concentrations of lavender and grapefruit odorants. There was no difference in translation error estimated by Wayland algorithm for all experimental groups. It was shown that the minimum embedding dimensions estimated by the False Nearest Neighbors (FNN) method varied with the types and concentrations of odorants. We estimated the minimum embedding dimension using our method without the threshold and found it to be 2 for all experimental groups. This was considered to be because our method is less affected by noise than the FNN method.

Keywords: Electrogastrogram, Wayland Algorithm, False Nearest Neighbors, Lavender, Grapefruit

1. 緒言

香りを嗅ぐと、中枢神経を介して様々な生理応答が引き起こされることが知られている[1]。一般的には、心電図や脳波などがこれらの応答を測定するのに用いられている。例えば、リラックスさせる効果があるとされる香りは、心電図では心拍変動解析において高周波成分が増加することが[2]、脳波では α 波が増加することが報告されている[3]。しかしながら、これら以外の方法を用いた報告は少ない。一方、自律神経系は地域性反応を示すことが知られており[4]、同じ刺激に対して臓器ごとの役割に適した異なる応答を示すと考えられる。したがって、さまざまな方法で嗅覚刺激に対する生理応答を測定することは、香りが生体に及ぼす影響をより深く理解するのに役立つ。そこで、我々は、胃運動を制御

する電気活動を非侵襲的に測定する経皮的胃電図に着目した。

胃電図は胃上部のペースメーカー領域に由来する1分間におよそ3回の周期を示す[5]。また、胃電図は心電図と比較して電位が低く、ノイズが混入しやすいため、これまであまり研究が進んでこなかった。しかしながら、近年の機器の進歩により容易に測定が可能となっている。胃は食欲や摂食行動に密接に関わる臓器であることから、食品の香りに対する胃の応答を測定することで、香りがヒトに及ぼす影響に関する新たな知見が得られると考えた。嗅覚刺激に対する胃電図についてはこれまでほとんど報告されていないことから、嗅覚刺激に対する胃電図をどのような方法で解析するのが適切であるか不明である。そこで、本研究では非線形解析の適用を試みた。これは、健常者の胃電図を生成すると考えられる数理モデルは、非線形性を有し、かつ確率共鳴モデルにより記述されるという先行研究に基づくものである[6]。具体的には、van der Pol 方程式でモデル化した胃の電気活動に他臓器由来の電気信号を白色ノイズとして付加した確率微分方程式で表される。

非線形時系列解析においては、時間遅延座標系を用いて状態空間の再構成が行われるが[7]、その遅延時間と状態空間への埋め込み次元が重要なパラメータとなる。しかしながら、これらのパラメータを得る方法については確立していない。一般的に、遅延時間は自己相関関数[8]や相互情報量[9]から求められ、埋め込み次元は誤り近傍 (False Nearest Neighbors: FNN) 法[10]から推定できるとされている。

また、これまでに胃電図の非線形解析として Wayland アルゴリズムが適用されていることから[11]、本研究においてその適用を試みた。また、アトラクタの最小埋め込み次元を推定する FNN 法も行った。さらに、FNN 法は閾値の設定が恣意的となるため、その恣意性を排除した方法として最近提案された誤り近傍変化率を用いた方法についても検討を行った[12]。

本研究では、嗅覚刺激として、ラットにおいて胃迷走神経活動を抑制することが報告されているグレープフルーツ香料[13]および胃迷走神経活動を促進することが報告されているラベンダー香料[14]を用い、自律神経活性を変化させる嗅覚刺激がヒトの胃の電気活動に及ぼす影響を非線形解析により明らかにすることを目的として行った。また、香りはその濃度により生体反応に異なる影響を与えることから[15]、異なる濃度の香料を提示したときの胃の電気活動への影響について検討を行った。

2. 方法

2.1. 実験

実験には消化器疾患、高血圧、慢性呼吸器疾患、糖尿病といった代謝性疾患、あるいはパーキンソン病といった神経性疾患を患っていない健常男性 13 名 (平均年齢±標準偏差: 22.92±0.82 歳) が参加した。参加者には実験の内容について事前に十分説明し、書面での了承を得た。本実験は、福井大学工学研究科倫理委員会の承認を得た (H2019001)。

胃電図は、防音された実験室で参加者を仰臥位にして測定した。測定時間は、安静時 20 分間、嗅覚刺激時 20 分間の合計 40 分間とした。食物の影響を避けるため、少なくとも食事から 2 時間以上空けて測定した。また、サーカディアンリズムを考慮するために、一日の同じ時間に各参加者の測定を行った。

胃電図の測定には心電図用のディスプレイ電極 (Vitrode Bs, 日本光電) を使い、双極誘導で行った。2 個の電極のうち 1 個は剣状突起と臍部を 4 等分する水平線の第 2 水平線と左鎖骨中線が交わる点に、もう 1 個は臍部左に貼り付けた (Fig. 1)。また、アース電極は臍部直上に貼り付けた。データの取り込みは Biotop mini (イーストメディック) を使用し、サンプリング周波数 1 kHz で A/D 変換して行った。時定数は 8 秒、高周波カットオフを 0.5 Hz にした。

香料 1 g を含浸させた綿球を 30 mL ガラス瓶に入れ、参加者の鼻先 5 cm にハンドアームでガラス瓶を固定して参加者に嗅覚刺激を行った。嗅覚刺激用のサンプルとしてグレープフルーツまたはラベンダーの香調を有した調合香料 (曾田香料) を用いた。詳細は以下のとおりである。① グレープフルーツ香料原液 (HG)、② HG を溶剤 (クエン酸トリエチル) で 10 倍希釈して調製した中濃度グレープフルーツ香料 (MG)、③ HG を溶剤で 100 倍希釈して調製した低濃度グレープフルーツ香料 (LG)、④ ラベンダー香料原液 (HL)、⑤ HL を溶剤で 10 倍希釈した中濃度ラベンダー香料 (ML)、⑥ HL を溶剤で 100 倍希釈した低濃度ラベンダー香料 (LL)、⑦ 溶剤のみの無臭サンプル (OL) の 7 種類のサンプルを使用した。これらのサンプルの提示は順序効果を考慮してランダムに行った。

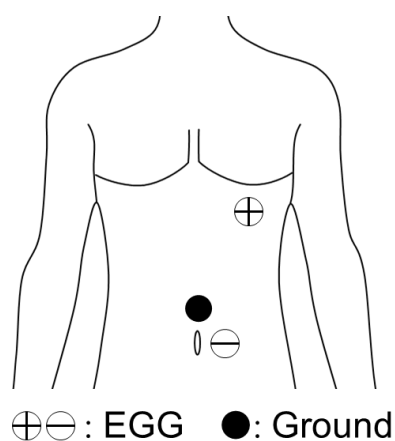


Fig. 1: 電極貼付位置

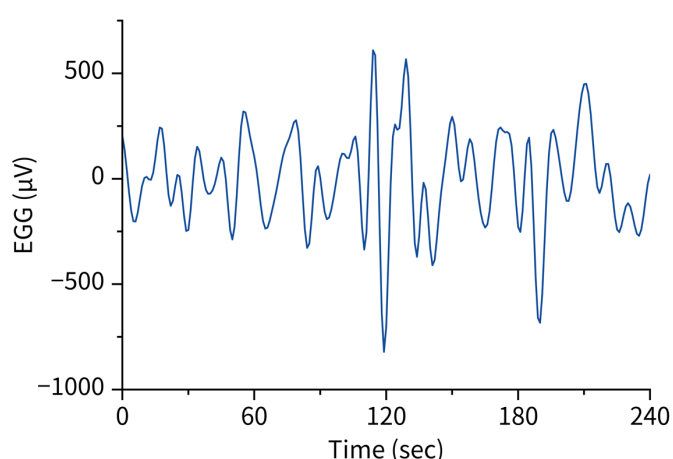


Fig. 2: 胃電図の典型例

2.2. データの前処理

解析は、嗅覚刺激時の 20 分間のデータのうち 3~20 分の約 17 分間のデータを対象に行った。なお、安静時の 20 分間のデータは仰臥位への姿勢変化に伴い、胃の位置が変動することから、安定した胃電図の測定が困難であり、解析には使用しなかった。1 kHz のサンプリング周波数で得られた胃電図を 1 Hz に再サンプリングし、筋電図や周囲の電子機器から混入した雑音を除去するために、遮断周波数 0.015 - 0.15 Hz のバンドパスフィルタを適用した。胃電図の典型例を Fig. 2 に示す。

2.3. Wayland アルゴリズム

Wayland アルゴリズムは、時系列データから再構成したアトラクタの滑らかさを並進誤差の値として推定することにより、時系列を生成する数理モデルの決定論性を定量する方

法である[16]。本研究では、並進誤差の統計誤差を抑えるために無作為に選択した51個のベクトルについて並進誤差の中間値を求める操作を10回繰り返し、10個の中間値の平均値を並進誤差をとした[16]。並進誤差は非負値をとる。その値は0に近いほど数理モデルはより決定論的であり、その値が大きいほど数理モデルはより確率論的である。なお、遅れ時間 τ は時系列の自己相関関数が $1/e$ 以下となる最小の時間とした。また、各実験間の並進誤差について、Wilcoxonの符号付順位検定(Bonferroni補正)により統計学的に比較を行った。有意水準は0.05とした。

2.4. FNN 法

FNN法は、時系列データからアトラクタを再構成する際の最小埋め込み次元を推定する方法として、Kennelらによって提案された[10]。 d 次元状態空間において、遅延座標系からベクトル $\mathbf{y}_d(t)$ を埋め込む[7]。その最近傍ベクトル $\mathbf{y}_d^n(t)$ およびその時刻を t' とすると、その距離は $D_d(t, t') = |\mathbf{y}_d(t) - \mathbf{y}_d(t')|$ ($\mathbf{y}_d^n(t) = \mathbf{y}_d(t')$)となる。埋め込み次元を $d+1$ に増加させたとき、 $\mathbf{y}_{d+1}(t)$ と $\mathbf{y}_{d+1}^n(t)$ の距離は $D_{d+1}(t, t') = |\mathbf{y}_{d+1}(t) - \mathbf{y}_{d+1}^n(t)|$ となる。このときの近傍点距離の変化率 $D_{d+1}(t, t')/D_d(t, t')$ が設定した閾値 R_{tol} を超えるベクトルの数が、再構成したアトラクタにおける全ベクトルに占める割合(誤り近傍率: FNN Percentage)を求めた。最初に誤り近傍率が0となる次元を最小埋め込み次元と推定した。本研究では、複数の閾値 $R_{tol} = 1, 2, 4, 8, 10, 15$ における誤り近傍率を埋め込み次元1~21次元について算出し、最小埋め込み次元を推定した。

2.5. 誤り近傍変化率による最小埋め込み次元の推定

上記の方法による最小埋め込み次元の推定は閾値 R_{tol} の設定が必要であるが、その値の設定は恣意的になる。そこで、閾値 R_{tol} に代わる新基準として、誤り近傍変化率 M_{tol} を使用した方法が提案された[12]。提案された方法においては、埋め込み次元の増加に伴う近傍距離の変化率を求め、それらの常用対数適用後の値の中央値を M_{tol} とする。

$$M_{tol} = Med \left(\log_{10} \frac{D_{d+1}(t, t')}{D_d(t, t')} \right). \quad (1)$$

ノイズの影響により真近傍が誤り近傍と判断されるのを回避するため、 M_{tol} が最初に1以下となる次元を最小埋め込み次元として推定した。なお、埋め込み次元1~21次元について M_{tol} を算出した。

3. 結果

3.1. Wayland アルゴリズムによる並進誤差の推定

嗅覚刺激時の胃電図を生成する数理モデルについて、Waylandアルゴリズムを用いて並進誤差を推定した。その結果、ラベンダー香料提示時およびグレープフルーツ香料提示時のいずれにおいても、濃度による並進誤差の差はみられず、約0.5であった。また、2つの香料の間にも差はみられなかった。

3.2. FNN 法による最小埋め込み次元の推定

嗅覚刺激時の胃電図を生成する数理モデルについて、FNN 法による最小埋め込み次元の推定を行った。FNN 法では閾値の設定が必要であるが、本研究では、全ての実験群で誤り近傍率が 0 に達した $R_{tol} = 15$ を閾値とした。その結果、OL では 6 次元、LL および ML では 5 次元、MG および HG では 6 次元、HL では 7 次元と推定された。

3.3. 誤り近傍変化率による最小埋め込み次元の推定

嗅覚刺激時の胃電図を生成する数理モデルについて、誤り近傍変化率[12]による最小埋め込み次元の推定を行った。その結果、香料の種類や濃度によらず埋め込み次元が 2 のときに誤り近傍変化率が 1 未満となったことから、すべての胃電図の最小埋め込み次元は 2 と推定された。

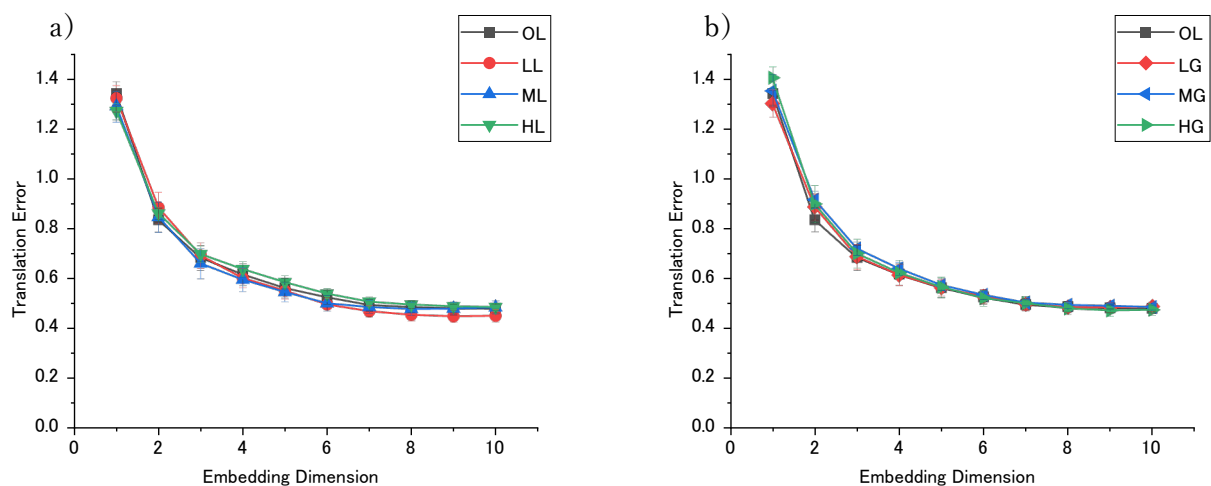


Fig. 3: 嗅覚刺激時の胃電図の並進誤差
a) ラベンダー香料、b) グレープフルーツ香料

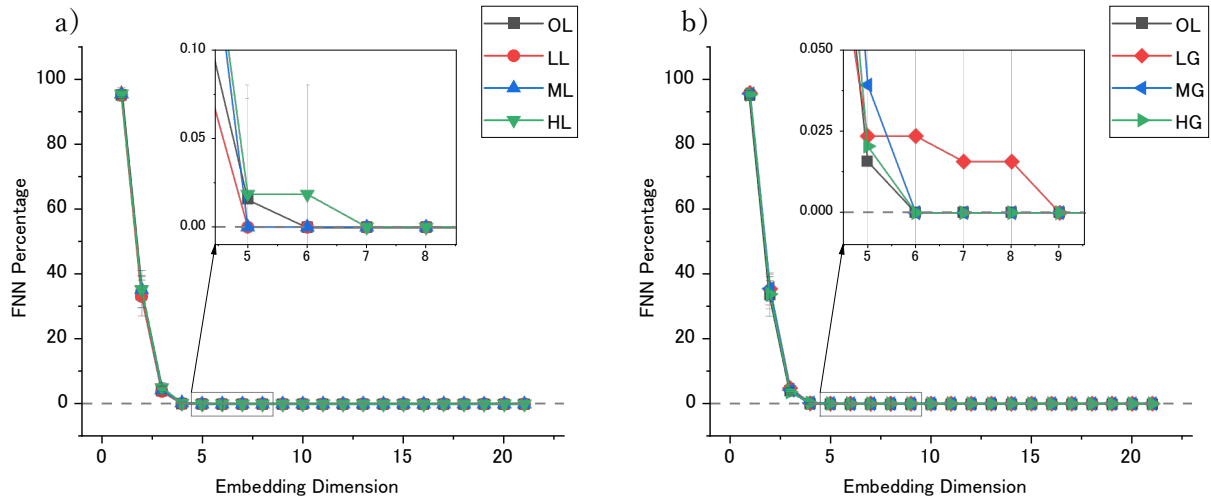


Fig. 4: 嗅覚刺激時の胃電図の誤り近傍率
a) ラベンダー香料、b) グレープフルーツ香料

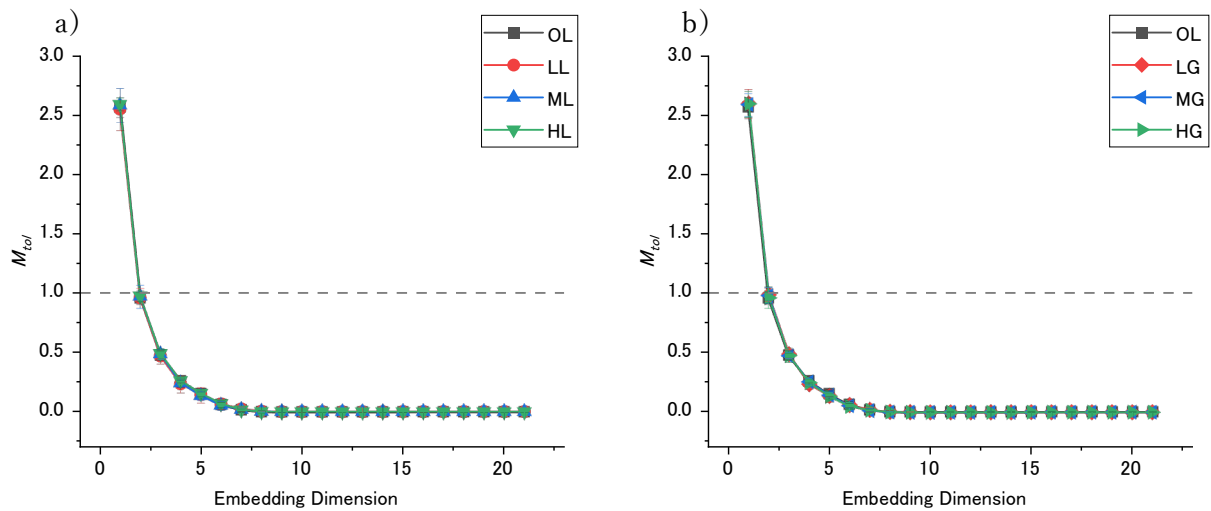


Fig. 5: 嗅覚刺激時の胃電図の M_{tol}
a) ラベンダー香料、b) グレープフルーツ香料

4. 考察

異なる種類・濃度の嗅覚刺激が胃電図及びその数理モデルに与える影響について検討を行った。胃電図は非線形確率過程により生成されることが先行研究で示されていることから[6]、本研究においても非線形解析により胃電図の評価を行った。

Wayland アルゴリズムによる解析では、すべての実験群間において並進誤差に有意な差はみられなかった。バニラ香料を使用した先行研究においては、香料の濃度の増加に伴って並進誤差の増加がみられたことから[17]、結果は一致しなかった。この理由として、こ

れら香料が chemesthesis に及ぼす違いが考えられる。鼻腔内には、嗅上皮に存在する嗅覚受容体以外に呼吸上皮に chemesthesis に関与する TRP (Transient Receptor Potential) チャネルが存在する[18]。グレープフルーツ香料の主成分である limonene およびラベンダー香料の主成分である linalool は TRPA1 チャネルのアゴニストであることが報告されている[19]。一方、バニラ香料の主成分である vanillin は TRPA1 チャネルに作用しないことが報告されている[20]。したがって、バニラ香料ではおそらく嗅覚受容体を起点とする嗅神経系が消化管運動を調節する視床下部等に作用して並進誤差に差異が生じたと考えられる。一方、三叉神経知覚線維からカルシトニン遺伝子関連ペプチド (CGRP) が放出され、嗅神経活動を抑制することが報告されていることから[21]、ラベンダー香料やグレープフルーツ香料では TRPA1 チャネルを起点とする三叉神経活動により嗅神経活動が抑制された可能性が考えられた。

また、並進誤差はすべての実験群において埋め込み次元 8 付近で横ばいとなったことから、本実験で測定した胃電図の埋め込み次元は 8 次元と推定された。この結果は、先行研究とも一致していた[17]。したがって、Wayland アルゴリズムから推定された嗅覚刺激時の胃電図の埋め込み次元は、香料の種類によらず 8 次元であることが示唆された。

FNN 法は近傍点距離変化率に対して閾値 R_{tol} の設定が必要であり、その値は 10[10]や 15[22]が適切であるとされているが、対象とする時系列データによっても異なる。本研究では、複数の閾値 ($R_{tol}=1, 2, 4, 8, 10, 15$) において誤り近傍率を求め、 $R_{tol}=15$ の時のみすべての実験群において誤り近傍率が 0 になったことから、本研究では 15 を閾値とした。

FNN 法により推定された最小埋め込み次元は、実験群により異なるが 5~9 次元となった。ラベンダー香料では、LL および ML が 5 次元であったのに対し、HL で 7 次元であったことから、濃度が高いと埋め込み次元が大きくなる傾向がみられた。一方、グレープフルーツ香料では、LG が 9 次元であったのに対し、MG および HG で 6 次元と濃度が低いと埋め込み次元が大きくなる傾向がみられた。香気強度は香りに対する印象を変えることが知られており[22]、その影響が埋め込み次元に反映された可能性が考えられた。

また、ラットにおいてラベンダー香料は副交感神経を活性化し[14]、グレープフルーツ香料は交感神経を活性化することが知られている[13]。ヒトにおいても、ラベンダー香料で副交感神経の活性化によると考えられる血圧の低下、皮膚血流量の増加および皮膚電気抵抗値の増加が[24]、グレープフルーツ香料で交感神経の活性化によると考えられる血圧の上昇が報告されている[25]。胃運動は副交感神経により促進され、交感神経により抑制されることから[26]、両香料の自律神経に対する作用の違いが埋め込み次元に影響を与えた可能性も考えられた。

FNN 法は考え方やアルゴリズムが単純であるという利点はあるものの、 R_{tol} の設定に関してアルゴリズムは提案されておらず、その設定は恣意的にならざるを得ないという問題点がある。そこで、最近提案された、閾値を設定せずに埋め込み次元の増加に伴う近傍距離の変化率から最小埋め込み次元を推定する方法を用いて最小埋め込み次元の推定を試みた。

提案方法により最小埋め込み次元を推定したところ、FNN 法と異なりすべての実験群において最小埋め込み次元は 2 次元と推定された。胃電図を生成すると考えられる数理モデルは二階微分方程式である van der Pol 方程式を基にした確率微分方程式で表すことができると報告されていることから[6]、この結果は整合性があると考えられる。

一方、Wayland アルゴリズムや FNN 法を用いて推定した最小埋め込み次元とは大きな差異が生じた。これは、並進誤差や FNN 法はノイズの影響を受けて最小埋め込み次元が過大評価されたものと考えられた。経皮的胃電図は、そもそも電位が低いうえ、胃の周辺には様々な臓器や筋肉が存在するため、ノイズの混入は防ぐことができない。したがって、胃電図を生成する数理モデルに関する最小埋め込み次元の推定には、ノイズの影響を受けにくいことが報告されている提案方法の方が適している可能性が考えられた[12]。一方で、FNN 法ではみられた香料の種類や濃度による最小埋め込み次元の差異が、提案方法ではみられなくなった。可能性として、嗅覚刺激による胃の電気活動への影響は非常に微小であり、ノイズの影響を排除した結果、その微小な変化も排除されてしまったことが考えられた。したがって、提案方法における誤り近傍変化率の基準値については一考の余地があるかもしれない。

5. 結論

嗅覚刺激が胃電図を生成する数理モデルに及ぼす影響を調べるために、濃度の異なるラベンダー香料とグレープフルーツ香料を嗅いだ時に測定した胃電図について非線形解析を行った。Wayland アルゴリズムによって推定された並進誤差からは、香料の種類や濃度により胃電図を生成する数理モデルの決定論性に差異が生じないことが示唆された。また、並進誤差、FNN 法、誤り近傍変化率を用いた提案方法により最小埋め込み次元を推定したところ、それぞれの方法で異なる値を示すことが明らかとなった。本研究では比較的嗜好性が高い香料を使用したことから、今後は、嗜好性の低い香料と比較することで、嗅覚刺激が胃電図を生成する数理モデルに及ぼす影響をより詳細に解明するとともに、香気評価技術の一つとしての活用可否を検討する。

参考文献

- [1] Nagai K, Niijima A, Horii Y, Shen J, Tanida M. Olfactory stimulatory with grapefruit and lavender oils change autonomic nerve activity and physiological function. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 2014, 185: 29-35.
- [2] Kuroda K, Inoue N, Ito Y, Kubota K, Sugimoto A, Kakuda T, Fushiki T. Sedative effects of the jasmine tea odor and (*R*)-(-)-linalool, one of its major odor components, on autonomic nerve activity and mood states. *European Journal of Applied Physiology*, 2005, 95(2-3): 107-114.
- [3] Masago R, Matsuda T, Kikuchi Y, Miyazaki Y, Iwanaga K, Harada H, Katsuura T. Effects of Inhalation of Essential Oils on EEG Activity and Sensory Evaluation. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science*, 2000, 19(1): 35-42.
- [4] Iriki M, Saigusa T. Regional differentiation of sympathetic efferents during fever. *Progress in Brain Research*, 1998, 115: 477-497.
- [5] Alvarez W C. The electrogastrogram and what it shows. *The Journal of the American Medical Association*, 1922, 78: 1116-1118.
- [6] Matsuura Y, Takada H. Form and its Nonlinear Analysis for the Use of Electrogastrogram as a Gastrointestinal Motility Test. *Forma*, 2011, 26: 39-50.

- [7] Takens F. Detecting strange attractors in turbulence. In Lecture notes in mathematics 898, 1981, pp.366-381.
- [8] King G P, Jones R, Broomhead D S. Phase portraits from a time series: A singular system approach. Nuclear Physics B - Proceedings Supplements, 1987, 2: 379-390.
- [9] Fraser A M, Swinney H L. Independent coordinates for strange attractors from mutual information. Physical Review A, 1986, 33(2): 1134-1140.
- [10] Kennel M B, Brown R, Abarbanel H D I. Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction. Physical Review A, 1992, 45(6): 3403-3411.
- [11] Kinoshita F, Fujita K, Miyanaga K, Touyama H, Takada M, Takada H. Nonlinear Analysis of Electrogastrograms During Acute Exercise Loads. Journal of Sports Medicine & Doping Studies, 2018, 8(2): 201.
- [12] Nakane K, Sugiura A, Takada H. Estimating a Minimum Embedding Dimension by False Nearest Neighbors Method without an Arbitrary Threshold. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 2022, 7(4): 114-120.
- [13] Shen J, Nijijima A, Tanida M, Horii Y, Maeda K, Nagai K. Olfactory stimulation with scent of grapefruit oil affects autonomic nerves, lipolysis and appetite in rats. Neuroscience Letters, 2005, 380(3): 289-294.
- [14] Shen J, Nijijima A, Tanida M, Horii Y, Maeda K, Nagai K. Olfactory stimulation with scent of lavender oil affects autonomic nerves, lipolysis and appetite in rats. Neuroscience Letters, 2005, 383(1-2): 188-193.
- [15] Sano K, Tsuda Y, Sugano H, Aou S, Hatanaka A. Concentration Effects of Green Odor on Event-related Potential (P300) and Pleasantness, 2002, 27(3): 225-230.
- [16] 松本隆, 宮野尚哉, 徳永隆治, 徳田功. カオスと時系列, 東京: 培風館, 2002, 54-64.
- [17] 高井英司, 青柳隆大, 市川敬太, 松浦康之, 木下史也, 高田宗樹. バニラ香気による嗅覚刺激が胃の電気活動に及ぼす影響, 日本衛生学雑誌, 2022, 77 卷, 20012.
- [18] 駒井三千夫, 井上貴詞, 長田和実. 口腔・鼻腔の三叉神経を介した刺激性物質の受容機構, におい・かおり環境学会誌, 2006, 37 卷 6 号, 408-416.
- [19] Terada M, Yamashita R, Ihara N, Yamazaki-Ito T, Takahashi Y, Masuda H, Sakuragawa S, Ito S, Ito K, Watanabe T. Human TRPA1 activation by terpenes derived from the essential oil of daidai, *Citrus aurantium* L. var. *daidai* Makino. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2019, 83(9): 1721-1728.
- [20] Premkumar L S. Transient Receptor Potential Channels as Targets for Phytochemicals. ACS Chemical Neuroscience, 2014, 5(11): 1117-1130.
- [21] Daiber P, Genovese F, Schriever V A, Hummel T, Möhrlen F, Frings S. Neuropeptide receptors provide a signalling pathway for trigeminal modulation of olfactory transduction. European Journal of Neuroscience, 2013, 37(4): 572-582.
- [22] Krakovská A, Mezeiová K, Budáčová H. Use of False Nearest Neighbours for Selecting Variables and Embedding Parameters for State Space Reconstruction. Journal of Complex Systems, 2015, 932750.
- [23] 加藤綾. 受容体薬理・特異性. 東原和成 (編), 化学受容の科学. 京都: 化学同人, 2012,

120-133.

- [24] 吉田聡子, 佐伯由香. 香りが自律神経系に及ぼす影響. 日本看護研究学会雑誌, 23 巻 4 号, 2000, 11-17.
- [25] Kawai E, Takeda R, Ota A, Morita E, Imai D, Suzuki Y, Yokoyama H, Ueda S, Nakahara H, Miyamoto T, Okazaki K. Increase in diastolic blood pressure induced by fragrance inhalation of grapefruit essential oil is positively correlated with muscle sympathetic nerve activity. *The Journal of Physiological Science*, 2020, 70: 2.
- [26] 榎原隆次, 土井啓員, 岸雅彦, 舘野冬樹, 露崎洋平. 消化管系自律神経機能検査レビュー. 日本自律神経学会 (編), 自律神経機能検査第 5 版. 東京: 文光堂, 2007, 342-344.

第 93 回 形の科学シンポジウム 「知識社会における形」

討論記録 (討論記録のあるもののみ掲載)

【主催】形の科学会

【会期】2022 年 11 月 19 日(土)、21 日(月)

【会場】福井大学 アカデミーホール

【代表世話人】高田宗樹 (福井大学大学院工学研究科)

【世話人】平田隆幸 (福井大学大学院工学研究科), 松本拓也 (福井大学大学院工学研究科), 松浦康之 (岐阜市立女子短期大学)

【参加費】会員・非会員ともに対面参加: 一般 5000 円, 学生 1000 円, オンライン参加: 一般 4000 円, 学生 500 円

【懇親会】無し

【WEB サイト】<https://katachi-jp.com/sympo93>

討論記録は「シンポジウム質疑入力フォーム」に入力されものに基づいております。

Q: 質問、A: 回答、C: コメント

討論記録

11 月 19 日 (土) 第 1 日目

セッション 1 【知識社会における形】

◎P1-1 二重対称周期軌道の回転分岐で生じた周期軌道の対称性

山口喜博 (形の科学会会長)

Q. 手嶋吉法

1) 周期軌道の前に「母」や「娘」を付けて呼んでいる。「親」や「子」を用いず、そのように呼ぶのは、定着した用語か。英語の場合も同様か。

2) 既約分数 r/s の値として現れていない $3/5$ などは、なぜ現れないのか。

A.

1) 回転分岐等の分岐を起こす周期軌道を母周期軌道と呼び、生じた周期軌道を娘周期軌道と呼びます。次の分岐で娘周期軌道を母周期軌道として扱います。これらの用語は分岐理論で通常に使用されます。

2) 分子が奇数の場合、周期軌道は一重対称周期軌道です。よって今回の報告には含まれません。ちなみに二重対称周期軌道の場合、分子は偶数です。

Q. 植田毅

$2/3$ の系列の 3 段目に $6/9$ が現れているけれど、 $2/3$ と $6/9$ の違いはあるのか？

A. 平行移動法で、 $6/7$ から $6/9$ を構成し、次に $6/11$ を構成するために既約分数でない $6/9$ も便宜的に入れてあります。 $6/9$ の図形から得られる一筆書きは $2/3$ の図形の一筆書きを同じになります。よって矛盾はありません。

P1-3 孀婦岩の図像学

杉本剛 (神奈川大学)

◎P1-4 田川古墳群の年代推定と邪馬台国の位置の推定

小川進 (空間技術研究所)

Q. 植田毅

ご講演は邪馬台国の位置の同定に国、人口を支える資源(水田)の観点を導入したもので大変興味深く拝聴いたしました。が、やはり、問題になるのがこれまでの魏志倭人伝の邪馬台国までの行程の記述の解釈ではないかと思えます。本講演で同定された場所については、魏志倭人伝の記述はどのように解釈されるのでしょうか？

A. 問題なのはかつての中国語を中途半端に漢文として学び、解釈したことで、中国での解釈とは異なる。中国での自然な解釈では本講演の結果(邪馬台国九州説)と矛盾することはない。

◎P1-5 Python を使って球面のポロノイ分割 —地球上の資源分布の解析—

平田隆幸 (福井大)、高田宗樹 (同)

Q. 植田毅

Python は様々なライブラリーがあり便利で、近年、AI などいろいろな分野で用いられています。Python は、UNIX と Linux の関係と同じで、Mathematica で実現されている機能を無料で提供しているものと理解しています。Mathematica に対して Python の強みはどのようなものがあるのでしょうか？

また、Python を用いる場合、実行速度が問題になると思います。数値計算の規模が大きく計算時間がかかる場合は、通常のプログラミング言語に移行する必要があるかと思いますが(これは Mathematica でも同じ)、どの程度の規模になると乗り換えるべきなのでしょう？

A. Python を使い始めて 2 年ほどでも、様々なことができるのを紹介するのが、本講演の目的の一つです。また、Python には、目的のルーチンをコンパイラを使って高速化する機能もサポートされています。

Q. 手嶋吉法

1) 地球上の資源分布を解析したスライドで、国別にパーセンテージで表されたデータが示された。その後、各国の資源の位置を 1 点(ロシアの場合はモスクワ)で代表させ、それらの点に対して球面ポロノイ領域を計算していた。球面ポロノイ領域の計算において、パーセンテージの値がどのように使われているか。

2) 球面上の資源分布を考察する場合、広大な面積を持つ国の資源位置を 1 点で代表させるのは無理があると思うが、改善案はあるか。

A.

1) 地球規模での資源分布に対する各国の寄与率をパーセンテージで表したものです。そして、ポロノイの母点として首都を使っています。

2) 無理ではないと考えています。「地球規模の各国の資源の寄与を議論している」というのがその理由です。

Q. 根岸利一郎

資源分布の解析には地形ほかの要素が必要と思われませんがポロノイ分割で解析できる理由は？

A. 地球規模で考えた場合、山や谷など高低差は無視でき、凸凹のない球面として近似できるからです。

セッション 2 【形の科学一般】

◎P1-6@ONLINE 平面・球面・空間におけるポロノイ調節法再考(II)

種村正美 (統計数理研究所・名誉教授)

Q. 手嶋吉法

1) N 個の点を配置する際に、最大化したい量は何か。(互いに距離を保つ配置と予稿に書かれているが、全ての点間距離の和という意味か、別の意味か。)

2) 正方形内に N 個の点を互いに距離を保って配置する場合、正方形の辺上に幾つかの点がかかるように思うが、最適配置として示された図はそうならない。これは、正方形に周期境界条件を設定しているからか。

3) N 個の点の最適配置を考える問題では、N が大きくなるとグローバルミニマムの他に多数のローカルミニマムが存在すると思う。その意味で、今回示された最適配置は、本手法を適用して達成された達成解という理解で正しいか。

A.

1) ボロノイ調節法で初期配置から各ステップごと(時刻 t)に配置を動かしていく時、ある $t=T$ で動きが止まる。その時刻 T での配置(ボロノイ分割)を最適としている。そのため、点間の距離の総和やボロノイ分割の辺長の総和などの目的関数を最小化する方法ではない。しかし結果的にそれらの量が global minimum 又は local minimum になる配置がしばしば得られるということである。

2) 正方形内に N 個の点がある配置からボロノイ調節法で動かしていくと、各点はボロノイ多角形の出来るだけ真ん中の位置を占めるようになる。そのため点が正方形の辺上に行くことはない。発表した計算結果はすべて境界付きの条件(鏡映条件)で行ったものである。

3) その理解で正しい。

Q. 中島善人

1) 講演では $N=18$ 程度の比較的小さな値でしたが、 $N=100$ とかのシミュレーションは計算時間がかかりすぎるのでしょうか？

2) これはあとで思いついた質問ですが、平衡に達したパターンが未知の種数のものかどうかの判定は、計算機が自動判読するのではなく、人力(肉眼で PC 画面を見て)行うのでしょうか？

A.

1) そういうことはない。短時間に終わる。ただし、すべての種数を尽くしたかどうかはある程度試行回数が必要。

2) 種数はボロノイ分割の多角形面積分布の違いで定めているので、計算機で自動的に判定していると言える。

◎P1-7@ONLINE 円弧資材を用いた無鉸釘自己支持球面多面体

山崎憲久(積み木インテリアギャラリー)、佐藤郁郎(宮城県立がんセンター)

Q. 植田毅

ご講演の最初に、最後のピースが挿入されるまでは、全体がグラグラであるが、最後のピースが入った途端に頑丈になると説明されておりましたが、最後のピースを挿入する際に抵抗とかはどのくらいなのでしょう？

滑らかに挿入できるのに、挿入後は抜くのが難しいことになるということは不可逆過程になっていますが、どのような仕組みでそうなるのかお分かりでしたら教えてください。

A. 滑らかに挿入できます。よく誤解されますが、無理やり入れるとか、変形させて入れるということは必要ありません。相互支持梁状構造と呼ばれるものですが、互いに荷重を分散させるようになっていきます。組み体操に、次の人の膝の上に腰を下ろす・最後の一人が加わって円になって安定するというものがありますが、それと同じ原理と思われる。

Q. 手嶋吉法

予稿の図 2 やスライド中で写真で示された円弧部品は、3D プリンターで造形されたものではなく、木材をレーザーカッターで切断して作製されたものという理解で正しいか。

A. 2.5 ミリ厚の MDF 板をレーザーカッターで切断して作製しました。強固な構造になるためには、切込みが 4 か所あることが必須のようです。

◎P1-8 磁気共鳴表面スキャナー：文化遺産建造物の中の空洞・亀裂の非破壊・非接触検出に向けて

中島善人(産業技術総合研究所)

Q. 植田毅

1) コイルが半円形のを 2 つ並べた形になっている理由を教えてください。

2) 緩和時間についてですが、表面からそれほど深いところまで測定するわけではないので問題ないのかもしれませんが、水の運動が効いてくるので温度依存性が強いように思います

がいかがでしょうか？

3) 静磁場の強さを教えてください。

4) 信号を AI を用いて分解能を上げる方法もあろうかと思いますがいかがでしょうか？

A.

1) x 方向(壁面に平行な方向)に高周波磁場を効率的に発生させるためです。

2) 影響があります。そのためには、たくさんのデータを取ってデータベースを増やす必要があります。

3) 500mT です。

4) そういうことも考えていきたいと思っています。

Q. 石井友一郎

より深いところまで検査できる装置を開発中というお話があったが、具体的にどこを改良しているのか。また、永久磁石(ネオジム磁石)ではなく電磁石を用いることは可能か。

A. 磁石を大きくすることで深くまで検査できる。磁石のサイズを 2 倍にすると検査できる深さも 2 倍となる。電磁石でも可能だが、大きな発熱の恐れがある。

Q.

磁気共鳴スキャン画像から 3 次元画像を構成して、voxel をカウントすることで空洞の体積を求められるか。

A. 現状の装置スペックではイメージングができないのでそれは困難であるが、原理的には片側 NMR 装置でも 3D の MRI は実施可能である。

11 月 20 日(日) 第 2 日目

セッション 3 【知識社会における形】

◎A2-1 認知機能評価時における律動脳波に関する研究

鷲見久遠(福井大学)、○保谷太陽(同)、中根滉稀(同)、高田宗樹(同)、伊藤菊男(ニューロスカイ)

Q. 山口喜博

うずまきをなぞる場合、外側を描くときはスピードがはやく、内側を描くときはスピードが遅くなる。外側と描いている時と、内側を描いている時の脳波の違いがわかると得られる情報が増えると思います。

A. ありがとうございます。今後は検査中の脳波を前半、後半に分け、それらの違いも検討しようと考えています。今回は実際の認知症の検査でつかわれているうずまき検査をそのまま用いましたが、内側から外側にうずまきを書くなど、今後は他のやり方も検討していこうと考えています。

Q. 松浦執

基本的な実験デザインの確認ですが、認知症患者にとって負担になる試行をすると、いずれかの脳波に異常が現れるのではないかと言うことで、各波長帯域の脳波を測定するのですね。

A. はい。先行研究では認知症患者は特定の周波数帯域に異常が見られるなどの報告がされていたため、今回は健康な被験者からも MCI の予兆として脳波の各周波数帯域に異常が出るのかを検討しました。

◎A2-2 集中時における脳波と表情の関連

宇佐美雄也(福井大学)、中根滉稀(同)、松浦康之(岐阜市立女子短期大学)、平田隆幸(福井大学)、高田宗樹(同)

Q. 植田毅

講演ではストレスがある場合に有意な差が見られたとのことですが、被験者が月単位で継続的にストレスを受けている人とそうでない人との反応は同じようになるのでしょうか？逆に、違いがあるならば継続的なストレスについて知見が得られるのではないかと？

A. 今回の被験者には SDS(うつ性自己評価尺度)などで確認をとったわけではありませんが、明らかにうつ症状がない群を対象としました。今後は諮問紙を用いたり、比較対象としてうつ症状がある群についても検討したいと思っています。

Q. 松浦執

β/α という量はどのような意味を持ちますか。

A. α 波はリラックスした時によく出る脳波で、 β 波は緊張

する時に出る脳波。β/αで集中度を表している。

セッション4 【形と知】

◎A2-3 意見交換でなぜクリティカル・シンキングが起きるのかーロボットとの会話

松浦執(東京学芸大学)、後藤勝洋(渋谷区立西原小学校)

C. 山口喜博

コメントです。小田実の「なんでも見てやろう」では、自分の中にあるものと外界にあるものとの間に関連がとれるようになって物事の理解が進むとの主旨が述べられています。このようなことができる人もいますが多くの人にはできません。川喜田二郎のKJ法は上記のことが行えるようになるための有効なツールです。このようなことを含めて検討を行ってはいかがでしょうか。

A2-4 中生代放散虫 Pantanelliidae 科放散虫の形態形成と系統進化

松岡篤(新潟大学)、吉野隆(東洋大学)、木元典克(海洋研究開発機構)、岸本直子(摂南大学)

セッション5 【展示】

A2-5 2023年用の放散虫カレンダー

松岡篤(新潟大学)、富田雄太(イメージミッション木鏡社)

A2-6 木造継手の立体教材の開発II

麻生真世(千葉工業大学)、手嶋吉法(同)

A2-7 空間を周期的に埋め尽くす立体形状の開発II

岡田莉歩(千葉工業大学)、手嶋吉法(同)

◎A2-8 空間を周期的に埋め尽くす立体形状の開発III

樫村優花(千葉工業大学)、手嶋吉法(同)

C. 中島善人

「スズメ、ハムスター、トマトなどは、世界初の3次元充填パターンが発見のようなので、formaなどはやく国際誌に投稿して優先権をゲットすべきでは?」と思いました。

A2-9 機械機構を学ぶ為の立体教材の開発

伊美岳(千葉工業大学)、手嶋吉法(同)

A2-10 SP2(平面三角形)、SP3(正4面体)で作る、炭素同素体分子模型案

八十嶋章雄(SSDS Symmetric)

◎P3-1@ONLINE 文字学習時の脳内イメージ解像度

峯名健一郎(タクシン大学)、本田容子(鎌倉女子大学)、高田宗樹(福井大学)

Q. 手嶋吉法

大きな文字の方が認知能力が高まるということ、大きさはどの程度が適切と考えられるか。極端な例として、ナスカの地上絵のような巨大なサイズの場合は、地上にいる人には文字の全体が見えず、文字として認識しづらい筈なので、適切な文字サイズの範囲があると思う。

A. 文字の大きさの見え方は相対的なものですから、視野角で示すべきであろうと考えています。つまり認知能力の高まる文字の大きさは、視野角内で最大規模のサイズが最適であろうと考えられます。視野角は物体の速度に比例して狭まりますから、学習形態に合わせて大きさを変化させる必要があります。

ところで、書道で用いられる半紙(B4サイズ)は適切な視野角度の範囲に収まる大きさと、人間の腕の最適可動域を満たす大きさを兼ね備えているため規格化されたものと考えられます。文字を思い出す場合、手で書くシミュレーションを脳内で行うことから考えても、手の動く範囲であることは重要であるといえます。つまり手の可動範囲内かつ、視野角内に収まる最大の文字サイズが、認知能力を最大に高める大

きさであると言えると思います。

セッション6 【特別講演】

◎P2-1 CT画像誘導陽子線がん放射線治療における日々の体内臓器変化による治療効果への影響評価と適合治療へ向けた研究開発

前田嘉一(福井県立病院 陽子線がん治療センター陽子線治療研究所)

Q. 中島善人

1) CTは被爆があることと、骨はともかく軟組織の抽出が難しいので、位置確認のイメージング法として、将来的にはMRIによる代替の可能性はありますか?

2) 福井大学内のコラボとして画像セグメンテーションにpythonをお使いということですが、そのアルゴリズムは機械学習などでしょうか?

A.

1) 日々照射においてMRI画像によって腫瘍位置をビーム照射位置に誘導するMRI Linacという光子線放射線治療装置があります。この治療装置は、2・3年ほど前から日本国内で利用されるようになってきました。MRI装置と光子線発生装置(Linac)が一体になったものです。軟組織や病巣部の造影においてはCTと比較してとても良いです。今後は、MRI装置と陽子線治療装置を組み合わせた装置が将来的に出てくる可能性があります。MRI磁場中における陽子照射の制御開発、線量分布形成及びその生物学的影響評価など研究が行われています。

2) セグメンテーションのアルゴリズムは、Convolutional Neural Network(CNN)です。本研究では、畳込みオートエンコーダ(CAE)の一つであるSegNetやU-Netを使っています。

Q. 植田毅

1) 医学系の機械学習となると、臨床データを教師データとする場合、同じ期間で中国では簡単に日本の10倍のデータを用意できるため、なかなか競争は厳しいのではないかと思います。勝算はどのように考えておられるのでしょうか?

2) 初めてお目にかかった医学物理士の方なので、お伺いしたいのですが、順天堂大学などでは医学物理士の資格を取得することを条件に助教を公募しアメリカなどに派遣されているが、現状、日本でどのくらいの医学物理士の方が活躍されているのか、どのくらいの割合の病院で医学物理士の方がいらっしゃるのか、臨床放射線技師と(アカデミックな部分は別として)仕事の棲み分けはどのようになっているのでしょうか?

A.

1) 日本における医学物理士の数は、

現在、日本医学物理士認定機構で認定されている医学物理士は、約1300人程度です。その中で、医療施設において専任の医学物理士として、治療業務を行っている方は、2-3割程度と聞いています。

2) 医学物理士の教育は?

最近では、主用国立大学(旧帝国大等)、筑波大学、新潟大学、また、順天堂大学などの私立大学では、医学物理学を専攻とする大学院修士・博士課程があります。また、その専攻課程においてレジデントコースも設けられています。

3) 医療AI開発において中国に太刀打ちできますか?

データ量という観点からは、人口比もありますので勝てないと思います。また、日本では、医療データの共有化という点については、欧米諸国や中国と比べて敷居がたかいのではないのでしょうか。その観点からみても人口知能を利用した医療システム開発も遅れをとっているのかもしれない。ただ、それぞれの国や医療機関で取得したデータを利用してA.I.システムを構築することも重要と考えます。国や地域の医療機関で治療される患者さんの状態、病状及び治療法は、マスタデータにはない情報も含まれているかもしれません。

セッション7 【知識社会における形】

◎P2-2 スチーム式加湿器を用いたハーブサウナの効果検証に関する研究

中嶋大祐 (福井大学)、塚本圭祐 (同)、平田隆幸 (同)、高田宗樹 (同)

Q. 根岸利一郎

瞬きの影響を除去するために1-49Hzとしています。なぜこの周波数なのですか。

A. 眼球が動くとき、眼球に近い両側前頭極において極性の変化を検出する。眼球の上下運動によるアーチファクトもこれらの部位で最大となる。また、瞬目アーチファクトがみられる脳波は両極で同位相の波形が観測されるため、1Hz未満のローカットフィルターを使用するほか、数理的に工夫して混入するアーチファクトを除去することができる。さらに、瞬目に一致して δ 波帯域の波の群発が出現することが知られている他、律動脳波について古典的に解析される周波数帯(1-49Hz)には生理学的な意味づけがなされている。そのため、本研究においてもこの周波数帯の各成分を解析して、生理学的な評価に用いている。

◎P2-3 筆記具使用時における生体評価の可能性に関する研究

塚本圭祐 (福井大学)、村形伸一 (パイロットコーポレーション)、小松靖志 (同)、高田宗樹 (福井大学)

Q. 石井友一郎

筆記具使用時の疲れやすさの感じ方と暗算課題の結果に係性は見られたか。

A. 詳しい解析はしていないが、疲れにくいと感じた場合の方が計算回数が増える傾向があるような印象がある。

Q. 沓名健一郎

1) 日常的に使用する使い慣れた筆記具との差異が気になります。国語科書写での実験ではそこを非常に重視します。例えば日常的に固めの鉛筆を用いて筆圧が高い子どもがシャープペンシルを用いると容易に芯を折ってしまいますから、筆圧の違いに困惑し心理的疲労を覚えるかもしれません。

2) 書道的に考えますと、太い軸の筆記具は手首、細い軸では指先を中心に筆記動作がされますが、そうしたことを踏まえた差異についていかがお感じでしょうか。

A.

1) 本研究では硬度をHBに統一して実験を行っている。硬度と嗜好性については別課題と考えている。

2) 持ち方の特性やモーションに関する測定は別途行っているため、こちらについては次の機会に報告できると考えている。

Q. 根岸利一郎

1) シャープペンシルを利用していますが人の好みの影響はどうなりますか。

2) 考察では影響があると言い切っていますが、その根拠は何ですか？

A.

1) その評価には脳波計測を使いました。

2) 被験者が7人だったのもっと増やして対応したいと思う。

C. 山口喜博

コメントです。私はiPadでiPencilを使っています。私にとってiPencilは細すぎて使いにくい。このようなデジタル筆記用具についても同様の評価をして欲しいと思います。

セッション8 【ジュニア】

P2-4 Recognition of multiple piano music genres by machine learning

Kael Kameoka (Fukuoka International Highschool)、植田毅 (東京慈恵会医科大学)

セッション9 【形の科学一般】

◎P2-5 羽毛の断面の画像によるマメルリハインコ、ウロコインコ、文鳥・白の構造色の解明

植田毅 (東京慈恵会医科大学)、植田翠 (徳島大学)、平塚理恵 (東京慈恵会医科大学)、森本元 (山階鳥類研究所)

Q. 中島善人

今回は、文鳥は白文鳥限定のデータでしたが、シナモン文鳥という茶色の羽の文鳥もいます。それには、白文鳥とちがってメラニンが羽に含まれているのでしょうか？あるいはその茶色は構造色でしょうか？

A. ここで、取り上げているマメルリハインコ、ウロコインコ、白文鳥は第2著者のペットで、シナモン文鳥は飼ってないので調べていませんし、今のところ飼う予定もありませんが、一般論として、鳥の赤茶色、薄茶色、焦げ茶色は黒～褐色はユーメラニン、赤～薄黄はフェオメラニンによる発色と言われております。文鳥の羽にはスポンジ構造が見られていないのでメラニンによる発色であろうと思います。

セッション10 【FORUM】

◎P2-6 反応拡散モデルによる平面充填アルゴリズム

昌子浩登 (関西学院大学)、岩本凌 (同)、山田耕太郎 (阿南工業高等専門学校)

Q. 中島善人

3角形や6角形の平面充填パタンの生成に拡散反応モデルで成功されました。エッシャーの絵のようにもっと複雑な平面充填パターンも拡散係数のパラメタ次第では可能でしょうか？それとも、エッシャーの絵には尖っている部分があるので、そういう箇所は拡散方程式は苦手(尖った部分がなまるので)なので別の方程式系になるのでしょうか？

A. おっしゃっていただいているように、エッシャーの絵にあるような尖った箇所の生成のためには、拡散項の影響が強い、反応拡散モデルそのままでは再現できないと思います。なので、拡散項よりも、より尖った箇所をうまく生成できるような項が導入されたモデルが必要だと思います。

◎P2-7 科学の普及活動と考えるかたち

根岸利一郎 (科学リテラシー研究所)、齋藤茂 (同)、牧口一男 (同)、三上修平 (同)、課代表者 (深谷市教育委員会生涯学習スポーツ振興課)、関口久美子 (埼玉工業大学)、高橋優 (同)、根岸順治 (山根技研)

C. 山口喜博

私自身の体験を紹介します。千葉県のある鋸山に巡検に行った時に、学生に「ここでは地層が垂直に立っている」と説明しました。しかし、学生は「地層が垂直に立っている」という現象を不思議だと思わないのです。小さい時から自然現象に触れて自分と外界とのコミュニケーションがとれていないためだと思います。フィールドワークが大事だと思います。

A. コメントをありがとうございます。私たちもフィールドワークの必要性を感じていて、ときどき水質検査や植物・動物の観察を実施しています。

11月21日(月)第3日目

セッション11 【形の科学一般】

P3-2 回転式開閉機構を有する簡易構造物のプロトタイプ試作

堀田楓 (近畿大学)、小野聡子 (同)

◎P3-3@ONLINE 細胞の増殖および細胞の消滅を応用したトラス構造物の形態創生に関する研究

小野聡子 (近畿大学)

Q. 山口喜博

1) アルゴリズムを利用して完成した構造物が実際に使用できるかどうかの判定はどのように行うのでしょうか。

2) ひずみが集中する部分とそうでない部分の解消はどのようにして行なっているのでしょうか。

A.

1) 構造的な不具合が生じないよう、力学的な計算をアルゴ

リズムの中に取り入れています。創生された形態を解析ソフトでチェックしてもよいかと思います。また、実際には、形態創生された建築物に免震装置を設置するなどして、地震力には対応することになるかと思います。複雑な形態になると簡単に施工ができないため、BIM などによる事前チェックが必要になります。

2) 各部材に番号をつけていますので、各部材のひずみエネルギーを確認できます。それにより、ひずみエネルギーの大きい部材からひずみエネルギーを小さくするよう解析しています。ただ、部材どうしは連結していますので、応力は伝わっていきます。その部材だけ極端に大きくなることは考えにくいです。

セッション12 【知識社会における形】

P3-4 回転する円板の幾何学的位相について

松本拓也 (福井大学)、高田宗樹 (同)、保倉理美 (同)

◎複合感覚刺激と映像酔い原因理論の関係性について

杉浦明弘 (岐阜医療科学大学)、田中邦彦 (同)、高田宗樹 (福井大学)

Q. 石井友一朗

なぜ球のランダム配置パターンを用いるのか。また、静止画でも動いているように錯覚したがそのような効果や影響はあるか。

A. 類似の研究でランダムドットとよばれるパターンがよく使われており、本研究もそれに倣った。また、パターンが移動してもドットが途切れないようにしている。

静止状態でドットパターンが動くことはないが、長時間見ていると動いているように錯覚することもあるかもしれない。

=====+=====+=====+=====+

第92回 形の科学会シンポジウム 討論記録

校正済みのものは題目の前に◎印をつける

○新入会の皆様（敬称略）

松田 暁洋 北海道千歳北陽高等学校（一般会員）
 榎田 雄大 岐阜医療科学大学保健科学部放射線技術学科（一般会員）

○新入会の皆様のご紹介（敬称略）

このコーナーでは、交流の促進を目的として、新入会の皆様の「主要研究分野」(A と略記)と「形の興味」(B と略記)、もしくは、お寄せいただいたご自身によるプロフィール記事(C と略記)を掲載します。

松田 暁洋 (北海道千歳北陽高等学校)
 A: 地学教育 B: 岩石組織の様相、自己組織化、カオスとフラクタル

榎田 雄大 (岐阜医療科学大学保健科学部放射線技術学科)
 A: fMRI (脳機能画像)・医療画像 B: 医療画像より診えること

○2022 年度下半期をもってご退会の皆様（敬称略）

横田 秀夫 理化学研究所画像情報処理研究チーム
 佐藤 博明 神戸大学理学部地球惑星科学科
 田中 良巳 横浜国立大学大学院環境情報研究院人工環境と情報部門
 安田 良 NPO 法人地域産業政策研究センター
 横山 悦郎 学習院大学, 東京大学
 片岡 弘 富山大学教育学部
 清水 英男 湘南厚木病院病理診断科

○2022 年度第 2 回形の科学会運営委員会議事録

日時：2021 年 11 月 17 日（木）20:00～

場所：オンライン運営委員会 出席者数：22 名（運営委員 27 名中）

議題：

- (1) 会員関係報告：2022 年 11 月 11 日現在、正会員 289 名、シニア会員 36 名、学生会員 35 名、団体会員 0 名、名誉会員 8 名、ジュニア会員 3 名、会員総数 371 名（2021 年 11 月 378 名）
- (2) 2022 年度活動報告・活動計画
 - ・形の科学シンポジウムを次のように開催した。
 第 92 回：形の科学シンポジウム@北海道科学大学 2022 年 6 月 18 日（土）～19 日（日）（代表世話人：小川）
 - ・形の科学シンポジウムを次のように開催する。
 第 93 回：形の科学シンポジウム@福井大学 2022 年 11 月 19 日（土）～21 日（月）（代表世話人：高田，世話人：平田，松本）
 - ・会誌第 37 巻を刊行している。
 - ・FORMA Vol.37 を刊行している。
 - ・新潟大学旭町学術資料展示館企画展示「ジオパークの大放散虫展」（2022 年 7 月 20 日～8 月 28 日）を後援した。
 - ・日本地球惑星科学連合「国際境界模式層断面とポイント」セッションを開設(2021 年 5 月 30 日)した。
 - ・第 24 回日本感性工学会大会（2022 年 8 月 31 日～9 月 2 日）を協賛した。
 - ・SIS-Symmetry との関係解消した。
 - ・2022 年度「かたちシューレ」を行う（2023 年 2 月 2 日。オンライン。世話人：松浦（康），小森）有料。
- (3) 2023 年度の活動計画。
 - ・シンポジウムを次のように開催する。
 第 94 回：形の科学シンポジウム（千葉工業大学，2023 年 6 月，代表世話人：手嶋）

- 第 95 回：形の科学シンポジウム（新潟大学，2023 年 11 月，代表世話人：松岡）
- ・会誌第 38 巻を刊行する。
 - ・FORMA Vol.38 を刊行する。
 - ・新潟大学旭町学術資料展示館企画展示「みんなの石 展」を後援する。
 - ・日本地球惑星科学連合でのセッションについては，2023 年度は開設を見送ることとなった。
 - ・2023 年度（第 25 回）日本感性工学会大会を協賛する。
 - ・2023 年度「かたちシュレー」を行う（日時：未定。開催形式：対面。世話人：松浦（康），小森）有料。
- (4) 2023 年度学会賞の募集開始：今回のシンポジウムから募集スタート。締め切りは来年 2 月末頃。
- (5) その他
- ・事務局補佐について：新役職として事務局補佐を置き，沓名，塩澤（恵）が担当することが承認された。
 - ・FORMA 誌について：出版費用の問題解決について，高田，松浦（康）より進捗状況が報告された。

原稿募集

本誌は、“かたち”に関連した研究を促進するため、high quality な論文の発表、及び、できるかぎり自由に意見を発表できかつ討論できる場を提供することを目的として、原稿を募集しています。

原著論文(original paper)、解説論文(review paper)、速報(rapid communications)、討論(commentary)、講座(単発および連載)、エッセイ、交流、ニュースなどを掲載し、形の科学会の会員は本誌に投稿することができます。本誌に投稿された論文(original paper, review paper)は、査読過程を経てから掲載することを原則とします。また、速報、討論、講座、エッセイ、交流、ニュースなどに関しては、より自由な発表場所を提供することを旨とし査読過程を経ずに掲載しますが、編集委員会で掲載が不相当であると判断された場合は、改訂を求めること、あるいは掲載をお断りすることがあります。

本誌の論文を論文中で引用される時は、日本語論文の場合は、形の科学会誌、**11**、(1997)、1-2. 欧文論文の場合は、Bulletin of Society for Science on Form, **11**、(1997)、1-2. 2017 から 2019 年度は Journal of Society for Science on Form, **11**、(1997)、1-2. というように引用してください。

『形の科学会誌』論文投稿の案内

1 Editorial Board

編集委員長 (Chief Editor)	平田隆幸	(物理学・地球惑星科学)
副編集委員長 (Sub-chief Editor)	杉浦明弘	(情報科学)
編集委員 (Editor)	高木隆司	(物理・美術)
	種村正美	(数学・幾何学)
	本多久夫	(生物)
	宮本 潔	(医学)
	石原正三	(結晶学)

2 原稿投稿先

形の科学会誌への投稿(original paper, review paper, 講義ノートなど)は、原則的に Web からの行うものとする。Web からの投稿が不可能な場合には下記の副編集委員長宛てに送るものとする。

杉浦明弘 501-3822 岐阜県関市市平賀字長峰 7 9 5 - 1,
岐阜医療科学大学 保健科学部 放射線技術学科

Phone: 0575-22-9401 (内線: 722), Email: asugiura@u-gifu-ms.ac.jp

いずれの場合も、投稿から一週間以内に受け付けた旨の連絡が届かない場合には上記副編集長宛てに問い合わせるものとする。

3 投稿論文の処理過程

- 1) 編集事務局は、投稿論文を受け取った時点で、論文の種類・受付日を付加してオリジナル原稿1部を副編集委員長に送る。
- 2) 編集委員会は、original paper, review paper に関しては、査読者1名を決めて依頼し、修正等の過程を経て受理決定をおこなう。受理原稿は、受理日をつけて副編集委員長に送る。
- 3) 査読を必要としないもの（エッセイ、交流等）に関しては、別に査読者を決めず、編集委員もしくは編集事務局の判断で著者に修正を依頼し、受理の決定をする。受理原稿は、副編集委員長に送る。
- 4) 副編集委員長は、各号の内容の編集をおこなう。
- 5) 当面、受理原稿の掲載号は次のように決める。原稿が、次回の形の科学シンポジウム開催日の1ヶ月前までに副編集委員長に届けば、会誌の次号に掲載する。なお、著者の特別な申し出がないかぎり、原稿の著作権は形の科学会に帰属するものとする。

原稿作成要領

ワープロソフト等で容易に編集可能な原稿（もしくは修正のうえで可能となる原稿）のみを受け付けます。論文のテンプレートは <http://katachi-jp.com/gakkaishi> からダウンロードできます。テンプレートは予告なく改訂される可能性があります。投稿された原稿はそのまま印刷されますので、以下の点に注意してください。

- 1) 上下左右それぞれ約 2.5 cm のマージンを残す。
- 2) 1頁40ー45行程度、1行40字程度。原著論文、解説論文等は刷り上がり10頁、速報は刷り上がり4頁以内を原則とします（現在、第4種郵便物として出版していくために、ページ数の条件は緩和しています）。
- 3) 図や表は、本文中に張り込み、図の下に必ずキャプションを付けてください。
- 4) 最初の頁には、タイトル、氏名・所属（できれば電子メールアドレスも）・英文 Keywords（5個以内）をお書きください。英文のタイトルおよび所属を併記してください。独立した英文の abstract をつけることを歓迎します。
- 5) タイトル、氏名・所属と本文の間（英文 abstract がある場合は英文 abstract の前）には、受付日と受理日を印刷するため、上下 2.0 cm のスペースを開けてください。
- 6) 引用文献は、本文の最後に「文献」という見出しとともに出現順に記してください。
- 7) ページ番号は印刷せず、原稿の右上に鉛筆で1から通し番号をつけてください。
- 8) 以上の作成要領と大きく異なる場合は、改訂をお願いすることがあります。

形の科学会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会により許諾を受けてください。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F
FAX : 03-3475-5619 E-mail : info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。直接、形の科学会へお問い合わせください。

学会誌に関する情報は <https://katachi-jp.com/gakkaishi> で発信しています。

形の科学会誌 Vol. 37 No. 2 (2023, 3月)

発行： 形の科学会
会長： 山口 喜博
〒290-0073 千葉県市原市国分寺台中央 2-4-14
E-mail : chaosfractal@iCloud.com
編集委員長：平田 隆幸
〒910-8507 福井市文京 3-9-1
福井大学大学院工学研究科 知能システム工学専攻
phone : 0776-27-8778 fax : 0776-27-8420
E-mail : hirata@u-fukui.ac.jp
副編集委員長，編集事務局：杉浦 明弘
〒501-3822 岐阜県関市市平賀字長峰 795-1
岐阜医療科学大学保健科学部 放射線技術学科
phone : 0575-22-9401
E-mail : asugiura@u-gifu-ms.ac.jp