

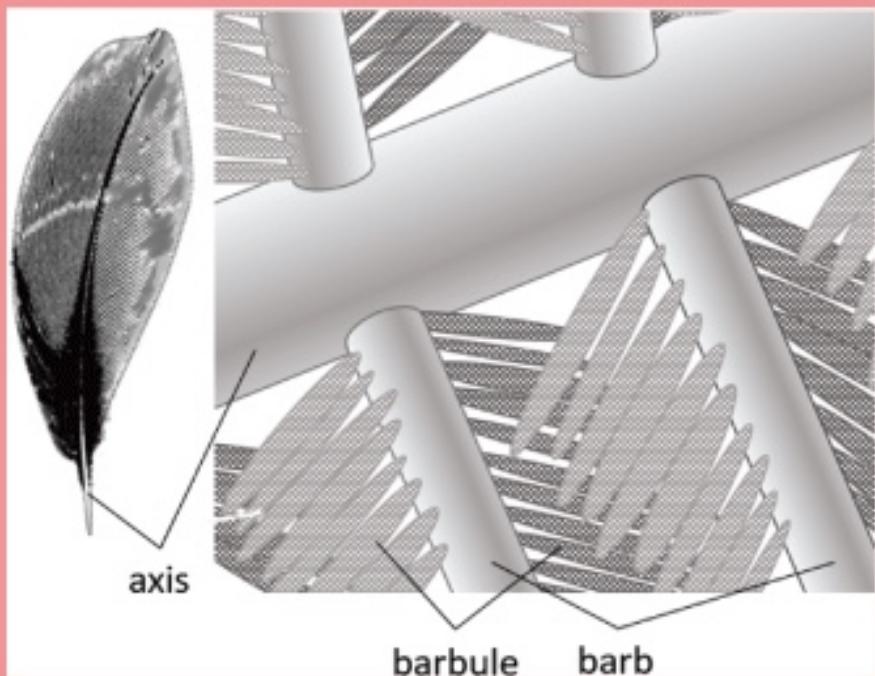
ISSN 0915-6089



# 形の科学会誌

第36卷 第2号 2021

Bulletin of the Society for Science on Form



形の科学会

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



# 形の科学会誌 第36巻 第2号 (2021)

## 目 次

### 【論文】

- 鳥の進化に伴う構造色発現部と羽毛断面の形の変化  
岡崎登志夫 ..... 67

- 誤り近傍法を用いた為替時系列における最小埋め込み次元推定に関する研究  
中根滉稀, 平田隆幸, 高田宗樹 ..... 75

### 【連載講座】

- Colaboratory で形の科学を楽しもう  
- 第4回 Python の SciPy ライブラリを使ってボロノイ分割 -  
平田 隆幸 ..... 89

### 【エッセイ】

- テレワークの時代がやってきた  
- Chrome リモートデスクトップを使ってみた  
平田 隆幸 ..... 96

### 【交流】

- Forma 将来検討委員会から  
松浦康之, 松浦執, 塩澤友規, 高田宗樹 ..... 98

### 【会告など】

- 会告 ..... 99  
原稿募集 ..... 101



# 鳥の進化に伴う構造色発現部と羽毛断面の形の変化

岡崎登志夫 ヤマザキ動物看護大学大学院

〒192-0364 東京都八王子市南大沢 4-7-2

t\_okazaki@yamazaki.ac.jp

Changes in the origin of structural color and the cross-sectional shape of bird feathers accompanied by bird evolution

Toshio Okazaki

Graduate School of Yamazaki University of Animal Health Technology

4-7-2 Minami-osawa, Hachiouji, Tokyo 192-0364

(2022年1月13日受付, 2022年2月17日受理)

**Abstract:** Certain bird feathers reflect structural color through thin-film interference or selective reflection by the sponge layer. To further understand their structural features, feathers were sliced and observed both with optical and electron microscopy. The bird feather barbules that reflect the structural color due to thin-film interference are placed in front of the barbs with the curved surface facing up, making thin-film interference of a specific wavelength easy to occur even in the case of different incident angles. The front side of the bird feather barbs, reflecting the structural color of the sponge layer, was round and exhibited a structure easily reflecting light to the surroundings. The sponge layer displayed an amorphous diamond structure and selectively reflected blue. When we applied each bird species that reflects thin-film interference and structural color derived from the sponge layer to the evolutionary phylogenetic tree, the former differentiated earlier than the latter.

**Keywords:** bird feather, structural color, barbule, barb, evolution

## 1. 緒言

現生鳥類の最大の特徴は羽を持つということで、今から1億数千万年以上前に出現した羽毛恐竜 *Anchiornis huxleyi* を起源とし、中生代白亜紀にさまざまな種に分化したと考えられている[1, 2]。現生鳥類にはさまざまな種があり、一羽の鳥羽毛にも、風切り羽や雨覆羽や尾羽などさまざまな種類があるが、その基本構造は、柱のように羽毛全体を支えている羽軸 (axis) と羽軸から斜めに伸びている羽枝 (barb) と同様に羽枝から斜めに出ている小羽枝 (barbule) の3部からなる (Fig. 1)。また、鳥は4種の視細胞を持ち、紫外線をはじめ広い範囲のさまざまな波長の色を識別することができるところから、種別、性別、個体別特徴を示すさまざまな色の羽毛を持つことが知られている[3, 4]。この鳥羽毛の色発現機構には、色素に由来するものと、ナノレベルの微細構造に由来するものがあり、前者か

ら発せられる色を色素色、後者から発せられる色を構造色と呼ぶ[5]。鳥羽毛の色素色には、フラミンゴやキンケイのカロテノイドやインコのシッタコフルビンに由来するものなどが知られており[6-8]、構造色にはカワラバトの薄膜干渉やインコやカケスなどのアモルファスダイヤモンド構造に由来するものが知られている[8-11]。本研究において我々は、美しい色の羽を持つマガモ、キンケイ、カワラバト、カケス、カワセミ、インコ羽毛の横断切片を作製し、その発色源について光学顕微鏡や電子顕微鏡を用いて観察した。その結果、構造色には小羽枝由来のものと羽枝由来のものがあり、それぞれ特徴的な構造をしていることが明らかになった。構造色の発色源に違いの認められたこれらの種を、次世代シークエンサー (NGS) を用いて作成された Jarvis ら[1]の現生鳥類の系統樹に当てはめたところ、早い段階に分化した鳥類の構造色は小羽枝型、遅い段階に分化した鳥類の構造色は羽枝型である傾向が明らかになったので報告する。

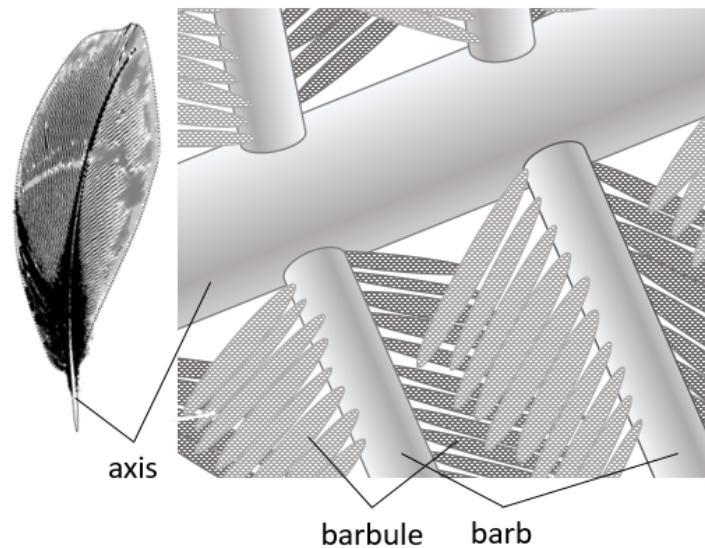


Fig. 1: Schematic diagram of the basic bird feather structure.

## 2. 対象と方法

### 2.1. 対象

カモ目 Anseriformes のマガモ (*Anas platyrhynchos*)、キジ目 Galliformes のキンケイ (*Chrysophorus pictus*)、ハト目 Columbiformes のカワラバト (*Columba livia*)、スズメ目 Passeriformes のカケス (*Garrulus glandarius*)、ブッポウソウ目 Coraciiformes のカワセミ (*Alcedo atthis*)、オウム目 Psittaciformes のインコ (*Aratinga jandaya*, *Pyrrhura perlata*) の各羽毛を材料として研究を行った。

### 2.2. 方法

#### a) 羽毛の横断切片の作製と光学顕微鏡観察

鳥羽毛をパラフィン包埋し、ユング型ミクロトームで厚さ 7.0 から 12.0  $\mu\text{m}$  に薄切り、56°Cで加熱伸展後、スライドガラスに張り付け、横断切片標本を作製した。この標本をオリンパス社の光学顕微鏡を用いて、透過又は落射照明下で観察した。

### b) 羽毛横断切片の走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察

羽毛横断切片の SEM 観察に先立って、a) のようにパラフィン切片を作製した。これに約 3 分間金を蒸着し、卓上型 SEM (TM3000; Hitachi Technologies, 東京) で観察し、写真撮影した。

### c) 羽毛横断切片の透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察

羽毛の TEM 観察に先立って、既報[10]に従ってサンプルを準備し、その観察と写真撮影は、TEM 装置 (JEM-1400Plus; JEOL Ltd, 東京) と CCD カメラ (EM-14830RUBY2; JEOL Ltd, 東京) を用いて行った。

### d) 画像フーリエ変換解析

既報[12]を参照して、ImageJ ソフトウェアを用いたスポンジ層の SEM 画像のフーリエ変換解析を行った。

## 3. 結果

### a) 小羽枝由来の構造色を反射する羽毛の横断切片の顕微鏡観察

マガモ、キンケイ、カワラバトの羽毛のパラフィン切片を作製し、光学顕微鏡観察を行ったところ、羽枝の両側の小羽枝のうちの一方の小羽枝が、羽毛のおもて面に対して羽枝と並ぶように前面に配列しており、その形は一つ一つ弯曲し、羽毛の表側にその弯曲面を見せるように分布していた。また、その小羽枝にはメラニンが多く分布し、色が濃くなっていた (Fig. 2A)。マガモの小羽枝横断切片について TEM 観察を実施したところ、均一な厚さの皮質 (cortex) の下にメラニン顆粒が密集して配列しているのが観察された (Fig. 2B)。

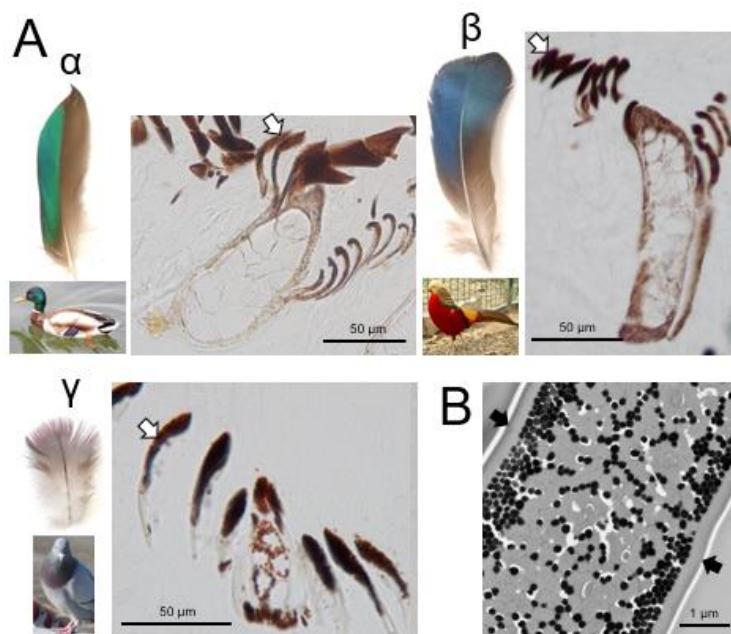


Fig. 2: Microscopic observation of cross-sectioned barbules reflecting the structural color.

A,  $\alpha$ : mallard (*Anas platyrhynchos*) feather and its cross-section;  $\beta$ : golden pheasant (*Chrysolophus pictus*) feather and its cross-section;  $\gamma$ : dove (*Columba livia*) feather and its cross-section. White arrows indicate the barbules. B, SEM image of cross-sectioned mallard's barbule. Black arrows indicate the cortex.

### b) 羽枝由来の構造色を反射する羽毛の横断切片の顕微鏡観察

カケス、カワセミ、インコ類の羽毛のパラフィン切片を作製し、油浸オイルを垂らしたうえで光学顕微鏡観察を行ったところ、羽枝の上端部が丸く幅広になっており、髓質部にはメラニン顆粒が分布していた(Fig. 2A: Top)。この構造上の特徴は、インコの青色と緑色羽毛でも同様であった(Fig. 2B: Top)。これらの羽毛切片について、油浸オイルを垂らさずに落射照明で観察すると、皮質と髓質の間の部分から青色の光が反射した(White arrows in Fig. 2A and B)。カケス、カワセミ、インコの皮質と髓質の間をSEMで観察したところ、たくさんの細かな空洞を有するスポンジ層が確認された。この写真をImageJソフトウェアを用いてフーリエ変換解析したところ、SEM画像右下に挿入したようなドーナツ型の分布図が得られ、このスポンジ層はアモルフォスダイヤモンド構造であると推定された(Fig. 2A and B: Bottom)。インコの緑色や黄色羽毛の皮質には黄色色素が分布し、黄色羽毛では、髓質部にメラニン顆粒は認められなかった(Fig. 2B)。

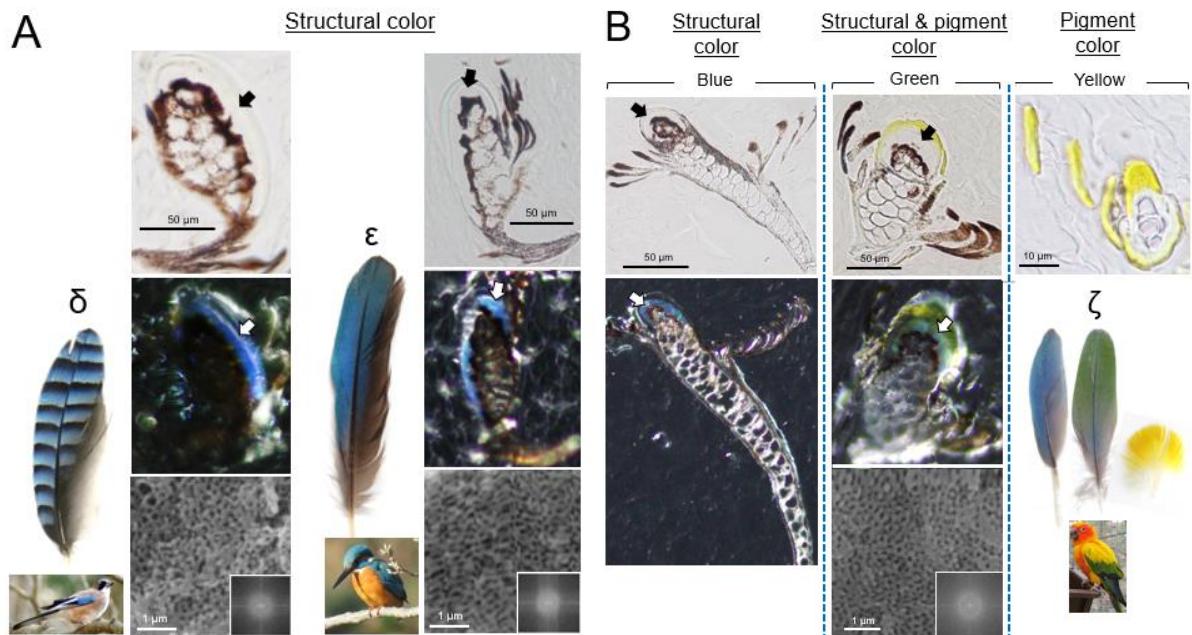


Fig. 3: Microscopic observation of cross-sectioned barbs reflecting the structural color.

A, Cross-sections of jay (*Garrulus glandarius*) and Kingfisher (*Alcedo atthis*) feathers; B: parakeet (*Aratinga jandaya*, *Pyrrhura perlata*) feathers. Top: optical microscopic images by transmitted illumination (Black arrows indicate the spongy layer.); middle: optical microscopic images by epi-illumination (White arrows indicate the blue light from the spongy layer.); bottom: SEM images of the spongy layers. (Inset) Close-up view of the Fourier transform of the SEM image.

## 4. 考察

現生鳥類の羽毛の色は、色素に由来するもの（色素色）とナノレベル微細構造に由来するもの（構造色）とがある[5]。色素色の色素源としてはフラミンゴやキンケイのカルテノイド[6, 7]やインコのシッタコフルビン[8]などが知られており、構造色としては小羽枝皮

質の薄膜干渉に由来するものと羽枝スポンジ層の選択反射に由来するものが知られている [9-11]。マガモ、キンケイ、カワラバト羽毛の横断切片を光学顕微鏡で観察したところ、羽枝先端部は細くなっていて、光を反射しにくい構造になっていた。小羽枝は羽枝と並ぶように前面に配列し、光を反射しやすいようになっていた。また、その小羽枝の形は弯曲し、おもて面からの光の入射角度の変化に応じて一定の厚さで薄膜干渉を起こしやすい構造になっていた。さらに皮質下にはたくさんのメラニン顆粒が配列し、薄膜干渉の光を反射しやすい構造になっていた (Fig. 2, Fig. 4A)。以上のように、マガモ、キンケイ、カワラバト羽毛は、これまで多くの研究者によって報告されたように [5, 9, 10]、小羽枝の薄膜干渉由来の構造色反射に適した形をしていて。次にカケス、カワセミ、インコ羽毛の横断切片を、油浸オイルを垂らして光学顕微鏡で観察したところ、羽枝の表側の先端が丸くなり、光を羽枝周囲に均等に反射しやすい構造になっていた (Fig. 3)。油浸オイルを垂らさずに落射照明下で光学顕微鏡観察を行ったところ、カケス、カワセミ、インコの青色羽毛とインコの緑色羽毛の皮質と髓質の間が青色の光を反射した。油浸オイルを垂らすとこの青色構造色が消えたことからこの部分は細かい空洞構造から成ると推定され、走査型電子顕微鏡で観察するとアモルフォスタダイヤモンド構造が確認された。この構造的特徴は、SEM 画像のフーリエ変換でも確認された。これらの結果から、これまで多くの研究者によって報告されたように [5, 8, 11]、カケス、カワセミ、インコ羽毛は、羽枝のアモルファスダイヤモンド構造に由来する青色構造色を反射することが明らかになった。またインコの緑色羽毛の皮質には黄色い色素が分布しており、スポンジ層の青色構造色と皮質の黄色色素色の融合によって、羽毛の緑色が形成されているものと考えられた (Fig. 4B)。インコ羽毛では皮質の色素の含量が増すとオレンジからさらに赤色に近い色に変化することが知られており、色素色と青色構造色の融合によってさらに多様な色発現が可能になっていると考えられた。

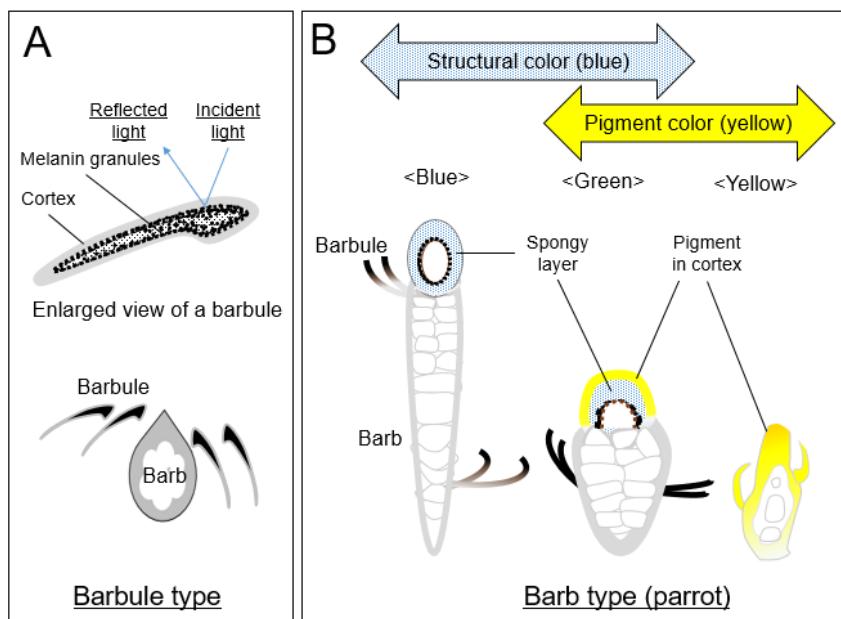


Fig. 4: Schematic diagram of the cross-sectioned barbule and barb microstructures.

A, Barbule type. B, Barb type (parakeet). The blue feather bars had a spongy layer, the yellow feather bars had a cortex containing yellow pigment, and the green feather bars had both.

小羽枝型構造色と羽枝型構造色を反射する各種現生鳥類を、Jarvis らの現生鳥類の進化の系統樹[1]に当てはめてみると、小羽枝型構造色を反射する種は系統樹の左側に、羽枝型構造色を反射する種は系統樹の右側に偏っていた (Fig. 5)。この系統樹では、左側であればあるほど古い時代に分化した種であることを示し、カモ目 Anseriformes やキジ目 Galliformes は 6 千 6 百万年前頃に分化し、スズメ目 Passeriformes やスズメ亜目 Passeri はそれより新しい 3 千万年から 6 千万年前に分化しており、小羽枝型構造色は羽枝型構造色に先行して出現したものと考えられた。小羽枝に比べて、羽毛の柱となる羽枝の構造色発現には、より大きな構造変化が必要となるため、進化上遅く出現したのかもしれない。また、羽枝による色発現では、インコのように色素色と構造色の融合が可能になっており、一層複雑化してきていることも明らかになった。

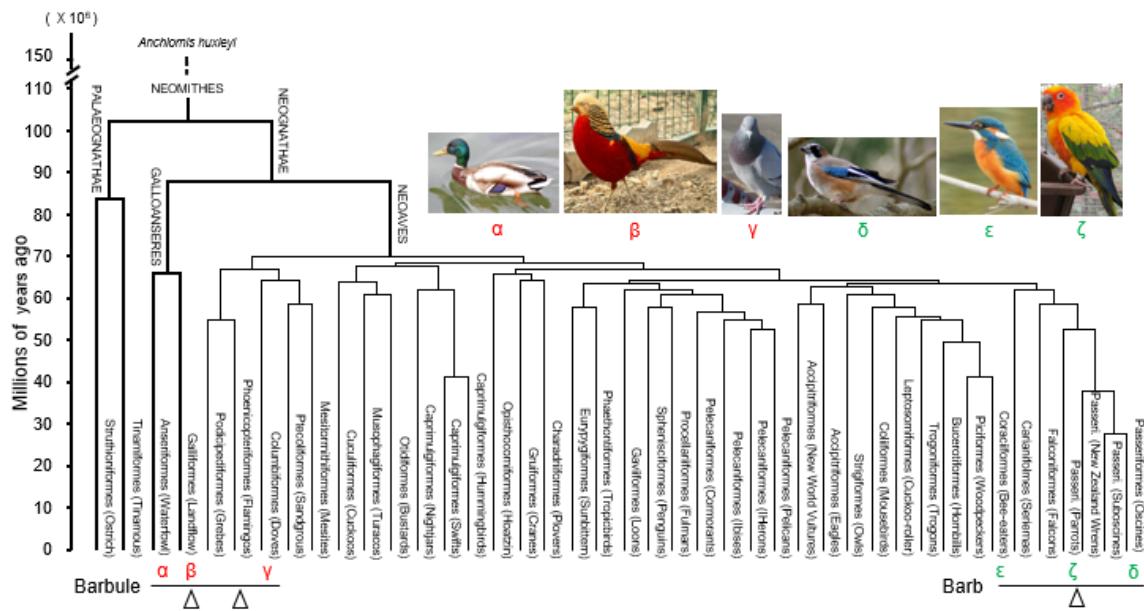


Fig. 5: Bird phylogenetic tree adapted from Jarvis, E.D. et al. (2014).

$\alpha - \gamma$  : barbule type;  $\delta - \zeta$  : barb type. White triangles indicate the bird species with pigments other than melanin on their wings.

## 参考文献

- [1] Jarvis, E.D., et al., Whole-genome analyses resolve early branches in the tree of life of modern birds, *Science* 346, Issue 6215, 1253293, 2014.
- [2] Zhang, F., Kearns, S.L., Orr, P.J., Benton, M.J., Zhou, Z., Johnson, D., Xu, X. and Wang, X., Fossilized melanosomes and the colour of Cretaceous dinosaurs and birds, *Nature*, doi: 10.1038/nature08740, 2010.
- [3] Moore, B.A., Baumhardt, P., Doppler, M., Randolet, J., Blackwell, B.F., DeVault, T.L., Loew, E.R. and Fernández-Juricic, E., Oblique color vision in an open-habitat bird: spectral sensitivity, photoreceptor distribution and behavioral implications, *J. Exp. Biol.* 215, 3442-3452, 2012.
- [4] Delhey, K., Burger, C., Fiedler, W. and Peters, A., Seasonal changes in colour: A comparison of structural, melanin- and carotenoid-based plumage colours, *PLoS ONE* 5, Issue 7, e11582, 2010.

- [5] 木下修一, 生物ナノフォトニクス—構造色入門—, 朝倉書店 (2010) .
- [6] Fox D.L., Astaxanthin in the American flamingo, *Nature* 175, 942-943, 1955.
- [7] Gao, G.Q., Song L.S., Tong, B. and Li, G.P., Expression levels of GSTA2 and APOD genes might be associated with carotenoid coloration in golden pheasant (*Chrysolophus pictus*) plumage, *Zool. Res.* 37, 144-150, 2016.
- [8] Tinbergen, J., Wilts, B.D. and Stavenga, D.G., Spectral tuning of Amazon parrot feather coloration by psittacofulvin pigments and spongy structure, *J. Exp. Biol.* 216, 4358-4364, 2013.
- [9] Yoshioka, S., Nakamura, E. and Kinoshita, S., Origin of two-iridescence in rock dove's feather, *J. Phys. Soc. Jp.* 76, 013801, 2007.
- [10] Okazaki, T., Green and purple structural color development by thin film interference and eumelanin distribution of dove feathers, *Int. J. Anal. Bio-Sci.* 7, 76-83, 2019.
- [11] Okazaki, T., Role of spongy layer and melanin granule arrangement on the development of blue structural color of bird feathers, *Int. J. Anal. Bio-Sci.* 8, 9-17, 2020.
- [12] 石塚和夫, 電子顕微鏡データの定量解析, *顕微鏡* 44, 47-51, 2008.



# 誤り近傍法を用いた為替時系列における 最小埋め込み次元推定に関する研究

中根滉稀\*, 平田隆幸, 高田宗樹

福井大学大学院工学研究科 総合創成工学専攻

〒910-8507 福井市文京3丁目9-1

\*nkd21007@u-fukui.ac.jp

A Study of Minimum Embedded Dimension Estimation  
in Exchange Rate Time Series Using False Nearest Neighbors Method

Kohki Nakane, Takayuki Hirata, and Hiroki Takada

Department of Advanced Interdisciplinary Science and Technology,

Graduate School of Engineering, University of Fukui

3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8507, Japan

(2022年2月7日受付, 2022年3月9日受理)

**Abstract:** In the False Nearest Neighbors (FNN) method, when the change rate of the nearest neighbor distance is higher than the predetermined threshold, it is defined as "false neighborhood". It is necessary to set a threshold value for each time series to be calculated, however, the problem is that it is arbitrary.

In our method, we focus on the median of the rate of change of the nearest neighbor distance and propose a threshold determination method without arbitrariness. In this study, we estimated the minimum embedding dimension for the reconstruction of the attractor which describes exchange rate time series. The results of estimating the minimum embedding dimension for the exchange time series using the FNN method show that the minimum embedding dimension is 6 when the threshold is set to 8. It was also higher than that at other thresholds. On the other hand, the minimum embedding dimension was estimated to be 3 in the proposed method.

**Keywords:** False Nearest Neighbors(FNN), Attractor, Foreign Exchange(FX), Non-Linear

## 1. 緒言

### 1.1. 近年の日本円を取り巻く外国為替市場の動向

2019年における通貨ペア別為替取引量が、国際決済銀行(BIS)の世界為替取引高調査[1]により示された(Table 1)。この調査によると、米ドル/日本円(USDJPY)の為替取引量のシェアは、首位であるユーロ/米ドル(EURUSD)に続き二番目となっており、日本のGDP

成長率が鈍化する中においても依然として高いシェアを誇っていることがわかる。また、日本円に関する為替取引の内訳 [1] [2]をみてみると、為替スワップ取引 [3]が全体の52%を占めていることがわかる。この為替スワップ取引では、直物(スポット)為替と先物(フォワード)為替の売買を同時に組み合わせた取引を行うことで、先物レートの作成、通貨交換による資金調達、為替変動リスクを回避するためのヘッジとして用いられている。

一方、私たちがニュースなどで耳にする為替レートに着目すると、他国通貨に対する日本円の実質的な価値を示す実質実効為替レートでは、1970年から1995年にかけて上昇し、以降は円安基調に推移していることがわかる [4](Fig. 1)。尚も現在、円安に推移している理由の一つとして、国内の景気低迷とデフレの長期化が影響しているともみられている [5]。

Table 1: 2019年4月における通貨ペア別為替取引量シェア(上位5通貨ペア)

通貨ペア	シェア(%)
ユーロ/米ドル(EURUSD)	24.0
米ドル/日本円(USDJPY)	13.2
英ポンド/米ドル(GBPUSD)	9.6
豪ドル/米ドル(AUDUSD)	5.4
米ドル/加ドル(USDCAD)	4.4



Fig. 1: 1970年以降の日本円における実質実効為替レート指数の推移  
(日本銀行「時系列統計データ検索サイト」より作成)

## 1.2. 為替時系列

為替レートは、外国為替市場において各国の異なる通貨同士が交換される際の交換比率である。日本においては、1971年のニクソン・ショックまで1ドル=360円で交換比率が一定(固定相場制)であったが、1973年から変動相場制に移行した。変動相場制においては、誰かが一方的、恣意的に決めるわけではなく、商品・サービスの価格決定と同様に、市場

における需要と供給のバランスによって決まる。この為替レートの変動をある一定の時刻毎に記録されたものを為替時系列という。為替時系列の変動の特徴として、差分時系列の度数分布が、ガウス分布に対し尖度が高い点が挙げられる。

為替レート変動の長期的な傾向を説明する理論の一つに購買力評価モデルというものがある。購買力平価とは、ある一定の商品やサービスを購入できる金額を異なる通貨間でそれぞれ等しい価値をもつと考えて決められる交換比率である [6]。スウェーデンの経済学者グスタフ・カッセルが提唱した考え方で、関税や非関税障壁などが存在せず、自由な貿易が行われていれば、為替レートは自動的に購買力平価の水準に収束するというものである。しかしながら、短期的な為替レートの決定を説明する上では、商品物価の変動が緩やかなため、このモデルを用いた説明には限界がある。

### 1.3. 目的

一般に、時系列の過去の変動から未来の変動を予測する研究は多方面で行われており、代表的な例として、自己回帰和分移動平均モデル(ARIMA モデル)がある。また近年では、非常に多数のパラメータとビッグデータを駆使し、ニューラルネットワークモデルの一つである、LSTM(Long Short Term Memory)と呼ばれる回帰型ネットワークを時系列予測に応用した例が多数報告されている [7] [8]。為替時系列をはじめとした金融時系列に対しても、これらの手法は取り入れられているが、顕著な結果を示す報告例は数多くない。多数のパラメータを用いたとしても、日足ベースの時系列予測ではビッグデータと言えるほどの巨大なデータとはならず、時系列の性質を学習させるには不十分である可能性がある。そのため、予測を行うには対象となる時系列の性質を理解することが求められる。

為替時系列を記述する数理モデルを説明する上で、そのシステムが依存する次数(モデルの独立変数)の推定は欠かせない。非線形なシステムに対して次数推定を行う手法はいくつかあるが、代表的なアルゴリズムの一つに、原理が単純で計算コストが比較的低い偽最近傍法(False Nearest Neighbors method 以下、FNN) [9]がある。この FNN 法は、時系列を逐次的に高次元の遅延座標系へ埋め込み、低次元での遅延座標ベクトルの近傍が高次元での遅延座標ベクトルでは近傍とならない偽の近傍(誤り近傍)がなくなる埋め込み次元を求ることによってダイナミカルシステムの次数の推定を行う手法である。FNN 法では、埋め込み次元を上げる際に、ある 2 点間の距離の変化率が、あらかじめ設定した閾値を超える場合を「誤り近傍」またその逆を「真近傍」と決定するが、この場合閾値の選択に任意性があると言える。また、ノイズの影響を受けやすいとの指摘もある [10]。

そこで、本論文では為替時系列の予測に向け、時系列の性質の理解を深めることを目的に、為替時系列を記述する数理モデルの次数推定を行う。また、次数推定を行う際に使用する FNN 法において、閾値選択の任意性を排除する手法を提案する。

## 2. 最小埋め込み次元推定手法

### 2.1. 偽最近傍(FNN)法

最小埋め込み次元を推定する手法として、1992 年に Kennel ら [9] によって提案された。特色としては、原理が単純で多くの非線形なシステムに対し有効に働く一方、あらゆる問

題に対し適切な閾値を設定する必要がある。

ここで、FNN法の計算手順を解説する。

**計算手順①**：ターケンスの埋め込み法を用いて、解析対象の時系列アトラクタを再構成する。サンプル数が $N$ である対象時系列を $x$ 、遅れ時間を $\tau$ 、埋め込み次元を $d$ とし、 $x$ に対する $d$ 次元アトラクタを以下のように $\{\mathbf{y}_d(t)\}$ にて再構成する。

$$\mathbf{y}_d(t) = (x(t), x(t+\tau), \dots, x(t+(d-1)\tau)), \quad (1)$$

**計算手順②**： $\mathbf{y}_d(t)$ の最近傍ベクトルを $\mathbf{y}_d^n(t)$ として、その時刻 $t'$ を下記の距離基準 $D_d(t, t')$ に従い求める。

$$D_d(t, t') = |\mathbf{y}_d(t) - \mathbf{y}_d(t')|, \quad 0 \leq t' \leq N - (d-1)\tau, \quad t \neq t', \quad (2)$$

$$t' = \underset{0 \leq i \leq N - (d-1)\tau}{\operatorname{argmin}} D_d(t, i), \quad (3)$$

$$\mathbf{y}_d^n(t) = \mathbf{y}_d(t'), \quad (4)$$

ただし、ある集合 $A$ 上の関数 $f(x)$ が最小となる $x$ の集合を下記のように表す。

$$\underset{x \in A}{\operatorname{argmin}} f(x) = \{x \in A \mid f(x) = \min_{y \in A} f(y)\}, \quad (5)$$

**計算手順③**：埋め込み次元が $d+1$ の場合の $\mathbf{y}_{d+1}(t)$ と $\mathbf{y}_{d+1}^n(t)$ の距離 $D_{d+1}(t, t')$ を求める。

$$D_{d+1}(t, t') = |\mathbf{y}_{d+1}(t) - \mathbf{y}_{d+1}^n(t)|, \quad (6)$$

**計算手順④**：埋め込み次元が増加した際の近傍点距離の変化率 $D_{d+1}(t, t')/D_d(t, t')$ に対し、設定した閾値 $R_{tol}$ 以上となるベクトルの数がアトラクタの中で占める割合(誤り近傍率)を求める。

$$\frac{D_{d+1}(t, t')}{D_d(t, t')} > R_{tol}, \quad (7)$$

**計算手順⑤**：①-④の操作を予め設定した最大埋め込み次元数回繰り返し、低次元から数えて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する。

## 2.2. 提案手法

先述した計算手順によると、計算手順④で増加率が閾値 $R_{tol}$ を超えた場合に誤り近傍としているが、解析対象となる時系列毎に設定する必要がある。そこで、本論文ではこの閾値 $R_{tol}$ に置き換わる新基準として、誤り近傍変化率 $M_{tol}$ を提案する。④では、次元増加に伴う近傍点距離の増加率を求め、その増加率が閾値 $R_{tol}$ を超過するベクトルの割合を算出した。本提案手法では、近傍距離の増加率を求めるところまでは同じだが、計算可能な時刻 $T = \{t \mid 0 \leq t \leq N - (d-1)\tau\}$ に対して以下の計算手順に従って解析を行う。

**計算手順④'**：時刻 $T$ におけるアトラクタのベクトル $\mathbf{y}_d(T)$ に対し最近傍となるベクトル $\mathbf{y}_d^n(T) = \mathbf{y}_d(T')$ について、埋め込み次元の増加に伴う近傍距離の変化率を求め、それらに常用対数を適用した後の値の中央値を $M_{tol}$ とする。

$$M_{tol} = \operatorname{Med} \left( \log_{10} \frac{\mathbf{D}_{d+1}(T, T')}{\mathbf{D}_d(T, T')} \right), \quad (8)$$

**計算手順⑤’：**埋め込み次元 $d$ を増加させていく際に、この $M_{tol}$ が最初に 1 以下となる次元を、誤り近傍のない埋め込みが成立した次元とみなし、最小埋め込み次元とする。

一般に時系列はノイズを含む場合がある。同種のシステムから生成された時系列であっても、観測方法によってノイズレベルに大小の差が生じる可能性が考えられる。例えば、よりノイズレベルの高い時系列に対して、FNN 法による最小埋め込み次元を推定する場合を考える。ノイズレベルが高いため、再構成されたアトラクタの軌道は不安定となる。この時、次元増加に伴う最近傍距離の変化率の分散は増加する。従って、設定した閾値を超過する(誤り近傍となる)点が増加してしまい、ノイズレベルの低い観測時系列に対し、推定される最小埋め込み次元が高くなることが予想される。一方、提案手法では、次元増加に伴う最近傍距離の変化率に着目した。そして、変化率が高い、いわゆる誤り近傍である場合では数値の精度が求められない点に加え、工学分野において広く用いられている点を考慮し常用対数を適用し、それらの中央値を指標とした。これにより、分散の増加による影響は少ないと考えられる。また、真近傍であったとしてもノイズの影響を受け近傍距離が大きくなる場合に、真近傍が誤り近傍である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推定している。そのため、提案手法では、閾値設定による任意性を排除した、より客観的な評価基準になりうると考えられる。

### 3. 方法

#### 3.1. 対象時系列

為替時系列の次数推定を行うために、解析の対象となる時系列について紹介する。1993 年 5 月 12 日から 2022 年 1 月 14 日までの期間を対象に、BIS の調査による通貨ペア別為替取引量シェアの高い上位 5 通貨ペアを選択し、日足終値を扱うこととする。具体的な通貨ペアは、取引量シェア上位順に、ユーロ/米ドル(EURUSD)、米ドル/日本円(USDJPY)、英ポンド/米ドル(GBPUSD)、豪ドル/米ドル(AUDUSD)そして、米ドル/加ドル(USDCAD)である。また、提案手法の利点として挙げている、ノイズレベルに応じた閾値設定の必要がないという点を検証するため、4 次のルンゲクッタ法により Van-der-Pol 方程式 [11]の数値解を求め、これに白色ノイズを付加した時系列を用いた。この Van-der-Pol 時系列を生成する際のパラメータは、変位 $x = 0.01$ 、初速度 $v = 0.1$ 、時間差分 $\Delta t = 0.01$ 、減衰係数 $\mu = 0.1$ 、サンプル数 $N = 15000$ である。また、付加する白色ノイズは差分時系列の標準偏差に対し 0%、10%、100%、1000% の 4 種用意した(Fig.2)。

#### 3.2. 評価方法

初めに、為替時系列を記述する数理モデルの理解のための次数推定を行う。FNN 法を用いた為替時系列の最小埋め込み次元推定のため、対象の為替時系列に対し閾値 $R_{tol} = 1, 2, 4, 8$ を複数設け、各場合の最小埋め込み次元を求める。また提案手法による最小埋め込み次元の推定を行う。次に、提案手法のノイズに対するロバスト性を検証するため、Van-der-Pol 方程式の数値解を用いて FNN 法と提案手法の比較検討を行う。

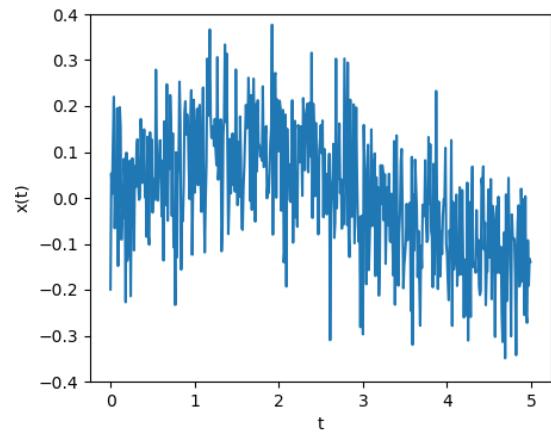
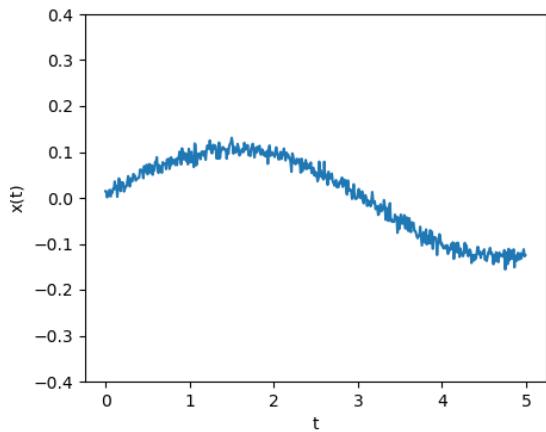
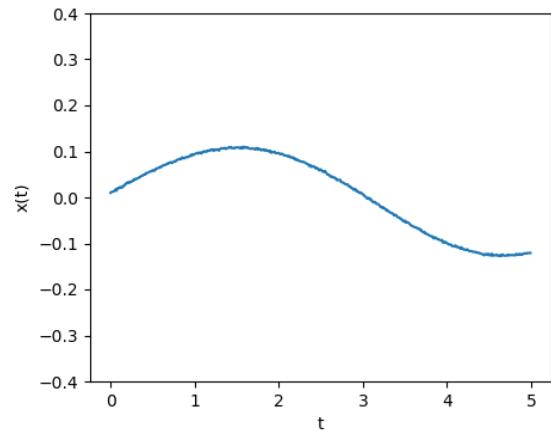
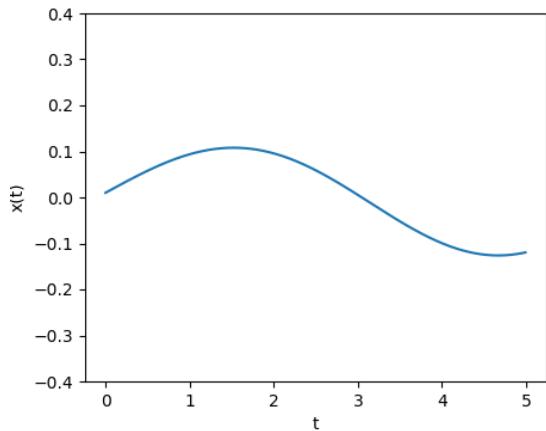
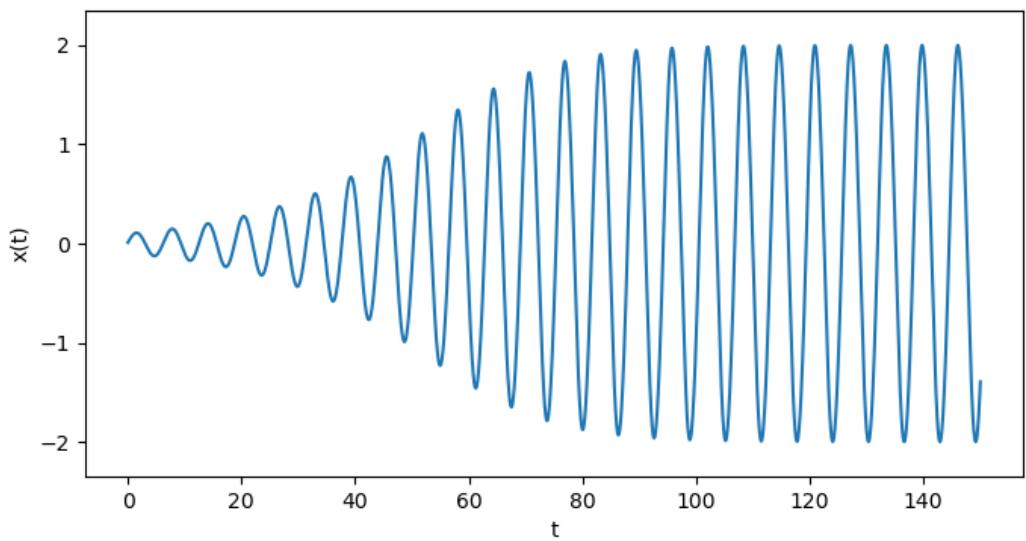


Fig. 2: 検証に使用した Van-der-Pol 時系列

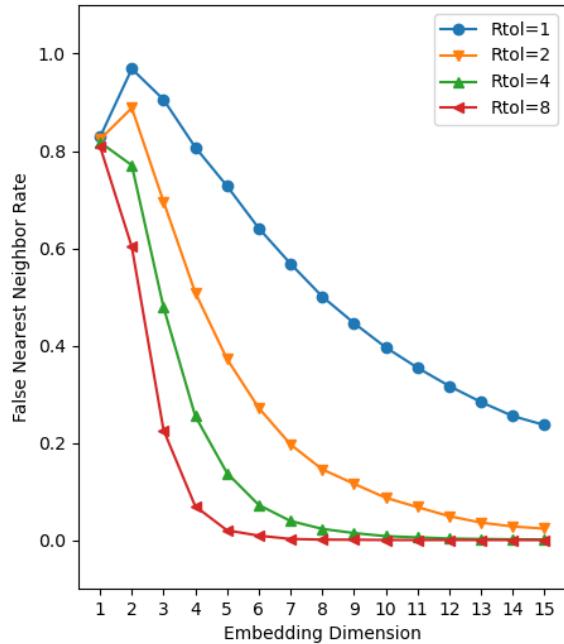
- a) ノイズレベル 0%, b) ノイズレベル 0%(先頭 500 点),
- c) ノイズレベル 10%(先頭 500 点), d) ノイズレベル 100%(先頭 500 点),
- e) ノイズレベル 1000%(先頭 500 点)

## 4. 結果

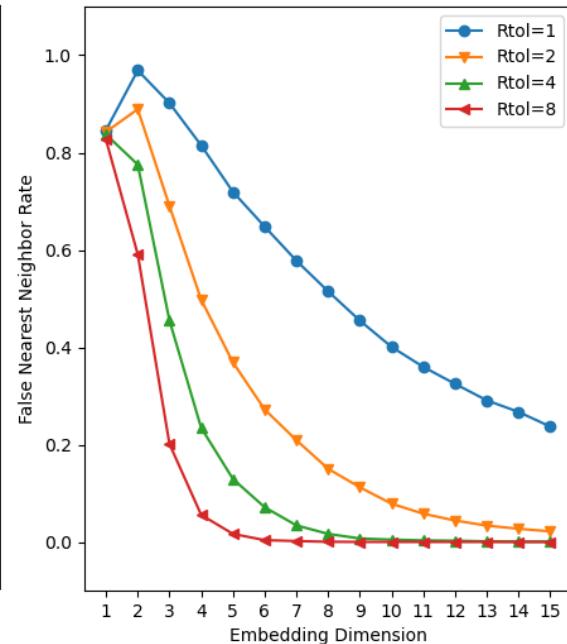
### 4.1. FNN 法による為替時系列の最小埋め込み次元推定

対象となる 5 通貨ペアの為替時系列に対して、FNN 法(計算手順①-④)を用いて最小埋め込み次元の推定を行った(Fig.3)。複数の閾値  $R_{tol} = 1, 2, 4, 8$  を設け、埋め込み次元の増加に伴う誤り近傍率の変動の推移を求めた。すべての通貨ペアにおいて、 $R_{tol} = 8$  の時に誤り近傍率は 0 を示すため、この場合の最小埋め込み次元は 6 といえる。

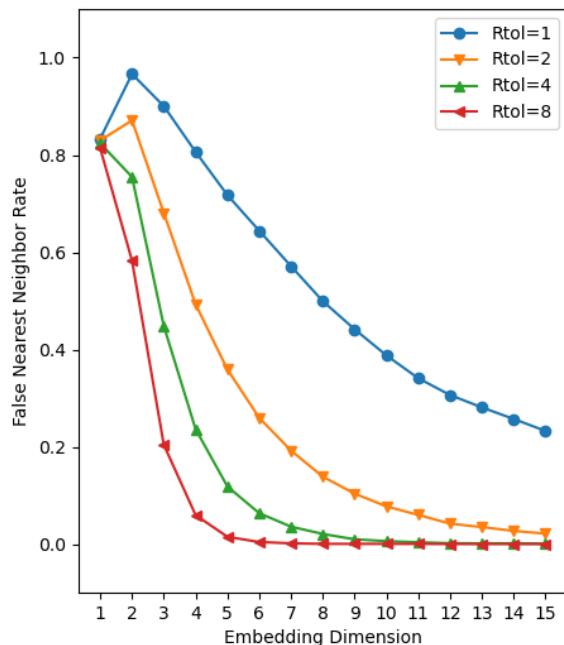
a)



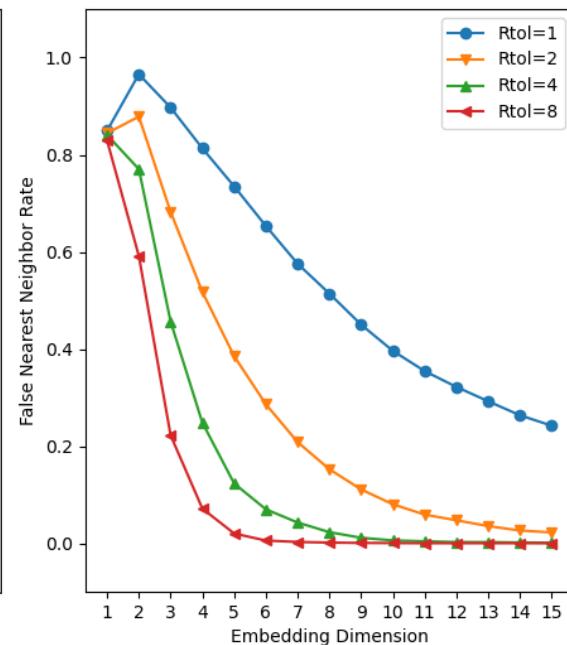
b)



c)



d)



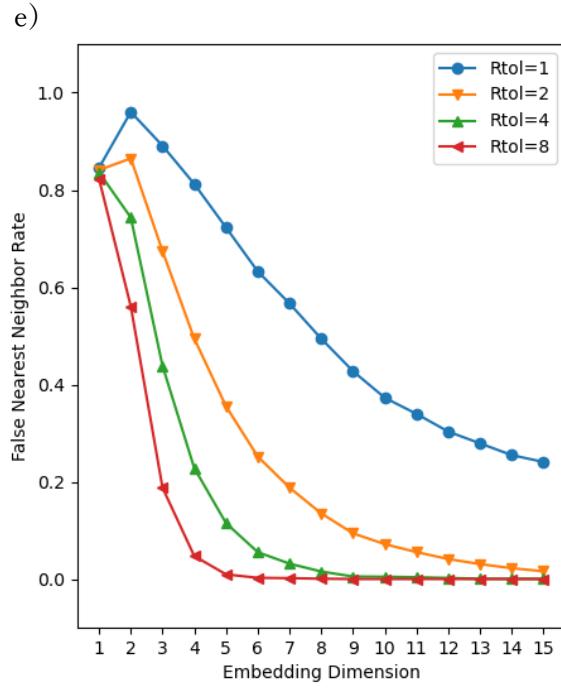
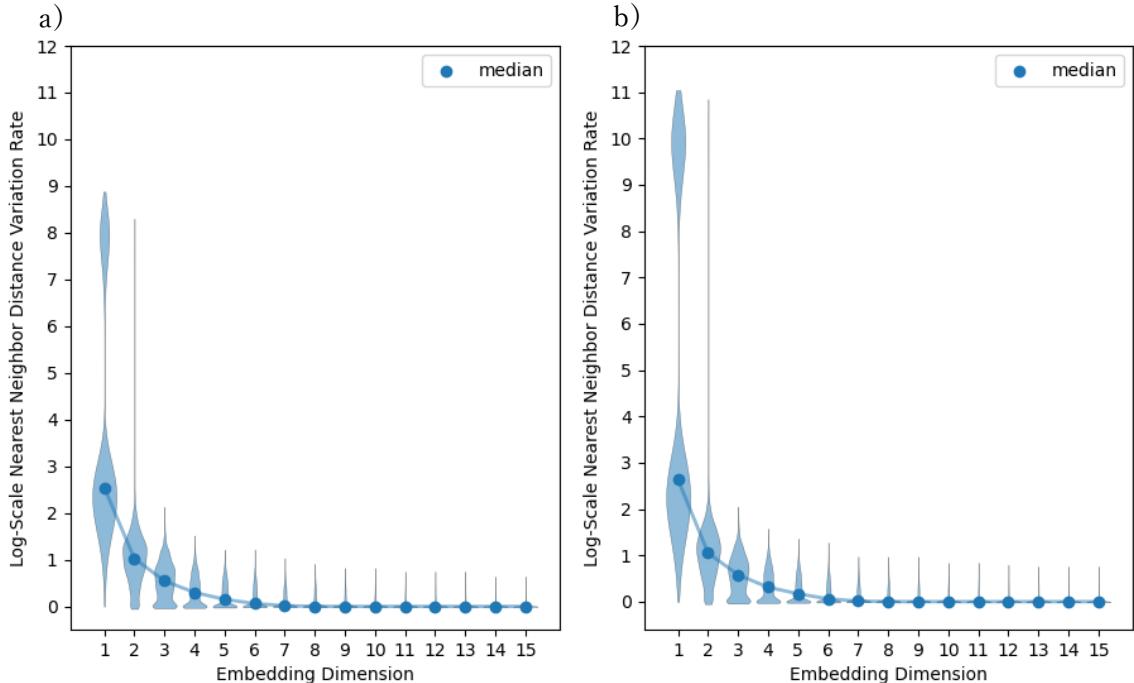


Fig.3: 各為替通貨ペアの誤り近傍率の推移

a)EURUSD, b)USDJPY, c)GBPUSD, d)AUDUSD, e)USDCAD

#### 4.2. 提案手法による為替時系列の最小埋め込み次元推定

対象となる 5 通貨ペアの為替時系列に対して、提案手法①-③④'⑤'による最小埋め込み次元の推定を行った(Fig.4)。すべての通貨ペアにおいて埋め込み次元が 3 となる時、初めて評価値  $M_{tol}$  が 1 を下回るため、最小埋め込み次元は 3 であるといえる。



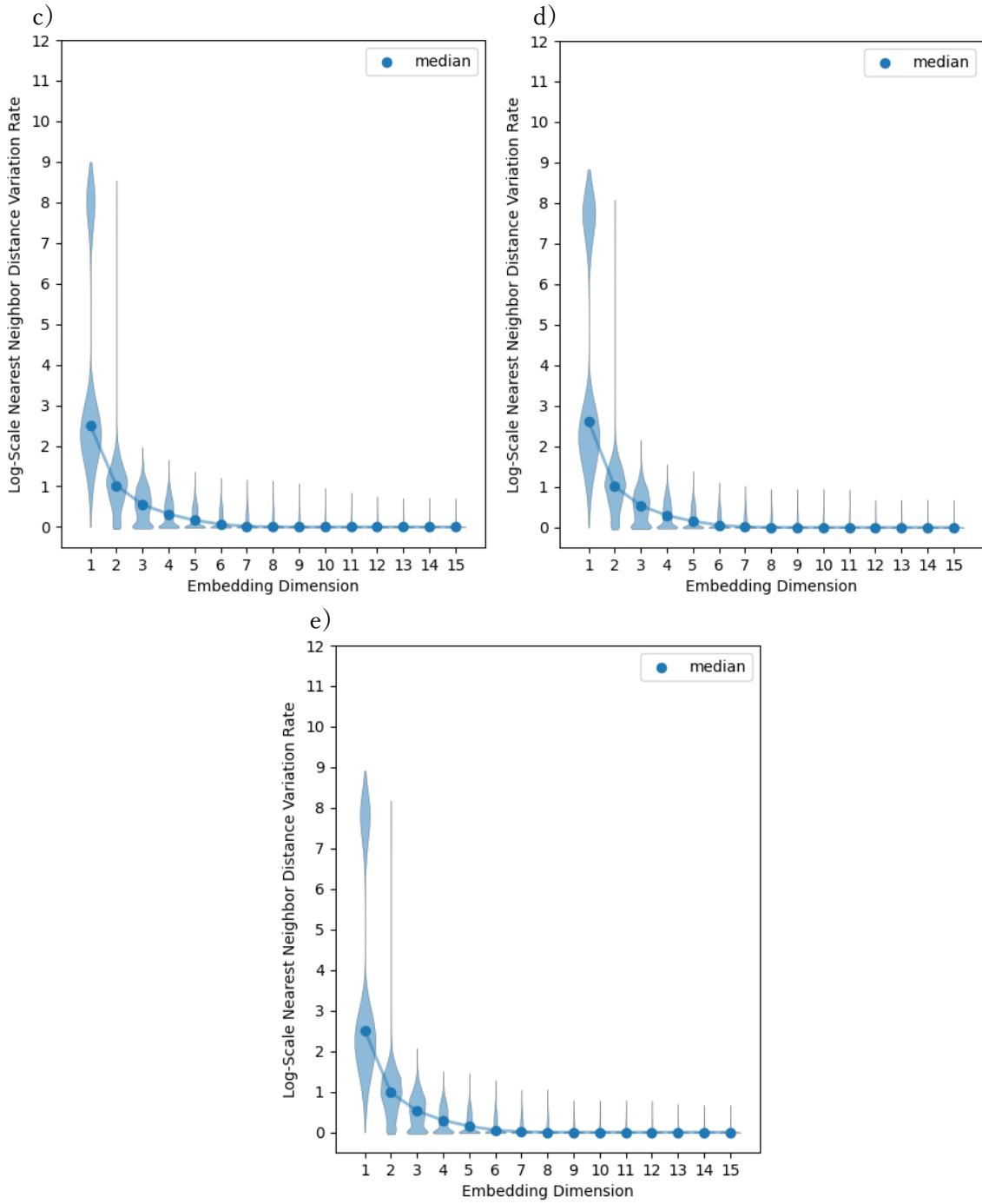


Fig.4: 各為替通貨ペアの最近傍距離変化率の推移  
a)EURUSD, b)USDJPY, c)GBPUSD, d)AUDUSD, e)USDCAD

#### 4.3. FNN 法による Van-der-Pol 方程式の最小埋め込み次元推定

対象時系列に加えるノイズレベルを 0%, 10%, 100%, 1000% と段階的に大きくしていくと、0% のノイズを加えた時系列では  $R_{tol}$  が 4,8 の場合、埋め込み次元が 2 の時に初めて誤り近傍が消失したため、対象時系列の最小埋め込み次元が 2 となった。また、 $R_{tol}$  が 2 の場合、最小埋め込み次元は 3 となり、 $R_{tol}$  が 1 の場合では、誤り近傍が消失する次元は 15 次元以内にみられなかった。他の条件は Fig.5 の通りである。

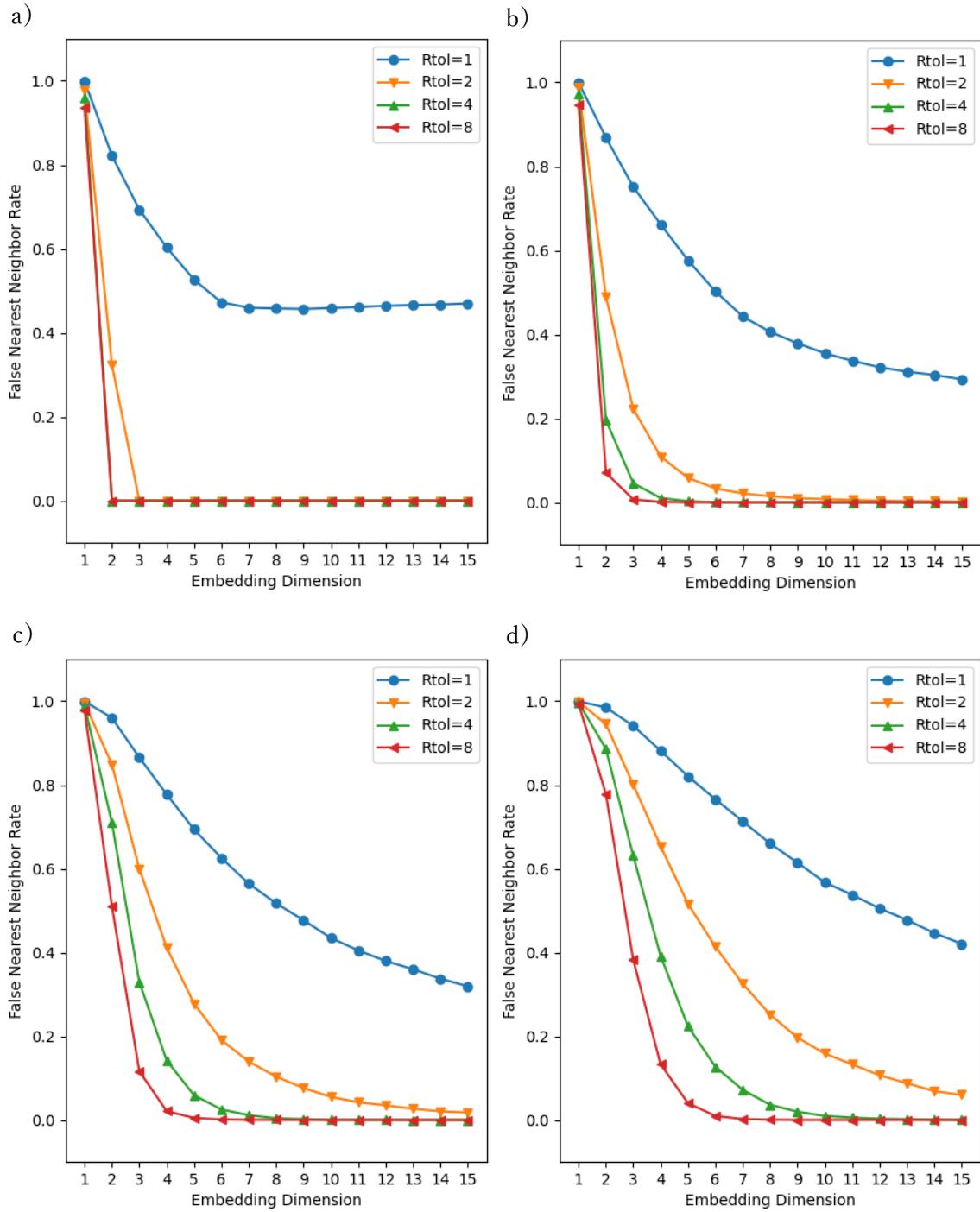


Fig.5: 対象時系列に加えるノイズレベルがそれぞれ  
a)0%, b)10%, c)100%, d)1000%の時の誤り近傍率の推移

#### 4.4. 提案手法による Van-der-Pol 方程式の最小埋め込み次元推定

対象時系列に加えるノイズレベルを 0%, 10%, 100%, 1000% と段階的に大きくしていくと、0%, 10%, 100% のノイズを加えた時系列では埋め込み次元が 2 の時に基準値  $M_{tol}$  が 1 を下回り、対象時系列の最小埋め込み次元が 2 となった (Fig.6)。一方、1000% のノイズを加えた時系列では最小埋め込み次元は 3 となった。

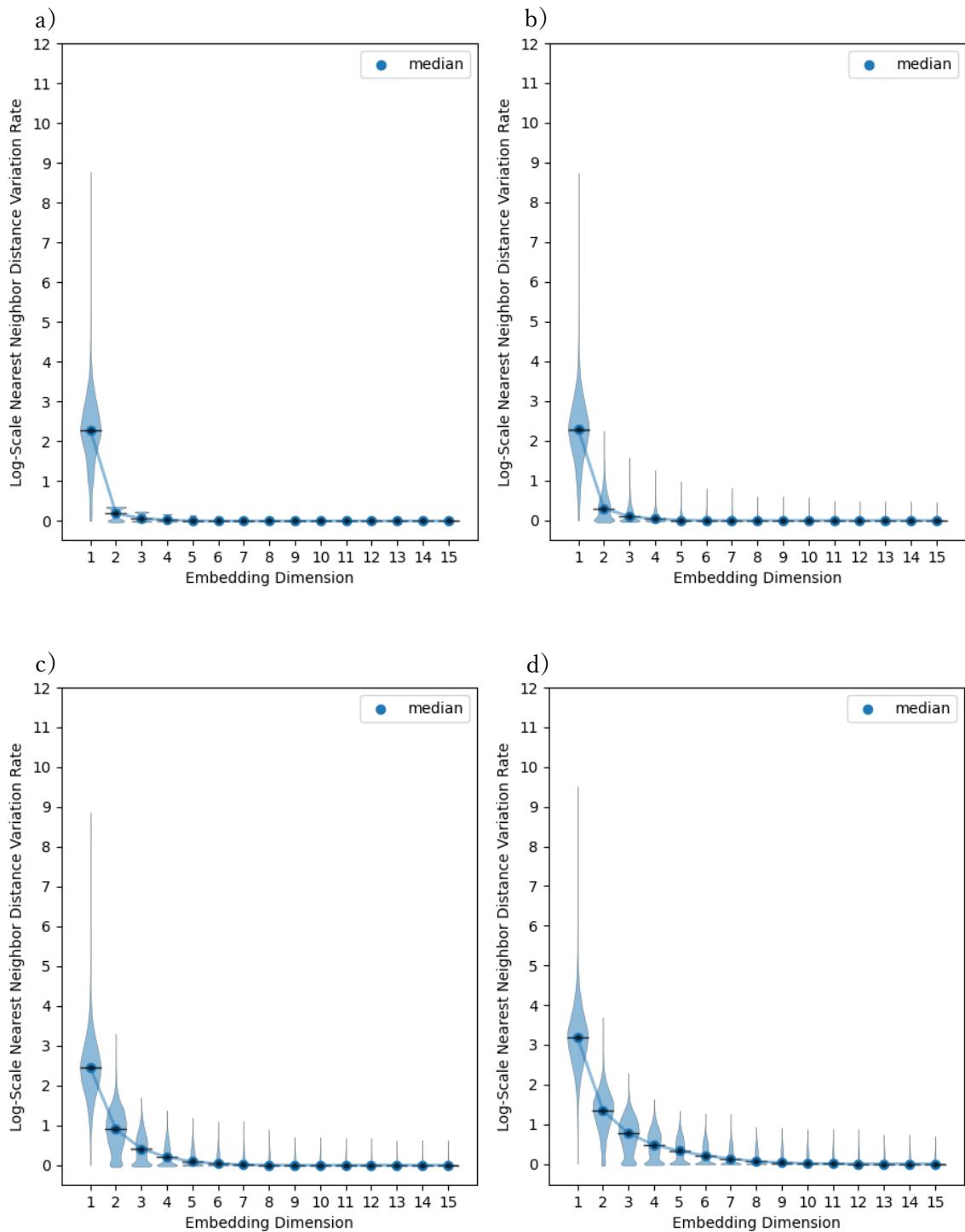


Fig.6: 対象時系列における最近傍距離変化率の推移

a)ノイズレベル 0%, b)ノイズレベル 10%,  
c)ノイズレベル 100%, d)ノイズレベル 1000%

## 5. 考察

FNN 法による為替時系列の最小埋め込み次元の推定では、誤り近傍率の推移について、どの通貨ペアにおいても顕著な違いはみられなかった。そして、 $R_{tol} = 8$  の場合、最小埋め込み次元は 6 を示した。一方、提案手法では任意性のある閾値を設定する代わりに、最近傍距離の変化率の中央値を利用することで任意性を排除した。この提案手法による最小埋め込み次元の推定では、同様に基準値  $M_{tol}$  の推移に違いはみられなかつたが、最小埋め込み次元は 3 を示した。これは、主成分分析を利用した変数低減法で、3 変数に絞った場合に高い決定係数で説明できたという報告 [12] とも一致している。

また、複数の強度の異なるノイズを付加した Van-der-Pol 方程式の数値解に対し、FNN 法を用いて最小埋め込み次元を推定した結果を比較する。すると、すべての閾値において、ノイズレベルの増加に従い、推定される最小埋め込み次元の値が増加していくことがわかる。一方、提案手法を用いた場合、ノイズレベルが 100% 以下では、推定される最小埋め込み次元数に変化はなかつた。従って、Van-der-Pol 方程式の次数推定においては、提案手法の方がノイズに対する耐性が高いことが示唆される。

この結果を為替時系列にも当てはめた場合、為替時系列の日時変動の複雑性をノイズともとらえることができ、FNN 法では次数が過大に見積もられている可能性が考えられる。一方、提案手法においては、ノイズレベルが 100% までは見積もられる最小埋め込み次元に影響を与えないということを念頭に置くと、為替時系列の最小埋め込み次元はおよそ 3 次元であることが示唆される。

本論文では、流通シェアの高い代表的な為替時系列に対して最小埋め込み次元を推定した。FNN 法を数値解のみならず、データ解析にも適用した点、標本に基づく推定ではなく、計算可能な全データを利用した点について優位性があると考えている。

## 6. 結言

本論文では為替時系列の予測に向け、為替時系列の性質の理解を深めることを目的に、為替時系列を記述する数理モデルの次数推定を行つた。また、次数推定を行う際に使用する FNN 法において、閾値選択の任意性を排除する手法を提案した。提案手法による時系列の最小埋め込み次元推定では、FNN 法と比較しノイズに対する耐性が高い可能性が示唆された。そして、日時変動の複雑な為替時系列においては、提案手法を用いた最小埋め込み次元推定により、およそ 3 次元の時に埋め込みが成立する可能性が示唆された。ただし、提案手法は様々な時系列を対象に検証しているわけではないため、設定した  $M_{tol}$  が適切かどうか今後さらなる検証が求められる。また、更なる為替時系列の知見を蓄積するため、異なる時間足の為替時系列や流通シェアの低い通貨ペアに対しても検討を行いたい。

## 参考文献

- [1] 国際決済銀行(BIS), “Triennial Central Bank Survey of Foreign Exchange and Over-the-counter (OTC) Derivatives Markets in 2019,” 2019. (<https://www.bis.org/statistics/rpfx19.htm>), [アクセス日: 24, 1, 2022].
- [2] 日本銀行 金融市場局, “外国為替およびデリバティブに関する中央銀行サーベイ (2019 年

4月中 取引高調査)について：日本分集計結果”, 2019.

- [3] 鈴木 利夫, “為替スワップと店頭デリバティブ取引規制”, 大和総研, 2021.  
([https://www.dir.co.jp/report/column/20210601\\_010667.html](https://www.dir.co.jp/report/column/20210601_010667.html)), [アクセス日: 24, 1, 2022].
- [4] 日本銀行 調査統計局, “金融経済統計月報”, 2021.
- [5] 三井住友 DS アセットマネジメント, “日本円の実質実効為替レート”, 2022.  
(<https://www.smdam.co.jp/market/ichikawa/2022/01/irepo220113/>), [アクセス日: 24, 1, 2022].
- [6] 独立行政法人 労働政策研究・研修機構, “データブック国際労働比較 2008”, 2008.  
([https://www.jil.go.jp/kokunai/statistics/databook/2008/01/046-050\\_c1.pdf](https://www.jil.go.jp/kokunai/statistics/databook/2008/01/046-050_c1.pdf)), [アクセス日: 26, 1, 2021].
- [7] 松井 藤五郎, 汐月 智也, “LSTM を用いた株価変動予測”, The 31st Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2017.
- [8] M. Adil , H. Mhamed, “Stock Market Prediction Using LSTM Recurrent Neural Network”, Procedia Computer Science, Volume 170, 2020, Pages 1168-1173, 2020.
- [9] M. B.Kennel, R. Brown and H. D. I. Abarbanel, "Determining embedding dimension for phasespace reconstruction usin a geometrical construction", Phy. Review, Vol.A 45, pp.3403-3411, 1992.
- [10]伊藤 憲一, “雑音を含むカオス時系列データの最小埋込み次元決定方法”, 県立長崎シーボルト大学国際情報学部紀要, 第 3 号, 2002.
- [11] 森本 安夫, “Van der Pol 振動子の強制振動 : 数値解析による新しい知見”, 物性研究刊行会物性研究, 第 46 卷, 6 号, pp. 785-796, 1986.
- [12] 真継 隆, 高田 宗樹, 吉森 政晃, “為替レート変動要因の数理的考察”, 情報社会政策研究, 2001.



# 連載講座

形の科学会誌 第 36 卷 第 2 号

Colaboratory で形の科学を楽しもう

—第 4 回 Python の SciPy ライブライアリを使ってボロノイ分割—

平田 隆幸

福井大学 大学院工学研究科 知能システム工学専攻

〒910-8507 福井市文京 3 丁目 9-1

hirata@u-fukui.ac.jp

Let's Enjoy Science on Form by Colaboratory

—Voronoi Diagrams of Landmarks on the Map by using Python SciPy Library—

Takayuki HIRATA

Department of Human & Artificial Intelligent Systems, Faculty of Engineering,

University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8507, Japan.

(2022 年 2 月 14 日 受付, 2022 年 2 月 14 日 受理)

## 1. はじめに

Python は、現在もっとも人気があるプログラミング言語である。また、プログラミング初心者にも学習が容易なプログラミング言語として知られている。しかし、コンピュータに不慣れな初心者にとっては、学習環境を整える段階でつまずいてしまうかもしれない。そのため、多くの入門者用の Python の教本は、インストールに 1 つの章を割いている。もしインストールすることなく、すぐに Python を使えたら、プログラミング学習のハードルは低くなるだろう。

Google が提供する Colaboratory[1]は、PC などを必要とせず、スマートフォンなどの携帯端末があり Web ページにアクセスさえできれば利用できる。なお、Colaboratory で使われているプログラム言語も Python である。また、Colaboratory は Jupyter Notebook をベースにしており、機械学習、AI (Artificial Intelligence) などにも容易に取り組めるようになっている。本連載講座でも、Colaboratory を使って形の科学の面白さを紹介してきた。

さて Python の特徴は、学習が容易であること以外にも、豊富なライブラリが存在することである。今回は、SciPy ライブライアリを使って、形の科学会でお馴染みのボロノイ分割が簡単に出来ることを見ていこう。

## 2. SciPy ライブライアリとは

Python を使う利点は、ライブライアリが豊富であることであり、科学技術のライブライアリも充

実していることである。SciPy ライブラリ[2]は、科学技術計算においてもっともよく使用される基礎的なライブラリの一つである。Web 上で Python が使える環境である Colaboratory でも、SciPy はデフォルトでインストールされており、import コマンドを使うだけで特別に意識せずに利用できる。Google アカウント (xxx@gmail.com) をもっており Colaboratory の website にアクセスさえできれば、すぐに使えるようになる。これから第 1 回の連載講座[3]をなぞりながら、Colaboratory の使い方を復習しよう。

まず、Colaboratory の website (<https://colab.research.google.com/>) にアクセスしてみよう。図 1 に示すような「Colaboratory へようこそ」のページが出てくるだろう。ビデオによる説明があるので、スキップしても良いが、英語の聞き取りを兼ねて見てみるのも面白いだろう。



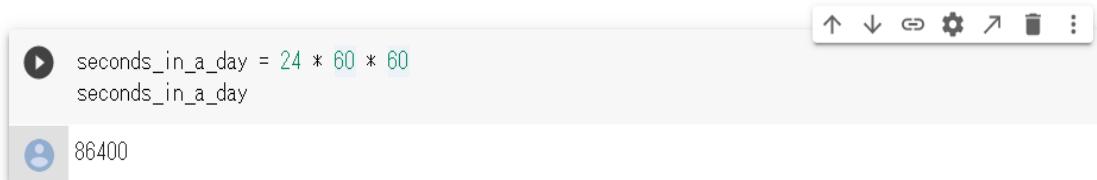
図 1 「Colaboratory へようこそ」の Web ページ (2022 年 2 月 2 日現在)。

Colaboratory のはじめにしたがって、Colab ノートブックを使ってみる。Colab ノートブックは、Python のコードを記述して実行できる環境である。図 1 のコードセルでは、電卓として Python を使っている。以下にその例を見てみよう。

```
seconds_in_a_day = 24 * 60 * 60
seconds_in_a_day
```

1 行目で変数 seconds\_in\_a\_day に数値を代入し、2 行目で変数 seconds\_in\_a\_day の

値を出力させている。図1の下部にある[ ]の位置にポインターを移動させると、実行ボタン▶が左上端に現れて ➡ となるので、クリックすることで実行される。コードセルと計算結果の出力を示す。



The screenshot shows a Jupyter Notebook cell. The code in the cell is:

```
seconds_in_a_day = 24 * 60 * 60
seconds_in_a_day
```

The output below the cell is:

```
86400
```

At the top right of the cell, there is a toolbar with icons for up, down, left, right, copy, paste, and other cell operations.

図2 最初に出てくるコードセルと出力例（図1の下部一部の拡大）。

ここで、Colaboratory の使い方のポイントを簡単にまとめておこう。ポイント1：コードセルに、コマンド（プログラム）を打ち込んで実行させる。ポイント2：実行ボタン▶をクリックして実行させる。ポイント3：Colab ノートは、Jupyter ノートブックである。基本的な使い方は以上である。次にもう少し踏み込んだ使い方をしてみよう。

Python はライブラリを import することにより、多様なグラフを描くことができるようになる。Colaboratory においても、グラフィカルにいろいろなグラフを描くことができる。本講座でも Python の数値計算ライブラリ numpy を使って計算したものを、matplotlib を使って描画した例を見てきた。SciPy の website (<https://docs.scipy.org/doc/scipy-1.8.0/html-scipyorg/reference/#user-guide>) では、さまざまなグラフの例が紹介されている。

### 3. ドロネー図とボロノイ図を描く

SciPy ライブラリを使って、ドロネー図やボロノイ図が作成できるのを見ていこう。SciPy の website から User Guide に行き、To the user guide をクリックして、Spatial algorithms and data structures (scipy.spatial) にいくと、ドロネー図とボロノイ図を描いてくれる関数にたどり着ける。Website にあるサンプルプログラムを少し変えて、ランダムに点を分布させて、ドロネー図とボロノイ図を描いていこう。

プログラムと図を示しながら説明していく。最初に、ボロノイ領域の母点となる点を空間にランダムに分布させる。図3は、ランダム生成した 20 点の母点を Python の matplotlib ライブラリを使ってプロットしたものである。

---

プログラムリスト1

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
rng = np.random.default_rng()
points = rng.random((20, 2))
plt.plot(points[:, 0], points[:, 1], 'o')
```

---

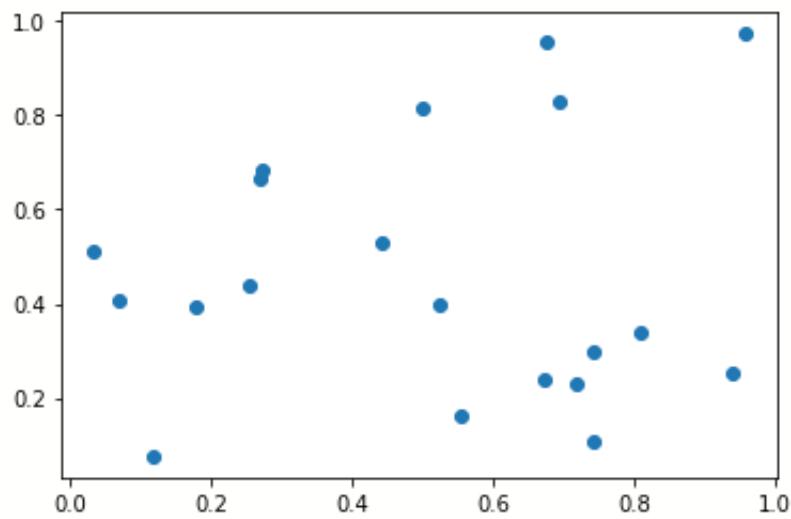


図3 ランダムな点の空間分布。

図3でプロットした母点を用いて、隣接する母点間を線で結んで描いたドロネー図を図4に示す。ドロネー図の作図に用いたプログラムのリストを以下に示す。

---

プログラムリスト 2

---

```
import scipy
from scipy.spatial import Delaunay
tri = Delaunay(points)
plt.triplot(points[:,0], points[:,1], tri.simplices)
```

---

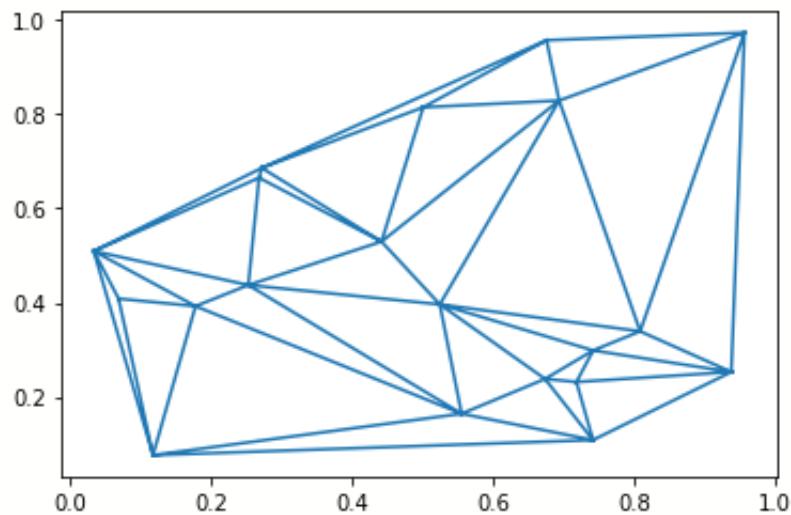


図4 ドロネー図。

次に、ドロネー図と双対関係にあるボロノイ図を描こう。図5にボロノイ図を示す。なお、ボロノイ領域が閉曲線にならないとき、ボロノイ境界は破線で示されている。ボロノイの母点は小さな点で、ボロノイ境界の交点であるボロノイ点は大きな点で示されている。以下に示されたボロノイ図を描くプログラムリストを見ると、簡単にボロノイ図が作れるのがわかるだろう。

---

プログラムリスト3

---

```
from scipy.spatial import Voronoi, voronoi_plot_2d
vor = Voronoi(points)
voronoi_plot_2d(vor)
```

---

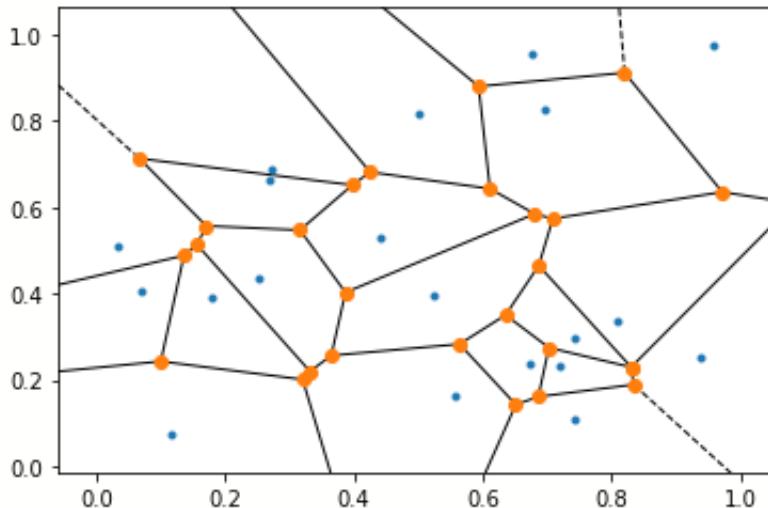


図5 ボロノイ図。

SciPy ライブライリを使うことによって、形の科学でお馴染みのボロノイ図が簡単に作成できることを見てきた。ボロノイ図は、実用的で具体的に役立つものである。例えば、新しいコンビニエンスストアの出店計画をするときに、コンビニエンスストアを母点として使ったボロノイ図は有用であろう。また、都市計画として、地域に消防署や警察署などを配置するときの基礎データとしても期待できるだろう。次に、具体的なボロノイ解析をしてみよう。

福井市中心部にある病院を母点としてボロノイ図をつくってみる。ボロノイ図があると、自分のいる位置から直線距離にして一番近い病院がわかる。図6は、福井市の中心部のGoogle マップである。福井市役所が地図の中心になるようにしてある。図6に示された地図内には9つの病院が存在している。図7は、9つの病院を母点としたドロネー図とボロノイ図である。利用者がどのボロノイ領域にいるかによって、どの病院に行けばよいかが一目でわかる。実際は、9つ病院を規模の大小あるいは総合病院・単科病院などの区別をせず同等に扱っているので、実用的には問題があるかもしれない。このようなことを考えると、ボ

ロノイ解析には、各店舗に大きな差がないコンビニエンスストアの空間分布の解析が適しているかもしれない。

最後に、簡単にボロノイ図が作成できることのメリットは多い。ぜひ読者の皆様もいろいろなデータのボロノイ図を作ってみて欲しい。さらに、SciPy ライブラリには球面上の点分布のボロノイ分割をする関数 `SphericalVoronoi(points[, radius, center, ...])` などもあるので、地球上の資源分布（例えば、鉱山など）などのボロノイ解析などに挑戦してみるのも面白いと思う。

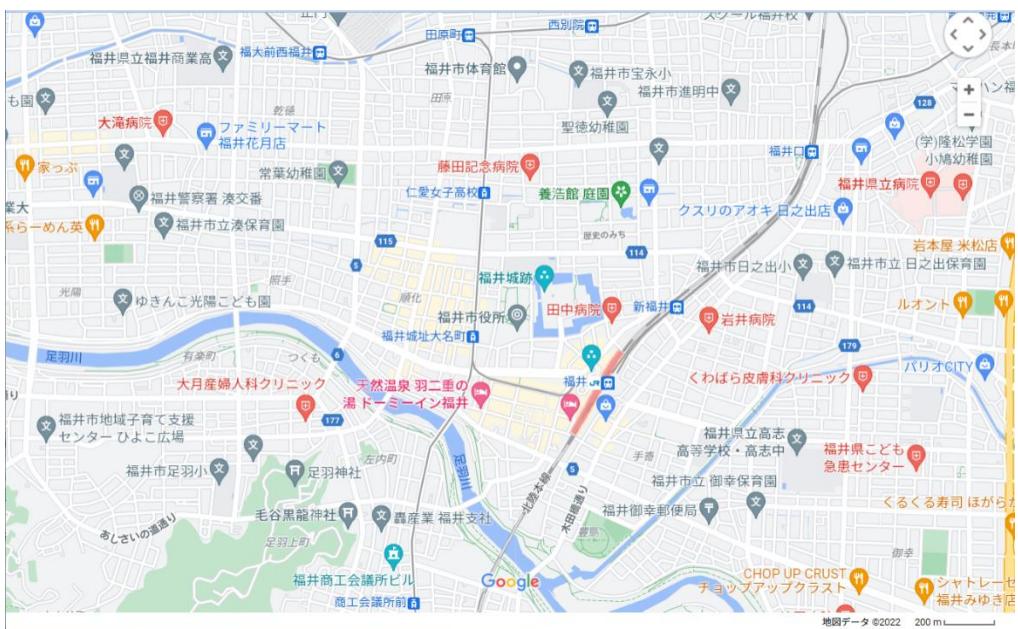


図6 福井市中心部のGoogle マップ[4]。福井市役所が中心になるようにしてある。

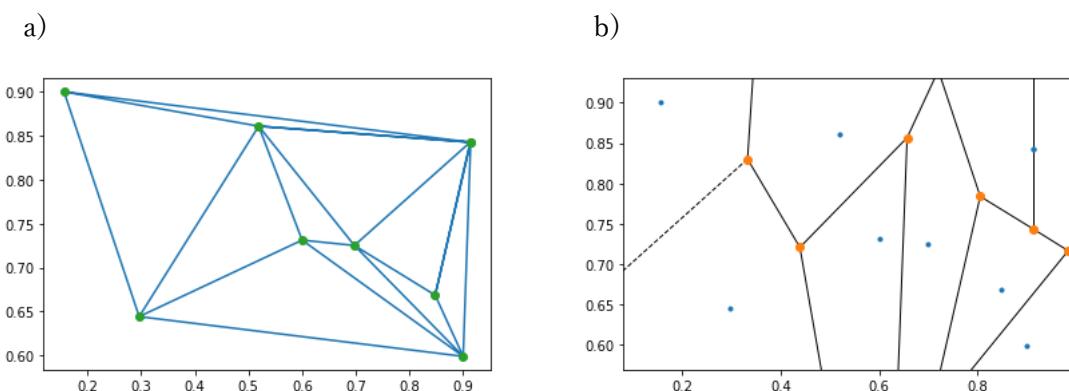


図7 福井市中心部の9つ病院を母点としたボロノイ分割：a) ドロネー図、b) ボロノイ図。

【注】図1～7は、本来カラーであり白黒で印刷すると見にくい場合があります。カラーで見たい方は、Colaboratoryにアクセスし、プログラムを走らせて作画してください。】

## 謝辞

原稿を読んで有益なコメントをしてくださった高田宗樹教授をはじめとする福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻非線形科学研究室のメンバーに感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Google Colaboratory <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb#>
- [2] SciPy <https://scipy.org>
- [3] 平田隆幸：Colaboratory で形の科学を楽しもう－コッホ曲線を描いてみよう－、形の科学会誌、35巻、1号、75-80、(2020)
- [4] Google マップ：<https://www.google.co.jp/maps>

今回の講座に掲載されたプログラムは、SciPy のサンプルプログラムを改良したもので  
す。形の科学会の Website でプログラムリストを download できるようにはしていま  
せん。SciPy の Website をご覧になり、プログラムを改良してみてください。

## テレワークの時代がやってきた – Chrome リモートデスクトップを使ってみた –

平田 隆幸

福井大学 大学院工学研究科 知能システム工学専攻  
〒910-8507 福井市文京3丁目9-1  
hirata@u-fukui.ac.jp

(2022年2月6日受付, 2022年2月6日受理)

テレワークの時代が始まろうとしている。人類が消費するエネルギーの問題を考えると、人間が職場まで実際に移動するのに必要なエネルギーコストとテレワークで通信環境の整備を含めたエネルギーのコストを考えた場合、テレワークに軍配が上がるよう思える。しかし、テレワークに拒否反応を示す人々も多くいる。人間のコミュニケーションにおいて、非言語的コミュニケーションが言語によるコミュニケーションよりも大きいという研究はよく知られており、対面だからこそ伝えられる情報量が多いのも事実である。

形の科学会のシンポジウムも Zoom などを利用したものが開催されてきた。Zoomなどを利用したシンポジウムでは、会員間のコミュニケーションが希薄になり「ものたりない」という意見も耳にする。一方、旅費を必要としないので気楽に参加できるというメリットもあり、「ありがたい」という声も聞こえてくる。たぶん重要なことは、バランスなのである。

さて、テレワークの時代に重要なツールを考えてみよう。Zoom や Meet など遠隔会議のツールを上げることができる。会議に関しては、出席者がわざわざ移動しなくても良くなった。では、会社や大学などの職場にある PC を使うときはどうだろうか。仕方がないので職場に足を運んでいるのだろうか？大企業などはテレワークの環境を構築し社員に提供してくれているけれど、そのような組織に属さない個人ではどうしたら良いのだろうか？自宅に PC を購入したりして対応しているのだろうか？しかし、高性能な PC を利用したいと思うときには、職場に出向かざるを得ないのかもしれない。私もそうしていました。

しかし、テクノロジーの進歩は素晴らしいものである。自宅にいても簡単に職場の PC が使えるのである。それも難しい設定を必要としない。PC にブラウザとして、Google Chrome をインストールしていれば良いのである。後は「Chrome リモートデスクトップ」で検索し、Chrome の拡張機能でリモートデスクトップを使えるようにするだけで良い。ものの 5 分もあれば使えるようになる。また、Chrome リモートデスクトップはスマートフォンでも使える。iPhone のユーザーなら Apple Store からリモートデスクトップで探せば、すぐに見つかるだろう。ちなみに、リモートデスクトップは目新しいものではなく、Microsoft は 10 年以上前からリモートデスクトップを提供している。ただ、長い歴史をもつ Microsoft リモートデスクトップは、設定がやや面倒であった。

論より証拠、Chrome リモートデスクトップを使ってみましょう。図 1 は、2 台の PC

を使って、お互いにリモートデスクトップで接続したものである。合わせ鏡のようなデスクトップ画面が得られる。2台のPCを、珈琲カップのデスクトップ背景のものをPC<sub>A</sub>、青空のデスクトップ背景のものをPC<sub>B</sub>としよう。PC<sub>A</sub>のデスクトップ画面の右下のところには、PC<sub>B</sub>デスクトップ画像が表示されている。さらに、PC<sub>B</sub>のデスクトップ画面を詳しく見るとPC<sub>A</sub>のデスクトップ画像が表示されており、またさらに、その中のPC<sub>A</sub>のデスクトップ画面を詳しく見ると……。合わせ鏡のように無限に繰り返されている。



図1：2台のPCを使い相互にリモートデスクトップで接続したもの。

形の科学会の会員の方々ならこれを使って、カントール集合のような画面を作れるのではないかと思われるかもしれない。私も試してみましたが失敗に終わりました。理由は、1つのPCに2つ目のリモートデスクトップで接続しようとすると、最初に接続したリモートデスクトップが終了させられるのである。誰か抜け道を見つけられたら教えてください。さらにしつこく、PCに内蔵されているカメラを使ってカントール集合のようなものを考えたのですが、それではリモートデスクトップ機能を使わなくともできるなあと思いやめました。

コロナ禍の折、形の科学会の会員の皆様が「お家で楽しめる」のではと思い執筆させていただきました。リモートデスクトップをずっと以前から使っておられる方々はご笑読くだされば幸いです。

最後に、原稿を読んで有益なコメントをしてくださった高田宗樹教授に感謝いたします。

## Forma 将来検討委員会から

松浦康之<sup>1)</sup>, 松浦執<sup>2)</sup>, 塩澤友規<sup>3)</sup>, 高田宗樹<sup>4)</sup>

1) 岐阜市立女子短期大学国際文化学科, 〒501-0192 岐阜市一日市場北町 7-1

2) 東京学芸大学自然科学系基礎自然科学講座

〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

3) 青山学院大学経営学部経営学科 〒150-8366 東京都渋谷区渋谷 4-4-25

4) 福井大学学術研究院工学系部門、〒910-8507 福井市文京 3-9-1

\*matsuura@gifu-cwc.ac.jp

(2022年3月13日受付, 2022年3月13日受理)

形の科学会の英文誌 Forma の運営にあたって、会員の皆様には平素よりご協力頂きありがとうございます。当誌は既に紙面による出版から電子ジャーナルに移行しておりますが、学会会員の減員に伴う財政圧迫に対応するため、形の科学会運営委員会の議論を経て、会員の皆様に以下のお願いをすることになりました。ご理解の程、何卒よろしくお願ひいたします。

### 1. 論文掲載料の取扱について

出版社 SciPress から 2019 年 5 月 8 日より論文掲載料が 1 論文あたり 5 万円徴収されております[1]。会員の投稿論文に関しましては、昨年までは形の科学会からお支払いさせていただいておりました。本年からは、原則として著者負担をお願いいたしました。ただし、諸般の事情により支払いが困難な場合は、編集部までお知らせください。その場合、経過措置としまして当分の間は学会から助成されます。運営委員会において、助成の制限等に関する細則が決まりましたら、その都度、この場でお知らせいたします。尚、カラーページチャージ等の課金は、今まで通り出版社から徴収されます。

### 2. オンラインプラットフォームの変更について

2022 年からは日本の学術ジャーナルを発信するオンラインプラットフォームである J-STAGE を利用した公開に移行手続きをしております。そのため、掲載にお時間を頂くこともありますので、ご了承ください。J-STAGE は科学技術情報発信・流通総合システムの略で、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) に運営されております[2]。なお、Vol.36 まではこれまで通り、学会ホームページ[3]から辿って閲覧いただくことが可能です。

### 参考文献

[1] <https://forma.katachi-jp.com/call.html> (2022年3月11日参照)

[2] <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja/> (2022年3月11日参照)

[3] <https://katachi-jp.com/gakkaishi> (2022年3月11日参照)

# 会告

形の科学会誌 第36巻 第2号

## ○新入会の皆様（敬称略）

松本拓也 福井大学大学院工学研究科

## ○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。

松本拓也（福井大学大学院工学研究科）

A: 数理物理、代数 B: ルート系、多面体、液滴

## ○令和3年度をもって御退会の皆様（敬称略）

今枝 辰博	愛知学泉大学
上谷 幸治郎	大阪大学産業科学研究所
濱田 敏博	
吉川 研一	同志社大学生命医科学部
吉田 昭広	
田中 健一	慶應義塾大学理工学部管理工学科
窪田 泰夫	香川医科大学皮膚科

## ○2021年度第2回形の科学会運営委員会議事録

日時：2021年11月13日（土）12:00-13:40

場所：オンライン運営委員会

出席（敬称略）：植田毅、小川直久、海野啓明、木下史也、杏名健一郎、塩澤友規、杉浦明弘、高田宗樹、手嶋吉法、根岸理一郎、平田隆幸、松浦昭洋、松浦執、松浦康之、松岡篤、山口喜博、森真介、松本拓也

議題：

(1) 会員関係報告：2021年11月13日現在正会員287名、シニア会員38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（2020年11月7日382名）

(2) 2021年度活動報告

・形の科学シンポジウムを次のように開催した。

第90回：形の科学シンポジウム@オンライン 2021年6月12日（土）-13日（日）  
(代表世話人:手嶋吉法、石原正三)。

第91回：形の科学シンポジウム@福井大学 2021年11月13日（土）-14日（日）  
(代表世話人：高田宗樹、世話人：平田隆幸、松本拓也)。

・会誌第36巻1号を刊行した。

・FORMA Vol.36を刊行した。

・2021年度「かたちシューレ@オンライン」2022年2月3日（木）（世話人：松浦康之、小森雄太）参加費無料。

- ・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッションを開設(2021/6/5)した。
- ・新潟大学旭町学術資料展示館企画展示「殻・展」を後援した。
- ・第 23 回日本感性工学会大会(2021/9/2-4)を協賛した。

(3) 2022 年度の活動計画。

- ・シンポジウムを次のように開催する。

第 92 回：形の科学シンポジウム@小樽 2022 年 6 月予定。小樽市公会堂（代表世話人：小川直久、荏原小百合（北海道科学大学））

第 93 回：形の科学シンポジウム@福井大学 2022 年 11 月予定。（代表世話人：高田宗樹、世話人：平田隆幸、松本拓也（福井大学大学院工学研究科））

- ・会誌第 37 卷を刊行する。
- ・FORMA Vol.37 を刊行する。
- ・2022 年度「かたちシユーレ」は今後検討。
- ・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(2022/5)を開設する。
- ・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」を後援する。

(4) 2022 年度学会賞の募集開始。学会賞幹事西垣功一先生。候補者にはシンポジウム発表を依頼する。

(5) その他

- ・和文誌の取り扱いについて

提案：予稿集を会員に郵送してほしいという要望がある。第 4 種郵便であるため半分を論文にせねばならない。クロネコメール便で、封入・発送を委託にできないか。Web にする考え方もある。冊子体が刊行されることが会費を支払う根拠にもなりうる。シンポジウムと会誌刊行時期を連携する必要がある。FORMA 誌刊行の予算と合わせて検討。

- ・FORMA 誌出版費用の問題

サーバー使用料:50 万円（税抜）/年。論文組版、編集（校正、著者校など）5 万円。カラーアート 2 万円。J-Stage で公開するために必要な事務経費 15 万円。非会員からは論文掲載チャージ 5 万円。

提案：論文掲載費 1) 従量制（10p 超える論文に 5 万円）、2) 特集号は無料、一般号有料、3) 学会から出版助成、4) 賞を定めて出版助成、5) 論文チャージ免除を出版社に交渉。

サーバー 350GB の残り容量がある。

・2022 年は運営委員改選の年なので、現運営委員の皆さんには引き続きお願いしたい。また新規の候補者を見出したい。

・形の科学会のメールアドレスを取得している。既存の gmail で形の科学会のアドレスを利用できる機能がある。

# 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適当であると判断された場合は、改訂を求めるこ、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 (内線: 722), Email: asugiura@u-gifu-ms.ac.jp

いずれの場合も、投稿から一週間の間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—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. 36 No. 2 (2022, 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