

ISSN 0915-6089



# 形の科学会誌

第 37 卷 第 1 号 2022

Bulletin of the Society for Science on Form



形の科学会

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

## 目次

### 【論文】

- 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…………… 1

### 【エッセイ】

- 2022年過去への旅 –Google マップを使って過去を旅する–  
平田隆幸…………… 23

### 【交流】

- 今、形の科学が熱い –球の充填でフィールズ賞–  
平田隆幸…………… 27
- 富士には黄金比がよく似合う  
山口喜博…………… 28
- 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…………… 32

### 【シンポジウム討論記録】

- 第90回…………… 33
- 第91回…………… 37
- 第92回…………… 42

### 【会告など】

- 会告…………… 48
- 原稿募集…………… 56



## 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

〒290-0073 千葉県市原市国分寺台中央 2-4-14

chaosfractal@iCloud.com

Symmetry of the periodic orbit appeared through the rotation  
bifurcation of the doubly symmetric periodic orbit

Yoshihiro Yamaguchi

2-4-14 Kokubunjidai-Chuo, Ichihara, Chiba 290-0073, Japan

(2022 年 7 月 26 日受付, 2022 年 9 月 19 日受理)

**Abstract:** The author published the paper entitled “Doubly symmetric periodic orbits in the doubly reversible area preserving map” (Bulletin of Society for Science on Form, 34, (2019), 13-42). In the present paper, the properties of the doubly symmetric periodic orbits in the standard map  $T$  are discussed. The elliptic fixed point  $Q$  in  $T$  undergoes the rotation and period doubling bifurcations. Thus, the doubly symmetric daughter elliptic periodic orbit with rotation number  $p/q$  ( $0 < p/q \leq 1/2$ ) with an even integer  $q$  bifurcates from  $Q$ . This orbit is named as the mother orbit for the next generation. The rotation bifurcation of this mother orbit also occurs and the daughter periodic orbits (of the second generation) with rotation number  $p/q:r/s$  ( $0 < r/s < 1$ ) appear. The following results are proved. If the daughter periodic orbit is doubly symmetric,  $r$  is an even integer. If the daughter periodic orbit is singly symmetric,  $r$  is an odd integer.

**Keywords:** Singly/Doubly symmetric periodic orbit, Rotation bifurcation

### 1. 本論文の目的

筆者は「二重可逆面積保存写像における二重対称周期軌道」と題する論文を発表した[1]. その論文では標準写像  $T$  を用いて, 二重対称周期軌道の周期をもとに周期軌道の性質を議論した. 標準写像については参考文献[2]を見られたい.

円筒面 ( $0 \leq x < 2\pi, -\infty < y < \infty$ ) で定義された標準写像を紹介する.

$$T : y_{n+1} = y_n + f(x_n), \quad x_{n+1} = x_n + y_{n+1} \pmod{2\pi}. \quad (1)$$

ここで,  $f(x) = a \sin x$  ( $a \geq 0$ ).

$a > 0$  では, 二つの不動点  $P = (0, 0)$  と  $Q = (\pi, 0)$  が存在する. 不動点  $P$  はサドル型不動点である. 不動点  $Q$  は,  $0 < a < 4$  において楕円型不動点で,  $a > 4$  では反転を伴うサドル型不動点である.

対称周期軌道を定義するために写像  $T$  の対合表現を導入する. 第一の対合表現  $T = h \circ g$  を紹介する. 写像  $T$  は対合と呼ばれる二つ写像の合成で記述される. 記号  $\circ$  の右側にある対合

$g$ を先に作用し, 次に対合 $h$ を作用する. 以下で対合の表式を示す.

$$g\begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -y - f(x) \\ x \end{pmatrix}, \quad h\begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -y \\ x - y \end{pmatrix}. \quad (2)$$

写像関数 $f(x)$ が奇関数であることにより, 第二の対合表現  $T = H \circ G$  も可能である. 本論文では下記の対合 $H$ と $G$ を使用する.

$$\begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y + f(x) \\ 2\pi - x \end{pmatrix}, \quad H\begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y \\ y - x + 2\pi \end{pmatrix}. \quad (3)$$

対合は面積保存であるが方向反転写像である. 対合の不動点の集合が対称線である. 対合 $g, h, G$  および $H$ の対称線を, それぞれ $S_g, S_h, S_G$ および $S_H$ と書く. 本論文の内容と関係する対称線を次に示す.

$$S_g: y = -f(x)/2, \quad (4)$$

$$S_h: y = 0, \quad (5)$$

$$S_G: x = \pi, \quad (6)$$

$$S_H: y = 2(x - \pi). \quad (7)$$

四つの対称線を図1に描いた. 領域 $y > 0$ にある対称線 $S_H$ の部分を $S_H^+$ とし, 領域 $y < 0$ にある対称線 $S_H$ の部分を $S_H^-$ とする. 他の対称線についても同じ記法を用いる. 図1を参考にしてほしい.

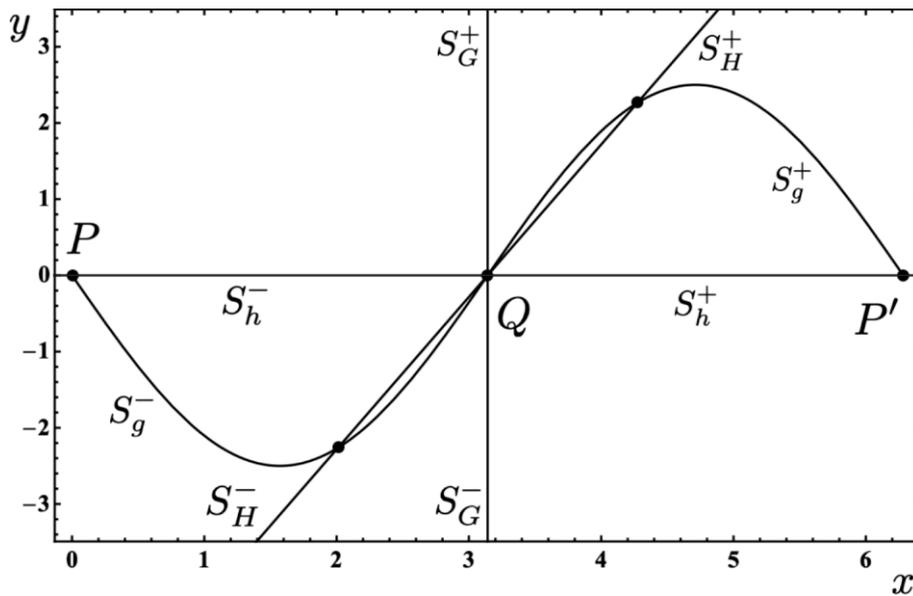


図1: 左右の対称線 $S_G$ と $S_H$ . 上下の対称線 $S_g$ と $S_h$ . 点 $P$ はサドル型不動点で, 点 $Q$ は楕円型不動点 $Q$ . 対称線 $S_H^+$ と $S_g^+$ の交点は周期2の軌道点.  $a = 5$ .

対合による軌道点の動きは対称線に関する反転である. 対合による軌道点の動きより,  $S_g$ と $S_h$ を上下の対称線と呼び,  $S_G$ と $S_H$ を左右の対称線と呼ぶ. 写像が対合の積で表現される場合, 系はバーコフの意味での可逆性をもつという[3]. 二種類の異なった対合の積で表現される写像は, 二重可逆写像と呼ばれる. 二重可逆写像には一重対称周期軌道と二重対称周期軌道が存在する[1]. 本論文では不動点 $P$ と $Q$ は周期軌道に含めず不動点として扱う. 次に一重対称周期軌道と二重対称周期軌道を定義する.

**定義 1.1 (一重対称周期軌道の定義).** 上下の対称線のみ軌道点をもつ周期軌道を一重上下対称周期軌道と呼ぶ. また, 左右の対称線のみ軌道点をもつ周期軌道を一重左右対称周期

軌道と呼ぶ。これらをまとめて一重対称周期軌道と呼ぶ。

**定義 1.2 (二重対称周期軌道の定義).** 上下と左右の対称線上に軌道点をもつ周期軌道を二重対称周期軌道と呼ぶ。

写像 $T$ の不動点 $Q$ が周期倍分岐/回転分岐を起こして生じた 回転数 $p/q$  ( $0 < p/q \leq 1/2$ )の楕円型周期軌道を $p/q$ -E と書き, サドル型周期軌道を $p/q$ -S と書く。ただし, 回転数 $1/2$ の $1/2$ -S は存在しない。

特に周期 $q$ が偶数の場合,  $p/q$ -E は二重対称周期軌道である。これを母周期軌道と名付ける。母周期軌道 $p/q$ -E が回転分岐を起こした結果, 楕円型周期軌道 $p/q:r/s$ -E とサドル型周期軌道  $p/q:r/s$ -S が生じる ( $0 < r/s < 1$ )。  $p/q$ と $r/s$ は共に既約分数。これらを娘周期軌道と名付ける。  $p/q:r/s$ は娘周期軌道の回転数で, この回転数表記は時刻表示と呼ばれる。

本論文では, 要請 1.3 と命題 1.4 のもとで議論を行う。

### 要請 1.3.

- (1) パラメータ $a$ に関する単調性. パラメータ $a$ の増加にともない, 楕円型周期軌道点のまわりの回転の仕方は増加する。
- (2) 単調ねじれ性. 楕円型周期軌道点のまわりの回転の仕方は楕円型周期軌道点から遠ざかるにつれて遅くなる。

**命題 1.4.** 楕円型不動点 $Q$ が回転分岐/周期倍分岐を起こした直後において, 対称線 $S_H$ 上に生じた回転数 $p/q$ の周期軌道点は楕円型である。この周期軌道は  $p/q$ -E ( $0 < p/q \leq 1/2$ )である。

定理 1.5 を証明することが本論文の主目的である。

**定理 1.5.** 二重対称周期軌道 $p/q$ -E ( $0 < p/q \leq 1/2$ ) の回転分岐で生じた回転数 $p/q:r/s$  ( $0 < r/s < 1$ ) の娘周期軌道について [I] と [II] が成り立つ。

[I] 娘周期軌道が一重対称ならば, 回転回数 $r$ は奇数である。

[II] 娘周期軌道が二重対称ならば, 回転回数 $r$ は偶数である。

本論文で使用する数学的道具を第2節にまとめた。第3節で, 命題 1.4 の証明を行う。第4節で, 一重対称周期軌道と二重対称周期軌道の性質をまとめた。第5節で, 定理 1.5 の証明を行う。第6節で, 本論文で得られた結果をまとめ, 次に今後の課題を述べる。

## 2. 数学的道具

### 2.1. 180 度回転作用

不動点  $Q$  を中心とした 180 度回転作用  $R$  を導入する.

$$R \begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -y \\ 2\pi - x \end{pmatrix}. \quad (8)$$

下記の関係式が成立する. これらの関係式は対合を用いて直接計算することで確認できる.

$$R = G \circ g = g \circ G = H \circ h = h \circ H, \quad (9)$$

$$Hg = RT, \quad gH = T^{-1}R, \quad (10)$$

$$(Hg)^2 = T^2, \quad (gH)^2 = T^{-2}. \quad (11)$$

ここで  $R^2 = Id$  を利用した.

### 2.2. 一重対称周期軌道と二重対称周期軌道の基本的な性質

**性質 2.1**([1]). 回転数  $p/q$  について,  $0 < p/q < 1/2$  が成り立つとする.

- (1) 周期  $q$  が偶数の場合,  $p/q$ -E(S) と  $1/2$ -E は二重対称周期軌道である.
- (2) 周期  $q$  が奇数の場合,  $p/q$ -E(S) は一重対称周期軌道である.

**性質 2.2.** 下記の性質が成り立つ.

- (1) 二重対称周期軌道は  $R$  について不変である.
- (2) 対称周期軌道としては一重または二重のもののみが存在する写像では,  $R$  について不変な周期軌道は二重対称周期軌道のみである.
- (3) 二重対称周期軌道の周期  $q$  は偶数であるから, 不動点  $Q$  を中心とした 180 度回転作用  $R$  は  $R = T^{\pm q/2}$  である.

**性質 2.3.** 対称線  $S_H$  上に点を持つ一重対称周期軌道をとる.  $S_H$  上の点を  $z_0$  とする. 初期点  $z_0$  から出発する周期軌道を  $O(z_0)$  と書く. 写像  $T$  が二重可逆性を持つことより, 初期点  $\zeta_0 = gz_0$  から出発する周期軌道  $O(\zeta_0)$  も存在する. 二つの周期軌道を合わせた点集合  $O(z_0) \cup O(\zeta_0)$  は二重対称性をもつ.

性質 2.3 は本論文の証明で利用するので証明を与えておく. 点  $z_0 \in S_H$  より,  $O(z_0)$  は左右の対称性をもつ. つまり  $O(z_0) = GO(z_0)$  と  $O(z_0) = HO(z_0)$  が成り立つ. 最初の式の両辺に  $g$  を作用する. 左辺は  $gO(z_0) = O(gz_0) = O(\zeta_0)$ . 右辺は  $gGO(z_0) = RO(z_0)$ . つまり,  $O(z_0)$  を 180 度回転すると  $O(\zeta_0)$  となる. 結果として  $O(z_0) \cup O(\zeta_0)$  が  $R$  について不変であることが導かれた.

図 2 を利用して周期軌道  $O(z_0)$  と  $O(\zeta_0)$  の関係を説明する. 回転数  $1/2:1/3$  の一重対称周期軌道  $O(z_0)$  は写像  $T^2$  で  $1/2$ -E の軌道点 (図 2(a) の点  $w_0$  と  $w_1$ ) のまわりを反時計回りに回転する. 像  $gz_0$  を点  $\zeta_0$  とした. 式(11)より  $z_2 = (Hg)^2 z_0 = T^2 z_0$  が得られる. 対合による点の移動は  $\zeta_0 = gz_0$ ,  $\zeta_2 = H\zeta_0$ ,  $z_4 = g\zeta_2$ ,  $z_2 = Hz_4$ ,  $\zeta_4 = gz_2$ ,  $\zeta_4 = Hz_4$  となる (図 2(b)). 対合  $g$  と  $H$  を順次作用することで, 初期点  $z_0$  から点  $\zeta_0$ ,  $\zeta_2$ ,  $z_4$ ,  $z_2$  を経て点  $\zeta_4$  に到達する. 初期点  $z_0$  から点  $\zeta_4$  までの途

中の経路を線分で結ぶ. 得られた図形を  $(Hg)$  図と呼ぶ. 図 2(b)の  $(Hg)$  図には, 母軌道点  $w_0$  のまわりを回転する娘軌道点のみが含まれる.

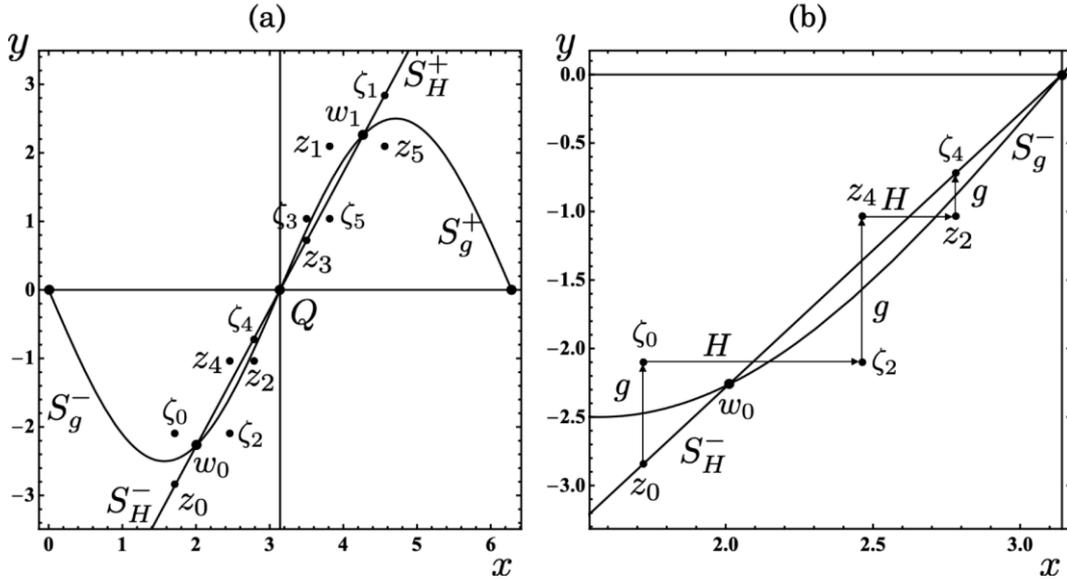


図 2: 回転数  $1/2:1/3$  の二つの一重対称周期軌道  $O(z_0)$  と  $O(\zeta_0)$  の関係 ( $\zeta_0 = gz_0$ ).  $\{z_0, \zeta_4\} \in S_H^-$ .  $a = 5$ . (b)  $(Hg)^3$  を点  $z_0$  に作用した場合に構成される  $(Hg)$  図.  $a = 5$ .

最後に本論文で使用する  $g$  対と  $g$  和等の定義 2.4 と性質 2.5 を与える.

**定義 2.4.** 以下では,  $\alpha \geq 0$  とする.

- (1)  $z_\alpha \in S_g$  の場合. すべての対  $\{z_i, z_{2\alpha-i} = gz_i\} (i = 0, 1, \dots, \alpha)$  を  $g$  対と名付け, 添字の和  $2\alpha$  を  $g$  和と名付ける.
- (2)  $z_\alpha \in S_h$  の場合. すべての対  $\{z_i, z_{2\alpha-i} = hz_i\} (i = 0, 1, \dots, \alpha)$  を  $h$  対と名付け, 添字の和  $2\alpha$  を  $h$  和と名付ける.
- (3)  $z_\alpha \in S_G$  の場合. すべての対  $\{z_i, z_{2\alpha-i} = Gz_i\} (i = 0, 1, \dots, \alpha)$  を  $G$  対と名付け, 添字の和  $2\alpha$  を  $G$  和と名付ける.
- (4)  $z_\alpha \in S_H$  の場合. すべての対  $\{z_i, z_{2\alpha-i} = Hz_i\} (i = 0, 1, \dots, \alpha)$  を  $H$  対と名付け, 添字の和  $2\alpha$  を  $H$  和と名付ける.

**性質 2.5.**

- (1)  $h$  和が  $2\alpha$  ならば,  $g$  和は  $2\alpha - 1$  である.
- (2)  $H$  和が  $2\alpha$  ならば,  $G$  和は  $2\alpha - 1$  である.

性質 2.5(1) を導く.  $z_\alpha = hz_\alpha$  の両辺に  $g$  を作用すると, 右辺は  $ghz_\alpha = T^{-1}z_\alpha = z_{\alpha-1}$  で, 左辺は  $gz_\alpha$ . よって, (1) が導かれた. 同様にして (2) も示される.

### 2.3. 一重対称周期軌道と二重対称周期軌道の分類

楕円型不動点  $Q$  が回転分岐/周期倍分岐を起こして生じた一重対称周期軌道と二重対称周期軌道を分類した [1]. 結果を表 1 と表 2 に示した. 一重対称周期軌道の周期は奇数であり, 二重対称周期軌道の周期は偶数である.

表 1: 一重対称周期軌道

分類	周期: $q$	左対合	右対合	対称線: 左対合	対称線: 右対合
UD	$2k + 1$ ( $k \geq 1$ )	$h$	$gT^{2k}$	$S_h$	$T^{-k}S_g$
LR	$2k + 1$ ( $k \geq 1$ )	$H$	$GT^{2k}$	$S_H$	$T^{-k}S_G$

分類 UD は一重上下対称周期軌道で, 分類 LR は一重左右対称周期軌道である. 分類 UD について説明する. 写像  $T^{2k+1}$  を次のように分解する.

$$T^{2k+1} = h \circ gT^{2k}. \quad (12)$$

左対合  $h$  について不変な集合が対称線  $S_h$  で, 右対合  $gT^{2k}$  について不変な集合が像  $T^{-k}S_g$  である.

表 2: 二重対称周期軌道の分類

分類	周期: $q$	左対合	恒等写像	右対合	対称線: 左対合	対称線: 右対合
D-I	$4k$ ( $k \geq 1$ )	$T^{2k-1}H$	$GT^{2k-1}h$	$g$	$T^kS_G$	$S_g$
		$T^{2k-1}h$	$gT^{2k-1}H$	$G$	$T^kS_g$	$S_G$
D-II	$4k$ ( $k \geq 1$ )	$h$	$gT^{2k-1}H$	$GT^{2k-1}$	$S_h$	$T^{-k}S_H$
		$H$	$GT^{2k-1}h$	$gT^{2k-1}$	$S_H$	$T^{-k}S_h$
D-III	$4k + 2$ ( $k \geq 0$ )	$T^{2k}H$	$GT^{2k}h$	$g$	$T^kS_H$	$S_g$
		$H$	$GT^{2k}h$	$gT^{2k}$	$S_H$	$T^{-k}S_g$
D-IV	$4k + 2$ ( $k \geq 1$ )	$T^{2k}h$	$gT^{2k}H$	$G$	$T^kS_h$	$S_G$
		$h$	$gT^{2k}H$	$GT^{2k}$	$S_h$	$T^{-k}S_G$

分類 D-I について説明する. 写像  $T^{4k}$  を次のように分解する.

$$T^{4k} = T^{2k-1}H \circ GT^{2k-1}h \circ g. \quad (13)$$

左対合  $T^{2k-1}H$  について不変な集合が対称線の像  $T^kS_G$  で, 右対合  $g$  について不変な集合が対称線  $S_g$  である.  $GT^{2k-1}h$  を D-I の軌道点  $z_n$  に作用すると,  $GT^{2k-1}hz_n = z_n$  が成り立つ. だから  $GT^{2k-1}h$  は恒等写像である. これを確かめる.

$$GT^{2k-1}hz_n = GhT^{-(2k-1)}z_n = (GH)(Hh)z_{n-2k+1} = T^{-1}Rz_{n-2k+1} = z_n. \quad (14)$$

180 度回転作用  $R = Hh = T^{2k}$  を利用した.

本論文では, 楕円型二重対称周期軌道  $p/q$ -E の回転分岐/周期倍分岐を調べる.  $p/q$ -E は, 表 2 の D-II と D-III に分類される. 対称線  $S_H$  上に点を持つ  $p/q$ -E をとり, 初期点  $z_0$  を  $S_H$  上にとる.  $p/q$ -E が生じた直後では楕円型であるが, パラメータ  $a$  を増加すると回転分岐と同周期分岐を起こしてサドル型軌道となる.

## 2.4. 周期軌道の回転分岐と安定性係数

周期 $q$ の周期軌道点を $z_k = (x_k, y_k)$  ( $0 \leq k \leq q-1$ )とする. 軌道点 $z_k$ における線形化行列 $M(z_k)$ は

$$M(z_k) = \begin{pmatrix} 1 & f'(x_k) \\ 1 & 1 + f'(x_k) \end{pmatrix} \quad (15)$$

と得られる. ここで,  $f'(x_k) = a \cos x_k$ . 面積保存写像であるから,  $M(z_k)$ の行列式は 1 である. 写像 $T^q$ の線形化行列を $M_q = M(z_{q-1}) \cdots M(z_1)M(z_0)$ とすると, 固有値 $\lambda$ を決定する方程式

$$\lambda^2 - r(a)\lambda + 1 = 0 \quad (16)$$

が得られる. 係数 $r(a) = \text{Trace}M_q$ を安定性係数と呼ぶ. 式(16)の解である固有値を $\lambda_{\pm}$ と書く. 回転数 $p/q$ の周期軌道が 回転分岐を起こす場合, 下記の関係が成立する.

$$\lambda_{\pm} = \frac{r(a) \pm i\sqrt{4 - r^2(a)}}{2} = \cos(2\pi p/q) \pm i\sin(2\pi p/q). \quad (17)$$

この式より安定性係数 $r(a)$ と回転数 $p/q$  ( $0 < p/q < 1$ )の関係が得られる.

$$r(a) = 2\cos(2\pi p/q). \quad (18)$$

楕円型不動点 $Q$ が回転分岐/周期倍分岐を起こす臨界値 $a_c(p/q)$  ( $0 < p/q \leq 1/2$ )を次に示す [3].

$$a_c(p/q) = 4\sin^2(\pi p/q). \quad (19)$$

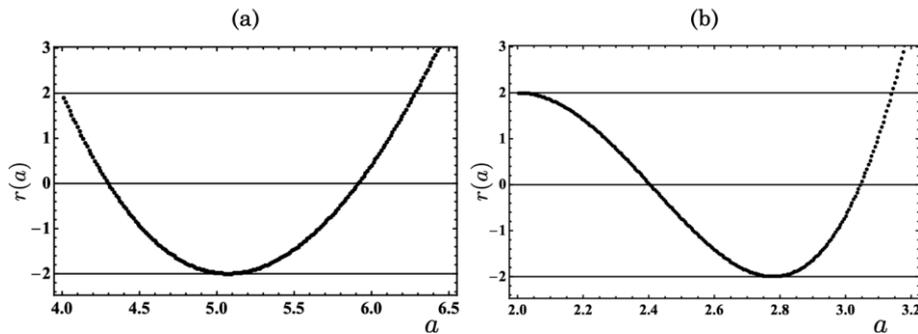


図 3 : 安定性係数 $r(a)$ の $a$ 依存性. (a) 1/2-E の場合. (b) 1/4-E の場合.

1/2-E の安定性係数 $r(a)$ を図 3(a)に示した. 安定性係数が $r(a) = -2$ と接する点で, 回転数 $1/2:1/2$ の娘周期軌道が生じる. 二重対称周期軌道は, 周期倍分岐を起こさない [1].  $r(a) = 2$ を満たす $a$ の値で, 母周期軌道は同周期分岐を起こす. 図 3(b)には 1/4-E の安定性係数を示した. 一般に偶数周期の $p/q$ -E の安定性係数は図 3 に示したような U 字形となる.  $p/q$ -E の回転分岐の回転数区間は $(0, 1/2] \cup (1/2, 1)$ である.

## 2.5. 楕円型軸, 準楕円型軸と回転区間の導入

今後の議論のために新しい用語を導入する.

**定義 2.6. (準楕円型軸, 楕円型軸)** 楕円型不動点 $Q$ はパラメータの増加にしたがって回転分岐/周期倍分岐を起こす.

(1) すべての回転数 $p/q$  ( $0 < p/q \leq 1/2$ )に対して, 分岐によって楕円型軌道点がある特定の対称線上に生じたとする. この対称線を準楕円型軸と名付ける.

(2) 準楕円型軸上に生じたすべての軌道点パラメータの増加にしたがって, 周期倍分岐を起こして反転を伴うサドル型になるとする. この性質が全ての $p/q$ に対して成り立つ場合,

準楕円型軸を楕円型軸と呼ぶ。

従来、定義 2.6(2)における対称線は主軸と呼ばれていた[4]。従来の定義を利用すると主軸と副軸の関係に紛れが生じる。紛らわしさを排するために新しい用語として 楕円型軸を導入した。生じた直後は楕円型である軌道点と同周期分岐を起こして サドル型になる場合がある。このような軌道点を含む場合において新しい用語である 準楕円型軸を利用する。

標準写像では、 $p/q$ -E は対称線 $S_H$ 上に軌道点をもつ。周期 $q$ が奇数の場合、回転分岐区間は $I_1 = (0, 1/2]$ である。区間 $I_1$ の右端点で周期倍周期分岐が生じる。 $p/q$ -E が生じた直後は楕円型であるが、周期倍分岐を起こして反転を伴うサドル型となる。周期 $q$ が偶数の場合、回転分岐区間は $I_2 = (0, 1/2] \cup (1/2, 1]$ である。 $p/q$ -E が生じた直後は楕円型であるが、同周期分岐を起こしてサドル型となる。区間 $I_2$ の右端点で同周期分岐が生じる。

### 3. 命題 1.4 の証明

最初に  $1/2$ -E が生じる過程を説明する。表 3 の D-III の場合で、 $k = 0$ とすると周期が $q = 2$ となる。 $1/2$ -E が生じる臨界値 $a = a_c(1/2) = 4$ で、対称線 $S_H^+$ と $S_g^+$ は点 $Q$ において接している(図 4(a))。  $a > a_c(1/2)$ では、対称線 $S_H^+$ と $S_g^+$ は交差する(図 4(b))。 交差点を点 $z_0$ とする。点 $z_0$ が  $1/2$ -E の軌道点である。一般に  $p/q$ -E(S) の軌道点 $z_0$ が点 $Q$ より対称線 $S_H^+$ 上に生じる場合、対称線 $S_H^+$ の曲率が 0 であるため異常回転分岐は生じない[5]。結果として、臨界値 $a = 4$ で点 $Q$ の近傍に回転数 $1/2$ -E の軌道点は存在しない。異常回転分岐についての説明を付録 A で行なったので参考にして欲しい。図 4(b)の点 $z_0$ より右上方にある対称線 $S_g^+$ の部分を主軸 (DA) と名付ける。また点 $z_0$ より右上方にある対称線 $S_H^+$ の部分を副軸 (SD) と名付ける。 $p/q$ -E の軌道点 $z_0$ においても同様に主軸と副軸が定義できる。

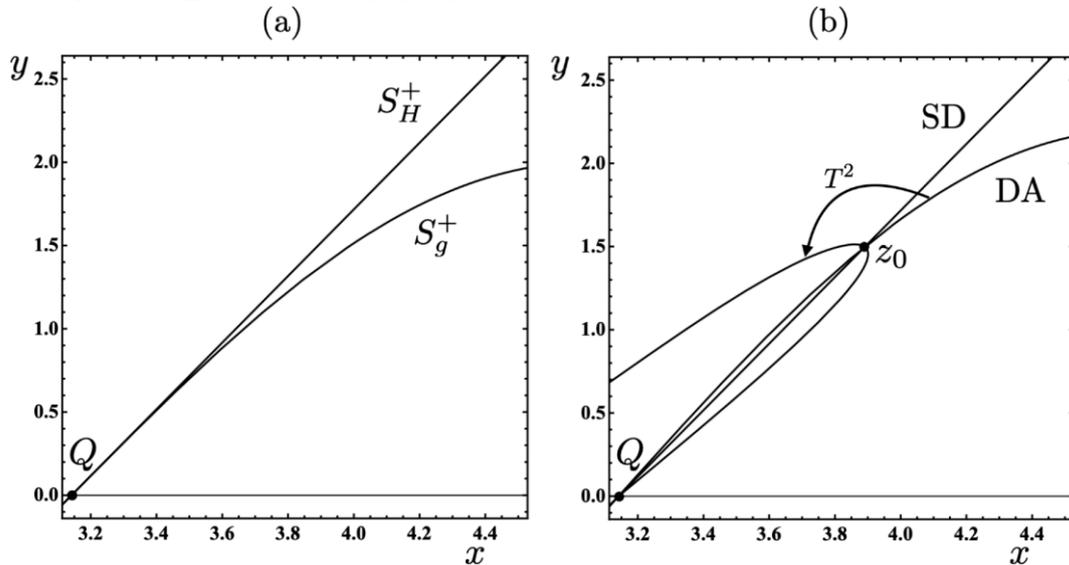


図 4: (a). 対称線 $S_H^+$ と別の対称線 $S_g^+$ が点 $Q$ で接している ( $a = 4$ ). (b). 対称線 $S_H^+$ と別の対称線 $S_g^+$ が点 $z_0$ で交差している ( $a = 4.4$ ). 主軸 (DA)と副軸(SD)の定義. 写像 $T^2$ によって主軸は反時計回りに回転する。

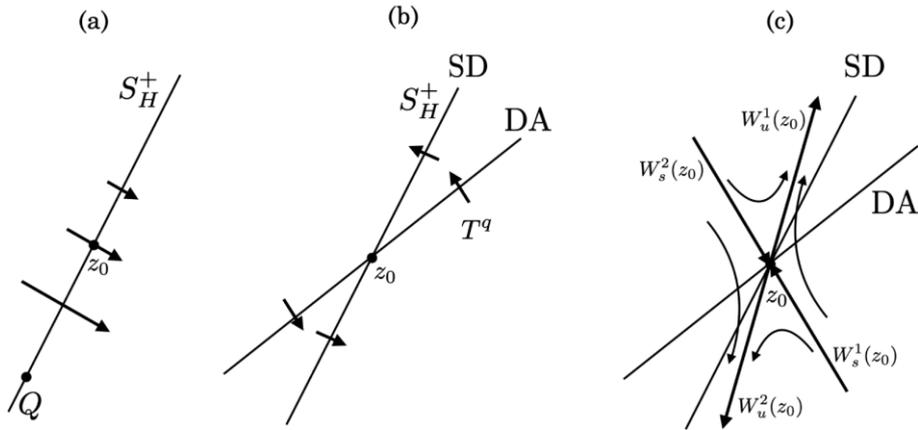


図 5 : (a). 楕円型不動点  $Q$  のまわりの単調ねじれ性. (b) 点  $z_0$  を中心とすると主軸と副軸を横切る流れの方向は反時計回りである. (c) 点  $z_0$  の不安定多様体  $W_u^{1,2}(z_0)$  と安定多様体  $W_s^{1,2}(z_0)$  の配置.

以下の議論は点  $Q$  が回転分岐を起こした直後のパラメータ領域で議論する ( $a = a_c(p/q) + \epsilon, \epsilon \ll 1$ ). 対称線  $S_H^+$  と対称線の像の交点を  $z_0$  と書く. この軌道点の回転数を  $p/q$  ( $0 < p/q \leq 1/2$ ) とする. 点  $Q$  のまわりの回転方向は時計回りであり, 点  $Q$  のまわりの回転の仕方は点  $Q$  より離れるにつれて遅くなる (図 5(a)). つまり, 標準写像では点  $Q$  のまわりの回転の仕方について単調ねじれ性が成り立つ. 視点を点  $z_0$  に移動する. これは写像  $T^q$  のもとで点の動きを観察することを意味する. 図 5(a) に示した単調ねじれ性をもとに主軸と副軸を横切る流れの方向を図 5(b) に描いた. 点  $z_0$  を中心とすると, 点  $z_0$  より下では流れの方向は左から右である. 点  $z_0$  の上では流れの方向は右から左である. まとめて主軸と副軸を横切る流れの方向は反時計回りである. 写像  $T^q$  によって主軸と副軸は反時計回りに回転することが導かれる (例は図 4(b)).

点  $z_0$  がサドル点であるとする. 図 5(b) で示された流れの方向をもとに点  $z_0$  の不安定多様体  $W_u^{1,2}(z_0)$  と安定多様体  $W_s^{1,2}(z_0)$  の配置が図 5(c) のように決まる. 不安定多様体と安定多様体に挟まれた象限に主軸 (DA) と副軸 (SD) が含まれる. これは文献 [3] によるサンドイッチ構造である.

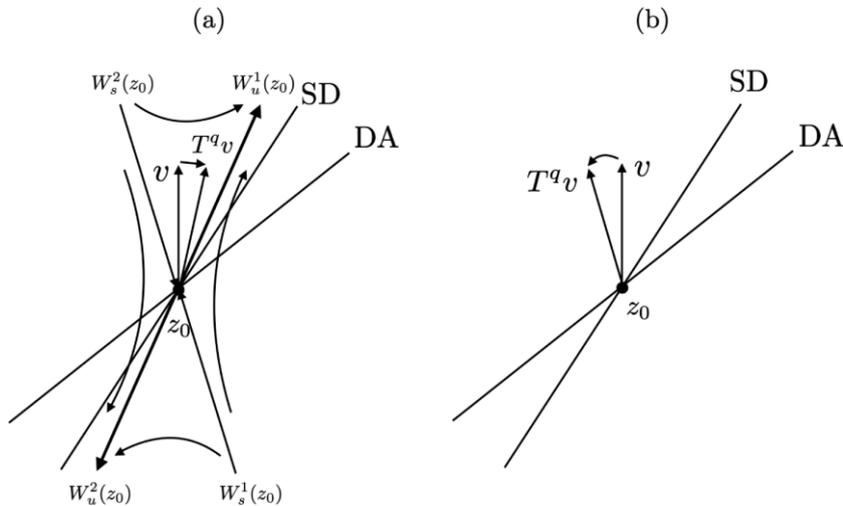


図 6 : (a). 写像  $T^q$  による微小ベクトル  $v$  の回転の仕方. (a) 点  $z_0$  がサドル点の場合. (b) 点  $z_0$  が楕円点の場合.

点  $z_0$  を基点として鉛直方向に微小ベクトル  $v$  を立てる．微小ベクトル  $v$  は不安定多様体  $W_u^1(z_0)$  と安定多様体  $W_s^2(z_0)$  に挟まれた象限に含まれる．点  $z_0$  がサドル点である場合，ベクトル  $v$  は写像  $T^q$  によって時計回りに回転して  $T^q v$  となる（図 6(a)）．点  $z_0$  が楕円点である場合，図 6(b) に示したように  $T^q v$  は反時計回りに回転する．

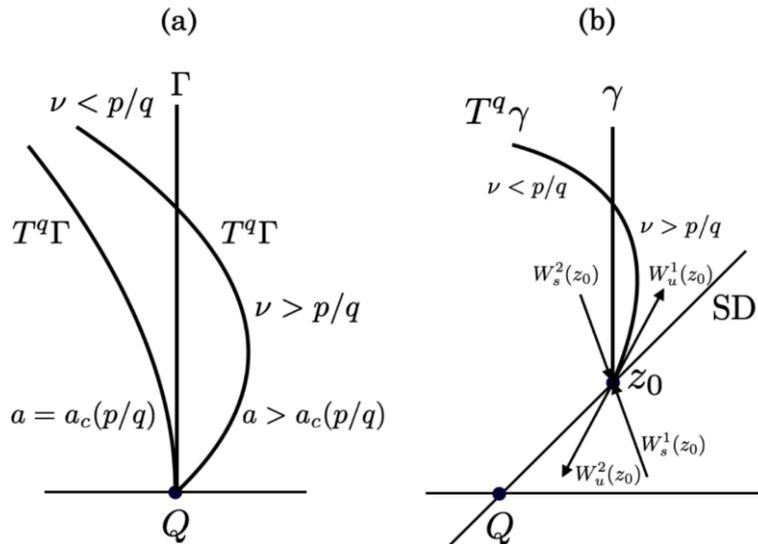


図 7：(a) 点  $Q$  のまわりの単調ねじれ性．(b) 点  $z_0$  がサドル点の場合の弧  $\gamma$  と像  $T^q \gamma$  の関係．

$a = a_c(p/q)$  における点  $Q$  のまわりの回転を仕方を図 7(a) に示した．点  $Q$  から鉛直方向にのびる動径線を  $\Gamma$  と書く．像  $T^q \Gamma$  は  $\Gamma$  と点  $Q$  で接している．点  $Q$  のまわりの回転数が一定で  $p/q$  なら， $T^q \Gamma$  は  $\Gamma$  と重なる．このことを考慮すると， $a = a_c(p/q) + \epsilon (0 < \epsilon \ll 1)$  では， $T^q \Gamma$  は点  $Q$  の近傍では  $\Gamma$  に先行し時計回り方向にふくらむ．しかし，単調ねじれ性のため点  $Q$  より離れた領域では  $\Gamma$  に遅れ反時計回り方向にたなびく．結果として，点  $Q$  の近傍に  $p/q$ -E (S) の軌道点が存在することが導かれる．

$a = a_c(p/q) + \epsilon$  で，点  $z_0$  がサドル点であると仮定する．点  $z_0$  を中心とする動径弧  $\gamma$  を鉛直に描く．弧  $\gamma$  は安定多様体  $W_s^2(z_0)$  と不安定多様体  $W_u^1(z_0)$  に挟まれた象限にある．弧  $\Gamma$  の近傍に弧  $\gamma$  があるから，弧  $\gamma$  の回転の仕方は弧  $\Gamma$  の回転の仕方とよく似ている（図 7(b)）．像  $T^q \gamma$  は，点  $z_0$  の近傍では時計回りにふくらむが，点  $z_0$  より離れた領域では回転の仕方が遅れるため反時計回りにたなびく．結果として，点  $z_0$  の近傍に点  $z_0$  とは異なる回転数  $p/q$  の軌道点が存在していることが導かれる．これは点  $Q$  が異常回転分岐を起こしたことを意味する．点  $Q$  の異常回転分岐が生じないことに反するので，点  $z_0$  が生じた直後は楕円型であることが示された．標準写像では対称線  $S_H$  が準楕円型軸である．

## 4. 対称周期軌道の性質

### 4.1. 母二重対称周期軌道の性質

図 8 に，楕円型不動点  $Q$  が回転分岐を起こして生じた回転数  $p/q = 1/4$  と  $1/6$  の楕円型周期軌道を描いた．回転数  $1/4$  の楕円型周期軌道は分類 D-II ( $k = 1$ ) に属し，回転数  $1/4$  のサドル型周期軌道は分類 D-I に属す．条件  $TS_H^- \cap S_h^- \neq \emptyset$  より軌道点  $\{w_0 \in S_H^-, w_1 \in S_h^-, w_2 \in S_H^+, w_3 \in S_h^+\}$  が決まる．また対合によって  $w_1 = gw_0$ ,  $w_3 = Hw_1$ ,  $w_2 = gw_3$  の順に写される．関係式

$w_2 = Hw_2$  より,  $w_2 = (Hg)^2w_0$  が成り立つことが確かめられる. 初期点  $w_0$  から点  $w_1$  と点  $w_3$  を経て点  $w_2$  へ線分でつなぐことで  $(Hg)$  図が得られる (図 8(a)).

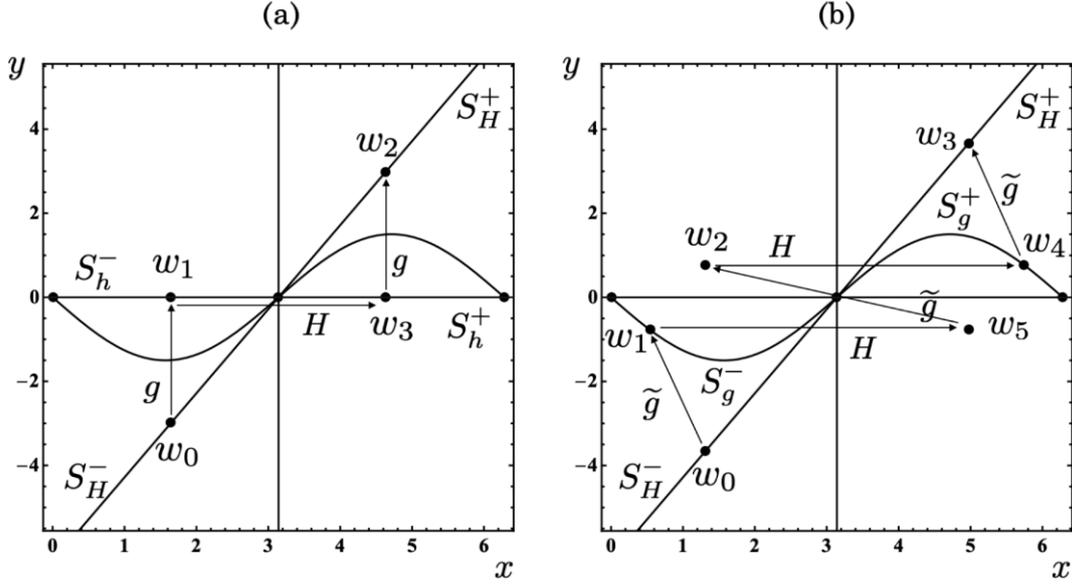


図 8 : (a) 1/4-E の軌道点.  $(Hg)$  図.  $a = 3$ . (b) 1/6-E の軌道点.  $(H\tilde{g})$  図.  $a = 3$ .

回転数 1/6 の楕円型周期軌道は分類 D-III ( $k = 1$ ) に属す. 初期点を  $w_0 \in S_H^-$  とする.  $H$  和が 6 であることより,  $w_1 = Hw_5$ ,  $w_2 = Hw_4$ ,  $w_3 = Hw_3$  を得る. 二重周期条件  $TS_H^- \cap S_g^- \neq \emptyset$  を使って  $w_0 = Hw_0$  より  $w_1 = gw_1$ , そして  $w_3 = Hw_3$  より  $w_4 = gw_4$  を得る.  $g$  和が 2 であることより,  $gw_0 = w_2$  が得られる.

対合  $\tilde{g} = T^{-1}g$  を定義する.  $\tilde{g}$  を点  $w_0$ ,  $w_5$  と  $w_4$  に作用した結果を次に示す.

$$\tilde{g}w_0 = T^{-1}gw_0 = T^{-1}w_2 = w_1, \tilde{g}w_5 = T^{-1}gw_5 = T^{-1}w_3 = w_2, \tilde{g}w_4 = T^{-1}gw_4 = T^{-1}w_4 = w_3.$$

まとめると  $w_1 = \tilde{g}w_0$ ,  $w_5 = Hw_1$ ,  $w_2 = \tilde{g}w_5$ ,  $w_4 = Hw_2$ ,  $w_3 = \tilde{g}w_4$  の順に写される. 対合  $\tilde{g}$  と  $H$  を順次作用することで, 点  $w_0$  から出発し  $w_1$ ,  $w_5$ ,  $w_2$ ,  $w_4$  を経て点  $w_3$  に到るまでの  $(H\tilde{g})$  図が得られる (図 8(b)).

次に  $(H\tilde{g})$  図を構成するための対合  $\tilde{g}$  の決め方をまとめておく.

**定義 4.1.** 母二重対称周期軌道に対する対合  $\tilde{g}$  を以下のように定義する.

- (1)  $q = 4m$  ( $m \geq 1$ ).  $\tilde{g} = g$ .
- (2)  $q = 4m + 2$  ( $m \geq 0$ ).  $\tilde{g} = T^{-(2m-1)}g$ .

(1) の場合の説明を行う. 本論文で利用する周期軌道の初期点  $w_0$  は対称線  $S_H^-$  上にある. よって分類 D-II について説明する.  $w_0 \in S_H^-$  より,  $H$  和は 0 である. また  $w_m \in S_h$  より,  $h$  和は  $2m$  である. 性質 2.5(1) より,  $g$  和として  $2m - 1$  が得られる. 初期点  $w_0$  に対合  $g$  と  $H$  を交互に作用する.

$$\begin{aligned} gw_0 &= w_{2m-1}, & Hw_{2m-1} &= w_{-(2m-1)} = w_{4m-(2m-1)} = w_{2m+1}, \\ gw_{2m+1} &= w_{-2} = w_{4m-2}, & Hw_{4m-2} &= w_{-(4m-2)} = w_2, \\ gw_2 &= w_{2m-3}, & Hw_{2m-3} &= w_{-(2m-3)} = w_{2m+3}, \\ gw_{2m+3} &= w_{-4} = w_{4m-4}, & Hw_{4m-4} &= w_{-(4m-4)} = w_4. \end{aligned}$$

添字  $2m \pm 1$  と  $2m \pm 3$  は奇数であり, 添字  $2, 4, 4m - 2, 4m - 4$  は偶数である. 対合  $g$  と  $H$  を交互に作用することで全ての軌道点を尽くすことができるので, 母軌道点に関する  $(Hg)$  図が得られる.

(2) の場合の説明を行う. 本論文で利用する周期軌道の初期点  $w_0$  は対称線  $S_H^-$  上にある. よって分類 D-III について説明する.

最初に,  $q = 2$  ( $m = 0$ ) の場合を説明する.  $\tilde{g} = Tg = h$  より,  $hw_0 = hHw_0 = Rw_0 = w_1$  が得られる. この場合, 母軌道点に関する  $(H\tilde{g})$  図が得られる.

次に,  $m \geq 1$  の場合の説明を行う.  $w_0 \in S_H^-$  より,  $H$  和は  $0$  である. また  $w_m \in S_g$  より,  $g$  和は  $2m$  である. 初期点  $w_0$  に対合  $\tilde{g}$  と  $H$  を順次作用する.

$$\begin{aligned}\tilde{g}w_0 &= w_1, & Hw_1 &= w_{-1} = w_{4m+2-1} = w_{4m+1}, \\ \tilde{g}w_{4m+1} &= w_{-4m} = w_2, & Hw_2 &= w_{-2} = w_{4m}, \\ \tilde{g}w_{4m} &= w_{-4m+1} = w_3, & Hw_3 &= w_{-3} = w_{4m-1}, \\ \tilde{g}w_{4m-1} &= w_{-4m+2} = w_4, & Hw_4 &= w_{-4} = w_{4m-2}.\end{aligned}$$

添字として偶数と奇数が出現し, 全ての軌道点を尽くすことができるので, 母軌道点に関する  $(H\tilde{g})$  図が得られる.

以上の結果をまとめて命題 4.2 が得られる.

**命題 4.2.** 母二重対称周期軌道の初期点  $w_0$  が対称線  $S_H^-$  上にあるとする. 点  $w_0$  に  $(H\tilde{g})$  を  $(q/2)$  回作用することで  $(H\tilde{g})$  図が得られる.

## 4.2. 娘二重対称周期軌道の性質

最初に, 回転数  $p/q:r/s$  の娘二重対称周期軌道の娘周期  $s$  に関する性質 4.3 を証明する.

**性質 4.3.** 娘周期  $s$  は 3 以上の奇数である.

**証明.** 娘周期  $s$  が偶数であるとして矛盾を導く. 母二重対称周期軌道点  $w_0 \in S_H^-$  より, 娘周期軌道点  $z_0$  が生じたとする. 点  $z_0$  も対称線  $S_H^-$  上にある. これより娘周期軌道は一重対称性を満たす.  $s = 4$  の例を図 9(a) に示した. 対称線  $S_H^-$  に関する対称性より,  $z_{2q}$  も対称線  $S_H^-$  上にある. また,  $z_{3q} = Hz_q$  が成り立つ.

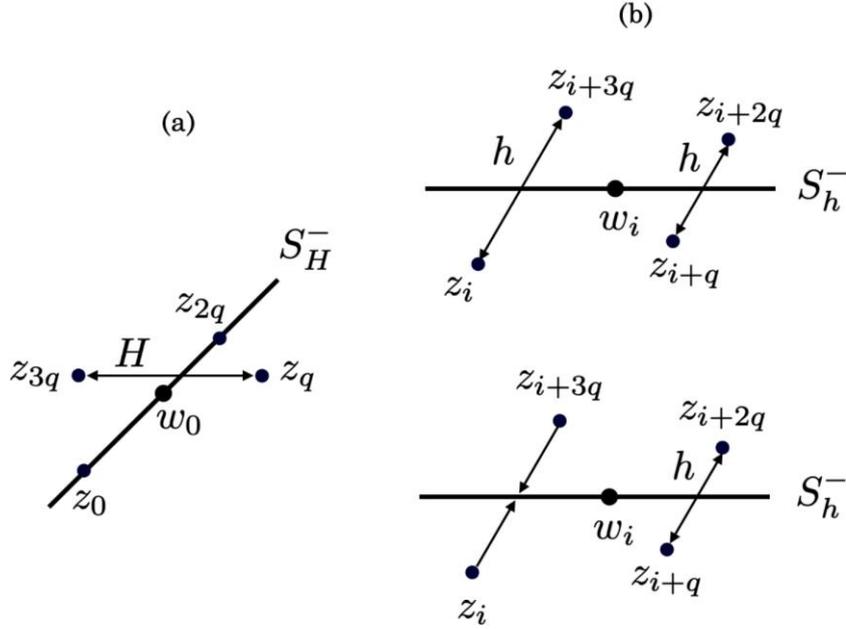


図 9: (a) 母軌道点  $w_0 \in S_H^-$  より, 四個の娘軌道点が生じた場合の四点の配置. 娘周期軌道は点  $w_0$  のまわりを反時計回りに回転する. (b) 母軌道点  $w_i \in S_h^-$  より, 四個の娘軌道点が生じた場合の四点の配置. (c) 娘周期軌道が二重対称性をもつとすると軌道点数が減少する.

母周期軌道は二重対称であるから, 対称線  $S_h$  上または  $S_g$  上に軌道点をもつ. 母周期軌道が対称線  $S_h^-$  上に軌道点  $w_i$  をもつとしよう. 点  $w_i$  のまわりにも娘軌道点が 4 個存在している. 図 9(b) のように 4 点が対称線  $S_h^-$  より離れている場合, 娘周期軌道は一重対称周期軌道である. 娘周期軌道が二重対称性をもつようにするためには, 例として点  $z_i$  を対称線  $S_h^-$  上に移動する必要がある (図 9(c)). ここで,  $z_{i+3q} = h z_i$  を利用すると,  $z_{i+3q}$  も対称線  $S_h^-$  上に移動する. つまり, 2 点が 1 点になる. 軌道点数が減少することは矛盾である. 以上で証明を終える.

これより, 娘二重対称周期軌道点の中で母軌道点  $w_0$  のまわりを回転する娘軌道点を取り出して議論を行う. 娘二重対称周期軌道に対しては対合  $\hat{g}$  を導入する.

**定義 4.4.** 娘二重対称周期軌道に対する対合  $\hat{g}$  を以下のように定義する. 回転数  $p/q:r/s$  の  $s$  は奇数 ( $s = 2n + 1$ ) とする. また, 初期点  $z_0$  について  $z_0 \in S_H^-$  が成り立つとする.

- (1)  $q = 4m + 2$  ( $m \geq 0$ ).  $\hat{g} = T^{-2m}g$ .
- (2)  $q = 4m$  ( $m \geq 1$ ).  $\hat{g} = T^{-2m+1}g$ .

**(1) の説明.** 母周期軌道の周期が  $q = 4m + 2$  の場合, 全周期  $\rho = qs$  は  $\rho = 4\alpha + 2$  ( $\alpha = 2mn + m + n$ ) と書ける.  $z_0 \in S_H^-$  と周期の関係より, この場合は表 2 の D-III の場合に相当する. D-III の場合, 表 2 より  $T^\alpha S_H^- \cap S_g = z_\alpha$  が得られる. これは点  $z_\alpha$  が対称線  $S_g$  上にあることを意味する. 点  $z_0$  の  $g$  対のパートナーは点  $z_{2\alpha}$  である. ここで,  $\text{mod}(2\alpha, q) = 2m$  であることを考慮して,  $\hat{g} = T^{-2m}g$  を導入した (図 10).

図 10 における点  $z_{2\alpha}$  に写像  $T^q$  を作用した軌道が母軌道点  $w_0$  を回らない場合を考える ( $m > 0$ ). 点  $z_{2\alpha-2m}$  は母軌道点  $w_0$  をまわる娘軌道点集合に含まれる. 添字  $(2\alpha - 2m)$  は決定されたが, 点  $z_{2\alpha-2m} = \hat{g}z_0$  が対称線  $S_H^-$  より上にあるか下にあるかはまだ決まっていない. これは命題 4.5 で決定する.





する. このことを考慮して  $T^{-2m} \circ T^{-1}S_H^+$  を描いた. 点  $w_0 (= T^{-2m}gw_0)$  の左上に点  $\hat{g}z_0$  は存在するから, 点  $\hat{g}z_0$  は  $S_H^-$  より上に存在する.  $q = 4m$  の場合の証明も同様に行えるので証明は省く.

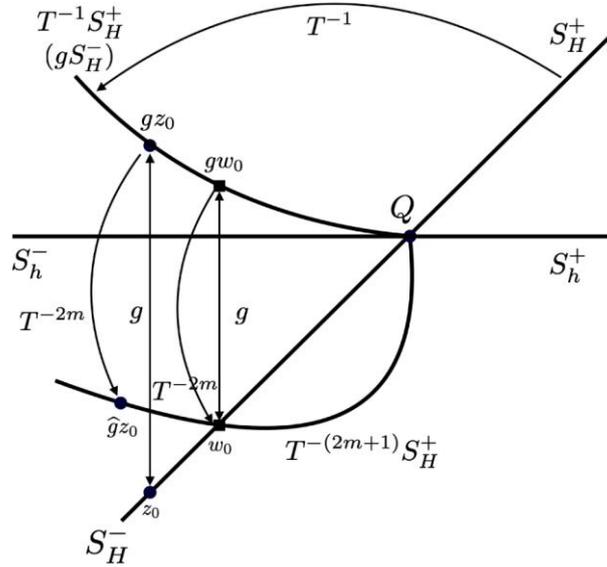


図 13 : 軌道点  $w_0$  は母軌道点. 娘軌道点  $\hat{g}z_0$  は対称線  $S_H^-$  より上に存在する.

**命題 4.7.** 初期点  $z_0$  が対称線  $S_H^-$  上にあるとする.  $(H\hat{g})^2 z_0 = z_q (q = 4m, 4m + 2)$  が成り立つ.

**証明.**  $q = 4m$  の場合を証明する.

$$H(T^{-2m+1}g)H(T^{-2m+1}g)z_0 = T^{4m-2}(Hg)^2 = T^{4m-2}R^2T^2 = T^{4m}.$$

### 4.3. 娘一重対称周期軌道の性質

回転数  $1/2$  の母二重対称周期軌道が回転分岐を起こして生じた回転数  $1/2:1/3$  の娘一重対称周期軌道の性質を簡単に説明する. 回転数  $1/2$  の母軌道点を  $\{w_0, w_1\}$  とする. 対称線  $S_H^-$  上にある点を  $w_0$  とすると, 点  $w_1$  は対称線  $S_H^+$  上にある (図 14). 対称線  $S_H^-$  に初期点をもつ 6 周期の二つの娘一重対称周期軌道点も図 14 に描いておいた. 点  $z_0$  を  $S_H^-$  上, 点  $w_0$  の左下を取れば, 点  $\zeta_0$  は  $S_H^-$  上, 点  $w_0$  の右上にある. 周期が 6 であるから,  $O(z_0)$  は対称線  $S_H^+$  上に軌道点  $z_3$  をもち,  $O(\zeta_0)$  は対称線  $S_H^+$  上に軌道点  $\zeta_3$  をもつ.  $O(z_0) \cup O(\zeta_0)$  が二重対称性をもつこと利用すると,  $\zeta_3 = Rz_0$  と  $z_3 = R\zeta_0$  が成り立つ. 点  $\{z_0, \zeta_4, z_2, \zeta_0, z_4, \zeta_2\}$  を 180 度回転すると, 点  $\{\zeta_3, z_1, \zeta_5, z_3, \zeta_1, z_5\}$  となる.

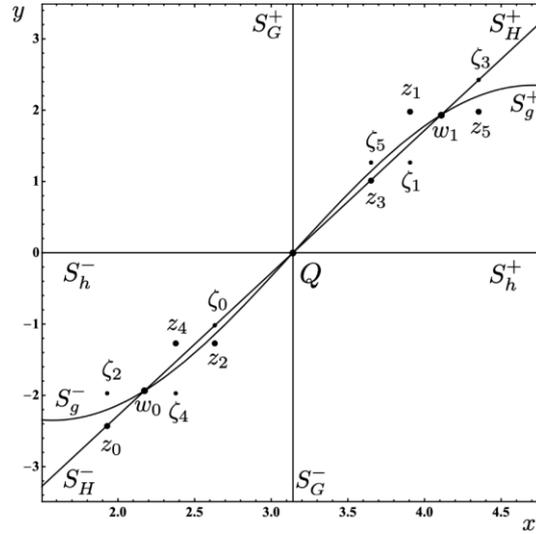


図 14：回転数 $1/2$ の母二重対称周期軌道点 $\{w_0, w_1\}$ と，回転数 $1/2:1/3$ の二つの娘一重対称周期軌道点． $a = 4.7$ ．

上記で得られた性質をもとにして一般の場合を説明する．ここでは，母周期 $q$ を $q = 4m + 2$ とし，娘周期 $s$ を $s = 2n + 1$ とする．全周期は $\rho = qs$ である．三点 $\{z_0, w_0, \zeta_0\}$ は対称線 $S_H^-$ 上にあるとする．三点 $\{z_{\rho/2} = Rz_0, w_{q/2} = Rw_0, \zeta_{\rho/2} = Rz_0\}$ は対称線 $S_H^+$ 上にあり，この順に左から右へと並んでいる（図 15）．また，像 $gS_H^- = T^{-1}S_H^+$ 上には，左から $gz_0, gw_0, g\zeta_0$ の順に並んでいる．下記の関係が成り立つ．

$$gz_0 = \zeta_{\rho/2-1}, \quad (21)$$

$$gw_0 = w_{q/2-1} = w_{2m}, \quad (22)$$

$$g\zeta_0 = z_{\rho/2-1}. \quad (23)$$

$q/2 - 1 = 2m$ を利用した． $s = 2n + 1$ より，次の関係が得られる．

$$\hat{g}\zeta_0 = T^{-2m}g\zeta_0 = z_{\rho/2-2m-1} = z_{nq}. \quad (24)$$

点 $Q$ のまわりの単調ねじれ性より， $T^{-(2m+1)}S_H^+$ の形状は 図 15 に描いたようになる．これより  $\hat{g}\zeta_0 = z_{nq}$  は対称線 $S_H^-$ より下にあることが導かれた．軌道点 $\hat{g}\zeta_0$ を利用する理由は，この軌道点が初期点 $z_0$ に写像 $T^q$ を $n$ 回作用し得られた軌道点であるからである．

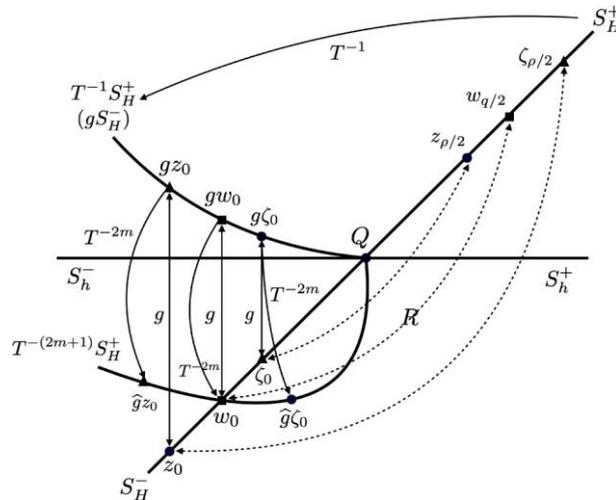


図 15：点 $w_0$ は母軌道点．娘軌道点 $\hat{g}\zeta_0$ は対称線 $S_H^-$ より下にある．

以上で得られた結果を命題 4.8 としてまとめる.

**命題 4.8.** 一重対称周期軌道の点  $\hat{g}z_0$  は対称線  $S_H^-$  より下に存在する.

## 5. 定理 1.5 の証明

### 5.1. 娘周期軌道が二重対称ならば, 回転回数 $r$ は偶数であることの証明

母対称周期軌道点  $w_0$  のまわりを回転する娘周期軌道の配置を図 16 に描いた.

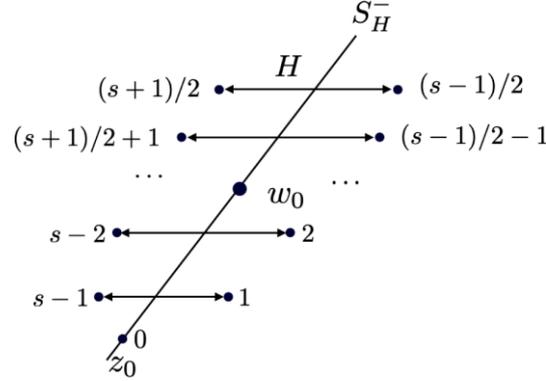


図 16: 点  $w_0$  は母軌道点. 娘軌道点  $\hat{g}z_0$  は対称線  $S_H^-$  より下にある.

初期点  $z_0$  を 0 番として反時計回りに番号を付けた. これらの番号は 0 番からの空間的順序を表現している. 娘周期  $s$  が奇数であるから, 0 番から  $(s-1)/2$  番までは対称線  $S_H^-$  より下であり,  $(s+1)/2$  番から  $(s-1)$  番までは対称線  $S_H^-$  より上にある. 矢印は  $H$  対を表している.

母周期  $q = 4m + 2$  ( $m \geq 0$ ) の場合を証明する. 性質 4.3 より娘周期  $s$  は奇数であるから,  $s = 2n + 1$  ( $n \geq 1$ ) と書く. これを利用すると,  $\hat{g}z_0 = z_{2\alpha-2m} = z_{(4m+2)n}$  が得られる. ここで,  $\alpha = 2mn + m + n$ .

軌道点  $z_{(4m+2)n}$  は点  $z_0$  に写像  $T^{4m+2}$  を  $n$  回写像した点である.  $T^q$  ( $q = 4m + 2$ ) に関する回転数が  $r/s$  であるから, 初期点  $z_0$  を 0 番とすると点  $z_{(4m+2)n}$  ( $= \hat{g}z_0$ ) は  $\text{mod}(nr, s)$  番目にある. 回転回数  $r$  が偶数の場合,  $r = 2j$  とする.  $2j/s < 1$  より,  $0 < 2j < s$  が得られる.  $2j$  が偶数であるから,  $0 < j \leq (s-1)/2$  が得られる.  $n = (s-1)/2$  より, 次式が得られる.

$$\text{mod}(nr, s) = \text{mod}((s-1)/2 \times (2j), s) = -j \equiv s - j. \quad (25)$$

$j$  に関する条件より,  $s-1 \geq s-j \geq (s+1)/2$  が得られる. 図 16 より, 点  $z_{(4m+2)n}$  は対称線  $S_H^-$  より上にある. 回転回数  $r$  が偶数ならば, 得られた結果は命題 4.6 と整合性がとれている.

回転回数  $r$  が奇数の場合,  $r = 2j + 1$  とする.  $j \geq 0$  と  $(2j+1)/s < 1$  より,  $0 \leq j < (s-1)/2$  が得られる.

$$\text{mod}(nr, s) = \text{mod}((s-1)/2 \times (2j+1), s) = (s-1)/2 - j \leq (s-1)/2. \quad (26)$$

最後の関係を得るために  $j$  の最小値 0 を代入した. 図 16 より, 点  $z_{(4m+2)n}$  は対称線  $S_H^-$  より下にある. 回転回数  $r$  が奇数ならば, 得られた結果は命題 4.6 に反する. 以上で回転回数  $r$  が偶数であることが証明された.

次に  $q = 4m$  ( $m \geq 1$ ) の場合を証明する. この場合,  $z_0$  の  $g$  対のパートナーは  $z_{2\alpha-1}$  である.  $\hat{g} = T^{-2m+1}g$  より,

$$\hat{g}z_0 = T^{-2m+1}z_{2\alpha-1} = z_{2\alpha-2m} = z_{4mn}$$

が得られる．軌道点  $z_{4mn}$  は点  $z_0$  に写像  $T^{4m}$  を  $n$  回写像した点である．つまり，この点は  $\text{mod}(nr, s)$  番目にある． $q = 4m + 2$  の場合の結果より，回転回数  $r$  が偶数であることが証明できるので詳細は省く．

## 5.2. 娘周期軌道が一重対称ならば，回転回数 $r$ は奇数であることの証明

娘周期軌道が一重対称性をもつ場合，娘周期  $s$  が偶数の場合と奇数の場合に分ける．娘回転数  $r/s$  が既約分数であるから，娘周期  $s$  が偶数ならば回転回数  $r$  が奇数であることは自明である．よって，娘周期  $s$  が奇数ならば回転回数  $r$  が奇数であることを証明する．

母周期が  $q = 4m + 2$  で，娘周期が  $s = 2n + 1$  の場合を証明する． $q = 4m$  の場合の証明も同様であるので省く．第 4.3 節で導入された表現を利用し，第 5.1 節で行なった手順を繰り返す．像  $T^{-1}S_H^+$  上にある軌道点  $g\zeta_0 = z_{\rho/2-1}$  の添字  $(\rho/2 - 1)$  を以下のように書き直す．

$$\rho/2 - 1 = q(2n + 1)/2 - 1 = nq + (q/2 - 1) = nq + 2m.$$

$\text{mod}(\rho/2 - 1, q) = 2m$  が得られる．

$\hat{g}\zeta_0 = T^{-2m}g\zeta_0 = z_{qn}$  であるから， $\text{mod}(n \times r, s)$  を調べる．回転回数  $r$  が奇数の場合， $r = 2j + 1$  とする． $j \geq 0$  と  $0 < r/s < 1$  より， $0 \leq j < (s - 1)/2$  が成り立つ．

$$\text{mod}(n \times r, s) = \text{mod}((sj - j + (s - 1)/2, s) = (s - 1)/2 - j. \quad (27)$$

$j$  に関する条件より， $0 < (s - 1)/2 - j \leq (s - 1)/2$  が得られる．図 16 より，点  $z_{qn}$  は対称線  $S_H^-$  より下にある．回転回数  $r$  が奇数ならば，得られた結果は命題 4.8 と整合性がとれている．

回転回数  $r$  が偶数の場合， $r = 2j$  とする． $0 < r/s < 1$  より， $1 \leq j \leq (s - 1)/2$  が成り立つ．

$$\text{mod}(n \times r, s) = \text{mod}((sj - j, s) = -j \equiv s - j \geq (s + 1)/2. \quad (28)$$

最後の不等式を得るために， $j$  の最大値  $(s - 1)/2$  を代入した．図 16 より，点  $z_{qn}$  は対称線  $S_H^-$  より上にある．回転回数  $r$  が偶数の場合，得られた結果は命題 4.8 に反する．以上で回転回数  $r$  が奇数であることが証明された．

## 6. まとめ

本論文で準楕円型軸を導入した．対称線  $S_H$  が準楕円型軸であること（命題 1.4）を証明をした．要請 1.3 と命題 1.4 のもとで，二重対称周期軌道が回転分岐を起こして生じた娘周期軌道の対称性と回転数に関する定理 1.5 を証明した． $(H\hat{g})$  図等を導入し，娘対称周期軌道の幾何学的な性質を明らかにした．

$(H\hat{g})$  図は一筆書き可能な図形である．このことを利用すると 定理 1.5 を構成的方法で証明できることを指摘しておく．

対称楕円型周期軌道 が回転分岐を起こした場合，娘周期軌道として非対称周期軌道が生じないことが明らかになれば，定理 1.5[1] と [2] の逆が成り立つ証明が行える．これは今後の課題とする．

## 謝辞

査読者より多くのコメントを賜りました．心より感謝いたします．

## 付録 A 異常回転分岐

参考文献[5]で得られた結果を例をもとに簡単にまとめる．下記の接続写像 $T_H$ を利用する．

$$T_H : y_{n+1} = y_n + a(x_n - x_n^2), \quad x_{n+1} = x_n + y_{n+1}. \quad (29)$$

楕円型不動点 $Q$ は $(1,0)$ にある．対称線は二つあり， $S_g$  ( $y = -a/2(x - x^2)$ )と $S_h$  ( $y = 0$ )と書く．これらを二つの部分に分ける．ただし，不動点 $Q$ の $x$ 座標である $x = 1$ を対称線 $S_g^+$ と $S_h^+$ に含めてある．

$$S_g^+ : y = -a/2(x - x^2)(x \geq 1), \quad S_g^- : y = -a/2(x - x^2)(0 < x \leq 1). \quad (30)$$

$$S_h^+ : y = 0(x \geq 1), \quad S_h^- : y = 0(0 < x \leq 1). \quad (31)$$

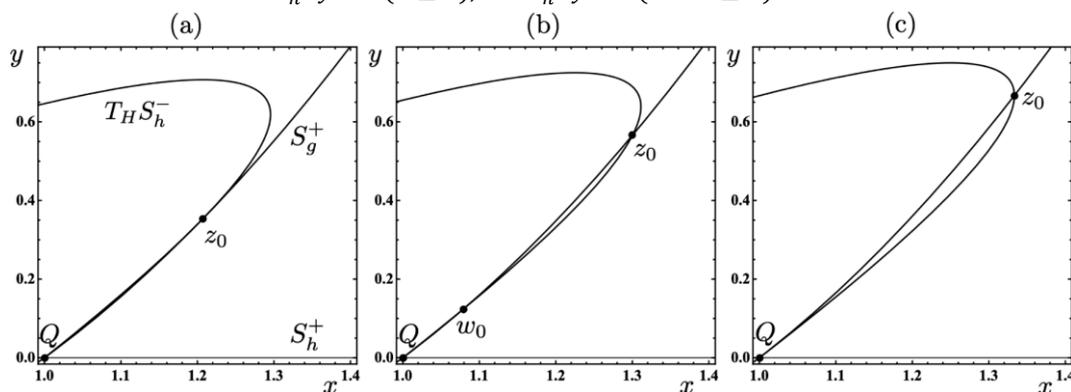


図 17：接続写像 $T_H$ における異常回転分岐．(a)  $a = 2\sqrt{2}$ . (b)  $a = 2.9$ . (c)  $a = 3$ .

異常回転分岐が生じる臨界値は $a = 2\sqrt{2}$ で，式(19)の臨界値は $a_c(1/3) = 3$ である．つまり区間 $[2\sqrt{2}, 3)$ が異常回転パラメータ区間である． $a = 2\sqrt{2}$ で，点 $Q$ より離れた点で対称線 $S_g^+$ と像 $T_H S_h^-$ が接する（図 17(a)）．接点を点 $z_0$ とする． $a$ を増加すると対称線 $S_g^+$ と像 $T_H S_h^-$ の交点が二つ生じる．これらを点 $z_0$ と点 $w_0$ とする．点 $z_0$ は楕円型軌道点で，点 $w_0$ はサドル型軌道点である． $a = 2.9$ における 2 点の配置を図 17(b)に示した．臨界値 $a_c(1/3) = 3$ では，点 $w_0$ と点 $Q$ は一致する（図 17(c)）．

異常回転分岐が生じる場合，臨界値 $a_c(p/q)$ で点 $Q$ より離れた地点に楕円型軌道点が存在している．これが異常回転分岐が生じる場合の特徴である．この結果をもとに点 $Q$ が異常回転分岐を起こすための必要条件 A.1 が得られる．

**必要条件 A.1.** 楕円型不動点 $Q$ を対称線と対称線の像または別の対称線が通過しているとす．対称線の像または別の対称線の $y \geq 0$ における曲率が正（負）である場合，点 $Q$ が異常回転分岐を起こすためには対称線の $y \geq 0$ における曲率が正（負）であることが必要である．

## 参考文献

- [1] 山口喜博，二重可逆面積保存写像における二重対称周期軌道，形の科学会誌，第 34 巻，(2019)，13-42. [https://katachi-jp.com/paper/34\\_1\\_web.pdf](https://katachi-jp.com/paper/34_1_web.pdf)
- [2] 山口喜博，谷川清隆，標準写像におけるファーレイ型非バーコフ周期軌道と不安定ゾーン．国立天文台報，第 13 巻 (2010)，45-84.

<https://www.nao.ac.jp/contents/about-naoj/reports/report-naoj/13-34-2.pdf>

- [3] 山口喜博, 谷川清隆, 馬蹄への道 (共立出版, 2016).
- [4] Greene, J. M., A method for determining a stochastic transition, J. Math. Phys. 20 (1979), 1183-1201. <http://dx.doi.org/10.1063/1.524170>.
- [5] 山口喜博, 異常回転分岐への長い道, 形の科学会誌, 第 34 卷, 第 2 号 (2019), 56-77.  
[https://katachi-jp.com/paper/34\\_2\\_web.pdf](https://katachi-jp.com/paper/34_2_web.pdf)



エッセイ：

## 2022 年過去への旅

－Google マップを使って過去を旅する－

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 4 月 27 日受付、2022 年 4 月 27 日受理)

「2001 年宇宙の旅」は、スタンリー・キューブリックとアーサー・C・クラーク脚本による SF 映画の古典である。1968 年に公開された SF 映画は、人工知能、地球外生命体、霊長類の進化など興味深い多くのテーマを取り扱っている。クラークの代表作として知られている「幼年期の終わり」(1964 年に早川書房から最初に日本語訳が出版)では、個々の知性から集合体としての知性への進化が取り上げられており、インターネットを介した集合体としての知性への進化の始まりを先取りしているのでは、と思わされる。

多くの SF ファンの例にもれず、著者もクラークへの礼讃を惜しまないものの一人である。著者は、アイザック・アシモフのファンでもあり、ロボットシリーズも熱狂して読んだ。アシモフのロボットシリーズは、アシモフのもう一つの代表作である銀河帝国シリーズと融合していく。SF のテーマとして、ロボット、宇宙 (壮大な空間旅行)、とくれば次は時間旅行である。ここでは、過去への時間旅行を考えてみよう。

H・G・ウェルズの身体的时间移動を伴った「タイム・マシン」ではない。どちらかと言うと、「意識だけの時間旅行」に近い。Google マップを使った「過去」への旅行である。きっかけは、google マップを使っていた時、ふと気が付いたのが事の始まりである。Google マップを使うと、空間だけでなく時間も旅することができることを発見したのだ。著者がいたく感動して若い同僚に話すと、「ずっと前から知っていましたよ」と当然のように返されてしまった。

実は他愛ない話である。PC を使って google マップのストリートビューを見ているとき、何時撮影されたかの情報があるのに気が付いたというだけの話である。いろいろと試していたとき、自分の住んでいる近所のストリートビューに、家族が映っていた。もちろん顔などはぼかされているが、家族であれば、誰だか分かる。そしてその映像が撮られた時の日付を見て、過去の家族を見ることができる時間旅行をしていたと思ったのである。

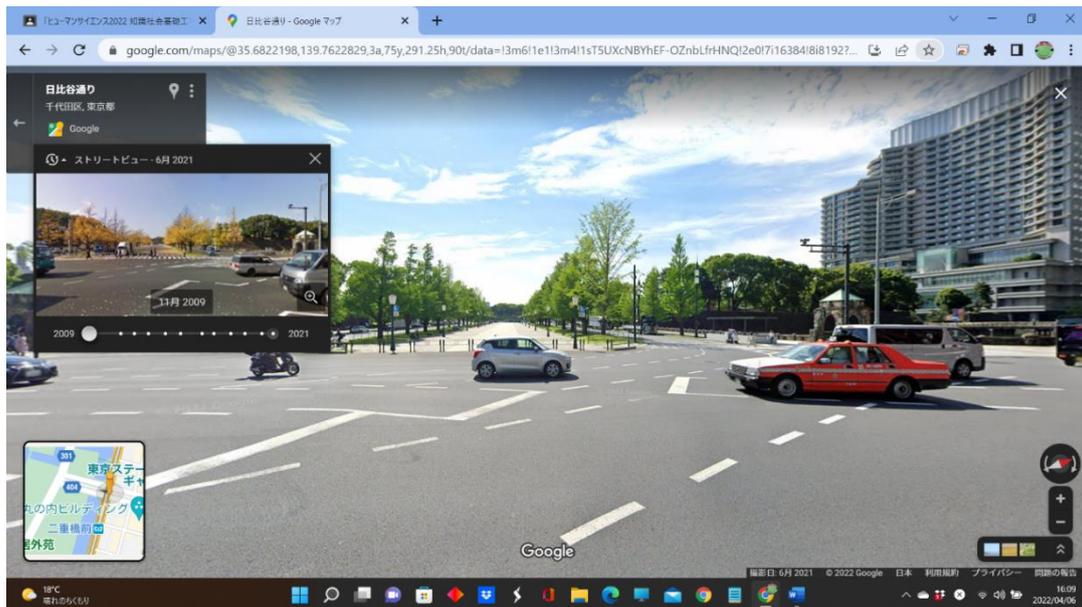


図1 東京都千代田区日比谷通りのストリートビュー(2022年4月6日時点で、google mapを使って作成したもの。)

さて、図1の東京都千代田区日比谷通りのストリートビューを例に見ていこう。左上のストリートビューというウィンドウの下部のスライダーを動かすことで、撮影された時期を変えられる(iPhoneやiPadでは、googleマップのストリートビューの撮影時期は変えられなかった)。2021年6月から2009年11月のものを見ることができるので、新しいビルディングが建築されているのを探してみるのも楽しいだろう。さらに、頻りにストリートビューが更新されている場所では、もっと面白いことが楽しめる。例えば、ニューヨークのセントラルパークでは四季が楽しめる。図2に、セントラルパーク周辺(119セントラル・パーク・ウェスト 72ストリート)の2014年6月 2014年9月 2014年12月のストリートビューを示す。木々を見ることで、青葉から紅葉の始まりを経て冬に向かう落葉までの季節の変化を楽しめるのではないだろうか。

さらに、想像を膨らませてみよう。今よりも取り扱えるデータ量が増えると、Virtual Realityの技術を使いある過去の時点にもどり、その状況を初期値とし、登場人物をアバター(ロボット)として、ある時点からやり直すことができるのではないだろうか。Virtual Realityを使った過去のやり直しは、近い未来には不可能ではないかもしれない。人は誰にでも「やり直したい過去」があると思うのは、著者だけであろうか？

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。

【補足:「幼年期の終わり」、「タイム・マシン」はSFの古典であり、現在では複数の出版社から日本語訳が出版されています。また、SF映画の古典と言える「2001年宇宙の旅」は、Amazonプライムなどで簡単に見ることができます。(2022年4月25日時点)】

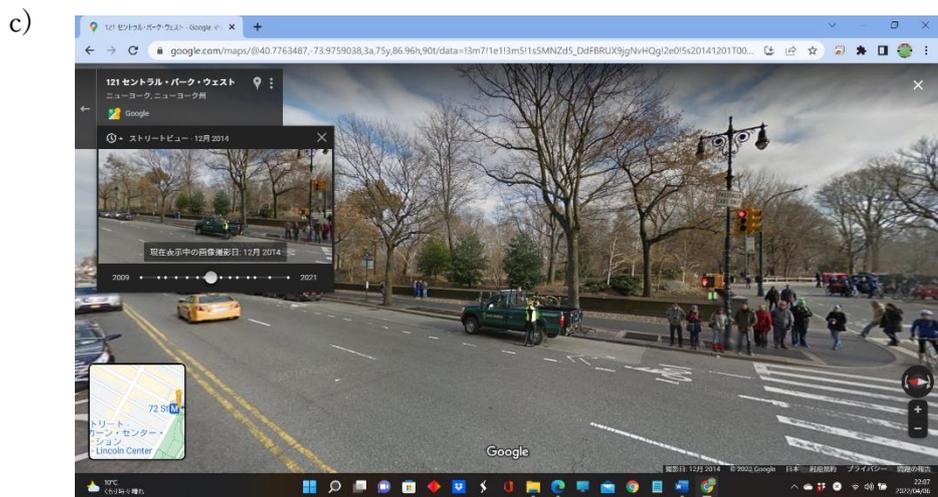
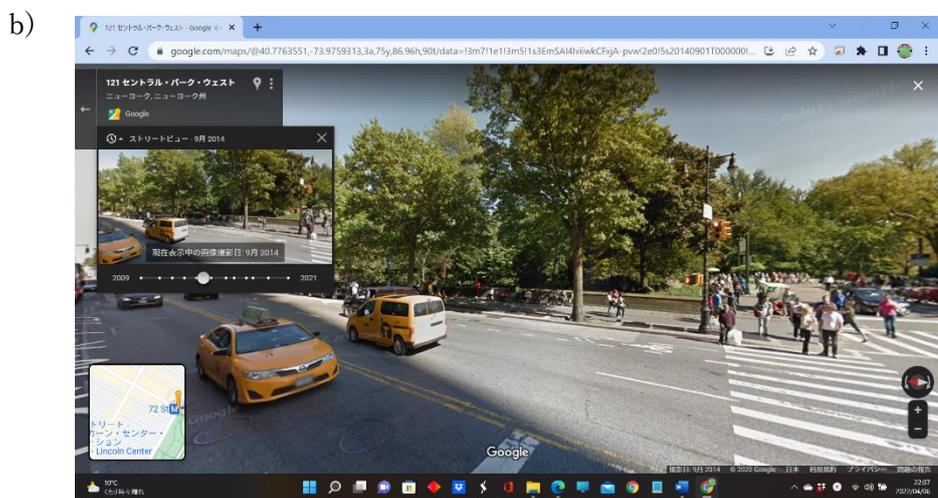


図2 セントラルパーク（119セントラル・パーク・ウェスト 72ストリート）季節の変化をGoogleマップのストリートビューで楽しむ。a)2014年6月、b)2014年9月、c)2014年12月。

## 付録 Google マップでのストリートビューの使い方

1. Google マップを開く。
2. 人のアイコンを選ぶ。
3. 見たい場所まで人のアイコンをドラッグ&ドロップで移動させる。



トピックス

今、形の科学が熱い

— 球の充填でフィールズ賞 —

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 10 月 13 日受付、2022 年 10 月 13 日受理)

ウクライナ出身のマリナ・ビヤゾフスカ教授がフィールズ賞を受賞したことが発表された。女性で 2 人目の受賞者であることと同時に、ウクライナ出身であることにより、多くの注目を集めた。2022 年 7 月 6 日に、ネットで知った形の科学に関連した話題である。何やら、高次元での球の packing の研究ですごいことをやったらしい。そうか…!?

球の packing は、形の科学会の発足当初からの研究テーマである。簡潔に球の packing について知りたい方は、形の科学会の英文誌 *Forma* に掲載された D.Weaire 博士の論文[1]を読むのが良いだろう。さり気なく形の科学会を宣伝しておきます。

閑話休題、ビヤゾフスカ教授の話に戻ろう。困ったときには、ネットだ。そこで、「ビヤゾフスカ Wikipedia」とタイプして、Google で調べた。あったあったよ、Wikipedia では、「マリナ・ヴィヤゾフスカ」で出てきた[2]。球充填問題を 8 次元と 24 次元で解決したらしい。1984 年 12 月 2 日生まれの 37 歳の女性数学者らしい。キエフ大学の大学生時代には、数学オリンピックにも出場しているらしい。ロシアのウクライナ侵攻で、キエフ（キーウ）にもミサイルが撃ち込まれているが大丈夫だろうか、と心配になってきたが、先を読み続けると、現在は、スイスのスイス連邦工科大学ローザンヌ校で教鞭をとっているらしい。ひとまずは、命の危険はなさそうだ。

さて、球充填問題にもどると、4 次元や 5 次元よりも高次元の 8 次元、24 次元で厳密解が得られたというのは、面白い。歴史を含めた解説は、Wikipedia にも引用されている専門家向けでない Knudson の解説記事[3]が簡潔で分かり易いと思う。もっと踏み込んだ解説をしたいのだが著者の能力を超えていると思われるので、今年のフィールズ賞には球の充填問題の研究でウクライナ出身の女性数学者が選ばれた、と紹介するだけで終わります。

#### 参考文献

- [1] マリナ・ヴィヤゾフスカ Wikipedia 日本語
- [2] Denis Weaire: A short history of packing problems, *Forma*, 14, 279-285, (1999)
- [3] Kevin Knudson: Stacking Cannonballs in 8 Dimensions, Mar 29, *Forbes Science*, (2016)

## 富士には黄金比がよく似合う

山口喜博

〒290-0073 千葉県市原市国分寺台中央 2-4-14

chaosfractal@iCloud.com

The golden ratio suits Mt.Fuji well

Yoshihiro Yamaguchi

2-4-14 Kokubunjidai-Chuo, Ichihara, Chiba 290-0073, Japan

(2022 年 7 月 25 日受付, 2022 年 7 月 25 日受理)

最初に写真撮影でよく利用される三分割法を紹介する. ウィキペディアの解説を次に引用する[1].

「三分割法 (さんぶんかつほう, rule of thirds) は, 絵画や写真, デザインなどの視覚芸術において, 画面の構図を決定する際に用いられる経験則のひとつ. 三分の一の法則ともいう. この法則は, 等間隔に引いた水平線と垂直線 2 本ずつにより画面を 9 等分 (上下・左右方向にそれぞれ 3 等分) すると仮定し, それらの線上, もしくは線同士の交点上に構図上の重要な要素を配置すると, バランスが取れて安定した構図が得られるというものである。」

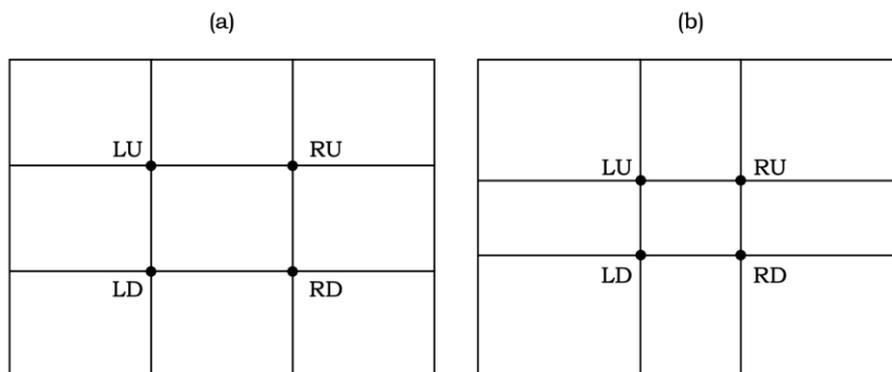


図 1 : (a) 通常の三分割法. (b) 黄金比を利用した三分割法.

図 1 の長方形の縦の長さを 3 とし横の長さを 4 とする. このような比にした理由は, 画素数の比が 3:4 となっているデジタルカメラが多いからである. 長方形の左下を原点とする. 通常の三分割法の座標を次に示す.

$$LD = (4/3, 1), LU = (4/3, 2), RD = (8/3, 1), RU = (8/3, 2)$$

黄金比を利用した三分割法の場合の座標は以下のようになる.

$$LD = (4\gamma, 3\gamma), LU = (4\gamma, 3(1-\gamma)), RD = (4(1-\gamma), 3\gamma), RU = (4(1-\gamma), 3(1-\gamma)).$$

ここで  $\gamma = 2 - \gamma_{GM} = 0.381966$ ,  $\gamma_{GM} = (1 + \sqrt{5})/2 = 1.618033$ .  $\gamma_{GM}$  は黄金比[1]と呼ばれている. 以下の議論では  $\gamma = 0.382$  とする.

通常の三分割法における RD の位置に富士山頂を配置すると左上方の空間が空きすぎる. これが三分割法の欠点である. 同様の欠点が黄金比を利用した三分割法の場合にもある. 富

士山と別の対象物を共に写し込む場合に、黄金比を利用した三分割法が使えるようである。

富士山を描いた絵師と富士山の写真家は多くいる。ここでは、絵師として葛飾北斎をとりあげ、写真家として白簾史郎氏をとりあげる。

葛飾北斎の富嶽三十六景[2]は、後に 10 枚追加され全部で 46 作品となる。「諸人登山」は富士山を登っている人が描かれているので富士山の位置のデータは得られない。「甲州三坂水面」には逆さ富士が描かれているので、この図版からは二つのデータが得られる。富嶽三十六景からは 46 のデータが得られた。これらをもとに度数分布を作成した。白簾史郎氏の富士百景[3]では、103 のデータが得られ度数分布を作成した。

データの取り方を説明する。横方向の長さを 1 として富士山の位置を決める。富士山頂の横位置が 0.77 の場合、右から測ると 0.23 の位置になる。全ての位置を 0 から 0.5 の間にした。縦位置においても同様である。この場合における黄金比に対応する比が  $\gamma$  である。

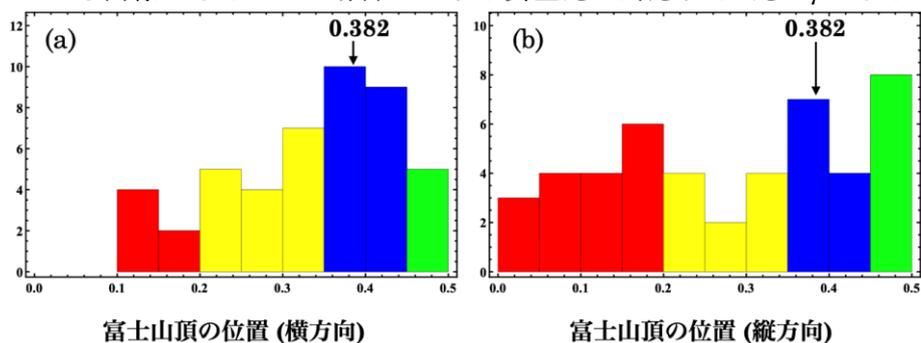


図 2：富嶽三十六景．度数分布．(a) 横位置．(b) 縦位置．

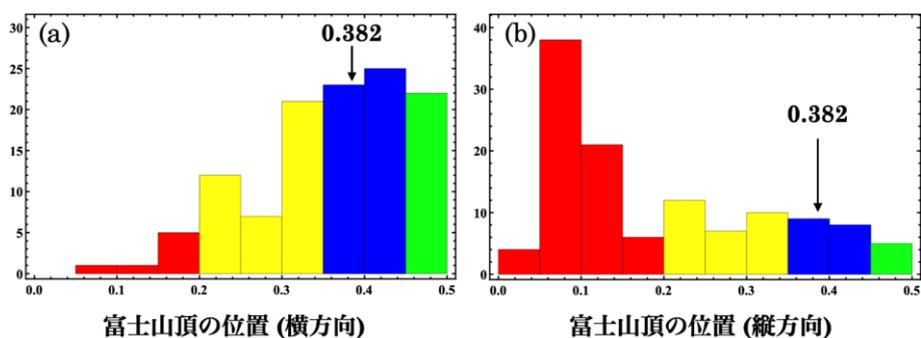


図 3：富士百景．度数分布．(a) 横位置．(b) 縦位置．

これらの度数分布を比較することで二人の巨匠の個性を取り出すことができる。横位置について、葛飾北斎の描いた富士山に関する度数分布と白簾史郎氏の撮影した富士山に関する度数分布はよく似ている(図 2(a)と図 3(a))。黄金比を利用していることは明らかである。

縦位置について、葛飾北斎は「黄金比から大きく外れた位置に富士山頂を置く」配置を主として利用し黄金比と中心配置も利用している(図 2(b))。白簾史郎氏は「黄金比から大きく外れた位置に富士山頂を置く」配置が好みであるように思われる(図 3(b))。筆者は、「富士山頂の縦位置を比較することで絵師/写真家の個性を取り出すことができる」と考えている。

富士写真作家協会が出版した富士秀景写真集[4]からは、富士山の配置について 72 のデータが得られた。横位置の度数分布(図 4(a))は、葛飾北斎と白簾史郎の度数分布とは本質的に異なる。富士山を中心に置く写真が多い。これはアマチュア写真家の傾向である。縦位置の

度数分布(図 4(b))から、富士写真作家協会の人たちも黄金比から大きく外れた位置に富士山頂を置こうとしていることが読み取れる。

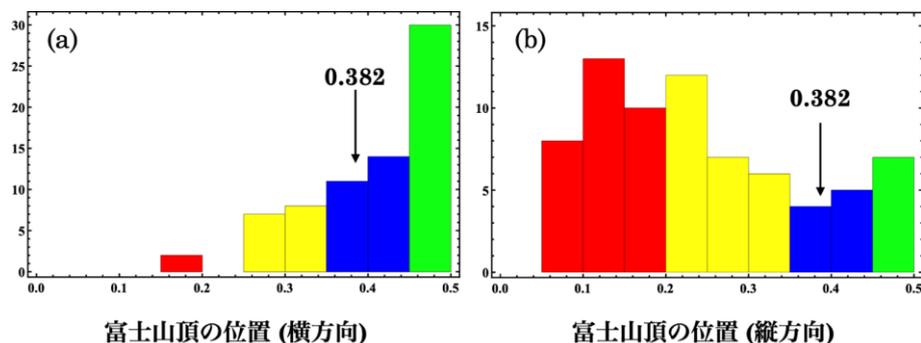


図 4：富士秀景写真集. 度数分布. (a) 横位置. (b) 縦位置.

以上の比較から筆者が富士山を撮影する時に実施している撮影方法を紹介する。

第一優先：黄金比を利用した三分割法を利用して撮影する。

第二優先：黄金比から大きく外れた位置に富士山を配置し撮影する。

第三優先：富士山を中央に配置した写真を撮影する。

最後に筆者の撮影した富士山の写真を二枚紹介する。参考例 1(図 5)では、RD の位置に富士山を配置した。結果として写真の左上方に大きな領域が残り、この領域にある朝日に輝く雲が自然に目に入る。輝く雲は富士山があるおかげで被写体として意味を持つ。

参考例 2(図 6)では LD の位置に富士山を配置した。右上方にある月と夏雲が自然に強調される。この写真でも富士山がなければ写真としての価値はない。

黄金比を利用した写真は長く飾っておいても飽きがこないと筆者は考えている。富士山を撮影する際に上記の優先順位を思い出していただければ幸いです。

## 参考資料

[1] ウィキペディア。

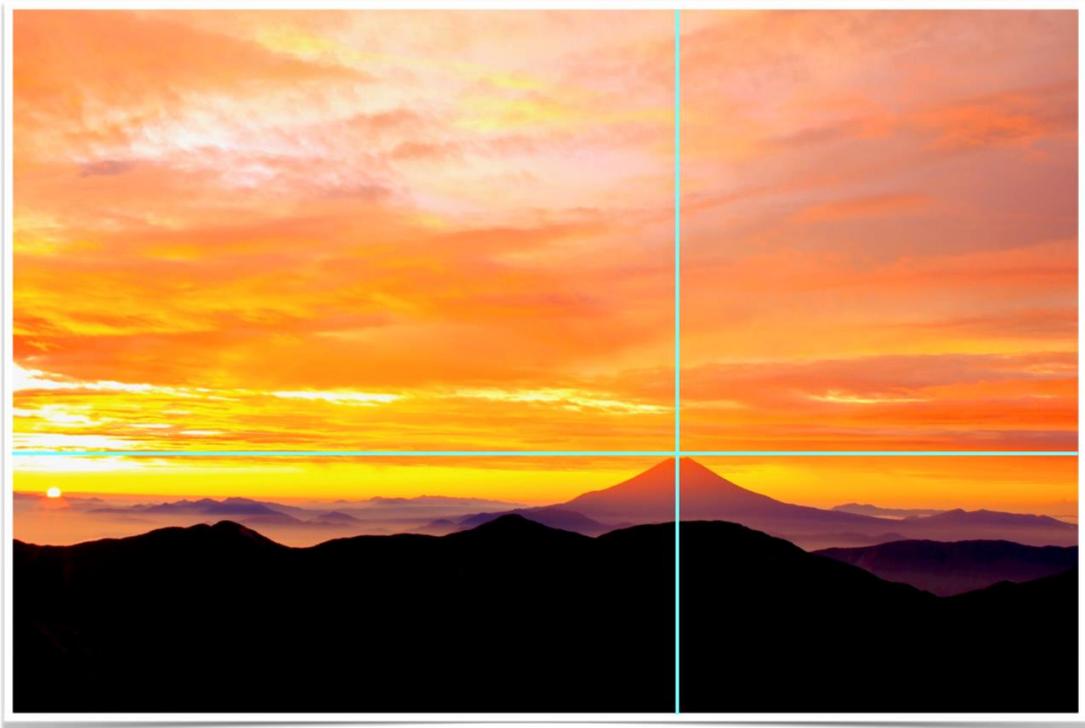
<https://ja.wikipedia.org/wiki/三分割法>

<https://ja.wikipedia.org/wiki/黄金比>

[2] 日野原健司, 北斎富嶽三十六景. 岩波文庫 (2019). 全 46 枚.

[3] 白旗史朗, 富士百景, 山と溪谷社 (2009). 全 103 枚.

[4] 富士写真作家協会 (会長:白井宏征), 富士秀景写真集 (2004). 全 72 枚.



Morgenrot

撮影場所：聖岳

図 5：参考例 1.



富士山と夏の月

撮影場所：丹沢檜洞丸

図 6：参考例 2.

## 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10月20日受付, 2022年10月22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、2022年(Vol.37)より J-STAGE に収録されましたので、ご報告いたします[1]。現在、第2号(特集号)Special Issue: Artificial Intelligence in Science on Forma が公開されたところです。J-STAGE 移行にあたり、皆様のご理解、ご協力に感謝申し上げます。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]。

また、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、何卒よろしくお願いいたします。

### 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。2023年に投稿された原稿からは、原則として著者負担をお願い致したく存じます。ただし、当面の間、Review や新設予定の Editorial のカテゴリにつきましてはこの規則を除外させていただきます。なお、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。

Vol.36まではこれまで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。2023年より J-STAGE への収録作業を進めて参ります。皆様のご理解、ご協力をお願いいたします。

### 参考文献

[1] <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/forma/-char/ja> (2022年10月20日参照)

[2] <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja/> (2022年10月20日参照)

[3] <https://katachi-jp.com/gakkaishi> (2022年10月20日参照)

## 第 90 回 形の科学シンポジウム 「オンライン開催」

### 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】2020 年 6 月 12 日(土)、13 日(日)  
【会場】オンライン開催 (メインテーマの設定無し)  
【代表世話人】石原正三 (埼玉県立大学)、手嶋吉法 (千葉工業大学)  
【参加費】無料  
【懇親会】無し  
【WEB サイト】<http://katachi-jp.com/sympo90>

討論記録は録画データにもとづいております。

Q: 質問、A: 回答、C: コメント

#### 討論記録

6 月 12 日 (土) 第 1 日目

セッション 1: 形の科学一般

◎外形が立方体の回転式 3D ジグソーパズルの開発

加藤蒼 (千葉工業大学)、宮本圭佑 (同)、池上祐司 (理化学研究所)、山澤建二 (同)、手嶋吉法 (千葉工業大学)

Q. 石原正三

回転軸は何軸あるのか。

A.

回転軸は、立方体を  $x, y, z$  軸方向に一致させて置くと、 $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸回りの 3 つある。回転軸の操作は、池上式のスライド操作に比べ、やり易い。現状は、 $2 \times 2 \times 2$  分割でのみ回転式を実現できているが、 $3 \times 3 \times 3$  分割でも実現できるかは今後の課題である。

Q. 飯田孝久

回転軸は  $2 \times 2 \times 2$  の真ん中にあるが、片方の辺の頂点を軸として全体を回すものもあると思うがどうか。

A.

様々な可能性がある。回転中心を、角にしたり、多面体の外に置く設計も可能かも知れない。ただ、今回示した真ん中に回転軸がある場合よりも操作はしづらくなると思う。

◎外形が正四面体の 3D ジグソーパズルの開発

石澤安晟 (千葉工業大学)、池上祐司 (理化学研究所)、山澤建二 (理化学研究所)、手嶋吉法 (千葉工業大学)

Q. 石原正三

8 面体と 4 面体の伝統継手は、つなぐ時は回転は入るのか。

A.

伝統継手の中には回転式は無いと思う。加工道具(大工道具)の制約により、伝統継手の接合面の形状は直線的あるいは平面的なものに限定される。

現在は 3DCAD を利用することにより、その制約は無く、接合面の形状を曲線あるいは曲面にすることも可能であり、伝統継手には無かったような継手を開発出来ると考えている。

周期的境界条件下における不確定性関係・最小波束

小川直久 (北海道科学大学)、長澤修一 (函館工業高等専門学校)

セッション 2: 形の科学一般

◎計算幾何学によるサッカーチームの戦力に結び付く指標の開発

青木優 (静岡産業大学)

Q. 手嶋吉法

① ボロノイ図、ドロネー図にはボールの位置は関わるのか。

② 選手がボールに近いか遠いかは図には入っているのか。

③ 図を作る時には、ボールの高さは影響あるのか。

A.

① ボールは関わらない、選手だけである。

② ボールを誰が保持しているか判別している。

③ RoboCup Soccer Simulation 2D リーグは 2 次元空間のシミュレーションゲームなのでボールの高さは影響しない。3 次元になると考慮すべきことが増えるが、この手法で解析できるかなと思う。

Q. 飯田孝久

ボール保持者だけでなく、ボールをもらえる可能性のある人の指標も大事だと思うがどうか。

A.

RoboCup Soccer ではポジションの区別がついてなくて、その解析は後回しにしている。人間に対しての分析では必要かなと思う。

◎平面・球面・空間におけるボロノイ調節法再考

種村正美 (統計数理研究所・名誉教授)

Q. 手嶋吉法

① 周期境界条件を用いているのか。

② 領域の均一が調節法の評価の目安になっていると思うが、どの調節法に適用したらよいかは実際の現象に依存するのか。

A.

① 全てのシミュレーションで周期境界条件を用いている。

② 均一を目指しているが、ユーザが目的により調節法を使い分けたい。

C. 飯田孝久

均質な平面状のものを作りたい時、**center of gravity** を使うと質の良い膜ができると思う。どのようにしたら **center of gravity** による構造にできるのかという製造法も考えてもらおうが良い。

Q. 青木優

① ボテンシャルを導入していないので、**global minimum** か **local minimum** かが評価できないということか。

② **local minimum** であっても何か評価ができるのか。

A.

① 基本的には **local minimum** である。

② 統計的な分析をすることしかないと思う。例えば動径分布などを調べること。

◎周期的連鶴タイリング

吉野隆 (東洋大学)

Q. 手嶋吉法

内接円を持つ 4 角形が凹型の場合、内接円の描き方が不明。

A. 延長した辺に内接するような円である。

Q. 海野啓明

内接円を持つ 4 角形の鶴の折り線はどうように引いたか。

A.

コンピュータにより内心 4 角形の鶴心を求めてから折り線を描かせた。

Q. 松本崧生

Gruenbaum & Shephard の本 “Tilings and Patterns” の 56 種類の 4 角形タイリングから導いたとのことだが、Koptsik が導いたのは数が多い (Shubnikov & Koptsik 著, “Symmetry in Science and Art”)。どこが違うのか。確か、約 100 種類(完全系 35 種類、不完全系 60 種類)あったと思う。  
A. その文献を持ってない。参考にしたのは手元にあった本で、4 角形の角度と辺の情報が明記されている。

6 月 13 日 (日) 第 2 日目

### セッション 3: 形の科学一般

◎視覚障害者が解剖学を学ぶ為の人体臓器模型の開発

小池彰寛 (千葉工業大学)、寺口さやか (広島県立広島中央特別支援学校)、手嶋吉法 (千葉工業大学)

Q. 本多久夫

① つながりが大事なので、臓器間を柔らかなチューブを差し込んで、取り出した時に何が何につながっているのが分かる方がもっと良いと思う。今の模型は、差し込むか個々に組み立てているだけ。

② 特に、心臓は右心房・左心房とか外から見るとどちらが膨らんで、どちらが窪んでいるかはすぐ分かるので、その左右も捻れている。少し詳しくなるかも知れないが、捻れ方や左右の非対称が触って分かるようになれば良いと思う。

A.

① 食道、気管や十二指腸など本来管の役割を果たしているものは、臓器パーツをつなげてから台座に設置することは教育的にも意味がある。頂いたアドバイスを反映し、今回の模型を改良したい。また、接続方法にゴムチューブを用いると安定性が増すと思う。

② 今回の 11 種の臓器パーツからなる模型では、今言われた詳細な区別は入れられないが、心臓だけの大きな模型を作って、今言われたポイントを伝えられる教材を作るのは意味がある。

○回折対称の上昇の再検討-2

松本崧生 (金沢大学・名誉教授)

Q. 谷克彦

1 次元の周期的な構造を円周上の点配列で表現することの話でしたが、始めの所で出た Patterson の円の中で対角線を描いたベクトルセットとの関係はどの様なものか。

A.

同じである。また、円周上を 16 等分割しなくても、少しずらしても homometric な構造を作ることでもできる。

Q. 手嶋吉法

① 点を 2 色で色分けしているが、3、4 色と増やすことは意味があるのか。

② 2 色とは原子の種類が 2 つだと考えて良いのか。

A.

① 多色群の homometric 構造を研究している人もいる。

② そうである。多色のときは多種類の原子である。

### セッション 4: 形の科学一般 および フォーラム

◎「島の周りの島階層」を理解するためには何が必要か

山口喜博 (本会会長)

Q. 手嶋吉法

① 講演の導入部分で太陽、地球とその周りの衛星の例えで説明されたが、階層構造があるが自己相似ではないという理解で良いか。

② 自己相似性があればフラクタル次元が求められるが、階層構造を持つが自己相似ではない場合は、フラクタル次元のような計算は意味があるのか。

A.

① どこを見るかに依り、自己相似が成り立つ島構造とそうでない所に分かれている。以下同様に理解出来るというわけにはいかない。

② 周期倍分岐だけを追いかけると綺麗な相似構造がある。よってフラクタル次元に意味がある。2 周期の周りの 3 周期、その周りの 5 周期を見ると全く相似性がないのでフラクタル次元には意味がない。

◎若年者および高齢者の視線運動に関する判別

板津佳希 (福井大学大学院)、平田隆幸 (同)、高田宗樹 (同)

C. 飯田孝久

① 何歳位から違いが顕著に出てくるのかをはっきりさせられたら良いと思う。

② 検定を沢山やるとき、有意水準を少し厳しくして、どこも差がないとき引かかることが少なくなるように検定をした方が良い。

Q. 山口喜博

高齢者が周辺視していないことが分かった。歳とると老眼になるが、その効果は入っているのか。

Q. 飯田孝久その人の目の状況は、遠くの視力が落ちているのか近くの視力が落ちているのかなど個人差があるので、年齢だけで一緒にたにしないで、視力や周辺視が落ちた人は何が起きているかを調べると色々な提言ができるかと思う。

A.

本研究では近見/遠見視力を同時に測定していないので、今後考えたい。

C. 高田宗樹

別の実験で分かっていることは、老眼が入り始めた中年者に 3D の映像を見せると視線の波形は影響がないが、65 歳以上になってから初めて視線の波形が違ってくることである。恐らく脳内の視覚情報処理が影響していると思われる。

◎コラッツ木の分解について

宮崎修次 (京都大学大学院)

Q. 手嶋吉法

① 本研究のポイントの一つは、コラッツ木は二股に分かれたノードを中心にして 3 種のモジュールに分けられるということか。(コラッツ木は「Wikipedia コラッツ問題」のボトムアップ方式で作成したコラッツグラフ参照)

② 3 種類のモジュールに分解することは誰も気がつかなかったということか。

③ コラッツ・イタレーションの中にこういう現象があるというを認識したという理解で良いか。

A.

① V 字型モジュールが 3 種: 二股に分かれたノードを中心にして 3 個、2 個、1 個のノードを組みにした四重項、三重項、二重項 (片側に倍々の無限列を伴う) に分解できる。これは自然数の一つの分割になっていて、各モジュールには奇数が 1 個しかない。

② 数学者は Total stopping time を問題にしているが、本研究では大雑把に捉えるためにカオスでやるような実数から実数への写像に直して考察しているので、不明である。

③ 二股のノードに隣接する左右の二股のノードの自然数はそれぞれ等差級数で書けているのは分かっているがピースとピースの関係は不規則である。カオス同期の観点からすると、奇数の時 3 倍して 1 を足すのは同期に寄っているの、4 倍、5 倍のイタレーションをすると臨界点に近づき自己相似性が見えるかも知れない。

C. 飯田孝久

コラッツ・イタレーション ( $n$  が偶数なら  $n < n/2$ 、奇数ならば  $n < (3n+1)/2$ ) では 3 倍するので、確率的に偶数と奇数が半々に生じるから一番不安定になるが、5 倍、7 倍にすると数列が発散してしまうのではないか。

### セッション 5: 形の科学一般

◎ひまわりの Parastichy pairs を決定する

根岸利一郎 (科学リテラシー研究所)、関口久美子 (埼玉工業大学)

Q. 高田宗樹

DFT の横軸が 0 のところに山ができていますがその意味は何か。

A.

そのピークはサンプル数によって決まり、周期性とは関係無い。

Q. 手嶋吉法

DFT の横軸が 0 から 400 の図で、絶対値を見た時に左右対称だから半分だけを考えるということだが、7th の図では非対称性があって違うように見える。

(各点から 1st, 2nd, 3rd, 4th, …, 7th までの距離を計測し、7 行×400 点データをまとめて DFT した図参照)

A.

ご指摘いただいたように対称ではありませんでした。その原因は発表画面にありますように 7 行×400 点をまとめて変換したことによる各行の data の干渉によります。変換対象が実数の場合は 1 行毎に別々に変換すれば対称になります。

Q. 山口喜博

① 図 6 のひまわりの傷の付いたものは、かなり後半で傷がついたのか。

② 図 6 では、傷の周りを見ると周期性が見られるので、傷のつき方は黄金比に近いかどうかは余り関係が無いように思う。

A.

① いいえ、初期の頃からついたものである。

② 問題は数えられなくても、二つの数値として第一、第二ピークとして得られるということをお願いしたい。

○新規な病態診断手法：組織の伸展応答パターンの活用

田上幸歩 (同志社大学)、鷹取慧 (同)、鶴山竜昭 (大阪北野病院)、池川雅哉 (同志社大学)、水谷健一 (神戸学院大学)、剣持貴弘 (同志社大学)、吉川研一 (同)

Q. 山口喜博

図 1 の右側の上下を見ると、悪性リンパ腫ではひび割れが沢山分岐している。このようなことを判断に取り入れているのか。できたら、1 次、2 次等のひび割れが分かるが良い。

A.

良性と悪性のリンパ組織のひび割れの差は、細胞同士の接着力の差だと考えているが、現在検証中である。

Q. 飯田孝久

組織を 1.5 倍 (150%) 伸展させているが、1.5 倍にした理由は何か。

また、伸展しながら、途中でどういう所でひび割れが起きやすいのかについて知りたい。

A.

110%, 120% などでも試した。丁度 150% のときこれ以上ひび割れないという結果を得た。

ひび割れがどこからどう発生するのかを動画を作成して検証している。

Q. 高田宗樹

① 凹凸度解析において、比  $L/L'$  の計測の仕方は何か。

② 機械学習ではどんなニューラルネットを使っているのか。何層あってどういうスキームかを示したり、F 値などについてまとめると良い。

A.

① ひび割れの画像を二値化した後、外形線を取り出してピクセル数を数える。異なるフィルタを使い、 $L'$ ,  $L$  を計測する。

ImageJ を使用する。

② 階層の方をつかって、コードを書いている。

C. 海野啓明

図 1 のひび割れのパターンについて、悪性のひび割れの幅を拡大して良性のひび割れ同程度にしたときに、ひび割れにどのような違いがあるのか興味ある。

○デンプン-グルコース混合ペーストの乾燥パターンの転移

馬場ひかり (同志社大学)、吉岡里沙 (同)、○鷹取慧 (同)、大江洋平 (同)、吉川研一 (同)

C. 本多久夫

元々樹皮のひび割れを観察しているが、松や柿などは亀甲状にひび割れるものと、樺はノッペリとしているが太くなると (30cm φ) ひび割れしないで剥がれ出すものがある (サルズベリやプラタナスも同じ)。木が太ると左右に引っ張られ、ひび割れるか剥がれるかが、本講演と関係しそうで興味深い。もう一つは、ハワイの溶岩の赤いものが冷えて固まり表面ができるとき、ひび割れができるかと思ったら剥がれるような固まり方をしていることがある。二つの性質の違ったもの混合物の分かれ方、混ざり方が関係しているのは、複雑だけど面白く聞かせてもらった。

Q. 高田宗樹

① 最後の方で、水の容量を 8g から変えたとき、実際どうなるのか検証しているか。

② 下から温めていないのか。コメントですが、デンプンとグルコースの二相平面で相転移のような境界が分かると良い。

A.

① 水の量を 16g にすると、ひび割れは生じない。

② 温めたりはしていないが、白熱電球をあてると綺麗なものができる。

C. 小川進

金属材料では、ひび割れが起きるのは不純物の偏析が一番依存する。結晶粒の内部か境界に S や P が析出すると、micro crack や macro crack が起きるのは、機械工学や金属材料では分かっている。金属結合が不純物により弱められ、化学結合に変わるときにひび割れが起きる。ひび割れは不純物が関与していて、温度には余り関係ない。

セッション 6：形の科学一般

◎核惨事の汚染形態

小川進 (空間技術研究所)

Q. 手嶋吉法

① ロシアの核の事故では、観測データは公開されているのか。手足の無い子供について。

② 中国は事故は起きてないのか。

A.

① ウラルの核惨事 (1957) の場合、研究者が亡命して米国で発表したけど、実態と比べて空間線量の値は一千倍低い。子供は隔離されていて実態が掴めない。

② 核汚染されたものを未処理のまま河川に放流していることが中国でもありうる。

福島や青森の再処理工場ではこういう危険性があることを自覚して、こういう深刻な状況を解明することが重要だと思う。

Q. 山口喜博

福島では汚染水を海洋に流すと、汚染水が北から米国まで流れる。そういうことまで考えているのか。

A.

福島の沖合 2~3km にあるトレンチと呼ばれる海溝に流れこむはず。そこは底生動物が繁殖して魚が豊富にいるところで、汚染水はそこで濃縮される可能性がある。

◎欧州・遭遇・日本

杉本剛 (神奈川大学)

Q. 手嶋吉法

① 世界地図の中で日本地図の形の変わり方を問題にしているが、文献調査のコツは何か。

② ニッポン、ニホンは何故 Japan と呼ばれているわけは、ジッポン (Chipango, Japam) から来ているということが話を聞いて分かった。

A.

① 日本語の本では岡本良知「十六世紀における日本地図の発達」(八木書店、1973) があるが、1985 年、1986 年の事件は記されていない。図書館で探しまくることに尽きる。よい電子アーカイブの類があるかという無い。(1985 年 モレイラの地図の印刷物発見；1986 年 モレイラの世界地図が国内から米国に流出)

② そうだと思う。

Q. 高田宗樹

① 行基図流で地図が伝わり何かが失われるということについて、伝わり方で面白いクセを掴まれているが、形を計量して流派的に何か分類できるものなのかどうか。

② 目で見て見える範囲でという話ですか。

A.

① 細かく分けて何種類もあるとは思わない。想像図型、行基図型、モレイラ図型の3つのどれかに分けられる。モレイラ (b.1938/9-fl.1601) は天測・地測をしたのでマシな図になった。

② 何か計測して、総合的なスケールを定義できるかということはないと思う。

◎高速音読における教材と速さの関係

杓名健一郎 (タクシン大学・福井大学)、Kunaj Somchanakit (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

① 図2のグラフの横軸は読む日本語のテキストの全文字数であるが、例えば右端の300文字のテキストならば30秒かかる。ここで言う長い文とは30秒位で読み終わるものを使うのか。また、読ませる内容によって、文の長さは色々ということか。

② 私が学んだ小学校では、音読はゆっくりはっきり読んだが、それを比べると相当速いのか。

A.

① 読ませるテキストは教科書である。3つのセクションを含むものもある。図2は2019、2020年度のデータ。

図1にある2018年度OFFLINEのデータは2019、2020年度と異なる教科書で、400~580文字のテキストもある。短い文と長い文の境界は未だ不明であるが、これらは中級のテキストであり、短すぎず長すぎない大体平均的な文章量だと考えられる。

② かなり速い。そうでないとAはもらえない。正しく発音できている中で一番速いものを計測している。

====+====+====+====+  
第90回 形の科学会シンポジウム 討論記録

題目の前の印

◎ 回答有り、校正済み

○ 回答無し

無印 討論無し

## 第 91 回 形の科学シンポジウム 「オンライン開催」

### 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】2021年11月13日(土)、14日(日)  
【会場】オンライン開催 講演者と参加者に接続情報を11月10日までに伝達 (メインテーマの設定無し)  
【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、松本浩也 (福井大学大学院工学研究科)  
【参加費】無料  
【懇親会】無し  
【WEBサイト】<http://katachi-jp.com/sympo91>

討論記録は録画データにもとづいております。

Q: 質問、A: 回答、C: コメント

#### 討論記録

11月13日(土)第1日目

##### セッション1

中学校化学の化学式の導入に手作り分子模型を用いる効果  
七五三野晃平 (東京学芸大学)、松浦執 (同)

Q. 手嶋吉法

使用した分子模型に特徴的な加工はしたか。また、どのように結合させているか。

A.

分子模型は球状のものを着色したもので、穴を開けたり棒で刺したりしていない。分子模型は両面テープのみで結合している。

Q. 前畑謙次

実際の原子・分子の大きさや形、角度の違いを子供たちが理解しておいた方がよいと思うがどう考えているか。

A.

初めて原子・分子を学ぶとき混乱をさせないことを重視しているため、あまり踏み込んだ話はしないようにしている。

学校広報の静止画像・動画にどのようなルックが求められるか

松原僚兵 (自由学園)、河原弘太郎 (同)、遠藤敏喜 (同)

Q. 平田隆幸

アメリカと日本のドラマで色合いの違いを感じるが補正をしているのか。

A.

どちらの国のドラマも補正を行っているが、日本の制作現場はカラーリストやカラーサイエンスの育成が追いついていないのが現状。

三次元形態の表現と双方向性のある科学コミュニケーションのためのデジタルプラネタリウムの活用

吉岡翼 (富山市科学博物館)、竹中萌美 (同)

Q1. 高田宗樹

3Dカメラを使用するうえで何か工夫はありますか。

A1.

後処理を容易にする目的で180度以上撮影できるレンズを用いている。

Q2.

プラネタリウムを見るうえで座る位置は関係ありますか。

A2.

像が一番歪まないのはドームの中央の座席である。ただ、対象が丸っぽいものであれば違和感はないと思います。

##### セッション2

最小木法で見出される乳腺良性乳管内増殖性病変と異型乳管過形成・非浸潤性乳管癌の間の細胞構築の差異について

千場良司 (岩手県立中央病院)

Q1. 本多久夫

通常型乳管過形成 (UDH) は少し異常であるという認識で間違っていないですか。

A1.

増殖性という意味において間違っていない。ただ、癌とは生物学的な振る舞いが明らかに異なっています。

Q2.

正常なものとの違いは何ですか。

A2.

正常なものの場合、増殖してないと細胞が二層ぐらいしかないで、同じような分類なのか、あるいはもっと単純な分布をしている可能性が高いと思う。そして通常型乳管過形成 (UDH) も良性ではあるが、飛躍的にはこのような帯を持っている人は持っていない人に比べて2.5や3倍乳がんになる危険性を持っていると言われている。

Q. 佐藤郁郎

局所を見て判別することはなかなか難しいことだと思うがどうか。

A.

ここで特定のパターンは出てこないと思う。なるべく全層取るようにはしているが、何か特定の規則に従っているということを証明できる方法ではないと思っている。

Q1.

今後の展望や精度を上げるアイデアなどはありますか。

A1.

画像の閾値や細胞の標本をもっと薄く作る。染色の強度を画像的に処理する。輪郭の抽出の処理にAIを用いる。タイリングした画像に対する処理。樹形図やヒストグラムといった図形をAIに分類させる。樹形図のパターンを認識する、ヒストグラムのパターンを認識させる、機械的に認識させる、客観的に分類する方法を作るなどそういったことができればと思っている。

Q2.

その他の臓器の癌などについても検討されたことはありますか。

A2.

扁平上皮癌の上皮の構築で行い、不規則なヒストグラムのパターンが出てくることある程度わかっている。

非ペリトロコイド型ロータリーエンジンの設計

佐藤郁郎 (宮城県立がんセンター)、秋山仁 (東京理科大学)

Q. 手嶋吉法

設計の順序について教えてください。

A.

ローターの方を先に設計してから、ステーターをローターに合わせた形で設計している。

初期胚心臓の左巻らせんループは心筋細胞の異方的変形で

生じる

本多久夫（神戸大学大学院、理化学研究所）

Q1. 佐藤郁郎

今回は細胞の数を一定として計算していたが、実際は細胞分裂の影響や物理的なねじれが起こると考えられるがどう考えているか。

A1.

増殖のフェーズとねじれるフェーズは時間的に違っている。必ずしも増殖というわけでない。

Q2.

科学的な物質の違いについて。

A2.

収縮の場合はアクチンとミオシンであると考えられる。それが多いか少ないかを細胞極性でローカライズする分子がいくつか分かっている、その分子が多いところではミオシンが多いというような、そんな関係も実験的に抑えられています。

セッション3 形の科学一般およびジュニアセッション

放散虫化石の探し方と観察の仕方

松岡篤（新潟大学）

Q. 山口喜博

千葉県鋸山の千畑層ではサメの歯の化石が沢山出ているのだが、その場所での放散虫の発見は可能か。

A.

海の地層であれば入っている可能性はある。その場所の最良の地層を探して粉々にし、顕微鏡で観察すると分かると思う。

2022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）

質問なし

新潟県佐渡の沢根の崖の微化石—放散虫の形—

諏佐和香（新潟大学附属長岡小学校）

Q. 佐藤郁郎

放散虫の取り方について教えてください。

A.

小さい陶器に微化石の砂を入れて、細い筆で取り出している。

Q. 松浦執

実体顕微鏡を外に持ち出して撮影しているのですか。

A.

自宅にてスマホで撮影した。

やっとならば捕まえた放散虫

板垣成俊（新潟大学附属長岡小学校）

Q1. 佐藤郁郎

プランクトンネットについて教えてください。

A1.

網の先端に水を溜める容器が付いたもので、ネットの網の大きさより小さいプランクトンなどが通り抜けて、海水と一緒に溜まっていく。

Q2.

餌は与えていますか。

A2.

与えていません。

Q1. 松浦執

冷蔵庫での保存は藻やバクテリアの増殖を防止するためですか。

A1.

放置していると藻やバクテリアが増殖するため、約1週間に1回は新鮮な海水を少しずつ追加している。海水も増やしてみたいと思っている。

Q2.

観察に時間をかけすぎないようにしていましたが、それはな

ぜですか。

A2.

蒸発して中の生き物が干からびてしまうので、それを防止するためです。

セッション4

平面群  $G$  の Non-characteristic  $G$ -orbits,  $G$ -軌道

松本崧生（金沢大学名誉教授）

Q. 手嶋吉法

三次元の完全なリストを作るうえでの考えはありますか。

A.

より深く追求することが必要だと考えている。

大陸を脱着可能な触覚学習用地球儀の作製

本間智也（千葉工業大学）、青松利明（筑波大学附属視覚特別支援学校）、手嶋吉法（千葉工業大学）

Q1. 前畑謙次

RNIBの地球儀と今回作成した触覚観賞用地球儀の違いについて教えてください。

A1.

RNIBの地球儀は直径が38cmあるため、授業中に各生徒一人ひとりが何か作業する場合には向いていない。また、今回作成した地球儀は3Dプリンターを使用していることでコストを抑えられるため個人での購入が容易となる。

Q2.

6大陸に限定している理由は。

A2.

今回は6大陸を使用したが、今後はより細かいものを作るつもりである。

Q. 本多久夫

大陸の素材について。

A.

今回使用した素材は工業用プラスチックである。素材を考えることは模型の価値を上げることに必要であると思う。

一次元写像におけるヒステリシスを伴う周期倍分岐

山口喜博（形の科学会会長）

Q1. 松本拓也

ヒステリシスが発生すると後ろの方で分岐が密になるが、前の分岐からの影響はあるのか。

A1.

影響が出ると思う。滑らかさが減ると周期倍分岐で成り立っていた相似則が壊れてくると考えている。

Q2.

どういった観点で滑らかさを壊す関数を使用したか。

A2.

周期倍分岐を起こすことが分かっている、この部分に滑らかさを壊す関数を使用した。

Q. 高田宗樹

グラフを見ると具体的な数値が出ているように思うが何か工夫したことはあるか。

A.

べき関数の展開であり数字を高くすると解析的な写像と  $C^0$  級関数とつながるようになっていたのでこれを用いてプロットしている。

天正時代の南蛮系日本地図地名解—三題

杉本剛（神奈川大学）

Q1. 松本拓也

当時はどのような技術で日本の海岸線などの輪郭を測っていたのか。

A1.

当時の図面の輪郭は測量して書いたものではなく行基図という国の位置関係が書いてある図面が存在していた。この図面

は直教師からヨーロッパに伝わって議論されていた。日本の輪郭に関しては想像の部分もあるが Moreira 自身も行基図を基にしており、地測・天測・取材などを通じて行基図から進歩した図面になっている。

Q2.

地図を見ると地名がかなり詳細に書かれているが、これは取材が影響しているのか。

A2.

はい。また、金山や銀山付近の地図が詳細であったことも興味深いことのひとつであると思います。

11月14日(日)第2日目

### セッション5

時間遅れを伴った興奮子ネットワーク電子回路の多重安定性と短期記憶の検討

神藤央樹(同志社大学大学院)、上野洋(同)、吉川研一(同)、剣持貴弘(同)

Q. 平田(福井大学)

実際に回路を作って実験される前にエミュレータとかシミュレータで予備実験とかはされましたか? そっちの方が楽だと思っんですが。

A.

そうですね。不応期とか帰ってくる時間とかを計算するためにシミュレーションしまして、まあ抵抗値を計算しただけなんですけど、まあ結論としてたいしたシミュレーションはしてないですね。

Q1. 高田(福井大学)

スライドにあるモデル説明図の図 3.2.1 と図 3.2.2 の回路の作り方の違いは何か。

A1.

図の 3.2.1 において、2 から 1 に対して発火は伝達するが 1 から 2 に対して発火は伝達しない。送り手と受け手のアクティベータの位置によって時系列応答が異なることが分かった。

Q2.

その刺激を入れるタイミングはいろいろバリエーションがあるんですか

A2.

アクティベータは入れたらそこから時系列応答を見るだけで、例えばインヒビタとアクティベータは入れるタイミングを変えることによって異なる時系列応答を示すことが分かった。

Q3.

その後の考察にあった反応できる時間でできない時間がずれてきてブロックされたりすると思うんですが、その入れ方が少し違うんですね。

A3.

はいそうですね。結果的に上手くいったのを採用した感じですね。

Q4.

その刺激を入れる箇所はいろんなバリエーションでやっているという認識でいいですか?

A4.

はい。

Q5.

回転方向を探ってらっしゃったと思うんですが、それを決める因子ってのは何か出てきましたか。

A5.

一番大きいのはアクティベータとインヒビタの引火する位置かなと思います。

1 番から引火した時にインヒビタがないと 2 と 4 が同時に発火するはずなんですが、2 番にインヒビタを入れることによって、1 の次に 2 が発火しないようになっています。

ですので最初 1,4 っていうこの初動によって 1,4,3,2 という最終的にはこのような安定的な周期パターンが現れるのではないかと考えています。

ウロコ模様を作り出す異方的反応拡散モデル

晶子浩登(関西学院大学)、横川隼也(同)、岩本凌(同)

Q. 本田

聴覚の時の組織では、組織を指示する指示細胞と上皮の面に細胞が並んでいる所に 2 種類細胞があって、それが互い違いにとかどう並びかというのが 1 つ問題でもう一つは毛の生えた細胞に平面の曲線があるがそれがどうそろうかという問題がある。昌子さんの発表では六角形の格子を仮定されているということですので細胞の個数については変わらないということですか?

A.

1 つの六角形が 1 つの細胞であるというわけではない。

Q.

ウロコの数は変わったりしますか。

A.

アルゴリズムのため、生体のことは度外視しています。

C.

今強調されている方向については平面内細胞極性とで上皮の平面の中での極性について分子のレベルで 1 つの細胞の右側と左側で違う遺伝子が発現しているということがわかってその事実と今回のそろうかどうかを結び付けられたらすごくいいと思う。

粒径が分布する粉体の加振による諸現象

宮崎修次(京都大学大学院)、中根直哉(同)、岩崎俊(京都大学)

Q. 高田宗樹(福井大学)

2 次元パターンにおいて個数とかセルのサイズにもよるが塩梅はどのようになっているか。

A.

初期条件にかなり依存する。

最初は半々から始めるが、何個か左に行くと個数が多くなり、左の部屋は平均自由行程が短くなる。密度が大きくなるため。右の部屋は粒子数が減るため、自由行程が長くなる。自由行程が長いほど左の部屋に行きたがるので、どんどんバランスが崩れていく。どう崩れるかは初期条件に依存する。

Q.

網目模様のサイズはやるごとに一緒か。

A.

検証中ですが、縦に並んだり横に並んだりするのは厳密には粒径が 2 つの値の時にはそうなるが、ちょっと揺らぐだけで網目ができていく。

Q.

初期の分布の形変えると形成パターンは変化するか?

A.

そうですね。解析できそうな一様分布から始めた。

Q. 上野(同支社大学)

二次元において小さい方の粒子が大きい方の粒子を飛び越えられるようなものだった場合、どうなるか。

A.

何とも言えない。飛び越えると網目や縞を壊す可能性もある。

ランダムウォークを使った感染症シミュレーション

青木俊毅(福井大学)、高田宗樹(福井大学大学院)、平田隆幸(同)

Q. 山口

感染した人が回復すると抗体ができるためかかりにくくなることと飛び火にクラスタ感染を起こすことをシミュレーションに組み込むことができるか。

A.

抗体および感染者がなくなるシミュレーションをすることが今後の課題であると思っている。

Q.

400×400 だと広いのではないか。あるところに人を集中させることはできるか。

A.

初期設定を変えればできる。

## セッション6

**Python** ライブラリを使ったボロノイ分割の応用 --ボロノイによるなわばり解析--

西浦一輝 (福井大学)、高田宗樹 (福井大学大学院)、平田隆幸 (同)

**Q.** 手嶋

**Python** のライブラリを用いられていますが、実際の土地をボロノイ分割されたと言うわけですよね？ 実際のコンビニエンスストアの出店を考えると、その土地の人口密度とか人通りの多さと少なさ、川などの地理的な障害により遠回りをしてはいけないといった問題はありますか？ そういうのを取り込んで普通にボロノイ分割するのに加えて、拘束状況を上手に取り込んだボロノイ分割とかは考えていますか？

**A.**

今回のパラメータは領域広さと人口密度に留まっていたので、地理的な障害や人の行きやすい場所に建てた方が良くってことは今後考えていく必要がある。

**C.**

実際に出店されているコンビニがなぜここにあるのかという現状分析にも役立てるといいかもしれない。

**Q.** 山口

セブンイレブン以外のコンビニのデータをなぜ入れなかったのか？

**A.**

セブンイレブンを選んだ理由は一番勢力拡大しているコンビニがセブンイレブンであって、考察するのに一番適していると考えました。確かにほかのコンビニについても考えていく必要があると考えています。

**IBM** のゲート式量子コンピュータを使った乗算回路とその評価

万里川則亮 (福井大学大学院)、平田隆幸 (同)

**Q.** 手嶋

キュビットでの計算結果は信頼できないとのことですが、このことは量子コンピュータの世界では問題視されていることなのでしょうか？

**A.**

そうですね。解決する方法はいくつか挙げられてはいるのですが、キュビットの数を増やしていかないと解決できない方法しかなく、最新の量子コンピュータでさえ 27 キュビットしかまだ使用することができない。

**Q.**

量子コンピュータの計算結果はまだ信用には足りないということですか？

**A.**

計算の内容にもよります。計算式が長くなればなるほど量子の状態をいじることになるので、計算結果の信頼性が下がってしまう。例として 2 と 3 の重ね合わせの結果と 0~3 の重ね合わせの結果では、0~3 の結果の方が正しい結果が多い。

周辺視認時における視線運動分布のかたちに関する研究

中嶋大祐 (福井大学)、板津佳希 (福井大学大学院)、平田隆幸 (同)、高田宗樹 (同)

**Q.** 山口

追従視と周辺視の度数分布が本質的に違うような気がするのですが？

**A.**

若年者と高齢者ではデータ数がことなるため。

**C.**

プロ野球の選手は 30 歳を超えると打率が落ちますが、周辺

視の能力が落ちているのではないかと思うのでこの研究は面白いと感じました。

**Q.** 手嶋

スライドの頻度分布の横軸は何ですか。

高齢者では、[0,2]の範囲での頻度が一番多く、若年者では[2,4]の範囲が一番多いですが、その理由はなぜでしょうか？

**A.**

高齢化による眼球運動の能力の衰えによるものであります。

**Q.**

マイクロサッカーとは。

**A.**

固視微動の揺れのようなもの。

**Q.**

若者と高齢者ではどちらが多いのか。

**A.**

若者の方が多い。

## セッション7

機械学習を用いた立ち上がりテストに関する判別分析の改良に向けて

菅井洋成 (福井大学)、宇佐美雄也 (福井大学大学院)、平田隆幸 (同)、高田宗樹 (同)

**Q.** 杉浦

立ち上がりテストですが、前後の動きや重心の動き、関節の位置が重要だと思いますが、PoseNet で示されていた写真が正面の写真だったのですが、奥行き情報は無いのですが、正面からとる理由は？

**A.**

2次元の画像としてデータを取っているので、奥行きを意識していませんでした。

**Q.**

側面からの写真でも関節の位置は抽出できるのか？

**A.**

試してみないとわかりません。

**Q.**

CNN を使っていますが、大体何層くらいの畳み込み層とプーリング層を用いているか

**A.**

5層くらい。

敵対的生成ネットワークを用いた I 誘導心電図のシミュレーションの可能性について

河合辰貴 (福井大学)、中根滉稀 (福井大学大学院)、平田隆幸 (同)、高田宗樹 (同)

**Q.** 杉浦

I 誘導は両手首からとられている心電図ということであってますか？

**A.** はい、右肩をマイナス極、左肩をプラス極として、マイナスからプラスの向きにとった波形が I 誘導になります。

**Q.**

12チャンネルを1チャンネルにするとは？

**A.**

心電図には 12 誘導分の心電図のデータが含まれており、その 12 パターンの内の 1 つを 1 チャンネルと数えている。つまり 12 チャンネルを 1 チャンネルにするとは、12 チャンネルの中から 1 チャンネルを切り取って使うという意味。

**Q.**

モデルが安定してないため思ったようなデータが取れないとのことですが、どのようにモデルを変えていきますか？

**A.**

スペクトルノーマライゼーションという正規化方法を導入しようと考えています。

**Q.**

心電図のデータは画像として扱っているのか？それとも時系列として扱っているのか？

**A.**

心電図は時系列データとして扱っています。そのため、DCGANのモデルも1次元のデータを扱っていることになります。

仮想現実を利用したトレーニングシステムの構築に向けて  
金哲行(福井大学大学院)、塚本圭祐(同)、平田隆幸(同)、  
高田宗樹(同)

Q. 杉浦

ヘッドマウントディスプレイを付けたままトレーニングを行っていますが、安全面に対してどのような対処を行ったか？

A.

机に触れさせて倒れないようにした。

Q.

机に触れたことで酔い症状が治まったりしてしまうこともあるのでは？今後は視覚と運動機能だけで評価をしていた方が良いと思います。

遅い映像の時に酔いが出現しやすいとのことですが、逆方向に流れている映像を歩行すると酔い症状は大きくなると思いますか？

A.

さらに酔い症状が大きくなる可能性もある。

## 第 92 回 形の科学シンポジウム 「自然・文化・かたち」

### 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6月18日(土)、19日(日)  
【会場】北海道科学大学 G棟 講演会場 G203、展示会場 G204  
【代表世話人】小川直久 (北海道科学大学)  
【参加費】 会員・非会員ともに一般 5000 円、学生 1000 円  
【懇親会】 無し  
【WEB サイト】 <http://katachi-jp.com/sympo92>

討論記録は質問者の討論記録シートにもとづいており、講演者の校正がないものもあります。

Q: 質問、A: 回答、C: コメント

#### 討論記録

6月18日(土)第1日目

##### 形の科学一般

◎何が馬蹄の形状を決めているのか

山口喜博 (形の科学会会長)

Q. 海野啓明

馬蹄の形状を決めている原因は何か。

A.

共鳴領域に含まれる楕円型周期軌道の回転分岐の区間が主原因。

◎形状における新奇性と複雑さの定式化と逆問題への応用

本多詩聞 (東京大学大学院)、柳澤秀吉 (同)

Q. 永沢浩貴

おもしろさは誰が決めるのか。

A.

被験者実験を行い、9段階 SD 法で評価してもらった。

Q. 篠田萌華

研究の背景について、「機能性と審美性は相反する」と定義しているが、その関係がわかるような一例はあるか。具体的な製品があれば教示いただけますか。

A.

例えば建築物。機能性を求めた結果、デザインが疎かになるパターンや、仮に建築家のエゴにより、デザインを求めた結果、快適さや安全性の欠けた、機能性の低いものとなるパターンである。

Q. 石井友一郎

システムにより生成された形状が車なら車、チョウならばチョウの形状になっているが、形の生成に制約条件などを設けているか。例えばチョウから鳥などの形状になることもあるのか。

A.

GAN を用いる場合、車を生成するときは、事前に車の形状のみを学習させ、それから形状を生成するため、形状は車のような形の範囲におさまる。教師データにチョウと鳥の両方を含めれば、チョウと鳥の両方を作ることできるであろう。

C. 山口喜博

パーコフの美度を利用して、美しさを測ってはどうか。新奇性と複雑性が含まれている点が良いと思いました。

Q. 吉川穰

実験美学を勉強するにはどういう資料を参考にすればよいか？ どうやって形が最適化されるのか？ 評価関数ができれば、将来的には中身がある形にも適用できる？

A.

実験美学のレビュー論文があるので、それを読む。PSO(粒子群最適化)によって最適化される。適用できる。

◎ひまわりの小花や種による秩序を評価する

根岸利一郎 (科学リテラシー研究所)、関口久美子 (埼玉工業大学)、高畑一夫 (東洋大学)

Q. 手嶋吉法

パラスティキー (斜列) 数のペアで 55, 89, 144 に注目されていました。これらはフィボナッチ数の第 10, 11, 12 番目ですが、より大きなひまわりでは、233 (第 13 番目) 以上の斜列数のペアが観察されますか。

逆に、ひまわりの中心部では小さなフィボナッチ数の斜列数のペアが現れますか。(予稿集では中心部のプロットがありません)

A.

実際のひまわりの parastichy pairs を観測したものです。ひまわりは、今回示したものが最大のもので、これより大きなものが入手できていないので、233 以上の parastichy pairs は確認できていません。

ひまわりの中心付近のプロットが無いのは、画像解析で小花の位置が特定出来ないためです。

Q. 小川直久

そもそも、なぜフィボナッチ数になるのか。

A.

知られていません。もしわかれば大発見です。

##### 形の科学一般

◎細胞の増殖を応用したトラス構造の形態創生に関する研究  
小野聡子 (近畿大学)

Q1. 吉野隆

総至エネルギーの最小化を行っているのはなぜか？

A1.

部材の数を削ることが目的にあるため。

Q2.

現在のアルゴリズムが局所最小値に陥る可能性はないか？

A2.

局所最小値に陥らないように配慮している。

Q. 山口喜博

完成した構造物の地震によるゆれ等に対する安定性は考えられているのでしょうか。

A.

考えています。本手法内でも考えていますが、実用化の際には地震応答解析などでも別途検証することを考えています。一般的には、免震装置などのデバイスを設置することが多いので、それも一案と思っています。

Q1. 松村光太郎

100 粒子以降、壺が安定しているため、分割数は上限を設けるべきでは？

A1.

分割数が何を指しているのか不明ですが、細胞分裂などの細胞の特性は乱数を利用して発生させています。そのため、粒子数の上限はあるものの、それをこえなように設置しています。また、多様な形態を創生させるために、様々な要素において制限をつけないことにしています。

Q2. 植物の成長は、光や重力(G)に対する方向性があるのに、このシステムだと方向性はない。柱からスタートさせるべきでは？

A2.

解析の際に重力は考えていますが、光（日光）を考慮すると構造設計上の問題が生じます。なお、柱をスタート点とすることは可能です。

◎つくりかえていく衣服としてのキモノの形

丸山萌（千葉大学）

Q. 本多久夫

・形シンボルのテーマとして適切でとても興味深く聴かせていただきました。

・定形の平面から立体を被うという優れたこの方法はどの範囲でなされているのでしょうか。琉球やアイヌではなされていたと推察(?)しますが、大陸中国や飛鳥時代のきものもそうでしょうか。

・衣の性質、絹や綿のようにしなやかなもの、麻や芭蕉布のような硬いもので適用のちがいはあったのでしょうか。

・繰り回しを考えた時、研究の対象が編みものにまで及ぶ様子を興味深くおもいました。

A.

大陸でのきものについて詳しいことはこれからである。日本のキモノと比べ資料の収集が難しいが、ぜひ取り組みたい。また、布の性質によってキモノの着用用途は変わるため、それに応じた適用の違いはあると考えられる。

想像されるキッチンの形状

松村光太郎（安田女子大学）

Q. 手嶋吉法

予稿集 p. 12 のアンケート結果で、クローズ型 69 件、オープン型 12 件 とあるのは、この先の夢のキッチンのことでしょうか。ご講演の最後のまとめでは「オープン型でキッチンの中とリビングで会話ができる形状がいい」とのことでした。

A.

小説「キッチン」を読んでもらい、どのようなキッチンの情景を思い浮かべるかというアンケートの結果が、「クローズ型 69 件、オープン型 12 件」です。まとめは、「家族がふれ合えるキッチン」としての結論となります。

件数については:50名以上であるため大丈夫と判断した。100名を目標にしたが、84名になった。

Q1. 小野聡子

アンケート結果の中には、コメントなどで想像したキッチンの改善点などを書かれていましたか？

A1.

3件ほど回答がありました。

Q2.

女子大生ではなく、吉本ばなの『キッチン』が売れた世代にもアンケートを実施されてはいかがでしょう？世代によって回答が違ってしまうので興味あります。

A2.

実際のキッチンを創る場合、年代が高くなるため、別の年代も調査すべきだと考えている。

Q1. 亀井信一

吉本ばなの氏の『キッチン』は映画化されており、これを観たか否かでバイアスがかかるのではないか。

A1.

映画を観た人は調査から除外した。

Q2.

視聴情報のバイアスはあるのか？

A2.

別の研究で、歌謡曲の歌詞をイメージしてもらった時、PV（プロモーションビデオ）を観た場合、回答が統一されることが判った。そのため今回は映画を観た回答者（16名）は除外した。

メインテーマ「自然・文化・かたち」

招待講演

「～ムックリの世界～」（アイヌ民族の歴史と、ムックリの紹介・演奏、アイヌの食文化）

檜木貴美子

Q. 本多久夫

カラフトアイヌの他のアイヌの違いなど興味深いことをお聴きできありがとうございます。いまアラフトアイヌ、千島アイヌ、北海道アイヌ間の交流などの活動はあるのでしょうか。

A.

千島アイヌはわからない。

展示説明

バーバリウムで見る鳥の羽の構造色

植田毅（東京慈恵会医科大学）、植田翠（徳島大学）

富士には黄金比がよく似合う

山口喜博（形の科学会会長）

メインテーマ「自然・文化・かたち」

招待講演

◎「アフリカの風」（ジンバブエの民族楽器ムビラの紹介と演奏、アフリカの旅）

Aki Setoda

Q. 八坂青志

ムビラのケースで音が共鳴しているとのことでしたが何でできているのでしょうか。

A.

ひょうたん（グラスファイバー）でできています。大きなひょうたんをくり抜いて作っている。ひょうたんは壊れやすいので最近はグラスファイバーで作っている。

Q. 手嶋吉法

アフリカのいろいろな国を訪問されていますが、身の危険を感じたことは無かったのでしょうか。また、日本人複数名で訪問されたのか、お一人で行かれたのでしょうか。

A.

私が幸運だったのか、現地の人達は親切な人ばかりで、いつも温かく迎えてもらった。マラリアで危険な目に遭ったことはあるが、言葉がわからない中、現地の人に救ってもらった。一人での訪問もあったが（渡航は一人で現地で友人になった日本人も数名、本当にお世話になったのは現地の人）、女性一人では入れない場所もあり、複数で訪問することもあった。

Q. 檜山勝彦

① アフリカ音楽は様々な位相で「ワールドミュージック」と関係してきたのでしょうか。

② それとは別に、民族文化のツーリズムで最もよく消費されている「音楽文化」として、ドゥシャンベ（などのドラム類）とカリンバ（ムビラ）があると思います。欧州や日本ではムビラが手に入って、にわか演奏家も多いです。

③ そのため、「儀式」で「神」との交通のツールとしてムビラが使われる（という本来の意味での）ムビラ演奏の場面を、我々（日本人）は知りません。

④ SETODA さんのようなプロのムビラ研究者として、是非「ムビラに依る神との対話」の場面の経験があれば、ぜひ描写と紹介をお願いします。

⑤ また、ムビラの演奏はたいていユニゾンではなく低奏部が、主旋律についています。これは、人間の歌う歌とも響き合う形式なのか？人間のダンスとも関係しているのか。教えていただけると幸いです。

A.

④ 儀式は（時間にすると一日近く）独特の雰囲気カメラで撮影する心境にはならず。兎に角ムビラを弾き続け、霊媒師さんがトランス状態になり、その後誰かがのりうつった様子でその場にいた人に忠告等し、ある瞬間に元に戻りました。私の印象は人格等完全に別人でした（霊媒師さんは毎日のようにムビラ師匠の家に行ったのでコミュニケーション取れていた人）。その後はお祭りのように踊り明かす状況で、不思議な

空間でした。

⑤ 曲によりユニゾンで演奏することもあり、奏法は様々。全ての曲に歌があり祈りで歌とも共鳴します。(ムビラの歌は私には難しくお伝えできず) ムビラはトランスミュージック、踊りも含めてムビラと解釈しています。

### C. 檜山勝彦

① ありがとうございます。次のような諸事例を思い出させる話でした。

(例)「リストの愛の夢」も老いた男性の若妻へのジェラシーがテーマで、明るく甘美な曲調をうらぎっている。(例) 盆踊り(奥三河などの中世まで逆のぼれるタイプ)の古式では、曲調が日本の仏教の読経(の音楽など)に似て、暗い。一方中国や台湾ではしばしば、明るくて、慰やされる曲調の仏歌がある。また台湾をはじめとして、世界の葬送のセレモニーでは、とても明るく派手なパフォーマンスが、しばしばある。～よって…ムビラの音楽の謎ときは、実は人間コミュニケーションに在る逆説的なアプローチ(神と人間のコミュニケーションも含む)の普遍性を思い出させるように感じました。

② よく、スプーンを削って、みがいてカリンバ(ムビラ)を手製する例があるように →ムビラの起源は、ムビラのために鉄器を作ったのではなく、元々入ってきた近代的な鉄器文化に刺激されて、できた楽器だったのではないのでしょうか？

(例) 日本で、2世紀までに、入ってきた中国の銅鏡に魅入られて、儀式的中心の道具として用いられるようになり、それが有力者の墓や、ずつとのちに神社の本殿に入れられるようになった。他文化や他の用途に起源をもつモノが、宗教の道具(銅鏡/ムビラ)となった例と感じますが、セトダさんからみて(専門家からみて)いかがでしょうか？

### A.

ムビラの伝統を受け継いでいるシヨナ族は口承文化ですので、何が正しい正しくないかは私には判断できないのが正直なところですが、私が聞いた話では、昔あるシヨナ族の人が神からのお告げがあり、ムビラの形状と曲(音)が同時に降りてきた、それが始まりとの説があります。それ故、ムビラは神様と交信する為の楽器なのかと解釈しています。

### 形の科学一般

◎VRを装着した歩行時のモーションキャプチャーに関する研究

菅井洋成(福井大学大学院)、塚本圭祐(同)、宇佐美雄也(同)、平田隆幸(同)、高田宗樹(同)

### Q. 吉野隆

5km/hで歩くという条件のもとで異なる速度映像を見たときの変動の結果について、すべての場合5km/hが最小になると予想していたがそうでないものがあった。なぜだろうか？

### A.

有意差が見られないので誤差と見なせる可能性が高い。

### Q1. (千葉工大)

利き足によって動揺図が変化するか。

### A1.

差はあまりないが、強いて言うなら被験者が右利きであるので、左足の方が若干安定性が高くなると考えられる。

### Q2.

なぜ歩行速度と映像速度が一致するところが総軌道長が短くなる場所があるのか。有意差がないのはなぜか。

### A2.

被験者が8名と少ないため、例数を増やせば統計的な結果が変化する可能性がある。歩行中においては、映像速度が歩行速度と異なることで感覚不一致が生じて全体としては動揺が大きくなるものの、感覚器が集中する上半身をより安定させなければならないため、頭と腰は動揺は小さくなっている。逆に、下半身、足先ほど動揺図の分散が大きい傾向がある。歩行後については歩行速度より速い8km/hが最小になっていた。姿勢制御に予測制御があるとすると、情報量が多い方が良いのでそのような結果が得られていると考えている。

### Q. 田口悠樹

ある被験者の図にて(F)や(G)の動揺図に差があると考えた。きき足による影響はあるのではないかと思います。

### A.

被験者の全員の利き足が右足であり、右足は蹴る際にぶれる事があるが、左足は支える事がある為、左足は右足より安定する傾向があり動揺図のブレが少なくなっているのではないかと。

◎誤り近傍法を用いた重心動揺モデルの最小埋め込み次元推定に関する研究

河合辰貴(福井大学大学院)、中根滉稀(同)、平田隆幸(同)、高田宗樹(同)

### Q. 永沢浩貴

埋め込み次元とは何か。

### A.

Takensの埋め込み定理を用いて、時系列から位相空間にアトラクターの再構成を行う。この時、時系列データを位相空間に埋め込んだ際の次元数である。

### Q1. 篠田萌華

実験中の姿勢「立位ロンベルグ姿勢」とは？

### A1.

足圧基底面を一番小さくして不安定になるような気を付けの姿勢をとった状態が立位ロンベルグ姿勢です。

### Q2.

計測に「バランス Wii ボード」を用いているとのことだが、これは研究用ではなく一般ゲーム器であるため、生データをどのようなソフトを使ってグラフ化したのか。

### A2.

富家千葉病院が提供しているアプリケーションを承諾を得て利用しました。Wii バランスボードとリモコンがあれば、どこでも計測をすることができます。非常に高精度であるため、重心動揺計と遜色ない計測を行うことが出来ます。

◎立体映像視認時における視線追跡パターンと重心動揺に関する研究

中嶋大祐(福井大学大学院)、杉浦明弘(岐阜医療科学大学)、平田隆幸(福井大学大学院)、高田宗樹(同)

### Q1. 吉野隆

Y軸方向に関する不随意に体が反応している可能性についての原因究明について何か考えていることがあるか。

### A1.

解析結果とは、逆の結果が得られると考えていたため、不随意に体がY軸方向に反応する原因についての究明方法について現在思考中である。

### Q2.

実験映像を左右上下だけでなく前後にした時、どのような結果が現れるのかについてどう考えているか。

### A2.

他の実験で前後方向に映像が動けば、重心動揺も前後(手前奥行き方向)に変化することを確認しています。眼振は殆ど起こらないと推察できますので、入出力の系が上下左右とは異なっているのかもしれない。

興味深いので、前後方向と、上下方向を比較するのは良さそうだと思います。

◎胃電図計測のためのローパスフィルタに関する数値設計

坂倉響(福井大学大学院)、松浦康之(岐阜市立女子短期大学)、平田隆幸(福井大学大学院)、高田宗樹(同)

### Q. 吉野隆

なぜch5のデータを解析対象にしたのか？

### A.

ch5近傍に、胃のペースメーカーがあるため、このチャンネルを解析対象とした。また、先行研究の多くも胃のペースメーカー付近の胃電図を計測し、解析を行っている。

Q. 小川直久

ローパスフィルタをどうやって作るのか？

A.

コンピュータ上でFFTを用い、高い振動数を切りとって、逆FTを行う。

◎主成分分析及び機械学習を用いたラベンダー香気曝露時における胃電図の解析に関する研究

杉江倫太郎(福井大学大学院)、高井英司(曾田香料株式会社)、松浦康之(岐阜市立女子短期大学)、木下史也(富山県立大学)、平田隆幸(福井大学大学院)、高田宗樹(同)

Q. 八坂青志

将来的にはラベンダーなど香気の違いにより、香覚をデジタルで判断できるようになるのか。

A.

そうできる事を期待している。

(座長より) そうなるとよいですね。

Q. 根岸利一郎

胃電図を解析する理由は胃のどんな働きを調べたのか。

A.

胃の電気活動です。胃の電気活動は副交感神経の支配を受けています。香気曝露により、緊張・リラックス感に影響を受けることにより、副交感神経を介して、胃の電気活動が変化することが期待されます。

Q. 小川直久

胃の電気信号の意味がわからない。胃に流れる電気信号は、胃の運動とどう関係するのか？

A.

心臓と同様に、消化管のペースメーカー細胞(ICCs)の存在が発見されています。その電気信号によって胃は20s周期の蠕動運動を行うことが知られていますが、ICCsから発せられる電気信号だけでは蠕動運動は起こらず、胃の電気活動における脱分極時に収縮閾値を越えたときに活動電気が発生して蠕動運動が起こります。これらの調律性電気活動と反応性電気活動を区別することはできないため、胃電図は蠕動運動を直接、記録するものではありません。

6月19日(日)第2日目

形の科学一般

◎Dr. ナダレンジャーのベナール・セル

納口恭明(防災科学研究所)、罇優子(同)

Q1. 山口喜博

2つセルの境界が近づいてくる理由を教えてください。

A1.

上昇流の範囲が大きくなるにつれてセルの波長が大きくなるのに対応しています。

Q2.

例としてワイングラスのような形状が生じる理由を教えてください。

A2.

上で広がっているように見えるのは、可視化されている一部で、内部の気流に大きな差はないと思っています。

◎アニメーションでオンライン英語クラスを作る

ロバート・オルソン(北海道科学大学)

Q. 八坂青志

日本語のZoomでの授業では、漢文の同音意義語や、「さ」「し」「す」「せ」「そ」の発音が聞こえにくい。英語のZoomでの講習で気をつけなければいけないことは何か？

A.

・マスクを取って話す。・ゆっくり話す。・カタカナを使うことは否定しない。・日本人はうまく発音できないプレッシャーがあるので取りのぞいてやる。

◎英語の授業におけるかたちの描写の活用とその効果

三浦寛子(北海道科学大学)

Q. ロバート・オルソン

I would like to know more about 「Willingness to Communicate」(Yashima 2002). 「話す意欲」をもっと知りたいです。

A.

WTCはコミュニケーションを取るかどうか選択の余地がある際に、話すことを選ぶ学習者の心理のことを言います。英語教育以外の分野でも研究が進められており、その考え方が広まりつつあるように思います。

Q. 永沢浩貴

対面の評価はありますか？

A.

図の描写は対面では行っていないので、グーグルフォームで学生に評価してもらったということもありません。

Q. 豊国国昭

On line 講義に関して学生の反応を対面で確認した内容で、予想できなかったことがありましたらご教示下さい。

A.

準備した絵を見せる際に、実物を見せるよりもリモート授業の方がはっきりと映し出すことができるメリットを感じました。

Q1. 小川直久

話題として図形を用いたことのメリット

A1.

誰にも共通してわかる話題であると思います。

Q2.

図形の特長抽出の方法を分類すると面白い。

A2.

図形の外側から内側に向かって説明する順序が、物事を説明する際にも通じると思いました。

形の科学一般

◎多面体の皮むき展開アルゴリズムの実装

吉野隆(東洋大学)、Supanut Chaidee(Chiang Mai Univ.)

Q1. 手嶋吉法

皮むきアルゴリズムを適用した結果が、アルキメデス多面体(13種類)の全てに対して図で示されている。不成功の場合も図示されているのは、不成功ながらも皮むき展開図が得られたという理解で良いか。

A1.

不成功の場合の皮むき展開図には、その多面体の全ての面が示されておらず、アルゴリズムの適用が停止した時点での図となっている。

Q2.

正多面体の場合は、どの面からスタートしても同じだが、アルキメデス多面体やその双対多面体やランダムな凸多面体では、1回のトライアルで不成功となった場合に、異なる面からスタートしたりして全ての可能性と尽くした上で、最終的に不成功と判断するのか。

A2.

今回は、すべての場合を尽くしている訳ではなく、複数回試行した範囲内での結果を示している。

Q3(コメント).

球面上にランダムに発生させた点配置のDelaunay多面体やVoronoi多面体に皮むきアルゴリズムを適用した結果が「ほぼ不成功」とのことだった。ランダムではなく、球面上の様な点配置(種村、統計数理46-2、1998)を使うとより成功する多面体が増えるように感じた。

A3.

今後の研究の方向性の1つは、ランダムな点配置にある程度の規則性を導入した場合に、皮むきアルゴリズムの適用結果の成功率がどのように変化するかを調べることだと思っている。

◎4 次元正多胞体のリングの皮むき展開図について V. 正 600 胞体

海野啓明 (仙台高等専門学校名誉教授)

Q. 手嶋吉法

3次元多面体の皮むきでは、3次元多面体の中身が詰まっているとして、皮をむいても体積は変化しない(リングの皮むきで、皮の厚さがゼロだとすると、リングの実が減らない)。2次元図形の面積や3次元図形の体積に対応する、4次元図形の超体積に関してですが、4次元正多胞体の皮むきをして、超体積は変化しないという理解で正しいですか。

A. 4次元正多胞体の皮むきで、超体積は変化しない。皮に相当する超平面は厚みを持つ。

メインテーマ「自然・文化・かたち」

招待講演

「動物写真家の目で見えてきた北海道の自然」

中島宏章

Q1. ロバート・オルソン

海のどうぶつをべんきょうしますか?

A1.

残念ながら私は水中写真はしません。

Q2.

シャチは北海道でどこですか?

A2.

シャチについては、わかりません。

Q. 豊国昭

コウモリは長生きと聞いていますが、その理由は何でしょうか。逆さまの姿勢も影響しているかもしれませんね。アインシュタインの一般相対性理論によると、重力が強い場では時間の進み方が遅くなることにしているので、逆さま姿勢が重力感を強めているような気がしました。(笑話)

A.

コウモリの最長寿命は同じ体重の他の動物に比べて 10 倍ほどになります。体重がたった数グラムなのに最長で 40 歳以上の記録もあります。コウモリは飛翔をする動物なので、そもそもが他の動物よりも体重が軽くなっていますから、単純に体重と寿命を比較することは出来ないのですが、それを考慮したとしてもコウモリは長生きと言えるでしょう。

コウモリは冬眠をしている間、代謝を下げているのでその分寿命が延びているのかもしれませんが、冬眠をしない南方のコウモリも長生きなので、その説明にはなりません。しかし、コウモリは1日の中で休息時には代謝を下げます。なので、代謝と寿命の関係はあるのかもしれませんが。

なぜコウモリが長生きなのか?未だに謎ではありますが、これが解明されれば、人間の寿命を延ばす役に立つかも知れません。

形と知

微小視線運動から考えるナビゲーションマーカーの動かし方

藤本春太 (東京学芸大学)、松浦執 (同)

DNA バーコーディングとゲノム QR コーディング — 生物同定の一般・単純化

西垣功一 (埼玉大学名誉教授)

Q. 高田宗樹

遺伝子型属性空間で、定量的に分散を議論できると思われるが、共生系で分散が小さくなるなどの法則は示すことは可能か。

A.

本講演は、そういった特徴抽出ができる概念を述べた。将来的には可能かと思われる。

形の科学一般

◎視認性の違いが後頭葉活動性に及ぼす影響

杉浦明弘 (岐阜医療科学大学)、早川彩季 (同)、榎田雄 (同)、丹羽政美 (同)、田中邦彦 (同)、高田宗樹 (福井大学大学院)

Q1. 植田毅

中心視認と周辺視認の信号の差をとる場合、どのように信号レベルの調整しているのか?

A1.

中心視認と周辺視認のブロックデザインタスクのレスト部分からの信号強度変化量を部位ごとに差分している。

Q2.

形を合わせるために標準形に合わせるのわかるが、信号の強さの調整はどうか?

A2.

形、大きさだけでなく、信号の強さ補正されている。

Q3.

動物では胸に電極をさして視覚についてどこが活性化されるか調べられているが、それを MRI でしらべた結果との対応はどうか?

A3.

サルの結果とは対応しているのではないかと考えられる。

ピース形状が正四面体と正八面体からなる 3D ジグソーパズルの改良

手嶋吉法 (千葉工業大学)、佐藤啓太 (同)、田村斗唯 (同)、町屋佑季 (同)、池上祐司 (理化学研究所)、山澤建二 (同)

メインテーマ「自然・文化・かたち」

◎Arapaima Gigas (pirarucu) 鱗の構造 (Review)

小川直久 (北海道科学大学)、杉野義都 (北見工業大学)、手嶋吉法 (千葉工業大学)

C. 本多久夫

力を加えることでラメラ内のコラーゲン繊維間が変動し、またラメラ間でのズレの角度が変動するというのも興味深い。この2者間に原因・結果の関連があるのかどうかなど。またこれらの研究はビラルク鱗でなされているということだが、甲虫やシャコなどのブリーガント構造でもなされてよいと思う。

A.

今回、ビラルクの鱗に注目したのは、試料の大きさが特に大きいため、解析しやすいということがあると思う。それからこの解析では、回転のメカニズムがあまりはっきりとわからない。新たな解析手法が必要だと思っている。SEMによる、より直接的なフィブリルの回転を観測したい。

形の科学一般

◎視覚障害者が解剖学を学ぶ為の卓上型内臓模型の開発

篠田萌華 (千葉工業大学大学院)、小池彰寛 (同)、寺口さやか (広島県立広島中央特別支援学校)、手嶋吉法 (千葉工業大学大学院)

Q. 石井友一朗

模型は消化器系や循環器系などで色分けしグループピングしていたが、それぞれの模型表面のさわ心地などに変化はつけているか。

A.

まず、3Dプリンタの材料はすべてABS樹脂を用いており、全ての臓器パーツの触り心地は現状同じです。各パーツの表裏を区別するために、裏面にセロファンテープを貼りました。各臓器の表面に、点字は打っていません(気管や食堂など棒状の臓器パーツには、直接表面に点字を打つことが難しい為です)。

C. 本多久夫

内臓の連結をも示すモデルがよくできていると思います。ただし、すい臓からの管と、肝臓からの管(胆管)があり、これは合流して十二指腸につながる事が示してあるとよいです。心臓は血管で他と関連していますが、血管はこのモデル

では示さないから、孤立して左肺寄りにあることでよいと思います。

A.

コメントいただきありがとうございます。今回の模型は初学者を想定していますが、より上級者向けの模型としてご指摘いただいた点を反映したいと思います。

◎仕切りを有する円筒形状試験片の周波数応答関数について  
田口悠樹（千葉工業大学大学院）、手嶋吉法（同）

Q1. 小川直久

なぜ円柱構造の物体を用いたのか？

A1.

実験モード解析を行う上で、もっとも単純な形状は1次元的な円柱（機械系では中実丸棒）です。円柱を軽量化したものが円筒と言えます。円筒に、仕切り板を配置すると筈のような構造になります。本研究では円筒及びそれに仕切り板を付与した構造の振動特性に注目して実験を行いました。なお、円柱及び円筒形状は、機械部品の様々な箇所でも用いられており、応用例は数多くあります。

Q2.

x, y, z 軸と試験体との関係がわからない。

A2.

試験体の長手方向（水平右向き）が+x 方向、鉛直上向きが+y 方向、+z 方向は水平方向に座標系が右手系になるように決めました。（このように、加速度センサを試験体に固定しました。）

Q3.

振動を与えるのにどのような方法を用いた？

A3.

インパルスハンマーを用いて手動で加振しました。

Q. 小野聡子

実験に使用している試験体の形状から、竹（割かない竹）の力学的性質の測定などに利用することができるかを教えていただけないでしょうか？ 建築では、竹の有効利用について話題に挙がることも多く、竹（割かない竹）の力学的性質が簡単におかるだけでも状況改善につながるのではないかと考えました。

A.

ご指摘の通り、本研究における試験体のいくつかは、竹の構造を模擬していると言えます。今後、機械分野だけでなく、建築分野の素材である竹も念頭において、研究を進めていきたいと思っています。

◎Boerdijk-Coxeter helix 構造およびトラス構造の曲げ強度の異方性について

永沢浩貴（千葉工業大学大学院）、秋田剛（同）、手嶋吉法（同）

Q. 小川直久

BCH では連結数が増えると、異方性が下がる。この直観的な理由は何か？

A.

BCH 構造をその中心軸に垂直な平面上に投影した投影図で見ると、連結数が増えるにつれて、投影図は円に漸近します（連結数が無限大の極限では投影図は円）。

連結数が無限大になっても、立体としての BCH 構造が円柱に近づく訳ではなく、BCH 構造は BCH 構造のままですが、連結数が増えるにつれて投影図が円に漸近することは、「BCH の連結数が増えると異方性が低下する」ことの直観的な指標になると考えています。

Q. 小野聡子

予稿の諸論には、ドームや橋などが記載されていますが、建築学および土木工学では左右対称など対称性のある構造物が多いかと思います。Boerdijk-Coxeter helix (BCH) は、どのような構造物を想定想定されていますか？

A.

BCH 構造も螺旋回転の対称性を有していますが、長手方向に並進対称性を持たないのが特徴です。この構造は、水戸市のアートタワーとして利用されていますが、それは巨大な芸術作品と言えると思います。より工学的な、BCH 構造の利点を生かした応用としては、例えば以下のようなものが考えられます。

・ビルの基本形状。既存のビル形状は四角形が多いですが、BCH 構造を採用することで、風の影響などに対する異方性を低下させられることが期待されます。また、耐震構造としての長所があるかもしれません。

・高粘性環境下で使用されるころ（ベアリングの転動体）。ころの通常の形は円柱ですが、高粘性環境下では点接触で転がる BCH 構造が役立つと考えています。

・攪拌機。BCH 構造を回転させたときの攪拌能力を評価したいです。特に、攪拌時に負荷がかかるような場合、高強度な BCH 構造が役立つと期待されます。

◎緊張の可視化（客観的評価）の試み

松本樹（北海道科学大学）、印藤智一（同）、武隈涼風（同）、木村綺音（同）、佐野匠（同）、中村葉月（同）

Q. 篠田萌華

測定の際に1時間に飲食が禁止なのはなぜか。

A.

副交感神経に影響をおよぼすから。

Q1. 田口悠樹

OSCE を簡単をお願いします。

A1.

患者対応の課題を与えられ、2名の教員から評価される形態。

Q2.

OSCE 後というのは、どれぐらい後のことを指していますか？

A2.

終わった後すぐです。

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

○2022年度形の科学会賞

推薦がありませんでした。

○新入会の皆様（敬称略）

荒川 逸人 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所  
ロバート・オルソン 北海道科学大学  
杉野 義都 北見工業大学  
檜原 徹 工学院大学建築学部  
西井美佐子  
宮崎 桂一 キュービクスデザイン

○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。

荒川 逸人（防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所）

A: 雪氷学, 測量学 B: 雪結晶の形状と物性との関連, SfMによる雪面形状の測定

ロバート・オルソン（北海道科学大学）

A: 言語語用論 B: ベクターアートワーク/アニメーション

杉野 義都（北見工業大学）

A: 材料力学 B: 材料の変形に伴う組織変化を電子顕微鏡で観察して材料評価すること

檜原 徹（工学院大学建築学部）

A: 建築デザイン B: 建築デザインに応用可能な様々な形の可能性

西井美佐子

A: 数理造形分野でのかたちの生成アルゴリズム B: プロダクトデザインにおける曲線形状の美的要素の解析

宮崎 桂一（キュービクスデザイン）

A: フォトジオメトリー B: 複数立体の柔軟な連結による変形

○2022年度をもってご退会の皆様（敬称略）

齊藤 忠光

杉本 学 熊本大学大学院自然科学研究科

宮崎 修次 先端数理科学専攻京都大学情報学研究科

## ○ご逝去

形の科学会より、謹んでお悔やみ申し上げます。

森田 克己 先生

形の科学会の長年の正会員であり、札幌大谷大学の教授としてご活躍されました。造形とイメージ、コンピュータグラフィックス、図学をご専門とされ、自然界の形のデータベース化にご興味を広げられました。2022年6月13日にご逝去されました。

## ○2022年度第1回形の科学会運営委員会議事録

日時：2022年6月12日（日）20:00～21:30

場所：オンライン運営委員会

出席（50音順，敬称略）：出原立子，植田 毅，海野啓明，木下史也，杳名健一郎，小森雄太，塩澤恵理，塩澤友規，杉浦明弘，高田宗樹，手嶋吉法，沼原利彦，根岸利一郎，原田新一郎，本田容子，松浦昭洋，松浦 執，宮坂寿郎，宮本 潔，山口喜博（以上20名）  
議題：

1. 会員関係報告が，次のように行われた：2022年6月4日現在正会員285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369名（2021年6月11日378名）
2. 新運営委員の信任投票結果が，下表のように行われた（50音順，敬称略）：会員から56票が投じられ，下表の如く信任された．白票なし．無効票なし．

氏名	所属	得票数
出原 立子	金沢工業大学 情報フロンティア学部メディア情報学科	55
植田 毅	東京慈恵会医科大学医学部物理学研究室	55
小川 直久	北海道科学大学 全学共通教育部	55
海野 啓明	仙台高等専門学校 名誉教授	55
木下 史也	富山県立大学 工学部電子・情報工学科	55
杳名健一郎	Thaksin University, Songkhla, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Eastern Languages	55
小森 雄太	明治大学研究・知財戦略機構	55
塩澤 恵理	明治大学商学部商学科	56
塩澤 友規	青山学院大学経営学部経営学科	56
杉浦 明弘	岐阜医療科学大学	55
高田 宗樹	福井大学学術研究院工学系部門知能システム工学講座	55
手嶋 吉法	千葉工業大学工学部機械電子創成工学科	55
西垣 功一	埼玉大学 名誉教授	55
沼原 利彦	医療法人社団 むまはら皮ふ科	55
根岸利一郎	元 埼玉工業大学先端科学研究所	55
原田新一郎	目白大学保健医療学部，埼玉県立浦和東高等学校	55
平田 隆幸	福井大学工学部知能システム工学科	56
福井 義浩	名古屋学芸大学ヒューマンケア学部	55
松浦 昭洋	東京電機大学情報システムデザイン学系	55

松浦 執	東京学芸大学自然科学系	56
松浦 康之	岐阜市立女子短期大学国際文化学科	55
松岡 篤	新潟大学理学部地質科学教室	55
松本 拓也	福井大学大学院工学研究科知識社会基礎工学専攻	55
宮坂 寿郎	京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻	56
宮本 潔	元 獨協医科大学医学総合研究所	56
本田 容子	鎌倉女子大学 教育学部	55
山口 喜博	元 帝京平成大学情報学研究科	55

備考：10名以上の信任を得た候補者から順に30名まで運営委員に決定する。運営委員が27名に満たないときは、旧役員が対処する。

3. 新会長の信任投票が、次のように行われた：山口会長が再度立候補し、他の候補者が無く、山口会長が次期会長として信任された。
4. 2021年度活動報告が、次のように行われた。
  - ・形の科学シンポジウムを次のように開催したことが報告された。
  - 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@オンライン 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1,2号を刊行したことが報告された。
  - ・FORMA Vol. 36を刊行したことが報告された。
  - ・2021年度「かたちシューレ」（2022年2月3日（木）オンライン）を行ったことが報告された。
  - ・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年6月5日）したことが報告された。
  - ・新潟大学旭町学術資料展示館企画展示「殻」展（2021年7月21日～8月29日）を後援したことが報告された。
  - ・第23回日本感性工学会大会（2021年9月2日～4日）を協賛したことが報告された。
5. 2021年度決算と監査報告：2021年度決算内容が報告され、承認された。また、小森委員（監査役）より、監査結果に問題は無かったことが報告された。
6. 2022年度の活動計画が、次のように報告された。
  - ・シンポジウムを次のように開催することが報告された。
  - 第92回：形の科学シンポジウム@北海道科学大学 2021年6月18日（土）～19日（日）（代表世話人：小川直久）
  - 第93回：形の科学シンポジウム@福井大学 2022年11月18日（金）～20日（日）を予定（代表世話人：高田宗樹）
  - ・会誌第37巻を刊行することが報告された。
  - ・FORMA Vol.37を刊行することが報告された。
  - ・2022年度「かたちシューレ」を開催する（対面にて予定）ことが報告された。
  - ・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（2022年5月30日）ことが報告された。
  - ・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）を後援することが報告された。
  - ・第24回日本感性工学会大会（2022年8月31日～9月2日）を協賛することが報告された。
  - ・SIS-Symmetry との関係解消について：SIS-Symmetry の会計状況や会長の経歴詐称等の不正が発覚したこと、そのため、SIS-Symmetry からの学会としての退会、SIS-Symmetry からの学会名の削除依頼等が必要であることが報告され、承認された。

今後の具体的な対策については、山口会長と手嶋委員との間での協議の上進められることとして承認された。

・シンポジウム支援担当委員の業務内容の見直しについて：シンポジウム支援担当が2人体制から1人に減ることにあたり、人員増員の要請があり、承認された。この他、シンポジウムの質疑応答の議事録作成を今後も続けるか否かについて問題提起されたが、当面継続することで同意が得られた。その際、学会ホームページ内の情報システムを活用することで担当者の労力が軽減され得るとの助言が杓名委員よりなされた。また、シンポジウム支援担当委員に限らず、他の担当委員も任期制にしてローテーションさせるべきではないかとの提案がなされた。松浦執委員より、各委員の選任に際しては、従来庶務担当幹事に相談していた経緯が説明され、同様の方法で早期に委員を交代させていく方針となった。

7. 2022年度予算案：2022年度予算案が報告され、承認された。FORMA出版経費削減とシンポジウムやかたちシュレーの対面での実施が再開されることにより、財政がやや改善される見込みであることが報告された。

8. その他

・会計は依然として逼迫していることが報告された。  
・FORMA誌出版費用の問題。同誌掲載料補助が困難であることについて：FORMA出版費用は他社に乗り換えることで更に抑制されることが、高田委員より報告された。具体的な業者選定に入っていることが報告された。掲載料補助が困難になり、今後掲載にあたり、執筆者から掲載料を徴収する方向で検討していることが報告された。  
・山口会長より、会誌の2020年以降を早急にホームページに載せてほしい旨の要請があった。  
・全ての学会誌編集員の交代について山口会長より要請があった。新編集員については今後検討し依頼することとなった。

## ○2022年度形の科学会総会議事録

日時：2022年6月18日（土）16:30～

場所：北海道科学大学

定足数：会員総数 369名 / 15 = 24.6名 < 委任状 40名 + 総会出席者数

以上により、総会は成立した。

議題：

報告事項：

1. 会員関係報告が次のように行われた：2022年6月4日現在正会員 285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 369名（2021年6月11日 378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@オンライン 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1,2号を刊行した。

・FORMA Vol.36を刊行した。

・2021年度「かたちシュレー」（2022年2月3日（木）オンライン）を行った。

・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年6月5日)した。

・新潟大学旭町学術資料展示館企画展示「殻」展（2021年7月21日～8月29日）を後援した。

・第23回日本感性工学会大会(2021年9月2日～4日)を協賛した。

3. その他

- ・会計が依然として逼迫していることが報告された。
- ・FORMA 誌出版費用の問題。同誌掲載料補助が困難であることについて：FORMA 出版費用は他社に乗り換えることで更に抑制されることが、高田委員より報告された。具体的な業者選定に入っていることが報告された。掲載料補助が困難になり、今後掲載にあたり、執筆者から掲載料を徴収する方向で検討していることが報告された。

審議事項：

1. 新運営委員の信任投票結果（下表，50音順，敬称略）が運営委員会で承認されたことが報告され，総会でも承認された（会員から56票が投じられた。白票なし。無効票なし。）

氏名	所属	得票数
出原 立子	金沢工業大学 情報フロンティア学部メディア情報学科	55
植田 毅	東京慈恵会医科大学医学部物理学研究室	55
小川 直久	北海道科学大学 全学共通教育部	55
海野 啓明	仙台高等専門学校 名誉教授	55
木下 史也	富山県立大学 工学部電子・情報工学科	55
沓名健一郎	Thaksin University, Songkhla, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Eastern Languages	55
小森 雄太	明治大学研究・知財戦略機構	55
塩澤 恵理	明治大学商学部商学科	56
塩澤 友規	青山学院大学経営学部経営学科	56
杉浦 明弘	岐阜医療科学大学	55
高田 宗樹	福井大学学術研究院工学系部門知能システム工学講座	55
手嶋 吉法	千葉工業大学工学部機械電子創成工学科	55
西垣 功一	埼玉大学 名誉教授	55
沼原 利彦	医療法人社団 むまはら皮ふ科	55
根岸利一郎	元 埼玉工業大学先端科学研究所	55
原田新一郎	目白大学保健医療学部，埼玉県立浦和東高等学校	55
平田 隆幸	福井大学工学部知能システム工学科	56
福井 義浩	名古屋学芸大学ヒューマンケア学部	55
松浦 昭洋	東京電機大学情報システムデザイン学系	55
松浦 執	東京学芸大学自然科学系	56
松浦 康之	岐阜市立女子短期大学国際文化学科	55
松岡 篤	新潟大学理学部地質科学教室	55
松本 拓也	福井大学大学院工学研究科知識社会基礎工学専攻	55
宮坂 寿郎	京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻	56
宮本 潔	元 獨協医科大学医学総合研究所	56
本田 容子	鎌倉女子大学 教育学部	55
山口 喜博	元 帝京平成大学情報学研究科	55

備考：10名以上の信任を得た候補者から順に30名まで運営委員に決定する。運営委員が27名に満たないときは，旧役員が対処する。

2. 新会長の信任：運営委員会（6月12日）において，山口喜博現会長が再任されたことが報告され，承認された。

3. 2021年度決算（資料1）と監査報告（資料2）が承認された。
4. 2022年度予算案（資料1）が承認された。
5. 2022年度活動予定 2022年度の活動計画が承認された。
  - ・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@北海道科学大学 2021年6月18日（土）～19日（日）（代表世話人：小川直久）
    - 第93回：形の科学シンポジウム@福井大学 2022年11月18日（金）～20日（日）を予定（代表世話人：高田宗樹）
  - ・会誌第37巻を刊行する。
  - ・FORMA Vol.37を刊行する。
  - ・2022年度「かたちシュレー」を開催する（対面にて予定）。
  - ・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（2022年5月30日）する。招待講演者：高嶋礼詩（東北大学総合学術博物館）
  - ・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）を後援する。
  - ・第24回日本感性工学会大会（2022年8月31日～9月2日）を協賛する。
  - ・SIS-Symmetry との関係解消が承認された。

## (資料1) 2021年度決算 2022年度予算案

収入の部		
	2021年度決算	2022年度予算案
前年度より繰越	710,467	1,102,822
賛助金	0	0
年会費	1,366,000	1,300,000
出版助成金	0	0
雑収入（合本等販売）（銀行振込）	179,013	400,000
受取利息	4	0
シンポジウム参加費	0	400,000
シンポジウム展示等	0	50,000
懇親会費	0	0
合計	2,255,484	3,252,822

支出の部		
	2021年度決算	2022年度予算案
出版・校正費（和文誌）	120,091	130,000
人件費	0	60,000
通信費	16,780	60,000
交通費・宿泊費	0	50,000
振込手数料	23,523	24,000
諸雑費（事務用品等）	93,000	100,000
会場費	0	20,000
講演準備費	0	100,000
会合費（懇親会）	0	0
英文誌出版費	899,268	900,000
内訳：	学会分担金 (899,268)	学会分担金 (900,000)
	出版助成金 (0)	出版助成金 (0)
学会賞賞金	0	20,000
合計	1,152,662	1,464,000

	2021年度決算	2022年度予算案
収支差引残高	1,102,822	1,788,822

監査報告書

形の科学会令和 3 年度決算報告につきまして、  
適切に処理されていることを確認致しましたので  
ご報告申し上げます。

令和 4 年 6 月 11 日

形の科学会運営委員（監査担当）

小森雄太 

# 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を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. 1 (2023, 1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