ISSN 0915−6089

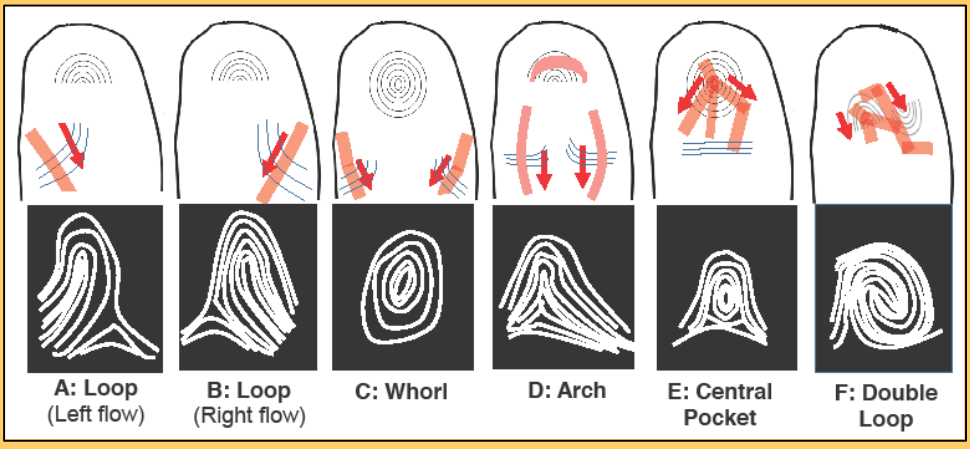
SCIENCE on FORM

SYMPOSIUM FOR SCIENCE ON FORM

形の科学会誌

第30巻 第2号 2015

BULLETIN OF THE SOCIETY FOR SCIENCE ON FORM



形の科学会

http://katachi-jp.com/

形の科学会誌 第 30 巻 第 2 号 (2015)

目　次

【論文】
指紋の形と静脈分布の関係について
岡﨑登志夫 …… 104
【書評】
書評 : マオール, ヨスト 共著, 高木監訳, 稲葉・河崎・田中・平澤・吉田 訳『美しい幾何学』(丸善出版，2015)
海野啓明 …… 115
【シンポジウム予稿】
第 80 回形の科学シンポジウム「スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形」
プログラムと予稿 …… 117
第 79 回形の科学シンポジウム「生物に見られるねじれ構造」
予稿 …… 190
【会告】
第 79 回形の科学シンポジウム「生物に見られるねじれ構造」
討論記録 …… 194
会告 …… 201
事務局からのニュースメール …… 207
形の科学会誌の原稿募集 …… 210
『形の科学会誌』論文投稿の案内 …… 211
形の科学会入会案内 …… 213

指紋の形と静脈分布の関係について

岡﨑　登志夫
ヤマザキ学園大学，〒192-0364　東京都八王子市南大沢 4-7-2
E-mail: t_okazaki@yamazaki.ac.jp

Relationship between fingerprint pattern and vein distribution

Toshio Okazaki
Yamazaki Gakuen University, Minami-osawa 4-7-2, Hachiouji, Tokyo 192-0364, JAPAN

(2015 年 7 月 16 日受付，2015 年 9 月 9 日受理)

Abstract: We considered the relationship between the fingerprint pattern and the vein distribution. Firstly, we classified the fingerprint patterns of 35 adult volunteers to 6 types: loop, whorl, arch, central pocket, double loops type and others. The loop type was observed most frequently, and the whorl type was the next. Secondary, the vein distribution of these fingers was observed using the monitoring device, which was composed of IR CCD camera and an 850-nm near-infrared LED lighting system. For the loop type samples, relatively bold veins were observed on one side of a fingertip. For the whorl type samples, veins were observed around the center of a fingertip. For the arch type samples, narrow veins or capillaries were observed around the center of a fingertip. For the central pocket type samples, several veins were gathered in the center of a fingertip. For the double loop type samples, veins branched in the center of a fingertip. Small difference of vein distributions was observed in the different fingerprint cases between right and left hands. From these results, we concluded that the fingertip tissue fluid flow by the vein distribution influenced the fingerprint pattern.

Key words: fingerprint, vein distribution, tissue fluid flow

１．はじめに

動物の皮膚紋理には、魚類や爬虫類などの色素細胞のパターン分布[1,2]以外に、細胞組織の粗密や凹凸による紋様がある。ヒト、ゴリラ、オランウータン、チンパンジーなどの指紋[3]やウシの鼻紋[4]などである。ヒトの指紋は、指の皮膚表面の形態学的、組織学的紋理であり、波状の隆線が 0.3 から 0.7 mm の間隔で整列したもので、胎児期の 10 週目ごろまでに形成され、その形は一生涯変化しないとされる[3,5,6]。特に掌側指末節の指紋はその形から、蹄状紋、渦状紋、弓状紋などに分類されるが[7]、これらの指紋の形は個体ごとに異なっているため、１世紀以上前から世界各地で個体識別に用いられた[8,9]。我が国においても、縄文時代には土器の紋様に使われたり[9]、占いの手段として使われたりしてきた。また、最近の指紋照合システムの発達に伴い、さまざまなセキュリティシステムにも組み込まれ[10]、犯罪捜査の重要なツールとしても使われている。

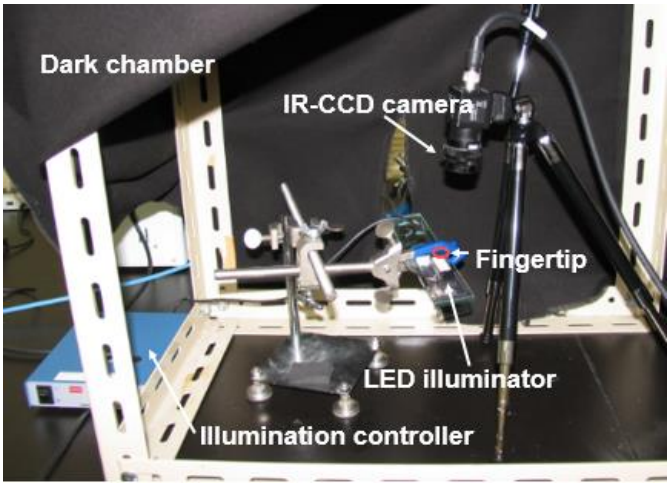


Figure 1. Vein distribution analytical system using IR-CCD camera and 850 nm LED illumination. A fingertip was placed on the LED illuminator.

しかし、なぜ指紋の形が個人ごとに異なるのかは未だに明らかになっていない。ダウン症では循環障害による低血圧が認められ[11]、特定の指紋が多く見られる[12]。血圧は静脈に分布する血液量の影響を受けることから[13]、今回我々は、指の血流が指紋の形に影響を及ぼしているのではないかと考え、指紋の形と指の静脈分布の関係について検討した。

２．実験方法

指の皮下数 mm に分布する静脈を、近赤外線出力イルミネーターと赤外線 CCD カメラを組み合わせて撮影した。照明用に用いた波長 850 nm の近赤外光は、血液中のヘモグロビンに吸収されやすいため、皮下の静脈分布が、近赤外線 CCD カメラで黒く捕らえられる。そのため、近年、この原理は、静脈認証システム[14]として広く使われている。Figure 1 に撮影システムを示し、その方法について、以下に詳細に記す。上肢の各指末節の背側に、近赤外線出力イルミネーター（波長 850 nm, 日進電子工業, 東京）を密着させて点灯し、掌側から赤外線 CCD カメラ（XC-E150, SONY, Japan）で、マクロレンズＬ6000（エドモンドオプティクス　ジャパン社, 東京）を用いて撮影した。さらに、光学カメラ Power Shot Pro1（Canon, Tokyo）を用いて、上肢指紋の隆線パターンを、掌側からのストロボ照明でスーパーマクロ撮影した。また指紋の形と静脈分布の関係を一層明らかにするため、特に左右上肢指紋の不一致例について静脈分布の変化について解析した。

指紋の隆線は指表面上に分布するが、静脈は指の皮下内部に分布する。この隆線の形と静脈走行との関係を立体的に解析するために、次のような実験を行った。まず、指表面の立体的な曲面状態を石膏で型採りした。次に、その指の両側面で観察された静脈走行に対して垂直な影を指レプリカ表面に落とすために、指レプリカから数 cm 離れた位置に、指側面の静脈走行と垂直な方向に向けて直径 3 mm のまっすぐな棒を設置した。これに白色光線を照射し、レプリカ表面にできる影の形を観察した。これによって、指の皮下内部に分布する静脈に流入する組織液流が、指表面に及ぼす流れの方向が推定できる。この実験によってできる指レプリカ表面の影の形と指紋の隆線の形とを比較した。Figure 2 にそのイメージ図を示す。以下ではこれをシャドー実験と呼ぶ。

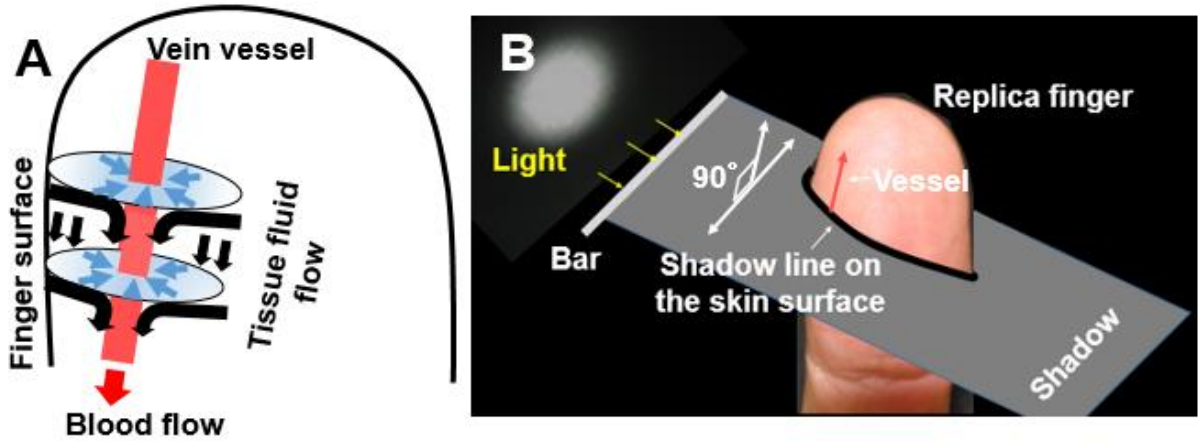


Figure 2. A: Schematic illustration of the effect of tissue fluid flow to the finger surface. Arrows indicate the tissue fluid flow. B: Comparison experiment between the shadow line on the replica finger and the fingerprint ridge. The straight wire bar was placed perpendicular to the vein direction near the replica finger, and the light was irradiated to form a shadow line of the bar on the replica surface.

3. 結果

3.1．指紋の形の分類

25 歳から 73 歳までの成人日本人男女 35 人の左右上肢の各指 10 本の指紋の形について調査した。被験者のインフォームドコンセントについては、ヤマザキ学園大学の倫理規定に従った。その結果を 6 つの指紋の形に分類した。それらは、蹄状紋（Loop）、渦状紋（Whorl）、弓状紋（Arch）、有胎紋（Central Pocket）、二重蹄状紋（Double Loop）、その他（Others）である。蹄状紋は「流れ」などと俗称される通り、指先から指付け根の軸に対して隆線が左右どちらかに流れる形である。渦状紋は、環型または渦巻き型、弓状紋はアーチ型で、有胎紋は指末節中央に環状型の隆線紋様があり、周囲の隆線は指先から指付け根の軸に対して左右にアーチ型に開く形である。二重蹄状紋は、指末節中央で反対向きの隆線のループが二つ組み合わさったような形である。

調査結果は、蹄状紋 179、渦状紋 123、二重蹄状紋 21、有胎紋 17、弓状紋 5、その他 5 で、蹄状紋が最も多く、次いで渦状紋が多かった。左右の指紋の形の不一致率は 1 人あたり平均 1.17 組であった。指ごとの不一致の出現頻度は約 20-29%で、第三指が最も高かったが、各指間に大きな違いは認められなかった。Table 1 に結果を示す。指紋の形の左右不一致例は、蹄状紋⇔渦状紋の変化例が 41 例中 14 例、蹄状紋⇔有胎紋が 7 例、蹄状紋⇔二重蹄状紋が 6 例であった。

Table 1. The frequency distribution of dissidence of fingerprint types between right and left hands (I-V: the first finger-the fifth finger).

Finger	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
Frequency	7	8	10	9	7
(ratio, %)	(20.0%)	(22.9%)	(28.6%)	(25.7%)	(20.0%)

3.2. 指紋の形と上肢指末節の静脈分布の解析

3.1. で確認された蹄状紋（Loop）、渦状紋（Whorl）、弓状紋（Arch）、有胎紋（Central Pocket）、二重蹄状紋（Double Loop）について指末節の静脈分布の観察を行った。Figure 3 にそれらの結果の代表例を示す。図には「近位遠位軸」と呼ばれる指先から指付け根を結ぶ軸を一点鎖線で示した。各指紋別皮下静脈分布で特に明瞭な静脈は写真中に矢印で示した。蹄状紋（Fig. 3A 及び 3B）では、近位遠位軸の左右（または小指側、親指側）の、どちらか一方に太い静脈が認められたり、静脈が密に分布したりしており、その方向に向かって隆線が流れていた。渦状紋では、指末節中央に太い静脈が認められない空隙があり、それを取り囲むように第一関節部から指末節両側に太い静脈が観察された（Fig. 3C）。弓状紋では、指末節中央に明瞭な静脈が認められず、近位遠位軸（一点鎖線）に対して左右に静脈分布が認められ、中央部の先にも多数の毛細血管が認められた（Fig. 3D）。有胎紋では、指末節中央に放射状に延びる 3-4 本の静脈が認められ、その静脈の合流点が環状隆線の中心と一致していた（Fig.3E）。二重蹄状紋では、蹄状紋同様、近位遠位軸（一点鎖線）の片側に太い静脈が認められたが、指末節中央ではその先が大きく分岐していた（Fig. 3F）。

Figure 3 に示した指紋の形と静脈分布の結果は、Fig. 4 に示すような簡単な模式図にまとめられる。すなわち、蹄状紋では近位遠位軸に対して静脈分布が左右いずれか一方に偏っており、太い静脈がある方に向かって隆線が流れていた。渦状紋や弓状紋では、近位遠位軸に対して左右対称に静脈が分布した。有胎紋では指末節部中央に静脈が集まっており、二重蹄状紋では、第一関節部付近から延びた静脈が中央部付近で分岐していた。

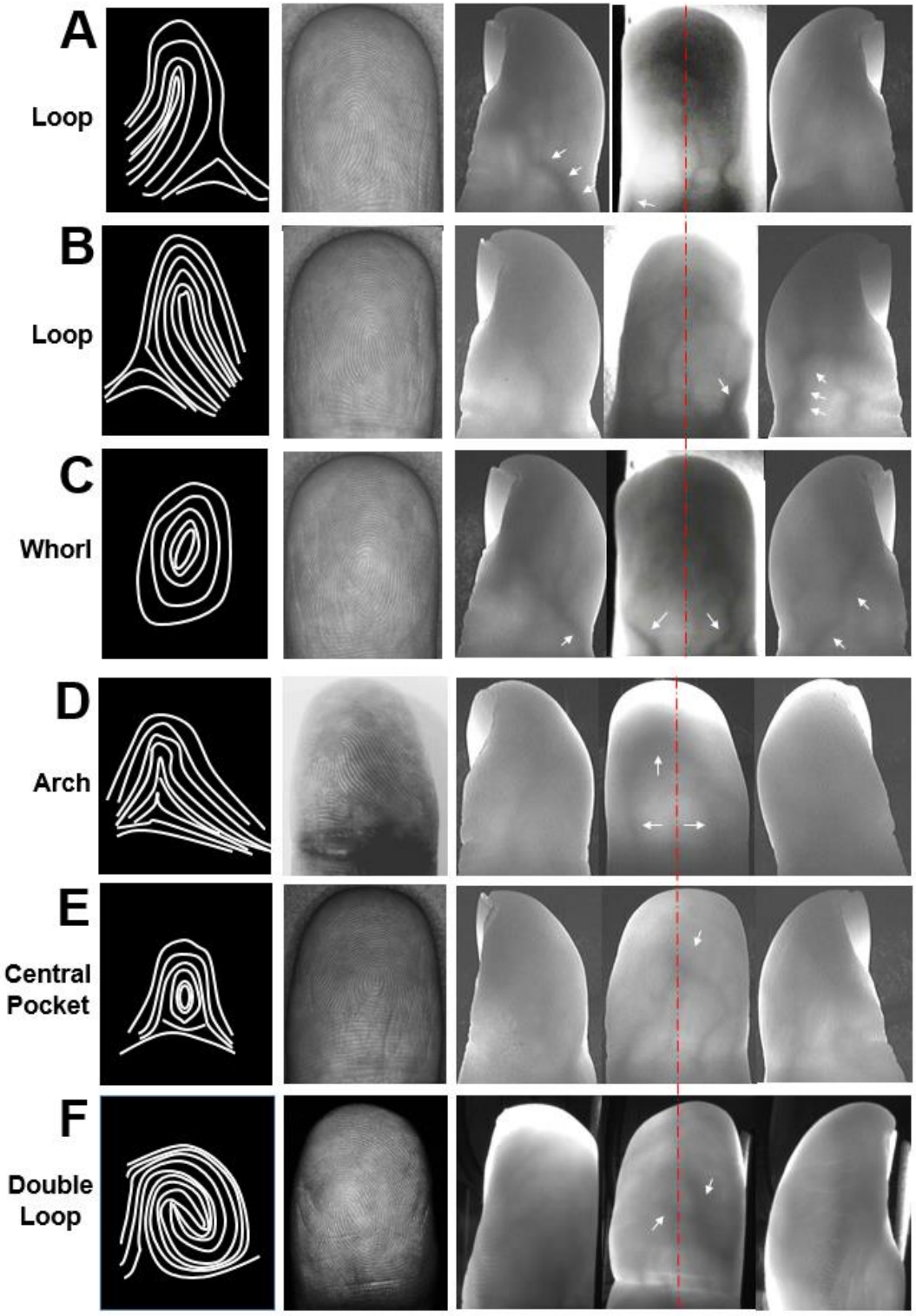


Figure 3. Representative examples of relationship between the fingerprint ridge pattern and vein distribution. The far left fingerprint sketch was drawn referring the next fingerprint photo. Right handed three photos were captured from the right, front and left, respectively. A chain line is the proximal-distal axis. White arrows indicate the bold vein vessel or the gathering capillary vessel.

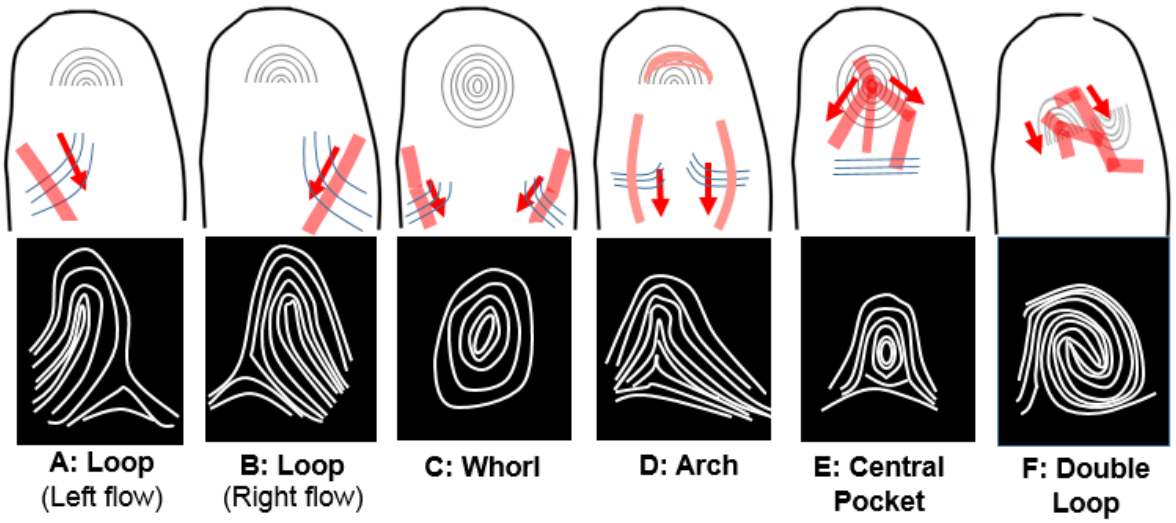


Figure 4. Schematic diagram indicating the relationship between the fingerprint ridge pattern (lower) and the vein distribution (upper). Bold line: peripheral blood vessel; Arrow: tissue fluid flow; Curve: ridge pattern expected to be formed by the tissue fluid flow.

次に、上肢指末節の指紋の隆線の走行と静脈分布について、さらに詳細に分析した。Figure 5 は、それぞれ１は静脈分布、２は同じ指の指紋の隆線パターン、３は２の四角で囲んだ部分を拡大した画像である。３には１を参考にして静脈の走行を描き込んだ。さらに、隆線の分岐点を矢印で描きこんだ。その結果、湾曲の内側では静脈に向かって分岐して隆線数を増し（A-C）、湾曲の外側では静脈に向かって合流して隆線の数を減らし（D）、静脈の走行に対して隆線の走行が垂直になるように、静脈近傍で隆線の数や走行が変化していることがわかった。

3.3. 左右の指紋不一致例の静脈分布比較

今回調査した 35 名の左右の指 175 組の指紋のうち 41 組が左右不一致と判定された（Table 1）。そのうち出現頻度の多い蹄状紋⇔渦状紋、蹄状紋⇔有胎紋、蹄状紋⇔二重蹄状紋の各例について、指紋と静脈分布の変化を比較した。その結果を Fig. 6 に示す。図の左端には、右の指紋と静脈分

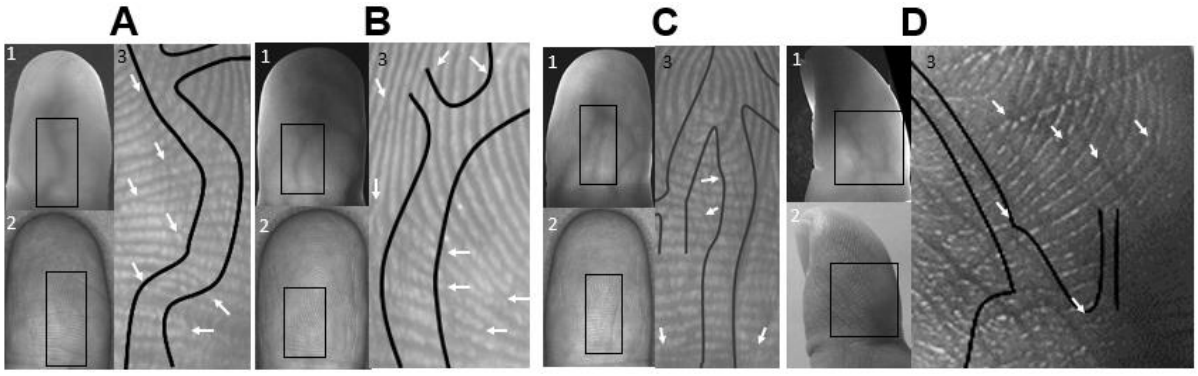
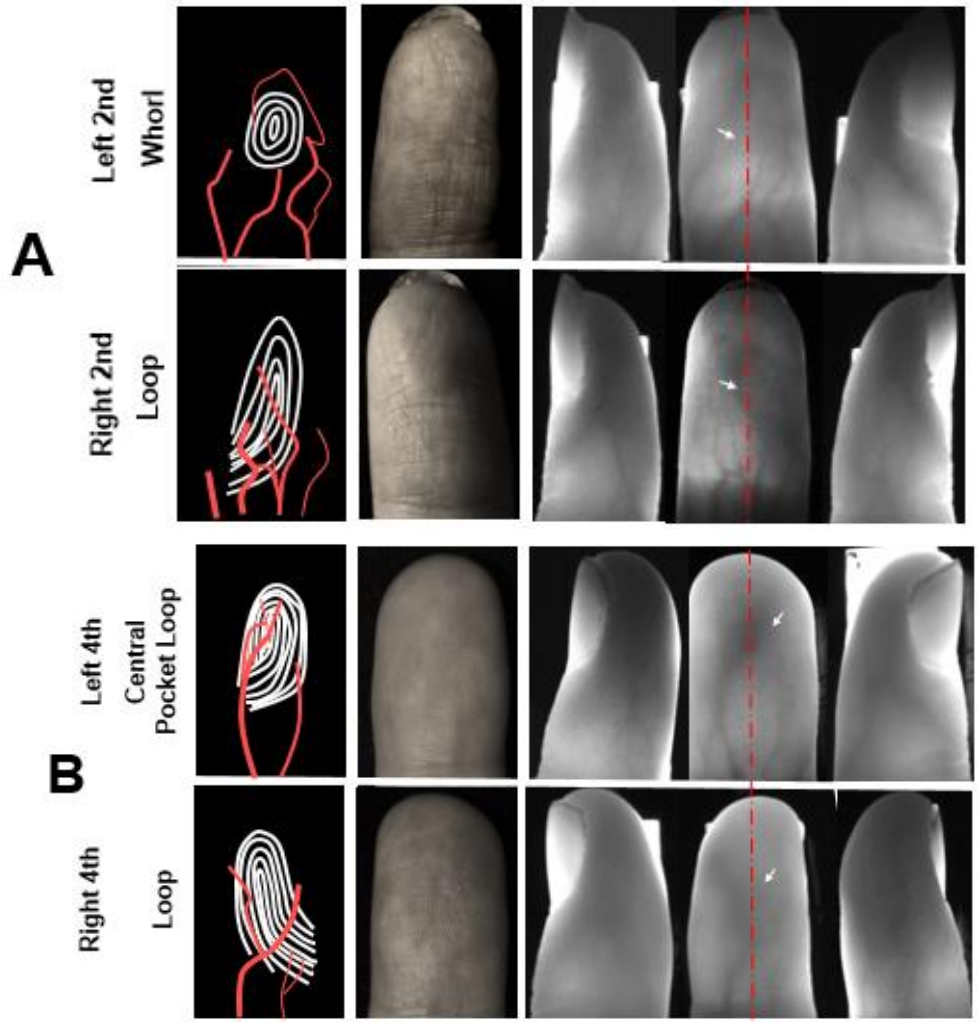


Figure 5. Relationship between the vein distribution and fingerprint ridge pattern. 1: vein distribution; 2: fingerprint ridge pattern; 3: Enlarged view in a square of photo-2. The pattern of vein distribution was drawn in this photo referring the photo-1. White arrows indicate the junctions of fingerprint ridge pattern.

布写真のトレース図を示した。A の上段の渦状紋例では、指末節中央に空隙が認められ、その周りを静脈が取り囲んでいたが、下段の蹄状紋例では、指末節中央にも静脈が伸びていた（白矢印部）。B の上段の有胎蹄状紋例では、指末節中央に数本の静脈が集まっていたが（白矢印）、下段の蹄状紋例では、指末節中央に静脈の集合が認められなかった。但し、上下段とも静脈分布に偏りが認められた。C の上段の有胎紋例では、指末節中央に数本の静脈が集まり、そこから血管が放射状に分散していた（白矢印）。下段の有胎蹄状紋例では、上段同様指末節中央に数本の静脈が集まっていたが（白矢印）、その数が減り、近位遠位軸（一点鎖線）の片側に太い静脈が偏って分布していた。D の上段の二重蹄状紋例では、近位遠位軸（一点鎖線）の片側に太い静脈が認められ、指末節中央でその先が左右に大きく分岐していたが、下段の蹄状紋例では太い静脈の分岐が減り、指末節中央から第一関節部にかけて片側に偏って分布していた。

以上の結果から、指紋が左右不一致を示した場合の左右の静脈分布には、特徴的な違いがあることが確認できた。



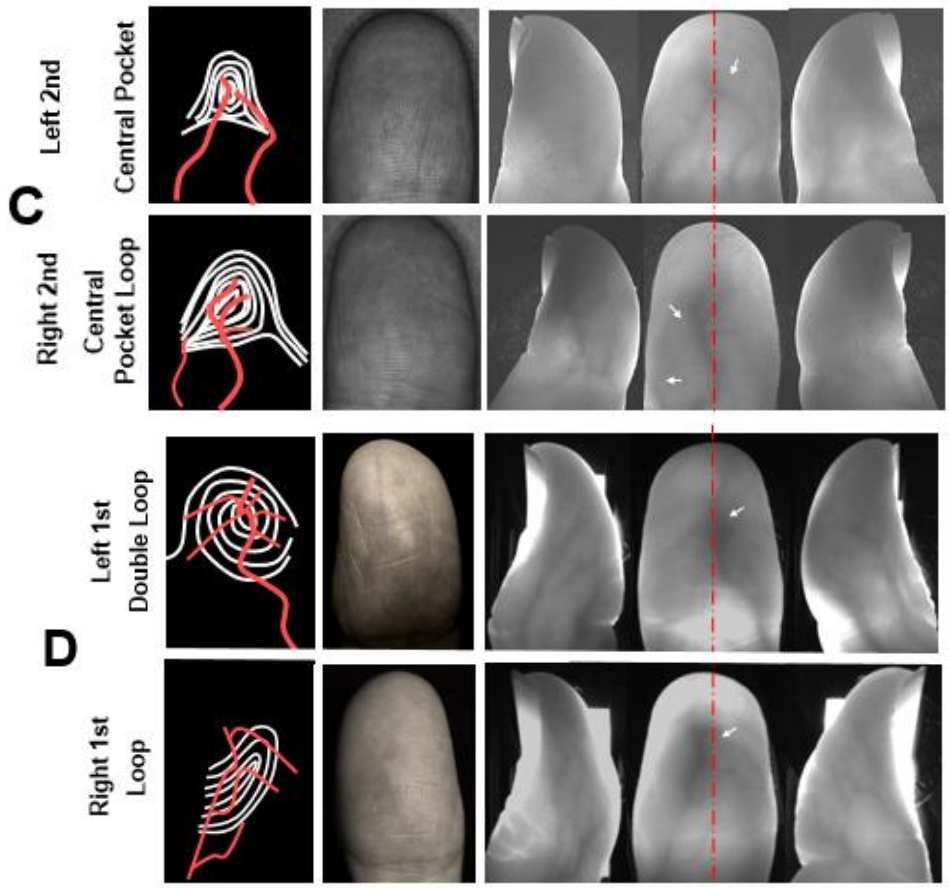


Figure 6. Comparison of the left hand between right hand finger vein distribution and fingerprint ridge pattern in representative cases of dissidence of fingerprints between left and right hands. The composition of images is same as Fig. 3. The vein vessel sketch was also added to the far left fingerprint sketch referring the right handed vein distribution photos. A: Whorl ↔ Loop (the second finger); B: Central pocket loop ↔ Loop (the forth finger); C: Central pocket ↔ Central pocket loop (the second finger); D: Double Loop ↔ Loop (the first finger)

3.4. 指表面の隆線の形と静脈走行との立体的関係の解析

3.2 の Fig. 3 及び Fig. 5 で、指紋の隆線が、赤外線 CCD カメラで観察される静脈走行に対して垂直に分布する傾向があることが確認された。しかし、隆線は指表面の曲面上を走行し、静脈は指の皮下内部に三次元的に分布する。そのため、指表面の隆線と指内部の静脈に沿った組織液流がどのような関係にあるのかを、前節で示したシャドー実験で確認した。この実験によって、静脈走行と垂直を成す面がつくる指レプリカ表面の影の軌跡と隆線の形との関係の解析が可能になる。指のレプリカに対して、Fig. 7 の左または右端の皮下の静脈分布を参考に、その走行に垂直になるように、まっすぐな棒を配置し、これに光を照射して指レプリカ表面に影を落とした。その結果を Fig. 7 の Side View と Front View に示す。左右端写真の静脈の走行に対してそれぞれ垂直に設置された棒（両矢印 a-h）が作る影（Side and Front Views: a- h）の軌跡が、指紋の隆線の形とよく一致することが判明した。

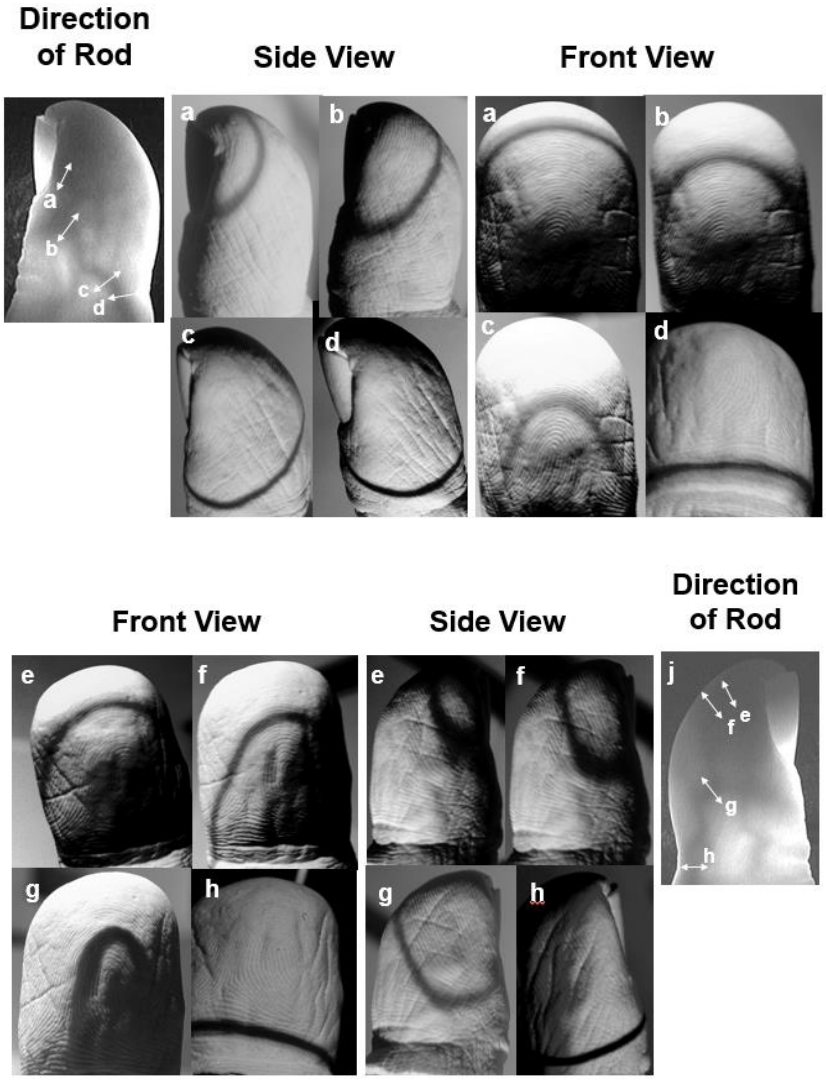


Figure 7. Comparison between the shadow line on the replica finger surface and the shape of fingerprint ridge. Double-headed arrows with each alphabet from a to h in the far left or far right photo indicate the direction of straight wire rod used to take front and side view photos, a-h. The far left and far right photos were captured by IR CCD camera.

４．考察

近赤外線照明と赤外線 CCD カメラによる指皮下の静脈分布の比較や皮下静脈走行に対して垂直な影を指レプリカ上に落とすシャドー実験によって、指紋の形と静脈分布は密接に関連していることが明らかになった。指紋の形の分類調査の結果から、左右上肢の指紋の形の不一致例で最も多いパターンは蹄状紋↔渦状紋であった（Table 1）。不一致例の渦状紋では、静脈が近位遠位軸に対して左右にバランスよく分布していたが、蹄状紋では、静脈が近位遠位軸に対して片側に偏って分布していた（Figs. 3,4 and 6）。このように静脈分布が近位遠位軸に対して左右どちらか一方に偏ることによって、組織液の流れが変化し、指紋の形が変わるのではないかと考えられる。

指紋と静脈分布の写真（Fig. 3）を拡大して比較すると（Fig. 5）、皮下の静脈が湾曲する部分の内側や外側で、隆線の分岐や合流が起こり、静脈走行に隆線の走行が直交するように調節され

ていることが明らかになった。また、指表面を走行する隆線と指内部の静脈走行との立体的関係を検討するために実施されたシャドー実験でも、隆線と静脈走行が直交する関係にあることが裏付けられた（Fig. 7）。隣接する細動脈と細静脈の間では、酸素や二酸化炭素の交換が、組織液を介してなされていることが知られており[15]、このことは血管走行が組織液の流れと密接に関連する傍証となろう。その結果、静脈の周囲では、細動脈から染み出した組織液が細静脈や毛細血管に流入する流れが形成され、表皮に、静脈走行に対して垂直方向の隆線の形成を促しているのかもしれない。

近年、胚発育期の微小な水流が、遺伝子発現に影響して、内臓臓器の非対称形成に関係することが明らかにされた[16]。指の静脈分布が変化するメカニズムや隆線が一定間隔で形成されるメカニズムはなお不明であるが、指紋もまた、指血管の消失や付加などの劇的な変化を伴わなくても、皮下細静脈の位置のわずかなずれや偏りによって組織液の流れが微妙に変化し、隆線形成に影響を及ぼし、さまざまな形の指紋ができるものと考えられる。

文献

1) 大島範子. 硬骨魚類における色素胞とその運動制御の仕組み. 比較生理生化学, 20, (2003), 131-139.

2) Teyssier J, Saenko SV, van der Marel D, Milinkovitch MC. Photonic crystal causes active colour change in chameleons. Nature Communications, (2015), Mar 10; 6:5368. Doi:10.1038/ncomms7368.

3) Cummins H, Midlo C. Finger prints, palms and soles: An introduction to dermatoglyphics, Dover Publications, Inc., New York (1961)

4) Noviyanto A, Arymurthy AM. Beef cattle identification based on muzzle pattern using a matching refinement technique in the SIFT method. Computers and Electronics in Agriculture, 99, (2013), 77-84.

5) Kahn HS, Ravindranath R, Valdez R, Narayan MV. Fingerprint ridge-count difference between adjacent fingertips (dR45) predicts upper-body tissue distribution: evidence for early gestational programming. American Journal of Epidemiology, 153, (2001), 338-344.

6) Dahiya RS, Gori M. Probing with and into fingerprints. Journal of Neurophysiology, 104, (2010), 1-3.

7) Wang L, Alexander CA. Fingerprint patterns and the analysis of gender differences in the patterns based on the *U* test. International transaction of Electrical and Computer Engineers System, 2, (2014), 88-92.

8) Herschel W. J.　Skin furrows of the hand. Nature, 23, (1880), 76.

9) Faulds H. On the skin-furrows of the hand. Nature, 22, (1880), 605.

10) Gogoi M, Bhattacharyya DK. An effective fingerprint verification technique. Journal of Computer Science and Engineering, 1, (2010), 27-35.

11) Morrison RA, McGrath A, Davidson G, Brown JJ, Murray GD, Lever AF. Low blood pressure in Down's syndrome, A link with Alzhheimer's disease? Hypertension, 28, (1996), 569-575.

12) Durham NM, Koehler JL. Dermatoglyphic indicators of congenital heart defects in Down's syndrome patients: a preliminary study. Journal of Mental Deficiency Research, 33, (1989), 343-348.
13) MacAllister RJ, Vallance P. Systemic vascular adaptation to increases in blaood volume: the role of the blood-vessel wall. Nephrology Dialysis Transplantation, 11, (1996), 231-240.
14) Xie SJ, Lu Y, Yoon S, Yang J, Park DS. Intensity variation normalization for finger vein recognition using guided filter based single scale retinex. sensors, 15, (2015), 17089-17105.
15) Kobayashi H, Takizawa N. Imaging of oxygen transfer among microvessels of rat cremaster muscle. Circulation, 105, (2002), 1713-1719.
16) Nakamura T, Saito D, Kawasumi A, Shinohara K, Asai Y, Takaoka K, Dong F, Takamatsu A, Belo JA, Mochizuki A, Hamada H. Fluid flow and interlinked feedback loops establish left-right asymmetric decay of Cer12 mRNA. Nature Communications, (2012), 3:1322. Doi:10.1038/ncomms2319.

書評：マオール，ヨスト 共著，高木監訳，稲葉・河崎・田中・平澤・吉田 訳『美しい幾何学』（丸善出版，2015）

海野啓明 （仙台高専 広瀬キャンパス）

Book Review: “Beautiful Geometry” by E. Maor and E. Jost

Keimei, KAINO

“Beautiful Geometry” has about 50 chapters, each of which consists of an essay of mathematical history and a color plate on a single topic. We will group together three subjects: Euclid’s Elements, plane curves with calculus and new kinds of geometry. Infinity is the central theme of the book.

KEYWORDS : Elements, Infinity, Fractals, Plane curves, Prime numbers, Projective Geometry

1．はじめに

この本は数学史の専門家マオールと芸術家のヨストにより「読者に楽しんでもらうように」書かれていて，数学に興味のある人なら面白く読める．まえがきにおいて，マオールは「パターンを追求し，くり返しと規則性を追求すること」が数学とアートの共通点であるといい，ヨストは「数やパターンと遊ぶこと」により挿絵を描いたという．

各章は大きな図を使った数ページの説明と大きなカラーの挿絵からなる．説明には主な登場者の略歴とエピソードがあり親しみやすい．全体は 51 章からなり，古代ギリシャの幾何学から 20 世紀初頭までの発展を年代順に追う．挿絵と図でよく理解できるが，理屈が知りたい人のために色々な文献が掲載されている．コクセター『幾何学入門 上下』（筑摩書房）が手元にあればよいだろう．表紙と巻頭の挿絵が無限のくり返しパターンで最終章が「無限を超えて」であるから「無限」の概念が全体を通したテーマであろう．以下では全体を 3 つに分けて紹介する．

2.『原論』の世界と作図問題

ミレトゥスのタレス（BC 624-BC 546 頃）は円周角一定の定理で知られるが，問題を解くだけでなくなぜ解けるのか最初に考えた人だという．紀元前 5 世紀頃にピタゴラス学派は三角数と完全数の関係や平均値（算術平均，幾何平均，調和平均）を純粋に幾何学的なものとして考察した．学派は「ピタゴラスの定理 $a^2+b^2=c^2$」と整数の組 (a,b,c) の公式を知っていたが，直角二等辺三角形にいまわしい長さの線分の存在に気がつき動揺したという．これは点に大きさがあり線分を数珠のように考える信念が否定されたためである．一方,「すべての幾何学の作図はコンパスと定規だけでなされるべき」だとプラトンが定めたようだ．また，紀元前 4 世紀に哲学者ゼノンが 4 つの逆説を提案してから古代ギリシャ人は無限の考えに矛盾が潜むことに気がついたという．

紀元前 300 年頃にユークリッドは『原論』全 13 巻を著したが，定義では「点は部分をもたない，線は幅をもたない」のように洗練され，極限や無限の考えは注意深く避けられている（中村他『ユークリッド原論』（共立出版）の解説参照）．そして，第 1 巻定理 47「ピタゴラスの定理」の証明のように,『原論』では「既に確立されたわずかな定理のみを用いる」流儀が確立されたという．

14, 15 章では，素数について「整数は一意的に素数の積に分解できる」と述べ最大のメルセンヌ素数を紹介し,「素数はいくつあるのか」と「素数の分布に関して何か法則があるのか」の疑問をあげる．前者は『原論』で証明されたが，後者はガウスが素数定理（1792）を発見するまで待つ必要があった．

18–23 章では,『原論』には正三角形，正六角形，正五角形の作図法が記されているが，正五角形はピタゴラスに難題を提示したものであり，これからもいまわしい数である黄金比 φ が現れる．なお，一松信

『$\sqrt{2}$ の数学』（海鳴社）には，西洋では数を互除法的に考えたので，有理数でない数の発見につながったとある．小数の表現は東洋的であるそうだ．さて，フィボナッチ数列は黄金比と密接な関係があり，その興味深い性質に多くの人々の関心を集めてきたという．また，ガウスは 1796 年に正十七角形の作図可能性を証明し，作図可能性とフェルマ素数との関係を明らかにした．なお，ガウスが記した証明は，高木貞治『近世数学史談』（岩波書店）に紹介されている．

24–28 章では，２つの古典的作図不可能問題を取り上げている．円積問題について，アルキメデス（BC 285-BC 212）が円周率の値を正多角形を用いて望みの精度で近似する方法を考え，正 96 角形から「$3\frac{10}{71} < \pi < 3\frac{1}{7}$」を求めたところは，無限に一歩踏み出したようである．(上垣渉『アルキメデスを読む』（日本評論社）参照)．この式は右辺が最小近似分数で，精度もすぐに分かる表現をもつ．

３．平面曲線と微積分学の応用

29 章には，アポロニウス（BC 262-BC 190）の円錐曲線の研究「円錐を平面で切ると切り口に２次曲線が現れること」が唯一の立体図で示される．出版社のインタビューでヨストが「平面に立体図形を描くことは好まない」というのは少し残念である．

31 章は調和級数の和がドミノタイルの積み上げによる曲線，すなわち対数関数 $\ln x$ となることが図示される．なお，オイラー（1707-1783）はこの級数の発散を利用して素数が無限にあることを証明したが，高橋秀俊『数理の散策』（日本評論社）では『原論』よりもこちらの方が自然な証明だという．オイラーは有限と無限の世界を自在に往来していたようだ．

33 章では複利計算と関係するビジネスの問題から新たな超越数として現れる自然対数の底 e と，指数関数 e^x および双曲線関数 $(e^x+e^{-x})/2$ を紹介し，後者は「カテナリー」，すなわち均一な鎖を自然につり下げたとき描く曲線を表しているという．また，最もエレガントだとヤコブ・ベルヌーイにより讃えられた「対数らせん $r = e^{a\theta}$」は相似の性質をもち，それがオウムガイの成長に役立ったという．さらに「サイクロイド」は等時曲線と最速降下曲線の性質を供えたものであることが述べられる．「外サイクロイド」はプトレマイオス（85-165）により惑星の運動の説明に使われたが，後にケプラーはそれが太陽の周りの楕円運動であることを発見した．解析幾何学が，微積分学の開発と共に運動と曲線の解明に大きな役割を果たしてきたことよく分かる．

なお，32, 37 章には三角形におけるチェバの定理（1678）とオイラー線を紹介し，ユークリッドにより幾何学が研究し尽くされた訳ではなかったという．

４．新しい幾何学と無限の解明

17 世紀は解析幾何学が最高潮に達したが，19 世紀にユークリッド幾何学が復活した．38,39 章では，「円による変換」を使う反転法が紹介される．次に「シュタイナーの円鎖」が反転法により証明されたが（1826），安島直円は 1784 年この円鎖を見つけていたという．なお，この問題は深川英俊，ダン・ペドー『日本の幾何』（森北出版）に掲載されている．

40,41 章では，まずプリュッカーが「曲線は接線の集合としても描かれる」ことを発見し，「双対の原理」を用いて解析幾何を定式化したこと（1828-1831），次にブリアンションがパスカルの定理と双対の定理を見つけ，ポンスレーは双対の原理を用いて射影幾何学を書き換えたことをいう．二人は共同で三角形における「九点円の定理」（1821）を発表したが，さらに予想外の定理としてピックの定理（1899）とモーリーの定理「三角形の角の三等分線の交点が正三角形を作る」（1899）を紹介し，まだ驚くべきことが幾何学にあるという．佐藤，中川『多面体木工 増補版』や奥村，渡邉『アルベロス』などがそれである．

42,43,46 章では，音や振動の視覚化としてクラドニ図形やリサージュ図形，および定幅曲線として「ルーローの三角形」（1916）が紹介される．機械，電気工学の進歩のおかげで世に広まったのである．

44,45 章では，19 世紀前半にアーベルとガロアが数学をより形式的に抽象的に方向性を変え，代数に群論という新しい分野を作ったという．49,50 章は，フラクタル幾何学の例として，コッホによる「接線を持たない連続曲線」スノーフレーク曲線（1904）と，シェルピンスキーがカントールの集合論を学んだ末に発見した「シェルピンスキーの三角形」（1915）が紹介される．ここにくり返しパターンが活躍する．

最終章では，カントール（1845-1918）が「無限集合は全体を一つとして考えるべきである」と主張し，自然数と 1 対 1 対応により「無限集合の階層性」を発見した様子が紹介される．「無限は，起こらないことが起きる場所である」と言われるように，そこには直観が効かない論理だけの世界が広がっている．

第 80 回 形の科学シンポジウム「スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形」

【主催】形の科学会
【会期】2015 年 11 月 21 日(土), 22 日(日), 23 日(月・祝)
【会場】東京電機大学鳩山キャンパス
【代表世話人】松浦昭洋　〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂　東京電機大学理工学部
TEL: 049-296-5569　　E-mail: matsu@rd.dendai.ac.jp
【参加費】会員・非会員ともに一般 5000 円、学生 1000 円
【懇親会】 2015 年 11 月 21 日（土）17:30 より
【懇親会費】 一般 4000 円、学生 2000 円

プログラム

11 月 21 日（土）

9:15-9:20　開会の辞

形の科学一般

9:20-9:45　アルコール摂取時における重心動揺の数値解析
　森柚樹（福井大学)、木下史也（名古屋大学)、平田隆幸（福井大学)、高田宗樹（同）

9:45-10:10　姿勢変化時における胃電図とその数理モデル化に関する研究
　木下史也（名古屋大学)、森柚樹（福井大学)、松浦康之（同)、宮尾克（名古屋大学)、高田宗樹（福井大学）

10:10-10:35　書写書道教育の視点から見た左利き手書き書字のメカニズム
　沓名健一郎（福井大学)、高田宗樹（同）

（10:35-10:50　休憩）

形の科学一般

10:50-11:05　手書き書字時の手の使い方
　宮原優美（静岡大学)、佐藤大樹（同)、永田瀬里菜（同)、沓名健一郎（福井大学）

11:05-11:20　書道作品の視点と散らしについて
　佐藤大樹（静岡大学)、宮原優美（同)、永田瀬里菜（同)、沓名健一郎（福井大学）

11:20-11:35　ディオクレスの「火取り鏡について」
ウェルフェアジャスティン飛鳥（神奈川大学)、山口幸（同)、杉本剛（同）

11:35-12:00　星型一様多面体の双対多面体の構成面形状（稜線長さ）を求める
　山口陸幸

（12:00-13:30　昼休み）
（12:10-13:20　運営委員会）

招待講演・公開講演（スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形・第１部）

13:30-14:20　運動スキル熟達化のダイナミクス
　工藤和俊（東京大学）

14:20-15:10　バリ舞踊の形と動き
　中村美奈子（お茶の水大学）

（15:10-15:30　休憩）

スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形・第２部

15:30-15:55　サッカーのパス回しネットワークにみられる次数分布について

成塚拓真（早稲田大学）、山本健（中央大学）、山崎義弘（早稲田大学）

15:55-16:20　凸曲面上のバトンの転がりの物理解析

山田優貴（東京電機大学）、松浦昭洋（同）

展示説明（質疑無し、１件５分）

16:20-16:25　稔りの樹をモティーフにした配列表現

坪谷彩子（女子美術大学）

16:25-16:30　複素関数のインタラクティブ可視化・共有システム

山岡久俊

16:30-16:35　造形譜で見る形典の基礎概念

石垣健（COMA DESIGN STUDIO）

16:35-16:40　VR 空間におけるメニュー操作の習熟に関する研究

荒木千尋（愛知工業大学）、西原佳祐（同）、中川誠（同）、松河剛司（同）

16:40-16:45　力学玩具としてモデル化された起き上がり小法師と竹とんぼ型ヤジロベイの制作

久保光徳（千葉大学）、石井久夫（同）、田内隆利（同）

16:45-16:50　テンセグリティー構造について

阿竹克人（阿竹研究所）

17:30-19:30　懇親会

11 月 22 日（日）

形の科学一般

9:30-9:55　簡単な折り紙としてのフラクタル矩形

根岸利一郎（埼玉工業大学）、関口久美子（同）

9:55-10:20　テンセグリティー構造について

阿竹克人（阿竹研究所）

10:20-10:45　ルービック・ハイパーキューブの実装

吉野隆（東洋大学）

（10:45-11:00　休憩）

形の科学一般

11:00-11:25　楽曲の瞬間周波数変動における f 分の１スペクトルの原因

三谷尚（福岡教育大学）、平原誠（同）、豊田光（同）、荒木裕大（同）

11:25-11:50　陰影のあるテクスチャ画像の音韻による表現と感性評価

佐々木康成（金沢星稜大学）、坂東敏博（同志社大学）

11:50-12:15　自由学園工芸研究所「プラネテ」デザインと音楽のジップ則を利用した融合

高橋由佳（自由学園最高学部）、河原弘太郎（同）、遠藤敏喜（同）

（12:15-13:30　昼休み）

招待講演・公開講演（形の科学一般）

13:30-14:15　空間と形

岩城和哉（東京電機大学）

14:15-15:00　格差社会の自己組織化
　小田垣孝（東京電機大学）

（15:00-15:20　休憩）

スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形・第３部
15:20-15:45　シアターゲームに現れる形
　安藤敏彦（仙台高等専門学校）

15:45-16:10　最小限に捨象した動きに現れる形とその技術的背景
　安本匡佑（神奈川工科大学）

特別講演（含・実演）
16:10-16:45　ボールルームダンスにおける身体運動
　九矢光章（クヤ・ダンスカレッジ）、勝又洋子（東京電機大学）

（16:45-17:00　休憩）

形と知
17:00-17:15　空間を埋め尽くす立体形状の開発
　宮川大毅（千葉工業大学）、手嶋吉法（同）

17:15-17:30　回転式パズル遊戯具の開発
　宮本圭佑（千葉工業大学）

11 月 23 日（月・祝）

形の科学一般
9:45-10:10　大学生の描線速度
　野村和泉（中部大学）、野村詩織（京都大学）

10:10-10:25　群れの形状について
　毛利紗和子（東洋大学）、窪田佳寛（同）、望月修（同）

フォーラム
10:25-10:45　鹿威しによる水滴落下系の計測と大偏差統計解析
　山田健太（京都市立堀川高等学校）、宮崎修次（京都大学）

（10:45-11:00　休憩）

形の科学一般
11:00-11:25　面積ランダム充填 (II) －2 次元モデルからの拡張－
　種村正美（統計数理研究所・名誉教授）

11:25-11:50　四つ編み, 組ひも, 位相的カオス
　山口喜博（帝京平成大学）

11:50-12:15　財布を軽くする支払いとフラクタル構造
　山本健（中央大学）

（12:15-13:30　昼休み）

スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形・第４部
13:30-13:55　Dr. ナダレンジャーの自然災害実験教室における科学大道芸
　納口恭明（防災科学技術研究所）、鱒優子（同）

13:55-14:20　羽根形状をもつ視覚楽器
　松浦昭洋（東京電機大学）、秋元俊輔（コムコ）

形と知
14:20-14:45　デザイン系学生による科学活動の推進
　高木隆司（東京農工大学・名誉教授）、大内克哉（神戸芸術工科大学）、水野慎士（愛知工業大学）

14:45-15:10　書評：マオール、ヨスト共著、高木監訳『美しい幾何学』
　海野啓明（仙台高等専門学校）

（15:10-15:25　休憩）

<u>形の科学一般</u>

15:25-15:50　生痕化石からわかる深海生物の進化
　松岡篤（新潟大学）

15:50-16:15　４℃の水　実験と現象論
　小川直久（北海道科学大学）、福原朗子（同）、金子文俊（大阪大学）、長澤修一（函館工業高等専門学校）

16:15-16:40　宇宙実験による氷の結晶成長－国際宇宙ステーションでの実験成果の概要－
　古川義純（北海道大学）、長嶋剣（同）、中坪俊一（同）、横山悦郎（学習院大学）、吉崎泉（JAXA）、田丸晴香（同）、島岡太郎（JSF）、曽根武彦（JAMSS）

16:40-16:45　閉会の辞

アルコール摂取時における重心動揺の数値解析

森柚樹[1]　木下史也[2]　平田隆幸[1]　高田宗樹[1]

1 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1

2 名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻〒464-8603 名古屋市千種区不老町

E-mail: takada@u-fukui.ac.jp†

Numerical Analysis of Body Sway after Alcoholic Intake

Yuuki Mori[1], Fumiya Kinoshita[2], Takayuki Hirata[1], Hiroki Takada[1]

Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui[1]

Department of information Engineering, Graduate School of Information Science, Nagoya University[2]

Abstract: Centrostaltic cerebrum is suppressed with an increase of alcoholic intake. Symptoms such as a staggering gait and autonomic imbalance are observed as well as motor dysfunction. We herein focus on the effect of alcoholic intake upon our equilibrium function. In this study, stabilometry was performed before/after the alcoholic intake and compared the results in two experimental conditions of alcoholic ingestion amount. The amount of body sway significantly increased 15 min after the alcoholic intake as blood alcohol concentration of subjects c_a was set to be 0.5mg/ml, and the equilibrium function was regarded to recover 35 min after the ingestion. In case of c_a = 1.0 mg/ml, the amount of body sway significantly increased 35 min after ingestion, and the recovery process was not seen in this experimental period. Thus, we could observed significant difference in the period affected by the alcoholic intake. We also discuss the numerical analysis of stochastic differential equations (SDEs) describing the body sway before/after the ingestion, where temporally averaged potential functions of the SDEs are constructed from the experimental distributions.

Keywords: Body Sway, Stabilogram, Alcoholic Intake, Stochastic Differential Equation (SDE), Numerical Analysis

1. はじめに

飲酒によってエチルアルコールを摂取すると、摂取した量に応じ酒酔いとなる。脳の抑制は大脳の高次機能から始まるため、判断力、集中力、抑止力等が低下する。摂取量が増加すると、運動中枢である小脳が抑制され。千鳥足などの兆候が表れ、運動機能にも障害がみられるようになる。即ち、エチルアルコールにより特に、小脳機能が抑制される。血中アルコール濃度は、以下の式で与えられる[1]。

$$(\text{アルコール濃度}) \times \frac{(\text{アルコール摂取量})[ml] \times 0.789[g/ml]}{0.53 \times (\text{被験者の体重})} \quad (1)$$

本論文では、アルコール摂取による脳機能の抑制が体平衡機能へ与える影響に着目し、飲酒前後の重心動揺検査を用いて検討した。また実験で得られた重心動揺の頻度分布から時間平均ポテンシャルを推定し、アルコール摂取時の重心動揺を記述する数理モデルを構築し、その数値解析を行った。

2. 方法

2.1.被験者

被験者は 21-24 歳の健常な若年男性 8 名(平均±標準偏差: 22±1.2 歳)を対象として実験を行った。実験開始 2 時間前より飲酒、喫煙、カフェイン摂取を禁止し、実験の説明を十分に行った上で書面にて了承を得た。

2.2. 実験方法

被験者には式(1)に従って、血中アルコール濃度がそれぞれ 0.5、1.0[mg/ml]となるように無希釈の蒸留酒を 30 秒以内に摂取させた。

重心動揺検査により体平衡機能の評価を行った。計測にはバランス wii ボード(任天堂, 京都) および光脳機能イメージング装置 LABNIRS (島津製作所, 京都)をそれぞれ用いて、計測開始時から 30 秒間の立位安静の後、80 秒間の開眼検査、その後引き続いて、30 秒間の立位安静をとり、80 秒間の閉眼検査を行い、重心動揺および小脳表面の血流量変化を同時に記録した。計測はロンベルグ姿勢にて行い、開眼時には被験者の目の高さ前方 2.0[m]に凝視点を設置した。

計測はそれぞれアルコール摂取前、摂取後 5 分時、15 分時、25 分時、35 分時、45 分時に行った。

2.3.検査項目

開眼及び閉眼で各サンプリング時間における x-y 座標を記録した。x 方向(右方向を正)と y 方向(前方方向を正)それぞれの重心位置の時系列データにから、外周面積、単位面積軌跡長、総軌跡長、および疎密度について評価した[2][3]。特に、各血中アルコール濃度に対する動揺量の時間変化について Friedman 検定を行い比較検討した後、Nemenyi にて多重比較した。尚、本研究においては有意水準を 0.05 とした。

3. 結果

血中アルコール濃度 1[mg/ml] 閉眼時における重心動揺の典型例を Fig.1 に示す。多重比較の結果、血中アルコール濃度 0.5[mg/ml]では開眼検査

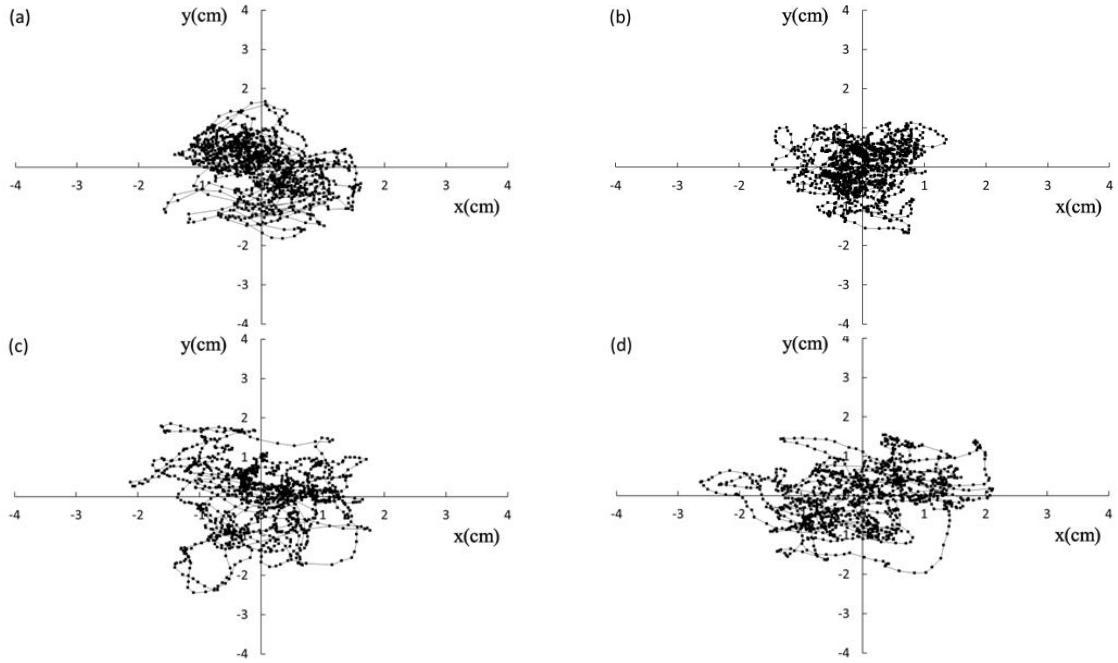


Fig.1 動揺図の典型例（血中アルコール濃度 1[mg/ml] 閉眼時） (a): Pre (b): 飲酒後 5 分時 (c): 25 分時 (d): 45 分時

においてアルコール摂取後 35 分時に総軌跡長がアルコール摂取前(Pre)と比較して有意に増大した。閉眼検査では摂取後 15 分時と 25 分時の総軌跡長、外周面積、疎密度が Pre と比較して有意に増大した。また、摂取後 25 分時の単位面積軌跡長が Pre と比較して有意に減少した。

血中アルコール濃度 1.0[mg/ml]では開眼検査において摂取後 45 分時の総軌跡長が Pre と比較して有意に増大した。また、摂取後 25, 35, 45 分時の外周面積は Pre と比較して有意に増加、単位面積軌跡長は有意に減少した。疎密度は摂取後 25, 45 分時に Pre と比較して有意に増加した。閉眼検査においては、摂取後 35, 45 分時に外周面積が Pre と比較して有意に増加、単位面積軌跡長が有意に減少した。疎密度は 45 分時に Pre と比較して有意に増加した。

各動揺量について、血中アルコール濃度および計測時間を因子とする二元配置分散分析を行い、Wilcoxon の符号付順位和検定を用いて多重比較を行った。開眼・閉眼検査ともにアルコール摂取後 45 分時において血中アルコール濃度 1.0[mg/ml]の外周面積、総軌跡長が 0.5[mg/ml]の値と比較して有意に大きく、単位面積軌跡長は有意に小さかった。

各実測データについて時間平均ポテンシャルを算出し、数値解析を行った。得られた数理モデルの数値解の総軌跡長と外周面積を算出し、実測値の総軌跡長、外周面積との誤差 E を算出した。数理モデルの数値解のうち E の最小値与えた時の雑音振幅係数 μ と時間ステップ Δt の組み合わせを最適値として記録し、動揺の粗さ $\mu*\Delta t$ を算出した。動揺の粗さ $\mu*\Delta t$ は血中アルコール濃度 0.5[mg/ml]の時飲酒後 5 分時の数理モデルにおいて増大し、25 分時まで増加傾向にあるが 35 分時に減少する。これに対して血中アルコール濃度 1.0[mg/ml]の数理モデルにおいては飲酒後 5 分時に $\mu*\Delta t$ が増大した後、45 分時まで増加し続けた。これは実測における総軌跡長及び外周面積の結果と同様の結果であり、数理モデルによってアルコール摂取時の重心動揺が再現できたと考えられる。

4.考察

血中アルコール濃度 0.5[mg/ml]となる蒸留酒を摂取した際の重心動揺は外周面積、総軌跡長、疎密度 S_2 において飲酒後 15 分時及び 25 分時に Pre と比較して値が有意な増大しており、動揺が増大していると考えられる。しかし、35 分時、45 分時には有意差はみられず、動揺は減少した。これに対して血中アルコール濃度 1.0[mg/ml]となる蒸留酒を摂取した時は外周面積、単位面積軌跡長、疎密度 S_2 において飲酒後 25-45 分時において Pre と比較して値が有意に増大しており、動揺が増大していると考えられる。また増大した動揺が計測中に減少することはなかった。従って、動揺量およびその変化の様相に応じて、アルコール摂取量が推定できる可能性が示唆された。

数値解析では実測値の動揺の増大に合わせて Δt もしくは μ の値が増加し、動揺の粗さ $\mu*\Delta t$ は実測値の外周面積や総軌跡長の飲酒後の時間経過と同様の傾向を示した。従って、アルコール摂取時における体平衡機能の低下を表すかたちを検討する上で数理モデルは有用であると考えられる。

文　献

[1] アルコール保健指導マニュアル研究会. 健康日本 21 推進のためのアルコール保健指導マニュアル. 社会保険研究所, 東京, 2003 .

[2] 大川剛, 時田喬, 柴田康成, 他 (1995) “重心動揺検査―単位面積軌跡長の意義―健常者における検討”Equilibrium Res54, 283－293.

[3] 高田宗樹,北岡良之,市川真澄,他 (2003) “重心動揺における幾何学的な指標の物理学的意味”. Equilibrium Res 62:168-180.

姿勢変化時における胃電図とその数理モデル化に関する研究

木下史也[1†] 森柚樹[2] 松浦康之[2] 宮尾克[1] 高田宗樹[2]
1 名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻〒464-8603 名古屋市千種区不老町
2 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1
E-mail: kinoshita.fumiya@j.mbox.nagoya-u.ac.jp†

A Study of Numerical Analysis and Mathematical Modeling of Electrogastrograms after Postural Change

Fumiya Kinoshita[1], Yuuki Mori[2], Yasu yuki Matsuura[2], Masaru Miyao[1], Hiroki Takada[2]
Department of information Engineering, Graduate School of Information Science, Nagoya University[1]
Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui[2]

Abstract: The electrical activity of the gastrointestine is measured using an electrogastrograph and presented as an electrogastrogram (EGG). Electrogastrography is a noninvasive procedure to evaluate gastrointestinal motility and autonomic nervous system activity. However, EGG do not have been applied to clinical fields as electrocardiogram and electromyogram because EGGs are often contaminated by electro activity in the myocardia and muscles of diaphragm with respiration; furthermore, we do not understand the relationship between EGG and the gastrointestinal motility. Analytical methods of the EGG do not have been established yet. In this paper, the author investigated effects of postural change from seated posture to a supine on the EGG. In the next step, the author compared an EGG measured in the abovementioned experiment with numerical solutions to the mathematical model describing the EGG.

Keywords: Electrogastrogram, Postural change, Mathematical model

1. はじめに

胃の電気活動の数理モデル化は、Sarna によって行われ[1]、Van der Pol 方程式(VPE)を用いて記述された。しかし、VPE は決定論的な微分方程式であり、実際に測定される胃電図は、必ずしも決定論的な数理モデルにより生成されているとは限らない[2]。そこで本研究では、VPE に周期信号と白色雑音を加算した確率微分方程式系(SVP)

$$\dot{x} = y + 5f(x) + sin\,7t + \mu w_1(t) \quad (1.1)$$

$$\dot{y} = -x + \mu w_2(t) \quad (1.2)$$

$$f(x) = A(x-\alpha)(x-\beta)(x-\gamma) \quad (2)$$

を胃の電気活動の数理モデルとし、数値解析を行った。ここで、周期関数 sin 7t は 1 分間に 6-8 回の規則的なトリガーを発生するペースメーカーで制御されている結腸から発生する電気信号の影響を表す。また、白色雑音 $w_1(t)$, $w_2(t)$ は、回腸や盲腸などから発生する電気信号や、微弱で不規則な筋層間電位振動に代表される胃腸以外の臓器に起因する生体信号を表す。μ は雑音振幅係数を表し、確率微分方程式系 (1) は μ を最適化することにより確率共鳴現象を記述する。重畳するノイズの大きさを変化させることにより、周期信号とノイズの干渉効果によって、系の出力における信号対雑音比が共鳴的に増大する現象(確率共鳴)が数値解析によっても見出されている。

本研究では、座位から仰臥位への姿勢変化が胃電図に及ぼす影響について検討を行った。また、測定した胃電図と我々が提案する確率微分方程式から生成される数値解の比較、検討を行うことによって、胃電図を記述する数理モデルを構築することを目的とする。

2. 方法

2.1.実験方法

被験者は 21-25 歳の若年者群 14 名を対象とした。被験者には事前に実験の説明を十分に行い、書面にて了承を得た。実験は、座位 30 分間の後、仰臥位 70 分間の胃電図を計測した。胃電図は、心電図用ディスポーザブル電極(日本光電)を使用し、胃電図電極は胃のペースメーカー付近に貼付した。また、日内変動の影響を考慮し、全被験者平日の同じ時間帯の間に測定を開始した。

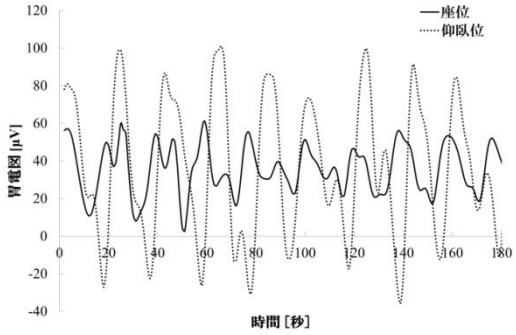


図 1　胃電図波形の典型例

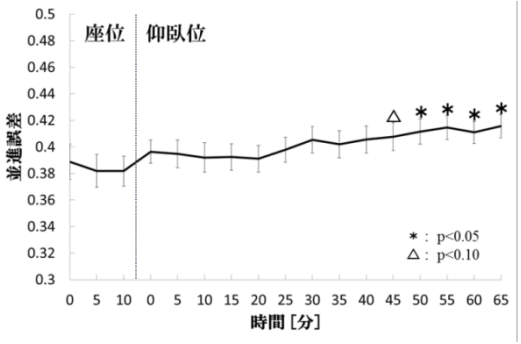


図 3　並進誤差の時間変動（被験者平均）

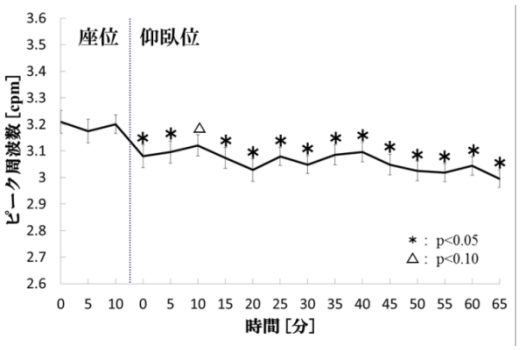


図 2　ピーク周波数の時間変動（被験者平均）

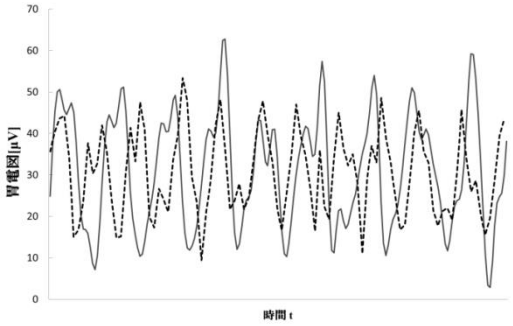


図 4 SVP (A, α, β, γ)の数値解の典型例
実線：実測胃電図　点線：数値解

2.3.検査項目

本研究では記録した胃電図を 1 kHz にて A/D 変換を行い、時系列データを得た。得られたデータに 0.15 Hz のローパスフィルタを適用し、さらに 1 Hz で再サンプリングを行い、ノイズ除去を行った。胃電図データは、1024 秒の時間窓を 300 秒間隔で移動させて分割し、抽出した時系列をそれぞれ解析した。解析には周波数解析と Wayland アルゴリズムによって推定される並進誤差[3]なる統計量を用いた。分割された胃電図データに高速フーリエ変換を行い、ピーク周波数を算出した。なお、本研究では胃電図の正常周期が 2.4-3.7 cpm であることから[4]、この帯域に着目した。

2.4.確率微分方程式の数値解の生成

本研究における数値解析では、式 (2) における A, α, β, γ の値を変化することで、この数理モデルを司る VPE が記述する抵抗の符号に関する切り替え位置を変化させることができる。そこで、A の値を 0.001、α の値を 2、β の値を 0、γ の値を-20 から 20 までの整数値で変化させ確率微分方程式系 SVP(A, α, β, γ)の数値解を求めた。式(1)を差分方程式に書き換え、4 次の Runge-Kutta 法により数値計算を行い、数値解を得た。ここで、時間ステップは 0.05、初期値はそれぞれ (0, 0.5) にとり、独立な白色雑音を Mersenne Twister 法にて生成した閉区間[-1.7, 1.7]に分布する平均 0、分散 1 の擬似一様乱数にて与え、雑音係数 μ を 0 から 60 までの整数値で変化させて数値解を得た。

3. 結果・考察

記録された座位測定開始後 10 分から 13 分、仰臥位開始後 10 分から 13 分のそれぞれ 3 分間の胃電図波形を図 1 に示す。胃電図の正常周期とされる 1 分間に約 3 cpm の変動はどちらの姿勢でも確認できる。また、座位時に比べ仰臥位時では、胃電図の電気的振幅が増加し、胃の電気活動が活発になる傾向がみられる。分割した胃電図時系列に対し、高速フーリエ変換を行い各ピーク周波数の値を算出した。結果を図 2 に示す。ピーク周波数の値は座位姿勢時では 3.2 cpm 程度で変動していたのに対し、仰臥位時では 3.1 cpm 程度で変動している。座位測定開始後 10 分時の値と仰臥位測定開始後 t 分(t = 0, 5, …, 65)でそれぞれ Wilcoxon の符号付き順位和検定を行った結果、座位時に比べ、仰臥位時では値が低下する傾向がみられた($p<0.10$)。胃腸活動は迷走神経系に支配されており、その亢進は胃の活動を活発にする。仰臥位時に生じる胃電図のピーク周波数の低下は迷走神経活動の亢進を表していると考えられる。並進誤差の値は 0.4 近傍で変動している(図 3)。また、座位から仰臥位への姿勢変化では並進誤差の値に増加傾向がみられた($p<0.10$)。

文　献

[1] Sarna SK, Daniel EE, Kingma YJ: Simulation of slow-wave electrical activity of small intestine, Am J Physiol, pp.221, pp.166-175, 1971

[2] Matsuura Y, Takada H: Form and Its Nonlinear Analysis for the Use of EGG as a Gastrointestinal Motility Test, Forma, 26, pp.39-50, 2011

[3] R. Wayland., et al. : Recognizing determinism in a time series, Phys. Rev. Lett, pp.70, pp.530-582, 1993

[4] L. K. Kenneth, M. Robert: Handbook of EGG, Oxford University Press, Oxford, 2004

手書き書字時の手の使い方

宮原優美[1]　佐藤大樹[1]　永田瀬里奈[1]　沓名健一郎[2]
[1]静岡大学教育学部 〒487-0026 静岡市駿河区大谷 836
[2]福井大学大学院工学研究科 〒910-8507 福井市文京 3-9-1
miyahara@shobunka.com

Consideration about How to Use the Hand When Being Writing Letter

Yumi MIYAHARA[1], Taiki SATO[1], Serina NAGATA[1], Kenichiro KUTSUNA[2]
[1]University of Shizuoka, Oya836, Shizuoka 422-8529
[2]University of Fukui, Bunkyo3-9-1, Fukui 910-8507

Abstract: It was considered about the twist of a hand and the revolution when writing the character. Right technology is necessary to write the character beautifully and fast. Twist of a hand and a revolution are one in it. A probability of educational method is a problem to make this research work something significant.

Keywords: SHOSHASHODO education, Calligraphy, twist of a hand and the revolution

１．はじめに

文字の書き方の教育、いわゆる書写教育を行うにあたっては、「文字を正しく整えて書くこと」を一番重要なこととしている。しかし実際は、今日の学校教育はカリキュラム上、字形の指導で手一杯であり、最も重要な数点を学ぶに過ぎず、教えることのできない技術であふれていて、持ち方や書き方に伴う体の動かし方については、ほぼ触れることがない。そこで小論では、教科書では扱わない「体の動かし方」と文字の形・線の動きの関係について考察を行い、規範的な持ち方を提案したい。

２．線のねじれと体の回転

鉛筆や毛筆などを使う手書き書字において、手指および肩腕の連動は大きな課題である。特に鉛筆においては、鉛筆の先の尖峰を一面だけすり減らすことを「偏減り」と呼ぶが、この偏減りを防ぐ目的で一画書くごとに鉛筆を回転させながら書くことによって芯の先を円錐に近く保つことができる。日本語の「～に」「～ます」などの助詞助動詞などを示す平仮名は漢字の草書であり、曲線が多用されるため、筆記時にも回転あるいは捻りは非常に重要な要素である。毛筆を用いる場合、図１に見られるような捻りが多い。この部分を鉛筆で書く場合は、逆筆・逆入と呼ばれる芯先方向へ押すように書くが、毛筆の場合は図３のように捻りつつ持ち上げ、穂先を整えて次へつなげる。このとき筆と手指、手首、肘の回転運動が必要になる。

毛筆の原理上、筆の毛をまとめ、広がらないようにするためには、２つの方法がある。１つは墨液による表面張力により筆の毛同士を粘着させる方法である。筆の毛は筆の腹に墨を多く含むが、穂先の墨が減れば毛細管現象により墨を吐き出す。しかし急激に吐き出させると墨が足りずかすれる。かすれると穂先は表面張力による粘着力を失い穂先が広がる。つまり、墨を多く含ませると穂先は綺麗にまとまる。もう１つは、筆管（筆の軸）に捻りを加えることである。図２の矢印部分は、筆の捻りにより穂先をまとめていく技術が用いられている。

※筆記具の「捻り（ひねり）」とは、筆記具と指とが固定され肘・手首の回転運動であり、「回転」とは指で固定されない回転運動をいう。

図１，筆のねじれ例

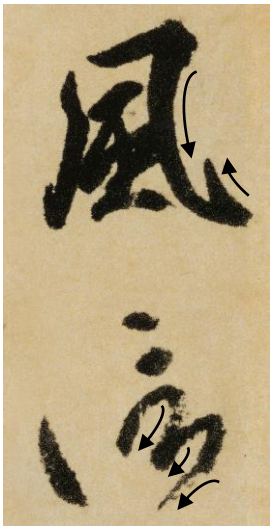


図２，風信帖「風信」

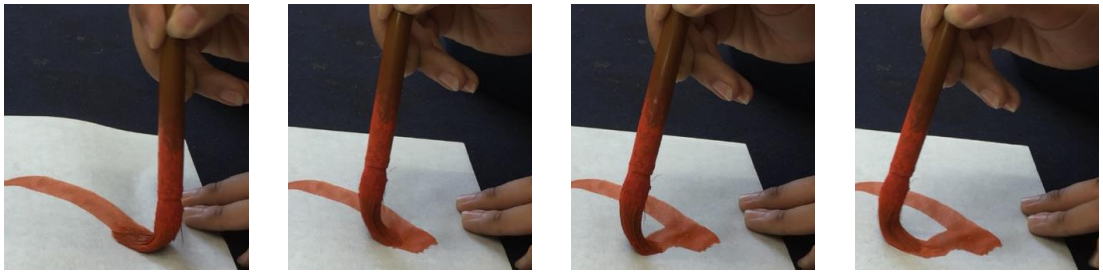


図３，筆の捻り

図４，枕腕法・単鉤法

図５，懸腕法・双鉤法

図６，提腕法・単鉤法

図７，廻腕法・全鉤法

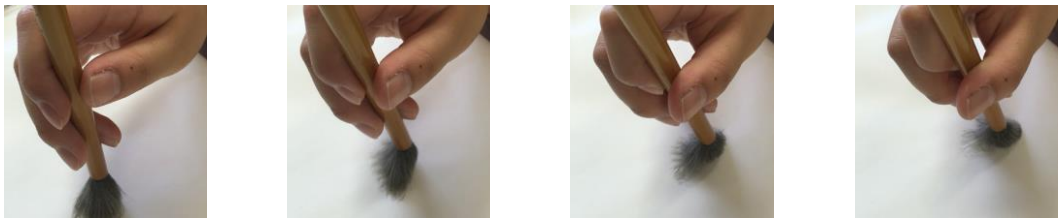


図８，筆の回転

３．持ち方と回転

筆記具の持ち方については、毛筆の場合、図 4～7 に大きく分けられる。毛筆は、前方で人差し指一本を筆にかける単鉤法、二本の双鉤法、四本の全鉤法がある。単鉤法は指が固定されやすいので、筆を捻る運動には適するが、回転させる運動には適さない。そもそも回転運動は回転半径を大きくとるため、ルーズリーフの罫線幅（A 罫 7 mm、B 罫 6mm）程度の小字に適用できないため、硬筆には向かない。中国の明清（日本の室町）時代以前は紙も高価であり大筆は一般的でなかったため、例えば図２の「風信帖」（平安時代）はほぼ実寸であるが小筆で書かれたものである。小さな文字、日常的な文字は回転よりは捻りで書くことが示唆されよう。それでは回転はどこで見られるのか。半紙に大きく字を書く場合にもあまり使われない。半切、全紙と呼ばれる半紙８枚分以上の大きな紙で、墨がかすれる程の文字数を書く場合である。このとき、筆の腹にある墨溜まりの墨を絞りだすために行われるのが回転であり、図２の２文字目も墨溜まりが大きい場合は捻りでは足りないため回転させるべきであろう。大筆を用いて回転させる場合、筆にモーメント M を加えるためには指が作用点までの距離 r を広げることにより、作用する力の大きさ F は小さくなる。つまり、掌中で回転させる力を得るためには指先で筆と接触させるのが良い。但し図７のように指先全てで持つ場合は添える指が存在しないので不安定になりやすく習熟に時間を要する。しかし回転だけを考えた場合、図８のように親指の腹を広く使うため、親指の可動域を広げるため、指先で持つのは好ましくない。つまり全鉤法は回転しづらい。

鉛筆の場合、筆圧という問題がある。つまり筆圧を強く持つためには、筆を立たせる場合は筆に接する表面積を増やす双鉤法でよく、単鉤法でも構わない。しかし筆を寝かせる場合、双鉤法では上からの力が強く下から受ける指に圧力が掛かり過ぎるため、上下の圧力を相殺するには単鉤法が良い。

４．結び

書写書道は、体験的蓄積の学習が多く、長く学習することによって経験的に、あるいは目習いから自然と可能になる運動が多い。しかし指導項目が増え、書写書道の時間が減らされている今日、効率的に運動の原理を理解しやくまとめた指導方法を確立する必要がある。拙論の捻り・回転と筆圧の関係を念頭においた持ち方についても効果的な指導法を考えていきたい。

【文献】

『書道 I』芸術科書道教科書　東京書籍・教育図書

『墨』45 号　芸術新聞社

書道作品の視点と散らしについて

佐藤大樹[1]　宮原優美[1]　永田瀬里奈[1]　沓名健一郎[2]
[1]静岡大学教育学部　〒487-0026 静岡市駿河区大谷 836
[2]福井大学大学院工学研究科　〒910-8507 福井市文京 3-9-1
taiki.sato@shobunka.com

About the Viewing Angle of SHODO Works and Dispersion Handwriting

Taiki SATO[1], Yumi MIYAHARA[1], Serina NAGATA[1], Kenichiro KUTSUNA[2]
[1]University of Shizuoka, Oya836, Shizuoka 422-8529
[2]University of Fukui, Bunkyo3-9-1, Fukui 910-8507
Keywords: SHOSHASHODO Education, Brush Art, Gaussian blur, Viewing Angle

１．はじめに

我々は書作品を鑑賞する際に、その作品に表現の固有性を求める。選ばれた題材、形式、書体、文字造形、線質、墨色、構成、サイズ、用具・用材など、様々な要素の組み合わせや統合の仕方に、その表現の持ち味が現れる。本論では、書道作品を鑑賞する際の鑑賞者の視点に着目し、効果的な紙面分散の構成と見え方の関係について考察する。

２．書制作時の視点と書鑑賞時の視点

書の制作時において、一筆一筆を配置する作業を行ううえで、次の一筆を置く位置の取り方は、文字を構成する位置にただ置くわけではない。ひとつの文字の構成を脳内イメージとして構成し、そのイメージに合わせて筆を動かしつつ、筆の技術（書法）により、変化をつける。この場合、変化は墨の濃淡や太細、潤渇などであるが、この変化が少ないものは平易で穏やかな表情を持ち、逆に多いものは構造的で立体的な面白さを持たせることができる。つまり、制作の段階で書法が視点に大きな関わりを持つということが言える。例えば滲みと掠れ、いわゆる潤渇は、文字の立体感を出す技法として多用される。またこの潤渇は一筆の連なりの中で起こりうるため、ある一行、一文節、一群を書く中で用いることにより、意味的、表現的な奥行き、意味付けを自然な形で作り出すことができる。

別の点から見てみる。文字の構造上、空白が目立つことはよく起こりうるが、その場合の対処として、古来より「補空の点」と呼ばれるものが存在する（図１）。これは、文字の点画の置き方によって出来てしまった余白を埋めるために、字形の空間バランスを補うように点を置く技法である。ここからも、文字一つ一つ、一つの節・行、あるいは作品の全体のバランスと、その見られ方には、非常に気を配っていることがうかがえる。

３．ガウスぼかしによる仮想的な視点イメージ

書道作品が数千～一万点規模で陳列されるような日展などの中央公募展を見に行く際、作品ひとつひとつを詳細に鑑賞することは現実的には難しい。会場のブースごとで作品をぼーっと眺め、気になる作品を見つけたらそれにフォーカスして鑑賞するという手段をとっている。

無意識下での脳内イメージとのパターンマッチングなどにより、細かに注視しなくとも雑然とし

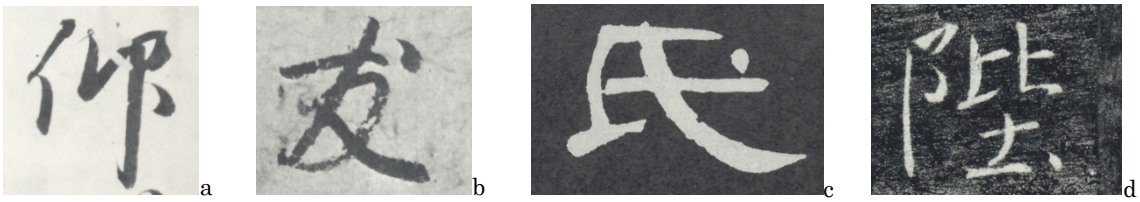


図１．補空の点の例 （a, 智証大師諡号勅書「仰」 b, 屏風土代「友」 c, 曹全碑「氏」 d, 孔子廟堂碑「陛」）
「補空の点」を打つことにより、文字単体のスキを埋め、バランスを整えていく効果が期待できる。

図２．視点距離とぼかしの関係例　（左）周易・中孚　（右）商頌・長発　ともに青山杉雨書
左から順に「見る、読む、眺める」視点による見え方を示したもの。制作時（書くとき）は目を細めるなどして同等のボカシ効果を得る。Adobe Photoshop「ガウスぼかし」フィルタで 0, 8, 20pix の処理。

た視野の中から、好みのイメージを割り出されたことによるものであろう。しかも一つの線画に目を留めるよりも、全体の構成から好みを選り分け、細部へと視点を移すように鑑賞する。このような実体験から、視対象物に対する意識のレベルを脳内で行われる「ぼかし効果」と捉え、書道作品を PC でガウスぼかしフィルタによる画像処理を行い、そのサンプルから我々がどういった視覚認識の処理が行われているのか考察した。（図２）

書道作品の鑑賞方法は３点考えられる。いわゆる展示会場での鑑賞、作品制作時の書きながらの鑑賞、そして制作直後の鑑賞である。

いわゆる展示会場での鑑賞時は、最初は視点を作品よりもかなり手前に置くことによって全体をぼかして眺める。その状態から好みや強い印象などを感受して数点の作品を選んで読みの状態、さらに気になる部分があれば近寄って細部を見る。

作品制作時の鑑賞では、意識を線画細部にとりがちであるが、細部を見すぎると全体のバランスが崩れるため、常に周囲とのバランスに意識を払いつつ、見る意識にある。一節を書くとうねりや重心のバランスの偏りが見えてくるため、その補正を下に続けて、あるいは次の行で行うことになる。この時は読む意識となる。最後に書き上げて眺めるが、通常はあまり遠くから眺められないので、目を細めて全体を霞ませるようにして、文字を模様のように滲ませながら眺める。

制作直後の鑑賞では、まず眺めてみて、全体のバランスの整合性を見る。書いて直ぐは墨が乾いておらず、白と黒のコントラストが弱いため、やや弱い印象に映るが、線が弱いかどうか白が多いかどうかなどを見る。次に読む意識で、縦のラインや行間が整い、リズムや調子が揃っているかを見る。最後に、印象的な筆使いが紙面に現れているかなど、細部を見る。

以上から、書作品を鑑賞する際、視覚認識には３つのレベルがあることが分かった。逆に作品を制作する時には複雑な視点移動が行われ、同じく３つのレベルを行き来するが、常にこの視点移動を行うことは不可能である。多くの場合は、経験的な蓄積により視点の移動を省略していき、非常にシンプルな紙面構成がなされていく。また文字の小ささにより通常の意味とは違うスケールメリットを発生させるため書字が容易である。小字は認知的に誤差の許容が大きくなるからである。

４．まとめ

書道作品の鑑賞における眺める、読む、見るの３つの視点は、行き来しながらその感受した意識を相互に取り込みながら行われていた。つまり、作品制作を慣熟して書く際には、無意識な感覚の中で紙面上に文字を散らし、３つの視点距離を満たす配置が成されることを意味する。非常に高度な認知機能の存在が示唆された。

ディオクレスの「火取り鏡について」

ウェルフェア ジャスティン 飛鳥、山口　幸、杉本　剛
神奈川大学大学院工学研究科経営工学専攻　横浜市神奈川区六角橋３－２７－１
e-mail: r201570122xk@jindai.jp

Diocles' *On Burning Mirrors*

Justin Aska WELFARE , Sachi YAMAGUCHI, and Takeshi SUGIMOTO
Graduate School, Kanagawa University, 3-27-1 Rokkakubashi, Kanagawa Ward, Yokohama

Abstract: As a case study of applying the conic sections to science and technology. Diocles' *On Burning Mirrors* is analysed. This is the principle of the parabola antenna. He proposes three kinds of mirrors, and the orthodox parabola-antenna mirror is found to be most heated by our experiment. The remarkable point is that he describes the construction of a parabola using the focus – directrix relation. This might suggest that ancient Greeks know the existence of the inscribed spheres to the cone and conic section.

Keywords: The conic sections, the focus – directrix relation, Dandelin sphere

１．はじめに

ディオクレスの「火取り鏡について」とは、ギリシア語の原典が失われた数学書である。その存在はアスカロンのエウトキウス（c480-c540）や、イスラムの学者らによる引用から知られているのみであった。ちなみに火取り鏡とは、パラボラアンテナと同じ原理を使って火を起こす道具である。ところが、イランのイマーム・レザー廟図書館が 1972 年に発行したカタログにより、ディオクレスの著作のアラビア語手稿（c1462/3 年完成）が存在することが世に知られることとなった。なお、手稿には図は一切ない。我々は合衆国の数学史家トゥーマーの英訳 (1) を使って研究を進めた。

２．ディオクレスの「火取り鏡について」とは

２．１　手稿の構成

「火取り鏡について」と題する手稿は 16 の命題から成る。命題 1、4 および 5 は放物線を活かした鏡についての証明である。命題 2 と 3 は球形の鏡についての証明である。命題 6 と 9 は正しくない議論である。命題 7 と 8 はアルキメデスの球の分割問題に対する解答である。命題 10-16 では、立方体の容積を 2 倍にする問題を扱っている。本研究では火取り鏡に関する命題 1、4 および 5 について考察する。

２．２　火取り鏡に関する記述

命題 1 で、ディオクレスは放物線の主直径（中央の対称線）に平行な光はすべて「ある 1 点」について集まることを証明する。そして 3 種の鏡の作り方を示す：①主直径のまわりに回転させてつくる曲面；②主頂点から焦点までの距離の 2 倍の所にある弦のまわりに回転させてつくる曲面；③主直径に

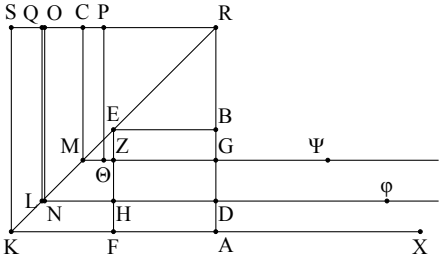


図１　命題４

直交する面内に描かれた任意の（閉）曲線上を主頂点を移動させてつくる曲面の 3 つである。

命題４で、ディオクレスは、放物線を点をプロットすることで描く方法を示す。このとき焦点と準線の性質を使っている。図 1 で、点 A が焦点、点 B が主頂点、そして線分 RS が準線に当たる。ディオクレスは PΘ＝ΘA となる点の求め方を示す。Θと同様にして求めた点 K,N,Θ,B,Ψ Φおよび X が放物線を与える。

命題 5 で､ディオクレスは上記の方法で描いた曲線が放物線の symptomata を満たすことを示す。symptomata とは、放物線でいえば $y^2=4px$（標準的表記）という式と等価である。

なお命題 1 で提案されている 3 種類の火取り鏡を 3D プリンターで製作し、火取りの実験を行った。1 例を挙げれば同日実験で気温 24℃の日に①の鏡の中心部で 74.7℃､②の鏡の中心部で 55℃そして、③の鏡の中心部で 65℃との結果を得ている。

2．4　焦点と準線の記述について

初めて焦点と準線の性質についての記述が見い出されるのが､この｢火取り鏡について｣である。ところが､ディオクレスと同時代人（年長）アポロニウスの著した｢円錐曲線論｣には焦点と準線についての記述はない。それはどうしてだろうか。紀元後4世紀のパップスの｢数学集成｣には、焦点･準線といった名前への言及はないものの､その関係に関する記述はある。焦点と準線の性質はディオクレスの時代までには発見されていたはずである。

3　ダンドラン球について

円錐の切り口（円錐曲線）と焦点および準線との関係を、円錐と切り口に内接する球を使って説明したのは、ベルギーの数学者ダンドランで、論文発表は 1822 年のことであった。それゆえ内接球をダンドラン球（図２）と呼ぶ。球と切り口との接点が焦点 F1 および F2 となる。球と円錐との内接円がのる平面と円錐曲線がのる平面との交線が準線 d1 および d2 となる。球と接線の関係から任意の P に対して $F_1X=XP$;三角形の相似性より $XP \propto XZ$;よって $F_1X \propto XZ$;これによって、焦点―準線の関係がいとも簡明に証明できた。円錐曲線を円錐がなければ定義できないと考えていたギリシア人は、いつしか内接球の存在に気付いたのではないだろうか。

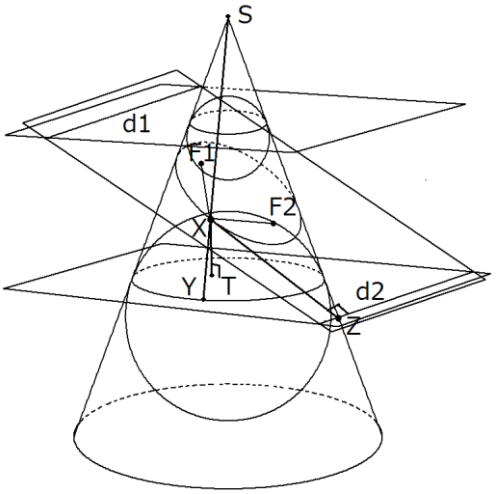


図２．ダンドラン球

3．むすび

ディオクレスの｢火取り鏡について｣の内容から火を取る鏡が三種類、放物線から作られること、さらに準線と焦点についての記述があり、円錐曲線について論じられている。そして、ダンドラン球はディオクレスの時代より以前にすでに発見されていたのではないかということを述べた。

文献

（1）G.J.Toomer (1976) Diocles: On Burning Mirrors, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, pp.250.

（2）A.V.Akopyan & A.A.Zaslavsky（2007）Geometry of conics, American Mathematical Society, pp.134.

星型一様多面体の双対多面体の構成面形状（稜線長さ）を求める

発表者氏名　：　山口　陸幸
住所　：　熊本市西区上代１丁目 3-28
e-mail アドレス　：　polyhedral@osu.bbiq.jp

The calculation of edge’s length of dual of non-convex uniform polyhedra

発表者氏名 ： Mutsuyuki Yamaguchi
所属機関名、Nishi-ku 1-3-28 Kumamoto,Kumamoto,Japan

Abstract:　**星型一様多面体の双対多面体の面形状については作図による求め方はあるものの、参考文献等でも、説明がない。そこで、双対多面体の構成面形状を求めてみる。枠形状が同じ星型一様多面体が三種類ずつあることに注目する。**
その 3 種類の双対多面体の構成面は特徴がある形状を示し、そして、その 3 種類には特殊な関係にあることに注目し、構成面形状を求める。

Keywords: **dual of** non-convex polyhedra , length of edges, face figure of dual, dual of semi-regular polyhedra, Flame of non-convex polyhedra

1.　双対多面体の定義

双対多面体の定義は

◎　内心を持つ１種類の構成面で構成されている

◎　双対多面体の二面角は全てにおいて等しい

で定義される。

この定義によって、生まれた双対多面体の性質の一つである

◎　一様多面体の頂点と面数を入れ替えたものである

が、恰も定義であるかのように用いられていて、誤った双対多面体を導かれることがあるが、双対多面体の性質の一つであることを確認されたい。

2.　双対多面体の二面角

双対多面体の二面角は全て等しいことから、二面角の余弦値は外接球半径の逆数として表すことができる。

2.　双対多面体の構成面の頂角

二面角を利用して求める方法や内接円と構成面との接点より求める方法がある。

3.　相貫体を利用するときの双対多面体の構成面における内接円半径

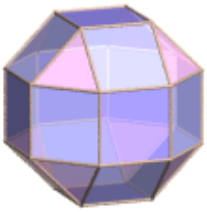
双対多面体の稜線長さはある設定条件がないと、求められない。双対多面体には大きさの規定がない為、如何なるスケールも採り得る。即ち、何の規定もない場合には双対多面体の稜線は長さ比で表すことが一般的である。

しかし、ここでは相貫体を形成する時の稜線長さとする。相貫体を作成する（3DCG

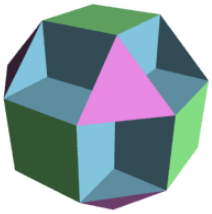
や 3D プリンター）時に便利である。

4. 同一の構成枠を持つ 3 種類の星型一様多面体

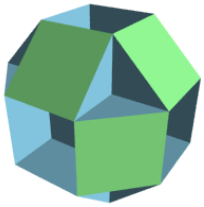
星型一様多面体の説明では頂点を結んだ図形である枠を利用する。そして、同一の枠で 3 種類の一様多面体（星型一様多面体や半正多面体をも含む）を導くことが出来るケースがある。例えば、小菱形立方八面体の枠では、自身である小菱形立方八面体と小立方立方八面体と小斜方六面体が導ける。12 種類の枠で同様にそれぞれ 3 種類の一様多面体が導ける。



小菱形立方八面体



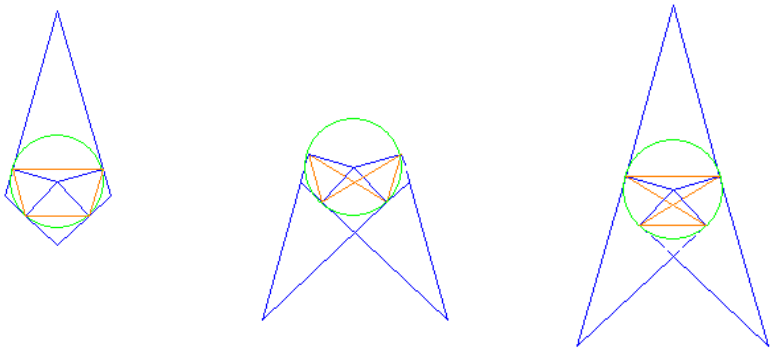
小立方立方八面体



小斜方六面体

5. 同一の構成枠を持つ 3 種類の星型一様多面体の双対多面体

12 種類の一様多面体はそれぞれに対応する双対多面体を持ち、その双対多面体の構成面形状は一部を除いて共通の特徴を持つ、凧型、翼型、鏃型として現れる。



6. 3 種類の双対多面体の稜線長さに関する関係式

この 3 種類の稜線の長さはある基準に基づいている。

従って、この基準を利用して計算することが出来る。

7. 他の双対多面体への適用

同じ枠から 3 種類の星型一様多面体は 12 種類ある。このうち、双対多面体が凧型、翼型、鏃型となるのは 7 種類ある。7 種類全てで、この関係が成立する事を確認したが、この基準は定理と呼ぶことができるのだろうか？

＜ 参考文献 ＞

『正多面体を解く』一松信著/東海大学出版会発行

『形の科学』 3.相貫体を作りながら考える/吉本直貴氏執筆/ 朝倉書店

『多面体の折り紙』川村みゆき著/日本評論社

『Dual Models』 Magnus J. Wenninger 著/ CAMBRIDGE

『CG で知る相貫体』山口陸幸著/ 熊本日日新聞情報文化センター

運動スキル熟達化のダイナミクス

工藤和俊
東京大学大学院総合文化研究科、東京都目黒区駒場 3-8-1
kudo@idaten.c.u-tokyo.ac.jp

Dynamical principles of motor skill learning

Kazutoshi Kudo, Ph.D.
The University of Tokyo, 3-8-1 Komaba, Meguro-Ku, Tokyo

Abstract: We discuss the principles governing spatiotemporal organization of movements in novices and experts while performing various motor tasks such as reaching, running, drumming, and street dancing, by introducing experimental and theoretical studies that use dynamical models or nonlinear time-series analyses.

Keywords: motor skill, dynamical systems approach, mathematical model

リーチングおよびランニングにおける運動の変動特性

ヒトの身体は常に揺れ動いており生きている限り静止することはない。このため、正確に同一の運動パターンを再生するという運動制御は原理的に不可能である。正確な動作を繰り返そうとするとき、動作結果の変動（誤差）は正規分布する白色ガウスノイズの特徴をもつ。このことはノイズの発現としての動作誤差という情報処理アプローチの仮説を支持しているように思える。このとき仮に、あらかじめ意図した軌道にノイズ信号が加算されて実際の軌道が生成されているとするならば、軌道の変動は終点だけでなくどの時点においても白色ノイズになるはずである。しかしながら、動作の途中における軌道の変動を解析すると、その時系列は 1/*f*型の変動を示し、動作の終点において白色ノイズ化することが明らかになった（Miyazaki et al., 2001)。

動作の進行に伴って変動の構造が 1/*f*型から白色ノイズへと変化するという結果は、動作の変動がはじめから白色ノイズの性質を持っていたのではなく、何らかの調整の結果、最終的に白色ノイズ化したことを示唆している。この推測はまた、腕の視覚情報を遮断し正確性の低下した到達運動において終末点の変動が 1/*f*型になるという結果からも支持される（Miyazaki et al., 2004）。

さらに、熟練長距離走者と非長距離走者のストライド時間間隔を比較した研究においては、より小さな時間間隔変動を示す長距離選手の時系列パターンが白色ノイズに近い特徴を示すのに対し、非長距離走者の時系列パターンは 1/*f* 型に近い特徴を示していた(Nakayama et al., 2010)。

これら一連の研究により、熟練パフォーマンスに見られる動作の変動とは、しばしば 1/f 型の揺らぎを示す生体内の変動を協応させ、最終的な誤差を減少させた上でなおかつ残存した変動であり、白色ノイズの直接的な発現ではない可能性が示唆される。

リズミカルな運動の自己組織化モデル：内発的制約からの解放としての運動学習

左右の示指を逆相でリズミカルに内外転させ、徐々にテンポを速くしていくと、あるところで意図せず同相に切り替わってしまう。また、リズミカルなビート音と指伸展の同期

課題でテンポを速くすると、期せずしてビート音と指屈曲が同期してしまう。このような現象は、広く一般に観察されることから、人間が運動を行う際の内発的な制約として、ある特定の協応パターンが存在すると考えられる。近年の我々の研究から、ドラム演奏やストリートダンス等の熟達化とは、このような内発的制約からの自由を獲得し、多様で洗練された表現への自由を獲得するプロセスであることが、力学系モデルおよび実験データによって示されている（Fujii et al., 2010; Miura et al., 2011, 2013; Kudo et al., 2011）。力学系アプローチからはまた、ノイズの影響を受ける運動であっても、モダリティーの異なる情報を統合し冗長な自由度を協調させることにより運動の時空間パターンが安定化する可能性も示されている（Kudo et al., 2006; Miyata & Kudo, 2014）。

References

Kudo, K., Park, H., Kay, B. A., & Turvey, M. T. (2006) Environmental coupling modulates the attractors of rhythmic coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*(3), 599-609.

Kudo, K., Miyazaki, M., Sekiguchi, H., Kadota, H., Fujii, S., Miura, A., Yoshie, M., & Nakata, H. (2011) Neurophysiological and dynamical control principles underlying variable and stereotyped movement patterns during motor skill acquisition. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 15*(8), 942-953.

Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2010) Intrinsic constraint of asymmetry acting as a control parameter on rapid, rhythmic bimanual coordination: A Study of professional drummers and nondrummers. *Journal of Neurophysiology, 104*(4), 2178-2186.

Miura, A., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Kanehisa, H. (2011) Coordination modes in sensorimotor synchronization of whole-body movement: A study of street dancers and non-dancers. *Human Movement Science, 30*(6), 1260-1271.

Miura, A., Kudo, K., & Nakazawa, K. (2013) Action-perception coordination dynamics of whole-body rhythmic movement in stance: A comparison study of street dancers and non-dancers. *Neuroscience Letters, 544*, 157-162.

Miyata, K., & Kudo, K. (2014) Mutual stabilization of rhythmic vocalization and whole-body movement. *PLoS ONE, 9*(12), e115495.

Miyazaki, M., Kadota, H., Kudo, K., Masani, K., & Ohtsuki, T. (2001) Fractal correlation of initial trajectory dynamics vanishes at the movement end point in human rapid goal-directed movements. *Neuroscience Letters, 304*, 173-176.

Miyazaki, M., Nakajima, Y., Kadota, H., Chitose, K., Ohtsuki, T., & Kudo, K. (2004) 1/*f*-type fluctuation in human visuomotor transformation. *NeuroReport, 15*(8), 1378-1378.

Nakayama, Y., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2010) Variability and fluctuation in running gait cycle of trained runners and non-runners. *Gait & Posture, 31*(3), 331-335.

バリ舞踊の形と動き

中村美奈子
お茶の水女子大学、東京都文京区大塚 2-1-1
Nakamura.minako@ocha.ac.jp

The Postures and Movements of Balinese Dance

Minako NAKAMURA
Ochanomizu University, 2-1-1, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo

Abstract: This study analyzed the Balinese female dance motion from the viewpoint of the interdisciplinary researcher of Information Science and Dance Ethnology.

Keywords: Indonesia, Balinese dance, Motion capture,

１．はじめに

筆者は、舞踊実践に基づくインドネシア、バリ島の舞踊の研究を行っている。また､「文理融合型の民族舞踊研究」という観点から、バリの舞踊の形（型）や動きについての分析も行っている。本講演では、まず、バリ島の舞踊と音楽につい文化的側面からの全体的な考察を行い、バリの女性舞踊のひとつである「パニャンブラマ（Panyembrahma)」（図１参照）を事例とした舞踊動作分析について述べる。

図 1　バリ舞踊パニャンブラマ（歓迎の踊り）

２．バリ島の舞踊文化とバリ・ヒンドゥー教

現在のバリ人の大部分は、14 世紀に東ジャワで栄えたヒンドゥー王国マジャパイトの末裔たちであるといわれている。人口の 9 割がイスラム教であるインドネシアにおいて、バリの人々は、バリ・ヒンドゥー教（Agama Hindu Bali）と呼ばれる独自の宗教を信仰している。これは、土着のアニミズム的な信仰にジャワを経由してもたらされたヒンドゥーの慣習が融合してできたものであり、祖先、神々、悪霊に向けられた複雑な祭儀からなっている。バリの神々は、ふだんは天界にいて、寺院の祭日オダラン（odalan）に寺院に降臨し、祭りの期間滞在して供物を受け、踊りを見て楽しみ、再び天に帰るとされる。つまり、舞踊は、バリの人々にとっては、神への捧げものなのである。

バリの舞踊の演目は、それが演じられる機会や空間と、宗教や儀礼との結びつきの度合いによって、(1)ワリ(wali) (2)ブバリ(bebali) (3)バリバリーアン(balih-balihan)に分類されるが､今回扱う舞踊は､(3)の宗教的な結びつきがほとんどないタイプの舞踊である。

３．バリ舞踊の音楽（ガムラン gamelan）のリズム構造

ガムランとは、インドネシア（主にジャワ島やバリ島）で行なわれている大・中・小の様々な銅鑼や様々な音板打楽器による合奏の民族音楽の総称であり、それらの民族楽器の総称でもある。現在、バリで主に用いられているのは、ゴング・クビャール（gong kebyar）という編成のガムランであり、音階（音列）は、ペロッグ音階という５音階に調律されている。リズムは、基本の拍節周期（たとえば８拍）で１周するというくりかえしパターンとなっている。骨格となる旋律があり、その旋律をコテカン（kotekan)という番いのリズムで演奏していくのが特徴である。音楽と舞踊は互いにアンセル（angsel）という合図を出しながら呼吸を合わせて演じられる。

４．バリの女性舞踊の動作的特性

バリの舞踊技法は、(1)アグム(agem)(2)タンダン（tandang)(3)タンキス(tangkis)(4)タンカップ(tangkep)の４種類に分類されて整理されている。その中でも(1)は静止姿勢であり、基本構えであり、この姿勢がとれるようになれば、バリ舞踊がほぼ習得できたともいえる重要な形(型)である。(2)は歩行動作であり、(3)は上半身を中心とした動きであり、(4)は、内面から出す精神的な力の意味で、神によって吹き込まれた魂（jiwa）の表出ととらえられている。様々な表情による表現や目の動きなどもこれに含まれる。

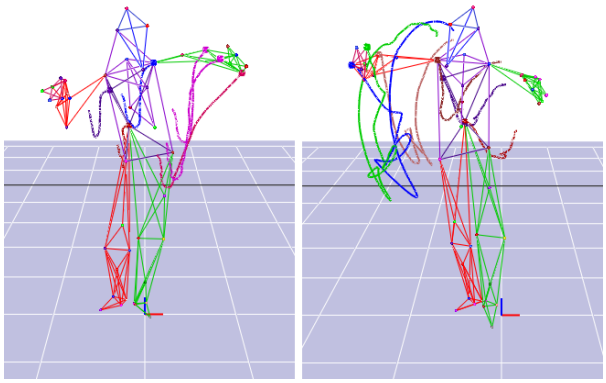


図 2　MotionCapture による上半身の動き

2014 年 9 月にバリの女性舞踊で子供たちが最初に習う基本的な踊りのひとつである、パニャンブラマ（図１）の動作計測を、バリ人と日本人の二人の研究協力者を得て行った。MAC3DSystem の Raptor-E(スポーツ計測用のカメラ）を 18 台、大学のダンス室に設置し、50 個（うち指に関する部分 6 個）のマーカを付けて計測を行った。聞き取り調査からは、バリの女性舞踊では、手首の力（緊張）が重要であり、ここにエネルギーを込めるような感じで、そのエネルギーをひじから背中にかけて伝えていくように動かすことが重要であるということがわかっている。手首に力を入れるということは、指（特に中指）を大きく反らせることも意味しており、その力を推進力として肘、肩、胸が連動するようになめらかに動くということである。図２は、その軌跡を、モーションアナリシス社の提供する CORTEX の Motion Viewer（Viewer はフリーソフト）を用いて，モーションキャプチャデータを可視化してスティックピクチャーの 3DCG をコンピュータ画面上に表示し，マーカの軌跡を追うという方法で示したものである。今回は数値による解析は行っていないが、このように動きの軌跡を追うことにより、各ダンサーの持つ身体空間の使い方の特徴などが見えてくる点は面白い発見であった。

＜参考文献＞

Bandem, I Made ed. ,　Gerak Tari Bali-Laporan Penelitiani, 1983.
皆川厚一（編），インドネシア芸能への招待―音楽・舞踊・演劇の世界，東京堂出版，2010

サッカーのパス回しネットワークにみられる次数分布について

成塚拓真[1]，山本健[2]，山崎義弘[1]
[1]早稲田大学理工学術院，東京都新宿区大久保３－４－１
[2]中央大学理工学部，東京都文京区春日１－１３－２７
[1]physicist.t.n@fuji.waseda.jp，[2]yamamoto@phys.chuo-u.ac.jp，[1]yoshy@waseda.jp

Degree distribution of ball-passing networks in football games

[1]Takuma Narizuka，[2]Ken Yamamoto，[1]Yoshihiro Yamazaki
[1]Department of Physics，Waseda University，Tokyo 169-8555，Japan
[2]Department of Physics，Chuo University，Tokyo 112-8551，Japan

Abstract: We focus on degree distributions of the position-dependent ball-passing networks in football games. It is found that the degree distributions obtained from actual data can be fitted by a single function. In order to clarify how the single function is identified, we propose a simple stochastic model based on Markov chain. We derive an explicit expression for the degree distribution and find that the derived distribution reproduces that for actual data reasonably well.

Keywords: Football，Complex network，Degree distribution，Markov chain

はじめに

近年，サッカーに関する膨大なリアルタイムデータが取得できるようになり，様々なアプローチによる研究が可能となっている。それらを，注目する時間スケールおよび構成要素を軸に分類すれば，表１のような相図を構成することができると考えられる。各領域においてどのようなアプローチが可能であるか現時点では完全に明らかではないが，本研究では,特にパス回しのネットワークに注目し，サッカー１試合，チーム全体で見たときに現れる統計的性質について紹介する。

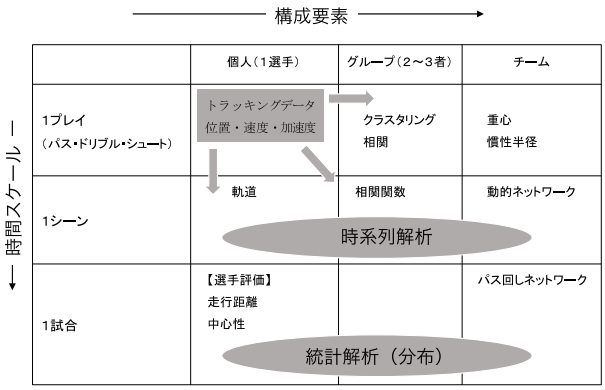


表 1　サッカー研究に対するアプローチの分類

選手の位置を考慮したパス回しネットワーク

まず，複雑なパス回しを単純化して捉えるため，実際の試合から図１のような“選手の位置を考慮したパス回しネットワーク”を構築した。このネットワークの作成手順は以下の通りである：(i) フィールドを縦３，横６の計１８エリアに分割する。(ii) あるエリアに存在する特定の選手をノードと定義する。(iii) ノード間をつなぐパスに対してエッジを張る。ネットワークを特徴付ける重要な量としてノードの次数がある。次数は，ある選手が特定の位置でパスを受けた数とパスを出した数の和に相当する量である。本研究では，

複数の試合から得られたネットワークについて次数分布を調べ，その分布形を比較した。その結果，どのチームについても試合の詳細に依らずに似た分布形を持ち，特にガンマ分布にカットオフを加えた関数（切断ガンマ分布）でよくフィットされることが分かった。

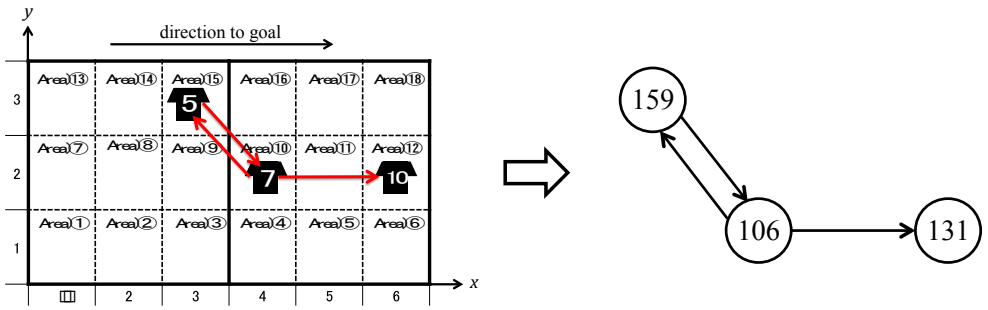


図 1　ネットワーク作成の例

マルコフ連鎖モデル

実データで得られた次数分布の形成メカニズムを明らかにするため，ボールの動きをノード間のマルコフ連鎖として単純化した，マルコフ連鎖モデルを構築した。このモデルのふるまいはボールの遷移確率 P_{ij} によって特徴付けられ，遷移確率に様々な関数を設定することで複雑なパス回しを表現することができる。ここでは，モデルの単純化のために $P_{ij} \propto \eta_{ij} \times R(L_j)$ と仮定した。ただし，η はチームを選ぶ確率，$R(L)$ はある選手がホームポジションから距離 L のエリアに存在する確率を表す。この場合には次数分布が解析的に計算可能であり，次の表式が得られた：

$$f_A(k) = \int_0^{u_{\max}} \binom{2T}{k} [u]^k [1-u]^{2T-k} \frac{m}{\mu} \left(\frac{\log(u_{\max}/u)}{\mu} \right)^{m-1} \frac{1}{u} \exp\left[-\left(\frac{\log(u_{\max}/u)}{\mu} \right)^m \right] du$$

この関数は二つのパラメータ μ と m を含み，それぞれが各選手のホームポジション周りの移動範囲を特徴付ける。また，μ と m をフィッティングパラメータとすることで，図２のように実データで得られた次数分布を統一的にフィッティングできることが分かった。

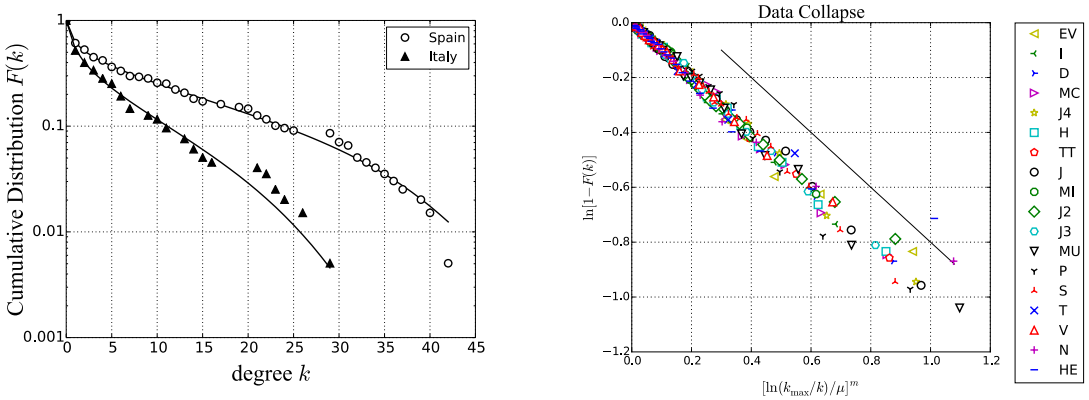


図 2　モデルで得られた関数による実データのフィッティング結果。
右図の凡例はチーム名と対応するマーカーを表す。

[1] N. Narizuka et al., Physica A 412 (2014) 157-168.
[2] N. Narizuka et al., J. Phys. Soc. Jpn., 84 (2015) 084003.

凸曲面上のバトンの転がりの物理解析

山田　優貴[1]　　松浦　昭洋[2]
東京電機大学，〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂
E-mail: [1]15rmd19@ms.dendai.ac.jp, [2]matsu@rd.dendai.ac.jp

Physical Analysis of a Rolling Baton on a Convex Surface

Yuki Yamada　　Akihiro Matsuura
Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama-cho, Hiki, 350-0394 Japan.

Abstract: We make physical analysis of a baton rolling on a convex curve and surface, which derives from newly-developed instruments for manipulation. The Euler's momentum equations for both the two- and three-dimensional cases are solved. We also implemented physical simulator in the two-dimensional case for visualizing the rolling motion of a baton.

Keywords: convex surface, rolling, baton, physical analysis, momentum equation

１．はじめに

図形の転がりに関する研究は古くから行われ、特に工学や天文学での応用例は多い。同時に、ものの転がりは、独自の視覚性や運動性、リズムによって人を惹き付ける魅力を持つ。我々はものの転がりのパフォーマンスやエンターテインメントへの応用について探求し、最近凸状の曲面を複数並べた装置上でバトンを連続的に転がして操作するパフォーマンス装置を開発し、さらに、バトンをインタフェース、曲面をディスプレイとするプレイフルな操作性を持つデジタルシステムを開発した[1,2]。一方で、自由な形状を使いつつ操作性、運動性の高い装置を作るには、試作・試遊のみでは十分でなく、幾何学的、物理的解析やシミュレーションが大きな役割を果たす。[3]では二次元の一般の図形の転がりを可視化する描画シミュレータが制作されたが、運動における物理的制約は考慮されなかった。本発表では、三次元までのバトンの転がりのオイラーの運動方程式に基づく物理解析の結果と、それを元に作成した二次元物理シミュレータを紹介する。

２．バトンの転がりの物理解析

２．１　二次元の場合

二次元において、バトンは長さ r、質量 m、均一な密度 ρ をもち、両端に質量 m' の重りが付いた線分とし、地面は $y = f(x)$ の上に凸で微分可能な図2の曲線で x_0 から x_1 までの曲線長は r とする。また、曲線と棒の間には滑らない程度十分に大きな摩擦があるとする。今図1の状態からバトン最上部に右方向に初動を加えると、バトンは右に倒れ始め、次の二種類の運動を行う:(i)バトンの下端を地面に付いたままの自由回転（図2(1)）、(ii)曲線と接しながらの回転運動（図2(2)）。これら二ケースでバトンの角加速度が求まれば、バトンの回転運動の可視化が可能となる。

今、バトンの持つ力のモーメントを N、慣性モーメントを I、角加速度を α とする。

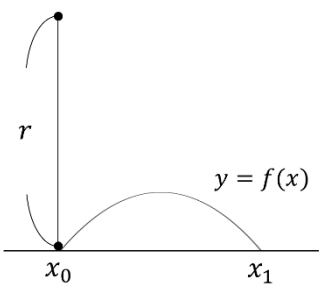


図１　曲線とバトンの初期配置

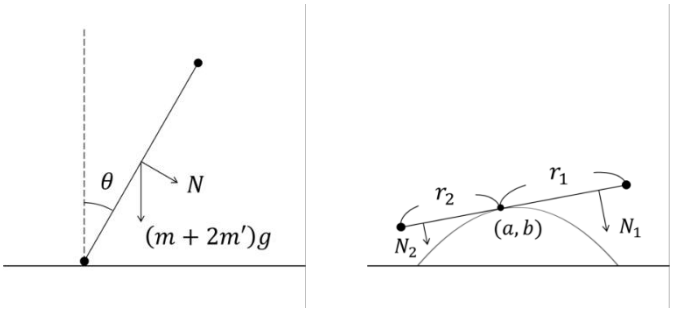


図２(1)バトンの自由回転　(2)バトンと曲面の接触回転

(i) バトンが自由回転を行う場合

バトンの倒れた角度をθとする。バトンの重心の下端からの距離は$r_G = \frac{r}{2}$である。このとき、$N = r_G(m+2m')g\sin\theta$、$I = \int_0^r \rho x^2 dx + m'r^2 = \left(\frac{m}{3} + m'\right)r^2$より、$\alpha = \frac{3(m+2m')}{2(m+3m')r} g\sin\theta$。

(ii) バトンが曲線に接して回転する場合

接点を(a, b)、接点より右・左のバトンの長さをr_1、r_2とすると、r_2は転がった曲線部の長さに等しいので、$r_2 = \int_{x_0}^{a} \sqrt{1+f'(x)^2}dx$。接点の左右の力のモーメントを図２(2)のように$N_1$、$N_2$、バトンの接点から右部分、左部分を別のバトンと考えたときの接点からそれぞれの重心までの距離を$r_{1,G}$、$r_{2,G}$とすると、$N_i = r_{i,G}\left(\frac{r_i}{r}m + m'\right)g\sin\theta$ (i=1,2)。$N = N_1 - N_2 = \frac{m(r_1 r_{1,G} - r_2 r_{2,G}) + m'r(r_{1,G} - r_{2,G})}{r} g\sin\theta$、$I = \int_{-r_2}^{r_1} \rho x^2 dx + m'(r_1^2 + r_2^2) = \frac{m}{3}(r_1^2 - r_1 r_2 + r_2^2) + m'(r_1^2 + r_2^2)$。よって、$\alpha = \frac{3\{m(r_1 r_{1,G} - r_2 r_{2,G}) + m'r(r_{1,G} - r_{2,G})\}}{\{m(r_1^2 - r_1 r_2 + r_2^2) + 3m'(r_1^2 + r_2^2)\}r} g\sin\theta$。

(i), (ii)で得られた角速度を用いて、複数の同一円弧上でのバトンの転がりを可視化する物理シミュレータを Processing2.2.1 により作成した(図3)。曲線は現状楕円に限り、中心角、長径、短径の値を指定できる。バトンに関しては質量、両端の重りの質量、最初に水平に加える力を指定できる。図4左は設定直後の状態であり、Start ボタンを押すとバトンは右図のように右方に転がっていく。

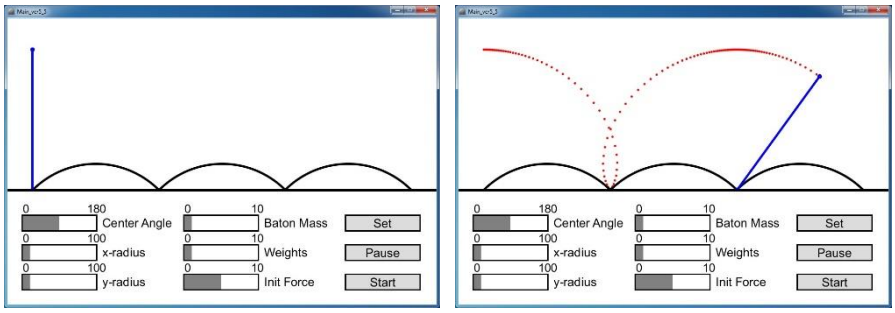


図3 バトンの転がりの二次元物理シミュレータ

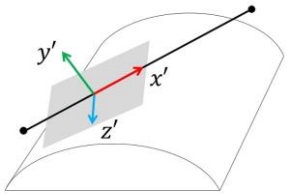


図４　三次元の設定

２．２　三次元の場合

バトンが図4のように凸曲面上を転がる場合を考える。接点を原点とし、バトンの方向を x'軸, バトンと鉛直方向を含む平面内のバトンの法線方向を y'軸とする慣性主軸を取る。バトンが自由回転しているとき、角加速度の計算は二次元の場合と同様である。バトンが曲面に接して右奥方向に回転しているとき、バトンの x'軸、y'軸周りの角加速度は 0、z'軸周りの角加速度は2.1(ii) と同様の値となる。三次元の物理シミュレータは現時点では未実装であるが、発表時は可能な限りお見せしたい。

３．まとめ

バトンの転がりの物理解析結果と二次元転がりシミュレータを紹介した。今後は三次元へのシミュレータの拡張、それを利用した装置開発、実演作品の制作等を行っていく。

なお、本研究は JSPS 科研費 25330437 の助成を受けて行った。

参考文献

[1] A. Matsuura, J. Hashimoto, and K. Okuno, “Geometric Visual Instruments Based on Object Rolling”, Proc. of Bridges Conference 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture, pp. 303–310, 2013.

[2] A. Matsuura, T. Matsukawa, H. Ohshima, H. Kurihara, and H. Oriono, “Stick'n Roll: A Playful Stick Interface for Curved Display”, Proc. of Virtual Reality Int’l Conf. (VRIC’15), 4 pages, 2015.

[3] 松浦昭洋, 奥野健斗, 山崎裕介, “図形の転がり可視化ソフトウェアの開発”, 第 77 回形の科学シンポジウム, 形の科学会誌, 第 29 巻, 第 1 号, pp. 52-53, 2014.

稔りの樹をモティーフにした配列表現

坪谷彩子
女子美術大学術大学：神奈川県相模原市南区麻溝台1900番
rooni@book-tokyo.com

The computer lithography with the composition module and arrangement expression about Complex Symmetryarrangement expression.

Ayako Tsuboya
JOSHIBI University of Art&Design　1900 Asamizodai Minimi-ku Sagamihara-si ,KANAGAWA

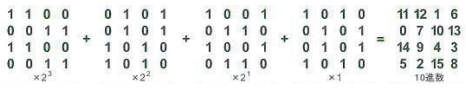
Abstract：The design works use “arsnote” that offers the composition module with the rhythm and the balance using an array expression.（*1）
Algorithmic Art is defined as a pursuit of both objective description and the accumulation of conventional artistic process.Arsnote has paved the way for us to infinitely enjoy the process of design and representation just as musical notes do. While drawing with arsnote we seek for the reasons why we feel beauty in a variety of forms found in nature, just as artists do in their sketches.
This is also the artwork to perceive the appearance of the fruit tree that grows in abundance.

Keyword：arsnote, process of design, composition module, the rhythm and the balance, computer lithography,

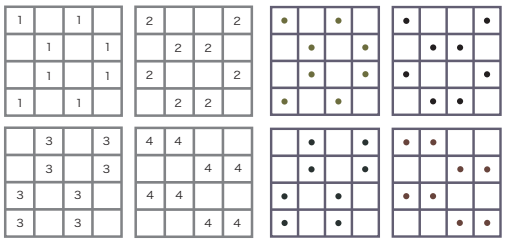
*1 ：The composition module and arrangement expression about Complex Symmetry/複合的対称性に関する構成モジュールと配列表現 (Ken Ishigaki/石垣 健　形の科学誌 第20巻 第3号 2005　2006年3月刊掲載)

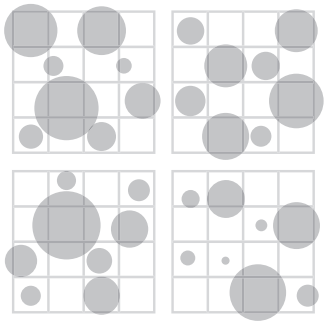
今回の展示作品は、リズムと配列式を使用してバランスを有する組成物モジュール（arsnote）(*) を用いたデザインワークである。アルゴリズムアートは客観性と芸術的な造形プロセスの蓄積として定義されている。コンピュータを利用して数理で表された様々なかたち、動きを、再現して愛でることができるようになった。さらに、わたしたちは、時空を超えて残る音楽における楽譜がそうであるように、arsnoteを用いることで、無限に造形のプロセスや表現を楽しめるようになった。
自然界にみられる様々なかたちを、なぜ美しいと感じるのだろうか。画家が写生して確かめるように、自然のバランスに思いを任せて描画しながら探っている。下記は用いたモジュールである。
これらから発想を得たコンピューターリソグラフィは、稔る果樹の様子を知覚するアートワークでもある。

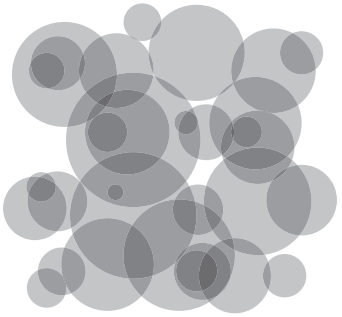
複合的対称性に関する構成モデュールと配列表現より
(Ken Ishigaki 2005)



誰もが可視化できる、適度な分割制度のイメージ・データ
配列概念：バランスのある配列（左：要素の種類を記号化　右：数値を抽象化）







複素関数のインタラクティブ可視化・共有システム

山岡久俊
川崎市麻生区上麻生 3-3-11,302
akoamay@gmail.com

Interactive Visualization System for Complex function

Hisatoshi Yamaoka
302, 3-3-11, Kamiasao, Asao-ku, Kawasaki

Abstract: We developed an interactive web based system that can create spatial-temporal pattern which is generated by complex function equation. It enables users to create, post and share there own work via the web browser.

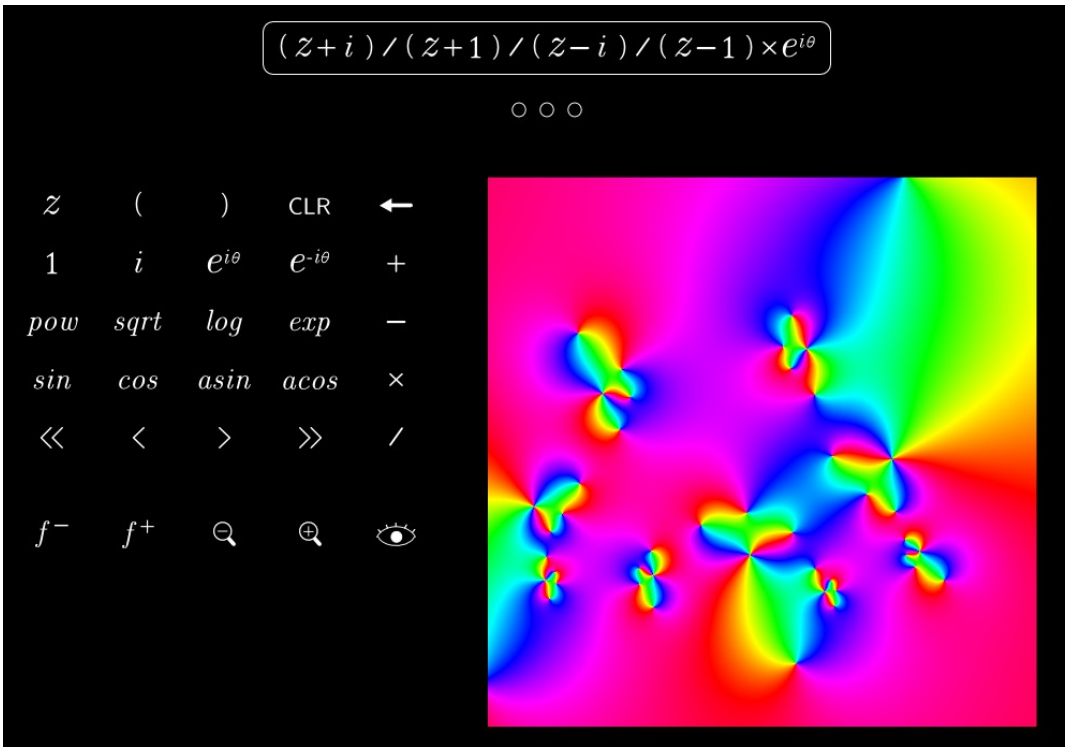
Keywords: Complex function, Visualization, Art, HTML5, WebGL

複素関数から生み出される時空間パターンを可視化し，それをアート作品として投稿・共有するシステムを開発した．

原点からの距離と方向に応じて色を定めた複素平面上の点を，複素関数によって別の平面へ写像すると，関数の定義に応じて多様なパターンが出現する．本システムはPCやスマートフォン上のブラウザから，電卓のようなユーザインタフェースで簡単に複素関数を定義し，そこから生成される模様をインタラクティブに確認することができる．また作成した数式（作品）をインターネットを介して投稿し，それを他のユーザと共有することもできる．

このシステムの目的は主に次の通りである．

- 教育：ユーザに対して，等角写像やメビウス変換といった複素関数の持つ性質や概念の直感的理解を促す．
- 芸術：数式の生み出す美しさを誰にでも気軽に実感し楽しんでもらう．



数式編集画面の例

VR 空間におけるメニュー操作の習熟に関する研究

荒木千尋，西原佳祐，中川誠，松河剛司
〒464-0807 愛知工業大学経営情報科学研究科　愛知県名古屋市千種区東山通 1-38-1
〒470-0392 愛知工業大学情報科学科情報科学部　愛知県豊田市八草町八千草 1247

Study on the operation skill level in the virtual reality space

Keywords: Virtual Reality, Head Mounted Display, Leap Motion

はじめに

近年，Head Mounted Display(以下 HMD)と Leap motion などのハンドトラッキングデバイスを使用し，現実世界の手と同様の操作を Virtual Reality(以下 VR)空間で行うことが可能になっている。しかし，現実空間と VR 空間では距離感に齟齬が生じるため，VR 空間における奥行きの把握が困難である。VR 空間に作成したメニュー画面では、使用者がボタンまでの距離感を掴めずオブジェクトに接触できない，誤タップなどのエラーが発生した。そこで本研究では被験者が HMD と Leap motion の使用回数を重ねることにより，VR 空間の距離感を把握することができるかを検証するため、実験を行った。

実験方法

図１のようなHMDとLeap motion に対応したメニュー画面を作成した。被験者は座位の状態で，VR 空間上に配置された 4 個のボタンと 1 本のスライダーを操作し、その操作時間を計測する実験を被験者ごとに 5 セット行った。今回の実験では健康な大学生男女９名を被験者とした。

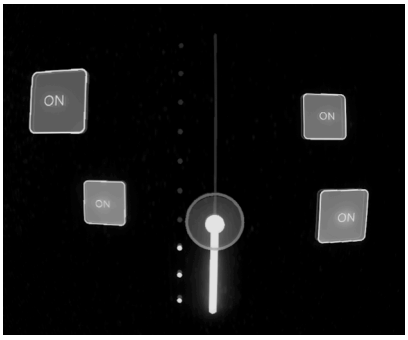


図 1. 実験に使用した操作画面

結果と考察

各被験者の１回目の操作時間を基準として各回と１回目の操作時間の差分のデータを図２に示す。横軸は回数を示し、縦軸は各回と１回目との差分時間（単位：秒）である。

１回目との差分時間の平均はどの回も１回目よりも操作時間が短くなっており、回数を重ねることで VR 空間上のボタンやスライダーの位置を把握できたと推測できる。

今後はボタンやスライダーの配置を変え、追加実験を行う予定である。

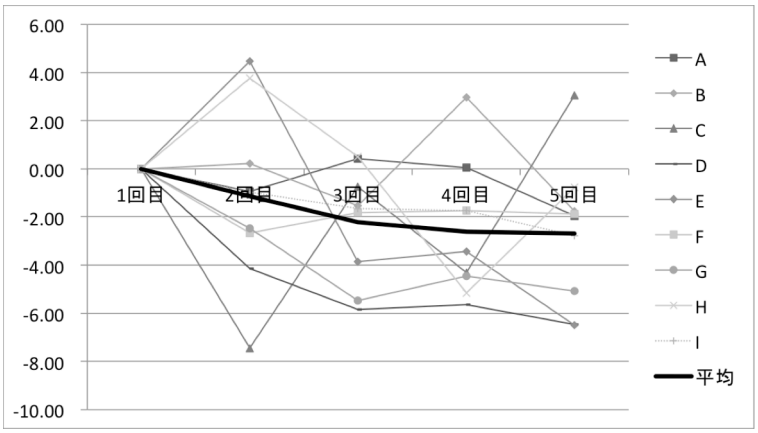


図 2. 1 回目と各回の操作時間の差分

力学玩具としてモデル化された起き上がり小法師と竹とんぼ型ヤジロベイの制作

久保光徳[1)]，石井久夫[2)]，田内隆利[1)]
1）千葉大学大学院工学研究科、2）千葉大学先進科学センター，
千葉市稲毛区弥生町１－33
1)mkubo@faculty.chiba-u.jp，2）ishii130@faculty.chiba-u.jp

A Simplified DARUMA Toy and a Dragonfly-balancing Toy as Educational Materials of Dynamics

Mitsunori KUBO[1)], Hisao ISHII[2)], Takatoshi TAUCHI[1)]
1) Graduate School of Engineering, Chiba Univ., 2) Center for Frontier Science, Chiba Univ.

Abstract: Two educational materials of dynamics were proposed, which were a simplified DARUMA and a Dragonfly-balancing toy. The basic movements imitated the behavior of some traditional Japanese toys, and it suggested that the movements of the toys could let us sense the center of gravity and the concept of the moment of inertia.

Keywords: Educational Material of Dynamics, Gravity Center, Inertia Moment

1. はじめに

伝統玩具の一つである起き上がり小法師とヤジロベイから着想を得て、重心、慣性モーメントの基礎的な概念を体感および理解させることを目的として制作した力学玩具を紹介させていただく。16 個の穴を持つドラム型の起き上がり小法師モデルでは、４個の乾電池（単３）の配置によって敏感にその動き（周期）が変化すること、その変化要因が乾電池配置状態による慣性モーメントとドラムの中心と乾電池４個とドラム全体で構成される重心との位置関係にあることを体感させることの可能性を示す。ヤジロベイモデルでは、非対称形による重心と支点との関係の意外性を体感させ、モーメントの釣り合いへの意識、力学的考察への誘導の可能性を示したいと考えている。

2. オキアガリコボシ　－重心位置と慣性モーメントとの関係

ダルマや起き上がり小法師が示す「起き上がり運動」と「周期運動（スイング）」を単純な形で再現することを考えた。これにより，起き上がりを起こす復元力が生じること，および周期運動が起きることへの理解を，体験を通して伝えることを期待している。オキアガリコボシの特徴は，乾電池でモデル化した集中質量の配置を変えることにより，その運動が変化することを体感できるところにあり，その体験から重心と回転慣性（慣性モーメント）の意味を探らせることを目的としている。

3. 竹とんぼ型ヤジロベイ　- 重心と形との関係（形の外にある重心）

正面において非対称となる単純化された２D ヤジロベイを基本形とする。両端それぞれに集中質量に準ずるものを配置し，腕長の長い方をトンボの尾部と見立て，その尾部の長軸方向が水平方向に安定するときの面白さを体感させる。この面白さをモチベーションとして，理解が定着しない傾向にあるモーメントのつりあいへ誘導する。

4. おわりに

この２つの実験的な力学玩具では，その意味する所を読み解くためには，高校生レベルの知識を必要とするが，より直観的に形と動きの本質に近づけるものとしたい。

簡単な折り紙としてのフラクタル矩形

根岸利一郎，関口久美子，
埼玉工業大学，埼玉県深谷市普済寺 1690
negishi@sit.ac.jp

Fractal rectangles formed with the easy Origami steps

Riichirou Negishi, Kumiko Sekiguchi
Saitama Institute of Technology, 1690 Fusaiji, Fukaya, Saitama, Japan, 369-0295

Abstract: Similar rectangles are continuously made with suitable partition rule using a golden rectangle. Self-similar figures can be made from all the rectangles, but the number of similar rectangles formed through folding paper is not many. This paper reports analysis of the results obtained about folding similar rectangles within 3 steps.

Keywords: Fractal rectangle, Origami, Self-similar, Golden rectangle

自己相似矩形に特別があるか

矩形の短辺と長辺の比が黄金比になる長方形は黄金長方形[1]と言われる。この矩形は長辺を黄金比に分ける線で分割すると，出来た一方の矩形は元の矩形と相似になる。その相似矩形を同じ方法で分割してできる矩形はまた元の矩形と相似になる。この同じ操作の繰り返しで自己相似なフラクタル構造の矩形を作れる。長辺が短辺の $\sqrt{2}$ 倍の長方形はシルバー長方形であり，相似矩形は長辺を 2 分するという最も簡単な方法で作れる。この黄金長方形やシルバー長方形は自己相似矩形として特別な型かどうか折り紙で検討したい。

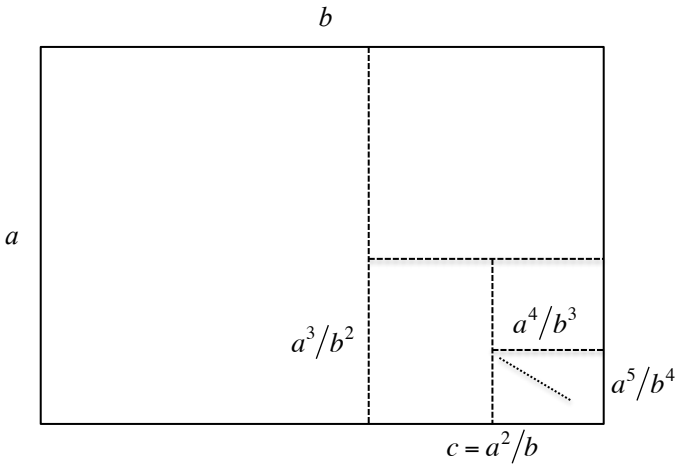


図.1　相似矩形のモデル

図 1 のように縦を a，横を b とする $a<b$ の任意の矩形から相似形を作る場合，破線で作られる相似矩形の短い辺を c とすると出来た矩形が元の矩形と相似形だとすれば，a:b の比が c:a に等しい。相似矩形の c は $a(a/b)$ となる。a が長辺で c が短辺となる次の相似矩形の短辺は $a(a^2/b^2)$ であり，その次は $a(a^2/b^2)$，そして $a(a^3/b^3)$，$a(a^4/b^4)$…と自己相似矩形が続く。条件を満足する矩形は a を決めた後で b を適当に選べばよいので，限りなくある。a を 1 とする相似矩形は $bc=1$

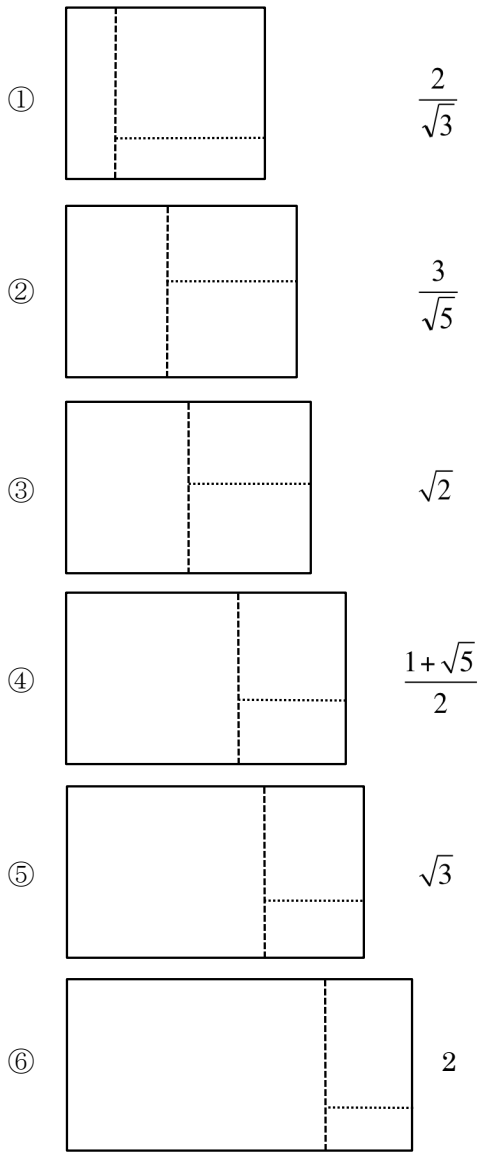


図 2 比較的簡単な比の自己相似矩形の例。各図右の数値は元図の短辺を 1 としたときの長辺の長さを示す。

となる図形すべてとなり，特別な相似矩形はない。その条件を満足する中から比較的簡単な比の型をいくつか選ぶと図 2 のようになる。

折り紙で作る自己相似矩形

折り紙として相似矩形を折る場合は全てが簡単に折れるわけではない。折り紙では，一般に正方形が使われる[2]が，ここでは自己相似形を作る観点から a=1 の矩形を検討する。矩形を連続して折って相似形を作るには長辺に対応する相似矩形の条件を満足する位置を決めて折る必要がある。

最も簡単に相似矩形が作れるのは③のシルバー長方形であり，長辺を半分に 1 回折るだけで作れる。

2 回折りの相似矩形に④の黄金長方形がある。この矩形は短辺が正方形の辺を作るように折る対角線の 1 回と，決めた位置で短辺に平行に折る 1 回の 2 回折りで作れる。この作られた矩形の短辺に対する長辺の比はやはり黄金比の $(\sqrt{5}-1)/2$ となる。2 回折るというだけなら，①と⑥は共に長辺を半分の半分に折る方法で相似形が作れる。⑤も図 3 のように矩形の左下端を右上端に合わせて折る 1 回とその折線と下長辺の交点で短辺に平行に折る 2 回になる。

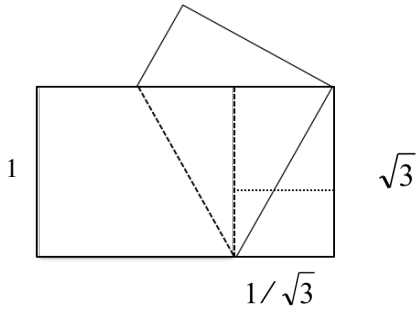


図 3　2 回折りでの自己相似矩形

3 回折り相似矩形

3 回折りで相似形を作る簡単な折り方には長辺を半分の半分の半分に折る方法がある。その場合の元の矩形の長辺は $\sqrt{8/7}$ か $2\sqrt{2}$ にすればよい。他に 3 回折りで作れる相似矩形にはどんな型があるか？ b が $\sqrt{7}/2$ の図 4 上の例では，最初に短辺を半分に折り，右辺の一方の端を左辺の中点に合わせて折る。折線と左辺に近い長辺との交点で短辺に平行に折る。この 3 回折で相似矩形を作れる。3/2 の図 4 中では，短辺を半分に折った後上の例とは逆に左辺の一端を右辺の中点に合わせて折る。その折線と右辺に近い長辺との交点で短辺に平行に折ることで作れる。これらの自己相似形の折り方は芳賀定理[2]を矩形に適用して求めることができる。図 4 下の例は b が $1+1/\sqrt{2}$ =1.707…の場合である。この場合は元の矩形から相似矩形を作る側で正方形を作るように対角線を山折りにする。その山折線と上長辺との交点で山折線を短辺に平行に直角の四分の一になるように折る。その四分の一折線と下長辺との交点で短辺に平行に折る。この 3 回折りで自己相似矩形を作れる。②は長辺を $(\sqrt{5}/3)^2$ の 5/9 の位置で折る必要があり少なくとも 7 回は折る必要がある。

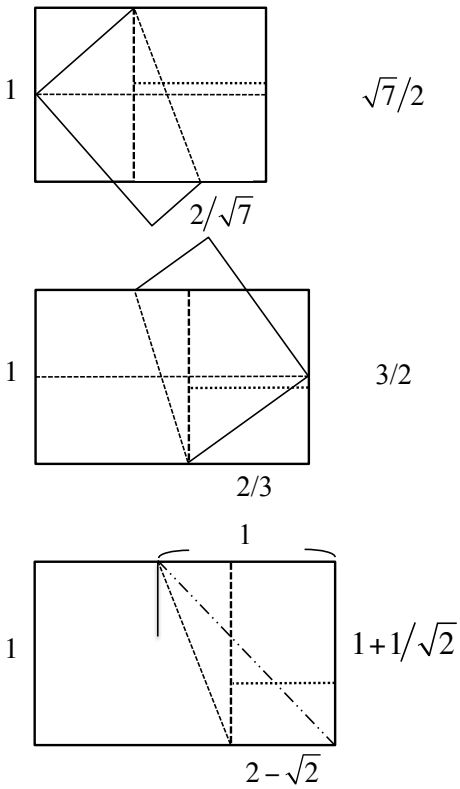


図 4　3 回折りで自己相似矩形になる例. 右側の数値は元図の短辺を 1 としたときの長辺の長さ。

最も簡単に作れる自己相似矩形は長辺を半分に 1 回折ることで作れるシルバー長方形であり，用紙の A 版・B 版や書籍として普及している。長辺が $2/\sqrt{3}$，$\sqrt{3}$, 2 の場合の自己相似矩形は 2 回折りで作れ，黄金長方形との折数での差異はない。3 回折りで作れる自己相似矩形の中で，長辺が 3/2 の矩形は元の型が正確に作れるという利点がある。これらの検討結果を報告する。

[1] 例えば R. A. Dunlap(2006): “The Golden Ratio and Fibonacci Numbers”, World Scientific Publishing, Singapore.
[2] 芳賀和夫(1999) :「オリガミクス 1　幾何図形折り紙」, 日本評論社.

ルービック・ハイパーキューブの実装

吉野　隆
東洋大学理工学部，〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100
tyoshino@toyo.jp

Implementation of the Rubik's Hypercube

Takashi Yoshino
Toyo University, Kujirai 2100, Kawagoe 350-8585

Abstract: We considered an extension of the Rubik's cube to four-dimensional space. We constructed the basic concepts of the puzzle and implemented its computer program using three dimensional computer graphics.

Keywords: hypercube, Rubik's cube, four-dimensional geometry

1. はじめに

ルービック・キューブを 4 次元空間の場合に拡張したパズルをルービック・ハイパーキューブと呼ぶことにする．このルービック・ハイパーキューブのコンピュータ・プログラムへの実装について報告する．基本的な仕組みは 4 次元超立方体の回転と 3 次元空間への投影の組み合わせと考えられるので，その実装は可能だろうと予想される．

2. 主な特徴

ルービック・ハイパーキューブの 8 つの胞は 8 つの異なる色で塗られている．ルービック・キューブが立方体を $3^3 (= 27)$ 分割してできる小さな立方体で構成されるように，ルービック・ハイパーキューブは超立方体を $3^4 (= 81)$ 分割してできる小さな超立方体（以下では副超立方体と呼ぶ）で構成される．ルービック・ハイパーキューブの 8 つの表面は 27 個の副超立方体が作る超柱の一部である．

副超立方体の 8 つの胞を副立方体と呼ぶことにする．副立方体は単一色で塗られているか無色のいずれかである．副超立方体の表面は有色の副立方体と無色の副立方体で構成されている．ひとつの副超立方体における有色副立方体の数は 0 から 4 まであり，パズルにおける副超立方体の役割によって異なる．例えば，有色副立方体の数が 0 であることはその副超立方体がルービック・ハイパーキューブの中心にあることを示し，4 であることはその副超立方体がルービック・ハイパーキューブの頂点を含むことを示している．

有色副立方体は 216 個である．これは，単純な計算（$3^3 \times 8$）からも求められるし，副超立方体の 4 種類の役割（頂点，辺，面，胞）の数に色数を乗じて和をとることでも得られる．

$$8 \times 1 + 24 \times 2 + 32 \times 3 + 16 \times 4 = 216$$

今回実装したプログラムでは，この 216 個の有色副立方体データをもとにして回転操作と 3 次元空間への投影を行っている．

このパズルにおいて回転を実現するために，ブロックという考え方を導入した．これは，同一座標にある副超立方体の集合である．すなわち，回転操作を行うときにともに動く副

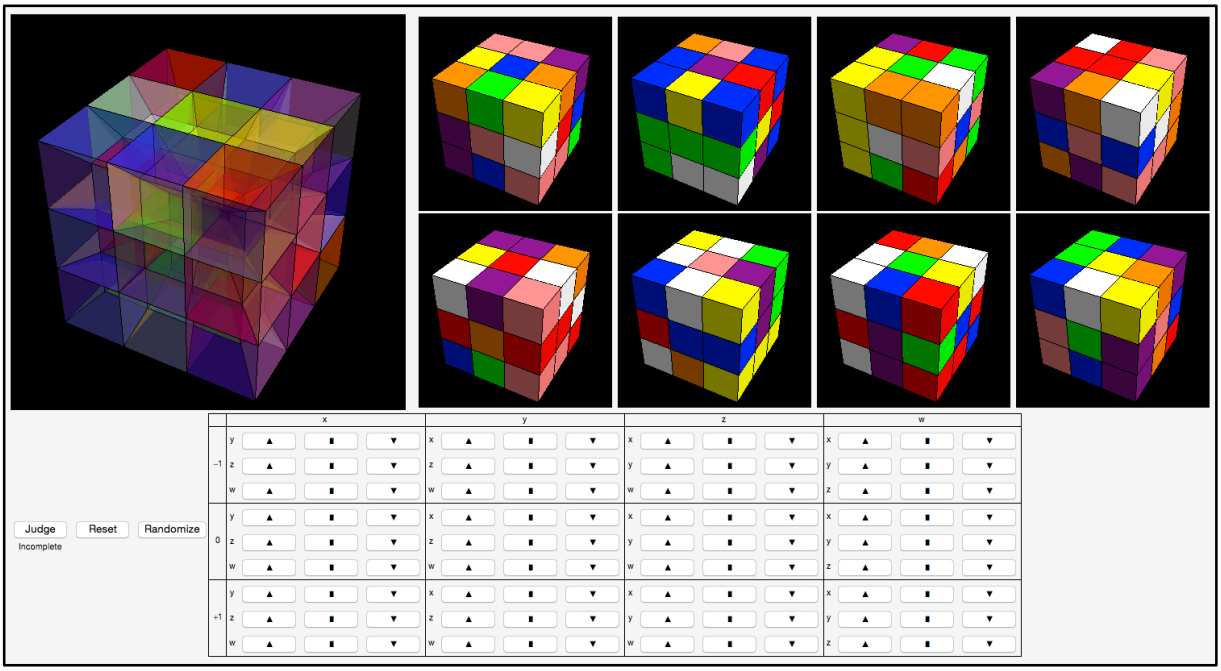


図 1 ：実装されたルービック・ハイパーキューブ.

超立方体の集合である. ブロックの選び方は, それぞれの軸について 3 通り（正側, 中間, 負側）ずつあるので 12 通りとなる. それぞれのブロックについて, 回転面の選び方が 3 通りあり, さらに, 回転角は $\pm\pi/2$ および π の 3 通りある（ものに戻る回転角 2π を除いている）. 従って, ルービック・ハイパーキューブの回転のさせ方は$12 \times 3 \times 3 (= 108)$通りあることになる.

3. 実装と今後の課題

前節で説明した考え方をもとにして Mathematica を用いてルービック・ハイパーキューブの実装を行った. その結果を図 1 に示す. 左上はルービック・ハイパーキューブを中心投影で表示している. 内部が見えないと動作がわからないために不透明度を導入している. 右上は表面にある 8 つの胞を表示している. 初期的には同一色であるが, 回転操作で色が入れ替わる. 得られた CG はマウスを用いて回転させることができるので, 任意の方向から観察することができる. 下には 108 個のボタンがあり, すべての回転操作を行うことができる. 左下には, 判定ボタン, リセットボタン, およびランダム操作ボタンを配置している.

実装には 216 個の副立方体情報（頂点, 中心, 色）を用いている. ボタンのクリックによって回転操作が与えられると, そのブロックに属している副立方体が抽出され, 頂点座標と中心座標に対して回転行列を適用して新しい位置を求める. この新しい位置をもとにして, 216 個の副立方体をその都度描く. 今回は実装のしやすさに重きにおいたため, プログラムには冗長な部分が残っている. 高速化は今後の課題である. また, プレーヤーに親しんでもらうためには, 直感的なインターフェースが必要であると考えられる.

参考文献

[1] 宮崎興二, 石井源久, 山口哲, 高次元図形サイエンス, 京都大学学術出版会, 2005
[2] H.S.M. コクセター, 幾何学入門, ちくま学芸文庫, 2009

楽曲の瞬間周波数変動における f 分の１スペクトルの原因

三谷尚，平原誠、豊田光、荒木裕大
福岡教育大学 物理教室　　福岡県宗像市赤間文京町１

Reason for 1/f Spectrum of Instantaneous Frequency of Music Tune

Department of Physics,　Fukuoka University of Education,　Munakata, Fukuoka, 811-4192, Japan
Hisashi Mitani, Makoto Hirahara, Hikaru Toyota　and Yuta Araki

Abstract: We propose a reason for 1/f type spectrum of instantaneous frequency (in other word, Zero level cross density (ZCD) of sound pressure function, by exact definition,) of several music tunes. We understand it by two steps: (i) Obtaining Fourier spectra of successive tenuto tones which is faithful to music score of mono tones (melody only), most of tunes show 1/f type spectrum.　(ii) As long as instruments which make almost pure tone, sounds by same tunes (of (i)) show 1/f spectra.　Unison by two or three same instruments, and a melody with accompaniment, also show 1/f spectrum. In addition, a reason of 1/f spectrum of music, faithful to musical score (shown in (i)), originates from a feature of sequence of music notes with same height.

Keywords: 1/f spectrum, music score, zero level cross density, instantaneous frequency

１．序論

我々は、楽曲における楽音の音符列の信号要素が 1/ f 型スペクトル（$A(f) \propto f^{-\gamma}$）をもたらす可能性を追求してきた。信号要素としては、(ｉ)音圧関数、(ｉｉ)音圧関数の２乗、(ｉｉｉ) zero level cross density (ZCD)、音圧関数のグラフが０レベルを横切る点の濃度、50m sec あたりの点数で評価。(表題で用いた様に**瞬間周波数**とも定義でき、単純な楽曲では「**音高関数**」に等しい)。この中で本発表では(ｉｉｉ)のみ注目する。

ここで、２つの対照的な素材に基づく 1/f 型スペクトルとして次が存在する。**A.**楽譜に忠実で、機械的な演奏（「楽譜音楽」と呼ぶ、但し単旋律に限る)。**B.** 実際の演奏（ソロのみならず重奏、和音、合奏、残響の可能性あり）の ZCD。両者のスペクトルを図 1(a) 、図 1(b)に示す。

本研究で我々は、「楽譜音楽」が 1/f 型スペクトルを持つ理由、および楽譜音楽の 1/f 型スペクトルが、実際の演奏でも保たれることを示す。

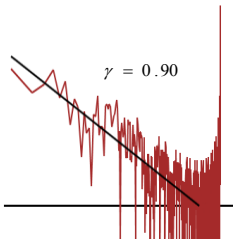
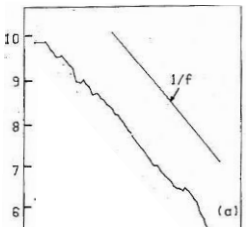


図 1(a)楽譜音楽の ZCD(瞬間周波数)の Spectrum. (本文 2 節参照)



(b)実演奏の ZCD(瞬間周波数)の Spectrum. Classic とのみ記載 [1]

２．「楽譜音楽」の音高関数のスペクトル、および、その同一音高の音符列による構造因子

ここでは、楽譜がテヌート奏法で忠実に再現された場合（「楽譜音楽」）の音高関数のスペクトルを求める。

$$F(\omega) = \int_0^{\infty} \sum_{n=1}^{N} X(t - t_n, m(n))\, e^{-i\omega t} dt$$

ピアノ小品である Bach 作曲の”Menuett”, ”Marsch”, Tschaikowsky 作曲の”Mama”の旋律の「音高関数」のスペクトルは、すべて 1/f 型スペクトルになっている。”Menuett”は既に図１(a)にて示した。この縦軸は楽譜音高のスペクトル(内容は次式参照)のノルムの２乗、(横軸は周波数で、縦横軸ともに両対数が取られている)。 γ 値は複素 F.T.の絶対値の逆べき数。

さらに、このスペクトルは、フーリエ変換の線形性から、「同一音高 (m) の音符列グループごとの「構造因子 $s(\omega, m)$」に分解できる。

$$F(\omega) = \sum_{n=1}^{N} e^{-i\omega t_n} \int_0^{a} X(\tilde{t}, m(n))\, e^{-i\omega \tilde{t}}\, d\tilde{t}$$

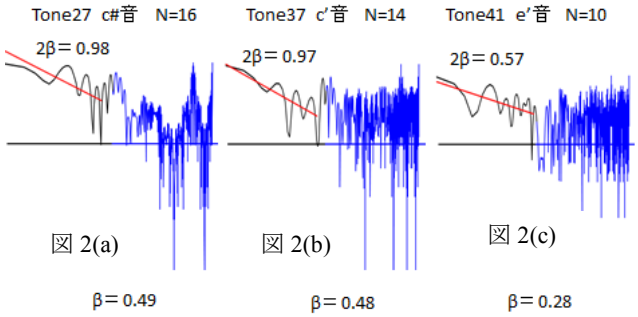
$$= \sum_{n=1}^{N} e^{-i\omega t_n}\, \eta(\omega, m(n)) \quad = \sum_{m} \sum_{n}^{(m)} e^{-i\omega t_n}\, \eta(\omega, m)$$

$$= \sum_m S(\omega, m)\,\eta(\omega, m)$$

$$S(\omega, m) \equiv \sum_n^{(m)} e^{-i\omega t_n}$$

$$= \sum_m H(m)\, S_0(\omega, m)\; m\; \eta_0(\omega, m)$$

($S_0(\omega, m)$ は、ノルムを揃えた構造因子の標準的なものであり、次式の形が期待される: $S_0(\omega, m) \propto \omega^{-\beta}$.)
実際の同一音高のスペクトル $S(\omega, m)$ をすべての音高について調べた。Bach の “Marsch” に対する測定において、図 2 では、$S(\omega, m)$ の例を示す。なお、同一音高でも音符数が少ないものでは、ほぼ傾きが 0 になる。総じて、同一音高の音符数の多〜少を含む全てのデータから相関関数のべき数を求めた。



同一音高に音符数が非常に少ないものを除けば、これらのグラフは 1/ f 型グラフとなり、ほぼあるべき数（β 値；β〜1 程度）を取っている。その理由は、同一音高の音符の時間列のフラクタル性にあると考えられる。

3． 実演奏の ZCD とスペクトル

前述のとおり、楽譜音楽で 1/ f 型スペクトルが得られているのみならず、実際の複雑な楽曲にも、同スペクトル傾向が得られている可能性がある。これから、実演奏の音における諸形態の ZCD が、「楽譜音楽」の ZCD からほど遠くない様相を示し、スペクトルも 1/ f 型と予想される。このパーツ等の ZCD への寄与を調べる。

(1) 音階（単一楽器、或いは２重奏、３重奏）

電子 organ の Flute 音において、ZCD では f#’音以上では事実上純音、f’ 音以下では２倍音が支配している。（本発表では音名は英国型表記とする。）実際の Flute solo の ZCD は図４に示す。d’ 以上が事実上純音、c’ 以下は２倍音である。

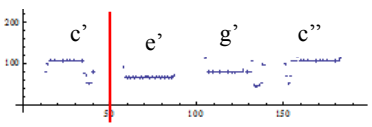


図 3

Flute の２重奏でも、同様な ZCD の図を得て、ZCD の点で、ほぼ独奏と変わらない状況が見出された。Flute の３重奏でも同様であった。以降では、純音となる高音域を基本的に用いる。

(2) 簡単な単旋律の演奏（曲は前掲 Tschaikowsky “Mama”; 電子オルガンの Flute 音; 1 オクターブ上げる。）

この ZCD を図 4(a)（横軸時間）に示す。音階のほとんどが ZCD の階段に対応する。このフーリエ・スペクトルを図 4(b) に示す。楽曲の拍数で３拍程度未満の短周期の相関の限り、1/ f 型となっている。

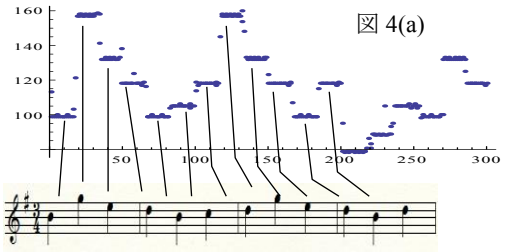


図 4(a)

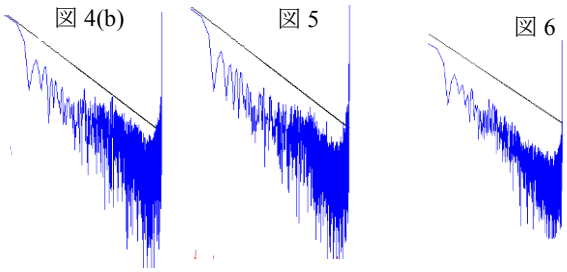


図 4(b)　図 5　図 6

同曲の実際のフルートソロの演奏で 1/ f 型スペクトルを得た。（べき数は概算で $\gamma = 0.87$ ）フルートの２重奏でも、同様な図 4(a) と同様な ZCD を得て、1/ f 型スペクトルを得た（図 5）。

(3) ソロ ＋（弱い音での）伴奏：このスペクトルでも 1/ f 型を得た（図 6）。その原因として、伴奏の音符が変化していても ZCD は主旋律のみで決定されることにある。（図 7(a),(b)）

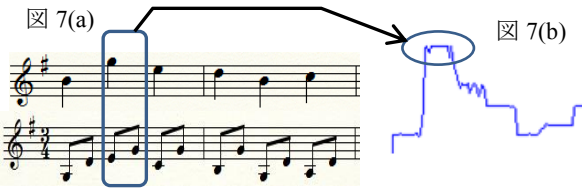


図 7(a)　図 7(b)

4． まとめ

簡単な楽曲の限り、その瞬間周波数のスペクトルが 1/f 型である理由を明らかにした。まず、「楽譜音楽」が 1/f 型であり、その理由は、同一音高の音符の出現時刻に起因する事を述べた。ついで、実際の瞬間周波数が、ユニゾンになっても、伴奏が付いても、瞬間周波数は「楽譜音楽」から変わらず、スペクトルも 1/f 型であることが理解できた。

5． 参考文献

[1] R.F.Voss and J.Clarke, J.Accoust.Soc. Am., Vol.63, No.1, 1978, 258

陰影のあるテクスチャ画像の音韻による表現と感性評価

佐々木康成[†]・坂東敏博[‡]
[†]金沢星稜大学，金沢市御所町丑 10-1
[‡]同志社大学，京田辺市多々羅都谷 1-3
[†]ysasaki@seiryo-u.ac.jp
[‡]tbando@mail.doshisha.ac.jp

Qualitative Evaluation and Phonological Expression of Shaded Texture Images

Yasunari SASAKI[†], Toshihiro BANDO[‡]
[†]Kanazawa Seiryo University, 10-1 Ushi, Gosho-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa Prefecture
[‡]Doshisha University, 1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe-shi, Kyoto-fu

Abstract: We investigated how we perceive tactile texture image with shades through the visual modality. The shaded texture images were made from fine 3D texture model by computer graphics technique based on asperity information and lighting condition. In the experiments, we asked participants to freely express the impression of the texture by means of onomatopoeia. We described the statistical distribution of the consonants of onomatopoeia represented the tactile information of the surface.

Keywords: tactile texture, sound symbolism, onomatopoeia, shading direction, visual acuity

1. はじめに

我々人間は物体の表面に様々な質感を見いだせる．これは，その表面にある多様な凹凸と照明の当たり方との関係に依るところが大きい．多くの場合，その質感は，物体表面の凹凸に当たる照明によって形作られる陰影パタンをどのように知覚するかに依存する[1]．ふつう，手触りや感触など触に関連する感覚の質感は，身体を使って直接触れることによって得られる．しかし，体性感覚だけからというわけでなく，視覚を介することによっても得られるという点で，対象物表面の陰影パタンによるテクスチャは大きな意味を持つと考えられる．本発表では，これまで我々が行ってきたテクスチャ画像の陰影パタンとその感性評価についての一連の研究の一部をいくつかまとめて報告する．

2. 陰影テクスチャ

本稿では，図１に示したような陰影のある三次元テクスチャを陰影テクスチャと呼ぶ.この陰影テクスチャは，コンピュータグラフィクスを用いて作られており，物体表面の凹凸と照明によって形作られた陰影のあるテクスチャである．二次元画像でありながら，三次元的なテクスチャとして知覚できることから，視覚を介して触覚的な質感が感じられる刺激であると言える．

3. 陰影テクスチャの作成

感性評価用の刺激として用いる陰影テクスチャ画像は，

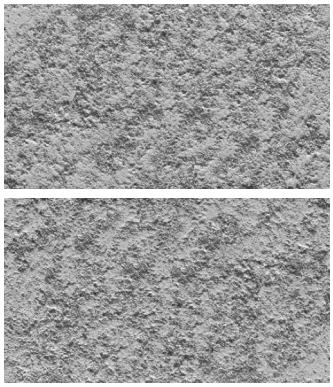


図１　実験で用いた陰影テクスチャの画像刺激の一例.

凹凸の三次元形状と照明とによる陰影パタンとして，三次元コンピュータグラフィックスソフトである POV-Ray[2]を用いて作成した．そのもとになる三次元テクスチャモデルは，原画像に対して height_field プリミティブを用いて凹凸のある面で表現した．すべての三次元画像は正射影法で可視化し，また，height_field プリミティブによるテクスチャモデルの高さ（厚み）は作成画像の長辺の 2%相当とした．

4. 陰影テクスチャの感性評価

4.1. 実験 1

陰影テクスチャの質感について参加者の自由記述によるオノマトペの子音の分布を調べ，触質感を音象徴という観点から議論する[3]．陰影テクスチャの評価は実験参加者にオノマトペでその質感印象を表現してもらった．分析では，表現されたオノマトペで用いられる音としての子音の分布がどのような特徴をもつのかについて調べた．刺激として用いた陰影テクスチャに対して表現されたオノマトペの子音の分布について主成分分析を行うと，摩擦感や均質感といった質感が主な主成分として抽出できた．

4.2. 実験 2

同じ陰影テクスチャであっても，陰影の形状，方向，パタンなどは，照明光源の種類，位置や角度，光量などによって様々に変化する．そこで，陰影テクスチャの陰影の付き方，つまり陰影の方向が触質感に与える影響について調べ，実験 1 と同様に，音韻分布による感性評価の違いを検討する[4,5]．実験では，陰影の形状やパタンは変えずに同じ陰影テクスチャの上下の方向だけを変化させると，質感が大きく変化する陰影テクスチャが見つかった．人間は多くの場合，陰影を形作る照明の光源の位置が上下に変化しても，上から照明があると無意識に仮定する[1]．したがって，下からの照明による細かなテクスチャの陰影を認識するとき，凹凸の反転を知覚してしまい，もとの質感とは異なった感性情報を受けとることによるものと考えられた．

4.3. 実験 3

実験 2 では，参加者間で凹凸の見え方が異なる傾向の強い陰影テクスチャがあったり，子音の音韻分布にかなりのばらつきがあったりした．そこで，陰影テクスチャの陰影の方向の知覚には人によって異なる可能性があることから，ここでは網膜上の解像度の影響について検討する[4,5]．画像刺激と実験参加者間の距離が異なった状態で，180 度回転移動させた同じ陰影テクスチャの見え方がどのように異なるのかについて調べた．結果として，陰影テクスチャを見る位置に主に影響されて変わる網膜上の解像度によって，テクスチャのパタンや細部の凹凸の知覚は変容する可能性が考えられた．つまり，上下方向の照明の違いによって質感が変化するかどうかの傾向は，参加者間または参加者内でも常に一貫するというものではなく，画像の細密度や解像度，あるいは見る人との遠近距離によって多様に変化する可能性が示された．

本研究の一部は，JSPS 科研費 25350032 および同志社大学理工学研究所研究助成金の助成も受けた．ここに記して謝意を表する．

引用文献

[1] Ramachandran, V. S. (1988). Perception of shape from shading. *Nature*, **331,** 163–166.
[2] http://www.povray.org/
[3] 佐々木康成・鈴木孝典・坂東敏博 (2011). 陰影のあるテクスチャ画像のオノマトペを用いた質感評価─音韻と画像特徴の関係の統計的分析─. 認知科学, **18**, 477-490.
[4] 佐々木康成・坂東敏博 (2012). 凹凸形状と照明方向で変化する陰影のあるテクスチャ画像の質感評価. 日本認知科学会第 29 回大会発表論文集, 693-698.
[5] 佐々木康成・坂東敏博 (2014). 表面の凹凸形状と照明の方向による陰影のあるテクスチャの質感変化. 同志社大学理工学研究報告, **55**, 79-84.

自由学園工芸研究所「プラネテ」デザインと音楽のジップ則を利用した融合

高橋 由佳 [1], 河原 弘太郎，遠藤 敏喜 [2]
自由学園最高学部　〒 203-8521 東京都東久留米市学園町 1-8-15
E-mail: [1]s06026@jiyu.ac.jp, [2]end@jiyu.ac.jp

Converting music into the “plein été” design of the Jiyu Gakuen Institute for Art and Craft Studies using Zipf’s Law

Yuka TAKAHASHI, Kotaro KAWAHARA, and Toshiki ENDO
Jiyu Gakuen College, Gakuen-cho 1-8-15, Higashikurume-shi, Tokyo 203-8521, Japan

Abstract

The “plein été”, a design based on Johannes Itten’s work on color theory, is a representative work of the Jiyu Gakuen Institute for Art and Craft Studies. We attempt to convert music into the “plein été” using Zipf’s Law, an empirical law in statistics and bibliometrics.

Keywords　Jiyu Gakuen Institute for Art and Craft Studies, music, color, design, Zipf’s law

1　はじめに

近年の音楽機器の普及により，人々はいつでもどこでも気軽に音楽を聞くことができるようになった．また，テレビ番組や宣伝をはじめ街中のいたるところで音楽が流れるようになっている．音楽の役割が多様化する一方で，演奏する際に不可欠な楽譜（五線譜）は，音楽愛好家であっても触れる機会は少ない．本研究では，音楽愛好家が楽譜に興味を持つことができるような橋渡しとなる視覚表現を探求することを大目標とする．

2　音楽と形・色

そもそも五線譜は，音楽を語る伝統的かつ究極の視覚的表現と言える．音楽を五線譜以外のかたちに “翻訳” しようという試みは古来から存在する．例えば，多くの作曲家やアーティストが，音楽を図形により記譜する “図形楽譜” を考案している．ここでは，伝統的な楽譜が作品の音響としての全体の形に概観を与えるものではなく，音楽的想念を細部にわたる確定像とするものであるという批判のもと，記譜が確定する部分に関しては解釈の任意性を与え，その多義性において多様な演奏形態の実現を目的としている [1].

音楽を色彩で表現する研究も多く存在する．古代ギリシァの時代においても哲学者アリストテレスが，色と音の調和には通じるものがあるとして，音楽と美学について論じている [3]．近年では，認知科学や脳科学の分野において，ある音を聞くと特定の色が見えるという，“共感覚” 現象が報告されている [5].

今回の研究では，統計学・計量情報学などでよく知られている経験則であるジップの法則を用いて，五線譜を視覚的に表現した．基本的な手法は [2] に倣い，視覚表現としては自由学園工芸研究所の「プラネテ」を採用した．ここで，ジップの法則とは，文章や音楽や絵画などの特徴量の統計データにおいて，出現頻度と出現順位がべき乗則にしたがうというもので，数学的に一般化すると，y を出現頻度，x を出現頻度の順位，N を順位の総数，s をパラメータとして，$y = \left(\frac{1}{x^s}\right) / \left(\frac{1}{1^s} + \frac{1}{2^s} + \cdots + \frac{1}{N^s}\right)$ で表される．

3　自由学園工芸研究所とプラネテ

自由学園工芸研究所（現在の名称は自由学園生活工芸研究所）は，建築家フランク・ロイド・ライトの設計による校舎（現在は重要文化財）での学校生活を土壌に，洋画家・美術教育家山本鼎による美術工芸教育の延長として，1932 年 11 月に設立された [4].

プラネテは，フランス語で Toile de plein été（真夏の布）という意味を持つ，自由学園工芸研究所の代表作である．カラフルな縞模様のデザインが特徴的で（図 1），配色や分量は芸術教育家ヨハネス・イッテンの色彩論に影響を受けて作られており，実際，創設メンバーはイッテン・シューレで学んでいる．近年の研究員は，花や木々などの自然を反映させて，デザインを考案することもある（図 2）.

図 1: プラネテ製品 出展:自由学園生活工芸研究所公式 website

図 2: デザイン草案 提供：神谷珠子氏

4　融合結果

楽譜の持つ主な音の要素高低・長短・強弱のうち，今回は高低と長短に着目し，内在するジップ則に着目して，プラネテの持つ色と縞の幅に対応をつけた．音楽は自由学園の校歌 3 曲を採用した．パラメータの推定には，統計解析ソフト R を用いた．もっともよく融合した組み合わせは，自由学園の校歌「自由をめざして」と，元気が出るプラネテ「2013 Spring カーディナル」であった（図 3）．縞模様が音の長短をほどよく連想させると想定したが，得られた表現が五線譜への橋渡しとなるか否かについては，本学の学生間でも，意見が分かれた.

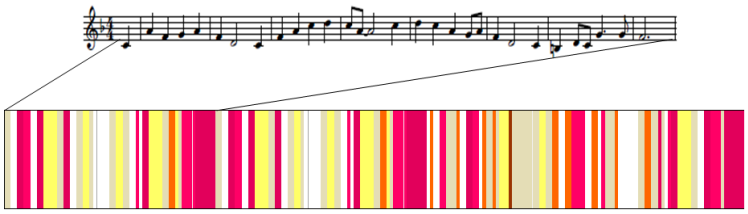


図 3: 校歌「自由をめざして」のプラネテ

参考文献

[1] エルハルト・カルコシュカ著, 入野義朗訳, 『現代音楽の記譜』, 全音楽譜出版社, 1998.

[2] 福本麻子・塚田浩二・蔡東生・安村通晃, Ziplayer：絵画, 文章, 音楽を組み合わせたメディアプレイヤーの提案, 情報処理学会シンポジウム論文集 4, 79–80，2006.

[3] John Gage, Colour and Culture: Practice and Meaning from Antiquity to Abstraction, University of California Press, 1999.

[4] 自由学園工芸研究所,『真実と美を生活に–自由学園工芸研究所 歩みと創作のこころ』，婦人之友社，2000.

[5] Vilayanur S. Ramachandran and Edward M. HubbardHearing, Hearing Colors, Tasting Shapes, Scientific American 16, 76–83, 2006.

空間と形

岩城和哉

東京電機大学理工学部 建築・都市環境学系　埼玉県比企郡鳩山町石坂
iwaki@g.dendai.ac.jp

Space and Form

Kazuya IWAKI
Department of Architectural, Civil and Environmental Engineering
School of Science and Engineering, Tokyo Denki University
Ishizaka, Hatoyama-cho, Hiki-gun, Saitama, Japan

Abstract : The architectural design laboratory (Iwaki Laboratory) of Tokyo Denki University has been taking part in several open-air art exhibitions since 2005 to design and construct spatial works as experimental attempts to study relations between space and form. In this lecture, concepts, design processes and details of those spatial works are introduced.

Keywords : space, form, architectural design, spatial work

１．空間作品

東京電機大学理工学部建築意匠研究室（岩城研究室）では、研究活動と並行して 2005 年より屋外アートイベントにおける空間作品の制作に取り組んでいる。空間作品とは人が中に入ることのできる空間を備えたアート作品であり、インスタレーションとも呼ばれる。これらの空間作品は建築にまつわる多種多様な制約条件を留保し、建築の本質である囲うことと支えることに特化した実験的な作品であり、空間の新たな存在様態の探求をその主題としている。

２．建築意匠学

建築意匠研究の特徴は、実際の創作行為を通して得られた知見を感性もしくは経験のレベルにとどめておくのではなく、知性のレベルにおいて論理的に分析、考察、再構成する点にある。そして、建築意匠研究は究極的には創作のための造形理論の構築をその目的とする。ゆえに、建築意匠研究においては創作活動と研究活動は不可分な関係を持っていると言っても過言ではない。

３．空間

建築という言葉はドイツ語の baukunst に相当する。これは bau（建物）と kunst（芸術）というふたつの言葉の複合語であり、前者は建築の工学的側面、後者はその芸術的側面を表している。他の工学分野と比較すると、建築は空間をつくる技術に関する学問であり、他の芸術分野と比較すると、建築は空間によって人に感動を与える芸術であると言える。このように建築の特徴は工学、芸術いずれの分野においても空間という言葉によって説明可能であり、それゆえ、建築の本質は空間にあると考えることができる。

４．意匠

意匠という言葉は英語の design に相当するが、漢字表記そのものがその本質をよく表している。すなわち、意は頭の中でイメージすること、一方、匠は手を使ってものをかたちづくることを意味する。それゆえ、意匠＝デザインとはイメージをかたちにすることであり、建築意匠とは空間をイメージし、空間にかたちを与えることであると言える。

５．囲うことと支えること

建築家・香山壽夫は「・・「囲うこと」と「支えること」という二つの条件が・・・建築について考える時の根本であり、常にそこに立ちもどるべき基本だと私は考えます」と述べている。この言葉は建築の本質である空間の成立には、囲うこと（囲覆性）と支えること（構築性）が必要不可欠であり、それらは建築の存立基盤であることを意味している。建築意匠とは空間をイメージし、空間にかたちを与えることであると述べたが、かたちを与えるという行為には常に「囲う」かたちと「支える」かたちが含まれる。

６．LACHIKU

これまで私たちが制作してきた空間作品の中に「LACHIKU（らちく）」と名付けられた一連の作品がある。名称は螺旋と竹を組み合わせた造語であり、その名の通り、竹を螺旋状に回転させながら連結し、空間を形成する。直線的な竹を用いながら視覚的には三次元曲面の空間として知覚される、いわゆる線織面の原理を応用した作品である。竹の接合には鋼製ボルトを用い、作品ごとに三角から六角形に設定された断面ユニットはステンレスワイヤーを併用することで構造的に安定した状態となっている。竹の回転軸に設置したボルトと高ナットを用いてユニットを奥行方向に連結し、連結数の増加に伴って作品全体が構造的に安定した状態になる。

７．単純な原理と多様な体験

LACHIKU では空間を囲う要素と支える要素を一致させつつ線織面の原理を用いることで、単純な要素と構成にもかかわらず複雑な様相を備えた空間が生み出されている。さらに、太陽の動きに伴う光と影の変化、人の動きに伴う視点の変化、竹の隙間から垣間見える周囲の風景、１本ずつ異なる竹の表情とその時間変化、といった外的な要素が加わることによって、訪れた鑑賞者に豊かな空間体験の機会を提供することが意図されている。

８．創作と研究

創作活動を通じて得られた「単純な原理と多様な体験」という概念、造形手法、空間知覚等について、今後、研究のフィールドでその成立条件とメカニズムについて分析と考察を加える予定である。また、その成果を創作活動にフィードバックすることで、より質の高い空間作品の制作に取り組み、空間の新たな存在様態の探求を続けてゆきたいと考えている。

参考文献

ブルーノ・ゼーヴィ、『空間としての建築』、鹿島出版会、1977 年（原著 1948 年）

香山壽夫、『建築意匠講義』、東京大学出版会、1996 年

岩城和哉＋東京電機大学岩城研究室編、『LACHIKU　東京電機大学岩城研究室と新町新田集落による作品制作の記録』、2013 年

格差社会の自己組織化

小田垣　孝
東京電機大学、埼玉県比企郡鳩山町
odagaki@mail.dendai.ac.jp

Self-organization of hierachy

Takashi Odagaki
Tokyo Denki University, Hatoyamacho, Saitama

Abstract: I first investigate conditions for emergence of plutonomy in a model society where individuals participate in a competition with equal right and the winner deprives wealth from the loser. I show that the plutonomy can be self-organized in a fair society. I also discuss the self-organization of gap-hierarchy in a model society which consists of the bellicose individuals and pacific individuals.

Keywords: Hierarchy, Self-organization, Plutonomy, Gap society

1. はじめに

社会には様々な構造が存在する。典型的な例は、人種毎の居住区域の住み分けの出現である。 2005 年にノーベル経済学賞を受賞したトーマス・シェリングは、「周囲に異人種が増え過ぎると引っ越しをする」という個々人の単純な行動によって、人種毎の居住地域の住み分けが自己組織化することを示した。[1] また、第 59 回形の科学シンポジウムで話したように、我々は各個人が好戦的行動をとるという特徴をもつ社会では、村が形成されることを示した。[2, 3]

社会の構造には、住み分けや村の形成のように空間的な不均一性の出現だけでなく、各個人がもつ内部状態の不均一性の出現も考えることができる。内部状態の不均一性のもっとも身近な例は、個々人が話し、理解する言語（世界中にはおよそ 6900 あると言われている）である。

本講演では、個々人のもつ富を内部状態とし、その内部状態に生ずる構造（格差）の自己組織化をとりあげる。特に、ごく少数の勝ち組と多くの中間層が存在するプルトノミーや勝ち組と負け組の間にギャップが生じるギャップ型格差社会の自己組織化について、最近の研究成果を説明する。

2. 格差社会の様々な形

Bonabeau らが示したところによると，競争社会において，戦いの頻度が増えて，戦いによる敗者から勝者への富の移動率が，富(または負債)の自然な減少率を越えると，階級社会が自己組織化される。[4]　格差の形成は、各個体の戦いにおける勝率の揺らぎ、あるいは富の分布によって特徴付けることができる。平等社会では、全ての人が勝ったり負けたりするので、勝率は５０％となり、勝率の分布の揺らぎは存在しないが、格差が生じて常に勝つ人と常に負ける人ができると勝率の揺らぎが大きくなる。また、

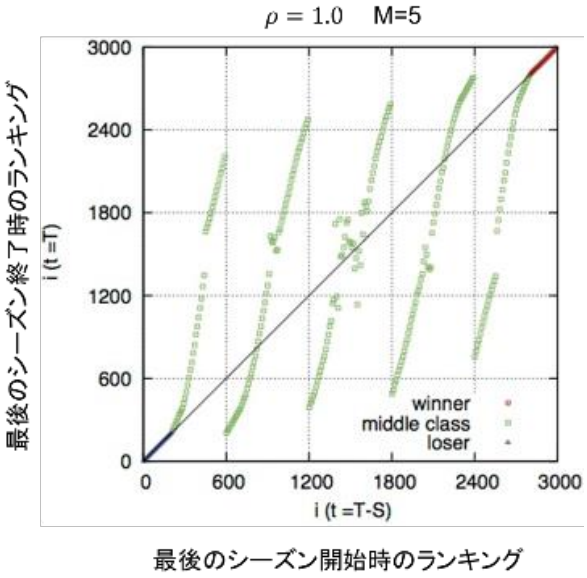
平等社会では富は全ての人について一定であるが、格差社会では最も下位層の人から最上位層の人までほぼ一定の割合で増加する。

一方、２０１１年９月ニューヨークで「Occupy Wall Street」というアメリカ経済界、政界に対する抗議運動が勃発した。この抗議行動のスローガン「We are the 99%」が示すように、アメリカ合衆国において上位 1 パーセントの富裕層の資産は増加し続けているが、それ以外の中間層、下位層の人の収入は増えず、富の極端な偏りが生じている。「プルトノミー」と呼ばれるこのような極端な格差社会が、なぜ平等を旨とするアメリカ合衆国で生じているのかは未だ明らかにされていない。

日本においては、多くの人が２０００年代の小泉改革により格差が拡大したと感じている。正規労働者と非正規労働者の年間収入に大きな差があり、日本における格差社会は勝ち組層と負け組層に二分化しているようにみえる。

3. フェアーな競争社会におけるプルトノミー

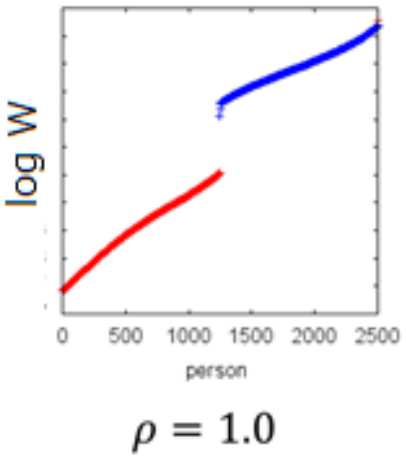
社会を構成する個人は、毎時刻行われる戦いにある頻度で参加するものとする。各戦いにおいて、ランダムに選んだ相手と戦い、勝者は敗者の富を１単位奪い取る。この戦いの勝率は、それぞれの持つ富の差で決まり、富の大きい固体の勝率は 1/2 より大きくなる。各個人の持つ富が時間的に減少するものとすると、戦いの頻度がある閾値を超えると格差社会が形成される。[5] この競争社会をよりフェアーな社会とするために、全ての人をその富によってクラス分けし、戦いは同じクラス内の人との間で行わせることにする。さらに、シーズン制をとり、シーズン毎にクラス分けをやり直すことにすると、戦いの頻度が高いときに生じる格差社会では、プルトノミーとなることが示される。右図は、一つのシーズンの始まりにおける富によるランキングを横軸に取り、そのシーズンの終了時点におけるランキングを縦軸として、各個人の状況を示したものである。多くの人は入れ替わり中間層となるが、少数の勝ち組と負け組の人は常に同じランクに留まり、プルトノミーが形成されることを示している。[6]



4. ギャップ型格差社会の自己組織化

好戦的個人と平和的個人が共存する社会を考える。Bonabeau モデル[4]を援用し、正方格子上をランダムウォークする個体が出会ったときに戦い、勝者は相手から１単位の富を奪う。人口密度及び好戦的個人と平和的個人の割合をパラメーターとすると、自己組織化される社会構造は極めて複雑なものとなる。右図は、好戦的個人と平和的個人の割合が５０％：５０％の時に、各個体の富をランクの順に示したものである。勝ち組と負け組の間に明確なギャップが生じており、ギャップ型格差社会が形成されることを示している。[7]

まとめ



社会を構成する個体を“Social Atoms” と考え，個体の行動や性質から社会全体の特徴を明らかにしようという学問領域は社会物理学と呼ばれている。その黎明期は 19 世紀初頭であり，[8.9] 天体の運動が完全に理解できたことを受けて，同様の手法により 17,18 世紀に起こった革命のメカニズムを理解し，社会を改革する方法を探る研究が行われた。150 年以上経った，1980 年頃から新しい展開が起こった。[10,11,12] 現在の社会物理学の目標は，社会を個体の集団と見て，個体のダイナミックスから社会現象を説明する普遍法則を確立することである。その研究対象は，集団の中の意見の集約，文化の発展，言語の形成，人間関係などのダイナミックス，集団の行動，格差の形成，伝染病の伝搬など多岐にわたっており，政策提言を視野に入れた研究も行われている。

文　献

[1] T. C. Schelling, “Dynamic Models of Segregation”, J. of Math. Soc. 1, 143-186 (1971).

[2] 小田垣孝、辻口雅, ”好戦的社会における階級と村の形成”, (第 59 回形の科学シンポジウム, 2005); 小田垣 孝, 辻口雅, “階級社会の発生を物理学で捉える”, 科学（岩波書店）75, 1028-1032 (2005).

[3] M. Tsujiguchi and T. Odagaki, “Self-organizing social hierarchy and villages in a challenging society”, Physica A 375, 317-322 (2007).

[4] E. Bonabeau, G. Theraulaz and J. L. Deneubourg, ”Phase diagram of a model of self-organizing hierarchies”, Physica A 217, 373-392 (1995).

[5] R. Fujie and T. Odagaki, “Self-organization of social hierarchy in competitive society”, J. Phys. Soc. Jpn. 80, 124802 (2011).

[6] Y. Todate, R. Fujie and T. Odagaki, ″Self-organization of plutonomy in a fair competitive society”, APS March Meeting (Baltimore, 2013).

[7] T. Odagaki, K. Kitada, K. Omizo and R. Fujie, “Self-organization of divided hierarchy”, APS March Meeting (San Antonio, 2015).

[8] A. Comte, “Plan des travaux scientifiques nécessaires pour réorganiser la société” (1822).

[9] L. A. J. Quetlet, “Sur l ‘homme et le développement de se facultés, ou Essai de physique sociale”(1835) ; ”La physique sociale” (1869).

[10] S. Galam, Y. Gefen and Y. Shapir, “Sociophysics”, Math. J. of Sociology, 9, 1-13 (1982).

[11] C. Castellano, S. Fortunato, and V. Loreto, “Statistical physics of social dynamics”, Rev. Mod. Phys. 81, 591-646 (2009).

[12] 小田垣　孝,”99% の悲劇－プルトノミー社会は何故生まれるのか－”, パリティー 27 No.06, 27-30 (2012).

シアターゲームに現れる形

安藤敏彦
仙台高等専門学校，〒989-3128　宮城県仙台市青葉区愛子中央 4-16-1
tando@sendai-nct.ac.jp

Form in Playing a Theater Game

Toshihiko ANDO
National Institute of Technology, Sendai College
4-16-1, Ayashi-Chuo, Aoba-ku, Sendai 989-3128, JAPAN

Abstract: A theater game is one of exercises for actors, in which actors develop the ability to concentrate, cooperation among them, improvisation and creativity by management both incompatible tasks each other. Relation between the form appeared in playing a theater game and an actor's body image is discussed in this paper.
Keywords: theater game, pantomime, body image

1. はじめに

シアターゲームは俳優の練習法の一つで，両立しがたい複数のタスクを同時にこなすことで，集中力，協調性，即興性，創造性を養うためのものである．本稿では，その中の棒つなぎゲームと２人パントマイムを取り上げ，非言語コミュニケーションを行う俳優の身体イメージと表現の関わりについて述べる．

2. シアターゲーム

本稿で取り上げる「棒つなぎゲーム」は，２人あるいは数人の演者で行い，１本の棒を２人の指先で支え合う（図１に示す）．この時，演者は(1)棒を落とさない，(2) 引くことはできるが押すことはできない，(3) 言葉や指差しによる指示は使わない，という３つの制約を守らなければならない．そのため，ゲームがうまく進む場合には，攻め手（引き役）と受け手（引かれ役）の役割分担が明確になる．そして，双方がイニシアティブを奪い合うように，それでいて滑らかさを失わないようにして，会話をするように役割交代が行われる．

図１　棒つなぎゲーム

ゲームの経験者は初心者と比べ，棒を落とすことが少なく，動きも滑らかである．両者の動きを言語モデルで比較すると，ある動きから別の動きに移る際の選択肢が経験者の方が初心者よりも少なく「無駄が少ない」 [1]．しかし，この差の要因は必ずしも馴れだけとは言えない．

3. パントマイム：無対象動作と実動作

パントマイムは物を使わず身体表現だけで行う無対象動作であるが，実際の物を使う実動作と根本的に違うのは，実動作が重心など物の物理的属性に制約されるのに対し，パ

ントマイムではその物が持つ機能が視覚的に表現されることである[2]．ここで紹介する２人でキャッチボールを行うパントマイムでも，視線に違いが表れている．ボールを使う実動作では双方がボールを実際に見るが（図 2(a)），パントマイムでは投げ手が見えないボールの軌跡を自分の視線で受け手に見せ，受け手は投げ手の視線を追いかけることで，見えないボールの軌跡を再構成する（図 2(b)）．また，ボールを繰り返し投げ合う内に，双方の連携性が高まっていた．

(a)実動作　　(b) ２人パントマイム

図２　実動作と２人パントマイムにおける視線の違い

4. シアターゲームで用いられる身体イメージ

棒つなぎゲームを行う２人の俳優の動きをモーションキャプチャで記録し，双方の関節間の相関をグラフィカルモデリングで分析した結果を図３に示す．ゲームの特性上,相手の棒を落とさないよう，相手の指先と自分の肩との相関が高い．

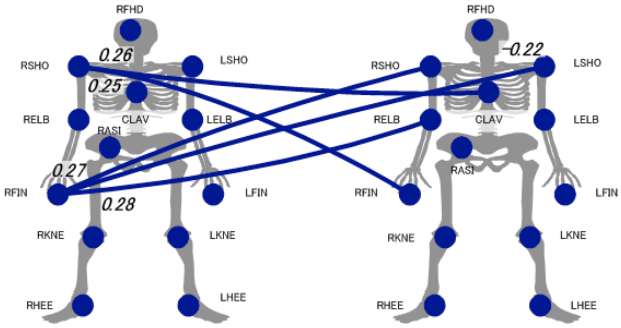


図３　棒つなぎゲームにおける関節間

興味深いのは，右側演者の胸骨と左側演者の右肩との間にも高い相関がある点である．試技後の俳優へのインタビューで,「自分と相手の間にカプセルがあり，それが動くと圧力を感じたり，引かれたりする感じを受ける.」との回答があった.この身体イメージは視界を広く保ち,姿勢や全身の連携,相手の動きへの反応を支えているようである．このイメージの有無が，経験者と初心者の表現の差に表れていると考えられる．同様に，キャッチボールの２人パントマイムにおいても，双方の間でボールの共有感が高まることで連携性が高まったと考えられる．

5. おわりに

本稿では，シアターゲームで非言語コミュニケーションを行う俳優の身体イメージが，表現へ与える影響を論じた．複数の演者の間で動きの連携を高めるため，相互に同じような身体イメージを利用していることが明らかになった．このイメージが言語コミュニケーションにも利用されていると推測される．

参考文献

[1] 安藤敏彦，鈴木渉，松元啓介，シアターゲームにおける非言語コミュニケーション，信学技報，HCS107(59)，pp.1-6，2007.

[2] 小早川睦貴，小田桐匡，大東祥孝，物品使用パントマイムと実使用における行為対象の視覚的分析 - 愛マークレコーダーを用いた比較-，高次脳機能研究，Vol. 27，pp. 290-297，2007.

最小限に捨象した動きに現れる形とその技術的背景

安本匡佑
神奈川工科大学、神奈川県厚木市下荻野 1030
yasumoto@ic.kanagawa-it.ac.jp

The shape of the movement abstracted in a minimum and the technical background

Masasuke Yasumoto
Kanagawa Institute of Technology、1030 Shimo Ogino Atsugi Kanagawa

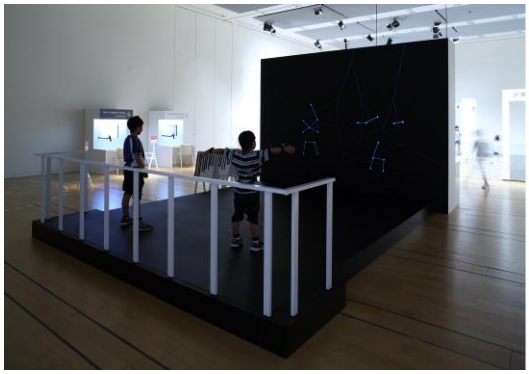
Abstract: The shape of the movement in the works and a technical background how those were achieved were explained.

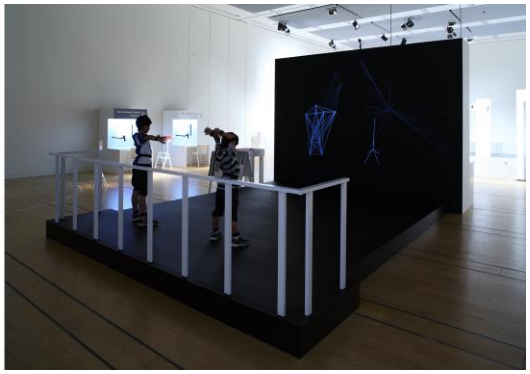
Keywords: rotoscope, minimalism, biological motion

1. 概要

本研究は最小限に捨象した人の動きに現れる形やアニメーションに関係し、それらを実現するための技術についてのものである。人の動きは複雑だが、それらを捨象し少ない点群の動きであっても、その動きが生物の動きを模している場合、それを生物の動きであると認識できる認知心理学におけるバイオロジカルモーションという現象がある。この表現を応用した作品において、いかにその情報を取得し表現にしたか技術的観点でまとめる。

2. 作品概要





2.1. 点にんげん、線にんげん

図 1.「点にんげん、線にんげん」の体験の様子

本作品は、2008 年に ICC における「君の身体を変換してみよ展」において展示した体験型作品である。体験者は簡易的なマーカーを装着し、舞台に上がると、黒いスクリーン上に自分を表象する 10 の白い点が表示される。これらの点群はプログラムに沿って、縮んだり、犬に変化したり、つぶされたりする。また点群を凸包、最近傍などのアルゴリズムで線分にすることでゴムのように伸び縮みする映像に変化する。これらの変化は実際に自分の身に降りかかるわけではないが、体験者はあたかもそのように感じて身体を動かした。

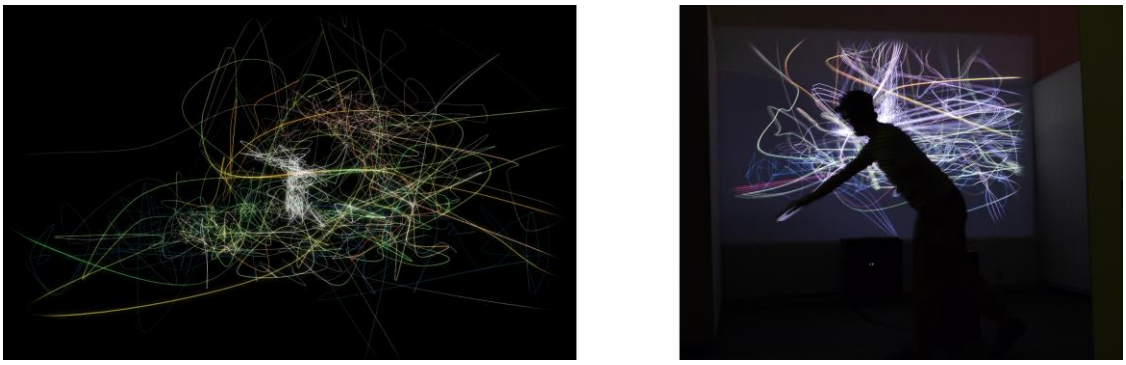
本作品ではモーションキャプチャシステムを利用し、舞台上部に赤外線カメラを一台設置し、映像を舞台内部の PC に送り処理している。それぞれの点が誰のどの部分に取り付けたマーカーであるかは識別せず、点群を線で結ぶときはそれに依存しないアルゴリズムを

使用した。しかしながらランダムに動く点に紛れていても人はそれを的確に認識していた。

2.2. ballet rotoscope

図 2.「ballet rotoscope」におけるバレエダンサーの動きの視覚化

「ballet rotoscope」はバレエダンサーの動きをロトスコープし、動きの軌跡を曲線や直線の動きに変える表現を行った映像作品である。本作品はカメラの動きを記録・再生できるモーションコントロールカメラを使用し、ダンサーが踊っている状態で撮影した後、誰もいない状態で撮影し、最後にマーカーを壁や天井に張った状態で撮影した。その映像からカメラの動きをマッチムーブにより 3D ソフトに取り込む。またどこが手なのか足なのかをマーカーレスで識別するため、手動で映像をロトスコープし、手足などの動きだけの映像を制作して、それをソフトウェアで解析を行った。これらの情報と、軌跡やドローネ三角形等のアルゴリズムを用いて 3D ソフト上でダンサーの動きの視覚化を行った。



2.3. world of superstring

図 3.「world of superstring」の映像と体験の様子

「world of superstring」では「ballet rotoscope」で手動や行っていた部分を自動化し、インタラクティブ作品として再構成した。人の動きは Kinect 情報を取得し、人が動くことによって周りに与える影響や、過去にどのように動いたかを情報として視覚化するために、すべてが一本に繋がった曲線として表現をしている。

3. 参考文献

[1]佐藤雅彦，桐山孝司，ユーフラテス，石川将也，齋藤達也，安本匡佑，井高久美子，勝目祐一郎．「君の身体を変換してみよ展」ICC 2008.<http://www.ntticc.or.jp/Archive/2008/Kidsprogram2008/index_j.html>(参照 2015-10-14)

[2]佐藤雅彦，山本晃士ロバート，石川将也，佐藤匡，安本匡佑．「ballet rotoscope」2011.<http://euphrates.jp/ballet-rotoscope> (参照 2015-10-14)

ボールルームダンスにおける身体運動

九矢　光章*、勝又　洋子**
*クヤ･ダンスカレッジ　〒101-0051 東京都千代田区神保町 3-10-10 大行ビル 3F
**東京電機大学　〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂
*kuya@tuba.ocn.ne.jp、**yoko-k@mail.dendai.ac.jp

Physical Motion In The Ballroom Dance

Teruaki Kuya*, Yoko Katsumata**
*Kuya Dance Collge, 3-10-10, Jinbocho, Chiyodaku, Tokyo, Japan.
**Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama, Hikigun, Saitama, Japan.

Abstract: This paper discusses a principle of the physical motion in the ballroom dance. Unlike ballet, the ballroom dance is performed by couple. It is necessary to perform in a pair for the ballroom dance, which the partners take relatively each other in physical motion of the partner. They make form while using the existence of the partner each. A couple should dance in line with a theory of the physical motion which we can recognize the ballroom dance as a performance,
Keywords: Ballroom dance, in a pair, physical motion.

1. 概要

ボールルームダンスは日本では一般に社交ダンスと呼ばれ、男女が組んで踊る。ボールルームダンスは、ステップさえ覚えれば、大人でも子どもでも、気軽に楽しめることから、殊にステップの研究が行われている[1]。しかしボールルームダンスをひとつのパフォーマンスとして捉えた場合、形の美しさを表現するためにも、身体に過重な負荷を掛けないためにも、運動理論に即した身体の動きが必要となる。ボールルームダンスは、バレエとは異なり、二人がそれぞれ相手の「力情報」[1]を利用しながら、形を作り、空間を移動して行く。それゆえ本論ではボールルームダンスにおける身体運動に関して、運動理論の観点から言及する。

2. バランスと繋がり

ボールルームダンスは 10 種目あり、二つのジャンルに大別される。その種目は、二人が常に両手を組んで踊るワルツやタンゴなどのスタンダード 5 種目､および二人が組んだり、離れたりしながら踊るルンバやチャチャチャなどのラテンアメリカン 5 種目である。ボールルームダンスは男女二人で踊り、空間を移動するため、組み方や回転やバランスの共有が重要である。ここではスタンダードとラテンアメリカンを事例として、組み方、バランスの共有、回転などの相違について取り上げる。

2.1.　スタンダード

スタンダードでは、男性と女性が向かい合い、互いの右腰で支え合うため、組み方が重要となる。原則的に自分自身で立つことが大前提であるが、腰で支え合うことにより、バランスを共有することができる。「このバランスが、ダンスの為に欠かすことのできない最も重要な法則である」と蝦は述べている[2]。これにより男性は女性にリードを伝えることができるだけでなく、一人では不可能な表現を可能にする。右側で相手と繋がりを持っているため、右回転と左回転の踊り方はまったく異なる。右回転を行う場合、体を捻る度合いに応じて、二人の形はきれいに表現される。逆に左回転を行う場合は、体を捻らず、脚部のみでステップを踊る。もし間違えて捻ってしまうと、二人で表現する形は崩壊する。

2.2. ラテンアメリカン

ラテンアメリカンは、スタンダードとは違い、常に両手を組むということはなく、相手に対し様々なポジションを取る。相手とコンタクトする場合は、コンタクトをしている箇所で支え合う、または引っ張り合う。コンタクトがない場合、相手との目線、体の向き、アーム、動きのタイミングなどで繋がりを表現する。ラテンアメリカンにおいては、原則的に女性は前進か後退を続け、男性のリードを受けて、初めて女性は左または右へ方向転換する。

3. ボールルームダンスにおける身体運動

本論ではボールルームダンスにおける身体運動を中心に述べた。既述したようにボールルームダンスは二人で踊り、二人で形を表現し、二人で空間を移動する。とりわけ空間を二人で移動するためには、空間を移動する際に、両者の身体の中での動きが重要となる。身体内部での運動は客観的に見えにくいが、運動理論に則して動くことにより、身体運動としても表現としても、美しい形を作り出す。さらには、ダンスは音楽に合わせて踊ることから、絶えず動き続けなければならない。見せ場となるピクチャーポーズにおいても、客観的に見れば、静止しているように見えるが、身体内部では次の行動に備えて、動き続けている。ピクチャーポーズにおいてはその場に留まり、二人で形を表現する。移動をしないので、より大胆な形を表現することができる。外見的に女性が後方へ大きく反り返っているように見えるが、実際には腰で支えあってバランスを共有しており、身体は前方および上方に動いている。

二人が形を保持して踊り、とりわけ二人で空間を移動するために、運動原則に適ったステップとバランスと繋がりは、ボールルームダンスにおける身体運動の根本に関わっている。

スタンダード：ワルツ
九矢・嘉門組

ラテンアメリカン：ルンバ

参考文献

1. 芦澤智春、田中泰史、衣川潤、小菅一弘：社交ダンスにおけるミメシス理論を用いたステップ遷移の推定手法. No.12-13, 1A1-F07(1)-(4), Proceeding of the 2012 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Hamamatsu, Japan,May27-29,2012, P.1.
2. 蝦隆一：ソシアルダンスの科学・身体運動から見た社交ダンス. 近代文芸社、1977 年、P.111.

空間を埋め尽くす立体形状の開発

宮川大毅、手嶋吉法
千葉工業大学　機械サイエンス学科
〒275-0016　千葉県習志野市津田沼 2-17-1

Development of new shape of space-filling

Daiki MIYAKAWA and Yoshinori TESHIMA*
Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino, Chiba 275-0016, Japan
*yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

Abstract: Touching and operating the symmetry elements of the proper polyhedron enables people to understand symmetry. In this study, authors developed new space-filling polyhedron. Our nontrivial polyhedron can fill three-dimensional space completely. The external shapes of the polyhedron were designed as two types of turtle.

Keywords: space-filling polyhedron, tiling, tessellation, M. C. Escher's regular divisions, crystallographic art

１．はじめに

１種類または２種類以上の有限な種類の立体形状を用いて、３次元空間を完全に隙間なく埋め尽くすことを考える。そのような立体形状を本稿では空間充填形状と呼ぶ。埋め尽くし方としては、周期構造と準周期構造の両方が知られているが、本研究では周期構造のみを考える。

空間を埋め尽くす立体形状は、直方体や平行六面体など無数に存在する。また、結晶格子の格子点に対するボロノイ領域（３次元ではボロノイ多面体）は、空間充填形状となる。代表例として、立方体（単純立方格子のボロノイ領域）、切頂 8 面体（体心立方格子のボロノイ領域）、菱形 12 面体（面心立方格子のボロノイ領域）がある。これらは、１種類の立体形状で空間を隙間なく埋め尽くす例である。２種類の立体形状を用いる空間充填形状の一例として、正 4 面体と正 8 面体がある。正 8 面体 1 個と正 4 面体２個を面接合させると菱形 6 面体が出来、菱形 6 面体は自明な空間充填形状である。

２．エッシャーの結晶学アート

３次元の空間充填は、２次元では平面充填であり、タイリングあるいはテッセレーションとも呼ばれる。平面充填形状も長方形や平行四辺形など無数に存在し、平面結晶格子のボロノイ領域（２次元ではボロノイ多角形）はやはり平面充填形状となる。

オランダの版画家 M.C.エッシャーは、周期的な平面充填形状に基づく芸術作品を数多く発表した。これらの芸術作品では、非自明な平面充填形状を用い、その輪郭だけで動物などを想起させる形になっており、それが作品の醍醐味である。自明な平面充填形状を用いたとしても、内部に動物の目鼻や手足を描き込めば、動物に見えなくはないだろうが、

それでは面白くない。

３．エッシャーの結晶学アートの３次元版

エッシャーの平面結晶学アートは、３次元に拡張することが可能である。そのような作品としては、別宮の「鯛」[文献 1]、村上らの「ゾウとイヌ」[文献 2]、西尾らの「木」[文献 3]などがある。これら非自明な空間充填形状が造形アートとして発表されているものの、現状は僅か数種類にすぎない。本研究では、非自明な空間充填形状による新たな結晶学アートを創作する。これらは、結晶学教材としての意義もある。これらの立体形状を実体化した模型に触って操作することで、並進対称や点群の対称性について学習することが出来る。

４．新しい立体形状のデザイン

亀(I): 切頂 6 面体を基に、亀をモデルとする空間充填形状の開発に成功した(図 1)。切頂 6 面体を半分にし、それらを周期的に積み上げたときにできる隙間部分をカメの足とする。そして頭と甲羅部分を作製し、隙間なく埋め尽くすように反対側を頭と甲羅の形を型取る。この立体形状は鏡映対称を有する。

亀(II): 六角柱を基に、別の形の亀をモデルとする空間充填形状の開発に成功した(図 2)。六角柱を半分にし、手足、頭、尾の形状を取り付け隣り合わせになる形に隙間なく埋め尽くすよう甲羅のように型を取った。この立体形状は、鏡映対称を有する。また、積み上げた際、２回回転対称を有する。

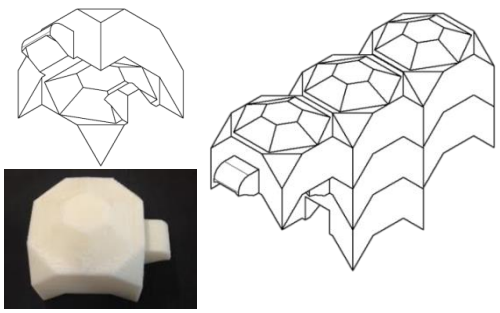


図１　亀(I)

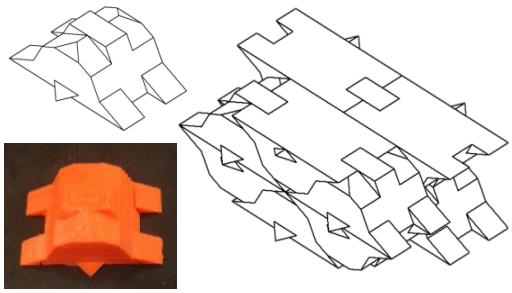


図２　亀(II)

文献

[1] 中村義作、「エッシャーの絵から結晶構造へ」、海鳴社（1983） p. 82～83：別宮利昭による「鯛」

[2] Y. Watanabe, Y. Ikegami, K. Yamazawa & Y. Murakami, “World of Scientific Puzzle Art Using Layer Manufacturing”, *Forma*, Vol. 21 (No. 1), (2006) 37–48.

[3] Teshima, Y., Watanabe, Y., Ikegami, Y., Yamazawa, K., Nishio, S. & Matsumoto, T., “Development of teaching materials to learn crystallographic symmetry”, *Acta Cryst*. A70 (2014) C1280

回転式パズル遊戯具の開発

宮本　圭佑
千葉工業大学大学院工学研究科機械サイエンス専攻、〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

Development of a new 3-D combination puzzle

Keisuke MIYAMOTO
Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino, Chiba 275-0016, Japan
k09061184892@gmail.com

Abstract: A new 3-D combination puzzle which is based on a semi-regular polyhedron (rhombicosidodecahedron) is presented. The puzzle has six five-fold rotational axes. The regular decagon which is composed of five triangles and five squares revolves around the five-fold rotational axis.

Keywords: 3-D combination puzzle, rhombicosidodecahedron

１．はじめに

回転式パズル遊戯具とは、ここではルービックキューブのように多面体の各面がより小さな多角形に分割されていて、回転させ、色を合わせて遊ぶパズルのことをいう。ルービックキューブでは、基盤となる多面体は立方体である。図１は、最も一般的な 3×3×3 のルービックキューブである。2×2×2 から 7×7×7 までの商品がある。

ルービックキューブは正六面体に基づいており、回転軸の数は３である（３軸)。他の正多面体に基づいた回転式パズル遊戯具として、正四面体（４軸)、正八面体（４軸)、正十二面体（６軸)、正二十面体（６軸）などがある。

他方、準正多面体に基づく回転式パズル遊戯具としては、図２の池上らによる立方八面体（４軸）ベースのものがある[1]。準正多面体に基づくこのようなパズルで、商品化あるいは意匠登録されているものはまだ少ない。

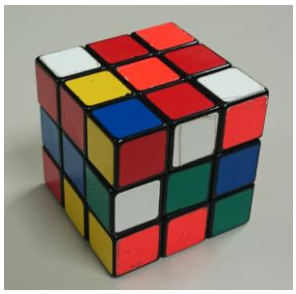


図１　ルービックキューブ（立方体に基づく）

図２　レインボーキューブ（立方八面体に基づく）

２．準正多面体に基づく新しい回転式パズル遊戯具

筆者が設計した回転式パズル遊戯具は、準正多面体の１つである斜方二十・十二面体（別称：小菱形二十・十二面体）に基づくものである。図３にその外観を示す。斜方二十・十二面体とは、正三角形 20 枚、正方形 30 枚、正五角形 12 枚より構成される 62 面体であり、稜数は 120、頂点数は 60 である。各頂点の周りに、正三角形１枚と正方形２枚と正五角形１枚が、正三角形・正方形・正五角形・正方形の順に集まるので、この頂点形状を 3,4,5,4 と記す。

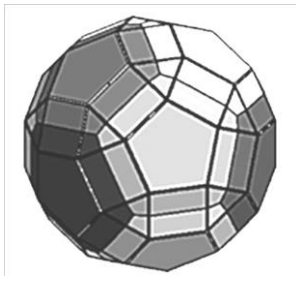


図３　新しくデザインしたパズル（斜方二十・十二面体に基づく）

斜方二十・十二面体の点群の対称性は、正二十面体と同じであり、５回回転対称の軸が６本存在する。図４に５回回転軸方向から見た外観図を示す。筆者が今回設計したパズルは、この５回回転軸周りで回転させ、正五角形周りの色を揃えるように楽しむものである。

この６軸回転式パズル遊戯具は、正五角形を中心とする 12 個の回転部を有する。回転部は、この正五角形およびその正五角形の周りに交互に配置された 5 個の正方形及び 5 個の正三角形により構成された十角形であって、その正五角形を中心に回転可能に構成されている。また、各回転部は各多角形の稜で分割されている。正五角形は各面が一色に塗られ、各正方形はその各辺を境界とし隣接する 2 個の五角形と同色の二色に塗られ、各三角形はその各頂点を境界として隣接する 3 個の正五角形と同色の三色に塗られる。図５に外観図を示す。このパズルの外観を意匠登録した[2]。

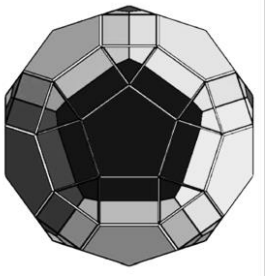


図４　５回回転軸方向から見た図

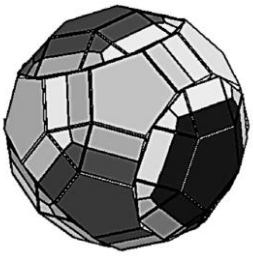


図５　回転時の様子

３．3D プリンタによる試作

現在、試作品を作製中である。3D プリンタで部品を造形し、それらを組み立てる予定である。表面を構成する部品を図６に示す。また、組立図を図７に示す。表面を構成する部品は斜方二十・十二面体の中心から接触球よりも小さい半径の球をくり抜いたものを断面が十角形になる面で分割したものを各パーツのベースとしている。正五角形 1 個、正方形 5 個、正三角形 5 個からなる正十角形は、正五角形が中心から棒で固定され回転のみをし、球でくり抜いているため断面では内側が円となっている。正方形パーツ、正三角形パーツに爪をつけることでその円に引っかかり、移動することが可能となる。

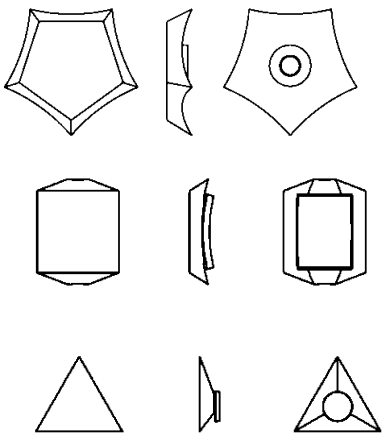


図６　表面を構成する部品

４．まとめ

これまでに無い、新しい斜方二十・十二面体形状の回転式パズル遊戯具を設計することに成功した。今後、3D プリンタを用いて試作品を作製する。

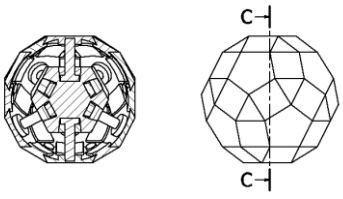


図７　組立図（断面図）と外観図

参考文献

[1] Y. Watanabe, Y. Ikegami, K. Yamazawa & Y. Murakami, “World of Scientific Puzzle Art Using Layer Manufacturing”, *Forma*, Vol. 21 (No. 1), (2006) 37–48.

[2] 宮本圭佑、「回転式パズル遊戯具」、意匠登録 1533363（発行日 2015 年 9 月 14 日）

大学生の描線速度

野村和泉
中部大学工学部
〒487－8501 春日井市松本町 1200
scl5698@sti.chubu.ac.jp

野村詩織
京都大学大学院工学研究科
京都市西京区京大桂
nomura.shiori.88r@sst.kyoto-u.ac.jp

Speed Measurement of the Writing Letters

Izumi Nomura
College of Engineering, Chubu University
〒487－8501 Matsumoto, Kasugai, Aichi1200

Shiori Nomura
Graduate School of Engineering and Faculty of Engineering, Kyoto University
Kyoudai-Katsura, Saikyo-ku, Kyoto

Abstract: In which situation do Students get the difficulties in their classroom during the lectures? How much information can students accept at once? In order to know the better solution between the students and staffs, we measured the speed that students write letters at the university.
Keyword: Education, Writing speed, Student, Letters

1．　背景

近年の電子機器の発達で、一般の理数系大学生が高校卒業迄に、直接字を書いた量も手書きの文字を読んだ量も、おそらく以前に比べ激減していると考えられる。しかし、実験記録や講義ノートなど、いまだに手書きで作成される重要な資料も多く、大学では、日々手書きせねばならない状況にある。一方で、人類の英知の蓄積は、学生が学ぶべき領域の拡大と習得するべき知識の増大をもたらしており、大学教員はともすると短い時間により多くの情報を講義に盛り込みがちである。結果として、情報の漏れや誤りを含むノートやレポートが作成される。そこで、講義や実習における適切な量の情報量を模索するための第一歩として、学生の文字を書く速度に着目し、学生の文字、線描きスピードを測定した。

2.　測定方法

例えばノートに記録する速さは、話を聞きまとめる能力、板書を読み理解する能力、黒板から必要な文章を見つける力等、複合的に色々な要素が関係していると考えられる。実際これまでのこの領域関連の先行研究で

は、国語教育、特に作文教育等との関連から、文章構成能力等を合わせて、詳細に観察する形で研究が行なわれている[1]。しかし、こうした基礎教育の現場とは異なり、大学の講義には、通常の日本語だけではなく、日常では使わないような語句、文字、記号が盛り込まれる、という特徴があるため、今回の測定では、「書く（描く）速さ」に絞って測定を行なった。

一般的な日本の理数系の大学生が、日本語の講義や実習中によく目にする文字としては、日本語と、英語を始めとした諸外国語、単位等の記号、角度等物理量を表すためのギリシャ文字等が考えられる。即ち、

１．ひらがな、簡易な常用漢字等、よく知っている文字

２．英語のアルファベットの様に、よく知っているが、実際の日常生活ではあまり書く必要のない文字

３．難しい漢字、慣れない漢字の組み合わせや、ラテン語等聞いたことのない単語、ギリシャ文字等のように大学で初めてみる文字

である。そこで、測定項目として、

１．ひらがな、カタカナなどのよく知っている文字

２．英語のアルファベット

３．なじみの薄い文字に匹敵するような図形パターン

とし、日本だけではなく、アルファベットを使う国の初等教育教科書[2]等を参考にして、12 項目（文字 5 項目、図形パターン 7 項目）を設定した。文字については、（1）ひらがな、（2）カタカナ、（3）アルファベット大文字、（4）アルファベット小文字、（5）視写：黒板を見上げて簡単なひらがなの文章を写す、とした。図形については、直線、曲線、その組み合わせで、一目見てパターンを判別できるものから、対称、反転等を含んだ、より複雑な図形へと、設問を追う毎に難易度をあげながら測定した[図 1]。試験方法は、設問１－４までは、文字種を口頭で伝え、設問 5 は書画装置で文章投影を行い、黒板を見上げて文章を写させた。設問 6(図形) 以降は 2 サイクル分の連続パターンの図形を一種類ずつ見せ、それを連続模様として描かせた。

３．結果

大学内で異なる学部学科、学年の学生を対象に、現在までに 100 余名について調査し、比較対象として、卒業生やスタッフについても測定を行なった。測定結果は、個人個人のばらつきの方が大きい為、集団としての年齢、学科による特徴は出ていない。全体の傾向としては、予想通りではあるが、なじみの薄い文字ほど、複雑な図形ほど、書くスピードが遅くなるという特徴が、数値としてはっきりと見られた。

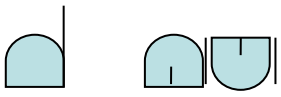


図 1　図形設問例

参考文献

[1] 川口 博子、中学生の文章表現過程の研究：書く速度について；国語教育研究 4（1962） p.66－76 広島大学教育学部光葉会；http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00023617

[2]Das Blaue Buchlein,Grundschule；1960 頃、スイス基礎教育教科書

群れの形状について

毛利紗和子，窪田佳寛，望月修
東洋大学，埼玉県川越市鯨井 2100
s36B01400215@toyo.jp

Shape based on rule of group behavior

Sawako MOHRI, Yoshihiro KUBOTA, Osamu MOCHIZUKI
Toyo University, Kujirai 2100, Kawagoe-shi, Saitama 350-8585

Abstract: The objective of this study is to understand the formation of school movement with the organism. Two factors relate the formation of school. One is the character of living things. The other is the stimulation from the environment. We numerically investigated the shape of schooling by influence of the character of living things and the stimulation from the environment.

Keywords: school movement, characteristics, environmental factor, shape of group

１．はじめに

生物の群れは，形や大きさや速度などの個が持つ因子と外敵の襲来などの外的な要因に関係している．個体と群れ行動の関係を元に考えると,全体の形状は個が持つ因子及び外的因子により決定する．このように，群化をする生物の内的，外的ルールと群れの形状について数値計算により調べる．

２．計算モデル

2 種類の生物の特徴から形の違いを調べた．1 つは群れをなす非捕食生物，もう 1 つは 1 体の捕食生物とする．非捕食生物の特徴は，個体の衝突と反発・外敵を認識する距離・外敵から逃げる速さの違いから表現した．環境要因として座標の原点から個体の体長 20 個分の領域に集まるようにした．この領域の端から個体の体長 10 個分以上離れた場合はそのままの運動を続けさせた.非捕食生物は体長 20 個分離れた位置から捕食生物に向かって等速直線運動させた.

3．結果

モデルの性質である反発係数，外敵の認識距離，外敵から逃げる速度係数による形の違いを Fig.2 に示す．Fig. 1(a) を基準とすると逃げる速度が速い場合，捕食者の前方まで非捕食者が排除され群れが分断されている．認識距離が広い場合には，群れ全部を排除して三日月状となった．反発係数が大きい場合には，密な小判状に排除された．

4．まとめ

反発係数・外敵の認識距離・逃避速度による群れの形状の違いについて調べた．

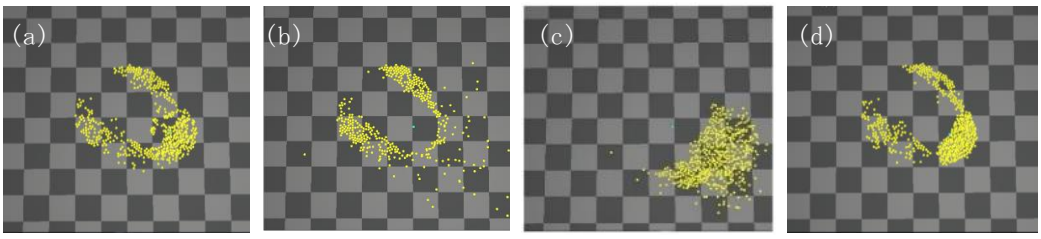


Fig.1 Pattern of shape on schooling by change of internal factor. (a) Control, (b) faster escape velocity, (c) larger recognition area, and (d) larger elasticity

鹿威しによる水滴落下系の計測と大偏差統計解析

山田健太[1]　宮崎修次[2]
[1] 〒604-8254 京都府京都市中京区東堀川通錦小路上る四坊堀川町 622-2，京都市立堀川高等学校
[2] 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町，京都大学大学院情報学研究科
syuji@acs.i.kyoto-u.ac.jp
Kenta Yamada
Kyoto-City Horikawa High School
Shibou-Horikawa-Machi 622-2, Nakagyo-ku,
Kyoto, 604-8254, Japan
Syuji Miyazaki
Graduate School of Informatics,
Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku,
Kyoto, 606-8501, Japan

Abstract: *Shishiodoshi* is a device designed for making noise and comprised of a bamboo pipe and running water, called a water spout. It consists of a water-filled bamboo tube which clacks against a stone when emptied, and the clack scars beasts and birds from gardens. For a fluctuating flow rate, intervals between the clacks distribute. The flow rate and the distribution function of the clack interval can be respectively identified as a velocity of a random walker and a first passage time distribution. The rate function of the flow rate is derived not according to its definition but by use of the distribution function of a first passage time. This idea is illustrated by coin-tossing large-deviation statistics.

Keywords: *Shishiodoshi*, Large Deviation, Rate Function, First Passage Time

この論文では，鹿威しに注ぐ単位時間当たりの流量（流量率）が一定ではなく，時間変動しているものとして，その振動間隔の分布や大偏差統計を考察する．

鹿威しの水受けの容積を V とし，時刻 t に依存する流量率を $f(t)$ とすると，$t=t_0$ から空の鹿威しに注水を始め，$t=t_0+n$ で満水になったとすると，$\int_{t_0}^{t_0+n} f(t)dt = V$ を満たす n が振動間隔である．満水になったら，瞬時に排水するような理想的な鹿威しを今後考えることにする．

流量率が一定であれば，n も一定となるが，流量率が変動すれば，n は分布する．上の式で f をランダムウォーカーの速度，V を正の値をとるゴール位置とみなすと，n は原点から出発したランダムウォーカーがゴールに到着するまでの初通過時間に対応する．鹿威しの振動間隔を測定することで，このような初通過時間分布を得ることができる．

時間幅 n で粗視化した流量率の局所平均を z とすると

$$z = \frac{\int_{t_0}^{t_0+n} f(t)dt}{n} = \frac{V}{n}$$

を満たす．粗視量 z の分布 $P(n,z)$ から流量率の大偏差統計が得られる．n が流量率 $f(t)$ の時間相関が十分に減衰する時間幅よりも十分大きいとき，$P(n,z) \sim \exp[-n\psi(z)]$ となり，$\psi(z)$ は流量率のレート関数である．流量率の長時間平均を $\overline{z}$ とおく．レート関数は $\psi(z)|_{z=\overline{z}} = \left.\frac{d\psi(z)}{dz}\right|_{z=\overline{z}} = 0$ を満たす下に凸な関数である．また，中心極限定理の帰結として，レート関数は長時間平均の近傍で二次関数となる．

粗視量の分布 $P(n,z) \sim \exp[-n\psi(z)]$ に $z = V/n$ の関係を代入した $P(n,V/n) \sim \exp[-n\psi(V/n)]$ は水受けが満水になるまでに要する時間の分布，すなわち，初通過時間分布とみなすことができる．この分布を用いて，$-\frac{1}{n}\log P(n,V/n)$ を V/n に対してプロットすると，近似的に流量率のレート関数が得られ，$V \to \infty$ の極限で厳密なレート関数に一致すると予想する．

この予想を水滴落下が以下のような特別な場合に確かめる．単位時間間隔で単位体積の水滴が落ちるか落ちないかが等確率で起こるとする．公平なコイン投げの表と裏が「落ちる」と「落ちない」に対応する．実際の dripping faucet では，水滴の容積

と落下間隔には相関があることに注意しておく．n ステップで nz 滴落下する確率は $P(n,z) = {}_nC_{nz}/2^n = n!/((nz)!(n-nz)!2^2)$ で与えられる．スターリングの式 $\log N! \sim N\log N - N$ が $n!$, $(nz)!$, $(n-nz)!$ に適用できるとすると，$-\frac{1}{n}\log P(n,z) = \psi(z) = z\log z + (1-z)\log(1-z) + \log 2$ のようにレート関数が得られる．長時間平均は $\overline{z} = 1/2$ で，$\psi(z)|_{z=\overline{z}} = \left.\frac{d\psi(z)}{dz}\right|_{z=\overline{z}} = 0$ を満たし，$z = \overline{z}$ の近傍で，$\psi(z) = 2\left(z - \frac{1}{2}\right)^2$ となる．

水受けの体積 V が nz 滴の水滴で満水になるとすると，それに要する初通過時間が n であり，z は n という時間幅で平均した流量率の局所平均 z である．粗視量 z の $P(n,z)$ に $z = V/n$ を代入した $P(n,V/n)$ を初通過時間（水受けを満水にするまでの時間）の分布とみなす．上記の水滴落下の場合は，$P(n,V/n) = n!/((V)!(n-V)!2^n)$ となる．$V = 2, 3, 5$ の場合に，初通過時間分布を図 1 にプロットした．$P(n,V/n) = P(n,V/n)|_{n=2V}\exp[-n\psi(V/n)]$ とおく．$n = 2V$ は満水になるまでの平均時間である．そこで，縦軸 $-\frac{1}{n}\log\frac{P(n,V/n)}{P(2V,1/2)}$ を横軸 V/n に対して図 2 にプロットした．厳密なレート関数と中心極限定理を表す放物線も描いた．但し，後者は本来成立する範囲を越えて表示してある．スターリングの式を利用していないにも関わらず，長時間平均より小さい領域では，厳密なレート関数によく一致している．大きい領域では，ずれがある．

流量率のレート関数を定義通りに求めようとすると，瞬間値 $f(t)$ を計測し，時間幅 n で局所平均 z を求め，その粗視量の分布関数 $P(n,z)$ の対数をとり，$-n$ で割ることで求めることになる．n を無限大にする極限で，厳密なレート関数に一致すると考えられる．ここで提案する鹿威しを用いたレート関数導出法は，瞬間値 $f(t)$ を計測することなく，初通過時間（体積 V の水受けを満水にするまでの時間）n の分布 $P(n,V/n)$ を求め，$-\frac{1}{n}\log\frac{P(n,V/n)}{P(V/\overline{z},\overline{z})}$ を V/n に対してプロットすることで得られる．実際の水の落下に対して，鹿威しを用いて初通過時間分布を求め，流量率のレート関数を計測することが次の課題である．

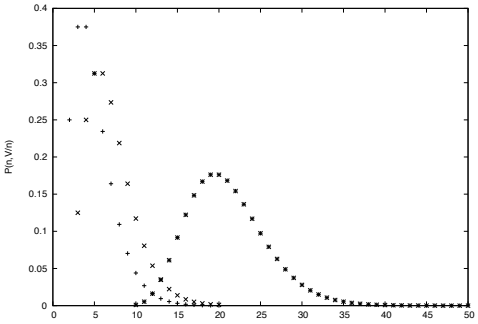


図 1: 初通過時間分布 $P(n,V/n)$ の n 依存性 ($V = 2$ (+), 3 (×), 10 (∗))．

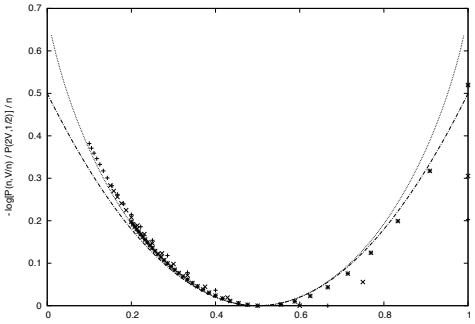


図 2: 初通過時間分布から近似的に得られた流量率のレート関数 $-\frac{1}{n}\log\frac{P(n,V/n)}{P(2V,1/2)}$ の流量率 V/n 依存性 ($V = 2$ (+), 3 (×), 10 (∗))．厳密なレート関数は実線，中心極限定理を表す放物線は破線で表示している．後者については，見やすくするために，本来，中心極限定理が成り立つ範囲を越えた広い範囲で表示している．

謝辞　本研究は，グローバルサイエンスキャンパス京都大学実施分 (ELCAS)
http://elcas.kyoto-u.ac.jp/
の経済的支援に負うている．

面積ランダム充填 (II)

── 2 次元モデルからの拡張 ──

種村　正美
tanemura@ism.ac.jp
統計数理研究所・名誉教授，〒 190-8562 東京都立川市緑町 10-3

Areal Random Packing — Extension from 2D model —

Masaharu Tanemura
Prof.Emer. The Institute of Statistical Mathematics,
10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8562, Japan

概 要

We presented a new class of random sequential packing, called an "areal random packing" in the plane in [2],[4]. Here, one-dimensional version of areal random packing is presented as an extension from 2D model. Their packing densities are estimated through computer simulations. Three-dimensional extension will also be discussed in the presentation.

Keywords
Car Parking Problem, Critical size, One-Dimensional Problem, Packing Density, Voronoi Segment

1　はじめに

ランダム駐車の問題 [1] は対象が互いに重なり合わないランダム充填問題の典型である。この従来のランダム充填の問題に対して、前回の報告では「重なり合わない」という条件の代わりに「対象が占有する面積（２次元の場合）が臨界値以上」という条件でランダムに充填する新しい問題（「面積ランダム充填」）を提起した [2], [4]。本報告では２次元モデルからの拡張として１次元モデルを中心に議論する。

2　1 次元 '面積' ランダム充填とそのアルゴリズム

充填される領域を長さ L の一次元領域 A とし、N を領域 A にランダム充填される点の個数とする。領域 A は配置された N 個の点でボロノイ分割され、各ボロノイ線分の長さは臨界値 a_c より大きいとする。

1 次元 '面積' ランダム充填は次のアルゴリズムで生成される：

1. $N \leftarrow 2$ として，N 個の点を A の中で一様ランダムに生成する．
2. 点配置のボロノイ分割を計算する．もしもいずれかのボロノイ線分の面積が a_c より小さければ Step **1** に行き，さもなければ Step **3** に行く．
3. テスト粒子 $\mathbf{x}_t$ を A の中で生成し、点 $\mathbf{x}_t$ のボロノイ線分 $V(\mathbf{x}_t)$ を計算する．もしも $V(\mathbf{x}_t)$ および隣接するボロノイ線分の長さがいずれも a_c より小さくなければ Step **4** に行く；さもなければ Step **3** に行く．

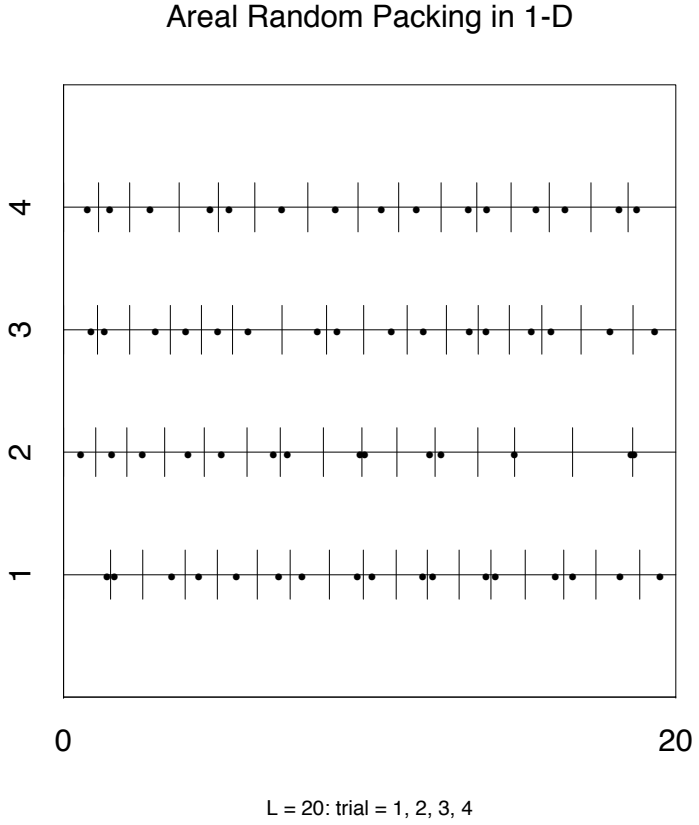


図 1: 1 次元 '面積' ランダム充填とボロノイ分割の例 $(L = 20, a_c = 1.0)$. 独立な 4 例を示す.

4. $N \leftarrow N + 1$. もしも指定された **Stopping Rule** が満たされれば **Stop**, さもなければ Step **3** に行く.

ここで、簡便な **Stopping Rule** はテスト粒子の総数 n_t をあらかじめ与えることである；n_t を大きくすれば最終的な N は一般に大きくなるだろうが、計算時間を省くためには適切な n_t の値の設定が重要である。図 1 に 1 次元 '面積' ランダム充填の一例を与える $(L = 20; a_c = 1.0)$.

3 充填密度の推定

ランダム充填問題では、どの程度詰まるかの基準を示す「充填密度」を求めるのが通例である。われわれは異なる L の値（$L = 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000$) に対して計算機実験をそれぞれ多数回行い、回帰分析の結果、$\rho_\infty = 0.7697$ を得た。ただし、$\rho_L = N \times a_c/L$ である。これを 1 次元ランダム駐車問題の理論結果 $c = 0.74759\cdots$ [1] と比べると、1 次元 '面積' ランダム充填密度がわずかに大きいのは興味深い。

講演では 1 次元の場合の「完全充填」アルゴリズムと 3 次元への拡張等についても論ずる予定である。

参考文献

[1] Rényi, A. (1958). On a one-dimensional problem concerning random space filling. *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci.*, **2**, 203–218.

[2] Tanemura, M. (2013). On the Areal Random Packing. *Model. i analis inform. sistem.*, **20**, 134–140.

[3] Tanemura, M. (2014). On the Areal Random Packing. *JAM Packed - Proceedings: 15-18,Sep., 2014, Erlangen/Germany*, 133–134.

[4] 種村　正美 (2014). 面積ランダム充填 — 新しいランダム逐次充填問題の提起 —. 形の科学会誌, **29**, 162–163.

[5] Tanemura, M. (2015). On the Areal Random Sequential Packing. *Geometry and Physics of Spatial Random Systems - Proceedings: 7-11,Sep., 2015, Bad Herrenalb/Germany*, 141–143.

四つ編み, 組ひも, 位相的カオス

山口喜博（帝京平成大学:290-0170 千葉県市原市うるいど南 4-1）

chaosfractal@iCloud.com

Four-strand braid, Braid and Topological chaos

Yoshihiro Yamaguchi (Teikyo Heisei University)

Abstract: Using the generators of braid, Four-strand braid is represented as $(\sigma_1\sigma_2^{-1}\sigma_3)^k (k \geq 1)$. There exists the other braid $\sigma_1\sigma_2\sigma_3^{-1}$ to make Four-strand braid. We consider the reason why this braid is not used to make Four-strand braid. We report that the topological chaos exists in the world of Four-strand braid.

Key words: Four-strand braid, Braid, Topological entropy, Topological chaos.

通常, 四つ編みとよばれる組み手の基本形を組ひもの生成元で書くと $\beta = \sigma_1\sigma_2^{-1}\sigma_3$ (図 1(a) の左図) となる. 4 本の場合, 四つ編みを作ることが可能な組ひもとして $\gamma = \sigma_1\sigma_2\sigma_3^{-1}$ (図 1(a) の右図) がある. 四つ編みをつくるために, この組みひもをどうして利用しないのかという疑問が湧く.

生成元 σ_k を実行することは, 隣接している二つのひもを反時計回りに回転し入れ替えることである. 生成元 σ_k^{-1} を実行することは隣接している二つのひもを時計回りに回転し入れ替えることである. 時計回りの回転を行うために必要なエネルギーと, 反時計回りの回転を行うために必要なエネルギーは同じである. 組みひも β を実行するために必要なエネルギーと, 組みひも γ を実行するために必要なエネルギーは同じである. また元の個数はともに二個であり, 逆元の個数は一個である. よって編むさいの組みやすさも同じであると考えて良い. 組みやすさも同じで, 同じエネルギーをかけてできあがった二つの四つ編みで何が違うのだろうか.

組みひもの上部に長さ 1 のひも a, b, c を置く. これらは伸び縮みできるとする (図 2 の上図). これらの集合を R_0 とする. $R_k = \beta^k R_0$ を定義する. 同様に $S_0 = R_0$ として, $S_k = \gamma^k S_0$ を定義する. 図 2 の中央図は R_1 を示し, 図 2 の下図は S_1 を示している. ここで R_k から R_{k+1} への遷移行列 M と, S_k から S_{k+1} への遷移行列 N は下記のように得られる.

$$M = \left(\begin{array}{c|ccc} & a & b & c \\ \hline a & 1 & 1 & 1 \\ b & 1 & 2 & 2 \\ c & 0 & 1 & 2 \end{array}\right), \quad N = \left(\begin{array}{c|ccc} & a & b & c \\ \hline a & 1 & 1 & 1 \\ b & 0 & 1 & 0 \\ c & 0 & 1 & 2 \end{array}\right). \tag{1}$$

例として M の第 2 行は b の像は a を一回被覆し, b と c を 2 回被覆すると読む. ここで $L(R_k)$ を R_k の全長とし, $L(S_k)$ を S_k の全長とする. M と N の固有値の最大は $\lambda_{\max}(M) = 3.7320$ と $\lambda_{\max}(N) = 2$ である. このことより $L(R_k)$ の伸び率は 3.7320 で, $L(S_k)$ の伸び率は 2 である. これらの対数をとった値が位相的エントロピーである. 位相的エントロピーが正であることから, 二つの四つ編みには位相的カオスが内在しカオスの強さが異なることが分かる [1].

さて図 1(b) の左の四つ編み β^4 において, 黄色の紐に注目しよう. これは緑色の紐の上を通過し, 青色の紐の下を通過する. このようにして

$$\text{上} \to \text{下} \to \text{上} \to \text{下} \to \text{上} \to \text{下}$$

が得られる. 右の四つ編み γ^4 については

$$\text{上} \to \text{上} \to \text{下} \to \text{上} \to \text{下} \to \text{下}$$

が得られる. 組まれた紐が滑りにくいためにはひもの交差の仕方が交代することが望ましい. よって, 四つ編みに β^4 が利用されると考えられる.

五つ編みについて述べておく [2]. 組ひもの生成元で書くと, $\delta = \sigma_1\sigma_2\sigma_3^{-1}\sigma_4^{-1}$ である. これ以外にも可能な組みひもがある. 例として, $\sigma_1\sigma_2^{-1}\sigma_3\sigma_4^{-1}$ のように元と逆元が交互になっている場合, 交差の仕方が交代するため編みにくい. 二本のひもを一緒に移動できる δ が五つ編みに選ばれた理由は, 編みやすさにあると考えている. 本数が多くなると, 元と逆元の個数がなるべく等しく, かつ編みやすいように自然に組み方が決まるのであろう.

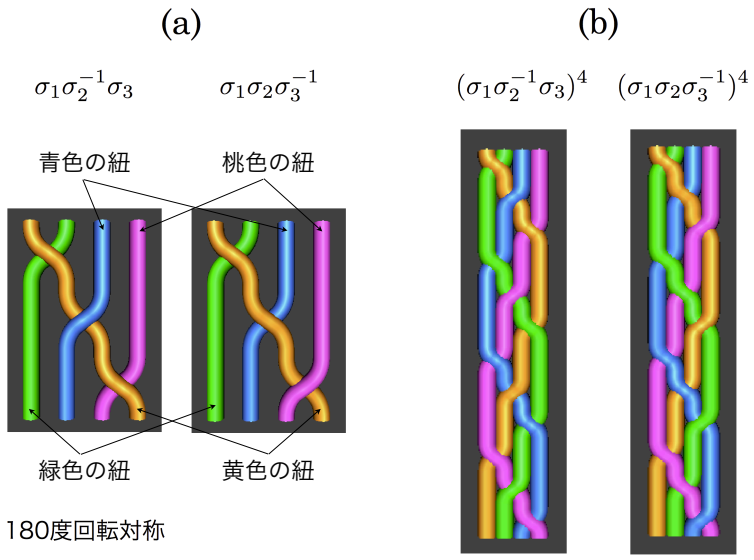


図 1: (a) 組みひも $\beta = \sigma_1\sigma_2^{-1}\sigma_3$ と $\gamma = \sigma_1\sigma_2\sigma_3^{-1}$. (b) 四つ編み β^4 と γ^4.

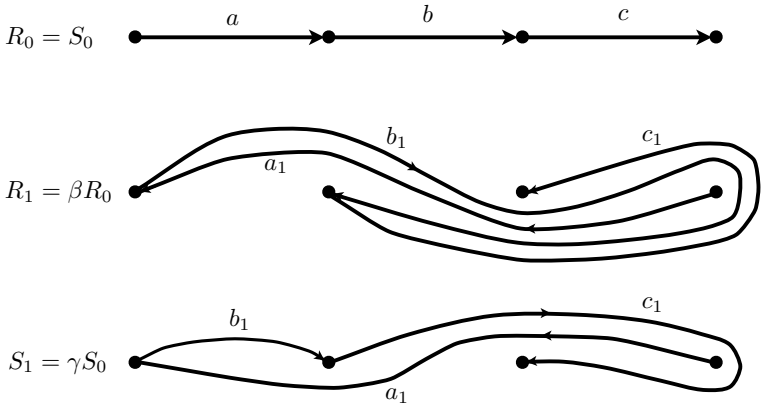


図 2: 横ひも a, b, c の定義. $R_0 = S_0$ の定義. $R_1 = \beta R_0$. $S_1 = \gamma S_0$. R_1 において, $a_1 = \beta a$, $b_1 = \beta b$, $c_1 = \beta c$. S_1 において, $a_1 = \gamma a$, $b_1 = \gamma b$, $c_1 = \gamma c$.

参考文献

[1] 山口喜博,「組みひもかくはん図形」, 形の科学会誌, シンポジウム予稿 第 28 巻, 第 2 号 (2013), pp.188-189.

[2] 東川和夫,「5 つ編み」, 形の科学会誌, シンポジウム予稿 第 30 巻, 第 2 号 (2015), pp.26-27.

財布を軽くする支払いとフラクタル構造

山本健
中大理工，東京都文京区春日 1–13–27
yamamoto@phys.chuo-u.ac.jp

Fractal structure behind the coin-reducing payment

Ken Yamamoto
Chuo University, Kasuga 1, Bunkyo, Tokyo 112–8551, Japan

Abstract: A payment method which minimizes the number of coins in a purse is presented. When a shopper continues this payment policy many times, the time series of change amounts forms a fractal pattern like the Sierpinski gasket, by means of the delay plot. This fractal pattern is found to be generated by the hierarchical structure of the coin face values.
Keywords: Mathematics in daily life, Change making, Fractal, Time series

1　財布を軽くする支払い方法

日々買い物をしているうちに，気づくと財布の中に小銭がたまってしまい，煩わしく思うことがあるかもしれない。ところが，お金の出し方を工夫することで小銭がたまるのを抑えることができるのである。たとえば，財布に 100 円玉と 10 円玉が 1 枚ずつある状態で 60 円の商品を買うとする。100 円玉 1 枚だけで支払いをすると，おつりは 40 円（10 円玉が 4 枚）なので，会計後の財布には 10 円玉が 5 枚残る。一方，100 円玉と 10 円玉で支払いをすると，おつりは 50 円（50 円玉が 1 枚）なので，財布には 50 円玉 1 枚だけが残る。このように，会計後に残る小銭の枚数は支払いの仕方によって変わりうる。この例の後者の支払い方のような**会計後に残る小銭の枚数が最も少なくなるような支払い**を**最小支払い**とよぶことにする[1)]。最小支払いを続ければ，財布に残る硬貨は必ず最小枚数になり，小銭がたまり過ぎる問題を極力回避することができる。

2　最小支払いに潜むフラクタル構造

最小支払いには意外な “形” が隠れている。これを明らかにするため，最小支払いによる多数回の買い物を数値計算でシミュレートした。数値計算では，小銭に注目するため品物の価格は 1 円から 1000 円までとし，さらに状況を単純化するため価格はそれぞれの会計において独立な一様分布にしたがうとした。また，支払い時以外に財布内の小銭の出入りはないとし，小銭だけでは払いきれない場合は 1000 円札も使用できるとした。

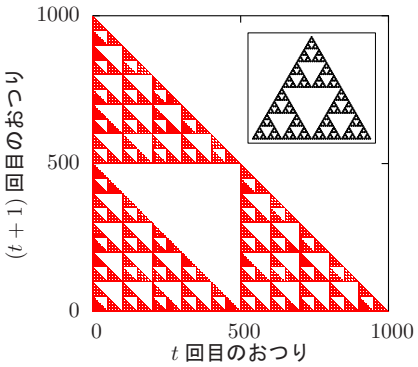


図 1　おつりの時間遅れプロット。内挿図はシェルピンスキーガスケット。

最小支払いはおつりのもらい方を工夫する方法なので，最小支払いを繰り返したときに受け取る**おつりの金額の時系列**に注目する。時系列の分析には**時間遅れプロット**[2)] を利用する。一般に，長さ T の時系列 $\{x(1), x(2), \ldots, x(T)\}$ に対して，平面上の $T-1$ 個の点の集合 $\{(x(t), x(t+1)) \mid t = 1, \ldots, T-1\}$ を時間遅れプロットとよぶ。時間遅れプロットは隣り合う時系列データの相関を可視化する手法である。決定論的な力学系が生成する時系列は明瞭な構造のある時間遅れプロットをもち，ノイズを多く含む時系列の時間遅れプロットはぼやけた分布となる。

10^9 回の最小支払いで受け取るおつりの時系列に対する時間遅れプロットを図 1 に示す。三角形が入れ子状に配置されており，シェルピンスキーガスケットというフラクタル図形と似た構造である。

3　フラクタル構造が現れる仕組み

最小支払いで受け取るおつりの時間遅れプロットがフラクタル構造をもつ理由を説明する。簡単な例として，硬貨が 1, 2, 6 円玉の 3 種類，紙幣が 12 円札である通貨を考える。t 回目の買い物で受け取るおつりを $c(t)$ で表す。金額 $c(t)$ を最小枚数の硬貨で表すのに必要な 6, 2, 1 円玉の枚数をそれぞれ $c_1(t), c_2(t), c_3(t)$ とし，$c(t) = (c_1(t), c_2(t), c_3(t))$ のように表すことにする。たとえば，いま考えている貨幣システムでは 10 円は 6 円玉 1 枚と 2 円玉 2 枚で表すのが最小枚数なので，$10 = (1, 2, 0)$ とかける。最小支払いを続けると，おつりで 1 円玉を 2 回続けて受け取ることがないことが示される。実際，もし連続する 2 回のおつりにそれぞれ 1 円玉が含まれていたら，財布の中には 1 円玉が 2 枚以上残っていることになるが，2 枚の 1 円玉が残っている状態は最小支払いでは起こりえない（2 枚の 1 円玉を 1 枚の 2 円玉で置き換えると硬貨の枚数を減らせるので，最小性に反する）。同様に，連続した 2 回のおつりの中に 2 円玉が 3 枚以上含まれることはなく，6 円玉が 2 枚以上含まれることはないことが結論される。よって，連続したおつり $c(t), c(t+1)$ には，

$$0 \le c_1(t) + c_1(t+1) \le 1, \quad 0 \le c_2(t) + c_2(t+1) \le 2, \quad 0 \le c_3(t) + c_3(t+1) \le 1$$

という不等式が成り立つ。おつりの時間遅れプロットにおいて，この不等式を満たす点を示したのが図 2 である。**小さい額面の硬貨に対する条件を追加するにつれて細かい構造が付加されていく**。この効果によって時間遅れプロットにはフラクタル的なパターンが現れる。上の式は硬貨の種類 (c_1, c_2, c_3) ごとに独立な不等式となっていて，このおかげで図 2 には整然とした階層構造が現れる。このようになるのは硬貨と紙幣の額面 $(1, 2, 6, 12)$ が互いに倍数の関係にあるときに限られ，時間遅れプロットの構造は隣接する額面の比によって定められることも分かる。

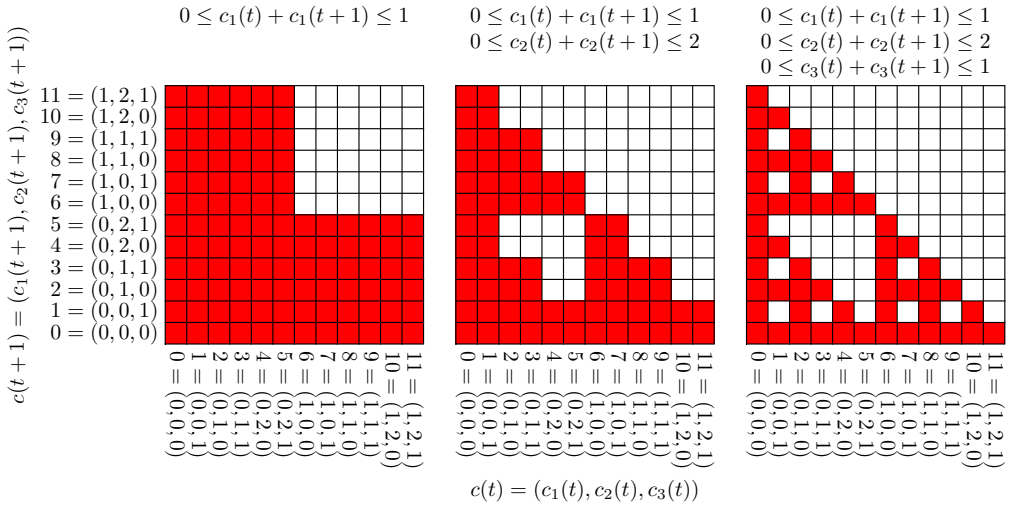


図 2　時間遅れプロットがフラクタル構造をもつ仕組み。小さい額面の硬貨に対する条件を取り入れるごとに，細かい構造が現れる。

参考文献

1) K. Yamamoto and Y. Yamazaki, Chaos, Solitons & Fractals 45, 1058–1066 (2012).

2) K. T. Alligood, T. D. Sauer, and J. A. Yorke, Chaos; an Introduction to Dynamical Systems, Springer, 1997.

Ｄｒ．ナダレンジャーの自然災害実験教室における科学大道芸

納口恭明・鱒優子
国立研究開発法人 防災科学技術研究所、つくば市天王台３－１
nhg@bosai.go.jp

Dr.Nadaranger as a Street Performer

Yasuaki NOHGUCHI, Yuko MOTAI
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention
3-1,Tennodai,Tukuba, Ibaraki

Keywords: Natural disaster, Street performance, Science education

著者らは、「Ｄｒ．ナダレンジャーの自然災害実験教室」と銘打って、災害に特別な興味を持たないごく一般の人を対象に、自然災害現象をサイエンスショーのスタイルで再現している。目的は、災害に少しでも興味を持ってもらうためである。たとえ、自然災害といえども、重要というだけで無関心層を引き付けることはできない。楽しく学べる工夫が必要となる。以下にいろいろな自然災害現象に対応した芸（図1）を紹介し、本番ではそれらをご披露する。

落石

石の模型を傘の回しの要領で和傘の上で回転させる芸は定常落石シミュレータである。

突風

うちわ、空気砲は突風マシンと称する。

豪雨

市販のゾウさんの如雨露はゲリラ豪雨マシンである。時間当たりの降雨量は 3 万ミリを超えるスーパーゲリラ豪雨マシンとなる。

なだれ

雪崩シミュレータナダレンジャーで再現する。

噴石

ボールジャグリング風にボールの変わりに石を用いることで噴石を再現する。

台風

中心に目をつけた皿を用いた皿回しで台風を表現する。

降雪

雪片の落下を、扇と紙片で蝶の舞を表現する古典芸風に再現する。

液状化現象

地盤液状化現象再現ボトル「エッキー」で再現。

地震による建物のゆれ

共振おもちゃ「ゆらゆら」で再現（図 2）。

図 1. Ｄｒ．ナダレンジャーと実験道具

図２．縦に崩れる縦ドミノ

羽根形状をもつ視覚楽器

松浦　昭洋[1]　秋元　俊輔[2]
[1]東京電機大学，〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂
[2]コムコ株式会社
E-mail: matsu@rd.dendai.ac.jp

Visual Instruments Having Wing-Like Forms

Akihiro Matsuura[1]　Shunsuke Akimoto[2]
[1] Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama-cho, Hiki, 350-0394 Japan
[2] Comco Inc.

Abstract: *The visual instruments* is such instruments that generate geometrically and aesthetically appealing visual patterns as if manipulated skillfully by a player. We present new rolling-based visual instruments that consist of several wing-like forms arranged in rotational symmetry. We also visualize the touching points of a pair of the instruments rolled on each other.

Keywords: visual instruments, rolling, wing, manipulation, performance

１．はじめに

人が巧みに操ることで音楽表現（聴覚表現）が可能な道具・装置は一般に「楽器（Musical Instruments）」と呼ばれる。他の感覚に対しても、その感覚を刺激して何らかの表現が可能な道具・装置を考えることは可能である。ここでは視覚に焦点を当て、人が巧みに操ることで豊かな視覚表現が可能となる道具・装置を「視覚楽器（Visual Instruments）」と呼ぶこととする。従来の遊びや芸能、スポーツで用いられる様々な道具・装置は視覚楽器の要素をもつ。我々はこれまでに、独自の幾何学的、物理的特徴や審美的価値をもつ視覚楽器の開発を行ってきた[1-3]。本発表では、羽根（葉）状の部位をいくつかもち、二装置間でのバランス操作や転がり操作を行うことのできる新たな視覚楽器を紹介する。

２．羽根形状をもつ視覚楽器

今回開発した装置の形状のうち代表的なものを図1に示す。図1左の（同一の）二つの装置は回転対称な三つの羽根（葉）状部位をもち、図1右の下部の装置は二つの羽根状部位をもつ。本装置は、羽根の両側の曲線には中心角 50°、弦長 30cm 程度の円弧を用い、二つ羽根の装置と三つ羽根の装置で円弧の長さは等しく作られている。装置の厚みは 5cm であり、図1の試作品は押出発泡ポリスチレンで作成されている（他に PLA 樹脂でも試作）。本装置によって、以下のような基本的な操作が可能である。

図1 (左)三つ羽根の装置 (右)二つ羽根の装置と三つ羽根の装置

(1) 下部の装置をの凹部に、もう一つの装置の羽根先端部をのせてバランスさせる(図1)。
(2) (1)の状態から上部の装置を上方に投げ上げ(回転を加えてもよい)、下部の装置のいずれかの部位(特に凹部)で受け止める。
(3) (1)の状態から下部の装置をその中心点周りに回転させ(それに付随し、上部の装置も滑らせずに回転させる)、下部装置の隣接する凹部で上部装置の羽根先端部を受け止め、再びバランス状態に入る(図2)。

装置の曲線部(厚みを考慮すると「曲面部」)が外に凸であるため、(3)の操作中二つの装置は(原理的には)常に一点で接しながら転がっていく。本基本操作(1)-(3)を両手、両回転を考慮して行い、さらにその組み合わせや全身を用いたバリエーションを考えることで、多様な技を実現できる。

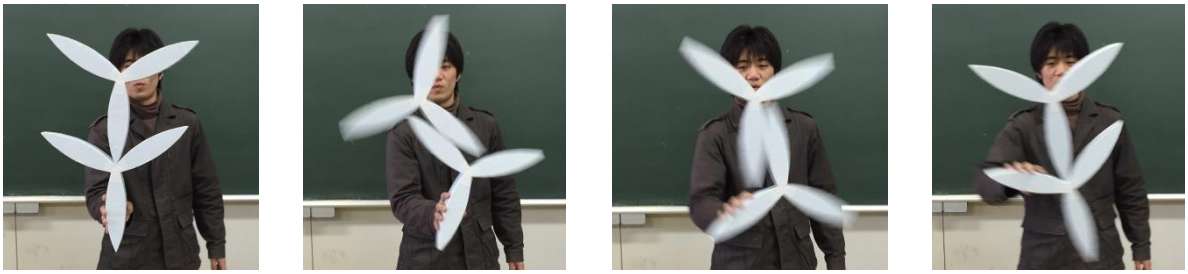


図2 三つ羽根装置の回転操作

3. 接点の描画シミュレーション

2章の操作法(3)で一つの装置上でもう一つの装置が回転するとき、二装置の接点がどのような軌跡を描くかを、羽根が円弧からなる場合に調べた。まず、軌跡の方程式を求め(紙面の都合で本稿では割愛する)、描画シミュレーションを行った。以下に、曲線が全て中心角 60 度の円弧であるときの軌跡の描画結果を示す。図3左で、左側の円弧は下部装置のものであり、右側の円弧は上部装置の足部分の羽根の左にあるものである。左の円弧が時計回りに回転を始めると、右の円弧は反時計回りに回転を始め、60 回転後に図3右の位置関係となる。S 字の曲線が接点の軌跡を表す。

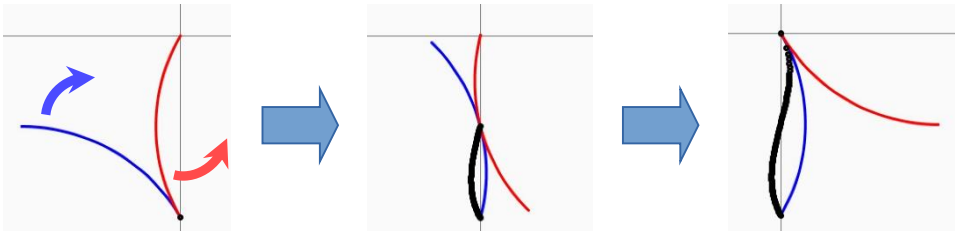


図3 三つ羽根装置の回転操作時の接点の移動(左:初期、中央:30 度回転後、右:60 度回転後)

4. まとめ

転がりやバランス操作が可能な羽根形状をもつ視覚楽器を紹介した。今後は、曲線部で用いられる曲線の妥当性の検討、装置の素材の検討や操作法の蓄積、実演作品の制作等を行っていく。

なお、本研究は JSPS 科研費 25330437 の助成を受けて行った。

参考文献

[1] A. Matsuura, “Spherical Juggling”, Proc. of Interdisciplinary Conference of the International Society of the Art, Mathematics and Architecture (ISAMA/CTI2004), pp. 89–94, 2004.
[2] A. Matsuura, “Strange Physical Motion of Balls in a Cylinder”, Proc. of Bridges Conference 2005: Mathematical Connection in Art, Music, and Science, pp. 345-346, 2005.
[3] A. Matsuura, J. Hashimoto, and K. Okuno, “Geometric Visual Instruments Based on Object Rolling”, Proc. of Bridges Conference 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture, pp. 303–310, 2013.

デザイン系学生による科学活動の推進

高木隆司[1]、大内克哉[2]、水野慎士[3]

[1]東京農工大学（名誉教授），〒248-0014 鎌倉市由比ヶ浜 2-23-12，jr.takaki@iris.ocn.ne.jp
[2]神戸芸術工科大学，〒651-2196 神戸市西区学園西町 8-1-1，ouchi@kobe-du.ac.jp
[3]愛知工業大学情報科学部，〒470−0392 豊田市八草町八千草，　s_mizuno@aitech.ac.jp

Promotion of Scientific Activities by Design Students

Ryuji Takaki[1], Katsuya Ouchi[2], Shinji Mizuno[3]

Abstract: The present authors have been engaged in an education of design students, where they have scientific experiences through workshops in the class and create arts and designs based on their experiences. Recently, some students began to make scientific activities by choosing topics of researches by themselves and create arts and designs. This is a good tendency and the present authors are trying to promote it. Here, some good examples of these students' activities are shown and a new system of education is proposed.
Keywords: Design education, Scientific activities, Voluntary research, Art and design creation

１．導入

筆者らは 2004 年以来、神戸芸術工科大学および武蔵野美術大学で、アート・デザイン系の学生や大学院生に対して、科学体験に基づいてアートやデザインを制作するという趣旨の教育をおこなってきた。そこでは、教師の側で準備した教材によって、学生が自然現象の観察や幾何学的な内容の工作を経験し、それからヒントを得て自由にアート・デザインを制作している。この教育の成果は、形の科学シンポジウムや（文献[1]～[3]）、国際会議（[4]～[7]）で発表した。また、2013-2015 年度の科学研究費補助金を支給されている（挑戦的萌芽研究、[8]）。一方、少数の学生の中に、授業で経験したことを発展させて自主的な研究をし、それを基にしてアートやデザインを生み出す学生が現れた。その２，３の例は、今年６月の形の科学シンポジウムで発表した（[3]）。

この傾向は今年になってさらに盛んになったので、この傾向を発展させるように今までの教育体系を改良する必要性を感じている。本論では、そのような学生の作品のうち、文献[3]で紹介したもの以外を紹介し、改良を加えた教育体系を示すことにする。

２．自主的な科学活動にもとづく作品

図１は、準結晶の１次元モデル、すなわち２つの文字 S、L の配列から生まれたデザインである。この配列は、初期状態 S から、S→L、L→SL というルールによって成長させたもので、さらに成長の各段階、S、L、SL、LSL、・・・を全てつないで長い配列を作った。次に、L を黒い正方形、S を白い正方形に置き換え、正方形の板の中央から始めて四角形の時計回りスパイラル状に配列している。この配列は、決定論的であるが非周期という、準結晶特有の性質を示すと同時に、全領域が市松模様の領域と、棒状の模様の領域にはっきり分かれている。この後者が現れるしくみは、今のところ不明である。

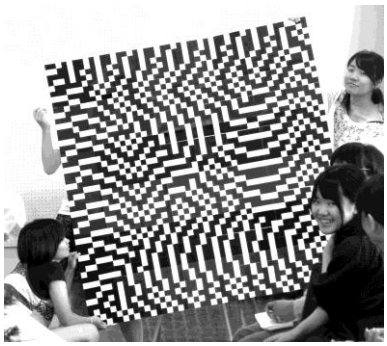


図 1．1 次元準結晶の２次元配列（松尾愛子，2013）

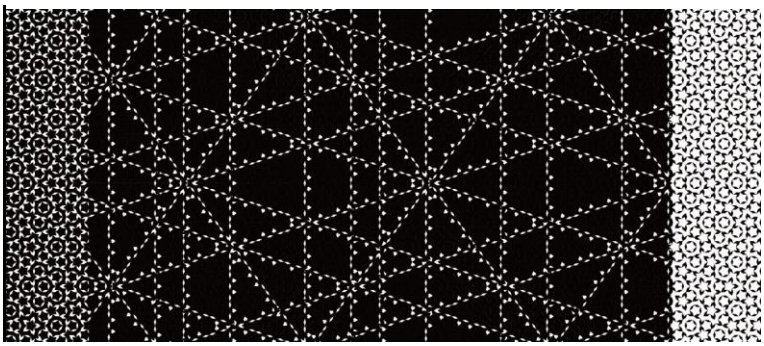


図２．ペンローズタイリング（左端の領域）とその白黒反転（右端）を重ねたモアレ摸様（中央）。重ね方によって変化する。(駒見友美, 2015)

図 2 は、2 種類の菱形からなるペンローズタイリングとその白黒反転したものを、それぞれ透明なシートに印刷し、それらを重ねて作ったモアレ摸様である。これら 2 枚をずらして重ねたとき、局所的に同じパターンが重なればそこは黒い領域になる。黒い領域の境界が直線状になる。

図３は、ハチの巣の構造を授業で学んだ学生が、氷でその形（菱形 12 面体）を作り、飲み物のサービスに応用したものである。新たな研究とは言えないが、目指す形をもつ氷を作るという作業は困難を伴うので、いろいろと科学的な思考を必要としたと推定され、よい例に加えた。

図４は、砂糖水の旋光性を示す実験であり、濃い砂糖水をゼラチンで固めたものを 2 枚の偏光シートではさんで、豊かな色彩を生んでいる。授業では、旋光性をもつセロテープを使って実験し、「砂糖水もその性質をもつが、私は成功していない」と伝えたところ、ある学生が工夫を重ねて成功した。

図 3. 氷でできたハチの巣構造と、飲み物への応用。（田中理大、辻村美帆子、西村美帆, 2009）

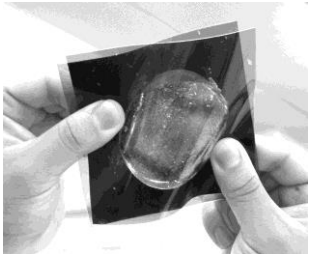


図４．ゼラチンで固めた砂糖水の旋光性実験（渡邉　薫，2015）

３．教育体系の改良案

現在、従来のカリキュラムに改良を加え、下記のような教育内容を考えている。

１．物の形と人間の感性の関係を探る
- 1a. 自然における右と左の違いを観察する（折紙の分子モデル、鏡像関係の２種類の分子の違い）
- 1b. 自然界に現れる黄金比を観察する（植物の葉序の観察、ヒマワリらせんの作図）
- 1c. 準結晶、規則性や乱雑さをもつ配置の観察（ペンローズ、エッシャーパタン、フラクタル性）

２．空間配置の基本法則を学ぶ
- 2a. 空間充填できる多面体の性質を確認する（ハチの巣の内部構造の紙モデルを作成、等）
- 2b. 自然や社会における縄張りの性質を観察する（地図上で県庁所在地と県境の関係を確認）
- 2c. 川筋、亀裂、道路網などの分岐系を観察する（乱数を用いて作図した川筋に法則性を確認）

３．自然に内在する法則とそれによって現れる形との関係を探る
- 3a. エネルギーが最小の形を観察する（立体的なワクに石鹸膜を張る、懸垂線の性質を確認）
- 3b. 成長する時に現れる形を観察する（紙モデルによる雪の結晶成長、樹状の銀の析出を観察）
- 3c. 偏光を応用した発色を観察する（偏光シートとセロテープを用いて発色を確認する）

４．物の形と機能の関係を学ぶ
- 4a. 軽量構造の原理を確認する（吉村パターンの折り目をもつ筒を作成、竹の節の役目を確認）
- 4b. 重力によるからくりを学ぶ（落下する種子のモデル作成、坂道を歩行するモデル作成）
- 4c. 構造物の共振現象を観察する（共振の法則性を確認するおもちゃの作成、他）

今後は、これらのテーマごとに、自主的な研究に進んだ学生の割合や、そのレベルの高さを調べる。

参考文献

[1]～[3] 高木隆司、形の科学会誌、19 巻 2 号(2004) pp. 225-226； 高木隆司、大内克哉、水野慎士、形の科学会誌、28 巻1号(2013)、pp.40-41； 高木隆司、大内克哉、水野慎士、形の科学会誌、30 巻1号、(2015)、p.28-29.

[4] R. Takaki, “A new education system for art and design students based on scientific experiments”, 7th Interdisciplinary Symmetry Congress and Exhibition of ISIS Symmetry, Buenos Aires, 2007 (ed. George Lugosi and Denes Nagy).

[5] Ryuji Takaki, “Educational System of Science Art for Students of Art and Design”, Proc. 14-th Generative Art Conf. Roma, 2011 (http://www.generativeart.com/GA2011/ryuji.pdf)

[6] R. Takaki, K. Ouchi, S. Mizuno, “Cultural Education for Art and Design based on Scientific Experiences”, IASDR 2013 (Int. Assoc. Soc. Design Res.), 2013, Aug. 27-30, at Tokyo.

[7] R. Takaki, K. Ouchi, S. Mizuno,“Educational System for Students of Art and Design with Concept of Sustainability”, ISIS Symmetry Congress, 2013, Sept. 9-15, at Crete, Greece, ***(Plenary lecture)***

[8] 高木隆司、大内克哉、水野慎士：「科学体験を基にしたデザイン教育体系の構築」科学研究費補助金報告書（挑戦的萌芽研究、課題番号：25560015）2013；同, 2014；同, 2015.

生痕化石からわかる深海生物の進化

松岡　篤

新潟大学理学部/形の科学研究センター
新潟市西区五十嵐２の町 8050
amatsuoka@geo.sc.niigata-u.ac.jp

Evolution of deep-sea organisms inferred from trace fossils

Atsushi MATSUOKA

Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

Keywords: deep-sea organisms, trace fossil, trench sediment, accretionary complex

１. はじめに

化石は生物がかつて地球に存在したことを示す物的証拠であり，通常，骨や殻といった硬組織が石化して地層中に残される．生物の痕跡はすべて化石と呼ぶことができ，足跡や巣穴の跡も化石である．軟体部しかもたない生物も生痕化石として，その記録を地層中にとどめることがある．生痕化石の多くは，その形成者を特定することが困難であるが，その生物のサイズや行動様式は把握できる場合がある．

生痕は深海においても形成される．最も深い海は，海洋プレートの沈み込みにともなって形成される海溝である．現在の海溝では最深部は１万メートルを超える部分がある．そのような超深海にも生物が生息していることが，無人の潜水艇による映像などによって示されている．過去の深海の生物は，深海で形成された地層を調べることによって，その存在を明らかにすることができる．生痕化石からわかる深海生物の進化について報告する．

２. 深海生物の化石を含む地層

アジア大陸東縁には古生代以降の付加体が広く分布し，各時代の深海堆積物が挟まれている．これらを研究材料とすることにより，生物の深海への進出にかんする証拠を得ることができる．付加体を構成する遠洋性堆積物は，大洋底堆積物を主体とする．また，陸源性堆積物の大半は海溝で形成されたと見なされている．これらの付加体構成層には，生痕化石がみいだされている（図１，図２）．

３．生痕化石の時代変遷

ジュラ紀付加体に含まれる遠洋性堆積物中の生痕化石は，下部トリアス系の珪質粘土岩にしばしば認められる[1]．下部トリアス系の珪質粘土岩には，肉眼でも認識しうる生痕化石（図１）がみつかる一方で，それに重なるトリアス系－ジュラ系のチャート層には生痕化石が目立たない.深海掘削調査により回収された西太平洋のジュラ系珪質堆積物には，豊富な生痕化石が認められることとは，好対照をなす．このことは，陸域の中生代チャー

トは続成作用により，生痕化石が認識しづらくなっていることを示している．半遠洋性堆積物に直接重なり海溝堆積物であるジュラ紀の砂岩泥岩には，まれに生痕化石が密集してみられることがある．サイズは数ミリを超えるものはなく，海溝域に生息していた生物の断面はミリサイズであったことを示している．また，その産出頻度は高くないことから，生痕形成者が，常に活動していたのではなさそうである．このことは，深海生物の餌である有機物の深海域への供給と関係があるのかもしれない．

白亜紀以降の付加体からなる四万十帯の砕屑岩からは，豊富な生痕化石の産出が知られている．砕屑岩類にみられる生痕は，ジュラ紀付加体と白亜紀以降の付加体とでは顕著な違いが認められる．この現象は，生物が白亜紀以降に深海域へと進出していったことを示していると考えられる．中生代海洋事変[2]の深海域での表現としてとらえうる．

文献

[1] Kakuwa, Y., 2008, Evaluation of palaeo-oxygenation of the ocean bottom across the Permian–Triassic boundary. *Global and Planetary Change*, **63**, 40-56.

[2] Vermeij, G.J., 1977, The Mesozoic marine revolution: evidence from snails, predators and grazers. *Paleobiology*, **3**, 245-258.

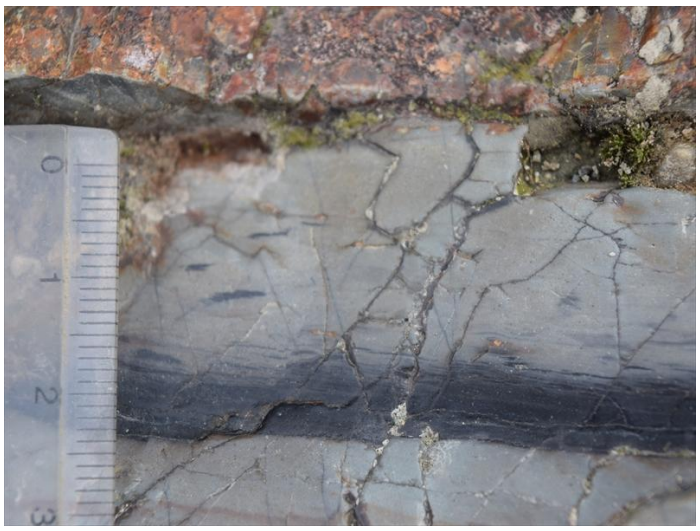


図１．美濃帯の下部トリアス系珪質粘土岩にみられる生痕化石．白色層に点在する黒色部分が生痕化石．生痕の形成者は不明．岐阜県坂祝町の木曽川河床．

図２．四万十帯の砂岩泥岩互層にみられる大型の生痕化石．生痕の形成者は二枚貝である．筋状に延びたり，枝分かれしたりする．二枚貝のサイズおよび行動を表している．高知県室戸市羽根岬．

４℃の水　実験と現象論

形の科学会誌 第30巻 第2号

北海道科学大学　高等教育支援センター　小川直久
北海道科学大学　都市環境学科　福原朗子
大阪大学理学研究科　高分子科学専攻　金子文俊
函館高専　物理　長澤修一

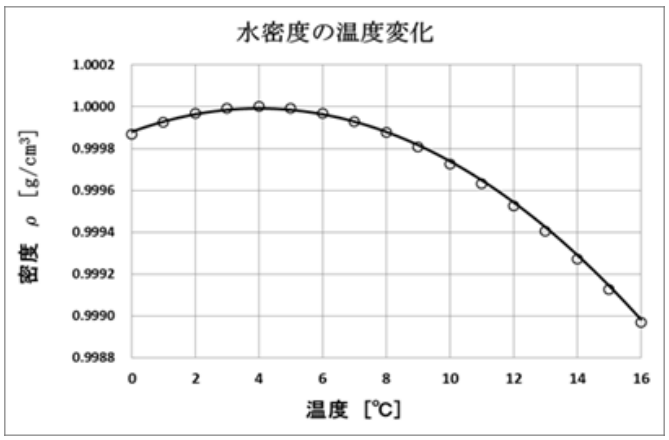
Abstract

一般に、液体の密度は温度降下とともに密度が大きくなっていく。ところが地球上の多くの生物の生命活動の場でもある水は，その凝固点の 0℃ではなく 4℃で密度が最大になる。この水の特異性をテーマとした教材を考えた。教材は以下の３つの部分から構成される。

1 :水を冷却していくと水温 4℃付近で冷却挙動が変化することを示す実験。
2 :この冷却挙動の様子を再現する数理模型の構築。
3 :4℃以下になると水の対流が停止することを視覚的に確認できる実験。

いずれも、大学初年時程度で理解することができる内容になっている。この教材を用いた授業は，学生が水の特異性を理解するための手助けとして有用であると考えている。

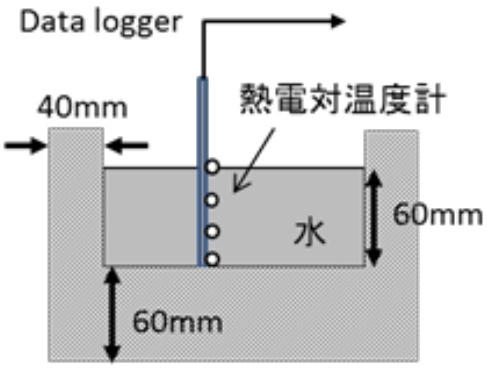
右の図は水密度の温度変化を表す。
式で書くと、（１）式のように、その変化はごく僅かであるが、我々は風呂を沸かした時に，水面は熱いのに，底の水は冷たい、あるいは、冷凍庫の水が水面から凍るなどといった日常経験から、水の密度が最大になるのは０℃ではないことを知っている。
では“家庭にあるもの”を用いて、４℃というシグナルを得ることは可能だろうか？



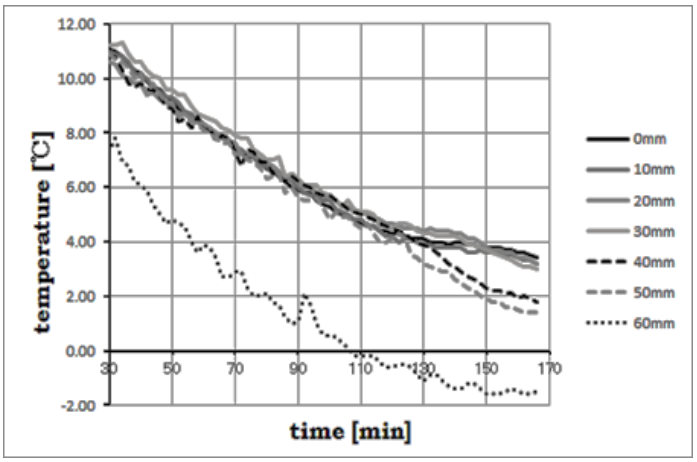
$$\rho(T) = -7.00 \times 10^{-3} \times (T - 4.00)^2 + 1.00 \times 10^3 \ [\mathrm{kg/m^3}] \qquad (1)$$

対流 vs 拡散

下の図のように、断熱材で囲まれた容器に水を入れて高さごとに温度計（データロガー）を入れて、冷凍庫に入れ、－15℃で冷却する。水面のみからの冷却であり、底面は完全なノイマン条件（熱の出入りなし）である。
通常の弱非線形近似による対流の数値計算の場合とは異なる。この結果、以下のような実験結果が得られた。



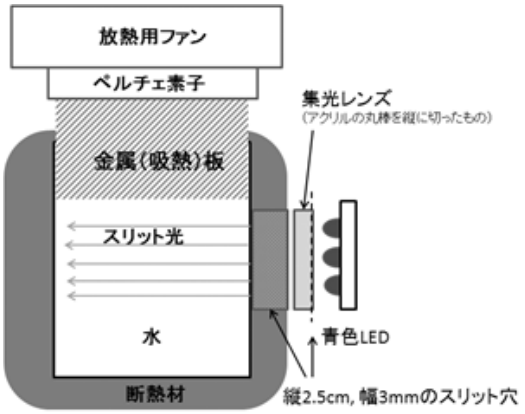
高さごとの温度の時間変化を右図に示す。
水面（6cm）はともかくとして、そのほかの高さの温度はすべて同じ温度のまま 4℃付近まで下りてきて、下層（0～3cm）は 4℃でいったん平ら（プラトー）になって、その後、緩やかに減少するが、上層(4cm～5cm)は 4℃で下層の温度変化から分岐していささか急速に低下する。このような温度変化は、以下のように説明される。



4℃よりも高温：温度が低いほど密度が大きいため、上層の水は冷やされることにより密度が大きくなって下に沈み，逆に下の水は上昇する。このように全層にわたって対流が生じる。このため 上層，下層ともにほぼ同じ温度で冷却が進む。
全層が４℃近傍:水は最も重くなり，さらに水面からの冷却が進むと上層は逆に軽くなるので下への水の移動（対流）が無くなる。このため暫く下層の温度変化は止まり，上層の温度だけが低下する。(プラトーと分岐の発生)
全層が４℃以下:対流がないために下層では熱伝導による冷却が進み，ゆっくりとした温度低下がみられる。以上のように，水を表面から冷却してゆくと，下層の温度が 4℃でプラトーになること，同時に上層との温度の分岐が起こることは，水の密度が 4℃で最大になることを示す重要な根拠となる。
これらの温度の時間変化の振る舞いについては、**簡単な数理模型で説明が可能**である。(講演において解説予定)

対流の観測
水を水面から冷却すると、対流が生じ、底面の温度が 4℃まで冷えた時に対流が停止する。この様子は、水面をペルチェ素子で冷却し、水にフルオレセインを滴下することで容易に観察できる。
ここでは、紙数の制限上、装置の構成を示すにとどめ、
講演の際に対流の様子を写真で見ていただくことにする。

本内容は一部を除き、物理教育学会誌 VOL. 63 NO. 4, 2015. に掲載予定のものである。



参考文献

1)「4℃の謎―水の本質を探る」 北海道大学出版会 1991 年 荒川 泓 著
2) 「生命からみた水」共立出版 1990 年 上平 恒著 17P
3) 4 点式データロガー：TESTO177-T4 (TESTO 株式会社)
4) 秋月電子 温度コントロールキット http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-01872/
5) 「非平衡系の科学 III 反応・拡散系のダイナミクス」講談社, 1997 年 三池 秀敏, 山口 智彦, 森 義仁 (著)

宇宙実験による氷の結晶成長
－国際宇宙ステーションでの実験成果の概要-

古川義純[1]、長嶋剣[1]、中坪俊一[1]、横山悦郎[2]、吉崎泉[3]、田丸晴香[3]、
島岡太郎[4]、曽根武彦[5]
[1]北海道大学低温科学研究所、[2]学習院大学計算機センター、[3]JAXA、[4]JSF、
[5]JAMSS
frkw@lowtem.hokudai.ac.jp

Ice Crystal Growth in Space
-Outline of Experiments in International Space Station-

Yoshinori FURUKAWA[1], Ken NAGASHIMA[1], Shun-ichi NAKATSUBO[1], Etsuro YOKOYAMA[2] Izumi YOSHIZAKI[3], Haruka TAMARU[3], Taro SAHIMAOKA[4], Takehiko SONE[5]
[1]ILTS Hokkaido Univ., [2]Gakushuin Univ., [3]JAXA, [4]JSF, [5]JAMSS

Abstract: Experimental results of ice crystal pattern formation carried out in ISS are summarized.
Keywords: Ice crystal, Pattern formation, Microgravity, ISS

１．はじめに

過冷却水中で氷を成長させると、雪の結晶と同様に六方対称の整った樹枝状結晶を作る。この見事な結晶形は、どのようなしくみで決まるのであろうか？多くの研究者を魅了してきたこの問題には、地上で実験を行う限り、最後まで避けることのできない困難がある。すなわち､結晶成長に伴って結晶周辺に発達する温度拡散場や濃度拡散場が発達するため、重力下では密度の空間分布が生じ、これに誘発されて自然対流が発生する。このため、成長する結晶の形態の対称性が低下したり、成長速度そのものが大きく変化したりする。このため、結晶成長機構や樹枝状結晶のメカニズムを議論するときの大きな障害となる。これを解消する唯一の有効な手段は、無重力環境に置いて実験を行うことであり、それを可能にする究極の施設が国際宇宙ステーション（International Space Station、ISS）である。これまでにも落下塔・航空機、さらにはスペースシャトルなどで実現する無重力環境を利用して多くの実験がなされているが、長時間にわたり安定的な無重力環境が得られ、宇宙飛行士による実験操作も可能な施設は ISS のみである。本講演では、ISS に取り付けられた日本唯一の有人宇宙実験施設である「きぼう」において、初めての結晶成長実験として実施された「氷の結晶成長におけるパターン形成の実験」の概要について紹介する。

２．宇宙実験の概要

実験は、2008 年 12 月から翌年 3 月上旬までの約 3 ヶ月にわたり実施した。12 月 2 日早朝、筑波宇宙センターから最初のコマンドが送信されて、いよいよ実験が開始された。成長セル内の温度が安定した後、核形成セルの温度を一気に－10℃まで低下させると、温度低下の途中でセンサーがいったん温度上昇を検知した。核形成セル内で氷が生成し、潜熱が発生した証しである。あとは、キャピラリーの中を結晶が成長をしてくるのを待つだけである。緊張で張りつめた空気の中、11 分後にキャピラリーの先端から氷が顔をだし、見事な樹枝状結晶が成長をはじめた。15 年間待ちに待った瞬間であった。

このあと実験は、重力の擾乱を避けるため宇宙飛行士の寝静まった時間帯（日本時間で

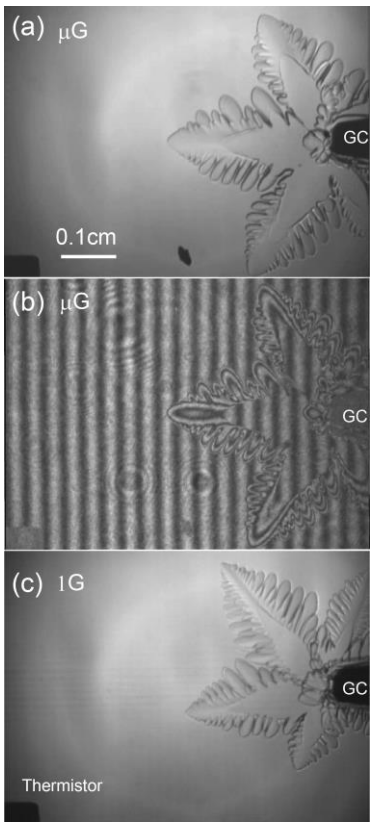


図 1

午前 3 時ごろから午後 2 時ごろまで）を利用して、さまざまな過冷却温度条件で繰り返され、実験終了までの総実験回数は 134 回に達した。氷結晶成長に対する過冷却温度条件は、0。03K から 2K の範囲で設定された。「きぼう」で取得された実験画像(動画)は、ISS と地上との通信が可能である限り、衛星回線を通じて直ちに地上にダウンリンクされる。この時のタイムラグは、条件が良ければ数秒以内であり、ほとんどリアルタイムでの実験が可能である。このタイムラグは、当初の予想より非常に小さく、実験が遠く離れた宇宙空間で進行していることを、つい忘れてしまうほどである。さらに、実験の結果をモニターしながら、必要であれば事前の計画を離れて、実験条件や実験の手順をその場で変更することも可能で、地上実験では通常行う作業手順を宇宙においても実現することができた。

３．宇宙実験の成果

図 1 (a)(b)は、宇宙で取得された氷結晶パターンのスナップ写真である。地上で観察された結晶パターン（図 1（c））に較べ、対称性が極めて良いことが明らかである。宇宙実験で取得した画像データを概観すると、得られた氷結晶パターンは、地上実験とは異なるいくつかの特徴が見られる。それらをまとめておこう。

(1)円盤成長する温度領域が極めて狭い。

(2)ガラスキャピラリーの先端で成長を開始する結晶の厚みが非常に大きい。ガラス毛細管の内径で結晶の厚みが決定されてしまう。このため、円盤成長から、円盤の縁で形態不安定が起きる過程を観察することが基本的に困難であった。

(3)宇宙実験では対流の効果が完全に抑制されるために、地上実験よりもより対称な結晶パターンが得られる。しかし、宇宙実験といえども成長セルの大きさや形状、さらにキャピラリーの存在などの影響を避けることはできず、結晶パターンに対する影響が顕在化する。

(4)宇宙実験では、融解過程においても対流の効果がないため、融解過程のパターンの変化の観察も可能であった。詳細には触れないが成長時のパターン発展の逆経過とは明らかに異なっている。成長時と融解時のパターン変化についての解析も、重要である。

４．終わりに

初回の宇宙実験に続き、2013-14 には、2 回目の氷結晶成長に関する宇宙実験が実施された。本実験では、微量の不凍糖タンパク質を含む過冷却水中での氷結晶成長実験を行い、生体高分子が結晶成長に及ぼす効果の解明を目指した。講演では、これら 2 度にわたる宇宙実験の概要を紹介する。

本実験の成果の詳細については、以下の文献をご参照ください。

【１】古川義純, *月刊化学*　(化学同人社), **2009**, *64-8*, 38.【２】古川義純, 吉崎泉, 島岡太郎, 曽根武彦, 他, *日本マイクログラビティ応用学会誌*,,　**2010**, *27*, 18; **2010**, *27*, 24; **2010**, *27*, 37; **2010**, *27*, 46.【３】E. Yokoyama, I. Yoshizaki, T. Shimaoka, T. Sone, T. Tomobe, T. Kiyota and Y. Furukawa, *J*. *Phys*. *Chem*. *B*, **2011**, *115*, 8739. (Highlighted in *Nature Chemistry*, **2011**, *3*, 572.)　【４】S. Adachi, I. Yoshizaki, T. Shimaoka, E. Yokoyama, Y. Furukawa and T. Shimaoka, *Phys*. *Rev*. *E*, **2011**, *84*, 051605.　他多数。

ケヤキの種子散布戦略

埼玉県立川口北高等学校 生物部　３年　中込瑞大（Mio Nakagome）

１．はじめに

ケヤキの種子は回転しながら落下する。これが種子散布の上でどういった意義があるのか疑問を持ち調べることにした。

ケヤキ（ニレ科 *Zelkova serrata*）は、自然林では渓谷沿にい生育するものが多い落葉樹である。

２．研究概要

準備　落下速度と回転速度の測定方法確立

実験Ａ　落下速度と回転速度の測定実験

実験Ｂ　風の影響(上方向,横方向)

実験Ｃ　他の種子の移動手段の検討

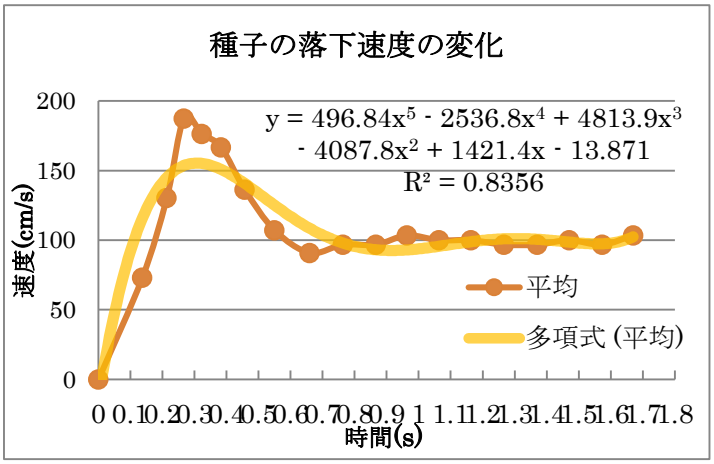
３．準備・デジタルカメラによる測定方法の確立

①乾燥させたケヤキ種子５つを用意する。②カメラを定位置(上、横)に各一台設置。③ケヤキ種子を１個ずつ落とす。④二台同時に動画を 60FPS で撮影する。⑤各地点通過時間を動画フレームより算出し、落下・回転速度をそれぞれ算出する

４．結果

実験Ａ　落下速度と回転速度の関係

落下始めから 0.3 秒までに重力による加速がみられ、最高速度 200cm/s に達した。この時点で回転速度は最高となり安定したが、落下速度は 0.7 秒までに急減速して 100cm/s になった。それ以降は等速度で落下した。

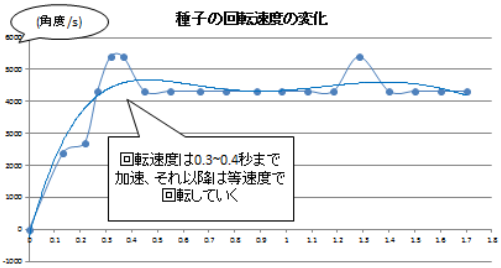


実験Ｂ　風による影響（鉛直上向き、横向き）

方法；鉛直上向きと横からの風は送風機で風を起こし測定した。

実験A結果　回転速度

回転速度については、落下を始めてから0.4秒で角速度が 約4300°/秒に安定した



結果；種子が舞い上がるのに最低必要な風は 1.5m/s であった。風が強いほど上昇するが、遠方（横方向）には飛ばなかった。横風では、どの速度でも多少横に飛ばされたが、高速で落下した。

実験Ｃ　種子の散布手段の検討.

方法；風以外に種子が遠くへ運ばれるための可能性を考えた。(1)小動物に運ばせる方法と(2)河川により運ぶ方法を検討した。その結果、双方の可能性が示唆された。

５．本研究の考察とまとめ

- ケヤキの種子は、最初のわずか 0.3 秒で回転速度を安定させ、空気抵抗を利用して重力による加速を打ち消し落下速度を一定に保つ。(実験 A)
- 下からの風が種子の飛行を支えている。ケヤキの生息する渓谷沿いは上昇気流の起こりやすい場所なので滞空時間を長くすることはできるが、横風があってもなくても遠方に運ばれない。よって、回転落下することに意義が見いだせなかった。(実験 A、B)
- 小動物による種子の運搬の可能性は検討の余地があるが、河川により流されて水分の多い渓谷沿いに生育域を広げているものと考えられる。(実験 C)

６．今後の予定

小動物による生育域の拡大の可能性があるのか、または生息域を拡げる戦略ととらないのか検討したい。一方で、葉の形態と回転や落下運動との関係を調べていきたい。

第 79 回 形の科学シンポジウム 「生物に見られるねじれ構造」
討論記録（記録のあるもののみ掲載）

【主催】形の科学会　　【共催】千葉工業大学
【会期】2015 年 6 月 12 日（金）、13 日（土）、14 日（日）
【会場】千葉工業大学　津田沼キャンパス　　〒275－0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1
　6 月 12 日：　6 号館 4 階 642 号室（講演会場）　※ 6 月 12 日は展示会場を設置せず。
　6 月 13 日～14 日：　7 号館 4 階 7404 号室～7405 号室（講演会場）、7403 号室（展示会場）
【代表世話人】 本多久夫（神戸大・院・医）　　【世話人】手嶋吉法（千葉工大学）
【参加費】 会員・非会員ともに一般 5,000 円、学生 1,000 円
【懇親会】 6 月 13 日（土）17：45 より、2 号館 20 階ラウンジにて（一般 4,000 円、学生 2,000 円）

討論記録は質問者の討論記録シートの記載にもとづいており、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 12 日（金）

形の科学一般
Boerdijk-Coxeter helix の投影図は如何に円に漸近するか
　伊藤圭汰（千葉工業大学）、手嶋吉法（千葉工業大学）
Q. 野村和泉
軽がり実験の意義（今後の継続実験に関して）は？どういう物理量を見たいのか、測れるのか。そのための実験条件は？
A.
関心があるのは、物理量というよりも、(連結数で定まる）構造と転がり易さの関係である。以前我々がおこなった転がり実験では、ポリドロン（商品名）で試験片を作ったのだが、この場合は「正四面体の面連結構造」ではなく、内部は空洞である。今後、アクリル板で正四面体を作製し、文字通り「正四面体の面連結構造」で転がり実験をおこなう予定である。以前の実験結果の疑問点、たとえば転がる距離が極小となる連結数が本当に存在するのかを解明したい。
Q. 佐藤郁郎
連結数に Magic Number があれば増々面白いと思う。何か補正するパラメータはないか？
A.
我々も連結数の Magic Number に興味を持っているが、まだ結論は出ていない。理論と実験の両面から解明したい。
C. 本多久夫
Boerdijk-Coxeter helix の長軸に垂直な面への各頂点の投影パターンがなめらかな円周に近づくという指摘は興味深い。植物葉序で垂直な茎から枝がらせん的に出る枝の上下の重なりのない枝振りになる、この事実と関連するように思う。
A.
Boerdijk-Coxeter helix と葉序との関連は確かに興味深い。
Q. 石垣健
質問というより提案です。ころがる現象は試験体や斜面の鋼性を考慮しなければなりませんので、むしろ思考実験的に鋼体を仮定し、回転面の接線方向の力による負荷を考えられてみては如何でしょうか？
A.
我々は正四面体の面連結構造の工学応用にも関心があるので、転がりだけでなく、そのような考察もやるべきことの 1 つと感じる。

計算機実験による等大球のランダムパッキング
　小嶋健一郎（千葉工業大学）、手嶋吉法（千葉工業大学）
Q. 種村正美
次元の接触充填において、底面の初期条件として 2 次元接触充填の結果をつかったとの説明があったが、この条件だと方向性の問題（等方的でない）が起きる可能性がある。違う初期条件（等方的な）を使うべきではないか。
A.
２次元逐次充填を使ってみたい。
Q. 佐藤郁郎
充填実験はパチンコ玉でやるのとピンポン玉でやるのでは差があるのではないか？
A.
差がある。実際の充填実験では、球の材料の違いにより、密度、表面の摩擦係数、球の変形の度合いなどの違いが充填率の値に差をもたらす。そのような実際のランダム充填の充填率を評価する際の基準となる充填率を提供することが本研究の目的である。規則充填の充填率は厳密に計算でき、実際の規則充填の実験値を評価する際の基準（理論値）となる。ランダム充填の場合は厳密に計算出来ないので、計算機実験により、理論値に代わる理想値を出す。

アイソペリメトリック・グリップのデザイン
　三浦公亮（東京大学名誉教授）
Q. 高木隆司
グリップの形状改良は、面白い問題であるし、可能性も大きい。ただし、スポーツ競技によっては、用具の形に規制があるのではないか。
A.
そのとおりだが、アマチュアのスポーツでは自由に道具のデザインをすればよい。効果がわかれば、競技スポーツでも将来変わるかも知れない。
C. 山口喜博
岩を削るさいに使うハンマーについて、私は、ハンマーが岩にあたる直前に力をゆるめるようにしています。そのために途中で力を込めるためにグリップが滑らないことが必要です。今回のグリップをハンマーに適用するとよいハンマーができると思います。
Q. 藤原基洋
指のどこの部分が一番力を発しているのか。その部分が棒とフィットしたとき、握りやすいと感じる?
A.
手はすごく可変的なので、どの部分で握っているのかわかりにくい。手の圧力を測定する実験があるとよい。
C. 種村正美
グリップの実物を拝見して、実際に手に握ってみたところ、非常によくフィットしてテニスのラケットへの実用になると感じた。ぜひ、商業化していただきたい。

高次元結晶の大域幾何学と局所幾何学
　佐藤郁郎（宮城県立がんセンター）、石井源久（バンダイナムコスタジオ）、秋山仁（東京理科大学）、一松信（京都大学名誉教授）
Q. 高木隆司
３Ｄの安定な多面体としてケルビンの 14 面体を指摘された。ところで、合同な多面体で空間充填するとき、表面積が最小

になるのはケルビンの 14 面体であるとされている。ケルビンの 14 面体がその意味で最も安定であることは証明されているのか。
A.
平行多面体に限るならば、ケルビンの 14 面体になることはすぐ示せる。一般の多面体については証明はまだないと思う。
Q1. 手嶋吉法
ハニカム構造は２Ｄでは円充填に置き換えると最密だが、３Ｄにおけるハニカム構造であるＢＣＣは球充填に置き換えると最密ではなく、ＦＣＣが最密。４Ｄ以上の高次元においても、ハニカム構造は最密にならなか。
A1.
最密にはならない。
Q2. 手嶋吉法
「安定」であることの判断基準にしているか。
A2.
２Ｄでは 2 個のくぼみに 1 個が乗る。３Ｄでは 3 個のくぼみに 1 個が乗る。n 次元では、n 個のくぼみに 1 個が乗る。この様な状態の構造を安定と呼んだ。私もそのように思っていて、両モデルの利点を使う表現方法があるはずで、それを追求していきたい。

アキラルなユニットで作るプラトン立体の折り紙モデル
石原正三（埼玉県立大学）
Q1. 手嶋吉法
キラルとキラルを合わせると「差が生じる」の意味がわからなかった。
A1.
学生には「軍手と手袋」で説明している。軍手はアキラル、手袋はキラルなので、左右を入れ換えてはめると違和感がある。これを「差が生じる」と表現した。
Q2. 手嶋吉法
キラルとキラルを対掌に合体したものは必ずアキラルになるという理解でよいか。四面体モデルをつかえば炭素化合物がつくれると思うが？
A2.
様々な例がある。模型を展示するので見てほしい。

5 つ編み
東川和夫（富山大学）

デザイン系学生による科学研究
高木隆司（東京農工大学名誉教授）、大内克哉（神戸芸術工科大学）、水野慎士（愛知工業大学）
Q. 藤原基洋
デザイン系の学生は不変的な物を美しいと思うのか、可変的な物を美しいと思うのか。（人間がどちらを美しく感じる人が多いのか気になったので。）
A.
どちらの学生もいて、人が美しいと感じる感情は様々である。実際、人類は絵画や彫刻のような静止した芸術、および音楽や舞踏のような動きのある芸術の両方を発達させた。ただし、デザイン系の学生では、静止した造形を思考する方が比較的多いようである。

シャルコフスキーの順序関係の拡張
山口喜博（帝京平成大学）
Q. 石原正三
周期軌道の分類とは正規・非正規の違いを言っているのか。
A.
ロジスティック写像に現れる周期軌道を、正規型周期軌道と非正規型周期軌道に分けました。シャルコフスキーの順序関係に含まれる周期軌道は正規型周期軌道の一部です。講演では、すべての正規型周期軌道について順序関係を与えられることを紹介しました。
講演では述べませんでしたが、正規型周期軌道と非正規型周期軌道を含めたすべての周期軌道についても順序関係を与えられることを補足しておきます。

西オーストラリア州ハメリンプールのストロマトライトの水深と形状
伊津野郡平（放送大学大学院）、芝原暁彦（地質標本館）
Q. 高木隆司
ストロマトライトはそれ自身が個体なのか、あるいは単なるバクテリアの集合体か。
A.
ストロマトライトは堆積岩ですので生物ではありません。しかし、生物に似て堆積が増えていくため生物の一種かと思われる方もいらっしゃいます。体積が増えるしくみは、シアノバクテリアが大量の粘液を放出するため、流れて来た砂礫を引っ付けるためです。しかし、この砂礫の捕獲は、それほど強いものではないので、積もった砂礫の殆どは波や流れに流されてしまい、堆積速度は 0.5mm/年程度です。シアノバクテリアは原核生物で光合成をするため、砂礫が堆積すると光を求めて上へと移動します。移動先で砂礫に埋もれるとさらに上へと移動します。これが繰り返されるため、内部に層構造ができます。また、このためシアノバクテリアは、ストロマトライトの表面から数 mm の深さの範囲内に棲息しています。ストロマトライトの表面から数 cm より深いところでは、堆積した粒子（ooid（核は後述のかけらやドロマイト）、二枚貝、巻貝、有孔虫の殻、あるいは、それらのかけらなど）間に、海水からアラゴナイトが析出し粒子を固定します。これにより硬化した硬いストロマトライトができあがります。構成物質は前述のように鉱物ではないため岩石です（ドロマイトは菱形の結晶ですが単独ではなく ooid の核となっている場合が多い）。

トランプ画像想起時の脳波による BCI
山ノ井高洋（北海学園大学）、豊島恒（ジャパンテクニカルソフトウェア）、工藤卓（関西学院大学）、大西真一（北海学園大学）、山崎敏正（九州工業大学）、菅野道夫（ソフトコンピューティングヨーロッパ研究所）
Q. 高木隆司
４以降で反応が決まっているのに、トランプカードのＡ～３だと、規則性が見えないのは何故だろうか。
A.
いまのところ不明であるが、４以上と比べて何か異なる処理をしている可能性がある。
Q1. 本多久夫
トランプのＡ、２、３についてはダイヤはマークの数が少ない（１～３個）から判定がむずかしいのではないか。
A1.
そうかもしれない。
Q2. 本多久夫
右脳・左脳の決定は誕生後に決まると考えられているのか。
A2.
そうだと考えている。

<u>フォーラム</u>
ヒステリシス曲線の数理と形
米田守重（日本電子専門学校）
Q. 高木隆司
ヒステリシスがおきるのは物質内で何かの散逸があるためだと思う。その効果は基礎方程式でどのようにとり入れられているか。
A.
物質内のドメインの変化に応じて互いに調整し合う。それが散逸の原因と考えられている。基礎方程式では、それが Δt だけの時間の遅れとして考慮されている。

<u>生物にみられるねじれ構造・第１部</u>
心臓のループ形成を考える
本多久夫（神戸大学大学院・理化学研究所）
C. 高木隆司

管や棒をねじってねじれ変形が起きる現象について、管の一部に非一様な構造があることを仮定している。生体中ではそのような効果が重要であろうが、単純で一様な弾性棒でも、ねじりの外力を与えると１個所にねじれが生じる（私は、ねじり座屈と呼んでいる）。
A.
貴重な事実を教えてくださりありがとうございます。私のバーテックス・モデルでは細胞の隣関係が替わりますからねじりの外力は局所的に解消してしまうのかも知れません。
Q. 平島剛志
分裂しない細胞の空間分布は“帯”である必要はあるのか？分裂しない細胞は散在していてもねじれをもたらすのか？
A.
散在していては、ねじれない。分裂しない細胞の存在は、flowの左右を決める遺伝子の非対称発現に起因していると期待している。それらの遺伝子と細胞分裂の関連を追求していきたい。

葉の枝分かれに見られる非対称性について
　中益朗子（九州大学院）、末松 J.信彦（明治大学）、
　木村成介（京都産業大学）
Q. 根岸利一郎
非対称の下向きが多いとはどういう向きか。
A.
二次・三次の枝の重力側（下向き、基部側）が多いということ。 ただし、必ずしも下向きのみが多いわけではなく上向きが多いケースもあることから、非対称の方向性を決めている要因は重力ではないと考えています。
C. 本多久夫
複葉や分裂葉の形を論じているのが、葉の葉脈のパターンとの関連はどうなのだろうか。興味深いテーマであると思う。葉脈の分岐パターンと、その植物の茎の分岐パターンとは相関がないと考えている（茎分岐が対生なら葉脈分岐も対生とは限らない）のだが、この点はどうなのだろうか。
A.
葉脈の分岐構造と複葉・分裂葉の分岐構造は必ずしも相関はなく、葉脈に対して葉身が多い少ないといった機構で葉の分岐の有無が決まるわけではなさそうです。
葉序と葉の分岐構造の違いは、どこでパターンを用いているか（茎頂のような二次元曲面か今回のモデルのような葉の縁の一次元曲線か）の違いだと考えています。
Q. 平島剛志
main axis と sac. Axis の成長速度はタイムラプスで計測できるのでは？
A.
葉の発生（形態形成）過程において計測をするのは、大変重要なことだと思います。ただ、葉の発生が行われる茎頂部は、周囲を葉が幾重にも囲っているケースが多いので、そのままでは観察は難しいです。

円錐状炭素クラスターにおける分子構造の幾何学的な検討
　吉野隆（東洋大学）、蒲生西谷美香（東洋大学）、
　白石美佳（東洋大学大学院）

6 月 13 日（土）

<u>形の科学一般</u>
対称性を持つ構造システムの系統的な部分モデル抽出法に関する考察
　秋田剛（千葉工業大学）
Q. 手嶋吉法
今回の手法により、どれくらいの規模の系を扱えるか。
A.
数十万自由度を扱えると考えるが、大規模計算にはまだ着手していないので、実際にやると様々な課題が出てくるとは思う。

固体材料における微細構造時間発展の評価技術の開発
　原祥太郎（千葉工業大学）
Q. 住田雅樹
YSZ の焼結中の空ゲキは粒成長の形の変化にしたがって埋まるという認識でよいでしょうか。高温焼結と高温運転は温度が違うと思いますが挙動の違いはどうでしょうか。
A.
1400℃近くの高温焼結中においては、YSZ の空隙も粒成長と緻密化が同時進行しながら減少する。製造プロセスの温度は、1400℃程度と高温であり、この時は、NiO と YSZ の両材料が緻密化し焼結する。焼結された NiO-YSZ は還元過程を経て Ni-YSZ となった後、運転プロセスにうつる。運転プロセスの温度は 800－1000℃と製造プロセスより低いため、この温度域では、YSZ は動かず Ni のみ焼結し粒成長する。

複数の円形状を含む組み立てブロックとその数理的性質
　松浦昭洋（東京電機大学）、白根弘士（東京電機大学）
Q. 住田雅樹
３ＤＰの造形で寸法精度の悪さや直角が作りにくいなど特徴があると思うが、部品の組み立てで問題にならなかったか。
A.
大きく問題になった。ブロックの結合部分では、0.01mm オーダーのサイズの変更で緩くなったりきつくなったりして、はまらないということがあった。
Q. 手嶋吉法
３次元化で球を使うとまさにひょうたんのような形（鉄アレイのような形）になるが、結合が難しくなるか。
A.
レゴなどでも使われている方法だが、袋状の弾性を持った穴に、ひょうたんの片方の球を押し込む方法がある。その様な方法も含め、検討していく。

<u>招待講演・公開講演（形の科学一般）</u>
象の脚と蟻の脚（スケール則から見る形の力学）
　菊池耕生（千葉工業大学）
Q. ベリクヴィスト ヨハン
まわりの媒体を変えることによって、スケールが変わってくるということはあるのか？ たとえば、海水中に入るなどという条件の変化によって・・・。
A.
水中では重力の影響を受けにくくなるのでスケールが大きくなり、くじらなどはかなり大きい。地上では象の大きさで限界。空中では重力の影響を受けるので、鳥などはせいぜい２メートル程度となる。
C. 本多久夫
爬虫類の脚は体から水平にのび関節で 90° 下に向く形だが、哺乳類は体から下方に直接のびているこのような違いがあると聞いたことがある。これは動物の体重に依存すると考えるとうまく納得できると思う。
Q. 北沢美帆
ロボットの設計の際、脚の本数はどのように決めるのでしょうか？例えば、ゴキブリは６本足だから速いというわけではないでしょうか。
A.
m 級だから４本足、cm 級だから６本足というわけではなく、生態学的要因が多分にありそうです。小型生物の壁面移動などを考えると、６本足は３本ずつで支持し回転するのを抑えながら歩けるので体を支えやすいというメリットがあると思います。
また、速い（トップスピード）とすばやい（加速度）で言うとゴキブリはすばやいのですが、それに足の数が影響するかは脚式歩行の専門家に聞いて見ないとわかりません。脚の本数が多いほど速いかと言うと、ゲジゲジは速くも、すばやくもないです。

分子の形と進化（形は生き残る）
　河合剛太（千葉工業大学）
Q1. 本多久夫

タンパク質の形を見て系統樹を決めていく、とても興味深い研究だと思う。ここまで分かった後、ふりかえってヌクレオチドやアミノ酸の配列に基づいて同じ系統樹が得られることにはならないか。
A1.
そうはならない。形を比較してはじめて系統の遠近関係が分かる。
Q2. 本多久夫
20 年ほどまえ、タンパク質の３D 構造がすべてわかったときに、互いに似た構造が意外に多く、構造の種類は 1000 種余りだろうといわれたことがあったが、そうなのか。
A2.
数え方によるが、そのようには言える。
Q. 小澤航太朗
分子の立体的モデルはどのようにして決めているのですか。
A.
タンパク質や核酸などの生体高分子の構造は、X 線結晶構造解析や核磁気共鳴法というような物理化学的な方法で決定できます。最近では、立体構造のデータベースが充実しているので、これを利用したコンピュータによる予測の精度も上がってきています。
Q. 寺田大将
生物の進化の系統樹と分子の進化の系統樹には相関は見られるのか。
A.
生物の進化の系統樹と分子遺伝学的な系統樹は非常に類似している。一方、本日の講演の内容は、系統樹の分岐以前の分子についての話である。
Q. 佐藤郁郎
Molecular Dynamics は Newtonian と Quantum でどれだけ差を生じるのか？
A.
現在、タンパク質等について行われている Molecular Dynamics は古典力学に基づくものがほとんどです。部分的に量子力学を含める計算も用いられますが、今のところほとんどが静的な解析に留まっていると思います。ただ、この分野は急速に発展しています。

招待講演・公開講演（生物に見られるねじれ構造・第２部）
ねじれについて
　本多久夫（神戸大学大学院・理化学研究所）

伸びてねじれる精巣上体細管のかたち作り
　平島剛志（京都大学）
Q. 中村振一郎
らせんの向きが途中で変わる理由について知りたいです。
　①でんわ線は必ずおこるか、
　②外からのしげきが途中で（らせん向きを変えるように）変わること、生体内であるか。
A.
①（おこすように？）ゆっくり、操作すると、必ずおこる。電話線を一旦引き伸ばします。張力がかかっている線をゆっくりと戻しますと、高い確率でらせん巻きの方向の逆転が起こります。
②精巣上体細管の周囲組織が、ある特定の領域で管のらせん巻きの方向を変えるように働きかけている、というアイディアは完全に否定できません。しかし、私たちの解析では、それを肯定するデータは得られていません。
Q. 倉永英里奈
管の伸張の際、細胞分裂して数をふやすが、管が太くならずに長さだけが伸びる理由は？（平滑筋による packing + 分裂軸に feedback が存在するか？　どのようなメカニズムか？）
A.
平滑筋の contribution も大きい（発生阻害による elongation の defect から）が、平滑筋発生前にも duct の直径は変わらないので、メカニズムは不明だが、duct の径を保つメカニズムが存在すると考える。
Q. 植田毅
精巣上体細管に張力をかけた場合にねじれの波長はどのようになるか。精巣上体細管は欠陥等に比べ壁の厚みが厚いが、その違いは本質的か。弾性体としては、ねじれない方がエネルギー的には低いはずで、左右反転部分はねじれていないので、エネルギー的に得で、多数回反転があってもよいと思うがいかがか？　（この場合、エントロピーが増加するので少なくても自然ですね）
A.
実験は難しく、今のところどのようになるかわからない。厚みは本質的に意味がある。左右反転の位置はほぼ決まっており、それほど頻度は高くない。

時計回りの器官形成を支える細胞の左右非対称性
　倉永英里奈（理化学研究所）
Q. 中村振一郎
①南半球でも北半球と同じか、②温度効果は、
③そもそも、何のための回転。
A.
①同じ、②比例、③不明だが、回転しないショウジョウバエ系統では、成虫で精子射出管が後腸の周りを周回する形態が見られず、また１回転分短くなることから、長い精子（体長２mm に対して 1.8mm）を射出するために、性選択に有利になるのでは無いかと思います。
Q. 寺田大将
ミオシンの局在化のメカニズムについて細胞はどのようにして左と右を知ることができるのか？
A.
まだ十分判っていませんが、ミオシンのスパイラル構造に由来した、細胞内の物質誘導が関係している可能性があると考えております。
Q. 宮崎修次
実験やシミュレーションの動画を見ていると、ファインマン・ラチェットを想起する。シミュレーションの設定を見るとある程度の非対称性とランダムな押し合いへし合いを利用しているように見える。講演で扱われた回転運動はある種のファインマン・ラチェットになっているのか？
A.
あとでファインマン・ラチェットについて教えて頂きました。まさにその構造が関係していると考えます。
Q. 植田毅
回転が 180° で止まるのは、どのように検知し、とめているのか。
A8、A9 の回転を独立に制御できるが、各々別の遺伝子で制御されているのか。
A.
今のところわかっていない。
別々の因子によっている。

6 月 14 日（日）

形の科学一般
自律神経機能検査を用いた立体映像曝露時の生体影響評価
　松浦康之（名古屋私立大学大学院、Prince of Songkla 大学）、加藤大翔（福井大学）、森柚樹（福井大学大学院）、木下史也（名古屋大学大学院）、高石鉄雄（名古屋私立大学大学院）、高田宗樹（福井大学大学院）
Q. 松浦執
感覚不一致説は記憶されている感覚と実際の感覚のズレを原因としていますが、実際に実感覚とコントロールしてずらした映像などを生成して視聴するような実験は可能でしょうか。
A.
興味深いので、やってみようと思います。
Q1. 平島剛志
性別間での比較を検討しているか？
A2.

検討している。
Q2. 平島剛志
性差で結果が異なることを期待できる理論はあるのか？
A2.
現状では、性差で結果が異なることが期待できる理論はない。おそらく、性差よりも個人差のほうが影響が大きいと推測している。

ネットワークモデルによって捉えるイノベーター理論とキャズム理論
宮崎修次（京都大学）、山田慎也（京都大学、西日本旅客鉄道株式会社）
Q. 北沢美帆
スモールワールド、ランダムなどネットワーク構造によって、学説の伝播する速さや伝播の仕方に違いは見られるのでしょうか。
A.
状況によって異なるのでやってみないとわかりません。規則的なネットワークだと波のように伝わるので速そうですが、スモールワールドのようにあちこちに種ができる方が場合によっては速いかもしれません。

鹿威しによる水滴・粉体落下系の計測
山田健太（京都市立堀川高等学校）、宮崎修次（京都大学）
Q. 藤原基洋
滴１滴の容量と今実験として使われている容器の容量がそこまで大小がないようなので、誤差が大きくでそうですがどうですか。
A.
水受けの容積を増やすことで相対的に誤差を減らすことができると考えています。
C. 手嶋吉法
実験装置を自作して実験し、さらに数理モデルによる解析があり、よい研究と感じた。
Q1. 手嶋吉法
鹿威しの実験を観察して興味深く思ったことは？
A1.
水滴の落ちる間隔が不規則であって欲しかったが、割と一定の間隔だったのが残念だった。
Q2. 手嶋吉法
水滴落下をコイン投げでモデル化する時、各々の水滴の体積を全く同じと近似したという理解で良いか。
A2.
良い。１滴の容積は一定で，落下間隔が分布している。
Q3. 手嶋吉法
実際の水滴の体積は、どれくらいバラツクのか。
A3.
測定していないので、分からない。
第 78 回「形の科学シンポジウム」（佐賀大学）において「滴る水の形と動き」という招待講演で登壇頂いた秦浩起氏のご指摘によると、実際の水滴落下系では、ちぎれた後に残った水の量にも依存するが、平均として落下間隔が長ければ、次に落下する水滴はその分、成長して容積が大きくなる。また、長い管を流体が満たして一端から流出する場合は、流体力学のベルヌーイの定理の制限があり、自由に揺らぐことはないと考える。
流量率が揺らぐ系の実例としては、降雨が考えられる。また、尿道は短く伸縮することからベルヌーイの定理の制限がないと考えると、健常者と泌尿器疾患者とでは、排尿の流量率の揺らぎの特性が異なるものと考えており、医学への応用になるのではないかと期待している。

<u>生物にみられるねじれ構造・第３部</u>
Ammonite に見られるねじれ-白亜紀後期の Pravitoceras sigmoidale
松岡篤（新潟大学、形の科学研究センター）、吉野恒平（新潟大学、形の科学研究センター）
Q. 中益朗子
異常巻きアンモナイトは軟体部をねじることができたのか？
A.
アンモナイトの軟体部は残らないのでよくわからない。ねじることはできたと考えられる。

生体高分子の高次らせん形成における右・左の選択
柳尾朋洋（早稲田大学）、佐野聡祐（早稲田大学）、吉川研一（同志社大学）
C. 本多久夫
二本のらせんの相互作用に興味がある。ロープなどのひもをどんどんねじって２つに折ると並んだロープが逆にからまる。これ理由の説明にもなるように思う。
A.
本研究では、右回りの２重らせん構造を有する DNA に曲げを与えると、DNA はひとりでに左方向によじれる可能性があるという示唆を得ました。
これは、仰る通り、紐のねじれを一方向にどんどん増やしていくと、ある時点で、逆向きによじれ合った超らせん構造が出現するという現象に対応していると思います。まっすぐな紐の場合、外部からねじれを加えないとこの現象は生じませんが、DNA の場合は、右回りにねじれた２重らせん構造をはじめから内部に蓄えているので、外部からねじれを加えなくても、曲げるだけでひとりでに左方向によじれるのだと考えられます。

キャベツの葉序決定の要因探求
根岸利一郎（埼玉工業大学）、関口久美子（埼玉工業大学）
Q. 中村振一郎
サイコロの奇/遇を偶然と認めるように、１葉が右/左で偶然とお考えならば、偶然というのが結論とするのではいけないのでしょうか。
A.
環境によるという仮説を検証しているところです。
Q. 中益朗子
第１葉が出た時点では、かなり先の葉位の葉までできている。環境要因を振る時期をもっと前にしてみてはどうか？
A.
第２葉が第３葉の出現によって位置を変える現象も観察されている。
もっと早い段階も検討したい。
Q. 平島剛志
「給水位置の固定」の実験で、各回には偏在が認められるのでは？
A.
実験精度に課題が残っているので、まだ何とも言えない。
Q. 中川愛子
側芽の第１葉が親株の円に接する方向に出るのはなぜか？
A.
まだわからない。側芽の第１葉が左右のどちらになるかはランダムである。

ケヤキの種子散布戦略
中込瑞大（埼玉県立川口北高等学校）
Q. 山田健太
種子が回転しながら落下するのはケヤキにしか見られないのか。楡科の植物のみ見ることができるのか。
A.
熱帯雨林の植物など、プロペラ型のものもある。
Q. 北沢美帆
ケヤキにとって回転速度や落下速度はどのくらいが理想的なのでしょうか？　例えば落下による破損を考えたとき、どのくらいで壊れてしまうといった知見はあるのでしょうか。
A.
今後実験などで確かめたいと思います。
Q. 平島剛志
今後の研究計画（予定）は？
A.

風の向きや強さに対する影響や小動物による散布の影響を考える。

形と知

顕彰が生む偽史――点心伝説
杉本剛（神奈川大学）
Q. 渡辺泰成
芸大の中に六角堂があると初めて知った。五浦六角堂であるが六角形に何か意味があるのか？
A.
意思決定の根資料はありません。
四角ではつまらない・・・夢殿（八角堂）のようなものを目ざしたけれど、建設場所の都合などで六角で収まったのでは？
紫雲山頂法寺（通称：六角堂）説や中国の都江堰にある観瀾亭（八角堂）説もあります。天心自身は五浦の六角堂を観瀾亭とよんでいました。流れを眺める建屋というほどの意味です。

近世日本の図の形態分類２
出原立子（金沢工業大学）
C. 本多久夫
近世日本の図に限らず、時代、地域とひろげていろいろなものが対象になると思う。まんだら、ポリネシアの海図、エジプトの壁画、アンコールワットのレリーフ、中南米先住民のレリーフなど。

デジタル学習環境における際立つ仮想キャラクターの効果
高部菜月（東京学芸大学）、鴫原拓実（東京学芸大学）、松浦執（東京学芸大学）
C. 平島剛志
キャラクターの動きによっては注意が散漫になるのでは。学習効率の高い”動き”や”姿勢”があれば（発見できれば）うれしいなと思います。
C. 本多久夫
NHK－TV 番組「ダーウィンが来た」の中で「ひげじい」というのが出てきて、質問したり、別の点で注意を引いたりする。はじめは不要とおもっていたのだが、別の面からの突っ込みであって理解の助けになり見やすい。この話とも関連あるのではないか。

フォーラム
映像中の予測不可運動成分が姿勢変化に与える影響
杉浦明弘（岐阜医療科学大学、名古屋大学大学院）、伊藤唯（岐阜医療科学大学）、太田紫乃（岐阜医療科学大学）、志村美保（岐阜医療科学大学）、田中邦彦（岐阜医療科学大学）、高田宗樹（福井大学大学院）、宮尾克（名古屋大学大学院）
Q. 植田毅
目がまわったときには眼球がそれまでの身体の運動を保障する運動するが、この実験ではどうか。
予測不可能な運動に追随できるかどうかは、無意識に発生できる体幹の筋力と体の質量のパワーウェイト比に依ると思うが、どうか。そのような傾向は見出せるのではないか。
めだかは縞模様のある回転する壁に対し、静止するように泳ぐが、その回転に対し、ノイズを入れてみると、より単純で分かりやすい傾向が見られるのではないか？
A.
今後検討していきたいと思う。そのように思う。
Q. 根岸利一郎
映像の反映は経験がものを言うと思われる。年齢はどのように考えているか。
A.
20 才頃が最も酔わないと言える、小児による実験は影響の大きさを考えると慎重に行う必要があると考える。
Q. 渡辺泰成
今回の発表は視覚が姿勢に与える影響だが、三半規管系のような体感に基づく揺れ（地震酔いのような）と視覚との相関を教えて下さい。
A.
相関は非常に高いと思います。酔いやすい人は、視覚、聴覚、体性感覚などの、すべての矛盾を積極的に解消しようとします（気分が悪くなることがわかっているため）。ですので、酔いやすいひとは、三半規管に基づく揺れに対しても，感覚矛盾を積極的に解消する(感覚に合わせて体を動かす)と考えられます。

形の科学一般

書写書道 ICT システムの構築
沓名健一郎（福井大学大学院）、本田容子（盛岡大学）、平田隆幸（福井大学大学院）
Q. 松浦執
技能の習得は機械にまかせるようになり、その代わり日常化する教師も書を学ぶ人である書道教育では書で何かをしていこうという方向ではだめですか？
A.
マクロ・ミクロに個は合わせて指導するということが、やはり人の人による指導の中で実現することだと思う。
C. 松浦執
標準的なことは機械で学べるが、精神的なことを含め、ここからはまさに人が人を導くところということがはっきりしてくると価値の確立、日本の教育の独創性の明示ということができるのかもしれません。

フラクタル配列点状散乱体の波動透過率のフラクタル次元
植田毅（東京慈恵会医科大学）

リンゴの皮むき曲線について
海野啓明（仙台高等専門学校）
Q. 手嶋吉法
リンゴの皮むき曲線全体を両極付近ではアルキメデスらせん、その他の部分は、オイラーらせん、もしくは Lituus らせんで表せると理解した。それらの境目はどこか。
A.
（動径 vs 回転角の両対数グラフを見ると）半球の皮の長さの半分（皮全長の 1/4）のところが境目となる。

薄膜状に張ったアスコルビン酸溶液からの結晶成長における自己相似ダイナミクス
山崎義弘（早稲田大学）
Q. 中村振一郎
液間の non-local な相互作用には水素結合でしょうか。pH 依存を試してみて下さい。
A.
結晶成長に伴い排出される溶媒の蒸発が引き起こす流体力学的な相互作用が non-local な原因ではないかと考えている。
Q. 渡辺泰成
アスコルビン酸の水和物の結晶構造があれば水分子の出入が生じて構造相転移が起こっているようなことはないか？
それがないならば、様々な結晶成長パターンが生じるのは、結晶構造に影響するのではなく、ドメイン間に水分子が出入りすると考えてよいか?
A.
ドメイン間に水分子が出入りしている方が妥当ではないかと思う。
Q. 高木隆司
ある実験では、α相、β相が現れている。それらは、同じ環境（温度、湿度、etc）で２つの安定な相があるということか。
A.
その通りである。ただし、どうして双安定になるかは全く分からない。
Q1. 松岡篤

メノウにみられる３次元の縞状構造と２次元の実験の結果はどう関係するのか。
A1.
溶質の供給が追いつかないという意味では、リーゼガング現象とアスコルビン酸の結晶成長で生じる成長の進行と停止は類似した現象であると考えられる。
Q2. 松岡篤
Uniform の結晶に見られる十字線は何か。
A2.
偏光顕微鏡のクロス二コル像。十字線は偏光十字（maltese cross polarization）である。球晶の観察では一般に見られる。

クモの網を模擬した構造の変形に及ぼす横糸の弾性係数の影響
森山卓郎（阿南工業高等専門学校）
Q. 手嶋吉法
予稿集 p.94 の図 2 (a)に多角形の角数の違いによる最大変位の差が示されている。これら三者の横糸の長さがほぼ等しいとのことで、縦糸の長さは違うのでその差ではないか。
A.
横糸の長さがほぼ等しいのではなく、縦糸と横糸を併せた糸の全長を三者で等しくした。確かに正１２角形が一番縦糸の長さが長いので、それも最大変位の差の違いに影響しているかもしれない。
Q. 植田毅
クモの網では縦糸、横糸のノードはすべるはずだが、今のモデルではどう扱っているのか？　固定した場合と、すべる場合では結果が大きくかわるのではないか。
A.
固定としている。滑りを考慮すれば結果が多少変わる可能性はあるが、今回はクモの網をより正確に再現するよりも、クモの網を模擬した構造において横糸の形状や弾性定数の違いによる影響に着目したので、モデルは単純化してノードはすべて固定とした。

水から酸素をつくる光合成 PSII に出現する形
中村振一郎（理化学研究所）、畑山允（理化学研究所）、緒方浩二（理化学研究所）
Q. 高木隆司
分子の挙動を示すシミュレーションでは、光のような外から刺激を与えているか。
A.
古典動力学であり、光刺激は与えていない。熱運動だけである。
Q. 植田毅
アンテナの光の量子効率ほぼ 100%というのは状態のコヒーレンスが効いているが、この部分で古典的になぜ効率 100%とできるのか。
A.
この古典 MD 計算では、効率を計算で示しているわけではない。効率とは定義によるが、光子のエネルギーがすべて光合成に使われたという意味である。熱振動などで、逃げていないという意味である。ただし、天然光合成の凄いところは、過剰な光エネルギーを逃がす回路のようなものも備わっているらしい。

○新入会の皆様（敬称略）

佐々木　康成　　金沢星稜大学教養教育部

山口　陸幸（再入会）

○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．

佐々木　康成

A: 認知科学、実験心理学、感性、記憶

山口　陸幸

A: web サイト：http://www1.bbiq.jp/polyhedra/index.html　　**B:** 三次元図形・四次元図形

C: 山口　陸幸　と申します。以前、小川　泰　先生の紹介で、入会していましたが、事情あって脱会いたしました。

私は長年、『三次元図形』の研究を続けています。特に、相貫体、星形化、穿孔多面体について詳細に調査しております。その内容の一部をまとめたものを『CG で知る相貫体』として出版しました。

最近は四次元図形にも触手を伸ばしております。四次元図形は三次元では直接、表現することは出来ません。そこで、三次元でも正確に表現できる三次元展開図を中心にその性質の一部に触れたいと努めております。

この一部はホームページ『正多胞体の世界』(http://www1.bbiq.jp/polyhedra/index.html)でも紹介しています。

最近は 3D プリンターを利用し、四次元図形の三次元展開図や複合多面体の模型の一部を製作を始めました。

この調査確認の中で、参考文献等でも示されていない内容が幾つか在りますので、その内容を公開し、審議して頂きたいと考え、再入会することに致しました。

従って、出来るだけ多くの資料を提供したいと考えますので、よろしくお願いします。

○流れの画像データベースのご案内

FORMA を出版している Scipress の web サイト（Forma が掲載されているサイト）上の次の URL に e-Library が公開されています。

http://www.scipress.org/e-library/index.html

この中の、”Flow Visualization”

http://www.scipress.org/e-library/fv/index.html

は流れを可視化した高解像度の貴重な画像です。ぜひ一度ごらんください。

○平成 26 年度をもって御退会の会員（追加）

池田　展敏　　東北生活文化大学短期大学部

秋丸　知貴　　日図デザイン博物館
石坂　昭三　　元富山国際大学　（名誉会員、ご逝去ご退会）

○ご逝去

形の科学会より、謹んでお悔やみ申し上げます。

石坂　昭三先生

本会創始者のお一人です。本会はステレオロジーと形の物理学という２つの潮流が合流することにより立ち上げられた学会ですが、この合流を主導されたのが石坂昭三先生です。1995年形の科学会第１回功労賞を受賞されました。2015 年 5 月にご逝去されました。

○2015 年度第 1 回形の科学会運営委員会議事録

日時：2015 年 6 月 13 日（土）12:10-13:20
場所：〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学 津田沼キャンパス 7402 室
出席（敬称略）：石原正三、植田毅、塩澤友規、高木隆司、高田宗樹、種村正美、手嶋吉法、西垣功一、原田新一郎、福井義浩、松浦執、松浦康之、松岡篤、宮坂寿郎、宮本潔、山岡久俊、山口喜博。
議題：

(1) 会員関係報告がされた。
2015 年 5 月 28 日現在 401 名.（2014 年 6 月 20 日 404 名）

(2) 2014 年度活動が以下のように報告された。
・形の科学シンポジウムが以下のように行われた。
第 77 回：埼玉県立大学教育研修棟 2014 年 6 月 13 日-15 日「ひとを支える形」（副テーマ：世界結晶年）（世話人：石原正三）。
第 78 回： 2014 年 11 月 22 日（土）～24 日（月祝） 「こころのかたち・こころのゆらぎ」佐賀大学鍋島キャンパス看護学科棟１階講義室、代表世話人：京都大・宮崎修次（佐賀大・富永広貴、福岡県立大・石崎龍二）。
・会誌第 29 巻 1～3 号を刊行した。
・FORMA Vol.29 を刊行した。
・2014 年度形の科学談話会「かたちシューレ 2015@熱海」が行われた。東洋大学熱海研修センター（世話人：吉野隆）。
・日本地球惑星科学連合大会にて「遠洋域の進化」セッションを開設して、生形氏に招待講演を依頼した。
・「ポリノミオグラフィー-数学とアートの結合-」Bahman Kalantari 博士講演会（主催：福井大学 COC 事業および大学院工学研究科プロジェクト研究センター、2014 年 7 月 2 日（水））を共催した。
・旭町学術資料展示館サテライトミュージアム企画展示「新潟のジオパーク展　－糸魚川と佐渡の魅力－」（2014 年 7 月 12 日（土）～8 月 29 日（金））を後援した。
・第 16 回日本感性工学会大会を協賛した。
・統計数理研究所「2014 年度数学協働プログラム採択ワークショップ」知能システム工学専攻談話会“健康増進・ヘルスプロモーションに関する数学ニーズの発掘”(2014/12/26 福井大学)を共催した。
・新潟大学コア・ステーション／形の科学研究センターシンポジウム(2015/2/27,28 新潟大学)を共催した。

(3) 2014 年度決算報告，監査報告が行われた。

(4) 2015 年度活動計画が報告された。
・2015 年度のシンポジウムを次のように開催する。
第 79 回：「生物に見られる「ねじれ」構造」千葉工業大学津田沼キャンパス 2015 年 6 月 12-14 日（世話人：本多久夫、手嶋吉法）。
第 80 回：「スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形」東京電機大学 2015 年 11 月

21-23 日（世話人：松浦昭洋)。
（参考：第 81 回:「量子化学（理論）とかたち」会場未定 2016 年 6 月 10-12 日統計数理研究所 18 日を避ける要会場費（通常土日は施錠）（世話人：西垣功一）
第 82 回：産業技術総合研究所 2016 年 11 月（世話人：中島善人))
・会誌第 30 巻 1～3 号を刊行する。
・FORMA Vol.30 を刊行する。
・2015 年度「かたちシューレ」を検討中。
・日本地球惑星科学連合大会にて「遠洋域の進化」セッション(2015/5/26)を開設し、佐々木猛智氏に招待講演を依頼する。
・第 16 回日本感性工学会大会(2015/9/4～9/6)の協賛。
・ 46th ISAGA conference/Japan Association of Simulation & Gaming（2015/7/17～7/21）の後援。
・新潟大学旭町学術資料展示館サテライトミュージアム企画展示「殻がつくる世界」（2015/7/11～8/28）の後援。
(5) 2015 年度予算が報告された。
(6) 2015 年度学会賞の選考結果が報告された。
平成 27 年度形の科学会賞は、古川義純氏（北海道大学）に論文賞が授与されることになった。
(7) その他
-企業からの賛助会員加入希望について。学会 web サイトへのバナー広告の貼り付けについては、web サイト管理を中心に検討を継続することとした。
-メール便の終了にともなう会誌発送費用の高騰の問題について。会誌を学術刊行物に申請すること、そのために会員の職名の調査が必要であることなどが報告された。
（以上）

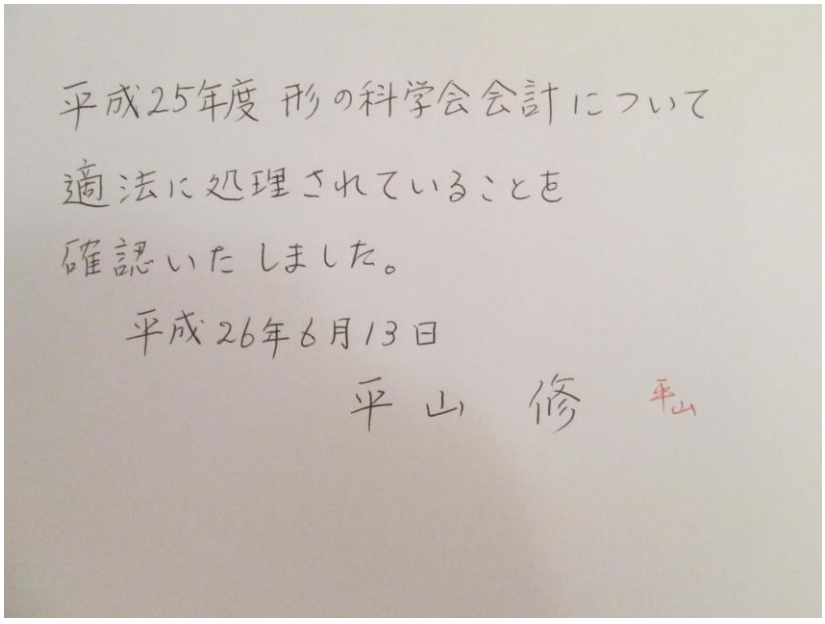
○ 2015 年度形の科学会総会議事録

日時：2015 年 6 月 13 日（土）12:10-13:20
場所：〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学 津田沼キャンパス 7402 室
議題：
(1) 会員関係報告 2015 年 5 月 28 日現在 401 名. （2014 年 6 月 20 日 404 名）
(2) 2014 年度活動が報告され､承認された。
・形の科学シンポジウムを開催した。
第 77 回：埼玉県立大学教育研修棟 2014 年 6 月 13 日-15 日「ひとを支える形」（副テーマ：世界結晶年）（世話人：石原正三）を開催した。
第 78 回： 2014 年 11 月 22 日（土）～24 日（月祝） 「こころのかたち・こころのゆらぎ」佐賀大学鍋島キャンパス看護学科棟 1 階講義室、代表世話人：京都大・宮崎修次（佐賀大・富永広貴、福岡県立大・石崎龍二）を開催した。
・会誌第 29 巻 1～3 号を刊行した。
・FORMA Vol.29 を刊行した。
・2014 年度形の科学談話会「かたちシューレ 2015@熱海」東洋大学熱海研修センター（世話人：吉野隆）を開催した。
・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッションを開設して、生形氏に招待講演を依頼した。
・「ポリノミオグラフィー-数学とアートの結合-」Bahman Kalantari 博士講演会（主催：福井大学 COC 事業および大学院工学研究科プロジェクト研究センター、2014 年 7 月 2 日（水））を共催した。
・旭町学術資料展示館サテライトミュージアム企画展示「新潟のジオパーク展 －糸魚川と佐渡の魅力－」（2014 年 7 月 12 日（土）～8 月 29 日（金））を後援した。
・第 16 回日本感性工学会大会を協賛した。
・統計数理研究所「2014 年度数学協働プログラム採択ワークショップ」知能システム工学専攻談話会“健康増進・ヘルスプロモーションに関する数学ニーズの発掘”(2014/12/26 福井大学)を共催した。
・新潟大学コア・ステーション／形の科学研究センターシンポジウム(2015/2/27,28 新潟大学)を共催した。

(3) 2014 年度決算および監査が報告され、承認された。
(4) 2015 年度活動計画が報告され、承認された。
・2015 年度のシンポジウムを次のように開催する。
第 79 回：「生物に見られる「ねじれ」構造」千葉工業大学津田沼キャンパス 2015 年 6 月 12-14 日（世話人：本多久夫、手嶋吉法）。
第 80 回：「スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形」東京電機大学 2015 年 11 月 21-23 日（世話人：松浦昭洋）。
・会誌第 30 巻 1～3 号を刊行する。
・FORMA Vol.30 を刊行する。
・2015 年度「かたちシューレ」の実施に向け検討中である。
・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッション(2015/5/26)の開設、佐々木猛智氏の招待講演を行う。
・第 16 回日本感性工学会大会(2015/9/4～9/6)を協賛する。
・46th ISAGA conference/Japan Association of Simulation & Gaming（2015/7/17～7/21）を後援する。
・新潟大学旭町学術資料展示館サテライトミュージアム企画展示「殻がつくる世界」（2015/7/11～8/28）を後援する。
(5) 2015 年度予算が報告され、承認された。
(6) 2015 年度学会賞の選考結果が報告され、承認された。
（総会に引き続いて 2015 年度学会賞授賞式が行われた。

（以上）

○2015 年度決算監査報告



平成 26 年度決算 平成 27 年度予算

（平成 27 年 6 月 13 日総会）

収入の部		
	平成 26 年度決算	平成 27 年度予算案
前年度より繰越	2,035,795	569,357
賛助金	0	0
会費	1,866,000	1,900,000
出版助成金	0	0
雑収入（合本等販売）（銀行振込）	87,527	60,000
受取利息	32	32
シンポジウム参加費	207,000	600,000
シンポジウム展示等	0	0
懇親会費	210,500	300,000
合計	4,406,854	3,429,389

支出の部		
	平成 26 年度決算	平成 27 年度予算案
出版・校正費（和文誌）	945,672	730,000
人件費	99,700	200,000
通信費	91,532	90,000
交通費・宿泊費	105,900	100,000
振込手数料	27,003	27,000
諸雑費（事務用品等）	84,190	100,000
会場費	0	50,000
講演準備費	100,000	120,000
会合費（懇親会）	233,500	300,000
英文誌出版費 内訳:	2,130,000 学会分担金 (2,130,000) 出版助成金 (0)	1,100,000 学会分担金 (1,100,000) 出版助成金 (0)
学会賞賞金	20,000	20,000
合計	3,837,497	2,837,000

	平成 26 年度決算	平成 27 年度予算案
収支差引残高	569,357	592,389

○2015 年度形の科学会賞選定報告

形の科学会賞選定委員長
宮　本　　潔

形の科学会賞規則にしたがい平成２７（２０１５）年度の学会賞選定委員会（学会長、幹事１名、名誉会員１名、委員２名）が、種村正美（学会長)、三浦公亮（名誉会員)、平田隆幸（委員)、千場良司（委員)、宮本　潔（幹事）をメンバーとして平成２７年５月に発足した。

今年度の学会賞に関する推薦は、論文賞１件であった。当推薦を受けて、学会賞選定委員会は５月１０日から５月下旬にかけて審議した。その結果、当委員会は論文賞の候補者が下記のごとく学会賞規則に沿うものと評価した。

選定委員会として、形の科学会学会賞候補者に下記の者を推挙したい。

記

論文賞　古川義純氏

対象論文：1. E. Yokoyama, I. Yoshizaki, T. Shimaoka, T. Sone, T. Kiyota, Y. Furukawa: Measurements of growth rates of an ice crystal from supercooled heavy water under microgravity conditions - Basal face growth rate and tip velocity of a dendrite. Journal of Physical Chemistry B115, 8739-8745 (2011).

2. Yoshinori Furukawa, Etsuro Yokoyama, Izumi Yoshizaki, Haruka Tamaru, Taro Shimaoka and Takehiko Sone: Crystal Growth Experiments of ice in Kibo of ISS. Int. J. Microgravity Sci. Appl., 31(3), 93-99 (2014)

選定理由：本論文は国際宇宙ステーションに設けられた「きぼう」実験室の微小重力環境下における氷の結晶成長に関する実験的研究の成果である。作製した宇宙実験装置により、長時間にわたって微小重力の実現できる条件のもと、地上からの遠隔操作で得られた多数回の実験データが解析された。その結果、氷の樹状結晶の対称性が向上、形態不安定化が起こりにくいこと、地上での熱対流が抑制されることなどが見出された。

これらの成果は当該分野における重要性とともに形の科学の観点からも示唆に富む新しい発見である。対象論文は形の科学会論文賞に十分値する。

事務局からのニュースメール

本記事は形の科学会ニュースメールの内容抜粋です。（問合せ：事務局松浦執 shumats0@gmail.com）

2015年6月17日

○○ご所属と職名のご通知のお願い（会誌の学術刊行物認定をめざしております）
去る2015年6月13日（土）には2015年度総会が行われ、皆様のご協力により、委任状を含めて定足数を満たし、成立させることができました。
さて、本会では和文誌『形の科学会誌』を安価なメール便でお送りしていました。ところが本年度よりメール便が利用できなくなり、送料の節約に苦慮しております。
本会では会費でおよそ 190 万円／年 の収入があり、英文誌の刊行に 105 万円／年、そして和文誌の刊行に 80 万円／年 程度を支出しております。会費は主としてこれら２つのメディアの刊行を支えております。ところが、和文誌の送料が倍増すると３号の冊子配布が困難になります。
そこで、本会では会誌を「学術刊行物」に認定していただけるよう手続きを進めてまいります。学術刊行物は郵送料を非常に低く抑えることができます。
このために、本会会員の半数以上が研究者であることを示さねばなりません。具体的には、会員一人ひとりのご所属とご職名の提示が求められています。これまでご所属名称はご登録いただいておりますが、職名のご登録はありません。職名として、非常勤講師なども研究者のカテゴリーに含まれます。また、名誉教授もご記入ください。企業の研究開発職につきましても積極的にお示し下さい。学生会員の方でも、学術振興会特別研究員などに採用されている方は積極的にご記入ください。
今回の調査は、ひとえに会誌を学術刊行物に認定していただくことを目的としております。下記にご記入の上、ご返信ください。またご所属・ご所属住所の変更、郵送先変更などありましたら、この機会におしらせください。
----------下記にご記入ください
ご氏名：
ご所属：
ご職名：
所属住所（変更や追加のある方）：
備考：
----------返信先 shumats0@gmail.com
本会の会計はまったく余裕のないところまで参りました。しばらく会費をご納入いただいていない方には、どうか１年分だけお振込ください。それだけで大変に助かります。ご協力のほどお願い申しあげます。また、シンポジウムへのご参加、和文誌・英文誌へのご投稿をこころよりお待ち申しております。

2015年6月21日

○　セミナー「宇宙に築く大規模空間構造の実際」のご案内

2015年7月1日（大阪会場）および7月13日（東京会場）にセミナー「宇宙に築く大規模空間構造の実際」が開催されます。このセミナーは、2016年に東京で開催される国際シンポジウム IASS2016 International Symposium（ http://iass2016.jp/index_jp.html ）のプレシンポジウムセミナーですが、どなたでも参加できます。

IASSとは？
International Association for Shell and Spatial Structures （シェルと空間構造に関する国際学会）
この国際学会は、形の科学会名誉会員の三浦公亮先生が「ミウラ折り」を発表された学会で、形・デザインと非常に縁の深い学会です。

◇　宇宙に築く大規模空間構造の実際(大阪会場)　◇
日時：　平成27年7月1日（水）　13:00〜17:30（受付12:30〜）
会場：　大阪産業創造館　6F　会議室E 〒541-0053 大阪府大阪市中央区本町1-4-5
アクセスマップ http://www.sansokan.jp/map/
詳細（講演テーマと講師、参加申込など）は以下より。
http://iass2016.jp/seminars/seminar3B.html
◇　宇宙に築く大規模空間構造の実際(東京会場)　◇
日時：　平成27年7月13日（月）　13:00〜17:30（受付12:30〜）会場：　工学院大学　高層棟3F　アーバンテックホール　〒163-8677　東京都新宿区西新宿1丁目24番2号
アクセスマップ
http://www.kogakuin.ac.jp/map/shinjuku/index.html
詳細（講演テーマと講師、参加申込など）は以下より。
http://iass2016.jp/seminars/seminar3C.html
IASS2016組織委員会委員長　川口健一（東京大学）
問い合せ先：〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所川口研究室内　IASS2016事務局　Tel. 03-5452-6403　Fax. 03-5452-6405
e-mail: preseminar@iass2016.jp

○　「東洋大学形の科学セミナー」のご案内

東洋大学川越キャンパスにて「東洋大学形の科学セミナー」が以下の内容で開催されます．本セミナーは研究者・学生に限らず一般からの参加も歓迎いたします．ふるってご参加下さい．
初回は造形作家の石垣健氏（形の科学会会員）をお招きし，下記セミナーを開催致します．

第1回　東洋大学形の科学セミナー
日時：7月7日（火）16:40-18:00
場所：東洋大学川越キャンパス２号館１階2104室
（アクセス
http://www.toyo.ac.jp/site/access/access-kawagoe.html）

演者：石垣健（造形作家）
演題：「 形を奏でる記譜のすすめ 」 ― リズム、プロポーション、モデュールを科学する ―
要旨：“図面”は空間や立体のイメージを手頃な平面に投影した“形譜”。博物学は古来より自然の形の形式的分類を試みてきた“形典”。CG のメッシュデータや BIM などは、前世紀末にやっと普及が始まった新しい“形譜”の仲間…と見なせば、“音楽”の“楽譜”の様に、“形を奏でる”ための“記譜”はどうあるべきなのでしょうか?
作品のスライドを実例に、これからの『形典・形譜』のありかたと美的形式の離散性について語ります。
文献：石垣健，デザインのためのリズム，シンメトリー，プロポーション，魔法陣，かたち創造の百科事典（岩田修一 総監修），p156-p163，丸善，2012
（お問合せ先）東洋大学理工学部 吉野隆（mail: tyoshino@toyo.jp，tel:049-239-1396）

2015 年 8 月 21 日

○講演募集 第 80 回形の科学シンポジウム@東京電機大学 鳩山キャンパス

下記のように、形の科学シンポジウムの講演、展示、参加を募集します。多数のご応募をお待ちしております。※情報は随時更新されます。最新情報は以下でご確認ください。
最新情報 http://katachi-jp.com/sympo80

第 80 回 形の科学シンポジウム

メインテーマ：「スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形」
身体運動を伴うスポーツやパフォーミングアーツでは、人やものの形状、動き、型、フォーム、陣形、運動パターン等、さまざまな形式で「形」が立ち現れ、パフォーマンス自体に大きな影響を与えます。2015 年秋の「形の科学シンポジウム」では、スポーツと、芸能・大道芸・サーカス・ダンス・演劇、武芸等、広く身体表現・パフォーミングアーツを対象として、形に関する研究発表を募集します。テーマの性格上、理論的・実験的な学術成果に加え、身体運動・身体表現に関する実践の試みやアイデアも大いに歓迎します。また、ライブパフォーマンスの企画も予定しています。本テーマで、形の科学研究者、身体運動や身体表現の研究者、スポーツ関係者、パフォーミングアーティスト・クリエイター等が会し、形と身体を軸とした活発なコミュニケーションが生じることを期待しています。皆様の積極的なご参加、ご発表をお待ちしています。

招待講演 次の 4 名の方に決まりました。
◆メインテーマ「スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形」の招待講演
工藤 和俊(東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻)「運動スキル熟達化のダイナミクス」
中村 美奈子（お茶の水大学 文教育学部 芸術・表現行動学科）「バリ舞踊の形と動き」
◆「形の科学一般」の招待講演
岩城 和哉（東京電機大学 理工学部 建築・都市環境学系）「空間と形」
小田垣 孝（東京電機大学 理工学部 理学系）「格差社会の自己組織化」

開催概要【会期】 2015 年 11 月 21 日(土), 22 日(日), 23 日(月・祝)【会場】東京電機大学 鳩山キャンパス 交通案内【プログラム】追って掲載【主催】 形の科学会【代表世話人】松浦 昭洋(東京電機大学 理工学部 情報システムデザイン学系) 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 TEL: 049-296-5569 FAX: 049-296-6185 E-mail: matsu[at]rd.dendai.ac.jp ([at]を@で置き換えてください)【参加費】 会員・非会員ともに一般 5000 円、学生 1000 円 (金額は予定額)【懇親会】 2015 年 11 月 21 日 (土) 夕方に予定しています。

2015 年 10 月 5 日

○日本ロボット学会ロボット工学セミナーのお知らせ

■第 95 回ロボット工学セミナー 数理モデルとロボット ～自然に潜む法則を役立てる～
http://www.rsj.or.jp/blog/archives/seminar/s95_rsj_seminar ■開催日：2015 年 10 月 15 日 (木) 9:55～16:40 (開場 9:30) ■開催地：中央大学 後楽園キャンパス 2 号館 2 階 2221 室(東京都文京区春日 1-13-27) ■遠隔セミナー：本セミナーの有料ネット配信を行います. ただいま参加申込み受付中です (締切：9 月 25 日) .
http://www.rsj.or.jp/blog/archives/seminar/s95_rsj_seminar
■定員：80 名 (定員になり次第締め切ります) ■参加費 (税込) ：当学会及び協賛学会の正会員 (個人) ／8,500 円, 会員外(一般)／13,000 円 当学会及び協賛学会の学生会員 (個人) ／3,000 円, 会員外(学生)／4,500 円 当学会賛助会員 招待券ご利用／無料, 優待券ご利用／3,000 円, 左記サービス券なし／13,000 円 特別優待券使用の場合：学生(RSJ 会員非会員問わず)／無料, 学生以外／3,000 円 ※賛助会員招待券／優待券および特別優待券の詳細は下記ご案内ページをご確認ください。
http://www.rsj.or.jp/seminar/ticket
■口上： 近年, コンピュータの性能向上により, 複雑な物理, 生物の数理モデルでもそのふるまいをシミュレーションによって再現できるようになりつつあります. 自然界にみられる諸現象をモデル化し, その特性をロボットの知能化や高効率な動作生成に役立てようとする最前線の研究紹介を通し, 多様な数理モデルのロボットへの応用を学んでいただきます.
■オーガナイザー：山岡 久俊 ((株)富士通研究所)
■講演内容：9:55-10:00 ＜開会挨拶・講師紹介＞ 10:00-11:00 第 1 話 場を介した自己組織化を行う生物規範型ロボット集団 東京工業大学大学院理工学研究科 倉林 大輔
本講演では, 複数の自律ロボットからなる集団を想定し, 個体の集団が何らかの形で秩序や情報を共有する「場」を作ることで効率的な制御を可能とする方法について実践例を紹介する. 制御器内の抽象的・記号的表現と現実世界のモノ・コトを高度な推論等を用い

ることなく「楽に」実現することを目指す．真性粘菌を規範とする結合振動子系を用いた群ロボット誘導，アリのみちしるべフェロモンを規範とするRF-IDを用いた誘導場自己組織化，コオロギの順位づけを規範とする行動制御システムなどについて，その基礎となったモデルと実装方法，および実装上の解決課題等について説明する．

11:10-12:10　第２話　双一次結合型連立微分方程式をベースにしたモデルにおけるセンシングとシステム同定技術(株)富士通研究所/ユビキタステクノロジーズPJ　千田 陽介，伊東 利雄　本講演では，双一次結合と連立微分方程式を組み合わせたニューラルネットワークモデルを用いたセンシングの実施例を紹介する．十数年前にロボット制御から始まった本モデルは，現在スマートフォンやＩｏＴデバイスでのセンシングに活用されている．本モデルの特徴である双一次結合は弱い非線形なモデルを表現するのに優れたシステムであるため，弱い非線形で成り立つ現実世界をセンシングするのに向いている．このことを幾つかの事例を交えて考察する．また本モデルは弱い非線形よりシステムの挙動の見通しもよく，システム同定やモデル内の結線を推定する教師有学習にも取り組んでいる．後半ではシステム同定や本モデルの教師有学習についても紹介する．

13:10-14:10　第３話　視覚・錯視の数理科学とそのアート，画像処理への応用　東京大学大学院数理科学研究科　新井　仁之　ものを見るメカニズムについて，これまでさまざまな分野で多くの研究がされてきた．しかし未解明の部分も多い．本講演では，先端的な数学を用いた数理科学的な研究成果を述べる．特に新井・新井が考案した「かざぐるまフレームレット」（pinwheel framelet）を用いた視覚の情報処理の数理モデルについて述べる．フレームレットはウェーブレットを一般化した枠組みとして知られているが，かざぐるまフレームレットは視覚研究のために構成した新しいフレームレットである．また，それを用いた色知覚，各種の目の錯覚（錯視）の解析への応用について述べる．さらにオプアートへの新しいアプローチ，画像処理技術への応用についても述べる．

14:20-15:20　第４話　動物の生き生きとした振る舞いに内在する制御原理を探る　東北大学電気通信研究所　石黒　章夫　動物は，身体に有する膨大な自由度を巧みに操りながら，予測不能的に変動する実世界環境にうまく適応している．このからくりが理解できれば，生物学的にはもちろんのこと，ロボット工学的にも大いに資することが期待できる．しかしながら，生物制御のからくりを抽出（数理モデリング）する過程では，さまざまな恣意性が入る可能性が否めない．その結果，当該現象をうまく説明できうる「スッキリと本質を掴んだ」数理モデルを構築することは困難を極めるのが普通である．本講演では特に，多脚動物が示す巧みな脚間協調に内在する自律分散制御のからくりの抽出に関するわれわれの事例研究を採り上げる．これら事例研究の成果から，動物が示す「コト」のモデリングの際のツボと注意点（罠）を考えてみたい．

15:30-16:30　第５話　複雑系数理モデル学の基礎理論研究と応用研究　東京大学生産技術研究所　合原 一幸　本セミナーでは，世の中に実在する複雑系の数理モデリングに関して，基礎理論研究と応用研究の概要を解説する．特に，制御理論と力学系理論の融合による複雑系制御理論，複雑ネットワーク理論，非線形データ解析理論を基盤とする複雑系数理モデル学の理論的プラットフォーム，さらにはその具体的な応用事例，たとえば，ハイブリッド力学系理論を用いた癌治療，動的ネットワークマーカーを用いた故障の予兆検出，脳型コンピュータなどを紹介する．

参加申込は下記WEBページから「セミナー参加申込フォーム」にアクセスの上、手続きをお願い致します。
http://www.rsj.or.jp/blog/archives/seminar/s95_rsj_seminar

―本件に関する連絡先：一般社団法人　日本ロボット学会　ロボット工学セミナー係　〒113-0033 東京都文京区本郷2-19-7 ブルービルディング２階
TEL 03-3812-7594 FAX 03-3812-4628
seminar@rsj.or.jp

形の科学会誌の原稿募集

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. というように引用してください。

本誌は、シンポジウムの予稿原稿も掲載しています。本誌のシンポジウム要旨を論文中で引用される時は、形の科学会誌、**12**、(1997)、1-2（シンポジウム要旨)、欧文論文の場合は、 Bulletin of Society for Science on Form, **12**, (1997), 1-2 (Extended Abstract of 39th symposium).というように引用してください。

複写権委託済み表示の変更(2009 年 11 月 20 日)

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。

形の科学会誌　Vol. 30　No. 2　(2015，11 月)

発行：　形の科学会
会長：　種村正美
〒233-0002 横浜市港南区上大岡西 3-5-3-307
phone: 03－3446－1501　fax: 03－3446－1695
E-mail：tanemura@ism.ac.jp
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：吉野隆
〒350-8585　川越市鯨井 2100
東洋大学理工学部 機械工学科
phone：049－239－1396　fax：049－233－9779
E-mail：tyoshino@toyo.jp