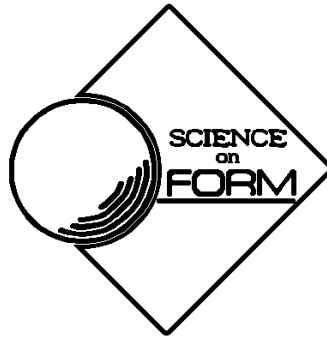




第 83 回 形の科学シンポジウム

「伝統の形と形の科学」

講演予稿集



会期: 2017 年 6 月 10 日(土)~11 日(日)

会場: 6/10(土) 金沢工業大学扇ヶ丘キャンパス(野々市市)

6/11(日) 石川四高記念文化交流館(金沢市)

形の科学会

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

第 83 回 形の科学シンポジウム「伝統の形と形の科学」

【主催】形の科学会

【共催】大学コンソーシアム石川

【会期】2017 年 6 月 10 日(土)、11 日(日)

【会場】6 月 10 日 金沢工業大学扇ヶ丘キャンパス (野々市市) 23 号館 4 階(409, 415)

6 月 11 日 石川四高記念文化交流館 (金沢市) 多目的室 2、3 番

【代表世話人】 出原立子 E-mail: izuhara@neptune.kanazawa-it.ac.jp

〒924-0838 石川県白山市八束穂 3 丁目 1 番地

金沢工業大学 情報フロンティア学部 情報フロンティア系 メディア情報学科

【参加費】 会員・非会員ともに一般 5000 円、学生 1000 円

【懇親会】 2017 年 6 月 10 日(土) 18:15 より 金沢工業大学内「イルソーレ」にて

【懇親会費】 一般 3000 円、学生 1000 円

【WEB サイト】 <http://katachi-jp.com/sympo83> (予稿集 PDF をカラーで閲覧できます)

プログラム

(変更される可能性があります)

6 月 10 日(土)

金沢工業大学 扇ヶ丘キャンパス (野々市市)

23 号館 4 階(409 室、415 室)

9:45-10:05

結晶群における homogeneous-heterogeneous パッキング

松本崧生 (金沢大名誉教授) 5

8:30-9:00 受付

9:00-9:05 開会の辞

形と知

10:05-10:25

空間充填多面体を用いた動物感のある組立ブロック

松浦昭洋 (東京電機大) 7

形の科学一般

9:05-9:25

水素原子スペクトルの代数的構築法 Pauli と
Schrödinger の試み

小川直久 (北海道科学大) 1

10:25-10:40 休憩

9:25-9:45

5 方向の円柱による周期的な充填構造

東田涼 (千葉工業大)、松本崧生 (金沢大名誉教授)、

手嶋吉法 (千葉工業大) 3

特別講演・公開講演 (形の科学一般)

10:40-11:40

形ができるしくみ ~自然がつくる形を理解する~

小川直久 (北海道科学大) 9

11:40-13:00 昼休み、運営委員会

招待講演・公開講演（伝統の形と形の科学）

13:00-14:00

「加賀てまり」伝統の形

小出孝子（加賀てまり毬屋）…………… 11

14:00-14:15 休憩

伝統の形と形の科学

14:15-14:35

伝統芸能の対話の形を自動会話に応用する

松浦執（東京学芸大）…………… 13

14:35-14:55

非漢字圏学習者における漢字かなの書き方の傾向について

沓名健一郎（プリンス・オブ・ソクラー大）…… 15

14:55-15:15

筆路から考える ICT

本田容子（盛岡大）、沓名健一郎（プリンス・オブ・ソクラー大）…………… 17

15:15-15:35

Form Comparison of the Face and Muscle Expressions between Ihachi and Yoshimitsu's Animal Sculptures

王健（千葉大）、久保光徳（千葉大）…………… 19

15:35-15:50 休憩

伝統の形と形の科学

15:50-16:10

葉序らせんとテトラパック牛乳

佐藤郁郎（宮城県立がんセンター）、中川宏（積み木インテリアギャラリー）…………… 21

16:10-16:30

伝統の形と映像表現の融合 —金沢駅「鼓門」プロジェクト
ジョンマッピング—

出原立子（金沢工業大）、山内暢人（金沢工業大）

…………… 23

展示説明

16:30-17:05 （5 分間×7 件）

箕に見る自然な曲面のつくり方

久保光徳（千葉大）、植田憲（千葉大）…………… 25

空間充填多面体を用いた動物感のある組立ブロック

松浦昭洋（東京電機大）…………… 7

正多面体・星型正多面体模型の作製と体積・辺長の計算

小梁修（OSA 工房）…………… 26

科学折り紙：Paul Schatz 立体とカライドサイクルの折り紙モデル

石原正三（埼玉県立大）…………… 27

円柱充填による周期構造の模型

東田涼（千葉工業大）、松本崧生（金沢大名誉教授）、
手嶋吉法（千葉工業大）…………… 28

放散虫骨格の拡大模型の作製

中川竜弥（千葉工業大）、木元克典（海洋研究開発機構）、
松岡篤（新潟大）、手嶋吉法（千葉工業大）…………… 29

タンパク質の立体模型の作製と利用

長田聖大（千葉工業大）、河合剛太（千葉工業大）、手嶋
吉法（千葉工業大）…………… 30

17:05-17:15 休憩

17:15-18:00 総会および学会賞授与式

18:15-20:00 懇親会

6 月 11 日(日)

石川四高記念文化交流館（金沢市）

多目的室 2、3 番

8:45-9:00 受付

フォーラム（発表 10 分＋質疑 10 分）

9:00-9:20

鴨川等間隔則の検証

安福亮（兵庫県立長田高）、上野和（和歌山県立向陽中・高）、宮崎修次（京都大）…………… 31

9:20-9:40

電子レンジを利用して生成したプラズマの分光解析

上野和（和歌山県立向陽中・高）、安福亮（兵庫県立長田高）、宮崎修次（京都大）…………… 33

9:40-10:00

水素，ヘリウム，ネオン，水銀の低圧ガス管放電の分光・準位統計解析

前田裕成（熊本県立宇土中学校・高）、宮崎修次（京都大）…………… 35

形の科学一般

10:00-10:20

連なり線における多様さを観る

根岸利一郎（埼玉工業大）…………… 37

10:20-10:35 休憩

10:35-10:55

サンチアゴ号の遭難：1585 年 8 月 19 日

杉本剛（神奈川大）…………… 39

10:55-11:15

イソップ寓話の解析 — 人工知能研究の一方針

高木隆司（東京農工大名誉教授）…………… 41

11:15-11:35

放散虫 *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel) の仮足の引張り

吉野隆（東洋大）、松岡篤（新潟大）…………… 43

形と知

11:35-11:55

放散虫の普及を考える — 「放散虫の木」構想

松岡篤（新潟大）…………… 45

11:55-13:10 昼休み、FORMA 編集委員会

形の科学一般

13:10-13:30

チューブが螺旋線に変形する

本多久夫（神戸大・院）、阿部高也、藤森俊彦…………… 47

13:30-13:50

植物の根の先端に見られるカタナリー曲線

藤原基洋（大阪大・院）、藤本仰一（大阪大・院）…………… 49

13:50-14:10

生物の形の機能を理解する：曲面による進行波の分裂

堀部和也（大阪大）、廣中謙一（大阪大）、松下勝義（大阪大）、藤本仰一（大阪大）…………… 51

14:10-14:30

集団と動きと形と，細胞

松下勝義（大阪大）…………… 53

14:30-14:50

細胞内で二足歩行運動する分子モーター(ダイニン)の歩行運動メカニズムの解明

久保進太郎（京都大）、高田彰二（京都大）…………… 55

14:50-15:05 休憩

形の科学一般

15:05-15:20 (10分+5分)

Boerdijk-Coxeter helixのアクリル試験片作製および転がり実験

西田匠太郎(千葉工業大)、伊藤圭太(千葉工業大)、池上祐司(理化学研究所)、藤本武(理化学研究所)、山澤建二(理化学研究所)、手嶋吉法(千葉工業大) …… 57

15:20-15:35 (10分+5分)

ヒト静止立位における姿勢制御の年齢間比較に関する研究

條野雄介(福井大・院)、谷村亨(福井大・院)、馬場大智(福井大・院)、平田隆幸(福井大・院)、高田宗樹(福井大・院) …… 59

15:35-15:50 (10分+5分)

瞑想が脳血流分布に及ぼす影響

馬場大智(福井大・院)、高田宗樹(福井大・院)、平田隆幸(福井大・院)、條野雄介(福井大・院)、谷村亨(福井大・院)、御橋廣真(名古屋大) …… 60

15:50-16:05 (10分+5分)

為替レート時系列を生成する数理モデルの本質的な変数の数の比較

谷村亨(福井大・院)、條野雄介(福井大・院)、馬場大智(福井大・院)、平田隆幸(福井大・院)、高田宗樹(福井大・院) …… 61

16:05-16:20 休憩

形の科学一般

16:20-16:40

ゲノム距離による変異原測定法‘GPMA’は単純ゆえに高感度(ppbレベル)

西垣功一(埼玉大・院、北陸先端科学技術大学院大)、馬場美聡(京都大・院)、月足元希(京都大・院)、パルミラ クマリ(埼玉大・院)、三浦崇(埼玉大・院)、マニッシュ ビヤニ(北陸先端科学技術大学院大)、保川清(京都大・院) …… 63

16:40-17:00

一様栄養拡散場中での癌細胞の成長のモンテカルロ・シミュレーション

植田毅(東京慈恵会医科大)、伊藤沙姫(東京慈恵会医科大) …… 65

17:00-17:20

テクスチャの陰影の方向と凹凸パタンの知覚の変化

佐々木康成(金沢星稜大)、坂東敏博(同志社大) …… 67

17:20-17:40

Paul Schatz 立体の折り紙モデル —鏡像体の立体構造モデルを表現する科学折り紙—

石原正三(埼玉県立大) …… 69

17:40-17:50 閉会の辞

【事務局より】

形の科学会機関誌への投稿案内(Call for Papers)

… 71

形の科学シンポジウム・世話人の募集 …… 72

入会案内 …… 73

水素原子スペクトルの代数的構築法

Pauli と Schrödinger の試み

北海道科学大学 高等教育支援センター 小川直久

Abstract

昨年、球面調和関数の形を代数的方法で求めるという試みが割合とうまくいったので、今回は動径方向の波動関数を代数的に求めるということを考えている。

このクーロン問題のシュレーディンガー方程式の固有値はエネルギー固有値そのものなので、まずはエネルギースペクトルを代数的に求めるという問題から入る必要がある。この方法は一般にあまり知られていないが、二つの方法があって、一つはパウリ^{1),2)}、もう一つはシュレーディンガーのアイデア^{3),4)}によるものである。前者は角運動量固有値を代数的に求めるのと似た方法で、後者は調和振動子の固有値を代数的に求める方法の一般化という感じで、近年、超対称性量子力学の問題に一般化されている。今回は、エネルギースペクトルの代数的構築法、並びに時間が許せば、超対称性量子力学(SUSY QM)との関係について述べる。本稿では紙面の都合上、パウリの方法についてのみ紹介する^{1),2)}。

隠れた対称性 Laplace-Runge-Lenz (LRL) Vector

クーロン問題における保存量は、エネルギーと角運動量であることはよく知られている。保存量はすべて Noether の定理によって、力学系の対称性に基いており、これらは時間推進と回転対称性という対称性に絡んでいる。さて、一方でクーロン問題は、束縛状態において古典力学では楕円軌道を描いている。その際に近日点はどこにとるかという自由度が生じる。この近日点の方向を表すベクトルが、Laplace-Runge-Lenz (LRL)ベクトルで以下のように示される。

$$\vec{M} = \frac{1}{2m}(\vec{p} \times \vec{L} - \vec{L} \times \vec{p}) - \frac{\kappa}{r}\vec{r} \quad \kappa = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \quad \epsilon \equiv \frac{|\vec{M}|}{\kappa}$$

ここで、ベクトルの大きさは離心率に比例している。またこの量は保存量であり、量子論では系のハミルトニアンと可換である。また上の表式には演算子のオーダーリングの問題があるので、量子論であることを意識して、エルミート化して書いている。

代数構造

量子論に移って、代数構造を考えると

$$[L_i, L_j] = i\hbar\epsilon_{ijk}L_k, [M_i, M_j] = -i\hbar\frac{2H}{m}\epsilon_{ijk}L_k, [M_i, L_j] = i\hbar\epsilon_{ijk}M_k$$

角運動量の代数が閉じているのに比べ、LRL ベクトルと角運動量ベクトルは混じりあって何やら SU(2) 臭い雰囲気醸し出している。実際に、

$$\mathbf{M} = \sqrt{\frac{-2E}{m}}\tilde{\mathbf{M}}$$

とにおいて、以下の二つのベクトル $\vec{A}, \vec{B}$ を以下のように定義すると SU(2)代数が二つ出てくる。

$$\mathbf{A} = \frac{1}{2}(\mathbf{L} + \tilde{\mathbf{M}}), \quad \mathbf{B} = \frac{1}{2}(\mathbf{L} - \tilde{\mathbf{M}})$$

$$[A_i, A_j] = i\hbar\epsilon_{ijk}A_k, \quad [B_i, B_j] = i\hbar\epsilon_{ijk}B_k, \quad [A_i, B_j] = 0$$

そこで通常の角運動量の代数を考えれば全状態ベクトルは

$$|l_a, m_a; l_b, m_b\rangle = |l_a, m_a\rangle \otimes |l_b, m_b\rangle$$

拘束条件とエネルギースペクトル

二つのベクトルに対して以下のような条件がある。

$$\mathbf{A}^2 = \mathbf{B}^2 = \frac{1}{4}(\mathbf{L}^2 + \tilde{\mathbf{M}}^2 \pm \{L_i, \tilde{M}_i\}) = -\frac{1}{4}(\hbar^2 + \frac{m\kappa^2}{2E})$$

$$\text{したがって} \quad \mathbf{A}^2 = \mathbf{B}^2 \rightarrow l_a = l_b \equiv l \quad \mathbf{A}^2 = \mathbf{B}^2 = \hbar^2 l(l+1)$$

が成り立つので、エネルギースペクトルは

$$E = -\frac{1}{2(2l+1)^2} \frac{m\kappa^2}{\hbar^2}$$

一方で決まった l の値に対して磁気量子数の取り得る値は

$$-l, -(l-1), -(l-2), \dots, (l-2), (l-1), l$$

だけあり、 l のこのような並びは、それが非負の整数または半整数であることを示している。
したがって、

$$n = 2l + 1 = 1, 2, 3, \dots$$

として、

$$E = -\frac{1}{2n^2} \frac{m\kappa^2}{\hbar^2}$$

であり、決まった l に対する縮重度は

$$(2l+1)_a \times (2l+1)_b = (2l+1)^2 = n^2$$

であり、通常のシュレディンガー方程式を解いたものと同じになる。

参考文献

- 1) W. Pauli, Z. Physik. 36 (1926) 336
- 2) V. Fock, Z. Physik. 98 (1935) 145. , V. Bargmann, Z. Physik. 99 (1936) 576.
- 3) J. Oscar Rosas-Ortiz: "On the factorization method in quantum mechanics", <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/9812003.pdf>
- 4) E. Schrödinger: "A method of determining quantum-mechanical eigenvalues and eigenfunctions", Proc. Roy. Irish Acad. A46, 9 (1940).

5方向の円柱による周期的な充填構造

東田 涼¹, 松本 崧生², 手嶋 吉法¹

¹千葉工業大学工学部機械サイエンス学科, ²金沢大学名誉教授

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

Periodic five-way cylinder packing structures

Ryo Higashida (Chiba Institute of Tech.), Takeo Matsumoto (Emeritus Prof., Kanazawa Univ.)

& Yoshinori Teshima* (Chiba Institute of Tech.)

Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-0016, JAPAN

* yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

Abstract: We report that two distinct periodic five-way cylinder packing structures are derived from periodic cubic $\langle 111 \rangle$ four-way cylinder packing structures.

Keywords: cylinder packing, packing density, space group, symmetry

はじめに

円柱の充填構造とは、多数の円柱を詰め込むことによって得られる構造であり、一般的には様々な太さ（直径）の円柱を様々な方向に配置することで得られるあらゆる構造が対象となる。本稿では、同じ太さの円柱だけを用いて、特定の方向だけに円柱を平行配置して得られる周期構造を考察対象とする。

科学分野において、ガーネットの複雑な結晶構造が、立方晶系の $\langle 111 \rangle$ の4方向の円柱を用いた円柱充填の周期構造（周期4軸構造と呼ぶ）に基づいて説明された[1]。それ以来、円柱充填は、結晶化学の分野で精力的に研究されてきた。とりわけ、立方晶系の円柱充填構造が研究対象とされてきた[2]。

工学分野では、複合材料の繊維のパッキングを決める上で、円柱充填の構造が研究されてきた。充填密度を高める為に、円柱だけでなく、様々な断面形状を有する棒が使われることもある。様々な周期的なパッキング構造がデザインされてきた[3]。

著者らは複合材料分野で報告された構造に触発され、立方晶系の $\langle 110 \rangle$ の6方向の円柱を用いた円柱充填の周期構造（周期6軸構造）の研究をおこない、幾つかの新しい構造を報告してきた[4][5][6]。円柱の方向は立方晶系の6方向であるが、得られた円柱充填構造は立方晶系になり得ないことが理論的に説明された[2][6][7]。また、ホモジニアスパッキングだけでなく、ヘテロジニアスパッキングの円柱充填構造にも注目した[6]。

円柱充填5軸構造

複合材料分野の文献に5軸構造の1つの例が記載されていることを承知していたのだが[3]、これまで筆者らは、円柱充填の5軸構造に対して注意を払ってこなかった。3次元空間内では「同等な5方向」が存在しない為、低い対称性の構造しか得られないことは自明であったからだ。

しかし、5軸構造を実際に竹串と輪ゴムで模型を作製してみると、さほどいびつでもなく、安定感のある自立した周期構造となっている。今回はこの円柱充填の周期5軸構造に焦点を合わせることにする。

周期4軸構造から周期5軸構造を導出する方法

筆者らは、竹串と輪ゴムで円柱充填の周期4軸構造の模型を作製する際、1軸構造に別の1軸を追加挿入して2軸構造を作製し、その2軸構造に別の1軸を追加挿入して3軸構造を作製し、その3軸構造に別の1軸を追加挿入して4軸構造を作製するやり方をしばしば行う。この方法で全ての4軸構造が導出可能であるかどうかは不明であるが、既知の4軸構造の1つはこの方法で作製可能である。

この「N軸構造に別の1軸を追加挿入することで(N+1)軸構造を導出する」という方法を用いて5軸構造を導出することを今回試みた。基盤となるのは2つの異なる4軸構造であり、これらをタイプ α およびタイプ β とする(文献[4]のFig. 9およびFig. 10の構造に相当)。いずれの4軸構造についても、円柱の向きは立方晶系の $\langle 111 \rangle$ の4方向である。

これら4軸構造に別の1軸を追加挿入する際、複数の挿入方向が可能性としてあり得るが、立方晶系の $\langle 100 \rangle$ 方向を今回選択した。 $\langle 100 \rangle$ 方向は3方向あるが、同等であるので、3方向のうちのいずれか1方向に円柱を追加挿入する。得られた構造を図1と図2に示す。

現状、5軸構造タイプAおよびタイプBの充填率を概算で求めたが、空間群に関しては調査中である。タイプAの構造は、文献[3]に記載されている構造に相当すると考えている。

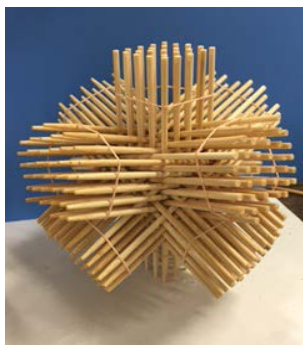


図1 5軸構造 タイプA



図2 5軸構造 タイプB

参考文献

- [1] O'Keeffe, M & Andersson, S., "Rod packings and crystal chemistry", *Acta Cryst.* **A33** (1977) 914-923.
- [2] O'Keeffe, M., Plevett, J., Teshima, Y., Watanabe, Y. & Ogawa, T., "The invariant cubic rod (cylinder) packings: symmetries and coordinates", *Acta Cryst.* **A57** (2001) 110-111.
- [3] 土方明躬、福多健二、「三次元多軸複合材料の組織」、日本複合材料学会誌、**18-6** (1992) 231-238
- [4] 手嶋吉法, 「剛体円柱の集合がとり得る構造の研究 --- 周期6軸構造を中心として ---」, 物性研究, **65-3** (1995) 405-439
- [5] Teshima, Y. Watanabe, Y. & Ogawa, T. "A new structure of cylinder packing", *Springer-LNCS* (2001) **2098**, 351-361.
- [6] Teshima, Y. & Matsumoto, T., "Space Group of Heterogeneous Cylinder Packing with Six $\langle 110 \rangle$ Directions", *Glass Phys. Chem.* **38** (2012) 41-48.
- [7] 手嶋、松本、渡辺、小川、「円柱充填による結晶構造」、第77回形の科学シンポジウム予稿、2014年6月、埼玉県立大学

結晶群における **homogeneous – heterogeneous** パッキング

松本 崧生

金沢大学名誉教授

自宅：金沢市 土清水 2 – 7 7

Homogeneous – Heterogeneous Packings in Crystallographic Groups.

Takeo Matsumoto

Kanazawa University,

Private Address :2-77 Tuchiisimizu, 920-0955 Kanazawa,Ishikawa, Japan.

Abstract:

A sphere packing is an infinite, three- periodic set of non-intersecting spheres with the property that any pair of spheres is connected by a chain of spheres with mutual contact. If all spheres are symmetry-equivalent, the sphere packing is called **homogeneous**, otherwise it is called **heterogeneous** [E.Koch and W.Fischer(1995) IT.Volume C,pp.654-659]. A homogeneous sphere packing may be represented uniquely by the set of symmetry-equivalent points that are the centers of spheres [cf: Crystallographic orbits, T.Matsumoto and H.Wondratschek(1979), Zeit Krist. 150,181-198]. A heterogeneous sphere packing consists of at least two-symmetry-distinct subsets of three-periodic spheres.

Some examples for crystallographic homogeneous and heterogeneous packings are shown.

1. はじめに

結晶群、次元、対象により、**homogeneous** 等質, **heterogeneous** 異質概念は無視できない。重要な事実が理解される事もある。以前発表したこともあるが、再度数例を示し考察する。

2. **homogeneous, heterogeneous** とは？

E. Koch, W. Fischer は IT, Volume C (1995) pp.654-659 での説明を記す。

球パッキングは、交差しない 3 次元周期構造をした無限の球の集合したものである。全ての球が、対称的に等価であれば、この球パッキングは等価・等質 **homogeneous**, そうでないのは非等価・非等質 **heterogeneous** と云われる。球の等質パッキングは球の中心点に対称的に等価である。最密等球 **homogeneous** パッキングは, ccp, $Fm\bar{3}m$, hcp, $P6_3/mmc$ の 2 種のみで、他は **heterogeneous** である。 **heterogeneous** パッキングは球の中心点の集合が少なくとも対称的に等価な 2 組の部分集合で示される。

3. 密な等球パッキング

球の等球密なパッキングは、A.L.Patterson, & J.S.Kasper (1972)[IT,Vol.II,pp.342-354]によ

り、1 2 層まで、Zhdanov notation を用いて整理分類されている。

N=2, [(1)|(1)], D6h-4, No.194, P6₃/mmc, O(octahedral void—symmetry centers)。このパッキングは、有名な球の六方最密充填構造、hexagonal closest packing of sphere である。

球の中心位置は、多重度、ワイコフ位置、席対称 : 2, d, $\bar{6}m2$ [$\bar{6}$: Inversion axis: $6\bar{2}$ = $3/m$]. 等価点の座標は、 $1/3, 2/3, 3/4$; $2/3, 1/3, 1/4$ である。

これは、homogeneous packing である。

N=4, [(2)|(2)], D6h-4, No.194, P6₃/mmc, S(sphere center—symmetry center)。IT の記述はここまでで、以後考察は、楕円パッキングで、松本、Nowacki, 片平、種村等の研究がある。

球の中心位置は2種となる、それらの座標等は下記 1), 2) のようになる。

1) 2 a $\bar{3}m$. [$\bar{3}$: Inversion axis: $3\bar{2}$ = $(3, \bar{1})$] 0, 0, 0; 0, 0, $1/2$.

2) 2 d $\bar{6}m2$ [$\bar{6}$: Inversion axis: $6\bar{2}$ = $3/m$] $2/3, 1/3, 1/4$; $1/3, 2/3, 3/4$.

N=2 パッキングと同じ空間群であり、全ての球が一組の席対称群で表示されるが、

N=4 パッキングは2組の席対称群で示され、heterogeneous packing である。尚、

これから導かれる楕円体最密パッキング (P6₃/mmc, Cmc₂m, P2₁/m, B2/m, A2/a, P $\bar{1}$) も、

全て heterogeneous packing である。

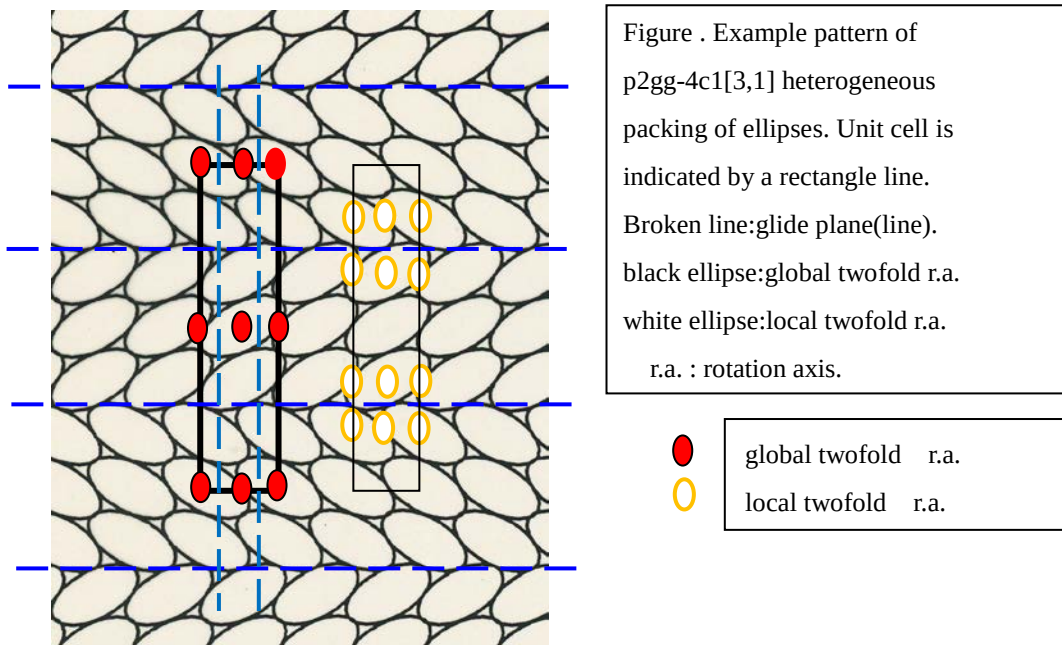
4. 楕円パッキング

W. Nowacki (1948)は、54 homogeneous packings を発表、B. Grünbaum & G. C. Shephard (1987)が新たに 4 packings を加えた。58 種中、7 種は最高配位数 6 配位だが、必ずしも最高密度ではない (種村・松本)。

p2gg-4c1[3,1] heterogeneous packing of ellipses は、興味ある性質が見られる。

勿論、p2gg 平面群の 2 回回転軸, $g(\parallel \text{el } \mathbf{a}), g(\parallel \text{el } \mathbf{b})$ の対称操作は全域であるが、別に部分域に作用する 2 回回転軸が存在する。

5. おわりに 限られた時間で入門程度、参考文献も省略。お許し下さい。



空間充填多面体を用いた動物感のある組立ブロック

松浦 昭洋

東京電機大学, 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂

E-mail: matsu@rd.dendai.ac.jp

Animal-Like Building Blocks Based on Space-Filling Polyhedra

Akihiro Matsuura

Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama-cho, Hiki, 350-0394 Japan.

Abstract: We present three types of animal-like building blocks based on rhombic dodecahedra and truncated octahedra. Some of the basic methods of connection and attachment of the blocks are shown.

Keywords: space-filling, rhombic dodecahedron, truncated octahedron, building block, animal-like

1. はじめに

平面充填と空間充填の研究は、幾何学、科学、結晶学、建築学等様々な観点で行われ、工業製品から教育、アート、デザインまで多岐に渡って応用されている。アートへの応用で代表的なものとして、エッシャーによる平面充填を用いた版画作品が知られ、関連する平面充填作品も多数作成されている。さらに、そのアート作品制作の 3 次元への拡張も行われ、例えば、「ゾウとエリマキトカゲ」[1]、「木」[2]、「亀」[3]等、動植物をモチーフにした空間充填可能な立体が作成されている。これらは基本的に空間充填を前提にした作品であるが、本報告では、菱形 12 面体と切頂 8 面体という 2 種類の空間充填多面体を複数個結合し、独自の嵌合・密着方法をもち、多様な形状の作成や物理的バランスを楽しむことができる動物感のある組立ブロックを 3 種類考案したので紹介する。

2. 菱形 12 面体を用いたブロック

菱形 12 面体は 2 つの対角線の長さの比が $\sqrt{2}$ 対 1 の菱形からなる図 1 の多面体であり、正方形と正六角形の正射影像をもつ。今回本多面体を 9 つ結合した組立ブロックを 2 種類作成する。いずれも、まず図 2 のように正方形像が見える向きで、5 つの菱形 12 面体全ての中心を $z=0$ の xy 平面に配置し十字に結合する。中央の菱形 12 面体の中心はブロックの本相対座標系の原点 O にあり、その四方の菱形 12 面体の中心は $(\pm 1, 0, 0)$ 、 $(0, \pm 1, 0)$ にあるとする。この十字の立体の上下にも、 x 、 y 座標共に $1/2$ ずれた位置に菱形 12 面体を隙間なく配置できる(これら上下の層の菱形 12 面体の中心の z 座標は $\pm\sqrt{2}/2$)。ブロック A では、さらに十字の 4 端の座標 $(\pm 1/2, \mp 3/2, \sqrt{2}/2)$ 、 $(\pm 3/2, \mp 1/2, -\sqrt{2}/2)$ (複号同順)にそれぞれ新たな菱形 12 面体の中心を置いて結合する。ブロック B では、 $(\pm 1/2, \mp 3/2, \sqrt{2}/2)$ 、 $(\pm 3/2, \pm 1/2, -\sqrt{2}/2)$ に新たに菱形 12 面体を置いて結合する。ブロック A、B の 3D モデルを図 3 に示す。A、B いずれも、オオトカゲや恐竜を想起させる動物感のある形状をしている(そこで、総称して「Rhombic dragon」と呼ぶ)。その図形的特徴としては、ブロック A は z 軸および直線 $y = \pm x$, $z = 0$ に対し 2 回回転対称性をもつ。ブロック B は z 軸に対し 2 回回転対称性をもち、直線 $y = \pm x$, $z = 0$ 周りに 180 度回転させると元のブロックの鏡像となる。これらの性質は、ブロックのシンプルさ、美しさ、多義性、組立時の拡張性の高さ等につながる。

以下、ブロック A、B の嵌合・密着方法をいくつか紹介する。その前提として、9 つの菱形 12 面体を結合したこれらのブロックを剛体とするか弾性体とするか(あるいは中間的に菱形 12 面体は剛体だが、結合

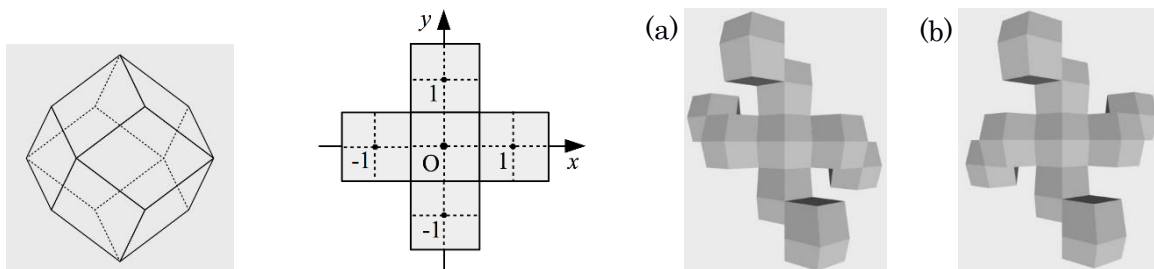


図 1: 菱形 12 面体

図 2: ブロック上の座標系と十字

図 3: 3Dモデル (a)ブロック A (b)ブロック B

部は乖離可能とするか等)により嵌合の可否は異なる。ここでは、剛体と変形可能な場合の双方を考える。

ブロック A が剛体の場合、図 4(a)の嵌合方法が最も基本となる。これは左の赤色のブロックの $(-1, 1, 0)$ 、 $(1, 1, 0)$ のスペースに、右の黄色のブロックの $(-1/2, 3/2, \sqrt{2}/2)$ 、 $(-3/2, 1/2, -\sqrt{2}/2)$ の菱形 12 面体をそれぞれ挿入して噛み合わせたものである。この嵌合をサイクリックに繰り返すと 4 ブロックで 1 周期の螺旋ができる。図 4(b)に 8 ブロックで螺旋を 2 周組んだ例を示す。2 ブロックが複数の菱形の面で密着する場合は数多くある。そのうち 3 ブロック周期の螺旋となる組み方で 2 ブロック分組んだ例を図 4(c)に示し(左の背中に右が乗っているように見える作例)、3 ブロックで 3 回回転対称な形状となる例を図 4(d)に示す。最後に、ブロック A が変形可能な場合に、ブロック同士が最大限密着して嵌合した例を図 4(e)に示す。

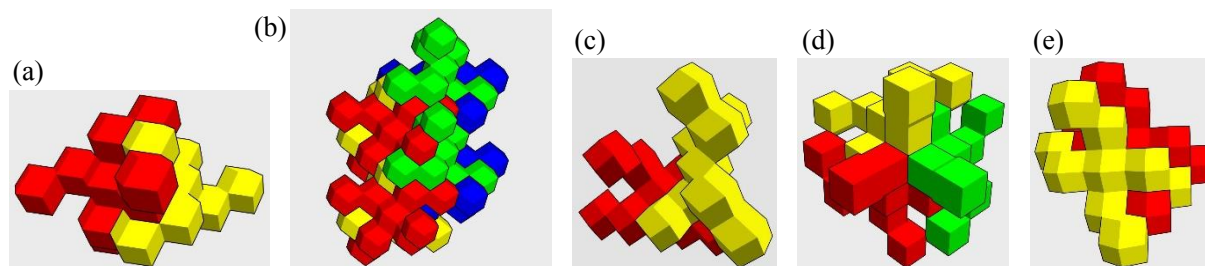


図 4: Rhombic dragon ブロック A の嵌合・密着例

ブロック B にも、多くの嵌合・密着方法があるが、紙面の都合により、ここでは 2 つの方法を座標を用いて示す。(i) 1 つのブロックの $(0, 2, 0)$ 、 $(1, -1, 0)$ のスペースに、もう 1 つのブロックの $(-3/2, -1/2, -\sqrt{2}/2)$ 、 $(3/2, 1/2, -\sqrt{2}/2)$ にある菱形 12 面体を挿入する。(ii) 1 つのブロックの $(0, 2, 0)$ 、 $(1, 1, 0)$ のスペースに、もう 1 つのブロックの $(-1, 0, 0)$ 、 $(0, 1, 0)$ にある菱形 12 面体を挿入する。

3. 切頂 8 面体を用いたブロック

切頂 8 面体は正 6 角形と正方形からなる図 5 の多面体である。本多面体を 9 つ用いた考案ブロックの 3D モデルを図 6 に示す。本ブロックは、中央の切頂 8 面体の 4 つの正 6 角形面にそれぞれ切頂 8 面体を結合して正 4 面体状にし、さらに端部の 4 方向の正六角形面に切頂 8 面体を結合して作成され、ブロック A、B 同様、躍動感のある動物様の形状をもつ(そこで、「Wild octahedra」と呼ぶ)。本ブロックは 2 回回転対称性をもち、180 度回転させると元のブロックの鏡像となる。本ブロックが剛体である場合の 2 ブロックの嵌合例を図 7(a)、(b)に、変形可能な場合の最大限に密着した嵌合例を図 7(c)に示す。

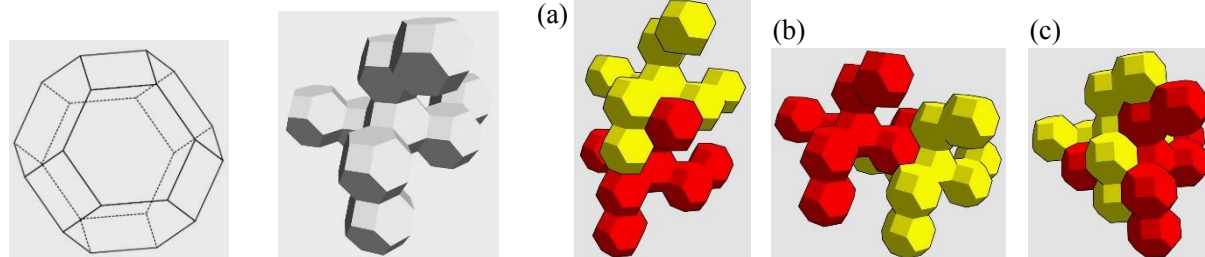


図 5: 切頂 8 面体 図 6: ブロックの 3D モデル

図 7: Wild octahedra ブロックの嵌合例

4. まとめ

菱形 12 面体と切頂 8 面体を利用した動物様の組立ブロックと基本的な組み方を紹介した。ブロックは紙や木材で試作し、実際に操作が可能であることを確認した。当日はブロックを持参し展示も行う予定である。

本研究は JSPS 科研費 16K00507 の助成を受けて行った。

参考文献

- [1] Y. Watanabe, Y. Ikegami, K. Yamazawa, and Y. Murakami, “World of Scientific Puzzle Art Using Layer Manufacturing”, Forma, Vol. 21, No. 1, 37–48, 2006.
- [2] Y. Teshima, Y. Watanabe, Y. Ikegami, K. Yamazawa, S. Nishio, and T. Matsumoto, “Development of Teaching Materials to Learn Crystallographic Symmetry”, Acta Cryst. A70, C1280, 2014.
- [3] 宮川大毅, 手嶋吉法, “空間を埋め尽くす立体形状の開発”, 第 80 回形の科学シンポジウム, 形の科学会誌, 第 30 巻, 第 2 号, pp. 166-167, 2015.

形ができるしくみ

～自然がつくる形を理解する～

北海道科学大学 高等教育支援センター 小川直久

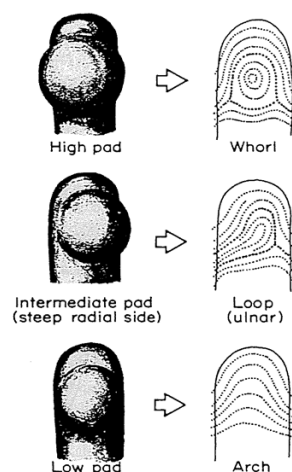
Abstract

自然界にはあらゆる「かたち」があふれている。生き物の皮膚模様や、指紋、濡れた髪の毛、結晶の形、電気析出、粘性指状体、など、ああ、あれはだいたいこんな形だったな、とわかる特徴的な形のものにはたいてい、自然がそのように“細工する”必然的な理由が存在している。この講演では、自然界における多くの形を紹介し、その理由を物理的に説明する理論の数々をできるだけ平易な言葉で解説したいと考えている。

1. 生き物の皮膚のパターン

生き物の皮膚に現れる特徴的な模様、例えば、シマウマや虎の縞模様、チーターの斑点模様、様々な魚の特徴的な皮膚模様、などはその動物に固有なパターンで、DNA 発現によって遺伝的に決まるものであると考えられてきたが、必ずしもそうではないことがわかってきた。近藤滋氏（現大阪大学大学院生命機能研究科教授）は縦縞キンチャクダイの縞模様が成長とともに単純に大きくなるのではなく、分岐の発生や移動を繰り返して縞の数を増やしてゆくことを発見し、それが反応拡散系と呼ばれる化学反応を伴う物質の拡散現象で記述できることを突き止めた。生き物の皮膚模様が反応拡散方程式で記述されうことは Turing Model として以前から知られていたが、この方程式による動的変化が現象を記述できることが分かったことで再び大きな注目を浴びた。

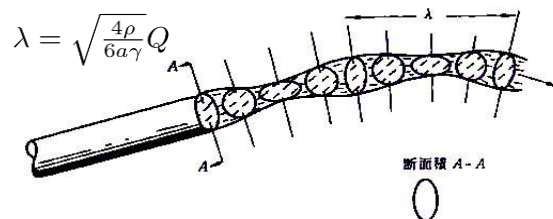
生き物のもつパターンという意味では、「指紋」(finger print)もまたよく知られた、特徴的な“かたち”である。胎生期に母体がストレスを受けると、指にできるパッドと呼ばれる突起部分が成長せず、この影響を受けて指紋が渦を巻かず、アーチ状になる現象は解剖学者の間でよく知られていた (Mulvihill, Smith 1969) が、後にこの機構は Kuecken, Newell (2004) によって座屈の理論で理解された。



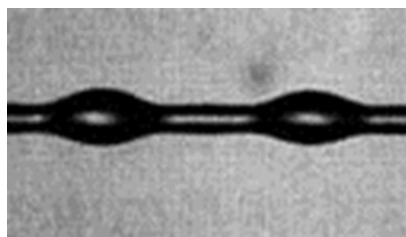
Mulvihill and Smith (1969)¹³⁾ より引用。

2. 「表面張力」形づくりの名人

表面張力とは、表面積をできるだけ小さくしようと働く力である。面が平面の時には釣り合ってしまうって効果を出さないが、曲面の場合には面白い。コップになみなみと注いでもこぼれない水（こぼれたら表面積が増える）、風呂の天井に付いた水滴の形は、重力と表面張力のつり合いで決まる（レイリーテラー不安定）、細い管を水に浸けると、水が吸いあがってゆく毛管現象、昔は縁日の屋台で、樟脳を使った表面張力船というものが売っていた、などなど。この表面張力が形を作ってゆく現象が山のようにあることをご覧いただきたい。いきなり、で申し訳ないが、世の男性諸君に聞いてみたい。「あなたのオシッコが飛んでゆく様子をまじまじと観察したことがあるだろうか？」進行方向に波打つように見え、まるで断面が



回転しているように見えるはずである。この“大問題”は当初、イギリスの誇るレイリー卿が、引き継いで、原子論の父であるニールスボーアが原子のボーアモデルを提唱する直前まで計算していたことはあまり知られていない。この現象は回転しているのではなく、断面が一定周期で振動していることを表しているのだが、その振動を起こしている張本人は表面張力である。



髪の毛を濡らしても、一様に濡れることはない。必ず写真のように濡れて太くなっている部分と、そうでない部分が交互に現れる。これは一様に濡れるよりも、このように周期的に濡れた方が（体積一定の条件で）表面積を小さくできるからである。微積分さえ知っていれば高校生でも計算して納得できるはずである。つまり、このような凸凹を引き起こす原因は表面張力そのものというわけである。（プラトー・テイラー不安定）

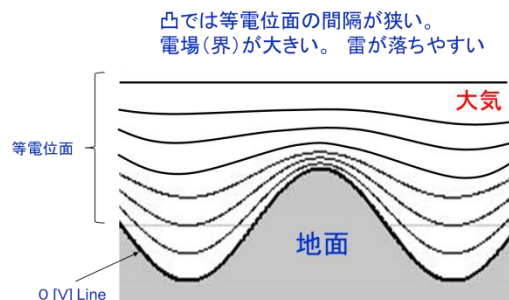
3. ラプラス不安定 「ぐちゃぐちゃ」の作り方

Δ と書いて、ラプラシアンと読む。これが何かはさておき、これが作用して0になってしまう関数をラプラス場と呼ぶ。

この $\Delta(\text{場}) = 0$ という方程式をラプラス方程式という。熱が伝わる様子を記述する熱拡散方程式は定常（時間変化しない）の場合を考えると、温度場がこの方程式を満たす。電荷がない時の電位の方程式もこの方程式になるし、非圧縮性で緩やかな流れの中での圧力場の満たす方程式もこれ



である。だからこれら3つの場（温度場、圧力場、電位場）は似たところがある。例えば過冷却水（0度よりも低い温度の水）の中で、氷が成長する様子を見ると、氷が出っ張ったところでは温度勾配が大きく、より速く冷やされ、この凸部分はより成長し、表面はグチャグチャで複雑な形になりやすい。電位の時も同じような理屈で尖ったものの付近では電位勾配が大きくなって、雷が落ちやすくなる（右上図）。イオンを多量に含んだ溶液中に電極を置いて電圧をかけると、出っ張った部分で電位勾配が大きくなるのでイオンが引き寄せられ、より速く電気析出がおこり、金属 Tree（左上図）が出来上がる。圧力場に関してはこういう例がある。二枚の透明な板に粘度の高いゲル状のものを挟み、板を押しつぶすと真丸に広がるが、逆に二枚の板を引きはがそうとすると、グチャグチャな突起を持った模様が現れる。（指状粘性体）これらの不安定化をラプラス不安定と呼ぶ。



4. Mullins- Sekerka 理論

さて、ラプラス場は「ぐちゃぐちゃ」な表面をつくる、と書いたが、氷の表面がそんなにグチャグチャなのは見たことがないという意見が聞こえる。実はここが大事である。出っ張ったところに粒子を吸着させると表面積が増えるが、凹んだところに粒子を吸着させると表面積はむしろ減少する。つまり、粒子を吸着させるには凹んだところのほうが、表面張力の点で有利になる。このような効果は、融点を変化させる。凸部分では融点が低くなり溶けやすく、くっつき難い。凹みでは逆に融点が高くなり、溶けにくく、くっ付きやすい。この効果をギブストムソン(GT)効果という。この効果は凸凹を均して平らにする効果を持つ。ラプラス不安定と GT 効果が相まって、ちょうど良い凸凹ができ上がるのである。計算してみると、この二つの効果の釣り合うところで、特有の揺らぎの波長が決まるのである。こうして、結晶構造には特有の揺らぎが生じるのである。なお、氷の場合には、表面張力（表面自由エネルギー）に6回対称性があるので、このことを反映して六角形が現れるようになる。

5. ふたつの作用でひとつの“かたち”

いろいろなケースを見たが、そのほかにも、砂紋、つらら表面や、鍾乳石の石筍、氷筍などにはある種の揺らぎが生じる。面白いことに、多くのケースで 1：揺らぎを起こす要因 と、2：揺らぎを押さえる要因があって、その二つが絡み合って、特徴的なかたちが生まれているということだ。前者には、髪の毛を濡らす話での表面張力、レイリー・テイラー不安定での重力、ラプラス不安定などがあり、後者には、レイリー・テイラー不安定での表面張力、GT 効果（表面張力）などがある。多くの形（揺らぎ）がこのようなカップル効果で現れていることは非常に興味深い。今回の企画では、こんなよもやま話を聞いて頂きたいと思っている。

「加賀てまり」 伝統の形

小出 孝子

加賀てまり毬屋、〒920-0919 石川県金沢市南町 5-7

mariya@kagatemari.com

Traditional Forms in “Kaga Temari”

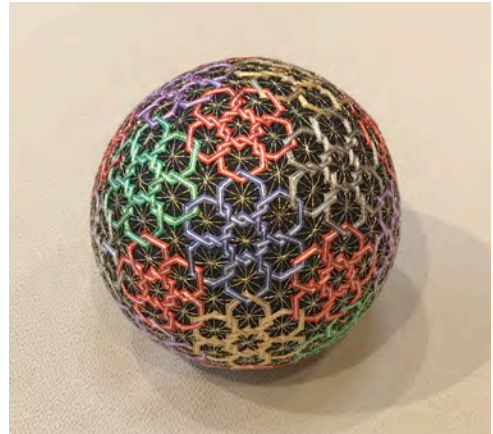
Takako Koide

Kagatemari Maria、5-7 Minamicho, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-0919

1. 加賀てまりについて

加賀てまりは、加賀前田藩 3 代藩主、前田利常公（当時 7 才）のところに、徳川家より家康の孫の珠姫様（当時 3 才）がお輿入れなされた折に持って来られたのが始まりと云われている。加賀てまりの特徴は、中心に鈴などを入れて音が鳴るようになっており、「音が良く鳴る」を「良く成る」にかけて、縁起の良い毬として親しまれている。そのことから娘が嫁ぐ時に幸せを願って持たせる習慣がある。代表的な模様には、十二菊模様や独特の二つ菊模様がある。

手まりはそもそも蹴鞠がルーツと云われ、その後、日本で美しく進化したものと思われる。平安の頃、男子がする蹴鞠を女子もということから御殿女中が姫君のために作ったのが始まりと云われている。従って、はじめはお座敷で投げたり転がしたりして、貴族の姫君が遊ぶ玩具となり、やがて武士の大名の姫君達へ伝えられ地方へと広がっていったものと思われる。江戸時代には木綿の糸などが普及するにつれて一般に広がり、女・子供の玩具として、ついたり投げたりして遊ばれるようになった。大正時代に入ってゴムまりが普及する玩具としては作られなくなり、その技法は一時は忘れられていた。一部ではお雛様と一緒に飾られたり、お誕生祝いに贈られたりして、母から子へと受け継がれていった。戦後間もなく美しい工芸品としてその美しさが見直され、その作り方が書かれた本と共に普及した。



2. 加賀手まりの作り方

- ① 中心に鈴を入れ音が鳴る
- ② 鈴の周りに発泡材のネットを巻く
- ③ 周りに綿を巻く
- ④ 極細の毛糸で丸くなるように巻く
- ⑤ 微妙な凹凸を綿を足して修正しながら、仕上げの細糸を巻く
- ⑥ 模様に合わせて金糸で地割りをする
- ⑦ 地割りの金糸に色糸をかける為の印をする
- ⑧ 色糸をかける

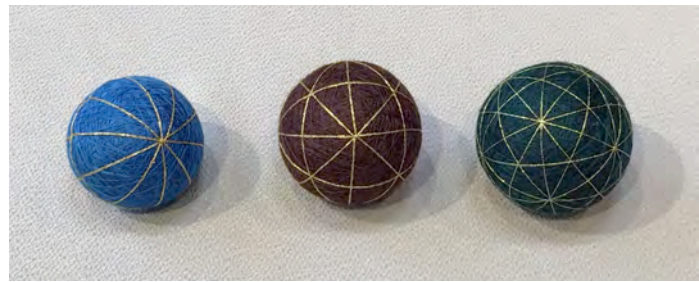


3. 模様とかがり方

模様をつくるための基本の割り方として、以下の3種類があります。

【基本の3種類】

- ① 10等分
- ② 8等分の組み合わせ(8K)
(四角形ができる6面体)
- ③ 10等分の組み合わせ(10K)
(五角形ができる12面体)



①等分

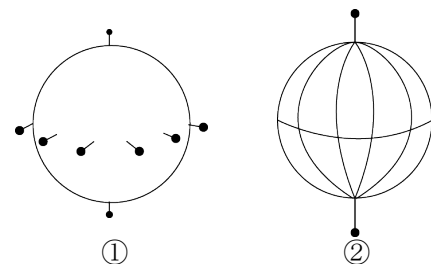
②8K

③10K

他にも様々な分割がありますが、この3種が基本の割り方で、それぞれ更に細分化したり、ねじったり、組み合わせたりして、様々な模様をかがっていきます。

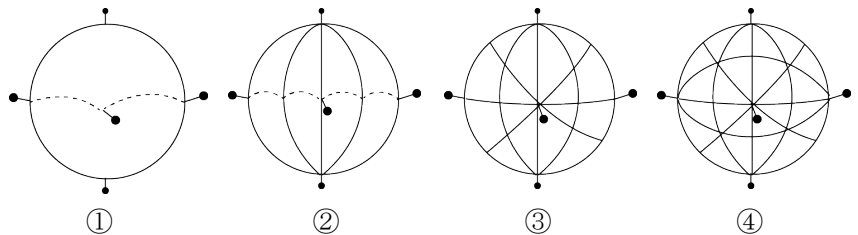
【10等分の地割りの仕方】

- ① メジャーで測って北極と南極を決める
- ② 赤道上を10等分に金糸でつなぐ



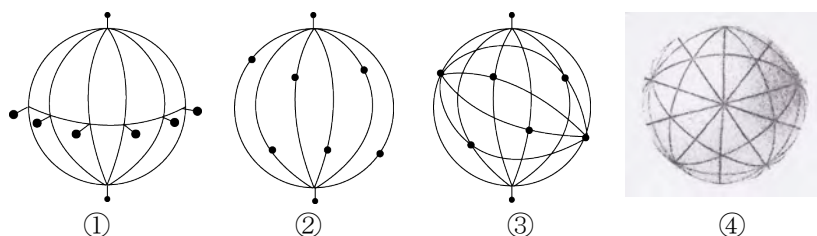
【8等分の組み合わせの地割りの仕方】

- ① 北極と南極を決め
赤道を4等分する
位置にお待針をうつ
- ② 北極と南極をつないで8等分の地割りを
りする
- ③ 新しい北極、裏に新しい南極として同様に8等分する
- ④ 残りのお待針で8等分して完成。8等分を3回全てのお待針が8等分になっている



【10等分の組み合わせの地割りの仕方】

- ① 北極と南極を決め
10等分する
- ② 全ての針と針の間
が円周 $\times 1/100 + \text{円周} \times 1/6 = \alpha$ となるよう
に、赤道の針を移動
させる。まず北極側
へ5本動かす。次に残りの5本を南極へ動かす
- ③ 新しい北極と南極を決めて10等分する
- ④ ③を繰り返して全てのお待針が10等分されるまで行くと、10等分の組み合わせが完成する



伝統芸能の対話の形を自動会話に応用する

松浦 執

東京学芸大学教育学部、東京都小金井市貫井北町 4-1-1

shumats0@gmail.com

Application of Dialogue Form of Traditional Art to an Automated Dialogue System

Shu Matsuura

Tokyo Gakugei Univ., Faculty of Education, 4-1-1 Nukuikita Koganei Tokyo
184-8501, Japan

Abstract: This study extracts an expression pattern from the Noh play, such as the sequence constituting of conflicting dialogue, dialogues expression of concluding proposition, and narrative of whole story.

Keywords: Dialogue, Noh play, Humanoid robot

1. はじめに

近年、会話をインタフェースとして電話やスケジュールを伝達するパートナーとなったり[1]、人に癒しをもたらすインタフェースとなったり[2]、遠隔地から、あるいは神経難病患者の分身としてリアルタイムに音声や身体表現を代行するためにヒューマノイドなどが活用される例[3]が増えている。会話、身振りなどを通じて人との相互作用を持ち、人との気持ちを媒介する。人工知能を用いて、より自然で継続できる会話機能が追求されている。言葉での会話では自動会話生成システムであるチャットボットの開発が著しく、会話をインタフェースとしたサービス開発が進みつつある。人工知能を用いた自由会話の提供も知られている[4]。一方、人工知能によらずとも、人は、ロボットの言葉や身振りの型を用いて多様な気持ちを表現することができる[3]。

伝統芸能の身振りの型は、単純で控えめな所作により、視覚的には情報量を抑制しながら、見る者に没入感・一体感や、感情の迸りをもたらす。物語や表現の流れを前もって把握していないと分かりにくいのが、演じる側と見る側にそれなりに力があるときに伝わるものがあるのだろう。人工的に会話を生成するという課題に取り組む上でも、伝統的に受け継がれてきた会話のあり方は参考になるところが大きいのではないかな。

2. 演じる対話

ここでは、対等な会話ではなくて、対話を演じるものとそれを聞く鑑賞者とに分かれている関係を考える[5]。大教室での講義においても、講師は、対話と独白の演じ方を認識することで、大教室でありながら個別感や生産性の向上が実現できると指摘されている[6]。

能は、室町時代に民衆の芸能であった田楽、猿楽にものまねと幽玄を総合して高められた。特に幽玄な能では、シテを中心にワキとシテが対話を繰り返し、最後は地謡の謡につれて舞を舞いながら物語が語り切れ、シテが消え去っていくという形式が多い。

よく知られる羽衣の能を例に挙げ、対話部分を検討する。羽衣を見つけて持ち帰ろうとする白龍に、天人が声をかけて、それは天人のものであるから元に戻すよう頼む。これを断る白龍とのあいだに、演劇的な対話のやりとりがある (D)。その後、シテの天人の心情

をワキの白龍とで分担しながら対話の形で語る。その部分では白龍と天人との対立劇はなく、天人は羽のない鳥のように飛ぶに飛ばれず地上には拠り所もなく、思い悩んでもなにもできない、という心情だけが、シテとワキの掛け合いの形を残して語られる(M)。そして、心情が高まったところで地謡に謡が移る。地謡に謡が移って後はシテの天人は所作のみであり、自らは語らず言葉に包まれた状態になる(N)。中間のMでは対話を残しながら、シテの意識に注目が限られ、シテとワキの対話を辿りつつシテの内面に注目が移る。

これに続く部分では白龍は天人が気の毒になり、羽衣を返す代わりに天人の舞を見せて欲しいと頼み、疑いを持ち合うのは人間だけだという対話(D)がある。再びシテとワキは掛け合いながらも天人が羽衣をまとして風に袖をひるがえす有様が謳われる(M)。これを地謡が引き継いで駿河舞の由来や天について語られる(N)。ここでは心理の揺らぎの不安感が解消され、やがて舞い上がっていく天人の視点で駿河湾地方を見下ろす開放的なキリとなる。

卒塔婆小町は特徴的な問答で知られる。老女となった小野小町が卒塔婆に腰掛けているのを見咎めて、高野山の僧が諭そうとするが、逆に真理を説かれてしまうという内容である。対話部分では僧と小町がそれぞれの言い分を言い合う(D)。その問答が高まって、悪も善であり煩惱も菩提となる、という結論が僧と小町の掛け合いの形で語られ(M)、それを受けて地謡が、本来無一物のときには仏も衆生も別れていない、と悟りの形を謡い、小町に対して僧が三拝する所作が行われる。すなわち、対立する対話が高まって、二者の対立を超えて心の中に現れる悟りにフォーカスが移り、それが掛け合いで示された。これを受けて地謡が2名の問答を物語るののである。

対立的劇的対話(D)→掛け合いによる主題へのフォーカスと心情の高まり(M)→対立からの解放と物語り(N)の流れのパターンが、シテを絶対的に中心とする能には繰り返し見出される。この、葛藤から供養とも言えるようなパターンによって、一つの小主題を持った場面が作りあげられる。

このパターンをヒューマノイドとの掛け合いに適用すると、シテの役をヒューマノイドにあて、ワキと地謡を人間が担当することが考えられる。Dではワキからの発話にシテが対立的に応答する。対立的命題を提示し合う。Mの単純形としては“A is B”のAとBを分担して掛け合うことにする。

3. おわりに

うたであった芸能が、掛け合いをもち、役の分化が起きて、多様な表現や物語りが可能になったと推測されるが、そこに効果的な表現の鑄型が生き残っているのではないか。

参考文献

- [1] ロボホン, <https://robohon.com/> (2016)
- [2] 柴田崇徳「アザラシ型ロボット・パロと人との相互作用に関する研究」日本ロボット学会 Vol. 29(1) pp. 31-34 (2011)
- [3] コミュニケーションロボットオリヒメ, <http://orihi.me.orylab.com/> (2017)
- [4] Wu et al. りんな：女子高生人工知能, 言語処理学会第 22 回年次大会発表論文集 pp. 306-309 (2016)
- [5] 細川拓郎、松浦執「お笑いフレームと対話の形」形の科学会誌 Vol. 31(1) pp29-30 (2016)
- [6] J. Davis "Dialogue, Monologue and Soliloquy in the Large Lecture Class" Int'l J. of Teaching and Learning in Higher Education, Vol.19(2) pp.178-182 (2007)

非漢字圏学習者における 漢字かなの書き方の傾向について

杳名 健一郎

プリンス・オブ・ソンクラーク大学人文社会科学部

On the Tendency of Writing Kanji and Kana in Non-Kanji Learners

Kenichiro KUTSUNA

Prince of Songkla University, Faculty of Humanities and Social Sciences,
Department of Eastern Languages, A Muang Pattani 94000 Thailand kenichiro.k@psu.ac.th

Keywords: kanji education, non-kanji learners, Japanese education, SHOSHA-SHODO

1. 序

非漢字圏の地域において、「漢字」と「かな」学習の感受性を調査した。タイ語の表記に用いるタイ文字の書き方と、漢字・かな記述時の字形の傾向の共通性について調査し、日常に用いるタイ語の日本語表記への影響及び、その感受性について考察した。

今日の日本の教育は、初等教育以前に、日本語は元より、ひらがなや名前の漢字など一通りを家庭で学習する、あるいは学習していなければならない傾向にある。しかし、その基本的な技術、例えば鉛筆の持ち方や学習方法などについては小学校の国語科書写の授業に一任するため、鉛筆の持ち方や指使いといった、いわゆる「書き方」については小学校で学習するものの、前提の知識は小学校入学前に行われていなければならない、家庭毎の差が大きく問題が多かった。また国語科の中で、特に「正しく整った文字」について学習する国語科書写に関わる教員は、中学校では国語科を専門に学んだ教員が行うため、指導方法を習得している者が存在するが、小学校では一人の教員が全ての教科を教えるため、国語を専門とする者の比率も少なく、文字についての専門知識をもつ者は皆無に等しく、また文字についての苦手意識から文字指導に否定的な教員も多い。つまり文字の基礎的な技術についての指導は非常に問題が多いと言える。

このような環境の中で、初等教育での基礎的な文字の学習について高度な研究を行う場合、例えば新しい漢字への接触体験を調査することは、日本の学校では困難であり、非漢字圏での調査が待たれていた。今回非漢字圏地域への着任に伴い、調査を行うことができたので、本稿でその傾向について考察したい。

2. 非漢字圏地域と漢字の学習状況

タイ王国の深南部パッターニー県にあるプリンス・オブ・ソンクラーク大学（PSU）の学生を対象に調査を行った。

タイは、タイ文字、あるいはシャム文字と言われる 44 の表音文字を用いて表記する。当地パッターニーは、イスラム教徒（ムスリム）のマレー人が多く占める地域のため、タイ文字を中心にしつつ、マレー語に用いられるジャウィ文字（Jawi）が看板などに時折使われている。しかし、生活や学校教育ではタイ文字が専らであるので、ジャウィ文字の影響は無視して良い。タイ文字はカンボジアのクメール文字や、東南アジア以東の文字の源流とされるブラーフミー文字を基礎に作られたとされており、アラビア文字に近いが、アルファベットと同様に左から右に表記する。民族構成は、80%がマレー人、残りはタイ族と華人が 10%ずつである。華人は 16 世紀から移住して交易を行っていて、現在は完全に土着化しており、中国の祭祀等の文化の名残はあるものの、中国語は使われておらず漢字文化も今は無く、漢字教育も行われていない。本校はタイ国内でトップ 5 に入る優秀な大学であり、学生のうち半分以上がタイ南部地方の近隣県から集まってきていて、学年に数人、数%がバンコクなど北部地方から来ている。

わたしは水をのみます。
わたしは水をのみます。
វ៉ាតាស៊ី វ៉ា មីស៊ូ អូ ណូមី ម៉ាស៊ូ.
watashi wa mizu o nomi masu.
今日は、とても暑いです。明日はすずしいです。
今日は、とても暑いです。明日はすずしいです。
គ្រប់ ថ្ងៃ ឥឡូវនេះ ក្ដៅ ខ្លាំង ណាស់ ណាស់.
kyō wa totemo atsuidesu. Ashita wa suzushī desu.

図 1, 書字例 A

わたしは水をのみます。
わたしは水をのみます。
វ៉ាតាស៊ី វ៉ា មីស៊ូ
watashi wa mizu o nomimasu.
今日は、とても暑いです。明日はすずしいです。
今日は、とても暑いです。明日はすずしいです。
គ្រប់ ថ្ងៃ ឥឡូវនេះ ក្ដៅ ខ្លាំង ណាស់ ណាស់.
Kyō wa totemo atsui desu. a shita wa suzushī desu.

図 2, 書字例 B

日本語専攻の学生のうち、半数は高校において日本語を学んできており、漢字について学習の経験がある。但し、前述の日本国内同様に高校においても大学においても技術的な指導は行われていない。また日本語教育分野の研究に関しては、漢字学習への意識調査が多く、技能に関する研究が少ない。これは日本語教育における漢字は、あくまでアレルギーを起こさない程度に指導すべき課題であり、学習者の興味や関心を探りながら、指導方法を確立する方針だからであろう。

3. 調査方法と結果

タイ人大学生：日本語専攻および日本語副専攻の1～4年生 52 人に対して 7 つの短文を、上から漢字・かな、タイ文字、アルファベット（ローマ字）で記述させた。語句は、日本語能力試験（JLPT）N5 級（大学 1 年生学習範囲）レベルである。タイ語の文字の形の傾向と、漢字かな、アルファベットの形状の傾向を調べた（図 1,2）。活字の形の真似になってしまわぬよう、活字は 9 ポイントとし、いつも書いている漢字・かなが自然に書かれるように配慮した。また、アルファベットも書かせることで、出来る限り本人の書風（本質的な書き癖）についても分かるよう工夫している。

日本人の場合、正しい書体としての行書と異なる、漢字について個性的に省略する形、いわゆる「崩し字」というものがあるが、タイ文字にも「崩し字」は存在する。図 1 と 2 を見比べると、タイ文字の形状、特に上の飾りのような部分が全く異なることが分かるであろう。タイ文字においては、自分だけが理解すれば良いという場合、この部分に限らず字形、書風が大きく変化する。例えばノートなどの文字を見ると、他人には全く理解できないような「行草書」のようなもの、あるいは「崩し字」が書かれる。今回の調査では回収することだけを伝えており、文字を上手に書くような指示はしていないため、筆記試験時のような誤字は避けるというレベルの意識で書かれている。

4. タイ人学生の漢字かなの書き方の傾向と文字指導

今回の調査から明らかになったことは、アルファベットについては意識されない「筆圧」や、文字の大きさ、傾きなどの字形（形状）の特徴がタイ文字、漢字かな、アルファベットで共通する。これは重要な問題である。即ち「正しく整った文字」を指導する場合、日常で筆記されるタイ文字、あるいは基礎外国語としてのアルファベットの意識から変えていかなければならないということを意味するからである。日本の学校教育では文字を正しく整えて書くためには、丁寧に書くことを第一に考える傾向にあるが、今回の調査の結果を受け、根本的な「書くこと」への意識、書き方へのアプローチについて再考しなければならないことが明らかになった。

参考文献

- 柳田しのぶ「非漢字圏日本語学習者における漢字学習への意識 –フランスの大学生を対象に–」JSL 漢字学習研究会誌 第 3 号 (2011)
- ブッサバー・バンチョンマニー「タイ人日本語学習者における漢字学習意識-学習困難点及び情意的側面について-」日本語教育国際研究大会口頭発表資料 (2016)

筆路から考える ICT

本田 容子* 杳名 健一郎**

*盛岡大学文学部 〒020-0694 岩手県滝沢市砂込 808

**プリンス・オブ・ソンクラーク大学人文社会科学部

Hitsuro of Using ICT

Yoko HONDA* Kenichiro KUTSUNA**

*University of Morioka, Sunakomi 808, Takizawa, Iwate 020-0694 y-honda@morioka-u.ac.jp

**Prince of Songkla University, Faculty of Humanities and Social Sciences,

Department of Eastern Languages, A Muang Pattani 94000 Thailand kenichiro.k@psu.ac.th

Keywords: ICT, Educational contents, Hitsuro, Education

1. 序

本論は、学校教育における文字の学習にあつて ICT の効果的な活用方法について模索するものである。特に、ICT を活用したいいわゆるタブレット型 PC を用いた場合、筆圧や運動を意識させるこれまでの学習から「筆路」と呼ばれる文字の形に焦点を当てた学習が中心となることが予測される。これはタブレット型 PC 特有の問題もいくつか挙げられるであろう。こうした論点を踏まえながら、ICT の活用について考察を行う。

2. 筆路について

今日の学校教育において ICT 機器を活用した学習指導は必至の課題となっている。2014 年、中央教育審議会に対して「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について」として文部科学大臣より諮問文が出され、その諮問を受けて 2015 年に教育課程企画特別部会において論点整理がまとめられた。教育課程企画特別部会によってとりまとめられた次期学習指導要領の方向性を示したこの「論点整理」により、将来を担う子どもたちにどのような資質・能力の育成が必要となるのかその議論が始められたところであるが、先を見通すことが困難となっている時代、ICT 機器を活用した学習指導は「情報活用能力」を身に付ける上で避けては通れない課題である。

さて、書字教育において ICT に期待されるのは、求められる環境において実際の書字活動や実物の筆やペンよりも効果的な学習効果が得られることであり、それはつまるところ仮想的空間における感覚・知覚の体験であると言える。この感覚・知覚は、目や耳、あるいは指などへの刺激によって発生する精神的物理現象のことである。認知科学において人間の情報の獲得には感覚と知覚とがある。Wundt (1874, 1896) は、知覚は感覚の結合によって成立するとしたが、Gestalt 学派の Köhler (1913) によって感覚は一定の法則を持たないことから否定された。現在においても感覚の定義は定まっていないが、増田 (1932, 1934) 盛永 (1963) は、知覚の素材的な側面を感覚と呼び、高木 (1961) は感覚を「しいて特徴づけられ、受容器に与えられる個々の刺激の感受の過程」であり、これに対し「認知の過程一般を知覚という」ことを便宜上用いている。本論考においては感覚〔刺激の感受〕を用いて、知覚〔認知の過程〕に導き、そこに至るまでの思考とまた感覚と知覚を伴う動作である「書字」に結び付ける一連の過程のうち、刺激を紙面や筆や鉛筆などから ICT の機器に置き換えるものと言えよう。

ICT を活用したいいわゆるタブレット型 PC を用いた場合、筆圧やリズム、姿勢や筆記具の持ち方などの運動を意識させる、これまでの一過性である学習から「筆路」と呼ばれる文字の形に焦点を当てた学習が中心になる。この「筆路」については、手元の辞書には筆使い、運筆、文脈とあり、これを我々は「筆の道筋」とし、紙面および画面に現れた線分を意味するものと定義した。紙面などにおいての筆使いである「筆脈」とは別に、字形を得る手段として解釈することとした。この「筆路」として解釈することによって書字過程を意識して考えられる。

3. 学習効果を高める ICT

学校教育における文字の学習において筆圧と始筆や送筆、終筆の考え方を分かりやすく説明する方法として、「トン・スー・トン」がある。このリズムを身に付けるために iPad (タブレット型 PC) のアプリを試作した。特に、ICT

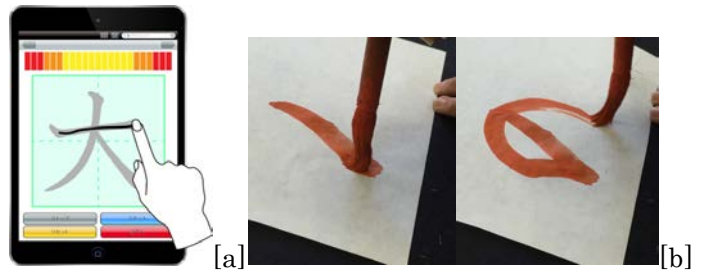


図 1. 指と筆との筆路の違い

[a]指で書く筆路は接地面の中心点の集合である

[b]筆で書く筆路は筆を撓めることによって生まれる

を用いた場合、筆圧や運動を意識させるこれまでの学習から「筆路」と呼ばれる文字の形に焦点を当てた学習が中心となることが予測される。このことはタブレット型 PC 特有の問題もいくつか挙げられるであろう。例えば、筆文字は 3 次元であるが、タブレット型 PC は 2 次元的な捉え方となる。その次元を補う部分が、書写・書道教育における実技の学習となるであろう。手段により筆路の感覚は異なる(図 1)。

4. 文字教育の可能性を高める学習

タブレット型 PC は紙を用いず、また筆や墨などの道具の準備が不要で手軽な反面、学ぶ要素に制限がある。筆文字は多くの要素を学習しなければならない。その要素が多ければ多いほど学習の焦点化はせず、最適化されない。この要素の制限によってこそタブレット型 PC の有用性が高いと言えよう。

我々が試作した書写学習のアプリは、始筆、送筆、終筆の「止め」「はね」「はらい」を目と耳のリズムで捉えながら、楽しむことができる。ゲームと同類の要素を持っているため、子どもたちは筆使いを自然と身に付けて、整った字形の書くことができると考えた。このように、書写学習のアプリの意味はゲーム的な要素を用いることによって楽しみながら、かつ率先して学習を行うことができることは、触覚としての感覚的発達をもたらすタブレット型 PC などの機器についての発展的な学習方法として「反転授業」につながる。反転授業は ICT を用いることを前提としているものであり、コンテンツを自由に差し替えられる ICT を通し一人ひとりの進度に合わせつつ個性や興味に応じたメニューや課題を設定し、指導をより充実させられる。

文字教育と ICT 教材の関係について「知識」を元に「練習」あるいは「協働的な練習・学び」を通して、技巧を上達させ、またその上達が知識の向上を促すというサイクルは、「知識を基盤として、未来に生きる力を育てる」アクティブラーニング、すなわち児童生徒一人ひとりの能動的な学習の視点から、ジェネリックスキルといった、すなわち最低限必要な技術を獲得することにつながっていく。よって、我々の結論は ICT を用いた書写学習により、「生きる力」を育てることが可能であると考えられる。このように、書写・書道教育において、効果的な ICT の活用はますます求められている。筆路こそが ICT を用いる要諦であると言える。

参考文献

Wundt, W. Grundzüge der physiologischen Psychologie. Leipzig: Kröner. 1874(1st ed.), 1908-1911(6th ed.).

Wundt, W. Grundriss der Psychologie. Leipzig: Kröner. 1896(1st ed.), 1922(15th ed.).

Köhler, W. Über unbemerkte Empfindungen und Urteilstäuschungen. Z. Psychol., 66, 51-80 (1931)

増田惟茂『心理学』岩波講座哲学 岩波書店 (1932)

盛永四郎『一般心理学』明玄書房 (1963)

高木貞二編『心理学〔新版〕』東京大学出版会 (1961)

杵名健一郎・本田容子「言語力の育成を中心とした国語科書写の展開」書写書道教育研究第 27 号 (2014)

杵名健一郎・本田容子・平田隆幸「書写書道 ICT システムの構築」『形の科学会誌』第 30 号第 1 号 (2015)

杵名健一郎・本田容子・高田宗樹「文字教育における ICT の活用」『形の科学会誌』予稿集 14-15 (2016)

文部省初等教育課『初等教育資料』(927 号) 東洋館出版社 (2015)

謝辞 本研究は JSPS 科研費 15K13238 の助成を受けたものです。

Form Comparison of the Face and Muscle Expressions between Ihachi and Yoshimitsu's Animal Sculptures

Jian Wang, Mitsunori Kubo

Chiba University, Yayoi-cho 1-33, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

kunoichi99@gmail.com

Abstract: Two 3D forms of animal wood carvings with the same motif which were accomplished by Ihachi Takeshi and Yoshimitsu Goto were compared, aiming to investigate the differences of basic expressions between the two carvers. The compared objects were contrasted according to the the distributions of the normal vectors of the polygon mesh. As a result, Ihachi's form is confirmed to be with an anisotropic distribution of the normal vectors, while Yoshimitsu's form is shown to be isotropy.

Keywords: normal vector, anisotropy, isotropy, linkage clustering

Introduction

Ihachi Takeshi (Ihachi) and Yoshimitsu Goto (Yoshimitsu) are the Japanese carvers of Edo Period who were famous for their historical wooden carvings as the wave of sea, dragon and animals, and their works were widely distributed in Chiba Prefecture. We compared the forms of their sculptures in animal motives including two head parts of the lion as the decoration of the architrave (Kibana) [1] in figure 1. This comparison could be considered as the parallel case to validate the conclusions in the former study [2] that the surfaces of Ihachi's sculpture tend to orient to several certain directions while the surfaces of Yoshimitsu are confirmed to be orient to directions in variety.

Method

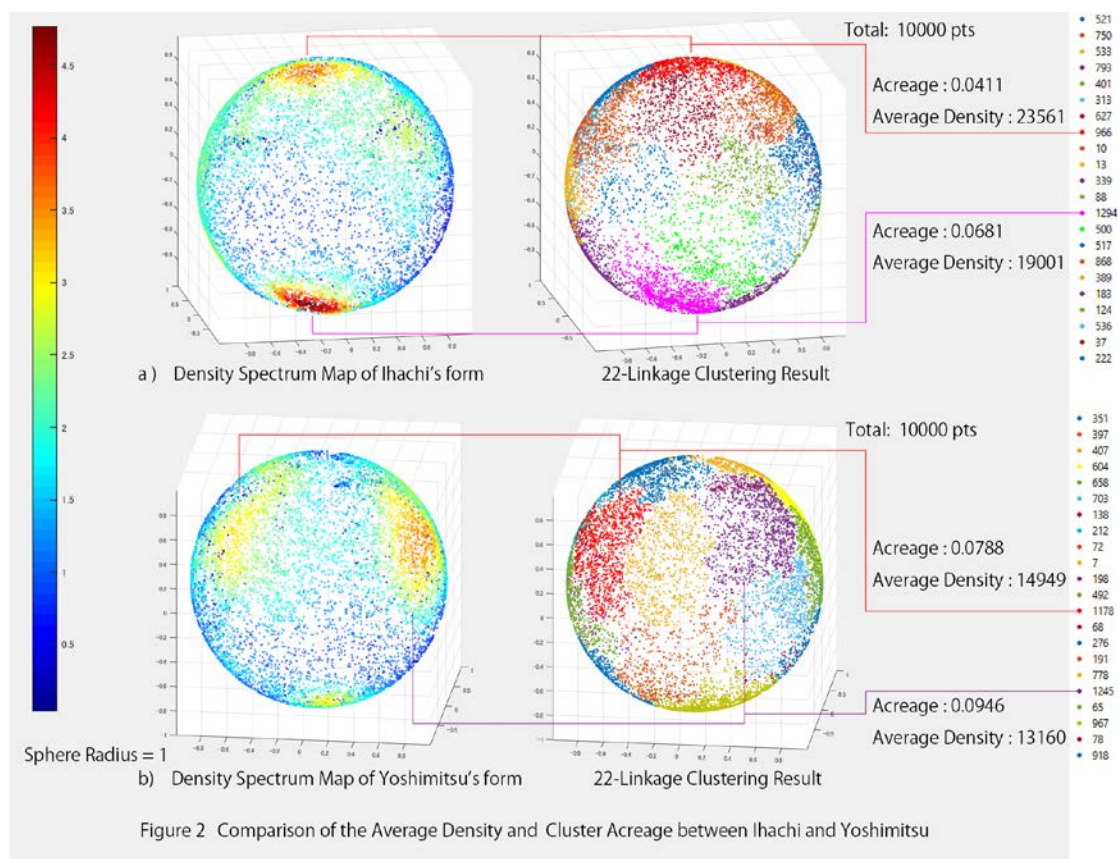
The polygon mesh objects of the sculptures are generated from the photos in Autodesk Remake [3]. We retriangulated the polygon mesh to produce a more uniformed tessellation constructed by equilateral triangles to contrast the difference of the distributions of the facet normal vectors. We projected the initial points of all facet normal vectors to the center of a unit sphere, therefore the density spectrum map of the terminal points on the surface of the sphere could represent the degree of the concentration of the facet normal. Then we analyzed the terminal points by linkage clustering to investigate the isotropy or the anisotropy of distribution of



Work of Ihachi, Oyamaji Fudoudo

Work of Yoshimitsu, Zenrinji

Figure 1 Wood Carvings of Kibana Lion by Ihachi and Yoshimistu



the facet normal.

Result

According to the density spectrum map on the unit sphere we could confirm that the facet normal of Ihachi's form mainly concentrate on the two poles in high density, while the facet normal of Yoshimitsu spread in two wider areas, and the maximum density of Yoshimitsu is 85.3% of the maximum density of Ihachi. From the result of the linkage clustering we confirmed the locations of the clusters including top and second top quantity of the terminal points fit the density spectrum map well, therefore the boundaries of the high-density areas on the map could be defined according to the shape of the cluster result. We confirmed that the average densities of the top and second top areas of Ihachi are much higher than Yoshimitsu.

This comparison indicates that the distribution of the facet normal of Ihachi tend to be anisotropic, mainly orienting to 2 directions, while the facet normal of Yoshimitsu orient to directions in variety, for the acreage of the top cluster areas are wide and the densities are relatively lower.

References

- [1] Kibana lion of Ihachi: Oyamaji Fudoudo, 1723, Hiratsuka, Kamogawa, Chiba.
Kibana lion of Yoshimitsu: Zenrinji, 6-40-3, East Kamariya, Kanazawa, Yokohama.
- [2] 82th Symposium of Society for Science on Form, Japan, 2016.10, 'Form Analysis of Historical Woodcarving by Polygon Surface', Jian Wang, Mitsunori Kubo.
- [3] Software for converting reality captured with photos or scans into high-definition 3D meshes by Autodesk.

葉序らせんとテトラパック牛乳

佐藤郁郎 (宮城県立がんセンター) 中川宏 (積み木インテリアギャラリー)

宮城県名取市愛島塩手字野田山 47-1

sato-ik510@miyagi-pho.jp

Phyllotactic spiral and Tetrapak milk

Ikuro SATO, Hiroshi NAKAGAWA (Gallery of Wooden Polyhedra)

Department of pathology, Miyagi Cancer Center, 47-1

Nodayama, Medeshimashiote, Natori, Miyagi 981-1293, Japan

Abstract: The golden spiral is often observed in the phyllotaxis of flowers and leaves. Its torsion angle is $2\pi/(1+\phi)=137.5^\circ$, which is near to that of Boerdijk-Coxeter helix ($\arccos(-2/3)=131.8^\circ$) and far from Sommerville tetrahedral prism (120°). The phyllotaxis is insufficiently explained by a hollow-tube model. Analogously considering such two examples, we will designate a solid model herein.

Keywords: Golden angle, Boerdijk-Coxeter helix, Sommerville tetrahedron

1. 黄金らせん

植物では成長するにつれて葉にあたる日光の量が最大になるように、葉を茎にうまく配置する必要がある。上下の葉がぴったり重なっていたら、日光がまったくあたらなくなってしまうからである。最善の配置をもたらす角度は $360 \times 1/(1+\phi)=137.5^\circ$ とされる。この角度は 360° を $1:\phi$ に黄金分割したものになっていて「黄金角」と呼ばれる。

2. 正四面体による立体らせん

正四面体の面と面を接合して正三角形面よりなるねじれた柱を作ることができる。正四面体立体らせんは Boerdijk-Coxeter helix (以下 B-C helix) と呼ばれ、ねじれ角 $\arccos(-2/3)=131.81^\circ$ の立体らせんを描く。このねじれ角は無理数のため、連結数を無限に増やしたとしても周期構造になることはない。

3. 中空モデルからソリッドモデルへ

葉序のモデルは、一般的に円筒に紙テープを巻きつけた中空モデルとして与えられる。しかし、それでは葉序のメカニズムを説明するのに十分ではない。一方、B-C helix は内部構造をもったソリッドモデルとなっている。しかも、ねじれ角 131.8° は黄金角 137.5° をよく近似している。そこで、正四面体を変形させることによって黄金角を有するソリッドモデルを実現させたい。どのように変形すればよいのか？ ヒントとなるのは Sommerville の等面四面体である。以下、その試みについて紹介したい。

4. Sommerville の等面四面体による立体らせん

Sommerville の四面体は3辺の長さ $[2, \sqrt{3}, \sqrt{3}]$ の二等辺三角形4枚からなる等面四面体である。この四面体には自己複製的な空間充填性(reptile)に加え、展開図の平面充填性という double duty な性質があり、テトラパック牛乳が登場する文脈では必ず引き合いに出

される。すなわち、Sommerville 四面体は空間充填等面四面体であって、二面角が4直角の整数分の1(60° , 90°)になるように、正四面体の6辺のうち4辺の長さとし高さ、内接球の半径を変えずに最小偏奇させたものといってよい。Sommerville の四面体柱は周期3の正三角柱であり、そのねじれ角は 120° となる(図1)。

5. 黄金らせんの設計と製作

1種類の四面体だけでねじれ角が常に一定の値 137.5° をとる黄金らせんを実現させたい。正四面体の対辺となる2辺を長くするとねじれ角は小さくなることから、対辺同士の2辺あるいは1辺だけを短くすることを試みる。前者は二等辺三角形4枚よりなる等面四面体(図2)、後者は正三角形2枚と二等辺三角形1枚の組み合わせとなる四面体である(図3,4)。計算方法は割愛して結論を先にいうと、1辺だけがほかの5辺より短い四面体が黄金らせんを実現させることができた。紙模型を作って鑑賞してみると、緩やかな3本の稜線をもつ注連縄状の規則正しい構造体となった(図5)。

図 1

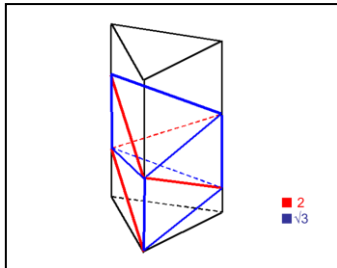


図 2

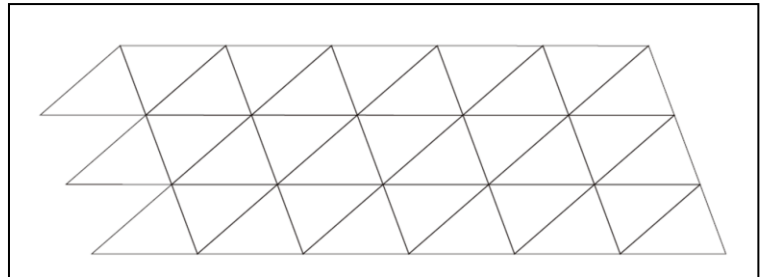


図 3

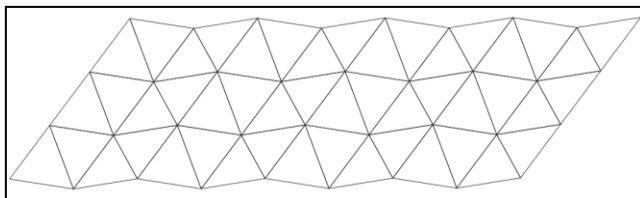


図 4

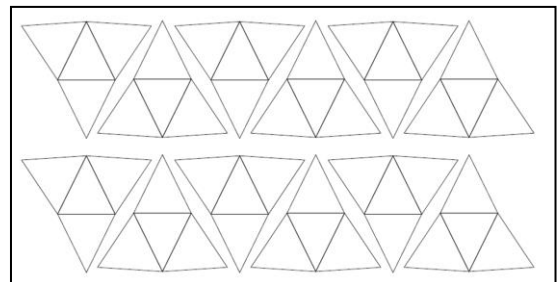


図 5



6. 参考文献

- [1] Coxeter HSM: The simplicial helix and the equation $\tanh \theta = n \tan \theta$, Canad. Math. Bull. 28(1985), 385-393
- [2] Goldberg M: Three infinite families of tetrahedral space-fillers, J. Combinatorial theory(A), 16(1974), 348-354

伝統の形と映像表現の融合

—金沢駅「鼓門」プロジェクションマッピング—

出原立子、山内暢人

金沢工業大学、石川県白山市八束穂 3-1

izuhara@neptune.kanazawa-it.ac.jp

Fusion of Traditional Forms and Image Projection

Ritsuko Izuahra, Nobuto Yamauchi

Kanazawa Institute of Technology

Abstract: City of Kanazawa promotes the regional activation. As a part of this promotion activity, we held the projection mapping event at Tsudumi-mon in Kanazawa Station four times from 2013 to 2016. Tsudumi-mon is symbolic construction of traditional culture of Kanazawa. We aim to create a fusion of the traditional forms and the advanced technology images on Tsudumi-mon.

Keywords: projection mapping, regional activation, traditional forms

1. 背景・目的

北陸新幹線開業に伴い金沢の夜の新たな賑わい創出を目的として、金沢駅「鼓門」プロジェクションマッピングを2013年10月より毎年開催し、昨年度で4回実施した*¹。金沢の街は江戸、明治、大正と時代を経て昔ながらの町並みを残し、伝統工芸文化も今なお息づいている街である。しかし、古いものをそのまま残すのではなく、伝統の上に新たな表現を追求する伝統と革新の融合する街である。金沢の街の表玄関にある「鼓門」は金沢の伝統文化を象徴した構造物である。これに対してプロジェクションマッピングを行うことで、伝統の上に最先端の技術と感性で新しい金沢のイメージを表現することをねらいとして、我々は企画から設計、開発、実施まで全てを行った。

2. 「鼓門」の形を活かした映像表現の追求

「鼓門」は横幅24.2m、高さ13.7mあり、形状は緩やかなうねりを有する曲面をなした面格子の大屋根と鼓を模した一葉双曲面の構造の柱で構成されている。映像は凹凸の激しい格子形状の上げ裏部分とねじれた柱の部分に投影される。正面に向けてフラットな形がほばないこのような構造物に対して映像を適切に投影することは本来難しいが、逆にこの形に合わせることで他にはない特徴的なプロジェクションマッピングが表現できる。そこで、「鼓門」の形を活かした映像表現を行うために、次のような表現技法を追求した。すなわち、格子形状の凹凸部分に正確に合わせた映像を作り、それぞれの部分を使い分けた。例えば、凹凸の高さの違いを活かし、凹部分にのみ大きさを変化させたアニ



図1 金沢駅「鼓門」プロジェクションマッピング

メーション表現を加えることによって、前後の奥行き感を表現した。また、柱部分においては、ねじれの構造によって生じる前後の柱部分に対し異なるイメージを投影することにより、柱の奥行き感、立体感を引き出すなどの工夫をした。映像表現を工夫することで、鼓門の本来の形の特徴をより引き出し形の魅力を伝えることができた。今年で5年目を迎え、さらなる表現を追求していきたい。

参考文献

*1 山内暢人, 出原立子: 金沢駅「鼓門」における鑑賞型プロジェクションマッピングの実践, 日本デザイン学会第63回春季大会号, pp.520-521, 2016

箕に見る自然な曲面のつくり方

久保光徳, 植田 憲

千葉大学、千葉市稲毛区弥生町 1-33

mkubo@faculty.chiba-u.jp, aued@faculty.chiba-u.jp

How to make a natural surface of theastica form of Winnowing Basket

KUBO Mitsunori, AUED Akira

Chiba University, 1-33 Inage-ku, Yayoi-cho, Chiba

Abstract: A morphological analysis on the KIZUMI's winnowing rice basket, which has been handed down in KIZUMI district, Sousa-city, Chiba Prefecture and has been designated as national important intangible cultural heritage, was carried out. As a result, it was confirmed that this form seemed to be governed by the characteristic curved surface that consisted of the restoring force of elastic body of the bamboo-beam-frame and the planar basic shape which was a knitted sheet with sliced bamboo fiber and wisteria skin. And, we tried to remake the form with some familiar materials as an educational good.

Keywords: morphological analysis, winnowing basket, curved surface, elastic body

1. はじめに

千葉県匝瑳市木積に伝えられる国指定重要無形民俗文化財「木積の藤箕（フジミ）」の形態を中心に、その形のなりたちへの考察と力学・造形教材としての可能性を検討した。検討にあたっては「論田・熊無（氷見市）の藤箕」や敦賀を中心とした複数の箕を類例としてそれぞれの箕に共通して見られる造形傾向を観察するように心がけた。

2. 箕の縦断面形状が示すエラスティカ（弾性曲線）

箕の曲面の基本形状は、シノダケ(図 1)を長柱とすると、長柱の両端が単純支持され軸方向のみに圧縮を受けるときの大たわみを示すエラスティカに強く支配されていることが理解できる。イタミの両端にはU字型のウデキによって境界条件を与えられ、その結果、弾性特性を持った長柱が示すエラスティカに類似した形態が現れていることが確認できる。

3. 箕形態の再現

図 1 の下半分は、この弾性特性を OHP シート（イタミ）と竹ひご（ウデキ）で再現しようとしたものである。一般的な竹細工によく見られるように、制作開始時から三次元に展開する曲面をつ

くりあげていくのではなく、2D 形態制作（イタミ）→3D 形態（箕）への成形と、その制作過程を完全に分離していることが理解できる。

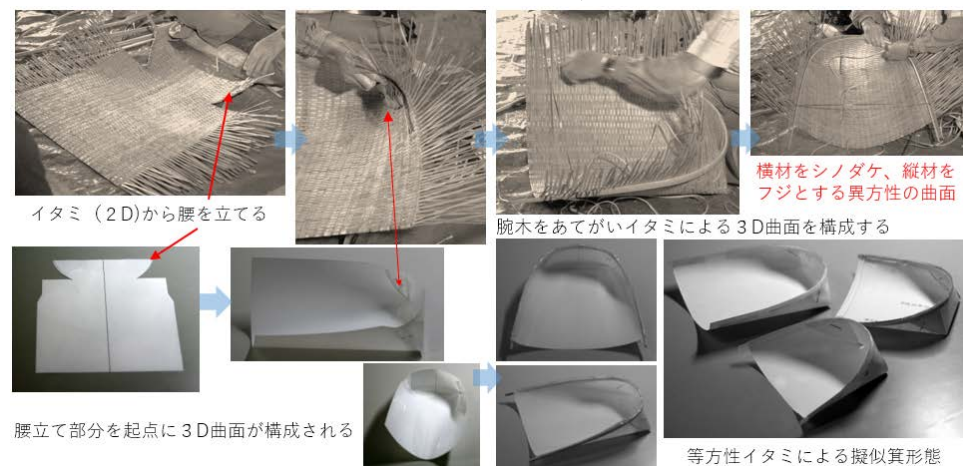
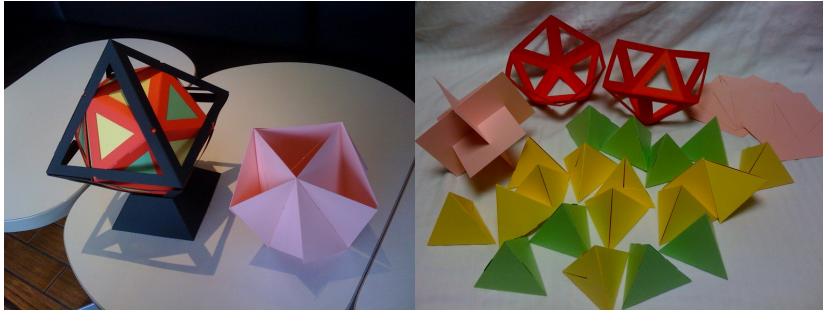


Figure 1 Forming process of the KIZUMI's winnowing

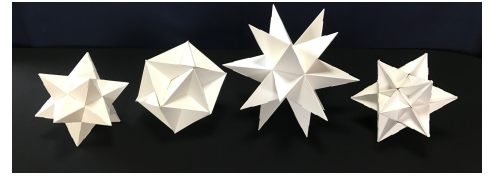
正多面体・星型正多面体模型の作製と体積・辺長の計算

OSA工房 小梁 修 / こやな おさむ ☎923-1201 石川県能美市岩内町 イ-27 e-Mail : osa@zeroalpha.jp

① 正20面体分割模型 (正8面体フレーム&スタンド付き)

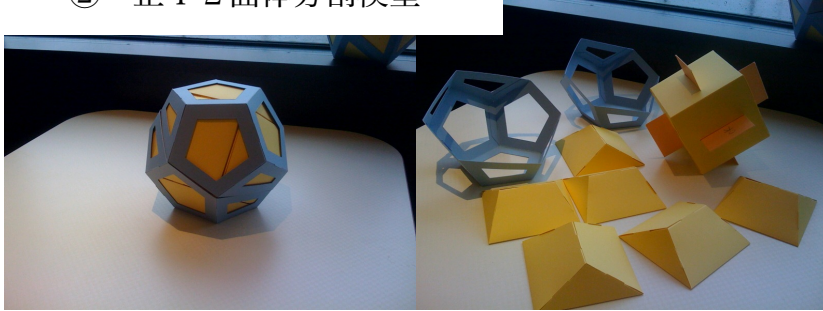


星型正多面体模型シリーズ (全4種類)



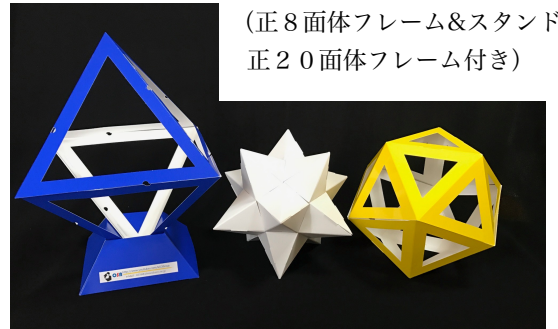
大12面体 大20面体
小星型12面体 大星型12面体

② 正12面体分割模型

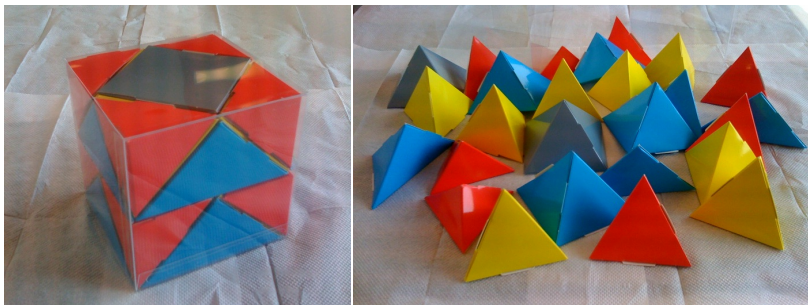


④ 小星型12面体模型

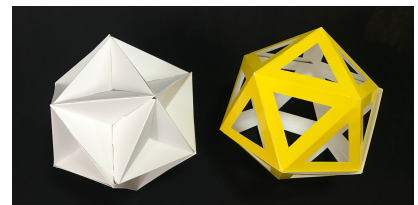
(正8面体フレーム&スタンド
正20面体フレーム付き)



③ キューブ26ミニ (正三角形・正六角形透板付き)



⑤ 大12面体 (正20面体フレーム付き)

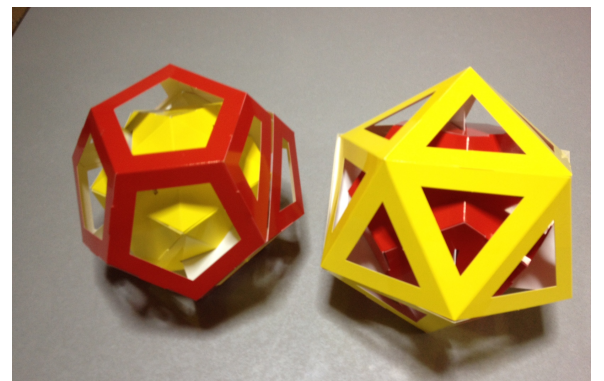
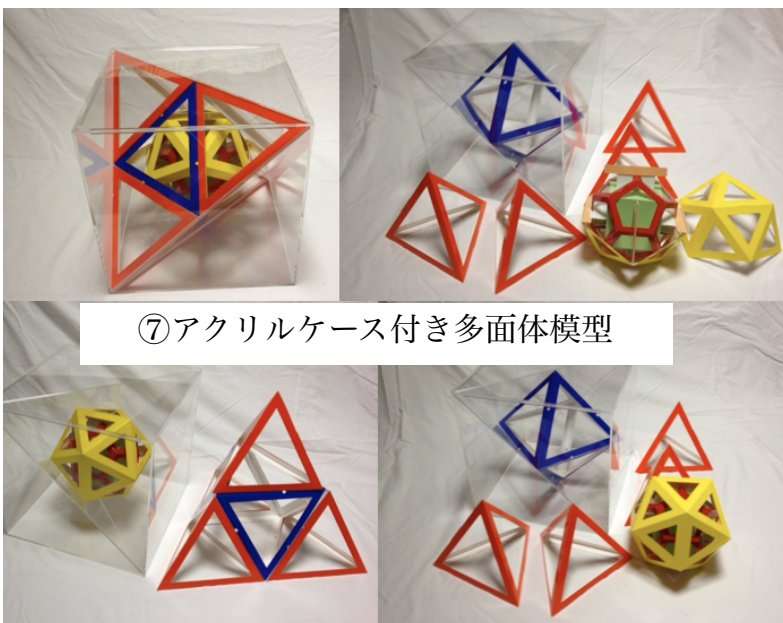


①～⑤ …… 正多面体・星型正多面体の体積を計算します。

③⑥⑦ …… 正多面体の内接・双対状態時の辺長を計算します。

(大星型12面体・大20面体模型は9月中旬ごろ完成予定です。)

⑦ アクリルケース付き多面体模型



⑥ 正12面体-正20面体双対模型

科学折り紙：Paul Schatz 立体とカライドサイクルの折り紙モデル

石原 正三

埼玉県立大学 保健医療福祉学部、〒343-8540 埼玉県越谷市三野宮 820 番地
shozo@spu.ac.jp

Science Origami: Origami-models of Paul Schatz Solid and Kaleidocycle

Shozo Ishihara

School of Health and Social Services, Saitama Prefectural University,
820 Sannomiya, Koshigaya, Saitama 343-8540, Japan

Abstract: By making use of Science Origami, a method for building three-dimensional structure models of crystals and molecules, Origami-models of Paul Schatz solid and kaleidocycle have been constructed of tetrahedral skeletons. It is exhibited that sharing edges with each other, tetrahedral skeletons are connected by inserting a stick of paper string at their vertices, and a new and easy way of constructing three-dimensional models of enantiomers, mirror images of each other, is introduced.

Keywords: Science Origami, Paul Schatz's solids, Kaleidocycle, Tetrahedral skeleton, Chirality

カライドサイクル[1]は、6 個以上の偶数の四面体を、稜を共有してリング状に接続したもので、リングの接線方向を回転軸として四面体を回転させることができます。

今回、科学折り紙の手法を活用して、四面体の骨格構造（スケルトン）の頂点を水引で接続し、カライドサイクルとパウル・シャッツ立体[2]の折り紙モデルの 2 作品を制作しました。従来、稜を共有するスケルトンの接続には、稜部分に速乾性の接着剤を塗り、接続部を固定していましたが、接続する稜の両端の頂点部分を水引で接続することによって、スケルトンの回転をよりスムーズにすることが出来ました。

正四面体のスケルトンを 8 個接続して試作したカライドサイクルの折り紙モデル（図 1）と、鏡像体の四面体 3 組を接続して制作したパウル・シャッツ立体の折り紙モデル（図 2 (a)–(c)）を作品展示し、サイエンス折り紙の手法が鏡像体の立体構造モデル制作に適していることを示します。

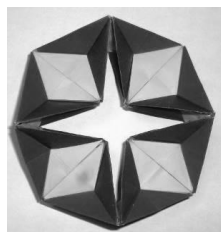


図 1 カライドサイクルの折り紙モデル

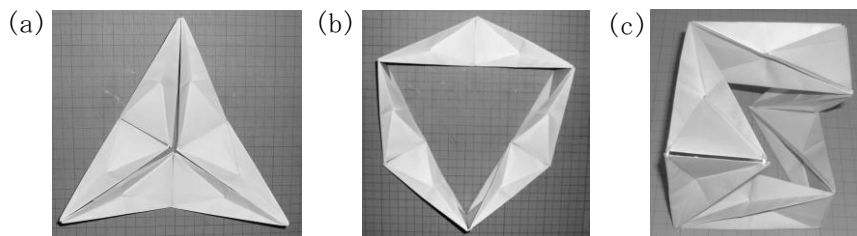


図 2 パウル・シャッツ立体の折り紙モデル

参考文献

- [1] 「M. C. エッシャー カライトサイクル」, ドリス・シャットシュナイダー他著、タッセン・ジャパン（2002）
- [2] 「形の科学百科事典 新装版」, 形の科学会編集、朝倉書店（2013）564–565.

円柱充填による周期構造の模型

東田 涼¹, 松本 崧生², 手嶋 吉法¹

¹千葉工業大学工学部機械サイエンス学科, ²金沢大学名誉教授

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

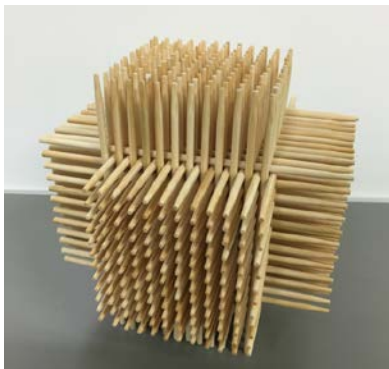
Models for periodic structures of cylinder packing

Ryo Higashida (Chiba Institute of Tech.), Takeo Matsumoto (Emeritus Prof., Kanazawa Univ.)

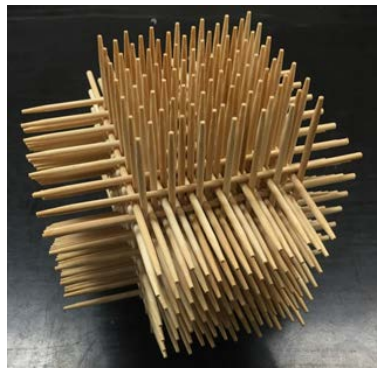
& Yoshinori Teshima* (Chiba Institute of Tech.)

Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-0016, JAPAN

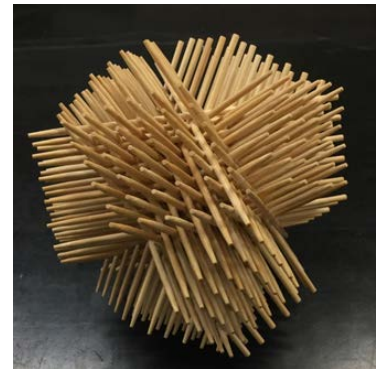
* yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp



<100>型 3 軸構造 密度 58.9%



<100>型 3 軸構造 密度 29.5%



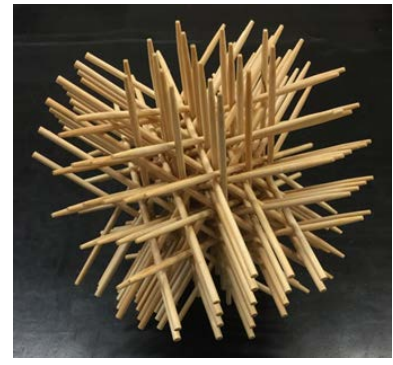
<110>型 6 軸構造 密度 49.4%



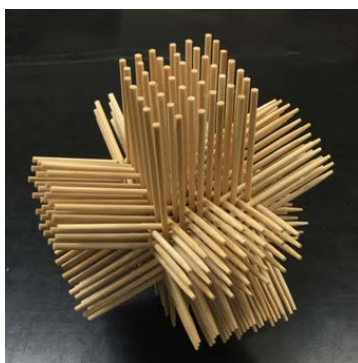
<111>型 4 軸構造 密度 68.0%



<111>型 4 軸構造 密度 30.2%



<110>型 6 軸構造 密度 24.7%



5 軸構造 密度 52.0%(概算値)



5 軸構造 密度 38.9%



<100> + <111>型 7 軸構造

放散虫骨格の拡大模型の作製

中川竜弥¹、木元克典²、松岡篤³、手嶋吉法¹

¹千葉工業大学、²海洋研究開発機構、³新潟大学

Enlarged Skelton Models of Radiolaria

T. Nakagawa (Chiba Institute of Technology), K. Kimoto (JAMSTEC),

A. Matsuoka (Niigata Univ.) & Y. Teshima (Chiba Institute of Technology)*

* yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

概要 放散虫の微化石 26 個体を X 線 CT 測定機を用いて測定した。X 線 CT によって得られた二次元断層データから、三次元形状データ、造形データへ変換し、不必要なノイズの除去を行った。作成した造形データ 26 個体の内、21 個体の模型を 3D プリンタを用いて作製した。

はじめに 精確な形状データを用い、3D プリンタで立体模型を作製し、それらを教育や研究に活用する取り組みが行われている[1][2]。本研究の目的は、教育および研究支援の為に、実測データに基づく放散虫骨格の拡大模型を作製することである。

X 線 CT 撮影 放散虫の微化石 26 個体を X 線 CT 装置 (海洋研究開発機構所有の ScanXmate-DF160TSS105) である。測定により試料の二次元断層データの一例を図 1 に示す。

三次元形状データの編集 X 線 CT 撮影によって得られた二次元断層データ (TIFF 形式) を造形データ (STL 形式) に変換した後、ノイズ (放散虫の骨格ではなく砂などの不要なもの) の除去を行う。まず二次元断層データを変換ソフト (ImageJ) を用い、三次元形状データ (OBJ 形式) に変換し、さらに別の変換ソフト (Netfabb Basic) で造形データ (STL 形式) へと変換した。最後に STL 編集ソフト (Magics) を用いてノイズの除去を行い、造形データ (図 2) を得た。

模型の造形 上述の造形データを用いて模型を作製した。今回展示する模型は、3D プリンタ (MakerBot Replicator 2X) を使用し、作製した (図 3、図 4)。

参考文献 [1] Y. Teshima, A. Matsuoka, M. Fujiyoshi, Y. Ikegami, T. Kaneko, S. Oouchi, Y. Watanabe, K. Yamazawa, Enlarged Skeleton Models of Plankton for Tactile Teaching, *Lect. Notes. Comput. Sci.*, (2010) 6180, pp.523-526

[2] 手嶋、星野、渡辺、木元、松岡、「有孔虫骨格の拡大模型の開発」、第 81 回形の科学シンポジウム予稿、2016 年 6 月、統計数理研



図 1 二次元断層データ
(Arcaheodictyomitra sp.)



図 2 ノイズ除去後
の造形データ



図 3 実体模型



図 4 展示する 21 個体の実体模型

タンパク質の立体模型の作製と利用

長田聖大¹, 河合剛太², 手嶋吉法^{1*}

千葉工業大学¹工学部機械サイエンス学科, ²先進工学部生命科学科

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 *yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

Production and application of protein models

Kiyohiro Osada, Gota Kawai, and Yoshinori Teshima

Chiba Institute of Technology, ¹Faculty of Engineering, ²Faculty of Advanced Engineering, 2-17-1

Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-0016, JAPAN

Abstract: We designed and made 3D models of protein complexes as teaching materials for molecular biology and biochemistry. The models assisted students to understand the structure and interaction of proteins.

Keywords: 3D printer, Protein, teaching materials

生命現象を分子レベルで説明するためには、生体高分子の立体構造を解明し、その機能を知ることが重要である。近年のコンピュータの進歩により、コンピュータスクリーン上での分子の立体表示が容易となっているが、しかしながら、それらの形を正しく理解するためには、生体高分子の実体模型を用いることが有効である。そこで、私たちは3Dプリンタによってさまざまな生体高分子の立体模型を作製し、生命科学科における講義で活用している。今回は、タンパク質の立体模型を作製し、その評価を行った。

対象とした分子は、プリンヌクレオチド代謝系の酵素で千葉工業大学において立体構造が決定されたものである。分子表示ソフトウェアである UCSF Chimera を利用して STL ファイルへの変換を行い、熱溶解積層法の Replicator Z18 (MakerBot 社製) を使用して模型を作製した。

これまでのアンケートから色分けが有効であることが分かったため、今回は色を効果的に用いることとした。図1は、PurD タンパク質のリボン模型で、このタンパク質を構成する4つのドメイン（構造領域）を塗料によって色分けした。また、図2は、PurD タンパク質の3つの基質（反応する分子）をそれぞれ異なる色の材料で造形した。多くのタンパク質が複数のサブユニット（分子）からなる多量体である。図3では、2つのサブユニットからなる二量体タンパク質である PurM タンパク質を、二量体として（上）および単量体として（下）それぞれ作成した。これらの模型はいずれも視覚的にも分かりやすく、生化学および分子生物学の講義において学生の理解を深めるために大変に役立っている。



図 1. PurD タンパク質のリボン模型



図 2. PurD タンパク質と基質の模型



図 3. PurM タンパク質の模型

鴨川等間隔則の検証

安福 亮^{1), 3)}, 上野 和^{2), 3)}, 宮崎 修次^{*4)}

1) 兵庫県立長田高等学校 〒653-0821 兵庫県神戸市長田区池田谷町 2 丁目 5

2) 和歌山県立向陽中・高等学校 〒640-8323 和歌山市太田 127

3) 京都大学 ELCAS 専修コース 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

4) 京都大学情報学研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

*syuji@acs.i.kyoto-u.ac.jp

A review on so-called "principle of equal distance at the Kamo-gawa River"

Ryo Yamafuku^{1), 3)}, Yamato Ueno^{2), 3)} and Syuji Miyazaki^{*4)}

1) Hyogo Prefectural Nagata Upper Secondary School,

2-5 Ikeda-tanimachi, Nagata-ku, Kobe-shi, Hyogo, 653-0821

2) Kouyou Junior & Senior High School, 127 Ohta, Wakayama, Wakayama 640-8323

3) ELCAS Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501

4) Graduate School of Informatics, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501

Abstract: It is known that different geometrical structures of phase space in a classical system (for example, "islands" indicating periodicity and chaotic "seas") correspond to different statistical properties of energy-level spacings in a quantum system. Characteristics of level repulsions and attractions are reflected to a function form of probability distribution functions of level spacings. Such spacing statistics are also shown in a human behavior. It is often said that couples sit evenly spaced apart along the Kamo-gawa River, which is a first-class river in the Yodo-gawa River System that flows through Kyoto City, Kyoto Prefecture. Statistics of such couple spacings are analyzed by actual measured values. Not alone couple spacings but walker, runner and bicycle traveler spacings are considered.

Keywords: Microwave, Plasma, , Energy level, Level statistics, Quantum chaos

古典系の相空間の幾何学的構造（周期性を表す「島」やカオスの「海」）が対応する量子系のエネルギー準位の統計性に反映されることが知られている。エネルギー準位が反発したり、引き合ったりした結果、エネルギー準位の間隔の分布関数にその特徴が現れる。このような間隔の分布については、人間の行動にも表れる。鴨川に腰掛けるカップルの間隔が等間隔になるという「法則」が知られているが、鴨川のカップル間隔に関する統計性を求める。座っているカップルのみならず、歩く人、走る人、自転車の間隔についても議論したい。

謝辞

本講演は科学技術振興機構（J S T）のグローバルサイエンスキャンパスのプランS（大規模型）に採択された京都大学実施「科学体系と創造性がクロスする知的卓越人材育成プログラム『略称E L C A S （エルキャス）』」の支援を受けている。



図1：鴨川の先斗町歌舞練場付近の川岸の様子。川岸にカップルがほぼ等間隔で腰掛けていることがわかる。

参考文献

- [1] 森田孝夫，京都・鴨川河川敷に坐る人々の空間占有に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集 E 建築計画，農村計画（1987）745-746.

電子レンジを利用して生成したプラズマの分光解析

上野 和^{1), 3)}, 安福 亮^{2), 3)}, 宮崎 修次^{*4)}

- 1) 和歌山県立向陽中・高等学校 〒640-8323 和歌山市太田 127
- 2) 兵庫県立長田高等学校 〒653-0821 兵庫県神戸市長田区池田谷町 2 丁目 5
- 3) 京都大学 ELCAS 専修コース 〒606-8501 京都市左京区吉田本町
- 4) 京都大学情報学研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

*syuji@acs.i.kyoto-u.ac.jp

Spectroscopy of plasma induced by a kitchen microwave

Yamato Ueno^{1), 3)}, Ryo Yamafuku^{2), 3)} and Syuji Miyazaki^{*3)}

- 1) Kouyou Junior & Senior High School, 127 Ohta, Wakayama, 640-8323
- 2) Hyogo Prefectural Nagata Upper Secondary School,
2-5 Ikeda-tanimachi, Nagata-ku, Kobe-shi, Hyogo, 653-0821
- 3) ELCAS Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501
- 4) Graduate School of Informatics, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501

Abstract: A mechanical pencil lead or a dress pin absorbs well electromagnetic wave emitted from a kitchen microwave as an antenna, both ends of which emit electrons. They ionize surrounding gas molecules and microwave-excited plasma is produced. Statistical properties (level statistics) of energy-level spacings of spectroscopy of this plasma are discussed. It is known that different geometrical structures of phase space in a classical system (for example, "islands" indicating periodicity and chaotic "seas") correspond to different statistical properties of energy-level spacings in a quantum system. Characteristics of level repulsions and attractions are reflected to a function form of probability distribution functions of level spacings. From this viewpoint of quantum chaos, energy spectra of the microwave-excited plasma are considered.

Keywords: Microwave, Plasma, , Energy level, Level statistics, Quantum chaos

シャープペンの芯や待ち針は電子レンジのマイクロ波をよく吸収し、加速された電子は両端から飛び出す。それは周囲の気体分子を電離させ、プラズマが生じる。このプラズマの分光解析を行う。古典系の相空間の幾何学的構造（周期性を表す「島」やカオスの「海」）が対応する量子系のエネルギー準位の統計性に反映されることが知られているが、その観点を踏まえ、このプラズマの準位間隔の分布関数を求める。



図1：(左) 実験に用いた電子レンジが右上，中央に分光器がある．(中央) アンテナとして用いたシャープペンの芯と待ち針．シャープペンの芯は両端がやせ細り，待ち針の両端は高温で溶けて固まりができています．(右) アンテナとして用いるシャープペンの芯や待ち針を高温に耐えられる陶器の皿にのせ，耐熱コップをかぶせて，プラズマ閉じ込めの容器とする．

謝辞

本講演は科学技術振興機構（JST）のグローバルサイエンスキャンパスのプランS（大規模型）に採択された京都大学実施「科学体系と創造性がクロスする知的卓越人材育成プログラム『略称ELCAS（エルキャス）』」の支援を受けている．LLP 京都虹工房の小林仁美氏の分光実験に対する指導と助言に感謝する．

参考文献

- [1] 特集：「量子単位統計」－カオスをとらえる新たな視点－数理科学（1994）No.376 サイエンス社．

水素，ヘリウム，ネオン，水銀の低圧ガス管放電の 分光・準位統計解析

前田 裕成^{1), 2)}, 宮崎 修次*³⁾

1) 熊本県立宇土中学校・高等学校 〒869-0454 熊本県宇土市古城町 63

2) 京都大学 ELCAS 専修コース 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

3) 京都大学情報学研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

*syuji@acs.i.kyoto-u.ac.jp

Spectroscopy and level statistics of hydrogen, helium, neon and mercury low-pressure discharge tubes

Yusei Maeda^{1), 2)} and Syuji Miyazaki*³⁾

1) Kumamoto Prefectural Uto Junior and Senior High School
Kojo-machi 63, Uto, Kumamoto, 869-0454

2) ELCAS, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501

3) Graduate School of Informatics, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501

Abstract: Statistical properties (level statistics) of energy-level spacings of spectroscopy of hydrogen, helium, neon and mercury are discussed. It is known that different geometrical structures of phase space in a classical system (for example, "islands" indicating periodicity and chaotic "seas") correspond to different statistical properties of energy-level spacings in a quantum system. Characteristics of level repulsions and attractions are reflected to a function form of probability distribution functions of level spacings. From this viewpoint of quantum chaos, energy spectra of each gas are considered.

Keywords: Gas tube, Discharge, Energy level, Level statistics, Quantum chaos

水素，ヘリウム，ネオン，水銀を封入した低圧ガス管の両端に電極を置き，5000Vの電圧をかけると放電しそれぞれの気体固有の色の光を放つ．これを分光し，そのエネルギー準位の間隔の統計性（準位統計）を議論する．古典系の相空間の幾何学的構造（周期性を表す「島」やカオスの「海」）が対応する量子系のエネルギー準位の統計性に反映されることが知られているが[1]，その観点を踏まえ，それぞれの気体の準位間隔の分布関数を分光実験により求める．



図1：(左) 実験に用いたガス管．大まかの大きさを示すため右側の白い容器に待ち針を入れた．(右) ガス管が放電する様子．ガス管手前に分光器を設置している．

謝辞

本講演は科学技術振興機構（JST）のグローバルサイエンスキャンパスのプランS（大規模型）に採択された京都大学実施「科学体系と創造性がクロスする知的卓越人材育成プログラム『略称ELCAS（エルキャス）』」の支援を受けている．LLP 京都虹工房の小林仁美氏の分光実験に対する指導と助言に感謝する．

参考文献

- [1] 特集：「量子準位統計」ーカオスをとらえる新たな視点ー数理科学（1994）No. 376 サイエンス社．

連なり線における多様さを観る

根岸利一郎 埼玉工大, 〒369-0293 埼玉県深谷市普濟寺 1690

negishi@sit.ac.jp

Observing Diversity in the Parastichies

Riichirou NEGISHI Saitama Institute of Technology

1690 Fusaiji, Fukaya, Saitam, Japan 〒369-0293

Abstract: We propose a practical method to calculate parastichy numbers, as the numbers of lines formed with continuous sunflower seeds and pineapple ramenta, using Fourier transform. The filling for the seeds and ramenta were simulated. By this method, parastichy numbers can be directly and accurately determined even when the parastichy numbers at a divergence angle include three or more generalized Fibonacci sequences. Therefore, the sequences obtained by this method are also useful as characteristic values of planar structures.

Keywords: Diversity, Fibonacci sequence, Golden angle, Parastichies, Parastchy number

1. はじめに

ヒマワリの種は図1に示すように表面をらせん状に連なって埋め尽くすことが知られている。そのらせん数は黒い線で示すように外周部に沿って目視で計数すると55と89が求まる。この数はParastichy numbersといわれ(Saunders, 1992), 図の中間部で34と55, さらに内側では21と34になる。これら数の総体はParastichiesといわれ, フィボナッチ数で構成される。Jean(2009)はAdlerの提案した経験式(1974)を使って開度と数列の関係をまとめている(表1)。Pennybacker(2015)らはこのParastichy numberをフーリエ変換利用で求めている。

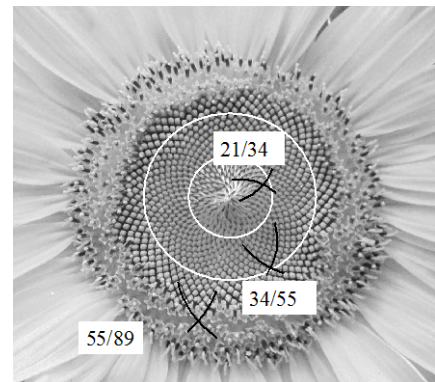


Figure 1. A real sunflower.

Table 1. Different sequences with various divergence angles.

divergence angle	sequences (parastichies)
137.51°	$G(1,2)(F)$: 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, ...
99.50°	$G(1,3)(L)$: 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, 47, 76, 123, 199, 322, 521, 843, 1364, ...
77.96°	$G(1,4)$: 1, 4, 5, 9, 14, 23, 37, 60, 97, 157, 254, 411, 665, 1076, 1741, ...
64.08°	$G(1,5)$: 1, 5, 6, 11, 17, 28, 45, 73, 118, 191, 309, 500, 809, 1309, ...
54.40°	$G(1,6)$: 1, 6, 7, 13, 20, 33, 53, 86, 139, 225, 364, 589, 953, 1542, ...
47.25°	$G(1,7)$: 1, 7, 8, 15, 23, 38, 61, 99, 160, 259, 419, 678, 1097, 1775, ...
151.14°	$G(2,5)$: 2, 5, 7, 12, 19, 31, 50, 81, 131, 212, 343, 555, 898, 1453, ...
158.15°	$G(2,7)$: 2, 7, 9, 16, 25, 41, 66, 107, 173, 280, 453, 733, 1186, 1919, ...

開度が137.4°の場合, Sun-modelでの充填パターンにおいて外周部での二組のParastichy numberはフィボナッチ数列 F の55とルカ数列 L の76となって数列が混在する。この僅かな開度変化に伴って変化するParastichy numberを知るためには簡便な求め方が必要である。

2. Parastichy numberを計数する

Parastichy numberを観るために二つのモデル, 円内充填のSun-modelと矩形内充填のPine-model, による充填パターンを使った。

Sun-modelを使って計数手順を説明する。充填数 $n=100000$, 開度が $\phi=\phi_\tau$ (=黄金角)の場合, 外周部4096点は θ について 2π 以下の余りを計算して順に並べる。各点から小さい角度側の最も角度の近い点までの距離, 次に近い点, その次に近い点と4番目までを求める。求めた4数列についてMathematicaを使った離散フーリエ変換をし, その絶対値を求める。サンプリング個数に伴う距離変化をフーリエ変換したので, 横軸は空間波数, 縦軸は強度とした。図2は変換結果であり, 大きなピークが3つ得られ, そのピークのある横軸の値は610,987,1597である。これらの数値はフィボナッチ数列 F に属する。次のピークでの1508=377 $\times$ 4は高調波である。その次に大きなピークの周波数843,1364はルカ数列 L に属する。さらに898は一般化されたフィボナッチ数列 $G(2,5)$ に属し, 1542は $G(1,6)$ に属する。図3は $\phi=99.5^\circ$ の場合である。parastichy numbersは $\phi=\phi_\tau$ の場合と同様に求まるが数列の混在が少なく, 周期性が観える。その周期のピーク値よりもルカ数列, 76など, のピークが小さい。

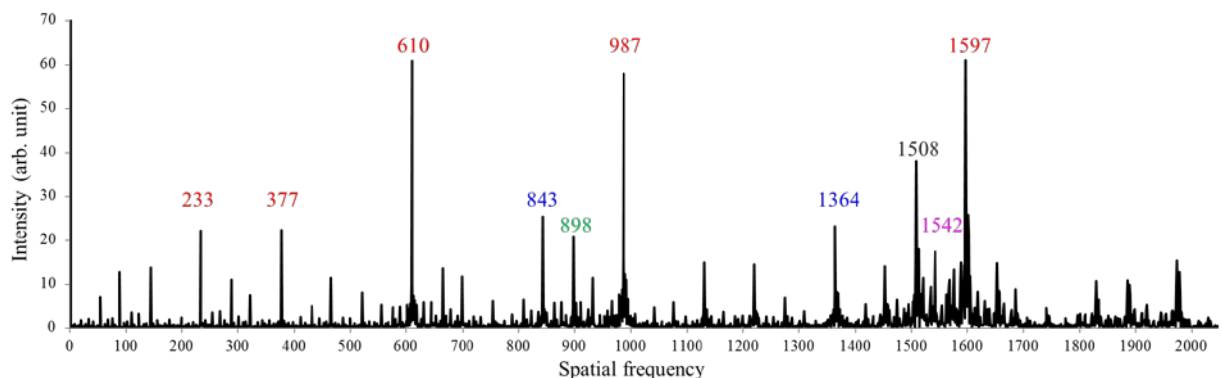


Figure 2. Fourier transformation result for $n=100000$, $\phi=\phi_\tau$ in Sun-model.

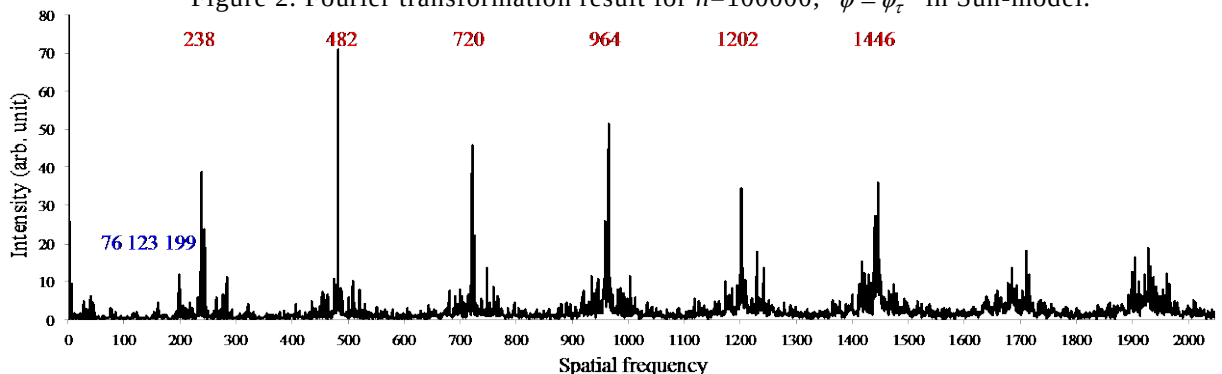


Figure 3. Fourier transformation result for $n=100000$, $\phi=99.5^\circ$ in Sun-model.

矩形内に充填した場合, 充填数 $n=100000$, 開度 $\phi=\phi_\tau$ で充填したパターンで計数した結果のParastichy numbersもSun-modelと同じように3つ以上の数列の混在が確認された。ここで重要なことはParastichy numbersが3つ以上の一般フィボナッチ数列 G で構成されていても正確に直接的に計数できることである。この方法によって開度変化に伴うParastichy numbersの多様さを直接知ることができる。その検討結果を報告する。

REFERENCES

- Jean, V., Roger (2009); *Phyllotaxis*, Cambridge University Press, New York, pp.36-39.
 Saunders, P. T., ed. (1992); *Morphogenesis*, Collected works of A. M. Turing, North-Holland, Amsterdam, p55.
 Pennybacker, M. F., et al. (2015); *Phyllotaxis: Some progress, but a story far from over*, Physica D **306**, pp48-81.

サンチアゴ号の遭難：1585 年 8 月 19 日

杉本 剛

神奈川大学、横浜市神奈川区六角橋 3-27-1

sugimt01@kanagawa-u.ac.jp

The Shipwreck of the Santiago: 19th August 1585

Takeshi Sugimoto

Kanagawa University, 3-27-1 Rokkakubashi, Kanagawa Ward, Yokohama

Abstract: In August 1584 the Santiago, a Portuguese carrack, came back to Lisbon with the Tensho Embassy onboard. In April 1585 the Santiago left Lisbon with other five convoy mates. On 19th August the Santiago wrecked upon the atoll called Baixos da Judia. Survivors are 19 on a skiff and 57 on a long boat, whilst around 400 passengers are drawn. Amongst 57 is Fr Pedro Martinez, who wrote about this shipwreck in Goa and later became the bishop of Japan. The cause of the disaster might be pilot's misreading the latitude. The information of contemporary portolan charts is poor about this atoll. The charted name erroneously became Bassos da India now. In December 1977 the Klaars came to the site and found the sunken ship. They obtained big money by auctioning salvaged treasures, but they lost a fortune very quickly. The ship is still there.

Keywords: The Tensho Embassy, Cartography, Baixos da Judia, Castaways, Treasure Hunting

1. いとぐち

大航海時代は船の遭難と海図の精度向上が裏腹となる非情の時代であった。著名なベルナルド・ゴメス・デ・ブリーートの「海難史」(リスボン、1735-6) 2 巻に邦訳はない。その中から日本にかかわりある事例を紹介する。天正遣欧使節をインドのゴアからセント・ヘレナ島経由でポルトガルリスボンまで無事送り届けたサンチアゴ号の次の航海である。

2. 16 世紀の遭難

事実関係は、乗り合わせたイエズス会士ペドロ・マルティネス神父(1542-1598)の「公知な遭難の詳細」(ローマ、1588)およびマノエル・ゴディノ・カルドソの「遭難の記録」(リスボン、1602)に詳しい。積み荷には使節ゆかりの4枚のタペストリーがあった。

大型のガレオン船サンチアゴ号は、1585年4月僚船5隻とコンボイを組んでリスボンを出航した。喜望峰を回り込んだ辺りからコンボイからはぐれる。モザンビーク海峡に入り、8月19日の測天でパイロットが緯度を22+1/3度と割り出して・・・これなら魔の環礁の西か東を航行中と判断したが、真夜中謎の環礁に正面衝突した。船体はサンゴにとらわれ、甲板と帆は強い風に引きずられ・・・上下に真二つとなる。この時点で17名が遭難した。

夜が明けて20日、手漕ぎボートが下ろされる。乗ったのは提督・船員頭・床屋・鍛冶屋頭・身分の高い者2名(うち一人は9歳の子を隠し入れる)および水夫と兵士合わせて18名(19名)だった。「様子を見て戻って来る」といいながら皆を置き去りにした。筏づくりが始まり翌日12名が死んだ。陸で提督らと合流する。

21日からサバイバルが始まる。連結しておいた舳は本船の火災で後ろ3分の1を消失していた。これの修理を決意した者たちが乗り移る。次の日も修理は続く・・・ありあわせ

の物で防水を施し、何とか使えるまでにした。22 日にこの船の船長を投票で決める。23 日出発を決意・・・しかし乗り合わせたパイロットが乗員が多すぎると主張・・・17 人を海に放り出す。聖職者をはじめとした 57 人（名簿あり）は、残る 400 人（内 30 人ほどは女性）を見殺しにして、船出する。もう一つの筏連結か？

9 月 3 日アフリカに着いた。この後も、原住民にさらわれるなどの困難が続くが・・・1586 年 2 月 21 日にモザンビーク城塞にたどり着く。ゴアには 9 月 27 日に着いた。

今ここにある船の墓場は・・・環礁の Bassos da India（インド環礁）と環礁島 Europa である。ポルトガル人は前者を Baixos da Judia（ユダヤ女の環礁）とよんでいた。

3. 20 世紀の宝探し

1971 年のこと、エルネスト・エリック・クラールは、スイスの製薬会社を急に辞めてタイに移り住み、ジャンクを買ってディーゼル・エンジンを付け、その「マリア・ホセ号」を駆って「海のお届屋さん」で一家の生計を立てることにした。妻・長男ハンス・次男アレックス・長女インゲとともに船で生活していた。

1976 年に南アフリカのダーバンに流れ着いた一家は、16 世紀に難破した宝船の話（サンチアゴ号のこと）を聞きつける。何というビギナーズ・ラック！ 1977 年 12 月にインド環礁で長男のハンス 14 歳が大砲を見つける・・・後は芋蔓式だ・・・一家はつづく 3 年間の頑張りで、サンチアゴ号から 12 門の大砲・数千枚の銀貨・宝石類・測天儀をザックザックとサルベージした。これらを売り飛ばして大金を手に入れた一家は、ヨーロッパに凱旋の里帰りを果たした。

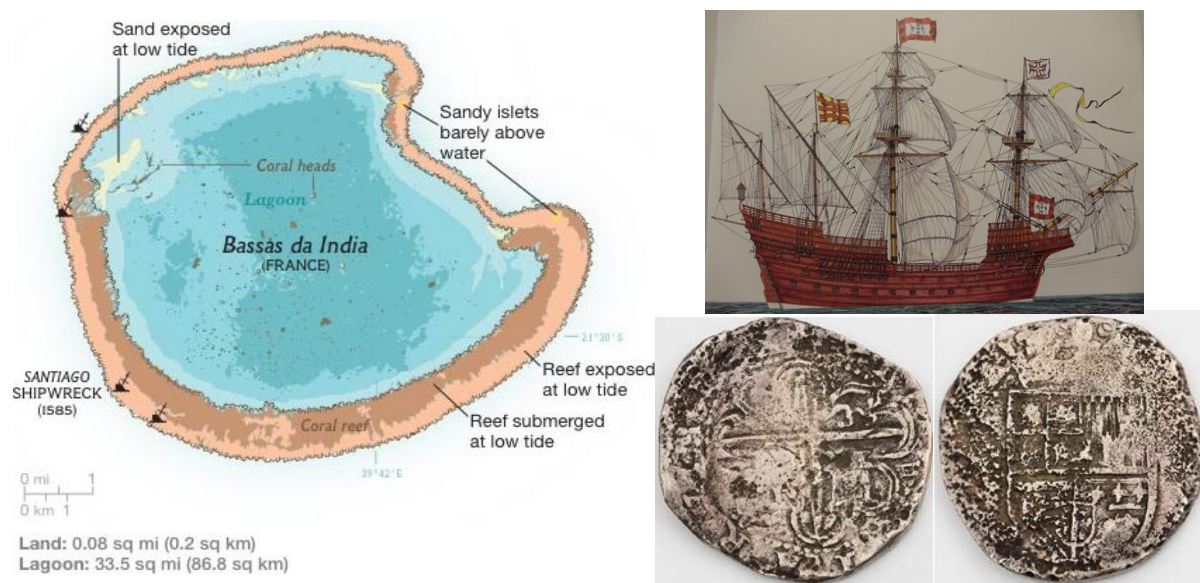


図 1. インディア環礁（ナショナル・ジグラフィック誌より）・ガレオン船・銀貨

4. むすび

マルティネス神父は 1596 年 8 月 14 日に来日して日本の司教になるが、1597 年 3 月 21 日バテレン追放の憂き目に会う。神父は、日本の情勢を報告にゴアに向かうも、1598 年 2 月 18 日旅の途中マラッカ沖の船上で昇天する。浪費癖のあるエルネストのお陰で、一家が再びすってんてんになるのに時間はかからなかった。あぶく銭は身に着かない。

そして、事実は小説よりも奇なり。

イソップ寓話の解析 — 人工知能研究の一方針

高木隆司

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

Analysis of Aesop's Fables – A Route of Artificial Intelligence Study

Ryuji Takaki

Abstract: Structure of each Aesop's fable is analyzed by expressing actions of characters appearing in a fable as a network structure. A correlation is found between the network properties and the aims of fables, which are given at the ends of fables. This research is motivated by a recent notion on the importance of the narrative analysis for basic study of artificial intelligence. The present author is promoting this study while having a contact with a member of DARPA in USA (Ted Goranson) and his collaborator (Beth Cardier).

Keywords: Aesop's Fables, Network structure, Narrative study, Artificial Intelligence

1. 導入

筆者は、2008 年 11 月に京都大学で開かれた形の科学シンポジウムにおいて、Ted Goranson (DARPA と呼ばれるアメリカの公的組織のメンバー)、Beth Cardier (メルボルン大学) との共著で「物語の対称概念をデザインするための kutachi」という表題の講演を行った[1]。その主旨は、今までに見たことがないシステムを設計するという人間にとって苦手な仕事を、コンピューターの助けで行うための基本的な考えかたの紹介、および昔から伝えられている物語の解析がその目的のために有効であることの主張であった。ただし、具体的な研究方針は不明のままであったが、その後も彼らとは接触を続けていた。

最近、筆者は上記の主旨に従ってイソップ物語の解析を始めた。イソップ物語を選んだ理由は、大昔から人々に愛好されていること (人間性の本質が描かれていると期待されること)、一つの話が短くて解析が容易であり、しかも 300 以上あるので統計処理が可能であること、および各話ごとに教訓が付随しているので話の構造と教訓の相関が把握できることである。はっきりした結論はまだ得られていないので、ここでは主として解析の方法について述べる。

2. 話の構造をネットワークで表す方法と教訓の分類

各々の話を、次のようにしてネットワークとして表現する。登場人物 (動物、無生物も含む) を縦線で示し、それらの間の相互作用は縦線同士をつなぐ横線で表す。登場人物のセリフの内容も相互作用とみなす。相互作用でなく、独り言や単独の行動も何らかの線で表す。図 1 は、こうして表した構造の 1 例である。この話の概要を、相互作用ごとに分解して以下に示す。

- ・災いたちは、福たちを地上から追い出した。
- ・福たちは天に行き、ゼウスに訴えた。
- ・ゼウスは、一人ずつ地上に戻るように言った。
- ・このために、災いは常に人間を襲うが、
- ・福はまれにしか来ない。

教訓: このような仕組みのため、良いことは待たねばならず、悪いことは毎日起きる。

ゼウス 福たち 災いたち 人々

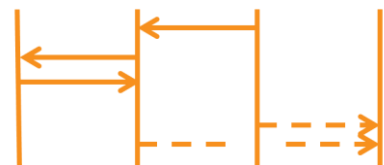


図 1. イソップ物語 No.1 「福と災いたち」のネットワーク構造

なお、実線の横線は話の中で実際に起きた内容、点線はセリフの内容、あるいは一般論を述べた内容である。しかし、当面の解析では実線と点線を区別しない。

このようなグラフから、次のような 5 個の定量的データを抽出した。

Nt : 登場人物(動物、無生物)の数。 注:「動物たち」は、まとめて1人とする ($Nt=1$)
Nm : 主要人物の数 (主要とは、他の2人以上とつながっていること)
nt : 人物同士の相互作用の総数 (注:当面は、矢印の向き、点線か実線は区別しない)
nc : 人物同士のつながりの数 (注:同じ人物同士が2回以上相互作用しても、つながりは1)
nl : 3人の人物同士でできた異なるループの数 (4人以上が1つのループを作れば $nl=1$)

図1に示した話の教訓は、我々に悪いことが起きる仕組みを説明している。イソップ物語には、これも含めて下記のような9種類の教訓がある。「福と災いたち」は、D-に属する。

A+ : 良い行動や考え方の勧め	A- : 悪い行動や考え方に対する戒め
B+ : 希な良い人物や出来事の紹介	B- : 希な悪い人物や出来事の紹介
C+ : よくある良い人物や出来事の紹介	C- : よくある悪い人物や出来事の紹介
D+ : 世の中の良い因果関係の教示	D- : 世の中の悪い因果関係の教示
D : 世の中の因果関係の教示 (善悪のどちらでもない、あるいは両方含む場合)	

なお、教訓が書いてないもの、教訓と話の内容に整合性がないもの、人種差別的な内容なので無視したものをまとめて1分類とした。

3. 当面の解析結果

図2は、解析対象とした358個の話について、教訓ごとの話の数である。全部を対象とした系列1、登場人物が4以上の系列2のどちらも、良い話より悪い話が多い。特に、希な良い話は非常に少ない。また、系列1と2とは大きな傾向の違いはない。

図3は、上に定義したネットワークの定量データの、教訓分類に対する依存性を示す。5つの定量データは、ほぼ同様の依存性を示す。しかし、B+ (希な良い話) と D+ (良い因果関係) では、nt (相互作用の総数) が特に大きくなっている。良い話を構成するには、登場人物同士が多くの相互作用をしなければならないことを示唆している。

4. 結語

ここで述べた物語を解析するための方法はまだ不完全であり、今後もいろいろなアイデアを投入してより完全なものにする必要がある。今後、この分野が発展すると思われる。

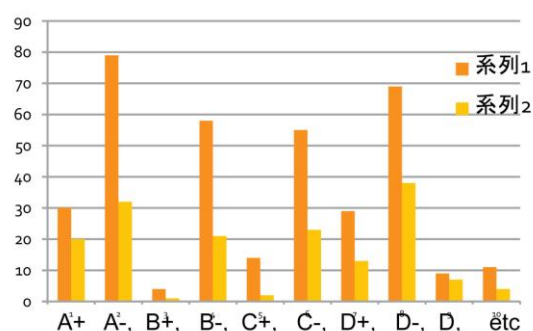


図2. 教訓分類ごとの話の数。系列1はすべての話、系列2は登場人物が4以上の話を対象。

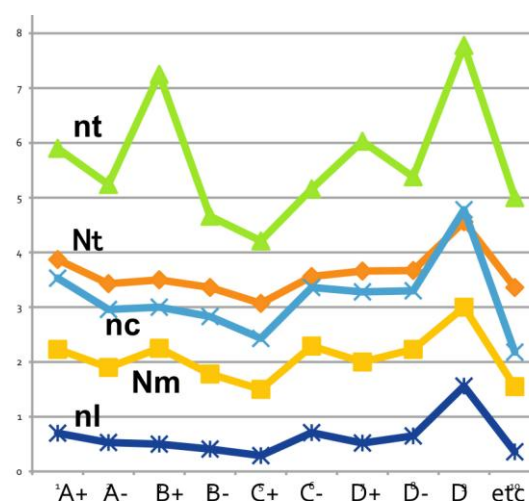


図3. ネットワークの定量的なデータの、教訓分類による変化

参考文献

- [1] T. Goranson, B. Cardier, 高木隆司、「物語の対称概念をデザインするための kutachi」、形の科学会誌、23 巻 2 号 (2008)、pp.235-236

放散虫 *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel) の仮足の引張力

吉野 隆*, 松岡 篤

東洋大学理工学部 〒350-8585 川越市鯨井 2100

tyoshino@toyo.jp

Drag Force of Axial Projection of Radiolarian *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel)

Takashi Yoshino, Atsushi Matsuoka

Toyo University, Kujirai 2100 Kawagoe 350-8585

Abstract: We estimated the drag force of axial projection of radiolarian *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel). The estimated value is 4.74×10^{-10} N.

Keywords: drag force, axial projection, radiolarian

はじめに

放散虫 *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel) の生態を記録した動画データを元にして、この個体が仮足 (axial projection) を縮めたときの力の大きさを推定した。放散虫は化石データが豊富であるために地球史の編纂に大きく寄与しているが、その生態や進化の戦略については不明な点が多い。放散虫の形は捕食の方法の違いによって4つに大別できる。そこで、「放散虫の進化は捕食時に発生する水の抗力 (粘性抵抗) を最小化する形状への最適化の過程である」という仮説を導入する。この仮説を検証するためには、さまざまな放散虫について、捕食時に発生する抗力を計算する必要がある。本研究はその手法を確立することを目的としている。

本研究で対象にした *E. hexastichum* はほぼ軸対称な形状をしており、対称軸の位置にある仮足を伸縮させることで捕食を行っていると考えられている。使用した動画データには、仮足の先端が容器の壁に固定されてしまい、仮足を縮めたときに胴体部が移動する現象が記録されている。このデータを用いて、以下の手続きを行った。A. 固定点からの距離と動画のコマ数から仮足を縮めたときの速度を見積もる。B. 静止画像から個体の形状を抽出する。C. 流速が A で求めた速度であるような一様流のなかに B で求めた形状の障害物を設置したときに障害物にはたらく粘性抵抗 (抗力) を数値計算により求める。このようにして求められた抗力の大きさは仮足を縮めたときの引張力の大きさに等しくなる。以下では、手続き A から C について説明する。

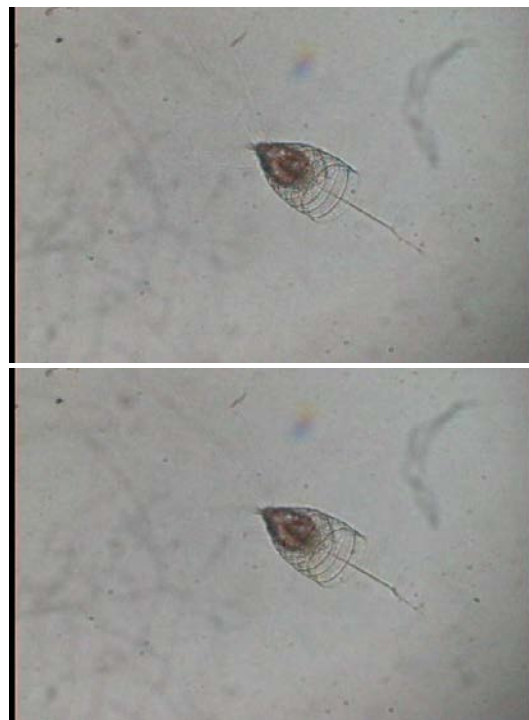


図 1: 画像データから得られた個体の移動。時間間隔は 2 フレーム (1/15 秒)。

仮足を縮めた時の移動速度の推定

図1に仮足を縮めたときの個体の移動を示した．頂刺と仮足を除く骨格部分の全長が約 $160\ \mu\text{m}$ であることから，図1に示した楕円形の長軸の長さが $93\ \mu\text{m}$ と推定できる．この楕円形が深さ方向に傾いた円形断面の投影であるとみなす．短軸の長さから個体の深さ方向の傾きを見積もり，3次元空間における移動距離を導出した．この値を移動時間（フレーム数/30秒）で割ることによって，平均速度を $5.76 \times 10^{-5}\ \text{m/s}$ と推定した．レイノルズ数はおよそ 5×10^{-5} となり，低レイノルズ数流れであることがわかる．低レイノルズ数流れにおいては，一定の力で引かれた物体は短い時間で終端速度に達することが知られている．この性質を以下の解析でも用いている．

形状の抽出

静止画像をもとに個体の形状を7次式で近似した．図2にその結果を示す．静止画像の背景を除いたのちに Morphological Binarize と呼ばれる二値化を行い，最も外側にある点の座標を抽出した．さらに，その座標を1次から9次までの多項式で近似し，その形を個体の形状と比較した．境界の形状を過不足なく表す式として7次式を選んだ．図からも明らかなように，*E. hexastichum* は完全な軸対称ではない．殻孔の配置も軸対称ではないため，以下の計算結果はあくまでも軸対称と近似した場合の推定値となる．

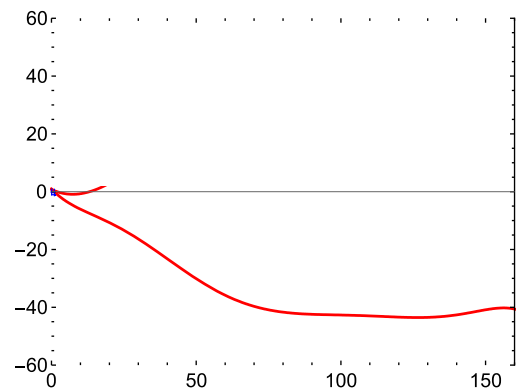


図2: 近似した境界の形状．マーク：画像データ．実線：近似曲線．

引張力(抗力)の数値計算

仮足の引張力を計算するために，ビデオデータから読み取った速度 $5.76 \times 10^{-5}\ \text{m/s}$ を流速とする一様流のなかに軸対称の障害物を置き，障害物にはたらく抗力をコンピュータ・シミュレーションにより求めた．計算には OpenFOAM を用いた．得られた近似式を50区間に分割して折れ線近似してメッシュを生成した．メッシュ形状は計算結果に影響する．そのため，円形断面すなわち球の周りの流れのシミュレーションを行い，理論値と計算値がほぼ一致することを確認したあとで，今回の計算を実行した．非定常の粘性流を計算するソルバ pimpleFoam を用いて，初期状態から定常状態に達する過程において抗力の変化を求めた．低レイノルズ数流れであるため，抗力は指数関数的に減衰し一定値に近づく．ある程度減衰が終了したところで，定常状態における抗力の大きさを推定した．得られた結果の例を図3に示す．流体は右から左に流れている．色は横方向の流れ方の違いを表している．図では，障害物の形がわかるように計算領域の一部のみを示している．結果は，図2の上側の曲線を採用した場合で $4.45 \times 10^{-10}\ \text{N}$ ，下側の曲線を採用した場合で $5.03 \times 10^{-10}\ \text{N}$ であった．単純平均を行えば，引張力の推定値は $4.74 \times 10^{-10}\ \text{N}$ となる．

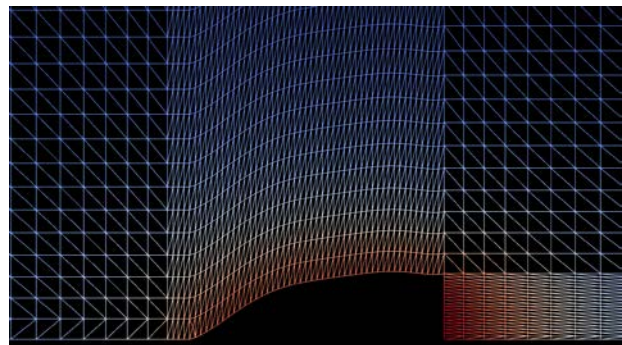


図3: 計算例．

放散虫の普及を考える ―「放散虫の木」構想

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

Outreach of radiolarians: a plan of “radiolarian tree”

Atsushi MATSUOKA

Faculty of Science, Niigata University, Niigata 950-2181 Japan

Abstract: The 15th Meeting of the International Association of Radiolarists (InterRad 15) will be held in Niigata, Japan in October, 2017. The Society of Science on Form is one of co-organizing associations of the meeting. The main theme of the InterRad 15 will be “The evolution of marine plankton since 500 million years ago”. The purpose of the InterRad 15 covers not only research field but also educational and outreach ones. A plan of “radiolarian tree” is introduced.

Keywords: InterRad, Niigata, research, education, outreach, radiolarian tree

はじめに

2017 年 10 月 22-27 日に新潟で第 15 回国際放散虫研究集会 (InterRad 15) が開催される。形の科学会は InterRad 15 を共催している。この国際会議を契機として、放散虫が市民権を得るようになるためにはどのような方策があるのかについて、思い巡らしている。23 年ぶりに国際放散虫研究集会が日本で開催される際に、普及という観点からわれわれは何ができるだろうか。

新潟大学サイエンスミュージアムの取組として、毎年、サクラの木に花を咲かせるというイベントを実施している。この取組から着想した「放散虫の木」についての構想を述べてみたい。

「サクラの花」のイベント

新潟大学には多くのサクラの木があり、季節になるとキャンパスに彩りを添えている。入学式のころにソメイヨシノが咲き乱れ、新生活が落ち着くゴールデンウィークのころに八重桜が満開を迎える。このようなキャンパスでの季節の移ろいに合わせるように、理学部内にあるサイエンスミュージアムの入り口に絵で描いたサクラの木を設置する。学生は、新年度の抱負や目標をサクラの花びらに書き記し、サクラの枝に貼っていく。ひとりひとりの思いが、サクラの開花をうながし、満開になるという趣向である(図1)。

「サクラの花」企画の優れた点は、参加型のイベントであるところにある。ミュージアムの展示物を見学するという行為は受動的であり、展示物に興味をもたない学生にとっては、ミュージアムはいつまでも縁遠い存在のままである。サクラの木に花を咲かせるというイベントに参加することにより、ミュージアムが学生にとってより身近な存在に感じられるようになると期待される。

「放散虫の木」の構想

「放散虫の木」は、サクラの花の代わりに放散虫の画像を仮想の木に貼り付けていくことにより、木がだんだんと賑やかになっていくという企画である。貼り付ける放散虫画像としては、さまざまな形の種を用意する。少しずつ画像が増えていくという変化は、このイベントに参加する動機付けに繋がると期待している。放散虫の種多様性の高さを、花びらのように並べ貼った画像から認識してもらおうというねらいもある。

「放散虫の木」企画は、「サクラの花」の優れた点といえる参加型であることを意識している。もともと認知度の低い放散虫をもちいた「放散虫の木」企画に、どのぐらいの人が反応してくれるのかは未知数である。どういう仕掛けを作れば、参加者を増やせるのかがポイントだと感じている。

おわりに

これまで、放散虫の普及ためにいくつかのグッズなどを作成し、形の科学シンポジウムでも報告してきた。ぬいぐるみ、クッキー、カレンダー、トランプなどがその実例である。これらはいずれも見てもらうことを主眼としており、能動的に関わってもらふ要素は少なかった。今回示した「放散虫の木」のような参加型のイベントは、ともに楽しむことを通じて、普及活動に新たな道を拓くと期待している。

普及イベントは、InterRad 15 の初日にあたる10月22日(日)に計画されている。普及イベントには体験型の要素を取り入れるべく構想中である。形の科学会の会員の皆さんには、普及イベントを含めて、ぜひ InterRad 15 に参加していただきたい。形の科学会会員を意識した「形の科学：機能と進化の相互作用」という特別シンポジウムも用意している。InterRad 15 全般および普及イベントについての詳細な情報は、以下のウェブサイトを参照していただきたい。

<http://interrad2017.random-walk.org/>



図 1

左：新潟大学理学部サイエンスミュージアムの入り口付近。

右：満開に近づいた「サクラの花」。

チューブが螺旋線に変形する

本多久夫*、阿部高也、藤森俊彦

* 神戸大学大学院医学研究科 (〒650-0017 神戸市中央区楠町 7-5-1)

hihonda@hyogo-dai.ac.jp

Shape Change of a Tube from Straight to Helix

Hisao Honda**, Takaya Abe and Toshihiko Fujimori

** Kobe University Graduate School of Medicine, Kobe 650-0017, Japan

Abstract: Recently, we had investigated cardiac loop formation of mammalian embryonic hearts, in which a helical loop formed from a straight tube, although rotational movement of the top and bottom of tube were fixed. Here, we examined its curious mechanism geometrically.

Keywords: cardiac looping, embryonic heart, helix

哺乳類や鳥類の形づくりの初期に、心臓はほぼまっすぐなチューブから左ねじまわりの螺旋線になる(Cardiac looping)。2つの仮定をつかってコンピュータ・シミュレーションを行うとこれをつくることができた(本多, 2015; Honda et al., 2016)。この時チューブの上端および下端の回転は固定されている。両端が固定されたまま螺旋線ができるのは不思議なことと思われこの機構を調べた。

多角形細胞でおおわれた円筒形のチューブがある。仮定1は、チューブの縦半分の領域の細胞が増殖して、チューブに歪みがおこるとする。仮定2は、細胞はチューブの長軸にそって分裂するのだが、分裂後の2つの娘細胞は逆時計回りにわずかに回転するというものである(図1)。分裂する領域の細胞を順次ランダムに選んで分裂を続けると、チューブは上端下端ともに回転しないよう固定しているのに螺旋線になる。シミュレーションの様子を眺めると、チューブは伸張して「く」の字形に変形することと、チューブ表面の細胞は、はじめ縦に一列に並んでいたのが「S」字形に蛇行することがわかった。このような2つの運動が重なると3次元構造である螺旋線になるらしい。これを確かめた。

半円形の板が縦に積み重なってできたロッドを考える。半円板は、はじめ円であったのだが円の片方の半円の周が細胞増殖によって倍の長さになって、円がひずんでできたと考えた。「く」の字形の変形は図2aに示した。「S」字形の蛇行は図2bに示した。半円板が上下のズレによりこのようなことが起こる。赤点(大きい点)は半円板の周上にある。半円板の中心(重心)の点を黒点で示した。「く」の字形変形で中心点を結んだ中心線は弓なりになる(a)。「S」字形変形で上から下にかけて中心点は往復運動をする。これは平面図を見るとよくわかる(図2b矢頭)。さて、そこで「く」の字形変形と「S」字形変形を同時に行うと図2cのようになった。平面図で見

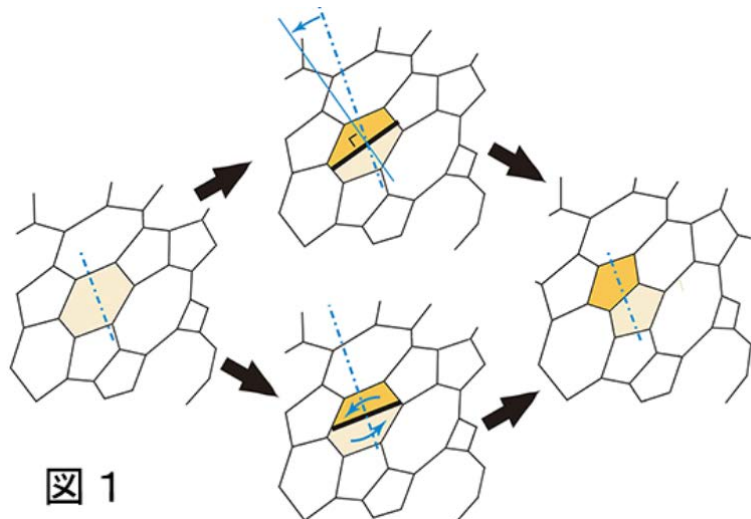


図 1

ると中心線は往復運動でなく閉じた曲線運動を行う（矢印）。これが初期胚の心臓がループをつくるといわれる実情であると考ええる。

初期胚心臓ループの巻きについてはこれまでも議論されたことがある (Manner, 2013)。上から下にかけて螺旋の左巻きが途中で反転し右巻きになっているという見方である。詳しく調べる必要があるがわれわれの考えと一致しているように思われる。

文献

本多久夫(2015)「心臓のループ形成を考える」 第79回形の科学シンポジウム(千葉工業大学 2015. 6/12) 形の科学会誌第30巻第1号 pp. 38-39,

J. Manner (2013) “On the form problem of embryonic heart loops, its geometrical solutions, and a new biophysical concept of cardiac looping”, *Ann Anat* 195, 312-323.

H. Honda, T. Abe, T. Fujimori (2016)

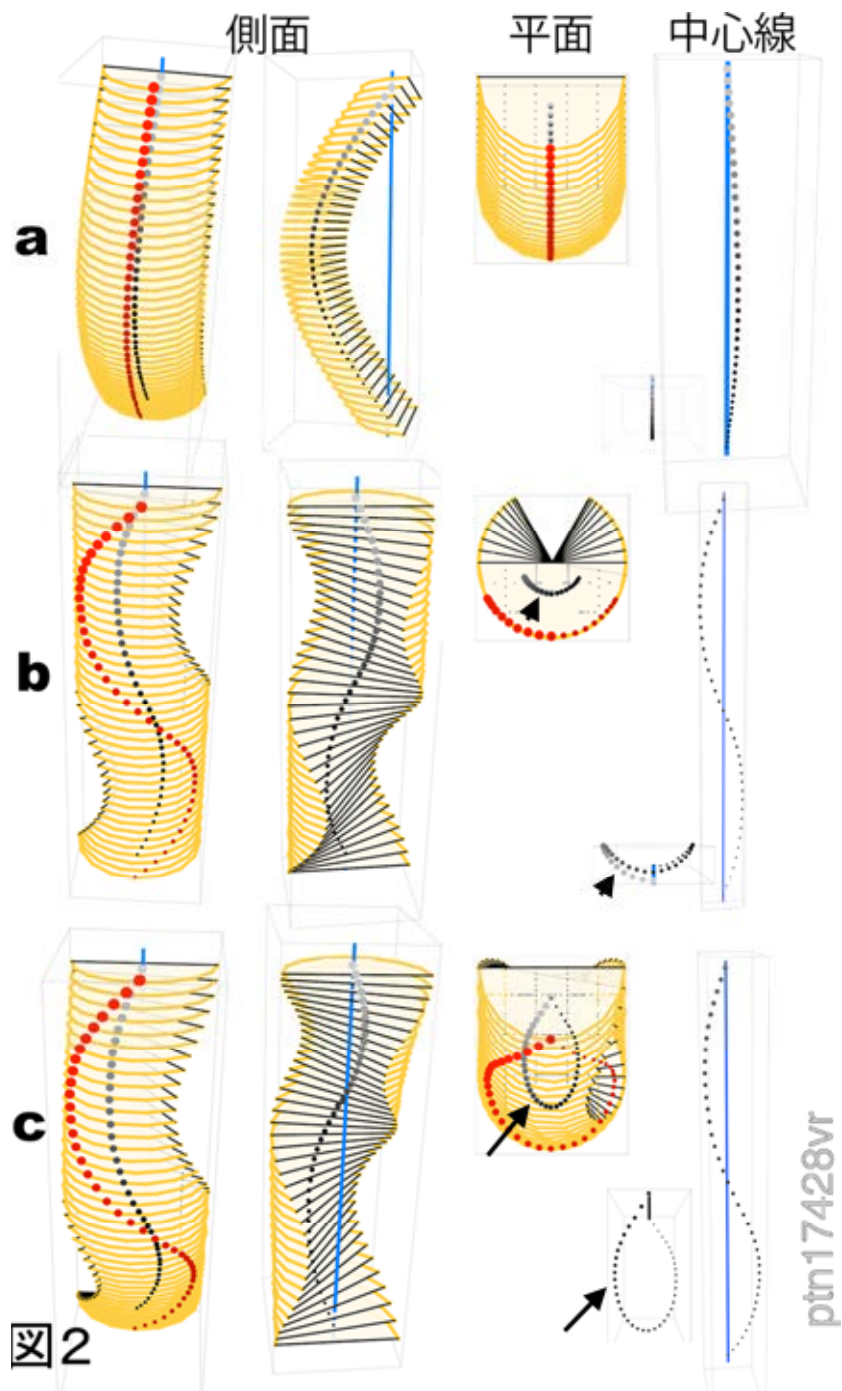
“Mechanism of cardiac

looping of the

embryonic heart”, *The 26th Annual*

Meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology

(Shiiki Hall, 九州大学、伊都・福岡 2016. 9/7)



植物の根の先端に見られるカテナリー曲線

○藤原 基洋、藤本 仰一

大阪大学大学院理学研究科生物科学専攻、大阪府豊中市待兼山町 1-1

mo-fujiwara@bio.sci.osaka-u.ac.jp

Tip of plant root looks a catenary curve.

Motohiro Fujiwara, Koichi Fujimoto

Department of Biological Sciences, Graduate School of science, Osaka University, 1-1 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka

Abstract

Various arched structures can be seen in buildings and nature. One of the arches is a catenary curve. Catenary curve is seen when you hang a string with holding both ends of the string. One of catenary curve properties is minimizing potential energy. In other words, it is a dynamically stable structure. As buildings, the catenary curve can be seen in Gaudi's Sagrada Familia and St. Louis Gateway Arch. In nature, spider webs and volcanic slopes are said that these look catenary curve. This time I discovered that the tip of plant root looks a catenary curve.

Keywords: Plant root, Catenary arch, Cell division

Introduction

建造物や自然界には様々なアーチ状の構造が見られる。そのアーチの一つがカテナリー曲線（懸垂線）である。カテナリー曲線は、ひもや鎖の両端を持って垂らしたときに見られる曲線で、力学的エネルギーが最小となる形状である。つまり、力学的に安定な構造だと言える[1]。このカテナリー曲線が見られる建造物としては、ガウディのサクラダファミリアやセントルイスにあるゲートウェイアーチが有名である。自然界では、蜘蛛の巣や火山の斜面、生物の体では、ナマケモノの背骨がカテナリーだと言われている[1]。今回、私は植物の根の先端がカテナリー曲線になっていることを発見した。

植物の根は地中に埋もれ、植物を支え水や栄養素を吸収する植物の成長に欠かせない器官である。根は、根端分裂組織という根の先端にある幹細胞の集団が分裂を繰り返すことによりドーム状の形になる[2]。このとき、細胞分裂の方向が制御されているがどのように制御して何のために制御するのかはまだわかっていない。そこで、私は、分裂を制御することで根を特定の形に維持し、その形からの応答で次の分裂が制御されるのではと予想した。しかし、以外にも根の先端の形状を定量的に測定したという報告はこれまでになく、まずは、根の先端の形状を定量的に測定することにした。

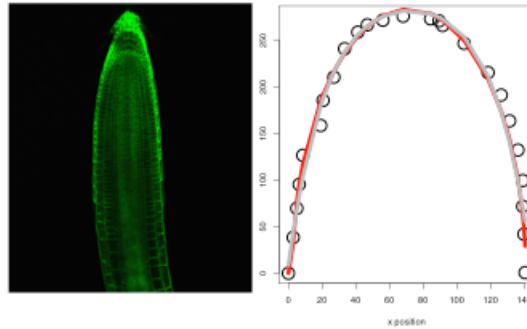
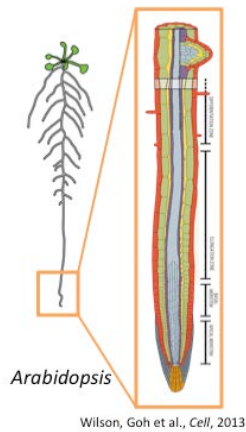
Method

測定する根としてモデル植物のシロイヌナズナの主根と側根の根端の画像を撮影し、その形状を座標データで取得した。次にこのデータと合う関数が何か統計的モデル選択法を用いて探索した。探索した関数がシロイヌナズナ以外の植物種でも当てはまるのか数種類の被子植物でも同様に測定した。

Result

結果、今回観察した全ての植物種で根端の形状は、カテナリー曲線となった。根の形状がカテナリー曲線になる理由を考察するに、人が建物を建造するときは全体像を

みることができるが、生物の細胞はせいぜい隣の細胞についてしかわからず、組織全体がどんな形状をしているか知ることはできない。その点、カタナリー曲線は力を一方向だけに合わせれば形成されるので、組織全体の情報を知らなくても、細胞分裂の方向を合わせることで形成することができると考えられる。つまり、細胞の分裂方向を制御すれば、自然と組織全体の形状が決まるのである。さらに、カタナリー曲線は力学的に安定な構造なので、障害物の多い地中を掘り進みながら成長する根にとって形を維持し易い可能性がある。今後は、根におけるカタナリー曲線の機能的意義を調べる。



左図・シロイヌナズナの根の縦断面

右図-根の先端画像とカタナリー曲線との比較
(黒丸が根の先端の位置、実線がカタナリー曲線)

参考文献

- [1] サイクロイドとカタナリー 河内康伸 大学教育出版
- [2] Wilson, Goh et al., *Cell*, 2013

生物の形の機能を理解する：曲面による進行波の分裂

堀部和也^{*1}, 廣中謙一², 松下勝義², 藤本仰一²

¹ 阪大情報 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-4

² 阪大理 〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-1

*kazuya-horibe@ist.osaka-u.ac.jp

Functions of surface shape of biological materials: Curvature-driven splitting of a planar traveling wave

K. Horibe¹, K. Hironaka², K. Matsushita², K. Fujimoto²

¹Grad. Sch. of Info. Sci. and Tech., Osaka U., 1-4, Yamadaoka, Suita, Osaka

²Grad. Sch. of Sci., Osaka U., 1-1, Machikaneyama, Toyonaka, Osaka

Abstract: Biological systems such as cell, tissue and organism show a huge variety of their shapes. The structure of their surface can effect on chemical and neural activities, which eventually regulate the wide range of biological phenomena. As a first step to understanding the effect of surface shape on biological activities, we construct a mathematical model of spatio-temporal patterns on surfaces. Here we numerically show the sequence of dynamics, i.e., bending, collision, annihilation and splitting of a traveling wave, can be driven by a curved surface represented by the two dimensional Gaussian function. In this talk, we will present the detail of this work and discuss this splitting, getting further into its biological significance.

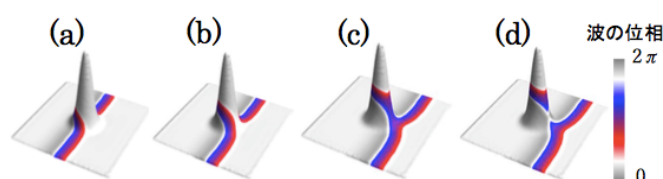
Keywords: Reaction-diffusion equation, Pattern dynamics, Curved surface

1.はじめに 生物は一つの細胞から多細胞組織の器官や個体にいたるまで様々な形状を持つ。形状の多くは曲面であり、その曲面上では生命現象を駆動する多彩な化学物質や神経活性の時空間パターンが生じる。近年、この生物の曲面の幾何形状が時空間パターンを決めうる事が報告されている。例えば、植物の新しい器官を形成するドーム型をした茎頂分裂組織では、その表面における膜タンパク質濃度の時空間パターンに従って細胞が分化し新たな器官となる細胞群の位置が決まる[1]。脳の表面の脳皮質上での神経活動の進行パルス波は、その皮質の溝の深さの違いによって波の分裂を引き起こしうる[2, 3]。近年、時空間パターンと曲面の幾何形状を同時観測が可能になり、パターンに対する形状の役割を探る技術は整いつつある。

このような観測技術の発展から、進行パルス波に対する曲面の幾何形状の役割を理論的に明らかにすることの重要性が増してきている進行パルス波を含む時空間パターンの理論的な研究は反応拡散系方程式を用いてさかんに行われてきた。その中で平面上での進行パルス波では波の分裂、崩壊、消滅といった多彩なパターン遷移[4]が報告されている。球面やトーラスといった曲面上での進行パルス波を数値計算した研究[5]はあるが、進行波のパターン遷移については調べられていない。そこで本研究では、曲面上で進行パルス波を数値実験することで、曲面の幾何形状がパターン遷移に与える影響の解明を目指す。

2. 方法 一般の曲面上で反応拡散方程式を解く数値モデルを構築した．具体的には曲面を三角メッシュで空間離散化し，メッシュの隣接関係を使って拡散項を有限体積法(FVM: finite volume method)で扱った[6](図1)．反応拡散方程式には FitzHugh-Nagumo 型の反応拡散方程式[7]を用い，曲面として最も単純な二次元ガウス関数を用いた．

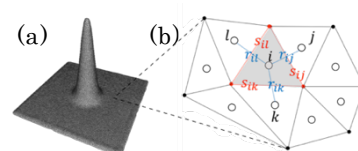
3. 結果 二次元ガウス関数で描かれたベル型曲面に対して波を進行させる数値計算を行ったところ，曲面により波が変形され，対消滅し，分裂するという一連のダイナミクスを見いだした(図2)．さらにベル型の高さと幅の比がある閾値を超えると波の分裂が見られた(図3)．



〔図2〕ベル型曲面による進行波の分裂

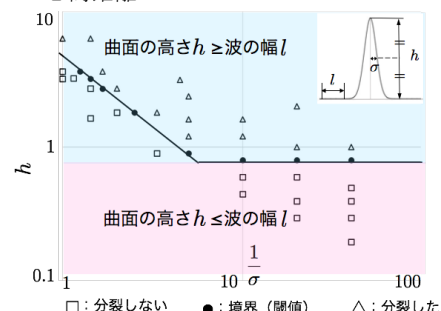
(a)曲面により曲がる．(b)波の一部の進行方向が互いに向かい合う．(c)正面衝突する．(d)対消滅し，分裂する．

4. 議論 実際の大脳皮質に波の分裂を引き起こす条件を満たす曲面があるかを見積もったところ[8]，ヒトの皮質にはそのような曲面があることがわかった(図4)．このことは実際のヒトの皮質で波の分裂が起こっていることを示唆する．そしてこの波の分裂を利用して生物的な機能を果たしているかもしれない．さらに進行波の経時変化は曲面上の最短経路に従うことがわかった．これは曲面の幾何形状のみで分裂条件だけでなく，波の経時変化を全て予測が可能である．この幾何形状だけによる波の予測を，生物の曲面上に現れる様々な波に適用することで，生物の幾何形状の機能の理解に役立つだろう．



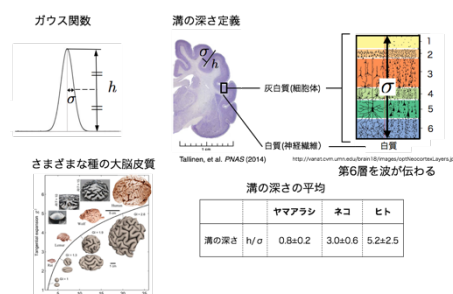
〔図1〕曲面の空間離散化

(a)二次元ガウス関数によるベル型曲面
(b)曲面を三角メッシュで空間離散化した．○：メッシュの幾何中心 u_i, v_i ：メッシュ i の濃度， s_{ij} ：メッシュ i, j 間の辺の長さ， r_{ij} ：メッシュ i, j の幾何中心間距離



〔図3〕進行波の分裂条件

横軸 h ：ベル型の幅の逆数，縦軸 $1/\sigma$ ：ベル型の高さ． l は波の幅．上半分青い領域では高さとの比が 4.5 を超えると波の分裂が起こる．下半分では波がベル型曲面を覆ってしまい，波の分裂は起きない．



〔図4〕分裂条件を満たす形を大脳皮質で探索する．

ガウス関数のパラメータ h, σ を使って大脳皮質の切片の溝の深さを評価した．複数の種の皮質に対していくつかの溝の深さの平均を取ったところ，ヒトでは今回見いだした分裂条件の値を超えることが見積もれた．

- [1] N. Bhatia, et al. *Current Biology* **26**.23 (2016): 3202
- [2] E. Santos, et al. *Neuroimage* **99** (2014): 244
- [3] S. Fujita, et al. *Cerebral Cortex* **26**.4 (2016): 1580
- [4] S.-I. Ei, et al. *Physica D* **165** (2002):176
- [5] F. Kneer, et al. *New J. Phys.* **16**.5 (2014): 053010
- [6] J. H. Ferziger, M. Peric, and A. Leonard. "Computational methods for fluid dynamics." (1997)
- [7] J. Nagumo et al. *Proc IRE*. **50** (1962):2061, R. FitzHugh *Biophysical J.* **1** (1961):445
- [8] T. Tallinen, et al. *PNAS* **111**.35 (2014): 12667

集団と動きと形と，細胞

松下勝義

大阪大学理学研究科生物科学専攻、豊中市待兼山町 1-1

kmatsu@bio.sci.osaka-u.ac.jp

Group, Motion and Shape of Cell

Katsuyoshi Matsushita

Department of Biological Science, Graduate School of Science,
Osaka University

Abstract: Collective Motion of cells play various significant roles in biological systems. To theoretically investigate the relation between this motion and the shape of cell, we develop the model for expressing both the elongation and amoeboid motion of cells. We find the transition from individual motion to collective motion in changes of cell shape.

Keywords: Cell shape, Collective motion, Cytoskeletal dynamics, Computer simulation, Statistical physics

Collective Motion of cells are commonly observed in biological phenomena including the developments of organisms, wound healing and immune reaction [1]. In these phenomena, cells mutually control each other in their motion and thereby frequently move in a same direction. The control mechanism of collective motion has been intensively investigated because of its biological significance. The understanding of the control mechanism is not sufficiently achieved to date because of complexity of biological systems.

One of model organisms, which have been frequently used for biological investigations of collective motion, is *Dictyostelium Discoideum* (dicty). Dicty cells in a starved condition collectively form fruiting body [2]. In this formation of fruiting body, various collective motions emerge. In early stage of this formation, cells collectively move in a same direction. This motion is so-called streaming and prepare cells for the fruiting body formation. This phenomenon mainly results from cell interactions through chemotactic response of cells. In fact, the mutant without chemotaxis do not form the streaming [3].

In the streaming, since dicty is an amoeboid cell, cells do not clearly take a certain rigged shape. However, as a tendency, it usually elongates in the direction of its movement. In some mutant cells, cells almost do not elongate [4] or elongate in the perpendicular direction to that of movement [5]. Depending on elongation of cells, different strains of cells seem to exhibit different styles of motion. To understand the relation between cell shape and collective motion beyond effects of chemotaxis, we theoretically investigate this relation on the basis of the

statistical physics.

For this purpose, we consider the mechanism of cell elongation to mathematically reproduce this relation on computer. As well known, this cell elongation originates from the subcellular cytoskeletal meshwork formation in cell [2]. To model this formation, we have developed a model for describing dynamics of subcellular molecule distributions [7]. We applied this model to the cytoskeletal dynamics and develop the coarse-grained dynamical equations of the cytoskeletal meshwork [8]. We combine this dynamical equation with the cellular Potts model [9] to simulate the motion of elongating cells. This model enable us to successfully simulate the collective motion of cells, which are elongated in various styles by cytoskeletal meshwork.

The results of our simulation suggest that elongation of cell affects the formation of collective motion of cells. In this talk, we report the result of our simulation.

- [1] C. J. Weijer, J. Cell Sci. 122, 3215 (2015); P. Friedl and D. Gilmour, Nat. Rev. Mol. Cell Biol. 10, 445 (2009); P. Rørth, Annu. Rev. Cell Dev. Biol. 25, 407 (2009).
- [2] J. T. Bonner, *The Social Amoebae: The Biology of Cellular Slime Molds* (Princeton University Press, Princeton, 2009).
- [3] H. Kuwayama *et al.*, J. Cell Biol. 123, 1453 (1993); H. Kuwayama *et al.*, Biochim. Biophys. Acta 1268, 214 (1995).
- [4] H. Kuwayama and S. Ishida, Sci. Rep. 3, 2272 (2013).
- [5] A. Nagasaki, *et al.*, Cell Strcut. Func. 33, 27 (2008).
- [6] T. QP Uyeda and A. Nagasaki, Curr. Op. Cell Bio. 16, 55 (2004).
- [7] K. Matsushita, Phys. Rev. E. 95, 032415 (2017).
- [8] K. Matsushita, Proc. Sympo. Simul. Traffic Flow 22, 5 (2016).
- [9] F. Graner and J. A. Glazier, Phys. Rev. Lett. 69, 2013 (1992).

細胞内で二足歩行運動する分子モーター(ダイニン)の歩行運動メカニズムの解明

久保進太郎、 高田彰二

京都大学理学研究科生物科学専攻、606-8502 京都市左京区北白河追分町

kubo@theory.biophys.kyoto-u.ac.jp

The research of walking mechanism of molecular motor-dynein-which biped locomotion in cell

Shintaroh Kubo, Shoji Takada

Dept. Biophys, Grad. Sch. of Sci., Kyoto Univ.,

Kitashirakawa-Oiwakecho, Sakyo, Kyoto, 6068502

Abstract: The linear molecular motor dynein is an intriguing allosteric model protein. ATP hydrolysis, catalyzed by domains in the AAA+ ring, regulates the binding to the rail molecule, microtubule, which is ~15 nm away from the AAA+ ring. The molecular mechanisms underpinning this long-distance communication are unclear. Based on recently solved pre- and post- power-stroke crystal structure information, we performed, for the first time to our knowledge, molecular simulations of complete conformational changes between the two structures. The simulation revealed that module-by-module allosteric conformational changes occur. Interestingly, the transition cascade from the pre- to the post-power-stroke states propagated in a circular manner around the AAA+ ring, while that of the recovery transitions propagated in a bi-directional manner around the ring.

Keywords: molecular motor, simulation, coarse-grained model

1. 目的

ダイニンは細胞内にある分子モーターのひとつで、ATP の加水分解により 微小管上をマイナス端方向に二足歩行運動 する事で細胞内小器官などの輸送・配置を行う[1-2]。ダイニンには図 1 に示すように大きく8ドメインで構成され、特に AAA1 ドメインのヌクレオチド状態に応じた 2 構造(pre/post)を取ることが知られている。ダイニンが二足歩行運動を実現するためにはエネルギー生成を行う AAA1 と微小管との結合・解離を行う MTBD がきちんとカップリングする事が不可欠であるがどのように AAA1 のエネルギー状態の変化を MTBD の構造変化に伝えているのか明らかにされていない。そこで、本研究の目的は pre-post 間の構造変化のドメイン単位での変化順序の解明である。

2. 方法

1 アミノ酸を 1 粒子として扱う粗視化モデルを用いた分子動力学計算ソフト CafeMol を行い、pre から post への構造変化(power stroke 過程)と post から pre への構造変化(recovery stroke 過程)をシミュレーションした[3]。図 1 に示した 8 ドメインがそれぞれ pre/post の 2 状態を取れるように設定する事でドメイン単位での構造変化の順番とドメイン間の相関関係を明らかにする[4]。

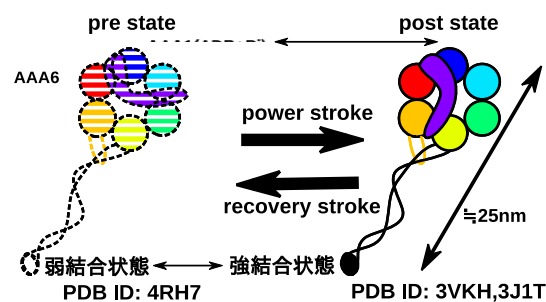


図 1 ダイニンの 2 状態

3. 結果

3.1. 構造変化経路の特定

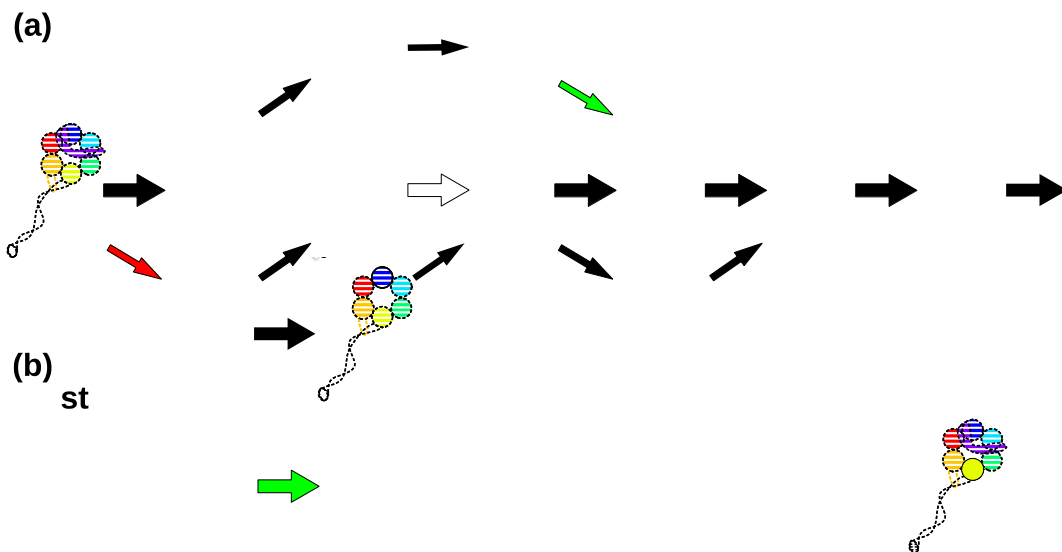


図 2 構造変化経路図

図 2(a)が power-stroke 過程、(b)が recovery-stroke 過程。理論上 2^8 の状態をとり、 $8!$ の経路を持つが、図 2 に示すように構造変化の経路は限定されていた。図 2(a)において、おおまかには時計回りに構造変化が進行していくのに対し、図 2(b)では時計回りと反時計回りの 2 経路が同時に進行していた。矢印の赤と青は linker の運動を示し、緑は変化過程が早かった箇所を表現している。

3.2. 構造変化を決定づける部位の特定

構造変化過程の中には早い変化過程が存在する(図 2 の緑の矢印過程)。図 3 はその一例として recovery-stroke 時の AAA6 が変化した後に AAA1 が直ちに变化する過程に注目した。

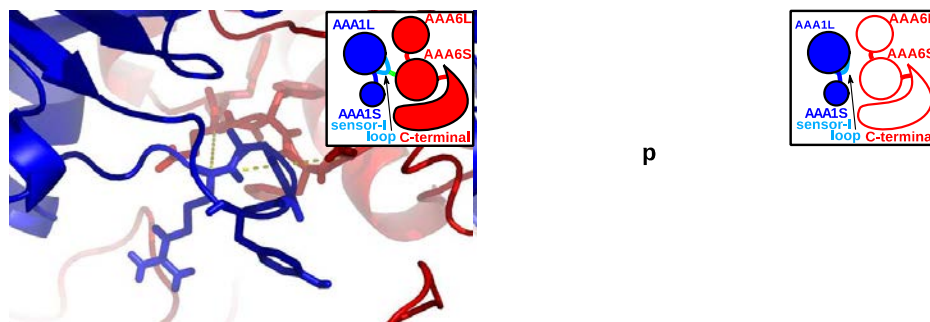


図 3 recovery-stroke 過程の AAA1-AAA6 界面構造

構造変化前の状態では AAA1 の R2084 に対して E4297 が塩橋を形成していたが、AAA6 の変化直後では、その塩橋が解かれることで AAA1 のループ構造が大きく変化していることが確認された。このループ構造は ATP が乗る場所であるため、recovery stroke 過程において AAA6 が変化することで AAA1 の ATP 状態が更新されることが示唆された。実際、AAA6 の構造変化を阻害するとサイクルがにぶる現象が実験で確認されており、それと整合性のつく結果である。

[1]Schroer et al., Cell(1989), [2]Roberts AJ et al., Nat. Rev. Mol. Cell. Biol. (2013)

[3]Kenzaki H et al., J. Chem. Theory. Comput. (2011), [4] Okazaki K et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA(2006)

Boerdijk-Coxeter helix のアクリル試験片作製および転がり実験

西田匠太郎¹、伊藤圭太¹、池上祐司²、藤本武²、山澤建二²、手嶋吉法¹

¹千葉工業大学大学院 工学研究科 機械サイエンス専攻

²理化学研究所 技術基盤支援チーム

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学

Preparation of acrylic test pieces of Boerdijk-Coxeter helix and their rolling experiment

S. Nishida¹, K. Itoh¹, Y. Ikegami², T. Fujimoto², K. Yamazawa² & Y. Teshima^{1,*}

¹Chiba Institute of Technology, ²RIKEN

Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-0016, JAPAN

* yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

Abstract: Linear stacking of a regular tetrahedron called the Boerdijk-Coxeter helix (BCH) was investigated. We prepared acrylic test pieces of BCH in which the number of regular tetrahedron is from 10 to 60 consolidations. And the rolling experiment by using the test pieces were performed for clarify the rolling characteristics of BCH.

Keywords: roll of polyhedron, Boerdijk-Coxeter helix, test piece, jig

はじめに

様々な幾何学形状が機械要素や機構に活用されている。筆者らは、正多面体の面連結によって生成される棒状構造を機械要素へ応用するための基礎研究を行っている[1]。

5つの正多面体のうち、平行平面を持つ4種の正多面体は、並進対称性を有する面連結構造が生成可能であるが、正四面体だけは平行平面がなく、棒状に面連結すると、全ての正四面体が異なる向きで連結された並進対称性を持たない構造が得られる(図1)。この構造を Boerdijk-Coxeter helix(以下、BCH)と呼ぶ。

なお、筆者らは、正四面体以外の正多面体4種について、平行平面以外での面連結構造を調査し、BCHと類似の幾何学構造が得られることを報告した[2]。

筆者らは以前、BCHは連結数を増やすと転がり易くなる性質を持つことを報告した[3]が、その際はポリドロン(プラスチック製の三角形)を組み合わせることでBCHの外側形状を作製した簡易型BCHを用いた。簡易型BCHでは、面連結部の正三角形2枚が無いが、外側形状はBCHと同じである。10連結~60連結の簡易型BCHを斜面上から転がし、静止した位置までの距離を各連結数において測定した。連結数が増えるにつれて、転がった距離が長くなった傾向があっ



図1 正四面体の棒状構造(BCH)

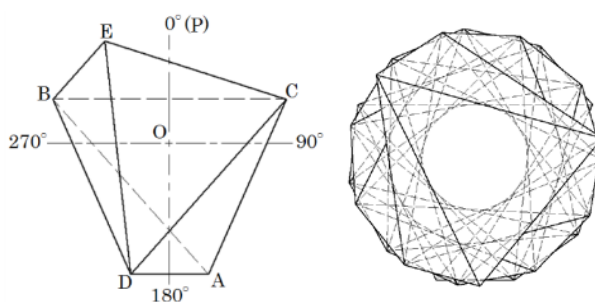


図2 軸方向への投影図 左: 2連結、右: 20連結

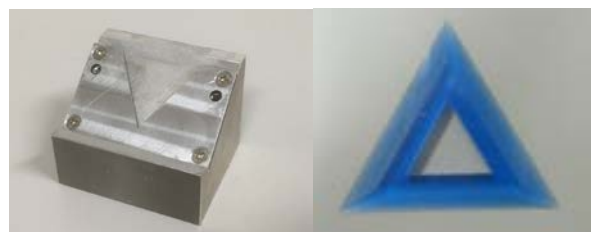


図3 左: 三角形パネル固定用ジグ、右: 三辺を斜めに切削加工した正三角形パネル

たが、単調増加ではなく、極小値を示す連結数が見られた。

これら非自明な現象を解明するため、より精巧な BCH 試験片を作製し、実験をおこなったので、今回報告する。

BCH の転がりに関する理論的な予測

BCH の連結数を増やしていくと、軸方向への投影図は円に漸近する(図 2)。投影図上で、隣接する正四面体がなす回転角度の値が、無理数($2 \tan^{-1}(\sqrt{5}) \approx 131.8^\circ$)であるため、投影図上の頂点は決して重ならない。BCH が連結数を増やすと転がり易くなるのはこの性質に起因すると言える[3]。

BCH における頂点の空間分布を調査し、BCH の長手方向におけるバランスが良い連結数を理論的(幾何学的)に導出し、例えば 13 連結、19 連結、57 連結などは、バランスの良い連結数であると予想した[4]。

アクリル製の BCH 試験片の作製

アクリル板から切り出した正三角形の各辺を切削加工し(図 3)、貼り合わせて正四面体を作製し(図 4)、正四面体を連結する(図 5)ことで、試験片となる BCH を作製した(図 6)。

アクリル製の BCH 試験片による転がり実験

10 連結から 60 連結までの BCH 試験片を用いて転がり実験を行った。今回の実験結果でも、連結数が増えると転がる距離が増加する傾向が見て取れたが、やはり単調増加ではなかった。また、頂点配置のバランスが良い連結数と予想した 19 連結においては転がる距離が増加したものの、13 連結や 57 連結では確認できなかった。

参考文献

- [1] 手嶋吉法、「立体の形と機能」、数学セミナー、12月号(2016)、8-14.
- [2] 伊藤圭汰、手嶋吉法、「正多面体の面連結から生成される螺旋構造について」、第 77 回形の科学シンポジウム(佐賀大学、2014 年 11 月 24 日)、形の科学会誌 第 29 巻 第 2 号 2014 P.164-165
- [3] 伊藤圭汰、手嶋吉法、「Boerdijk-Coxeter helix の転がりに関する研究」、第 75 回形の科学シンポジウム(青山学院大学、2013 年 11 月 14 日)、形の科学会誌 第 28 巻 第 2 号 2013 P.184-185

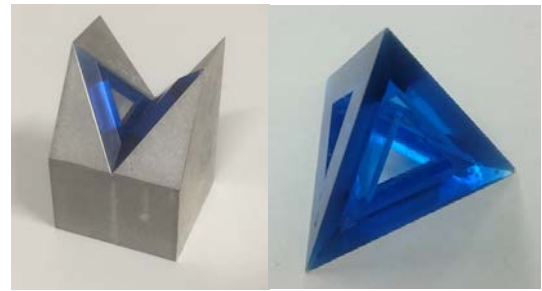


図 4 左：パネル接着用ジグ、右：正三角形パネル 4 枚を接着して得られる正四面体

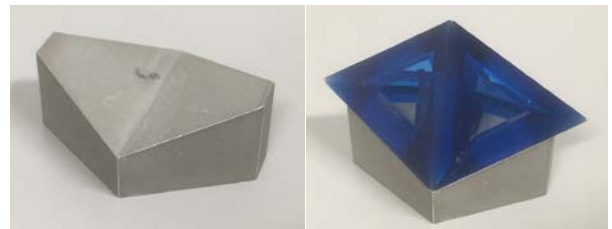


図 5 左：正四面体を接着する為のジグ、右：2 個の正四面体を接着した様子



図 6 アクリル製の BCH 試験片
上：20 連結、中：40 連結、下：60 連結

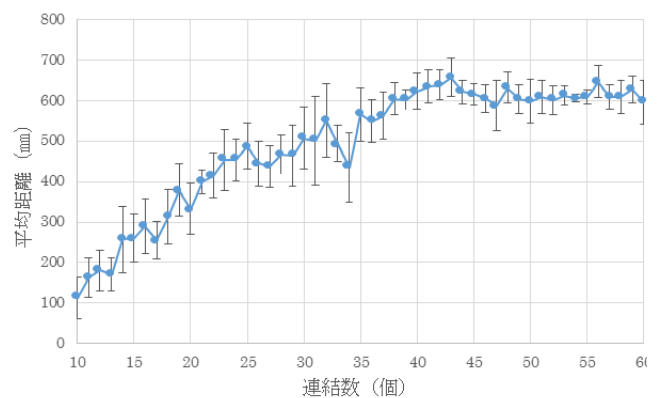


図 7 BCH の転がり実験の結果

- [4] 伊藤圭汰、手嶋吉法、「Boerdijk-Coxeter helix の投影図は如何に円に漸近するか」、第 78 回形の科学シンポジウム(千葉工業大学、2015 年 6 月 12 日)、形の科学会誌 第 30 巻 第 1 号 2015 P.16-17

ヒト静止立位における姿勢制御の年齢間比較に関する研究

條野雄介、谷村亨、馬場大智、平田隆幸、高田宗樹

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
takada@u-fukui.ac.jp

Comparison of Postural Control in Human Standing among Ages

Yusuke Jono, Toru Tanimura, Taichi Baba, Takayuki Hirata, Hiroki Takada

Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui, Fukui 910-8507, Japan

Abstract: The postural control system of healthy persons does not have been clarified, which seems to be different to that of patients with vertigo such as Meniere's and Parkinson's diseases. In this study, the body sway in the Romberg posture was simultaneously recorded with electromyogram (EMG) in the young, the elderly, and the middle-aged persons. Stabilograms were compared with their EMGs among the age groups. Also, we consider whether the experimental results are consistent with posture control hypothesis in human static standing, for instance, the stiffness control hypothesis.

Keywords: Stiffness control hypothesis, Intermittent control hypothesis, Muscle activity, Body sway, Postural control

炊事、洗濯など、ヒトの日常生活は立位姿勢で行われることが多い。また、適切な姿勢を保つ能力は運動能力を高めるだけでなく、不安定な姿勢から速やかに回復させることで転倒の予防にもつながる。小脳性の運動失調やパーキンソン病などの神経疾患は安定した姿勢の制御を困難にする^[1]。そのため、ヒトの静止立位姿勢制御のメカニズムの解明は不可欠である。しかし、ヒト静止立位制御のメカニズムはいまだ解明されていない。その解明のため多くの仮説が考えられている^[2]。

被験者は15-89歳の健常な男女54名を対象とし、29歳以下を若年層、30-64歳を中年層、65歳以上を高年層と分類し、年齢・性別でそれぞれ9名ずつに分けた。ロンベルグ姿勢にて開眼60秒、閉眼60秒とし重心動揺と筋活動の同時計測を行った。被験者には事前に実験の説明を十分に行い同意を得た。なお、本研究は名古屋大学大学院情報科学研究科研究倫理委員の承認を受けている。

その結果、閉眼時の方が開眼時よりも動揺量が有意に大きいこと、高年層の方が若年層よりも動揺量、筋電位(ARV)の値ともに有意に大きいことが分かった。また本研究では、①腓腹筋、ヒラメ筋は前後方向の重心位置と負の相関を持ち、スティフネス制御仮説で説明できる機能がある、②前脛骨筋は重心位置とは関連を持たず、間欠的制御仮説で説明できる機能がある可能性が示唆された。

参考文献

[1] 長谷公隆 (2006) 立位姿勢の制御, リハビリテーション医学, **43**: 542-553.

[2] Winter DA, Patla AE, Prince F et al (1998) Stiffness control of balance in quiet standing. J Neurophysiol **80**: 1211-1221.

瞑想が脳血流分布に及ぼす影響

馬場大智¹ 高田宗樹^{1*} 平田隆幸¹ 條野雄介¹ 谷村亨¹ 御橋廣真²

1) 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻 福井県福井市文京3丁目9番1号

2) 名古屋大学 愛知県名古屋市千種区不老町

Distribution of Cerebral Blood Flow during Meditation

Taichi Baba¹, Hiroki Takada^{1*}, Takayuki Hirata¹, Jono Yusuke¹, Toru tanimura¹, Koushin Mihashi²

1) Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui, 3-9-1, Bunkyo, Fukui, Fukui, Japan

2) Nagoya University, Chikusa-Ku, Nagoya, Japan

*takada@u-fukui.ac.jp

Abstract: In recent years, the number of mental disorders is on the increase due to excessive stress. From the medical point of view, meditation is noticed as a countermeasure of the mental disorders. In this study, we examined whether the changes in the brain activity can be measured during meditation by the functional Near Infra-Red Spectroscopy (fNIRS).

Keywords: Stress, Meditation, Frontal lobe, Cerebral blood flow, fNIRS

多くの人々は日常生活でさまざまなストレスにさらされている。過度なストレスにさらされ続けると前頭葉の委縮が生じ、うつ病や心的外傷後ストレス障害(PTSD)などといった精神障害にかかる危険性がある^[1]。ストレスの対処法として、瞑想が医学的な観点から注目されている。瞑想はストレスを軽減させる働きがあるとされ、精神障害などにも効果があると言われている^[2]。本研究では、脳血流量分布の形に着目し、瞑想時における脳活動の変化を調査した。脳血流量の変化の計測については fNIRS (functional Near Infra-Red Spectroscopy) を用いた。

被験者として瞑想経験者3名、瞑想未経験者1名を対象に実験を行った。瞑想は座位の姿勢で行わせ、脳血流量変化の計測には近赤外光脳機能イメージング LABNIRS(島津製作所、京都)を使用した。全頭用プローブを装着し、前安静90秒間の後、最初の音刺激と同時に閉眼にて瞑想を始めるよう指示し、定期的に音刺激を与えた(Table 1)。720秒後に拍手にて瞑想の終了を合図し、その後90秒間の後安静時における脳血流量変化を記録した。解析方法として計測したデータから各

	音刺激	瞑想	経過時間
Term1		90s(安静)	90s
Term2	30s	60s	180s
Term3	15s	75s	270s
Term4	15s	75s	360s
Term5	15s	75s	450s
Term6	15s	75s	540s
Term7	15s	75s	630s
Term8	15s	75s	720s
Term9		90s(安静)	810s

Table 1 実験プロトコル

Termでの音刺激時、瞑想時のそれぞれで脳全体の酸素化ヘモグロビン濃度の平均値を求めた。本研究では経時変化を見るために Term1, 2, 4, 6, 8, 9 に注目し、経験年数および経験の有無で酸素化ヘモグロビン濃度の比較を行った。

その結果、未経験者と比較して経験者の前頭葉における脳血流量の増加がみられた。また、瞑想経験年数が長い経験者ほど脳全体での脳血流量の増加がみられた。

参考文献

- [1] 秋山一文, 齊藤淳 (2006) ストレスと精神障害, Dokkyo journal of medical sciences, **33**(3), pp.207-212.
- [2] Kerr CE, Jones SR, Wan Q, Pritchett DL, Wasserman RH, Wexler A, Villanueva JJ, Shaw JR, Lazar SW, Kaptchuk TJ, Littenberg R, Hämäläinen MS, Moore CI. Effects of mindfulness meditation training on anticipatory alpha modulation in primary somatosensory cortex. Brain Res Bull, 8596-103, 2011.

為替レート時系列を生成する数理モデルの本質的な変数の数の比較

谷村 亨, 條野雄介, 馬場大智, 平田隆幸, 高田宗樹*

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

*takada@u-fukui.ac.jp

Comparison of the number of essential variables in the mathematical models that generate the time series of the exchange rates

Toru Tanimura, Yusuke Jyono, Taichi Baba, Takayuki Hirata, Hiroki Takada

Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University
of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui, Fukui 910-8507, Japan

Abstract: We have examined whether the exchange rates are affected by various factors such as economic balance and interest rate differential, economic trend index, and the politics. It was shown that the temporal variations of the exchange rates could not be described by the conventional frameworks because of their complexity. In addition to the time series analysis, researches using chaos systems are seen in recent decades. Moreover, many of previous researches analyzed in a short term, and few analyzed in a long term. Therefore, we focused on the number of essential variables in the mathematical model of each exchange rate (USD / YEN, EUR / YEN, EUR / USD, GBP / USD, AUD / USD, CAD / USD) for a long term of daily/weekly sequence in this study. The Grassberger-Procaccia algorithm was used as a method to estimate the correlation dimension in this study.

Keyword: Exchange rates, Mathematical model, Grassberger-Procaccia algorithm

近年、経済の市場予測を行うため様々な時系列データ解析が行われている。その中でも為替市場は、対応する国々の経済収支や金利差、景気動向指数、政策などの様々な要因に影響されている。そのため、従来の理論的枠組みには十分に捉えきれない複雑さを有している。近年では、これまでの一般的な時系列解析の手法に加え、カオス解析を応用した手法が散見される^[1]。

為替レートの先行研究には、経済的なイベント前後の2年未満の短期の時間領域で時間変動を解析しているものがほとんどであり、10年以上の長期の時間領域で解析を行っているものはみられない^[2]。そこで本研究では、6種類の長期為替レート時系列データについて解析を行い、数理モデルの本質的な変数の数を推定することを目的とした。また、先行研究は日付を連続させてデータを抽出しているもの(日次時系列)を解析対象としている。しかし、曜日の特性に着目して週次時系列化した研究はみられない。そこで本研究では、3系列の週次為替レート時系列を生成すると考えられる数理モデルについて本質的な変数を推定し、曜日間比較を行った。

本研究では、1989年1月 - 2016年8月までの部分区間における日次為替レート時系列(USドル/円、ユーロ/円、ユーロ/USドル、ポンド/USドル、AUドル/USドル、CAドル/USドル)の6系列を解析対象とした。このうち、USドル/円為替レート、ユーロ/円為替レート、ユーロ/USドルの3系列については曜日間で比較するために、日次時系列を曜日ごと(月, 火, ..., 金曜日)に分割し、15系列の週次時系列データを抽出した。次に、埋め込みの方法^[3]に従って各時系列データからアトラクタを再構成した。再構成されたアトラクタの形の複雑性を定量化する1つの方法として相関次元解析がある。これにより為替レート時系列を生成すると考えられる数理モデルの本質的な変数の数を推定することもできる。本研究では相関次元を求める方法として、Grassberger-Procaccia アルゴリズムを用いた。

相関次元はUSドル/円は3.7、ユーロ/円は2.3、ユーロ/USドルは2.6などに見積もられた。

参考文献

- [1] 亀川博史, 松丸正延 (2001) 外国為替レートにおける動的カオス解析の研究, J. Jpn. Ind. Manage Assoc. 52, pp.239-225.
- [2] 安木新一朗(2012) ロシア・ルーブル外国為替相場のフラクタル解析について, 甲南経済学論集, 第52巻第3・4号, pp.47-56
- [3] F.Takens (1981) Detecting strange attractors in turbulence, In D. A. Rand and B. S. Young, (Eds.), *Dynamical Systems of Turbulence*, Vol. 898 of Lecture Notes in Mathematics, pp.366-381, Springer-Verlag, Berlin

ゲノム距離による変異原測定法 ‘GPMA’ は単純ゆえに高感度 (ppb レベル)

西垣功一^{1, 2}、馬場美聡³、月足元希³、パルミラ クマリ¹、三浦崇¹,
マニッシュ ビヤニ²、保川清³

¹ 埼玉大学大学院理工学研究科機能材料工学専攻、〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 ² 北陸先端科学技術大学院大学シングルナノイノベーティブデバイス研究拠点、〒923-1292 石川県能美市旭台 1-1, ³ 京都大学大学院農学研究科食品生物科学専攻、〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

koichi@fms.saitama-u.ac.jp, baba.misato.34a@st.kyoto-u.ac.jp, tsukiashi.motoki.82x@st.kyoto-u.ac.jp,
parmilajp@yahoo.com, biyani@jaist.ac.jp, yasukawa@kais.kyoto-u.ac.jp

Genome distance-based mutagen assay, GPMA, is highly sensitive (ppb-level) because of its simplicity

Koichi Nishigaki^{1,2}, Misato Baba³, Motoki Tsukiashi³, Parmila Kumari¹, Takashi Miura¹, Manish Biyani², Kiyoshi Yasukawa³

¹ Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, 255 Shimo-Okubo Sakura-ku Saitam, 338-8570 Japan, ² Center for Single Nanoscale Innovative Devices, Japan Advanced Institute of Science and Technology 1-1 Asahidai, Nomi, Ishikawa 923-1292 Japan, ³ Division of Food Science and Biotechnology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, 606-8502, Japan

Abstract: Recent studies show that the genome sequence changes constantly (e.g., Daiwan et al. *FEBS Lett.* 2016). Mutagens increase the frequency of mutation and threaten us with the risk of cancer and hereditary diseases. For the economically rational health policy, a highly sensitive and easily available mutagen test is necessary. GPMA (Genome Profiling-based Mutation Assay), which detects the DNA mutation directly, was shown to be more sensitive by near 100 times than the phenotype-based mutation assays (e.g., Ames test). This phenomenon could be explained simply: the difference in the detection target area that GPMA can be any site along DNA but phenotype-based one, a specific one.

Keywords: mutagen, GPMA (Genome Profiling-based Mutation Assay), Ames test, DNA sequence alteration, spontaneous mutation, mutagenicity

序 ガンや遺伝的奇形の原因となる化学物質の突然変異原性を調べることの重要性は、既に 20 世紀半ばには認識され、1970 年代には現在も標準的に使われている変異原性テスト「Ames テスト法」が開発されている。サルモネラ菌を実験材料として、その生存に必須なヒスチジンを合成できないように関係の酵素の遺伝子に点置換変異（塩基配列の文字を 1 つ置き換える）を導入しておき、変異原を与えることで点置換変異を誘発させる。この時、偶々、元の正常な塩基に戻る変異（逆変異）を起こすと、ヒスチジンを生産可能な酵素が発現し、ヒスチジンのない培地でも菌は増殖しコロニーを形成する。そのコロニーの数が変異原性の強さに比例するという原理であり、巧妙で明快なアッセイ法となっている(1)。そのために、世界中で広く採用され、この方法で検出した変異原性物質は膨大な数に上っている。その後 30 年余りの間に開発された他の変異原性試験と同様にこの方法は「表現型」

(つまり、遺伝子 DNA の変化に起因して酵素活性などの細胞の生理活性が変わることを元にして調べる) 方式であった。これに対して、2007 年に我々は DNA に誘発された塩基配列変異そのものを直接検出する変異原検出方式「GPMA 法」を開発した (2)。

GPMA 法とは 大腸菌をテスト株に用い、変異原性テスト物質の存在する培地と存在しない培地とで一定時間培養した後で、両者のゲノムに入った突然変異量の差から、変異原性の有無を判定する方法である。このとき、突然変異量は GP(genome profiling)法により定量する。GP 法では DNA に点置換が生ずるとその二本鎖 DNA の熱安定性が変化するのを検出して、直接シーケンシングせずに配列情報をえる技術である。生物や細胞のゲノム距離を測定する技術として既に多くの実績を有する (3)。

興味深い点は、生きた細胞で起こる突然変異量 (細胞を殺すほど多量な変異を導入することはできない) は当然、“希”であり、細胞から取り出した DNA を直接シーケンシングして調べる方法では、統計的に有意な結果を得るためには、膨大なシーケンシング量が必要で経済合理性が悪いということである (4)。NBS(次世代シーケンサー)の出現で大量 DNA シーケンシング時代を迎えて久しいが、最も原理的な「DNA 塩基配列の変化」により変異原性を調べる技術としては、唯一、GP 法が実用化している (1)。

変異原応答性と解釈 Ames テスト法と GPMA 法とで、94 種の化学物質の変異原性を調べた。その結果、97%の一致度であり、実験誤差を考慮すれば、原理的に両方法は変異原性の有無に関して同一の判定を下していることが示された (2017 年投稿中論文)。同時に、変異原物質ごとに異なるメカニズム (AF2 は塩基修飾、エチジウムブロミドはインター化レーション、別のものは塩基のアルキル化や脱アミノなどなど) で DNA の塩基配列を変えることがわかっており、テスト細胞が同一であれば、変異原物質一定量あたりの塩基置換量は、化学物質固有になっていると考えられる。このことが、今回の我々の実験から実証された。すなわち、半定量的な扱いにも拘らず、両方式で検出された変異原強度に高い相関性 ($r=0.72$) が認められた。このことから、DNA の変異を直接検出する GPMA 法は対象とするゲノム DNA 全体で生じている変異を検出対象としているのに対して、一方 Ames テストのような表現型に依存する技術では、特定の塩基の点置換の有無だけをモニターしているために、表現型が変化するほどにその点が変動するには相対的に多量の変異原物質を必要とするということがわかる。つまり、検出のウインドウサイズの違いが検出感度の違いとなっていた。これらのことを発表する。

文献

1. 西垣功一 (2014) 「変異原検出法の発展—高感度 GPMA 法まで」 *日本分析化学会誌・ぶんせき* **2014(9)** 492-499
2. Futakami et al. (2007) Novel mutation assay with high sensitivity based on direct measurement of genomic DNA alterations: Comparable results to the Ames test, *J. Biochem.* **141**, 675-686
3. (i. g.,) Diwan et al. (2016) Ordered genome change of plant and animal body cells revealed by the genome profiling method. *FEBS Lett.* **590(14)**, 2119-2126
4. 三浦崇 (2013) 埼玉大学理工学研究科修士課程学位論文

一様栄養拡散場中での癌細胞の成長の

モンテカルロ・シミュレーション

植田 毅, 伊藤 沙姫

東京慈恵会医科大学物理学研究室, 東京都調布市国領町 8-3-1

tsuyoshi_ueta@jikei.ac.jp

Monte Carlo simulation of growth of a tumor within an isotropic nutrition diffusion field

Tsuyoshi Ueta and Saki Ito

The Jikei University School of Medicine Physics Laboratory

8-3-1 Kokuryo-cho, Chofu, Tokyo

Abstract: In this study, a crystal-growth based model taking into consideration the microscopic process of the proliferation of cancer cells is proposed, and a parameter domain in which the structure of the cancer cell cluster agrees with experimentally observed one has been found out. The shape variation of the cancer cluster has been acquired using the proposed model by changing the nutrient level, the ease of the proliferation and the mobility of cells.

Keywords: Monte Carlo simulation, 3D, nutrition diffusion field, growth shape of a tumor

1. はじめに

成長の速い肝臓の癌は球状をしているが、成長の遅い基底細胞上皮癌は正常組織と癌組織が入り組んだ複雑な形状を呈する。この成長速度と形状の違いが注目され、数理科学的に解析されている。文献 1 では、癌細胞の栄養状態が良い場合に成長が速いという仮定のもとに、栄養の拡散場と癌細胞の密度の相互作用により、癌細胞コロニーの形状の説明を試みている。癌細胞と栄養との相互作用は癌細胞がその密度に比例して栄養を吸収する項を拡散方程式に導入している。このモデルでは栄養状態が良い場合にはコロニーは滑らかな外形を呈し、栄養不良になると入り組んだ構造になることを示すことに成功している。しかしながら、このモデルは細胞が成長するという過程を無視した巨視的な現象論的モデルである。また、2 次元系として取扱っている。そこで、本研究では、癌細胞が増殖する過程を微視的に考慮したモデルを提案し、3 次元の栄養拡散場中での細胞成長をシミュレーションする。

2. モデル

細胞の成長を格子気体模型を用いた結晶成長模型（文献 2）を用いてモデル化する。等方的に拡散する栄養をランダムウォークする格子気体で表す。結晶を癌細胞と見立て、表面の最隣接格子に格子気体が来ると癌細胞は栄養を得て成長するものとして、格子気体を確率的に結晶化（癌細胞化）させる。その逆過程は癌細胞が移動する過程として取り入れられる。栄養は遠方で一定の濃度で存在し、そこから内側に向かって拡散して栄養をもたらす。

この系は以下に説明する3つのパラメータで記述される。温度 T/J はその逆数が細胞間の引力を表し、コロニーの表面張力となる。大きいほど表面張力が小さくなるため、不規則な形になる。 μ_s/T は細胞が栄養と接したときに増殖する確率を制御するパラメータであり、大きいほど成長速度が大きくなる。 n_g は遠方での栄養の濃度である。シミュレーションにおいては空間を立方格子に離散化する。格子の対称性より、1/4の空間のみを考え、90°ずつ回転した周期境界条件を与える。

3. 結果

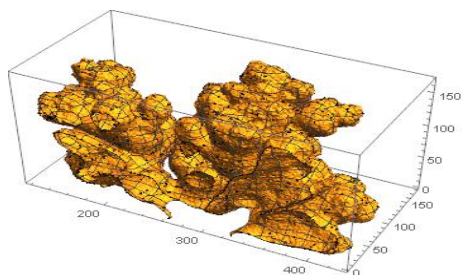


図1 コロニー形状スナップショット
 $T/J = 3.0, \mu_s/T = 1.3, n_g = 0.5$

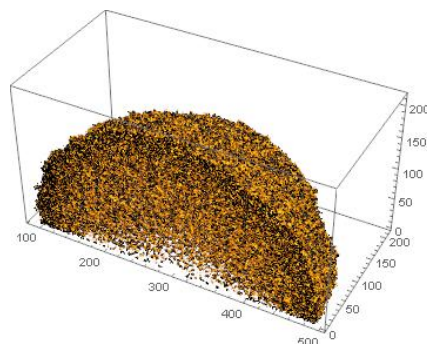


図2 コロニー形状スナップショット
 $T/J = 3.0, \mu_s/T = 1.5, n_g = 0.8$

図1に貧栄養状態で成長し難い（多くの栄養が必要な）場合、図2に富栄養状態で成長しやすい（少しの栄養で成長する）場合の癌細胞の形状のスナップショットの3次元図を示す。成長が遅い場合、癌細胞コロニーの表面が歪な形状になり、成長が速い場合にはコロニー内に癌細胞以外のものを包含するがコロニーの概形は滑らかな球状に成長することが分かる。

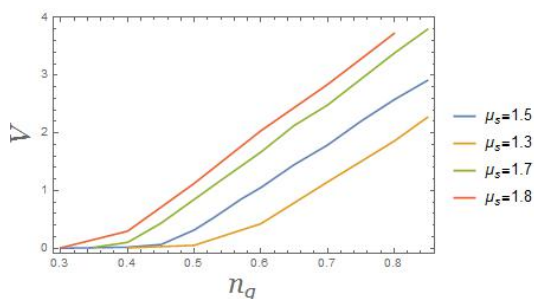


図3 成長速度の栄養濃度変化の μ_s/T に変化

図3にさまざまな μ_s/T について、成長速度の n_g 変化を示す。成長速度は n_g に比例し、その比例係数は μ_s/T に依らずほぼ一定であることが分かる。

4. 結論

本研究では癌細胞が成長する過程を微視的に考慮した成長モデルを提案し、実験的に得られた癌細胞群の構造と一致する結果を与えるパラメータ領域を見出した。また、そのモデルを用いて、栄養状態、成長のしやすさ、細胞の移動度を変化させることにより、実験では得られていない特性を得た。実際の癌細胞の成長では正常細胞の存在やそれに影響される栄養の分布、時間経過に伴い死ぬ癌細胞の存在も考えられるため、より現実的なモデルとするためにはこれらを取り入れ改良する必要がある。これらは今後の課題である。

参考文献

1. S. Tohya et. al.: "On Rugged Shape of Skin Tumor (Basal Cell Carcinoma)", J. Theor. Biol. 194 (1998) pp.65-78.
2. Y. Saito and T. Ueta : "Monte Carlo studies of equilibrium and growth shapes of a crystal", Phys. Rev. A, 40 (1989) pp.3408-3419.

テクスチャの陰影の方向と凹凸パタンの知覚の変化

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@seiryu-u.ac.jp

[‡]tbando@mail.doshisha.ac.jp

Changing Perceptions of Shaded Textures and Patterns of Asperity Shapes

Yasunari SASAKI[†], Toshihiro BANDO[‡]

[†]Kanazawa Seiryu University, 10-1 Ushi, Goshomachi, Kanazawa-shi, Ishikawa Prefecture

[‡]Doshisha University, 1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe-shi, Kyoto-fu

Abstract: We showed participants a shaded texture image which was randomly rotated by 15 degrees each time. Most participants' perception of the asperity pattern was changed according to the direction of shading formed by illumination. On the other hand, some participants did not perceive the changing of the pattern. In this report, we will discuss not only the patterns of shaded textures but also the differences in perception of the participants.

Keywords: tactile texture, shading direction, visual acuity, rotation of stimuli

1. はじめに

人が知覚する物体の表面の質感は、その凹凸のパターンと照明の方向との関係によって様々に変化する。物体の表面のざらつきや凹凸は、実際に触って感じるだけでなく、視覚的な刺激からも感じとることができる。これまで行ってきたテクスチャ画像の陰影パターンとその感性評価についての一連の研究の一部はすでに報告^[1]しているが、このとき大きな役割を果たすのが照明によって形作られる陰影のパターンである。対象物の陰影をもとに知覚するとき、照明の当たり方の違い、つまり陰影の方向によって、その対象物の凹凸パタンの知覚は変化する場合がある^[2]。そこで、陰影のあるテクスチャ画像を様々な角度で回転移動させて提示し、そのテクスチャから知覚される凹凸のパターンがどのように変化するかについて実験的に調べた。

2. 方法

2.1. 画像刺激

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。陰影テクスチャは、三次元コンピュータグラフィックスのPOV-Ray^[3]を用いたり、デジタルカメラで撮影

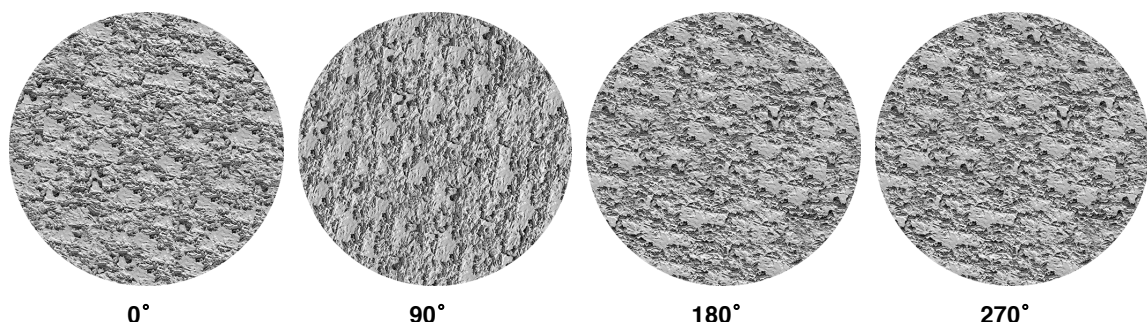


図1 陰影テクスチャの画像刺激の一例。実験では、0 - 345° の24枚の画像刺激を陰影テクスチャ毎に用意した。

した実際のテクスチャをグレースケールにしたりして作成した。表面の凹凸と上方約 45° からの照明によって形作られた陰影のあるテクスチャであり、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。これらの陰影テクスチャを 1024×1024 [pixel] で 7 種用意し、円形にトリミングした上で、各陰影テクスチャについて 0° から 15° ずつ 345° まで回転移動させた 24 枚の画像刺激を用いた。

2.2. 装置と手続き

実験参加者への刺激提示には、21.5 型カラー液晶モニタ EV2116W (EIZO 製) を装置として用いた。画面の大きさは 47.6×26.8 [cm]、画素数は 1920×1080 [pixel]、パネル解像度は 102 [ppi] であった。画像刺激は、実験参加者の前方約 60 cm の位置に装置を置いて、ピクセル等倍で提示した。提示には PsychoPy^[4] で開発した心理実験用システムを用いた。

実験参加者には、7 種の陰影テクスチャを 1 種ずつ評価してもらった。各テクスチャの評価を行う直前には、 0° (正立) と 180° (倒立) の画像を左右に並べて提示し、その知覚される質感や凹凸パタンの違いを意識化して口述させた。画像刺激は、1 枚を 1 試行として、 $0 - 345^\circ$ の 24 枚からなるブロック内で疑似ランダムで提示し、4 ブロック 96 試行を行った。1 試行は、画像刺激の提示とその評価に対するキー押し反応からなり、当該テクスチャの正立と倒立の知覚のされ方のどちらに見えるかを判断させ、キーボードの上下矢印キーへの反応数を記録した。試行間間隔は 0.5 s であった。

2.3. 参加者

19 - 20 歳の女子短期大学生の 12 名に実験に参加してもらい、口頭で実験への参加の同意を得た。

3. 結果と考察

本実験で用いた 7 種の陰影テクスチャの一つについて、参加者の知覚した凹凸パタンの質感の違いを図 2 に示した (ただし、正立と倒立の質感の違いを判断できなかった 3 名分は省いて分析した)。上方 (0°) と下方 (180°) それぞれの方向からの照明に対応した画像刺激を中心としたカテゴリカルな反応の分布が得られた。これは、陰影のパタンの知覚がいまいとなる 90° や 270° 周辺を堺にして、生態学的に妥当な上方からの照明方向を仮定しながら陰影を知覚して凹凸のパターンを認知するしくみを示唆するものである。しかしな

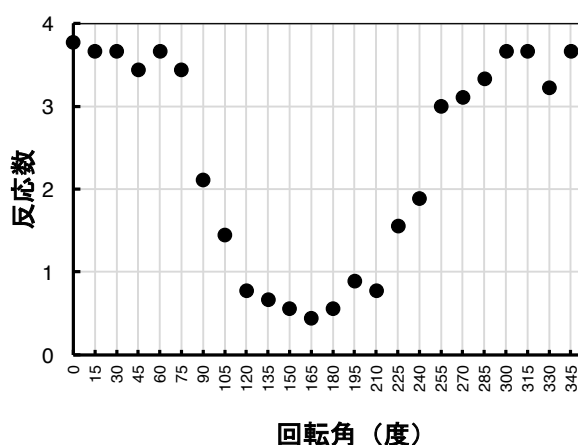


図 2 図 1 の陰影テクスチャに対する反応数の平均。

が、陰影テクスチャの正立と倒立画像から知覚される凹凸パタンの違いを判別できない参加者もいたことから、陰影テクスチャから知覚される陰影と凹凸のパターンや質感の違いは、必ずしも頑健であるとは限らないようである。また、そもそも陰影の生態学的に妥当な知覚が困難な陰影テクスチャもあり、さらに、参加者内においても、テクスチャによっては判断の難易度が一貫しないものもあったため、今後、画像刺激の特徴に関する分析を詳細に行っていく必要がある。

本研究の一部は、JSPS 科研費 25350032 の助成を受けた。

引用文献

- [1] 佐々木康成・坂東敏博 (2015). 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. 第 80 回形の科学会シンポジウム 形の科学会誌, **30**, 151-152.
- [2] Ramachandran, V. S. (1988). Perception of shape from shading. *Nature*, **331**, 163-166.
- [3] <http://www.povray.org/>
- [4] <http://www.psychopy.org/>

Paul Schatz 立体の折り紙モデル

—鏡像体の立体構造モデルを表現する科学折り紙—

石原 正三

埼玉県立大学 保健医療福祉学部、〒343-8540 埼玉県越谷市三野宮 820 番地
shozo@spu.ac.jp

An Origami-model of Paul Schatz solids, a three-dimensional structure model of enantiomers represented by Science Origami

Shozo Ishihara

School of Health and Social Services, Saitama Prefectural University,
820 Sannomiya, Koshigaya, Saitama 343-8540, Japan

Abstract: A new method for modelling of three-dimensional chiral structures of enantiomers, mirror images of each other, is introduced by exhibiting an Origami-model of Paul Schatz solids made of tetrahedral skeletons in asymmetric shape. While it is demonstrated how a tetrahedral skeleton in asymmetric shape can be constructed of six triangular units designed by making use of Science Origami, it is concluded that Science Origami gives an easy way of constructing three-dimensional chiral structure models.

Keywords: Paul Schatz solid, Science Origami, Chirality, Enantiomers, Origami-model

科学折り紙と Paul Schatz 立体

科学折り紙の手法とは、立体の重心と2つの頂点で作る3角形を基本構造（ユニットと呼ぶ）として、立体の稜線に対応するユニットを設計し、折り紙で作ったユニットを組み合わせて骨格構造（スケルトン）として立体を表現する手法である。このようにして制作した立体構造モデルを折り紙モデルと呼んでいる[1]。

図1に示す非対称な四面体 OABC（図2に展開図を示す）とその鏡像のペア（この2つの四面体のペアを鏡像体と呼ぶ）が3組、合計6個の非対称な四面体を作るリング状の立体を Paul Schatz 立体[2]と呼ぶ。稜 OA で鏡像体を接続し、さらに、鏡像体のペア同士を稜 BC で接続して、最後に、6個の四面体の端と端の稜を接続し、Paul Schatz 立体のリングが出来上がる（図3参照）。

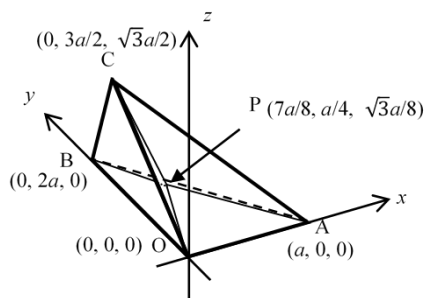


図1 Paul Schatz 立体を構成する非対称な四面体のスケルトン

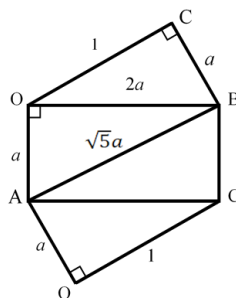


図2 非対称な四面体の展開図

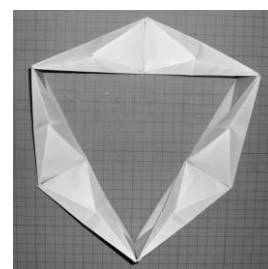


図3 Paul Schatz 立体の折り紙モデル

非対称な四面体のスケルトンの設計

図1の非対称な四面体のスケルトンは、6本の稜線を持ち、図4(a)-(f)に示す6つの三角形のユニットで構成される。(a)と(f)、(b)と(c)が等しいことから、ユニットの制作に必要な折り紙の大きさは、図5(a)-(d)に示す4種類となる。

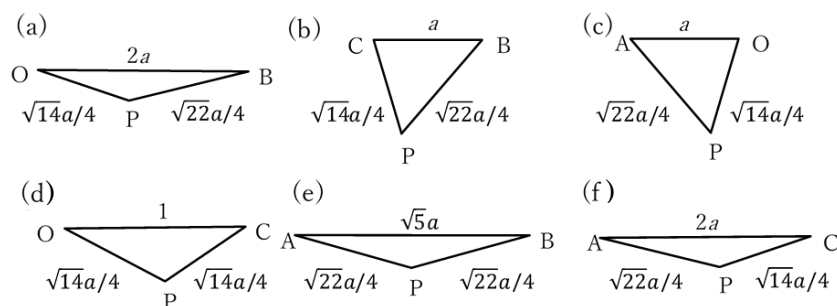


図4 非対称な四面体を構成する三角形のユニット

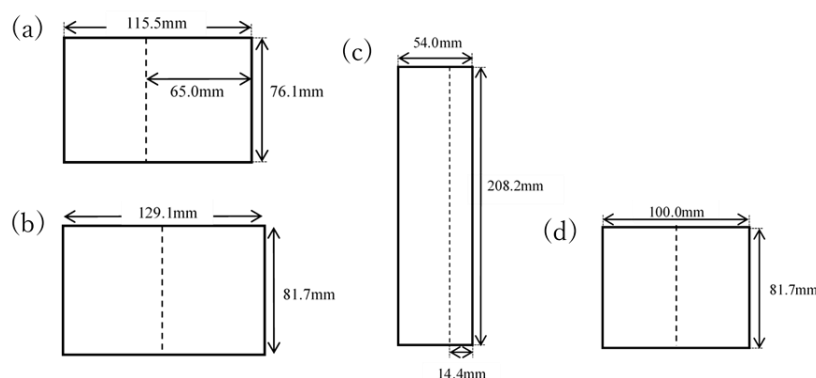


図5 非対称な四面体のスケルトンを制作するのに必要な4種類の折り紙

鏡像体の折り紙モデルの制作方法

科学折り紙で用いるユニット折り紙は、図6に示すように、鏡像と重ならないキラルな形状をしていることから、図5に示す4種類の折り紙を用いて一つの非対称な立体が制作されたとすれば、同じ大きさの折り紙を使い、キラルなユニットの左右性（キラリティ）を入れ替えれば、自動的に鏡像体を得られることが分かる。

以上より、科学折り紙は鏡像体のモデルに適した手法であることが結論される。



図6 鏡像体の折り紙モデルを制作するためのキラルなユニット折り紙

参考文献

- [1] ISHIHARA, S., “Science Origami, The Origami-model composed of Polyhedral Skeletons”, The Journal of the International Society for the Interdisciplinary Study of Symmetry (ISIS- Symmetry), 2010/1-4, 100-103.
- [2] 「形の科学百科事典 新装版」, 形の科学会編集、朝倉書店（2013）564－565.

Call for Papers

学会機関誌への投稿論文募集

この度は、形の科学シンポジウムにご参加いただきまして、ありがとうございました。

形の科学会の機関誌として、英文誌【FORMA】と和文誌【形の科学会誌】がございます。
<http://katachi-jp.com/gakkaishi>

奮ってご投稿ください。

英文誌【FORMA】

会員・非会員を問わず、投稿できます。

論文のカテゴリーは、(1) Original paper, (2) Review, (3) Letter, (4) Forum です。

投稿規定の詳細は、下記サイトの“Call for Papers to FORMA”をご覧ください。

<http://www.scipress.org/journals/forma/>

和文誌【形の科学会誌】

会員・非会員を問わず、投稿できます。

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ます。

投稿規定の詳細は、下記サイトをご覧ください。

<http://katachi-jp.com/paperkitei>

形の科学シンポジウムを開催しませんか？ シンポ代表世話人を募集します

近年、形の科学シンポジウムは、年に2回、開催されています（2000年度までは、3回ずつ開催されていました）。過去のシンポジウムの開催履歴は、以下のサイトでご覧いただけます。 <http://katachi-jp.com/symposium>

シンポジウムの代表世話人は、形の科学会会員の中から選ばれます。

代表世話人は、シンポジウムの メインテーマの設定 や 招待講演者の人選 をほぼ自由におこなうことが出来ます。その他、そのシンポジウムならではの企画 を立てていただくことも可能です（過去には、遠足や見学を含んだシンポジウムもありました）。

形の科学会は、会員数としては小規模な学会ですが、会員の皆様のご専門分野は非常に広い分野に広がっております。このような多様な会員を有する学会は他にはあまり無く、本学会の長所であると考えております。

シンポジウム開催の観点から言えば、代表世話人を適切に選ぶことにより、多様なシンポジウムを開催することが可能となります。過去のシンポジウムの代表世話人は、事務局からの依頼で決まることが多かったのですが、立候補も歓迎します。我こそはと思う方は、下記までご連絡ください。（諸事情により、立候補して頂いてもご希望に沿えない場合もございますので、予めご了承ください。）

【お問い合わせ先】

形の科学会事務局・シンポジウム開催支援担当

石原正三（埼玉県立大学）

shozo@spu.ac.jp

手嶋吉法（千葉工業大学）

yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

形の科学会 入会案内

入会資格は、形の科学的研究に興味を持っていることです。

入会案内の詳細は、右記サイトにあります。 <http://katachi-jp.com/nyukaiannai>

《インターネットによる入会手続き》

右記サイトにて必要事項をご入力ください。 <http://katachi-jp.com/nyukaimoushikomi>

《E-mail による入会手続き》

必要事項（切り取り線で挟んだ部分）を記入し、形の科学会事務局宛にお送り下さい。

《郵送による入会手続き》

必要事項（切り取り線で挟んだ部分）を紙に記入し、形の科学会事務局宛にお送り下さい。

————— 切り取り線 —————

会員登録カード (記入日： 年 月 日)

氏名： 氏名フリガナ：

生年月日： 年 月 日

連絡先選択：勤務先・自宅・出張先（一つだけ残す）

勤務先名称：

勤務先郵便番号：〒

勤務先住所：

勤務先電話： 勤務先 FAX：

勤務先 Email：

自宅郵便番号：〒

自宅住所：

自宅電話： 自宅 FAX：

自宅 Email：

主要活動分野（20 字以内）：

形関連の興味（箇条書きで各 20 字以内）：

備考（出張宛先, etc.）：

————— 切り取り線 —————

【形の科学会事務局】

〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

東京学芸大学 自然科学系基礎自然科学講座理科教育分野

松浦 執 宛

E-mail：shum00@u-gakugei.ac.jp （00 は数字のゼロゼロ）