

目 次

【講座】

医用画像処理の発展史 その3

ーコンピュータグラフィックス (CG) とヴァーチャルリアリティ (VR) の時代へ
鳥脇純一郎 1

【シンポジウム予稿】

第79回形の科学シンポジウム

「生物に見られるねじれ構造」 12

【会告】

会告 97

形の科学会誌の原稿募集 99

『形の科学会誌』論文投稿の案内 100

形の科学会入会案内 102

講座 医用画像処理の発展史
その3—コンピュータグラフィックス (CG) と
ヴァーチャルリアリティ (VR) の時代へ

鳥脇純一郎
名古屋大学名誉教授

1 まえがき

前稿までで CT の出現に至った。ここに至って医用画像診断は全く新しい時代に入ったと言ってよい。CT の意義については前論文 (その (2)) で詳しく述べておいた。言うまでもなく筆者らの研究テーマも全面的に再検討する必要に迫られた。理屈の上からは今までの従来方式の X 線像を対象とした CAD の研究を CT 像を対象とした CAD の研究に置き換えればいいのであるが、それは不可能であった。というのは出たばかりの CT に関しては従来型 X 線像のように存分に検討され尽くした診断学ができていなかったからである。確かに[鳥脇 95]にも書いたように CT 登場からおおよそ 25 年、コンピュータの登場から約 50 年、X 線発見から 100 年が経過して関連技術の発展が一斉に一種の節目を迎えていた時期に当たっていたと言えよう。本論文のタイトルの 2 分野の間では CG 技術が VR の実現のベースにあり、それらに共通する技術としてコンピュータ技術が存在した。この結果として画像処理の分野に生じた変化を一口に言えば[鳥脇 93] に当時書いたようにそれまでのディスプレイの画面や印刷された“絵を見る“ことから画面に現れた“もの”を画面を介して触れる (あるいは世界を体験できる) ”ものになったということである。

さて、本論文は既に発表した[鳥脇 11,12a,12b,13]のかたちの科学会誌向け改訂版の第 3 作である。時代区分で言えばその 3 [鳥脇 12b]に対応する。当時は筆者の研究室でもようやく実際の CT 像にふれられるようになり、少しずつ実験を始めていた。その辺りの状況は前論文その 2 [鳥脇 12b] で少しずつ書いた通りである。

筆者の研究室で CG の研究を始めたのは 1965 年頃と思われる。当時筆者自身は豊橋技術科学大学に勤務していたが、名古屋大学大型計算機センターも兼務しており、大量の数値計算結果を分かり易く表示する方法の工夫に努力していた。確かに CG の端緒の一つは製図にあり、今ひとつはブラウン管型ディスプレイによるヒューマン・マシン・インターフェイスの実現であった[グラフィックス 04]。

当時の状況はむしろ幸いしたとみられる面もある。と言うのは当時の既存の医用画像処理の方法にとらわれることなく新しい方法に挑戦することができたからである。具体的に言えば 1995 年頃のことである。

2 コンピュータグラフィックス (以下 CG) について

CG については本学会会員によって優れたハンドブックが編纂されている[高木 11, 岩田 12]。多くの会員が既に知識を持っていると思われるので詳細は省略する、また[鳥脇 12]にも簡単に説明した。

筆者の研究室でCGの研究を始めたのは1965年頃と思われるが、初期の頃の（画像印刷）の工夫の結果については過去の筆者の著述のいくつかで示した[鳥脇 08]。CGの分野の最初の大きな転機はWhittedらによる光線追跡法の開発(1982)ではないかと筆者は考えている[安田 84]。それはCGにおける（レイ ray）の考え方を明確にし、モデリングと並ぶレンダリングの役割を確立した[鳥脇]。

ここから実物と見間違えるほどの見事な絵をつくるホトリアリスティックレンダリング（photorealistic rendering）が知られるところとなった。他方今では様々のグラフを手早く描くことはプレゼンテーションの基本ツールとして営業分野などでプレゼンテーションの必須の技法となりつつある。CGではビジネスグラフィックスとも言われる。[エピソード3]

CGは今や映画制作における不可欠のツールでもある。例えば以下は筆者の記憶にある話題作である。トロン、ターミネーター、ジュラシックパーク、アバター、タイタニック、もののけ姫、アイスエイジ、不思議の国のアリス、等々。・・・いずれもCGが重要な役割を果たした。いくつかは今でもDVDで見られるかも知れない。これらの一部は3D（スリーディー）を冠せられてそれ故に一層話題になった。ただしこの3Dは必ずしもCGではないが、3Dを感じさせる効果をつくりやすくする面がCG技術にはある。実際映画アバターの画像の3D効果は秀逸であったが、それはCGを存分に駆使したものであることは十分想像できたものである[エピソード4]。

3 バーチャル・リアリティ（以下VR）について

以下VRのあらましを[鳥脇 02]に従って簡単に説明する。VRが登場したのは1995年頃だった。当時でも明確な定義があったわけでは無く、大方の理解は以下のようなものであったろう。

VR＝（仮想的環境）（＝（仮想的世界））の現実感覚に基づく体験

これだけでは意味がよく分からないかも知れない。まずVRは人工的につくられた世界である。それを実際に我々の五感を通して体験する。従ってVRを実現するためにはまず仮想環境を体験できる形に実現しなくてはならない。ここにはCGが大きな役割を果たす。次にこれを体験できる手段が必要である。ここでもCGが重要な役割を果たす。

当時（1995年頃）はVRは一つの流行語のようになっており、様々のVRが発表されていた。その一部については[鳥脇 02] 参照，[エピソード2]

VRの例は今では至る所に見られる。例えば3D映画、ゲーム（よく知られているように、ゴルフや卓球などは専用の装置の前でプレーするとスクリーンを介してコンピュータが相手をしてくれる）など。VRは今ではテレビの映像に数多く現れている。我々は当然の映像としてそれらを見ている。例えば最近話題となっている4D映画と称するものがあるようである。それを見ると画面のストーリーに合わせて観客席の椅子を前後にゆらせたり、客の顔に風を吹き付けたり、思いがけない方向から音を聞かせたり、色々の刺激を感じさせているようである。観客はこれらによって現実とは異質の環境を実感する。因みに4Dは通常の3次元世界（three-dimensional 3D）とは違う刺激を意味するらしい。

5 3次元デジタル幾何学

デジタル図形の幾何学的性質については、通常の連続空間の図形の性質とは異なる独自の

ものがある。これをデジタル幾何学（digital geometry）と呼ぶ。デジタル画像処理はデジタル図形を扱う処理であるから このデジタル幾何学を確立しておく必要がある。その一部は[鳥脇 12,13]でもふれた。3D デジタル幾何学はそれ以外のデジタル画像処理の研究の基礎としても必須の要請であったことから、2001 年頃から精力的に取り組んだ。これは研究室には一種のロードマップができていたからやりやすかったこともあって懸案の解決は2年ほどでできた[鳥脇 09,12]。参考までに図1は3次元デジタル幾何学の基本であり、3次元デジタル図形の理論モデルである。図形はこのように小さい立方体からなると考える。これを画素（ボクセル voxel）と呼ぶ、図形上のボクセルは値1をもち、その他は値0を持つ。1の画素を0に変えることを1画素の消去（delete）という。ある値1の画素Pを消去しても図形のトポロジーが変わらない（図形がきれたり、穴が開いたりしない）とき、画素Pは消去可能（deletable）と言う。Pが deletable かどうかの判定法を消去可能判定といい、デジタル幾何の最も重要な問題である。

図形を縁から順に消去していく処理を図形の反復的細線化（iterative thinning）と呼ぶ。最終的には図形中心線（芯線）が残る。図3はその一例を示す。これを3次元デジタル図形に適用した結果の模式図を図4に示す。ここで重要なことは“細線化”の意味であり、同図上の段に示したように図形の中心面が出たところで手順を終えるか、同図下段に示したようにこの中心面をさらに中心線まで細めるか、は個々の結果の用途に依存し、予め決められない事である。前者を薄面化（surface thinning），後者を細線化（thinning）と呼んでいる。云うまでもなくこの時削除するのは削除可能画素である。この3次元の削除可能条件はこの分野の最大の懸案であったが複雑であるため詳細は専門の書に譲る[鳥脇 02, 03]。

デジタル幾何学はやや理論に偏った話題であり、専門外の人には余り面白くない。ただ、研究テーマとしてはなかなかやりがいがあり、面白いテーマであったと思う。結果的には1980年代以後は（とりわけ3次元デジタル幾何は）研究室の看板テーマの一つとなった。それらの主な成果は[鳥脇 02,Toriwaki09]に纏めることができた。

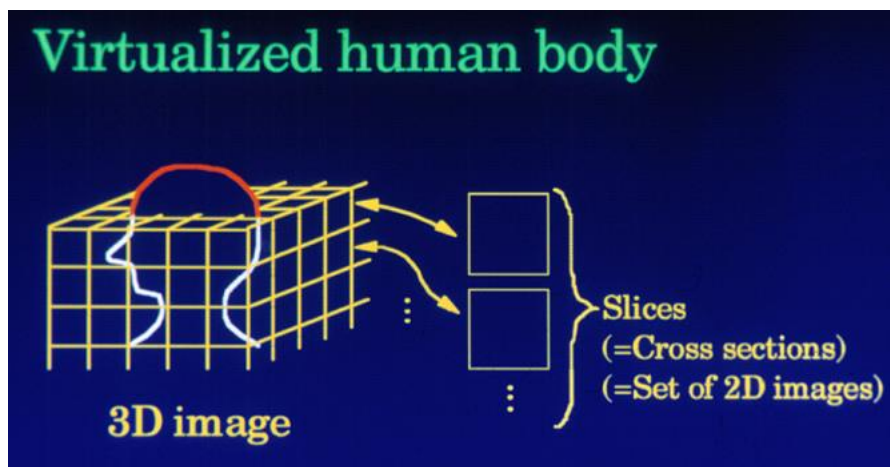


図1 3次元デジタル図形の理論モデル 図形は小さい立方体（ボクセル（voxel）と呼ぶ）の集まりでできていると考える。

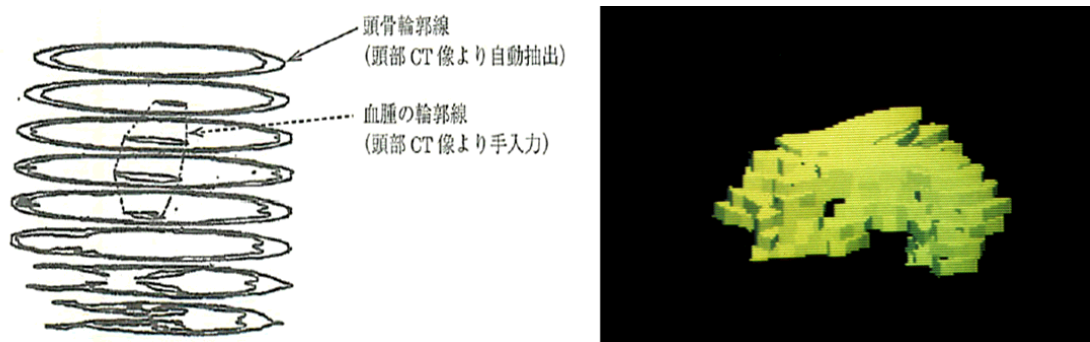


図 2 3次元構造の可視化の初期の例 左は輪郭線を相対的に位置を合わせて書いただけ、右は同じ図を各面を一定の厚さの板として書いたもの。内部は隠されて見えなくなる。



図3 2次元デジタル図形の反復的細線化の例。

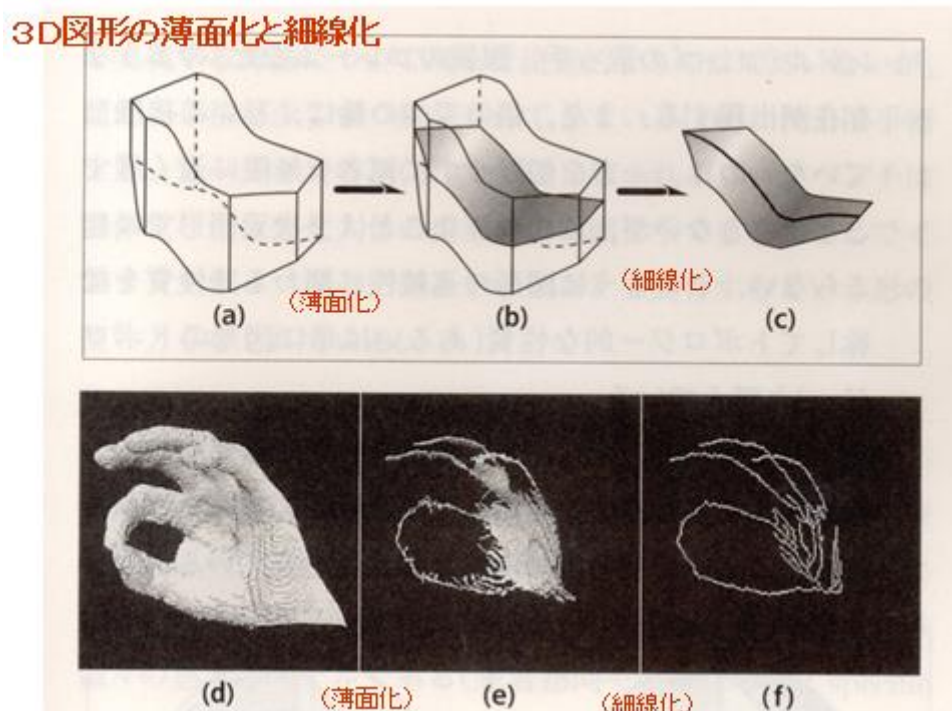


図4 3次元デジタル画像の薄面化と細線化の説明図 下段は実際のCT画像に適用

さて可視化に戻ると、図2のような素朴な図でも脳内の異常部位が相対的にどの位置に有り、どの程度の大きさを占めるかに関しておよその感じが分かるということで脳外科などの臨床家からは意外に好評であった。しかし緊急の場合には寸秒を争う実際の臨床の世界ではこの方法は余りにも遅すぎた。それに大きなプロッターを臨床医の机上におくわけにもいかない。そこにCGが登場したから早速試してみた例が図5である。これは各断面を一定の厚みを持つ板と見て位置を合わせてそのまま積み重ねただけであるが、少なくとも3次元構造は分かりやすい。それに着色などの細工がしやすい。速度はそれほど速くはなかったがこれは当時のディスプレイ技術が未熟なせいであることくらいは想像できた。それよりもソフトウェアの工夫で様々の表示法が簡単に試せる。このことは研究している当人にとっては意外に面白かった。なんといっても従来の考え方に捕らわれがちな臨床家たちに思いもかけない可能性を提示できたから。こうしていつの間にかCGの分野に深入りしていた。その頃の表示の一例を図5に示す[エピソード5, 6]。一方では新興のCGは我々の知らないところで急速に進んでいた。前記のレイトレーシングの発表である。これによってホトリアリスティックレンダリングは(当時は質感表現と言っていた)、すなわち実物そっくりに見える絵をつくる技術は大幅に進展する。研究室でもこの関連のテーマをやっていた者はみな夢中になっていた。この時代の作品のいくつかを[岩田 02]に入れた。その一例を図6に示す。これは既に筆者の他の原稿にも何回か紹介したことがある。今見てもなかなか傑作だと思う。

可視化の進化のいくつかの例を図3から6に示す。頭蓋骨との併置は全体の感じを掴むのに役だった。頭骨表面の凹凸はたまたまCT像から出した輪郭のそのままを出したに過ぎない。特に重要な意味は持たなかったが、ある程度現実感を与えるのには役だったと思う。ただこの段階で

は色とか陰影は大きな意味は無かったし、使ったCG技法も特には目立ったものはない。

次の図6は頭骨を半透明にして向こう側が見えるようにしたものである。向こう側も見えた方がよいという臨床からの要望に応じたものである。ここまで来るとCGの応用らしくなってくる。図8は図上の頭骨に穴を空けてそこから内部が見えるようにしたものである。さらに図9は指定の部分を切り取って切り取った骨片を所定の位置に移動することを試みたところである。ここまで来ると外科手術のシミュレーションが視野に入ってくる。ここまで来た所で一気にかなり本格的な手術のシミュレーションに挑戦した。これについては[Yasuda 90]参照。[鳥脇 12a]にも詳しく述べた。

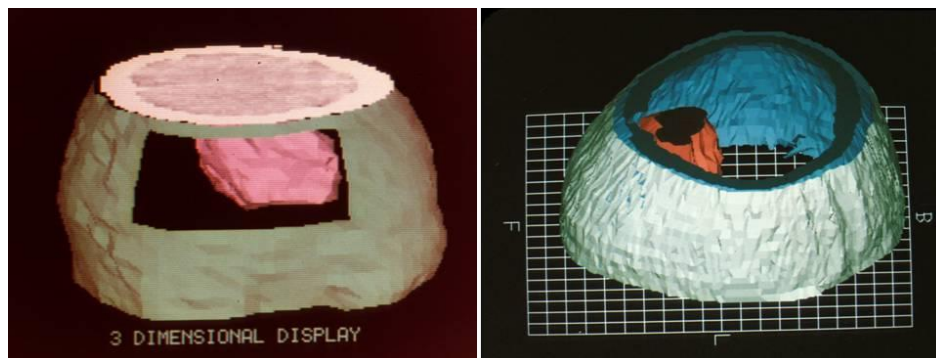


図5 頭骨の同時表示 反対側が見えるように頭骨の一部を切り取ってそこから血腫の一部が見えるように描いた。

6 むすび

本論文は[鳥脇 13a,b]に続く第3報である。[鳥脇 12a]の会誌向け改訂版である。時代的には1980年代初頭頃に対応する。CT登場直後で医用画像においては大変革の時代である。それだけではなくて画像処理においてもCG、VRが出現し、社会的にはカラーテレビジョン放送が始まり、ゲーム機とゲームセンター（“ゲーセン”）が社会現象となった。工学的にはどう位置づけられていたか明らかではないが、画面の画像を見る限りゲーム機のCG、VR技術は相当高度なものであったと思う。こういう中で我々の研究テーマも自然に大きく変わり、医用画像処理へのVR応用、CG応用（後の手術シミュレーション）、CGにおける質感表現、3次元デジタル幾何学という3方向が確立してゆく。なお、ゲームに関しては大半が企業秘密の範囲にあり、学術誌には詳細は発表されていないため、筆者はその詳細は知らない。次は図5から連想されるように、いよいよ仮想化内視鏡の時代である。

エピソード集録

【エピソード1】 当時の名古屋大学では若手諸君がCGを勝手に始めていたように記憶する。そのきっかけが論文[安田]である。

【エピソード2】 幸い、実際には丁度この頃画像処理の応用領域が急速に伸び始め、それらに対応する事を考えている中で自然に新しい方向にすすむことになった。それらは今で言えばヴァー

チャルリアリティ (仮想現実 Virtual reality 本論文では VR と略記)、コンピュータグラフィックス (computer graphics 本論文では CG と略記) とよばれる。以下 本論文では筆者の以前の原稿[鳥脇 04b]に基づきながらこれらを簡単に説明する。

[エピソード3] 実際このホリアスリスティックレンダリングの美しさは生成した本人がしばしば惚れ込むようなものであった。その一例を図5に示した。これも既発表の文で何回か紹介した。この美しい画像の生成に目を奪われたか当時の大学院生がみんなCGをやりたいがるのに閉口した。筆者はなるべく広い範囲の研究テーマに取り組んでおきたかったからである。なお、この画像のカラー版は[岩田 13]にあげてある。これに限らず同じ書物のCG 宝石の項を参照されたい。

[エピソード4] この頃の成果を宝石学会誌に投稿した。後にも先にもこれ一編だけである。実は、ははずかしながらこう言う学会があることはその時まで全く知らなかった。宝石といっても私の研究は宝石そのものでも物性でもなく、宝石の画像をCGでつくると言うものだったからそもそも受け付けて貰えるかどうかおぼつかなかった。それでも掲載されるや直ぐに人工宝石のあるメーカーのエンジニアからある成分を変えたときの変化によく似ているとお手紙を頂いて嬉しかった。たまたま本会誌にこの学会の創設者砂川先生の回顧記事が載ったのを拝見し、当時を懐かしく思い出した。

[エピソード5] 第一回の東京オリンピックが1964年、カラーテレビ放送が1960年に始まる。これらを機にカラーテレビが一気に一般家庭に広がる。世はカラー映像の時代に入る。

[エピソード6] これらの宝石のCGの絵のできばえを実物と比べて見る事は簡単ではない。何しろ実物は大変に高価である。だからといって実物と比べて見せなければアルゴリズムの正当性は分かって貰えない。考えあぐねていたならアメリカで学会発表があったときにたまたま立ち寄ったワシントンのスミソニアン博物館で宝石展をやっていた。早速展示物の写真を撮りまくってきた。当時のアメリカは極めておおらかで展示物の写真をいくらでも撮らせてくれた。キャッツアイやスターサファイアなど我々のCG画像は実物と比べても素晴らしいできばえであった(自画自賛お許し下さい)。あとで英文の論文に纏めることができた[Yokoi 86]。写真撮影と言えば当時のルーブル美術館でオルセー美術館でも展示物の写真は自由に撮らせて貰えた。ミロのビーナスやゴッホの絵などを存分に撮影してきた記憶がある。いまでは普通は撮影禁止らしい。当事者にはそれなりの理由があろうが筆者はこの時代のおおらかな雰囲気が懐かしい。

[エピソード7] ここで撮影装置についてもふれておきたいことが一つある。論文その1に装置の概略を述べた。通常、CTはセンサー対を一回転する間は被験者の人体は一旦止めて1断面を記録する。これを人体を連続して動かしながらセンサー対も連続して回転するようにする。結果的にセンサー対は人体の上を螺旋を描いて移動することになる。この方式をヘリカルスキャン(helical scan)CTと呼ぶ。1986年頃実用化されたこの方式は画像取得時間が短縮できた

ため、その後CTはほとんどこの方式になった。このお陰で本文図1の理論モデルに近い画像が得られやすくなり、我々の研究も画期的に進む。実際これはCT装置の大きな進歩であった。これに関しては当時我々が指導頂いていた片田和宏先生（名古屋保健衛生大学教授）の功績に依ることをふれておかななくてはならない。

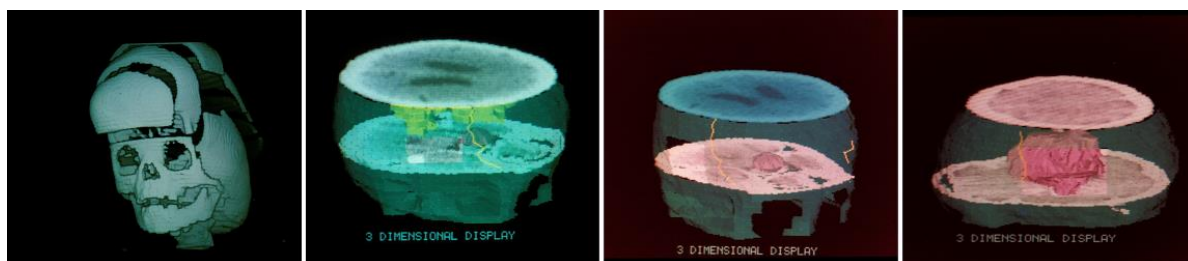


図6 頭骨の一部を半透明にしてやはり反対側がみえるようにした。左端は頭骨の一部を切り取って移動してみたもの。手術の過程を表示してみた。半透明表示は前後の部分の構想がある程度単純でないと効果が薄い。

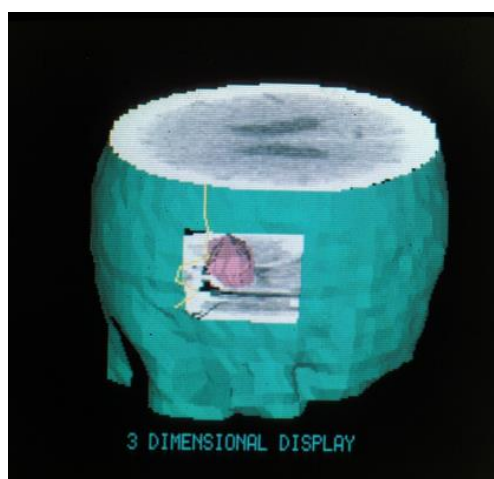


図7 頭骨との組み合わせ表示。図6よりCG利用技術は大分進んだ。

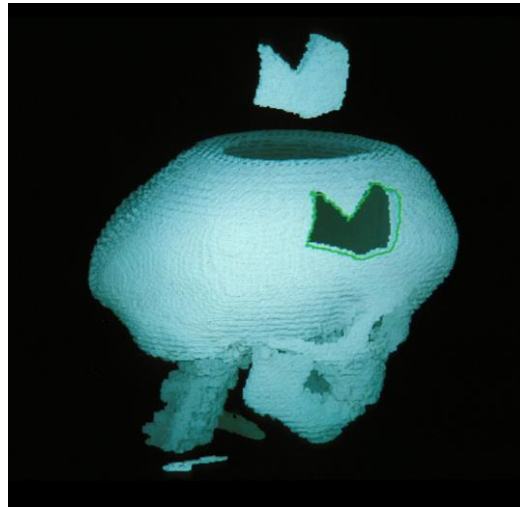


図8 頭骨の切り抜き実験。この頃になると明らかに手術シミュレーションが視野に入っている。ただ骨片一個の切り出しと移動に10分以上を要したのでは実用には遠かった。

謝辞 本稿作成に多大の便宜を図って頂いた名古屋大学大学院情報科学研究科・村瀬洋教授、森健策教授に深謝する。

文献

- [舘野 01]舘野之男：原典で読む画像診断史、(株)エムイー振興協会、2001
- [鳥脇 02]鳥脇純一郎：3次元デジタル画像処理、昭晃堂、2002.7
- [鳥脇 88]画像理解のためのデジタル画像処理〔1〕〔2〕、昭晃堂、1988
- [岩田 12]岩田修一監修：かたちの創造事典、丸善、2012
- [朝日 12]“米コダック経営破綻”、朝日新聞 2012 年 1 月 20 日朝刊 (2012.1.20)
- [CT 装置 02] <http://www.weblio.jp/content/コンピュータ>
- [鳥脇 98]鳥脇純一郎；パターン情報処理の基礎、朝倉書店、1998
- [ベイカー12]スティーヴン・ベイカー（著）、金山博、武田浩一、土屋政雄（翻訳）：IBM 奇跡の“ワトソン”プロジェクト：人工知能はクイズ王の夢をみる、早川書房、2012
- [金 88]金秀一、安田孝美、横井茂樹、鳥脇純一郎、片田和廣：CT 三次元画像を用いた脳外科手術における皮膚切開シミュレーション、医用電子と生体工学、26、6、pp.231-234 (1988.12)
- [安田 84]安田孝美、横井茂樹、鳥脇純一郎、鶴岡信義、三宅康二：透明物体表示のための改良光線追跡法、情報処理学会論文誌、25、10、pp.953-959 (1984.11)
- [Hoehne95]K.H. Hoehne, B.P. Flessner, A. Pommert, M. Riemer, Th. Schiemann, R. Schubert, and U. Tiede: A new representation of knowledge concerning human anatomy and function, Nature Medicine, 1, 6, pp.506-511, 1995
- [Toriwaki09]J. Toriwaki and H. Yoshida: Fundamentals of Three-dimensional Image Processing, Springer-Verlag, 2009.5

- [Yasuda09] T. Yasuda, Y. Hashimoto, S. Yokoi, and J. Toriwaki: Computer system for craniofacial surgical planning based on CT images, IEEE Trans. on Medical Imaging, 9, 3, pp.270-280 (1990.9)
- [鳥脇 04a] 鳥脇純一郎: コンピュータグラフィックス研究の草創期の記録、中京大学テクニカルレポート (SCCS Technical Report) No.2004-2-01. (2004.7.)
- [鳥脇 02] 鳥脇純一郎: 仮想化内視鏡システムの発想と実現、CADM News Letter, No.34, pp.4-12、コンピュータ支援画像診断学会 (2002.1)
- [鳥脇 04b] 鳥脇純一郎: CG 草創期の思い出、ディーバ、 pp.51-53、(2004, 6)
- [鳥脇 95] 医学におけるバーチャルリアリティの可能性、X 線 100 年、コンピュータ 50 年、CT 25 年を考える、新医療 95 年 10 月号、pp.26-30 (1995.10)
- [鳥脇 93] 鳥脇純一郎: 巻頭言 “『見る』画像から『さわる』画像へ”、画像電子学会誌、Vol. 22, No. 1 pp. 1-2 (1993. 1)
- [鳥脇 11] 鳥脇純一郎、長谷川純一: 医用画像処理 50 年の一印象記、その 1 - コンピュータ支援診断の研究はいつから始まったか。中京大学情報理工学部テクニカルレポート、No.2011-1-01(2011 年 8 月 9 日)
- [鳥脇 12a] 鳥脇純一郎、長谷川純、林雄一郎: 医用画像処理 50 年の一印象記、その 3 - CAD と CAS の新しい段階への発展、中京大学情報理工学部テクニカルレポート、No. 2012-1-02 (2012 年 11 月 22 日)
- [鳥脇 12b] 鳥脇純一郎、長谷川純、林雄一郎: 医用画像処理 50 年の一印象記、その 2 - CT の登場と 3 次元デジタル画像への挑戦の始まり、中京大学情報理工学部テクニカルレポート、No.2012-1-01(2012 年 6 月 6 日)
- [鳥脇 09] 鳥脇純一郎: 私の研究遍歴、その 1、信号処理、13, 5, pp. 389-401 (2009. 9)
- [鳥脇 10a] 鳥脇純一郎: 私の研究遍歴、その 2、信号処理、14, 1, pp. 23-38 (2010. 1)
- [鳥脇 10b] 鳥脇純一郎: 私の研究遍歴、その 3、信号処理、14, 2, pp. 97-106 (2010. 3)
- [鳥脇 10c] 鳥脇純一郎: 私の研究遍歴、その 4、信号処理、14, 3, pp. 189-200 (2010. 5)
- [高木 11] かたち・機能のデザイン事典、編集委員長 高木隆司、編集委員: 向井周太郎、石垣健、氏家良樹、小林昭世、杉本剛、鳥脇純一郎、松岡由幸、宮崎興二、村田智、丸善、2011.1
- [岩田 12] 岩田修一総監修、河口洋一郎図案監修、かたち創造の百科事典編集委員会編集 (編集委員 宮崎興二、川口健一、高木隆司、鳥脇純一郎、日置尋一、古谷寛、本多久夫、三谷純、三田村峻右、横山弥生): かたち創造の百科事典、丸善出版、2012.10
- [グラフィックス 04] コンピュータグラフィックス編集委員会監修: コンピュータグラフィックス、CARTS 協会、2004
- [鳥脇 08] 鳥脇純一郎編著、森健策、平野靖共著: 画像情報処理 (II) グラフィクス、表示編、コロナ社、2008.11.10
- [鳥脇 09] 鳥脇純一郎: 講義『仮想化人体論』 その発想と展開、IASAI News(中京大学人工知能高等研究所 ニュース No.25), pp.26-36 (2009.12)
- [鳥脇 12] 鳥脇純一郎 講座 仮想化人体論 1 形の科学会誌 27 巻。3 号、 pp.195-199 (2012)
- [鳥脇 13] 鳥脇純一郎 講座 仮想化人体論 2 形の科学会誌 28 巻。1 号、 pp.1-10 (2013)
- [Whitted80] T. Whitted: An improved illuminati model for shaded display,

Communications of the ACM 23,6, pp.343-349 (1980)

[鳥脇 80]鳥脇純一郎、横井茂樹：画像処理アルゴリズム、情報処理、21、6、pp.613-619 (1980)

[鳥脇 75]J. Toriwaki : On the software system SLIP for image processing, U.S.A.-Japan Seminar on Digital Processing of Medical Images, Oct.27-31, 1975, at Jet Propulsion Laboratory, U.S.A

[鳥脇 87]鳥脇純一郎、横井茂樹：“コンピュータグラフィックスによる宝石の表示”、日本宝石学会誌、12、1-4、pp.3-11 (1987)

[Yokoi 86]S.Yokoi , K. Kurashige and J.Toriwaki : " Rendering gems with asterism and chatoyancy ", Visual Computer , 2, 5, pp.307-312 (1986-5)

[渡辺 12]渡辺泰成:追悼砂川一郎先生 結晶成長の世界的先駆者、形の科学誌、27,3、27, 3,pp191-192 (2012)

[Toriwaki09]Junichito Toriwaki and Hiroyuki Yoshida: Fundamentals of Three-dimensional Image Processing, Springer-Verlag, 2009.5

[Yokoi90]S.Yokoi, T.Yasuda, and J.Toriwaki : "A simulation system for craniofacial surgeries based on 3-D image processing " , IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 9,4,pp.29-32 (1990.12)

[Yasuda90] T.Yasuda, Y.Hashimoto, S.Yokoi, and J-I.Toriwaki : “Computer system for craniofacial surgical planning based on CT images” , IEEE Trans. on Medical Imaging, 9, 3, pp.270-280 (1990-9)

第 79 回 形の科学シンポジウム 「生物に見られるねじれ構造」

【主催】形の科学会

【共催】千葉工業大学

【会期】2015 年 6 月 12 日(金), 13 日(土), 14 日(日)

【会場】千葉工業大学津田沼キャンパス

【代表世話人】本多久夫 〒650-0017 神戸市中央区楠町 7-5-2 神戸大学大学院医学研究科

TEL: 078-382-5561 内線 5566 E-mail: hihonda@hyogo-dai.ac.jp

【世話人】手嶋吉法 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学機械サイエンス学科

TEL: 047-478-0645 FAX: 047-478-0575 E-mail: yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

【参加費】会員・非会員ともに一般 5000 円、学生 1000 円

【懇親会】2015 年 6 月 13 日(土) 17:45 より 2 号館 20 階ラウンジ

【懇親会費】一般 4000 円、学生 2000 円

プログラム

(バンダイナムコスタジオ)、秋山仁(東京理科大学)、一松信(京都大学名誉教授)

6 月 12 日(金)

9:40-9:45 開会の辞

11:40-12:05 アキラルなユニットで作るプラトン立体の折り紙モデル

石原正三(埼玉県立大学)

形の科学一般

9:45-10:10 Boerdijk-Coxeter helix の投影図は如何に円に漸近するか

伊藤圭汰(千葉工業大学)、手嶋吉法(同)

12:05-12:30 5 つ編み

東川和夫(富山大学)

(12:30-13:30 昼休み)

10:10-10:35 計算機実験による等大球のランダムパッキング

小嶋健一郎(千葉工業大学)、手嶋吉法(同)

形の科学一般

13:30-13:55 デザイン系学生による科学研究

高木隆司(東京農工大学名誉教授)、大内克哉(神戸芸術工科大学)、水野慎士(愛知工業大学)

10:35-11:00 アイソペリメトリック・グリップのデザイン

三浦公亮(東京大学名誉教授)

13:55-14:20 シェルコフスキーの順序関係の拡張

山口喜博(帝京平成大学)

(11:00-11:15 休憩)

形の科学一般

11:15-11:40 高次元結晶の大域幾何学と局所幾何学

佐藤郁郎(宮城県立がんセンター)、石井源久

14:20-14:45 西オーストラリア州ハメルンプールのストロマトライトの水深と形状

伊津野郡平(放送大学大学院)、芝原暁彦(地質標本館)

(14:45-15:00 休憩)

形の科学一般

15:00-15:25 トランプ画像想起時の脳波による
BCI

山ノ井高洋 (北海学園大学)、豊島恒 (ジャパン
テクニカルソフトウェア)、工藤卓 (関西学院
大学)、大西真一 (北海学園大学)、山崎敏正 (九
州工業大学)、菅野道夫 (ソフトコンピューティ
ングヨーロッパ研究所)

フォーラム

15:25-15:45 ヒステリシス曲線の数理と形
米田守重 (日本電子専門学校)

(15:45-16:00 休憩)

生物に見られるねじれ構造・第1部

16:00-16:25 心臓のループ形成を考える
本多久夫 (神戸大学大学院・理化学研究所)

16:25-16:50 葉の枝分かれに見られる非対称性
について

中益朗子 (九州大学院)、末松 J.信彦 (明治大
学)、木村成介 (京都産業大学)

16:50-17:15 円錐状炭素クラスターにおける分
子構造の幾何学的な検討

吉野隆 (東洋大学)、蒲生西谷美香 (同)、
白石美佳 (同大学院)

6月13日 (土)

形の科学一般

9:00-9:25 対称性を持つ構造システムの系統的
な部分モデル抽出法に関する一考察
秋田剛 (千葉工業大学)

9:25-9:50 固体材料における微細構造時間発展
の評価技術の開発

原祥太郎 (千葉工業大学)

9:50-10:15 複数の円形状を含む組み立てブロ
ックとその数理的性質

松浦昭洋 (東京電機大学)、白根弘士 (同)

(10:15-10:30 休憩)

招待講演・公開講演 (形の科学一般)

10:30-11:15 象の脚と蟻の脚 (スケール則から
見る形の力学)

菊池耕生 (千葉工業大学)

11:15-12:00 分子の形と進化 (形は生き残る)
河合剛太 (千葉工業大学)

(12:00-13:30 昼休み)

(12:10-13:20 運営委員会 7402 室)

招待講演・公開講演 (生物に見られるねじれ構 造・第2部)

13:30-13:50 ねじれについて 座長: 本多久夫

13:50-14:40 伸びてねじれる精巣上体細管のか
たち作り

平島剛志 (京都大学)

14:40-15:30 時計回りの器官形成を支える細胞
の左右非対称性

倉永英里奈 (理化学研究所)

(15:30-15:45 休憩)

展示説明（質疑無し、1件5分）

15:45-15:50 花の左右対称と回転対称を切り替える仕組み

中川愛子（大阪大学大学院）、北沢美帆（大阪大学）、藤本仰一（大阪大学大学院）

15:50-15:55 上皮細胞がくさび形に変形するのに必要な力の探索---頂底極性に基づく細胞変形モデル

藤原基洋（大阪大学大学院）、藤本仰一（同）

15:55-16:00 生体高分子模型の開発と評価

根本直樹（千葉工業大学、以下同）、岩村昌宣、坂本泰一、菊池耕生、河合剛太、手嶋吉法

16:00-16:05 微化石の拡大模型

松岡 篤（新潟大学）、栗原敏之（同）、岸本直子（摂南大学）、吉野隆（東洋大学）、石田直人（明治大学）、木元克典（海洋研究開発機構）

16:05-16:10 トーラスとボヘミアンドームの立体模型（直観幾何学再び）

手嶋吉法（千葉工業大学）、井恭平（同）、小川泰（筑波大学名誉教授）

16:10-16:15 触覚観賞用地球儀の改良およびその触察

細谷洋介（千葉工業大学）、酒井一磨（同）、青松利明（筑波大学附属視覚特別支援学校）、中野司（産業技術総合研究所）、田中明子（同）、手嶋吉法（千葉工業大学）

（16:15-16:30 休憩）

16:30-17:20 総会および学会賞授与式

（17:20-17:45 休憩）

17:45-19:45 懇親会（2号館20階ラウンジ）

6月14日（日）

形の科学一般

9:00-9:25 自律神経機能検査を用いた立体映像曝露時の生体影響評価

松浦康之（名古屋市立大学大学院、Prince of Songkla 大学）、加藤大翔（福井大学）、森柚樹（福井大学大学院）、木下史也（名古屋大学大学院）、高石鉄雄（名古屋市立大学大学院）、高田宗樹（福井大学大学院）

9:25-9:50 ネットワークモデルによって捉えるイノベーター理論とキャズム理論

宮崎修次（京都大学）、山田慎也（京都大学、西日本旅客鉄道株式会社）

9:50-10:15 鹿威しによる水滴・粉体落下系の計測

山田健太（京都市立堀川高等学校）、宮崎修次（京都大学）

（10:15-10:30 休憩）

生物に見られるねじれ構造・第3部

10:30-10:55 Ammonite に見られるねじれ・白亜紀後期の *Pravitoceras sigmoidale*

松岡篤（新潟大学、形の科学研究センター）、吉野恒平（同）

10:55-11:20 生体高分子の高次らせん形成における右・左の選択

柳尾朋洋（早稲田大学）、佐野聡祐（同）、吉川研一（同志社大学）

11:20-11:45 キャベツの葉序決定の要因探求

根岸利一郎（埼玉工業大学）、関口久美子（同）

11:45-12:00 ケヤキの種子散布戦略

中込瑞大（埼玉県立川口北高等学校）

(12:00-13:30 昼休み)

(12:10-13:20 FORMA 編集委員会 7402 室)

形と知

13:30-13:55 顕彰が生む偽史——天心伝説

杉本剛 (神奈川大学)

13:55-14:20 近世日本の図の形態分類 2

出原立子 (金沢工業大学)

14:20-14:45 デジタル学習環境における際立つ
仮想キャラクターの効果

高部菜月 (東京学芸大学、以下同)、嶋原拓実、
松浦執

フォーラム

14:45-15:05 映像中の予測不可運動成分が姿勢
変化に与える影響

杉浦明弘 (岐阜医療科学大学、名古屋大学大学院)、
伊藤唯 (岐阜医療科学大学)、太田紫乃 (同)、
志村美保 (同)、田中邦彦 (同)、高田宗樹 (福井
大学大学院)、宮尾克 (名古屋大学大学院)

(15:05-15:30 休憩)

形の科学一般

15:30-15:55 書写書道 I C T システムの構築

杓名健一郎 (福井大学大学院)、本田容子 (盛
岡大学)、平田隆幸 (福井大学大学院)

15:55-16:20 フラクタル配列点状散乱体の波動
透過率のフラクタル次元

植田毅 (東京慈恵会医科大学)

16:20-16:45 リンゴの皮むき曲線について

海野啓明 (仙台高等専門学校)

(16:45-17:00 休憩)

形の科学一般

17:00-17:25 薄膜状になったアスコルビン酸溶液か
らの結晶成長における自己相似ゲイミクス

山崎義弘 (早稲田大学)

17:25-17:50 クモの網を模擬した構造の変形に
及ぼす横糸の弾性係数の影響

森山卓郎 (阿南工業高等専門学校)

17:50-18:15 水から酸素をつくる光合成 PSII
に出現する形

中村振一郎 (理化学研究所、以下同)、畠山允、
緒方浩二

18:15-18:20 閉会の辞

Boerdijk-Coxeter helix の投影図は如何に円に漸近するか

伊藤圭汰、手嶋吉法

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

How does projection of Boerdijk-Coxeter helix get close to a circle?

Keita ITO and Yoshinori TESHIMA*

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

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

Abstract: It is impossible for every regular polyhedron to roll without changing the height of the centroid while rolling. A linear stacking of regular tetrahedra which has no translational symmetry is called the Boerdijk-Coxeter helix (BCH). The more a BCH becomes long, the more it rolls smoothly. A projection of BCH to the plane which is perpendicular to the roll axis of BCH changes as to the number of stacked tetrahedra. Authors investigated how the projection of BCH got close to a circle.

Keywords: regular polyhedron, Boerdijk-Coxeter helix, projection

1. はじめに

筆者らは、機械サイエンスの基礎研究として、多面体構造に関する研究をおこなっている。特に正四面体の面連結構造である Boerdijk-Coxeter helix (以下 BCH) に注目し、連結数と転がり易さの関係を調べている。これまでに、連結数 10 個～60 個の BCH について転がった距離を測定した(図 1)。測定値のバラツキが大きかった為か、距離の平均値は単調増加にはならなかったが、全体傾向としては連結数が増えると距離は増加することが確認された[1]。

本稿では、連結数が増えるにつれ、BCH の投影図がどのように円に近づくかについて、複数の観点から幾何学的な考察をおこなう。

2. BCH の連結数と投影図における頂点間の角度

図 2(a) は BCH の中心軸に垂直な面への投影図である。頂点 ABCD は正四面体の 4 頂点であり、紙面奥から手前へ A, B, C, D の順に位置している。頂点 E は、面連結された 2 個目の正四面体の頂点であり $\angle DOE = 2\tan^{-1}(\sqrt{5}) \cong 131.8^\circ$ となる[2][3]。同様に、 $\angle COD$, $\angle BOC$, $\angle AOB$ も全て約 131.8° である。連結数 n で新たに追加される頂点の角度 θ は、 $\theta = \alpha + (n-1) \times 2\tan^{-1}(\sqrt{5})$ で表される ($\alpha = \angle POD \cong 197.7^\circ$)。図 2(b) は、正四面体 30 個を面連結した BCH30 連結構造の投影図である。正四面体の回転角度が無理数であるため、連結数を無限に増やしても、投影図上で頂点が重なることはない。

投影図上で隣り合う頂点間距離が近いほど、隣接 2 頂点と中心 O がなす角は小さくなる。連結数が増えるほど、隣接 2 頂点と中心 O がなす角の最大値が小さくなっていくことが図 3 より判る。この時、投影

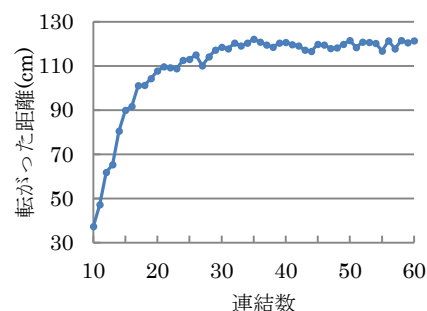


図 1 BCH の転がり実験 (文献[1])

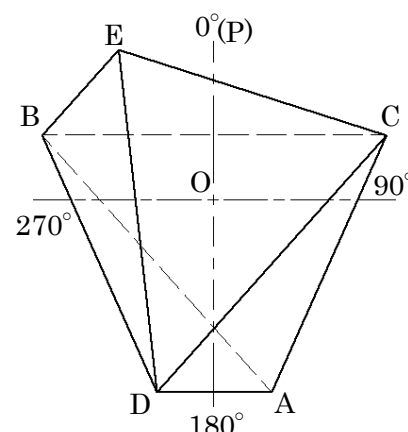


図 2(a) BCH 2連結の投影図

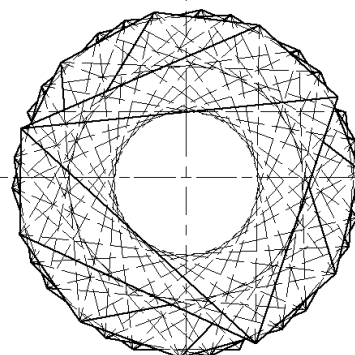


図 2(b) BCH30 連結の投影図

図の頂点を結んで出来る多角形は円に漸近していく。

3. 転がり時における中心軸の高さ変動

投影図の頂点を結ぶ多角形が円に漸近すると回転時の BCH の中心軸（重心）の高さ変動が小さくなり、滑らかに転がると期待される。図 4 は、各連結数毎に、投影図の中心 O から頂点または隣接 2 頂点の中点までの最小距離(l_{min})と最大距離(l_{max} : 定数)を l_{min}/l_{max} で表したものである。 l_{min}/l_{max} が 1 に近づくほど、中心軸の高さ変動が小さくなり、滑らかに転がると予想される。

図 3 と図 4 は、実験結果（図 1）と似ていることが判る。図 4 で l_{min}/l_{max} の値が同じ連結数において、連結数が大きい方が投影図上の多角形は頂点が多く、円に近い。従って l_{min}/l_{max} の値が同じであっても連結数が多い BCH の方が転がり易いと考えられる。

4. 各連結数における中心角と中心軸の高さ変動に関して

図 5(a)および(b)は中心軸の高さ変動の具体例である。連結数を増やすと、頂点が 1 つ増えるため、投影図上における多角形は円に近づく。中心軸の高さの最小値が増大する連結数があり、これは図 3 および図 4 で縦軸の値が変化する連結数に相当する。図 3 および図 4 で傾きゼロの連結数においても、投影図上の多角形の頂点は増え、円に漸近していく。中心 O を基準として、O から全頂点までの距離と、O から隣接 2 頂点の中点までの距離をすべて求め、平均値を算出した（図 6）。

図 6 と転がり実験の結果(図 1)は全体的な傾向が似ている。隣接頂点間の角度や l_{min}/l_{max} の値が変化しない連結数についても、BCH を構成する正四面体の連結数は増加し続け、図 6 は単調増加（傾きゼロの連結数はない）となる。

5. まとめ

BCH の連結数と転がる距離の関係を理論的に説明する為に、幾何学的な指標を導入し、評価をおこなった。これにより、実験結果の全体傾向を説明できた。しかし、BCH の転がり挙動を詳細に説明するには至っていない。今回は投影図を用いて解析をおこなったが、今後は BCH の中心軸方向の頂点分布に注目し、転がる際の軸方向の支持バランスが向上する連結数などを特定する。

また、実験を再度おこない、転がり距離が極小値を示した連結数での再現性を確認すると共に、統計処理上の問題を検証する。

参考文献

- [1]伊藤、手嶋、第 77 回形の科学シンポジウム予稿（青山学院大学、2013 年 11 月）
- [2] Boerdijk, A. H., Philips Res. Rep. 7 (1952) pp. 303-313.
- [3] Coxeter, H. S. M., Canad. Math. Bull. 28, (1985) pp.385-393.

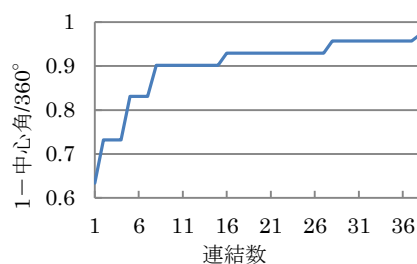


図 3 連結数と中心角の関係

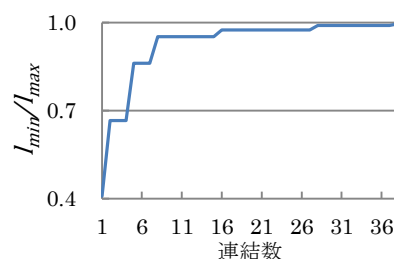


図 4 連結数と l_{min}/l_{max} の関係

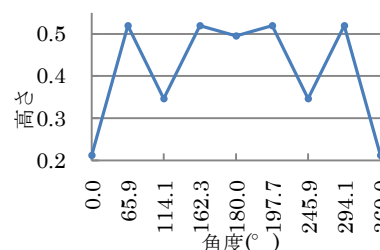


図 5(a) 中心軸の高さ変動(正四面体)

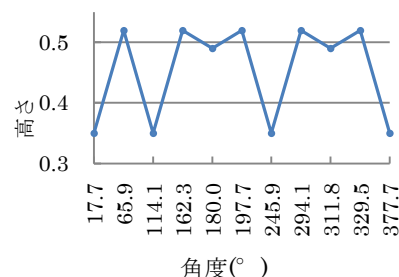


図 5(b) 中心軸の高さ変動(2 連結)

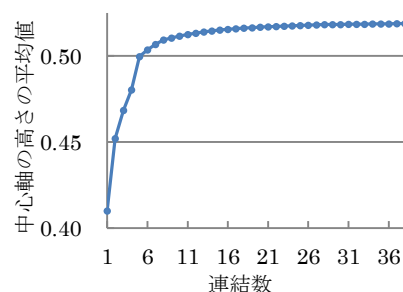


図 6 中心軸の高さの平均値

計算機実験による等大球のランダムパッキング

小嶋健一郎、手嶋吉法*

千葉工業大学工学部機械サイエンス学科

千葉県習志野市津田沼 2-17-1

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

Random packing of equal spheres by computer experiment

Kenichirou KOJIMA and Yoshinori TESHIMA

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

Abstract: There is no analytical solution of packing density for random close packing of equal spheres in three dimensions. Our computer experiments give the value 0.6049.

Keywords: sphere packing, random close packing, computer experiment

1. はじめに

ランダム充填とは、容器中に物体をランダムに充填していくことであり、液体、アモルファス、粉体の構造モデルに応用することが可能である。Scott(1969)の鋼球を用いた実験では、球のランダム充填の充填率は、 0.6366 ± 0.0005 であった[1]。

図1に、炭素鋼球のランダム充填を示す。実際の鋼球を用いた充填実験では、球の質量や、変形、摩擦などの影響によって、充填のされ方が変化する。また球の規則充填(単純立方充填、体心立方充填、面心立方充填)については、充填率の理論値が簡単な計算で求まる。ランダム充填の中でも「ランダム逐次充填」に関しては、1次元系で確率論を用いた解析解が存在するが、2次元以上のランダム逐次充填は、解析解を求めることは困難である。そこで、ランダム充填の計算機実験プログラムを作成し、計算機実験により、2次元や3次元において理論値に代わる理想的な充填率を提示することが重要となる[2][3]。今回我々は、次節に述べる「ランダム接触充填」の計算機実験をおこない、先行研究[4]との比較をおこなった。

2. 実験方法

ランダム充填は、様々な定義がある。本研究で扱うランダム充填は、立方形状の容器の底へランダムに球を配置し、そこでできた最も低い窪みへ球の充填を行い、これを容器内に球が充填出来無くなるまで繰り返す方法を採用した。ただし、球及び、容器の変形は考慮せず、充填された球の座標は固定されるものとする。以下この方法をランダム接触充填と呼ぶ。ランダム接触充填では、容器の低い位置から球の充填を行う。これは重力によって低い位置に落ちようとする実際の鋼球の充填に近いものであると考えられ、実際の鋼球実験における充填率に対する理想値としての意義があると言える。容器への球の充填は、壁面の形状の影響を受けるため小さい容器ほど充填率が下がる傾向がある。そこで、複数の大きさの容器を用いて計算機実験を行い、回帰分析を用いた外挿法によって、容器が無限に大きい場合の鋼球の充填率(D_∞)を求めた。先行研究の実験も、回帰分析によって D_∞ 求めており、 D_∞ の値の比較を行った。

3. 結果と考察

図 2 に、ランダム接触充填の計算結果を示す。図 2 は、作成した計算機実験プログラムの結果の 1 例である。図 3 に、回帰分析による D_∞ の推測を示す。図 3 は、3 次元の接触充填の D_∞ を求めている。三次元の球のランダム接触充填における D_∞ は、 0.6049 ± 0.0017 となった。この値は、Scott の鋼球実験の D_∞ の値である 0.6366 ± 0.0005 と比較して、約 0.03 小さい値となった。



図 1 炭素鋼球のランダム充填

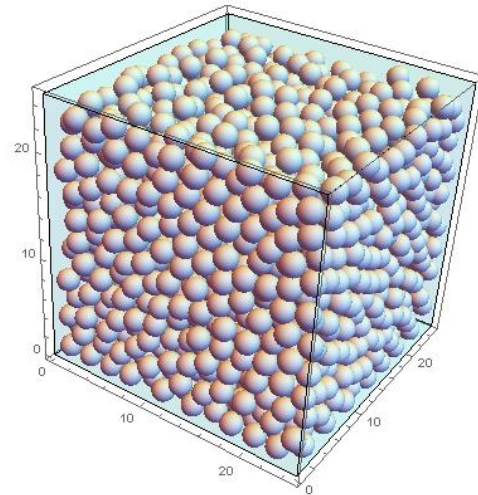


図 2 ランダム接触充填
容器: 正方形(一辺 25)
球の半径: 1, 充填率: 約 0.561

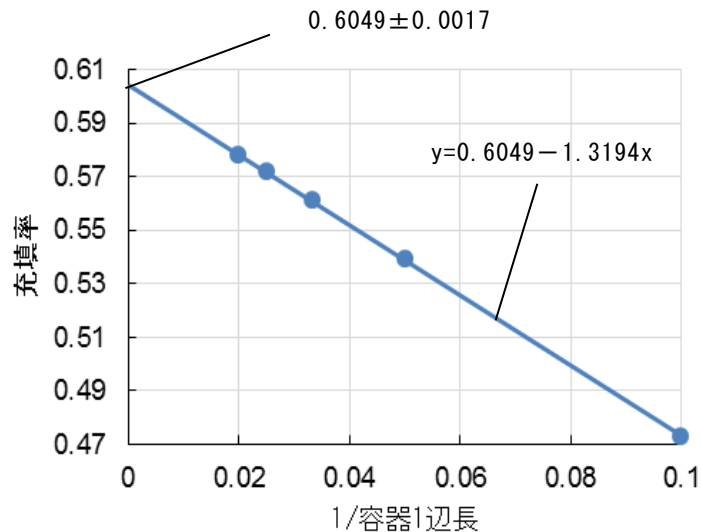


図 3 回帰分析による D_∞ の推測

参考文献

- [1] Rényi, A. (1958) Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci., 3, 109-127.
- [2] Tanemura, M. (1979) Ann. Inst. Statist. Math., B31, 351-365.
- [3] Tanemura, M. (1981) Proc. of the International Roundtable Congress.
50-th Anniversary of Japan Statist. Soc., 216-229.
- [4] 山田、菅野、宮内 (2009) 情報処理学会研究報告、157-160

アイソペリメトリック・グリップのデザイン

三浦 公亮

東京大学 (名誉教授)、町田市鶴川 3-9-7

miurak@gakushikai.jp

Design of Isoperimetric Grips

Koryo Miura

The University of Tokyo (Professor Emeritus)

Abstract: By the isometric transformation, a circular cylindrical surface can be transferred to a concave polyhedral surface without changing its perimeter. The present study is to design slip resistant polyhedral grip forms for sports goods and work tools by this method.

Keywords: grip, slip-resistance, sport, bike, work tool

1. グリップ形状と、その問題点

本研究の取り扱う形状は、グリップの表面形状である。もっとも一般的な表面形状は、Fig. 1のような、ものである。



Fig. 1-a

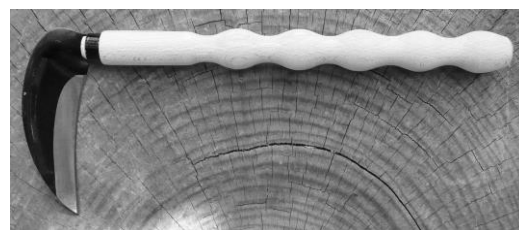


Fig. 1-b

Fig. 1a はテニスラケットのグリップであり、8角形柱の上に、斜めに革などのテープが巻かれている。Fig. 1b は、手鎌のグリップであり、ジャバラ状に凹凸が形成されている。いうまでもなくこれらの仕掛けは、グリップの滑り防止のためである。前者は主として、表面摩擦により（8角柱の形状抵抗があるが）、後者は凹凸による形状抵抗により（素材による表面摩擦があるが）、滑りを止める作用をもくろむ。

表面摩擦に依存する方法では、クーロンの摩擦の法則により、摩擦抵抗は表面に加える圧力に比例する。実はこれが問題の根源である。滑りを防ぐためには、握る圧力を高めなければならない。このことは、スポーツでは、スイングに悪い影響をあたえる。用具を介してボールを打つ場合、インパクトに向けて用具はグリップを中心に回転加速の状態にある。このときグリップを固めては、加速に負の作用をしてしまう[1]。また、力の小さい弱者を対象とする福祉器具の設計では、表面摩擦に必要な圧力自体が問題点となる。

摩擦の利用は、上記のように問題があるので、それでは握る圧力に関係がない形状抵抗に依存する方法はどうだろうか。Fig. 1-bの例のように、大きな凹凸を形成すると、確かに滑りは拘束される。しかしながら、開発者のアイデアは可としても、いかにも握りにくいものになる。その主な原因は、グリップの第一の基本的パラメータである周長が極端に変動するからだ。周長を不変のまま、適切な凹凸を形成できないだろうか

2. アイソペリメトリック・グリップ

本研究では、周長を変化させることなく、十分に大きな凹凸を、組織的に形成させる、グリップの新しい形状を提案する。“iso-perimeter” とは、等周性を意味する[2]。

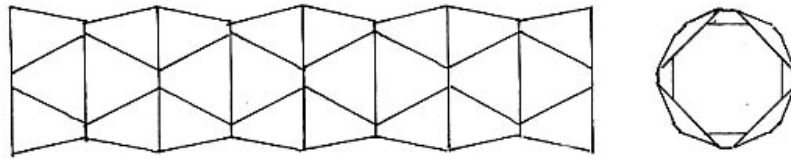


Fig. 2-a

Fig. 2-a は、提案するグリップの形状の基本形を示す。もちろん、具体的な対象を設計したものでなく、その基本となる幾何学的形状を描写したものである。全面は、六角形の基本ユニットで覆われている。六角形ユニットの外周稜線は凸で、対角稜線は凹である。



Fig. 2-b

Fig. 2-b は、この設計概念で試作した、モデルである。

この設計試作を通じて、iso-perimetric grip の興味ある性質が明らかになってきた。

*十分に深い凹凸を形成できる

*それでありながら、全体に線識面（直線をずらした面）であり、いわゆる凹みはない

*凹凸が縦、横、斜め方向に組織的に分布している

*図の凹多面体にかわり、曲線を使い、より滑らかなグリップのデザインが可能

*滑り止めテープをまく場合、等長性なので、ゆるみなく密着する

*線識面なので、いわゆる凹みは存在しないので、削り出し加工も容易である

*設計パラメータが多く、多様な要求に対応できる

3. 手とのつながり

この設計概念は、偶然の機会で見つけたものである。筆者は、ある種の円筒の実験的研究の過程で、Fig. 2a に酷似した、試験片が生成された。その太さは、かなり大きいものであったが、それを手にしたとき、その絶妙なグリップ感に驚いたのである。一言で云うとどの部分を持っても、また少し移動しても、同じようにしっかりとフィットするのである。このあたりの現象を理解するためには、手のメカニズムの方からのアプローチなくしては、不可能であるので、その方向の共同作業を期待する。

尚、本研究については、モデル設計で、東京大学の舘知宏氏の協力をいただいた。

文献

[1] 三浦公亮、パラメトリック加速、書斎のゴルフ、22、99-113、(2014)

[2] 三浦公亮、特殊な凹多面体のグリップ設計、日本デザイン学会、第61回春季研究発表大会、福井(2014)

高次元結晶の大域幾何学と局所幾何学

佐藤郁郎 (宮城県立がんセンター)、石井源久 (バンダイナムコスタジオ)、

秋山仁 (東京理科大学)、一松信 (元・京都大学)

宮城県名取市愛島塩手字野田山 47-1

sato-ik510@miyagi-pho.jp

Global/local geometry of higher dimensional crystals

Ikuro Sato, Motonaga Ishii, Jin Akiyama, Sin Hitotumatu

Department of pathology, Miyagi Cancer Center

Abstract: We have constructed 4 kinds of higher dimensional crystals, [1]Minkowski tiles, [2]BCC tiles, [3]FCC tiles and [4]HCP tiles. The fundamental metric, including k-face number and volume of semi-regular polytopes are determined by global type Wythoff arithmetic. By using local type Wythoff arithmetic, we can compare mechanical stabilities of them. [1] have the most favorable form through every dimension.

Keywords: Wythoff arithmetic, Minkowski tile, BCC tile, FCC tile, HCP tile

【1】高次元図形の研究法

高次元の多胞体を研究するための methodology として[1]組み合わせ位相幾何学的方法、[2]グラフ理論を用いる方法、[3]群論的方法、[4]個々に構成する方法、[5]計量的な方法などがあげられる。[1][2]の範囲内だけで高次元の壁を越えることが可能なのか、私は知らない。[3]はコクセターが整理した方法で、最も elegant だと思うけれども、研究の敷居を高くしてしまったことは残念である。また、正多胞体のもつ高度の対称性を活用するので正多胞体ではうまくいったが、準正多胞体に対しては完全に成功しているとは言い難い。そこで[4]乙部は実際に4次元準正多胞体の針金模型を組み立てて、準正多胞体の頂点図形について研究した(局所幾何学の嚆矢)。ただし、その方法を5次元以上に拡張するのは困難である。これらの課題を解消する方法として[5]石井による計量的な方法がある。Computerで計算したCG描画用dataでrealityの高い図示を可能としたことで、見る人のimaginationを掻き立て、多くのinspirationを生み出すことに貢献している。

【2】高次元結晶の大域幾何学

ところで、[3][4][5]に共通してみられるideaに「ワイソフ構成」がある。ワイソフ構成はコクセターが初めて用いた語であるが、石井はそれを知らずにワイソフ構成を進化させた形で再発見したことになる。しかし、高次元図形の解析にはまだまだ不十分であって、数学的に昇華された形にしなければならない。昨年の本シンポジウムで、私はこれまで準正多胞体の単なる識別子とみられていたワイソフ・コードを「遺伝子」とみなすことによって基本情報(k次元面数や体積)を引き出す方法について紹介した。いわば[6]遺伝的な方法である。そのアルゴリズムを機械的・盲目的に適用することによって、高校生でも高

次元情報を計算できるようになることから「ワイソフ算術」と名付けた。

たとえば、任意に選んだ 6 次元準正多胞体 {33334} (010110) の f ベクトルは $(f_0, f_1, f_2, f_3, f_4, f_5) = (5760, 23040, 32160, 19680, 5276, 476)$ で与えられる。

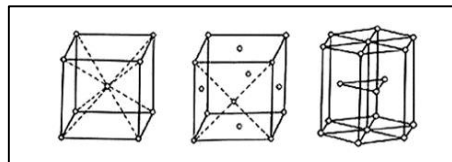


図 1

【3】高次元結晶の局所幾何学

ワイソフ算術を用いることによって、4 種類の高次元結晶を構成することができた(図 1)。それらは[1]ミンコフスキー結晶 ($2(2^n-1)$ 胞体)、[2]体心立方格子型結晶 (2^n+2n 胞体)、[3]面心立方格子型結晶 ($2n(n-1)$ 胞体)、[4]六方最密充填型結晶 ($n(n+1)$ 胞体)である。[3][4]は二胞角が 120° で一定であることから高次元の「雪の結晶」とみなすことができる。

当の本人はこれですっかり安心した気分になっていたのだが、次なる問題が発生した。結晶状態で[1]の頂点の周りには $n+1$ 個の結晶粒子が集まるのであるが、[2][3][4]ではそれがわからないのである。その問題を解決してくれる方法が局所幾何学である。局所幾何学の結果は大域幾何学から直接導出できないので、両者は本質的・実質的に異なる幾何学と考えられるが、形式的・名目的にはほとんど同じ算法が使える。{33334} (010110) の頂点周りの f ベクトルは $(f_0, f_1, f_2, f_3, f_4, f_5) = (1, 8, 22, 29, 20, 7)$ と計算される。

【4】結晶の力学的安定性

ひとつの頂点の周りに集まる結晶粒子数は結晶の力学的安定性と密接に関連している。3 次元結晶の場合、点と点・線と線だけで接触するのは不安定性で、面と面で接触するほうが安定である(図 2)。また、接触する面数が多くなると、ひとつの面あたりの接触面積が減り辺接触に近い状態となるので、これも不安定性の原因となる。結局、ひとつの頂点周りに集まる facet 数の少ない[1]すなわち 2 次元 6 角形、3 次元 14 面体、4 次元 30 胞体、5 次元 62 房体が最も安定な形であることが示される(図 3)。

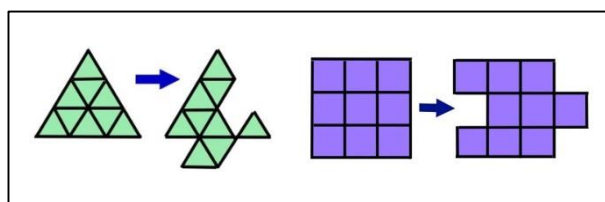


図 2

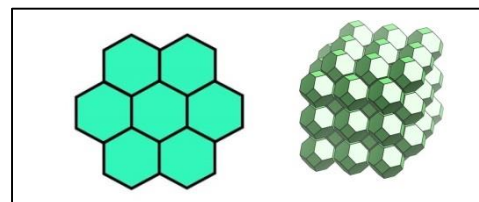


図 3

【5】参考文献

- F. A. Sherk et al, Kaleidoscopes, Selected Writings of H. S. M. Coxeter, John Wiley(1995)
 乙部融朗「準正多胞体」、私家版(2014)
 石井源久「多次元半正多胞体のソリッドモデリングに関する研究」、京都大学学位論文(1999)

アキラルなユニットで作るプラトン立体の折り紙モデル

石原 正三

埼玉県立大学 保健医療福祉学部、埼玉県越谷市三野宮 820 番地

shozo@spu.ac.jp

Origami-models of Platonic solids

constructed of achiral units

ISHIHARA, Shozo

Saitama Prefectural University、

820 Sannomiya, Koshigaya, Saitama 343-8540, JAPAN

Abstract: By making use of “Science Origami”, which represents three-dimensional structures of crystals and molecules by means of polyhedral skeletons, Origami-models of the five regular polyhedra, called Platonic solids, which are composed of tetrahedron, hexahedron (cube), octahedron, dodecahedron and icosahedron, have ever been constructed of chiral units, conventionally. In the present work, an achiral unit, called “Junction”, which had been introduced in making Origami-models of tartaric acid and cyclohexane, is used for making Origami-models of Platonic solids. It has been revealed that a cube and an octahedron can be made of two different types of achiral units, Junction and the other one, respectively.

Keywords: Science Origami, Polyhedral skeletons, Platonic solids, Chirality

1. はじめに

多面体の骨格構造（スケルトン）で結晶や分子の立体構造を表現する“科学折り紙”^[1]の手法では、通常、左手系と右手系の区別のあるキラルな2種類のユニット（鏡像体のユニット；図1(a)と(b)参照)の一方のみを用いて折り紙モデルを組み立てている。しかし、酒石酸やシクロヘキサンの折り紙モデルの場合（図2参照）、複数の多面体が互いに合体した構造を表現するために、鏡像体のユニットの双方を使用する必要がある。特に、シクロヘキサンの様に複雑な構造では、右手系と左手系のユニットの複雑な配置を設計する必要があり、折り紙モデルを制作する際の大きな障壁となっていた。そこで、鏡面对称性を持つアキラルなユニット（“ジャンクション”）を接合部分に挿入する方法^[2]が考案され、科学折り紙をより手軽に制作できるようになっている。

本報告では、2種類のアキラルなユニット（図1(c)と(d)）の一方のみを用いて5種類の正多面体（プラトン立体）のスケルトンを制作する条件を考察する。

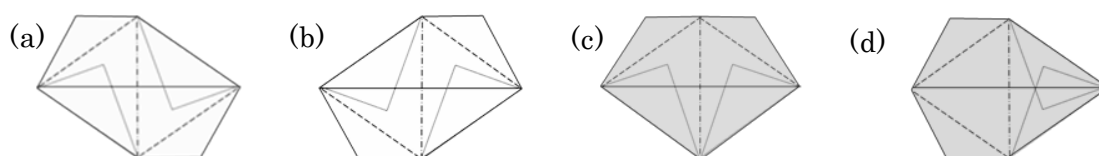


図1 正四面体のスケルトンのユニット：(a)と(b)はキラル、(c)と(d)はアキラル

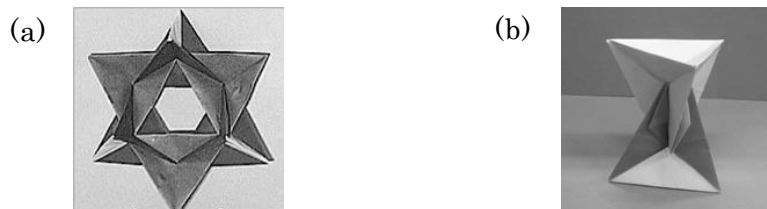


図2 複数の正四面体が合体した折り紙モデル：(a)と(b)は、それぞれ、シクロヘキサンと酒石酸の分子構造を表している；接合部分にジャンクション（図1(c)；(b)の色の濃いユニット）が挿入されている

2. アキラルなユニットのみによるプラトン立体の折り紙モデルの制作

5種類のプラトン立体：正四面体、正六面体（立方体）、正八面体、正十二面体、および正二十面体のスケルトンを制作するため、縦の長さを75.0mmとして、横の長さが106.1mm、212.1mm、150.0mm、392.7mm、および242.7mmの5種類の長方形の折り紙を用意し、2種類のアキラルなユニットごとに、プラトン立体をそれぞれ制作した。

3. 考察と結論

プラトン立体の面を構成する正多角形は、正三角形、正四角形、正五角形の3種類のみであり、正四面体と正八面体、および正二十面体が正三角形、正六面体と正十二面体が、それぞれ、正方形と正五角形である。また、各頂点に集まる稜の本数は、正四面体と正六面体、および正二十面体が3本、正八面体が4本、正十二面体が5本である。

図1(c)のタイプのアキラルなユニットでプラトン立体のスケルトンを組み立てる場合、各面が奇数のユニットで構成されているときは（例えば、図3(b)）、ユニット間の糊代とポケットの接続が一致しないが、偶数の場合は接続が一致する。（図3(c)）また、図1(d)のタイプのアキラルなユニットの場合、各頂点に集まる稜が奇数のときは、ユニット間の糊代とポケットの接続が一致しないが、偶数の場合は接続が一致する。（図3(d)参照）

以上から、アキラルなユニットで制作できるプラトン立体は、2種類のアキラルなユニットに一つずつ、それぞれ、正六面体（立方体）と正八面体のみであることが判明した。

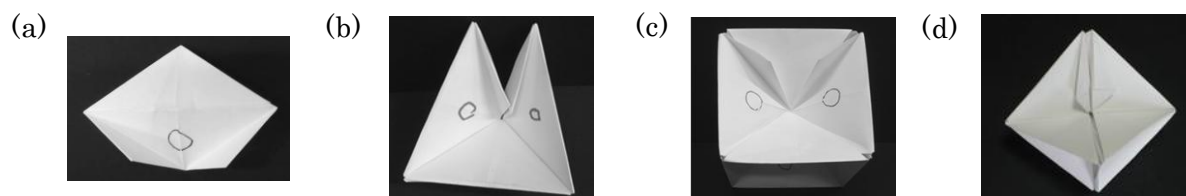


図3 アキラルなユニットのみによるプラトン立体のスケルトンの制作：(a)は正四面体のアキラルなユニットを示し、○印でのりしろが2つある側を示す；(b)と(c)、および(d)は、それぞれ、正四面体、正六面体（立方体）、および正八面体の制作結果を示す

参考文献

- [1] 例えば、石原正三、「折り紙でつくる結晶構造モデル」、固体物理（アグネ技術センター） vol.31 No.2（1996）, pp. 73-81.
- [2] 石原正三、「飽和炭化水素分子の折り紙モデル」、日本理科教育学会 第51回全国大会（於：広島大学東広島キャンパス、2001年8月4日）2C-09（化学教材・教育法）

5 つ編み

東川 和夫

富山大学理学部、富山市

azuk@sci.u-toyama.ac.jp

Five-braid

Kazuo Azukawa

University of Toyama, Toyama

Abstract: I show how to braid the five-braid, and give some remarks

Keywords: Five-braid

5 つ編みの簡単な編み方が、見つかったので、報告します。

<5 つ編みの編み方>

- (1) 細長い紙に 4 本の切れ目を入れ、5 本の帯を持った束を作る。
- (2) 5 本の帯に左から順に 1,2,3,4,5 と番号を付けておきます。これを、1,2,5,3,4 にする編み（一番右を、2 つ飛ばしに中側に編む方法）を **右** ということにする。出来上がった 5 本の帯に左から順に 1,2,3,4,5 と番号をつけ、これを、3,1,2,4,5 にする編み（一番左を、2 つ飛ばしに中側に編む方法）を **左** ということにします。
- (3) 初めの 5 帯に対して、
右、左、右、左、右、左、右、左、右、左と合計 10 回の編みをします。
- (4) 中央部分を留め具で留めます。
- (5) 中央部分から上にあるねじれを戻します。
- (6) 下のねじれを、上にゆるめてもどせば、5 つ編みの出来上がりです。

<考察1>

奇数本 $2n+1$ 本であれば、同様の編み方（右、左から、 n 個飛びに編むことを、 $2(2n+1)$ 回）をやり、半分のねじれをもどせば、編み上がります。

<考察2>

それぞれの帯は、一定のサイン曲線の一部分を描いている。

<考察3>

ここで示した編み方は、本質的に次とおなじである。

www.youtube.com/watch?v=1HbeWX2tvMs

THE:MEXICO レザークラフトトリック五つ編みの作り方

デザイン系学生の科学研究

高木隆司¹、大内克哉²、水野慎士³

¹ 東京農工大学 (名誉教授), 〒248-0014 鎌倉市由比ヶ浜 2-23-12, jr.takaki@iris.ocn.ne.jp

² 神戸芸術工科大学, 〒651-2196 神戸市西区学園西町 8-1-1, ouchi@kobe-du.ac.jp

³ 愛知工業大学情報科学部, 〒470-0392 豊田市八草町八千草, s_mizuno@aitech.ac.jp

Scientific Activities by Design Students

Ryuji Takaki¹, Katsuya Ouchi², Shinji Mizuno³

Abstract: Some scientific researches by design students are introduced, which were made according to their voluntary activities. Aims of these activities are applications of their results to design creation and not writing scientific papers. This kind of activities were suggested by one of the present authors (Takaki) to students of Musashino Art University. It was found that some aggressive students have strong motivation and ability to undertake scientific researches. It is expected that this kind of activity will produce a new trend of design researches. Two examples of such activities are introduced, which are concerned respectively to pattern formation phenomenon and branching systems.

Keywords: Design education, Scientific activities, Pattern formation, Branching systems

1. 導入

筆者らは、2004～2013 年の期間、神戸芸術工科大学で、アート・デザイン系の学生や大学院生に対して、科学体験に基づいて新たなアートやデザインを制作するという趣旨の教育をおこなってきた。また、著者の一人 (高木) は、同様の教育を東京都の武蔵野美術大学でも 2008 年以来おこなっている。そこでは、教師の側で準備した教材によって、学生が自然現象の観察や幾何学的な内容の工作を経験し、それからヒントを得て自由にアート・デザインを制作している。本来、アート・デザイン系の学生は実物を観察することに非常に興味をもつので、このような教育方法は人気がある。

さらに最近 2, 3 年の傾向として、授業で経験したことを発展させて、学生が自主的な研究をする例が現れはじめた。これは非常に良い傾向であるし、アート・デザインの新しい方法として発展する可能性がある。本論では、過去の 2, 3 の例を紹介する。なお、理系の学生であれば研究の成果をレポートあるいは論文として発表するはずであるが、アート・デザイン系の学生はレポートの書き方に関する教育を受けていないので、それは無理である。彼らは、あくまでアート・デザインの制作として発表する。その成果を見るのは、教育する立場から見ても非常に興味がある。

2. 拡散律速凝集の観察

図 1 は、硝酸銀溶液につけた銅線の表面に析出した樹枝状の銀であり、授業中ではシャーレ内で発生させて虫眼鏡で観察した。武蔵野美術大学のある学生がこの現象に興味をもち、顕微鏡下で発生させたこの現象をビデオカメラで撮影した。発表会では、それを編集したものを見せたが、そこまでに時間がかかったせいか、新たなアート・デザインに仕上げるまでには至らなかった。

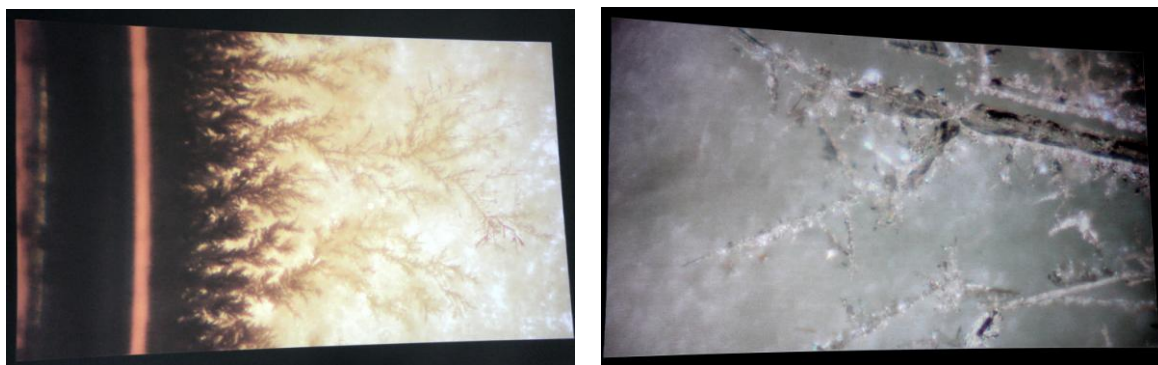


図 1. 学生が撮影した樹枝状に成長する銀。映像の中の 2 コマで、右は高倍率。(小泉 萌、2013)

3. 身のまわりの分岐系の観察

授業では、河川の分岐系について成り立つホートンの法則を説明し、河川以外（稲妻、葉脈、ひび割れ、交通網、など）にもこの法則が成りたつことを話した。ある学生が、自分たちの周囲に見られる 10 種の分岐系を精密にスケッチして、提出した。そのうちの 2 例を図 2 に示す。この活動でも、スケッチに勢力を使ったせいで、新たなアート・デザインには至らなかった。

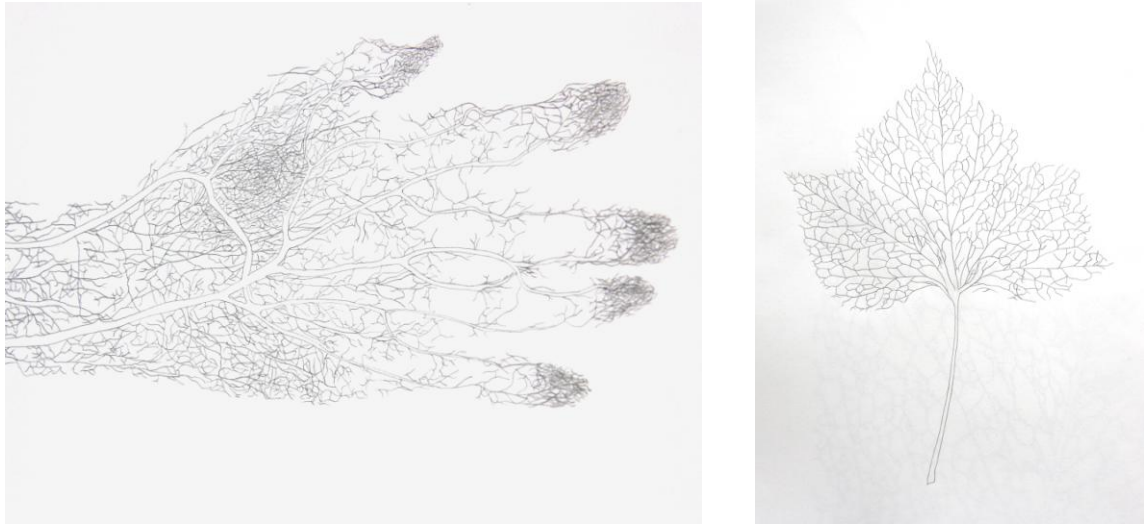


図 2. 身のまわりの分岐系の詳細なスケッチ。左：手のひらの毛細血管系（解剖学の参考書より）、右：葉脈。
（林李紗子、矢原みどり、2013）

いずれも、ただ観察して記録しただけであるが、学生たちはその結果から強い印象を受けたと思われる。それは、指導する側も強い印象を受けたからである。たとえば図 2 の左では、指先に毛細血管が集中して分布していることが大きな驚きであった。この事実から、多くのことが読み取れる。ヒトにとっては、指先のはたらきが非常に重要であろう。指先に微妙な力加減をしたり、神経系による情報の取得と伝達を助けるために、毛細血管がこのように発達したと推定される。言い換えれば、ヒトが高度な文化を築けたのは、この毛細血管のおかげだと言っても、決して言い過ぎではないだろう。このような考察を引き出すような研究であったと言える。

参考までに、デザインへの応用について、過去の例を図 3 に示す。これは、方眼紙上で、さいころを使ってランダムな分岐系を作成した後で、それを基に制作したデザインである。その用途は任意であり、箱のふた、ドームの天井、何かをおく台など、自由に応用できる。



図 3. 分岐系をもとにしたデザイン（松芳優香 2005）

4. あとがき

ここで紹介した学生の研究は、研究者の立場から見ると決して高レベルのものではない。しかし、途中でくじけずに完成させたという点では評価できる。すでに述べたように、研究結果から新たなアート・デザインにつながることはなかったが、それは単に時間の制約のためであった。もし、これらの研究を 4 年次の卒業制作としておこなったのであれば、それを基にして素晴らしい作品が生まれたことだろう。将来、そのような成果が生まれる機会があることを願っている。

なお、本論の著者と同じメンバーで、文部科学省から科学研究費補助金（2013－2015）を受けている（参考文献参照）。科研費の分科は「デザイン学」、細目として「デザイン教育」を選んだ。

参考文献：高木隆司、大内克哉、水野慎士：「科学体験を基にしたデザイン教育体系の構築」科学研究費補助金報告書（課題番号：25560015）、2015 年 6 月に出版予定。

シャルコフスキーの順序関係の拡張

山口喜博 (帝京平成大学:290-0193 千葉県市原市うるいど南 4-1)

chaosfractal@iCloud.com

An Extension of Sharkovskii's Forcing Relation

Yoshihiro Yamaguchi (Teikyo Heisei University, Ichihara, Chiba 290-0193, Japan)

Abstract: We propose new forcing relation among the periodic orbits appeared through the tangent bifurcation in the logistic map. This is an extension of Sharkovskii's forcing relation.

Key words: Logistic map, Sharkovskii's forcing relation, Bifurcation diagram, Window, Code.

ロジスティック写像

$$x_{n+1} = ax_n(1 - x_n) \quad (0 < a \leq 4, 0 \leq x_n \leq 1)$$

の分岐図の特徴として窓が現れることがよく知られている。窓の出現は、接線分岐で安定な周期軌道点と不安定な周期軌道点が生じたことによる。

系の複雑さの度合いを測る位相的エントロピーの増加に興味がある場合、接線分岐で周期軌道がどのような順序で生じるのかが研究対象となる。これについての大きな成果がシャルコフスキーの順序関係 [1] である。シャルコフスキーの順序関係で現れる偶数をひとまとめにすると、

$$3 \succ 5 \succ 7 \succ 9 \succ 11 \succ \dots \succ \text{偶数の列} \succ 1 \quad (1)$$

と簡単に書ける。例として $3 \succ 5$ は、“周期 3 は周期 5 を強制する”と読む。つまり、周期 3 が存在すれば周期 5 が必ず存在することを意味している。周期 3, 周期 5, 周期 7 の窓は分岐図 1 で見ることができる。分岐図の $a = 3.68$ あたりで二つの帯が融合する。その後、奇数周期の窓が $\dots, 11, 9, 7, 5, 3$ の順に並んでいることをシャルコフスキーの順序関係は保証している。シャルコフスキーの順序関係は、ロジスティック写像のような連続単峰次元写像で成立する。

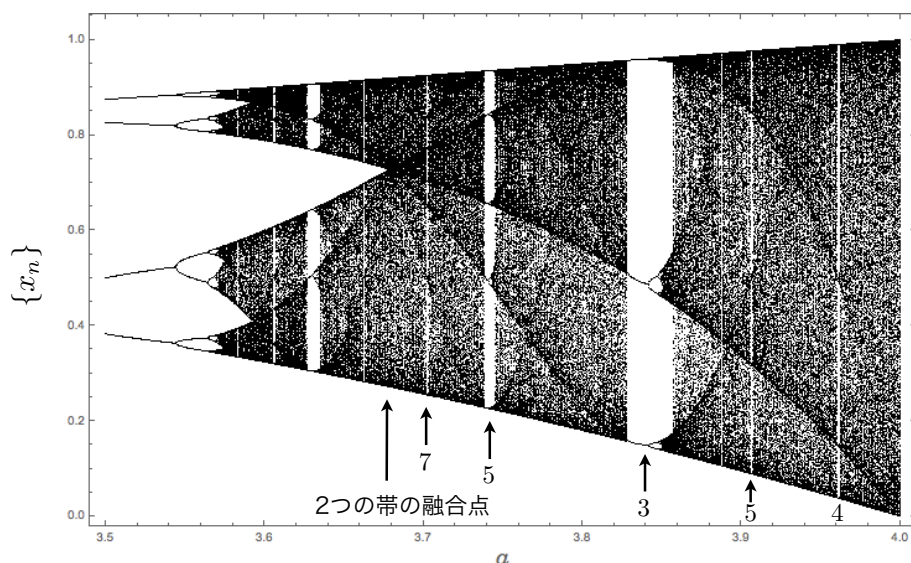


図 1: ロジスティック写像の分岐図 ($3.5 \leq a \leq 4$). 例として数字 3 は周期 3 の窓を表している。

ここで二つの問題を提示する.

問題 I. $a = 3.74$ あたりと, $a = 3.9$ を越したあたりに周期 5 の窓がある. $a = 4$ の近くにも周期 5 の窓が見つかる (図 1 では見えない). 周期 5 の窓は三つあり, これらの窓は何が違うのか.

問題 II. 周期 3 の窓が生じたあと, $a = 4$ までの間にも多くの窓がある. これらの窓はどのような出現順序に従うのか. 周期 3 の窓が現れる前に, シャルコフスキーの順序関係に含まれない周期軌道の窓はどのような出現順序に従うのか.

これらの問題を考えるために周期軌道の回転数, コード, 高さの三つの概念を導入する.

回転数. 周期軌道の一周期 q の間に不動点 $Q(= 1 - 1/a)$ の周りを何回回転してもとにもどるかという情報を利用する. これを回転回数 p とすると, 周期軌道は回転数 p/q をもつことになる. 周期 3 の周期軌道の回転数は $1/3$ である. この周期軌道が周期倍分岐を起こして生じた周期軌道の回転数は $2/6$ である. このように回転数は必ずしも既約分数とならない. $a = 3.74$ あたりと, $a = 3.9$ を越したあたりにある周期 5 の回転数は $2/5$ である. $a = 4$ の近くにある周期 5 の回転数は $1/5$ である. この例から分かるように回転数だけでは周期軌道の特徴付けられない.

コード. $a = 4$ において, ロジスティック写像はテント写像

$$\theta_{n+1} = 2\theta_n \ (0 < \theta \leq 1/2), \ 2 - 2\theta_n \ (1/2 \leq \theta \leq 1)$$

に変換できることを利用する ($x_n = \sin^2((\pi/2)\theta_n)$). テント写像を利用すると, 軌道点に記号 0 または 1 を与えることができる. 軌道点が $0 < \theta < 1/2$ にくると記号 0 を与え, 軌道点が $1/2 < \theta < 1$ にくると記号 1 を与える. 結果として周期軌道にコードを付与できる. ロジスティック写像の周期軌道とコードは一対一対応である. 例として周期 3 のコードは 001 と 011 である. 前者が接線分岐で生じた安定な周期軌道に対応し, 後者が不安定な周期軌道に対応している.

高さ. コードについて定義されている“高さ”という概念を利用する [2]. コード全体で高さが定義されるコードと, コードの一部だけで高さが定義されるコードがある. 例として 01101 はコード全体で高さが $2/5$ と定義される. しかし, 00101 は最初の 001 だけで高さ $1/3$ と定義される. ここで回転数 p/q のコード $s_{p/q}$ の高さを $h(s_{p/q})$ と書く. $a = 3.74$ あたりの周期 5 (回転数 $2/5$) のコードは 01101 と 01111 である. これらの高さと回転数は一致する. $a = 3.9$ あたりの周期 5 (回転数 $2/5$) のコードは 00101 と 00111 である. これらの高さは $1/3$ で回転数 $2/5$ と一致しない.

問題 I の答えとして, 周期軌道の分類を行う際に回転数と高さが利用できると考えている. 問題 II について我々が得た結果を紹介する.

結果 1. シャルコフスキーの順序関係に含まれる 3 以上の奇数を周期としてもつ周期軌道は, 周期軌道のコードの高さと回転数が一致する性質をもつ周期軌道の一部である.

結果 2. 異なる二つのコードを $s_{p/q}$ と $t_{r/s}$ とし, p/q と r/s は既約分数とする. $0 < p/q < r/s < 1/2$ で, $h(s_{p/q}) = p/q$ かつ $h(t_{r/s}) = r/s$ ならば, 順序関係 $s_{p/q} \succ t_{r/s}$ が成立する.

特に結果 2 は, 周期 3 の窓が現れる前にあるシャルコフスキーの順序関係に含まれない周期軌道の窓の順序関係も与える. また, 周期 3 の窓の現れた後に生じる窓の順序関係も与える. つまり, 結果 2 はシャルコフスキーの順序関係の一部の拡張である. コードの高さと回転数が一致しない周期軌道の窓についての順序関係は今後の課題とする. ここでの拡張はロジスティック写像にしか適用できない. 他の写像に適用できるような拡張も考えたい.

[1] A.N.Sharkovskii, Ukrain. Math. Zh. 16 (1964), pp.61-71. ロシア語版. *Coexistence of cycles of a continuous map of the line into itself*, International Journal of Bifurcation and Chaos 5 (1995), pp.1263-1273. 英語版.

[2] T. Hall, *The creation of horseshoe*, Nonlinearity 7 (1994), pp.861-924.

西オーストラリア州ハメリンプールのストロマトライトの水深と形状

伊津野郡平^{1†}、芝原暁彦^{2‡}

1 放送大学大学院文化科学研究科 〒120-0034 東京都足立区千住 5-13-5

2 産業技術総合研究所 地質標本館 〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1

E-mail: ve16991@sc4.so-net.ne.jp[†], akihiko-shibahara@aist.go.jp[‡]

Water depth and shape of stromatolite in Hamelin Pool, Western Australia

Gumpei Izuno¹, Akihiko Shibahara²

1 Research of Cultures and Sciences, Graduate School of Hoso University、

5-13-5 Senju, Adachi, Tokyo 120-0034, Japan

2 Chishitsu Hyohonkan, Geological Survey of Japan,

1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan

Abstract: We reported shape changes of stromatolite depend on water depth in the intertidal zone of Hamelin Pool by illustration. In addition, we compared these illustration with 3D images reconstructed from photographs to emphasize objectivity. As a result, the relationship between shape of stromatolite and marine regression were clarified.

Keywords: Stromatolite, shape, water depth, marine regression, Hamelin Pool.

1 はじめに

西オーストラリア州ハメリンプールには浅潮下帯から潮間帯にかけて様々な形状の現生ストロマトライトが形成されている。これらは風や波、および、4000年前からの海退の影響を受けている。形状の記載そのものは、Logan^[1] や Golubic^[2]、Jahnert and Collins^[3]の報告にもあるが、垂直方向の形状変化には着目していない。潮下帯では、円柱状であることが多いが、成長して潮間帯に入ると大きく変化する。直立しているストロマトライトは、円柱状 (columnar) ^[1]として一括されるが、詳細な形状変化は見過ごされている。そこで、浅潮下帯から潮間帯に掛けてどのように変化するのかを調査した。

2 調査地

調査地は、西オーストラリア州ハメリンプール南南東の Flagpole Landing である。

3 調査方法

3.1 スケッチ

水中観察および折尺を使用した計測を行い、それらを整理して 1cm 単位の形状図を作成した。

3.2 真円度

画像処理ソフトウェア ImageJ (NIH: National Institute of Health) の Circularity 機能を使い真円度を測定した。ImageJ では $4\pi \times \text{面積} / (\text{境界線の長さ})^2$ として求められ、真

円が 1 であり、真円から遠ざかるに連れ 0 に近づく。

3.3 斜め画像からの 3 次元像の復元

スケッチのみでは客観性に欠けるため、同地点の他の写真より 3D モデルによる立体像を復元し側面から見た真円度を求めた。低潮帯、低潮帯～平均海面、平均海面付近の 2 次元の斜め写真上に 3 次元画像処理ソフトウェア Blender (GNU) を使い Wireframe の Cylinder を変形させて 3 次元のストロマトライトを復元した (図 1)。また 3D モデルを回転し真横から輪郭を求め、スケッチと比較した。

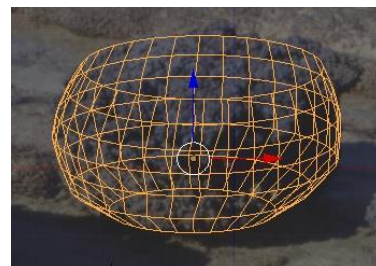


図 1 Blender による立体復元の例

4 結果

4.1 スケッチによる形状変化

スケッチによる形状変化を図 2 に示す。真円度は、低潮帯で 0.84~0.85、低潮帯から平均海面で 0.89~0.91、平均海面付近で 0.73~0.80 に変化することが分かった。

4.2 斜め画像からの立体像の復元

斜め画像から復元したストロマトライトの真円度は、低潮帯で 0.81~0.82、低潮帯から平均海面で 0.83~0.91、平均海面付近で 0.72~0.79 となりスケッチによる真円度と同様の傾向を示し、スケッチが潮間帯でのストロマトライトの形状変化を反映していることが確かめられた。

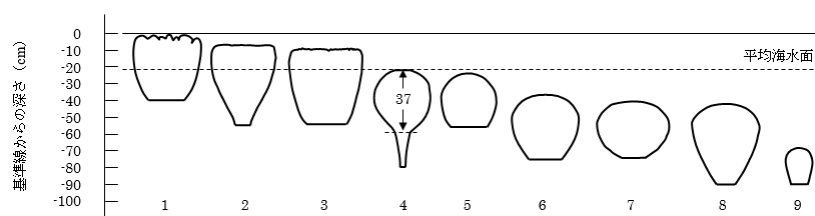


図 2 スケッチによる水深と形状

5 考察と結論

5.1 水深との関係

図 2 よりストロマトライトの形状は水深に依存している。

5.2 球状形成

潮間帯では、干出により側方成長が促進されること、波の影響が強いため抵抗の少ない球状になると考えられる。

5.3 海退の影響

3~1 は、頂部が平坦で、下半部が弓型に膨らんで緩やかな碗状（お碗のような形状）を呈しており、海退の影響を示している。

6 参考文献

- [1] Logan., B.W., Cryptozoon and associate stromatolites from the recent, Shark Bay, Western Australia. Journal of geology v. 69, no. 5, 1961
- [2] Golubic, S. Stromatolites of Shark Bay. In Environmental Evolution, Effects of the origin and evolution of life on planet Earth. Edited by Lynn Margulis and Lorraine Olendzenski., 1991
- [3] Jahnert., R. and Collins., L.B., Characteristics, distribution and morphogenesis of subtidal microbial systems in Shark Bay, Australia. Marine Geology 303-306 (2012) 115-136.

トランプカード画像想起時の脳波による BCI

山ノ井高洋¹, 豊島 恒², 工藤 卓³, 大西真一¹, 山崎敏正⁴, 菅野道夫⁵¹ 北海学園大学工学部, 064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11-1-1

{yamanoi, ohnishi}@hgu.jp

² ジャパンテクニカルソフトウェア, 001-0021 札幌市北区北 21 条西 3-1-14

toyoshima@jtsnet.co.jp

³ 関西学院大学理工学部, 669-1337 三田市学園 2-1

snkudoh@kwansei.ac.jp

⁴ 九州工業大学知能情報工学科, 820-8502 飯塚市川津 680-4

t-ymzk@bio.kyutech.ac.jp

⁵ ソフトコンピューティングヨーロッパ研究所, オビエド, スペイン

michio.sugeno@gmail.com

Brain Computer Interface by EEGs on Recalling of Playing Cards

Takahiro Yamanoi¹, Hisashi Toyoshima², Suguru N. Kudoh³,Shin-ichi Ohnishi¹, Toshimasa Yamazaki⁴, Michio Sugeno⁵¹ Hokkai-Gakuen University, W 11-1-1, S 26, Central Ward, Sapporo, 064-0926.² Japan Technical Software, W 3-1-14, N 21, North Ward, Sapporo, 001-0021.³ Kwansei Gakuin University, 669-1337, Gakuen 2-1, Sanda, 060-0812.⁴ Kyushu Institute of Technology, 680-4 Kawazu, Izuka, Fukuoka, 820-8502.⁵ European Centre for Soft Computing, Oviedo, Spain.

Abstract: The authors measured electroencephalograms (EEGs) from subjects on recognizing and on recalling 13 types of playing card images (from Ace to King) presented on a CRT. Each presented image card is the club. The canonical discriminant analysis was applied to these single trial EEGs. Four channels of EEGs at the right frontal and temporal were used in the discrimination. The data vectors are in eighty four dimensions. The number of external criteria is thirteen, from Ace to King. Results of the canonical discriminant analysis were more than 90 % for three subjects. We could control a micro robot by thirteen commands from images of playing card.

Keywords: EEG, Canonical discriminant analysis, Brain computer interface, Playing card image

判別用 EEG データの前処理

これまで著者らは, EEG 計測において, 国際 10-20 法に基づいた 19ch で計測を行い, 得られたデータに等価電流双極子推定法を適用し, この際の脳内処理の時空間的推移を明らかにしている. しかしながら, BCI の目的には, 19ch のデータ全てを判別に使用することは効率的でない. 著者らの一連の BCI 先行研究においては, ERP のピーク極性反転と中前頭回活動の関連性が示されたことに着目し, この付近の 4ch のデータを利用している.

前処理後 EEG データへの正準判別分析適用とその結果

使用したデータは、正常な視覚を有する 22 歳の被験者女性 YI, YT, YY に対して、トランプカードのクラブのエースからキングまでの 13 枚を被験者に提示し、提示時と想起時の EEG を計測した結果である。なお、3 名の利き手は右であった。それぞれの EEG データを 84 個の説明変量を持つデータとして、13 群に対する正準判別分析を試みた。外的基準がトランプの画像 13 種類、説明変量が 4ch の脳波電極から計測された EEG データからサンプリングされた 84 個のデータである。この際に、それぞれのデータに対してジャックナイフ統計を行った。判別すべき 1 トライアルのデータを除き、残りの EEG を学習データとして判別係数を求めて、除いた 1 トライアルのデータに対し、得られた判別係数を用いて判別を試みた。これをすべてのデータに対し試みた。この結果、いずれの被験者に関しても、判別率は 90% を越えた。1 例を Table 1 に示す。計測した PC からこの判別結果を Bluetooth によって、マウスに送り 13 種類の動作制御を行う事が可能となった。

Table 1 Example of result of the discriminant analysis for playing card recognition (Discriminant ratio 92.31% Subject YT). Letters in red are discrimination errors.

Obs/Pred	A	2	3	4	5	6	7	8	9	10	J	Q	K	Total
A	5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	8
2	0	5	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8
3	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
4	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
6	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8
7	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	8
8	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8
9	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	8
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	8
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Total	5	7	6	8	9	8	8	8	8	11	9	0	8	104

参考文献

- [1] H. Toyoshima, T. Yamanoi, T. Yamazaki, S. Ohnishi: Spatiotemporal Brain Activity during Hiragana Word Recognition Task: Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol.15, No.3, pp.357-361, 2011.
- [2] M. Sugeno, T. Yamanoi: Spatiotemporal Analysis of Brain Activity during Understanding Honorific Expressions, JACIII, Vol.15, No.9, pp.1211-1220, 2011.
- [3] T. Yamanoi, H. Toyoshima, T. Yamazaki, S. Ohnishi, M. Sugeno, E. Sanchez: Micro Robot Control by Use of Electroencephalograms from Right Frontal Area: JACIII, Vol.13, No.2, pp.68-75, 2010.
- [4] 山崎敏正: 32 チャネル電極キャップによる脳内等価電流双極子推定, CLINICAL NEURO-SCIENCE, 18-2, pp.186-190, 2000.

ヒステリシス曲線の数理と形

米田守重

日本電子専門学校 電子応用工学科、東京都新宿区百人町 1-25-4

yoneda@jec.ac.jp

Mathematics and form in the hysteresis loops

Morishige Yoneda

Japan Electronics College, 1-25-4 Hyakunin-cho, Shinjuku-Ku, Tokyo 169-8522, Japan

Abstract: Hysteresis loops are a phenomenon of history in the response at the external field which are observed in common at magnetic materials, dielectric materials and elastic body.

However, until now, these has not been almost approach from mathematics and form. In this talk, I will describe the general approach from mathematics and shape of the hysteresis loop.

Keywords: Hysteresis loops, Magnetic materials, Dielectric materials, Mathematics and form.

1. はじめに

ヒステリシス曲線は磁性体、誘電体、弾性体等の様々な系で観測される外場の応答に関する履歴の現象で、それら各系に共通な曲線の形状と数理からのアプローチはあまりなされていなかった。本講演では、最初に各系のヒステリシス曲線の形状について考察し、数値計算によるシミュレーション結果から得られる数理的なアプローチからの見解を述べる。

2. 様々な系に於けるヒステリシス曲線の形

ここでは様々な系で現れるヒステリシス曲線の形について、具体例を示しながら解説する。最初に代表的な例として、強磁性体[1]のヒステリシス曲線を図1に示す。

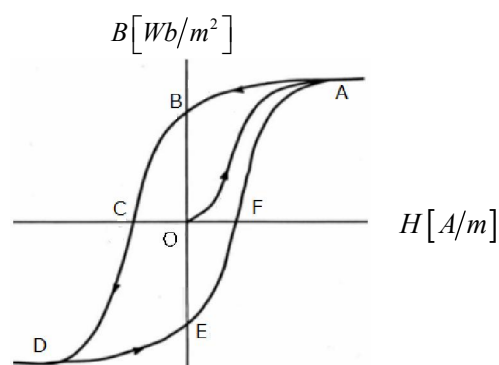


図1. 強磁性体のヒステリシス曲線の例

図1に示した矢印に従って、 $0 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow A$ の順に閉じたループを辿る履歴を示している。強誘電体の場合は、図1で水平軸を電場 $E[V/m]$ 、垂直軸を電束密度 $D[C/m^2]$ と置き換えれば、強誘電体のヒステリシス曲線の形状と考えることが出来る。弾性体の低サイクル疲労場合についても、水平軸をひずみ(strain) ε [dimensionless]、垂直軸を応力(stress) $\sigma[N/m^2]$ と置き換えれば、図1と類似の形状のヒステリシス曲線と解釈される。図1は単一ループであるが、図2にダブルループ[2]から成る磁性体のヒステリシス曲線の

例を示す。

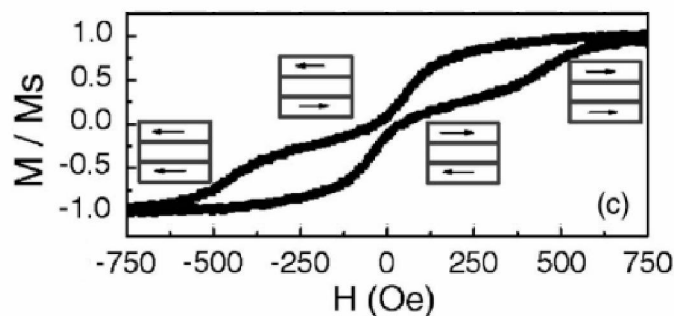


図 2. ダブルループから成る磁性体のヒステリシス曲線の例

図 2 の例のようなダブルループの磁気ヒステリシス曲線を生じるには、強磁性構造のみの単純な構造でなく、2つの強磁性層の間に非磁性層をサンドウィッチ状に挟んだ層状構造をし、さらに強磁性層間の相互作用は反強磁性的である必要がある。次の図 3 に誘電体の (a) シングルループと (b) ダブルループに加えて (c) トリプルループの各種ヒステリシス曲線の例[3]を示す。

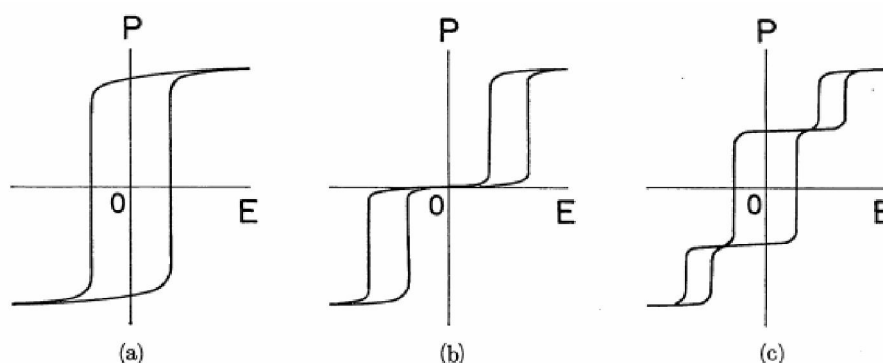


図 3. 誘電体の各種ヒステリシス曲線の例

図 3. (a) のシングルループは強誘電性、図 3. (b) のダブルループは反強誘電性、図 3. (c) のトリプルループはフェリ誘電性を示すと考えられている。以上に示したダブルループのヒステリシス曲線の例は、コンクリートブロック石積みの壁のヒステリシス挙動[4]に於いても観測されている。本講演では、複数ループが発生するヒステリシス曲線のモデルを数理的なアプローチから導入し、それについて数値計算によるシミュレーションから得られた結果についての見解を述べる。

参考文献

- [1] JILES, D: Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman & Hall (1991), Second Edition.
- [2] Han-Chun Wu, S. K. Arora, O. N. Mryasov and I. V. Shvets: Appl. Phys. Lett. 92, 182502 (2008).
- [3] 沢田 正三: 鉱物学雑誌 14(Special2), 297-303, 1980.
- [4] Sheng-Cai Li, Jian-Xi Dong and Li-Feng Li: Structural Engineering and Mechanics, Vol. 41, No. 1 (2012) 95-112.

心臓のループ形成を考える

本多久夫

神戸大学大学院医学研究科；理化学研究所

神戸市須磨区若草町 1 丁目 7-11

hihonda@hyogo-dai.ac.jp

On the Formation of Heart Loops

HONDA Hisao

Kobe University Graduate School of Medicine;

RIKEN Center for Developmental Biology

Abstract: Using the cell-based model of vertex dynamics for a sheet in 3D space, a columnar tube can be changed to a loop like the embryonic cardiac loop of animals, where cells were assumed to divide in anisotropic fashion with a longitudinal belt consisting of non-dividing cells. Anisotropic behaviors of cells were discussed in relation with asymmetric expression of genes.

Keywords: cardiac loop, vertex dynamics, anisotropic cell behaviors

「生物が行っている形態形成の理解に物理化学の原理がどこまで有効か」を考えながらいろいろな対象をしらべている。今回は心臓のループ形成についてである。

ヒトやトリの心臓形成の初期には、将来心臓になるチューブが周囲の成長より速く伸長することにより、たるんで左ねじ回りのループを形成する。これには物理学で知られている座屈に似た現象が関与しているのではないかと考えた。

【コンピュータ・シミュレーション】円筒の表面に多角形を敷き詰めたパターンをつくり (図 1a)、多角形の辺のなかで右肩上がりの辺 (図 2a の太線) だけを収縮させると、多角形は変形し全体として円筒表面はねじれる (図 1b,c)。これはハエの発生過程で後腸のチューブが左回りに 90 度ねじれる現象 (大阪大学・松野健治ら) を説明するためのコンピュータ・シミュレーションである。これには前々回の形の科学シンポジウム[1]で紹介した 3D 空間に、多面体で敷き詰まった曲面の変形を扱う vertex dynamics を使った[2-3]。

心臓に見られるループ形成のメカニズムとして、このチューブのねじれに基づいたものを考えた。円筒表面に並んだ多角形細胞は増殖して筒全体は拡大する。もとの円筒の側面に縦に並んだ多角形の帯を考えて (図 1a の灰色部分)、これに属する細胞は特別な細胞で他のようには増殖しないとすると、膨らむ所と元のままの所と二つの領域ができる。その結果図 3b のようなコブのあるねじれができた。これは心臓形成初期に見られるループに対応する。シミュレーションによって、細胞分裂の方向が斜めに片寄り、左肩上がりの方向に分裂した細胞が並べば (図 2b)、右肩上がりの辺の収縮は考えなくても同じようなコブができることが分かった。

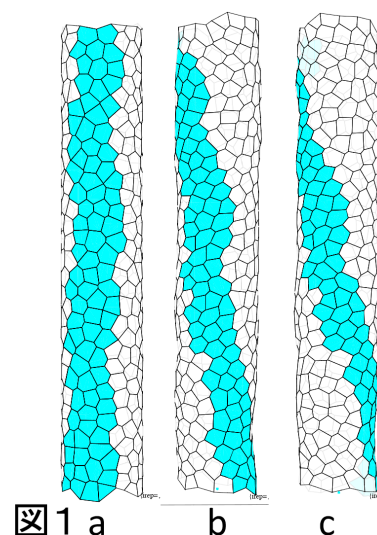


図1 a b c

シミュレーションの結論：チューブ表面に分裂を抑制された細胞からなる縦方向の帯領域をつくり、この領域外で細胞の斜め上方向への分裂を進めるとチューブはコブのあるねじれをつくりループが形成される。

【考察】現代の生物学では多くの場合、ゲノム（遺伝子の集団）が形態形成に関与していると考えられている。私は遺伝子のこの関与の仕方は限定的で、生物体を構成している物質は基本的には物理化学の原理によって形を形成し、この形成過程で遺伝子が要所要所で働くことで遺伝子は形態形成に寄与しているのではないかと考えている。そうだとすると心臓のループ形成ではどのような遺伝子の寄与が考えられるだろうか。

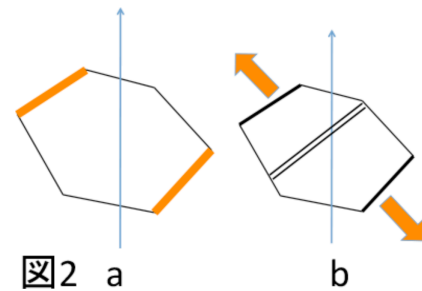


図2 a

b

初期胚で体内に外胚葉の細胞が落ち込んで内胚葉や中胚葉ができるとき、落ち込み部位近くで右から左に液体の流れが知られている。このあと側板中胚葉が胚の左と右にできる

のだが、流れが原因になって側板中胚葉の左右で遺伝子の発現に違いができる。左側板中胚葉にだけ発現する遺伝子が知られている (*nodal* や *pitx2*)。やがて左右の側板中胚葉が中央で融合しながらチューブができ、これが心臓になる。したがって、心臓になるチューブは左右で何かが異なっていると考えてよい。今回のシミュレーションの結果を考えると、チューブの左右で細胞増殖の程度や分裂の方向が異なるようなことがあると心臓形成初期の左ねじ回りのループ形成が理解できると思われる。

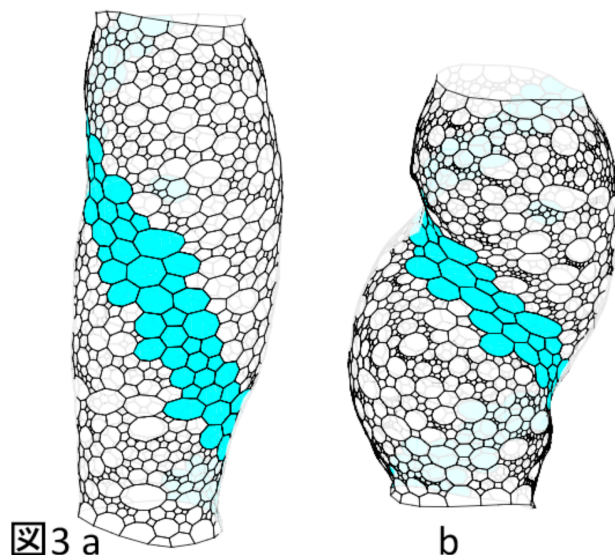


図3 a

b

[1] 本多久夫 (2014) 「面積が収縮して短冊がねじれる」 第 77 回形の科学シンポジウム (6/13-15、埼玉県立大学)

[2] Honda, H. and Nagai, T. (2015) *J. Biochemistry* **157**, 129-136

[3] Honda, H., Tanemura, M. and Nagai, T. (2004) *J. Theor. Biol.* **226**, 439-453.

葉の枝分かれに見られる非対称性について

中益 朗子、末松 J. 信彦、木村 成介

九州大学院 福岡市東区馬出 3-3-1

明治大学、東京都中野区中野 4-2 1-1

京都産業大学 京都市北区上賀茂本山

nakamasu@anat1.med.kyushu-u.ac.jp

Asymmetries observed in branches of leaves.

Akiko Nakamasu

Kyushu University, 3-1-1 Maidashi, Higashiku, Fukuoka City, 812-8582 Japan

Abstract: Leaves of plants are not the completely symmetrical structure even if they show attractive balanced shape. The asymmetry is observed in several axes and orders in such leaves. Some kind of dissected leaves show the branched structure having asymmetries. The asymmetries were observed in the number of leaflets positioned upward and downward of each primary leaflet, then the directions of asymmetries were considered species specific. From the analysis of a mathematical model, it was known that the symmetrical branched structure could be generated by expanding the leaf margin at the equal speed based on the equally spaced positional information. When we introduced the different speed of each growth axis to this model, the asymmetry of branched structure could be observed, even if the equally spaced pattern underlying the behind of this branch formation. The difference of growth speed could well explain the degrees of asymmetry in actual plants. Therefore, we confirm the plausibility of this hypothesis, by investigating the distributions of leaflets in several plants that indicate the difference of growth speeds.

Keywords: branching structure, leaf shape, asymmetry,

【植物の葉の枝分かれ構造に見られる非対称性の理論的な説明】

植物の葉では、幾つかの異なる軸に沿った異なるオーダーの非対称性が見られることがある。今回、そうした非対称性のなかで、葉の枝分かれ構造の非対称性に着目した。枝分かれ構造は複葉や分裂葉といった葉で見られる。なかでも主軸に対して二次・三次の軸を持つような葉において、二次軸の両サイドの枝の数が異なっている事がある（図 1A）。多くの植物において、一枚の葉に含まれる全ての二次軸は同じ方向の非対称性を示している。つまり、どの二次軸も下側が多くなっているか、上側が多くなっているかのどちらかに統一されているケースが多い（図 1B）。一方で方向性がばらつく植物では常にバラついていく（図 1C）。ここから、枝分かれしている葉の非対称性の方向は、気まぐれなものではなく種特異的であり、その種の葉の形を特徴付ける重要な指標であると考えられる。

これまでに、我々は複葉や分裂葉の持つ枝分かれ構造が、ごくシンプルなルールで説明できる事を示してきた。複葉や分裂葉に限らず、例えば単葉のヒイラギで見られるようなギザギザ（鋸歯）といった辺縁構造は、葉がふちの部分における繰り返しパターンに基づいて遠心方向に成長することによって生じる。枝分かれがおこるのは、そうした変形に伴

うふちの伸長を反映して、パターンが増える性質を持っているためだと考えられる。このとき、全ての変形が同じ速度で続くと対称性の高い枝分かれ構造が出来てくる。ところが、等速の成長ルールが保たれなければ、枝分かれは対称性を失う。今回、主軸と二次軸の成長速度に着目し、これらが異なっていれば実際の植物で見られる枝分かれの非対称性の多くを説明できると示した。また、実際にそのような成長速度の違いがあるのかどうかを、葉の枝分かれ構造における枝の分布を調べることで確かめた。

つまり、今回の結果は、①葉のふちの長さの変化を測って葉の形を変形させるパターンと、②①に基づいた変形の変速しているもう一つのパターンの存在を強く示している。

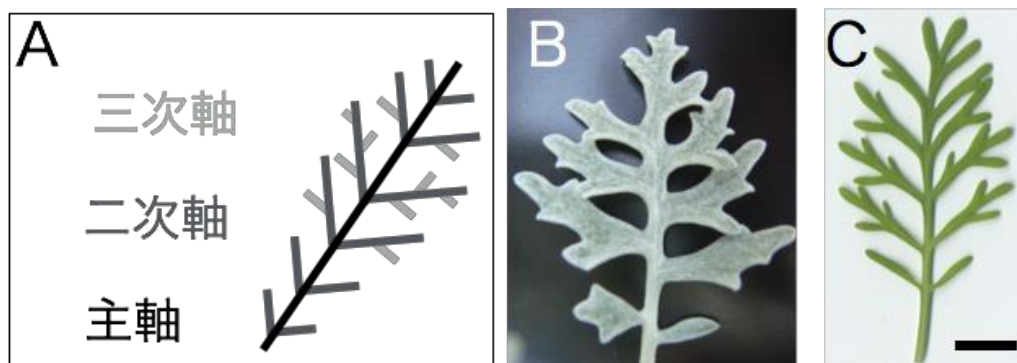


図1 複葉や分裂葉で見られる枝分かれ構造の非対称性

【枝分かれの非対称性と葉序との関わり】

一方で、葉の形はその生涯を通して変わりうるということが知られている。多くの植物種において「ヘテロブラシティ」と呼ばれる成熟に関連した植物型の変化がよく見られる。ある植物では植物体の成熟に伴いより複雑な枝分かれ構造への変化が見られるが、枝分かれの非対称性は生涯に渡っておよそ同じ方向を保つ(図 2A)。一方、別の植物においては、非対称の方向性が植物体の成熟に伴い常に変化する(図 2B)。こうした枝分かれの非対称性の方向が変化する際には、葉序の変化も伴うことを見出した。非対称な枝分かれの方向性と葉序との関わりについても時間の許す限り考察したい。

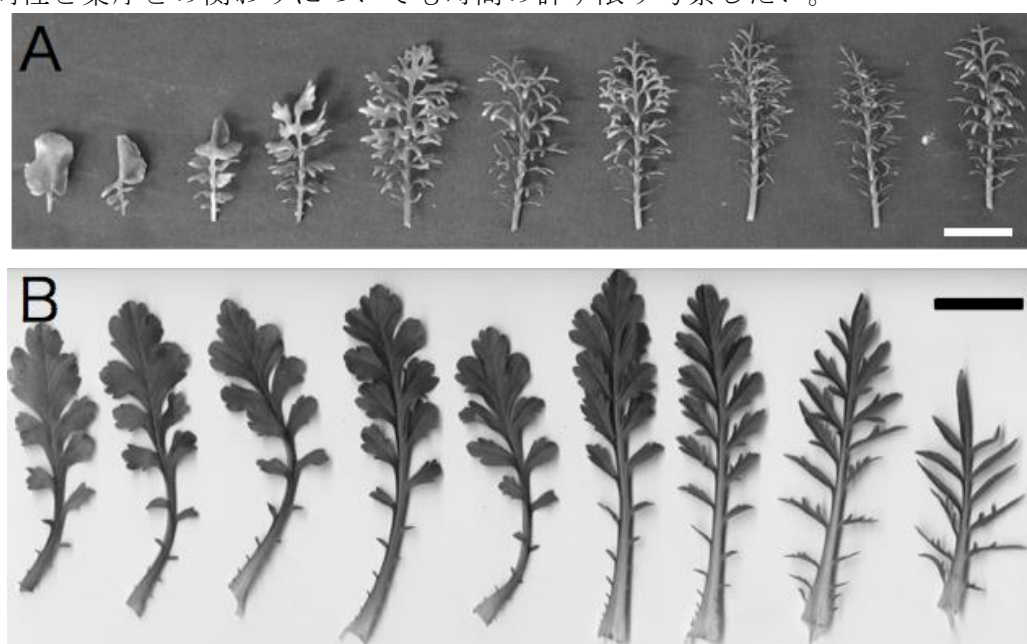


図2 葉序と非対称な枝分かれの方向性は植物の成熟に伴い変化する

円錐状炭素クラスターにおける分子構造の幾何学的な検討

吉野 隆¹⁾, 蒲生西谷美香¹⁾, 白石美佳²⁾

1) 東洋大学理工学部, 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100

2) 東洋大学大学院理工学研究科, 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100

tyoshino@toyo.jp

Geometrical Consideration of Molecular Structures of Cone-Shaped Carbon Clusters

Takashi Yoshino, Mikka Nishitani-Gamo, and Mika Shiraishi

Toyo University, Kujirai 2100, Kawagoe 350-8585

Abstract: We considered molecular structures of cone-shaped carbon Nano clusters from a viewpoint of geometry. The vertical angles of the clusters are restricted only five values corresponding to degrees of torsion of given hexagon ring.

Keywords: Cone-Shaped Carbon Clusters, Polyhedron Geometry

1. はじめに

蒲生西谷らのグループは「マリモカーボン」と呼んでいるカップスタック状の炭素ナノファイバー (CNF) からなる球状炭素材料の合成に取り組んでいる。CNF は、炭素原子からなる円錐状のカップが積層し、繊維状をなすと考えられる。マリモカーボンを構成する円錐状のカップ (以下円錐状炭素クラスター) は、実験条件によって円錐の頂角の値が異なることがわかっている。しかし、その分子構造 (炭素原子のつながり方) が頂角によってどのように異なるのか、頂角の違いは離散的なのか連続的なのかなどの不明な点がある。本研究ではその構造を幾何学的に考察することを目的としている。

2. Euler の多面体定理からの検討

ある間隔で五員環を入れることによって円錐形状を作っている可能性を検証するために、Euler の多面体定理から五員環の個数を推定した。円錐状炭素クラスターは五員環と六員環のみからなり、すべての炭素原子の腕の数は3本であると仮定する。幾何学の言葉で言えば、「底面を作る多角形以外は5角形と6角形で構成され、すべての頂点次数が3である凸多面体」を考える。

繋ぎ目が6角形で構成されている同種の円錐形状多面体を繋ぎ合わせて Euler の多面体定理を適用することにより、この円錐状炭素クラスターは6個の五員環と任意個数の六員環で構成されていることがわかった (より一般的な証明は講演にて紹介する)。これは、円錐状炭素クラスターの大きさが異なっても使える五員環の個数は同じであることを示している。そのため、円錐形状は、ある間隔で五員環を入れて構成されているのではなく、カーボンナノチューブのように、六員環のシート (六方格子のシート) を丸めることによって作られると判断した。

3. シートの丸め方

六員環シートを円錐状に丸めるには、リング状に連結した六員環 (六角形を繋げたリング) の繋ぎ目を切り取り、切れ目にある六角形を捩って繋ぎ直せばよい。その考え方を図

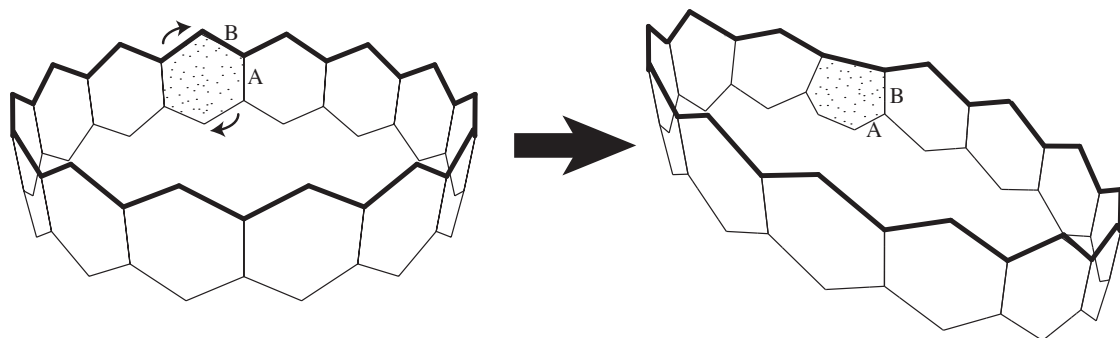


図 1：繋ぎ変えの例 ($\pi/3$ 回転, $k = 1$) .

1 に示す．図 1 はハッチがついた六角形を $\pi/3$ だけ回してから繋ぎ直している．六角形を $k\pi/3$ だけ捻ると，リングの上部に接する辺（図 1 の太線部分）の数が k だけ減り，リング下部に接する辺の数が k だけ増える．これによって，一周の増分が k であるようなリングの重なり構造を持つ円錐が得られる．そして，円錐の種類は k の選び方だけ存在する． $k = 6$ のとき，六角形リングは平面を作り，平面シート（グラフェン）が得られる．そのため，円錐形状は $k = 1, 2, \dots, 5$ の 5 種類に限定される．繋ぎ目を $\pi/3$ 回転させることは，リングの向きを変える場所（折れ目）を 1 つ作ることに同じである．同様に， $k\pi/3$ 回転させることは k 個の折れ目を作ることに同じである．

もとのリングが作るベルトの長さを円錐の底面の周長に近似して半頂角の値 θ を概算すると， $\theta = \sin^{-1}(2\sqrt{3}k/6\pi)$ となる． $k = 1$ から 5 まで順に， 10.6° ， 21.6° ， 33.5° ， 47.3° ， 66.7° である．これは，紙を丸めて作った模型から得た値とほぼ一致している．また，実験結果で現れる数値ともよく一致している．

4. 数値計算による検証と考察

均等に折れ目を配置した六角形リングを用いてカーボンナノチューブにおける zigzag 構造と等価な構造を数値計算によって作成し，その構造を CG で表現した．底面と平行な面にリング上の頂点が乗ると仮定して，各平面における頂点配置を決定し一辺の長さが等しくなるように高さを決定した．図 2 にその例を示す．得られた構造は正六角形で構成されていない．すなわち，円錐の回転軸を対称軸とする炭素原子の配置は不可能であることが判明した．実際の炭素クラスターにおいて正六角形がいびつであるのか，それともバンドを少し傾けて正六角形構造を構成しているのか（構成し得るのか）の検討が今後の課題である．

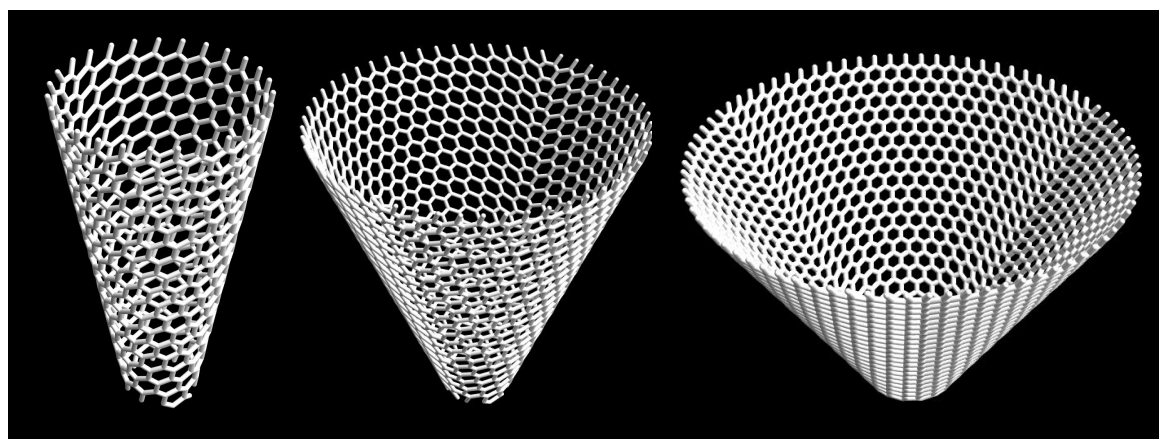


図 2：円錐構造の計算例（左から順に $k = 5, 4, 3$ ）.

対称性を持つ構造システムの系統的な 部分モデル抽出法に関する一考察

秋田剛¹

¹千葉工業大学工学部機械サイエンス学科,
〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1
akita.takeshi@04.alumni.u-tokyo.ac.jp

A Study on Systematic Approach for Extraction of Partial Models in Symmetrical Structure Systems

Takeshi AKITA¹

¹Department of Mechanical Science and Engineering, Chiba Institute of Technology
2-17-1 Tsudanuma, Narashino-City 275-0016, JAPAN

Abstract: This paper presents a study on systematic approach for extraction of partial structural models in symmetrical structure systems. A block diagonalization method is used to decompose displacement vector spaces into symmetrical coordinate systems. A simple example is provided to evaluate the presented procedure.

Keywords: Symmetrical Structure System, Group Theory, Block Diagonalization

1. はじめに

構造物の持つ対称性を利用して、部分モデルを用いて解析や設計を効率化する方法が古くからなされている。一般に全体モデルから抽出可能な部分モデルは、系の持つ対称性の種類によって複数存在することが多いが、どのような部分モデルが構築可能かを設計者や解析者が経験的に考察することが多い。本研究では、群論を用いた代数的な分類法により対称性を持つ構造物の部分モデルの系統的な抽出方法を考案する。

2. 剛性行列のブロック対角化

一般に有限要素法により離散化された構造物の剛性方程式は、次式で表される。

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{f} \quad (1)$$

ここに系の自由度を n として、 $\mathbf{u}, \mathbf{f}$ は離散化された各節点の変位ベクトルおよび外力ベクトルを並べて構成された n 次元縦ベクトル、 $\mathbf{K}$ は各要素剛性行列を重ね合わせて作成した n 次元の剛性行列である。構造物の対称性は群の表現行列を使って定義することができる^[1,2]。群の表現論により、構造物が対称条件を満たすとき、次式のように変位ベクトルを対称座標系に変換することが出来る。

$$\mathbf{u} = \sum_{\mu \in R(g)} \mathbf{H}^{\mu} \mathbf{q}^{\mu} \quad (2)$$

ここに μ は構造物の対称性に対応した群 G のある既約表現、 $R(g)$ は既約表現の全体を表す。また $\mathbf{H}^{\mu}$ は対称座標系の基底ベクトルからなる行列を表し、 $\mathbf{q}^{\mu}$ はその座標値となる。ここで対称座標系への座標変換行列を

$$\mathbf{H} = [\dots, \mathbf{H}^{\mu}, \dots] \quad (3)$$

と定義すると、剛性行列は、

$$\tilde{\mathbf{K}} = \mathbf{H}^T \mathbf{K} \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \ddots & & \mathbf{0} \\ & \tilde{\mathbf{K}}^\mu & \\ \mathbf{0} & & \ddots \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\tilde{\mathbf{K}}^\mu = \mathbf{H}^{\mu T} \mathbf{K} \mathbf{H}^\mu$$

のようにブロック対角化される．式(1), (2), (4)より，対称座標系における剛性方程式は，次式のように $R(g)$ の独立した剛性方程式に分解できる．

$$\begin{cases} \vdots \\ \tilde{\mathbf{K}}^\mu \mathbf{q}^\mu = \mathbf{H}^{\mu T} \mathbf{f} \\ \vdots \end{cases} \quad (5)$$

上式から，外力ベクトル $\mathbf{f}$ によって，系に $\mathbf{H}^\mu$ に対応する変形モードが生じることがわかる．各 $\mathbf{H}^\mu$ で表される変形モードは， G の部分群に属する対称性を有しており， $\mathbf{H}^\mu$ を評価することで，全体系がどのような荷重条件でどのような対称性を持つ変形が生じるかを，代数的な方法で系統的に評価することができる．

3. 数値例題

数値計算例として，Fig.1 に示される文献 1 と同様の 3 次元トラスを考える．トラスの上面図からわかるように，トラスは 120° ， 240° の回転に対して対称性を有し，また中央の正三角形の対称軸に対して鏡面对称性を有している．これらの対称性は，位数 6 の 2 面体群に対応する．トラスの自由節点数は 3 であり，全自由度は 9 となる．Fig.1 のトラスに対して群の表現論により式(2)の対称座標系への変換式を求めると $\mathbf{H}^1, \mathbf{H}^2, \mathbf{H}^3, \mathbf{H}^4$ の 4 つが得られ，それぞれに対応した部分モデルを考えることが出来る．例として $\mathbf{H}^2$ における座標変換行列の変形パターンを Fig.2 に示す． $\mathbf{H}^2$ は xy 面内の回転に対応する変形モードとなる．この変形モードは，位数 3 の巡回群 C_3 に対して不変となる．つまり，外力ベクトルが $\mathbf{H}^2$ の列空間上にあるとき，トラスの変形は C_3 に対して不変となるので，部分モデルとしては全体の $1/3$ のモデルを用いればよいことになる．

文献

- [1] Ikeda, K. and Murota, K.: Bifurcation analysis of symmetric structures using block-diagonalization, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 86 (2), pp.215-243, 1991.
- [2] 有尾一郎：ブロック対角化理論による対称構造物の構造解析の並列高速化に関する研究，博士論文，1995.

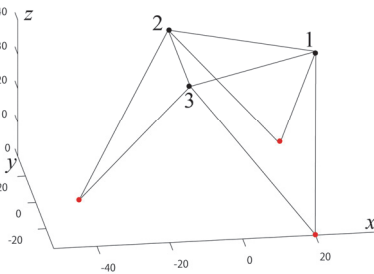
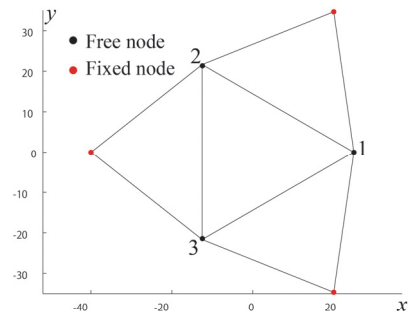


Fig. 1 Triangular truss model

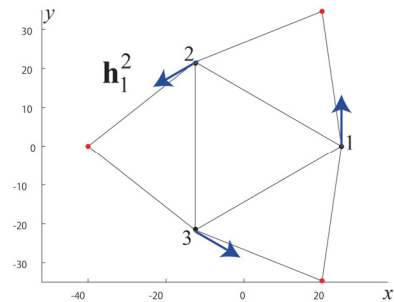


Fig. 2 $\mathbf{H}^2$ 列空間の変形モード

固体材料における微細構造時間発展の評価技術の開発

原祥太郎¹¹千葉工業大学工学部機械サイエンス学科

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

hara.shotaro@p.chibakoudai.jp

Development of predictive method
for microstructural evolution in solid systems

Shotaro HARA*

*Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino, Chiba 275-0016, Japan

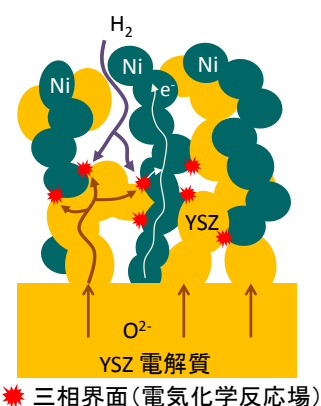
Abstract: Since sintering of sub-micron-sized particles is a critical phenomenon affecting the electrochemical performance and reliability of energy systems such as solid oxide fuel cells, a better understanding of this microstructure-related process is of great importance. In this study, we show that kinetic Monte Carlo modeling is capable of quantitatively predicting the three-dimensional (3D) microstructure evolution over an entire stage of sintering at the sub-micron scale. This is achieved through direct comparison of simulation results and 3D microstructural analysis using focused ion beam-scanning electron microscopy.

Keywords: solid oxide fuel cells, microstructural evolution, sintering, numerical modeling

1. 緒言

固体で構成される機械システムの様々な特性は、その固体が有するメゾスケールでの微細構造に依存する。例えば、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の電極構造は、図 1 に示すようなサブミクロンの粒径をもつ金属 Ni とセラミックス YSZ 粒子が混合した多孔状の複雑な微細構造を有しており、イオン・電子・ガスの輸送速度や電気化学反応場量といった電池性能に関わる特性は、多孔構造の幾何学的特徴と強い相関を持つ。よって、SOFC システムの高性能化を考える上で多孔構造を制御することは必要不可欠となる。

一般的に、電極多孔構造は、高温焼結プロセスを通して製造される。すなわち、初期材料粉末は 1400℃ 近くの高温にさらされ、焼結時間とともにその微細構造は変化する。この微細構造の時間発展の様子は、材料の拡散係数といった速度論的特性に加え、初期粉末がもつ相対密度・平均粒系・粒度分布・粒形状といった幾何学的特性とも密接に関連するため考慮すべき変数が非常に多く、これまで十分に体系化されてこなかった。こうした背景をふまえ、本研究では電極多孔構造の制御に向け、焼結に伴う微細構造の時間発展を予測可能とする数値計算技術を開発し、実験との比較を行った。



★ 三相界面 (電気化学反応場)

図 1 電極微細構造の模式図

2. 微細構造変化の計算機予測と実験検証

三次元焼結解析にはモンテカルロ法を用いた[1]。焼結体微構造の時間発展は、古典的な固相焼結理論に基づき、粒成長・表面拡散・粒界拡散による緻密化の3つの物理現象に従うものとする。これらの現象をある定めた頻度に従って発生させながら、モンテカルロ法によりエネルギー最小化を図り、構造の時間発展を求める。また、本シミュレーターでは、およそ数百から数千程度の数の初期粒子について、単相焼結だけでなく複相焼結中の挙動が予測できるよう拡張を行っている[2]。また、東京大学生産技術研究所の鹿園研究室と連携し、FIB-SEMによる実焼結体の三次元復元技術[3]によって実構造と計算予測構造とを比較し、本予測技術の妥当性検証も試みた。図2（右）に、実験から得られた粒子径・屈曲度ファクターといった微細構造の幾何学パラメータの挙動を示す。同時に、実験から得られた微細構造を入力とした時の計算によるパラメータ予測（実線）も示す。両者はよく一致しており、本計算技術が微細構造の時間発展の予測ツールとして妥当であることがわかる[4]。今後、様々な初期粉末構造に適用することで、本ツールはより高性能な電極構造の製造指針を提示できる有用な工学ツールへと発展させることが期待できる。

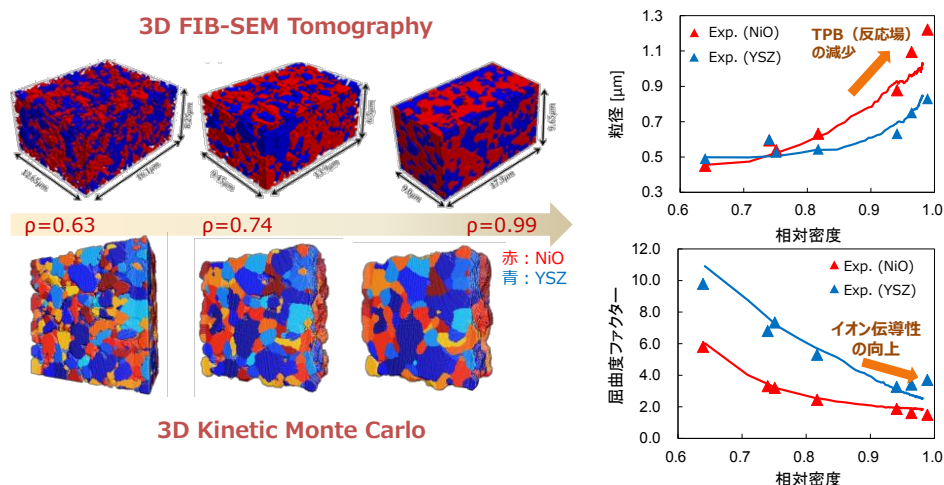


図2（左）複相焼結中の微細構造の時間発展の様子（上：実験観察，下：計算予測），（右）幾何学的構造パラメーター（粒径と屈曲度ファクター）の密度依存性

文献

- [1] V. Tikare, M. Braginsky, D. Bouvard and A. Vagnon, “Numerical simulation of microstructural evolution during sintering at the mesoscale in a 3D powder compact” *Comput. Mater. Sci.*, Vol. 48, (2010) 317-325.
- [2] S. Hara, K. Shikata, N. Shikazono, S. Izumi and S. Sakai, “Monte Carlo study on the constraint effect of YSZ phase on Ni sintering in Ni-YSZ composite system”, *ECS Transactions*, Vol. 57 (2013) 2857-2863.
- [3] T. Shimura, Z. Jiao, S. Hara and N. Shikazono, “Quantitative analysis of solid oxide fuel cell anode microstructure change during redox cycles”, *J. Power Sources*, Vol. 267, (2014) 58-68.
- [4] S. Hara, A. Ohi, N. Shikazono, “Sintering analysis of sub-micron-sized nickel powders: Kinetic Monte Carlo simulation verified by FIB-SEM reconstruction.” *J. Power Sources*, Vol. 276, (2015) 105-112.

複数の円形状を含む組み立てブロックとその数理的性質

松浦 昭洋 白根 弘士

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

Mathematical Properties of the Building Blocks That Include Several Circles

Akihiro Matsuura Hiroshi Shirane

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

Abstract: In this note, we present a family of circle-based 3D blocks for building geometric and organic shapes and also investigate fundamental mathematical properties of these blocks.

Keywords: building blocks, circles, silver ratio, 3D model, 3D printer

1. はじめに

単純な構造体を組み合わせて多様な形態を作成する枠組は、自然物、人工物を問わず様々な場面で現れる。本稿では、玩具や模型の素材として有用な組み立てブロックを取り上げる。従来からあるそのような代表的構造体としては、直方体を基本とするレゴブロック、ダイヤブロック、ナノブロック、三角形、正方形を基本とする LaQ、円形を基本とするロンディ、斜方二十・十二面体に類似したノードを用いたゾムツール等が挙げられる。我々は、複数の円形状を含む平面図形の族に着目し、3D モデル化、3D プリンタによる試作、様々な幾何学的形状、有機的 shape の作成により、組み立てブロックとしての有用性を検討した。また、それらの図形のもつ基本的な数理的性質を求めた。

2. 複数の円形状を含む平面図形とその基本性質

玩具や模型製作に有用な組み立てブロックには、単体としての形態や機能の複雑さ、豊かさより、単純さ、美しさ、ブロック同士の連結性、拡張性の高さ等が要求される。それらの条件をみたすブロックの製作のため、まず、図1の平面図形に着目した。本図形は、同一径の二円を中心角 90° の同一径の円弧でつないだ形状をもち、円弧の凹部、凸部を利用することで、図2(a)~(d)に示す多様な図形の積み重ね、連結方法が可能である。これらの性質は、本図形を三次元に実体化した場合、ブロック同士の積み重ねや多様な連結、回転等の操作が可能であることを示唆している。なお、図1の図形において、(横方向の総長):(円の直径)の比の値は $\sqrt{2} + 1$ で、「白銀数」と呼ばれる。本図形には、さらに二円のサイズ比や円の数を変えたバリエーションも考えられる。図3(a)に、二円の直径比が $\sqrt{2}:1$ 、つまり白銀比で、連結部の円弧の径が小円と同じ図形を示す。本図形は、図3(b)のように複数を密着させて配置することができる(図3(b)で隣り合う三小円の中心のなす角度は 90°)。また、図4に三つの円形状をもつ拡張図形を示す。本図形を 60° 回転すると六円が外接する。

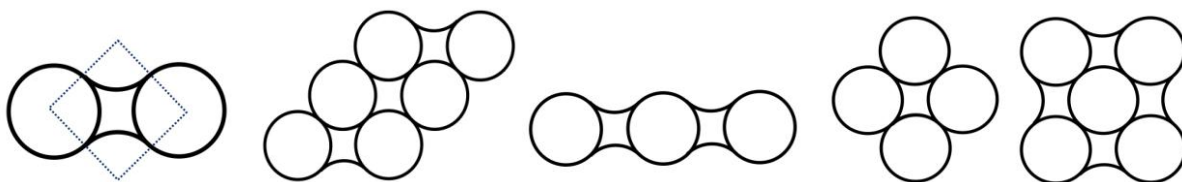


図1 二円をもつ図形

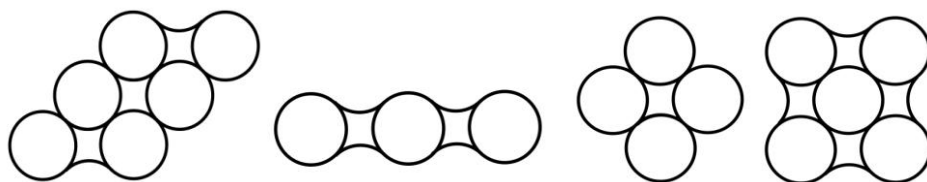


図2 (a) 積み重ね (b) 直線状の連結 (c) 十字連結 (d) 四つの連結

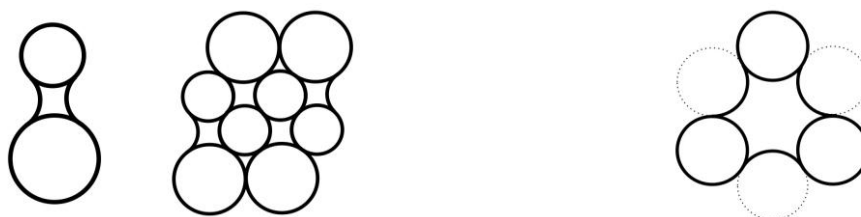


図3 (a) 直径比 $\sqrt{2}:1$ の二円をもつ平面図形 (b) 四図形の密着

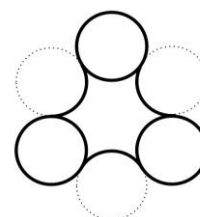


図4 三円をもつ拡張図形

3. 3Dモデル化・ブロックの試作・形態の作成

2章の図形の3Dモデル化においては、三次元方向には柱状に伸ばし、ブロック同士の円部分での連結および中央部での十字連結を可能とするため、図5のように円の上面にいくつか突起を付け、高さ方向には三層化した。図では(円筒部の高さ):(中央部の高さ):(突起の高さ)=2:1:1である。

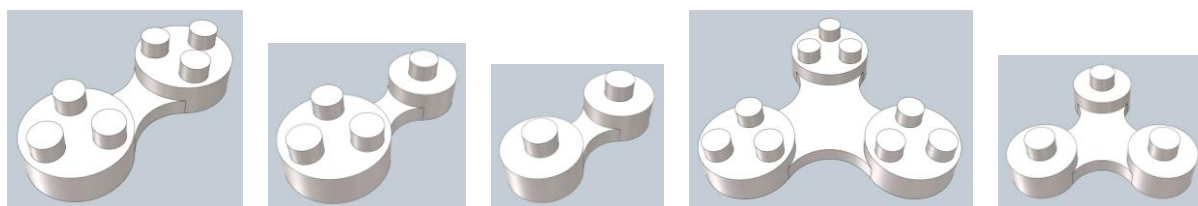


図5 複数の円をもつ組み立てブロック五種の3Dモデル

本モデルを3Dプリンタで打ち出し、様々な形態の作成を行った。図2、図3の構成の作成例を図6に示す。また、生物形状の作成例を二つ、図7に示す。ここでは紙面の都合で限られた例のみ図示するが、この他様々な幾何学的形状、生物形状の作成が可能であることを確認した。



図6 図2、図3の積み重ね(密着)、連結の実現

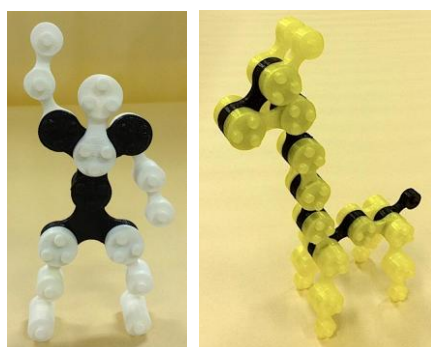


図7 生物形状の作成例

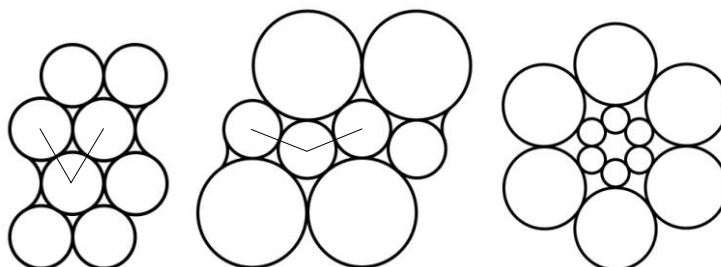


図8 図形同士が密着するケース(平行状、円環状)

4. 図形の一般化とその数理的性質

図3(b)の四図形の密着した構成は、隣り合う三小円のなす角度を一般に θ とすると(図3では $\theta = 90^\circ$)、密着した状態となる θ の範囲を問う問題が生まれる(同時に、二円の半径と θ の関係も問題となる)。図8の最初の二図は θ が下限、上限となる場合を表し、それぞれ $\theta = 60^\circ$ 、約 139.3° となる(計算略)。図8の最右図は、二円をもつ図形を六つ円環状に密着するように配置した場合を示す。ここで、二円をもつ図形の数 n 個、小円の半径を1として、一般に n 個の図形が密着する場合の大円の半径 r を求めると、 $r = (1 + \sin(\pi/n)) / (1 - \sin(\pi/n))$ となる。特に、 $n = 6$ のとき、 $r = 3$ である。

5. まとめ

複数の円形状をもつ組み立てブロックとその基本的な数理的性質について述べた。試作したブロックは白銀比をサイズに内包し、嵌合性や密着性に関する機能性と美しさを併せもつ。様々な幾何形状、有機形状を実際に作成し、一定の形態生成力をもつことを確認した。今後は、作成可能な形態のさらなる蓄積、新たなブロックの考案、提案ブロックの有効性の検証等を行う予定である。

なお、本研究はJSPS 科研費 25330437 の助成を受けて行った。

ゾウの脚とアリの脚 (スケール則から見る形の力学)

菊池 耕生¹¹ 千葉工業大学工学部未来ロボティクス学科,

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

kikut@ieee.org

Elephant Legs and Ant Legs (Mechanics of Shape based on Scale)

Koki KIKUCHI¹¹Dept. of Advanced Robotics, Chiba Institute of Technology

2-17-1, Tsudanuma, Narashino, Chiba, 275-0016

Abstract: In this lecture, robotic design principles based on scale are introduced. Since the volume force such as gravity is proportional to the length cubed and the area force such as muscle force is proportional to the length squared, scale down from m to cm changes the physical dimension. The smaller the body size, the larger the relative force per weight. This scale effect determines not only the design parameters such as leg thickness, leg arrangement, wing shape, and structural symmetry but also the control method. Here insect scale robots are shown and the characteristics are discussed from the viewpoints of statics, kinematics, and dynamics.

Keywords: Mechanical design, Physical dimension, Scale effect

1. スケールと物理次元の関係^[1]

形を変えずにスケールを変えると力学的な効率は大幅悪くなる。身長が 1m もある巨大アリはあの細い脚では自重を支えられそうにないし、翼幅が 1m もあるハチはあの小さな翅では飛べそうにない。これは、長さに対する物理次元の指数法則による。自重 $mg (= \rho L^3 g)$ は長さ L の 3 乗に比例するので、身長が 2 倍になると 8 倍の力で重力に逆らわなければならない。ところが、筋力は筋肉断面 $S (=L^2)$ に比例するので、身長が 2 倍になっても 4 倍にしかない。身長の増加比率分以上に脚は太くしなければならない。材料力学的な視点から見ても、自重 mg による梁の撓み角 θ は長さ L に比例するため、大きくなるほど自重で撓みやすくなる。結局、ここでも脚は太くしなければならない。また、運動学的な視点から見ると、大きな生物は、4 つの脚を体の下に伸ばして配置し、歩行や休息時脚を伸ばしきった特異姿勢を積極的に利用する。こうすると疲れ難い。これに対し、小さな生物は、6 つの脚を体の側面から伸ばして配置し、関節どうしを直角に曲げた姿勢をとることで可操作性を上げている。どの方向にもすぐさま動けるファイティングポーズである (図 1)。一方、スケールがすべての物理特性を変えるかということもそういうわけでもなく、節どうし (腿と脛等) の長さ等は、一定長さにおいて足先速度を最大にするため、両者とも等しくなっている。移動効率の改善のため、進行方向に対して対称性を作り出しているのも同様である。

地上においてスケールが決定する設計原理は、空中においても同様に存在する。翼は、スケールが小さくなるほど、体に対して小さくなり、デザインの許容範囲も広がってくる。昆虫の翅は、2 枚、4 枚、正方形、長方形、鞘翅など多種多様である。鳴くための翅は左右

非対称で、飛ぶための翅は左右対称である．動力的な視点から見ると、大きな飛行物体は絶対速度に優れ、小さな飛行物体は加速性や旋回性に優れる．スケールが力学特性を変え、それぞれにあった形や機構を作り出し、固有の運動性能を生み出しているといえる．



図1 ゾウの脚の構造とアリの脚の構造

2. cm のスケールにおける力学特性を利用したロボット

ここで、スケール効果を積極的に利用した「水」「陸」「空」小型ロボットを紹介したい．図2 (a)は、10cm, 10g の水陸両用移動ロボットである^[2]．水上を6体長/秒で、陸上を1体長/秒で移動する．足先の形や大きさは、足先が水面を叩くことで作られる気泡のサイズや消失速度によって決まる．図2 (b)は、8.5cm, 14g の爪型壁面登攀ロボットである^[3]．コンクリート壁面を0.3mm/sで登攀する．爪の形状は、壁面の窪みのサイズによって決まる．図2 (c)は、翼幅10cm, 0.5g の蝶型はばたきロボットである^[4]．10Gを超える飛びたちを実現している．翅の形状は、固有振動数、剛性分布等によって決まる．動画など詳細は、本講演においてご紹介したい．

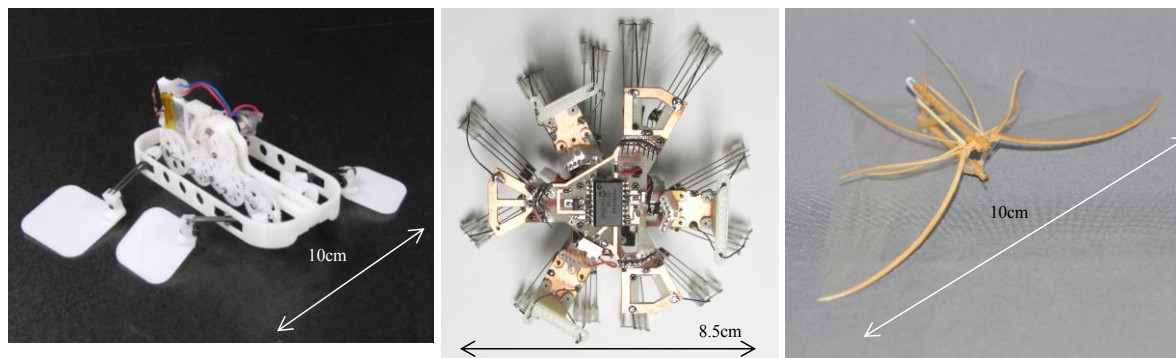


図2 (a)水陸両用移動ロボット, (b)爪型壁面登攀ロボット, (c)蝶型飛行ロボット

参考文献

- [1] 菊池, センチメートルサイズの移動ロボット, 日本設計工学会誌, Vol.48, No.4, pp.172-178, (2013).
- [2] 菊池, 小型水上移動ロボット, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.1, pp.30-34, (2015).
- [3] M. Funatsu, Y. Kawasaki, K. Kikuchi, *et al.*, DEVELOPMENT OF cm-SCALE WALL CLIMBING HEXAPOD ROBOT WITH CLAWS, MM (Modern Machinery) Science Journal, pp.484-489, (2014).
- [4] 藤川, 菊池他, 弾性体リンクによるリード・ラグ機構を有する蝶型はばたきロボットの開発, 日本機械学会論文集 C 編, 第 76 巻, 第 770 号, pp.2663-2670, (2010).

分子の形と進化 (形は生き残る)

河合剛太

千葉工業大学工学部生命環境科学科

千葉県習志野市津田沼 2-17-1

gota.kawai@p.chibakoudai.jp

Shape and Evolution of Molecule -the shape survives-

Gota Kawai

Department of Life and Environmental Sciences, Faculty of Engineering,
Chiba Institute of Technology

Tsudanuma, Narashino, Chiba, JAPAN

Abstract: Recent progress of protein structure determination revealed that several proteins share same shape in many cases. The shape is important for the function of proteins and survives during functional evolution of proteins.

Keywords: Protein Structure, Evolution, Origin of Life

[序]

私たちを含め、地球上の生命はすべて同じ祖先から進化してできたと考えられている。生命において、その体を構成し、また化学反応を司る重要な分子のひとつがタンパク質である。タンパク質は、もともと 1 本の紐状の構造であるが、多くの場合、特定の形に折りたたまり、その機能を発揮している。では、この形はどのように進化してきたのであろうか。

[タンパク 3000 プロジェクト]

20 世紀の終わり頃、さまざまな生物の遺伝情報が明らかにされ、その成果として、タンパク質の設計図が明らかとなった。それを受けて、21 世紀当初に世界規模でタンパク質の立体構造解析、つまり形を調べる研究が精力的に進められた。その結果、大量の立体構造情報がデータベースに蓄積された (1)。日本ではタンパク 3000 プロジェクトと呼ばれたこのプロジェクトに私たちも末席ながら参画し、ある一群のタンパク質の構造を 30 個ほど決定した。私たちのターゲットはプリンヌクレオチド生合成系と呼ばれるもので、大腸菌からヒトまで、すべての生物に共通に存在する経路であり、そこには一つの生物種において 14 種類程度のタンパク質が含まれている。プリンヌクレオチドは、DNA や RNA といった核酸の原料であり、生命にとって最も基本的な物質の一つである。



図 1. PurD の立体構造モデル (3D モデル)

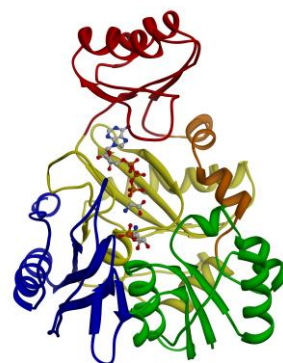


図 2. PurD のリボンモデル (イメージ)

[タンパク質の形]

タンパク質は、せいぜい 10 nm 程度の小さな分子であり、その形を直接見ることはできない。しかし、一つ一つの原子を球と仮定して原子配置からモデルを作成することは可能である。図 1 はそのようにして作成した PurD と呼ばれるタンパク質の立体構造モデルである。(PurD が何かについては、ここでは問わない。) このようなモデルは、「実体モデル」などと呼ばれ、おそらく本来の姿に最も近いモデルと考えて良いと思うが、実のところ、これでは塊にしか見えない。そこで、タンパク質の研究者は、もともとの一本の紐をたどり、図 2 のようなコンピュタイメージを作成し、これを見ながら仕事を行っている。

[形と進化]

タンパク 3000 プロジェクトにおいて、多くの立体構造が決定されていく中で、私たちを含め、研究者たちは良く似た構造が散らばっていることに気づいた。プリンヌクレオチド生合成系に関してだけ見ても、よく似たものがいくつも見つかった。図 3 の左から 3 つのタンパク質 (PurD, PurK および PurT) はいずれもプリンヌクレオチド生合成系に含まれるタンパク質で、似てはいるけれども異なる働きをもっている。この 3 つは、元となるアミノ酸の並び方はかなり異なっているが、出来上がった形は瓜二つであり、図のようなモデルにしてしまうと区別がつかないほどである。図 3 の右側 4 つに示したように、これらとよく似たもの、あるいは、部分的に似ているものが、プリンヌクレオチド生合成系以外でも見つかった。これらのことからわかることは、細胞の中にはよく似た形のタンパク質がたくさんあるということで、これは、多くのタンパク質がその形を保ったまま、新しい機能を持つべく進化しているということを示している。

[結語]

現在のような生命が生まれるためには、様々な形を持ったタンパク質が創造されなければならなかった。この過程についてはまだわかっていない。一方、いったん役に立つ形が見つかり、生物はその形を使い回し、様々な機能を獲得したようである。大切なものは形であり、それは生命の起源のころから生き残っているようである。

1. 日本蛋白質構造データバンク <http://pdj.org/> (登録されているデータは世界共通.)
2. Crystal Structures of Glycinamide Ribonucleotide Synthetase, PurD, from Thermophilic Eubacteria, Sampei, G., et al., *J. Biochem.* **148**, 429-438 (2010).

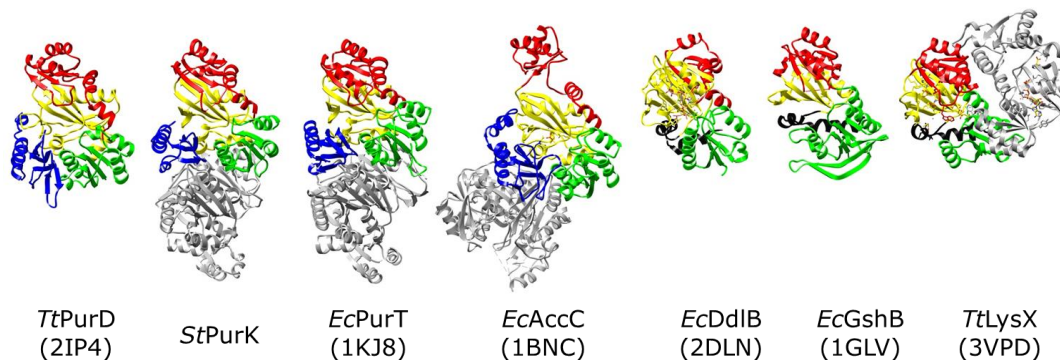


図 3. 似た形をもつ様々なタンパク質

最初の 2 文字 (Tt など) は、そのタンパク質の由来となった生物種を示している。

伸びてねじれる精巣上体細管のかたち作り Coiling Morphogenesis of Epididymal Tubule

平島 剛志/ Tsuyoshi Hirashima

京都大学 再生医科学研究所/ Institute for Frontier Medical Sciences, Kyoto University

〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町 53

hirashima@frontier.kyoto-u.ac.jp

Abstract: Shape formation during organ development has been extensively studied from a molecular angle; however, understanding of the mechanical process regulating the shape formation is not understood well. I talk about the epididymal tubule morphogenesis as a clear illustration to show that mechanical aspects involve in the organ development, and propose a physical mechanism underlying the morphogenetic process of murine epididymal tubule. Also, the relationship between the shape and the function will be discussed.

Keywords: Biological Morphogenesis, Organ Development, Pattern Formation, Epididymal Tubule Patterning

1. はじめに

生体内の臓器は、その形成過程において、自律的に秩序を持った構造を作り出す。自己組織的に形成される臓器のかたち作りを理解するにあたって、関与する遺伝子群のリストアップは進んでいるが、遺伝子が生み出す細胞集団の動的な振る舞いやそこから生成される力学機構は十分に明らかになっていない。遺伝情報だけに依拠しない臓器形成機構の発見と解明が求められている¹。

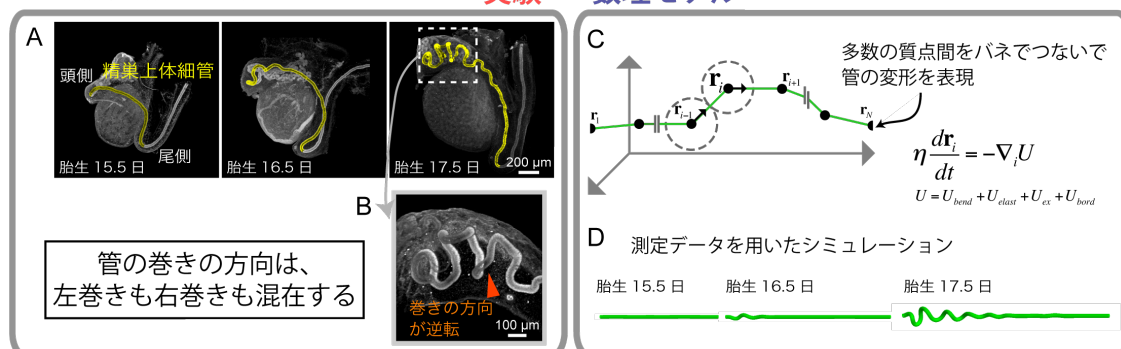
2. 精巣上体細管のかたちの変化

本講演では、臓器形態形成における力学機構のわかりやすい一例である精巣上体細管の形成過程に注目する。マウスの発生過程において、精巣上体細管は頭尾軸方向にその長さを伸ばし、受精後 15 日目を境に折れ曲がり、ほぼ等間隔の波長を持つ波状構造を自発的にかたち作る (図 1 A)。さらに段階が進むと、管がねじれを伴った構造を作ることがわかる。管の巻きの方向をよく見てみると左巻きも右巻きも混在しており、巻きの方向が逆転する捻転をいくつも見つけることができる (図 1 B)。つまり、折れ曲がりねじれる精巣上体細管の形態変化は、一定方向の回転力によって駆動されているものではないことがわかる。

図 1 : 精巣上体細管の折れたたみ形態形成

実験

数理モデル



3. 管が折れ曲がり、ねじれる仕組み

では、精巣上体細管が折れ曲がり、ねじれる仕組みはどういった物理機構に支えられているのだろうか？細胞の動態の観察・定量的結果、管を構成する細胞の増殖により頭尾軸方向に管がまっすぐ伸長することで、管の周囲組織との摩擦が生じ、構造が不安定化（座屈）することがわかった。さらに、管のかたちと周囲組織の力学環境との関連を明らかにするために、定量データに基づく単純な数理モデルを考えた。この数理モデルは、細胞の大きさほどの粒子を線形バネで連結することで、精巣上体細管の中心線のダイナミクスを表現する（図1C）。測定データを組み入れたシミュレーションにより、観察された現象が再現可能であることを確認した（図1D）。また、この数理モデルを解析することで、以下のような関係式を導いた。

$$\lambda \propto \eta^{-1/4} \quad (1)$$

λ は形成される管の波長を、 η は管周囲組織の粘性を表している。式（1）に基づいた実験により、管周囲組織の粘性の低下に伴って形成される管の波長が長くなることを検証した。理論と実験によって得られた結果を突き合わせることで、精巣上体細管が折れ曲がりねじれる仕組みが管の伸長に伴う座屈現象に起因し、また、形成される細かなかたち（波長）が周囲の力学環境に依存することが明らかになった。詳細は、参考文献2をご覧ください。近年、他の生物種や臓器において、類似のかたち作りの機構が理論と実験を組み合わせた手法により明らかにされてきている³。

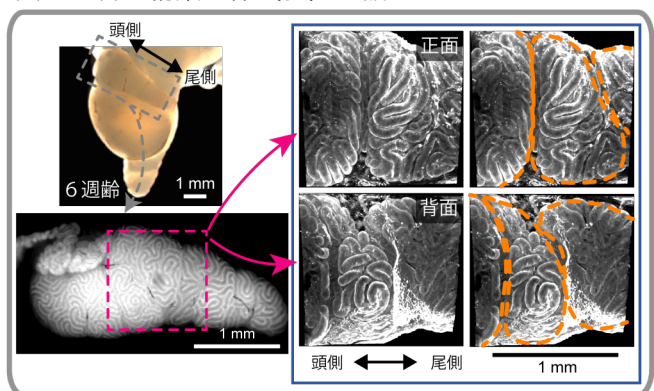
4. かたちと機能に関する考察

これまでは胎児期の精巣上体細管のかたちを見てきたが、ここでは繁殖可能年齢の境目である出生6週後の様子を見てみる。図2にあるように、精巣上体細管は隙間なくぎっしりと精巣上体の臓器の袋の中に詰まっていることがわかる。よく見てみると、パッキングされた管は塊をつくり、その塊が半分重なるように頭尾軸に並んでいる。

精巣上体細管は、精子に受精能を与える場として機能する⁴。精巣で産生された未熟な精子が、この長い管を通り抜けきることによって受精能を獲得するのだ。

もしも管のパッキング効率が繁殖能力に影響を与えるとすれば、精巣上体細管のかたちが自然選択の方向を決める形質の一つになるかもしれない。そうだとすると、胎児期に起こる管の折れ曲がりやねじれを引き起こす力学的要因は、ぎっしりと管を詰め込んで厳しい淘汰をくり抜けるために最適化されたかたち作りのやり方だと考えることもできるだろう。

図2：管が精巣上体（袋）へ詰め込まれている



5. 参考文献

1. Sasai Y, Nature (2013) 493, pp318-326.
2. Hirashima T, Cell Reports (2014) 9, pp866-873.
3. Savin T et al., Nature (2011) 476, pp57-62; Shyer AE et al., Science (2013) 342, pp212-218.
4. Orgebin-Crist MC, Nature (1967) 216, pp816-818.

時計回りの器官形成を支える細胞の左右非対称性

倉永 英里奈

理化学研究所 多細胞システム形成研究センター

組織形成ダイナミクス研究チーム、神戸市中央区港島南町 2-2-3

kuranaga@cdb.riken.jp

Left-right asymmetric cell intercalation controls
clockwise looping morphogenesis in *Drosophila*

Erina Kuranaga

Lab. Histogenetic Dynamics, RIKEN CDB, 2-2-3 Minatojima-minamimachi,
Chuo-ku, Kobe

Abstract: The left-right (LR) asymmetry of the looping organs, such as the heart or gut, arises during development. Although the molecular mechanisms behind the breaking of bilateral symmetry have been well analyzed, little is known about the cellular mechanisms and behaviors that control organ morphogenesis downstream of the LR determination. In *Drosophila*, the male terminalia is known as a LR asymmetric looping organ as a result of clockwise genitalia rotation at the pupal stage. Based on our theoretical and *in vivo* data, we proposed a procedure for clockwise genitalia rotation in which LR asymmetrically polarized cell intercalation organizes the cellular movement in a clockwise direction.

Keywords: LR asymmetry, imaging, rotation, drosophila,

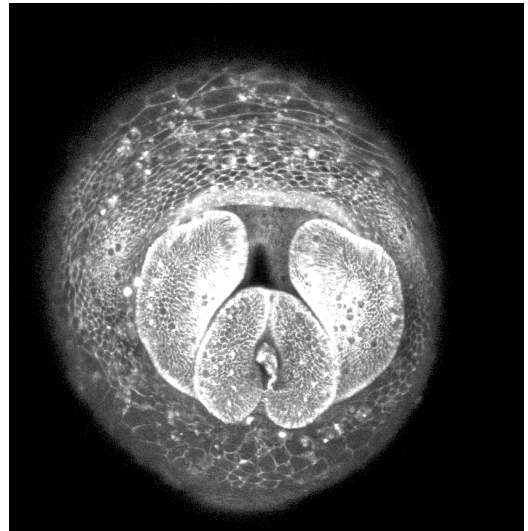
(1) はじめに

私たち多細胞生物は、外見では左右対称にみえても、体内の心臓や肝臓の配置や、消化管のねじれ方など、内臓器官には左右非対称性がある。脊椎動物を中心とした研究によって、このような組織の左右非対称性が、からだの左右軸形成に沿って生じることが明らかになり、左右軸決定の初期メカニズムについて解明が進んできた。一方で、形成された左右軸に従って組織の左右非対称性を形成するしくみ、及び、それを維持するしくみについては不明な点が多く残されている。

(2) 左右非対称な組織形成モデル：ハエ外生殖器の回転形成

我々は、左右非対称な組織形成過程を解析するモデルとして、ショウジョウバエ雄性生殖器の回転形成に注目した。ショウジョウバエ雄性生殖器は、蛹期に 12-14 時間かけて、必ず時計回りに 1 回転する。この回転形成の結果として、成虫雄の内部生殖器である精子射出管が、後腸の周りをぐるりととぐろを巻いて（ねじれて）形成される。この回転形成は、双翅目 (Diptera) に広く観察される形態形成運動であり、報告されている限りでは全て時計回り方向に回転する。2006 年に反時計まわりに回転する変異体が報告されたことで、時計回り方向の回転に必要な分子 (I 型ミオシン) が明らかになったが、どのようにして回転するのか、その駆動力となるメカニズムは不明だった。我々は、回転する過程を単一細胞レベルの解像度でライブイメージングすることに成功し、回転は外生殖器を取り囲むリング状の上皮組織が、時計回り方向に回転することによって成し遂げられることを明らかにした¹。このリング状の上皮組織は、単層のシート構造を形成しており、600 個以上の

上皮細胞が互いに接着性を保ったまま集団で回転していた（右図）。*ex vivo*（外生殖器と上皮組織を個体から切り取って観察）条件下においても、外生殖器を取り囲む組織の回転は観察されたことから、上皮組織は自律的に回転していることが示唆された。そこで我々は、回転中に観られる個々の上皮細胞の挙動を観察したところ、特に細胞の接着結合やアピカル平面極性において、接着面の収縮とそれに伴うつなぎ替えに、左右非対称性が観られることが明らかになった。接着面の収縮は、接着結合を細胞内で裏打ちするアクトミオシン複合体の集積によって制御されており、中でも複合体を構成する II 型ミオシンが、細胞平面に左右非対称に集積することで、左右非対称な接着結合のつなぎ替えを繰り返していることが明らかになった。時計回りの回転時には、からだの前後軸に対して右側（0°から 90°）に傾いている接着面に II 型ミオシンが集積して接着面が収縮・つなぎ替わるが、反時計回りの変異体では、左側に傾いている接着面に II 型ミオシンが集積してつなぎかわることから、この接着面の左右非対称なつなぎ替わりが、時計回り方向の組織回転に寄与することが示唆された。この左右非対称な接着面のつなぎ替えが、実際に上皮細胞シートを動かす駆動力として十分かどうかについては、数理モデルを用いて検証した。シミュレーションでは、動く上皮細胞集団と、それを挟み込む上下の組織を設定した。シミュレーションの結果、右側に偏ったつなぎ替えによって、細胞は左右両方向に移動した。そこで、上下の組織に異方性を導入したところ、挟まれた細胞集団の右方向への動きが確認された（未発表）。



（3）時計回りの回転形成を誘導する上皮細胞のキラリティ

それではこの、左右非対称なつなぎ替えはどのようにして制御されているのか？反時計回りの変異体に、そのヒントは隠されていた。I 型ミオシンの変異体では、回転形成だけでなく、精巣の巻き方向や、胚期の後腸のねじれも野生型と逆向き（鏡像）になる。胚期の後腸のねじれが反転する原因として、後腸の上皮細胞（単層）のアピカル平面の力学的変化が関係することが、2011 年に報告された。後腸上皮細胞のアピカル面では、平面の左右非対称な極性（ゆがみ）が、後腸がねじれる前に観察され、そのゆがみを解消するに伴って、後腸をねじる。I 型ミオシンの変異体では、平面のゆがみが野生型の鏡像になることから、このゆがみは細胞平面の「キラリティ」として捉えられている。我々は、外生殖器回転を誘導する周辺の上皮細胞においてこのキラリティが観察されることを見出した。興味深いことに、キラリティを解消することでねじる駆動力を生み出す後腸上皮とは異なり、回転形成におけるキラリティは、回転直前に形成され（それまでは左右対称）、回転中維持され、回転後に解消されていた。つまり、上皮細胞の平面キラリティが左右非対称なつなぎ替えを誘導している間は、時計回り方向の組織の回転（細胞の移動）が維持されると考えられる。本研究から、個々の上皮細胞がもつ左右非対称性が方向性の制御だけでなく、上皮細胞の集団移動の駆動力としても寄与することが明らかになった（未発表）。

(1) **Kuranaga E**, et al. Apoptosis controls the speed of looping morphogenesis in *Drosophila* male terminalia. *Development* 138:1493-9. 2011

花の左右対称と回転対称を切り替える仕組み

中川愛子¹、北沢美帆²、藤本仰一¹

1 大阪大学大学院理学研究科生物科学専攻、〒560-0043 豊中市待兼山町 1-1,

2 大阪大学全学教育推進機構、〒560-0043 豊中市待兼山町 1-16

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

The mechanism of the transition between bilateral and radial symmetry of flowers

Aiko Nakagawa¹, Miho S. Kitazawa², Koichi Fujimoto¹

1 Department of Biological Sciences, Osaka University, 1-1

Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560-0043

2 Center for Education in Liberal Arts and Sciences (CELAS), Osaka University, 1-16 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560-0043

Abstract: The symmetry of flowers has been experienced multiple changes during angiosperm evolution. To understand the establishment of symmetry during flower development, here we focused on the arrangement of floral organ primordia. The theoretical and experimental studies have revealed that the inhibition of primordium initiation by old primordia regulates the organ arrangement in plants. We introduced the inhibitory signals from adaxial and abaxial regions into the mathematical model. The model reproduced the transition between bilateral and radial symmetry as focused in WT and mutant of *Antirrhinum* and *Arabidopsis*. Our results predict that the inhibitory signals are responsible for transition between floral symmetries.

Keywords: flower, symmetry, mathematical model, *cycloidea*, *blade-on-patiale*

Introduction

花の対称性には左右対称や回転対称がある。被子植物では、近縁種間で対称性が異なる一方で、遠縁の種でも同じ対称性を持つことから、対称性は容易に切り替わり、その仕組みは共通していることが示唆される。発生過程での対称性の決まり方を理解するため、私たちは対称性が切り替わる二つの変異体に着目した。一つは、キンギョソウの *cyc* 変異体である、野生型は 5 数性（花弁とがく片が 5 個ずつ）の左右対称花であるのに対し、変異体は 6 数性の回転対称花である。*CYC* 遺伝子は花芽分裂組織（以下 FM）の背側（茎側）に発現し、花弁とがく片のもととなる原基の数を減らすので、原基形成を抑制する働きが提案されている[1]。もう一つは、シロイヌナズナの *bop* 変異体である。野生型は 4 数性の回転対称花であるのに対し、変異体は 5 数性の左右対称花になる[2]。*bop* 変異体では腹側に苞葉ができ、がく片原基は苞葉を避けるように形成されるので、苞葉はがく片原基形成を抑制すると考えられる。このように対称性と共に変わる原基配置を数理モデルで再現することで、対称性の切り替わりの理解を目指した。

Method

花芽では、花器官原基は FM の縁に同心円上に複数でき、葉が茎の一節に複数つく輪生葉序と類似する。葉原基の配置は、分裂組織を円、原基を点としてモデル化されてきた[3]。私達は、このモデルに背側と腹側からの抑制を新たに導入して花器官原基配置モデルを構築した。

Conclusion

モデルの計算機実験の結果、背側の抑制より腹側の抑制が強い場合にキンギョソウ野生型の原基配置（5 数性でがく片原基が背側に 1 つ、腹側に 2 つ、花弁はがく片と互い違い）を、腹側抑制を背側と同程度まで強めた場合に変異体の原基配置（6 数性でがく片は背側と腹側に 2 つずつ）を再現出来た。このとき、実際のキンギョソウの発生と同様に、中段の 2 個の原基が先に出来た。また、野生型の抑制条件から背側の抑制を弱めると、キンギョソウと同じオオバコ科に属するペロニカ属の配置（4 数性でがく片が背側と腹側に 2 つずつ）が再現できた。シロイヌナズナ *bop* 変異体のがく片と花弁の配置はキンギョソウ野生型とほぼ同じであるが、腹側からの抑制のみでも再現出来た。腹側抑制のみの場合から抑制を弱めるとシロイヌナズナ野生型の原基配置（4 数性でがく片が背側と腹側に 1 つずつ）を再現出来た。すなわち、背腹の抑制を強めると対称性が切り替わるだけでなく、数性が増えた。さらに、キンギョソウ野生型の配置の背腹の抑制強度を反転させると原基配置も反転しマメ科の花器官配置が再現できた。

Discussion

コア真正双子葉植物の中で遠縁のキンギョソウとシロイヌナズナとマメ科の原基配置を一つのモデルで再現出来たので、背側と腹側からの影響の強さにより対称性と数性を切り替える仕組みはコア真正双子葉類全体で働くと考えられる。シロイヌナズナ配置の再現からは、苞葉が原基形成を抑制すると示唆された。実際、CYC の相同遺伝子は多くの種で背側に発現する。また、キンギョソウとペロニカ属は同じ科であることから、科の中で腹側の影響は共通していて、背側の影響の違いのみで数と配置を切り替えていることが示唆される。さらに、円(FM)のサイズ、背腹軸上の抑制、点(原基)の配置の幾何学的な定式化を行うことで、対称性を切り替える境界条件を簡潔に表せるかもしれない。今後は、実際の植物での分子機構とモデルの対応付けと数学を組み合わせ対称性の謎に取り組みたい。

参考文献

- 1 Luo, D. *et al.* (1996) Origin of floral asymmetry in *Antirrhinum*. *Nature* 383, 794 - 799
- 2 Hepworth, S. *et al.* (2005) BLADE-ON-PETIOLE-dependent signaling controls leaf and floral patterning in *Arabidopsis*. *The Plant cell*. 1434-1448
- 3 Douady, S and Couder, Y. (1995) Phyllotaxis as a Dynamical Self Organizing Process Part II: The Spontaneous Formation of a Periodicity and the Coexistence of Spiral and Whorled Patterns. *J. theor. Biol.* 178, 275-294

上皮細胞がくさび形に変形するのに必要な力の探索

---頂底極性にに基づく細胞変形モデル

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

Mechanical modeling of what epithelial cell polarities form wedge-shaped cells.

Motohiro Fujiwara, Koichi Fujimoto

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

Abstract: Wedge-shaping of cells is responsible for bending multicellular sheet leading to morphogenesis in animal epithelium. Although the cell-shape changes are required for cell polarity in apico-basal direction, what mechanical forces operate in the subcellular level is little understood. Here we introduced the apico-basal polarity into a mechanical model to explore a condition for the wedge-shaping. We numerically show that modifying apical constriction can lead to apically or basally wedge-shaped cell.

Keywords: epithelial cell, wedge-shaped cell, apico-basal polarity

Introduction: 生物の体の表面は上皮組織で覆われており、上皮組織が変形することで形作られる。上皮組織の平面から立体への変形は、一部の細胞がくさび形に変形することで引き起こされる。例えば、原腸陥入（図1）や小腸の絨毛の座屈のような形態形成では、上側が尖った **apical** 向きのくさび形が見られ、高密度の上皮細胞群で密度を恒常的に維持するために一部の細胞が組織外に逸脱する現象（図1）では、下側が尖った **basal** 向きのくさび形が見られる。くさび形の細胞はこれら多くの現象で見られるが、くさび形への変形の仕組みはわかっていない。どのような力学的制御により細胞がくさび形に変形するのかを探索することは、多細胞生物の形態形成の解明の手がかりになる。細胞が変形するには、細胞骨格の固さ、細胞増殖、細胞成長、細胞の極性、細胞群の密度、細胞の大きさと様々な要因がある。その中で私は細胞の極性、特に上皮細胞の頂底極性（**apico-basal** 極性）に着目している。なぜなら、個々の細胞の変形は主にアクトミオシンの収縮や細胞の接着によるからである。外界と接する頂端側（**apical** 側）では **actin** がリング状に集積し、基底側（**basal** 側）では細胞が基底膜と接着し、隣り合う上皮細胞の間（**lateral** 側）では **E-cadherin** 等により細胞同士が接着している。これらの頂底極性を数理モデルに導入し、計算機実験でくさび形の細胞を再現することで必要な力を探索した。

Method: 数理モデルには、多細胞組織の力学研究によく用いられる **cell vertex model** を用いた[3]。モデルでは各細胞の **apical** 側、**lateral** 側、**basal** 側を直線で表した四角形の細胞を用いて、四角形を横一列に並べることで一層の上皮組織を表した。細胞の各辺には各極性による力が働くとした。**apical** 側における **actin** の集積による収縮に基づき、**apical** の辺の長さを縮める力を導入した。**basal** 側における基底膜との接着に基づき、**basal** の辺の長さを伸ばす力を導入し、基底膜は固定した。**lateral** 側における **E-cadherin** 等による細胞間接着に基づき、**lateral** の辺の長さを伸ばす力を導入した。また、細胞骨格に基づき、

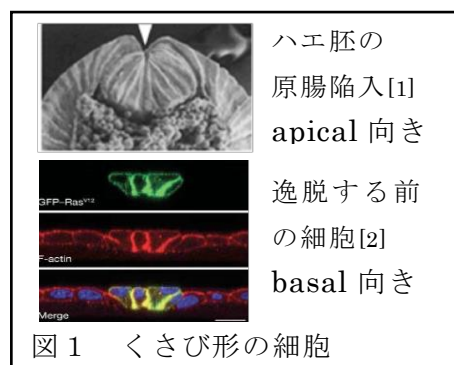


図1 くさび形の細胞

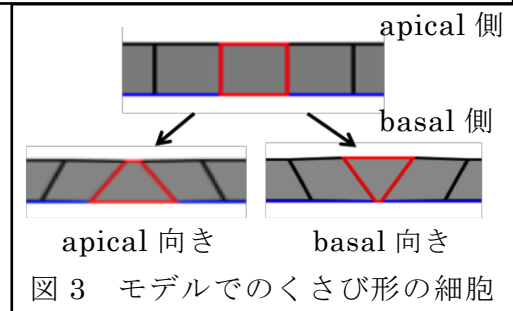
細胞が押しつぶされたり伸びすぎたりしないように、細胞の周囲長が最小になるような力と面積が一定になるような力を導入した（図2）。組織中の一つの細胞の頂底極性の力を周りの細胞より大きくまたは小さくすることで、その細胞がくさび形になるかどうかを apical と basal の辺の長さを計ることで調べた。

$$U = \sum_i \left(\underbrace{\frac{1}{2} k_{ap} R_{ap,i}^2}_{\text{apical面}} + \underbrace{k_{bas} R_{bas,i}}_{\text{basal面}} + \underbrace{k_{lat} R_{lat,i}}_{\text{lateral面}} + \underbrace{\frac{1}{2} k_{peri} L_i^2 + \frac{1}{2} k_{area} (A_i - A_{0i})^2}_{\text{細胞骨格}} \right)$$

図2 使用するエネルギー式

R : 辺の長さ L : 周囲長 A : 面積

Result: モデルの数値計算の結果、一つの細胞の apical 側の収縮を強くすると apical の辺が縮んで apical 向きのくさび形に、弱くすると basal の辺が縮んで basal 向きのくさび形になった（図3）。basal 側の接着の強さを同様に変化させても、basal の辺はあまり変わらず、くさび形にならなかった。また、細胞の lateral 側の細胞間接着の強さを同様に変化させても、くさび形にならなかった。さらに、apical 側の収縮を強くするのに加えて、lateral 側の接着も同時に強くすると、apical の辺はより収縮し、細胞はくさび形になりやすくなった。逆に、lateral 側の接着を弱くすると、apical の辺はより伸張し、細胞はくさび形になりにくくなった。以上のことから、細胞は apical 側の収縮が強いと apical 向きのくさび形になり、収縮が弱いと basal 向きのくさび形になった。さらに、lateral 側の接着が強いと apical 側の収縮を補助する効果があることがわかった。



参考文献

- [1] Sawyer et al., Dev.Bio. 2010
- [2] Hogan et al., nature 2009
- [3] Honda, Int.Rev.Cytol.81 1983

生体高分子模型の開発と評価

○根本直樹¹, 岩村昌宣², 坂本泰一¹, 菊池耕生³, 河合剛太¹, 手嶋吉法²
千葉工業大学工学部¹生命環境科学科, ²機械サイエンス学科, ³未来ロボティクス学科

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 naoki.nemoto@p.chibakoudai.jp

Development and evaluation of biological macromolecular models

○Naoki Nemoto, Masanobu Iwamura, Taiichi Sakamoto, Kouki Kikuchi, Gota Kawai, and
Yoshinori Teshima

Chiba Institute of Technology, Faculty of Engineering,

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

Abstract: We developed biological macromolecular models as teaching materials for students. The models assisted them to understand 3D structure and interaction of biological macromolecules.

Keywords: 3D printer, DNA, RNA, Protein, teaching materials

【緒言】

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生命科学の分野では重要となっている。講義で学生にそれを理解させるには、紙面上の図ではなく、生体高分子の模型を用いた方が分かりやすいが、教材として使える模型は入手困難である。そこで、既に公開されている生体高分子の立体構造情報をもとに、3D プリンターで模型を作成し、講義で使用して学生にアンケート形式での評価を実施した。

【方法】

1. 模型の作成

Protein Data Bank から生体高分子の原子座標データ入手し、分子可視化ソフト UCSF Chimera を使用してデータの編集と STL ファイルへの変換を行った。模型の造形には、熱溶解積層法の Replicator Z18 (MakerBot 社製) と、光造形の M3DS-200 (MITS 社製) と、インクジェット方式の OBJECT500 CONNEX3 (Stratasys 社製) を使用した。

2. 評価

千葉工業大学工学部生命環境科学科の講義「構造生物学」(学部 2 年生対象), 「生化学」(学部 1 年生対象), 「生物学」(学部 1 年生対象) および演者の研究室所属 (学部 3・4 年生, 大学院修士課程 1・2 年生対象) の各学生に模型を手にとってもらい、用意したアンケート用紙に記名式で模型の評価について回答してもらった。

【結果】

熱溶解積層法 17 種, 光造形 8 種, インクジェット方式 13 種, 計 38 種の模型を作成し、それぞれの講義に合った模型で評価を実施した。回答した学生のうち 8 割近くが、生体高分子の立体構造や生体高分子どうしの相互作用の理解に役立ったと回答した。一方、色やサイズの改善を求めるコメントが多数見られた。造形では、コストや複雑な模型でのサポート除去の問題があるが、生体高分子の理解に役立つ模型の開発ができたと考えられる。

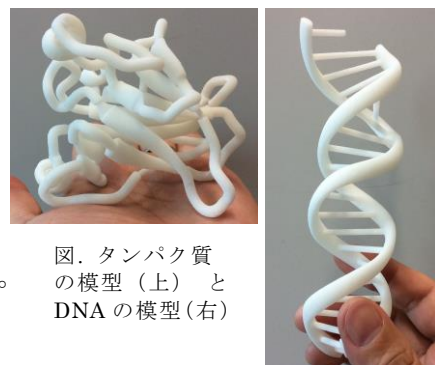


図. タンパク質の模型 (上) と DNA の模型 (右)

微化石の拡大模型

松岡 篤¹, 栗原敏之¹, 岸本直子², 吉野 隆³, 石田直人⁴, 木元克典⁵

1) 新潟大学理学部, 2) 摂南大学理工学部, 3) 東洋大学理工学部,

4) 明治大学研究知財戦略機構, 5) (独) 海洋研究開発機構

amatsuoka@geo.sc.niigata-u.ac.jp

Enlarged models of microfossils

A. Matsuoka¹, T. Kurihara¹, N. Kishimoto², T. Yoshino³, N. Ishida⁴, and K. Kimoto⁵

1) Niigata Univ., 2) Setsunan Univ., 3) Toyo Univ., 4) Meiji Univ., 5) IORGC/JAMSTEC

Keywords: radiolaria, foraminifer, skeleton, X-ray micro CT, layered manufacturing, enlarged model

【展示要旨】

微化石の骨格形成を理解するために、X線マイクロCT技術と積層造形法により多数の実体モデルを作成し、詳細な殻形態の把握に努めてきた。放散虫や有孔虫については、一部の成果をすでに論文として発表している[1] [2] [3] [4] [5]。個体数は少ないが、貝形虫や珪藻についても拡大模型を作成した。今回の展示では、上記の研究に用いた模型を展示する。本研究は、新潟大学自然科学系附置コア・ステーション「形の科学研究センター」が進める分野横断型共同研究の一部である。

文献

- [1] Yoshino, T., Kimoto, K., Kishimoto, N., Matsuoka, A., Kurihara, T., Ishida, N., Matsuura, S., A simple mathematical model for chamber arrangement of planktic foraminifera. *Forma*, **24**(3), 87-92, 2009.
- [2] Teshima, Y., Matsuoka, A., Fujiyoshi, M., Ikegami, Y., Kaneko, T., Oouchi, S., Watanabe, Y., Yamazawa, K., Enlarged Skeleton Models of Plankton for Tactile Teaching. *Lecture Notes in Computer Science*, 6180, 523-526, 2010.
- [3] Matsuoka, A., Yoshino, T., Kishimoto, N., Ishida, N., Kurihara, T., Kimoto, K., Matsuura, S., Exact number of pore frames and their configuration in the Mesozoic radiolarian *Pantanellium*: an application of X-ray micro-CT and layered manufacturing technology to micropaleontology. *Marine Micropaleontology*, **88-89**, 36-40, 2012.
- [4] Yoshino, T., Matsuoka, A., Kurihara, T., Ishida, N., Kishimoto, N., Kimoto, K., Matsuura, S., Polyhedron geometry of skeletons of Mesozoic radiolarian *Pantanellium*. *Revue de Micropaleontologie*, **58**, 25-30, 2015.
- [5] Ishida, N., Kishimoto, N., Matsuoka, A., Kimoto, K., Kurihara, T., Yoshino, T., Three-dimensional imaging of the Jurassic radiolarian *Protunuma? ochiensis* Matsuoka: an experimental study using high-resolution X-ray micro-computed tomography. *Volumina Jurassica*, **13** (1), 77-82, 2015.

トーラスとボヘミアンドームの立体模型 (直観幾何学再び)

手嶋 吉法*†、井 恭平*、小川 泰**

*千葉工業大学工学部機械サイエンス学科 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

**筑波大学名誉教授

Three-dimensional models of Torus and Bohemian dome: the revival of Intuitive Geometry

Yoshinori TESHIMA*†, Kyouhei I* and Tohru Ogawa**

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

**University of Tsukuba (Emeritus Professor)

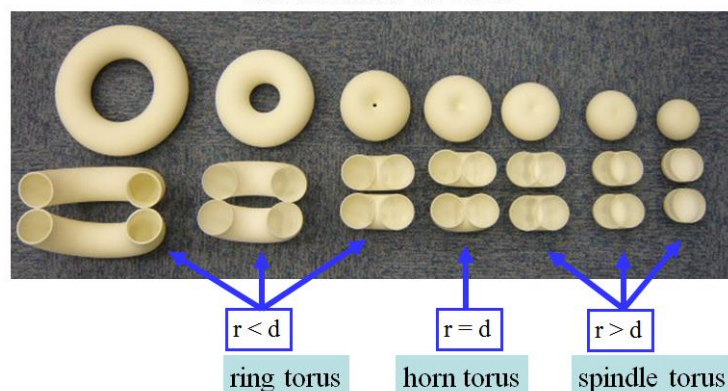
† yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

1880 年頃からドイツで石膏製の幾何学模型が盛んに製作された。F. Klein ら当時の第一線の数学者達を中心となってこの模型製作プロジェクトを進めたことが判っている。ドイツ製の幾何学模型の写真が、ヒルベルト、コーン・フォッセンの著書『直観幾何学』に掲載されている[1]。

筆者らは、2006 年 4 月から 2010 年 3 月までに触って観賞する為の立体模型を開発する科研費プロジェクト(Research Project Number:18200049)をおこない、様々な模型を開発した。その中には、数学曲面も含まれている[2][3]。筆者らは、現在も千葉工業大学にて、数学曲面の開発を継続している。

情報技術やデジタルものづくり技術(数学ソフト、CAD、3D プリンタ等)を活用すると、微妙なパラメタ変化に対応した形状データの生成に大した手間を要しない為、1900 年当時のドイツと比べると圧倒的なアドバンテージがある。今回我々が展示するのは、7 種類のトーラスと 5 種類のボヘミアンドーム、そしてそれらの分割模型である。トーラスもボヘミアンドームも 4 次曲面であるが、立体模型に触れることにより、子供でも形の本質を理解できる(もちろん、適切な説明が必要である)。数学曲面の立体模型を活用することにより、幾何学好きな子供を増やせると確信している。また、特異点を研究する数学者から、精確な形状の数学曲面の作製が、数学の研究にも役立つとの言葉をいただいたことがある。直観幾何学の重要性が再び認識され始めている、と感じる。

Seven kinds of torus



Five kinds of Bohemian Dome

参考文献

- [1] ヒルベルト、コーン・フォッセン、直観幾何学、みすず書房、1960 (原書は 1932)
- [2] Models of Mathematically Defined Curved Surfaces for Tactile Learning, Y. Teshima, T. Ogawa, M. Fujiyoshi, Y. Ikegami, T. Kaneko, S. Oouchi, Y. Watanabe, K. Yamazawa, LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, 6180, (2010) pp.515-522
- [3] 空間を味わい、形を造る, 手嶋 吉法, 数学文化 (Journal of Mathematical Culture), 14 巻 1 号 (2010) pp.51-62

触覚観賞用地球儀の改良およびその触察

細谷洋介（千葉工業大学）、酒井一磨（千葉工業大学）、
青松利明（筑波大学附属視覚特別支援学校）、中野司（産業技術総合研究所）、
田中明子（産業技術総合研究所）、手嶋吉法（千葉工業大学）

Three-Dimensional Models of Earth for Tactile Learning

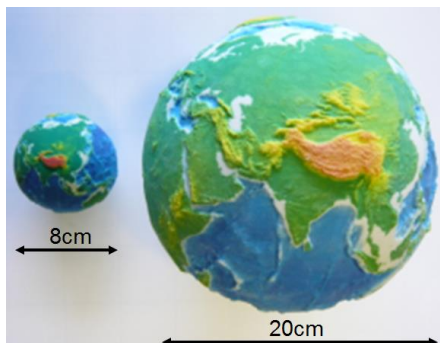
Y. Hosoya, K. Sakai, T. Aomatsu, T. Nakano, A. Tanaka and Y. Teshima

Abstract. Three-Dimensional (3D) tactile models of Earth were constructed for the visually impaired. We utilized exact topography data obtained by planetary explorations. Therefore, 3D models of Earth by additive manufacturing possess exact shape of relief on their spherical surfaces. Several improvements were given to models to suit tactile learning. Experimental results showed that the Earth models developed in this study by additive manufacturing were useful for tactile learning of the globe of the visually impaired.

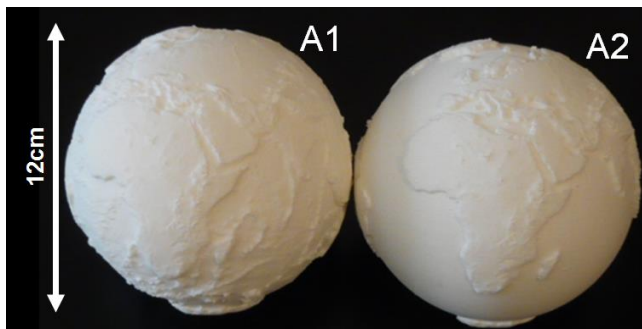
Keywords: tactile 3D model, additive manufacturing, topography data, visually impaired people, globe with exact relief

Reference

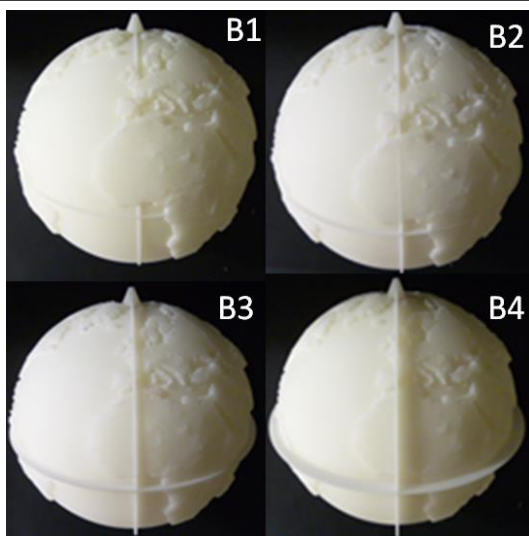
[1] Nakano, T. and Tanaka, A., “Making Globes of the Planets”, 3rd Science Frontier Tsukuba, November 2004.



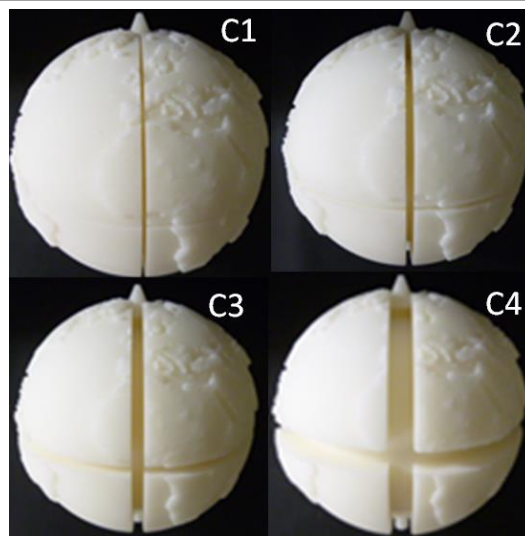
改良前の模型：文献[1]
材料は石膏粉末。
カラー造形の 3D プリンタ。



A1 は、改良前の模型。A2 はデジタルデータ処理により、海底部分の突起を消した改良模型。
材料はナイロン粉末。レーザ焼結法。



A2 の模型をさらに改良した。
両極と赤道と本初子午線を突起で付与。
帯状突起の高さ： B1(1.2 mm),
B2(1.7 mm), B3(3.3 mm), B4(6.3 mm)



A2 の模型をさらに改良。両極と赤道を突起で付与。本初子午線を溝で付与。
溝の幅： C1(1.7 mm), C2(3.0 mm), C3(5.3 mm),
C4(10.2 mm)

自律神経機能検査を用いた立体映像曝露時の生体影響評価

松浦 康之^{1,2}・加藤 大翔³・森 柚樹⁴・木下 史也⁵・高石 鉄雄¹・高田 宗樹⁴¹ 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科理学情報専攻

〒467-8501 名古屋市瑞穂区瑞穂町山の畑 1

² Prince of Songkla 大学人文社会学部東洋言語学科 A Muang Pattani 94000, Thailand³ 福井大学工学部知能システム工学科 〒910-8507 福井市文京 3-9-1⁴ 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻 〒910-8507 福井市文京 3-9-1⁵ 名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻 〒464-8602 名古屋市千種区不老町

E-mail:matsuura@nagoya-u.jp

Evaluation of An Hour-Long Stereoscopic Film on Human Body by using Functional Test of Autonomic Nervous SystemYasuyuki MATSUURA^{1,2}, Hironari KATO³, Yuuki Mori⁴,
Fumiya KINOSHITA⁵, Tetsuo TAKAISHI², Hiroki TAKADA²¹ Department of Information and Basic Science, Graduate School of Natural Sciences, Nagoya City University,
1 Yamano-hata Mizuho-cho Mizuho-ku Nagoya, 467-8501, Japan² Department of Eastern Languages, Faculty of Humanities and Social Sciences, Prince of Songkla University,
A. Muang Pattani 94000, Thailand³ Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Faculty of Engineering, University of Fukui,
3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8507, Japan⁴ Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui,
3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8507, Japan⁵ Department of Information Engineering, Graduate School of Information Science, Nagoya University,
Furo-cho Chikusa-ku Nagoya, 464-8602, Japan

Abstract: Owing to the recent rapid advancements in image processing and three-dimensional (3-D) technologies, stereoscopic images can now be viewed on television as well as in theaters, on gaming consoles, etc. However, with these advancements, there have also been reports on motion sickness and asthenopia induced by viewing stereoscopic films. Human equilibrium function deteriorates when viewing stereoscopic films, which may lead to motion sickness; however, the exact cause of such motion sickness remains unknown. In this paper, we investigate the effects of viewing 2-D/3-D films on human body, through stabilometry, electrogastragraphy (EGG), and subjective assessments. A comparison of time series data obtained at rest shows a significant change in the EGG 5 min after the onset of viewing the films. Further, sway values while viewing the 3-D film were considerably higher than those while viewing the 2-D film 60 min after the onset of viewing. These results show that the autonomic nervous system is affected first by long-term viewing of the stereoscopic film, and the equilibrium function deteriorates slowly over the course of the exposure.

Keywords: Stereoscopic images, Motion Sickness, Visually induced motion sickness (VIMS), Stabilometry, Electrogastragraphy (EGG)

ネットワークモデルによって捉えるイノベーター理論とキャズム理論

宮崎修次^A, 山田慎也^{A,B}^A 京都大学情報学研究科, 606-8501 京都市左京区吉田本町^B 現所属 西日本旅客鉄道株式会社^A syuji@acs.i.kyoto-u.ac.jp

Early adopter and chasm found in a numerical network model

Syuji Miyazaki^A, Shin'ya Yamada^{A,B}^A Graduate School of Informatics, Kyoto Univ., Kyoto, 606-8501, Japan^B Present Affiliation: West Japan Railway Company

Abstract: A network model of scientific paradigm shifts proposed by S. Bornholdt et al. (2011) was modified and extended to a modeling of prevailing trends such as music CDs in good demand, in which a mean-field state update is replaced by a state update depending only on nearest-neighboring nodes on a small-world network. The modified model is also used to establish a connection with diffusion of innovations as well as early adopter introduced by Everett M. Rogers, and with chasm as pointed out by Geoffrey Moore. Real commercial data of sales results of music CDs on major and independent labels are used for comparison between the original mean-field model and the modified small-world model.

Keywords: Paradigm Shift, Small World, Diffusion of Innovations, Early Adopter, Chasm

1. Model of Paradigm Shifts

A network model of scientific paradigm shifts by S. Bornholdt et al. [1] has the following characteristics:

- (1) A scholar interacts with the nearest-neighbor four scholars on a square lattice.
- (2) A scientific paradigm of accepted by a scholar is accepted by a nearest-neighbor scholar with a probability proportional to the ratio of the number of scholars accepting the same paradigm to the whole.
- (3) An existing paradigm is never reproduced.

2. Modified Model

Yamada modified the above-mentioned model [2], in which

- (1) By use of the terminology of cellular automata, the von Neumann neighborhood (square lattice with four neighbors) is replaced by the Moore neighborhood (square lattice plus diagonals with eight neighbors) as an interaction range, in order easily to obtain the cluster coefficient of the Watts-Strogatz small-world network model by constructing a triangular lattice.
- (2) The Moore neighborhood (link) is rewired in analogy with the Watts-Strogatz model, so that some of the Moore neighborhood are replaced by the short-cut neighbors.

(3) A scientific paradigm of accepted by a scholar is accepted by a nearest-neighbor scholar with a probability proportional to a function of the ratio of the number of *directly connected* scholars accepting the same paradigm to the whole number of *directly connected* scholars. The function in the form of a Fermi distribution function in the field of quantum statistical mechanics has two parameters: *inverse temperature* (a degree of synchronization) and *chemical potential* (a threshold above which a scholar easily accepts the paradigm accepted by the nearest-neighbor scholars). This modification enables us to generalize a scholar accepted a specific scientific paradigm to an ordinary person, with a specific opinion, infected by a specific contagion disease, and purchasing a specific music CD.

3. Rogers and Moore

Diffusion of Innovations is first explained in the book written by Everett Rogers [3], in which the importance of the *early adopter* is stressed [3]. Furthermore, Moore introduced the notion of *Crossing the Chasm* in the literature [4]. These *Diffusion of Innovations*, *Early Adopter* and *Crossing the Chasm* is verified by used of the modified network model.

4. Real Commercial Data

The sales results of music CDs on major and independent labels in the commercial site of *amazon* are used for comparison between the original mean-field model and the modified small-world model.

References

- [1] S. Bornholdt, M. H. Jensen, and K. Sneppen, Phys. Rev. Lett. 106, 058701 (2011).
- [2] S. Yamada, Thesis (in Japanese), Graduate School of Informatics, Kyoto University, 2014.
- [3] E. M. Rogers, *Diffusion of innovations* (5th ed.), Free Press, New York, 2003.
- [4] G. A. Moore, *Crossing the Chasm: Marketing and Selling High-Tech Products to Mainstream Customers*, Harper Business Essentials, New York, 1991.

鹿威しによる水滴・粉体落下系の計測

山田健太^{A, C}, 宮崎修次^{B, C}^A 京都市立堀川高等学校,

604-8254 京都市中京区東堀川通錦小路上る四坊堀川町 622-2

^B 京都大学情報学研究科, 606-8501 京都市左京区吉田本町^C 京都大学グローバルサイエンスキャンパス ELCAS 専修コース^B syuji@acs.i.kyoto-u.ac.jp*Shishiodoshi* Measurements of water and granular flowsKenta Yamada^{A, C}, Syuji Miyazaki^{B, C}^A Kyoto Municipal Horikawa Senior High School, Kyoto, 604-8254, Japan^B Graduate School of Informatics, Kyoto Univ., Kyoto, 606-8501, Japan^C Global Science Campus, Japan Science and Technology Agency, ELCAS, Kyoto Univ.

Abstract: *Shishiodoshi* is a water-filled bamboo tube which clacks against a stone when emptied. A time interval between the clacks multiplied by the flow rate per unit time is equal to the volume of the water receiving container, so that coarse-grained statistics can be obtained by measuring time intervals between the *shishiodoshi* clacks. A *Shishiodoshi*-like device combined with a pedometer is built and used to measure coarse-grained statistics of flow rates of powder and granular materials and of liquids.

Keywords:

Dripping faucet, Return map, Coarse-graining, Large deviation, Rate function

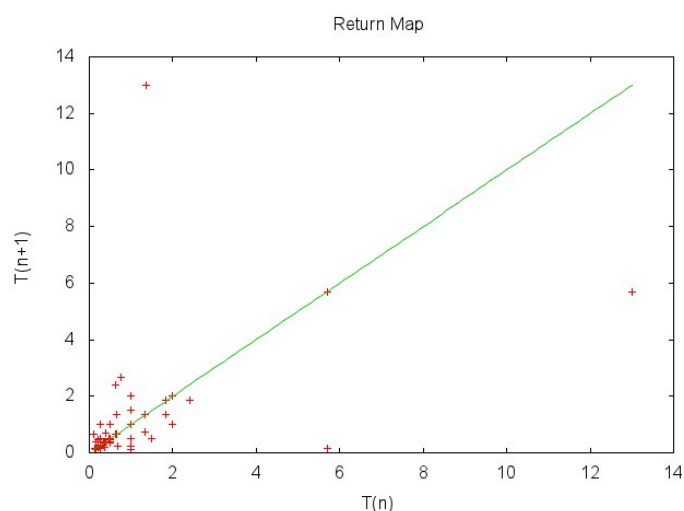
1. 序論

100 円ショップで売られている品目をいくつか組み合わせると、安価な自動雨量計のようなものを作成できる。中心部は万歩計（重力センサー）と鹿威しである。鹿威しの振動回数を万歩計で計測することで、鹿威しの入水部に注がれた水の流量を測ることができるのである。水に限らず、粉粒体を注げば、その流量を計測できる。このように作成した自動雨量計の写真 3 葉を以下に掲げる。左の写真は万歩計の表示部の側から撮影した自動雨量計の全景、中央の写真はスプーンを用いた鹿威し部分を中心にした全景、右の写真は万歩計の裏側を拡大したものである。もともとの万歩計は、その内部の振り子が大きく振れたときに回路が閉じて電流が流れ、表示部分のカウンターの数が 1 増える仕掛けである。これを改良し、鹿威しのスプーンが振れたときに、スプーン先端が万歩計の回路に触れ、ステンレス製の支えの部分も含めて閉じた回路となり、カウンターの値が増えるようにした。



2. 鹿威しと単位時間あたり流量の粗視量の分布

鹿威しに注がれる流体や粉粒体の単位時間あたり流量が一定であれば，鹿威しの振動は周期的に起こる．単位時間あたり流量が一定でなければ，鹿威しがはねる間隔も一定ではない．水滴落下系(dripping faucet)においては，1滴1滴の落下間隔の1次元的なリターンマップが得られた先行研究があることはよく知られているが，鹿威し系でも，鹿威しがはねる間隔のリターンマップを描くことができる．単位時間あたり流量が不規則に変動する場合に，このリターンマップを描くと一次元的ではなく，次の図のようになる．



鹿威しは液滴1滴1滴の容積を測っているのではなく，一定の容積に達するまでの時間を測っている．従って，鹿威しのはねる時間間隔の逆数は単位時間あたり流量の粗視量に比例する．このような粗視量の分布やそこから得られるレート関数などの大偏差統計関数を求めることを試みる．

参考文献

ショウ，水滴系のカオス，岩波書店 2006．

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．

Ammonite に見られるねじれ -白亜紀後期の *Pravitoceras sigmoidale*

松岡 篤・吉野恒平

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

Torsion in Ammonite – Late Cretaceous *Pravitoceras sigmoidale*

Atsushi MATSUOKA and Kohei YOSHINO

Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

Keywords: torsion, heteromorph ammonite, *Pravitoceras sigmoidale*, Late Cretaceous.

1. はじめに

アンモナイトの殻は平面巻きを基本とするが、異常巻きと呼ばれる一群のアンモナイトもある。*Pravitoceras sigmoidale* Yabe は、日本固有の異常巻きアンモナイトで、淡路島と四国東部の和泉層群（上部白亜系）から多くの個体が産出している。また、北海道からも1個体の産出が知られている。殻を全体としてみると、180度ねじれて、同一平面上でS字型をなす特異な形状をもつ（図1）。*Pravitoceras sigmoidale* の殻形態について紹介し、ねじれの起源について考える。

2. *Pravitoceras sigmoidale* の殻形態

Pravitoceras sigmoidale は、平面巻きの気房とフック状に反転した住房とからなる（図1）。気房と住房の接合部あたりで殻はねじれ、S字型の形状を示す。ねじれ方には2つの様式があり、ねじれの向きが異なっている[1]。それらは相互に鏡像の関係にある。ねじれの向きの認定には、殻表面を2列に分布するイボの並びを追跡することが有効である。なお、*Pravitoceras sigmoidale* の幼殻は、直径1cm程度までは塔状に巻いている。その巻きには、右巻きと左巻きの両方がある。

3. *Pravitoceras sigmoidale* の進化的形態変化

Pravitoceras sigmoidale の祖先は、*Didymoceras awajiense* (Yabe) という別の異常巻きアンモナイトである。本種は全体的に塔状らせん型の殻形態を示し、らせん状殻に続いてU字型のフックをもつことで特徴づけられる。*Didymoceras awajiense* から *Pravitoceras sigmoidale* へは、塔状部分を平面巻きに変形することで、殻形態の進化的な推移を説明する。*Pravitoceras sigmoidale* の幼殻が塔状の殻をもつのは、先祖種の形質を残しているためと考えられる。なお、*Didymoceras awajiense* の巻き方にも、右巻きと左巻きの両方がある[2]。

4. ねじれの起源

Pravitoceras sigmoidale のU字型のフックが、祖先種の形質を引き継いでいることは明らかである。ねじれは、いわば惰性的に受け継がれていると思われる。殻がねじれてS字型を示すことの要因は、*Pravitoceras sigmoidale* の殻形態の観察のみからは理解しづらい。祖先種の形態を含めた進化的な観点を入れて考察する必要がある。塔状らせん状の殻から平面巻きになることの機能的な意味と、ねじれとの関係を押さえることが重要である。

文献

- [1] Matsumoto, T., Morozumi, Y., Bando, Y., Hashimoto, H., Matsuoka, A., 1981. Note on *Pravitoceras sigmoidale* Yabe (Cretaceous Heteromorph Ammonite). Transaction and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, new series, no. 123, 168-178.
- [2] Misaki, A. and Maeda, H., 2010. Two Campanian (Late Cretaceous) nostoceratid ammonoids from the Toyajo Formation in Wakayama, southwest Japan. 223-231. In Tanabe, K., et al. eds., Cephalopods – present and past, Tokai University Press.



図 1. 兵庫県南あわじ市湊産の *Pravitoceras sigmoidale* Yabe.
大阪市立自然史博物館所蔵標本(OMNH. M2178), 松岡 篤採取.

生体高分子の高次らせん形成における右・左の選択

柳尾 朋洋¹, 佐野 聡祐², 吉川 研一³

^{1, 2} 早稲田大学 基幹理工学部 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

³ 同志社大学 生命医科学部 〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3

¹ yanao@waseda.jp, ² sousuke.131@akane.waseda.jp, ³ keyoshik@mail.doshisha.ac.jp

Chiral Selection in Superhelical Coiling of Biopolymers

Tomohiro Yanao¹, Sosuke Sano², Kenichi Yoshikawa³

^{1, 2} Dept. of Applied Mech. & Aerospace Eng., Waseda Univ., Tokyo 169-8555

³ Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha Univ., Kyoto 610-0394

Abstract: This study explores the mechanisms for the selection of chirality in wrapping and braiding of helical polymers, with the special attention on DNA. We develop an elastic model of double-stranded DNA using a Monte Carlo method. The model indicates a clear tendency to wrap and braid in the left-handed manner in general situations. This result can explain the origin of the chiral specificity on left-handed wrapping of DNA in nucleosomes and the tendency of juxtaposed DNA chains to braid in the left-handed manner.

Keywords: DNA, helix, superhelix, chirality, wrapping, braiding

【はじめに】 らせん形状は、DNA やタンパク質などの生体高分子に見られる極めて普遍的なモチーフである。通常、3次元空間中のらせんには、「右回り」か「左回り」のどちらかのカイラリティ(chirality)が備わっており、生体高分子は、このカイラリティを正しく認識し、選択することで、折り畳みや機能発現を効率的に行っていると考えられる[1-3]。本研究では、2重らせん構造に由来するDNAの非対称な弾性特性に注目し、DNAが巻き付いたりよじれ合ったりする際に方向性を正しく選択するメカニズムを探究した。

【DNAの粗視化モデルの構築】 まず、図1(a)のような仮想的中心軸のまわりに、図1(b)のような2本の弾性鎖を「右回り」にらせん状に配置し、DNA(B型DNA)のモデルを計算機上に構築した。図1(b)の2本の弾性鎖は、節点ごとに塩基対を模したバネで橋渡しされ対を成している。本モデルでは、2重らせんの主溝(major groove)と副溝(minor groove)の2種類の溝を再現するため、以前のモデル[3]を拡張し、平衡構造を図1(c)(d)のように設定した。また、細胞内の熱ゆらぎ環境におけるDNAの変形特性を探究するため、温度一定の条件下でのメトロポリス・モンテカルロ法を適用した。

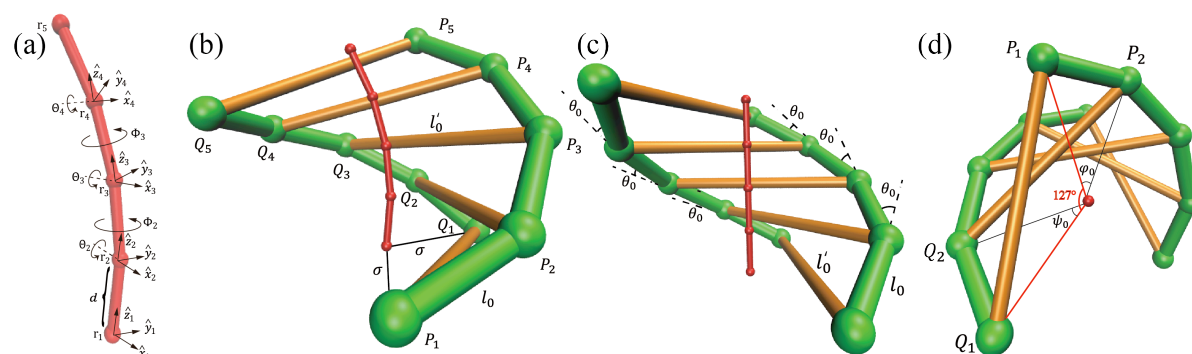


図1: DNAの弾性体モデルの構成。5塩基対分のみ示した。(a)の仮想的中心軸のまわりに、(b)のように2本の弾性鎖をらせん状に配置し、節点ごとに橋渡しする。(c)と(d)は弾性エネルギーが最小となる平衡構造の側面図と断面図。モンテカルロ法で確率的に変化させる変数は、仮想的中心軸の曲げ角 Θ と二面角 Φ , および内部振れ角 φ, ψ である。

【DNA の巻き付き】 真核生物の DNA は驚異的な折り畳み構造を形成している。例えば人間の場合、足し合わせると全長約 2 m にもなる DNA がマイクロメートルサイズの小さな細胞核の中に、超コンパクトに折り畳まれている。この気の遠くなるような折り畳み構造の最初のステップと言えるものが、ヌクレオソームと呼ばれる DNA の巻き付き構造である。興味深いことに、通常のヌクレオソームにおいて、DNA は常に「左回り」にタンパク質のコア（核）に巻き付いている。私達は、DNA が「左回り」に巻き付く理由として、DNA は「右回り」の 2 重らせん構造をしているために折れ曲がるときに「左」に捩れる性質を有するからではないかと考えた。この予測を検証するために、図 1 のモデルを用いて数値実験を行ったところ、確かに、DNA は弾性エネルギー的に有利な「左回り」の巻き付き構造を高い確率で選択することが明確になった（図 2 参照）。

【DNA のよじれ合い】 隣接する 2 本の DNA の相互作用や変形特性は、遺伝子発現や遺伝子組み換えにおいて重要な役割を果たす。DNA は通常負の電荷を帯びていて反発し合うが、周囲のイオン環境によっては、DNA 間に実効的引力が働き、図 3 (a) のように隣接することが可能になる。ここで、図 2 で見たような DNA の「左巻き」への指向性をふまえると、実効的引力で近づき合った 2 本の DNA は、より安定化するために、「左回り」に自発的によじれあうのではないかと予想される。この予想を検証するために、図 1 のモデルで数値実験を行ったところ、確かに、2 本の DNA は弾性エネルギーにより安定な「左回り」のよじれ合い構造を自発的に形成する傾向があることが分かった（図 3 (b)参照）。

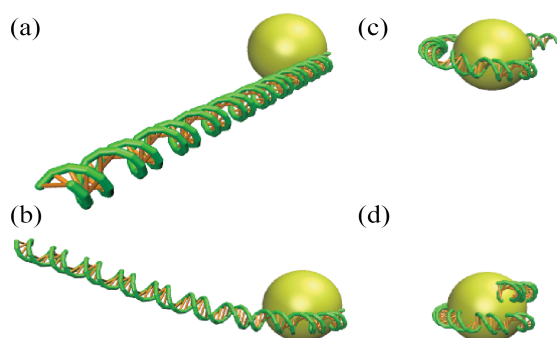


図 2：DNA の巻き付き。タンパク質のコアを模擬した球のまわりに DNA が巻き付く様子をモンテカルロ計算によって調べたところ、(a)(b)(c)(d)の順に構造変化し、最終的に「左回り」に巻き付く傾向が確認された。

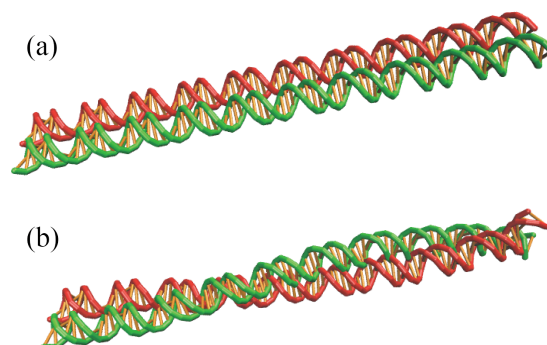


図 3：並置した 2 本の DNA の自発的なよじれ合い。(a)のように 2 本の DNA を並置してモンテカルロ計算を行ったところ、最終的に(b)のような「左回り」のよじれ合い構造を自発的に形成する傾向が確認された。本結果を検証する実験が今後実施されることが期待される。

【結論】 DNA は 2 重らせん構造に由来する非対称な弾性特性を利用して、巻き付きやよじれ合いの方向性を巧みに選択している可能性があることが分かった。生体内では、F-アクチン、チューブリンやコラーゲンなど、運動や細胞骨格に関与しているタンパク質がらせん構造をとっていることが知られている。今回の結果は、これらの生体高分子が、らせん構造を利用した分子間の相互認識によって特定の秩序構造を形成したり、運動を制御している可能性を示唆するものと言える。

参考文献

- [1] R. Cortini, A. A. Kornyshev, D. J. Lee and S. Leikin, Biophys. J. **101**, 875 (2011).
- [2] A. G. Cherstvy, J. Phys. Chem. B **112**, 12585 (2008).
- [3] T. Yanao and K. Yoshikawa, Phys. Rev. E **89**, 062713 (2014).

キャベツの葉序決定の要因探求

根岸利一郎, 関口久美子

埼玉工業大学, 〒369-0293 深谷市普濟寺 1690

Research for Phylloataxis determining factors on cabbage

Riichirou Negishi, Kumiko Sekiguchi

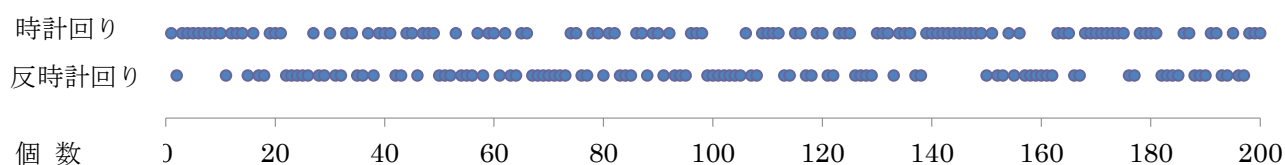
Saitama Institute of Technology, 1690 Fusaiji, Fukaya, Saitama, Japan, 369-0293

Abstract: Authors examined changes in the direction of phyllotaxis on cabbages by always watering from the same angle or cutting off the roots. The ratio of alternate phyllotaxis for cw/ccw is nearly one when cabbages are raised through natural cultivation. As a result of the present study, we observed deviation in cw/ccw ratio.

Keywords: cabbage, alternate phyllotaxis, cw/ccw,

なぜ葉序か

互生葉序で身近な野菜の代表であるキャベツなどでは葉の付く順で時計回りと反時計回りが決まり, その比はほぼ 1 である。例えば, 路地植えキャベツ 200 本の観測では時計回り/反時計回りの比は下図のように並びその比は $105/95=1.1$ などである (根岸, 2013)。



Koriba (1914) は 1 万本を超えるネジバナの左巻きと右巻きを調べ, 左右の比がほぼ 1 であることを報告し, その左右の出現を偶然とした。他方, つる植物の巻き方は種によって異なっていることが知られているが, Kitazawa(2005)らはアサガオの巻き方が重力によって変化することを報告している。また, 葉の原基形成による葉序形成は植物ホルモンのオーキシン濃度によって説明されている (例えば西谷, 2011)。キャベツの葉序を決める要因は何だろうか。

環境要因

葉序は本葉 3 枚目が左右のどちらに付くかで決まる。葉の付き方と遺伝とのかかわりを調べた結果では, 親株の時計回り・反時計回りにかかわらず, 側芽の葉の付き方は時計回り/反時計回りが混在し, その比はほぼ 1 となった。この葉序の遺伝性が否定されたので葉序の決定要因を他に求めなければならない。ダーウィン以来注目されている日光屈性や重力屈性から調べる。

・太陽光

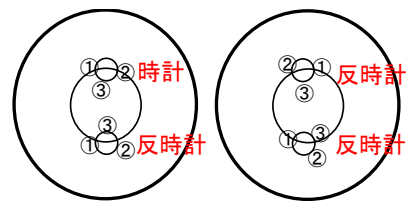
太陽光の方向では双子葉の次に出芽する第 1 本葉を全て同一 (東向き) にした観測において, 葉の付く順の時計回り/反時計回りの比はほぼ 1 で偏りがなかった。

・重力

第 1 本葉を確認直後, 水平面と $0^\circ \sim 40^\circ$ の 10° 間隔の斜面に移した場合, あるいは横倒しの 90° や 120° にした場合でも茎自体は重力屈性の特徴を示すが, 角度の違い, 従って重力の違いによる葉の付き方への影響は認められなかった。

・手がかり

親株の先端切断直後に残った先端の葉の位置を一定にして横倒しにして側芽の葉の付く順を観察した。その結果では側芽が出てこれも重力屈性を示すが、第3葉の付き方は重力の影響を受けなかった。しかしながら、第3葉の付く位置は第1葉の付く位置に関係なく内側の親樹側であった(右図)。これは何らかの組織か物質の関与のあることを示唆する。そこで、初期の成長に寄与すると考えられる他の要素に着目する。



給水位置を固定する

給水の位置によって根の張りが変化し、葉の成長に影響しないだろうか。これを調べるために第1本葉確認直後、給水位置を図(1回目)のように南側に固定して成長を観察する。葉序は第3葉の付く方向で決まることからこれを確認した。その結果、葉序の時計回り／反時計回りの比は最初に 27 本/8 本 (77%) と偏りが観測された。確認のために数を増やした2回目では 43 本/30 本 (59%), 3 回目では 43 本/36 本 (54%) となった。給水は鉢全体が乾涸びないように表面が乾いたら給水した。1, 2 回目観察時では自動給水としたが鉢毎のバラツキが大きかったので、3 回目は手動の霧水給水とした。



給水位置

S

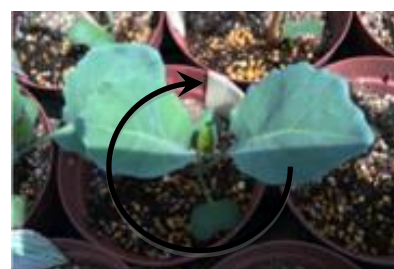
結果と検討

太陽光や重力による屈性にはオーキシンが働くとされているが、これらは葉の付く位置によって決まる葉序に寄与しないことがわかった。

また、発芽した双子葉はその双葉の大きさが左右で異なる。双葉の大きさの確認できる早い段階で、大きい方を南側に揃えて第1本葉の付き方を観察する。その結果の第1本葉の付き方の比は、東／西側＝51 本／49 本とほぼ1となり、双葉の向きに依存しなかった。

給水位置固定での観測では時計回り／反時計回りの比は総計で 113/187 (60%) となり、若干の偏りのあることが確認された。給水位置の固定は自然界にない人為的に作った環境である。「植物は環境の変化に対して成長の仕方を変えて対応する」(西谷)ことから、この環境の偏りによって何らかの植物の対応が働いたことになる。

葉の付く場所は一定濃度以上のオーキシンが必要とされているので、今後は輸送システムの関連から根の切断等を検討しなければならない。これらの検討結果を報告する。



時計回りの確認

文献

Kitazawa, D., et al.(2005):PNAS, vol.102, pp18742-18747.

Koriba, K. (1914):東京帝国大学紀要 理科. v36 art3, pp. 1-179.

<http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dspace/handle/2261/32980>.

西谷和彦 (2011):「植物の成長」, 裳華房, p100.

根岸 利一郎ほか(2013):形の科学会誌, vol.28, p171.

※キャベツの種は向日葵種苗暇(株)の四季どりキャベツ(一代交配)を使用した。

顕彰が生む偽史——天心伝説

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

Commending Falsifies History: the Tenshin Legend

Takeshi Sugimoto

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

Abstract: Kakuzo Okakura is a superior creativity manager. Tenshin was merely his pen name during his days. After Tenshin was given as his posthumous Buddhist name, Tenshin became well known alias. 'Asia is one.' is the first line of Kakuzo's 'The Ideals of the East.' This refers to 'common thought-inheritance,' but it was abused as a war-spirit increasing slogan by lobbyists of Greater East Asia Co-Prosperity Sphere. His friend Langdon Warner saved old cities from US bombing, but some deny this story. In Okakura some people believe there is Tenshin's third tomb.

Keywords: Monument, Plaque, Innovation Management, Urban Legend

1. いとぐち

創造性教育は可能である。明治の先覚岡倉覚三（1863-1913）は、東京芸術学校のカリキュラム作りで、それを示した。芸術にも文法と論理と修辞がある。岡倉覚三の足跡を巡礼し、日本各地に残る記念碑類を渉猟すると、伝説とでも称すべき事象が見え隠れする。

2. 伝説

- ・天心：本名は角蔵→覚蔵→覚三である。天心は一部の作品に使われる号で、天心先生と呼ばれることはなかった。戒名が「釋天心」と決まってからは、天心が通り名となる。
- ・'Asia is one.'：覚三の著作「東洋の理想」の一行目で・・・アジア人種には共通する思考様式が遺伝している・・・という意味である。そもそもこの書は日本美術史である。1942年に岡倉天心遺蹟顕彰会が、五浦に横山大観揮毫・新海竹蔵レリーフによる「亜細亜ハーナリ」の記念碑を、赤倉に細川護立揮毫による「亜細亜ハーナリ」の石碑を建てた。これ以降この言葉は、大東亜共栄圏推進のスローガンとして八紘一字と共に悪用されていく。
- ・古都＝非爆撃対象：天心の教えを受けたラングドン・ウォーナーが米政府に提出した書類のおかげで空爆を免れたという口伝から発した伝説がある。日米に否定的な研究がある。
- ・赤倉の墓所：1914年に弟子たちが山荘敷地内に建立した横山大観揮毫による「天心岡倉先生終焉之地」とある小さな石碑を、地元の人たちは分骨された墓所であると称している。1995年に平山郁夫揮毫による「天心先生の道」という石碑が建立された。裏面には「この杉木立の中で茶毘に付されたと聞きます。」とあるが、火葬は東京で行われている。

3. 記念碑の分布（右ページに例示）

- ・福井：父母の郷里。記念碑「郷家の跡」（1952）と銅像（1977）がある。
- ・横浜：阿蘭陀領事館（長延寺）跡の石碑（1954）と生誕之地の記念碑（1958）がある。
- ・東京：芸大に銅像（1931）が、谷中に天心記念公園（1952）がある。墓は染井霊園。
- ・五浦：分骨された墓（1913）・海荘・六角堂・日本美術院（1903-6）ほか多数ある。
- ・赤倉：山荘（1906）と上記石碑群のほかに六角堂（1958-9）などがある。



谷中の
日本美術院址

星崎波津子の墓



天心の墓



五浦の六角堂



五浦の
天心の墓



赤
倉
天心終焉の地



天心先生の道



天心郷家の跡

天心先生像@中央公園

染井 霊園

上
野



天心の銅像

長延寺



阿蘭陀領事館址



天心生誕の地

福 井



近世日本の図の形態分類 2

出原立子

金沢工業大学 〒921-8501 石川県野々市市扇が丘 7-1

izuhara@neptune.kanazawa-it.ac.jp

Ver.2 Classification of Forms of Japanese Diagrams

in the Edo Period.

Ritsuko Izuhara

Kanazawa Institute of Technology, 7-1 Ougigaoka Nonoichi-shi, Ishikawa

Abstract: Many diagrammatic representations were drawn in the Edo era for various purposes and fields, for instance, Philosophy, Astronomy, Geography, Medicine, Craft and Architecture. In this study, I collected the diagrams and classified their forms. Here, the comprehensive views are provided.

Keywords: Diagrams, Edo Period, Classification, Form

1. はじめに

本研究は、近世日本の図を体系的に捉える方法の構築を目指して、当時の図の収集とそれらの図の形態的な分類を行う。図の体系化を目指した既往研究において、図は様々な形のものがあるが、「領域系、連結系、行列系、座標系」の4種類に集約されるとされている^[1]。筆者の先行研究において、近世日本の図をこれら4種類で分類を試みた結果、複合的な活用のされ方はあるが、概ねこれら4種類で分けることが確認できた^[2]。その調査の継続として、図形構成の種類と形が表す意味との関係性を抽出することを試みる。

2. 方法

調査対象とした図は、近世日本で制作された書物や流布した書物などに掲載された図的表現である。図の用途や内容は限定せず地図、天文図、概念図、暦、舞踊図など様々で、合計約 170 個を対象とした(図 1)。これらの図をあらかじめ定めたカテゴリーに従って分類した(表 1)。カテゴリーは図形構成の種類と図形が表すおおまかな意味とした。図形構成の種類として、「領域系、連結系、行列系、座標系」の4種類をあげた。また、本来の図には含まれない絵的な表現であるが、雛形など抽象化され同じ意味を解釈できる表現を「絵的」として、カテゴリー項目に加えた。さらに、図の形が表すおおまかな意味として、時間的変化と空間的関係性を表す意味があると考え、時間的変化の項目として「拡散、系統、循環、時系列」、空間的関係性の項目として「階層(ヒエラルキー)、順序、相関、つなが

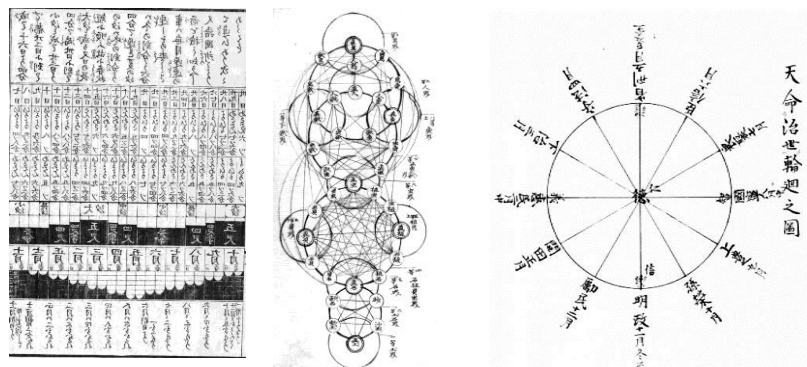


図 1 近世日本の図の事例

り、隣接・分離・従属、対比、円環、スケール（尺度）」をあげた。

収集データを元に、図の種類と図形が表すおおまかな意味との関係を包括的にとらえるために、数量化理論第3類による分析を試みた。本手法によって、カテゴリーに分類した各項目の相互関係を2次元平面上に布置し、カテゴリー項目間の関係を検討した。

表1 図の種類と図形のおおまかな意味に関するカテゴリー分けデータ（一部を掲載）

図名	種類				時間的変化				空間的關係性									
	連結系	領域系	行列系	座標系	拡散(並系統)	循環	時系列	階層(順序、並)	相関	つながり	隣接、対比	円環状	スケール	絵的				
(律呂形状)下如隊之格圖	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
先隅之定石之部	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
天地日月圖	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
木火金水圖	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
武者覽	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
大柄之図	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
蒸菓子雛形	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
天地経緯之図	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
年中満潮即覽	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
方向表	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
海路図解	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0

3. 図の種類と図形のおおまかな意味の関係

上記の通り分析を試みた結果、図2に各カテゴリーの布置を示す。1軸（横軸）には、「連結系」と「行列系」が対極に布置される結果となった。すなわち、「連結系」の近くには「つながり、系統」といったある対象同士の繋がりや有無に意味がある項目、1軸の反対方向の「行列系」の近くには「相関、時系列」といった交叉する行項目と列項目の関係性に意味がある項目が布置された。このことから、1軸は1対1に結ばれる対象同士の関係の表し方の違いを表す軸と考えられる。これに対して、2軸（縦軸）には、「座標系」と「領域系」が対極に布置される結果となった。すなわち、「座標系」の近くには「スケール、目盛り」といった空間的な位置や配置、大きさを尺度によって正確に表す項目が布置され、2軸の反対方向の「領域系」の近くには、「隣接・交差・従属関係」といった尺度を持たず配置関係が意味をもつ要素が布置された。このことから、2軸は空間的な位置・配置関係の表し方の違いを表す軸と考えられる。

さらに、調査対象とした図同士の関係をサンプルのスコア散布図に布置し、上記のカテゴリスコア散布図と合わせて傾向を把握した。

4. まとめ

今回の結果から興味深い点は、「連結系、行列系、領域系、座標系」の4種類の図形構成がさらに線的に関連付けられる関係性と空間的な関係性とに大きく分けられた事である。前者はつながりといった物事に内在する関係性を表し、後者は具体的な物事や形象に関わる関係性を表現していると考えられるが、この解釈については今後更なる検証が必要である。

参考文献

- [1]出原栄一, 吉田武夫, 渥美浩章, “図の体系”, 日科技連, pp. 134-138, 1986
- [2]出原立子, “近世日本の図の形態分類”, 芸術工学会誌 No. 62, pp. 85-90, 2013

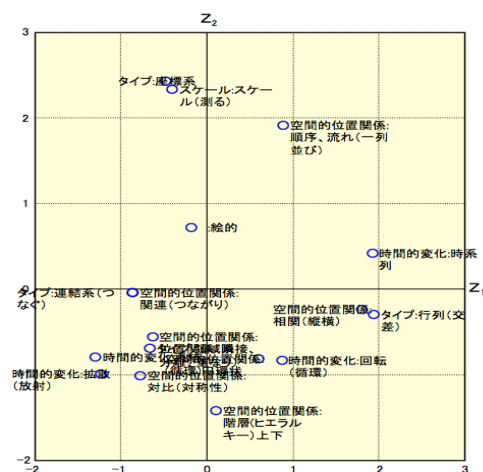


図2 カテゴリスコア散布図

デジタル学習環境における際立つ仮想キャラクターの効果

高部菜月、嶋原拓実、松浦執

東京学芸大学基礎自然科学講座

東京都小金井市貫井北町 4-1-1

a120335s@st.u-gakugei.ac.jp, shumats0@gmail.com

Effects of the Salient Shapes of Virtual Characters on a Digital Learning Environment.

Natsuki Takabe, Takumi Shigihara, Shu Matsuura

Tokyo Gakugei University, Faculty of Education

4-1-1 Nukuikita, Koganei, Tokyo 184-8501

Abstract: Eye-tracking experiments revealed that the virtual character superimposed on a digital learning content drew attention to the animated simulation display in a tutorial mode in which the user remained passive to instruction.

Keywords: Virtual character, Eye movement, Human computer interaction.

1. はじめに

インターネットとデジタル化により、学習の場は、人と人とは対面してコミュニケーションする実空間に加えて、オンラインの同期・非同期のコミュニケーションが行われる仮想（人工）空間の活用が進みつつある。さらに教育分野では、個での学びから、協働しながら知識や成果を生み出す力が求められるようになり、学びの場での相互啓発と自己省察が重視されている。仮想学習環境においても、履歴を保存しながら、問題意識を高めつつコミュニケーションしていく仕組みの深化が求められる。

我々は領域横断的な学習のための e-Learning を構築しており、教材リンクリスト型システムから対話を基調としたインタフェースへの転換を目的として、アバター&エージェントシステムを導入、構築している[1]。利用者の化身（アバター）やシステムの化身（エージェント）の画像を表示し、それらの間でやり取りをする形式への、インタフェースの統一を試みている。

このような、キャラクターが語り、やり取りする形式を導入すると、テキストベースのインタフェースを見るときと比べてコンピューターとのインタラクションに違いが出てくるだろうか。デジタル教材利用時の利用者の状態は、大きく分けて、教材側がペースメーカーになり学習者が受動的になる場合と、学習者が能動的に操作して試していく場合とがある。本研究では、これら2つの状態において、仮想キャラクター（VC）の発話の有無によって利用者の視線にどのような影響が現れるかを調べる試みを行った。

2. テスト用試作教材

テスト用に、質量の異なる惑星上での、真空中の落体シミュレーションを作成した。利用者が使用法を習得するためのチュートリアルモードでは、テキストプロンプトのみと、VC によるガイダンス付きの2系統を比較した。また利用者が自分で設定ボタンなどを操作してシミュレーションする入力待ちモードでは、選択された条件設定のテキスト

表示のみと VC による読み上げ付きの 2 系統を比較した。VC には若干の身振りを実装し、音声には読み上げ用のボイスロイドを用いた。いずれのモードでも落体の自由落下のアニメーションを表示する。視線追跡実験は大学生 15 名を被験者として行った。

3. 視線の滞留時間分布の比較

教材画面の表示要素を、S: 文字列要素（プロンプト、ボタン、パラメータ表示）と G: 画像要素（VC、アニメーション、落下時間画像表示）の 2 種に大別し、それらの要素が

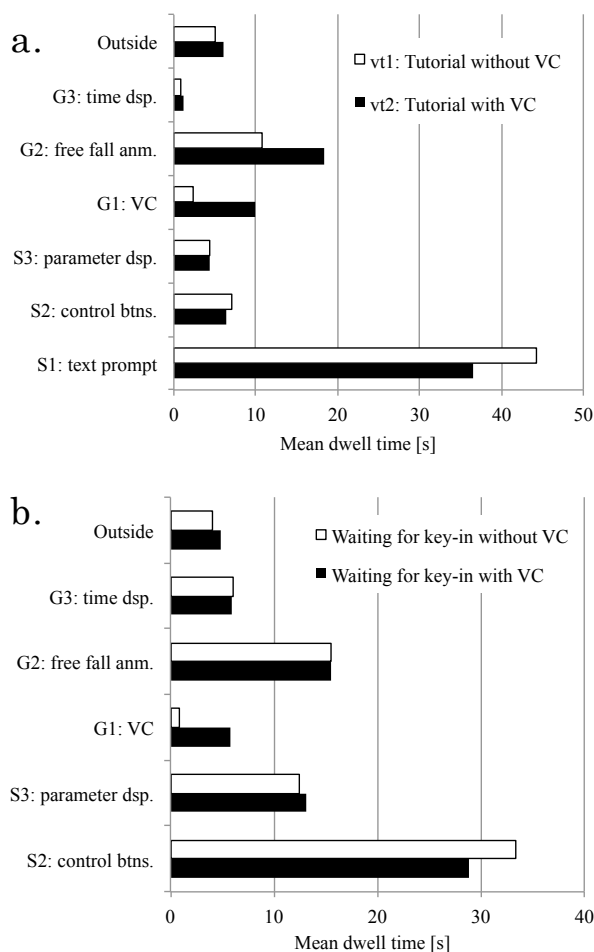


図 1 a:チュートリアルモードでの、VC の有無における各インタフェース要素上の視線滞留時間の比較。

b:入力待ちモードでの同じく視線滞留時間の比較。

含まれる各領域内での視線滞留時間の測定結果を図 1a, b に示す。図 1a の、学習者が受動的に反応するチュートリアルモードでは、VC の案内のもとで、VC のみならずアニメーションへの注視が、VC のない場合に比べて大きくなり、その分テキストプロンプトへの注視の割合が減少しているのがわかる。これは VC による案内要素が加わることで、操作を指示する文字列情報のみならず、直感的なグラフィック要素への注意が誘引されたとは言えないだろうか。

図 1b の、学習者が主体的にボタン操作してシミュレーションする入力待ちモードでは、VC のあるなしによる変化は VC に目がいくかどうか以外には差は見られなかった。ボタン操作してグラフィックの変化を確認という動きが主体になっている。主体的な操作をしているときは、VC はその動きに特に介入はしない。学習者の動きに VC が介入することで、他のグラフィック要素への関心が引き起こされ、結果として全体を見渡せるようになったと思われる。

同世代の学生にアンケートを行ったところ、キャラクターが付与されることで、その対象への親しみが増し、価値付与されると感じる事が示唆された。しかし、インターネットの閲覧技術は気を散らす技術だと評される[2]。活動のインタフェースとしてのキャラクターの用い方には、よりよく知るべきことが多いものと思われる。

参考文献

- [1] 藤本祥子, 松浦執, 内藤求 形の科学会誌 (シンポジウム予稿) 27(2) pp. 92-93(2012).
- [2] Nicholas Carr, *The Shallows*, W.W.Norton & Company (2011).

映像中の予測不可運動成分が姿勢変化に与える影響

杉浦明弘¹⁾²⁾, 伊藤唯¹⁾, 太田紫乃¹⁾, 志村美保¹⁾,

田中邦彦¹⁾, 高田宗樹³⁾, 宮尾克²⁾

¹⁾岐阜医療科学大学 保健科学部, 501-3892 岐阜県関市市平賀字長峰 795-1

²⁾名古屋大学大学院 情報科学研究科, 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

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

asugiura@u-gifu-ms.ac.jp

Effect of an unpredictable motion component in video on body sway

Akihiro Sugiura¹⁾²⁾, Yui Itou¹⁾, Shino Ota¹⁾, Miho Shimura¹⁾,

Kunihiko Tanaka¹⁾, Hiroki Takada³⁾, and Masaru Miyao²⁾

¹⁾ Faculty of Health Science, Gifu Univ. of Medical Science, 795-1

Ichihiraga Nagamine, Seki, Gifu 501-3822, Japan

²⁾ Graduate School of Information Science, Nagoya Univ., Furocho, Chikusaku, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan

³⁾ Graduate School of Engineering, Fukui Univ., 3-9-1, Bunkyo, Fukui, Fukui 910-8507, Japan

Abstract: The aim of this study is to investigate effect of an unpredictable motion component in video on body sway. In this study, the subjects watched stereoscopic movies that were blended unpredictable motion and predictable motion. From result in this study, it became clear that the component of unpredictable motion have depression effect on visually induced body sway.

Keywords: vision, body sway, reciprocator motion, unpredictable motion, and predictive motion

1. はじめに

人の姿勢制御は、視覚系、平衡感覚系、体性感覚系のそれぞれの情報を脳内で統合し、自己の位置、体位、そして向きの情報を随時全身にフィードバックすることで恒常性を維持しながら行われている。Edwards[1]の報告によると、姿勢制御に関わる情報のうち視覚情報は50%程度を占めると報告しており、特に姿勢制御に及ぼす影響が大きいとされる。

我々の行った先行研究では、被験者に往復正弦運動する映像を観視させた場合、その運動周期に同調する形で身体動揺が発現することを明らかにしている[2]。この研究では、被験者が予測可能運動を有する映像の観視を行っている。しかし、一般的な映像観視において、このような状況を体験することはあまりなく、予測不可な運動成分と混在している場合が圧倒的に多い。そこで、本研究では、正弦往復運動を有する映像中に予測不可な成分を加えた場合における身体動揺への影響について検証を行った。

2. 方法

男性5名、女性6名の計11名(21-22歳)を被験者とし、照度約13 lxの環境下で実験を行った。映像提示方法は、家庭用3D対応プロジェクタ(EH-TW5100 EPSON)から白い壁に映像を映し出し、映像サイズ：縦157.5 cm×横280 cm、観視距離を2 mとして被験者に映像を観視させた。

研究で用いる観視映像は、コンピュータグラフィックソフト3dsMax 2015 (AUTODESK 社製)を用いて、多数の球がランダムな位置に存在するランダムボールパターン映像を基本と

した．映像の運動成分については，奥行き方向と左右方向にそれぞれ 0.25 Hz で正弦往復運動を基本とし，それぞれの映像に正弦往復運動の振幅の 3%，6%，9%をそれぞれ最大値とする一様乱数を生成し正弦波振幅成分に加えた．最終的に映像の方向 2 種類，加えた乱数の種類 4 種類 (0%を含む) の計 6 種類の映像を，立体映像として被験者に 3 分間観視させた．

身体動揺の測定については，通常身体動揺の測定で用いられるロンベルグ姿勢にて映像観視を行いながら，バランス Wii ボード (任天堂社製) を用いて測定した．

3. 結果および考察

結果の一例として，図 1(a) および図 1(b) に 21 歳女性の奥行き方向への運動映像観視中 (120s-180s) の足圧中心の位置変化の様子を示す．図 1(a) からは，規則的に前後に足圧中心の位置が変化していることが確認できる．一方，図 1(b) からは，規則的な変化は確認できず，また変動振幅は図 1(a) と比較して小さいことが確認できる．次に図 2(a) および 2(b) に映像運動方向の時間周波数解析の結果の一例を示す．(a) は奥行き方向運動映像観視時の結果を表しており，(b) は左右方向運動映像観視時の結果を示している．Pre test は，事前に行った映像を観視しない状態における身体動揺の結果を示している．0% および 9% のグラフからは，映像運動周期に当たる 0.25 Hz 成分の選択的な増加が認められる．また両者を比較すると，9% の方が低い値を示した．しかし，予測不可成分 (3-9%) 間で，有意差は認められなかった．よって，予測不可成分は，映像観視に起因する身体動揺に一定の影響を与えるが，その影響は画一的ではなく，映像への感受性によって異なると考えられる．

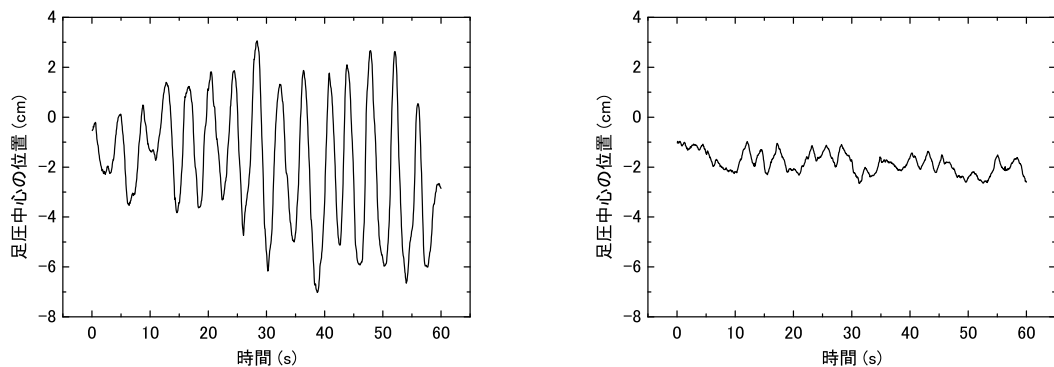


図 1(a) 映像 (0%) 観視時の足圧中心の変化 図 1(b) 映像 (9%) 観視時の足圧中心の変化

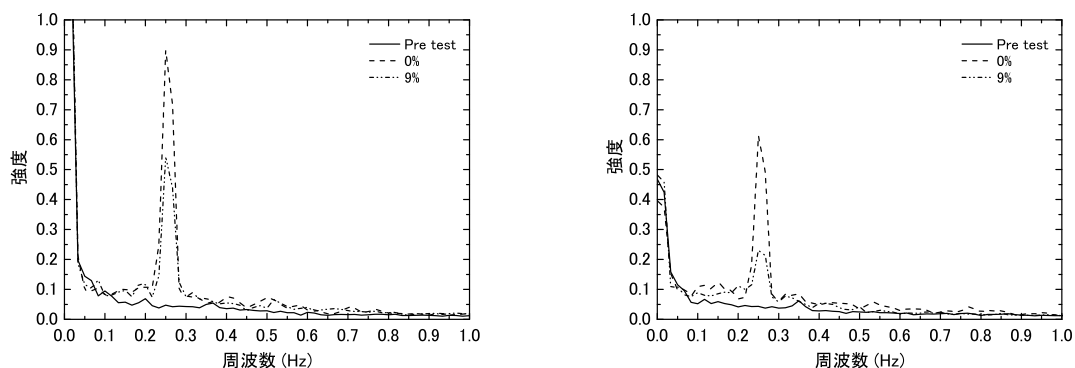


図 2(a) 時間周波数解析 (奥行き方向運動) 図 2(b) 時間周波数解析 (左右方向運動)

4. まとめ

正弦往復運動を有する映像に予測不可成分を加えた場合における身体動揺への影響について検証を行った．その結果，映像中の予測不可成分は，身体動揺に一定の抑制影響を与えるが，人の映像への感受性によって，その影響は異なる可能性が高いことが示された．

参考文献

- [1] Edwards AS. Body sway and vision. J. Exp. Psychol. 36, 526-535, 1946.
- [2] 杉浦明弘，田中邦彦，若田部駿，松本千佳，吉川一輝，高田宗樹，宮尾克．立体映像観視時における視覚誘導自己運動感に起因する重心動揺の特徴解析．映像情報メディア学会技術報告，38，49-52, 2014.

書写書道 ICTシステムの構築

杓名健一郎¹, 本田容子², 平田隆幸¹

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

²盛岡大学文学部 〒020-0694 岩手県滝沢市砂込 808

kutsuna@u-fukui.ac.jp

Suggestion of a SHOSHA-SHODO Education ICT System

Kenichiro KUTSUNA*, Yoko HONDA**, Takayuki HIRATA*

*University of Fukui, Bunkyo3-9-1, Fukui 910-8507

**University of Morioka, Sunagome808, Takizawa, Iwate 020-0694

Keywords: ICT, Information and Communications Technology, SHOSHA, SHODO, Education

1. はじめに

ICT教育、および教育におけるICTの活用は、文部科学省や総務省などが推進しており、今後の学校教育には欠かせないものとして、現在広く研究が進められている。一方書写書道教育では、ICT教育がほとんど行われていない。実践例としては、文字を書く・見るということに関しては半紙やワークシートが用いられ、大きく書いて使用する場合には、これまでも黒板に水で書いたり「水書版」と呼ばれる水で書く道具が使用されたりしているが、それで十分だと考えられている。

ところで、最新の学習指導要領の主題とされているのは、「言語活動の充実」であるが、小中学校の国語科の一分野として存在する書写においても、言語・文字によるコミュニケーションと切り離して考えることは不可能である。そこで我々は、国語科書写の意義を今日的に解釈し、言語コミュニケーション能力を高める文字指導を研究してきた。ICTは「情報コミュニケーション技術」であり、正に書写・書道の言語・文字情報のコミュニケーション技術を現代的に活用するものであって、書写・書道においても教材の開発とその利用による学習効果の向上に関して、今後の学校教育のあり方を変えていく可能性を持つもの

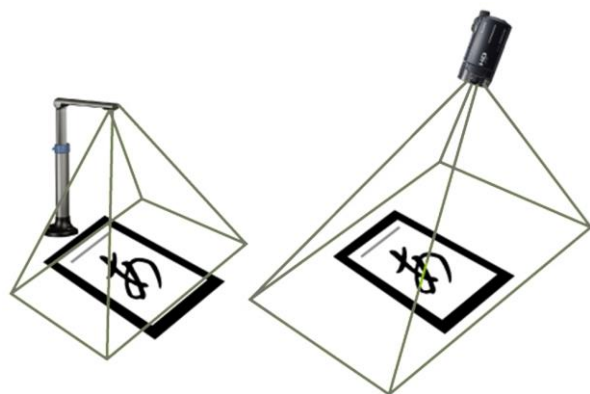


図1, 撮影の範囲

通常の書画カメラはA3サイズ横(左)なので日本の伝統サイズB4縦を撮れない。一方ビデオカメラ(右)は撮影サイズを問わない。



図2, 投影と撮影を同時に

資料の投影を同時に行うことも可能。書道の場合は、生きた教材として、他者の線、いわゆるお手本を映すことも想定される。

として、期待される。本研究全体の方針としては「1、新規性のあるシステム構築」「2、学習効果の高い教材開発」「3、文字構造の理解を得やすい実験授業の展開」を計画している。本稿は「1、新規性のあるシステム構築」について、従前のものと今後あるべき書写書道教育における ICT 活用の手法を報告・提案するものである。

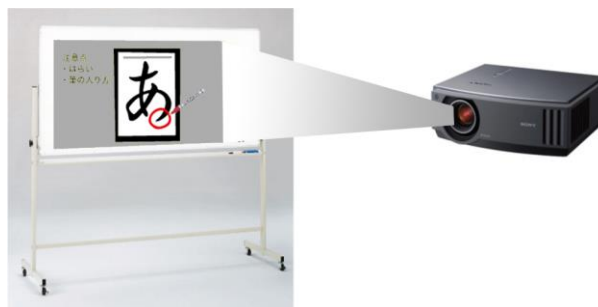


図 3、投影はホワイトボードへ

本発表に非常に近い例として、エプソン社も従来型電子黒板と比べて安価なプロジェクター式の電子黒板を提案しており、多様な使い方の提案を行っている。

安価で書き込むことも可能なホワイトボード上に投影することで、教材に注意や資料を提示することが非常に容易になる。

我々は、電子黒板に変わるものとして、安価で低コストで導入でき、ソフトの制作も簡単で、応用の幅が広く、教科全般はもとより、書写書道教育における活用が望まれるシステムの開発と、その実際の授業への応用を目指す。

2. 文字の手触りを残した ICT 活用

書写書道の授業での ICT 機器の活用とは、先生が筆や鉛筆で書く姿を大きく見せることが中心で、書画カメラのみで足りていた。最近は電子黒板が各学校に配備されて使用が勧められているものの、ソフトが高価だが、授業の進行を楽にするはずがソフトの使い方が限定されていて応用の幅は広くなく、生徒の没入感が低下する。文字も Adobe Photoshop のブラシツールのレベルを超えない。書写書道教育で最も使用されている従来型の書画カメラ（図 2）は、A3 サイズ「横」の読み込みが最大サイズのため、日本の伝統的なサイズである「半紙」のサイズ（B4 サイズ縦置き）がギリギリ入るか、上下が欠けてしまう大きさのため没入感を得づらく、副教材を周囲に配置する余裕もなかった。今回提案する汎用ビデオカメラは、天井に固定式で据え付ける。普通のビデオカメラなので、リモコンによるズーム次第で、周囲に多くの教材を配置することも可能である。

児童生徒らに提示する最終局面では、ホワイトボードへ投影することで、マーカーで注意点を書き込んだりすることが可能である。筆の実際の映像を使用するため生きた手触りで教材に対する没入感を高める。書画カメラの映像以外にもパソコンの映像を投影することにより、①副教材をスキャンして投影し、罫線やなぞり手本としての利用②ビデオを投影しながら、ストップをかけてマーカーで書き込みながらの解説、などが可能になる。

3. 従来の方法に比べて革新的である点「安価で応用の幅が広いシステム」

PC 用のソフト、例えば MS PowerPoint、Apple Keynote などに表示内容を編集すれば、デジタル教科書を自作、あるいは個々の授業に合わせてカスタマイズすることが非常に容易である。文字を脳的に理解する際に視覚情報を感じ覚的にとらえるが、その感覚のフィルターによって文字に性格が備わる。すなわち、やわらかい、やさしい、固い、厳しい、などの鑑賞用語（評語）である。この評語は、デジタルの文字・活字では伝わらず、生の文字を見ることでしか感じ取れない。電子黒板は筆という細やかな対象に対してデジタルの限界を感じるが、この簡単なシステムを応用することでリアルな筆づかいから書写書道の授業をより楽しくさせる、新しい ICT の活用教材が開発できる。

本研究は JSPS 科研費 15K13238 の助成を受けたものです。

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 15K13238.

フラクタル配列点状散乱体の波動透過率のフラクタル次元

植田 毅

東京慈恵会医科大学 物理学研究室、182-8570 東京都調布市国領町 8-3-1

tsuyoshi_ueta@jikei.ac.jp

Fractal dimension of the wave transmission spectrum of fractally arranged point-like scatterers

Tsuyoshi Ueta

The Jikei University School of Medicine, Physics Laboratory,
8-3-1 Kokuryo-cho, Chofu, Tokyo 182-8570

Abstract: We consider the transmission spectrum of an electromagnetic wave or an electron wave passing through fractally arranged scatterers in two-dimensional space. The fundamental structure is defined by putting point-like scatterers on the vertices of a double square, and the structure of the next generation is defined by putting a certain generation's structure on the atomic positions of the fcc (100) surface. We have investigated the generation dependence of the fractal dimension of the transmission spectrum of the wave passing through such fractal structures. The following facts have been found. The transmission spectrum has a fractal dimension reflecting each generation's structure, it changes in sigmoid with the generation and becomes close to that of the coastline etc. on the limit of infinitely large generation.

Keywords: transmission spectrum, electron wave, point-like scatterers, fractal structures, fractal dimension

1. はじめに

GaAs・AlGaAs の半導体-絶縁体ヘテロ界面に形成される 2 次元電子系をエッチングやスプリットゲートを用いて電子を 0 次元的に閉じ込めたものを量子ドットと呼ぶ。量子ドットを複数並べ電子が確率的に行き来できるようにしたものを量子ドット分子という。近年、連結した量子ドットのコンダクタンスにフラクタル的な揺らぎが見られることが実験的に見出されている。他方、1 次元完全導体で構成されたフラクタル的な構造ではフラクタル的バンド構造が形成され、コンダクタンスがフラクタル的になることが理論的に示されている。本研究では、2 次元平面に点状散乱体をフラクタル的に配列した系の透過率スペクトルを計算し、そのフラクタル次元の世代依存性を調べる。

2. 計算モデル

図 1 に示す 2 重正方形の頂点に点状散乱体を配置した構造を基本構造（第 1 世代構造）とする。fcc (1, 0, 0) 面のユニットセルの原子の頂点にある世代の構造を置くことにより次世代を定義する。

3. 計算法

2 次元電子波のシュレディンガー方程式に対する境界要素法を境界の無い系に適用し、 δ 関数的散乱ポテンシャルを仮定すると任意の点 $\mathbf{r}$ での波動関数 $\psi(\mathbf{r})$ は連立方程式

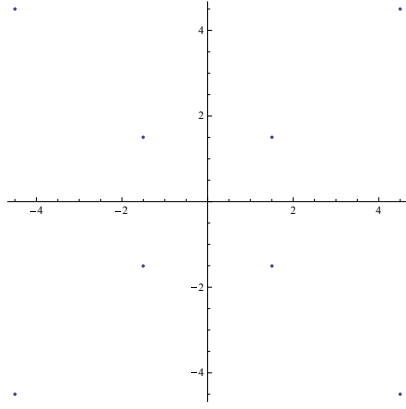
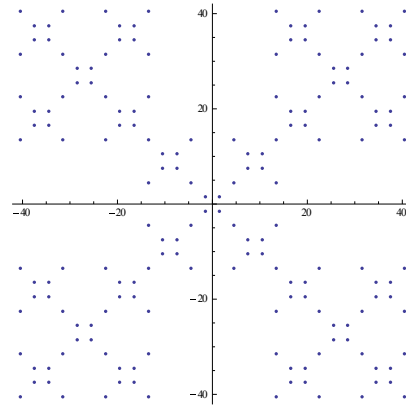


図 1 第 1 世代



第 2 世代

$$\psi(\mathbf{r}) = e^{ikx} + \sum_n G_0'(\mathbf{r}, \mathbf{R}_n) V_n \psi(\mathbf{R}_n)$$

$$G_0'(\mathbf{r}, \mathbf{R}_n) = \begin{cases} \frac{i}{4} H_0^{(1)}(|\mathbf{r} - \mathbf{R}_n|) & \mathbf{r} \neq \mathbf{R}_n \\ -\frac{1}{4\pi} \left[2 \ln \frac{kda}{2} + 2\gamma - 1 - i\pi \right] & \mathbf{r} = \mathbf{R}_n \end{cases}$$

により与えられる。ここで、 γ はオイラー数、 n は散乱体に付した番号、 $\mathbf{R}_n$ および V_n は番目の散乱体の座標および散乱能である。 $H_0^{(1)}$ は 0 次の第一種ハンケル関数である。 k は入射波の波数、 n は散乱体に付した番号、 d は系の典型的な長さで、第 1 世代の外側 4 点の 1 辺の長さが $9d$ である。 a は散乱ポテンシャルの有効散乱半径であり $a/d = 0.05$ とし、ポテンシャルの散乱能は $\{V_n\}$ は全て同じで、 $V_n = 1.25$ とする。系の右端の x 座標を R (左端の x 座標は $-R$) として透過率は

$$T = \frac{\int_{-1.1R}^{1.1R} j_x(1.1R, y) dy}{\int_{-1.1R}^{1.1R} j_x(1.1R, y) |_{V_n=0} dy}, j_x(x, y) \equiv \frac{1}{2i} \left(\psi^* \frac{\partial \psi}{\partial x} - \psi \frac{\partial \psi^*}{\partial x} \right)$$

と定義する。

4. 計算結果

第 1 世代から第 5 世代の透過スペクトルを図 2 に示す。各世代それぞれのスペクトルを疎視化することにより決定したフラクタル次元を図 3 に示す。

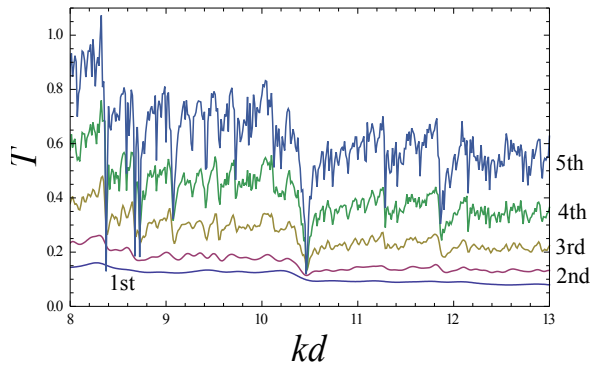


図 2: 第 1～第 5 世代の透過スペクトル

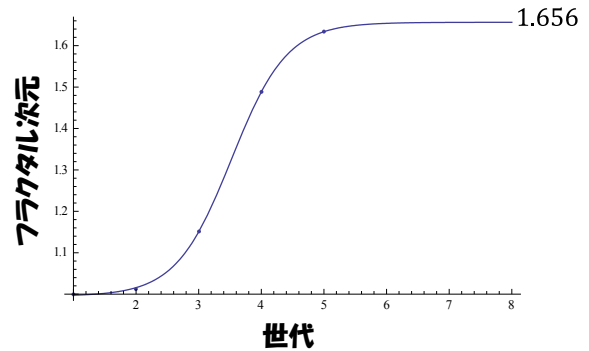


図 3: フラクタル次元の世代依存性

5. 結言

境界がなく、点状散乱体がフラクタル的に配列しているときの透過スペクトルを調べ、スペクトルがフラクタル的構造を持つことを示した。そのフラクタル次元は世代に対しシグモイド的に変化し、世代が大きな極限でのフラクタル次元は海岸線等のそれと同じであった。

リンゴの皮むき曲線について

海野啓明

仙台高専広瀬キャンパス, 989-3128 仙台市青葉区愛子中央 4-16-1

On Apple-Peel Fold-Out Development and Its Curve

Keimei, KAINO

Using a spherical model of an apple-peel fold-out, we derive a formula that, for a given cut width, describes the corresponding S-shaped spiral with Archimedes spirals on both ends. From numerical calculation of the formula when the cut width becomes finer, we obtain that, rescaling a sequence of spirals by making them a unit length, the shape of these spirals tends to a well-defined limits, called lituus. From intrinsic equation of an apple peel curve, we show that the curve consists of Euler spiral from around the equator of the sphere and Archimedes spirals around the ends.

KEYWORDS : apple-peel fold-out, lituus, Euler spiral, Archimedes spiral, intrinsic equation

1. はじめに

リンゴを軸の周りに皮幅一定の条件でむき、その皮を平面に広げると図1のようなリンゴの皮むき展開図が得られる。これはS字形螺旋になるので Euler spiral によく似ているが¹⁾、軸の付近では Archimedes spiral であるので単純な螺旋ではない。

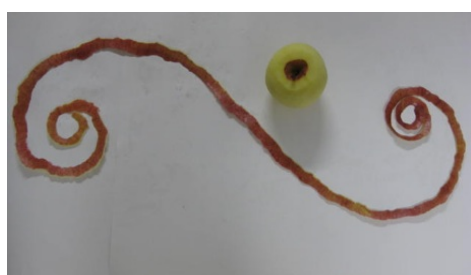


図1. リンゴの皮むき展開図.

展開図は2回対称性をもち、両端は螺旋の中心となるのでこれらをN極とS極と呼ぶことにすると、皮の長さは両極間の距離 $2r_0$ で測ることができる。球のモデル(図2参照)において緯度 180° を $2N$ 等分して、展開図を数値計算により調べると、螺旋の形は分割数によらず相似形となり、Lituusでよく近似できる²⁾。一方、皮の長さは $r_0 \approx \sqrt{2\pi N}$ となる

が、これは Euler spiral とみなせば導かれる。

リンゴの皮むき展開図の皮幅を細くした極限($N \rightarrow \infty$)において「リンゴの皮むき曲線」が定義できる。ここでは文献1によりリンゴの皮むき曲線の自然方程式を導き、Euler spiral 等と比較する。

2. リンゴの皮むき曲線について

皮むき曲線を弧長変数 s を用いて表す。図2の球面モデルにおいて、弧長変数の原点を赤道上の点Aにとると、弧長は赤道と球面上の点Pの緯線で切り取られた帯状の部分の面積 S を皮幅 $d = \pi/(2N)$ で割った値に等しい。角度 $\angle POA = \alpha$ とすると、 $S = 2\pi \sin \alpha$ より、点Pにおける弧長 s と曲率半径 $r = \overline{PQ}$ は

$$s = S/d = L \sin \alpha, \quad r = \cot \alpha$$

となる。ここに、 $L = 4N$ は北半球の曲線の全弧長である。よって、リンゴの皮むき曲線の自然方程式は

$$rs = \sqrt{L^2 - s^2} \quad (1)$$

となる¹⁾。極率は $\kappa = 1/r$ で与えられる。

皮むき曲線では曲率半径 r は図2の線分 $\overline{PQ}$ であるが、点Aを通りこれに平行な直線と縦軸との交点

となる。これは Euler spiral の自然方程式である。

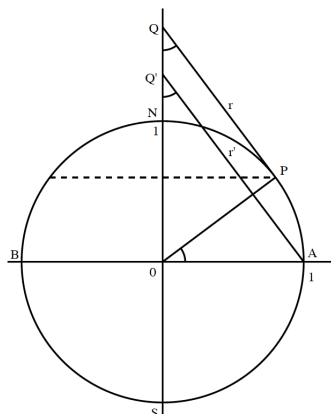


図2. 皮むき曲線のモデルと曲率半径 r, r' .

リングの皮むき展開図は、図 1 のように対称中心から皮が直線的に伸びる。皮むき曲線を表すために、座標系 $O-xy$ として対称中心を原点にとり、それから直線に伸びる方向を x 軸にとる。

リンゴの皮むき曲線では，回転角 $\theta(s)$ は

$$\theta(s) = \int_0^s \kappa(u) du = L - \sqrt{L^2 - s^2} \quad (3)$$

となるので、曲線の方程式 $\gamma(s)$ は複素数表示で

$$\gamma(s) = \int_0^s e^{i\theta(t)} dt = \int_0^s e^{i(L - \sqrt{L^2 - t^2})} dt \quad (4)$$

と表される。ただし、 $0 \leq s \leq L$ であるが、 L は曲線の全回転角でもある。

3. 皮むき曲線と Euler spiral

総長 $L = 4N$ が十分大きいとき、 $\theta(s) \approx s^2/(2L)$ とおけば、曲線は Euler spiral で表される¹⁾。

$$\gamma(s) = \sqrt{\pi L} \int_0^{s/\sqrt{\pi L}} e^{i\pi t^2/2} dt \quad (5)$$

曲線と弧長変数は $\sqrt{L}$ でスケールされる。極 P_0 の位置は $s = L$ とおき、 $\sqrt{L/\pi} \gg 1$ とすれば、

$$\gamma(L) \approx \sqrt{\pi L/2} \, e^{\mathrm{i}\pi/4}$$

となる。ここで、 $L = 4N$ を代入すれば $|\gamma(L)| = \sqrt{2\pi N}$ が得られ、前述の r_0 の値と一致する。

皮むき曲線を Euler spiral で近似したとき、その全回転角 $\theta(L) = L/2$ は、皮むき曲線の値の半分しかない。Euler spiral では $s = L$ のとき $r' = 1$ となるので、曲線が単位円周上にあり、極 P_0 には達しない。この状況は Lituus の場合と同様であるから、リングの皮むき曲線の原点と極付近を除けば Euler spiral は Lituus とみなして良さそうである。

4. 皮むき曲線と Archimedes spiral

極付近では $s \approx L$ となるので, (4) 式の積分区間を $[0, s] = [0, L] - [s, L]$ として, 積分変数を $t = L \cos \phi$ に変え, $\Phi = 2 \sin^{-1} \sqrt{(L-s)/(2L)}$ とおくと,

$$\gamma(s) = \gamma(L) - \int_0^\Phi e^{\mathrm{i}L(1-\sin\phi)} L \sin\phi \, \mathrm{d}\phi \quad (6)$$

を得る。 $\Phi \ll 1$ のとき, $\sin \phi \approx \phi$ おいて部分積分し, 動径 $r = \Phi$, 偏角 $\theta = L\Phi$ とおくと, 全弧長 L と全回転角 Σ_0 が等しいので, Archimedes spiral の式

$$r = 1 - \theta/L = d(\Sigma_0 - \theta)/(2\pi)$$

が導かれる。

5. 準正多面体の皮むき展開図

4次元正多胞体もリングの皮むき展開ができる²⁾。正多胞体の赤道球面に対応する中央層は平板状に皮むき展開される。例えば正120胞体の場合、中央層の直投影図は切頂菱形30面体となるので、図3に示すS字形展開図が現れるがまだ螺旋にはならない。

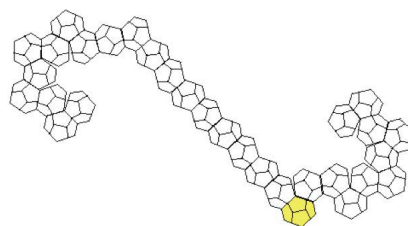


図 3. 正 120 胞体の中央層の皮むき展開図.

参考文献

- 1) L. Bartholdi and A. Henriques: Orange Peels and Fresnel Integrals, *The Mathematical Intelligencer*, Vol.34, No. 3, pp.1–3 (2012).
- 2) H. Chiba, H. Arai and K. Kaino: Apple-Peel Fold-Out Nets of 4-D Regular Polytopes, *Proceedings of NICOGRAPH International 2013*, pp.31–34 (2013).

薄膜状になったアスコルビン酸溶液からの結晶成長における 自己相似ダイナミクス

山崎義弘

早稲田大学理工学術院, 東京都新宿区大久保 3-4-1

yoshy@waseda.jp

Self-similar growth dynamics of ascorbic acid crystal from its thin film solution

Yoshihiro Yamazaki

Department of Physics, Waseda University, Tokyo, 169-8555, Japan

Abstract

Dynamics and pattern formation of ascorbic acid crystal growth from its aqueous thin film solution are focused on. It has been known that growth mode of the ascorbic acid crystal domains changes dependent on humidity: coexistent, uniform, periodic, and branching. We have confirmed that the crystal growth induces solution flow and that the solution flow brings about thinning of solution thickness. Due to the thinning, the solution thickness reaches a threshold for the solution fluidity, and a self-similar growth of the crystal domains can be observed.

Keywords: pattern formation, threshold, periodic, branching, solution flow

有機分子の溶液や高分子溶融体を薄膜にした状態から結晶成長を行うと、成長が進行する時間と停止する時間とが交互に生じ、その結果、点状核からの結晶成長の場合、結晶領域（以下、ドメインと呼ぶ）による同心円状パターンの形成が観られる。このようなパターン形成においては、溶液が高粘度で薄膜状であるという点が共通している。以下では、例として、有機分子の一種であるアスコルビン酸の水溶液を用いて、薄膜状になった溶液から、溶媒蒸発によって引き起こされる結晶成長と溶液の流動に着目し、結晶成長により得られるドメインのパターンについて紹介する。

まず、実験手順の概要を示す。適当な濃度のアスコルビン酸水溶液が薄膜状になるよう、シャーレなどの容器に入れ、溶媒を蒸発させる。この溶液の特徴は、溶媒が蒸発して飽和状態になっても直ちに結晶成長せず、過飽和のまま高粘度溶液状態になるという点である。過飽和溶液の厚さが数十 μm 程度であると、図 1 (a) のように、環境の湿度、および、温度に応じて、様々なドメインパターンが形成される。図 1 (a) の A では、異なる構造を持つ 2 種類の結晶ドメインが成長し、共存している。B では、A のうち 1 種類の結晶ドメインのみが出現し、一定の速度でドメイン成長する。C では、成長が進行する時間と停止する時間が交互に生じ、その結果、点状核からの成長の場合、同心円状パターンが形成される。さらに、D では、結晶成長に進行と停止を伴いながら、ドメインとしては、枝分かれしたパターンが形成される。湿度と温度をパラメータとして、得られるパターンを相図としてまとめたものが図 1 (b) である。この相図から、出現するパターンは温度にあまり依存しない一方、湿度には強く依存していることが分かる。

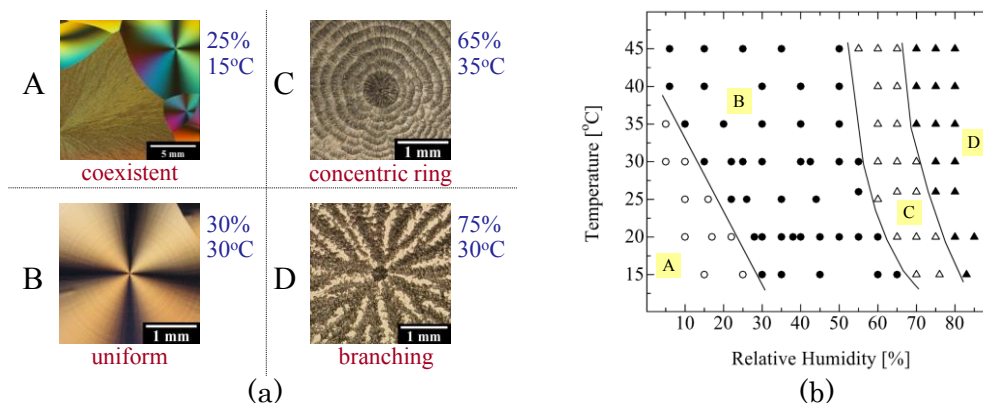


図 1 : (a)湿度[%]、温度[°C]に依存して得られる代表的なドメインパターン、 (b)相図

結晶成長中の溶液流動を確認するために、微小なビーズを混入した溶液を用いて結晶成長を行い、結晶成長とビーズの運動との関連を観察した。その結果、結晶成長に伴い溶液全体の流動が生じ、結晶ドメイン近傍の膜厚が薄くなると、溶液の流動が停止すると見なして良いほど流動が低下することが分かった。このため、結晶ドメインどうしの衝突において、図 2 のような自己相似的ダイナミクスがうみ出される。図 2 (a) は、2 つの結晶ドメインが、上方と下方からそれぞれ図中の軸に沿って進展し、軸の原点で示されたところで衝突した様子を示している。この図より、結晶ドメインが近づくにつれて、得られるドメインの構造が小さくなっていることが分かる。このドメイン成長を模式的に表したのが図 2 (b) であり、自己相似性は以下の様に説明できる。結晶成長によりドメインが進展するにつれて、結晶の高さは徐々に高くなっていく。それに伴い、溶液の流動も多くなり、境界近傍の膜厚が薄くなると、溶液の流動が停止し、結晶成長も停止する。このとき得られた結晶ドメインの高さの上限は、溶液の膜厚に依存しており、正の相関があると考えられる。さらに、溶液の膜厚は全体としても薄くなるため、結晶成長が再開し新たにできる結晶ドメインの高さの上限は、以前のものと比べて低くなる。以上の過程を繰り返すことにより、自己相似的なドメイン成長ダイナミクスが生まれる。

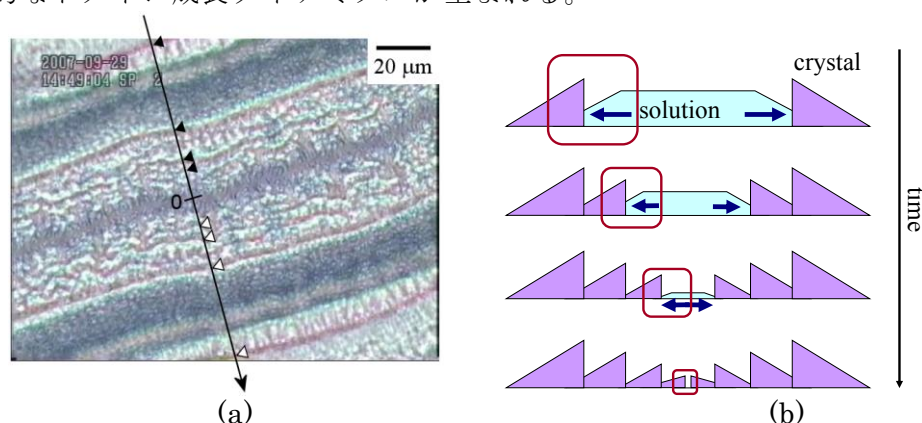


図 2 : 2 つのドメインの衝突で観られる自己相似的ダイナミクス

[1] Y. Yamazaki, et al.: J. Phys. Soc. Jpn., 78 (2009) 074001.

[2] Y. Yamazaki, et al.: J. Phys. Soc. Jpn., 83 (2014) 064002.

関連動画 : <http://www.y2003.phys.waseda.ac.jp/cgi-bin/fswiki/wiki.cgi?page=Suppl.Mat>.

クモの網を模擬した構造の変形に及ぼす横糸の弾性係数の影響

森山卓郎

阿南工業高等専門学校、〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木 265

takuro@anan-nct.ac.jp

The effects of elastic modulus of weft on deformation of simulated structure of spider web

Takuro MORIYAMA

National Institute of Technology, Anan College,

265 Aoki, Minobayashi-cho, Anan, Tokushima 774-0017, JAPAN

Abstract: Reasonable shape and excellent structure on mechanical properties can be seen in nature. In this study, spider web was focused on. The structure of concentric circles and spiral on weft of the spider web was modeled by two-dimensional frame. Concentration load was applied to the center of analysis models on both plane and out-of plane. The effects of the difference of shape, spiral, and elastic modulus of weft on the deformation of simulated structure of the spider web were considered.

Keywords: spider web, weft, spiral, concentric circle, deformation

1. 目的

自然界には、合理的な形状で力学的にも優れた構造を有するものが多く見られる。本研究では、クモの網の構造に着目した。クモの糸は、高い引張強度と伸びを有しており、最近では人工クモ糸の量産も可能になっている。クモの網には、円網や皿網など様々な種類があるが、網の力学的な変形特性についてはあまり検討されていない。

そこで本研究では、クモの網を模擬した構造を2次元の骨組部材により作成し、網の形状やクモの網に見られる螺旋の有無、螺旋の種類を変化させて面内または面外の荷重を作用させた解析を行い、網の形状や螺旋の違いが網の変形に及ぼす影響について検討した。実際のクモの網では縦糸と横糸の性質が違うことに着目し、特に横糸の弾性係数を小さくしたときの網の変形に及ぼす影響について考察を行った。

2. 解析方法

クモの網を模擬した解析モデルを2次元の骨組み構造により作成した。解析モデルの外形状は正方形を基本とし、正方形が内接しているもの、正8角形が内接しているもの、正12角形が内接しているものを作成した(図1(a)~c)。さらに、横糸を想定した部材が同心円状の12角形のもの、アルキメデスの螺旋を有しているもの、対数螺旋を有しているものについても、同様に作成した(図1(d)~f)。このとき横糸の長さは、比較する解析モデルでほぼ同じになるように作成した。解析モデルの材料定数は、実際のクモの網の値を用いた。

解析モデルの四隅を固定し、中心に1Nの集中荷重を面外方向(z方向)または面内方向(x方向、y方向)に作用させた場合についてそれぞれ解析を行い、各節点の変位や各部材の軸力などを算出した。いずれの場合においても、縦糸と横糸の弾性係数が等しい場合の解析を行った後、横糸の弾性係数を少しずつ小さくした場合の解析を行った。

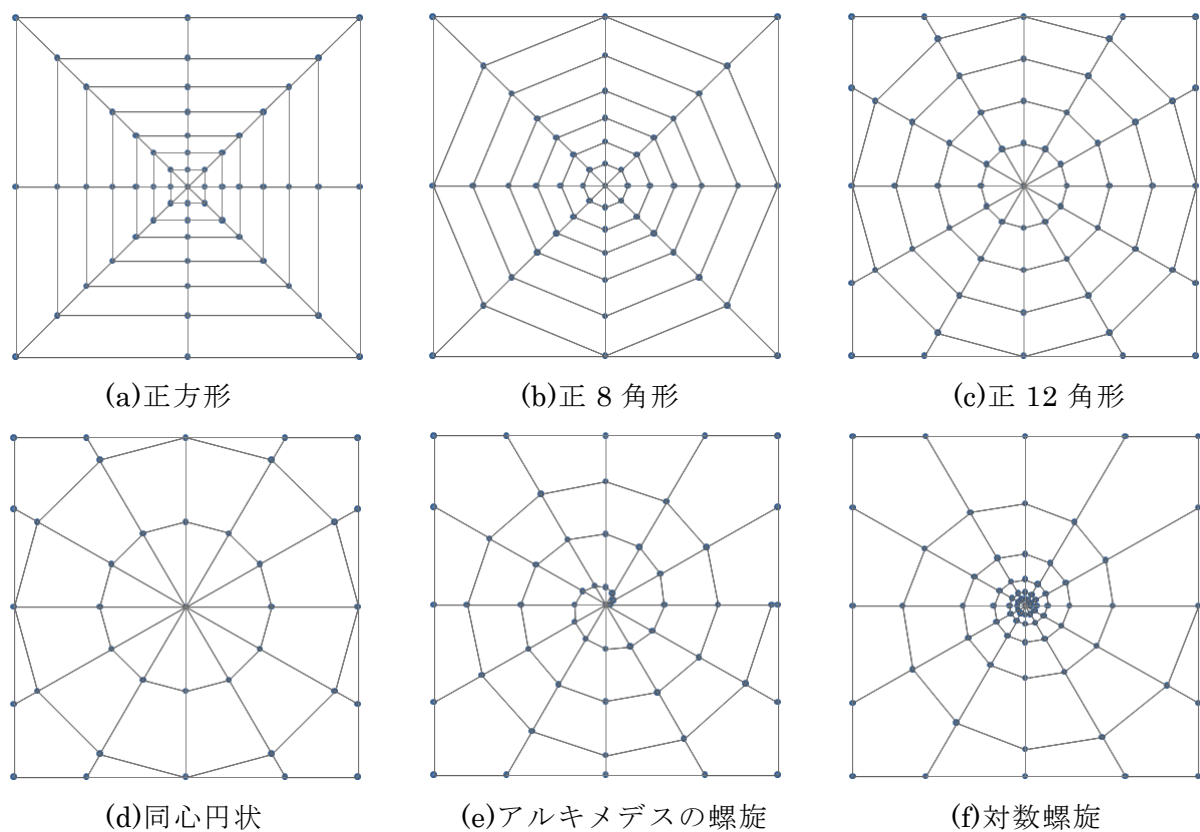


図 1 解析モデルの形状

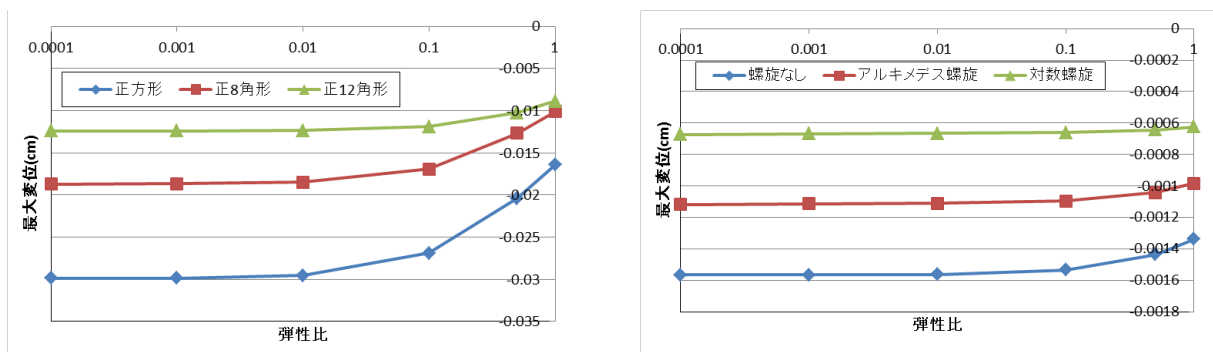


図 2 面外方向に荷重を作用させた場合の最大変位の比較

3. 解析結果

解析結果の 1 例として、面外方向に荷重を作用させた場合の最大変位の比較を図 2 に示す。いずれも横軸は、縦糸と横糸の弾性係数の比である。図 2(a) より、縦糸と横糸の弾性係数が等しい場合では、内接する多角形が正 12 角形のとときに最大変位が最も小さいことがわかる。また、横糸の弾性係数を小さくした場合では、いずれの場合でも最大変位は増加するが、正 12 角形が内接するモデルが最大変位の増加が小さいことがわかる。

図 2(b) より、横糸が対数螺旋のとときに最大変位が最も小さいことがわかる。横糸の弾性係数を小さくした場合では、いずれのケースにおいても最大変位は増加するが、対数螺旋の場合が最大変位の増加を抑えていることがわかる。

また、図 2 の (a) および (b) のいずれのケースにおいても、弾性比が 0.01 以下では、最大変位がほぼ一定の値に収束する傾向も見られる。

水から酸素をつくる光合成 PSII に出現する形

中村振一郎、畠山允、緒方浩二

理化学研究所・イノベーションセンター・中村特別研究室

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

snakamura@riken.jp

Various Forms in Photosynthesis II

Shin Nakamura, Makoto Hatakeyama, Koji Ogata

RIKEN Research Cluster for Innovation, 2-1 Wako, Saitama, 351-0198 Japan

Abstract: Photosynthesis II makes one oxygen molecule from two water molecules. The mechanism on a molecular level is not at all resolved remaining problem. We study the mechanism focusing on oxygen evolving center (OEC) by using molecular level simulations. We present here various forms appearing in this research.

Keywords: PSII, Molecular Dynamics Simulation, Molecular Orbital

はじめに

研究の焦点は光合成 PSII を駆動している原理である。つまり Si デバイスに代表される人工的機械のデジタル・メカニズムではどうも実現できない高効率で環境親和性の高い原理を、人工物に転写する指針の探索である。向かうところを図 1 に示した。作業仮説は 4 点から構成される。第一、生体は部品の性能ではなく、全体システムの効率を上げる機構を持っている¹、第二、Mn 錯体からなる OEC の驚異的な触媒作用はそれを包む巨大タンパク PSII のつくる「場の効果」と協奏的に動作している²、第三、OEC と PSII の協奏的相互作用（場の効果）とは線形応答理論の枠組みで近似的に記述できる³、そして第四は、天然光合成の光応答現象にはドレスト光子が関与している⁴。今回は、本学会の趣旨に沿って、第二の仮説検証で遭遇した様々な形を示し批判と助言を仰ぐことである。

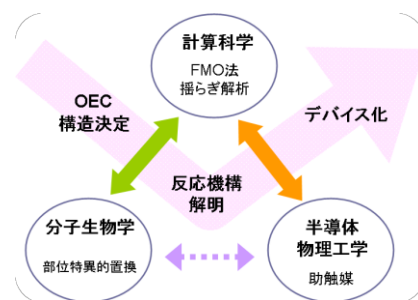


図 1 研究の概念図

結果と考察

進化で淘汰された光合成システムの巨大タンパク全体と触媒中心の共同効果を定量的に解析するために、沈らの X 線構造⁵の Co-Factors 等の不足情報を全て補い、新たに力場を構築し、水を含む合計 120 万原子からなる系の古典 MD を実行した^{2a}。PSII 蛋白質の系のモデルは、チラコイド膜のモデルの中に PSII 二量体を配置し、PSII 二量体は PDB に登録された高分解能のものをを用いる。チラコイド膜のモデルは脂質の組成 (MGDG と DGDG, SQDG, PG の割合と付加している脂肪酸の割合) がシアノバクテリアの天然状態に近いモデ

ルである。PSII とチラコイド膜を大きな水のボックスに配置し、その系に対して古典分子動力学を行い、自然の状態を可能な限り再現した。この揺動のなかで酸素発生が行われている。準備として行った Mn2 核錯体の解析⁶も報告する。

MD 計算 120 万原子のスナップショットが下の図 2 である。その結果の詳細解析から示唆された水、酸素、そしてプロトンの流路を図 3 に示す。動的構造として、物質移動を示唆する経路が浮かび上がった。この動的構造と PSII が示す大振幅振動、OEC の量子化学計算が示すスピンダイナミクス、この 3 者の協奏こそが高効率酸素発生を成し遂げていると考えられる。現在、その詳細を解析している。

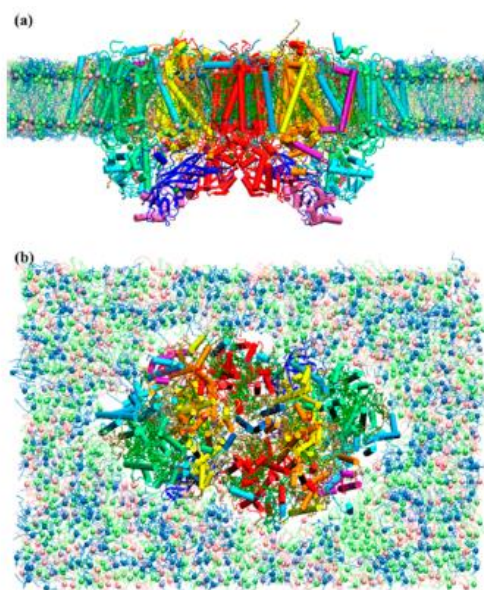


図 2 (a)横から見た図、(b)ルーメン側から見た図

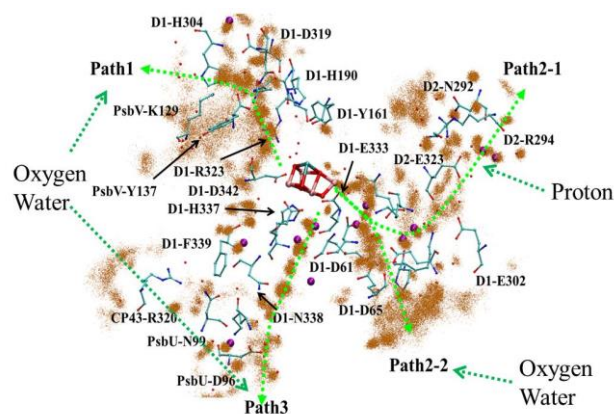


図 3 計算結果から示唆される水、酸素、プロトンの流路

References

1. <http://www.gsi.u-tokyo.ac.jp/>および <http://www.solches1.com/>
2. a) K. Ogata, T. Yuki, M. Hatakeyama, W. Uchida, S. Nakamura, *J. Am. Chem. Soc.*, 135 (2013) 15670.
b) <http://www.rikenresearch.riken.jp/jpn/research/7697.html/>
3. これを考えるヒントは関本謙博士（パリ第七大学教授）とその著書「ゆらぎのエネルギー論」2004（岩波書店）に多くを負っている。
4. 大津 元一「ドレスト光子」2013（朝倉書店）
5. Y. Umena, K. Kawakami, J. R. Shen, N. Kamiya, *Nature* 473 (2011) 55.
6. M. Hatakeyama, H. Nakata, M. Wakabayashi, S. Yakoima, and S. Nakamura, *J. Phys. Chem. A*, 116 (2012) 116, 7089.

○新入会の皆様(敬称略)

平島 剛志	京都大学再生医科学研究所バイオメカニクス研究領域
河村 祐貴	東京山手メディカルセンター
岡崎 登志夫	ヤマザキ学園大学
田中 郁子	神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
横山 尚彦	京都府立医科大学大学院医学研究科生体機能形態科学
伊藤 正裕	東京医科大学人体構造学分野

○新入会の皆様のご紹介(敬称略)

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

平島 剛志

A: 発生生物学、数理生物学、生物物理学
的な生物デザイン

B: ・生物の形作り ・臓器のパターン ・機能的な生物デザイン

C: 生物の形態形成に興味があります。特に、臓器のかたちや寸法が決まる普遍的な原理を知りたくて研究をしています。大学院生までは数理生物学を専門として、発生現象の数理モデル化を行っていました。学位取得後に生命科学実験を始め、マウスの精巣上体の発生過程における自己組織化現象を具体的な研究題材に据えて、数理と実験の両アプローチから研究を進めています。形の科学会では、生命現象に限らず広い視野で興味深い話に触れられそうですので、大変楽しみです。

河村 祐貴

A: 医科学

B: 四肢・臓器の形態形成、その解釈

岡崎 登志夫

A: 動物臨床検査学、血液学

B: 動物の形、皮膚紋理、被毛・羽毛

田中 郁子

A: 古生物学、鳥類学

B: 鳥類身体の形態解析、生物離散模様の形態解析

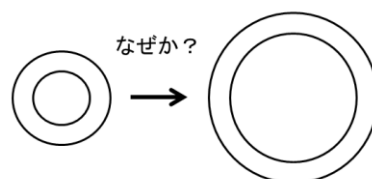
横山 尚彦

A: 解剖学

B: 管腔形成と維持、管腔径決定機構

C: 京都府立医科大学解剖学 横山と申します。解剖学は、人体をはじめとして、様々な形態を研究する学問です。解剖学の中でも、専門は、発生生物学、細胞生物学です。形態がどのように決定されるかに興味を持っているのですが、現在の研究は、腎臓の尿細管管腔の太さがどのように決定されているのかを研究しております。繊毛が関与しており、異常があると拡大することが知られているのであり、嚢胞腎という病気になります。

数理的なモデルができないかに興味があります。



伊藤 正裕

A: 肉眼解剖学, 組織学

B: 形態発生(生命や街)

○流れの画像データベースのご案内

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

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

この中の、“Flow Visualization”

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

は流れを可視化した高解像度の貴重な画像です。ぜひ一度ごらんください。

○平成 26 年度をもって御退会の皆様

興膳 生二郎	中京大学情報科学部メディア科学科
前田 卓哉	独立行政法人理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター
山田 泰広	独立行政法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC)
石原 孝臣	聖徳大学人文学部女性キャリア学科
須田 大春	(株) SDL サステナブルデベロップメント研究所
佐野 理	東京農工大学工学部物理システム工学科複雑系工学講座
甲斐 昌一	九州大学工学研究院エネルギー量子工学部門

○事務局からのニュースメール

2015 年 4 月 3 日

○形の科学会賞募集延長

形の科学会賞候補者募集の締め切りを 4 月 20 日まで延期いたします。
<http://katachi-jp.com/1523>の書式などをご利用の上、ご応募ください。

2015 年 5 月 12 日

○“46th ISAGA conference / Japan Association of Simulation & Gaming”後援

形の科学会は日本シミュレーション&ゲーミング学会第 46 回国際会議“46th ISAGA conference / Japan Association of Simulation & Gaming”を後援します。

<http://jasag.org/isaga2015/>

[会期] 2015 年 7 月 17 日〜7 月 21 日

[会場]立命館大学朱雀キャンパス

[メインテーマ]“Hybrid Simulation and Gaming in the Network Society“

なお後援学会会員に特段のディスカウントなどはありませんが、1 日券も設定されているようです。

形の科学会誌の原稿募集

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

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

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

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

複写権委託済み表示の変更(2009年11月20日)

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

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

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

形の科学会誌 Vol. 30 No. 1 (2015, 6月)

発行 : 形の科学会
会長 : 種村正美
〒233-0002 横浜市港南区上大岡西 3-5-3-307
phone: 03-3446-1501 fax: 03-3446-1695
E-mail : tanemura@ism.ac.jp
編集委員長 : 平田隆幸
〒910-8507 福井市文京 3-9-1
福井大学大学院工学研究科 知能システム工学専攻
phone : 0776-27-8778 fax : 0776-27-8420
E-mail : hirata@u-fukui.ac.jp
副編集委員長&編集事務局 : 吉野隆
〒350-8585 川越市鯨井 2100
東洋大学理工学部 機械工学科
phone : 049-239-1396 fax : 049-233-9779
E-mail : tyoshino@toyo.jp