

目 次

【講座】

医用画像処理の発展史 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 鳥脇純一郎	1
---	---

【シンポジウム予稿】

第77回形の科学シンポジウム 「人を支える形」「世界結晶年」	20
---	----

【会告】

会告	77
事務局からのニュースメール	79
形の科学会誌の原稿募集	81
『形の科学会誌』論文投稿の案内	82
形の科学会入会案内	84
第78回 形の科学シンポジウム「こころのかたち こころのゆらぎ」	86

講座 医用画像処理の発展史
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

Historical Review on the Progress of Medical Image Processing
Part 1 When Did the CAD Research Begin?

鳥脇純一郎^{*1}

^{*1} Jun - ichiro TORIWAKI

*1名古屋大学名誉教授 (Emeritus professor of Nagoya University)

jtoriwaki@sf. starcat. ne. jp

Key words: medical image processing, computer aided diagnosis(CAD) starting ages of researches

概要 コンピュータ支援診断 (Computer Aided Diagnosis ; CAD) の研究はいつ頃から、どのような考え方、あるいは何を目指して始められたのだろうか。当時の文献や資料が散逸しつつあるいま、このことをなるべく正確に整理し記録しておくことは大きな意味がある。そこで本稿では、筆者らが手掛けてきた胸部 X 線写真の画像処理に関する研究の記憶を基に、可能な限り具体的な資料を参照しながら、CAD 分野の創成期を振り返ってみることにする。

1 まえがき

本稿は筆者が先に発表した〔鳥脇 11, 12a, b, 13a〕を形の科学会誌向けに書き直したもののが第1編である。上記4点は歴史的発展をできるだけ具体的な原資料に準拠しつつ正確に記録しようとしたため、そして情報工学分野の技術者を想定して書いたため、そこから離れた分野の読者には些か読みづらいと言うコメントを頂いてた。そこで、本文では資料類は前稿4点を適宜参考するに止め、主に出来事の流れを簡単に述べることにする。

本論に入る前に画像処理に馴染みの薄い読者のために画像処理にはどんな処理があるかを簡単に紹介しておこう。

(1) 画像生成

種々の現象、情報を画像化する (イメージング imaging)。可視化 (visualization) と言うこともある。簡単には撮影とでも考えればよい。例えば、医用画像で言えば、CT像・MR像・超音波画像、赤外線画像、等々がある。〔鳥脇12c〕に詳しく説明した。コンピュータグラフィックスもここに入れることもある。

(2) 画像表示・記録

ユーザーに画像情報を提供する。画像を用いたマン・マシン・インターフェース、ハードコピー(ファイル、写真)、ディスプレイもこれらの例である。

(3) 画像伝送

画像情報を空間的に離れた場所に届ける。TV、ファクシミリ、インターネットなど。“ケータイ”で画像を送るのもよく知られている例である。

(4) 画像蓄積・検索

画像情報のデータベース化と利用である。地図情報とか病院における医用画像、人工衛星で得た地球表面のリモート・センシング・データなど、日常生活を支える。

(5) 画像変換

画質の改善・画像計測・認識の前処理。具体的に、歪み補正、ボケ・雑音除去、特定成分強調・抽出などがある。デジカメでは日常的に使われる。

(6) 画像計測・認識

画像特徴の定量化、画像認識システムの実現。医用画像の計測、自動診断、監視システム、検査システム、作業ロボット、など、いわゆる自動××とかロボット××と呼ばれるところでは必須の技術である。

これらの中で比較的まとまった分野の画像は、しばしば、***画像、その処理は***画像処理のように呼ばれている。例えば、リモートセンシング画像処理、医用画像処理、産業用画像処理、顔画像処理、などがある。そして、これらのどの分野にも、それぞれに固有の機器、装置、ソフトウェア、システムがあり、技術的課題、研究テーマがある。これらの詳細は画像処理の基本であり、どの画像処理の専門書、教科書、参考書にも書かれている事柄なので、本文ではこの程度に止める[鳥脇10d] [石田12a, b]。

現在、我々は日常生活において相当高度の画像処理をそれと意識せずに気軽に利用している事は驚嘆に値する。例えはデジカメ、ケータイ、カラーテレビ、インターネットのブラウザ、コピー機、スキャナ、等々。以下に述べるのはこれらがどれも無かった時代の話である。

本論文は筆者のおよそ 50 年にわたる研究を通して見た画像とその処理技法の発展を述べたものである。内容的には[鳥脇 11]に対応する。上記の区分で言えば、領域は医用画像処理、機能面では画像の認識・理解に相当する、

この時期の主要な話題は、“CAD [＊用語説明]”と言われる領域の研究はいつ頃、どのようにして始まったかである。

デジタルコンピュータの発明が 1945 年だから言うまでもなく CAD の研究が行われるのもそれより後である。幸い、筆者は胸部 X 線写真の画像処理に関する研究に 1965 年頃から携わっていたから、当時の研究に関してはまだかなり記憶に残っている。また当時の研究資料の類もかなり保存している。そこで可能な限り具体的な資料を参照しつつ、CAD

[＊用語説明 CAD] CAD は医用画像処理では Computer Aided Diagnosis を意味する。本論文でもこの意味で用いる。一般には世の中では CAD = Computer Aided Design を意味することがむしろ多いかも知れないが、医用画像処理の分野では上の意味で常用される。計算機（コンピュータ）支援診断と訳している。コンピュータを用いて得た情報を積極的に利用する診断を意味する。

創成時の研究を振り返ってみることにする。ただし、本文では参考文献は大部分を割愛し、具体的な文献、資料は〔鳥脇11〕にゆづる。

2 画像をコンピュータにどうやって入れるか

X線像は名前の通り画像である。コンピュータはその登場以来数値計算、あるいは、記号列の処理では人間より遙かに高い性能を持つことは直ぐに認められたが、画像に関しては例えれば以下のような色々問題があった。

(1) コンピュータで処理するには画像はどう表現すればいいか。現在のデジタル画像と言う形式は確立されていなかった。

(2) 普通の紙、または、フィルムに記録された画像をどうやってデジタル化するか(すなわち、コンピュータで扱えるかたちにするか)、そのための装置はどうするか(画像のデジタル化処理と今で言うスキャナの実現)

(3) デジタル画像をどうやってコンピュータ内に保存し、処理するか(デジタル画像用のメモリと処理装置と処理アルゴリズム)。

従って早い時期(具体的に1960年代)の画像処理(医用画像も含む)の研究や論文はこれらの諸問題のすべてに対処する必要があった。そしてデジタルコンピュータによる画像処理が確かに有効と認められるのにしばらく時間を要した。デジタル画像処理が人の能力を明確に凌ぐものとして意識されたのは、1970年代前半の人工衛星画像とコンピュータ断層像(CT像)〔*用語説明〕の登場による。その両者はともに画像の取得段階、すなわち、イメージングの段階から既にデジタル画像であった点が大きな特徴である。それまでの医用画像の主力であったX線写真は、文字通り、フィルムに記録された“写真”であり、アナログ画像であった。この種のアナログ画像をデジタル化するには、基本的に(1)画素の位置の選択、(2)その画素に於ける濃淡値の計測、の2段階の操作がいる。これを2次元の画面の全域に対して行うために、画素の濃淡を測定する位置をフィルム上で動かす必要がある。(デジタル画像の形式については〔鳥脇12c〕参照)

すなわち、

(1) 画素の位置に対応する場所に小さい光の点(スポットと言う)をあてる、

(2) その光の反射光か透過光の強度を測る、

(3) スポットまたはフィルムを組織的に動かす、

と言う仕組みを工夫する必要があった。当時知られていた方法は次のようなものである。

(a) (フライイングスポットスキャナ方式) ブラウン管の管面に電子ビームでスポットを出し、管面を走らせる。管面の前にフィルムを置き、透過してくるスポット光の強度を計る。フライイングスポットスキャナ(flying spot scanner)と呼ばれた。

(b) (回転ドラム方式) デジタル化したい画像を記録したフィルムを回転する円筒の表面に貼り、これを光点で照射してその透過光または反射光を計測する。光点の移動はドラムの回転で、すなわち、試料フィルムの方を動かして実現する。回転軸方向の光点移動は

[*用語説明 コンピュータ断層像 (computed tomography(CT)像)] 人体の断面を記録できる新しい人体の撮影法。1972年に発表され、発明者ハウゼンズフィールドとコマックは後にノーベル医学生理学賞を授与された。詳細は本稿の続編で述べる。

光点を照射する光源のユニットを移動することもあった。ドラムの回転はかなり高速にできたから、問題はむしろ光の強度を計測した結果の AD 変換とデータの転送にあった。この方式は当時既にあったファクシミリの装置を転用できたから技術的には実現の可能性は高かったが、個別の研究グループで持つことはやはり難しかった。また、フィルムのような透過光を計る場合は照射ユニットか受光ユニットのどちらかをドラムの内側に置く必要があることも難点であった。

(c) (フラットベッド方式) 水平の試料台に対象フィルムを置き、光点照射ユニットと受光ユニットを所定の位置に置く。光点の移動はフィルムまたは試料台の何れかを水平に動かすことで行う。この方式は速度が上がりにくい点が問題であったが、位置決めや測光の技術は比較的問題が少なく、また、精度も稼げた。

画像デジタル化装置はどの方式にしても個々の実験グループで持つには高価で、初期の医用画像処理の研究では最大の問題となっていた。筆者らは主にフラットベッド式と回転ドラム式を用いたが、それが可能になったのは 1970 年代後半である。医用 X 線像の分野での画像デジタル化の問題が解決するのは撮像（イメージング）の段階でデジタル画像が直接に取得できる方式、すなわち、デジタルラジオグラフィ（DR）＊【用語説明】と CT の登場（1972～3 年頃）以後である。【鳥脇11】ではスキャナのパンフレットの一例と当時の装置の写真を示す。この装置は当時のメモに依れば 24 万円ほどした。

デジタル化の結果は、すなわち、画像処理の実行は当時の大型コンピュータ（と言っても現在のノートパソコンにも及ばない。例えば、主記憶は数キロバイト、補助記憶（今で言うディスク相当）が数十キロバイトのオーダー）であったから、スキャナの出力を直接にここに書き込むことはできない。そこで画像のデジタル化を行う装置（スキャナ）の出力はコンピュータの外部信号入力用の端子から送り込み、一旦専用の記憶媒体に入れる。筆者の場合は小規模の信号処理用コンピュータ（当時はミニコンと言っていた）の磁気テープに入れ、それを大型機にセットし直して読み込んだ。結局この部分はオフラインにならざるを得なかった。【＊エピソード#1】

当時の欧米、特にアメリカの主要グループは研究グループで専用のミニコンを所有してスキャナデータの入力から画像処理までをほぼリアルタイムで実行していた。しかし、さすがに当時のミニコンでは 2 次元の濃淡画像処理を自由に行う迄には至らず、スキャナからのデータ転送でオフライン処理が挟まる筆者らのやり方も大型機にデータを入れた後は今で言う本格的な 2 次元濃淡画像処理がかなり自由にできたから、この段階以後なら当時の筆者らの研究も同時代の欧米を上回ることができた。もちろん、それを可能にする画像処理アルゴリズムとさらにそれを使いこなせる画像処理ソフトウェアが有ることが前提となる。【＊エピソード#2】。

* [用語説明 デジタルラジオグラフィ (digital radiography DR)] 人体のX線像を記録する新しい方式。人体を透過したX線をイメージングプレートと呼ぶ新しいフィルム面で受け、面上のX線の強度を電気的に記録する。次にこのプレートを電子的にスキャンして記録された電荷の量を読み出す。読み出しの過程の中で同時に画面のデジタル化ができる。

3 キーになった文献、資料

本論文の性格からことさら詳しく文献をあげることは避けたいが、最小限直接の根拠にしたもののみはあげることをお許し頂きたい。まえがきにも述べたように、今では所詮は筆者が直接に参照できる、1960 年代あるいはそれ以前の原著文献は極めて限定されたものでしかない。なお、[鳥脇11] には参照した文献・資料が詳しくあげてある。

[Brooks73] [Tsiang74] どちらも心胸比 (cardio-thoracic ratio) [*用語説明] と呼ばれる特微量（数値）の画像からの自動計測を扱う。発表の日付は 70 年代であるが、前記の通り、競争的資金のプロジェクトの成果報告であり、その開始は 60 年代にあると思われる。ただし、ここで参考にしたのはこれらの報告についていた参考文献のリストである。[*エピソード# 3]

[Pratt73] は文献収集を意図したプロジェクトの成果と思われる当時としては大きな文献リストである。ここにはデジタル画像処理に関する文献が集められている（通し番号がついていないので総数は分からず）。集めた文献のソースは明記されている。詳しくは [鳥脇11] 参照。

注目すべきは、集めた結果がパンチカードと磁気テープに入れられ、継続的追加と編集の便宜を図ったとあることで、当時の情報管理の状況が窺われて面白い。73 年当時にあってはかなり大がかりな試みであったと思われる。デジタルコンピュータが出たのが 1945 年であったから恐らくデジタル画像処理の最初から含まれていると思われる。1933 ~ 1950 年はそれぞれ各年 1 ~ 3 件程度で、10 件を越えるのは 1951 年からである。なお、processing with a digital computer と言う字句がタイトル中に出てくる最初は 1957 年 12 月のアメリカの国内会議論文集 [Kirsch57] である。

テーマで biomedical image processing と言う分類に入っている一番古いのは 1972 年のものであるが、筆者自身の調査でもこれより古いものがあるので、この分野に関しては十分ではない。なお、編集責任者の Pratt には、[Pratt78] と言う著書があるが、画像変換を詳細に書いたもので、医用画像処理も画像認識も扱っていないし、彼自身は医用画像処理はやっていない。筆者の知る限りでは、画像認識、計測などを扱った最初の成書は [Cheng68] と思われるが、[Pratt78] には入っていない。これは国際会議の発表論文の記録であるが、筆者の知る限り今まで言う画像解析、認識に関する記述が見られる一番古い書物である。そこには医用画像処理では染色体処理、細胞診、シンチグラムの画像解析の論文があるが X 線像処理はない。

4 X 線像の符号化

画像を記号列に変えることができれば、コンピュータの強力な処理能力を X 線像処理にも活用できるであろう。その時、画像診断につきものの曖昧さを減らせるなら一石二鳥である。

[*用語説明] 心胸比 (cardiothoracic ratio) X線写真の上で計った心臓の幅の人体の幅に対する割合。心像肥大症の診断の指標に使われた。おおよそ本論文末尾にあげた図 2 の A と B の比と考えればよい。

実は 60 年代の X 線像のコンピュータ処理を目指した研究にはこの方向のものがいくつもある。その代表的と思われる一つを紹介しておく [Lodwick63]。結果的にはこれは読影結果の書き方の改善に当たっている [*エピソード #5]。

国内からも同系統の研究が同年に出ている [山村 63]。当時、創設 2 年目の新興の日本エム・イー学会（現日本生体医工学会の前身）[*用語説明] の意気を感じさせる。画像処理や CAD ではないが、X 線像をコンピュータに乗せることを意識した国内最初の論文である。

[山村 63] は胸部 X 線像の病巣陰影を最小の陰影単位に分解し、個々の陰影を形、位置、大きさ、濃淡、周辺、均質性、数、分布、集合性の 9 個の特徴によって記載する方法を定めて符号化している [鳥脇11] 参照。（当時の著者の研究室（当時大阪大学医学部）で持つ確定診断付きの肺癌 68 例、肺結核 184 例を符号化してコンピュータに入れた。記述結果は 2 進表現に変換してタイプライタでコンピュータに入力した。この符号化から医師 5 名にスケッチを作成させたところ良好な結果を得たことから符号化表現の客観性は十分あると思われた。なお同様の一種の“逆変換”は Lodwick らも行っている。また、この 2 進表現の一致、不一致のみで簡単な分類実験も行われており、例えば、原発性肺癌 49 例では 90% 以上は肺癌もしくは肺結核のいずれかと一致する符号を持つ、と言ったような詳しい分析を行っている。

この研究は Lodwick らとは独立に行ったものであることは論文中に断ってあり、印刷までの時間を考えればそれは十分納得できる。この種の臨床的研究はたとえアメリカに先行研究があったとしても日本人と日本の医療機関向けには独自にやらなければならないものであり、その意味で研究のオリジナリティを損なうものではない。

この符号化と言うやり方は読影の結果の記述法の工夫でとそれに依る X 線所見のコンピュータへの入力法の研究であって、確かにそれは読影記録の客観化を進め、画像診断におけるコンピュータの利用をやりやすくすることには大いに寄与できたと思われる。実際、彼等は客観性、再現性の点については本文中で以下のように述べている。

『「…胸部 X 線正面像の所見を“走査”によりデジタル電子計算機に記憶せしめ、必要に応じて引き出すことを試みている報告があり*、再現性にもすぐれている。しかし、パターン認識を機械にさせることはアルファベットのパターン認識さえも満足にできない現在では、とうてい困難なことであり、複雑な図形認識を要する胸部 X 線像所見の認識は人間が行うしか手がない。…』。ここには後述の [Becker63] が文献としてあげ

[*用語説明 エム・イー学会] 工学の電子技術を人体、生体の解析、計測に応用することを目指した国内の学会の名称。発足当時は medical Electronics and Biologicl Engineering と称したのでこの名前が用いられた。その後何回かの変更を経て現行の生体医工学会と名前が変わった。医学に工学技術を取り入れて、生体现象を明らかにするとともに、診断や治療に有効な手段を提供する新しい専門分野となっている。1962 年に設立。詳細はインターネットで学会ホームページから知ることができる。この学会は今年（2012 年）で創設 50 周年を迎えた。文献 [医工学会 11] には様々な記録が記されている。工学と医学の境界領域を扱う新しい試みとして発足当時は大きな期待がよせられた。今では医学といえどもコンピュータ無くしては成り立たない時代になった。

てある。これは恐らく当時の学界の“常識”であり、それだけ [Becker63] の研究の先進性は高かったとも言える。また、今見ても [山村 64]、[Lodwick63] の両論文は当時としてはマンパワーをかけて、課題をよく検討してある。

しかし、符号化という処理を放射線科医が行うという点で、結局診断支援にはならなかつたであろう（それ以外に手はなかったかも知れないが）。実際、経験豊富な放射線科医ならば写真を一目見ただけで、恐らく一分も要せずに診断に達したであろう症例でも符号化にはかなりの労力と時間を要したのではないかと思われる。そもそも符号化という処理はコンピュータのために人が行うには適さないと筆者は考える。事実、この方向のその後の発展に関しては、筆者は耳にしていない。

さらに注意しなければならないことは、問題点には実は次の二つ、

- (1) 画像という形式の情報をどうやってコンピュータに入れるか（画像のデジタル化）、
- (2) 画像情報をどうやってコンピュータで処理するか（デジタル画像処理）

が含まれていると言うことである。上記の [山村 64]、[Lodwick63] は（1）の解決を意識し、実質的に（2）にも一解決を与えることになった。一方、近年の医用画像は、DR、CT、MRI などに見られるようにイメージングの画期的発展によって?は殆ど解決され、また、CT や MRI などの 3 次元画像が主役になるに及んで、上記の諸研究は意義をほとんど失ったように思う。

5 心胸比の自動計測

60 年代の CAD に向けた試みで唯一のパターン認識的な方向の成果を上げたのは胸部 X 線正面像からの心胸比 (cardiothoracic ratio) [前出用語説明参照] の自動計測とパターン分類である。これは主としてアメリカでは先天性心疾患の検出に役立てることを主張していた。従って当時の X 線像のコンピュータ診断関係の論文は大抵これに触れているし、また論文の数も多い。ただ、大半は同一グループのようである。（その他 [Templeton66] など）。一例として、論文 [Becker63]、[Meyers64] を挙げておく。[Becker63] は恐らく画像計測の可能性を指摘した意味では最も早い。[Meyers64] は心陰影の特微量を 37 例から自動計測したが、異常検出や分類には至っていない。

パターン認識に基づいて自動分類を最初に行ったのは 1971 年の [Hall71b] である。これは胸部正面像から心臓陰影の特微量 4 ~ 14 個を抽出し、パターン分類で正常と心疾患 (rheumatic heart disease) 4 クラス（弁の異常の組み合わせからさらに 4 グループに細分）への分類を試みた。異常例 38 例で 75 % を正しく異常と判定した。特微量の組み合わせも検討しており、パターン分類問題の問題点は良く検討されている。その意味では良い論文である。ただし心陰影の切り出しは水平特徴 (horizontal signature) と垂直特徴 (vertical signature) [*用語説明] の 2 種の特微量による行ごとの切り出しとそれを適用する長方形領域の設定（ここはかなり複雑で ad hoc なアルゴリズム）で、今見る

[*用語説明 水平特徴 (horizontal signature)、垂直特徴 (vertical signature)
それぞれ、画像の濃淡値の行ごとの和と列ごとの和。濃淡画像のセグメンテーションの手
軽な方法としてよく用いられる]

ような 2 次元画像処理はやっていない。

ここで、[Meyers64] は筆者が記憶している限り、また今回調べた限りでも、X 線像のコンピュータ処理の一番古いものである。これは、確かにコンピュータによる画像計測、それに基づくコンピュータによる分類を実現し、先天性心疾患の検出という臨床応用を明確にし、しかも実際の X 線像 38 例で実験を行っている点で、CAD の始まりとして評価できるものである。前出の [Tsiang74]、[Brooks73] はこれを土台にして更なる発展をプロジェクトとしたもののように、たまたま原著資料を筆者が保存しているが、CAD としては見るべき進展はない[*エピソード#4]。

ただ、今から見ると彼等の手法の最大の限界は 2 次元画像処理を何も行っていないことである。すなわち、計測対象の心陰影の切り出しは各列ごとの濃淡値の和の変化という 1 次元信号を使ってその上の特徴点を利用しているだけなのである（図 1 および [鳥脇11] の付録 4 参照）。もちろん、当時の装置と技法の中で可能な実現を図ったという点では評価できるが、これだけでは X 線像 CAD の次のレベルには行けなかった。さらに他の問題として、当時としては相当の手数をかけて、なお、心胸比その他心臓に関する特徴量をいくつか（図 2 参照）計測できただけであり、それは特定の心疾患の診断に役立つだけであったことがある。胸部 X 線写真を扱いながら呼吸器疾患の診断には役立っていないと言ふことでは、所詮は医学側の良い評価は得られなかつたように思う。しかし、X 線像からの画像特徴計測を実現した点では大いに評価されよう。

ところで心胸比の高速計測を目的としたシステムが開発されている [Sezaki73]。それが日本のメーカーで、放射線科医に役立つ実用的心臓陰影パラメータ計測装置を作ることを目的としたようで、計測する量とか計測アルゴリズムは [Meyer64] と殆ど同じか、むしろ単純化してある。実験例も 100 例有り、論文の技術的内容は一応整っている。しかし、欧米から出たアイデアをすかさず巧妙に、恐らく安価に装置化する、という後に色々問題になるパターンがここでも見られた事が筆者には気になる。もっとも当時はそう言う議論はなかった。

なお、この時代の技法を克明にサーベイした優れたサーベイ論文として [Hall71a] があるが、X 線写真の処理は Becker および Myers らの成果を述べるに止まる。60 年代後半から 70 年代にわたってパターン認識などの人工知能的処理が注目を集め、文字認識を中心であって医用画像処理は細胞診、染色体分類が主要テーマであった。[Nagy68] は優れたサーベイで当時の論文には引用されることが非常に多かったが、文字認識を中心であって、医用画像に関しては見るべき記述はなかったと記憶する。細胞診に関しては、[Prewitt66] がバイブル的存在で、時期的にも早かったと思う。第一著者 Prewitt は濃淡画像処理における差分オペレータに名を残す。対象画像が X 線像より小さく、構造も単純であったから、X 線像よりは実験も楽だし、コンピュータ診断（分類）は手の届く範囲にあると思われていた節がある。筆者も当時はそう見ていた。ただ、対象の切り出し、いわゆるセグメンテーションは思ったより難しかった。実際国内でも医用画像処理の最初の商用機が出たのは血球分類装置であった。なお、国内の医用画像処理に関しては、[鳥脇 06] に詳しく述べてある。

[Selzer69] もフーリエ変換による空間周波数領域処理を中心とする画像変換の可能性を実験的に示したバイブル的解説論文であった。アメリカのジェット推進研究所 (Jet

Propulsion Laboratory; JPL) と言う人工衛星画像の処理で知られた機関で当時の最先端の装置を用いて医用画像処理の新しい実験結果を示したもので、引用も極めて多かった。しかし、実際の X 線写真に応用するには設備が大がかりで高価過ぎて、応用は特には伸びなかつたように思う。空間周波数領域の処理と言うのが直感的に分かりにくい面もあつたと思う。もちろん、現在では処理そのものはリアルタイムで簡単にできる。[*エピソード# 9]

[Ledley69] も医用画像処理のほとんど唯一のサーベイ論文として引用されることが多かつた一つである。しかし、ここにも [Meyers64]、[Becker63] らの研究以外の特別の記述はなかつたように記憶する。

[Meyers64] [Hall71b] は実はその後の CAD の研究の中では、特に日本では注目すべき発展も評価もない。また、筆者がその方向に関与することもなかった。その理由は、医学面では、適用対象が心臓病の診断であつて日本の主要関心対象（当時は肺結核、最近は肺がんに移る）には特に役立つようには思えなかつたこと、技術面では複雑な濃淡画像のパターン認識技術を発展させる方向につながるようには思えなかつたこと、が挙げられる。一口に言えば、画像処理技術の流れにおいても、CAD の流れにおいてもある種の袋小路のような感じであったと言えようか。もっともこれは後になって言えることであり、特微量の自動計測から数十例の写真の自動分類までを一通り実行したという点で論文として抜きがたい存在として研究開始当時の筆者の前に立ちはだかることになった。

その他の論文で、発表年次が 1960 年代の目に付いたものが [鳥脇11] にあげてある。

[エム・イー 64] はエム・イー分野（エム・イーはエム・イー学会と同じ。前出用語説明参照）では国内では最も早いシンポジウムであるが、X 線像はもちろん、2 次元画像処理関係の論文は一つも無い。

6 筆者の研究

筆者が胸部 X 線写真の CAD に関する研究を開始したのは、1965 年（筆者が大学院後期課程在学中）である。この間のいきさつは [鳥脇 09、10a～c] に書いた。

X 線写真の濃淡値の計測は、1966 年当時名古屋大学医学部放射線医学教室が持っていたフィルムを計る濃度計（マイクロデンシトメーター； microdensitometer と呼んでいた）をお借りして行った。これはスポット径 2mm 程度の光点でフィルム濃度をかなり精度よく測れる物理計測装置の一種で、濃度値の測定精度は高かつたと思う。しかし、いわば一種の精密測定機器であつて測定には非常に時間がかかった[*エピソード# 8]。

当時、放射線イメージインフォメーション研究会（RII 研究会）と言う小さい研究会が応用物理学会の中にあって、光学、写真、X 線物理、などに関心を持つ研究者、技術者が集まって小さい勉強会を持っていた。手弁当の会であったが、一応“放射線像研究”という会報めいた印刷物も定期的に出してきてかなりレベルの高い論文も載せていました。当時の会の話題の一つに X 線フィルムや写真フィルムの特性をウィーナーの雑音理論、フーリエ解析と電気通信におけるインパルス応答や伝達関数 [*注 用語説明] を導入して定量

[*用語説明] OTF (*optical transfer function*) とよばれていた。これは今でも使われている。電気通信工学系の言葉で言えば、伝達関数の周波数特性である。

的に評価しようと言うものがあったが、筆者がたまたま名古屋大学大学院工学研究科（電気電子専攻）でパターン認識を研究していると言うことでいつの間にか会員と言うことになっていた。【*エピソード#7、8】

当初は精密診断に使われていた 30cm の胸部 X 線写真（直接撮影像と呼ばれた）の肺野に 5cm 程度の窓を設定し、その中の濃度値の分布を、水平方向 1mm、垂直方向 0.8mm 間隔で測定した。これはそもそも胸部 X 線写真がどのような濃度のパターンになっているか、を直観的に、同時に定量的にも知りたかったためである。その結果は写真フィルムを見たときの視覚的印象とはかなり異なり、病巣と背景との濃度差は数パーセントしかない。しかも、肋骨等の本来認識対象ではない像の強度が圧倒的に高い。ここから、2 次元の濃淡画像から対象を抽出するための手法は相当の研究が必要であることが予想される所となった。これは漠然とフィルムを見ていた印象とは大きく異なり、問題の難しさに愕然とした。その反面、Becker や Meyers らのレベルの方法では到底歯が立たないと考え、迷うことなく 2 次元濃淡画像のパターン認識に正面から挑戦する覚悟を決めた。また、この判断は実際の濃度分布を測定することによって強い説得力を持った。この時期の成果は【鳥脇 67b、68、70】に報告した。以来、筆者のグループにおける、CAD と後に呼ばれることになる分野の研究への集中的取り組みが始まる。【*注エピソード#9】

当時の筆者の考えは、とにかく何らかの形で画像のパターン認識を実現する（しなければ真の解決には繋がらない）と言うものであり、そのため執拗に 2 次元パターン認識を狙った。もちろんこの時期の筆者には解決の見通しも、逆に不安も全く無かった。ただ、無心に難問に取り組んでいたと言う感じであった。【*注エピソード#10】

ところで、当時の唯一の筆者の欧文論文が【Toriwaki68】である。本当は pattern recognition of chest X-ray images と言いたかったが、余計な反発を避けるためにこのようなタイトルにしたと思う。今になってみると 1968 年に既に胸部 X 線像の CAD を研究していたという証拠になる貴重な論文になった。Becker よりは数年遅れたが 2 次元画像処理と異常陰影検出を試みた点では先行していたと思う。それ以前の国内学会大会講演などであり、これらより以前には筆者の発表記録は無い【鳥脇11】。【*注 エピソード#11】

ただ、流石に当時手持ちの手法では完全に手詰まり状態になり、先が全く見えない。そこで、ここから回り道覚悟で濃淡画像処理の手法の研究に注力する。後で見るとこの方向転換の結果は大成功で、差分型フィルタ、細線化、輪郭抽出、塊状領域抽出、デジタル幾何、などに成果が続出した【鹿野70、鳥脇88】。

下記【Toriwaki75】は、筆者の濃淡画像のアルゴリズム蓄積とソフトウェアパッケージ開発の方向性をはっきり示した最初の論文である。この種の論文は当時の和文学術誌には殆ど採録されることがなかったから、筆者としては印象に残る。

同時に大学共同利用大型計算機センターの発足、研究室でのスキャナの導入、などのハードウェア面の展開もあって研究は一気に進みだす。折から日本全体の工学系大学院強化の政策もあって研究室にも大勢の優秀な院生が加わり、論文も面白いように出た。1970 年頃からであったと思う。後になって画像処理関係のアルゴリズムは下記の書物【鳥脇 88】にまとめることができた。

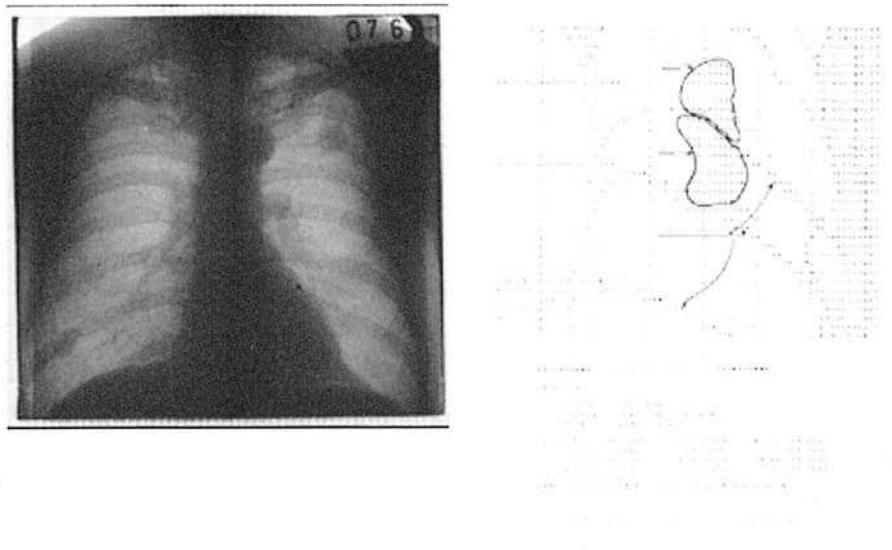


図 1 胸部 X 線写真の異常陰影検出実験の例（1968～70）

画像処理のアルゴリズムは、人の視覚から想像して、2 次元画像の全体を一目で（一気に）処理できるようなものであるべきだと考えていた。その意味で筆者が最も気に入っていたのは図形の縁から一斉に波を伝搬させる Wave Propagation Method であった〔鹿野 70〕。ただ、これだけでは一画素単位での変形、調整が難しく、画素で構成される図形の幾何学をきちんと考え方を得なかつた。ここからデジタル幾何学の研究に進み、後の研究室におけるアルゴリズム研究の基本となつた〔横井 73〕。

〔鳥脇 88〕は 2 次元画像処理のアルゴリズムを存分に書き込んでいたから意外に多くの方に見て頂いたようである。今では指導者クラスになっている方から若い頃この本で勉強しましたと言われることがあり、恐縮すると共に研究者冥利に尽きると感謝もしている。ただ最新の手法は余り書いてないので、そろそろ寿命かとも思う。

もちろん、研究の裏付けとして実際の X 線写真に対する実験は不可欠である。そのためには最低限自由に使えるスキヤナが欲しい。それが実現したのは正確な記憶も記録もないが、70 年代末～80 年代初めであろう。最初はフラットベッド式で 70mm 間接撮影像用、次が回転ドラム式でやはり 70mm 間接撮影像用、最後に 40cm 直接撮影像用でフラットベッド式だったと記憶する。最初のものの写真を〔鳥脇 11〕に示しておいた。

始めは阿部設計という小さいメーカーに委託して開発して貰ったが後にその会社から製品として出された。〔鳥脇 11〕付録 6 にそのパンフレットを示した。これは回転ドラム式の 70mm 間接撮影像用のものである。開発当初はその特性の確認に苦労した。〔鳥脇 11〕の付録 7 に特性を筆者が測定した記録の一つを示した。研究開始当時はこの種の基礎実験に終始した。スキヤナに関する発表はずっと後になって一篇だけある〔大下 80〕。この種の研究は当時は（今でも？）論文にならず、これが続いた 1967～1968 年頃は研究

の上では一番苦しい時期であった。

7 むすび

胸部 X 線写真の CAD の研究がいつ頃どの様なかたちで始まったかを、関連する論文を調査することで明らかにした。結論として、

- (1) Becker らによる直接撮影像からの心胸比のコンピュータ計測(1963)が、今の CAD に該当するものとしては最も早いが、そこでは 2 次元の画像処理は行われていな
い、
- (2) 胸部直接撮影像、間接撮影像からの異常陰影のコンピュータによる検出は鳥脇(1968)が最も早く、そこでは濃淡画像の輪郭抽出、塊状陰影検出など現在の濃
淡画像処理に属する処理が行われている、
- (3) これらに先立って X 線診断結果の符号化の試みがあった、

ことが言える。

これらの調査は主に学術専門誌の発表論文に依るが、現在では当時の文献を直接参照することは極めて困難になりつつある。筆者の見落としや誤解が大いに有り得ることをお断りしておく。なお、CAD 関連事項の年表を [鳥脇11] 付録 8 に、また、筆者らがとくに深く関わった CAD 関連学会の一つ；コンピュータ支援画像診断学会（CADM）の年表を [鳥脇11] 付録 9 に示した。

謝辞 文献の調査と入手には森健策教授（名古屋大学大学院情報科学研究科）、長谷川純一教授（中京大学工学部）、林雄一郎准教授（名古屋大学医学部）から多大のご協力を頂いた事を記して深謝する。本論文作成に際いては [鳥脇11, 12a, b, 13] を参考にした。これらの使用を了解頂いた中京大学情報理工学部テクニカルレポート委員会に感謝する。また、執筆に当たってはコンピュータの使用など作業の便宜をはかつて頂いた名古屋大学大学院情報科学研究科村瀬洋教授、井手一郎准教授に深謝する。

参考文献

- [医工学会 11] 生体医工学（日本生体医工学会誌），Vol.49，No.2，日本生体医工学会 50 周年記念号（2011.4）
- [石田 12a]、石田隆行、桂川茂、藤田広志彦監修： 医用画像ハンドブック、オーム社、2012
- [石田 12b] 実践 医用画像解析ハンドブック、オーム社、2012
- [エム・イー 64] シンポジウム「最近の ME」報告集、日本 ME 学会、1964.12
- [大下 80] 大下弘、鳥脇純一郎、福村晃夫：ドラム型画像入力装置の性能評価実験、情報処理学会コンピュータビジョン研究会資料、コンピュータビジョン 8-5 (1980.9)
- [鹿野 70] 鹿野清広、鳥脇純一郎、福村晃夫：Wave Propagation Method による曲線抽出、インホメーション理論研究会資料、IT71-48 (1970.9)

- [鳥脇 67a] 鳥脇純一郎, 福村晃夫 : X 線写真のパターン認識—電子計算機への導入—, 日本 ME 学会放射線関連装置委員会研究会資料 (1967.6)
- [鳥脇 67b] 鳥脇純一郎, 福村晃夫, 小池和夫, 高木良雄 : 胸部 X 線写真の濃度分布の性質と肋骨境界の自動識別, 医用電子と生体工学, 5, 3, pp.182-191(10-19) (1967.7)
- [鳥脇 68] 鳥脇純一郎, 福村晃夫, 小池和夫, 高木良雄 : 電子計算機による胸部 X 線写真の病巣陰影識別に関する基礎的実験, 医用電子と生体工学, 6, 3, pp.207-214 (1968.6)
- [鳥脇 70] 鳥脇純一郎, 福村晃夫, 小池和夫, 高木良雄 : 胸部 X 線写真自動診断システムのシミュレーション, 医用電子と生体工学, 8, 3, pp.220-228 (1970.7)
- [鳥脇 88] 鳥脇純一郎 : 画像理解のためのディジタル画像処理 [1], [2], 昭晃堂 (1988)
- [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)
- [鳥脇 10d] 鳥脇純一郎監修、村上伸一著 : 3 次元画像処理入門、東京電機大学出版局、2010.1
- [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 2 — CT の登場と 3 次元ディ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 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 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 13a] 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 4 — 仮想化された人体とナビゲーション診断の時代へ、中京大学工学部テクニカルレポート、No.2013-1-01 (2013 年 6 月 7 日)
- [鳥脇 12c] 鳥脇純一郎 講座 仮想化人体論 1 形の科学会誌 27 卷。3 号、pp.195-199 (2012)
- [鳥脇 13b] 鳥脇純一郎 講座 仮想化人体論 2 形の科学会誌 28 卷。1 号、pp.1-10 (2013)
- [鳥脇 06] 鳥脇純一郎 : CAD が拓く画像診断の新しい世界—個別人体の仮想化とナビゲーションから見た新しい CAD, インナービジョン, 21, 12, pp.76-82 (2006.12)
- [横井 73] 横井茂樹, 鳥脇純一郎, 福村晃夫 : 標本化された二値図形のトポロジカルな性質について, 電子通信学会論文誌 D, 56-D, 11, pp.662-669 (1973.11)

[山村63] 山村雄一, 螺良英郎, 石山太朗, 西尾和比古, 平尾文男, 小倉剛, 藤沢知雄, 正木繁, 宮脇一男, 中村二郎: 胸部 X 線正面像の符号化, 医用電子と生体工学, 2, 3, pp.25-35 (1963)

[Brooks73] R.C. Brooks, S.J. Dwyer, III and G.S. Lodwick: Computer diagnosis of congenital heart disease using discriminant functions, IAL-TR-25-73, Dep. of Electrical Engineering, Univ. of Missouri-Columbia, Dec. 1973

[Tsiang74] P. Tsiang, C.A. Harlow, G.S. Lodwick and S.J. Dwyer, III: Computer analysis of chest radiographs using size and shape descriptors, Technical Report, IAL-TR-39-74, Image Analysis Laboratory, Bioengineering Program, Dep. of Electrical Engineering, Univ. of Missouri-Columbia, Dec. 1974

[Pratt73] W.K. Pratt: Bibliography on digital image processing and related topics, Electronic Sciences Laboratory, Univ. of Southern California, USCEE Report 453, Sep. 1, 1973

[Kirsch57] R.A. Kirsch, L. Cahn, and L.C. Ray and G.H. Urban: Experiments in processing pictorial information with a digital computer, Proc. of Joint Computer Conf. Vol.10, pp.221-229 (1957.12)

[Pratt78] W.K. Pratt : Digital Image Processing, Wiley, New York (1978)

[Cheng68] G.C. Cheng, R.S. Ledley, D.K. Pollock and A. Rosenfeld (eds.): Pictorial Pattern Recognition, Thompson Book Co., Washington, D.C. (1968)

[Lodwick63] G.S. Lodwick, M.D. Theodore, E. Keats, and J.F. Dorst: The coding of roentgen images for computer analysis as applied to lung cancer, Radiology, 81, 2, pp.185-200 (1963.6)

[Becker63] H.C. Becker, N.J. Nettleton and P.H. Meyers: Digital computer determination of a medical diagnostic index directly from chest x-ray image, IEEE Trans. on Biomedical. Engineering, 11, pp.67-76 (1963.7),

[Meyers64] P.H. Meyers, C.M. Nice, H.C. Becker, N.J. Nettleton, J.M. Sweeney and G.R. Meckstroth: Automated computer analysis of radiographic images, Radiology, 93, pp.1029-1034 (1964.12)

[Hall71a] E.L. Hall, R.P. Kruger, D.J. Dwyer, D.L. Hall, R.W. McLaren and G.S. Lodwick: A survey of preprocessing and feature extraction techniques for radiographic images, IEEE Trans. on Computers, C-20, 9, pp.1032-1044 (1971.9)

[Hall71b] D.L Hall, G.S. Lodwick, R.P. Kruger, S.J. Dwyer, J.R. Townes: Direct computer diagnosis of rheumatic heart diseases, Radiology, 101, pp.497-509 (1971.12)

[Sezaki73] N. Sezaki and K. Ukena: Automatic computation of the cardio-thoracic ratio with application to mass screening, IEEE Trans. Biomed. Eng., 20, pp.248-253 (1973.7)

[Templeton66] A.W. Templeton, K. Bryan, R. Waid, J. Townes, M. Huque and S.J. Dwyer: The computer evaluation and diagnosis of congenital heart disease using

- roentgenographic findings, Radiology, 87, 4, pp.658-670 (1966)
- [Nagy68] G. Nagy: State of the arts in pattern recognition, Proc. of IEEE, 56, pp.836-864 (1968.5)
- [Prewitt66] J. Prewitt and M. Mendelsohn: Analysis of cell images, Annals of the New York Academy of Sciences, 128, Article 8, pp.1035-1053 (1966)
- [Selzer69] R.H. Selzer: Computer processing of the roentgen image, Radiologic Clinics of the North America, 7, 3, pp.461-471 (1969.12)
- [Ledley69] R.S. Ledley: Automatic pattern recognition for clinical medicine, Proc. of IEEE, 57, 11, pp.2017-2035 (1969.11)
- [Toriwaki68] J.Toriwaki and T. Fukumura: The program system for image processing and its application to automatic interpretation of chest X-ray films, Memoirs of the Faculty of Engineering, Nagoya Univ., 20, 2, pp.458-473 (1968.11)
- [Toriwaki75] 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, U.S.A.

* * * * *

エピソード集録

- [エピソード# 1] 最初はミニコンと磁気テープ装置が無かったため紙テープに穿孔した。これは実際には途方もない時間を要した。また、X線写真1枚分が一抱えもの紙テープになり、大いに驚いた記憶がある。
- [エピソード# 2] 後から考えると、当時の先行グループ（主にアメリカ）では“スキヤナ+ミニコン”でリアルタイム処理ができることに縛られたため、比較的単純な特徴量をX線写真から計測して直ぐに診断（分類・決定）に結びつけるという方式を越えられなかった、と言う面もあったように思われる。ただ、当時のアメリカは原則として、今の日本で言う競争的資金に依って各研究者が研究費を獲得しなければならず、そのため、いきおい、確実に結果が出る見通しのあることをターゲットにあげざるを得ず、研究費、とりわけ日本で言う備品に当たるものはこのプロジェクトで計上した予算を開始1,2年で投入することになる、と言う事情もあったことは確かである。こういう状況では数年もかけてソフトウェアを蓄積する、などという“悠長な”ことは言っておれなかつたであろう。この点、当時は国立大学校費（毎年定額の研究費が支給される。その代わり使える研究費の額は桁違いに少ない）しか知らなかつた筆者とは研究費に関する議論はいつも疇み合わなかつた記憶がある。
- [エピソード# 3] 当時のアメリカでは成人の心臓病が最大の関心事であった。一方日本では肺結核が国民病と言われた時代である。筆者も当然肺結核のコンピュータ診断を目指したが、問題はこちらの方が遙かに難しかつた。
- [エピソード# 4] Brooks も Tsiang も筆者の初めての訪米のときかれらの大学を訪

聞いて説明を受けた記憶がある。Univ. of Missouri-Columbia と言う南部のどちらかと言えば田舎の大学で奮闘している大学院生と言う印象であった。内容的にはこちらの研究の方が上をいっていると思っていたから自信を持って対応した。日本からわざわざプロフェッサーが見学に来たと言うことで丁寧に対応してくれたと思う。指導教授の Prof. C.A.Harlow は南部訛りの英語を話すので全く分からなかったのに対して 2人の若手の英語はよく聞き取れた。どうもアメリカ人同士でもそうらしく、ある国際会議では当時有名だった A. Rosenfeld 教授から彼の英語は私でも分からないから気にするな、と慰められたことがある。広大な田園風景が印象に残っている。

[エピソード# 5] Lodwick は医学系の人であるが、X 線画像の診断をコンピュータ化する方向に熱心で、アメリカの大グループを率いて色々の方法を試み、これ以外にも精力的に多数の論文を出していた。筆者が当時もっとも注目していた有力な先行研究者、あるいは強力なライバルの一人として記憶がある。

[エピソード# 6] Selzer は後に名古屋大へ筆者を訪問してくれたことがある。我々の X 線像処理のデモを見せたところ大変高く評価してくれて、そこまでできていて何故装置化しないのかと聞かれたから、まだ実際には不十分の症例が幾らもある、と言ったら、そこまでできていたら、十分に“できた”と言っていいんだと言う。もちろん、筆者はこれを聞いて大いに自信を深めたが、実用化、装置化に対する彼の姿勢の違いを垣間見た感じがしたものである。しかし、結局 X 線写真の CAD 装置はアメリカでも 1998 年まで出なかつたから、話はそれほど甘くはなかつたことになる。

[エピソード# 7] この会は今は医療情報学会と言う学会になっている。ここでは毎回極めて学際的に面白い議論がなされていて、写真フィルムの特性やその計測、測光、などに関しては多くの事を学んだ。60 年代の名古屋大学医学部放射線医学教室の高橋信次教授もこの会の熱心なメンバーでよくお目にかかった。この早い時代に医学部で濃度計などを備えていたのも当然かも知れなかつたが、筆者の研究にとっては誠に幸いであった。[鳥脇11 付録 5] にこの RII 研究会の会報で現在筆者の手元にある一番古い号の表紙を示してある。目次の論文の著者の一人として土井邦雄氏（当時大日本塗料）の名が見える。後にシカゴ大学に移り、マンモグラムの CAD で世界的に知られることになる方であるが、当時はこの研究会で放射線撮影系やフィルムの特性の物理的解析で精力的に成果を発表していた。

[*エピソード# 8] この濃度計は一方向にしか動かなかつたから、1 次元の濃度分布だけがペンレコーダーで紙に記録されていた。しかし、それでは濃度値はデジタル信号になつてない。そこでこのペンを駆動していた信号を音声処理用のオープンリールの録音機に記録して研究室に運び、制御用ミニコンピュータのアナログ信号入力端子に入れてデジタル化した。この結果を紙テープに鑽孔してようやくデジタルコンピュータで読み始めた。X 線フィルム上の 5cm 四方程度の領域を記録すると積み上げた紙テープのリールが 1m 近い高さになって、今更ながら画像データの量の大きさに驚いた（前出エピソード参照）。

このアイデアは当時名古屋大学工学部電子工学科で筆者が直接に指導して頂いた福村晃

夫先生（当時は若手の助教授だったと記憶する）に依る。先生は当時音声認識の研究をされており、デジタル育ちの筆者とは違って1次元アナログ信号の扱いには熟達していた。一面では当時の学科内でデジタルコンピュータが分かる唯一の教官であったから、以後筆者の研究ではなにかにつけて指導頂くことになる。

[エピソード#9] この中で〔鳥脇67a〕は医学系の研究者も加わった会への最初の口頭発表として筆者には印象が強い。また、いくつかの点で筆者の研究全体の方向を決める大きな転機となったものである。この研究会の当時の主査であった梅垣洋一郎先生（当時国立がんセンター）はこれが契機となって以後何かとサポート頂く事になる。梅垣洋一郎先生は、当時の放射線科の臨床医でありながら国内の臨床系では殆どただ一人X線像のコンピュータ診断という方向の将来性を積極的に評価しておられた方として忘れられない。後に厚生省（現厚労省）がん研究助成金の研究班に加えて頂くきっかけとなった事でも重要な機会であった。

[エピソード#10] それは当時の関連学界の常識とは正反対のものであったから風当たりは強かった。例えば、“何故そのような難しい問題を取り上げるのか”、“それはいつ頃できるのか”と言ったような、半ば皮肉混じりの質問は発表の度に毎回出た。そんな中で、上記の梅垣洋一郎先生だけが“これからはX線診断にも客觀性を保てるコンピュータを導入しなくては駄目だ。これは面白い研究だから大いにやりなさい”と激励して下さったのである。これによって実際は二重の難問に直面することになった。一つは濃淡画像のパターン認識であり、他の一つはX線診断におけるコンピュータ診断を持ち込む事である。少なくとも第2の問題に関しては梅垣先生が強力に支援して頂けたことになった。もちろん、当時の筆者はそのような意識は全く無かった。そして梅垣洋一郎先生のようにはっきり方向性を断言されるひとは稀であった。

[エピソード#11] 実際は、X線写真処理も、先述のRII研究会でさえ、相変わらず“あなたの発表はさっぱりわからん”と先輩の諸先生（大体放射線系の教授クラスだった）からは酷評を貰うのが常であった。少しだけ風向きが変わったのは、図1のタイプの結果（初出は1968年だったが5例に対してできたのはさらに3,4年後だったと思う）を数例に対して見せた1970年頃で、当時の放射線医学の大家であった高橋信次先生から“あなたの話、やっと分かるようになってきた”というお褒め（？）のコメントを頂いて大いに気をよくした。

あるとき肋骨像ははっきり見えるが実は邪魔になるといったら、肋骨像を消したらどうか、とある先生に言われて1,2年後に実際肋骨像を消去した実験（肋骨境界を認識した後一定濃淡値を引いただけ。それだけでも手順は結構面倒だった）と画像の実例を報告したら、意外にもこれが大いに受けて“骨抜き法の鳥脇”と言うニックネームを頂戴してそれ以後よく覚えて貰えた。

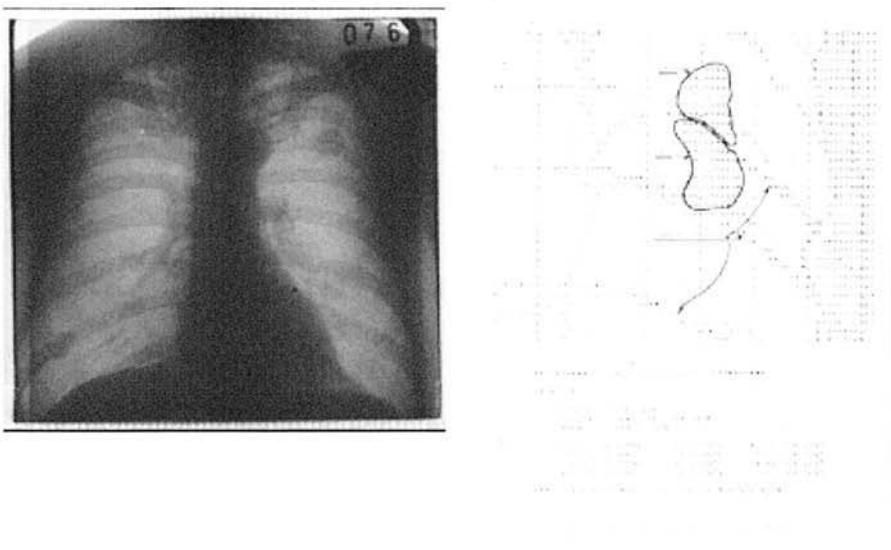


図1 胸部X線写真のコンピュータ処理の結果の一例（1973年頃）

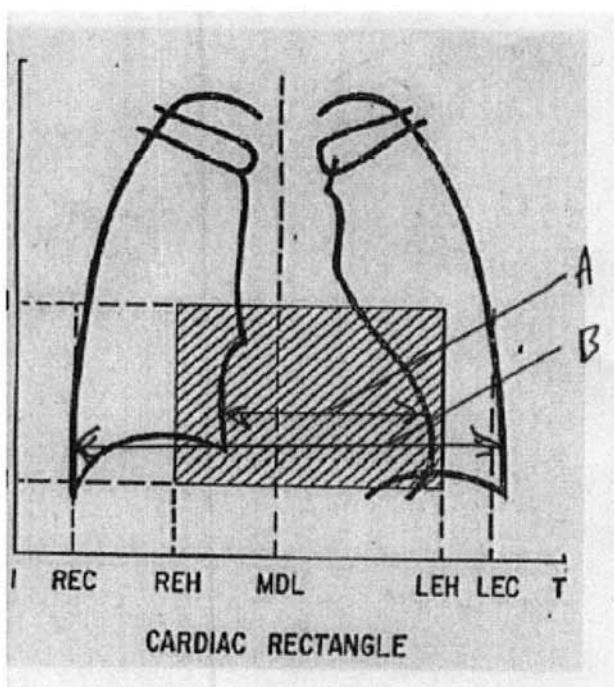


図 2 胸部X線正面像からの心陰影特徴量の例 ([Hall71a]に基づき筆者が再トレー
スした)

第 77 回 形の科学シンポジウム@埼玉県立大学

【メインテーマ】「人を支える形」

【サブテーマ】「世界結晶年」

【会期】 2014 年 6 月 13 日（金） 13 時受付開始～6 月 15 日（日）

【会場】 埼玉県立大学 〒343-8540 埼玉県越谷市三野宮 820 番地 TEL : 048-971-0500（代）

東武スカイツリー線・せんげん台駅西口よりバス「県立大学行き」約 8 分（徒歩 20 分）

【懇親会】 6 月 14 日（土） 18:15～20:00（埼玉県立大学 食堂） 会費：3,000 円

プログラム

6 月 13 日（金）

13:00～13:30 受付

埼玉県立大学教育研修棟・研修ホール 305

13:30～13:35 開会の辞

メインテーマ：ひとを支える形

13:35～14:25 招待講演・公開講座

「かたちが拓く自立支援」

徳田哲男（埼玉県立大学）

(14:25～14:40 休憩)

形の科学一般

14:40～15:05 睡眠遮断時における体平衡機能に関する研究

森柚樹¹, 山口仁志², 平田隆幸¹, 高田宗樹¹

(¹福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻, ²福井大学工学部知能システム工学科)

15:05～15:30 クモの網を模擬した構造の変形特性に関する基礎的検討

森山卓郎（阿南工業高等専門学校）

形と知

15:30～15:55 形典・形譜と結晶の形式

石垣健（COMA DESIGN STUDIO）

15:55～16:15 ポテンシャル流れ方程式の

解として得られる迷路の経路

吉野隆（東洋大学理工学部）

(16:15～16:30 休憩)

形の科学一般

16:30～16:55 折り紙モデルを用いた立体概念形成の学際的研究の構築

石原正三, 徳田哲男, 濱口豊太, 石岡俊之
(埼玉県立大学保健医療福祉学部)

16:55～17:20 面積が収縮して短冊がねじれる

本多久夫（神戸大、理化研 CDB）

17:20～17:45 透過光イメージの奥行き錯視

高木隆司（東京農工大学名誉教授）

6月14日（土）

9:00~9:30 受付

埼玉県立大学教育研修棟・研修ホール305

形の科学一般

9:30~9:55 被子植物の花の構成要素の数について

飯田武揚（パターンダイナミクスセミナーハウス）

9:55~10:20 アルキメデスの求積法と高木の関数

杉本剛（神奈川大学）

10:20~10:45 多面体はDNAをもつている

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）

10:45~11:10 新潟県山古志村の牛荷付鞍（ウシノタグラ）の形態特徴

久保光徳¹、北村有希子¹、田内隆利¹、寺内文雄¹、境野広志²（¹千葉大学大学院、²長岡造形大学）

（11:10~11:20 休憩）

11:20~11:45 凸五角形による周期的タイリングに関する考察

杉本晃久（科学芸術学際研究所 ISTA）

11:45~12:10 現生および化石放散虫の種概念

松岡篤（新潟大学理学部/形の科学研究センター）

12:10~12:35 図形の転がり可視化ソフトウェアの開発

松浦昭洋¹、奥野健斗²、山崎裕介³（¹東京電機大学情報システムデザイン学系、²NEC フィールディングシステムテクノロジー株式会社、³株式会社ハイマックス）

（12:35~14:00 昼休み）

サブテーマ：世界結晶年

14:00~14:40 招待講演

「結晶・対称の魅力（仮題）」

松本崧生（金沢大学名誉教授）

（14:40~14:50 休憩）

14:50~15:15 ペントミノタイルの平面自己相似性非周期タイリング

渡辺泰成^{1,2}、箕曲在道²、池上祐司^{3,2}（¹千葉工業大学附属総合研究所、²科学芸術学際研究所 ISTA、³理化学研究所）

15:15~15:40 寺田寅彦から西川正治への結晶X線回折の伝承

根岸利一郎（埼玉工業大学）

15:40~16:05 ペンタドロンとはなにか？

前畠謙次¹、佐藤郁郎²、中川宏³、秋山仁⁴（¹イメージミッショングラフィー、²宮城県立がんセンター、³積み木インテリアギャラリー、⁴東京理科大学）

（16:05~16:15 休憩）

16:15~16:40 結晶の折り紙モデル

石原正三（埼玉県立大学保健医療福祉学部）

16：40～17：05 円柱充填による結晶構造
手嶋吉法^{1,5}, 松本崧生², 渡辺慶規³, 小川泰^{4,5}
(¹千葉工業大学, ²金沢大学名誉教授, ³筑波大学, ⁴筑波大学名誉教授, ⁵科学芸術学際 ISTA)

(17：05～17：15 休憩)

メインテーマ：ひとを支える形

17：15～17：55 招待講演・公開講座
「脳と手と腸が織りなす体性感覚と内臓感覚」
濱口豊太(埼玉県立大学保健医療福祉学部作業療法学科)

18：15～20：00 懇親会(埼玉県立大学 食堂)

2014年6月15日(日)

9：00～9：30 受付
埼玉県立大学教育研修棟・研修ホール305

ジュニアセッション

9：30～9：55 佐渡島沢根層から産出する珪藻化石の個体数の変化

坂本悠莉(ジュニア会員(U-18))

9：55～10：20 福井県産ジュラ紀アンモナイト *Pseudoneuqueniceras yokoyamai* の殻形態の復元

白井総真(ジュニア会員(U-18))

(10：20～10：35 休憩)

展示セッション

埼玉県立大学教育研修棟1階ホール

10：35～10：40 理化学研究所における結晶学研究の歴史

渡辺泰成^{1,2}, 池上祐司^{2,3} (¹千葉工業大学附属総合研究所, ²科学芸術学際研究所 ISTA, ³理化学研究所)

10：40～10：45 WORLDEYEを用いた球面上のパターンの表示

吉野隆(東洋大学理工学部)

10：45～10：50 形典・形譜による結晶の形式の造形表現

石垣健(COMA DESIGN STUDIO)

10：50～10：55 拡張現実(AR)教材による協調的学習増進の可能性

土田祥平, 松浦執(東京学芸大学基礎自然科学講座)

11：00～11：05 タブレットで共有する迷路
づくり小学生向け教材の試み

神嶋凌介、松浦執（東京学芸大学基礎自然科
学講座）

11：05～11：10 ペントミノタイルの平面自
己相似性非周期タイリング

渡辺泰成（千葉工業大学附属総合研究所、科
学芸術学際研究所 ISTA）

11：10～11：15 結晶学教材の開発—空間を
隙間無く埋め尽くす形

手嶋吉法（千葉工業大学）、渡辺泰成（千葉
工業大学附属総合研究所、科学芸術学際研究所
ISTA）、池上祐司（理化学研究所）、山澤建二
(理化学研究所)、西尾晋作（帝京平成大学）、
松本崧生（金沢大学名誉教授）

11：15～11：20 結晶の折り紙モデル（展示）

石原正三（埼玉県立大学保健医療福祉学部）

※作品展示は 6 月 13 日（金）の 13 時より可
能です。また、展示物の撤去は 6 月 15 日（日）
の 12 時 30 分以降にお願いします。なお、展
示品の搬入・搬出に関するお問い合わせは石原
(shozo@spu.ac.jp) までご連絡ください。

かたちが拓く自立支援

徳田哲男

埼玉県立大学、埼玉県越谷市三野宮 820

tokuda-tetsuo@spu.ac.jp

A Contribution of the Independence Support by Form

Tetsuo TOKUDA

Saitama Prefectural University,

820 Sannomiya, Koshigaya-shi, Saitama 343-8540, Japan

Abstract: From an ergonomic point of view, the living environment supporting the independence of seniors and persons with disabilities is overviewed with relation to form. Affordances being effective on promoting independence of those people are also considered in the living environment.

Keywords: Form, Independence support, Safety, Ergonomics, Affordance.

1. はじめに

身近な生活環境を概観することで、“かたち”への配慮が高齢者や障害者の自立支援につながる事例について、人間工学的な視点より紹介する。また、生活環境にアフォーダンスを取り込むことが、これらの人々への自立促進に有効とされる工夫を検討する。

2. 生活から学ぶ人間工学

これまで違和感なく使われてきた道具類の多くは、長い歴史をかけて生活実態に合わせて使い込まれ、そして自然淘汰されてきた結晶とも言える。一方、”使いやすさを科学する”側面が重視される人間工学では、道具類（かたち）に関する研究が多数報告されており、例えば、握りやすい手すりの直径についてはおよそ 30~35mm の範囲が適切とされている。この手すり径は、生活の中から導き出された日本古来の民具径と良く一致しており、短期間の実験的手法による計測が、これまでの長期にわたる生活経験の一部を実証した事例と言えよう。このように、大上段に構えた実験的手法による製品評価も大切ではあるが、生活から生まれた使いやすさなど、先人たちが支えてきた道具類の使われ方が改めて見直されても良い。

3. 人間特性に配慮した“かたち”とは

1) 高齢者特性とピクトグラム

蛙の輪郭線（信号情報）から一部の線を消去する（雑音情報を混入）ことで作成した図版（図 1）を検査用紙として視覚判別力検査を実施すると、若年対象者の正答率は 100% に近い。この図版を養護老人ホーム居住の高齢男女 180 名（61~94 歳）に提示したところ、正答率は半数以下に留まり、また正答者であっても図版を提示してから一定時間内（10 秒）に回答することが困難な者も多い²⁾。すなわち、高齢者では対象物を捉えることができても、それを正しく認識し、適切に判断をする機能については多くの課題が指摘されている。



図 1 視覚判別力検査用紙¹⁾

近年、ピクトグラムの規格化が進み標準案内用図記号（JISZ8210）や津波防災ピクトグラム（JISZ9101）などが活用されつつあるが、“かたち”の極端な抽象化は高齢者へ過った情報提供につながる場合もある。

2) 障碍者特性とデザイン

旧ハートビル法と旧交通バリアフリー法の統合によるバリアフリー新法（2006年施行）では、公共交通機関におけるバリアフリー化到達目標の一つに、視覚障害者用誘導ブロックの設置が掲げられている（1日当たりの平均的な利用者数が3000人以上の全ての旅客施設が対象）。当該ブロックの突起形状・寸法及びその配列は規格化（JIST9251）されており、全国どこにいっても同様な風景に出合う。一方、国外ではこれほどの規格化は浸透されておらず、デンマークオーフス市の歩道一面には、御影石で造られたタイルが方向性を持って敷かれ、そのわずかな隙間が視覚障害者の杖先の誘導を促しているという³⁾。機能性のみを重視したJIS規格製品と都市景観にも配慮した御影石では、視覚障害者を含む多くの人々にとって、はたして、どちらの“かたち”が受け入れられ易いであろうか。

4. 自立や安全に配慮した“かたち”とは

環境と知覚との相互依存関係を説明する手段として、アフォーダンスという言葉がある。これは、ジェームズ・ギブソン（米・生態心理学者）が提唱したアフォード（afford:～を与える）から作った造語（affordance）である。アフォーダンスは、刺激のように“押し付けられる”のではなく、環境が発信している情報を知覚者が能動的に発見・獲得していく。

1) 制約が目標を導く

自立生活の継続を支援する日常生活用製品などが、誤ったアフォードを惹起させることのない制約要件を、製品や使用環境に組み入れておく⁴⁾。すると、ユーザはその扱い方を知らなくても、その時に物側の方から扱い方を教えてくれることになり、取扱説明書の簡素化にも貢献する。設計思想にアフォーダンスを取り込んだ事例として、東京メトロのごみ箱が掲げられる。テロ対策の一環として、ゴミ箱を撤去していたが、2005年より“中身が見える透明ゴミ箱”として「屑物入用」「空カン、空ビン用」「新聞、雑誌用」の3個を1セットにして再設置したところ、“透明ゴミ箱”になってからは分別が向上したという。これは、中身が見えるため、利用者はきちんと捨てなさいというアフォーダンスを獲得した結果であったと解釈される。

2) 制約が安全を導く

生徒が校舎のひさしに降りることによる転落・死傷事故が続発している。文科省は「ひさしの上には出るべきではない。手すり設置で対応し、あとは現場で指導することが大事である」と広報している。1mのひさし幅は通路であることをアフォードしており、ひさし上面に「立ち入り禁止」と大書された注意喚起だけでは事故防止にはつながらない。これへの解決には、ひさしの幅を狭めるかひさしに勾配をつけることで、ひさしは通路ではないことをアフォードさせなければならない。

参考文献

- 1) Verville, E., Age and Sex Differences in the Perception of Incomplete Pictures by Adults, J. Genet Psychol., 68, p.149-157, 1946.
- 2) 徳田哲男：福祉工学による生活支援、㈱日本出版サービス、東京、2006.
- 3) 館久保優子：デンマークのDesign for Allについて、人間生活工学、5(2), 44-47、2004.
- 4) 徳田哲男：人間工学へのご招待—マンホールの蓋はなぜ丸い？、日本人間工学会関東支部大第42回大会、2-5、2012.

睡眠遮断時における体平衡機能に関する研究

森柚樹¹ 山口仁志² 平田隆幸¹ 高田宗樹¹

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

2 福井大学工学部知能システム工学科 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1

E-mail: takada@u-fukui.ac.jp[†]

A study of Balance Function during Sleep Deprivation

Yuuki Mori¹, Hitosi Yamaguti², Hirata Takayuki¹, Takada Hiroki¹

Department of Human and Artificial Intelligent Systems,

Graduate School of Engineering, University of Fukui¹

Abstract: 睡眠遮断を行うことにより、随伴陰性変動(CNV)が消失し、睡眠後も CNV が出現しないことが知られている。本研究ではこれに基づき、36 時間の睡眠遮断を行い、睡眠遮断中と 12 時間の睡眠後の重心動搖を測定した。同時計測を行ったフリッカーレベル値及び、スタンフォード眠気尺度の結果から睡眠遮断開始 22.5 時間後に覚醒水準の低下が確認され、CNV が消失していることが予想された。この時の重心動搖を計測したところ閉眼検査時において外周面積、総軌跡長、疎密度が睡眠遮断 22.5 時間後に最大値を、単位面積軌跡長は最小値をそれぞれ記録した。この CNV 消失時の重心動搖は潜在意識下の生体制御のかたちを表すものとして興味深い。

Keywords: 随伴陰性変動、重心動搖、動搖図、フリッカーレベル値、スタンフォード眠気尺度

1. はじめに

事象関連電位の一つである随伴陰性変動(CNV)は覚醒水準の上昇に伴って大きくなり、逆U字型の変化を示す。逆に、ある閾値を下回ると消失する^[1]。先行研究では睡眠抑制を行った際にCNVが減弱し、睡眠抑制開始から 24 時間後にその積分値は最小となったと報告がある^[2]。こうした潜在意識下における認知とパフォーマンスの関係は、Libetら(1982)により現象論的に調べられている^[3]。しかし、それらを司る生体制御系についてはこれまで明らかにされていない。

本研究では、睡眠遮断と生理的機能の関連について着目した。36 時間の睡眠遮断を行い睡眠遮断中の重心動搖を計測し、動搖パターンの時間変化を検討した。さらにフリッカーレベル値、スタンフォード眠気尺度を同時計測することで CNV が減弱することの傍証を得た。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は 21-24 歳の健常な若年男性 7 名(平均土標準偏差: 23 ± 0.9 歳)を対象として実験を行った。実施前にアンケート調査により、身長と体重、座高等などの身体情報と飲酒の頻度、喫煙の有無の確認を行った。また実験開始 2 時間前より飲酒、喫煙、カフェイン摂取を禁止し、実験の説明を十分に行つた上で書面にて了承を得た。

2.2. 実験方法

本実験は先行研究に基づき、各被験者は 36 時間の睡眠遮断を行い、その後に 12 時間の睡眠をとる。起床後 4 時間にて実験終了とした。被験者は原則として実験中は同一の環境下においていた。

実験開始後 20 分間は同時計測項目としてフリッカーレベル値測定、スタンフォード眠気尺度の調査を行い、続いて 10 分間重心動搖を計測、30 分間の作業負荷の後、30 分間安静にする。以上 90 分を 1 セットとし、これを 24 セット行った。その後 12 時間の睡眠の後、同様の計測を 2 セット行った。作業負荷として本実験ではクレペリン試験、文字末梢試験、信号検出試験を用いた。

重心動搖検査はロンベルグ姿勢で行い、被験者の目の高さで 2m 先に凝視点を設置。閉眼時及び閉眼時の重心動搖をサンプリング周波数 20[Hz] で計測した。

2.3. 検査項目

閉眼及び閉眼で各サンプリング時間における x-y 座標を記録し、各指標を算出、比較、検討した。得られたデータは x 方向(右方向を正)と y 方向(前方方向を正)の重心位置の時系列データに変換し、外周面積、単位面積軌跡長、総軌跡長、疎密度について評価を行った^{[4][5]}。

3. 結果

フリッカーレベル値の被験者平均の時間変化は実験開

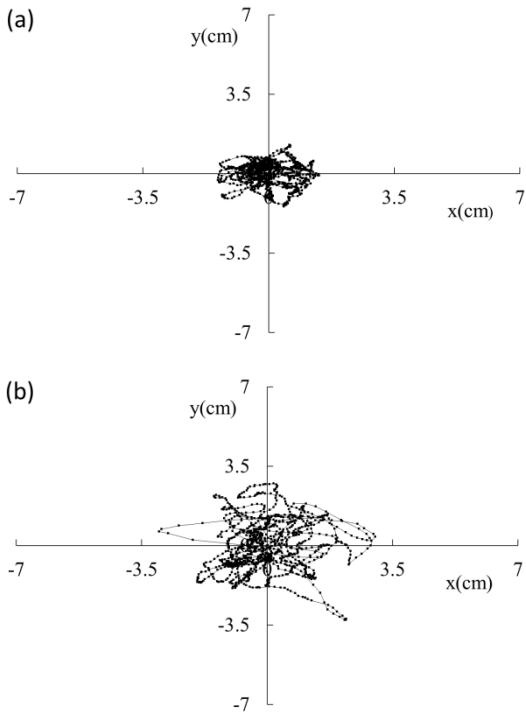


Fig.1 開眼検査時の動搖図の典型例

a) 実験開始0時間後 b) 実験開始22.5時間後

始 16.5 時間後に低下し始め、22.5 時間後に最小値を記録した。また睡眠後の計測でも値の増加は小さかった。スタンフォード眠気尺度においては実験開始から値は大きく増加し始め、実験開始 21 時間後に最大値を記録した。睡眠後の計測では値は減少し、最小値を記録した。

計測によって得られた重心動搖の典型例を Fig.1,2 に示す。各計測で得られた開眼時及び閉眼時の動搖図から算出した外周面積、総軌跡長、単位面積軌跡長、疎密度は、有意水準 $p < 0.05$ のフリードマン検定を用いて比較検討した。

外周面積は開眼時に実験開始から 27 時間後、閉眼時に 22.5 時間後にそれぞれ最大値を記録した。また閉眼時には実験開始 22.5 時間後の結果が 4.5,6 時間後と比較して有意に増大した。総軌跡長は開眼時に実験開始から 27 時間後、閉眼時に 22.5 時間後でそれぞれ最大値を記録した。開眼時、閉眼時共に有意差はみられなかった。単位面積軌跡長は開眼時に実験開始から 21 時間後、閉眼時に 22.5 時間後にそれぞれ最小値を記録した。また閉眼時には実験開始 22.5 時間後の結果が 3,4.5 時間後と比較して有意に減少した。また 33 時間後には 22.5 時間後と比較して有意な増大がみられた。疎密度は開眼時に実験開始から 27 時間後、閉眼時に 22.5 時間後にそれぞれ最大値を記録した。また閉眼時には実験開始 22.5 時間後の結果が 7.5 時間後と比較して有意に増大した。

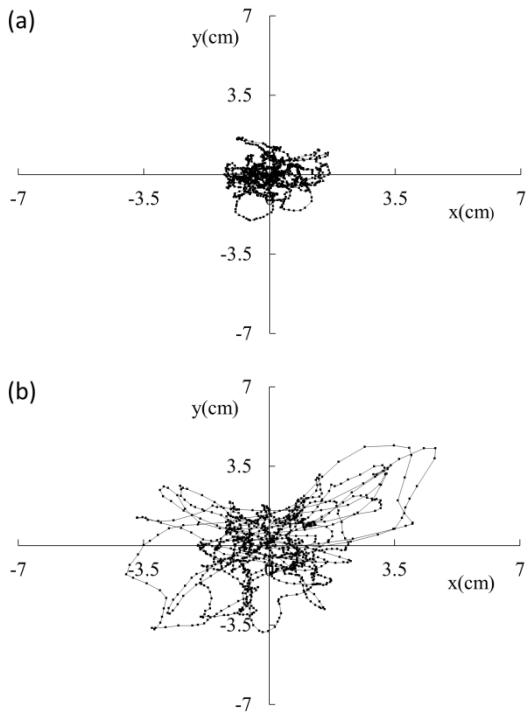


Fig.2 閉眼検査時の動搖図の典型例

a) 実験開始0時間後 b) 実験開始22.5時間後

4. 考察

本研究において同時計測したフリッカー値、スタンフォード眠気尺度により実験開始 22.5 時間後は覚醒水準が低下していることが示されており、それに伴って CNV の値が消失していることが考えられた。従って、実験開始 22.5 時間後の動搖図は潜在意識化の生体制御のかたちを表すものとして着目した。

閉眼時に顕著な結果がみられた理由として、視覚情報が得られないため体平衡系への影響が敏感に表れたと考えられる。

文 献

- [1] WG, Winter, R, Cooper, VJ Aldridge, WC McCallum and AL Winter. (1964) "Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain". Nature.203.pp.380-384.
- [2] T, Ohga, M, Miyao, H, Sakakibara, S, Yamada, and M, Terashima (1985) "The Influence of Sleep Deprivation The Contingent Negative Variation", Nagoya J.Sci.47, 91-100.
- [3] B, Libet, EW Jr, Wright, and CA, Gleason (1982). "Readiness-potentials preceding unrestricted 'spontaneous' vs. pre-planned voluntary acts". Electroencephalogr Clin Neurophysiol 54 (3): 322-335.
- [4] 大川剛, 時田喬, 柴田康成, 他 (1995) "重心動搖検査—単位面積軌跡長の意義—健常者における検討" Equilibrium Res 54, 283–293.
- [5] 高田宗樹, 北岡良之, 市川真澄, 他 (2003) "重心動搖における幾何学的な指標の物理学的意味" Equilibrium Res 62:168-180.

クモの網を模擬した構造の変形特性に関する基礎的検討

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

Fundamental considerations on deformation properties of simulated structure of spider web

Takuro MORIYAMA

Anan National College of Technology,

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 and spiral on the deformation properties of the spider web were considered.

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

1. 目的

自然界には、進化の過程で無駄な部分を取り除き、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。生物などの優れた機能などを応用した生態模倣技術（バイオミメティクス）は、現在様々な分野で用いられている。

本研究では、クモの網の構造に着目した。クモの糸は、紫外線に強く、高い引張強度と伸びを有している¹⁾。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、網の変形特性についてはあまり検討されていない。

そこで、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成させた解析を行い、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を行った。

2. 解析方法

クモの網を模擬した解析モデルを骨組み構造により作成した。網の形状は、正方形の中に正8角形が内接しているものと正12角形が内接しているものを作成し、それについて、横糸が同心円状のものと螺旋状のものを作成した。大きさは、正8角形が内接しているものは10cm四方であり、正12角形が内接しているものは5cm四方とした。螺旋は、アルキメデスの螺旋とし、正12角形は比較として対数螺旋のモデルも作成した（図1）。このとき横糸の長さは、正8角形、正12角形とも、同心円状と螺旋状でほぼ同じになるよう調節した。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。

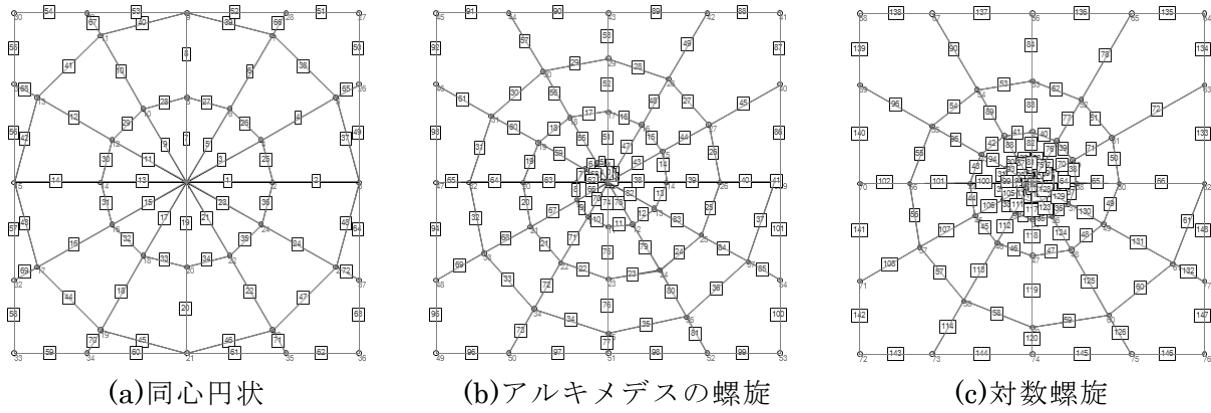


図 1 解析モデルの例

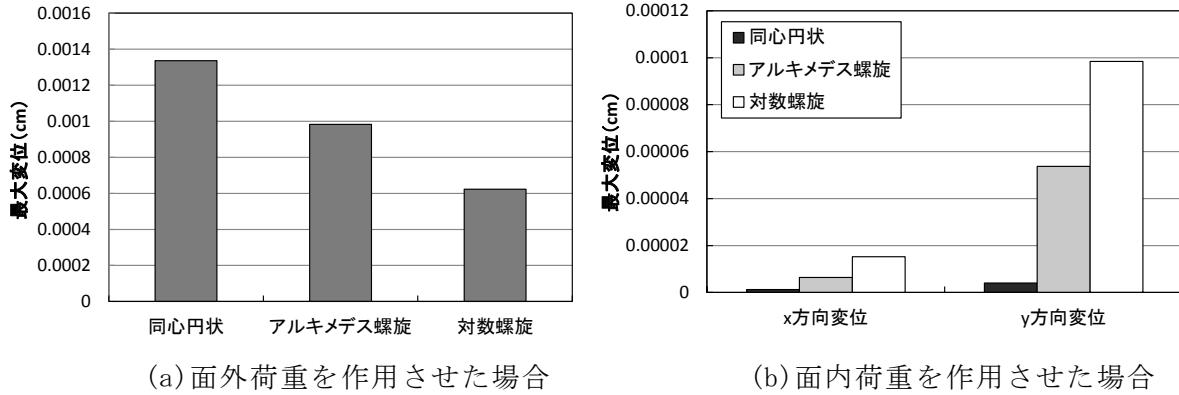


図 2 正 12 角形状のモデルにおける最大変位の比較

3. 解析結果および考察

解析結果の 1 例として、横糸が正 12 角形状の同心円状のモデルと螺旋状のモデルにおいて、面外荷重 (Z 方向) または面内荷重 (x 方向、y 方向) をそれぞれ作用させたときの最大変位の比較を図 2 に示す。面外荷重 (Z 方向) を作用させた場合では、同心円状のモデルよりも螺旋状のモデルのほうが最大変位は小さく、特に対数螺旋の場合に最大変位が小さいことがわかる。一方、面内荷重を作用させた場合では、x 方向載荷および y 方向載荷のいずれにおいても同心円状のモデルのほうが最大変位は小さいことがわかる。螺旋状のモデルのほうが最大変位は大きく、特に対数螺旋の場合に最大変位が大きくなっている。

実際のクモの網は、アルキメデスの螺旋であることが知られている。今回の解析では、アルキメデスの螺旋のモデルは、いずれの方向の荷重においても、同心円状と対数螺旋の中間的な性質となっている。螺旋状の横糸は、同心円状よりも網の施工のしやすさの上で効率がよく、同じ長さの糸を使用する場合、アルキメデスの螺旋は対数螺旋よりも、施工するために網の面内を回る数が少なくてすむという利点があることが考えられる。

4. まとめ

本研究では、クモの網を模擬した構造の変形特性について、解析的な検討を行った。その結果、螺旋を有するモデルは、面外方向の荷重に対しては変形が小さいが、面内方向の荷重に対しては変形が大きくなることがわかった。実際のクモ網における螺旋は、変形に対してよりも施工のしやすさの上の効果のためと考えられる。今後は、このような網の変形特性についてのさらなる検討や実用面への応用などの検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 大崎茂芳：クモの糸の秘密、岩波ジュニア新書、2008.

形典・形譜と結晶の形式

石垣 健

COMA DESIGN STUDIO、東京都品川区西大井 3-12-3

e-mail : coma@arsnote.com

FORMICAL SCORE and the form of the crystal system

Ken ISHIGAKI

COMA DESIGN STUDIO, 3-12-3 Nishi-Ohi Shinagawa-ku Tokyo 140-0015 JAPAN

Abstract:

Interpretations of the FORMICAL SCORE that applied the form of the crystal system.

Keywords: grammar, score, array, rhythm, proportion

1. 形典と形譜について。

形典とは、[1] で述べたように「かたち」の文法である。したがって、形譜は、形典のルールに基づいて記譜される対象の大よそのかたちと、その構成に関係したリズムやプロポーションなどの美的形式を配列化したモジュール [2] などの記述から成る。

2. 鉱物結晶の形式

鉱物結晶の分類は、1669 年にステノが面角一定の法則を発見し、自然科学としての結晶学が確立した。7 種の結晶系 (crystal system) : 等軸、正方、三方、六方、斜方、单斜、三斜 に分類され、32 の晶族 (crystal group) にかかる。[3]

3. 造形の形式、構造、意味

造形の形式は、[1] でも述べたように、可視できる博物学的レベルの視点が重要となる。教育の普及と共に浸透したこれらの分類の形式は、次第に人々の感性と深い結びつきをもつようになっているからである。例えば爬虫類と聞けば、そのユニークな形態を誰もがイメージできるし、六方晶系と言えば水晶のように秩序だった結晶が目に浮かぶといった具合である。

もちろん現代においては、このような形式が、骨格や多面体のような形態素だけでなく、遺伝情報や X 線解析のような構造としての物理現象から生じていることも学べるわけであるが、これらの論理的事実を階層的に分析するだけでなく、統合的連関として個人の感性へと情操的に取り込めるかは、実に人それぞれで、時と場合にもよるのである。やっかいなことに、この階層的把握には、物質と精神との奇妙な間隙があり、あたかもその間隙が喜怒哀楽の吸着・放出を担っている記憶の棲みかにも思えるのである。これは如何ともし難い私の錯覚なのだろう。

いずれにせよ現代において、博物学的分類の用語は、知識と体験が合わさり、ほど良い文化的意味合い保ち、鍊金術師ほどのこだわりが無くとも、その形式による構成が常に視覚言語化され、共有可能なイメージとなっている。

今回は、形典の形式の一例として博物学的レベルでこの結晶形式をあえて取り上げることで、形譜の構成例を解りやすく記述した。

また、美的形式によるモジュール変換 [2] の効果・検証を兼ね、簡単な形譜の制作及びその解釈を試みた。

寸法のリズム

比例のモジュール

Module Name : aPro16

Time : 16 (4, 4) × 4

Proportion : 1 : 1.618^n

aPro16	4	4	1	
	1.000	1.618	2.618	4.236
	6.854	11.089	17.942	29.030
	46.971	75.999	122.966	198.959
	321.916	520.860	842.751	1363.571

Rhythm44a0	4	4	1	
	12	13	2	7
	1	8	11	14
	15	10	5	4
	6	3	16	9
Rhythm44a0R	4	4	1	
	6	15	1	12
	3	10	8	13
	16	5	11	2
	9	4	14	7
Rhythm44a0R2	4	4	1	
	9	16	3	6
	4	5	10	15
	14	11	8	1
	7	2	13	12
Rhythm44a0R3	4	4	1	
	7	14	4	9
	2	11	5	16
	13	8	10	3
	12	1	15	6

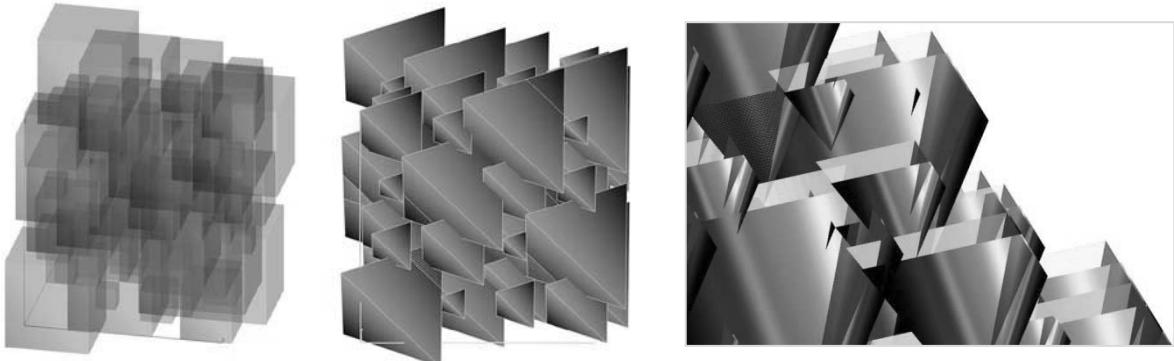


図 1：造形譜の可視化（等軸晶系形式での立方体と正四面体による構成。）とレンダリング（右端）

4. 形譜の解釈

これらの形譜の解釈の多様性は、展示部門にて作品の展示を行うことで、実証を試みる。

5. おわりに

情報科学、情報デザインとしての「形典・形譜の定立」には、まだまだ論理的な側面での不備があるだろう。ただし、前述のように、造形構成のもつ階層的構造や自然言語同様に複合した解釈による造形表現は、自然科学としての反証性を確保することは難しい。芸術には、情報発信としての科学的構造があって、当然であるが、物理的現象自体に芸術的精神が宿るわけでもない。だが日常化する偶然や必然に勝る覚醒や破壊的創造があるかぎり、また、その発見が精神の拠り所となる限りにおいて、「芸術」の価値が風化することはないであろう。なんとも欲深き探求である。

参考文献

- [1] 石垣健(2013)「形の科学会誌」28, No. 2, p190-191.
- [2] 岩田修一(総監), 河口洋一郎(監)(2012)「かたち創造の百科事典」, 丸善, p156-163
- [3] 高木隆二(編)(2003)「かたちの事典」丸善, p211-226

ポテンシャル流れ方程式の解として得られる迷路の経路

吉野 隆

東洋大学理工学部, 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100

tyoshino@toyo.jp

Paths of Maze as a Solution of Equation of Potential Flow

Takashi Yoshino

Toyo University, Kujirai 2100, Kawagoe 350-8585

Abstract: We obtained the solutions of mazes, the paths from entrance to exit, as the solution of equation of potential flow. The procedure consists of four parts: 1) construction of maze, 2) extraction of the network structure of maze, 3) obtaining a numerical solution of potential for a given network, and 4) calculation of potential gradients. The results show that our procedure works well.

Keywords: shortest path, maze, potential flow

1. はじめに

迷路に流体を充填して入口と出口に圧力差を与えたときの流線が迷路の経路になることを確認した。これは「当たり前のこと」である。この当たり前のことがもつ意義を考えたい。そのため、解法について説明しその結果を示したあとで、議論のテーマを提示したい。

2. 計算方法と結果

最短経路の計算は、1)迷路の作成, 2)迷路のネットワーク構造(パイプの配管)の抽出, 3)与えられたネットワーク構造におけるポテンシャル(定常解)の計算, そして, 4)ポテンシャルの勾配(流れ場)の計算で構成されている。実際には、1)迷路の作成と2)迷路のネットワーク構造の抽出が面倒な作業なのだが、ここでは詳しく触れない。迷路の作成アルゴリズムについては、インターネットで検索するといくつもの方法が見つかる(今回は壁倒し法という単純なアルゴリズムを用いている)。ネットワーク構造の抽出は、すべての格子点について、その周囲に壁でふさがっていない格子点(出入り口)がいくつあるのかを判断することによって得られる。

与えられたネットワーク構造におけるポテンシャルの分布は、ポテンシャル流れの定常解の方程式を離散化して緩和法を用いることによって得られる。平面における流体ポテンシャル $\phi(x,y)$ の定常解は、ラプラス方程式

$$\nabla^2 \phi = 0$$

の解である。正方格子上で離散化されたポテンシャルのラプラス方程式は、

$$\phi_{i+1,j} + \phi_{i,j+1} + \phi_{i-1,j} + \phi_{i,j-1} - 4\phi_{i,j} = 0$$

と書ける。ここで、 $\phi_{i,j}$ は正方格子上の格子点 (i, j) におけるポテンシャルを表している。迷路の場合、隣の格子点と壁で隔てられている可能性があるので、壁の数によってラプラス方程式の形は異なる。たとえば、格子点 $(i+1, j)$ と壁で隔てられている場合には、離散化されたラプラス方程式は、

$$\phi_{i,j+1} + \phi_{i-1,j} + \phi_{i,j-1} - 3\phi_{i,j} = 0$$

となる。2枚の壁や3枚の壁で格子点が隔てられる場合も同様にして、離散化されたラプラス方程式を求めることができる。得られた連立方程式は、疎な連立一次方程式なので、様々なアルゴリズムを用いて解くことができる。本研究では、緩和法を用いて近似解を求めている。

流れ場はポテンシャルの勾配を計算することによって求めることができる。 x 軸方向および y 軸方向の流速 u と v はそれぞれ、

$$u = \partial\phi/\partial x, \quad v = \partial\phi/\partial y$$

となる。差分を用いて離散化することによって流速が得られる。

以上の手順によって得られた流れ場は迷路の最短経路を示すことが確認できた。結果の一例を図に示した。図の左上と右上にある2点に異なるポテンシャル値を与えている。得られた経路をわかりやすく表示するために、近傍のポテンシャル値と格子点におけるポテンシャル値の差の最大値をグレースケールで表示している。濃い灰色は流れが生じていないことを示し、白は最も速く流れたことを示している。最も明るい色で表された経路が最短経路に相当する。複数の経路に分岐している場合には、最短経路が一番明るく（すなわち、一番速く流れる）、遠回りになるほど暗くなる（すなわち、ゆっくり流れる）。

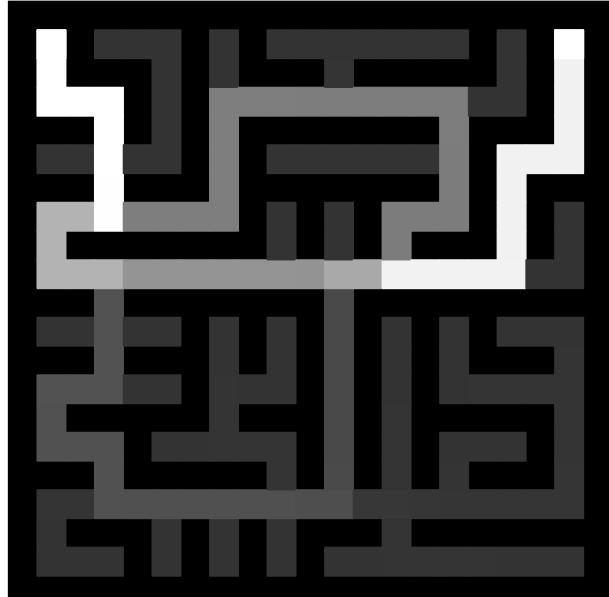
3. 議論

枝分かれのあるパイプに流体を詰めて両端に圧力差をかけると、一番短い経路を一番勢いよく水が流れるることは、直感的には明らかなことである。すなわち、ここで示した計算例は「当たり前の結果」である。

今回の結果は「知性とはなにか？」を考えるためのひとつの素材を提供するものと考えられる。Nakagaki *et al.* [1] は粘菌の集合体が迷路の解を示すことについて、"This remarkable process of cellular computation implies that cellular materials can show a primitive intelligence." と書いている。それでは、流体（分子の集合体）は原始的な知性を持つのであろうか？自然界の法則はある種の目的関数の最適化として説明がつくことが多いが、この最適化は知性と言うのが適切なのであろうか？もしも知性でないとしたら、粘菌の集合体と流体では何が異なるのか？私自身は、「物理法則の多くは何かを最適化する過程であるが、法則に従う『何か』に知性があることを意味するものではない」という思いがある。この問題は多くの人数で議論したら楽しいものになるような気がしている。講演では、参加者の方々の意見を聞いてみたいと考えている。

参考文献

- [1] Nakagaki, T., Yamada, H., and Tóth, A., Maze-solving by an amoeboid organism, *Nature*, 407(28), 470 (2000)



図：3経路の解がある場合の計算例。

折り紙モデルを用いた立体概念形成の学際的研究の構築

石原 正三、徳田 哲男、濱口 豊太、石岡 俊之

埼玉県立大学 保健医療福祉学部、

〒343-8540 埼玉県越谷市三野宮 820 番地

shozo@spu.ac.jp

The Launch of an Interdisciplinary Study of Tactile Conception of Three-dimensional Forms represented by Origami-models

Shozo ISHIHARA, Tetsuo TOKUDA, Toyohiro HAMAGUCHI, and Toshiyuki Ishioka
School of Health and Social Services, Saitama Prefectural University,
820 Sannomiya, Koshigaya, Saitama 343-8540, Japan

Abstract: With a view to exploring tactile conception of three-dimensional forms of Platonic solids represented by polyhedral skeletons made of Origami, an interdisciplinary study group has been started up by the members specialized in education, crystallography, mathematical science, occupational therapy, brain science, and human engineering. While the objectives of the study are mentioned, some activities which have already been done in the first year, 2013, are reported in the present talk.

Keywords: tactal conception, three-dimensional forms, Platonic solids, polyhedral skeletons, Origami-models

1. はじめに

立体概念の形成は、日常生活における空間認識や、学術研究における形や構造を理解するための重要な基盤であるにも関わらず、建築学、自然科学、工学、医学、および、芸術などの広い分野に亘って、古くから困難な教育的課題として議論されてきた。現在も、立体概念の学習は、教科書等による二次元の視覚情報の学習が中心となっており、ユーフリッド幾何学を基礎として、抽象化と数学的論証に偏り、その状況は依然として改善されていない。

石原^[1]による結晶構造を表現する折り紙モデル（結晶の折り紙モデル）の考案以来、多面体の骨格構造（スケルトン）を折り紙のスケルトンで制作し、これを基本構造として立体モデルを制作する手法（“科学折り紙”と呼ぶ）が体系化され、色々な結晶構造の立体モデル（図1参照）が制作されている。

一方、手嶋ら^[2]は積層造型機（3Dプリンター）を用いて、精密な曲面を精密に加工した立体モデルを制作して、視聴覚障害者の触覚による立体認識に関する研究^[3]から、視聴覚障害者に対する立体モデルを用いた触覚による学習（Tactile learning）の有効性を示唆している。

また、現代における脳科学の発展を背景に、医療や介護の分野においても、立体概念の形成に関する脳科学的知見が有効に利用されることが期待されている。作業療法士の三好は、高齢者の認知症治療において、簡単な折り紙の立体作品：「富士山」の制作（図2参照）を取り入れた作業療法の臨床研究を行っている。^[4]

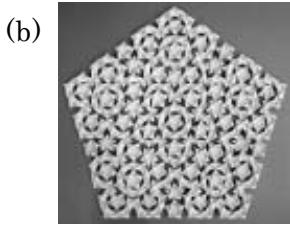
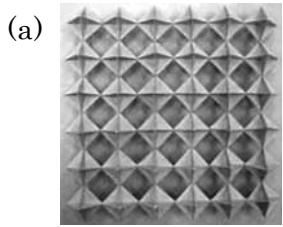


図1 折り紙の骨格構造（スケルトン）を基本構造とする結晶構造の立体モデル；(a) ペロブスカイト構造の折り紙モデルと(b) ペンローズパターンの折り紙モデル

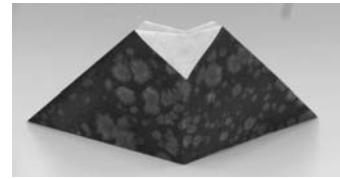


図2 高齢者の認知症のリハビリテーションに利用されている折り紙：富士山

2. 目的

立体物の表現には、三角法に代表されるような、複数の視点から眺めた二次元の平面図形を組み合わせて3次元の立体像を再構成する、視覚情報を主体とする方法が用いられてきた。平面図形から出発し、立体図形を経由して立体幾何学と群論に辿りつき、やっと立体物が理解できたと思うようになる。ただし、理解できたと思い込むだけで、数学的な予備知識があったとしても、視覚情報だけでは自信を持って第三者に立体物の形状や構造を分かりやすく説明することは至難の業である。

教育学、結晶学、数理科学、作業療法学、脳科学、及び、人間工学の多彩な視点から、科学折り紙の手法を活用して制作した正多面体（プラトン立体）のスケルトンを用いて、触覚（体性感覚）による立体概念形成に関する学際的研究を立ち上げ、立体概念形成に関する新たな視点を探ることとした。

3. 平成25年度の取り組みと今後の予定

平成25年度は研究組織の立ち上げを目指し、①文献調査と立体モデル教材の収集、②研究会と講演会の開催、および、③正多面体の立体モデルの制作を行った。

今後、心理学分野の研究者の参加を求めるとともに、新たに得られつつある脳科学の成果を取り入れながら、特別支援学校の協力を求め、視覚障害者を対象とする実験的研究を推進することを計画している。

謝辞

本研究は、平成25年度埼玉県立大学奨励研究費の支援を受けて実施された。また、研究協力者として、手嶋吉法氏（千葉工業大学工学部機械サイエンス学科・教授）と三好真人氏（足尾双愛病院・作業療法士）に貴重な助言をいただいたことに感謝いたします。

参考文献

- [1] Ishihara, S., "Origami-Model of Crystal Structure, I. Rutile, Marcasite and Cubic Close Packing Structures", *KATACHI \cup SYMMETRY*, edited by Ogawa, T. et al., Springer-Verlag Tokyo (1996), pp. 173-178.
- [2] 手嶋吉法、池上祐司、山澤建二、渡辺泰成、藤芳衛、金子健、大内進: "GEOMETRICAL TEACHING MATERIALS FOR VISUALLY HANDICAPPED PERSON: THEY SEE FORMS BY TOUCHING" *The journal of the International Society for the interdisciplinary Study of Symmetry* 2-4 (2007), pp. 464-467.
- [3] 数学文化 (Journal of Mathematical Culture), 14巻 1号, 2010/07, pp.51-62.
- [4] Private communication.

面積が収縮して短冊がねじれる

本多久夫 (神戸大、理化研 CDB)

Surface contraction causes a rectangle to be twisted

HONDA Hisao

(Kobe University School of Medicine, RIKEN CDB,

hihonda@hyogo-dai.ac.jp

2年前のこのシンポジウム(第74回形の科学シンポジウム 2012/11)で藤の実がはぜる話をした。今回はその続編である。

藤の実は碁石のような種子5~6個が細長い莢に入っている。乾燥すると莢が左右2つに裂けて反りかかる。これが急激に起こるから種子が勢いよく飛び出る。前回の発表では莢を短冊とみなして、乾燥した時に、短冊の外枠の長さは変化しなくて矩形の面が収縮すれば、短冊がねじれると考えた(このねじれが左右の莢で逆向きであるから実がはせる)。ヘリコイド*とよばれる3次元空間で曲面をあらわす式を使って、ねじれの程度を変えて、短冊の枠の長さとそれに取り囲まれる面積を計算した。確かにねじれた短冊は面積が小さくなっていた。

今回は3次元空間で多角形の集合でできた短冊をつくり(図1a)、与えられた100個の多角形の集まりが、多角形の面積の収縮でどのように変化するかをシミュレートした。はじめに平面状の短冊であったものが、短冊の4つの外枠の長さを変えないようにして多角形の面積を小さくすると、短冊は平面を維持できなくなりねじれた(図1a-g)。面の面積が収縮するだけで面が立体的に歪むことが明らかになった。

【方法】このシミュレーションにはvertex dynamicsとよばれる、運動方程式からなるシステムを使った(図2)。システムに以下に示すようなUを定義する。Uは、この運動方程式にしたがって頂点の集まりが動くと値が小さくなることが解析的に示されている。Uをポテンシャルエネルギーと

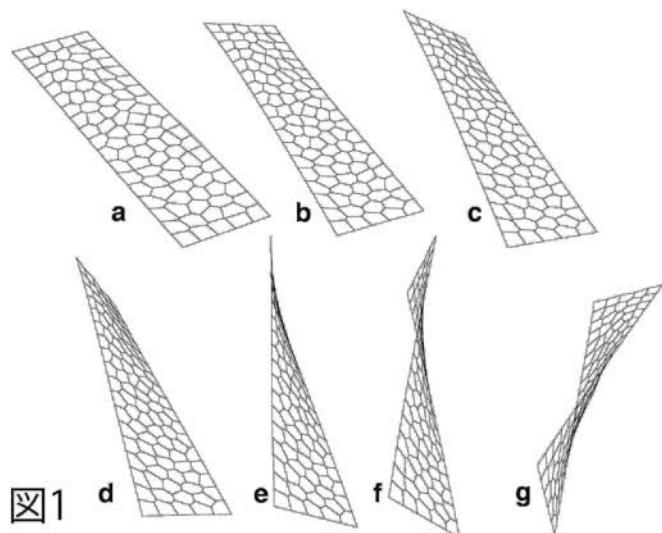


図1

$$\eta \frac{d}{dt} \mathbf{r}_i = -\frac{\partial}{\partial r_i} U$$

$$U_s = \sum_k (s_k - s_o)^2 \quad S_o = \sum_k s_o$$

$$U_b = \sum_j \left(b_j - \frac{B_o}{n_j} \right)^2 \quad B_o = \sum_j b_j$$

$$U_d = \sum_j \left(\frac{2\theta_j}{b_j + b_{j+1}} \right)^2 \quad U_c = \sum_j (\cos \theta_j)^2$$

図2

$$U_e = \sum_j |e_j|$$

みれば、この運動方程式により頂点の集合である短冊の安定な形が求められることになる。

図2のトップは頂点 i の位置座標 r_i についての運動方程式である。 U は以下にしめす項目にそれぞれ重みを与えた上での総和である（図3も参照のこと）： U_s 、多角形 k の面積に関する弾性項の和。リラックスしたときの多角形の面積 s_0 、短冊の総面積は S_0 である。短冊の境界（外枠）は線分の連なりである。 U_b は外枠の線分長 b_j についての弾性項で、線分長は均一になるようになっている。 B_0 は短冊のひとつの外枠の境界長で、矩形であるからこれが4つある。 U_d 、外枠の線分の連なりは本来直線的配置であり、直線より θ_j だけ折れ曲がると歪みエネルギー U_d が生じる。 U_c 、矩形のコーナー（4カ所ある）は本来 90° で、 U_c はこれから歪み。 U_e 、多角形を維持するための項。短冊を構成している物質がまとまっており、大規模な変形をするようなことはないと考えた。

短冊は閉じた大きな袋の一部分と考え、図4に示すように4つのコーナーは仮想的な5つの辺でつなぎ、全体は風呂敷が空間を包んだような立体を仮想している。この5辺の長さやこれらで包む空間の体積はポテンシャルの計算に影響しないように設定してある。

Vertex dynamics では多角形の辺(e_j)が短くなって辺のつなぎ変わりが起こり（トポロジー変化）、これにより多角形の角数が変わるなどの変化を行うが、ここで使ったモデルではこのつなぎ変わりが3次元空間で行われる（図5）。

*, ヘリコイドは次のように定義される。ある軸 A にたいして垂直に付着する線分 L が、軸上を一定の速度で回転しながら動くときにつくられる線織面である。 x, y, z 座標はパラメーター(u, v)を使って $(a^*v^*\cos u, a^*v^*\sin u, b^*u)$ と表わされる。

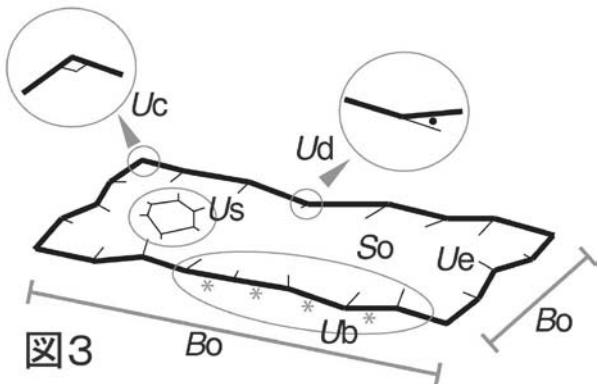


図3

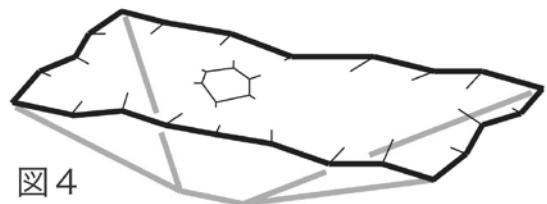


図4

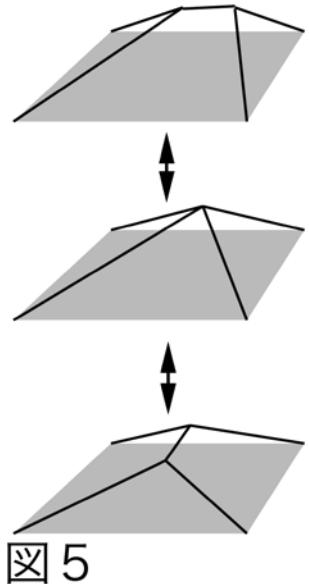


図5

【文献】

- ・ Nagai, T. and Honda, H. (2001) *Philosophical Magazine* **B81**, 699-719.
- ・ Honda, H., Tanemura, M. and Nagai, T. (2004) *J. Theor. Biol.* **226**, 439-453.
- ・ 本多久夫(2012)「莢がねじれて藤の実がはぜる」形の科学会誌第27卷第2号 pp.125-126.

透過光イメージの奥行き錯視

高木 隆司

東京農工大学（名誉教授），連絡先：〒192-0371 八王子市南陽台 3-3-13, jr.takaki@iris.ocn.ne.jp

Illusion in Depth Perception of an Image with Transparent Light Ryuji Takaki

Abstract: The problem of depth perception has been investigated for images with reflected light. There are two factors for producing the depth perception, the parallax of both eyes and the fixed idea of how 3D objects look. The object to be presented in this paper gives an image with transparent light, which seems to give a confusion in parallax of both eyes, hence we perceive its depth differently ways according to its postures. Its image is produced by the use of a plastic polarizer sheet deformed to a circular tube and cellophane tapes pasted on its inside surface. A mechanism of this illusion is discussed.

Keywords: Illusion, Depth perception, Polarized light, Cellophane tape

1. 導入

2枚の偏光板の間にセロファンシートをはさむと、それを透過した光には色がつくことが知られていて、その理由は次のように理解されている。まず、1枚目の偏光板を透過した光が、ある方向の偏光になり、それがセロファンシートに入射するときよう。セロファンシートは、それが製造されるときに引き伸ばされたことにより、膜の面内で光学的な異方性をもっている。セロファンシートを通過する偏光は、その方向が引き伸ばしの方向と一致するとき光の伝搬速度が減少する。それらの方向が直角であれば、光速は減少しない。

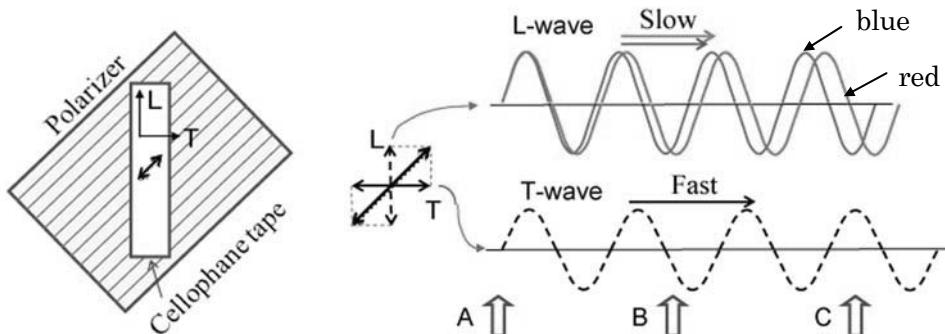


図1. セロテープの方向が偏光板の方向とある角度をもつときの、セロテープ内を通過する光の速さの変化。L方向の光の速さが遅くなる程度は、色によって異なる。

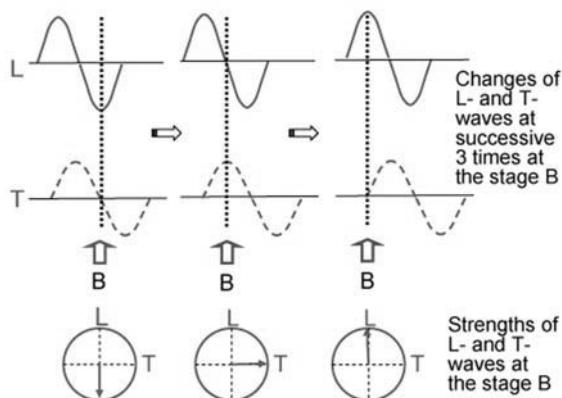


図2. セロファン内部のある地点Bを通過する偏光の異なる時刻での様子。L方向とT方向の成分は、時刻によって異なる位相をもつので、これらを合成すると偏光の方向が時刻によって回転する。すなわち、円偏光になる。

いま、セロファンシートに入射する偏光の方向が、セロファンの方向性に対して傾いているとしよう（図1参照）。入射した偏光をセロファンの方向に平行な成分（L波）と垂直な成分（T波）に分ける。L波とT波のセロファンの内部での速さの違いから、それらに位相差が生じ、図2に示すように直線偏光が円偏光に変化する。さらに進むと円偏光は直線偏光に戻り、この変化を繰り返す。この変化の程度は、光の色に依存する。偏光がセロファンを通過し、第2の偏光板を通過したとき、円偏光を構成する様々な色の内、偏光板の方向と一致する位相をもつ色が減衰せずに偏光板を通過する。こうして、第2の偏光板を通過した光には色がつく。

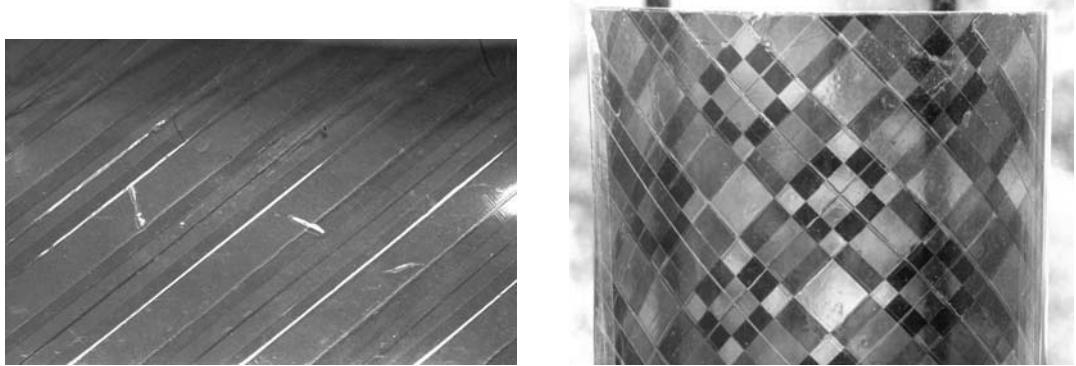


図3. 偏光シートとセロテープを用いて制作された学生の作品。左：偏光シートの片面にセロテープを貼りつけたもの（部分）。右：偏光シートを円筒にしたもの（部分）。

2. 偏光アートの例

筆者は、神戸芸術工科大学における授業で、この現象を利用してアート作品を制作する宿題を課したところ、ある学生が図3に示すような作品を提出した。左図はその作品の造り方を示し、プラスチック偏光シートの片側に、多数のセロテープを斜めにしてオーバーラップさせながら貼りつけたものである。右図は、セロテープが内部に来るよう偏光シートを丸めて円筒形にしたものであり、それを立てて水平方向から撮影した。右図では交叉した斜め線が見える、これは、横から見たとき、円筒内部に貼りつけたセロテープの方向が、手前側と向こう側で逆になるからである。交叉したところで色が違って見えるのは、偏光が通過するセロテープの厚さが、他の場所と異なるからである。

3. 奥行き錯視の不思議

円筒の軸を垂直にしてこの作品の帯模様を見ると、最初は視覚に多少の混乱が生じるが、やがてすべての帯が1平面上にあるように見えてくる。次に、円筒の軸を水平にして見ると、最初は交叉する帯のどちらも正しい奥行きを示すように見えるが、しばらくするとやはりそれらが1平面上にあるように見えてくる（1平面上に見える理由は不明である）。

この円筒を、45度傾けてみると、交叉する線がすべて円筒のこちら側の面、あるいは向こう側の面にあるように見える。この見え方は、垂直になっている帯のセロテープが貼りついている円筒面の奥行きに従っている。このことは、左右に離れている両眼の視差は、垂直線に対してはっきりと決まるので、奥行きは水平な帯よりも垂直な帯によって決定されるとすれば理解できる。一方、水平な帯の奥行きはあいまいなので、垂直な帯の奥行きに合わせたと解釈できる。

上記のいずれの場合も、交叉する帯は、それぞれ異なる奥行きをもつにも関わらず、奥行きが一致するような錯覚が生じている。現在、この理由は不明のままである。今見ているイメージが透過光であることが重要である可能性がある。しかし、この点は、今後検討しなければならない。

奥行き認識は、両眼の視差によるものと、立体の形状に対する固定観念の両方が関与している。後者が議論される場合が多いが（[1]参照）、前者が関与する錯視にもまだ不明な点がある。

参考文献：[1] N.D.クック、林 武文、村田まゆ、白岩 史：絵画の奥行き感と逆遠近錯視、
http://www.psych.or.jp/publication/worold_pdf/54/54-13.pdf （日本心理学会特集記事）

被子植物の花の構成要素の数について

飯田武揚

パターンダイナミクスセミナーハウス, 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台 7-9-25
iidatak@khf.biglobe.ne.jp, <http://www7a.biglobe.ne.jp/~PatternDynamics/index1.html>

An Investigation of Floral Organ Numbers of the Petals in Angiosperms

Takeaki Iida

Pattern Dynamics Seminar House, 7-9-25, Asamizodai, Minami-ku, Sagamihara-shi,
Kanagawa, 252-0328 Japan

Abstract: An investigation of floral organ numbers of the petals for 4287 species of angiosperms was carried out with the reference of “*New Makino's Illustrated Flora of Japan* (2008)” [1]. It was found that the floral petals of angiosperms are classified as bimerous: 0.1%, trimerous: 14.2%, tetramerous: 10.4%, pentamerous: 48.1%, hexamerous: 10.6%, heptamerous: 0.1%, octamerous: 0.1% and unidentified: 15.4%. As a result, the floral organ numbers of the petals for angiosperms are interpreted by the “optimization principle” of the interactions among petal organs.

Keywords: angiosperm, floral organ number, petal, interaction, optimization principle

1. はじめに

花を構成する4個の器官: ①がく, ②花弁(花被), ③雄しべ, ④雌しべ(心皮)の要素の数は、被子植物の種によって、一定の基本数(2, 3, 4, 5, 6など)をもっている。多くの場合、近縁なグループ(科や属など)では、基本数が一定となっているが、被子植物が共通の基本数をもつことを「数性」(数の性質)と呼んでいる。たとえば、上記の花を構成する4個の器官の数はほとんどの单子葉類は3の倍数、即ち基本数が3(3数性)であることが知られている。一方、真正双子葉類では、器官の数は基本的には5の倍数、即ち基本数が5(5数性)であるが、その中で比較的に少ないが、2, 3, 4をそれぞれ基本数とする2数性、3数性および4数性の被子植物も知られている。この研究は『新牧野日本植物図鑑』(2008) [1]に示されている4287種の園芸種ではない日本に自生する被子植物の花弁の数性について調査し、その結果を考察したものである。

2. 被子植物の花の数性に関する調査方法

被子植物の花の数性は北海道、東北、山形県、群馬県、埼玉県、神奈川県などに、妻の飯田茂子と共に、フィールドワークして調査した。しかしそれだけでは調査できる被子植物の数も限られることがわかった。そこで新牧野日本植物図鑑(2008)[1]に記載されている被子植物4287種を調べ、図鑑に示されている説明の文章や挿入図の詳細から数性を判定した。被子植物は多様性があり、種によって雄花や雌花がある雌雄異株あるいは雌雄同株があるし、がく片はあるが、花弁のない無花弁花などが全種数(4287種)の15%近くもあり、図鑑[1]からだけでは花弁の数性が判定できない場合がしばしばあった。このような場合は判定不可とする調査結果に入れた。結局、全種数(4287種)の85%である3588種の被子植物の花弁の数性を判定することができた。

3. 被子植物の花弁の数性の調査結果

図1に新牧野日本植物図鑑[1]に掲載され数性が判定できた3588種の被子植物の花弁の数と種の数の関係を示す。2数性2弁花が6種(0.1%), 3数性3弁花が609種(14.2%), 4数性4弁花が447種(10.4%), 5数性5弁花が最も多く2061種(48.1%), 3数性6弁花が455種(10.6%), 7数性7弁花が5種(0.1%), 8数性8弁花が5種(0.1%)となっている。

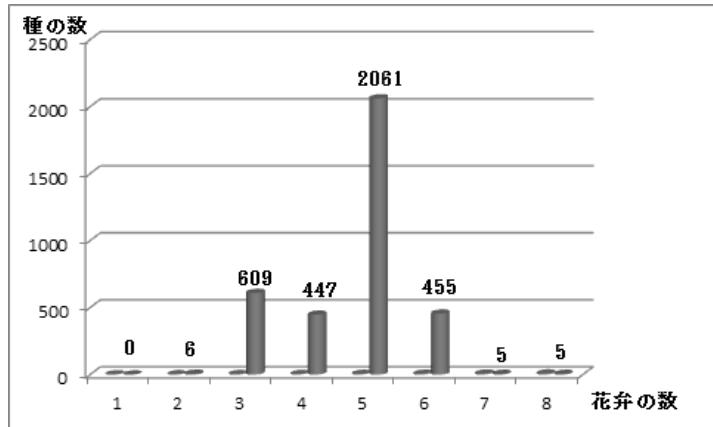


図1 数性が判定できた被子植物（3588種）の花弁の数と種の数との関係 [2]

4. 被子植物の花弁の数性に関する考察

被子植物の場合は種子が発芽してもすぐに花が咲き、種子ができるわけがない。最初に種子は子葉を出して、徐々に茎、葉、根などを成長させ、光合成をする葉の面積を増加させる栄養成長期を経た後に、葉を十分伸ばしてから、光や温度などの環境の変化に応答し、葉原基の形成を中止すると、図2に示す同心円状の小さい花芽を形成する。花芽は被子植物の場合、頂芽や腋芽などの成長点の部分に図2に示す小さな花原基として現れる。

この花原基は上部から見ると外側から順に、がく・花弁・雄しべ・

雌しべの同心円状領域（whorl, 以下これを輪（りん）と呼ぶ）

を形成する。

1991年にBowmanらはシロイヌナズナを使って、がく・花弁・雄しべ・雌しべの分化する仕組みに、3つの遺伝子群A, B, Cが関与することを発見し、ABCモデルを提唱した[3]。シロイヌナズナはアブラナ科の真正双子葉類であり、この種の野生株（正常発現）では、図2に示すように、花は外側から、がく・花弁・雄しべ・雌しべへと分化するが、種子を変異試薬などで処理して、その遺伝子に変異を与えると、花の外側から、がく・がく・雌しべ・雌しべの順に分化するような変異体が形成していく。

これらの変異体の形成を詳しく研究すると、花の形態形成には遺伝子群A, B, Cが関与していることがわかり、この遺伝子群の組み合わせで、がく・花弁・雄しべ・雌しべの順で分化が制御されていることが明らかにされた。しかし現在花弁の形や数性はどのような遺伝子によって制御されているのか十分解明されていない。この研究では、花弁間の相互作用を考慮すると、図1に示すような花弁数と種数の結果が理解できることを最適原理などから説明する。

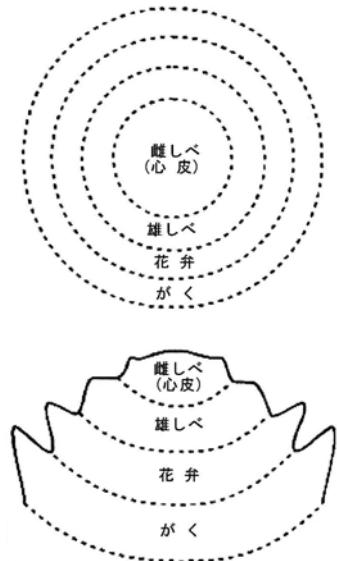


図2 花芽の輪(whorl)

参考文献

- [1] 牧野富太郎原著、大橋広好、邑田仁、岩槻邦男編『新牧野日本植物図鑑』北隆館（2008）
- [2] 飯田武揚『パターンダイナミクスによる被子植物の花弁の数性解析(4)』”Reports of Pattern Dynamics”, Vol.7, No.1, 10–24 (2013) ISSN 1881-7076
- [3] Bowman, J.L., Smyth, D.R., Meyerowitz, E.M., Genetic interactions among floral homeotic genes of *Arabidopsis*, *Development*, Vol. 112, 1–20 (1991)

謝辞 この研究に有益なご助言とご協力を頂いたパターンダイナミクス研究会メンバーの戸嶋直樹博士、野口文雄博士、諸岡良彦博士と妻の飯田茂子に心から感謝したい。

アルキメデスの求積法と高木の関数

杉本 剛

神奈川大学 : 〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋 3-27-1

sugimt01@kanagawa-u.ac.jp

Archimedes' Quadrature of the Parabola and the Takagi Function

Takeshi Sugimoto

Kanagawa University: 3-27-1 Rokkakubashi, Kanagawa Ward, Yokohama 221-8686

Abstract: Teiji Takagi praises Archimedes for his rigorous quadrature of the parabola. This quadrature is the method of exhaustion with infinite triangles. Takagi introduces a continuous but non-differentiable function. Actually Archimedes's quadrature is an extension of the Takagi function, and so Archimedes had a close encounter with fractals.

Keywords: Method of Exhaustion, Continuous Non-differentiable Function, History of Science

1. いとぐち

高木貞治は「解析概論」の中で、積分法の章頭でアルキメデスの求積法について詳しく述べ、その精緻な議論を称賛している。また、「解析概論」の付録で、連続でありながら、いたるところで微分不可能な曲線の作り方について述べている。実はこの二つの話には数学的に深いつながりがある。アルキメデスはフラクタル図形とニアミスしているのである。

2. 放物線の求積法

図1に示す放物線 QPQ' と弦 QQ' で囲まれた弓型部分の面積を求めるにあたっていわゆる搾出法 (Method of Exhaustion) が使われる。

放物線では、弦 QQ' の中点・弦 QQ' に平行な接線を持つ頂点 P および Q での接線と Q' での接線の交点 T は一直線に乗る (証明略)。したがって中点連結定理を経由して、 $\Delta QTQ'$ の面積は $\Delta QPQ'$ の面積の2倍である。求めるべき弓型の面積を S 、

$\Delta QPQ'$ の面積を A_0 とすれば、 $A_0 < S < 2A_0$ である。こうした面積評価を、今度は弦 QP が作る弓型と弦 PQ' が作る弓型に適用し・・・放物線を三角形でサンドイッチしていく操作を繰り返す。一度の操作で面積は $1/4$ になっていくが、これによって追加される面積を A_i と書くことにすると、アルキメデスは次の補助定理を証明する。

$$A_0 + A_1 + \dots + A_n + A_n/3 = 4A_0/3$$

これは、 n によらず成立する。さて面積評価の方は次のようになる。

$$A_0 + A_1 + \dots + A_n < S < A_0 + A_1 + \dots + 2A_n$$

最右辺は最後の項のみ二倍である。これに補助定理を適用して変形すれば次式を得る。

$$-A_n/3 < S - 4A_0/3 < 2A_n/3$$

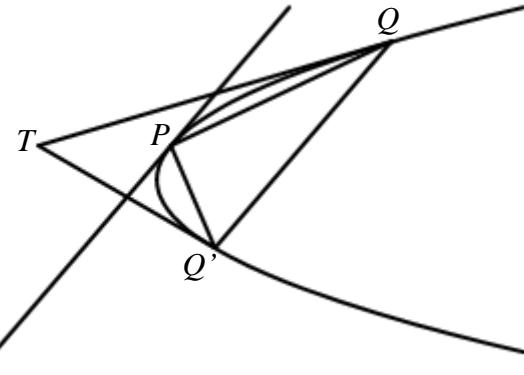


図1. 放物線と弦で囲まれた弓型の求積

ここで、 n は任意であるから、 $S = 4A_0/3$ が結論である。この命題は、放物線の内側を三角形で埋め尽くせることを示している。

3. 高木の関数とその一般化

高木は「解析概論」付録で二進表現を用いてフラクタルな曲線を定義しているが、解析的に表現すれば次のとおりである。

$$T_w(x) = \sum_{k=0}^{\infty} w^k s(2^k x)$$

ここで、 w は縮小率で、図 2 に示すオリジナルの高木の関数では $1/2$ である。ハット関数 $s(x)$ は次式で定義する。

$$s(x) = \begin{cases} 2(x - [x]) & \text{for } [x] \leq x < [x] + 1/2, \\ 2([x] + 1 - x) & \text{for } [x] + 1/2 \leq x < [x] + 1. \end{cases}$$

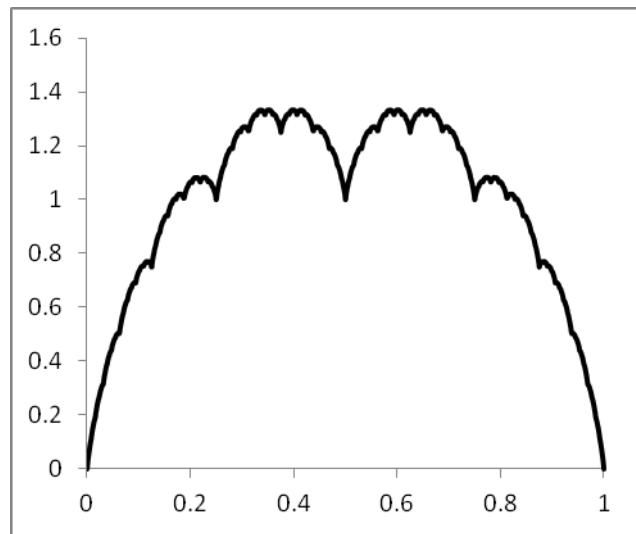


図 2. 高木の関数

かぎかっこはガウス記号である。一般化された高木の関数は、三角形の重合せである。

4. 放物線への縮退

三角形の重合せを、二分点での差分で表現すると

$$T_w(p/2^d) = w^{d-1} + \frac{1}{2} \{ T_w(p-1/2^d) + T_w(p+1/2^d) \}$$

ここで、 p は 2^d を超えない奇数である。 $T_w(x) = \alpha x(1-x)$ と仮定して (α は未定係数)、上記差分の右辺第二項 {} 内を計算すると

$$\frac{1}{2} \{ T_w(p-1/2^d) + T_w(p+1/2^d) \} = T_w(p/2^d) - \alpha/2^{2d}$$

を得る。上式が d の値によらず差分と一致するためには、 $w = \alpha^{-1} = 1/4$ でなければならぬ。さらに、いささかの計算ののち、二分点 $p-1/2^d$ および $p+1/2^d$ とから引いた接線どうしが点 $(p/2^d, T_w(p/2^d) + 1/4^{d-1})$ で交わることもわかる。つまり三角形もう一つを上乗せするとその多角形は放物線に外接する。一つ足りなければその多角形は放物線に内接する。ゆえに

$$\sum_{k=0}^n 4^{-k} s(2^k x) \leq 4x(1-x) \leq \sum_{k=0}^n 4^{-k} s(2^k x) + 4^{-n} s(2^n x)$$

であるから、 $n \rightarrow \infty$ で、証明終わり。

5. むすび

無限回の縮小写像を使って作りだす小さな図形の集合によって曲線を埋め尽くせるという議論を、古代ギリシャ人は忌避した。その直感は正しかった。

[参考文献]

- T.L. Heath, The Works of Archimedes, (1897, Cambridge University Press), pp.clxxvi+pp.326.
- 高木貞治「定本 解析概論」(2010, 岩波書店), pp.540.

多面体はDNAをもっている

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

Regular and semi-regular polytopes have DNAs.

Ikuro SATO, Motonaga ISHII, Jin AKIYAMA, Sin HITOTUMATU

Department of pathology, Miyagi Cancer Center

Abstract: The configuration of proteins is determined by DNAs. If we can induce DNA-analogs by which forms and shapes of semi-regular polytopes are uniquely programmed, it will be possible to determine their metric (k -face number and volume). Induction and interpretation of DNA-analogs are successfully completed. We will introduce genetic approach for the metric determination of semi-regular polytopes.

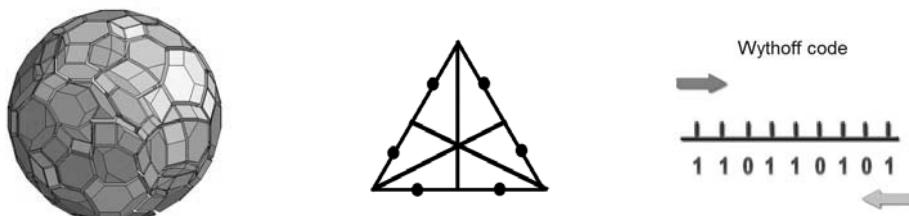
Keywords: semi-regular polytope, metric determination, genetic approach

準正多面体は、[a] 正多面体を切頂する（切頂型），[b] さらに切稜を加える（切頂切稜型）ことによって作ることができる。切稜だけでは準正多面体はできないが、切頂あるいは切頂と切稜を組み合わせることによって、ねじれ型を除く 11 種類の準正多面体ができるのである。たとえば、切頂八面体を作るには

- [1] 正八面体を辺の 3 等分点で切頂する = {3, 4} (110)
- [2] 立方体を（辺の中点を越えて）辺長の $3/4$ の点で切頂する = {4, 3} (011)
- [3] 正四面体を辺の中点で切頂して、辺長の $1/6$ の点で切稜する（これはいったん正八面体を作つてから、辺の 3 等分点で切頂することと同じ操作である） = {3, 3} (111) の 3 通りが考えられる。

ここで切頂八面体の頂点数、辺数、面数を 3 通りの方法で数え上げてみてほしい。2 円または 3 円が交わったヴェン図を描いたことがあるだろう。[2] では包除原理が必要になるが、2 円の場合、共通部分がひとつ、3 円の場合は 2 円の共通部分が 3 つ、3 円の共通部分がひとつできる。中学・高校で 4 円以上が取り扱われることはまずないが、n 円にとっても原理は同じで、共通部分に含まれるもの引いて、引き過ぎた分を足し直してということを繰り返すのである。

ところで、3 次元では実際に数えることもできるが、4 次元以上ともなるとみることもできないし、直観も効かなくなる。ではどうするか？ 実は、切頂八面体の頂点数、辺数、面数を 3 通りの方法で数え上げることができれば、高次元の準正多面体への拡張もうまくいくのである。その数え上げアルゴリズムをここに記すには余白が少なすぎるので、そのアイディアのみを述べる。多くの読者にとってかなり意外なものであろうと思う。



【1】多面体に遺伝子を導入する.

DNAは4つの塩基（A・C・G・T）をもつていて、たとえば、T G T G T G A A C C C C T T G C C A A A ……のように並んでいる。あるものはアミノ酸と対応し、あるものは翻訳の開始と停止をコードする。無生物である多面体にも、それによって多面体の形が一意に定まるDNAのようなものを導入する。それは0／1からなるn桁の数字の並びである（仮にワイソフ情報と呼ぶことにする）。ワイソフ情報のあるものは切頂あるいは切稜と対応し、あるものは切断の開始と停止をコードする。DNAとの大きな違いは、DNAの情報読みとりは単方向性であるのに対し、ワイソフ情報は双方向性であることである。なお、ワイソフ記号はシュレーフリ記号と一緒に用いられる。シュレーフリ記号は準正多面体のもととなる原正多面体（親）を表すのに対して、ワイソフ記号は子を表す。

$$\{3, 4\} (100) = \{3, 4\} : \text{正八面体}$$

$$\{3, 4\} (001) = \{4, 3\} (100) = \{4, 3\} : \text{立方体}$$

$$\{3, 4\} (110) = \{4, 3\} (011) : \text{切頂八面体}$$

【2】遺伝子コードを解読する.

正多面体は順序づけられた基本单体系列（旗）で構成されるが、準正多面体でも一連の多面体の階層構造が存在する。下層構造を所与とした場合、これらの解の有限集合から上層の解を導く漸化式が存在する。具体的には行列の所定の位置に下層構造の解を代入し、行列とベクトルの積を計算することによって、高次元準正多面体のk次元面数を計算することができる。また、準正多面体の体積は、ワイソフ情報が双方向性読みとりであることに対応して、順方向と逆方向の下層構造を所与として解を導くアルゴリズムが存在する。

【3】数え上げアルゴリズムを鑑賞する.

高次元図形の計量について、はじめは複雑な問題・手強い問題だと感じていたが、問題を解決したとたんに、結局のところ実に単純な問題だったことが判明した。完成したあとからながめてみると、小学生が解いたとしてもおかしくない初等的な方法を素朴に高次元に敷衍しただけになっていることが実におもしろい。ともあれ、高次元準正多面体の基本計量がいざできあがってみると、かくも簡単な計量がなぜこれまで知られていなかつたのか不思議でならないのだ。結局うわべの難しさに怖じ気づいていただけなのである。真理とは案外そういうものなのかもしれない。

【4】参考文献

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年

ソリッドモデルはリアリティーの高い図形を供給してくれるので、見る人のイマジネーションをかき立て、多くのインスピレーションを生み出すことができる。私は当該書を2年ほど前にご本人から謹呈して頂いたのであるが、このような立派な研究が行われていたことをまったく知らなかったこと、危うく忘れ去られるところであった論文があったことを恥じ入るばかりであった。

新潟県山古志村の牛荷付鞍（ウシノタグラ）の形態特徴

久保光徳¹⁾, 北村有希子¹⁾, 田内隆利¹⁾, 寺内文雄¹⁾, 境野広志²⁾

1) 千葉大学大学院, 千葉市稻毛区弥生町 1-33 mkubo@faculty.chiba-u.jp

2) 長岡造形大学, 新潟県長岡市千秋 4-197 sakaino@nagaoka-id.ac.jp

DESIGN MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF A TRADITIONAL COW SADDLE IN THE YAMAKOSHI-MURA NIIGATA-PREFECTURE

Kubo Mitsunori¹⁾, Kitamura Yukiko¹⁾, Tauchi Takatoshi¹⁾, Terauchi Fumio¹⁾, Sakaino Hiroshi²⁾

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

2) Nagaoka Institute of Design, 4-197 Senshyu, Nagaoka-shi, Niigata

Abstract: A cow saddle that has been kept in the Yamakoshi-mura Niigata Prefecture was investigated in a 2012 seminar at the Nagaoka Institute of Design from the viewpoint of design morphology. The saddle is placed on the backs of cows. First, the material and mechanical images of the saddle were structured intuitively by using the DEMATEL method. It was clarified that one of the basic mechanical properties of the saddle was structural flexibility. Therefore, geometrical 3D data was measured by a 3D digitizer to investigate the structural characteristics of the saddle form in relation to the flexibility. The measured 3D configuration data was translated into IGES type data for dynamical simulations using a finite element method simulator. As the result of the simulations, the saddle form seemed to be a dynamical optimized shape that was intuitively made by human hands without rigid dynamism theories or material mechanics. The form had been repeatedly revised for daily use and longevity. We suggest that the form of the traditional cow saddle also shows high reasonability in the relationships between form, material, presumed usage, and environment.

Keywords: Cow Saddle, 3D-configuration, Flexibility

1. はじめに

牛鞍の形態については各地の民族歴史資料館にも所蔵されていたため大まかな印象を持つてはいたが、この山古志村の大型の荷付鞍（ウシノタグラ）に始めて対峙した時の印象は、これまでのものとは全く異なるものであった。その印象は、その大きさとかなりの容積を占める背当てによる存在感によるものであるように思えた。これまでに目にしてきた牛鞍の形に対する興味は木部のアーチ構造のみに対するものであったが、この形は、牛鞍が持つ形態の意味が単に木部のアーチだけで説明できるものでないところを強烈に主張しているように思え、正直なところ度肝を抜かれた感があった。ここでは、この形を題材として、2012年度の長岡造形大学大学院科目「造形材料学特論」受講生とともに実施した形態解析の試みを報告させていただく。



図1 ウシノタグラ（牛荷付鞍）

2. 荷付鞍の印象を支配する形態素の抽出

観察や分解を通して、この形態が有する印象を表現する形態素の抽出を試みた。図2中に示すように、部分的な特徴を示す「メッシュ」、「網目」だけでなく、機構的な「パーツの動きに余裕がある」などの動的形態特性も対象とした。この作業を通して、荷付鞍構造全体の“柔らかさ”の存在や、形態を構成する材料固有の特性の有効利用の傾向にも気づくことができた。さらに、抽出された形態素間の影響関係をDEMATEL法に従って構造化し、この形態を見るときのイメージ構造に明確な2つのパスが存在することを確認した。一つのパスは、「アーチ」から「一ヵ所に負荷がかからない」、「牛が動きやすい」であり、もう一つは「パーツの動きに余裕がある」から「隙間による振動吸収」、「丈夫なのに柔らかい」、そして「牛が動きやすい」である。前者はこの荷付鞍の基本形を支配しているアーチ形状に対するもので、後者はアーチを含む各形態要素間の関わり方によって生まれる緩衝性やフィット性に代表される機能に対するものであると理解できる。

3. 荷付鞍のモデル化

三次元デジタイザを用いて荷付鞍の特徴的な形態データを得た後、荷付鞍CADモデルを得た。牛の背に例えた空間に固定された円柱にこの牛鞍フレームを搭載する構造力学シミュレーションを実施した。このアーチモデルに対して単に重力による物体力だけを与え、空間に固定された円筒と接触させ、その内部に発生する応力分布を観察した。この円筒は剛体であり、さらにクッションを介さず直接その剛体の背に乗せ、その自重によるアーチ内部の応力分布を見ている。結果として、フレーム全体に比較的一様に応力が分布しているようすを伺うことができる。

4. おわりに

今回の解析では鞍橋形状の基本的な特性を確認するために、その前部（前輪）の形をそのまま後部（後輪）にも適用し、また背当の効果も無視したものとなっている。今回得られた傾向が正当であるか否かについては、より正確な形態再現と境界条件の設定が必要であると考える。

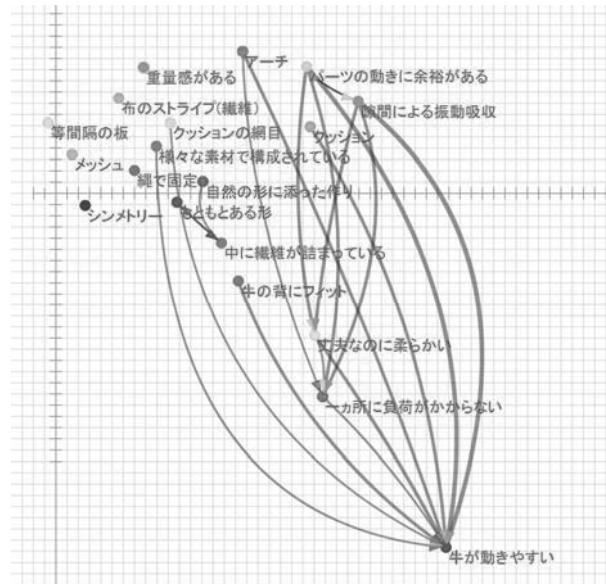


図2 形態要素間の構造化



図3 測定された牛荷付鞍の三次元形状

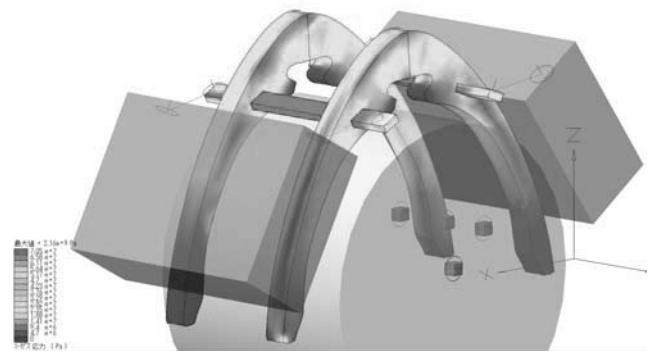


図4 鞍橋（クラボネ）に分布するミーゼス応力

凸五角形による周期的タイリングに関する考察

杉本晃久

科学芸術学際研究所 ISTA, 〒351-0036 朝霞市北原 2-5-28 鈴木第 2 ビル 211
ismsugi@gmail.com

Consideration of Periodic Tilings by Convex Pentagons

SUGIMOTO, Teruhisa

The Interdisciplinary Institute of Science, Technology and Art,
Suzukidaini-building 211, 2-5-28 Kitahara, Asaka-shi, Saitama, 351-0036, Japan

概要: Grünbaum and Shephard の Tilings and Patterns で示されている結果を利用し, 凸五角形による周期的タイリングを考察する. その結果を, 未解決である凸五角形タイル張り問題に適応して, どのようなことがわかるかを紹介する.

キーワード: 凸五角形, タイリング, 周期的タイリング, タイル, タイル張り

1 はじめに

平面を隙間や重なりなく埋め尽くすことが可能な一種類の凸多角形（このようなものを「凸多角形タイル」と呼ぶことにする）の網羅を目指す問題を, 凸多角形タイル張り問題と呼ぶ. この問題において, 凸五角形の場合だけが解決していない. 現在, 凸五角形タイルは 14 の type に分類されているがこれ以外ないかどうかは確定していない [2, 3, 4, 5, 6, 9]. タイリング内の任意の 2 つの凸多角形が互いに素か 1 つの頂点あるいは 1 つの辺全体を分け合うような場合, その凸多角形によるタイリングを edge-to-edge と呼ぶ（図 1 参照）. 凸五角形タイルのタイリングは, edge-to-edge な場合とそれ以外 (non-edge-to-edge) の場合が混在している. 既知の 14 の type のうち, type 4, type 5, type 6, type 7, type 8, type 9 の少なくともどれか 1 つに属す凸五角形タイルは, edge-to-edge タイリングを生成できる. なお, type 1 または type 2 に属す凸五角形タイルを用いたタイリングは, 一般には non-edge-to-edge で示されているが, 特別な場合に edge-to-edge タイリングを生成できる [6, 7]. 我々は, edge-to-edge タイリングを生成できる凸五角形タイルは, 既知の 14 の type のうちの 8 の type のどれかに属すことを示した [1, 8].

我々は, 凸五角形タイル張り問題に興味を持っている. しかし, non-edge-to-edge タイリングのみを生成できる凸五角形タイルの type の網羅は, 容易ではない. 本研究では, [3] に示されている結果を利用し, 現状知られている 14 の type の代表的なタイリングの性質を調査し, 凸五角形タイル張り問題の解決に向けてどのように研究を進めていくかを考える.

2 強い平衡状態にあるタイリング

議論を簡単にするために, 凸多角形タイルによるタイリングに話を限定する. タイリング内で, 2 つの凸多角形タイルが共通の辺を持っている場合, それらのタイルは隣接していると言い, タイル P が隣接しているタイルの数をタイル P の隣接数と呼ぶ [3]. したがって, 凸五角形タイルのタイリング内の凸五角形の隣接数は 5 以上である（タイリングが edge-to-edge ならば凸五角形の隣接数はすべて 5 であり, タイリングが non-edge-to-edge ならば隣接数が 6

以上の凸五角形が必ずタイリング内に存在する). 図1のtype 3のタイリング内の凸五角形の隣接数は6である. 以下, タイリングの頂点に会している凸多角形の数を, タイリングの頂点の価数と呼ぶことにする(タイリングがedge-to-edgeならば「タイリングの頂点」には「凸多角形の頂点」のみが集まっているので価数はそこに集まっている凸多角形の頂点数になるが, タイリングがnon-edge-to-edgeの場合は凸多角形の辺上に他の凸多角形の頂点があることが許されて, そのような点もタイリングの頂点に該当するので, タイリングの頂点の価数はその点で会している「凸多角形の数」となる). 例えば, 図1のtype 3のタイリングではタイリングの頂点の価数がすべて3であり, type 6のタイリングには価数3と価数4のタイリングの頂点が存在する. ここで, タイリング内に半径 r の円 W を考える. W 内にある価数 j のタイリングの頂点の数を W 内にあるタイルの数で割った値と, W 内にある隣接数 h のタイルの数を W 内にあるタイルの数で割った値が, $r \rightarrow \infty$ とした場合にそれぞれ収束する場合, そのタイリングは強い平衡状態あると言う. そしてその性質から, 凸多角形タイルによる周期的タイリングは, 強い平衡状態のタイリングの一部に含まれる.

現在知られている, 凸多角形タイルは必ず1種類は周期的タイリングを生成できる. そこで, 14のtypeの凸五角形タイルが生成できる, 各typeの代表的なタイリング(これらはすべて周期的タイリングである)を, [3]に示されている強い平衡状態のタイリングの性質を利用して考察した結果を紹介する.

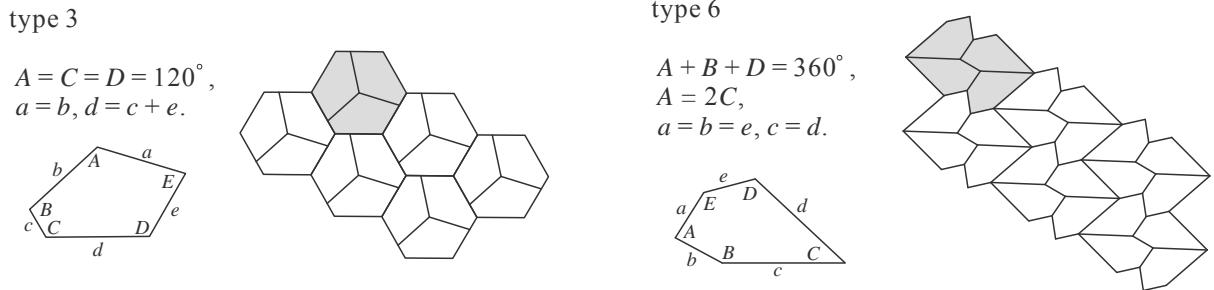


図1. 凸五角形タイルのtype 3とtype 6. 図のtype 3のタイリングはnon-edge-to-edgeで, type 6のタイリングはedge-to-edgeである.

参考文献

1. Bagina, O. (2011) Tilings of the Plane with Convex Pentagons (in Russian), *Vestnik KemGU*, **4(48)**, 63–73
2. マーチン・ガードナー (一松信 訳) (2013) 別冊日経サイエンス マーチン・ガードナーの数学ゲーム III [新装版], 日経サイエンス, pp.21-32.
3. Grünbaum, B. and Shephard, G. C. (1987) *TILINGS AND PATTERNS*, W. H. Freeman and Company, New York, pp.15–35 (Chapter 1), pp.113–134 (Chapter 3), pp.471–487, pp.492–497, and pp.517–518 (Chapter 9).
4. Hallard T. C., Kenneth J. F. and Richard K. G. (1995) *Unsolved Problems in Geometry (Problem Books in Mathematics / Unsolved Problems in Intuitive Mathematics)*, Springer-Verlag, pp.79-80, pp.95-96 (C14).
5. Kershner, R. B. (1968) On paving the plane, *American Mathematical Monthly*, **75**, 839–844.
6. Sugimoto, T. (2012) Convex Pentagons for Edge-to-Edge Tiling, I, *Forma*, **27**, 93-103
7. Sugimoto, T. (2013) Convex Pentagons for Edge-to-Edge Tiling, II, *Graphs and Combinatorics*. doi: 10.1007/s00373-013-1385-x.
8. Sugimoto, T. (2014) Convex Pentagons for Edge-to-Edge Tiling, III, *Graphs and Combinatorics*, (submitted to).
9. Wells, D. (1991) *The Penguin Dictionary of Curious and Interesting Geometry*, London: Penguin Books, pp.177–179.

現生および化石放散虫の種概念

松岡 篤

新潟大学理学部/形の科学研究センター, 新潟市西区五十嵐2の町 8050

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

Species concept of living and fossil radiolarians

Atsushi MATSUOKA

Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

Keywords: species concept, radiolarians, living, fossil, intra-specific variation

1. はじめに

種をどのように認識し区分するのかは、生物学にとって本質的な問題である。化石生物を扱う場合も、できる限り現生生物の基準を適用して分類するのが望ましい。しかしながら、硬組織しか保存されない古生物については、一般的には、決定的な種区分の基準を示し得ない。現生放散虫の種の認識と化石放散虫の種の認識について述べ、その違いを指摘する。今後の研究の方向性についても触れる。

2. 現生放散虫の種の認識

プランクトンネットを引くと、水塊に生息している放散虫群集をまとめて得ることができる。そこには個体発生の異なる段階の個体が含まれるのが普通である。放散虫個体は軟体部と殻からなるが、種を認識するためには顕微鏡観察を通してそれらの特徴を把握することになる。現生放散虫の場合は、殻形態以外に、軟体部の特徴や行動が観察できるので、化石に比べて種を区別する形質は格段に多い。しかしながら、現生放散虫についても種の認識が困難な場合がある。典型的なケースは、軟体部によって殻が包まれていて、殻形態が観察しづらい場合である。薬品を使って殻だけにしてようやく種が同定される場合も多い。

現生放散虫を観察していると奇妙な形態の個体に出会うことがある。軟体部の形態的・色調的特徴や行動様式はある種の放散虫の範疇に入るにもかかわらず、殻形態がその一般的な変異の範囲にない個体である。このような個体をここでは突然変異体とよぶことにする。

現生放散虫の場合、遺伝情報も利用できる。実際、現在までにかなりの種について分子生物学的検討が行われている。今後、この方面的研究がさらに進められると予想される。突然変異体を同定する際に、分子生物学的検討は威力を発揮するであろう。

形態的に区別がつかない個体同士で、分子生物学的な特徴が異なるという事態も想定される。研究が放散虫より先行している有孔虫の場合、このような状況にある種のペアが認識されており、隠蔽種とよばれている。放散虫については、隠蔽種はまだ確認されていない。

3. 化石放散虫の種の認識

化石放散虫の場合は、種の認識に際して利用できるのは殻形態だけである。これが現生放散虫とは決定的に異なる点といえる。種には常に個体変異があるので、化石種を記載する際には形態の範囲が示されるべきである。しかしながら、種が設立される際に種内変異の幅についての記載がないことも多い。種の認識を安定化させるために命名規約があるが、規約を遵守すれば万人が納得する種の定義が可能というわけでもない。種区分は、研究者の経験、嗜好、観察能力などにも依存する。一般によくいわれるのは、若年の研究者ほど些細な形態の差で種を区分しがちということである。これは、研究者が経験を積むほど中間的な形質をもつ個体に出会う機会が増え、細分しなくなることに関係があるだろう。化石種の場合、軟体部が存在しない以上、種の認識に決定的な判断基準を設けることは原理的に難しい。したがって、種概念は長期にわたって不安定なままにならざるをえない。

4. おわりに

以上に述べてきたように、現生放散虫と化石放散虫とでは、種概念はかなり異なる。殻形態のみを分類形質としてもちいる化石放散虫の方が、些細な形態の差異により種が細分されやすい傾向にある。たとえば、中生代の *Pantanellium* 属（図 1）については、形態を区別する形質が多いとはいえないにもかかわらず、80 以上の種が記載されている。おそらく個体発生の段階の異なる個体に別の種名を与えたり、まれにしか産出しない突然変異体らしき個体を別種扱いしたりするためであろう。現生放散虫について種概念の認識を深め、それを化石放散虫に適応するというオーソドックスな手法を適用することにより、化石放散虫の種概念を確立し、安定化させていくことが求められている。

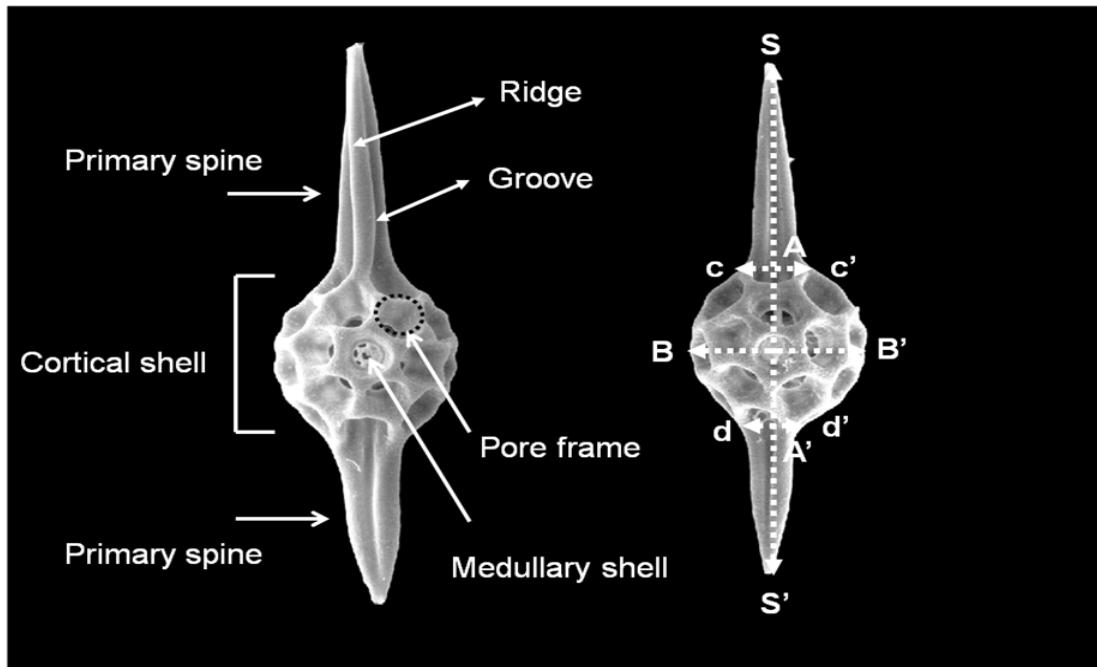


図 1 *Pantanellium* 属放散虫とその部位の名称

図形の転がり可視化ソフトウェアの開発

松浦昭洋¹ 奥野健斗² 山崎裕介³

¹ 東京電機大学情報システムデザイン学系 埼玉県比企郡鳩山町石坂

² NEC フィールディングシステムテクノロジー株式会社 ³ 株式会社ハイマックス

E-mail: matsu@rd.dendai.ac.jp¹

Development of Visualization Software for Rolling Objects

Akihiro Matsuura¹ Kento Okuno² Yusuke Yamazaki³

¹ Div. Information System Design, Tokyo Denki University Ishizaka, Hatoyama, Hiki, 350-0394

² NEC Fielding System Technology, Ltd. ³ HIMACS, Ltd.

Abstract: We present visualization software which, given a fixed 2D object and an object to be rolled along the fixed one, visualizes the rolling and the loci of a point on the rolling object. The software is used to make geometrical simulation of tempo-spatial patterns rolling objects make and to actualize the objects as visual instruments for geometric performance.

Keywords: rolling, geometric objects, visualization, software, manipulation

1. はじめに

ものの転がりについては古くから研究が行われている。初期のテーマとしては、17世紀頃考察された最速降下問題があり、重力のみが作用する条件の下で、二点間を質点が運動する際の最速降下曲線がサイクロイド曲線であることがベルヌーイ兄弟、ニュートンらにより示された。サイクロイド曲線は直線上を円が滑らず転がるときの円周上の点の軌跡としても得られる（以降、滑らない物体の転がりのみ考える）。その他の図形の組合せでは、円が他の円の外周（または内周）上を転がるとき、転がる円の周上の点の軌跡として外（内）サイクロイド曲線が得られる。線分が何らかの曲線上を転がるとき、線分の端点の軌跡は伸開線と呼ばれ、円、サイクロイド曲線、懸垂線等様々な曲線に対する伸開線が知られており、歯車の歯形等への工学的応用も持つ。

我々は、ものの転がりを人の操作を通じて実現して用いるパフォーミングアートに着目し、球体や円筒の内部で複数のボールを転がして時空間パターンを描く装置の開発、実演を行ってきた[1,2]。このような装置の総称として、聴覚を刺激する「楽器（musical instruments）」が演奏者の巧みな操作により音楽表現が可能な装置であることの類比で、実演者の巧みな操作により豊かな視覚表現が可能な装置を「視覚楽器（visual instruments）」と呼ぶこととする。本研究では、ものの転がり運動を利用した視覚楽器の創出と可能なパターンの探究を目的として、平面図形の転がりの動的な可視化が可能なソフトウェアを開発した。現状のソフトウェアでは、線分、多角形、円弧等を組合せて固定する図形と回転する図形を作成し、図形の運動の様子や回転図形上の点の軌跡を可視化することができる。視覚楽器として有望な図形についてはプリセットの図形として実装し、動きを可視化した。

2. 転がり可視化ソフトウェアの詳細と動作例

本ソフトは Processing で開発し、Processing 2.0b8 で動作を確認している。主な機能は以下の通りである。

(i) 基本図形とそれを組合せた図形の転がりの可視化

“点”、“線分”、“自由曲線”、“二等辺三角形”、“長方形”、“楕円”、“円弧”等基本図形とその組合せを描画して固定図形／回転図形として設定し、回転図形を左右に回転させることができる。回転速度の指定、残像表示、回転図形上の複数点の軌跡表示も可能である。これらの機能を用いて、直線上の円の回転、円の外周上の他の円の回転、円の外周上の線分の回転を実行した画面を図1～図4に示す（図3、図4における線分長：円周長は1:2、1:1）。

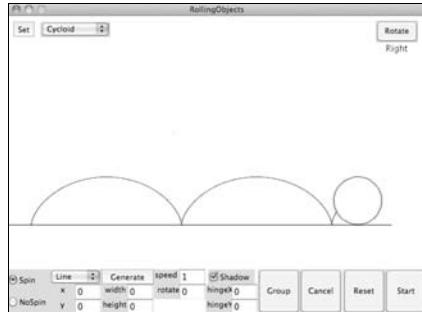


図 1: 直線上の円の回転

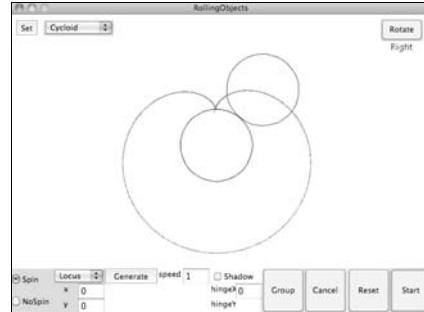


図 2: 円周上の同径の円の回転

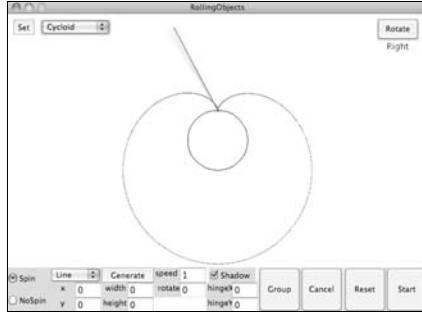


図 3: 円周上の線分の回転 1

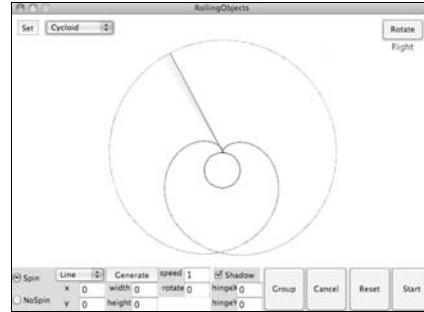


図 4: 円周上の線分の回転 2

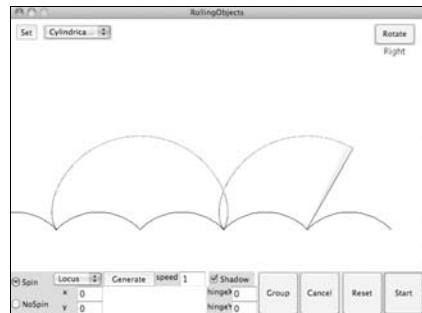


図 5: 連続円弧上の線分の回転

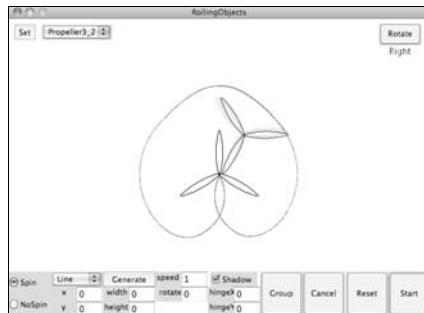


図 6: 三羽根図形の回転

(ii) 特定の図形の可視化（プリセット）

形が複雑な図形や正確な配置を要求される図形に対しては、図形データをソースコードに直接記述し、運動と軌跡の表示を行った。そのような例として、連続する円弧（但し、二つの円弧が交点で成す角は 90 度）上の線分の回転の様子を図 5 に示す。三次元の物体としては、曲線を奥行き方向にシリンダー状に延ばして曲面として実体化し、棒を曲面上で連続的に回転させる。実棒の長さと曲面長が共に約 60cm の装置、および 90cm の装置を製作し、曲面上での棒の滑らかな運動と操作が可能なことを確認した。次に、円弧からなる三つの羽根を持つ図形の同一図形上で回転の様子を図 6 に示す。本図形については現在製作と操作法の検討を行っている。発表では、実際の装置を用いたデモを行う予定である。

3.まとめ

視覚楽器創出のための図形の転がり可視化ソフトウェアを作成した。ソフトウェアの今後の課題としては、描画可能な図形の追加、力学条件の考慮、三次元への拡張が挙げられる。本ソフトで動きを確認し実体化した視覚楽器を用いた実演作品も、今後発表していく。

本研究は JSPS 科研費 25330437 の助成を受けて行った。

参考文献

- [1] A. Matsuura, Spherical Juggling, *Proc. of Interdisciplinary Conference of the International Society of the Art, Mathematics and Architecture (ISAMA/CTI2004)*, pp. 89-94, 2004.
- [2] A. Matsuura, Anti-Gravitational Motion of Balls in a Cylinder, *Gathering for Gardner 7, Exchange Book*, Vol. 1, 2006.

ペントミノタイルの平面自己相似性非周期タイリング

渡辺泰成^{*,**}、箕曲在道^{**}、池上祐司^{***,**}

^{*}千葉工業大学付属総合研究所 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

^{**}科学芸術学際研究所 ISTA、〒351-0036 埼玉県朝霞市北原 2-5-28 鈴木第 2 ビル 211

^{***}理化学研究所、〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

wistajp@gmail.com

Aperiodic 2D pentomino tiling by self-similar substitution method

Y. Watanabe^{*,**}, A. Minoh^{**}, Y. Ikegami^{***,**}

^{*}Chiba Institute of Technology 2-17-1 Tsudanuma Narashino, Chiba 275-0016

^{**}Interdisciplinary Institute of Science, Technology and Art (ISTA)

2-5-28 Kitahara Asaka, Saitama 351-0036

^{***}Institute of Physical and Chemical Research(RIEN)

2-1 Hirosawa Wako, Saitama 351-0198

Abstract: Quantity of the information for research of aperiodic tiling except quasi-periodic tiling is not so large as that of quasi-periodic tiling. Author shows one of the substitution example, that is a "pentomino tile" which is made of five unit squares. First generation of a "pentomino tile" is composed of two original pentominos and chiral two original pentominos.

Keywords: Aperiodic, Self-similar, Tiling, Pentomino

はじめに

今年は 1914 年ラウエが結晶による X 線回折現象を発見して 100 年、複雑な鉱物から蛋白質のような巨大分子まで、X 線結晶構造解析によって、あらゆる物質の構造が決まるようになり、物質科学への多大な貢献を記念して今年はユネスコで「国際結晶年」とすることが決まった。しかもこれに花を添えるように、3 年前に従来の結晶学の常識を覆す「準結晶」の発見でノーベル化学賞の受賞があり、結晶学のみでなく物質科学に新たなインパクトを与える輝かしい業績がもたらされた。準結晶では回転対称性（結晶の回転対称も含めて）はあるが並進対称性（周期性）はないことが分かっている。今回は、回転対称も並進対称もないが長距離秩序を持った平面タイリングについて得られた知見を紹介する。

自己相似性（フラクタル）と結晶構造

結晶の単位胞（単位格子）は集合すれば自己相似な図形ができ周期性をもつ。例えば大きなひし形を外形と相似なひし形に 4 分割できることは自明である。しかし、単位胞を四辺形から不規則な多角形に変えて自己相似性が成り立つような図形を考えると事情は一変する。図 1 には、正方形 5 個が集まつた車の外形を持つ単位胞を作る。これをペントミノタイル（以下タイルと呼ぶ）と呼び自己相似性を示す。タイルの表を白（A）、裏を黒（B）にすれば、表と裏はお互いに鏡像体の関係にある。これをそれぞれユニットタイル A,B と命名し自己相似の第 0 世代と呼び図 1 に示す。下付き数字は結晶点群の対称操作と並進操作によって移動することを $A_0^w(A_0, A_1, B_0, B_1)$ のように示す。自己相似集合による第 1 世代、第 2 世代を図 2、図 3 に示す。さらに、非周期性を示すために第 5 世代も示す。



図 1 0 世代のユニットタイル A,B

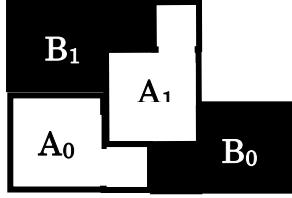


図2 第1世代のAタイル

第5世代のAタイルの模様を図4に示す。模様には非周期なドメインができるよう見えてる。これらの模様を黒いBタイルに注目してみると結晶構造にある回転対称がないばかりでなく鏡映対称もあるように見える。このような非周期性を証明するために、結晶の点群および並進群を使い構造の記述を試みた。

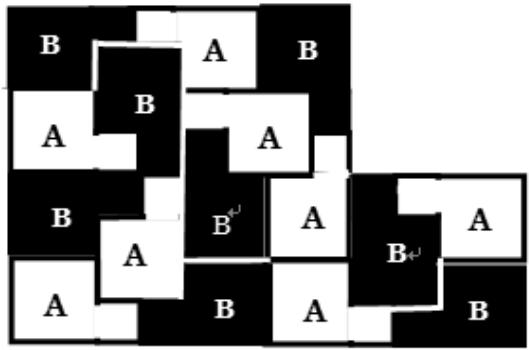


図3 第2世代のAタイル

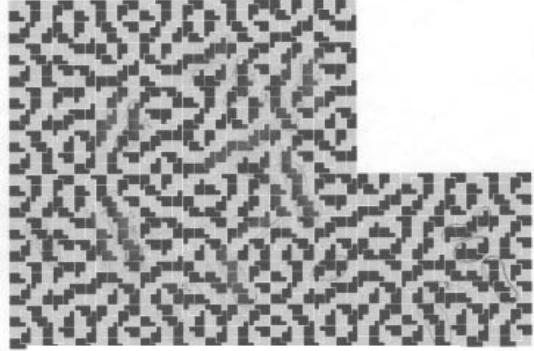


図4 第5世代のAタイル

自己相似構造における結晶点群と並進群

結晶の単位胞の相当するペントミノ結晶の単位胞を第1世代のAタイルと考える、この構造が単位となって自己相似(フラクタル)成長するからである。ここで示すAタイルもBタイルもすべてA₁タイルを結晶点群の対称操作(R)と並進操作(T)を行って得られたタイルの集合である。例えば図1に示すように、A₁タイル内の任意の点A₁(x, y)とすれば、A₂, B₁, B₂はそれぞれ、下記のようにA₀タイルで表現される。第1世代の構成タイルに上付き(1)をつけて改めて下記のように表現する。

$$A_0^{(1)} = R_0 A_0 + T_0^{(1)}, \quad A_1^{(1)} = R_1 A_0 + T_1^{(1)}, \quad B_0^{(1)} = R_2 A_0 + T_2^{(1)}, \quad B_1^{(1)} = R_3 A_0 + T_3^{(1)} \quad (1)$$

$$A_0 \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}, \quad A_1 \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix}, \quad B_0 \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \end{pmatrix}, \quad B_1 \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$R_0 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, T_0 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad R_1 \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, T_1 \begin{pmatrix} 4 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad R_2 \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, T_2 \begin{pmatrix} 6 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad R_3 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, T_3 \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \end{pmatrix} \quad (3)$$

これらの式を使って、A₀タイルについて自己相似性で生じる非周期性を考えよう。

ここで第1世代のタイル集合をA₀⁽¹⁾(A₀, A₁, B₀, B₁)と表すと、第2世代は同様にしてA₀⁽²⁾(A₀⁽¹⁾, A₁⁽¹⁾, B₀⁽¹⁾, B₁⁽¹⁾)となりり、一般にn世代はA₀⁽ⁿ⁾(A₀⁽ⁿ⁻¹⁾, A₁⁽ⁿ⁻¹⁾, B₀⁽ⁿ⁻¹⁾, B₁⁽ⁿ⁻¹⁾)と表される。

並進対称T₀は自己相似拡大(インフレーション)のスケールなので世代ごとにインフレーションを繰り返す。スケールファクターk=2なので、n≥1のとき第n世代のT_nは

$$T_n = 2^n T_0^{(n)} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

このように、並進距離は世代が進むにしたがって拡大するので、結晶のように一定周期とならないだけでなくA₀⁽²⁾を計算で求めると点群×並進の項も現れ周期は一定しない。

寺田寅彦から西川正治への結晶 X 線回折の伝承
根岸利一郎

埼玉工業大学, 〒369-0293 深谷市普済寺 1690
negishi@sit.ac.jp

Crystal X-ray Diffraction Transmitting from Torahiko Terada to Shôji Nishikawa
Riichirou Negishi

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

Abstract: X-ray diffraction by crystals is frequently used to elucidate structures for a single crystal, DNA, proteins, and so forth. Torahiko Terada devised concept comprehending x-ray diffraction as reflection, and Shôji Nishikawa continued after Terada and developed a method to use a space group, which was a starting point for a diffraction crystallography in Japan. This paper reports the methodology from the field of science on form's perception.

Keywords: crystal structure, X-ray diffraction, reflection concept, space group

1) はじめに

1912 年, ラウエによって発見されたX線回折¹⁾は結晶構造がラウエ斑点に反映されて観測された。以来, この回折は当初の単結晶構造の解明ほかDNAやタンパク質などの複雑な構造に至るまでその解析に多いに役立っている。ラウエの報告に刺激を受けた寺田寅彦は困難な環境の中で直ちに実験にとりかかり, 「ラウエ映画」²⁾の結果から反射の概念を得て結晶構造の解明に寄与した。これを受け継いだ西川正治の空間群の利用は画期的であり, 今日の回折結晶学に繋くことになった。寺田や西川の物理的内容については放射光学会の HP や松尾宗次³⁾ほか多くの解説がある。ここでは富の蓄積の少ない時代にあって, 寺田から西川へ何が伝承されたかを形やイメージの側面から眺めることにしたい。

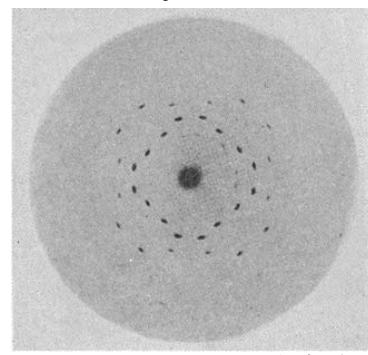
2) ラウエ斑点からラウエ映画へ

○結晶格子による X 線回折

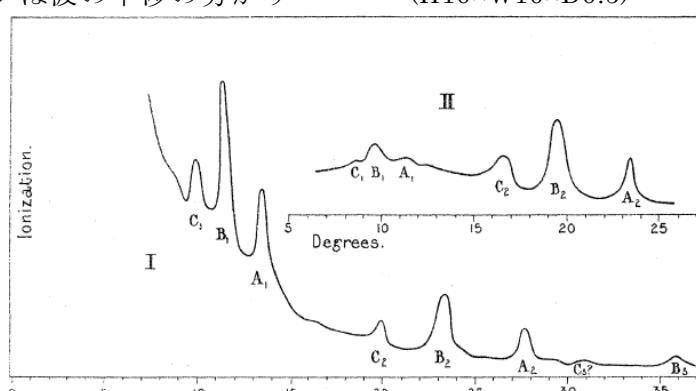
可視光が回折格子によって回折されることから, ラウエは X 線が波長の短い波であれば結晶格子によっても回折が起こるかもしれないと考えて実験した。その結果, ラウエ斑点の撮影に成功し, X 線の結晶格子による波の干渉を実証した。

○回折条件の表現

ラウエの報告¹⁾に刺激され, ブラッグは波の干渉の分かり易い表現を検討した。図は岩塩を使い, 強度を電離箱で測定した結果である⁴⁾。ここから今日広く知られている $n\lambda = 2ds\sin\theta$ (ブラッグの法則) の回折条件を見出している。ブラッグ自身は“可視光での回折を実現したもの”と謙遜しているが, 結果は反射の意味を含む重要な内容である。



ZnS によるラウエ斑点¹⁾
(H10×W10×D0.5)



A₂, B₂, C₂ それぞれの角度は A₁, B₁, C₁ それぞれの 2 倍になる

○結晶面による反射

ブレッガとは別にラウエの結果報告に刺激を受けた寺田は借用したX線源を工夫した回折実験によって、岩塩を動かすとそれに伴うラウエ斑点の移動（「ラウエ映画」）を蛍光版によって確認し、その移動からX線の結晶面による反射の概念を全く独立に得た⁵⁾。ここには波の干渉の概念はなかったが、この結果は我々が日常的に使う結晶面でのX線の反射と同等である。図は実験におけるラウエ斑点を得るために蛍光板の配置である。寺田はこの報告の脚注の最後に“… not new.”と書いて以後X線回折の実験をやめている。

3) 面内回折から空間全体へ

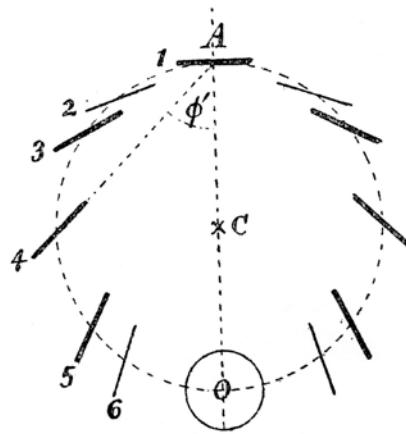
寺田のラウエ映画観測に同席した西川は感激し⁶⁾、結晶X線回折の研究を志すことになる。そして纖維状や層状物質にもX線回折が有効であることを示した。その後、寺田からのシェーンフリースの本⁷⁾の紹介を受け、空間群を使ったスピネル構造決定の仕事は複雑な結晶構造決定に対する独自の画期的なものであった⁸⁾。

4) 形による理解

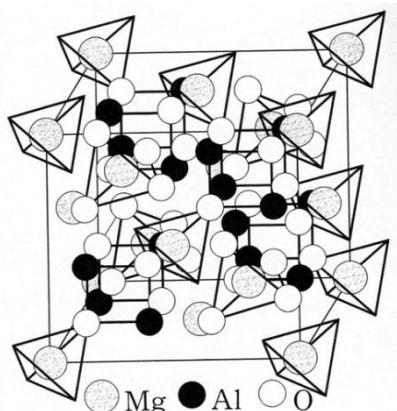
自然界で観測される形にはその原因となる事物の物理科学的内実が反映される。ラウエ斑点やラウエ映画には結晶内の回折に寄与する面が反映され、ブレッガの回折強度曲線には回折面の間隔が反映されている。西川はその反映する面と空間群を結晶構造決定に活用した。また、X線回折の動力学像には結晶内の歪が反映される。かくして、「自然の顔には教科書の文句は書いてない」¹⁰⁾が、形の科学的探究はそれに反映される物理科学的内容の理解を深める。これらの検討結果を報告する。

文献

- 1) Friedrich, W., Knipping, P. und Laue, M. v. (1912): "Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen", Münchener Ber, 303-322; Ann, Phys., **41**(1913), 971-992.
- 2) 学士院恩賜賞の受賞(1917):「ラウエ映画の実験方法及其説明に関する研究」.
- 3) 松尾宗次(1992):「寺田寅彦とX線結晶学」, バウンダリー10月号:pp50-56, 11月号:48-55.
- 4) Bragg, W.H. and Bragg, W.L. (1913): Proc. R. Soc. London, A, **88**, p428-438.
- 5) Terada, T. (1913): Proc. Tokyo Math-Phys. Soc., VII, 60-70.
- 6) 西川正治(1936):「ラウエ斑点」, 思想, No.166, 493-496.
- 7) Schoenflies, A. M. (1891): Krystalsysteme und Krystallstructur, Leipzig: Teubner. Reprint (1984): Springer. 「結晶系と結晶構造」.
- 8) Nishikawa, S. (1915): Proc. Tokyo Math-Phys. Soc. VIII, 199-209.
- 9) 庄野安彦, 床次正安(2002):「入門結晶化学」, 内田老鶴園.
- 10) 寺田寅彦(1997) :「津田青楓君の画と南画の芸術的価値」, 寺田寅彦全集, 第八巻, 岩波書店 ; 青空文庫, http://www.aozora.gr.jp/cards/000042/files/43280_23766.html.



寺田が測定に使った蛍光版の位置



スピネル($MgAl_2O_4$)構造⁹⁾
太線は MgO_4 四面体

ペンタドロンとはなにか？

前畠謙次（イメージミッション木鏡社）、佐藤郁郎（宮城県立がんセンター）、

中川宏（積み木インテリアギャラリー）、秋山仁（東京理科大学）

静岡県静岡市葵区水落町 4-19

image@aqua.ocn.ne.jp

What is the Pentadron?

Kenji MAEHATA, Ikuro SATO, Hiroshi NAKAGAWA, Jin AKIYAMA

Image Mission Inc.

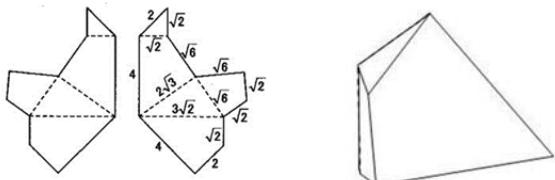
Abstract: The pentadron is named after ultimate pentahedron. He was born in 2008 as an atom reconstructing every kind of parallellohedra of Fedorov, e.g., truncated octahedron, rhombic dodecahedron, elongated rhombic dodecahedron, hexagonal prism and parallelepiped. He may play a key-role of phase transition of lattice between FCC and BCC. We report the episodes of his birth and the reason why such a convenient solid exists in 3 dimensional space. He is now on sale traded by Image Mission Inc..
Keywords: Pentadron, parallellohedron, Fedorov, phase transition, lattice

【1】平行多面体はペンタドロン元素からできている

結晶は219種類あることが知られていて、実際、その多くが結晶構造として自然界にも存在している。結晶をテーマとする物理の本には、たいてい3次元結晶群の数は230種類存在すると書かれてあるが、変換が向きを保たないものは異なるものと数えているからである。230種類にせよ219種類にせよ、これでもかなりの数だが、少し目線を引いて結晶格子を遠くからみてみよう。じっと眺めていると面白い事実に気づく。いつも特定の形の凸多面体が現れるのである。ここで現れる結晶格子に対応する本質的な配置はディリクレ領域と呼ばれるものであるが、平行移動するだけで3次元空間を埋めつくすことのできる形（平行多面体）になっている。

平行多面体についての第1の問題は、まずどれだけの種類があるかであるが、ロシアの結晶学者フェドロフによって、5種類の平行多面体——立方体、6角柱、菱形12面体、長菱形12面体、切頂8面体——しかないことが証明されている（1885年）。これら5種類の図形は5種類の正多面体（プラトン立体）ほどよく知られていないが、少なくとも同じ程度に重要であると考えられる所以である。それでは第2の問題は何かというと、平行多面体元素問題

〔Q〕何種類か凸多面体を用いて、すべての平行多面体を作りたい。
その種類の最小数はいくつか？



〔A〕答えは驚くべきことに「1」となる。この問題は平行多面体にアフィン同値などをどれかひとつ作れればよいという意味であるが、ペンタドロンσはそのひとつの答えとなっている。この事実の証明は非常に簡単である。実際に構成することができるからだ。しかし、ペンタドロンももつ意味は非常に深淵である。この世の中のすべての形がたった1種類の多面体から生み出されているといつてもよいからである。

【2】発想の経緯

平行多面体は結晶（金属結晶や鉱物結晶）でよくみられる構造である。たとえば、切頂八面体は体心立方格子、菱形12面体は面心立方格子、立方体は単純立方格子のボロノイ領域である。菱形12面体はザクロ石（ガーネット）、平行六面体は方解石（カルサイト）。六角柱はコランダム（ルビー・サファイア）や歯のエナメル質にみられる結晶構造である。長菱形12面体は魚眼石（正方晶系）、切頂八面体は赤銅鉱（等軸晶系）などに対応する。

ペンタドロンの発端は体心立方格子と面心立方格子の相転移を考えたことであって、切頂八面体と菱形12面体に共通する元素多面体は何かという問題であった。この答えはc-squadronである。体心立方格子と面心立方格子の相転移の途中で、単純立方格子を経由するならば、切頂八面体と菱形12面体と立方体に共通する元素多面体は何かという問題になるが、それにはc-squadronを2分割すればよい。この多面体がpentadronである。ペンタドロンは切頂八面体を48分割した5面体である。さらにその発展問題が5種類ある平行多面体に共通する元素多面体は何かという問題である。当初、直六角柱を考えたのでペンタドロンをさらに2分割する必要があったが、平行多面体の性質上アフィン同値、すなわち、斜六角柱でよしとしたので、長菱形12面体も含め、すべての平行多面体の元素数が1であることが確定したことになる。ひとつの形から平行多面体が何でもできてしまうわけであるから、とくに結晶学者には興味ももっていただきたい。

【3】理由が知りたい

なぜ、かくも都合のいいことが起こったのか、その本質を知りたいという人は少なくないだろう。実はこんなに都合のいいことが起こるのは3次元の特異性に負っているのであって、4次元でも5次元でも決して起こり得ない現象なのである。そのことを理解して頂くために、高次元でも普遍的に存在するn次元空間充填多胞体を2種類構成する。それらは体心立方格子型空間充填をもたらす $2^n + 2n$ 胞体とミンコフスキによって発見された原始的空間充填 $2(2^n - 1)$ 胞体である。 $2^3 + 2 \cdot 3 = 2(2^3 - 1) = 14$ 、すなわち、3次元の切頂八面体（14面体）は、すべての次元を通じて唯一、空間充填 $2^n + 2n$ 胞体、かつ、空間充填 $2(2^n - 1)$ 胞体という性質をもつ多面体であるという事実が、3次元平行多面体の元素数が1であることと密接に関係しているのである。

【4】参考文献

Akiyama J. et al: Atoms for parallelohedra, “Geometry-Intuitive, Discrete, and Convex”, Bolyai Society Mathematical Studies, SPRINGER-VERLAG, Vol.24, 1-21 (2013)

2008年の発見から5年以上経過して、ペンタドロンの論文がやっと出版された。最近では2つの元素で平行多面体5種類と正四面体、正八面体の7種類を作ることができるものの、4つの元素で平行多面体5種類と正多面体5種類の計9種類を作ることができるもののが見つかっている（立方体は正多面体でもあり、平行多面体でもあり、両者の共通集合をなす）。また、相転移のモデルとなるフリップ・フロップ変身図形がすべての平行多面体相互間で見つかっている。何かに応用できると良いなと思うが、いまぐにはいいアイディアは浮かばない。最後に、イメージミッション社からペンタドロン模型が発売されたのでお知らせしたい。

結晶の折り紙モデル

石原 正三

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

Origami-models of Crystal Structures

Shozo ISHIHARA

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

Abstract: Since 1990, it has been demonstrated that constructed of polyhedral skeletons, Origami-models of crystal structures represent regular repetitions of atoms, i.e. periodicity, vividly and intuitively, and it should be remarked that they show atomic positions and coordination polyhedra in a crystal structure at the same time. Recently, it has also been revealed that octahedra sharing their faces and vertices represent a quasiperiodic structure of Penrose Tiling by making use of Origami. The remarkable properties of Origami-models of crystal structures are summarized in the present report.

Keywords: Origami-model, Crystal structure, Periodicity, Quasiperiodicity, Penrose Tiling

1. はじめに

1990年にスピネル構造とコランダム構造の折り紙モデル（図1(a)と(b)参照）が初めて制作されてから今年で24年が経過しようとしている。この間、多くの折り紙モデルが制作されている。また、折り紙の持つ親しみやすさと多彩な色彩による造形美を生かし、小学生から大学生までを対象とする理科・科学教育の実習教材としても、結晶の折り紙モデルは利用価値の高いことが示されている。

本報告では、結晶の折り紙モデルの特徴をまとめるとともに、これまでに実施してきた小学校、中学校、高等学校、および大学での教育活動を振り返り、理科・科学教育における折り紙モデルの活用例を紹介する。

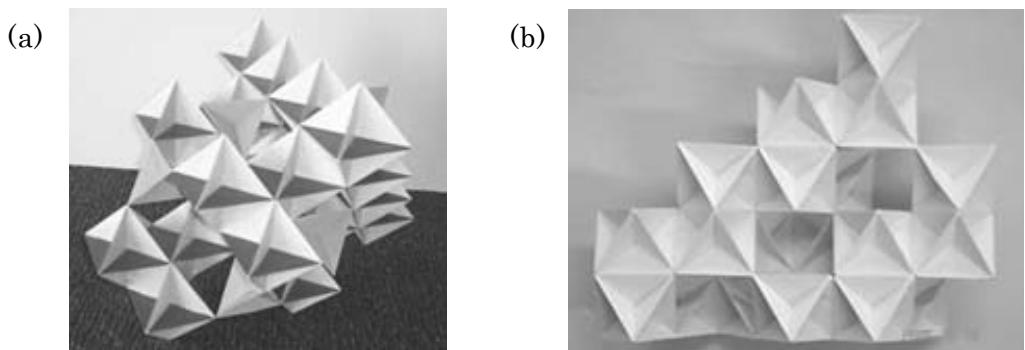


図1 最初に制作された、(a)スピネル構造と(b)コランダム構造の折り紙モデル

2. 結晶の折り紙モデルの特徴

従来の結晶構造モデルは大きく分けて、球と棒モデル（図2(a)）^[1]と配位多面体モデル（図2(b)）^[1]の2種類に分類されていた。結晶の折り紙モデルは、基本構造として多面体の代わりに多面体の骨格構造（スケルトン）を用いることによって、従来の2種類の構造モデルの特徴である、原子位置と配位多面体の配置を同時に表現している。

また、水引（紙の紙縫い）で角を共有する多面体のスケルトンを接続すれば、接続部分が可動となり、図3に示すように、一つのモデルで複数の結晶構造を表現できることも、従来のモデルにはない、結晶の折り紙モデルの最大の特徴となっている。

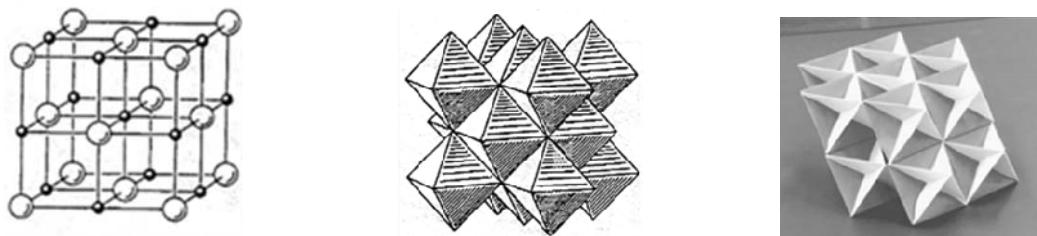


図2 結晶構造のモデル：(a) 球と棒モデル, (b) 配位多面体モデル, (c) 折り紙モデル
;(a)と(b)は参考文献[1]より引用

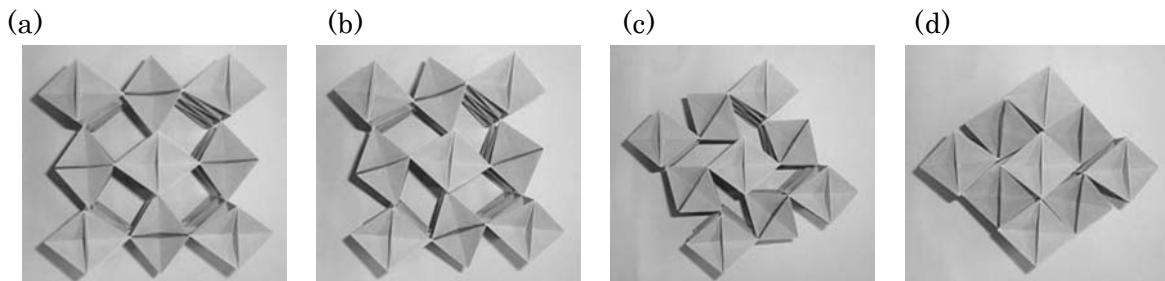


図3 動くモデル：(a)ルチル構造, (b)と(c)マルカサイト構造, (d)塩化ナトリウム構造

3. 理科、および自然科学の教材としての折り紙モデル

1994年から折り紙モデルを用いた実習教材の開発に取り組んできた。高等工業専門学校での応用物理の授業に折り紙モデルの実習を取り入れたことを契機として、1999年以降、小学校、中学校、および高等学校での出張講座と、大学の教養科目の授業で折り紙モデルを活用した授業実践^[2]を試みている。

小学生から大学生まで、どの段階の学習者も折り紙に親しみを感じ、複雑な立体構造を試行錯誤の中から体感していたことが授業後のアンケートから示唆されている。

特に、折り紙の多彩な色彩と造形美は学習者の興味を強く引き付け、参加者のほぼ全員が折り紙モデルの制作活動に取り組んでいた。

参考文献

- [1] “Structural Mineralogy, An Introduction”, Lima-de-Faria, J.Kluwer Acad. Pub. (1994).
- [2] 例えば、石原正三,「結晶の折り紙モデルを利用した実習教材」,『ものづくり・マテリアル』マルト一第2回 (2000) 教育奨励賞受賞他論文集, (2001), pp. 1-10.

円柱充填による結晶構造

手嶋吉法^{1,5}、松本崧生²、渡辺慶規³、小川泰^{4,5}

¹千葉工業大学、²金沢大学名誉教授、

³筑波大学、⁴筑波大学名誉教授、⁵科学芸術学際研究所ISTA

Crystallographic structures generated from cylinder packing

Yoshinori TESHIMA * , Takeo MATSUMOTO, Yoshinori WATANABE, and Tohru OGAWA

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

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

Abstract: Packing problems are an important aspect of crystallography. In particular, sphere packings have played an important role in improving our understanding of crystal structures. Although cylinder packings have not received as much research attention as sphere packings, they are also important for the same reason and have been investigated in the fields of both science and engineering.

Keywords: cylinder packing, periodic structure, six cubic <110> directions, cubic system, tetragonal system

1. はじめに

パッキングの問題は、結晶学の重要な一面である。特に球のパッキングは、結晶構造に対する理解の仕方を改善する上で、重要な役割を演じてきた。円柱のパッキングは、球のパッキングほどには注目されて来なかつたが、同様に結晶学において重要であり、科学と工学の両分野で研究がなされてきた。

科学の分野において、ガーネットの複雑な結晶構造が、立方晶系の<111>の4方向の円柱を用いた円柱充填の周期構造に基づいて説明された[1]。それ以来、円柱充填は、結晶化学の分野で精力的に研究してきた。とりわけ、立方晶系の円柱充填構造が研究の対象となってきた[5]。

工学分野では、複合材料の纖維のパッキングを決める上で、円柱充填の構造が研究されてきた。充填密度を高める為に、円柱だけでなく、様々な断面形状を有する棒が使われることもある。規則的な纖維パッキングの構造が、デザインされてきた[2]。

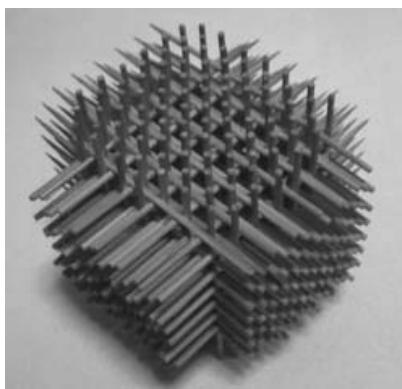


図1 立方晶系の<100>の3方向の円柱からなる円柱充填の周期構造。立方晶系。

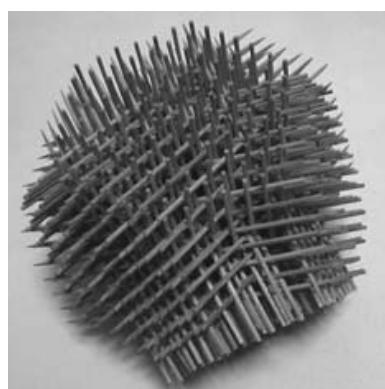


図2 立方晶系の<111>の4方向の円柱からなる円柱充填の周期構造。立方晶系。

2. <110>の6方向からなる円柱充填構造

複合材料分野で報告された構造に触発され、著者らは、立方晶系の<110>の6方向の円柱を用いた円柱充填の周期構造の研究をおこなってきた[3][4][5][6][7][8]。既知の<110>の6方向の円柱充填構造は、充填密度の観点から、 $(\sqrt{2})\pi/9 \approx 0.494$ (Type-I), $(\sqrt{2})\pi/18 \approx 0.247$ (Type-II), and $(351\sqrt{2} + 108\sqrt{6})\pi/1936 \approx 0.376$ (Type-III)という3つのカテゴリーに分類され得る。

3. <110>6方向の円柱充填構造は立方晶系に属さない

立方晶系の<110>の6方向の円柱を用いて円柱充填構造を生成することが可能であるが、それらはいずれも立方晶系には属すことはない。この事は理論的に説明可能である[4][6]。

立方晶系に属す円柱充填構造が存在すると仮定する。3回回転軸[111]に関する 120° の回転操作により、B[1 -1 0], F[0 1 -1], および D[-1 0 1]の3方向に平行な円柱は、循環的に B→F, F→D, D→B と変換される。3回回転の対称性は、B, F, D 方向と平行な円柱が同一平面(111)上にあることを要求する。したがって、その平面上でその3方向の円柱が互いに交差することは不可避である。立方晶系の<110>の6方向からなる非交差の円柱充填構造の存在は、3回回転の対称性と両立せず、そのような円柱充填構造は立方晶系に属さないことが結論される。

文献

- [1] O'Keeffe, M & Andersson, S., "Rod packings and crystal chemistry", *Acta Cryst. A* **33** (1977) 914-923.
- [2] 土方明躬、福多健二、「三次元多軸複合材料の組織」、日本複合材料学会誌、**18-6** (1992) 231-238
- [3] 手嶋吉法, 「剛体円柱の集合がとり得る構造の研究 --- 周期6軸構造を中心として ---」, 物性研究, **65-3** (1995) 405-439
- [4] Teshima, Y. Watanabe, Y. & Ogawa, T. "A new structure of cylinder packing", *Springer-LNCS* (2001) **2098**, 351-361.
- [5] O'Keeffe, M., Plevert, J., Teshima, Y., Watanabe, Y. & Ogawa, T., "The invariant cubic rod (cylinder) packings: symmetries and coordinates", *Acta Cryst. A* **57** (2001) 110-111.
- [6] Teshima, Y. & Matsumoto, T., "Space Group of Heterogeneous Cylinder Packing with Six <110> Directions", *Glass Phys. Chem.* **38** (2012) 41-48.
- [7] Moore, M. & Teshima, Y., "Symmetrical structures of nonintersecting Cylinders", *Acta Cryst. A* **69** (2013) s227 (28th European Crystallographic Meeting, ECM 28, UK, 2013).
- [8] Teshima, Y. Matsumoto, T. & Moore, M., "Periodic cubic <110> six-way cylinder packing structures", *Acta Cryst.* (in press), (IUCr congress 2014 in Montreal)

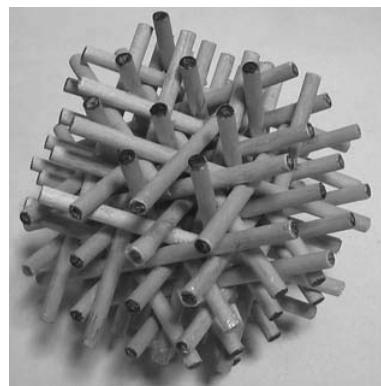


図3 立方晶系の<110>の6方向の円柱からなる円柱充填の周期構造。これは、正方晶系に属する[6]。

脳と手と腸が織りなす体性感覚と内臓感覚

濱口豊太

埼玉県立大学保健医療福祉学部作業療法学科、埼玉県越谷市三野宮 820

hamaguchi-toyohiro@spu.ac.jp

The Consequences of a Reflective Self: Visceral Perception and Somatic Sensation

Hamaguchi Toyohiro

Department of Occupational Therapy, Saitama Prefectural University School of Health Sciences and Social Services

Abstract: Somatic sensation can be localized precisely, whereas localization of visceral sensation is vague, possibly reflecting differences in the pattern of somatic and visceral input to the cerebral cortex. Here, we are discussing that cortical specialization in the sensory-discriminative, affective, and cognitive areas of the cortex accounts for the perceptual differences observed between the two sensory modalities.

Keywords: Brain Activation, Visceral Perception, Somatic Sensation

1 はじめに

私たちは内臓感覚をいつ、どのように感じているのでしょうか。驚いたときの心臓、思いっきり走った後の呼吸器、満足した夕食後の胃腸、いずれも私たちの内臓と脳が協調して各々の感覚を作っています。

腹を割って話す、とは隠し事をすることなく正直に知っていることを話すことですが、私たちの腹にある消化管はまさに、その内腔世界の物理的な現象を脳へと伝えています。逆に、脳は外界の環境からストレスを感じると、内分泌系や自律神経系の作用によって消化管知覚に影響を与えます。

一方、人間の手は物を操作するときに触れた物を体性感覚から認識する仕組みがあります。手の感覚は箸で物をつかんで消化器の文字通り入口の口に運ぶような細かな運動をするときにもとても重要です。しかし、体性感覚だけでは箸で食物を口に運ぶような運動を説明するのは困難です。

2 脳と腸のクロストーク

お腹が減ったな、あれはうまそうだ、食べてみようかな、食物を見てそのような情動を意識するか言語化するかの刹那に、すでに我々の手は動いているかもしれません。それは手を動かす前に、内臓感覚が惹起されて特定の運動が計画されていることが一因です。

では、内臓感覚を消化管と脳の関係から見てみます。現在の知見では、大腸が刺激を受けると、筋層間神経叢の感覚神経より求心性信号が生じ、脊髄後角から脊髄視床路を通り、脳内の視床という知覚の中権部へ到達することが知られています(1)。消化管を刺激すると、脳内では視床、島、帯状回、体性感覚野の信号処理により、内臓知覚が形成されると考えられています(2)。これらの脳領域は、感情と動作の神経回路としても知られています。

また、消化管を繰り返し刺激すると、扁桃核、前帯状回、海馬、島皮質の脳領域が活動して消化管知覚を感じやすくなることや、刺激の強度によっては中脳水道灰白質という痛みを抑制する神経回路が興奮して消化管知覚を感じにくくなることが知られています(3)。さらに、高次脳機能として人間が人間らしくあるための活動をする前頭皮質も、消化管知覚の意識形成に関連した活動を示す領域で、消化管知覚に異常を持つ人では内臓刺激によってこの領域が異常賦活することが示されています。

消化管が送る信号を脳が処理することによって内臓知覚が形成され、その成分の一部は痛みや不快感のような情動を伴います。内臓を起源とした情動形成に寄与する脳回路は人間の動作時にも用いられていて、このような内臓知覚は人間が腸管生物として発達してきた過程で得た原始的な知覚の仕組みによるものだと考えられます。

3 体性感覚によって可能となる運動

消化管は人間の発生の初期に、外胚葉から形成されることから、外界に接している皮膚と細胞の発生由来は同じです。しかし、私たちは皮膚に触れた物の感じを内臓感覚よりもいくらか鮮明にイメージすることや、具体的に言語化して述べることができます。これは物体に触れた感覚以外に、視覚またはそのほかの感覚から複数の知覚情報を連結させているからでしょう。

手の運動では、視覚と体性感覚を統合する仕組みが重要な働きをします。Rothwell らは末梢神経炎により肘関節から末梢の知覚を失った患者では、親指を含む片手ならびに両手の運動はできたけれども、書字や更衣のボタンかけには患手が使えなかつたことを報告しています(4)。Rothwell らはその原因のひとつに、末梢神経炎の患者は正常対照例に比べて、視覚遮蔽条件下では手のつまみ動作で母指を一定の収縮力に保つことができなかつたことを示しました。すなわち、知覚のフィードバックなしに筋収縮を随意的に一定に保つことは難しいということです。

Taub らは胎児期サルの末梢知覚神経を切断して、体性感覚の運動学習への影響を調べました。胎児期に知覚神経を切断されたサルは、その後の発達で歩行や姿勢保持に神経切断肢を使うことができましたが、手指の運動修得は難しかつたと報告されています。このように、体性知覚は運動学習において重要な役割を持っていると考えられます。

4 物と体と空間を認識する高次脳機能

私たちが物品を操作するとき、視覚と体性感覚が重要な役割を果たすことはよく知られています。Iriki らはニホンザルに熊手様の道具を使用させて、手の届かないところのエサをとらせた時の大脳皮質の活動を調べました。その結果、頭頂間溝(7b野)に手の触覚に対応する活動と標的物が手の届く位置に来たときに活動する単一ニューロンがあることを明らかにしました(5)。

このニューロンの活動は、ニホンザルが熊手をしばらく使っていると、手は届かないが熊手なら届く空間に標的物があるときに活動するようになり、熊手を使っていないと元の神経活動に戻ります。物品を操作できる動物には、物品を操作することで身体イメージを空間的に拡張する神経活動があると考えられます。

同様に、7b野には顔と手の動き、特に口と手の間で協調して運動したときに活動する Face-Hand Neuron があると言われています(6)。頭頂間溝には広い範囲で顔面・手・腕・

体幹の知覚に連動する領域があり、その近傍には視覚刺激に応答するニューロンがあることから、この領域は複数の感覚・運動情報が統合される領域と目されています。

大脳皮質頭頂連合野の障害により、口部運動障害（口部失行）や日常慣用の物品操作障害（観念失行）を生じます。口と手の双方に受容野をもつニューロンは食事行動のような空間的に手と物と口とを協調的に運動させるのに重要な役割と果たします。このような巧みな物品操作のための運動には、体性感覚と物体の認識に関わる高次脳機能が関わっています。

5 おわりに

腸管生物として発達した私たち人間は、食物を消化してエネルギーを得て生活します。食物を口に運ぶために操作する手や道具の運動は、まさに脳と手と消化管が成す技術を考えることができます。物体を認識する人間の脳をよく理解するには、信号を処理する脳内回路だけでは不十分で、脳への信号を送る体をよく観察する必要があります。腸の運動、手の運動、そのときの脳の活動、これらを概観してみると、人間の行動が体内の感覚に依存していることがよくわかります。

参考文献

- (1) Craig AD. How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat Rev Neurosci.* 2002;3:655–66.
- (2) Hamaguchi T, Kano M, Rikimaru H, Kanazawa M, Itoh M, Yanai K, Fukudo S. Brain activity during distention of the descending colon in humans. *Neurogastroenterol Motil.* 2004;16:299–309.
- (3) Hamaguchi T, Kano M, Kanazawa M, Itoh M, Yanai K, Fukudo S. Effects of preceding stimulation on brain activation in response to colonic distention in humans. *Psychosom Med.* 2013;75:453–62.
- (4) Rothwell JC, Traub MM, Day BL, Obeso JA, Thomas PK, Marsden CD. Manual motor performance in a deafferented man. *Brain* 1982;105:515–42.
- (5) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y. Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport* 1996;7:2325–30.
- (6) Yokochi H, Tanaka M, Kumashiro M, Iriki A. Inferior parietal somatosensory neurons coding face-hand coordination in Japanese macaques. *Somatosens Mot Res* 2003;20:115–25.

佐渡島沢根層から産出する珪藻化石の個体数の変化

坂本 悠莉
新潟第一中学校 2年 新潟市中央区関屋

Change in abundance of diatom shells in the Sawane Formation in Sado Island, Niigata Prefecture

Yuuri Sakamoto
Niigata Daiiti Junior High School

Keywords: abundance, diatom shell, Sawane Formation, Sado Island

1. 研究の目的

珪藻（図1）はガラス質の殻を持っており、その殻は層のようになっている。表面には胞紋と呼ばれる微細な穴がある。本研究は、佐渡島の沢根層に含まれる1 g当たりの珪藻化石の個体数を2つの試料について比較して、その差を明らかにすることとした。

2. 研究方法

- ① 計量した試料をふるいにかけ、乾燥させたものを分割器にかける。
- ② ①で分割した試料でプレパラートを作る。
- ③ 光学顕微鏡でプレパラートの中の珪藻の写真を撮る。
- ④ 試料ごとの個体数を求め、比較する。

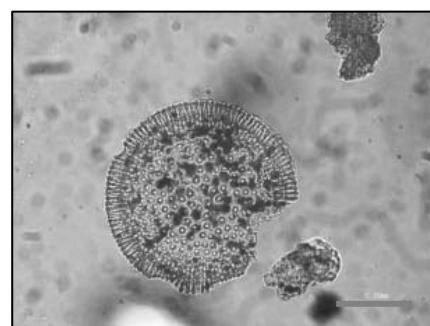


図1 IT12090401 の珪藻の光学顕微鏡写真。

スケールは 0.1mm.

3. 結果と考察

最初に1 g当たりの珪藻の個体数（x）を、以下のように比を使って求めた。

$$1 \text{ (g)} : x = \text{分割した試料 (g)} : \text{分割した試料内の珪藻の個体数 (個)}$$

この結果、本研究で用いた沢根層下位の試料IT12090401の個体数は957個体で、沢根層上位の試料S-AAの個体数は175個体であった。これらを比較すると、2つの試料の間で782個体もの差があった。したがって、下位の試料の個体数より上位の試料の個体数の方が極端に少ないことが明らかになった。

4. 今後の展望

今回の珪藻の個体数の比較から、個体数が上位に向かうにつれて減っていったのではないかと予想した。このような予測から、ほかの地点での個体数についても調べたい。その結果、もし珪藻の個体数が減っているのならば、どうしてなのかを調べたい。また、このほかに、珪藻の進化についても研究したいと思う。

福井県産ジュラ紀アンモナイト

Pseudoneuqueniceras yokoyamai の殻形態の復元

白井 総真

新潟市中野小屋中学校 二年 新潟県新潟市西区中野小屋 932

Reconstruction of shell morphology on Jurassic ammonite

Pseudoneuqueniceras yokoyamai from Fukui Prefecture

Soma Shirai

Keywords: ammonite, *Pseudoneuqueniceras yokoyamai*, ribs, shell morphology

はじめに

今まで“アンモナイトの復元”を目標に、アンモナイトの形や肋の比較、また、肋の種類と配列順序について研究してきた。肋とは、アンモナイトの殻に見られる線状の突起のことである。今回の研究では、これまでの研究により“分かったこと”“学んだこと”そして、“研究結果”を活用し、圧縮されて平たくなったアンモナイトの形を復元することにした。

研究方法

- ① *Pseudoneuqueniceras yokoyamai* を観察する。主に、それぞれ違う特徴を持った3つの標本を観察。
- ② 一番、完全体に近い標本を正面、両脇など、様々な角度からスケッチする。
- ③ ②のスケッチと①3つの標本の特徴(情報)を組み合わせて完全体を試作
⇒完全体を作成

結果

今回、*Pseudoneuqueniceras yokoyamai* の3つの個体から、この種の特徴を読み取った。

スケッチをする際、個体の両脇(横)を描くとき殻のもう半分側をどのように描けばよいのか。

これを解決する際、あまり発想が浮かばず悩んだが、結果的にある特殊な標本により肋が左右対称に配列していることに気付いた。

発掘される化石は全体的に潰れていて、本来の(生きていた時の)殻の厚みが分からない。殻の直径と厚みの比率をどのように求めればよいのか。それは、砂岩から採れた変形のない珍しい標本によって、殻の直径と厚みの比率を8:1と計測出来た。この比率を使って、

P. yokoyamai の圧縮前の姿を復元することが出来た(図1)。

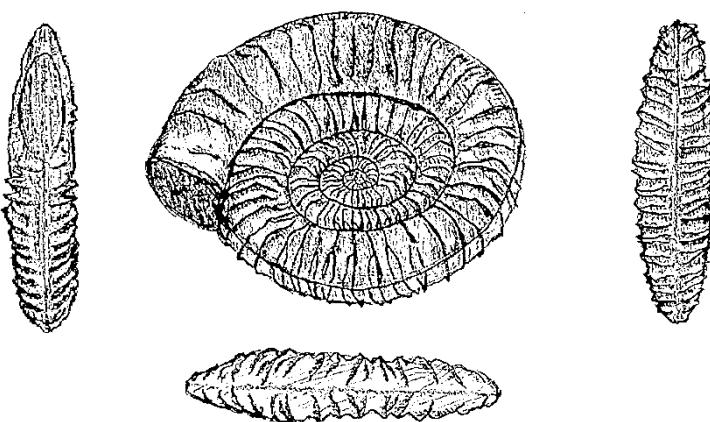


図1：3つの標本から1個体復元出来た。

理化学研究所における結晶学研究の歴史

渡辺泰成*,**, 池上祐司**,***

*千葉工業大学付属総合研究所 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

**科学芸術学際研究所 ISTA、〒351-0036 埼玉県朝霞市北原 2-5-28 鈴木第 2 ビル 211

***理化学研究所、〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

wistajp@gmail.com

Aperiodic 3D tiling by self-similar substitution method using solid unit

Y. Watanabe*,**, Y.Ikegami**,***

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

** Interdisciplinary Institute of Science, Technology and Art (ISTA)
2-5-28 Kitahara Asaka, Saitama 351-0036

***Institute of Physical and Chemical Research(RIEN)
2-1 Hirosawa Wako, Saitama 351-0198

Abstract: 100 years have run their course since the Novel Prize for physics was won to Max.von.Laue in 1914. UNESCO determined that this year is “International Year of Crystallography” as a 100th anniversary from the first discovery of X-ray diffraction of copper sulfate. We introduce history of X-ray Crystallography in the Institute of Physical and Chemical Research(RIKEN).

Keywords: International Year of Crystallography, X-ray diffraction, Max.von.Laue

ユネスコは X 線の結晶による回折現象を発見したフォン・ラウエの業績を記念して、彼がノーベル賞を受賞した 1914 年から 100 年経った 2014 年を「国際結晶年」と定め、記念行事が世界各地で催されている。このイベントの一つとして理化学研究所における回折結晶学研究の歴史を振り返る。

西暦	研究室・研究者(業績)
1912	マックス・フォン・ラウエ(硫酸銅の白色 X 線回折)
1913	寺田寅彦(X 線回折による岩塩の単結晶の構造) 西川正治(世界で初めて繊維構造物質の X 線回折実験)
1914	マックス・フォン・ラウエ(ノーベル物理学賞:結晶による X 線回折現象の発見)
1915	ヘンリー・ブレッガ、ローレンス・ブレッガ(ノーベル物理学賞:X 線構造解析に関する研究)
1917	西川正治(学士院賞:スピネルの原子配置の研究)理研創設に参加
1924～1949	西川研究室創設 寺田寅彦 理化学研究所兼任 仁田勇(有機物の結晶構造解析)
1940～1946	菊池研究室 菊池正士(菊池線の発見)
1953	ハーバート・ハウプトマン(「位相問題の解決 1 中心対称性を持つ結晶」)
1962～1977	結晶物理研究室蘿原仁(ジチオ酸錯体の結晶構造解析)
1962～1978	櫻井敏雄(結晶構造解析のユニバーサルプログラムシステム(UNICS))
1976	岩崎 準(日本結晶学会賞:回折対称の上昇に関する研究)
1978～1995	結晶学研究室:岩崎準(数理結晶学、結晶構造解析、非晶質構造解析)
1982	ダニエル・シェヒトマン(AlMn 合金の 5 回対称準結晶の発見)
1985	ジェローム・カール、ハーバート・ハウプトマン(ノーベル化学賞:結晶構造を直接決定する方法の確立), 分子構造解析室発足
1986	渡辺泰成・伊藤正久・相馬嵩(自己相似法による 2 次元オクタゴナル準結晶格子モデル) 渡辺泰成、相馬嵩(3 次元テトラゴナル相準結晶格子モデル)
1987	郭可信(NiCrSi オクタゴナル相準結晶発見)
1992	渡辺泰成、池上祐司(サイエンスアート展ヒシンポジウム「サイエンティフィックアートの世界」)
1997	大型放射光完成:蛋白等巨大分子構造解析のための構造生物学グループ発足
2011	ダニエル・シェヒトマン(ノーベル化学賞:準結晶の発見)

WORLDEYE を用いた球面上のパターンの表示

吉野 隆

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

Displaying the Patterns on Spherical Surface Using WORLDEYE

Takashi Yoshino

Toyo University, Kujirai 2100, Kawagoe 350-8585

Abstract: We demonstrate displaying the patterns on spherical surface using WORLDEYE, which is an educational toy produced by GAKKEN. This toy projects the 2D image to hemisphere. We show our method of transformation from spherical data to 2D images and examples obtained using the method.

Keywords: WORLDEYE, spherical surface, projection to hemisphere

学研が販売している WORLDEYE は半球上に球面上のパターンを表示できる教育玩具である。この玩具は、USB メモリに保存されている静止画や動画もしくは HDMI 端子からの入力を半球面に投影することができる。地球や月の表面や天球に関係した情報を、静止画としてのみではなく動画としても表示することができるために、その価値は高い。しかし、この原稿を作成している時点では、WORLDEYE の説明書やホームページ[1]に「どのようにしてデータを作成すればいいのか」という情報はない。そこで、この展示では、データの作成方法とその作成例を紹介する。

球面データから平面データへの変換はステレオ投影の式で行うことができる。以下では、 (x, y, z) は単位球面上の座標を表し、 (X, Y) は 2D 画像上の点を表す。ただし、 $x^2 + y^2 + z^2 = 1$, $z \geq 0$, $-1 \leq X \leq 1$, $-1 \leq Y \leq 1$ である。WORLDEYE の焦点距離が不明だったために、適切な焦点距離を何度か試行して見つけなければならなかつた。数回の試行の結果、以下の式で十分であることがわかった。

$$X = 2x / (2 + z), \quad Y = 2x / (2 + z)$$

点 (x, y, z) 上に塗られていた色で 2D 画像上の点 (X, Y) を塗ることによって、球面データから平面データへの変換が可能になる。ただし、縦横が n 画素であるような画像を作りたい場合には、 X と Y に対してさらに拡大と平行移動を行わなければならないことに注意する。

今回は、WORLDEYE の形の科学研究へ応用例として、球面上で計算された Turing Pattern の時間発展[2]を表現する動画を制作した。展示会場では、この例をもとにして動画の詳しい制作過程も紹介したい。

参考文献

- [1] 学研 WORLDEYE, <http://www.gakkensf.co.jp/worldeye/>
- [2] 吉野隆, 松岡篤, 球面上のチューリング・パターンの基本的な構造, 形の科学会誌 28(2), 156-157(2013) (シンポジウム予稿)

拡張現実(AR)教材による協調的学習増進の可能性

土田祥平、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

tucchy040405@gmail.com, shumats0@gmail.com

Possibility of Improving Collaborative Learning by Augmented Reality Teaching Materials

Shohei Tsuchida, Shu Matsuura

Tokyo Gakugei University, Faculty of Education

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

Abstract: Augmented reality replace simple markers placed on the real objects with virtual objects in the output scene of the reality. These virtual objects are programmable and can play in the reality. We created a teaching material of a simple ecosystem simulation using virtual plants, insects and birds to form food chain. Participants played roles of this ecosystem by handling AR markers. It was suggested that the students were motivated actively to participate in the virtual ecosystem.

Keywords: Augmented Reality Technology, Collaborative Learning, Classroom Activities

1. はじめに

拡張現実(Augmented Reality, AR)とは、知覚できる環境を、仮想現実を用いて拡張する技術である。近年教育用途にも用いられる AR では、マーカーを配置した実空間シーンをカメラで撮影し、マーカーの画像入力に応じてコンピュータで描画した AR オブジェクトを実空間シーンに挿入する。この映像を通常スクリーンやディスプレイなどで視聴する。

現実を拡張するという意味では、実物体を動かすなどして干渉すると AR オブジェクトがこれに反応してフィードバックするといった機構を通じて、AR が物体と観察者のインタラクションを促進する役割を果たすことが望まれる。我々はこれを、AR 映像をターゲットの物体にプロジェクションマッピングすることによって実装する例を開発している。

本研究ではさらに、教室での協同的学習に適合する教材として、参加者にマーカーを保持させ、マーカー同士のインタラクションをもとにしたシミュレーション教材を試作した。試作過程で、シミュレーションの実行のみならず、参加者自身がシミュレーションのシナリオに直接参加して現象を確認していく、参加性の高さに有利性があるように感じられた。本研究は端緒についたばかりであるが、AR 教材の可能性として議論したい。

2. 多人数参加型 AR 教材試作

ARToolkit を開発環境とし、図形描画には OpenGL を用いた。Panasonic Let's note CF-S10 に Logicool Webcam C615 を接続して実景およびマーカーを撮影し、出力画像は液晶プロジェクターでスクリーンに映写した。参加者はこのスクリーン画像を観察した。小型の団扇骨に白地に黒枠内に数字を入れた AR マーカーを参加者が 1 人 1 つずつ保持した。

白地コピー用紙へのレーザープリンタでの印字では、室内蛍光灯光の反射などの影響でマーカーの読み取りが不安定になる場合があった。そこで、白と黒のフェルト生地でマーカーを作成した。このフェルトマーカーは照明下で反射が少なく、読み取りが良好で、ARオブジェクトの描出が安定した。夜間の食堂における実践での各マーカーの識別率を図1に示した。

試作したコンテンツでは、稻、イナゴ、鳥の3種のARオブジェクトを出現させた。各個体数はロトカ・ボルテラ方程式に従って変動させ、個体数の増減や死滅などを各ARオブジェクトの大きさと色で表現した。

3. 参加性について

本教材では、各自が、保持したマーカーをカメラが認識できないようにすると、対応した生物が一定量減少してシミュレーションが進む。参加者自らが生態系の変動に参加して、生態変化のシナリオに影響があることを、自ら加わっている映像でリアルタイムに確認できる。この視覚的フィード

バックは、シミュレーション画像のみの表示よりも、一人一人の参画意識を高める効果があるようだ。人の参加という実体世界に仮想世界のシミュレーションを結びつけることで、仮想世界の学習を協同的にするということは、AR利用の1つのメリットになるだろう。

4. おわりに

ARにより参加者をシミュレーションの世界に結びつける試みを行った。参加者を要するであるが、協同的な学習の場としての教室で学習を楽しくする役割が期待される。

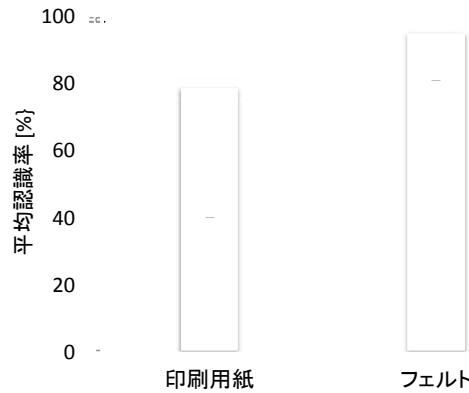


図1. 下地の素材によるマーカーの認識率の比較。室内蛍光灯下で20枚のマーカーを保持し、1分間画像入力を継続した場合の比較。誤差棒は標準偏差の値。



図2. 懇親会会場でのデモンストレーション。

左:20名の学生がマーカーを手にして、映写スクリーンに注目しているところ。右:学生のマーカーによりARオブジェクトが描出された、スクリーンの出力映像。

タブレットで共有する迷路づくり小学生向け教材の試み

神嶋凌介、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

kami.ryo108@gmail.com, shumats0@gmail.com

Creation of a Learning Content of Making Mazes Shared through Tablet.

Shohei Tsuchida, Shu Matsuura

Tokyo Gakugei University, Faculty of Education

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

Abstract: A maze-making activity was practiced in a 5th grade class of an elementary school. Groups of 4 students created mazes by drawing walls on a 8×8 square lattice, and share pictures of them via a iPad-Webdav server system. Students solved mazes of other groups' mazes, and discussed the way to make mazes more difficult to solve. By reconstructing the parts of the maze in a collaborative way at the same time, a more complex maze was made in a short time.

Keywords: Augmented Reality Technology, Collaborative Learning, Classroom Activities

1. はじめに

初中等教育や特別支援教育で、児童・生徒に iPad などのタブレットを配布しての授業実践が増えている。種々の教育用アプリの利用や、撮影機能の活用が一般的であり、その直観的インターフェースにより児童・生徒は抵抗無く使いこなすことが見られている。また、教室用の電子黒板も複数 iPad との連携機能を備えるようになり、児童・生徒の iPad での活動を電子黒板上で共有できるようになっている。

本研究では、iPad を用いて教室内で協同的学習を促進することを最終目的として、小学校の児童の班活動を iPad を通じて共有することの実験を行った。共有のために、教室内のみの内部ネットワークと Web サーバーを設置し、これを児童が問題なく利用できるかどうかを検討した。

2. 迷路の試行授業

都内の市立小学校 5 年生の 1 クラス（男女各 13 名）を対象に、班ごとに迷路を作成し、他の班の迷路作品を解き、難しい迷路を作る方法を 2 校時 95 分の活動を通じて検討させた。Apple OSX Server にて Web サービスを立ち上げて WebDav にてファイル共有できるようにし、AirMac Extreme で内部ネットワークを構成した。



図 1. 班のメンバー全員で同時に、迷路の様々な部分を再構築しあう様子。

児童 3~4 名の班に分かれ、9×11 の正方格子に固定した入り口と出口をつなぐ 2 次元の迷路を書かせた（図 1）。迷路作成には次のような規則を設けた。①正解の径路は 1 つだけ。②ループは作らない。③格子に壁を引いて径路とする。④径路の道幅は単位格子の大きさとする。

1 回目の迷路作成後、迷路を iPad で撮影し、その画像を webdav により、班ごとに分けたフォルダに転送させた。その後、他の班の迷路画像を 1 つ 1 つダウンロードする手順を指導した。この指導は 1 回一斉に行なったが、たちまち手順をマスターして反復していた（図 2）。他の班の迷路を、タイムを計りながら解き、そのタイムは集計して結果を示した。本迷路では分岐点の近傍に行き止まりがあるとすぐに見破られてしまう、ということをヒントにして話し合せ 2 回目の迷路作成、解答、集計、まとめを行った。

3. 児童の活動

迷路は分枝構造である。脱出時間を大きくする見地からは、入り口近くから分岐があること、分岐数と枝長が大きいことが必要になる。後 2 者は反比例の関係にあるが、近傍に行き止まりができるのを避ける意味では枝長を優先することが考えられる。

図 3 に 1 回目作成の迷路の分岐数と、2 回目での分岐数増加を、1 次枝と 2 次枝についてプロットした。何れの次数でも枝数を増やした班と減らした班が見られ、1 回目の枝数が大きい班はやや枝を減らす傾向が見られた。図 4 には各次数の枝の全長の変化を示した。全長が長かった班はそれを減らそうとした傾向が見られる。

興味深いこととして、1 人が中心的に迷路作成して他の児童がコメント・修正していく班が多いのに対し、タイムのかかる迷路を作成した班では全員が、図 1 のように同時に全員で様々な部分を書いては消すことを繰り返していたことである。1 人が書いても別の 1 人が書き直すということをランダムに実行していた。その班では、難しい迷路づくりのコツとして、全員で同時に書き込むこととコメントしていた。

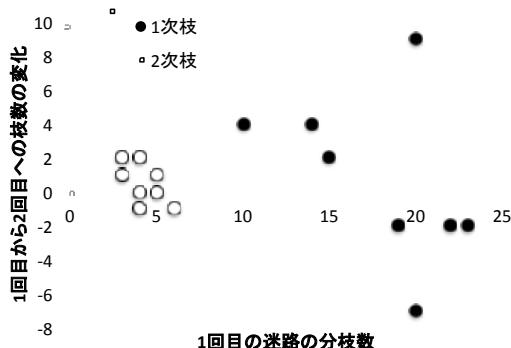


図 3. 1 回目の迷路から 2 回目の迷路への 1 次および 2 次枝の総数の変化。



図 2. iPad から WebDavNaivigator アプリを用いて班ごとにアップロードした迷路画像をリストを見て、他の班の迷路をダウンロードする様子。

図 4 に 1 回目作成の迷路の分岐数と、2 回目での分岐数増加を、1 次枝と 2 次枝についてプロットした。何れの次数でも枝数を増やした班と減らした班が見られ、1 回目の枝数が大きい班はやや枝を減らす傾向が見られた。

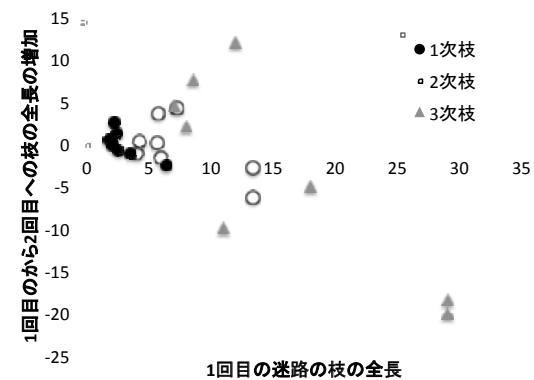


図 4. 1 回目の迷路から 2 回目の迷路への 1 次および 2 次枝の全長の変化。

結晶学教材の開発—空間を隙間無く埋め尽くす形

手嶋吉法（千葉工業大学）、渡辺泰成（千葉工業大学附属総合研究所、科学芸術学際研究所 ISTA）、池上祐司（理化学研究所）、山澤建二（理化学研究所）、西尾晋作（帝京平成大学）、松本崧生（金沢大学名誉教授）

Development of crystallographic teaching materials

Yoshinori TESHIMA*, Yasunari WATANABE, Yuji IKEGAMI,

Kenji YAMAZAWA, Shinsaku Nishio, Takeo Matsumoto

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

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

著者らは、3次元空間における対称性の概念の体得に役立つような、様々な結晶学教材を開発している。本稿では、合同な多面体1種類だけを用いて、空間を隙間なく埋め尽くす（3次元タイル張り）結晶学教材を紹介する。使用者は、積木遊びをする感覚で多面体を手で操作することにより、対称性に対する理解を深めることが出来る。

著者らが作製した模型を図に示す[1]。図1(a)は、立方体の集合による3次元タイル張りである。正多面体5種類の内、唯一立方体だけが空間を隙間無く埋め尽くす。立方体は、単純立方格子の格子点に対するボロノイ分割から得られる形である。図1(b)は、切頂8面体の集合による3次元タイル張りである。準正多面体（半正多面体）の内、唯一切頂8面体だけが空間を隙間無く埋め尽くす。切頂8面体は、体心立方格子の格子点に対するボロノイ分割から得られる形である。図1(c)は、菱形12面体の集合による3次元タイル張りである。双対多面体の内、唯一菱形12面体だけが空間を隙間無く埋め尽くす。菱形12面体は、面心立方格子の格子点に対するボロノイ分割から得られる形である。

特別な形の多面体だけが、空間を隙間無く埋め尽くせる訳だが、この性質をもつ形は無数に創り出せる。図1(d)は、非自明な形状であり、「木」をイメージしてデザインされた凹多面体である[2]。この形による3次元タイル張りも結晶構造となる。

参考文献

- [1] Teshima, Y., Watanabe, Y., Ikegami, Y., Yamazawa, K., Nishio, S. & Matsumoto, T., "Development of teaching materials to learn crystallographic symmetry", *Acta Cryst.* (in press), (IUCr congress 2014 in Montreal)
- [2] Watanabe, Y., Ikegami, Y., Murakami, Y., Yamazawa, K., & Teshima, Y., "Building of three dimensional Escher patterns by Layermanufacturing", *Acta Cryst.* (2008) A64, C634-635, (IUCr congress 2008 in Osaka)

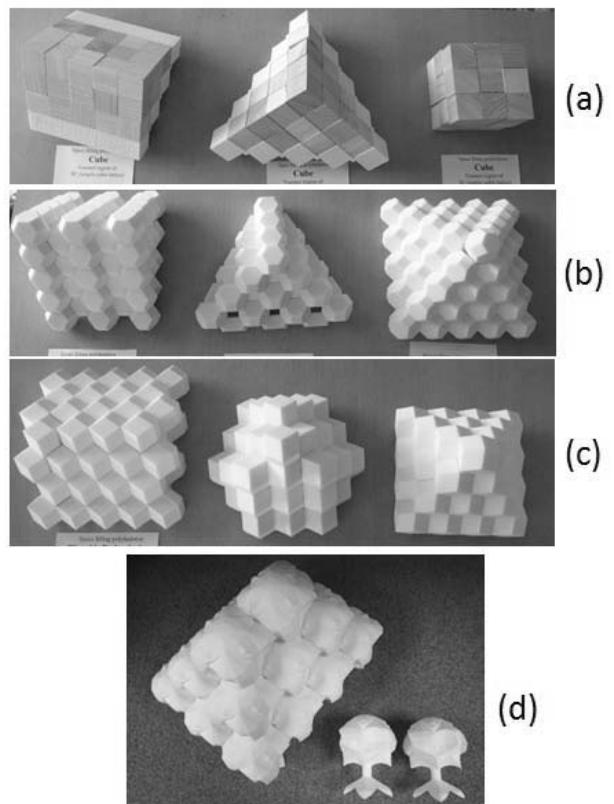


図1 開発した結晶学教材。空間を隙間なく埋め尽くす形。

- (a)立方体（単純立方格子のボロノイ分割）による埋め尽し
 - (b)切頂8面体（体心立方格子のボロノイ分割）による埋め尽し
 - (c)菱形12面体（面心立方格子のボロノイ分割）による埋め尽し
 - (d)木をイメージした形（凹多面体）による埋め尽し
- (a)～(c)の各々において、左図は2回回転対称軸が、中央図は3回回転対称軸が、右図は4回回転対称軸が、鉛直方向に現れる。

結晶の折り紙モデル（展示）

石原 正三

埼玉県立大学 保健医療福祉学部、

〒343-8540 埼玉県越谷市三野宮 820 番地

shozo@spu.ac.jp

Origami-models of Crystal Structures

Shozo ISHIHARA

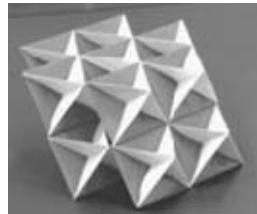
School of Health and Social Services, Saitama Prefectural University,

820 Sannomiya, Koshigaya, Saitama 343-8540, Japan

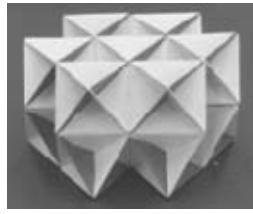
Abstract: Some Origami-models of typical crystal structures, e.g. face-center cubic and hexagonal closed-packing structures, are exhibited. It should be noted that owing to a wide variety of colors, Origami-models of crystal structures represent the periodicity, the repetitions of atoms, in a crystal, vividly, and that it is possible for most of students to grasp the properties of the three-dimensional structure, intuitively, after they make Origami-models of a crystal by themselves.

Keywords: Crystal structure, Origami-model, Periodicity

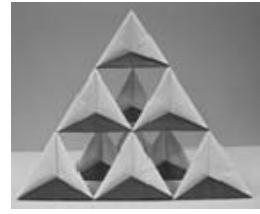
これまでに制作した、基礎的な結晶構造や結晶学的に重要な結晶構造の折り紙モデルを展示する。作品例として展示する結晶の折り紙モデルの一部を図1に示す：



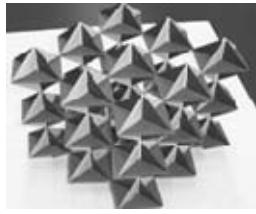
(a) 立方細密充填構造



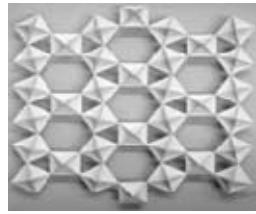
(b) 六方最密充填構造



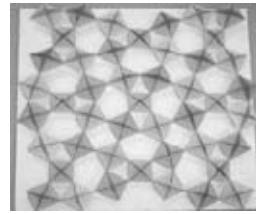
(c) ダイヤモンド構造



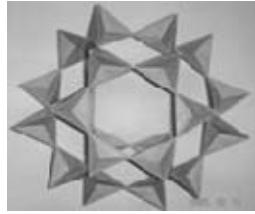
(d) ペロブスカイト構造



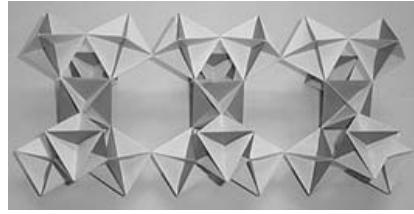
(e) 六方晶タングステン・ボロン構造



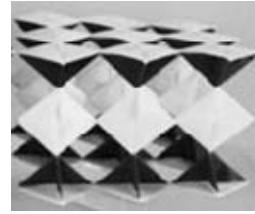
(f) 正方晶タングステン・ボロン構造



(g) ゼオライト構造



(h) パイロクロア構造



(i) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO)

図1 結晶の折り紙モデルの作品例

○新入会の皆様(敬称略)

椎野 勇太

新潟大学理学部地質科学科

○新入会の皆様のご紹介(敬称略)

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

椎野 勇太

A: 機能形態学、バイオメカニクス、進化形態学 **B:** 生物形態の機能と進化

絶滅した生物の奇妙な形に興味があり、形の備えた「生きる」ための特性について研究しています。特に、古生代(5.4~2.5億年前)と呼ばれる太古の海に繁栄した二枚貝様生物の腕足動物および節足動物の三葉虫を題材に、形の機能解析に取り組んでいます。古生物の生き方を明らかにし、進化や絶滅のメカニズムについて理解を深めることが目標です。

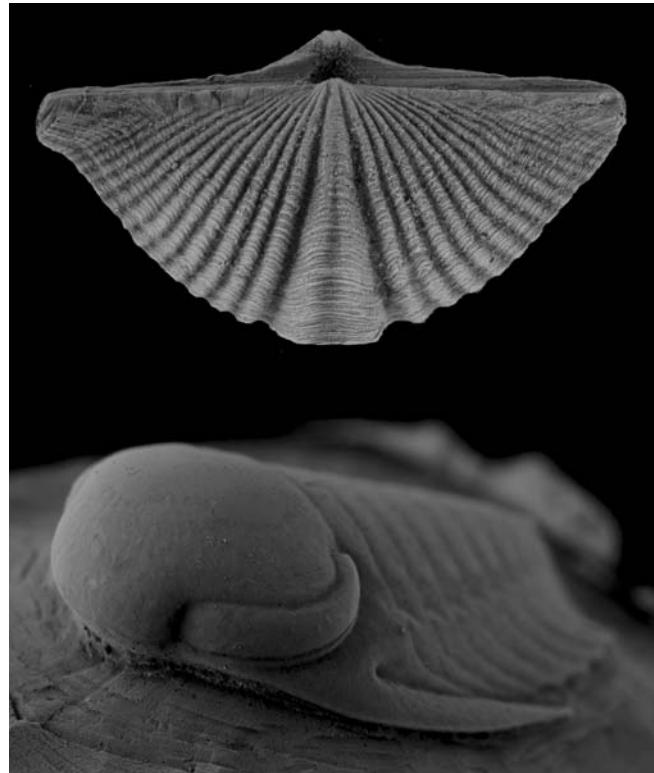


図. 腕足動物マクロスピリファー(上)と三葉虫ハイポディクラノタス(下)

白井 総真(2013年度入会ジュニア会員)

新潟市立中野小屋中学校

A: 化石の研究 **B:** アンモナイトのスケッチをする事で、かたちからその研究をしている

昨年六月、糸魚川の学会よりお世話になっています、白井総真です。小学六年生で新潟大学理学部の講座を受けたことから、松岡先生の下でアンモナイトの研究ができることになり、幼稚園時代からの夢が叶いました。

現在の研究方法は、まず、化石のノジュールをクリーニングする(化石の入っていると思われる岩石から、タガネなどを使って少しづつ化石を取り出す作業)。そして、細部にわたって観察しスケッチする、最後に複数の標本を比較し、形状の特徴を十分に理解した上で、推察を加えて復元をする、という流れです。クリーニ

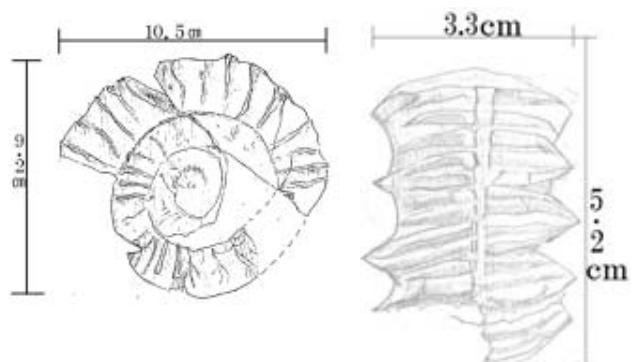


図1. 固体ごとのスケッチ



図2. 最終的な全体復元図

ングは地道な作業ですが、僕の一番好きな作業です。

スケッチという手段で形に着目する方法は、取り掛かりやすい上に可能性は無限です。ですが、しばしば根気強さが必要になります。細部まで着目し何かに気付く観察力や、多くの理学の知識があれば今後は研究結果が深めて行けると思うので、他の分野へ活かされる様な研究にできるよう努力していきたいです。よろしくお願いします。

○流れの画像データベースのご案内

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

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

この中の、”Flow Visualization”

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

は流れを可視化した高解像度の貴重な画像です。ぜひ一度ご覧ください。

○平成 25 年度をもって御退会の皆様

(故) 斎藤 尚生 東北大学名誉教授

鶴 三郎 株式会社東亜ブック

市村 豊 バブコック日立（株）

田中 和子 京都大学大学院文学研究科

田中 健治 名古屋大学名誉教授

戸田 貴久 独立行政法人 科学技術振興機構

鎌倉 快之 大阪工業大学大学院情報科学研究科

岩城 和哉 東京電機大学理工学部

(故) 佐竹 正雄 東北大学名誉教授

(故) 永瀬 克己 法政大学工学部建築学科

○ご逝去

形の科学会より、謹んでお悔やみ申し上げます。

斎藤 尚生 先生 東北大学名誉教授

宇宙空間物理学のご研究に従事されていました。形の科学会では、物理学と芸術を結ぶエキサイティングなご研究を発表してくださいました。

佐竹 正雄 先生 東北大学名誉教授

材料工学の領域で、粒状体の連続体数学や材料の不均一性の統計幾何的解析、摩擦を力学空間のゆがみとして捉える解析などのご研究をされました。

永瀬 克己 先生 法政大学工学部

建築学で、建築形態論をご研究でした。沖縄の建築や文化の形成を分析されていました。2013 年末に急逝されました。

事務局からのニュースメール

本記事は形の科学会ニュースメールの内容抜粋です。（問合せ：事務局松浦執 shumats0@gmail.com）
(お詫び：会誌 28 卷第 3 号のニュースメール記事が誤って過去の記事になっていました。)

2013 年 11 月 17 日

○第 76 回形の科学シンポジウム無事終わりました

今回はジュニア会員のポスター発表 2 件、講演 1 件が行われ、記念すべきシンポジウムとなりました。
学生の方も発表も多く、みなさんレベルの高い研究でした。

さて、会場で、ソニー製の AC 電源アダプタの忘れ物がありました。世話人の塩澤先生のもとで保管されています。お心当たりのかたはご連絡ください。

2014 年 1 月 20 日

○平成 26 年度形の科学会賞候補者推薦について

形の科学会学会賞担当幹事 宮本 潔

厳冬の候、ますますご清祥のことと拝察いたします。
さて、平成 26 年度の学会賞候補者の推薦受付を行います。締切りは平成 26 年 3 月 3 日（月）です。本年も功労賞、論文賞および奨励賞の推薦をお願いしたいと思いますので、下記の学会賞規則をお読みのうえ、ふるってご推薦の程お願いします。推薦書の様式は、形の科学会公式 Web サイト (<http://katachi-jp.com/>) からファイルをダウンロードできるようにします。

平成 19 年 6 月 16 日運営委員会で修正後、総会で承認された学会賞規則

平成 19 年 6 月 16 日

形の科学会賞規則

1. 賞の種類

形の科学会功労賞

対象者は、学会の創立や発展、または形の研究に多大の貢献をし、優れた功績がある生存者。受賞者は原則として毎年 1 名とする。ただし、前年の経緯等を考慮して複数名に授与することができる。候補者の順は、1. 会員、2. 非会員とする。

形の科学会論文賞

対象者は、形の科学に関する研究に多大の功績がある生存者。受賞者は原則として毎年 1 名とする。ただし、前年の経緯等を考慮して複数名に授与することができる。候補者の順は、1. 会員、2. 非会員とし、FORMA あるいは形の科学会誌に研究発表した者を優先する。

形の科学会奨励賞

対象者は、形の科学に関する優秀な論文を誌上発表した、受賞年度初頭に 40 才以下の生存者。候補者の順は、1. 会員、2. 非会員とし、FORMA あるいは形の科学会誌に研究発表した者を優先する。

2. 受賞者決定法

2.1 事務局は会員に形の科学会賞候補者推薦書（以下推薦書という）を配布し、候補者を自薦、他薦で募集する。

2.2 自薦の場合は候補者が、他薦の場合は推薦者が、下記の候補者用書類を学会賞幹事宛に送る。既に誌上発表された受賞対象論文（別刷 2 部添付）および論文リスト（論文賞、奨励賞）、履歴書、および推薦書

2.3 応募期限内に候補者が推薦された場合、会長は、学会賞担当幹事と協議して、形の科学会賞選定委員会を任命し、選定委員会を設立する。構成は、下記とする。
会長、学会賞担当幹事 1 名、名誉会員 1 名、運営委員 2 名

幹事が選定委員長になる。

2.4 選定委員会は受賞対象論文の査読者を選定して査読を依頼する。

2.5 選定委員長は選定委員会を招集して 2.2 項に定める候補者の書類および査読結果について審議を行い、該当者があれば受賞者を決定する。他薦の場合は本人の希望を確認する。

2.6 選定委員が候補者になった場合は、選定委員を交替する。

2.7 選定委員会で選定した候補者を、形の科学会運営委員会、続いて総会で承認する。

3. 表彰式

3.1 表彰式を、毎年度第 1 回シンポジウムの総会で行う。

3.2 受賞者には賞状、および賞金を贈る。賞金の額は別に定める。

4. 補足

4.1 受賞者には、受賞時のシンポジウムでの講演、FORMA や形の科学会誌に、解説等の特別寄稿を要請する。

4.2 選定委員長は、受賞の経過を会報に報告する。学会は、受賞者の請求に応じて、受賞の証明書を発行する。

2014 年 3 月 3 日

○第 77 回形の科学シンポジウム@埼玉県立大学 講演募集

下記のように、形の科学シンポジウムの講演、展示、参加を募集します。メインテーマは「ひとを支える形」サブテーマは「世界結晶年」です。多数のご応募をお待ちしております。

第 77 回 形の科学シンポジウム「ひとを支える形」（最新情報は <http://katachi-jp.com/sympo77> に掲載します）

我々の生活する社会は、家族や友人のような小集団を要素として、地域から国家に及ぶ幅広い階層を持ち、それを構成する人や人の集団は互いに支え合いながら、多様な相互関係を形成しています。互いに関係しあう集団は、その集団を構成する要素間の相互作用の性質を反映して、何らかの形を作り出すとともに、その形

は、人とモノ、モノを通じた人ととの多様な相互作用の新たな関係の進展を示唆しているのではないかでしょうか。

本シンポジウムは、社会や技術の諸相に見出せる「ひとを支える形」に注目して、その現状や将来を検討することを目的とします。保健・医療・福祉の「連携と統合」を柱として共生社会に貢献できる人材育成をめざす埼玉県立大学保健医療福祉学部では、「ひとを支える形」をテーマとする学際的な議論を通して、保健・医療・福祉の「連携と統合」に新たな視点を見出すことを期待し、本シンポジウムを共催することといたします。

また、本シンポジウムは、ユネスコの世界結晶年に参画いたします。世界結晶年はラウエのX線回折の発見から100年を記念したものです。そこでサブテーマセッションとして「世界結晶年」のセッションを設けます。結晶にまつわる様々な発表を募集いたします。
<http://katachi-jp.com/sympo77>

【会期】2014年6月13日(金), 14日(土), 15日(日)
【会場】埼玉県立大学 教育研修棟 〒343-3540 埼玉県越谷市三野宮820番地

【主催】形の科学会【共催】埼玉県立大学
【世話人】代表世話人：石原正三 〒343-3540 埼玉県越谷市三野宮820番地 埼玉大学保健医療福祉学部
電話：048-973-4149 内線：3312
E-mail: shozo@spu.ac.jp 【参加費】会員・非会員とも一般3000円、学生1000円。【懇親会】2014年6月14日(土)夕方【懇親会費】一般5,000円、学生3,000円(予定) 【公開招待講演】埼玉県立大学の教員を中心に依頼予定。

参加申し込み 形の科学シンポジウムは会員・非会員によらず講演申込、参加(聴講)ができます。なお、公開講演および展示は入場無料で公開します。

【講演および参加申込先】webサイトから申込、および概要原稿送信を受け付けます。

【講演申込締切日】2014年4月27日(金)

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

【予稿原稿提出締切日】2014年5月9日(金)

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

【参加申込締切日】2014年6月9日(月)

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

2014年3月25日

○運営委員信任投票のお願い

2014-2015年度の運営委員候補に対する信任投票のお願いを郵送いたしました。29名の候補者がいらっしゃいます。4月21日までに、事務局あてに、どうかご投票をお願い申し上げます。(年次更新のジュニア会員の皆様にはお送りしておりません)

投票方法は、1. 同封の2枚の封筒を利用して郵送(1枚の封筒は封入用、もう一枚にてご郵送) 2. ご記入いただいた投票用紙を事務局あてFAX送信 3. ご記入いただいた投票用紙をpdfにしてメール添付送信の3通りを運用しております。

運営委員が決まりましたら、役員を決め、推薦する会長を決め、総会にお諮りいたします。総会は、埼玉

県立大学での第77回形の科学シンポジウムの2日目、6月14日(土)の夕方に開催します。

2014年4月12日

○会員の納口先生の恒例雪形ウォッキングです。

第19回雪形ウォッキング宮城大会のお知らせ
大変、お待たせしました。午(うま)年の今回は国際雪形研究会史上初の宮城県開催です。栗駒山の「駒」を、運がよければご一緒に眺めたいと思います。ところで、そもそも「雪形ってなあに?」という方、ご安心ください。参加者の半分はそのような方です。遊び心さえあればまったく問題ありません。お一人でも、ご家族でも、カップルでも楽しめます。いいお友達に会えるかもしれません。

主催：国際雪形研究会・日本雪氷学会北信越支部

開催日：5月31日(土)、6月1日(日)

宿泊・シンポジウム場所：ハイルザーム栗駒(宮城県栗原市)くりこま高原駅からホテルまでバス送迎あり。プログラム：31日15時受付開始(ハイルザーム栗駒) 18時交流会(夕食) 20時ミニシンポジウム 23時真夜中の線香大花火大会 24時朝まで分科会 14日6時早朝サバメシ体験 8時30分貸し切りバス出発 9時荒砥沢崩落地、10時深山牧場、11時栗駒中学校 12時くりこま高原駅解散

参加費(予定)：15,000円(1泊2食、14日バス代込み) 必需品：遊び心(無料レンタルあり) 定員：ざっと50名くらい。第1期申し込み締め切り：4月25日(金) 問い合わせ・申し込み：〒305-0006茨城県つくば市天王台3-1 独立行政法人防災科学技術研究所 納口恭明(Dr.ナダレンジャー nhg@bosai.go.jp)

TEL 029-863-7753 FAX 029-863-7510 マル秘詳細は第2報にて、申し込まれた方にのみお知らせします。

○会費ご納入のご案内

会費ご納入のご案内を郵便でお送りしました。平成26年度の年会費をすでにお支払い済みの方にはお送りしていません。ジュニア会員の方は年度更新ですので、あらためてご案内さし上げます。請求書が必要な方は、宛先や日付、支払い年度などについてご連絡ください。よろしくお願いします。

2014年4月26日

○日本地球惑星連合2014年大会のお知らせ

形の科学会が団体会員として加盟している、日本地球惑星連合の大会がまもなくあります。

<http://www.jpgu.org> 4月28日～5月2日 パシフィコ横浜 形の科学会からは「遠洋域の進化」セッションを立てています。招待講演もあります。本年は日本地球惑星連合大会25周年ということで下記の記念式典も行われます。日本地球惑星科学連合大会25周年記念式典 日時：平成26年5月1日(木)17:15～ 場所：パシフィコ横浜会議センター1階メインホール

形の科学会誌の原稿募集

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

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

『形の科学会誌』論文投稿の案内

1 Editorial Board

編集委員長 (Chief Editor)	平田隆幸
副編集委員長 (Sub-chief Editor)	清水祐樹 (物理学・地球惑星科学)
編集委員 (Editor)	高木隆司 (物理・美術)
	渡辺泰成 (数学・幾何学)
	種村正美 (数学・幾何学)
	本多久夫 (生物)
	鳥脇純一郎 (工学)
	宮本 潔 (医学)

2 原稿投稿先

形の科学会誌への投稿論文 (original paper, review paper, 講義ノートなど) の宛て先は、編集委員長・副編集委員長・編集委員とする (宛先は下記参照)。

平田隆幸 910-8507 福井市文京 3-9-1, 福井大学 工学部 知能システム工学科

Phone: 0776-27-8778, Fax: 0776-27-8420, Email: d970062@icpc00.icpc.fukui-u.ac.jp

清水祐樹 480-1195 愛知県長久手市岩作雁又 1-1, 愛知医科大学 医学部 生理学講座

Phone: 0561-62-3311(内 2212), Fax: 0561-63-9809, Email: yuuki@aichi-med-u.ac.jp

高木隆司 192-0371 八王子市南陽台 3-3-13

Phone: 042-675-0222, Fax: 042-675-0222, Email: jr.takaki@iris.ocn.ac.jp

渡辺泰成 290-0171 市原市潤井戸字大谷 2289-23, 帝京平成大学 情報システム学科

Phone: 0436-74-5979, Fax: 0436-74-3659, Email: watanabe@cn.thu.ac.jp

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, Email: tanemura@ism.ac.jp

本多久夫 675-0101 加古川市平岡町新在家 2301, 兵庫大学 健康科学部

Phone: 0794-24-0052, Fax: 0794-26-2365, Email: hihonda@hyogo-dai.ac.jp

鳥脇純一郎 470-0393 豊田市貝津町床立 101, 中京大学 生命システム工学部 身体システム工学科

Phone: 0565-46-6633, Fax: 0565-46-1299, Email: jtoriwak@life.chukyo-u.ac.jp

宮本潔 321-0207 栃木県下都賀郡壬生町北小林 880, 独協医科大学 総合研究施設

Phone: 0282-87-2271, Fax: 0282-86-5678, Email: miyamoto@dokkyomed.ac.jp

3 投稿論文の処理過程

- 1) 編集委員は、投稿論文を受け取った時点で、論文の種類・受付日を付加してオリジナル原稿1部を副編集委員長に送る。
- 2) 編集委員は、original paper, review paper に関しては、査読者1名を決めて依頼し、修正等の過程を経て受理決定をおこなう。受理原稿は、受理日をつけて副編集委員長に送る。
- 3) 編集委員が却下(reject)と判断した論文は、編集委員が、意義申立をする権利があることを付記して著者に返却する。再投稿された論文は、元の、あるいは新たな査読者に依頼し、同様に受理・却下を決定する。その結果として却下の場合は、編集委員は書類一切を編集委員長、および（必要な部分をコピーして）副編集委員長へ送る。編集委員長がその後の処理を決める。
- 4) 編集委員に送られた論文が、自分の専門分野外と判断された場合は、副編集委員長に論文を転送する。副編集委員長は、もっとも適当な編集委員に論文を転送する。（しかし、形の科学の広い立場から、なるべく査読を引き受けてください）
- 5) 査読を必要としないもの（エッセイ、交流等）に関しては、別に査読者を決めず、編集委員の判断で著者に修正を依頼したり、受理の決定をする。受理原稿は、副編集委員長に送る。なお、編集委員が、形の科学会誌の原稿として不適当であると判断した場合は、original paper, review paper の処理に準じて、編集委員長がその後の処理を決める。また、シンポジウム予稿原稿もこれに準じる。
- 6) 副編集委員長は、各号の内容の編集をおこなう。
- 7) 当面、受理原稿の掲載号は次のように決める。原稿が、次の形の科学シンポジウム開催日の1ヶ月前までに副編集委員長に届けば、会誌の次号に掲載する。なお、著者の特別な申し出がないかぎり、原稿の著作権は形の科学会に帰属するものとする。

原稿作成要領

オリジナル原稿、およびコピー原稿2部の計3部を投稿してください。写真製版可能な原稿のみを受け付けます。投稿された原稿はそのまま印刷されますので、以下の点に注意してください。

- 1) 上下左右それぞれ約2.5cmのマージンを残す。
- 2) 1頁40—45行程度、1行40字程度。原著論文、解説論文等は刷り上がり10頁、速報は刷り上がり4頁以内を原則とします。
- 3) 図や表は、本文中に張り込み、図の下に必ずキャプションを付けてください。
- 4) 最初の頁には、タイトル、氏名・所属（できれば電子メールアドレスも）・英文Keywords（5個以内）をお書きください。英文のタイトルおよび所属を併記してください。独立した英文のabstractをつけることを歓迎します。
- 5) タイトル、氏名・所属と本文の間（英文abstractがある場合は英文abstractの前）には、受付日と受理日を印刷するため、上下2.0cmのスペースを開けてください。
- 6) 引用文献は、本文の最後に「文献」という見出しとともに出現順に記してください。
- 7) ページ番号は印刷せず、原稿の右上に鉛筆で1から通し番号をつけてください。
- 8) 以上の作成要領と大きく異なる場合は、改訂をお願いすることができます。

入会案内

会員の特典

- 形の科学会員は、形の科学会誌および論文誌 FORMA の配布をうけ、それらに投稿することができます。
(FORMAへの投稿は会員以外でもできます)
- シンポジウムの開催案内をうけ、講演の申し込みができます。
- 画像データベース等、情報の配布を受けることができます。
- 賛助会員については、正会員と同じ権利を持ち、かつ、賛助会員年会費を支払っていれば、その1年間は会誌に無料で広告を掲載できます。
- 団体会員は学会出版物を定期購読でき、シンポジウムの案内などの学会からの通知を受け取ることができます。団体の連絡担当者を1名決めていただきます。
本会の刊行物の定期購読を希望する団体(企業、研究所、研究室、その他)は、団体会員として登録することを勧めます。

形の科学会への入会

- 入会資格は、形の科学的研究に興味を持つことです。
- 会員登録カードに必要事項を記入し、会長または事務局あてお送りください。(形の科学会誌に綴じ込んであります。必要な方は会長または事務局へご請求ください)
- 入会に際しては、下記の年会費をお支払いください。入金後、会員の登録をいたします。
- 賛助会員、団体会員についても、同様の入会手続き、ならびに会費の送金をしてください。
- 現住所、所属機関等、登録カードの記載事項に変更があった場合は、ただちに書面でご連絡下さい。
- 会員の個人情報は、会員の交流および研究を促進する活動のために事務局が連絡先として用います。

会費

- 正会員 8,000円/年
- 学生会員(学生およびそれに準ずる者) 4,000円/年(学生証のコピーを同封のこと)
- 賛助会員 38,000円/年
- 団体会員 10,000円/年

下記の口座に最寄りの郵便局からご送金ください。

- 口座番号: 00330-9-30953
- 加入者名: 形の科学会

会員登録一卡通 (記入: 年月日)

会員記号番号: _____ 会員状態: _____ 会費: _____
生年月: 西暦 年 月

フリガナ: _____ 連絡先選択: 勤務先 自宅 出張先

氏名: _____

勤務先: _____

〒: _____ 宛先: _____

電話: _____ FAX: _____

E-mail: _____

自宅 〒: _____ 宛先: _____

電話: _____ FAX: _____

主要活動分野 (20字以内): _____

形関係の興味 (個条書き、各20字以内): _____

備考 : (出張先宛て先、etc.)



第78回 形の科学シンポジウム「こころのかたち・こころのゆらぎ」 (精神医学・心理学と非線形科学の接点を探る)

(最新情報は <http://katachi-jp.com/> に掲載しています)

【メインテーマ】こころのかたち、こころのゆらぎ

【サブテーマ】非線形非平衡物理学

【会期】11月22日（土）～24日（月、祝）

【会場】佐賀大学 鍋島キャンパス（調整中）

〒849-8501 佐賀市鍋島 5-1-1

【主催】形の科学会

【代表世話人】宮崎修次

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

京都大学 情報学研究科

Tel.075-753-3388 Fax.075-753-3391

E-mail: syuji[at]acs.i.kyoto-u.ac.jp (メールアドレスの
[at]の部分は@で置き換えてください。)

【世話人】富永広貴 佐賀大学

石崎龍二 福岡県立大学

【参加費】会員・非会員ともに一般 3000 円、大学院生・
大学生 1000 円

【懇親会】講演会場近くで実施する予定です

【懇親会費】会員・非会員ともに一般 5000 円、大学院
生・大学生 3000 円（調整中）

【招待講演】堀川 悅夫（佐賀大学・医学部）

庄司 多津男（名古屋大学・工学研究科）

参加申し込み

形の科学シンポジウムは会員・非会員によらず講演申込、
参加（聴講）ができます。なお、公開講演および展示は入
場無料で公開します。

【講演および参加申込先】web サイトから申込、および
概要原稿送信を受け付けます。

【講演申込締切日】2014年10月10日（金）

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

【予稿原稿提出締切日】2014年10月24日（金）

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

【参加申込締切日】2014年11月17日（月）

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

- ・ 発表希望セッション（以下1～7から一つ選ぶ）
 - 1. こころのかたち、こころのゆらぎ：シンポジウムメ
インテーマ
 - 2. 非線形非平衡物理学：シンポジウムサブテーマ

3. 形の科学一般：あらゆる分野での形にかかわる自由
な内容の講演を受け付けております。

4. 形と知：分野を問わず、自由な形式での、哲学・人文・
芸術・デザイン・教育・作品紹介などあらゆるタイプの活動のご紹介。

5. ジュニアセッション：ジュニア会員のご研究発表。

6. 展示：自由な形式の作品・研究発表ポスターなどの
展示。展示作品をもちいた実演、販売も行えます。講演
申込ページに展示物のサイズや内容をお示しください。
展示スペースが確保できない場合はお断りすることが
あります。

7. Forum：自由なテーマで、各自の研究領域の問題や
成果、興味深い「かたち」に関する話題などをご紹介い
ただけます。分野を越えて興味を高め合う場にいたします
ので、専門的な詳細の説明は最小限にとどめ、非専門
家にも分かるような発表をお願いします。また、Forum
講演者には、シンポジウムに Forma 誌(カテゴリー：
Forum)への4枚以内の投稿原稿をご持参いただきます。
講演時間と討論時間を10分ずつ設ける予定です。

○口頭発表は一人一件に限ります。

○発表時間は25分（5分程度の質疑応答を含む）を予
定しています。申込多数の場合、発表時間を調整する可
能性があります。

○形の科学シンポジウムでは、多様な分野の研究成果
を「形」をキーワードにして共有することを目的として
います。そのため、分野別の並行セッションは設けず、
単一のセッションに全員で参加する形式をとっています。
また異分野理解を促進するため、分野外の参加者
に分かりやすい発表の工夫をお願いするとともに、発表
時間をやや長めに設定しています。

○展示作品等の管理は、基本的に出展者ご自身にお願
いしております。事前搬入につきましては世話人とご相
談いただきます。

連絡先：形の科学会事務局 松浦執

〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

東京学芸大学基礎自然科学講座 tel&fax: 042-329-7541

（以上）

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. 29 No. 1 (2014, 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：清水祐樹
〒480-1195 長久手市岩作雁又1-1
愛知医科大学医学部 生理学講座
phone : 0561-62-3311 (内線 12259) fax : 0561-63-9809
E-mail : yuuki@aichi-med-u.ac.jp