

目次

【交流】

- 発達障害児への、視覚情報に注目した実験体験教室の試み
松浦執 1
- 発達障害児に対する理科教育の重要性
小澤温 7
- 月を観て月面上の自分を想う
本多久夫 13

【シンポジウム予稿】

- 第69回 形の科学シンポジウム「かたちと人間」
プログラムと予稿 15

【会告】

- 事務局からのニュースメール 99
- 会告 100
- 形の科学会誌の原稿募集 101
- 『形の科学会誌』論文投稿の案内 102
- 形の科学会入会案内 104
- 第70回 形の科学シンポジウム予告 106

発達障害児への、視覚情報に注目した実験体験教室の試み

松浦 執

東京学芸大学基礎自然科学講座, 〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

E-mail: shumats0@gmail.com

A Trial of Visually-oriented Experiment Workshop for Children with Developmental Disorders.

Shu Matsuura

Tokyo Gakugei University, Faculty of Education, 4-1-1 Nukuikita, Koganei, Tokyo
184-8501

(2010年4月19日受付)

Abstract: A series of experiment workshop for children many of who have developmental disorder was held in the lecture room of Toyo University. Children who wish to be scientists in future asked this science workshop be held. Experiments on buoyancy and stability of flying objects were done. In the workshops, visual characteristics of experiments and manuals, and the structure of stepwise experiments were particularly elaborated in order to make experiments clear. Participants concentrated and enjoyed experiments, and no disorder was observed during the workshops.

Keywords: experiment workshop for children, developmental disorder, visual elements.

1. はじめに

2009年8月に2回にわたり、発達障害などをもつ子どもの保護者を中心とした、NPO法人朝霞手をつなぐ育成会（以下「育成会」と略記）[1]からの呼びかけに応じて、発達障害児を対象とした理科実験の体験教室を行った。「育成会」は、子どもが障害を抱えていても分け隔てなく、健常者とともに学び、共に育つことのできる保育・教育の充実を理念とする。発達障害といっても多様であり、その現れ方は子どもにより千差万別である。その教育にあたっては多角的な対応が求められ、学習の視覚化、スモールステップ化、パターン化（構造化）の効果が議論されている[2]。生活環境から、空間的・時間的な構造化を行い、それをさらに視覚化して認識の混乱を避けることが有効とする方法論がある[2]。本企画では特に視覚的認識に注意を払って教材立案し、結果として子ども達は実験に集中する時間を持つことができた。こうしたことから、「形」を共有概念とする形の科学会会員の成果には、発達障害をもつ子どもの成長に貢献する潜在的要素が大いにあるものと期待される。

科学の発展の歴史においては、知的好奇心は科学者本人のものであった。しかし、科学技術社会の持続性が問題になるとともに、科学研究のための公的資金の提供もとである一般のひとびとが、科学研究の内容と社会の持続性に関心を持つようになった。そこで科学者は、科学研究に関する一般への説明を求められるようになった[3]。これとともに、科学コミュニケーションの重要性が認識されるようになった[4,5]。子どもとの理科体験教室もこの科学コミュニケーションの重要な活動分野のひとつである。

発達障害児への理科教室は前例を見出し難い。しかし理科の学習は、発達障害を持つ子

どもにとって、自信をもたらしやすい分野ではないかとの見解がある。自信を持てる体験が蓄積されないことは自閉につながる。とするならば、これは理科教育にとっても見逃せない問題である。これはこのことについては、今回の体験教室の協力企画者である東洋大学ライフデザイン学部の小澤温氏に、別稿にてご議論いただく。

2. 実験体験教室開催の経緯

本企画は、形の科学会と関係の深い NPO 法人科学芸術学際研究所 ISTA[5]に、「育成会」が科学教室開催を打診したことに始まる。「育成会」では親子での料理教室や陶芸教室を行っているが、これらにはやや消極的な子どもの中に「将来科学者になりたいから、科学教室なら出たい」という声があり、これに同調する子どもが次々と現れたという。これがそもそもの発端である。最終的に、東京学芸大学教育学部松浦研究室、東洋大学理工学部吉野研究室および同大学ライフデザイン学部小澤研究室が企画し、主催は NPO 法人朝霞手をつなぐ育成会、ISTA 協力のもとで行われた。

実験教室の第 1 回は「浮かぶかな？沈むかな？やってみよう！」2009 年 8 月 23 日（日）13:30-15:30、第 2 回は「飛べ！バルーンロケット」2009 年 8 月 29 日（土）10:30-12:30 である。参加費は無料とした。子どもは保護者および兄弟姉妹とともに参加した。参加者構成は、第 1 回が、幼稚園児 2 名、小学 1～5 年生 6 名、中学 1～3 年生 7 名の計 15 名参加し、講師（実験サポート）側が学生と教員合わせて 6 名参加した。第 2 回が、幼稚園児 2 名、小学 1～6 年生 6 名、中学 1～3 年生 5 名の計 13 名が参加し、講師（実験サポート）側が学生と教員合わせて 9 名参加した。参加した子どもの人数は、障害をもつ子どもと、健常なその兄弟や友人を含めた総数である。

3. 「育成会」からのアドバイス

6 月 13 日に「育成会」と企画研究室側との会合を行い、子どもの状況、会場についての打ち合わせを行った。2 節にまとめたように、予想される参加者は幼稚園から中学生にわたること、発達障害を持つ子も持たない子もいること、障害といっても個々に千差万別であり知的障害を伴う例もあることなどを知った。また、参加目的には夏休みの自由研究の参考にしたい希望もあることが分かった。

障害を持つ子どもには、概ね次のような傾向があることが教示された。子どもは、教師の一斉指導や複雑な話にはついていきにくい。一方、自分で指導書が理解できると、集中してどんどんやっていってしまう（一般的にも、高機能障害児は 1 人でどんどん学習することを好む子が多いという[2]）。子ども同士の共同作業は困難である。興味を持ってないと、持参した本を読みふけったり、外に走り出てしまったりする行動が起きる。子どもの行動、反応については、両親でも予測できないことが多い。しかし育児の過程で家族はある程度対応に慣れており、親兄弟がついている限り、講師側はあまり心配しなくてよいとのアドバイスも受けた。

このような状況であるから、学校での活動では、



図 1. 食紅で色分けした水と砂糖水の密度層に、トマト、ミニトマト、ジャガイモを浮遊させたもの。

ペースを合わせ、他の子どもに伍して成果を挙げることが難しく、自信を持てる機会が少ない。さらに、科学に強い興味があるにもかかわらず、健常者ばかりが集合する通常の科学教室企画では、障害を持つ子どもが浮いてしまうので、参加を躊躇してしまう、とのことであった。

手順書は必須である。そのテキストは、子どもが混乱しないように、実体的なイラスト、明瞭な画像や形を用いたものでなければならない。また、易しいことから順序立ててスムーズステップで進んでいき、どこで活動が「終わり」なのかを明瞭にするような構造化が必要である。今回は、テキストの作成は教員が取り組み、学生に閲覧させて意見を聞いて改善を進めた。

4. テーマ構想と教材準備

テーマ選定では視覚的な明瞭さと安全面を最優先した。第1回は色素で可視化した水溶液の密度勾配をつくり、トマトなど身近な野菜を液体中の特定の高さに浮かせる実験である。表1にこの回での主要な視覚情報要素をまとめた。

誤飲を考慮して、色素は食紅、溶質は砂糖を用いた。色素粉末は直接扱わず、あらかじめ濃厚水溶液にして小分けした。

プラスチックコップに等量入れた水道水を食紅で色分けするところから子ども自身が操作をはじめ。一方の水に砂糖を加えて濃厚砂糖水を作

成し、水と砂糖水との体積や重さの比較、ミニトマトを入れたときのトマトの浮沈の比較などを行う。次に、ベローズピペットを用いて、砂糖水に水を添加し、密度の大小で2層に分かれることの観察と、ミニトマトが2層の境界付近に浮上することの観察を行う。ピペットの操作は「科学実験」の表象である。ただし、落下や、予期せぬ動作をしたときでも安全なように樹脂のベローズピペットを用意した。また、大きな透明水槽に密度勾配をつくり、ミニトマト、トマト、ジャガイモなどが静止する位置の違いを全体に演示することにした。

第2回は葉巻型の風船を用いた飛行安定性の実験である。前半は、膨らました状態で長軸方向長さ30cm程度の葉巻型風船を用いて、実験しながら工作を進める。風船そのままでは、葉巻型の長軸に沿う方向に投げても飛行方向が安定しない。これに紙帯を巻いて重りにすると、重りの位置が風船の前側に取り付けられた場合のみ、飛行方向が安定する。重心の回りに回転がおきたとき、重心より前方が長いと風船をさらに回転させるトルクが

表1. 「浮かぶかな？沈むかな？やってみよう！」の可視化要素

要素	内容
食紅での液体の色づけ	水と砂糖水との区別
	水と砂糖水の密度の差による2層形成
	2層の境界での混合（混色で推測）
	3層以上の形成（発展実験）
	美しさ
砂糖の採用	砂糖は溶解量を大きくできるので、「水に溶ける」ことが印象的に認識できる（身近な素材であるが、大量に溶かす経験は稀である）。
	砂糖を大量に溶解させて砂糖水の密度を大きくできるので、ピペット操作が丁寧でなくても、2層がrobustに形成される。
	身近な野菜類の密度の違いを、色で可視化した密度勾配溶液中での野菜個体の浮遊位置で示せる。
ピペット操作	科学者像を連想させる。
全体として	操作の大部分をイラストと色で表現できる。

大きく作用するが、重心より後方が長いと、風船の飛行方向を元に戻す向きの気流からのトルクが大きく作用するためである。テコの原理を想起させることで、小学生でも理解可能になる。

表2にこの実験の視覚情報のポイントを挙げた。飛行安定性については、子ども自身に風船を反復して投げさせて観察させる。細長い風船を5本つなげて大きな輪を作って「マト」とし、その中に自分の風船を投げ入れさせる。マトの高さや向き（天井に向けたりする）を変えて投げ入れにくさを変化させることで、楽しさが高まるようであった。不安定飛行の条件でも、個々の子どもの様子を見ながら、最終的には誰でもマトを通せるように調整した。思った方向に飛びにくいことが認識されれば良い。

小型風船で翼の効果まで確かめた後、子どもの背丈程度の長さの大型風船を配布し、重りと翼を取り付けてバルーンロケットとする。これは野外の広場で自由に投げさせる。

以上のような概略のワークショップを企画し、イラストを中心とした手順書を作成した[7]。手順書には、操作説明に加えて、各ステップでの実験結果の観察記入欄を設けた。記入欄は、各ステップの内容を確かめやすくするとともに、自由研究にも役立つようにした。しかし、時間的に、手順書を事前配布できず、当日の配布となった。



図 2. 細長風船をつなげて輪にしたマトに、葉巻型の風船を投げ込ませて、飛行安定性を体験する。

表 2. 「飛べ！バルーンロケット」の可視化要素

要素	内容
葉巻型風船	空気中での飛行不安定が明瞭に観察できる。
	重りや羽根などをつけたときの飛行安定性がrobustである。
大小の色風船	丸みがある様々な色彩の風船は、心が和み、わくわくさせる感性的作用がある。
紙帯の重り	重心の移動をイメージさせやすい。
	付加する重りの量の調整を紙幅で可視化し比較できる（幅が広いと重くなりすぎるなど）。
羽根	実際の飛行機を連想できる。
	飛行姿勢と、気流が羽根に及ぼす力の向きとの関連が視覚的にイメージしやすい。
	羽根を曲げることと機体の回転との関係が、視覚イメージで補われる。

5. 体験教室時の子どもの様子

東洋大学朝霞キャンパスの講義室を借用して体験教室を実施した。机上スペースの確保と、子ども同士の不要な干渉をさけるため、3人がけの机を2つずつ組み合わせ、島状に配置した。この机を1家族ずつで利用してもらった。こうした配置は、実験を家族でやるのだという意図を伝える構造化でもある。

材料などは講師卓側に机をならべ、作業ステップごとに取りに来てもらうかたちをとった。これは初等教育での実験の際に、器具や準備に十分な意識を持たせるためにしばしば行われる形である。父兄が手助けできるので、この形式でも特に問題はないと思われたが、

事後の父兄のアンケートには、毎回取りに行くことへの戸惑いを示唆する意見もあった。児童・生徒自身に行動させる場合と、講師側での配布とを分かりやすく配分することも検討する必要がある。また、今回は対応できなかったが、使用物品を作業順に、一定の方向に順序づけてレイアウトすることも必要といわれる。

第1回では、積極性の程度に若干のバラツキは見られたものの、ほとんどの子どもは実験に非常に集中し、心配していた出歩きなどの行動は全く起きなかった。これにはむしろ父兄が驚かされたという。

浮沈の動きが起きるごとにデジタルカメラで撮影する姿が多く見られた。落ち着いてできるならば、子ども自身が手書きでイラストレーションを含めた記録を作成することが、トレーニングとしては望ましい。しかし、あくまでも実験への興味や意識の集中を中心にして、それ以外の要素には技能の段階に応じた学習ができればよいだろう。

浮沈の実験では、なぜ浮くのかという質問が子どもたちから寄せられた。自然現象への思いについては、健全な子どもと大きな差はなかった。手順書にはこれに対する解説もつけておいた。しかし、浮力などの体感的理解のためには、いくつか別の実験メニューを用意して、適宜これを演示し、また実体験させるなど、一つのテーマを多角的に掘り下げられるような準備をしておくことが望ましいだろう。

第2回はものづくりの要素があり、またバルーン投げ、マト入れといった遊びの要素が大きいためか、非常に活発な体験となった。1回目よりも集団での遊びに近い性格があった。父兄へのアンケートでも、子どもの興奮度が高かったという感想が目立った。しかし、ワークショップから離脱するような行動もなかった。ただし、夏の屋外が高温であるせいか、巨大風船投げでは不意に風船が破裂することがしばしばあった。父兄対象のアンケートでは、子どもが破裂時にショックを受けたという意見も見られた。発達障害をもつ子どもの中には、特定の音で混乱が引き起こされる場合もあるので注意を要する。

育成会からのコメントとして、この2回の教室においても、1回目の方が集中できた子どももいたし、2回目の方が参加しやすかった子どももいた、とのことであった。

手順書には実験ステップごとに、文や絵を用いた選択肢で結果についてのクイズを設けた。最後にはまとめを文章で書き込む覧を設けた。かなりの子どもが自主的にそれらの問いに答えを記入していることが観察された。ただし、手順書は回収していないので、その書き込み内容については確かめていない。

6. まとめ

発達障害を持つ子どもといえども、親兄弟とともに、個々の子どもが自分のペースで実験を



図3. 講師の演示実験に集まり、デジタルカメラなどで撮影する子ども達。



図4. 大型風船に重りと羽根を取り付け、屋外で思い切り投げる。

進められる状態であれば、理科実験教室を行うことには何ら障壁はないと思われた。全体の作業を分かりやすいステップに分割すること、それを明瞭な画像およびシンプルな文で表現した手順書を用意すること、会場や行動手順に明瞭な構造を設定することが特に重要であると思われた。こうした要素は、子どもにとって分かりやすさをもたらすとともに、不安が取り除かれる分だけ、わくわく感をもたらし得るのではなかろうか。

参加者には中学生も含まれており、参加者によっては高度な認知にもとづく質問などもあった。これに演示実験や、追加の体験のバリエーションを用意して対応することが、理科教育的な課題として挙げられる。講師は、わかりやすいシンプルな言葉で、また子どもの認知程度に合わせて適切に対応できるよう、十分な力をつける必要がある。自然科学の内容についての十分な理解力と、教え方についての応用力の向上が切に求められる。

謝辞

「夏休み体験教室」は「埼玉県豊かな地域福祉づくり推進事業・みんな一緒にふれあいの輪づくり」の一環として、またシラコバト長寿社会福祉基金の配分を受けて行われた。本稿の写真は安田和宏（東京学芸大学）により撮影された。

文献

- [1] <http://ameblo.jp/asakaikuseikai/>
- [2] 佐々木正美 (2008) 自閉症児のための TEACCH ハンドブック, 学習研究社.
- [3] Lubchenco, J. (1998) Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science, *Science*, **279**, 491-497.
- [4] Stocklmayer, S. M. et al Eds. (2001) *Science Communication in Theory and Practice*, Kluwer Academic Pub.
- [5] 藤垣裕子, 廣野喜幸編 (2008) 科学コミュニケーション論, 東京大学出版会.
- [6] <http://www.npo-ista.org/>
- [7] “浮かぶかな? 沈むかな? やってみよう” <http://topicmaps.u-gakugei.ac.jp/enkaku/floatingTomato.pdf>. “飛べ! バルーンロケット” <http://topicmaps.u-gakugei.ac.jp/enkaku/ballon.pdf>

発達障害児に対する理科教育の重要性

小澤 温

東洋大学ライフデザイン学部生活支援学科, 〒351-8510 埼玉県朝霞市岡 48-1

E-mail: ozawa-a@toyonet.toyo.ac.jp

Importance of Natural Science Education for Children with Developmental Disabilities.

Atsushi Ozawa

Toyo University, Faculty of Human Life Design, 48-1 Oka, Asaka, Saitama, 351-8510

(2010年4月19日受付)

Keywords: developmental disabilities, natural science education.

1. はじめに

本稿は 2009 年 8 月に東京学芸大学・松浦執教授らによる発達障害児への科学教室の意義に対して、その背景となる発達障害児の有している特性をふまえての理科教育の重要性を論じることを目的とした。

自然科学をはじめ音楽、絵画、映画などの芸術において活躍してきた（現在も活躍している）天才の中には、発達障害の一種である「アスペルガー症候群」有していた者も少なくないこと指摘している本もある[1,2]。他方、不登校、閉じこもり、いじめといった社会的な問題においても発達障害を有する児童の方がその可能性の高いと一般的にいられている。

最近のデータ[3]によると、「発達障害」の児童は、文部科学省の調査では 6.3%、東京都教育委員会の調査では 4.4%、早稲田大学の福地の調査では 3.4%を占めている。データから、近年、「発達障害」が急増しているかどうかの判断は困難であるが、教育現場の実感では、「発達障害」の「境界例」、あるいは、「発達障害」の特徴をもつ「健常例」が増加していることが指摘されている。このことは、実際に発達障害児が増加していると考えられることもできるが、これまで発達障害児に対して、教育側に「障害」児という認知がなかったので、データとしてあがってこなかったことも考えられる。

長引く経済停滞の時代としての現在では、さまざまな分野でこれまでの常識を創造的に破壊していくイノベーターが求められている。特に、科学研究や芸術的活動においては一層その求めは強い。そのため、既成概念を突破する「天才」を必要としている時代と集団教育になじみにくい「発達障害」という排除の行われる時代が同居しているのが、現在ではないだろうか。ここでは、「発達障害」とは何かについて簡単にふれ、生活支援と教育支援の現状にどのような課題があるのか、さらに、発達障害児の特性に応じた科学教育の可能性について考察する。

2. 「発達障害」とは

「発達障害」とは、精神医学では、自閉性障害（自閉症、高機能自閉症）、LD（学習

障害)、ADHD(注意欠陥多動性障害)を含む幅広い概念である。自閉性障害の代表的な特徴としては、対人関係が困難、コミュニケーション態度が乏しい、限定的な興味や関心をあげることができる。ADHDの特徴は、落ち着きがない、注意が散漫、集中力がない、抑制がない、計画性がない、といった点をあげることができる。LDの特徴は、読字、書字、計算の修得の困難さ、といった点をあげることができる。アスペルガー症候群に関しては、自閉症の一種としてとらえられていたが、言葉の発達の遅れがないこと、知能が正常であること、その反面、社会生活で問題が生じていること、などの点で、自閉症とは異なる特徴がみられるが、厳密なアスペルガー症候群の特徴を持っている児童はそれほど多くなく、多くは自閉症スペクトラムという幅広い概念で捉えられている。

2005年から施行された「発達障害者支援法」では「発達障害」の法的な定義をしている。この法の第2条では、「自閉症、アスペルガー症候群、その他の広汎性発達障害、学習障害、注意欠陥多動性障害その他これに類する脳機能の障害であってその症状が通常低年齢において発現するものとして政令で定めるもの」としている。また、「発達障害者」に関しては、同2条に、「発達障害を有するために日常生活又は社会生活に制限を受ける者」としており、「発達障害児」は「発達障害者のうち18歳未満の者」としている。この法律は障害名を列記することによって、「発達障害」を具体的に記載し対象者を明確にしている点で特徴的である。

3. 発達障害児に対する生活支援と学校教育の現状

1) 生活支援について

「発達障害」の特徴には、大きく、「認知」、「学習能力」、「言語能力」、「社会性」、「運動」、「手先の細やかな動き」、「注意や行動のコントロール」の7側面の発達に障害があるとされている[4]。これらの障害に対して、発達障害児への支援を生活ニーズの8側面[5]（「健康」、「日常生活動作」、「介護負担」、「家事」、「経済」、「家族関係」、「社会交流」、「ストレス」）から考えてみたい。「健康」では、栄養バランスのよい食事、運動による生活習慣病の予防、「日常生活動作」（あるいは「社会生活技能」）の改善には、リハビリテーション、社会生活技能訓練などの支援、「介護負担」、「家事負担の軽減」には、ホームヘルプサービスなどの在宅福祉サービスによる支援が重要である。「経済負担」には、手当、年金、生活保護などの所得保障制度の充実、「家族関係の改善」や「本人および家族のストレスの軽減」、「社会交流」の促進では、障害者および家族のグループ活動、地域活動への参加などの支援が重要である。このような生活ニーズの諸側面に対応した支援に加えて、「発達障害」から派生する生活の支障に関して支援をするには2つの方向性が考えられる。第1の方向は、個人の主体性や自己管理能力に関する生活障害の克服に関するものである。これは、生活技能訓練や自立生活プログラム（地域での自立生活に必要な技能を身につける訓練プログラム）などの取り組みが重要である。第2の方向は、環境によって生じる生活障害の克服に関するものである。環境は人的な環境と物的な環境との2つに分けることができる。人的な環境に関しては、ソーシャルサポート（支援的な人間関係）の形成、セルフヘルプグループ（障害者（あるいは家族）同士の共同による自助グループ）の形成が重要である。物的環境に関しては、住宅改造、グループホーム整備、所得保障などがある。発達障害児の生活の支障を克服するには、この2つをばらばらに支援するのではなく、個人に対するアプローチと環境に対するアプローチを調整しながら行っていくことが生活支援に必要で

ある。

発達障害者支援法の中心的な施策としては、「障害の早期発見、早期支援」、「保育」、「教育」、「放課後対策」、「就労支援」、「地域での生活支援」、「権利擁護」、「家族への支援」、「専門的な相談支援拠点（発達障害者支援センター）の設置」、をあげることができる。発達障害者支援法の最大の特徴は、「障害の早期発見」から「就労支援」に至るまでの児童から成人期を視野に入れたライフステージに対応した点である。この法律で定めた「発達障害者支援センター」は都道府県に設置され、その役割は、「早期発見」、「早期発達支援」、「家族への相談支援」、「就労支援」、「保健、医療、福祉、教育領域の専門機関、民間活動との連携」の5つの柱が規定され、ライフステージに対応した支援の要として位置づけられる。今後、このセンターが発達障害児（者）の相談および支援の拠点となることが必要であり、そのためにもこのセンターの拡充が喫緊の課題である。

2) 学校における教育支援について

学校教育法の改正により 2007 年度から施行された「特別支援教育」はこれまでの障害児教育と考え方が異なり、従来の障害種別の学校区分を改めて、特別支援学校に一元化した。また、特別支援学校以外の小中高等学校においても「特別支援教育」を推進することとなった。さらに、これまで障害児教育の対象にならなかったLD、ADHD、高機能自閉症（アスペルガー症候群を含む）を含めて、障害のある個々の生徒の教育ニーズに対して実施することになった。

ここでは、高等学校における特別支援教育の現状について、これまで実施された全国調査[6]を通して考えみたい。この調査は全国の高等学校 5116 校（国公立全数）に調査票を郵送し、回答のあった 1755 校のうち 998 校に支援の必要な生徒（総数 4331 名）が在籍していた。アスペルガー症候群 10.4%、その他の発達障害 12%、発達障害の可能性有 31.1%であり、高等学校で支援の必要な生徒のうち、実に 53.2%が発達障害に関連している。支援の中で必要な事柄では、「教科担任等による配慮」が 58.5%を占め、もっとも多くみられた。このことから、発達障害のある生徒に対して、教科科目を教えていく上で、高等学校が困難を抱えている状況が理解できる。

具体的な学校の取り組みとしては、不登校や中途退学者を積極的に受け入れているチャレンジスクール（新しいタイプの3部制（午前、午後、夜間開講の3部制）、単位制、総合学科の定時制高等学校）のうちの一つの高等学校の取り組みを取り上げることにする[7]。この学校では、近隣の特別支援学校と連携し、臨床心理士の派遣による巡回相談を実施している。これに加えて、ケース会議、家庭への支援、関係機関（医療機関、保健所、都教育相談センター）との連携、大学からの臨床心理学専攻の大学院生の相談スタッフとしての受け入れ、地域のNPO法人との連携などを行っている。この学校の取り組みとして特徴的なことは、社会科、理科、音楽、保健体育といった科目に力を入れている点である。理科では、「身近なことからについて、作業体験を行い、興味や関心を高めている」「授業のねらいを始めに示し、生徒が目標をもって授業に取り組めるようにしている」「授業をいくつかの部分に分けた構成にして、毎時間同じようにして進め、生徒が授業の流れを把握しやすいようにしている」、などの点を授業評価のまとめとしてあげている。この取り組みでは、具体的に体験すること、明確な目標を示すこと、プログラム化された進め方といった点で、発達障害児に適切な取り組みであることを理解できる。

4. 発達障害児に対する科学教育の課題と可能性

発達障害に関して、これまで、問題点ばかりが強調されてきた。しかし、発達障害に関するいくつかの本で取り上げられている天才にみられるように、非常に大きな可能性のある人材としてみることもできる。ただし、何の支援もしないと社会から逸脱した問題児としてみられてしまうので、可能性を生かしていくための適切な支援が必要になる。発達障害児に対する教育における配慮点では、発達障害の特性を逆に利点として捉えていく方向性が必要である。ここでは、発達障害児のうち、高等学校以上の教育を受ける知的な能力を有している「アスペルガー症候群」の特性を中心に、教育上の配慮点[8]を記載した。

発達障害児は、予定外の事態や同時に複数の出来事への対処が苦手である。日課をパターン化、視覚化することによって、同じパターンの中で生活をしていくことで、安心感を生み出しやすくなる。また、発達障害児は失敗体験があると心の傷になりやすく、次に行動する際の拒否感が強くなる傾向がある。できるレベルから学習を始めることが重要であり、達成目標を明確にしながらか、徐々に段階を上げていくことにより自信をもつことができる。さらに、発達障害児の関心は概して狭く限定されていることが多いので、その関心を中心に周辺に広げていくことが重要である。

発達障害児への教育支援として「TEACCH」という手法[9]が有名である。これは「構造化」という考え方を重視している。具体的には、教室環境（ワークエリア）の構造化、スケジュールの構造化という点が重要である。このうちスケジュールの構造化では、①活動、課題の順序を一人一人の能力にあわせて視覚的に提示、②文字、絵カード、写真を用いて提示、③時間配分およびタイムスケジュールの提示、といった要件があげられる[9]。

科学教育は、教育内容のパターン化、視覚化、段階的な学習、明確な達成目標、といった構造化の利点を有しており、発達障害児にこそ科学教育中心に進めていくことは理にかなっている。

ただし、この教育は発達障害児の特性に応じた対応だけでは十分ではない。教育指導をする側が、発達障害児の特性を理解しないで、扱いにくい子どもとしての烙印を押していくならば、事態は悪化し、不登校、さらには、反社会的な行動を起こす可能性も秘めている。その反対に、教育指導側に発達障害児の特性の理解と適切な対応、さらに、その対応を受け入れるだけの許容性があるならば、本来備えている優れた記憶力、豊富な知識、視覚的処理能力、物への純粋な関心、空想する能力、を開花することは可能だし、さまざまな分野で才能を開かせた天才は、そういう指導者と環境に恵まれていたともいえる。

5. おわりに

現代は、研究者にも芸術家にもその研究能力とは別に「空気を読むこと」や「まわりとの調和」という社会性が過度に期待されている時代である。確かに、著しく社会性の欠いた指導者の下で仕事をする若手の研究者や芸術家は悲劇かもしれない。その反面、社会に適応しづらいために、持っている才能を開花せずに埋もれていく人材があることも悲劇であろう。

発達障害児に対しては、学齢期の早い時期から、社会への適応を目的とする教育が重視され、教科科目では、国語、算数に基盤を置いた教育がなされてきた。むしろ、理科教育を起爆剤としてその能力を伸ばしていき、社会性も徐々に広げていく取り組みの方が、そ

の特性からみて適合的と思われる。そのためには、これからの理科教育においては、学校内における科学教科の支援だけでなく、幅広いサポート（学外の理科教育のNPO、ボランティア団体、臨床心理士、スクールソーシャルワーカーなど）も併せて必要である。

文献

- [1] 岡田尊司 (2009) アスペルガー症候群, 幻冬舎, p.55, 73, 136, 173, 231, 237.
- [2] 宮尾益知 (2007) 発達障害をもっと知る本, 教育出版, 117-118.
- [3] 坂爪一幸 (2009) 発達障害のある子への臨床からみた障害の変化, 日本発達障害福祉連盟編『発達障害白書 2010年版』, 日本文化科学社, 9-12.
- [4] 杉山登志郎 (2007) 発達障害の子どもたち, 講談社, 41.
- [5] 小澤温 (2005) 障害者の生活ニーズと生活支援, 古川孝順他編『ライフデザイン学入門』, 誠信書房, 13.
- [6] 野口和人 (2009) 発達障害研究, **31**(3), 148-156.
- [7] 安田健 (2009) 発達障害研究 **31**(3), 157-173.
- [8] 岡田尊司 (2009) アスペルガー症候群, 幻冬舎, 179-183.
- [9] 佐々木正美 (2008) 『TEACCH』(ティーチ)ハンドブック, 学研, 90-115.

月を観て月面上の自分を想う

本多久夫 (兵庫大学)

(2010年5月12日受付)

1969年にアポロ11号が送信してきた月からみた地球の映像は、とても印象的であった(1969.7/20)。考えてみれば当たり前のことなのだが、月面から地球が昇り、地球は満ち欠けしている。月と違って地球は青色で白い雲が浮かんでいる惑星であり、これが満ち欠けしている。このような風景が見られるなら自分でも直接に行ってみたいという思いはあった。しかしそんなチャンスはまずないし、何よりも乗り物酔いする身である。行けても真っ先に参ってしまう

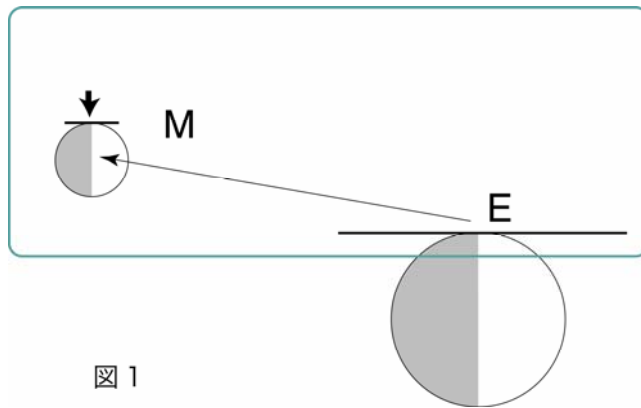


図1

だろう。

そうなのだが、最近月を観て、これまでにない新鮮なイメージがつかれるようになった。これを紹介しよう。

夜が明けつつある早朝、半月の月が東南に昇りつつあった。図1でE(地球)からM(月)

を見ている。アポロ11号が送ってきた映像を思いながら、もっと大きなスケールで考えてみよう。月Mとともに地球Eも宇宙に浮かんでいて、月と同じように太陽の光を右から受けている。自分のいる地球も半分陰っているのだ。それならあの月を地球になぞらえれば、自分はその月の矢印で示した頂点にいることになる。そういえばいま夜明けだ。自分はこれまであの陰のところだったが、地球が自転して明るいところに入りつつある。これに気づいて陶醉するような喜びを感じた。

しかし、別の日だが満月に近い月が天中近くにあった。さて自分はこの月のどこにいることになるのか。見上げた月の頂点がどこだか、天中にあるから自信持てなくなった。これはきっちりと考えなくてはならない。図2のEの地平線から月Mを見上げるのだがここでは3次的に描いた。自分Eと月Mを結ぶ線を含む垂直面を想定する。直線EMは月の球をかすめている。接点を白丸で示した。見上げた月の頂点はこの点である。いま自分の居る地球上の位置に対応する月表面の位置は、月の水平線上の矢印で示した位置である。この位

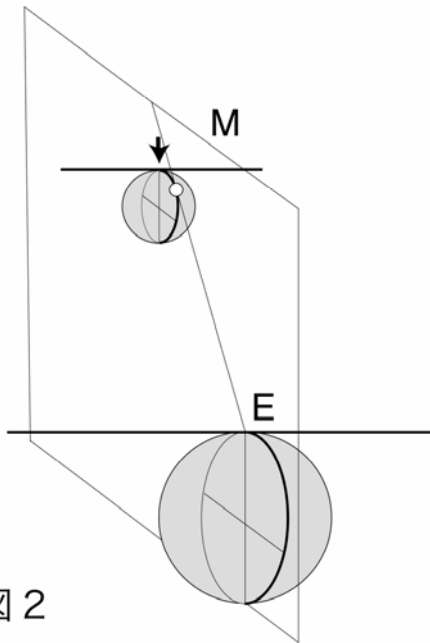


図 2

自分から裏側にかなりまわったところにある。

自分は月の裏にまで想いをはせたことになる。月を眺める楽しみがまたふえた。

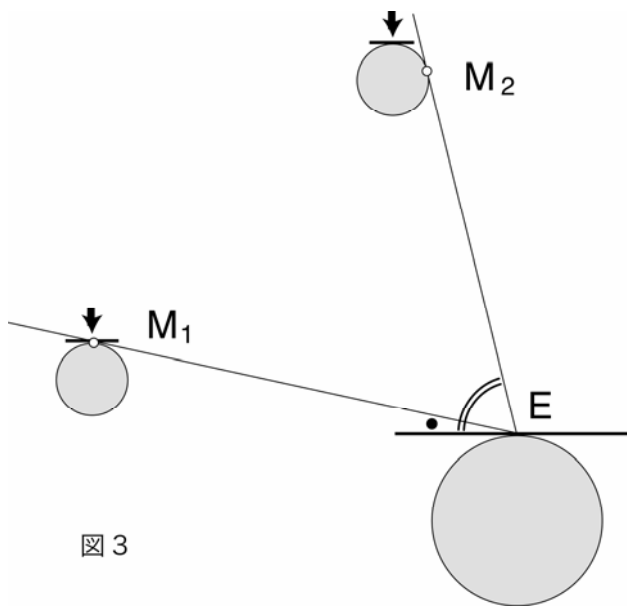


図 3

置は地球からは月の裏に回り込んでいて見えない。自分は月の裏側にいるのだ。月はいま天中に近くにあり、太陽が沈んでかなり時間が経つ。自転でだいぶ動いて日陰に深く入り込んだのだ。

まとめとして図 3 を示す。月が昇った直後は仰ぎ見る角度は小さく、 M_1 のような月である。地球から見た自分に対応する月の位置 (矢印) と、月の頂点 (白丸) とはだいたい一致する。しかし、月が昇って何時間かすると M_2 のような仰ぎ見る月である。自分に対応する月の位置 (矢印) は見上げた月の頂点 (白丸) から裏側にかなりまわったところにある。

付記 「星」の表面を一周したい。第 62 回形の科学シンポジウム (大阪大学 2006. 11/3-5) で藤原顕先生の「はやぶさが見た小惑星イトカワ」のすばらしい話があった。小惑星探索機はやぶさが、イトカワの映像を送ってきた。長径 500 メートルほどのジャガイモのような星。この上に立ってトコトコ一周できたらさぞ愉快だろう。「星」の表面を一周するのだ。子供の頃まだ「山」を言葉でしか知らない時に奈良・東大寺の若草山を見て、登ってこれが「山」かと実感したときの喜びと似たものが、「星」について感じられるにちがいない。なにかを工夫してこれと似た体験ができないだろうか。
[2010. 5/10]

第 69 回 形の科学シンポジウム

「かたちと人間」

- 【主催】形の科学会 【会期】2010年6月25日(金), 26日(土), 27日(日)
【会場】東京学芸大学 20周年記念飯島同窓会館 〒184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1
交通アクセス: <http://www.u-gakugei.ac.jp/10sougou/01general/z03.html> (小金井キャンパス。JR 中央線武蔵小金井駅からバスまたは徒歩。JR 中央線国分寺駅から徒歩) キャンパス地図: http://www.u-gakugei.ac.jp/pdf/2005_A4_map.pdf
【世話人】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 E-mail: shumats0@gmail.com
【参加費】会員・非会員とも一般3000円、学生1500円
【懇親会】2010年6月26日(土) 18:00「第2武蔵野ホール1F カフェ」
【懇親会費】(会員・非会員ともに一般4000円、学生1000円で検討中)
【宿泊案内】中央線沿線の吉祥寺、三鷹駅付近などのホテルが便利です。都心のホテルからも通えます。

プログラム

6月25日(金)

9:00 受付開始

形の科学一般

9:30-9:55 中生代放散虫 Pantanellium の外層殻にみられる27個の殻孔の配列

松岡篤1, 吉野隆2, 栗原敏之1, 石田直人1, 木元克典3, 岸本直子4, 松浦執5 (1新潟大学理学部, 2東洋大学理工学部, 3(独)海洋研究開発機構地球環境観測研究センター, 4京都大学工学研究科, 5東京学芸大学教育学部)

9:55-10:20 汎用的な光学機器を用いた化石の三次元形状データ取得法

吉岡翼1, 松岡篤2 (1新潟大学大学院自然科学研究科, 2新潟大学理学部地質科学科)

10:20-10:45 放散虫 Mirifusus 属の殻形態から着想した3次元フレーム構造の力学特性

岸本直子1, 吉野隆2, 石田直人3, 木元克典4, 栗原敏之1, 松岡篤1, 松浦執5 (1科学技術振興機構/京大, 2東洋大学理工学部, 3新潟大学理学部, 4(独)海洋研究開発機構地球環境観測研究センター, 5東京学芸大学教育学部)

(休憩 10:45-10:50)

形の科学一般

10:50-11:15 ペンローズ・パターンの折り紙モデル

石原正三(埼玉県立大学保健医療福祉学部)

Forum

11:15-11:40 面積・体積・超体積の考え方について

阿竹克人(株式会社阿竹研究所)

展示解説

11:40-11:45 反復学習のための算数図形分野の問題集自動生成アルゴリズム

小山量平(ロイダック)

(11:45-13:00 昼休み+展示)

形の科学

13:00-13:25 空間充填に関する二、三の結果

佐藤郁郎, 中川宏, 金原博昭, 秋山仁(宮城県立がんセンター, 東海大学教育開発研究所)

13:25-13:50 Edge-to-edge タイル張り可能な凸五角形

杉本晃久(科学芸術学際研究所 ISTA)

13:50-14:15 7次のルーペ魔方陣に表れる SYLO 形

東川和夫(富山大学理学部)

(休憩 14:15-14:25)

形と知

14:25-14:50 正多角形が作る芒星の数と星型正多角形

横田至明(東京藝術大学デザイン科)

形の科学

14:50-15:15 美の幾何学 XI: 立体幾何学と解析力学

小川泰(産業技術総合研究所(客員), 科学芸術学際研究所, 筑波大学(名誉教授))

15:15-15:40 円が円運動した軌跡として現れる数学曲面—立体模型の作製と視覚障害者による触覚認識

手嶋吉法1,6, 小川泰1,2,6, 池上祐司1,3,6, 大内進4, 金子健4, 藤芳衛5, 山澤建二3, 渡辺泰成1,3,6 (1産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門, 2筑波大学名誉教授, 3理化学研究所 ラピッド・エンジニアリングチーム, 4国立特別支援教育総合研究所, 5大学入試センター, 6科学芸術学際研究所(ISTA))

展示解説

15:40-15:45 数学曲面の立体模型—視覚と触覚による立体認識の為に

手嶋吉法1,6, 小川泰1,2,6, 池上祐司1,3,6, 大内進4, 金子健4, 藤芳衛5, 山澤建二3, 渡辺泰成1,3,6 (1産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門, 2筑波大学名誉教授, 3理化学研究所 ラピッド・エンジニアリングチーム, 4国立特別支援教育総合研究所, 5大学入試センター, 6科学芸術学際研究所(ISTA))

15:45-15:50 陶芸作品「Breathing Cube」シリーズ・触りたくなる形について

竹野美奈子(タケノセラミックラボ)

(休憩 15:50-16:00)

招待講演(公開)

16:00-16:50 触覚からひらく人工現実と形の世界

嵯峨智(東北大学大学院情報科学研究科)

16:50-17:40 かわいい人工物の系統的研究—かわいい形・色・質感—

大倉典子(芝浦工業大学工学部情報工学科)

Forum

17:40-18:05 サイエンスとアートの関連を話し合う会

高木隆司1, 松浦執2 (1神戸芸術工科大学(科学芸術学際研究所理事長), 2東京学芸大学)

6月26日(土)

8:50 受付開始

形の科学

9:00-9:25 輝く色彩の尾をもつ幼体のニホントカゲ
(*Plestiodon japonicus*) 表皮の微細構造Ⅱ

小作明則, 宮本潔 (獨協医科大学医学総合研究所)

9:25-9:50 球面上の Vertex Dynamics モデル

吉野隆 1, 岸本直子 2, 松岡篤 3, 栗原敏之 3, 石田直人 3,
木元克典 4, 松浦執 5 (1 東洋大学理工学部, 2 京都大学工
学研究科, 3 新潟大学理学部, 4 (独) 海洋研究開発機構地
球環境変動領域, 5 東京学芸大学教育学部)

9:50-10:15 蛍光試薬 PDMPO と生態観察にもとづく放散虫
の骨格形成に関する新知見

鈴木紀毅 1, 辻 彰洋 2, 大金薫 2 (1 東北大学・理・地学,
2 国立科学博物館・植物)

(休憩 10:15-10:25)

形の科学

10:25-10:50 Cancer (“蟹”に喩えられた癌)の組織立体
構築と病理診断

青葉孝昭, 島津徳人, 工藤朝雄, 田谷雄二, 佐藤かおり,
柳下寿郎 (日本歯科大学生命歯学部病理学講座)

10:50-11:15 ヒトの腕の慣性モーメントの計測

平山修 (東京農工大学工学府機械システム工学専攻)

Forum

11:15-11:40 バラ(赤バラ)の定理の証明

蛭子井博孝 (卵形線研究センター)

展示解説

11:40-11:45 椎骨の拡大模型の作製 —視覚障害者の解剖学
理解の為に

寺口さやか, 手嶋吉法, 中島善人, 中野司 (広島県立広島
中央特別支援学校)

11:45-11:50 感染症伝播様式についての考察

流田智史 (橋本市市民病院)

(11:50-13:10 昼休み+展示)

特別講演(公開)

13:10-13:40 Solving for The Unknown: Foundation of
Math and Art

Bahman Kalantari (Dept. of Computer Science, Rutgers
Univ.)

13:40-14:05 Math Art Workshop (Kalantari 先生指導)

招待講演(公開)

14:10-15:00 人々が立体映像に求めてきたもの、立体映像が
もたらすもの

大口孝之 (映像ジャーナリスト)

(15:00-15:10 休憩)

かたちと人間

15:10-15:35 新しい立体映像技術がもたらす効用

高田宗樹 1,2, 宮尾克 3, 高田真澄 2, 山本哲也 2,4, 杉浦明
弘 4, 渡邊智之 5, 大森正子 6, 長谷川聡 7 (1 福井大学大学
院工学研究科, 2 愛知医科大学医学部, 3 名古屋大学大学院
情報科学研究科, 4 岐阜医療科学大学保健科学部, 5 愛知学
院大学心身科学部, 6 神戸女子大学家政学部, 7 名古屋文理
大学情報文化学部)

15:35-16:00 近代絵画と近代技術——近代技術的環境にお
ける心性の変容の図像解釈学的研究

秋丸知貴 (日図デザイン博物館)

16:00-16:25 パソコンによる文様と形の描画 総合報告

小林英子, 小国力 ((有) ケプラ社)

(休憩 16:25-16:30)

16:30-16:55 モジュール表を使った造形譜のための構成シ
ステム

笹田晋司 1, 石垣健 2 (1 日本電子専門学校, 2 アルスノー
ト研究所)

16:55-17:20 平仮名の字体に関する考察～横書きに適した
新しい形について～

杵名健一郎 (名古屋市立大学大学院システム自然科学研究
科)

17:20-17:50 総会、学会賞授与式

18:00-20:00 懇親会 (第2 武蔵野ホール 1F カフェ)

6月27日(日)

8:50 受付開始

形の科学

9:00-9:25 テント写像における素数の奇妙な振る舞い

山口喜博 (帝京平成大学)

9:25-9:50 太陽電池変換効率が集電線パターンの工夫によ
り 1.2 倍程度向上する

大日方 圭, 竹田 康彦, 元廣 友美 (豊田中央研究所)

9:50-10:15 アファイン・ワイル群とラプラシアン境界値
固有値問題

星川良紀 (重信中学校)

(休憩 10:15-10:20)

10:20-10:45 正多面体と平行多面体の元素定理

秋山仁 1, 佐藤郁郎 2, 中川宏 2 (1 東海大学教育開発研究
所, 2 宮城県立がんセンター)

10:45-11:10 円錐曲線の代表長「通径」概念の変遷

杉本剛 (神奈川大学工学部)

Forum

11:10-11:35 複数回の折畳みにおける形に起因する非線形
性について —セミウィンザーノットによるネクタイ結び—

元廣友美 (株豊田中央研究所)

11:35-12:00 対流系におけるカオスと時空カオス

日高芳樹, 甲斐昌一 (九州大学工学研究院)

(12:00-13:00 昼休み+展示)

招待講演(公開)

13:00-13:50 人工現実エンターテイメントにおける形の表
現と役割

星野准一 (筑波大学大学院システム情報工学研究科)

13:50-14:40 かたちと人間—手と眼を巡って

金子務 (形の文化会会長)

かたちと人間

14:40-15:05 岩絵から古代人のメッセージを読む
高木隆司 1、水野慎士 2、出原立子 3、柏原牧人 4 (1 神戸芸術工科大学デザイン学部, 2 愛知工業大学情報科学部, 3 金沢工業大学情報学部, 4 コロナ社編集部)

15:05-15:30 剣道における正面打ち動作の解析
平田隆幸、黒瀬祐希 (福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻)

展示の部 (6月25日～6月27日)

(P1) 椎骨の拡大模型の作製 — 視覚障害者の解剖学理解の為に

寺口さやか 1, 手嶋吉法 2, 中島善人 3, 中野司 4 (1 広島県立広島中央特別支援学校, 2 産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門, 3 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門, 4 産業技術総合研究所地質調査情報センター)

(P2) 数学曲面の立体模型—視覚と触覚による立体認識の為に

手嶋吉法 1,6、小川泰 1,2,6、池上祐司 1,3,6、大内進 4、金子健 4、藤芳衛 5、山澤建二 3、渡辺泰成 1,3,6 (1 産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門, 2 筑波大学名誉教授, 3 理化学研究所 ラピッド・エンジニアリングチーム, 4 国立特別支援教育総合研究所, 5 大学入試センター, 6 科学芸術学際研究所(ISTA))

(P3) 陶芸作品「Breathing Cube」シリーズ - 触りたくなる形について

竹野美奈子 (タケノセラミックラボ)

(P4) 面積・体積・超体積の考え方について

阿竹克人 (株式会社阿竹研究所)

(P5) 7次のルーベ魔方陣に表れる SYLO 形

東川和夫 (富山大学理学部)

(P6) 反復学習のための算数図形分野の問題集自動生成アルゴリズム

小山量平 (ロイダック)

(P7) 感染症伝播様式についての考察

流田智史 (橋本市民病院)

(P8) 科学玩具等の展示・販売

前畑謙次, 有馬司朗 ((株) イメージミッション木鏡社)

(P9) Vizualizer の展示

時山響子 (株式会社ヴォルフビジョン)

(P10) Google Earth 立体映像ナビゲーション

秋山正樹, 鴨川威 (株式会社岩根研究所, (株) フェニックス)

(P11) ペンローズ・パターンの折り紙モデル

石原正三 (埼玉県立大学保健医療福祉学部)

中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる 27 個の殻孔の配列

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

1) 新潟大学理学部, 2) 東洋大学理工学部, 3) (独) 海洋研究開発機構地球環境観測研究センター, 4) 京都大学工学研究科, 5) 東京学芸大学教育学部

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

Arrangement of 27 pores in cortical shell of Mesozoic radiolarian *Pantanellium*

A. Matsuoka¹, T. Yoshino², T. Kurihara¹, N. Ishida¹, K. Kimoto³, N. Kishimoto⁴, and S. Matsuura⁵

1) Niigata Univ., 2) Toyo Univ., 3) IORGC/JAMSTEC, 4) Kyoto Univ., 5) Tokyo Gakugei Univ.

Keywords: *Pantanellium*, 27 pore arrangement, X-ray micro CT, layered manufacturing

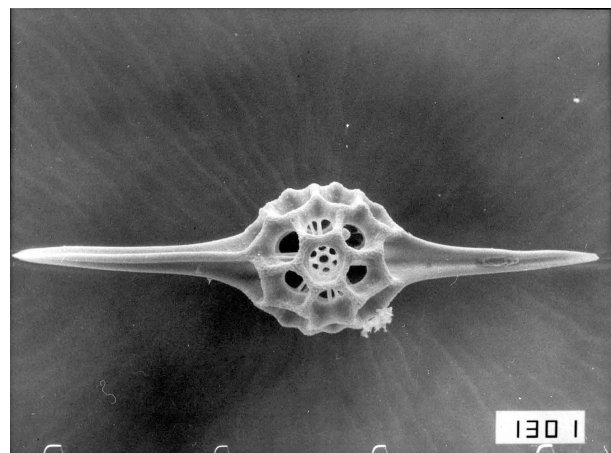
はじめに

X線マイクロCT技術と積層造形法により作成する実体モデルは、微化石の形状認識を飛躍的に向上させる[1]。実体モデルを使った放散虫研究として、中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる殻孔の配列様式について検討してきた[2][3][4]。今回は、これまでの研究の発展として、外層殻に27個の殻孔をもつ *Pantanellium* の殻孔配列を網羅的に列挙し、実際に実体モデルにおいて確認された殻孔配列とどのような関係にあるのかを示す。

本研究は、新潟大学コア・ステーション「形の科学研究センター」が進める分野横断型共同研究の一部である。

Pantanellium の殻構造と電子顕微鏡像

Pantanellium は、中生代トリアス紀に出現し、白亜紀まで生息した放散虫の1属である。本属の放散虫は、殻孔のある球状の外層殻と2本の極棘をもつことで特徴づけられる。外層殻の内側にはさらに内層殻があり、内層殻と外層殻とを繋ぐ多数の細いビームが存在する。右図は、マリアナ海溝の海側斜面から潜水艇により採取された白亜紀前期の化石の走査型電子顕微鏡(SEM)写真である(写真下部にある白い突起の間の長さが0.1mm)。殻孔の配列は、両極棘の基部にそれぞれ1列、赤道面に1列、中緯度にみなせる部分の両半球に1列ずつの、合計5列が認められる。殻孔には、五角形のものと六角形のものが観察される。しかし、SEM像では、外層殻全体にわたって、多角形の殻孔がどのように配列するのかを知ることは困難である。



Pantanellium の外層殻にみられる殻孔の配列

27 個の外層殻殻孔をもつ *Pantanellium* は、殻孔が 5 列をなし、各列の殻孔の合計が 3-7-7-7-3 とした場合、五角形ないし六角形からなる殻孔の配列を網羅的に列挙すれば、下記のような 12 通りとなる。ここで、上段には各列の五角形の個数を、下段には各列の六角形の個数を示している。想定される凸多面体のすべての頂点の次数は 3 であるので、オイラーの多面体定理により、五角形は 12 個、六角形は 15 個となる。すなわち、下記の表示では、それぞれ、上段の合計が 12、下段の合計が 15 となっている。

1	5	9
3 3 0 3 3	2 4 0 4 2	1 5 0 5 1
0 4 7 4 0	1 3 7 3 1	2 2 7 2 2
2	6	10
3 2 2 2 3	2 3 2 3 2	1 4 2 4 1
0 5 5 5 0	1 4 5 4 1	2 3 5 3 2
3	7	11
3 1 4 1 4	2 2 4 2 2	1 3 4 3 1
0 6 3 6 0	1 5 3 5 1	2 4 3 4 2
4	8	12
3 0 6 0 3	2 1 6 1 2	1 2 6 2 1
0 7 1 7 0	1 6 1 6 1	2 5 1 5 2

実体モデルを作成した *Pantanellium* 1号[2] [3]の外層殻にみられる殻孔の総数は、27 個であり、殻孔の配列は上記の 8 (斜体字表記) であった。12 通りの殻孔の配列を見ると、8 のみが各列について、五角形ないし六角形が 1 個の状態になっていることがわかる。これは、以前の報告 [2] [4]において、“仲間はずれ”と呼んだものである。*Pantanellium* の殻形成を理解しようとする場合、網羅的に列挙したうちのどの配列になりやすいのかを明らかにすることは、実効性のあるアプローチのひとつとなりうる。

現在、われわれの共同研究では、系統的に *Pantanellium* の実体モデルを作成するために、X 線マイクロ CT 装置の導入を計画している。

文献

- [1] 松岡 篤・手嶋吉法 (2008) 有殻原生生物の実体モデル作成と研究・教育への利用. 形の科学会第 65 回シンポジウム, 形の科学会誌, **23(1)**, 11-12.
- [2] 松岡 篤ほか (2009) 中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる殻孔の配列様式. 形の科学会第 67 回シンポジウム, 形の科学会誌, **24(1)**, 33-34.
- [3] 松岡 篤ほか (2009) 中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる殻孔の配列様式とその多様性. 形の科学会第 68 回シンポジウム, 形の科学会誌, **24(2)**, 160-161.
- [4] 吉野 隆ほか (2009) 中生代放散虫 *Pantanellium* の外層殻にみられる殻孔の幾何学. 形の科学会第 67 回シンポジウム, 形の科学会誌, **24(1)**, 35-36.

汎用的な光学機器を用いた化石の三次元形状データ取得法

Rapid and inexpensive 3D reconstruction method for fossil morphology using paleontological common optical instruments

吉岡 翼*・松岡 篤**

Tasuku YOSHIOKA* and Atsushi MATSUOKA**

*新潟大学大学院自然科学研究科、新潟市西区五十嵐 2 の町 8050

takkun@v001.vaio.ne.jp

**新潟大学理学部地質科学科、新潟市西区五十嵐 2 の町 8050

*Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

**Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

Keywords

image-based 3D reconstruction, paleontology, fossil morphology, Spinicaudata

1 はじめに

化石は鋳型として保存されることが少なくなく、化石の表面形態は分類や化石化過程の復元において重要な意味を持つ。非破壊的に化石の表面形態を表現する古典的な手法として、標本をホワイトニングし、照明による陰影で凹凸を表現する写真撮影が行われる。また、近年では三次元レーザーキャナやレーザー顕微鏡などによる形状データの取得も普及しつつあるが、機材が高価なことや技術の習得といったハードルがある。

一方、受動的三次元画像計測は汎用的な光学機器を利用できる利点がある。その中でも、レンズ焦点法は焦点合成ソフトの一部に実装されているため、マクロレンズないし光学顕微鏡を用いて連続的に撮影された静止画スタックから容易に形状データが取得できる。ここではカイエビ化石を用いて、レンズ焦点法による化石の形状データの取得法を紹介するとともに、古生物学におけるレンズ焦点法の利点について述べる。

2 試料と手法

試料として、中国東北部の下部白亜系である義縣累層から得られたカイエビ化石 (*Eosesthesia* cf.

ovata) を用いた。カイエビ類の化石は扁平化した甲殻のみであることが多いが、この化石は化石化の過程で押しつぶされた甲殻がある程度立体的に保存されており、甲殻内に 2 つの把持器 (male claspers) も保存されている (図 1d)。

画像は光学顕微鏡による撮映像を用い、Helicon-Soft 社の Helicon Focus (以下 HF) でカイエビ化石の形状データを取得した。同様の手法は燃料電池に使われるガス拡散層の簡便な立体像取得法としても紹介されている [1]。撮影用のカメラには Nikon D5000、光学顕微鏡には実体顕微鏡の Nikon SMZ-U ($\times 1$ および $\times 0.5$ 対物レンズ; 絞り開放) を用いた。撮影は焦点深度以下の距離で等間隔に撮影する必要があるが実体顕微鏡の焦準装置には目盛がないため、1 目盛 $18 \mu\text{m}$ の目盛を自作した。

取得した形状データは HF に付属するフリーウェアのレンダラーである Helicon3DViewer から Wavefront Object 形式のファイルを出力できる。ここからさらに、フリーウェアのレンダラーである MeshLab を用いて 3D Studio 形式のファイルに変換し、Google 社のモデラーである Google SketchUp に取り込んだ上でコンター図を作成した。コンター図の作成は、甲殻の外縁が水平になるように微調整し、水平に配置した長方形ポリゴン等を等間隔に積層してその交線を抽出し、平行投影して出力した。

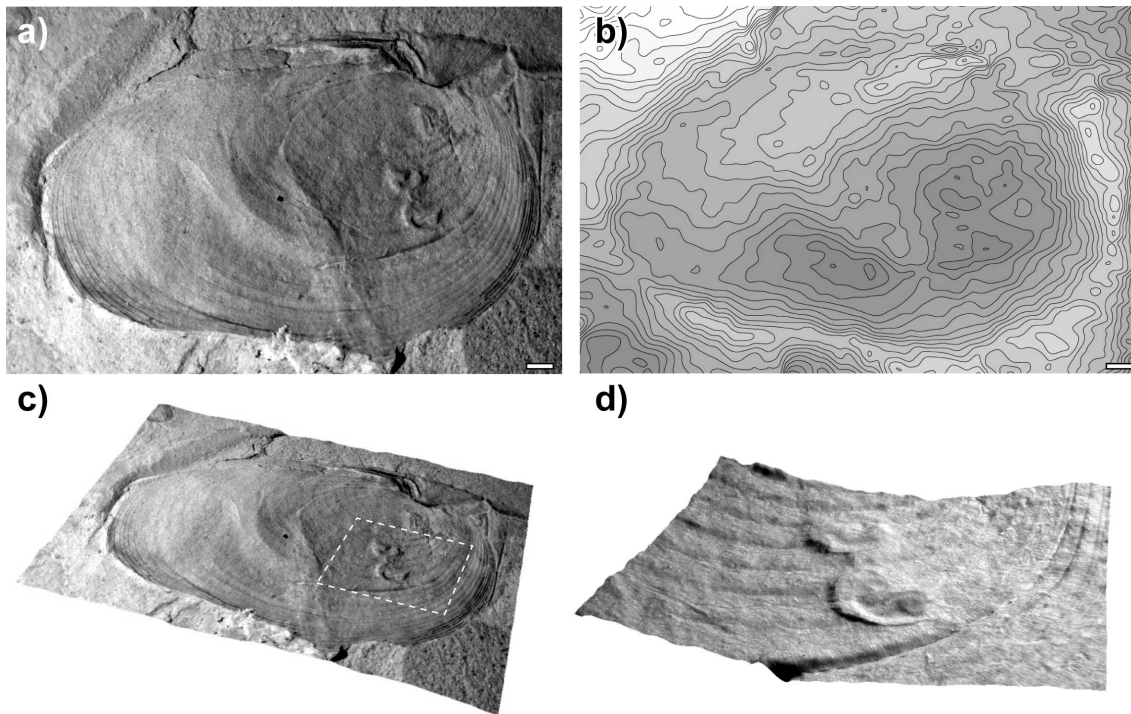


図 1: a) $\times 0.5$ 対物レンズを用いて作成したカイエビ化石の焦点合成画像 . b) a と同じ領域のコンター図 . コンターの間隔は約 $70 \mu\text{m}$ で暗い部分が低く明るい部分が高い . c) a の三次元レンダリング像 . d) c の破線部分を $\times 1$ 対物レンズを用いて作成した三次元レンダリング像 . a と b のスケールバーは 1mm .

結果と考察

甲殻の全体像 (図 1a-c) の形状取得には $\times 0.5$ 対物レンズを用い、1 スタックあたり 100 枚程度の写真を撮影した。この撮影には約 10 分、HF の処理には十数分を要した (Windows XP Professional, Core 2 Duo 2.8GHz)。この時点で焦点合成像 (図 1a)、深度マップ、レンダリング像 (図 1c) が得られる。 $\times 0.5$ 対物レンズを用いた場合、成長線や把持器は形状データに表現されなかったが、より焦点深度の浅い $\times 1$ 対物レンズを用いた場合、撮影間隔は同じであるが成長線や把持器の形状も再現された (図 1d)。これらの形状データは MeshLab などのレンダラーやレタリング機能を備えたモデラーで断面の作成や計測も可能である。

なお、像の中に「白とび」「黒つぶれ」している部分や模様の無い表面を含んでいる場合は形状データが正常に取得できないという問題がある。

形状データから作成したコンター図 (図 1b) から、甲殻の前部～前腹部がへこみ、後背部が膨らんでいることが容易に読みとれる。1 枚の光学像ではこのような緩やかな形状を表現することは難しく、形状データの取得が化石の形態情報の表現の幅を広げているといえる。

おわりに

古生物の研究に従来から利用されている撮影機材としては上述のような光学顕微鏡のほか、大型化石ではコピースタンドにマクロレンズをマウントしたカメラで撮影することが多い。いずれの手法においても焦点深度の浅い光学系が用いられるため、既存の機材をそのまま利用して $\mu\text{m} \sim \text{cm}$ オーダーの形状データを容易に取得することが可能である。

参考文献

- [1] Berejnov *et al.* (2010) *J. Power Sources*, 195(7): 1936-1939.

放散虫 *Mirifusus* 属の殻形態から着想した 3次元フレーム構造の力学特性

岸本直子、吉野隆、石田直人、木元克典、栗原敏之、松岡篤、松浦執
科学技術振興機構／京大、京都府宇治市五ヶ庄

kishimoto@kuaero.kyoto-u.ac.jp

Mechanical Properties of 3-D Frame Structures Inspired by Radiolaria *Mirifusus*

N. Kishimoto, T. Yoshino, N. Ishida, K. Kimoto, T. Kurihara, A. Matsuo,
S. Matsuura

JST/Kyoto Univ., Gokasho, Uji, Kyoto

Abstract: There is a very wide diversity of forms in marine plankton, which has the history of evolution of five hundred million years. The diversity results from various factors including adaptation to fluctuations in environments. We focus on mechanical factors in order to find adaptive forms applicable to artificial structures like space structures. In this paper, we investigate mechanical properties of 3-D frame structures inspired by forms of the large-sized Radiolaria, *Mirifusus*, in the Mesozoic Era, which appearances had changed through the Era..

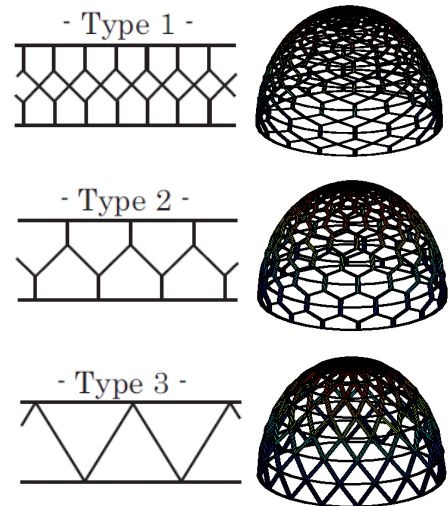
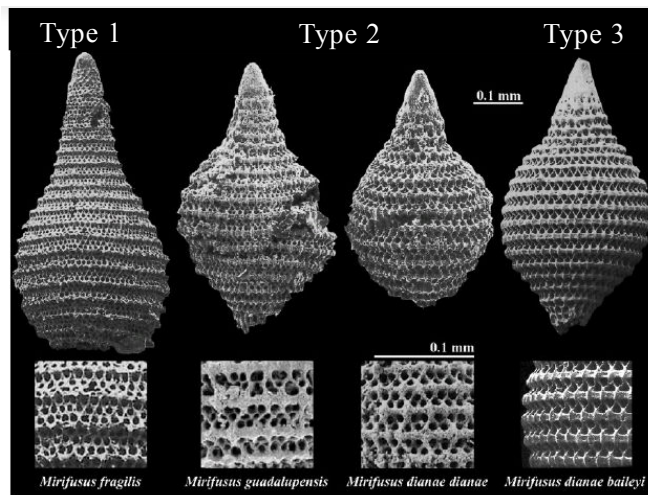
Keywords: Marine Plankton, Radiolaria, Space Structures

1. はじめに

5億年の進化の歴史をもつ海洋性プランクトンの形態は、環境の変動に対して実に多様である。特に無機質の骨格をもつプランクトンは化石として残存し、数億年にわたる形態の変遷を追跡することが可能である。こうした骨格は、同一ユニットの繰り返しという幾何学的な規則性をもっているが、内部の柔軟な生体を保護するという力学的な役割も担っていると考えられる。著者らは、特に重力から解放された構造物の最適な形態を探索するために、海洋性プランクトンの形態に着目し、その形態の数理モデル化に取り組んできた。また、力学的に合理的な構造物の形態を探索するとともに、進化の過程における形態の変遷と力学特性との関係を明らかにするために、中生代に生息していた大型の放散虫、*Mirifusus* 属をとりあげその骨格パターンの基本要素の2次元モデルについて解析した¹。本発表では、全体形状や考えられる外力との関係を明らかにするために *Mirifusus* 属の骨格パターンに基づく3次元のフレーム構造を構成し、その力学特性について考察した。

2. 放散虫 *Mirifusus* 属の形態から導出したフレーム構造

放散虫 *Mirifusus* 属は、中生代ジュラ紀から白亜紀にかけて生息した、放散虫進化史上最大級の殻をもつグループである。*Mirifusus* 属の例を図1(a)に示す。このグループは、進化の過程で紡錘状の外形が目立った変化はないが、節を連結する細かい骨格構造は変化していくところが知られている²。図中左の方がより古く、右の方が新しい。これらの骨格パターンを3種類にモデル化した3次元フレーム構造を図1(b)に示す。



(a) *Mirifusus* 属の骨格

(b) 骨格パターンと 3 次元フレームモデル

図 1. 放散虫 *Mirifusus* 属の骨格とモデル化

図には、1 列分のパターンと半球面上に割りつけたモデルを示している。Type 3 はいわゆるワーレントラスと呼ばれる。外形とパターンとの関係を調べるために、半球面のほか円筒や実際の *Mirifusus* 属の外形をモデル化した曲面上へ割りつけたモデルも検討した。

3. 力学特性の解析

前節で構築したモデルに対していくつかの境界・荷重条件を設定し、ひずみエネルギーや応力・ひずみ分布といった力学特性を求めた。荷重条件として、上下方向の圧縮やせん断、水圧を模擬した一様な圧縮力を仮定した。解析条件や力学特性の評価において、荷重や応力は、材料のヤング率を使って、部材断面半径や円筒の高さ等は、球や円筒の変形を使って無次元化した。その結果、2次元モデルと同様の評価により Type 1 から Type 3 への変遷について、力学的な合理性で説明できる部分もあることが示せた。講演にて解析の詳細を述べる。

4. おわりに

本研究では、海洋性プランクトンの骨格パターンに基づいて構築したフレーム構造の力学特性を検討した。もとにした骨格パターンは顕微鏡下で観察された最外層骨格であり内部構造や骨格の断面形状といった重要な情報が欠落している。今後は、実際の骨格の 3 次元形状に基づいたモデル化に取り組む予定である。

<参考文献>

1. 吉野隆、石田直人、岸本直子、松岡篤、栗原敏之、木元克典、松浦執、放散虫 *Mirifusus* 属（海洋プランクトン）の進化と骨組構造の力学的最適化—骨組形状遷移の構造力学的検証—、応用力学論文集 Vol. 12、pp. 35 - 42。
2. Baumgartner, P.O., O'Dougherty, L., Gorican, S., Urquhart, E., Pillecuit, A., and De Wever, P., Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys, Occurrences, Systematics, Biochronology, Mémoires de Géologie (Lausanne), No 23, 1995.

ペンローズパターンの折り紙モデル

石原 正三

埼玉県立大学 保健医療福祉学部, 埼玉県越谷市三野宮 820 番地

E-mail: shozo@spu.ac.jp

An Origami-model of a Penrose Pattern

Shozo, ISHIHARA

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

Abstract: Representing a Penrose pattern, which exhibits a two-dimensional quasi-periodic structure with long-range pentagonal symmetry, a three-dimensional Origami-model has been made of four kinds of clusters of face-sharing octahedral skeletons. It is concluded that the Origami-model of a Penrose pattern corresponds to an infinitely spreading slab which would be stacked in a potential quasicrystal structure, and it is suggested that one after another pentagonal structures might be telescopically identified in the Origami-model of a Penrose pattern.

Keywords: Origami-model, octahedral skeleton, Penrose pattern

1. はじめに

多面体の骨格構造（スケルトン）で制作した結晶構造モデル（特許第 2790247 号）は、結晶内の原子位置とともに、配位多面体を同時に表現することができ（図 1 参照）、ユニット折り紙で作った多面体のスケルトン^[1]を糊と水引（みずひき）で接続して組み立てられた“結晶の折り紙モデル”^[2]は、色彩豊かな折り紙の特性を生かして、結晶の最大の特徴である周期構造を明確に表現することができる。

今回、結晶の折り紙モデルの手法を活用し、無限に広がる 2 次元準周期構造の幾何学模様（ペンローズパターン）を表現する立体モデル（ペンローズパターンの折り紙モデル）を制作した。

ペンローズパターンの折り紙モデルは、正四面体のスケルトンを接続して組み立てられ、5 回対称性を持つ 2 次元準周期構造に対応する、無限に広がる板状構造（Slab）を形成して、一つの可能な準結晶の三次元構造を表現していることを以下に示す。

また、ペンローズパターンの折り紙モデルから、ペンローズパターンの新たな幾何学的特徴が示唆される。

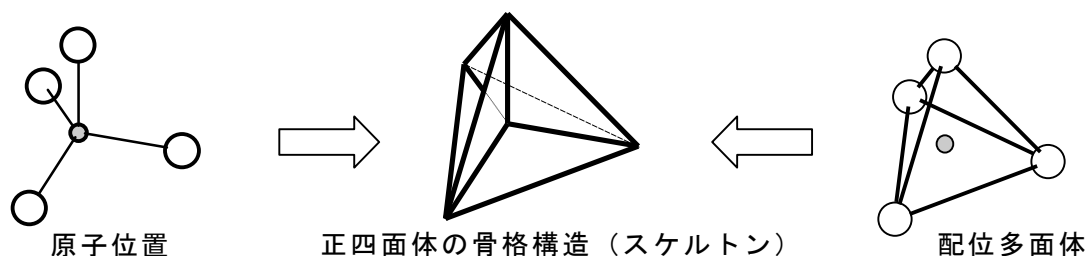


図 1 原子位置と配位多面体を同時に示す正四面体の骨格構造（スケルトン）

2. ペンローズパターンの折り紙モデル

図2に、ペンローズパターンの折り紙モデルの写真を示す。このペンローズパターンの折り紙モデルは、正八面体のスケルトンが面を共有してできた4種類のクラスター（図3参照）で組み立てられている。このモデルには、615個の正八面体のスケルトンが含まれ、1つの正八面体のスケルトンが6枚のユニットで組み立てられていることから、合計3690枚の折り紙が使用されている。

平面状に広がるペンローズパターンを正八面体のスケルトンを用いて立体モデルにすると、面に垂直な方向に凸凹な板状構造となる。例えば、リング状クラスター（図3(d))の中に星型クラスター（図3(a))を接続するには、正八面体のスケルトンの角と角を接続することとなり、ペンローズパターンを参照すれば、リング状と星型の2つのクラスターは面に垂直な方向に八面体の厚みの2分の1だけずれることになる。

また、折り紙モデルの中央のリング状クラスターは正五角形の形状を示し、これを中心にして正五角形の構造が、上下を反転（あるいは、 36° 回転）しながら、入れ子構造を形成して広がっていることが分かる。

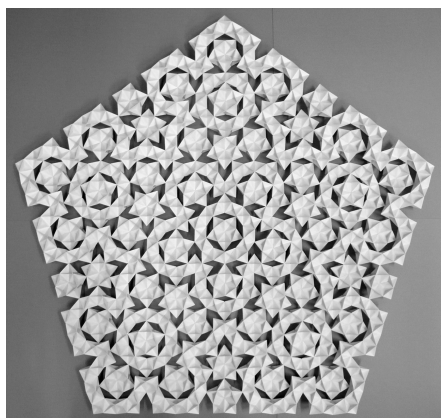


図2 ペンローズパターンの折り紙モデル

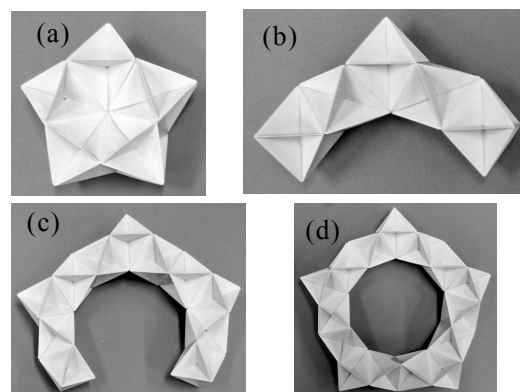


図3 4種類のクラスター：(a)-(d)は、それぞれ、5個、5個、11個、15個の面を共有する正八面体のスケルトンを含む

3. まとめ

ペンローズパターンの折り紙モデルを制作することにより、正八面体のスケルトンを接続してペンローズパターンの5回対称性を持つ2次元準周期構造を表現することができることが示された。ペンローズパターンが無限に広がる2次元平面を覆いつくすことから、ペンローズパターンの折り紙モデルは、無限に広がる板状構造（Slab）を表現しており、正八面体の稜を共有させて、無限に広がる板状構造を積み重ねる（Stacking）ことによって得られる立体構造は、一つの可能な準結晶の構造を表現している。

ある特定の正五角形を中心に、上下を反転（あるいは、 36° 回転）しながら正五角形の構造が入れ子構造を形成しながら広がることによって、ペンローズパターンが形成されていることが示唆される。

文献

- [1] 例えば、笠原邦彦（1988）、「折り紙 夢織り幾何学のすべて」、日貿出版
- [2] 石原正三（1996）、「折り紙でつくる結晶構造モデル」、『固体物理』31, 159-167.

面積・体積・超体積の考え方について

阿竹 克人

株式会社 阿竹研究所 〒468-0068 名古屋市天白区表台 15
atake@atake-i.com

About an idea of area, volume, and hyper-volume

Katsuhito ATAKE

Katsuhito Atake Institute co., ltd. Omotedai 15 Tenpaku-ku Nagoya 468-0068

Abstract: Many of area calculations are divided by two, and many of volume calculations are divided by three. It is understood that the division number is the numbers of dimensions when enhancing it to hyper-volume. This text proposes the idea of a hyper-volume calculation in which it is led to divide by the number of these dimensions in the figure study though it can be easily understood by the integration method.

Keywords: area volume hyper -volume hyper-column trapezoid

1. はじめに

面積計算ではやたらと $1/2$ が出てくる。長方形の面積は縦×横に続いて、三角形の面積は底辺×高さ/2、台形は(上底+下底)×高さ÷2 と小学校で習う。

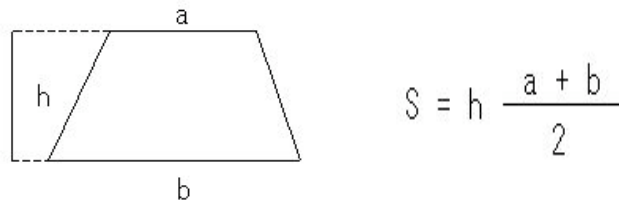


図-1 台形の面積の普通の図。

中学になって体積は直方体が縦×横×高さに始まって多角錐は底面積×高さ÷3と続く。平面の話で2で割るのはすぐ納得できるのだが、立体になると3で割るといのはなかなか直感的に理解しにくい。

高校になって積分を習うと、面積は2で体積は3という、この割る数は次元の数であることがわかる。

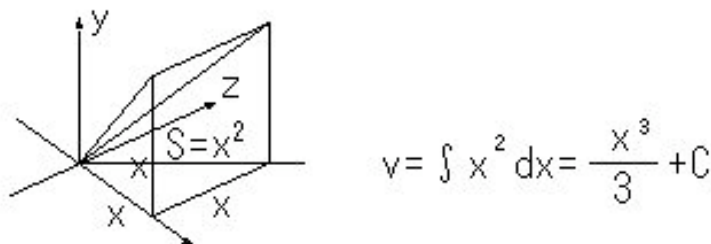


図-2 不定積分の図

ここから四次元超角錐の超体積は体積×高さ÷4 であることが類推できるが、本稿では高次元に容易に拡張できるように面積の考え方を図学的に捕らえなおしたい。

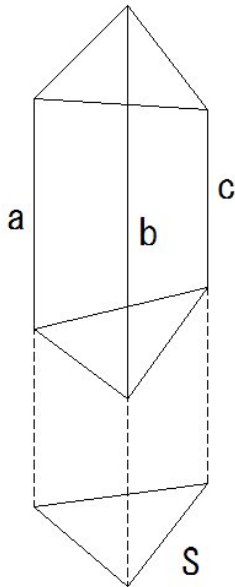
2. 面積体積計算の基本形は台形

何人かの数学関係者に聞いてみたが、左図の体積計算をすぐに答えられる人は少ない。三角柱を平行でない2つの平面で切り取ったものであるが、ここでSは柱方向の投影面積である。なんと
言う立体なのか名前も定かではない。

空間は三本の平行線で決定されるが、三本の平行線分で囲まれた空間の体積を求めるという基本的な計算である。

平面は二本の平行線で決定され、二本の平行線分で囲まれた平面が台形であった。

その意味でこの立体は平面図形の台形に相当し、その体積Vは $S \times (a+b+c) \div 3$ である。証明は非常に簡単なので省略する。



$$V = S \frac{a + b + c}{3}$$

図-3 台形に相当する立体図形

体積は投影面積×その面積の垂直方向への平均移動距離と考えられる。三角形は二次元のシンプレックスである。

ここから改めて台形の面積を考えると、高さとは 実は平行線の垂線方向に投影された図形の影であり、その平均移動距離が面積になる。

二本の平行線が二次元平面を決定し、三本の平行線が三次元空間を決定する。この N 次元空間を決定する平行線の数は N-1 次元のシンプレックスの頂点の数でもある。N 次元のシンプレックスの頂点数は N+1 なので、N 次元空間は N 本の平行線で決定でき、それぞれの平行線を頂点として投影した図形の面積(体積)に平行線分の平均長さを掛けたものがそれぞれの空間図形の体積(超体積)と考えると、統一的に面積体積を考えることができ、N 次元空間の超体積では基本的に N で割ることが理解できる。

そして三角形はたまたま台形の一本の底辺の長さが 0 になった特異な図形と考えられる。同様に三本の平行線が空間を決定しそのうちの二本の長さが 0 になったものが三角錐にあたる。

3. 高次元空間への拡張

図-5 は三次元のシンプレックスである四面体の四次元柱を二枚の平行でない平面で切り取ったもので、断面は四面体となる。

これまでの考察からこの投影体積を V、超体積 HV とすると。

$$HV = v \frac{a + b + c + d}{4}$$

同様に二枚の平面で切り取られた N 次元超柱の体積を HV_n 柱方向の投影 N-1 次元超体積を HV_{n-1} N 本の平行線分の長さを L_n とすると

$$HV_n = HV_{n-1} \frac{\sum_{k=1}^n L_k}{n} \quad \text{となる。}$$

図-5 四次元の基本超体積

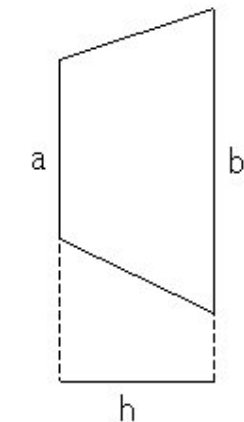
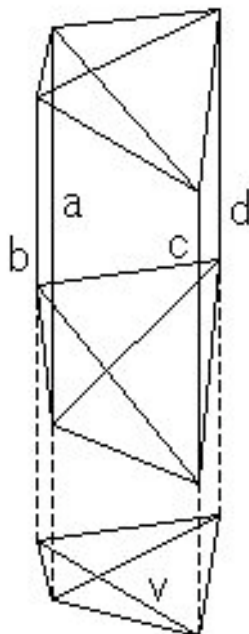


図-4 台形の面積再考



空間充填に関する二、三の結果

佐藤郁郎, 中川 宏, 金原博昭, 秋山 仁

宮城県立がんセンター・研究所・病理 宮城県名取市愛島塩手字野田山 47-1

東海大学・教育開発研究所 東京都渋谷区富ヶ谷 2-28-4

sato-ik510@pref.miyagi.jp, okojoyo@dk.pdx.ne.jp, kimpapa@ksj.biglobe.ne.jp,

ja@jin-akiyama.com

A Few Results on tessellation of the Space

Ikuro SATO, Hiroshi NAKAGAWA, Hiroaki KIMPAPA, Jin AKIYAMA

Department of Pathology, Research Institute, Miyagi Cancer Center

Research Institute of Educational Development, Tokai University

Abstract: We introduce a few results on tessellations of the space.

a) global space filling with copies of cube, regular dodecahedron and Johnson 91.

b) local space filling with copies of rhombic dodecahedron and rhombic triacontahedron.

c) complementary role of the golden -silver sections .

Keywords: space filler, icosahedral symmetry, Johnson 91, golden-silver section.

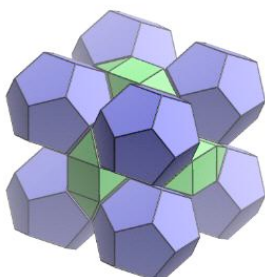
整凸面多面体とは、すべての面が正多角形ですべての辺の長さが等しい凸多面体である。ジョンソン・ザルガラー多面体（以後、JZ多面体という）とは、整凸面多面体のうち、正多面体、準正多面体、アルキメデスの角柱、アルキメデスの反角柱以外のものことである。JZ多面体は全部で92種類あり、それぞれにJ1~J92の番号と名前がつけられている。一方、カタランの多面体とは、準正多面体（アルキメデスの多面体、全部で13種類ある）の双対（面と頂点を入れ替えてできる）多面体のことである。本稿では、空間充填に関する以下の2つの新しい結果を紹介する。

(1) ジョンソン・ザルガラー多面体 J91 を介することによって立方体と正12面体による空間充填が可能となる

(2) カタランの多面体、菱形12面体と菱形30面体の亜種による局所的空間充填から、黄金比と白銀比に相補性が存在する

1. 正12面体と立方体と J91 による空間充填

正方形面からなる立方体は単独で空間充填可能である。一方、正12面体は空間内にどのように配列させても隙間が生じてしまう。ジョンソン・ザルガラー多面体 J91 ($3^8 4^2 5^4$) は菱形12面体と同じ2回回転対称性をもつ14面体である。J91の正三角形面を合



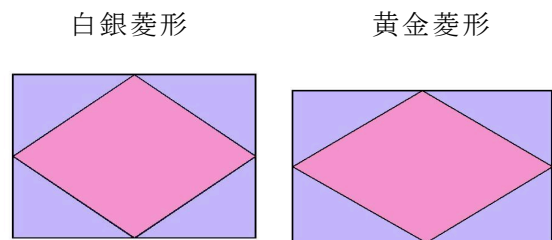
わせるように繋ぐと、立方体と正十二面体の隙間が現れる。そこで、J91・立方体・正十二面体の3種類の立体を3:1:1で組み合わせると空間を充填することが判明した。左に石井源久氏提供の空間充填図を掲げる。この事実より、J91は立方体と

正 12 面体を結びつける重要な役割を果たすと考えることができる。正 12 面体が加わった上述の空間充填形は現在までに知られている空間充填形とは異なる。見方を変えれば、この空間充填形は、空間の分割において、すべての連結切断面が正多角形（この場合、正三角形、正方形、正五角形）であるような非自明な分割の存在を示唆していることになる。

2. 3 次元的な黄金比と白銀比

カタランの多面体、菱形十二面体の各面の対角線の長さの比は白銀比であり、菱形三十面体の各面のそれは黄金比であることをケプラーは考察した。そこで、菱形十二面体の白銀菱形を黄金菱形で、菱形三十面体の黄金菱形を白銀菱形で置き換える「変形」を「対角線を折り曲げて」施す。すると、各々、対角線で折り曲げる方向（mountain fold, valley fold）に依存して 2 種類の多面体ができる。即ち、

- (1) 黄金菱形を長軸で山折りにした $m 24$ 面体
- (2) 黄金菱形を短軸で谷折りにした $v 24$ 面体
- (3) 白銀菱形を長軸で谷折りにした $v 60$ 面体
- (4) 白銀菱形を短軸で山折りにした $m 60$ 面体の計 4 種類ができる。



この変形操作によってどのような事態が起こるのだろうか？ 特筆すべきことは、対角線の長軸方向で折り曲げられた 2 つの多面体 (1) (3) において、 $m 24$ 面体の凸部は $v 60$ 面体の凹部にはぴったりはまりこみ、これら 2 種類の多面体によって空間が充填されることである。その部分の二面角 δ は、

$$\tan \delta = -2 (\sqrt{5} - \sqrt{2}) / 3$$

より 151.281° となって、両者は完全に一致する。この鍵となる事実から、黄金比と白銀比は相互補完的な関係にあることが確認される。

わが国の仏教寺院建築、たとえば大和の法隆寺は白銀比長方形の区画の上に建てられている。函館戦争で榎本武揚が立てこもった五稜郭には黄金比がみられるが、古代エジプトのピラミッドの底面の 1 辺の長さとの高さの比や古代ギリシャのパルテノン神殿の外形にも黄金長方形が使われていることが良く知られている。黄金比は西洋人に愛される形、白銀比は東洋人に好まれる形といわれるが、筆者らの知る限り、黄金比と白銀比は対比されるばかりでこれまで接点が論じられたことがなかった。上述の相補関係は、これら 2 つの重要な比の橋渡しの第一歩と考えることができる。

3. “One Day Seminar on Math and Art ” のご案内

芸術の背後に潜む数理に関するセミナーと展示会を行います。本稿で紹介した美しい模型は 6 月末に以下の要領で開催されるセミナー会場にて展示される予定です。

日時： 平成 22 年 6 月 29 日（火） 13:00～16:00（予定）

会場： 東海大学代々木校舎

問い合わせ先（講演や出品の申し込み先）：

東海大学教育開発研究所 秋山研究室

TEL: 03-3485-5627, FAX: 03-3485-5628

e-mail: ja@jin-akiyama.com

Edge-to-edge タイル張り可能な凸五角形

杉本晃久

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

Convex pentagons that can form edge-to-edge tiling

SUGIMOTO, Teruhisa

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

Abstract: It was shown by Bagina (2004) that in each edge-to-edge tiling of the plane by uniformly bounded pentagons, there exists a tile with at least three nodes of valence three. We consider edge-to-edge tilings with congruent convex pentagons by using the above relation.

Keywords: Convex pentagon, Tiling, Tile, Pentagonal tiling, Node.

1 凸五角形タイル張り問題

凸多角形による平面タイル張りの研究は、一種類の合同図形のみで平面を隙間なく充填できる平面充填形（タイル）の網羅を目指して行われてきた。三角形と四角形は凹形も含めてすべて平面充填形で、凸六角形は平面充填形が3種類に表現でき、7辺以上の凸多角形には充填形が存在しないと証明されている。平面充填凸五角形は、現在までに14種類に表現されている（図1参照）が、これで網羅という証明はなく唯一の未解決問題である。この問題は、凸五角形タイル張り問題と呼ばれている。本研究の最終目的は充填凸五角形の完全網羅である。我々は一つ一つ段階を積み上げて解決を目指している。凸五角形タイル張りでタイル（凸五角形）の辺上に他のタイルの頂点を許すようなnon-edge-to-edgeの場合は、六角形タイル張りで凸条件を緩和したものなどとみなすこともできる。したがって我々はこのような観点から、edge-to-edge凸五角形タイル張りが真の意味で充填凸五角形のタイル張りと考え、まずedge-to-edge凸五角形タイル張りに限定して研究を進めている。なお、既知の14種の平面充填凸五角形のうちedge-to-edgeタイル張りとして扱えるものは8種類ある（図1のtype 1とtype 2のタイリングの例はnon-edge-to-edgeで描かれているが、これらに属する凸五角形は特殊な場合にedge-to-edgeタイル張り可能である）。以下、簡略化のためにedge-to-edgeタイル張りを必要がない限り単にタイル張りと書き、タイル張り内で n 個のタイルが1点に会する点（タイル張りの頂点）を n 価nodeと呼ぶことにする。

2 五角形タイリングのnodeの性質

我々は、この問題にとり組むにあたってnodeの性質に注目した。タイル張り内のnodeの分布が平衡状態になっているとすると、五角形タイル張りのnodeの価数の平均は $10/3 \approx 3.333\cdots$ と考察できる。したがって、五角形のタイル張りには価数3のnodeを含む複数の種類のnodeが必要である。

Baginaは、5等辺凸五角形を用いたタイル張りの研究において、以下のPropositionを与えた。

Bagina's Proposition (2004). In each edge-to-edge tiling of the plane by uniformly bounded pentagons, there exists a tile with at least three nodes of valence three.

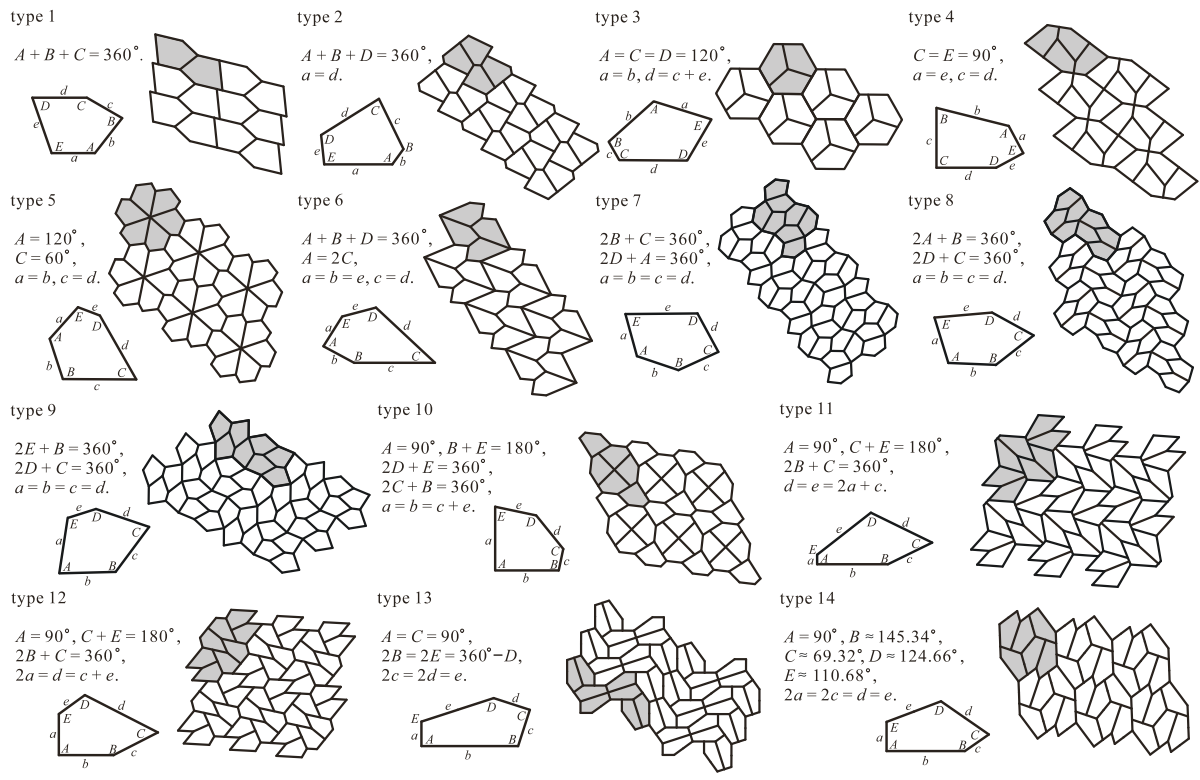


図 1. 平面充填凸五角形.

タイルの五角形が合同で凸である場合も Bagina's Proposition (2004) が、成り立つことは明白である。一方、五角形の 5 種類の頂点を 3 価 node の形に集結させる組み合わせは全部で 35 種類ある。

3 価数 3 の node の性質に注目した考察

我々は、node の性質から、edge-to-edge タイル張り可能な凸五角形ならば備えている 3 価 node の組合せ 465 通りを導いた（ただし、既存の type 1 や type 2 に属すと簡単に判断できるものは、この 465 通りの組合せには含まれていない）。一方、タイル張り可能な 5 等辺凸五角形の条件はすでに提示されている。また、全ての辺長が異なる凸五角形はタイル張り不可能で、最簡集結条件（4 価 node が 1 種類と 3 価 node が 2 種類（1 種類に退化する場合を含む））に従うタイル張り可能な 4 等辺凸五角形に関する情報を、我々は得ている。このようなこれまでの結果等を使い、465 通りの組合せから検討すべき（未解決状態である）場合を 60 通りに絞り込んだ。さらにこの結果から、最簡集結条件に従うタイル張りが可能な凸五角形は、既存の type のどれかに属する等の結果を得た。

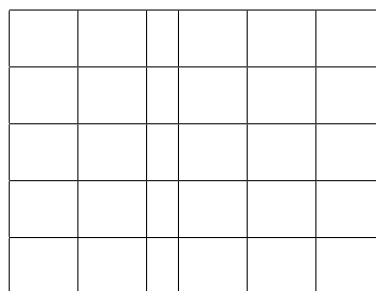
参考文献

- Bagina, O. (2004). Tiling the plane with congruent equilateral convex pentagons, *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, **105**, 221–232.
- Grübaum, B. and Shepard, G. C. (1987). *TILINGS AND PATTERNS*, W. H. Freeman and Company, New York, pp.492–497 (Chapter 9).
- Sugimoto, T. and Ogawa, T. (2005). Systematic Study of Convex Pentagonal Tilings, I: Case of Convex Pentagons with Four Equal-length Edges, *Forma*, **20**, 1–18.
- Sugimoto, T. and Ogawa, T. (2006). Properties of Tilings by Convex Pentagons, *Forma*, **21**, 113–128.
- Sugimoto, T. and Ogawa, T. (2010). Systematic Study of Convex Pentagonal Tilings, II: Case of Convex Pentagons with Four Equal-length Edges, *Research Memorandum, ISM*, **1113**, 1–31.

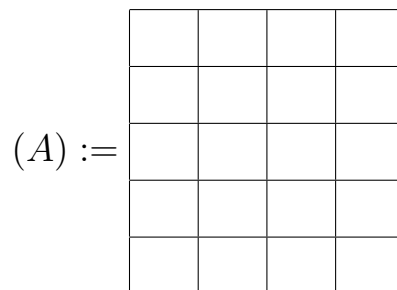
7次のルーペ魔方陣に表れる SYLO 形

東川 和夫 (富山大学 理学部)

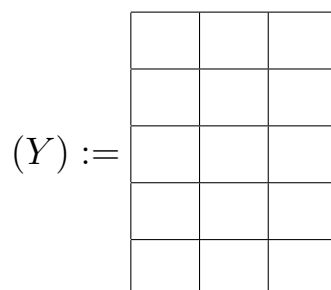
$0, \dots, 48$ を使った 7 次の方陣 M がルーペ性を持つとは, M の被覆の全てのルーペ



上の数の和が魔方陣の定和 168 になるときである. このとき, M は魔方陣になり, 次の (A) が成り立つ. この図形の意味は, M の和が (A) の和に等しいことを意味する.



(A) より (Y) を得る.



(Y) より (S) を得る.

$$(S) := \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & & \\ \hline & & & \\ \hline & & & \\ \hline & & & \\ \hline & & & \\ \hline \end{array}$$

(S) より (O) を得る.

$$(O) := \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & & & & \\ \hline & & & & \\ \hline & & & & \\ \hline & & & & \\ \hline \end{array}$$

また (O) と (S) より (L) を得る.

$$(L) := \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & & & & & \\ \hline & & & & & \\ \hline & & & & & \\ \hline & & & & & \\ \hline \end{array}$$

M の座標を $M_{ij} = x_{\Phi(i,j)} = x_{pq}$, $p = 2i + j$, $q = 5i + j \pmod{7}$ で変換する. このとき, $M_{00} = 0$ ならば, (S)(Y)(L)(O) 形の性質より, 全ての $p, q = 1, \dots, 6$ に対して, $x_{pq} = x_{p0} + x_{0q}$ がいえる. 必要なら, 行に沿って M を鏡映して, $\min\{x_{10}, \dots, x_{60}\} > \min\{x_{01}, \dots, x_{06}\}$ と仮定する. x_{10}, \dots, x_{60} を小さい順に並べたものを R_1, \dots, R_6 とし, x_{01}, \dots, x_{06} を小さい順に並べたものを r_1, \dots, r_6 とし, $R_0 = 0, r_0 = 0$ とおくと, $\{0, \dots, 48\} = \{R_i + r_j \mid i, j \in \{0, \dots, 6\}\}$ である. これより, $R_i = 7i, r_j = j$ がいえる. ゆえに,

$$M_{ij} = x_{\Phi(i,j)} = x_{pq} = x_{p0} + x_{0q} = R_{\theta(p)} + r_{\psi(q)} = 7\theta(p) + \psi(q) = 7\theta(2i + j) + \psi(5i + j).$$

これより, ルーペ性を持つ 7 次の方陣の一般の形が得られた.

正多角形が作る芒星の数と星型正多角形

横田 至明

東京藝術大学デザイン科、東京都台東区上野公園 12-8

e-mail: origmiken@gmail.com

How many Star-polygrams made of regular polygon by prolongation?

Yoshiaki Yokota

Tokyo National University of Fine Arts and Music,

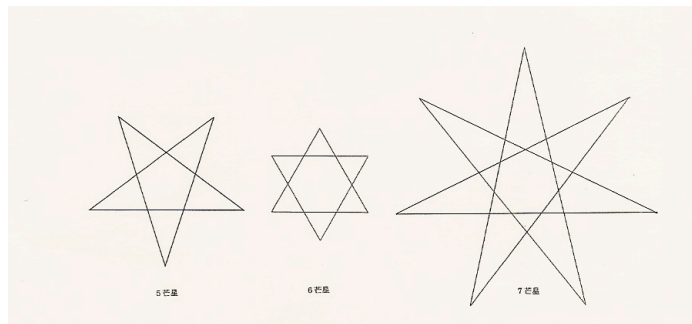
Faculty of Fine Arts, Department of design

Abstract: Star-n(poly)gram's Number(N) made of regular n(poly)gon by prolongation is $N=(n-3)/2$ when n is odd, $N=(n-4)/2$ when n is even.

Keywords: regular polygon, Star-polygram, Star-regular-polygon

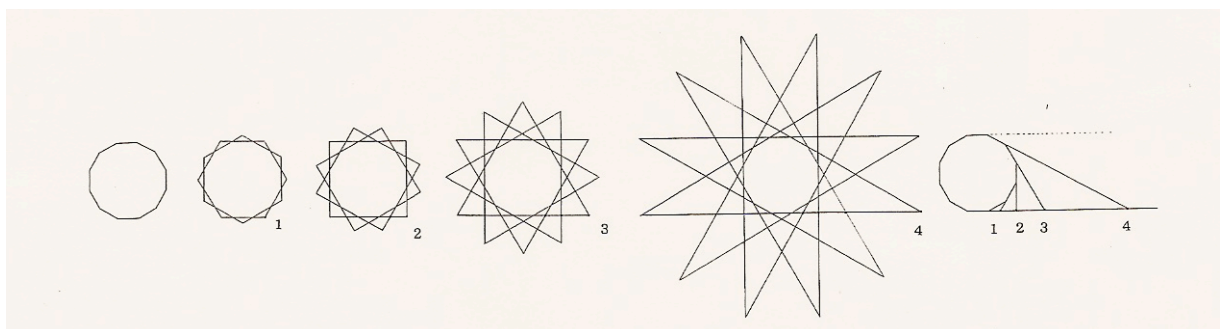
1. はじめに

5角以上の正多角形の辺を延長すると、芒星ができる。イネ科の植物が芒^{のま}を伸ばすように、正多角形が突起を伸ばし、星型を作り出すので、芒星^{ぼうせい}と呼ぶ。正n角形のn値を増やすと、辺が増え、この延長線同士の出合う機会も増える。つまり芒星の数が増える。では、正n角形の作り出すn芒星は、いくつあるのだろうか。ここでは、これを明らかにするとともに、こうした論議が目立って行われなかった理由も明らかにしておきたい。



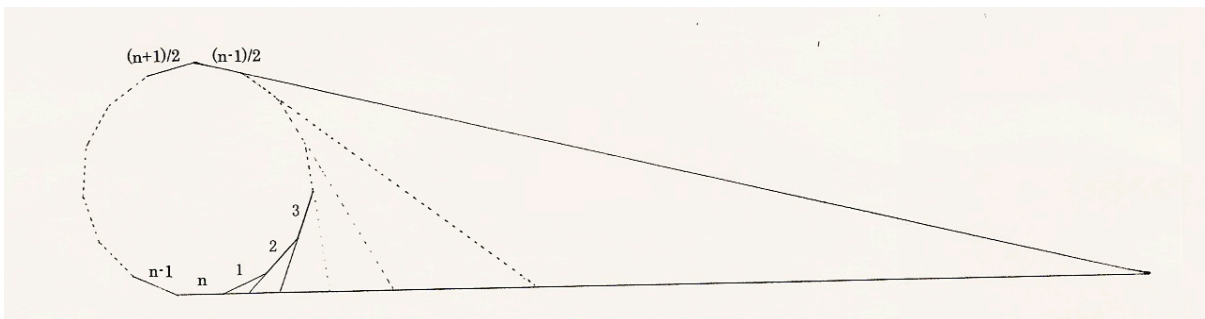
2. 正多角形と芒星の数(N)

正n角形が各辺を延長して作り出すn芒星の数(N)は、正n角形の任意の一边を片側に延長した直線に別の辺を延長した直線が出合う点の数として求めることができる。



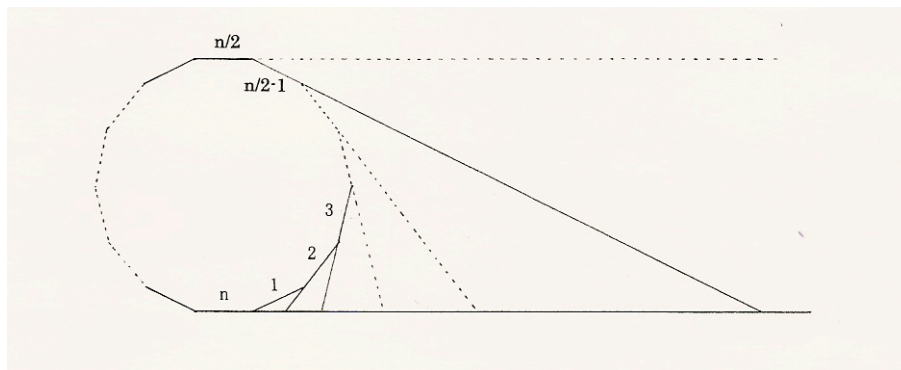
2-1) n が奇数のとき

正 n 角形の各辺に順番をつける。1, 2, 3, \dots , $(n-1)/2$, $(n+1)/2$, \dots , $(n-1)$, n
最後の n 番目の辺を右側に延長すると、1 の辺は、直接 n と多角形を成しているため、
この延長線が n と出合うことはない。2, 3, \dots , $(n-1)/2$ までの延長線が n と出合う。従
って、 n の延長線上で出合うこの多角形の辺の延長線の数は、最後の $(n-1)/2$ から 1 を引
いた数ということになる。つまり $N=(n-1)/2-1$ 、整理すると $N=(n-3)/2$ 個となる。



2-2) n が偶数のとき

正 n 角形の各辺に順番を付ける。1, 2, 3, \dots , $(n/2-1)$, $n/2$, $(n/2+1)$, \dots , n
最後の n 番目の辺を右側に延長すると、1 の辺は、直接 n と多角形をなしているため、
この延長線が n と出合うことはない。 $n/2$ は n と平行になるためこれも出合わない。
従って 1 つ前 $(n/2-1)$ から最初の 1 を引いた数が求める N の値となる。
 $N=(n/2-1)-1$ 、これを整理すると $N=(n-4)/2$ 個となる。



3. 星型正多角形

正 n 角形の辺を延長して作られる n 芒星は、2. で述べた通りの数式で網羅されるが、
このうち、星の各頂点を結んで一筆で書きあがる星型が星型正多角形として重んじられた。
これは、一筆で書きあがらない星型を、いくつかの正多角形の組み合わせさせた複合正多角
形として、(純粋な) 星型と区別しようとする動きと見て取れる。個別の芒星についての論
議はあっても、まとまった芒星論がないのは、そのためと思われる。

これはデザインの側からすると残念なことだ。「芒星はすべて美しい。」また、視点を変
えると、「芒星はすべて一筆書きできる。」オイラーを待つまでもない。お試しあれ！

4. 付記

浅学の身にして芒星につき個別に論あるを知るも、寡聞にしてパースペクティブな論あ
るを知らず。本論を書きたる所以なり。先行する芒星論あらば一報願いたし。

美の幾何学 XI: 立体幾何学と解析力学

小川 泰

産業技術総合研究所 (客員), 科学芸術学際研究所, 筑波大学 (名誉教授)

E-mail: ogawa-t@koalanet.ne.jp

Geometry of Beauty XI: Solid Geometry and Analytical Dynamics

Toru Ogawa

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),

The Interdisciplinary Institute of Science, Technology and Art (NPO-ISTA)

University of Tsukuba (Prof. Emer.)

Abstract:

The study of uniform curve proper to dimensionality started in the 3rd paper (2004) of the series. Corresponding to 4D uniform curves are introduced in the 8th paper (2008) and a 3D close surface on that all the 3D curves thus translated from 4D are introduced in the 10th paper (2009). There, a statement was given that the 3D curves are geodesic lines of the surface without any proof. The main aim of this presentation is related with this subject. The research is now in progress but not finished yet. Then now only some key words and only some outlines can be given. Sorry about that.

Keywords: analytical dynamics, Lagrangian mechanics, geodesic lines, uniform curves proper to each of spatial dimension

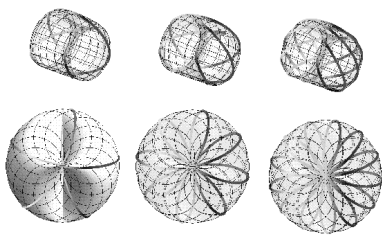
1. はじめに

2004 年以来, 次元固有の一様曲線 (1 次元: 空間自身に相当する直線. 2 次元: 任意の円. 3 次元: つるまき線 helix. 4 次元単一パラメータで支配され 2 円. いずれの場合も時間を助変数として運動学的用語を使うと理解しやすい (と思っている).

4 次元一様曲線を 3 次元人として楽しむ手法を編み出した. 3 次元では, 4 方向の相互直交は無理でも, 相互同等化は可能であることに気が付き, 4 次元での直交座標で表示した座標値をそのまま利用し, 正四面体 4 頂点を, 立方体 8 頂点から選んだ 4 方向に利用する手法を試みて, 3 次元デザインとして利用している. この手法が, 3 次元が $4^k - 1$ と表せる次元数になっているからであることは 3 月下旬に Atlanta で開催された G4G9 の Exchange Book 用原稿に書いた. 端的にいえば, 正多面体の一般化である n 次元正多胞体には頂点数が 2^n である (正方形, 立方体, ...) の系列と, 頂点数が $n+1$ の正四面体のような単体の系列があり, それらの頂点数比が整数倍になるのは, 3 次元 4 次元の次は, 7 次元と 8 次元, 15 次元と 16 次元, 31 次元と 32 次元, ... となっている. それらの場合, 比はそれぞれ 2, 16, 2048, 67108864, ... である. われわれ以上の高次元人はこのような状況を把握しやすいように思えるが, 果たして, 3~4 次元間の特徴をいつ頃認識できるものだろうか.

さて曲面と曲線の主題に戻る. 上に述べた考えにもとづかならば, これらの 4 次元一様

曲線がすべて載る（4次元空間にあって、数学者が3次元球と呼ぶ）幾何学図形を同じ手法で変換した3次元曲面を求め、既に求めてある曲線群が、すべてこの（部分間の相互交叉をもつ）曲面に載ることは納得できた。その際の観察結果として、これらの曲線群がすべてこの曲面の測地線になっているという所見を得たが、証明はしなかった。



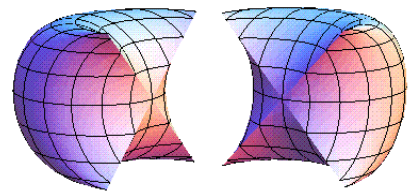
3枚絵の両眼立体視 美の幾何学Ⅶ(2007)より.		

上より下へ、各段の横並び3枚組それぞれ x 軸, y 軸, z 軸に沿ってのステレオグラム. 3枚の図が4枚に見えるとき内側2枚が立体像. 平行視では右寄りが交差視では左よりが手前に見えるはず.

また、この曲面は、離心率あるいは、長短両軸長の比（1以下の値）が $1/\sqrt{2}$ の楕円が、互いに合同ではあるが相互に直交する方向の楕円に沿って運動する際の軌跡になっていることを前回 X で示した。

今回は、順序を変えて、この曲面の方を前提として、その面の測地線を求める問題を考察する。計算はこれから始めるところであるが、現時点での構想としては、この曲面上に束縛されている自由粒子の運動を、Lagrange 未定数法を利用して、束縛条件による見かけ上の力（束縛力）とみなす力学問題としての扱いを試みる。

なお、曲面の様子を説明するために、 $x=0$ に相当する接合部分での断面を右に示すが、鋭い尖端稜で面と面が交叉している。図は切り離れた部分を開いて示したものである。なお、上に掲げた曲線との関係は、 yz 面内で45度だけ相互に回転させた向きになっている。



2. 幾何学と力学

相対論による時空概念の変革によって、力学の幾何学化が進展した。その歴史を問題にするわけではないが、ここ数年、造形遊びという感覚からはじめて空間次元を問題にしてきた私の研究関心の流れとしては、測地線という局所と大域をつなぐ視点をおさえておく必要をかねがね感じ始めていた。

発表時点では、進展の状況によるので、どういう話し方になるかは、現在何もいえないが、せいぜい関心の流れだけはお伝えしたいという思いで、この予稿を書いている。

註 美の幾何学シリーズについて、『美の幾何学』は本会創立当初以来の名誉会員であった伏見康治先生と安野光雅、中村義作両氏の名鼎談『美の幾何学・天のたくらみ、人のたくみ』（中公新書 554, 1979）の精神を引き継いでいると感じるときに使わせていただく許可を生前の伏見先生から頂き、1998年以來これが11回目である。今回の話題に関連する一様曲線は2006年の6回目。曲面が登場したのが2009年の10回目である

円が円運動した軌跡として現れる数学曲面 — 立体模型の作製と視覚障害者による触覚認識

手嶋 吉法^{1,6}、小川 泰^{1,2,6}、池上 祐司^{1,3,6}、大内 進⁴、
金子 健⁴、藤芳 衛⁵、山澤 建二³、渡辺 泰成^{1,3,6}

¹産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 〒305-8564 つくば市並木 1-2-1

²筑波大学名誉教授 〒305-8577 つくば市天王台 1-1-1

³理化学研究所 ラピッド・エンジニアリングチーム 〒351-0198 和光市広沢 2-1

⁴国立特別支援教育総合研究所 〒239-0841 横須賀市野比 5-1-1

⁵大学入試センター 〒153-8501 目黒区駒場 2-19-23

⁶科学芸術学際研究所 (ISTA) 〒351-0036 朝霞市北原 2-5-28-211

Mathematically defined curved surfaces as loci of circular movement of circle: Development of their 3D models and tactile recognition by the visually impaired

Y. Teshima *, T. Ogawa, Y. Ikegami, S. Oouchi,
T. Kaneko, M. Fujiyoshi, K. Yamazawa and Y. Watanabe
* yoshinori.teshima@aist.go.jp

Abstract: Several accurate models of mathematically defined curved surfaces were constructed for use in tactile learning. Exact shape data were generated on a personal computer using mathematical or computer-aided design software. Then tactile models were constructed by layered manufacturing, which is well suited for curved surfaces. This method is flexible in that the equation parameters and model scale can be changed easily. A recognition test performed on several models showed their potential usefulness for tactile learning.

Keywords: tactile 3D model, mathematically defined curved surface, layered manufacturing

触覚鑑賞の為の立体模型

我々は2006年度より、視覚障害者の触覚鑑賞の世界を豊かにすべく、様々な立体模型の開発を行ってきた。それらは、大きく3つの範疇、すなわち巨大物・微小物・抽象物に属する。巨大物の縮小模型としては正確な地形データに基づく惑星儀（地球、火星、金星、月）を、微小物の拡大模型としてはマイクロ X 線 CT で取得した正確な形状データに基づく放散虫および有孔虫の骨格模型を2007年秋および2008年春に本学会にて報告してきた。抽象物としては、多面体の模型を2009年秋に本学会で展示したが、今回は数学曲面の立体模型について報告する。

円の円運動の軌跡としての数学曲面

円の円運動の軌跡として生じる数学曲面の中で、日常生活で良く見かけるものは浮き輪の形状、もしくはドーナツの表面形状であろう。専門用語ではトーラスと言う。トーラスの穴の中心からトーラスの垂直断面円の中心までの距離を d とし、垂直断面円の半径を r とすると、 $r < d$ の時が普通のトーラス（リングトーラス：図1）であり、 $r = d$ の時がホーントーラス（図2）、更に $r > d$ の時は内部に自己交差を有するスピンドルトーラス（図3）となる。

また、図4も円の円運動から生じる軌跡であるが、これは我々のオリジナルな数学曲面（文献[1]）であり、円の向きを水平に保ったまま垂直な面内で円運動させたものである。

全ての立体模型は数学ソフト(Mathematica)でデザインし、レーザー焼結の積層造形（材料はナイロン粉末）により実体化したものである。

図4の模型はもちろんのこと、図2や図3の模型も通常の大学教育で教わる事は無いのだが、これらの模型を用いて、触覚による立体認識のテストを全盲の高校生9名を被験者としておこなったところ、かなり良く理解出来ることが分かった。つまり、このような立体模型は、触覚学習において非常に有用であると言える。詳細は文献[2]をご覧いただきたい。

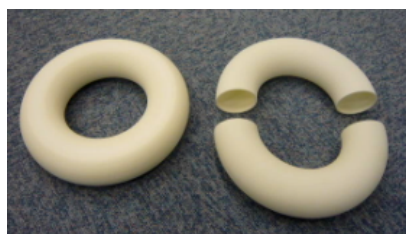


図1 リングトーラスとその分割
 $d = 7.5 \text{ cm}, r = 2.5 \text{ cm}$

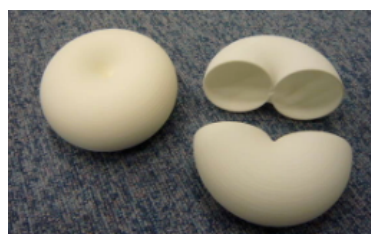


図2 ホーントーラスとその分割
 $d = 2.5 \text{ cm}, r = 2.5 \text{ cm}$



図3 スピンドルトーラスとその分割
 $d = 1.25 \text{ cm}, r = 2.5 \text{ cm}$

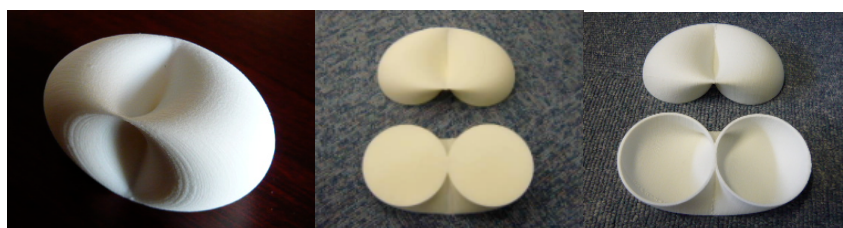


図4 円を水平に保ったまま鉛直面内で円運動させた軌跡

左：軌跡全体 中央：不正確な分割模型（断面が円盤） 右：正確な分割模型

本研究は、文部科学省科研費の助成を一部受けている[基盤研究(A) 18200049]。

[1] Y. Teshima and T. Ogawa, "Loci of circular movement of circle and their layered manufacturing models", The Journal of the International Society for the Interdisciplinary Study of Symmetry, 1-4 (2009) a supplement paper, 4 pages (Proc. of International Interdisciplinary Conference "Symmetry of Forms and Structures" in Wroclaw - Krakow, Poland (September, 2009))

[2] Y. Teshima et al., Models of Mathematically Defined Curved Surfaces for Tactile Learning, To be published in Lecture Notes in Computer Science - LNCS (Proc. of 12th International Conference on Computers Helping People with Special Needs) (2010) 8 pages

触覚からひらく人工現実と形の世界

嵯峨 智

東北大学, 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

E-mail: saga@fractal.is.tohoku.ac.jp

Haptic interfaces connect human and outer world

Satoshi Saga

Tohoku University, 6-6-01, Aoba, Aramaki-aza, Aoba-ku, Sendai City, JAPAN

Abstract: This paper describes haptic technologies as an interface between human and shapes of outer world with several examples. We argue that human-oriented, intuitive tactile input/output device is the essential element for the interface between human and outer world. However, there are lacks of tactile output in recent information devices. Then we discuss bidirectional characteristic of tactile interface, and remark that accordance of input/output is important for tactile interface.

Keywords: tactile interface, human-oriented sensing/display, bidirectional interface

1. はじめに

触覚とは、ヒトの感覚の中で最もプリミティブかつ最大の感覚器官である。外界とヒトの境界は皮膚からなり、そのほぼ全ての部分の感覚入出力を触覚が占めている。極言すれば、ヒト自体を構成する「形」は触覚からなり、外界とのコミュニケーションも触覚を通じて行われると言える (Fig. 1)。「形」のあるヒトが、外界の「形」を認識するためには視覚もしくは触覚を利用する。そして、ヒトが外界の「形」に働きかけるには必ず触覚を経由する。すなわち外界の「形」とヒトとのインタフェースの大部分は触覚に由来する。

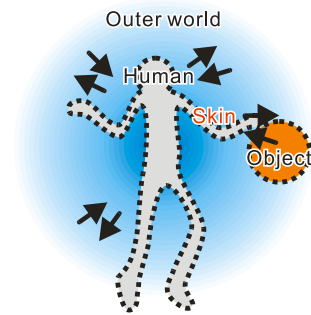


Fig. 1 Outer world and human

コンピュータグラフィクス(CG)の発展に伴い、人工現実としての外界であるバーチャル世界の中に、視覚的な形状をCGとして作り出すことは容易になりつつある。任意の形状をCGとして作成、編集、閲覧することが可能となり、近年の3次元立体視の技術とも相俟って、視覚的な形状技術は円熟したものとなっている。その一方で、ヒトから形に働きかける場合、コンピュータ上でマウスなどを経由して形を編集することはできても、直接触れる、変形するといった働きかけは難しかった。

しかし、近年このような触覚に関するインタフェースの研究が盛んに行われている。とりわけ触覚ディスプレイ分野の隆盛にはめざましいものがある。PHANToM [1]をはじめとする各種の力覚提示装置はもちろん、近年数多く研究されている皮膚感覚提示装置はよりリアルな表現を可能にしてきた。一方、iPhoneをはじめとする情報機器における触覚センサについても、インタフェースとして見逃してはならない部分がある。本稿では、このようなヒトと外界の「形」をむすぶインタフェースとしての触覚技術について考察をすすめる。

2. 触覚入力デバイス —ヒトからの触覚情報取得センサー—

2.1. 従来のデバイス

旧来、計算機などにおいて、情報を入力する多くのインタフェースはジョイパッド、キーボード、マウスといった記号的な入力技術に依存してきた。ここで、記号的とは操作自

体の動きとバーチャル世界の動きに直感的なつながりがなく、バーチャル世界にとって、この変化のためにはこの入力という、「決められた入力記号」であるボタンの押下というようなことをさす。しかし近年、iPhone に代表される触覚入力が可能な機器では、記号的な入力から直感的な入力への変容がみられる。その代表として「マルチタッチ」があげられる。「マルチタッチ」とは、タッチパネルにおいて複数の接触認識を可能にしたものであり、iPhone の有効性を大きく牽引している。このように、人間からの直感的操作情報を入力に持つデバイスとして、古くは Media Cube [2]、最近では Wii コントローラ (Nintendo, inc.) という、加速度センサからの傾きを人間からの入力として扱い、映像で情報を出力するものがある。また、古くは Space Mouse (3D connexion, inc.)、最近ではバランス Wii ボードといった力センサからの力の入力をヒトからの情報として利用し、映像で情報を出力するものもある。しかし、これらの触覚センサは装置や測定方法ありきで開発されてきたため、ヒトの出力情報取得に不足する部分がある。

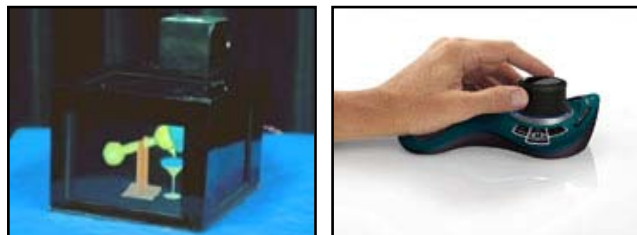


Fig. 2 (Left) Media cube, (Right) Space mouse

2.2. ヒト指向型触覚センサ

ヒトの出力情報取得のためには、前述の「マルチタッチ」はもちろん、力の分布といった情報も必要になる。このようなセンサとして、研究レベルでは GelForce [3] (Fig. 3 左) というマルチタッチセンサが開発されている。このセンサは、6 自由度の分布型触覚センサとしてさまざまな情報を計測することができる。これは透明弾性体中にあるマーカを光学的に計測し、その変形から逆問題を解くことで情報を復元する。これにより、今まで取得できなかった力分布を取得し、リッチな情報を直感的な入力として扱うことができるようになった。

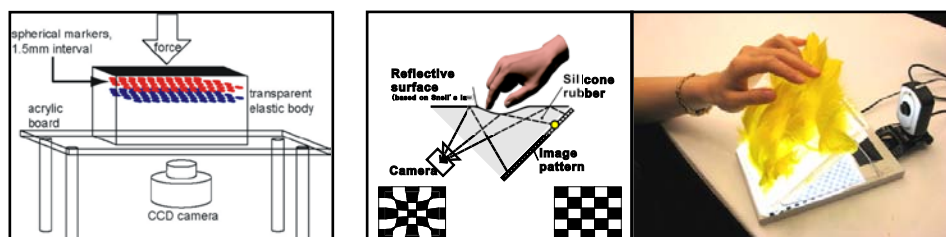


Fig. 3 (Left) GelForce, (Right) Reflection type tactile sensor

我々の提案する反射型触覚センサ [4] (Fig. 3 右) も直感的なマルチタッチインタフェースのためのセンサであるが、さらに特異な性質をもつ。GelForce 同様に光学的な計測を行うが、反射像を利用することで、平面分布情報を詳細に計測することができる。さらに、反射という性質のため、光でこの原理により、測定面の小さな角度変位を増幅して検出できる。この性質により、人間と同程度の弁別能力である、0.1 mm の変位の定量化を可能にしている。また、反射という単純な性質のため、カメラの代わりに単純な光学素子 (LED, PD など) を利用することができる。そのためセンシングの時間周波数をあげることもできるので、スティックスリップのように高周波成分の振動を検出することも可能になる。さらに、反射の変化さえとればどのようなデバイスをも測定面に埋めこめるので、Fig. 3 右のように羽毛を埋め込んだ分布型センサを構成することも可能になる。これをぬいぐるみなどに利用することによって、子供でも直感的に操作が可能なロボットを構成できる。このように我々のセンサは、原理がシンプルであるがゆえにさまざまな使い方を提案することができる。

2.3. 触覚センサの将来

これまで、触覚センサというものは装置や測定方法ありきで開発されてきた。しかし、

ヒトとバーチャル世界のインタフェースとしての役割を考えると、センサはヒトの感性を不可分なくとりこむことが目標となる。Harmon [5], 篠田 [6]により、完全な触覚センサが満たすべき条件が挙げられている。彼らも述べるとおり完全である必要性はないが、必要な情報を取得するために十分なセンサはヒトの特性から決定されることを忘れてはならない。

3. 触覚出力デバイス –ヒトへの触覚情報提示ディスプレイ–

3.1. 従来の触覚ディスプレイ

近年の情報機器において触覚ディスプレイというと、CGのボタンを押したという行動結果を振動などの記号的表現をするものがある程度である。これは前項同様「記号的な」出力といえるだろう。一方、より直感的な出力を目指したデバイスとして、フォースフィードバックタッチパネル(SMK, inc.)などクリック感を表現するデバイスが販売されるようになってきている。さらに、2節で述べたように、PHANToM (Fig. 4左)に代表される力覚提示装置により、CGなどの形に直感的にアクセスする手段が大きく広がった。とはいっても、力覚提示装置は大型かつ高額で、汎用的に利用できるものでない。しかし、このような直感的な触覚提示が今後の触覚インタフェースにとって忘れてはならない技術であることは否めない。

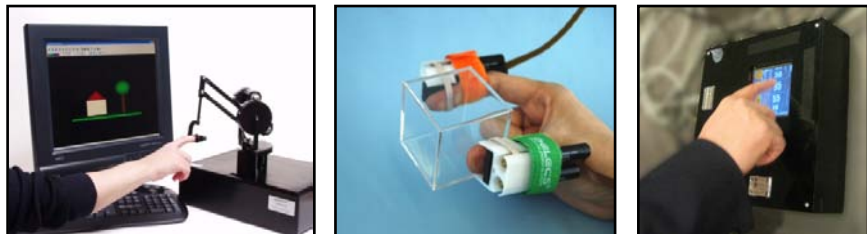


Fig. 4 (Left) PHANToM, (Center) Gravity Grabber, (Right) T-PaD

3.2. ヒト指向型触覚ディスプレイ

このような現状を踏まえ、昨今さまざまな形の手軽な触覚出力装置として、皮膚感覚に訴える触覚提示装置が開発されている。Gravity Grabber [7] (Fig. 4中央)という、指先へのせん断力を提示することで、あたかも物体を把持したような感覚を生起する触覚提示装置や、ゲームやおもちゃの製品としても、∞プチプチ(株式会社バンダイ)といった、触覚の直感的出力技術に訴えるものも出てきている。このような中、より汎用的な感覚提示を目指したディスプレイも研究されている。Kajimotoら [8]は電気刺激を用いて、Konyoら [9], Chubbら [10], Visselら [11]は機械振動により、それぞれ触覚受容器に応じた触刺激をつくりだしている。これらのデバイスは振動を利用しているという点において従来の記号的振動デバイスと類似するが、人間の特性を考慮したうえで、適切な高周波振動により、よりリアルかつ直感的な出力を実現できるようになりつつある。例えばChubbらのT-PaD (Fig. 4右)ではガラス面上の摩擦を振動により制御し、あたかもCGの物体を操作しているような感覚を生起できる。



Fig. 5 Dilatant-fluid based tactile display

このような中、我々はすこし異なる方向性をもつ触覚ディスプレイを研究している[12] (Fig. 5)。変形が可能であり、弾性を変化させうる液体状の物体を用いることで、自由な変形の可能性を残しつつ、柔軟な硬さの表現が可能なデバイスがあれば、より触覚表現の可能性が広がると考えられる。このような流体として、我々はダイラタント流体を用いることとした。ダイラ

タント流体に急激な変形を加えることにより流体から固体へと相変化する。この変形に伴う相変化を利用し、スピーカにより流体に加振することで流体の弾性変化を触覚ディスプレイに活かす。

これまでの実験により，加振周波数および押し込み速度により，反力が可変となり，また，ヒトの知覚特性に応じた柔らかさ，硬さ表現も可能となることがわかっている．

3.3. 触覚ディスプレイの将来

PHANToM に代表される触覚ディスプレイは大きく高価であり，広く利用されるようになるにはまだ時間が必要であろう．一方，Gravity Grabber， ∞ プチプチのような触覚ディスプレイは，完全な触覚を再現するわけではないが，アプリケーションを限定することにより，小さく簡便に利用できるものとなっている．このように，触覚センサ同様，ヒトの触覚特性をうまく利用しながら，アプリケーションに特化した小型デバイスが触覚ディスプレイを牽引していく鍵となりうると考えられる．

4. 触覚デバイスの双方向性

Gibson [13] が触覚のことを Active Touch と評しているように，触覚とは元来双方向な感覚器官である．触れるという行為と触れることによる感覚が一体となって触覚としてのリアリティを生成する．翻って，iPhone のように触覚入力，視覚出力のインタフェースに，前述の高周波機械振動による触覚ディスプレイを付加することにより，触覚情報を双方向にすることができ，人間とバーチャル世界をつなぐ界面を，より密接なものにすることができる．さらには，AR 技術との協調により，バーチャル世界を経由して，実世界との界面をなくすこともできるであろう．以降の節ではこの入出力による双方向性について議論する．

4.1. 双方向性をもつ触覚デバイス

触覚の双方向性をもつデバイスとして，野嶋らは Smart Tool というデバイスを作成し，その有効性を示している．彼らは PHANToM のような触覚ディスプレイのペン先にセンサを付加することで，ヒトからの入力として，ペンをもったときの操作を実現しながら，そこに触覚での作業における補助情報を出力として拡張現実感(AR)的サポートを可能にした．我々もまた，PHANToM をつかった力覚教示システムを開発している．これは PHANToM のペン先に 6 軸力センサを利用し，力の入力点と出力点を一致させている．作業記録時には，力の入力点で力の履歴を記録する．作業再生時には，記録された力をもとに，同じ装置を力の

出力装置として教示システムを実現している．この装置は教示システムとして開発されたが，野嶋らのシステムと同様，AR 的な使い方も可能なデバイスである．

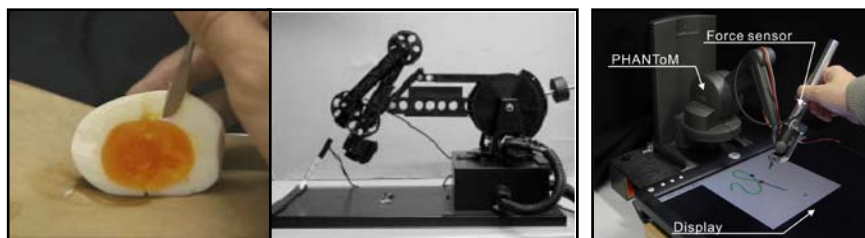


Fig. 6 (Left) SmartTool, (Right) Haptic Teaching Tool

このように，触覚の双方向性をもたせることにより，バーチャル世界，ひいては実世界との情報の行き来をスムーズにすることができるようになる．力覚においては，世界間の界面が存在しないかのようなインタフェースを構成することができるようになっている．

4.2. 双方向性の拡張

これまでのデバイスの多くは入力には触覚，出力には視聴覚を用いるといったように，情報の方向性の違いで，用いる感覚器官も異なっていた．しかし，前述のような，触覚の一部として力覚における入出力の一致を実現するデバイスは研究レベルにおいて実現されている．このような入出力が一致可能なインタフェースを用いることにより，ヒトとバーチャル世界，実世界間での情報の行き来がよりスムーズになり，あたかも界面が存在しな

いかのようなインタフェースを構成することができる。

ヒトとバーチャル世界とのインタフェースとして、直感的入出力への希求が高まる現在、小型でありながら、ヒトと世界をより密接につなぐ可能性をもつインタフェースの開発が望まれている。一方で、ここまでの議論から、「触覚における入出力の一致」の一部を実現したデバイスが開発されていることがわかる。今後このような、「触覚における入出力の一致」をより密な形で実装したデバイスにより、界面たるインタフェースがあたかも存在しないかのようなインタフェースこそ次世代型インタフェースの世界が開かれるのではなかろうか。それはまるで鏡のように界面でありながら、界面の向こうに新たな世界を感じさせるデバイスかもしれない(Fig. 7)。

5. まとめ

本稿では、ヒトと外界の「形」をむすぶインタフェースとしての触覚技術について事例を通して考察を行った。ヒトと外界をつなぐ境界としてのインタフェースとして、ヒト指向型の直感的な触覚入出力デバイスが不可欠な要素であることを議論した。さらに近年の情報機器における触覚技術の多くが、現在は出力が欠落している点に言及し、触覚の双方向性を確認した上で、入出力の一致したデバイスの開発の重要性について議論した。



Fig. 7 Ideal tactile device?

文献

- [1] Massie, T. H. & Salisbury, J. K. (1994), The PHANToM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Object, In Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exposition, **55**, 295-301.
- [2] Kawakami, N.; Inami, M.; Maeda, T. & Tachi, S. (1997), Proposal for the Object Oriented Display --The Design and Implementation of the MEDIA3--, In Proceedings of The 7th International Conference on Artificial Reality and Tele-existence, 57-62.
- [3] Kamiyama, K.; Vlack, K.; Kajimoto, H.; Kawakami, N. and Tachi, S. (2005), Vision-Based Sensor for Real-Time Measuring of Surface Traction Fields, IEEE Computer Graphics & Applications Magazine, **25**, 68-75.
- [4] Saga, S.; Kajimoto, H. & Tachi, S. (2007), High-resolution Tactile Sensor using the Deformation of a Reflection Image, Sensor Review, **27**, 35-42.
- [5] Harmon, L. D. (1982), Automated Tactile Sensing, The International Journal of Robotics Research, **1**, 3-32.
- [6] 篠田 裕之 (2007), ヒトのように触れる, 日本バーチャルリアリティ学会誌, In 日本バーチャルリアリティ学会誌, **12**, 26-31.
- [7] Minamizawa, K.; Kajimoto, H.; Kawakami, N. & Tachi, S. (2007), Wearable Haptic Display to Present Gravity Sensation - Preliminary Observations and Device Design, In 2nd Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WorldHaptics 2007), 133-138.
- [8] Kajimoto, H.; Kawakami, N.; Maeda, T. & Tachi, S. (1999), Tactile Feeling Display using Functional Electrical Stimulation, In Proceedings of Ninth International Conference on Artificial reality and Telexistence (ICAT'99).
- [9] Konyo, M.; Akazawa, K.; Tadokoro, S. & Takamori, T. (2003), Wearable Haptic Interface Using ICPF Actuators for Tactile Feel Display in Response to Hand Movements, Journal of Robotics and Mechatronics, **15**, 219-226.
- [10] Chubb, E. C.; Colgate, J. E. & Peshkin, M. A. (2010), ShiverPaD: A Glass Haptic Surface That Produces Shear Force on a Bare Finger, IEEE Transactions on Haptics
- [11] Visell, Y.; Law, A. & Cooperstock, J. R. (2009), Touch Is Everywhere: Floor Surfaces as Ambient Haptic Interfaces, IEEE Transactions on Haptics, **2**, 148-159.
- [12] Saga, S. & Deguchi, K. (2010), Dilatant fluid based tactile display -Basic concept-, In Proceeding of IEEE Haptics Symposium 2010.
- [13] Gibson, J. J. (1962), Observations on active touch, Psychological Review, **69**, 477-491.

かわいい人工物の系統的研究 —かわいい形・色・質感—

大倉 典子

芝浦工業大学, 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5

E-mail: ohkura@sic.shibaura-it.ac.jp

The Systematic Study on Kawaii Products –Kawaii Shapes, Colors, and Textures–

Michiko Ohkura

Shibaura Institute of Technology, 3-7-5, Toyosu, Koto-ku, 135-8548 Tokyo

Abstract: This document describes our systematic study on kawaii products. Kawaii is an Kansei value of Japanese origin. We performed various experiments to clarify the conditions for kawaii attributes of artificial products such as shapes and colors.

Keywords: kawaii, Kansei value, product, biological signal

1. はじめに

コンピュータやインターネットなどの情報通信基盤が整備した 21 世紀の高度情報化社会において、日本生まれのゲーム・マンガやアニメーションなどのいわゆるデジタルコンテンツが世界中に広がっている。一方、従来のものでつくりの価値観である性能・信頼性・価格に加え、感性を第 4 の価値として認識しようという国の取組みも開始された^[1]。著者らは、日本生まれのデジタルコンテンツの人気の大きな要因として、高度できめ細やかな技術力と共に、キャラクタ等の「かわいさ」が挙げられると考え、将来の人工物の感性価値としての「かわいいインタフェース」に焦点を当て、「かわいい」という属性を系統的に解析する研究を開始した。

ここでは、これまでに行った以下の研究について、概説する。

1. 文化論的な先行研究の調査と簡単な予備実験
2. かわいい色や形についての実験
3. バーチャル空間を用いたかわいい色や形の実験
4. かわいい色の詳細に関する実験
5. かわいい質感に関する実験

2. 文化論的な先行研究の調査と簡単な予備実験

現在既に、ハローキティやポケモンなどの日本のかわいいキャラクタが世界中を席捲し、また 2006 年 1 月 1 日の朝日新聞によれば、日本語の“kawaii”はもはや国際語となっている。また、ピンク色のデジカメやまるいフォルムのプリンタなども時折販売されている。しかしこれらは、デザイナーの暗黙知・女子高生へのアンケート調査・カリスマモデルの好みなどをアドホックに利用した結果であり、これまでに人工物に対する「かわいい」という価値観を系統的に構成しようとした例はなかった。

日本のゲームやアニメーションの人気キャラクタの重要な要素として、「かわいさ」より「かっこよさ」をまず思い浮かべる方も多いただろう。しかし、この「かっこよさ」は日本独自あるいは日本発の感性的な価値観ではなく、欧米の工業製品には日本製品より洗練された「かっこよさ」や「スマートさ」を有する物も多い。これに対し、「かわいい」は日

本発の感性的な価値観である。

これまでに、文化論的な先行研究を調査した結果、以下のことが明らかになった。

- 日本において、現在の「かわいい」という価値に関する記述の起源は、枕草子の「うつくしきもの」にあると言われている^[2]。著者である清少納言は、ここでその例として、瓜に歯を立てている子供の顔や雀の雛のしぐさや木の葉や壺を挙げている^[3]。
- 清少納言は既に木の葉や壺をかわいい物の例として挙げているが、現在、形容詞の「かわいい」により修飾される対象の多くは、子供・少女・小動物などの生物やそれらの模倣品（フィギュアやぬいぐるみ）およびそれらの表情や動作に限定されている。
- 最近の「かわいい」に関する研究^{[2][4][5]}において、以下のような共通認識がある。
 - 「かわいい」は日本発の感性的な価値である。
 - 「かわいい」は、「愛くるしい」「すてきな」「愛らしい」などの前向き（肯定的）な意味を持つ。

文献^[2]は、日本人自身による分析であるが、例えば「多くの女子は、何よりも自分が『かわいい』存在となるために、『かわいい』グッズを身の回りに買い集め、この言葉が男子によって投げかけられる機会を待っている・・・」(p.156)など、男性中心の視点からの解釈には大いなる違和感があった。また、「かわいい」という言葉がおもに女性に対する形容詞として扱われている点にも異議を感じた。そこで、以下の予備実験を行うことにした。

まず、前述した違和感から、以下の仮説を立てた。

「日本の男性（特に中年以降）は、『かわいい』を人間や生物やそれらのフィギュアやキャラクタなどに対する形容詞としてとらえる傾向があるのに対し、日本の女性は、それらだけでなく物の属性としても『かわいい』を感じる。」

この仮説を検証する目的で、以下の実験を行なった^[6]。

被験者に同じ金属素材でできた4種類の形のマグネット（Fig.1）を提示し、かわいいと思う順に並べた後、それぞれに10点満点で点数をつけてもらい、またその理由を尋ねた。「かわいいと思う順に並べられない」あるいは「点数がつけられない」ものがある場合には、それを除外してもらい、また除外した理由を尋ねた。

20代前半の男女と50代前半の男女それぞれ10名ずつに、回答してもらった。「かわいい順に並べられない」あるいは「点数がつけられない」とした場合の評価を0点として、4種類のマグネットのそれぞれに対し、被験者群ごとの平均値と標準偏差を算出した結果を Fig.2 に示す。

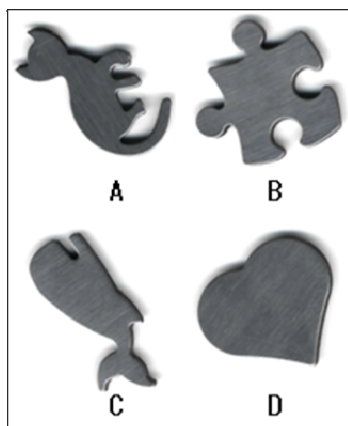


Fig. 1 Four magnets

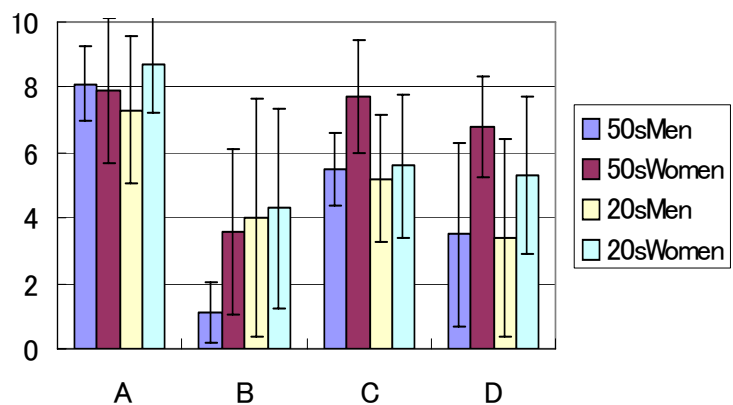


Fig. 2 Averages of kawaii scores for each magnet

この図および理由の記述を考察し、以下の結論を得た。

- 50代の男性はネコ型(A)とクジラ型(C)のマグネットを「かわいい」と評価し、20代女性はクジラ型(C)とハート型(D)の「かわいい」の評価がほぼ同じで、パズルピース型(B)も「かわいい」と評価する層が20代男女に存在した。以上の結果から、「50代男性は動物型の人工物を『かわいい』と評価し、20代女性はそうではない形の物も『かわいい』と評価する。」という結論が得られ、上述した仮説が検証されたと言える。
- 20代男性も、ハート型の評価は低かったが、パズルピース型については20代・50代の女性と差がなかったことから、50代男性ほどは動物型にこだわっていないと言える。

3. かわいい色や形についての実験

色と形に着目し、色のみ・形のみでも「かわいい」と感じるかを確認するために実験を行った^[7]。マンセルの基本色相10色に白と黒を加えた12色と描画ソフトの基本図形12種類(Fig.3)をそれぞれ白紙に印刷して提示し、それぞれから最もかわいいと思う色と形を選んでもらう調査を20代男女各20名に実施した。Table 1に、最もかわいいと選択した被験者数の多かった色と形とその人数を、「かわいい色」「かわいい形」が「なし」と回答した被験者数とともに示す。この結果から、以下の結論を得た。

- 「かわいい色」「かわいい形」という概念はありうる。
- 色については寒色系より暖色系、形は直線系より曲線系が「かわいい」と評価され、大きな男女差はない。

4. バーチャル空間を用いたかわいい色や形についての実験

前節では2次元平面上の色と形に着目して実験を行ったが、人工物は通常3次元物体である。そこで、条件制御の容易なバーチャル空間を利用して、かわいい3次元物体の形や色の条件を明らかにする実験を行うことにした^[8]。3Dソフトウェアの3dsmaxに用意されている3次元の基本図形のうちの6図形(ボックス、四角錐、球、円柱、チューブ、円環体)(Fig.4)に2次元の5つの図形(正方形、正三角形、円、長方形、ドーナツ形)を加え、それぞれ赤、青、緑の3色で用意し、それらをランダムに被験者に見せ、どの組合せが「かわいい」と感じるか判断してもらった。

実験は20代の男子学生6人、女子学生6人の計12人を対象に行った。Table 2に、最も「かわいい」と感じた組合せの人数を、それぞれ3次元と2次元で男女別に示す。3次元では球や円環体、2次元では円やドーナツ形を「かわいい」と感じる被験者が多かったが、2次元では直線系の正三角形や長方形も選択された。これは、2次元の図形が影の影響で曲線図形に見えた(例えば直線系の長方形が曲線系の円柱に)ためではないかと推察され、それを考慮すると、3次元でも2次元でも曲線系の形が「かわいい」と感じられる傾向にあることがわかった。一方色は、暖色系(赤)より寒色系(青・緑)が選択された。

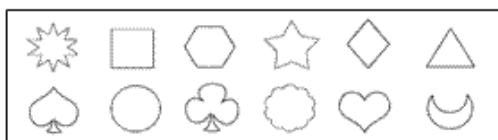


Fig. 3 Candidates of kawaii shapes

Table 1 Results of the most kawaii colors and shapes

Color	Men	Women	Shape	Men	Women
Pink	6	7	Club	5	5
Orange	4	5	Cloud	4	5
Yellow-Green	4	3	Moon	3	3
None	2	0	None	2	1

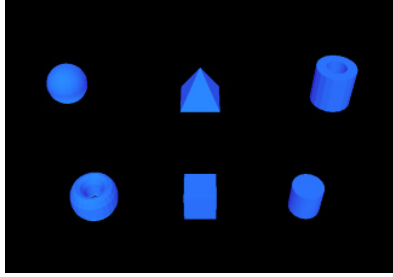


Fig. 4 Examples of presented 3D objects

Table 2 Results of the most kawaii colors and shapes

3D	Men	Women	2D	Men	Women
B cube	1	2	B triangle	0	1
R ball	0	2	G triangle	0	1
G ball	2	0	B circle	3	0
B torus	1	1	R circle	0	1
G torus	2	1	B rectangle	0	1
			G rectangle	2	0
			B torus	0	2
			R torus	1	0

5. かわいい色の詳細に関する実験

前々節の実験結果と前節の実験結果とを比較すると、形に関しては同様の傾向であるが、色については共通の傾向を得られなかった。そこで、人工物の「かわいい色」に対する一定の結論を得ようという意図で、3次元物体の色の要素をきちんと規定して再実験することにした⁹⁾。

色の分類には、一般に色相、明度、彩度の三つの基準がある^[18]。そこでまず色相として、マンセルの色体系の基本の5色（R：赤，Y：黄，G：緑，B：青，P：紫）を選定し、次に、それぞれの色相に対して、3種類の明度と3種類の彩度の組合せで9種類の色を選定し、合計45種類の色を選定した。緑の場合を Fig.5 に示す。

実験では、色相別に円環体オブジェクト（大きさ・向きは一定）をディスプレイ上に3次元表示し、被験者にどれが一番かわいいかを選択してもらった。さらに最後に、各色相で選択されたオブジェクトから一番かわいいオブジェクトを選択してもらった。

実験は20代の男子学生12人、女子学生12人の計24人を対象に行った。各色相における一番かわいいと選択されたオブジェクトの色（以下、「一番かわいい色」と略称）の明度/彩度の回答者数（男女別、単位は人）の例として色相が青の場合を Fig.6（横軸は色相の明度/彩度）に示す。さらに、最後に質問した一番かわいい色の色相・明度・彩度の回答者数を Fig.7（横軸は色相・明度・彩度）に示す。明度・彩度・性別の3元の分散分析では、一番かわいい色は、赤・青・紫の3色相で明度に有意差、また紫には彩度でも有意差があり、どの色相でも性別に有意差はなかった。

以上から、どの色相においても明度・彩度の高い色ほど一番かわいい色として選択する被験者が多かったことと、どの色相も選択されていたが、選択者数に偏りがあり、また男女差もあることがわかった。この実験で紫や黄の選択者が多かったことは、前々節で紫と赤の中間色である赤紫（ピンク）と黄の選択者が多かったことと合致しており、前節の実験ではこれらの色相が対象でなかったことから結果が異なると解釈できる。

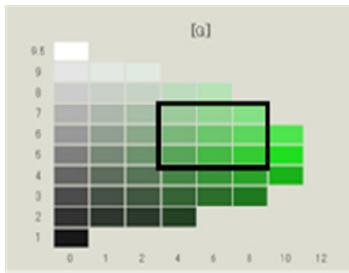


Fig. 5 Selected colors

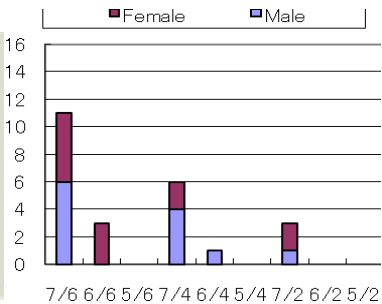


Fig.6 Example of results (blue)

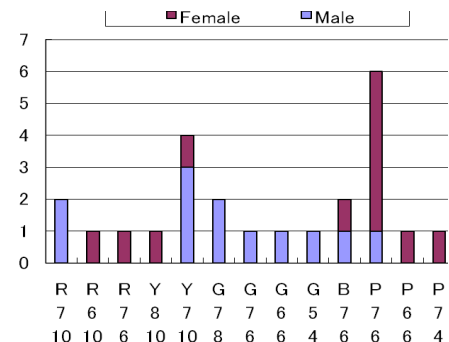


Fig.7 Final result of most kawaii

6. かわいい質感に関する実験

人工物の質感がもたらすかわいい感への影響を調べる実験を行った^[10]。実験では、ピンク色で9種類のテクスチャの円柱オブジェクトをディスプレイ上に順次3次元表示し、被験者に「かわいい - かわいくない」の7段階評価とその理由を口頭で回答してもらった。

20代の男女各9名、計18名に対して実験した結果、どのテクスチャのオブジェクトに対しても、「かわいい」という正の評価と「かわいくない」という負の評価の両方があったが、平均的に正の評価が多かったのは、動物の毛等、逆に負の評価が多かったのは、ウロコ柄等であった。また正の評価をした理由について形態素解析を行った結果、「やわらかい」や「ふわふわする」「触りたくなる」といった触感に関する言葉が多く挙がっていた。

7. まとめ

人工物の物理的属性に起因する「かわいさ」を系統的に解析し、その結果から「かわいい」人工物を構成する手法を明確化する目的で、研究を行なっている。今回は、人工物のかわいい形、色、質感に関してこれまで行った研究結果を概説した。

「かわいい感」を生体信号で検出する試みについては、別の機会に紹介したい。

謝辞

この研究に携わった芝浦工業大学工学部情報工学科（当時）の小沼朱莉さん、後藤さやかさん、村井秀聡君、肥後亜沙美さん、また同大学工学研究科博士課程（当時）の青砥哲朗君に感謝します。なおこの研究の一部は、芝浦工業大学プロジェクト研究助成および科学研究費（基盤研究(C) 課題番号 21500204）の助成を受けており、謝意を表します。

文献

- [1] 荒木潤一郎(2007) 「感性価値創造イニシアティブ」－第4の価値軸の提案－, 感性工学, 7, 417-419.
- [2] 四方田犬彦 (2006) 「かわいい」論, ちくま書房.
- [3] 清少納言 (1962) 枕草子, 岩波書店.
- [4] Ken Belson, Brian Bremner (2004) Hello Kitty: The Remarkable Story of Sanrio and the Billion Dollar Feline Phenomenon, John Wiley & Sons.
- [5] Sharon Kinsella (1995) Cuties in Japan, Women, Media and Consumption in Japan (Lise Skov and Brian Moeran, ed.), University of Hawaii Press.
- [6] 大倉典子, 青砥哲朗 (2007) かわいい人工物の系統的研究, 第9回日本感性工学会大会講演論文集, H26
- [7] Michiko Ohkura et al. (2008) Systematic Study for “Kawaii” Products (The Second Report) -Comparison of “Kawaii” Colors and Shapes-, SICE2008.
- [8] 村井他 (2008) かわいい人工物の系統的研究 (第3報) -かわいい感の3次元と2次元での比較-, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文集, 2B5-6.
- [9] 大倉他 (2009) バーチャルオブジェクトを利用した「かわいい」色の検討, 日本感性工学会論文集, 8, 535-542.
- [10] 大倉他 (2010) かわいい人工物の系統的研究 (第8報) -かわいい質感に関する実験-, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 印刷中

Forum: サイエンスとアートの関連を話し合う会

高木隆司¹、松浦 執²

¹神戸芸術工科大学デザイン学部, 〒651-2196 神戸市西区学園西町 8-1-1 jr.takaki@iris.ocn.ne.jp

²東京学芸大学自然科学系 〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1 shumats0@gmail.com

Forum: Discussion on the Relation between Science and Art

Ryuji Takaki¹, Shu Matsuura²

サイエンスとアートの協力関係を考える動きが、年々盛んになっている。形の科学会は、設立時からこのような趣旨を視野に入れていたし、国際組織の ISIS Symmetry では、これらの交流はさらに盛んである。日本での問題は、このような交流に参加するアーティストが、まだ少ないことである。このフォーラムでは、この交流を盛んにするための方針を議論することにしたい。上記の提案者 2 人は、講演をするのではなく、議論の司会を担当する。参加者の自由討論が主になる。

フォーラムでの議題は、その場で提案しても良い。とりあえず予想されるものを下に挙げておく。

- サイエンスとアートの関連を活発にするために、どのような活動をし、組織を作れば良いか。
- どのような活動がすでに行われているか。
- 新たに、どのような研究テーマを設定すべきか。
- 他

議論の混乱を避けるために、「サイエンスアート」あるいは「サイエンティフィックアート」という語の意味を確認しておきたい。サイエンスやテクノロジーを応用したアートとして、写真、映像、CG (コンピュータグラフィクス) などが発達している。しかし、これらのほとんどは、すでに確立した技術を応用したものであり、そこに科学的な意識は発生していない。したがって、これらは、ここでの議論の対象からはずしたい。ここで議論の対象にするものは、下記の 2 つの活動である。

- ・ 新たな表現技法を開発すること、あるいはそれを応用した作品
- ・ 科学的な内容をアートとして表現すること (この場合は従来の技法によっても良い)

これらの問題に関係する団体やイベントとして、筆者らが知っているものを参考までに挙げる (フォーラムの参加者によって補充されることを期待する)。

- ・ ISIS Symmetry (International Society for Interdisciplinary Study of Symmetry)
<http://www.mi.sanu.ac.yu/vismath/isis0.htm>
<http://www.mi.sanu.ac.rs/vismath/info/ISIS2010/> (2010, 8 月、オーストリア Gmuend での集会)
- ・ npo 法人、科学芸術学際研究所 ISTA (通称 ISTA)、<http://www.npo-ista.org/>
- ・ プンドポ会 (月 1 回程度のペース。「プンドポ」とはガムランを演奏する会場。代表: 大内公々氏)
- ・ サイエンスアゴラ (2010, 11 月開催、日本宇宙未来館、国際交流館でのイベント)
- ・ 1 日セミナー「美の背景に潜む数理」(2010, 6 月 29 日、講演と展示、主催: 秋山 仁氏、東海大学代々木校舎)

参考文献などは、多岐にわたるので省略する。参加者がフォーラム当日に配布資料を複数部ずつ持参して欲しい。では、皆さんの活発な討論を期待しています。

輝く色彩の尾をもつ幼体のニホントカゲ (*Plestiodon japonicus*)

表皮の微細構造 II

小作明則, 宮本 潔

獨協医科大学医学総合研究所 栃木県下都賀郡壬生町北小林 880

E-mail : kosaku@dokkyomed. ac. jp

Ultrastructure of Skin in an Infant Lizard (*Plestiodon japonicas*) causing Blue Tail Color II

Akinori Kosaku and Kiyoshi Miyamoto

Institute of Medical Science, Dokkyo Medical University, Tochigi, 321-0293 Japan

Abstract : Tail skin of lizard (*Plestiodon japonicas*) has blue structural color in the infant stage and the color disappear then changes into brown in the mature stage. This is caused by the color of developed xanthophore in iridophore cell supported by backlight from reflecting platelets in the lower cells.

Keywords : lizard, scale, layers, iridophore, structural color

1. はじめに

前回、ニホントカゲ幼体の尾は、表皮最表面の多層膜によって青色の構造色を呈することを報告した^[1]。今回は多層膜下に見られる色素細胞、反射小板および黒色顆粒によるこの発色が支援されるシステムならびに体色の多様性に関する新しい知見を報告する。

2. 試料と方法

ニホントカゲは成体と幼体各 1 固体を採取し、実験室に持ち帰った後、炭酸ガスにより安楽死させた。それぞれの標本から尾部、背部表皮の皮膚組織ならびにそれぞれの鱗 1 ヶ所ずつ計 4 試料を採取した。試料は先ず 2.5% グルタルアルデヒドにより 2 時間固定の後、2% 四酸化オスミウムにより 2 時間固定した。脱水後、透過型電子顕微鏡用試料は定法によりエポン樹脂に包埋、薄切し観察した。また走査型電子顕微鏡凍結切断標本は固定脱水後、100% エタノール液侵状態の標本を液体窒素に投入し凍結、切断した後 100% エタノールに再投入した。さらに酢酸イソアミルで置換した後、臨界点乾燥し、観察標本とした。

3. 表皮細胞構成と色彩

ニホントカゲの幼体は図 1 のように尾部に前回報告した構造色による青色の輝く色彩を持っている。成体ではこの色が失われてしまうが、その鱗を拡大した図 2 では一枚の鱗の中に幼体の尾に見られる青色に加え黒、薄茶を示す部分が混在している。色素細胞が平面的には枝状構造をしているため、薄茶の部分はモザイク状に広がっている。図 3 の鱗横断面の TEM 像は表面から深部へ向かって表面多重幕層、黄色色素細胞層、反射小板を含む反射細胞層、そしてメラニン色素を含むメラニン色素細胞層が連なっている。皮膚の最表面には通常 7 μm の均一、無構造な単層のケラチン層があり (この像では最表層のケラチン層が脱落している)、表皮の艶出しと体内の水分蒸散を防止する役目を持つ。多重膜層は前回報告したように幼体尾部では特徴的な輝きのある青色を呈し、7 層から 10 層前後の多層膜が構造的に作り出す色彩である。この構造は他の色の表



図1. ニホントカゲの幼体

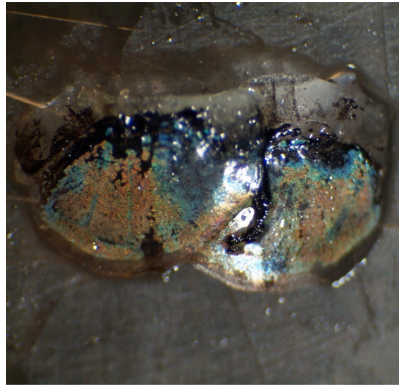


図2. 成体褐色部の鱗

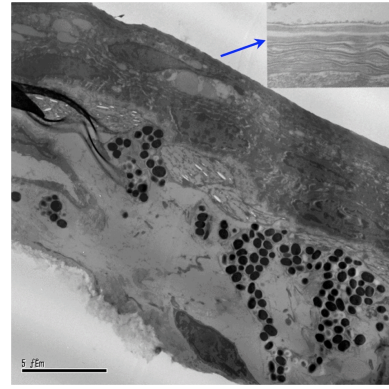


図3. 成体表皮の横断TEM像. バーの長さは5 μm

面にも共通して体表面全体を覆っている。色素細胞層は呈する体色の違いによって色素の存否が異なる細胞層である。つまり青色部と黒色部には色素細胞が存在せず、白色部と薄茶部には存在するが量的に差がある。反射小版層はグアニン結晶を内包した板状粒子を生成する細胞で黒色部を除く他の3つの色彩部にはすべて存在が認められる。反射小板の平均的の大きさは厚さが140 nm、幅が150 nmから1 μmであり、ニホントカゲの場合この部分で青色の干渉色を作り出されるとは考えにくく、むしろ入射光を反射・散乱させる反射板としての機能が大きいと思われる。その結果、この反射細胞層の上に積層する黄色色素細胞の存在をバックライトのごとく照らし、輝きのある白色あるいは薄茶色の体色が表現されると思われる。メラニン色素層は表皮全体の最下層部を構成し、反射細胞層により反射・散乱された光を吸収することで背景を暗くし、より際立った色彩を体表に生み出す役割を果している。以上、表1に表皮構成細胞層と体表色の関係を一覧表にした。

表1 体表色と細胞層の関係

	幼体青色部	幼体黒色部	幼・成体白色部	成体薄茶部
ケラチン層	○	○	○	○
表面多重膜層	○	○	○	○
黄色素胞	×	×	△	◎
反射小板層	○	×	○	○
メラニン色素層	○	○	○	○

ニホントカゲの幼生期の構造的青色は成体になると消失し薄茶色になるが、本研究により青色が消失するのではなく、黄色色素がその下層の反射小板により色を強めた結果、青色が目立たなくなることがわかった。

文 献

- [1] 小作明則, 宮本 潔 (2009) 輝く色彩の尾をもつ幼体のニホントカゲ (*Plestiodon japonicas*) 表皮の微細構造、形の科学会誌 **24**, 23 - 24
- [2] T. Kuriyama, K. Miyaji, M. Sugimoto and M. Hasegawa (2006) Ultrastructure of the Dermal Chromatophores in a Lizard (scincidae *Plestiodon latiscutatus*) with Conspicuous Body and Tail Coloration. *Zool. Sci.* **23**, 793-799

球面上の Vertex Dynamics モデル

吉野隆¹, 岸本直子², 松岡篤³, 栗原敏之³, 石田直人³, 木本克典⁴, 松浦執⁵
 1) 東洋大学理工学部, 2) 京都大学工学研究科, 3) 新潟大学理学部, 4) (独)
 海洋研究開発機構地球環境変動領域, 5) 東京学芸大学教育学部

tyoshino@toyo.jp

Vertex Dynamics Model on Spherical Surface

Takashi Yoshino¹, Naoko Kishimoto², Atsushi Matsuoka³, Toshiyuki Kurihara³,
 Naoto Ishida³, Katsunori Kimoto⁴, and Shu Matsuura⁵.

1) Toyo Univ., 2) Kyoto Univ., 3) Niigata Univ., 4) IORGC/JAMSTEC, 5) Tokyo
 Gakugei Univ.

Abstract: We extended 2D vertex dynamics model proposed by Nagai and Honda to spherical surface using spherical geometry. In this abstract, we showed its derivation.

Keywords: Vertex Dynamics, Spherical surface, skeleton form, radiolarian.

はじめに

我々は球形放散虫の骨格構造の幾何モデルについて検討している。数値シミュレーションの結果ではある程度似た構造が現れているものの、個々の種に関して言えばこれまでのモデルで説明しきれない構造（局所的な釣り合いが重要な構造？）も出現してきている。本研究では、永井と本多が提案した Vertex Dynamics モデルを球面上に展開して、その数値解を得ることを目指す。さらに、得られた数値解について、球形放散虫の骨格構造との関係について議論することも目指す。

永井-本多モデル[1]

永井と本多は（主に）厚さが一定の板における細胞構造について検討するために Vertex Dynamics モデルを導入した。Vertex Dynamics モデルは、辺によって他の3つの頂点と連結された頂点の運動を記述するもので、与えられたポテンシャルエネルギーに対して局所最小化を実現するための頂点配置が得られる。永井-本多モデルの特徴は、ポテンシャルエネルギーを辺長の総和 U_l と多角形面積の分散 U_D としている点にある。このとき、 i 番目の頂点についての方程式は $\eta \partial \mathbf{r}_i / \partial t = -\nabla_i (U_l + U_D)$ とまとめられる。ここで、 η はポテンシャルエネルギーの緩和のさせ方を決定する摩擦係数、 \mathbf{r}_i は i 番目の頂点の位置、そして ∇_i は i 番目の頂点についての位置に関する微分を表す。ふたつのポテンシャルは、

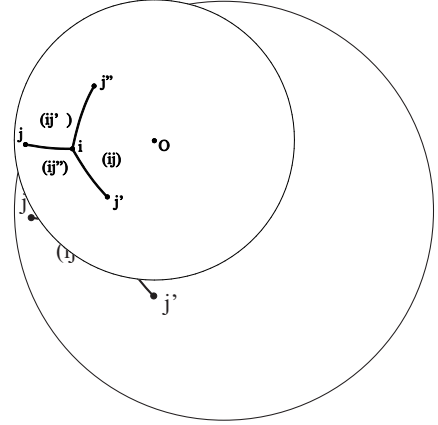
$$U_l = \sigma \sum_{\langle ij \rangle} |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|, \quad U_D = \rho' \sum_{\langle ij \rangle} (S_{ij} - S_{ij}^0) = \rho' \sum_{\langle ij \rangle} \left[\mathbf{k} \cdot [(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{j'}) \times (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_{j''})] / 2 - S_{ij}^0 \right],$$

と表すことができる。ここで、 j, j', j'' は i 番目の頂点に隣接する頂点の番号を表し、 j が決まると自動的に左回りに j' と j'' が決まる。球面における4頂点の関係を図に示した。また、 \mathbf{k} は平面に垂直な単位ベクトル、 S_{ij}^0 は平均面積を表す定数である。これらのポテンシャルエネルギーに ∇_i を作用させることによって、永井-本多モデルにおける i 番目の頂点についての方程式は、次のように表せる。

$$\eta \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial t} = -\sigma \sum_i^{\{j\}} \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} - \rho' \sum_i^{\{j\}} (S_{ij} - S_{ij}^0) [(\mathbf{r}_{j'} - \mathbf{r}_{j''}) \times \mathbf{k}]$$

球面幾何学

永井-本多モデルを球面上に展開するためには、ポテンシャルエネルギーを構成する要素である距離（測地線の長さ）と面積を球面上のそれらに変更する必要がある。そのために、球面幾何学を用いる。球面上の2点間の測地線の長さは、2点を通る大円弧の（短いほうの）弧長に等しい。また、球面 n 角形の面積は内角の和から $(n-2)\pi$ を引いたものである。



図：頂点の関係。

球面上の Vertex Dynamics モデル

以下では頂点の動きを単位球面上に限定する。上記の測地線の長さや球面 n 角形の面積を用いて、永井-本多ポテンシャルは以下のように表すことができる。

$$U_I = \sigma \sum_{\langle ij \rangle} \cos^{-1}(\mathbf{r}_i \cdot \mathbf{r}_j),$$

$$U_D = \rho' \sum_{\langle ij \rangle} [\cos^{-1}(\mathbf{a}_{ij'} \cdot \mathbf{a}_{j''}) + \cos^{-1}(\mathbf{a}_{j''} \cdot \mathbf{a}_{j'i}) + \cos^{-1}(\mathbf{a}_{j'i} \cdot \mathbf{a}_{ij'}) - \pi - S_{ij}^0],$$

ただし \mathbf{a}_{ij} は i 番目の頂点の位置ベクトルと j 番目の頂点の位置ベクトルが作る平面に垂直な単位ベクトルを表しており、 $\mathbf{a}_{ij} = (\mathbf{r}_i \times \mathbf{r}_j) / |\mathbf{r}_i \times \mathbf{r}_j|$ である。したがって、球面上に展開された Vertex Dynamics は、

$$\eta \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial t} = \sigma \sum_i^{\{j\}} \frac{\mathbf{r}_i}{\sqrt{1 - (\mathbf{r}_i \cdot \mathbf{r}_j)}} + 2\rho' \sum_i^{\{j\}} [\cos^{-1}(\mathbf{a}_{ij'} \cdot \mathbf{a}_{j''}) + \cos^{-1}(\mathbf{a}_{j''} \cdot \mathbf{a}_{j'i}) + \cos^{-1}(\mathbf{a}_{j'i} \cdot \mathbf{a}_{ij'}) - \pi - S_{ij}^0] \left(\frac{\mathbf{r}_{j'} \times \mathbf{a}_{j''}}{\sqrt{1 - (\mathbf{a}_{ij'} \cdot \mathbf{a}_{j''})}} - \frac{\mathbf{r}_{j''} \times \mathbf{a}_{j'i}}{\sqrt{1 - (\mathbf{a}_{j''} \cdot \mathbf{a}_{j'i})}} \right)$$

と表される。この方程式は頂点が球面上に束縛されるという条件が含まれていない。この条件を含ませるために、極座標系 (r, θ, ϕ) を導入し、動径方向の変化がないときに角度成分 (θ, ϕ) がどのように変化するかを調べると、最終的に

$$\frac{\partial \theta_i}{\partial t} = \frac{x_i \partial y_i / \partial t - y_i \partial x_i / \partial t}{x_i^2 + y_i^2}, \quad \frac{\partial \phi_i}{\partial t} = -\frac{\partial z_i / \partial t}{\sqrt{1 - z_i^2}}$$

が得られる。ここで、 \mathbf{r}_i の x, y, z 成分をそれぞれ x_i, y_i, z_i と表して用いている。また、これらの式を導出する際には、 $\partial \mathbf{r}_i / \partial t = 0$ であることも用いている。

シンポジウムでは、この方程式の数値計算の結果について議論する。

参考文献

[1] T, Nagai and H. Honda, A Dynamic Cell Model for the Formation of Epithelial Tissues, Philosophical Magazine B, 2001, Vol. 81, No. 7, pp. 699 - 719.

蛍光試薬 PDMP0 と生態観察にもとづく放散虫の骨格形成に関する新知見

鈴木紀毅¹・辻 彰洋²・大金薫²

¹東北大学・理・地学, ²国立科学博物館・植物

¹suzuki.noritoshi@nifty.com

Review of the skeletal formation of radiolarians by observation of live cells and usage of a fluorescence compound, PDMP0

Noritoshi Suzuki¹, Akihiro Tuji² & Kaoru Ogane²

¹Tohoku Univ., ²National Museum of Nature and Science.

Abstract: We reviewed skeletogenesis of radiolarians, having siliceous skeletons with a simple geometry. Radiolarian skeleton shows very beautiful appearance, but little has known yet how to grow and why such a beautiful skeleton is present because we have never been observed the actual development of skeletons with some reasons. We newly introduce to use a fluoresce compound, PDMP0, and the actual skeletogenesis was recognized in live radiolarian cells.

Keywords: Radiolaria, PDMP0, skeletogenesis

放散虫の形は美しいのか？

放散虫は海洋性プランクトンの原生生物で、生物界の1界であるリザリアを構成する主要な分類群である。放散虫は幾何学的な立体構造をとる骨格をもつ。この骨格は見かけの美しさもあって、芸術分野や形の科学でも強い興味を持たれている。これら形の美しさに魅了されている分野から見れば、なぜあのような美しい形を作るのか、生物の不思議さに関心がおよぶであろう。こうした放散虫の美しさは、エルンスト・ヘッケル著「生物の驚異的な形」などで、広く知られるようになった。しかし、この本に図示されている放散虫のほとんどは、現実には見つかっていない。この事実は、放散虫研究者の間では常識となっている。ヘッケルが極端に幾何対称性を誇張して放散虫を描いているらしい。しかし、現実に存在する放散虫の骨格も、美しい。そのような立体構造はどのように形成されてきたのであろうか？

実物探し：170年前のエルンスト・ヘッケルの放散虫標本

「生物の驚異的な形」の元となった放散虫標本の行方は分かっていない。このため、国立科学博物館・東北大学・宇都宮大学の放散虫・珪藻研究者が「Joint Haeckel and Ehrenberg Project」を2002年に組織し、標本の搜索と分類学的調査を行ってきた。この結果、ヘッケルの放散虫標本はロンドンの自然史博物館とドイツ・イエナのエルンスト・ヘッケルハウスという彼の自宅を使った博物館にわずかしかなかった。なお、この搜索の成果で撮影した放散虫の全個体は下記のホームページで見ることが出来る。

骨格成長の研究

現在の海には放散虫は 800~1,000 種がいるとされる。多くの研究者の努力にもかかわらず、放散虫の次世代を誕生・成長させることに成功していない。スポンジ状の骨格を持つ放散虫については、骨格が付加成長する事実が飼育実験で確かめられているが、エルンスト・ヘッケルの「生物の驚異的な形」には載っていない種である。一方、棒状の骨格からなる放散虫の骨格成長様式は、幼形から成体形までを死骸で集めて推測する方法がとられている。しかし、多くの放散虫種では、骨格が成長する現場を見た事がない、という事実が浮かび上がってくる。

骨格成長の直接観察と科学的立証

生きている放散虫の様子は日本人だけでも数千個体を観察している。それにもかかわらず骨格が成長する様子を直接を見た事がないのは、すべての放散虫が目の前で分かる速度で骨格を成長させることがない、ということである。目で見ても認識できないならば、成長した部分分かるように標識すれば良い。そこで登場したのが PDMP0 という蛍光試薬である。簡単に言うと、PDMP0 を溶かした海水で放散虫を飼育すると、シリカを付加した場所だけに PDMP0 が骨格に取り込まれる。その放散虫個体を蛍光顕微鏡で観察すると、成長した部分だけが緑色に光る。Ogane et al. (2009)によって、放散虫で初めて PDMP0 実験が成功した。これによると、見える部分のすべての骨格が緑色に光ることから、段階的に成長するという遺骸からの予想と異なり、全体が太くなりつつ新しい骨格が伸長するのだと結論づけられた。また、成長速度が遅いならば、長時間撮影をすれば捉えられる可能性がある。

いまでもわからないこと

蛍光試薬の PDMP0 によって、放散虫が骨格成長をしている部分を直接的に調べられるようになった。また、長時間観察で骨格成長の動態を捉えられるようになってきている。しかし、これらいずれも、既に存在する骨格に対しての成長を確かめたに過ぎない。1850~1860 年代にヘッケルが解き明かそうとした、美しい骨格構造の形成過程は 170 年以上たった今でも未だ未解明である。しかし、PDMP0 の利用と長時間撮影技術の普及によって、骨格形成の動態を科学的に捉えられる日も近いだろう。

引用文献

Ogane K. et al. (2009) First application of PDMP0 to examine silicification in polycystine Radiolaria. *Plankton & Benthos Research* 4(3):89 -94

[http://www.jstage.jst.go.jp/article/pbr/4/3/89/_pdf/-char/ja/]

Sakai, T. et al. (2009) Haeckel's Messina radiolarian collection housed in the Ernst-Haeckel-Haus. *Natl. Nus. Nat. Sci. Monogr.* (40): 47 -54, 23 pls.

<http://www.kahaku.go.jp/research/db/botany/ehrenberg/pdf/47-54.pdf>

<http://www.kahaku.go.jp/research/db/botany/ehrenberg/pdf/P-3.pdf>

Cancer (“蟹”に喩えられた癌)の組織立体構築と病理診断

青葉孝昭、島津徳人、工藤朝雄、田谷雄二、佐藤かおり、柳下寿郎

日本歯科大学生命歯学部病理学講座
〒102-8159 東京都千代田区富士見 1-9-20

E-mail : patho-aoba@tky.ndu.ac.jp

キーワード : がん病変、浸潤、組織立体構築、病理診断

Three-dimensional reconstruction and pathological diagnosis of human cancer invasion

Takaaki Aoba, Yoshihito Shimazu, Tomoo Kudo, Yuji Taya, Kaori Sato, Hisao Yagishita

Department of Pathology, Nippon Dental University School of Life Dentistry at Tokyo,

1-9-20 Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8159, Japan

Abstract We initiated histology-based 3D reconstruction of human cancer lesions in order to collect information of diagnostic value regarding cancer invasion and prognosis. The basic procedures for 3D reconstruction are: preparation of serial histological sections in combination with immunolabeling of cell/tissue constituents of interest, alignment and superposition of digitized images, computer-assisted color segmentation of labeled targets, and finally viewing and morphometric analysis of the reconstruct. The results support the wide potential usage and advantage of 3D reconstruction to inspect visually and quantitatively the architecture of complex cancer lesions.

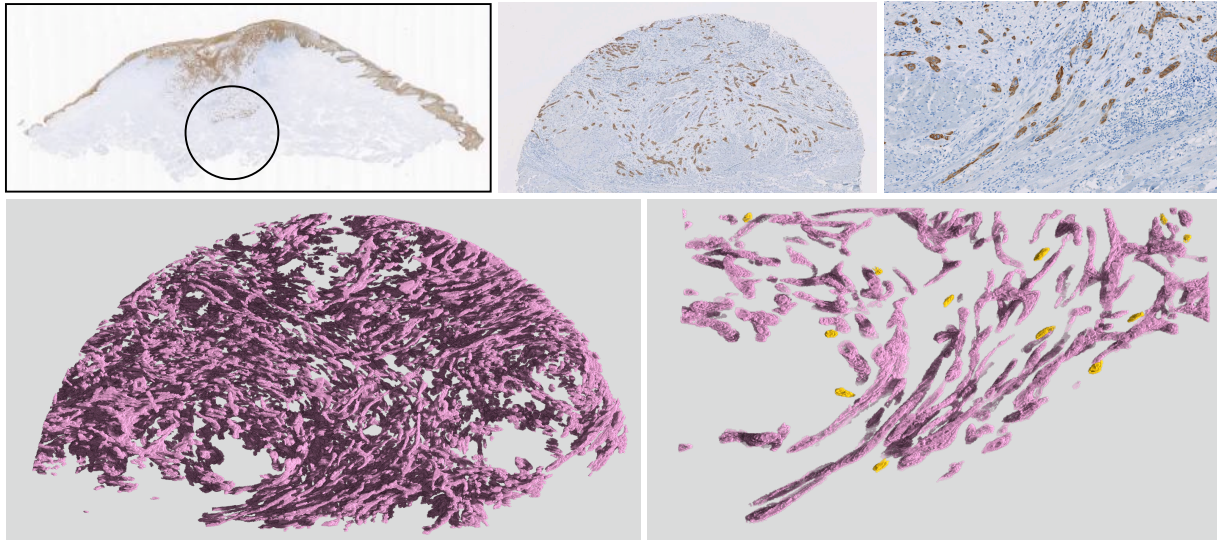
Key words: Cancer, Invasion, Histopathology, 3D reconstruction

【背景および目的】悪性腫瘍（癌）は日本人の死因のトップを占めている。癌の姿は手足を長く伸ばす“蟹（cancer）”に喩えられてきたが、“周辺は未来が姿を現す場所である”と語られるように、癌細胞（その集団としての癌胞巣）と周囲組織との境界の形状は病理診断と予後判定において重要となっている。日常の病理組織診断では、摘出された検体試料を固定・パラフィン包埋した後、ミクロトームで薄くスライスし（通常、4～5 μ m厚）、さまざまな組織染色を施して光学顕微鏡で観察する。顕微鏡視野に捉えられる癌病変はそれぞれ異なる個性をもち、多数の触手を伸ばした“蟹”もいれば、触手を引っ込めて甲羅だけに見える“蟹”もある。ただし、一枚の薄切染色標本の顕微鏡観察（2次元情報）のみでは、癌の浸潤範囲や形状を診断するうえで困難を感じることが多い。そのため、病理診断に携わる検査技師はひとつの症例から多数枚の連続標本を作製して、病理医は一枚一枚を顕微鏡下で丹念に観察し、癌の姿を頭のなかで思い描くための研鑽を重ねている。近年、病理組織画像を高分解能でデジタル記録できるバーチャルスライドが普及するなかで、我々は多数枚の連続薄切標本の染色情報に基づく組織立体観察法を確立し¹⁾、生体内での癌の姿を可視化して病理診断に応用する試みを進めている。

【どのように組織立体構築するか】パラフィン包埋された癌摘出試料から、周辺組織との境界部の組織領域を採取し、回転式ミクロトーム自動薄切装置（MICROM）で200～600枚の連続切片を作製、複数の特異抗体による免疫標識を施す。連続染色画像はバ

ーチャルスライド (NanoZoomer、浜松ホトニクス) で対物×20 倍の分解能でデジタル記録し、連続デジタル画像の積層・座標位置合わせ、組織要素の色調抽出には RATOCTRI-SRF2 ソフトウェアを使用している。

【癌浸潤の立体観察例】 癌周辺領域では約 10^4 個/mm³ の細胞が含まれているが、原図情報として用いたバーチャル画像は個々の細胞核を判別できる空間分解能を有している。2 次元観察では個々に分散して認められた癌胞巣の多くは、3 次元空間では互いに連結しており、周囲組織内に索状に浸潤している (ピンク色でラベルイング)。同時に、単独の癌細胞から数百個までの小癌胞巣 (黄色) が混在していることも判別できる。



【Art から Science へ】 癌細胞は周辺の細胞や細胞外基質と相互作用しながら、“生物進化”に喩えられるように、自らの形質を周囲環境に適応させて増殖・浸潤していく。癌の病理形態診断学では、組織空間での位置情報と多様な細胞表現型を指標として、癌細胞集団とその周囲の微小環境との相互作用を解釈し、予後判定の精度を高めようと苦闘している。この難題を乗り越える一助として、我々は元の組織構造をスライス (組織切片) に分割し、特異抗体による多重免疫標識により細胞表現型を判別したうえで、多数のスライスを積層して原形を復元する方法を選択した²⁾。現時点では、同じ組織標本に複数抗体による免疫標識→バーチャルスライドによる画像記録を繰り返し実施することにより、癌胞巣の形状に加えて、癌細胞の増殖活性や癌微小環境を構成する多組織要素 (血管、リンパ管、線維芽細胞や免疫応答細胞など) も空間内での位置情報を保持して観察できるようになっている。さらに、組織立体構築法が日常の病理診断に普遍的に用いられるためには、“巧みの技 (Art)” から “誰にでもできる (Science)” ことも克服すべき課題となってくる。今回の立体構築・形態解析では、画像積層操作と観察対象物の形状・色調抽出操作をすべて演算アルゴリズムに基づいて遂行しており、立体構築の精度と再現性が保証されるとともに、立体構築工程に要する労力・時間も大幅に短縮できている。学生研究活動における実践経験から、現在までに整備してきたハード面・ソフト面の操作指針は意欲ある学生にとって “習得容易” な形式知であることも実証されている。

【参考文献】

- 1) 青葉孝昭監修：口腔病変立体構造アトラスー立体動画で組織構造と病変をみる・DVD ビデオ付，医歯薬出版株式会社，東京，2009.
- 2) Shimazu Y, Kudo T, Yagishita H, Aoba T: Three-dimensional visualization and quantification for the growth and invasion of oral squamous cell carcinoma, J. Dental Science Review, 46:17-25, 2010

ヒトの腕の慣性モーメントの計測

平山 修

東京農工大学工学部, 〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

E-mail: hrym@cc.tuat.ac.jp

Measurement of the moment of inertia of human arm

Osamu Hirayama

Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

Key Words: moment of inertia, human arm, swinging arm motion, period, rigid body pendulum

1. はじめに

慣性モーメントは剛体の力学を理解する上でキーポイントとなる概念であるが、初めて学ぶ者にとっては非常にわかりにくく実感を持ちにくい概念である。そこで、筆者は大学1年次の力学の授業で、学生に自分自身の腕の肩関節の周りの慣性モーメントを求めさせる宿題を出した。具体的には、腕を半径の異なる円盤の集合とみなし、腕の長さおよび各部の周囲長を測ることで与えた式から慣性モーメントを計算させるという課題である。さらに、宿題の後半の課題として、腕振り運動の周期の実測値と腕振り運動を剛体振り子と仮定して求めさせた周期の計算値を比較させた。学生のレポートをまとめることにより、腕の長さの分布、腕の質量の分布、腕の慣性モーメントの分布などが得られた。以下に、その内容を報告する。

2. 課題の内容

学生に出した課題の内容は以下の通りである。

課題1: まず、腕の長さ（腕の付け根から握りこぶしの中心まで）

L を測る。次に図1のように、腕を n 個の円盤の集合と見なし、 i 番目の円盤の腕の付け根（回転軸 O ）からの距離 z_i 、周の長さ l_i を測る。円盤の半径 $R_i = l_i / 2\pi$ を求める。この測定値を用いて、腕の全質量 M 、回転軸 O の周りの慣性モーメント I 、回転軸 O から腕の重心までの距離 h を次式で計算する。

$$M = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot \pi R_i^2 \Delta z_i, \quad I = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot \pi \Delta z_i (z_i^2 R_i^2 + R_i^4 / 4), \quad h = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i \cdot \pi R_i^2 z_i \Delta z_i}{M}$$

ただし、密度 ρ_i は、 $\rho_i = \begin{cases} 1053 \text{ kg/m}^3 & : \text{上腕} \\ 1100 \text{ kg/m}^3 & : \text{前腕} \\ 1137 \text{ kg/m}^3 & : \text{手} \end{cases}$ と与える。

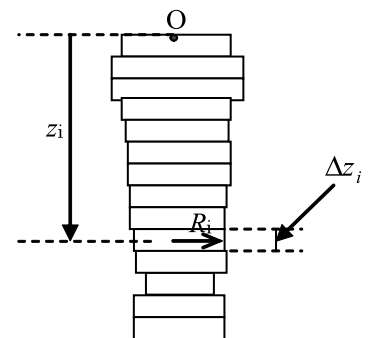


図1. 腕の形状についての仮定

課題2: まず、自然に腕を振る周期 T を実際に測定する。次に、腕振りを剛体振り子とみなした場合、腕の質量を M 、回転軸（腕の付け根）の周りの慣性モーメントを I 、回転軸から重心までの距離を h 、

重力加速度を g 、振幅を θ_0 (rad) とすると、剛体振り子の周期 T_0 は、近似的に、 $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgh} \left(1 + \frac{\theta_0^2}{16}\right)}$

与えられる。課題1で求めた値をこの式に代入して T_0 を求める。 T と T_0 を比較し、その違いについて

て考察する。

3. 学生の測定結果から求めた慣性モーメントなどの分布

学生が提出した 37 名分の測定結果から、腕の長さ、慣性モーメントなどの分布を求めた結果を図 2 に示す。

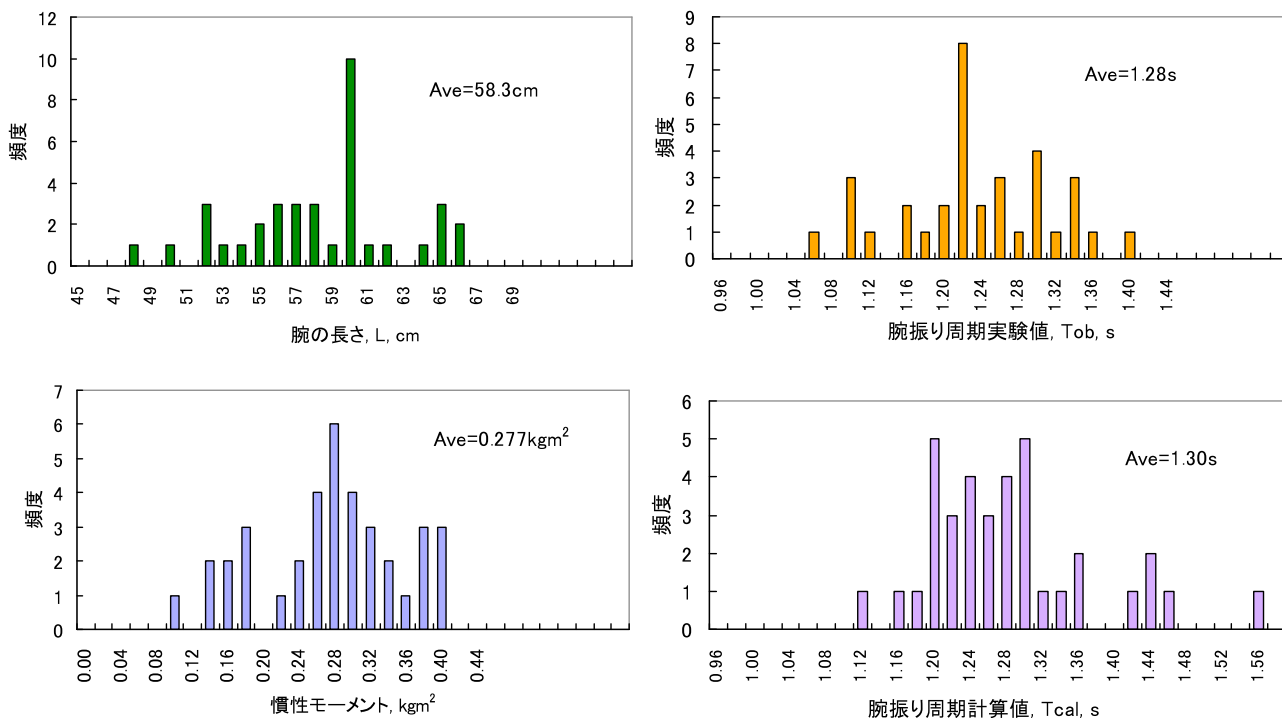


図 2. 測定結果の分布

さらに、平均値で規格化した各量の相関を求めるため、図 3 のようなプロットを行った。図 3 から、腕の形状の分布が幾何学的な相似則に従わず、腕が長いほど相対的には細長い形状をしていること、腕が長いほど腕振り運動の剛体振り子としての周期が長いことなどが推定できる。

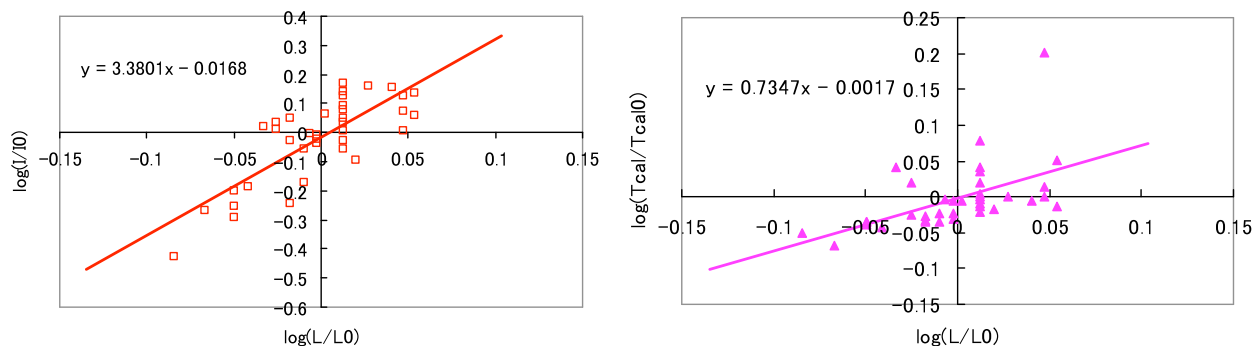


図 3. 各量の間的相关

講演では、これらの結果を詳細に報告し、腕振り運動を剛体振り子とみなすことの妥当性についても議論する予定である。

バラ (赤バラ) の定理の証明

蛭子井 博孝

卵形線研究センター, 岩国市元町 4 丁目 12-10

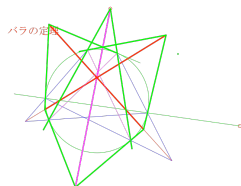
E-mail: hirotaka.ebisui@clear.ocn.ne.jp

証明ステップ図 2010-4-12~13

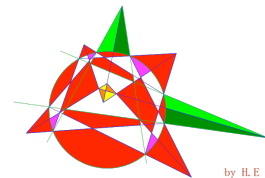
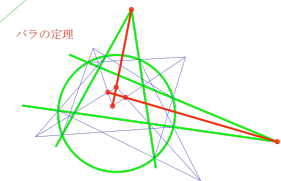
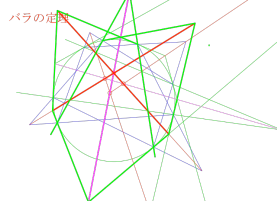
2006-8-7

2010-4-12~13

円のプリアンション 凸のプリアンション



円のプリアンション



蛭子井博孝

The title and abstract of the lecture by Prof. Kalantari is as follows:

Solving for The Unknown: Foundation of Math and Art

Bahman Kalantari

Department of Computer Science, Rutgers University, New Jersey, USA

www.polynomiography.com

<http://www.cs.rutgers.edu/~kalantar/>

Solving for the unknown is intrinsic to human nature and the source of most profound discoveries, hence development and growth in human culture. From the routine task of figuring out percentages, to estimation of square and cube root of numbers, solving a *polynomial equation* remains to be a fundamental problem in science, engineering, math, and education. Metaphorically, solving a polynomial equation is a game of hide-and-seek with tiny dots on a painting canvas. The dots hide behind a polynomial equation. Then the search for their location begins by using a formula or an algorithm. *Polynomiography* is the algorithmic visualization of the process of searching for the dots and painting the canvas along the way. Polynomiography not only unravels the dots, but reveals the fantastic hidden beauty behind solving a polynomial equation. It thus offers a modern view into the ancient problem of root-finding and results in a powerful medium for art and design, education, creativity and discovery, play and fun. It liberates the appreciation of polynomials and drastically widens their scope of application. Like any artistic medium, an individual working with polynomiography software can learn to compose artistic images without the technical knowledge of its underlying sophisticated algorithms. In its full development, polynomiography is a multidisciplinary medium for all ages. In particular, it is a robust tool of education, from elementary all the way to higher education.

人々が立体映像に求めてきたもの、立体映像がもたらすもの

大口孝之

映像クリエイター／ジャーナリスト

最近、映画「アバター」の大ヒットや、主要家電メーカーからの相次ぐ 3D テレビの発売で、世の中は熱狂的な 3D ブームとなっている。問題は「立体映像は今後定着していくのか、あるいは一時のブームに終わってしまうのか」ということであろう。

今後の動向を予測する上で、過去の立体映像の歴史を研究することは極めて重要である。なぜなら、今回とよく似た現象は過去にも繰り返してきており、いつも短期間で流行が終息してしまった。多額の投資は無駄に終わり、しかもほとんどの人々がそのことを忘れていく。「今回の流行は、技術が大きく進歩したから、過去と同様の過ちは繰り返さないだろう」という意見もあるが、必ずしも事実とは言えない。現在主流である立体映像の技術そのものは、19 世紀から 20 世紀前半に登場したアイディアがベースになっており、欠点はそのままになっているからである。つまり根本的な問題を積み残したまま、若干の化粧直しを施したものにすぎないのである。

今回の講演では、1922～1925 年にアメリカで始まったアナグリフ立体映画と、ほぼ同時期に登場した機械式アクティブ・ステレオ。戦前のドイツとアメリカが開発を競ったパッシブ・ステレオ。そして、それと同時期に旧ソ連で開発が進められていた裸眼立体映画。1950 年代に、テレビに対抗して全世界で巻き起こった第 1 次立体映画ブームと、そのあっけない終息。立体映画を絶滅から救ったポルノ解禁。1980 年代の第 2 次立体映画ブームと、3D テレビへの挑戦。バブル期日本の博覧会ブーム。そして現在の第 3 次立体映画ブームまでの流れを紹介する。

これによって過去の失敗の原因を探り、再び一過性の流行に終わらせないための方策が何であるかを考える。

新しい立体映像技術がもたらす効用

高田 宗樹^{1,2}、宮尾 克³、高田 真澄²、山本 哲也^{2,4}、
杉浦 明弘⁴、渡邊 智之⁵、大森 正子⁶、長谷川 聡⁷

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 福井市文京 3-9-1

² 愛知医科大学医学部生理学第2講座 〒480-1195 愛知県愛知郡長久手町岩作雁又 21

³ 名古屋大学大学院情報科学研究科 〒464-8601 名古屋市千種区不老町

⁴ 岐阜医療科学大学保健科学部放射線技術科学科 〒501-3892 岐阜県関市市平賀字長峰 795-1

⁵ 愛知学院大学心身科学部健康栄養学科 〒470-0195 日進市岩崎町阿良池 12

⁶ 神戸女子大学家政学部家政学科 〒654-8585 神戸市須磨区東須磨青山 2-1

⁷ 名古屋文理大学情報文化学部情報メディア学科 〒492-8520 愛知県稲沢市稲沢町前田 365

E-mail: takada@u-fukui.ac.jp

Effectiveness of New Technology to Compose Stereoscopic Movies

Hiroki TAKADA^{1,2}, Masaru MIYAO³, Masumi TAKADA², Tetsuya YAMAMOTO^{2,4},
Akihiro SUGIURA⁴, Tomoyuki WATANABE⁵, Masako OMORI⁶, Satoshi HASEGAWA⁷

¹ Graduate School of Engineering, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8507 Japan

² Aichi Medical University School of Medicine, Nagakute, Aichi, 480-1195 Japan

³ Graduate School of Information Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601 Japan

⁴ Gifu University of Medical Science, 795-1 Ichihiraga Nagamine, Seki, Gifu 501-3892 Japan

⁵ Faculty of Psychological and Physical Science, Aichi Gakuin University, 12 Arai-ke, Iwasaki-cho, Nisshin, 470-0195

⁶ Faculty of Home Economics, Kobe Women's University, 2-1 Aoyama Higashisuma, Suma-ku, Kobe 654-8585

⁷ Nagoya Bunri University School of Information Culture, 365, Maeda Inazawa Aichi 492-8520 Japan

Abstract: Visually induced motion sickness (VIMS) and asthenopia are caused by sensory conflict, the disagreement between vergence and visual accommodation while observing stereoscopic images. VIMS can be measured by psychological and physiological methods. We quantitatively measured vergence, visual accommodation, head acceleration, and body sway before and during exposure to a conventional and new stereoscopic movies on a head mount display. While lateral sway becomes dependent on the transverse component of head movement while watching the conventional stereoscopic movie, we examine whether this tendency is reduced by the new technology to compose stereoscopic movies (POWER3D).

Keywords: Visually induced motion sickness (VIMS), Stabilometry, Head acceleration, POWER3D

はじめに

一般に、自然視では輻輳と調節が一致しているが、立体映像を視認するには輻輳が立体像の位置で交叉するのに対して、調節は画像が表示されているディスプレイの位置に固定されるので輻輳と調節の不整合が起こるとされている。この不整合が立体視による映像酔いや眼精疲労の主な原因とされているものの、調節がディスプレイの位置に必ずしも固定されていないことが示されており[1]、立体像の視機能への影響については慎重な研究が必要である。

一方、実写や CG による立体映像の作成によく用いられるのが、クロスポイント撮影(図 1)であり、遠近に合わせた視差像をつけた立体映像が構成される。カメラの輻輳角を一定に保って、クロスポイント(交叉点)を一定にした映像であるため、視聴者が指定された注視ポイント(図 1 の映像では中心の球体)以外に視線を向けた場合には見ている像に輻輳が合わない不自然な画像となる。そこで、球体の遠近に合わせてカメラの輻輳角も変える撮影法が考案されている(図 2)。注視する球体だけでなく、自然視の場合のように背景には輻輳は並行、近方の仮想物体には輻輳角が大きくなるように設定されている。

方法

球体が遠近運動する CG 映像を①2D表示、②Cross3D、③POWER3D、の 3 つの方式で作成し比較した。①は左右両眼に視差をつけず同じ画像を提示したものである。これらの映像を無作為の順序にて、ヘッドマウントディスプレイ(iWear AV920, Vuzix Co. Ltd.; 640×480dot)で被験者に提示して、球体を注視している間の水晶体調節(屈折率)・輻輳角の変化、重心動揺、頭位加速度を計測し、提示後に Simulator Sickness Questioner を諮問した。

結果および考察

前回のシンポジウムにて、頭位加速度を入力とし、重心動揺を出力とする伝達関数解析の結果の一部を報告した。これにより、②(Cross3D)の立体映像による酔いを検出する因子を見出している。本講演では③(POWER3D)の立体映像により、その因子の数

値が減少するかを検討する。更に、この立体映像を用いたトレーニングが視力低下・眼精疲労の予防に対して効用があったので、これについても報告する。

文献

[1] Miyao M et al.(1996) Visual accommodation and subject performance during a stereographic object task using liquid crystal shutters, Ergonomics, Vol.39(11), 1294-1309.

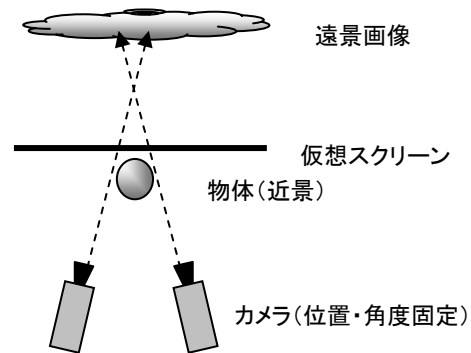


図 1 クロスポイント撮影(従来型 Cross3D)

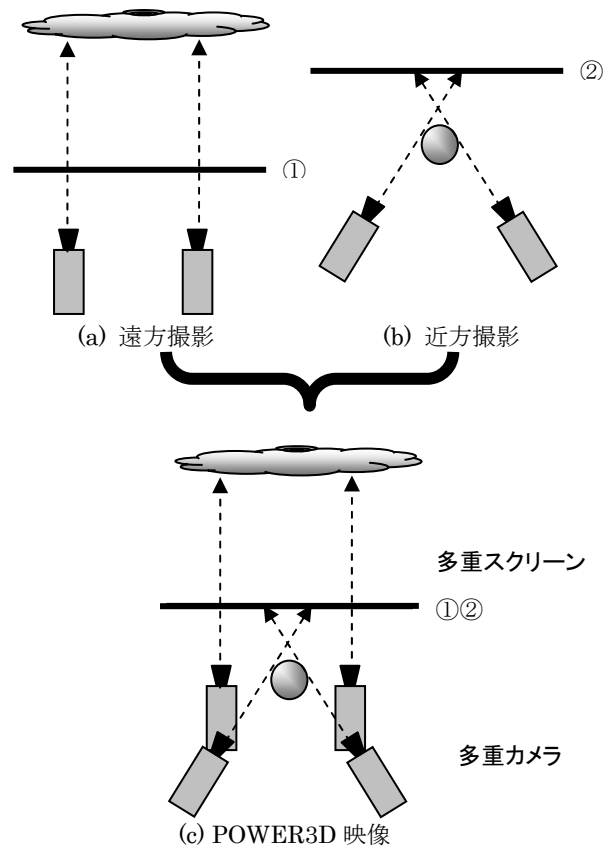


図 2 POWER3D の撮影法(多重カメラ・多重スクリーン)
POWER3D はオリンパスビジュアルコミュニケーションズ(株)の商標で映像技術は同社が特許出願中である。

近代絵画と近代技術——近代技術的環境における心性の変容の図像解釈学的研究

秋丸 知貴

日図デザイン博物館 〒606-8343 京都市左京区岡崎成勝寺町 9-1
tomoki_akimaru@yahoo.co.jp

Modern Painting and Modern Technology: An Iconological Study of Transformations of Mentality in the Modern Technological Environment

Tomoki Akimaru

Japan Design Museum

9-1 Seishoji-cho, Okazaki Sakyo-ku, Kyoto 606-8343, Japan

Abstract: Why has the abstract painting flourished since the latter half of the 19th century? I discuss this problem from the viewpoint of transformations of mentality by the modern technology: the modern technological environment has variously changed human mental status, which has made the changing of painting style from Renaissance realism to abstractionism.

Keywords: art and technology, abstract painting, modernism, iconology

【はじめに】

なぜ、西洋美術において、一九世紀後半以後、ルネサンス期に成立した一点透視遠近法に基づく写実表現は、造形表現の主流から凋落し、絵画の抽象化が、新たな本流を形成したのだろうか？

従来、この問題については、フォーマリズム、北方ロマン主義の伝統、写真の影響等が指摘されてきた。本発表は、これらを補足し、近代技術による心性の変容という新しい視点を提出する。つまり、蒸気機関を筆頭に、次々と開発され普及する各種の近代技術が、徐々に、ヴェルナー・ゾンバルトの定義する「有機的自然の限界からの解放[1]」を実現する結果、人間本来の自然な心性では把握できない、新しい機械的・脱自然的現実感が発生し、それに伴い、旧来の写實的・自然主義的なルネサンス的リアリズムは、その効力を減退したと考えられる。そして、その抽象的で非具象的な新しい近代的現実感への対応として、次第に、各種の近代絵画における抽象化現象もまた生起したと分析できる。

【考察】

まず、近代技術による知覚の変容の最も代表的な例は、一九世紀中期以後に発達する、大都市群集である。この大都市群集の成立背景には、人間を広範囲から高速かつ大量に循環させ、機械的加速リズムを社会全体に浸透させる、同時代の蒸気鉄道の発達がある。そして、この新しい大都市群集による知覚の変容を造形化したのが、印象派である【図1】。

次に、近代技術による視覚の変容の最も典型的な例は、同じく一九世紀中期以降に発展



【図1】クロード・モネ《カピュシーヌ大通り》1873年



【図2】ポール・セザンヌ《オーヴェール・シュル・オワーズ近郊の小さな家並》1873-74年

する、蒸気鉄道である。ヴォルフガング・シヴェルプシュが、『鉄道旅行の歴史』で論じ

るように[2]、蒸気鉄道の車窓風景では、機械的加速により、神経刺激が増加し、大都市群集と共通する知覚の変容が発生すると共に、さらに様々な視覚的变化が加味される。この新しい蒸気鉄道による視覚の変容を形象化したのが、後期印象派のポール・セザンヌと推察できる【図2】。

さらに、こうした移動機械による視覚の変容は、一九世紀後期以後、より運動的自由度と主体的能動性を増大させる、自動車により、一層人々の内面に定着する。この新しい自動車による視覚の変容を表象化したのが、フォーヴィズムと推測できる【図3】。

そして、近代技術による意識の変容の最も顕著な例は、一九世紀中期以降に流通する、そうした移動機械や、写真、映画、電話、無線、X線、蓄音機、ラジオ等の各種の伝達機械による、物理的・心理的な時間と空間の変化である。これらの媒介機械は、いずれも自然な遠近感を狂わせ、あらゆる空間を一様に身近に感受させることで、一点透視遠近法的世界観を崩壊させ、世界同時性的世界観を現出する。この新しい時空間概念の変容を象徴化したのが、キュビズムと推定できる【図4】。

【おわりに】

ジョルジュ・フリードマンは、産業革命の以前と以後を「自然的環境」と「技術的環境」と分類する[3]。この「技術的環境」は、ゾンバルトの概念を援用すれば、より正確に「近代技術的環境」と再定義できる。

元々、ルネサンス的リアリズムは、自然的環境を必須的前提として成立する描写技法である。なぜなら、その特質である緻密な細密描写には、事物との密接で現存的な精神集中と五感総体による、無媒介的に自然な有機的相互関与が経験的に不可欠だからである。

これに対し、絵画の抽象化は、近代技術的環境が勃興すれば、不可避的に到来せざるをえない。なぜなら、人間と世界の関係に、脱自然的・非有機的な移動機械や伝達機械が介入し、対象との関係が刹那的で捨象的になれば、もはや事物を静態的・直接的・三次元的・具象的に把握することは出来ず、どうしても動態的・間接的・二次元的・抽象的に把握せざるをえないからである。

芸術上の「近代主義（モダニズム）」については、無数の解釈がありうるが、本発表は、そうした解釈の一つとして、ピエール・フランカステル等の先行研究を踏まえつつ[4]、造形的「近代化（モダニゼーション）」を、「近代技術」がもたらす「有機的自然の限界からの解放」に適応する、「近代絵画」における「絵画の抽象化」と定義する。



【図3】アンリ・マティス《アンティープ、自動車の中から見た風景》1925年



【図4】パブロ・ピカソ《ダニエル＝ヘンリー・カーンワイラーの肖像》1910年

【謝辞】

本研究発表は、京都大学こころの未来研究センター連携プロジェクト研究による。

【参考文献】

- [1] Werner Sombart, *Die Zähmung der Technik*, Berlin, 1935. ヴェー・ゾンバルト「技術の馴致」『技術論』阿閉吉男訳、科学主義工業社、一九四一年。
- [2] Wolfgang Schivelbusch, *Geschichte der Eisenbahnreise*, München, 1977. ヴォルフガング・シヴェルブシュ『鉄道旅行の歴史』加藤二郎訳、法政大学出版局、一九八二年。
- [3] Georges Friedmann, *Sept études sur l'homme et la technique*, Paris, 1966. ジョルジュ・フリードマン『技術と人間』天野恒雄訳、サイマル出版会、一九七三年。
- [4] Pierre Francastel, *Art et technique aux XIX^e-XX^e siècles*, Paris, 1956. ピエール・フランカステル『近代芸術と技術』近藤昭訳、平凡社、一九七一年。

パソコンによる文様と形の描画 総合報告

小林英子, 小国 力

(有)ケプラ社 〒252-0804 神奈川県藤沢市湘南台 3-21-2

Drawing of patterns and shapes by personal computer
Integrated report

Abstract: Shape in the fractal and chaos and family crest and Hokusai's patterns have been drawn for ten-odd years with software MATLAB for the calculation of engineering of the United States. Afterwards, software KeplerSystem of making by oneself was developed for five years aiming at the training area, it had been used in every country in the world such as Islamic patterns besides a mathematical, geometrical curve, and it was made to make and to draw in more complex sentence externals and shape. In addition, it aimed to draw in domestic patterns like cutting patterns, "Kasuri", "Komon", etc. Because the result assumed at first was accomplished, it reports to here.

Keywords: pattern, shape, drawing, software, language

1. KeplerSystem I と KeplerSystem II

KeplerSystem は、2種類のシステムから構成され、中学校以下の低学年で用いることのできる、メニューを利用する対話型の KeplerSystem I と、高校以上で用いることのできる、プログラミング言語によりプログラムを組む KeplerSystem II、とがある。KeplerSystem II は、米国製のソフトウェア MATLAB やフランス製の Octave と同じ系統の言語方式を採用している。KeplerSystem I は情報教育に積極的に用いてもらえるよう一般公開している。KeplerSystem II については、個人や教育現場で情報教育や数値計算・統計計算などにも用いてもらえるよう低価格な価格帯を設定しているほか、希望者が半年程度無料使用できる試供版を Web でダウンロードできるようにしている。両者とも、代表的な言語である Java 言語を用いて開発しているが、とりわけ KeplerSystem II についてはガイダンス機能、プログラム編集機能や動画機能などを備えた操作性の高いシステムを作り上げている。

本発表では主として KeplerSystem II について報告する。

2. 実現した文様や形の種類

文様は、くり返し文様と単品文様および枠取りに分かれる。

(1) くり返し文様の例

- ・縞文様：緋，セーター，タータン，文字フォントなど
- ・回転、反転、移動、配置による文様：イスラム文様や西洋の文様

(2) 単品文様の例

- ・家紋や中国の文様パターン
- ・切り紙文様や万華鏡

(3) 文様の枠取り

(4) 文様の階層構造

基本文様を部品として作成し、それらを層別に描画して複雑な文様をつくる。切り紙文様はその典型的な例である。

一方、形は数学的に作り出すことが多い。

- ・フラクタル・カオス：複素演算が必要となる。

- ・数学的曲線：らせん、サイクロイド、リサージュ、トロイダル

数学的曲線は、ある点を何度も横切るなので、一筆書きによる表示が必要となる。

- ・幾何学的な形：多角形や多面体、だまし絵を含む擬似3次元体など幾何学的な形を描画するとともに、定理や算額などの視覚化を実現している。

3. 設計上の工夫

- ・各種文様作成・描画関数群のサポート
- ・マウスによる画面上の位置情報の取得
- ・プログラム用エディタのサポート
- ・KeplerSystem I と II の間のファイル移行：メニュー方式で部品文様を作成したほうが容易なときがあり、ファイルを経由して KeplerSystem II に引渡せる。
- ・実行の履歴情報の管理
- ・表示画像の回転およびファイル出力のメニュー化
- ・動画機能の実現

4. 摘要できる文様と形

- ・国内文様(家紋、北斎、小紋、緋、切り紙、雪華、箱根細工、万華鏡)
- ・イスラム文様(モザイク、タイル、木彫、絨毯、ケブラなどによる文様)
- ・西洋文様(大理石タイル、木床、縞模様、くり返し)
- ・中国文様(少数民族文様、中国パターン)
- ・幾何学的文様
- ・充填文様(大きさの異なる正方形、多角形、多角形崩れ、エッシャー)
- ・各種フラクタル(自己相似形、モチーフと基線、座標変換、複素関数)
- ・各種カオス(ジュリア集合、マンデルブロ集合、原生動物もどき、三角関数)
- ・各種数学曲線(2に示したもの)
- ・幾何学図形の視覚化(幾何定理、算額)
- ・3次元図形(正多面体の展開と展開図からの再構築、文様の貼り付け)
- ・擬似3次元図形(3つ組、だまし絵)

5. 教育上・普及上の考慮

- ・使用説明書を help 機能として HTML 形式でシステム内に保持
- ・使用説明書の中国版完成、英語版については作成中
- ・英語版 KeplerSystem II を本年度中に完成させる予定
- ・神奈川大学理学部と工学部における教育実績を反映
- ・学生による作成例を参考例として提供可能

「モジュール表を使った造形譜のための構成システム」

笹田 晋司, 石垣 健

日本電子専門学校 〒169-8522 東京都新宿区百人町 1-25-4

e-mail : sasada@jec.ac.jp

アルスノート研究所 〒140-0015 東京都品川区西大井 3-12-3

e-mail : ishigaki@arsnote.com

**Composer system for the Formative score
Using Module Table**

Shinji SASADA and Ken ISHIGAKI

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

Arsnote Lab., Nishi-Ohi 3-12-3 Shinagawa-ku, Tokyo 140-0015, JAPAN

Abstract: It's Musical score like, the Formative score equivalent to an abstract representation of the Formative Art. In order to establish the Formative Score we have created a computer program that can output the Formative score written in popular 3D format. In this program, the Module table including the rhythmic data and proportional data can compose the Formative Score. Separation of constructive process and numerical data, can lead to an analytical understanding of the formation process. And also it can clarify the difference of pattern recognition.

Keywords: Formative Score, Module table, composition, rhythm, proportion

研究目的：音楽の楽譜のように、造形芸術の記譜的な抽象表現の確立を目指す。その基礎的認識の為に、構成パターンの類型化のデータ、プロポーションの組合せ、ポリリズム的配列、シンメトリーとしての対応配列をモジュール表として統合し、そのデータを元に構成される造形譜の表象と対比することで、形に対する人の抽象的認識のありかたを探求し、分析的視点と統合的構成表現をプログラムで結び、造形デザインとしての創発をめざす。

造形芸術における情報科学的アプローチは、コンピュータグラフィックの目覚ましい発展を支える背後で着実に前進している。そのプログラミングにおいては、形の客観的認識が次第に整い、自然形態の表象的シミュレーションを行えるようになってきた。しかしながら、形から見る造形芸術は単なる自然の模倣ではなく、人間としての認識と解釈や、イマジネーションによる賜物であり、自然とそこに内包される人との創発的表現と言える。芸術家が生涯をかけての試行錯誤により到達する状態、この複雑で分離しがたい繭状の現象をほんの少しでも解明しようという好奇心をもつならば、その糸口としてこの半世紀にわたり、人々の造形プロセスがプログラマーによって翻訳され、心体の外部へと実働する言語で記述され続けてきたことに注目すべきである。遅々として解明が進まない美的形式と言われる領域への客観的アプローチ。それらは一見して解るパターンの場合もあるが、繰り返しを見せながらも収束の予測が付きにくいカタストロフィーでもフラクタルでもな

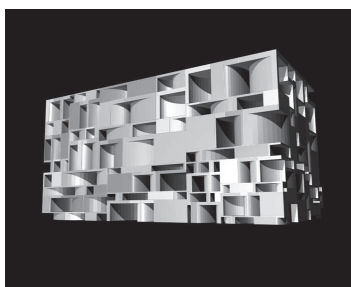
い場合がほとんどだ。つまりは、極めて単純な循環的事象のもつ多様な可能性。移行的変位とその調和によるパターンやその周期に準じた展開、対比的な突然の変位もその形に加わる。そしてそこには、同期して湧き上がる人間の内面的表象も加わっているのだ。

まるでポーカーゲームのような様相を呈する美意識の流行。理屈などお手上げである。しかしそこにこそ、なんとしても科学的視点を投げ出さずに着実な認識と解明を求めなければならない。それこそが芸術と科学を極めるパラダイムであるはずだからだ。情報科学・工学・技術が人間にもたらした社会現象とは、「汝自身を知れ」ということに他ならない。

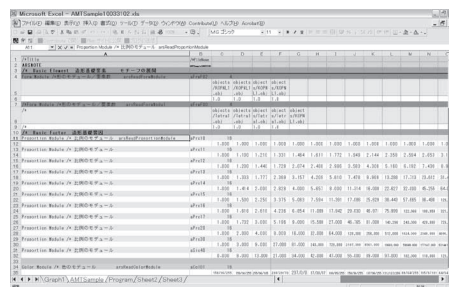
まずは、ディテールを排除し、蓋然的な把握を行うため、楽譜のような可視化を伴ってパターン認識しやすい記述が必要だ。ポーカーといえどもトランプという明快な周期性から生まれる現象だ。基本条件を探るため、初歩的な空間認識の実験を行う構成プロセスを定めた。

- 1) ワールド座標系（3D）に一つの空間領域として、各軸方向の寸法・回転・位置を設定*する。
- 2) 指定された空間領域に配置される空間要素（造形譜も使用可）をファイル名で指定し、3次元配列として設定*（例えば縦4×横4×奥行4の64要素）。各空間要素の寸法、回転、位置を設定*する。
- 3) 各ローカルな空間要素の中に対応する要素グループの寸法、軸回転、位置を設定*する。
- 4) 配置された要素に関する要素環境条件と全環境条件を設定*する。
- 5) 対応する要素を、すべての設定*条件にしたがってデータ変換し、空間領域に配置。
- 6) 結果を簡便に描画しながら、造形譜としてファイル出力をする。
- 7) 条件分岐から再帰条件に従って 2) から繰り返す。
- 8) 出来上がった造形譜を一定条件で可視化し、個々の実感を注視しながら観察・評価することで慎重な検証をおこなう。

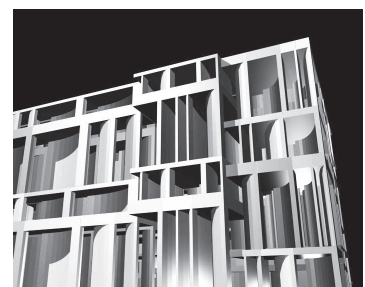
* 各設定はモジュール表の各モジュール別要因指定（データ配列）に従って行われる。



〔図 1〕



〔図 2〕



〔図 3〕

このプロセスでは、要素としての図形データと、要因としてのリズム、シンメトリー、プロポーションの配列データ、そしてそれらの交配を決めるモジュール表（エクセルなどの CSV ファイル）〔図 2〕によって、プログラムの構成プロセスを調整した造形譜から生まれる様々な表象〔図 1〕〔図 3〕を比較し、モジュール表の抽象のレベルを確認した。

詳細は、<http://www.arsnote.com/arno/works/work00.html> に掲載。

参考文献：『知恵の樹』ウンベルト・マトゥラーナ&フランシスコ・バレーラ 著
管啓次郎 訳 1987 朝日出版社

平仮名の字体に関する考察 ～横書きに適した新しい形について～

杓名健一郎

名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科, 〒467-8501 名古屋市瑞穂区瑞穂町山の畑 1

k.kutsuna@nsc.nagoya-cu.ac.jp

Consideration Concerning Form of Character of HIRAGANA -Shape of Suitable for Horizontal Writing New Character-

Kenichiro KUTSUNA

Graduate School of Natural Sciences, Nagoya City University,

1 Yamano-hata, Mizuho-cho, Mizuho-ku, Nagoya, Aichi 467-8501 Japan

Abstract: If it uses it by horizontally-written sentences, HIRAGANA that develops both for vertically-written sentences becomes a problem because the form of the character is damaged. Then, HIRAGANA suitable for horizontally-written sentences is considered.

Keywords: HIRAGANA, horizontally-written, form of character, stroke of handwriting

1、平仮名のかたちの成り立ち

横書きの多用される昨今、縦書き用途の中で発達してきた平仮名は「字形の損傷」が大きく問題となっている。そこで横書きに即した平仮名について考察し、新しい平仮名を提案したい。

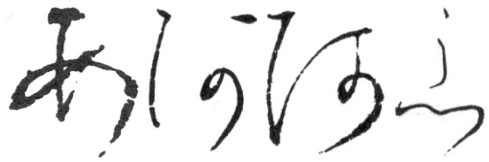
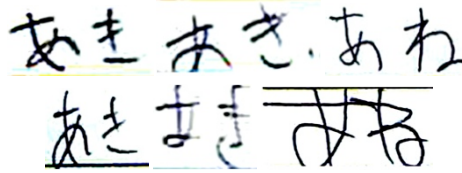
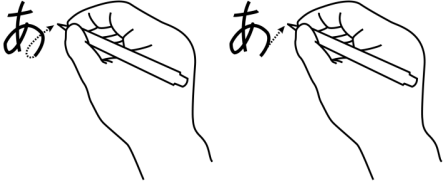
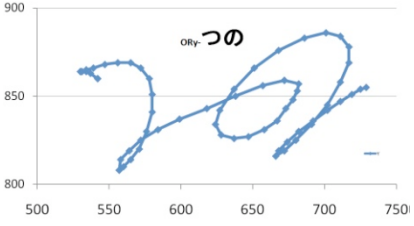
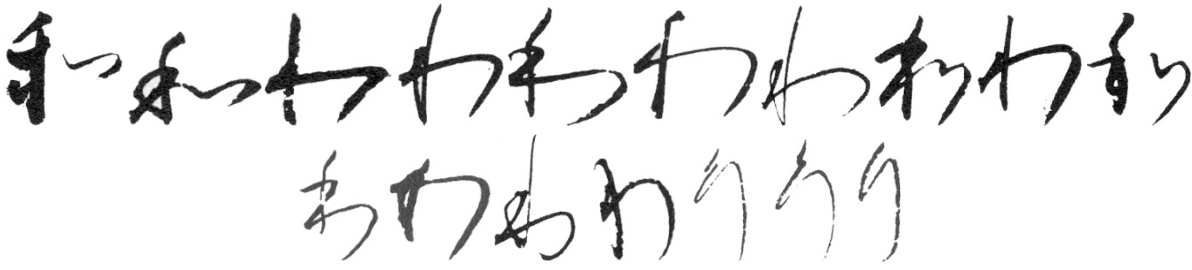


平仮名の原点は、万葉集で使われた当て字としての漢字「万葉仮名」である。本来は字音を借りて使用したことから「仮名」と名付けられ、初め楷書の漢字は真仮名、草書は草仮名と呼ばれた。その後平安時代になって宮廷の主として女性の教養として「女手」と呼ばれる文字が生まれ、その優美さから貴族社会に流行し「かな」が完成した。

現在の平仮名は、平安時代に作られた「かな」文字を、明治33年の第3次小学校令（明治33年勅令第344号：小学校令の全面改正）発布時に整備された中で生まれたものである。ここでは「ゐ・ゑ」の廃止、一音一字への統一等が行われた。その中で、今日「変体仮名」と呼ばれるものが生み出された。変体仮名とは、一音一字の原則からはずれた仮名文字のことで、例えば「あ」の場合「安」の草書体であるが、他にも「阿」「悪」「愛」などがよく使われていて、現在は変体仮名として書作品などでのみ使われる（Fig.1）。この変体仮名は、同一作品中に同じ文字・同じ書き方の重複をできるだけ避けるという意図で使用されるため、多種多様な字形で現れる。

2、速書きとストローク

今日、新聞以外では縦書きよりも横書きを多用しており、特に国語科「書写」では縦書きの指導が中心となっているため、ノートなどに横書きを用いる際の指導が行き届いていないため、子供らは速書きの際に「字形の損傷」が見られる。字形の損傷とは、正しい字形と異なった崩れた文字のことで、横書き時には特徴的な損傷が見られる（Fig.2）。

最初の文字の最終画（終筆）と次の文字の初めの画（始筆）の間の線にならない画の部分を「虚画」と呼び、その虚画にあたる部分の筆の運びを、「字間連係ストローク」と呼んでいる。「あ」の場合、Fig.3に見られるような「 α 型」と「 γ 型」のストロークがあり、PC用ペンタブレット（30Hz）で中学生に書かせると Fig.4 のようなストロークが見られる。縦書きにおける筆書きの場合を考えると、流れるようなストロークの α 型の方が速く書けると仮定されたが、横書きペン

 <p>Fig.1 「あ」, 左から元字は「安・阿・阿・悪」</p>	 <p>Fig.2 「あ」の字形損傷例</p>
 <p>Fig.3 横書き時のストローク, α型(左)・γ型(右)</p>	 <p>Fig.4 「つ」の「の」の連係ストローク例</p>
 <p>Fig.5 「わ」(上段)と「り」(下段)の草仮名・仮名の例</p>	
 <p>Fig.6 「わ」の左側の例, 現状(左) / 省略形(右)</p>	 <p>Fig.7 横書き用「わ」の新しい書き方例</p>

書きの場合、始筆では突き返すように入り、終筆でも突き返すように連係ストロークへとつなげていた。また、時間あたりの文字数についても計測したところ、突き返すγ型の方が時数が多く、子供らにとって、流れるような筆使いは速書きに適していないことが分かった。

3、横書きに適した平仮名

「わ」について、古典作品から集字したものが Fig.5 (上段) である。「わ」は「り」と見間違え易く、場合によって全く同一であるため下段にその例を示した。「わ」の右側は、仮名において Fig.6 の省略形の方も多く使われており、速書きを念頭にした場合は省略形の方が最適と考えられる。また右側に関しては「口」の省略形であるので、本来ならば右向きを終筆だが、下の文字の始筆に向けた形のため右回りの円運動の終筆となっているが、横書きの場合は右へ向けた終筆が望ましく、Fig.7 のようになる。本来、平仮名は縦書きの文中で平安貴族の美的感性にも合致させて創られたものであり、現代の横書きに適した形状の平仮名についても新しく創ることは必然ではなかろうか。今後は横書きに適した新しい平仮名の作成を進めたい。

参考文献

「横書き書字における平仮名の字形的損傷について」小竹光夫『書写書道教育研究 第18号』全国大学書写書道教育学会、2004

「横書きにおける「平仮名」の速書き指導に関する基礎的研究」杉崎哲子、沓名健一郎『書写書道教育研究 第24号』全国大学書写書道教育学会、2009

テント写像における素数の奇妙な振る舞い

山口喜博 (帝京平成大学 : 170-8445 東京都豊島区東池袋 2-51-4)

メールアドレス : chaosfractal@mac.com

谷川清隆 (国立天文台 : 181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1)

メールアドレス : tanikawa.ky@nao.ac.jp

Strange behaviors of prime numbers in the tent map

Y. Yamaguchi (Teikyo Heisei University)

K. Tanikawa (National Astronomical Observatory)

Abstract: Let $x_0 = p/q$ be an irreducible fraction, where $p (\geq 2)$ is an even integer and $q (\geq 3)$ is an odd integer. The orbit starting from x_0 in the tent map is periodic. Let $L(q)$ be its period. The relation of q and $L(q)$ is studied. We report the strange behaviors of $L(q)$ for the case that q is a prime number.

Keywords: Tent map, periodic orbit, Sophie Germain prime and Mersenne number.

テント写像 ($x_{n+1} = 1 - |1 - 2x_n|$ ($0 \leq x_n \leq 1$)) はカオスを理解するためというよりはカオスを説明するためによく利用される。つまりテント写像の性質は調べ尽くされていると思われる。しかし、馬場-長島によってテント写像における下記の奇妙な性質が報告されている。

定理 1 (馬場-長島:1989). N を任意の自然数とする。初期値が $x_0 = 0.a_0a_1 \cdots a_{N-1}$ ($a_{N-1} \neq 0, 5$) であるすべての周期軌道は同じ周期 $2 \times 5^{N-1}$ をもつ。

我々が考えた問題を提示する前に、テント写像の性質をまとめておこう。性質 2 はテント写像の性質のほんの一部である。性質 2 は以下で使用する。

性質 2. $x_0 = p/q$ は既約分数とする。ただし p は 2 以上の偶数で、 q は 3 以上の奇数とする。

[1] $x_0 = p/q$ を初期点とする軌道は周期軌道である。

[2] この周期軌道の周期数を $L(q)$ とすると、 $L(q)$ は与えられた q で一義的に決まる。

定理 1 と性質 2 から、下記の問題を考えるのは自然であろう。

問題 3. q と周期軌道の周期 $L(q)$ の関係を調べよ。

数値計算の結果を図 1 に示す。 q が素数の場合、大きな黒丸で描いた。 q が合成奇数の場合は小さな黒丸で描いた。この図を見ただけで黒丸の分布に特徴があることが分かるであろう。この図の性質を以下にまとめておこう。

性質 4. 関数 $L_k(q) = ((q-1)/2)/k$ を用意する

[1] 周期の下限は $\lfloor \log_2 q \rfloor$ であり、上限は $L_1(q)$ である。

[2] q が素数の場合、グラフ $L_k(q) = ((q-1)/2)/k$ 上に点をもつ。

[3] q が合成奇数ならば、グラフ $L_1(q) = (q-1)/2$ 上に点はない。

性質 4[3] は、 q が合成奇数ならばその周期は $(q-1)/2$ より短いことを述べている。ここでソフィー-ジェルマン素数を紹介しよう。

定義 5. ソフィー-ジェルマン素数 (Sophie Germain prime)

n と $2n+1$ がともに素数であるとき、 n をソフィー-ジェルマン素数といい、 $2n+1$ を安全素数 (safe prime) という。

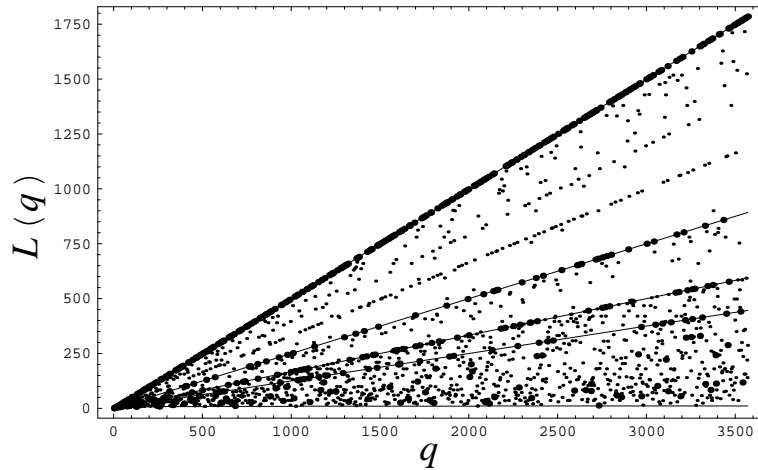


図 1: 図には参考のために $L_1(q) = (q-1)/2, L_2(q) = (q-1)/4, L_3(q) = (q-1)/6, L_4(q) = (q-1)/8$ と $L(q) = \lfloor \log_2 q \rfloor$ が描かれている.

これより, q が安全素数で周期 $L(q)$ がソフィー ジェルマン素数ならば, この点はグラフ $L_1(q) = (q-1)/2$ 上にあることが分かる. グラフ $L_1(q) = (q-1)/2$ 上にはソフィー ジェルマン素数でない素数の点も存在することに注意しよう. 次にメルセンヌ数の場合を考えよう.

定義 6. メルセンヌ数 (Mersenne number)

$2^n - 1$ をメルセンヌ数といい, その 2 進表示は $11 \cdots 1$ (1 が n 個) である. n が素数ならばメルセンヌ数は素数である.

ここで $q = 2^n - 1$ とすると, $L(q) = n = \lfloor \log_2 q \rfloor + 1$ が成立する. つまり q がメルセンヌ数の場合の周期はほぼ下限を与えることが分かる. 性質 3[2] は, 3 以上の素数の分類を与えている.

分類 7. グラフ $L_k(q) = ((q-1)/2)/k$ 上に点をもつ素数の集合を P_k とすると, 3 以上の素数 $= \cup_{k \geq 1} P_k$ が成立する.

これより次の問題が生じる.

今後の問題 8.

[1] 3 以上の素数のどのような性質が, 分類 7 を決定しているのだろうか.

[2] P_k に含まれる素数の相対的な比率はどうなっているのか.

[3] ソフィー ジェルマン素数の拡張. k を自然数とする. n と $2kn + 1$ がともに素数. $k \geq 2$ において, $q = 2kn + 1, L(q) = n$ を満たす n が存在するための条件は何か.

8[1] と 8[3] は良く似た問題で今後の課題である. 8[2] に関しては数値計算で調べることができる. 参考のため 3 以上の 5000 個の素数における結果を与えておこう. P_1 には 2811 個 (56.22%), P_2 には 473 個 (9.46%), P_3 には 521 個 (10.42%), P_4 には 356 個 (7.12%), P_5 には 135 個 (2.7%), P_6 には 91 個 (1.82%), P_7 には 66 個 (1.32%), P_8 には 88 個 (1.76%), P_9 には 54 個 (1.08%), P_{10} には 16 個 (0.32%) である. P_k に含まれる素数の相対的な比率はベキ関数的に減少していると思われる.

参考文献: Baba. Y. and Nagashima. H. Prog. Theor. Phys. 81(1989),541-543.

記:2010 年 4 月 18 日

太陽電池変換効率が集電線パターンの工夫により 1.2 倍程度向上する

大日方 圭、竹田 康彦、元廣 友美

(株) 豊田中央研究所、愛知県愛知郡長久手町長湫字横道 4 1 の 1

e1437@mosk.tytlabs.co.jp

The solar cells conversion efficiency improves by about 1.2 times by devising the collection electric wire pattern.

Kei Obinata, Yasuhiko Takeda and Tomoyoshi Motohiro

TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC, 41-1, Aza-Yokomichi, Nagakute, Aichi, 480-1192, Japan

Abstract: We have revealed that conversion efficiency of practically large-sized solar cell modules can be significantly improved by designing collecting electric wire patterns on the modules. Conversion efficiency with conventional wire patterns decreases with increasing size, which is practically a great issue, because of mainly two reasons. One is an increase of electrical resistance arising from longer distances to external electrodes for larger modules (resistance loss). The other is shadows made by collecting electric wires of metals, which are formed to reduce the resistance loss, resulting in a reduced active area (shadowing loss). We have carried out computer simulations of electric flows in the modules, and found that newly designed patterns significantly suppress the two losses, resulting in higher conversion efficiency by about 1% than the values for conventional patterns.

Keywords: Solar cells, Energy conversion efficiency, Wiring pattern, Computer simulation.

1. はじめに

太陽電池モジュールの大面積化に向けた問題の1つは、大面積化した場合の変換効率の低下である。例えば、色素増感型太陽電池の場合は約 1cm^2 のセルの変換効率は10%程度であるのに対し、面積 25cm^2 のサブモジュールでは8%以下¹⁾、実用的なサイズのモジュールでは更に低い値となる。

この変換効率低下の主な要因は、

①外部電極までの距離の増加による電気抵抗の増大(Resistance loss)

②電気抵抗の増大を抑制するために形成された金属集電線によって影が生じることによる発電可能な面積の低下(Shadowing loss)である。①+②による損失は、太陽電池の種類により大きく異なるが、発電量の5-40%にもなる。他に、動作点が最適値からずれるための損失及びリーク電流による損失がある。

①、②を解決する方法の1つに、より抵抗の小さい集電線の使用がある^{2),3)}。また、裏面電極型と呼ばれる受光面に電極がないセル構造が研究されているが^{4),5)}、これには構造が複雑化するという欠点がある。通常用いられる楕形の集電線に関しては、間隔の最適化の研究がある⁶⁾。集電線のパターンの変更により、発電可能な面積を大きくする試みもあるが⁷⁾、理論的考察はなされていない。大面積化した太陽電池モジュールにおいて、損失を最小限に抑え発電効率の低下を抑制できる集電線パターンを求めることが本研究の目的

である。

2. 解析モデルと方法

モジュールを分割した各領域を代表するノード（点）がリンク（線）により接続されているモデルを用いた。各ノードからその領域面積に比例する電流が発生すると仮定し、リンク（集電線または透明電極）を流れる電流値を計算し、その際生じる抵抗損失を求めた。

3. 解析したパターンと結果

以下の①－⑤の集電線パターンについて、モジュール中の電流をシミュレーションにより解析し、前述した損失を定量化して変換効率を試算した。

①は通常用いられる櫛型電極パターンである。10cm角のモジュールサイズに対して、変換効率が最大となる縦向き集電線数を求め、基準パターンとした。このとき、外部回路との接続箇所に近い部分の横向き集電線の電流密度が大きくなるため、この部分のResistance lossが顕著となることがわかった。そこで、接続箇所付近の電流集中を防ぐような、②－④のようなパターンを考案した。

①－④のパターンの場合の変換効率を計算した。各パターンについて、縦向き集電線本数を最適化した結果、②は基準パターンである①の1.20倍、③が1.21倍、④が1.23倍の変換効率を得られ、②－④は約1.2倍の高効率化が期待された。

これらのパターンは上下対称であり、透過型モジュールでの作製の容易さを考慮したものである。透過型でない各種類の太陽電池モジュールの場合、非対称での作製可能であるので、より高い変換効率が見出される可能性がある。

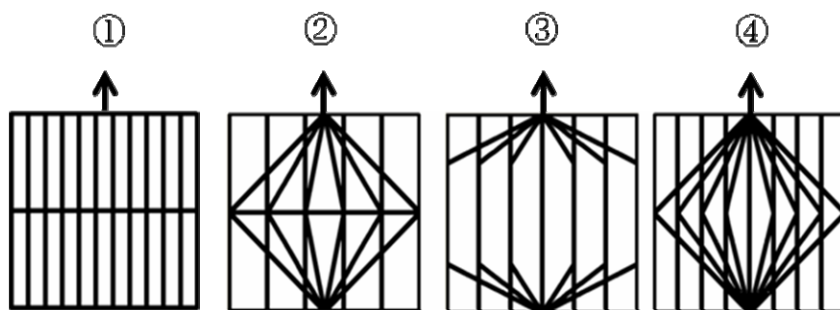


図 シミュレーションによる変換効率試算に用いた集電線パターン。矢印部が外部回路との接続箇所である。

4. 今後の展開

①－④のパターンの太陽電池を実際に作製、測定し、効果を実証する予定である。また、シミュレーションによるパターンの最適化を継続して行い、より良いパターンが発見できれば、同様に作製、測定を行う。

参考文献

- 1) Green M. A. et al. , *Progress in photovoltaics*, Vol. 17(2009), pp. 85-94
- 2) 小野 朗伸ほか, フジクラ技報, No. 109(2005), pp. 41-45
- 3) Hilali M. M. et al, *Journal of the electrochemical society*, Vol.153(2006), pp. A5-A11
- 4) Fuke N. et al. , *Chemistry of materials*, Vol. 20(2008), pp. 4974-4979
- 5) Yang S. M., Pla J, *Solid-state electronics*, Vol. 53(2009), pp. 925-930
- 6) Burgers A. R., *Progress in photovoltaics*, Vol. 7(1999), pp. 457-461
- 7) Burgers A.R. et al. , *Solar energy materials and solar cells*, Vol. 65(2001), pp. 347-353

アファイン・ワイル群とラプラシアン境界値固有値問題

星川良紀

重信中学校、愛媛県東温市志津川 991 番地

yshskw@yahoo.co.jp

Affine Weyl Groups and the Boundary Value Eigenvalue Problems of the Laplacian

Yoshinori Hoshikawa

Shigenobu Junior High School, Shizukawa 991, Touon city, Ehime pref.

Abstract: In this paper, we give the explicit formulas for the eigenvalues, and the eigenfunctions, of the Dirichlet and also the Neumann eigenvalue problems of the Laplacian on the crystallographic Euclidean domains. We show the Poisson summation formulas of the Dirichlet and Neumann heat kernels.

Keywords: Affine Weyl Groups, Boundary Value Eigenvalue Problems, Eigenvalue, Eigenfunction, heat kernels

第1章 序論

二階偏微分方程式は、量子力学を始め、電磁気学、音響理論、電気工学、振動工学など、物理学や工学において広く一般的に用いられている。その中でも、特に境界値・固有値問題は、古くから研究されてきた分野である。(レーリー、クーラン・ヒルベルトなど)古くは1930年ころ、ワイルが基礎を作り、それは物理や工学に広く応用されている。近年になり、1980年にピンスキーが正三角形領域における境界値・固有値問題の研究を行った。それに引き続き、同じく1980年、ベラールは、アファイン・ワイル群の理論を使って、固有値、固有関数を、ワイル群を用いて一般式の形で表示した。そののち、1982年には浦川肇(4次元以上の領域についての等スペクトル領域の構成)、最近になってゴルドン、ウエップ、ウォルバートら、チャップマン(折り紙を用いた等スペクトル2次元領域の構成)など、多くの人々によって境界値問題が研究されてきた。1985年「ビリヤード問題と境界値問題」の仕事もある。ベラールのアファイン・ワイル群を用いた境界値・固有値問題で得られた結果について、現在では特に、結晶物理学や、素粒子物理学での利用が目立つようになってきた。

このような状況の中で、我々は、まず2次元、3次元の場合にベラールの研究を発展させ、小部屋 $D(R)$ の形や結晶群の元を表現することにより、固有値、固有関数をより具体的な形で求めた。結果、ルート系、アファイン・ワイル群の理論(ブルバキの著書)により、アファイン・ワイル群の基本領域である小部屋 $D(R)$ ($A_2, B_2, G_2, A_3, B_3, C_3$ 型)について、空間上の座標値による表示を行うことができた。更に、個々の $D(R)$ に対応する結晶群の元を行列の形に表現し、固有値、固有関数を求めた。

ディリクレ境界値問題の固有関数は、いずれも行列式の形で表すことができた。(固有関数の項の数は、結晶群の元の数(位数)に等しい。)ノイマン境界値問題の固有関数は、ディリクレ境界値問題の、行列式の各項の符号を全て正としたパーマネントで表した。

本研究では、ベラールの研究を発展させて、一般の ℓ 次元での小部屋 $D(R)$ (領域)における固有値・固有関数について、行列式やパーマネントによる具体的表現を行う。更に境界値・固有値問題の応用として、熱核に関する計算を行う。また、固有関数の可視化を行う。具体的方法としては、まず、一般次元(ℓ 次元)における小部屋 $D(R)$ 、固有値、固有関数を求める。($\ell=2,3$ の場合の小部屋 $D(R)$ 、固有値、固有関数の計算を拡張したものである。)さらに、計算で得られた、小部屋 $D(R)$ 、固有値、固有関数をもとに、ディリクレ型、ノイマン型のそれぞれの熱核の具体的・明示的な公式を示す。また可視化については、固有関数(振動の様子)のコンピュータグラフィクスによる可視化を行う。各章について詳述する。

第2章 基礎事項

ここでは、結晶群とその基本領域について述べる。結晶群で構成される図形のうち、特に「鏡映によって空間を埋め尽くす図形」

について述べる。すなわち、ルート系（ルート系の定義、基本ルート、双対ルートの定義、最大ルート、ワイル群、その中での鏡映、部屋など）や、アフィン・ワイル群（アフィン・ワイル群の定義、その中での鏡映、小部屋など）について述べる。

次に、リーマン多様体上のラプラシアンの基本事項や、その中でも特にユークリッド空間におけるラプラシアンについての基礎事項を述べ、ディリクレ境界値・固有値問題、ノイマン境界値・固有値問題に関する基本的事項を詳述する。さらに、第5章における境界値・固有値問題の熱拡散方程式への応用のための基礎を与える。具体的内容は、熱拡散方程式でのラプラス作用素、熱核の定義などである。

第3章 正三角形の固有値

ここでは、ピンスキーが正三角形領域において固有値、固有関数を明示的に求めたことについて記す。その中では、ディリクレ境界値問題、ノイマン境界値問題の両方について取り上げている。彼は、領域（正三角形）内での関数をもとに、領域外も含めた一般的な空間での関数を考え、その持つべき周期性から固有値、固有関数を明示的に定めた。

第4章 ベラルーの仕事

ここでは、ベラルーがブルバキのアフィン・ワイル群の理論を使って、結晶群における固有値、固有関数を一般式の形で表したることについて解説する。具体的には、結晶群を使った領域における、周期性、連続性を持った関数を拡張したものと考え、ディリクレ問題、ノイマン問題における固有値、固有関数について求めた方法である。（前述にもあるように、ベラルーは、各型ごとに固有値、固有関数を明示的に表していない。）

第5章 固有値、固有関数の明示的公式

ここでは、我々の得た結果について述べる。ルート系、アフィン・ワイル群の理論を使いながら、小部屋 $D(R)$ の形や対称群の元を表現することにより、一般次元（ ℓ 次元）における小部屋、固有値、固有関数の具体的な表示を行う。

- (1) 既約ルート系 R について、空間上の座標値による表示を行うことで、アフィン・ワイル群の基本領域である小部屋 $D(R)$ を完全に決定する。
- (2) 同様に、各固有値についても、具体的表現を得る。
- (3) ディリクレ固有関数については行列式で表す。ノイマン固有関数についても同様に、 $Perm()$ で表す。（ここで $Perm()$ とは、行列式において現れる符号をすべて、 $+1$ に置き換えたものである。） すなわち、次元 ℓ を決めることで、各型での小部屋（つまり境界値・固有値問題で扱う領域）、固有値、固有関数が具体的に定まるわけである。

第6章 固有値、固有関数に関する結果

ここでは、5章で求めた一般式において、領域が2, 3次元のときの固有値、固有関数をより具体的な形で求める。アフィン・ワイル群の基本領域である小部屋 $D(R)$ ($A_2, B_2, G_2, A_3, B_3, C_3$ 型) について、空間上の座標値による表示を行う。更に個々の $D(R)$ に対応する固有値、固有関数を求める。ベラルーは $A_3 \sim C_3$ の固有値については具体的に求めていなかったが、本研究ではそれを行う。

第7章 熱核のポアソンの和公式

ここでは、得られた結果（小部屋、固有値、固有関数）をもとに、熱拡散方程式にあてはめ、熱核の計算を行う。

熱核については、Poissonの和公式を求める。また熱核のトレース、さらにその $t \rightarrow 0$ での挙動を調べる。これらは、ディリクレ、ノイマン熱核では始めてであり、極めて興味ある公式である。

第8章 固有関数の可視化

ここでは、いくつかの固有関数についてのコンピュータグラフィクスによる可視化を行う。6章との関連も大きいですが、2, 3次元におけるさまざまな可視化、また有限要素法による可視化との比較など、今後研究がさらに深められる分野である。

ここでは、正方形、直角2等辺三角形、正三角形、一つの角が 30° の直角三角形についてのディリクレ境界値問題、ノイマン境界値問題におけるBASICプログラムや、数式処理ソフトMapleによる固有関数を示す。

正多面体と平行多面体の元素定理

秋山 仁, 佐藤郁郎, 中川 宏

東海大学・教育開発研究所 東京都渋谷区富ヶ谷 2-28-4

宮城県立がんセンター・研究所・病理 宮城県名取市愛島塩手字野田山 47-1

ja@jin-akiyama.com, sato-ik510@pref.miyagi.jp, okojoyo@dk.pdx.ne.jp

Element Number of the Platonic and Fedorov's Solids

Jin AKIYAMA, Ikuro SATO, Hiroshi NAKAGAWA

Research Institute of Educational Development, Tokai University

Department of Pathology, Research Institute, Miyagi Cancer Center

Abstract: We introduce two fundamental results on regular polyhedra and parallelohedra. Namely,

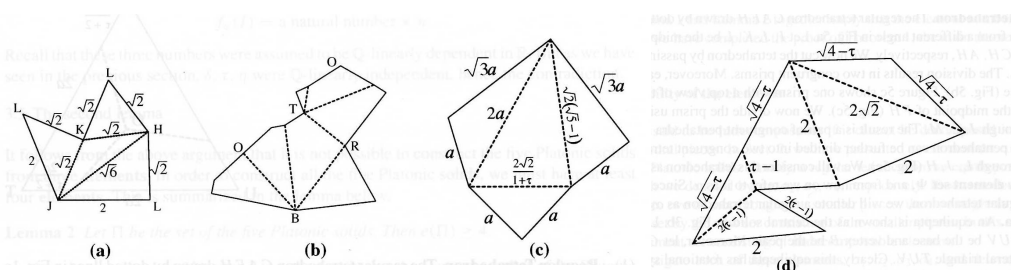
- Each member of Platonic solids can be constructed using congruent copies of four convex solids.
- At least one member of each type of parallelohedron can be constructed using congruent copies of a unique pentahedron.

Keywords: element number, Platonic solids, Fedorov's parallelohedra, Pentadron

多面体といってもいろいろな種類がある。プラトン立体、アルキメデス立体、カタラン立体、フェドロフの平行多面体、ケプラー・ポアンソの星形正多面体、コクセター・ペトリのねじれ正多面体、ジョンソン・ザルガラーの正多角面体などなど。本稿ではプラトン立体（正多面体）とフェドロフの平行多面体について、それぞれの「元素定理」を解説する。

1. 正多面体の元素定理

正多面体に関する研究の歴史は長い。紀元前3世紀の頃（ユークリッドの時代）、既に5種類の正多面体は知られていたが、未だ多くの興味深いテーマが手つかずである。例えば、「なるべく少ない種類の凸多面体ピースを使ってすべての正多面体を作ること」という問題を考えてみよう。結論を述べると、以下に示す4種類の凸多面体（これらを元素と呼ぶ）を α , β , γ , δ とすると、正四面体は α_8 , 正20面体は β_{24} , 正八面体は $\beta_{24}\gamma_{24}$, 立方体は $\alpha_8\beta_{12}\gamma_{12}$, 正12面体は $\alpha_8\beta_{12}\gamma_{12}\delta_{12}$ で構成することができる。



この構成法は best possible である。換言すれば、3種類以下の凸多面体をどのように接合しても5種類の正多面体すべてを構成することはできない。その数学的証明は参考文献

[1]に譲り証明の本質を述べると、デーンの定理（1901年）の拡張にほかならない。

【定理1】 5種類ある正多面体の元素数は4である。

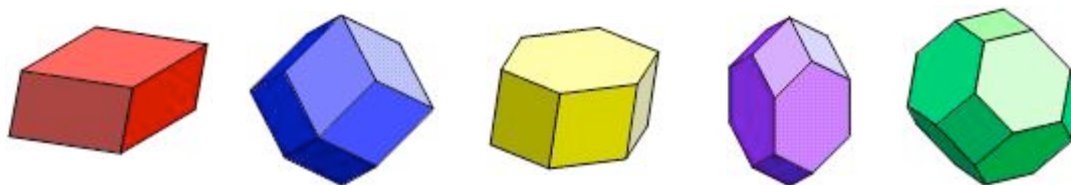
また、この定理は高次元正多面体に一般化することも可能である[3].

【定理2】 6種類ある4次元正多面体の元素数は4である。

【定理3】 3種類ある $n (\geq 5)$ 次元正多面体の元素数は3である。

2. 平行多面体の元素定理

フェドロフの平行多面体とは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多面体である。それらは平行辺（平行四辺形面，平行六辺形面），平行面から構成されている多面体である。フェドロフの平行多面体には立方体，菱形12面体，六角柱，長菱形12面体，切頂8面体の5種類しかないことが証明されている（1885年）。

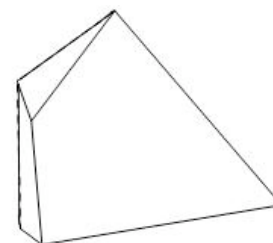


これら5種類の図形は3次元格子の幾何学的分類であり，5種類の正多面体（プラトン立体）ほどよく知られていないが，結晶学の観点からすると平行多面体は正多面体以上に重要であると考えられる。結晶格子には面心立方格子，体心立方格子，単純立方格子などの別があるが，面心立方格子のボロノイ領域は菱形12面体，体心立方格子のそれは切頂8面体をなす。このように結晶の骨格の基本形はフェドロフの平行多面体に限定されるといってよいからである。そこで，「何種類かの凸多面体を用いて，すべての平行多面体を作りたい。その種類の最小数は何か？」という設問を考えてみよう。

当初，その決定は困難であると思われたが，予想に反してこれにはエレガントな結論があった。裏返し（鏡映対称）の多面体は同一視するが，平行多面体ではたった1種類ですべての平行多面体を作ることができるような凸多面体（これを元素とよぶ）が存在する。それを「ペンタドロン」と名付け， σ で表すことにすると，立方体は σ_{96} 。以下，菱形12面体 σ_{192} ，六角柱 σ_{144} ，長菱形12面体 σ_{384} ，切頂8面体 σ_{48} となる。

【定理4】 5種類ある平行多面体の元素数は1である。

この定理を高次元平行多面体に一般化することは興味深い，容易ではない。



参考文献

- [1] J. Akiyama, H. Maehara, G. Nakamura, I. Sato: Element Number of the Platonic Solids, *Geom. Dedicata*(2010), 145, 181-193
- [2] J. Akiyama, M. Kobayashi, H. Nakagawa, G. Nakamura, I. Sato: Atoms for Parallelohedra (to appear in “Intuitive Geometry”, Springer)
- [3] J. Akiyama, I. Sato: The Element Number of the Convex Regular Polytopes (submitted)

円錐曲線の代表長「通径」概念の変遷

杉本 剛

神奈川大学工学部 横浜市神奈川区六角橋 3-27-1

e-mail: take@is.kanagawa-u.ac.jp

A history of 'Latus Rectum,' a geometric measure in the conic sections

Takeshi SUGIMOTO

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

Abstract: 'Latus Rectum' plays an important role in treatises on the conic sections. 'Latus Rectum' has been consistently a scaling measure in the conic sections but its name and definition have been changing from era to era. This study is a gateway to the history of 'Latus Rectum.'

Keywords: Synthetic Geometry, Analytic Geometry, Latus Rectum, Focal Parameter, Conics

1. はじめに

円錐曲線の形状パラメーターは、離心率と通径である。このうち通径は、ギリシャでは $\rho\theta\iota\alpha$ と呼ばれる線分であった。直訳すれば「直立するもの」である。ラテン語では Latus Rectum といい、同様に「横に立つ辺」を意味する。現代では、Latus Rectum のまま、欧米では数学用語になっている。本研究では、ギリシャの時代に「なぜ直角立するものだったか」から説き起こして、現代の定義「焦点を通り長軸に垂直な弦の長さ」までの変遷を俯瞰する。2000年の時の流れとともにひとつの呼び名でくくられる概念でありながら、いかに時代時代でその姿を変えたかを、この実例をもって示す。

2. 通径の歴史

2. 1 ギリシャ幾何学の世界

メナイクモス (380-320BCE) は、2倍の容積をもつ立方体を扱う過程で、放物線とであった。二つの長さを a と b 、そして x と y とをそれらの比例中項とするとき $a:x=x:y=b$ すなわち $x^2=ay$ および $y^2=bx$ がなりたつ。ここで、 $a=2b$ とすれば $a^3=2x^3$ となって当初の目的が果たせる。

大アリストイオス (370-300BCE) は、3種類の円錐曲線を図1のように理解した：頂角が鋭角のばあい、切断面は楕円；頂角が直角のばあい、切断面は放物線；頂角が鈍角のばあい、切断面は双曲線である。

エウクレイデス (c. 300BCE-?) は、直径を定義し、円錐曲線論 4巻を著した。

アルキメデス (c. 287-c. 212BCE) は、放物線の主通

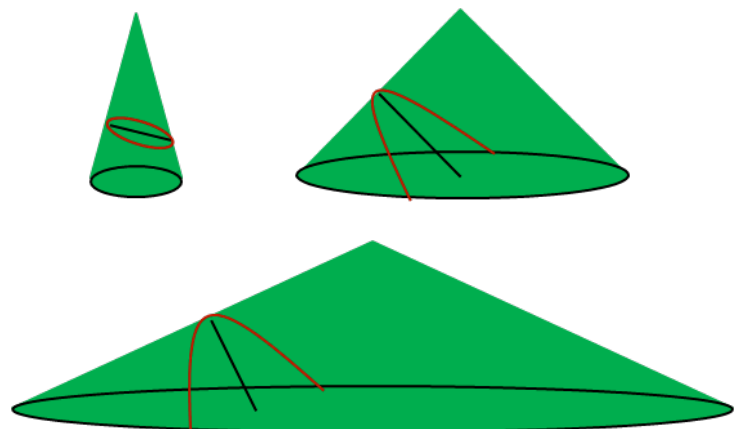


図 1. 3つの円錐曲線

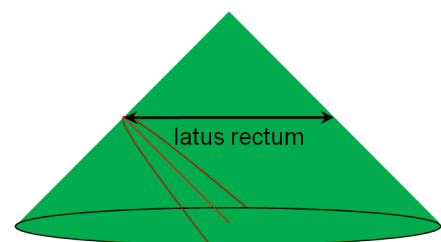


図 2. アルキメデスの主通径

径を円錐の中に認めた最初の人物である。図2にそれを示す。

円錐曲線論8巻を著したペルガのアポロニウス(c. 262-c. 190BCE)は、切り方を変えるだけで、ひとつの円錐から3種類の円錐曲線が得られることを知っていた。図3では、円錐表面から fi に垂直に立てられた fh および放物線主頂点から ae に垂直に立てられた ag が主通径である。放物線では次の関係が成立する：

$$ki^2 = fh \times fi \text{ および } ce^2 = ag \times ae$$

ギリシャ幾何学では、二つの異なる数値の掛け算は矩形を、数値の2乗は正方形を意味するから、図3のようにするのである。

2. 2 ラテン語西洋の世界

図3は、アポロニウスの円錐曲線論のコマンディーノによるラテン語訳(1566)からとった。16世紀になってギリシャ幾何学のラテン語訳が本格的に登場し、古典回帰が始まる。

フランスの数学者ミドージュ(1585-1647)は、*Prodromi catoptrorum et dioptrorum* (1631) を著して、円錐曲線という言葉は初めて用いた。また、Latus Rectumの代わりに Parametre という言葉を世界で初めて用いた。こうして、「垂直に立てる」ことは意味を失い、曲線の脇にスケールとして描きこまれるだけの線分と化した。図

4にロピタルのテキストからの図を示す。線分 p がそれである。

現代では、楕円と双曲線は主頂点に関する1対の通径しかもたない。しかし、17-8世紀の数学の世界では、楕円と双曲線も一般の通径をもつと解釈されていた。ただし、これらは焦点を通らぬ弦である。

2. 3 現代数学の世界

17世紀までに、焦点を通り長軸に垂直な弦の長さが通径に等しいことは知られていたが、それが定義となることはなかった。この事実を定義にしたのは、フランスのピオである。*Traité analytique des courbes et des surfaces du second degré* (1802)で、初めてこの定義を用いた。すなわち通径 $= 2B^2/A$ である。そして、通径は再び、図形の中に認められることになった。

3. むすび

数学の概念はいったん確立したら、その定義は揺らがないと思いがちだが、そうでもないことの実例を示した。円錐曲線論の日本上陸への事情については、次回お話ししたい。

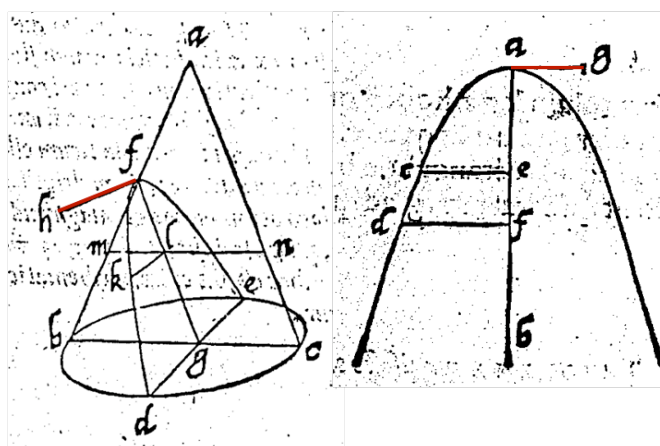


図3. アポロニウスの主通径

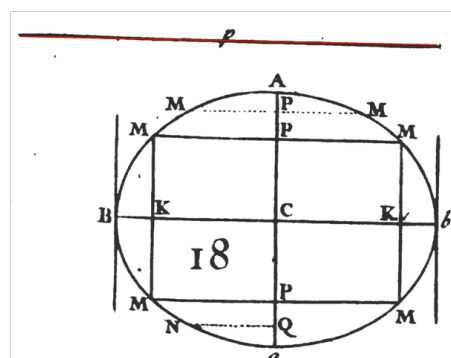


図4. パラメーター

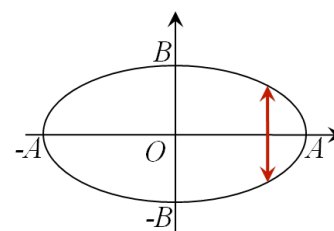


図5. 現代の定義

複数回の折畳みにおける形に起因する非線形性について — セミウィンザーノットによるネクタイ結び —

元廣友美

(株)豊田中央研究所 (豊田工業大学)、〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町
motohiro@mosk.tytlabs.co.jp

A sense of nonlinearity originated from form in multiple-folds — Tying a necktie in Semi-Windsor Knot —

Tomoyoshi Motohiro

TOYOTA Central R&D Labs., Inc., TOYOTA Technological Institute,
Nagakute, Aichi, 480-1192, Japan

Abstract: Daily trouble in tying a necktie to get a good balance of the lengths of two tails of the tie was analyzed with an interest in the form of the tie, i.e. A sense of non-linearity often encountered in adjusting to get the good balance was elucidated objectively by experiments and a geometrical modeling of multiple-folds which essentially reproduces the tying process.

Keywords: Nonlinearity, Multiple -Folds, Necktie, Semi -Windsor Knot

太いほうを長めに、細いほうを短めになるように襟にかけネクタイを結ぶが、なかなか両者が頃合の長さで納まらない。その原因は、襟にかけた状態での長さの差と、結んだ後の長さの差が線形な関係にないことで、これを実験的に詳しく測定した (図1)。

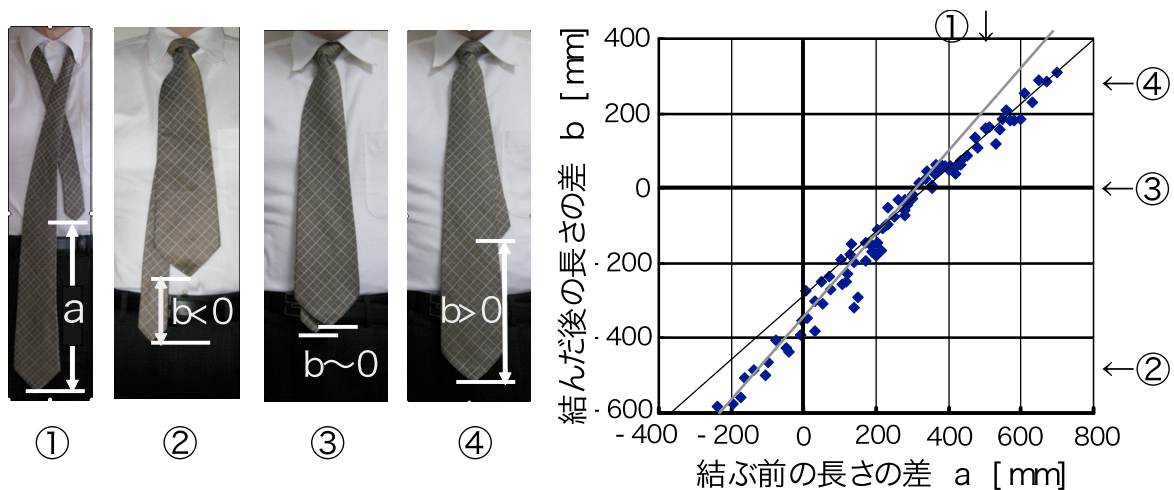


図1. ネクタイを結んだ後の長さと結ぶ前の長さの関係を求めた実験結果

図1右で、結んだ後の長さがほぼゼロになる位置を境に、ほぼ2本の直線で近似できた。次に、布製のネクタイでは結び目を作るとき歪むので、セミウィンザーノットを紙の帯でモデリングした (図2)。展開すると (図2 (b)) 5本の30度傾斜した折り目とそれより小さい角度の3本の折り目があった。折り目の間隔は、帯を跨ぐ距離分間隔が開いて

いるが、布製のネクタイでは、結び目が小さくなるまで絞込まれる。そこで本質が失われない範囲でモデルを単純化し、傾斜30度で連続的に上下を8回繰り返すジグザグ線で折り目を模し、これを実際のネクタイ形状に当てはめて、この折り目、すなわち結び目に相当する長さの、位置による変化を測定した(図3左)。このとき、折れ目部分とそれより左側の部分の長さをあわせ、折れ目より右側の長さを引いた差に対して、折れ目より左側の長さから、折れ目より右側の長さを引いた差をプロットすると、図3右のようになる。この結果は、図1右の結果と類

襟部分



(a)

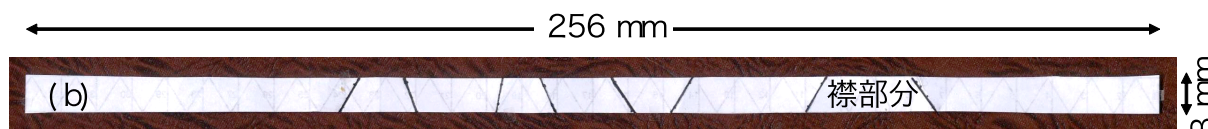


図2. (a) 紙の帯で作ったセミウィンザーノットのモデルと(b)その展開図。8個の黒斜線はすべて山折りの折り目。

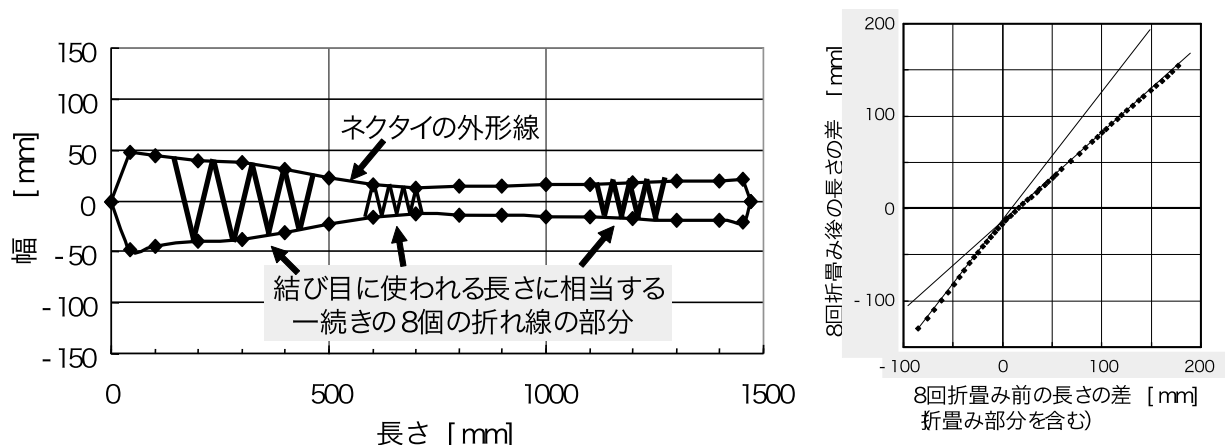


図3. ネクタイの外形線に対応して作図した8個の折れ線のモデル(左図)およびこの折れ線部(結び目に使われる長さに相当)を含む左側の長さと右側の長さの関係(右図)

似しており、やはり2本の異なる傾きの直線で近似できる。布のネクタイでは、図2(b)のように折り目は多少離れており、“絞込み”により結び目の位置もシフトするが、本質は捉えていると思われる。図3左で、8回の折畳みの領域は左側のネクタイの幅の広い領域では長く、中央の幅の狭い領域に近づくと短くなり、右手でやや幅が広くなるにつれて再びやや長くなる。この様子を図4に示す。この折畳み部分の長さがゼロを境に左右で大きく非対称に変化しており非線形な感覚の元になっている。

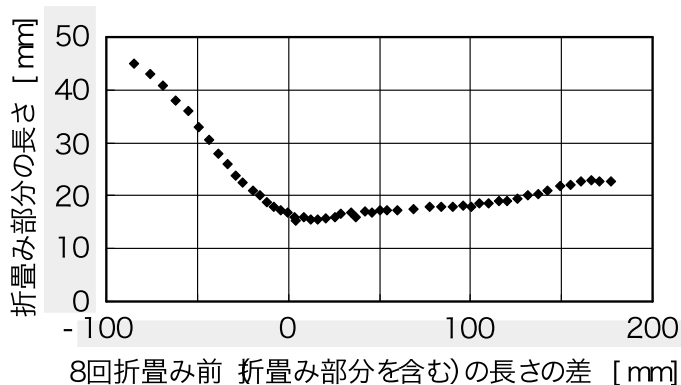


図4. 折畳み部分の長さの折畳み開始位置依存性

対流系におけるカオスと時空カオス

日高芳樹*, 甲斐昌一

九州大学工学研究院, 〒819-0395 福岡市西区元岡744番地

* hidaka@ap.kyushu-u.ac.jp

Chaos and Spatiotemporal Chaos in Convective Systems

Yoshiki HIDAKA and Shoichi KAI

Faculty of Engineering, Kyushu Univ., Fukuoka 819-0395, JAPAN

Abstract: There is close relation between chaos and convective systems. For example, the Lorenz model, which led to the discovery of chaos, modeled weather by convection. The criterion to verify whether the observed time series is chaos has been already established. However, in order to observe chaos in an experimental convective system, the spatial degree of freedom should be suppressed. For the real convective systems where the spatial degree of freedom is not artificially suppressed, spatiotemporal chaos is more important than chaos. The definition and criterion of spatiotemporal chaos are discussed.

Keywords: chaos, spatiotemporal chaos, convection

1. カオスと対流系

カオスと対流系は密接な関係がある。カオスを発見した研究の1つと言われるLorenzモデルは、気象を対流によってモデル化したものであった。また、ロジスティック写像の示す周期倍分岐に関するFeigenbaum定数が物理系にも存在していることが発見されたのも、対流系の実験であった[1]。カオスは時間的に不規則な現象であるから、空間自由度を本質的にもつ対流系とは、そのままでは対応しない。Lorenzモデルでは、非線形性によって鉛直方向に生じる高調波モード以外は、対流ロールの周期構造が保たれ、その振幅のみが時間変化していると仮定している。Feigenbaum定数の検証を行った実験では、系の水平方向のサイズ L の鉛直方向のサイズ d に対する比(アスペクト比) Γ を1程度にし(図1)、系内の振動を空間的にコヒーレントにすることによって空間自由度を抑えている。

そのような小アスペクト比系の対流系で生じた非周期的な振動が、実際にカオスであるかどうかの検証も行われてきた。系内の1点で測定された時系列が、周期的な振動状態から非周期振動への遷移過程で特徴的な分岐を示し、さらにその時系列から「埋め込み」と呼ばれる手法によってつくられた位相軌道が、Lorenzモデルの位相軌道と同様、フラクタル構造と正のLyapunov指数をもつことが確認されれば、カオスであることが認められるという標準的な手法が、一応は確立されている。

2. 時空カオス

カオスを対流系で観測するには小アスペクト比を人工的につくらねばならず、空間自由度をもつ現実の系では「時空カオス」が重要となる。しかしながら、この「時空カオス」という用語については、広く認められる明確な定義が確立されていないようである。

理論モデルであれば、Kuramoto-Sivashinsky方程式や複素Ginzburg-Landau方程式のように、位相や振幅といった周期構造に対する弱い摂動の時間発展を記述する弱非線形偏微分方程式が時間空間的に不規則な運動を示すとき、それを時空カオスと呼ぶことにそれほど異論は出ないであろう。しかし実験系の場合、何が乱れを生成しているかが明確ではないため、どのような状態を時空カオスと呼ぶか、特に、いわゆる「乱流」(発達乱流, Fully-Developed Turbulence)とどう区別をするかという疑問には簡単には答えられない。

ただし対流系の場合であれば、大雑把ではあるが、次のようにして時空カオスを定義することができる。まず、対流場の秩序変数（流速場や温度場）が空間的に測定されているか、下図のように対流構造が可視化されているとする。その対流場に何らかの乱れが生じているとすると、その乱れの「相関距離 ξ 」を考えることができる。つまり、空間の2点を取ったとき、その2点がどれくらい離れていると無相関と言えるかという平均距離である。完全なストライプ・パターンでは、 ξ は ∞ になる。そして時空カオスとは、この相関距離 ξ が、有限ではあるが、対流ロールのサイズ λ に比べて充分大きな状態であると定義することができる。例えば図2(a)の「欠陥乱流」では、対流ロール構造を表すストライプ・パターン中に、時空カオスによって欠陥が生じているが、欠陥間の平均距離が ξ に相当する。(b)の「ソフトモード乱流」は、ストライプの向きが不規則に変化している構造と見なせるが、ストライプが保たれている距離が ξ となる。(c)の時空間欠性では、秩序領域と乱流領域がドメインをつくって共存しているが、そのドメインの平均サイズが ξ に相当する。そしていずれの場合も、 ξ はストライプの間隔 λ に比べて充分に大きい。

この定義を拡張すると、発達乱流は ξ が λ に比べて充分に小さい状態であると言える。 λ と ξ は、エネルギー注入のサイズと散逸のサイズと見なされ、この間でKolmogorovカスケードが生じている。また、カオスを観測する小アスペクト比系は、系のサイズ L と λ が同程度の系である。そして L が相関距離 ξ より小さいため、系内でコヒーレントな振動が観測される。また当然ながら小アスペクト比系でも注入エネルギーを上げて ξ が L よりも小さくなれば、観測される乱れは発達乱流である。

Lorenzモデルの解析結果から、短期の天気予報は可能だが長期は不可能ということが言われる。これは、わずかに異なる初期値から出発した2つの位相軌道が、指数関数的に離れていき、その後、折り畳みによる複雑な軌道の中に初期値の記憶が埋もれるためである。これは、カオスでは、その指数関数の成長率つまりLyapunov指数の逆数程度の相関時間をもつと解釈することができる。

これらのことから、力学的（秩序）運動と確率的（無秩序）運動の共存が、カオス・時空カオスの共通の性質であると言える。

[1] 山口昌哉：『カオスとフラクタル』（講談社ブルーバックス、1986年）。

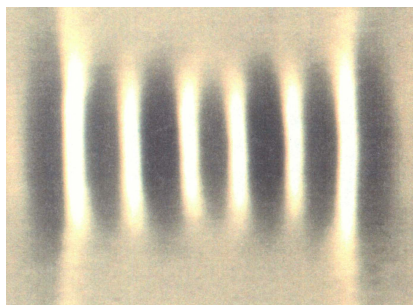


図1：小アスペクト比 ($\Gamma_x=4, \Gamma_y=2$) 対流系のロール・パターン。

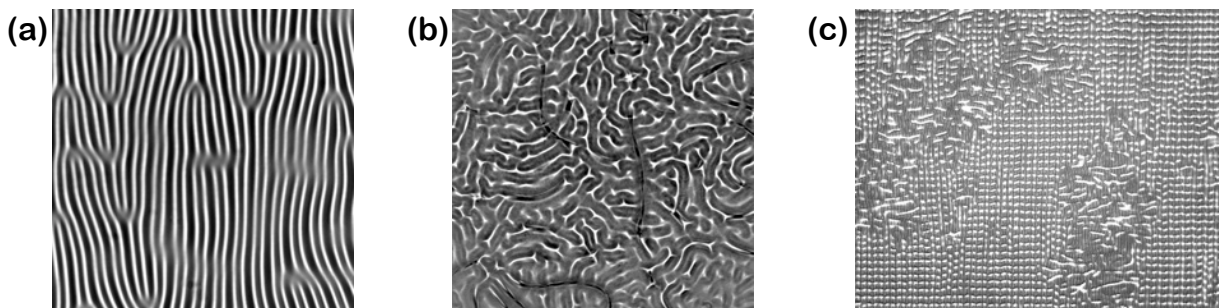


図2：対流系に現れる時空カオス。(a)：欠陥乱流。(b)：ソフトモード乱流。(c)：時空間欠性。

岩絵から古代人のメッセージを読む

高木隆司¹、水野慎士²、出原立子³、柏原牧人⁴

¹神戸芸術工科大学デザイン学部, 〒651-2196 神戸市西区学園西町 8-1-1 takaki-r@kobe-du.ac.jp

²愛知工業大学情報科学部, 〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247 s_mizuno@aitech.ac.jp

³金沢工業大学情報学部, 〒921-8501 石川郡野々市町扇が丘 izuhara@neptune.kanazawa-it.ac.jp

⁴コロナ社編集部, 〒112-0011 東京都文京区千石 4-46-10 kashimaki@kind.ocn.ne.jp

Reading Messages of Ancient People from Rock Arts

Ryuji Takaki¹, Shinji Mizuno², Ritsuko Izuhara³, Makito Kashiwabara⁴

Abstract: Basic ideas for reading messages of ancient people from rock arts are proposed. First, common opinions of archaeologists are introduced. Then, results of some research fields, which are considered important for this project, are mentioned. They are the studies of line drawings on Yayoi potteries and bronze bells (Dotaku) in Japan and the process of language acquirement by infants. An example of interpretation of petroglyph is given.

Keywords: Petroglyph, Central Asia, Message reading, Ceremony,

1. はしがき

筆者らは、中央アジア石刻絵画について、それらのスケルトン（骨組みを表す線画）を求めて記号化し、形状特徴を表現する試みてきた[1-3]。その方法は、その応用として、アイベックス（野生のヤギ）のシルエット画像[4]の地域間差異を求めた [3]。その後の研究で、アイベックスの形状については、制作された時代の差と形状の差異には相関がないことがわかった（2節参照）。

この結果は、石刻絵画の研究を始めた本来の動機である、何万年にわたって絵画のスタイルが変わっていないという考古学者の指摘を裏付けたことになる。ここで、なぜ変らなかったという疑問が生じる。これに関連して、絵画のモチーフが宗教的な意味をもつこと、絵画の構成が宗教儀式と深く関わっていることがしばしば指摘されている。そうであれば、各絵画は、動物、人物、その他の記号の組み合わせによって人々にメッセージを伝えようとしたことが考えられる。本論では、このメッセージを読む方法論を発展させるための基本的な考え方を提案する。

2. 石刻絵画の時代間差異と形状コードの差異の相関

各絵画の制作時期は、考古学者の推定にしたがって、旧石器時代、中石器時代、新石器時代、青銅器時代、鉄器時代、紀元後（推定紀元）に大別し、表1のようにして時代間隔を決めた。図1に示すように、制

作時期の差と形状コードの差異には相関が認められない。

時代区分	各区分の期間	開始時期(100年)
旧石器	- BC. 85000	
中石器	BC. 85000 - BC. 3000	850
新石器	BC. 85000 - BC. 3000	30
青銅器	BC. 2500 - BC. 600	25
鉄器	BC. 600 -	6

推定された時期	開始時期(100年)
新石器・青銅器	-28
青銅器・鉄器・紀元後	-12
青銅器	0
AD1-6c.	3
AD2-4c.	3
AD1-6c. & 中世	6
AD3-5c.	4
中世	12

表1. 時代区分と、推定制作時期の決定

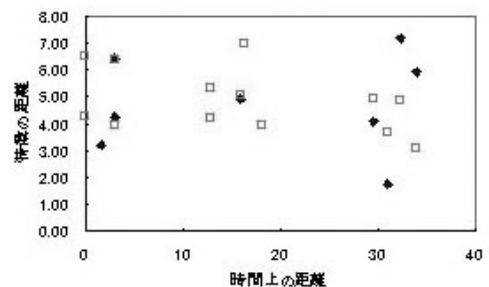


図1. 遺跡同士の、時間差異と形状差異の相関。空間距離、□：500km以上、◆：500km以下

3. メッセージ解読に関係する諸分野

日本の考古学：図2は、弥生土器に刻まれた、シカ、シャーマン、高床建築の絵画である[5]。弥生土器の絵画モチーフの頻度では、シカは47%、建物(22%)、トリ(12%)、ヒト(10%)となっている。一方、発掘された動物の骨の大部分がイノシシであり、シカは神聖獣として宗教的意味をもっていた。中央アジアのアイベックスも、シカと同様に、多産性につながる信仰の対象であった。

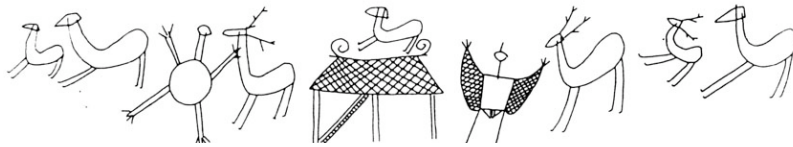


図2. 弥生土器の絵画、鍵・唐古遺跡出土。B.C. 1世紀。

幼児の言語獲得：幼児がどのようなプロセスで言語を獲得するのかという問題について、M. トマセロらによって種々の研究がなされている[6]。その主旨は、幼児には他人の意図を読み取る能力があること、親子の間に「共同注意場面」と呼ばれる状況が生じたとき、言語獲得がうまく行われるということである。この状況は、日本文化にある「晴れ」と「け」という区別に関連し、一般に儀式（「晴れ」に対応する）におけるメッセージ伝達と似ている。このことから、儀式が岩絵のもとで行われたとき、岩絵に込められた部即の繁栄を願うメッセージが人々に強く印象づけられたと考えられる。

幼児の絵画との比較：銅鐸の絵画の考察に関連して、幼児の絵画の特性が議論されている[7]。全体の中での描くサイズの比率、遠近の表現、多視点画法など、古代の絵画と幼児の絵画にいくつかの類似性がある。

4. メッセージ解読の例

図3は、ウズベキスタンのザルミス溪谷に刻まれた多数の絵画の1つである。一般に下側のモチーフが最も古いとされていること、幼児の絵画では遠くのは上側に描くことから、この絵画の下で行われた儀式で、下側の絵から始まる、次のようなスピーチがシャーマンによってなされたと想像される。

「皆のもの、この野牛を見よ。これはわれわれに良い食料を与える。われわれはその上に描いてあるアイベックスを狩ることもあるが、これは繁栄をもたらす守り神であり、やはり野牛を狩るべきである。そのときは、勢子と犬が野牛を駆り立て、射手のほうへ導くとよい。豹が野牛を追っているときは、その野牛を取りやすい。豹を恐れなくて良い。この方法をよく覚えておけ！」

なお、この解釈は、考古学者と議論するべきである。



図3. ザルミス溪谷の石刻絵画。

参考文献

- [1] R. Takaki, J. Toriwaki, S. Mizuno, R. Izuhara, M. Khuianazarov and M. Reutova: "Shape Analysis of Petroglyphs in Central Asia", *FORMA*, 21, No. 3, 243-258, 2006
- [2] 高木隆司、鳥脇純一郎、水野慎士、出原立子 「中央アジアの石刻絵画の解析と保存」、形の科学会誌、23巻1号、pp. 67-68, 2008
- [3] 高木隆司、鳥脇純一郎、水野慎士、出原立子、柏原牧人、「古代石刻絵画の形状コードと地域間差異」、形の科学会誌、24巻2号、155-156, 2009
- [4] K. Tashbayeva, M. Khujanazarov, V. Ranov and Z. Samashev: *Petroglyphs of Central Asia*, International Institute for Central Asian studies, Samarkand, 2001
- [5] 香芝市二上山博物館編、「弥生人の鳥獣戯画」雄山閣、1996
- [6] M. トマセロ、「心とことばの起源を探る」、頸草書房、2006
- [7] 国立歴史民族博物館編、佐原 真構成、「銅鐸の絵を読み解く」、小学館、1997

剣道における正面打ち動作の解析

平田隆幸、黒瀬祐希

福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻

〒910-8507 福井市文京 3-9-1

e-mail: hirata@u-fukui.ac.jp

Analysis of the Motions of Men-uchi (Men Strike) in Kendo

Takayuki HIRATA & Yuuki KUROSE

Department of Human and Artificial Intelligent Systems,

University of Fukui, Bunkyo 3-9-1, Fukui 910-8507, Japan

Abstract: The motions of men-uchi (men strike) in Kendo were discussed. The men-uchi motions of the experts and the inexperience persons were measured by the high speed video camera. Can we distinguish the experts from the samples only from the trajectory of shinai motion? The trajectories of shinai were discussed from the viewpoint of optimal motion in human body motions.

Keywords: Kendo, Men-uchi, Optimal Motion, Trajectory of Shinai, Expert's motion

1. はじめに

人間の「知能」を解明するには、さまざまなアプローチがある。脳によって統合された人体の運動を解析することもアプローチ法の一つである。さて、身体運動は、意識あるいは無意識によるものが複合された結果である。日常生活に現れる何気ない身体運動も興味深いテーマであるが、ある種の最適化がなされたものと考えられるスポーツにおける身体運動に注目する。ここでは、スポーツにおける身体運動として、剣道の正面打ち動作と最適化について議論する。

剣道では、「気剣体」の一致した打ちが求められている。剣道の試合において、竹刀が相手に当たっただけでは、「一本」と認められず、気剣体の一致した打突のみが「有効打突」として、一本と認められる。さて、気剣体の一致した打突とは、どのようなものであろうか？全日本剣道連盟の剣道試合審判規則によると、「有効打突は、充実した氣勢、適正な姿勢をもって、竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突し、残心あるものとする。」(第12条)とされている^[1]。有効打突を実現する身体運動とは、簡略化のために充実した氣勢や残心という部分を除いたとしても、適正な姿勢が求められている。さて、適正な姿勢とは何であろうか？適正な姿勢は、ある種の最適化された身体運動ではないだろうか。

剣道の打突は、打突部位により、「面」「小手」「胴」「突」に大別される。ここでは、竹刀運動が2次元の運動に近似可能な「正面打ち」に注目し、解析をおこなった^[2]。

2. 面打ち動作の画像解析

経験者と未経験者の面打ち動作には、どのような違いがあるのかを調べるための実験を

おこなった。19人の被験者（剣道経験者6人、未経験者13人）にそれぞれ2.3mの距離から1.5mの高さにある面打ち練習用タイヤ（直径0.5m、幅0.15m）への面打ち動作を側面から撮影した（図1）。撮影には、カシオのEX-F1を使用し、300fpsでの高速度撮影をおこなった。

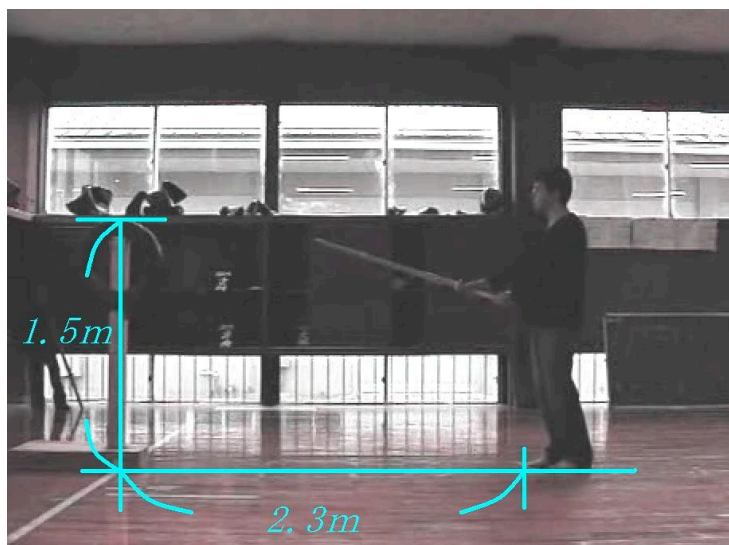


図1： 実験の様子。

面打ち動作における高段者と未経験者の竹刀の軌道例を図2に示す。竹刀の先端と柄頭の軌道と竹刀の軌跡が示されている。これら竹刀の軌道のみを取り出した動画を作成し、竹刀の動きの動画のみから経験者と未経験者を区別できるかという実験をおこなった。また、経験者の竹刀軌道は、何を最適化したものかを議論したので報告する。

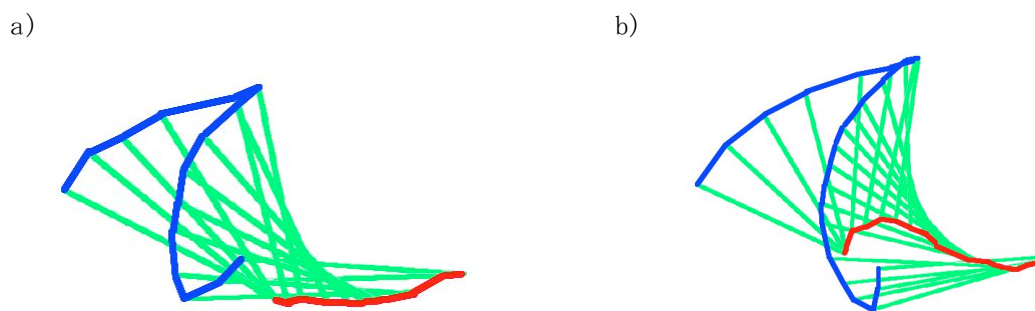


図2： a)高段者の竹刀の軌道、b)未経験者の竹刀の軌跡^[2]。

参考文献

- 【1】全日本剣道連盟、剣道試合・審判規則/同細則
- 【2】黒瀬祐希・平田隆幸（2009）剣道正面打ち動作の解析と力学モデル、第42回大会日本武道学会

椎骨の拡大模型の作製 — 視覚障害者の解剖学理解の為に

寺口さやか¹、手嶋吉法²、中島善人³、中野司⁴

¹広島県立広島中央特別支援学校 〒732-0009 広島市東区戸坂千足 2-1-4

²産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 〒305-8564 つくば市並木 1-2-1

³産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 〒305-8567 つくば市東 1-1-1

⁴産業技術総合研究所 地質調査情報センター 〒305-8567 つくば市東 1-1-1

Development of enlarged models of vertebrae: For anatomy understanding of the visually impaired

S. Teraguchi *, Y. Teshima, Y. Nakashima, and T. Nakano

*s-teraguchik977277@hiroshima-c.ed.jp

Abstract: Blind people can learn about real objects through tactile sensations. However, the objects are sometimes rather small to observe by touch. Enlarged three-dimensional (3D) models for such small objects are useful for tactile teaching. This exhibition presents the exact models of vertebrae. Their 3D shape data are measured using X-ray CT, and their exact 3D models are constructed using layered manufacturing. These enlarged models are useful for the visually impaired in learning anatomy.

Keywords: tactile teaching, enlarged model, cervical vertebrae, lumbar vertebrae, X-ray CT, layered manufacturing

これまでの椎骨模型

市販の椎骨模型としては、縮小模型あるいは実物大模型があり、そのうちの多くが、上下の椎骨が連結しているため単体での触察が難しかった。広島中央特別支援学校では市販の椎骨模型を分解して単体による観察を可能にしていたが、それでも小さいという点は克服できずにいた。特に中都失明者の成人男性は指が大きいこともあり、小さな模型の観察には難渋していた。

これを克服すべく、自主制作により大型の椎骨（エポキシ樹脂製）を作成したことで一定の学習効果は得ていたものの、やはり形状が歪であった。

今回作製した模型

そこで今回我々は、4個の実際の骨（環椎・軸椎・第3腰椎・第4腰椎）をX線CT（Shimadzu SMX-225S）で撮影して3次元形状を取得し、その形状データを用いて、積層造

形法（造形機：EOSINT、材料：ナイロン粉末）により拡大模型を作った。実物形状を精確に反映している為、触察時に生徒が抱く興味関心も強い。また、大型でありながら軽量なので扱い易く、生徒も積極的に触察しようとしている。

動きの上でも、以前作成した椎骨模型はボルト接合であったが、今回はゴムバンド製靱帯で接続しているため可動性があり、椎間関節の動きを理解しやすい。

解剖学的内容として理解させたい点は「環軸関節・椎間関節・椎間円板の動き、脊柱管と椎間孔の位置関係」だが、更に臨床医学系の科目でも椎間板ヘルニアの際、障害される神経根の高さを理解させることにも活用できる。

触察使用時の注意点

ただし、留意点として心に留めておかななくてはならない点が二点ある。一つには、全盲生徒や強度弱視の生徒など、立体認知の難しい生徒では触察の仕方を工夫しないと理解しにくいという点であり、もう一つは、脳内イメージの中で当模型を実際の人体のサイズに変換することが難しい生徒では、逆に混乱させる可能性である。いずれにしても、生徒の実態把握、理解度の確認が必要不可欠である。

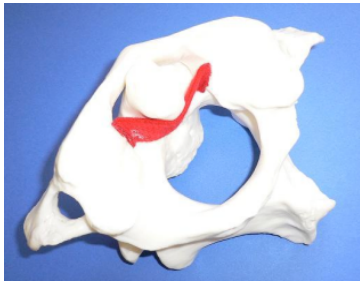


図1 環椎軸椎：環椎横靱帯をとりつけたもの（回旋が可能）

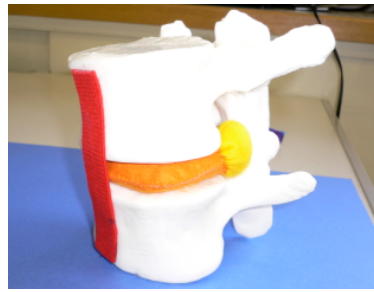


図2 上下腰椎：腰椎と前・後縦靱帯と椎間円板（ヘルニア脱出像）

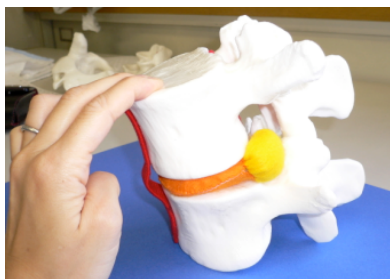


図3 上下腰椎圧迫：
手で脊柱の運動が可能

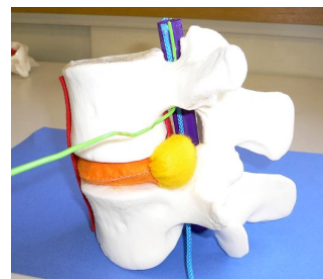


図4 上下腰椎神経つき：
椎間板ヘルニアでの神経圧迫を解説

模型の材料：積層造形法で作成された椎骨（ナイロン粉末製）、ゴムバンド、フェルト、保冷剤、竹籤（脊髄）、カラー針金・モール（脊髄神経）

謝辞 本研究は、文部科学省科研費の助成を一部受けています[基盤研究(A) 18200049]。

参考資料 人体の構造と機能「解剖学」第二版別冊付録図譜版（医歯薬出版株式会社）

数学曲面の立体模型 — 視覚と触覚による立体認識の為に

手嶋 吉法^{1,6}、小川 泰^{1,2,6}、池上 祐司^{1,3,6}、大内 進⁴、
金子 健⁴、藤芳 衛⁵、山澤 建二³、渡辺 泰成^{1,3,6}

¹産業技術総合研究所、²筑波大学名誉教授、³理化学研究所、
⁴国立特別支援教育総合研究所、⁵大学入試センター、⁶科学芸術学際研究所 (ISTA)

Models of mathematically defined curved surfaces for recognition of 3D objects through visual and tactile sensations

Y. Teshima *, T. Ogawa, Y. Ikegami, S. Oouchi,
T. Kaneko, M. Fujiyoshi, K. Yamazawa and Y. Watanabe
* yoshinori.teshima@aist.go.jp

我々は、視覚障害者の触覚鑑賞の世界を豊かにするべく、様々な立体模型を開発している。今回は、数学曲面の模型を展示する。勿論、これらの模型は、晴眼者にとっても同様に意義深い。晴眼者は、視覚情報だけを使うのではなく、ぜひ手に取って触覚も併用しながら鑑賞していただきたい。あるいは目を閉じ、触覚だけで立体形状を認識しようとするならば、新たな気づきがあるかもしれない。(本予稿集に収録されている手嶋らの講演原稿「円が円運動した軌跡として現れる数学曲面 — 立体模型の作製と視覚障害者による触覚認識」も参考にされたい。そこに載せた模型写真は以下では割愛している。)



図1 1870頃、ドイツの数学者F. Kleinを中心とした幾何学模型製作プロジェクトで造られた模型。一流数学者と熟練工の共同開発。(東京大学にて筆者撮影)



図2 サイクライド曲面 (光造形法) : 現代の技術を使えば、図1と同様の模型を一流数学者や熟練工に頼らずに造れる。

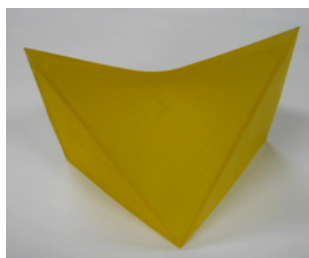


図3 一葉双曲面 (光造形法)



図4 クラインの壺 (左) とその分割模型 (右)
左: 光造形法、右: 石膏粉末の積層造形



図5 スピンドルトーラスとその分割
 $d = 0.625 \text{ cm}$, $r = 2.5 \text{ cm}$
 レーザー焼結法 (材料: ナイロン粉末)

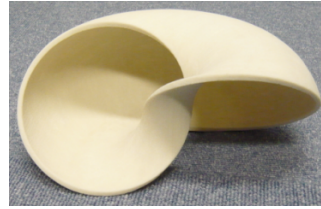


図6-1 スピンドルトーラスと同じく
 $r > d$. ここでは $r = (\sqrt{2}) d$.
 水平面上を 45° 傾斜した円が
 円運動を 180° した軌跡。

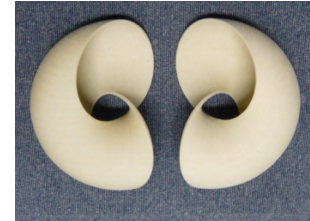


図6-2 図6-1の形は、鏡像異性体
 (左手系と右手系) が存在する。
 レーザー焼結法 (材料: ナイロン粉末)



図7-1 円を水平に保ったまま鉛直面内で円運動させた軌跡。視点 $(1,1,1)$ から



図7-2 正面図
 視点 $(1,0,0)$ から



図7-3 平面図
 視点 $(0,0,1)$ から

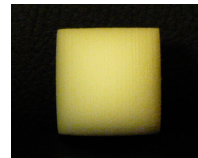


図7-4 側面図
 視点 $(0,1,0)$ から
 輪郭: 正方形

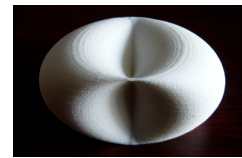


図7-5
 視点 $(1,0,1)$ から見た図
 輪郭: 楕円



図8-1 楕円を水平に保ったまま鉛直面内で楕円運動させた軌跡。視点 $(1,1,1)$ から



図8-2 正面図
 視点 $(1,0,0)$ から



図8-3 平面図
 視点 $(0,0,1)$ から



図8-4 側面図
 視点 $(0,1,0)$ から
 輪郭: 正方形

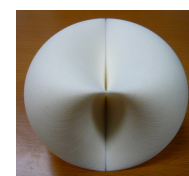


図8-5
 視点 $(1,0,1)$ から見た図
 輪郭: 円

本研究は、文部科学省科研費の助成を一部受けている[基盤研究(A) 18200049]。

陶芸作品「Breathing Cube」シリーズ - 触りたくなる形について

竹野美奈子 タケノセラミックラボ

121-0822 東京都足立区西竹の塚2-1-8 ヤスミビル 501

takeno@w6.dion.ne.jp

はじめに

「Breathing Cube」は、窯の熱で「融け崩れる形」と、様々な質感をもつタイルを組み合わせた、陶芸作品である。硬そうなのに軟らかそう・・・という相反するイメージをもたせ、非日常性や違和感を表現している。今回はこのシリーズの中から、軟らかさを強調し触覚的欲求を喚起させることを目的とした作品を紹介する。

融け崩れる形

下の写真はこの作品シリーズの土台となる「融け崩れる形」である。板状の粘土を張合わせ成形した中空構造の直方体を、1240度前後で焼成した。自然が造った波打つような曲面は、無駄のない滑らかな張りをもち、高温の世界で形が変化する様を想像させる。



陶芸作品「Breathing Cube」シリーズより - 触りたくなる形

右の写真は、シリーズの中で触覚をテーマにした作品である。表面のタイルはその特性を生かし、個々に膨らみをもたせ成型した。釉薬はしっとりとしたマットを中心に、結晶、乳濁などを使用、変化を持たせた。

2009年の個展では複数ある作品のなかで、観客から「触ってみていいですか?」という要望が最も多くあった作品である。

陶芸作品「Breathing Cube」2008年制作



おわりに

スーパーでこっそり食パンを指で押してみる。指の感触と跡の残り具合で瞬間的に判断する。ああ、まだ新しいそう……。そんな時の人間の観察力はとても優秀だ。基本的には触ることが許されない芸術作品においては、触ったような気分で鑑賞する。今までの触覚の記憶を思い起こして。

土や釉薬でつくる自然現象の痕跡と、それを見た時におこるプリミティブな感覚または感情との関係について、今後も制作をとおして考察していきたい。

反復学習のための算数図形分野の問題集自動生成アルゴリズム

小山 量平

ロイダック, 千葉県市川市原木 1-12-19-210

E-mail: koyama@loyeduc.jp

Website: <http://www.hanpuku.net/>

The automatic generator algorithm of mathematics problems of figure field for repeated learning

Ryouhei Koyama

loyEduc, 1-12-19-210 Baraki, ichikawa-shi, Chiba, Japan

Abstract: When elementary school students learn basic mathematics, they need to learn repeatedly. But if a student solves same questions repeatedly, he/she remembers their answers, so the learning effect cannot be expected. To solving this problem, it needs to make different and similar questions. And the computer programs can create such problems. This text explains automatics generator algorithm of figure field for creating such problems.

Keywords: automatic generator, algorithm, mathematics, figure field, repeated learning, leaning effect

1. はじめに

小学生や中学生が算数・数学を学ぶ場合は、各分野の思考方法を習得するために、その分野について、ある程度集中的に繰り返し学習をすることが有用であると考えます。しかし、同じ問題集を何度も解くことでは、回答そのものを覚えるなど、学習効果はあまり望めません。学習者自身の学習意欲の低下も考えられます。学習効果を高めるためには、似た問題でありながら、異なる問題である必要があります。そうした問題集を作るためのプログラムは、インターネットで多く見受けられますが、多くは計算問題など簡単なプログラムのみとなっています。筆者は、日本の公立小学校で学ぶ全分野の算数問題集を作る過程で、図形分野の問題集を作ることが最も多くの数学知識が必要であると感じ、小学生向けの問題集であっても、最低でも高校数学の習得は必須であると考えます。その例を提示致します。

2. 三角形や四角形の内角を答える問題

図1-1と図1-2は、小学5年生で習う三角形の一つ内角を答える問題の図形です。このような問題集をプログラムによって生成します。

こうした図形をコンピューターが描くためには、直交座標をとるか極座標をとるかを選ぶ必要があります。この問題集プログラムでは、直交座標を選びました。アルゴリズムは以下の通りです。

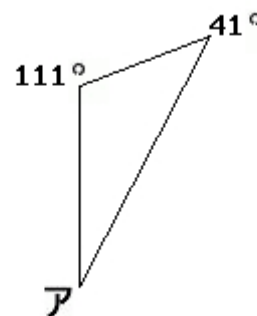


図 1 - 1

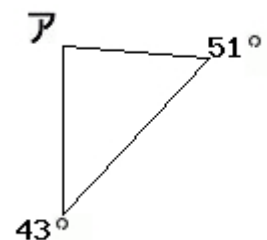


図 1 - 2

1. 画面中央を中心に4つに分け、各点を取り得る範囲を決定し、任意に点を決めます。
(点が中心に近づき過ぎて、いびつな三角形にならないように範囲を決める必要があります。)
2. 三角形の場合は、任意に決めた4つの点のうち、任意の一つを削除します。
3. 各点の角度を得るために、点間の距離を求め、第二余弦定理(下記式)を用います。
下記式の α を得るためにアークコサイン(arccos)を使う必要があります。
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

3. 多角形に関する問題

図2は、多角形を始めて学んだ児童のために、多角形に触れさせるために「何角形であるか」を答えさせる問題の図形です。アルゴリズムとしては、上記と同様ですが、こちらの問題集では、極座標を選びました。

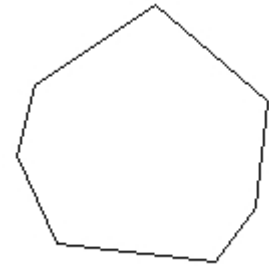


図2

1. 各点の取り得る範囲を決めます。距離はなるべく中心から離れるようにし、角度は角数で均等に分割したものを取り得る範囲とします。
2. プログラムは、直交座標のみで描くので、三角関数を用いて、x座標やy座標を決定します。

4. 合同である図形を探す問題

図3は、合同である図形を探す問題の図形です。合同な図形どうしは、同じ座標を使いますが、問題の難度を上げるために、図形を任意に回転させたり、反転させたりします。この問題図形のプログラムを作るにあたり最も注意を払ったことは、「予定しない合同図形が混じらないこと」です。そのため合同の定義「各辺の長さが等しい」に反する図形を作るために、任意に生成した全ての図形の各辺の長さを計り、生成した図形が、他の図形に対して、「全ての辺が同じ=合同である」図形がある場合には、その図形を再生成するようにしました。

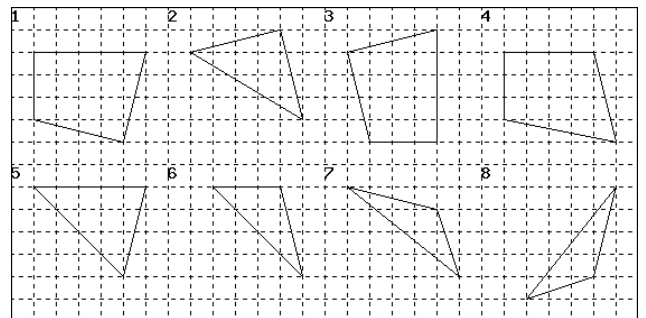


図3

謝辞

本稿作成にあたり、東京学芸大学 松浦執先生から多分のご助力を頂きましたことを、深く感謝致します。

文献

- [1] 小学校学習指導要領解説 算数編 / 文部科学省
- [2] Perl for beginner's / 伊藤和人
- [3] perl doc jp, Gd グラフィックス・ライブラリへのインターフェース.

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)

2010年5月22日

○形の科学に関するセミナーのお知らせ

(なお、Kalantari先生の講演は第69回形の科学シンポジウム at 東京学芸大でも行われます)

1日セミナー “数学と芸術”

米国 Rutgers 大学の B. Kalantari 教授の来日に際し、数学理論を応用して創作した芸術作品の展覧会を開催します。同時に、Kalantari 教授による基調講演と、一般的に数学と芸術に関わる内容をもつ研究をテーマにしたセミナーを以下の要領で行います。奮ってご参加下さい。

One Day Seminar “Math & Art” will be held on June 29 at Tokai University,

Yoyogi Campus, on the occasion that Prof. B.

Kalantari visit to Japan this June.

This seminar is mainly intended to provide a forum for researches and artists.

A few lectures on the theme including one by Prof. Kalantari will be delivered and various artworks will also be exhibited at the same venue.

日時:平成22年6月29日(火) 時間は未定(恐らく10:00~17:00)

会場:東海大学代々木校舎

渋谷区富ヶ谷2-28-4

問い合わせ先:東海大学教育開発研究所 秋山研究室

(担当 森吉、山下) Tel:03-3485-5627 Fax:

03-3485-5628 e-mail: ja@jin-akiyama.com

2010年5月21日

○第69回形の科学シンポジウム「かたちと人間」at 東京学芸大学 (ご参加のおねがい)

シンポジウム案内HP (プログラムも掲載しています)

<http://www.soc.nii.ac.jp/form/sympo69th/sympo69th.htm>

6月18日までに参加申込ください。連日の招待講演など充実しています。

ピックアップ

金曜には、かわいい人工物をご研究の大倉典子先生の講演、17:40からはサイエンスとアートの関連を話し合うフォーラム、

土曜14時にはCGでご高名な大口孝之先生の講演、

日曜には『アインシュタインショック』などの科学史著作でご高名な金子務先生の講演があります!

お時間がありましたら、ぜひ東京都小金井市の東京学芸大にお立ち寄りください。

【会期】2010年6月25日(金)、26日(土)、27日(日)

【会場】東京学芸大学 20周年記念飯島同窓会館 (小金井キャンパス正門入ってすぐ左の建物です)

〒184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1

- JR中央線武蔵小金井駅からバス(改札出て正面左側(北口)出口を出て左に「小平団地行き」5番乗場が

あります。「学芸大正門前」下車170円)。または徒歩25分。

2010年3月11日

○横幹技術フォーラムのご案内 (形の科学会員は無料です)

「第25回横幹技術フォーラム」

テーマ:3Dとバーチャルリアリティの最近の展開

日時:4月5日(月)13時20分より

会場:キャンパスイノベーションセンター (JR田町駅徒歩3分)

参加費:横幹連合、横幹技術協議会の会員学会の方は無料

詳しくは下記のURLをご覧ください。

http://www.trasti.jp/forum/forum25_kyg.html

2010年2月18日

○学術集会のご案内

第50回日本先天異常学会学術集会

この度、第50回日本先天異常学会学術集会を2010年7月8日(木)~10日(土)に淡路夢舞台国際会議場で開催することになりました。

今回の学術集会のメインテーマは、「先天異常学の新たな展開をめざして」です。

また、第50回を記念して、国際シンポジウムを9日午前に開催します。特別講演は、山中伸弥先生(京都大学)に「iPS細胞の可能性と課題」を、塩見春彦先生(慶応義塾大学)に「RNA silencing; functions and dysfunctions」をお話しいただくことになっています。

シンポジウムは、1)神経発生、2)口唇・口蓋裂、

3)Dysmorphology、4)汎用薬と催奇形性、5)新たな50年へ向けて、を予定しています。専門医および認定

薬剤師の単位取得が可能です。ご関係の先生方に学術集会への出題・参加を呼びかけていただければ幸いです。学術集会URL: <http://jts50.umin.jp/>

mail:50thjts@basic.med.tokushima-u.ac.jp

第50回日本先天異常学会学術集会

会長 福井義浩 徳島大学大学院ヘルスバイオサイエ

ンス研究部 発生発達医学講座 機能解剖学分野 教授

TEL:088-633-7052, FAX:088-633-7053

fukui@basic.med.tokushima-u.ac.jp

○新入会の皆様(敬称略)

秋丸 知貴 日図デザイン博物館
 川上 保衛 元 法政大学第二中高等学校
 小野 聡子 独立行政法人国立高等専門学校機構 有明工業高等専門学校
 友木屋 絵里 新潟大学法学部
 田島 宗明 田島研究室 ZERO ((個)町田造園土木付)

○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。

秋丸 知貴 日本図案家協会事務局長・日図デザイン博物館学芸員

A: 美学, 美術史, 思想史 **B:** 芸術と技術, 抽象絵画, 象徴形式, 近代化
C: 2010年4月から2年間の予定で、京都大学こころの未来研究センター連携研究員として、連携研究プロジェクト「近代技術的環境における心性の変容の図像解釈学的研究」に取り組んでいます。「近代」とは何かを、「絵画の抽象化」を通じて分析したいと考えています。

川上 保衛 元 法政大学第二中高等学校

A: 数理科学, 数学基礎論, 物理学原理論 **B:** フラクタル幾何学, 建築美の形, 心筋網

小野 聡子 独立行政法人国立高等専門学校機構 有明工業高等専門学校

A: 建築力学, 建築構造学 **B:** 建築構造物の形態創生

友木屋 絵里 新潟大学法学部

A: **B:** 放散虫の形

田島 宗明 田島研究室 ZERO ((個)町田造園土木付)

A: 庭園デザイナー 京都造形芸術大学講師 数学者
B: 庭園 数学-黄金分割 科学哲学 数学の哲学 図形哲学

○平成22年度をもって御退会の皆様

小川 進 立正大学地球環境科学部環境システム学科
 柴田 幸雄 愛知医科大学
 十亀 昭人 東海大学工学部建築学科
 鳥居 修平 名古屋大学 医学部 形成外科
 西村 一朗 奈良女子大学 生活環境学部
 菱谷 晋介 北海道大学 文学部 心理システム科学講座
 本間 俊雄 鹿児島大学 工学部 建築学科
 宮崎 保彦 気象庁 気象衛星センター
 宮嶋 俊明 ディー・リンク株式会社
 森本 英樹 富山県工業技術センター中央研究所
 門間 正彦 茨城県立医療大学
 渡辺 静香

形の科学会誌の原稿募集

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

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

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

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

『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 愛知郡長久手町岩作雁又 21, 愛知医科大学 医学部 生理学第 2 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、次回の形の科学シンポジウム開催日の1ヶ月前までに副編集委員長に届けば、会誌の次号に掲載する。なお、著者の特別な申し出がないかぎり、原稿の著作権は形の科学会に帰属するものとする。

原稿作成要領

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2.5 cm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2.0 cmのスペースを開けてください。

6) 引用文献は、本文の最後に「文献」という見出しとともに出現順に記してください。

7) ページ番号は印刷せず、原稿の右上に鉛筆で1から通し番号をつけてください。

8) 以上の作成要領と大きく異なる場合は、改訂をお願いすることがあります。

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、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 カ ー ド (記入： 年 月 日)

会員記号番号： _____ 会員状態： _____ 会費： _____

フリガナ： _____ 生年月：西暦 年 月

氏 名： _____ 連絡先選択： 勤務先 自宅 出張先

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70回 形の科学シンポジウム「色と構造」講演募集

兵庫県高砂市に産する凝灰岩である「竜山石（たつやまいし）」は、高級石材として全国的に有名で、古くは大王の石棺として、近年でも皇居や国会議事堂に用いられています。その竜山石の色相は、鉱物結晶の形成プロセスと深く関係していることが明らかになりました。構造の形成や変化が、ものの色に反映される例は少なくないでしょう。今回は、様々な対象について、色やそのパターンの特徴の背後にひそむ形の科学に焦点を合わせます。

【会期】 2010年11月19日(金)、20日(土)、21日(日)

【会場】 加古川東高等学校 同窓会館
〒675-0039 兵庫県加古川市加古川町栗津 232-2 加古川東高校

【主催】 形の科学会

【代表世話人】 川勝和哉 〒675-0039 兵庫県加古川市加古川町栗津 232-2 加古川東高等学校

(高等学校へのメールは県教育委員会を經由し、場合によっては不達となる可能性もあります。ご問合せ等は下記事務局あてにお願いします)

【講演および参加申込先】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
E-mail: shumats0@gmail.com

【参加費】 会員・非会員ともに一般 3000 円、学生 1500 円

【懇親会】 2010年11月20日(土) 夕方

【懇親会費】 会員・非会員ともに一般 4000 円、学生 1000 円(検討中)

参加申し込み — 講演申込ならびに参加(聴講)の申込 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。当日参加も可能ですが、懇親会に参加される場合は必ず事前に申込みしてください。

【講演申込受付開始日】 2010年6月28日(月)

【講演申込締切日】 2010年9月10日(金)

【予稿原稿提出締切日】 2010年9月24日(金)

【参加申込締切日】 2010年11月12日(金)

【講演申込の方法】以下の講演申込フォームに必要事項を記入し、電子メール、郵送、またはFAXにて事務局(東京学芸大学 松浦執)宛にご送付ください。

■ 講演申し込み書式(第70回 形の科学シンポジウム)

- ・氏名:
- ・所属:
- ・住所(連絡先):

- ・電子メール:
- ・電話:
- ・ファックス:
- ・講演題目(仮題でも可):
- ・発表希望セッション(以下1~6から一つ選ぶ)

1. 色と構造: 70回シンポジウムメインテーマ

2. 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。

3. 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。

4. 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。展示のみの場合、5分間のご講演もお願いします。

5. 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。

・懇親会(2010年11月20日(土) 夕方): [参加・不参加] 参加の場合: 自分と同伴者を合わせた参加人数:

・その他(質問事項、希望事項、発表希望日など): <注意事項>

○ご講演はお一人一件までとします。

○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。○「展示」のセッションでは自由な形式の作品・研究発表ポスターなどを展示していただくことができます。展示作品をもちいた実演、販売も行うことができます。○講演申込をした方は、「申し込みフォーム」は不要です。

【予稿原稿の提出方法】学会公式 web サイト <http://wwwsoc.nii.ac.jp/form/> に掲載される予稿原稿作成要領(PDF、word)を参考に予稿原稿を作成し、電子ファイルの場合はメール添付にて代表世話人(東京学芸大学、松浦執)宛にご送付ください(PDF ファイル、word ファイル) 手書き原稿の場合はご郵送ください。

複写権委託済み表示の変更(2009年11月20日)

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

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

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

形の科学会誌 Vol. 25 No. 1 (2010, 6月)

発行： 形の科学会

会長： 松岡 篤

〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050

新潟大学理学部地質科学教室

phone/fax : 025-262-6376

E-mail : matsuoka@geo.sc.niigata-u.ac.jp

編集委員長：平田隆幸

〒910-8507 福井市文京3-9-1 福井大学工学部

phone : 0776-27-8778 fax : 0776-27-8420

E-mail : d970062@icpc00.icpc.fukui-u.ac.jp

副編集委員長&編集事務局：清水祐樹

〒480-1195 愛知郡長久手町岩作雁又21

愛知医科大学医学部 生理学第2講座

phone : 0561-62-3311 (内線2212) fax : 0561-63-9809

E-mail : yuuki@aichi-med-u.ac.jp