形の科学会誌 第 28 巻 第 2 号 (2013)

目　次

【論文】
建物情報を利用した街路ネットワークのクラスタリング法の提案
太田浩史 …… 105
【交流】
仮想化人体論　３
鳥脇純一郎 …… 1 15
【シンポジウム予稿】
第 76 回 形の科学シンポジウム
「経済・経営にみる形」 …… 128
【会告】
第 75 回 形の科学シンポジウム
「ジオパークと形の科学」討論記録 …… 19 2
会告 …… 19 8
事務局からのニュースメール …… 20 7
形の科学会誌の原稿募集 …… 2 09
『形の科学会誌』論文投稿の案内 …… 21 0
形の科学会入会案内 …… 21 2

建物情報を利用した街路ネットワークのクラスタリング法の提案

太田浩史
東京大学生産技術研究所　東京都目黒区駒場 4-6-1
otah@gol.com

Clustering Method of Street Network with Buildings Information

Hiroshi OTA
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

(2013年4月23日受付、2013年9月5日受理)

Abstract:

This paper proposes the integrated network with "building-nodes", and examines its distribution of betweenness centrality that is used for the well-known clustering method proposed by Girvan and Newman. Values of betweenness centrality are calculated from two different formulae, one is given by the sum of weights of buildings' total floor area, and the other is given by the product of those weights. The method is applied in three case districts of 1.5km x 1.5km in Tokyo, and the results show the different clustering pattern according to the formula and case district. As the numbers of links in each cluster are denser than the ones between clusters, the modularity value, which is used for validation of clustering results, becomes higher than the values in complex networks and was found unusable to evaluate the properness of clustering. Instead, the author proposes the silhouette coefficient for the clustering validation, and confirmed the potential of clustering method in street network weighted by building nodes.

Keywords: weighted building nodes, street network, Girvan-Newman method, clustering

1. はじめに

都市空間はさまざまな領域によって構成されており、効果的な施策や施設配置を行うには、領域の特徴と範囲を明らかにすることが必要となる。都市計画分野ではこれまでも様々な領域分割手法が提示されてきたが、近年の空間情報データの高精度化に伴い、近隣スケールの小領域を研究する「ジオデモグラフィックス」の分野が生まれるなど、より細かな領域の分割法が必要となっている。本研究では、高精度 GIS データに含まれる建物属性データによって重み付けがなされた街路ネットワークデータに複雑ネットワークのクラスタリング手法として知られている Girvan-Newman 法を適用し、都市空間を街路によって結びつけられた建築クラスターに分割する手法を提案し、シルエット係数による評価を行う。

2. 研究の背景

都市空間における街路ネットワーク分析については、これまでは Hillier & Hanson [1] による Space Syntax 法が広く知られてきたが、曲がった道に比べて真っ直ぐな道の評価値が高くなる、距離空間が捨象されてしまうなど、多くの欠点が指摘されてきた。その欠点を補うべく、Porta および Crucitti ら[2] は「Multiple Centrality Assessment (MCA)」法を提案し、近接中心性、直進中心性、媒介中心性、情報中心性の 4 つの指標による街路ネットワーク評価手法を提案した。これらは複雑ネットワーク研究において用いられている

指標であり、都市分野への応用は注目するべきものがある。特に媒介中心性については、その分布が主要な街路に沿って現れるだけではなく、自己組織型の街路を持つ都市であれば指数分布に、計画都市であれば正規分布に近づくという Crucitti の指摘[3]があり、都市構造との強い関連を伺うことができる。

その媒介中心性をネットワークのクラスター分割手法に用いたのが、Newman および Girvan[4]によって提案された Girvan-Newman 法（以下、GN 法）である。GN 法は社会ネットワーク、インターネットのコミュニティ研究の分野で急速に普及が進んだものの、都市空間分析への応用については、永松 [5]らによる景観分析などの試みを除き、国内外を通じて十分な研究がなされているとは言えない。その理由として、(1)依拠するデータが街路ネットワークのみであるため、地域特性情報を欠いた分析になりやすい、 (2)複雑ネットワークに比べ、街路ネットワークの密度が疎であるため、モジュラリティの信頼度に欠ける、(3)街路ネットワークをクラスターに区分しても、その知見の応用分野が不明瞭である、などが挙げられる。これらの課題を補うべく、本研究では建物をネットワークのノードとして加えた街路ネットワーク（以降、「建物街路ネットワーク」と呼ぶ）を作成し、建物の延床面積による重みを考慮した GN 法によってクラスター分割を行い、その特徴と有用性を検証した。

そもそも、建物ノードを街路ネットワークに加えたネットワーク研究はほとんど存在しない。Space Syntax 法や MCA 法においても分析対象は街路ネットワークのみであり、街路上を行き交う人々が出発し、到着する建物ノードは考察に含まれないのが通常である。例外として、MCA に建物情報を加えることを目標とした Sevtsuk [6] による研究が挙げられるが、これは街路に重み付けを行うものの、建物ノードと街路ネットワークを統合したネットワーク全体を研究するものではない。研究がほとんどなされていない背景には、GIS データの精度の問題、データ統合の技術的困難さ、そして演算処理に要する時間的制約などがあるが、今後の GIS データの高精度化を考えると、建物ノードもネットワークの一部と考える包括的かつ細やかなネットワーク研究が必要であると思われる。図 1 に表したように、本研究では建物ノード付き街路ネットワーク（以下、「建物街路ネットワーク」と記す）を独自に構築しつつ、その可能性を論じることとする。

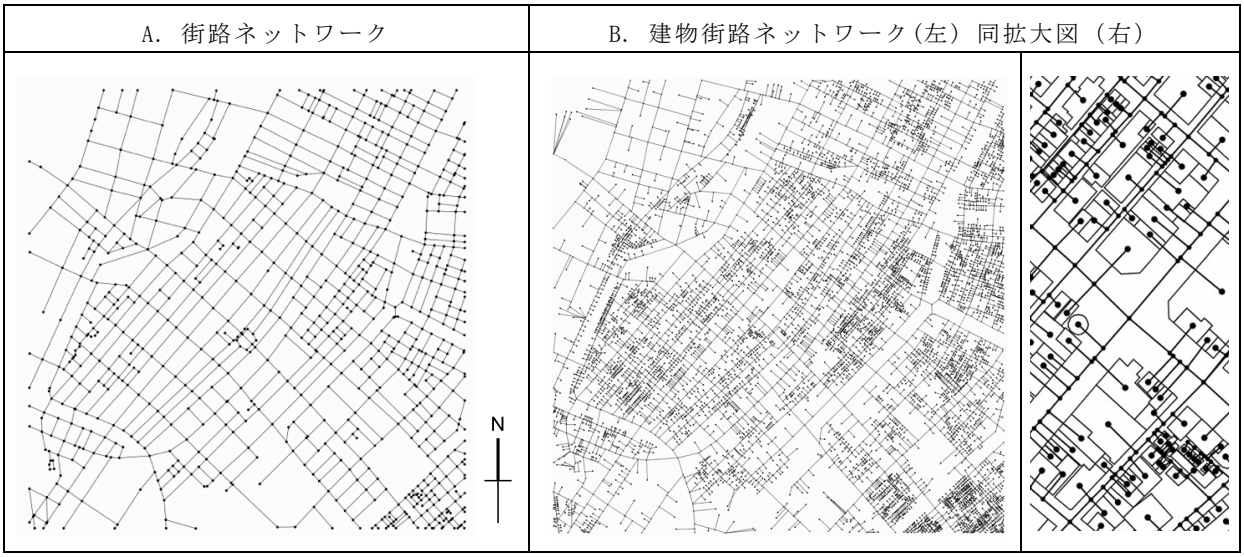


図 1　従来型の街路ネットワーク（左）と建物街路ネットワーク（右）

３．研究の方法

３−１．建物街路ネットワークデータの作成

ネットワークデータの作成にあたっては、建物属性および道路両端線については「ZmapTownII 2008/09 年度（Shape 版）東京都 データセット」を、道路中心線については無償で得られる Open Street Map（www.openstreetmap.org)のデータに ArcGIS 上で修正を加えたものを使用した。GIS データの読み込みは GeoTools 2.1.0、処理結果の可視化は Processing 1.5 のプラグインを用い、Java による処理システムを構築した。

分析対象地域は東京 23 区内から 1.5km×1.5km の範囲を 3 地域選択した。A の銀座と B の錦糸町は碁盤目状、C の下北沢は地形に沿って細かな有機的な街区パターンを持っており、それぞれ建物規模の分布に特性があることが選択の理由である。

対象地域内の建築面積および階数情報から延床面積を求め、その分布を確認した。図 2 のように、横軸に 3 地域の建物延床面積の対数を取り、縦軸に相対度数を取ると、下北沢が $10^{2.25}$ =178 ㎡の小規模建築を中心とした分布を見せるのに対し、銀座には 10^{2} ～10^{3} ㎡（100～3,160 ㎡）まで、幅広い規模の建築が満遍なく存在していることが分かる。分布の尖度も銀座が 0.14 と低いのに対し、錦糸町と下北沢は 2.02 と 3.11 と高いのが分かる。

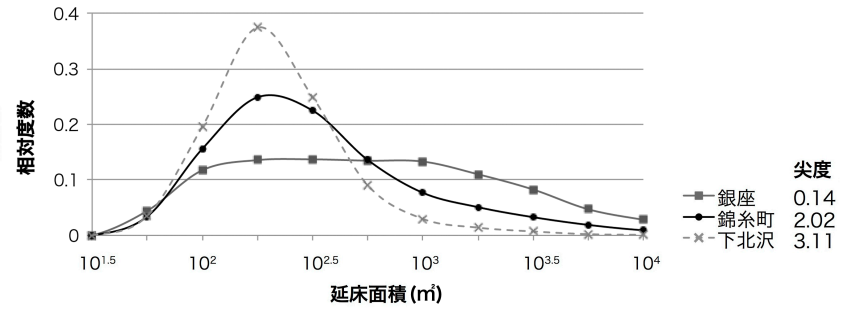


図 2　分析地域における建物延床面積の分布

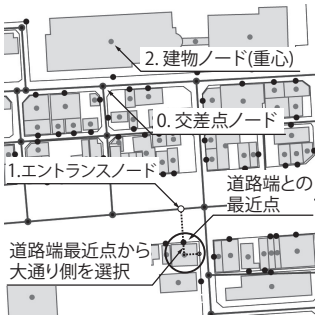


図 3　最近点の特定

次に、建物情報に含まれている図形重心を用いて建物街路ネットワークデータを作成する。建物重心から近傍の道路中心線に垂線を降ろし、最短距離のリンクを作成する方法は織田[7] らによる研究にも見られるものであるが、この方法では幅員の広い街路の中心線が建物重心から遠ざかることになり、結果として優先性が高い道路よりも幅の狭い脇道が選択されやすくなる。そのため、図 3 のように道路両端線データを利用し、まず建物の直近にある道路両端線に最近点を打ち、その延長上にある街路を接続先のリンクとして選択するルーチンを組んだ。これにより、幅員の大きい通りに接続する建物の数が大幅に増加している。データの諸元は下記の通りであり、オリジナルの道路中心線データに比べてリンク数、ノード数とも 10 倍ほど細かいデータを得ることができた。

表 1　対象地域における建物街路ネットワークの諸元

地域	ノード				平均延床面積	リンク	
	1. 交差点	2. ｴﾝﾄﾗﾝｽ	3. 建物	合計		リンク数	平均長
A. 銀座	858	3,822	4,545	9,225	1,915.6 ㎡	9,653	13.0m
B. 錦糸町	1,113	4,863	5,975	11,951	770.2 ㎡	12,413	11.1m
C. 下北沢	2,198	7,257	9,636	19,091	241.6 ㎡	19,592	9.3m

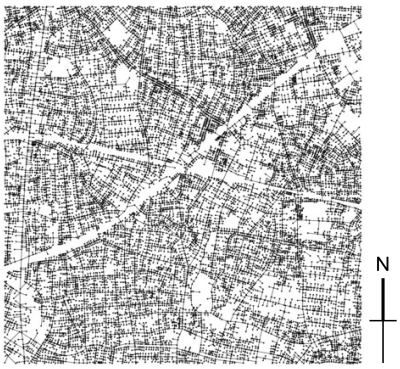
A. 銀座	B. 錦糸町	C. 下北沢
碁盤目×規模分布尖度低い	碁盤目×規模分布尖度高い	自然発生×規模分布尖度高い
		

図 4　対象地域における建物街路ネットワーク

3－2．街路ネットワークにおける媒介中心性

GN 法が用いる媒介中心性とは、ネットワーク上の任意の 2 点の最短経路を取ったとき、あるリンク i がその経路上に含まれる頻度を表した値であり、ネットワークにおけるリンクの重要性を示すものとして広く使われている。リンク i における媒介中心性 C_i^B の算出法は次のように定義される。

$$C_i^B = \sum_{j=1;k=1;j\neq k}^{N} \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}} \tag{1}$$

ここで n_{jk} は任意のノード j から任意のノード k に至る最短経路の数であり、$n_{jk}(i)$ はその経路のうち i を通るものの数である。街路ネットワークにおける最短距離はダイクストラ法に基づいて一意に求められるため、最短距離のルート数 n_{jk} は常に 1、そのルートにリンク i が含まれるか否かを示す $n_{jk}(i)$ は 0 または 1 となるため、リンク i の媒介中心性は、ネットワーク上の 2 点を結ぶ全ての最短経路におけるリンク i の出現頻度に比例する。この式(1)をもとに、次の 2 通りの重み付き媒介中心性を定義する。

$$C_i^{BWs} = \sum_{j=1;k=1;j\neq k}^{N} \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}} \times \left(W_j + W_k\right) \tag{2}$$

$$C_i^{BWp} = \sum_{j=1;k=1;j\neq k}^{N} \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}} \times \left(W_j \times W_k\right) \tag{3}$$

W_j および W_k はそれぞれノード j およびノード k における重みであり、建物の延床面積（建築面積×建物階数）に応じた値を与えられるものとする。交差点ノード、エントランスノードは面積を持たないため、重みは 0 とする。この時、リンク i への荷重として、式(2)では両端ノードの重みの和を、(3)では積を採用する。後者は、リンク i の出現確率を建物の床面積に比例して定めた場合、つまりノード j の出現確率 W_j / W_{total} にノード k の出現確率 W_k / W_{total} を掛けた場合を考慮したものである。建物式(1)～(3)によって算出した媒介中心性の分布は図 5 の通りであり、重み付けをしない C_i^B では小規模建物が密集し、サンプル数が多い築地、新富町(図中南東部)に向けて媒介中心性が高くなるのに対し、C^{BWs} および C^{BWp} による分割法では大規模建物が存在する日比谷、有楽町（図中北西部）に向けて値が高くなっており、実際の建物規模を反映した分布となったのを見ることができる。

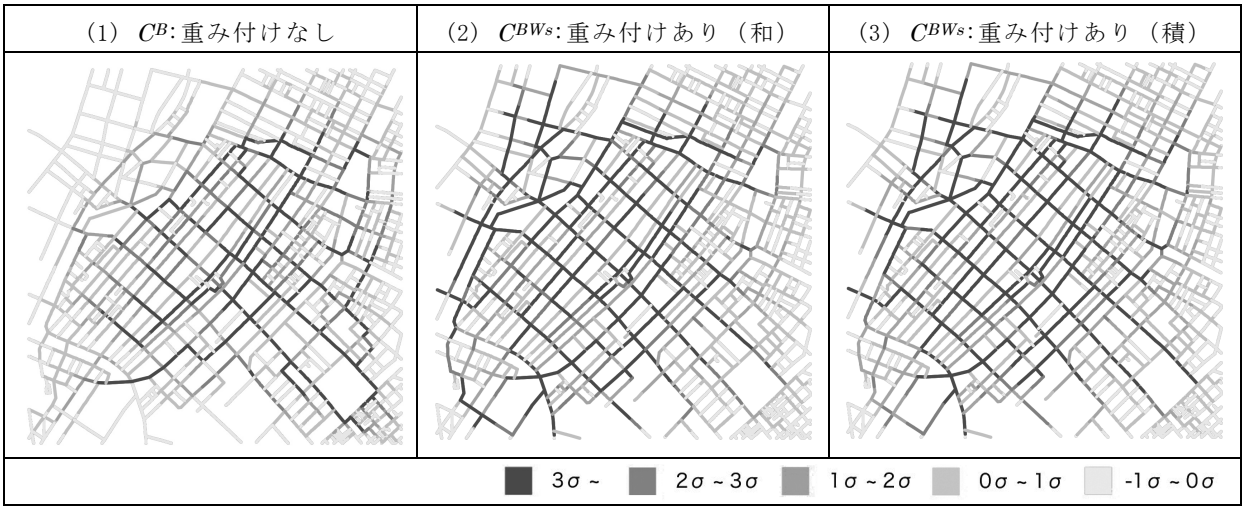


図 5　銀座地域における媒介中心性の分布

C^{BWs} と C^{BWp} による 2 通りの重み付け方法については、例えば前者は両端の建物の床面積に比例した人数がリンク i を往来する時の総人数、後者はルートの選択確率が両端の重みに従って定められた場合の出現頻度、などのように、評価の内容によって使い分けられることが想定される。本研究では双方の重み付け法によって GN 法のクラスター分割を行い、その特性を比較する。

3－3．Girvan Newman 法による地域区分プログラムの作成

GN 法によるクラスター分割は、ネットワーク上の全てのリンクの媒介中心性を求め、最も高い値を示したリンクをネットワークから取り除き、更新されたネットワークにおいて再び媒介中心性の計算を行い、媒介中心性の最高値を持つリンクを取り除く、というプロセスを繰り返すものである。図 6 の様に、プロセスの途中でネットワークが切断されてクラスター数が増え、最終的に全てのリンクが消滅してクラスター数＝ノード数となるまで計算は続くが、後述するモジュラリティ値が最高値となる時点を抽出し、それをクラスター分割の終了点とするのが GN 法の特徴である。

式(1)～(3)の媒介中心性に従って、銀座地域をクラスター数が 100（図中 CL=100 と表記）になるまで分割したプロセスを図 7 に掲げた。視認性を良くするため、クラスター境界を加えている。

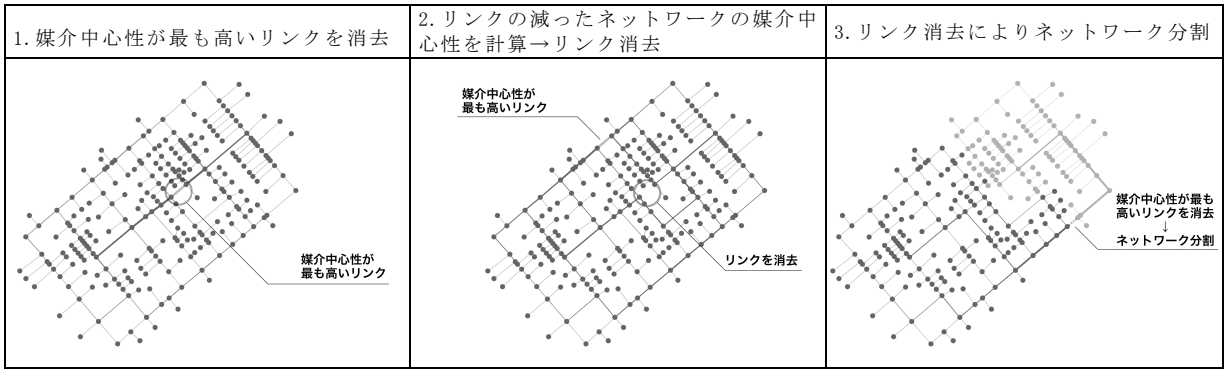


図 6　GN 法のクラスター分割プロセス

	(A-1) C^{B}:重み付けなし	(A-2) C^{BWs}:重み付けあり（和）	(A-3) C^{BWp}:重み付けあり（積）
CL＝2			
CL＝5			
CL＝10			
CL＝20			
CL＝50			
CL＝100			

図 7　銀座地域の GN 法によるクラスター分割プロセス

街路ネットワークに鉄道、川などの境界要素が存在した場合、境界上の踏切、ガード、橋に最短経路が集中し、その周囲の媒介中心性が高くなる。そのため、媒介中心性の高い経路を１つずつ切断するGN法では､境界を強く反映したクラスター分割が行われるのが特徴である。有楽町・日比谷と銀座を分かつ鉄道高架（図中北東部）に着目とすると、(A-3)では[CL=2]の時点で、(A-2)は[CL=5]の時点で高架による境界が検知されているが、(A-1)では[CL=50]においても境界は不明瞭である。これは(A-1)において当該部分のネットワーク密度が低いため、境界が過小評価されるためだと考えられる。一方、小規模建築が密集する築地地区(図中南東部)を見ると、(A-1)、(A-2)、(A-3)の順にクラスターが細かく分割されていることが分かる。C^{BWp}による分割は、(A-3)の[CL-100]のように小規模建築の密集エリアを後回しにする傾向があり、C^{B}では建物ノード数に応じ細かく分割する傾向がある。

他の２地域の分割例を下に表す。 (B-2)と(C-2)の[CL-50]を比べると、大小様々なクラスターに分割される錦糸町に比べ(B-2)、下北沢(C-2)ではクラスターの大きさは均一である。これは図２で示したように下北沢の建物規模が比較的揃っているためだと考えられる。

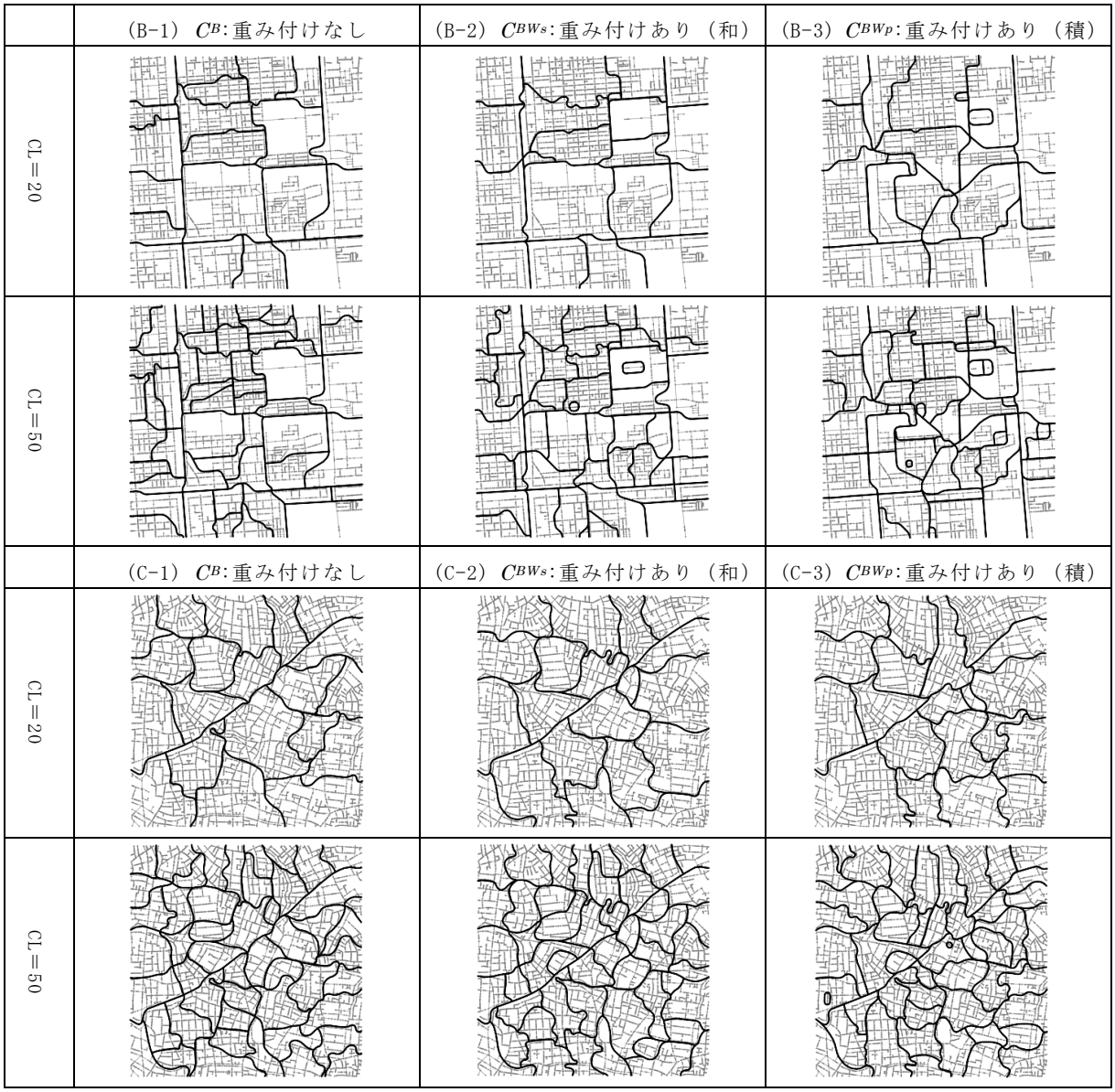


図８　錦糸町(B)・下北沢(C)地域のGN法によるクラスター分割プロセス

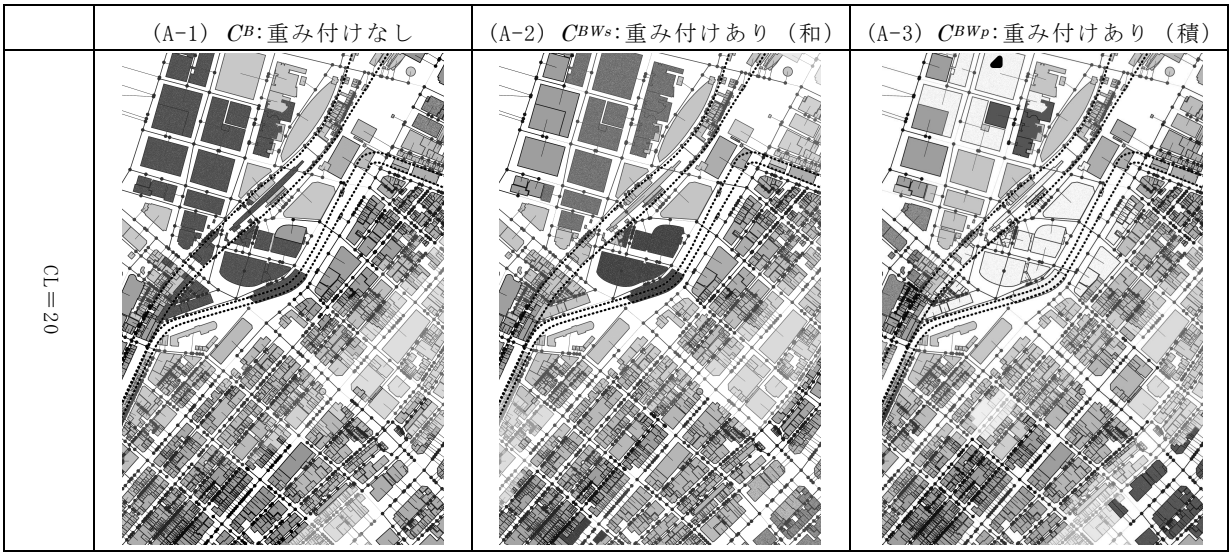


図 9　有楽町から銀座 4 丁目交差点に至る区域のクラスター分割[CL=50]

また、C^{BWp} による分割法は床面積の大きい建築に敏感に反応する傾向がある。例えば(B-3)の[CL-20]では 2 つの極小クラスターが見られるが、これは錦糸町地域では突出して大きい 45 階建ての建築を分割したものである。同様に(C -3)の下北沢においても島状の極小クラスターが大規模建物の周囲に生じている。

図 9 は銀座地域における[CL-50]時点でのクラスター分割の詳細である。図中に JR の高架軌道と東京高速道路を加えると（点線部)、重み付けを行った(A-2)、(A-3)がこれらの境界条件を反映したクラスター分けになっていることが分かる。また(A-3)においては、東京フォーラム(黒丸部)がホールの大きさごとに所属クラスターが分けられているが、これも C^{BWp} による分割法により、建築規模の差分に敏感な結果が出ていることが理由である。

4．モジュラリティ指標による評価

最適クラスター数の指標であるモジュラリティは、クラスター内のリンクが多く、クラスター間のリンクが少ない分割を評価する指標である。総リンク数 M のネットワークが V_1, V_2, …, V_L の L 個のクラスターに分割されている時、モジュラリティ Q は(4)～(6)のように定義される。

$$Q = \sum_{l\in\{1,\ldots,L\}} \left(e_{ll} - a_l^2\right) \tag{4}$$

$$e_{ll} = \frac{1}{2M} \sum_{i\in V_l} \sum_{j\in V_l} A(i,j) \tag{5}$$

$$a_l = \frac{1}{2M} \sum_{i\in V_l, j\in V} A(i,j) \tag{6}$$

e_{ll} は任意のクラスター V_l 内のリンクを総リンク数 M×2 で割り、a_l はクラスター V_l 内のノードにつながる全てのリンク（V_l 内も含む）を総リンク数 M×2 で割ったものである（ノード i とノード j を両端とするリンクが二重カウントされるため、M×2 で割る)。$A(i,j)$ はノード i とノード j 間にリンクがあれば 1、なければ 0 を取る。こうして得られた Q が最大の値となった時のクラスター分割数を最適クラスター数とするのが GN 法である。

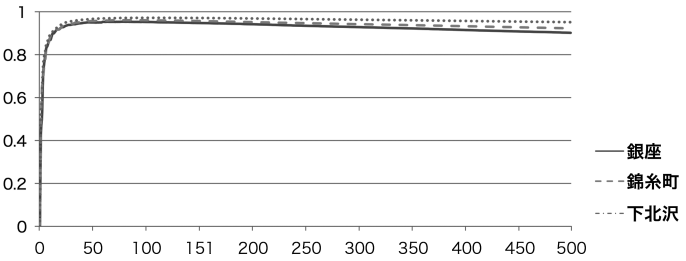


図 10　4 地域のモジュラリティの推移

表 2　モジュラリティ最大値

	モジュラリティ	クラスター数
A. 銀座	0.953	CL=79
B. 錦糸町	0.961	CL=92
C. 下北沢	0.972	CL=111

C^{BWs} によるクラスター分割のモジュラリティを求めると、その推移および最大値は図 10 および表 2 の通りとなる。

図 10 に見るように、3 地域を通じて、モジュラリティは[CL=20]～[CL30]で Q=0.95 近辺の高い値となり、その後は[CL=500]までクラスターを細分しても値は落ちない。GN 法よる分析が多いインターネットや社会ネットワークなどでは Q 値は 0.4～0.7 程度に納まる場合が多いとされるが、建物街路ネットワークにおいては Q 値は高く現れ、その減少率も低いために、モジュラリティによるクラスター分割の評価が難しいことがわかる。モジュラリティが高く現れる理由は、図 11 に見るように、クラスター内のリンク数が多い一方で、クラスター間のリンクが少ないため、(4-3)式の a_l が低い値となることが原因である。

モジュラリティの存在によって、GN 法よりも計算量の少ない Newman 法、Clauset 法が新たなクラスター分割手法として提案されていることを考えると、街路ネットワークを評価する信頼性のある指標が必要とされている。本稿では、モジュラリティに代わり、クラスター分割の評価指標として広く使われているシルエット係数を用いて、2 つの重み付け法によるクラスター分割の評価を試みる。

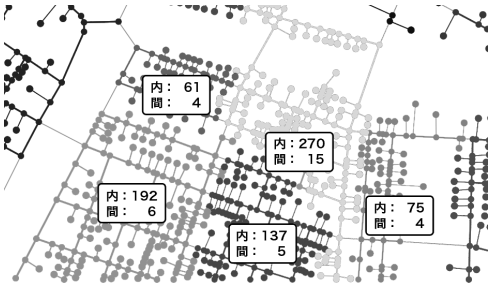


図 11 クラスター内／間のリンク数

５．シルエット係数による評価

シルエット係数 $s(i)$ は、Kaufmann および Rousseeuw によって 1990 年に提案されたクラスタリングの評価指標である[8]。座標や値などを持つ要素 i がクラスター V_l 内にある時、i と他の要素の距離の二乗平均を凝集性 $a(i)$、クラスター V_l 以外のクラスター構成要素と i の間の距離の二乗平均の最小値を分離性 $b(i)$ とし、$s(i)$ を次式によって定義する。

$$s(i)=\left|\frac{b(i)-a(i)}{\max\{a(i),b(i)\}}\right| \tag{7}$$

この時、要素 i が属するクラスター内の $s(i)$ の平均を取ったものをそのクラスターのシルエット係数、全てのクラスターのシルエット係数の平均値がクラスター分割のシルエット係数となる。シルエット係数が 0 から 1 に近づくにつれ、クラスター内の結びつきは強く（凝集性が高く）、クラスター間の結びつきは低く（分離性が高く）なり、クラスターはより良い分割性を持つと見なされる。本論では要素を建物ノード、要素間の距離をダイクストラ法によって求めた建物ノード間のネットワーク上の最短距離とし、3 地域、2 つの重み付け法について[CL=100]までシルエット係数を計算した。その結果を図 12 に示す。

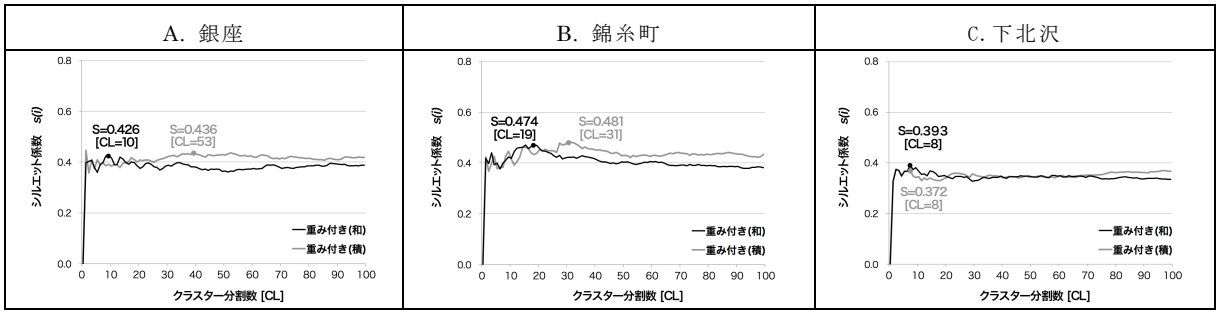


図 12　3 地域におけるシルエット係数の推移

もともとのクラスター分割が建築ノードの近隣性を保ったまま行われ、建築ノード間距離が極端に大きい値となることはないため、プロセス全体を通してシルエット係数は安定した推移を見せている。その一方で、和による重み付き媒介中心性 C^{BWs} によるシルエット係数が、他の媒介中心性のものよりも少ない分割数でシルエット係数の最高値を出していることが伺える。地域ごとのシルエット係数最高値は錦糸町＞銀座＞下北沢となっているが、これは図 8 で見たように、錦糸町がブロックごとにネットワーク密度＝建物密集度が異なるパッチワーク状のクラスター構成となっているのに対し、下北沢は比較的均質なクラスターによって地域が構成されているためだと考えられる。分割の代表例として、図 13 に C^{BWs} による錦糸町のクラスター分割[CL=19:シルエット係数最高値=0.474]の例を示す。

６．結論

以上、重み付き媒介中心性による GN 法により、建物規模および境界要素を反映した建物クラスター分割の可能性を検討してきた。重み付け法としては和による重み付き媒介中心性 C^{BWs} を採用したものが少ない分割数で良好な分割性を見せ、建物規模の差分への過敏な反応も少なかった。この手法の有用性により、例えば街路沿いの景観計画の範囲決定など、具体的な応用が可能となったと考える。

この知見を踏まえ、今後は対象地域を増やすとともに、シルエット係数以外のクラスター評価法の検証を行い、より実用的なクラスター分割手法の研究を行う予定である。

図 13 C^{BWs} による錦糸町の分割[CL=19]

参考文献

[1] B. Hillier, J. Hanson, The Social Logic of Space, Cambridge University Press, 1984
[2] S. Porta et al., The network analysis of urban streets: A dual approach, Physica A 369, 853, 2006
[3] P.Crucitti et al., Centrality in networks of urban streets, Chaos 16, 015113, 2006
[4] M.Newman, M.Girvan, Finding and evaluating community structure in networks, Physical Review E,69, 2004
[5] 永松博晶,ネットワーク解析を用いたベロットが描いたピルナの都市景観に関する研究,2011,九州大修士論文
[6] A.Sevtsuk, Urban Network Analysis: A new toolbox for ArcGIS, MIT CityForm Lab., 2011
[7] 目黒公郎,織田浩平(2005), 災害時の避難行動シミュレーションモデルの開発,生産研究,57 巻 4 号,pp155-159
[8] Kaufman, L. and P. Rousseeuw, 1990. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. John Wiley and Sons, London. ISBN: 10: 0471878766.

講座　仮想化人体論　３　　13.7.7

名古屋大学名誉教授　　鳥脇純一郎

５　仮想化人体の可視化

始めに書いたように仮想化人体（以下ＶＨＢと略記）は３Ｄ濃淡画像であるから、そのままみてもよほど経験を積んだ人で無い限り何も情報は得られない。そこで取りあえず３次元濃淡画像の可視化の手法が必須のツールとなる。その基盤はコンピュータグラフィックス（ＣＧ）にある。

本講座の読者はＣＧの基礎はある程度は知っていると思われるので、あえて詳細を解説しない。取りあえず最小限の基礎的事項を本講座の基になった中京大学の講義ノートから抜粋して簡単に説明するに止める。詳細は CG の基礎的専門書［鳥脇 08］［ＣＧ－ＲＴＳ協会 04］などを参照されたい。

はじめに ＶＨＢの可視化に用いるＣＧの主な特徴を図３－１にまとめて、この各項について簡単に説明を補足しておく。

＜図３－１　ＶＨＢの可視化のためのＣＧに対する要件＞

１　対象は人体の組織、器官（あるいはその一部）である。このことは、しばしば普通の人は始めて見る対象であることを意味する。また、数理的記述は難しいことが多い。また、データの構造上から言えばそれは**３次元**のデジタル濃淡画像である。

２　可視化の結果は通常はコンピュータのディスプレイもしくは紙への印刷である。つまり、２次元の画像である。これと１を合わせると月並みのやり方では原データの持つ情報の何らかの損失は避けられないことになる。

３　内容的には“かたち”の情報と“濃淡”の情報はともに重要である。

４　原データはイメージング装置によって記録されたものであるから、濃淡および図形の幾何学的意味において解像度には自ずから限界がある。大まかに言えば現時点では幾何学的には１㎜立方、各点での濃淡値は 256～1024 段階（8～10 ビット）程度の細かさで計られていると思えばよい。可視化の段階でこれらの精度を落とすことはできるだけ避けたい。逆にこれ以上の精度があるように見せることに拘る必要もない。

５　ＣＧは元々図形、画像をコンピュータで自由に描くことを目指して発展してきた面もあるから、描かれた結果が実物に近いと言う意味でのリアリティと拘る一面がある（後述のフォトリアリスティック・レンダリングのように)。しかし、ＶＨＢの可視化はある種の計測結果の可視化であるから必ずしも実人体の印象に近づけることを意図しなくてもよい。

６　可視化の作業に入る時点で対象である３次元濃淡画像は構造化されているとは限らない。しかし、可視化を行うユーザーに構造化処理までも要求することは避けたい。言い換えれば構造化なしでも使えるＣＧの手法が望ましい。

ところで、ＣＧは実世界の情景と区別できないようなリアリティの高い画像を生成するフォトリアリスティック・レンダリング（photorearistic　endering ）と人の想像力という意味でのイマジネーションを自由に描画するノンフォトリアリスティック・レンダリング（nonphotorearistic　endering ）に大別されるが、ここで用いるのはそのどちらとも

若干異なる。すなわち、ＶＨＢとして存在するデータの持つ情報をできるだけ損なわずにユーザに伝えられる、あるいは、ユーザができるだけ正確な情報を引き出せる手法を用いたい。その意味では普通に言われる可視化（ビジュアリゼーション　visualization）がより近い。また、ＶＨＢを見る時点において前回述べた構造化がなされているかどうかによって状況は大きく分かれる。『仮想化人体論』では、対象の構造化がなされていればその結果をポリゴン・モデル（polygon model）等で近似して、それに対してサーフェス・レンダリング（surface rendering）と呼ばれる諸方法を用いる［鳥脇 08］［ＣＧ－ＲＴＳ協会 04］。そうでなければ３D 濃淡画像を直接に表示することを意図して開発されたボリューム・レンダリング(volume rendering)と呼ばれる方法を用いる［鳥脇 08］［ＣＧ－ＲＴＳ協会 04］。この２つの方法はそれぞれ長短があり、性格も異なるため、本講座の仮想化人体論では両者の基礎は知っているとする（図３－２）。まず、ＣＧの共通の基礎となる考え方を図３－２に示す。それらの基礎となる３次元物体の形状の与え方、２次元平面（表示画面）への投影や３次元座標変換、各種の反射、屈折のモデル、照明モデルなどはやはり知っているとする。

＜図　３－２　ＶＨＢの可視化の基本的考え方　この図は 1983 年の最初の発表当時のものであるが、基本的に今でも変わっていない＞

因みに現在の世の中で一般に使われているＶＨＢの利用や仮想化内視鏡システムなどではボリューム・レンダリングの利用が主流である。これは、構造化という作業を避けられるためである。ただし、結果の表示画像の印象は不透明度呼ばれるパラメータの設定によってかなり変わることを注意して使いたい。ボリューム・レンダリングについては後で簡単に説明する。

なお、ＶＨＢの可視化では表示対象の表面を具体的に抽出していない段階で使用することが多いため、表面の反射があるような効果はグラディエント・シェーディング（gradient shading）などによって人工的に与える事が多いが、詳細は専門書にゆずる［鳥脇 08］［ＣＧ－ＲＴＳ協会 04］。表示結果における臓器壁面の色彩も、リアリティには捕らわれず、画像が見やすくなる（あるいは情報を得やすい）ように与えていると言う面が強い。

実際に CG で画像を生成する場合、おおよその手順は以下のようになる。

［ＳＴＥＰ　１］表示対象の３次元空間（図３－２）で言えば図中央下部の“物体”とあるところに対象物体をおき、その背景、周辺の情景などのすべてを、すなわち“世界”のかたちをコンピュータ上に作っておく。ここにはコンピュータ自体のディスプレイ画面も観察者の視点も入っている。すなわち、ディスプレイ画面の各画素も視点の位置も見る方向（視線の方向）もこの世界の一要素として含まれる。ここであらゆる“かたち”をどう表現すればいいかと言うことも非常に重要で、本学会の読者の専門知識が最高にものを言う所である。ＣＧではこのＳＴＥＰをモデリング（modeling）と呼んでいる。具体的な方法は多数有るが、それらはＣＧ関連の書物にゆずる［鳥脇 08、岩田 12］［ＣＧ－ＲＴＳ協会 04］。

［ＳＴＥＰ　２］次にディスプレイ画面の画素Ｐから視点に位置する点に届く光線（実際には直線）を考え、それがこの空間のどの光源から発してどのような経路を通過して視点

に届くかを調べる。実際は視点から画面上の画素（例えばＰとする）に向けて直線（光線とかレイ（ray）と呼んでいる。）を延ばし、それを延長して光源に達するまで逆向きに辿る。この操作を光線追跡とか視線追跡（レイ・トレーシング　ray tracing)と呼んでいる.。光線は光源と途中にある物体表面で屈折、反射、減衰、拡散、など様々の光学現象を生じ、その結果として視点に届く時には様々の色を持つに至る。そこには光源の色特性はもちろん、途中で反射、屈折、などの作用を生じた物体表面と内部の特性が積み重なって最終的に視点に届く光線の色になる。これが画素Ｐの色として見えると考え、画素Ｐにこの色をつける。

この光線追跡の過程の一部を取り出したものが図３－３である。恐らくこの図を矢印の方向に辿って貰えば一本の光線の追跡の状況がわかるであろう。

＜図３－３　レイ・トレーシングの途中経過。このようなプロセスが視点から光源に至る（または無限遠方に達する）まで繰り返される。また、画面上の画素の数だけ反復される。＞

直ぐに気づかれることであるが、一本の直線（光線）は反射後も必ずただ一方向にのみ進む。屈折なら屈折光と反射光に分かれるがそれぞれは一方向である。反射で言えば、『入射角と反射角は等しい』方向（正反射方向）に進む。いわゆる鏡面反射である。屈折ではスネルの法則に従う。実際は反射（屈折、透過）後はこれらで定まる方向の周りにある程度広がりを持って進む。周知の通り、極端な場合は反射光は反射面前方の全方向に広がり、拡散反射と言われる。これらの状況のモデルも色々提案されている。ＣＧではホン（Phong）のモデルとかブリン（Blinn）のモデルが知られている。これらは物体表面における光線の振る舞いを、描画への利用に便利なようにモデル化した一種の簡易理論モデルであり、必ずしも真の物理現象を正確に説明するためのものではない。リーズナブルな手数で視覚的にリアリティを感じさせる画像ができれば一応の目的は達せられるとしている。

この方法に限らないが、モデリングで定義された物体、あるいはそれによって構成される世界に画面上で濃淡や色を付与する処理をレンダリング（rendering）と呼ぶ。

また、３次元空間の一点（例えば図３－４の点Ｑ）がその空間中の２次元平面（画面）のどこに写されるか（画面上でどの画素上に描かれることになるか)、を定める操作を投影（projection）と呼ぶ。投影の具体的な考え方や数式はやはり多くの読者はご存知であろうから、（図３－４）に図のみを示しておくに止める。直投影が一番簡単であるが、遠近感を出すためにはＣＧの分野では透視投影（いわゆる遠近図法）が多用される。

＜図３－４＞3 次元空間の点の投影　3 次元空間の点Ｐを視点Ｐ。から見たとき画面上のどこに書くか（図ではＰ’）。

[ＳＴＥＰ　3]この操作を画面上の全画素に対して反復する。少し複雑な３次元世界なら関係する物体の総数、面の総数は膨大になる。数百万超も珍しくないであろう。これを丹念に実行すれば原理的にはリアリティの高い画像が作れる。しかし、膨大な処理時間を要するであろう事は直ぐに予想できようまた、同時に処理時間の減少に役立ちそうな工夫も

色々考えられよう。読者も色々考えてみて欲しい。事実 1980 年代の CG 分野では効率よくレイ・トレーシングを実行する手法が重要な研究テーマであった。

レイ・トレーシングの効果を端的に示す例として“映り込み”がある。これは複数の物体が存在するシーンにおいて、ある物体の表面に別の物体が映りこんで見える現象で、例えば図３－５においてワイングラスには隣のワイングラスが映り、床面（この図ではガラスにして描画）にもワイングラスが映っている。原図はカラーであるから本稿の黒白印刷では見にくいかも知れない。カラー版は［岩田 02］に入れてあるので参照頂ければ幸いである。さらにグラスの取っ手の基部では背後の床の格子模様が歪んでいるのもレイ・トレーシングならではの描画である。なお、一般に描かれる物体あるいはそれを含む情景を CG ではよくシーン（scene）と呼ぶ

＜図３－５　ワイングラス　レイ・トレーシングの効果を端的に示す例。図中の説明は読みにくいかも知れないが、形状はスプライン曲線を回転して生成した。ガラスの屈折率としてハンドブック等で知られた値を用いた。1980 年代の筆者のグループの作品であるが生成には当時のコンピュータで１時間近くを要したような記憶が有る。当時としては極めてリアルなできばえで見る人を驚かせた。今ならノートパソコンでもリアルタイムで作れるであろう。＞

さて、このＣＧ用のモデルではＶＨＢがこの仮想的３次元世界におかれる。図３－２で言えば下部の物体の所と考えればよい。レイ・トレーシングを実行する事は大変面倒で以前は時間を要したが、幸い現在はＣＧ用のソフトウェアやプロセッサ、いわゆるグラフィックス・エンジンなどが多数用意されており、単に画像化するだけならそれほど難しくない時代になった。

ところで、ＶＨＢの可視化においては、もう一つの考慮すべき重要な問題がある。濃淡値という言い方を使えば、実は、ＶＨＢは３次元空間のすべての画素が何らかの濃淡値を持っている。レイ・トレーシングでは空間に有限個の物体があり、それらの間には隙間がある（光に描画上は何の作用も及ばさない）空気の層があるとしている（厳密には境界面が明確に定まっていれば空気の層の存在は必須の要請では無い）。一方、ＶＨＢはすべての画素が濃淡値をもつため、視点（光源）から画面上の一点Ｐに到達するレイの上にある多数の画素が同一の一点Ｐに投影されることになる。結果的に点Ｐには到達するレイが通過してきた画素の持つ濃淡値の効果が何らかのかたちで重畳した結果になる。いわば、図３－２の物体の中は濃淡値の塊である。　そこで現在使われている方法（ボリューム・レンダリング　volume rendering）と呼ばれている）では次のようにしている（図３－６）。

＜図３－６　現在のボリューム・レンダリングの考え方　詳細は本文の下記説明参照＞

レイのある画素　P_kが濃淡値α_kを持ち、そこにレイにのって隣の画素から届いた値をI_{in}（ｋ）とする。このとき、次の値

$$I_{out}(k) = I_{in}(k)(1-\alpha_k) + b_k\alpha_k$$

をレイ上の次の画素に送る。

直観的に言えば、各画素には濃淡値に応じた強度の光源があると考え、レイに沿って隣の画素から届いた光の強度Iin（ｋ）と自分自身の明るさｂをα_k　の割合で混合した光を次の画素に送る、と考えている。ここで$\{\alpha_k$ 、$b_k\}$はユーザが任意に与えられるパラメータであり、$\{\alpha_k\}$は不透明度（opacity）,$\{b_k\}$は カラー値（color code）と呼ばれる。これはあくまで３次元空間に充満する濃淡値の空間的分布を可視化するために考案されたＣＧの手法であって、極論すれば物理現象のモデルでも何でも無い。しかし、現時点ではＶＨＢの可視化のための定番的な手法となっている。最大の利点は対象の構造化なしに使える点である。その代わり、多数の任意パラメータを適切に設定しなくてはならないこと、またその設定の影響を受けやすいこと、可視化された画面を見てその上で対話的な計測には向かない事がある。しかし、この場合、大半の対象が人体内部であるからパラメータの設定にはあらかじめ用意した値で最低限の目的は達せられると言う面もある。実際、現在実用されているイメージング装置あるいは仮想化内視鏡装置などでは、最低限のパラメータ値のセットは用意してあり、実際それで十分役に立っている。

＜図３－７　ボリューム・レンダリングにおけるパラメータ（不透明度）の効果
　　このように表示結果に何が見えるかはこれらのパラメータによって大きく異なる＞

図３－７を見るとパラメータ$\{\alpha_k\}$によって見えて来るものは大きく変わる。実際にはユーザーはこれらのパラメータ値をリアルタイムで変えながら画像を観察できる。対象は人体だから突拍子もない図形が出てくるわけでは無い。それでも場合によっては十分注意が必要である。例えば図３－８は別の例である。この場合対象は大腸壁面であるが小さい凹凸はポリープの可能性がある。この場合パラメータ値を変えると凹凸の見え方は火なり変わる。

＜図３－８　ボリューム・レンダリングにおけるパラメータ（不透明度）の効果　この場合臓器壁面の凹凸の形状はパラメータ値でかなり変わる。この図の上で突起の大きさを測ろうとするのは避けなければならない＞

その他の可視化の例を図３－９，図３－１０に示す。

＜図３－９　ボリューム・レンダリングによる人体下部、肺門付近の可視化。中央に脊柱、左右に肺内部に拡がるの気管支、血管が見える。ただし、個々の気管支枝名まではこれだけからは決められない。もとのＶＨＢはＸ線ＣＴ像から得た。＞

＜図３－１０　ボリューム・レンダリングによる人体肺内部の構造の可視化。　中空に浮かんで見える小楕円体の群れは何らかの異常陰影を疑われるがボリューム・レンダリングのパラメータの影響もあるから直ぐには断定できない。後の詳細な検討の結果それらの多

くが肺がんの病巣であった。左図の緑の点は観察者がつけた一種のマークである。このようにＶＨＢ上に適宜マークの記入もでき、便利に使える。＞

最後に、ＣＧにおける手法の別系統とも言うべき他の方法を一つあげておこう（図３－１１）。この方法は、シーン内の物体表面を小さい平面に分割し、例えば（図３－１１）の小平面Ｅi は真上小平面光源から直接に照らされるのみでなく、右の壁面小平面のＥi からの反射光でも照らされると考える。すべての小平面から届く間接光の総和で小平面　Ｅi の明るさが決まる。もちろん各小平面間の光の到達にはそれぞれの空間で決まる条件があり、それを組み入れた連立方程式（各小平面の明るさを未知数とする）で表される。

この方法はＣＧ分野ではラジオシティ法と呼ばれている。間接照明特有の柔らかい明るさの情景を描き出すことで知られ、ＣＧ定番の手法の一つとなっている。物理学的アナロジーから言えば、照明工学における大域照明モデル、熱工学における放射伝達の理論などに関係する。ただＶＨＢの可視化には今のところ使われていない。

＜図３－１１　大域照明モデルの概念図　シーンに存在する物体の表面を小平面に分割し、それらの相互間のエネルギーの交換（光で言えば相互反射）により、最終的な各面の明るさが決まると考える。ＣＧではラジオシティ（radiosity）法 と呼ばれる＞

最後に同一のＶＨＢに対する異なった可視化法による結果の一例を図３．１２に与える。同図の中央は気管、気管支の内壁を抽出して（ある種の構造化がなされている)、壁面上に頂点を持つ多数の小三角形で近似したものである。ＣＧでは三角形パッチモデルと呼ばれる。ＣＧのけるモデリングの基本手法の一つである。図はこの各三角形のエッジのみを描画したもので、取りあえずエッジモデルと名付けたがこの名称は筆者が便宜上つけたもので、ＣＧで使われるものではない。

左図は、図中に適当に点光源を置き、この各小パッチを完全拡散面と見て表示したものである。ただし面のエッジが目立たないように滑らかに見せている。スムーズ・シェーディング（smooth shadinng）と呼ばれる手法である。右図はボリューム・レンダリングによる。ボリューム・レンダリングでは臓器壁面のみでなく、その背後の状況もある程度は読み取れる。ボリューム・レンダリングの大きな特徴である。その代わり対象の壁面の位置をきちんと決めていないから、壁面に関するる量的計測はこのままでは難しい。

＜図３．１２　異なる方法によるＶＨＢの可視化　各図の詳細は本文説明参照。＞

参考文献

［鳥脇 08］鳥脇純一郎編著、森健策、平野靖共著：画像情報処理（Ⅱ）グラフィクス、表示編、コロナ社、2008.11.10

［岩田 12］岩田修一総監修、河口洋一郎図案監修、かたち創造の百科事典編集委員会編：かたち創造の百科事典、丸善出版、2012.1

［ＣＧーＲＴＳ協会 04］コンピュータグラフィックス編集委員会監修コンピュータグラフ

ィックス、ＣＧ－ＲＴＳ協会、2004

仮想化人体の可視化のためのCGの要点

1 対象は、3D医用画像

2 以下、原則として、
- 2．1 対象は人体、その一部
- 2．2 提示に使えるのは2次元の画面
- 2．3 濃度値、形状ともに重要
- 2．4 イメージングの範囲内での正確さ（原画像の持つ精度）は必要
- 2．5 リアリティには拘らない
- 2．6 入力は構造化はされていつとは限らない
- 2．7 可視化においては、計測を除けば、構造化を要求 しない

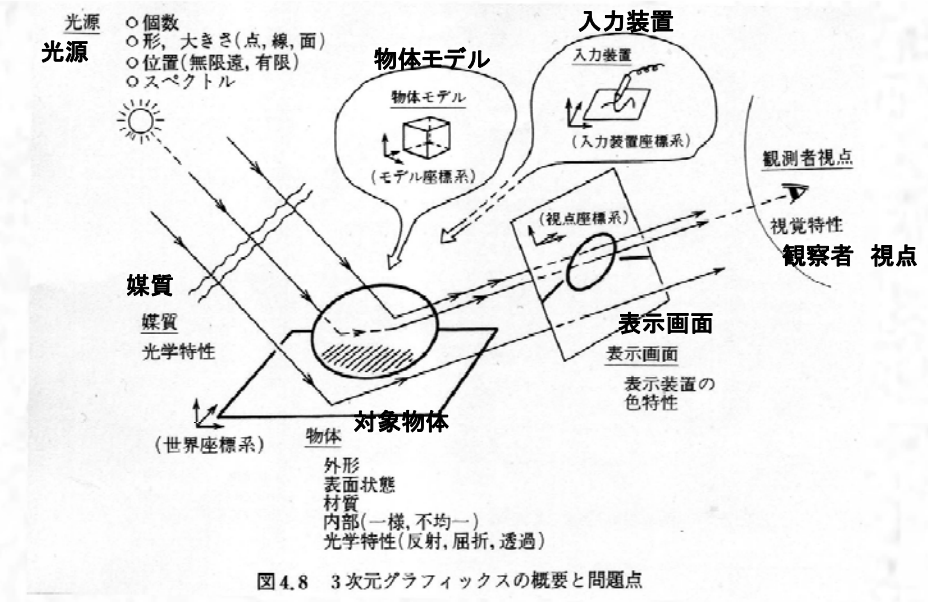
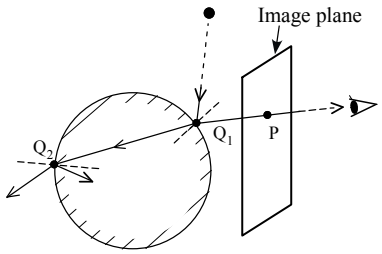
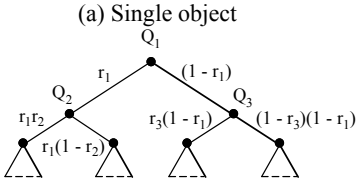


図4.8 3次元グラフィックスの概要と問題点

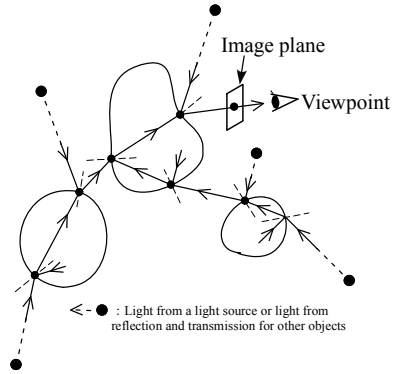
3D現実世界を表示するCGの全体像とモデル化の課題



(a) Single object

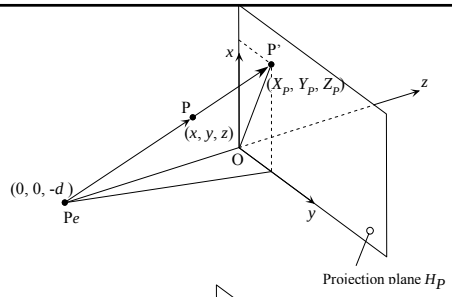


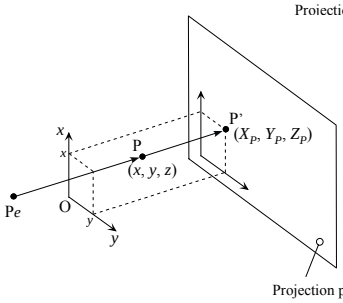
(b) Tree structure representing the ray tracing procedure. Q_1, Q_2, Q_3 are crossing points among a ray and an object, and r_1, r_2, and r_3 mean the index of reflection at each crossing point.



(c) Multiple objects

Fig. 7.10 Ray tracing.





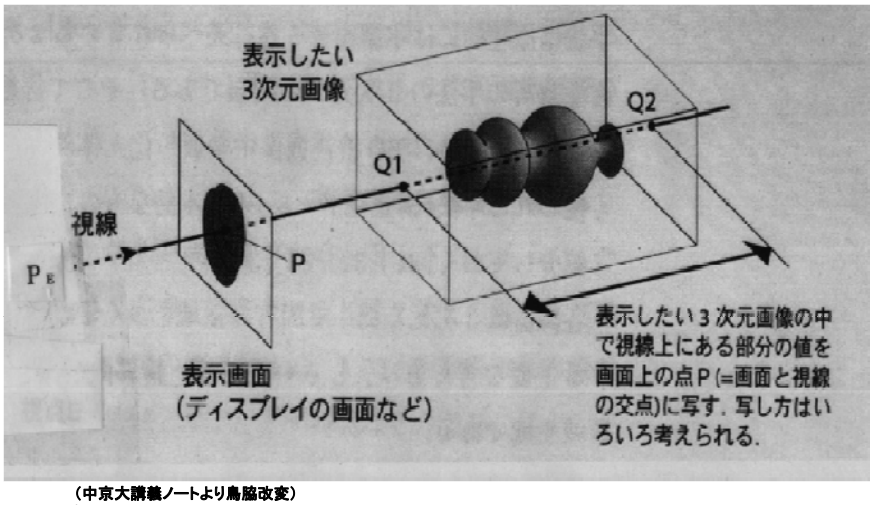
空間の点の平面への投影 （3D空間の一点を平面上のどこに描くか）

上：透視投影（変換） perspective projection

下：直投影（平行投影）: parallel (orthogonal) projection

実際のワイングラスの設計図面に基づいて、スプライン曲線の回転体として形状モデル
を作成。ガラスの屈折率を用いて、レイ・トレーシングで表示。床面もガラスにした。反射、屈折、
映り込み、背景の歪みなど、当時としては極めてリアルに表示して、驚かせた作品である。
（堀内、安田、横井、鳥脇、1980年代）

濃淡値の投影と可視化



（中京大講義ノートより鳥脇改変）

ち

ボリュームレンダリングの基本的考え方

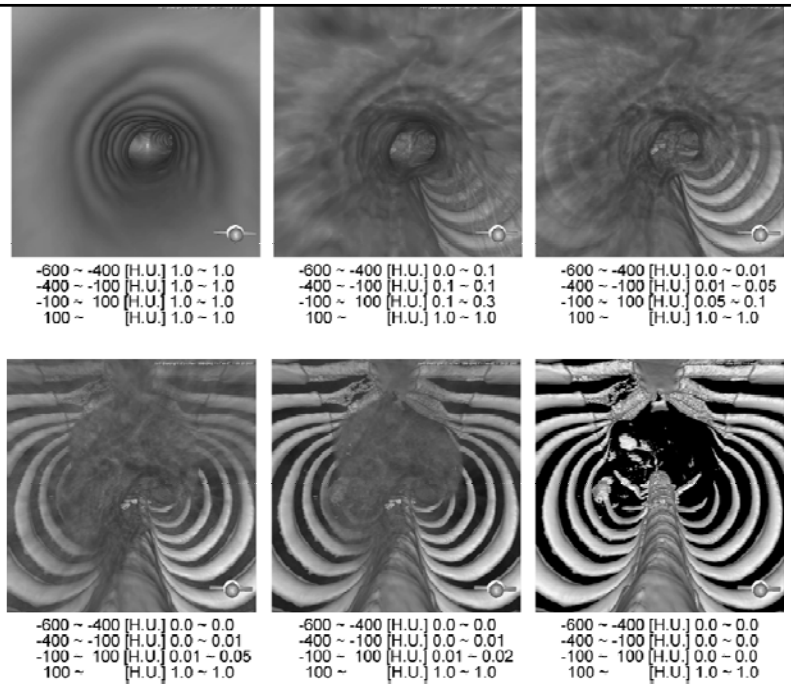
- $I_{out}(i) = I_{in}(i)\cdot(1-\alpha_i)+b_i\cdot\alpha_I$

$I_{in}(i)$ = 画素P_i迄に積算されてきた明るさ値

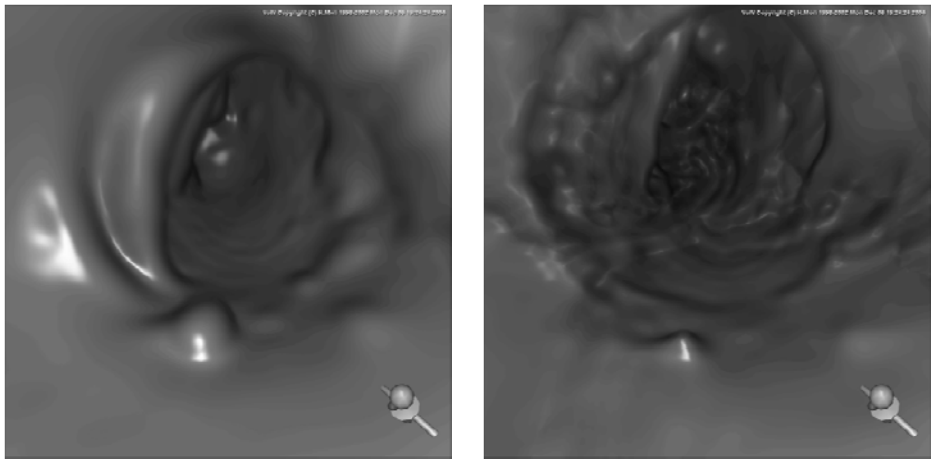
b_i =画素P_i 自身が持つ明るさ値

$I_{out}(i)$ = 画素P_i から次の画素に伝搬される明るさ値

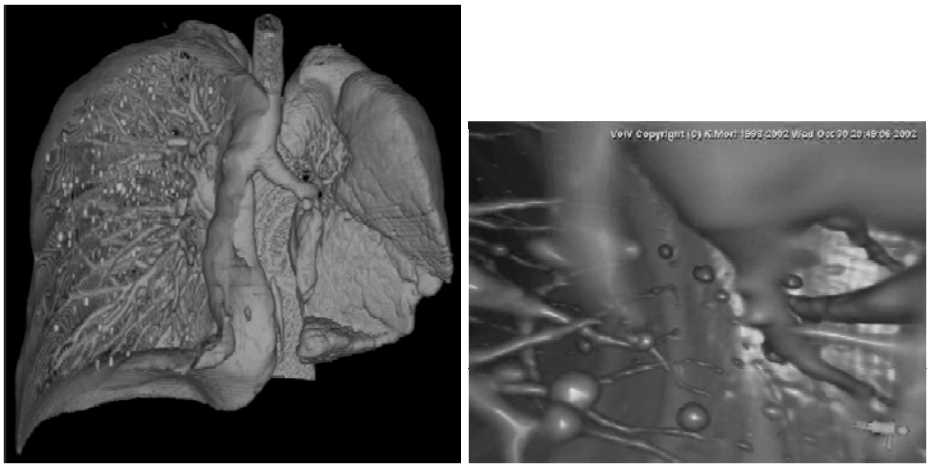
α_I = 定数



ボリューム・レンダリングにおける不透明度の効果　数字はCT値と不透明度(名古屋大 林他)

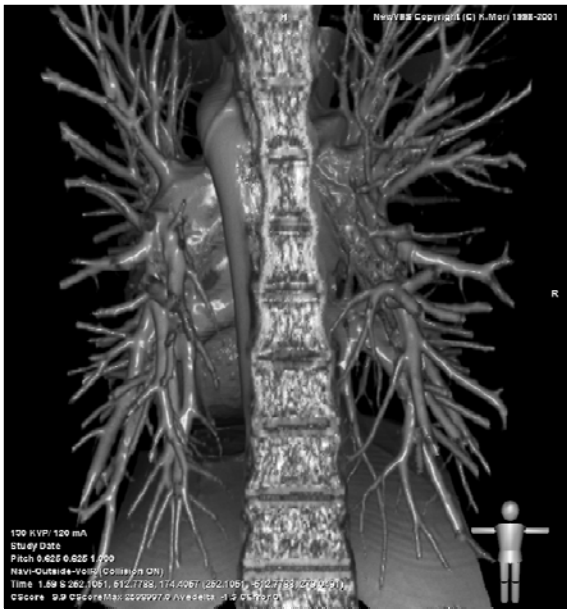


ボリュームレンダリングにおける不透明度パラメータの変化の効果
　仮想化大腸内視鏡の一画面。視点位置、視線方向、対象は全く同一であるが、内壁の見え方はかなり異なる。　（名古屋大　林、森、鳥脇）



5

ボリューム・レンダリングの例



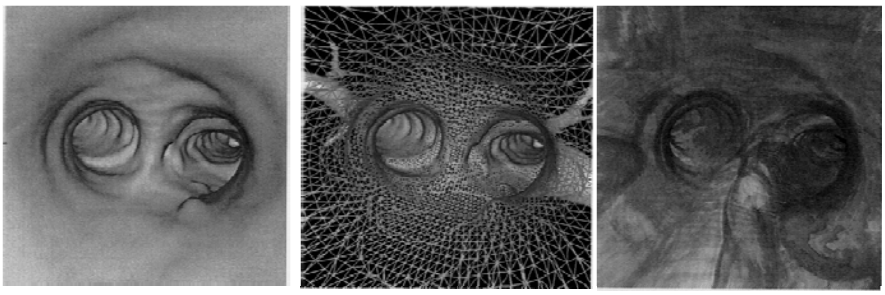


Fig. 7.15 Surface rendering and volume rendering applied the same object.
Left: Surface rendering with smooth shading
Center: Polygon model used in generation of the left image
Right: Volume rendering

第 76 回 形の科学シンポジウム 「経済・経営にみる形」

【会期】 2013 年 11 月 15 日(金), 16 日(土), 17 日(日)

【会場】青山学院大学 青山キャンパス
東京都渋谷区渋谷 4-4-25 電話：03-3409-8111（代表）

【主催】 形の科学会

【共催】 青山学院大学

【世話人】塩澤友規

【申込先 問合せ先】代表世話人 塩澤友規
〒150-8366 東京都渋谷区渋谷 4-4-25 青山学院大学経営学部経営学科
E-mail: forma.76th@gmail.com

【参加費】 会員・非会員ともに一般 3000 円、学生 1500 円

【懇親会】 2013 年 11 月 16 日（土）18:15-20:15

プログラム

11 月 15 日（金）

13:00-13:05 開会の辞

形の科学一般

13:10-13:35 「花紋折り」の展開図の自動作成
大西俊弘（龍谷大学）

13:35-14:00 幾何学的拘束条件下での拡散現象
小川直久（北海道工業大学）

14:00-14:20 確率微分方程式におけるサロゲート解析を用いた非線形性の検討
森柚樹, 平田隆幸, 高田宗樹（福井大学工学部知能システム工学科）

（14:20-14:35 休憩）

形の科学一般

14:35-14:55 立体映像視聴時における胃電図への影響
木下史也[1],松浦康之[2],平田隆幸[1],高田宗樹[1]
（[1]福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻, [2]名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科）

14:55-15:15 帯電振子群の集団現象
松岡 伶[1], 庄司多津男[1], 秦 浩起[2]（[1]名古屋大学大学院工学研究科, [2]鹿児島大学理学部）

15:15-15:40 Symptoma を活用した円錐曲線の作図法
杉本 剛（神奈川大学）

（15:40-15:55 休憩）

招待講演

15:55-16:55 人々の心を可視化する
―アンケート調査によるアプローチ―
亀坂安紀子（青山学院大学）

（16:55-17:10　休憩）

討論会

17:10-18:40　形の科学の未来を語る討論会

11 月 16 日（土）

経済・経営にみるかたち/形の科学一般

10:10-10:30　モーレーの定理の系

蛭子井博孝（卵形線研究センター）

10:30-10:50　巣と餌場を結ぶクロオオアリの経路選択挙動の研究

北村和宏 [1]，石渡信吾 [2]，平山 修 [1]（[1] 東京農工大学，[2] 横浜国立大学）

10:50-11:15　色つき点つなぎ法による整斉な書字イメージの形成

沓名健一郎，平田隆幸（福井大学大学院工学研究科）

11:15-11:35　長期為替レートにおける非線形解析

鈴木将平 [1]，平田隆幸 [2]，高田宗樹 [2]（[1] 福井大学工学部知能システム工学科，[2] 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻）

11:35-12:00　自然と社会における分岐系の解析

高木隆司（神戸芸術工科大学）

（12:00-12:15　休憩）

形の科学一般

12:15-12:35　Burridge - Knopoff モデルの実験における複数アスペリティブロック間の相互作用

川崎祐樹，奥山裕也，平山 修（東京農工大学）

12:35-13:00　球面上のチューリング・パターンの基本的な構造

吉野 隆 [1]，松岡 篤 [2]（[1] 東洋大学理工学部，[2] 新潟大学）

13:00-13:25　チューリング・パタンと中生代放散虫 *Pantanellium* の殻形成

松岡 篤[1], 吉野 隆[2], 岸本直子[3],石田直人[1], 栗原敏之[1], 木元克典[4]([1]新潟大学, [2]東洋大学, [3]摂南大学, [4](独)海洋研究開発機構)

（13:25-15:00　休憩）

招待講演

15:00-16:00　経営における三つのカタ

吉田孟史（青山学院大学経営学部）

（16:00-16:15　休憩）

16:15-16:55　最近の円ドル為替レートの数理モデル

高田宗樹(福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻)

（16:55-17:10　休憩）

展示/ジュニアセッション

17:10-17:15　準周期構造の折り紙モデル

石原正三(埼玉県立大学 保健医療福祉学部)

17:15-17:20　形典・形譜による造形プロセスと作品

山崎明史[1], 坪谷彩子[2], 石垣健[3]([1]日本大学芸術学研究科, [2]女子美術大学, [3]COMA DESIGN STUDIO)

17:20-17:25　モーレーの定理の系

蛭子井博孝（卵形線研究センター）

17:25-17:30　重力の影響を受けるキャベツの葉

根岸利一郎, 関口久美子, 高畑一夫（埼玉工業大学)

17:30-17:35　DNA ナノエンジニアリングにおけるビジュアライゼーション

吉澤 慧, 藤原 慶, 野村 M. 慎一郎, 村田 智（東北大学工学部）

17:35-17:40　目に見えない集団の「ココロ」を、見える「カタチ」に。

山口達也(KEEPAD JAPAN　ICT サポート)

17:40-17:45　奥出組木が作る形

阿竹克人（株式会社 阿竹研究所）

17:45-17:50　佐渡島沢根層から産出した珪藻化石の分類と産出頻度

坂本悠莉（新潟第一中学校）

17:50-17:55　球の研究　球はほかの立体といかにちがうか

ベリクヴィストあかり(東京都品川区立小山台小学校)

17:55-18:00　福井県産ジュラ紀アンモナイト *Pseudoneuqueniceras yokoyamai* の肋の種類と配列順序

白井総真（新潟市立中野小屋中学校）

（18:15-20:15 懇親会）

11 月 17 日（日）

形の科学一般

10:00-10:25　新平均律の提案
　阿竹克人（株式会社 阿竹研究所）

10:25-10:50　ランダムポーラスフォトニック結晶の構造色解析
　植田 毅（東京慈恵会医科大学 物理学研究室）

10:50-11:15　Boerdijk–Coxeter helix の転がりに関する研究
　伊藤圭汰，手嶋吉法（千葉工業大学 機械サイエンス学科）

（11:15-11:30　休憩）

形と知

11:30-11:55　迷彩再考
　中村健蔵（MathArt 作家）

11:55-12:20　組みひもかくはん図形
　山口喜博（帝京平成大学）

12:20-12:45　形典と形譜について
　石垣 健（COMA DESIGN STUDIO）

12:45-12:50　閉会の辞

「花紋折り」の展開図の自動作成

大西俊弘
龍谷大学、滋賀県大津市瀬田
t-onishi@rins.ryukoku.ac.jp

Kamon-ori development diagram desingner

Toshihiro Onishi
Ryukoku University、Otsu Shiga-pref. Japan

Abstract: Kamon-ori is special origami. Kamon-ori needs precise drawing.
"Kamon-ori Designer" draw Kamon-ori diagram automaticaly by GeoGebra.

Keywords: kamon-ori , origami , Geogebra , development diagram

１．はじめに

「花紋折り」は、折り紙研究家の内山光弘（本名：内山道夫）が考案した折り紙の１種で、日本民芸館館長の柳宗理[(1)]の支援を得て、昭和 40 年頃から広く世に知られることになった。正方形の用紙を用いる通常の折り紙とは異なり、「花紋折り」では正多角形の用紙を用い、内部に正多角形の折り線を描いて、ねじり折りの技法で折りあげるものである。

「花紋折り」によって美しい花びら模様を折りあげることができるが、折り線を描く際には、分度器や定規を用いて正確な製図が要求されるため、なかなか普及しなかったものと思われる。本研究では、各種のパラメータを指定することで、花紋折りの展開図を自動描画し、同時に完成形もシミュレーションするシステムを開発する。

２．花紋折りの展開図

「花紋折り」は、任意の正多角形で製作可能であるが、正六角形の基本形の場合を例に挙げて、展開図（折り図）の描き方について解説する。（図１参照）

①正六角形を描く
②正六角形の内部に、（同心円状に）底面となる正六角形を描く（山折り線）
③底面となる正六角形の（一番長い）対角線の延長線を引く（山折り線）
④底面となる正六角形の辺を延長して、③で描いた線に平行な線を引く（谷折り線）

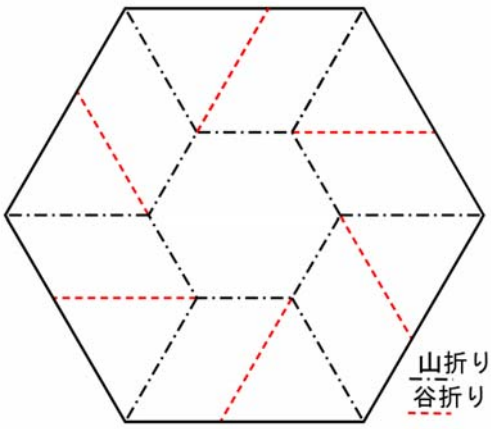


図１　花紋折りの展開図（正六角形・基本形）

「花紋折り」では、正多角形であれば何でもよく、底面となる正多角形の大きさ変えることにより、完成形の模様は変化する。また、図２のように、底面となる正多角形は、外側の正多角形に対して回転していてもよく、回転角によっても完成形の模様は変化する。模様の変化の様子を図３に示す。

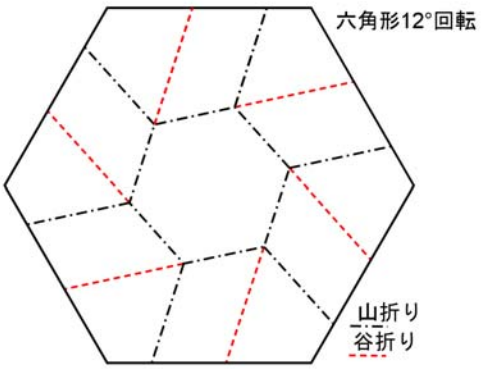


図２　底面を回転させた場合

図３　模様の変化の様子[(2)]

また、「花紋折り」の展開図は、例えば外側が正八角形で内部が正六角形といったように、異なる正多角形の組み合わせでも描くことができる。このように、展開図を描く際のパラメータが多く形の変化に富むことが「花紋折り」の特徴である。その一方、製図作業を非常に大変なものとなり、普及を妨げている。

動的幾何ソフト「GeoGebra」を用いて、花紋折りの展開図を自動的に描けるようにしたのが、図４に示す「花紋折り展開図デザイナー」である。パラメータを変化させると、展開図が自動描画され、そのときの完成形の模様も横に表示される。このソフトを用いることによって、模様のシミュレーションをすることが可能となる。

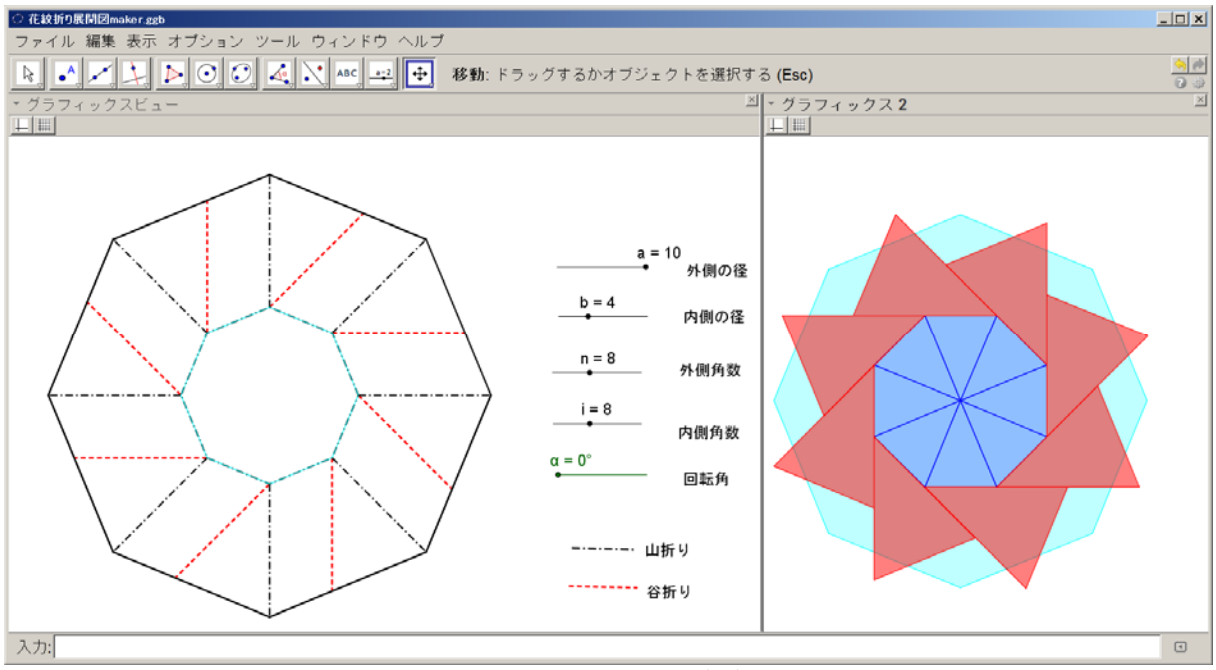


図４　花紋折り展開図デザイナー

【参考資料】

（１）柳宗理　「花紋折り一内山光弘の世界」　（芸艸堂、民芸叢書 第三巻）
（２）松崎雅夫「ゆうゆう亭」花紋折りの世界
http://homepage3.nifty.com/youyoutei/kamon.htm
（３）紙工芸技法大事典　上　「花紋折りをする」　（東陽出版）
（４）中沢千枝子　「花紋折り・基礎から応用まで」　（情報研究会）
（５）佐久間 八重女，佐久間彪子　「新版　古典折り紙」　（平凡社）
（６）「美しき哉、花紋折り」　季刊「をる」　1994 年秋号 No.６　（双樹舎）

幾何学的拘束条件下での拡散現象

小川直久
北海道工業大学　006-8585 札幌市手稲区前田 7 条 15 丁目
ogawanao@hit.ac.jp

Diffusion under Geometric Constraint

Naohisa Ogawa
Hokkaido Institute of Technology,
7-15, Maeda, Teine-ku, Sapporo 006-8585 Japan

Abstract: 生物細胞やゼオライト、多孔質媒体での触媒反応などにおいて、チューブ内の拡散が問題となる。断面積が変化するようなチューブについては、Channel Model があり、多くの研究があるが、一方断面の形状は変わらずとも、中心軸が曲率を持つような場合については何の考察もなかった。本論では、この場合の有効拡散係数を求め、さらにその拡張版として、二次元曲面に厚みがある場合の拡散現象を考察する。

Keywords: Diffusion, Tube, Curvature, Torsion, Constraint

§ 1　Motivation

多孔質媒体における拡散現象を扱う際には、断面積が変化するようなチューブ内拡散（図 1）の考察が必要不可欠で、多くの一連の研究の流れがある。[1] Zwanzig らによれば、図に示すような構造のチューブにおいて、有効拡散係数を求めると、

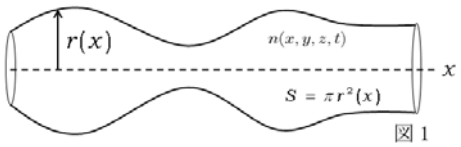


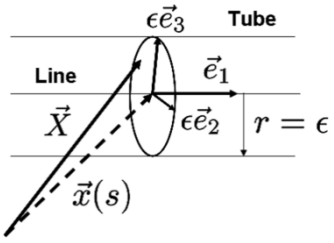
図 1

$$D(x) = \frac{D_0}{(1 + r'(x)^2)^{1/2}}$$

となる。（ただし通常の拡散定数をD_0と置いた）では断面の形は一定だが中心軸が曲がって曲率や戻率を持つ場合はどうか？これについては何ら議論がなされないままであった。

§ 2　有効拡散方程式

チューブの中心線上に長さのパラメータ s をとり、この線からのシフトを座標(q_2, q_3)で表わす。
チューブ内の任意の点の座標は図 2 にあるように X で表わされ、この曲線座標で、拡散方程式を書き下し、同一断面内で両辺を積分する。断面内部での揺らぎについて、



$$\vec{X}(s, q^2, q^3) = \vec{x} + q^2\vec{e}_2 + q^3\vec{e}_3$$

マルコフ近似を用いて処理すると、揺らぎの有無にかかわらず、1 次元有効拡散方程式は

$$\frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} D_{eff} \frac{\partial}{\partial s} \phi^{(1)}$$

但し、有効拡散係数は

$$D_{eff}(s) = 2D_0 \frac{1-\sqrt{1-(\kappa(s)\epsilon)^2}}{(\kappa(s)\epsilon)^2}$$

によって与えられる。

ここで$\kappa(s)$は、位置 s における中心曲線の曲率である。講演では、なぜ有効拡散係数が曲率に依存し、特に曲率が大きいほど大きな値になるかについて明確な解釈を与える。

§3　平均自乗偏差

またこのとき平均自乗偏差の時間依存性が計算できる。

トーラスや、ヘリックスのような定曲率のチューブに関しては、

$$<(\Delta s)^2> = 2 < D_{eff} > t$$

のように簡単な形になるが、定曲率ではないチューブ：$d\kappa/ds \neq 0$の場合については、短時間展開のみが可能であり、

$$<(\Delta s)^2> = a_1 t + a_2 t^2 + \cdots$$

展開係数は、曲率と曲率の微分で表わされる。

$$\begin{aligned} a_1 &= 2D_{eff} = 2D\{1 + \frac{1}{4}(\kappa\epsilon)^2 + \frac{1}{8}(\kappa\epsilon)^4 + \frac{5}{64}(\kappa\epsilon)^6 + \cdots\}, \\ a_2 &= 3D''_{eff}D_{eff} + D'^2_{eff} \\ &= D^2\epsilon^2(\kappa''\kappa)(\frac{3}{2} + \frac{15}{8}(\kappa\epsilon)^2 + \frac{63}{32}(\kappa\epsilon)^4 + \cdots) \\ &\quad + D^2\epsilon^2\kappa'^2(\frac{3}{2} + \frac{41}{8}(\kappa\epsilon)^2 + \frac{283}{32}(\kappa\epsilon)^4 + \cdots). \end{aligned}$$

これは、リーマン空間で拡散方程式を考えたときに生じる一般的な現象で、その場合には展開係数はリーマン曲率を組み合わせて得られるスカラー量として与えられる。[2]

以上の内容については[3]に報告されている。一方、以上の現象を、「1 次元曲線＋厚み」の空間における有効拡散方程式とみなすと、同様にして「2 次元曲面＋厚み」の空間における有効拡散方程式への拡張が考えられる。[4]　この場合においては、単純に拡散係数が変化するのみではなく、拡散係数はテンソルとなり、曲率の勾配によって生じるアノーマラスな拡散流も現れる。これらの話題についても簡単に紹介する予定である。

[1] P. S. Burada, P. Hänggi, F. Marhesoni, G. Schmid, and P. Talkner, ChemPhysChem **10** (2009) 45-54 (also see references therein); R. Zwanzig, J. Phys. Chem. **96** (1992) 3926-3930.

[2] P. Castro-Villarreal, J. Stat. Mech. (2010) P08006 (also see references therein).

[3] N. Ogawa, to be published in Physics Letters A on August 2013.

[4] On Diffusion in membrane with thickness: Y. Gambin, R. Lopez-Esparza, M. Reffay, E. Sierecki, N. S. Gov, M. Genest, R. S. Hodges, and W. Urbach, Proc. Nat. Acad. Sci. **103** (2006) 2098-2102, N. Ogawa, Phys. Rev. **E81** (2010) 061113.

確率微分方程式におけるサロゲート解析を用いた非線形性の検討

森柚樹 [1] 平田隆幸 [1] 高田宗樹 [1†]

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

E-mail: takada@u-fukui.ac.jp[†]

Evaluation of Nonlinearity in Stochastic Differential Equations using Surrogate Analysis

Yuuki Mori [1], Hirata Takayuki[1], Takada Hiroki[1†]

1 Department of Human and Artificial Intelligent Systems,

Graduate School of Engineering, University of Fukui

Abstract: Human beings, as part of their intelligence evolutions, essentially use and control nonlinear systems both within their bodies and as part of social networks. Biosignals are one such example of a nonlinear system. An effective tool to evaluate nonlinearity in a mathematical model generating time series of intelligent systems is surrogate analysis. Existence of nonlinearity in the model is evident only in the case of a null hypothesis, as the time series generated by a linear system are rejected. In this simulation study, we obtained numerical solutions for van der Pol oscillators with noise terms and evaluated the nonlinearity of the model in accordance with surrogate analysis. Translation errors in the numerical solutions and their surrogate time series were estimated using Wayland algorithm and our proposed Double-Wayland algorithm. Through this process, we were able to evaluate the nonlinearity of the mathematical model in accordance with the surrogate analysis irrespective of the presence of noise contamination. In conclusion, the Double-Wayland algorithm is considered more useful than the Wayland algorithm for employing the surrogate analysis for systems with high nonlinearity.

Keywords: Wayland algorithm, Method of Surrogate, Stochastic differential equation

1. はじめに

時系列を記述する数理モデルを提案する際、定常性や自由度などといった数理モデルの性質を明らかにする必要がある。その際、時系列データは非線形解析によって多面的に評価される。確率過程から生成される時系列が低次元カオスに類似した性質を示すことがあり[1-4]、時系列の解析結果の信頼性を統計的に検証する方法として導入されたのがサロゲート法である[5,6]。サロゲート法は時系列データの非線形性を示すことができる。オリジナル時系列データをシャッフルして代理時系列を作成するときに、ある統計量を保存するための拘束条件をおく。カオス系がもつ重要な性質の一つに非線形性がある。本研究で用いるフーリエ変換型サロゲート(FS)法は、この性質に関するものであり、オリジナルのパワースペクトルを保存するように代理時系列が生成される。

生体などの分野で扱われる時系列データには外部からのノイズが強く影響していることが考えられる。そこで本研究では非線形微分方程式にノイズ項を負荷させた確率微分方程式を数理モデルとし、ノイズが負荷された数理モデルの非線形性をサロゲート法によって示すことが可能かどうか検討を行った。

2. 方法

2.1. 解析方法

本研究で用いる FS 法は観測された代理時系列を生成する線形確率過程の存在を帰無仮説として提示する。ある非線形統計量を推定して、帰無仮説を検定し、帰無仮説を棄却することで、時系列信号の生成子における非線形性を示す。統計量（並進誤差）の推定には Wayland アルゴリズム[7]を用いる。時系列における決定論性の程度を定量的に評価するため、アトラクタの次元を直接求めないにも関わらず有用な知見をもたらす。また、このアルゴリズムを改良した Double-Wayland アルゴリズム[8]は、時系列に畳重しているノイズの影響を受けにくい。

2.2. 数値解析

本研究では、van der Pol 方程式系

$$\dot{x} = -y + \lambda(1 - y^2)x \tag{1.1}$$

$$\dot{y} = x \tag{1.2}$$

に白色雑音 w_1, w_2 を付加した確率微分方程式系

$$\dot{x} = -y + \lambda(1 - y^2)x + \mu w_1 \tag{2.1}$$

$$\dot{y} = x + \mu w_2 \tag{2.2}$$

を数理モデルとして数値解の生成を行った。独立

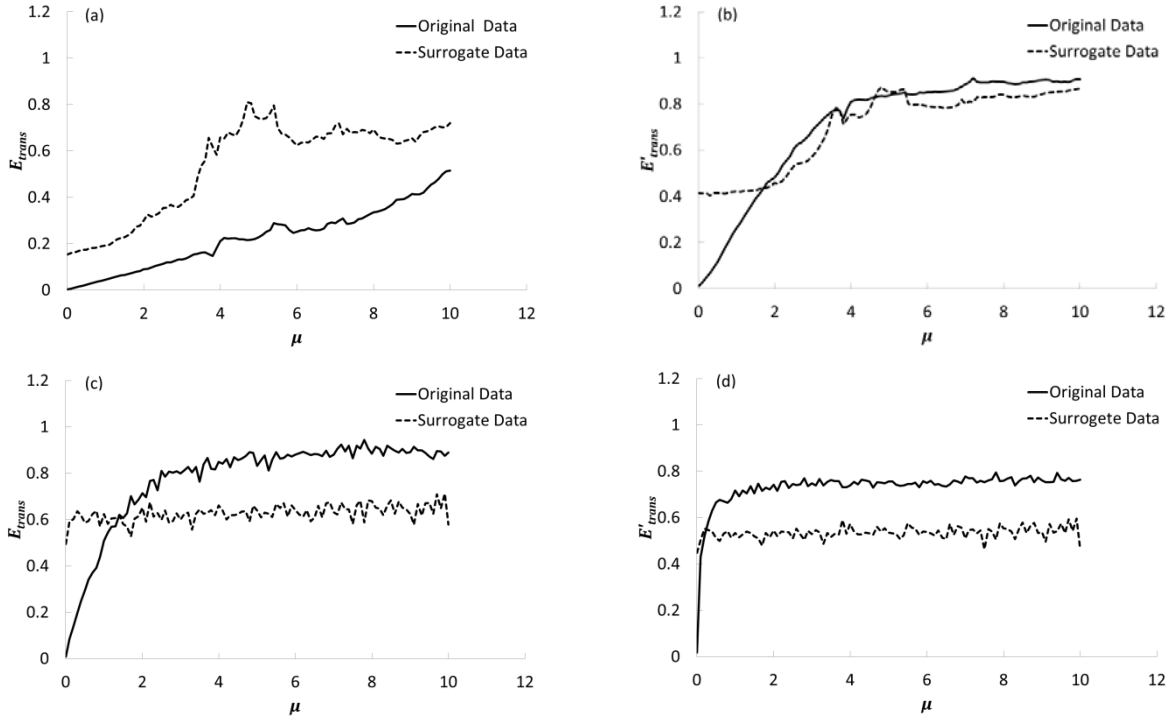


Fig.1 ノイズ強度 μ と並進誤差(Median)の関係 (a): λ =0.5 (b): λ =0.5 (c): λ =5 (d): λ =5

な白色雑音 w_1, w_2 は Mersenne Twister 法[9]にて生成した一様乱数にて与え、ノイズ強度 μ を 0-10 の整数の範囲で変化させた。時間ステップを 0.005、初期値を (0, 1) にとり、λ を 0.5, 5 とし 50960 ステップ確率微分方程式の数値解を得た。10000 ステップ以降の数値解についてリサンプリングを行い、長さ N=2048 のオリジナル時系列を 20 系列生成した。それぞれの時系列に対して、FS 法によりサロゲート時系列を生成し、オリジナル時系列およびサロゲート時系列に対して Wayland アルゴリズムおよび Double-Wayland アルゴリズムを適用し並進誤差を推定した。本研究では Wayland アルゴリズムで推定された並進誤差を E_{trans}、Double-Wayland アルゴリズムにより推定された並進誤差を E'_{trans} と表記する。

3. 結果・考察

ノイズ強度 μ と並進誤差 E_{trans} および E'_{trans} の関係を Fig.1 に示す。ここで、並進誤差は 1 次元から 10 次元の埋め込み空間で推定された並進誤差の中間値を用いた。

μ=0 の時オリジナル時系列とサロゲート時系列の並進誤差は E_{trans} および E'_{trans} 共に λ=0.5,5 において有意差がみられた。λ=0.5 の時 E_{trans} は μ が大きくなっても常に有意差がみられたが、E'_{trans} では明確な差がみられる区間とみられない区間が存在した。λ=5 の時は E_{trans} に対して E'_{trans} の方がオリジナル時系列とサロゲート時系列の明確な差異がみられる区間が多かった。

時系列の非線形性が低いとき Wayland アルゴリズムによって求めた並進誤差はノイズ強度が強くてもオリジナル時系列とサロゲート時系列の有意差を得ることができる。一方、Double-Wayland アルゴリズムで推定した並進誤差ではノイズの影響の大きい時系列データのオリジナル時系列とサロゲート時系列の明確な差異を判別するのは難しい。時系列の非線形性が高くなると Double-Wayland で推定した並進誤差によってノイズ強度に依存せずにオリジナル時系列とサロゲート時系列の差異を判別することができる。従って、ノイズに汚染させた時系列データはサロゲート法によって非線形性を示すことができる。そこでは、非線形統計量（並進誤差）の推定を複数の方法で行い、比較検討することが重要である。

文　献

[1] A.R.Osborne,and A.Provenzale,Phys.D,35, pp.357-381,(1989).
[2] P.E.Rapp,Bioligist,40,pp.89-94,(1993).
[3] P,.E.Rapp,A.M.Albano,T.l.Schmah,and L.A.Farwell,Phys.Rev.E,47,pp.2289-2297,(1993)
[4] J.Theiler,Phys.Lett.A,155,pp.480-483,(1990).
[5] 松本隆,徳永隆治,宮野尚哉,徳田功,カオスと時系列,培風館,(2002).
[6] J.Theiler,S.Eubank,A.Longtin,B.Galdrikian, And J.D.Farmer,Phys.D,58,pp.77-94,(1992).
[7] R.Wayland,D.Bromley,and D.Pickett, Phys.Rev.Lett,70,pp.530-582,(1993).
[8] H.Takada,Y.Simizu,H.Hoshita.and T,Shiozawa, Bulletin of Society for Science on From, 17,pp.301-310,(2005).
[9] M.Matsumoto,and T.Nishimura, ACM Trans.on Modeling and Computer Simulation, 8,pp.3-30,(1998).

立体映像視聴時における胃電図への影響

木下史也[1]　松浦康之[2]　平田隆幸[1]　高田宗樹[1†]
1 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1
2 名古屋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畑 1
E-mail: takada@u-fukui.ac.jp†

Effects of Viewing a Stereoscopic Film on Electrogastrograms

Fumiya Kinoshita[1], Yasuyuki Matsuura[2], Takayuki Hirata[1], Hiroki Takada[1†]
Department of Human and Artificial Intelligent Systems,
Graduate School of Engineering, University of Fukui[1]
Graduate School of Natural Sciences, Nagoya City University[2]

Abstract: Recent years have witnessed rapid advancements in image processing and three-dimensional (3-D) technologies; consequently, stereoscopic images are being viewed not only on television but also in theaters, on gaming consoles, etc. The human equilibrium function deteriorates when we view 3-D films, as a result of which we may experience motion sickness. In this paper, we investigate whether the degree of such visually induced motion sickness can be measured on the basis of gastrointestinal electrical activity recorded as an electrogastrogram (EGG). EGGs were analyzed using spectrum analysis methods, the maximum Lyapunov exponent, and the translation error in order to evaluate gastrointestinal motility and autonomic nervous system activity. The results indicate that the translation error increases significantly while viewing a 3-D film.

Keywords: Electrogastrogram (EGG), Visually Induced Motion Sickness (VIMS), Translation Error

1. はじめに

近年、立体映像表示技術の向上にともない、映画や家庭用テレビ、ゲーム機などで立体映像は我々の日常生活に浸透している。しかし、立体映像の普及の一方、立体映像の視聴による健康上の影響が懸念されている[1]。立体映像は、その視聴画像や視聴条件などにより、頭痛や嘔吐、眼疲労などの不快な症状を引き起こすことが報告されている。しかし、立体映像による身体への影響については知見が十分ではない。そのため、実証研究を蓄積させることは、立体映像の安全な視聴を可能とするためには不可欠である。

胃腸の電気活動を測定する方法の一つとして経皮的胃電図(Electrogastrogram)が存在する[2]。胃電図は、胃腸活動にともなう電気活動を腹部表面の誘導電位として測定するものであり、他の消化管機能測定法に比べ、非侵襲で測定できるため、長時間測定が可能である。胃や小腸にも心臓のように規則的な電気活動がみられる。胃の電気活動を司るペースメーカーは胃体上部 1 / 3 大彎側に存在し、ここからヒトでは 1 分間に約 3 回の波 (3 cycle per minute, cpm)が幽門部に向かって電気活動を伝播している。このペースメーカーは副交感神経活動の支配を受けているが、自発的に周期的電気活動を起こしている。これは Cajal の間質細胞、または Cajal の介在細胞 (Interstitial cells of Cajal, ICCs) と呼ばれる細胞群のネットワークによる[3-4]。

本研究では立体映像視聴が胃腸の電気活動へ与える影響について 2D 映像視聴時の結果と比較することによって検証する。また、2 つの非線形解析指標（時系列を生成するアトラクターの複雑性を解析する最大リアプノフ指数[5], Wayland アルゴリズムから統計量として推定される並進誤差 E_{trans} [6]）を用いて定量的に評価を行った。

2. 方法

2.1. 実験方法

被験者は、23-24 歳の健康な若年男性 7 名(22.3 ± 0.8 歳, 平均±標準偏差) を対象とした。被験者には事前に実験の説明を十分に行い、書面にて了承を得た。

実験は座位にて行い、安静 20 分間の後、映像視聴開始から 60 分間の胃電図を記録した。映像は被験者から 1.5 m の距離に目の高さが中心になるよう設置された 40 インチディスプレイ(KDL-40HX80R: SONY)上に両眼立体視映像およびその片眼視用の 2D 映像を提示した。映像の提示はランダムとし、実験は各被験者で別日に行った。胃電図は 8 チャンネル単極誘導で測定を行い、それぞれ生体アンプ(MT11: NEC メディカル)で増幅し、データレコーダ(PC216Ax: SONY)に記録した。胃電図は、心電図用ディスポーザブル電極(ビトロード Bs: 日本光電)を使用し、図 1 に示すように貼付した。

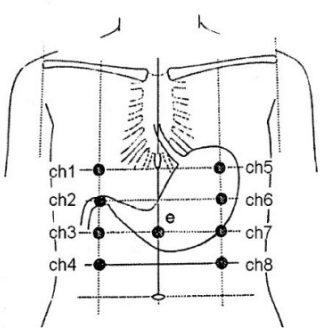


図 1　胃電図電極貼付位

2.2. 解析方法

本研究では記録した胃電図に 1 kHz で AD 変換を行うことで、時系列データを得る。筋電位や周りの電子機器からの混入した雑音を除去するために、得られた時系列データに広域遮断周波数 0.15 Hz のローパスフィルタを適用して高周波成分を除き、さらに 1Hz で再サンプリングした。抽出した時系列は 1024 秒(約 17 分)の時間窓を 300 秒(5 分)間隔で移動させて分割し解析を行った。解析区間(測定開始後 t 秒から t+1024 秒)のうち開始時分(t/60 分)をその解析区間の代表値として以下では記載する。

解析には周波数解析、最大リアプノフ指数、並進誤差を用いた。周波数解析では、分割された胃電図データそれぞれに高速フーリエ変換を行いパワースペクトルを求めた。胃電図の周波数特性を比較する際に、胃電図は正常周期が 2.4-3.7cpm とされ、2.4 cpm より遅い周期は bradygastria、3.7 cpm より速い周期は tachygastria とされることから[7]、それらの周波数帯域での積分値に着目し、スペクトルのピーク周波数、及びピーク周波数のパワー値を算出した。また、胃電図の周波数帯域に加え小腸の周波数帯域(8-10 cpm) についても同様に解析を行った。最大リアプノフ指数では、Rosenstein の方法を用いて解析を行った[6]。Wayland アルゴリズムから推定される並進誤差は位相空間に埋め込まれたアトラクターの軌道の滑らかさを定量的に評価する指標である[5]。

統計解析は、算出された解析指標について、安静時の結果と映像視聴時の結果を Wilcoxon の符号付き順位和検定を使用した。本研究では有意水準を 0.10 とした。また、2D 映像視聴時と立体映像視聴時の同時刻での結果についても同様に統計解析を行った。

3. 結果・考察

2D 映像、立体映像視聴時におけるペースメーカー付近(ch5)の胃電図波形から、いずれの胃電図にも正常な周期変動(2.4-3.7 cpm)がみられ、腸管の電気活動由来の成分が重畳されている。

3.1. 周波数解析

正常周波数帯域では、立体映像視聴時に ch2-5 の 0 分時でピーク周波数のパワー値が視聴前に比べ有意に増加した($p<0.10$)。ピーク周波数のパワー値において、2D 視聴時と立体映像視聴時の同時刻をそれぞれ比較すると 0-5 分時の腸付近のチャンネル(ch7,ch8)で 2D 映像視聴時の値が有意に大きくなった($p<0.10$)。

3.2. 最大リアプノフ指数

2D 映像、立体映像視聴時のチャンネル間で最大リアプノフ指数の時間変化を比較するといずれも 0.7 近傍で値が変動していた。2D 映像視聴時において ch1,3,6-8 で最大リアプノフ指数の値は視聴前に比べて減少した。結腸に近い ch7,8 では映像視聴開始直後から値の減少がみられた($p<0.10$)。立体映像視聴時ではすべてのチャンネルで 2D 映像視聴時にみられた値の減少はみられなかった。

3.3. 並進誤差

0-5 分時の 2D 映像視視聴時において胃を囲むチャンネル(ch2,3,5-7)で並進誤差の値は視聴前に比べ有意に減少した($p<0.05$)。また、10 分時以降には並進誤差の値の減少はみられなかった。立体映像視聴時では 10-15 分時において ch3,6,8 で視聴前に比べ並進誤差の値は有意に増加した($p<0.05$)。また、2D 映像視聴時と立体視聴時の同時刻をそれぞれ比較すると 0-25 分時における ch2-8 で並進誤差の値は立体映像視聴時の方が有意に大きくなった($p<0.10$)。このことから、立体映像の視聴では胃の電気活動をより不規則にする傾向がみられた。

4. まとめ

本研究では、立体映像視聴が胃電図に及ぼす影響を 2D 映像視聴時の結果と比較することによって検討を行った。その結果、周波数解析、非線形解析において 2D 映像視聴と立体映像視聴では映像視聴開始 0-5 分時の間で検討項目に差が多くみられた。また、副交感神経の支配を受けている胃の電気活動は、正常周波数帯域でのピーク周波数のパワー値の結果から、映像の差異により自律神経活動が変化する傾向がみられた。

文　献

[1] International standard organization, “IWA3:2005 Image safety-Reducing determ inism in a tim e ser ies”, Ph ys. Rev.Lett.(70),pp.530-582,1993.
[2] W. C. Alva rez : The electrogastrogram an d what is shows. Journal of th e Amer ican Medical Association, pp.78, pp.1116-1119, 1922.
[3] Berne RM, Levy MN : 生理学第 3 版, 西村書店,東京, pp.529-544, 1996
[4] Homma S : Isopower mapping of the erectrogastogram (EGG), J Auton Nerv Syst, pp.62, pp.163-166, 1997
[5] R. W ayland, D. Brom ley, D. P ickett, A. P assamante, Recognizing dete rminism in a time se ries, Phy s. Re v. Lett, 70, pp.580–582, 1993.
[6] S.Sato, M .Sano, Y .Sawada : pr actical methods of measuring the generalized dimension and th e largest Lyapunov exp onent in h igh dimensional chaotic systems, progress of theoretical physics, 77(1), pp.1-5, 1987.
[7] L. K. Ken neth, M. Rob ert: Handbook of Electro-gastrography, Oxford University Press, Oxford, 2004.

帯電振子群の集団現象

松岡　伶†　庄司　多津男†　秦　浩起‡

†名古屋大学大学院工学研究科　〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
‡鹿児島大学理学部　〒890-8580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目 21 番地 24 号
E-mail:　†matsuoka-rei12@ees.nagoya-u.ac.jp

Collective Phenomena in Charged Oscillators

Rei MATSUOKA†　Tatsuo SHOJI‡ and Hiroki HATA‡

† Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan
‡ Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto, Kagoshima, 890-8580, Japan

Abstract　Interacting ch arged oscillator syste m is d eveloped t o inv estigate co llective ph enomena related t o synchronization. The oscillators are made up of pendulums with metal balls placed in-between parallel electrodes where the high voltage is applied. The synchronization of the oscillations is controlled by the voltage and the length of pendulums.

Keywords C harged oscillator, Synchronization , Collective-Phenomena

1. 同期現象・非活性化の研究

同期現象は，心筋細胞の収縮や小腸の蠕動運動，視覚情報，ロボットの歩行，結合されたジョセフソン接合素子など領域を超えて広く普遍的に存在し，工学的応用にもつながる現象であるといえる．その中でも，非活性素子の増加に伴う全体の遷移現象においては，理論やシミュレーションによる研究[2]は進んでおり，その構造を観測出来る実験・実証例が不足している．本研究では帯電振り子を並べた系を用いて基礎実験を行った．

2. 帯電振り子

帯電振り子は図 1 に示すように，2 枚の平行平板間に印加した高電圧により，その間に吊るした金属球が帯電と放電を繰り返す電気的振動子のことである．

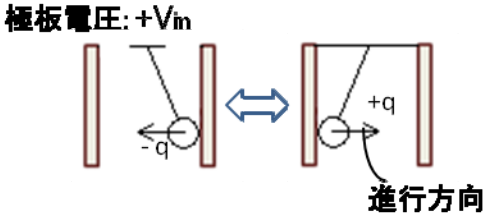


図 1　帯電振り子　自励振動の様子

振り子の金属球は，電極で帯電し，電場による加速を受けるが，空気抵抗などによるエネルギーの散逸も受ける．このようにエネルギーのやり取りを行いながら振動を続ける．

この運動は外からの作用がない場合，安定なリミットサイクル(図 2 右)を解としてもち，それは 1 変数の常微分方程式で記述することができる(1).

$$\frac{dX}{dt} = F(X) \qquad (1)$$

この方程式は周期 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ となる解 $X_0(\omega t)$ を持ち，$X_0(\omega t) = X_0(\phi)$ となる位相 ϕ を定義できる．図 2(左)は実際に実験で得られた振動子の位置 X(t)で，図 2(右)は $X - \dot{X}$ 空間への埋め込み図である．

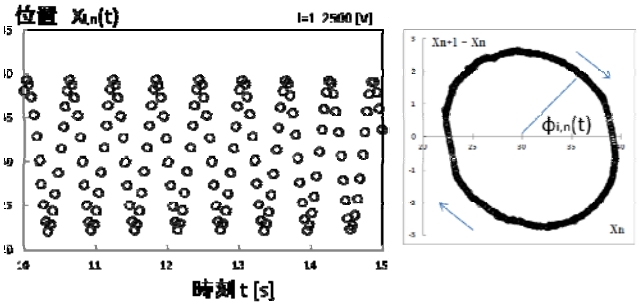


図 2　電気振り子における位相

帯電振り子における位相は，観測されるリミットサイクル振動(図 2(右))における $\phi_{i,n}(t)$ (i:振動子番号　n:画像データのフレーム番号)としている．

振動子は電圧により，活性状態(Active : Limit-cycle)と非活性状態(Inactive : Fix ed-point)の二つの安定な解を持つ領域が存在する(図 3 右)．

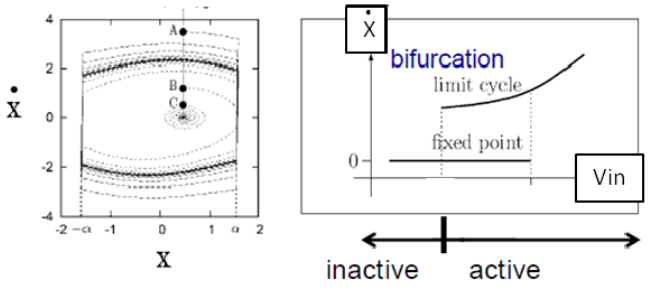


図 3 リミットサイクルと分岐図(数値計算)

帯電振り子を複数並べることで，クーロン相互作用により力を及ぼし合う．2 つの振動子間で位相差が小さい状態($\Delta\phi \sim 0$)は，斥力により不安定となり，位相がずれて同期する．

非活性化とは，活性な状態の振動子が非活性な振動子に共鳴し，エネルギーを失うことによる引き込み現象である．

3, 実験装置

実験装置は 2 振動子系と多振動子系を作成した．振動子系は直径 12.7mm の SUS 球を 16ｍｍ間隔で並べ，金属並行平板に DC 高電圧（最大 20kV）を印加した (図 4).

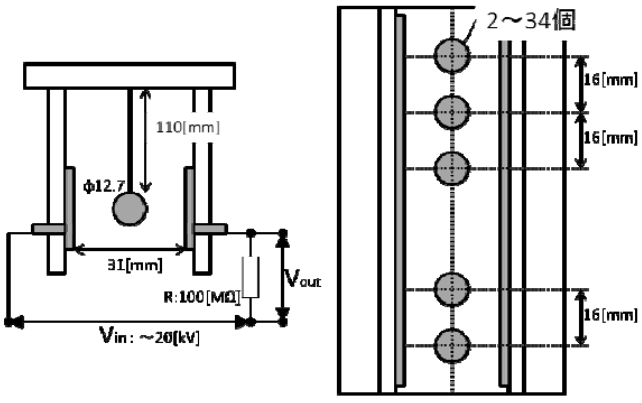


図 4 実験装置図(多振子系)

アース側に抵抗 R[Ω]を挟み，その抵抗 R の両端の電位差から衝突によって発生するパルス電圧 V_{out} を計測する．それにより，2 つの振動子の極板への衝突時間間隔 T(n)を得る．この T(n)により，位相 ϕ が 0 および π となる時間間隔を測定していることになる．

4, 振動子の同期実験

2 振動子系　極板衝突時間間隔

2 振動子系における電圧ごとの衝突時間間隔 T(n)の時系列のデータを示す(図 5).

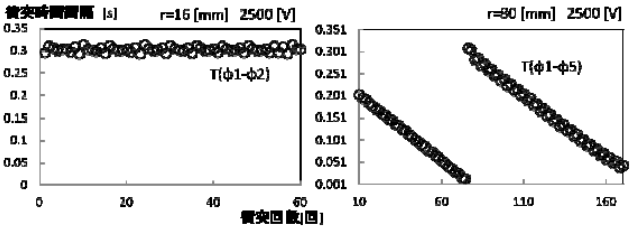


図 5 衝突時間間隔 T(ｎ)の時系列データ

図 5 では，振動子間距離 r によって衝突時間間隔 T(n)の振る舞いに違いが生じている．r=16[mm]では，T(n)が一定であることから，位相差(ϕ 1-ϕ 2)が π で安定している様子を観測していることになる．一方で，r=80[mm]では位相差が変動しており，追い越しが発生するとき T(n)が 0 近傍の値をとる様子として観測される．

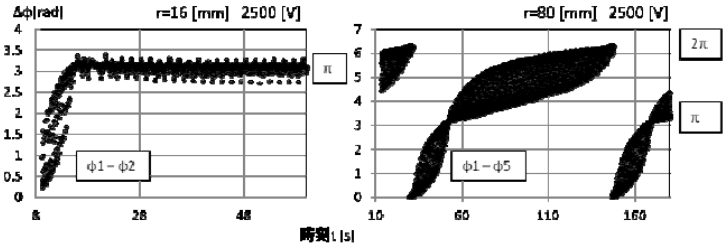


図 6　位相差Δϕ (ϕ i-ϕ j)の時間変化

カメラによる観測で，振動子間距離 r を変えて ϕ_i を計測した(図 6)．r=16 では位相差(ϕ 1-ϕ 2)が π へと変化し，安定する様子(同期)が観測され，r=80 では位相差が 0 から 2π の間を変動している様子(非同期)が観測された．

まとめ

2 振動子系では，振動子間距離 r を変えて同期‐非同期を観測した．r=16 における同期現象では位相差Δϕ が π で一定となり，その周期 T が 0.3[s]程度で一定となる結果を得た．

多粒子については現在実験を進行中である。

参考文献

[1] H.Daido,K.Nakanishi,Phys.Rev.Lett ,93(200 4)10401

[2] 秦浩起,松岡伶,庄司多津男,日本物理学会 2012 年秋季大会

Symptoma を活用した円錐曲線の作図法

杉本　剛
神奈川大学、横浜市神奈川区六角橋 3−27−1
sugimt01@kanagawa-u.ac.jp

Construction of Conics by Use of Symptoma

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

Abstract: The symptoma is the proportional relation that holds true between the conjugate diameters. The novel methods are extension of ibn Shina's construction of a parabola. The construction allows us to re-experience the ancient geometry.

Keywords: Theory of Conic Sections, Geometry Education, History of Science

１．いとぐち

古代ギリシャ人は、定規とコンパスだけで作図できる図形を平面軌跡と呼び、円錐曲線などを定義するには立体が必要だと考えていた。そこで、円錐曲線などは立体軌跡と呼んだ。円錐曲線は円錐を平面で切ったときに切り口に現れる形で、楕円・放物線・双曲線の 3 種類がある。円錐曲線は、Symptoma と呼ばれる性質を持っている。楕円と双曲線のばあいには、ひと組の共役直径間に成り立つ 2 次の関係で、放物線のばあいには直径と弦の間に成立する次の関係である。図 1 に示す文字を使えば、楕円と双曲線について $Qv^2 : Pv\ vP = DC^2 : PC^2$ であり、放物線については $Pv : Qv = Qv : L$ である（ここで L は通径）。代数の書式で書けば $Qv^2 = L\ Pv\ (1 \pm Pv/PG)$ としてまとめることができる。通径 L は放物線以外では $2DC^2/PC$ で定義する；＋は双曲線、－は楕円のばあいである；放物線のばあい直径 PG を無限大とすればよい。

さて動機だが・・・古代ギリシャの幾何学書から現代の数学書に至るまで、幾多の円錐曲線を眺めてきたが、長さスケールである通径が不正確なものが非常に多い。これは、つまり通径を作図に使っていないからだというのが、穿った見方である。そこで、ペルシャの大学者イブン・シナが主頂点から出発して放物線を描くのに使った方法を拡張して、Symptoma を決定する条件 Diorismos が与えられさえすれば、いかなる頂点からでも作図できる方法を考案したのでご紹介したい。

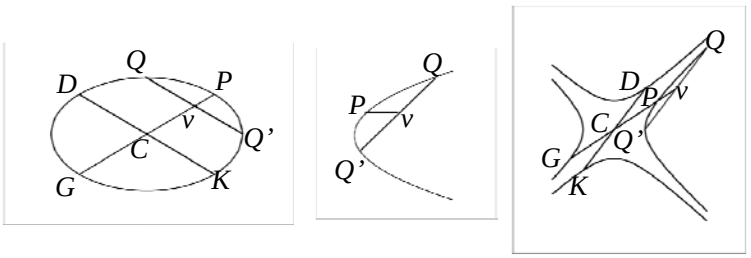


図１．円錐曲線の Symptoma：楕円・放物線・双曲線

２．円錐曲線の新しい作図法

3 種類の円錐曲線すべてに作図法を考案してあるが、予稿では楕円について紹介する。

2.1 作図による通径の導出（補助定理）
まず、Symptoma を満たす正しい L を作図によって求める方法を示す。

一辺が弦の半分の長さに等しい正方形 $ABCD$ を描く；辺 AB 上に AE が頂点から弦の中点までの長さに等しくなるように点 E を置き、点 D と結ぶ；点 B から線分 ED に平行な線を引き、辺 AD からの延長線との交点を F とすると AF が求める通径である。

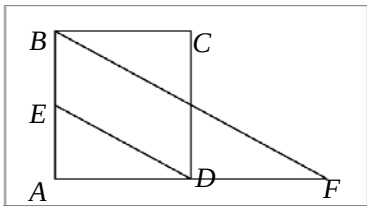


図２．$Qv^2 = L\,Pv$ を満たす L の作図

［証明］
$BF//ED$ より $\Delta EAD \cong \Delta BAF$；ゆえに $EA : AD = BA : AF$ すなわち $Qv^2 = L\,Pv$ ゆえに $AF = L$ である。［Q.E.D.］

2.2 放物線の作図（定理）
［Diorismos］
頂点 P、そこでの接線、そこを通る直径および通径 L が与えられている。

［作図解］
放物線の直径上に点 v をとり、そこを通って接線に平行な弦を引く；直径を延長して $PP' = L$ となるように P'を定める；P および P'から垂線を立ち上げそれらの交点を O とする；OP の延長線が v を通る弦と交わる点を O'とする；OO'を直径とする円を描き、接線との交点を R および R'とする；R および R'から放物線の直径に平行に線を引き、v を通る弦と交わる点を Q および Q'とする；こうして得た Q および Q'の軌跡は放物線である。

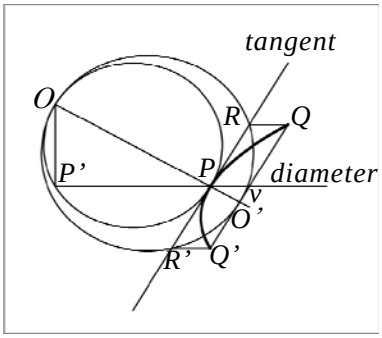


図３．放物線の作図（斜交座標）

［証明］
$\Delta PvO' \cong \Delta POP'$ゆえに $Pv : PO' = PO : PP'$；円 $ORO'R'$に方べきの定理を適用して $PR : PO' = PO : PR'$；$RPR' \,//\, QVQ'$より $RP : PR' = Qv : vQ'$；以上の関係から PO、PO'、PR および PR'を消去すれば $Pv : Qv = Qv : L$ すなわち $Qv^2 = L\,Pv$ を得る；ゆえに QPQ'は通径 L をもつ放物線である。［Q.E.D.］

３．むすび
補助定理では使っていない点 C が描かれているが、古代ギリシャ人にとって数の平方は正方形を、二つの数の積は矩形を意味したので、それを意識して作図した結果である。したがって、現代人にとって（デカルトやウォリスにとっても）、Symptoma は原点に主頂点を置き、右に展開する 2 次曲線の関係式との理解であるが、古代ギリシャ人にとっては、正方形や矩形の面積関係との認識であったろう。そういったことが分かるような作図法を心掛けて作った。実は図 3 は、円錐とその切断面を斜め上から見下ろした図になっている。

人々の心を可視化する
-アンケート調査によるアプローチ-

亀坂安紀子
青山学院大学、〒150-8366 東京都渋谷区渋谷４－４－２５
akiko@busi.aoyama.ac.jp

Understanding the Formation of People's Mind
-An Approach Based on Survey-

Akiko Kamesaka
Aoyama Gakuin University, 4-4-25, Shibuya, Shibuya-ku, Tokyo, Japan

Abstract: Until recently, it was difficult for researchers to conduct plausible research on people's subjective evaluations on their life, on some aspects of their life, or on his/her worldview. However, after careful and intensive discussions, several approaches are found to cope with possible problems involved in handling subjective data. One of the approach is to construct a panel (or longitudinal) data by asking people same questions repeated times. Recently, many panel data sets are being constructed by public sectors, universities and other institutions, which enabled us to see the changes in people's worldview after several life events such as marriage, child bearing, natural or man-made disasters etc. With sufficient data, we can identify whether some events improves/worsens people's well-being or change their worldview. I will briefly summarize the recent development in this research field, and show some of the outputs in the area.

Keywords: Subjective Well-Being, Happiness, Worldview, Survey

1. はじめに

日本は戦後著しい経済発展をとげた。にもかかわらず、現在の生活に対して満足していると回答する国民は約6割、不満である国民は約3割と1950年代からほとんど変わらない（内閣府、国民生活に関する世論調査より）。それだけではなく、近年は失業や非正規雇用の問題、格差や貧困層の拡大など、社会問題が深刻化しているように思われる。経済学はこれまで、一人当たり GDP の増大を目標として掲げてきたが、金銭的には捉えられないことにも、もう少し目を向けてみてはどうかということが議論されるようになっている。そのような議論を背景として、最近注目されているのが幸福の経済分析や、人々の価値観、世界観についての経済分析である。

2. 方法

人々が自分をどの程度幸福と考えているかといった主観的幸福度（幸福感）や、価値

観、世界観に関して科学的な分析を行うことは、本来はとても難しい。例えば、幸福感の分析では、人々に「全く幸福ではないを 0、完全に幸福を 10 として、あなたはどの程度幸福であるか回答して下さい」などと尋ねる。この時、A さんが 7、B さんが 8 と回答したとして、すぐさま B さんのほうが A さんよりも幸福だと結論付けてしまうことにはかなり問題がある。ところが、数千人以上の人に全く同じ質問形式で幸福感を問い続け、95%以上の人に結婚前後に幸福感の上昇が認められれば、結婚という人生のイベントは人々の幸福感を高めるということが統計的に検証できる。同時にまた、結婚による幸福感の上昇がどのくらいの期間続くかといったことも統計的に検証できることになる。ここでは、幸福感の分析例を挙げたが、このような手法は、他の主観的な変数にも適用できる。現在、どのような尋ね方がより適切かといった学術的な議論も進んでいるが、まだまだ研究の蓄積は浅く、今後の研究の発展が期待されている。

〈参考文献〉

[1] 石野卓也・大垣昌夫・亀坂安紀子・村井俊哉、『日本の家計行動のダイナミズムⅧ-東日本大震災が家計に与えた影響』　瀬古美喜・照山博司・山本勲・樋口義雄編、慶應義塾大学出版会、第 9 章　「東日本大震災の幸福感への影響」、2012 年 6 月。

[2] 石野卓也・大垣昌夫・亀坂安紀子・村井俊哉、『働き方と幸福感のダイナミズム』　樋口義雄・赤林英夫・大野由香子編、慶應義塾大学出版会、第 8 章　「東日本大震災が生活満足度と幸福感に与えた影響」、2013 年 7 月。

[3] OECD 編、徳永優子他訳、『OECD 幸福度白書』、明石書店、2012 年 12 月。

[4] 大石繁宏、『幸せを科学する-心理学からわかったこと』、新曜社、2009 年 6 月。

[5] 亀坂安紀子、日本経済新聞朝刊「やさしい経済学」連載、「人生と幸福度の経済分析（１）～（８）」、2011 年 3 月。

[6] Kamesaka, A. (2012), “Effects of the Great East Japan Earthquake on Subjective Well-Being” presentation as a panelist at 4th OECD World Forum on “Statistics, Knowledge and Policy” Measuring Well-Being for Development and Policy Making, October 2012, New Delhi, India.
http://www.oecd.org/site/worldforumindia/conferenceprogramme-day4.htm

[7] OECD (2013), “OECD Guidelines on Measuring Subjective Well-Being” OECD Publishing.

巣と餌場を結ぶクロオオアリの経路選択挙動の研究

北村和宏[1]，石渡信吾[2]，平山修[1]
[1]東京農工大学，〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16
[2]横浜国立大学，〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5
E-mail:50010255034@st.tuat.ac.jp

Study on *camontus japonicas ant*'s route selection between a colony and a food

Kazuhiro Kitamura[1], Shingo Ishiwata[2], Osamu Hirayama[1]
[1]Tokyo University of Agriculture and Technology, Naka-cho
2-24-16, Koganei, Tokyo 184-8588, JAPAN
[2]Yokohama National University, Tokiwadai 79-5, Hodogaya-ku, Yokohama, Kanagawa
240-8501, JAPAN

Abstract: An experiment on the route selection behavior of *comontus japonicas ant* was conducted. The feeding spot and the entrance of the ant's colony was set at the both ends of the planar area surrounded by the acrylic case. All ants' routes recorded by the video camera were analysed and it was confirmed that most of routes were converged narrow region.

Keywords: Ant Colony Optimization, camontus japonicas, route selection

1. はじめに

アリは餌を見つけるとフェロモンと呼ばれる物質を地面に付着させながら巣に戻り，後発のアリはそのフェロモンをたどりながら餌に到達することが知られている．フェロモンは揮発性であるため，その経路が短いほど後発のアリによって追随される可能性が高い．このようにして個々のアリが行っていることはフェロモンを設置する，目の前の蓄積量を判断するという単純な動作であるが，群れとしては効率的な経路を選択している [1)]．この機構を利用したアルゴリズムが近年注目されており巡回セールスマン問題やネットワークルーティング問題等へ応用されている．

2. 研究目的

アリの経路選択アルゴリズムは主としてシミュレーションによって研究され，応用例が作られている．本研究室ではアリの経路選択挙動を調べる実験を行ってきたが [2)]，これらは格子状の人工経路を用いたものでアリの経路に人為的な制限を課すものであった．本研究では平板上の領域におけるアリの経路選択挙動を実験によって調べ，結果を定量的に表すことを目的とする．

3. 実験方法および解析方法

アクリル板を用いて内寸が縦 240 mm，横 240 mm，高さ 170 mm のケースを作成し実験装置とした．このケースを内径 7 mm のチューブでクロオオアリのコロニーと接続し，接続部の正反対の位置に餌を設置した．餌には蜂蜜水を含ませた脱脂綿を使用し，直径 30 mm の円形ケースの中に入れた．実験装置の鉛直方向上部にカメラを設置し，アリの挙動を 40 分間撮影した．

動画解析により 0.1 秒ごとのアリの座標を算出し，アリの軌跡を求めた．Fig.1 のように座標軸を設定した．接続部と餌場付近ではアリが混在し正確な座標データが得られないため解析範囲を-190≦y≦-30 の領域に限定した．

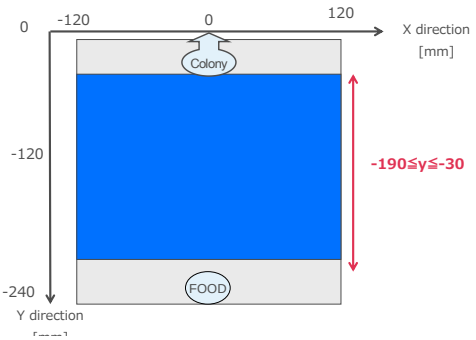


Fig.1 Schematic diagram of field

4. 実験結果および考察

7 月 31 日に行った実験結果を示す．解析の結果 579 匹分のデータが得られ，このうち範囲内を渡りきったアリは 257 匹であった．この 257 匹の軌跡を重ね合わせて表示したものを Fig.2 に黒色の細い実線で示す．Fig.2 から x が正の値を取る範囲の経路を通るアリが多いことが分かる．そこで 0≦x (-170≦y≦-50)の条件を満たすアリについて平均経路を算出した．平均経路を Fig.2 に青色の実線で示す．各アリの経路が平均経路へ収束したのかを調べるために，i 番目のアリの平均経路からの隔たりの平均値$D(i)$を式(1)によって算出した．

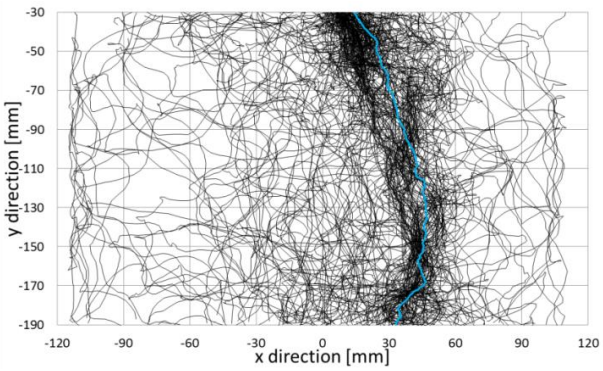


Fig.1　2 Loci of 257 ants

$$D(i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_i}(x_i(j) - \bar{x}(j))^2}{N_i}} \qquad (1)$$

ただし，$x_i(j)$は i 番目のアリの j 点めの x 座標，$\bar{x}(j)$は平均経路の j 点めの x 座標，N_iは比較する x 座標の数である．時系列で 11 匹ごとに区切ったグループ別の$D(i)$の平均値を Fig.3 に示す．

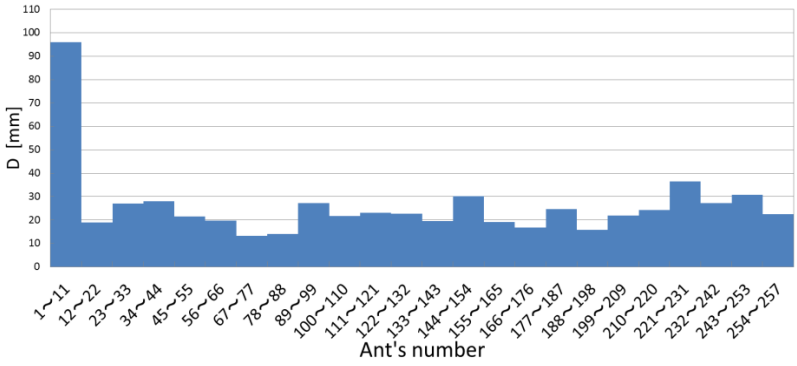


Fig.2 Average deviation

Fig.3 から 12～22 番目のアリ以降は平均経路に近い範囲の経路を選択しているということが分かり，時間経過による経路収束の様子を表すことが出来た．

参考文献

1)西成活裕，渋滞学，(2006)，新潮社，125-147

2)菱澤隼也, 卒業論文, (2011), 東京農工大学機械システム工学科

色つき点つなぎ法による整斉な書字イメージの形成

沓名健一郎　平田隆幸
福井大学大学院工学研究科,〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1
kutsuna@u-fukui.ac.jp

Formation of the Well-Regulated Character Image by a Point Connector Method with a Color

Kenichiro KUTSUNA, Takayuki HIRATA
Graduate School of Engineering, University of Fukui 3-9-1, Bunkyo, Fukui, 910-8507, Japan

Keywords: point connector method, well-regulated character, Chinese character, education, writing disturbance

１、はじめに

文字を正しく整えて書くこと、いわゆる整斉な字形で書くことは、学校教育において小中学校では国語科書写（書写）、高等学校では芸術科書道（書道）で学習する内容とされる。しかし日常的な書字には厳密な整斉さが求められないことや、ワープロの発達もあり、書写や書道が不要とされたり、正しく整った字形や、文字の手書きすら否定されたりする。

その一方で、文字を整えて綺麗に書くことは求められ、卒業論文のテーマとして、履歴書の文字を綺麗に書く意識に関するものが多いことは、大学生の最重要課題である就職活動の中で、書字スキルの有無や、「書は人なり」「書は心画なり」という言葉に代表されるように、文字の形がその人の内面と関係があると考える人が多いことを物語っている。

しかしまた一方で、発達障害の問題が大きくなっている。発達障害とは、全く活動不能な児童生徒が存在するわけではなく、ある特定の行為のみ部分的に発達が遅れていることを指すため、クラスを分けた特別な指導を求めることはイジメを生み、生徒の学習発達を妨げてしまう。「障害」という言葉自体がおおげさであり、本来低学年になるほど多かれ少なかれ学習進度に差があり、学術用語で言うところの「発達障害」を、心無くこれまでのようにできない子＝落ちこぼれと決めつける指導は大きな問題である。誰しもが発達の速さにムラがあることを念頭に置き、バリアフリーでユニバーサルデザインの概念を応用した学習指導が求められる。

色のついた点をたどって形を描く「色付き点つなぎ」の手法は、文字を枠の中に収めることのできない書字障害を持つ小学生に対し、枠に収める指導方法を求められたことから考案した。本稿では、整斉な字形を書くメカニズムとして「色付き点つなぎ」による書字学習の効果を見ていきたい。

２、整斉な字形の意義

学校教育で指導する整斉な字形は、①正しく伝える、②伝統文化の継承、③美的感覚、の大きく３つの意義を持っている。「①正しく伝える」…文字の形状には甲骨文字の時代からつながる意図・意味が一つ一つこめられている。こうした形の意味を失わないよう丁寧な取り扱いを行って指導する。また文字の形には似たものが多いため、意思を間違いなく伝えるよう、近似した形の両者の差を意識しながら指導する。例えば「林」と「材」を手

書きにした場合には、非常に似た形になり、「材、」と書くと雑然と書く人の場合は全く違いが分からなくなる。こうした場合も想定し、特に楷書では、見かけの形、つなげる場所など徹底して指導を行う。「②伝統文化の継承」…例えば丸文字やマンガ文字、あるいは携帯電話のメール文化などによる独特な活字文化や絵文字などが流行しても、学校教育として規範的な文字による指導を行い、世代間差のない文字文化を形成することを目的としている。先人たちの知恵の結晶を理解し、文字に対して敬意と尊敬の念を払うことで、文字を大切に取り扱う意思も育てる。「③美的感覚」…文字の数千年の歴史の体験的蓄積から出来上がった、人間の本能から美しいと思える文字の形状を、生徒らに訴求した指導を行う。

３、色付き点つなぎによる「弓」の形の変化

点つなぎについては、子供の遊びとしてのみならず、発達の研究分野において、認知的な負荷を減らす試みとして、広く応用されているが、文字に関しては問題がある。点つなぎは、紙面の空間把握と図形イメージとを往復しながら行うため、主に形状を捉えることとなるが、漢字と平仮名などの文字を「点つなぎ」した場合、総合的な形状よりも線の一つずつだけに注視し、全体のイメージ把握に結びつかないことが予想されるからである。すなわち、番号を示した点を追うだけの遊びは、注視点が番号を振った点にしか置かれないということである。「線なぞり」もよく使われる手法であるが、線を引く追体験には適するものの、点つなぎと同様に線の上だけを注視し、全体の形状のイメージを構築しにくい。

そこで本手法では、色付き点つなぎという方法を考案した。この方法では、最初に大きな文字で番号を追いかける練習を行うが、番号を消し、大きさを小さくしていき、日常でよく書かれる大きさに近づけていく。複雑な点の絡みも、色が異なるので簡単に見分けがつくため迷うことはない。また本手法考案の動機となった文字サイズの縮小についても大きな効果が見られた。最大の効果としてあげられるのは、線でとらえるのではなく、点によって文字の形状から一度切り離すことによって、短期記憶として捉えたうえで書字することである。「点つなぎ」「なぞり」では「文字を知る」ことを目的としていたが、「色つき点つなぎ」では、「文字の形を捉える」ことができるようになった。線よりも点の方が、認知の次元を下げ、認知的な負担を下げて、整斉な書字イメージを脳的に構築することができたと言えよう。

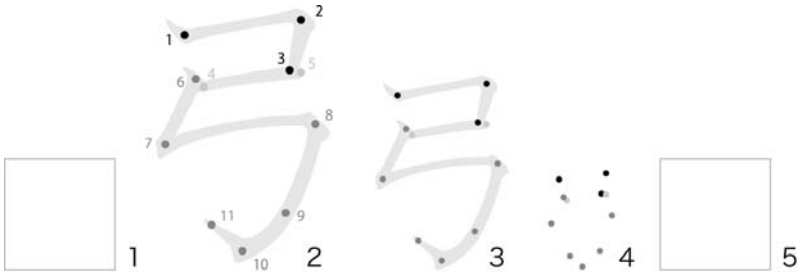


Fig. 「弓」学習の手順

１から５の順番で書かせていく。１は試書であり、最後に５と比較する。２で筆順の確認を行い、３で一画毎の位置を把握し、４で空間イメージを学習する。２～４の練習回数は、各文字の難易度に合わせて、適宜調整する。

参考文献

杉田正雄ほか「点つなぎ課題を用いたアルツハイマー型痴呆患者の手続き記憶に関する研究(第１報)：新規課題と既習課題の比較」『筑波大学リハビリテーション研究』6(1), 41-46, 1997

槇田仁、兼高聖雄「筆跡とパーソナリティの関係についての実証的研究」組織行動研究(17),3-53,1990

杉崎哲子、沓名健一郎「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」『書写書道教育研究』24, 全国大学書写書道教育学会, 2010

長期為替レートにおける非線形解析

鈴木将平 [1]　平田隆幸 [2]　高田宗樹 [2]

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

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

E-mail: @u-fukui.ac.jp†

Nonlinear Analysis of long-term exchange rate

Suzuki Shohei[1]　Hirata Takayuki[2]　Takada Hiroki[2]

1 Department of Human & Artificial Intelligent System, University of Fukui　3-9-1,Bunkyo,Fukui,910-0856 Japan

2 Department of Human & Artificial Intelligent System, Graduate School of Engineering, University of Fukui

3-9-1,Bunkyo,Fukui,910-0856 Japan

E-mail:　†takada@u-fukui.ac.jp

Abstract: Chaotic theory was introduced to the analysis of economic time series to tackle the difficulty in predicting market prices in the field. While there is no exception in the analysis of exchange rates, the chaotic analysis has been applied to short-term exchange rates in the field. The aim of this study is to extract the characteristics of long-term JPY/USD exchange rate from January 1971 to May 2013. Translation errors were estimated by applying to each yearly term the Wayland algorithm, whose visible determinism in the mathematical model is also discussed in this study. As a result, the translation error changed temporally and the frequency of high translation error was gradually enhanced. In conclusion, the exchange rate is generated by a non-equilibrium system that is influenced with government intervention in the foreign markets.

Keywords: exchange late, government intervention, translation error, Wayland algorithm, non-equilibrium system

1. はじめに

時系列データの解析には、仮説や教師データなどを必要とする手法(回帰分析、ニューラルネットワークなど)や、データの変動に注目して予測を行う方法(移動平均、相関係数など)を用いることが一般的である。

近年、経済の市場予測を行うために、時系列データが利用されている。為替レートは、完全な周期性を持つデータではない一方で、完全に無規則な変動を示さない。このため、為替レートは従来の理論的枠組みの中では十分にとらえきれない複雑さを有している。そこで、為替レートの研究にはカオス解析を応用したものが散見される。

しかし、これらの先行研究においては、時間領域を限定するものが多い。例えば、リーマンショック前後(2006 年-2010 年)に限り解析を行うことがある。即ち、長期間の時間領域を対象とする時系列解析は、これまでのところ行なわれていない。そこで本研究では、1971 年 1 月から 2013 年 5 月までの円ドル為替レートを対象とし、それを定データ長に分割して解析を行う。各解析区間において非線形解析を行い、その結果について比較検討を行うことで、長期為替レートを生成するシステムの特徴を抽出することを目的とする。

2. 解析方法

本研究で扱う時系列は、1971 年 1 月-2013 年 5 月の日次円ドル為替レートを対象とした。この時系列データについて、窓幅 256 営業日の解析区間を 25 営業日間隔で移動させて分割し、解析を行った。

解析方法として、Wayland アルゴリズムを用いて並進誤差(E_{trans})の推定を行うことにより、分割した各時系列データの決定論的性質を評価した。

Wayland アルゴリズムは、時系列の決定論性を示す指標である並進誤差を求める計算手法である。埋め込み空間で再構成された軌道が滑らかに変化しているならば、時間発展に決定論性があるといえる。計算を行う上で、まず時系列データからアトラクタと呼ばれる構造体を再構成する。ここでは、時系列を生成するシステムの非線形性に着目して、時系列データから構成される遅延座標の要素間の線形相関の影響を取り除くため、自己相関関数により線形相関がなくなる最も小さい時差を見積もる。今回は、自己相関関数が初めて e^{-1} 以下となる時に要素間の線形相関が消失したとみなし、その時の時差を用いることとした。

具体的な計算方法としては、遅延座標からランダムに M 個の点$\vec{x}_{t_0}$を選び、各$\vec{x}_n$の最近接ベクトルを K 個取り出し、$\{\vec{x}_{t_i}\}_{i=1}^{k}$とする。そして各$t_i$(i = 0,1,⋯, K)に対する軌道変化ベクトル$\vec{v}_{t_i} = \vec{x}_{t_{i+1}} - \vec{x}_{t_i}$を

$$\mathrm{E} = \frac{1}{K+1}\sum_{i=0}^{K}\frac{\|\vec{v}_{t_i} - \bar{v}\|}{\|\bar{v}\|}$$

により方向のばらつきを評価する。ここで、

$$\bar{v} = \frac{1}{K+1}\sum_{i=0}^{K}\vec{v}_{t_i}$$

である。この E が並進誤差(Translation error)であり、これら M 個の中間値を取る操作を Q 回繰り返し得られる数値の平均値を取ることで並進誤差を推定する。本研究では、3 つのパラメータ M,K,Q をそれぞれ 51,4,10 に設定している。

並進誤差は 0~2 の値をとり、0 に近ければ時系列を生成するシステムが決定論的、高ければ確率論的とみなすことができる。特に、対象がブラウン運動であるときは、並進誤差の値は 1 と推定される。

3. 結果・考察

各解析区間において、並進誤差の値は大きく変化した（図 1)。そのため、為替レートを生成するシステムは決定論的な状態と確率論的な状態が両方あると考えられる。また、図 1 において並進誤差の値が 0 となった解析区間は、線形相関が消失しなかったことを示している。

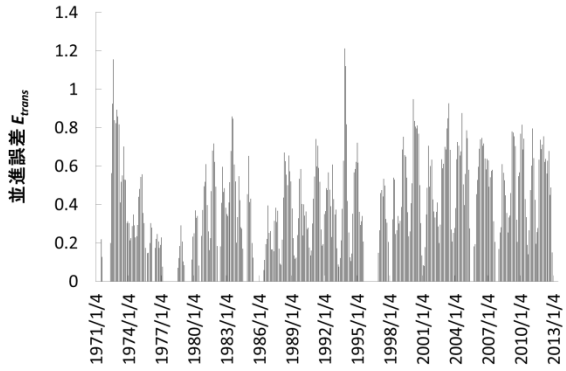


図 1. 各区間での並進誤差 E_{trans}

次に、並進誤差が 0.4 以下の部分を低領域、0.6 以上の部分を高領域と定義して、それぞれの解析区間頻度の変化に着目した。低領域、高領域、線形相関が消失しない区間頻度をそれぞれ 3 年刻みで数え、それらの割合の変化を観察した(図 2)。その結果、時間経過とともに高領域には増加傾向がみられた。このことから、近年の為替レートは決定論的性質が低下し、予測が困難になっていると考えられる。

また、線形相関が消失しなかった解析区間についても、低領域と同じく減少傾向にある。線形相関が消失しない解析区間においては、為替レートの変化率が一定である傾向となっている区間であることが予想される。その出現頻度が減少傾向にあることから、近年の為替レートは為替レートの変化率が一定である傾向を持つことが少なく、増減の変化が大きいと考えられる。

これらの要因として、政府による為替介入の様式に関する変化が考えられる。1991 年から 2004 年の為替介入の様子を確認すると、為替介入の様式は 1995 年以前と 1995 年以降で変化しており、1995 年以前は多頻度で小規模、1995 年以降は少頻度で大規模というような特徴がみられる(図 3)。

本研究の結果からも、高領域の割合は 1995-1997 以降高くなる様子がみられる。低領域と線形相関が消失しない区間の割合については同様な変化はみられない。しかし、後者については 1995-1997 での上昇以降は減少傾向にある。

これらの結果から、為替レートの決定論的性質を決める重要な要因の一つは為替介入の様式である可能性が示唆された。

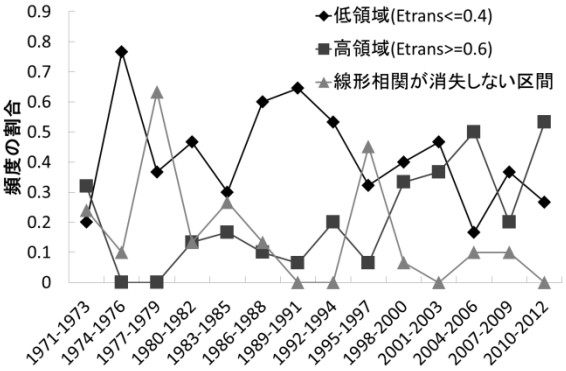


図 2. 並進誤差の分布

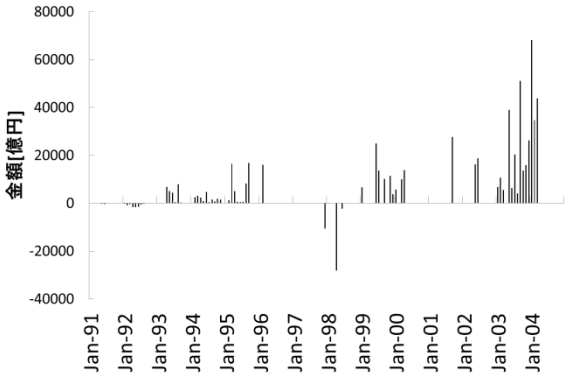


図 3. 1991 年から 2004 年における為替介入

文　献

[1] 安木新一郎, “ロシア・ルーブル外国為替相場のフラクタル解析について” 甲南経済学論集第 52 巻第 3・4 号, 2012

[2] 橋本次郎, “時系列モデルはどれだけ為替レート変動を予測できるか” 新潟産業大学経済学部紀要第 39 号, 2011

[3] 杉浦明弘, 高田宗樹, “Double-Wayland アルゴリズムを用いた乱数の評価方法の考案” 岐阜医療大学放射線技術学科, 2010

[4] 山崎大志, 綱島均, 高田宗樹, 山田功, “Double-Wayland テストを用いた心疾患の検知に関する研究” 日本機械学会論文集(C 編) 73 巻 734 号(2007-10)

自然と社会における分岐系の解析

高木隆司

神戸芸術工科大学,　連絡先：〒192-0371 八王子市南陽台 3-3-13, jr.takaki@iris.ocn.ne.jp

Analyses of Branching Structures in the Nature and Societies

Ryuji Takaki

Abstract: The method of analysis for river structures is applied to other branching structures in the nature and also to those produced by humans, such as social systems and data structure in personal computer. All of these systems are found to satisfy the Horton's law, which is confirmed in river structures. It is known that the Horton's law is derived by simulating growth of river structures. Necessity of a new type of simulation for social branching structures is suggested.

Keywords: Branching structure, Horton's law, River, Social systems, Kutachi

１．導入

河川の分岐の形に一定の法則がなりたつことが、1945 年にホートンによって示された[1]。図１に示すように、源流を１次とし、源流どうしが合併してできる流れを２次とする。それ以降は、等しい次数の流れが合併すると１次だけ高い流れになり、異なる次数の流れが合併すると高い方の次数が保たれるという規則を導入する。ホートンの法則は、各次数 (order) の流れの数が次数とともに一定の比率で減少するというものである。例えば、図２に示すアマゾン川では、右側のグラフに示すように約 1／3.2 の比率で減少する。ホートンの法則を導く詳細な理論が、徳永により提案されている[2]。

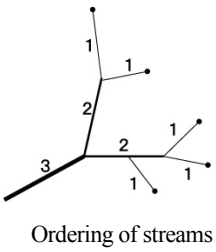
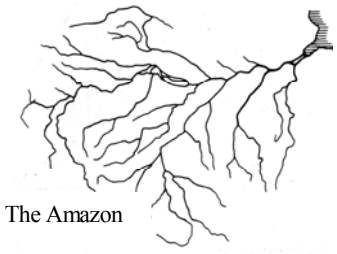


図１．流れの次数づけの方法。



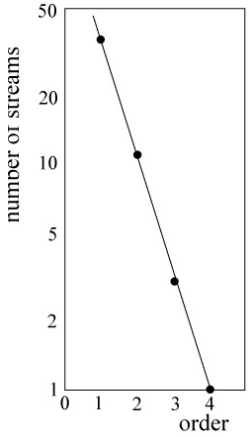


図２．アマゾン川と、それをもとにして確認したホートンの法則。

ところで、ホートンの法則は、河川だけでなく自然における多くの分岐系や、社会における一部の人為的な分岐系にも成り立つことが、高木らによって指摘されている[3,4]。以下では、自然現象として稲妻と割れ目の例を、人為的なものとして、大学の組織とパソコン内のデータ構造の例を示す。人為的な分岐系の生成について、本格的な研究はまだ始めていない。ここでは、法則性を検証できるようなシミュレーションのモデルの可能性を指摘するにとどめる。

本研究は、最近一部の国外の研究者によって「Kutachi」というキーワードとともに始められた活動に関係する。これは、開発中の人為的なシステムの良さを評価する試みである[5,6]。

２．自然現象の分岐系とホートンの法則

図３、４は、稲妻、および中央を急加熱されたガラス板の割れ目について、ホートンの法則が成り立つことを示したものである[3]。稲妻は 3 次元空間に発生し、電流の道筋がループになることはない。また、河川と同じように源流が合併することによって形成される。一方、割れ目の発生はより複雑であり、その生成機構はおそらく中央付近の割れ目が繰り返して分岐するためであろう。いずれにしても、ホートンの法則はよく成り立っている。

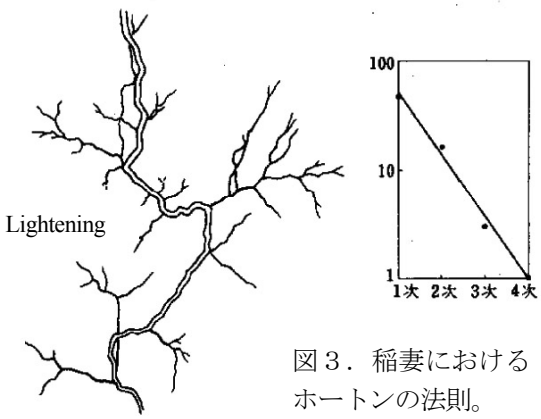


図３．稲妻におけるホートンの法則。

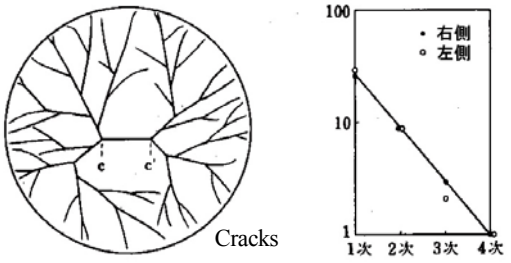


図４．中央を急加熱されたガラス板の割れ目（左と右に 2 つの分岐系が生じている）。それらのどちらもホートンの法則を満たす。

３．人為的な分岐系におけるホートンの法則

図５は、ある大学の組織図を分岐系とみなし、その各部署に次数付を行ってホートンの法則を確認した結果である。図６は、ある学生に頼んで、彼のパソコン内のデータ構造からホートンの法則を確認してもらった結果である。その際、個々のファイル、あるいはフォルダーをまとめて新しいフォルダーを作ったとき、次数が１つ上がると仮定した。どちらも、ホートンの法則を満たしている。

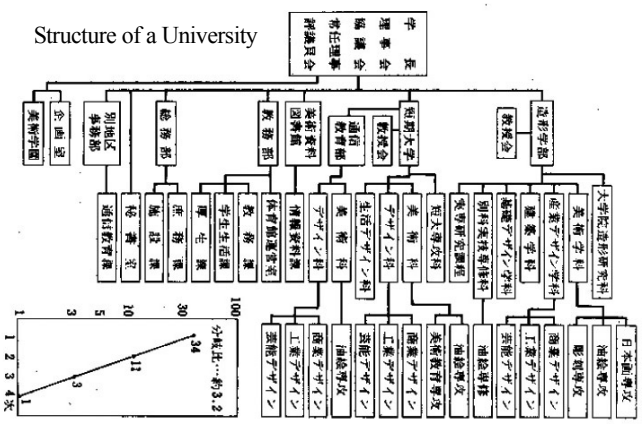


図５．武蔵野美術大学（1970 頃）の組織図の解析

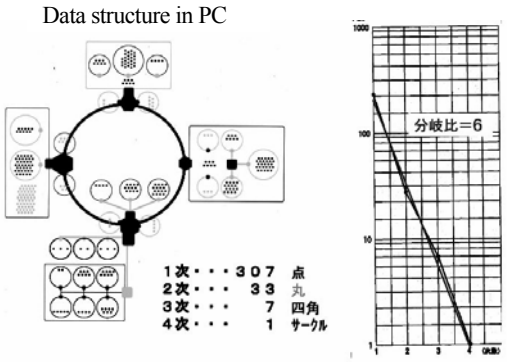


図６．パソコンのデータ構造の解析（杉村典昭君、2004)。小さな点がデータファイル、円あるいは長方形が高次のフォルダー。

４．あとがき――人為的な分岐系のモデルシミュレーションの可能性

河川の分岐系のシミュレーションでは、源流の位置と流れの方向の乱雑さ、および流れが出会えば必ず合併することを仮定すれば、ホートンの法則が導かれる。人為的な分岐系のシミュレーションでは、どのような仮定を置けば良いだろうか。大学の組織が成長する際、人気のある部署は分割して増やし、人気のない部署は廃止するという過程が考えられる。パソコンデータの集合でも、多数のファイルを複数のフィルダーに収納したら、それは分割を意味する。したがって、人為的な分岐系のシミュレーションでは、末端が分割するか消滅するかをランダムに選びながら、分岐系を成長させるという方法が考えられる。この考え方を、これから追求して行く予定である。

参考文献

[1] R.K. Horton (1945) *Bull. Geol. Soc. Am.*, **36**, 275-370.
[2] E. Tokunaga (1983) *Trans. Jap. Geomorphol. Union*, **5**, No.2, 71-77.
[3] 高木隆司 (1978)「かたちの探究」、ダイヤモンド社；同（1984)「かたちの不思議」、講談社現代新書.
[4] R. Takaki, K. Ouchi & S. Mizuno (2013) *Proc. ISIS-Symmetry, Crete* (ed. V. Makarova & D. Nagy), 310-313.
[5] T. Goranson, B. Cardier & R. Takaki (2008) 形の科学会誌、**23**、No.2, 235-236.
[6] T. Goranson & R. Takaki (2009) “Breaking the Windows Barrier”, (a newspaper article distributed by Project Syndicate, Co.)

Burridge‐Knopoff モデルの実験における複数アスペリティブロック間の相互作用

川崎祐樹，　奥山裕也，　平山修
東京農工大学，〒184-8588　東京都小金井市中町 2-24-16
E-mail:50012643016@st.tuat.ac.jp

Experimental research on the interaction between the asperity blocks in the Burridge-Knopoff model

Yuki Kawasaki, Yuya Okuyama, Osamu Hirayama
Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo, 184-8588, Japan

Abstract: An experiment with two asperity blocks was conducted. The number of events in which two asperities slip simultaneously was counted and the relationship between the number of these events and the distance of asperities were examined.

Keywords: stick-slip motion, burridge-knopoff model, asperity, magnitude, experiment

1. はじめに

地震の運動メカニズムはプレート間または断層間のスティックスリップ運動として捉えられている．この地震のメカニズムは Fig.1 に示すような天井に連結され，一定速度で駆動される床の上に置かれた質量—ばね系におけるスティックスリップ運動によって簡便に説明することができる．この地震モデルは Burridge-knopoff モデル（略称 BK モデル）と呼ばれる[1]．また，プレート間にはアスペリティと呼ばれる強く固着した部分が存在することが知られており，このアスペリティがスリップを起こすと大地震が発生すると考えられている．また，複数のアスペリティブロックが連動する可能性も指摘されている．そこで本研究では BK モデルにおいて複数のアスペリティブロックを配置した場合に，それらがどのような相互作用を引き起こすかを実験によって明らかにすることを目的とする．

2. 実験方法・解析方法

Fig.1 に示す通り，ばねは天井部に連結されているため，ベルトコンベアを一定速度で駆動させると，ブロックがスティックスリップ運動を起こす．その様子を CCD カメラで撮影し，0.1 秒ごとの各ブロックの基準位置からの変位を計測し，ブロック速度を算出する．そしてブロック速度を v，ベルトコンベア速度を w としたとき，$v < w - \varepsilon$ を満たす場合をスティック状態と判定する．ここで ε は装置の誤差を考慮して $\varepsilon = 0.05\,\mathrm{mm/s}$ とした．また本実験ではアスペリティブロックを 2 つ設けて実験を行った．アスペリティブロックと他のブロックの質量比は 5：1 である．

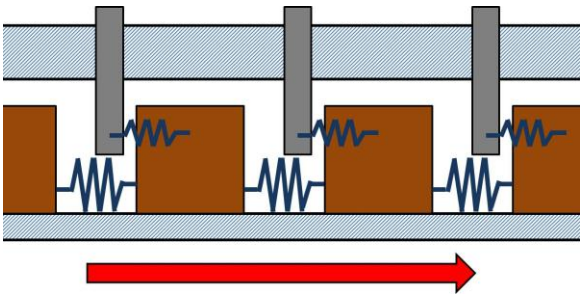


Fig.1 BK model

マグニチュードは，$\mu = \log_{10} \dfrac{\sum_i (w - v_i)\Delta t}{(\mu m g / k_D)}$ と定義する．

3. 実験結果

Fig.2, Fig.3 に総ブロック数 20 で，先頭から 9 番目と 12 番目のブロックをアスペリティブロックとした場合のデータを示す. Fig.2 は先頭から 4 番目のブロックの位置の変化を示す．この結果からブロックは不規則なスティックスリップ運動が起こっていることがわかる．また Fig.3 にすべてのスリップイベントにおけるマグニチュード分布と 2 つのアスペリティブロックが同一イベント内に含まれているイベント（以下連動イベントと呼ぶ）のマグニチュード分布を示す．すべてのイベントのマグニチュード分布は-3～-1 の区間では直線的な分布（臨界的な分布）を形成しているのに対して，マグニチュードが-1～1 の間ではこぶ状の分布を示している．このこぶ状の分布は BK モデル特有の分布で，多数のブロックが一斉にスリップを起こすイベントであると考えられる．また連動イベントのマグニチュードは高サイズ域に推移していることがわかる. これはアスペリティが滑ることで，周りのブロックも影響を及ぼし，多数のブロックが一斉に滑りを起こすためであると考えられる．Fig.4 にはアスペリティ間隔と連動イベント数との関係を表したものである．この図から，アスペリティ間の距離が大きくなると連動イベント数の頻度は小さくなることがわかる．今後は，アスペリティ間の相互作用を詳しく検討する予定である．

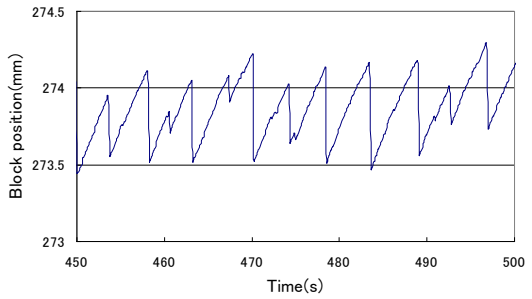


Fig.2　Temporal evolution of block position

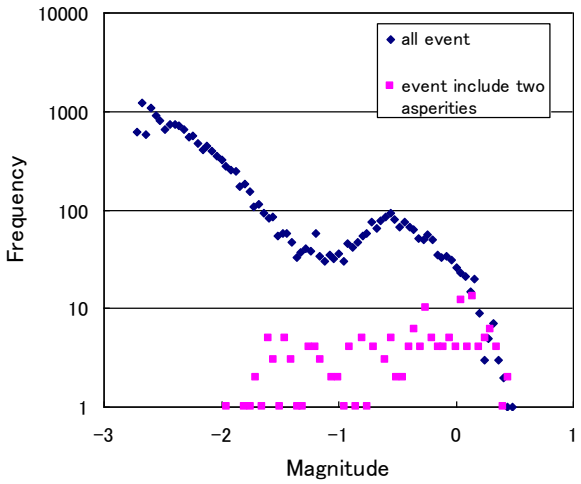


Fig.3　Magnitude distribution

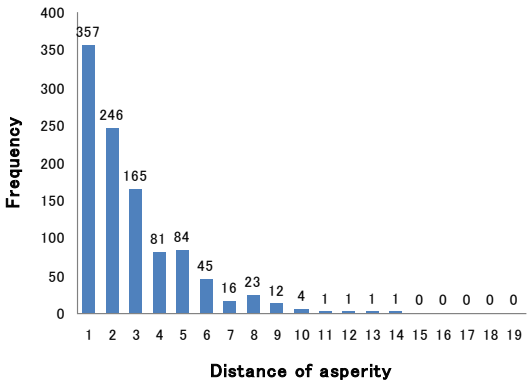


Fig.4　Relationship between the distance of asperities and the number of events that include two asperities

4. 参考文献

[1]宇津徳治：地震学（第 3 版），共立出版株式会社（2007）

[2]平山修：Burridge-knopoff モデルのシミュレーションおよび実験によるマグニチュード分布，日本トライボロジスト，第 54 巻，第 11 号（2009）

球面上のチューリング・パターンの基本的な構造

吉野 隆[1]・松岡 篤[2]
1)東洋大学理工学部，2) 新潟大学
1)〒350-8585 川越市鯨井 2100
tyoshino@toyo.jp

Basic Properties of Turing Pattern on Spherical Surface

T. Yoshino[1] and A. Matsuoka[2]
1) Toyo University, Kujirai 2100, Kawagoe, 350-8585

Abstract: We considered Turing pattern on spherical surface from a viewpoint of polyhedron geometry. We obtained numerical solutions of the Turing system on spherical surface and approximated the solutions to polyhedrons. The shape of polyhedron was dependent on both of characteristic length and initial condition.
Keywords: Turing pattern, spherical surface, radiolaria

1. はじめに

チューリング・パターンを生むシステム（チューリング・システム）は理論生物学において重要なモデルのひとつである．チューリング・システムは，チューリングによって提案された空間と時間を独立変数とし活性因子と不活性因子の濃度を従属変数とする反応拡散方程式の組である．この方程式の定常解が示す模様はチューリング・パターンと呼ばれている．

筆者らはこれまでに放散虫骨格の幾何学的な特徴を抽出し（Matsuoka *et al.*, 2012），その数理モデルについて検討してきた．この過程において，中生代放散虫の一属である *Pantanellium* は殻孔数や構造の異なるさまざまな多面体構造を持つことがわかってきている．本研究では，このような多様性の要因を説明する数理モデルとして球面上のチューリング・パターンについて検討する．

球面上のチューリング・パターンの計算には既往の研究がある（Varea *et al.*, 1999）．この論文でも球形放散虫の骨格との関係についても言及されているが，以下に述べるように計算方法や結果の検討方法に改善すべき点があると筆者らは考えている．

2. 方法

チューリング・パターンを得るために Varea *et al.*(1999)と同じ方程式を用いた．ただし，オリジナルでは δ と表記されていた部分を新しいパラメータ R を導入して $1/R^2$ に変えている．これは，変数変換 $x \to Rx$ を行ったときに得られる新しい方程式における $1/R^2$ がもとの方程式の δ と同一であることが理由である．R が特徴的な長さを表していることから，本研究の場合にはこれを球の半径とみなすことができる．そのため，R を用いたほうが結果を解釈しやすい．

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{D}{R^2}\nabla^2 u + \alpha u(1 - r_1 v^2) + v(1 - r_2 u), \qquad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{R^2}\nabla^2 v + \beta v\left(1 + \frac{\alpha r_1}{\beta} uv\right) + u(\gamma + r_2 v), \qquad (2)$$

本研究では，R の導入の他にふたつの改善を行った．1)時間についての更新を Runge-Kutta 法で行い，4 次の精度で数値解を求めなおす．2)測地線グリッドを導入して，特異点が存在せずなおかつ場所による精度の違いをなくした環境で結果を得る．

さらに，得られたパターンを多面体とみなしてその特徴を抽出することを試みた．測地線グリッド上の値の分布を多面体に近似する方法は吉野ほか(2013)を用いた．これは，スポットの重心をもとに球面上のボロノイ分割を行い，境界の大円弧を直線に置き直すことによって多面体に近似するというものである．

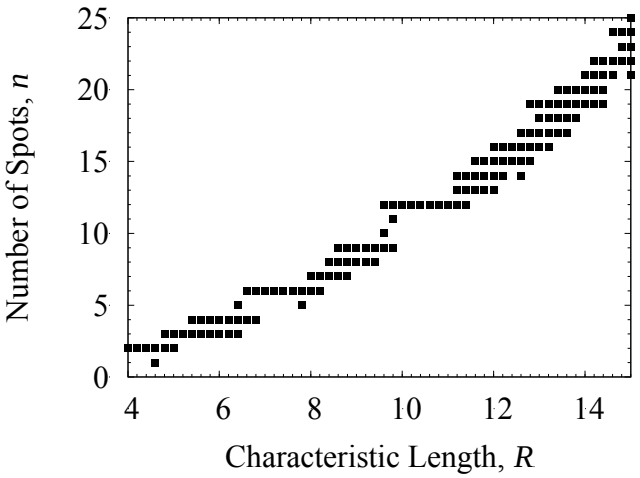


図１：スポット数のR依存性．

3. 結果

初期条件を変えて 10 回の計算を行い，スポットの数を調べた結果を図１に示す．Rの値が小さいときにはスポット数が小さく，その数は R の自乗に比例して増える．これは，パラメータ値を固定すると，スポットのおよその大きさが決まることを意味している．

得られたスポット配置は R が小さいとき（$R \leq 11$） では規則的な構造を示した．図 2 に R が小さいときに得られた計算結果の例を示す．多面体近似した結果からは，スポットは規則的に配置されていることが読み取れる． R が大きいときは，同一のスポット数でも異なる構造が見られるときがあった．骨組構造の多様性との関係については慎重に検討する必要があるが，同一のパラメータを用いていても初期条件の設定によって構造が変わることの意味は大きい．

参考文献

[1] Matsuoka, A. *et al.*, Marine Micropaleontology, 88-89, 36-40, 2012.
[2] Varea, C. *et al.*, Phys. Rev. E, 60, 4588-4592, 1999.
[3] 吉野隆ほか，形の科学会誌，28，36-37，2013（シンポジウム予稿）．

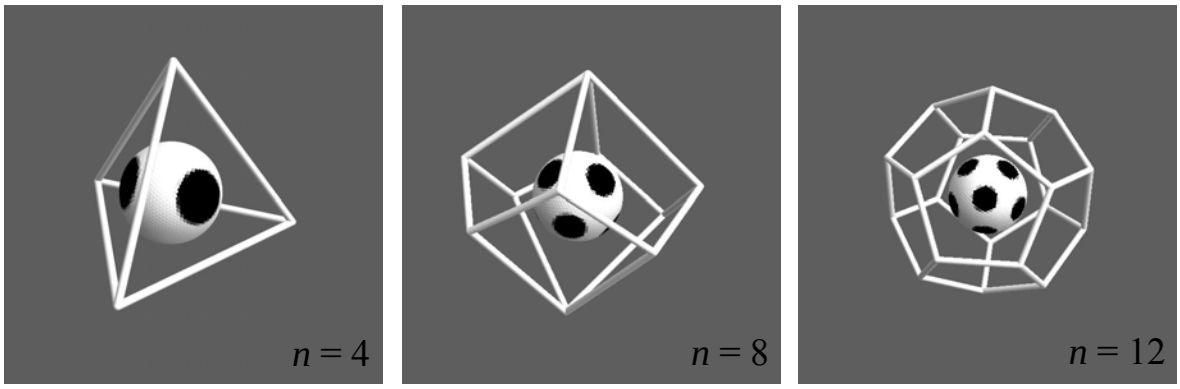


図２：チューリング・パターンの計算例とその多面体近似の結果．左から順にスポット数 4（正四面体），スポット数 8（八面体），スポット数 12（正十二面体）を表している．

チューリング・パタンと中生代放散虫 *Pantanellium* の殻形成

松岡　篤[1]，吉野　隆[2]，岸本直子[3]，石田直人[1]，栗原敏之[1]木元克典[4]，
1) 新潟大学，2) 東洋大学，　3) 摂南大学，4)（独）海洋研究開発機構
matsuoka@geo.sc.niigata-u.ac.jp

Turing pattern and skeletogenesis of the Mesozoic radiolarian *Pantanellium*

A. Matsuoka[1], T. Yoshino[2], N. Ishida[1], T. Kurihara[1], N. Kishimoto[3] and, K. Kimoto[4]
1) Niigata Univ., 2) Toyo Univ., 3) Setsunan Univ., 4) IORGC/JAMSTEC

Keywords: *Pantanellium*, radiolaria, turing pattern, skeletogenesis

はじめに

Pantanellium は，中生代に繁栄した Spumellaria 目放散虫の１属である．本属の放散虫は，球状の内層殻および外層殻と２本の主棘をもつことで特徴づけられる（図１）．内層殻と外層殻は，２本の主梁および多数の放射梁で繋がっている．これまでに X 線マイクロ CT 技術と積層造形法により 10 個体以上の実体模型を作成し，外層殻にみられる殻孔の数および殻孔枠の配列を明らかにした．またそれらは，種レベルの分類に際し，安定した基準になりうることを指摘した[1]．さらに，内層殻と外層殻の殻孔数の関係についても，いくつかの個体について検討が進んでいる．これらの検討結果により，*Pantanellium* の殻形成は，個体発生の初期に内層殻がどのように形成されるのかが本質であることがわかってきた．内層殻の形成にチューリング・システムを適用することにより，*Pantanellium* の殻形成についての説明をこころみる．検討対象としているのは，マリアナ海溝産の１岩石試料に含まれる白亜紀最前期の放散虫化石である．

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．

図１　*Pantanellium* の実体模型．外層殻の殻孔には，22～32 個の個体変異が認められている．殻孔数の少ない個体（左上）から多い個体（右下）へと配列．

外層殻の殻孔数の変異

これまでに検討した *Pantanellium* の外層殻の殻孔数は，22～32 個の個体変異をもつ．24，28，32 については複数個体が認められ，産出頻度が高いといえる．このように，実体模型の作成数が少ないながらも，産出頻度に差があるらしいことがわかり始めている．ちなみに 32 個の殻孔数をもつ個体は，５角形と６角形の殻孔枠がバッキーボール式の配置を呈する．28 個の殻孔数をもつ個体は，５角形のペア６つそれぞれを６個の６角形が取り囲むように配列している場合が多い．産出頻度が高い殻孔数は，多角形の空間配置についての規則性と関係があるらしい．

内層殻の殻孔と外層殻の殻孔の関係

内層殻と外層殻は，２本の主梁および多数の放射梁で繋がっている．内層殻についての拡大模型を作成した個体について，内層殻の殻孔数と外層殻の殻孔数の関係について検討した．その結果，殻孔数について，内層殻と外層殻とでは同数であることが明らかになった．ただし，多角形の配列は同一ではなかった．一般に，外層殻の殻孔から内層殻を覗くと，観察する限り，常に 1 個の内層殻の殻孔が認められる．すなわち，外層殻の殻孔数と内層殻の殻孔数は，同一である可能性が高いといえる．内層殻の殻孔数の個数および配列は，主梁および放射梁を橋渡しとして外層殻に伝えられていると考えられる．要するに，内層殻の構造が決定すれば，外層殻はその写し絵のように受動的に決定されるようである．

Pantane//*ium* の殻形成

以上に述べた観察事実および推測から，*Pantanellium* の殻形成についての説明をこころみる．*Pantanellium* は，個体発生に初期に内層殻が形成される．これは核膜ないし中心嚢と呼ばれる放散虫に特有の細胞内の膜に沿ってシリカ（SiO_2）が沈着する現象としてとらえうる．シリカは膜を裏打ちするように堆積する．膜に沿ったシリカの濃度が何らかの理由で不均一になると仮定し，この不均一性の生成にチューリング・システムを適用する．シリカの濃度差により，球面上にスポットからなるチューリング・パタンが形成される．濃度の濃い部分が多角形の枠となり，薄い部分は殻孔となる．不均一になる領域の面積を一定とするならば，核膜ないし中心嚢の表面積，すなわち直径の違いは，殻孔数についての個体変異をもたらす要因となりうる．多角形の分布には取りやすい配置があるようだが，多少の自由度は許されている．

このような仕組みで内層殻の殻孔の数と多角形の分布が決定されれば，外層殻における殻孔数は，主棘と放射梁の配列により受動的に決定される．ただし，多角形の配列については，ここでも多少の自由度が許されている．一旦外層殻が形成されれば，外層殻の厚層化と主棘の伸長は，シリカのさらなる沈着のみで説明可能である．

文献

[1] Matsuoka, A, Yoshino, T., Kishimoto, N., Ishida, N., Kurihara, T., Kimoto, K., Matsuura, S., Exact number of pore frames and their configuration in the Mesozoic radiolarian *Pantanellium*: an application of X-ray micro-CT and layered manufacturing technology to micropaleontology. *Marine Micropaleontology*, 88-89, 36-40, 2012.

経営における三つのカタ

吉田孟史
青山学院大学経営学部、東京都渋谷区渋谷 4-4-25
yoshida@busi.aoyama.ac.jp

Three KATA in Business

Takeshi Yoshida
School of Business, Aoyama Gakuin University
4-4-25, Shibuya, Shibuya-ku, Tokyo

Abstract : We will discuss how businesses are being realized in three different states of environment (risk, uncertainty, ignorance) by creation of three KATA(Form, Pattern, Method).
Keywords; Business, Environment, Three Kata（Form, Pattern, Method）

１．　経営とカタ

経営とは、ある社会的現象の中で三つのカタ（「形」・「型」・「方」）を作り出すことで創造される人間の意識的活動である。「形」とは、社会的な意味や価値を内包したモノ・コトを指し、形を新たに実現化する行為はイノベーションと言える。「型」とは、形づくられたモノ・コトを組織内部で持続的に作り出し外界で競争的に提供する行動パターン（オペレーションとストラテジー）である。最後に、「方」とは、その活動を持続的かつコストを上回る収益を上げられるような仕組みを作り上げる方法（ビジネスモデリング）、および上記の三つの活動を他の人を介して、繰り返し実現化させ、その効果を測定して（計画と結果の比較）、活動をよりよいものへと変えていく方法（マネジメント）を指す。また、この三つのカタの形成の順序は、たとえば形→型→方という一方向的な連鎖的に行われるのではなく、カタ間の関係は環状になっており双方向的に繋がっているため、パターンとして六種類が考えられる。

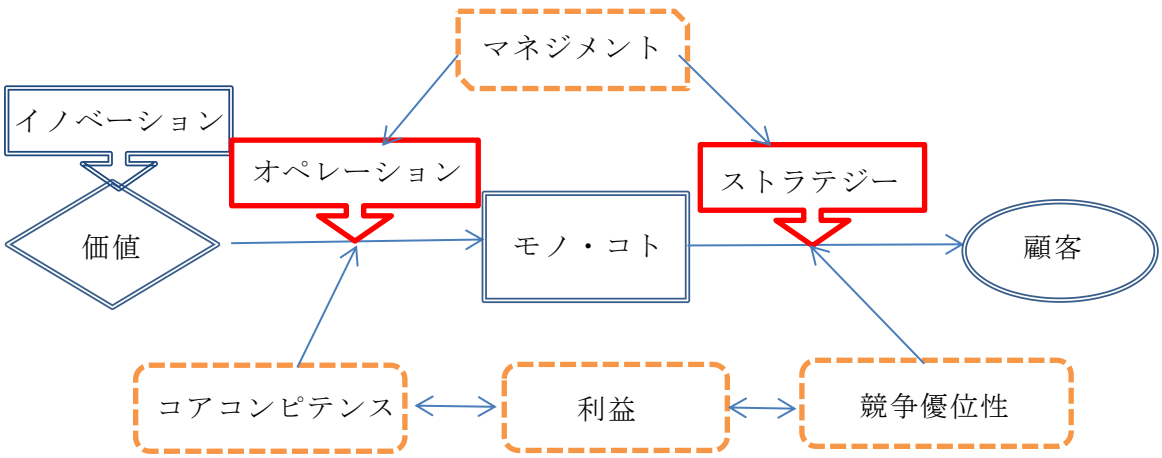


図１　経営を形成する三つのカタ
（二重線が形を、実線が型を、点線が方を表す）

２．社会現象の特徴：リスク、不確実性、無知

社会現象からカタを形成する際に考察に入れなければならないのが環境である。カタの根源となる価値や意味は環境の捉え方や構成の仕方によって異なるからである。たとえば、現状を好機と捉えるのか、危機と見なすのかで価値が変化する[1]。

社会現象 / *生起確率*	特定化	未特定
算定可	リスク	無知
算定不可	不確実性	

表１　環境の状態

環境を捉える次元は多種多様であるが、本報告では、環境内の現象を特定できるか否か、および現象の生起確率が算定できるか否かという次元で環境の状態を捉える。この二つによって、環境の状態は、リスク、不確実性、無知に区分できることになる。社会現象が特定化され、かつ発生確率が算定できる状態がリスク、現象は特定できるが発生確率が算定できないのが不確実性、そして現象そのものが特定できない状況が無知である。要するに、経営とは、この三つの状況を的確に分別しつつ、カタを作り出しながら創造されていく活動と言える。

現象が特定化されれば生起確率が算定可能か否かでリスクか不確実性かが判別される。算定可能であれば導き出せる期待値に沿ってカタが構築される。算定できず不確実性が存在する場合には確率の算定が試みられる。社会現象が特定できない無知的な状況は、当該現象が他の現象と切り離されて定義できるがその内部構成が明確にできない場合と、定義すなわち現象の存在自体を明確にできない状況に分けられる。前者は現象の内部を測定することが可能となれば現象内部の構成要素の弁別や構成要素間の関係性の把握が可能となる。後者は認知的に見れば現象が発生していることが分からないため、存在しているか否かが認識できないことになる。

３．環境状態とカタ作りのための諸活動

以上のような特徴を持つ環境でカタを作り上げるには､知識がすでに確保されているか､あるいは未知のことか、そしてカタが作り上げられるのが現時点か、未来なのかを基準にして分類すると以下のようになる。

表２　環境状況とカタ作り活動

適用知識や現象 / 時間幅	既知	未知
現時点での活用	*不確実性* 模倣、類推 （カタの応用）	*無知性* 実験 （カタの発明）
未来への見通し	*不確実性* 計画づくり （カタの組み立て）	*無知性* 主観的未来図 （カタの構想）

[1] 建物の軒先のような､通常では使い道がない狭い空間は好景気時には価値あるものと捉える人は多くなかった。リーマンショック後に不景気となった時に軒先株式会社(http://www.nokisaki.com/)はこの不況を好機と捉えて、精力的に営業活動を行うことで価値あるものと認識する人が増えていった。ただ、その価値も道交法改正という制度の変更がなければ、強く意識されることもなかったと言える。

1）既存現象の知識（既知）の応用――模倣、類推

別の環境で他の行動主体が体験した現象に関する知識(既知)やその現象が実際に生じた確率を、模倣的に、あるいは類推的に利用することで、自らが直面する現象の特定化をより精緻化し、同時に算定すべき確率の精度を上げる。

2）既知による未来への見通し――計画づくり

ここでは、現象に関してすでに保有している認知資源（現象把握に関するフレームワーク、理論、知識、経験、知恵、ノウハウ、予測・予言など）を利用して未来が構築される。具体的には、計画づくりを通じてすでに獲得されている認知資源を組み立てて、未来の現象やそれを取り巻くコンテクストを認知的に特定化し、同時に生起確率の算定が行われる。

3）未知の実現――実験

既知利用できない場合に未来の可能性を探索し形成する活動が、未知的現象を意図的に生じさせる実験である。それは実験的活動の計画、実施そして結果の測定で構成される。理解しようとする現象を部分的ではあるが計画的に生起させて、その中から現象を構成する内部構成を理解して現象全体を構成し結果を見直した上で、発生確率が測られる。

もちろん、構成の確認や発生確率の測定に失敗する可能性がある。この場合、失敗から新しい情報が生み出されることがメリットとなるが、他方、失敗に伴うさまざまなコストが生じる。このメリットとコストの留意しながら[2]、実験を整備することが必要となる。

4）未知の構想：主観的構想と主観的確率の形成

個人あるいは複数の個人が共有する認知資源を環境にあてがうことで未来の現象を認知的に創造する活動がここでは求められる。「知・情・意」という認知資源を外部にそして未来にあてがうことで、存在しないと考えられていた、あるいはまさに存在しえなかった現象が認知的に作り上げられることになる。

4．卒の重要性

カタが作り上げられたとしても、経営はそれで完成し終了するものではない。環境が変われば、起こりうる現象も変わるし、経営自体が環境や現象を変えてしまうこともある。時には状況が変化したとしてもカタを維持し続けなければならないこともあるし、また別の時には率先してカタを壊し変化させていかなければならない。そこで必要となる概念が「卒」[3]である。

茶道に用意と卒意という言葉がある[4]。客人を迎える主人側が、準備や支度という用意を行い、もてなしを計らう。が、客人と接触する際には用意を超え、主客一体となってとっさの判断を交えながら実際のもてなしが行われる。これが卒意である。そこでは、すでにそこにある意識や既知を「終えて」、「にわかに」非意識や未知の状態が生み出されることになる。そのような変移を指す言葉が「卒」である。上述のように、意を含めた三種類の

---

[2] 起業における effectuation の五つのロジックの一つである「アフォーダブル・ロス（耐えうる損失）」(Sarasvathy, 2009)と関連していると考えられる。

[3] 卒にはいくつか意味があるが、ここでは、「急なさま。にわかに」（卒然・卒中・卒倒）という意味と、「終わる。終える」（「卒業」など）という意味が該当する。

[4] 書道にも同様の概念がある。その場合の卒意とは作為に対する言葉であり、人にうまく見せようとする意識がなく、心に感じるまま自由に書くことと言われている。

認知資源を事前の準備（用）と事中の対応（卒）に分けて捉えると、既存の知識を学び用いるための用知（learning)、そして学んだ知から離れて新たな地を生み出すあるいは獲得するための余地を作る卒知（unlearning）；人との出会いをより感動的に、情緒的にするためにさまざまな仕掛けを考えるための用情、そして実際の出会いの場で仕掛けた情感から解き放たれてその場の雰囲気を感じ取る事ができるようになる卒情：意欲を外部からあるいは自らで準備し目指す方向に突き進めるように仕向ける用意(motivated)、そして意欲や意図から解き放たれて自律的に場に臨んで動ける(unforced)ようになる卒意となる。

	知資源	情資源	意資源
用（未来を事前に整えておく）	用知(learning)	用情	用意(motivated)
卒（用を超え、事の中で現在を創る）	卒知(unlearning)	卒情	卒意(unforced)

表３ 三つの認知資源の用と意

（注:表中の用意と卒意は、茶道におけるものと内容的に異なっている）

５．まとめ

経営とは環境内で行う三つのカタ作りから生まれるとした。環境の状態が異なれば、そして経営の視点をどこに置くかで四つの活動が存在することを指摘した。最後にカタ作りが継続的に続くことを「卒」という概念を使って説明を行った。

以上の議論はきわめて概念的であるが、経営の実践に近いことを一つだけ述べて論を閉じることにする。それは「事業プロトタイピング」である。事業プロトタイプとは、三つのカタを暫定的に構成させることで、社会現象という流動的なものを事業として固定化して作り出された試行模型である。これに基づき思考実験的に実際の事業活動に先行させて稼働させることで、かつ小規模であるが実際に活動をこの模型を使って行うこと(小規模実証実験)で、その性能を判定することが可能となる。

想定したパフォーマンスと異なる結果が生じる場合、この模型をより精緻化するかあるいは転形させる。精緻化であろうと転形であろうと、素早く実施しそこから作り出された改良模型あるいは新模型を再び思考実験と小規模実証実験を通じて、さらなる精緻化あるいは転形化が進行する。これが事業プロトタイピングである。プロトタイピングには安定部分と可変部分が、すなわち用と卒が並存しているし、きわめて素早い変化によってその機に的確にあった知（機知）も内包されていると考えられる。今後はこの三つのカタ、事業環境、卒の意義、機知とは何かなどを理論的に追求しつつ事業プロトタイピングの可能性を深めていく必要があると考えている。

参考文献

三宅秀道（2012)『新しい市場のつくりかた』東洋経済新報社

Sarasvathy, S. (2009) “Effectuation: Elements of Entrepreneurial Expertise”, Edward Elgar Publishing

吉田孟史編著（2008)『コミュニティ・ラーニング』ナカニシヤ出版

吉田孟史監訳（2009)『創造の火花が飛ぶとき―グループパワーの活用法』文眞堂

最近の円ドル為替レートの数理モデル

高田 宗樹
福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻、福井市文京 3-9-1
takada@u-fukui.ac.jp

An Advanced Mathematical Model of Foreign Currency Exchange Determination

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

Abstract: We carried out some empirical studies with a fractal analysis and statistical tests for verifying whether the series are random and generated by the stochastic model. We found that time series on difference of JP¥/US$ exchange rates satisfy these properties. We composed a stochastic dynamical equation as the model that might describe variability of the difference. We herein examine whether this is regarded as an in-equilibrium system.

Keywords: Exchange Rate, Correlation Dimension, Multiple Regression, Principal Component Analysis

1. Introduction

Human intelligence may bring about what any economic prediction proves wrong.

According to Economics, it is said that the JP¥/US$ exchange rate is decided by demand and supply in the foreign exchange market for a day [1]. So many discussion are arisen on the factors exerts the changes of JP¥/US$ exchange rate in the finance and economic fields. To explain this, for example, Balance of trade and Interest rate difference were used.

The exchange rate is a relative price of two currencies. It shows an interaction of supply and demand factors for two currencies in the market that determines the exchange rate at which they trade. This issue has been studied extensively in economic paper and widely discussed among investors, government officials, academicians, traders, etc. There are still no definitive answers [1, 2].

According to Cross [3], there are several approaches to determine exchange rate. The first approach is the Purchasing Power Parity (PPP) Approach. This theory claims that in the long run, exchange rates will adjust to equalize the relative purchasing power of currencies. The second approach is the Balance of Payments and Internal-External Balance Approach. The approach postulates that the exchange rate changes are determined by an international difference in prices or change in prices and tradable items. The third approach is the Monetary Approach, which is based on the proposition that exchange rates are established through the process of balancing the total supply of the national money and the total demand for it, in each nation. The fourth approach is the Portfolio Balance Approach, which takes a shorter-term view of the exchange rate into account and broadens the scope from the supply conditions for money to the demand-supply conditions for other financial assets as well.

Although these approaches noted above are some of the most general and familiar ones, they have not proved to be adequate for making reliable explanation about exchange rates. In several past studies [4, 5, 6], these models did not give us sufficient demonstration. We have then discussed how many factors should

describe the process of the JP¥/US$ exchange rate.

2. Time Series Analysis of JPY/USD Exchange Rate

A problem of finding the number of variables describing monthly JPY/USD exchange rate is treated on the basis of fractal theory and principal component analysis.

2.1 Linear Analysis

We testified to search correlations between the interest rate, the exchange rate, etc. Many economists consider the interdependence between interest rate and exchange rate. In our previous research [7, 8], it was concluded that the interest rate, especially the difference between Japanese and American long-term interest rates monthly data, was not significant as economic variables describing the exchange rate. In some quarterly models [9], interest rates are estimated to be significant as an exchange rate determinant. We examine whether the interest rates of both countries are effective for analysis of the exchange rate. In our monthly model [10], we analyzed relations between the exchange rate and economic variable with backword and forward time lags. The term "lag" is defined to show a correlation between interest rate at a time and exchange rate before that time. We found that the Japanese short-term interest rate has the highest correlation coefficient with the exchange rate. The next significant correlation is with the US long-term interest rate.

We searched economic variables that seemed to depend on exchange rate. All economic variables from several papers and books [2, 3, 5, 6, 11, 12] were examined such as money supply, trade balance, index of wholesale prices, foreign reserves, industrial production, interest rates, current account, direct investment, portfolio investment and unemployment rates. We also considered the economic variables of business conditions, the macro index, and share prices.

We calculated correlation functions between the exchange rate and each economic variable;

1) We firstly employ the moving averages method so that the time series smooth out. Secondly, we calculated correlation functions between the exchange rate and each economic variable with seven-month moving averages. The time intervals with maximum correlation are given in Yoshimori *et al.* [13]. Thirdly, we neglected economic variables without a significant level of correlation coefficients with the exchange rate. Finally, we got 15 kinds of economic variables in Table 1.
2) We firstly looked for the multiple regression formula (MRF) for possible combinations of the economic variables; ${}_{15}C_2$ combinations. Here, "2" was defined on the basis of the result in the following section. Otherwise, we examined all 2^{15}-1 combinations. Secondly, we selected the significant multiple regression formulae with F-test and counted the number of times that each economic variable was used in the significant MRF. Among these fractions, 6 economic variables exceed 40% (Table 1). These six economic variables $(Y_1, Y_2, \ldots, Y_6)$ were considered to be useful to explain the exchange rate.

We employed the multiple regression analysis [14] for the exchange rate with economic variables $(Y_1, Y_2, \ldots, Y_6)$. First, we try to get the coefficient of determination in six economic variables. Secondly, we eliminate next one economic variable that had the smallest t-value and derived the coefficient of determination in five economic variables, and so on.

We paid attention to the multicollinearity was often occurred in the multiple regression so that it is necessary to orthogonize those variables through the principal component analysis and employed the principal component analysis as the method of

Table 1. A result of our variable selection methods to find a set of predictor variables.

Step	1)		2)	
Macro index	Correlation (Japan)	Correlation (US)	F-test (Japan)	F-test (US)
Business condition	○	○	×	×
Money supply	○	○	×	Y_5
Trade balance	—	○	—	×
Index of wholesale price	○	○	Y_1	×
Foreign reserves	○	○	Y_2	×
Industrial production	○	○	×	Y_6
Share price	×	○	—	×
Interest rate	○	○	Y_3	×
Current account	○	—	Y_4	—
Direct investment	×	—	—	—
Portfolio investment	×	—	—	—
Unemployment rate	×	×	—	—

reducing economic variable. We first calculated elements of the simple correlation matrix using the same six economic variables $Y_1, Y_2, \ldots, Y_6$. Based on this matrix we calculated six eigen-values as well as six eigen-vectors. The first principal component corresponds to the eigen-vector with the largest eigen-value; the second principal component corresponds to that with the second largest eigen-value, and so on. Moreover, we employed the multiple regression analysis of the exchange rate by the use of PC1 ··· PC6. PC defines the principle component; a set of variables defined as a projection which encapsulates the maximum amount of variation in a dataset and is orthogonal to the previous principle component of the same dataset. We can understand that PC1 is composed of those factors affecting Japanese exports, because increasing Y_5 and Y_6 indicates a US economic boom, while declining Y_1 and Y_3 indicate exporters selling. In addition, these economic variables also show Japanese recession. This implies that PC1 would have negative effects on the exchange rate S_t through increasing exports from Japan to the United States.

It was found that the regression in 5 steps gave an estimated coefficient of determination of 0.84 with the two principal components PC1 and PC6 as

$$S_t = 1.58\, PC1(t) + 0.37\, PC6(t).$$

for t = 1985.10 to 2002.12 [10]. In the same way as stated above, the recent regression model can be obtained, which is composed of the principal components in those macro-economical factors. We herein compare among the regression models and examine whether this is regarded as an in-equilibrium system.

2.2 Non-linear Analysis

We calculated the correlation dimension of the exchange rate according to the idea that the time series of the exchange rate is composed of chaos. The correlation dimension $D_2(m)$ converged to a value 1.39 for $m > 3$, which is also estimated by calculation of Hurst exponent (Fig.1). That is, 2 variables at most are enough to describe the time series. We later identify two variables based on the principal components analysis [15].

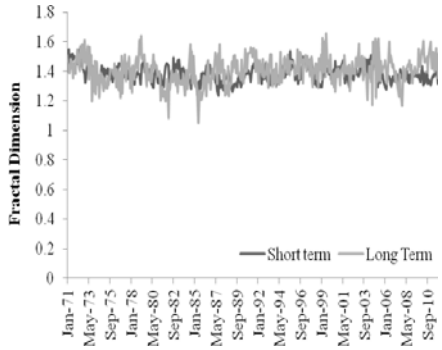


Fig.1 Fractal dimension obtained from Hurst exponent. Short and long terms were set to be 6, 8, 10, 12 days and 20, 30, 40, 50 days, respectively.

3. Mathematical Model of JPY /USD Exchange Rate

The cause of changes was explained by many macro-economical factors and they tried to explain by stochastic and statistical model. However, a heavy fall was necessarily expressed. We try to express the change of the JP¥/US$ exchange rate in addition to it by a phase transition model with noise.

We regressed the potential function in the sense of the time average on the stochastic differential equation with use of graphs of polynomials. This paper also presents the necessity of the number of order on the polynomials with consideration on stability of singular points for perturbation, what we call structural stability in Topology. With integration of the series reproduced by our model, we obtained series as numerical simulations of the JP¥/US$ exchange rate. We compare these series with the time series data of the JP¥/US$ exchange rate to evaluate our stochastic differential equation.

Reference

[1] E. J. Stiglitz, *Economics*, Norton &Company Inc., New York, 1993, pp.942-947.

[2] R. M. Rosenberg, *Currency Forecasting*, McGraw-Hill Companies, New York, 1996, pp.15–30.

[3] Y. S. Cross, *All about the Foreign Exchange Market in the United States*, Federal Reserve Bank of New York, New York, 1998, pp. 107–123.

[4] K. Hamada, *The International Finance*, Iwanami Syoten, Tokyo, 1996, pp. 150–161 (in Japanese).

[5] M. Moriyama, *Exchange Rate and Japanese Monetary Policy*, Sanwa Research Institute, Tokyo, 1999 (in Japanese).

[6] The Economic Planning Agency (Eds.) EPA World Economic Model (5th Edition), *Economic Analysis* **139** (Supplement II), The Economic Planning Agency Tokyo, 1995, pp.183 (in Japanese).

[7]. T. Matsugi, H. Takada, M. Yoshimori, An analysis of JP¥/US$ exchange rate from mathematical viewpoint, *The Journal of Information and Policy*, **3**(2) (2001) 55–64 (in Japanese).

[8] M. Yoshimori, H. Takada, T. Matsugi, Mathematical model on exchange rate time series, *Journal of the Physical Society of Japan*, **56**(1-2) (2001) 273 (in Japanese)

[9] M. Fukao, *The Analysis of the Financial Recession*, Japan Center for Economic Research, Tokyo, 2000, pp. 191–221 (in Japanese).

[10] M. Yoshimori, H. Takada, T. Matsugi, A dynamical system applied to foreign currency exchange determination, Forma **18**(3) (2000) 149-163.

[11] A. Amano, Setting the exchange rate on a macro model, *Contemporary Economics* **33** (1978) 86–104 (in Japanese).

[12] I. M. Ronald, K. Oono, *Dollar and Yen*, Nihon-Keizai Shimbunsya, Tokyo, 1998, pp. 1–76 (in Japanese).

[13] M. Yoshimori, H. Takada, Y. Kitaoka, T. Matsugi, The empirical analysis on generation mechanism of exchange rate time series, *Bulletin of Society for Science on Form*, **14**(3) (1999) 206–207 (in Japanese).

[14] H. W. Green HW *Econometric Analysis*, Prentice Hall, New Jersey, 2000, pp. 210–315.

[15] M. Yoshimori, H. Takada, T. Matsugi, The correlation dimension on the time series of JP¥/US$ exchange rate, *Bulletin of Society for Science on Form* **14**(2) T (1999) 114–115 (in Japanese)

準周期構造の折り紙モデル

石原　正三
埼玉県立大学 保健医療福祉学部、
〒343-8540 埼玉県越谷市三野宮 820 番地
shozo@spu.ac.jp

The Origami-model of a Quasiperiodic Structure

Shozo ISHIHARA
School of Health and Social services, Saitama Prefectural University,
820 Sannomiya, Koshigaya, Saitama 343-8540, JAPAN

Abstract: Made of only octahedral skeletons by sharing faces and vertices with each other, the Origami-model of a Penrose Pattern (PPO-model) represents an infinitive slab of a quasiperiodic structure. While it is suggested that the quasi-periodic structure of the PPO-model would be related to the three-dimensional Penrose tiling (3D-PT) composed of two kinds of rhombohedra, i.e. obtuse and acute ones, relationships between the PPO-model and 3D-PT are discussed by focusing on orientations of golden octahedra, each of which appears in an acute rhombohedron with two golden tetrahedra.

Keywords: Quasiperiodic structure, Origami-model, Octahedral skeleton, Acute rhombohedron, Golden octahedron

１．はじめに

八面体の骨格構造（スケルトン）を面と角で接続して作られたペンローズパターンの折り紙モデル（PPO モデル）は、２次元ペンローズタイリング（2D-PT）の準周期構造に対応する、板面に凹凸のある板状構造を表現している[1]。この八面体のスケルトンのみで構成された板状構造を板面に垂直な方向に積み重ねることにより、三次元ペンローズタイリングに対応する、可能な準結晶の準周期構造が得られることが示唆されている[2]。

PPO モデル中の八面体は、３次元ペンローズタイリング（3D-PT）の基本構造であるオブテューズとアキュートの２種類の菱形平行六面体のうち、アキュート菱形平行六面体中にある黄金八面体に対応するものと考えられ、正八面体から歪んだ形状を示している。

本講演では、黄金八面体が面を共有して円環状や星形に接続される場合、接続面の形状により黄金８面体の接続に規則的なパターンが現れることを示し、黄金八面体を面と頂点で接続する際の黄金８面体の配向について考察する。また、PPO モデルと、２種類の菱形平行六面体、黄金四面体と黄金八面体の折り紙モデルを展示する。

２．３次元ペンローズタイリング（3D-PT）中の黄金八面体

3D-PT はオブテューズとアキュートの２種類の菱形平行六面体（図 1(a)と(b)）で構成され、さらに、アキュート菱形平行六面体は２個の黄金四面体と１個の黄金八面体とで構成されている（図 1(c)）。黄金八面体の２辺：a と b（図１(d)参照）の比を以下に示す。

$$b = a \times \sqrt{(1+\tau^2)}/2 = 0.95 \times a, \qquad \tau = (\sqrt{5}+1)/2.$$

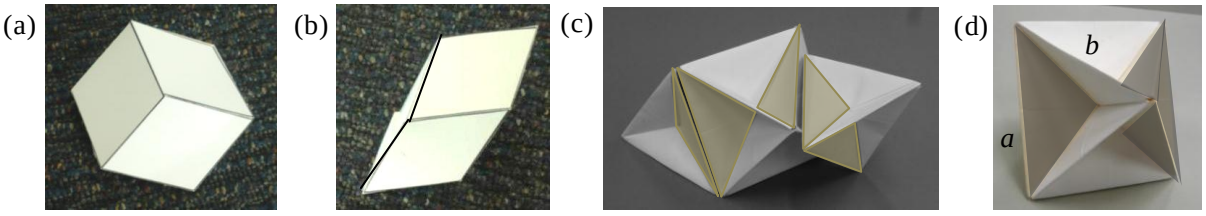


図１　３次元　ペンローズタイリング（3D-PT）の２種類の菱形平行六面体と黄金八面体の折り紙モデル：(a)と(b) オブテューズとアキュート菱形平行六面体；(c) アキュート菱形平行六面体中の黄金四面体２個と黄金四面体１個；(d) 黄金八面体の形状

３．たペンローズパターンの折り紙（PPO）モデル中の黄金八面体の配向

PPO モデルと 3D-PT の構造的対応関係を前提とすれば、PPO モデルを形成する八面体は正八面体ではなく黄金八面体となる。実際の PPO モデルでは、黄金八面体の正八面体からの僅かな歪が折り紙のフレキシブルな柔構造により吸収されていることが示唆される。

黄金八面体は、２辺が b で１辺が a の６個の二等辺三角形と、３辺が a の２個の正三角形の２種類、合計８個の三角形の面で囲まれており、２通りの面の接続方法が存在する。黄金八面体のスケルトン（図１(d)）を作り、PPO モデル内に存在する円環状と星形の二種類のクラスタを形成する黄金八面体の接続方法と配向を調べた。

一辺 a の正三角形の面を共有して接続すると、円環状と星形のクラスタともに、最後の一つを接続することができなくなる。PPO モデルを黄金八面体で組み立てる場合、二等辺三角形の面を共有して接続する必要があることが分かる。円環状と星形のクラスタを黄金八面体で組み立てた時の折り紙モデルを図２に示す。ここで、正三角形面に相当する部分は暗い色調で表示されている。

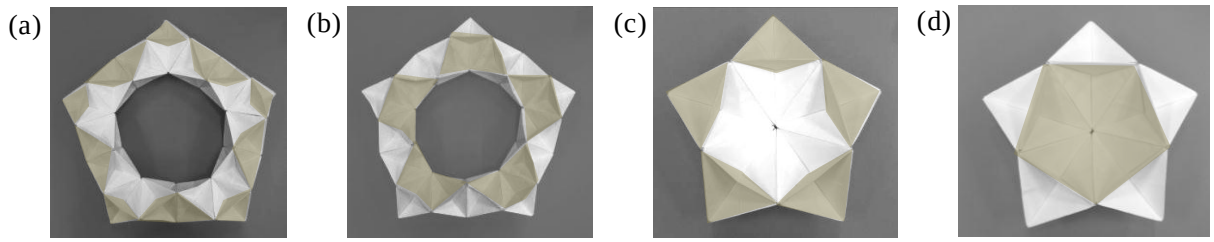


図２　クラスタを形成する黄金八面体の接続方法と配向：(a)と(b) 黄金八面体 15 個で作る円環状クラスタの表裏；(c)と(d) 黄金八面体５個で作る星型クラスタの表裏

４．まとめ

面を共有する黄金八面体で構成された円環状と星形クラスタの折り紙モデルから、PPO モデル中の黄金八面体の配向は、１辺が a の正三角形に２個の黄金四面体を接続してできる 3D-PT 中のアキュート菱形平行六面体の配向に矛盾していないことが明らかとなった。

参考文献

[1] 石原　正三，ペンローズパターンの折り紙モデル，第 69 回形の科学シンポジウム（於：東京学芸大学），形の科学会誌第 25 巻・第 1 号，pp.23-24，（2010）

[2] 石原　正三，八面体のスケルトンで作る正十二面体の折り紙モデル，第 71 回形の科学シンポジウム（於：千葉大学），形の科学会誌第 26 巻・第 1 号，pp.56-57，（2011）

形典・形譜による造形プロセスと作品

山崎明史，坪谷彩子，石垣健
日本大学芸術学研究科，女子美術大学，COMA DESIGN STUDIO
〒176-8525 東京都練馬区旭丘 2-42-1
〒252-8538 神奈川県相模原市南区麻溝台 1900
〒140-0015 東京都品川区西大井 3-12-3
e-mail：ishigaki@arsnote.com

The work by the performance of GRAMMAR AND SCORE ON FORM.

Akifumi YAMAZAKI, Ayako TSUBOYA, Ken ISHIGAKI
COMA DESIGN STUDIO, 3-12-3 Nishi-Ohi Shinagawa-ku Tokyo 140-0015 JAPAN

Keywords: grammar, score, array, rhythm, proportion
Abstract: We show a variation of the interpretation of SCORE ON FORM by our works.

●形典・形譜とは

形典とは，造形表現の仕組みと構成のルールを定立するものである[1]．音楽ならば楽典，言語ならば文典（文法と語法）に相当する．形譜は形典の定立によって表記された大よそのかたちである．その内容は，

１．誰もが可視化できる，適度な分割精度のイメージ・データ（素描などを含む）
２．空間設定，分割，リズム，プロポーション[2]，モデュール等の表記．
３．文（いかなる形式でもよい）
４．その他の必要とする要素，要因．（特定される素材，加工法，設置環境等）

などからなり，１．においては，普及しているポリゴンメッシュデータが活用できる．一般的には，ＤＸＦフォーマットやＯＢＪフォーマットが使われ，ＷＥＢ上では，これらを簡単に可視化できるフリーソフトも提供されている．

●展示内容と展示目的，

ａ．基礎造形において基本となる構成を数点の造形譜で表し，その解釈のバリエーションを提示することで，これらの造形譜とそこに表記されたリズムやプロポーションのモデュール化が，どのように形式や様式を規定するかを提示し，形典定立の意味を検証する．

ｂ．様々なレベルの形譜を提示することで[3]，自然の造形形式，あるいは造形作家の立ち位置を認識し，実制作家（パフォーマー）としての解釈の自由度とその領域を提案する．

●参考文献

[1] http://arsnote.com/arno/works/keiten01.html
[2] 岩田修一，河口洋一郎監修「かたち創造の百科事典」，pp.156-163，2012
[3] http://arsnote.com/arno/arnoGall/index.html

重力の影響を受けるキャベツの葉

根岸利一郎，関口久美子，高畑一夫，埼玉工業大学　埼玉県深谷市普済寺 1690

Influence of the gravity on emergence of cabbage leaves.

Riichirou Negishi, Kumiko Sekiguchi and Kazuo Takahata
Saitama Institute of Technology, 1690 Fusaiji, Fukaya, Saitama, 369-0293

1. はじめに

互生葉序の出葉間の開度は葉が多くなるに従って 137.5° の黄金角に近づくことから多くの関心を集めている。その出葉順には時計回りと反時計回りがあり，キャベツなどの身近な野菜やセイタカアワダチソウなどでは両者の比がほぼ 1:1 と観測されている。この両者の比が 1：1 になるのは従来偶然とされている。

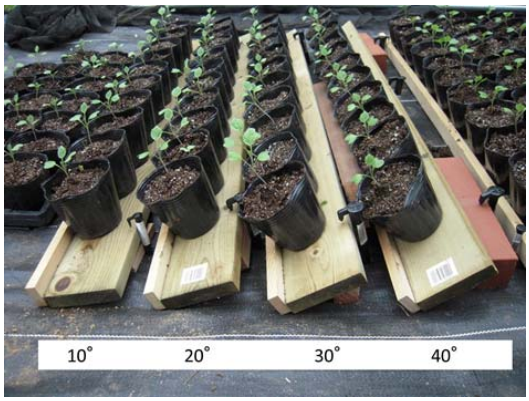
他方，重力屈性については，ダーウィン父子から興味が持たれて研究され，植物ホルモンとの関わりで解明が進んでいる。この部面ではつる植物の旋回性と重力の関係が明らかにされている[1]が，ここでは出葉順への重力の影響を調べる。

2. 重力屈性の利用

重力屈性は平衡細胞内の比重の大きな物質が重力の影響で相対的に下側に移動し，これに伴って植物ホルモン（オーキシン）に相対的な差が生じ，一定濃度以上でその部分の発育が促進され，上側に傾くとされる[2]。これに伴う丁頭部の変形では，シロイヌナズナにあっては 90 分の短時間で真上に向くことが観測されている[3]。キャベツなどでは本葉に対して重力の影響はどう表れるであろうか。

3. 実験方法と経過

重力の差異を傾きの違いによってその影響を調べる。平地での結果からは小さな傾きの影響は小さいと考えられる。その確認のために苗を準備し，いくつかの角度をつけたグループおよび横倒しにしたグループなどに分けて実験する。現在までの経過報告を行う。



[1] D. Reinhardt *et al*., Nature **426**, 255-260(2003).
[2] D. Kitazawa *et al*., PNAS **102**, 18742-18747(2005).
[3] C. Saito *et al*., The Plant Cell **17**, 548-558(2005).

DNA ナノエンジニアリングにおける ビジュアライゼーション

吉澤　慧[1]
yoshizawa@molbot.mech.tohoku.ac.jp

藤原　慶[1]
fujiwara@molbot.mech.tohoku.ac.jp

野村 M. 慎一郎[1]
nomura@molbot.mech.tohoku.ac.jp

村田　智[1]
murata@molbot.mech.tohoku.ac.jp

[1]東北大学工学部，仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

Visualization of DNA nano-engineering

Satoru Yoshizawa[1]
Kei Fujiwara[1]
Shin-ichiro M. Nomura[1]
Satoshi Murata[1]
[1] Graduate school of Engineering, Tohoku University,
6-6-01 Aoba Aramaki, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi Japan

Abstract: DNA nano-engineering is a new field of technology for making nano-scale structure. Most of people know the word “DNA”, however , it is difficult to understand the concept of DNA nano-engineering without knowing chemical and physical properties of DNA. The purpose of this research is to develop an aid that helps general people to understand the concept. As a first step of this attempt, we have made a movie to explain basic principles of DNA nano-engineering. We also have conducted evaluation of the movie with visitors who came to our open laboratory.
Keywords: DNA nano-engineering, learning process, science communication

1. はじめに

DNA ナノエンジニアリングは DNA を用いてナノスケールの構造体を作るボトムアップ型の新しい科学技術分野である。その発展のためには、多くの人にこの分野を理解してもらうことが欠かせない。しかし、多くの人にとって、「DNA」という言葉に馴染みがあるものの、DNA ナノエンジニアリングを理解することは難しい。それは、DNA ナノエンジニアリングは一般に知られている DNA の遺伝的性質以外に、その構造的、機能的性質を用いるからである。それらの性質を理解するには、生物学、化学、物理学など幅広い知識を必要とするが、専門的知識を持たない人々にとって、それらを直感的に理解することは難しい。

2. 研究の目的

本研究の目的は，生物学、化学、物理学などの専門的知識がなくとも、直感的に DNA ナノエンジニアリングの基本コンセプトを理解できるようなコンテンツを作成することである。そのために、通常目で見ることのできない DNA ナノエンジニアリングのビジュアライズが必要であると考えた。分子世界のビジュアライズといえば、シミュレーションが思い浮かぶが、そのように現実に完全に則したものは理解のために専門的知識を必要とする。したがって、科学的整合性をある程度保ちながらも、ブラウン運動などの普段身近にない概念を直感的に理解させるというバランスが重要になってくると考えられる。

3. 実験方法とその結果

研究の第一段階として、DNA ナノエンジニアリングの基本概念を説明するためのビデオを作製した。それをオープンキャンパスにおける研究室公開で用い、説明を行った。高校生を主とする訪問者 126 人にアンケート調査を行い、ビデオによる説明を受けた群と受けなかった群で、DNA ナノエンジニアリングの理解度や、それをおもしろく感じたかどうかなどの比較を行った。その結果、ビデオに一定の効果があることを示すデータが得られた。

目に見えない集団の「ココロ」を、見える「カタチ」に。

KEEPAD JAPAN　ICT サポート　山口達也

１．目には見えない場の「空気」

１）「空気を読む」

日本人は「空気を読むことを大切にする」と、よく言われる。だが、講演、授業、演劇、コンサートなど、プレゼンターが多数の人々に何かを伝えようとする現場では、「空気」を読み、それを支配することが非常に重要となるのは日本に限らず万国共通だ。

２）「空気」とは何か

では、「空気」とは何なのか。大辞林（第三版）には次のように記されている。

> *くうき【空気】*
> *①〔air〕 地球を包む大気の下層部分を構成する無色透明の混合気体。高度 80 キロメートル 以下ではほぼ均質で，水蒸気を除いた乾燥空気の組成（体積）は，窒素 78.09 パーセント，酸素 20.95 パーセントのほか，アルゴン・二酸化炭素・ネオン・ヘリウム・クリプトン・キセノンなどを微量に含んでいる。*
> *②その場の状態や気分。雰囲気。また，社会や人々の間にみられるある傾向。 「気まずいーが流れる」 「険悪なーになる」 〔もともと漢籍にある語。「砲術語選」（1849 年）にオランダ語 lugt の訳語として載る〕*

ここではもちろん②の意味である。「時間と場所を共有する複数の人間の間での共通認識」と言い換えると、よりプレゼンターの立場に立った定義付けとなり理解しやすいだろう。

常にプレゼンターにとって悩みの種となるのは、「空気」が目に見えないことである。聴衆が集中して注意を向けてくれているか、こちらの伝えないことが理解できているか、関心や好奇心は喚起されているか、満足感は得られているか。それらが分かれば、プレゼンターは必要に応じて軌道修正を加えながらプレゼンテーションを成功に導くことが容易となるのだが、どれもカタチのないものばかりだ。これが「空気を読む」ことの難しさの所以である。

２．「空気」の可視化の可能性

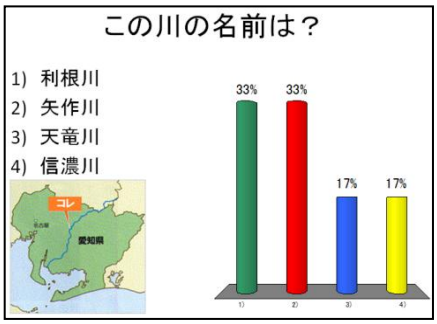
では、聴衆の「今この瞬間の認識」を把握することは果たして可能なのだろうか。聴衆という全く異なったバックグラウンドを持つ個々人のココロの集合体に、カタチを与えることなど可能なのだろうか。私は不可能ではないと考えている。その有効な手段の一つが、ARS の活用だ。

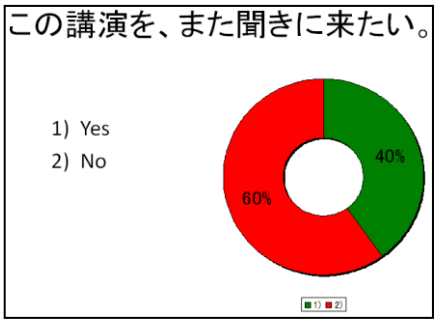
３．ARS とは何か

ARS とは「Audience Response System」の略で、聴衆の反応を瞬時に集計し可視化するシステムのことだ。「クリッカー」と呼ばれる小型の端末を聴衆に配布し、プレゼンターが選択式の質問をすることで、瞬時に結果をグラフ表示することができる。

クリッカー

４．より効果的な可視化の方法





１）色、形状

講演やプレゼンテーションの雰囲気作りに、色彩は重要なファクターとなる。グラフの色を工夫することも当然その中に含まれる。理解度をより明確にするために、正解と不正解で２色に分けて表示するのも有効だ。

また、グラフの形状も２択の場合は円グラフ、３択以上の場合は棒グラフにすると、結果がひと目で把握しやすくなる。プレゼンターと聴衆が瞬時にココロを一つにするには、こうした工夫もまた非常に効果的である。

２）タイミング

北海道大学大学院理学研究院の鈴木久男教授の研究によれば、大人（大学生）の「*集中力は 10 分から 15 分が限界*」であるという。そこで集中力が切れる前に「*クリッカーにおける双方向性、つまりリアルタイムフィードバックの効果*」を活用してみたところ、教室後方のドア付近に集まる「*心理学的にはやる気のない学生*」までもが「*難しい内容であっても、授業が楽しければ、授業に出席することも苦にならなくなり、学ぼうとする意欲も増して*」くる、と同教授は述べている。

さらに同発表は「*この効果は、単に学生に対して疑問を持ったときにすぐ解答が得られることによる主体的学習を促す項か（原文ママ）だけでない。非常に重視されていいのが、教員に対しての効果である。学生の理解度を教員が把握することにより、大多数の学生が理解した状態で授業をすすめることが可能になる。と同時に、教員に対しては、学生に対して今までの教え方が有効であったかどうかの検討をするきっかけになる。これにより、教員側では、教員の教授法の向上につなげることができる。このように、クリッカーによる双方向性が、学生と教員の双方に対して利益をもたらす*」と続く。

タイミングを見極め、ツールを効果的に活用することで、見えないココロを見えるカタチにし、プレゼンターと聴衆の双方にとって Win-Win となる結果が得られた、有意な研究発表といえるだろう。

５．まとめ

場の「空気」、すなわち聴衆のココロのリアルタイムな変動を読むには、まずその目に見えないものにカタチを与え、可視化する必要がある。可視化は ARS を活用することで可能である。さらに、色や形状にも工夫しながらタイミングよく行うことで場の一体感を構築し、聴衆とプレゼンターの双方にとってプラスとなる結果を得ることが可能となる。

■参考文献（いづれも 2013/10/03）

kotobank

http://kotobank.jp/word/%E7%A9%BA%E6%B0%97

鈴木久男　「学生応答システム“クリッカー”による双方向性授業」

http://www.keepad.com/jp/casestudies/docs/Interactive%20lectures%20with%20clickers.pdf

奥出組木が作る形

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

The proposal of new temperament

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

Abstract: The Okude Kumiki is the form where a five-place cut entered symmetrically with the rectangular parallelepiped of a hinoki. The solid forms and the puzzles which can be constructed in the combination of this single block are introduced.

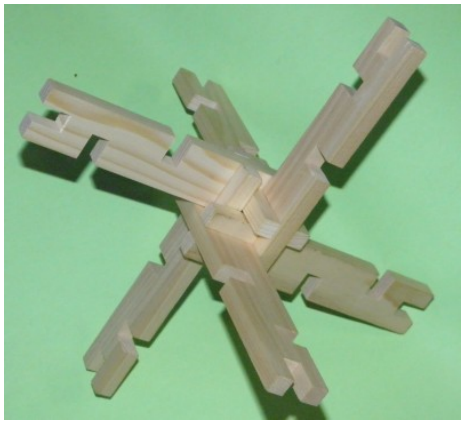
Keywords: Okude Kumiki

1. はじめに

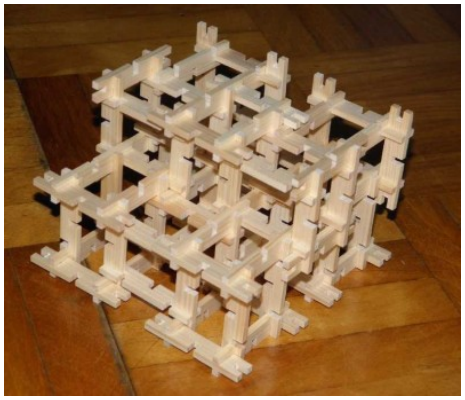
奥出組木は桧の直方体に対称に五箇所切れ込みが入った形状である。この単一ブロックの組み合わせで組むことが出来る立体形状やパズルを紹介する。

2. 単体形状

3. 三軸直交系の造形

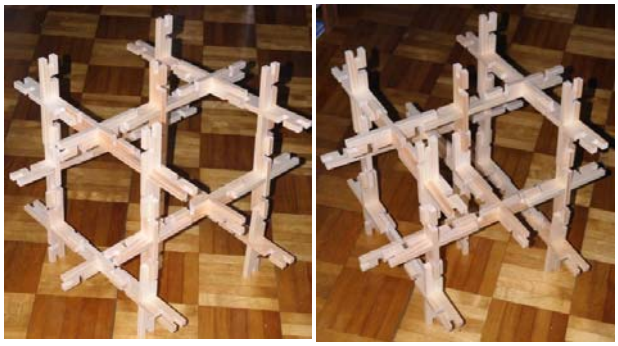


この組み立ては簡単なパズルである。

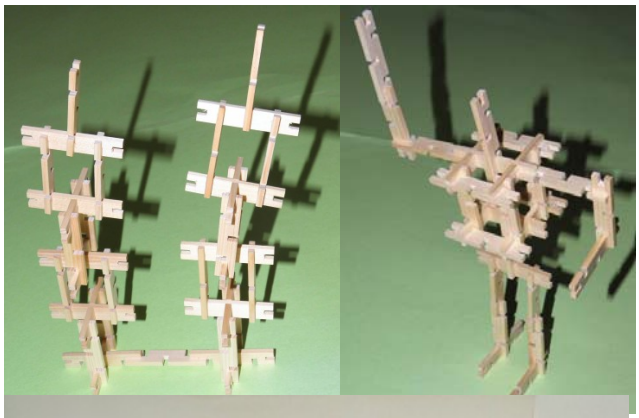


この接合でラーメン構造もできる。

4. 一点に二軸しか交わらないラーメン



5. キネティック- 揺らぎの形 ロボット



6.考案者による大作　橋

佐渡島沢根層から産出した珪藻化石の分類と産出頻度

坂本　悠莉
新潟第一中学校１年　新潟市中央区関屋

Classification and abundance of fossil diatom from the Sawane Formation in Sado Island

Yuri Sakamoto
Niigata Daiiti Junior High School

Keywords : diatom, Sawane Formation, Sado Island, classification

１．はじめに

珪藻(図１)は中生代白亜紀に出現し，今でも海洋や陸水域に生息している。珪藻はプランクトンの一種でガラス質の殻を持っており，その殻は層のようになっている。表面には胞紋と呼ばれる微細な穴がある。本研究は，佐渡島の沢根層に含まれる珪藻化石の種類を明らかにすることを目的とした。

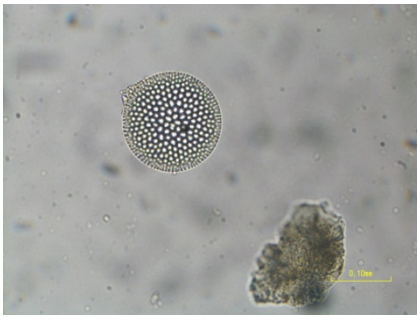


図1，珪藻の光学顕微鏡写真

２．研究方法

①プレパラートをつくる。
②光学顕微鏡でプレパラートの中の珪藻の写真を撮る。
③珪藻の写真でアルバムをつくる。
④何種類いるのか数え，それぞれにニックネームをつける。(例えば，白猫など)
⑤種類で何が一番多いかを調べる。

３．結果

沢根層の泥岩に含まれる珪藻化石(図 1，2，3)は，11 種類に分けられる(表 1)。そのなかで最も多くプレパラート内に見られたものは，わくと内側の境がハッキリしていて，穴の形がさだまっていないもの(ニャンコハザード，図 2)だった。

図2，ニャンコハザード

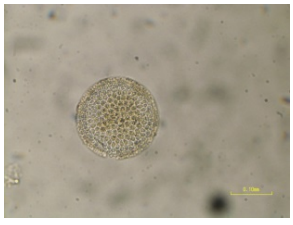


図3，白猫

表1，珪藻の種類と割合

珪藻の種類	割合(%)
ニャンコハザード	27.8
白猫	18.9
黒猫	13.9
ニャン丸	11.3
その他	18.9

４．今後の展望

珪藻は環境によって形が変化するので，今回の結果を関連づけて環境変化を明らかにし，形がどの様に変化していて，それらの違いはどういうところから生まれるのか調べたい。そのうえで，珪藻の進化ついて研究したい。

球の研究　球はほかの立体といかにちがうか

ベリクヴィスト あかり
東京都品川区立小山台小学校６年
〒142-0061　東京都品川区小山台 1-4-19
akari@den.se

Spheres: Difference from other shapes

Akari Bergquist
Koyama-dai Elementary School, 6th grade
1-4-19 Koyama-dai Shinagawa-ku, Tokyo

Abstract: I love to play in nature and have seen many shapes there. I found that spheres are very common and was curious to find out the reasons. Five differently shaped models were made, all of which had the same volume as a given sphere. Four experiments were carried out to compare the thermal and mechanical properties of the five models. The superiority of the sphere was verified.
Keywords: shapes in nature, spheres, geometry

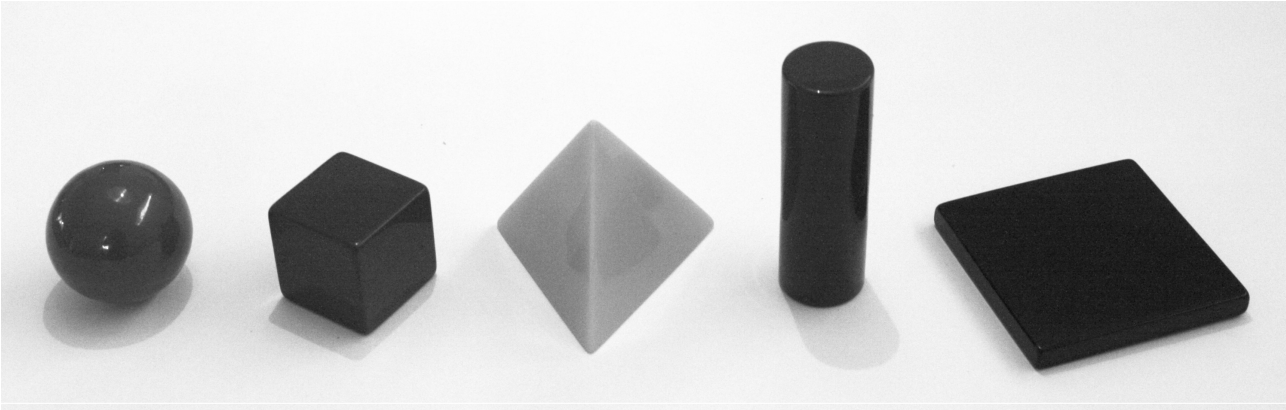
1. はじめに　　わたしのかたちの研究のはじまり

わたしは自然の中で遊ぶのが大好きです。自然の中で遊んでいると、ほんとうに様々なかたちに出会います。持ち帰ることのできるものは家に持ち帰ってきたので、いつの間にかわたしの小さな部屋は博物館のようになってきました。それで、３年生の夏にそれらを分類してみようと思い立ち、「自然のかたち」という自由研究にまとめました。その研究をまとめているうちに、気がついたことがありました。種や卵、木の実やくだもの、葉っぱの上の水滴、天体、丸くなるダンゴムシ……、自然界には「球」というかたちが数え切れないぐらいたくさんあるということです。それにはきっと理由があるはずだと考えはじめ、その理由を探る研究をしてみようと思ったのです。

2. 立体の特徴の比較実験　　球はほかのかたちとどうちがうか

球とかたち以外の条件がすべて同じ立体をつくり、実験をすることで球がほかのかたちといかにちがうかということを探ることができると考えました。ひとつの球の体積を求め、その体積と同じとなるようなほかの立体（立方体、円柱、正四面体、直方体）もつくれるような型をシリコンでつくり、氷、プラスチック、ろうでそれぞれ球を含む五つのモデルをつくって以下の４つの実験を行いました。

1) 温度の保ちやすさの実験
五つの立体を氷でつくり、同じ条件のもとでそれぞれの立体が溶けていく速さを比べることで、零度の温度の保ちやすさをみる。
2) 動きやすさの実験
五つの立体をプラスチックでつくり、平滑な板の上に置き、角度を傾けていき、何度の傾きで動き始めたかを比べることで、各立体の動きやすさをみる。
3) 通りやすさの実験
五つの立体をプラスチックでつくり、曲がりくねった透明なホースの中を通らせ、どこでひっかかったかを比べることで、各立体の通りやすさをみる。
4) 傷つきにくさの実験
五つの立体をろうでつくり、洗濯機の脱水機のなかで回転させていき、その傷つきにくさを観察し、記録しました。



実験のために制作した五つの立体

3. 実験結果と考察　　どの結果も飛び抜けて一位となった球

シンポジウムでは、主に温度の保ちやすさの実験をご紹介しますが、４つの実験の結果はどれも球が圧倒的な一位となり、球は「温度を保ちやすく」「動きやすく」「通りやすく」「傷つきにくい」かたちであることが、はっきりとわかりました。かたちがちがうというだけでこんなにも結果に差が出るなんて、本当に驚きました。自然界にある球もこれらの特性を利用しているものが多いということもわかりました。そして、球はいいところがいっぱいあるすてきなかたちであることがよくわかり、ますます球が好きになりました。

4. これからやってみたいこと

ひとつのかたちだけを研究するのでなく、もっとほかのいろいろなかたちについても調べていきたいと思っています。かたちとかたちはつながっていると思うからです。そして、それがどうつながっているのかも探っていけたら、またあたらしいことがわかって愉しいだろうなぁと思っています。

福井県産ジュラ紀アンモナイト

Pseudoneuqueniceras yokoyamai の肋の種類と配列順序

白井総真

新潟市立中野小屋中学校　一年　新潟県新潟市西区中野小屋 932

Variety and sequence of ribs in Jurassic ammonite *Pseudoneuqueniceras yokoyamai* from Fukui Prefecture

Keywords: ammonite, *Pseudoneuqueniceras yokoyamai*, ribs, sequence

はじめに

福井県産ジュラ紀アンモナイト *Pseudoneuqueniceras yokoyamai* のスケッチを行った。スケッチをする目的はアンモナイトの形状の特徴を十分に理解するためである。本研究では、アンモナイトを比較するために、対象物として「肋」に着目した。アンモナイトの肋は、殻にみられる線状の突起である（図１）。肋の種類を把握した上で肋の配列を考えてみた。

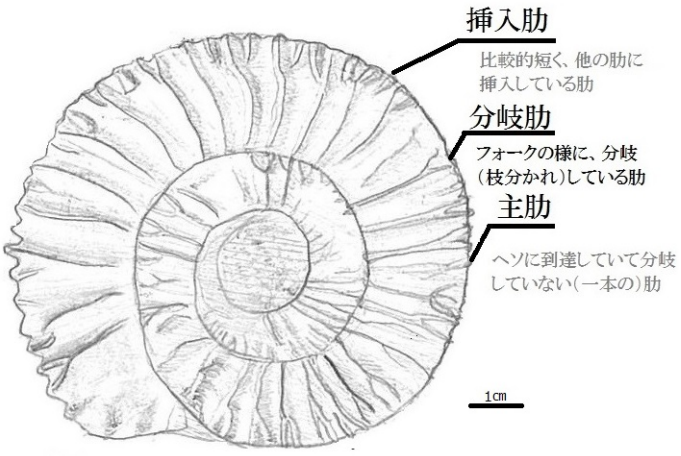


図1　アンモナイトのスケッチ

研究方法

（１） 標本をよく観察する。
（２） スケッチをする。（図１はスケッチ例）
（３） 形状が読み取りやすい個体について、肋の種類とその配列を記録する。
（４） 個体ごとの情報から、規則性があるか観察し、表にする。

結果

肋の種類と数を調べたところ、肋には、主肋・分岐肋・挿入肋（図１）があることがわかった。３個体の肋を調べた結果、主肋３０本、分岐肋４５本、挿入肋４２本の計３種類１１７本の肋が観察された。このうち分岐肋には、２分岐しているものと３分岐しているものがある。それらをさらに区分した結果、１０種類に細分化できた。今回は、肋の種類を特定したうえで、その配列順序に着目する。そして、肋の配列順序の規則性を示す。

新平均律の提案

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

The proposal of new temperament

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

Abstract: Temperment is based on the proportionality relation of pitch. Pure temperament based on the ratio of natural numbers. Originally Pythagoras temperment is based on the geometric series. Modern temperament based on the 12 roots of 2. Although a gap of pitch always exists between the strings of pure temperament, and the piano of temperament, the new temperment which cancels this partially is proposed.。

Keywords: Temperament Keyboad Strings Piano

1.はじめに－美しい音階とは

音楽は音の振動数の比例関係に基づいている。同じ振動数の二つの音をユニゾンと呼ぶが、振動数が二倍になると一オクターブ高い音になる。オクターブとはもともと８番目の音を表し､西洋音階では元の音からそれぞれド レ ミ ファ ソ ラ シ ドという名前が与えられている。比例関係が単純な二つの音が協和音、複雑なものが不協和音と呼ばれる。

協和音といえばドミソであるが、ドとソの関係を完全五度といい 2:3、ドとミは長三度で 4:5、ミとソは短三度で 5:6 となっている。

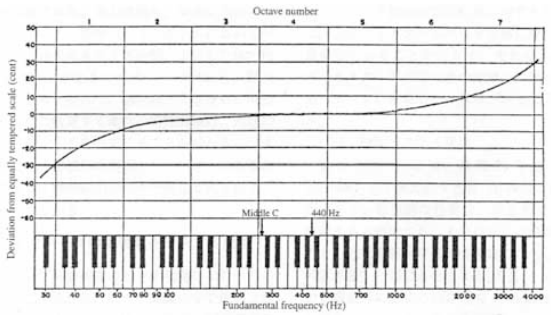
このような自然数の比に基づく音階が純正調と呼ばれる音階で、8 音の振動数比を表す最小の自然数列は　ド 24 レ 27 ミ 30 ファ 32 ソ 36　ラ 40　シ 45　ド 48
となる。この音階は 15 世紀頃もっとも美しいハーモニーが得られる理論として完成された。

2.ピタゴラス音律

音階という考え方はピタゴラスに始まり、弦の長さと振動数の関係からオクターブがの振動数が 1:2、完全五度が 2:3 の比であることが確かめられた。ドの五度下はファでドの五度上はソ、ソの五度上の音はオクターブ上のレ、さらにその上はさらにオクターブ上のラである。このように五度づつ等比的にたどって行くと ファ ド ソ レ ラ ミ シ という順番で音が現れる。この７つの音を二の乗数で割って１オクターブに収めたものがピタゴラス音律で、完全四度と完全五度に較べて三度や六度はきれいに響かない。そのため当時の音楽ではこれらの和声はほとんど使われることはなかった。

3.平均律

現代では複雑な転調などの作曲技法に答えるために１オクターブである２を対数的に 12 等分したものを半音、その二乗を全音とする平均律が、音高が固定されたピアノなどの楽器で採用されている。これは和声の美しさを犠牲にして利便性を取ったものである。　左図調律曲線



現代のピアノの音高は平均律に加えて、より自然な感覚を求めて高音にいくにつれてより高く低音はより低く調律するのが普通で、この平均律からのズレは調律曲線と呼ばれて電子ピアノなどで固定されているため JIS 規格でも定められている。

一方で弦楽合奏や合唱では音の高さがある程度自由に変えられることから、現代でも純正調に対応して開放弦は完全な整数比で完全五度に調弦される。そのため弦楽器とピアノの合奏の場合音高がピッタリ一致しているのは最初に音合わせを行うＡ音だけであり、ハーモニーの美しさを求める音楽の場合ピアノが参加することを嫌う傾向がある。

4. 新平均律

これら諸問題の補正のため、2 の 12 乗根(1.059463)を半音とするのではなく、完全五度の 1.5 の 7 乗根(1.059634)を半音とする平均律を考えてみた。これで各音の比率を求めると次のようになる。

	ド（C）	レ（D）	ミ（E）	ファ（F）	ソ（G）	ラ(A)	シ(B)	ド（C）
平均律	1.0000	1.1225	1.2599	1.3348	1.4983	1.6818	1.8877	2.0000
純正律	1.0000	1.1250	1.2500	1.3333	1.5000	1.6667	1.8750	2.0000
ピタゴラス音律	1.0000	1.1250	1.2656	1.3515	1.5000	1.6875	1.8898	2.0000
新平均律	1.0000	1.1282	1.2607	1.3359	1.5000	1.6842	1.8911	2.0039

平均律なので移調や転調に対して均一の響きが得られる上にどこを取っても完全五度が正しく響くため、弦楽器の開放弦とも音高を正確に一致させることが出来る。

オクターブが少し広くなるがこれは調律曲線の傾向と同じであり、最高音最低音ではこのピッチ差は調律曲線による差よりもずっと小さい。

問題があるとすればオクターブ奏法の場合うなりが発生することである。高音側では調律曲線と同じ効果なのでより華やかな音色を生むかもしれない。ただ低音側では振動数が少ない分より耳障りになることが予想される。そのため一定の音より下ではこれまでと同じオクターブを基本とする平均律、上側でこの新平均律にすることが考えられる。

弦楽器群でも低音側のビオラとチェロの開放弦は完全にオクターブで調弦される。ビオラの最低音は C3 なのでこの音を分岐点とすると、コントラバス以外のすべての弦楽器の開放弦とピアノの音高が揃うことになる。

5. 半音階鍵盤の提案

1オクターブのピアノの鍵盤は8個の白鍵と 2,3 のグループに分かれた 5 個の黒鍵からなる。これらはすべてフィボナチ数ではあるが、平均律で各鍵盤の音程が完全に均等になったにもかかわらず、ハ調の純正の音階を遺している。このためギターなどのようにコードによる手の形が決まらず、移調演奏も困難である。平均律に移行した際に各音が均等な鍵盤に移行すべきだして、いろいろな半音階鍵盤の提案がされている。ただ白鍵黒鍵もなくあまりにも現行の鍵盤形状とかけ離れた提案が多く普及には失敗している。そこで色と形状は現在のピアノを踏襲したクロマチックキーボードを提案して本稿を閉じる。

参考文献。音律の歴史 http://www2u.biglobe.ne.jp/~rachi/interval.htm#intv_4
音律とピアノ調律　岸啓子 愛媛大学教育学部紀要　54 巻 1 号

ランダムポーラスフォトニック結晶の構造色解析

植田 毅
東京慈恵会医科大学 物理学研究室、182-8570 東京都調布市国領町 8-3-1
tsuyoshi_ueta@jikei.ac.jp

Numerical study of structural color of a random porous photonic crystal

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

Abstract: It has been observationally confirmed that the color of birds, such as kingfisher and red-flanked bushrobin, is a structural color owing to interference of the light within a sponge structure inside a barb. In this study, we consider the air rod photonic crystal to which disorder is introduced into the translation vectors and the radius as a model of the structural color of red-flanked bushrobin, and the optical property of the model is numerically analyzed and is compared with that of the structural color.

Keywords: red-flanked bushrobin, sponge structure, porous photonic crystal, structural color, vector KKR

１．はじめに

モルフォチョウ、カワセミなど構造色であろうと推定される様々な生物について、その色を呈する本質的構造の解明が精力的に行われている[1]。鳥類では比較的単純な孔雀については研究が進んでいるが、カワセミなどでは羽毛を作る羽枝のスポンジ状の構造により構造色を呈することが観測的に明らかになっているものの、その構造の複雑さから理論的研究は進んでいない。本研究では、羽枝内のスポンジ構造が比較的薄く、また、泡が羽枝に長い構造を持っているルリビタキのモデルについて光学特性を調べる。

２．計算モデル

本研究では、ルリビタキの羽枝の断面構造に注目し、無限に広い誘電体に無限に長い円柱形の穴（エアーロッド）が開いている構造でモデル化する。基本構造として、エアーロッドを平面内に平行、等間隔に無限に配列した層を、ロッドが三角格子を成すように５層積層させたフォトニック結晶系を考える。また、ランダム系では層を積層する場合に並進ベクトルに最大 30%の乱雑さを導入する。2 つの系の反射スペクトルを比較することにより、乱雑さの影響を調べる。この場合、層内のロッド間隔の乱れは導入できない。

３．計算法

空乏円柱が三角格子を成すよう層を５層積層させた有限系では、グリーン関数を円柱内外のベクトル円柱波を用いて展開するベクトルＫＫＲ法[2]を用いて１層分のＳ行列を求め、Ｓ行列を合成することにより全系のＳ行列を求める[3]。このＳ行列より全反射率が求

まり、反射スペクトルを得る。

４．計算結果

生体に合わせて、基盤となる誘電体比誘電率を$\varepsilon = 2.43$とし、物質による吸収は考慮しないものとする。三角格子の格子定数をdとして、エアーロッドの半径を$a = d/3$とする。エアーロッドが三角格子を成す系に層に垂直に平面波が入射したときの反射スペクトルを図(a)に示す。

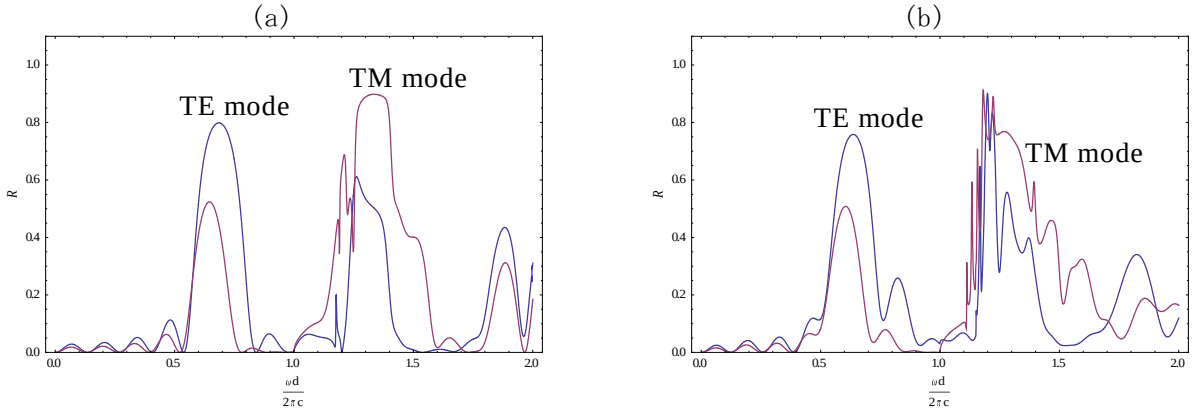


図:完全三角格子(a)，並進ベクトルに 30%の乱れがある系(b)の反射スペクトル

わずか 5 層の系でも TE、TM モードともに、$0.5 < \omega d/(2\pi c) < 0.8,\ \ 1.2 < \omega d/(2\pi c) < 1.6$にバンドギャップの形成をうかがわせる反射率の高い領域が見られる。次に、並進ベクトルに最大 30%の揺らぎを導入した系のスペクトルを示す(図(b))。並進ベクトルに乱れが導入された場合も反射スペクトルはよく乱れがない場合の概形を保持している。乱れの影響は細かな形状に敏感な高周波数のピークから広がり、微細なピーク構造が現れることが分かる。また、TE モードに比べ、TM モードの方がスペクトル構造への影響が大きい。

５．結言

本研究では鳥の羽の構造色のモデルとして乱れのあるエアーロッドフォトニック結晶を提案し、反射特性を求め、格子の乱れにより、反射スペクトルが高周波域から広がる。講演ではより広い周波数領域、入射角依存性を調べ、また、反射スペクトルから視認色を RGB 合成し、ルリビタキの構造色と比較する。また、乱数系列の影響にも言及する。

参考文献

[1] 木下修一．生物ナノフォトニクス － 構造色入門 －（朝倉書店），2010.

[2] Kazuo Ohtaka, Tsuyoshi Ueta and Katsuki Amemiya, Phys. Rev. B, Vol. 57, (1998) pp.2550-2568.

[3] Tsuyoshi Ueta, Kazuo Ohtaka, Noriko Kawai and Kazuaki Sakoda, J. Appl. Phys. Vol. 84, (1998) pp.6299-6304.

Boerdijk–Coxeter helix の転がりに関する研究

伊藤圭汰、手嶋吉法

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

Research on rolling of Boerdijk–Coxeter helix

Keita ITO and Yoshinori TESHIMA*

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

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

Abstract: It is impossible for every regular and semi-regular polyhedron to roll without the height of the centroid changing while rolling. Linear stacking of a regular tetrahedron called the Boerdijk–Coxeter helix, which has no translational symmetry, was investigated. Lengthening the Boerdijk–Coxeter helix will be expected to allow it to roll more smoothly. However a nontrivial phenomenon that the distance of roll was not monotone increasing was shown by our experiment.

Keywords: roll of polyhedron, Boerdijk–Coxeter helix, 1D quasicrystal

1.　はじめに

筆者らは、機械サイエンスの為の基礎研究として、多面体の転がりについて研究している[1][2]。正多面体および準正多面体の中で、最も転がりにくい多面体は正四面体と考えられる。その正四面体を図 1a の様に螺旋状かつ直線状に面連結させた多面体は Boerdijk–Coxeter helix（以下 B–C helix と略す）と呼ばれる[3][4]。B–C helix は、球の最密充填の研究の中で考案された(図 1b)。

正四面体の B–C helix（図 1a）は、水戸芸術館のシンボルタワー（高さ 100m、1 辺 9.6m の正三角形パネル 57 枚使用[5]）として建造された。これは、B–C helix の芸術分野への活用と言える。

過去の研究で、B–C helix の構造が有する機械的な性質（強度、運動など）については、明らかにされていない。本研究は、B–C helix の転がり方を詳しく調べ、その転がり特性を明らかにすることを目的としている。

B–C helix の構造は、規則的であり、無限遠まで完全に定まる。しかし、この構造には並進対称性が無く、1 次元的な準周期構造となっている。つまり、B–C helix を構成する正四面体の向きは全て異なり、図 2 の様に B–C helix を軸方向へ投影すれば、全ての頂点は互いに重ならず、異なる点として同一円周上に乗る。

このような B–C helix の幾何学特性により、連結数が増えるにつれ、正四面体の頂点が様々な角度に現れ、投影図（図 2）における頂点の集合は円に漸近していくので、B–C helix は転がり易くなると予想される。しかし、次節の B–C helix の転がし実験をおこなったところ、実際の転がり特性は単純ではなく、非自明な現象が確認された。

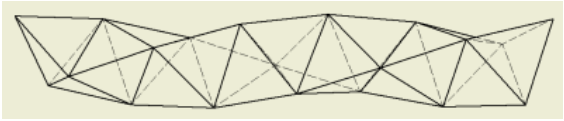


図 1a　正四面体の B–C helix （頂点数 20）
正四面体 17 個の面連結

図 1b　球の B–C helix（球 20 個）

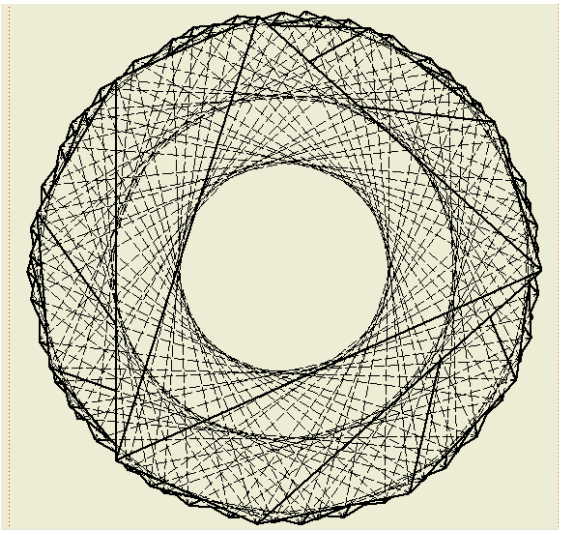


図 2　B–C helix を軸方向に投影した図
（正四面体 60 個を連結した場合）

2. 実験

B-C helix を斜面から転がし、転がった距離を測定する。B-C helix の試験片は、ポリドロン(英国製、材質:ABS 樹脂)の正三角形(一辺の長さ:約 70mm)を用いて作製した。

今回調査した連結数は、10 連結から 60 連結までの全ての場合である。各連結数の B-C helix に対して、転がった距離を 10 回ずつ測定した。斜面の傾斜角は 20 度である(図 3)。床面と同じビニルタイルを斜面上にも敷いた。B-C helix を転がし始める位置は、斜面下端から 20cm および 30cm の位置の 2 通りである。

図 3　斜面上のスタート位置(斜面下端より 30cm)にセットされた B–C helix

3. 結果と考察

測定結果を連結数ごとに平均化し、グラフを作成した(図 4)。これとは別に、10 回ずつ転がした中での最大距離についてもグラフ化した。

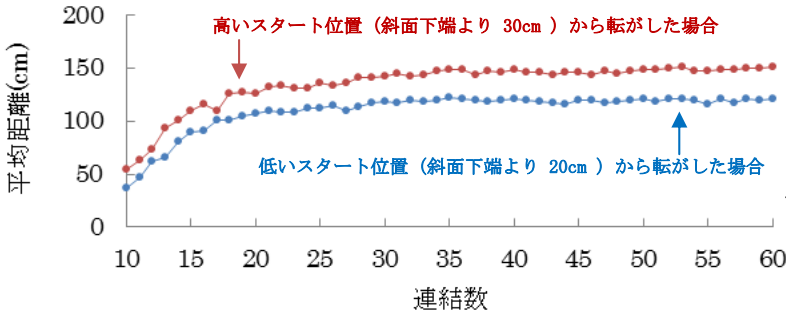


図 4　B–C helix の連結数と転がった距離の関係

図 4 より、正四面体の連結数を 1 つずつ増やしていくと、20 連結付近までは転がった距離の変化量が大きいが、それ以降は変化量が小さいことがわかる。全体的な傾向としては、連結数の増加に伴い、転がった距離は伸びている。しかし、単調増加ではなく、局所的に距離が減少している箇所がある。これは、非自明な現象であり、この現象を幾何学的な視点から理論的に説明することが、筆者らの目下の課題である。

現象を理解する為の 1 つの鍵は、B–C helixの頂点の空間内分布を連結数毎に特徴づけることである。つまり、B–C helix が 360° 回転する際中に、床面との接点がバランス良く登場するかを確認するのである。

それら頂点の角度分布は、軸方向への投影図(図 2 はその 1 例)で示される。連結数が少ない場合、投影図の頂点を結んで得られる多角形は頂点数が少ないので円に程遠く、そのような B–C helix は滑らかに転がり得ない。連結数が増えると、投影図の頂点を結んで得られる多角形は円に漸近していく。これは、B–C helix が滑らかに転がる為の必要条件であるが、十分条件ではない。ある連結数の B–C helix が滑らかに転がるか否かは、頂点の角度分布と長手方向(中心軸の方向)の位置分布を両方考慮することで、幾何学的に判定できると考えている。

講演では、B–C helix の転がり特性について、実験と理論の両面から最新の知見を報告する。

参考文献

[1] 手嶋、「滑らかに転がる多面体の研究」、第 74 回形の科学シンポジウム(東京農工大学、2012 年 11 月)

[2] Teshima, Y., "Rolling polyhedrons: applied geometry in mechanical science and engineering". *Symmetry: Art and Science*, (2013) pp. 318-321. (ISIS Symmetry Congress in Crete, Greece in September, 2013)

[3] Boerdijk, A. H., "Some remarks concerning close-packing of equal spheres", *Philips Res. Rep.* 7 (1952) pp. 303-313.

[4] Coxeter, H. S. M., "The simplicial helix and the equation", *Canad. Math. Bull.* 28, (1985) pp. 385-393.

[5] 水戸芸術館ホームページ、施設のご案内、塔の仕様

迷彩再考

中村 健蔵
MathArt作家　逗子市池子２−３３−１０
SI4K-NKMR@asahi-net.or.jp

On Camouflage Pattern.

Kenzo NAKAMURA
Math-Artist, 2-33-10 Ikego,Zushi City, Kanagawa Pref.

Abstract: There is the revolution on Camouflage Pattern. I would like to introduce the digital Camouflage, and think the making of future Camouflage Pattern.

Keywords: Camouflage, Ambush Pattern,

はじめに

私事であるが本年９月に防衛省を退官した。これまで関心や興味はあったが、関係者として立ち入れなかった分野として迷彩パターンがあった。本稿では最新の軍用迷彩を紹介するとともに迷彩について全体像を再考し、今後、新たな迷彩を考える資としたい。

迷彩について

迷彩の本来目的は、他者に見つからないために周りに同化する様に暴露部分の色・パターンを工夫したものである。見つからない目的は見つかって攻撃を受けないためや待ち伏せして攻撃するためである。図１の完璧な迷彩はカレイの華麗な迷彩である。これほど完璧なものは無い訳である。これを保護色という表現をしているものがあるが、カレイは身を守っているだけではなく、餌の小魚を近づかせて補食するためでもあり、保護色という表現は人間サイドから見た一方的なものと言えよう。一方、ファッションとして迷彩を身につけている人は１つのデザインとしてかっこいいと思っているのであろうか。また、身を守るという事を考えた場合、迷彩は掩蔽・隠蔽のごく小さな一部分を占めるだけのものである。例えて言えば、地中に強固な施設を作り、その中から出ることのない人は迷彩を身につける必要は無い。敵の目に暴露されながらも命を守らなければならないから迷彩をするのである。図１のカレイをよく見ると尻尾が齧られている様に見える。これほど完璧な迷彩でも完璧ではない事を示している様にも見える。

図１:華麗な迷彩

迷彩の種類

迷彩のように見えれば良いだけなので当然ではあるが、 迷彩になっていない迷彩ファッションが散見される。迷彩の色とパターンは、それぞれ独立であり、それぞれにルールがある。色であれば、日本のような温帯の湿潤な気候の場所のためには、Woodland Cam.と呼ばれる色の系列が決まっている。細かく言うと Woodland Cam.にも春と秋のバージョンがあるが、それらしい色系列として定義されている。イカの様に皮膚の色をコントロールして周りに合わせられる訳ではないため、想定する環境に

おいて最もありそうな色で彩色するので、色にルールが生じるのは当然であろう。本予稿は白黒のため、色彩については発表時に補足したい。

迷彩パターンについて

上で述べた様に迷彩パターンについてもルール、もしくは類型というものがある。図２～図４は代表的な迷彩パターンである。

図２：パッチパターン

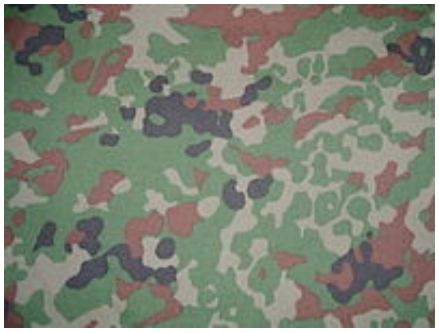


図３：貫入雲形

図４：デジタル迷彩

図２は１９１０年代のドイツ陸軍が使用していたもので、パターン名としては四角の布（パッチ）をバラまいて重なり合った模様となっている。図３は現在の陸上自衛隊の迷彩で大小の不定形が相互に貫入している模様である。図４は最新のデジタル迷彩と呼ばれるものでカナダ、米国は既に採用し、日本でも航空自衛隊と海上自衛隊は採用、逐次移行しているところである。その特徴は、図３の貫入雲形と比較するとベースの色に濃い色が貫入するところは同じであるが、貫入が不定形ではなく、固まりとばらまきを持った基本矩形的な形状が現れているところであろう。これがどのような効果を生むかを図３と図４の黒の部分に注目して考えてみる。近くから見たものは図の通りであるが、ある程度、離れた事を考えると黒として認識できるのは図３では中央上部の１点のみであろうか、一方、図４では左中央から右下に黒の流れが認識できる様に思われる。つまり、フラクタル的な意味で遠くから見ても近くから見ても色・パターンが失われない様に作られているものと思われる。

まとめ：デジタル迷彩パターンの作成にむけて

デジタル迷彩パターンは日本で自由に作成できるまで研究されていないようである。図５は私の作品「スタッガー曲線による秋」(注)である。これは白樺の黄色、ナナカマドの赤い紅葉が、それぞれの色系列の範囲の中で濃淡を生じながらフラクタルの固まりを持って散らばっている様を表現したものである。正にデジタル迷彩と言って良いものと思われる。発表では、これらについても言及したい。

注：PP182「Mathematicaで絵を描こう」中村健蔵　東京電機大学出版局　1998

図5:デジかも？

組みひもかくはん図形

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

Braid-stirring Pattern

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

抄録: 組みひもの上部に伸縮自由な「ひも」を取り付ける. これを L_0 とする. 組みひもの下部には, 上部のひもに組みひもを作用した像である図形 L_1 が得られる. この作用を続けて得られる図形 L_n を組みひもかくはん図形と名付ける. 組みひもかくはん図形をどのようにして特徴付けるか考えてみた.
キーワード: 組みひも, 組みひもかくはん図形, 位相カオス.

簡単な例として組みひも $\sigma_1\sigma_2^{-1}$ を考える. 組みひもの上部に伸縮自由な長さ 1 の「ひも」を二つ (a と b) 取り付ける (図 1 左). これを L_0 とする. 長さは 2 である. $L_0 = 2$ と書く. 組みひもの下部には, 上部のひもに組みひもを作用した像である図形 L_1 (a' と b') が得られる. $L_1 = 5$ である. 組みひもの作用を B とすると, $L_{n+1} = BL_n$ が得られる. このようにして得られる図形を組みひもかくはん図形と名付ける. ここでは以下のような組みひもを調べる.

組みひもの制限

[1] 組みひもの本数は奇数 (とりあえず 3 本と 5 本を扱う).

[2] 組みひもによる L_0 の伸び率 λ は 1 より大きいとする. 本数を決めたとき, 伸び率最小の組みひもに制限する (例 3 本: $\sigma_1\sigma_2^{-1}$, 5 本:$\sigma_4^{-1}\sigma_3^{-1}\sigma_2^{-1}\sigma_1^{-1}\sigma_4^{-1}\sigma_3^{-1}$).

例として $B = \sigma_1\sigma_2$ とすると, $B^3L_0 = L_0$ である. このような組みひもは考えない. また, $\sigma_1\sigma_2^{-1}\sigma_2^{-1}$ による伸び率は $\sigma_1\sigma_2^{-1}$ による伸び率より大きい.

組みひもかくはん図形をどのようにして特徴付けたらよいのかはっきりしない. 試みに以下のような量を導入する.

組みひもかくはん図形の特徴付け (案)

[1] L_n の長さとその伸び率 λ.

[2] 入り口数 (トンネル数と同じ).

[3] 入り口の配置

[4] L_n のトンネルの長さとその伸び率.

ここで $\sigma_1\sigma_2^{-1}$ による L_n についての特徴をまとめておこう. L_n の長さは以下で示す行列 M_3^n の要素の和. その伸び率 $\lambda = (2+\sqrt{5})/2$. 入り口数とトンネル数は 1. 入り口の配置は下方. トンネルの長さは L_n の長さより常に 2 短い. トンネルの長さの伸び率は L_n の長さの伸び率と同じ. a の像 a' はもともとの a と b を被覆する. 同様にして b の像 b' はもともとの a を一回と b を二回を被覆する. これを行列 M_3 で記述する. M_3 は遷移行列とか構造行列と呼ばれる. 要素の和 5 が L_1 の長さである. 固有値の最大値が長さの伸び率を与える.

$$M_3 = \left(\begin{array}{c|cc} & a & b \\ \hline a & 1 & 1 \\ b & 1 & 2 \end{array}\right) \tag{1}$$

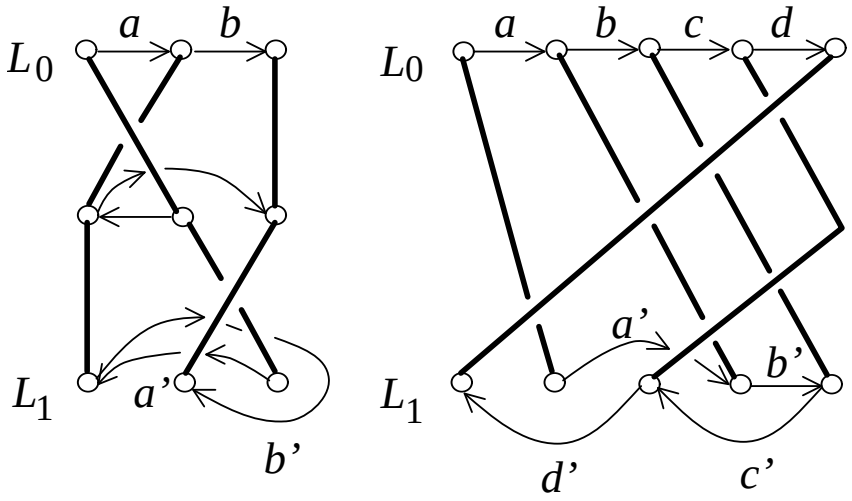


図 1: 左：組みひも $\sigma_1\sigma_2^{-1}$ によるかくはん. 右：組みひも $\sigma_4^{-1}\sigma_3^{-1}\sigma_2^{-1}\sigma_1^{-1}\sigma_4^{-1}\sigma_3^{-1}$ によるかくはん.

次に 5 本の組みひも $\sigma_4^{-1}\sigma_3^{-1}\sigma_2^{-1}\sigma_1^{-1}\sigma_4^{-1}\sigma_3^{-1}$ についての構造行列 M_5 を与える. 組みひもの上部に用意する「ひも」は左から a, b, c, d と名付けられている (図 1 右).

$$M_5 = \left(\begin{array}{c|cccc} & a & b & c & d \\ \hline a & 0 & 1 & 1 & 0 \\ b & 0 & 0 & 0 & 1 \\ c & 0 & 0 & 1 & 1 \\ d & 1 & 1 & 0 & 0 \end{array}\right) \tag{2}$$

例として一行目は a の像が b と c を被覆すると読む. これより L_n の長さと伸び率 $\lambda = 1.7220$ が決まる. 入り口は上部に二つあり, 下部に一つできる. そうするとトンネルは三本できる. それぞれの長さは異なるが長さの総和は L_n の長さより 4 少ない. 各トンネルの長さの伸び率も 1.7220 である. 三本のトンネルの全長に対する割合は 17.58%, 27.79%, 54.63% である. これらは M_5 を利用して得られる.

しかし, 入り口の配置と個数を決めるためには L_1, L_2, L_3 と描いていく必要がある. L_1 は簡単に描ける. L_2 になるとかなり面倒になり, L_3 を描こうとすると相当苦労する. このような図形を現状では手書きで描いているが, CG で描くことができればありがたい. 粘性流体に棒を差し込み回転し撹拌させて L_n のパターンを調べているグループもある [1].

伸びる機構が考えている組みひもにはある. つまりカオスが潜んでいると言える. ある力学系で周期軌道を考える. この周期軌道から構成される組みひもが決まる. この組みひもがここで示したような伸びを与えるとすると, 組みひもの情報だけで決まるカオス (位相カオス) が力学系に存在する. このカオスは組みひもの性質だけで決まるという意味で普遍的なカオスである. 組みひもかくはん図形には深い意味が隠されている.

参考文献 [1] P.L.Boyland, H.Aref and M.A.Stremler, *Topological fluid mechanics of stirring*. J. Fluid. Mech. 403 (2000), pp.277-304.

検索キーワード: rod stirring chaos.

記:2013.08.25

形典と形譜について

石垣　健
COMA DESIGN STUDIO、東京都品川区西大井 3-12-3
e-mail：ishigaki@arsnote.com

FORMICAL？ GRAMMAR AND *FORMICAL？* SCORE (GRAMMAR AND SCORE ON FORM)

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

Abstract: Description about information design and basic concepts to suggest KEITEN & KEIFUI.　英語には,「形の」という言葉が見当たらない. musical grammar は日本語で楽典のことであるから, formical を「形の」に当てたいが,残念なことに「蟻(formicidae)の」という意味になってしまう. 形典・形譜が定立されない原因がアリのせいとは思えないが, 言葉を失うと対応する概念は話題に上らない. 英文のタイトルはあえてそのための一石として斜体で示した.「形の科学」も「THE *FORMICAL* SCIENCE」と書くと楽しそうだ.

Keywords: grammar, score, array, rhythm, proportion

●形典とは

形典とは，造形表現の仕組みと構成のルールを定立するものである．音楽ならば楽典，言語ならば文典（文法と語法）に相当する．楽典も文典も常に定立されてきたが，その構造や規則の論理的な根拠を求めるのは難しいようだ．構造は根拠とは無縁に成立可能であるし，それゆえに形式も多様となる．数学のような形式科学とも異なるのだろう．

形は，変幻自在な自然現象の中に多様な生物形態が生存し，更に人為による自由自在な芸術表現まで加わる．ましてや，その構成の認識自体が多分に恣意的であったりするのだから，それらの構成の仕組みを定立しようなどとはだれも思わなくて当然だ．おまけに，造形表現というものは，音楽や会話のように表現した直後に消えてなくなることはない．保存性があれば，同一の対象をいつでも見られるのだから，わざわざ記譜による不確定な伝達や記録など必要としなかったのだろう．だが時代は変わりゆく….

●形譜の内容

１．誰もが可視化できる，適度な分割精度のイメージ・データ（素描などを含む）
２．空間設定，分割，リズム，シンメトリー，プロポーション，モデュール等の表記．
３．文（いかなる形式でもよい）
４．その他の必要とする要素，要因．（特定される素材，加工法，設置環境等）

情報科学の３次元ＣＧで普及しているデータ・フォーマットは，形譜の可視化データとして利用できる．さらに，アルゴリズによって生成される造形デザインは，プログラムに構成の要素と要因を扱う構法手順が記述されている．それらは，形典の基盤を形成する基礎概念を含むので，作者は容易に造形譜を記述できるはずである．

●形典における造形形式

造形形式を定立することは，膨大な仕事である．しかし，幸いなことに過去を振り返れば，リンネの『自然の体系』(Systema Naturae、1735 年）などの分類学が自然形態の形式を記述する形典の先駆けとなっている．以来，博物学は，綿密に自然形態の分類を定立してきた．そして，現代の構造主義生物学では，細胞質の中に DNA とは異なる遺伝機構が想定され [3]，物質における造形構成の探求は，肉眼では不可視の領域で先鋭化している．

この形の科学会において発表された論文にも，物質的振る舞いが，多様な形態を生み出す仕組みと，その法則を解明した貴重な研究が沢山ある．形の分類学的視点から見れば，これらの研究は様々な階層性をもつ形式に分けられるはずである．

近代以降の西洋美術は，ドイツ表現主義，フォービズム，キュビズムなどの流れを生み出し，抽象的造形表現への道を開いた．これらの表現形式は，この半世紀の脳神経科学の発展による視覚情報処理の知見から見ても，革新的な造形表現であることが推察されている．[1]　脳内の記憶イメージを再構成して表現するこれらの恣意的な造形構成が，いまでも多くの人々の賞賛を得るのは，人間の感性的認識の本質に迫るからである．これらの表現は，芸術家たちが累積的探求の果てに，内的世界の視覚情報に眼を向けた証である．

●形典の基盤と基礎概念

形典は，規範的構成，形成的構成，認識的構成などに分けられる．どのような形式であれ，構成を統合的に表記する基盤と，比較するための基礎概念が必要となる．下記参考文献[3]の pp.156-163 に，「デザインのためのリズム」，「デザインのためのシンメトリー」，「デザインのためのプロポーション」，「デザインのための魔方陣」を記した．この紙面の都合上，そちらをご参照いただきたい．これらの“美的形式”については，客観的な視点を見出すことは難しい．ここでは，リズムとプロポーションの統合と分離をイメージ・チャートで明解に提示している．筆者としては，シンメトリーと魔方陣は，リズムの特別な状態と考える．順序数と対照的な対称性をもち，乱数とも異なり周期性をもつ数学的モデルだ．提示した二次元配列の図で，正規の順序，乱数，完全方陣の見分けは一瞥で解るはずだ．特に完全方陣による視覚的構成は，バランスと変化に富むことが視覚的に感じ取れるはずである．これらの分析的なイメージ・チャートによって，誰もが複合的な美的形式を見ぬく天才的なパターン認識力の持ち主であることを感じていただければ幸いである．また，たとえこれらの配列が，否同期的に構成されても，眼と精神は新たな美的形式を見出していく力をもっていることだろう．眼（視覚構成）と精神は一体なのだ．

文法の研究は，規範文法，記述文法，生成文法，認知文法と探求が進んでいるようだが，形典においては，取り急ぎ規範形法とでも呼ぶべきところから出発せざるを得ない．

リンネは，「記録すべきは，数，形，比率，位置である.」と記し，「体系は，そこで言及されていない植物をも示す」とも記したそうだ．構造を知ることは，創作への道しるべでもある．今後も，更に有志を募り，実証的な事例を発表していければ幸いである．

●参考文献

[1]岩田誠「見る脳・描く脳」，絵画のニューロサイエンス，東京大学出版，1997
[2]池田清彦「構造主義生物学とは何か: 多元主義による世界解読の試み」，1988
[3]岩田修一，河口洋一郎監修「かたち創造の百科事典」，pp.156-163，2012

第 75 回 形の科学シンポジウム 「ジオパークと形の科学」
討論記録（記録のあるもののみ掲載）

【主催】形の科学会
【共催】糸魚川市・糸魚川市教育委員会・新潟大学コアステーション「形の科学研究センター」
【後援】日本ジオパークネットワーク、新潟大学、糸魚川ジオパーク協議会
【会期】2013 年 6 月 21 日（金）～23 日（日）
【会場】フォッサマグナミュージアム
【代表世話人】茨木洋介 〒941-0056 新潟県糸魚川市一ノ宮 1313 フォッサマグナミュージアム
Tel: 025-553-1880 Fax: 0250553-1881 E-mail: yousuke.ibaraki@city.itoigawa.niigata.jp
【世話人】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科
Tel/Fax 025-262-6376 E-mail: matsuoka@geo.sc.niigata-u.ac.jp
【懇親会】2013 年 6 月 22 日（土）18：00～ ヒスイ王国館（糸魚川駅となり）2 階
【遠足】2013 年 6 月 23 日（日）フォッサマグナパーク， 小滝川ヒスイ峡
討論記録には質問者の討論記録シートの記載にもとづいており、講演者の校正がないものもあります。
Q: 質問、A: 回答、C: コメント

討論記録

6 月 21 日（金）

形の科学一般

整斉書字時の筆記イメージ作成プロセス
　沓名健一郎（静岡大学教育学部）

Q：点つなぎで、点はこちら側が与えるのか、文字の形（淡い灰色）も与えるのか？（高木隆司）
A：その通りである。文字の形も与えないと、つなぐ順序がわからない。
Q：点つなぎの場合、順番は与えないのでしょうか？ 順番を与えるときと、与えないときの成績の違いを調べる、というアイデアもあると思います。
Q：お手本と結果の差を計測されているようですが、どのように定義しているのでしょうか（栗田治）
A：点の順番は「の」というひらかなの場合、与えていません。漢字の出題では与えています。
A: 大きさ（多分凸胞の面積）によって差を測っています。

Limit Genome Distance revealed by dissecting a leaf of Arabidopsis thaliana
　Deepti Diwan, Tongmyong Kawa, Miho Suzuki, Naoto Nemoto, Takuyo Aita, and Koichi Nishigaki（埼玉大学大学院理工学研究科）

Q: Is there any time change in genome of an identical tree? Matsuura 松浦執）
A : Probably Yes
As we have employed 3 different trees of an identical species (*Fagus crenata*: Japanese beech). Secondly, in order to discuss methodological differences, we sequenced a particular DNA band obtained from the GP method. Throughout these experiments, we consistently reached the same conclusion that all of the genome sequences within an organism are not identical and are *systematically different*. Therefore, if we talk about a single tree, say for example; *Fagus crenata* (Japanese beech tree *A*), the genomic profiles of all leaves on the same branch ($A_{(\text{tree name})}1_{(\text{branch name})}$-$1_{(\text{leaf name})}$, $A_{(\text{tree name})}1_{(\text{branch name})}$-$2_{(\text{leaf name})}$, and $A_{(\text{tree name})}1_{(\text{branch name})}$-$3_{(\text{leaf name})}$) clustered together. This result was also the case for the genomic profiles of leaves on branches *A2* and *A3*. The genomic profiles of leaves on branch *A3* located furthest from the ground were most distant from the genomic profiles of other leaves on the same tree. Therefore, the same phenomenon was reproducibly seen in an identical species of Japanese beech trees designated as tree *B* and tree *C*; namely, that leaves from the same tree have different genome sequences. Therefore, it is evident to say that these time change differences occur in an identical tree species. This conclusion is expected to be applicable to any multi-celled organisms since the replication fidelity of all organisms is not perfect and, thus, each replication of the genome induces mutations that are usually too infrequent to be detected 10^{-6} ~ $^{-9}$/base/replication.
Consequently, leaf genomes must contain significant numbers of mutations resulting from the sum of replication- and repair-caused mutations. This finding leads us to the plausible, important conclusion that mutations caused during the repair events (a kind of 'somatic mutation') are unexpectedly frequent.

Q1 : This is an interesting study. Do you think that the gene difference within a biological system is common among many systems? Also in animals? （高木隆司）
A1 : Yes, explicitly true
As quoted above, that the conclusion to which we reached is expected to be applicable to any multi-celled organisms since the replication fidelity of all organisms is not perfect and, thus, each replication of the genome induces mutations that are usually too infrequent to be detected 10^{-6} ~ $^{-9}$/ base/replication. (Such genome complexity is being scrutinized by Prof. Thomas A Kunkel who is working on "DNA replication fidelity"; North Carolina, USA)

Q2 : The gene difference seems to depend on the height of the branch. Is there a fixed mechanism for that? （高木隆司）

A2：Not Certainly

We observed that there are considerable differences in genomic distance within the dissected portions of a single leaf of *Arabidopsis thaliana* (*Shiro-inu-nazuna*), a small flowering plant. Intriguingly, the genomes of all leaf portions are not completely identical but, rather, are different from each other depending on their positions along the growth direction. The results obtained, suggest that there is a systematic difference in the genome distance; i.e. positional difference which is by no means random, following the same context formerly reported, considering that the DNA replication should be strictly controlled to be an ultimately low mutation rate.

3 D レーザー顕微鏡でみる青色羽枝の微細構造

小作明則、 宮本潔（獨協医科大学医学総合研究所）

Q：3D レーザー顕微鏡と共焦点レーザー顕微鏡の違いは？（清水英男）

C1：スポンジ構造そのものから色が出る（スポンジを覆っているサヤなどの構造がなくても）という結果はとても印象的である。（本多久夫）

C2：スポンジ構造を記録し、これの×10 のスケールで（3D プリンターを使って）模型を造れば、この模型は青色の波長の 10 倍の電磁波に対して色がつくことになるのか。（本多久夫）

形の科学一般

「ミリンダ王の問いに」における証明

山口喜博（帝京平成大学）

Q：インド的証明は身近なところで例があるのか、数学などでもあるのか？（海野啓明）

A：身近な例として、「あること」について「やってみないとわからない」という言い方をすることが多々あります。これは「あることを理解するためには、人がある種のアルゴリズムを実際に実行する必要がある」という意味です。逆に実行しなければ何も分からないことになります。数学の例として力学系の分野で我々が関わっている問題として、「与えられた記号列をもつ周期軌道がいかなる分岐で生じたのか判定せよ」という問題があります。これについて、我々はアルゴリズムを与えました。このように与えられた問題について、アルゴリズムしか提示できない問題に注目しようというのが今回の講演の意図です。

介在機会モデルに基づく 1 次元空間の施設配置分析

栗田治（慶應義塾大学理工学部）

Q：立寄りの確率を与え、それを基にした解析は理解できる。一方、すでに人が集まっている店に立寄ろうとする傾向もある。それは重要な要素にならないか？（高木隆司）

A：そのような要素もあるであろうが、その解析例はない。検討してみたい。

通勤電車内の Packing

流田智史、 竹田(流田)仁美、 辻田均、 西尾祥邦、 山崎宗計、 田中浩平（橋本市民病院　病理診断科）

Q：病理診断という業務と何か関連があるのですか？（清水英男）

A：見た物体の count により、検鏡の練習になります。

C：円柱のパッキングでは、1 円柱当たり 6 点で接するが、人体のモデルでは 5 点で接することが興味深い。ランダムな球だとどうなるだろうか、という問題がある（高木隆司）

伝送線路による理想 Cantor 媒質の電磁波伝播特性の実現性

小幡常啓[1]、 海野啓明[2]、 園田潤[2]、 小城淳一[3]（[1]石川県鹿島郡中能登町、 [2]仙台高等専門学校、 [3]群馬工業高等専門学校）

形の科学一般

リンゴの皮むきと正多面体の展開図について II

海野啓明、 千葉春樹、 荒井ひかる（仙台高専広瀬キャンパス）

Q：正多胞体の教育という視点から見て、展開図から多胞体を想像することの利点を教えてください（吉野隆）

A：例えば、正 120 胞体の展開図はひとつの正 12 面体のまわりに 12 個の正 12 面体が確認できる。これまでの射影を用いた表現は必ず平面上につぶれてしまう部分がでてしまうので、この方法（紙による展開モデルとその立体視画像）は有効だと考えられる。

Q：球面の皮の展開図をつなげる時、次につづく皮を幅の分だけずらすのは、皮の幅を考慮してつなげるためですか？（清水英男）

A：そのとおりです。皮同士は一点でつなげますが、なす角度は球面上での角度と同じです。

Q：皮むき型の展開図から多面体を組み上げる動きを示すことで、4 次元立体のイメージを持つ助けにならないだろうか？（松浦執）

A：それは可能だと思う。立体映像を用いればできるのではないか。

ハクサイの開度と連なりらせん構成点の一様性

根岸利一郎[1]、 関口久美子[1]、 高畑一夫[1]、 山田英彦[2]（[1]埼玉工業大学、 [2]明海大学）

Q：フィボナッチからはずれる場合の説明に、現在、理論で考えられている「芽ができる時に、それよりまえにできた芽から抑制をうける」という機構に基づいて説明できないか？（本多久夫）

A：現在はまだできていませんが，今後検討したいと思います。

マイクロ CT で見たタマムシの 羽の 3 次元構造

岸本直子（摂南大学）

Q：マイクロ CT は、その物質を特定できますか？（流田智史）

A：できませんとの事です。

Q：資料には操作を加えていないのですよね。かつ透明型ですから、x-ray 密度の差がないと区別できないのですよね（清水英男）

A：そのとおりです。

球形放散虫の 3 次元データから殻孔数を自動判別する試み

吉野隆[1]、 岸本直子[2]、 石田直人[3]、 松岡篤[3]、栗原敏之[3]、 木元克典[4]（[1]東洋大学理工学部、 [2]摂南大学、 [3]新潟大学、 [4]JAMSTEC）

Q：一つの穴の周囲の穴の数が 6 個ならば中央が 6 角形、5 個ならば 5 角形か？（根岸利一郎）

A：はい、私達はそのように見ていました。

Q：穴の数を数える時、穴が埋まっても同じ自然数に均一化することはないのか？（清水英男）

A：穴に相当する格子点に割りあてる数値がすべて異なるため、穴ごとに数値を周囲と同じ値にすれば、穴の数だけ異なる数値が残ります。

Q：数年前に、多面体の辺は①収縮しているのか②穴同士にはさまった領域が狭くなって辺になるのか、という問題があった。今回の話から判断すると、後者だったということですね？（本多久夫）

A：穴には大小があって、その間に巾のある片ができきる、ということです。

形と知/形の科学一般

学校教室でのプロジェクションマッピングの活用

松浦執、 三上哲史、 鴫原拓実、 湯本愛未 （東京学芸大学基礎自然科学講座）

Q：偏光プロジェクタの左右の偏光はどうなっていますか？（根岸利一郎）

A：左右を直線偏光にして、一方が縦方向、他方が 90° 回転させた横方向の偏光になるようにしてあります。偏光メガネもこれに対応した偏光板が入っています。

C：黒い布に光を当てているのに像が見えるのが不思議である。布の繊維につやがあり、光が反射するからだろう。

A：反射光量は低いですが、偏光を保存する反射光があります。書道用の毛氈で、羊毛をかなり含むようです。布地の表面には細かな起毛が見られ、この繊維からの反射を見ているのではないでしょうか。同じくフェルトでも手芸用のフェルトでは偏光を保存せず、立体視できませんでした。

科学体験を基にしたデザイン教育体系の構築

高木隆司[1]、 大内克哉[2]、 水野慎士[3]（[1]神戸芸術工科大学、[2]神戸芸術工科大学、 [3]愛知工業大学情報科学部）

Q：スペクトル解析の結果についてです。縦方向の解析結果があれば教えてください。（吉野隆）

A：今は横方向の結果のみあります。今後試してみます。

Q：形の科学についての授業を実施して、学部生と大学院生で反応に違いはあるか？（松岡篤）

A：大学院生の方が自分の研究に生かそうという積極性がより多くみられる。学部生は、おもしろいという感想にとどまることが多い。

Q：BAUHAUS 運動について教えてください。（流田智史）

A：20 世紀の初めドイツで起きた芸術運動で、それまでの装飾過剰なアート・デザインに対して、シンプルさ、機能性、大量生産などをモットーにしました。この方針は、現在まで続いています。この運動には、19 世紀の産業革命や科学技術の発達が背景になっています。ところが、現代では、100 年前に無かった問題として、環境悪化、資源の枯渇、地球温暖化などが出て来ました。これらは、「持続性社会」という言葉に集約されると思います。この現状に対して、新たな芸術運動が必要だと思っています。では、どんな方向に進めばよいのかという難しい問題があります。しかしながら、無心で自然を観察して、自然の仕組みを知るということは必要だと思うので、その体験で得た印象や知識をアート・デザインに生かすということは、少なくともプラスの効果をもつと考えています。

筆を持たない芸術家 岡倉天心の原点――横浜時代の英学･漢学修業

杉本剛 （神奈川大学）

Q：岡倉天心が美術に傾倒するようになったきっかけは何か？（高木隆司）

A：フェノロサの通訳となり、全国の日本美術作品を見てまわったこと、および文部省の役人となり美術関係の仕事を命じられたことである。

肝類洞の立体構造の複雑さを推測できる 2 次元指標

清水英男（湘南厚木病院・病理診断科）

Q：肝には上下、左右、背腹の異方性があります。静脈を中心とした多角形の肝小葉のパターンは、この肝を水平に切った断面ですか？ これに直角に切れば、どのようなパターンになるのでしょうか？（本多久夫）

A：肝の肉眼的な尺度では，肝臓へ出入りする太い枝(門脈，肝動脈，胆管，肝静脈)には異方性がありますが，顕微鏡的な尺度では肝臓へ出入りする細い枝(門脈，肝動脈，胆管，肝静脈)と肝小葉は等方的です。ですから肝をどの方向の面で切断しても、同じような肝小葉パターンが見られます。豚の肝小葉は 3D では多面体ですが、静脈はこの多面体を貫いていることになります。

6 月 22 日（土）

形と知

立体映像視聴時における重心動揺の数値解析

吉川一輝[1]、 木下史也[2]、 高田宗樹[2]、 宮尾克[1]（[1]名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻、 [2]福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻）

Q：揺れに関して、左右あるいは前後での対称性のやぶれもモデル化されているのですか？（平田隆幸）

A：はい、そうです。

Q：数値解析で、ポテンシャルの形として $f(x)=ax^2+bx$ を決定した。この第 2 項は、一方向への力を表しているが、それは映像の効果から来るのか？（高木隆司）

A：実験からも、ポテンシャルの対称性が破れていることがある。これは（映像を見せない）安静時にも見られることがある。映像の効果はむしろポテンシャルの広がり a に現れることが多い。

Q1：視聴する映像はどのようなものですか？（松浦執）

A1：通常の S3D 映画の映像です。

Q2：酔いがあるときは、どのような動揺になりますか？（松浦執）

A2：同様の振幅が大きくなります。

Q3：映像の状況によってリアルタイムに酔いを捻出できますか？（松浦執）

A3：今回は視聴 20 分後、視聴を続けたまま 1 分開眼測定、1

分閉眼測定の 22 分を区分として反復しました。
Q：ロボットが物理的に接触している時間は、通信に必要な数μ秒より長くできるか？（高木隆司）
A：ショックをやわらげる緩衝材を挿入しているので、それは可能である。
Q：ポテンシャルの極値が突然別のところに飛ぶよなことはあるか？（清水祐樹）
A：まだわからない。

蟻型群ロボットの目的地探索実験におけるローカル通信の可能性
高井裕紀、 原翔太、 高田宗樹、 平田隆幸（福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻）
Q1：ロボットは直線的な運動に限定していますか？（松浦執）
A1：6 方向でランダムに選び、ランダム運動できるようにした。水などによる軌道を利用するときは 3 方向のランダムウォークにより、軌道からのずれから復帰できるようにした。
Q2：ロボットの数を増やすことで、創発的な自律分散システムとなることを期待していますか？（松浦執）
A2：そうである。今回は 6 台での相互作用実験を目指したが、故障により 3 台となった。

ZigBee を搭載した群ロボットを用いた目標探索における集中管理型制御と自律分散型制御の比較
増田善紀、 高田宗樹、 平田隆幸（福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻）
Q1：集中管理と自律分散制御の比較・評価はどのように行ないますか？（松浦執）
A1：目的地発見の速さで評価します。
Q2：ランダムウォークで条件付きアルゴリズムがありましたが、目的はどのようなものですか？（松浦執）
A2：自己位置の決定エラーにより、探捜ずみの方向も一定の確率で再探捜できるようにしています。
C：昔聞いた発表の内容と関係しそうなことを思い出した。アメーバの集団はよい環境の周辺にとどまろうとする。このとき個々のアメーバは、動きながら次のように判断して行動する。環境が悪い位置にくると、向きを変えない。環境がよいところにくると、盛んに向きを変える。この行動パターンが今後の改良のヒントになるかもしれない（高木隆司）

群ロボットによるランダムウォークとカオスを使ったターゲット発見実験におけるアルゴリズムの比較
原翔太、 高井裕紀、 高田宗樹、 平田隆幸（福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻）
Q1：ランダムウォークと、カオスを用いた行動パターンを比較するとき、パターンによって探捜効率が違うという結果ですね（松浦執）
A1：そうです。効率的に移動するケース、空間を埋めるように動くケースなど特徴があらわれて、探捜効率に影響しています。
Q2：試験する空間の広さにも依存しますか？（松浦執）
A2：すると思います。

Kinect センサによる剣道支援システムの構築 - 面打ち、小手打ち、胴打ちパターンの認識 -
後藤淳、 高田宗樹、 平田隆幸（福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻）
Q：被験者はどのようにして攻撃対象が X 軸にあることを知っているのですか？（栗田治）
A：床に貼ってあるテープによってです。
C：被験者によっては、攻撃の軸が X 軸から系統的にずれているように見えます。そのような場合、X´軸を設け、X´YZ´軸にデータを変換し、Z´軸の分散が最小になるように前処理をしてから分析する、というアイデアがあります。
Q1：個人にカスタマイズしたワイアフレームの生成アルゴリズムの導入としては、Kinect の SDK の中に導入して使用できるようにするのですか？（松浦執）
A1：そうです。SDK に導入を考えています。
Q2：剣道の動きは速いですが、Kinect の精度で充分追跡できるのですか？（松浦執）
A2：Kinect は 1 フレーム 1/30 秒ですが、これで今のところ充分に運動解析もできていると思います。
Q：Kinect は、剣道で 1 本を取ったかどうかを判定するのに使えるだろうか？ 今後、学校で必修化されると審判員が不足すると思う（高木隆司）
A：現在は Kinect の性能をチェックしている段階である。

アルコール摂取時における座位姿勢動揺パターン
福井優太、 谷口慎一、 平田隆幸、 高田宗樹（福井大学大学院工学科知能システム工学専攻）
Q：総軌道長以外の尺度は使っていますか？例えば直径とか凸胞の周長とか（栗田治）
A：今回は総軌道長を用いていますが、他にもいくつかの尺度があります。
Q：Wilcoxon の検定では何を検定されていたか、再度御説明ください。（松浦執）
A：アルコールの非摂取時と摂取時の比較で有意差検定をしています。

<u>形の科学一般/ジオパークと形の科学</u>
制約付きドロネー三角形分割を用いた平面凸物体の形状認識
阿部真之、 東海林健二、 森博志、 外山史（宇都宮大学）
Q：制約付きドロネー三角分割を用いた手法でも点群をまず抜き出すことから、DP 法のデメリットがそのまま短所となるようなことはないか？（高田宗樹）
A：DP 法のデメリットを引き起こす原因は点群を抜き出すことではなく、アルゴリズムにあります。提案手法は DP 法と異なり、点群から構成される三角形の情報を物体認識に用いるため、DP 法のデメリットは克服されます。
Q：n 角形の n がある程度以上大きくなったとき、ならびに n が小さくてもつぶれた形状の時は、誤判定をしてしまうことになると思います。その辺りの分析はしておられますか？（栗田治）
A：両者とも分析中ですが、後者は、事前に適切な座標変換を施すことで誤認識が改善されることを確認しています。
Q：スライドでは、制約付きドロネー三角形分割を検証した図形は、すべて、線対称ですが、線対称でない図形にも、この検証は適用されますか？（清水達哉）
A：スライドでは、すべて線対称の図形を掲載しましたが、それ以外の図形でも検証済みです。

Q1：「抽象的な形状」とはどのようなものか？（手嶋吉法）
A：例えば、ディスプレイと本は異なる物体ですが、物体が持つ基本的な形は同じ四角形であることはご理解頂けると思います。このことを、「抽象的な形状」と表現しています。
Q2：多角形の焦点がハッキリしておらず、何角形か判別しづらい形（例えば、10 角形か 11 角形かわかりづらい形）に対して、提案方法ではどのように判定されるか？（手嶋吉法）
A：n 角形の n 角のうち、極端に角度の小さな角が k 個ある場合、n-k 角形と判定されます（例の 10 角形か 11 角形かわかりづらい形では、10 角形と判定される）。詳細は分析中ですが、基本的には、人間の目で見て角として判別しにくい角が存在する場合、前述のようになります。

MRI を用いた脳発達の研究
福井義浩[1]、 坂田ひろみ[2]、 澤田和彦[3]（[1]徳島大学･大学院 HBS 研究部･機能解剖学、[2]徳島大学･大学院 HBS 研究部･機能解剖学、 [3]つくば国際大学･医療保健学部）
C：MRI で軸索の走る方向までわかるのが、とても興味深いことだと思います。（本多久夫）
A：NRI では水分子の含量の差を画像上で明暗として観察する。髄鞘は脂質でできており、その周りに非常に薄い水の層がある。数万～100 万程度の軸索が束になっている白質では、神経束の走行を認識できる。
Q：脳以外の臓器（例えば胃や腸など）で、神経叢の走行性を確認することはできないか？（高田宗樹）
A：胃腸管の神経叢は薄すぎるため、確認することはできない。
Q：脳溝ができるしくみが、以前から不思議であった。体積が決っていて、表面積が増すと必ずしわができる。しかし、常に決った形の脳溝になるのは何故だろうか？（高木隆司）
A：それは私も不思議に思うが、それに焦点をあてた研究はないようだ。

トーラス結び目を用いた空間配置について
森田克己（札幌大谷大学芸術学部）
Q：トーラス結び目の定義について、トーラスが 2 個以上のトーラス結び目は存在するか？（福井優太）
A：今回生成した画像は，１つのトーラスに対応したトーラス結び目に限定している。
Q:予稿の図では、トーラス結び目が 2 次元図形に見えるが、今回ユニットとして用いた図形は、トーラス結び目（3 次元曲線）を 2 次元に射影したものを使っているのか？（手嶋吉法）
A：その通りです。

立体映像刺激による映像酔いの影響評価
松浦康之[1]、 高田宗樹[2]（[1]福井大学博士人材キャリア開発支援センター、 [2]福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻）
Q：解析結果（コヒーレンス）とはどんな意味か？（根岸利一郎）
A：両眼それぞれの焦点と視差を数値化した時の差異など。
Q1：(a)調整と輻輳の不一致は、(b)映像酔いの原因ではないとの事だったが、逆に(b)が(a)を起こす原因とは考えられないか？（手嶋吉法）Q2：(a)が起こった後、(b)は益々悪化するか？（手嶋吉法）

コンニャク石の微細構造を適用した連結ブロックについて
金築裕、 倉橋輝夫（島根県立東部高等技術校）
Q：平板がコンニャクのように曲がる。その方向が、ミクロに見た構造の方向と関係しているのですか？（本多久夫）
A：関係していません。ミクロな構造は、x、y、z 軸に等方的です。構造にすきまがあって全体として軟らかいということです。
Q：大変興味ある研究である。岩石の要素のミクロな形を調べることは可能か？（高木隆司）
A：いろいろな方向で切って断面を見た場合、星型十二面体が最も当たっているようだ。
Q:プレゼン中に示された充填率の値が 70%や 80%などの区切りのよい数値だったが、これらは正確な値ではなく大雑把な値か？（手嶋吉法）

招待講演（公開普及講演）
勾玉とは何か～その起源と形の変化～
藤田富士夫(元富山市教育委員会埋蔵文化財センター所長)
Q：佐渡市（旧金井町）堂の貝塚の第 6 号人骨の副葬品に、イタチザメの牙に孔をあけペンダントにしたものがあるが、動物歯牙の模倣としての勾玉の起源と同じ意味を有するものと考えてよいか？（野口俊樹）
A：海に生きる人達がイタチザメの牙をペンダントにしたのは、やはり海の強者としてのサメの象徴を身につけ、その力にあやかりたいとする気持ちの表れであろう。貝塚での出土は良く見られる。牙勾玉と意味は同じといっても良いだろう。ただ、サメ歯と先史勾玉それ自体の起源は別と考えるべき、と思われる。

招待講演（公開普及講演）
14:40-15:40　地質が決める地形と生物の分布
小泉武栄（東京学芸大学／日本ジオパーク委員会委員）
C：岩壁に小さな穴が多数できる現象のしくみが不明とのことである。中に砂がたまっていて風が吹いたとき、砂が紙やすりのようにけずっていく可能性がある。（高木隆司）

6 月 23 日（日）
ジオパークと形の科学（公開普及講演）
ジオパーク普及のための“形”の活用　-　見立ての効用
松岡篤（新潟大学）
C：地政学的な話になるが、電力の 50Hz と 60Hz の境であることもおもしろい。電車が一旦消灯する。（杉本剛）
Q:「見立て」というキーワードは良いことばなのですが、その英語はどうなりますか？　見立ての意味を定義するのに役立つかもしれません。（三浦公亮）
A：講演要旨の keywords に示しているように，likeness というのだと思います．ただ，日本語の”見立て”という意味で使われているケースを私自身が目にしたことはありません。
Q：福井県・石川県では恐竜の化石が出ています。この地層の続きが糸魚川にもあるのでしょうか？（山口喜博）
A：はい，あります．新潟県糸魚川地域周辺では水上谷層と

呼ばれています．2010 年から恐竜化石の発見を目指して，新潟大学とフォッサマグナミュージアムによる共同調査を行っています。

佐渡のジオパーク～これまでの歩み～
　市橋弥生（佐渡ジオパーク推進協議会）
C1：いろいろと工夫されていてよいと思った（小泉武栄）
C2：フォトコンテストをやったら（小泉武栄）
C3：植物愛好者をとりこんでほしい（小泉武栄）
Q:糸魚川ジオパーク市民の会の一員として、一般参加した。毎年、下位で各地を見学研修しているが、本年は佐渡を予定している。明日、打ち合わせをする。ついては今後直接問合せもしたいので、宜しく。※個人的な事であるが、金井が佐渡出身。その関係より、毎年 2 回は訪れている。歴史、文化芸能は県下一である。（ご自身は）佐渡準市民である。（渡辺剛）
go-ameya@ezweb.ne.jp 電話 025-562-3354
Q1：6～7 の（ガイド）団体あり、その団体の相互の連携をどのようにしているか？（関原右一）
A1：単独で活動している。
Q2：今後、どのような統一した組織を目指すのか（研修の効率化）（関原右一）
A2：今後の方向性・・具体的に持ってない。
Q：娘が小 6 で、（佐渡に）2 泊 3 日で修学旅行に行くので、おすすめのお土産は？（恩田惠美子）
A： トキと、佐渡がえるのお菓子、佐渡ではなく県内産だそうです。
電話 025-552-5254

特別講演（公開普及講演）
糸魚川世界ジオパークとジオツーリズム
　竹之内耕（フォッサマグナミュージアム）
Q：ガイドの対価は？（久利美和）
A：原則有料。ガイドの意義をあげる。糸魚川では、web に情報をあげて、対価をうけとっている。
Q：何故、糸魚川－静岡構造線が東西文化を分かつことになったのでしょうか？フォッサマグナはナウマン博士によって発見されたとのことですが、東西文化の形成は、それ以前のことと思います。（栗田治）
A：フォッサマグナによる、山脈の形成が要因だと思われます。交通の障害が高い山々によってもたらされた結果ではないでしょうか。

○新入会の皆様(敬称略)

白井　総真	新潟市立中野小屋中学校
坂本　悠莉	新潟第一中学校
伊藤　麻佑子	鹿児島大学理工学研究科　地球環境科学専攻
杉本　学	熊本大学大学院自然科学研究科

○新入会の皆様のご紹介(敬称略)

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

白井　総真 (ジュニア会員)

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

坂本　悠莉 (ジュニア会員)

A: 微化石(珪藻)　　**B:** 珪藻の形の変化など

伊藤　麻佑子

A: 古脊椎動物学　　**B:** 生物の形態が変化する要因とは？

杉本　学

A: 理論計算化学　　**B:** 物質の形と機能

○流れの画像データベースのご案内

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

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

この中の、"Flow Visualization"

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

は流れを可視化した高解像度の貴重な画像です。ぜひ一度ごらんください。

○2013 年度第 1 回形の科学会運営委員会議事録

日時：2013 年 6 月 22 日（土）12:20-13:30

場所：〒941-0056 新潟県糸魚川市一ノ宮 1313 フォッサマグナミュージアム　体験学習室

出席者（敬称略）：海野啓明、清水祐樹、高木隆司、高田宗樹、種村正美、手嶋吉法、西垣功一、平田隆幸、福井義浩、本多久夫、松浦執、松浦康之、松岡篤、宮本潔、山口喜博

議題：

(1) 会員関係報告　2013 年 6 月 20 日現在 409 名.　（2012 年 6 月 16 日 418 名）

(2) 「ジュニア会員」の新設、およびこれに伴う会則の改正について審議され、次のように了承された。

2.1 第 4 条について、以下のように改正する。
（改正前）1. 正会員：本会の目的に賛同する個人（学生以外）
→（改正後）1. 正会員：本会の目的に賛同する個人（学生、小・中・高校生以外）

（改正後追加） 6. ジュニア会員：形の研究に興味を持つ小学生、中学生、高校生およびこれらに準ずる 18 歳以下の者で、保護者の同意を得た者
2.2 会費（会則には明記されないが、学会案内等に記入）
年会費 1000 円（うち会誌 300 円×3、送料など 100 円）とする。シンポジウム参加費を、同伴保護者をふくめ無料とする。他は運用しながら検討を重ねていく。
2.3 ジュニアセッション、サポート
シンポジウムにジュニアセッションを設ける。居住地区に近い正会員で、ジュニア会員の相談に乗ってもらえるひとを探す。発表希望のジュニア会員のサポートなどを行う。
(3) 2012 年度活動が報告された。
・2012 年度のシンポジウムを次のように開催した。
第 73 回：「形とサイバネティックス」福井大学 2012 年 6 月 15 日-17 日（世話人：平田隆幸、高田宗樹）を開催した。
第 74 回：「機械と乗物の形—過去・現在・未来—」東京農工大学 2012 年 11 月 16 日-18 日（世話人：平山修、佐野理）を開催した。
・会誌第 27 巻 1～3 号を刊行した。
・FORMA Vol.27 を刊行した。
・2012 年度形の科学談話会「かたちシューレ –Niseko Autumn School-」北海道工業大学芦原ニセコ山荘 2012 年 9 月 8、9 日（世話人：小川直久）を開催した。
・新潟大学旭町学術資料館企画展「佐渡の海洋生物展」の後援(2012/7/14-8/31)
・新潟大学旭町学術資料館企画展「七色の恐竜展」の後援(2012/12/9-12/26)
・国立科学博物館、自然と科学の情報誌「ミルシル」の連載記事「かたちと科学」への協力
・第 14 回日本感性工学会大会協賛
(4) 2012 年度決算および監査が報告された。
2010 年度決算報告に計算ミスが見出された。この修正にともない、2010, 11 年度決算の繰越額を修正した。2012 年度決算はこの修正のもとに行い、平山修監事の監査を受けた。

(5) 2013 年度活動計画
・2013 年度のシンポジウムを次のように開催する。
第 75 回：フォッサマグナ・ミュージアム 2013 年 6 月 21 日-23 日「ジオパークと形の科学」（世話人：茨木洋介、松岡篤）。
第 76 回：青山学院大学会場検討中 2013 年 11 月 21 日-23 日「経済・経営にみる形」（世話人：塩澤友規）
・会誌第 28 巻 1～3 号を刊行する。
・FORMA Vol.28 を刊行する。
・2013 年度形の科学談話会「かたちシューレ@観音寺」2013 年 11 月 30 日-12 月 1 日（香川県観音寺市 琴弾荘、代表世話人：沼原利彦）。
・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッションの開設（2013/5/19） 招待講演者 手嶋吉法氏
・新潟大学旭町学術資料館企画展「微化石展」の後援(2013/7/17-8/30)
・国立科学博物館、自然と科学の情報誌「ミルシル」の連載記事「かたちと科学」への協力
・第 15 回日本感性工学会大会協賛
(6) 2013 年度予算が報告された。

(7) 2013 年度学会賞の選考結果が宮本潔学会賞選考委員長により報告された。
(8) その他
8.1 会誌の Web サイト公開について、特許申請は「公開日」から 6 ヶ月以内に行わねばならないことから、「公開日」をシンポジウム開催日に合わせることが望ましい。そのため、次のいずれかの手順を取る。
1.紀要原稿・論文の入稿フォームに、「特許等の出願を考えているので、発表・発行まで公開を差し控える」というような選択肢を作って、シンポジウム前に公開しない。
2.シンポジウム当日の発行後にリンクを張る。

○2013 年度形の科学会総会議事録

日時：2013 年 6 月 22 日（土）12:20-13:30
場所：〒941-0056 新潟県糸魚川市一ノ宮 1313 フォッサマグナミュージアム　体験学習室
議題:(総会委任状 100 通　定足数 409 名×1/15=27 名　定足数以上の出席および委任状により総会は成立)
(9) 会員関係報告　201 3 年 6 月 20 日現在 409 名.　（2012 年 6 月 16 日 418 名）
(10)「ジュニア会員」の新設について、会則の改正が審議され、下記のように承認された。
　会則 2 .1 第 4 条について、以下のように改正する。
（改正前）1. 正会員：本会の目的に賛同する個人（学生以外）
→（改正後）1. 正会員：本会の目的に賛同する個人（学生、小・中・高校生以外）

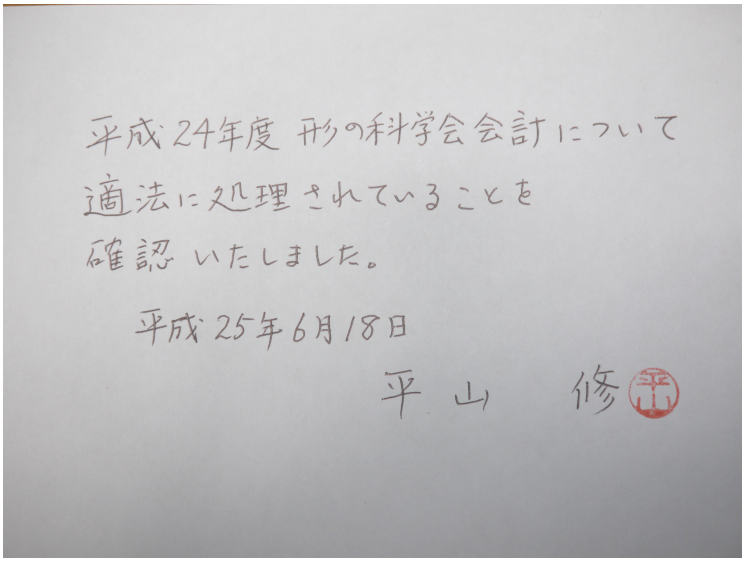
（改正後追加） 6. ジュニア会員：形の研究に興味を持つ小学生、中学生、高校生およびこれらに準ずる 18 歳以下の者で、保護者の同意を得た者
なお、ジュニア会員については、年会費 1000 円とし、年度ごとに意思確認のうえ会員資格を更新することが報告された。
(11) 2012 年度活動報告（下記）が承認された。
・2012 年度のシンポジウム開催
　第 73 回 :「形とサイバネティックス」福井大学 2012 年 6 月 15 日-17 日（世話人：平田隆幸、高田宗樹)。
　第 74 回 :「機械と乗物の形—過去・現在・未来—」東京農工大学 2012 年 11 月 16 日-18 日（世話人：平山修、佐野理)。
・会誌第 27 巻 1～3 号を刊行した。
・FORMA Vol.27 を刊行した。
・2012 年度形の科学談話会「かたちシューレ　–Niseko Autumn School-」北海道工業大学芦原ニセコ山荘 2012 年 9 月 8、9 日（世話人：小川直久）を開催した。
・新潟大学旭町学術資料館企画展「佐渡の海洋生物展」の後援(2012/7/14-8/31)
・新潟大学旭町学術資料館企画展「七色の恐竜展」の後援(2012/12/9-12/26)
・国立科学博物館、自然と科学の情報誌「ミルシル」の連載記事「かたちと科学」への協力
・第 14 回日本感性工学会大会協賛
(12) 2012 年度決算報告，監査報告が行われ、承認された。
2010 年度決算報告に計算ミスを見出したので、この修正を行うとともに、2010, 11 年度決算の繰越額を修正した。2012 年度決算はこの修正のもとに行い、平山修監事の監査（監査報告は右図）を受けた。
(13) 2013 年度活動計画が報告され、承認された。
・2013 年度のシンポジウム。

第 75 回：フォッサマグナ・ミュージアム 2013 年 6 月 21 日-23 日「ジオパークと形の科学」（世話人：茨木洋介、松岡篤）。
第 76 回：青山学院大学会場検討中 2013 年 11 月 21 日-23 日「経済・経営にみる形」（世話人：塩澤友規）

・会誌第 28 巻 1～3 号を刊行する。
・FORMA Vol.28 を刊行する。
・2013 年度形の科学談話会「かたちシューレ@観音寺」2013 年 11 月 30 日-12 月 1 日（香川県観音寺市 琴弾荘、代表世話人：沼原利彦）。
・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッションの開設（2013/5/19）　招待講演者　手嶋吉法氏
・新潟大学旭町学術資料館企画展「微化石展」の後援(2013/7/17-8/30)
・国立科学博物館、自然と科学の情報誌「ミルシル」の連載記事「かたちと科学」への協力
・第 15 回日本感性工学会大会協賛

(14)　2013 年度予算が報告され承認された。
(15)　2013 年度学会賞の選考結果が宮本潔学会賞選考委員長により報告され、承認された。2013 年度論文賞は清水英男氏と福井義浩氏に授与される。2013 年度奨励賞は小山耕平氏と松浦康之氏に授与される。

○2013 年度会計監査



平成 22 年度決算（修正） 平成 23 年度予算

（平成 25 年 6 月 22 日総会にて修正承認）

収入の部		
	平成 22 年度決算	平成 23 年度予算案
前年度より繰越	3,537,227	2,672,623
賛助金	0	0
会費	1,352,000	1,800,000
出版助成金	0	0
雑収入（合本等販売）（銀行振込）	129,908	60,000
受取利息	83	170
シンポジウム参加費	685,000	680,000
シンポジウム展示等	0	0
懇親会費	330,850	330,000
合計	6,035,068	5,542,793

支出の部		
	平成 22 年度決算	平成 23 年度予算案
出版・校正費（和文誌）	764,720	760,000
人件費	304,736	280,000
通信費	86,152	85,000
交通費・宿泊費	327,580	200,000
振込手数料	21,440	30,000
諸雑費（事務用品等）	144,917	150,000
会場費	27,487	50,000
講演準備費	130,000	160,000
会合費（懇親会）	357,460	330,000
英文誌出版費 内訳：	1,137,953 学会分担金 (1,137,953) 出版助成金 (0)	1,200,000 学会分担金 (1,200,000) 出版助成金 (0)
学会賞賞金	60,000	40,000
合計	3,362,445	3,285,000

	平成 22 年度決算	平成 23 年度予算案
収支差引残高	2,672,623	2,257,793

平成 23 年度決算（修正） 平成 24 年度予算

（平成 25 年 6 月 22 日総会にて修正承認）

収入の部		
	平成 23 年度決算	平成 24 年度予算案
前年度より繰越	2,672,623	2,296,514
賛助金	0	0
会費	1,835,790	1,850,000
出版助成金	0	0
雑収入（合本等販売）（銀行振込）	67,566	60,000
受取利息	40	170
シンポジウム参加費	517,000	530,000
シンポジウム展示等	0	0
懇親会費	328,000	330,000
合計	5,421,019	5,066,684

支出の部		
	平成 23 年度決算	平成 24 年度予算案
出版・校正費（和文誌）	863,230	760,000
人件費	145,500	280,000
通信費	91,428	85,000
交通費・宿泊費	189,480	200,000
振込手数料	23,905	25,000
諸雑費（事務用品等）	203,359	200,000
会場費	14,000	30,000
講演準備費	160,000	160,000
会合費（懇親会）	343,603	330,000
英文誌出版費 内訳：	1,050,000 学会分担金 (1,050,000) 出版助成金 (0)	1,050,000 学会分担金 (1,050,000) 出版助成金 (0)
学会賞賞金	40,000	20,000
合計	3,124,505	3,140,000

	平成 23 年度決算	平成 24 年度予算案
収支差引残高	2,296,514	1,926,684

平成 24 年度決算 平成 25 年度予算

（平成 25 年 6 月 22 日総会にて承認）

収入の部		
	平成 24 年度決算	平成 25 年度予算案
前年度より繰越	2,296,514	2,022,073
賛助金	0	0
会費	1,910,000	1,900,000
出版助成金	0	0
雑収入（合本等販売）（銀行振込）	148,846	120,000
受取利息	30	30
シンポジウム参加費	293,450	400,000
シンポジウム展示等	0	0
懇親会費	250,000	250,000
合計	4,898,840	4,692,103

支出の部		
	平成 24 年度決算	平成 25 年度予算案
出版・校正費（和文誌）	674,800	680,000
人件費	318,600	250,000
通信費	113,315	85,000
交通費・宿泊費	16,440	150,000
振込手数料	26,840	25,000
諸雑費（事務用品等）	208,255	150,000
会場費	57,419	50,000
講演準備費	130,000	140,000
会合費（懇親会）	261,098	260,000
英文誌出版費 内訳：	1,050,000 学会分担金 (1,050,000) 出版助成金 (0)	1,050,000 学会分担金 (1,050,000) 出版助成金 (0)
学会賞賞金	20,000	80,000
合計	2,876,767	2,920,000

	平成 24 年度決算	平成 25 年度予算案
収支差引残高	2,022,073	1,772,103

平成２５年６月２２日

平成２５年（2013 年）度　形の科学会賞選定報告

形の科学会賞選定委員長
宮　本　　潔

形の科学会賞規則により平成２５（２０１３）年度の学会賞選定委員会（会長、幹事１名、名誉会員１名、委員２名）が、種村正美（会長）、渡辺泰成（名誉会員）、平田隆幸（委員）、千場良司（委員）、宮本　潔（幹事）をメンバーとして平成２５年３月に発足した。

今年度の学会賞についての推薦状況は、論文賞２件，奨励賞が２件であった。本推薦を受けて、学会賞選定委員会は３月１日から４月２日の期間審議した。その結果、当委員会は論文賞２件の候補者および奨励賞２件の候補者のいずれもが下記のごとく学会賞規則に沿うものと評価した。

選定委員会として、形の科学会学会賞候補者に下記の者を推薦したい。

記

論文賞　清水英男氏

対象論文：Shimizu, H. and Yokoyama, T.: Two-dimensional index as a measure to estimate the complexity degree of three-dimensional hepatic sinusoidal structure, Forma Vol.9, 29-36,1994.

選定理由：肝類洞のネットワーク形成度の指標として Poincare-Alexander の双対定理に基づいて類洞の０次および１次 Betti 数を導入したきわめて独創的な論文である。肝硬変症例では１次 Betti 数が有意に小さいこと，また肝硬変の続発症である門脈圧亢進症の成因は，毛細血管のループ減少が肝血流抵抗の増大をもたらすことを理論的に示した。さらに，１枚の組織切片に現れた類洞切口の個数密度が１次 Betti 数と有意な相関があることから，立体構築せずに肝硬変の有無や程度を診断できる可能性を示した。

本論文は Forma 誌に掲載され，形にかかわる新しい概念や方法を開拓するという形の科学本来の役割にマッチし，論文賞にふさわしいものである。

論文賞　福井義浩氏

対象論文：Fukui, Y. and Bedi, K. S.: Quantitative study of the development of neurons and synapses in the visual cortex of rats reared in the dark during early postnatal life. Forma Vol.7, 167-181, 1992.

選定理由：ダイセクター法により，光欠乏環境下においた仔ラットおよびコントロールの大脳皮質視覚野の視覚皮質シナプスおよびニューロンの個数密度とこれらの比は生後３０日まで有意な差がないことを示した。著者らの生後３０日から６５日までの研究と照らしあわせると，ラットの生後３０日から４０日の期間が視覚皮質の発達に重要であることを

見出した。

本論文は Forma 誌に掲載され，形の科学の重要な柱であるステレオロジーの応用として論文賞にふさわしいものである。

奨励賞　小山耕平氏

対象論文：Koyama, K., Hidaka, Y. and Ushio, M.: Dynamic Scaling in the Growth of a Non-Branching Plant, *Cardiocrinum cordatum*. PLoS ONE Vol.7, e45317, 2012.

選定理由：ウバユリの成長過程に注目し，葉のついている位置と面積についての関係は，植物の成長段階によらず普遍的であることを示し，植物の成長過程を通した形態形成に関して興味深い結果をもたらしている．形態形成は形の科学会の主要な分野の一つであり，奨励賞に値する．なお，本論文から発展した研究結果が Forma 誌へ投稿されることを期待する。

奨励賞　松浦康之氏

対象論文：①Matsuura, Y., Takada, H., Yokoyama, K. and Shimada K.: Proposal for a New Diagram to Evaluate the Form of the Attractor Reconstructed from Electrogastrography. Forma **23**,25-30, 2008. ②Matsuura, Y. and Takada, H.: Form and Its Nonlinear Analysis for the Use of Electrogastrogram as s Gastrointestimal Motility Test. Forma **26**, 39-50, 2011.

選定理由：胃電図などの生体信号時系列データから再構成したカオス理論的変数のかたちに着目し，非線形解析手法を用いた成体信号評価指標の提案や数理モデルの構築がされている点で新規性がある。本研究は胃腸障害診断や治療効果の確認などの臨床応用が期待でき，奨励賞にふさわしい研究である。

事務局からのニュースメール

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

2013 年 6 月 13 日

○論文締切再延長「第９回コングレス・フェスティバル　シンメトリー：アート＆サイエンス」

「第９回コングレス・フェスティバル　シンメトリー：アート＆サイエンス」の講演
論文の締め切りが再度延期されました。
会議名称：　9th Congress-Festival - Symmetry: Art and Science
開催地：　ギリシャ・クレタ島
開催期間：　2013 年 9 月 9 日～15 日
主催団体：　International Society for the Interdisciplinary Study of Symmetry (ISIS-Symmetry)
詳細は、以下の website をご覧ください。
https://sites.google.com/site/isiscrete/home
☆　講演論文（４ページ）の提出期限が、2013 年 6 月 23 日まで延長されました。（以下のサイトで雛形をダウンロードできます。）
https://sites.google.com/site/isiscrete/call-for-papers/call-for-individual-contributions
奮ってご応募ください。
お問合せ先（国内）：ISIS-Symmetry 運営委員
石原正三（埼玉県立大学）　shozo@spu.ac.jp
手嶋吉法（千葉工業大学）
yoshinori.teshima@it-chiba.ac.jp

2013 年 8 月 14 日

○第 76 回形の科学シンポジウム「経済・経営にみる形」ご案内

第 76 回形の科学シンポジウムを「経済・経営にみる形」というテーマで下記のように開催致します。経済・経営という抽象的な対象を『形』として如何に捉え認識するか，という試みは，本学会においてはこれまでも取り上げて来られたテーマではありますが，主流とは言えなかったのではないかと思われます。今回，あらためてこのテーマを取り上げることで，これからの形の科学の発展に貢献できればと考えております。対象は，いわゆる目に見える『形』に限らず，抽象概念の範囲での『かたち』も含め，広く，経済・経営と形に関するテーマで演題を募集致します。
更に，今回は，今後の形の科学会の更なる発展を期待し，『形の科学の未来を語る討論会』を開きたいと考えております。討論に向けての問題提起となる演題も募集致します。
【会期】2013 年 11 月 15 日（金）～17 日（日）
【会場】青山学院大学　青山キャンパス 東京都渋谷区渋谷 4-4-25 電話：03-3409-8111（代表）
【特別講演および招待講演】未定。
【主催】形の科学会【共催】青山学院大学
【代表世話人】塩澤友規　〒150-8366 東京都渋谷区渋谷 4-4-25　青山学院大学経営学部経営学科
【講演および参加申込先】代表世話人　塩澤友規
〒150-8366 東京都渋谷区渋谷 4-4-25　青山学院大学経営学部経営学科　E-mail: forma.76th@gmail.com
【参加費】会員・非会員ともに一般 3,000 円，学生 1,500 円【懇親会】2012 年 11 月 16 日（土）夕方
【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お申込み下さい。
【講演申込締切日】2013 年 9 月 17（火）
【予稿原稿提出締切日】2013 年 10 月 7 日（月）
【参加申込締切日】2013 年 11 月 11 日（月）
【講演申込方法】講演申込、予稿原稿送付、参加申込は学会 web サイトからお願いします（準備中です）。
http://katachi-jp.com/sympo76

2013 年 8 月 15 日

○2013 年度かたちシューレのご案内

形の科学懇談会「かたちシューレ 2013」のご案内です。香川県・観音寺一泊です。
http://katachi-jp.com/schule201311（準備中）申込（講演／参加）も同じページのリンクから行って下さい。
【会期】2013 年 11 月 30 日（土）～ 12 月 1 日（日）
【会場】琴弾荘 〒768-0062 香川県観音寺市有明町 10-22　TEL: 0875-23-1111 FAX: 0875-25-4179
http://kotohiki.com/
【代表世話人】沼原利彦（ぬまはら皮ふ科）【世話人】髙田宗樹（福井大学）、松浦康之（名古屋市立大学）
【参加費】17,500 円（学生）（宿泊、懇親会費、12/1 朝食込）19,500 円（一般）（宿泊、懇親会費、12/1 朝食込）（なお、ツインのシングルユースの場合、3000 円増）
【講演申込締切】　2013 年 11 月 1 日（金）（１２月１日の研究発表の申込）【予稿申込締切】　2013 年 11 月 18 日（月）（予稿は 2 枚以内で、会誌に掲載予定。）
【参加申込締切】　2013 年 11 月 8 日（金）（締切厳守）
1）交通　JR 予讃線　観音寺駅より、タクシーで 5 分
○航空機＋JR
羽田 高松空港　高松駅 観音寺
07:55　→(JAL1403)→　09:15 09:30　→　10:15
11:50 →（いしづち 13 号）→ 12:36
○JR 東京 岡山 観音寺
07：50　→(のぞみ 13 号)→　11：15 11：34　→（しおかぜ 9 号）→ 12:36
2）会議室　2 日とも使用予定。

スクリーン有、プロジェクターは代表世話人で用意いたします。
3) インターネット環境：無線 LAN
プログラム（予定）
11 月 30 日（土）　12:45 ～ 18:00　懇親会 18:30
～12:45 かたちシューレ 2013　受付開始 13:00
かたちシューレ 2013　開会 13:00 ～ 15:00　各発表（自己紹介を兼ねた参加者の研究紹介・近況報告：一人 3～5 分程度の発表、演題名のみ、参加申込時に提出。）
15:00 ～ 18:00　研究交流会（座談会、形の科学の未来を語る討論会第２弾？）
18:30 ～ 20:30　夕食・懇親会
12 月 1 日（日）　9:30 ～ 12:00　研究発表（予稿を提出した方の発表）　12:00 解散

2013 年 9 月 10 日

○形の科学会「ジュニア会員」の新設

本年度形の科学会総会の承認を得て、形の科学会に「ジュニア会員」が新設されました。ジュニア会員とは、「形の研究に興味を持つ小学生、中学生、高校生およびこれらに準ずる 18 歳以下の者で、保護者の同意を得た者」です。年会費を 1000 円として、1 年ごとに会員資格を更新します。通常の会員と同じく、会誌が配布され、学会関連の情報提供をいたします。入会に際して、可能な限り、会員の方で相談役になっていただける方があることが望ましいです。シンポジウムでもジュニアセッションの枠組みを設けます。ジュニア会員は、実際に小学生の方から入会のご希望をいただいたことから始まりました。ご興味を持たれる方に、ぜひご紹介ください。（以上）

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 愛知県長久手市岩作雁又 1-1, 愛知医科大学 医学部 生理学講座
Phone: 0561-62-3311(内 2212), Fax: 0561-63-9809, Email: yuuki@aichi-med-u.ac.jp

高木隆司　192-0371 八王子市南陽台 3-3-13
Phone: 042-675-0222, Fax: 042-675-0222, Email: jr.takaki@iris.ocn.ac.jp

渡辺泰成　290-0171 市原市潤井戸字大谷 2289-23, 帝京平成大学 情報システム学科
Phone: 0436-74-5979, Fax: 0436-74-3659, Email: watanabe@cn.thu.ac.jp

種村正美　233-0002 横浜市港南区上大岡西 3-5-3-307
Phone: 03-3446-1501, Fax: 03-3446-1695, Email: tanemura@ism.ac.jp

本多久夫　675-0101 加古川市平岡町新在家 2301, 兵庫大学 健康科学部
Phone: 0794-24-0052, Fax: 0794-26-2365, Email: hihonda@hyogo-dai.ac.jp

鳥脇純一郎　470-0393 豊田市貝津町床立 101, 中京大学 生命システム工学部　身体システム工学科
Phone: 0565-46-6633, Fax: 0565-46-1299, Email: jtoriwak@life.chukyo-u.ac.jp

宮本潔　321-0207 栃木県下都賀郡壬生町北小林 880, 独協医科大学 総合研究施設
Phone: 0282-87-2271, Fax: 0282-86-5678, Email: miyamoto@dokkyomed.ac.jp

3　投稿論文の処理過程

1）編集委員は、投稿論文を受け取った時点で、論文の種類・受付日を付加してオリジナル原稿 1 部を副編集委員長に送る。

2）編集委員は、original paper, review paper に関しては、査読者 1 名を決めて依頼し、修正等の過程を経て受理決定をおこなう。受理原稿は、受理日をつけて副編集委員長に送る。

3）編集委員が却下 (reject) と判断した論文は、編集委員が、意義申立をする権利があることを付記して著者に返却する。再投稿された論文は、元の、あるいは新たな査読者に依頼し、同様に受理・却下を決定する。その結果として却下の場合は、編集委員は書類一切を編集委員長、および（必要な部分をコピーして）副編集委員長へ送る。編集委員長がその後の処理を決める。

4）編集委員に送られた論文が、自分の専門分野外と判断された場合は、副編集委員長に論文を転送する。副編集委員長は、もっとも適当な編集委員に論文を転送する。（しかし、形の科学の広い立場から、なるべく査読を引き受けてください）

5）査読を必要としないもの（エッセイ、交流等）に関しては、別に査読者を決めず、編集委員の判断で著者に修正を依頼したり、受理の決定をする。受理原稿は、副編集委員長に送る。なお、編集委員が、形の科学会誌の原稿として不適当であると判断した場合は、original paper, review paper の処理に準じて、編集委員長がその後の処理を決める。また、シンポジウム予稿原稿もこれに準じる。

6）副編集委員長は、各号の内容の編集をおこなう。

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

会費

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

下記の口座に最寄りの郵便局からご送金ください。

- 口座番号: 00330－9－30953
- 加入者名: 形の科学会

会　員　登　録　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.）

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

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. 28　No. 2　(2013，11 月)

発行：　形の科学会
会長：　種村正美
〒233-0002 横浜市港南区上大岡西 3-5-3-307
phone: 03－3446－1501 fax: 03－3446－1695
E-mail：tanemura@ism.ac.jp
編集委員長：平田隆幸
〒910－8507 福井市文京 3-9-1
福井大学大学院工学研究科 知能システム工学専攻
phone：0776－27－8778　fax：0776－27－8420
E-mail：hirata@u-fukui.ac.jp
副編集委員長&編集事務局：清水祐樹
〒480-1195　長久手市岩作雁又 1-1
愛知医科大学医学部 生理学講座
phone：0561－62－3311 (内線 2272)　fax：0561－63－9809
E-mail：yuuki@aichi-med-u.ac.jp