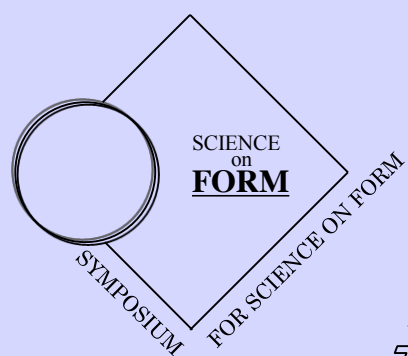
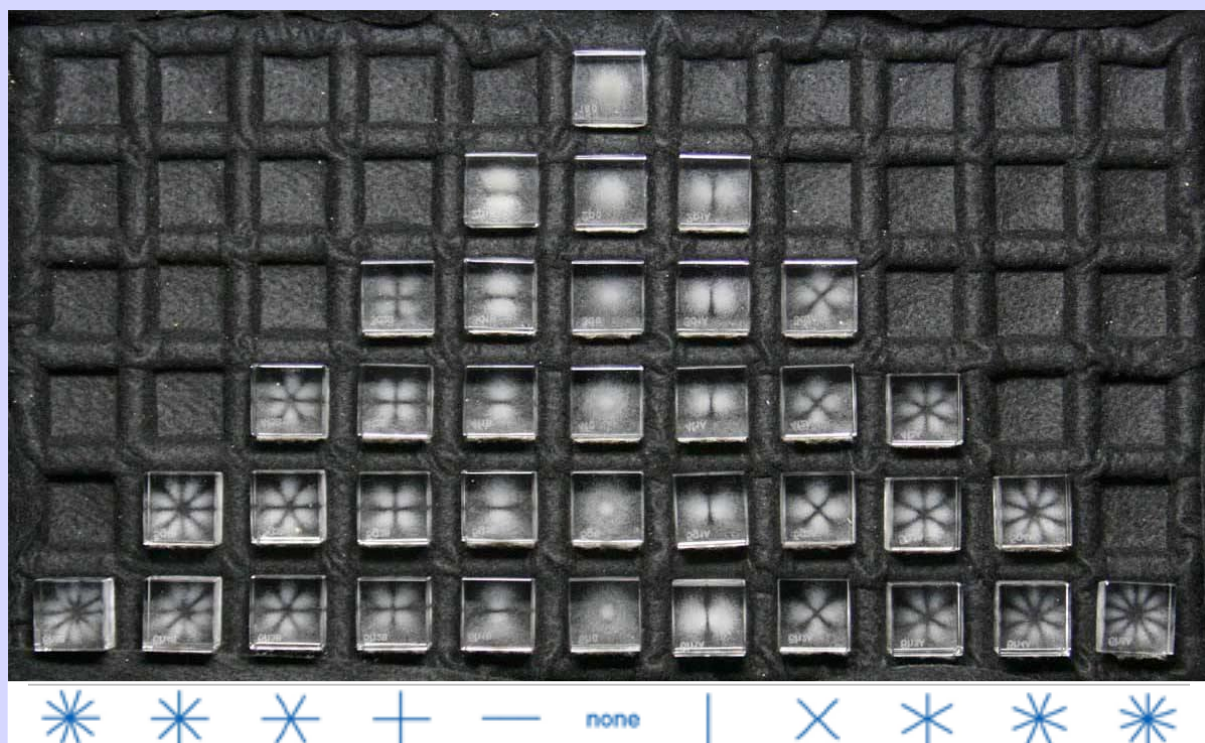




形の科学会誌

第31巻 第1号 2016

BULLETIN OF THE SOCIETY FOR SCIENCE ON FORM



形の科学会

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

目 次

【論文】

顕微像（形態情報）に依拠せずにウイルス宿主を推定するゲノム解析技術－
“オリゴスティッキネス”

西垣 功一、Shamim Ahmed、齋藤 あゆむ…………… 1

【解説論文】

オービタルのかたち－節面と規則性

時田 澄男…………… 11

【訂正】

編集事務局より：山口喜博「編み物，組みひも，そして位相的カオス - 悲しいけれど
そこにはカオスは見えない -」（形の科学会誌第30巻第3号，P227-238）…………… 21

【書評】

望月 修 著「物理の目で見る生き物の世界－バイオミメティクス皆伝－」

杉本 剛…………… 22

【シンポジウム要旨】

第81回形の科学シンポジウム 「量子科学とかたち」要旨…………… 24

【会告】

会告…………… 31

顕微像（形態情報）に依拠せずにウイルス宿主を推定するゲノム解析技術－
“オリゴスティッキネス”

西垣功一^{1,2}、Shamim Ahmed^{1,3}、齋藤あゆむ^{1,4}

¹ 埼玉大学大学院 理工学研究科

現所属：²産総研、³ Shahjalal Univ. of Sci. and Tech., Bangladesh、⁴東大医科学研究所

Oligostickiness : A genome analysis that enables us to reveal the host-parasite
relationship without depending on microscopic image information.

Koichi Nishigaki, Shamim Ahmed, Ayumu Saito,
Saitama University

E-mail: koichi@fms.saitama-u.ac.jp

Keywords: Virus, Host/parasite, Genome sequence, Sequence similarity, Oligostickiness
(2016 年 4 月 14 日受付, 2016 年 5 月 24 日受理)

ABSTRACT

Host-parasite relationship, say, between virus and bacteria has been assigned by employing the electron microscopic method, which consists of tremendously painstaking processes. Owing to the readiness of obtaining genome sequences of various species of organisms and a physicochemical parameter *oligostickiness*, we may be able to find the host-parasite relationship without depending on electron microscopic measures. Here, *oligostickiness* is defined and applied to probing the closeness between two species (bacteria and bacteriophages), which leads to estimating a host-parasite relationship.

序.

我々はいろいろなものや生物が有する‘形’を情報として、それらを同定している（同時に、色、大きさ、動きなどを認識しながら判断していることも少なくないが）。最小の‘生物’であるウイルスを同定するのにも、現在この原理に依っている。歴史的には、小さいが故に、「濾過性細菌」と名称され、20 世紀中頃に電子顕微鏡が開発・実用化されるまで、その実体は不明であった。ウイルスは細菌から人類までありとあらゆる生物をホスト（宿主）として種々の形態で寄生していることが知られている。ホストに有害な作用を引き起こすものも少なくなく、HIV、エボラ、デング熱、ジカ熱ウイルスなどの例にみるように未だにその研究は新しく、重要性を増しているところがある。ウイルスの実体解明の基礎として「宿主－寄生」（以下 H-P）関係を明らかにすることが重要であるが、今日までそれは電子顕微鏡によって観察された形状情報をもとにして成し遂げられており、すなわち、ホストの体内もしくはそれに由来する排泄物などの中にウイルスを再現的に検出することが関係推定の原則となっており、その都度、電子顕微鏡観察を援用する必要がある。無論、一旦、H-P 関係が解明されれば、今日では、その DNA 塩基配列からそれ以降の同定は可能となる。しかし、最初の H-P 関係樹立には、形状情報が必須であり、膨大な作業が求められている。有名な例は、1980 年代初頭、アメリカの Gallo と後にノーベル賞に輝いたフランスの Montagnier との国運を

かけてのエイズウイルスの発見論争¹⁾があるように、同定自体が一大事業である。

さてこのような状況で、形状によらずに H・P 関係を同定する技術があれば、顕微観察からウイルスとしての存在は検出されていてもそのホストが不明な多数のウイルスや 10 年ほど前から次世代シーケンサーの出現のおかげで可能となった海・河川の水や土壌のメタゲノム解析によって確認される宿主不明の膨大な数のウイルス²⁾の H・P 関係を明らかにすることが可能となり、ウイルス研究を促進し、社会の安全性を高めることに寄与すると考えられる。我々は、そのツールとして、ゲノム塩基配列を利用した Oligostickiness 解析を考案し、一定の有効性を確認している。

原理と方法

オリゴスティッキネス（ある配列のオリゴヌクレオチドがゲノム DNA にどの程度安定に結合するかの指標）は、次の式 1 および図 1 によって定義される³⁾。

$$\sigma(x_0) = \sum_{x=x_0}^{x_0+L-1} \frac{n(x)}{L} \begin{cases} n(x) = 1, & \text{if 'binding' at } x \\ n(x) = 0, & \text{if not 'binding' at } x \end{cases} \quad (1)$$

従って、オリゴスティッキネス解析はプローブとして用いるオリゴヌクレオチドの類似塩基配列が対象のゲノム DNA などに、どの程度保存されているかを調べるものとなっている。重要なことは、操作変数となっている臨界結合自由エネルギーを適当に変えることで、完全相補配列や類似性の高い配列の検出から、相似性が崩れて、似ても似つかないランダム配列になるまでの色々な段階の配列類似性を検出する（これを stickiness analysis と称している）ことができるということである。

従って、通常の（数学的）相似配列解析だけにとどまらない、一般化された（物理化学的）塩基配列類似性の検出を可能とするパラメータといえる⁴⁾。標準的に解析に用いるパラメータを表 1 に示す。

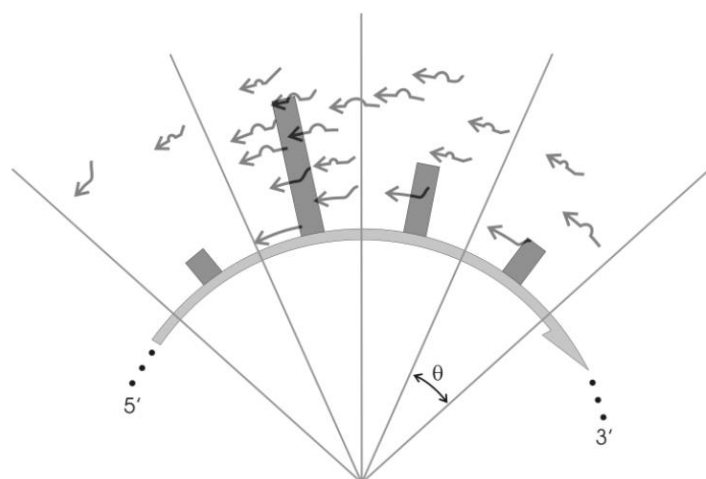


図 1. オリゴスティッキネス(σ)の定義

DNA 塩基配列を 5'から 3'に図のように描くとき、ゲノム DNA の微小画分 (θ) のそれぞれにおいて、検出に用いたオリゴヌクレオチド(プローブと称する)がその領域の DNA と、表 1 の制約条件のもとでいかなる頻度で、結合構造を形成しうるかを表すものである。従って、図の柱の高さはその区間での数オリゴスティッキネスの高さを表している。式としては、式 (1) に示すように、座標 x_0 から始まる区間 L において、それぞれの座標（実際はプローブの 5'末端塩基が結合する位置）において安定な結合があるときだけ、式において $n(x)$ が 1 になる。従って、 σ はゲノム上のそれぞれの位置でプローブが結合する期待値となっている。

Table 1. Constraints imposed for searching stable structures and the parameters used in the program

Constraints	Parameters	Values
Allowed length of coil part (nts)	I_c	3
Allowed number of coil parts (nts)	n_c	2
Minimum number of base pairs in helix part (bp)	I_h	8
Required free energy change for hybrid structure formation (kcal/mol)	ΔG	-6.0
Temperature (K)	T	303
Minimum number of continuous base pairs at the 3' end of a primer (bp)	$I_{3'}$	2

結果と討論

A. オリゴスティッキネスパターン

この技術で特定のゲノム配列を解析すると、図 2 に示すように、ゲノム塩基配列に沿って、ローカルな配列の特徴が浮かび上がる⁵⁾。

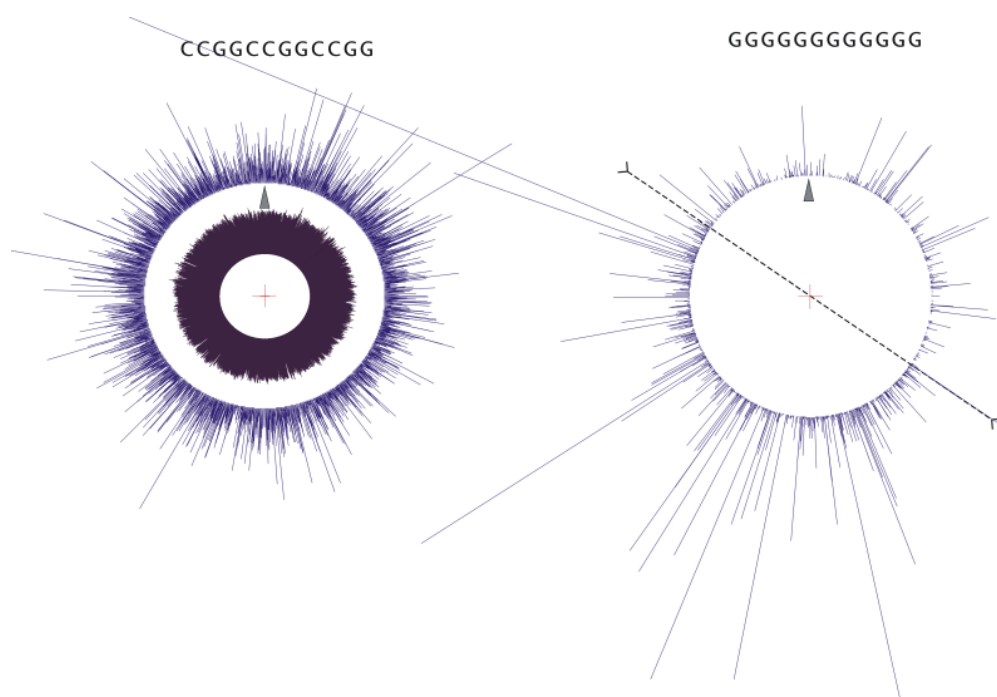


図 2. 大腸菌ゲノムに関する 2 プローブでのオリゴスティッキネス (スパイク表示)

サークルは大腸菌ゲノム配列を時計回りに示している (ゲノム配列の Ori は 0 時の位置にある)。使われた 2 種のプローブ配列はそれぞれゲノムの上に記載してある。スパイクは全ゲノムの 1/3600 の領域毎の σ を表している。サークルの直径が $\sigma=0.36$ にとっている。左の内側の濃いサークルは G+C 含量を示す。右のサークルを斜めに二分する線は、それを境にして、オリゴスティッキネスの高低が全体として異なり、「大腸菌ゲノム重複説」を支持している。

B. 同一核内 DNA のオリゴスティッキネス均質化

さて、このオリゴスティッキネス（以下 OS と略記）を用いると、ゲノムの進化との関係で興味深い事実が浮かび上がってきた。すなわち、特定の生物の核の中にある染色体どうしは様々なプローブ（オリゴヌクレオチド配列）で OS を調べた時に、染色体全体としての OS の平均値（グローバル OS）やそのローカルな領域での平均 OS 値が相似することがわかった⁶⁾。図 3 および図 4 にその結果を示す。

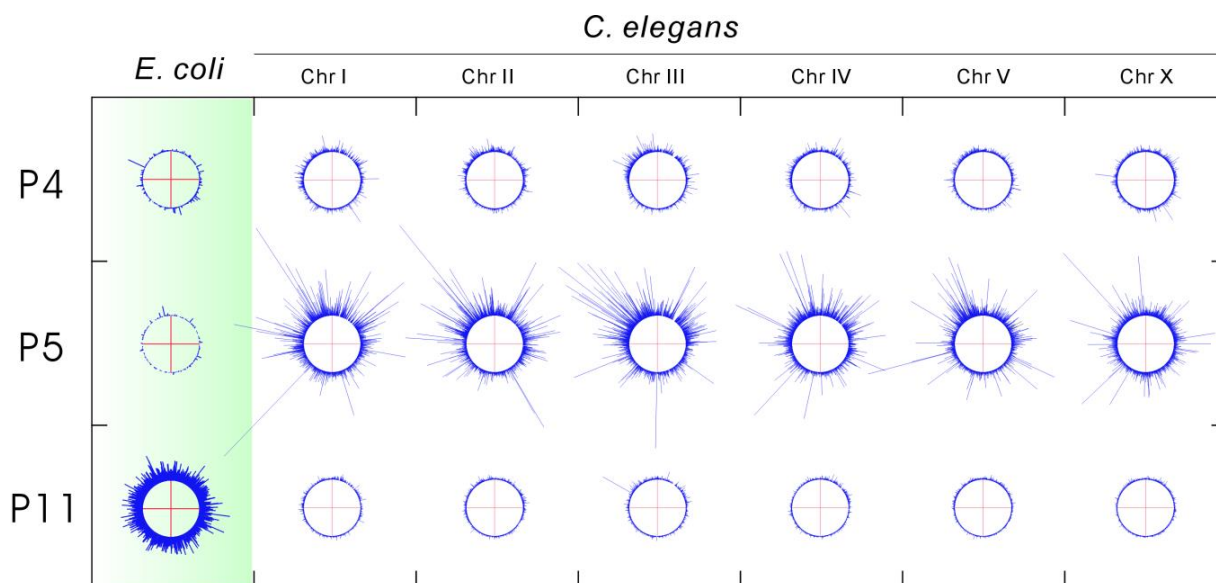


図3. 大腸菌 (*E.coli*) ゲノムと線虫 (*C. elegans*) の全染色体6種のDNAのオリゴスティッキネス解析 表示方式は図2と同様。使ったプローブは、P4 (dGCTAAAAAAAAA) P5 (dAAAAAAAAAAAAA) と P11 (dAGACCGCGCCTG.)。また、それぞれの、DNAサイズは、4.6Mb (*E. coli*), 13.5 Mb (Chr I), 15.1 Mb (Chr II), 12.5 Mb (Chr III), 15.9 Mb (Chr IV), 20.7 Mb (Chr V) and 17.4 Mb (Chr X)。線虫の6種の染色体のOSは全体として相互にパターンが類似しているが、それらは明らかに大腸菌とは異なっている。配列的には近いと思われるプローブP4とP5はOSとしては違っていることがわかる。

換言すれば、長期にわたり同一環境にある DNA は OS が類似するということである。この解釈として我々は、2つの原因を推定して、試みにそれらを検証した。すなわち、(1) 隣接して存在（共存）するために、DNA どうしで頻繁に組換えが発生し、その結果として OS が高まる。(2) 同じ環境の下で代々、複製・修復を重ねてきたことにより、同じ淘汰圧を受けた結果（たとえば、塩基としてアデニンが相対的に高濃度に存在する環境では、DNA 中へのランダムな取り込があったときにアデニンの相対的取り込量が増え、結果的にオリゴスティッキネスに影響するなど）である、ということが考えられる。これらの仮定をそれぞれ、計算シミュレーションにより検証してほぼ成立することを確認めた（齋藤あゆむ「埼玉大学修士論文」2004）。この段階で最終決定とすることはできないが、これら 2つの原因は、同一環

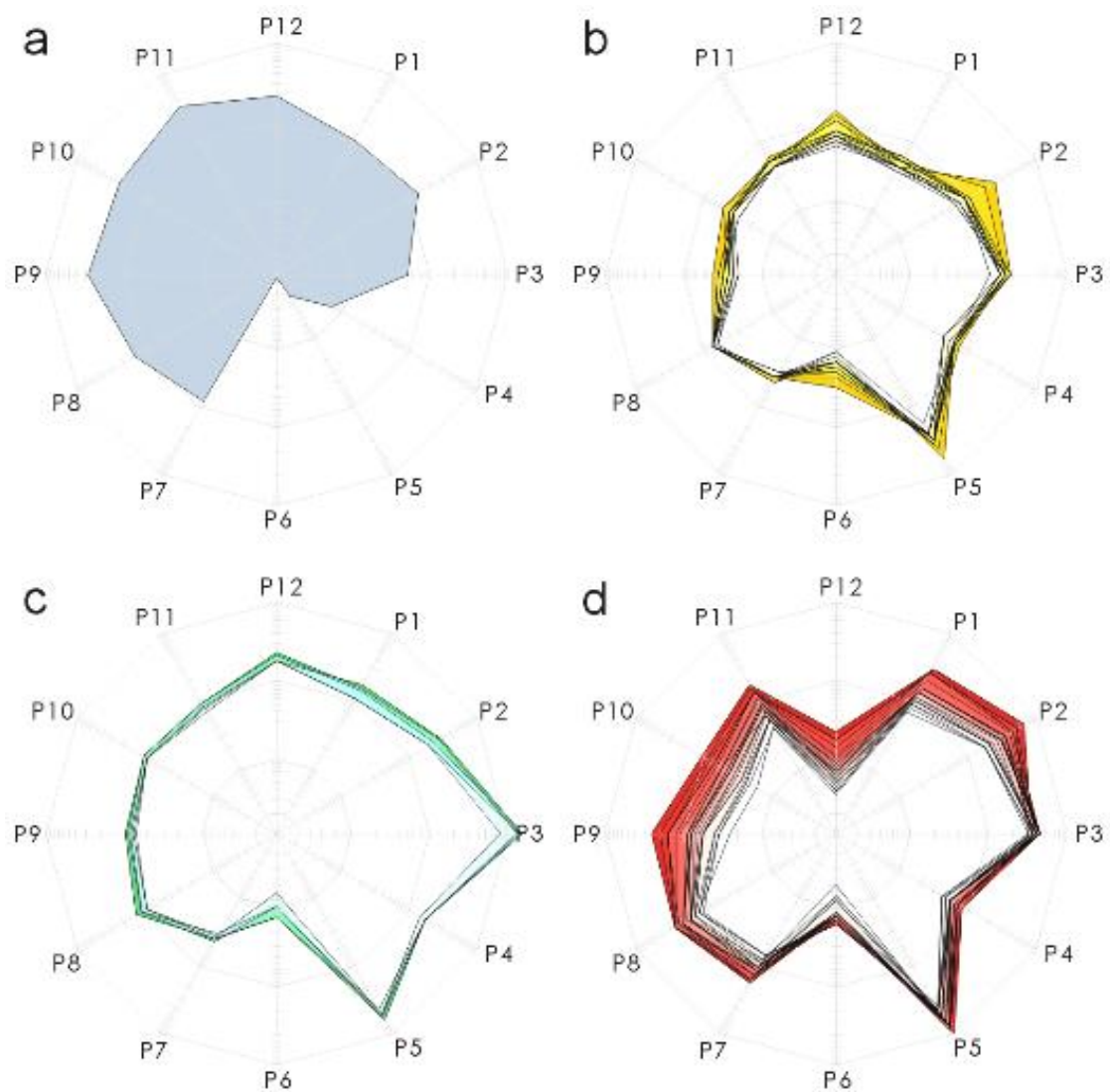


図4. マルチプローブオリゴスティッキネス解析 それぞれのゲノムについて12種の異なるプローブで得られた平均オリゴスティッキネス値 (σ) をポリゴン表示したもの。中心から外に向かって σ の対数値がプロットされている(詳細は文献6)。
A.大腸菌 (1)、B.酵母(16)、C.線虫 (6)、D.ヒト(24)。() 中の数字は染色体の種類を表し、図のポリゴン表示ではそれら各々の染色体に関する結果が重層して描かれている。いずれも種固有で重なりが良い。

境下で共存する DNA の“オリゴスティッキネスの均質化現象”を説明することができる。これとは別に、生物が辿るマクロ及びミクロ進化の過程で頻繁に DNA の組換えが発生している⁷⁻⁹⁾ということは今や定説となっており、(1)、(2)の推定は無理のないものと考えられる。また、必然的結果として、この均質化現象はイベント頻度に、従って時間に依存すると考えられる。

ここでは、我々が得た「ゲノムの OS 均質化現象」を表す別の解析結果を図5に示す⁶⁾。

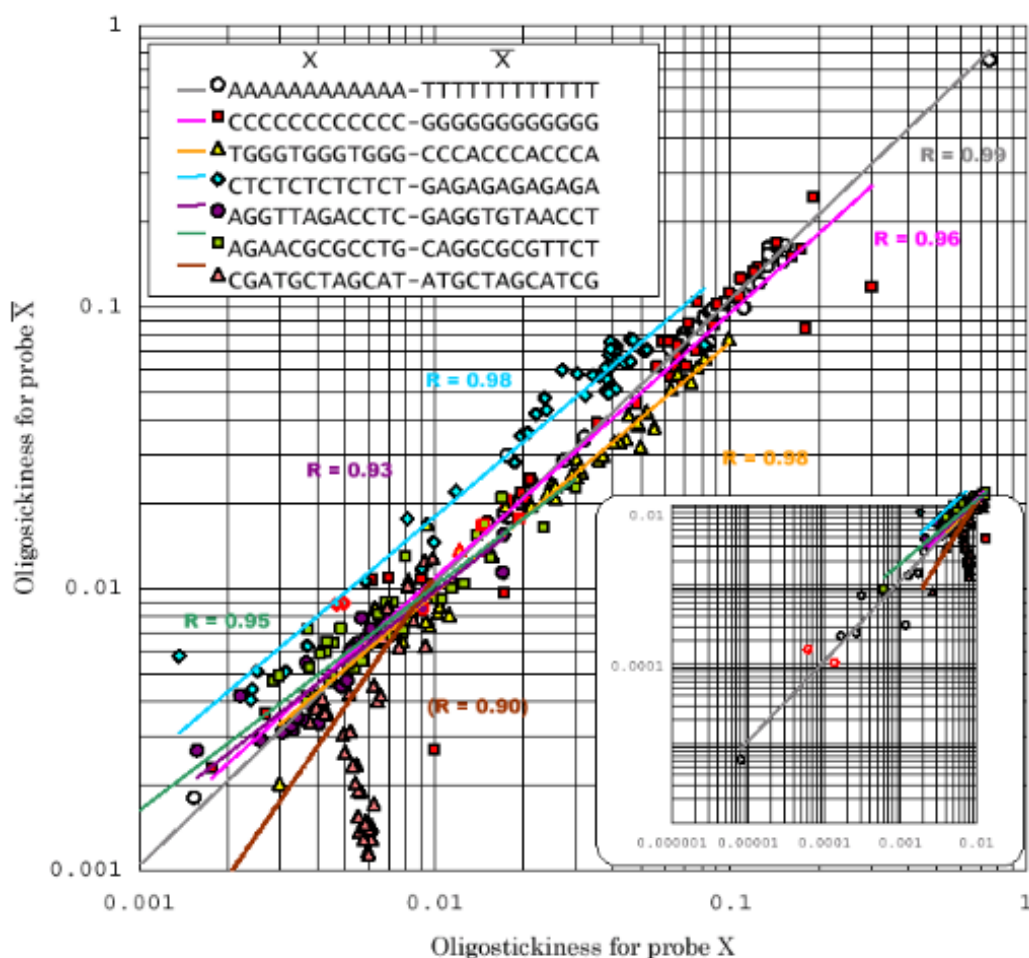


図5. 相補プローブによるオリゴスティッキネス解析 47種の染色体（もしくは相当DNA）について、図の左上に示す7組の相補プローブを用いて、グローバルOS(σ)を求めて、それぞれの相補プローブに対する結果の相関を示したもの。即ち、横軸にプローブXで、縦軸にその相補プローブX-barでの σ 値を取り、プロットしたもの（両対数表示）。それぞれのプローブペアに関するプロット点群の相関係数をカラーで表記してある。0.90~0.99の高い相関係数であることがわかる。右下の挿絵は σ の値の低い領域で、ほぼ傾き1のライン上にある。

この図5は、相補プローブでゲノムを解析したもので、塩基配列登録鎖（通常、プラス鎖と呼ぶことが多い）に対してプローブXで調べたことと同様なことをマイナス鎖について調べるためには、プローブXの相補プローブ（即ちプローブX-bar）で調べればよい。この解析結果から、ゲノムの2本鎖DNAの表・裏のDNAの配列がオリゴスティッキネスの観点からは“均質化”していることを表しており、このことは染色体DNAが頻繁に組換えを生じ、その際に配向が逆になることがあった（プラス鎖にマイナス鎖が直結した）ということで説明される。念のために、特定のプローブに関して表と裏のDNAのOSが近いということは自明ではないことを示しておく、たとえば表がポリAのDNA（当然、裏はポリT）に対してプローブdAAAAAAAAは表には貼りつかないが、裏の配列にはよく貼りつくことがすぐに推定されるように、表と裏に同じように振る舞うとは限らない（図5のプローブペアの1組（ピンクの△）は傾き1から外れた特徴的なプロットとなっていることから、必ずしも自明で

ないことがわかる)。

C. 宿主－寄生関係を導くオリゴスティッキネス

1970 年頃には、仮説に過ぎなかった Lynn Margulis の細胞内共生説¹⁰⁾ (細胞内に存在する核、ミトコンドリア、葉緑体などはもともと独立した原始単細胞生物であったものが 1 つの細胞として共生したものであるという考え方) はその後の分子レベルでの研究、とりわけゲノム塩基配列解析により支持され、今やそれを疑う研究者は殆どいない。本報告では、共生している DNA はオリゴスティッキネス解析から、さらにそれらの OS が時間とともに均質化するという仮説が述べられている。既に、細菌などのゲノム DNA 中にはファージやトランスポゾンのような外来性 DNA 断片が組み込まれていることが実証されており、ヒトゲノムにおいても同様であることがわかっている。換言すれば、生物のゲノム DNA は時間とともに遺伝子の出入りと変容があり、それらがいわば共存状態にあるなかで、OS が均質化していつていると考えられる。このことから、次の有力な仮説が導かれる。

仮説 1 : 「ウイルスとそのホストのゲノムはその関係が成立してから、共存的経過時間に応じて、ゲノム間で相互作用が進み、それらの OS が均質化してきた」

この仮説 1 が成立するならば、次の仮説 2 は自然に誘導される。

仮説 2 : 「オリゴスティッキネスの類似度を測定することで、生物間の関係の深さが推定され、『宿主－寄生関係』を求めることができる可能性がある」

これらの仮説を実証するために、著者らは、2009 年時点で知られていた細菌 (大腸菌や枯草菌) とそれらのウイルスのゲノム塩基配列について OS 解析 (ここでは、複数のプローブにより得られる OS のセット、すなわち SOSS (Set of Oligostickiness Similarity Score) 解析) を行い、基本的にこれらの仮説が成立することを示した¹¹⁾。ここで、SOSS の定義は、

$$SOSS = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\log S_i^1 - \log S_i^2}{\log S^{\max} - \log S^{\min}} \right)^2}, (0 \leq SOSS \leq 1) \quad (2)$$

ここで S_i^1 , S_i^2 は各々、試料 1, 2 のプローブ i による σ 値を表し、 $S^{\max}$ および $S^{\min}$ はポリゴン表記の明瞭化のための便宜的因子で、ここでは各々 0.1 および 0.0001 である。

結局、図 6 に示されるように、バクテリオファージ群は明らかにその宿主 (大腸菌あるいは枯草菌) とだけに対して高いオリゴスティッキネスの類似性 (SOSS 値) を示すことがわかる。また、興味深いことには、溶菌性 (宿主の細胞の中で増殖したらホストの細胞を壊して、飛

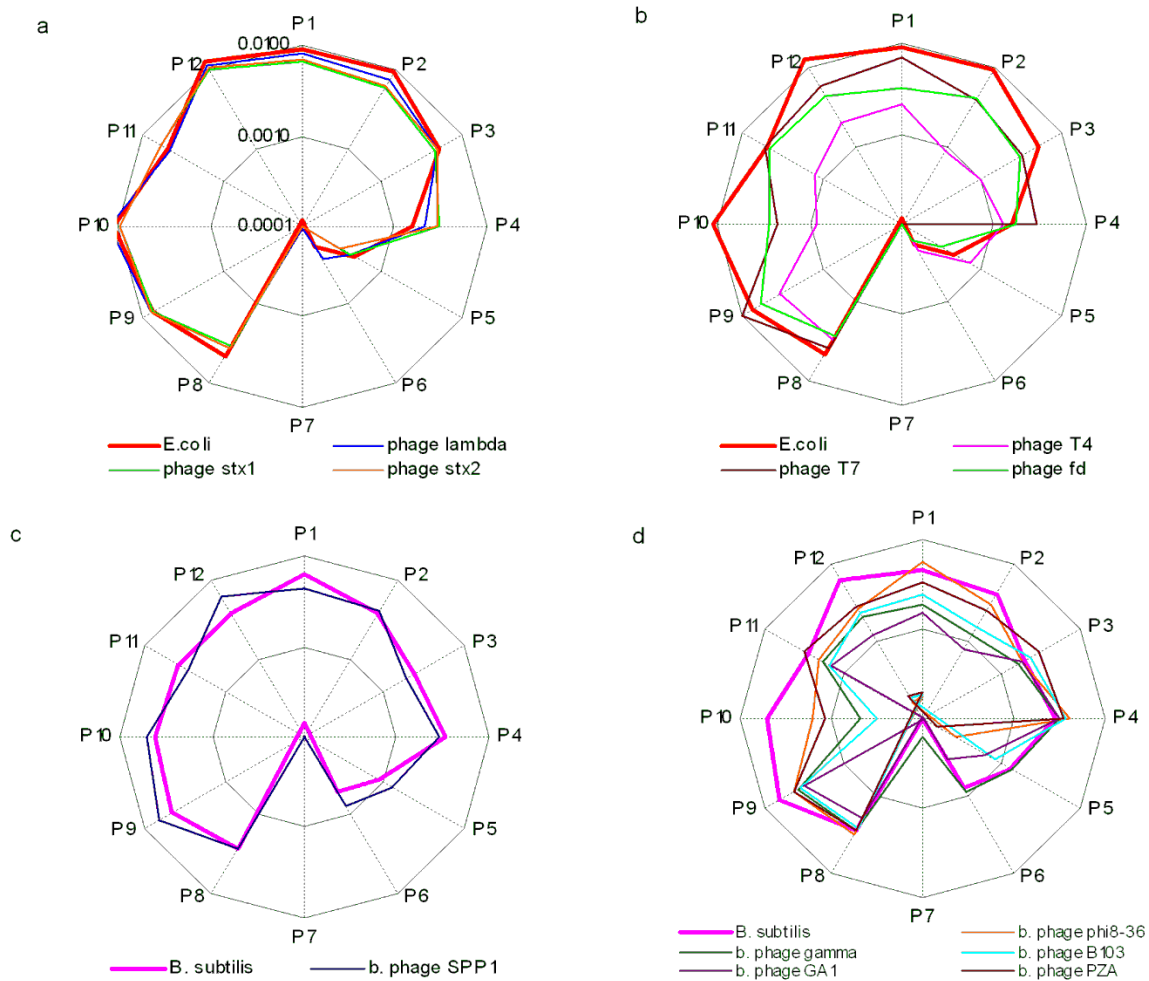


図6．宿主とそのウイルスのOSポリゴン表示．宿主として大腸菌 (a,b) と枯草菌(c,d) を選び、それぞれに寄生する溶原性ウイルス (a,c) および溶菌性ウイルス (b,d) のゲノムについてマルチプローブ(12種)でOS解析しポリゴン表示してある。ウイルスの種類はカラー表示で側に対応付けが示してある。ホストのゲノムについても同時に同じチャート上に示し、類似性を明らかにしてある。その結果、大腸菌、枯草菌のいずれにおいても溶原性 (aおよびc) の場合は、ホストとウイルスのポリゴンがよく重なり、逆に溶菌性(bおよびd)では、明らかに重なりが悪い。ここでパネルb中のfdは分泌型であり、ホストを破壊しない。プローブ配列は、図3と共通である(詳細は文献6)。

び出すタイプ) と溶原性 (ホストのゲノムの中に一体化し、何世代もホストゲノムの一部として複製されるタイプで、ホストの環境が悪くなると、ホストを見限り、増幅しながら飛び出す) の2つに大別してみると、ホストのゲノムDNAとの共存期間が長いと考えられる溶原性の方が溶菌性より、有意にSOSS値の類似性が高い。このことはホスト「細菌」と寄生「ウイルス」の間で、共存する時間の長さに依存して、オリゴスティックネスの類似性が高まっていることを示しており、逆にこの事実から宿主-寄生関係を推定することができる。面白いことに、大腸菌に寄生する“分泌型ウイルス (溶原でも溶菌でもなく、その中間的な

生活史を辿り、宿主を殺すことなく宿主から分泌されるようにして増殖するタイプ) の fd ウイルス(極近縁に M13 や f1 がある)は SOSS で見ても、溶菌と溶原の中間に位置しており、合理的である。これらのことは、オリゴスティッキネスが H-P 関係の深さや、関係成立からの経過時間などを示す有力なツールとなることを意味している。

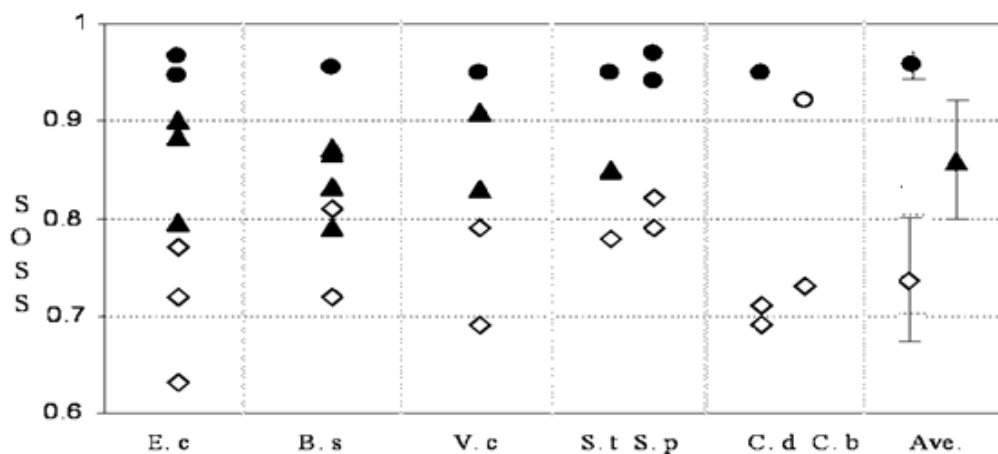


図7. 細菌宿主とそれに寄生するウイルスのとの間に見られるSOSSの値.

横軸には左から順に、E.c.(大腸菌)、B.s.(枯草菌)、V.c.(ビブリオ菌)、S.t.S.p.(ストレプトコッカス)、C.d.,C.b. (クロストリジウム) の細菌を示す。一方、●は溶原性、▲は溶菌性のウイルスを示し、◇は宿主-寄生関係にない無関係ウイルスを示している。それらが置かれている位置はSOSSの高さを示している。図から、溶原性のウイルスは高いSOSS値をとり、寄生関係にないウイルスは低い値を示す。図の右端のカラムは5種の細菌とその寄生ウイルスについてのSOSSの値を溶原、溶菌、無関係ごとに平均したものである(◇の平均値について原論文の図に誤りがあったが、ここでは正しく標記してある)。

D. 未知のウイルス宿主を探る技術へ

疫病の観点から脅威を与えているウイルスは、農学の分野でも重要な影響を与える研究対象である。ウイルスとして最初に発見されたのも、植物のタバコを枯らすタバコモザイクウイルスであったように、農業に対するウイルスの有害性は甚大である。今や、パンデミックの脅威から解放されるためにもウイルス研究は今日において最重要な分野である。

一方、超高速な次世代シーケンサー(NGS)の出現やコンピュータ技術の発達により、多量のゲノム情報データを取得し処理することが可能となっている。本解説では限られた種類の細菌やウイルスを対象としてオリゴスティッキネス法の原則的有効性を実証してきたが、これからはウイルス粒子やそのゲノム配列だけが次々に見つかっているウイルス群に関して、その未知の宿主を推定するのに、電子顕微鏡(形態情報)によらずに実現することが期待される。これは最終的な同定作業(宿主体内でのウイルス増殖の観察)は必要としてもその端緒部分を飛躍的に効率化すると考えられるからである。尚、オリゴスティッキネスで解析できる「宿主-寄生関係」は細菌とウイルスの間だけに限らず、‘ヒトとウイルス’や‘ヒトとカビ’な

どもにも共通することを留意すべきであろう。

結語

ゲノム塩基配列が環境の影響を受けて変化していく過程をオリゴスティッキネス (OS) 解析で明らかにすることができ、OS の観点からウイルスとその宿主細菌の近縁性が示されることがわかった。このことから、ウイルス形態情報によらずにゲノム配列の知見を基にウイルス宿主を推定する可能性が示された。

文献

- 1) Montagnier L., 25 years after HIV discovery: prospects for cure and vaccine. *Virology*. 397(2):248-54.(2010)
- 2) Venter, J. C., et al. Environmental genome shotgun sequencing of the Sargasso Sea. *Science* 304:66–74 (2004).
- 3) Nishigaki,K. and Sakuma, Y., Introduction of Physicochemical Properties Termed Stickiness and Pseudostickiness to Quantification of Macromolecule-interaction and Its Application to the Analysis of Lambda Genome DNA, *J. Chem. Software*, 2(2). 96-107 (1994)
- 4) Saito, A. and Nishigaki, K., Structure-Revealing Representation of Genome: Oligostickiness Map, *Genome Informatics* 11, 354–355 (2000)
- 5) Nishigaki K. and Saito A., Genome structures embossed by oligo-nucleotide-stickiness, *Bioinformatics*, 18(9), 1153-1161 (2002)
- 6) Saito, A. and Nishigaki, K., Homogenization of Chromosomes Revealed by Oligonucleotide-stickiness *J. Comput. Chem. Jpn.*, 3(4), 145–152 (2004)
- 7) Stahl, F. W., Genetic Recombination; Thinking About It in Phage and Fungi, W. H. Freeman and Company, San Francisco (1979).
- 8) Nickoloff, J. A. and Hoekstra, M. F., DNA Repair in Prokaryotes and Lower Eukaryotes, In DNA Damage and Repair, Humana Press, New Jersey (1998).
- 9) Bukhari, A. I. Shapiro, J. A. and Adhya, S. L., DNA Elements, Plasmids, and Episomes, *Cold Spring Harbor Laboratory Press*, New York (1977).
- 10) Margulis L Symbiogenesis and symbiogenesis. Symbiosis As a Source of Evolutionary Innovation: Speciation and Morphogenesis, eds Margulis L, Fester R (MIT Press, Cambridge, MA), 1–13. (1991)
- 11) Ahmed, S., Saito, A., Suzuki,M., Nemoto, N., and Nishigaki, K.
Host–parasite relations of bacteria and phages can be unveiled by Oligostickiness, a measure of relaxed sequence similarity, *Bioinformatics*, 25(5), 563–570 (2009)

オービタルのかたち—節面と規則性

時田 澄男 (埼玉大学 名誉教授)

〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255

e-mail: tokita@apc.saitama-u.ac.jp

Visualization of Orbitals
Classification According to the Node Type

Sumio Tokita, Saitama University (Emeritus)

255 Shimo-Ohkubo, Sakura-ku, Saitama, Saitama, 338-8570, Japan

(2016 年 4 月 27 日受付, 2016 年 5 月 19 日受理)

Abstract: A three dimensional representation of the probability density distribution of a hydrogen atomic orbital in a glass block was developed. 3-D isosurface model (Fig. 9 or 10) hardly shows the entire region where an electron can be found. On the other hand, in the diagram of probability density distribution models in a glass block (Fig. 1, 4, 6 or 8), an electron is found everywhere around the nucleus. The density of the dots sculptured in the glass block shows the probability density of finding an electron, so the nodal plane is well described as spherical shell(s) or planar and conical node(s) symmetrical about z axis where the dots cannot be found. In the diagram of probability density distribution model, we can compare the size of the orbitals from their distribution regions. Number of these nodes together with planar nodes including z axis in hydrogen atomic orbitals is summarized in Table 2.

Keywords: electron, visualization, hydrogen atom, radial distribution function, spherical harmonics, s orbital, p orbital, d orbital, f orbital, spherical node, planar node including z axis, planar and conical node symmetrical about z axis, isosurface, real 3-dimensional representation of electron cloud

1. はじめに

原子を化学結合によって結びつけて分子ができる。このときの主役は電子である。どのような化学結合が生成するかということが物質の性質にもかかわっている [1]。電子は、いわゆる電子機器などの応用面でも重要なはたらきを演じている [2]。しかし、原子や分子のなかの電子の姿を、たとえば、原子軌道や分子軌道で描こうとすると、さまざまな困難が伴う。さらに、その描かれた姿をどのように解釈したら良いのかと、戸惑うことが多いのも事実である [3]。量子力学では、1 電子波動関数を軌道、または、オービタルという。

本稿では、オービタルの可視化法として、ガラスブロック内に電子の存在確率を実 3 次元で彫刻するという、新しく開発した方法を紹介する。この新しい方法は、ブロック内を透視できることから、軌道の節面（軌道の値が 0 となる面）の認識において特に優れている。この特徴を利用すると、一見、複雑そうに見える原子軌道のかたちを、節面のタイプ別に、系統的に整理することができる。

2. 「電子雲」を実 3 次元で描く新しい方法

1926 年、オーストリアの物理学者シュレーディンガーは、ド・ブロイの物質波の考えを水素原子のなかの電子に適用し、電子のエネルギーと、その状態を表す数式を求めた。この数式を、水素原子の原子軌道 (atomic orbital) または、波動関数 (wavefunction) という。ボルン (独) は、電

子を見出す確率 (電子の存在確率) は, 波動関数の絶対値の平方に比例するという解釈を与えた.

図 1 は, 水素原子のいくつかの原子軌道の平方をガラスブロックの中に彫刻したものである [4, 5]. 軌道という言葉は, 太陽のまわりを回っている地球のような軌道 (orbit, つまり, 「粒子」の軌道) を連想させる. シュレーディンガーの取り扱いでは, 電子を「波動性を持つ粒子」として扱うので, 電子の軌道 (orbital) は, 恒星の軌道 (orbit) とは異なり, 確率で記述される.

図 1 の描像は雲のように見えることから, 「電子雲」とも呼ばれる. しかし, 電子が雲のようにひろがるという考え方は誤りである. 水素原子のなかには, 電子は 1 個しかないから, これを観察できたとすれば, 点状になる. このような観測を 10 万回程度繰り返したとすると, 図 1 に示すパターンが与えられる. ボルンの解釈にしたがえば, これは, 電子を見出す確率である. 点の濃さが, 電子を見出す確率の大きさを表している [6]. つまり, 個々の電子を検出できたとすると, それは, あくまでも点状であり, その数をカウントすることができるが, 1 つの電子の雲の一部 (すなわち, 電子の「かけら」) が存在することはあり得ない. 図 1 の描像は, 電子密度を表しているのではなく, 電子を見出す確率密度を表している.

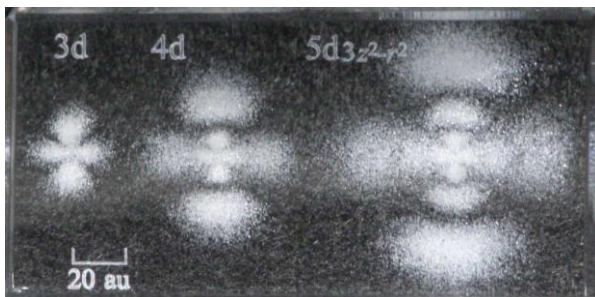
(a)



(b)



(c)



(d)

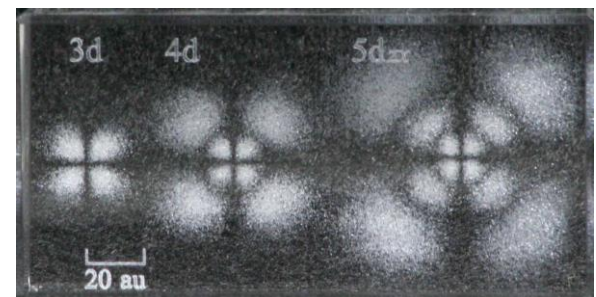


図 1. 水素原子の (a): 1s, 2s, 3s 軌道; (b) $2p_z$, $3p_z$, $4p_z$ 軌道; (c) $3d(3z^2-r^2)$ 軌道, $4d(3z^2-r^2)$ 軌道, $5d(3z^2-r^2)$ 軌道; (d) $3d(zx)$ 軌道, $4d(zx)$ 軌道, $5d(zx)$ 軌道; それぞれの平方の実 3 次元ガラス内彫刻 [5], 彫刻ガラスサイズ $4 \times 4 \times 8$ cm

3. 原子軌道を求める手続き

水素原子の原子軌道を求める手続きの概略を図 2 に示した [7]. シュレーディンガーの波動方程式 (1) において, 原子核は原点 $(0, 0, 0)$ にあり, 質量 m , 電荷 $-e$ の電子が (x, y, z) に位置している. k_0 はクーロンの法則を SI 単位系で表すときの定数, h はプランク定数である.

式 (1) を解くには, まず, 直交座標系 (x, y, z) から極座標系 (r, θ, ϕ) に変換する. これらの座標系の関係は, 図 3 に示してある [7]. 変換された式は解析的に (近似を導入せずに) 解くことができ, 上記の無数の原子軌道 $\chi_{n,l,m}$ の数式 (2) とそれらのエネルギー E_n を求めることができる. 原子軌道 (2) は, r の関数, θ の関数, および, ϕ の関数の積で表され, それぞれの関数は, 主量子数 n , 方位量子数 l または, 磁気量子数 m で規定される. これらの量子数は, 以下に示す範

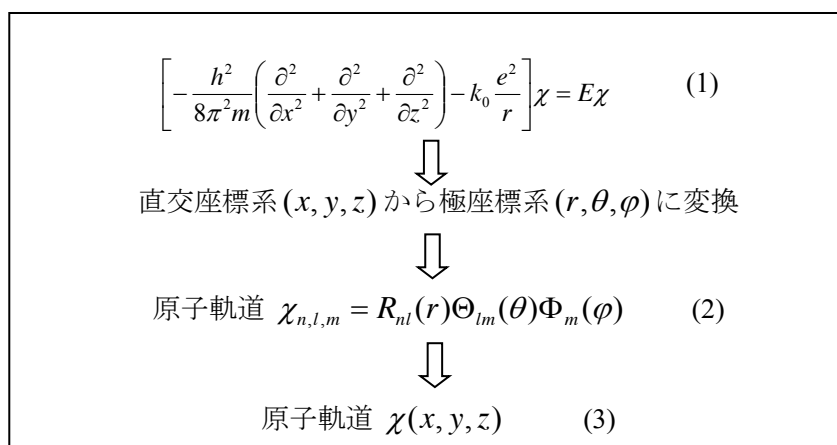


図 2. 水素原子の原子軌道を求める手続き

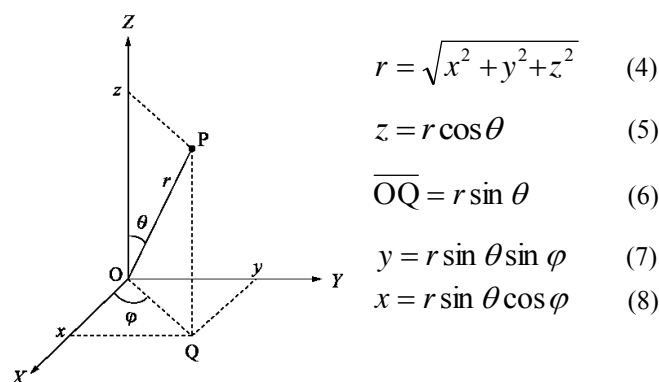


図 3. 直交座標系 (x, y, z) と極座標系 (r, θ, φ) の関係

囲の 0 または整数であることが、もとの波動方程式 (1) を解く過程で自然に導かれる。

$$\text{主量子数} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

$$\text{方位量子数} \quad 0 \leq l \leq n-1 \quad (10)$$

$$\text{磁気量子数} \quad -l \leq m \leq l \quad (11)$$

原子軌道 $\chi_{n,l,m}$ の数式 (2) は、 m の値が 0 でない場合、複素関数（虚数単位 i ($i^2 = -1$) を含む関数）となる。これでは扱いにくい場合が多いので、原子軌道の数式 (2) を組変えて、実関数 $\chi(x, y, z)$ (3) に変換したものが使われる。

4. 原子軌道の名称と量子数

原子軌道の名称と量子数の関係を、表 1 に示す。1s, 2s, 2p, …などの名称における最初の数字は主量子数 n を表す。s, p, …などの英字は、方位量子数 l の値が 0 のとき s, 1 のとき p, 2 のとき d, 3, 4, 5, …は, f, g, h, …とアルファベットを順次割り振る。水素原子のエネルギーは主量子数 n だけで決まるので、同じエネルギーをもつ軌道の数、1, 4, 9, 16, …となり、 n^2 個ずつである。同じエネルギーをもつ軌道は、縮重（または、縮退：degenerate）していると呼ばれる。表 1 には 4f 軌道までしか示していないが、上記のことから、主量子数 5 の軌道は 5s, 5p, 5d, 5f, 5g であり、縮重した軌道数は、 $1 + 3 + 5 + 7 + 9 = 25$ であることなど、表 1 に示されていない高次の軌道のこととも理解することができる。なお、軌道名のカッコ内の文字には、7 節や 8 節で述べる軌道の節面の情報が含まれている。

表 1. 原子軌道の名称, 量子数 n, l, m および, 軌道数

名称	n	l	m							数	合計
1s	1	0	0							1	1
2s	2	0	0							1	4
2p		1	-1	0	1					3	
3s	3	0	0							1	9
3p		1	-1	0	1					3	
3d		2	-2	-1	0	1	2			5	
4s	4	0	0							1	16
4p		1	-1	0	1					3	
4d		2	-2	-1	0	1	2			5	
4f		3	-3	-2	-1	0	1	2	3	7	

5. 原子軌道に現れる節面のタイプとその数

原子軌道は, その平方が電子の存在確率 (電子を見出す確率密度) を表す. 原子軌道そのものは原子核のまわりの空間のあらゆる点に, 正または負の関数値を持っている. この符号が逆転する境界面 (つまり, 関数値が 0 となる面) を節面 (nodal plane) という. 図 1 の彫刻は, 原子軌道の平方を表したものである. 節面は, 電子の存在確率が 0 となる面, つまり, 暗部として認識できる.

原子軌道の節面は, 以下の 3 つのタイプに分類できる.

(A) 球殻状の節面: 図 1 (a), (b), (c), (d) のそれぞれ 3 種の軌道において, 左側には 0 個, 中央には 1 個, 右側には 2 個の円形が観察できる. 図 2 の原子軌道の数式 (2) において, 動径 r のみの関数 (動径分布関数) $R_{nl}(r)$ を 0 と置くことによってそれらの半径が計算できる [8].

(B) Z 軸回りに円筒対称な節面 (直円錐面の節面): 図 1 (b), (c), (d) において観察できる. 図 1 (c) では, 3種の軌道それぞれに, V 字型, あるいは逆 V 字型の暗部として示される. 図 1 (b), (d) における水平線のように見える暗部は, XY 平面そのものであるが, 直円錐の母線と Z 軸のなす角 θ が 90° となった特殊な場合と考えれば, 節面を統一的に理解できる.

(C) Z 軸を含む平面節面: 図 1 (d) において, 垂直方向に伸びる暗部として観察できる. 図 2 の式 (2) を式 (3) に変換する過程で生ずる節面である.

これらの節面の計算法等の詳細については, 次項以降で順次記す. これら 3 つのタイプの節面の数は, 表 2 のようにまとめられる [9].

表 2. 原子軌道の節面のタイプと数

節面のタイプ	節面の数
(A) 球殻状の節面	$n - l - 1$
(B) Z 軸回りに円筒対称な節面	$l - m $
(C) Z 軸を含む平面節面	$ m $
合計	$n - 1$

n : 主量子数; l : 方位量子数; m : 磁気量子数; $|m|$ は, その絶対値

6. 球殻状の節面の求め方

図 2 の原子軌道の数式 $\chi_{n,l,m} = R_{nl}(r)\Theta_{lm}(\theta)\Phi_m(\varphi)$ (2) において, $R_{nl}(r)$ は, 動径 r のみの関数で, 動径分布関数と呼ばれる. 動径分布関数は, Mathematica というソフトウェアを用いて容易に求

めることができる [8]. この関数の値を 0 と置くことによって, 球殻状の節面の半径が計算できる [8]. 無限遠の節面は考えないことになっているので, 1s 軌道は節面を持たない. 2s -7s 軌道の球殻状の節面の半径は, 以下の通りである(1 au = 52.92 pm) [9].

2s: 2 au

3s: 1.90192, 7.09808 au

4s: 1.87164, 6.61081, 15.5175 au

5s: 1.85823, 6.42909, 14.3279, 27.3847 au

6s: 1.85109, 6.3389, 13.8325, 25.1972, 42.7803 au

7s: 1.84684, 6.28705, 13.5682, 24.2159, 39.3211, 61.7609 au

主量子数は 2s, 3s, ...と, 下に行くほど大きくなり, それに伴って, 球殻状の節面の数が増加し, 軌道のひろがりも大きくなる (図 1 (a)). そのような現象が忠実に可視化できるのも, ガラス彫刻の利点である. 図 1 (b), (c), (d) などに観察されるその他の球殻状節面の半径も, 同じ方法 [8, 9] で計算できる.

7. Z 軸回りに円筒対称な節面の求め方

図 1 (b), 図 1 (c), 図 4 には, 磁気量子数 m の値が 0 の軌道が示してある. 図 1 (b) の左図は, 主量子数 n の値が 2, 方位量子数 l の値が 1 で, 図 1 (c) の左図は, 主量子数 n の値が 3, 方位量子数 l の値が 2 である. 図 4 の左図は, 主量子数 n の値が 4, 方位量子数 l の値が 3 の軌道である. それぞれの中央図, 右図では, 主量子数 n の値が左図+1, +2 となっている.

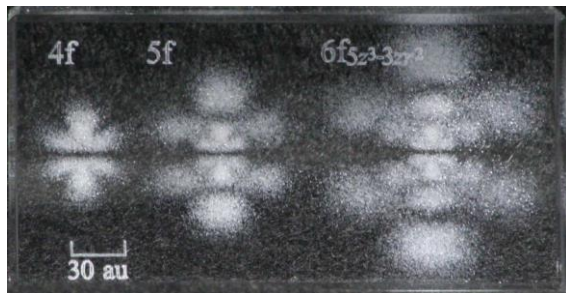


図4. $4f(5z^3-3zr^3)$, $5f(5z^3-3zr^3)$, $6f(5z^3-3zr^3)$ 軌道

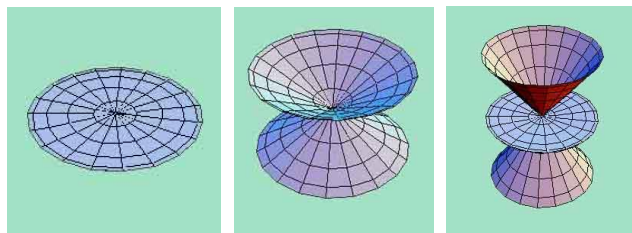


図5. 図1 (b), (c) および, 図4における節面

図 1 (b) の $2p(z)$, $3p(z)$, $4p(z)$ 軌道には, それぞれに, 図 5 左側に示す 1 つの節面が存在することが観察できる. 図 1 (c) の $3d(3z^2-r^2)$ 軌道, $4d(3z^2-r^2)$ 軌道, $5d(3z^2-r^2)$ 軌道には, それぞれに, 図 5 中央に示す 2 つの節面が存在することが観察できる. 図 4 の $4f(5z^3-3zr^3)$ 軌道, $5f(5z^3-3zr^3)$ 軌道, $6f(5z^3-3zr^3)$ 軌道には, それぞれに, 図 5 右側に示す 3 つの節面が存在することが観察できる [9].

図 5 に示す Z 軸回りに対称な平面および円錐形の節面の数式は, 原子軌道の数式 (または, 軌道名の括弧内の数式) を 0 とおくことにより, 以下のように求めることができる [10].

図 1 (b) の $2p(z)$, $3p(z)$, $4p(z)$ 軌道の場合,

$$z = 0 \quad (12)$$

のとき, それぞれの数式の値は 0 となる, 図 3 の式 (5) に示すように, $z = r \cos \theta$ であるから,

$$r \cos \theta = 0 \quad (13)$$

$$\therefore \theta = \pi / 2 \quad (14)$$

すなわち, 図 5 左側に示すように, $\theta = 90^\circ$ のとき (XY 平面) が節面となる.

図 1 (c) の $3d(3z^2-r^2)$ 軌道, $4d(3z^2-r^2)$ 軌道, $5d(3z^2-r^2)$ 軌道の場合,

$$3z^2 - r^2 = 0 \quad (15)$$

のとき，それぞれの数式の値は 0 となる，すなわち，

$$3r^2 \cos^2 \theta - r^2 = 0$$

$$r^2(3 \cos^2 \theta - 1) = 0$$

$$r^2(\sqrt{3} \cos \theta + 1)(\sqrt{3} \cos \theta - 1) = 0$$

$$\therefore \cos \theta = -1/\sqrt{3}, \quad \cos \theta = 1/\sqrt{3} \quad (16)$$

すなわち，

$$\theta = 125.3^\circ, \quad 54.74^\circ \quad (17)$$

という結果が得られる．図 5 中央の 2 つの円錐面に対応する数値解が得られたことになる．

図 4 の $4f(5z^3-3zr^3)$ 軌道， $5f(5z^3-3zr^3)$ 軌道， $6f(5z^3-3zr^3)$ 軌道の場合，

$$z(5z^2-3r^2)=0 \quad (18)$$

について同様に解くと，

$$\theta = 90^\circ, \quad 39.23^\circ, \quad 140.8^\circ \quad (19)$$

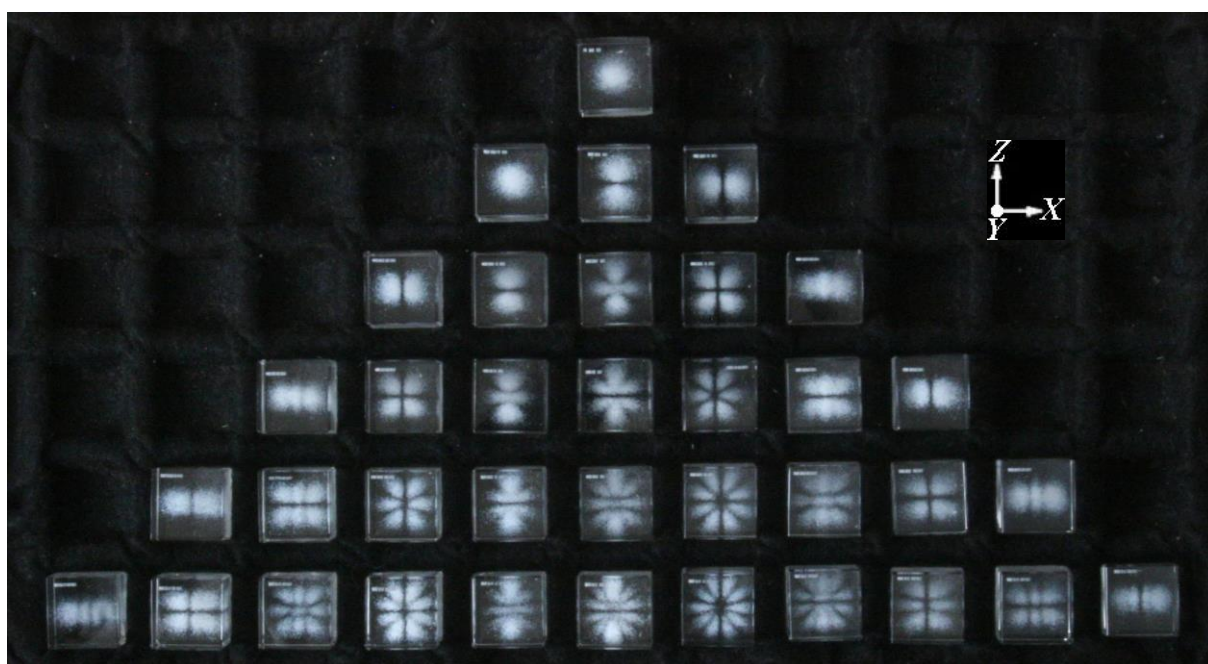


図 6. 主量子数が 1 から 6 までの原子軌道のうち，球殻状の節面を持たないもの

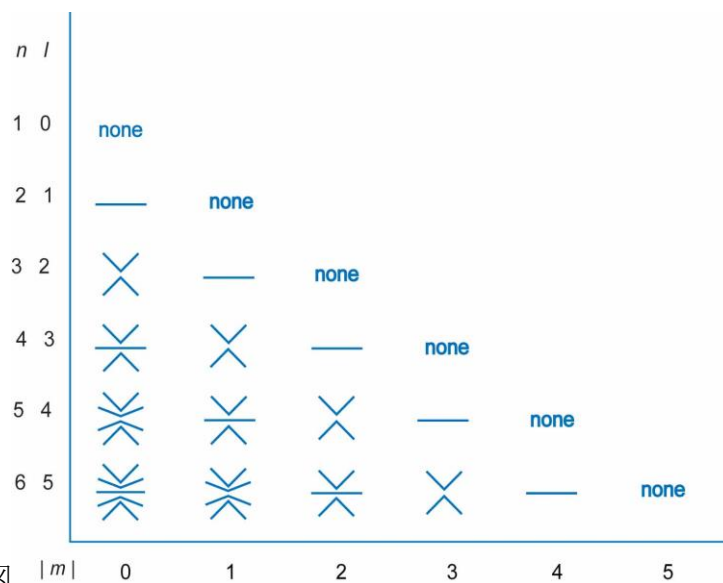


図 7. Z 軸回りに対称な節面の模式図

となり、図 5 右側に対応した結果が得られる。

同様に、他の軌道についても、原子軌道の数式のうち、変数 z と r に関する項を 0 とおくことにより、 Z 軸回りに対称な平面および円錐形の節面の数式を求めることができる。

主量子数が 1 から 6 までの原子軌道のうち、球殻状の節面を持たないものは 36 個ある。図 6 に、そのすべてを示した。図 7 には、これらの軌道に存在する Z 軸回りに対称な平面節面および円錐形節面の模式図を示した。それぞれ、最上段にはこの種の節面は存在しないが、下方に進むにつれて、節面が 1 つずつ増加する様子が示されている。図 7 は、図 6 の中央と右半分に対応している。

図 6 の中央と左半分には、図 7 を左右反転したパターンが観察できる。

主量子数が 1 から 6 までの原子軌道の総数は、表 1 から類推すると、 $1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 = 91$ 個である。従って、主量子数が 1 から 6 までの原子軌道のうち、 $91 - 36 = 55$ 個の軌道には、球殻状の節面が存在する。

8. Z 軸を含む平面節面

前節で述べた主量子数が 1 から 6 までの原子軌道のうち、球殻状の節面を持たない 36 個の軌道（図 6）のそれぞれを、 90° 手前に回転すると、図 8 の写真となる。これらは、 Y 軸と Z 軸の交換に相当する回転である。最上段は、 $1s$ 軌道である。 s 軌道は球対称であるから、回転しても形は変わらない。2 段目は、 $2p$ 軌道が、左から、 $2p(y)$, $2p(z)$, $2p(x)$ の順に並んでいる。図 6 と図 8 を比較すると、これら 3 種は同じ形で、節面の方向のみが異なることがわかる。

表 2 を見ると、 Z 軸を含む平面節面の数は、磁気量子数 m の絶対値と一致する。 $1s$ 軌道と $2p(z)$ 軌道は、図 7 で見るように、 $m = 0$ であるから、 Z 軸を含む平面節面を持たない。図 8 下部

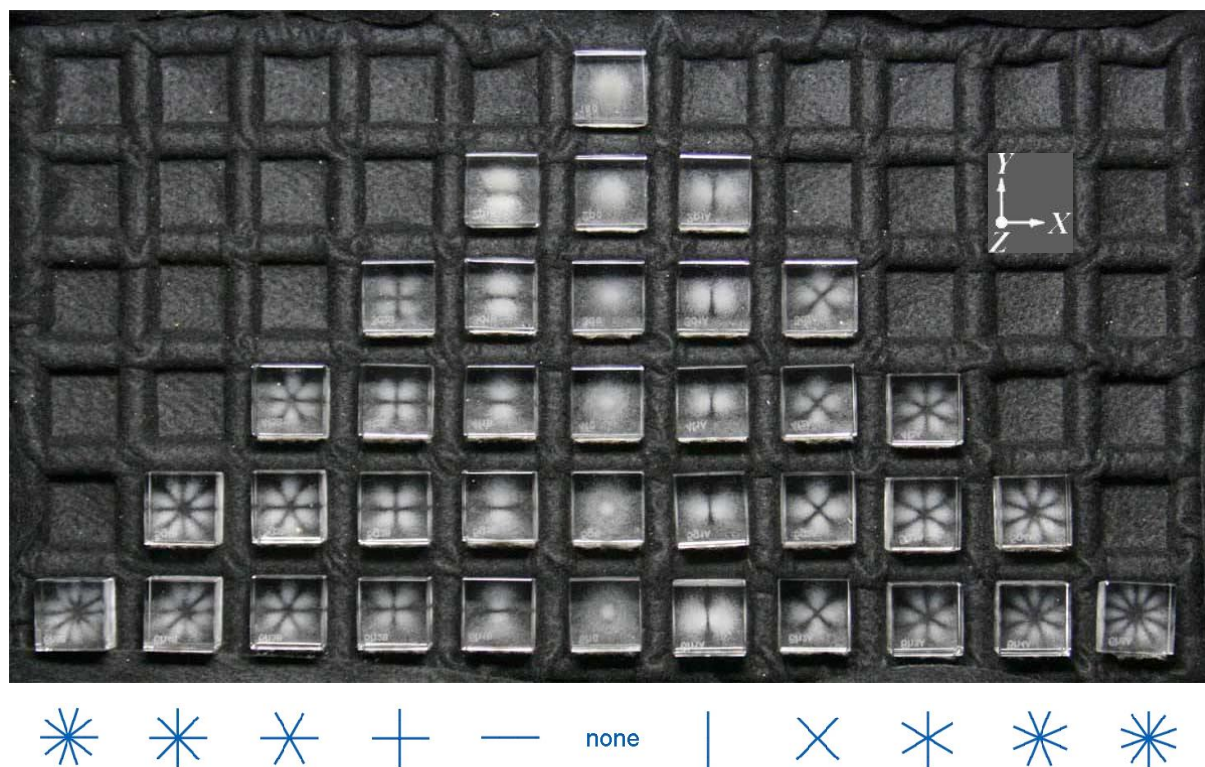


図 8. 主量子数が 1 から 6 までの原子軌道のうち、球殻状の節面を持たないもの
 Z 軸方向から見た写真（上）と、その節面の模式図（下）

に示した節面の模式図には、none と記してある。2p (y) と 2p (x) 軌道では、 $|m|=1$ であるので、模式図には、横棒または縦棒が記してある。図 7 に示すように、磁気量子数 m の絶対値は、縦方向に同じ値である。このことを反映して、図 8 では、縦方向にすべて同じパターンが揃っている。対をなす 2 つの軌道の節面は互いに $90^\circ/|m|$ の角度をなしている。

水素原子の原子軌道の形はきわめて多様である。しかし、ここに記したような量子数の配列にしたがって整理すると、綺麗な規則性を観察することが出来る。

9. Z 軸を含む平面節面はどのようにして生まれるのか

図 2 の式 (2) で表される原子軌道は、磁気量子数 m が 0 でないときは、複素関数である。図 9 左側は、式 (2) の平方の等値曲面である。図 9 右側は、対を成す 2 つの複素関数の 1 次結合を取って実関数に変換した式 (3) の等値曲面である [10]。図 10 に、この数学的過程を、3d 軌道を例にとって示した [11, 12]。図 10 上段は、図 9 左図からの抜粋である。図 10 左上図は磁気量子数 m が 0 なので、新たな節面も 0 である。図 10 左下図の実関数では、正負の符号が生じるので、それを 1 つおきに色の変化として割り振ってある。図 10 中央図は、磁気量子数 m の絶対値が 1 なので、新たに 1 つの節面が生じて、実関数のペアが生じる様子が示してある。実関数のペアは、同じ形で、一方を Z 軸まわりに 90° 回転すると、他方と重なる。

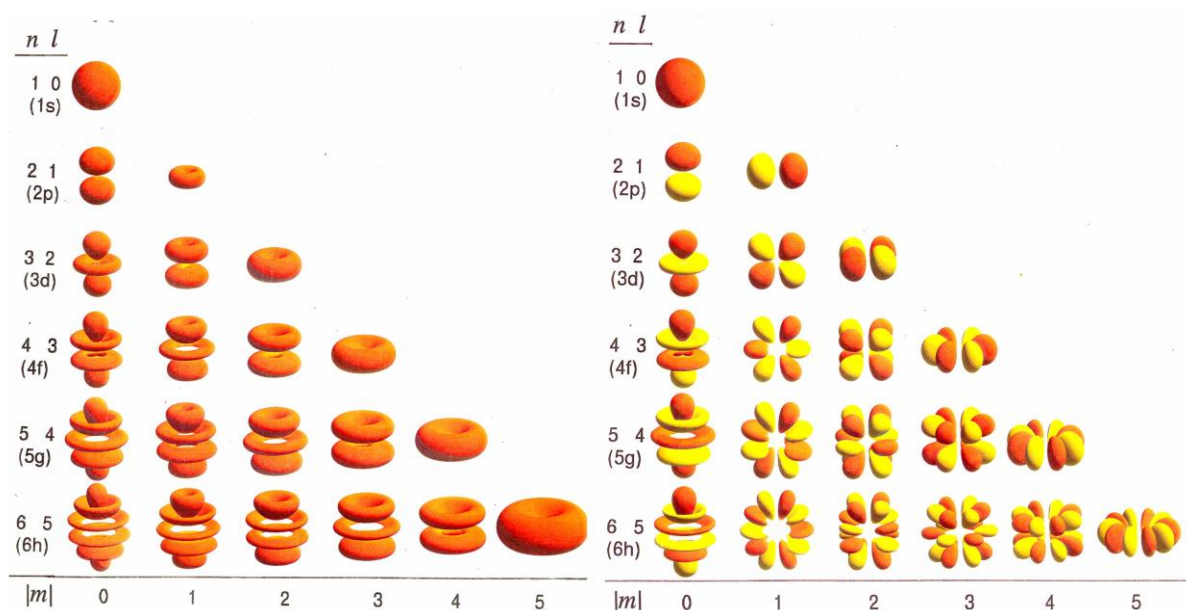


図 9. 複素関数の式 (2) の平方の等値曲面 (左) と、実関数の式 (3) の等値曲面

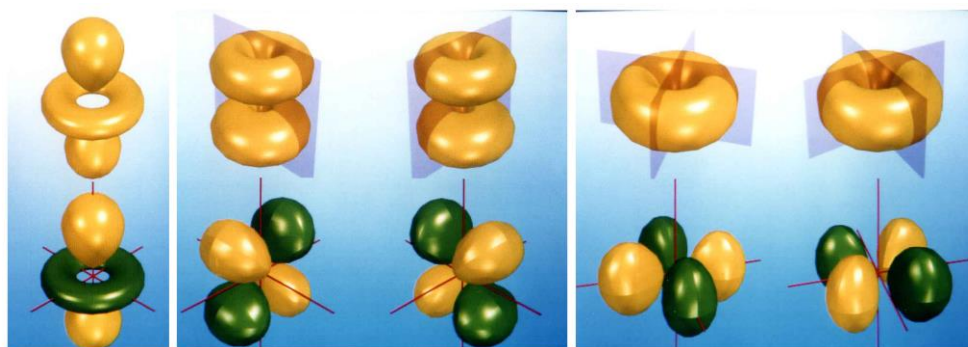


図 10. 水素原子の 3d 原子軌道を、複素関数の平方 (上) から実関数 (下) に変換するプロセス

図 10 右図は、磁気量子数 m の絶対値が 2 なので、新たに 2 つの節面が生じて、実関数のペアが生じる様子が示してある。実関数のペアは、同じ形で、一方を Z 軸まわりに 45° 回転すると、他方と重なる。図 9 右側には、このようにして生じたペアのうちの、1 つずつが描かれている。

図 9 右側の実関数の軌道は一見、複雑そうに見える。一方、図 9 左側は下に行くと軌道胞が増加し、右に行くと減少する。量子数の変化による軌道の変化を、容易に手書きすることも可能である。この規則性を覚えておくと、一見複雑そうな図 9 右側の実関数の概形を、計算することなく、容易に描きだすことが可能となる [13]。

この研究に関連して、球形のガラスブロックへの軌道彫刻 [14] をおこなった。回転台を用いて球形彫刻を回転させると、図 9 左側の形が観察できた。

10. おわりに

原子軌道における電子の存在確率をガラスブロック内に実 3 次元彫刻する方法は、透視が可能で、節面の認識が容易である。この特徴を生かし、原子軌道を節面のタイプで分類すると、軌道の規則性が系統的に整理できる。

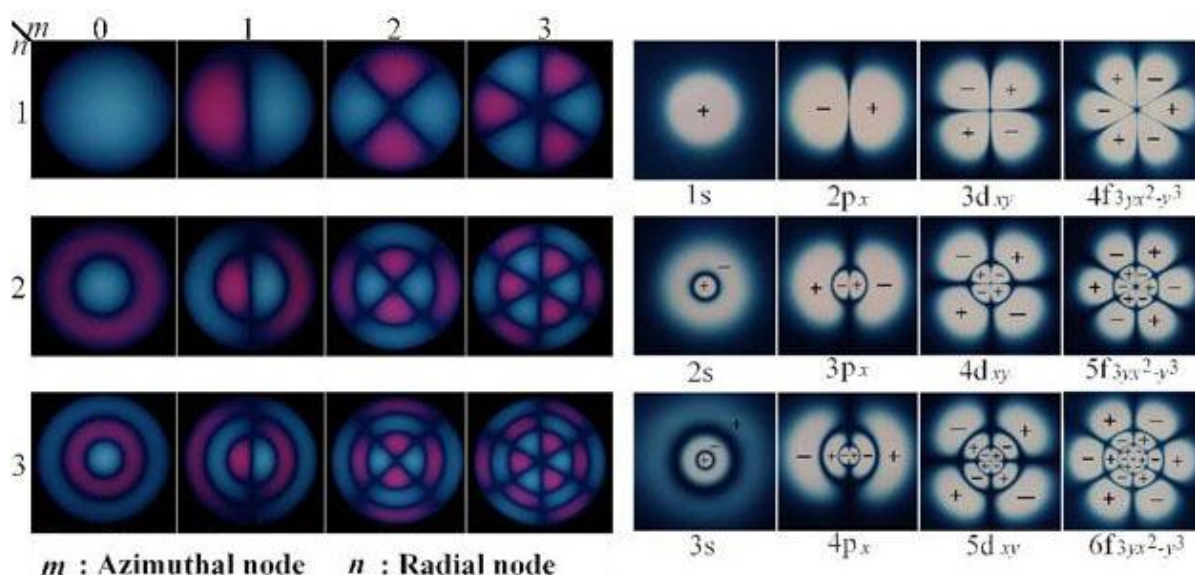


図11. 円形膜におこる定常波のパターン (左: (n : 動径節線数, m : 方位節線数)) と、水素原子の原子軌道断面における電子の存在確率. もとになる波動関数の符号を付記した (右)

かたちの科学のおもしろさのひとつは、異分野とも思われる領域で同じ形が見出せることにあると言われている [15]. 図 11 左側は、周辺を固定した円形膜におこる定常波を、Bessel 関数を用いてシミュレートしたもので、実測と良く対応している [16]. 図 11 右側は、水素原子のいくつかの原子軌道の断面図である。トポロジカルに良い対応関係が見出され、球殻状節面と Z 軸を含む平面節面が良く対応していることが観察できる。左図が 2 次元の波であるのに対し、右側は 3 次元の波動であるため、7 節で述べた Z 軸回りに対称な節面との対応は欠落しているが、明確な関係が示されている。

水素原子の原子軌道に関する研究は、分子軌道の可視化 [17, 18], ベンゼンやベンザインの π 電子雲の可視化, 有機分子や金属の混成軌道の可視化 [19], 分子のかたちを電子雲で表す研究, n 次元の原子軌道の研究 [20] などに発展した。

参考文献

- [1] E. Cartmell, G. W. A. Fowels, "Valency and Molecular Structure", 4th ed., Butterworth and Co. (London), 1977; 邦訳: 久保昌二, 原子価と分子構造 原書 4 版, 丸善 (1980).
- [2] 杉森彰, 時田澄男, 光化学 光反応から機能性まで, 裳華房 p. 175-219, (2012).
- [3] 時田澄男, 現代化学, p. 27-29, 東京化学同人 1987(2).
- [4] 時田澄男, 化学, **65** (2), p. 26-28, 化学同人 (2010).
- [5] http://winmostar.just-size.jp/nebula/index_cover.html
- [6] 細矢治夫, 形の科学会編, 形の科学百科事典, 朝倉書店 p. 470-471, (2004).
- [7] 時田澄男, 電子を描く (3), *J. Comput. Chem. Jpn*, **15**, A16-A20 (2015);
<http://doi.org/10.2477/jccj.2015-0018>
- [8] 文献 [7] の補足資料 (電子付録) .
- [9] 時田澄男, 電子を描く (4), *J. Comput. Chem. Jpn*, **15**, A38-A41 (2015);
<http://doi.org/10.2477/jccj.2015-00149>
- [10] 文献 [9] の補足資料 (電子付録) .
- [11] 時田澄男, 渡部智博, 木戸冬子, 前川仁, 下沢隆, "水素原子の原子軌道の可視化", *J. Chem. Software*, **3**, 37-48 (1996).
- [12] 時田澄男, 電子を描く (5), *J. Comput. Chem. Jpn*, **16**, A7-A12 (2016);
<http://doi.org/10.2477/jccj.2016-0002>.
- [13] G. L. Breneman, *Jour. Chem. Educ.*, **65**, 31-33 (1988).
- [14] 時田那珂子, 星 成司, 館野行義, 功力芳郎, 中村恵子, 時田澄男, "原子軌道の球形ガラス内彫刻"日本コンピュータ化学会 2014 春季年会(大岡山)要旨集, 研究展示 1D01 (2014.5).
- [15] 小川泰, 宮崎興二編, かたちの科学, 朝倉書店 (1987).
- [16] 川橋正昭, 豊岡了, 加藤寛, 時田澄男, "目でみる力学", 口絵 p. 1, p. 3, ならびに, 本文 pp. 104, pp. 106-110, pp. 113-114, pp. 123-142, pp. 150-153, pp. 162-164, pp. 172-178, 講談社 (1990).
- [17] 時田澄男, 時田那珂子, "分子軌道のガラス内彫刻 —その2— 共役二重結合の表示", 日本コンピュータ化学会 2010 春季年会 (大岡山) 要旨集, 研究展示 RX03 (2010.5).
- [18] 時田那珂子, 時田澄男, "分子軌道のガラス内彫刻—その3—水などの基本的分子の表示", 日本コンピュータ化学会 2012 秋季年会 (山形) 要旨集, p. 27-29, 研究展示 1D02 (2012.10).
- [19] 時田澄男, 時田那珂子, "原子軌道, 分子軌道のガラス内彫刻—透視の効果の検証 —その2—", 日本コンピュータ化学会 2010 秋季年会 (長岡) 要旨集, 研究展示 RX001 (2010.10).
- [20] H. Hosoya, F. Kido, S. Tokita, "*n*-Dimensional Periodic Tables of the Elements", D. H. Rouvray, R. B. King, eds., "The Mathematics of the Periodic Table", Nova Science Pub. Inc., New York (2006), p.59-74.

編集事務局より：山口喜博「編み物，組みひも，そして位相的カオス - 悲しいけれどそこにはカオスは見えない -」（形の科学会誌第 30 巻第 3 号，P227-238）

標記論文において下記の誤りがありました．著者・関係者にご迷惑をおかけしたことをお詫びして，訂正させていただきます．学会ホームページに掲載されている PDF 版では下記の修正が行われています．

記

- p. 227 「7. はじめに」（誤）→「1. はじめに」（正）
- p. 230 「8. 三つの量の導入」（誤）→「2. 三つの量の導入」（正）
- p. 234 「9. 解析」（誤）→「3. 解析」（正）
- p. 236 「10. おわりに」（誤）→「4. おわりに」（正）

以上

物理の目で見える生き物の世界

—バイオミメティクス皆伝—

望月 修 著

コロナ社、2016 年 3 月 25 日刊、vipp. + 177pp.

Wonder World of Living Things in Physical Points of View

—Biomimetics—

Keywords: Biofluidynamics, Biomechanics, Biophysics, Camouflage, Mimicry, Human Future

1. いとぐち

著者は東洋大学理工学部生体医工学科教授です。形の科学シンポジウムにて先生の研究室のご講演を聴く機会もあります。ご出身は機械工学科でしたが、生き物のことを研究したくて・・・したくて仕方がなく、ある日から全身全霊なげうって「この道」に邁進されたのです。この著作は、先生の研究室で進められたご研究の成果をとりまとめたものです。学生さんたちとの n 人 ($n-1$) 脚の足跡・・・この著のイラストの多くも 4 年生 (当時) の村上優依さんの手によるものです。

2. 解題

全体構造は、機械的運動 (1 章：泳ぐ；2 章：飛ぶ；3 章：走る)・機能と形態 (4 章：植物の生き様；5 章：形と環境)・見え方 (6 章：擬態；7 章：表現)そして人類の未来 (8 章) となっています。章ごとの標題帯に、素材「対象の生物」および道具「数理の分野」が挙げられています。各章の内容は見開き 2 ページにまとめられ、その章で展開される節の紹介で締めくくられています。各節の末尾には「まとめ」があります。本書の性格から記述はオープンエンドになっていますので、「まとめ」で読者は今後の課題を確認します。そして、ところどころに発展問題について述べる「コラム」があり、骨のある話題に触れることができます。

執筆方針 (というか研究方針) は、目的の明確化→生物の観察→モデル化→工学解析という工程で統一されています。「最後は数字で確かめる。」これ、大事です。読者が、この方針のまねをすることで、研究者の足腰に相当する行動様式が身につくことでしょう。これが著作副題の意味するところです。

*

1 章：水の粘っこさをどうするか・・・カエル泳ぎをとり上げましょう。その推進原理の本質は「なるたけたくさんの水を短い時間内に後方へ押しやる」につきると言います。水掻き (パドル) のついた足で水を押しやる面積を稼ぐこと・・・縮めた足と伸ばしきった足の長さに差をつけて押しやる水量を稼ぐこと・・・キックによって動きを短時間に集中させること。でも、まだ秘密が隠されているようです。パドルの形は、同じ面積なら周長が長いほうが推力は出ると言います。だからカエルの足は星型パドルなのでしょうか？

*

2 章：より上手により遠くへ飛ぶ・・・タンポポにしましょう。綿帽子丸ごとの実験結果

が興味を引きます。「1個の種子が土台からはずれて飛び始める風速は、3m/s を超えるあたりからであることが実験からわかりました。また、はずれ始める場所は上流側から測って $\theta = 33 \sim 105^\circ$ の範囲であることがわかりました。・・・すきまのある球体に風が当たるときの流れパターンに秘密があるかもしれません。」

＊

3章：地上を上手に駆け回る・・・カレーライスにしましょう。体重 60kg のひとが 100m を 9 秒で走るとき、食物のエネルギーを運動に変える効率 20%を仮定して、必要なカレーライスはさじ半分だと言います。ダイエットの直感と符合しますか？

＊

4章：植物が生き延びてきた術・・・バラにしましょう。ハスの葉が水滴をまるきりはじいてしまうのと同じ、花卉の水滴は落ちずに乗っています。撥水性を発揮する微細な突起が水玉を作り、親水性の基盤が水玉を引きつけます。これを花卉効果と言います。生物の生き方に中庸を見る思いで、好きな話題です。

＊

5章：形は環境が作っている・・・放散虫にします。「放散虫は・・・、六角形と五角形が組み合わさった多面体の形状をしています。多面体の定理を使い何面体なのかを解析的に調べた結果、図の場合は 138 面体であることがわかっています。」形の数理の大切さです。

＊

6章：似ている？ 似せている？・・・認知にしましょう。「それ(教えられた)以外のものもないかと自分で探すことが研究心であり、大学で習得してもらいたい技でもあります。」そう誘導するにはどうしたらいいのでしょうか、望月先生？ 見たと思ったものしか見えていない人びとに、その場面の奥深さと広がりへと注意を向けさせるには、手取り足取りするより他ありませんか。

＊

7章：みえるもの、みせたいもの・・・迷わず化粧です。「黄金比を意識して、さらに柔らかない曲線や、実直な直線といった形に対する人びとの共通認識を利用して、TPO に合わせた気持を表す化粧を心掛けることが大事です。」実験の裏付けあるアドバイスです。

＊

8章：これまでとこれから・・・人類の未来についての考察の章なのですが、最終コラムの「デジャヴ」にしましょう。「デジャヴはわれわれの世界の行く末をいろいろな可能性で考え直すための人類への暗示かもしれませんね。」我々の人生が単線上に行くのではなく、複線上を渡り歩いているなら、他の解曲線の行く末までも知りうるはずだと仰る。

＊

専門語の出現頻度は高いです。それから、すべてについて望月研の成果ということではないようなので、やはり文献引用の形式は必要でした。

3. むすび

「著者らはカエルの皮膚にまねた素材で水着を作り、ロンドンオリンピックではよい成績が出ました。」こんなことが、さらりと書いてあるところがお気に入りです。2400 円+税。

(評者：神奈川大学 杉本剛)

第 81 回形の科学シンポジウム 「量子科学とかたち」要旨

(講演予稿集は <http://katachi-jp.com/paper/Symposium81v2.pdf> よりダウンロードできます)

6 月 3 日(金)

形と知

ジグソー学習を取り入れた「理科読」による日本列島の形の探究に関する実践研究

原口るみ(東京学芸大学大学院)、松浦執(東京学芸大学)

In science education, it becomes more and more important for the students to realize the significance of learning science and the relationship between science and real life. However, several contents in science are not easy in performing the experiments or observations within the constraints of time and space of the classrooms. "The origin and the change of the earth" in the junior high school is one of them. In this research, the students conducted the "RIKADOKU (Science Reading)" program using the method of jigsaw learning to inquire the origin of the form of Japanese archipelago. The results showed that the students realized the learned matters related to their real life.

陰影のデザイン

坂口茉紀(同志社大学)、田中 秀一(同)、佐々木康成(金沢星稜大学)、坂東敏博(同志社大学)

We perceive spatial configuration and surface asperity of an object by touching surface, and get the tactile texture. We also perceive tactile texture of the object based on the visual information in two-dimensional images, because the shades and shadows made by asperity and illumination are important elements to perceive surface qualitative information. In this study, we

generated variety of 3D texture models by the mathematical design of surface asperity and simulated the shade and shadow patterns on the surface under changing illumination direction.

形の科学一般

顕微鏡(形状情報)に依らずにウイルスの宿主を推定するゲノム解析技術ー“オリゴスティッキネス”

西垣 功一(埼玉大学名誉教授)、Shamim Ahmed (Shahjalal Univ. Science and Technology)、齋藤あゆむ(東京大学医科学研究所)

Host-parasite relationship, say, between virus and bacteria has been assigned by employing the electron microscopic method, which consists of tremendously painstaking processes. Owing to the readiness of obtaining genome sequences of various species of organisms and a physicochemical parameter oligostickiness, we may be able to find the host-parasite relationship without depending on electron microscopic measures. Here, oligostickiness is defined and applied to probing the closeness between two species (bacteria and bacteriophages), which leads to estimating a host-parasite relationship.

通信, 暗号, そして多面体

佐藤郁郎(宮城県立がんセンター)、秋山仁(東京理科大学)

In the n-digits of Wythoff 0/1-code, surprisingly many metric properties of the n-polytopes are concealed. It looks just like a magic or mystery and the secret lies in the double flag architecture of Wythoff code. For this arithmetic, the computer programs have been implemented by Matsuura and

Toyoshima. We will introduce on a few idea for applications to communication theory and ciphers.

リソスフェアの変形の微分幾何学

菊地和平（東北大学大学院）、長濱裕幸（同）

Previous research shows buckling phenomenon in flat or spherical shells lithosphere. However, previous research cannot give us to related curvature effect in buckling phenomenon. On the other hands, material science is presented by using curvature effect of buckling phenomenon in differential geometry. In this paper, we derive the buckling phenomenon with curvature effect for spherical shells lithosphere.

クモの網を模擬した構造の変形特性と冗長性に関する基礎的検討

森山卓郎（阿南工業高等専門学校）

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

弾性円管の内外圧力差による座屈

高木隆司（東京農工大学名誉教授）

Nonlinear analysis is made on the strength of buckling of an elastic circular in the case where the inner pressure is higher than the outer one. The motivation of this analysis is to give a theoretical support to an investigation of deformation of blood

vessels in the case of the pressure difference. The tube is assumed to make a deformation to a nearly elliptical shape without elongation of the sheet of pipe. The ratio of the longer diameter of the pipe to the shorter one is estimated by assuming a weak deformation of the pipe. The method of analysis is to minimize the sum of two energies; one is an elastic energy associated with bending of the tube wall, and the other is the work done by the pressure difference when the pipe deforms. The result of analysis seems to describe observed deformation of blood vessels quantitatively.

文字教育における ICT の活用

杳名健一郎（福井大学大学院）、本田容子（盛岡大学）、高田宗樹（福井大学大学院）

6 月 4 日(土)

展示説明

キャベツの開度観測

根岸利一郎（埼玉工業大学）

We observed the cut surfaces of a cabbage stem during sprouting between the first and the third leaves and also externally observed other cabbage stems until sprouting the tenth leaves to investigate their dispersion angles. The result indicates the dispersion angles are determined during the period of time between the third and the tenth leaves.

放散虫のカレンダー

松岡篤（新潟大学）、大河内春香（同）

Several kinds of calendar using images of radiolarian skeletons and living forms were prepared for enhancing a degree of social recognition of radiolarians. These calendars will be utilized to advertise the 15th meeting of the international association of radiolarists

(InterRad 15) held in October 2017 in Niigata, Japan.

折り紙モデルで結晶物性を考える

石原 正三 (埼玉県立大学)

With a view to exploring into physical properties of crystals, Origami-models of some crystal structures are demonstrated. While it is remarkable that periodicity, regular repetition of atoms, can be exhibited by the Origami-model made of polyhedral skeletons, it is suggested that by making use of the Origami-model, some physical properties of a crystal may be deduced from the structure itself without referring to chemical composition.

ダイヤモンド富士におけるミー散乱光

山口喜博 (帝京平成大学)

At the situation called “Diamond Fuji”, we observe numerous spotlights by Mie scattering.

転がる図形 (ツーサークルローラと数種類のスフェリコン)

山口陸幸

数学曲面模型の開発

手嶋吉法 (千葉工業大学)、井 恭平 (同)、川口拓未 (同)、蓮沼 晃 (同)、小川泰 (筑波大学名誉教授)

デジタルものづくり技術を活用して数学曲面の模型を製作し、教育や研究に役立てている。パラメトリック曲面の数式を数学ソフト Mathematica に入力し、3次元形状データを表示させ、さらに 3D プリンタ用の造形データ (STL 形式) として出力する。ただし、数学曲面には厚みがない為、そのままの造形データでは造形出来ない。STL 編集ソフトを用いて厚み付けをする必要があるが、数学曲面の形状によっては、厚み付けが失敗する (しばしば特異点を含む場合)。筆者らは、失敗事例に対して個々に対処し、多くの数学曲面の厚

み付けに成功した。その一部を実体化したので展示する。

有孔虫骨格の拡大模型の開発

手嶋吉法 (千葉工業大学)、星野捷 (同)、渡辺宏 (同)、

木元克典 (海洋研究開発機構)、松岡篤 (新潟大学)

有孔虫の微化石 26 種類を X 線 CT 撮影し、26 種類の造形データ (STL 形式) を生成し、STL 編集ソフトを用いて自明なノイズの除去を行った。それら造形データを実体化し、有孔虫の専門家による非自明なノイズの指摘を経て、更なるノイズ除去を造形データに対しておこなった。熱溶解積層法および粉末焼結法の 3D プリンタで有孔虫の拡大模型 20 種類を造形した。

量子科学とかたち

SU(2) 代数から対称性と形へ ～方位角の波動関数の形を代数構造から探る～

小川直久 (北海道科学大学)

大学生が最初に量子力学を教わると、全ては Schrodinger 方程式を解けば解決するように錯覚する。初等関数だけでいける場合なら簡単だが、調和振動子となるとエルミート関数が、水素原子になるとラゲール関数、ルジャンドル関数が表れて、これは大変だということになる 1)。大変ながらもそれを勉強し終えて、何が残ったかというところ「大変だった」という印象しか残らない。さすがにこれでは詰まらない。調和振動子の場合も、球面調和関数の場合も代数を使えばびっくりするほど簡単に事が済むのだが、この面白さを知らないで量子力学とオサラバしてしまう輩が多いのは勿体ない。ちなみに前者は場の量子化の問題と密接に関係しているし、後者は角運動量の代数 (SU(2) 代数) の表現論である。さて、分子の構造を規定しているのは、各々の原子の電子密度分布である。基本的な考え方は水素原子の波動関数であり、その広がりの方は球面調和関数が決めている。本論では球面調和関数の各量子数での波動関数の形を代数のみで表現して、異なる磁気量子数を持つ状態 (形) の間の関係が SU(2) 群 2) (空間回転群) で結びつけられることを示す。

量子科学とかたち（公開講演）

【招待講演】

分子が認識する分子のかたち ～量子化学情報で深層学習のために～

後藤 仁志（豊橋技術科学大学）

Molecular shape recognized by a molecule plays an important role on the quantitative structure-activity relationships. It is interesting to note that deep learning methods for QSAR can implicitly recognize molecular shapes. Our recent works on a deep learning approach including 3D molecular structures and electronic states are introduced here.

【招待講演】

オービタルのかたち—節面と規則性

時田澄男（埼玉大学名誉教授）

Probability density distribution in the 3-dimensional representation of hydrogen atomic orbitals was developed. It was compared with 3-D isosurface model. Isosurface models can hardly show the entire region where an electron can be found. On the other hand, in the diagram of probability density distribution models, an electron is found everywhere around the nucleus. The density of the dots sculptured in the glass block shows the probability density of finding an electron, so the nodal plane is well described as spherical shell(s) or planar and conical node(s) symmetrical about z axis where the dots cannot be found. In the diagram of probability density distribution model, we can compare the size of the orbitals from their distribution regions. Number of these nodes together with planar nodes including z axis in hydrogen atomic orbitals is summarized in Table 2 in terms of n: principal quantum number, l: azimuthal quantum number, and m: magnetic quantum

number.

【招待講演】

電子励起状態ポテンシャルの形と光化学反応 ～フォトリック分子（ジアリールエテン）の光異性化反応を例に～

小林高雄（（株）MCHC R&D シナジーセンター）

The relationship between the shape of electronic excited state potential energy surfaces and photochemical reactions is shown as a case of photoisomerization (photochemical ring-opening and closure) reactions of photochromic diarylethene molecules.

【招待講演】

化学素反応における分子軌道の“形”の最小変化：量子科学の新しい観点と福井—Woodward-Hoffmann 理論の統一

野平博之（埼玉大学名誉教授）

Changes of chemical substances (molecules) are quantized, and cannot be described continuously. When a certain molecule changes to another one in an adjacent quantized state, the “shapes” of its electronic states are conserved in the adjacent states with the minimum changes of them. The Fukui and Woodward-Hoffmann theories can be unified consistently by this concept.

公開講演（一般テーマ）

【招待講演】

ビッグデータ、人工知能、そしてセレンディピティ
樋口 知之（統計数理研究所）

6月5日(日)

形の科学一般

力学系平衡点の可視化とデザインへの応用
山岡久俊、竹内琢磨

How to visualize and recognize the 4-dimensional trajectory of dynamical systems? The phase portraits of dynamical systems can be categorized by the signs of system's eigenvalues. Though it is hard to visualize in case of more than three dimensional system. Our trial is to create the method of visualization for any dimensional dynamical system's equilibrium.

14 面体立体パズル「レインボーキューブ」の解法表示 ソルバーの開発

竹内琢磨、山岡久俊

Rainbow Cube is a color matching puzzle which has fourteen faces and seven facet colors. In this presentation, we propose a new implementation of Rainbow Cube solver with the computer algebra system GAP and demonstrate our solver software.

ギーリス曲線の特徴とプロダクトデザインへの応用

松浦真也（愛媛大学）、齋藤邦彦（滋賀大学）

Circles, ellipses, squares, rectangles, rhombuses and cross shapes are all special cases of Lamé curves. As a further generalization of Lamé curves, the Belgian botanist Johan Gielis introduced the so-called Gielis curves which can describe a wide range of various shapes. In this talk, we closely examine the mathematical structure of Gielis curves with a view to the application to product design.

背景揺れを伴う立体映像視認時における体平衡系の数 理モデル化

天野直（福井大学大学院）、木下史也（名古屋大学大学
院）、平田隆幸（福井大学大学院）、高田宗樹（同）

Recently, developments in graphical technology have led to an increase in 3D video clips. As a result, visually induced motion sickness (VIMS) has been widely reported as a negative result that leads to dizziness and/or nauseous feelings. In previous

research, peripheral viewing was reported to cause VIMS. However, a quantitative evaluation of VIMS while viewing a 3D object in a moving background has not been discussed. This research considers how the effect on equilibrium functions are changed based on watching 3D video clips, with or without a fixed display target, by recording body sway and analyzing the data.

科学折り紙の結晶－折り紙モデルで結晶物性を考える－

石原 正三（埼玉県立大学）

A new type of three-dimensional model, named Origami-model, has been used for representing structures of crystals and molecules since 1990. It is remarkable that periodicity, regular repetition of atoms, which is one of the most important properties of a crystal structure, can be exhibited by the Origami-model made of polyhedral skeletons. Introducing science Origami crystallography, Origami-models of cubic (Perovskite), hexagonal, and tetragonal tungsten bronze structures, which are characterized by octahedra sharing vertices with each other, are presented in the oral session, as well as in the poster one, at this symposium. It is suggested that by making use of the Origami-model, some physical properties of a crystal may be deduced from the structure itself without referring to chemical composition.

放散虫の収斂現象

松岡 篤（新潟大学）

Homeomorphy refers phenomena that similar external forms appeared from phylogenetically distant ancestors in an evolutionary context. Tree major forms, spherical, discoidal, and rod-shaped, in radiolarian shell morphology have repeatedly appeared in fossil records from the Cambrian to

Quaternary. This is a typical example of homeomorphy. Homeomorphy gives us good hints for elucidating morphogenesis of radiolarian skeletons. As examples of homeomorphy at genus and species levels, Mesozoic closed Nassellarian *Protunuma*, *Striatojaponocapsa*, and *Turbocapsula* are introduced.

形と知

お笑いフレームと対話の形

細川拓朗（東京学芸大学）、松浦執（同）

The comic frame was derived from the Manzai talk art and defined as the series of Furi, Boke and Tsukkomi. The frame was applied to the presentation of dialogue between humanoid and human in the school classrooms.

近世日本の立体図法 ―三浦梅園「玄語図」と松森胤保「動物系表」より―

出原立子（金沢工業大学）

Baien Miura (1723-1789) drew the diagrams called “Gengo-zu” to represent three-dimensional structural concepts in two dimensions by Baien’s own projection method*1. In this study, the author investigated other diagrams in the same period representing three dimensional structures. As a result, it is formulated a hypothesis that the diagrams drawn by Taneyasu Matumori (1825-1892) called as “Doubutsu-Keihyo” in “Ryou Hakubutsu Zufu” represent three dimensional structure. Then the new projection method was drawn from his diagrams. These projection methods and the each properties are compared.

形の科学一般

半正多胞体の4接超球半径を求める（パート1）

山口陸幸

四次元である41種類の半正多胞体について4接超球半径についてそれを記載した文献や資料が見つからない。そこで、六種類の正多胞体の4接超球半径を利用し、三次元図形である半正多面体の3接球半径を求めた手順に習い、求めてみた。

n次元超球まわりのストークス流れ

吉野 隆(東洋大学)

We formulated the Stokes flow around a hypersphere in n-dimensional space. The extension of the formulae from the 3-dimensional system to the n-dimensional one is straightforward. The results show that the effect of the hyperspherical obstacle to the uniform flow tends to be localized in higher dimensional spaces.

形の科学一般

ケプラーの円錐曲線論

ウェルフェア ジャスティン 飛鳥(神奈川大学大学院)、山口 幸(同)、杉本 剛(同)

Johannes Kepler is a father of the modern astronomy. He is the first to introduce “focus” to conics. He utilizes the focus-vertex relation to define conics. He uses the technique of the eccentric to show that an ellipse is a circle squeezed vertically. Using this idea he obtains the Kepler equation, and Kepler’s three laws. Three mean distances of a planet are derived with respect to the true, eccentric and mean anomalies. Geometry of the three distances is discussed.

合同円柱の重なりからなる立体形状とその実体化

宮本圭佑(千葉工業大学大学院)、荒川久遠(千葉工業大学)、手嶋吉法(同)

二つ以上の立体が重なる部分を「相貫体」と呼び、その中でも円柱同士の重なり部分を「円柱 相貫体」という。本研究では、合同な円柱を対称性の高い方向に向け、円柱の中心軸が一点で交わる様に配置した際に生

成される円柱相貫体の三次元形状データを生成し、実
体模型を作製した。また、各円 柱相貫体の表面積と体
積を導出した。

球状テンセグリティ構造の幾何学特性

浅尾祐樹（千葉工業大学）、手嶋吉法（同）

多面体と対応付けられる対称性の高いテンセグリティ
構造について、幾何学的な観点から調査をおこない、
球状 テンセグリティ構造が双対関係にある 2 つの多
面体の中間状態として理解できることを明らかにした。
また、球状テンセグリティの連続変形の仕方が 2 通り
あることに着目し、これらを正と負の構造として区別
した。自己双対である正 4 面体に基づく球状テンセグ
リティには正負の区別は生じない。応用に適した球状
テンセグリティについても言及した。

会告

形の科学会誌 第31巻 第1号

○形の科学会誌が「学術刊行物」に認定されました。

本会の年会費の大部分は英文誌(web ジャーナル)と和文誌(冊子体)の出版に当てられております。シンポジウムや形シュレーは参加費などにより運営しております。近年、和文誌の充実とともに印刷費が増加し、なおかつメール便が利用できなくなったために、郵送費が倍増しました。

そこで、年会費は増額せず、なおかつ和文誌の充実するために、次の3点の改革を試みました。

1. 会誌については、第4種郵便の「学術出版物」の認定を受ける。
2. 印刷は低価格の印刷サービスを利用する。
3. 形の科学シンポジウムなどの講演予稿は、原則 pdf による web 出版とする。会場参加者用に必要数冊子体印刷をおこなう。

1.の学術出版物の認定を受けることにより、郵送料はメール便と同等以下に抑えることができます。会誌編集部のご努力により、平成 28 年度の第31巻から学術出版物としての認定が受けられました。しかし、学術出版物の認定を維持するために、会誌は全ページの半数以上は学術論文でなければなりません。講演予稿は論文とみなされないため、これまでのような予稿集を兼ねた出版ができません。そこで、予稿集は3.のように原則 web 出版として、会誌とは切り離します。Web 出版なのでカラーを用いることが可能です。シンポジウム予稿集は目次やページ数を入れたものになっております。さらに、会誌印刷に web 印刷サービスを利用することにより、印刷費を一桁下げております。

第81回形の科学シンポジウム「量子科学とカタチ」講演予稿集は、

<http://katachi-jp.com/paper/Symposium81v2.pdf>

に掲載されています。

会誌は査読論文を中心としたものになりました。皆様には、ぜひ形に関連する論文を本会会誌にご投稿ください。皆様の論文の出版により、本会の運営は維持されます。

○平成 28 年度形の科学会賞

功労賞 松岡 篤 氏 (新潟大学理学部地質学科 教授)

○新入会の皆様(敬称略)

木下 史也	名古屋大学 未来社会創造機構社会モビリティ領域 交通・社会分野
竹内 琢磨	
小森 雄太	明治大学 研究・知財戦略機構

○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。

木下 史也 (名古屋大学 未来社会創造機構社会モビリティ領域 交通・社会分野)

A: 生体工学 **B:** 生体信号を模擬する数理モデルから生成される数値解の形など

竹内 琢磨

A: ルービック・キューブ、数理工学 **B:** ルービック・キューブなどのパズルを解くアルゴリズム、および、パズルを用いてアートを作るアルゴリズムに興味があります。

小森 雄太（明治大学 研究・知財戦略機構）

A: 政治学

○平成 27 年度をもって御退会の皆様

（故）渡辺 泰成	（元）帝京平成大学情報学部、科学芸術学祭研究所(ISTA)
綿貫 茂喜	九州大学大学院 芸術工学研究院
濱田 敏博	物理文化研究所
青木 優	静岡産業大学 経営学部
三輪 真弓	
伊藤 麻佑子	鹿児島大学理工学研究科 地球環境科学専攻
末澤 慶孝	（元）帝京平成大学情報学部
小山 耕平	帯広畜産大学 環境生態学分野
飯田 武揚	パターンダイナミクス セミナーハウス

○ご逝去

形の科学会より、謹んでお悔やみ申し上げます。

渡辺 泰成 先生

形の科学会名誉会員でした。結晶学の第一人者であり、準結晶から準周期パターンの研究に展開され、周期・非周期フラクタルやカオスのアートへの応用分野まで、精力的に研究・開発されました。形の科学会と理研を母体に NPO 法人科学芸術学際研究所 ISTA を設立・運営され、これを通じて多くのアーティストと研究者とが連携・活動を展開しています。平成 27 年 12 月にご逝去されました。

○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。

○2016,17 年度運営委員（2016 年 6 月 4 日承認）

石原 正三	埼玉県立大学保健医療福祉学部
出原 立子	金沢工業大学 情報フロンティア学部メディア情報学科
岩田 修一	事業構想大学院大学
植田 毅	東京慈恵会医科大学医学部物理学研究室
小川 直久	北海道科学大学 高等教育支援センター
海野 啓明	仙台高等専門学校 広瀬キャンパス
岸本 直子	摂南大学理工学部機械工学科
沓名 健一郎	静岡大学教育学部
小森 雄太	明治大学研究・知財戦略機構

塩澤 友規	青山学院大学経営学部経営学科
杉浦 明弘	岐阜医療科学大学
高木 隆司	武蔵野美術大学
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知能基礎講座
種村 正美	統計数理研究所 名誉教授
手嶋 吉法	千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科
西垣 功一	埼玉大学 名誉教授
沼原 利彦	医療法人社団 めまはら皮ふ科
根岸 利一郎	埼玉工業大学 先端科学研究所
原田 新一郎	埼玉県立浦和東高等学校
平田 隆幸	福井大学 工学部 知能システム工学科
福井 義浩	徳島大学大学院 医歯薬学研究部 医科学部門 機能解剖学分野
松浦 昭洋	東京電機大学 情報システムデザイン学系
松浦 執	東京学芸大学基礎自然科学講座理科教育学分野
松浦 康之	名古屋市立大学大学院芸術工学研究科
松岡 篤	新潟大学 理学部 地質科学教室
宮坂 寿郎	京都大学大学院 農学研究科 地域環境科学専攻
宮本 潔	(元) 獨協医科大学 医学総合研究所
山岡 久俊	株式会社富士通研究所
山口 喜博	帝京平成大学 情報学研究科

○2014 年度第 1 回形の科学会運営委員会議事録

日時：2016 年 6 月 4 日（土）12:20-13:20

場所：〒190-8562 東京都立川市緑町 10-3 統計数理研究所・会議室 3

出席者（敬称略）：石原正三、小川直久、海野啓明、沓名健一郎、杉浦明弘、高木隆司、高田宗樹、種村正美、手嶋吉法、西垣功一、根岸利一郎、松浦昭洋、松浦執、松岡篤、宮本潔、山岡久俊、山口喜博

議題：

- (1) 会員関係報告：2016 年 5 月 28 日現在 391 名（2015 年 6 月 20 日 401 名）
- (2) 2016, 17 年度運営委員信任投票結果が次のように報告された。
会員の信任投票で 86 票の有効投票があり、29 名の運営委員候補者全員が信任された。
- (3) 2016, 17 年度形の科学会会長候補者が次のように報告された。
会長候補者 獨協医科大学 宮本 潔 氏
上の候補者について委員会に先立ち行われた 2016, 17 年度運営委員による信任投票で、有効投票 29 票中 29 票の満票にて信任されたことが報告された。
- (4) 2015 年度活動報告が行われた。
 - ・形の科学シンポジウムを次のように開催した。
第 79 回：「生物に見られる「ねじれ」構造」千葉工業大学津田沼キャンパス 2015 年 6 月 12-14 日（世話人：本多久夫、手嶋吉法）。
 - 第 80 回：「スポーツ・パフォーマンスアーツに現れる形」東京電機大学 2015 年 11 月 21-23 日（世話人：松浦昭洋）。
 - ・会誌第 30 巻 1～3 号を刊行した。
 - ・FORMA Vol. 30 を刊行した。
 - ・2015 年度「かたちシュレー」：2015 年 12 月 21 日～22 日福井県あわら市および福井大学文京キャンパス（一般公演は 21 日のみ。22 日は数学協働プログラムワークショップとの共催。参加無料）を行った。
 - ・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッション(2015/5/26)を開設し、佐々木猛智氏に招待講演を依頼。

- ・新潟大学旭町学術資料展示館サテライトミュージアム企画展示「殻がつくる世界」(2015/7/11～8/28)を後援した。
 - ・第16回日本感性工学会大会(2015/9/4～9/6)を協賛した。
 - ・46th ISAGA conference/Japan Association of Simulation & Gaming (2015/7/17～7/21)を後援した。
 - ・新潟大学「形の科学研究センター」において下記の活動が行われた。
 - 2015年9月2日(水)【シンポジウム】2015年度公開シンポジウム
 - 2015年12月16日(水)【講演会】放散虫のかたち 2015-2017年国際放散虫研究集会(InterRad)の新潟開催に向けて
 - 2016年2月27日(土)【シンポジウム】日本海のかたちと生き物
 - (5) 2015年度決算および監査が報告された。
 - (6) 2016年度の活動計画が報告された。
 - ・シンポジウムを次のように開催する。
 - 第81回:「量子科学とかたち」2016年6月3日(金)-5日(日)統計数理研究所(東京都立川市)(世話人:西垣功一、中村振一郎)
 - 第82回:「産業技術とかたち」2016年10月7日(金)-9日(日)産業技術総合研究所(茨城県つくば市東1-1-1中央第7)(世話人:中島善人)
 - ・会誌第31巻1～3号を刊行する。
 - ・FORMA Vol.31を刊行する。
 - ・2016年度「かたちシュレー」は検討中。
 - ・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッション(2016/5/23)を開設し、岸本直子氏と佐藤峰南氏に招待講演を依頼。
 - ・第16回日本感性工学会大会を協賛する。
 - (7) 2016年度予算案が報告された。
 - (8) 2016年度学会賞の選考結果が報告された。
 - (9) その他(検討中の事項)
 - ・学会への寄付を受け付ける。他学会での運用を参考に検討する。
 - ・シニア会員の検討(長年にわたり学会を支援していただいた方に謝意を表し、御退職後も形の科学研究に関心を寄せていただけるよう、年会費2000円程度のシニア会員制度を設けることを検討。学会の加入実績が5年程度あり、所属先を退職された方)。
 - ・企業展示(非会員の企業などが対象。形の研究と直接関係しない内容でもよい。シンポジウム開催の支援のため賛助金10000円をお支払いいただく。懇親会費は別)の受付を検討する。
 - ・学会HPへのバナー広告の掲載受付(12000円/年)を検討する。
- (以上)

○2014年度形の科学会総会議事録

日時:2016年6月4日(土)16:30-17:20

場所:〒190-8562 東京都立川市緑町10-3 統計数理研究所

議題:(定足数391名×1/15=26名 委任状43通、21名出席により、定足数は満たされている)

- (1) 会員関係報告:2016年5月28日現在391名 (2015年6月20日401名)
- (2) 2016,17年度運営委員信任投票結果報告
 - 会員の信任投票で86票の有効投票があり、29名の運営委員候補者全員が信任された。
- (3) 2016,17年度形の科学会会長の選出
 - 会長候補者 獨協医科大学・前教授 宮本 潔 氏
 - 新運営委員による会長候補のメール信任投票がおこなわれ、運営委員29名全票信任が得られたので、宮本氏を会長候補として総会に提案することが報告された。拍手により承認され、2016,17年度会長は宮本潔氏に決定された。
- (4) 2015年度活動が報告された。

- ・形の科学シンポジウムを次のように開催した。
 - 第 79 回：「生物に見られる「ねじれ」構造」千葉工業大学津田沼キャンパス 2015 年 6 月 12-14 日（世話人：本多久夫、手嶋吉法）。
 - 第 80 回：「スポーツ・パフォーミングアーツに現れる形」東京電機大学 2015 年 11 月 21-23 日（世話人：松浦昭洋）。
 - ・会誌第 30 巻 1～3 号を刊行した。
 - ・FORMA Vol. 30 を刊行した。
 - ・2015 年度「かたちシユレー」：2015 年 12 月 21 日～22 日福井県あわら市および福井大学文京キャンパス（一般公演は 21 日のみ。22 日は数学協働プログラムワークショップとの共催。参加無料）を行った。
 - ・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッション(2015/5/26)を開設し、佐々木猛智氏に招待講演を依頼。
 - ・新潟大学旭町学術資料展示館サテライトミュージアム企画展示「殻がつくる世界」（2015/7/11～8/28）を後援した。
 - ・第 16 回日本感性工学会大会(2015/9/4～9/6)を協賛した。
 - ・46th ISAGA conference/Japan Association of Simulation & Gaming (2015/7/17～7/21) を後援した。
 - ・新潟大学「形の科学研究センター」において下記の活動が行われた。
 - 2015 年 9 月 2 日（水）【シンポジウム】2015 年度公開シンポジウム
 - 2015 年 12 月 16 日（水）【講演会】放散虫のかたち 2015－2017 年国際放散虫研究集会（InterRad）の新潟開催に向けて
 - 2016 年 2 月 27 日（土）【シンポジウム】日本海のかたちと生き物
 - (5) 2015 年度決算および監査が報告され、承認された。
 - (6) 2016 年度活動計画が報告された。
 - ・シンポジウムを次のように開催する。
 - 第 81 回：「量子科学とかたち」2016 年 6 月 3 日（金）-5 日（日）統計数理研究所（東京都立川市）（世話人：西垣功一、中村振一郎）
 - 第 82 回：「産業技術とかたち」2016 年 10 月 7 日（金）-9 日（日）産業技術総合研究所（茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7）（世話人：中島善人）
 - ・会誌第 31 巻 1～3 号を刊行する。
 - ・FORMA Vol. 31 を刊行する。
 - ・2016 年度「かたちシユレー」は検討中。
 - ・日本地球惑星科学連合「遠洋域の進化」セッション(2016/5/23)を開設し、岸本直子氏と佐藤峰南氏に招待講演を依頼。
 - ・第 16 回日本感性工学会大会を協賛する。
 - (7) 2016 年度予算が報告され承認された。
 - (8) 2016 年度学会賞の選考結果が報告された。
 - (9) その他、下記の事項につき検討が行われていることが報告された。
 - ・寄付の受付
 - ・シニア会員の設定
 - ・企業展示受付
 - ・学会 HP へのバナー広告掲載
- (以上)

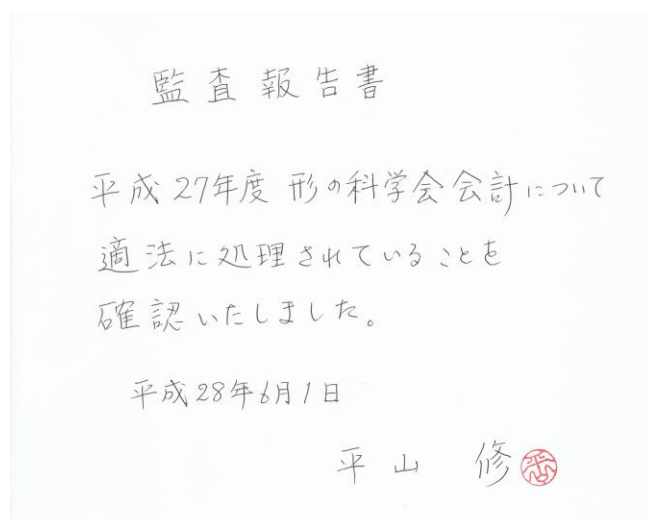
平成 27 年度決算 平成 28 年度予算
(平成 28 年 6 月 4 日総会)

収入の部		
	平成 27 年度決算	平成 28 年度予算案
前年度より繰越	569,357	709,808
賛助金	0	0
会費	2,037,000	2,000,000
出版助成金	0	0
雑収入(合本等販売) (銀行振込)	280,493	60,000
受取利息	23	20
シンポジウム参加費	728,000	700,000
シンポジウム展示等	0	0
懇親会費	262,000	260,000
合計	3,876,873	3,729,828

支出の部		
	平成 27 年度決算	平成 28 年度予算案
出版・校正費(和文誌)	853,366	530,000
人件費	61,950	220,000
通信費	45,451	85,000
交通費・宿泊費	256,986	260,000
振込手数料	21,092	30,000
諸雑費(事務用品等)	188,531	180,000
会場費	211,462	200,000
講演準備費	160,000	160,000
会合費(懇親会)	248,227	250,000
英文誌出版費	1,080,000	1,080,000
内訳:	学会分担金 (1,080,000)	学会分担金 (1,080,000)
	出版助成金 (0)	出版助成金 (0)
学会賞賛金	40,000	20,000
合計	3,167,065	3,015,000

	平成 27 年度決算	平成 28 年度予算案
収支差引残高	709,808	714,828

○平成 27 年度会計監査報告



○平成 28（2016）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従い平成28（2016）年度の学会賞選定委員会（学会長、幹事1名、名誉会員1名、委員2名）が、種村正美（学会長）、三浦公亮（名誉会員）、平田隆幸（委員）、海野啓明（委員）、宮本 潔（幹事）をメンバーとして平成28年4月11日に発足した。

今年度、学会賞の応募は、功労賞1件と奨励賞1件であった。当応募を受けて、学会賞選定委員会は4月26日から4月28日にかけて審議した。その結果、当委員会は功労賞対象者が学会賞規則に沿うものと評価したが、奨励賞対象者は同規則に沿わず見送った。

本年度、選定委員会は形の科学会学会賞候補者に下記の者を推薦することとした。

記

功労賞 松岡篤 氏（新潟大学理学部地質学科 教授）

推薦理由

氏は本学会に入会以来、学会の活動に積極的に関与した。形の科学シンポジウムの代表世話人を務め（第39回1997年6月新潟、第58回2004年11月沖縄、第75回2013年6月糸魚川）、形の科学を海洋生物学・地学分野等へ広げることに大きな功績があった。また氏は本学会の会長（2008年～2012年）や幹事（2012年～）の要職を務めて学会の運営にあたった。その傍ら、学術研究団体「日本地球惑星科学連合」の一員として本学会の参加を図り、その年次大会において毎年、本学会のアウトリーチ活動を行っている。また氏は小中学生を含む若い人々を形の科学に導く研究教育活動を新潟大学に設置された「形の科学研究センター」を拠点に行っており、そのシンポジウムを本学会との協賛として開催するとともに、本学会において「ジュニア会員」制度を設けることに関与して、本学会活動の活性化に積極的に貢献している。

以上のことから、同氏は本学会の活動・発展に多大な貢献があると認められ、十分功労賞に値すると判断でき、功労賞候補者として推薦する。