国際数理科学協会会報

No.52/2007.7

編集委員長　藤井正俊

目次

＊　寄稿

数学における計算可能性の構造と ISMS

八杉満利子

1. ISMS と論理数学と私

私が数理科学協会（当時）の会員になったのがいつであったか忘れてしまったが、１９９０年代のなかごろだったような気がする。当時共同研究をはじめていた鷲原雅子さんから、数学基礎論関連の分科会の責任者になるように依頼を受けたことがきっかけだった。他ならぬ鷲原さんのご依頼なのでお引き受けした。分科会名は「論理数学」でお願いした。このような名称は他にはない。私の造語である。

「数学基礎論」（基礎論と略されることが多い）は数学史的な遺産であり、それについては岩波文庫の”ゲーデル　不完全性定理”（林・八杉　訳・解説）に詳述してある。この名称が日本数学会の分科会に残っているのは不幸なことだ。今でも「数学の基礎付けなんて、数学について何を心配しているんですか？」という類の発言を聞く。「何も心配なんかしてない！」基礎論という表現のために、無理解あるいは誤解を生じ、そのせいでもないだろうが、数学関係の学科に論理関係の科目は少ない。実際には基礎論分科会系の研究者は、数理論理学という数学の一分野を生き生きと研究しているのだ。数理論理学とは、非常に大まかにいえば、論理あるいは数学の形式的体系についてその論理的複雑さやモデルの性質などを研究する学問である。こんな説明を要すること自体がおかしい。

しかし文化遺産が無に帰することはない。その源泉からの流れは多くの川となって発展している。そのなかに私が勝手に論理数学と呼んでいる川もある。

論理数学でイメージしたのは、「論理的に記述されるなんらかの制約のもとで実行される数学」である。なぜそんな名称をおもいついたか、は、後で述べる私の研究遍歴に由来する。

自称（？）論理数学における制限とは、たとえば排中律を使わない、集合の記述を単純なものに限る、などである。分野的には構成的数学、逆数学、可述的数学、計算可能数学、などがある。これらについては、この節の最後に一言説明する。逆数学などは日本数学会でも勢力をもってきているが、構成的数学や計算可能数学などのように、基礎付けという立場から遠く通常の数学としての研究を目指しているものについては、その意義が理解されにくい。とくに当時はそうであった。これらは、基礎論分科会系の研究者には数理論理学ではない、と写るのだろうか。形式的体系を対象にしていないからだろう。一般の数学者は、すでに確立された理論になんらかの制限をして何が嬉しいか、と不審に思うのかもしれない。

私の研究遍歴については何度か書いたりしてきた（たとえば”いつまでもまなびはじめ”:「数学まなびはじめ」第１集、124-135、亀書房、２００５）ので、超簡単に書いておこう。

私は証明論という、数学の形式的体系の論理的な構造の研究に長年たずさわっていた。その研究内容は古くはヒルベルトの数学の基礎付けに源流をもつ、数論の体系の無矛盾性証明の系統に属する。実際にすることは、ある数学理論に使われる論理的な原理の複雑度を表現する超限順序数の開発、といえる。

ではそれらの体系で実際にどのような数学がどのように展開できるのだろうか、と興味をもって、まず”可述的”数学なるものを手がけた。可述的とは、ある集合の定義で、その集合を参照しないことをいう。たとえば自然数の部分集合である偶数全体の集合は、２の倍数という個々の自然数に関する性質のみで記述できる。他方「ある種のフィルターのうちで極大なもの」の定義では、その極大なもの自体も参照されている。このような自己参照の回避は可能とは限らない。このような集合は非可述的と呼ばれる。

可述的集合はその性質が明確なので、そのような集合だけを使って展開される数学の様子を見たかった。しかし、しばらくして可述的体系に飽きた、こともあるが、なにか中途半端な様相が見えてきて、情熱を失いかけた。そのころ、M.B.Pour-El and J.I.Richards による”Computability in Analysis and Physics”（Springer-Verlag, 1989）が出版された。Pour-El さんと親しく議論する機会があったことも一助となって、これが私の興味の対象なのだ、と直感したのだった。

それからまもなく京都産業大学でなぜかこの本のセミナーが始まった。専門の異なるメンバーが毎週集まって輪講を続けた。互いに知識を持ち寄って読み通すことができ、それからなんとなく Pour-El and Richards 理論（PR 理論と略称する）に沿った「解析学における計算可能性」の研究が始まった。セミナーも楽しかったが、その後の研究生活も実に楽しいものになった。計算機科学の発展によって数学における計算についての興味が広まったことも幸いだった。

そのころに加入した数理科学協会では、古典的な代数・幾何・解析の枠に捉われない、新分野あるいは境界的な分野が認知されているので、心強かった。とくに我が論理数学は計算機科学との接点もあり、後に産総研の木下さん主催の分科会との合同研究会を開くようにもなった。

ここで上で約束した一言説明。構成的数学とは、排中律を使用しない数学である。排中律を使わない結果、存在命題が、存在を主張されている対象物の構成方法も含めて証明されるので、「構成的」と呼ばれる。(言うはやさし！排中律なしで数学を実行しようとすると、頭脳を拘束されているようで、慣れていない私の思考はストップしてしまう。) 逆数学とは、後でふれる再帰的集合を基礎に、実際の数学の定理と論理的原理の同値性を確立してゆく作業、といえるだろうか。可述的数学は上に述べたとおり。計算可能数学の説明は次節で。

2. 解析学における計算可能性

解析学における計算可能性 (computability in analysis)、あるいは計算可能解析学 (computable analysis) とは、解析学における諸対象物あるいは諸概念の計算可能性を、それらの対象物あるいは概念との関連において特徴づけるものである。

ここでいう計算可能性を粗雑に表現すると、数学における連続体上の諸々の対象物の近似計算をいかに有効に行えるか、という問題である。ただし理論上の問題なので、現実の計算の工夫とは程遠い。

解析学における計算可能性については、たとえば以下で解説しているので、参照していただきたい。"解析学における計算可能性構造"(八杉・鷲原、「数学」50-2、１９９８)；"２０世紀後半の記憶　-数学のなかの構成と計算"(八杉、「ゲーデルと２０世紀の論理学１」、田中一之編、東京大学出版会、第III部 2.3 、２００６)。どちらも上記の Pour-El and Richards による本が基になっている。

多少立ち入った説明をするために、すべての基本になる再帰関数について簡単に紹介しておこう。再帰関数は自然数上の関数で「計算可能」なもの、あるいはその計算のプログラムが書けるもの、と考えていただけばよい。ここでは正確な定義や深い理論などは他人任せでよいのである。とはいうものの、定義は半ページほどのものだから引用しておこう (林・八杉、"情報系の数学入門"、オーム社、２００７刷を多少変形している)。

再帰関数とは自然数上の関数で、次の (1)-(3) のどれかから出発して、(4)-(6) を繰り返し適用して得られるもののことである。

$$f(x_1,\cdots,x_n)=C \tag{01}$$

$$f(x_1,\cdots,x_n)=x_i \quad (i=1,\cdots,n) \tag{02}$$

$$f(x)=x+1 \tag{03}$$

$$f(x_1, \cdots, x_n) = h(g_1(x_1, \cdots, x_n), \cdots, g_m(x_1, \cdots, x_n)) \tag{04}$$

$$f(0, x_1, \cdots, x_n) = h(x_1, \cdots, x_n);$$

$$f(x+1, x_1, \cdots, x_n) = g(f(x, x_1, \cdots, x_n), x, x_1, \cdots, x_n) \tag{05}$$

$$f(x_1, \cdots, x_n, y) = \mu_y(g(x_1, \cdots, x_n, y) = 0) \tag{06}$$

ただし C は自然数の定数であり、$\mu_y(g(x_1, \cdots, x_n, y) = 0)$ は $g(x_1, \cdots, x_n, y) = 0$ となる最小の y を表す。このような y がある場合のみ (06) を適用する。(そのような y がない場合も含めるときには、部分再帰関数と呼ぶ。)

通常数学で使われる関数 $+, \times$、商、剰余、などはもちろん再帰関数である。再帰関数の概念は整数、有理数などの離散構造上に簡単に拡張できる。反例の構成のために使われるのが、値域が再帰的でない集合になる、すなわち値域の特性関数が再帰関数にならないような再帰関数である。仮に a と名づけておく。

PR 理論で基本となる道具はただ一つ、再帰関数の理論、それも定義を理解すれば十分。反例の構成のために上記の関数 a を知っていれば万全だ。実際には計算可能解析学の基礎は PR 理論以外にいろいろある。しかしその基礎が本一冊分になるような独自の理論であっては、その勉強に時間がかかって、計算可能解析学の面白さに到達する前に退屈しかねない。私なら絶対にそうなる。私が PR 理論から始めなければ、今の研究に縁がなかったかもしれない。PR 理論は、再帰関数の定義だけ見て本論に直行できる。あとは解析学の知識と技術を駆使すればよいから、様々な分野の数学者と共同でセミナーもできたし、共同研究もできた。そのようなわけで、他の理論についてはここでは一言も触れないことにしたい。

基礎として何を採用するにしても、計算可能解析学の基本は「計算可能実数」と「計算可能な連続関数」である。これらの定義のために、各実数 x はある有理数 $\{r_n\}$ のコーシー列あるいはその極限とみなす。すなわち任意の p に対して、ある N があって、$n \geq N$ ならば $|x - r_n| < \frac{1}{2^p}$ となる。この N を p の関数 $N(p)$ として扱うとき、N を $\{r_n\}$ の x への近似率あるいは収束率と呼んでいる。

実数関数 f については、任意の p に対してある N があって、$|x - y| < \frac{1}{2^N}$ ならば $|f(x) - f(y)| < \frac{1}{2^p}$、となるとき、$f$ は一様連続である。N を p の関数とみなすとき、N を f の一様連続率と呼ぶ。一様でない連続性についても同様に連続率を定義できる。

実数 x が計算可能とは、上の $\{r_n\}$ が再帰的有理数列であり、近似率が再帰関数で得られることをいう。整数、有理数はもちろんだが、数学で実際に使われている無理数は $\sqrt{2}$ でも π でもすべて計算可能だ。計算可能性の定義は自然な形で実数の列に拡張される。再帰関数はその定義から可算個しかない。したがって再帰的有理数列で表現される計算可能実数も可算個しかない。この可算個の実数の集合が、あたかも連続体であるかのように振舞うために、その上で解析学が成り立つ。

実数上の（連続）関数 f が計算可能とは、f が実数列の計算可能性を保存し、再帰関数による連続率をもつことである。数学でなじみのある連続関数は、計算可能な係数をもつ多項式、$\sin, \cos$ をはじめすべて計算可能になる。

近似率や連続率が再帰関数によって支配されているような状況を「実効的」と呼ぶ。実効的な収束、実効的な連続性、などという。

では計算可能でない実数や連続関数の例は？と聞かれると、困る。もちろん非可算個の実数が計算可能でないのだが、計算可能性の反例は非直観的なのである。例の妙な関数 a を使う。この a はどのような関数か、というのがまず答えにくい。" recursion theory " なる理論の知識というかことばが必要なのだ。ここでは a の存在を信じていただくことにする。ともかく a を使って計算可能でない実数は作れる：$x = \Sigma_{m=0}^{\infty} \frac{1}{2^{a(m)}}$。これが一例だ。計算可能でない連続関数の構成は込み入っているので、Pour-El and Richards の１章をごらんいただくほうがよいと思う。

以上の計算可能性定義は、計算可能解析学のどの流派でも本質的には同じで、広く合意が得られている。

定義から明らかなように、関数の計算可能性はまず連続関数について定義される。連続体上の計算とはつねに近似計算なのだから、連続性を仮定するのは自然といえる。しかし実際には、慣れ親しんでいる関数で不連続なものはたくさんあり、計算可能性理論など考える前にそれらの関数値を計算したり描画している。つまり多くの不連続関数が計算可能と「感じられる」のだ。その「感じ」を数学的に表現して、ある種の不連続関数を計算可能とみなす試みが最近２０年くらい盛んになっている。その方法論としていくつかの異なる流派がある、ということだ。

PR 理論では関数空間の１点として関数の計算可能性を定義する。連続関数の計算可能な列によってその空間のノルムに関して実効的に近似される関数を計算可能とみなす、というのがアイディアである。上記の著書では Banach 空間と Hilbert 空間における " 計算可能性構造 " の理論が展開されている。これは美しく魅力的な理論で、その後も研究が引き継がれている。

この理論で一つ不足なことがあった。それは関数の計算可能性がその空間のノルムによる近似で特徴付けられることの副作用である。ノルムは多くの場合不連続点における関数の値などは無視することによって定義される。ところが多くの場合人は不連続点における関数の値を簡単に計算できる。よく例にあげるのが最大整数値関数（ガウス関数）$[x]$ である。整数点で不連続になるが、整数値におけるこの関数の値の計算ほど簡単なものはない。人は関数値を簡単に計算できるのに、その計算方法が計算理論にのらない。このような例はいくらでも思いつく。

この状況を数学的に表現する方法はいろいろあるが、私にとって最も自然な方法が、不

連続点を孤立化して得られる一様位相上での連続関数として $[x]$ などを扱うことだった。不連続点での計算を連続な区間とは別途計算するという人の知的行為の表現になっているからだ。この方針で最近まで研究を進めてきた。

いうまでもなく、数学における計算可能性研究は解析学にとどまるものではない。本来数学が解析学とか幾何学とか分離できるものではない。とくに解析学における計算可能性と銘打っているのは、連続体上の数学という観点から解析学が基本になるからである。私は「連続体上の計算可能性」という表現を使っている。

解析学における様々な定理の"実効版"が証明されているとともに、古典的な事実が実効的には破綻する例もある。また、ある作用素が"実効的"であることとその作用素の数学的性質が同値になるケースもある。

ここでは PR 理論における定理のひとつの概略を述べる。この一例によって雰囲気だけ味わっていただこう。

Banach 空間の間の線形・閉作用素 T を考える。「ある自然な条件のもとで」T が点列の計算可能性を保存することと、T が有界作用素であることとは、同値である。

3. ISMS と解析学における計算可能性

前述のとおり ISMS は、このように既存のどの分野に属するのか分からないような数理科学の研究が受け入れられる場を提供してくれる。とくに査読者や編集委員が（自分が理解できない論文に対して）「これは専門誌に投稿したほうがよい」などという意味不明の文言で却下する、などということはありえない。その意味で分科会での発表やジャーナルへの投稿で余計な配慮をしないで済む。そのこともあって初期の関連論文をいくつか投稿した（かつ掲載された）。

PR 理論を継承した最初期の研究は、当時京産大におられた鷲原さんの論文であり、Mathematica Japonica 42(1995) に掲載された。PR 理論を Fréchet 空間に適用した理論を展開している。続いて鷲原・八杉の論文が同 43(1996) に、その後ドイツの Brattka さんも交えた共同研究の結果が Scientiae Mathematicae Japonicae (Online) 5(2001) に、掲載された。１９９５年という早い時期に鷲原さんが研究の先鞭をつけられたことに誇りを感じている。（私の手柄では全くない！）鷲原さんはその後 δ-関数の計算可能性理論も発表されている。

年会でも私が論理数学の代表を務めている間に解析学における計算可能性問題をテーマにした会合を企画したり、関連研究の発表をしたり、と活動してきた。なお、現在論理数学分科会の責任者は東北大の山崎武さんが引き受けてくださっている。私の造語に苦情も言わずに。

その他関連記事として２００５年９月の会報に、京大の立木さんによる CCA2005-Kyoto の報告が載った。会議の意義や雰囲気がよく表れているので読み返していただく価値がある

と思う。CCA とは Computability and Complexity in Analysis の略であり、ゆるやかな結びつきによるグループの名称である。

http://cca-net.de/

をご覧いただきたい。この中心は FernUniversität-Hagen の Weihrauch さんだ。１９９６年ニュージーランドの離散数学の会合に京産大から辻井さんと八杉が出席したのをきっかけに親しくなり、「計算可能解析学の”もう一つの中心”をつくってほしい」といわれた。実際関西には関連研究者が増え、CCA2005-Kyoto もそれゆえに開催できた。

最後に今年の関連国際会議の宣伝を少し。

- CCA 2007:Fourth International Conference on COMPUTABILITY AND COMPLEXITY IN ANALYSIS, June 16-18, 2007, Siena, Italy

http://cca-net.de/cca2007/

CCA2005 は CCA 会議をワークショップから国際会議に変更して２回目だった。今年は４回目になる。

- CiE'07: COMPUTABILITY IN EUROPE 2007, University of Siena, 18 - 23 June 2007

http://www.mat.unisi.it/newsito/cie07.html

なぜか数年前に表題の会議が発足した。EU に予算を申請することが一つの目的だったらしい。CCA との差異が難しいところだが、CCA よりもはるかに幅広い内容をもつ、というべきか、散漫というべきか。今回は同じ町で相次いで開催される。

- INFINITY IN LOGIC AND COMPUTATION, Cape Town, November 3-5 2007

http://www.mth.uct.ac.za/FACS-Lab/ILC07/

長く研究協力者として交流してきた Brattka さんが現在在職している Cape Town 大学を中心に、南アフリカ数学会５０周年記念のサテライト会議として開催される。計算における無限とは何を指すか、明確ではないが、私たちの研究には密接な関係がありそうだ。ある条件下では一様位相化と同値な理論として、極限再帰関数（再帰関数の極限）を近似率や連続率に採用するものがあり、私たちはその研究も進めているからだ。私は将来、不連続関数の計算可能性のパラダイムとして採用している一様位相化と、計算における極限（無限）概念についての考察を深めたいと考えている。

日本における数理的脳機能研究

脳の基本的構成要素であるニューロンの活動電位の電気化学的機構は，1940年代から1950年代にかけてその基盤が明らかにされた。この頃，小さな単一細胞レベルでの電気的活動を研究する技法はまだ確立されていなかった。ヤリイカの巨大軸索は，無髄神経であり構造が比較的単純であることと，軸索の径が大きく(約700μm）そして長く切りだせることから，神経細胞膜の電気的特性を調べるのに適していた。A.L. Hodgkin と A.F. Huxley はヤリイカ軸索内に電極を刺入し，軸索内外の電位差を様々に固定したときの膜の透過電流特性を調べた（AL Hodgkin, AF Huxley(1952) Current carried by sodium and potassium ions through the membrane of the giant axon of *Loligo*. J.Physiol.(Lond.) 116,449-472)。その結果，神経細胞膜の電気的興奮が，主に，膜を透過する Na^+ と K^+ 電流の時間的変化によって引き起こされることを観測した。イオンの透過性は，膜を流れる電流には依存せず，膜電位と時間のみに依存していた。そこで彼らは，それぞれのイオン透過性の膜電位依存性を調べ，その特性に関数を当てはめることにより，それらを現象論的方程式としてまとめることに成功した（AL Hodgkin, AF Huxley(1952) A qualitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. J. Physiol. (Lond.) 117,500-544)。彼らはこの業績により1963年ノーベル医学生理学賞を受賞した。この現象論的方程式を Hodgkin-Huxley 方程式（HH 方程式と略記）と呼ぶ。これは，いまでも種々のニューロンや心筋の単一細胞レベルあるいはチャネルの電気化学的活動の数理モデル化や非線形力学動態の解析での基礎をなしている。以下数理の立場からの脳科学への３つのアプローチについて記してみたい。

Richard FitzHugh は，HH 方程式が報告されてからまもなくその数値計算にとりかかり，方程式のエッセンスを表す数式モデルを発表した（R FitzHugh(1961) Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane. Biophysical J. 1,445-466)。

$$\frac{dx}{dt} = c(x - x^3/3 + y + z), \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{1}{c}(x + by - a) \tag{1}$$

ここで，x は細胞膜電位の符号反転値，y は不応性，z は外部入力である。彼は，この系が非線形振動子のモデルとして知られる van der Pol 方程式から導かれ，振る舞いが Bonhoeffer が提案した神経モデルと似ているため， Bonhoeffer-van der Pol(BVP) モデルと呼んだ。

同じ頃，東大の南雲仁一先生は，抵抗とインダクタンスを直列につなぎ，さらに江崎ダイオード（トンネルダイオード）とコンデンサを並列にしたものを接続した回路を基本とし，それらの基本回路を小さな値の抵抗で結合した伝送路のパルス伝送特性を調べていた。この線路は，神経細胞への電気刺激により生成された活動電位を伝える神経軸索と電気的に類似する性質をもつことが示された。トンネルダイオードの電圧電流特性を３次の多項式で近似すると，基本回路は BVP モデル(1)と一致する。そこでいまでは，式(1)は FitzHugh-Nagumo 方程式（FHN 方程式）と呼ばれている。この方程式は，パラメータ a，b，c の値の設定によって，神経興奮のような振る舞いや，振動現象など多様な振る舞いを示すことから，後述のように種々の現象の数理モデルに利用されている。また，その多様な振る舞いの数学解析もなされている(N Kakiuchi, K Tchizawa (1997) On an Explicit Duck Solution and Delay in the FitzHugh-Nagumo Equation.

J. Diff. Eqs. 141(2),327-339)。上の伝送路を伝播する波は時間と空間に依存する 2 変数（膜電位と不応性）の偏微分方程式で記述され，Nagumo 方程式として知られている(J Nagumo, S Arimoto, S Yoshizawa(1962) An active pulse transmission line simulating nerve axon. Proc. IRE 50, 2061-2070)。FHN 方程式とその原型の Nagumo 方程式については，それこそ“無数”の学術論文が国内外を問わずに発表されている。例えば，HP McKean, Jr(1970) Nagumo's Equation, Advances in Mathematics, 4, 209-223 を参照せよ。FHN 方程式はまた，周期入力に対して，周期応答やカオス応答を示す。このことから，周期現象の他の周期入力に対する引き込みの現象などの説明などにも応用されている。イタリアの物理学者 E.R. Caianiello は脳を「思考機械」とみなし，記憶などの高次機能が神経方程式と記憶方程式の組によって説明できるとした（ER Caianiello (1961) Outline of a theory of thought-processes and thinking machines. J. Theor. Biol. 1, 204–235)。南雲先生また，1 個の神経についての Caianiello の神経方程式を差分方程式に仕立て上げ，正規化された刺激の強さに対する興奮率が Cantor 関数様の関係を呈することを示した。この差分方程式は，Fractal 性を示すことのできる最初の数理モデルとして考えられている（J Nagumo, S Sato(1972) On a response characteristics of a mathematical neuron model. Kybernetik 10,155-164)。ヤリイカの巨大軸索もカオス性の発火の振る舞いを示すことが実験的にも示された（G Matsumoto, K Aihara, M Ichikawa, A Tasaki (1984) Periodic and Nonperiodic Responses of Membrane Potentials in Squid Giant Axons During Sinusoidal Current Stimulation. J. Theor. Neurobiol. 3(1), 1-14)。Ricciardi らのグループによって，神経の不規則な発火を説明するための拡散過程モデルも提案された。細胞膜電位を表す Ornstein-Uhlenbeck 過程の境界（閾値）への初通過時間問題として定式化され，研究が続けられている（例えば，LM Ricciardi, L Sacerdote (1979) The Ornstein-Uhlenbeck process as a model for neuronal activity I. Mean and variance of the firing time. Biol. Cybern. 35(1), 1-9)。ニューロンの振る舞いの数理は，神経コーディング（neural coding）とのからみでいまでも盛んに研究が進められている(DH Perkel, TH Bullock(1968) Neural coding. Neurosci. Res. Prog. Bul. 6, 221-348 を皮切りに，外界からのあるいは神経系内の情報がどのような形で伝達されているかが議論されてきた。temporal coding, spatio-temporal coding その他など種々の説がある)。これが第 1 の流れである。

第 2 の流れはニューラルネットワークに関するものである。神経のネットワークの振る舞いに関する研究の起源はもう少し古い。McCulloch と Pitts は神経細胞の活動を表す閾素子モデルを発表した（WS McCulloch, W Pitts(1943) A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of Mathematical Biophysics 7, 115-133)。これはすぐに回路網にすることができる。n 個の閾素子の神経回路網を考える。McCulloch と Pitts の閾素子は出力が 1 と 0 であるが，変数変換によって，出力を 1 または -1 とすることができる。他の細胞からの入力に応じて i 番目の細胞の時刻 $t = 1, 2, \cdots$ における出力 x_i は，閾関数 $1(u) = 1,\ u > 0;\ -1,\ u < 0$ を導入して，次式に従って決まる。

$$x_i(t) = \mathbf{1}\left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j(t-1)\right) \tag{2}$$

または，$\mathbf{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \ldots, x_n(t))'$ とおいて，ベクトル形式で

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{1}\left(A\mathbf{x}(t-1)\right), \quad \mathbf{1}(\mathbf{u}) = (1(u_1), 1(u_2), \ldots, 1(u_n))', \tag{3}$$

ここで，$A = (a_{ij})$ で，a_{ij} は j 番目の細胞から i 番目の細胞へのシナプスの結合荷重に対応する定数である。$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ で表すとき，この回路は 2^n 個の異なる状態を取りうる。初期状態 $\mathbf{x}_0$ が与えられたとき，この回路網の状態 $\mathbf{x}$ は，式(3)に従って時刻 t とともに遷移し，その様子は有限状態の力学系して捉えることができる。すべての状態は最終的に周期 K の周期解 K となるか，平衡点 S に収束する。K と S をアトラクタという。また，最終的にアトラクタ K（S）に達する状態の集合を K（S）の引込み域と呼ぶ。有本は，この力学系が 2^n の周期解の存在と，そして $K \le 2^n$ なる任意の K を周期とする周期解の存在を構成的に示した（有本卓(1963) 閾素子のオートノーマス回路で実現できる周期列，電子通信学会 Trans，情報と制御の研究. No.2,17-23)。また，佐藤と田中は n 個の閾素子回路網の解がすべて周期的である回路網（Reverberating Network, RN と略記）の部分族を考え，Chow のパラメータを適用することによって Chow 行列を定義した。さらに回路網の結合係数 A に +1，−1，0 を要素とする置換行列 Q を施す代数演算を導入し，RNの性質を明らかにし，RN を構成する２つの手法（帰納的な構成，代数演算を用いた構成）を提案した (M Sato, C Tanaka(1982) Characterizations and Constructions of Reverberating Networks, Math. Biosci. 62, 201-217)。

パーセプトロン(perceptron)は，1957 年に心理学者 Frank Rosenblatt によって提案されたニューラルネットの一種で視覚と脳の機能をモデル化したものであり，パターン認識が可能だとの期待がもたれた(F Rosenblatt (1958) The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. Psychological Review, 65, 386-- 408, F Rosenblatt(1962) Principles of Neurodynamics, Spatan Books)。パターン認識をする学習機械としてのパーセプトロンである。 パーセプトロンは感覚（S）層，中間（A）層，および出力（R）素子からなるが，中間層から出力素子の間の結合係数が，教師信号によって変化し，入力信号を２分する問題（パターン認識）を学習する。単純なネットワークでありながら学習能力を持つということがニューラルネットブームを巻き起こした。しかし，Marvin Minsky と Seymour Papert は，単層パーセプトロンは線形分離不可能なパターンを識別できないことを示した（M Minsky, S Papert(1969) Perceptrons. MIT Press)。このことは，ブームを下火にした。

ニューラルネットワークに関する研究は，国内では甘利俊一氏を中心にして進められてきた。パーセプトロンの場合，A 層の素子は閾素子で，0 か 1 の値を出力することから，S 層との間の結合を学習によって変化させることはできない。そこで，閾関数をシグモイド関数に置き換えることによってそれを可能にし（S Amari(1967) Theory of adaptive pattern classifiers. IEEE

Trans. On Electronic Computers. EC16-3, 299-307)，最急降下法による誤差逆伝播学習（DE Rumelhart, GE Hinton, RJ Williams(1986) Learning Representation by Back-Propagating Errors. Nature 323, 533-- 536）とよばれる学習法の礎となった。この方法の発見によって，パーセプトロンがもつ困難な点が解決され，再び，ニューラルネット研究が盛んになった。

アメリカの認知心理学者 Rumelhart は，パーセプトロンに誤差逆伝播学習法を取り入れ，McClelland らとともに並列分散処理（Parallel Distributed Processing = PDP）モデルを提唱した（DE Rumelhart, JL McClelland(1986) Parallel Distributed Processing. Vol.1 & 2, MIT Press)。並列分散処理とは，複数の分散処理ユニットが並列して情報処理を行うことを意味するが，人間の認知プロセスは情報の並列分散処理にしたがっていると考える。1970 年代以降，認知心理学や人工知能の分野では認知の特徴である曖昧さや類似性を扱う研究が進んだ。顔の識別などには並列分散処理モデルが適しているとの報告がある。並列分散処理のためのネットワークは神経細胞を単純化した素子（ノード）とそれを結ぶ線（リンク）からなり，情報はアナログのままで処理される。ノードとそれら間のリンクの仕方（結びつき＝コネクション）によってネットワークの情報処理が決ることとから，この種のネットワークによる情報処理の流儀はコネクショニズムとも呼ばれた。

ある概念（キーパターン）が与えられたとき，それに関連する概念（想起パターン）が想起されることを連想と呼ぶ。脳でのこの仕組みはまだよく分かっていないが，脳の海馬が関与しているといわれる。連想記憶はこれら概念の対が何らかの形で記銘されている状態と考える。連想記憶を可能にするニューラルネットの研究も行われてきた（中野馨(1969)アソシアトロンとその応用… 連想記憶装置に関する研究. 電子通信学会インホメーション理論研究会資料， IT 69-27, K Nakano(1972) Associatron · A Model of Associative Memory. IEEE Trans. Syst., Man & Cybern. SMC-2(3), 381-388）。アソシアトロンは，神経回路網の一種で，記憶は回路の興奮パターンによって表現され，細胞間の結合強度を変えることによって回路網に銘記される。連想記憶モデルはほぼ同時期に，Kohonen(1972)らによっても提案されている。

キーパターン $\mathbf{x}_k$ と対応する概念パターン $\mathbf{y}_k$ が 1，-1 の要素からなるベクトルで表されており（$k=1,2,...,P$），$\mathbf{x}_k$ から $\mathbf{y}_k$ が

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{1}(A\mathbf{x}_k), \quad k=1,2,...,P \tag{6}$$

によって，想起されるというのが，ニューラルネットワークの枠での連想記憶である。この場合，キーパターン（$\mathbf{x}_k$）が完全なかたちで与えられていないかもしれない。一部がかけていても，正しく概念パターン（$\mathbf{y}_k$）が想起されるというのが，われわれのナイーブな理解での「連想」である。すなわち，$\mathbf{x}_k+\xi$（ξ はノイズ）というパターンに対しても $\mathbf{y}_k$ を想起してほしい。あるいは，キーパターン（$\mathbf{x}_k$）の一部（$\mathbf{x}_k+\xi$）が与えられてその全体 $\mathbf{x}_k$ を想起することも「連想」と考えたい（自己想起型連想記憶と呼ばれる。$\mathbf{y}_k=\mathbf{x}_k, k=1,2,...,P$）。$A$ は連続写像であるから， $\mathbf{x}_k$ が誤差を含んでも $\|\xi\|$ が小さければ，式(6)によって正しい $\mathbf{y}_k$ が想起できる。

Hopfield は，強磁性体の（ハイゼンベルグモデルを簡単化した）Ising モデルにヒントを得て，連想記憶のモデルを提出した。これは後のボルツマンマシンの元ともなった。(JJ Hopfield (1982) Neural network and physical systems with emergent collective computational abilities. Proc.

Natl. Acad. Sci. USA. 79 (8): 2554-2558)。自己想起型連想記憶の場合には，エネルギー関数を定義することにより解決できる。キーパターン$\mathbf{x}_k$ （$k=1,2,\ldots,P$）は互いに直交するとする。この場合は$\mathbf{y}_k=\mathbf{x}_k$で，$A=(a_{ij})$を次のように決める。

$$a_{ij}=\sum_k y_{ki}y_{kj}=\sum_k x_{ki}x_{kj} \tag{7}$$

ただし，y_{ki} （$=x_{ki}$）は，想起パターン$\mathbf{y}_k$ （$=\mathbf{x}_k$）の第i要素である（$k=1,2,\ldots,P$）。結合が対称性($a_{ij}=a_{ji}$)なので，系の状態に対して「エネルギー」

$$E=-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}a_{ij}x_ix_j \tag{8}$$

を定義できる。エネルギーはパターン空間に「場」を定義する。初期状態を$\mathbf{x}(0)=\mathbf{x}+\xi$として，これを式(6)に代入し$\mathbf{x}(1)$を求める。これは，正しいキーパターン$\mathbf{x}$を与えないかもしれないが，「エネルギー」は減少する。その場合には，式(6)をさらに進める。これを繰り返すと，$\mathbf{x}(t)$は$\mathbf{x}$に達し，この状態で系のエネルギーは最小となる。Hopfield は数値シミュレーションによって，神経回路に埋め込んで想起できるパターンの数が$0.15n$であることを報告している。これは，相互想起型連想記憶の場合にも拡張できる。以上が連想記憶モデルの原理である。この種のモデルに関しては，他に，Gardner(1986), McEliece ら(1987), Amari , Maginu(1988), 森田昌彦ら(1990), その他多くの研究があり，興味ある性質がわかっている。

Hinton, Sejnowski らは確率的に動作するニューラルネットワークを提案した。Hopfield のニューラルネットでは，ローカルミニマムに陥るとそこから抜け出すことはできないが（大域的最急降下法の欠点），各ユニットの出力が確率的に決まるようにすれば，これを回避できると考えるのは自然である。(DH Ackley, GE Hinton, TJ Sejnowski (1985) A Learning Algorithm for Boltzmann Machines, Cognitive Science, 9:147-169. GE Hinton, TJ Sejnowski (1986) Learning and Relearning in Boltzmann Machines. In DE Rumelhart, JL McClelland, and the PDP Research Group, Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. Volume 1: Foundations. (pp 282-317) Cambridge: MIT Press)

彼らが提案したボルツマンマシンでは，温度Tを考える。温度が高いときはローカルミニマムからの脱出確率が増え，温度が低いときは，減るようにすることができる。それによって，はじめは温度を高くしておいて，ローカルミニマムから容易に逃れられるようにし，しだいに温度を下げてゆくことによって，全体としてエネルギー最小状態への到達時間を短縮するという方法(simulated annealing)も考えられている。

多層ニューラルネットワークによる入出力関係の推定は，数理統計的には，非線形パラメトリックモデルを用いた推定であると考えることもできる。この方向からのアプローチもある（福水健次（統計数理研究所）「ニューラルネットの推定理論－ モデルの対称性と識別不能性－」)。

第３の流れは計算論的神経科学とよばれるものに係わる。これは，脳を情報処理機械とみなしその機能を調べるという立場をとる。David Marr (D Marr(1982) Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. WH

Freeman and Company. p.397）は，ヒトの視覚と小脳による運動制御に関してこの方向からの研究を行い，成功を収めた。計算論的アプローチは，神経生理学などから実験的に集められた神経細胞の動作や結合などの知見からボトムアップ的に脳の情報処理の仕組に迫る方法とは逆に，脳が行っている情報処理の計算理論から順に，情報表現やアルゴリズム，神経回路の構成としてのハードウェアの仕組を解明するというトップダウン的な手法である。川人光男氏はあらゆる方法を駆使して，この方向での脳機能研究に取り組んでおり，世界のトップを走っている（川人光男(1996)『脳の計算理論』産業図書，その他多数)。

数理的脳研究に関する３つの大きな流れについて駆け足で紹介した。第３の流れに関する記述は少ないけれども，それは重要性や成果がないからではない。また，流れが３つであるというのは筆者の思い込みで，他にもあるかもしれない。これらの流れのそれぞれにおいて，また別の流れ（例えば，ロボットの「脳」を含む人工脳の研究）も含めて，重要な研究を網羅し紹介することは筆者の任ではなく，お許し願いたい。ヒトの高次機能に関する脳科学における問題はもちろん数理的な立場からの研究のみで解決されるわけではない。数理的なアプローチの場合でも，理論は最終的には（実験脳科学的に）実証される必要がある。しかし，ヒトの脳を扱う場合，その手立てが極端に限られている。侵襲をともなう実験は不可能なのである。

認識や記憶あるいは創造は，ヒトがもっとも大きくかかわっている生き物の特徴であり，この仕組みの解明は人類に残された最大の課題のひとつとして，ここであげた数理的脳科学や実験脳科学をはじめとする多くの分野からのチャレンジが続いている。

（藍野大学　佐藤俊輔）

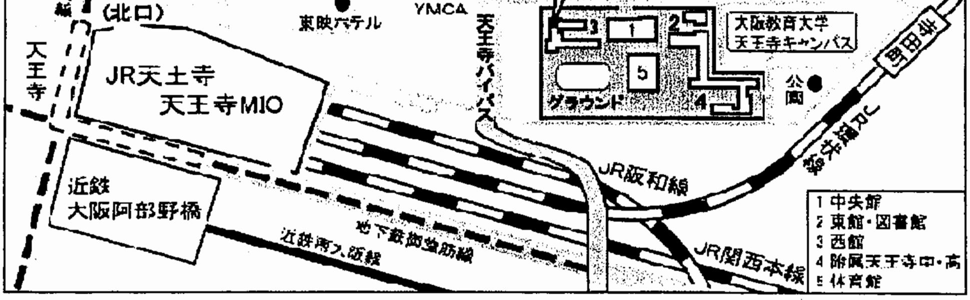
＊ 年会及び理事会の開催

2007 年の年会及び理事会は大阪教育大学天王寺分校で次の日程で行われます。

８月８日(水)　13:30 理事会　　15:00 総会

ご出席をお願いします。また、交通費、宿泊費が全く不要な会議出席を SOBA を用いて行いますので、ご利用の方は、８月６日までに、登録名を pbls5@jams.jp までお知らせ下さい。議題として、(1) 会費の値上げ (2) 決算報告等を予定しています。場所は下の図を参考にしてください。

JR天王寺駅、地下鉄天王寺駅、近鉄大阪阿部野橋駅下車。徒歩約10分。
JR寺田町駅下車、徒歩8分 [最寄駅までの交通案内]



理事の方で都合により理事会をご欠席の方は下の書式に従い必要事項をご記入の上、8月7日までに着く様に委任状を御提出下さい。または、メール pgp7@jams.jp あてご返事下さい。

委任状

<table>
<tr><td>氏名</td><td rowspan="3">8月8日理事会に対して、</td><td>氏に</td><td rowspan="3">委任します。</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>議長に</td></tr>
<tr><td>白紙</td></tr>
</table>

＊ 研究会プログラム

下記により8月7日年会を行います。どなたにも研究会は開放されていますので、ご出席くださいますようお願い致します。なお、この会報が発行されるまでに分かっているプログラムは下の通りです。

(1) 「統計的デザイン，組合せ的デザインとその周辺」(大阪府立大学　栗木進二先生)

11:00-11:30　「あるコントロールをもつ incomplete split-plot designs」
　　木村隆志（大阪府立大学大学院工学研究科）
11:30-12:00　「不完備順位付け問題における BIB designs」
　　魚住浩之（大阪府立大学大学院工学研究科）

(2) 「OR 関係」(近畿大学　寺岡伸義先生)

13:30-14:15　「2人売り出しのタイミング・ゲーム」
　　林　芳男（近畿大学経営学部）
　　北條仁志（大阪府立大学大学院理学系研究科）
　　寺岡義伸（近畿大学経営学部）
14:15-15:00　「大規模小売業及び小規模小売業における最適販売価格の決定
　：限定合理的な消費者の行動を考慮した場合」
　　川勝英史（流通科学大学情報学部）
　　三道弘明（大阪大学大学院経済学研究科）
15:15-16:00　「市町村合併における新庁舎の配置決定問題」
　　大角盛広（神戸学院大学経営学部）
　　塩出省吾（神戸学院大学経営学部）
16:00-16:45　「ソフトウェアーの最適若化スケジューリングに対するノンパラメトリック予測理論」
　　林坂弘一郎（神戸学院大学経営学部）
　　土肥　正　（広島大学大学院工学研究科）
　（終了後は、懇親会も予定をしています。）

(3) 「統計的推測と統計ファイナンス」(大阪大学　熊谷悦生先生)の表題で計画しています。

＊ ISMS 研究集会

代表者　古澤仁，高井利憲

****
第18回 ALGI（代数，論理，幾何と情報科学研究集会）
2007年9月3日(月)〜4日(火)　鹿児島大学理学部1号館 103
講演募集 http://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/jhsrc/map/index.html
****

講演される方は，高井 (t-takai@aist.go.jp) まで情報をお寄せください．題目，講演者名と e-mail address，所

属，梗概，希望時間，講演に必要な道具などが記されていればありがたいですが，「講演したいと思っている」程度の不完全情報でも結構です.
時間の空きがある限り，開催直前まで講演申込を受け付けるつもりですが，事情により少しスロットが少なくなるかも知れませんので，「講演する意志がある」方はどうぞ，お早めに御一報ください.
皆様のご参加をお待ちしています.

* **IVMS 国際研究集会のテスト**

内外研究集会の活発化の為の Infrastructure の整備に目鼻がついてきています。

(1) 国内は参集会場に旅費、ホテル代等なしに、参画できる soba system を使う
(2) 海外会場とは阪大中ノ島センターの「ITU の国際規格を満たす system (Tanberg 6000 使用)を使う。
(3) 内外両者を阪大中ノ島センターで接続する。

上の(1)に書きました soba system の使用説明を会報 51 号に掲載しましたが、印刷が不鮮明のため少し詳しいカラー印刷の説明文があります。ご希望の方は pbls5@jams.jp 宛ご連絡下さい。

以上の中で、(1)及び(2)のテストはうまく作動しました。(3)のテストはこれからですが、成功が充分見込まれています。

Symposium や joint meetimg を企画される各位に(1)の soft をお送りします。

猶、(2)項の、海外大学、研究所、学術団体、研究集会等との研究交流のテストをされたい方は、交流先の IP アドレスをつけて事務局にお知らせ頂ければ(scm4j@jams.jp) 、先方との接続テストをさせて頂きます。
第一回のテストを 8 月 8 日(水)13:00～17:00 に行います。このテストへの参加の〆切を来る 8 月 4 日(土) 12:00 とさせて頂きます。
又、第二回のテストは 9 月 4 日(火)13:00～17:00 に行います。このテストへの参加の〆切を来る 8 月 25 日(土)12:00 とさせて頂きます。

IVMS 委員会

***賛助会員制度（寄付制度）の発足と二つの基金**

今回 Bylaws2007(July)の賛助会員制度(Contributing Member)が発足することになりました。それで、本年 8 月 1 日より下記の二つの基金を発足させ、御寄付頂いた方の御指示に従い、各基金による事業の推進に役立たせたいと考えます。一口 1 万円より何口でも、また一口未満の御寄付も有難くお受け致します。ある基準を超過した部分は税法上の優遇措置を適用する事を考えています。

下記の郵便振替口座にてお受け致します。
00960-3-206607　国際数理科学協会

(I)ISMS 受賞基金
ISMS 賞、功刀賞、北川賞についての受賞メダルの作製、受賞者への送付の費用等受賞に関する費用に支出
(II)国際研究交流基金
海外及び国内の研究集会参加 site の会場費、研究交流設備の使用料の支出

猶、御寄付の種類は五種類とし、御寄付の累計額が
(1)50 万円(又は$5000)以上
(2)10 万円(又は$1000)以上
(3)5 万円(又は$500)以上
(4)1 万円(又は$100)以上
(5)1 万円(又は$100)未満
のとき、5 種類とし、感謝状を贈呈すると共に御氏名を(匿名希望の方は除き)www. 及び会報、Notices 欄に掲載させて頂きます。

＊　機関会員募集

個人会員の特典としては

(1) online で SCMJ を見ることができます。
(2) 論文の掲載時に page charge(別刷代金)が随分と安くなる。
(3) Net を用いて国際研究集会を催す時、アナウンス、アブストラクトの作成などお助けいたします。6,000 円を支払うと、hard-copy の SCMJ が一年を通じて手に入ります。
(4) 10 年間個人会員を続けると、国内会員は 70,000 円、外国会員は US$600、途上会員は US$500 を支払うと生涯会員となれます。

機関会員の特典としては

(1)本屋より SCMJ を購入すると、print 版 45,000 円であるが、機関会員になると、print 版 33,000 円で online も見ることができます。
(2)会員でない 2 名の方を準会員として登録することができます。これにより、page charge(別刷代金)　が会員と同じ扱いになります。
(3)上の準会員 2 名は online で SCMJ を見る事ができます。
(4) Net を用いて国際研究集会を催す時、アナウンス、アブストラクトの作成などお助けいたします。
大学、研究所等が協会から SCMJ 誌の直接購入すると、今年から online も無料で見ることができるようになりました。

機関会員の申込用紙は下にあります。適当にお使い下さい。

Application for Academic and Institutional Member of ISMS

Subscription of SCMJ	□Print ＋ Online (¥33,000,　US$300)
University (Institution)	
Department	
Postal Address where SCMJ should be sent.	
E-mail address	
Person in charge	Name: Signature:
Payment Check one of the two.	□Bank transfer　　□Credit Card (Visa, Master)
Name of Associate Members	1.
	2.

上にも書きましたように、2006 年より発効の機関会員制度により各機関会員に所属の研究者 2 名を会費無料で準会員として登録しますと、準会員が SCMJ に accept された論文を掲載するときの page charge(別刷代金)は会員と同額とすることにしました。
この新しい制度の機関会員の P.R.を、日本国内外(BRICS 諸国など)400 大学に向けて、昨年 1 月から始めています。同時に今迄の SCMJ 投稿者で会員でない方、また、個人会員および(機関会員の)準会員加入の P.R.も始めて

います。
両者のP.R.について会員の御支援(P.R 先大学の教員の方の名前ご連絡頂く)を御願いする次第です。

＊ お知らせ及び依頼

(1)大学の教員の採用は、最近は公募が主流となってきているようです。この会報は2ヶ月に一度出しておりますので、会員所属の大学等で公募する際は、協会の方に原稿をメール等(scm4j@jams.jp)でお送り願えたら、一番近い号に載せて、会員の方々にお知らせし協力したいと思います。
(2)シンポジューム、研究集会等予定が決まりましたらお知らせ下さい。会報を用いて案内等したいと思います。協会の方にご連絡下さい。
(3)外国との遠隔集会開催などについては、阪大中之島センターのTV会議システムが便利です。協会に連絡を頂ければ利用料金を負担致します。従来に比べて使い勝手も良くなり新しいサービスの導入も予定されているようです。(http://www.onc.osaka-u.ac.jp をご参照下さい)。一方大がかりな遠隔会議システムが必要でないという点では、SOBAを用いた国内での遠隔会議も考えられます。使用説明は会報No.51にあります。国内での利用は無料です。遠隔会議、集会のためには、使い慣れておくということも大事です。SOBAの使用実験のアナウンスなども致しますので、お気軽にご参加下さい。
(4)会報、Noticesが今まで以上に充実します。昨年から会報、Noticesをともに年6回発行しています。特にNoticesでは、著名な外国人による種々の数学に関する寄稿があります。ご一読下さい。近くの方への会員勧誘にも利用して下さい。

＊ 新会員入会申込用紙

日本語が出来る方の入会の申込用紙が下のように変更になります。また、英語版も書いて頂くことになります。近く net 上で申し込み可能となるようにしますので、入会しようとする方はそれをご利用下さい。

正会員入会申込書

<table>
<tr><td>氏名</td><td colspan="2"></td><td>英語名</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">次の２つのうち会報等を送付先とする方に○を付けてお書き下さい。</td></tr>
<tr><td>所属先
住所</td><td colspan="4">〒</td></tr>
<tr><td>住所</td><td colspan="4">〒</td></tr>
<tr><td>専門分野</td><td colspan="4">表 f より選んで○で囲って下さい。
f-1, f-2, f-3, f-4, f-5, f-6, f-7, f-8, f-9, f-10, f-11, f-12, f-13, f-14</td></tr>
<tr><td rowspan="2">E-mail
address</td><td rowspan="2" colspan="2"></td><td>電話番号</td><td></td></tr>
<tr><td>Fax 番号</td><td></td></tr>
<tr><td>会員区分
該当部分にチェック</td><td colspan="4">□A1 一般 1 年　□ A3 一般 3 年　□ S-A1 高齢者又は学生 1 年
□ S-A3 高齢者又は学生 3 年　□ 生涯会員</td></tr>
<tr><td>所属先の
施設</td><td colspan="4">□ ビデオ会議可能　□ 遠隔会議可能
□ コンピューターセンター</td></tr>
<tr><td>所属先の
通信システム</td><td colspan="4">□ ISDN　□ IP</td></tr>
<tr><td>所属大学等が
機関会員</td><td colspan="4">□ 会員である　□ 会員でない</td></tr>
<tr><td colspan="5">SCMJ のプリント版の購入</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">□　希望　1年に付き
1年会員 6,000 円、3年会員 5,500 円*</td><td colspan="2">□ 希望しない</td></tr>
<tr><td>高齢会員を申し込む場合</td><td>生年月日</td><td colspan="2">学生会員の場合は在学証を添付</td></tr>
<tr><td>日付</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">私は ISMS 会員になり、国際数理科学協会に送り状に記載された年会費を払います。ISMS 会員として受け取った Scientiae Mathematicae Japonicae のコピーは個人使用とし、機関、大学または図書館やその他の組織の中に置かず、閲覧目的で会員購読することもしません。</td><td>署名</td><td></td></tr>
</table>

*ただし、3年間一括の場合は 15,000 円です。なお、来年より会費の改定を計画しております。
この申込みの内容は会との連絡以外には使用いたしません。

**Membership categories and their membership dues

Categories	Domestic	Overseas	Developing countries
1-year member	A1: ¥7,000	F1: US$50 , €40	D1: US$30,　€24
3-year member	A3: ¥18,000	F3: US$120, €96	D3: US$70,　€56
1-year students or aged (1S)	SA1: ¥3,500	SF1: US$30, €24	SD1: US$20,　€16
3-year students or aged (3S)	SA3: ¥9,000	SF3: US$70, €56	SD3: US$50,　€40
Life member (L)	AL: ¥70,000	FL: US$600, €480	DL: US$500, €400

We plan to revise the membership dues in the next year.
Category S is for students and for the aged (older than 70) and Category D is for those who reside in the countries of Eastern Europe, CIS or developing countries. The figures 1 and 3 mean one year and three years, respectively.
The members who have been the ISMS members for more than 10 years are eligible for L category.

表　f

- f-1. Mathematical logic, Set theory, Relative systems, Algebra systems
- f-2. Classical algebra, Number theory, Combinatorics, Cryptology
- f-3. Topology, Geometry, Imaging
- f-4. Real analysis, Complex analysis
- f-5. Functional analysis, Operator theory
- f-6. Differential equations, Integral equations, Functional equation, Numerical analysis
- f-7. Infinite dimensional dynamical systems, Inverse problems
- f-8. Fluid dynamics, Atmospheric research, Rheology, Computer aided design, Control theory, Nanoscience
- f-9. Probability theory, Statistics, Experimental Design, Quality control
- f-10. Operations Research, Decision theory, Queuing theory, Scheduling, Mathematical finance, Mathematical economics
- f-11. Informatics, Pattern recognition, Imaging, Computer science, Computer simulation
- f-12. Biomathematics, Proteomics, Bio informatics, Imaging, System biology, Bioscience
- f-13. Mathematical education, History of mathematics
- f-14. Over several fields (Ex. Fixed point theory)

Application for an individual member of ISMS

Family Name		First &Middle Name	

Check one of the following addresses to which “Notices from the ISMS” should be sent.	
Address of your institution (university)	□
Home address	□
Special fields*	f-1 f-2 f-3 f-4 f-5 f-6 f-7 f-8 f-9 f-10 f-11 f-12 f-13 f-14

E-mail address		Tel.	
		Fax	

Membership category** (Circle one)	A1, A3, SA1, SA3, F1, F3, SF1, SF3, D1, D3, SD1, SD3, AL, FL, DL
Check the facilities your institution has.	☐ Conference room(s) for video conference ☐ Computer center
Communication system of your institution	□ ISDN □ IP
Is your institution (university) an Institutional Member of ISMS?	□ Yes □ No
☐ I subscribe to the printed version of SCMJ.	□¥6,000 (US$60, €48) per year for those members of A1, SA1, F1, and SF1 , D1 and SD1. □¥5,500 (US$55. €44) per year for those members of A3, SA3, F3, SF3, D3, SD3, AL, FL, and DL. □In case A3, SA3, F3, SF3, D3, SD3, AL, FL, or DL members make the payment at a time in advance, the price for 3 years is ¥15,000 (US$150, €120).

For the aged member, write your birth year.		For the student member, student registration certificate should be attached.

I wish to enroll as a member of ISMS and will pay to International Society for Mathematical Sciences the annual dues upon presentation of an invoice. Copies of Scientiae Mathematicae Japonicae received as an ISMS member will be for my personal use only and shall not be placed in institutional, university or other libraries or organizations, nor can membership subscriptions be used for library purposes.

Signature	
Date of Application	

ISMS (JAMS の継続) 会員募集

ISMS の出版物：ISMS は、創刊より約 60 年、国際的に高い評価を得ている Mathematica Japonica (M.J.)と、その姉妹誌で電子 Journal と Paper 誌とを持つ、Scientiae Mathematicae (SCM) とを発行してきました。両誌は合併して、"21 世紀 MJ/SCM New Series, Scientiae Mathematicae Japonicae (SCMJ) "として、電子版は 2000 年 9 月より発行してきました。印刷版は、1978 年 1 月より、年間 6 冊、700～1200 頁を出版しています。全体として 230 巻を超える、日本で最大量を誇る数理科学の雑誌です。その特長は、下の 1)～ 7)です。

1) Editorial Board には、国内だけでなく、海外 15 カ国の著名な研究者 40 名が参加している。
2) 世界の research group に論文が紹介され、積極的な交流が推進されている。
3) Editor を窓口として直接論文を投稿できて、迅速な referee 及び出版が得られる。
4) 有名な数理科学者の original paper や、研究に役立つ survey が、毎号載せられている。
5) SCMJ は、世界の有名数理科学者による、極めて興味ある expository paper を、毎号 International Plaza 欄に掲載している。世界各国の図書館へ、広く配布されている。
6) 投稿論文は、accept 後 (又は組版後) 待ち時間 0 で発行されます。
7) Mathematical Review, Zentralblatt に from cover to cover で review されている。

ISMS の研究集会：(1)研究仲間がゆっくり時間をかけて発表、討論をする、特色ある参集型研究集会が毎年行われ、非会員も含む多数の参加者の、活発な研究交流の場となっている。(2)ISMS には内外の著名な研究者が多数入っておられる。近いうちに内外を結ぶ高い level の研究会が online で行われる事を期待している。（本誌 45 号 3p 及び Notices March 2006 9p を御参照下さい）

ISMS の学術賞：会員の優れた論文を広く世界に紹介し、更なる研究を奨励するために、ISMS 賞、JAMS 賞、Shimizu 賞、Kunugui 賞、Kitagawa 賞を設けている。（詳しくは本誌 45 号 2p 会則 13 条を御参照下さい）

＜ISMS の会員の特典＞１．SCMJ 電子版の購読 (print out も含む) 無料。２．SCMJ print 版の少額での購読 (下表１)。３．Page charge(別刷代金)の discount (下表２)。

＜機関購読会員の特典＞1. 機関内の 2 名の方を準会員として会費無料で登録することが出来る。２．準会員は会員と同じ page charge(別刷代金)の discount を受けることが出来る。

表１ [雑誌購読費]

	正会員（1 年）	正会員（3 年）	機関会員	定価
Print	¥6,000 US$ 60, €48	¥5,500* US$ 55, €44	¥33,000 US$ 300, €240	¥45,000 US$ 400, €320
Online	Free	Free		
Online+print	¥6,000 US$ 60, €48	¥5,500 US$ 55, €44	¥33,000 US$ 300, €240	¥45,000 US$ 400, €320

*3 年会員のみ、雑誌購読費 3 年分前払いの場合は¥15,000 になります。

著者の方には、SCMJ を 1 冊送料込みで 1,200 円または US＄12 で購入できます。

表２ [ページチャージ]

	Member/Associate Member	Non Member
Paper : P	¥3,850 (US$ 35, €28)	¥4,450 (US$ 43, €35)
Tex : T	¥2,200 (US$ 18, €14)	¥2,800 (US$ 26, €21)
Js : Js	¥1,100 (US$ 8, €7)	¥1,700 (US$ 16, €13)

表３ [今年の会費]

Categories	国内会員	海外会員	途上国会員
単年度 A 会員	¥7,000	US$ 50, €40	US$ 30, €24
3 年 A 会員	¥18,000	US$ 120, €96	US$ 70, €56
単年度 S 会員	¥3,500	US$ 30, €24	US$ 20, €16
3 年 S 会員	¥9,000	US$ 70, €56	US$ 50, €40
生涯会員**	¥70,000	US$ 600, €480	US$ 500, €400

**過去 10 年以上、正会員であった方に限る。なお、来年より会費の改定を計画しています。
但し、A 会員は正会員を指し、S 会員は、学生会員と高齢会員(70 歳以上)を指します。

国際数理科学協会

International Society for Mathematical Sciences

〒590-0075 堺市堺区南花田口町 2-1-18 新堺東ビル内

Tel:(072)222-1850 / Fax:(072)222-7987 URL:http://www.jams.or.jp