

## 藤原洋数理科学賞受賞者のことば

2012年9月30日に第1回藤原洋数理科学賞授賞式が行われました。

授賞式については、「数学通信」第17巻第3号(2012年11月) p. 31~32に掲載されています。ここでは受賞者の方々の紹介として、ご本人に業績の紹介を含めた文章を書いていただきました。

### 第1回藤原洋数理科学賞を受賞して

小澤正直

名古屋大学大学院情報科学研究科

この度は、第1回藤原洋数理科学賞大賞の栄誉を賜り、まことに光栄なことに存じます。本賞は、数学・数理科学を産業界あるいは社会問題に応用しようという近年の動きを更に活性化するために、日本数学会の後援を受け、株式会社インターネット総合研究所藤原洋代表取締役所長によって創設されました。このような身に余る賞をいただき、創設者の藤原洋様、また、ご推挙頂きました選考委員の皆様には厚く御礼を申し上げます。今回の受賞は「量子情報理論の数学的基礎付け」に関する業績に対して授与されました。本研究は、私が学生時代から40年近く取り組んできたもので、これも諸先生方のこれまでのご指導ご鞭撻の賜物であり、厚く感謝いたしております。また、研究を一緒に行ってきた学生諸君、研究室スタッフの協力があったればのことであり、皆様に深く感謝いたしております。

私の研究の原点は、東工大理学部到新設された情報科学科に学部2年生で所属した時期に N. Wiener や J. von Neumann の著作を通して触れた数理情報科学という未知のパラダイムに対する憧れや、学部3年生で受講した吉田夏彦教授による分析哲学のセミナーによって蒙を啓かれた、集合論や量子論と実在の問題などに端を発する一連の哲学的テーマの知的魅力でした。これらの動機から卒業研究にあたり、梅垣壽春教授の研究室で関数解析学の手法で量子情報の基礎を研究するというテーマを選びました。梅垣教授は、1960年代における量子相対エントロピーの研究によって、量子情報理論の初期の開拓者の一人として広く知られております。

大学院に進学した1970年代半ばは、情報理論の非可換拡張ということがいわれ始めた頃でしたが、そのような形式的数学理論を新しい科学理論として実質を備えたものにしていくことが重要な課題に思われました。そのような方向性は、大阪教育大学の中村正弘教授と梅垣教授による作用素環上の条件付き期待値によって量子測定を数学的に特徴付けるという試みに関する論文が引用され、条件付き期待値に代わる概念として量子インストルメントが導入された E.B. Davies の論文を輪講のテーマに勧められたことや、梅垣研究室をよく訪問された池原止戈夫東工大名誉教授からもたらされた C.W. Helstrom や A.S. Holevo 等の光通信の数学理論に関する研究動向が大きな契機となりました。また、イリノイ大学の竹内外史教授によるブール代数值集合論から量子集合論に至る一連の研究は、作用素環で表現される量子物理量が量子集合論内で構成される実数に対応することを明らかにし、量子論と作用素環の関わりに関する理解を深める上で大きな力になりました。

このような初期の研究は、1980年代始めに完全正值量子インストルメントによる量子測定の完全な数学的特徴付けとして実りました。成果発表に当たり、量子測定理論の専門家である上智大学の柳瀬睦男教授に相談したところ、京都大学の荒木不二洋教授から投稿誌を含め適切なアドバイスを受けることができました。幸いこの成果は、出版後間もなく、当時、物理学界をにぎわせた重力波検出限界に関する論争の解決に基本的役割を果たすことが明らかになりました。また、量子測定のこの特徴付けは量子情報科学における基本公理として広く採用され、その後の不確定性原理の研究へと発展しました。その進展に関しては、これまで取材を受ける機会もありましたので、割愛させていただきます。

このように、私の研究は、今日の日から見て極めて幸運な巡り合わせの連鎖から出発したことに気づかされます。応用数学という分野は、数学という確固とした方法とそれに隣接し、産業や社会活動に直結する多くの経験科学の境界に成立する学問であり、どの数学がどの経験科学のどの問題に応用されるかということは、研究の当初は不確定であると言えます。幅広い試行錯誤や幸運な偶然の後に突然、ぴったりとした数学理論が立ち現れてくる様に思います。それが数学という学問の醍醐味であり、底知れない不思議さではないかと思えます。あらためて、長い研究生活に多くの転機をもたらしてくれた幸福な出会いの数々に感謝を表します。このような分野に魅力を感じる若い人達がますます増えてくることを願って筆を置くことにします。

(文中、職名・称号は当時のものを使用させていただきました。)

# 藤原洋数理科学賞奨励賞を受賞して

蓮尾一郎

東京大学大学院情報理工学系研究科

2012年に創設された第一回藤原洋数理科学賞で奨励賞をいただいたことは、数学と計算機科学の協働を目指す私にとって望外に光栄なことであり、また、大きな期待をかけていただいていることに身のひきしまる思いである。

2012年に我々はアラン・チューリングの生誕100周年を迎えた。彼によってその端緒が開かれた電子計算機は、「情報処理の自動化」という従前の科学技術とは全く発想の異なる貢献により、現代社会のあらゆる側面において人類の活動をサポートしている。しかしその役割が大きくなるにつれ、電子計算機の「人工物としての複雑さ」が大きな問題として立ち現れてきた。天文学的な複雑さを持つ電子計算機が「意図した通り」、すなわち「正しく」動作することを保証することは容易ではない。このことは、ニュースで伝えられる計算機システムのトラブルによる種々の障害・損失を見ても明らかである。

私の研究は、この混沌の中に数学的な秩序をもたらそうという試みの一翼をなす。計算機の基礎理論を扱う「計算機科学」という分野にあって、特に計算機システムの正しさを数学的に証明することを目標とする「形式検証」を応用上のテーマとしつつ、数学の諸分野がこれまでに培ってきた「秩序」すなわち「構造」を記述する枠組みをフル活用する。これが私の研究の基本戦略である。特に、プログラミング言語などのシンタックスの持つ「代数」としての構造の研究(ゴーゲン Goguen らに始まる)と、計算機システムの離散力学系的なふるまいの持つ「余代数」としての構造の研究(ヤコブス Jacobs, ルッテン Rutten らに始まる)に注目してきた。ここでは、アイレンベルグ Eilenberg とマックレーン Mac Lane によって導入され、今では数学のあらゆる分野で用いられる「圏論」が基本言語として用いられ、この共通言語を通じて数学の諸結果が計算機科学に応用されている。

具体的な貢献について2つ述べたい。まず、計算機システムの種々の分岐に対応するクライスリ圏において、その終余代数が集合と関数の圏の始代数と一致することを示し、これに基づいてシステムの「軌跡意味論の一般理論」を構築した。この一般理論から導かれる模倣関係の定義とその健

全性定理は、汎用的な形式検証手法として結実している。また2つ目の貢献として、大きなシステムを小さなサブシステム(コンポーネント)の組み合わせとして設計する際に現れる「高次元代数構造」の研究がある。主要な結果として、システム全体のふるまいをコンポーネントそれぞれのふるまいから「代数的に」計算することができるという、要素還元性の一般定理を圏論的代数・余代数の枠組みで証明した。これは、ソフトウェア工学における「コンポーネント指向設計」の基礎をなす結果である。

これらの貢献は、指導教員の先生方・共著者をはじめとする共同研究者の方々・事務的サポートをしてくださる方々・理解のある家族、みなさまのお力添えがあって初めて可能であったものである。これらの方々と、審査委員の先生方、またもちろん、このような機会を創設なされた藤原洋氏に、感謝の意を表したい。どうもありがとうございました。

## 藤原洋数理科学賞奨励賞を受賞して

平岡裕章

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所

このたび第1回藤原洋数理科学賞(奨励賞)を受賞させて頂きました。この賞は応用数学的な研究業績に対して、藤原洋氏(IRI)のご提案により数学会からの後援を受ける形で新設されたと同っています。賞の設立に関わられた全ての関係者の方々に感謝いたします。以下に簡単にではありますが、受賞タイトル「トポロジーと力学系理論の情報通信・生命科学等への応用」に関して、最近の研究業績の紹介をさせていただきます。

情報通信分野では符号理論に関する研究を主に進めています。ご存知の方も多いと思いますが、符号理論はこれまで数学と工学の双方の視点から深く研究が進められてきた分野です。数学的研究としては、符号化に関わる代数的符号理論の立場から主に研究が進められており、群論・組合せ論・代数幾何など様々な分野と関係を持ちながら発展しています。一方工学的な研究としては近年確率的な復号法が注目されており、それをもとにシャノン限界と呼ばれる理論極限を達成する誤り訂正符号が提案されています。私の興味は一言で述べると「確率的な復号法を代数的に調べる」ことです。ここでいう確率的な復号法とは最尤推定復号を指します。この最尤推定復号は復号誤り確率を最小にする復号法なのですが(そのまま計

算すると)計算量が符号長に関して指数的に増大します。よって最尤推定復号を低計算・高精度に近似することは実用的な高性能誤り訂正符号を開発する上で非常に重要になってきます。

この研究では(1)最尤推定復号を有理写像として定式化し,(2)有理写像力学系の構造(不動点やその安定性)を調べ,(3)その情報から近似有理写像を導き近似最尤推定復号を提案し,(4)その近似最尤推定復号に最適な符号化を代数的に定式化する,というものです。特にこの有理写像の中に符号/復号の双対構造が含まれていることに気づいたことが大きな契機となり,符号化における代数的な性質や手法が最尤推定復号の研究に応用できることになりました。最近では不変式論を用いた最尤推定復号の特徴付け,可換環論的手法を用いた近似最尤推定復号の具体的構成法などを調べています。

生命科学関係では,トポロジカルな手法をタンパク質の構造解析へ応用することに興味があります。タンパク質は生命活動を営む上で必須の物質であり,細胞内で繰り広げられている様々な働きはタンパク質を基本ユニットとして展開されています。特にタンパク質の立体構造とその働きの関係を調べることは生命科学の大切なテーマの一つであり,立体構造に関してはX線結晶解析を用いて巨大なデータベースが構築され一般公開されています(例えばProtein Data Bank)。一方で近年の計算・応用トポロジーの発展により,単体複体や方体複体のホモロジー群やパーシステントホモロジー群(位相空間のフィルトレーション内でホモロジー群の生成元の生成/消滅を代数的に取り扱う道具)の高速アルゴリズムが開発されました。これによりタンパク質の立体構造をトポロジカルな視点から調べることが可能になります。私が最近興味を持っていることは,タンパク質の物性と立体構造の関係を,データベースに蓄えられているデータにトポロジカルな解析を行うことで明らかにすることです。具体的には圧縮率と呼ばれるタンパク質の柔らかさを測る物性値と相関を持つデータ解析手法を,パーシステントホモロジー群を用いて開発しました。

もちろんここで紹介させて頂いた研究は多くの方々のご指導やご協力に支えられています。まずはじめに,数学の楽しさと厳しさを教えて頂いた小川知之先生,児玉裕治先生,瀧川信正先生,Robert Ghristさんに感謝いたします。また日頃から数学の様々な可能性について議論してくださっている荒井迅さん,泉俊輔さん,国府寛司先生,林和則さん,原晋介先生に感謝いたします。