

# 荒木不二洋先生のフンボルト研究賞 受賞に寄せて

東京大学・河東泰之

荒木不二洋先生がドイツのフンボルト財団から、2007年6月にフンボルト研究賞を受賞された。フンボルト研究賞は、毎年全学術分野から100人までの受賞者が選ばれるもので、受賞者は、副賞の6万ユーロでドイツの研究機関で1年までの期間研究を行うことができる。荒木先生の滞在先はゲッチンゲン大学物理学科である。フンボルト財団の分類では物理学部門での受賞になっているが、対象の業績は作用素環論を用いた数理物理学の研究で、数学的な内容が大きな部分を占めているため、この「数学通信」で記事を書かせていただくことになった。荒木先生の国際的な受賞は、1990年のUAP学術賞、2003年の国際数理物理連合からのアンリ・ポアンカレ賞に続くもので、たいへん喜ばしいことである。

荒木先生の論文は多数にわたるが、あえて分類すれば主要な研究テーマは場の量子論の基礎、量子統計力学、作用素環の構造解析であろう。このうち前二者は物理学の基礎的な問題を高度の数学を用いて研究するものであり、そのための道具として作用素環論を用いる。その研究から発展して、作用素環論の純粋に数学的な側面にも多くの貢献があり、これが第三のテーマである。以下この文では、場の量子論の基礎、作用素環の構造解析、量子統計力学の順に説明する。

1960年代に荒木先生は公理的場の量子論の研究を始められ、次々と基本的な結果を挙げられた。これらについてまとめた1962年のZürichでの講義録は非常に大きな影響を与えたものとして有名である。その後、当時成立しつつあった、代数的場の量子論の基礎付けにかかわることになる。

場の量子論に対する数学的アプローチでは多くの場合、Wightman場と呼ばれる作用素値超関数を用いる。これに対し、代数的場の量子論では、局所観測可能量に対応する自己共役作用素たちの生成する、有界線形作用素のなす環を基本的な対象とする。これによって非有界作用素や「超」関数から生じるさまざまな技術的困難を避けることができ、また系の内在的な構造を調べやすくなることが特徴である。この枠組みでは、相対論的場の量子論は、時空領域でパラメトライズされた作用素環の族で記述される。この方式は現在ではAraki-Haag-Kastler formulationと呼ばれることも多い。

荒木先生は、この分野の当初からかわり、さまざまな基本的な成果を挙げられた。1964年には自由場の量子論から生じる von Neumann 環とその可換子環についての、荒木双対性と呼ばれているものを確立した。von Neumann 環とは、Hilbert 空間の上の有界線形作用のなす環で、共役演算と、作用素の弱収束位相で閉じているものである。(ノルム位相で閉じているものが  $C^*$ -環である。) その中で中心が自明なものが基本的な対象であり、因子環 (factor) と呼ぶ。これは閉じた両側イデアルが自明なものしかないという意味で、単純 von Neumann 環を考えることと同じである。Murray と von Neumann は、作用素環論の初期に、von Neumann 環を I 型, II 型, III 型の 3 つに分類したが、I 型, II 型のわかりやすさに比べ III 型は「その他の奇妙なもの」という扱いに近く、長い間、例が確かに存在すること以外にはあまりよくわからないという状態が続いていた。その中で荒木先生は 1964 年に、代数的場の量子論に出てくる von Neumann 環は必然的に III 型であることを示し、この分野に大きな衝撃を与えたのである。このことが、現在まで続く、数理物理学と von Neumann 環の構造論の深い関係のおおもとになっている。

このように代数的場の量子論の発展から、III 型 von Neumann 環の研究が重要なテーマになってきたのだが、数学的な進展は当初遅いままであった。そのような中で、Powers が 1967 年に互いに異なる III 型因子環を連続濃度作って見せ、現代につながる革命的な進展が始まった。Powers の方法は行列環の無限テンソル積によるものであった。荒木先生は Woods と共にこれを一般化した行列環の無限テンソル積の一般論を確立し、現在荒木-Woods 因子環と呼ばれているものを構成してさらに漸近比集合と呼ばれる分類のための不変量を導入した。今日では、代数的場の量子論においてもっとも自然に現れる作用素環は荒木-Woods 因子環であることがわかっている。この後、富田-竹崎理論の進展とともに、von Neumann 環の標準形と正錐、非可換積分論、相対モジュラー作用素など、III 型 von Neumann 環の構造についての基本的な仕事が多くある。この直後に現れる Connes の作用素環論における革命的な仕事の出発点は、荒木-Woods 不変量を一般化した von Neumann 環の不変量を導入したことであった。

MathSciNet を見ると荒木先生のこれらの論文は現在もよく引用されていることがわかる。MathSciNet では 1990 年代半ば以降の引用しか数えていないにもかかわらず、これらの論文の多数に渡る引用が見られるのはすばらしいことである。

もう一つのテーマ、量子統計力学が、現在まで一番長く研究されている大きな研究題目である。

荒木先生はまず 1963 年に上述の Woods と共に、ある種の Bose 気体の記述に関連して正準交換関係の表現を研究した。これも現在にまで至る影響力の大きい仕事である。またさまざまな格子系の統計力学を、作用素環の技法を用いて研究された。また、平衡状態を、KMS (Kubo-Martin-Schwinger) 条件と

呼ばれる正則関数の延長についての条件で特徴付けることが提案されていたが、この KMS 条件と変分原理の等価性を格子系に対して証明して正当化を与えられている。このほかに、各種のエントロピー不等式、相対モジュラー作用素による相対エントロピーの導入も基本的な結果であり、近年発展の著しい量子情報理論でも、主要な道具として工学系の文献も含めてよく用いられているものである。

Haag-Kastler-竹崎との共著による化学ポテンシャルの論文も著名で影響力の大きいものである。この論文では、化学ポテンシャルを、作用素環の自己同型群と、KMS 状態の延長の枠組みでとらえている。

荒木先生は上記の研究上の業績のほか、学会におけるさまざまな委員を務められ、この方面でも国際的に絶大な貢献がある。ICM-82 ではフィールズ賞選考委員を務められ、また若いころから多くの研究集会を組織され、特に京都の ICM-90 では general secretary として大きな役割を果たされた。現在では大きな組織に成長している国際数理物理学連合 (International Association of Mathematical Physics) には 1976 年の創設からかわり、会長も務められていたことがある。また Communications in Mathematical Physics をはじめとする多くのジャーナルのエディターも長年にわたって務められた。Reviews in Mathematical Physics は荒木先生の創刊されたものである。また、Publications of the Research Institute for Mathematical Sciences が作用素環論の国際的な主要ジャーナルの一つとして広く認知されているのは、荒木先生の著者、エディターとしての活躍によるものである。

さらに一般向けの啓蒙的文章も多数書かれており、個人的なことになってしまうが、私が作用素環論を専門に選んだ理由の一つは、荒木先生が「数学セミナー」などに書かれた記事を通じて、作用素環論という分野の存在を大学入学前から知っていたからである。

日本の作用素環論では、境正一郎、竹崎正道両先生が長期にわたりアメリカを本拠地とされていた間、荒木先生は京都大学数理解析研究所にずっと勤められ、この分野の発展に大きな影響を与えられた。今日その影響力が実を結んで若手研究者が大きく増えていることは目覚しく喜ばしいことである。

フンボルト研究賞の授賞基準には、古い業績だけではなく、最近 5 年間の業績、現在の研究内容、将来の研究の進展への期待も含まれている。75 歳の現在も研究を続けられ、世界各地で活躍していらっしゃる荒木先生にふさわしい授賞と言えらるであろう。荒木先生は、長年にわたり数理物理学という分野を確立させてきた中心人物の一人である。これからもさらに活躍を続けられていくことを願って筆をおかせていただく。