

赤平昌文先生の平成25年度文部科学大臣表彰 科学技術賞受賞に寄せて

筑波大学数理物質系

青嶋 誠

赤平昌文先生（筑波大学特命教授・名誉教授）が、平成25年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）を受賞されました。心からお慶び申し上げます。赤平先生は、2004年に日本数学会解析学賞を、2007年に日本統計学会賞を受賞されています。赤平先生のこれまでの御功績について、私が存じ上げる範囲で概略を述べたいと思います。

赤平先生の多くの研究業績において、最も顕著なものは、統計的漸近理論と統計的非正則推定論に関する御研究です。数理統計学の分野において、1970年代後半に、統計的漸近理論の新たな展開が始まりました。赤平先生は、パイオニアとして竹内啓先生と共に国際的に重要な役割を担われ、この分野を牽引されました。特に、統計的推測の高次漸近理論の構築に当たっては、J. Pfanzagl（ケルン大学）らのグループ、J. K. Ghosh（インド統計研究所）らのグループと、熾烈な研究競争を繰り広げられ、その後の数理統計学の発展に多大な貢献をもたらされました。また、高次漸近理論の応用分野の1つである計量経済学のT. J. Rothenberg（カリフォルニア大学）、P. C. B. Phillips（イェール大学）らと交流される一方、赤平先生は1970年代から非正則推定論の研究も開始されました。当時、非正則推定論は実際問題に余り役に立たないと思われる風潮があったと聞きます。現在において、経済学や環境科学等の分野で注目されていることを考えると、赤平先生の先見の明に、ただただ驚かされます。実際、2000年のノーベル経済学賞受賞者のD. L. McFadden（カリフォルニア大学）らの論文を読むと、赤平先生の御研究が、要所に引用されています。

少し長くなりますが、赤平先生の御研究を、数理統計学者の立場から説明したいと思います。“高次漸近理論の構築”と“非正則推定論の確立”という2つのテーマでお話しします。

漸近理論について、推計統計学の確立者として知られるR. A. Fisher (1925) は、情報量損失の観点から漸近有効推定量という概念を導入しました。標本数 n を無限に大きくしたとき、単位標本当りの推定量の情報量が単位標本の情報量に収束するような、望ましい推定量のことです。Fisher は、最尤推定量が漸近有効推定量になることを示しました。実は、他にも、最小2乗推定量や最小カイ2乗推定量など多くの推定量が（未知母数に関する分布の滑らかさ等の正則条件の下で）漸近有効性をもたらします。Fisher は、「最尤推定量以外の漸近有効推定量は、大きさ n の無作為標本の情報量と推定量の情報量の差が、 n を大き

くすると漸近的に大きくなる」と予想しました。実際、Fisher の弟子である C. R. Rao (1961) が、最尤推定量以外の漸近有効推定量について情報量損失の漸近的な値を求めました。一方で、漸近理論には、それを揺るがす超有効性が起こり得ることが知られるようになり、これを回避する方法として、R. R. Bahadur (1964) が推定量に漸近中央値不偏性の条件を導入しました。これがもととなり、1970 年代後半に Fisher - Rao 流の高次漸近有効性を見直そうという兆しが生まれました。赤平先生らは、高次の漸近中央値不偏性のクラスに推定量を制限し、高次漸近中央値不偏推定量の高次漸近分布の限界を（母数に関して一様に）達成する推定量を高次漸近有効推定量と定義しました。簡単に言えば、真の母数の周りでの高次の集中確率を最大にする推定量のことです。一般に、推定量は高次の漸近中央値不偏性をもちませんので、まずは推定量を補正する必要があります。実は、上記の Fisher の予想は、「最尤推定量は 3 次の漸近有効推定量である」と言い換えることができます。赤平先生らの主要結果は、次の 2 点です。（1）1 次漸近有効推定量は、2 次の漸近有効推定量である。従って、補正最尤推定量は 2 次の漸近有効推定量である。（2）補正最尤推定量と補正一般ベイズ推定量は 3 次の漸近有効推定量である。この（2）が、まさしく、Fisher 予想に対する肯定的解決です。「肯定的」と申し上げましたが、おそらく、Fisher 自身は「補正」の必要性に気が付いていなかっただろうと思います。J. K. Ghosh (1994) は、モノグラフ“Higher Order Asymptotics”の中で、「Fisher は予想が正しいと確信していたようだが、証明の概略すら与えていなかった」と述べ、赤平先生らの歴史的な功績を称えています。また、Ghosh は「3 次漸近有効推定量は 4 次の漸近有効推定量である」と予想し、その証明は非常に難解なものになるだろうと述べています。赤平先生は、Ghosh の予想を肯定的に解決することにも成功されています。赤平先生による Ghosh 予想の解決によって、正則な場合の高次漸近理論は、ほぼ完成されたと言えます。いまや高次漸近理論は、医薬学分野で頻出する 2 標本問題の推測や、計量経済学における同時方程式モデルの推定等に、応用されています。なお、高次漸近理論の詳細については、赤平先生ご執筆による論説（数学 58, 2006）をご参照下さい。

次に、非正則推定論についてお話しします。統計的推定論において、通常、母集団分布に正則条件（すなわち、分布の密度について滑らかさの条件）が仮定されています。もしも、母集団分布が正則条件を満たさない非正則な場合、通常理論は成立しないことが多く、得られる結果も正則な場合と著しく異なることが少なくありません。赤平先生らは、分布の密度の台が母数に依存するような非正則な場合を考え、小標本に基づく不偏推定量の分散の下界を与えて、下界の達成可能性について研究成果をあげられました。さらに、大標本に基づく推定量の一致性について、収束のオーダーと限界を求め、正則な場合とは

異なる興味深い結果を発表されました。また、赤平先生は、非正則な場合にも適用可能な一般化情報量を導入し、極値統計量と漸近補助統計量の組からなる統計量について、2次の漸近情報量損失を起こさないこと、つまり、2次漸近十分であることを示されました。さらに、Fisher 情報量が無限大に発散する場合に、推定量の局所最小分散不偏性について、正則な場合とは異なる深遠な結果をもたらされました。

赤平先生らの御研究は、その後、情報幾何へと著しい発展を遂げました。甘利俊一先生らの高次漸近理論の微分幾何学的アプローチにも、強い影響を与えるものになったと考えられます。統計的推測の微分幾何に本格的に取り組んだのは、Rao (1945)です。Fisher 情報行列をリーマン計量とする統計分布のリーマン幾何学が論じられ、平均と分散を母数とする正規分布の空間の測地距離が計算されました。幾何学の統計学的意味を明らかにしたのは、B. Efron (1975)です。曲率の統計的意義、特に、情報量損失や推定誤差の2次の項に曲率が重要な役割を果たすことが指摘されました。この頃に、赤平先生らによって、先で述べた集中確率に基づく高次漸近理論の構築があったのです。まさしく機が熟し、甘利先生によって、曲指数型分布族における推定問題に、曲率に加え接続の概念も用いて美しい幾何学的構造を導入できることが示されました。すなわち、標本空間と自然母数空間がともに指数型分布族という多様体の座標空間になり、曲指数型分布族 M はその中で滑らかな曲面として実現されていること、そして、推定方式がモデル M の補空間を構成する曲面として捉えられること等です (公文 (1981))。結果的には、赤平先生らの御研究が純粋数学に与えた影響も大きいのではないのでしょうか。世界的に著名な英国の統計学者 D. R. Cox 卿は、2003 年に World Scientific から出版された赤平先生と竹内先生の共著論文集に序文を寄せて、一連の成果を重要かつ顕著な業績として称賛しています。赤平先生らの独創的な御研究によって、日本は統計的推測の世界的拠点の1つに成長したこと、そして、多くの優れた若手研究者の輩出に繋がったことが、高く評価されています。

ここまでは、赤平先生の研究面での御功績をお話ししてきました。最後に、人材育成、管理・運営、社会貢献の面から、赤平先生の御功績をお話ししたいと思います。

赤平先生は、人材育成においても大変に熱心で、各方面への影響力は、計り知れません。赤平先生が、まだ現役で学生を指導されていた当時、赤平研究室の人気は絶大なもので、ゼミの様子は、まるで「道場」のようだと評されていました。赤平先生は常々「人の個性を伸ばすことが第一」と仰っていました。赤平先生は、研究代表者として、毎年のように科学研究費補助金基盤研究 (A) による科研費シンポジウムと京都大学数理解析研究所 RIMS 共同による研究会を開催され、後進を育てられました。赤平先生は、筑波大学において、数理物質科学研究科長を2年間、その直後から本年3月までの4年間を研究担当の

理事・副学長として従事され、管理・運営、社会貢献において、その手腕を十分に発揮されました。筑波研究学園都市に集結する物質・材料研究機構、産業技術総合研究所、宇宙航空研究開発機構をはじめとする多くの研究機関と、教育・研究に関する連携を積極的に進められ、筑波大学を国際的な研究大学に育てるべく御尽力されました。また、旧7帝大、早大、慶大、東工大、筑波大で構成されるRU11（学術研究懇談会）では、他大学の研究担当理事・副学長と協力して、科学研究費の基金化、URA（リサーチ・アドミニストレータ）制度、競争的資金等の間接経費の増額、規制緩和、世界大学ランキングの評価法の改善等の要求に、まさしく奮闘されました。さらに、忘れてはならないのが、東日本大震災で、筑波大学が加速器をはじめとする研究設備・施設に約50億円規模の被害を受けたときのことです。赤平先生は、それらの復旧と、原発事故に伴う放射能汚染に深刻な不安を抱える人々への情報提供等に、大変な御尽力をされました。このように、人材育成、管理・運営、社会貢献の面において、国の制度に関わるところにまで、赤平先生は大変な御活躍をされていたことを追記します。

赤平先生の御功績は、教育・研究に留まらず、管理・運営や社会貢献にまで及び、そのどれをとっても、超一流とよぶに相応しいものです。そのスケールの大きさたるや、まさしく、偉人のお一人と言えるのではないのでしょうか。赤平先生は、今回の受賞を機に本格的に研究に戻られているようです。さらに御活躍されますこと、そして、これからも存分に影響力を発揮されますことを、心から願っております。