吉田朋広氏の令和８年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞受賞に寄せて

東京大学大学院数理科学研究科
増田　弘毅

このたびの吉田朋広氏のご受賞，心よりお慶び申し上げます．吉田氏はキャリア初期から「複雑従属性データの統計学」を主たる研究対象とし，強固な基礎数理を提供してこられました．研究対象は統計学と確率論の双方にまたがり，基礎理論の高度な昇華から斬新な方法論の提案に至るまで多岐にわたります．特に確率過程モデルの統計推測において数々の新たな理論的枠組みを構築し，後続研究の道を鮮やかに切り拓いてこられた功績は絶大です．「後続研究の展開」という点が極めて重要であり，この意味で，業績名「理論統計学の基礎数理の研究」は「従属性データの統計学について多方面で後続研究の基礎を築いた業績」と解釈できます．筆者自身もまた，吉田氏の研究成果の恩恵を享受してきた一人であり，今回このような立場から寄稿できることを大変嬉しく思っています．

さて，理論統計学のコアの一つは，統計量（データの関数）の分布の近似とそれに付随する種々の極限定理にあります．吉田氏の主たる貢献はまさにこれらに深く根ざすものであり，推測から予測に至る性質を包括的に導く「擬似尤度解析 (Quasi-Likelihood Analysis: QLA)」の確立と展開，エルゴード的および非エルゴード的過程における「高次漸近展開」の創出，ならびにそれらに付随する応用研究をその骨子としています．「分布の近似」と聞くと一見地味なテーマに思われるかもしれませんが，それだけに，真に新規的で意味のある定理を形にすることは容易ではなく，既存の手法の置き換えや組み合わせといった付け焼き刃で成し得るものでは到底ありません．統計学における最尤推定法，より広くは M-推定法，そして統計量の分布の高次近似の枠組みが金字塔となってから長い年月が経ちましたが，それらは今なお統計的思考の基本であり続けています．この意味においても吉田氏の業績は，複雑従属性データを簡明に扱うための理論体系を一段と深化させたと言えます．

理論統計学における多くの解析手法は，統計量の誤差分布に対する正規近似（中心極限定理）を根拠として定式化されています．QLA はその名の通り尤度解析を模した理論ですが，「擬似尤度」という名称は一意な定義があるわけではなく，尤度関数をはじめ，最適化対象となる様々なランダム関数に対して用いられてきました．複雑なモデルでは厳密な尤度関数を扱うことが困難な場面が多く，そうした場合には何らかの合理的な近似に基づく計算可能な「代用品」を提案することが求められます．吉田氏の QLA によって，滑らかな統計モデルにおける最尤型推定量やベイズ型推定量の L^p 評価を含む漸近理論，さらには情

報量規準の理論的正当化が実質ルーティン化され，従属性データに対する現代統計学の裾野が大きく広がりました．正規近似に基づく枠組みとしては，ほぼ完成形と言ってよいのではないでしょうか．また，統計学における漸近展開は，正規近似を超えた精密な公式を提供するのみならず，推定量の高次漸近有効性，統計的予測，ブートストラップ法，情報幾何など広範な領域の理論的基礎を与えます．吉田氏の漸近展開公式は古典的な Edgeworth 展開の拡張にとどまらず，非エルゴード的な汎関数まで対象とできる体系を創り上げました．

広範な従属性データに統一的に適用可能な理論は魅力的ですが，それを妥協なく研磨・昇華させることは容易ではありません．とりわけ QLA は古典的な尤度解析と M-推定法の枠組みを高水準でバランスよく記述する手立てを与えており，これまで多くの研究者が手を焼き断念してきた理想形を見事な塩梅で具現化させています．正則条件は洗練されて検証しやすい巧い形で与えられており，その一方で証明には度外れた高度なツールを必要としません．実際，解析学・確率論の基礎知識があれば十分に追うことができます．吉田氏の QLA は 2006 年に統計数理研究所の Research Memorandum として公開され，その後学術誌で出版されたのは 2011 年のことでした．技術的な詳細が 1990 年代初頭の論文ですでに窺えることも鑑みますと，結果的に QLA の構想は，時の試練を経て確固たる定理として結実したのではないかと拝察します．かく言う筆者自身も，特に微分不可能なケース（絶対最小偏差型・ラプラス型）の QLA を考察する際に同氏の理論に大いに助けられました．確率過程に限らず幅広い統計モデルに適用可能な QLA は今後益々注目され，漸近推測におけるひとつの標準になって行くと思われます．

独立確率変数の和に関する漸近展開の理論体系は 1970 年代に築かれ，1980 年代初頭以降，時系列解析の発展に伴い独立性の仮定を外す拡張が進められてきました．さらに 1970〜80 年代におけるマルチンゲールを軸とする確率過程論の進化は，マルチンゲールに対する漸近展開という課題を浮き彫りにしましたが，吉田氏は 1997 年にその基礎的な結果を出版されています．エルゴード的な確率過程の汎関数については，ミキシング速度に依拠して漸近展開を与えることが可能です．吉田氏は 1990 年代から 2000 年代初頭へかけて，Malliavin 解析を用いてこれを厳密に正当化し，確率過程における高次統計推測論の地盤固めを一気に推進されました．この理論体系も抽象度が極めて高い一方で，主定理が示す高次展開の意味するところは至ってシンプルです．なお，マルチンゲールとミキシング過程の漸近展開は，証明の拠り所とする確率構造が根本的に異なるため，一概にどちらが優れていると言えるものではありません．同氏ご自身におかれてもそれらを双璧という形で捉えておられると思います．

2000 年代半ば以降，確率論では 4 次モーメント定理をはじめとする Malliavin 解析を用いた極限定理の研究が脚光を浴びることになりますが，先述した通り，吉田氏はそれに先立つ 1990 年代初頭にはすでに漸近展開と Malliavin 解析を結びつけて統計推測論へ導入さ

れていました．さらに 2010 年以降の吉田氏の一連の研究により，混合正規極限を持つマルチンゲール列の漸近展開という，長年未踏の難問に大きな突破口が開かれました．混合正規極限は非エルゴード的統計において自然に現れます．導出された展開公式は特有の成分を含んでおり，それが古典的枠組みとの本質的な差異を明瞭に示しています．この偉業の背景には，1990 年代以降に金融高頻度データ等の解析が進むにつれ，極限において非エルゴード的統計が再び注目を集めたことにも動機があったと想像します．

もうずいぶん前のことになりますが，吉田氏が，モーメント条件，Malliavin 解析による正則性，そしてミキシング速度という「3 つの “M” 条件」によって漸近展開の正当性が導かれる，と鮮やかに説明されていたことが今でも印象に残っています．加えて筆者が記憶しているのが，「その昔，とある研究集会で Malliavin 解析と長期記憶過程モデルに興味を抱いた」とおっしゃっていたことです．両者が協奏する論文は，「Partial mixing and Edgeworth expansion」というタイトルで 2004 年に出版されました．筆者が博士課程の院生だった頃，その前身となる長大なドラフトを拝見した記憶があり，上述した「3 つの “M” 条件」はそこにもすでに現れていました．それからもう四半世紀，時の流れの早さを感じます．

さて，吉田氏は近年においても，スパース推定（LASSO 等）やディープラーニングを含む不活性パラメータを持つモデルの漸近挙動の解明，因果推論，バンディット問題，非正則モデルへの理論開拓など，国内外で益々精力的に研究を展開されている他，確率過程のシミュレーション・統計解析のための R パッケージ開発プロジェクト「YUIMA Project」を主導し，漸近展開を用いた超高速期待値計算モジュール等の実装にも携わっておられます（当該プロジェクトに多くの若手研究者が参画している点は極めて重要）．様々な実問題の解決に向けた統計モデリングにも注力し，実データと向き合い試行錯誤されているお姿は，不出来だった筆者の院生時代には想像もつかないものでした．数理統計学の主役は，目的に沿って構築された仮想モデルたちです．データ解析においても，数学に立脚しつつ不確実性をどう扱うか，現実的な「落としどころ」となるモデルをあれこれ模索するわけですが，そこには完全解が存在しないからこその面白さと奥深さがあります．吉田氏がこれから先，どのような統計モデルを創り出し続けていかれるのか，楽しみでなりません．

以上，かなり部分的ではありますが，誤解を恐れず，筆者なりに吉田氏の業績を概観してみました．確率過程の統計推測における困難を身をもって知る者として，あらためて感嘆の意を表します．同氏が確率過程の統計学における第一人者であることは，論を俟たないところです．世界的にも稀な統計学者であると言えるこころは，難解でハードコアな解析に立脚しつつ，例えば Hayashi-Yoshida 推定量に代表される取っ付きやすい方法論の開拓も行い，しかもその双軸において卓越した実績を誇る点にあります．

最近の普段の何気ない会話でも常にユーモアを欠かさず，笑いとオチを織り交ぜるお姿はご健在どころか，以前にも増して拍車が掛かっておられるご様子です．約 30 年にわたり

教鞭を執られた東京大学をご退職された現在,「複雑従属性データの統計学」という分野がこの先向かう場所，また向かうべき場所を吉田氏がどのように見据えておられるのか，興味は尽きません.

吉田氏の今後のさらなるご発展を確信いたしますとともに，益々のご健勝とご活躍を心よりお祈り申し上げます.