

恩師 福原満州雄 先生

菊池 紀夫, 栗原 光信, 河野 實彦

微分方程式の研究は物理学を始めとする自然科学や社会科学における研究とともに進展している。その研究においては代数系や位相・測度の基礎概念だけでなく、解析学の基礎知識に加え膨大な形式的計算を必要とすることがある。福原先生は学生時代から数学以外の分野の知識も出来るだけ多く摂取することを心掛けられていたようで、数学科の授業の他に他学科の授業も多く聴講されていたと聞いている。30歳前の若い頃から、解析学の1分野として微分方程式研究の深い構想を抱いておられたように見受けられる。1934年に数学全般を網羅した岩波講座が出版されたが、そこで分担執筆された常微分方程式論の文章中にもその構想が推察される。研究は出来るだけ広い範囲を展望しながら、欠けている領域を1つ1つ埋めて行くことが望ましいと諭されていたことがある。従って、それまでに確立されている一般論に含まれない微分方程式について、独創的な手法で解明して行くような研究が好ましいというお考えであった。また、微分方程式の標準形への簡約等を含めた形式的な計算にある種の美的感覚をお持ちのようで、独特な工夫を加えながら、形式的な計算を処理するアルゴリズムを構成されていた。1960年代にコンピュータが大学等に普及してきたとき、いち早く数式処理技法に関心を示され、その活用を門下生と検討されていた。解析学上の1つの理論を完成させる場合でも出来るだけ位相の入らない代数的な考察のみで理論展開を遂行し、最終段階で解析的な意味を付加するという理論構成を採用されていることが多い。先生の研究対象は微分方程式の分野に限らず、不動点定理を始めとする位相の分野や、摂動論等近似理論への応用を目論みおられたらしい束論の分野等の広範な領域にまで及んでいる。

最初の論文は先生が学生時代に指導教官の吉江琢児から勧められて発表された、初期値問題の解の一意性が保障されていない単独常微分方程式の最大解と最小解の存在に関する結果であった。この最初の成果はKneser - 南雲の定理に関連して連立方程式の場合に拡張され、Kneser 族と呼ばれる曲線族の研究へと深められた。さらに後年の1960年代半ばになって、Contingent Equation と呼ばれる、集合をベクトル場としてもつ微分方程式の場合に拡張されたが、この理論が当時工学分野で大きな研究課題となっていた Pontryagin の最適制御理論等に1つの数学的意味を与えることが判明した。

基本定理と呼ばれる微分方程式の各種の存在定理を、微分方程式の解析的および定性的研究の色々な場面で活用することが、先生の得意とされる手法である。先生が25歳の頃、数物会誌に日本語で常微分方程式の基本定理・・・という題名の解説論文を書かれている。

そこでは存在定理だけでなく、比較定理や一意性条件等の基礎理論の統一的な取り扱いを試みられている。これらの存在定理は、不確定特異点の近くにおける局所解の研究に威力を発揮する。不確定特異点の近くで形式解は一般に発散する。発散するから無意味なものとして捨てられていた級数を漸近級数の概念を導入して死灰の中から蘇らせたのは H. Poincaré であるが、先生は一般の線形系に対して形式解を導出するアルゴリズムを開発され、形式解を漸近展開とする漸近級数の有効な角領域を最終的に決定された。九州大学に在職中の 35 歳の頃のことである。一方、それに先立って北海道大学に在職中の 28 歳の頃、大阪大学の南雲道夫により命名された福原の境界値問題に関する存在定理を巧妙に駆使して、解の漸近的挙動に関する研究成果を得られている。福原の境界値問題とは連立方程式の解の成分毎に、一般には異なる点で初期値を与えて解を求める形の問題である。ある成分に対して無限遠点に初期値を設定して解を積分することによって、福原の問題の存在定理を適用して解の漸近的性質等を導出するのである。この期間即ち 1930 年代の後半から 1940 年代の前半にかけては世界大戦の混乱もあり、情報伝達が必ずしも円滑でなく、論文が北海道や九州の雑誌に掲載された事情もあり、この時期の研究成果が海外に伝達されたのは戦後になってからであると言われている。

全国に点在している同じ専門の研究者と円滑な共同研究体制を構築するために、若年のときから苦心をされたようで、函数方程式という名前の邦文雑誌やエスペラント語の Funkcialaj Ekvacioj という名前の欧文雑誌の発刊に尽力された。特に後者は現在も神戸大学から発行されていて、国内外の研究者が投稿する微分方程式の分野の専門誌になっている。E-mail や Mailing List のような便利な手段がない時代の話であるが、紙上談話会というような形で研究交流を促進された。研究は出来るだけ協力して遂行するものというお考えのもとに、完成された論文だけでなくアイデアの段階から互いに交流して結果を磨き上げて行くことを理想と考えられていたようである。因みに、先生の大部分の論文はフランス語で書かれているが、一部は日本語と英語で書かれ、エスペラント語で書かれている論文も数編ある。専門外の日本語表現や国語教育の分野にも関心を持っておられて、その方面の著書等も出版されている。

先生の研究において存在定理の証明には、一部で Cauchy の折れ線や逐次近似法が利用されたこともあるが、多くの場合に不動点定理が利用されている。形式解を有限項で打ち切った近似解の誤差評価も兼ね、関数空間内の部分集合で定義された写像に関する写像度の概念や不動点定理が適用されている。基本的には局所凸な線形位相空間における Schauder-Tychonoff 型の不動点定理に相当するのだが、有限次元空間における Brouwer の不動点定理を先生は独自に無限次元空間に拡張し、利用し易い形に変形して適用されている。さらに不動点定理を点対コンパクト凸集合の上半連続写像の場合に拡張し、写像度の概

念も定義されて前述の Contingent Equation に対し適用されている。イタリアのピザで招待講演をされたとき、微分方程式の解の性質に関する研究に不動点定理を活用された最初の研究者であると紹介されたと話しておられた。積分方程式論の Riesz の理論を利用する場合でも、ベクトル空間と線形写像の代数的な概念だけを用いて出来るだけ理論展開をした後で、最終段階で Banach 空間の位相の導入を行う形で理論を再構築されている。最終的に門下生の渋谷泰隆との共著で Fréchet 空間の場合に拡張され、一方でモジュラ束の自己準同型の場合に Jordan 標準形に相当する結果が導かれることを証明されている。

複素領域上の微分方程式を考察する場合に、必然的に特異点の近くの解の挙動が問題となってくる。非線形方程式を対象にすると、先ず積分定数の変化に対して不動な特異点が重要となる。未知関数の導関数が未知関数と独立変数の有理関数で表される非線形微分方程式について、代数的特異点以外に不動特異点が存在しないという Painlevé の定理を出発点として、不動特異点における形式解の一般的な構成や、特異点の近傍における解の多価性や挙動に関し研究された。これらの成果は門下生の木村俊房と松田千鶴子との共著で日本数学会から単行本で出版されている。また門下生の岩野正宏と共に、非線形方程式の形式解の漸近展開や、摂動問題の助変数を含む微分方程式の問題等について研究を広げられている。これらの結果は積分方程式の Riesz の理論と共に J. Leray にも理解されていたと聞き及ぶ。

上記の孤立特異点に係わる局所解だけでなく、特異点の近傍における解と別の特異点の近傍における解の関係を解明する接続問題にも研究の手を広げられている。この接続問題は門下生の大久保謙二郎が独自に研究を行っていて、W. Wasow によって大久保の問題と命名されていた。大久保理論とはやや異なる Laplace 変換を利用する方法で、1つの確定特異点と1つの不確定特異点を持つ線形方程式の大域解を求められている。

2階単独常微分方程式の2点境界値問題に対し、南雲道夫の結果と証明法をさらに発展させ、微分方程式の Kneser の性質を一般化した Kneser 族の概念を導入されて、大域的幾何学的な定式化をされた。これは岩野正宏による Prandtl の境界層の特異境界値問題に関して展開された結果の幾何学的取り扱いを可能にした。さらに、放物型偏微分方程式の初期・境界値問題に言及されており、手法は時間後退差分・Rothe 型の近似法であるが、この取り扱いも先生が独自に開発されたようである。空間変数1変数で解説されているが、コンパクト性を近似解である2点境界値問題の解の評価に求め、完全な非線形の問題にも適用出来る微分方程式研究に相応しい結果である。この解法を連立方程式の場合や福原の問題も含むもっと一般的な境界値問題に拡張することを意図されていたようである。また空間2変数の双曲型偏微分方程式の Riemann 問題に関する取り扱いもあり、自然な拡張として問題提起をされている。

1963年に設立された京都大学数理解析研究所の初代所長として、同研究所の創立に従

事されていたが、併任されていた東京大学を60歳で定年退官された先生は、京都大学教授に専念されることになった。同研究所は学会議の設立決議等で数学以外の理学分野や工学分野の研究者の協力によって設立に成功したと先生から伺ったことがある。従って、研究所の研究組織は基礎数理と応用数理が並立し、計算機部門が付置されていて、当時の数学専攻研究所としては応用分野を重視する体制であった。この点についても初代所長のお考えが反映されていたように思われる。筆者等3名が大学院終了後のある時期の2年間数理解析研究所で先生が出席するセミナーを毎週行う機会に恵まれた。セミナーの時間中先生は殆ど寡黙で通されることが多く、お叱りがある場合は他日先輩の門下生を経由して伝達された。当方から先生に質問を発すれば返答は帰って来るのだが、それは短く強烈な印象を残すことが多かった。年齢を重ねられるに従い寡黙から多弁へと変わられてきて、晩年に色々なお話を伺えるようになった。70歳を超えても論文を書き続けられた旺盛な研究意欲と強健な体力で、研究内容は膨大で広範囲になっている。不肖な弟子である筆者等にとって、先生の全業績の中で理解し解説出来るものは少ない。

福原先生の論文選集が門下生の山中健が中心となった編集委員会によって1997年に共立出版から出版され、多くの数学教室に寄贈された。そこには先生ご自身によって精選された25編の論文等が掲載されている。これらを含めて128編の論文等が出版されているが、それら全ての論文の写しや著書等が、神戸大学理学部数学科図書室・図書閲覧室に収められ閲覧に供されていて、さらに先生から同大学に寄贈された蔵書の約400冊も福原文庫の形で同図書室に所蔵されていると聞いている。