

三浦達彦氏の第37回（2020年度）井上研究奨励賞受賞によせて

東京大学特任教授

儀我 美一

三浦達彦氏とは同氏の修士課程在学時以来の付き合いですが、その解析的な計算力にはいつも驚かされていました。もちろん着想力も優れていらっしゃると思いますが、その体力や集中力は抜きでていると思えました。あとでわかったのですが、大学の陸上部の長距離ランナーであったそうです。なるほどと思えました。博士論文は300ページに及ぶものでした。もちろん長いからよいというわけではありませんが、内容的にも非常にレベルの高いものであります。このたび受賞された井上研究奨励賞は、優れた博士論文の執筆者に授与されるものですので、同氏の博士論文が客観的にも評価されたことをうれしく思っております。

三浦達彦氏の博士論文は、自然科学や産業技術に普遍的に現れる薄膜領域や曲面上の偏微分方程式の数学解析についてであります。

細胞膜内を流れる液体の運動など薄膜内の現象の解明に、さまざまな微分方程式が用いられています。三浦達彦氏がその博士論文で一新した分野は「薄膜の厚さをゼロとしたときの解の極限の存在を示し、その満たす方程式の導出する」特異極限問題の解析です。これ自体は古典的なテーマであり、反応拡散方程式などスカラー場に関する方程式については30年以上前から研究されてきました。しかし、流速のような速度場といったベクトル場についての方程式については、計算が複雑になることもあり、ほとんど手がつけられていない状態でした。例えば、薄膜領域でのナビエ・ストークス方程式の厚さゼロの極限については、極限曲面が、平面か、球面の場合しか、数学解析はなされておりました。これに対して、三浦達彦氏は、その博士論文で極限曲面が、一般の曲面の場合に、解の厚さゼロに関する極限の存在と、それが満たす方程式を導出しました。これはナビエ・ストークス方程式についての一般曲面の場合の初めての結果でした。平面の場合を扱った力学系の大家George Sellらの結果や、流体数学の大家のRoger Temamらの球面の場合の結果を大きく発展させました。

三浦達彦氏のこの理論は、過去の理論の単なる拡張ではありません。曲面付近の面に沿っての共変微分は曲面の近くの曲面ではどのように変わっていくのか、また曲面上のベクトル場のラプラシアンが、どう変わっていくか等をわかりやすく記述するために、通常のリーマン幾何学のクリストッフェルシンボルを用いた表示ではなく、空

間の流通座標を用いて表現した点はいへん独創的でした。これは今後多くのところで用いられる重要な手法となると思われます。三浦達彦氏は、このような強力な手法を生み出しただけでなく、新しい現象をも見つけております。例えば、薄膜の表面での境界条件により極限方程式が大きく異なることを発見しました。球膜を扱った **Temam-Ziane** の論文では、**de Rham** 型の境界条件が課されていますが、ナビエ型の場合とは極限のナビエ・ストークス方程式が異なることも見出しています。

三浦達彦氏の博士論文は300ページにも及ぶ大部のもので、その約半分にあたる150ページは、このナビエ・ストークスの一般薄膜領域での厚さゼロの極限の存在や、極限の満たす方程式の導出に費やされていますが、その他の150ページも興味深い内容です。その中には動く薄膜上での熱方程式の特異極限問題も扱われています。熱方程式の場合は膜が動かなければ既に扱われていましたが、膜が動く場合は研究されておらず、スケーリングを用いる手法等の既知の手法では不十分でしたので新手法を確立する必要がありました。三浦達彦氏は空間の流通座標でさまざまな量を表現するなど巧みな解析で、この問題を解決されました。

三浦達彦氏のこのナビエ・ストークス方程式についての結果は、のちに3編の論文にまとめられました。形式的に薄膜極限の方程式を導くだけでも容易ではありませんが、それを方程式の解のレベルで実際に収束を示すことは、計算方法をよほど工夫しないとできません。また流体の方程式の場合はベクトル場を扱うので、例えば球面のように、キリングベクトル場が存在する場合かそうでない場合かによって扱いが異なってきます。そのようなことがありますので、この3部作は長く、第3部のナビエ・ストークス方程式の解への収束に関する論文は170ページ以上の大論文です。そこに至るまでの薄膜の厚さによらない評価の導出が第1部と第2部で行われていますが、それぞれ60ページ以上あります。このうち第1部以外は既に出版されています。これらはこの分野の基本的文献として長く後世に残るでしょう。ただ、出版するのにはなかなか苦勞されたようです。そもそも、長い論文を出版できるようなところはあまりないからです。また、扱ってくれるようなところであっても、編集者がこの分野に全く興味がなければ扱ってもらえません。無事に大部分を出版できたことはなによりでした。

三浦達彦氏の研究は、この大研究以上にも、動く薄膜領域での熱方程式の解の特異条件の解析や、ナビエ・ストークス方程式の動く薄膜極限の形式的極限の導出など、多岐にわたっております。また、三浦達彦氏はスタディグループのコーディネーターを学生のうちから務めたり、新日鐵住金株式会社（現、日本製鉄株式会社）にインターンに行くなど、産業との連携力、コミュニケーション力もたいへん強い方です。

三浦達彦氏の解析的計算力にはいつも驚かされています。微分方程式の数学解析には、何が主要で何が副次的な部分かを見出し、それらのさまざまなノルムを評価する必要があります。単なる等式の計算ではありません。おまけに、ベクトル場の薄膜極限で膜が一般の曲面となると、その計算はうまく行っても非常に複雑になります。それを読めるような記述にするためには、さまざまな便利な公式を作っていく必要があります。これらはたいへんな作業と思われるかもしれませんが、本人はさほどでもないという表情です。もちろん、オーベルボルフアハ数学研究所の研究会をはじめ、さまざまな国際研究集会に招待され、国際的にも評価されています。ただ、多くの人にとってはたいへんと思われる「苦勞」についてはあっさり流されるので、難易度が伝わってこないような印象を受けることがありました。「この定理を得るのには〇〇の準備が必要なので、その説明には〇〇ページかかった」などと言ってもらえると、こちらとしてはわかりやすいと思いました。その点を除くと、同氏の講演は、日本語でも英語でもたいへん明確で、いつも聞きやすいものです。原稿を書き進めるうちに、彼の院生時代を思い出しました。修士学生時代に「数学の講演の準備で重要なのは、何を話すかより、何を話さないかに留意することが大切になることが多いですね」と申し上げたところ、「全くそのとおりですね」といわれて実践されていました。その姿を拝見し、全体像をよく把握している人の行動だな～、ととても感心しました。

なお、私の研究室では彼より1学年上に三浦達哉氏（現、東工大准教授）が在籍し、名前が似ているためによくまちがわれていたようです。メールなども誤送信がとても多かったようです。タイプが異なる数学解析研究者ですが、兩人ともたいへん優れた若手研究者であることはまちがいありません。なお、三浦達彦氏は2021年秋の日本数学会で建部賢弘特別賞を受賞されました。

コロナ禍のなか、海外出張等が十分にできないなど、研究活動に大きな支障が生じているとは思いますが、三浦達彦氏には自信を持ってますます研究活動を発展させていただきたいと思います。