



## 数理物理を専門として……

戸田 晃一 (理論物理学)

私の専門は、数理物理とよばれる分野です。この分野は「数学」なのか、「(理論) 物理」なのか、その名称からだけでは判断が付きません。実際に、研究会などで「あなたはどちらであるか」と聞かれることがあります。場の雰囲気や話の流れで、数学、物理、たまにどちらでもない、と私は回答しています。これまで受けた教育の実態でみると、理論物理側の数理物理となるとは思いますが、本人にその自覚があまりありません。

最近注目されている ChatGPT (GPT4 ベース) さんに「数理物理の説明を高校生向けにしてください。」と尋ねると、

数理物理は、物理学と数学を組み合わせた学問の一つです。物理学では、物質やエネルギーの振る舞いを研究しますが、数理物理ではそれを数学的なモデルや方程式で表現し、解析することに重点を置いています。

例えば、物理学でおなじみのニュートンの運動方程式やアインシュタインの相対性理論などは、数理物理の枠組みで理解されています。これらの方程式を数学的に解くことで、物体の運動や光の伝播などを詳しく予測することができます。

数理物理は、数学的なモデルや方程式の中に物理的な現象が含まれているため、物理現象を数学的に扱うことができます。また、数理物理は科学の他の分野とも密接に関連しており、化学や工学などのさまざまな分野でも応用されています。

高校生のうちから数理物理に触れることで、物理学や数学の基礎をより深く理解することができます。また、数理物理の手法は科学的な問題解決にも役立つため、将来的に科学の研究者やエンジニアとして活躍するための基礎となります。

数理物理は一見難しく感じるかもしれませんが、基本的な数学の知識と物理学の基礎があれば、少しずつ理解していくことができます。数理物理は自然界の法則を数学で表現し、解析することで私たちの世界をより深く理解する手段の一つです。

という ChatGPT さんらしく当たり障りのない、面白みもない、でも明らかな間違いもない回答をしてくれました。水波の挙動、プラズマ中の微粒子の挙動、場の理論の数理、特異なブラックホールの性質、量子力学の変形問題、木星の大赤斑の寿命など一貫性のない、そのときに興味をもった問題を研究してきたので、上記の ChatGPT さんの説明はしっくりきます。

数理物理では、実験装置を研究のツールには使いません。使うツールは数学です。私も学部の低年次で履修する「微分積分」「線形代数」「微分方程式」などを頻繁に利用します。それらに加えて、「函数解析」「トポロジー」「微分形式」「リー代数」「コホモロジー」「代数幾何」

析」などを研究時にはよく使います。これらは純粋数学の枠組みの中では、比較的とっつきやすいと思います。学部2年次の夏頃より物理コースの知人らと「自主ゼミ」と称して、4年次の初冬まで、「函数解析」「トポロジー」「微分形式」「リー代数」を勉強したことが生きています。このときには、まさか自分の研究でこんなに役に立つとは思いませんでした。物理実験の組となった同級生に声をかけられたので、軽い気持ちで参加したに過ぎず、面白くなければすぐにフェードアウトすればよいくらいにしか考えていませんでした。しかし、自主ゼミに参加した同級生にかなり触発されて、自主ゼミで議論しながら、彼らについていくために必死になって勉強をしたことが、間違いなく今に繋がっていると思います。あくまでも個人的な経験ですが、「微分積分」「線形代数」「函数解析」「トポロジー」「代数学(群・環・体)」をある程度知っていれば、純粋数学の新しい概念の雰囲気やイメージを理解することはさほど難しくない作業だと思います。

(自分で新しい概念を創造するというではありません。あくまでもある程度の理解をするということです。)

最近では「機械学習」(とくに深層学習)を研究のツールに利用する場面があります。木星の大赤斑の寿命のシミュレーションにこの深層学習を利用すると、なかなか興味深い結果をだします。ただし、問題点もあります。でも、その問題点が研究を続けるモチベーションになり、新たな研究のネタにもなります。機械学習の基本を理解するときに必要となる数学は、本当に基礎的な知識(大学初年次レベルの「微分積分」や「線形代数」の初歩的部分、高校レベルの「確率統計」の知識)で十分です。それらの知識とニューラルネットワークという概念を対応付けすればよいだけです。(機械学習の応用となると、それはまた別の問題ですが。)現在、深層学習を利用した非線形微分方程式に対する数値計算法の開発、機械学習の数理(とくに、「双対数と自動微分」の代数構造や幾何構造など)について、具体的な問題を通して研究をすすめて行く予定です。本稿を書いているときは、まだ機械学習が数理物理に利用されている事例はあまりありませんが、すぐに主要なツールになることを確信しています。退職までまだまだやることが多くあり楽しめそうです。

## [追記]

数理物理とは関係ないのですが、インターネット望遠鏡プロジェクトについて触れておきます。前職の同僚と「いつでも・どこでも・だれでも天体観測」をモットーに立ち上げたプロジェクトで、WEBブラウザで <https://www.kitp.org/itp/> にアクセスすれば、簡単に国内外(国内4箇所、国外2箇所)に設置した望遠鏡を操作し天体観測ができるシステムを構築しました。(現在も設置場所や設置台数を増やす努力をしています。)これにより、学校に望遠鏡の機材がなくても天体観測の実施が可能であり、自宅からも操作可能なため「望遠鏡等の機材がない」「安全上、夜間の実施が難しい」などの問題を解決できます。(海外に設置の望遠鏡を利用すれば、日本が昼間でも夜空の天体観測ができます。)

また、単に天体観測ができる仕組みだけでなく、「科学的意義」「観測・解析方法」「観測データの解釈」などをまとめて、小学校から高等学校までの各レベルに合わせて作成した指導案集「ITP課題バンク」を開発し、無料で公開しています。これらの活動については、富山県立大学紀要、ダヴィンチ祭、サイエンスカフェとやま(<http://sctoyama.jp/>)、各地の青少年の科学の祭典などにて紹介しています。