

## 犬伏 正信 研究室

理学部第一部 応用数学科 准教授

いぬぶし まさのぶ  
犬伏 正信 先生



犬伏研メンバー

## 数学の社会・産業応用がおもしろい

応用数学は、その名の通り「数学を応用する」ことで、現実社会や産業が抱える課題の解決を目指す学問だ。力学系理論や微分方程式、数値解析学などの理論や手法を、流体シミュレーションやAI（人工知能）などの技術と組み合わせ、気象、工学、医療など幅広い分野の問題解決に役立つ数学を研究する。

「応用数学という、高校の教科書にある基礎問題と応用問題の連想から難しい数学なのではないかと敬遠されることが多いが、応用の意味はそうではない。社会課題への応用、実用を意識した数学の研究分野だ」と理学部第一部応用数学科の犬伏正信先生は説明する。

例えば、天気の変化するルールはある種の微分方程式（数理モデル）として知られているが、実際は天候の変化の正確な予測は容易ではない。予測は現実からどのように外れていくのか、予測精度を高めるにはどうすれば良いのか。こうした問いに答えるための新しい応用数学の理論構築が求められている。

犬伏研究室では、さまざまな現象を数学的に記述した数理モデルと、情報技術・データ科学を融合させることで、現実の複雑な問題にアプローチしている。

### 方程式とコンピュータで流れを読む

犬伏研究室の中心テーマの一つが、流体力学だ。流体とは空気や水のことであり、その運動方程式（ルール）はナビエ-ストークス方程式と呼ばれる。例えば、エアコンから出る空気の流れは、時間と空間（エアコンからの位置）に応じて変化する。わずかな時間と位置の間の風向きの変化を「微分」の形で表現し、その

瞬間的なつり合いを表したもの（数理モデル）がナビエ-ストークス方程式である。

ナビエ-ストークス方程式は瞬間的な変化を記述するが、実用上はある程度の時間にわたる振る舞いを知りたいことが多い。これは一瞬の変化の積み重ね、つまり「積分」によって可能になる。特に、コンピュータによる積分、すなわち数値積分（コンピュータシミュレーション）が重要である。これらはすべて応用数学の主要な研究対象である。

実際には、ナビエ-ストークス方程式を基盤とした、より複雑なモデルが多種多様な社会産業分野において用いられている。例えば天気予報では、数値予報モデルと呼ばれる数理モデルをスーパーコンピュータで数値積分することで、未来の天気を計算し報じている。

天気予報の精度向上のために生まれた応用数学的手法の一つに「データ同化」がある。大気海洋の運動はカオス的であるため、シミュレーションの最初のデータ（風向きなど）にわずかでも誤差があると、すぐに予測結果と現実（正解）は乖離してしまう。そこで、データ同化の枠組みでは現実の大気海洋の状態である「正解」をうまくカンニングする。つまり、予測結果と現実が乖離してしまう前に、現実の大気海洋の観測データをシミュレーションに取り込み、融合させることで、予測結果が現実と乖離することなく、長期的な予測が可能になっている（実際に日々の天気予報にも用いられている）。

「現実の風向きは時間と空間において乱れている『乱流』である場合がほとんどだ。乱流のカオス的運動による不確定性の増大を抑えこむには、例えばどのような観測データが必要なのか？ 成功条件を与える

数学的枠組みを提案している」  
(犬伏先生)

例えば海面の渦は人工衛星からだと、解像度の限界のために細かい渦の構造までは観測できない。大きな渦のおおよその位置は分かっても、その周辺の小さな渦まで人工衛星で捉えることは難しい。そこでデータ同化では、低解像度のデータを活用しつつ、ナビエ-ストークス方程式を用いて流れのシミュレーションをする(先述の数値積分)。最初は低解像度の観測データしか情報がないので流れは不明瞭だが、新しい観測データ

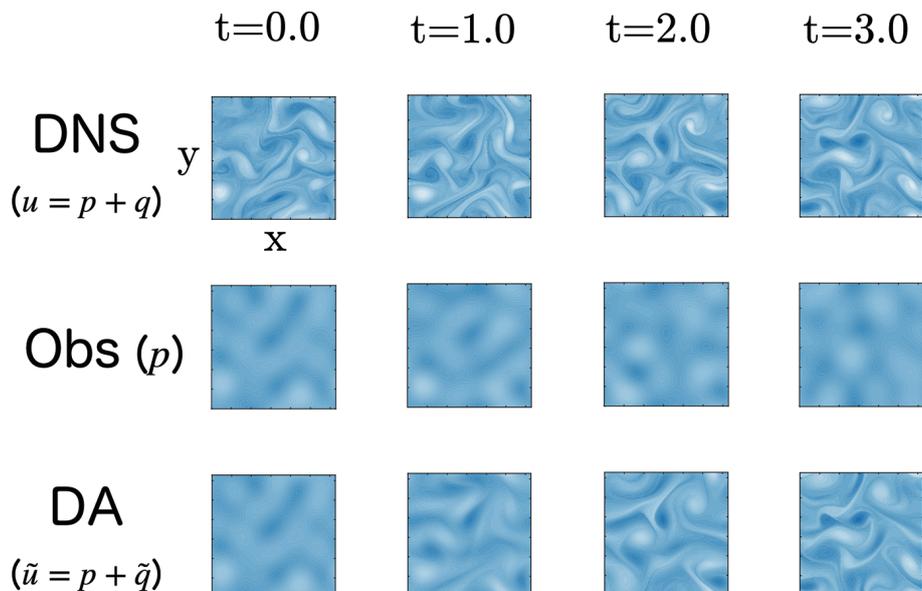
を加えていくことで、細かい渦の構造まで明確になる【図】。提案された数学的枠組みによって、細かい渦構造の再構成に必要な解像度を決定することに成功した。

犬伏研が目指すのは、このように現象の背後にある数学的性質を理解して、より良い手法を見出していくことだ。

### AIを数学的に理解した上で、さらなる改良を図る

ナビエ-ストークス方程式が導出されてから200年程度経過するが、同方程式にAIを用いた新しい手法への関心が高まっている。犬伏研では、既存のAIモデルを利用するだけでなく、数学的理解に基づいた新たなAIモデルの開発にも取り組んでいる。特に、リザーバーコンピューティングと呼ばれるAI・ニューラルネットワークの手法は高い予測精度を誇っているが、その仕組みは未だ明らかになっていない。カオス的な変動をリザーバーコンピューティングを用いて予測する際、ある種の同期現象が鍵となることが指摘されてきた。犬伏研ではその同期現象に着目し、リザーバーコンピューティングが予測を行う際の仕組みを数学的に解明し、それに基づいて新たな学習法を提案している。犬伏先生はこれらの研究により、日本流体力学会の2023年度『竜門賞』を受賞している。

実用上はうまく予測ができていればそれで解決するが、何故できるのかを考えていくのが応用数学的なスタンスだ。新たに研究室の運営に加わった助教の須田智晴先生も「応用を研究しているが、Howを求める



【図】データ同化による乱流場の推定 観測データとナビエ-ストークス方程式を活用して現実の流れを推定する

だけでなく、そこからWhyを追求していくのが理学部の特徴だ」と話す。

### 社会の期待に応える数学を目指して

犬伏研究室の学生・院生たちは、数値解析や機械学習など、それぞれの関心から同研究室を選択している。学部4年の増田ほのかさんは津波に興味があったため犬伏研を選択した。もともと医学系への関心が高かったという修士2年の大久保茜さんは「数理モデリングの授業で出会ったカオスの分岐図がとても美しかった」ことから興味を持ったそうだ。大久保さんは卒業研究でリザーバーコンピューティングに関する重要な結果を示した。その卒業論文を基に、昨年犬伏先生と共同執筆した論文がSpringer Nature社のScientific Reports誌から出版された。数理モデルと機械学習を組み合わせた研究を日々進めている。

2025年3月に修士課程を終えた新宅哲也さんと神林楽人さんは、それぞれ鉄道関連とIT関連の企業に就職したが、就職活動中、修士研究で行った数値解析などについて話をしたところ、面接官の関心がとても高かった。「データサイエンスやAIへの関心から、社会的に応用数学に求められる役割は年々増しており、追い風が吹いている」と犬伏先生は語る。

狐塚 淳 (インプレス・デジタル・バリューズ)