

船井情報科学振興財団 第三回報告書

はじめに

California州Pasadenaでの暮らしも、早いことで1年が経過しました。年始にLos Angelesを襲ったEaton Fireを含む一連の山火事は、LA都市圏に甚大な影響を及ぼしました。幸い私の通うCaltech周辺は避難対象を逃れたものの、大気の状態の悪化により、数日間街を離れることを余儀なくされました。また、目まぐるしく変化する社会情勢とともに、留学生を取り巻く制度の面においてもさまざまな変化が生じています。大学からはI-94のコピーを常時携帯することを義務付けられるなど、留学生のビザに関して不透明な状況が続いています。直近数日では、ダウNTOWN LAにてICEによる移民取り締まりに対する抗議活動が急拡大し、夜間外出禁止令、州兵・海兵隊の配備に至りました。このような自然災害、政策的不安、国内外情勢の急変に直面し、改めて「安心して学べる場」の重要性を痛感しています。一刻も早く状況が安定し、より多くの留学生・研究者が安心して学びに専念することができる環境が整うことを願うばかりです。

コースワーク

冬学期(2025年1月 - 3月)

- [ME101b / Fluid Mechanics](#)
 - 非圧縮および圧縮性流体の現象を扱う幅広いトピックについて学習しました。学期前半では、非定常ショック波やショックチューブ問題など一次元非定常流れを解析し、 p - u 図やRiemann不変量を用いた手法を学びました。その後、二次元超音速流における斜め衝撃波やPrandtl-Meyer膨張扇、特性曲線法を扱い、物体まわりの圧縮性流れの解析に取り組みました。後半では、渦度方程式やKelvinの循環定理を通じて渦のダイナミクスを学び、薄翼理論やShock-Expansionモデルに基づく物体まわりの流れの理解を深めました。
- [ACM106b / Introductory Methods of Computational Mathematics](#)
 - 常微分方程式(ODE)および偏微分方程式(PDE)に対する数値解法の理論と実装を体系的に学ぶ授業でした。線形代数と微積分の基礎知識に加え、プログラミング能力も求められます。初めに、Euler法やRunge-Kutta法を含む一段法・多段法を用いたODEの数値解法を扱い、それらの一貫性、安定性、収束性についての理論的理解を深めました。続いて、PDEに対する有限差分法やマルチグリッド法の導出・実装・誤差解析を行い、特に双曲型方程式・楕円型方程式への応用を中心に学びました。さらに、有限要素法についても導入され、その導出過程や収束性評価、実装方法に関する講義がありました。
- [ME146 / Computational Methods for Flow in Porous Media](#)
 - こちらは多孔質媒体中の流れおよび物質輸送に関する数値解析手法を学ぶ授業で、全18回三部構成です。まず、Navier-Stokes方程式からDarcy流への遷移や、Miscible flow vs Immiscible flowといった支配方程式の理解を深めていきます。そして次に、有限体積法を用いた单相流のシミュレーション技法、時間発展問題における安定性と精

度、圧力方程式とトレーサー輸送方程式のカップリング手法を学びました。最後に、混相流のモデリングとして、相対浸透率や毛管圧、ヒステリシス、二相流の連続体モデルと離散モデルの比較、Richards方程式の導出と数値実装、ポアスケールでのマルチフィジックスについても取り上げられました。

春学期(2025年4月 - 6月)

- **ME101c / Fluid Mechanics**

- 初めに低レイノルズ数領域におけるStokes流の解析を行い、微生物の遊泳や粒子輸送のような慣性の影響を無視することのできる現象を扱いました。さらに、潤滑理論を通じて、薄膜における圧力分布や力の伝達のメカニズムを学びました。その後、Prandtlの境界層理論を導入し、非粘性ポテンシャル流に粘性の効果を加味するための方法を習得しました。境界層の厚さや剥離条件、物体まわりの流れへの応用、さらに混合層・後流・ジェットといった自由せん断流の解析にも取り組みました。後半では、せん断流の不安定性や乱流への遷移に関する理論を扱い、乱流における渦構造やエネルギーカスケード、平均化された方程式を用いた解析手法についても学びました。

- **ME119 / Heat and Mass Transfer**

- 熱および物質輸送に関する基本的な理論とその工学的応用を学習しました。前半では、定常・非定常の熱伝導に関する支配方程式を導出し、解析的および数値的手法を用いて解法を学びました。中盤は、強制対流・自然対流における熱伝達や層流・乱流境界層のモデル化、さらに質量輸送と相変化の初歩的な扱いについての講義を受け、学期後半には、放射による熱伝達に焦点を当て、放射輸送の理論と解析方法を学びました。

研究

現在私は永久凍土を対象とした数値モデルの開発に取り組んでいます。具体的には、凍結・融解を伴う三相系(氷・水・土壌粒子)を対象とした熱・物質移動のモデリングを行い、その影響をDarcyスケールで予測するモデルを構築しています。この研究は、気候変動に起因する永久凍土の融解、それに伴う地盤変動やインフラ被害といったリスクを評価・予測するための基盤となるものであり、将来的には水資源管理や地盤工学、防災への応用も期待されています。

モデルはlocal thermal non-equilibriumの枠組みに基づいており、氷・水・土壌それぞれの温度を独立に扱いながら、相変化(凍結・融解)の記述を行います。また、氷・水・土壌の界面での熱交換や、局所的な氷の分布によって凍結・融解の速度や空間的不均一性がどのように変化するかということも考慮します。これにより、従来の一様な初期条件を仮定したモデルでは再現困難であった非線形な凍結・融解挙動や、地中における水の優先流路の形成といった現象の解明を進めています。

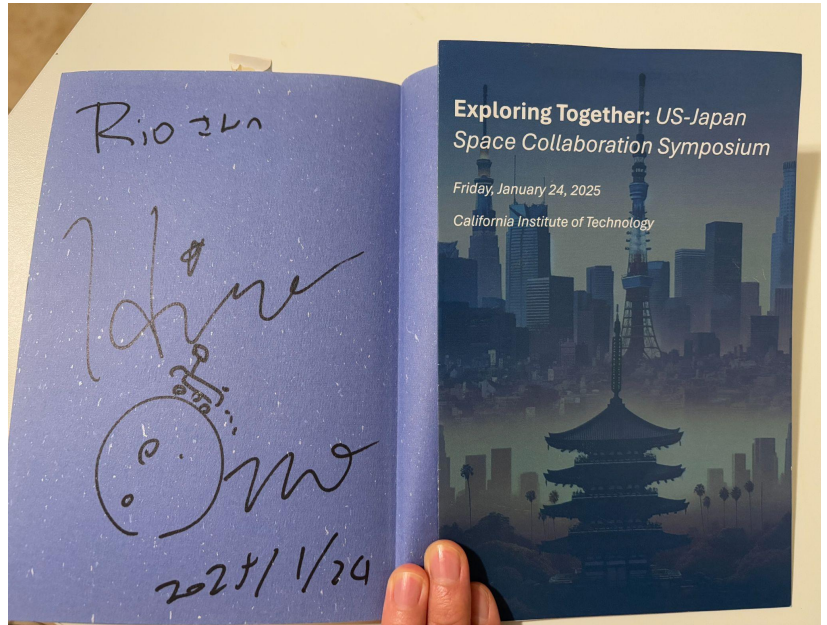
モデルの実装はCOMSOL Multiphysicsおよび独自開発したコードによって行い、Watanabeら(2011)¹による実験結果を用いて初期段階の妥当性検証を行っています。今後は、モデルに非飽和流を導入するためにRichards方程式と連成させ、より現実に即した多次元シミュレーションへと発展させることを目指しています。また、実験的検証や高解像度の初期条件の設定により、より信頼性の高い予測を可能にするための取り組みも行っています。

¹ Watanabe, Kunio, et al. "Freezing experiments on unsaturated sand, loam and silt loam." *Annals of Glaciology*, vol. 52, no. 58, 2011, pp. 37–43, <https://doi.org/10.3189/172756411797252220>.

思い出



▲ 研究室のリトリートでJoshua Treeに行きました！国立公園の魅力に気付く楽しい遠征でした



▲ 留学のきっかけをくださった小野雅裕さんに念願叶い直接お会いすることができました！
著書にサインまで頂きました✨



▲ 明治大学校友会LA支部の新年会に参加
美味しい海鮮丼を食べながら、先輩方から貴重なお話を伺いました！

おわりに

この一年間、研究活動から毎日の生活に至るまで多くの学びと成長の機会を得ることができました。日々試行錯誤を重ねながらも、こうして着実に自分の歩みを進めることができたのは、ひとえに温かく見守ってくださる方々のご支援と励ましのおかげです。特に、船井情報科学振興財団の皆さまからの多大なるご支援があったからこそ、学業・研究に専念でき、充実した時間を過ごすことができました。この場をお借りして心より感謝申し上げます。今後もこの恵まれた環境に甘んじることなく、自らの専門性をさらに高め、研究成果として還元していけるようより一層精進してまいります。