

まえがき

コンピュータの発展により、数値シミュレーション技術を製品の設計・製造に活用する計算機支援工学 (CAE) が実用化されている。身近な工学問題において水や空気の流れは重要な要素であり、流体工学は CAE を代表する分野となっている。しかしながら、さらなる設計要求の高度化・多様化から、CAE 技術に含まれる不確実性への対処が必要となってきた。筆者らは、流体工学の分野でより精度の高い現象解析および状態推定を実現するために、計測データを利用して数値シミュレーションの不確実性を低減するデータ同化に着目して研究を進めてきた。従来、データ同化は気象分野における時空間スケールの幅広い数値シミュレーションの精度を高めるために発展してきたが、筆者らはデータ同化が流体科学を利用した工学分野に広く適用できると考え、今回機会を得て本書『データ同化流体科学 —流動現象のデジタルツイン—』を出版することになった。

ここでは、筆者らの研究グループがデータ同化に着目するようになった経緯を紹介したい。東北大学流体科学研究所では、2003 年 4 月より附属流体融合研究センターを設置し、実験と数値シミュレーションを一体化した「次世代融合研究手法」の基礎研究と、流体科学を応用した異分野融合研究を両輪に、10 年間研究活動を行った。次世代融合研究手法では、流体科学研究所が推進する独創的な実験装置による実験研究とスーパーコンピュータシステムによる大規模数値シミュレーション研究を融合することが特徴である。これまでの実験流体力学 (EFD) や数値流体力学 (CFD) だけでは解決が困難だった複雑・多様化した流体科学の諸問題を解決するとともに、人類社会の持続的発展のため、環境・エネルギー、ライフサイエンス、情報通信技術、ナノテクノロジー、航空宇宙などの重点分野の異分野融合研究を推進した。

次世代融合研究手法の研究については、国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との連携により、2008 年から 2016 年まで EFD/CFD 融合ワークショップを開催し、さらに日本航空宇宙学会 流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウムにおいて特別企画セッション「EFD/CFD 融合技術」が毎年開催されるようになって航空宇宙分野での関心が広がり、2018 年からは特別企画セッション「航空宇宙流体データ科学の新展開」に発展している。2012 年には国際会議 5th Symposium on Integrating CFD and Experiments in Aerodynamics “Integration 2012” を JAXA と東北大学の共催で日本に招致し、我が国における先進的な取り組みを国際的にアピールすることができた。また、基礎研究の面においても、東北大学の早瀬らによって提案された計測融合シミュレーション法からデータ同化法へと統計的考え方を強化し、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 統計数理研究所と連携して、2010 年より毎年合同ワークショップを開催している。

異分野融合研究については、附属流体融合研究センターのウェブサイト¹⁾に掲載したロードマップ [最終版] に示すように、エネルギー、ライフサイエンス、情報科学、ナノ・マイクロ、航空宇宙の各分野で成果を上げてきた。これらの成果は、日本機械学会での流体情報学の企画セッションや、2010 年 4 月に出版された日本機械学会編『フルードインフォマティクス』(技報堂出版) に示されている。2013 年 3 月には、附属流体融合研究センターの各研究分野の成果をもとに英語版の eBook 「*Fluid Informatics*」をウェブサイトで公開した。

こうした組織的な取り組みの中で、データ同化と流体工学の融合が醸成され、2015 年 4 月から日本機械学会計算力学部門「設計に活かすデータ同化研究会」が活動を開始し、また本書の執筆につながった。このような活動により筆者らはデータ同化を工学問題に積極的に利用したデータ同化支援工学 (DAE) の実現を目指している。本書を通じて、多くの方に興味を持っていただき、議論に加わっていただければ幸いである。

本書は流体工学の知識を有する理工系学生・技術者を主な対象とし、計測データに基づいて CAE の精度を向上させるデータ同化の基礎から実装、そして、応

¹⁾ http://www.ifs.tohoku.ac.jp/tfi/j_index.html

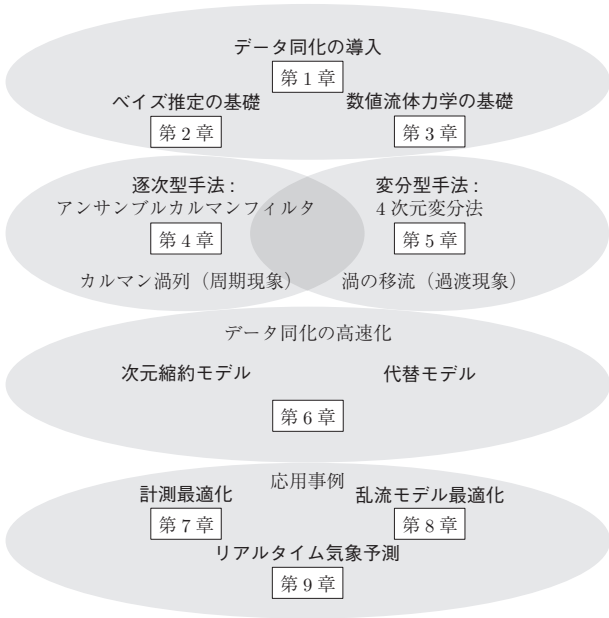


図 1 本書の構成

用までをバランスよく学ぶための教科書である。本書の内容はデータ同化の流体問題への適用に限定されているが、取り上げた手法や適用例を参考にして CAE が利用される他の工学分野に展開することも可能と考えられる。

本書の構成を図 1 に示す。第 1 章で述べるデータ同化の概要に続いて、第 2 章ではデータ同化の代表的な手法を概観する。ベイズの定理を出発点とすることで、逐次型や変分型などのデータ同化手法を俯瞰できるようにする。CFD に関しては、本書の議論に必要最低限の内容を第 3 章で説明することで、データ同化のアルゴリズムを学ぶ際にブラックボックスを残さないようにしている。第 4 章および第 5 章では具体的なデータ同化の適用方法を簡単な流体問題で学ぶ。これらの章で逐次型および変分型のデータ同化手法をそれぞれ説明するが、それら手法の共通点および相違点を流体現象のダイナミクスと関連づけて統一的に学ぶことができるのが本書の特徴の一つである。データ同化では条件を変えた複数ケースの CAE 解析が必要となるため、通常の CAE 解析と比

較すると計算コストが大きくなる。そこで、第6章ではデータ同化を高速化するのに役立つ次元縮約モデルや代替モデルを説明する。第7章以降はより専門的な内容であり、データ同化の利用に向けたヒントとなれば幸いである。本書の第4章および第5章で用いたデータ同化プログラムはGitHubリポジトリ (<https://github.com/DAE-Code/>) を通して公開し、必要に応じて更新していく。本書の内容と対比しつつ、実際にデータ同化のプログラムを動かしてみることで、データ同化への理解が深まるはずである。

最後に、本書の執筆の機会と有益なご助言をくださった編集委員の先生方に感謝申し上げます。特定研究開発法人 理化学研究所の沓掛健太郎氏および株式会社 日立製作所の苗村伸夫氏には、全章に目を通していただき、本書の改善につながる有益なご助言をいただいた。また、東北大学流体科学研究所の焼野藍子助教と博士後期課程の吉村僚一氏には、多角的な視点から有益なコメントをいただいた。この場を借りてお礼を申し上げたい。そして、遅々として進まない原稿にもかかわらず、励ましていただいた共立出版の山内千尋氏および本書の仕上げにおいてご尽力いただいた菅沼正裕氏に感謝の意を表す。

2020年11月
大林 茂