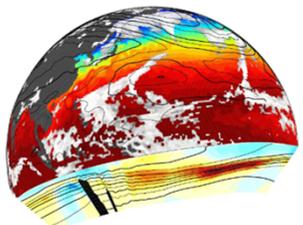


複雑な輸送・移動現象の統合的理解と予測・制御の高度化

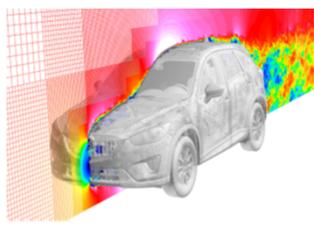
環境中や生体内の様々な物質・熱・運動量は複雑に対流・拡散。
輸送・移動現象を高度に予測・制御できるツールの開発が様々な社会課題解決の鍵。

なぜ今、複雑系輸送・移動現象なのか

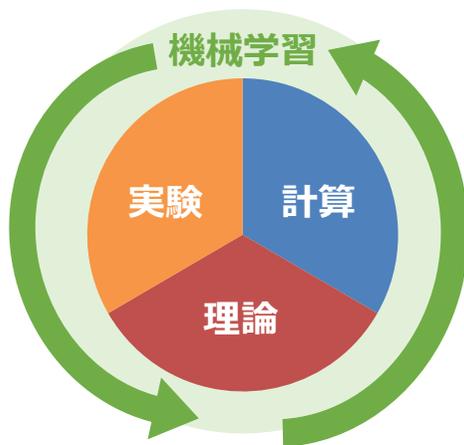
- 計測機器の性能と数値流体力学の精度が向上。複雑な流れ現象解明に取り組める環境が整った。
- 機械学習を用いたアプローチが発展。融合モデルの構築が期待。
- 地球温暖化により、自然災害が年々深刻化。2050年脱炭素社会の実現の目標を達成するため、我が国でも今すぐ対策に取り組む必要。



全球気候モデルの構築・活用



自動車周りの空力解析



機械学習による現象の解明と物理的・数学的な考え方を融合し現象の理解と予測・制御を高度化

具体的な研究例

- ① 現象の原理解明とその手法開発**
機械学習×シミュレーション技術による高精度化
数理科学との融合による原理の解明
- ② モデル・予測の高度化**
各現象の予測を高度化するための技術開発
各現象の共通性を基にしたモデルの構築
- ③ 制御方法の創出**
現象の原理解明・計測に基づく制御方法の創出

脱炭素社会への貢献

低次元モデルを活用したデータ同化や時空間解像度の向上による熱・物質輸送制御の創出

- 燃料の混合促進による高効率でクリーンな燃焼
- 気象予測の高度化による風力発電の効率向上
- 自動車・高速列車・航空機の抵抗低減
- 長隊列トラックの自動運転の燃費向上

気候変動などの環境問題の解決

AIを活用した気候モデル改良

- 高精度な台風、ゲリラ豪雨の予測及び洪水の発生予測により、災害の被害を大幅に低減。
- 気象に対する積極的な制御を実現し、災害そのものを予防。

複合的な課題の解決に資する基盤的価値の提供

異分野間の共通性を活用した予測・制御の確立

- 生体内の高精度な血流計測・予測の手法の確立により、動物実験や臨床研究が加速。
血流と疾患との関連の解明にも貢献。
- 関連研究領域で得られた情報・統計数理科学の知見も活用し、シミュレーション技術の高精度化と開発を加速。

2050年カーボンニュートラルの実現に資する基盤技術の強化、気候予測精度向上による防災・減災への貢献 等

令和3年度戦略目標

1. 目標名

複雑な輸送・移動現象の統合的理解と予測・制御の高度化

2. 概要

運動量・熱・物質の輸送・移動は、環境中や生体内の対流ないし拡散など、私たちの身の回りのあらゆるところで生じる動的な現象である。これらはエネルギー、環境、医療、ものづくり、防災・減災など幅広い分野に関係しているが、現状では、その現象の理解、予測、制御は初期条件や境界条件等を限定した比較的単純なものにとどまっている。一方、データ駆動科学の隆盛や産業ニーズを背景に、より複雑な輸送・移動現象の詳細な計測や解析、それに基づく現象解明を進め、高度な予測・制御につなげていくことへの機運・期待が高まっている。

そこで本戦略目標では、実験的研究、数学的理論研究、数値計算的研究を組み合わせる統合的に推進することで、従来の演繹的方法論だけではなく帰納的方法論も取り入れた新たな視点や横断的な研究から複雑な輸送・移動現象の解明を進め、予測や制御の高度化を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、数値計算、物理化学的な法則、数理的な構造などを用いて複雑な輸送・移動現象の解明を進め、それらを様々な輸送・移動現象の予測や制御の高度化に繋げていくことを目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 複雑な輸送・移動現象の原理解明とその手法開発
- (2) 複雑な輸送・移動現象のモデル・予測の高度化
- (3) 複雑な輸送・移動現象の制御方法の創出

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

複雑な輸送・移動現象の解明に向けた新手法開発や流体科学・化学・物理学・生物学・応用数学等各分野で開発された要素技術の融合等により、異分野に共通する課題や様々な物質等の流れを軸とした現象を明らかにし、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・カーボンニュートラル・脱炭素を支える、輸送・移動現象の理解・制御によりエネルギーの高効率化等を可能とする社会
- ・気候・気象等の予測精度向上により防災・減災が可能となる、安全・安心な社会
- ・環境、物質、生体等、広義の輸送・移動現象を高精度で計測・予測できる社会

5. 具体的な研究例

- (1) 複雑な輸送・移動現象の原理解明とその手法開発

複雑な輸送・移動現象の原理を解明するためのシミュレーション技術や輸送・移動現象の計測方法等の基盤技術を開発する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・機械学習や深層学習を用いた輸送・移動現象のシミュレーション技術の開発
- ・機械学習等で得られた解と数理科学的な観点を融合した、輸送・移動現象の理論の構築及びそのための手法開発
- ・非接触かつ非定常な流体応力場の計測手法の開発

(2) 複雑な輸送・移動現象のモデル・予測の高度化

各現象モデル・予測を高度化するための技術開発や、各現象の共通性を見だしモデル化などを行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・シミュレーションにおける不確かさの評価・低減
- ・感染症と換気・ろ過の関係の解明（数理モデル化）
- ・鉛直渦管構造メカニズム解明による雲解像モデルの高度化

(3) 複雑な輸送・移動現象の制御方法の創出

これまで解析・予測が困難であった輸送・移動現象の原理解明・計測手法の発展に基づいた革新的な制御技術の開発を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・不確かさを許容した制御系の構築
- ・複雑な輸送・移動現象の特性を理解し所望の流れをつくり出す制御方法の開発

6. 国内外の研究動向

運動量・熱・物質の輸送現象の本質的な理解を深めることで、運動量輸送、熱物質輸送、化学反応など、現象のモデルや予測の高度化が可能となり、様々な社会課題解決の鍵としての役割を果たすことができる。以下の国内動向からもわかるように、基盤となるツール（計算流体力学・計測/実験流体力学・大型計算機）の進歩によってより高度で複雑な輸送・移動現象解明へのアプローチが可能となってきた。

(国内動向)

平成 23 年度戦略目標「エネルギー利用の飛躍的な高効率化実現のための相界面現象の解明や高機能界面創成等の基盤技術の創出」、平成 25 年度戦略目標「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」、平成 28 年度戦略目標「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」、平成 31 年度戦略目標「数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開」等に基づく CREST・さきがけの関連プロジェクトにより、ビッグデータ利用に向けた基盤技術、計測分析技術、数理流体分野の研究が実施されており、複雑な流れ現象を取り扱うための基盤が整備され、現象解明へのアプローチが可能

となってきた。

(国外動向)

アメリカ物理学会 (APS) 流体力学部門 (DFD) 年会では、令和元年には「乱流のデータ駆動型および機械学習手法の最近の進歩」が、令和2年には「実験および計算流体力学における深層学習」がフォーカスセッションとして設けられ、注目を集めている

7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」(令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定)に基づき、以下のとおり検討を行った。

(1) 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構 (JST) 研究開発戦略センター (CRDS) の各分野ユニット、日本医療研究開発機構 (AMED) のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

(2) 上記アンケートの結果及び JST-CRDS 調査報告書「環境・エネルギー分野における非連続的なイノベーションを支える工学研究基盤強化」等を参考にして分析を進めた結果、物質の移動、流体原理の解明は、エネルギー効率の高い社会の実現、感染症対策、気象予報など様々な出口が想定できる基盤的な知見であり重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「複雑な流れ現象の解明と統合的制御」を特定した。

(3) 令和2年11月に、文部科学省と JST は共催で、当該研究動向に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、対象とすべき研究テーマ、国内外の動向、研究成果や将来の社会的・経済的に与え得るインパクト、研究の推進体制等について議論を行い、ワークショップにおける議論や有識者へのインタビュー等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

「革新的環境イノベーション戦略」(令和2年1月12日統合イノベーション戦略推進会議決定)

カーボンニュートラルを可能とする革新的技術確立に向けて 16 の技術課題を設定しており、中でも本研究動向は以下の3つの技術課題を支える基盤技術と位置付けられる。

1. 再生可能エネルギーを主力電源に
6. 多様なアプローチによるグリーンモビリティの確立
12. GHG 削減効果の検証に貢献する科学的知見の充実

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和2年12月25日）

14の重要分野のうち、水素、蓄電池、カーボンリサイクル、洋上風力等における技術確立と社会実装を加速していく必要があり、その基盤となる技術を創出する本研究動向の重要性が増している。

「AI戦略2019」（令和元年6月統合イノベーション戦略推進会議決定）

研究開発の現場でのAIの品質確保や新たな工学的アプローチ、分野融合的アプローチが不可欠としており、本研究動向における流体分野の機械学習等を推進することで本戦略の推進に寄与することが見込まれる。

9. その他

本戦略目標に関連する施策として、国内では、平成31年度に発足したCREST「数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開」、平成29年度に発足したCREST「実験と理論・計算・データ科学を融合した材料開発の革新」や「ナノスケール・サーマルマネジメント基盤技術の創出」、平成28年度に発足したCREST／さきがけ「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」などの領域において、情報科学・統計数理を高度に融合した技術研究が推進されている。複雑な流れ現象を対象とする本戦略目標が、これらを含む関連の領域の基盤として知見をフィードバックする等、連携して研究を推進することによって、効果的に技術シーズを創出することが望まれる。

欧州や米国新政権でも、産学が連携して脱炭素化の取組を加速しているが、日本国内の流体力学分野は数値解析手法の開発、大規模数値解析技術やデータ同化技術に強みを有しており、基礎研究から、製品化、事業化を担う企業までプレイヤーが国内に存在し、産業競争力強化が可能である。また、このような日本の強みを活かした国際研究を戦略的に進め、相手国の強みを学ぶことも重要である。