

○戦略目標「デジタル時空間拡張」の下の研究領域

デジタル時空間拡張の実現に向けた技術革新と持続的価値共創

研究総括：本村 陽一（産業技術総合研究所 人工知能研究センター 首席研究員）

研究領域の概要

本研究領域では、次世代計算科学と AI 等のデータ駆動科学、数理・生命・人間・社会科学および都市工学やロボティクスなど多様なドメインの専門知の融合により、仮想表現の時空間的拡張と仮想・現実間の探索・介入・相互フィードバックを通じて、デジタル時空間拡張の基盤を構築し、それを活用した価値共創やコミュニティを拡大する標準化や次世代育成も行うことで、その技術革新と持続的な価値創出を目指します。

近年、フィジカル AI や AI for Science 等の潮流の中で、現実世界をデジタル空間上で表現（仮想表現）し、物理空間との相互接続によって付加価値を提供する「デジタルツイン」の重要性が高まっています。一方で、仮想表現が扱おうとする現実世界は複雑かつ多様な空間・時間スケールを有しており、価値提供（意思決定の支援）に足るだけの忠実度や即応性は十分達成できていません。これらの課題に対して、本領域では AI・シミュレーション・数理科学、及び多様な対象ドメインの研究者が協働することで、現実世界のデータに基づくデジタル基盤技術の革新と、それを活用した価値創出サイクルの持続的進化を見据えた課題解決型の研究を推進します。

具体的には、（１）仮想表現の拡張と即応性の向上、（２）現実世界との相互作用と信頼性・有効性の向上、（３）データ・モデル・インターフェースの共通プラットフォーム構築に係る研究開発を推進します。

募集・選考・領域運営にあたっての研究総括の方針

1. 背景

現実世界をデジタル空間上で表現し、物理空間との相互接続によって多様な付加価値を提供する「デジタルツイン」は、これまで産業・工業分野の設計や運用最適化の手段として発展してきました。しかし近年は、フィジカル AI や AI for Science などの潮流のもとで、高精度なマルチスケールシミュレーションや、現実では取得困難なデータを大量生成する仮想実験基盤としての重要性が増し、AI との融合や計算能力向上を背景に機能が大きく進化しています。学術投稿数や特許出願数も急増しており、ロボット、医療、都市、防災、宇宙・海洋、地球科学、生体・材料、都市工学、社会科学など、幅広い分野に波及し、次世代の基盤技術として期待が高まっています。

一方で、仮想と物理の双方向の相互作用こそがデジタルツインの中核であるにもかかわらず、現実には多くのシステムが、計算が実行可能なスケールでは主要な現象を十分に捉えることができず、意思決定の支援に足るだけの忠実度や即応性が未だ十分に達成されていません。この克服には、膨大で複雑な空間・時間スケールを扱うためのマルチスケール・マルチモーダル・マルチフィジックス化、計算効率化、潜在構造のモデル化、確率・因果的推論、モデル予測制御、さらに探索・介入、分散協調と相互フィードバックによる自己最適化など、既存手法の限界を突破する研究開発が求められています。

2. 研究開発の目標と研究課題の例

上記の背景を踏まえ、本研究領域では、次世代計算科学とAI等のデータ駆動科学、および多様なドメインの専門知の融合により、仮想表現の時空間的拡張や仮想・現実間の探索・介入・相互フィードバックといったデジタル時空間拡張の技術基盤を構築します。さらに、技術革新と応用展開を目指し、次世代人材の育成も行いつつ、構築した技術基盤の共通化・標準化に取り組みます。

具体的には以下のような研究に取り組みますが、必ずしもこれらに限定するものではなく、デジタル時空間拡張の基盤構築に貢献できる自由で挑戦的な提案を期待します。

(1) 仮想表現の拡張と即応性の向上

マイクロからマクロに至る空間階層や、リアルタイム更新から長期予測に至る時間階層を統合し、多様な現象を時間発展的に記述することにより、メタレベルでも俯瞰できる仮想表現の拡張と即応性の向上を目指すモデリングとシミュレーション技術の研究を行います。

- ・マイクロからマクロを横断する空間階層の連続的な接続・統合による空間スケールの拡張
- ・過去から未来を含んだ長期的変化の推定による時間スケールの拡張
- ・意味的互換性を確保した上での多様なモデルの組み合わせによる現実の多様な現象を多様な視座で計算・予測・制御できるモデリング技術
- ・膨大な計算の効率化・高速化を通じたリアルタイム・ニアリアルタイムでの表現、背後にある潜在的な意味、因果的構造のシミュレーション技術

(2) 現実世界との相互作用と信頼性・有効性の向上

現実世界のデータを反映し、現実世界を模擬する仮想空間を更新するとともに、仮想空間で得られる予測や確率・因果的推論を現実世界の探索・介入に反映する双方向のフィードバックを確立し、信頼性・即応性・有効性を高める計算技術の研究を推進します。

- ・物理空間と仮想空間における相互のフィードバック、対話的システム

- ・ 現実への介入や探索によるデジタルツインの自己最適化、モデル予測制御
- ・ 透明性、因果的妥当性の確保やリスク推定、価値創出を通じたデジタル情報基盤の有効性と社会受容性の向上

(3) データ・モデル・インターフェースの共通プラットフォーム構築

標準的に扱うデータ・モデル・インターフェース等の共通化を進めるとともに、実証研究を通じて、デジタル情報基盤上での成果の再利用・連携、価値共創を容易にする共通基盤(共通プラットフォーム)に係る研究開発を実施します。

さらに、その効果検証も行いながら、機能拡張を可能とする仕組みを導入することで、将来の社会需要や技術進展、産業界の要請、社会課題の変化に応じて柔軟に拡張可能な枠組みを構築します。

(関連する技術キーワード)

- (1) 非言語(マルチモーダル)基盤モデル、表現学習 (Disentanglement)、マルチフィデリティ・メタ学習、潜在構造モデリング、ベイズモデリング
- (2) データ同化、確率・因果的推論、モデル予測制御、マルチエージェント、社会シミュレーション、ヒューマン・イン・ザ・ループ、ベイズ最適化
- (3) バリデーション(検証)、協調計算、メカニズムデザイン、サービスプラットフォーム、自己組織化、集合知、分散協調、コミュニティマネジメント

3. 想定する研究の進め方

本研究領域では、AI・シミュレーション・現実世界への適用を中心とする専門性を有するPIの下で、数理モデリング、予測・制御、確率・因果的推論、生命・人間・社会・サービス科学、データ・情報基盤、対象ドメインなどが協働し、持続的な価値創出と次世代人在育成を見据えた課題解決を具体的な実証フィールドで取り組む研究体制を期待します。

領域としては、各チームが、(1) 仮想表現の拡張と即応性の向上、(2) 現実世界との相互作用と信頼性・有効性の向上、(3) データ・モデル・インターフェースの共通プラットフォーム構築という三方向を踏まえ、複数スケール・複数ドメインを統合的に扱えるこれからのデジタル基盤を創出する研究に取り組むことを支援します。

また、領域全体として分野横断的な連携を促し、標準的なデータ・モデル・インターフェース・プロトコルの共通化を通じたツール群やAPI・計算モジュール群の共有プラットフォーム化を進めます。またそれらを具体的な実証フィールドで活用できるリファレンスモデル(参照モデル)やプロトタイプのパブリック公開を進め、チーム間の成果物の共有や相互利用、多分野の研究領域や産業界との連携、社会実装、次世代人材育成を促進します。

さらに、関連する他の研究領域や事業、研究拠点・学会等、国内外のコミュニティとの連携を推進し、社会・産業・諸分野との積極的な交流・融合を期待します。これらの活動を

通じて本分野における国際コミュニティでの日本のプレゼンス向上を目指します。

4. 研究費と研究期間

研究期間は5年半以内とします。研究費（直接経費）は提案内容の達成に必要な額を申請することとし、上限は3億円とします。ただし、研究内容や研究の性格によって、真に必要と認められる場合には、上限を超えた申請を認めることがあります。また、総括による精査の結果、採択にあたっては研究費の調整を行う場合がありますので、予めご了承ください。

5. 応募にあたっての留意点

本研究領域では、AI・シミュレーション・数理科学・行動科学・対象ドメイン等の研究者が協働するチーム型研究を対象とします。例示した三つの方向性の複数の要素を統合することで相乗効果を発揮する研究提案をとくに期待します。いずれかに重点化し、成果を外部のチームに提供することで相乗効果を発揮する提案でも構いません。

また、本領域の特色である分野横断性を踏まえ、複数ドメインの連携や異なるスケールをつなぐ構造、基盤として拡張する仕組みについても積極的に検討してください。

実社会での活用に向けては、とくに産業界・自治体等の最終需要者との連携を提案段階から具体的に計画し、研究期間中に検証することを期待します。応募にあたっては、実世界への介入・フィードバックループの実現・発展に向けた構想を明記してください。