

地球型惑星のデジタルツイン

① ビジョンの概要

大気や海洋等を精緻に再現する地球のデジタルツインを構築し、古気候、将来気候予測、異常天候のメカニズム・予測可能性の研究、防災・減災のみならず社会に役立つ高付加価値情報の生成に役立てる。さらに、地球における知見を踏まえ、金星や火星のデジタルツインに発展させる。

② ビジョンの内容

度重なる自然災害は、気候変動や環境の成り立ちについて再考の機会を与え、「自然に対してどのように向き合えば良いのか」という根源的な問いに答えることが学術に求められている。科学は実験で理論を検証することにより発展してきたが、地球を実験室として利用することは困難なので、計算機上に仮想的な地球を構築して実験を行い、観測と比較することにより物理や化学法則、生命活動に関する我々の知見を検証する。

2002年に稼働した仮想地球「地球シミュレータ」を用いて、温暖化予測や、地球惑星科学、計算惑星のモデル開発とシミュレーション研究が進められてきた。本構想は仮想地球・惑星を精緻な「デジタルツイン」に高め、学際研究を誘導する基盤とするとともに、カーボンニュートラルと持続可能な成長を実現し、SDGsが掲げる包摂的な社会の実現に役立つ高付加価値情報を生成する。地球デジタルツインを通じて地球惑星科学と土木工学・建築学との連携を通じて防災対策の社会実装を進め、キュレーションや地学教育を通じて国民の防災リテラシーの向上に貢献する。

本提案は地球型惑星のデジタルツインの構築も見据えており、惑星探査計画への貢献や、金星・火星大気の未解決問題の解明、系外惑星を含めた地球環境の特殊性・普遍性の理解の深化が期待される。

③ 学術研究構想の名称

大気水圏科学データの蓄積・解析基盤形成

④ 学術研究構想の概要

地球デジタルツインは、スーパーコンピュータ上に大気や海洋、陸面、雪氷等地球システムを構成する要素を精緻に再現し様々な実験を行うための基盤である。デジタルツインの検証や改良には、気象庁の現業数値予報データが極めて有用であるが、長期保管されておらず、一定の条件の下でデータの提供・利用が行われている。そこで、本学術構想では、気象庁の現業数値予報データとモデルを長期保管する「大気水圏科学データの蓄積・解析基盤」(AHSAP)を整備する。AHSAPは気象学の発展に多大な寄与をもたらすだけでなく、地球惑星科学はもとより、土木工学や建築学、情報科学、人文・社会科学等関連分野との学際研究を通じて、防災・減災に役立つ情報の生成に活用する。蓄積・解析の基盤技術開発や、モデルやデータ同化・機械学習の研究、キュレーションを実践する。我が国でも、「地球シミュレータ」の実績を活かし、デジタルツインを構築し国際競争力を維持強化するべきである。

⑤ 学術的な意義

●提案の背景

2019年に日本惑星科学連合が改定した地球惑星科学の夢ロードマップにおいて、大気水圏科学では大気水圏の物理・化学・生物システムに関する基礎過程の把握と理解を目標に、高機能観測と常時観測及び高精度予測を行うとしている。高機能観測・常時観測を高精度予測に結びつけるため、気象庁の予報システムを用いた予報実験やデータ同化実験、機械学習の活用により現象の再現性や予測可能性、メカニズムの研究が必要である。我が国においては、アーカイブ化や可視化、キュレーションについての研究が不十分である。

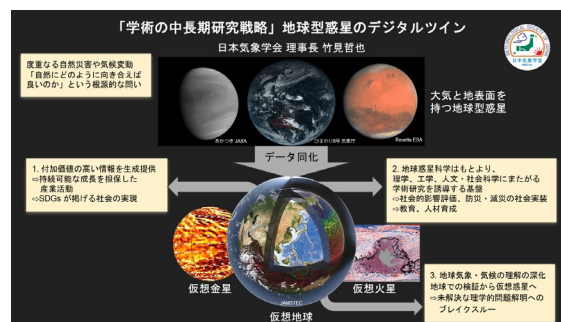


図1 地球型惑星のデジタルツイン

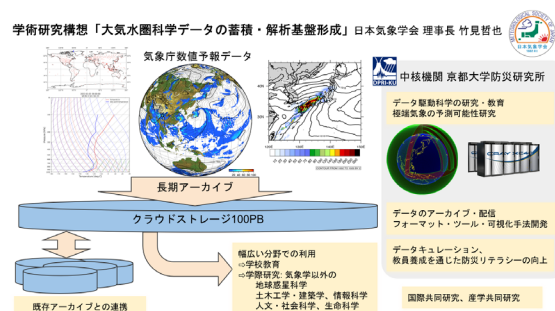


図2 大気水圏科学のデータの蓄積・解析基盤形成

●学術的重要性

温帯低気圧や熱帯低気圧の予測可能性を明らかにするためには、初期値の不確実性とモデルの不完全性、大気に内在するカオス性を切り分け、事例研究を重ねて誤差成長の要因を解明する必要がある

●期待されるブレークスルーと研究成果

本研究構想を実現することにより、顕著現象の予測可能性に関するデータ駆動型の研究や、非線型観測のデータ同化手法によるリモートセンシングデータの有効利用、機械学習の推定手法を応用したパラメタの動的推定が可能になる。数値予報データのアーカイブや配信について技術的な課題を解決した効率的な手法が見出されることが期待される。加えて、初等中等教育に携わる教員養成のための地学教育を刷新する。

●様々な効果

本構想で開発するアーカイブ技術は、ビッグデータを扱う他分野に対しても波及することが予想される。予測可能性研究において同定された誤差の要因は、予報精度の向上を通じて防災・減災に貢献することが期待される。教員養成課程を通じた地学教育の充実は、社会の防災リテラシーを向上させる効果がある。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

米国大気研究大学連合は1980年代からデータアーカイブやツール、データフォーマットの事実上の標準を通じて、国際的な研究を主導している。米国環境予測センターは、予報モデル及びデータ、ツールを無償一般公開している。欧州中期予報センターは、2014年頃から段階的に方針転換し、予報モデルは共同研究の下で加盟国以外の大学・研究機関でも利用可能とし、予報データの一部も準リアルタイムで配信するとともに、欧州連合がカーボンニュートラルと経済成長を両立するためのデジタル戦略、欧州グリーンディールの下で進めているデジタルツイン DestinE の構築を担う。我が国でも、欧米のようにデータアーカイブやツール開発を行う人材を学術側に確保し、世界の気象・気候研究を牽引することが喫緊の課題となっている。

⑦ 社会的価値

地球惑星科学やデータ科学に通じた人材育成を行い、現在社会に求められているデータサイエンティストを養成する。数値天気予報データの高度利用は、気象災害に伴うリスクの回避や、サプライチェーンの設計や見直しに利用可能で、産学共同研究を通じて経済的・産業的価値を創出することが期待される。加えて、貧困、紛争、感染症、気候変動、資源の枯渇といった人類が直面する大きな課題は気象と関係が深いため、食糧安定供給や、カーボンニュートラル、持続可能な成長への寄与が可能であり、SDGs に大きく貢献できる。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール：最初の2年間程度で、大気水圏科学データの蓄積・解析基盤 AHSAP の基本的な仕組みを整え、データ提供を通じた共同研究に着手できるようにする。第5年度目までに独自の研究成果が得られるように活発に研究開発を行う。後半は前半の研究開発で明らかになったより挑戦的な課題に取り組む。実施機関：内外の大学・研究機関との密接な連携の下、主管機関は共同利用・共同研究拠点である京都大学防災研究所とし、アーカイブ、アナリシス、キュレーションの3チームと技術スタッフで構成する。

総経費：650億円

所要経費：10年間の研究費は650億円でその内訳は以下の通りである。

初期設備費：10億円 京都大学学術メディアセンターに解析・可視化用のコンピュータクラスタを設置するとともに、スタッフの端末を整備する。

運営費：60億円/年 データ格納のためのクラウドストレージを借り上げる。1日当たり5TB程度のデータを30年間程度アーカイブするために半分強、残りを実験データの保管・提供に用いる。クラウドストレージ借料は100GBが月額約500円、年間約6000円なので、100PBを用意するには年間60億円が必要である。

人件費：3億円/年 研究者15名（5名×3チーム）及び技術スタッフ5名を雇用する。各チームは教授クラスのチームリーダー、准教授クラスの主任研究員、助教クラスの研究員、ポスドク2名から構成する。技術スタッフは、並列計算や通信技術等に高度な技能を持ち即戦力となる人材を雇用する。

その他：1億円/年 クラスタの営繕や消耗品、旅費等に支出する。個別の研究費は競争的資金に積極的に応募することで確保する。

⑨ 連絡先

萬納寺 信崇（日本気象学会）