

【学術変革領域研究（B）】

地下深部デジタルツイン学の創成：地下岩盤特性の予測・検知・制御への挑戦

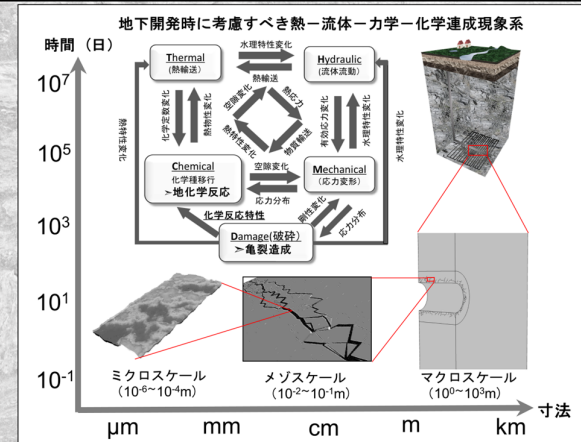
	研究代表者	大阪大学・大学院工学研究科・准教授 緒方 奨（おがた しょう） 研究者番号：50868388
	研究課題 情報	課題番号：26B207 研究期間：2026年度～2028年度 キーワード：岩盤の多階層連成現象、岩盤の構造・物性変化、エミュレータ、観測・超解像

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

地球環境保全・カーボンニュートラル・エネルギー安定供給を実現した社会の形成には、地上だけでなく地下に広がる膨大な空間と豊富な資源リソースの持続的活用が不可欠である。そのためには、放射性廃棄物やCO₂の地下空間への長期処分、地熱・石炭・金属鉱床等の多様なエネルギー資源の生産・回収・備蓄など、昨今急速に重要性が高まりつつある多様な地下開発事業を周辺環境と調和させながら持続可能な形で展開していく必要がある。また、真に持続可能な形でこの様な要求に応えていくためには、地下開発の舞台となる地下深部岩盤内の4D空間（3D空間＋時間＝4D）において、①何が起きるのか？（未来予測）、②何が起きたのか？（時々刻々の検知）、③それらをふまえて如何にして岩盤の性能（特性）を改変していくのか？（未来制御）、という予測・検知・制御が一体化した統合的地下開発支援技術が必須となる。しかしその様な目に見えない地下深部を理解し操る革新的技術は、旧石器時代から続く、経験則をよりどころとしてきた、人類の長い地下開発の歴史において未だ到達できていない境地である。その巨大なボトルネックとなっているのが地下開発時に岩盤内で起き得る複雑連成現象の強いマルチスケール性（図1に示した岩盤で生じる全ての連成現象は岩盤を構成する岩石中の亀裂等のミクロな空隙空間構造の影響を強く受ける）であり、特に室内実験で確認されてきている岩石のミクロなサイエンスを実岩盤へ展開する際の大きなスケールギャップを埋める学理の欠落が課題となっている。そこで本領域では、ミクロな空隙構造スケールから大規模な実岩盤スケールまで階層を超えて連成現象や物性を自在に橋渡しする新奇の学理を構築するとともに、その学理を基盤とし地下深部の4D空間での極限的複雑現象（マルチスケール・マルチフィジックス現象）と岩盤特性の変遷に対する予測・検知・制御の全てを実現する野心的デジタルツインの創出に挑戦する（図1）。

地下岩盤を予測・検知・制御する地下深部デジタルツイン学



地下深部の4D空間における極めて複雑なマルチスケール・マルチフィジックス現象と岩盤特性の変遷に対する予測・検知・制御の全てを実現する野心的デジタルツイン

→多様な地下開発が真に持続可能な形で実現できる時代の開拓

図1 地下深部デジタルツイン学のイメージ図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●各計画研究の研究内容

本研究領域の目的を達成するため以下の3つの目標を研究期間内に達成する。

目標1：地下深部岩盤の空隙構造・物性変化に対する予測・制御技術の開発

目標2：地下深部岩盤の空隙構造・物性変化に対する検知技術の開発

目標3：予測・検知・制御技術を統合した地下深部デジタルツインの開発と実現場検証

以上の目標を達成するために、各計画研究では下記の研究を実施する(連携関係を図2に示す)。

A01（緒方奨・大阪大学：岩盤の現象予測・制御シミュレータ開発）

A03と連携し、機械学習の解釈機能を活用した新奇アプローチにより、極めて複雑な地化学反応を含んだミクロな連成現象とそれに伴う岩石の亀裂空隙と巨視的な透水特性の時空間変化を記述できる構成モデルを創成する。更にそのモデルを独自のマルチスケール・マルチフィジックス岩盤解析コードと統合し、岩盤の亀裂空隙・透水特性の時空間変化に対する予測/制御シミュレータを開発する。

A02（澤山和貴・京都大学：観測値から岩盤空隙構造・透水特性を検知する手法の開発）

スケールの垣根を超えてマクロな観測データから間接的に岩盤内の空隙構造や透水特性を検知する手法を新たに開発し、フィールド観測と予測・制御シミュレータとの間の情報の橋渡しを実現する。

A03（石塚師也・京都大学：AI基盤の開発と連携）

A01と連携し機械学習に基づき複雑連成現象をモデル化し、A01で構築された予測・制御シミュレータを高速化するエミュレータを開発する。このエミュレータをA04のデジタルツインプラットフォームに導入する。

A04（本田博之・九州大学：観測・超解像を駆使したデジタルツイン基盤の開発）

A03と連携してPINNs（Physics-Informed Neural Networks）等による超解像補間を行い、高密度な地下構造モデルを再構成する。構築したデジタルツインプラットフォームにA03の高速エミュレータを組み込み、仮想空間上での予測と観測データの同化を通じた双方向接続型システムを開発し現場適用する。

●研究領域の波及効果

本領域は、これまで地上の人工物を主たる適用対象としてきたデジタルツイン分野に、まだ見ぬ地下深部の自然物を対象としたデジタルツインという全く新しい学問領域を創出することが期待できる。また、熱力学、流体力学、情報工学、地球化学、鉱物学、地球科学、固体力学、破壊力学、計算力学、材料科学等の多岐に渡る物理・工学関連分野の知見の融合により形成されたシミュレータを基盤技術としたデジタルツインは、地下の多種多様な環境・現象に適用可能である。このデジタルツイン技術は、持続可能な社会形成に向け地下深部空間の開発需要が急増している世界情勢において、我が国が世界に誇る非常に強力な開発支援ツールとなる。このデジタルツイン技術の適用により、次世代地熱発電における地熱流体の回収効率を飛躍的に向上させ、次世代エネルギー資源開発の促進に貢献し得る。また、高レベル放射性廃棄物の地層処分や二酸化炭素の地中貯留における、亀裂岩体の物質閉じ込め性能を数万年スケールで高精度評価可能とし閉じ込めシステムの更なる堅牢化をもたらし得る。したがって、本領域の成果はエネルギーの安定供給や脱炭素・低炭素化、温室効果ガスの削減、自然環境保全等に対する直接的な貢献が期待できる。

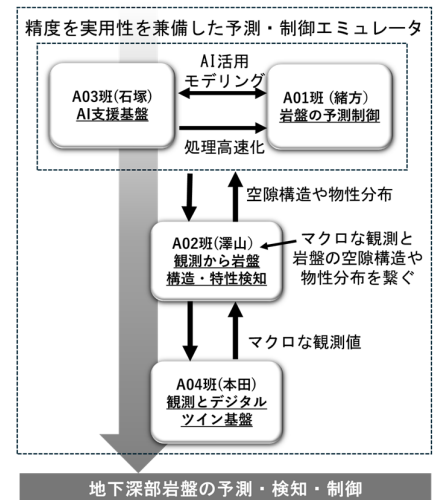


図2 各計画研究の連携関係

ウェブサイト等

<https://dtdu.kumst.kyoto-u.ac.jp/>