

計算科学研究教育拠点（COE）形成推進事業 報告資料

課題2：ポスト富岳世代に向けた都市防災・社会システム統合デジタル
ツイン基盤の研究開発

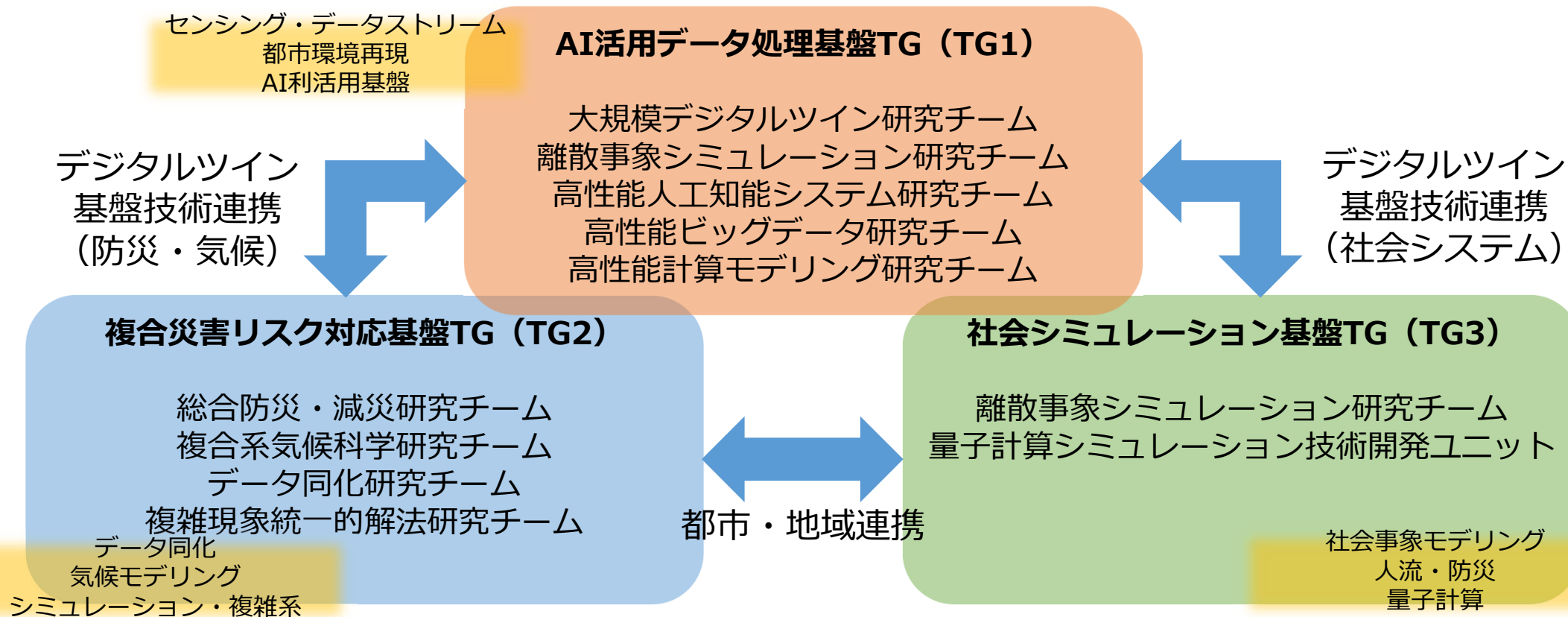
大規模デジタルツイン研究チーム チームプリンシパル
山口 弘純

課題 2 の実施内容

- HPCとAI・社会シミュレーションを統合
- 都市課題（防災・交通・観光などスマートシティを中心）を一体的に解析・予測するスキームの設計と研究開発を実施
- 継続的に進化するデジタルツインを構築することを目標
 - 高精度シミュレーションのAI蒸留などによる高速化と現場推論
 - 観測データ同化とフィードバック
- 自治体で運用可能なシステムとして実装，意思決定支援と社会実装に貢献

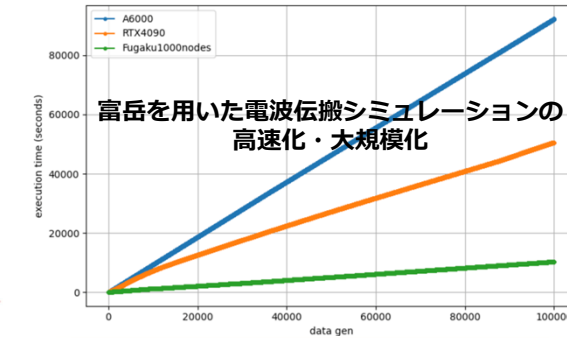
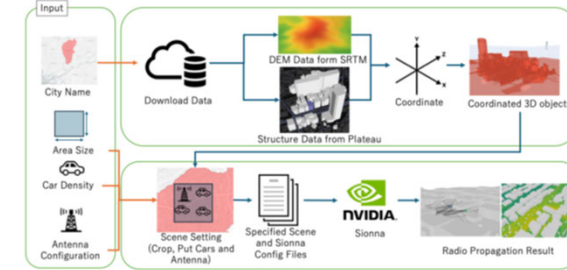
ポスト富岳世代に向けた都市防災・社会システム 統合デジタルツイン基盤の研究開発

理化学研究所R-CCSの10チーム・1ユニットが専門性を活かし3つのタスクグループを担当
AI活用をコアとし、都市防災・社会システムをターゲット
3つのTGの技術を統合したデジタルツイン基盤技術を全チーム・ユニットが協力して開発

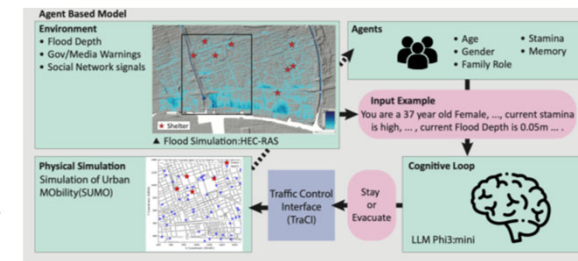


TG1：大規模デジタルツイン研究チーム

応用事例1：自動運転向けの都市5G通信
環境デジタルツイン



応用事例2：LLMを用いた
洪水避難エージェントシミュレーション



LLM意思決定エージェントと水害シミュレーションを連携。避難行動を評価

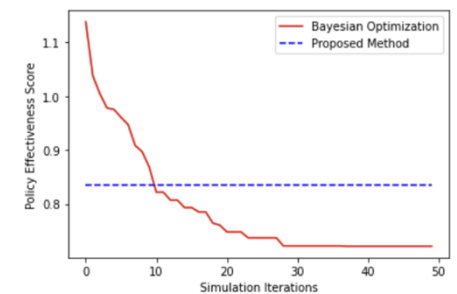
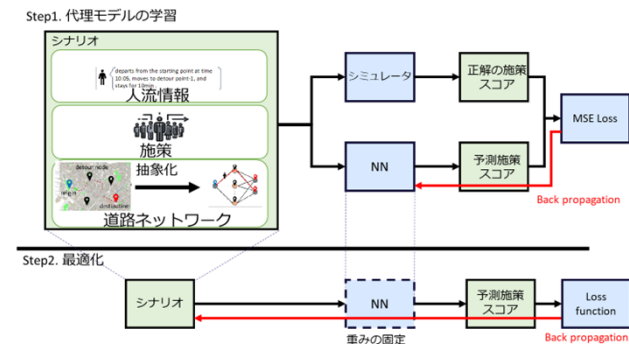
様々な地点での人や車両の3次元点群や動画・移動ログ（多地点データストリーム）
都市環境データ・地理データ・エネルギーデータ・気象データ（多種多様なフォーマットのデータ）



サイバーフィジカルシステムを基軸とし、都市規模のセンシングやIoT分散データストリーム処理、B5G/6Gを活用したデータ集約と実時間知的データ処理、実社会へのフィードバックを**淀みなく実行する基盤**の設計開発。Society5.0が目標とする超スマート社会の実現に貢献

TG1：大規模デジタルツイン研究チーム

- AIによるシミュレーション高速化（代理モデル）と最適な施策の探索技術を開発
 - 通信会社と共同で、歩行者・電車・バスをマルチエージェントシミュレータ上に再現
 - ポイント感度やPoI魅力度などをシミュレータ内に実装
 - 阪神甲子園球場（阪神のゲーム終了時）における歩行者制御の施策効果を高速判定するプラットフォームを構築
- 施策は2種類
 - 回遊策：歩行者を近くの商業施設に誘導
 - パラメータ：各商業施設の魅力度(何割の人が立ち寄るか)・滞在時間
 - 段階退場：会場の出発時間を制御
 - パラメータ：分割数, 分割の時間間隔
- 人流の「良さ」を計算するシミュレータの出力を模倣するニューラルネットワーク（サロゲートモデル）を構成
- シミュレーションによるベイズ最適化に対し、ニューラル+最急降下法を用いて高速な最適化を実現。最適な施策を発見



TG1：大規模デジタルツイン研究チーム

- 人流の施策なしとありとで混雑緩和効果を確認

「施策」なし（実人流）



「施策」あり



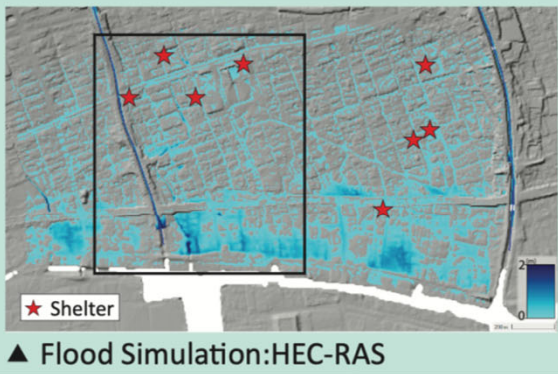
TG1 : 大規模デジタルツイン研究チーム

- LLMを用いた洪水避難シミュレーション
 - LLMで意思決定を行うエージェントと水害シミュレーションを連携して、避難行動の評価を行う。

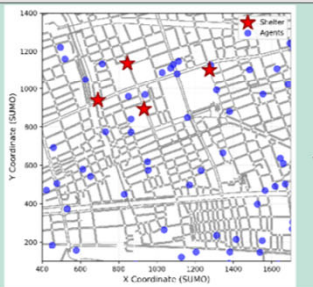
Agent Based Model

Environment

- Flood Depth
- Gov/Media Warnings
- Social Network signals



Physical Simulation Simulation of Urban MOBility(SUMO)



Agents



- Age
- Gender
- Family Role
- Stamina
- Memory

Input Example

You are a 37 year old Female, ..., current stamina is high, ... , current Flood Depth is 0.05m ...

Cognitive Loop



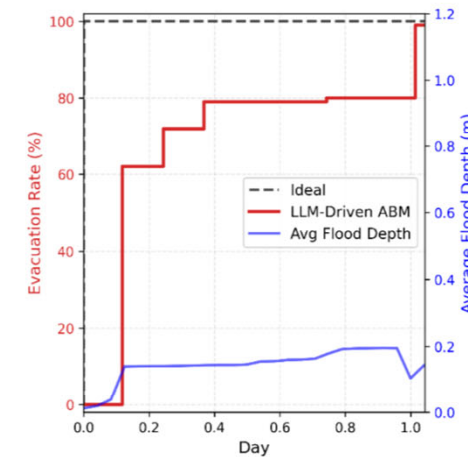
LLM Phi3:mini

Traffic Control
Interface (TraCI)

Stay
or
Evacuate

Result

Agent Based Model vs Ideal



- LLM-driven agents display human-like hesitation for evacuation.

TG 1 : 高性能計算モデリング研究チーム

Jens Domke, Dr.



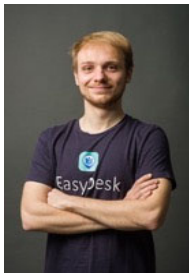
- **Position:** Team Leader
- 2021 Researcher @R-CCS
- 2017 Postdoc @Tokyo Tech & 2019 Postdoc @R-CCS
- 2011 Researcher @ORNL & 2016 Intern @LLNL, USA
- **Research:** HPC networks, HPC performance analysis & modelling, co-design, AI frameworks

Theresa Pollinger, Dr



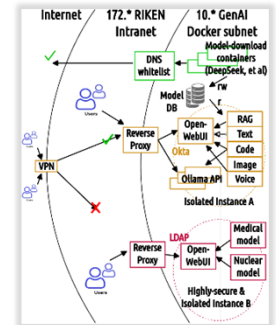
- **Position:** Postdoctoral Researcher
- **Research:** Distributed Simulations, Algorithms for Higher-Dimensional Problems, Sim/ML Interfaces

Francesco Antici, Dr

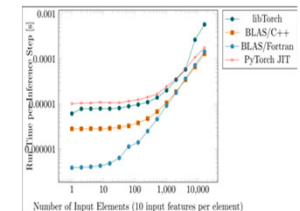
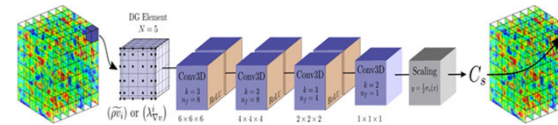


- **Position:** Postdoctoral Researcher
- **Research:** Machine learning algorithms, HPC operations, System energy analysis and tuning, Model serving infrastructure

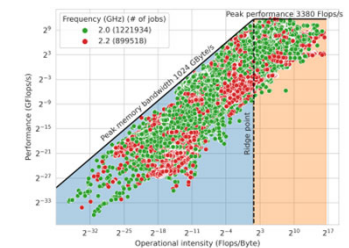
- プロジェクトに合わせて容易に展開できるようにするための RiVaultモデルサービング基盤の小型化



- より多くのモデル形式に対応するため dalotia軽量Tensor Loaderライブラリのロードを強化



- 将来のHPC/AIシステムにおけるより良い資源利用につながる隠れたパターンを見つけるための富岳ジョブログ分析



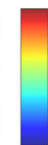
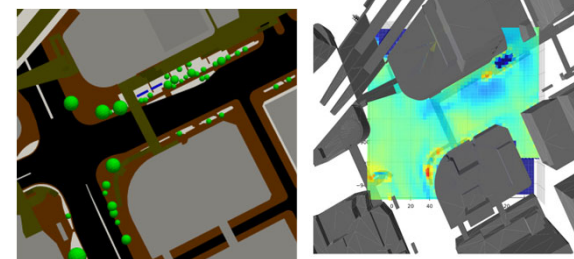
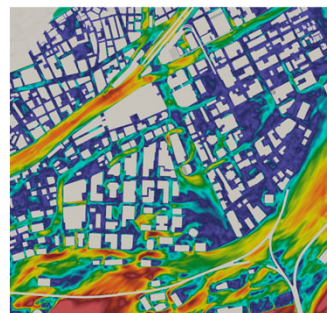
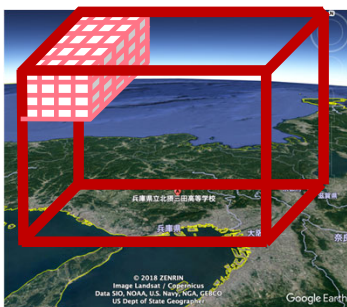
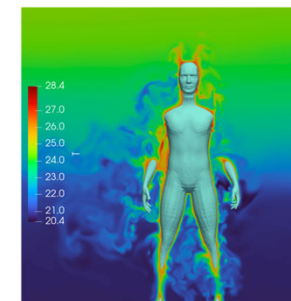
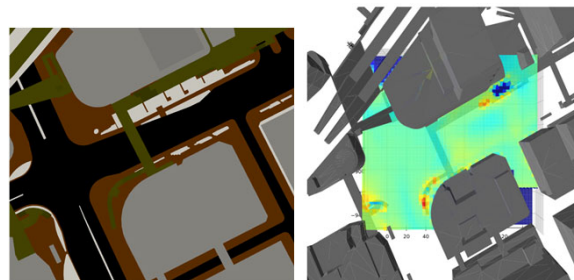
TG2：複雑系現象統一研究チーム

都市気象と人体応答の統合による暑熱環境に適したまちづくり

- 富田グループと連携し、SCALEによるメソスケール気象シミュレーション結果に対してAI技術によりミクロスケール乱流変動を生成し、我々グループのCUBEを用いてエンジニアリングLESを実施。
- 対象は神戸市市街地とし、建物、ストリートレベルからさらには人スケールまでを対象。メソスケール気象からミクロスケール気象を貫く新たなシミュレーションフレームワークを構築。
- 暑熱評価として一般的な従来のWBGTのみならず、室内環境での熱評価のために開発したデジタル人体モデルを用いて熱環境評価を行い、都市域での熱環境が人体に与える影響を高精度に予測。
- 暑熱のみならず、ミクロ気象下での大気汚染物質（NoxやPM2.5等）の拡散、滞留、生成の高精度予測へも展開。

神戸市モデルの一例
(下：風速分布)

植生等による暑熱対策効果のWBGT評価
(上：対策前、下：対策後)



マクロ・メソスケール気象解析

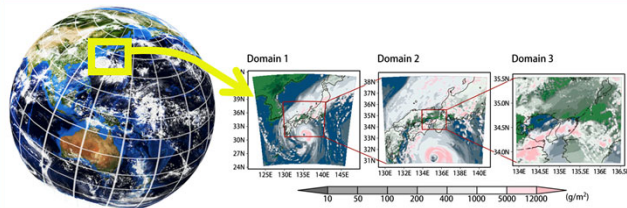
エンジニアリングLESを用いたストリートレベル解析による暑熱評価

デジタルマネキンによる生体反応予測

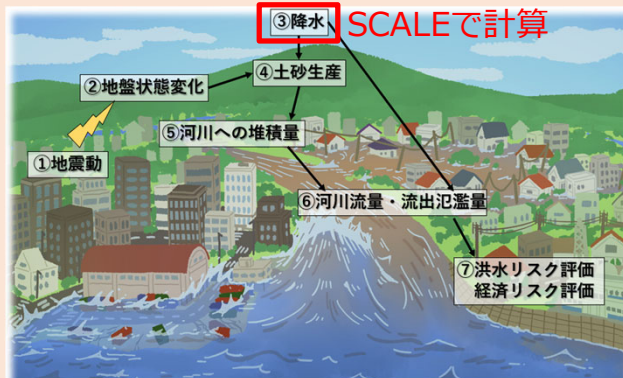
TG2：複合系気候科学研究チーム：SCALEの高度化 ～高度な陸面モデルの導入と期待～

本課題の中でのSCALEの役割

力学的ダウンスケーリング手法による
空間詳細な気象シミュレーション

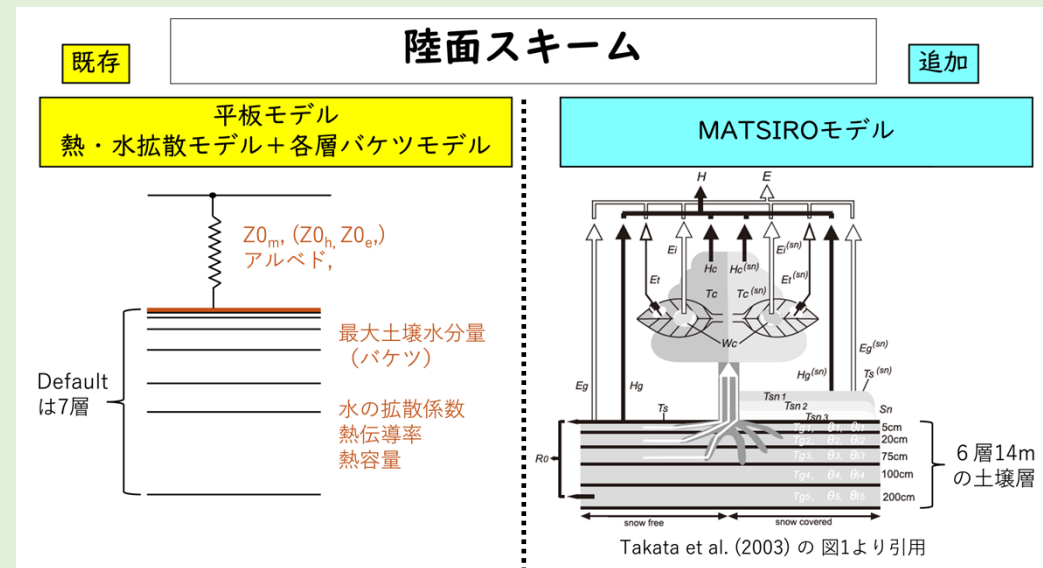


複合災害



SCALEの精緻化が重要

R7年度に取り組んだこと：陸面モデルの精緻化



- パラメータで土壌と植生を表現
- 特徴的な変数以外はほぼ同様の値を使用

- キャンピ層の放射伝達、植物を介した水収支も考慮
- 複数層の積雪層を考慮

期待

- ・ モデルバイアスの改善
- ・ 冬季を含む長期計算が可能に
- ・ 大気-陸面相互作用が重要なプロセスに関する研究等適用領域拡大

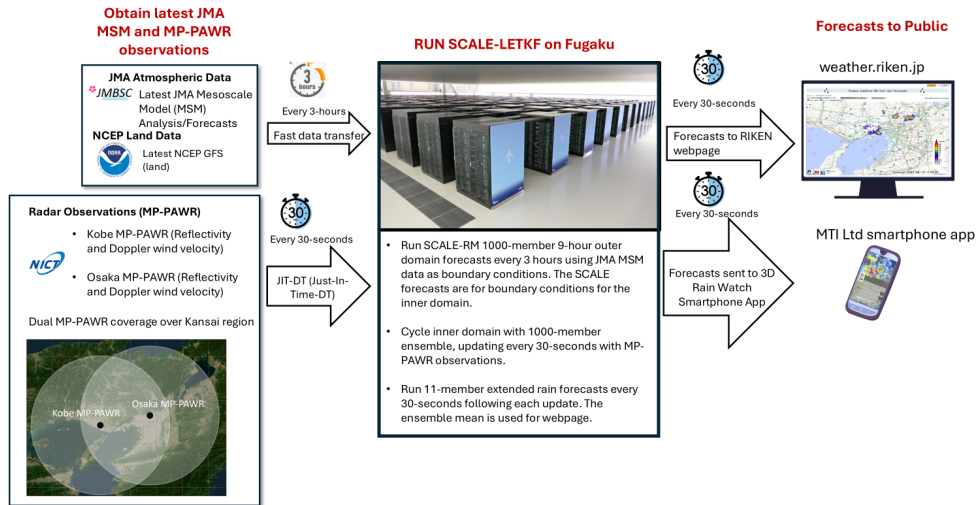


暑熱や降水を対象とする計算の
精度向上

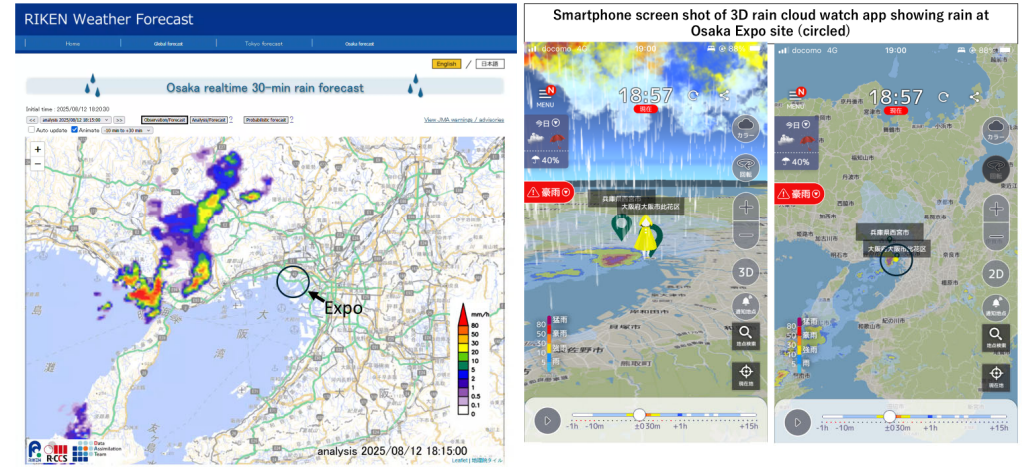
大阪万博2025での実証

TG2: データ同化研究チーム 災害リスク対応プラットフォーム

Real-Time Numerical Weather Prediction System



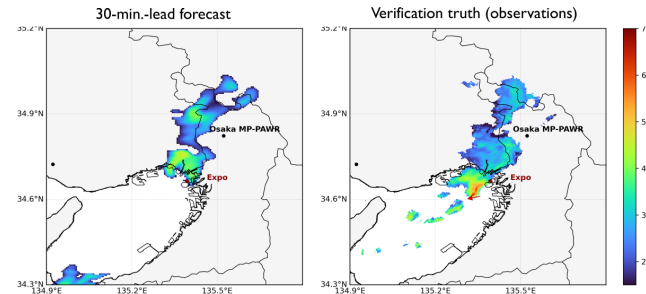
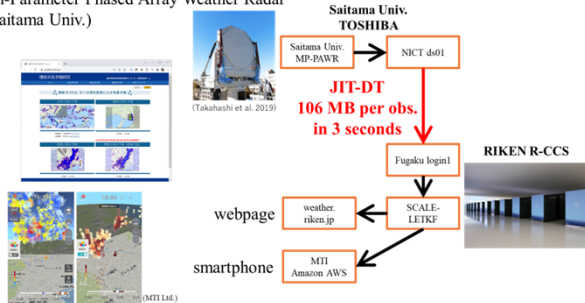
30-minute Rain Forecast: Initialized 18:20 12th August 2025



- Fast moving line of convection from west with >80 mm/hr rainfall
- Advanced warning given to visitors via smartphone app

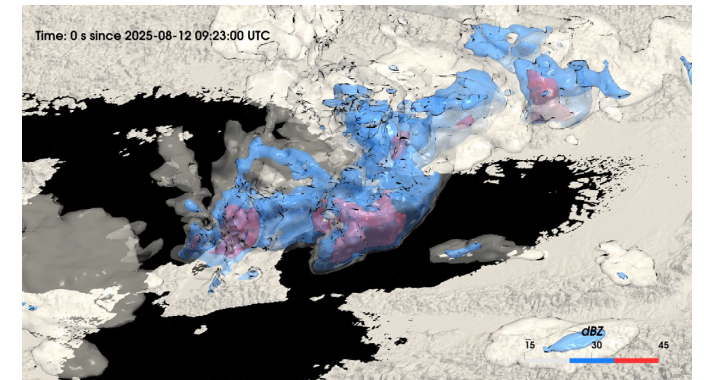
30-s refresh real-time workflow with "Fugaku"

Multi-Parameter Phased Array Weather Radar (at Saitama Univ.)



A case of forecasting rain clouds using "Fugaku" during Expo 2025 Osaka, Kansai.

Reflectivity intensity (red is stronger) at 18:53 JST 12 August 2025.
Push notification via smartphone app was made successfully based on this forecast.



TG3：離散事象シミュレーション研究チーム

- エージェントベースシミュレーションによる都市防災技術の研究開発を実施
 - 2024年度までに実施した県市COE課題9「「富岳」による社会シミュレーションの研究」の成果を踏まえた研究を実施
 - 本課題で対象とする地域・事象の選定・生成AI技術を活用したシミュレーション技術とその応用を検討
 - 複数の交通モードを使った避難シミュレーション技術
→徒歩だけでなく、自動車・バスも併用した広域避難を対象とすることが妥当
 - 複数自治体にまたがる避難が想定される高潮・津波防災
→尼崎市から伊丹市へのような広域避難が想定される人口密集地について兵庫県・神戸市に打診
 - 生成A Iを搭載したエージェント集団による社会現象のシミュレーションモデルの応用可能性
→モデル開発とその応用を実施するための研究開発計画の提案
 - 受賞：2024年度に県市COE課題9で実施した成果「神戸駅周辺地域の垂直避難委関する検証」に対して理研・梅峰賞を受賞



※解説記事：伊藤伸泰「社会現象と計算物理学」科学2026年3月号（岩波書店）

令和8年度に向けて

- TG1：AI活用データ処理基盤TG
 - データストリーム基盤のプロトタイプ実装を行うとともに、並列処理の手法について検討
 - AIエージェントを活用し、様々な属性を持つ人間行動モデルを開発
 - 小規模地域を対象として、災害時の避難や交通渋滞解消などを想定したシミュレーション検証を実施
 - 「富岳」を用いた並列推論機構の基本設計を行い、都市デジタルツインを高度化
 - これらの取り組みに際し、自治体との意見交換や議論も継続的に実施
- TG2：複合災害リスク対応基盤TG
 - 雲の微細な振る舞いや斜面崩壊など重要な現象をより精密に表現する。スーパーコンピュータ「富岳」で大規模計算を行い、AI学習用のデータを作成
 - これを用いてAIサロゲート（代理モデル）の初期版と超解像モデルを構築し、神戸市内の代表地域で統合デモを実施
- TG3：社会シミュレーション基盤TG
 - 選定した地域・事象に対応するシミュレーションに必要な電子地図および人流・交通流データの整備
 - 避難シナリオの精査とアプリケーションのプラットフォーム化に向けた検討