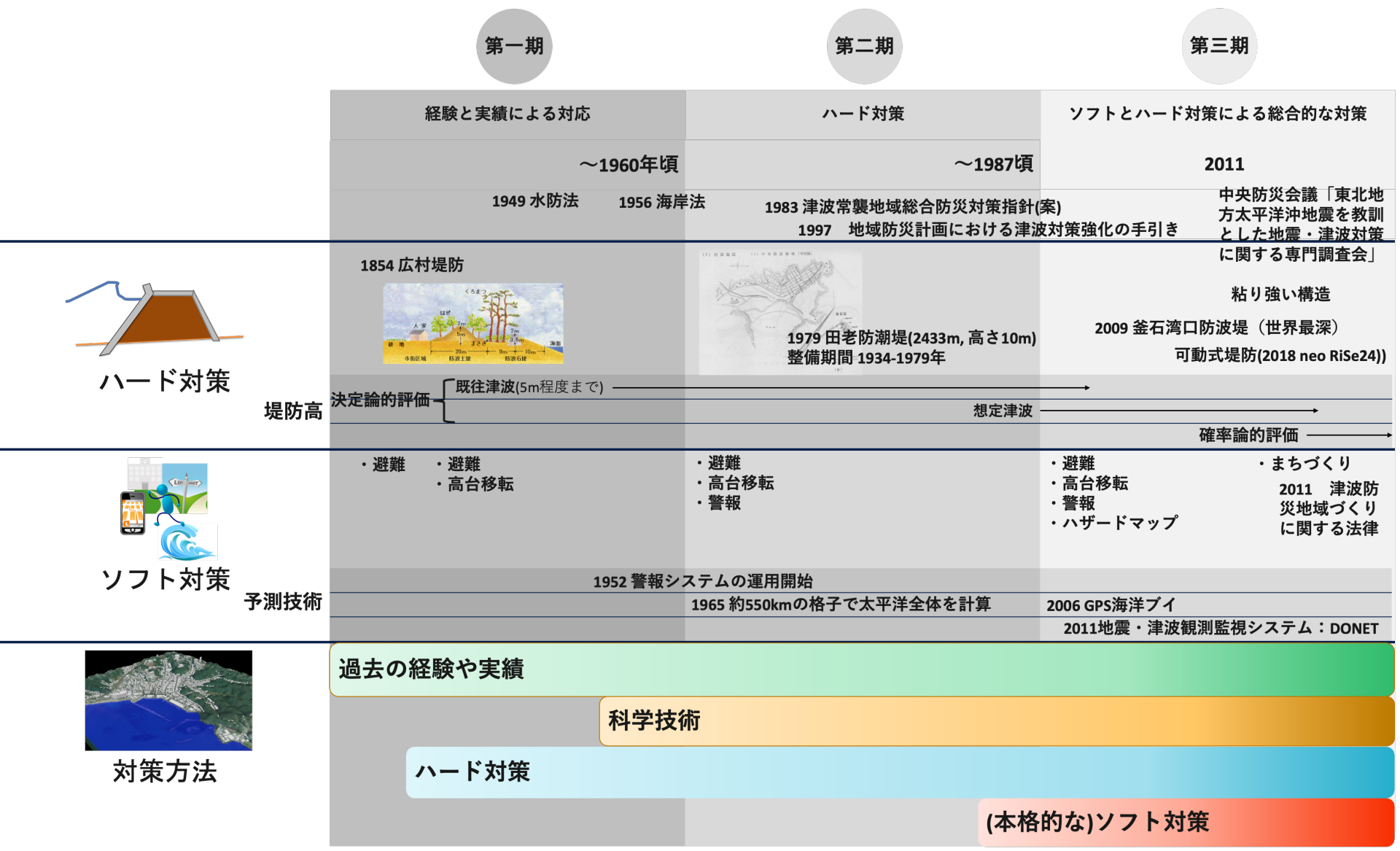


降雨の不確実性を考慮した 避難判断システムの検討に関する研究

有川太郎・今井遙輝・石山雅樹・白井知輝
中央大学

沿岸防護の変遷

首藤伸夫: 津波対策小史, 津波工学研究報告, No.17, pp.1-19, 2000.より, 近年の変化を加えて図化

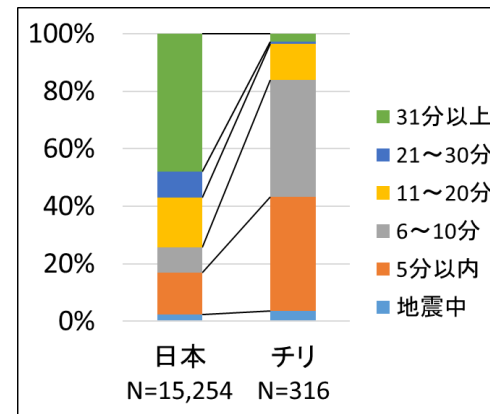


避難にとって重要なことは何か？

- これまで多くの津波・高潮被害について避難のヒアリングを国内外で行ってきたが、避難しない理由は、「**大丈夫だと思ったから**」
- 岐阜県関市武儀地区の2018年7月の被災・避難状況のヒアリング
 - 平家で、天井を破って首だけ出して凌いだ人もいた
 - 今までにないほどの早い水位の上昇だったが、水捌けも早い
 - 80世帯のうち、実際に家屋が浸水したのは20世帯程度（避難した世帯も20世帯程度）
 - 集会所まで水位が上昇していないタイミング**で避難(車で避難している人)
 - ギリギリまで避難しない**（避難したくない）人が多く、**垂直避難**（2階への避難）が多かった



避難するきっかけが重要



日本(2011)とチリ(2015)での避難行動の差

チリでは**地震動の強さ**によって避難しているが、避難しない方々は**大丈夫だと思ったから避難しない**

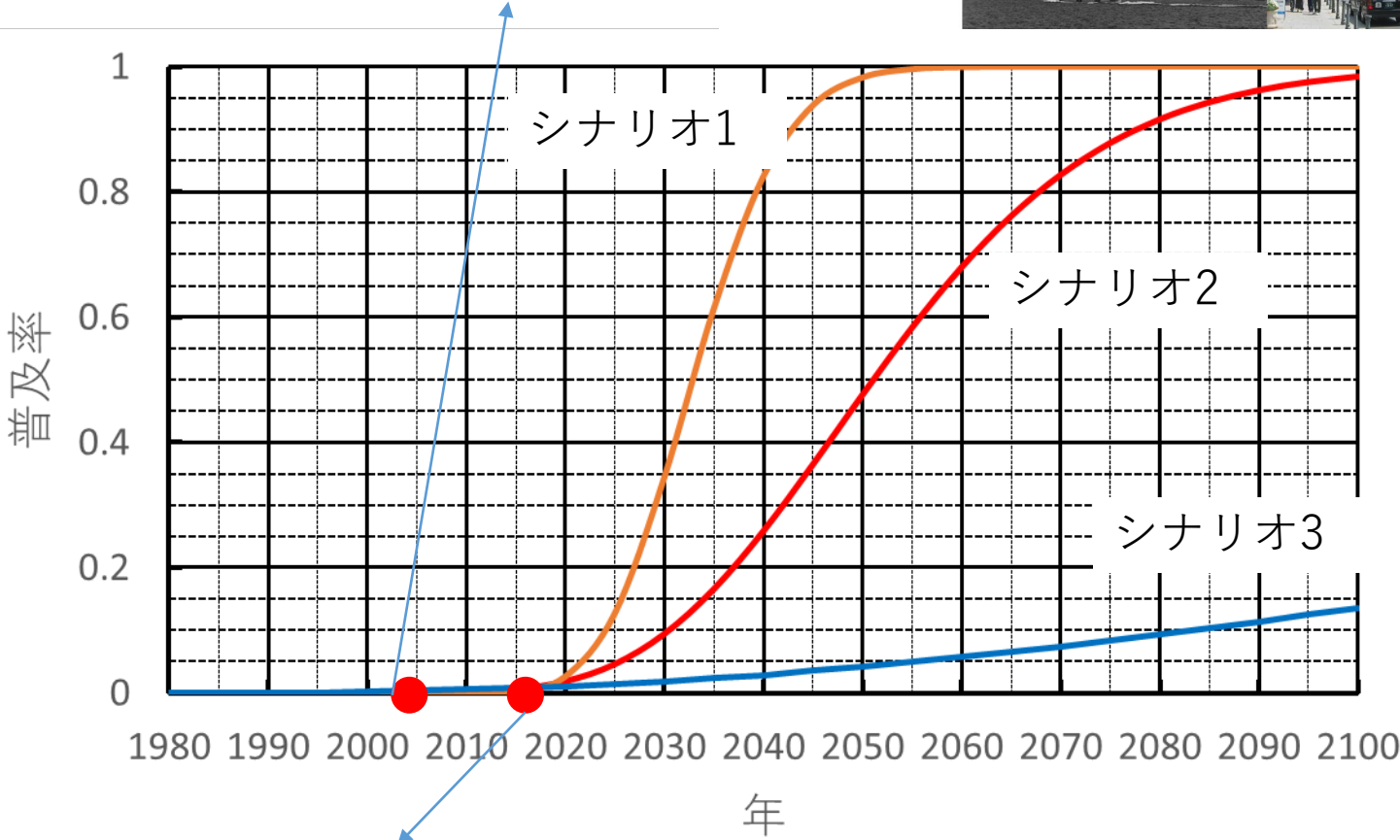
岐阜県関市武儀地区



避難支援の取り組み

避難のデジタル化に向けた取り組み

2002年～2007年



1 津波予測技術の研究開発

Forecasting system for Tsunamis

津波の予測技術を高度化。海域で津波を捉える研究で、陸上への遡上までが明らかに。

背景

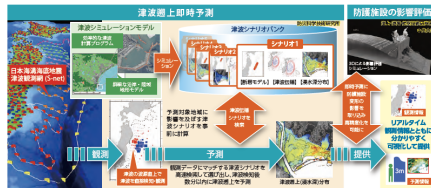
大きな津波被害をもたらした2011年東北地方太平洋沖地震

東北方太平洋沖地震では、実際の津波の高さが地震直後に予測された高さよりも低かったことが、沿岸での津波の高さの予測だけでは避難が適切な理由が明らかになったこと、実際に津波が迫りつつあるにもかかわらず避難がなかなか進まない状況により避難が遅れ、大きな被害をもたらした。津波の被害を軽減するためには、津波の高さを正確に予測し、避難のタイミングを正確に伝えることが重要である。

研究内容

○津波遡上即時予測 ○防護施設の影響評価

防災科学技術研究所は日本気象協会と連携し、津波予測システム（S-net）による津波遡上までの予測データ等を活用して被害に直結する津波遡上を津波検知後数分以内に予測する技術を開発する。予測情報は避難の情報のシステムに連携して前報を輸入した防災への利用を実現するとともに、避難情報と併せて分かりやすく提供するための図表を開発する。海上・陸上・航空・衛星技術研究所・中央大学は変化した防護施設の津波遡上への影響評価手法の研究開発を行う。



成果目標

「津波が来たから津波が来る」へ、そして避難につなぐ

津波の被害を軽減し、人命の救済に貢献することを目的として、津波の予測と避難の連携を強化する。津波の予測と避難の連携を強化することで、津波の被害を軽減し、人命の救済に貢献する。

Q. 現在の津波予測から今後、どのように変わりますか？

A. 今の津波予測は陸上の地震観測から間接的に推定した津波情報により、地域毎の沿岸津波被害を予測しています。我々の研究では、津波発生域で直接津波を捉えることで津波の高さを正確に予測し、避難のタイミングを正確に伝えることが可能になると、自分の場所まで津波が来るという確信につながる情報が提供することを目指します。

研究後援機関

防災科学技術研究所、海上・海洋・航空技術研究所、中央大学

内容についての問い合わせ先

文部科学省 防災関係局 地震・防災研究課

大都市大震災軽減化特別プロジェクトチーム 事務局

URL: <http://www.mext.go.jp>

〒100-8508 東京都千代田区千代田1-2-2

Tel. 03-5253-4134 Fax: 03-5253-4700

（中核機関）

東京大学 地震研究科

URL: <http://www.eeri.u-tokyo.ac.jp/>

〒113-8654 東京都文京区湯島1-1-1

Tel. 03-5841-5271 Fax: 03-5809-1234

京都大学 防災研究所

URL: <http://www.ku.dpri.ac.jp/>

〒615-8540 京都府京都市西京区西九条1-1

Tel. 075-753-4271 Fax: 075-753-4274

独立行政法人 防災科学技術研究所

■ 事務局

URL: <http://www.bousai.go.jp/>

〒305-8565 茨城県つくば市東3-1-1

Tel. 0299-51-1811 Fax: 0299-51-1822

■ 防災科学技術研究所

URL: <http://www.aist.go.jp/>

〒305-8565 茨城県つくば市東3-1-1

Tel. 0299-51-1811 Fax: 0299-51-1822

特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構

URL: <http://www.rescue-system.org/>

■ 研究センター

〒100-8508 東京都千代田区千代田1-2-2

Tel. 044-227-1226 Fax: 044-227-1125

〒100-8508 東京都千代田区千代田1-2-2

Tel. 044-227-1226 Fax: 044-227-1125



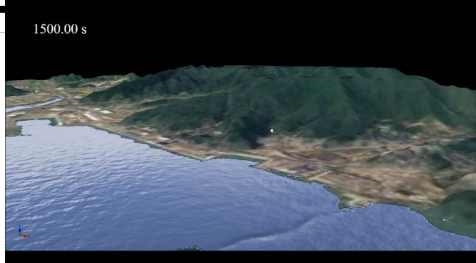
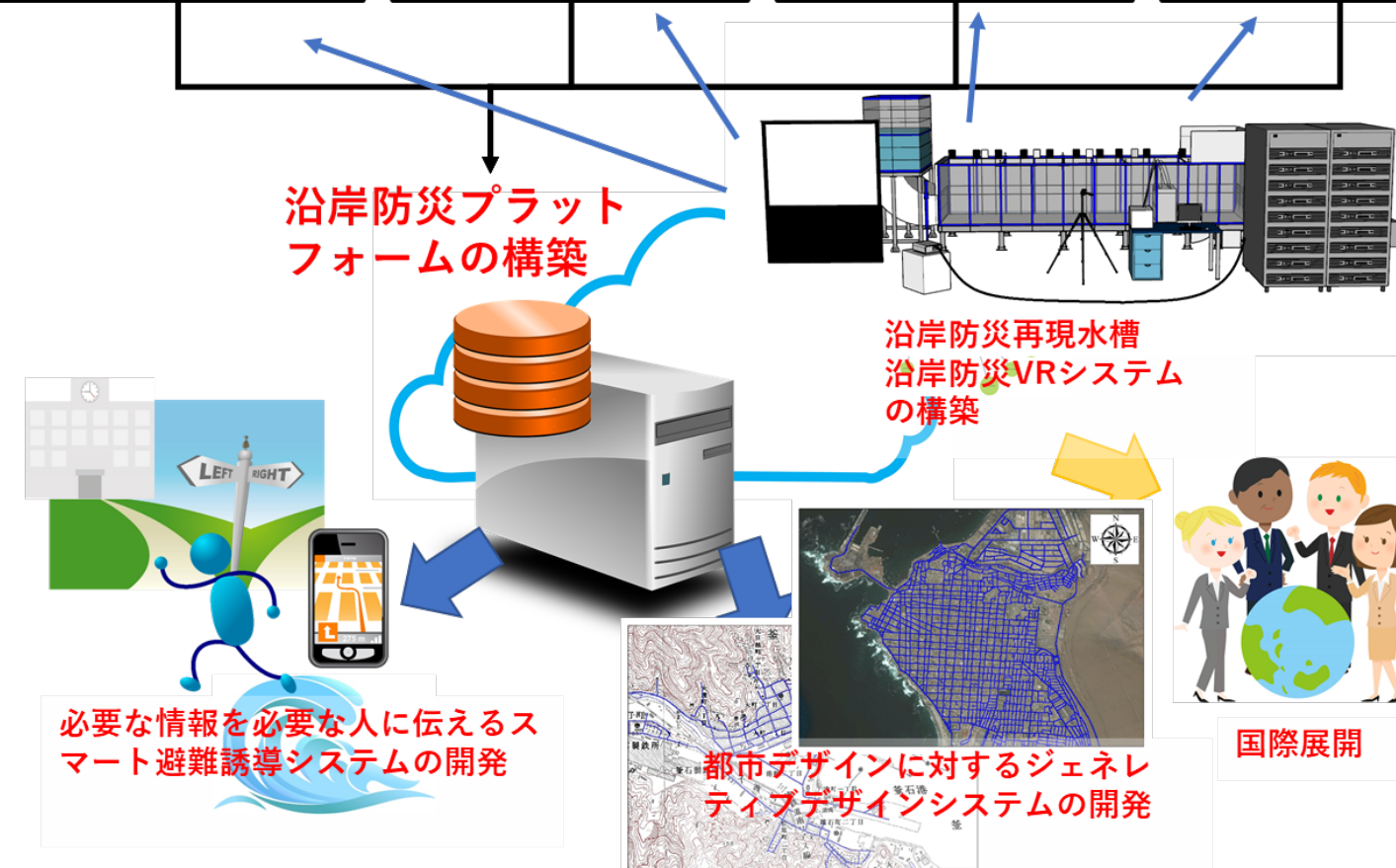
大都市大震災軽減化
特別プロジェクト
(大大特)

SPECIAL PROJECT FOR EARTHQUAKE DISASTER
MITIGATION IN URBAN AREAS

文部科学省

超スマート社会の実現に向けた 沿岸都市における 防災プラットフォームの開発

- ①豪雨・高潮・津波に
対する浸水計算データ
ベースの構築
- ②道路や避難場所の
脆弱性に対するデー
タベースの構築
- ③災害時の行動に関
するデータベースの
構築
- ④防災対策の政策評
価手法の構築



気候変動、地震などによる水災害に適応するために、関連するデータベースの構築や科学技術の体系化を行い、避難やまちづくりに資することを目的とする

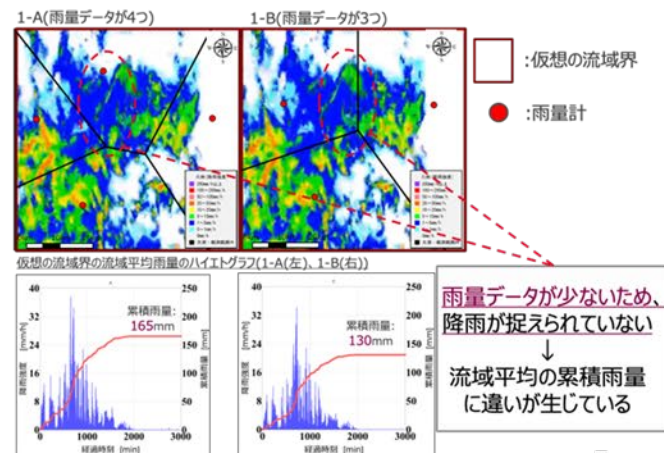


SATREPS インドネシア
(2022-2026)
SATREPS トルコ
(2023-2027)

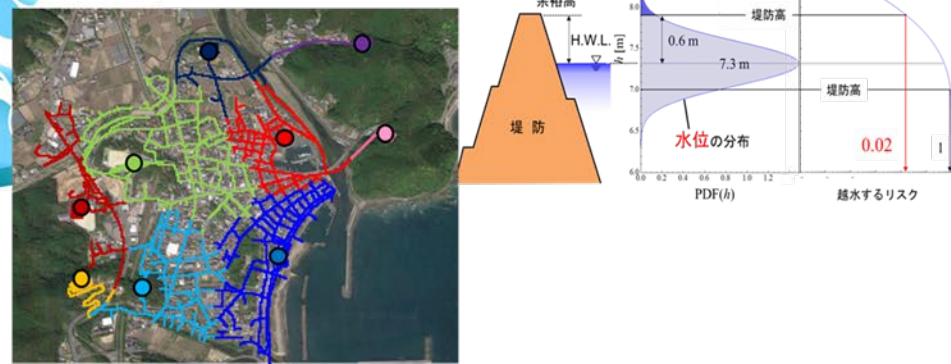
降雨の不確実性を考慮した避難判断システムの構築

～想定降雨レベルに応じた避難情報データベースに基づく避難判断
／行動支援を行うためのプラットフォームを開発～

降雨の不確実性



破堤の不確実性

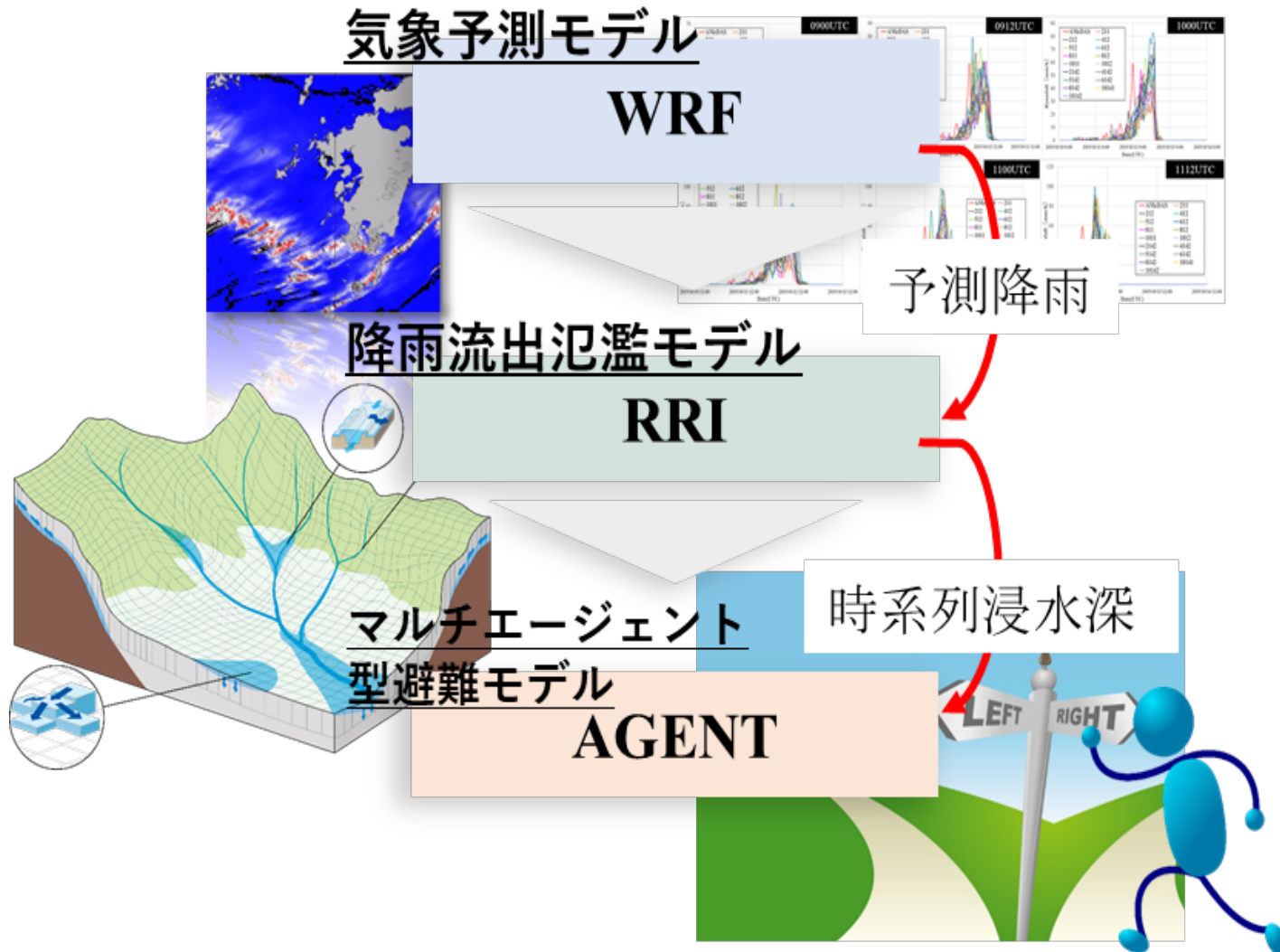


避難シミュレーション

豪雨データ、避難情報データベースからAIで判定し、
避難に最適な避難先とその
経路を判断する仕組み



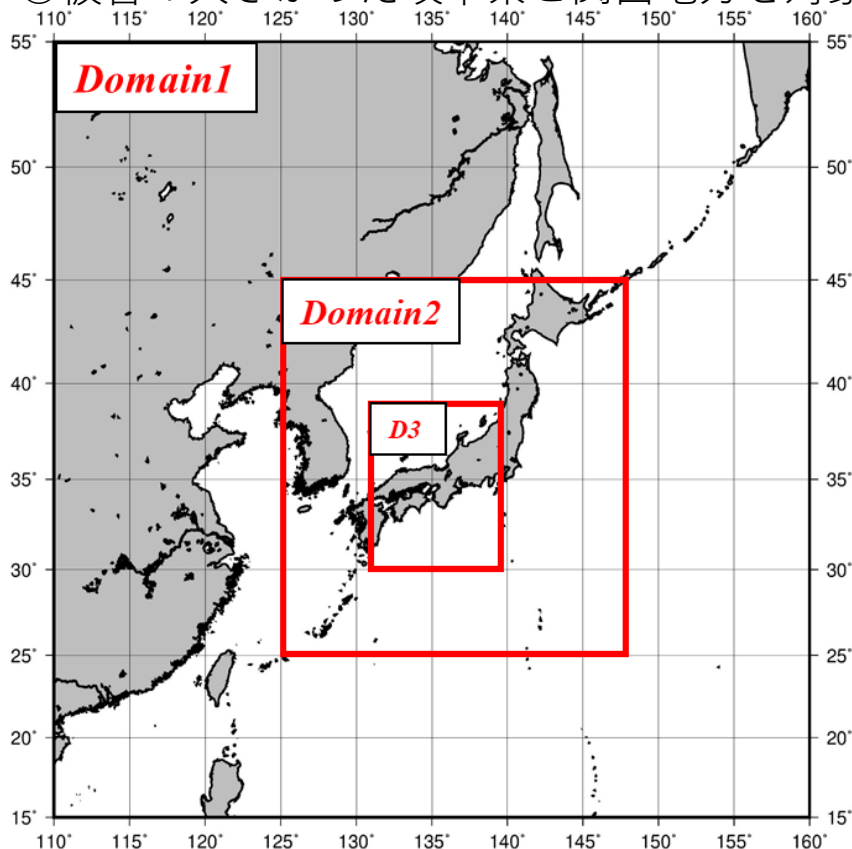
計算システムの全体像



浸水計算

WRFの計算条件 (2018年7月豪雨)

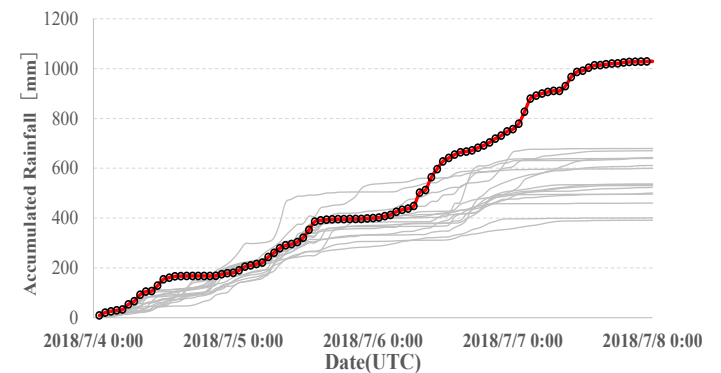
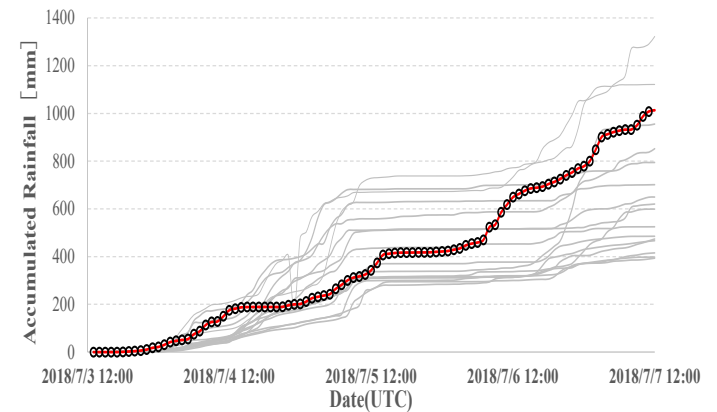
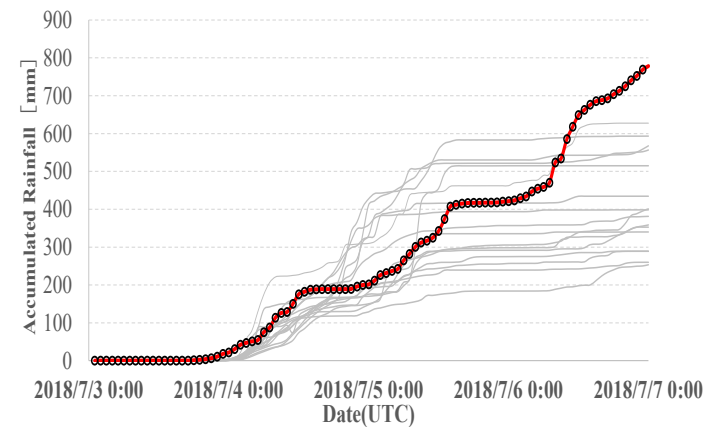
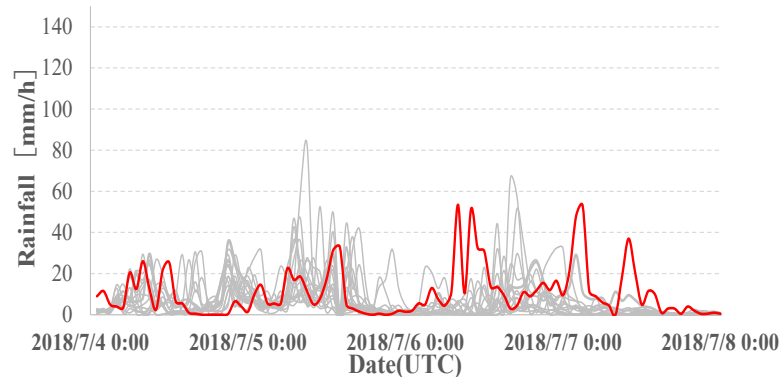
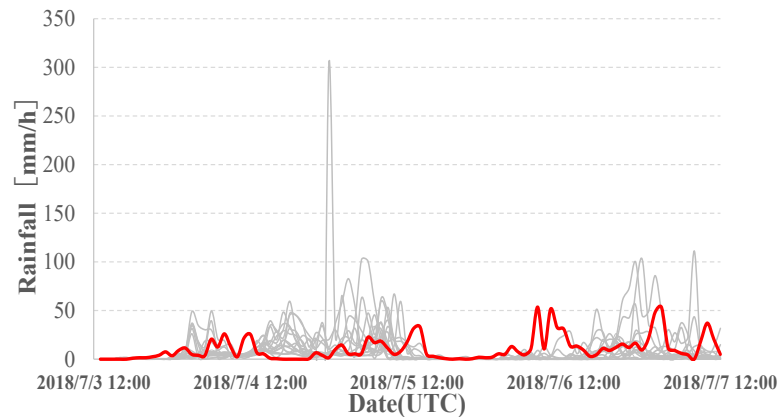
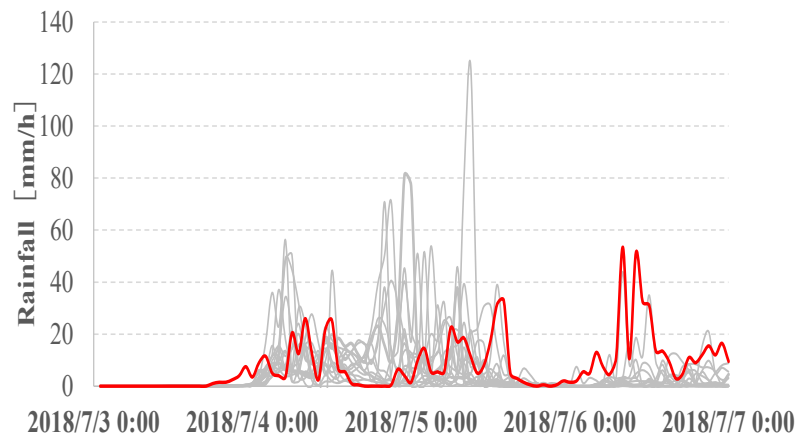
◎被害の大きかった岐阜県と関西地方を対象に.



Case	予測開始時間	予測期間
Case1	2018/7/3 12:00UTC	4days
Case2	2018/7/4 0:00UTC	
Case3	2018/7/4 12:00UTC	

WRF-ARW3.8.1	
計算領域	D1: 111 km (全球) D2: 22 km D3: 4.5 km
格子数	D1: 360 × 180
	D2: 110 × 90
	D3: 175 × 175
鉛直層数	40
投影法	Lat-Lon
計算時間間隔	D1:300 s, D2:90s, D3:20 s
初期値境界値	NCEP ds083.2(6-hourly, 1° 解像度)
物理オプション	雲微物理(MP);6種類 長波・短波放射: RRTMG(=option 4) 積雲対流(CP); 2種類 地表面: Unified Noah(=option 2) 惑星境界層(PBL):2種類 標高・土地利用: USGS 30s

降雨予測結果

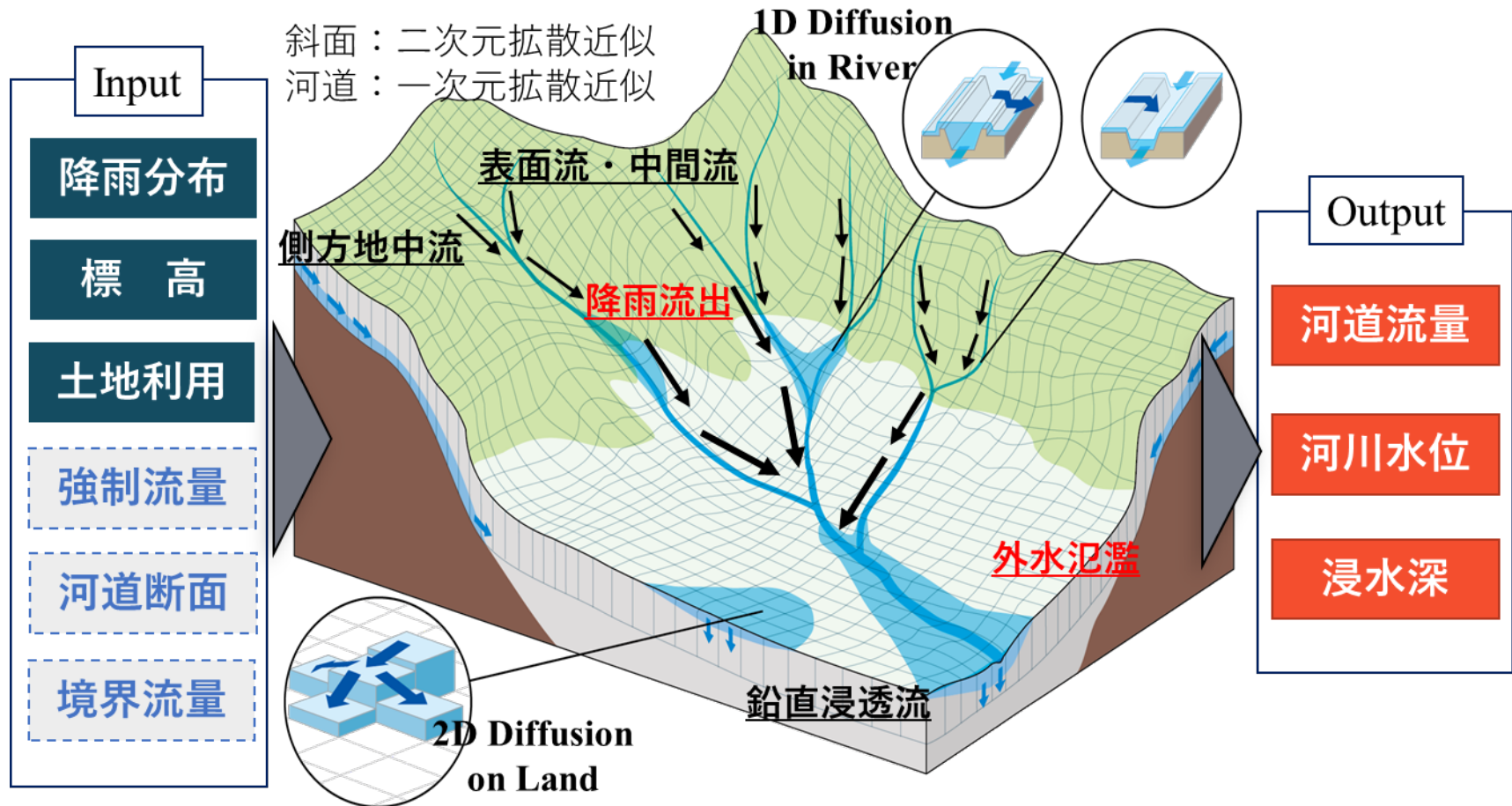


予測雨量とAMeDAS(岐阜県ひるがの)の比較：

左が時系列比較，右が累積雨量の比較

(グレー：予測雨量，赤：観測値，上から0300UTC予測開始)

RRIモデル概要



RRIモデル計算条件

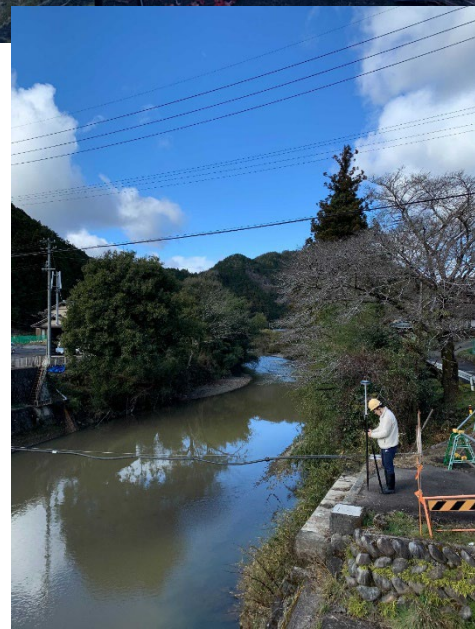


計算期間	72時間(3days)
格子数	(20m)550×570 ・ (10m)200×280
入力降雨データ	WRFの予測雨量
時間間隔dt	(計算)10s ・ (河川)10s ・ (出力)10s
境界流量	180m/s ³ / 集水域の流出
モデルパラメタ	すべてデフォルト値を使用
土地利用・ダム	考慮しない
河道断面	観測ポイントを線形補間し断面を作成

河道諸元観測地点



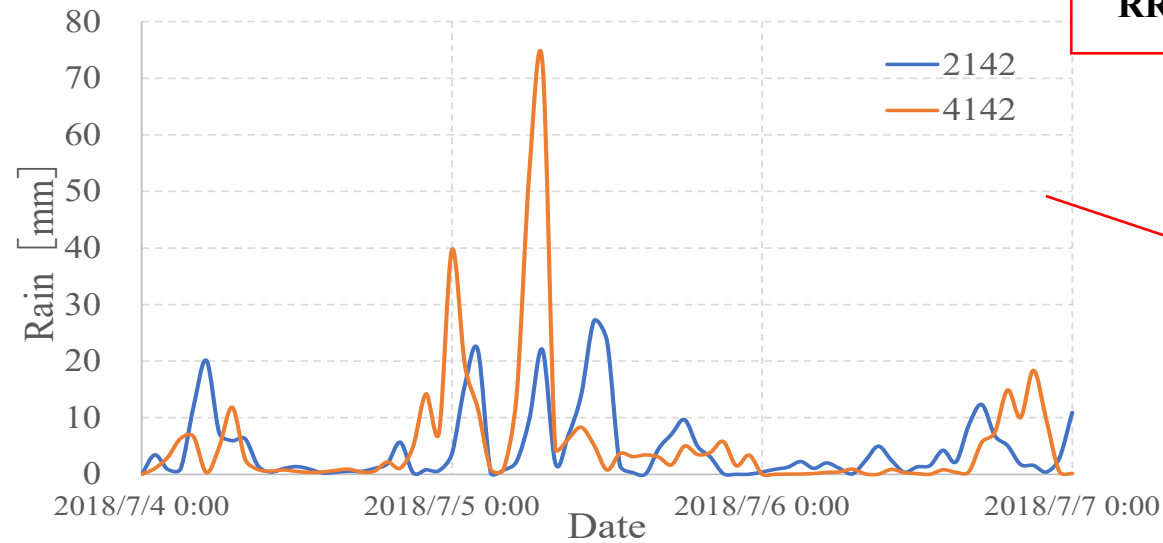
観測の様子



河川水門研究室
手計太一先生と一緒に

計算入出力例

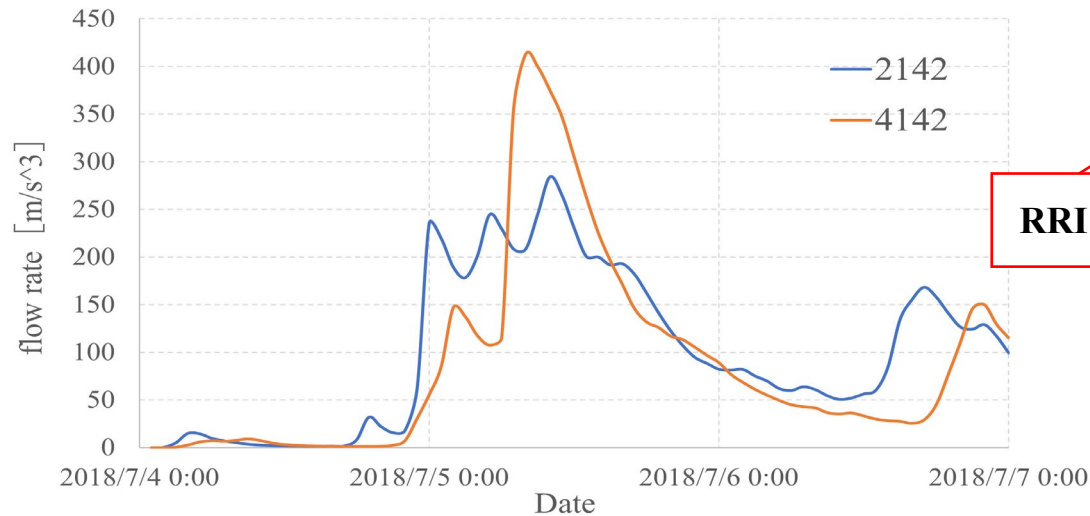
WRFで予測した集水域における流域平均雨量



RRIのインプット



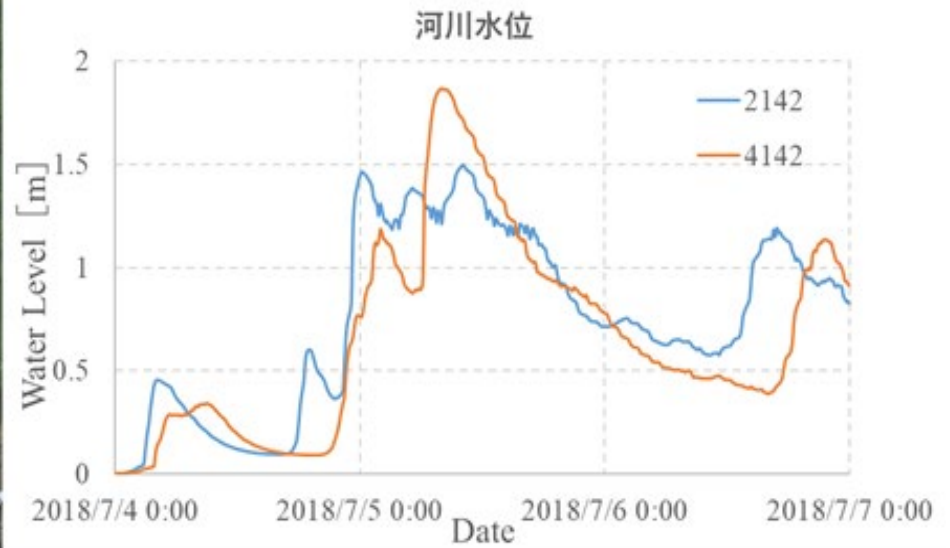
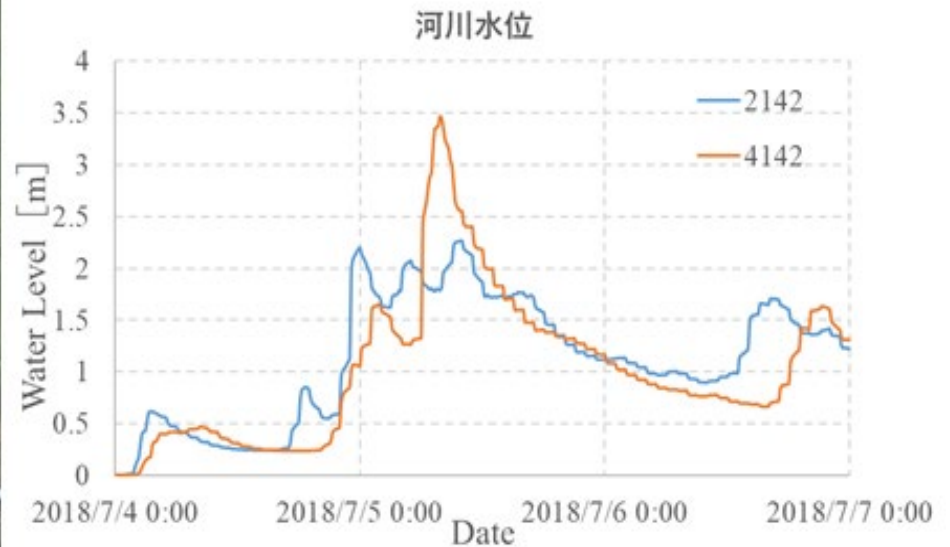
避難対象領域に境界流量として与えるハイドログラフ



RRIのアウトプット

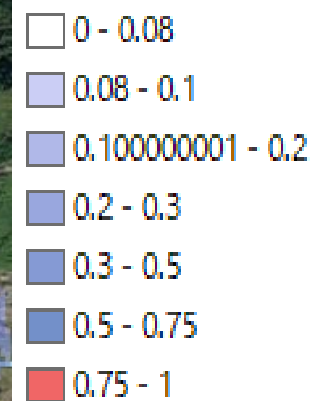
計算結果 (河川水位)

任意地点における河川水位 (まぶち周辺)



計算結果（浸水深例）

4142



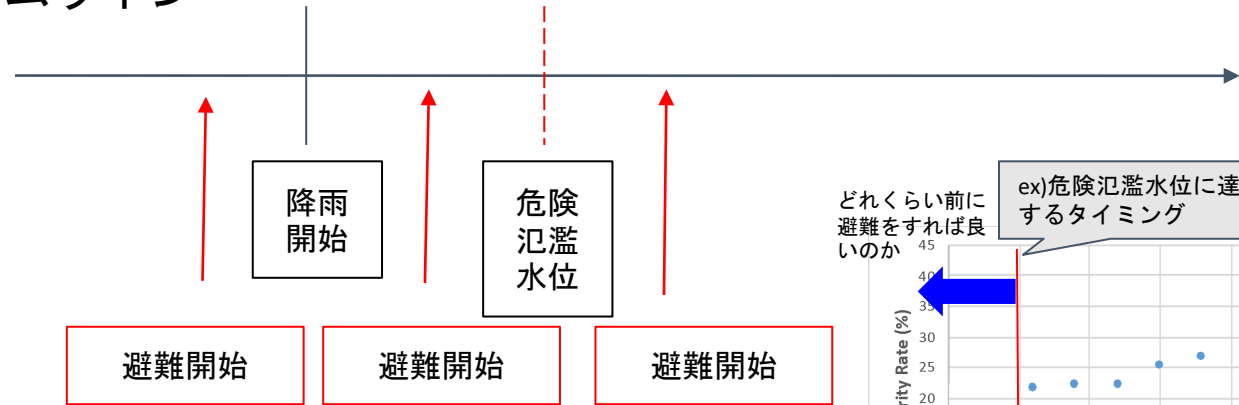
氾濫の浸水深（単位：m）

避難検討

検討方針

降雨予測・河川氾濫計算・避難

タイムライン



降雨計算(WRF)

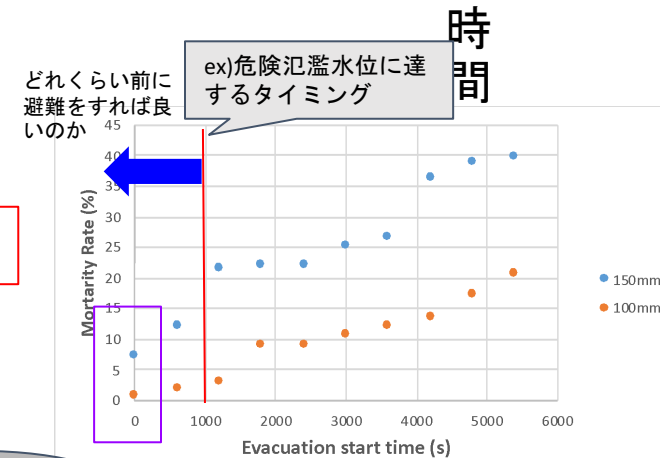
・ 予測計算 (WRF)

河川氾濫計算(RRI)

・ WRFで計算した値を使用し時系列浸水深を算出

避難計算(Agent)

・ 危険氾濫推移からどの程度前なら安全に避難できるか



RRI-AGENT計算条件

【 対象地域 武儀地域 】



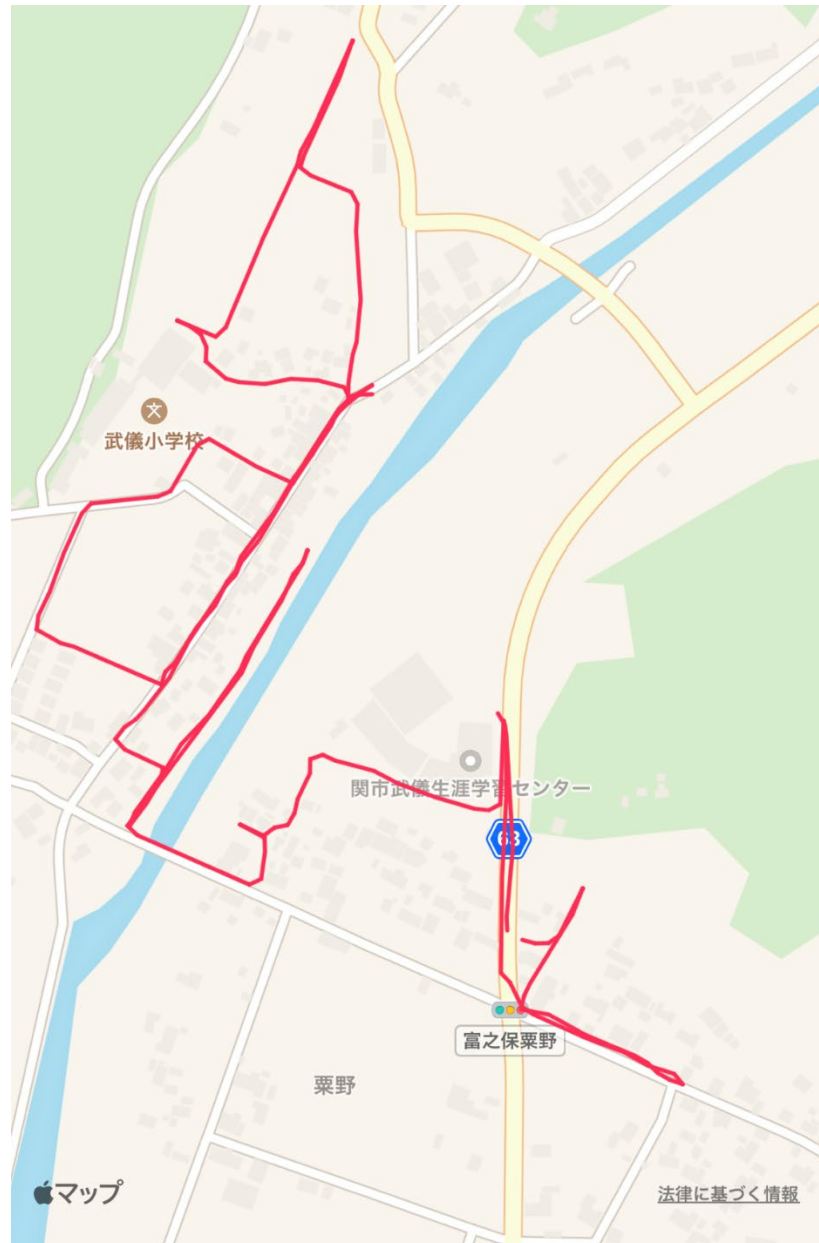
【 避難シミュレーション計算条件 】

項目	詳細
避難経路	左図参照
避難所	5か所
格子間隔	10.0 m
格子数	280×200
タイムステップ間隔	10.0 s
計算時間	10000 s
避難開始時間	80100～146700s(900s毎)
避難速度	初期速度1.0 m/s
避難者数	1000人

【 計算条件 】

- ①避難所まで最短経路を選択モデルでの計算
- ②避難所(武儀東小学校, 武儀生涯学習センター, 栗野集会所, 武儀倉集会所, 大洞町集会所)

現地踏査



移動ログの一部



a) 武儀東小学校

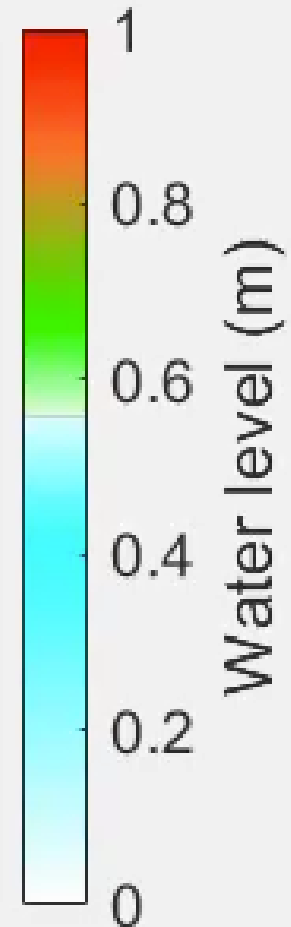


b) 栗野集会場

避難シミュレーションに用いた浸水深データ

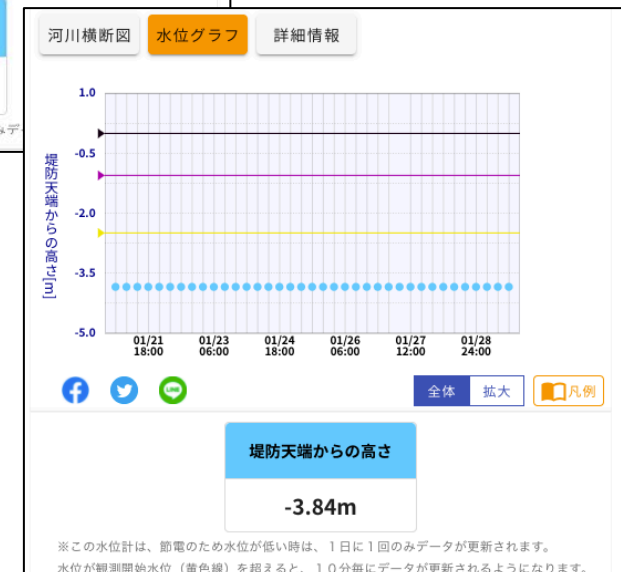
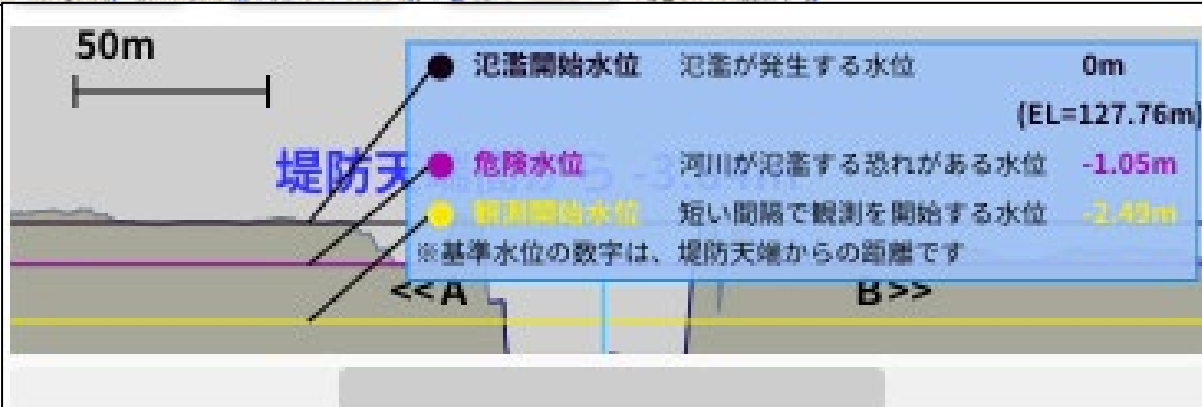
4142

Time: 0.0 sec



河川水位の観測

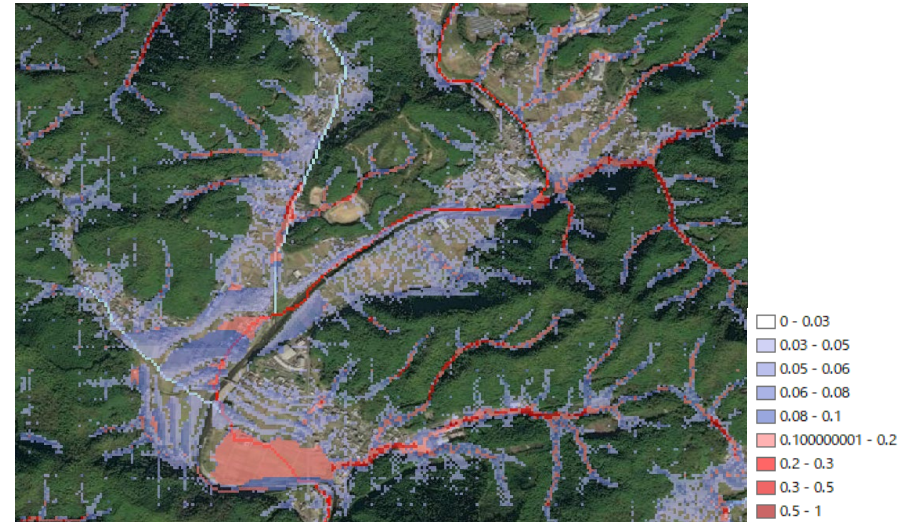
○水位データ取得地点



観測水位

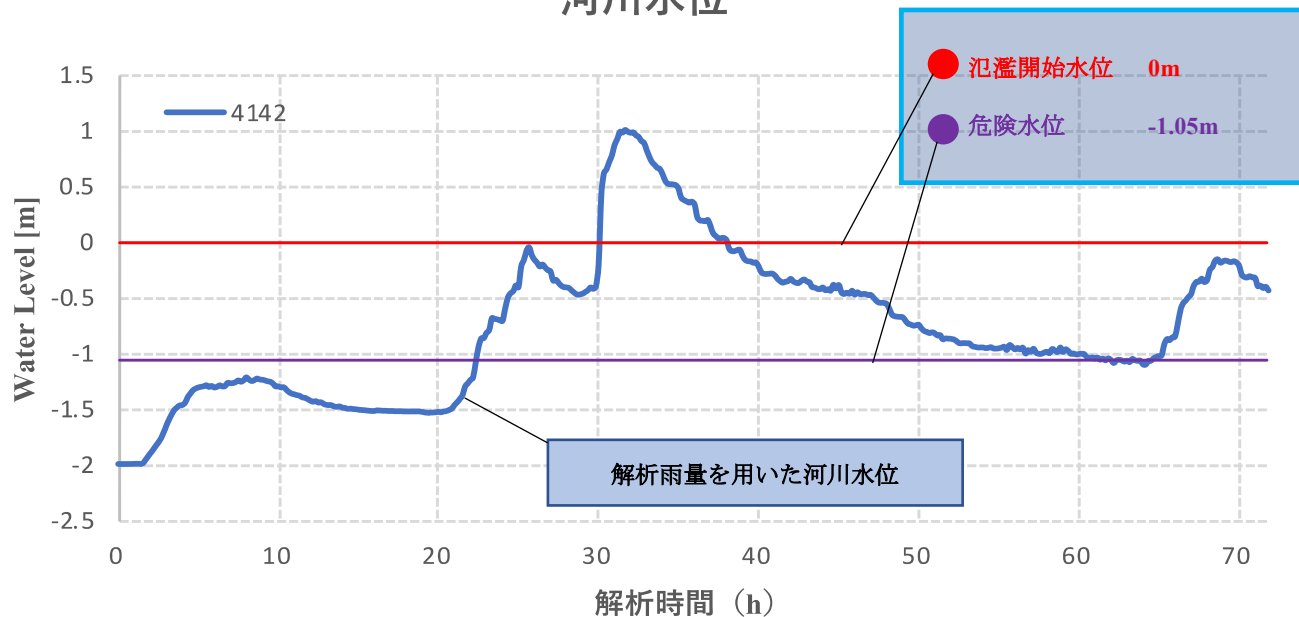


本計算に用いた観測位置



氾濫水位時刻における浸水深(m)

河川水位



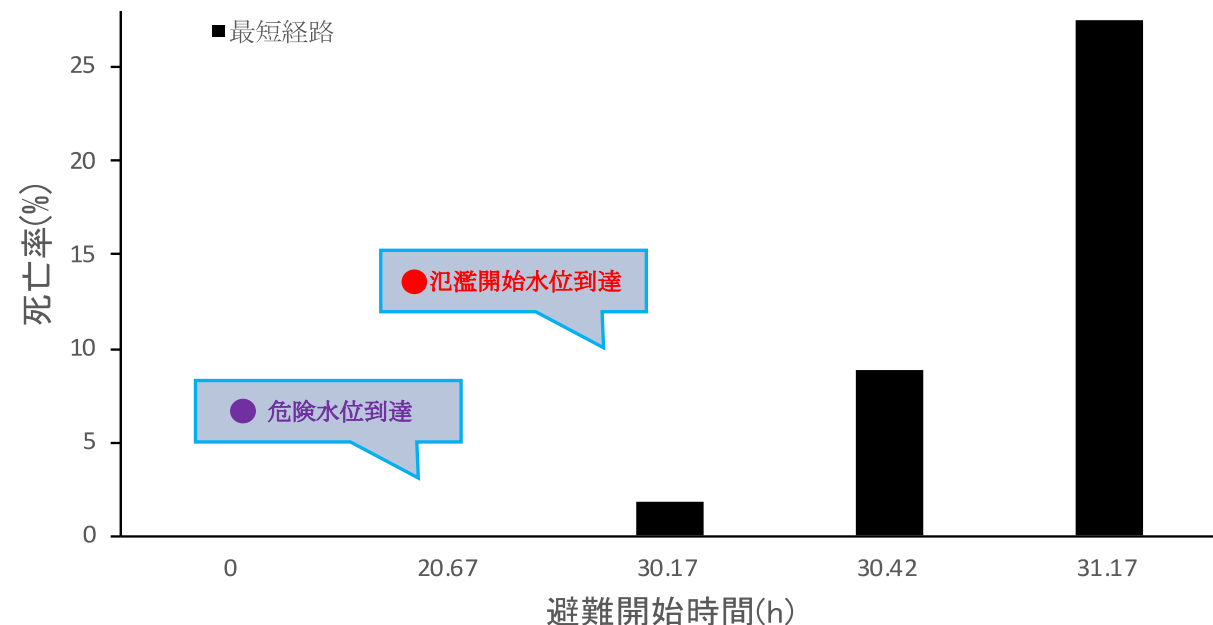
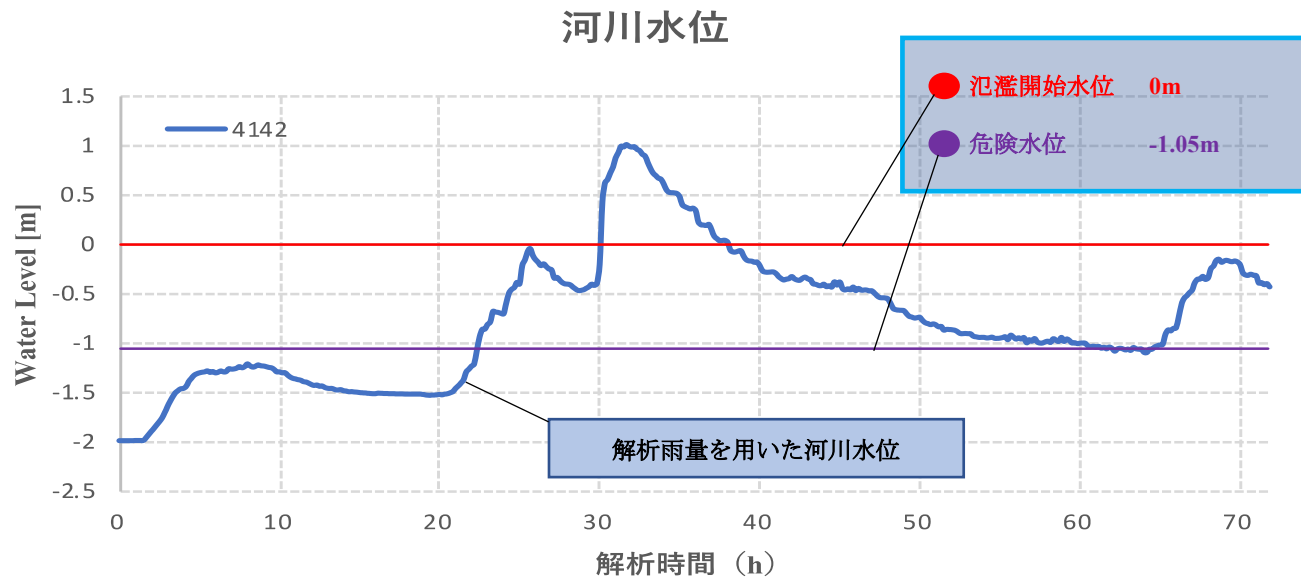
計算で算出した時系列の河川水位

避難開始時間（氾濫開始水位：108600s：30.17分）
最短経路

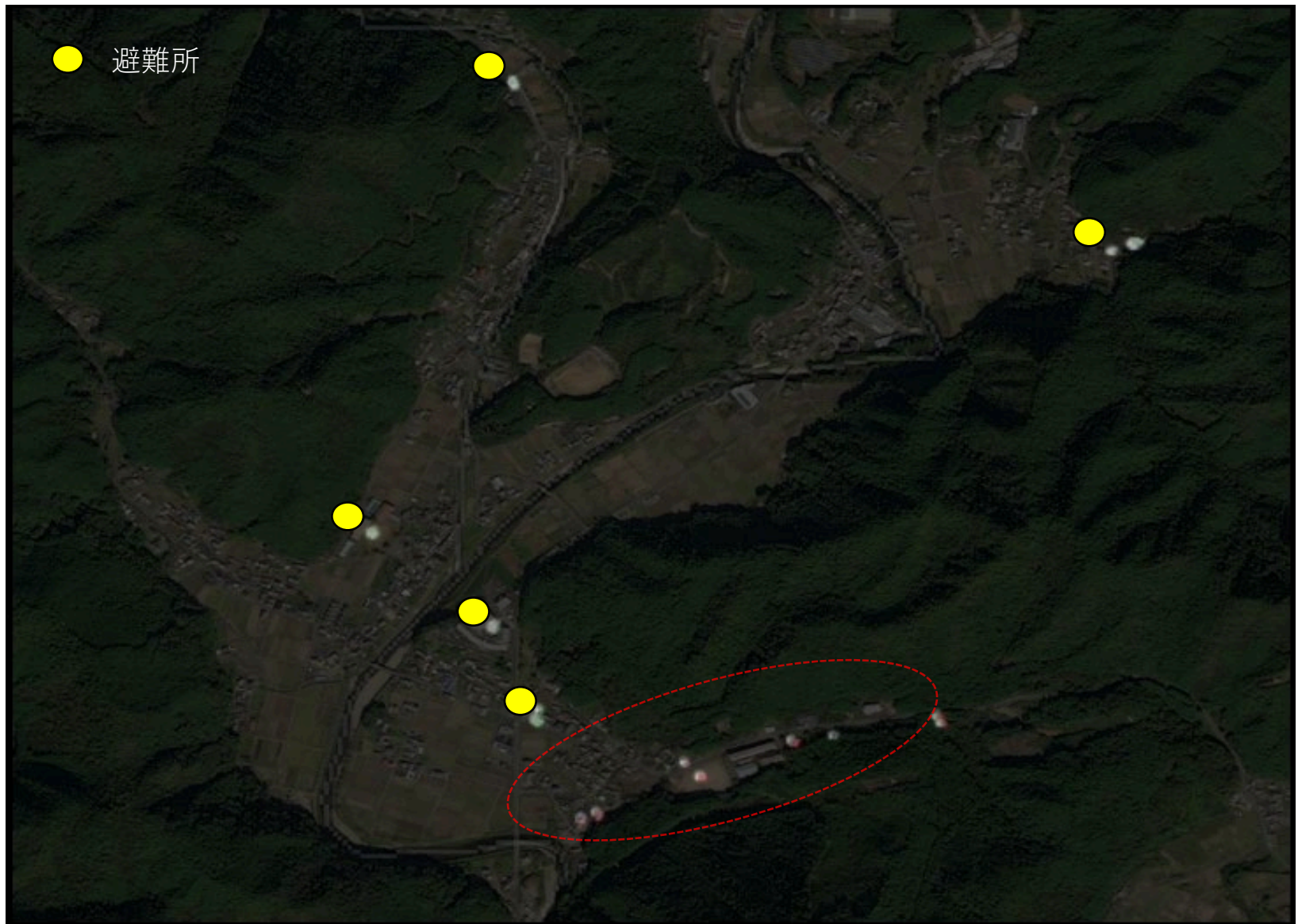
108600.00 s



観測水位



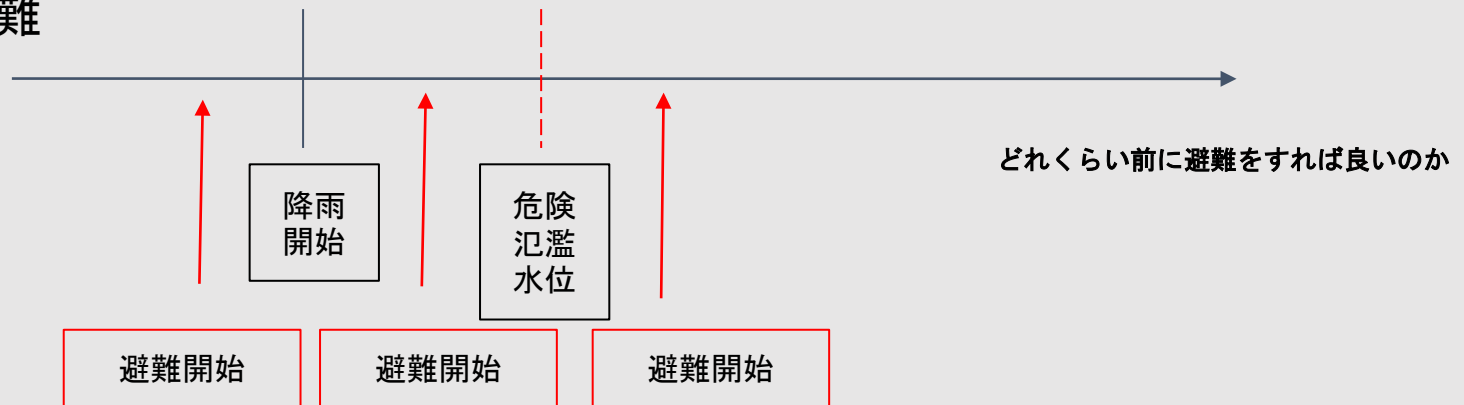
計算結果



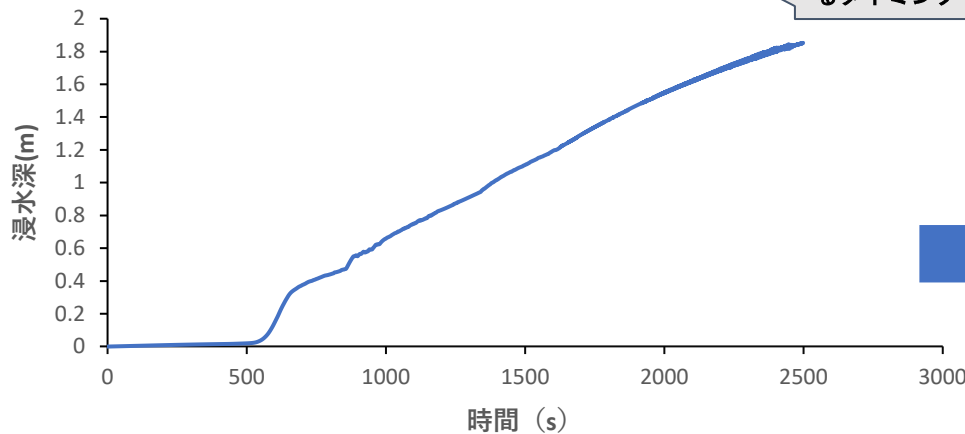
解析終了時における死亡者位置

RRI-AGENT計算概要

降雨予測・避難

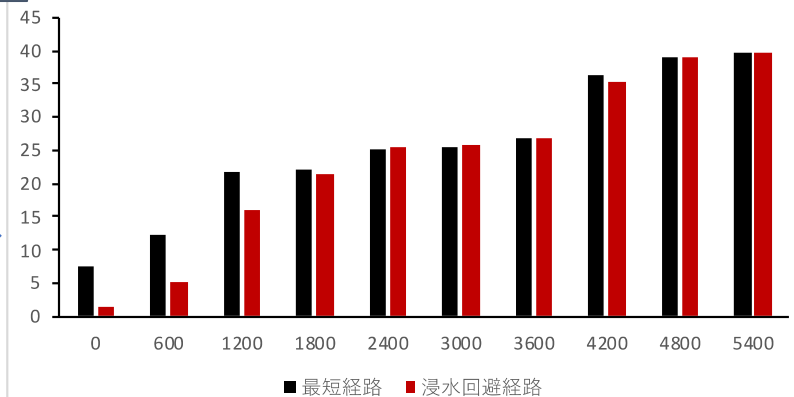


観測浸水深（仮想降雨150mm）



危険氾濫水位に達するタイミング

仮想降雨150mm



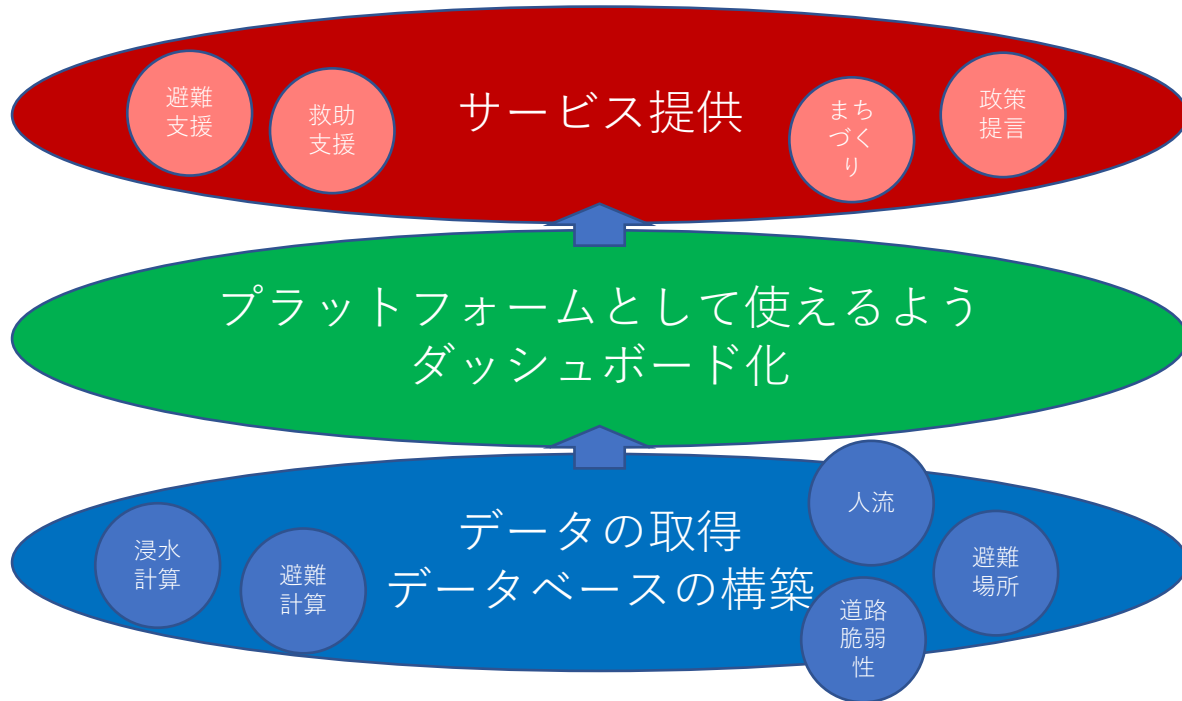
仮想降雨150mmで計算した結果浸水回避経路での避難で死亡率が下がった



データベースを作り，避難最適経路を示すことで，避難成功率を上げられる

今後に向けて

検討方法のアナロジー



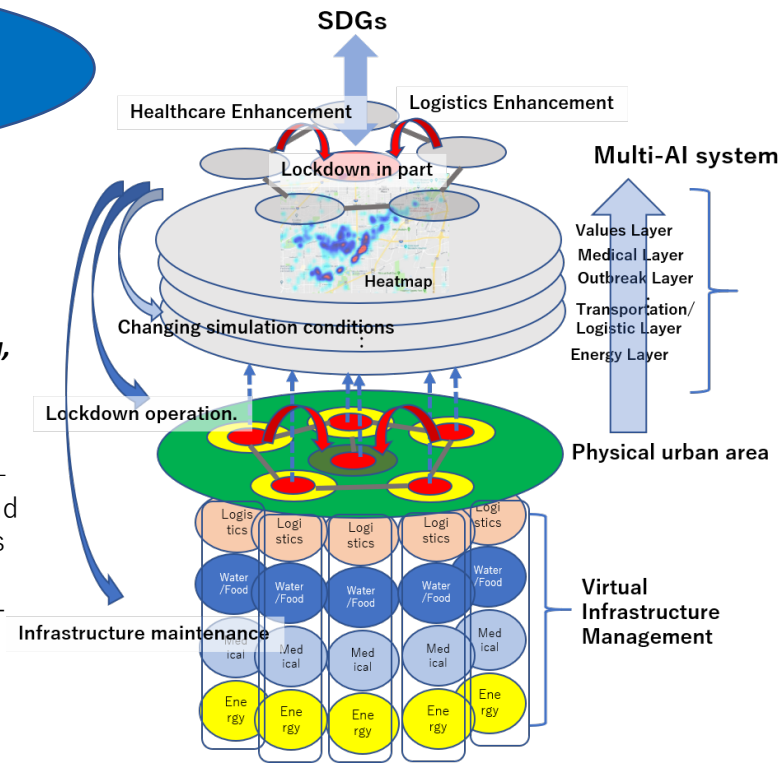
モニタリング・センシングデータとシミュレーションを融合させて、AIを用いて予測し、行動を促し、効率的かつ幸福度の高い社会の実現

The Future of Urban Design

**Taro Arikawa, Ikuo Sugiyama, Yoshikazu Nakajima,
Hideaki Koizumi and Taikan Oki**

IATT report 2021: Emerging science, frontier technologies, and the SDGs—Perspectives from the UN system and science and technology communities

<https://sdgs.un.org/documents/iatt-report-2021-emerging-science-frontier-technologies-and-sdgs-perspectives-un-system>

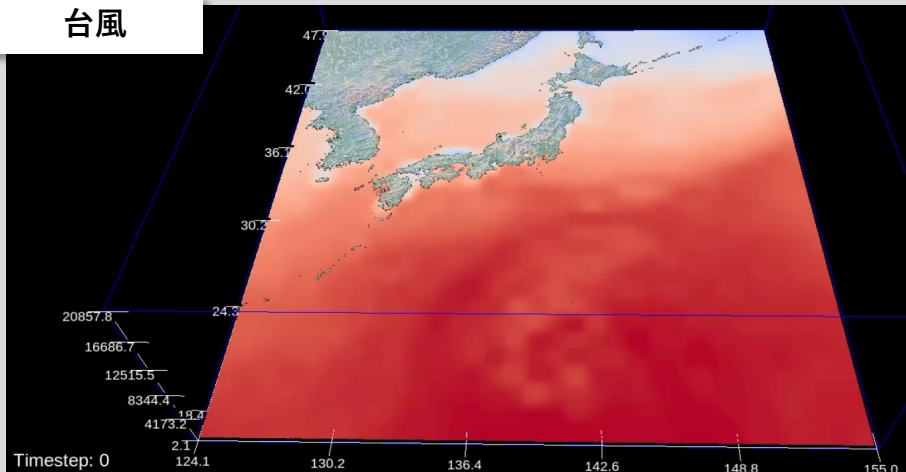


高潮予測手法の精度

○高潮予測手法

WRF(気象予測モデル)

台風



○3次元での台風予測

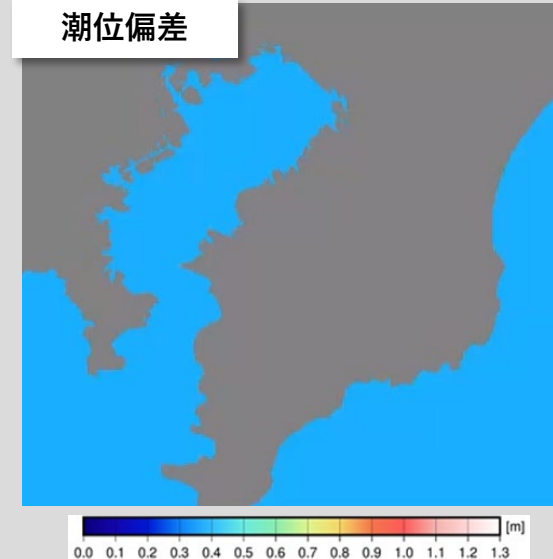
格子解像度：約**4km**

所要計算時間：**6～12時間**

(地球シミュレータで64並列時)

STOC-ML(高潮推算モデル)

潮位偏差



○準3次元高潮推算

格子解像度：約**300m**

所要計算時間：**10時間**(3並列時)

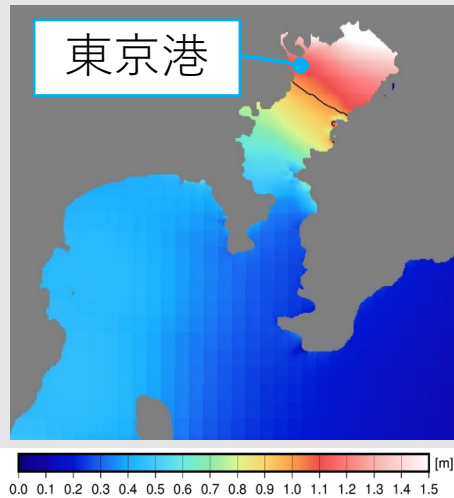
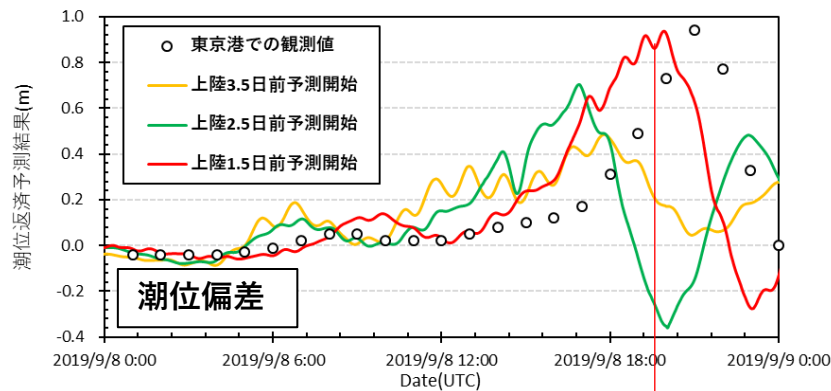
3次元的に予測した台風の気圧・風場を
高潮推算の外力として与える

高潮予測手法の精度

○高潮予測精度

2019年に東京湾を通過した台風15号，19号時の高潮予測精度

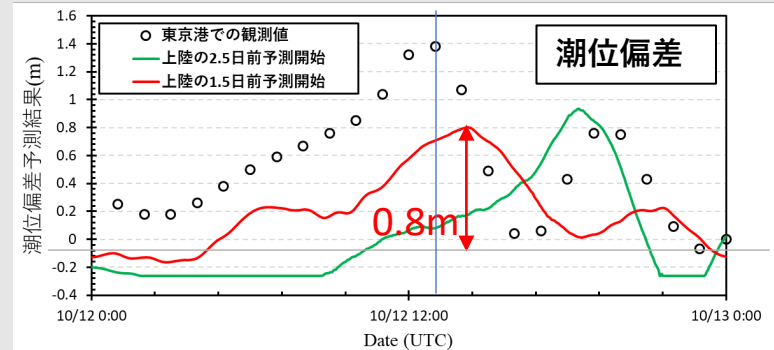
15号時潮位偏差予測結果



◎上陸1.5日前に予測開始した場合、波形を高精度に予測

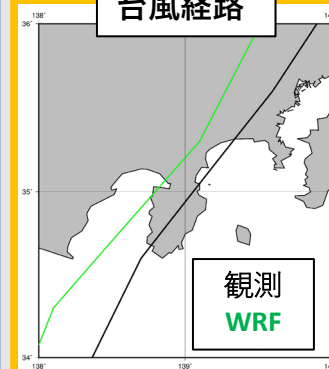
台風上陸1.5日前に予測開始したケースの最大潮位偏差分布

19号時潮位偏差予測結果

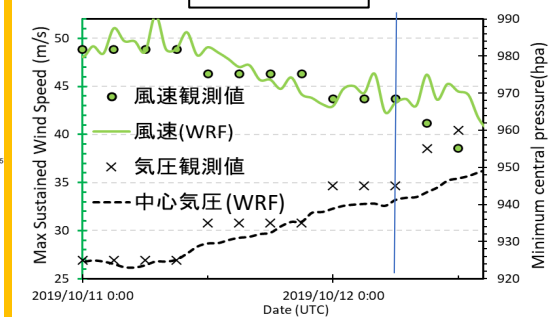


◎上陸1.5日前からの予測でも、約36%の過小評価

台風経路



台風強度



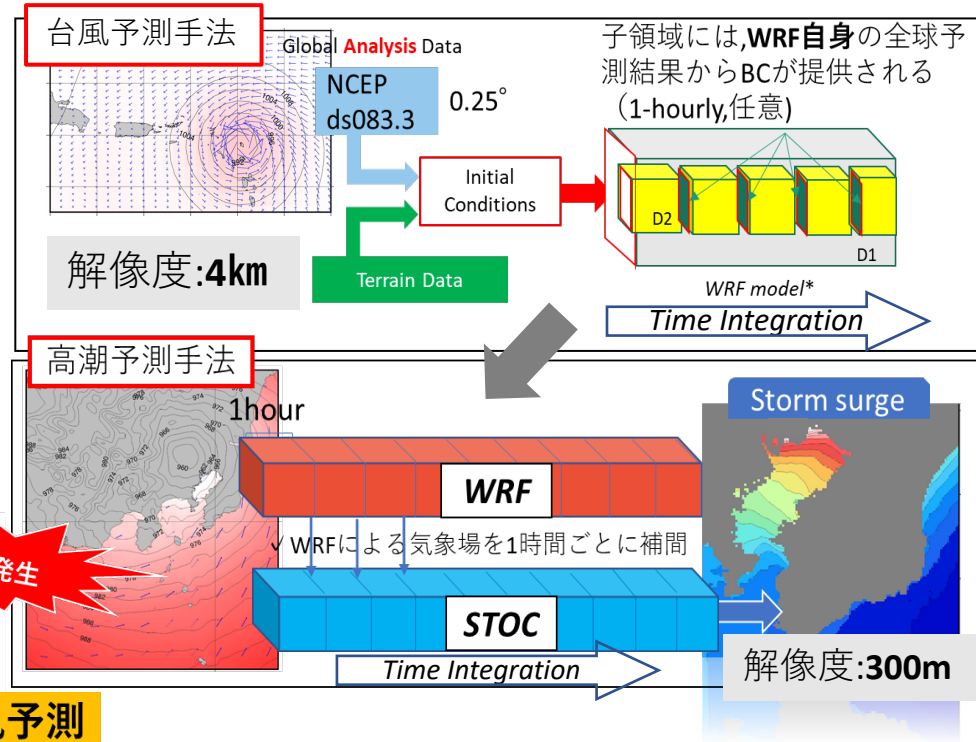
▲上陸1.5日前から予測開始した台風予測結果

台風・高潮予測

◎台風・高潮予測手法の構築

現状

- ✓ 高潮のリードタイムは**2-3日**
- ✓ 計算機の性能向上によって、**リアルタイム予測**が可能に



台風予測DB

AIによる
WRFパラメタ自動最適化

台風発生

リアルタイム台風予測

数時間~1日

高潮・高波予測

同化前

同化後

観測値による
データ同化

1~2日

リアルタイム避難誘導への活用

浸水・避難
シミュレーション

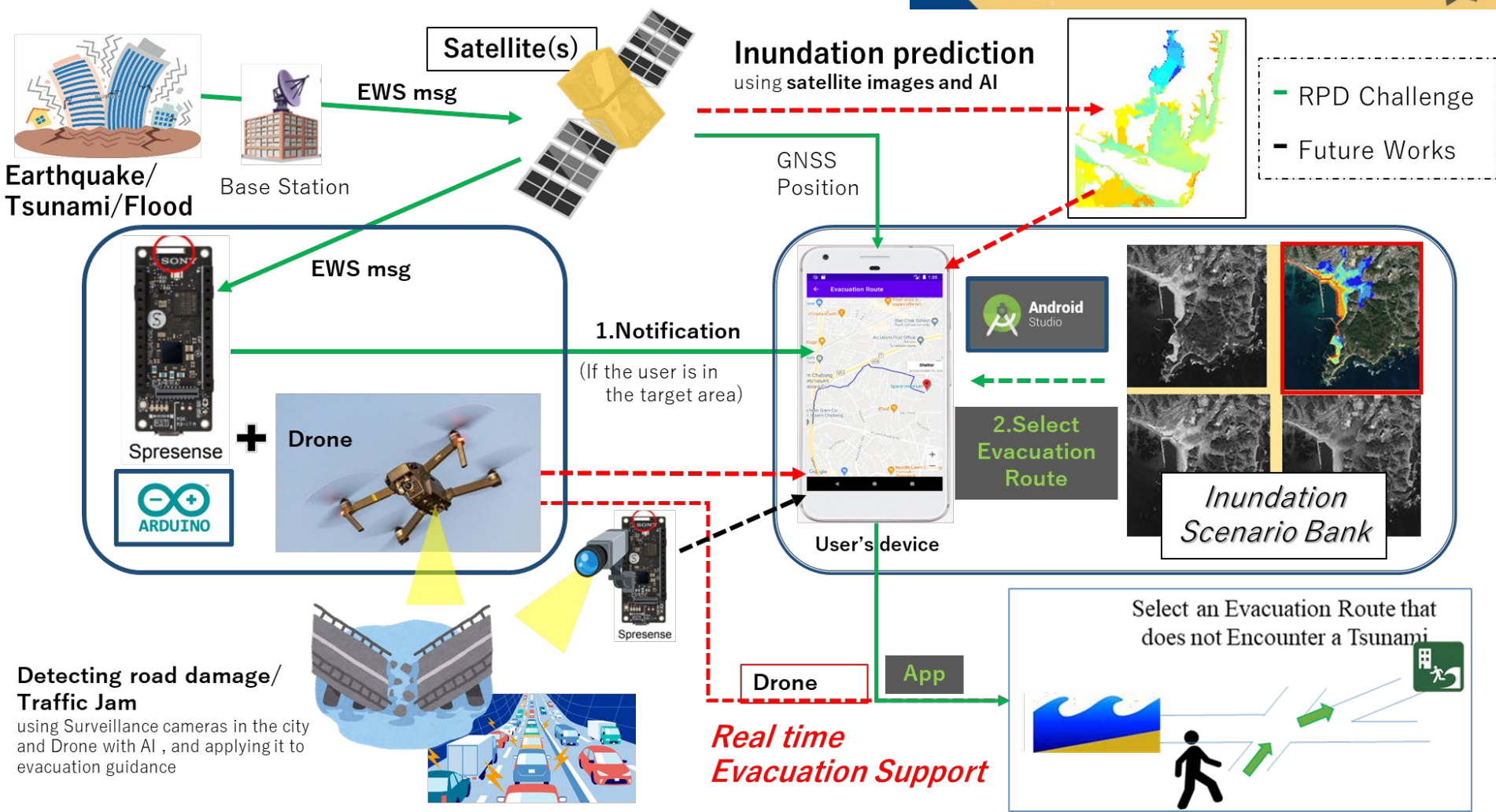
今後

- ✓ 台風予測は不確実性が大きく、
予測精度の向上が望まれる

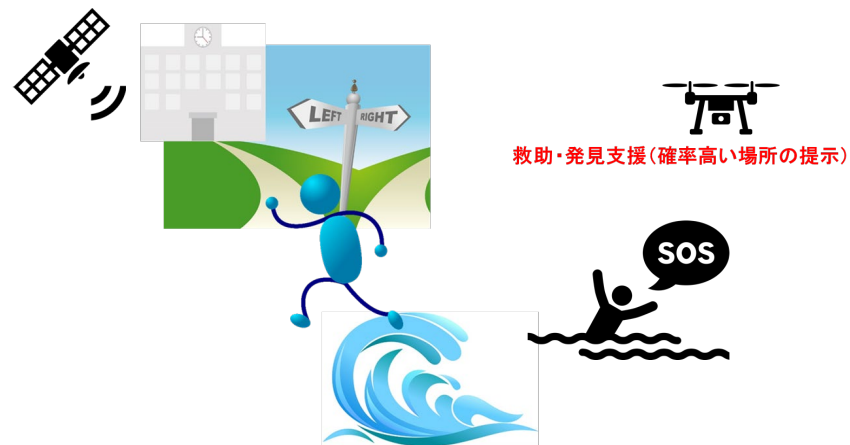
パラメタ最適化・データ同化
の適用

東京など大都市低平地への適用

今後の避難支援システムの構築



ありがとうございました



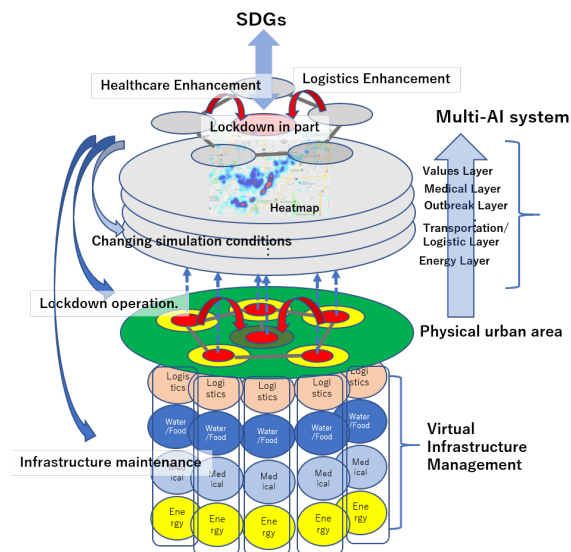
STI ロードマップ for 水害避難・救助システム



津波避難誘導システム(AR)

適切な避難支援(経路、場所、タイミング、要援護者)

2050年



2022年 (現在地)