

AI 技術の防災・減災への活用

東京大学地震研究所災害科学系研究部門副所長・教授 楠 浩一

1. はじめに

(1) SIPとは¹⁾

SIPとは、内閣府が実施する「戦略的イノベーション創造プログラム」(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)の略称である。このプログラムは、総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)が、Society5.0の実現に向けてバックキャストにより、社会的課題の解決や日本経済・産業競争力にとって重要な課題を設定するとともに、そのプログラムディレクター(PD)・予算配分をトップダウンで決定するプログラムである。本プログラムでは、基礎研究から社会実装までを見据えて一貫通貫で研究開発を推進する。また、単独府省庁では実施困難な、府省連携が不可欠な分野横断的な取組を産学官連携により推進することも目的の一つとしている。

ここで、CSTIとは、内閣総理大臣および内閣を補佐する「知恵の場」で、わが国全体の科学技術を俯瞰し、各省より一段高い立場から、総合的・基本的な科学技術政策の企画立案および総合調整を行うことを目的に平成13年1月に内閣府に設置された組織である。

SIPは5か年のプロジェクトで、新規の課題は5年ごとに立ち上がる。防災分野は第1期から連続して続いており、第3期においても、「スマート防災ネットワークの構築」(令和5年～9年)と題して、課題がスタートした。

(2) SIP第3期課題の目指すもの

本課題ではデジタル技術を防災分野で最大限活用し、災害対応の高度化と迅速化を図る。図-1は、本課題で構築するスマート防災ネットワークの概念図を示している。災害は現実空間で発生するが、災害の発生とその被害状況を即座にセンシング技術を用いて把握し、デジタル技

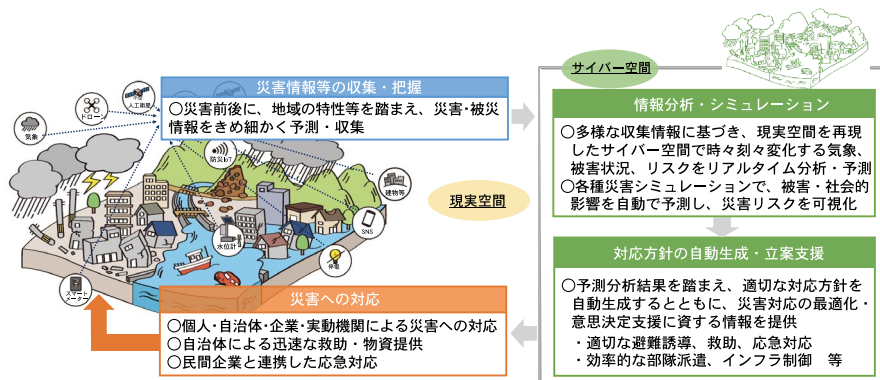


図-1 スマート防災ネットワーク

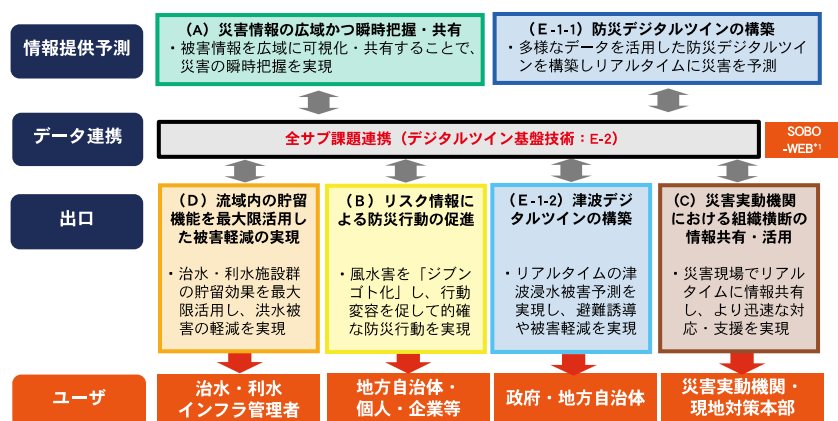


図-2 各サブ課題の位置づけ

術を用いて迅速にデジタル化する。ここで開発する技術は情報の共有だけではなく、その情報を基にしたシミュレーションの実施と、観測情報と解析結果を総合した情報分析を可能とする「防災デジタルツイン」の技術開発である。これにより、都市の詳細な災害状況の一步先を予測することが可能となる。

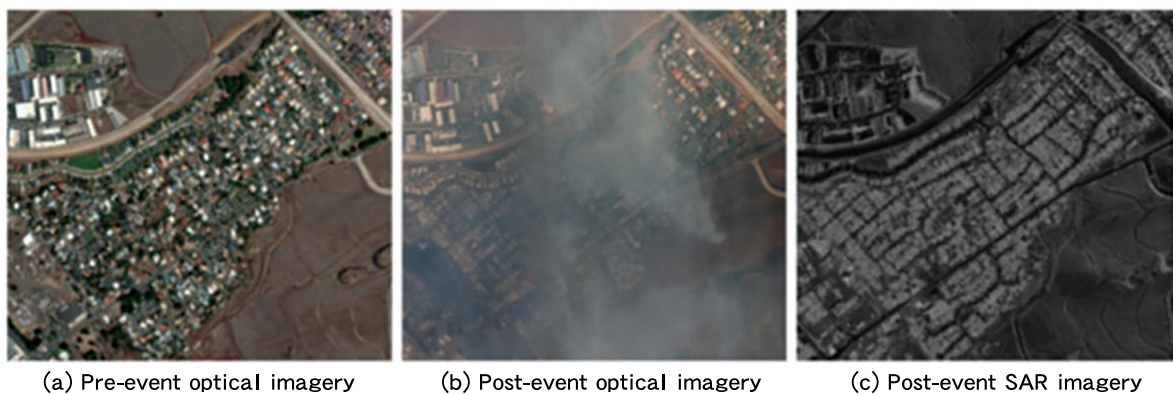
この情報分析結果は、災害対応意思決定に資する情報、具体的には必要な避難行動を促す情報や、河川管理に必要なアクションに関する情報、異なる組織間で共有すべき情報に変換する。

この対応方針に資する形に変換された情報は、物理空間である実際に対応する

行政や企業、避難行動をとるべき個人などに提供される。

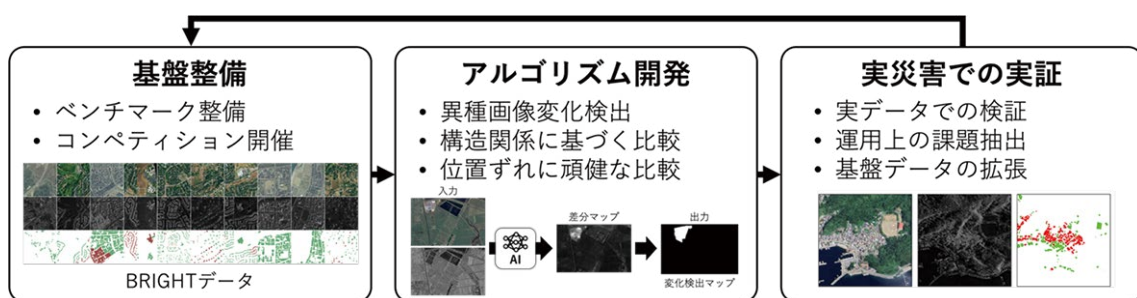
(3) サブ課題の構成

本課題を構成する各サブ課題の位置づけを図-2に示す。サブ課題Aは災害状況をいち早く把握する技術開発を目指し、民間小型衛星を含めた衛星の利用、家電センサーなどのIoT技術を利用した技術開発を行う。サブ課題Bは、要避難者の行動変容につながる防災行動の促進技術を開発する。サブ課題Cは災害直後に現地で活動する災害実動機関での有効な情報共有技術の開発を行う。サブ課題Dでは、治水と利水の両立を可能とした河川



(a) 災害前の光学画像（©Maxar）、(b) 山火事の煙により地表面の地物が不明瞭となった災害後の光学画像（©Maxar）、(c) 煙の影響を受けず、被災域を示している災害後のSAR画像（©Capella Space）。

図－3 2023年8月に米国ハワイ州マウイで発生した山火事の一例



図－4 基盤整備とアルゴリズム開発による汎用衛星データ解析の研究開発概要

管理技術の開発を行う。サブ課題Eでは、デジタル空間での情報分析とシミュレーションを可能とする防災デジタルツインの開発を行う。これらのサブ課題は、デジタルツイン基盤技術を通して連携し、4つの異なるユーザー向けのアウトプットを提供する計画である。本稿ではいくつかの研究開発技術を概説する。

2. AI活用技術アイテム

(1) 衛星データ汎用解析技術

災害発生直後の状況把握では、「どの衛星データを、いつ、どの品質で入手できるか」が一定ではない。陸域観測衛星には大きく光学衛星とSAR(合成開口レーダ)衛星があり、それぞれ長所と制約が異なる。高解像度の光学画像は直感的で、建物や道路などの意味情報を把握しやすい一方、雲や煙の影響を受けやすい(図－3)。これに対し、SAR画像は昼夜・天候を問わず観測できるが、解釈自体が容易ではなく、高解像度データであっても地表面の意味情報を安定に抽出することはなお難しい。近年は小型衛星コンステレーションの発展により高解像度データが急速に増えているが、被災前後で同一センサ・同一条件の画像がそろうとは限

らず、異なる種類の衛星データを柔軟に組み合わせて解析する技術の重要性が高まっている。

SIP第3期スマート防災においても、この課題に対応するため、異種・異時期の衛星データから一貫して災害状況を把握する汎用衛星データ解析技術の研究開発を進めている。こうした研究開発は、データセットや評価環境を整備する基盤整備と、それを活用して異種衛星データを解析するアルゴリズム開発からなる(図－4)。例えば、本事業における基盤整備の一環として構築されたBRIGHT²⁾は、被災前光学画像と被災後SAR画像を組み合わせた、建物被害評価のための高解像度マルチモーダルデータセットであり、0.3～1m級の解像度で個別建物レベルの被害把握を可能にする。5種類の自然災害と2種類の人為災害を含み、全天候型の災害対応AIを検証する基盤を提供している。また、Open Earth Map-SAR³⁾も、高解像度SAR画像の活用に向けた基盤整備の一例であり、35地域、5,033画像、8クラスのラベルを含む。SARから道路、建物、水域などの意味情報を抽出できれば、光学画像が得にくい状況でも地表面の状態を把握でき、災害

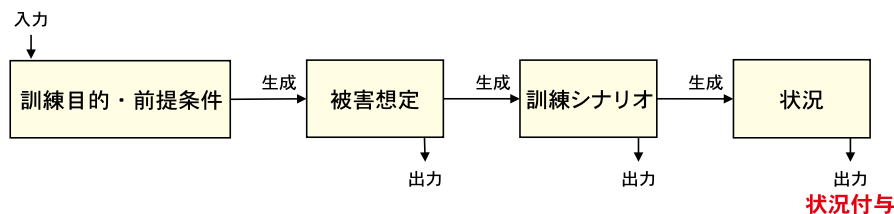
前後のより多様な変化解析につながる。

基盤整備と並行して、異種衛星データを安定に比較・解析するためのアルゴリズム開発も進められている。異種衛星データでは、光学画像とSAR画像で見え方や統計特性が大きく異なるため、画素単位で特徴を比較する従来の変化検出法は適用が難しい。このため、画像中の局所的・大域的な構造関係に着目し、異なる種類の画像に共通して現れる構造を手掛かりに変化を抽出する手法の開発が進められている⁴⁾。また、実利用では画像マッチングや位置合わせの頑健化も重要であり、近年は、異種画像間で対応点を探索した際の位置ずれそのものを変化の指標として扱う枠組みも提案されている⁵⁾。これにより、幾何補正が不十分な画像や位置ずれを含む実データに対しても、より頑健な変化検出が可能になりつつある。

さらに、災害状況把握AIの発展には、公開データセット、共通評価指標、国際コンペティションを通じて開発者コミュニティを広げることも重要である。BRIGHTおよびOpen Earth Map-SARはいずれも令和7年のIEEE GRSS Data Fusion Contestで公式データセットとして活用



図－5 状況付与カード作成システムの利用イメージ



図－6 状況付与カード作成までのステップ

されており、世界各国の研究者が共通条件のもとで性能を比較・改善できる環境を提供している。こうした取組は、特定地域や特定センサに閉じない汎化性能の検証を可能にし、実運用に耐える技術の育成を後押ししている。加えて、実際の災害事例への適用を通じて明らかになった課題を、データセットの拡張や評価条件の見直しに反映することも重要である。すなわち、基盤整備とアルゴリズム開発は、実証を通じて往復しながら継続的に改良されていく必要がある。

また近年は、衛星画像に対する自然言語での質問応答、状況記述、要約生成などを可能にする視覚言語理解も注目されている。衛星データを活用した災害状況把握に向けて、関連する取組として視覚言語データセット DisasterM3⁶⁾ が整備され、被害認識、カウント、領域特定、空間関係推論、報告生成などの課題における視覚言語モデルの可能性と限界が検証されている。今後は、画像処理、信号処理、個別タスクに特化したAI、さらには言語モデルを柔軟に組み合わせることで、より汎用的で安定した災害対応支援へ発展していくことが期待される。

(2) 生成AIによる状況付与カード作成

本研究開発では、生成AIを活用して

防災図上訓練に用いる状況付与カードを作成するシステムを開発した。

現在、自治体や実動機関で行われている防災図上訓練において、訓練実施者に状況を付与するための状況付与カードが作成されているが、この作成が訓練準備における大きな負担となっているという課題があった（複数の自治体へのヒアリングによれば、訓練準備には職員2～3名が3～4ヵ月をかけているとのことであった）。また、訓練シナリオがマンネリ化するという課題もあった。これら課題に対して、生成AIを活用して状況付与カードを作成するシステムを開発した。

当システムの開発にあたっては、まず実態把握として13自治体から過去の訓練資料を収集し、また4自治体に対してヒアリングを行った上で、その実情や負担を整理した。

次に、利用可能な生成AIのLLMサービスについて比較した上で、生成AIの環境としてAzure OpenAIを選定し、プロトタイプを開発した。

当システムは、ユーザが、プロンプトが書かれたテキストファイルを入力すると、クラウド上の生成AIシステムが、参考資料（地域特性等の情報）を参照しつつ、状況付与カードを作成するというものである（図－5）。その際、全国の自治体や実動機関がさまざまな訓練で活

用できるよう、「地域」「月・日」「時間帯」「災害の種類（地震、津波、台風）」等に対応できるようにした。

この開発過程においては、既往の状況付与カードを参考として、試行錯誤を繰り返してプロンプトの調整を行い、出力される状況付与カードの精度向上を図った。

生成AIからは、違和感のある回答や要望したものとは異なる回答が出力されることもあるため、試行錯誤を行った結果として、「前提条件」や「訓練目的」を設定した上で「被害想定」「訓練シナリオ」というステップで順を追って作成し、その上で状況付与カードを作成する流れとした。途中で作成される「被害想定」「訓練シナリオ」はテキスト形式で出力され、ユーザが追記・修正等でき、次のステップに反映される。このようにステップに分けることで、作成する状況の精度が向上し、また途中で任意の編集ができることで、ユーザが望む状況を反映しやすくなった（図－6）。

また、当システム単体でも状況付与カードは作成可能であるが、さらに別チーム（芝浦工業大学）による仮想災害対応シミュレータ（DSG-SIM）の計算結果（避難所状況や土砂災害等の被害想定結果）を当システムの入力として連携する仕組みを実装し、当システムの出力に反映できるようにした。

プロトタイプは、3自治体に試用いただき、またその他12自治体・実動機関に対してヒアリングを実施し、そのフィードバックをとおして当システムを改善した。

なお、本研究開発の目標を「状況付与カードの準備負担が50%以上軽減される事例を1件以上確認する」こととして



図－7 排水機場と遊水池のイメージ

いたところ、プロトタイプ試用にご協力いただいた3自治体からは、「現時点でも50%以上の負担は軽減できると考える。」「前提情報を入力すれば簡単に状況付与項目一覧表が作成できるため、準備負担は半減できるのではないか。」「更に細部の状況も加味できれば、準備負担は大きく減ると考える。」といったコメントをいただいている。

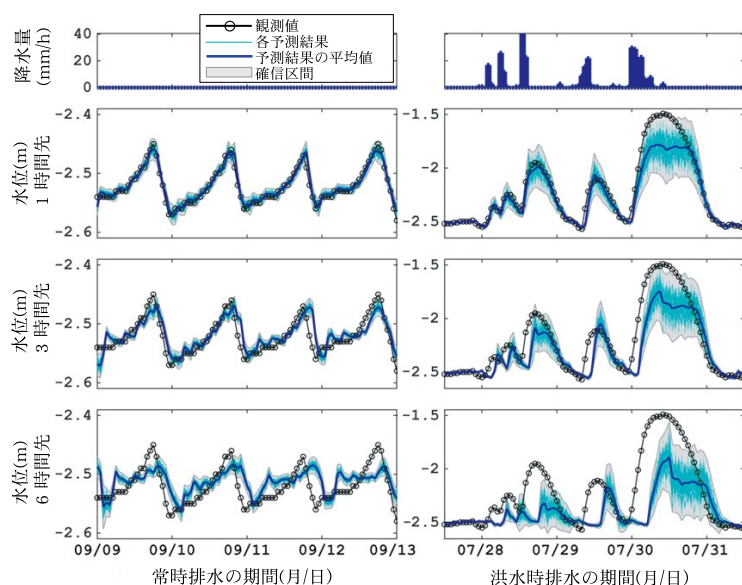
また、ヒアリングを行った別自治体からは実際の訓練で使用したいと依頼いただき、その他の自治体からも利用希望の声があった。

このような過程を経て、当システムはプロトタイプからクラウドサービス化の開発を行い、現在は、(株)構造計画研究所から「状況付与カード作成システム」⁷⁾として提供されている。

(3) AI 水位予測モデル

本研究開発では、排水機場のポンプの操作支援を目的として、遊水池の水位(図－7)を予測するAIモデルを開発した。ここでのAIモデルは、深層学習ニューラルネットワーク(Deep Neural Network: 以下DNN)を実装したモデルである。DNNは、脳神経系の情報伝達のネットワークを模倣してモデル化しており、大量のデータを学習することで、人間の勘や感覚と同じような結果を出力できる。

排水機場の遊水池は、地区から排出する水を一時的に貯留するための水利施設であり、その水位は、流域に降った雨が集まることで上昇し、排水ポンプの運転によって低下する。すなわち、遊水池の水位は、降雨流出である水文現象だけでなく、排水ポンプの運転に影響を受ける。一般に、排水ポンプの運転は、「遊水池



図－8 MC Dropoutの実装によって不確実性を考慮したDNN (LT=1 h～6 h) の予測結果

の水位がある閾値を超えた場合に運転を開始する」といった操作規則に従うものの、閾値に達する前の段階での運転も認められている場合が多い。つまり、豪雨の予報があると、管理者の判断によって、水位が閾値に達する前から排水ポンプの運転が始まることがある。このように、排水機場の遊水池の水位は、水文現象だけでなく、人間の判断による影響を受けるため、物理モデルによる再現が難しい。

一方、AIモデルであるDNNは、十分なデータがあれば、そこに含まれる特徴を学習することができる。遊水池の水位を対象にする場合には、水文現象と人間の判断による影響を捉えることができる。このため、「過去と同じように判断のもとでポンプ操作が行われる」という条件で将来の水位を予測できる。さらに本研究では、予測結果を1つの値で出力するのではなく、ある程度の幅を持たせて出力することで、予測結果の不確実性や妥当性を示すことに取り組んでいる。

予測結果に不確実性を与えるために、バイズ推定の代替手法である、モンテカルロドロップアウト(MC Dropout)の手法⁸⁾を導入した⁹⁾。この手法は、DNNの内部ネットワークの一部をランダムに遮断(不活性化)して計算する。内部ネットワークを遮断する場所が変わることで、モデルに起因する不確実性の考慮が可能となり、異なる計算結果が出力される。

これにより、アンサンブル予測のように複数の計算結果が得られ、バラつきに基づく不確実性を表現することができる。

DNNにMC Dropoutを実装して計算した結果を図－8に示す。常時排水の期間では、白抜き○線である観測値をおおむね再現できており、水位が大きく変化する前後では幅を持った予測結果を出力している。一方、洪水時排水の期間では、黒線で示す予測結果の平均値は、観測値を良く再現しているとは言い難い。予測のリードタイムが1時間と3時間の場合、観測されたピークの値は、確信区間の範囲にからうじて含まれているが、6時間の場合は確信区間との重複は一部である(図－8右側)。このように、リードタイムが6時間の場合は課題が残るものの、MC Dropoutの導入により、アンサンブル予測のようにある程度の幅を持たせて予測結果(予測結果の不確実性)を表現できる。

AIモデルの利点は、学習用のデータの十分な蓄積があれば、幅広い条件に適用可能であること、予測計算の構造が物理法則に基づくモデルと比べて極めて簡素であり、計算負荷が小さいことである。洪水時の水位は、被害の発生やその規模・範囲を示す重要な指標であり、その高精度な予測は被害軽減の観点から極めて重要である。今後は、AIモデルと物理モデルそれぞれの特徴を踏まえ、対象地区の

特性に応じて適切に組み合わせて現場へ導入することで、洪水被害の軽減に貢献することを目指す。

(4)地震と高潮・波浪・浸水の重畳解析に向けた堤防データ整備の自動化

①堤防データ整備の課題

沿岸域では、地震と高潮・波浪・浸水が複合的に作用する災害リスクへの対応が重要となっている。能登半島地震の後、半年程度で発生した豪雨災害の様子は地震から洪水災害へのカスケードハザードすなわち重畳災害であった。洪水を低気圧や台風で発生する高潮災害に置き換えれば、港湾における複合的・重畳的な災害に対する全体最適な対応は重要となり、全体最適を決める際のリスクコミュニケーションのためにはコンシステントなデータを使って、先行災害の被災後に修復しきれない社会基盤構造物が、次の災害で受けるリスクを定量化する手法が重要となり、そのために防災デジタルツイン（防災 DT）の構築が求められている。防災 DTに必要な機能は可視化だけでなく、各解析で利用するために解析用入力データに変換するデータ変換機能である。

一方、高潮・波浪・浸水を解析するためのソフトウェア側からの要請として、解析で用いるためには堤防の高さだけでなく、メッシュの中での堤防の方位、施設単位での識別・更新に必要な施設 IDが必要である。このため、解析時には個別の前処理や手作業による補完が必要となり、作業負担が大きいだけでなく、更新の継続性や再現性の確保にも課題がある。

本節では、我ら¹⁰⁾が提案した港湾での堤防データの整備手法を解説する。大谷¹¹⁾が開発したデータ変換・統合技術 Data Processing Platform(DPP)を活用することで、我らは、基盤地図情報の水涯データを用いて浸水解析に必要な堤防方位を自動設定する手法を構築するとともに、堤防高のみを有するデータに施設 IDを付与し、施設単位で堤防高を更新可能とする手法を開発した。

高潮・波浪・浸水解析モデルの構築には、堤防方位、堤防高、施設属性を適切に設定した堤防データの整備が必要である。堤防方位について解説すれば、高潮・波浪・浸水解析では堤防法線に対する海側・陸側の関係を踏まえて越流方向等を設定するため、堤防方位の設定が必要で

表－１ 堤防方位設定のためのライブラリ構成

カテゴリ	内容	詳細
入力情報	堤防データ	- 出典：G空間情報センター公開の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」堤防データ - 形式：datファイル
	水涯データ	- 出典：国土地理院の基盤地図情報ダウンロードサービス - 形式：XML形式ファイル (海岸線や河川の汀線、湖沼の岸線)
	ユーザー設定	- 内容：平面直角座標系 - 指定方法：DPPスクリプト内で直接記述
ライブラリ情報	ライブラリ名	SWOrient (入力ファイル自動生成ライブラリ)
	処理機能	- 堤防データを読み込み、方位設定の対象区間を取得 - 水涯データに基づき堤防方位を自動判定 - 水解析に必要な向きを付与した堤防データを出力
	処理手順	- ① 海岸線照合：海岸線情報を参照し、堤防に最も近い海側の方向から堤防方位を設定 - ② 近傍判定：周辺セルのうち海に該当するセルの分布から、海側の主方向を判定して堤防方位を設定 - ③ 広域探索：近傍で判定できない場合に、探索範囲を段階的に拡大し、海セルの分布から海側の主方向を判定して堤防方位を設定
	実装言語	DPP, C++
	コード規模	約1,000行（複数モジュール構成）
出力情報	解析に使用するファイル	- 例：SuWAT用の方位設定ファイル(制御ファイル)、 - 設定に応じて変更される可能性あり
	フォーマット	- 例：SuWAT仕様に準拠した形式
	マニュアル対応	- SuWATマニュアルの「入力ファイル仕様」章に準拠

ある。堤防高について言えば、G空間情報センターの堤防データは、位置情報と標高を有するものの、施設単位で堤防高を管理・更新できる構造となっていない。このため、高潮・波浪・浸水解析に必要な堤防方位の設定に加え、地震による沈下量等を施設単位で堤防高へ反映するための施設 IDを備えた堤防データ整備手法の構築が課題である。重畳評価を行うためには、浸水解析に必要な情報と、地震後の堤防高更新に必要な情報の双方を一体的に扱えるデータ構造として整備しておくことが必要である。本節では堤防方位を自動で与える手法について解説する。

②堤防方位の自動設定

本手法では、堤防データ、水涯データを用いた。堤防データは方位設定の対象とする基本データであり、水涯データは堤防方位の設定に使用した。

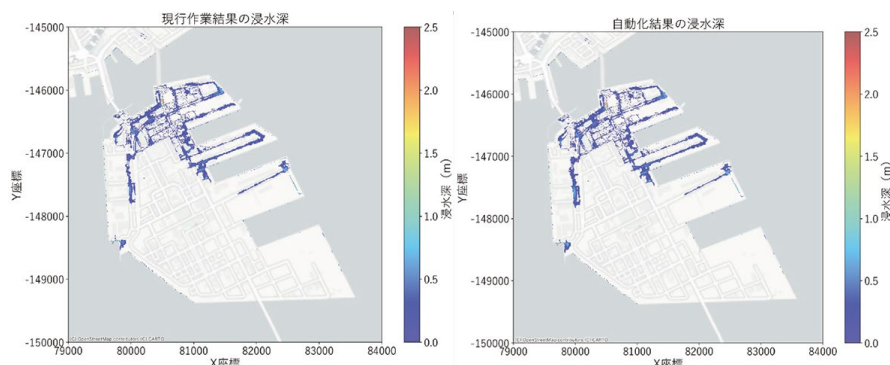
堤防方位は、堤防の海側の位置関係に基づいて設定した。海側判定には利用可能な情報を優先的に用い、判定できない場合には周辺地形情報に基づいて補完した。海域 XML が利用可能な場合は、堤防中心から一定距離内に存在する海岸線を参照し、その法線方向に基づいて堤防方位を設定した。参照距離は50、100、200 mと段階的に拡大し、得られた角度

は5°刻みに丸めた。海域 XML で判定できない場合は、周囲8セルのうち標高が0 m未満となる海セルの分布から海側の主方向を求め、0、90、135、180、270、315°の6方向に丸めて設定した。さらに、近傍に海セルが存在しない場合は、探索範囲を3×3、5×5、7×7と段階的に拡大し、海セルの相対位置を集計することで海側の主方向を判定し、堤防方位を設定した。表－1に開発したライブラリ構成を示す。

③適用結果と妥当性確認

神戸ポートアイランド周辺を対象に本手法を適用し、海側・陸側の関係を踏まえて堤防方位を設定した。自動設定結果では、現行作業による設定に比べて、堤防線形や周辺の地形条件を反映した、より細かな方位設定が可能となり、特に、堤防の屈曲部や海岸線形状が変化する区間において、局所的な形状に応じた方位が付与されており、解析条件として用いる堤防データをより詳細に整備できることを確認した。

自動設定した堤防方位の妥当性には、高潮・波浪結合モデル SuWAT (coupled numerical model of Surge, WAve and Tide, Kim et al.2015)¹²⁾を用いた。現行作業により設定した堤防方位を用いた場合の計算結果と比較することにより確



図－9 人間が手作業で設定した堤防方位を用いた高潮浸水計算結果と本研究で提案した自動設定による高潮浸水計算結果

認した。図－9に人間による作業で設定した計算結果と自動設定による計算結果、図－10に両者の差分図を示す。比較の結果、比較格子数は5162、相関係数は0.991、MAEは0.016、RMSEは0.034であった。これより、自動設定した堤防方位を用いた場合でも、現行作業による計算結果と高い整合性を有することが確認された。

3. おわりに

自然災害はわれわれの準備の状況などはお構いなしに発生する。また、災害規模に想定されうる上限はない。尊い命が失われないことは当然のことであるが、災害の社会的・環境的・経済的影響を可能な限り下げ、災害前の生活に災害後にも速やかに戻ることができる技術開発と制度の構築が災害大国日本では必須である。さらにそれらを実際に活用して、絶えず社会の実情に合わせていくことが求められる。

また、災害対応の内容は多岐にわたり、平時の効率化を主として構築された府省庁・行政単位・研究分野のそれぞれに内在する壁を越えて、技術開発を行う必要がある。府省連携を主眼とするSIPはそれを可能とする技術開発プログラムである。

より合理的で効果的な避難指示や避難所の開設、迅速な復興と廃棄物の処理など、SIP第3期課題では対象とできなかった防災課題も多数ある。3期の後のSIP課題としても、災害への技術開発を弛みなく継続して実施できることを強く望む。

《著者》

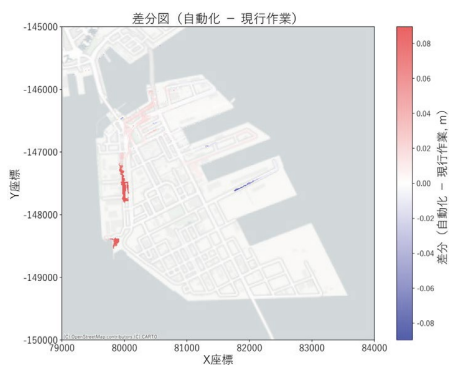
1. はじめに：楠浩一^{*1}
2. AI活用技術アイテム
 - (1) 衛星データ汎用解析技術：横矢直人^{*2}
 - (2) 生成AIによる状況付与カード作成：米山照彦^{*3}
 - (3) AI水位予測モデル：中込淳^{*4}、吉永育生^{*5}
 - (4) 港湾構造物設計図面の読み込み技術：大石哲^{*6}
3. おわりに：楠浩一^{*1}他

《所属》

- ※1：東京大学地震研究所災害科学系研究部門教授
- ※2：東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻教授
- ※3：(株)構造計画研究所執行役員創造工学部部長
- ※4：(一)助水源地環境センター審議役
- ※5：(国研)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門水利工学研究領域研究領域長
- ※6：神戸大学都市安全研究センター教授

【参考文献】

- 1) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)概要
<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sipgaiyou.pdf>
- 2) H. Chen, J. Song, O. Dietrich, C. Broni-Bediako, W. Xuan, J. Wang, X. Shao, Y. Wei, J. Xia, C. Lan, K. Schindler, N. Yokoya, "BRIGHT: A globally distributed multimodal building damage assessment dataset with very-high-resolution for all-weather disaster response," *Earth System Science Data*, vol. 17, pp. 6217-6253, 2025.
- 3) J. Xia, H. Chen, C. Broni-Bediako, Y. Wei, J. Song, N. Yokoya, "OpenEarthMap-SAR: A benchmark synthetic aperture radar dataset for global high-resolution land cover mapping [Software and Data Sets]," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 476-487, 2025.



図－10 自動設定による高潮浸水計算結果と人間の手作業設定による計算結果の差

- 4) H. Chen, N. Yokoya, C. Wu and B. Du, "Unsupervised multimodal change detection based on structural relationship graph representation learning," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 60, pp. 1-18, 2022.
- 5) H. Chen, C. Lan, J. Song, D. Ibañez, J. Xia, K. Schindler, N. Yokoya, "Multimodal remote sensing change detection: An image matching perspective," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 233, pp. 487-501, 2026.
- 6) J. Wang, W. Xuan, H. Qi, Z. Liu, K. Liu, Y. Wu, H. Chen, J. Song, J. Xia, Z. Zheng, and N. Yokoya, "DisasterM3: A remote sensing vision-language dataset for disaster damage assessment and response," *Proc. NeurIPS*, 2025.
- 7) 株式会社構造計画研究所「状況付与カード作成システム」
<https://actioncard.kke.co.jp/>
- 8) Neal, R.M. (1996) Bayesian learning for neural networks, *Lecture Notes in Statistics*, 118, Springer Science & Business Media
- 9) 木村延明、皆川裕樹、福重雄大、吉永育生、馬場大地 (2024) ベイズ推定の代替手法を用いた不確実性を可視化する排水機場遊水池のLSTM水位予測モデル、土木学会論文集特集号(土木情報学)、80(22)、論文ID：23-22011
- 10) 戎健次、葛平蘭、大石哲、竹山智英、橘伸也、地震と高潮・波浪・浸水の重畳解析に向けた堤防データ整備の自動化、計算工学講演会論文集 Vol. 31, 2026.
- 11) 大谷英之：土木構造物設計図面からの3次元モデル自動構築におけるナレッジグラフの利用、人工知能学会第二種研究会資料 セマンティックウェブとオントロジー研究会, 2022.
- 12) Kim, S. Y., Mori, N., Mase H., Yasuda, T. :The role of sea surface drag in a coupled surge and wave model for Typhoon Haiyan 2013, *Ocean Modeling*, 96, 65-84, 2015.