

リアルタイム氾濫解析シミュレーター開発 研究成果報告書

北海道大学大学院工学研究院 教授 清水 康行

概要：

本申請では、近年急速に発達する情報通信技術と災害予測システムとを結びつけたリアルタイム氾濫解析シミュレーターを開発することを目的に、リアルタイム氾濫解析シミュレーターの構築した。降雨などのリアルタイムデータは、現在、行政機関や各種研究所から個別に配信されている。しかし、各種データを包括的に入出力可能な数値計算プラットフォームは未整備であり、洪水時に生じる複合現象をリアルタイムで扱うための物理モデルをベースとした数値シミュレーターは世界的に見ても存在しない。時間的かつ限られた予算での目的達成を可能とするため、本研究では申請者（清水）が 10 年におよび開発してきた数値解析プラットフォーム *iRIC* を拡張し、1) リアルタイムデータを扱うためのプラットフォームを追加した、2) 既存の物理モデルをベースとした 2 次元氾濫解析ソルバである *Nays2DFlood*（清水開発）をまずは拡張し、リアルタイムデータを用いた数値解析を *iRIC* 上で扱えるようにし、動作確認までを実施した。

キーワード：リアルタイムデータ、氾濫解析、数値解析プラットフォーム、*iRIC*

1. 研究(ソフトウェア開発)の目的

近年、気候変動などの影響による降雨特性の変化より益々激化する河川災害において、特に急流河川では大規模な流路変動に起因する堤防決壊や洪水氾濫が顕著化し、人命・財産に著しい危険をもたらす事例が頻発している^{[1][2]}。これに鑑み、本申請では災害予測システムの高度化を実現するため、情報通信技術を活用し、リアルタイム氾濫解析シミュレーターを開発することに着眼した。降雨などのリアルタイムデータは、現在、行政機関や各種研究所から個別に配信されている。しかし、各種データを包括的に入出力可能な数値計算プラットフォームは未整備であり、洪水時に生じる複合現象をリアルタイムで扱うための物理モデルをベースとした数値シミュレーターは世界的に見ても存在しない。

そこで本申請では、近年急速に発達する情報通信技術と災害予測システムとを結びつけたリアルタイム氾濫解析シミュレーターを開発する。時間的かつ限られた予算での目的達成を可能とするため、本研究では申請者（清水）が 10 年におよび開発してきた数値解析プラットフォーム *iRIC*^[4] を拡張し、(1) リアルタイムデータを扱うためのプラットフォームを追加する、(2) 既存の物理モデ

ルをベースとした 2 次元氾濫解析ソルバである *Nays2DFlood*^{[5][6]}（清水開発）をまずは拡張し、リアルタイムデータを用いた数値解析を *iRIC* 上で扱えるようにする、(3) 氾濫解析の精度検証を行うと共に、(4) 氾濫解析シミュレーター利用のためのガイドラインを整備することを目的とした。本研究では 2 次元氾濫解析ソルバのみを対象とするが、追加されたプラットフォームは *iRIC* 上のいずれの数値解析ソルバにも対応するものであり、今後、たとえば土砂移動を考慮した 1 次元あるいは 2 次元河床変動解析モデルへの拡張も可能となる。なお、本申請は 2 年計画であり、本成果報告書は初年度に該当するものである。したがって、ここでは、主に上記課題の 1) と 2) について報告する。

2. 方法

目的達成のため、以下の課題を設定し、初年度に下記を実施した。

- ① リアルタイムデータを扱うためのプラットフォーム開発
- ② リアルタイムデータ利用のための 2 次元流れ解析モデルの拡張
- ③ 動作検証

(1) リアルタイムデータを扱うためのプラットフォーム開発

リアルタイムデータを扱うためのプラットフォームは、iRIC 上の氾濫解析モデル Nays2DFlood をベースとして開発した。iRIC は、地理空間情報を利用した河川流況や河床変動、氾濫流、津波などの数値計算のプラットフォームであり、計算に必要な計算条件や計算格子を生成するための機能、および、計算結果を可視化、分析するための機能が実装されているオープンソースのプログラムである。Nays2DFlood は、iRIC 上で実行可能な氾濫解析プログラムであり、iRIC の機能を利用して作成された計算条件、計算格子を読み込み実行することができ、また、計算結果も iRIC の機能を利用して可視化、分析することができる。本開発では、そのような iRIC 上で動作する Nays2DFlood の利用環境を変更することなく、リアルタイムデータを扱うためのプラットフォームを構築することとした。また、Nays2DFlood に適用できるリアルタイムデータには、河川の上流端流量、下流端水位、および、各メッシュの降雨量があるが、Nays2DFlood が河川流量や水位観測地点が存在しない地域への適用が多いことを踏まえ、リアルタイムデータとして、降雨量のデータを対象とすることとした。

現在、リアルタイムで配信される降水量のデータには、その時空間分解精度によりいくつかの種類が存在するが、本プラットフォームでは時空間分解精度の高い「高解像度ナウキャスト（気象庁、気象業務支援センターから配信）¹⁾」と、「XRAIN 雨量（国土交通省、河川情報センター配信）²⁾」を対象とすることとした。

高解像度ナウキャスト、XRAIN、いずれのデータも時空間分解能は、250m メッシュ、5 分間隔（※XRAIN はインターネット配信の場合）であるが、高解像度ナウキャストは全国一括で現況から 1 時間後の予測値を含むデータが grib2 形式で配信されているのに対し、XRAIN は全国一次メッシュ単位で観測値のみが独自フォーマットで配信されている。それらデータを Nays2DFlood の計算に利用するためには、データが配信される度に、計算領域に応じた降雨データの抽出、各メッシュ値へのデータ変換が必要になる。既存の iRIC には観測、測量された空間データを各メッシュ値に設定する機能（マッピング）を有しているため、本プラットフォームでは、配信された高解像度ナウキャスト、および、XRAIN データから計算領域に応じた領域を抽出し、iRIC で取扱えるフォーマットに変換するプログラムの開発を行なった。

5 分間隔で配信される降雨データを逐次反映し Nays2DFlood の計算を行う仕組みは、Python スクリプトを用いて構築した（図 1）。リアルタイム計算を目的とし

ているが、動作確認や検証等で再現計算に利用することも想定し、過去データを用いた計算も可能とした。また、計算結果をリアルタイムで確認するため、計算結果を Web 上で可視化するシステム（Web 可視化システム）を構築した。なお、Web 技術における汎用性の観点から可視化するデータ形式には geojson を採用した。

スクリプトを実行するための準備手順を以下に示す。まず、iRIC を用いて降雨データ以外の地形や粗度、各種計算条件を作成する（00_base-model）。この作業は既存の Nays2DFlood と全く同じ環境で実施できる。その上で配信される降雨データの格納場所や計算タイプ（リアルタイム計算／再現計算）、計算結果保存期間、データ出力先などの条件を指定する。再現計算の場合は計算開始年月日と計算終了年月日を指定する。リアルタイム計算の場合は、常に最新に配信された降雨データを利用した計算が実行される。その後、Python スクリプトを実行する。

本開発で構築したプラットフォームの概要図を図 1 に示す。Python スクリプトは、各種処理を制御する仕組みになっている。スクリプトでは以下の処理が実行される。

- (1) 降雨データから計算領域に必要なデータ抽出し、iRIC で読み込める形式に変換する。リアルタイム計算の場合は、最新に配信された降雨データ。再現計算の場合は、計算時刻に応じた降雨データ。
- (2) 1) で作成されたデータは、00_base-model に読み込まれ、各メッシュ値の降雨データとしてマッピングされ、20_pre-model として保存される。
- (3) Nays2DFlood は、20_pre-model に格納されたデータを基に 5 分間を想定した計算を実行する。結果は 21_post-model に格納される。なお、前計算の結果を次の計算初期条件として設定するため Nays2DFlood にリスタート機能を実装している（30_restart）。なお、21_post-model に格納されたデータは、そのまま iRIC で可視化、分析することができる。
- (4) Web 可視化システムで計算結果を可視化するため、21_post-model に格納された計算結果を geojson 形式へ変換する。
- (5) 1) に戻る

なお、本プラットフォームは、オープンソースの iRIC との併用を前提としているため、その親和性を考慮し、可能な限り汎用的な環境で利用できるようにすることに配慮し、仮想環境（VirtualBox³⁾）を用いて構築した。そのため、前記した環境を様々なコンピュータ環境に適用することが可能である。但し、降雨データについては別途入手する必要がある。

¹ <https://www.jma.go.jp/jp/highresorad/>

² <http://www.river.go.jp/x/xmn0107010.php>

³<http://www.oracle.com/technetwork/jp/server-storage/virtualbox/downloads/index.html>

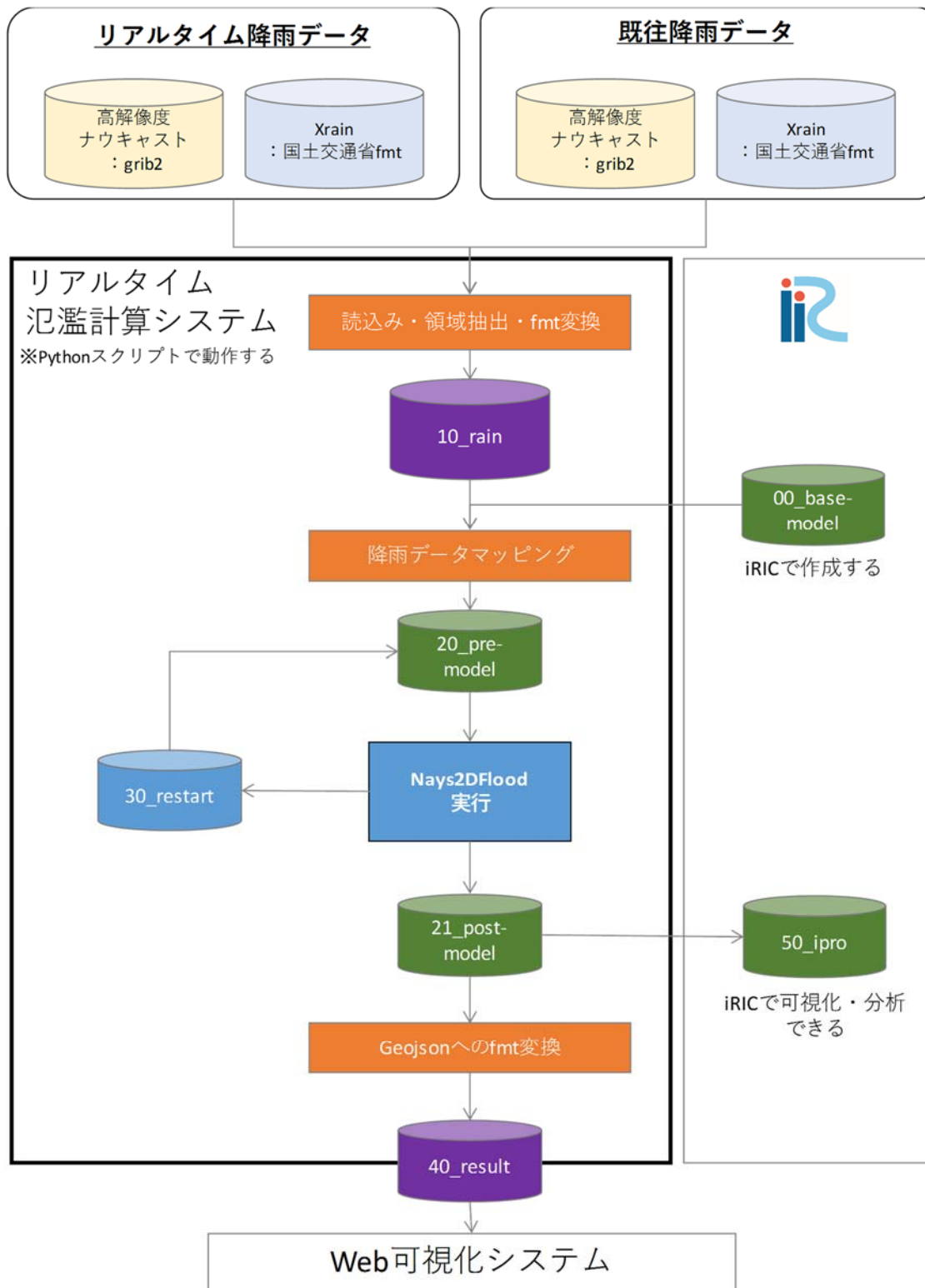


図1 : 本プラットフォームの概要図

また本開発では、高解像度ナウキャストおよびXRAINの降雨データをNays2DFloodの計算に利用するスクリプトを開発したが、Nays2DFloodの入出力ファイルはiRICで共通化されたものであるため、iRIC上に搭載されるソルバであれば、同様に高解像度ナウキャストおよび

XRAINの降雨データを利用した計算を行うことができる。

さらに、Pythonスクリプトで各処理を接続しているため、異なるタイプの計算プログラムを接続したモデルで、それら降雨データを利用することも可能である。例えば、XRAINを入力値として流出計算モデル（例えばiRICに

搭載されているSRMという流出解析モデル)を実行し、結果として出力された流量データを河道流況解析モデル(例えばiRICに搭載されているNays2DHという河川流況・河床変動計算モデル)に利用するなどの計算が可能となる。

(2) リアルタイムデータ利用のための2次元流れ解析モデルの拡張

高解像度ナウキャストおよびXRRAINで配信されるデータを逐次、汎用解析モデルNays2DFlood^{[5][6]}の降雨条件として設定し、実行するためには、時間の同期が必要となる。同期のとり方には様々な方法が考えられるが、Nays2DFloodがiRICのファイル入出力を採用しているため、各メッシュ値に降雨データをマッピングした条件ファイルを作成した上で計算を実行する必要があることから、本開発では、配信時間間隔に応じて計算初期条件を設定し、計算を開始する仕組みとした。

5分間隔でデータが配信される場合、この仕組みだとNays2DFloodの5分間の計算が、実時間で5分以内に終了することが前提である。計算が実時間で5分以内に終了しない場合は徐々にリアルタイムから乖離していくことになる。5分間の計算が実時間5分以内に終了するか否かはNays2DFloodの計算速度やメッシュ数、計算機の種類に依存するため、本検討では対象としない。

またこの仕組みでNays2DFloodを逐次的に実行するためには、前計算で算定される水深や流速およびそれら算定に利用する計算途中の変数を、次の計算初期条件として設定する必要がある。しかしながら、既存のNays2DFloodにはそれらを考慮する機能(restart機能)が存在していなかった。そこで、本開発ではNays2DFloodにrestart機能を追加し、計算終了時に次の計算の初期条件として設定すべき水深、流速などの値を出力する機能、および、それらを次計算の初期の水深、流速などに設定する機能を開発した。

3. まとめ

本申請では、近年急速に発達する情報通信技術と災害予測システムとを結びつけたリアルタイム汎用解析シミュレーターを開発することを目的に、下記ソフトウェア開発を実施した。時間的かつ限られた予算での目的達成を可能とするため、本研究では申請者(清水)が10年におよび開発してきた数値解析プラットフォームiRICを拡張し、1)リアルタイムデータを扱うためのプラットフォームを追加した、2)既存の物理モデルをベースとした2次元汎用解析ソルバであるNays2DFlood(清水開発)をまずは拡張し、リアルタイムデータを用いた数値解析をiRIC上で扱えるようにし、動作確認までを実施した。

参考文献

- 1) 2016年8月北海道豪雨災害報告書, 土木学会北海道豪雨災害調査団, 2017.
- 2) 筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会(第1回) ~
- 3) 平成29年7月九州北部豪雨~平成29年9月7日,九州地方整備局・福岡県.
- 4) iRIC ソフトウェア <http://i-ric.org>
- 5) 清水康行: 河道平面形状の形成における河床・河岸の変動特性の相互関係について, 土木学会水工学論文集, 第47巻, pp.643-648, 2003.
- 6) Jang, C. & Shimizu, Y.: Numerical simulation of relatively wide, shallow channels with erodible banks, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 131, No.7, pp.565-575, 2005.