

河川氾濫シミュレーションシステム Advance/RiverFlow の紹介

高橋 邦生* 富塚 孝之* 富永 直利*

Introduction to river flood simulation system software, Advance/RiverFlow

Kunio Takahashi*, Takayuki Tomizuka* and Naotoshi Tominaga*

アドバンスソフト株式会社は、2021 年 3 月に「河川氾濫シミュレーションシステム Advance/RiverFlow」をリリースした。Advance/RiverFlow は地球規模から詳細な地域の河川氾濫までを同時に扱うことを目的に開発されたソフトウェアである。東京大学生産技術研究所が開発した河川氾濫モデルを採用することで、既存の河川氾濫モデルより数万～数百万倍高速な洪水氾濫計算を実現する。近年、自然災害が相次いでいる中で河川氾濫による被害は甚大化しており、河川氾濫は大小複数の河川が影響しあうと同時に各地域の地形にも依存するが、Advance/RiverFlow を用いることで、同時多発する河川氾濫を予測・評価することが可能となる。

Keywords: 河川、河川氾濫、洪水、リスク評価、シミュレーション、ソフトウェア

1. 開発の経緯

近年、日本国内だけ見ても台風やゲリラ豪雨により毎年のように水害が発生している。例えば、平成 18 年から 27 年までの 10 年間に、一度も河川氾濫などによる水害が起きていないのは、全市区町村の僅か 2.8% (49 市区町村) である。残り 97.2%の市区町村 (1,692 市区町村) では 10 年間に 1 回以上の水害が起きており、さらに半数近くの 830 市区町村では 10 年間に 10 回以上の水害が発生している。このような中で実用的な河川氾濫シミュレーションシステムの開発が急務となっている。しかし、河川氾濫は大小複数の河川が影響しあうと同時に各地域の地形にも依存するため、既存の河川氾濫モデルでは計算機資源や計算時間の点から広範囲の河川氾濫を扱うのは難しい。

そこで、アドバンスソフト株式会社は東京大学生産技術研究所が新たに開発した全球地表水動態モデル CaMa-Flood を採用することで地球規模から詳細な地域の河川氾濫までを扱えるように

しつつ、新たに GUI を開発することで、専門の研究者以外でも扱える実用システムを開発することを目的に「河川氾濫シミュレーションシステム開発マルチクライアントプロジェクト」を立ち上げた。開発にあたって、参加企業様と機能や仕様について意見交換を実施した。2021 年の 3 月に初期リリースを行いライセンス販売とユーザーサポートを提供している。

2. Advance/RiverFlow の機能

Advance/RiverFlow の主な特徴をソルバーである河川氾濫モデル、前処理 GUI、後処理 GUI に分けて紹介する。また、機能一覧を表 1～3 に示す。

2.1. 河川氾濫モデル

河川氾濫モデルに採用した CaMa-Flood (Catchment-based Macro-scale Floodplain model) [1][2]は河川流域を多数の要素 (グリッド) に区切って、その要素ごとに物理パラメータを当てはめて計算するタイプのモデルである。このような河川モデルを分布型と呼んでいる。また、河川の流下計算を行うモデルを河川流下モデルと呼んでいる。CaMa-Flood は河道だけでなく、氾濫原についても計算を行う。陸域水文モデルなどから得られた流

*アドバンスソフト株式会社 熱流動エンジニアリングセンター

Thermal Hydraulics Engineering Center, AdvanceSoft Corporation

出量を入力として、各グリッドの貯水量・流量・浸水面積・水深を出力する。このとき、予報変数は貯水量のみで、他の変数は貯水量から診断的に導かれる。すなわち、各グリッドは河道と氾濫原の2つの貯水槽を持つものとして扱い、氾濫原は各グリッドの集水域（河道に流出が集まる領域）から構成される（実際には浸水しない部分も含む）。このとき、2つの貯水槽は連続しており、河道から溢れた水が氾濫原に貯留される。さらに河道と氾濫原の貯水量は、各タイムステップの初めに2つの貯水槽の水面標高が等しくなるように調整される。このような考えに基づき時々刻々と変化する2つの貯水槽の貯水量を計算している。

CaMa-Flood では、地球規模での河川・氾濫原の水動態を計算するための工夫として、流域規模の水収支は低解像度で、氾濫原の水動態は地形パラメータから診断するという手法を取っている。そのため、詳細地形を考慮する既存の氾濫原モデルから精度を落とさずに、数万～数百万倍も高速な計算が可能となっている。また、地形データには東京大学生産技術研究所で開発された全球高精度河川地形データ（MERIT-Hydro）[3]を用いることで、低解像度の河川モデルの各グリッドと衛星データに基づく高精度の集水域における地形パラメータの対応関係を保存しておくことができるため、瞬時に流域規模の水収支のデータを高解像化（ダウンスケーリング）することができる。

2.2. 前処理 GUI

Advance/RiverFlow では、前処理 GUI を利用して、計算期間・入出力ファイル・モデルパラメータなど計算に必要な各種設定を容易に行うことができる。また、実行を支援するスクリプトを出力する機能を備えており、入出力ファイルを計算の途中で変更した後にリスタート（続き）計算する等の複雑な実行を自動で行うことができる。

2.3. 後処理 GUI

Advance/RiverFlow の後処理 GUI は、オープンソースの GIS（Geographic Information System）ソフトウェアである QGI[4]向けに専用のプラグイ

ンを提供している。このプラグインを用いて基本的な可視化（分布図・時系列図）と保存（静止画・動画・時系列データ）ができるようになっている。また、タイル地図の表示やレイヤーの色・透過度の設定、レイヤーの状態の保存（プロジェクトの保存）などは QGIS の基本機能として利用できる。

表 1 河川氾濫モデルの機能一覧

モデル	分布型の河川流下モデル
解析対象	全球・大陸河川・中小河川
地形データ	MERIT-Hydro
入力データ	流出量・地形データ
出力データ	流量・浸水深・浸水面積・貯水量
データ形式	バイナリ形式・NetCDF 形式
付属機能	ダウンスケーリング・湛水期間の算出・洪水リスク評価
サポート OS	Linux・Windows

表 2 前処理 GUI の機能一覧

機能	解析条件の設定
入力	計算期間・入力ファイル・出力ファイル・モデルパラメータなどの解析条件
出力	河川氾濫モデルの入力ファイル・実行支援スクリプト
サポート OS	Windows

表 3 後処理 GUI の機能一覧

機能	タイル地図の表示・選択した地点の物理量の取得・時系列データのグラフ表示・レイヤーの色や透過度の設定・静止画像や動画の保存・レイヤーの状態の保存（プロジェクトの保存）など
入力	河川氾濫モデルの入出力ファイル・GeoTiff 画像
データ形式	バイナリ形式・GeoTiff 形式
サポート OS	Windows

3. Advance/RvierFlow の解析事例

Advance/RiverFlow の解析事例として、特定の洪水イベントに注目した事例と洪水リスク評価の一例として長期間の計算結果から極値統計解析により浸水深を算出した事例を紹介する。

3.1. 令和 2 年 7 月の球磨川氾濫

令和 2 年（2020 年）の 7 月は長期にわたり梅雨前線が本州付近に停滞し、西方と南方から流入する大量の水蒸気が九州を中心に西日本から東日本にかけて集まりやすい状態が続いた。特に九州地方で多数の線状降水帯が発生した。線状降水帯により、時間雨量 30mm を超える激しい雨が降り続き、この豪雨により球磨川流域では甚大な水害が発生した。今回の事例では、日本全域（東経 120°～150°・北緯 20°～50°）を対象に 7 月 1 日から 7 日までの解析を実施した。また、九州地方を注目領域としてダウンスケーリングを行い高解像化された浸水深の分布図を作成した。

入力データは MERIT-Hydro に基づく水平解像度 1min の地形データと欧州中期予報センター（ECMWF）が提供する再解析データ ERA5 を使用した。ERA5 には各高度の気温・気圧・風速などの大気パラメータや雨量に加えて、土壌水分量・海洋の波高など様々なデータが含まれている。また、ERA5 は ECMWF が新たに開発したデータ同化システムである EDA（Ensemble of Data Assimilations）システムにより、観測（地上・衛星）と予報モデルの誤差からデータの信頼性評価がなされている。河川氾濫モデルの入力データには、水平解像度 6min の流出量（surface runoff）の hourly データ[5]を使用している。また、初期値を得るための助走期間として、1 年間の daily データを使用した。

なお、計算時間は Intel Xeon Gold 5218（動作周波数 2.30GHz）の 10 スレッド並列で助走期間を除いて約 110 秒（助走期間を含めても約 1600 秒）であった。これは、日本全域を中小河川も含めて 30 分未満の計算時間で 1 週間の河川氾濫解析が可能であることを示している。

図 1 に水平解像度 15sec にダウンスケーリング

した浸水深を図 2 にさらに人吉市周辺を水平解像度 1sec までダウンスケーリングした浸水深（7 月 4 日 10 時時点）を示す。また、図 3 に国土地理院の令和 2 年 7 月豪雨に関する情報のページ[6]から取得した浸水推定図[7]を示す。水平解像度 1sec までダウンスケーリングした浸水深は浸水推定図を良く再現していることが分かる（図 1 と図 2 のカラーは図 3 に合わせてある）。



図 1 球磨川流域の浸水深（水平解像度 15sec）

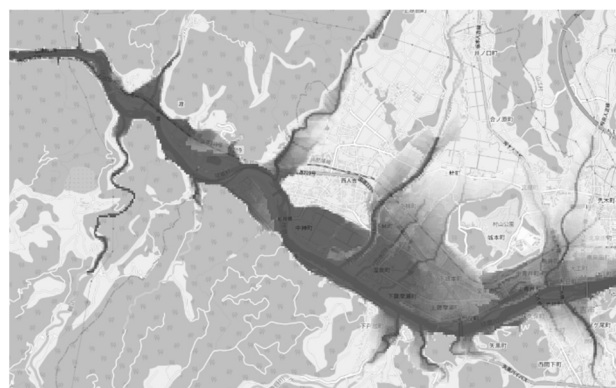


図 2 人吉市周辺の浸水深（水平解像度 1sec）



図 3 国土地理院の浸水推定図

3.2. 極値統計解析による浸水深の算出

洪水ハザードマップは、100年に一度や1000年に一度の規模の大雨によって河川が増水し、堤防が決壊するなどの氾濫が発生した場合に、浸水が想定される範囲とその程度、及び地域の避難場所等を示した地図である。

堤防の決壊や内水氾濫を考慮することはできないものの、Advance/RiverFlowを用いることで、河道や堤防を越えて溢れる外水氾濫を対象に極値統計解析を組み合わせることで洪水ハザードマップに相当する洪水リスク評価を行うことができる。なお、極値統計解析に必要なユーティリティは河川氾濫モデルの付属機能として提供されている。

今回は流出量データにEarth2Observeの再解析データ[8]を使った例を示す。計算領域を全球（水平解像度15min）として、1980年から2014年の35年間の計算を実施した。計算時間はIntel Xeon Gold 5218（動作周波数2.30GHz）の10スレッド並列で約5時間40分であった。このようにして得られた35年間のデータからメコン川流域のみを水平解像度1minにダウンスケーリングして、極値統計解析を行った。具体的には、仮定した確率分布関数に合うようにフィッティングした浸水深の確率分布のデータから、ある確率年に対する浸水深を算出している。図4に確率分布関数にGumbel分布を仮定して確率年を100年とした場合の浸水深を示す（カラーは図1や図2と同じ）。

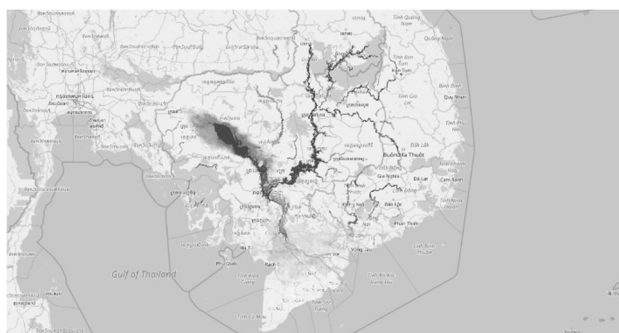


図4 100年に一度の規模の河川氾濫による浸水深（水平解像度1min）

4. 今後の展望

近年の大規模な自然災害の発生に対して、一部

地域では既に地球温暖化の影響が現れ始めているのではないかと指摘がなされている。気候変動により変わりつつあるリスクについて、その影響を評価することが重要である。しかし、気候変動リスクは対象期間が長期にわたり、かつ不確実性も高いため定量的な評価が難しい。

Advance/RiverFlowは、解析事例で示したように河川氾濫に伴う洪水を対象にその物理的リスクを定量的に評価する強力なツールとなる。現在、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の地球温暖化シナリオに沿った洪水リスク評価等の課題に対して取り組みを進めている。さらに、このような取り組みを進めることで、気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）など気候変動関連の情報開示に苦慮している企業様に対してソリューションを提供していきたい。

参考文献

- [1] Yamazaki, D., S. Kanae, H. Kim, and T. Oki, Water Resour. Res. **47** (2011) W04501 doi:10.1029/2010WR009726.
- [2] Yamazaki, D., T. Sato, S. Kanae, Y. Hirabayashi, and P. D. Bates, Geophys. Res. Lett. **41** (2014) doi:10.1002/2014GL059744.
- [3] http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_Hydro/
- [4] <https://qgis.org/ja/site/>
- [5] <https://www.ecmwf.int/en/era5-land>
- [6] https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html
- [7] https://www1.gsi.go.jp/geowww/saigai/202007/shinsui/02_shinsui_kuma_05.pdf
- [8] <https://www.ecmwf.int/en/research/projects/earth2observe>

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイル（カラー版）がダウンロードできます。（ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。）