



Title	AIモデルと水理モデルのハイブリッド活用による洪水予測技術の高度化に関する研究
Author(s)	渡辺, 健
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105477
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (渡 辺 健)	
論文題名	AIモデルと水理モデルのハイブリッド活用による洪水予測技術の高度化に関する研究
論文内容の要旨	
近年の地球温暖化に伴う洪水災害の激甚化により、ソフト対策としての洪水予測技術の重要性が高まっている。現在ではレーダー観測網や河川水位観測網の充実と予測モデルの高度化により、数時間先までの洪水リスクを精度よく把握できるようになりつつあるが、早期の避難判断や水防活動に向けては、より長時間の予測リードタイムに対する高精度な予測が求められる。近年は物理モデルよりも高速かつ予測精度が高い傾向にあるAIモデルの実用化検討も進んでいるが、AIモデルは十分な学習データが必須であり、未経験豪雨等に対する予測精度が懸念となっている。対照的に物理モデルは水文学や水理学に基づくため、相対的に少量の観測データでモデル構築が可能であり、未経験豪雨にも適応しやすいなど、AIモデルと互いに補完可能な性質を持つ。このため、両者を統合したハイブリッド手法は洪水予測精度の向上に向けた重要な方向性であるが、現状は両モデルを単独で利用するケースが多く、実務利用に向けたハイブリッド手法のさらなる発展が望まれる。 そこで本論文では、降雨流出予測モデルと河川縦断水位を予測する河道モデルに対するハイブリッド手法の改良・開発を検討した。まず、降雨流出予測モデルについて、分布型流出モデルの計算流量をAIモデルの入力として活用するハイブリッド手法を対象に、既往研究で検討が不十分な点に対する改良検討を実施した。また左記手法に対し、モデルの軽量化とデータ欠損影響の低減に関する改良を検討し、実用性の向上を図った。さらに特定地点の流出予測から、河川の縦断予測ならびに多地点水位データ同化への展開に向けて、物理法則を組み込んだ深層学習手法であるPhysics-Informed Neural Networks (PINNs) を河道モデルへ適用し、多地点水位観測データの効率的なデータ同化技術の開発を目指した。 各章における記述内容の概要を以下に示す。 第1章は序論として、近年の洪水予測技術を取り巻く課題について述べ、本論文の目的および論文構成を述べた。 第2章では、特定地点の河川水位予測の性能向上に向けて、分布型流出モデルであるRainfall-Runoff-Inundationモデル (Sayama et al., 2012, RRIモデル) の計算流量を深層学習モデルへの入力として活用するハイブリッド手法の改良を検討した。本ハイブリッド手法では、上流側の各小流域に対する流出計算量の入力が精度向上に有効であることが示されるとともに、RRIモデル自体の流出予測精度は、最終予測出力への影響が小さいことが明らかとなった。また、ディープニューラルネットワーク (DNN) 構造の改良により、一般的なDNN構造と比較して上位互換の予測性能が得られることを示した。本検討で得られた知見は、RRIモデル固有の特性に依存するものではないため、既存の流出解析モデル資産を活用した本ハイブリッド予測手法の展開が期待されるものである。 第3章では、第2章で検討したハイブリッド手法をリアルタイム予測システムで活用するための実用性向上について検討を行った。モデル軽量化に向けた多地点同時予測方式への拡張後も、単独モデルよりも予測精度が有意に向上する性質は保持され、特に複数流域が合流する下流域での予測精度向上にハイブリッド化が有効であることが示唆された。また、観測水位データ欠損の悪影響を低減する方法の検討を行った結果、欠損データを模擬した学習データを用いることで、データ欠損時の精度低下の影響を抑制可能であることを明らかにした。 第4章では、縦断的な予測水位の計算に必要となる河道モデルに対して、支配方程式の情報を活用可能な深層学習モデルであるPINNsの適用を検討した。一次元不定流式を対象に、横流入を伴う一般断面条件下での順解析へのPINNsの適用に向けた開発・改良を行い、既往出水波形に対して順解析を安定して正しい解に収束させることが可能であることを示した。また、多地点水位データ同化・逆解析機能を実河川の既往出水事例を用いて検証した結果、区間別に設定された粗度係数を精度よく逆解析可能であることが分かり、計算時間は同化対象地点数の影響をほとんど受けないことが明らかとなった。これより、今後期待されるセンサー機器の増設によるモニタリング体制の拡充の際にも、縦断水位予測の精度向上に向けた効率的なデータ活用が期待できることが示唆された。 第5章では、本研究で得られた各章における知見を整理・総括し、今後の検討課題について述べ、結論とした。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (渡 辺 健)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	入江 政安
	副 査	教授	荒木 進歩
	副 査	准教授	中谷 祐介
論文審査の結果の要旨 近年の地球温暖化に伴う洪水災害の激甚化により、ソフト対策としての洪水予測技術の重要性が高まっている。現在ではレーダー観測網や河川水位観測網の充実と予測モデルの高度化により、数時間先までの洪水リスクを精度よく把握できるようになりつつあるが、早期の避難判断や水防活動に向けては、より長時間の予測リードタイムに対する高精度な予測が求められる。近年は物理モデルよりも高速かつ予測精度が高い傾向にあるAIモデルの実用化検討も進んでいるが、AIモデルは十分な学習データが必須であり、未経験豪雨等に対する予測精度が懸念となっている。対照的に物理モデルは水文学や水理学に基づくため、相対的に少量の観測データでモデル構築が可能であり、未経験豪雨にも適応しやすいなど、AIモデルと互いに補完可能な性質を持つ。このため、両者を統合したハイブリッド手法は洪水予測精度の向上に向けた重要な方向性であるが、現状は両モデルを単独で利用するケースが多く、実務利用に向けたハイブリッド手法のさらなる発展が望まれる。 そこで本論文では、降雨流出予測モデルと河川縦断水位を予測する河道モデルに対するハイブリッド手法の改良・開発を検討している。まず、降雨流出予測モデルについて、分布型流出モデルの計算流量をAIモデルの入力として活用するハイブリッド手法を対象に、既往研究で検討が不十分な点に対する改良検討を実施し、モデルの軽量化とデータ欠損影響の低減に関する改良を検討し、実用性の向上を図っている。さらに特定地点の流出予測から、河川の縦断予測ならびに多地点水位データ同化への展開に向けて、物理法則を組み込んだ深層学習手法であるPhysics-Informed Neural Networks (PINNs) を河道モデルへ適用し、多地点水位観測データの効率的なデータ同化技術の開発を行っている。各章における記述内容の概要を以下に示す。 第1章は序論として、近年の洪水予測技術を取り巻く課題、本論文の目的および論文構成を述べている。 第2章では、特定地点の河川水位予測の性能向上に向けて、分布型流出モデルであるRainfall-Runoff-Inundationモデル (RRIモデル) の計算流量を深層学習モデルへの入力として活用するハイブリッド手法の改良を検討している。作成されたハイブリッド手法では、上流側の各小流域に対する流出計算量の入力が精度向上に有効であることが示されるとともに、RRIモデル自体の流出予測精度は、最終予測出力への影響が小さいことが明らかとなっている。また、ディープニューラルネットワーク (DNN) 構造の改良により、一般的なDNN構造と比較して上位互換の予測性能が得られることを示している。本検討で得られた知見は、RRIモデル固有の特性に依存するものではないため、既存の流出解析モデル資産を活用した本ハイブリッド予測手法の展開が期待される。 第3章では、第2章で検討したハイブリッド手法をリアルタイム予測システムで活用するための実用性向上について検討を行っている。モデル軽量化に向けた多地点同時予測方式への拡張後も、単独モデルよりも予測精度が有意に向上する性質は保持され、特に複数流域が合流する下流域での予測精度向上にハイブリッド化が有効であることが示唆されている。また、観測水位データ欠損の悪影響を低減する方法の検討を行った結果、欠損データを模擬した学習データを用いることで、データ欠損時の精度低下の影響を抑制可能であることを明らかにしている。 第4章では、縦断的な予測水位の計算に必要となる河道モデルに対して、支配方程式の情報を活用可能な深層学習モデルであるPINNsの開発と適用を行っている。より具体的には、一次元不定流式を対象に、横流入を伴う一般			

断面条件下での順解析へのPINNsの適用に向けた開発・改良を行い、既往出水波形に対して順解析を安定して正しい解に収束させることが可能であることを示している。また、多地点水位データ同化・逆解析機能を実河川の既往出水事例を用いて検証した結果、区間別に設定された粗度係数を精度よく逆解析可能であることが分かり、計算時間は同化対象地点数の影響をほとんど受けないことを示している。これより、今後期待されるセンサー機器の増設によるモニタリング体制の拡充の際にも、縦断水位予測の精度向上に向けた効率的なデータ活用が期待できる。

第5章では、本研究で得られた各章における知見を整理・総括し、今後の検討課題について述べ、結論としている。

以上のように、本論文は気候変動に伴い、激甚化が進む河川の洪水を対象に、最先端とも言える物理モデルとニューラルネットワークの統合技術による再現予測の高精度化を目指し、良好な再現性能をもつモデルの構築およびモデルのパラメータの逆推定技術の構築に成功しただけでなく、実務上の諸課題を整理し、解決方策を提案している。その工学的な価値は高く、実際の河川行政に応用されるべき技術となっている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。