

# ラマンライダー観測データを用いた機械学習 による降水量予測モデルの開発

武田嵩生<sup>1)</sup>・白水元<sup>2)</sup>・奥村竣<sup>1)</sup>・朝位孝二<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 山口大学工学部社会建設工学科, <sup>2)</sup> 東海大学建築都市学部,

<sup>3)</sup> 山口大学大学院創成科学研究科

## 1. はじめに

豪雨災害の被害を軽減するためには革新的な豪雨発生予測モデルの構築が必要である。特に九州西部は東シナ海から供給される水蒸気によって豪雨が頻発する。現在福江島と甌島に水蒸気と気温の鉛直分布を計測するラマンライダーとウィンドプロファイラが試験的に設置されている。これは筑後川流域、嘉瀬川流域、六角川流域、球磨川流域、川内川流域に豪雨をもたらす水蒸気が福江や甌島周辺を通過することが多いため、その水蒸気を観測し豪雨予測に資するものである。

松坂<sup>1)</sup>は甌島の水蒸気フラックスを説明変数として球磨川流域、川内川流域の流域平均時間雨量を目的変数としてNARX (Nonlinear Auto-Regressive with eXogenous) を用いた豪雨予測を検討した。本研究では福江島の水蒸気フラックスを説明変数として筑後川流域、嘉瀬川流域、六角川流域の流域平均時間雨量を目的変数としたAI予測モデルの検討を行う。

## 2. 研究手法

本研究では松坂と同様、AIの一種であるNARX (Nonlinear Auto-Regressive with eXogenous) を用いた6時間後の降雨予測モデルの開発を行った。また比較対象として時系列予測モデルでは一般的なLSTMとの比較を行った。

本研究では、豪雨の発生と関係が深いとされる950hPa (約600m付近) 面における福江島上空でのERA5による気象データを用い、流域平均時間雨量のデータに関しては気象庁の過去データを用いた。気象庁から取得した各観測所の降水量と各観測所の割合の積を足したものを流域平均雨量とした。表1に本研究で用いたモデルの学習期間、検証期間、テスト期間を示す。図1に水蒸気フラックスを算定した際に使用した各流域の方向角を示す。以下に水蒸気フラックスの算

表1 各データ期間

目的変数 (流域平均時間雨量)			
	学習	検証	テスト
種類	気象庁過去データ		
期間	2006年~2021年 (6月1日0時~ 9月30日23時)	2022年~2023年 (6月1日0時~ 9月30日23時)	福江島 2025年(8月1日0時~ 8月31日23時)
説明変数 (流域平均時間雨量, 水蒸気フラックス)			
	学習	検証	テスト
種類	ERA5		
期間	2006年~2021年 (6月1日0時~ 9月30日23時)	2022年~2023年 (6月1日0時~ 9月30日23時)	ライダー実測値 福江島 2025年(7月1日0時~ 7月31日23時)

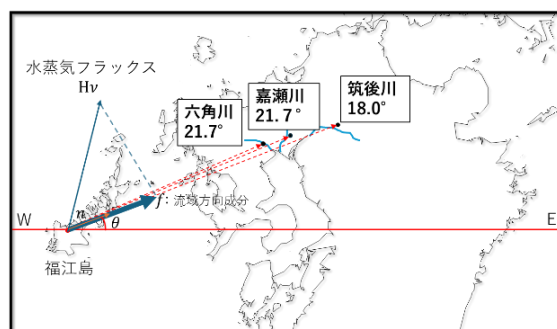


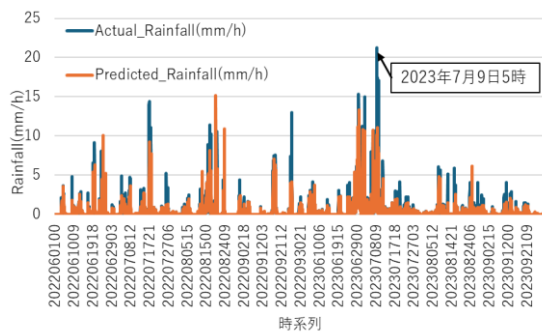
図1 福江島からの方向角

定式を示す。

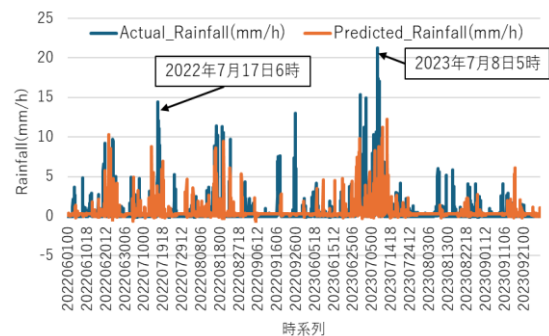
$$f = Hv \times n$$

$Hv$ は水蒸気フラックスを表し、 $H$ は混合比、 $v$ は風速ベクトル( $v, u$ )で $v(m/s)$ ：南北方向風速、 $u(m/s)$ ：東西方向風速の成分を持つ。 $f$ は水蒸気フラックスの流域代表方向成分を表し、 $n$ は福江島からの代表方向単位ベクトルを表す。本研究で用いた水蒸気フラックスは各流域の代表点方向の単位ベクトルと水蒸気フラックスの内積を取ることで水蒸気フラックスの各流域の代表方向成分を取り出し、それを水蒸気フラックスとしている。

方向角は福江島から各流域の任意の地点までの東を0度、北向きを90度としたときの角度である。観測所ラマンライダーによる観測は甌島では2024年1月から、福江島では2025年3月から観測が始まっており、学習用のデータが不足しているため再解析値であるERA5(ECMWF Reanalysis v5)を学習データおよび検証データに用い、テストに実測値を用いた。NARXとLSTMでは学習回数であるepochsは200で学習を行い、それぞれで検証、テストを行って得た結果を平均二乗誤差と相関係数から精度を評価する。本研究では雨だけを説明変数とした場合をモデル1、水蒸気フラックスだけを説明変数とした場合をモデル2、雨と水蒸気フラックスを説明変数とした場合をモデル3として検討を行ったが、ここでは紙面の都合上モデル2についてのみ示す。

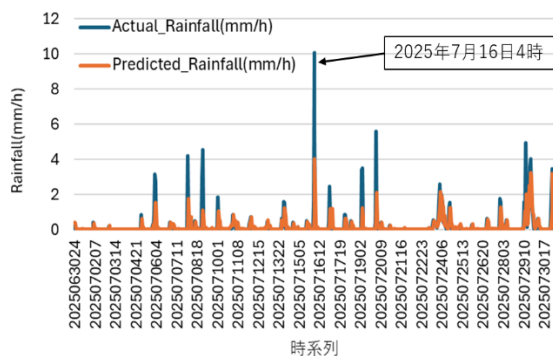


NARX

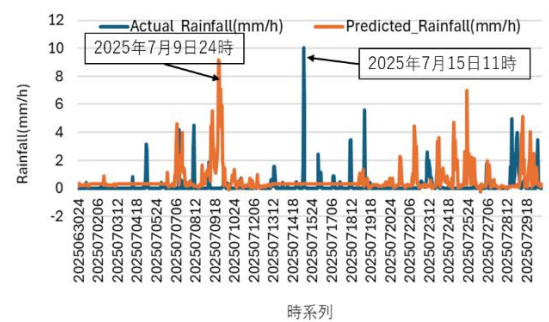


LSTM

図2 筑後川流域検証



NARX



LSTM

### 3. 予測結果

図2にNARXおよびLSTMのモデル2における筑後川流域の検証結果を示す。表2に筑後川流域の精度評価指標を示す。誤差指標としてMSEと決定係数 $R^2$ を用いた。MSEではNARXは0.941でLSTMは2.36であった。 $R^2$ では0.518でLSTMは0.0316であった。この結果により検証についてはNARXの精度の方が良いことが分かる。図3にテストの結果を示している。実際の観測値は欠測が多かったため、欠測値は前後の値で線形補間を行っている。検証とは異なり、テスト期間は一か月程度である。テスト結果ではMSEではNARXは0.0468でLSTMは0.2129であった。 $R^2$ ではNARXは0.288でLSTMは0.00247であった。この結果によりテストでもNARXの方が精度が良いということがわかる。LSTMでは雨の降っていない日時での過剰評価が激しく、逆に雨の降っている日時での過小評価が目立つことが分かる。また、テスト結果ではNARXとLSTMの両方とも定量的にはピーク時の降水量は予測できていないものの、NARXの方がLSTMよりも時刻のずれが小さいことが分かる。

表2 筑後川流域の精度評価指標

検証	NARX	LSTM
MSE	0.941	2.36
$R^2$	0.518	0.0316
テスト	NARX	LSTM
MSE	0.0468	0.2129
$R^2$	0.288	0.00247

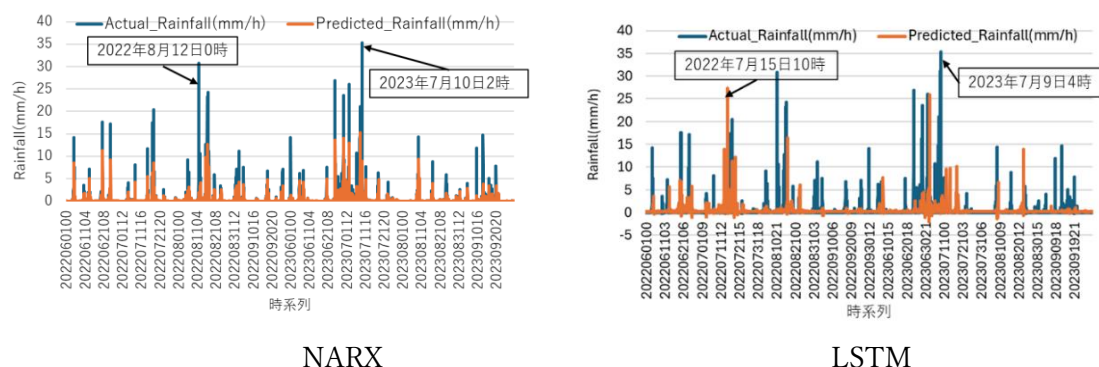


図5 六角川流域検証

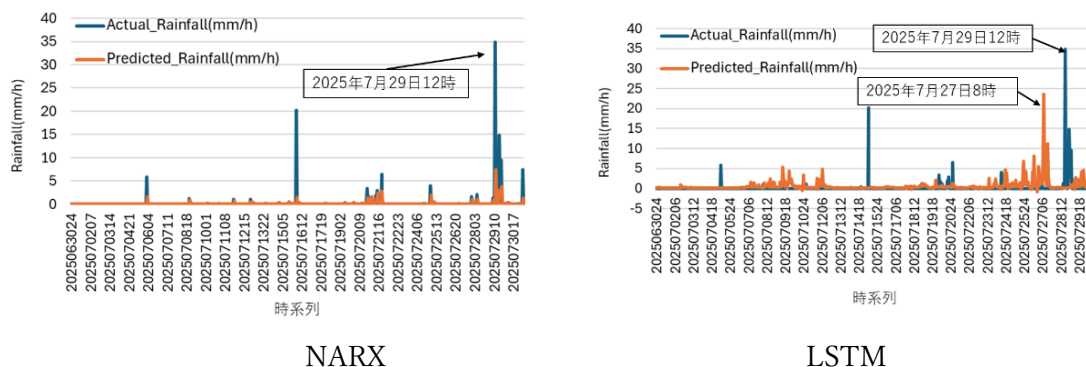


図6 六角川流域テスト

図 5 に NARX および LSTM のモデル 2 における六角川流域の検証結果を示す。また、表 4 に六角川流域の精度評価指標を示す。MSE では NARX は 2.29 で LSTM では 3.83 であり、 $R^2$  では NARX は 0.269 で LSTM は 0.0074 であった。この結果により検証については筑後川流域と同様に NARX の方が精度が良いことが分かる。ただし、六角川流域の検証結果は筑後川流域より精度が悪いことが伺える。

表 4 六角川流域の精度評価指標

検証	NARX	LSTM
MSE	2.29	3.83
$R^2$	0.269	0.0074
テスト	NARX	LSTM
MSE	0.353	0.638
$R^2$	0.0730	0.000573

図 6 にテスト結果を示す。MSE では NARX は 0.353 で LSTM では 0.638 であり、 $R^2$  では NARX は 0.0730 で LSTM は 0.000573 であった。この結果によりテストでも筑後川と同様に NARX の方が精度が良いことが分かる。六角川流域でも筑後川流域と同様にテスト結果では LSTM では雨の降っていない日時での過剰評価が激しく、逆に雨の降っている日時での過小評価が目立つことが分かり、NARX と LSTM の両方とも定量的にはピーク時の降水量は予測できていないものの、NARX の方が LSTM よりも時刻のずれが小さいことが分かる。しかしながら、どちらの流域においても NARX ではピーク時の降水量が予測できておらず過小評価が目立つ結果となっている。これらの結果は、学習に再解析データである ERA5 を用い、テストにライダーの実測値を用いたことによるデータ特性の違いや、学習データ量の不足が影響している可能性が考えられる。

#### 4. 結論

本研究では、福江島ラマンライダーによって観測された水蒸気フラックスを用い、NARX および LSTM の機械学習モデルにより 6 時間先の流域平均雨量予測を試みた。その結果、検証では NARX モデルは LSTM モデルと比較して精度の良い予測性能を示し、特に降水ピークの発生時刻をとらえる点で有効であることが分かった。また、テスト結果でも NARX モデルは LSTM モデルと比較して精度の良い予測性能を示した。テスト結果において LSTM では強雨時のピークを十分に再現できていない場合や逆に雨があまり降っていない日時に過剰に予測している場合が多く、NARX では日時のずれは小さいものの、強雨時のピークを十分に再現できていないなどの問題の改善が必要であるため課題としたい。

#### 参考文献

- 1) 松坂琉生, 朝位孝二, 白水元, 西山浩司, 弘中勇駿: 東シナ海からの水蒸気フラックスを考慮した球磨川・川内川流域の NARX による豪雨発生予測モデルの開発, 自然災害協議会中部地区部研究論文集