

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04757

研究課題名（和文）汎用性の高い湿度環境指標推定手法の開発と時空間分布評価

研究課題名（英文）Development of highly versatile humidity environmental index estimation method and evaluation of its spatio-temporal distribution.

研究代表者

赤塚 慎（Akatsuka, Shin）

高知工科大学・システム工学群・准教授

研究者番号：80548743

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：アメダス観測点における可降水量，気象観測データ，土地利用割合を入力データとして機械学習により，相対湿度推定モデルを構築した．その結果，1時間毎の相対湿度を数値予報データの相対湿度予報値の精度よりも高精度で推定することができた．また，空間分解能5km，時間分解能3時間の数値予報データを用いて空間分解能1km，時間分解能1時間の可降水量分布図を作成する手法を開発した．さらに，可降水量分布図を用いた相対湿度推定手法を検討し，地上から900hPa気圧面までの積算水蒸気量を用いることにより，四国全域の90m解像度の相対湿度分布を5km解像度の数値予報データと同程度の精度で推定できる可能性を示した．

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では，高時空間分解能の可降水量分布図作成手法を開発し，可降水量分布から相対湿度分布を推定できる可能性を示した．高時空間分解能の可降水量分布図から相対湿度分布を高精度で推定できるようになれば，熱中症リスクの評価，圃場における遅霜や病虫害などの発生予察，コンクリート構造物の劣化予測などへの活用が期待できる．また，高時空間分解能の可降水量分布図からこれまでの可降水量の分布傾向を把握することができ，豪雨発生の事前予測への貢献も期待できる．

研究成果の概要（英文）：A relative humidity estimation model was constructed by machine learning method, using the amount of precipitable water, meteorological observation data and landuse ratio at AMeDAS stations as input data. As a result, the hourly relative humidity was estimated with higher accuracy than the accuracy of the relative humidity forecast value from the numerical prediction. A method was also developed to produce a precipitable water distribution map with a spatial resolution of 1 km and a temporal resolution of 1 hour using numerical prediction data with a spatial resolution of 5 km and a temporal resolution of 3 hours. A method for estimating relative humidity using a precipitable water distribution map was investigated, and it was shown that the 90 m resolution relative humidity distribution for the whole of Shikoku could be estimated with the same accuracy as the 5 km resolution numerical prediction data by using the accumulated water vapour from the ground to the 900 hPa pressure level.

研究分野：空間情報工学

キーワード：相対湿度 可降水量

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

湿度とは、「大気中に含まれる水蒸気の割合」と定義できる。大気中の水蒸気は、大気の主成分である窒素や酸素に比べその量はわずかであるが、気象に変化を与え生活環境や諸産業に様々な影響を及ぼしている。

湿度環境指標は熱中症リスクの評価、圃場における遅霜や病虫害などの発生予察、コンクリート構造物の劣化予測などで活用されており、人間生活や様々な産業において重要な指標となっている。それにもかかわらず、気象庁は、気温については日本全体約 840 地点で観測を行っているが、湿度については日本全体で約 150 地点でしか観測を行っていなかった。気象災害の多い日本では、地上観測装置の維持管理に必要なコスト負担などの問題から、精度の良い観測を長期間継続することは困難だからである。従って、様々な分野において湿度環境指標を活用するためには、地上観測だけでなく地上観測以外のデータも利用して、様々な時間及び空間スケールの汎用性が高い湿度環境指標分布のデータ整備することが必要である。

2. 研究の目的

汎用性の高い湿度環境指標データの整備を目指し、地上観測だけでなく地上観測以外のデータも利用した湿度環境指標の時間的・空間的に詳細な分布を把握する手法を開発することを目的とした。さらに、得られた湿度環境指標の時空間分布評価を行う。そのため、以下のテーマを設定した。

- 【テーマ】 アメダス観測点及び GNSS 観測点における湿度環境指標推定手法の開発
- 【テーマ】 気象衛星ひまわりデータを用いた湿度環境指標推定手法の開発
- 【テーマ】 数値予報データを用いた湿度環境指標の高分解能化
- 【テーマ】 湿度環境指標の時空間分布評価

3. 研究の方法

- 【テーマ】 アメダス観測点及び GNSS 観測点における湿度環境指標推定手法の開発

GNSS 観測点（電子基準点）において GNSS の 1 時間毎の大気遅延量から毎時の可降水量（単位気柱内に含まれる全水蒸気量）を推定する。その後、クリギング手法により四国地方の毎時の 1km メッシュ可降水量分布図を作成する。

次に、四国地方の毎時の 1km メッシュ可降水量分布図から、気象庁アメダス観測点における毎時の可降水量の値を抽出し、その可降水量とアメダス気象観測データ（気温、気圧、風向・風速）を用いて、5 つの機械学習手法の回帰により最適な相対湿度推定モデルを構築する。

さらに、可降水量分布と MSM-GPV データを入力データとし、構築した相対湿度推定モデルを用いて相対湿度を推定し、高空間分解能の相対湿度データの整備を目指す。

- 【テーマ】 気象衛星ひまわりデータを用いた湿度環境指標推定手法の開発

時間分解能 10 分、空間分解能 2km の気象衛星ひまわりの赤外画像データから機械学習により可降水量を推定する手法を開発する。気象衛星ひまわりにより観測された輝度温度を説明変数、各ラジオゾンデ観測点で観測された可降水量を目的変数とし、機械学習の回帰により可降水量推定モデルを構築する。過学習の検証などを行い、可降水量推定モデル構築に最適な機械学習手法を決定し、使用する説明変数を検討する。

- 【テーマ】 数値予報データを用いた湿度環境指標の高分解能化

MSM-GPV データを用いた高空間分解能の可降水量分布推定手法に関して、時間分解能の高解像度化手法を検討する。その後、MSM-GPV データを用いた高時空間分解能の可降水量分布図を作成する。さらに、高時空間分解能の可降水量分布図を用いて相対湿度を推定する手法を検討する。

- 【テーマ】 湿度環境指標の時空間分布評価

テーマ①～③で開発した手法で推定した湿度環境指標を融合し、時間分解能 1 時間、空間分解能数百メートル～2km の湿度環境指標分布図を作成する。その後、湿度環境指標の日平均分布図や月平均分布図を作成し、湿度環境指標の各月、各時刻の平年値の分布図を作成する。これらの分布図を用いて、湿度環境指標の時空間分布の評価を行う。

4. 研究成果

テーマ アメダス観測点及びGNSS観測点における湿度環境指標推定手法の開発

GNSS観測点(電子基準点)における1996年から2023年までの毎日1時間ごとのGNSS可降水量を推定した。その後、クリギング手法によりGNSS観測点における可降水量を空間内挿し、四国地方全域の毎時の1kmメッシュ可降水量分布図を作成した。

次に、四国地方を対象としてアメダス気象観測データと数値予報データを用いて相対湿度の分布を推定する手法を検討した。GNSS可降水量を空間内挿することにより作成した四国地方の毎時の1kmメッシュ可降水量分布図から、気象庁アメダス観測点における毎時の可降水量の値を抽出し、その可降水量とアメダス気象観測データ(気温、気圧、風向・風速)を用いて、5つの機械学習手法(GBDT, RandomForest, CatBoost, XGBoost, LightGBM)の回帰により相対湿度推定モデルを構築した。各手法の精度を比較したところ、RandomForestとCatBoost回帰による相対湿度推定モデルの精度が高かった(表1)。しかし、機械学習モデルの過学習の検証を行ったところ、RandomForest回帰では過学習が起きている可能性が示唆されたため、CatBoost回帰による相対湿度推定モデルを採用した。その結果、アメダス観測点では、過学習を起こすことなく、RandomForestの相対湿度推定モデルと同程度の精度で相対湿度を推定することができた。さらに、CatBoost回帰による相対湿度推定モデルにアメダス観測点周辺の土地利用割合を説明変数として追加し、GNSS可降水量、気温、気圧、風を入力データとして相対湿度を推定したところ、アメダス観測点では、1時間毎の相対湿度を数値予報(MSM-GPV)データの相対湿度予報値の精度よりも高精度に推定することができた(表1)。しかし、1kmメッシュで四国地方全体の相対湿度分布を数値予報データの相対湿度予報値と同程度の精度で推定することはできなかった。

表1 相対湿度推定精度の比較(2021年)

月	RMSE(%)			
	MSM-GPV	RandomForest	CatBoost	
			土地利用追加前	土地利用追加後
1	9.8	8.0	8.0	7.4
2	10.4	7.7	7.7	7.0
3	10.9	8.9	9.0	7.5
4	13.2	8.3	8.2	7.2
5	10.8	8.6	8.7	7.9
6	10.3	5.3	5.3	4.3
7	9.7	4.3	4.1	3.4
8	10.0	4.3	4.2	3.5
9	9.4	5.0	4.9	4.3
10	10.1	7.4	7.4	6.4
11	10.4	6.0	6.0	5.7
12	8.9	7.1	7.1	6.5

テーマ 気象衛星ひまわりデータを用いた湿度環境指標推定手法の開発

まず初めに、機械学習の一つであるRandomForest回帰により、気象衛星ひまわりデータから可降水量を推定する手法を検討した。その結果、重回帰による推定モデルよりも高精度で可降水量を推定することができた。さらに、気象衛星ひまわりデータだけでなく、土地利用データも説明変数として利用する手法を検討した。しかし、土地利用データを変数として利用しても、可降水量の推定精度に大きな改善は見られなかった。

次に、RandomForest回帰の過学習の検証を行ったところ、RandomForest回帰では過学習が起きている可能性が示唆された。そこで、改めて5つの機械学習手法(GBDT, RandomForest, CatBoost, XGBoost, LightGBM)の回帰により可降水量推定モデルを構築し、可降水量推定精度を比較した。その結果、LightGBM回帰の方が、過学習せず、精度良く可降水量を推定できることがわかった(図1, 図2, 表2)。さらに、LightGBM回帰で重要度の低い説明変数は使用せずに可降水量推定モデルを構築することで、推定精度が向上した。また、可降水量推定モデルは各年、各月それぞれで作成する必要があるため、ある年の各月データから構築した月毎のモデルを他の年のデータに適用して可降水量を高精度で推定することは困難であることが明らかになった。

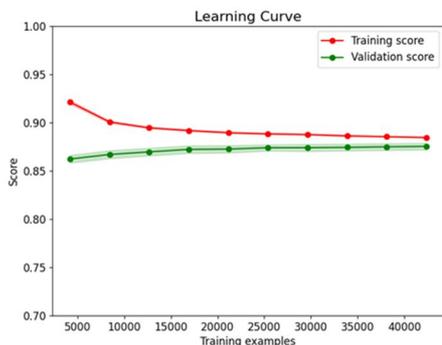


図1 2016年1年間のデータを用いて LightGBM 回帰により可降水量推定モデルを構築した際の学習曲線

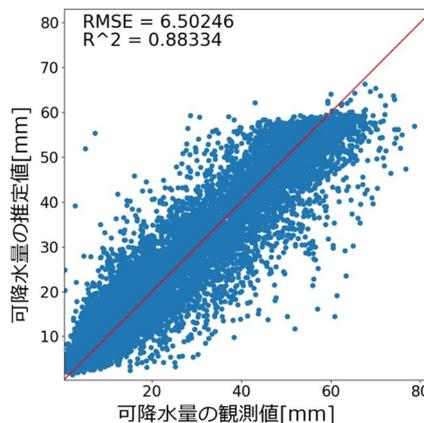


図2 2016年1年間のデータを用いて LightGBM 回帰により構築した可降水量推定モデルで推定した可降水量と観測可降水量の散布図

表2 2016年1年間のデータを用いて RandomForest 回帰と LightGBM 回帰により構築した可降水量推定モデルで推定した可降水量の精度比較

月	RMSE(mm)	
	RandomForest	LightGBM
1	4.02	3.68
2	4.64	4.60
3	5.26	5.13
4	5.33	4.51
5	6.16	5.85
6	5.84	5.34
7	6.29	5.81
8	7.26	6.80
9	6.06	5.57
10	5.90	5.36
11	4.68	4.64
12	5.28	4.26

テーマ 数値予報データを用いた湿度環境指標の高分解能化

これまで開発してきた数値予報データを用いた高空間分解能の可降水量分布推定手法を用いて2014年から2019年までの毎日3時間ごとの四国地方の可降水量分布推定を行い、その精度検証及び推定手法の改善を行なった。これまでの手法には、標高補正を実施する範囲の閾値が曖昧であるという問題点があった。しかし、今回は標高補正を実施する範囲の閾値を明確に決定する方法を確立し、四国地方においてもこれまでと同様の精度で可降水量を推定することができると確認することができた。

さらに、時間分解能3時間の数値予報データから毎時の可降水量分布を推定するために、3時間毎の数値予報データから1時間毎のデータを作成する手法を検討した。3通りのスプライン補間手法(Akima-spline, B-spline, Cubic-spline)で1時間毎の気圧面データを作成し、MSM可降水量分布をそれぞれ再現し、GNSS可降水量を用いて再現精度を評価した。その結果、Akima-Spline補間法が最も精度が高くなり、3時間毎の気圧面データのみを用いた場合と同程度以上の精度で可降水量を再現できた(図3)。Akima-Spline補間法により、3時間毎の数値予報データから1時間毎のデータを作成することで、1時間毎の可降水量分布を推定することが可能になった。

次に、高時空間分解能の可降水量分布図を用いた相対湿度推定手法の検討では、まず四国の気象官署において可降水量と露点温度との関係を求め、その関係を用いて可降水量を相対湿度に変換し、精度検証を行った。その結果、5kmメッシュ数値予報データの相対湿度予報値よりも精度向上をすることはできなかった。この理由として、可降水量は地表面から大気上端までに含まれる積算水蒸気量であるのに対し、相対湿度は地表面付近の大気中に含まれる水蒸気の割合の指標であるためと考えられた。そこで、数値予報データを用いて各気圧面間の水蒸気量を推定し、地上から何気圧面までの積算水蒸気量が地表面付近の相対湿度と関連が強いのかを検討した。その結果、地上から900hPa気圧面までの積算水蒸気量と地表面付近の相対湿度との相関が最も高くなることが明らかになった。この関係を用いて、地上から900hPa気圧面までの積算水蒸気

量から地表面付近の相対湿度を推定し、その精度検証を行った。その結果、5km メッシュ数値予報データの相対湿度予報値と同程度の精度で推定可能であることが示された。

また、可降水量から露点温度への変換式の係数は、四国の各気象官署において大きく異なる値となったが、地上から 900hPa 気圧面までの積算水蒸気量を用いることで、四国の各気象官署における違いが小さくなった。

以上から、地上から 900hPa 気圧面までの積算水蒸気量を用いることにより、90m メッシュの解像度で四国全体の相対湿度分布を 5km メッシュ数値予報データの相対湿度予報値と同程度の精度で推定することが可能であることが示された。

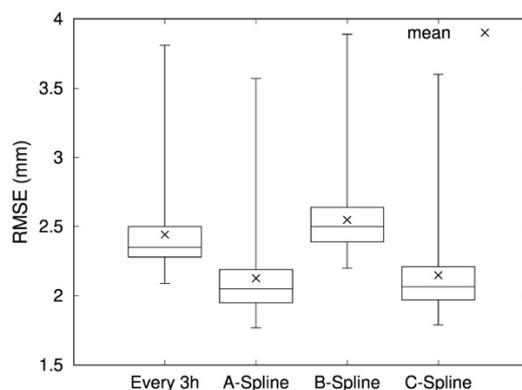


図3 各 GNSS 観測点における 3 時間毎の MSM 可降水量の RMSE と、3 通りのスプライン補間手法で作成した気圧面データと地上データを用いて推定した 1 時間毎の MSM 可降水量の RMSE の比較

テーマ 湿度環境指標の時空間分布評価

時間分解能 1 時間、空間分解能 1km の可降水量分布図を作成し、その後、可降水量分布の日平均分布図や月平均分布図を作成し、可降水量分布の各月、各時刻の平年値の分布図を作成した。しかし、高時空間分解能の相対湿度分布図の作成はできなかった。

テーマ で開発した広域可降水量分布図の作成手法を基に、空間解像度を変更(450m, 1km, 2km, 3km, 4km, 5km)して可降水量分布を推定し、GNSS 可降水量を用いて精度検証を行った。その結果、空間解像度が高い程、精度が高いという結果になった(図4)。しかし、空間解像度 90m と空間解像度 450m の精度の違いはほとんど見られなかった。このことから、1 時間毎の可降水量分布の変化は空間解像度 450m の可降水量分布を用いることで十分把握できることが示唆された。

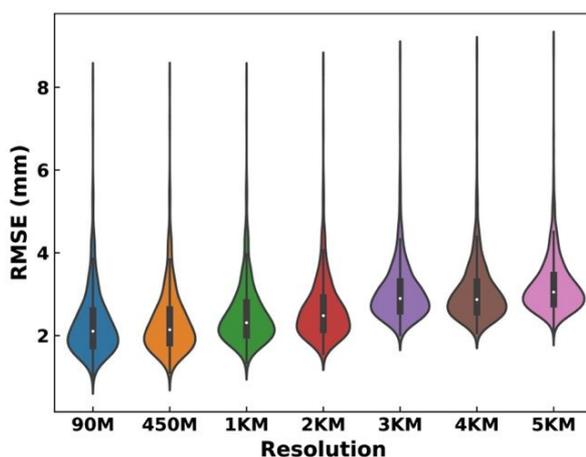


図4 空間解像度の違いによる可降水量推定精度の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shin Akatsuka	4. 巻 14
2. 論文標題 Reproducing High Spatiotemporal Resolution Precipitable Water Distributions Using Numerical Prediction Data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川上育海, 赤塚慎
2. 発表標題 数値予報データを用いた絶対湿度分布の再現
3. 学会等名 第16回四国GISシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷村朋哉, 赤塚慎
2. 発表標題 気象衛星データを用いた機械学習による可降水量推定手法の検討
3. 学会等名 第16回四国GISシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村俊介, 赤塚慎
2. 発表標題 四国地方におけるMSM高解像度化可降水量データの精度向上
3. 学会等名 第14回四国GISシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺井ひびき, 赤塚慎
2. 発表標題 LightGBMによる気象衛星データを用いた可降水量推定に関する研究
3. 学会等名 第17回四国GISシンポジウム
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------