

高時空間分解能の地表面湿度環境指標の推定

Estimating Ground Surface Moisture Index at High Spatio-Temporal Resolution

高知工科大学 大学院修士課程
工学研究科基盤工学専攻
社会システム工学コース
社会気象工学研究室 1245078
山崎将滉

指導教員 赤塚慎
副指導教員 高木方隆
論文副審査 西内裕晶

2022年1月19日

論文要旨

湿度環境指標とは大気の湿り気を表す相対湿度や絶対湿度のことを示している、本研究では湿度環境指標は地表面付近の相対湿度のことを示す。相対湿度は熱中症のリスク評価、圃場における晩霜害や病虫害などの発生予測、コンクリート構造物の劣化予測などで活用されており、人間生活やさまざま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、気温については全国約 840 地点で観測を行っているのに対して、相対湿度については約 150 地点でしか観測が行われていない。農業分野では 50m メッシュ気象データが作成・活用されている。しかし、メッシュ気象データにおける相対湿度は、日平均相対湿度のみであり、1 時間ごとの相対湿度に関するメッシュ気象データは作成されていない [3]、また、1 時間ごとのデータが存在するアメダスデータを利用した推定手法の開発はされている [4] がアメダス観測点間 (約 20km) という空間スケールで点在しているので空間的に詳細な相対湿度を把握することは困難であると示唆される。様々な分野において適切なスケールで相対湿度を活用するためには、様々な時間及び空間スケールの汎用性が高い相対湿度分布を整備する必要がある。

本研究では、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 (時間分解能 1 時間・空間分解能 90m) を把握する手法を開発し、得られた湿度環境指標の時空間分布評価を行うことにより、汎用性の高い湿度環境指標データの整備を目指す。本研究は空間分解能を 2 つの手法、時間分解能を 1 つの手法で高分解能化させる。空間分解能の向上は (1) MSM 可降水量を用いた推定、(2) 重回帰分析を用いた推定によって行う。(1)MSM 可降水量は空間分解能 90m のデータであり、90m メッシュの格子点で相対湿度の推定を行うことで空間分解能を向上させる。(2) 重回帰分析によってアメダス観測点間約 20km ごとの相対湿度を推定し、アメダス観測点間を空間内挿することで空間分解能を向上させる。時間分解能の向上は、気圧面ごとの MSM 可降水量データの場合、3 時間ごとしかデータが整備されていないため時間補間をすることで時間分解能を向上させる。

四国 9 箇所の気象官署における比較では総積算値の場合、相関係数は 0.72 から 0.79 の範囲となり、RMSE は最大で 16.2% となった。地上から 850hPa までの積算値の場合、相関係数は 0.80 から 0.88 の範囲となり、RMSE は最大で 11.4% となった。また、四国 9 箇所の係数 a, b の平均値を用いて相対湿度を推定した場合でも四国 9 箇所の各気象官署で推定した係数 a, b から相対湿度を推定した場合と推定精度に大きな差はなかった。そのため、90 m メッシュの各格子点で推定できる可能性があることが明らかになった。今後は気象官署がないところでの精度を検証する方法を考えることが課題となった。各時刻の比較では昼間の推定精度が高く、朝方の推定精度が低くなった。時間分解能の精度評価は 3 通りの補間の内 Akima-spline 補間が最も相関が高く、相関係数は 0.97 であった。

重回帰分析によって相対湿度を推定する手法では、目的変数に高知の相対湿度、説明変数に後免のアメダスデータを使用した場合、地点によって大きく推定精度が低かった。そこで四国 9 箇所の相対湿度を説明変数、同じく 9 箇所の気象データを使用したところ相関係数は 0.53 から 0.73 の範囲となり、RMSE は最大で 15.3% となった。また、GIS データを加えて重回帰分析をすると相関係数は 0.55 から 0.75 の範囲となり、RMSE は最大で 14.5% となった。

推定精度は気圧面ごとの MSM 可降水量から推定した相対湿度が本研究の中で最も精度が高く、既存データである MSM GPV 湿度データよりも高くなった。

Abstract

Humidity environmental indexes are the indexes of atmospheric moisture such as relative humidity or absolute humidity. This study focuses on the relative humidity near the ground surface as one of the Humidity environmental indexes. Relative humidity is used to evaluate the risk of heat stroke, to predict the occurrence of late frost damage and insect damage in agricultural fields, and to predict the deterioration of concrete structures, and is an important indicator in human life and various industries. In spite of this, the Japan Meteorological Agency (JMA) observes relative humidity at only about 150 points nationwide, while air temperature is observed at about 840 points. In the field of agriculture, 50-meter mesh meteorological data have been created and utilized. However, mesh meteorological data contains only daily average relative humidity, and mesh meteorological data for hourly relative humidity has not been developed[3]. In addition, a relative humidity estimation method using AMeDAS data, which is hourly data, has been developed, but since AMeDAS observation points are scattered on a spatial scale of about 20 km, it is difficult to estimation spatially detailed hourly relative humidity[4]. In order to utilize relative humidity data at an appropriate scale in various fields, it is necessary to develop the method for estimating relative humidity distributions on various temporal and spatial scales.

In this study, we will develop a method to acquire detailed temporal and spatial distributions of humidity environmental index (temporal resolution: 1 hour, spatial resolution: 90m) using not only ground-based observations but also non-ground-based observation data, and then evaluate the spatiotemporal distributions of the obtained humidity environmental index in order to develop highly versatile humidity environmental index data. The spatial resolution of relative humidity distributions is improved by two methods and temporal resolution of that is improved by one method. The spatial resolution is improved by (1) using precipitable water distribution estimated from MSM data and (2) by multiple regression analysis using AMeDAS observation data excluding relative humidity. MSM-derived precipitable water has a spatial resolution of 90m, and the spatial resolution will be improved by estimating the relative humidity at the grid points of 90m mesh using the relationship between MSM-derived precipitable water and dew point temperature. The spatial resolution is improved by estimating the relative humidity every 20 km between AMeDAS stations by multiple regression analysis and then interpolating them between AMeDAS stations. The temporal resolution of the MSM data is improved by temporal interpolation, because the MSM data for each barometric surface are available only every three hours.

At nine observation stations in Shikoku, the correlation coefficients between the observed relative humidity and the estimated relative humidity from the total precipitable water obtained from MSM data ranged from 0.72 to 0.79, and the maximum RMSE was 16.2%. The correlation coefficients between the observed relative humidity and the estimated relative humidity from the contained water vapor amount between the ground and 850 hPa barometric surface ranged from 0.80 to 0.88, and the maximum RMSE was 11.4%. In addition, there was no significant difference between the accuracy of estimated relative humidity using the relationship between MSM-derived precipitable water and dew point temperature at all nine meteorological stations in Shikoku and using that of estimated relative humidity using the relationship between them at each station. Therefore, it is suggested that there is a possibility that relative humidity can be estimated at each grid point of 90m mesh. In the future, it will be necessary to consider how to verify the estimation accuracy in places where there are no meteorological stations. In the

comparison of the time of day, the estimation accuracy was higher in the daytime and lower in the morning. Among the three temporal interpolation methods, the Akima-spline interpolation had the highest correlation coefficient of 0.97 in evaluating the accuracy of temporal resolution.

In the method of estimating relative humidity by multiple regression analysis, when the objective variable was the relative humidity of Kochi and the explanatory variable was the AMeDAS observation data of Gomen, the accuracy of the estimation was significantly low depending on the location. When the relative humidity of nine locations in Shikoku was used as the objective variable and the meteorological data of the same nine locations were used as the explanatory variable, the correlation coefficients ranged from 0.53 to 0.73, and the maximum RMSE was 15.3%. In addition, when GIS data such as land use were added to the multiple regression analysis, the correlation coefficients ranged from 0.55 to 0.75, and the maximum RMSE was 14.5%.

The accuracy of the relative humidity estimated from the MSM precipitable water at each barometric surface was the highest in this study, and was higher than that of the existing MSM GPV humidity data.

目次

論文要旨	i
Abstract	ii
1 序論	1
1.1 背景	1
1.2 相対湿度の重要性	1
1.3 目的	2
1.4 手法の概要	2
2 地表面湿度環境指標の推定手法	3
2.1 対象地域	3
2.2 数値予報データを用いた相対湿度の推定	4
2.2.1 概要	4
2.2.2 全国の各気象官署における露点温度と可降水量の関係	5
2.2.3 気圧面ごとの相対湿度の推定	5
2.2.4 各時刻の相対湿度の推定	6
2.2.5 使用データ	6
2.3 数値予報データを用いた相対湿度の時間分解能の高分解能化	7
2.4 重回帰分析による相対湿度の推定	7
2.4.1 アメダスデータを用いた重回帰分析	8
2.4.2 アメダスデータと GIS データを用いた重回帰分析	8
2.4.3 使用データ	8
3 結果と比較	9
3.1 各気象官署の相対湿度の比較結果	9
3.2 気圧面ごとの相対湿度の比較結果	14
3.3 各時刻の相対湿度の比較結果	17
3.4 各補間方法を用いた時間分解能の高分解能化の比較結果	19
3.5 アメダスデータを用いた重回帰分析による相対湿度の推定結果	20
3.6 アメダスデータと GIS データを用いた重回帰分析による相対湿度の推定結果	25
4 結論	27
参考文献	28
5 謝辞	29

目次

1	対象地域と気象官署	3
2	可降水量から相対湿度を推定する流れ	4
3	高知の観測相対湿度と推定相対湿度の関係	10
4	高知の観測相対湿度と MSM GPV 湿度データの関係	11
5	全国の気象官署の係数 a 分布	12
6	高知の観測相対湿度と推定した相対湿度 (地表面から 850hPa) の関係	15
7	高知の観測相対湿度と推定した相対湿度の関係	17
8	高知の観測相対湿度と推定した相対湿度の関係 (続き)	18
9	補間によって生成された GPS 可降水量と MSM 可降水量の関係	19
10	補間によって生成された GPS 可降水量と MSM 可降水量の関係 (続き)	19
11	重回帰分析の推定値と観測相対湿度の関係	20
12	各説明変数がモデルに与える影響度	20
13	各説明変数の相関関係	21
14	推定した湿度環境指標と観測相対湿度の関係	21
15	重回帰分析の推定値と観測相対湿度の関係 (四国)	22
16	各説明変数がモデルに与える影響度 (四国)	22
17	各説明変数の相関関係 (四国)	23
18	推定した相対湿度と観測相対湿度の関係 (四国)	23
19	重回帰分析の推定値と観測相対湿度の関係 (GIS)	25
20	各説明変数の相関関係 (GIS)	26
21	推定した相対湿度と観測相対湿度の関係 (GIS)	26

表目次

1	気象官署一覧	3
2	使用データ	6
3	各スプライン補間の特徴	7
4	各気象官署の係数 a, b	9
5	各気象官署の係数 a (各月)	9
6	各気象官署の係数 b (各月)	10
7	四国 9 箇所の比較結果	11
8	係数 a の影響度比較 (相関係数)	12
9	係数 a の影響度比較 (RMSE)	13
10	四国 9 箇所の係数 a, b の平均値を用いた比較結果	13
11	各気象官署の係数 a, b (850hPa)	14
12	各気象官署の係数 a (各月・850hPa)	14
13	各気象官署の係数 b (各月・850hPa)	15
14	四国 9 箇所の比較結果	16
15	四国 9 箇所の係数 a, b の平均値を用いた比較結果 (850hPa)	16
16	重回帰分析による四国 9 箇所の比較結果	23
17	各モデルの回帰係数の比較結果	24
18	2014-2015 年モデルによる四国 9 箇所の比較結果	24
19	各説明変数がモデルに与える影響度 (GIS)	25
20	重回帰分析による四国 9 箇所の比較結果	26

1 序論

1.1 背景

湿度環境指標とは大気の湿り気を表す相対湿度や絶対湿度のことを示していて、本研究では湿度環境指標は地表面付近の相対湿度のことを示す。相対湿度は熱中症のリスク評価、圃場における晩霜害や病虫害などの発生予測、コンクリート構造物の劣化予測などで活用されており、人間生活やさまざま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、気温については全国約 840 地点で観測を行っているのに対して、相対湿度については約 150 地点でしか観測が行われていない。気象庁では令和 3 年 3 月から集中豪雨の予測能力の向上に必要な水蒸気監視能力を強化するために順次アメダス観測機器の更新を行い、地域気象観測所においても相対湿度の観測を開始している [1] がまだ少数しか更新されていないのが現状である。農業分野では 50m メッシュ気象データが作成・活用されている。しかし、メッシュ気象データにおける相対湿度は、日平均相対湿度のみであり、1 時間ごとの相対湿度に関するメッシュ気象データは作成されていない [3]、また、1 時間ごとのデータが存在するアメダスデータを利用した推定手法の開発はされている [4] がアメダス観測点間 (約 20km) という空間スケールで点在しているので空間的に詳細な湿度環境指標分布を把握することは困難であると示唆される。様々な分野において適切なスケールで湿度環境指標を活用するためには、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データを整備する必要がある。

1.2 相対湿度の重要性

熱中症予防対策として、熱中症リスクを判断するための暑さの指標 (WBGT) という指標が使われている。この指標は、気温、湿度、輻射熱の影響を 1:7:2 の割合で考慮した指標であり、それぞれ乾球温度と湿球温度及び黒球温度から計算される。従って、熱中症リスクには相対湿度の影響が大きいことがわかる。環境省は、気温観測を行っている全国 840 地点において気温は 1 時間ごとの WBGT の推定値を提供しているが、150 地点でしか相対湿度観測は行っていないため、相対湿度観測が行われていない地点の WBGT は近隣の相対湿度観測データを用いた推定値を利用して計算されている [5]。従って、より精度の高い WBGT の推定値を提供するためには、1 時間ごとの空間的により詳細な相対湿度分布を把握することが望まれる。

農業分野では、日々の栽培管理を最適化し、生産性を向上させるうえで、農地の気象を把握することが重要である。特に、湿度は農作物の病害の発生に大きな影響を与え、晩霜害の発生予測には相対湿度データが活用される [3] ことから、相対湿度情報の広域的な取得が必要である。

コンクリート構造物は、環境作用の影響を受けて劣化し、劣化因子は構造物が接している外部環境から供給される。従って、コンクリート構造物の維持管理や長期性能の評価、すなわち劣化進行の予測においては外部の環境作用、特に気温や湿度等の気象環境を適切に評価した上で検討することが極めて重要とされている [6]。

1.3 目的

本研究では、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（時間分解能 1 時間・空間分解能 90m）を把握する手法を開発し、得られた湿度環境指標の時空間分布評価を行うことにより、汎用性の高い湿度環境指標データの整備を目指す。

1.4 手法の概要

本研究は空間分解能を 2 つの手法、時間分解能を 1 つの手法で高分解能化させる。空間分解能の向上は（1）MSM 可降水量を用いた推定、（2）重回帰分析を用いた推定によって行う。

- （1）MSM 可降水量は空間分解能 90m のデータであり、90m メッシュの格子点で相対湿度の推定を行うことで空間分解能を向上させる。
- （2）重回帰分析によってアメダス観測点間約 20km ごとの相対湿度を推定し、アメダス観測点間を空間内挿することで空間分解能を向上させる。

時間分解能の向上は、気圧面ごとの MSM 可降水量データの場合、3 時間ごとしかデータが整備されていないため時間補間をすることで時間分解能を向上させる。

2 地表面湿度環境指標の推定手法

2.1 対象地域

本研究は四国全域の相対湿度の推定を行う。Fig.1 に対象地域と相対湿度観測が行われている気象官署を示す。気象官署の座標は地域気象官署一覧に記載された緯度経度から位置をプロットしたものである。Table 1 に一覧を示す。

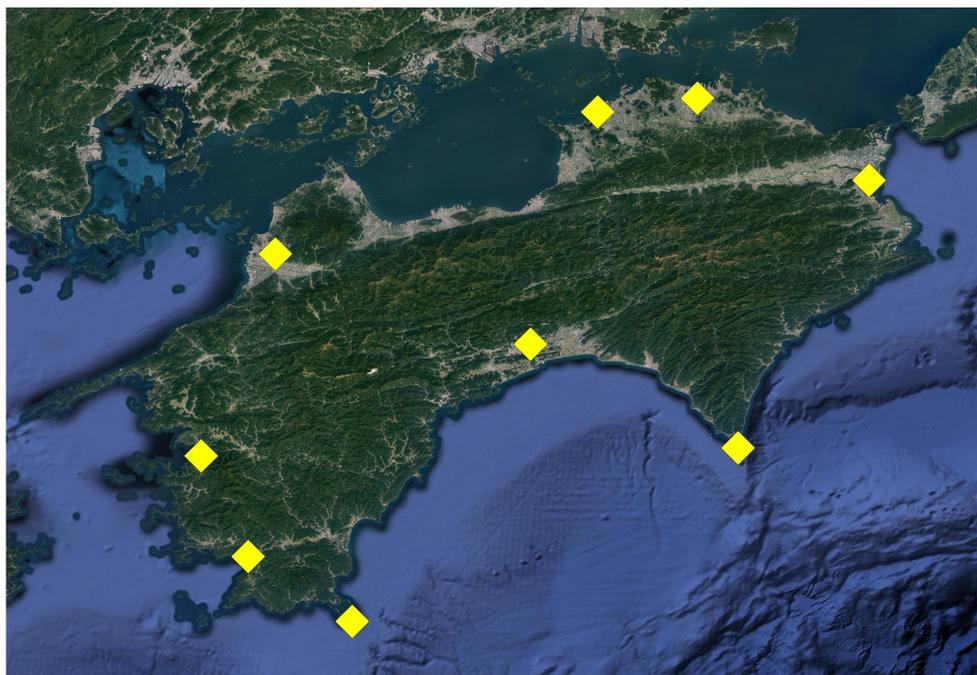


Fig. 1: 対象地域と気象官署

Table 1: 気象官署一覧

都道府県	観測所番号	観測所名	緯度		経度	
			度	分	度	分
徳島	71106	徳島	34	4	134	34.4
香川	72086	高松	34	19.1	134	3.2
香川	72111	多度津	34	16.5	133	45.1
愛媛	73166	松山	33	50.6	132	46.6
愛媛	73442	宇和島	33	13.6	132	33.1
高知	74181	高知	33	34.0	133	32.9
高知	74372	室戸岬	33	15.1	134	10.6
高知	74447	宿毛	33	55.2	132	41.7
高知	74516	清水	32	43.3	133	0.6

2.2 数値予報データを用いた相対湿度の推定

2.2.1 概要

露点温度と可降水量には式 (1) のような関係があることがわかっている [8]. このとき, T_d は露点温度 ($^{\circ}\text{C}$), PW は可降水量 (mm) である. 式 (2) より観測気温 $T(^{\circ}\text{C})$, での水蒸気圧 e を求め, 式 (1) を用いて可降水量から推定した露点温度 T_d と式 (3) から, そのときの飽和水蒸気圧 e_{SAT} を推定することで式 (4) により相対湿度 $RH(\%)$ を推定することが可能となる.

$$PW = a \exp(bT_d) \quad (1)$$

$$e = 6.1078 \times 10^{\frac{7.5T}{237.3+T}} \quad (2)$$

$$e_{SAT} = 6.1078 \times 10^{\frac{7.5T_d}{237.3+T_d}} \quad (3)$$

$$RH = (e/e_{sat} \times 100) \quad (4)$$

数値予報データ (MSM : Meso Scale Model) は空間分解能 5km のデータで, MSM を用いて推定された MSM 可降水量は赤塚 [7] らによって高分解能化され空間分解能 90m のデータになっている. そのため, 高分解能化された 90m メッシュの各格子点で推定される露点温度と可降水量の関係を表す係数 a, b の地点による大きな差が見られない場合, 係数 a, b を用いて対象地域すべての格子点で相対湿度の推定を行うことで空間分解能を向上させることができる.

本研究では MSM を用いた相対湿度推定手法として, Fig.1 に示す対象地域にある 9 箇所の気象官署において, MSM 可降水量と気象官署の観測露点温度との関係式を導出し, MSM 可降水量から推定した露点温度と観測気温を用いて相対湿度を推定する手法を検討した. 可降水量データから湿度環境指標を推定する流れを Fig.2 に示す.

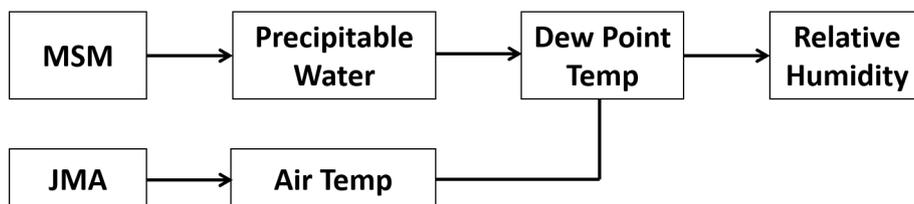


Fig. 2: 可降水量から相対湿度を推定する流れ

まず、各気象官署において、2014年1年間の観測露点温度とMSM可降水量を用いて最小二乗法から係数 a 、 b を求める。各気象官署に最も近いMSMの格子点における可降水量(MSM可降水量)を計算し、これを各気象官署におけるMSM可降水量とする。その後、気象官署で観測された露点温度とMSM可降水量との関係式(1)の係数 a 、 b の値を求める。そして、求められた係数 a 、 b を用いてMSM可降水量から露点温度を推定する。

その後、式(2)、(3)を用いて気象官署の観測気温から水蒸気圧 e 、式(1)で求められた推定露点温度から飽和水蒸気圧 e_{SAT} をそれぞれ計算し、式(4)から湿度RH(%)を計算する。

さらに、各気象官署において観測された相対湿度と推定した相対湿度の比較をすることで精度評価を行う。

最後に、MSM可降水量の各格子点で求めた係数 a 、 b を用いて露点温度を推定し、推定露点温度を用いて相対湿度を推定することで90mメッシュの相対湿度分布を作成することができるため空間分解能の高分解能化ができる。

2.2.2 全国の各気象官署における露点温度と可降水量の関係

MSM可降水量を用いて相対湿度を面的に推定するために2014年1年間と各月ごとの各格子点の露点温度と可降水量の関係を表す係数 a 、 b を求める。そこで各格子点の係数 a 、 b が地点による大きな差が見られなければ湿度環境指標分布を推定することが可能になると示唆される。精度評価をするうえで各格子点に最も近い気象官署の観測相対湿度を使用するが、その際に比較対象が四国では9箇所しか存在しない。そこで、係数 a 、 b のばらつきを把握するために全国の気象官署の気象データを用いた係数 a 、 b の推定を行った。

係数 a の値がどの程度変わると相対湿度の推定精度にどの程度影響するのかを検証した。また、四国の各気象官署の係数 a 、 b を平均して推定に使用した場合、どの程度の精度で推定が可能なのかを検証した。

2.2.3 気圧面ごとの相対湿度の推定

可降水量は地表面から大気上端までに含まれる全水蒸気量のことであり、式(5)に示すとおり、各気圧面の水蒸気量を積算することで求めることができる。

MSM可降水量は地表面から1000hPa、975hPa、950hPa、925hPa、900hPa、850hPa、800hPa、700hPa、600hPa、500hPa、400hPa、300hPaの各気圧面の間に含まれる水蒸気量を積算することで求める。

従って、地表面付近の水蒸気量と関係がある相対湿度と、地表面から大気上端までに含まれる全水蒸気量から推定した相対湿度では、大きな違いがあると考えられる。

そこで、地表面からどの気圧面までの間にある水蒸気量から推定した相対湿度が、地表面付近の相対湿度と最も関係があるかを検討する。地表面から各気圧面までに含まれる水蒸気量をそれぞれ計算し、その水蒸気量を用いて相対湿度を推定する。その後、地表面付近の観測相対湿度と比較することで、地表面からどの気圧面までの積算水蒸気量をもとに推定した相対湿度が、地表面付近の観測相対湿度と最も関係があるかを明らかにする。また、2.2.2と同様、四国の各気象官署の係数 a 、 b を平均して推定に使用した場合、どの程度の精度で推定が可能なのかを検証した。

$$PW = \frac{100}{g} [q_{0,1}(p_0 - p_1) + q_{1,2}(p_1 - p_2) + \dots] \quad (5)$$

PW : 可降水量 (mm)
 $q_{i,i+1}$: 気圧面 P_i と P_j の間の比湿の平均値 (kg kg^{-1})
 g : 標準重力加速度 (m/s^2)

2.2.4 各時刻の相対湿度の推定

1年間の3時間または1時間ごとのMSM可降水量と気象データを用いた相対湿度の推定を行ってきたが、より精度の高い推定ができる時間帯を把握するために各時刻の相対湿度の推定を行った。

2.2.5 使用データ

京都大学生存圏研究所がグローバル大気観測データとして公開している気象庁が作成したMSM GPV データを用いた。MSM GPV データ [9] は (財) 気象業務支援センターを通して公開されている数値予報データであり、5km メッシュで1時間ごとの物理量の予報値である。本研究では、相対湿度の推定の際に、MSM GPV データの気温と海面更正気圧データを用いてMSM可降水量を推定するために用いられていて、MSM可降水量データは赤塚 [7] らの手法によって求められたデータを用いた。さらに、気象庁気象統計データで公開されている各気象官署における露点温度、気温、相対湿度の各データ [10] を用いた。Table 2 に使用データを示す。

Table 2: 使用データ

データ名	概要
MSM GPV データ	空間分解能 5km 時間分解能 1時間
MSM 可降水量データ	空間分解能 90m 時間分解能 1時間 時間分解能 3時間 (気圧面ごと)
気象統計データ	各データ 1時間ごと

2.3 数値予報データを用いた相対湿度の時間分解能の高分解能化

推定された気圧面ごとの MSM 可降水量は 3 時間ごとのデータになっているので時間分解能を高分解能化させるために補間をして 1 時間ごとのデータにする必要がある。補間方法は多数存在しラグランジュ補間, ニュートン補間, 最小二乗近似, スプライン補間などが存在する。その中でもスプライン補間以外は補間点の数が増えるほど両端が振動を起こしやすい。そのため本研究ではデータ区間ごとに区切り導関数を用いて多項式で近似することで振動を抑えたスプライン補間を使用した。また, スプライン補間の中でも異なる特徴を持った 3 通りのスプライン補間を行った。Table 3 に特徴を示す。

Table 3: 各スプライン補間の特徴

3 次スプライン補間	すべての点を必ず通る 2 次導関数も連続する
B-spline 補間	生成された曲線が元の点を通るとは限らない 区間ごとの曲線の繋がりがより滑らか
Akima-spline 補間	不規則なデータには不向き オーバーシュートが発生しにくい

2.4 重回帰分析による相対湿度の推定

井尻 [4] らの研究では新潟県の上越測候所の相対湿度を目的変数, 上越市のアメダスデータを説明変数とし夏季の 10 日間ごとに重回帰分析を行い, 推定式は実用上有効であるとしている。

本研究では重回帰分析による相対湿度の推定手法として, 式 (6) を用いて井尻らの推定式を元に高知地方気象台の観測相対湿度を目的変数, 後免のアメダスの気象データを説明変数とし 2014 年 1 年間の相対湿度の推定を行った。また, 四国の気象官署 9 箇所の観測相対湿度を目的変数, 同じく 9 箇所の気象データを説明変数として重回帰分析を行った。さらに, 周辺環境を考慮した推定を行うために GIS データを追加して推定精度の向上を図った。

$$Y = AX_1 + BX_2 + CX_3 + DX_4 + EX_5 + F \quad (6)$$

Y : 相対湿度

A~E : アメダスデータ+GIS データ

$X_1 \sim X_n$: 母偏回帰係数

F : 母偏回帰定数

2.4.1 アメダスデータを用いた重回帰分析

アメダスデータを用いた重回帰分析は井尻 [4] らのモデルを元に推定を行った。説明変数にはアメダスデータの 1 時間ごとの気温、降水量、風速、日照時間、気温較差を用いた。気温較差の起点は 1 時間ごとに観測された相対湿度の変化が最も小さい午前 6 時の気温とする。

2.4.2 アメダスデータと GIS データを用いた重回帰分析

アメダスデータと GIS データを用いた重回帰分析は 2.4.1 節の説明変数に GIS データの土地利用データを用いた。土地利用データは質的データのため 0 と 1 だけの数列に変換して重回帰分析に組み込んだ。

2.4.3 使用データ

気象庁気象統計データで公開されている各アメダス観測点における気温、降水量、風速、日照時間の各データ [10] を用いた。さらに、国土交通省国土政策局国土情報課が公開している土地利用細分メッシュを土地利用の質的データとして用いた。

3 結果と比較

3.1 各気象官署の相対湿度の比較結果

四国の気象官署9箇所の気象官署において、MSM 可降水量と観測露点温度との関係から2014年、1年間の式(1)の係数a, bを導出し、係数a, bを用いて推定した露点温度と観測気温を用いて相対湿度の推定を行った。

年間の四国の気象官署9箇所の係数a, bをTable 4に示す。また、各月の四国の気象官署9箇所の係数aをTable 5に係数bをTable 6に示す。

Table 4: 各気象官署の係数 a, b

観測所	a	b
徳島	8.8926	0.0782
高松	9.2132	0.0778
多度津	8.5606	0.0793
松山	8.8745	0.0805
宇和島	8.2282	0.0816
高知	8.5744	0.0804
室戸岬	8.5031	0.0740
宿毛	8.9126	0.0785
清水	8.6225	0.0750

Table 5: 各気象官署の係数 a (各月)

観測所	係数 a											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
徳島	8.4483	10.5905	8.7915	8.0843	8.9244	9.0179	14.2149	15.9672	7.5032	5.4521	7.8739	9.3363
高松	8.7420	10.6646	9.4943	9.4541	9.8373	9.7371	13.1730	15.2263	6.4588	5.8107	7.6702	9.4801
多度津	8.3193	10.4595	8.7827	8.2411	8.5392	7.8776	12.8592	11.5423	5.9378	5.3445	7.3832	9.0010
松山	8.5078	10.7114	8.9206	9.2309	7.9470	8.8238	13.6633	9.5933	8.2322	5.7494	7.7780	9.2764
宇和島	7.9211	10.2171	7.7267	7.3299	7.4341	9.7871	19.0982	8.5449	7.6929	4.7565	6.7299	8.4230
高知	8.2007	10.5566	7.8894	8.1942	7.1426	8.3329	16.4852	11.4325	8.4107	6.1359	7.3498	8.5576
室戸岬	7.4759	10.0798	6.8194	7.1383	5.7224	29.4164	31.1701	26.1413	9.7730	4.9624	6.8920	8.3396
宿毛	8.5726	10.4860	8.0846	7.7642	7.5930	10.9592	33.3065	11.9406	10.1647	4.3584	6.7599	8.7333
清水	8.2246	10.1053	7.4562	7.0643	6.0507	9.6614	35.2556	17.2057	12.1717	5.0637	7.3453	8.4276

Table 6: 各気象官署の係数 b (各月)

観測所	係数 b											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
徳島	0.1022	0.0639	0.0944	0.0888	0.0658	0.0775	0.0556	0.0546	0.0876	0.1102	0.0939	0.1060
高松	0.0988	0.0644	0.0977	0.0814	0.0654	0.0764	0.0604	0.0572	0.0946	0.1060	0.0928	0.0939
多度津	0.0950	0.0651	0.1012	0.0879	0.0695	0.0842	0.0599	0.0681	0.0969	0.1083	0.0936	0.0902
松山	0.0914	0.0596	0.0910	0.0840	0.0826	0.0818	0.0596	0.0781	0.0829	0.1068	0.0913	0.0966
宇和島	0.0893	0.0638	0.0955	0.0968	0.0797	0.0748	0.0433	0.0810	0.0837	0.1115	0.0976	0.1065
高知	0.0869	0.0572	0.0972	0.0845	0.0836	0.0833	0.0497	0.0696	0.0819	0.1013	0.0958	0.1025
室戸岬	0.0879	0.0515	0.0964	0.0914	0.0844	0.0111	0.0168	0.0299	0.0699	0.1071	0.0949	0.0893
宿毛	0.0849	0.0634	0.0941	0.0931	0.0800	0.0709	0.0189	0.0672	0.0722	0.1173	0.0980	0.1057
清水	0.0789	0.0583	0.0914	0.0905	0.0867	0.0728	0.0149	0.0484	0.0604	0.1026	0.0849	0.0863

Table 4 から式 (1) の係数 a に大きな差はあるが、係数 b は大きな差はなく係数 b は計算自体に大きく影響しないことがわかった。また、Table 5, 6 から 各月の係数の傾向を見ると夏のばらつきが大きく、冬のばらつきは比較的小さくなっている。特に室戸岬はその影響が顕著に表れていた。

次に、高知の観測相対湿度と推定した相対湿度の比較結果を Fig 3, 高知の観測相対湿度と MSM GPV 湿度データの比較結果を Fig 4 に示す。また、四国 9 箇所の気象官署の比較結果を Table 7 に示す。高知では MSM 可降水量から推定した相対湿度の精度は相関係数が 0.79, MAE が 10.3%, RMSE が 13.7% となり、MSM GPV 湿度データの精度は相関係数が 0.84, RMSE が 10.5% となった。四国 9 箇所では MSM 可降水量から推定した相対湿度の精度は相関係数が 0.73~0.80, RMSE が 12.8~16.3% であった。一方、MSM GPV 湿度データの精度は相対湿度が 0.66~0.84, RMSE で 9.43~14.2% となり、MSM 可降水量から推定した相対湿度は RMSE が 3% 程度大きくなった。また、MSM GPV 湿度データは MSM 可降水量から推定した相対湿度よりも相関係数のばらつきが大きくなった。

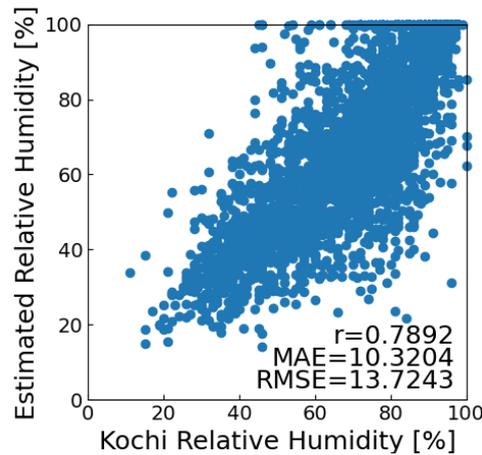


Fig. 3: 高知の観測相対湿度と推定相対湿度の関係

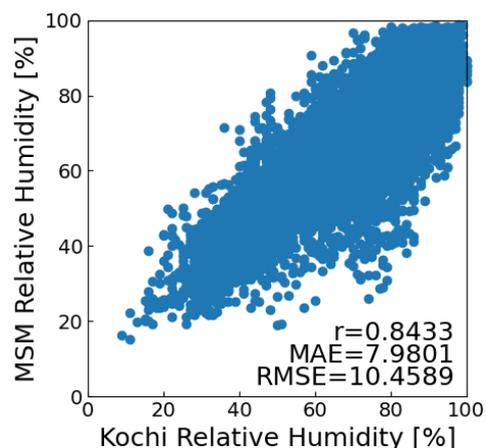


Fig. 4: 高知の観測相対湿度と MSM GPV 湿度データの関係

Table 7: 四国 9 箇所の比較結果

観測所名	推定相対湿度		MSM GPV 湿度データ	
	r	RMSE	r	RMSE
徳島	0.78	13.3	0.83	9.97
高松	0.79	13.0	0.84	10.2
多度津	0.76	13.8	0.67	14.0
松山	0.78	12.9	0.82	9.49
宇和島	0.76	13.5	0.81	9.43
高知	0.79	13.7	0.84	10.5
室戸岬	0.76	16.3	0.68	13.3
宿毛	0.77	14.0	0.79	10.8
清水	0.80	13.9	0.66	14.2

さらに、係数 a の地点による傾向を把握するため全国の気象官署でも係数 a , b を算出した。算出した係数 a の分布を Fig 5 に示す。特に西日本の日本海側は係数 a が小さく、太平洋側は比較的に高い傾向を示した。また、海に面していない内陸部では非常に高くなる傾向を示した。そのため、Fig 5 の傾向を示すような係数 a に影響を与えている要素を把握し、その要素を考慮した係数 a の推定モデルを提案することができれば、MSM 可降水量の各格子点において相対湿度の推定精度を向上させることができるようになると思われる。

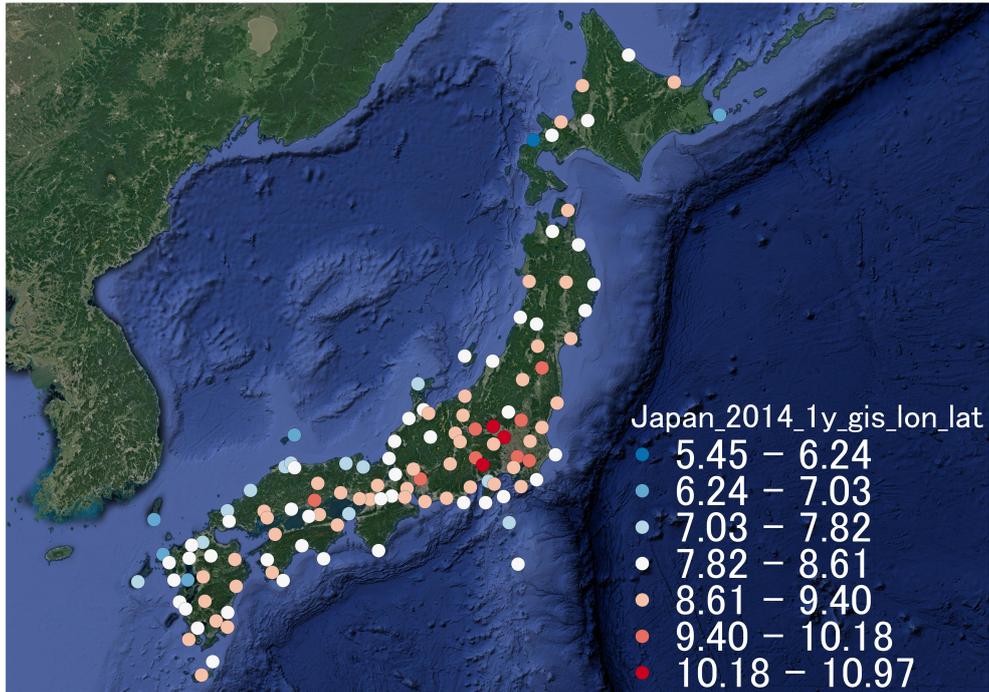


Fig. 5: 全国の気象官署の係数 a 分布

次に、四国の気象官署 9 箇所の係数 a を $\pm 0.1 \sim 0.3$ 変動させた場合に相対湿度の推定精度にどの程度影響するのかを検証した結果を Table 8, 9 に示す。また、四国の気象官署 9 箇所の係数 a, b の平均値を使用して相対湿度の推定を行った結果を Table 10 に示す。

Table 8: 係数 a の影響度比較 (相関係数)

観測所	相関係数						
	-0.3	-0.2	-0.1	± 0	+0.1	+0.2	+0.3
徳島	0.760	0.772	0.779	0.782	0.777	0.765	0.746
高松	0.742	0.763	0.780	0.790	0.793	0.787	0.772
多度津	0.749	0.758	0.762	0.760	0.752	0.737	0.716
松山	0.751	0.766	0.777	0.782	0.779	0.769	0.751
宇和島	0.720	0.736	0.748	0.755	0.757	0.751	0.739
高知	0.757	0.770	0.782	0.789	0.791	0.787	0.776
室戸岬	0.801	0.790	0.776	0.759	0.736	0.707	0.671
宿毛	0.748	0.756	0.763	0.765	0.764	0.756	0.742
清水	0.826	0.819	0.810	0.796	0.779	0.756	0.728

Table 9: 係数 a の影響度比較 (RMSE)

観測所	RMSE						
	-0.3	-0.2	-0.1	±0	+0.1	+0.2	+0.3
徳島	19.85	17.06	14.81	13.30	12.71	13.05	14.15
高松	19.92	16.95	14.55	12.95	12.36	12.81	14.06
多度津	19.31	16.83	14.95	13.79	13.45	13.83	14.73
松山	18.85	16.20	14.14	12.87	12.54	13.08	14.31
宇和島	19.12	16.72	14.79	13.46	12.83	12.91	13.57
高知	19.99	17.41	15.25	13.72	13.00	13.11	13.97
室戸岬	22.55	20.09	17.95	16.30	15.25	14.92	15.28
宿毛	20.10	17.63	15.54	14.02	13.17	13.06	13.63
清水	18.90	16.77	15.04	13.85	13.30	13.42	14.11

Table 10: 四国 9 箇所の係数 a, b の平均値を用いた比較結果

観測所名	推定相対湿度		推定相対湿度 (平均値)	
	r	RMSE	r	RMSE
徳島	0.78	13.3	0.78	13.2
高松	0.79	13.0	0.79	12.7
多度津	0.76	13.8	0.76	13.9
松山	0.78	12.9	0.78	13.1
宇和島	0.76	13.5	0.75	14.1
高知	0.79	13.7	0.79	14.0
室戸岬	0.76	16.3	0.74	17.2
宿毛	0.77	14.0	0.77	13.8
清水	0.80	13.9	0.79	14.2

Table 8, 9 から式 (1) の係数 a を $\pm 0.1 \sim 0.3$ 変化させて相対湿度を推定した結果、相関係数についてはプラス、マイナスの数値を大きくするほど相関が小さくなる傾向があった。しかし、室戸岬と清水についてはマイナスの数値が大きくなるほど相関が向上した。また、RMSE は $+0.1$ の場合、誤差がどの地点でも小さくなった。マイナスの数値を大きくした場合は数値が大きくなるのに伴って誤差も大きくなった。

さらに、Table 10 から四国 9 箇所の係数 a, b の平均値を用いて相対湿度を推定した場合でも四国 9 箇所の気象官署度で推定した係数 a, b から相対湿度を推定した場合と推定精度に大きな差はなかった。しかし、現状の推定精度では MSM GPV 湿度データのほうが推定精度が高いため推定精度を向上させる必要がある。

3.2 気圧面ごとの相対湿度の比較結果

地表面から各気圧面までに含まれる水蒸気量をそれぞれ計算し、その水蒸気量を用いて相対湿度を推定する。その後、地表面付近の観測相対湿度と比較することで、地表面からどの気圧面までの積算水蒸気量をもとに推定した相対湿度が、地表面付近の観測相対湿度と最も関係があるかを明らかにする。

四国の気象官署9箇所の気象官署において、地上から850hPaまでの積算水蒸気量と観測露点温度との関係から2014年、1年間の係数a, bを導出した。

年間の四国の気象官署9箇所の係数a, bをTable 11に示す。また、各月の四国の気象官署9箇所の係数aをTable 12に係数bをTable 13に示す。

Table 11: 各気象官署の係数 a, b (850hPa)

観測所	a	b
徳島	5.3733	0.0639
高松	5.5781	0.0628
多度津	5.3852	0.0628
松山	5.3559	0.0648
宇和島	5.0934	0.0660
高知	4.8906	0.0688
室戸岬	4.5174	0.0667
宿毛	5.3541	0.0653
清水	5.3637	0.0619

Table 12: 各気象官署の係数 a (各月・850hPa)

観測所	係数 a											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
徳島	5.2749	5.4859	5.2930	4.9021	5.5698	6.0267	6.4858	6.8771	5.7675	5.3469	5.3754	5.4426
高松	5.3601	5.4785	5.4769	5.4152	6.0789	6.1725	6.3292	8.5685	5.8061	5.5332	5.4461	5.4955
多度津	5.3496	5.4555	5.3751	4.6753	5.1840	4.8526	5.1663	7.1550	5.2176	5.0334	5.3817	5.4974
松山	5.3026	5.2981	5.3640	5.0820	5.0290	6.8275	5.6104	6.6099	5.0937	5.0176	5.3611	5.5491
宇和島	5.2374	4.8740	5.0550	4.4803	4.6667	6.2105	5.4329	6.7345	3.9801	4.7935	5.2383	5.4413
高知	5.0181	4.9735	4.9604	4.5272	4.6317	5.5371	5.0015	4.9016	4.3615	4.9576	4.9089	5.0204
室戸岬	4.4512	4.2696	4.1820	3.9992	3.6132	10.7376	6.8501	8.8223	4.7088	4.2751	4.4573	4.6780
宿毛	5.5732	4.9828	5.3153	4.8966	4.7006	6.0161	7.2788	7.3272	4.8012	4.9814	5.3355	5.6770
清水	5.5548	5.0699	5.1504	4.8595	4.3416	6.1930	6.6537	8.1173	6.1952	5.7339	5.8761	5.7317

Table 13: 各気象官署の係数 b (各月・850hPa)

観測所	係数 b											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
徳島	0.0746	0.0691	0.0689	0.0718	0.0535	0.0555	0.0556	0.0538	0.0609	0.0674	0.0678	0.0768
高松	0.0739	0.0726	0.0729	0.0677	0.0519	0.0571	0.0579	0.0441	0.0600	0.0647	0.0633	0.0679
多度津	0.0672	0.0710	0.0724	0.0765	0.0592	0.0672	0.0653	0.0511	0.0642	0.0690	0.0644	0.0647
松山	0.0697	0.0693	0.0677	0.0727	0.0671	0.0508	0.0636	0.0555	0.0659	0.0697	0.0660	0.0642
宇和島	0.0675	0.0730	0.0698	0.0800	0.0677	0.0551	0.0636	0.0546	0.0765	0.0696	0.0666	0.0702
高知	0.0702	0.0699	0.0711	0.0759	0.0692	0.0611	0.0674	0.0693	0.0739	0.0698	0.0706	0.1025
室戸岬	0.0711	0.0706	0.0750	0.0780	0.0727	0.0222	0.0484	0.0403	0.0648	0.0728	0.0715	0.0662
宿毛	0.0660	0.0729	0.0688	0.0743	0.0697	0.0590	0.0519	0.0524	0.0698	0.0697	0.0665	0.0710
清水	0.0600	0.0640	0.0659	0.0686	0.0684	0.0542	0.0531	0.0457	0.0554	0.0605	0.0571	0.0585

Table 11 の式 (1) の係数 a, b は Table 4 の値よりも全体的に小さくなっているが傾向は類似していた。また, Table 12, 13 は Table 5, 6 の値よりも全体的に小さくなっていて月ごとの変化傾向も見られなくなっている。

次に, 水蒸気量を地表面から気圧面ごとに積算し, その値から相対湿度を推定したところ 850hPa の気圧面で高知の観測相対湿度と最も相関が高く, RMSE が小さくなることが明らかになった。また, 四国の他の観測所でも類似した結果になった。850hPa は地表面の摩擦や熱などの影響がなくなり気温の変化がなくなる高さであり [11], 気温の変化がないということが相対湿度に影響していると考えられるが明確な理由がないため今後の課題とする。高知の観測相対湿度と推定した相対湿度の比較結果を Fig 6 に示す。

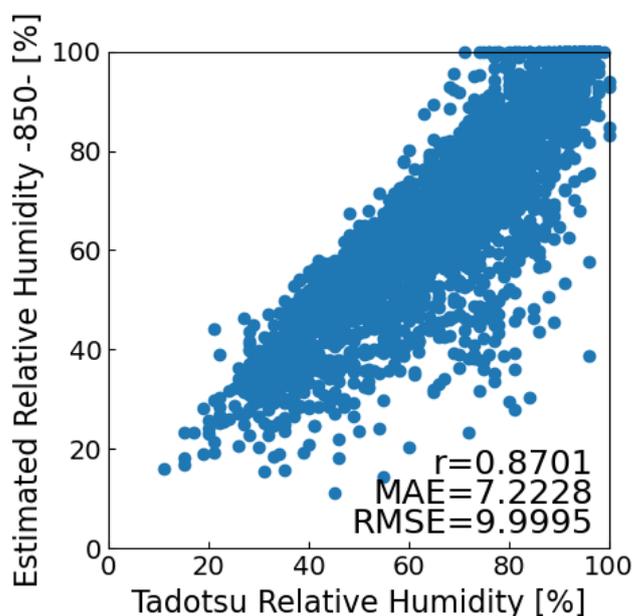


Fig. 6: 高知の観測相対湿度と推定した相対湿度 (地表面から 850hPa) の関係

四国 9 箇所の気象官署の比較結果を Table 14 に示す。高知では MSM 可降水量 (地表面から 850hPa) から推定した相対湿度の精度は相関係数が 0.87, RMSE が 10.0% となった。四国 9 箇所では MSM 可降水量 (地表面から 850hPa) から推定した相対湿度の精度は相関係数が 0.80~0.88,

RMSE が 8.88～11.4% となった。MSM 可降水量 (地表面から 850hPa) から推定した相対湿度は MSM GPV 湿度データよりも相関が高く, RMSE が小さくなり推定精度を向上させることができた。

Table 14: 四国 9 箇所の比較結果

観測所名	推定相対湿度 (850hPa)		MSM GPV 湿度データ	
	r	RMSE	r	RMSE
徳島	0.86	9.57	0.83	9.97
高松	0.88	8.88	0.84	10.2
多度津	0.80	11.3	0.67	14.0
松山	0.87	9.32	0.82	9.49
宇和島	0.84	9.91	0.81	9.43
高知	0.87	10.0	0.84	10.5
室戸岬	0.84	11.4	0.68	13.3
宿毛	0.84	10.3	0.79	10.8
清水	0.87	9.60	0.66	14.2

次に, 四国の気象官署 9 箇所の係数 a , b の平均値を使用して相対湿度の推定を行った結果を Table 15 に示す。

Table 15: 四国 9 箇所の係数 a , b の平均値を用いた比較結果 (850hPa)

観測所名	推定相対湿度 (850hPa)		推定相対湿度 (平均値 \cdot 850hPa)	
	r	RMSE	r	RMSE
徳島	0.86	9.57	0.86	9.51
高松	0.88	8.88	0.88	8.85
多度津	0.80	11.3	0.87	9.05
松山	0.87	9.32	0.87	9.59
宇和島	0.84	9.91	0.84	10.1
高知	0.87	10.0	0.87	10.8
室戸岬	0.84	11.4	0.86	14.1
宿毛	0.84	10.3	0.84	10.5
清水	0.87	9.60	0.85	9.56

Table 15 から四国 9 箇所の係数 a , b の平均値を用いて相対湿度を推定した場合でも四国 9 箇所の各気象官署で推定した係数 a , b から相対湿度を推定した場合と推定精度に大きな差はなかった。そのため, 90 m メッシュの各格子点で推定できる可能性があることが明らかになった。今後は気象官署がないところでの精度を検証する方法を考えることが課題となった。

3.3 各時刻の相対湿度の比較結果

精度の高い推定ができる時間帯を把握するために各時刻の相対湿度の推定を行った。

3時間ごとの各時刻の高知の観測相対湿度と推定した相対湿度の比較結果を Fig 7 から Fig 8 に示す。各時刻の推定精度は12時から15時など昼間の精度が高く、3時から6時など朝方の精度が低くなった。朝方より昼間のほうが比較的精度が高いのは日本では年間を通して最低気温になる朝方よりも最高気温になる昼間の気温の変化量のほうが小さくなるからではないかと考えられる。

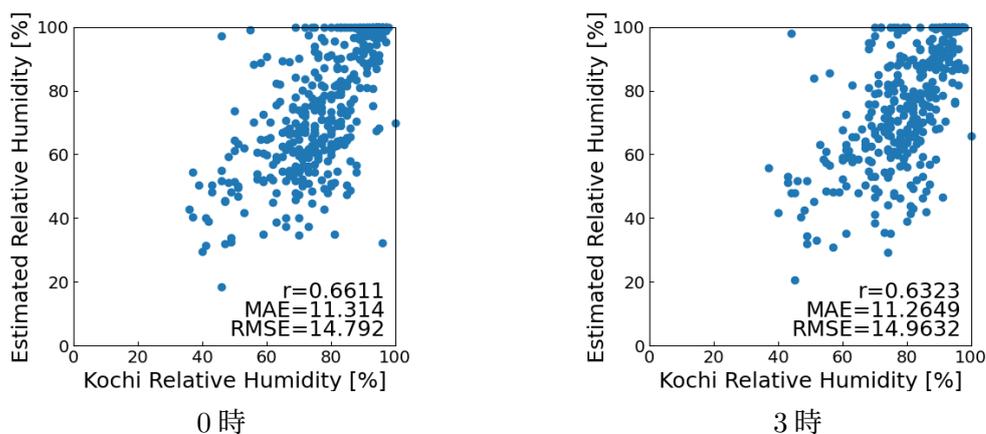
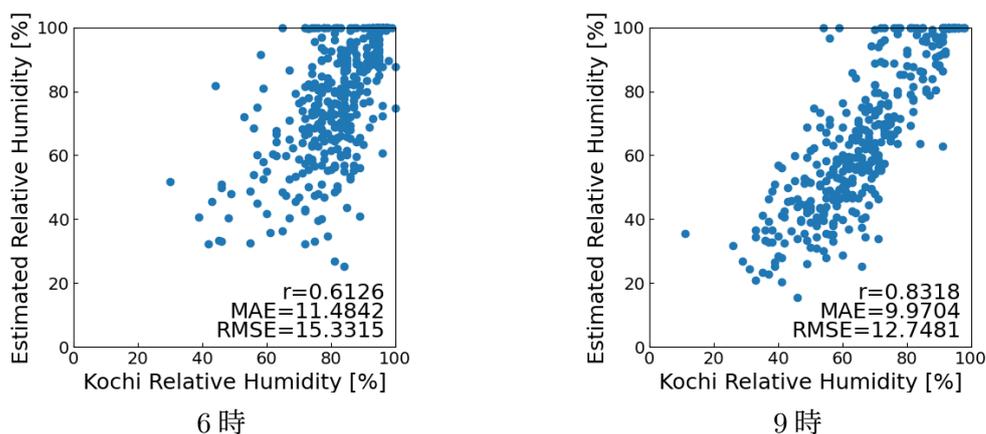
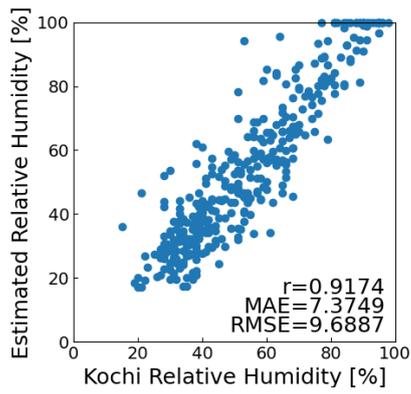
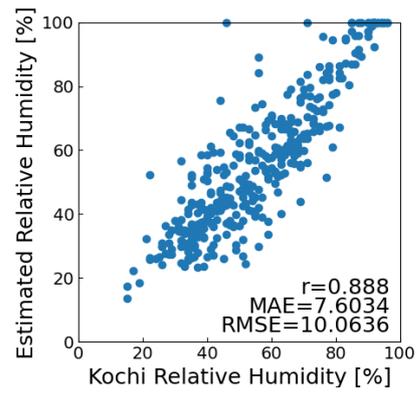


Fig. 7: 高知の観測相対湿度と推定した相対湿度の関係

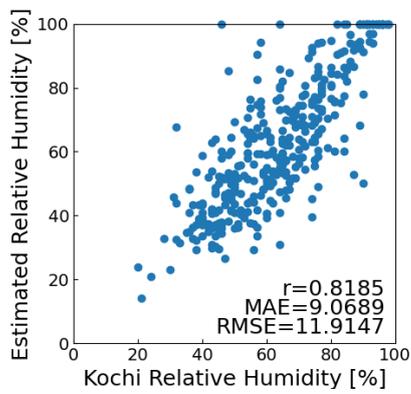




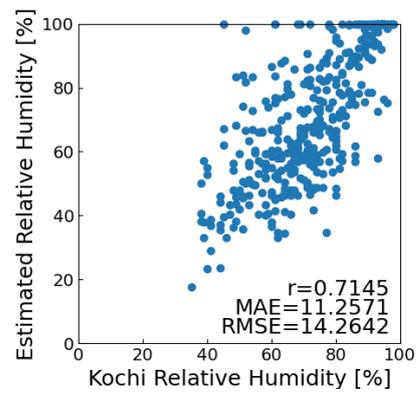
12時



15時



18時



21時

Fig. 8: 高知の観測相対湿度と推定した相対湿度の関係 (続き)

3.4 各補間方法を用いた時間分解能の高分解能化の比較結果

推定された気圧面ごとの MSM 可降水量は 3 時間ごとのデータになっているので時間分解能を高分解能化させるためにスプライン補間の中でも異なる特徴を持った 3 通りのスプライン補間を行った。

高知の各補間方法による GPS 可降水量と MSM 可降水量の比較結果 (1, 2, 4, 5, …) を Fig 9 に示す。また、補間していない元データ (0, 3, 6, 9, …) の比較結果を Fig 10 右側に示す。3 通りのスプライン補間をした結果、Akima-spline 補間が最も精度が高く、3 時間ごと以外の時間帯も概ね再現できた。また、Akima-spline 補間の推定精度が最も高いのは可降水量が比較的規則的な時間変動であることと大きな変化が起きてもオーバーシュートが発生しにくかったためだと考えられる。

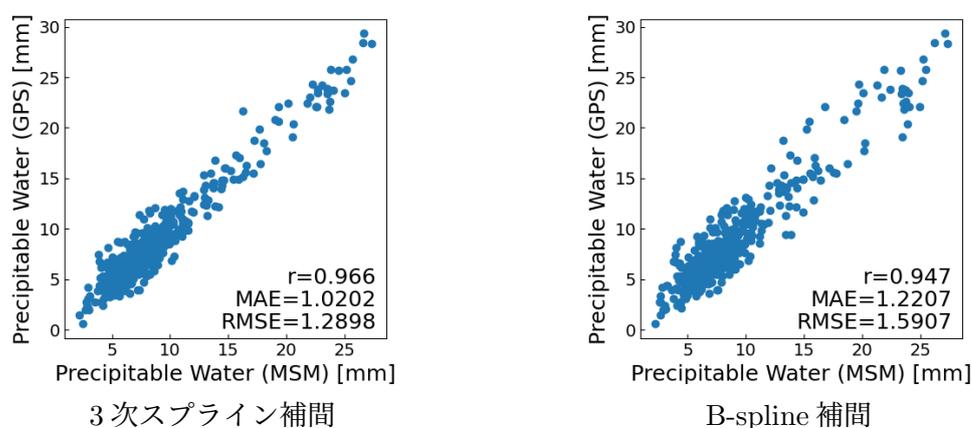


Fig. 9: 補間によって生成された GPS 可降水量と MSM 可降水量の関係

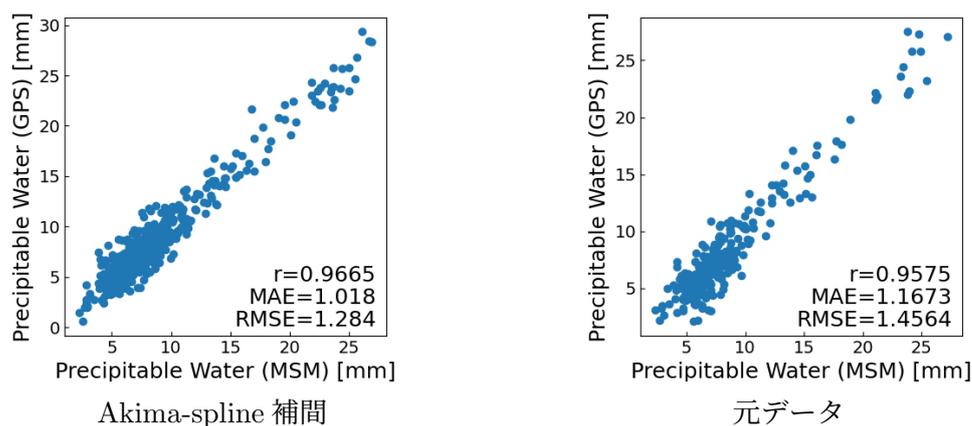


Fig. 10: 補間によって生成された GPS 可降水量と MSM 可降水量の関係 (続き)

3.5 アメダスデータを用いた重回帰分析による相対湿度の推定結果

高知地方気象台の観測相対湿度を目的変数, 高知地方気象台に最も近い後免のアメダス観測データを説明変数として用いた重回帰分析を行った. 重回帰分析のモデルの精度, 各変数のモデルへの影響度, 変数同士の相関関係を Fig 11 から Fig 13 に示す. モデルの精度としては高くないが各変数同士の多重共線性も見られないためこのモデルを使用する. このモデルに最も影響が大きいのは平均風速となった.

また, 重回帰分析によって得られた回帰係数を用いて推定した高知と室戸岬の相対湿度と観測相対湿度の比較結果を Fig 14 に示す. 高知の推定精度は相関係数, RMSE とともに 2.2.1 節の手法の時より悪くなっていた. それに対し, 室戸岬は相関関係を示さずばらつきが大きくなった. これは室戸岬がほかの地点よりも平均風速が強いためだと示唆される.

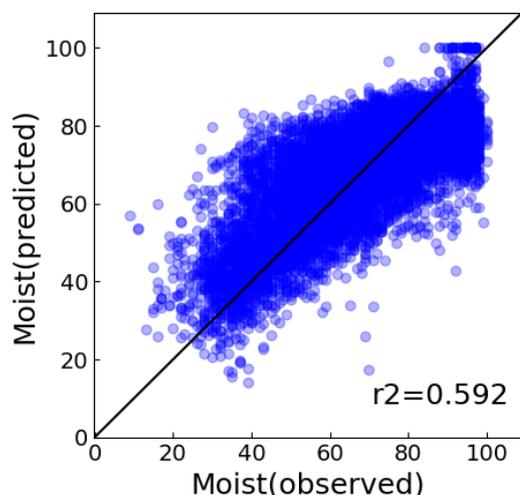


Fig. 11: 重回帰分析の推定値と観測相対湿度の関係

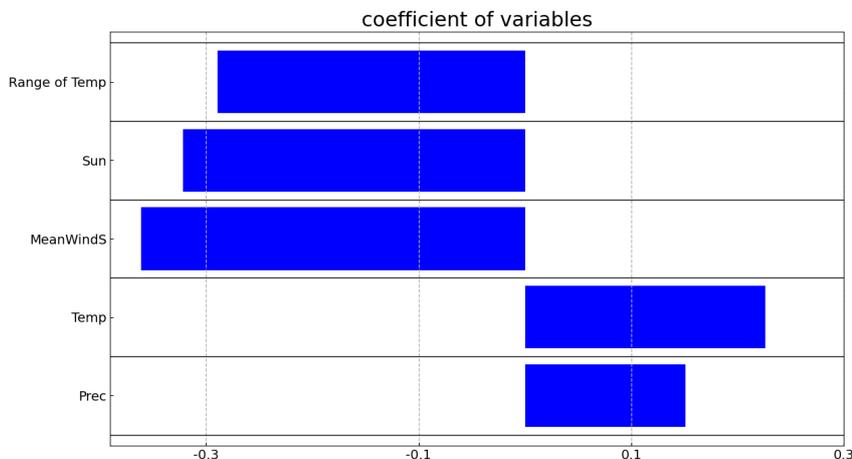


Fig. 12: 各説明変数がモデルに与える影響度

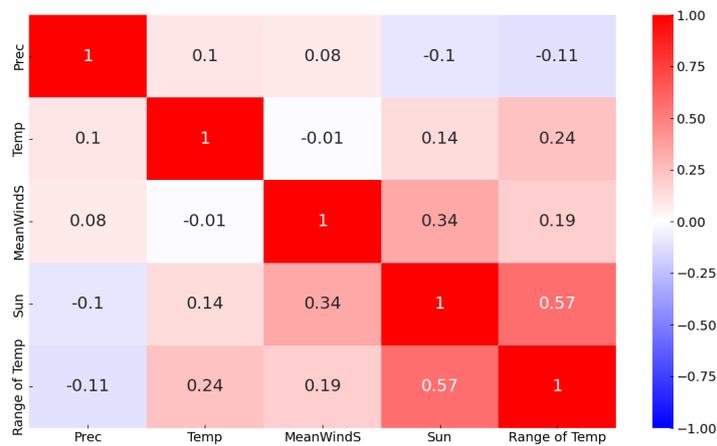


Fig. 13: 各説明変数の相関関係

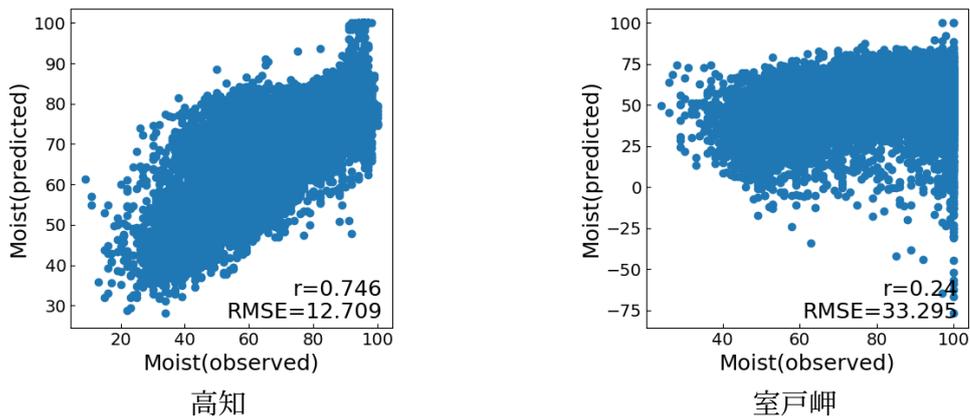


Fig. 14: 推定した湿度環境指標と観測相対湿度の関係

次に高知と後免のデータを用いた重回帰分析による回帰係数では室戸岬の相対湿度の推定が難しかったため、四国9箇所の気象官署の観測相対湿度を目的変数、同じく四国9箇所の気象官署の気象観測データを説明変数として用いた重回帰分析を行った。重回帰分析のモデルの精度、各変数のモデルへの影響度、変数同士の相関関係を Fig 15 から Fig 17 に示す。モデルの精度は低くなり、最も影響が大きいのは気温較差に変わり平均風速の影響は最も小さくなった。

また、重回帰分析によって得られた回帰係数を用いて推定した高知と室戸岬の相対湿度と観測相対湿度の比較結果を Fig 18 に四国9箇所の比較結果を Table 16 示す。高知の推定精度は相関係数、RMSE とともに低くなったが室戸岬は、ばらつきが小さくなり正の相関を示すようになった。

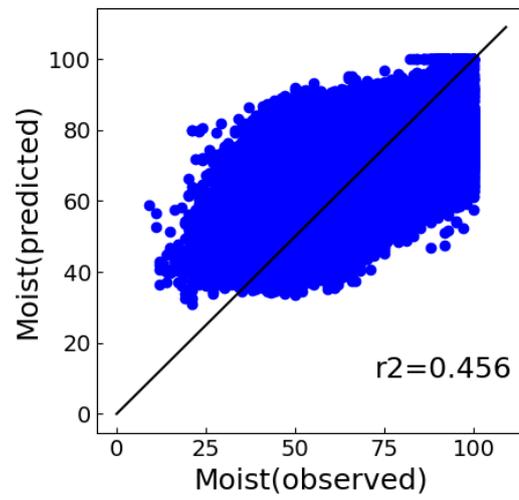


Fig. 15: 重回帰分析の推定値と観測相対湿度の関係 (四国)

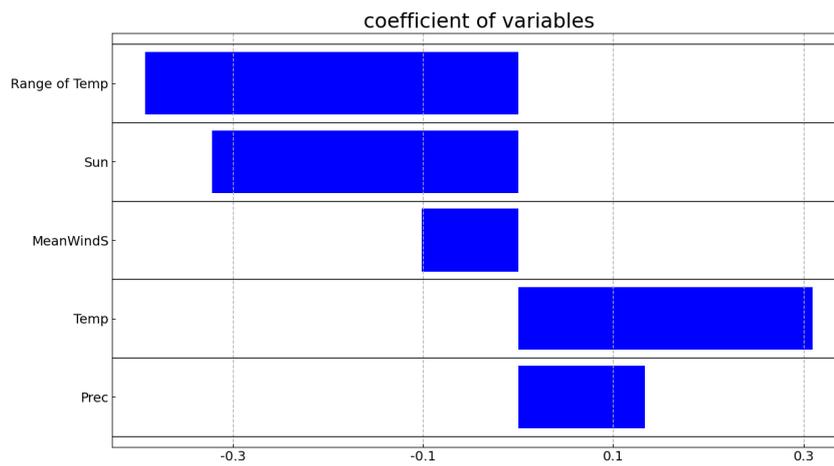


Fig. 16: 各説明変数がモデルに与える影響度 (四国)

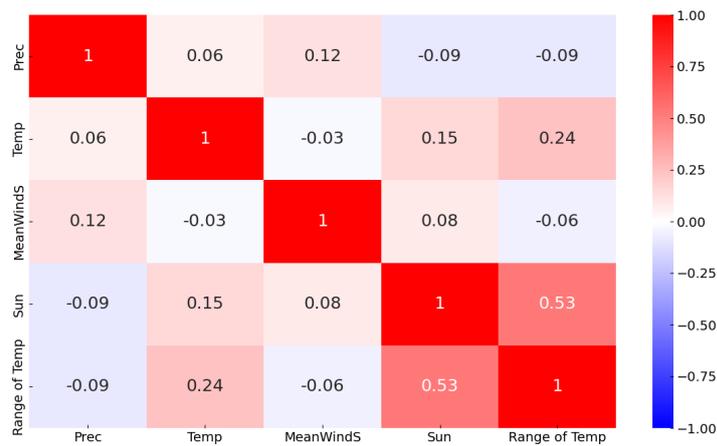


Fig. 17: 各説明変数の相関関係 (四国)

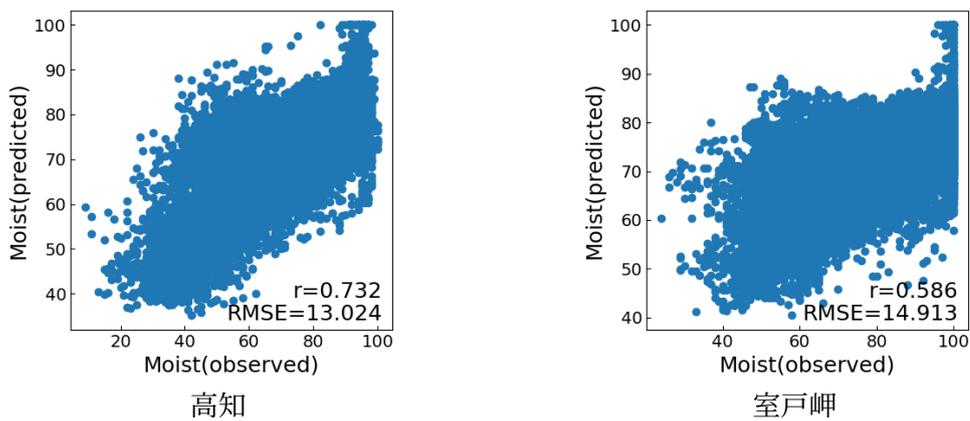


Fig. 18: 推定した相対湿度と観測相対湿度の関係 (四国)

Table 16: 重回帰分析による四国9箇所の比較結果

観測所名	推定相対湿度 (後免)		推定相対湿度 (四国)	
	r	RMSE	r	RMSE
徳島	0.68	12.7	0.70	11.6
高松	0.70	12.2	0.68	12.9
多度津	0.60	13.0	0.53	15.3
松山	0.73	11.1	0.70	12.1
宇和島	0.76	13.6	0.73	11.5
高知	0.75	12.7	0.73	13.0
室戸岬	0.24	33.3	0.59	14.9
宿毛	0.70	12.9	0.71	11.0
清水	0.48	16.4	0.65	13.0

重回帰分析の本モデルの推定精度を検証するために別の年でも相対湿度の推定を行った。それぞれのモデルの回帰係数の比較結果を Table 17 に示す。また、2014 年の四国 9 箇所のデータを用いた分析によって算出した回帰係数で 2015 年の相対湿度を推定したもの、2015 年の四国 9 箇所のデータを用いた分析によって算出した回帰係数で 2014 年の相対湿度を推定したものを Table 18 に示す。2014 年と 2015 年の回帰係数の値は概ね同様の傾向を示した。それぞれの回帰係数を用いた相対湿度の推定ではどちらのモデルでも推定精度が高くなる地点もあれば低くなる地点もあった。そのため、モデルの説明変数を変えたり、新しい説明変数を加えて推定精度を上げる必要がある。

Table 17: 各モデルの回帰係数の比較結果

変数名	降水量	気温	平均風速	日照時間	気温較差
2014	0.133	0.309	-0.102	-0.322	-0.329
2015	0.147	0.361	-0.094	-0.354	-0.371

Table 18: 2014-2015 年モデルによる四国 9 箇所の比較結果

観測所名	推定相対湿度 (2014)		推定相対湿度 (2015)	
	r	RMSE	r	RMSE
徳島	0.69	12.3	0.69	12.0
高松	0.70	13.1	0.66	13.6
多度津	0.64	12.5	0.57	14.1
松山	0.71	12.1	0.69	12.7
宇和島	0.73	12.3	0.71	11.5
高知	0.76	13.7	0.73	13.2
室戸岬	0.59	15.5	0.60	14.2
宿毛	0.71	12.7	0.72	11.0
清水	0.60	13.9	0.66	13.2

3.6 アメダスデータと GIS データを用いた重回帰分析による相対湿度の推定結果

四国 9 箇所の気象官署の観測相対湿度を目的変数, 同じく四国 9 箇所の気象官署の気象観測データに加えて GIS データ (土地利用) を説明変数として用いた重回帰分析を行った. 重回帰分析のモデルの精度, 各変数のモデルへの影響度, 変数同士の相関関係を Fig 19, Table 19, Fig 20 に示す. モデルの精度は少し高くなり, 土地被覆 (質的データ) の影響が非常に大きいことがわかった.

また, GIS データを加えて得られた係数を用いて推定した高知と室戸岬の湿度環境指標と観測相対湿度の比較結果を Fig 21 に示す. 各地点によって推定精度が高くなる場所もあれば低くなる場所もあった. 従って, 現状のモデルでは空間分解能の向上は難しいことが明らかになった. 今後はモデルの精度と推定精度を向上させるために既存データを工夫して用いる必要があると考えられる.

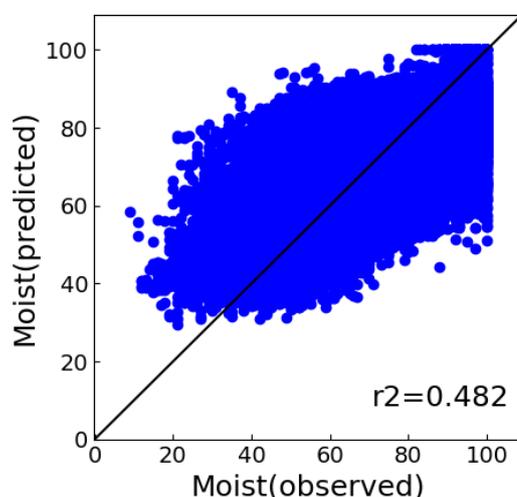


Fig. 19: 重回帰分析の推定値と観測相対湿度の関係 (GIS)

Table 19: 各説明変数がモデルに与える影響度 (GIS)

変数名	降水量	気温	平均風速	日照時間	気温較差	森林	建物用地	海水域
回帰係数	1.45e-01	3.06e-01	-1.94e-01	-3.24e-01	-3.75e-01	2.59e+11	3.89e+11	3.43e+11

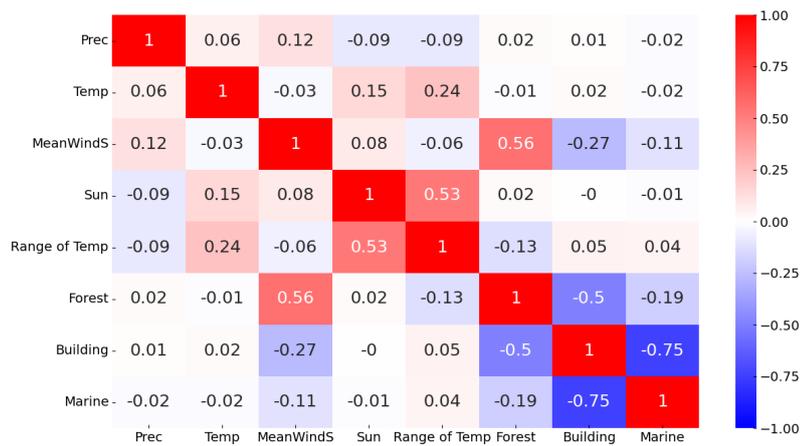


Fig. 20: 各説明変数の相関関係 (GIS)

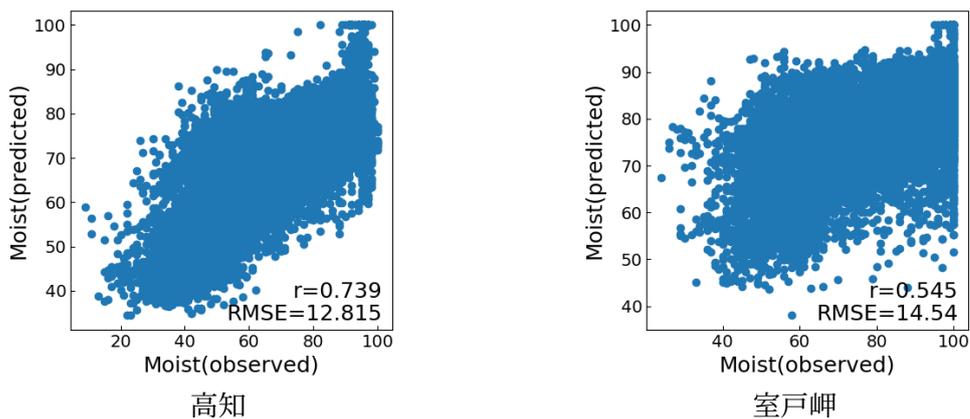


Fig. 21: 推定した相対湿度と観測相対湿度の関係 (GIS)

Table 20: 重回帰分析による四国9箇所の比較結果

観測所名	推定相対湿度 (GIS あり)		推定相対湿度 (GIS なし)	
	r	RMSE	r	RMSE
徳島	0.71	11.2	0.70	11.6
高松	0.70	12.2	0.68	12.9
多度津	0.55	14.4	0.53	15.3
松山	0.71	11.6	0.70	12.1
宇和島	0.75	11.7	0.73	11.5
高知	0.74	12.8	0.73	13.0
室戸岬	0.55	14.5	0.59	14.9
宿毛	0.72	10.8	0.71	11.0
清水	0.64	13.4	0.65	13.0

4 結論

本研究は2通りの手法で地表面湿度環境指標の推定を行った。1つ目は数値予報データ (MSM) から算出された MSM 可降水量から推定した露点温度と気象官署の観測気温を用いて飽和水蒸気圧と水蒸気圧に変換し、相対湿度を推定する手法によって空間分解能と推定精度の向上を試みた。また、気圧面ごとの MSM 可降水量は3時間ごとのデータなので1時間ごとのデータにするために3通りのスプライン補間を行った。2つ目はアメダスデータと GIS データを用いて重回帰分析を行うことで各気象官署の推定相対湿度の精度を向上させ、アメダスポイントごとに重回帰分析によって算出された回帰係数を用いて相対湿度を推定し、空間内挿によって空間分解能の向上を試みた。

1つ目の手法では、四国9箇所の気象官署は MSM 可降水量から推定した湿度の精度は相関係数が 0.72~0.79, RMSE が 12.8~15.7%であった。一方, MSM GPV 湿度データの精度は相対湿度が 0.66~0.84, RMSE が 9.43~14.2%となり, MSM 可降水量から推定した湿度環境指標は RMSE が 3%程度大きくなった。気圧面ごとの比較では MSM 可降水量 (地表面から 850hPa) から推定した湿度の精度は相関係数が 0.80~0.88, MAE が 6.52~8.28%, RMSE が 8.88~11.4%となった。MSM 可降水量 (地表面から 850hPa) から推定した湿度環境指標は MSM GPV 湿度データよりも相関が高く, RMSE が小さくなり推定精度を向上させることができた。また, 四国9箇所の係数 a, b の平均値を用いて相対湿度を推定した場合でも四国9箇所の気象官署で推定した係数 a, b から相対湿度を推定した場合と推定精度に大きな差はなかった。そのため, 90 mメッシュの各格子点で推定できる可能性があることが明らかになった。今後は気象官署がないところでの精度を検証する方法を考えることが課題となった。各時刻の推定精度は 12 時から 15 時など昼間の精度が高く, 3 時から 6 時など朝方の精度が低くなった。また, 時間分解能の向上については3通りのスプライン補間をした結果, Akima-spline 補間が最も精度が高く, 3時間ごと以外の時間帯も概ね再現できた。

2つ目の手法では高知と後免のデータを用いた場合, 高知の推定精度は相関係数, RMSE とともに1つ目の手法の時より低くなり, 室戸岬は相関関係を示さずばらつきが大きくなった。四国9箇所の気象官署のデータを用いた場合, 高知の推定精度は相関係数, RMSE とともにさらに低くなったが室戸岬は, ばらつきが小さくなり正の相関を示すようになった。アメダスデータに加えて GIS データを用いた場合も1つ目の手法よりも精度が高くなることはなかった。従って, 現状のモデルでは空間分解能の向上は難しいことが明らかになった。

推定精度は気圧面ごとの MSM 可降水量から推定した相対湿度が本研究の中で最も精度が高く, 既存データである MSM GPV 湿度データよりも高くなった。

参考文献

- [1] 「アメダスの観測種目が変わります (報道発表資料)」, 気象庁ホームページ, 令和3年2月26日
- [2] 赤塚慎, 大吉慶, 竹内渉: 可降水量データによる地表付近の相対湿度の推定, 日本写真測量学会平成25年度秋季学術講演会発表論文集, pp.75-78, 福井, 2013年11月
- [3] 植山秀紀: 気温・日射量・相対湿度・基準蒸発散量の50mメッシュデータ作成アプリケーション群の開発, 農研機構研究報告 西日本農業研究センター, 19号, pp.13-43, 2019年
- [4] 横山克至, 井尻勉, 藤田晴久, 羽柴輝良: アメダスデータを利用した相対湿度の推定法, 日本植物病理学会報 58巻 第3号, pp.473-475, 1992
- [5] 小野雅司, 登内道彦: 通常観測気象要素を用いたWBGT (湿球黒球温度) の推定, 日本生気象学会雑誌 50巻 4号, pp.147-157, 2014
- [6] コンクリート構造物の長期性能シミュレーションソフト作成委員会: コンクリート構造物の長期性能評価ー環境外力の評価手法ー, 委員会報告 50巻10号, pp946-950, 2012
- [7] S. Akatsuka, J. Susaki, and M. Takagi, Estimation of Precipitable Water Using Numerical Prediction Data, Eng. J., vol. 22, no. 3, pp. 257-268, Jun. 2018.
- [8] Reitan, Clauton H, Surface Dew Point and Water Vapor Aloft, Journal of Applied Meteorology, vol. 2, Issue 6, pp.776-779, December 1963.
- [9] 京都大学生存圏研究所グローバル大気観測データ 気象庁データ http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadata/gpv-ne_tcdf.html
- [10] 気象庁気象統計データ <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- [11] バイオウェザー・お天気豆知識, いであ株式会社 <https://www.bioweather.net/column/weather/contents/mame059.htm>

5 謝辞

本研究を進めていくに当たり、有益なご指導を頂きました高知工科大学の赤塚慎先生、高木正隆先生、西内裕晶先生、田島昌樹先生に感謝の意を表します。

また、共に修士の学生として同じ研究室の石川恵大には多くの相談に乗っていただきました。心より感謝しています。

最後に、支えてくれた家族や友人に感謝の意を表します。