

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年1月20日(20.01.2022)



(10) 国際公開番号
WO 2022/014229 A1

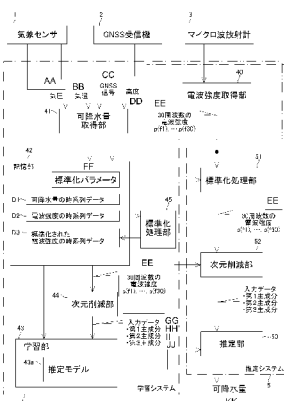
- (51) 国際特許分類:
G01W 1/00 (2006.01) G01W 1/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/022472
- (22) 国際出願日: 2021年6月14日(14.06.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2020-120319 2020年7月14日(14.07.2020) JP
- (71) 出願人: 古野電気株式会社 (FURUNO ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6628580 兵庫県西宮市芦原町9番52号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 岩堀太紀(IWAHORI, Taiki); 〒6628580 兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内 Hyogo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: PRECIPITABLE WATER ESTIMATION MODEL LEARNING SYSTEM, PRECIPITABLE WATER ESTIMATION SYSTEM, METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 可降水量推定モデルの学習システム、可降水量推定システム、方法及びプログラム



- 1 Weather sensor
- 2 GNSS receiver
- 3 Microwave radiometer
- 4 Learning system
- 5 Estimation system
- 40 Radio wave intensity acquisition part
- 41 Precipitable water acquisition part
- 42 Storage part
- 43 Learning part
- 43a Estimation model
- 44, 51 Dimension reduction part
- 50 Estimation part
- D1 Precipitable water time series data
- D2 Radio wave intensity time series data
- D3 Standardized radio wave intensity time series data
- AA Atmospheric pressure
- BB Temperature
- CC GNSS signal
- DD Altitude
- EE Radio wave intensity for 30 frequencies
- FF Standardization parameter
- GG Input data
- HH First main component
- II Second main component
- JJ Third main component
- KK Precipitable water

(57) Abstract: Provided is a technology capable of observing water vapor in a local range without requiring calibration using liquid nitrogen. A precipitable water estimation model learning system (4) comprises: a radio wave intensity acquisition part (40) for acquiring a radio wave intensity for a plurality of wave frequencies among radio waves received by a microwave radiometer (3); a precipitable water acquisition part (41) for acquiring precipitable water calculated on the basis of an atmospheric delay of a GNSS signal received by a GNSS receiver (2); and a learning part (43) for causing an estimation model (43a) to machine learn such that precipitable water is outputted on the basis of the radio wave intensity for the plurality of wave frequencies and the precipitable water at a plurality of times in a predetermined period, and using, as input, input data based on the radio wave intensity for the plurality of wave frequencies.

(57) 要約: 液体窒素を用いたキャリブレーションを不要とし、且つ局所的な範囲の水蒸気を観測可能な技術を提供する。可降水量推定モデルの学習システム(4)は、マイクロ波放射計(3)が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する電波強度取得部(40)と、GNSS受信機(2)が受信したGNSS信号の大気遅延に基づいて算出される可降水量を取得する可降水量取得部(41)と、所定期間における複数時点の複数の周波数の電波強度と可降水量とに基づいて、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように推定モデル(43a)を機械学習させる学習部(43)と、を備える。

WO 2022/014229 A1

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：

可降水量推定モデルの学習システム、可降水量推定システム、方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、可降水量推定モデルの学習システム、可降水量推定システム、方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 可降水量の観測、すなわち水蒸気観測には、GNSS受信機、マイクロ波放射計などを用いることが知られている。

[0003] GNSS受信機による水蒸気観測は、衛星から放射される多周波数の電波を利用する。2つ以上の異なる周波数の電波であって4つ以上の衛星から放射された電波を受信できれば、電波の遅延量を捉えることができる。電波の遅延量は、水蒸気量に対応しており、水蒸気量を観測可能となる。GNSS (Global Navigation Satellite System; 全球測位衛星システム) を用いた水蒸気観測は、キャリブレーションレスで安定して計測することができる。しかし、GNSSにより全天の様々な配置されている衛星を使用するため、上空の広範囲の水蒸気の平均値を得ることができるが、局所的な範囲の水蒸気を観測することができない。なお、特許文献1には、GNSSによる水蒸気観測について記載されている。

[0004] マイクロ波放射計による水蒸気観測は、大気中の水蒸気から電波が放射されることを利用しており、水蒸気や雲からの電波を計測する。受信機のアンテナやホーンの指向性によりGNSSによる水蒸気観測に比べて上空の局所的な範囲の水蒸気を計測することができる。しかし、機器のドリフトの防止および正しい輝度温度を計測するために定期的に液体窒素を用いたキャリブレーションが必要となる。液体窒素は運搬や取り扱いが困難である。なお、特許文献2には、マイクロ波放射計についての記載がある。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2010-60444号公報
特許文献2：米国特許出願公開第2014/0035779号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 本開示は、液体窒素を用いたキャリブレーションを不要とし、且つ局所的な範囲の可降水量を観測可能にするための技術を提供する。

課題を解決するための手段

- [0007] 本開示の可降水量推定モデルの学習システムは、マイクロ波放射計が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する電波強度取得部と、GNSS受信機が受信したGNSS信号の大気遅延に基づいて算出される可降水量を取得する可降水量取得部と、所定期間における複数時点の前記複数の周波数の電波強度と前記可降水量とに基づいて、前記複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として前記可降水量を出力するように推定モデルを機械学習させる学習部と、を備える。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]実施形態の可降水量推定モデルの学習システムおよび可降水量推定システムの構成を示すブロック図。
[図2]学習システムが実行する処理を示すフローチャート。
[図3]可降水量推定システムが実行する処理を示すフローチャート。
[図4]マイクロ波放射計が受信する電波強度の周波数スペクトラムを示す図。
[図5]可降水量推定システムが推定したある期間の可降水量と、同期間のSondeデータによる可降水量との比較を示す図。

発明を実施するための形態

- [0009] 以下、本開示の一実施形態を、図面を参照して説明する。
[0010] 図1は、本実施形態の可降水量推定モデルの学習システム4および可降水

量推定システム5の構成を示す図である。

[0011] 図1に示すように本実施形態では、可降水量推定モデルの学習システム4および可降水量推定システム5が、同じコンピュータシステム上に構築されているが、個々に独立して運用することが可能である。すなわち、学習システム4のみを実装してもよく、可降水量推定システム5のみを実装してもよい。

[0012] <学習システム4>

図1に示す学習システム4は、電波強度取得部40と、可降水量取得部41と、学習部43と、を有する。

[0013] 図1に示す電波強度取得部40は、マイクロ波放射計3が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する。本実施形態では、18GHz以上且つ26.5GHzのうち、N個(N=30)の異なる周波数の電波強度を取得している。電波強度取得部40は、30個の異なる周波数($f_1, f_2, \dots, f_{29}, f_{30}$)の電波強度 $[p(f_1), p(f_2), \dots, p(f_{29}), p(f_{30})]$ を取得する。ここで、電波強度 $p(f)$ と示し、 f は周波数を示す。電波強度取得部40が取得した複数の周波数の電波強度は、記憶部42に電波強度の時系列データD2として記憶される。

[0014] 図3に示すように、上空の水蒸気及び雲水から放射される電波の強度のピークが22GHzである。図3において、マイクロ波放射計3の受信強度 $p(f)$ と示し、 f は周波数を示す。例えば、22GHzの電波には、可降水量すなわち水蒸気成分と、雲水成分とが含まれる。22GHzの電波に含まれる雲水量を除去するために、22GHz以外の周波数の電波強度から雲水成分を算出することになる。したがって、互いに異なる複数の周波数の電波強度が必要となる。なお、例示として、22GHzを示したが、水蒸気成分と雲水成分は、22GHz以外の周波数にも含まれるために、周波数の組み合わせは、22GHzと22GHz以外の周波数との組に限定されない。なお、本実施形態では、N=30としているが、Nの数は適宜変更可能である。また、周波数範囲は、22GHz又は22GHzの前後±1GHzが含ま

れていることが好ましい。本実施形態では、 $N = 30$ であるが、これに限定されない。水蒸気成分及び雲水成分の特定精度を向上させるために、 N は3以上の自然数であることが好ましい。

[0015] なお、本実施形態では、マイクロ波放射計3のアンテナの受信範囲に黒体をアクチュエータで定期的に通過させ、強度が既知である黒体からの電波と、上空からの電波を受信している。マイクロ波放射計3の受信強度 $p(f)$ は、上空からの電波強度 $p_s(f)$ - 黒体からの電波強度 $p_b(f)$ である。勿論、マイクロ波放射計3はこれに限定されず、ミラーを定期的に動かして、黒体からの電波を受信するようにしてもよい。

[0016] 図1に示す可降水量取得部41は、GNSS受信機2が受信したGNSS信号の大気遅延（厳密には対流圏遅延である）に基づいて算出される可降水量を取得する。GNSSによる可降水量（PWV ; Precipitable Water Vapor）は、GNSS信号、高度などの座標値、気温、気圧に基づき算出可能であることが知られている。可降水量取得部41は、GNSS受信機2から得られるGNSS信号及び高度情報、気象センサ1から得られる気温及び気圧を用いてGNSS可降水量を取得する。可降水量取得部41が取得したGNSS可降水量は、記憶部42にGNSSの可降水量の時系列データD1として記憶される。

[0017] 図1に示す学習部43は、可降水量の時系列データD1と電波強度の時系列データD2とに基づいて、推定モデル43aを機械学習させる。具体的には、学習部43は、所定期間における複数時点の複数の周波数の電波強度と可降水量とに基づいて、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように推定モデル43aを機械学習させる。学習部43が用いる教師データセットは、ある時点 t における可降水量と、同時点 t における複数の周波数の電波強度 $[p(f_1), p(f_2), \dots, p(f_{29}), p(f_{30})]$ に基づく入力データとが関連付けられたデータである。入力データは、複数の周波数の電波強度に基づくデータであれば、複数周波数の電波強度そのものでもよいし、複数周波数の電波強度を次元削減

したデータでもよい。推定モデル43aは、教師有りの機械学習モデルであれば、線形回帰、回帰木、ランダムフォレスト、サポートベクターマシン、ニューラルネットワーク、アンサンブル等の種々のモデルが利用可能である。本実施形態では、後で詳細に説明するが、二次以上の項を用いた多項式回帰であり、複数種類の変数を有する重回帰を採用しているが、これに限定されない。

[0018] 図1に示すように、学習システム4は、複数の周波数の電波強度に対して次元削減処理を実行し、複数の周波数の電波強度を示す次元削減した入力データを算出する次元削減部44を有することが好ましい。次元削減をすることによって、複数の周波数の電波強度に表れる元の特徴を再現しつつ次元数を低減でき、計算コストの低減と次元の呪い（過学習）の回避が可能となる。本実施形態の次元削減手法は、主成分分析（PCA:Principal Component Analysis）であるが、これに限定されず、例えば、因子分析、多因子分析、Auto encoder、独立成分分析、非負値行列因子分解などの他のアルゴリズムを利用可能である。

[0019] 本実施形態において次元削減部44は、主成分分析を用い、第1主成分、第2主成分及び第3主成分を入力データとして選択している。勿論、これに限定されず、種々変更可能である。例えば、入力データを主成分分析の第1主成分のみとしてもよいし、第1及び第2主成分としてもよい。すなわち、第1順位以降の所定数（1以上の任意の自然数）の主成分が入力データとして選択される。所定数は、要求精度に応じて適宜設定可能である。第1主成分が必ず含まれるのは、第1主成分の元の特徴の再現度が最も高いからである。

[0020] 図1に示す標準化処理部45は、主成分分析による次元削減処理の前に、複数時点の複数の周波数の電波強度 $[p(f_1), p(f_2), \dots, p(f_{29}), p(f_{30})]$ に対して標準化処理を実行する。標準化処理部45は、記憶部42に記憶されている電波強度の時系列データD2に対して標準化処理を実行し、標準化された電波強度の時系列データD3を記憶部42に

記憶する。標準化処理は、平均値を0にするセンタリングと、標準偏差を1にするスケーリングと、を行うための処理である。標準化処理は、複数時点の電波強度それぞれについて平均値及び標準偏差を算出し、元データから平均値を引いた値を標準偏差で割ることで、各々の元の電波強度を標準化された電波強度に変換する。算出された平均値及び標準偏差は、後述する可降水量推定システム5の標準化処理で用いるための標準化パラメータとして記憶部42に記憶される（図1参照）。

[0021] なお、本実施形態の学習システム4は、次元削減部44及び標準化処理部45を有するが、これらは省略可能である。

[0022] <学習部43及び推定モデル43aの具体例>

図1に示す学習部43は、第1主成分PC1、第2主成分PC2及び第3主成分PC3を入力データとして、可降水量（PWV）を算出するための推定モデル43aを構築する。推定モデル43aは、重回帰を用いた変換式であり、次に示す式（1）で表現される。最小二乗法を用いたフィッティングにより、下記の未知の係数 $S_1 \sim S_{10}$ を算出して、推定モデル43aを構築する。

[数1]

$$PWV = func(PC1, PC2, PC3)$$

$$= (S_1 \ S_2 \ S_3 \ S_4 \ S_5 \ S_6 \ S_7 \ S_8 \ S_9 \ S_{10}) \begin{pmatrix} PC1^2 \\ PC2^2 \\ PC3^2 \\ PC1 \\ PC2 \\ PC3 \\ PC1 \cdot PC2 \\ PC1 \cdot PC3 \\ PC2 \cdot PC3 \\ 1 \end{pmatrix} \dots (1)$$

[0023] <可降水量推定システム5>

図1に示す可降水量推定システム5は、電波強度取得部40と、推定部5

0と、を有する。推定部50は、学習部43が構築した推定モデル43aを用い、電波強度取得部40が取得した複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力し、対応する可降水量を出力する。推定部50に対して、推定時点の複数の周波数の電波強度 $[p(f_1), p(f_2), \dots, p(f_{29}), p(f_{30})]$ を入力してもよいが、精度向上のために、標準化処理部51及び次元削減部52を設けることが好ましい。

[0024] 図1に示す標準化処理部51は、次元削減部52による次元削減処理の前に、予め定められたパラメータを用いて、複数の周波数の電波強度に対して標準化処理を実行する。標準化パラメータは、学習システム4の標準化処理部45が算出したパラメータ（平均値、標準偏差）である。標準化処理部51は、パラメータ（平均値、標準偏差）を算出しないが、それ以外の処理は、学習システム4の標準化処理部45と同じである。

[0025] 図1に示す次元削減部52は、複数の周波数の電波強度に対して次元削減処理を実行し、複数の周波数の電波強度を示す次元削減した入力データを算出する。次元削減部52は、学習システム4の次元削減部44が算出したパラメータと同じパラメータを用いる。

[0026] <可降水量推定モデルの学習方法>

可降水量推定モデルの学習方法について図2を用いて説明する。図2に示すように、ステップST100において、電波強度取得部40は、マイクロ波放射計が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する。ステップST101において、可降水量取得部41は、GNSS受信機が受信したGNSS信号の大気遅延に基づいて算出される可降水量を取得する。ステップST100及びST101は順不同である。

[0027] 次のステップST102において、標準化処理部45は、複数時点の複数の周波数の電波強度に対して標準化処理を実行する。

次のステップST103において、次元削減部44は、主成分分析により、複数の周波数の電波強度に対して次元削減処理を実行し、複数の周波数の電波強度を示す次元削減した入力データを算出する。

次のステップS T 1 0 4において、学習部4 3は、所定期間における複数時点の複数の周波数の電波強度と可降水量とに基づいて、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように推定モデルを機械学習させる。

[0028] <可降水量推定方法>

可降水量推定方法について図3を用いて説明する。図3に示すように、ステップS T 2 0 1において、電波強度取得部4 0は、マイクロ波放射計が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する。

次のステップS T 2 0 2において、標準化処理部5 1は、複数の周波数の電波強度に対して標準化処理を実行する。

次のステップS T 2 0 3において、次元削減部5 2は、主成分分析により、複数の周波数の電波強度に対して次元削減処理を実行し、複数の周波数の電波強度を示す次元削減した入力データを算出する。

次のステップS T 2 0 4において、推定部5 0は、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように機械学習された推定モデル4 3 aを用いて、取得された複数の周波数の電波強度に基づく入力データに対応する可降水量を出力する。

[0029] 図5は、学習システム4で構築した推定モデル及び可降水量推定システム5が推定したある期間の可降水量と、同期間のS o n d eデータによる可降水量との比較を示す図である。S o n d eデータは、日本国気象庁によって公開されているデータであって、センサを取り付けた実気球を上空に飛ばして計測した実際の気象観測値である。図5に示すように、R M S E (Root Mean Square Error) が1. 8 mmとなっており、ある程度の精度が得られていることが分かる。

[0030] また、本手法は、複数の周波数の電波強度を取得するので、汎用の雑音温度が高いアンプリファイアを採用することによって一部の周波数の電波強度にノイズが含まれたとしても、複数の周波数を用いているので、ノイズの影響を抑えることができる。よって、例えば、特定の2つの周波数を用いて所

定演算式により可降水量を推定する場合に比べて、ノイズに対して強くなると考えられる。逆に言えば、多少ノイズが含まれても、複数の周波数でカバーできるので、使用する機器に高い性能が必ずしも必要というわけではなく、システムの低コスト化を図ることが可能となる。

[0031] 以上のように、本実施形態の可降水量推定モデルの学習システム4は、マイクロ波放射計3が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する電波強度取得部40と、GNSS受信機2が受信したGNSS信号の大気遅延に基づいて算出される可降水量を取得する可降水量取得部41と、所定期間における複数時点の複数の周波数の電波強度と可降水量とに基づいて、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように推定モデル43aを機械学習させる学習部43と、を備える。

[0032] 本実施形態の可降水量推定モデルの学習方法は、マイクロ波放射計3が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得することと、GNSS受信機2が受信したGNSS信号の大気遅延に基づいて算出される可降水量を取得することと、所定期間における複数時点の複数の周波数の電波強度と可降水量とに基づいて、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように推定モデル43aを機械学習させることと、を含む。

[0033] 本実施形態の可降水量推定システムは、マイクロ波放射計3が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する電波強度取得部40と、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように機械学習された推定モデル43aを用いて、取得された複数の周波数の電波強度に基づく入力データに対応する可降水量を出力する推定部50と、を備える。

[0034] 本実施形態の可降水量推定方法は、マイクロ波放射計3が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得することと、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように機械学習された推定モデル43aを用いて、取得された複数の周波数の電波強度に基づく入

カデータに対応する可降水量を出力することと、を含む。

[0035] 上記学習方法、推定方法及びシステムによれば、複数の周波数の電波強度に基づく入力データを用いて機械学習させるので、電波強度に水蒸気量と雲水との両方が含まれるために単一周波数では解明できなかった電波強度と可降水量の相関関係を、機械学習で明らかにすることができ、水蒸気量（可降水量）を推定可能となる。それでいて、所定期間における複数時点の電波強度とGNSSに基づく可降水量を用いているので、マイクロ波放射計に基づく絶対値があっていない局所的な水蒸気のデータを、絶対値が合致している信頼性のある局所的な水蒸気データに変換できる。マイクロ波放射計の液体窒素によるキャリブレーションをしなくても、信頼性の高いデータを取得可能となる。

[0036] 本実施形態のように、複数の周波数の電波強度に対して次元削減処理を実行し、複数の周波数の電波強度を示す次元削減した入力データを算出する次元削減部44, 52を備えることが好ましい。

このように次元削減によって、複数の周波数のうち、受信機の性能が良い部分で処理された感度の良い周波数が選び出されるので、汎用の安価なアンテナを用いても推定が可能になる。すなわち、次元削減を行わない場合には、受信機の性能が悪い部分で処理された感度の悪い周波数帯が推定に直接利用され、感度の悪い周波数帯のデータは推定精度に悪影響を与えてしまう。次元削減によって、複数の周波数から感度の悪い周波数を手動で除くなどの手間を省くことが可能になり、それでいて、推定精度の悪化を回避可能となる。

[0037] 本実施形態のように、次元削減部44, 52は、主成分分析により次元削減を行い、第1順位以降の所定数の主成分を入力データに選択することが好ましい。

このように、次元削減として主成分分析を用いることが好適である。

[0038] 本実施形態の学習システム4のように、次元削減部44による次元削減処理の前に、複数時点の複数の周波数の電波強度に対して標準化処理を実行す

る標準化処理部45を備えることが好ましい。

本実施形態の可降水量推定システム5のように、次元削減部52による次元削減処理の前に、予め定められた標準化パラメータを用いて、複数の周波数の電波強度に対して標準化処理を実行する標準化処理部51を備えることが好ましい。

これにより、適切な次元削減が可能となり、推定精度を向上させることが可能となる。

[0039] 本実施形態のように、電波強度取得部40は、N個の異なる周波数の電波強度を取得し、Nは3以上の自然数であり、次元削減部44, 52は、N個の周波数の電波強度を、N個よりも小さい数の入力データに次元削減することが好ましい。

このように、次元削減によって、N個の周波数の電波強度に表れる元の特徴を再現しつつ次元数を低減でき、計算コストの低減と次元の呪い（過学習）の回避が可能となる。

[0040] 本実施形態のプログラムは、上記方法をコンピュータ（1又は複数のプロセッサ）に実行させるプログラムである。また、本実施形態に係るコンピュータに読み取り可能な一時記録媒体は、上記プログラムを記憶している。

[0041] 以上、本開示の実施形態について図面に基づいて説明したが、具体的な構成は、これらの実施形態に限定されるものでないと考えられるべきである。本開示の範囲は、上記した実施形態の説明だけではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

[0042] 上記の各実施形態で採用している構造を他の任意の実施形態に採用することは可能である。

[0043] 各部の具体的な構成は、上述した実施形態のみに限定されるものではなく、本開示の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形が可能である。

符号の説明

[0044] 4 学習システム

- 4 0 電波強度取得部
- 4 1 可降水量取得部
- 4 3 学習部
- 4 4 次元削減部
- 4 5 標準化処理部
- 5 可降水量推定システム
- 5 0 推定部
- 5 1 標準化処理部
- 5 2 次元削減部

請求の範囲

- [請求項1] マイクロ波放射計が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する電波強度取得部と、
- GNSS受信機が受信したGNSS信号の大気遅延に基づいて算出される可降水量を取得する可降水量取得部と、
- 所定期間における複数時点の前記複数の周波数の電波強度と前記可降水量とに基づいて、前記複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として前記可降水量を出力するように推定モデルを機械学習させる学習部と、
- を備える、可降水量推定モデルの学習システム。
- [請求項2] 請求項1に記載のシステムであって、
- 前記複数の周波数の電波強度に対して次元削減処理を実行し、前記複数の周波数の電波強度を示す次元削減した前記入力データを算出する次元削減部を備える、可降水量推定モデルの学習システム。
- [請求項3] 請求項2に記載のシステムであって、
- 前記次元削減部は、主成分分析により前記次元削減を行い、第1順位以降の所定数の主成分を前記入力データに選択する、可降水量推定モデルの学習システム。
- [請求項4] 請求項2又は3に記載のシステムであって、
- 前記次元削減部による前記次元削減処理の前に、前記複数時点の前記複数の周波数の電波強度に対して標準化処理を実行する標準化処理部を備える、可降水量推定モデルの学習システム。
- [請求項5] 請求項2乃至4のいずれか一項に記載のシステムであって、
- 前記電波強度取得部は、N個の異なる周波数の電波強度を取得し、前記Nは3以上の自然数であり、
- 前記次元削減部は、前記N個の周波数の電波強度を、前記N個よりも小さい数の前記入力データに次元削減する、可降水量推定モデルの学習システム。

- [請求項6] マイクロ波放射計が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得する電波強度取得部と、
- 前記複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように機械学習された推定モデルを用いて、前記取得された複数の周波数の電波強度に基づく入力データに対応する前記可降水量を出力する推定部と、
- を備える、可降水量推定システム。
- [請求項7] 請求項6に記載のシステムであって、
- 前記複数の周波数の電波強度に対して次元削減処理を実行し、前記複数の周波数の電波強度を示す次元削減した前記入力データを算出する次元削減部を備える、可降水量推定システム。
- [請求項8] 請求項7に記載のシステムであって、
- 前記次元削減部は、主成分分析により前記次元削減を行い、第1順位以降の所定数の主成分を前記入力データに選択する、可降水量推定システム。
- [請求項9] 請求項7又は8に記載のシステムであって、
- 前記次元削減部による前記次元削減処理の前に、予め定められた標準化パラメータを用いて、前記複数の周波数の電波強度に対して標準化処理を実行する標準化処理部を備える、可降水量推定システム。
- [請求項10] 請求項7乃至9のいずれか一項に記載のシステムであって、
- 前記電波強度取得部は、N個の異なる周波数の電波強度を取得し、前記Nは3以上の自然数であり、
- 前記次元削減部は、前記N個の周波数の電波強度を、前記N個よりも小さい数の前記入力データに次元削減する、可降水量推定システム。
- [請求項11] マイクロ波放射計が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得することと、
- GNSS受信機が受信したGNSS信号の大气遅延に基づいて算出

される可降水量を取得することと、

所定期間における複数時点の前記複数の周波数の電波強度と前記可降水量とに基づいて、前記複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として前記可降水量を出力するように推定モデルを機械学習させることと、

を含む、可降水量推定モデルの学習方法。

[請求項12]

マイクロ波放射計が受信した電波のうち、複数の周波数の電波強度を取得することと、

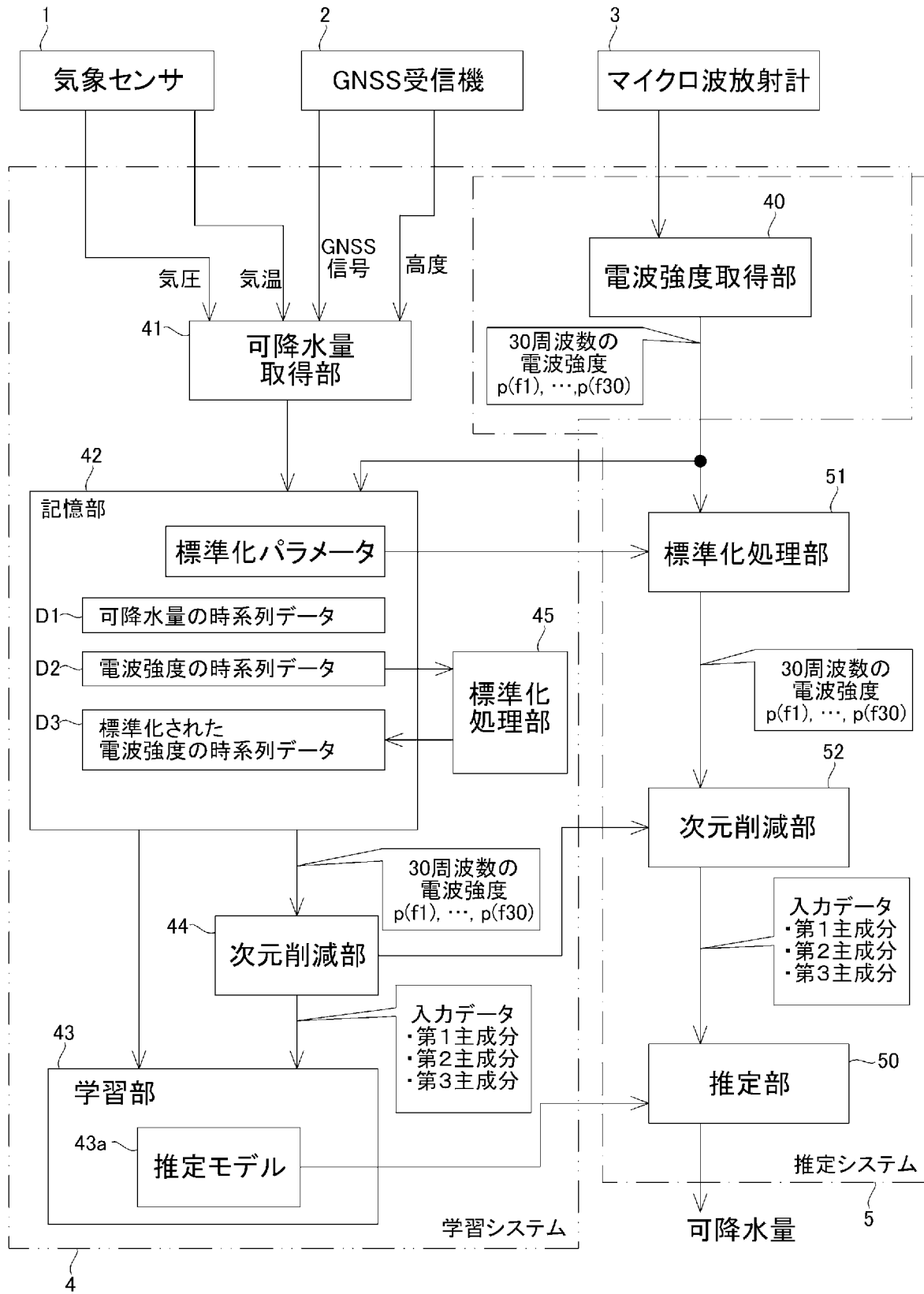
前記複数の周波数の電波強度に基づく入力データを入力として可降水量を出力するように機械学習された推定モデルを用いて、前記取得された複数の周波数の電波強度に基づく入力データに対応する前記可降水量を出力することと、

を含む、可降水量推定方法。

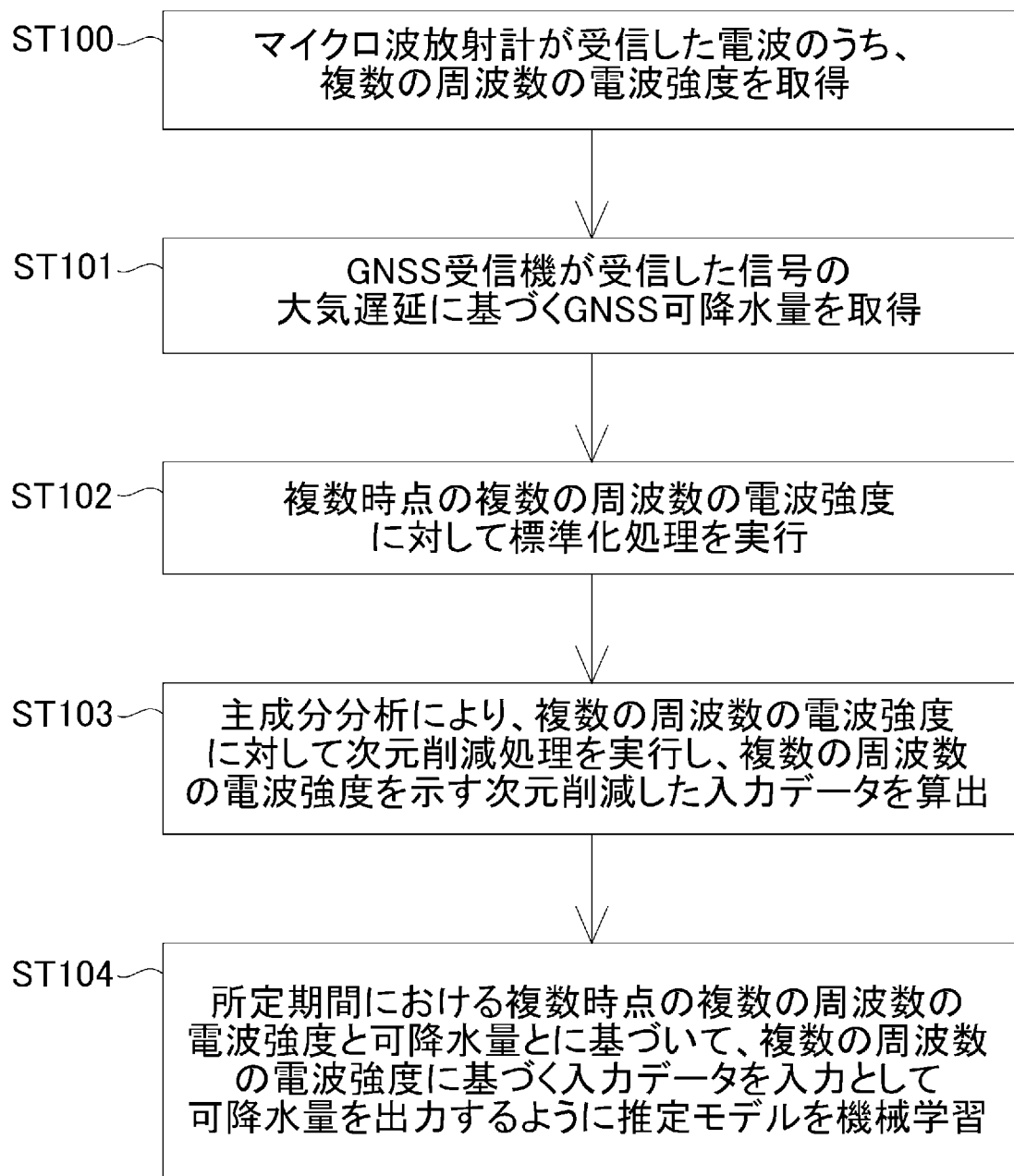
[請求項13]

請求項11又は12に記載の方法を1又は複数のプロセッサに実行させる、プログラム。

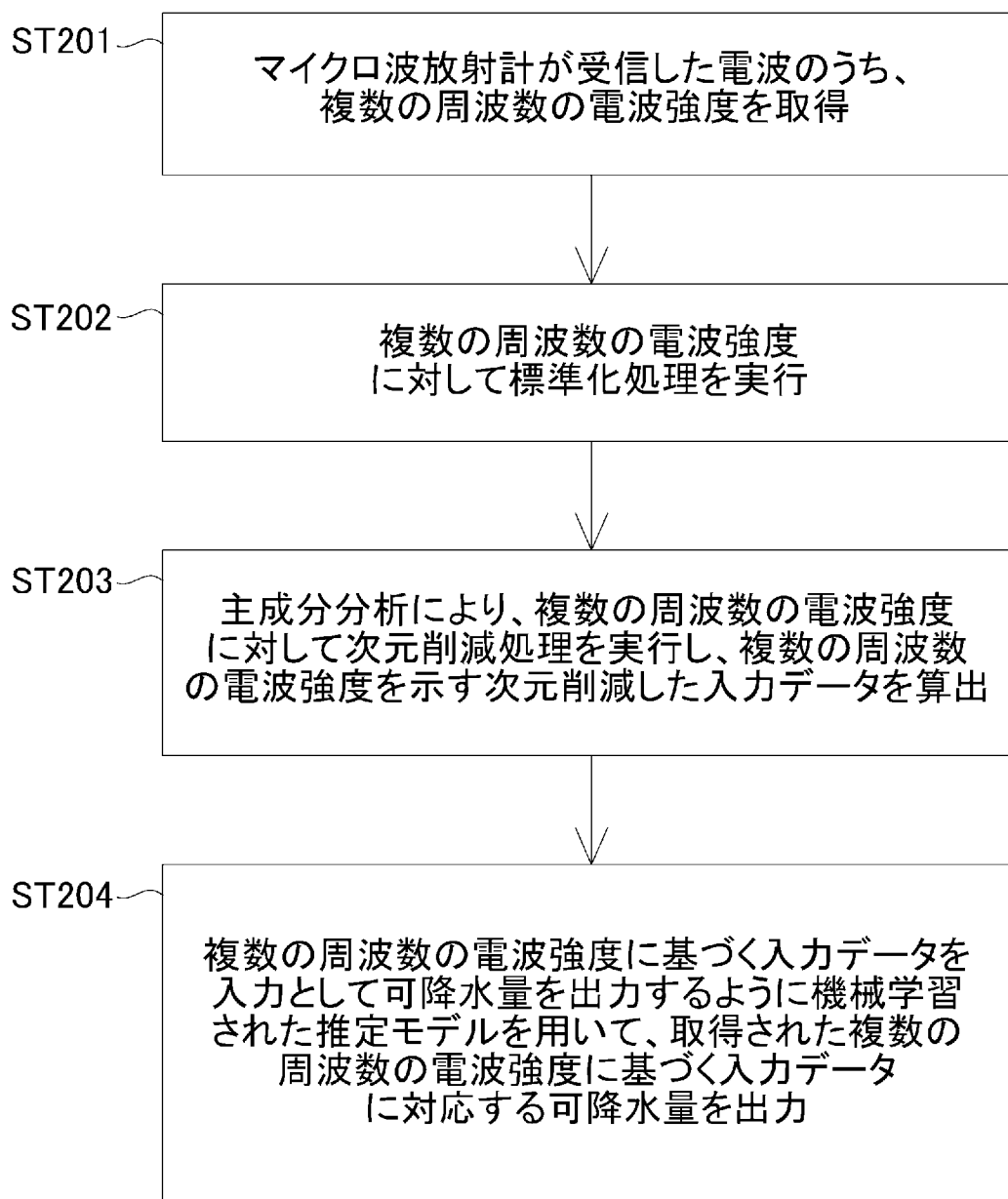
[図1]



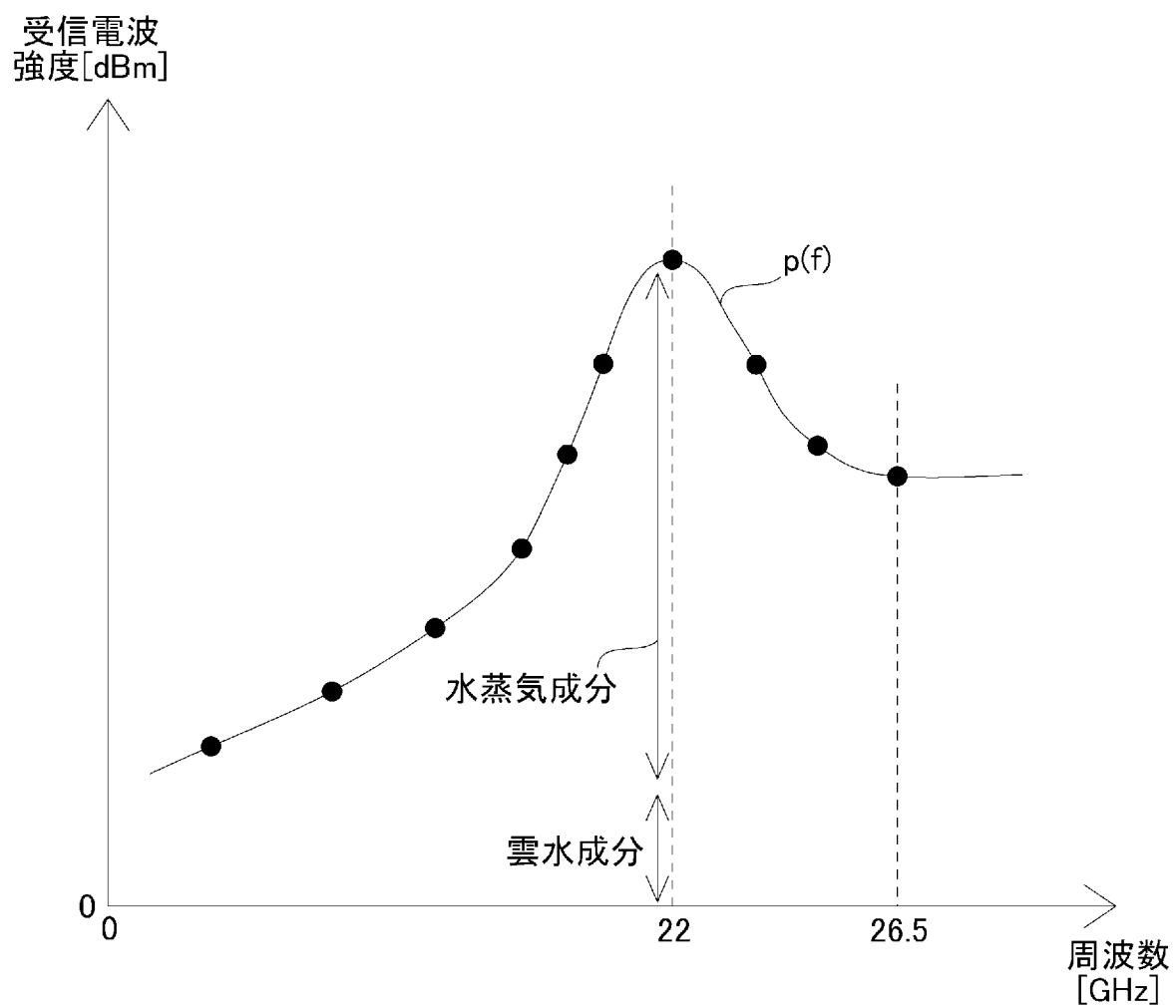
[図2]



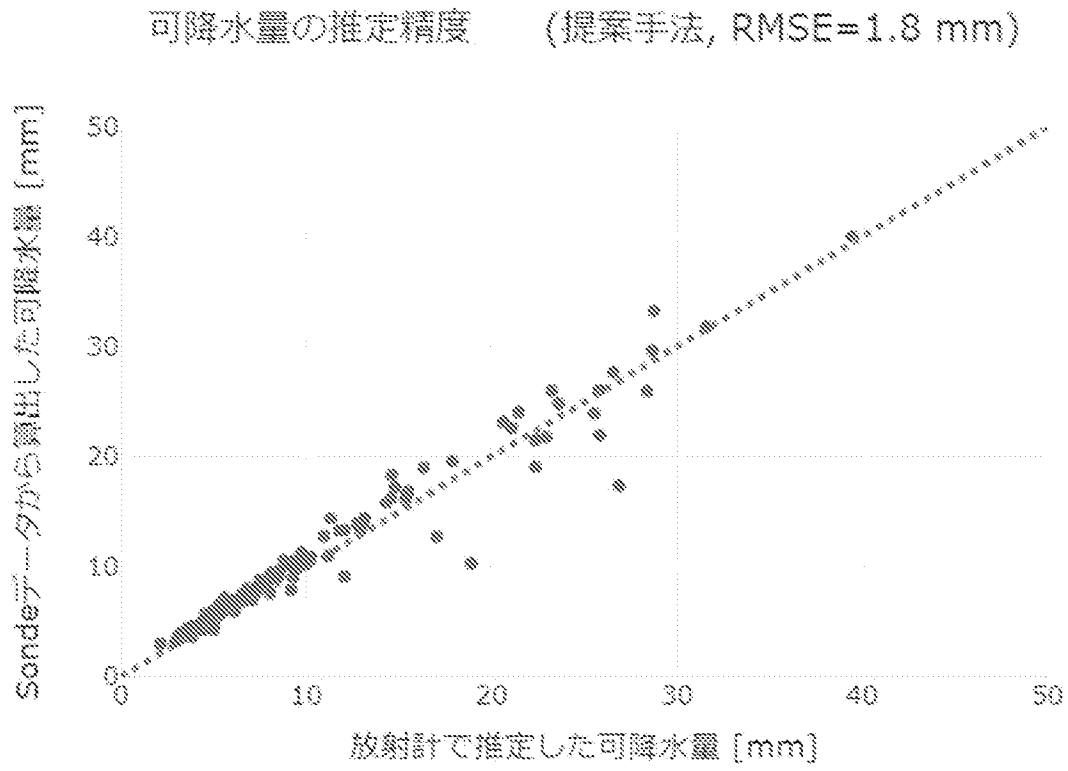
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/022472

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01W1/00 (2006.01) i, G01W1/14 (2006.01) i
 FI: G01W1/14E, G01W1/00C

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01W1/00, G01W1/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-72308 A (KOREA METEOROLOGICAL ADMINISTRATION) 10 May 2018 (2018-05-10), paragraphs [0019]-[0041], etc., particularly, paragraphs [0028], [0033], [0036], etc.	1-13
A	JP 2010-60444 A (JAPAN WEATHER ASSOCIATION) 18 March 2010 (2010-03-18), paragraphs [0007], [0031], [0032], etc.	1-13
A	JP 2017-207459 A (FURUMOTO, Junichi) 24 November 2017 (2017-11-24), paragraphs [0044]-[0046], etc.	1-13
A	JP 2018-197734 A (YASUDA DENKI DANBOU CO., LTD.) 13 December 2018 (2018-12-13), paragraphs [0008], [0009], etc.	1-13

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
 04 August 2021

Date of mailing of the international search report
 24 August 2021

Name and mailing address of the ISA/
 Japan Patent Office
 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
 Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

 Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/022472

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5999121 A (SALONEN, P.) 07 December 1999 (1999-12-07), abstract, column 1, lines 24-46, column 4, line 38 to column 5, line 18, column 7, line 38-47, etc.	1-13
A	JP 7-146375 A (NISSIN ELECTRIC CO., LTD.) 06 June 1995 (1995-06-06), paragraphs [0027]-[0032], etc.	1-13
A	US 2014/0035779 A1 (RADIOMETRICS CORPORATION) 06 February 2014 (2014-02-06), entire text, all drawings	1-13
A	JP 9-257951 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 03 October 1997 (1997-10-03), entire text, all drawings	1-13
A	JP 2008-14939 A (EKO INSTRUMENTS CO., LTD.) 24 January 2008 (2008-01-24), paragraph [0050], fig. 15, etc.	1-13
P, X	WO 2020/230501 A1 (FURUNO ELECTRIC CO., LTD.) 19 November 2020 (2020-11-19), paragraphs [0013], [0021], [0043]	1, 6, 11-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/022472

JP 2018-72308 A	10 May 2018	US 2018/0113211 A1 paragraphs [0022]-[0046], etc., particularly, paragraphs [0032], [0037], [0041], etc. EP 3312630 A1 KR 10-2018-0044537 A
JP 2010-60444 A	18 March 2010	(Family: none)
JP 2017-207459 A	24 November 2017	(Family: none)
JP 2018-197734 A	13 December 2018	(Family: none)
US 5999121 A	07 December 1999	WO 1996/030783 A1
JP 7-146375 A	06 June 1995	(Family: none)
US 2014/0035779 A1	06 February 2014	(Family: none)
JP 9-257951 A	03 October 1997	(Family: none)
JP 2008-14939 A	24 January 2008	(Family: none)
WO 2020/230501 A1	19 November 2020	(Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01W 1/00(2006.01)i; G01W 1/14(2006.01)i FI: G01W1/14 E; G01W1/00 C		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01W1/00; G01W1/14 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2018-72308 A（コリア メテオロロジカル アドミニストレーション）10.05.2018 （2018-05-10） 段落0019-0041等、特に、段落0028, 0033, 0036等	1-13
A	JP 2010-60444 A（一般財団法人日本気象協会）18.03.2010（2010-03-18） 段落0007, 0031-0032等	1-13
A	JP 2017-207459 A（古本 淳一）24.11.2017（2017-11-24） 段落0044-0046等	1-13
A	JP 2018-197734 A（安田電機暖房株式会社）13.12.2018（2018-12-13） 段落0008-0009等	1-13
A	US 5999121 A（SALONEN, Pentti）07.12.1999（1999-12-07） 要約, 第1欄第24行-第46行, 第4欄第38行-第5欄第18行, 第7欄第 38行-第47行等	1-13
A	JP 7-146375 A（日新電機株式会社）06.06.1995（1995-06-06） 段落0027-0032等	1-13
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に 公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若し くは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を 付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の 後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵 触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引 用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性 又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献 との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がな いと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 04.08.2021	国際調査報告の発送日 24.08.2021	
名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/JP） 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 佐野 浩樹 2J 4071 電話番号 03-3581-1101 内線 3252	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2014/0035779 A1 (RADIOMETRICS CORPORATION) 06.02.2014 (2014 - 02 - 06) 全文全図	1-13
A	JP 9-257951 A (日本電信電話株式会社) 03.10.1997 (1997 - 10 - 03) 全文全図	1-13
A	JP 2008-14939 A (英弘精機株式会社) 24.01.2008 (2008 - 01 - 24) 段落 0 0 5 0, 図 1 5 等	1-13
P, X	WO 2020/230501 A1 (古野電気株式会社) 19.11.2020 (2020 - 11 - 19) 段落 0 0 1 3, 0 0 2 1, 0 0 4 3	1, 6, 11-13

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/022472

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2018-72308 A	10.05.2018	US 2018/0113211 A1 段落0022-0046 等、特に、段落0032, 0037, 0041等 EP 3312630 A1 KR 10-2018-0044537 A	
JP 2010-60444 A	18.03.2010	(ファミリーなし)	
JP 2017-207459 A	24.11.2017	(ファミリーなし)	
JP 2018-197734 A	13.12.2018	(ファミリーなし)	
US 5999121 A	07.12.1999	WO 1996/030783 A1	
JP 7-146375 A	06.06.1995	(ファミリーなし)	
US 2014/0035779 A1	06.02.2014	(ファミリーなし)	
JP 9-257951 A	03.10.1997	(ファミリーなし)	
JP 2008-14939 A	24.01.2008	(ファミリーなし)	
WO 2020/230501 A1	19.11.2020	(ファミリーなし)	