

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-47065
(P2021-47065A)

(43) 公開日 令和3年3月25日(2021.3.25)

(51) Int. Cl. F I テーマコード(参考)
GO 1 V 3/12 (2006.01) GO 1 V 3/12 Z 2 G 1 0 5
GO 1 S 13/95 (2006.01) GO 1 S 13/95 5 J 0 7 0

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2019-169006 (P2019-169006)
 (22) 出願日 令和1年9月18日(2019.9.18)

(71) 出願人 504258527
 国立大学法人 鹿児島大学
 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号
 (74) 代理人 100095407
 弁理士 木村 満
 (74) 代理人 100162259
 弁理士 末富 孝典
 (74) 代理人 100168114
 弁理士 山中 生太
 (74) 代理人 100146916
 弁理士 廣石 雅紀
 (72) 発明者 眞木 雅之
 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号
 国立大学法人 鹿児島大学内

最終頁に続く

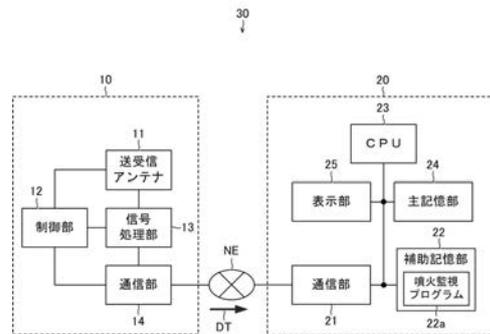
(54) 【発明の名称】 噴火監視システム、噴火監視方法、及び噴火監視プログラム

(57) 【要約】

【課題】火山の噴火口から噴出物が噴出したことを従来よりも迅速に検出できる噴火監視システム、噴火監視方法、及び噴火監視プログラムを提供する。

【解決手段】レーダ装置10は、方位角の方向の拡がり角が仰角の方向の拡がり角よりも大きい扇形の電磁波のビームを、火山の噴火口を通る仮想縦断面に沿って仰角の方向に周期的に繰り返し走査させる一方、対象物からのビームの反射波又は散乱波を受信することにより、ビームの反射又は散乱が生じた位置の対象物の密度を表す観測値と、その反射又は散乱が生じた位置の座標とが対応付けられた観測データDTを生成する。観測データ解析装置20は、レーダ装置10によって生成された観測データDTを解析することにより、火山の噴火口から噴出物が噴出したことを検出する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

方位角の方向の拡がり角が仰角の方向の拡がり角よりも大きい扇形の電磁波のビームを、火山の噴火口を通る仮想縦断面に沿って前記仰角の方向に周期的に繰り返し走査させる一方、対象物からの前記ビームの反射波又は散乱波を受信することにより、前記ビームの反射又は散乱が生じた位置の前記対象物の密度を表す観測値と、その反射又は散乱が生じた位置の座標とが対応付けられた観測データを生成するレーダ装置と、

前記レーダ装置によって生成された前記観測データを解析することにより、前記火山の前記噴火口から噴出物が噴出したことを検出する観測データ解析装置と、
を備える、噴火監視システム。

10

【請求項 2】

前記観測データ解析装置が、
前記噴火口から前記噴出物が噴出したことを検出した場合に、前記観測データを用いて、前記噴出物の噴出高度を求める噴出高度特定処理を行う、
請求項 1 に記載の噴火監視システム。

【請求項 3】

前記観測データ解析装置が、
前記レーダ装置による前記ビームの、前記仰角の方向の走査の周期と等しい時間間隔で前記噴出高度特定処理を繰り返し行うことにより、前記噴出高度の時間変化を表す噴出高度時系列データを生成する、
請求項 2 に記載の噴火監視システム。

20

【請求項 4】

前記観測データ解析装置が、
前記噴出高度時系列データを用いて、前記噴出物の上昇速度の時間変化を表す噴出物上昇速度時系列データを生成する、
請求項 3 に記載の噴火監視システム。

【請求項 5】

前記観測データ解析装置が、
前記レーダ装置によって生成された前記観測データから、前記火山に入射した前記ビームの前記反射波又は前記散乱波を表す前記観測値を除去するマスキング処理を行い、前記マスキング処理が施された前記観測データを用いて、前記火山の前記噴火口から前記噴出物が噴出したことを検出する、
請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の噴火監視システム。

30

【請求項 6】

前記観測データ解析装置が、
前記仮想縦断面内における前記噴火口の周囲に位置する噴出検出エリアでの前記観測値を用いて、前記噴出物の噴出の規模を特定する噴出規模特定処理を行う、
請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の噴火監視システム。

【請求項 7】

前記観測データ解析装置が、
前記仮想縦断面内における、前記噴火検出エリアよりも前記噴出物が到達しにくい降水検出エリアでの前記観測値を用いて、降水の度合いを特定する降水度特定処理を行う、
請求項 6 に記載の噴火監視システム。

40

【請求項 8】

前記ビームの、前記方位角の方向の前記拡がり角が 15° 以上であり、
前記レーダ装置による前記ビームの、前記仰角の方向の走査の周期が 3 秒以下である、
請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の噴火監視システム。

【請求項 9】

方位角の方向の拡がり角が仰角の方向の拡がり角よりも大きい扇形の電磁波のビームを、火山の噴火口を通る仮想縦断面に沿って前記仰角の方向に周期的に繰り返し走査させる

50

一方、対象物からの前記ビームの反射波又は散乱波を受信することにより、前記ビームの反射又は散乱が生じた位置の前記対象物の密度を表す観測値と、その反射又は散乱が生じた位置の座標とが対応付けられた観測データを生成するレーダ装置から、前記観測データを取得する取得ステップと、

前記取得ステップで取得した前記観測データを解析することにより、前記火山の前記噴火口から噴出物が噴出したことを検出する観測データ解析ステップと、
を含む、噴火監視方法。

【請求項 10】

方位角の方向の拡がり角が仰角の方向の拡がり角よりも大きい扇形の電磁波のビームを、火山の噴火口を通る仮想縦断面に沿って前記仰角の方向に周期的に繰り返し走査させる一方、対象物からの前記ビームの反射波又は散乱波を受信することにより、前記ビームの反射又は散乱が生じた位置の前記対象物の密度を表す観測値と、その反射又は散乱が生じた位置の座標とが対応付けられた観測データを生成するレーダ装置に、通信可能に接続されたコンピュータに、

前記レーダ装置から前記観測データを取得する取得機能と、

前記取得機能によって取得した前記観測データを解析することにより、前記火山の前記噴火口から噴出物が噴出したことを検出する観測データ解析機能と、

を実現させる、噴火監視プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、噴火監視システム、噴火監視方法、及び噴火監視プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 に開示されているように、火山から放出された噴煙を、気象レーダ装置を用いて観測するシステムが知られている。このシステムにおいて気象レーダ装置は、電磁波のビームを、仰角を保って方位角の方向に 360° 走査させた後、仰角を変更し、変更後の仰角を保って再び方位角の方向に 360° 走査させる動作を繰り返す。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2017 - 067487 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のように、電磁波のビームを、方位角の方向のみならず仰角の方向にも走査させる場合、3次元的に高い空間分解能を得ることはできるが、走査の周期が例えば 5 分程度と長く、時間分解能に劣る。このため、火山から、噴煙、火砕流、火山岩、火山灰、火山礫等の噴出物が噴出したことを迅速に検出するのが困難である。

【0005】

なお、電磁波のビームを、方位角を固定したまま仰角の方向にのみ走査させれば、時間分解能を高めることは可能である。しかし、気象レーダ装置から出射される電磁波のビームは、直線状に細く絞られているため、これを仰角の方向にのみ走査させる場合、観測可能な領域が著しく狭小化される。従って、噴出物を見落とす確率が高くなる。噴出物を見落とす場合には、噴出の検出が遅れることとなる。

【0006】

本発明の目的は、火山の噴火口から噴出物が噴出したことを従来よりも迅速に検出できる噴火監視システム、噴火監視方法、及び噴火監視プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

10

20

30

40

50

上記目的を達成するために、本発明に係る噴火監視システムは、
方位角の方向の拡がり角が仰角の方向の拡がり角よりも大きい扇形の電磁波のビームを、火山の噴火口を通る仮想縦断面に沿って前記仰角の方向に周期的に繰り返し走査させる一方、対象物からの前記ビームの反射波又は散乱波を受信することにより、前記ビームの反射又は散乱が生じた位置の前記対象物の密度を表す観測値と、その反射又は散乱が生じた位置の座標とが対応付けられた観測データを生成するレーダ装置と、
前記レーダ装置によって生成された前記観測データを解析することにより、前記火山の前記噴火口から噴出物が噴出したことを検出する観測データ解析装置と、
を備える。

【0008】

前記観測データ解析装置が、
前記噴火口から前記噴出物が噴出したことを検出した場合に、前記観測データを用いて、前記噴出物の噴出高度を求める噴出高度特定処理を行ってもよい。

【0009】

前記観測データ解析装置が、
前記レーダ装置による前記ビームの、前記仰角の方向の走査の周期と等しい時間間隔で前記噴出高度特定処理を繰り返し行うことにより、前記噴出高度の時間変化を表す噴出高度時系列データを生成してもよい。

【0010】

前記観測データ解析装置が、
前記噴出高度時系列データを用いて、前記噴出物の上昇速度の時間変化を表す噴出物上昇速度時系列データを生成してもよい。

【0011】

前記観測データ解析装置が、
前記レーダ装置によって生成された前記観測データから、前記火山に入射した前記ビームの前記反射波又は前記散乱波を表す前記観測値を除去するマスキング処理を行い、前記マスキング処理が施された前記観測データを用いて、前記火山の前記噴火口から前記噴出物が噴出したことを検出してもよい。

【0012】

前記観測データ解析装置が、
前記仮想縦断面内における前記噴火口の周囲に位置する噴出検出エリアでの前記観測値を用いて、前記噴出物の噴出の規模を特定する噴出規模特定処理を行ってもよい。

【0013】

前記観測データ解析装置が、
前記仮想縦断面内における、前記噴火検出エリアよりも前記噴出物が到達しにくい降水検出エリアでの前記観測値を用いて、降水の度合いを特定する降水度特定処理を行ってもよい。

【0014】

前記ビームの、前記方位角の方向の前記拡がり角が15°以上であり、
前記レーダ装置による前記ビームの、前記仰角の方向の走査の周期が3秒以下であってもよい。

【0015】

また、上記目的を達成するために、本発明に係る噴火監視方法は、
方位角の方向の拡がり角が仰角の方向の拡がり角よりも大きい扇形の電磁波のビームを、火山の噴火口を通る仮想縦断面に沿って前記仰角の方向に周期的に繰り返し走査させる一方、対象物からの前記ビームの反射波又は散乱波を受信することにより、前記ビームの反射又は散乱が生じた位置の前記対象物の密度を表す観測値と、その反射又は散乱が生じた位置の座標とが対応付けられた観測データを生成するレーダ装置から、前記観測データを取得する取得ステップと、
前記取得ステップで取得した前記観測データを解析することにより、前記火山の前記噴

10

20

30

40

50

火口から噴出物が噴出したことを検出する観測データ解析ステップと、
を含む。

【0016】

また、上記目的を達成するために、本発明に係る噴火監視プログラムは、
方位角の方向の拡がり角が仰角の方向の拡がり角よりも大きい扇形の電磁波のビームを、
火山の噴火口を通る仮想縦断面に沿って前記仰角の方向に周期的に繰り返し走査させる
一方、対象物からの前記ビームの反射波又は散乱波を受信することにより、前記ビームの
反射又は散乱が生じた位置の前記対象物の密度を表す観測値と、その反射又は散乱が生じ
た位置の座標とが対応付けられた観測データを生成するレーダ装置に、通信可能に接続さ
れたコンピュータに、

10

前記レーダ装置から前記観測データを取得する取得機能と、
前記取得機能によって取得した前記観測データを解析することにより、前記火山の前記
噴火口から噴出物が噴出したことを検出する観測データ解析機能と、
を実現させる。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、電磁波のビームを、仮想縦断面に沿って仰角の方向に周期的に繰り返
し走査させるので、方位角の方向の走査が不要である分、走査の時間分解能を高めるこ
ができる。

【0018】

また、電磁波のビームの形状が、方位角の方向の拡がり角が仰角の方向の拡がり角より
も大きい扇形であるので、直線状に絞られたビームを用いる従来に比べて、仰角の方向の
1回の走査でも十分に広い範囲にわたる観測が可能である。このため、火山からの噴出物
を見落としにくい。

20

【0019】

以上のように、走査の時間分解能を高めることができ、かつ噴出物を見落としにくいの
で、火山からの噴出物の噴出を従来よりも迅速に検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】噴火監視システムの構成を例示する概念図。

30

【図2】電磁波のビームの形状を例示する概念図。

【図3】レーダ装置と火山の噴火口との位置関係を例示する平面図。

【図4】噴火監視処理の一部を例示するフローチャート。

【図5】噴火監視処理の他の一部を例示するフローチャート。

【図6】噴火監視処理の残部を例示するフローチャート。

【図7】(A)：観測データを表す画像。(B)：低値除去処理が施された観測データを
表す画像。(C)：さらにメジアンフィルタ処理が施された観測データを表す画像。

【図8】(A)：仮想縦断面に沿う火山の断面形状を表す画像。(B)：火山に入射した
ビームの散乱波又は反射波によってゼロを超える観測値が得られる領域を表す画像。(C)
：マスキング処理が施された観測データを表す画像。

40

【図9】(A)：オープニング処理が施された観測データを表す画像。(B)：さらにク
ロージング処理が施された観測データを表す画像。

【図10】噴出物の噴出高度を説明するための概念図。

【図11】(A)：弱噴出面積率 $SE1$ 及び強噴出面積率 $SE2$ の時間変化を例示するグ
ラフ。(B)：噴出エコインデックス E の時間変化を例示するグラフ。

【図12】(A)：弱降水面積率 $SR1$ 及び強降水面積率 $SR2$ の時間変化を例示するグ
ラフ。(B)：降水エコインデックス R の時間変化を例示するグラフ。

【図13】(A)：平滑化処理された噴出高度時系列データを示すグラフ。(B)：平滑
化処理された噴出物上昇速度時系列データを示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 2 1 】

以下、図面を参照し、実施形態に係る噴火監視システムについて説明する。図中、同一又は対応する部分に同一の符号を付す。

【 0 0 2 2 】

図 1 に示すように、本実施形態に係る噴火監視システム 3 0 は、火山の噴火の状況及び降水の状況を表す観測データ D T を生成するレーダ装置 1 0 と、レーダ装置 1 0 によって生成された観測データ D T を解析する観測データ解析装置 2 0 とを備える。レーダ装置 1 0 と観測データ解析装置 2 0 とは、通信回線 N E によって通信可能に接続されている。

【 0 0 2 3 】

以下、レーダ装置 1 0 について説明する。レーダ装置 1 0 は、火山の噴火の状況及び降水の状況を観測するための電磁波の送受信を行う送受信アンテナ 1 1 を有する。

10

【 0 0 2 4 】

送受信アンテナ 1 1 は、電磁波としてのマイクロ波、より具体的には、波長 3 c m のセンチメートル波のビームを出射する一方、そのビームの、対象物からの反射波又は散乱波としてのエコーを受信する。なお、ここでいう対象物には、火山からの噴出物と、粒子状又は霧状の雨水とが含まれる。受信するエコーの強度が大きい程、反射又は散乱が生じた位置の対象物の密度が高いことを表す。

【 0 0 2 5 】

また、レーダ装置 1 0 は、送受信アンテナ 1 1 からエコーの強度を表す信号を取得する信号処理部 1 3 と、信号処理部 1 3 と通信回線 N E との間に介在する通信部 1 4 とを有する。

20

【 0 0 2 6 】

信号処理部 1 3 は、送受信アンテナ 1 1 から取得したエコーの強度を表す信号に基づいて、観測データ D T を生成する。観測データ D T は、送受信アンテナ 1 1 が出射したビームの反射又は散乱が生じた位置における対象物の密度を表す観測値と、その反射又は散乱が生じた位置の座標とが対応付けられたものである。

【 0 0 2 7 】

通信部 1 4 は、信号処理部 1 3 で生成された観測データ D T を、通信回線 N E を通じて、観測データ解析装置 2 0 に送信する。

【 0 0 2 8 】

また、レーダ装置 1 0 は、上述した送受信アンテナ 1 1 、信号処理部 1 3 、及び通信部 1 4 を制御する制御部 1 2 を有する。送受信アンテナ 1 1 、信号処理部 1 3 、及び通信部 1 4 は、制御部 1 2 からの制御を受けることにより、上述のように作動する。

30

【 0 0 2 9 】

また、制御部 1 2 は、送受信アンテナ 1 1 の姿勢を変化させることにより、上記ビームが出射される方向及びエコーを受信する方向を制御する。以下、図 2 、図 3 を参照し、送受信アンテナ 1 1 の動作を具体的に説明する。

【 0 0 3 0 】

図 2 に示すように、送受信アンテナ 1 1 の位置を原点とする X Y Z 直交座標系を定義する。Z 軸が鉛直な方向に延びており、X Y 平面が水平に延在している。

40

【 0 0 3 1 】

送受信アンテナ 1 1 からのビーム B M の出射方向は、Z 軸まわりの方位角 θ と、X 軸まわりの仰角 ϕ とで特定される。ビーム B M の、方位角 θ の方向の位置は、Z 軸と重なる仮想縦断面 V P によって表される。仮想縦断面 V P は、Y Z 平面と重なる位置に固定されている。

【 0 0 3 2 】

制御部 1 2 は、ビーム B M が、方位角 θ を一定に保ったままで、Z Y 平面と一致する仮想縦断面 V P に沿って仰角 ϕ の方向に周期的に繰り返し走査されるように、送受信アンテナ 1 1 の姿勢を制御する。

【 0 0 3 3 】

50

ビームBMが入射する対象物の形状の変化を詳しく捉えるために、ビームBMの、仰角の方向の走査の周期（以下、走査周期という。）は、3秒以下であることが好ましく、2秒以下であることがより好ましい。

【0034】

本実施形態では、1走査周期あたりに、ビームBMの出射方向が、仰角の方向に360°回転する。ビームBMの出射方向の、X軸まわりの回転速度が48rpmである。従って、1走査周期は、 $60 / 48 = 1.25$ 秒である。

【0035】

以上のように、ビームBMが仰角の方向に周期的に繰り返し走査されるので、図1に示した信号処理部13が生成する観測データDTは、仰角の方向の1回の走査で仮想縦断面VPを含む空間領域を捉えた1走査周期分の上記観測値の集合が、走査周期毎に時間軸上に並んでいる時系列データとなる。

10

【0036】

また、図2に示すように、ビームBMは、方位角の方向の拡がり角が、仰角の方向の拡がり角よりも大きい扇形の形状を有する。できるだけ広い空間領域の観測を可能とするために、ビームBMの方位角の方向の拡がり角は、15°以上であることが好ましく、20°以上であることがより好ましい。

【0037】

本実施形態では、ビームBMの方位角の方向の拡がり角は、22°である。なお、ビームBMの仰角の方向の拡がり角は、方位角の方向の拡がり角の1/10以下、具体的には、1.2°である。

20

【0038】

図3に示すように、送受信アンテナ11は、火山の噴火口CRの側方に配置される。送受信アンテナ11が出射するビームBMの、方位角の方向の位置を表す既述の仮想縦断面VPは、火山の噴火口CRを通っている。

【0039】

つまり、ビームBMが入射する空間領域には、噴火口CRの上方における噴出物が存在しうる空間領域が含まれる。既述のように、ビームBMが方位角の方向に拡がり角を有する扇形を成しているため、噴火口CRからの噴出物を捉えるのに十分な広さの空間領域を観測できる。

30

【0040】

以上説明した送受信アンテナ11としては、アンテナを構成する導波管に半波長間隔でスロットが形成されたスロット型アンテナを用いることができる。スロット型アンテナは、例えば、船舶において使用されている。

【0041】

図1に戻り、次に、観測データ解析装置20について説明する。観測データ解析装置20は、通信回線NEに接続される通信部21を有する。レーダ装置10が生成した観測データDTは、通信回線NE及び通信部21を通じて、観測データ解析装置20に取り込まれる。

【0042】

また、観測データ解析装置20は、噴火監視プログラム22aを記憶する補助記憶部22を備える。噴火監視プログラム22aは、観測データDTの解析によって火山の噴火を検出する噴火監視処理の手順を記述したものである。

40

【0043】

また、観測データ解析装置20は、噴火監視プログラム22aを実行するCPU（Central Processing Unit）23と、CPU23が、噴火監視プログラム22a、観測データDT等を一時的に蓄える主記憶部24とを有する。

【0044】

また、観測データ解析装置20は、CPU23が上述した噴火監視処理を実行している最中に、CPU23からの制御を受けて、観測データDT及びそれを補正したデータ等を

50

、画像として表示する表示部 25 も有する。

【0045】

つまり、観測データ D T は、上述した対象物の密度を表す観測値を輝度又は色彩として表現し、かつビーム B M の反射又は散乱が生じた座標を、表示部 25 の画面上における画素の位置と 1 対 1 に対応付けることにより、画像として、表示部 25 でモニタリングできる。図 7 (A) に、画像データとしての観測データ D T を表す画像が例示されている。

【0046】

また、観測データ D T の観測値を画像処理によって補正した場合には、補正後の観測データ D T を、同様に表示部 25 でモニタリングできる。図 7 (B)、図 7 (C)、図 8 (C)、図 9 (A)、図 9 (B)、図 10 に、補正後の観測データ D T を表す画像が例示されている。

10

【0047】

以下、CPU 23 が噴火監視プログラム 22 a を実行することにより実現される噴火監視処理について、具体的に説明する。

【0048】

図 4 に示すように、まず、CPU 23 は、レーダ装置 10 から 1 走査周期分の観測データ D T を取得する (ステップ S 1)。次に、CPU 23 は、その 1 走査周期分の観測データ D T に、噴出物でも雨水でもないノイズを表す観測値を除去するノイズ除去処理を施す (ステップ S 2)。以下、図 7 (A) - (C) を参照し、ノイズ除去処理について具体的に説明する。

20

【0049】

図 7 (A) は、ステップ S 1 で取得した 1 走査周期分の観測データ D T を表す画像である。横軸は、図 3 に示した送受信アンテナ 11 からの水平処理を表し、縦軸は海拔高度を表す。画像の全域にわたって、まだら模様のノイズが現れている。このノイズをノイズ除去処理で除去する。

【0050】

図 7 (B) は、CPU 23 によって、ノイズ除去処理としての低値除去処理が施された観測データ D T を表す画像である。低値除去処理とは、予め定められた閾値よりも小さい観測値を除去する処理である。これにより、噴出物でも雨水でもないノイズが低減される。図 7 (B) に示す画像は、図 7 (A) に示すオリジナルの画像に比べて、ノイズが低減されていることが分かる。

30

【0051】

図 7 (C) は、CPU 23 によって、ノイズ除去処理としてのメジアンフィルタ処理がさらに施された観測データ D T を表す画像である。メジアンフィルタ処理とは、各々の画素について、その画素が表す観測値を、その画素の周囲の画素が表す観測値のメジアンに変換する処理である。これにより、一層ノイズが低減される。図 7 (C) に示す画像は、図 7 (B) に示す画像に比べて、一層ノイズが低減されていることが分かる。

【0052】

図 4 に戻り、CPU 23 は、以上のようにしてステップ S 2 でノイズ除去処理としての低値除去処理及びメジアンフィルタ処理を行った後、噴出物でも雨水でもなく、地形そのものを表す観測値を除去するマスキング処理を行う (ステップ S 3)。以下、図 8 (A) - (C) を参照し、マスキング処理について具体的に説明する。

40

【0053】

図 8 (A) は、火山そのものの、図 3 に示す仮想縦断面 V P に沿う断面の領域 (以下、地形断面領域という。) R A を表す。この地形断面領域 R A を表す地形データは、予めリモートセンシング等によって得られた数値標高モデルの基礎データを用いて作成されたものである。そのような地形データが、図 1 に示す補助記憶部 22 に予め準備されている。

【0054】

図 8 (B) は、火山に入射したビーム B M の散乱波又は反射波 (以下、地形エコーという。) によってゼロを超える観測値が得られる領域 (以下、地形エコー領域という。) R

50

Bを表す。この地形エコー領域R Bを表す地形エコーデータは、予め、噴火も降水も観測されない平穏時に取得された複数走査周期分の観測データD Tを重ね合わせたデータに対して、閾値未満の観測値を除去する既述の低値除去処理と同様の処理を施し、かつ2値化したものである。そのような地形エコーデータも、図1に示す補助記憶部22に予め準備されている。

【0055】

CPU23は、上述した地形データ及び地形エコーデータを用いて、マスキング処理を行う。マスキング処理とは、観測データD Tから、図8(A)に示す地形データが表す地形断面領域R A内の観測値を除去し、かつ図8(B)に示す地形エコーデータが表す地形エコー領域R B内の観測値を除去する処理である。なお、“観測値を除去する”とは、具体的には、観測値をゼロに置き換えることを意味する。

10

【0056】

図8(C)に、図7(C)に示す画像に対してマスキング処理を施した画像を示す。図7(C)に示す画像から、図8(A)に示す地形断面領域R Aを除去することにより、火山の地形そのものを噴出物と誤認してしまうことが回避される。また、図7(C)に示す画像から、図8(B)に示す地形エコー領域R Bを除去することも誤認の回避に役立つ。これは、火山の表面を覆うように現れる地形エコーを表す観測値は、地形そのものに固有のものであり、噴出物を表すものではないため、地形エコーを表す観測値を予め除去しておくことにより、噴火の発生をより正確に検出できる。

【0057】

20

図4に戻り、CPU23は、以上のようにしてステップS3でマスキング処理を行った後、それまでのノイズ除去処理及びマスキング処理では除去できなかったノイズをさらに除去するためのオープニング(opening)処理(ステップS4)及びクロージング(closing)処理(ステップS5)を行う。

【0058】

オープニング処理とは、観測データD Tが表す、ゼロを超える観測値が得られた領域(以下、対象物検出領域という。)を収縮(Erosion)させた後に、元のスケールへと膨張(Dilation)させる処理である。クロージング処理とは、対象物検出領域を膨張させた後に、元のスケールへと収縮させる処理である。以下、図9(A)-(B)を参照し、具体例を示す。

30

【0059】

図9(A)は、図8(C)に示した観測データD Tに対し、オープニング処理を施した観測データD Tを表す画像である。オープニング処理は、小さなノイズを除去する効果を奏する。実際、図8(C)の領域U1には、ノイズ除去処理及びマスキング処理では除去できなかったノイズが残されていたが、そのノイズは、図9(A)に示す画像には存在しない。

【0060】

図9(B)は、図9(A)に示した観測データD Tに対し、クロージング処理を施した観測データD Tを表す画像である。クロージング処理は、細かく途切れて離散的に分布する対象物検出領域を一塊に連結させたり、一塊の対象物検出領域内に存在する空隙を埋めたりする効果を奏する。実際、図9(A)の領域U2には、細かく途切れて離散的に分布する対象物検出領域が存在するが、その対象物検出領域は、図9(B)に示す画像においては一塊に連結されている。

40

【0061】

図4に戻り、説明を続ける。CPU23は、以上のようにしてステップS5でクロージング処理を行う。以下では、ステップS2のノイズ除去処理から、ステップS5のクロージング処理までの処理を、事前処理と呼ぶことにする。

【0062】

次に、CPU23は、事前処理が施された観測データD Tを用いて、噴出物の噴出の規模を特定する噴出規模特定処理と、降水の度合いを特定する降水度特定処理とを行う(ス

50

テップ S 6)。

【 0 0 6 3 】

以下、まず噴出規模特定処理について、具体的に説明する。

【 0 0 6 4 】

図 9 (B) に示すように、噴出の規模を特定するために、観測データ D T が表す画像内において噴火口の周囲に位置する噴出検出エリア W E に着目する。噴出検出エリア W E の位置及び面積は固定されており、かつその位置及び面積は予め定義されているものとする。以下に述べるように、噴出規模特定処理は、噴出検出エリア W E での観測値を用いて行う。

【 0 0 6 5 】

まず、C P U 2 3 は、噴出検出エリア W E 内において、観測値又は輝度が、密度の低い噴出物を表す第 1 噴出閾値以上、かつ第 1 噴出閾値よりも大きく密度の高い噴出物を表す第 2 噴出閾値以下である領域の面積の、噴出検出エリア W E の全面積に占める割合 (以下、弱噴出面積率という。) S E 1 を算出する。

【 0 0 6 6 】

ここで“面積”とは、具体的には、画像における画素の数を指す。第 1 噴出閾値は、輝度で表して例えば 4 0 であり、第 2 噴出閾値は、輝度で表して例えば 1 5 0 である。

【 0 0 6 7 】

そして、C P U 2 3 は、算出した弱噴出面積率 S E 1 が、予め定められた弱噴出閾値以上であるか否かを判定し、弱噴出面積率 S E 1 が弱噴出閾値以上であれば、変数である弱噴出エコーインデックス E 1 に 1 を代入し、弱噴出面積率 S E 1 が弱噴出閾値未満であれば、弱噴出エコーインデックス E 1 に 0 を代入する。なお、弱噴出閾値は、例えば、0 . 1 である。

【 0 0 6 8 】

一方、C P U 2 3 は、噴出検出エリア W E 内において、観測値又は輝度が、第 2 噴出閾値を超える領域の面積の、噴出検出エリア W E の全面積に占める割合 (以下、強噴出面積率という。) S E 2 も算出する。

【 0 0 6 9 】

そして、C P U 2 3 は、算出した強噴出面積率 S E 2 が、予め定められた強噴出閾値以上であるか否かを判定し、強噴出面積率 S E 2 が強噴出閾値以上であれば、変数である強噴出エコーインデックス E 2 に 2 を代入し、強噴出面積率 S E 2 が強噴出閾値未満であれば、強噴出エコーインデックス E 2 に 0 を代入する。なお、強噴出閾値は、例えば、0 . 1 である。

【 0 0 7 0 】

次に、C P U 2 3 は、上述のようにして特定した弱噴出エコーインデックス E 1 の値と、強噴出エコーインデックス E 2 の値とを比較し、一方の値が他方の値よりも大きければ、その一方の値を、変数である噴出エコーインデックス E に代入し、双方の値が等しければ、その等しい値を噴出エコーインデックス E に代入する。即ち、 $E = \max (E 1 , E 2)$ である。

【 0 0 7 1 】

噴出規模特定処理とは、以上のようにして、噴火エコーインデックス E を特定する処理を指す。噴出エコーインデックス E は、1 走査周期毎に、0、1、2 のいずれかの値をとる。噴出エコーインデックス E が 2 であることは、噴出の規模が大きいことを表す。また、噴出エコーインデックス E が 1 であることは、規模は大きくはないものの噴出が生じていることを表す。また、噴出エコーインデックス E が 0 である場合は、噴出は生じていないものとみなす。

【 0 0 7 2 】

次に、降水度特定処理について、具体的に説明する。

【 0 0 7 3 】

図 9 (B) に示すように、降水の度合いを特定するために、観測データ D T が表す画像

10

20

30

40

50

内において、噴火検出エリアWEよりも噴出物が到達しにくい降水検出エリアWRに着目する。降水検出エリアWRを、噴火検出エリアWEよりも噴出物が到達しにくい位置に設定する理由は、噴出物をできるだけ捉えずに、雨水だけを捉えるようにするためである。

【0074】

なお、降水検出エリアWRの面積は固定されているが、位置は固定されていてもよいし、可変であってもよい。降水度特定処理を行う際の風向きを表す情報が外部から得られる場合は、降水検出エリアWRは、噴火検出エリアWEよりも風上に設定することが好ましい。風上の方が、噴出物が到達しにくいからである。以下に述べるように、降水度特定処理は、降水検出エリアWRでの観測値を用いて行う。

【0075】

まず、CPU23は、降水検出エリアWR内において、観測値又は輝度が、密度の低い霧状の水分を表す第1降水閾値以上、かつ第1降水閾値よりも大きく密度の高い粒状の水分を表す第2降水閾値以下である領域の面積の、降水検出エリアWRの全面積に占める割合（以下、弱降水面積率という。）SR1を算出する。なお、第1降水閾値は、輝度で表して例えば40であり、第2降水閾値は、輝度で表して例えば150である。

【0076】

そして、CPU23は、算出した弱降水面積率SR1が、予め定められた弱降水閾値以上であるか否かを判定し、弱降水面積率SR1が弱降水閾値以上であれば、変数である弱降水エコインデックスR1に1を代入し、弱降水面積率SR1が弱降水閾値未満であれば、弱降水エコインデックスR1に0を代入する。なお、弱降水閾値は、例えば、0.1である。

【0077】

一方、CPU23は、降水検出エリアWR内において、観測値又は輝度が、第2降水閾値を超える領域の面積の、降水検出エリアWRの全面積に占める割合（以下、強降水面積率という。）SR2も算出する。

【0078】

そして、CPU23は、算出した強降水面積率SR2が、予め定められた強降水閾値以上であるか否かを判定し、強降水面積率SR2が強降水閾値以上であれば、変数である強降水エコインデックスR2に2を代入し、強降水面積率SR2が強降水閾値未満であれば、強降水エコインデックスR2に0を代入する。なお、強降水閾値は、例えば、0.1である。

【0079】

次に、CPU23は、上述のようにして特定した弱降水エコインデックスR1の値と、強降水エコインデックスR2の値とを比較し、一方の値が他方の値よりも大きければ、その一方の値を、変数である降水エコインデックスRに代入し、双方の値が等しければ、その等しい値を降水エコインデックスRに代入する。即ち、 $R = \max(R1, R2)$ である。

【0080】

降水度特定処理とは、以上のようにして、降水エコインデックスRを特定する処理を指す。降水エコインデックスRは、1走査周期毎に、0、1、2のいずれかの値をとる。降水エコインデックスRが2であることは、降水の度合いが大きいことを表す。また、降水エコインデックスRが1であることは、度合いは大きくはないものの降水が生じていることを表す。また、降水エコインデックスRが0である場合は、降水は生じていないものとみなす。

【0081】

図4に戻り、CPU23は、以上のようにしてステップS6で噴出規模特定処理及び降水度特定処理を行った後、現在の噴出エコインデックスEの値に基づいて、噴火が発生したか否かの判定を行う（ステップS7）。

【0082】

現在の噴出エコインデックスEの値が0であれば、噴火は発生していない（ステップ

10

20

30

40

50

S 7 ; N O)。この場合、C P U 2 3 は、レーダ装置 1 0 から次の 1 走査周期分の観測データ D T を取得し (ステップ S 8)、再びステップ S 2 に戻って、同様の処理を繰り返す。このようにして、C P U 2 3 は、観測データ D T を用いて、1 走査周期毎に、ステップ S 7 で噴火が発生したか否かを判定する噴火判定処理を行う。

【 0 0 8 3 】

一方、現在の噴出エコーインデックス E の値が 1 又は 2 であれば、噴火が発生していると言える (ステップ S 7 ; Y E S)。この場合は、図 5 に移行する。以下、ステップ S 7 で Y E S の場合の処理について、図 5 を参照し説明する。

【 0 0 8 4 】

図 5 に示すように、C P U 2 3 は、現在の噴出エコーインデックス E と、降水エコーインデックス R とを外部に出力する (ステップ S 9)。外部においては、噴出エコーインデックス E は、噴出の度合いを表す情報として利用することができ、降水エコーインデックス R は、降水の度合いを表す情報として利用することができる。なお、ステップ S 9 は、噴火の発生を外部に報知する報知処理を兼ねる。

10

【 0 0 8 5 】

次に、C P U 2 3 は、ステップ S 5 でクロージング処理を施した観測データ D T を解析することにより、噴出物の噴出高度の瞬時値を求める噴出高度特定処理を行う (ステップ S 1 0)。

【 0 0 8 6 】

図 1 0 に示すように、具体的には、C P U 2 3 は、クロージング処理によって一塊に連結された既述の対象物検出領域 V C における最も高い位置の高度を、噴出高度として求める。なお、図 1 0 では、対象物検出領域 V C は、噴煙柱を表しており、その噴出高度が 2 6 7 8 . 4 m である場合を例示している。図 1 0 に示すように、C P U 2 3 は、噴出高度の位置を表す補助線 L 1 と、噴出高度の値とが付記された観測データ D T とを、図 1 に示す表示部 2 5 に表示させる。

20

【 0 0 8 7 】

図 5 に戻り、説明を続ける。C P U 2 3 は、以上のようにしてステップ S 1 0 で噴出高度特定処理を行う。後述するように、ステップ S 9 からステップ S 1 3 までの処理は、レーダ装置 1 0 における送受信アンテナ 1 1 の仰角 の方向の走査の周期、即ち、既述の 1 走査周期と等しい時間間隔で繰り返され得るループ処理である。つまり、ステップ S 1 0 の噴出高度特定処理は、1 走査周期毎に繰り返され得る。

30

【 0 0 8 8 】

そこで、C P U 2 3 は、噴出高度の瞬時値の、1 走査周期毎の時間変化を表す時系列データ (以下、噴出高度時系列データという。) を形成するために、ステップ S 1 0 で噴出高度の瞬時値を求める度に、その瞬時値を主記憶部 2 4 に蓄積する。

【 0 0 8 9 】

次に、C P U 2 3 は、レーダ装置 1 0 から次の 1 走査周期分の観測データ D T を取得し (ステップ S 1 1)、取得した観測データ D T に対して事前処理を施す (ステップ S 1 2)。なお、事前処理とは、既述のように、図 4 のステップ S 2 からステップ S 5 までの処理と同じ処理を指す。

40

【 0 0 9 0 】

次に、C P U 2 3 は、その事前処理が施された観測データ D T を用いて、図 4 のステップ S 6 と同じ要領で、噴出エコーインデックス E を求める噴出規模特定処理と、降水エコーインデックス R を求める降水度特定処理とを行う (ステップ S 1 3)。

【 0 0 9 1 】

次に、C P U 2 3 は、ステップ S 1 3 で求めた噴出エコーインデックス E を用いて、噴火が終了したか否かの判定を行う (ステップ S 1 4)。噴出エコーインデックス E の値が 1 又は 2 であれば噴火はまだ終了していないので (ステップ S 1 4 ; N O)、噴火の状況のリアルタイムな監視を続けるべく、再びステップ S 9 に戻って、同様の処理を繰り返す。

50

【0092】

以上のようにして、ステップS9からステップS13までの処理が、1走査周期毎に繰り返され得る。このため、CPU23が、ステップS13で噴出エコーインデックスEと降水エコーインデックスRとを求める度にそれらの値を主記憶部24に蓄積することにより、それらの値の時間変化を表す時系列データが得られる。以下、具体例を挙げて説明する。

【0093】

図11(A)に、噴出エコーインデックスEを特定するための、既述の弱噴出面積率SE1及び強噴出面積率SE2の時間変化を例示する。既述の弱噴出閾値及び強噴出閾値が、共に0.1である場合を想定する。

10

【0094】

図11(B)は、図11(A)に示す弱噴出面積率SE1及び強噴出面積率SE2から特定される噴出エコーインデックスEの時間変化を表す。強噴出面積率SE2が0.1以上である期間は、噴出エコーインデックスEが2となり、弱噴出面積率SE1と強噴出面積率SE2のうち、弱噴出面積率SE1のみが0.1以上である期間は、噴出エコーインデックスEが1となり、弱噴出面積率SE1と強噴出面積率SE2の双方が0.1未満である期間は、噴出エコーインデックスEが0となる。

【0095】

CPU23は、図11(A)及び(B)に示すグラフをリアルタイムで図1に示す表示部25に表示させる。これにより、ユーザは、噴出物の噴出の規模をリアルタイムで把握できる。

20

【0096】

図12(A)は、降水エコーインデックスRを特定するための、既述の弱降水面積率SR1及び強降水面積率SR2の時間変化を例示する。既述の弱降水閾値及び強降水閾値が、共に0.1である場合を想定する。

【0097】

図12(B)は、図12(A)に示す弱降水面積率SR1及び強降水面積率SR2から特定される降水エコーインデックスRの時間変化を表す。強降水面積率SR2が0.1以上である期間は、降水エコーインデックスRが2となり、弱降水面積率SR1と強降水面積率SR2のうち、弱降水面積率SR1のみが0.1以上である期間は、降水エコーインデックスRが1となり、弱降水面積率SR1と強降水面積率SR2の双方が0.1未満である期間は、降水エコーインデックスRが0となる。

30

【0098】

CPU23は、図12(A)及び(B)に示すグラフをリアルタイムで図1に示す表示部25に表示させる。これにより、ユーザは、降水の度合いをリアルタイムで把握できる。

【0099】

図5に戻り、ステップS14において、噴出エコーインデックスEの値がゼロであれば、噴火は終了していると言える(ステップS14;YES)。この場合は、図6に移行する。以下、ステップS14でYESの場合の処理について、図6を参照し説明する。

40

【0100】

図6に示すように、CPU23は、先のステップS9からステップS13までのループ処理で形成した既述の噴出高度時系列データに対して、時間変化を平滑化する平滑化処理を施し(ステップS15)、かつその平滑化処理された噴出高度時系列データを用いて、噴出物の最高到達高度を特定する(ステップS16)。

【0101】

図13(A)に、平滑化処理が施された噴出高度時系列データのグラフを示す。平滑化処理として、移動平均処理を用いた。なお、図13(A)に示す各々のプロットは、図5のステップS10の噴出高度特定処理で求めた噴出高度の瞬時値である。観測データ解析装置20は、平滑化処理が施された噴出高度時系列データのグラフにおける最も高い位置

50

の高度を、最高到達高度として特定する。なお、図 13 (A) では、最高到達高度が 2971.2 m である場合を例示している。

【0102】

図 13 (A) に示すように、CPU 23 は、噴出高度の瞬時値のプロット、平滑化処理が施された噴出高度時系列データのグラフ、最高到達高度の値、及び最高到達高度の位置を表す補助線 L2 を、図 1 に示す表示部 25 に表示させる。これにより、ユーザは、噴出高度の時間変化の傾向を把握できる。

【0103】

図 6 に戻り、次に、CPU 23 は、上述した平滑化処理する前の噴出高度時系列データに対して、時間軸上で隣り合う瞬時値間の差を新たな瞬時値とする差分処理を施すことにより、噴出物の上昇速度の時間変化を表す噴出物上昇速度時系列データを生成し (ステップ S17)、かつその噴出物上昇速度時系列データに対して平滑化処理を施す (ステップ S18)。

10

【0104】

図 13 (B) に、平滑化処理が施された噴出物上昇速度時系列データのグラフを示す。平滑化処理として、移動平均処理を用いた。なお、図 13 (B) に示す各々のプロットは、上述した差分処理によって算出された瞬時値である。

【0105】

図 13 (B) に示すように、CPU 23 は、噴出物の上昇速度の瞬時値のプロット、及び平滑化処理が施された噴出物上昇速度時系列データのグラフを、図 1 に示す表示部 25 に表示させる。これにより、ユーザは、噴出速度の時間変化の傾向を把握できる。

20

【0106】

図 6 に戻り、次に、CPU 23 は、噴出した噴出物の総量を表す総噴出物量 MA を算出する (ステップ S19)。総噴出物量 MA は、次式によって推定することができる。

$$MA = 2.40 \cdot 10^5 \cdot H^4 \cdot T$$

【0107】

ここで、H は、噴出物の噴出高度を表す。H の値には、図 13 (A) に示した噴出高度時系列データの時間平均値を用いることができる。また、T は、噴出の継続時間を表す。T の値には、図 4 のステップ S7 で YES と判定した時点から、図 5 のステップ S14 で YES と判定した時点までの期間長を用いることができる。

30

【0108】

次に、CPU 23 は、これまでに形成した各種データ、具体的には、ステップ S15 で形成した平滑化処理された噴出高度時系列データ、ステップ S16 で特定した最高到達高度の値を表すデータ、ステップ S18 で形成した平滑化処理された噴出物上昇速度時系列データ、及びステップ S19 で算出した総噴出物量の値を表すデータを、外部に出力する (ステップ S20)。外部においては、これらの各種データを用いて噴火の態様を把握することができる。

【0109】

次に、CPU 23 は、図 4 のステップ S8 に戻り、以降、同様の処理を繰り返す。

【0110】

以上説明した噴火監視処理において、ステップ S1 及びステップ S8 は、レーダ装置 10 から観測データ DT を取得する取得ステップの一例である。また、ステップ S2 からステップ S7 までの処理は、取得ステップで取得した観測データ DT を解析することにより、噴火口 CR から噴出物が噴出したことを検出する観測データ解析ステップの一例である。

40

【0111】

以上説明したように、実施形態によれば、送受信アンテナ 11 が、電磁波のビーム BM を、仮想縦断面 VP に沿って仰角 の方向に周期的に繰り返し走査させるので、方位角の方向の走査が不要である分、走査の時間分解能を高めることができる。具体的には、1 走査周期を 2 秒以下に短縮できる。

50

【0112】

また、電磁波のビームBMの形状が、方位角 θ の方向の拡がり角 α が仰角 ϕ の方向の拡がり角 β よりも大きい扇形である。具体的には、ビームBMの、方位角 θ の方向の拡がり角 α が 15° 以上である。このため、直線状に絞られたビームを用いる従来に比べて、仰角 ϕ の方向の1回の走査でも、図3に示したように噴火口CRの周囲の十分に広い範囲にわたる観測が可能である。このため、火山からの噴出物を見落としにくい。

【0113】

以上のように、走査の時間分解能を高めることができ、かつ噴出物を見落としにくいので、1走査周期毎に行われるステップS7の噴火判定処理によって、火山からの噴出物の噴出を従来よりも迅速に検出することができる。

10

【0114】

また、CPU23が、1走査周期毎に、観測データDTに事前処理を施しかつ図9(B)に示したように噴出物を画像として可視化する。このため、ユーザは、噴出物の形状の時間変化を高い時間分解能でモニタリングすることができる。

【0115】

また、CPU23が、1走査周期毎に、仮想縦断面VP内における噴出検出エリアWEに占める噴出物の面積の割合を求め、その割合に基づいて、噴出エコーインデックスEを求める。このため、ユーザは、1走査周期毎に、噴出の規模を定量的に把握できる。

【0116】

また、CPU23が、1走査周期毎に、仮想縦断面VP内における降水検出エリアWRに占める水分の面積の割合を求め、その割合に基づいて、降水エコーインデックスRを求める。このため、ユーザは、1走査周期毎に、降水の度合いを定量的に把握できる。

20

【0117】

以上、実施形態について説明した。本発明はこれに限られず、以下に述べる変形も可能である。

【0118】

上記実施形態において、CPU23は、1走査周期あたりに噴出物が噴出した量を表す噴出率 m を算出してもよい。噴出率 m は、噴火の発生を検出した後に、1走査周期毎に算出する。具体的には、噴出率 m の算出は、ステップS7からステップS14までの間に行う。噴出率 m は、次式で定義される。

30

$$m = a \cdot Z^b \cdot w$$

【0119】

ここで、 Z は、送受信アンテナ11のレーダ反射因子である。係数 a と指数 b は、経験的に求められるパラメータである。 w は、噴出物の鉛直方向の速度である。 w の値には、前回の1走査周期におけるステップS10の噴出高度特定処理で求めた噴出高度と、今回の1走査周期におけるステップS10の噴出高度特定処理で求めた噴出高度との差分を用いることができる。また、レーダ装置10において、噴出物の鉛直方向の上昇速度の値をドップラー速度として検出できる場合は、その値を用いてもよい、

【0120】

上記実施形態では、ビームBMの、仰角 ϕ の方向の走査の角度幅を 360° としたが、仰角 ϕ の方向の角度幅は、ビームBMによって噴火口CRの周囲を観測できさえすれば、必ずしも 360° でなくてもよい。例えば、ビームBMを、仰角 ϕ の方向に 90° 以下の角度幅で揺動させてもよい。

40

【0121】

図1には、XY平面が水平でZ軸が鉛直に延びるXYZ直交座標系を例示したが、XY平面は厳密に水平でなくてもよい。XY平面の、水平面に対する傾きは、例えば 15° 程度であれば許容される。同様に、Z軸も、鉛直方向から 10° 程度傾いていてもよい。

【0122】

図1に示した噴火監視プログラム22aを、レーダ装置10と通信可能に接続されたコンピュータにインストールすることで、そのコンピュータを観測データ解析装置20とし

50

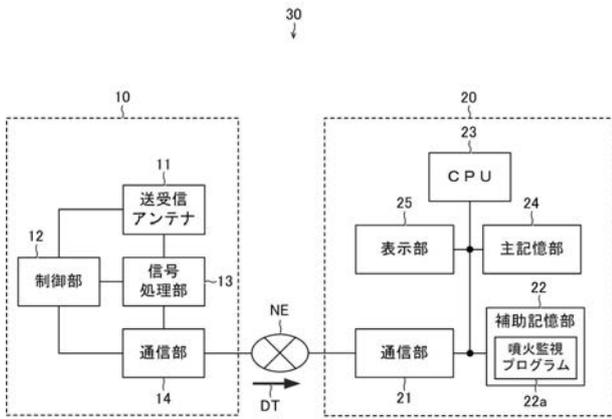
て機能させることができる。噴火監視プログラム 2 2 a は、通信ネットワークを通じて配布することもできるし、光ディスク、フラッシュメモリ等のコンピュータ読み取り可能な記録媒体に格納して配布することもできる。

【符号の説明】

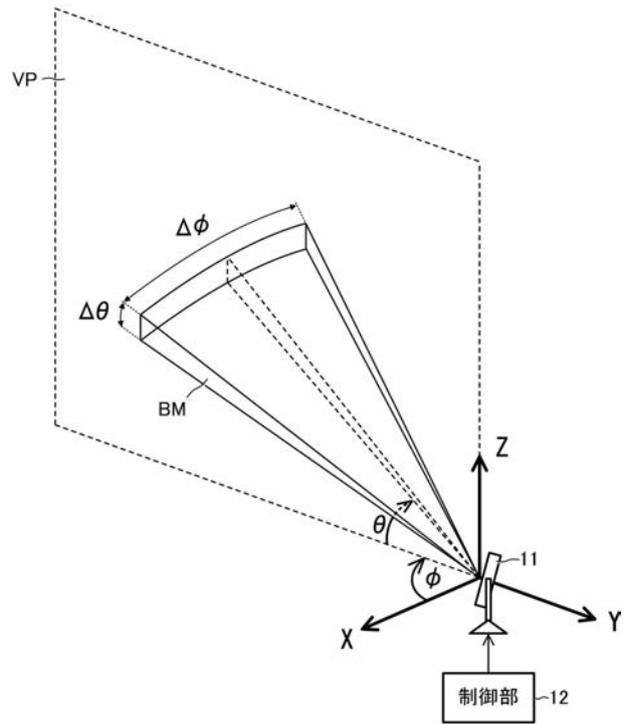
【 0 1 2 3 】

1 0 ... レーダ装置、	
1 1 ... 送受信アンテナ、	
1 2 ... 制御部、	
1 3 ... 信号処理部、	
1 4 ... 通信部、	10
2 0 ... 観測データ解析装置、	
2 1 ... 通信部、	
2 2 ... 補助記憶部、	
2 2 a ... 噴火監視プログラム、	
2 3 ... C P U、	
2 4 ... 主記憶部、	
2 5 ... 表示部、	
3 0 ... 噴火監視システム、	
B M ... ビーム、	
C R ... 噴火口、	20
D T ... 観測データ、	
L 1 , L 2 ... 補助線、	
N E ... 通信回線、	
R A ... 地形断面領域、	
R B ... 地形エコー領域、	
U 1 , U 2 ... 領域、	
V C ... 対象物検出領域、	
V P ... 仮想縦断面、	
W E ... 噴出検出エリア、	
W R ... 降水検出エリア。	30

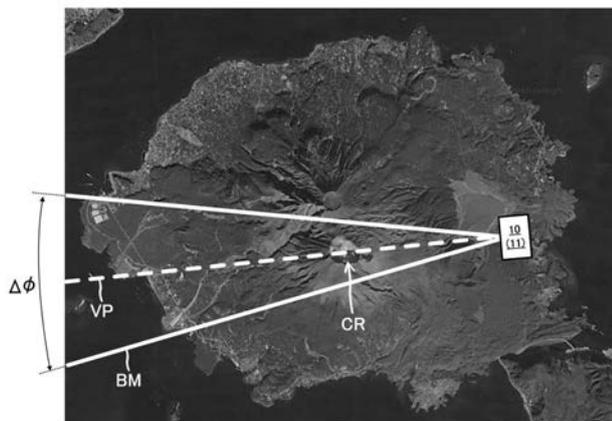
【 図 1 】



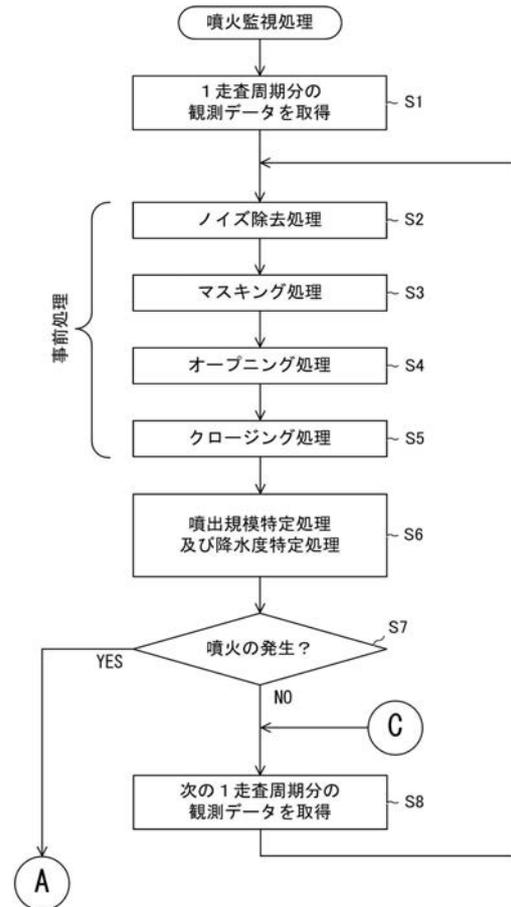
【 図 2 】



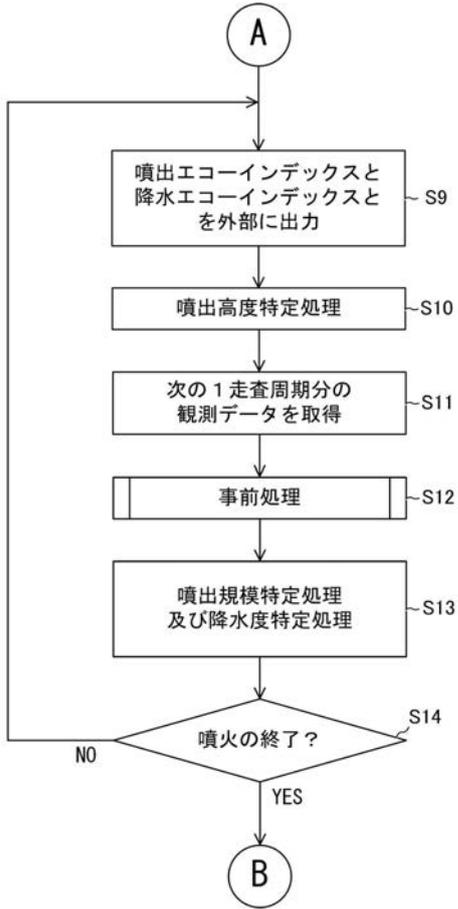
【 図 3 】



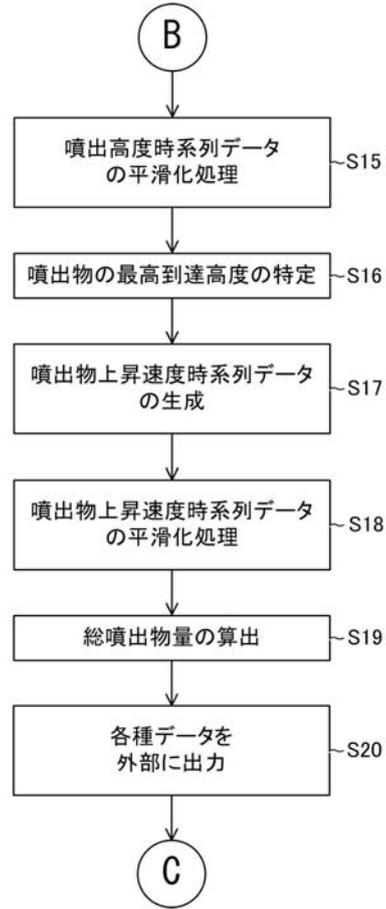
【 図 4 】



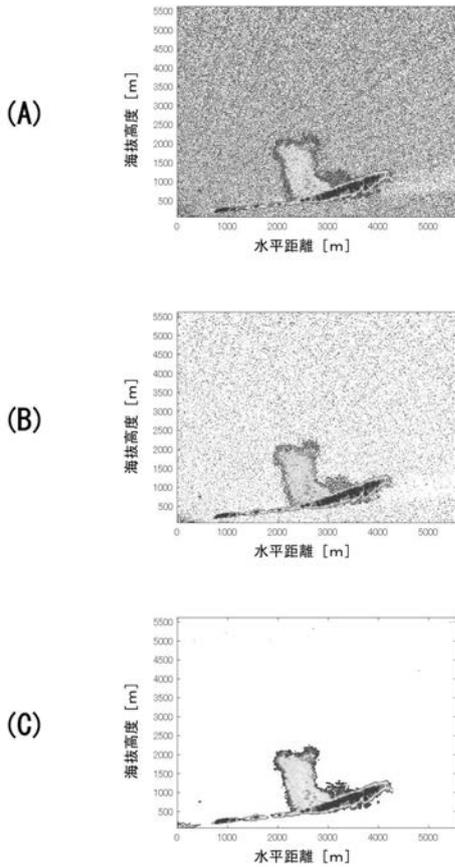
【 図 5 】



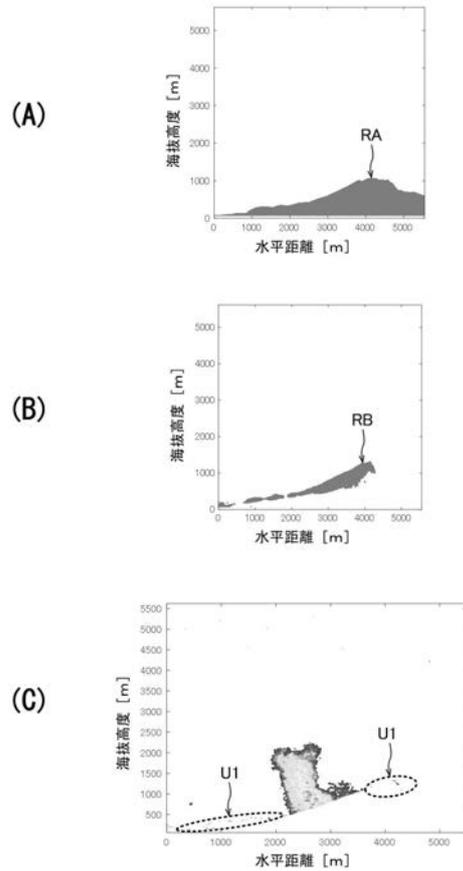
【 図 6 】



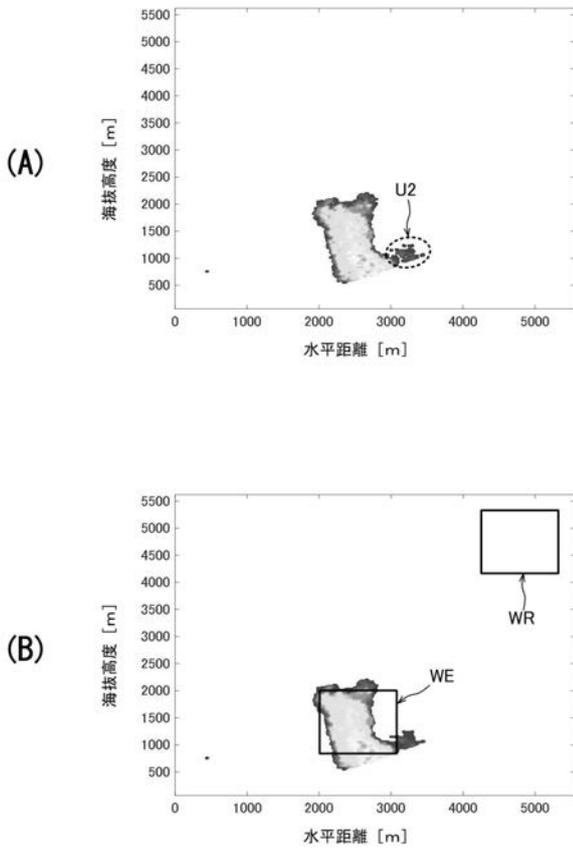
【 図 7 】



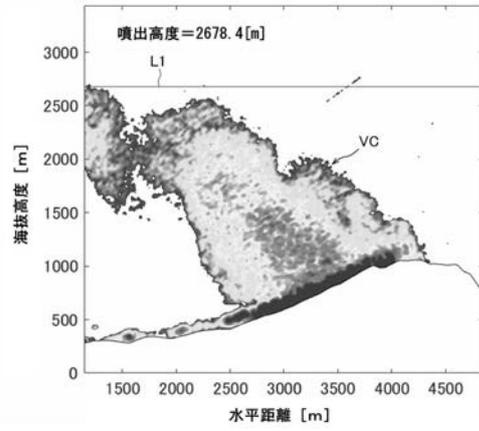
【 図 8 】



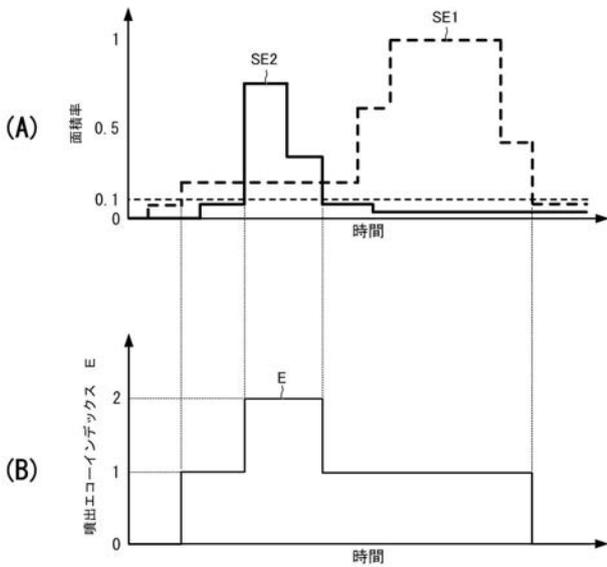
【 図 9 】



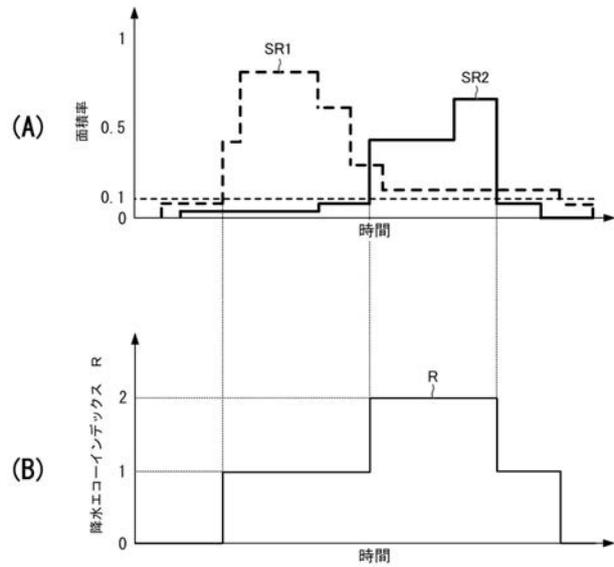
【 図 10 】



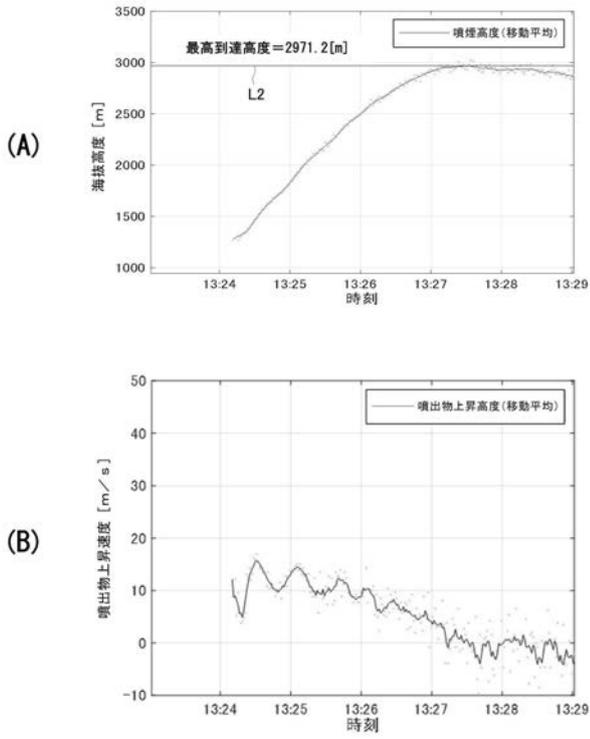
【 図 11 】



【 図 12 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

特許法第30条第2項適用申請有り ウェブサイト：<http://www.kazan.or.jp/doc/kazan2018/>、発表名：「船舶レーダによる桜島噴煙柱の観測」、公開日：2018年9月19日
 ウェブサイト：<http://www.kazan.or.jp/doc/kazan2018/>、発表名：「船舶レーダを用いた噴煙柱の鉛直流の観測」、公開日：2018年9月19日 集会名：特定非営利活動法人日本火山学会2018年度秋季大会、発表名：「船舶レーダによる桜島噴煙柱の観測」、開催日：2018年9月28日 集会名：特定非営利活動法人日本火山学会2018年度秋季大会、発表名：「船舶レーダを用いた噴煙柱の鉛直流の観測」、開催日：2018年9月28日 発行者名：日本気象学会、刊行物名：2018年度秋季大会講演予稿集、発行年月日：2018年10月1日 ウェブサイト：<https://www.metsoc.jp/meetings/2018a>、公開日：2018年10月9日 集会名：日本気象学会2018年度秋季大会、開催日：2018年11月1日 ウェブサイト：https://doi.org/10.18940/vsj.2018.0_57、公開日：2019年3月6日 ウェブサイト：https://doi.org/10.18940/vsj.2018.0_58、公開日：2019年3月6日

(出願人による申告) 2018年度、国立研究開発法人防災科学技術研究所、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」委託事業、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願

(72)発明者 小堀 壮彦

鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人 鹿児島大学内

(72)発明者 藤吉 康志

北海道札幌市北区北8条西5丁目 国立大学法人北海道大学内

Fターム(参考) 2G105 AA01 BB14 CC01 CC02 DD02 EE01 FF04 FF13 GG01 HH04
 5J070 AC03 AC06 AC20 AD01 AE12 AF01 AG01 AG07 AH31 AH39
 AJ13 AK40 BG15