

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02018/097272

発行日 令和1年10月17日 (2019.10.17)

(43) 国際公開日 平成30年5月31日 (2018.5.31)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
GO1V 1/00 (2006.01) GO1V 1/00 E 2G105

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 45 頁)

<p>出願番号 特願2018-552986 (P2018-552986)</p> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP2017/042333</p> <p>(22) 国際出願日 平成29年11月27日 (2017.11.27)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2016-230526 (P2016-230526)</p> <p>(32) 優先日 平成28年11月28日 (2016.11.28)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国 (JP)</p>	<p>(71) 出願人 504132272 国立大学法人京都大学 京都府京都市左京区吉田本町36番地1</p> <p>(74) 代理人 100114557 弁理士 河野 英仁</p> <p>(74) 代理人 100078868 弁理士 河野 登夫</p> <p>(72) 発明者 梅野 健 京都府京都市左京区吉田本町36番地1 国立大学法人京都大学内</p> <p>(72) 発明者 岩田 卓也 京都府京都市左京区吉田本町36番地1 国立大学法人京都大学内</p> <p>Fターム(参考) 2G105 AA03 BB01 MM03</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異常検知装置、通信装置、異常検知方法、プログラム及び記録媒体

(57) 【要約】

地上の観測局が衛星から受信した信号の観測データに基づいて、コンピュータは、観測局と衛星との間の電離圏における全電子数の観測開始時からの変化量を算出する。コンピュータは、電離圏における全電子数の観測開始時からの変化量の時間変化に基づいて、次に算出される全電子数の変化量を推定し、推定した全電子数の変化量と、実際に算出された全電子数の変化量との差異（推定誤差）を算出する。コンピュータは、各観測局について算出した推定誤差と、各観測局の近傍の所定数の観測局について算出した推定誤差との相関値を算出する。コンピュータは、観測局毎に算出した相関値が所定閾値以上である場合、この観測局の近傍の所定数の観測局についても相関値が所定閾値以上であれば、この観測局と衛星との間の電離圏に異常発生と判定する。

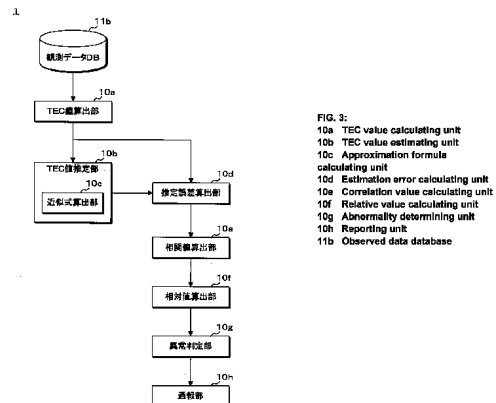


FIG. 3:
 10a TEC value calculating unit
 10b TEC value estimating unit
 10c Approximation formula calculating unit
 10d Estimation error calculating unit
 10e Correlation value calculating unit
 10f Relative value calculating unit
 10g Abnormality determining unit
 10h Reporting unit
 10n Transmitter
 11b Observed data database

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出する電子数算出部と、

前記電子数算出部が前記観測局毎に、第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に前記電子数算出部が算出した変化量との差異を算出する差異算出部と、

前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する相関値算出部と、

前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する判定部と

、
異常が発生していると判定した場合に通報する通報部と
を備えることを特徴とする異常検知装置。

【請求項 2】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局から所定距離を隔てた前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の異常検知装置。

【請求項 3】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局の近傍で、前記電子数算出部が算出した変化量が所定値以上異なる前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の異常検知装置。

【請求項 4】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局の近傍の前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の異常検知装置。

【請求項 5】

前記判定部は、前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した前記相関値が前記所定閾値以上である場合に、前記観測局の近傍の第 2 所定数の観測局のそれぞれについて前記相関値算出部が算出した前記相関値が前記所定閾値以上であるときは、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項 1 から 4 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 6】

前記電子数算出部が前記観測局毎に、前記第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、前記複数個の変化量の時間変化を示す近似式を算出し、算出した近似式に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定する推定部

を備えることを特徴とする請求項 1 から 5 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置

【請求項 7】

前記差異算出部は、前記電子数算出部が前記観測局毎に、前記第 1 の所定時間に続く第 2 の所定時間に亘って前記所定時間間隔で算出した変化量と、前記電子数算出部による変化量の算出タイミングに対して前記推定部が前記近似式に基づいて推定した変化量との差異を算出し、

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記算出タイミングに対して各観測局について算出した前記差異と、前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差

10

20

30

40

50

異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 6 に記載の異常検知装置。

【請求項 8】

前記相関値算出部は、いずれかの前記観測局 x_0 における時刻 T での前記相関値 $C(T)$ を、以下の式 1 に基づいて算出することを特徴とする請求項 7 に記載の異常検知装置。

【数 1】

$$C(T) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^{N-1} (x_{i,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t}) \times (x_{0,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t}) \quad \dots \text{(式 1)}$$

10

ただし、 x_i は前記第 1 所定数の観測局のいずれかを示し、

x_{0,t_0} は観測局 x_0 における時刻 t_0 での前記差異を示し、

x_{i,t_0} は観測局 x_i における時刻 t_0 での前記差異を示す。

また、任意の時刻を t とし、前記第 1 の所定時間を t_{sample} とし、前記第 2 の所定時間を t_{test} とし、時刻 T は任意の時刻 t から時間 t_{sample} 及び t_{test} が経過した時刻を示す。

20

更に、 M は前記第 1 所定数を示し、 N は第 2 の所定時間 t_{test} に亘って算出した全電子数の観測開始時からの変化量の個数を示し、 t は全電子数の観測開始時からの変化量を算出する時間間隔であり、 $t = t_{\text{test}} / (N - 1)$ で示される。

【請求項 9】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が各観測局について算出した前記差異と、前記第 1 所定数の観測局のうちの 2 つの観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 1 から 7 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 10】

前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した時刻 T での前記相関値の中央値 $med(T)$ 及び標準偏差 $\sigma(T)$ を算出する算出部と、

30

前記算出部が算出した前記中央値 $med(T)$ 及び標準偏差 $\sigma(T)$ に基づいて、各観測局の前記相関値 $C(T)$ の前記中央値 $med(T)$ に対する相対値 $r(T)$ を、以下の式に基づいて算出する相対値算出部とを備え、

$$r(T) = (C(T) - med(T)) / \sigma(T)$$

前記判定部は、前記相対値算出部が算出した前記相対値が所定閾値以上である場合に、前記観測局の近傍の第 2 所定数の観測局のそれぞれについて前記相対値算出部が算出した前記相対値が前記所定閾値以上であるときは、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項 1 から 9 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

40

【請求項 11】

前記観測局のそれぞれが前記衛星から受信した信号に対して独立成分分析を実行する独立成分分析部

を備えることを特徴とする請求項 1 から 10 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 12】

前記通報部は、前記判定部が前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しない

ことを特徴とする請求項 1 から 11 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 13】

50

前記判定部は、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると継続して判定した時間が所定時間に達した場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していることを確定する

ことを特徴とする請求項 1 から 1 2 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 1 4】

前記信号に係る情報は、周波数が異なる 2 つの信号のそれぞれの位相であり、

前記電子数算出部は、前記 2 つの信号の位相差に基づいて前記大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を算出する

ことを特徴とする請求項 1 から 1 3 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 1 5】

過去の観測データに基づいて、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生しているか否かの判断基準である前記所定閾値を特定する特定部

を備えることを特徴とする請求項 1 から 1 4 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 1 6】

複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出する電子数算出部と、

前記電子数算出部が前記観測位置毎に、第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に前記電子数算出部が算出した変化量との差異を算出する差異算出部と、

前記差異算出部が前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第 1 所定数の観測位置について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する相関値算出部と、

前記相関値算出部が前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する判定部と、

異常が発生していると判定した場合に通報する通報部と

を備えることを特徴とする異常検知装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 から 1 6 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置から通報された情報を受信する受信部と、

前記受信部が受信した情報を通知する通知部と

を備えることを特徴とする通信装置。

【請求項 1 8】

異常検知装置が、

地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測局毎に、第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第 1 所定数の観測局について算出した前記差異との相関値を算出し、

前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、

異常が発生していると判定した場合に通報する

処理を実行することを特徴とする異常検知方法。

【請求項 1 9】

異常検知装置が、

複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する

10

20

30

40

50

信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測位置毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第1所定数の観測位置について算出した前記差異との相関値を算出し、

前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、

異常が発生していると判定した場合に通報する

処理を実行することを特徴とする異常検知方法。

10

【請求項20】

コンピュータに、

地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測局毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第1所定数の観測局について算出した前記差異との相関値を算出し、

前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、

異常が発生していると判定した場合に通報する

処理を実行させることを特徴とするプログラム。

20

【請求項21】

コンピュータに、

複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測位置毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第1所定数の観測位置について算出した前記差異との相関値を算出し、

前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、

異常が発生していると判定した場合に通報する

処理を実行させることを特徴とするプログラム。

30

【請求項22】

請求項20又は21に記載のプログラムが記録してあることを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、異常検知装置、通信装置、異常検知方法、プログラム及び記録媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

地震の発生を早期に通知する地震速報が行われている。地震が発生すると、震源からP波（Primary Wave）及びS波（Secondary Wave）と呼ばれる地震波（揺れ）が伝わってく

50

る。P波（初期微動）及びS波（主要動）は伝わる速度が異なるので、先に伝わるP波を感知した時点で、S波が伝わってくる前に地震速報にて地震の発生を通知することができる。具体的には、震源に近い場所に設置された地震計でP波が感知された時点で、P波の観測データから震源の位置及び規模（マグニチュード）が推定され、推定された震源の位置及び規模に基づいて各地でのS波の到達時刻及び震度が予測されて通知される。

【0003】

また、近年、地震の発生と、超高層大気と呼ばれる電離圏における電子数の変動との関係についての研究が行われている。例えば、非特許文献1では、地震発生の約1時間前から地震発生の約30分後までの時間帯において、震源の上空の電離圏における電子数が、その前後の時間帯における電離圏の電子数の変動と比較して異常に増加していたことが報告されている。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Heki, K., "Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake", Geophysical Research Letters, Vol. 38, L17312 (2011)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

非特許文献1では、地震発生の前後における電離圏の電子数の変動に基づいて、地震発生の前後約1時間半における電子数の異常変動（地震の発生）を検知している。地震の発生を事前に予測する場合、地震発生前のデータのみを用いて電離圏における電子数の異常変動を検知する必要がある。しかし、電離圏の電子数は、日や季節の自然変化、太陽フレア等の宇宙天気によっても変動するので、地震発生前のデータのみに基づいて、電離圏における電子数の異常変動を精度よく検知することは困難である。

20

【0006】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、地震発生前のデータのみに基づいて、電離圏における電子数の異常変動を精度よく検知することを可能にする異常検知装置等を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

30

【0007】

本発明の一態様に係る異常検知装置は、地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出する電子数算出部と、前記電子数算出部が前記観測局毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に前記電子数算出部が算出した変化量との差異を算出する差異算出部と、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第1所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する相関値算出部と、前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する判定部と、異常が発生していると判定した場合に通報する通報部とを備えることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0008】

本発明の一態様にあつては、地震発生前（地震が発生していないとき）の大気中の電子数の変動に基づいて、電子数の異常変動を精度よく検知することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施形態1のコンピュータ及び通信装置の構成例を示すブロック図である。

【図2】観測データを説明するための模式図である。

50

- 【図 3】制御部によって実現される機能を示すブロック図である。
- 【図 4 A】TEC 値算出部が算出する電子数を説明するための模式図である。
- 【図 4 B】TEC 値算出部が算出する電子数を説明するための模式図である。
- 【図 5】TEC 値算出部が算出する電子数を説明するための模式図である。
- 【図 6】TEC 値算出部が算出した TEC 値の時間変化を示すグラフである。
- 【図 7 A】TEC 値算出部が算出した TEC 値の時間変化及び相関値算出部が算出した相関値の時間変化を示すグラフである。
- 【図 7 B】TEC 値算出部が算出した TEC 値の時間変化及び相関値算出部が算出した相関値の時間変化を示すグラフである。
- 【図 8】異常判定部による判定結果を示す模式図である。 10
- 【図 9】コンピュータが行う処理の手順を示すフローチャートである。
- 【図 10】実施形態 2 の異常検知システムの構成例を示すブロック図である。
- 【図 11】観測局コンピュータ及び中央コンピュータが行う処理の手順を示すフローチャートである。
- 【図 12】実施形態 3 のコンピュータの制御部によって実現される機能を示すブロック図である。
- 【図 13】実施形態 4 のコンピュータが行う処理の手順を示すフローチャートである。
- 【図 14 A】実施形態 4 のコンピュータが行う処理を説明するための模式図である。
- 【図 14 B】実施形態 4 のコンピュータが行う処理を説明するための模式図である。
- 【図 14 C】実施形態 4 のコンピュータが行う処理を説明するための模式図である。 20
- 【図 15】実施形態 5 のコンピュータの制御部によって実現される機能を示すブロック図である。
- 【図 16】実施形態 5 のコンピュータが行う処理の手順を示すフローチャートである。
- 【図 17】実施形態 6 のコンピュータが行う処理の手順を示すフローチャートである。
- 【図 18】異常判定部による判定結果を示す模式図である。
- 【図 19】実施形態 7 のコンピュータが行う処理の手順を示すフローチャートである。
- 【図 20】参考データ DB の構成例を示す模式図である。
- 【図 21】コンピュータが行う処理の手順を示すフローチャートである。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0010】 30
以下、本発明に係る実施形態について図面を用いて具体的に説明する。
- 【0011】
(実施形態 1)
実施形態 1 に係る異常検知装置について説明する。実施形態 1 では、本開示のプログラムを、例えばコンピュータにインストールして実行することにより、本開示の異常検知装置が実現される。
- 【0012】
図 1 は、実施形態 1 のコンピュータ及び通信装置の構成例を示すブロック図である。コンピュータ 1 は、例えばパーソナルコンピュータ、ワークステーション、スーパーコンピュータ等である。具体的には、コンピュータ 1 は、制御部 10、記憶部 11、メモリ 12、通信部 13 等を含み、これらの各部はバスを介して相互に接続されている。コンピュータ 1 は、これらの各部のほかに、キーボード、マウス等を含む操作部、液晶ディスプレイ、有機 EL (Electro Luminescence) ディスプレイ等の表示部を備えていてもよい。 40
- 制御部 10 は、CPU (Central Processing Unit) 又は MPU (Micro-Processing Unit) 等のプロセッサを含む。制御部 10 は、記憶部 11 に記憶してある制御プログラムを適宜メモリ 12 に展開して実行することにより、コンピュータ 1 が行う種々の制御処理を行う。
- 【0013】
記憶部 11 は、例えばハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等である。記憶部 11 は、制御部 10 が実行する各種の制御プログラム及び各種のデータを記憶する。記 50

憶部 1 1 が記憶する制御プログラムには異常検知プログラム 1 1 a が含まれ、記憶部 1 1 が記憶するデータには観測データデータベース（以下、観測データ DB という）1 1 b が含まれる。なお、異常検知プログラム 1 1 a 及び観測データ DB 1 1 b は、CD-ROM（Compact Disc-Read Only Memory）又は DVD-ROM（Digital Versatile Disc-ROM）等の記録媒体によって提供されるものでもよい。この場合、制御部 1 0 は、読取装置（図示せず）を用いて記録媒体から異常検知プログラム 1 1 a 及び観測データ DB 1 1 b を読み取って記憶部 1 1 に記憶させる。また、異常検知プログラム 1 1 a 及び観測データ DB 1 1 b は、インターネット等のネットワーク N 経由で提供されるものでもよい。この場合、制御部 1 0 は、異常検知プログラム 1 1 a 及び観測データ DB 1 1 b を、通信部 1 3 を介して他のコンピュータからダウンロードして記憶部 1 1 に記憶させる。なお、異常検知プログラム 1 1 a 及び観測データ DB 1 1 b の一方を記録媒体から取得し、他方をネットワーク N 経由で取得してもよいことは言うまでもない。

10

【0014】

メモリ 1 2 は、例えば RAM（Random Access Memory）、フラッシュメモリ等である。メモリ 1 2 は、記憶部 1 1 に記憶してある制御プログラムを制御部 1 0 が実行する際に発生するデータを一時的に記憶する。

通信部 1 3 は、ネットワーク N に接続するためのインタフェースであり、ネットワーク N を介して、通信装置 1 0 0 を含む他のコンピュータと通信を行う。通信部 1 3 による通信は、ケーブルを介した有線通信でもよいし、無線通信でもよい。

【0015】

ここで、観測データ DB 1 1 b に記憶される観測データについて説明する。図 2 は、観測データを説明するための模式図である。観測データは、地上（地表）に設置された観測局 2 が、宇宙空間に配置された衛星 3 から受信する信号（電波）に関するデータである。例えば、衛星 3 が異なる周波数の 2 つの信号 L 1 , L 2 を送信しており、観測局 2 が信号 L 1 , L 2 を受信した各時点での位相が観測データとして用いられる。なお、信号 L 1 , L 2 として、例えば周波数がそれぞれ 1 . 5 GHz 及び 1 . 2 GHz の信号を用いることができる。

20

【0016】

現在、地表からの高度が約 2 万 Km の位置で約 3 0 個の GPS（Global Positioning System）衛星 3 が地球を周回している。また日本には、約 1 3 0 0 箇所 GPS 衛星 3 からの信号を受信する観測局 2 が設置されており、観測局 2 による GEONET（GPS Earth Observation NETWORK）が構築されている。GEONET は国土交通省の国土地理院によって運営されており、GEONET（各観測局 2）によって収集された観測データは一般に公開されている。よって、GEONET によって収集されたデータのうちで、観測局 2 が信号 L 1 , L 2 を受信した各時点での位相を観測データとして用いることができる。

30

また、日本の上空には高度約 3 6 0 0 0 km の位置で複数の準天頂衛星が準天頂軌道上を移動している。複数の準天頂衛星は、常に 1 機の準天頂衛星が日本の天頂（真上）付近に存在するように配置されている。よって、観測局 2 が準天頂衛星から受信した信号 L 1 , L 2 の各受信時点での位相を観測データに用いることもできる。日本以外の国もそれぞれの上空に衛星を配置しており、例えば観測局 2 がインドに設置されている場合、IRNSS（Indian Regional Navigational Satellite System）における IRNSS 衛星を衛星 3 に用いることができる。観測局 2 が受信できる信号 L 1 , L 2 の送信が可能であれば、衛星 3 はどのような衛星でもよい。

40

【0017】

実施形態 1 の観測データ DB 1 1 b には、例えば日本中に設置された全ての観測局 2 について、各観測局 2 が所定時間間隔（例えば 3 0 秒毎）で受信した信号 L 1 , L 2 の位相と受信時刻とが対応付けて記憶してある。

【0018】

通信装置 1 0 0 は、例えば携帯電話、スマートフォン、パーソナルコンピュータ等である。具体的には、通信装置 1 0 0 は、制御部 1 0 1、記憶部 1 0 2、メモリ 1 0 3、通信

50

部 104、通知部 105 等を含み、これらの各部はバスを介して相互に接続されている。

制御部 101 は、CPU 又は MPU 等のプロセッサを含み、記憶部 102 に記憶してある制御プログラムを適宜メモリ 103 に展開して実行することにより、通信装置 100 が行う種々の制御処理を行う。

【0019】

記憶部 102 は、例えばハードディスク、SSD、フラッシュメモリ等であり、制御部 101 が実行する各種の制御プログラム及び各種のデータを記憶する。メモリ 103 は、例えば RAM、フラッシュメモリ等であり、記憶部 102 に記憶してある制御プログラムを制御部 101 が実行する際に発生するデータを一時的に記憶する。

通信部 104 は、ネットワーク N に接続するためのインタフェースであり、ネットワーク N を介して、例えばコンピュータ 1 と通信を行う。通信部 104 による通信は、ケーブルを介した有線通信でもよいし、無線通信でもよい。

通知部 105 は、例えば液晶ディスプレイ、有機 EL ディスプレイ等の表示部、ランプ、ブザー、スピーカ等を含み、制御部 101 からの指示に従って、表示部への所定メッセージの表示、ランプの点灯又は点滅、ブザーの鳴動、スピーカによる音声出力等を行うことにより、通信装置 100 のユーザに所定の状況を通知する。

【0020】

次に、コンピュータ 1 の制御部 10 が異常検知プログラム 11 a を実行することによって実現される機能について説明する。図 3 は、制御部 10 によって実現される機能を示すブロック図である。制御部 10 は、記憶部 11 に記憶してある異常検知プログラム 11 a を実行することにより、TEC (Total Electron Content) 値算出部 10 a、TEC 値推定部 10 b、推定誤差算出部 10 d、相関値算出部 10 e、相対値算出部 10 f、異常判定部 10 g、通報部 10 h の各機能を実現する。

【0021】

TEC 値算出部 (電子数算出部) 10 a は、観測データ DB 11 b に記憶してある観測データに基づいて、観測局 2 のそれぞれと衛星 3 との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を算出する。具体的には、TEC 値算出部 10 a は、各観測局 2 が衛星 3 から受信した信号 L1, L2 の位相に基づいて、各観測局 2 と衛星 3 との間での全電子数の観測開始時からの変化量を算出する。衛星 3 から送信される信号 (電波) には大気中の電子による遅延が生じ、電子の数が多いほど遅延が大きくなる。また、電子による遅延の大きさは信号の周波数によっても異なるので、同じ衛星 3 から受信した異なる周波数の信号 L1, L2 の遅延時間の差によって、大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を算出できる。

実施形態 1 の観測データは、所定時間間隔 (例えば 30 秒毎) で各観測局 2 が受信した信号 L1, L2 の位相である。よって、TEC 値算出部 10 a が観測データに基づいて電子数の算出処理を順次行うことにより、各観測局 2 と衛星 3 との間における大気中の電子数の変化量が所定時間間隔 (例えば 30 秒毎) で算出されることになる。

【0022】

図 4 A, 図 4 B 及び図 5 は、TEC 値算出部 10 a が算出する電子数を説明するための模式図である。図 4 A, 図 4 B 及び図 5 の上側には地球の断面の一部が示され、図 5 の下側には上空から見た地球の一部 (地図) が示されている。

TEC 値算出部 10 a が算出する電子数の単位には TECU (Total Electron Content unit) が用いられる。1 TECU は、図 4 A 及び図 4 B に示すように観測局 2 と衛星 3 とを結ぶ半径 1 m の円柱 C 内に 1×10^{16} 個の電子が存在することを表す。即ち、TEC 値算出部 10 a が算出する電子数は、観測局 2 と衛星 3 とを結ぶ半径 1 m の円柱 C 内に存在する全電子数の観測開始時からの変化量 (TEC 値) である。なお、衛星 3 は軌道上を移動しているので、図 4 A 及び図 4 B に示すように、衛星 3 の位置に応じて円柱 C の容積は変化する。

大気中の電子は高度約 300 km 付近で最も密度が高く、この領域は電離圏と呼ばれている。また、円柱 C 内に存在する電子数は、円柱 C が電離圏と交差する領域 R 内に存在す

10

20

30

40

50

る電子数とほぼ同じであると考えられる。よって、TEC値算出部10aが算出する全電子数の観測開始時からの変化量は、観測局2と衛星3とを結ぶ円柱Cが電離圏と交差する領域Rにおける全電子数の観測開始時からの変化量(TEC値)として扱うことができる。

【0023】

ここで、TEC値算出部10aが算出するTEC値の電離圏における領域Rの真下の位置(経度及び緯度)は、観測局2の位置(経度及び緯度)に一致しない場合がある。領域Rの真下の位置とは、領域Rを鉛直下方向に下ろした地表の位置である。例えば図4Bに示すように観測局2の真上(鉛直上方向)に衛星3が存在する場合、領域Rの真下の位置は観測局2の位置に一致する。一方、図4A及び図5に示すように観測局2の真上に衛星3が存在しない場合、領域Rの真下の位置は観測局2の位置に一致しない。図4Aでは、領域Rの真下の位置は観測局2の位置よりも右側にずれている。なお、領域Rの真下の位置(場所)をSIP(Sub-Ionospheric point)という。また以下では、例えばSIPの上空の電離圏におけるTEC値を、SIPにおけるTEC値という場合もある。

10

【0024】

観測局2の位置(経度及び緯度)は予め分かっている。また、衛星3の高度及び衛星3の真下の位置(経度及び緯度)の情報は、観測局2が衛星3から受信する信号に含まれている。よって、これらの情報を用いてSIPの情報(経度及び緯度)が算出できる。TEC値算出部10aは、各観測局2と衛星3との間におけるTEC値を算出すると共に、算出したTEC値に対応するSIPの情報(経度及び緯度)も算出する。なお、図5の下側の図(地図)中に、各TEC値に対応して算出されたSIPがプロットされており、これにより、時間経過と共に衛星3が移動することに伴ってSIPも移動することが分かる。

20

TEC値算出部10aは、算出したTEC値及びSIPの情報を、例えば元データである観測データの受信時刻に対応付けて記憶部11に記憶させる。なお、TEC値及びSIPの情報は、観測データDB11bに記憶されてもよいし、記憶部11に作成された別のデータベースに記憶されてもよい。

【0025】

図6は、TEC値算出部10aが算出したTEC値の時間変化を示すグラフである。図6の横軸は時間(例えば協定世界時又は日本標準時)を示し、縦軸はTEC値算出部10aが算出したTEC値を示す。図6中の実線Aは、ある観測局2について、任意の時刻(t)から時刻($t + t_{\text{sample}} + t_{\text{test}}$)までの時間に亘ってTEC値算出部10aが所定時間間隔で算出したTEC値をプロットしたものである。

30

【0026】

TEC値推定部(推定部)10bは、観測局2(SIP)毎に、TEC値算出部10aが第1の所定時間(以下ではサンプル時間 t_{sample} という)に亘って算出した複数個のTEC値に基づいて、サンプル時間に続く第2の所定時間(以下ではテスト時間 t_{test} という)に亘ってTEC値算出部10aが算出するTEC値を推定する。なお、TEC値推定部10bが推定するTEC値は、各観測局2と衛星3とにおけるSIPでのTEC値である。

サンプル時間は例えば2時間とすることができ、テスト時間は例えば0.25時間(15分)とすることができ、これらの時間に限定されない。なお、サンプル時間を2時間とし、テスト時間を0.25時間とし、TEC値算出部10aによるTEC値の算出間隔(観測局2による信号L1, L2の受信間隔)を30秒とした場合、TEC値算出部10aは、サンプル時間内に240個のTEC値を算出し、テスト時間内に30個のTEC値を算出する。

40

【0027】

TEC値推定部10bは、近似式算出部10cを有する。近似式算出部10cは、観測局2毎に、サンプル時間内に算出された複数個のTEC値の時間変化を示す近似式を最小二乗法によって算出する。近似式は、例えば7次多項式関数を用いることができるが、これに限定されず、5次多項式関数、3次フーリエ級数、7次ガウス関数等を用いることも

50

できる。図6中の破線Bは、ある観測局2について、近似式算出部10cが算出した近似式に基づく各時刻でのTEC値を示している。

TEC値推定部10bは、近似式算出部10cが算出した近似式に基づいて、テスト時間内においてTEC値算出部10aがTEC値を算出するタイミング（以下、算出タイミングという）のそれぞれに対して、TEC値算出部10aが算出するTEC値を推定する。図6中の破線Bにおいて、テスト時間の部分は、TEC値推定部10bによって推定されたTEC値（推定TEC値）を示す。

【0028】

推定誤差算出部（差異算出部）10dは、観測局2（SIP）毎に、テスト時間内の各算出タイミングについて、TEC値算出部10aが算出したTEC値と、TEC値推定部10bによる推定TEC値との差異（以下、推定誤差という）を算出する。

TEC値算出部10a、TEC値推定部10b、推定誤差算出部10dは、それぞれの観測局2の観測データ毎に処理を行う。よって、TEC値算出部10aが算出したTEC値及びSIPの情報、TEC値推定部10bによる推定TEC値、推定誤差算出部10dが算出した推定誤差は、観測データDB11bに記憶してある各観測局2の観測データに対応付けて、観測データDB11bに記憶させることができる。なお、各データは、観測データDB11bに記憶させる必要はなく、観測局2毎に記憶部11に記憶させればよい。

【0029】

相関値算出部10eは、テスト時間内の各算出タイミングについて推定誤差算出部10dが算出した各観測局2（各SIP）における推定誤差に基づいて処理を行う。

相関値算出部10eは、テスト時間内の各算出タイミングについて、複数の観測局2のうちの一つを中央観測局とし、この中央観測局の近傍の第1所定数（例えば30個）の観測局2を周辺観測局とする。周辺観測局には、中央観測局との位置に近い順に第1所定数の観測局2が選択されることが好ましい。そして、相関値算出部10eは、中央観測局について推定誤差算出部10dが算出した推定誤差と、周辺観測局のそれぞれについて推定誤差算出部10dが算出した推定誤差のそれぞれとの相関値を算出する。

【0030】

相関値算出部10eは、中央観測局 x_0 における時刻Tでの相関値 $C(T)$ を、例えば以下の式1に基づいて算出する。

【数1】

$$C(T) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^{N-1} (x_{i,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t}) \times (x_{0,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t})$$

… (式1)

ただし、 x_0 ：中央観測局、 x_i ：周辺観測局のいずれか、

x_{0,t_0} ：中央観測局 x_0 における時刻 t_0 での推定誤差、

x_{i,t_0} ：周辺観測局 x_i における時刻 t_0 での推定誤差、

t ：任意の時刻、 t_{sample} ：サンプル時間（第1の所定時間）、

t_{test} ：テスト時間（第2の所定時間）、 M ：周辺観測局の数（第1所定数）、

T ：時刻 t から時間 t_{sample} 及び t_{test} が経過した時刻、

N ：テスト時間内にTEC値算出部10aが算出したTEC値の個数、

Δt ：TEC値の算出タイミングの時間間隔（ $\Delta t = t_{\text{test}} / (N - 1)$ ）

【0031】

相関値算出部10eは、全ての観測局2について、各観測局2を中央観測局として上述

の処理を行い、テスト時間内の算出タイミング毎に観測局 2 のそれぞれにおける相関値 $C(T)$ を算出する。なお、相関値 $C(T)$ を算出する際に用いる中央観測局における推定誤差と、周辺観測局のそれぞれにおける推定誤差とは、同一の衛星 3 から受信した観測データに基づいて算出された値を用いることが好ましい。

各観測局 2 間の距離は予め分かっているので、各観測局 2 を中央観測局とした場合に周辺観測局として選択される観測局 2 は予め分かる。よって、各観測局 2 について、各観測局 2 を中央観測局とした場合に周辺観測局とされる第 1 所定数の観測局 2 を予め記憶部 11 に記憶しておいてもよい。なお、周辺観測局の数（第 1 所定数）は例えば 30 個とすることができるが、この数に限定されない。

【0032】

図 7 A 及び図 7 B は、TEC 値算出部 10 a が算出した TEC 値の時間変化及び相関値算出部 10 e が算出した相関値の時間変化を示すグラフである。図 7 A は、地震が発生していないとき（地震発生前）の TEC 値及び相関値の時間変化を示している。図 7 A の左側は TEC 値の時間変化を示すグラフであり、横軸は時間を示し、縦軸は TEC 値算出部 10 a が算出した TEC 値を示す。図 7 A の右側は相関値の時間変化を示すグラフであり、横軸は時間を示し、縦軸は相関値算出部 10 e が算出した相関値を示す。図 7 B は、地震発生（時間 5:45）の前後での TEC 値及び相関値の時間変化を示している。図 7 A と同様に、図 7 B の左側は TEC 値の時間変化を示すグラフであり、右側は相関値の時間変化を示すグラフである。

図 7 A に示すように、TEC 値の時間変化が、衛星 3 の移動に伴う通常の変化である場合、推定誤差算出部 10 d が算出する推定誤差はほぼ 0 であり、この場合に相関値算出部 10 e が算出する相関値は、0 に近い小さい値であり、変化も少ない。一方、図 7 B に示すように、TEC 値の時間変化に異常が生じた場合、推定誤差算出部 10 d が算出する推定誤差が大きくなり、この場合に相関値算出部 10 e が算出する相関値は大きく変化する。即ち、相関値算出部 10 e が算出する相関値を観察することにより、TEC 値の異常変化を検知することができる。

【0033】

上記の式 1 に示すように、実施形態 1 では、中央観測局 x_0 における時刻 T での相関値 $C(T)$ は、テスト時間内の算出タイミングのそれぞれでの中央観測局 x_0 における推定誤差と周辺観測局 x_i における推定誤差との積の総和を、積の個数で割った値（平均値）である。即ち、相関値算出部 10 e は、同時刻における 2 点（中央観測局 x_0 及び周辺観測局 x_i ）での推定誤差の相関値を算出する。

なお、算出すべき相関値は 2 点間の相関値に限らず、例えば 3 点間の相関値を用いることもできる。この場合、例えば、中央観測局における推定誤差と、いずれか 2 つの周辺観測局における推定誤差との積の総和を、積の個数で割った平均値を、相関値に用いることができる。

【0034】

相対値算出部 10 f は、時刻 T について相関値算出部 10 e が算出した全ての観測局 2（中央観測局）における相関値に基づいて処理を行う。

相対値算出部（算出部）10 f は、時刻 T について相関値算出部 10 e が算出した各観測局 2（SIP）における相関値の中央値 $med(T)$ 及び標準偏差 $\sigma(T)$ を算出する。そして、相対値算出部 10 f は、算出した中央値 $med(T)$ 及び標準偏差 $\sigma(T)$ を用いて、各観測局 2 における相関値 $C(T)$ が中央値 $med(T)$ とどの程度異なるかを示す相対値 $r(T)$ を、例えば以下の式 2 に基づいて算出する。

$$r(T) = (C(T) - med(T)) / \sigma(T) \quad \dots (式 2)$$

【0035】

異常判定部 10 g は、時刻 T について相対値算出部 10 f が算出した全ての観測局 2（全ての SIP）における相対値 $r(T)$ に基づいて処理を行う。

異常判定部 10 g は、相対値算出部 10 f が算出した各観測局 2（各 SIP）の相対値がそれぞれ所定閾値（例えば 3.5）以上であるか否かを判定する。そして、異常判定部

10

20

30

40

50

10gは、相対値が所定閾値以上である観測局2(SIP)を、SIPにおけるTEC値が異常変化している可能性がある観測局2(以下では異常観測局2という)として抽出する。図8は、異常判定部10gによる判定結果を示す模式図である。図8に示す地図には、観測局2が異常観測局2として抽出されたSIPに黒三角のマークが付与され、観測局2が異常観測局2として抽出されなかったSIPに白丸のマークが付与されている。

大地震が発生する約1時間前から、震源に近いSIPでは、電離圏のTEC値が異常変化することが知られている。よって、各SIPの相対値が所定閾値未満である場合、即ち、各SIPにおける相関値が、相関値の中央値と変わらない場合、TEC値が衛星3の移動に伴う通常変化しかしていない状況であるか、通常変化よりも大きい、大地震の発生以外の要因による変化しかしていない状況である可能性が高い。従って、各SIPの相対値が所定閾値以上であるか否かに応じて、各SIPにおけるTEC値が異常変化しているか否かを判定することにより、判定の正確性を確保することができる。なお、所定閾値は、大地震の発生によってTEC値に異常変化が生じているか否かを判定できる値であれば、どのような値でもよい。

【0036】

実施形態1では、各SIPでのTEC値が異常変化しているか否かの判定に、各SIP(観測局2)において算出した相対値(t)を用いるが、相関値算出部10eが算出した各SIPにおける相関値を用いることもできる。この場合、各SIPにおける相関値が所定閾値(例えば3.5)以上である場合に、各SIPでのTEC値が異常変化していると判定することができる。

【0037】

異常判定部10gは、異常観測局2として抽出された観測局2について、近傍の第2所定数(例えば4個)の観測局2も異常観測局2として抽出されたか否かを判断する。即ち、近傍の観測局2も、SIPにおけるTEC値が異常変化している可能性があるかと判定されたか否かを判断する。大地震の発生前に生じるTEC値の異常変化は、震源近傍の上空の電離圏で顕著である。従って、1つのSIP(観測局2)だけでなく近傍の複数のSIP(観測局2)においてもTEC値が異常変化している可能性が高い。よって、近傍の複数の観測局2も異常観測局2として抽出されていた場合、この観測局2(SIP)におけるTEC値は確実に異常変化していると判定できる。従って、異常判定部10gは異常発生を確定する。なお、近傍の観測局2の数(第2所定数)は4個に限らない。

通報部10hは、異常判定部10gが異常発生を確定した場合、異常が発生している(TEC値が異常変化している)観測局2(SIP)に関する情報を、例えば通信部13を介して通信装置100に通報する。

【0038】

通報を受けた通信装置100では、通信部104が、コンピュータ1から通報された情報を受信し、制御部101が、通信部104にて受信した情報を通知部105にて通信装置100のユーザに通知する。例えば、通知部105は、制御部101からの指示に従って、TEC値が異常変化している観測局2(SIP)を通知するためのメッセージを表示部に表示し、又は、前記メッセージをスピーカにて音声出力する。なお、通知部105は、ランプの点灯又は点滅、ブザーの鳴動によって、TEC値の異常発生を通知する構成でもよい。

【0039】

実施形態1では、コンピュータ1の制御部10が異常検知プログラム11aを実行することにより上述した各機能が実現される。このほかに、例えばFPGA(Field Programmable Gate Array)を用いて、上述した機能の一部が実現される構成でもよい。例えば、TEC値算出部10a、TEC値推定部10b、推定誤差算出部10d、相関値算出部10eを1つ又は複数のFPGAにて実現してもよい。

【0040】

次に、コンピュータ1が行う処理について説明する。図9は、コンピュータ1が行う処理の手順を示すフローチャートである。以下の処理は、コンピュータ1の記憶部11に記

10

20

30

40

50

憶してある異常検知プログラム 11a に従って制御部 10 によって実行される。観測データ DB 11b には各観測局 2 が衛星 3 から受信した信号（電波）に関する観測データ、具体的には、異なる周波数の 2 つの信号 L1, L2 を受信した各時点での位相が記憶されているものとする。

【0041】

コンピュータ 1 の制御部 10（TEC 値算出部 10a）は、観測データ DB 11b に記憶してある観測データに基づいて、観測局 2 毎に、各観測局 2 と衛星 3 との間における大気中（電離圏）の TEC 値を算出する（S1）。なお、制御部 10 は、観測局 2 毎に所定時間間隔（例えば 30 秒毎）で TEC 値を算出する。制御部 10 は、観測データ DB 11b に記憶してある全ての観測データに基づく TEC 値を順次算出する。また、観測データ DB 11b に新たに観測データが記憶された場合、制御部 10 は、所定のタイミングで、新たに記憶された観測データに基づく TEC 値を順次算出する。制御部 10 は、TEC 値と共に、この TEC 値に対応する SIP の情報（経度及び緯度）も算出しており、算出した TEC 値及び SIP の情報は記憶部 11（例えば観測データ DB 11b）に順次記憶される。

10

【0042】

次に制御部 10（近似式算出部 10c）は、観測局 2（SIP）毎に、ある時刻をサンプル時間の開始時刻とし、サンプル時間内に算出された複数個の TEC 値の時間変化を示す近似式を最小二乗法によって算出する（S2）。そして制御部 10（TEC 値推定部 10b）は、算出した近似式に基づいて、サンプル時間に続くテスト時間における TEC 値の算出タイミングのそれぞれに対応する推定 TEC 値を算出する（S3）。次に制御部 10（推定誤差算出部 10d）は、観測局 2（SIP）毎に、テスト時間内の各算出タイミングについて、ステップ S1 で算出された TEC 値と、ステップ S3 で算出された推定 TEC 値との推定誤差を算出する（S4）。

20

【0043】

次に制御部 10（相関値算出部 10e）は、テスト時間内の各算出タイミングについて、観測局 2 のそれぞれを中央観測局とし、中央観測局の近傍の第 1 所定数の観測局 2 を周辺観測局とし、上述の式 1 に基づいて、それぞれの観測局 2（中央観測局）における相関値を算出する（S5）。

次に制御部 10（相対値算出部 10f）は、各算出タイミングに対して算出された各観測局 2（各中央観測局）における相関値の中央値及び標準偏差を算出する（S6）。そして制御部 10 は、算出した中央値及び標準偏差を用いて、各観測局 2（各中央観測局）における相関値の中央値に対する相対値（相関値が中央値とどの程度異なるかを示す値）を、上述の式 2 に基づいて算出する（S7）。

30

【0044】

次に制御部 10（異常判定部 10g）は、算出された各観測局 2（各 SIP）における相対値がそれぞれ所定閾値以上であるか否かに基づいて、各 SIP における TEC 値が異常変化しているか否かを判定する（S8）。制御部 10 は、相対値が所定閾値以上である観測局 2 を異常観測局 2 として抽出する。

次に制御部 10 は、異常観測局 2 として抽出した観測局 2 について、近傍の第 2 所定数の観測局 2 も抽出されているか否かを判定する。即ち、近傍の観測局 2 に対応する SIP における TEC 値も異常変化しているか否かを判定する。近傍の第 2 所定数の観測局 2 も抽出されている場合、制御部 10 は、この観測局 2 に対応する SIP における TEC 値が異常変化していることを確定する。

40

【0045】

制御部 10 は、異常観測局 2 として抽出した各観測局 2 において、SIP における TEC 値が異常変化していることが確定されたか否かを判断する（S9）。いずれの観測局 2 についても確定されなかった場合（S9：NO）、制御部 10 は処理を終了する。いずれかの観測局 2 について異常変化していることが確定された場合（S9：YES）、制御部（通報部 10h）10 は、異常発生が確定された観測局 2（SIP）に関する情報を、例

50

えば通信装置 100 に通報し (S10)、処理を終了する。

制御部 10 は、例えば所定時間毎 (例えば 30 秒毎) の各時刻をそれぞれサンプル時間の開始時刻とし、ステップ S2 ~ S10 の処理を行う。これにより、各 S I P における T E C 値の異常変化を早期に検知できる。

【0046】

コンピュータ 1 からの通報を受けた通信装置 100 では、通信部 104 が、通報された情報を受信し、制御部 101 が、通信部 104 にて受信した情報に基づいて、いずれの観測局 2 (S I P) における T E C 値に異常が発生していることを通知部 105 にて通知する。

【0047】

実施形態 1 では、観測局 2 が衛星 3 から受信した信号 (直接波) が観測データに用いられる。観測データとしては、例えば地上の送信アンテナから送信された信号が電離圏で反射された後に地上の受信アンテナで受信される構成において、受信アンテナで受信された信号 (反射波) が用いられる場合がある。実施形態 1 のように直接波を用いる場合、反射波を用いる場合と比較して、通信経路において受信信号に加わるノイズが少なく、精度の高い観測データを得ることができる。よって、精度の高い観測データを用いることにより、電離圏の T E C 値の変化を精度よく検知できる。また、直接波を用いることにより、観測局 2 の位置と衛星 3 の位置とに基づいて、電離圏における観測位置 (S I P) を容易に特定できる。

【0048】

実施形態 1 では、ある S I P について算出した相対値が所定閾値 (例えば 3.5) 以上である場合、又は算出した相関値が所定閾値 (例えば 3.5) 以上である場合に、この S I P における T E C 値が異常変化している可能性があるとして判定する。そして、T E C 値が異常変化している可能性があるとして判定した S I P の近傍の第 2 所定数の S I P における T E C 値も異常変化している可能性があるとして判定された場合に、この S I P における T E C 値が確実に異常変化していると確定する。これにより、大地震の発生に伴う T E C 値の異常変化のみを精度よく検知でき、誤通報を抑制できる。

【0049】

各 S I P における T E C 値が異常変化していると確定する方法は、上述の方法に限らない。例えば、各 S I P における T E C 値が異常変化している可能性があるとして判定された回数 (算出タイミングの回数) に基づいて、各 S I P における T E C 値の異常変化を確定してもよい。即ち、各 S I P において所定時間に亘って T E C 値が異常変化している可能性があるとして判定された場合に、この S I P における T E C 値の異常変化を確定することもできる。

【0050】

また、T E C 値が異常変化している可能性があるとして判定された S I P (観測局 2) の数が、複数の観測局 2 のうちの一定の割合以上 (例えば 30% 以上) であった場合に、検知された T E C 値の異常は、大地震の発生に伴う異常ではなく宇宙天気、日や季節の自然変化による異常と確定し、コンピュータ 1 が通報処理を行わないようにしてもよい。地震発生以外の要因で生じる電離圏 (T E C 値) の異常は、観測可能な観測局 2 のうちの一定の割合以上の観測局 2 で検知されることが知られている。よって、一定の割合以上の観測局 2 で同時に T E C 値の異常が検知された場合に、大地震の発生に伴う異常ではないと確定することにより、地震発生以外の要因で生じる T E C 値の異常を排除できる。よって、大地震の発生に伴う T E C 値の異常変化のみを精度よく検知でき、通報することができる。

【0051】

実施形態 1 では、電離圏における T E C 値の異常変化を早期に且つ精度よく検知できる。大地震が発生する約 1 時間前から、電離圏における T E C 値が異常変化することが知られている。よって、コンピュータ 1 が検知した電離圏における T E C 値の異常変化を早期に通報することができる。また、コンピュータ 1 が検知した電離圏における T E C 値の異常変化を、地震発生前に、これから発生する可能性の高い大地震の震源の予測に利用でき

10

20

30

40

50

る。例えば、TEC値が異常変化している電離圏(SIP)と震源との位置関係、各SIPにおける地盤の情報等を予め過去のデータから導き出しておき、これらの情報を用いることにより震源の場所を予測することが可能となる。図8に示す判定結果を用いた場合、九州の南東端から更に南東の海上のSIPにおけるTEC値が異常変化しているので、この箇所の近傍を震源とする地震が発生する可能性が高いと予測できる。よって、例えば、通報先の通信装置100において、コンピュータ1から通報された情報に基づいて、地震発生前に地震の発生及び震源を予測し、予測した情報を緊急速報に用いる場合には、例えば地震発生前の30分程度前に緊急速報を発信することが可能となる。

【0052】

(実施形態2)

上述した実施形態1の異常検知装置における変形例について説明する。実施形態1では、1つのコンピュータ1を用いて全ての処理を行う構成について説明した。これに対して、実施形態2では、実施形態1のコンピュータ1が行っていた処理を複数のコンピュータを用いて分散して行う構成について説明する。

図10は、実施形態2の異常検知システムの構成例を示すブロック図である。実施形態2の異常検知システムは、各観測局2に設置された複数の観測局コンピュータ5と、1つの中央コンピュータ4とを備える。観測局コンピュータ5及び中央コンピュータ4は、例えばパーソナルコンピュータ、ワークステーション、スーパーコンピュータ等である。実施形態2では、本開示の異常検知プログラムの一部(推定誤差算出プログラム51a)がそれぞれの観測局コンピュータ5にインストールされ、残り(異常検知プログラム41a)が中央コンピュータ4にインストールされており、全体として実施形態1のコンピュータ1と同様の処理が行われる。

【0053】

観測局コンピュータ5は、制御部50、記憶部51、メモリ52、通信部53等を含み、これらの各部はバスを介して相互に接続されている。制御部50は、CPU又はMPU等のプロセッサを含み、記憶部51に記憶してある制御プログラムを適宜メモリ52に展開して実行することにより、観測局コンピュータ5が行う種々の制御処理を行う。記憶部51は、例えばハードディスク、SSD等であり、制御部50が実行する各種の制御プログラム及び各種のデータを記憶する。記憶部51が記憶する制御プログラムには推定誤差算出プログラム51aが含まれ、記憶部51が記憶するデータには観測データDB51bが含まれる。

【0054】

メモリ52は、例えばRAM、フラッシュメモリ等であり、記憶部51に記憶してある制御プログラムを制御部50が実行する際に発生するデータを一時的に記憶する。

通信部53は、ネットワークNに接続するためのインタフェースであり、ネットワークNを介して、他のコンピュータと通信を行う。通信部53による通信は、ケーブルを介した有線通信でもよいし、無線通信でもよい。

観測データDB51bに記憶される観測データの内容は、実施形態1の観測データと同一であるが、観測局コンピュータ5が設置されている観測局2が衛星3から受信した信号(電波)に関するデータのみである。

【0055】

観測局コンピュータ5の制御部50は推定誤差算出プログラム51aを実行することにより、実施形態1のコンピュータ1の制御部10が実現する機能のうちTEC値算出部10a、TEC値推定部10b、推定誤差算出部10dの各機能を実現する。なお、観測局コンピュータ5の制御部50が実現するTEC値算出部10a、TEC値推定部10b、推定誤差算出部10dは、自身の観測局コンピュータ5が設置されている観測局2による観測データに基づく処理のみである。よって、例えばTEC値算出部10aは、自身の観測局コンピュータ5が設置されている観測局2と衛星3との間におけるTEC値のみを算出する。実施形態2のTEC値推定部10b、推定誤差算出部10dは、実施形態1と同様の処理を行う。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

観測局コンピュータ5の制御部50は、テスト時間内の各算出タイミングについて推定誤差算出部10dが算出した推定誤差を、通信部53から中央コンピュータ4へ送信する。なお、制御部50は、テスト時間内の各算出タイミング（観測データの各受信時刻）と、TEC値算出部10aが算出したSIPの情報と、推定誤差とを対応付けて中央コンピュータ4へ送信する。

【 0 0 5 7 】

中央コンピュータ4は、制御部40、記憶部41、メモリ42、通信部43等を含み、これらの各部はバスを介して相互に接続されている。制御部40は、CPU又はMPU等のプロセッサを含み、記憶部41に記憶してある制御プログラムを適宜メモリ42に展開して実行することにより、中央コンピュータ4が行う種々の制御処理を行う。記憶部41は、例えばハードディスク、SSD等であり、制御部40が実行する各種の制御プログラム及び各種のデータを記憶する。記憶部41が記憶する制御プログラムには異常検知プログラム41aが含まれ、記憶部41が記憶するデータには推定誤差データベース（以下、推定誤差DBという）41bが含まれる。

10

【 0 0 5 8 】

メモリ42は、例えばRAM、フラッシュメモリ等であり、記憶部41に記憶してある制御プログラムを制御部40が実行する際に発生するデータを一時的に記憶する。

通信部43は、ネットワークNに接続するためのインタフェースであり、ネットワークNを介して、他のコンピュータと通信を行う。通信部43による通信は、ケーブルを介した有線通信でもよいし、無線通信でもよい。

20

推定誤差DB41bには、各観測局2に対応付けて、各観測局コンピュータ5から受信した、テスト時間内の各算出タイミング、SIPの情報、及び推定誤差が記憶される。制御部40は、各観測局コンピュータ5から各情報を受信する都度、観測局2に対応付けて推定誤差DB41bに記憶させる。

【 0 0 5 9 】

中央コンピュータ4の制御部40は異常検知プログラム41aを実行することにより、実施形態1のコンピュータ1の制御部10が実現する機能のうちの相関値算出部10e、相対値算出部10f、異常判定部10g、通報部10hの各機能を実現する。実施形態2の相関値算出部10eは、各観測局2から受信して推定誤差DB41bに記憶された推定誤差に基づいて、テスト時間内の各算出タイミングについて、各観測局2（中央観測局）における相関値を算出する。実施形態2の相対値算出部10f、異常判定部10g、通報部10hは、実施形態1と同様の処理を行う。

30

【 0 0 6 0 】

観測局コンピュータ5及び中央コンピュータ4は、上述した各部のほかに、キーボード、マウス等を含む操作部、液晶ディスプレイ、有機ELディスプレイ等の表示部を備えていてもよい。

【 0 0 6 1 】

次に、実施形態2の異常検知システムにおいて観測局コンピュータ5及び中央コンピュータ4が行う処理について説明する。図11は、観測局コンピュータ5及び中央コンピュータ4が行う処理の手順を示すフローチャートである。図11では、左側に観測局コンピュータ5が行う処理を、右側に中央コンピュータ4が行う処理をそれぞれ示す。各観測局コンピュータ5の観測データDB51bには、各観測局コンピュータ5が設置されている観測局2が衛星3から受信した信号（電波）に関する観測データが記憶されているものとする。

40

【 0 0 6 2 】

観測局コンピュータ5の制御部50は、図9に示すように実施形態1のコンピュータ1が行うステップS1～S4の処理と同様の処理を行う（S21～S24）。なお、観測局コンピュータ5は、観測データDB51bに記憶してある観測データに基づいて、自身の観測局コンピュータ5が設置されている観測局2と衛星3との間における電離圏（SIP

50

)の各値(TEC値、近似式、推定TEC値、推定誤差)を算出する。

制御部50は、ステップS24で算出した推定誤差を、通信部53から中央コンピュータ4へ送信する(S25)。

【0063】

中央コンピュータ4の制御部40は、各観測局コンピュータ5から受信した推定誤差を、観測局2毎に推定誤差DB41bに記憶する(S26)。

そして、中央コンピュータ4の制御部40は、図9に示すように実施形態1のコンピュータ1が行うステップS5~S10の処理と同様の処理を行う(S27~S32)。

【0064】

上述したように、実施形態1のコンピュータ1が行っていた処理を、観測局コンピュータ5及び中央コンピュータ4に分散させた場合であっても、実施形態1と同様の効果が得られる。よって、実施形態2においても、電離圏におけるTEC値の変化を精度よく検知でき、大地震の発生に伴うTEC値の異常変化のみを精度よく検知できる。

また、実施形態2では、各観測局2で実行可能な処理を観測局コンピュータ5が行うことにより、中央コンピュータ4における処理負担が軽減できる。

【0065】

(実施形態3)

上述した実施形態1における異常検知装置の変形例について説明する。実施形態3の異常検知装置は、実施形態1のコンピュータ1によって実現できる。よって、実施形態3のコンピュータ1の構成についての説明を省略する。

図12は、実施形態3のコンピュータ1の制御部10によって実現される機能を示すブロック図である。実施形態3のコンピュータ1においても、制御部10が異常検知プログラム11aを実行することによって、TEC値算出部10a、TEC値推定部10b、推定誤差算出部10d、相関値算出部10e、相対値算出部10f、異常判定部10g、通報部10hの各機能を実現する。これらの各部は実施形態1と同様の処理を行う。

【0066】

実施形態3のコンピュータ1では、制御部10は更に、独立成分分析部10iの機能を実現する。独立成分分析部10iは、観測データDB11bに記憶してある観測データに対して、衛星3から送信された信号の成分と、通信経路において信号に加わったノイズの成分とに分離する分離処理を行う。よって、実施形態3のTEC値算出部10aは、独立成分分析部10iによって処理された観測データに基づいてTEC値の算出を行う。

このように、TEC値の算出に用いる観測データに独立成分分析を行うことにより、観測局2が受信した信号からノイズ成分を除去することができ、より精度のよい観測データを得ることができる。よって、このような観測データを用いることにより、電離圏のTEC値の変化を精度よく検知できる。

【0067】

実施形態3の構成は、実施形態2にも適用可能である。即ち、実施形態2において、観測局コンピュータ5が、観測データDB51bに記憶してある観測データに対して、独立成分分析部10iによる処理を行った後に、TEC値算出部10aによるTEC値の算出処理を行う構成とすることができる。この場合にも、ノイズが除去された精度の高い観測データを得ることができるので、電離圏のTEC値の変化を精度よく検知できる。

このような構成とした場合でも、上述の実施形態1,2と同様の動作を実現できるので、同様の効果が得られる。

【0068】

(実施形態4)

上述した実施形態3における異常検知装置の変形例について説明する。実施形態4の異常検知装置は、実施形態3のコンピュータ1によって実現でき、制御部10が異常検知プログラム11aを実行することによって、図12に示す各機能を実現する。よって、実施形態4のコンピュータ1の構成及び各機能が行う処理についての説明を省略する。実施形態4のコンピュータ1では、相関値算出部10eが、実施形態3とは若干異なる処理を行

10

20

30

40

50

う。相関値算出部 10 e は、複数の観測局 2 のそれぞれを中央観測局とし、中央観測局及びその周辺観測局のそれぞれについて推定誤差算出部 10 d が算出した推定誤差の相関値を算出する。ここで、上述した実施形態 3 の相関値算出部 10 e は、中央観測局の近傍の第 1 所定数（例えば 30 個）の観測局 2 を周辺観測局としている。具体的には、中央観測局との位置に近い順に第 1 所定数の観測局 2 が周辺観測局に選択されていた。これに対して、実施形態 4 の相関値算出部 10 e は、中央観測局と所定の位置関係にある第 1 所定数（例えば 3 個又は 4 個）の観測局 2 を周辺観測局とする。具体的には、中央観測局から所定距離を隔てた第 1 所定数の観測局 2 が周辺観測局に選択される。

【0069】

次に、実施形態 4 のコンピュータ 1 が行う処理について説明する。図 13 は、実施形態 4 のコンピュータ 1 が行う処理の手順を示すフローチャートであり、図 14 A 乃至図 14 C は、実施形態 4 のコンピュータ 1 が行う処理を説明するための模式図である。なお、図 13 は図 9 中のステップ S 1 の処理の前にステップ S 4 1 の処理を追加し、ステップ S 4, S 5 の処理の間にステップ S 4 2 の処理を追加したものであり、図 13 では図 9 中のステップ S 6 ~ S 10 の図示を省略する。

【0070】

実施形態 4 のコンピュータ 1 では、制御部 10（独立成分分析部 10 i）は、観測データ DB 11 b に記憶してある観測局 2 毎の観測データに対して独立成分分析を行う（S 4 1）。これにより、制御部 10 は、観測データを、衛星 3 から送信された信号の成分と、通信経路において信号に加わったノイズの成分とに分離し、衛星 3 から送信された信号の成分を抽出し、ノイズ成分が除去された観測データを生成する。ノイズ成分が除去された観測データは、一旦記憶部 11 に記憶されてもよい。制御部 10 は、独立成分分析が行われてノイズ成分が除去された観測データに基づいて、図 9 中のステップ S 1 ~ S 4 の処理を行う。

【0071】

次に制御部 10 は、観測局 2 のそれぞれを中央観測局とした場合の各中央観測局に対する周辺観測局を特定する（S 4 2）。例えば、制御部 10 は、図 14 A に示すように、中央観測局 2 a から一定距離（例えば 50 km 又は 80 km）離れた観測局 2 を 3 つ選択し、周辺観測局 2 b とする。このとき、3 つの周辺観測局 2 b が略正三角形の頂点に位置する場所にある観測局 2 を選択することが好ましい。また、制御部 10 は、図 14 B に示すように、中央観測局 2 a から一定距離（例えば 50 km 又は 80 km）離れた観測局 2 を 4 つ選択し、周辺観測局 2 b としてもよい。このとき、4 つの周辺観測局 2 b が略正方形の頂点に位置する場所にある観測局 2 を選択することが好ましい。また、制御部 10 は、図 14 C に示すように、中央観測局 2 a を中心とした線分上に一定間隔（例えば 50 km 又は 80 km）で配置された複数の観測局 2 を周辺観測局 2 b としてもよい。図 14 C では、4 つの観測局 2 を周辺観測局 2 b とした場合の例を示すが、4 つに限らず 5 つ以上であってもよい。なお、図 14 C では、中央観測局 2 a 及び 4 つの周辺観測局 2 b が線分上に配置されている状態を示すが、所定幅を有する線分上に一定間隔で配置された観測局 2 を周辺観測局 2 b に選べばよい。中央観測局 2 a に対する周辺観測局 2 b の位置及び数（第 1 所定数）は、図 14 A ~ 図 14 C に示した例に限らず、それぞれの中央観測局 2 a と所定の位置関係にある観測局 2 を周辺観測局 2 b とすることができる。

【0072】

なお、中央観測局 2 a から一定距離離れた観測局 2 を周辺観測局 2 b とする場合、周辺観測局 2 b の数は 3 つ又は 4 つに限らないが、均一の数であることが望ましい。また、中央観測局 2 a から例えば 50 km 又は 80 km（一定距離）離れた観測局 2 を周辺観測局 2 b とすることができるが、これらの距離に限らない。例えば各観測局 2 における TEC 値が所定値以上異なる値となる観測局 2 を中央観測局 2 a 及び周辺観測局 2 b としてもよい。具体的には、例えば、中央観測局 2 a の近傍の観測局 2 のうちで、それぞれの観測局 2 における TEC 値が、中央観測局 2 a における TEC 値と所定値以上異なる観測局 2 を所定数（第 1 所定数）選択し、選択した観測局 2 を周辺観測局 2 b としてもよい。また、

10

20

30

40

50

各観測局 2 で受信した信号が異なる信号（類似していない信号）である観測局 2 を中央観測局 2 a 及び周辺観測局 2 b としてもよい。具体的には、例えば、中央観測局 2 a の近傍の観測局 2 のうちで、それぞれの観測局 2 が受信した信号と、中央観測局 2 a が受信した信号との類似度を算出し、類似度が所定値未満である信号を受信した観測局 2 を所定数（第 1 所定数）選択し、選択した観測局 2 を周辺観測局 2 b としてもよい。なお、信号の類似度は、例えば中央観測局 2 a 及びそれぞれの観測局 2 が受信した信号の位相（観測データ）に基づく単位ベクトルの内積によって算出することができ、内積が所定値未満である場合に、信号が類似していない（異なる）と判断してもよい。

【 0 0 7 3 】

そして制御部 1 0（相関値算出部 1 0 e）は、中央観測局についてステップ S 4 で算出した推定誤差と、ステップ S 4 2 で特定した周辺観測局についてステップ S 4 で算出した推定誤差と、上述の式 1 とに基づいて、それぞれの中央観測局における相関値を算出する（S 5）。その後、制御部 1 0 は、ステップ S 6 以降の処理を行う。なお、それぞれの観測局 2 を中央観測局とした場合の周辺観測局は、予め決定されて、例えば記憶部 1 1 に記憶されていてもよい。この場合、制御部 1 0 は、図 1 3 中のステップ S 4 2 の処理を行わず、各中央観測局と、各中央観測局に対して予め決定されている周辺観測局とにおける推定誤差の相関値を算出すればよい。

10

【 0 0 7 4 】

実施形態 4 においても、実施形態 1 ~ 3 と同様の効果が得られる。即ち、実施形態 4 においても、電離圏における TEC 値の変化を精度よく検知でき、大地震の発生に伴う TEC 値の異常変化のみを精度よく検知できる。

20

また実施形態 4 では、TEC 値の算出に用いる観測データに独立成分分析を行うことにより、観測局 2 が受信した信号からノイズ成分を除去して、より精度のよい観測データを得ることができる。このような観測データを用いることにより、各観測局 2 について算出した推定誤差の相関値を算出する際に、中央観測局に対する周辺観測局の数（第 1 所定数）を少なくできる。即ち、中央観測局における推定誤差と、少ない数（例えば 3 つ又は 4 つ）の周辺観測局における推定誤差との相関値を用いて、TEC 値の異常変化を検知できる。従って、観測局 2 の設置箇所が少なく、観測局 2 間の間隔が広い地域であっても、TEC 値の異常変化を精度よく検知できるので、異常検知装置の利用可能範囲が広がる。

【 0 0 7 5 】

30

（実施形態 5）

上述した実施形態 4 における異常検知装置の変形例について説明する。実施形態 5 の異常検知装置は、実施形態 4 のコンピュータ 1 によって実現できる。よって、実施形態 4 のコンピュータ 1 の構成についての説明を省略する。図 1 5 は、実施形態 5 のコンピュータ 1 の制御部 1 0 によって実現される機能を示すブロック図である。実施形態 5 のコンピュータ 1 の制御部 1 0 が異常検知プログラム 1 1 a を実行した場合、実施形態 4 と同様の機能を実現する。よって、各機能が行う処理についての説明を省略する。なお、実施形態 5 では、独立成分分析部 1 0 i は、推定誤差算出部 1 0 d が算出した推定誤差に対して独立成分分析を行う。

【 0 0 7 6 】

40

次に、実施形態 5 のコンピュータ 1 が行う処理について説明する。図 1 6 は、実施形態 5 のコンピュータ 1 が行う処理の手順を示すフローチャートである。なお、図 1 6 は図 9 中のステップ S 4 , S 5 の処理の間に、ステップ S 7 1 , S 7 2 の処理を追加したものであり、図 1 6 では図 9 中のステップ S 6 ~ S 1 0 の図示を省略する。

【 0 0 7 7 】

実施形態 5 のコンピュータ 1 の制御部 1 0 は、図 9 中のステップ S 1 ~ S 4 の処理を行う。そして制御部 1 0（独立成分分析部 1 0 i）は、観測局 2（SIP）毎に算出された推定誤差（複数局）に対して独立成分分析を行う（S 7 1）。なお、制御部 1 0 は、複数の観測局 2 の推定誤差（複数局データ）を受けて独立成分分析を行う。これにより、制御部 1 0 は、観測局 2 毎に算出された推定誤差を、衛星 3 から送信された信号に基づく成分

50

と、衛星 3 からの通信経路において加わったノイズに基づく成分とに分離する。よって、衛星 3 から送信された信号に基づく成分が抽出され、ノイズに基づく成分が除去された推定誤差が生成される。次に制御部 10 は、観測局 2 のそれぞれを中央観測局とした場合の各中央観測局に対する周辺観測局を特定する (S72)。ここでは、制御部 10 は、図 13 中のステップ S42 と同様の処理を行う。

【0078】

そして制御部 10 (相関値算出部 10e) は、中央観測局についてステップ S71 で独立成分分析を行った推定誤差と、ステップ S72 で特定した周辺観測局についてステップ S71 で独立成分分析を行った推定誤差と、上述の式 1 とに基づいて、それぞれの中央観測局における相関値を算出する (S5)。その後、制御部 10 は、ステップ S6 以降の処理を行う。

10

【0079】

実施形態 5 においても、実施形態 1 ~ 4 と同様の効果が得られる。即ち、実施形態 5 においても、電離圏における TEC 値の変化を精度よく検知でき、大地震の発生に伴う TEC 値の異常変化のみを精度よく検知できる。また実施形態 5 では、各観測局 2 における TEC 値に基づいて算出した推定誤差に独立成分分析を行うことにより、ノイズ成分を除去した推定誤差を得ることができる。このような推定誤差を用いることにより、推定誤差の相関値を算出する際に、中央観測局に対する周辺観測局の数 (第 1 所定数) を少なくできる。即ち、中央観測局における推定誤差と、少ない数 (例えば 3 つ又は 4 つ) の周辺観測局における推定誤差との相関値を用いて、TEC 値の異常変化を検知できる。従って、観測局 2 の設置箇所が少なく、観測局 2 間の間隔が広い地域であっても、TEC 値の異常変化を精度よく検知できるので、異常検知装置の利用可能範囲が広がる。

20

【0080】

(実施形態 6)

上述した実施形態 1 における異常検知装置の変形例について説明する。実施形態 6 の異常検知装置は、実施形態 1 のコンピュータ 1 によって実現できる。上述した実施形態 1 では、各 SIP での TEC 値が異常変化しているか否かの判定に、各 SIP (観測局 2) において算出した相対値 (t) を用いた。実施形態 6 では、相関値算出部 10e が算出した各 SIP における相関値を用いて、各 SIP での TEC 値が異常変化しているか否かを判定する。実施形態 6 のコンピュータ 1 は、制御部 10 が異常検知プログラム 11a を実行することによって、図 3 に示す各機能のうち、相対値算出部 10f 以外の各機能を実現する。よって、実施形態 6 のコンピュータ 1 の構成及び各機能が行う処理についての説明を省略する。

30

【0081】

実施形態 6 のコンピュータ 1 では、異常判定部 10g が、実施形態 1 とは若干異なる処理を行う。実施形態 6 の異常判定部 10g は、時刻 T について相関値算出部 10e が算出した全ての観測局 2 (中央観測局) における相関値に基づいて処理を行う。異常判定部 (判定部) 10g は、相関値算出部 10e が算出した各観測局 2 (各 SIP) の相関値がそれぞれ所定閾値 (例えば 3.5) 以上であるか否かを判定する。そして、異常判定部 10g は、相関値が所定閾値以上である場合、この観測局 2 (SIP) における TEC 値が異常変化していると判定する。

40

【0082】

次に、実施形態 6 のコンピュータ 1 が行う処理について説明する。図 17 は、実施形態 6 のコンピュータ 1 が行う処理の手順を示すフローチャートである。なお、図 17 は図 9 に示す処理からステップ S6, S7 の処理を削除したものである。

実施形態 6 のコンピュータ 1 において、制御部 10 は、図 9 中のステップ S1 ~ S5 と同様の処理を行う。そして制御部 10 (異常判定部 10g) は、各算出タイミングに対して算出された各観測局 2 (各中央観測局) における相関値がそれぞれ所定閾値以上であるか否かに基づいて、各中央観測局 (各 SIP) における TEC 値が異常変化しているか否かを判定する (S8)。観測局 2 における相関値が所定閾値以上である場合、制御部 10

50

は、この観測局 2 に対応する S I P における T E C 値が異常変化していることを確定する。

【 0 0 8 3 】

そして制御部 1 0 は、ステップ S 9 以降の処理を行う。具体的には、制御部 1 0 は、各観測局 2 に対応する S I P における T E C 値が異常変化していることが確定されたか否かを判断する (S 9)。そして、いずれかの観測局 2 について異常変化していることが確定された場合 (S 9 : Y E S)、制御部 1 0 は、異常発生が確定された観測局 2 (S I P) に関する情報を通報する (S 1 0)。

【 0 0 8 4 】

実施形態 6 においても、観測局 2 が衛星 3 から受信した信号 (直接波) を観測データとして用いるので、電離圏における T E C 値の変化を精度よく検知でき、大地震の発生に伴う T E C 値の異常変化を精度よく検知できる。また実施形態 6 においても、実施形態 1 で述べた各構成の変更が可能である。実施形態 6 の構成は、実施形態 2 ~ 5 にも適用可能である。即ち、実施形態 2 ~ 5 のコンピュータ 1 (異常検知装置) を、相関値算出部 1 0 e が算出した各 S I P における相関値を用いて、各 S I P での T E C 値が異常変化しているか否かを判定する構成としてもよい。このような構成とした場合であっても同様の効果が得られる。

10

【 0 0 8 5 】

(実施形態 7)

上述した実施形態 1 における異常検知装置の変形例について説明する。実施形態 7 の異常検知装置は、実施形態 1 のコンピュータ 1 によって実現でき、制御部 1 0 が異常検知プログラム 1 1 a を実行することによって、図 3 に示す各機能を実現する。よって、実施形態 7 のコンピュータ 1 の構成及び各機能が行う処理についての説明を省略する。実施形態 7 のコンピュータ 1 では、異常判定部 1 0 g が、実施形態 1 とは若干異なる処理を行う。実施形態 7 の異常判定部 1 0 g は、相対値算出部 1 0 f が時刻 T について全ての観測局 2 (全ての S I P) における相対値を算出した場合、算出された各観測局 2 (各 S I P) の相対値がそれぞれ所定閾値 (例えば 3 . 5) 以上であるか否かを判定する。そして、異常判定部 1 0 g は、相対値が所定閾値以上である観測局 2 (S I P) を、S I P における T E C 値が異常変化している可能性がある観測局 2 (異常観測局 2) として抽出する。ここまでの処理は実施形態 1 と同じである。

20

30

【 0 0 8 6 】

図 1 8 は、異常判定部 1 0 g による判定結果を示す模式図である。図 1 8 に示す地図には、観測局 2 が異常観測局 2 として抽出された S I P に黒三角のマークが付与され、観測局 2 が異常観測局 2 として抽出されなかった S I P に白丸のマークが付与されている。電離圏の T E C 値は、大地震の発生に伴って異常変化するだけでなく、宇宙天気、日や季節の自然変化に伴って異常変化することが知られている。また、地震発生以外の要因で生じる電離圏 (T E C 値) の異常は、図 1 8 に示すように、観測可能な観測局 2 のうちの一定の割合以上の観測局 2 で検知されることが知られている。

【 0 0 8 7 】

よって、実施形態 7 の異常判定部 1 0 g は、異常観測局 2 として抽出した観測局 2 (S I P) の割合を算出し、算出した割合が一定の割合未満 (例えば 3 0 % 未満) であるか否かに応じて、検知した T E C 値の異常が大地震の発生に伴う異常であるか否かを判定する。具体的には、異常判定部 1 0 g は、算出した割合が一定の割合未満である場合、検知した T E C 値の異常が大地震の発生に伴う異常であると判定し、算出した割合が一定の割合以上である場合、検知した T E C 値の異常が大地震の発生に伴う異常でないと判定する。また、異常観測局 2 の割合として、例えば、異常判定部 1 0 g は、日本列島に設置された観測局 2 の総数に対して、異常観測局 2 として抽出した観測局 2 の割合を算出する。また、異常判定部 1 0 g は、関東地方、近畿地方等の地方毎に、各地方に設置された観測局 2 の数に対する異常観測局 2 の割合を算出してもよいし、予め区分された領域毎に異常観測局 2 の割合を算出してもよい。

40

50

【 0 0 8 8 】

異常判定部 1 0 g が異常観測局 2 の割合が一定の割合以上であると判断した場合、即ち、検知した T E C 値の異常は大地震の発生に伴う異常ではない場合、通報部 1 0 h は通報を行わない。一方、異常判定部 1 0 g が異常観測局 2 の割合が一定の割合未満であると判断した場合、即ち、検知した T E C 値の異常は大地震の発生に伴う異常である場合、異常判定部 1 0 g は、実施形態 1 と同様の処理を行う。具体的には、異常判定部 1 0 g は、異常観測局 2 として抽出された観測局 2 について、近傍の第 2 所定数（例えば 4 個）の観測局 2 も異常観測局 2 として抽出されたか否かを判断する。そして、近傍の複数の観測局 2 も異常観測局 2 として抽出されていた場合、異常判定部 1 0 g は、この観測局 2（S I P）における T E C 値は大地震の発生に伴って異常変化していると確定する。この場合、通報部 1 0 h は通報を行う。

10

【 0 0 8 9 】

次に、実施形態 7 のコンピュータ 1 が行う処理について説明する。図 1 9 は、実施形態 7 のコンピュータ 1 が行う処理の手順を示すフローチャートである。なお、図 1 9 は図 9 中のステップ S 8 , S 9 の処理の間にステップ S 5 1 , S 5 2 の処理を追加したものであり、図 1 9 では図 9 中のステップ S 1 ~ S 7 の図示を省略する。

実施形態 7 のコンピュータ 1 において、制御部 1 0 は、図 9 中のステップ S 1 ~ S 8 と同様の処理を行う。そして制御部 1 0（異常判定部 1 0 g）は、相対値が所定閾値以上であり、T E C 値が異常変化していると判定された観測局 2（異常観測局 2）の割合を算出し（S 5 1）、算出した割合が一定の割合未満であるか否かを判断する（S 5 2）。算出した割合が一定の割合未満であると判断した場合（S 5 2 : Y E S）、制御部 1 0 は、検知した T E C 値の異常は大地震の発生に伴う異常であるとして、ステップ S 9 以降の処理を行う。算出した割合が一定の割合以上であると判断した場合（S 5 2 : N O）、制御部 1 0 は、検知した T E C 値の異常は大地震の発生に伴う異常ではないとして、処理を終了する。

20

【 0 0 9 0 】

実施形態 7 では、T E C 値が異常変化している可能性があるとして判定された S I P（異常観測局 2）の割合が一定の割合以上（例えば 3 0 % 以上）であった場合に、検知された T E C 値の異常は、大地震の発生に伴う異常ではないとして通報処理を行わない。よって、一定の割合以上の観測局 2 で同時に T E C 値の異常が検知された場合に、大地震の発生に伴う異常ではないと確定することにより、地震発生以外の要因で生じる T E C 値の異常を通報対象の異常から排除できる。これにより、大地震の発生に伴う T E C 値の異常変化のみを精度よく検知でき、通報することができる。

30

【 0 0 9 1 】

実施形態 7 の構成は、実施形態 2 ~ 6 にも適用可能であり、実施形態 2 ~ 6 に適用した場合であっても同様の効果が得られる。なお、実施形態 6 に適用した場合、異常判定部 1 0 g は、相関値算出部 1 0 e が時刻 T について算出した各観測局 2（各 S I P）の相関値がそれぞれ所定閾値（例えば 3 . 5）以上であるか否かを判定する。そして、異常判定部 1 0 g は、相関値が所定閾値以上である観測局 2（S I P）を、S I P における T E C 値が異常変化している可能性がある観測局 2（異常観測局 2）として抽出する。そして、異常判定部 1 0 g は、抽出した異常観測局 2（S I P）の割合を算出し、算出した割合が一定の割合以上（例えば 3 0 % 以上）であった場合、検知した T E C 値の異常は大地震の発生に伴う異常ではないと判定する。異常判定部 1 0 g が、検知した T E C 値の異常は地震発生に伴う異常ではないと判定した場合、通報部 1 0 h による通報は行われぬ。一方、異常観測局 2（S I P）の割合が一定の割合未満であった場合、異常判定部 1 0 g は、検知した T E C 値の異常は地震発生に伴う異常であると判定する。

40

【 0 0 9 2 】

（実施形態 8）

上述した実施形態 1 における異常検知装置の変形例について説明する。実施形態 8 の異常検知装置は、実施形態 1 のコンピュータ 1 によって実現でき、制御部 1 0 が異常検知ブ

50

プログラム 11a を実行することによって、図 3 に示す各機能を実現する。よって、実施形態 8 のコンピュータ 1 の構成及び各機能が行う処理についての説明を省略する。実施形態 8 のコンピュータ 1 は、異常判定部 10g において各観測局 2 が異常観測局 2 であるか否かを判定する際の判定基準（所定閾値）を最適化できるように構成されている。具体的には、異常判定部 10g が、相対値算出部 10f が算出した各観測局 2（各 S I P）の相対値に基づいて、各 S I P における T E C 値が異常変化しているか否か（異常観測局 2 であるか否か）を判定するための閾値が最適化される。

【0093】

図 20 は、参考データ D B の構成例を示す模式図である。参考データ D B には複数の参考データが蓄積されている。図 20 に示す参考データは、各観測局 2 が異常観測局 2 であるか否かを判定する際に用いた判定基準（閾値）と、この判定基準を用いて T E C 値の異常変化が検知されたか否かを示す情報（異常検知の有無）と、実際に地震が発生したか否かを示す情報（地震発生の有無）とを含む。参考データに含まれる判定基準及び異常検知の有無の情報は、過去の観測データに基づいて、異なる閾値を用いて T E C 値が異常変化しているか否かを判定することにより生成される。また、参考データに含まれる地震発生の有無は、コンピュータ 1 のユーザ（例えば地震の観測者）によって入力される。なお、参考データに、T E C 値の分布、T E C 値に基づいて算出された各観測局 2 の相対値の分布等を含めてもよい。

10

【0094】

コンピュータ 1 は、参考データ D B に蓄積された参考データを用いることにより、相対値算出部 10f が算出した各観測局 2（各 S I P）の相対値に基づいて、各観測局 2 が異常観測局 2 であるか否かを異常判定部 10g が判定する際の最適な閾値（判定基準）を特定する。そして、コンピュータ 1 は、特定した最適な閾値を次回からの処理に用いる。このように判定基準を最適化することにより、地震の発生に伴う T E C 値の異常変化をより精度よく検知できる。また、検知対象の場所に応じて最適な閾値を設定できるので、各場所の自然環境等も考慮した判定基準の設定が可能となる。

20

【0095】

実施形態 8 の構成は、実施形態 2 ~ 7 にも適用可能であり、実施形態 2 ~ 7 に適用した場合であっても同様の効果が得られる。なお、実施形態 6 に適用した場合、コンピュータ 1 は、異常判定部 10g が、相関値算出部 10e が算出した各観測局 2（各 S I P）の相関値に基づいて、各 S I P における T E C 値が異常変化しているか否か（異常観測局 2 であるか否か）を判定するための閾値を最適化できる。

30

【0096】

上述した実施形態 1 ~ 8 における異常検知装置の更なる変形例について説明する。実施形態 1 ~ 8 の異常検知装置は、例えば地表における地磁気を観測する地磁気観測装置（図示せず）と組み合わせて用いることができる。地磁気観測装置は、例えば地磁気センサを有し、地磁気センサによって地表における地磁気を検知し、検知した地磁気の状態が正常であるか異常が発生しているか等を観測する。例えば、地磁気観測装置は、所定時間間隔で地表の地磁気を検知し、検知した地磁気値と直近の検知値との差異が所定値以上となった場合、又は、検知した地磁気値の経時的変化に異常が生じた場合、地表の地磁気に異常が発生していると判断する。そして、地磁気観測装置は、地磁気に異常が発生していると判断した場合、実施形態 1 ~ 8 の異常検知装置（コンピュータ 1）に通知する。コンピュータ 1 は、地磁気観測装置から地磁気の異常を通知された場合に、上述した実施形態 1 ~ 8 の処理を行う。

40

【0097】

図 21 は、コンピュータ 1 が行う処理の手順を示すフローチャートである。なお、図 21 は図 9 中のステップ S 1 の処理の前にステップ S 61 の処理を追加したものであり、図 21 では図 9 中のステップ S 2 ~ S 10 の図示を省略する。コンピュータ 1 の制御部 10 は、例えば地磁気観測装置からの通知に基づいて、地磁気観測装置によって地表における地磁気の異常が検知されたか否かを判断する（S 61）。地表での地磁気の異常が検知さ

50

れていないと判断した場合（S 6 1 : N O）、制御部 1 0 は待機する。地磁気の異常が検知されたと判断した場合（S 6 1 : Y E S）、制御部 1 0 は、図 9 中のステップ S 1 以降の処理を行う。即ち、制御部 1 0 は、観測データに基づいて T E C 値が異常変化しているか否かの検知処理を行う。

【 0 0 9 8 】

例えば大地震が発生する数週間前から地表における地磁気等に異常が発生することが知られている。よって、地表における地磁気に変化が生じていることを検知した場合に、衛星 3 から受信した観測データに基づいて T E C 値が異常変化しているか否かの検知処理を行ってもよい。この場合、地震発生に伴う T E C 値の異常変化を効率良く検知できる。また、地表における地磁気の代わりに、電離圏による反射波を用いて、地表に異常が発生しているか等を判断してもよい。例えば、地上の送信アンテナから V L F（Very Low Frequency）等の長波の電波を発信し、この電波を電離圏で反射された後に地上の受信アンテナで受信する。このように受信した反射波において、例えば受信した反射波の強度又は周波数等に変化が生じた場合に、地表に何らかの異常が発生していると判断できる。

10

【 0 0 9 9 】

上述した実施形態 1 ~ 8 において、観測データは、地上に設置された観測局 2 が衛星 3 から受信した信号（電波）に関するデータのほかに、自動車、電車、船舶等の移動体に搭載された受信機が衛星 3 から受信した信号（電波）に関するデータであってもよい。例えば移動体に、観測局 2 と同様に、宇宙空間に配置された衛星 3 から送信された異なる周波数の信号（例えば 1 . 5 G H z 及び 1 . 2 G H z の周波数の信号）を受信できる受信機を搭載する。そして各受信機が、2 つの信号を受信した各時点での位相を観測データとして用いることができる。なお、各受信機は、観測データを取得した際に、この時点での現在位置を示す情報（観測位置に係る情報）を取得しておき、観測データに対応付けて記憶する。これにより、観測データを取得した場所（観測位置）を把握でき、複数の観測位置のそれぞれに係る情報と、それぞれの観測位置で受信した衛星からの信号に係る情報とを対応付けて記憶できる。このような観測データを用いた場合であっても、それぞれの観測位置と衛星との間における大気中の T E C 値を算出でき、T E C 値の異常変化を検知できる。このような構成とした場合、観測局 2 の設置箇所が少ない地域であっても、移動体に搭載された受信機が受信した観測データを用いて T E C 値の異常変化を検知できるので、異常検知装置の利用可能範囲が広がる。また、船舶に搭載した受信機が受信した観測データを用いることにより、海上でも地上と同様に、T E C 値の異常変化の検知処理が可能となる。なお、このような観測データを用いる場合、所定範囲内（例えば直径が数 k m の円形領域内）の観測位置で取得した観測データを、同一の観測位置で取得した観測データとして扱ってもよい。例えば、各受信機が連続して観測データを取得しており、観測データと共に取得した観測位置が直近（直前）の観測位置から所定距離（例えば数 k m）以上離れていない場合は、直近の観測位置を今回の観測位置としてもよい。

20

30

【 0 1 0 0 】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した意味ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

40

【符号の説明】

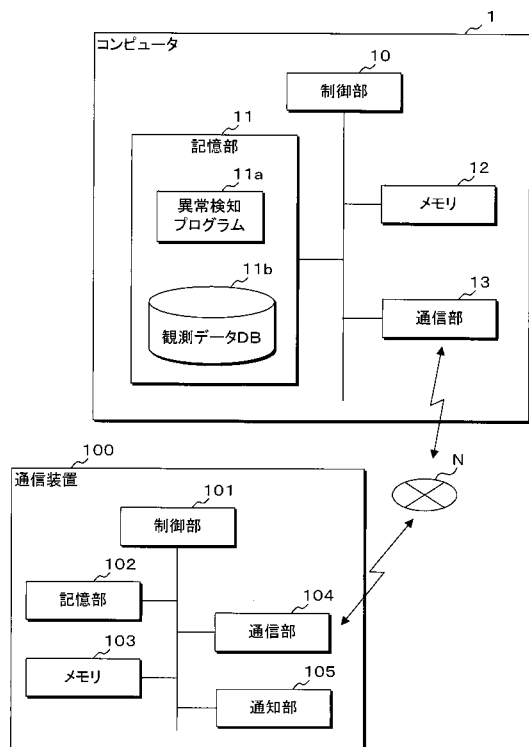
【 0 1 0 1 】

- 1 コンピュータ
- 2 観測局
- 3 衛星
- 1 0 制御部
- 1 1 記憶部
- 1 0 a T E C 値算出部
- 1 0 b T E C 値推定部
- 1 0 d 推定誤差算出部

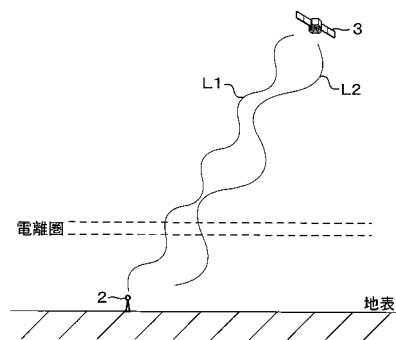
50

- 10e 相関値算出部
- 10f 相対値算出部
- 10g 異常判定部
- 10h 通報部
- 10i 独立成分分析部
- 11a 異常検知プログラム
- 11b 観測データDB
- 100 通信装置
- 104 通信部
- 105 通知部

【図1】

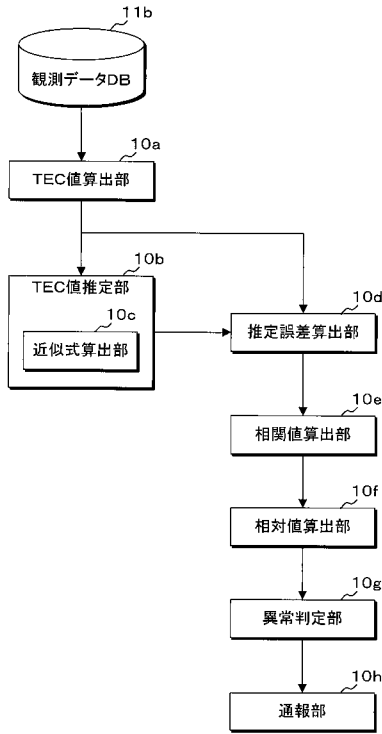


【図2】

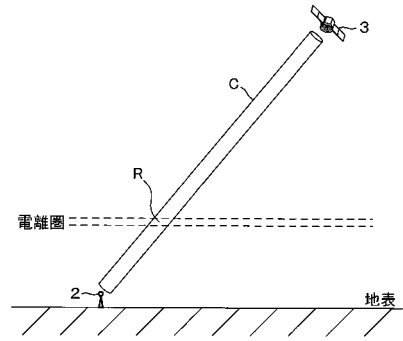


【図3】

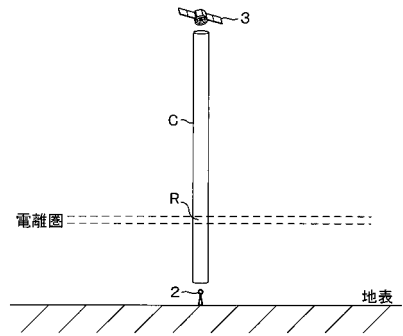
1



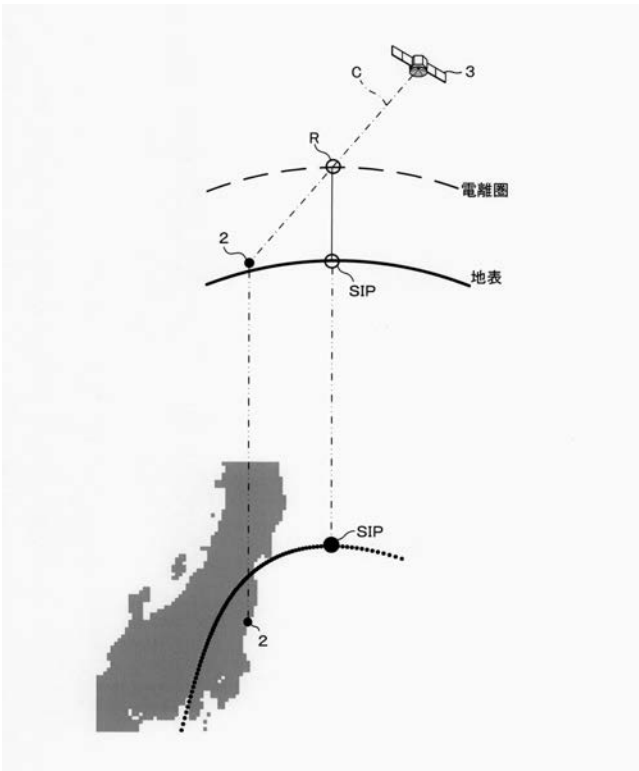
【図4A】



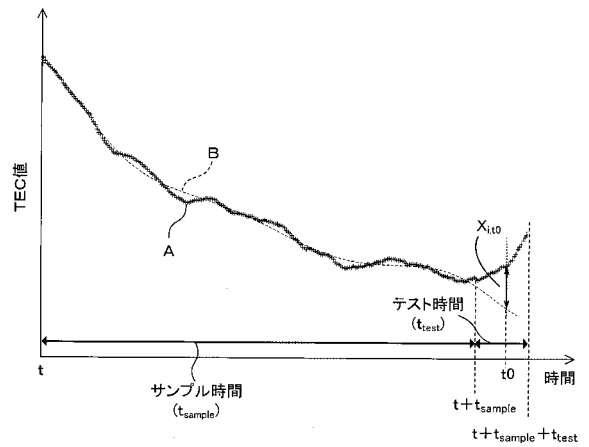
【図4B】



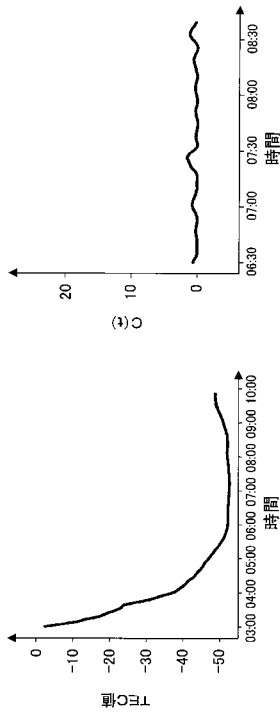
【図5】



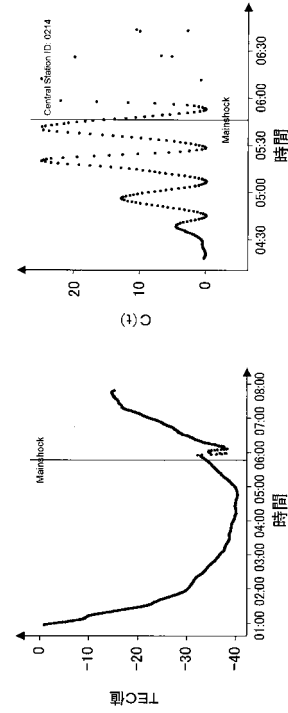
【図6】



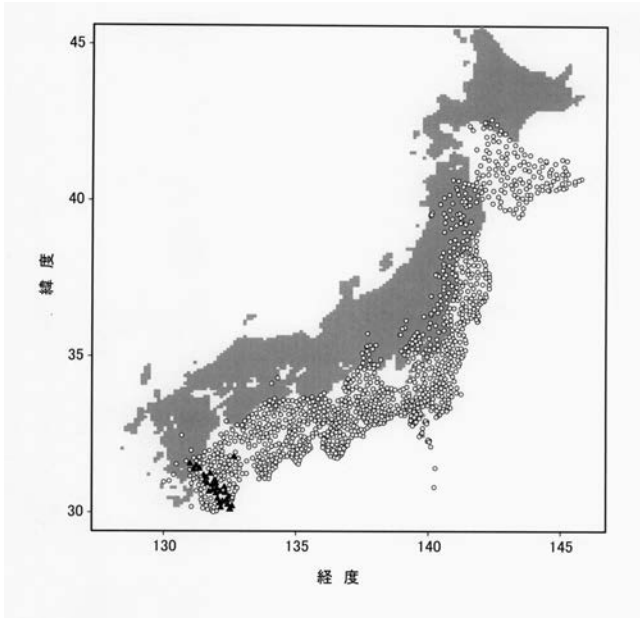
【 図 7 A 】



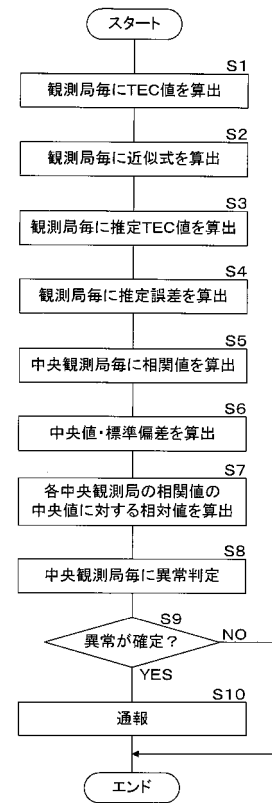
【 図 7 B 】



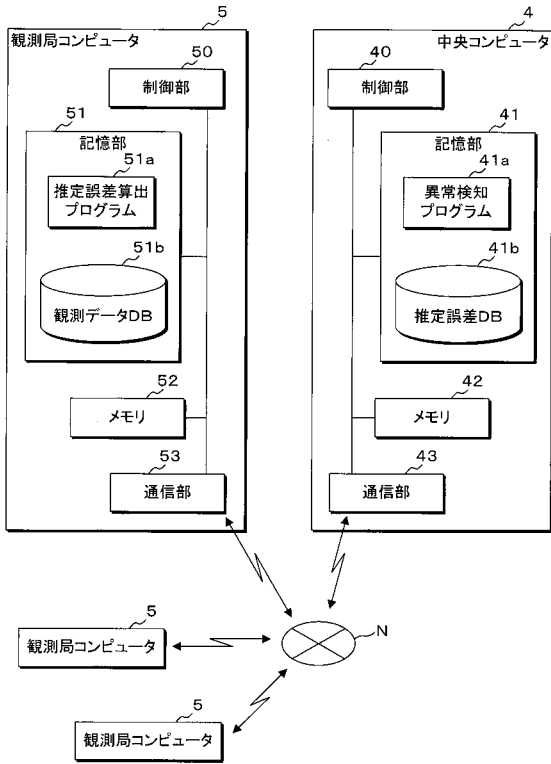
【 図 8 】



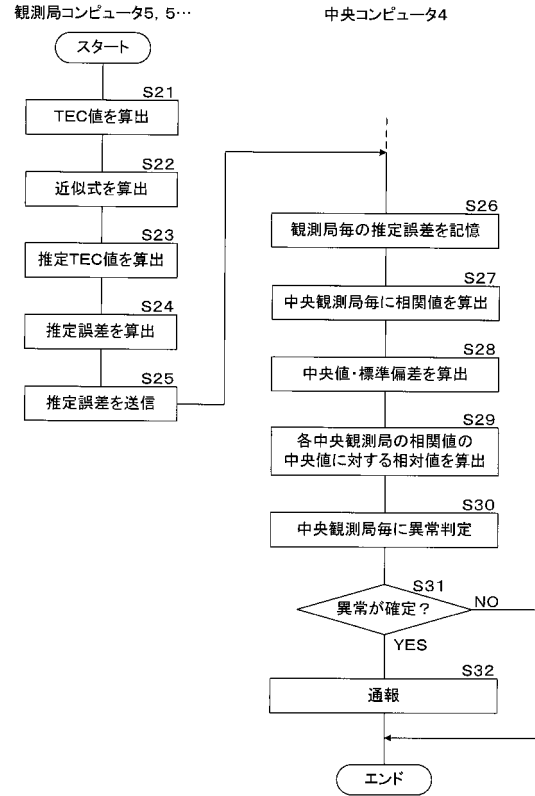
【 図 9 】



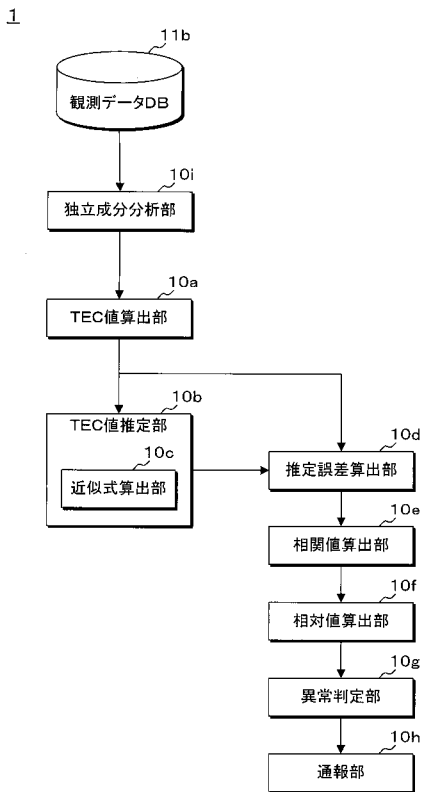
【図10】



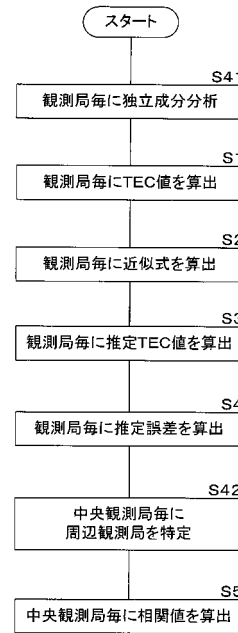
【図11】



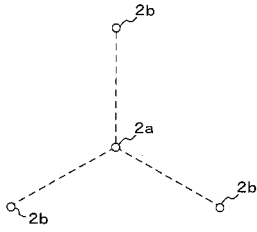
【図12】



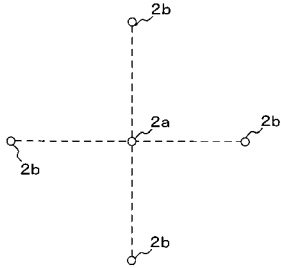
【図13】



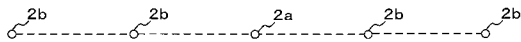
【図14A】



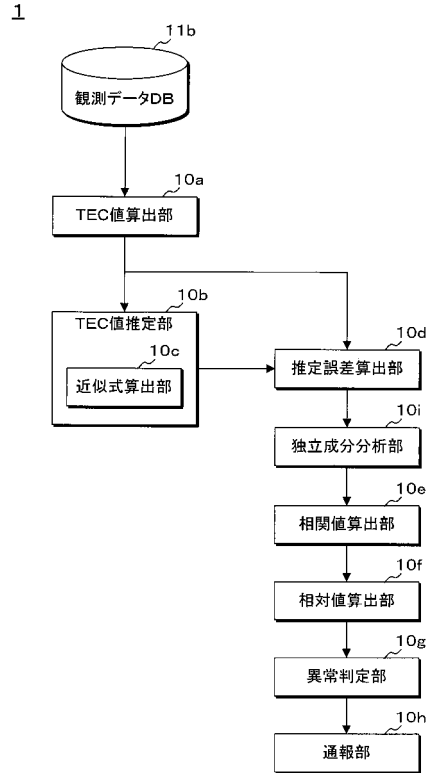
【図14B】



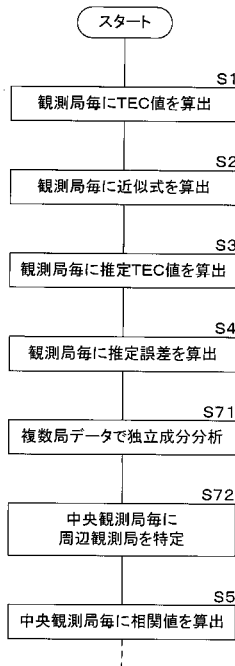
【図14C】



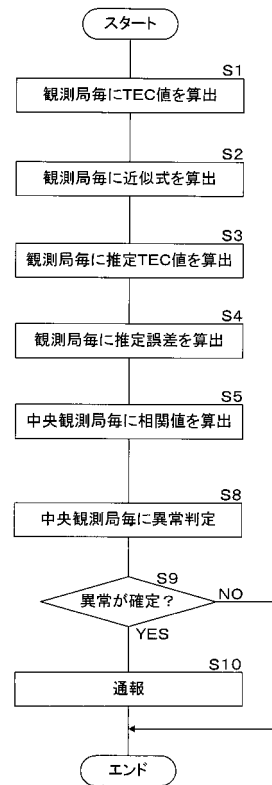
【図15】



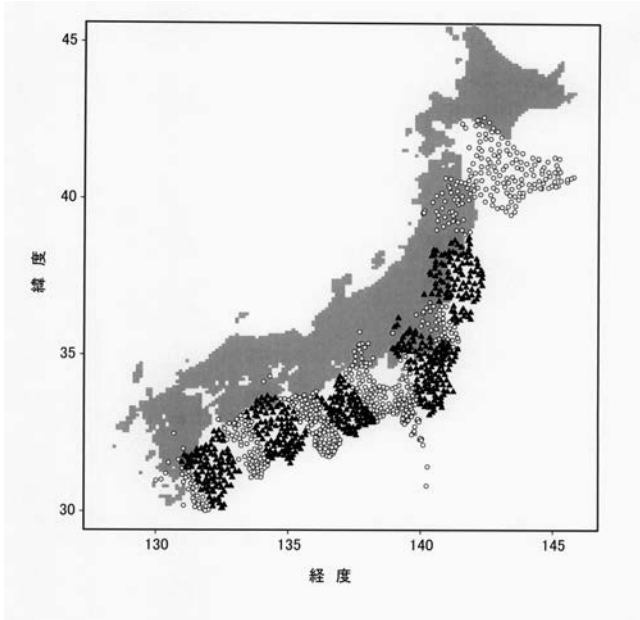
【図16】



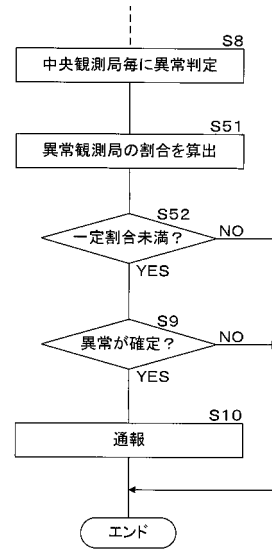
【図17】



【 図 1 8 】



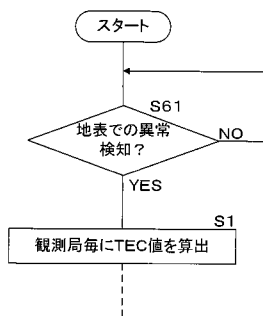
【 図 1 9 】



【 図 2 0 】

閾値	異常検知の有無	地震発生の有無
...
2.5	無	無
3.3	無	有
3.5	有	有
3.6	有	有
...

【 図 2 1 】



【手続補正書】

【提出日】平成30年6月27日(2018.6.27)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出する電子数算出部と、

前記電子数算出部が前記観測局毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に前記電子数算出部が算出した変化量との差異を算出する差異算出部と、

前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第1所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する相関値算出部と、

前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する判定部と

、
異常が発生していると判定した場合に通報する通報部と
を備え、

前記通報部は、前記判定部が前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しないことを特徴とする異常検知装置。

【請求項2】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局から所定距離を隔てた前記第1所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項1に記載の異常検知装置。

【請求項3】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局の近傍で、前記電子数算出部が算出した変化量が所定値以上異なる前記第1所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項2に記載の異常検知装置。

【請求項4】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局の近傍の前記第1所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項1に記載の異常検知装置。

【請求項5】

前記判定部は、前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した前記相関値が前記所定閾値以上である場合に、前記観測局の近傍の第2所定数の観測局のそれぞれについて前記相関値算出部が算出した前記相関値が前記所定閾値以上であるときは、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項1から4までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項6】

前記電子数算出部が前記観測局毎に、前記第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、前記複数個の変化量の時間変化を示す近似式を算出し、算出した近似式

に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定する推定部
を備えることを特徴とする請求項 1 から 5 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置
。

【請求項 7】

前記差異算出部は、前記電子数算出部が前記観測局毎に、前記第 1 の所定時間に続く第 2 の所定時間に亘って前記所定時間間隔で算出した変化量と、前記電子数算出部による変化量の算出タイミングに対して前記推定部が前記近似式に基づいて推定した変化量との差異を算出し、

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記算出タイミングに対して各観測局について算出した前記差異と、前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 6 に記載の異常検知装置。

【請求項 8】

前記相関値算出部は、いずれかの前記観測局 x_0 における時刻 T での前記相関値 $C(T)$ を、以下の式 1 に基づいて算出することを特徴とする請求項 7 に記載の異常検知装置。

【数 1】

$$C(T) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^{N-1} (x_{i,t+t_{sample}+j\Delta t}) \times (x_{0,t+t_{sample}+j\Delta t})$$

… (式 1)

ただし、 x_i は前記第 1 所定数の観測局のいずれかを示し、

x_0, t_0 は観測局 x_0 における時刻 t_0 での前記差異を示し、

x_i, t_0 は観測局 x_i における時刻 t_0 での前記差異を示す。

また、任意の時刻を t とし、前記第 1 の所定時間を t_{sample} とし、前記第 2 の所定時間を t_{test} とし、時刻 T は任意の時刻 t から時間 t_{sample} 及び t_{test} が経過した時刻を示す。更に、 M は前記第 1 所定数を示し、 N は第 2 の所定時間 t_{test} に亘って算出した全電子数の観測開始時からの変化量の個数を示し、 t は全電子数の観測開始時からの変化量を算出する時間間隔であり、 $t = t_{test} / (N - 1)$ で示される。

【請求項 9】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が各観測局について算出した前記差異と、前記第 1 所定数の観測局のうち 2 つの観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 1 から 7 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 10】

前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した時刻 T での前記相関値の中央値 $med(T)$ 及び標準偏差 (T) を算出する算出部と、

前記算出部が算出した前記中央値 $med(T)$ 及び標準偏差 (T) に基づいて、各観測局の前記相関値 $C(T)$ の前記中央値 $med(T)$ に対する相対値 (T) を、以下の式に基づいて算出する相対値算出部とを備え、

$$(T) = (C(T) - med(T)) / (T)$$

前記判定部は、前記相対値算出部が算出した前記相対値が所定閾値以上である場合に、前記観測局の近傍の第 2 所定数の観測局のそれぞれについて前記相対値算出部が算出した前記相対値が前記所定閾値以上であるときは、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項 1 から 9 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 11】

前記観測局のそれぞれが前記衛星から受信した信号に対して独立成分分析を実行する独立成分分析部

を備えることを特徴とする請求項 1 から 10 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 12】

(削除)

【請求項 13】

前記判定部は、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると継続して判定した時間が所定時間に達した場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していることを確定する

ことを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 14】

前記信号に係る情報は、周波数が異なる 2 つの信号のそれぞれの位相であり、

前記電子数算出部は、前記 2 つの信号の位相差に基づいて前記大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を算出する

ことを特徴とする請求項 1 ~ 11 及び 13 のいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 15】

過去の観測データに基づいて、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生しているか否かの判断基準である前記所定閾値を特定する特定部

を備えることを特徴とする請求項 1 ~ 11, 13 及び 14 のいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 16】

複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出する電子数算出部と、

前記電子数算出部が前記観測位置毎に、第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に前記電子数算出部が算出した変化量との差異を算出する差異算出部と、

前記差異算出部が前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第 1 所定数の観測位置について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する相関値算出部と、

前記相関値算出部が前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する判定部と、

異常が発生していると判定した場合に通報する通報部と

を備え、

前記通報部は、前記判定部が前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しないことを特徴とする異常検知装置。

【請求項 17】

請求項 1 ~ 11 及び 13 ~ 16 のいずれかひとつに記載の異常検知装置から通報された情報を受信する受信部と、

前記受信部が受信した情報を通知する通知部と

を備えることを特徴とする通信装置。

【請求項 18】

異常検知装置が、

地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測局毎に、第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第

1 所定数の観測局について算出した前記差異との相関値を算出し、
前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、
異常が発生していると判定した場合に通報する
処理を実行し、
前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しない
ことを特徴とする異常検知方法。

【請求項 19】

異常検知装置が、
複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、
前記観測位置毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、
前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第1所定数の観測位置について算出した前記差異との相関値を算出し、
前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、
異常が発生していると判定した場合に通報する
処理を実行し、
前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しない
ことを特徴とする異常検知方法。

【請求項 20】

コンピュータに、
地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、
前記観測局毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、
前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第1所定数の観測局について算出した前記差異との相関値を算出し、
前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、
異常が発生していると判定した場合に通報する
処理を実行させ、
前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行させない
ことを特徴とするプログラム。

【請求項 21】

コンピュータに、
複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、
前記観測位置毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、
前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第1所定数の観測位置について算出した前記差異との相関値を算出し、
前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前

記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、
異常が発生していると判定した場合に通報する
処理を実行させ、

前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行させない
ことを特徴とするプログラム。

【請求項 2 2】

請求項 2 0 又は 2 1 に記載のプログラムが記録してあることを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【手続補正書】

【提出日】令和1年5月23日(2019.5.23)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出する電子数算出部と、

前記電子数算出部が前記観測局毎に、第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に前記電子数算出部が算出した変化量との差異を算出する差異算出部と、

前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する相関値算出部と、

前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する判定部と、

異常が発生していると判定した場合に通報する通報部と
を備え、

前記通報部は、前記判定部が前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しないことを特徴とする異常検知装置。

【請求項 2】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局から所定距離を隔てた前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の異常検知装置。

【請求項 3】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局の近傍で、前記電子数算出部が算出した変化量が所定値以上異なる前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の異常検知装置。

【請求項 4】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局の近傍の前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の異常検知装置。

【請求項 5】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局が受信した信号との類似度が所定値未満である前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の異常検知装置。

【請求項 6】

前記判定部は、前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した前記相関値が前記所定閾値以上である場合に、前記観測局の近傍の第 2 所定数の観測局のそれぞれについて前記相関値算出部が算出した前記相関値が前記所定閾値以上であるときは、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項 1 から 5 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 7】

前記電子数算出部が前記観測局毎に、前記第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、前記複数個の変化量の時間変化を示す近似式を算出し、算出した近似式に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定する推定部

を備えることを特徴とする請求項 1 から 6 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 8】

前記差異算出部は、前記電子数算出部が前記観測局毎に、前記第 1 の所定時間に続く第 2 の所定時間に亘って前記所定時間間隔で算出した変化量と、前記電子数算出部による変化量の算出タイミングに対して前記推定部が前記近似式に基づいて推定した変化量との差異を算出し、

前記相関値算出部は、前記差異算出部が前記算出タイミングに対して各観測局について算出した前記差異と、前記第 1 所定数の観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 7 に記載の異常検知装置。

【請求項 9】

前記相関値算出部は、いずれかの前記観測局 x_0 における時刻 T での前記相関値 $C(T)$ を、以下の式 1 に基づいて算出することを特徴とする請求項 8 に記載の異常検知装置。

【数 1】

$$C(T) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^{N-1} (x_{i,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t}) \times (x_{0,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t}) \quad \dots \text{(式 1)}$$

ただし、 x_i は前記第 1 所定数の観測局のいずれかを示し、

x_{0,t_0} は観測局 x_0 における時刻 t_0 での前記差異を示し、

x_{i,t_0} は観測局 x_i における時刻 t_0 での前記差異を示す。

また、任意の時刻を t とし、前記第 1 の所定時間を t_{sample} とし、前記第 2 の所定時間を t_{test} とし、時刻 T は任意の時刻 t から時間 t_{sample} 及び t_{test} が経過した時刻を示す。

更に、 M は前記第 1 所定数を示し、 N は第 2 の所定時間 t_{test} に亘って算出した全電子数の観測開始時からの変化量の個数を示し、 t は全電子数の観測開始時からの変化量を算出する時間間隔であり、 $t = t_{\text{test}} / (N - 1)$ で示される。

【請求項 10】

前記相関値算出部は、前記差異算出部が各観測局について算出した前記差異と、前記第 1 所定数の観測局のうち 2 つの観測局について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する

ことを特徴とする請求項 1 から 8 までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項 11】

前記相関値算出部が前記観測局毎に算出した時刻 T での前記相関値の中央値 $med(T)$

)及び標準偏差 (T)を算出する算出部と、

前記算出部が算出した前記中央値 $med(T)$ 及び標準偏差 (T)に基づいて、各観測局の前記相関値 $C(T)$ の前記中央値 $med(T)$ に対する相対値 (T)を、以下の式に基づいて算出する相対値算出部とを備え、

$$(T) = (C(T) - med(T)) / (T)$$

前記判定部は、前記相対値算出部が算出した前記相対値が所定閾値以上である場合に、前記観測局の近傍の第2所定数の観測局のそれぞれについて前記相対値算出部が算出した前記相対値が前記所定閾値以上であるときは、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項1から10までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項12】

前記観測局のそれぞれが前記衛星から受信した信号に対して独立成分分析を実行する独立成分分析部

を備えることを特徴とする請求項1から11までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項13】

前記判定部は、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると継続して判定した時間が所定時間に達した場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していることを確定する

ことを特徴とする請求項1から12までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項14】

前記信号に係る情報は、周波数が異なる2つの信号のそれぞれの位相であり、

前記電子数算出部は、前記2つの信号の位相差に基づいて前記大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を算出する

ことを特徴とする請求項1から13までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項15】

過去の観測データに基づいて、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生しているか否かの判断基準である前記所定閾値を特定する特定部

を備えることを特徴とする請求項1から14までのいずれかひとつに記載の異常検知装置。

【請求項16】

複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出する電子数算出部と、

前記電子数算出部が前記観測位置毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に前記電子数算出部によって算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に前記電子数算出部が算出した変化量との差異を算出する差異算出部と、

前記差異算出部が前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第1所定数の観測位置について前記差異算出部が算出した前記差異との相関値を算出する相関値算出部と、

前記相関値算出部が前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定する判定部と、

異常が発生していると判定した場合に通報する通報部と

を備え、

前記通報部は、前記判定部が前記複数の観測位置のうちの所定の割合以上の観測位置に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しないことを特徴とする異常検知装置。

【請求項17】

請求項1から16までのいずれかひとつに記載の異常検知装置から通報された情報を受

信する受信部と、

前記受信部が受信した情報を通知する通知部とを備えることを特徴とする通信装置。

【請求項 18】

異常検知装置が、

地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測局毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第1所定数の観測局について算出した前記差異との相関値を算出し、

前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、

異常が発生していると判定した場合に通報する処理を実行し、

前記複数の観測局のうちの所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しない

ことを特徴とする異常検知方法。

【請求項 19】

異常検知装置が、

複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測位置毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第1所定数の観測位置について算出した前記差異との相関値を算出し、

前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、

異常が発生していると判定した場合に通報する処理を実行し、

前記複数の観測位置のうち所定の割合以上の観測位置に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行しない

ことを特徴とする異常検知方法。

【請求項 20】

コンピュータに、

地上に設置された複数の観測局のそれぞれが衛星から受信する信号に係る情報から、各観測局と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測局毎に、第1の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測局毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測局と所定の位置関係にある第1所定数の観測局について算出した前記差異との相関値を算出し、

前記観測局毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測局と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、

異常が発生していると判定した場合に通報する処理を実行させ、

前記複数の観測局のうち所定の割合以上の観測局に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行させない

ことを特徴とするプログラム。

【請求項 2 1】

コンピュータに、

複数の観測位置のそれぞれに係る情報及び前記観測位置のそれぞれで衛星から受信する信号に係る情報から、各観測位置と前記衛星との間における大気中の全電子数の観測開始時からの変化量を所定時間間隔で算出し、

前記観測位置毎に、第 1 の所定時間に亘って算出した複数個の変化量に基づいて、次に算出される変化量を推定し、推定した変化量と、次に算出した変化量との差異を算出し、

前記観測位置毎に算出した前記差異と、それぞれの前記観測位置と所定の位置関係にある第 1 所定数の観測位置について算出した前記差異との相関値を算出し、

前記観測位置毎に算出した前記相関値が所定閾値以上である場合に、前記観測位置と前記衛星との間の全電子数の変化に異常が発生していると判定し、

異常が発生していると判定した場合に通報する

処理を実行させ、

前記複数の観測位置のうち所定の割合以上の観測位置に対して、異常が発生していると判定した場合、通報する処理を実行させない

ことを特徴とするプログラム。

【請求項 2 2】

請求項 2 0 又は 2 1 に記載のプログラムが記録してあることを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2017/042333
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int. Cl. G01V1/00 (2006.01) i 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. G01V1/00 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 1971-2018 Registered utility model specifications of Japan 1996-2018 Published registered utility model applications of Japan 1994-2018 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	IWATA, Takuya and UMENO, Ken, Correlation analysis for preseismic total electron content anomalies around the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 10 September 2016, Vol. 121, pp. 8969-8984	1-11, 13-22 12
Y A	JP 2005-134316 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 26 May 2005, claim 3, paragraphs [0011]-[0012] & US 2007/0033153 A1, paragraphs [0007]-[0008], claim 3 & EP 1679531 A1	1-11, 13-22 12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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		Date of mailing of the international search report
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/JP2017/042333

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-518146 A (CORNELL UNIVERSITY) 25 June 2015, claims, paragraphs [0010]-[0057], fig. 1A-7 & US 2015/0051837 A1, paragraphs [0010]-[0067], fig. 1A-7,	1-22
A	HEKI, Kosuke, Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geophysical Research Letters, 15 September 2011, Vol. 38, L17312 (pp. 1-5)	1-22

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 7 / 0 4 2 3 3 3	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01V1/00(2006.01)i			
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)) Int.Cl. G01V1/00			
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 1971-2018年 日本国実用新案登録公報 1996-2018年 日本国登録実用新案公報 1994-2018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) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)			
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	
Y A	IWATA, TAKUYA and UMENO, KEN, Correlation analysis for preseismic total electron content anomalies around the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Journal of Geophysical Research:Space Physics, 2016.09.10, Volume121, 8969-8984 ページ	1-11, 13-22 12	
Y A	JP 2005-134316 A (松下電器産業株式会社) 2005.05.26, [請求項 3], [0011]-[0012] & US 2007/0033153 A1 ([0007]-[0008], Claim3) & EP 1679531 A1	1-11, 13-22 12	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input 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矛盾するものではなく、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 14.02.2018		国際調査報告の発送日 27.02.2018	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 東松 修太郎	2 J 3 2 0 8
		電話番号 03-3581-1101 内線 3252	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2017/042333
C (続き) . 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 2015-518146 A (コーネル ユニバーシティー) 2015.06.25, 特許請求の範囲、[0010]-[0057], [図 1A]-[図 7] & US 2015/0051837 A1 (Figure1A-Figure7, [0010]-[0067])	1-22
A	KOSUKE HEKI, Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geophysical Research Letters, 2011.09.15, Volume 38, L17312 (1-5 ページ)	1-22

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。