

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：82102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04023

研究課題名（和文）傾斜変動連続観測ビッグデータを用いた高分解能な地殻活動モデル推定手法の開発

研究課題名（英文）High-resolution crustal activity model estimation method using big data of continuous ground tilt changes

研究代表者

木村 武志（Kimura, Takeshi）

国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震津波火山ネットワークセンター・主任研究員

研究者番号：10563520

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：日本全国におよそ20km間隔で約750の観測点が展開されている傾斜変動連続観測網による20年以上の長期に渡る観測データを使って、プレート境界におけるスロースリップ等の様々な地下の地殻活動を網羅的かつ効果的に検出する手法の開発を進めた。利用する傾斜変動データの特性が観測点ごとに大きく異なる点や、長期間のデータを扱うことに起因するデータ特性の時間変化が、大量の観測データの活用を試みたことで改めて浮き彫りになった。このようなデータ特性の大きなばらつきは地殻活動検出手法の開発にとって重大な障害になったため、傾斜変動データに含まれるノイズ特性等を網羅的に把握するための手法開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本列島下で発生する様々な地殻活動を明らかにする際には、全国規模で整備されている地表の変位を計測するGNSSデータが主に用いられてきた。一方で同じく全国規模で観測点が整備されGNSSに比べて時間・空間分解能に優れた傾斜変動データを用いた解析は、対象地域や地殻活動のタイプに限られており、必ずしも全データが有効に活用されていない。本研究で開発した傾斜変動データに含まれるノイズ特性等を把握するための手法は、傾斜変動データを網羅的に用いて地殻活動を効果的に解析するために有効であるとともに、GNSSデータ等の多種のデータと合わせて解析する際にも有用な情報となる。

研究成果の概要（英文）：We developed a method to comprehensively and effectively detect crustal activities, such as slow slip events on plate boundaries, using long-term data spanning more than 20 years from the ground tilt change observation networks, consisting of approximately 750 observation stations at intervals of 20 km throughout Japan. The large amount of observation data we have used has brought to light the significant differences in the characteristics of the ground tilt change data from one observatory to another and the temporal variations in the data characteristics resulting from the handling of long-term data. Such large variations in data characteristics were a serious obstacle to the development of a method for detecting crustal activity, so we developed a method for comprehensively understanding the noise characteristics and other characteristics of ground tilt data.

研究分野：地震学

キーワード：傾斜変動データ 地殻変動 ノイズ GNSS

1. 研究開始当初の背景

GNSS (Global Navigation Satellite System) や傾斜・ひずみなどの地殻変動の連続観測を目的とした稠密な観測網の展開、各種計測機器やデータ伝送・収集・蓄積などの観測技術の高度化により、大量かつ高品質の地殻変動データが利用できるようになってきている。また時間の経過とともにこれらのデータ量は増加する。世界中の 1/10 の地震が発生するなど様々な地殻活動が高頻度で発生する日本列島では、これらの地殻変動観測網が世界で最も整備された地域の一つである。このうち日本全国を覆う観測網としては、傾斜変動観測 (地殻の傾きを測定) を行っている Hi-net (約 750 観測点、約 20 km 間隔、図 1 参照) と地表の変位を測定可能な GNSS 観測を行う GEONET (約 1300 観測点) が挙げられる。このうち Hi-net 傾斜変動観測では各観測点における水平 2 成分の傾斜変動データが 20Hz サンプリングで 15 年以上の長期にわたり蓄積されており、いわゆるビッグデータと言える。傾斜変動データは伊豆半島東方沖で繰り返し発生する岩脈の貫入などの火山活動モデルの推定などに用いられてきた。また、西南日本のプレート境界で繰り返し発生する数日程度の継続時間を持つスロースリップは Hi-net 傾斜データから発見された。一般に傾斜変動観測は GNSS 観測に比べて時間分解能が高く、時間オーダーの微小な変動を捉えることができる。また、傾斜は変位の空間微分であることから変位に比べて短波長の変動が卓越するため、空間的にも高い分解能で地殻変動源の推定が可能である。しかしながら、全国規模の観測網にも関わらず実際に解析に利用されている観測点は部分的であり、また対象とする現象も既知の繰り返し発生するものに限られている。一方で、GNSS データを用いた研究の対象は広範囲にわたっている。傾斜変動データを用いた研究の対象が限定的である大きな要因として、傾斜変動データには地下深部の地殻活動に伴う変動に加えて降雨などに伴うローカルな変動が顕著に表れてしまうことが挙げられる。このようなローカルな変動がデータに混入することにより、解析対象の地殻活動に伴うシグナルのみを傾斜変動データから客観的に抽出し解析することが困難になり大量のデータを扱いにくくしている。また、時間の経過とともに蓄積データ量が膨大になるにつれ、さらに網羅的な解析が困難になっている。研究代表者は、既に四国地域のプレート境界で発生するスロースリップを Hi-net 傾斜変動データから自動的に検出し、震源モデルを推定する手法を開発しており [Kimura et al., 2011], この様な解析手法をより大量の傾斜変動データを用いて、様々な近く活動に対して適用する必要がある。



図 1 Hi-net 傾斜変動観測点.

2. 研究の目的

本研究は、大量の傾斜変動データから地下の地殻活動に対応するシグナルを単一の手法により網羅的に探索・検出し、傾斜変動源のメカニズムを推定することを目的として開始した。大量かつ長期間の観測データを網羅的に解析する上で、データに含まれるノイズの特性等のデータ品質を客観的に把握することは極めて重要である。本研究を進める中で、このノイズ特性が観測点ごとに異なることに加えて、同一の観測点であっても大きく時間変化することが明らかになった。特に時間変化については、観測機器の設置環境に起因するものに加えて、機器の障害が原因である場合もあるため、観測データに含まれる地殻活動等によるシグナルの信頼度を予め評価する必要が生じた。そこで、本研究では傾斜変動源の網羅的な検出及びメカニズム推定に必要な、データのノイズ特性およびシグナルの信頼度の評価手法の開発及び評価結果の解析方法の検討を目的とした。

3. 研究の方法

傾斜変動データに含まれるノイズは、周期に依存しないホワイトノイズと長周期成分が卓越するランダムウォークノイズの足し合わせで表現できる。そこで、各観測点の傾斜変動データを、カルマンフィルタを用いて上記 2 種類のノイズでモデル化し、それぞれのノイズの強度を推定した。推定の際、データ長は 30 日間としそれを 15 日ずつずらして各解析区間に対してノイズ強度を推定することにより、各観測点のノイズ強度の時間変化も把握可能にした。

傾斜変動データに含まれる地殻変動シグナルの信頼性の評価においては、データに含まれる半日および 1 日周期の潮汐応答成分を用いた。観測データに含まれる潮汐応答成分が時間変化せず一定であるかどうかや、理論的に期待される値との整合性から評価することとした。この様

に観測されたシグナルを用いて機器の正常性を評価するアプローチは、広帯域地震計の正常性評価を目的に、研究代表者が開発した遠地地震の地震波形記録を周辺の地震計のものと比較する手法 [Kimura et al., 2015] と類似している。観測機器への校正信号の入力等により観測データに擾乱を与えることなく、観測データの評価を連続的に実施できる利点がある。

4. 研究成果

傾斜変動データのノイズ特性の推定結果例を図2および3に示す。図2の例では、2001年からランダムウォークノイズの強度は約 $1.0 \text{ nradian/hr}^0.5$ でほぼ一定であるのに対してホワイトノイズの強度は $0.1 \sim 1.0 \text{ nradian}$ 程度でばらついている。ホワイトノイズのばらつきは、ランダムウォークノイズに比べてホワイトノイズの振幅が小さく、その強度を精度良く推定できていないことによる。従って、この観測データのノイズ特性は時間的に安定しており、全期間を通じてほぼ一定のノイズ強度とみなして解析可能といえる。一方で、図3の場合には、ランダムウォークノイズの強度が、2002年に約 $1.0 \text{ nradian/hr}^0.5$ から $10.0 \text{ nradian/hr}^0.5$ に急増し、その後2008年までに $100.0 \text{ nradian/hr}^0.5$ 程度まで徐々に増加していることが分かる。さらに、2009年には再び約 $1.0 \text{ nradian/hr}^0.5$ に急減し、その後はほぼ一定値を示している。この観測データの場合には、2009年以降はほぼ一定のノイズ強度とみなせるが、それ以外はノイズ強度が時間変化することを考慮して、地殻活動のモデル推定を行う必要がある。

さらに観測データの正常性を確認するために、図3で示した傾斜変動データの潮汐応答成分の時間変化を図4に示す。図4下図に示した半日周期の潮汐応答成分の振幅の時間変化を示しており、ランダムウォークノイズの強度が徐々に増加していた2002年～2009年においては、他の期間に比べて振幅が小さく、値が安定していないことが分かる。このような値を示す観測機器は正常な状態ではない可能性があり、他の観測データと合わせて地殻活動の検出やモデル推定に活用する際には、注意が必要である。

本研究では、大量の傾斜変動データを網羅的に活用する際に必要となる、傾斜変動データに含まれるノイズ特性の評価および観測データの信頼性の評価を実施した。得られた評価結果は、傾斜変動データを利用した地殻活動の解析等を実施するうえで、非常に重要なデータセットとなる。また、評価結果を用いることにより、解析目的に合致するノイズレベルのデータセットを選択できるようになる他、ノイズレベルの安定性やデータそのものの信頼性も加味することが可能になる。

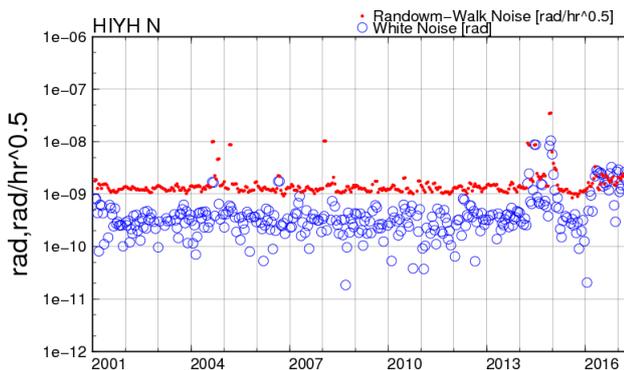


図2 ノイズ特性の時間変化例 1.

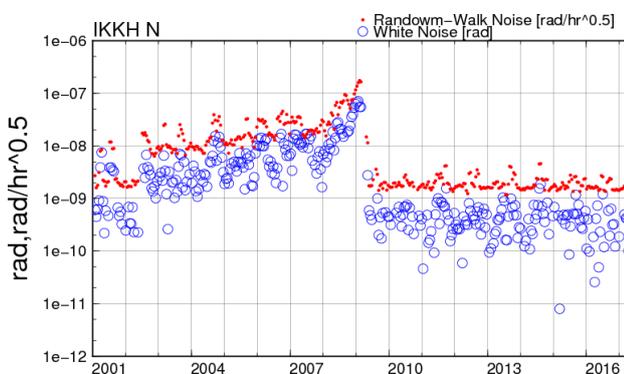


図3 ノイズ特性の時間変化例 2.

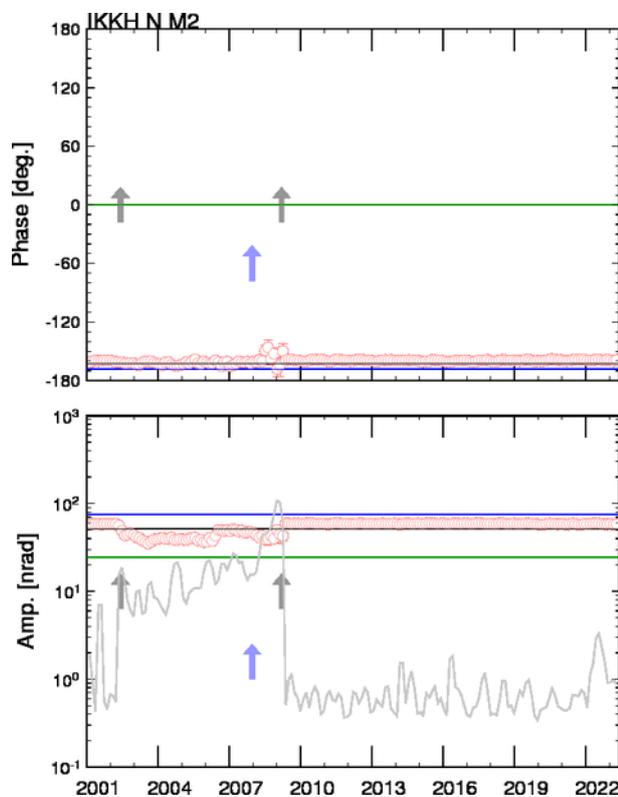


図4 潮汐応答成分の時間変化例.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hirose Hitoshi, Kimura Takeshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Slip Distributions of Short Term Slow Slip Events in Shikoku, Southwest Japan, From 2001 to 2019 Based on Tilt Change Measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020jb019601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kitagawa Yuichi, Matsumoto Norio, Kimura Takeshi	4. 巻 72
2. 論文標題 Estimation of fault models for short-term slow slip events from groundwater pressure in soft sedimentary layers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-020-01218-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tsuyuki Takahiro, Kobayashi Akio, Kai Reiko, Kimura Takeshi, Itaba Satoshi	4. 巻 73
2. 論文標題 Joint inversion of strain and tilt data using the Akaike's Bayesian information criterion to map detailed slip distributions of short-term slow slip events	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-021-01517-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中條 尚哉, 廣瀬 仁, 木村 武志
2. 発表標題 Hi-net傾斜計データに基づく、紀伊半島北部における短期的スロースリップイベントのモーメント解放レート（2002～2015）
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中條 尚哉 , 廣瀬 仁 , 木村 武志
2. 発表標題 Hi-net傾斜計データに基づく紀伊半島北部における短期的スロースリップイベントのすべり分布の推定
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関