資料２－１

新規研究課題提案書

１．研究課題名

GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発

２．研究制度名

特別研究

３．研究期間

平成２６年　４月　　～　平成２９年　３月　（３年間）

４．予算規模（想定）

特別研究　２１，０７６千円

（平成２６年度　7,276千円、平成２７年度　6,900千円、平成２８年度　6,900千円）

５．課題分類

（３）防災に関する研究開発

６．研究開発の背景・必要性

地震や火山現象の機構理解や推移予測のためには、地殻変動の監視が有効な手段であり、国土地理院は、その基盤的な役割を担っている。国土地理院では、全国に設置された電子基準点からなるGNSS連続観測システム（GEONET）等によって地殻変動を監視し、その結果得られる地殻変動情報や地殻活動の状況を、地震調査委員会や火山噴火予知連絡会等に提供している。

このような中、甚大な被害をもたらした東日本大震災の発生を踏まえ、地震や火山噴火の被害を軽減する上で政策的に取り組むべき方針が見直された。過去に発生した地震や火山噴火について発生に至る過程を詳細に理解するとともに、地殻活動の現況を的確かつ迅速に把握することが必要であり、これらの研究に相補的に取り組むことで将来の活動予測へとつなげるというものである。

前者については、過去に発生した事例に関して、地震発生に至るまでのプレート境界における固着の状態とゆっくりすべりの推移、噴火に至るまでのマグマの移動など、地下（地殻）の状態変化を詳細に把握する必要がある。そのためには、これまでの地殻変動情報に加え、より時間分解能の細かい地殻変動情報が必要とされる。しかし、元となるGNSS時系列の時間分解能を高めると座標時系列のばらつきが大きくなり、通常の手法では地殻変動の抽出が困難となるため、現状では、推定できる現象の時間スケールとしては１日程度が限界であった。

後者について、火山噴火の兆候などの現況の地殻変動をより適時的に捉えるためには、現状より時間分解能の細かい地殻変動情報が必要である。この場合においても、元となるGNSS時系列の精度の制約から、数時間程度の間隔で地殻の状態変化を報告しているのが現状であり、それより短い時間スケールで起こる火山噴火の兆候等を捉えきれないおそれがあった。

以上のことから、過去に発生した地殻活動について、一日より短い時間分解能で地殻の状態の変化に伴う地殻変動の推移把握を可能にするための技術開発を行うとともに、その技術を発展させ、準リアルタイムで地殻の状態を推定するためのシステムを開発することが求められている。

７．研究開発の目的・目標

本研究は、まず、過去の地震や火山活動に伴う地殻変動を細かい時間分解能で抽出する技術を開発し、それによって得られる地殻変動の推移情報を通じて地震発生や火山噴火に至る過程のメカニズムの理解に寄与すること、また、その技術を発展させ、準リアルタイムでマグマの位置などの地殻の状態を推定するシステムを開発し、より適時的に関係機関へ情報提供することができるようにすることで、火山活動の推移等の監視に寄与することを目的する。

そのため、過去の地震や火山活動に関して、GNSS解析技術を高度化し、得られるGNSS時系列から時間分解能5分程度で5mm程度の地殻変動情報を抽出する技術を開発すること、また、地殻変動の監視においては、リアルタイムGNSS解析技術を高度化した上で、得られるGNSS時系列データから、適時的に火山活動時のマグマの状態等を推定するシステムのプロトタイプを開発することを目標とする。

８．研究開発の内容

本研究では、以下の２項目の技術開発を実施する。（１）過去の地震や火山活動に伴う地殻変動を細かい時間分解能で抽出する技術の開発、（２）準リアルタイムでマグマの状態などの地殻の状態を推定するシステムの開発

より詳細な実施内容は以下の通り：

（１）過去の地震や火山活動に伴う地殻変動を細かい時間分解能で抽出する技術の開発

① 細かい時間分解能のGNSS時系列のばらつきを低減する技術の開発

細かい時間分解能でGNSS時系列を推定する場合、マルチパス等の影響で、時系列が大きくばらつき地殻変動の抽出が困難となる場合がある。そこで、先行研究により開発されたマルチパス補正手法等を適用し、GNSS時系列のばらつきを抑える技術を開発する。

② GNSS時系列から複数観測点で同時観測される共通信号を抽出する手法の評価・検討

すべり分布の変化などに伴う広域の地殻変動は、複数の観測点で共通する特徴をもつものであるから、統計的な手法を用い、GNSS時系列から複数観測点で同時観測される共通信号を抽出する技術（経験的直交関数法等）の評価・検討を行う。

③ 抽出された共通信号のうち、誤差の物理機構の特定およびその低減手法の開発

抽出された共通信号には、地殻変動のほか、広域に共通する特有の要因による誤差である可能性も含まれる。そのような誤差について、その物理機構を特定した上で誤差低減手法の開発を行う。

④ 抽出された共通信号のうち、地殻変動シグナルを特定する手法の開発

抽出された空間相関の変動のうち、地殻変動シグナルを特定する手法を開発するとともに、特定された地殻変動シグナルに対し地殻状態（すべり分布・マグマの位置など）の推定手法を適用し、地殻変動が適切に特定されているかの評価を行う。その結果に基づいて②～④の処理を改良し、手法の最適化を行う。

（２）準リアルタイムでマグマの状態などの地殻の状態を推定するシステムの開発

① リアルタイムキネマティックGNSS（RTK-GNSS）解析における時系列のばらつきを低減する技術の開発

RTK-GNSS解析技術においても（１）と同様に時系列がばらつき、地殻変動の抽出が困難になることがあることが知られている。そこで、（１）で開発した低減技術に加え、（マルチパスを生じやすい低仰角の測位信号となる測位衛星を用いないで）GLONASS衛星等の信号を取り入れることでばらつきを低減する技術を開発する。

② RTK-GNSS時系列を用いた地殻状態推定システムのプロトタイプの構築

GEONETの観測点を対象とし、①の技術を適用して得られるRTK-GNSS時系列から、１時間程度のデータ長に対する時間依存インバージョン手法を用いて、時間分解能5分から10分程度ごとの地殻状態を推定するシステムのプロトタイプを構築する。

９．研究開発の方法、実施体制

（１）～（２）全体は研究官が主として実施する。（１）①については、先行研究「地殻変動監視能力向上のための電子基準点誤差分析の高度化」の成果を活用するため、当該研究担当者の主任研究官に協力を得て実施する。（１）④、（２）②において、インバージョンによるモデル推定手法の構築については、地殻変動研究室に協力を得て実施する。構築した地殻変動シグナルの抽出手法の評価については、地殻変動のモデル化に詳しい地殻変動研究室の協力を得る。（２）②のシステムの構築は、外注により行う。

10. 研究開発の種類

（２）応用研究

11. 現在までの開発段階

（１）研究段階

12. 想定される成果と活用方針

本研究により、過去の地震や火山活動に伴う地殻変動について、細かい時間分解能での地殻変動シグナルの抽出手法が開発される。この手法は、地殻変動研究室において、過去発生した多くの事例について、地震に伴うすべり分布の推移や火山噴火に伴うマグマの移動等のモデル化に活用され、地震前後や火山活動時において短時間で推移する過程の理解に役立つことが期待される。

また、RTK-GNSS時系列から地殻の状態を推定するシステムのプロトタイプが開発される。このシステムは、火山活動が活発化した際の地殻変動監視における、マグマの状態等の推定に活用される。その結果は、火山噴火予知連絡会等に適時的に提供され、火山活動の把握等への活用が期待される。

さらに、波及効果として、リアルタイム測位の高度化への発展が期待される。本研究で開発されたシステムによって得られる電子基準点のRTK-GNSS時系列において、地殻変動に伴う基準点位置にずれが生じたり、様々な誤差要因により安定した解が得られない場合がある。このような場合には、電子基準点を参照点とする情報化施工などのリアルタイム測位において間違った位置が推定されることが想定される。このような変動や誤差といった情報は、情報化施工などのリアルタイム測位に有効な情報となり得ることから、電子基準点を利用したリアルタイム測位の高度化につながるものと期待される。

13. 研究に協力が見込まれる機関名

気象庁、国立大学法人等

14. 関係部局等との調整

インバージョンによるモデル推定やシステムの構築に関しては、地殻変動研究室と協力して実施する。また、GNSSデータ、特にGLONASSのデータの利用とその解析については、測地観測センターの関係部署の協力を得ながら実施する。

15. 備考

特になし。

16. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室

茨城県つくば市北郷１番

資料２－２

新規研究課題事前評価表

１．研究課題名

GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発

２．研究制度名

特別研究

３．研究期間

平成２６年　４月　　～　平成２９年　３月　（３年間）

４．予算規模（想定）

特別研究　２１，０７６千円

（平成２６年度　7,276千円、平成２７年度　6,900千円、平成２８年度　6,900千円）

５．研究開発の方向の妥当性

「国土地理院研究開発基本計画」のうち、基本的課題（３）防災に関する研究開発、重点研究開発課題③防災に資する地盤変動・地形情報の抽出の高度化に関する研究において、地盤変動の状況をより迅速かつ高精度に把握するため、SAR 等による地盤変動の把握技術の高度化を図るための研究を行い、適用可能となる知見・成果が得られることを目指すとされているが、本研究はそれに該当するものであり妥当である。

６．国内・国際的研究状況を踏まえての実施の妥当性

いくつかの先行研究により、細かい時間分解能のGNSS時系列から得られる地殻変動を用いて、過去に発生した十勝沖地震や三宅島の噴火などについて、地震後の地殻状態の変化や火山のマグマ等の時間変化が捉えられている。それらの結果は、他の地球物理データと併せて、地震発生や火山噴火のメカニズムの解明に重要な示唆を与えるものとして注目されている。しかしながら、細かい時間分解能のGNSS時系列は、マルチパス等の原因によるばらつきが大きく、通常の手法では地殻変動の抽出が困難であるため、今まで利用が進んでこなかった。

マルチパスについては、国土地理院で実施された研究により、位相残差を用いたマルチパス誤差低減手法が細かい時間分解能のGNSS解析に有効であることがわかってきた。また、細かい時間分解能のGNSS解析から地殻変動を抽出する技術として、国土地理院では、(広域の)地殻変動が複数の観測点で共通に観測される性質を利用し、統計的な手法を活用して地殻変動を抽出する研究に取り組んでおり、既に東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動について、詳細な時間分解能で地殻変動を抽出することに成功した。従って、これらの技術を適用することで、過去の多くの地震・火山噴火に伴う細かい時間分解能の地殻変動の抽出が可能になると期待される。

一方で、RTK-GNSS時系列からの地殻変動抽出については、RTK-GNSS時系列のばらつきを抑える技術が不可欠であるが、この点については、上述のマルチパス誤差低減手法が応用できる上、平成25年度には電子基準点全点において、これまでのGPSのみに加えGLONASSや準天頂衛星が観測可能となり、複数衛星を同時に使用することで、RTK-GNSS解析のばらつきが抑えられ、地殻変動の抽出が容易になることが期待される。

以上の通り、過去の地震や火山活動に伴う地殻変動の抽出およびRTK-GNSS時系列からの地殻変動抽出の双方において、国土地理院において要素となる技術の検討が進んでいることから、本研究を実施することは妥当である。

７．背景・必要性の妥当性

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて（建議）」（平成24年11月科学技術・学術審議会）においては、（２）「地震・火山現象解明のための観測研究の推進」において、「地震・火山現象の予測システムの構築のためには、地殻やマントルで進行している諸過程の正しい理解とそのモデル化が不可欠である。」と謳われている。また、（３）「新たな観測技術の開発」において、「新たな観測技術の開発や既存技術の高度化により、従来にない質・量の観測データが得られると、地震・火山現象に関する理解が飛躍的に進む。そのため、・・・宇宙技術等の利用の高度化を進める。」と謳われており、本研究はその趣旨に合致したものである。以上の通り、背景・必要性は妥当である。

８．目標設定の妥当性

地震発生の準備過程やマグマの上昇・蓄積過程を解明し、過去の地震や火山噴火に至る過程のメカニズムの理解に寄与するためには、地震や火山活動に伴う数十分から数時間で、数cm程度の地殻変動を把握することが必要である。このような地殻変動を捉えることは、時間分解能５分程度で５ｍｍ程度の地殻変動シグナルを時系列的に抽出することで可能となる。火山活動時において、より適時的に関係機関に情報提供することで、活動の推移監視に寄与するためには、マグマの状態等を適時的に把握することが必要となる。そのような把握は、RTK-GNSS時系列から、5分から10分程度ごとのマグマの状態変化等を1時間程度の遅れで推定するシステムのプロトタイプが開発されることで可能となる。

従って、本研究の目標は妥当である。

９．国土地理院が実施すべき妥当性

国土地理院は、地殻変動監視において基盤的な役割を担っており、得られた地殻変動情報は、地震調査委員会や火山噴火予知連絡会に提供されている。地殻変動情報の精度の向上や信頼性の向上のための研究は、国土地理院が実施することが妥当である。

これまで、国土地理院では、GEONETによって地震発生時や火山活動時の地殻変動を把握し、さらに把握した地殻変動からインバージョン手法を用いてすべり分布の推定などを行っている。また、GNSSの解析技術の高度化について、特別研究「地殻変動監視能力向上のための電子基準点誤差分析の高度化に関する研究」等により様々な誤差軽減手法の開発に取り組んできている。このように、モデル推定手法やGNSSの解析技術の高度化に実績を有している。

従って、本研究課題を国土地理院が実施することは妥当である。

10．内容、方法、実施体制の妥当性

細かい時間分解能で地殻変動を把握するためには、細かい時間分解能のGNSS解析が有効である。しかし、現状では誤差が大きく、このままでは短時間で推移する地殻変動を把握することは困難である。そこで、本研究では、先行研究等で明らかとなったマルチパス誤差の低減手法や、RTK-GNSS解析においてGLONASS等の衛星測位システムを活用し、細かい時間分解能のGNSS解析の安定化技術を開発するものである。よって、本研究の内容は妥当である。

細かい時間分解能のGNSS時系列から地殻変動シグナルを抽出する手法として、先行研究により、経験的直交関数（EOF）解析が有効であることが示されている。しかし、EOFなどの手法は、観測点網で得られる時系列に数学的な処理を行って相異なるモードに分解するものであって、個々のモードがどのような機構の現象に対応する変化であるかを判断することが困難である。そこで、本研究では、抽出されたモードについてそれぞれに対応する地殻状態を推定し、どのような機構で発生したものであるかを特定することとしている。従って、本研究の方法は妥当である。

本研究においては、解析プログラムの開発、手法の検討・評価については研究官１名が主に行うが、マルチパス誤差の低減手法については、先行研究において実績のある主任研究官と協力して実施する。インバージョンによるモデル推定手法については、実績のある地殻変動研究室と共同で実施する。また、構築するシステムのプロトタイプは、外注により行うことにより、効率的に目標を達成しようとするものであり、実施体制は妥当である。

11. 省内他部局等との調整の状況

国土地理院においては、地殻変動研究室がインバージョン手法によるモデルの推定する研究を実施し実績があることから、インバージョンによるモデル推定を地殻変動研究室と共同で実施することは妥当である。また、複数の衛星測位システムを用いる解析手法の検討において、GNSSに対応したGEONETの管理・運用を担当している測地観測センターの協力を得て行うことは、妥当である。

12. 他省庁、異分野等との連携方針等

本研究で開発する地殻変動シグナル抽出手法により、過去に起こった火山活動の活発化、噴火から終息に至る一連の過程におけるマグマの推移等を詳細に把握するためには、GEONETのみでは観測点密度が必ずしも十分ではない。そのため、気象庁等のGNSS観測点データを活用する予定である。

13. 成果活用方針の妥当性

本研究で開発された、細かい時間分解能での地殻変動シグナルの抽出手法を、過去に発生した地震や火山現象について適用することにより、これまでは明らかとすることができなかった、数十分から数時間で進行する、地震や火山活動に伴って地下で生じる地殻活動の現象を明らかにすることに役立つことが期待される。また、火山活動活発化時等の地殻変動監視において、本研究で開発される、RTK-GNSS時系列からのモデル推定システムのプロトタイプを用いてマグマの状態変化等を１時間程度の遅れで把握することは、火山活動の推移予測等に重要な情報の速やかな取得に役立つと期待される。国土地理院において、地殻変動情報に基づいたすべり分布やマグマの移動の推定は、主に地殻変動研究室で担当しているが、上記のような活用を地殻変動研究室において進めることは、東日本大震災の発生を踏まえて見直された、地震や火山噴火の被害軽減のために重点的に取り組むべき調査研究の方針に即したものであり、妥当である。

さらに、波及効果として、本研究で得られるリアルタイムキネマティックGNSS時系列のばらつき等の情報は、電子基準点を参照点とする情報化施工等のリアルタイム測位に対するIntegrity情報の検討に貢献することなどが見込まれ、リアルタイム測位の利用範囲の拡大につながることが期待される。

従って、本研究の成果活用方針は妥当である。

14. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし。

15. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室

茨城県つくば市北郷１番

資料２－３

GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発

国土地理院 地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室

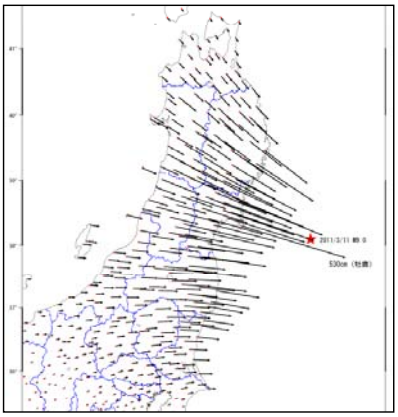
国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

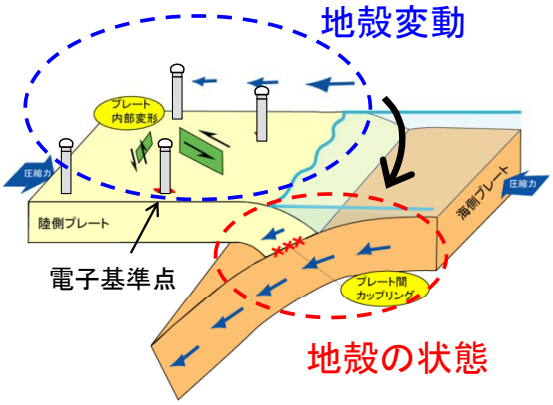
本研究の背景・必要性

国土地理院

- 減災・防災のためには、地震や火山噴火の発生の仕組みの理解や推移予測が必要であり、そのためには地殻変動の監視が有効
- 国土地理院は、全国の電子基準点からなるGEONETにより、地殻変動を定常的に監視し、地殻変動情報を関係機関に提供

GEONETによる地殻変動の監視





本研究の背景・必要性

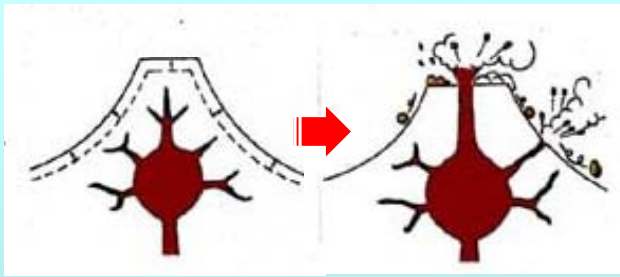
国土地理院

東日本大震災の発生に対し、地震や火山噴火の被害軽減の上で、建議(※)において取り組むべき方針が見直された

→ 将来の活動予測による減災・防災につなげるには、

（1）過去に発生した地震・火山噴火の発生に至る過程の理解

（2）現況の地殻活動を的確かつ迅速に把握



マグマの移動等の現況を的確かつ迅速に把握

（※）地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて（建議）

本研究の背景・必要性

国土地理院

（1）過去に発生した地震・火山噴火の発生に至る過程の理解には、地震や火山噴火の発生から終息までの地殻の状態変化を、時間的・空間的に詳細に把握する必要

→より細かい時間分解能の地殻変動情報に基づき、地下の状態の詳細な時間変化を推定することが有効

（2）現況の地殻活動を的確かつ迅速な把握

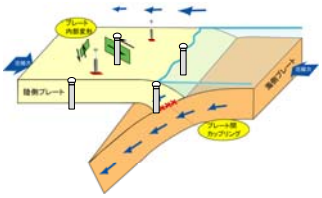
→ 火山活動時等において、より細かい時間分解能の地殻変動情報と、それに基づく地下の状態変化の推定情報を、より速く提供することが有効

いずれも、これまでの地殻変動情報に加え、より細かい時間分解能の地殻変動情報が必要である

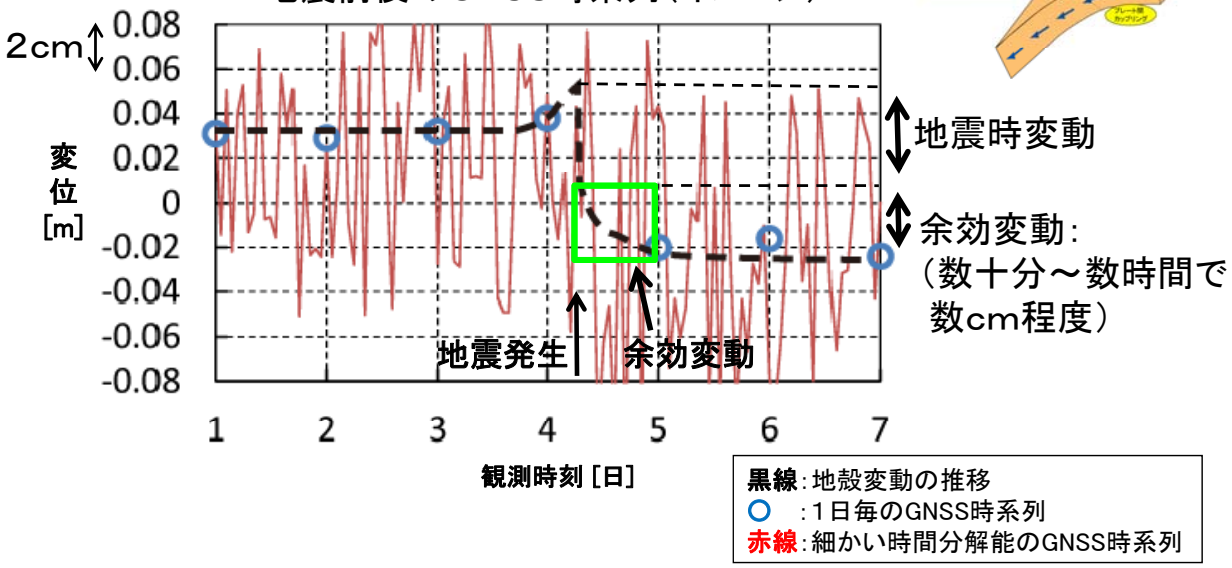
本研究の背景・必要性

国土地理院

（1）過去の推移（事後の解析）



地震前後のGNSS時系列（イメージ）



現状：精度数mm程度の変動を得るためには、時間分解能は1日程度が限界

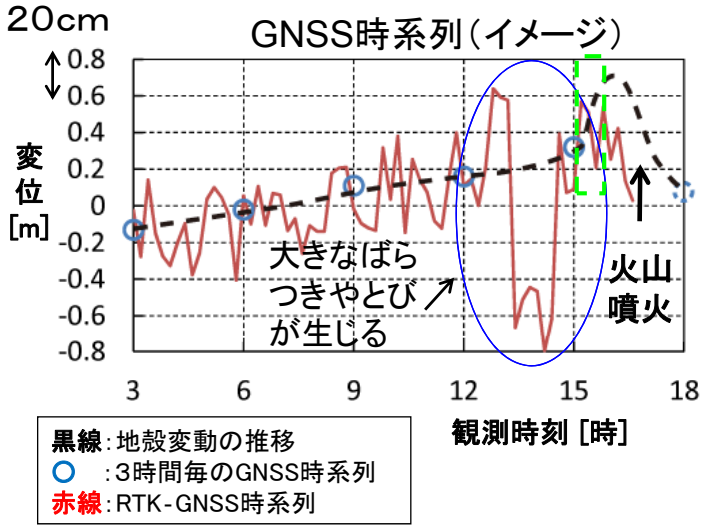
細かい時間分解能のGNSS時系列のばらつきを抑えた上で、時間分解能5分程度で5mm程度の地殻変動情報を取り出す技術の開発が必要

本研究の背景・必要性

国土地理院

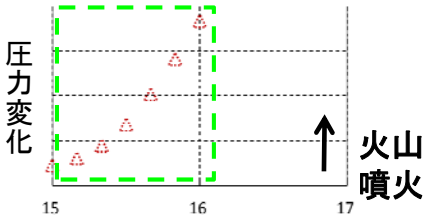
（2）現況の把握（準リアルタイムの解析）

GNSS時系列（イメージ）



火山噴火前後等の急激かつ大きな地殻変動
（数時間に数cm～数十cm）

地殻変動から推定される
マグマの圧力変化（イメージ）



現状の監視：3時間毎に精度数cm程度の地殻変動
→数cm程度で、1時間より短かい地殻変動を準リアルタイムで捉え、かつ
火山噴火前の緊急時には、マグマの状態を迅速に把握する必要

リアルタイムキネマティックGNSS（RTK-GNSS）時系列のばらつきを抑えた上で、準リアルタイムで地殻状態の推移を推定するシステムの開発が必要

本研究の目的・目標

国土地理院

（1）過去の推移

目的

地殻変動を細かい時間分解能で抽出する技術を開発し、それによって得られる地殻変動の推移情報を通じて地震・火山噴火の発生に至る過程のメカニズムの理解に寄与

目標

GNSS時系列から時間分解能5分程度で5mm程度の地殻変動を時系列的に抽出する技術を開発

（2）現況の把握

目的

地殻の状態を準リアルタイムで推定するシステムを開発し、より適時的に関係機関へ地殻状態に関する情報の提供を可能とすることで、地震や火山活動の推移の監視に寄与

目標

RTK-GNSS時系列から、適時的に火山活動時の地殻の状態を推定するシステムのプロトタイプを開発

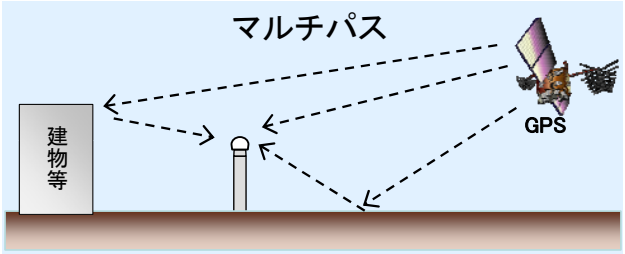
研究内容（１）過去の推移

国土地理院

① 細かい時間分解能のGNSS時系列のばらつきを低減する技術の開発

主要な誤差要因はマルチパス誤差

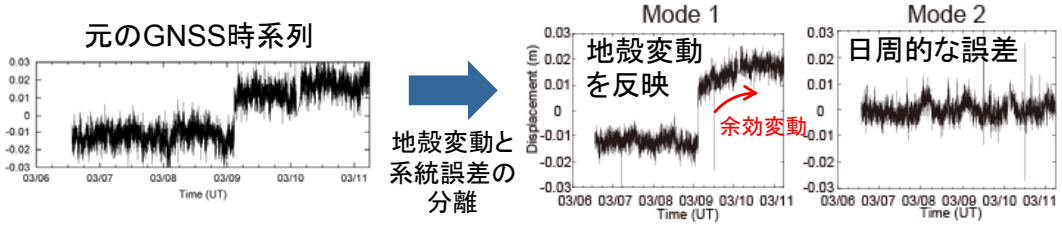
→ 先行研究によるマルチパス誤差補正手法を活用



② GNSS時系列から複数観測点で同時観測される共通信号を抽出し、地殻変動を特定する手法の開発

共通信号を抽出する統計的手法が有効

→ 対象となる異なる変動要因（マグマの移動、すべり分布）に適した手法を開発し、地殻変動情報を分離・抽出する技術を開発



研究内容(２)現況の把握

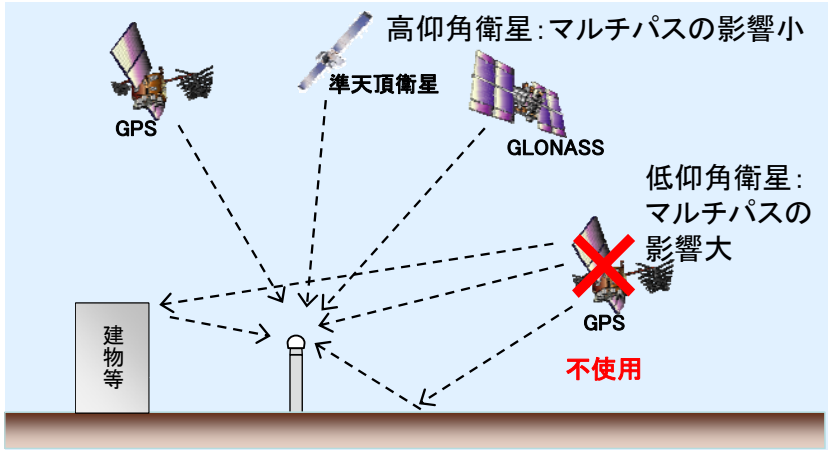
国土地理院

① RTK-GNSS時系列のばらつきを低減する技術の開発

ばらつきやとびの主な要因：マルチパス誤差

- 研究内容(１)で開発したマルチパス誤差低減技術の適用
- GLONASS衛星等の利用で、マルチパスの大きい低仰角衛星を使用しない

GLONASS衛星等の利用で期待される効果



GEONETにおけるGLONASS、準天頂衛星の対応状況
平成25年5月～ 全観測点で利用可能

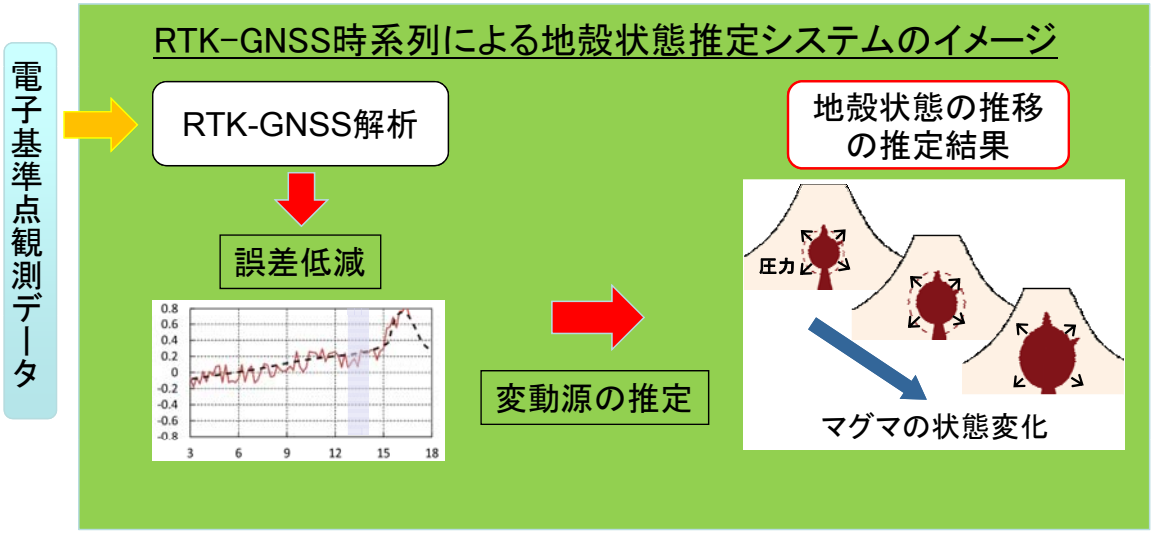
研究内容(２)現況の把握

国土地理院

② RTK-GNSS時系列による地殻状態推定システムのプロトタイプの開発

- 地殻状態を連続的に推定する手法をRTK-GNSS時系列に最適化
- 1時間程度の時系列データから地殻状態の推移を推定

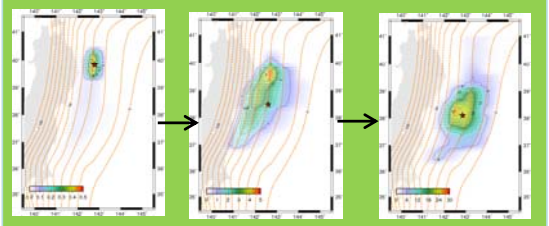
→地殻状態の5分から10分程度ごとの推移を、1時間程度の遅れで漸次推定



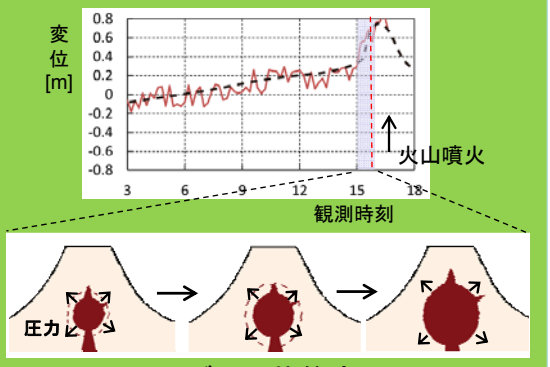
想定される成果とその活用

国土地理院

（1）過去の推移	成果	（2）現況の把握
地殻変動を細かい時間分解能で抽出する技術		RTK-GNSS時系列を用いた地殻状態推定システムのプロトタイプ
活用		活用
高精度で細かい時間分解能の地殻変動情報の抽出	活用	地殻状態の推移の推定結果



プレート境界でのすべり分布の時間変化



マグマの状態変化

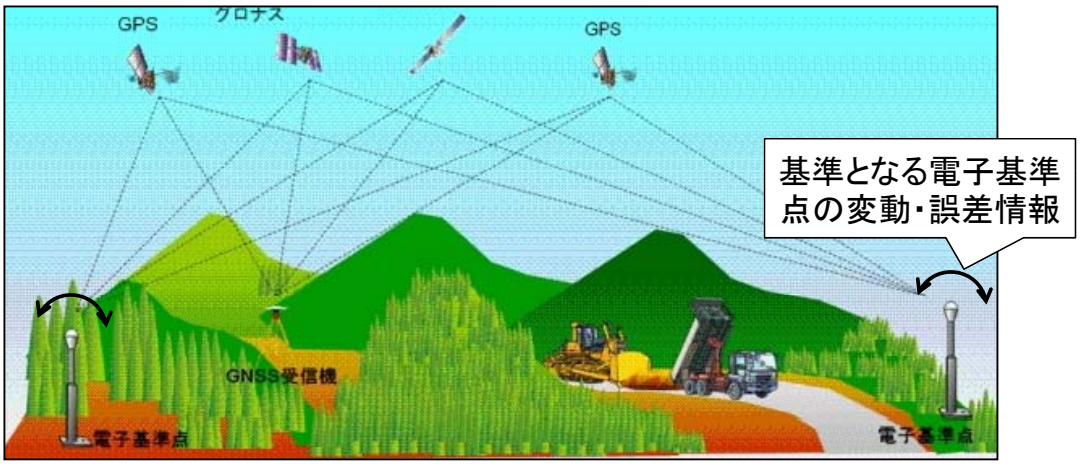
過去に発生した地震や火山噴火に至る、短時間で推移する過程の把握とその機構の理解	火山活動時等における地殻変動と地殻状態の迅速な情報提供

地震・火山噴火における将来の活動予測に貢献

波及効果

国土地理院

・電子基準点のRTK-GNSS解析による変動把握
・RTK-GNSS解析における誤差低減技術
→ 情報化施工(※)などにおける、電子基準点を利用したリアルタイム測位の高度化への発展を期待



（※）情報化施工：建設工事等における、GNSSなどによるリアルタイム測位を用いた、ブルドーザーなどの建設機械の自動制御による整地などの施工

以下参考資料

国土地理院

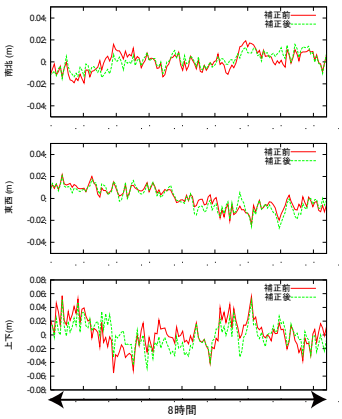
研究内容（１－①）GNSS時系列のばらつきを低減する技術の開発

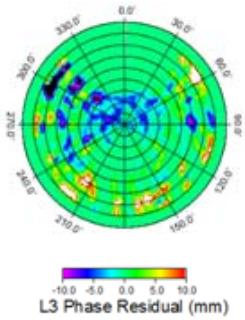
国土地理院

細かい時間分解能のGNSS時系列におけるマルチパス誤差低減

→ 先行研究により開発されたマルチパス誤差補正手法を最適化

GNSS時系列





マルチパスによる
位相残差マップ

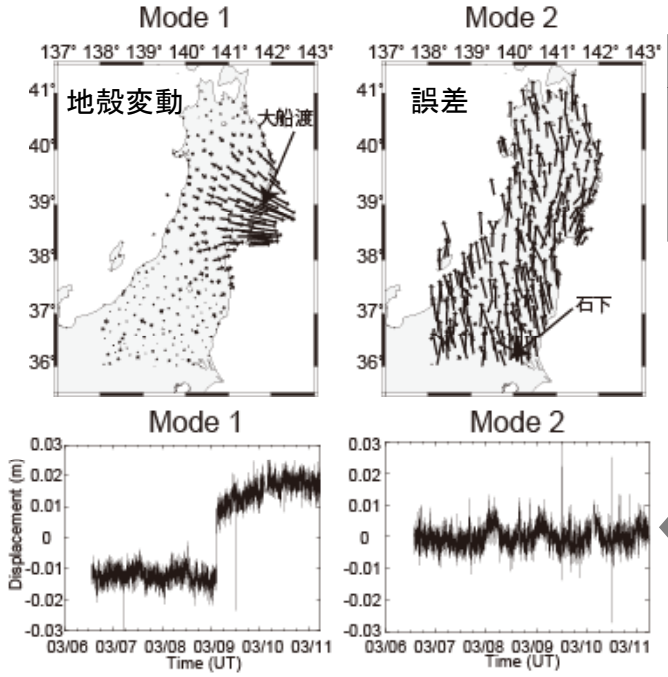
全観測点を対象
・誤差軽減効果の評価を通じた位相残差マップ適用法を点ごとに最適化

先行研究：つくばにおいて、マルチパスによる位相残差マップの適用 →
変位誤差：RMSが１０％低減

研究内容(1－②) GNSS時系列から共通信号を抽出し、地殻変動を特定する手法の開発

国土地理院

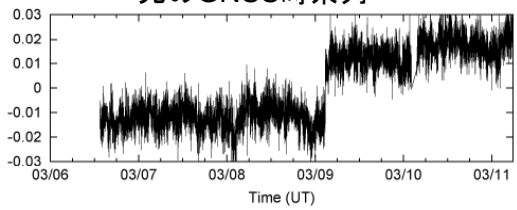
先行研究：観測点網の地殻変動情報における共通信号を抽出する統計的手法
→ 東北地方太平洋沖地震前の地殻変動に適用
前震と直後の余効変動，誤差（ピラーの熱変形：傾斜）の分離に成功



対象：すべり分布の変化，マグマの移動等の異なる地殻状態変化
変動：空間的な相関，時間変化等の特性が異なる

変動要因に応じた最適な手法開発

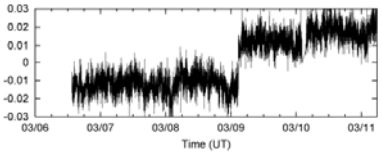
元のGNSS時系列



研究内容(1－②) GNSS時系列から共通信号を抽出し、地殻変動を特定する手法の開発

国土地理院

GNSS時系列

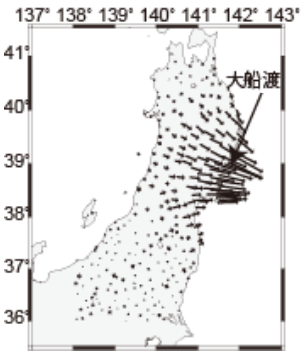


変動要因に応じた最適な手法開発のアプローチ

共通信号を抽出する手法A、B、、、

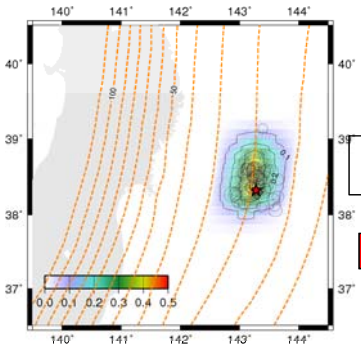
最適化

共通信号の抽出



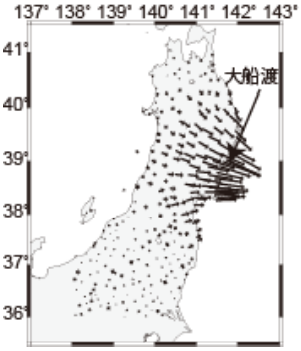
地殻状態（すべり分布、マグマの位置等）の推定

地殻状態（すべり分布）



推定

地殻状態から推定される変動



比較→ 地殻変動であるかを特定

「過去の推移」と「現況の把握」の比較

国土地理院

		過去の推移	現況の把握
捉えるべき現象		・数十分～数時間で数cm程度の地殻変動の推移 （現象）内陸地震の地震時変動とそれに続く余効変動の推移など	・数時間に数十cm程度の地殻変動と地殻状態の推移の即時的把握 （現象）火山噴火前の急激かつ大きな地殻変動など
観測条件の違い		・後処理のGNSS解析 ・即時性は低い：現象の発生から終了までの一連の過程が対象 ・安定度が高い：データの欠落が少ない、全期間のデータの情報を利用可能 ・GLONASS、準天頂衛星は利用不可	・リアルタイムのGNSS解析 ・即時性は高い ・安定度が低い：データの欠落等 ・GLONASS、準天頂衛星が利用可
到達目標		・時間分解能5分程度で5mm程度の地殻変動情報の抽出	・1時間程度の時間遅れで、時間分解能5分から10分程度ごとの地殻状態を推定するシステムのプロトタイプを開発
適用可能な方法	共通	マルチパス誤差補正手法によるGNSS時系列のばらつき低減	
	相違	・全期間のデータの情報を用いて最適な解を得る手法 ・対象とする地殻変動の発生から終了までの期間のデータから、複数観測点で同時観測される共通信号を統計的に分離する手法	・GNSS時系列のばらつき低減において、上記の補正手法に加えGLONASS等の利用で条件の悪い低仰角衛星を使用せずに解析 ・1時間程度のGNSS時系列データに対し、時間依存インバージョン手法を適用 ・時間依存インバージョンに必要な先験情報を、解析直前までのデータから推定する手法 ・「過去の推移」において詳細な噴火過程が明らかとなった事例による手法の評価と改良

研究開発の実施体制

国土地理院

- 研究官1名が主担当
- マルチパス誤差の低減手法の適用：
  先行研究「地殻変動監視能力向上のための電子基準点誤差分析の高度化」の成果を活用するため、当該研究担当者である主任研究官の協力
- 地殻変動情報から地殻状態を推定する手法の開発：
  実績のある地殻変動研究室の協力
- 地殻状態推定システムのプロトタイプの構築：
  外注で実施

本研究の妥当性

国土地理院

研究開発の方向の妥当性

「国土地理院研究開発基本計画」における、「地盤変動の状況をより迅速かつ高精度に把握するため、地盤変動の把握技術の高度化を図る」【基本的課題（3）、開発課題③】に該当

国内・国際的研究状況を踏まえての実施の妥当性

細かい時間分解能のGNSS時系列：

・先行研究：マルチパス誤差低減手法の開発（取り組み中）、地殻変動抽出に統計的手法の有効な事例提示

RTK-GNSS時系列：

・GEONETにおけるGLONASS、準天頂衛星への受信対応済み

要素技術の検討、観測環境の整備が進捗

背景・必要性の妥当性

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて（建議）」（平成24年11月）の趣旨に合致

本研究の妥当性

国土地理院

目標設定の妥当性

・地震・火山噴火の発生に至る過程の理解には、数十分から数時間で、数cm程度の地殻変動の把握が必要 → 時間分解能5分程度で5mm程度の地殻変動の時系列的な抽出で可能

・火山活動の推移予測などに貢献する地殻変動監視には、マグマの状態変化の適時的な把握が必要 →5分から10分程度ごとのマグマの状態変化等を1時間程度以内に推定するシステム開発で可能

国土地理院が実施すべき妥当性

国土地理院は、地殻変動監視において基盤的な役割

→ 地殻変動情報の精度・信頼性の向上研究は自ら実施すべき

本研究の開発項目

・ 地殻変動情報から地殻の状態を推定する手法の開発

・ GNSS解析技術の高度化

等に実績を有している

本研究の妥当性

国土地理院

内容、方法、実施体制の妥当性

（内容の妥当性）
細かい時間分解能で地殻変動を把握するためには、細かい時間分解能のGNSS解析の高度化が必要
→ 先行研究で開発されるマルチパス誤差低減手法、RTK-GNSS解析においてGLONASS等の観測を活用し、GNSS解析の安定化技術を開発
（方法の妥当性）
統計的な地殻変動抽出手法の開発：地殻変動の特定が必要
→ 抽出された個々の変動について、地殻状態を推定して現象を特定
（実施体制の妥当性）
マルチパス誤差の低減手法：先行研究で実績のある主任研究官と協力
地殻状態の推定手法：地殻変動研究室と協力
システムのプロトタイプ：外注で実施
→ 効率的な実施体制

成果活用方針の妥当性

過去の地震、火山活動における、短時間で推移する過程の把握・機構理解
火山活動時における地殻変動と地殻の状態（マグマの状態）の迅速な把握
→ 地震や火山噴火の被害軽減のために重点的に取り組むべき調査研究

用語集（１）

国土地理院

GNSS

地球を周回する人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システムの総称。米国の運用するGPS（Global Positioning System)が代表的。GPSのほか、我が国の準天頂衛星、ロシアのGLONASS（グロナス）などがある。

GEONET（GNSS Earth Observation Network System; GNSS連続観測システム）

国土地理院で運用している、GNSS連続観測を行う電子基準点（全国約1,240ヶ所）と観測データ収集と位置解析を処理する中央局（茨城県つくば市）で構成されるシステム。わが国の国家基準点体系の一部をなすとともに、広域の地殻変動監視に用いられている。
従来、GPSだけを受信していたが、2013年5月からGLONASS、準天頂衛星の信号も収集・配信されている。

マルチパス誤差

GNSS衛星から発信された電波が、直達波に加え、地面、建物等からの反射波が混信されてアンテナで受信されることにより生じる誤差。その影響は、衛星の位置や周囲の（電波反射の）環境によって決まるため、観測点毎に異なるとともに、周囲の反射特性の時間的変化によって、同一観測点でも時間的な変化が生じる。

用語集（２）

国土地理院

細かい時間分解能のGNSS解析（時系列）

一定の時間毎に取得されるGNSS信号について、受信時ごとの観測点間の相対位置を求める解析のうち、（過去に得られたデータを用いて）事後に行う解析。この解析により得られる座標時系列を、細かい時間分解能のGNSS時系列という。前後に得られた信号を考慮した解析が可能であり、それによって得られる解を安定化する利点を有する。

リアルタイムキネマティックGNSS（RTK-GNSS）解析（時系列）

一定の時間毎に取得されるGNSS信号について、受信時ごとの観測点間の相対位置を求める解析のうち、受信とほぼ同時に行われる解析。この解析から得られる座標時系列を、RTK-GNSS時系列という。上述の細かい時間分解能のGNSS解析と比べると、データの欠落等により、ばらつきが大きい。

用語集（３）

国土地理院

余効変動

地震の後に、時間をかけてゆっくりと進行する地殻変動であり、地震断層において震源域の周囲でゆっくりとすべり続けることなどによって発生する。余効変動が継続する時間は、プレート境界で生じる大きな地震で数年程度、内陸地震では数十分から数時間程度と、地震の規模や地震の発生する場所などにより異なる。

共通信号を分離する統計的手法

時・空間に分布するデータを、時間的・空間的に相関する変動成分の組合せとして分離する手法であり、経験的直交関数（主成分分析、EOF）解析などが含まれる。EOF解析は、複数の観測点で得られた時系列データについて、互いに独立した、空間パターンとその強さの時間変化成分に分割して表現する統計的な手法である。

GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発

資料２－４

研究の背景・必要性

東日本大震災後の建議※において、被害を軽減する上で、早急に、重点的に取り組むべき課題として

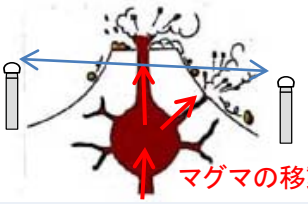
1）過去に発生した地震・火山噴火の発生に至る過程の理解

現状は推定できる現象の時間スケールが
１日程度が限界　→ 時間分解能が不十分

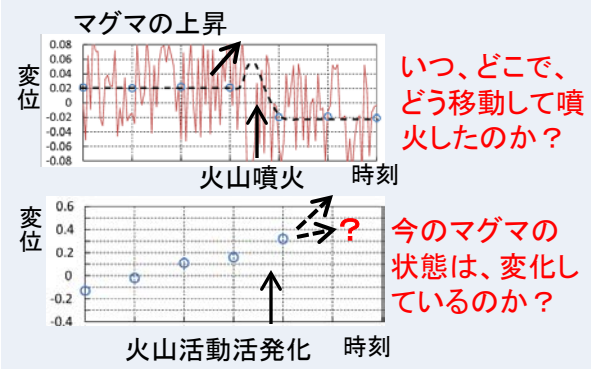
2）地殻活動の現況を的確かつ迅速に把握

現状は解の安定性が不十分
→短時間に大きく変動していく、噴火の兆候が捉えられないおそれ

※地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて（建議）



［火山活動の例］
地殻変動でマグマの移動を把握



いつ、どこで、どう移動して噴火したのか？

今のマグマの状態は、変化しているのか？

GNSS時系列の現状

研究内容

本研究

1）GNSS時系列から、時間分解能5分程度で5mm程度の地殻変動を時系列的に抽出する技術の開発
2）RTK-GNSS時系列から、火山活動時のマグマの推移等を推定するシステムの開発

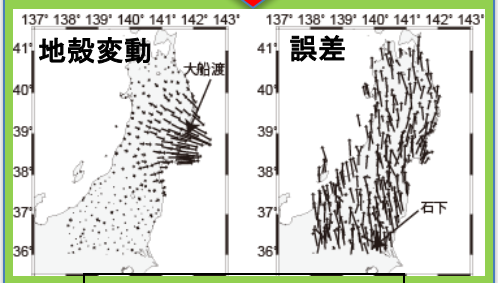
■**細かい時間分解能のGNSS時系列の誤差低減技術の開発（H26）**
細かい時間分解能のGNSS時系列におけるばらつきの低減技術の開発

■**GNSS時系列から地殻変動を細かい時間分解能で抽出する技術の開発（H27）**
同時観測される共通信号を抽出する技術を用いて地殻変動を抽出する技術の開発

■**リアルタイムキネマティックGNSS（RTK-GNSS）時系列による地殻状態推定システムのプロトタイプの構築（H28）**
RTK-GNSS時系列におけるばらつきを低減し、地殻変動源を推定するシステムの開発

地殻変動の細かな時間分解能での抽出技術の開発

細かい時間分解能のGNSS時系列



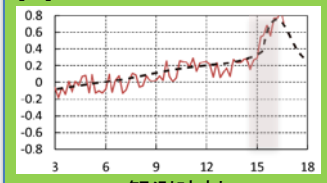
地殻変動と誤差を分離

高精度で細かい時間分解能な地殻変動情報の抽出

RTK-GNSS時系列による地殻状態の推定システムのイメージ

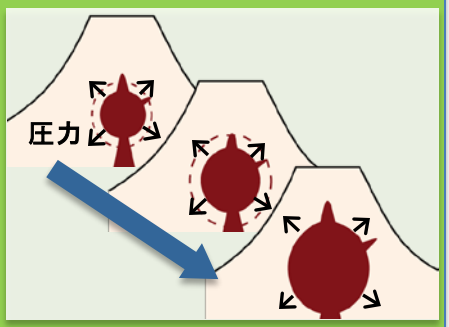
RTK-GNSS解析

誤差低減



変動源の推定

地殻状態の推移の推定結果



研究効果

地震・火山噴火における将来の活動予測に貢献

- 過去に発生した地震や火山噴火に至る、短時間で推移する過程の把握とその機構の理解
- 地震発生後や火山活動時における地殻変動と地殻状態の迅速な情報提供