

新規研究課題提案書

1. 研究課題名

衛星干渉SARによる高度な地盤変動監視のための電離層補正技術に関する研究

2. 研究制度名

特別研究

3. 研究期間

平成25年 4月 ～ 平成28年 3月 （3年間）

4. 予算規模（想定）：特別研究 30,000千円

（平成25年度 14,000千円、平成26年度 8,000千円、平成27年度 8,000千円）

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

干渉合成開口レーダー（干渉SAR）は地表面の変位を面的に得られる技術であり、地震・火山活動に伴う地殻変動や地すべり等の地表面の変動現象の把握に威力を発揮している。国土地理院は地盤変動を面的に監視するため、陸域観測技術衛星「だいち」のデータを定常的に解析し、SAR干渉画像を作成してきており、平成25年度に打ち上げが予定されている「だいち」後継機のALOS-2においても、引き続き干渉SARによる国土の地盤変動監視を実施することになっている。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって日本列島にかかる力のバランスが変化したことにより、広い範囲で内陸活断層における誘発地震や火山活動の活発化が懸念されている。内陸活断層の地震発生に至る準備過程のメカニズムを解明し、地殻変動の推移に基づく危険度予測につなげるためには、準備段階が異なる全国の活断層において、地殻変動の監視を継続して行う必要がある。国土地理院では全国で1200点あまりの電子基準点からなるGNSS連続観測システムGEONETを用いた地殻変動の監視を行っているが、内陸活断層については、その空間スケールが小さいため（～10km）、電子基準点の網では地殻変動把握の空間分解能が不足する場合がある。その場合、電子基準点に加え空間分解能が高い干渉SARによる監視を高頻度で行うことが効果的である。また、発災時における被害域の迅速な把握や地震・火山活動等に伴う地殻活動の推移予測のためには、SAR干渉画像の適時の提供が有効であるが、その実現のためには、毎回の観測で地盤変動を面的に正確に捉える必要がある。それにより、噴火を伴う火山活動では、地殻変動の推移は気象庁による噴火警報の判断材料となり、住民の避難等被害軽減につながる。

しかしながら、SAR干渉解析において、現状では、限られた範囲にある地殻変動の情報が広域的な誤差の中に隠れてしまって、検出できないことがある。特に、1周波電波を用いた観測であるSARデータの干渉解析では、電離層擾乱（粗密の変動）に伴う電波の遅延誤差により、正確な地盤変動情報が抽出できない場合があることが問題となっている。電離層による誤差の補正には、2周波電波を用いたGNSS観測データに含まれる電離層電子密度に関する情報に基づく手法が有効であると考えられる。国土地理院は、電子基準点においてGNSSの連続観測を実施しており、その2周波データに基づき、干渉SARの電離層補正手法を構築できる可能性がある。宇宙測地研究室では特別研究課題「GPS統合解析技術の高度化」（H21-H23）において、GPS1周波観測の基線解析に適用可能な電離層補正手法

を構築したが、SAR観測に遅延誤差をもたらす電波進行方向（視線方向）の電子密度の高精度な表現方法やGNSS受信機バイアスの推定手法等の高度化を行うことにより、SAR干渉解析に適用可能な定量的な補正を安定的に実現できることが期待される。

従って、電子基準点データに基づく電離層補正手法の技術開発を行うことにより、SAR干渉画像を利用した安定で正確な地盤変動稠密把握を可能にし、干渉SARによる地盤変動監視の信頼性の向上を図る本研究の実施が望まれている。

なお、本研究課題での研究成果は、ALOS-2だけでなく、他の地球観測衛星のSARデータにも応用が可能である。

7. 研究開発の目的・目標

本研究は、国土地理院が実施する国土の定常的な地盤変動監視において、電子基準点データに基づく電離層補正を実現することで、地盤変動の正確で稠密な情報の安定的な提供を可能とし、ALOS-2の特徴を生かして干渉SARを用いた国土の地盤変動監視の信頼性向上を図ることを目的とする。

そのため、電子基準点の観測データからSAR干渉解析に適用可能な電離層補正手法を構築するとともに、国土地理院における干渉SARによる国土の地盤変動監視へ適合した補正システムを構築することを目標とする。

8. 研究開発の内容

本研究では、電子基準点データからSAR干渉解析に適用可能な電離層補正手法を構築するとともに、国土地理院における干渉SARによる国土の地盤変動監視へ適合した補正システムを構築する。より詳細な実施内容は以下の通り：

（1）電離層擾乱の特性把握および干渉SARへの影響評価

特別研究課題「GPS統合解析技術の高度化」（H21-H23）で開発したGPS電離層モデルを元に、日本域における過去10年間の電離層擾乱現象の種類、発生日時、規模などを網羅的に調査する。また、干渉SARの電離層補正に適した電離層表現手法の開発を行うとともに、特定された電離層擾乱の発生時のうちで対応する（ALOSによる）干渉SARの観測の組みがあるものについて、電離層位相遅延差の推定画像を作成し、これを実際のSAR干渉画像（ALOSによるもの）と比較することにより評価する。

（2）電子基準点データに基づくSAR電離層補正技術の開発

（1）で開発した電離層表現手法をもとに、以下の手順でSAR干渉画像処理に適した電離層補正手法を構築する。

1）SAR電離層補正に適した電離層表現手法の改良

2）（1）で特定された事例についてSAR電離層補正手法の開発および評価

①干渉画像を用いた適合度評価

②SARデータのみによる電離層補正手法との比較評価

③SAR時系列解析を通じたGEONET時系列との比較評価

3）SAR電離層補正手法の改良

（3）国土地理院におけるALOS-2を用いた干渉SARによる国土の地盤変動監視に適合したSAR電離層補正システムの構築

（2）で構築したSAR電離層補正手法について、国土地理院における干渉SARによる国土の地盤変動監視に用いられる解析ソフトウェアである新GSISARで利用可能とするため、必要となるインターフェースの作成を行うとともに、ALOS-2データを用いた評価を通じ、国土地理院におけるALOS-2を用いた干渉SARによる国土の地盤変動監視に適合したSAR電離層補正システムを構築する。

また、評価の過程で生成した電離層表現のアーカイブを作成する。

9. 研究開発の方法、実施体制

上記（１）、（２）については複数の主任研究官が中心となって実施する。（１）「電離層擾乱の特性把握および干渉SARへの影響評価」と、（２）の「電離層補正手法の構築および評価」の一部は外注で行う。また、（３）の新GSISARとの間のインターフェース構築に関しては外注で行う。

10. 研究開発の種類

（１）基礎研究、（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

本研究で開発した電離層補正システムは、ALOS-2を用いて国土地理院で実施する定常的なSAR干渉解析に適用されることで、地盤変動のより正確で詳細な情報の安定的な取得が実現され、地盤変動監視の信頼性向上に寄与する。特に、地震・火山活動や地すべりなどによる災害が発生した際、SAR干渉画像による地盤変動情報を適時に提供することで被害域の迅速な把握やその後の地殻活動の推移予測が可能となり、防災に貢献する。また、火山活動に伴う地殻変動の推移情報の早期提供は、噴火警報を通じた被害軽減につながると期待されるほか、噴火予測への貢献も期待される。さらに、電子基準点と干渉SARを組み合わせ、内陸活断層の地震発生に至る準備過程のメカニズム解明のための、全国の活断層における安定・正確な地殻変動の監視が可能となる。

波及効果として、全国の活断層について安定・正確な地殻変動監視が行われた場合、内陸地震の発生に至る準備過程のメカニズムの理解がすすみ、将来において、地殻変動の推移に基づく危険度予測へつながると期待される。また、本研究で開発したSAR電離層補正手法を公開することで、大学・研究機関におけるALOS-2以外の衛星も含めた干渉SARを用いた地盤変動把握の高精度化に寄与する。さらに、本研究により、干渉SARによる地盤変動情報の安定性・信頼性が増すことにより、地盤沈下監視における水準測量の効果的な計画策定のための干渉SARの活用が促進されると期待される。

13. 研究に協力が見込まれる機関名

北海道大学、京都大学、宇宙航空研究開発機構(JAXA)等

14. 関係部局等との調整

GPS統合解析装置により生成されたGPS電離層モデルの利用にあたっては、地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室および測地観測センターの協力を得る。また、SARデータのみによる電離層補正手法の開発やSAR時系列解析による評価にあたっては、SAR干渉解析に実績のある地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室の協力を得る。電離層補正システムと新GSISARとのインターフェース構築にあたっては、地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室および測地部宇宙測地課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

国土交通省国土地理院 地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室

住所：茨城県つくば市北郷1番

TEL：029-864-1111(内8332)、FAX：029-864-2655

新規研究課題事前評価表

1. 研究課題名

衛星干渉SARによる高度な地盤変動監視のための電離層補正技術に関する研究

2. 研究制度名

特別研究

3. 研究期間：平成25年 4月 ～ 平成28年 3月 （3年間）

4. 予算規模（想定）：特別研究 30,000千円

（平成25年度 14,000千円、平成26年度 8,000千円、平成27年度 8,000千円）

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、応用可能となる知見・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

従来、電離層がSAR干渉画像に与えるノイズについては、大規模な電離層現象が観測される赤道域や極域を除いては影響が大きいと考えられてきた。その理由としては、電離層変化は日周成分が卓越しており、2つの期間の同じ時間で取得された画像の差分をとる干渉SARでは影響がキャンセルすると考えられること、また、仮に変動があったとしても、空間スケールが100kmより大きい変動は、SAR衛星の軌道誤差による誤差と区別がつかないこと、大気中の水蒸気がSAR干渉画像に与えるノイズのほうが大きいと考えられていたこと、などがあげられる。さらに、諸外国で打ち上げられるSAR衛星のほとんどがCバンドを用いており、Lバンドを用いる日本のSAR衛星に比べ、電離層がSAR干渉画像に与えるノイズが大幅に小さいことから、電離層がSAR干渉画像に与える影響の研究はあまりすすんでこなかった。

近年、SAR衛星の軌道情報の誤差は小さくなり、それによるSAR干渉画像の誤差は、多くの場合無視できるようになった。また、大気中の水蒸気がSAR干渉画像に与えるノイズについても、特別研究課題「正確・迅速な地盤変動把握のための合成開口レーダー干渉画像の高度利用に関する研究」（H20-H22）に代表される研究の結果、数値気象モデルを用いてある程度低減が可能となった。それにもかかわらず、干渉画像にしばしば数値気象モデルでは説明がつかない誤差が現われ、限られた範囲にある地殻変動の情報が広域的な誤差に隠れてしまって検出できないことがあることから、電離層現象との対応が議論されるようになってきた。国土地理院では、SAR衛星「だいち」を用いてSAR干渉解析による地盤変動監視を実施しており、平成25年度打ち上げ予定のALOS-2においても同様の監視を実施することになっている。ALOS-2においては、Scan-SARモードによる広域（～350 km）の地盤変動監視が追加される予定であるが、Scan-SARモードでは電離層の影響をSAR干渉解析の中で補正することがさらに困難となり、電離層の影響がより顕在化する懸念がある。

電離層現象の把握には、GPSデータに含まれる電離層電子密度情報を利用する方法が有力とされており、日本域では、京都大学、名古屋大学、情報通信研究機構などにおいて、電子基準点データを

用いた研究が精力的にすすめられてきた。その結果、赤道域や極域ではない日本域においてもMSTID（中規模伝搬性電離層擾乱）やプラズマバブルなどの電離層現象がSAR干渉画像に影響を与えうる規模で存在することが見出されている。宇宙測地研究室で取り組んだ特別研究課題「GPS統合解析技術の高度化」（H21-H23）においては、GPS 1 周波観測の基線解析に適用可能な電離層補正技術が開発され、測位誤差の低減に効果があることが確認されており、SAR干渉解析への応用が期待されている。

本研究の実施により、国土地理院におけるALOS-2を用いた干渉SARによる国土の地盤変動監視において電離層補正が考慮されることで、地盤変動の正確で稠密な情報の安定的な取得が可能となり、地盤変動監視の信頼性の向上が期待されることから、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

SAR干渉解析においては、主要な誤差源とみなされていた衛星軌道誤差や水蒸気位相遅延誤差についての理解がすすんで高精度化が図られており、今や電離層誤差がSAR干渉解析の信頼性を制約する大きな要因の1つとなっている。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって日本列島にかかる力のバランスが変化したことにより、広い範囲で内陸活断層における誘発地震や火山活動の活発化が懸念されている。内陸活断層の地震発生に至る準備過程のメカニズムを解明し、地殻変動の推移に基づく危険度予測につなげるためには、準備段階が異なる全国の活断層において地殻変動の監視を継続して行う必要があるが、内陸活断層については、その空間スケールが小さいため、国土地理院が運用しているGNSS連続観測網GEONETでは地殻変動把握の空間分解能が不足する場合がある。その場合、電子基準点に加え空間分解能が高い干渉SARによる監視を高頻度で行うことが効果的である。また、発災時における被害域の迅速な把握とその後における地殻活動の推移予測や、火山活動に伴う地殻変動の推移監視による噴火予測のためには、SAR干渉画像の適時の提供が有効であるが、その実現のためには、毎回の観測で地盤変動を面的に正確に捉える必要がある。それにより、噴火を伴う火山活動において地殻変動の推移は気象庁による噴火警報の判断材料となり、住民の避難等に活用されるなど、被害軽減につながる。

以上のことから、電離層擾乱が発生した場合においても、電離層による誤差を補正した上で干渉解析を行い、地盤変動現象を精度よく取得する技術が求められている。

平成21年度から実施されている「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進（建議）」（平成20年7月科学技術・学術審議会）においては、3（2）ア宇宙技術等の利用の高度化（宇宙測地技術）において、「・・・国土地理院・・・は、「だいち」等による衛星SAR干渉解析による地殻変動把握技術の高度化のため、永続散乱体干渉手法、GPS等との統合解析手法、大気伝播誤差補正手法及び干渉データの位相連続化手法の拡張や改良を進める。」とあるが、本研究は超高層大気である電離層における伝播誤差補正を通じてSAR干渉解析による地殻変動把握技術の高度化を図るものであり、建議の趣旨に合致している。

以上のことから、当課題は妥当であると言える。

8. 目標設定の妥当性

ALOS-2を用いて国土地理院が実施する干渉SARによる国土の地盤変動監視の信頼性向上を図る上で、電離層誤差が障害となることが先行研究により示唆されている。宇宙測地研究室では、特別研究課題「GPS統合解析技術の高度化」（H21-H23）において、国土地理院の電子基準点データに基づき、GPS1周波観測の基線解析に適用可能な電離層補正手法を構築したが、この研究成果を用いて、干渉画像に地殻変動によるものとは思われない誤差が現われた事例について、SARデータの観測と同日、同時刻の電離層の電子密度分布を推定したところ、干渉縞と同じパターンの電離層擾乱現象が認め

られた。このことから、SAR観測の電波進行方向の電子密度の高精度な表現やGPS受信機バイアスの推定の高度化等の開発を行うことにより、SAR干渉解析の定量的な補正を安定的に実現することが期待できる。従って、電子基準点データからSAR干渉解析に適用可能な電離層補正手法を構築するとともに、国土地理院における干渉SARによる国土の地盤変動監視へ適合したSAR電離層補正システムを構築するという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

国土地理院は国土の状態把握のための地盤変動監視において基盤的な役割を担っており、その高度化のための研究は国土地理院で実施することが妥当である。

国土地理院は、SAR干渉解析を行う独自の解析ソフトウェアである新GSISARを開発しており、SAR干渉解析に関する技術的蓄積がある。また、先行研究「正確・迅速な地殻変動把握のための合成開口レーダー干渉画像の高度利用に関する研究」や「SAR衛星の位置情報の高精度化を通じた地盤変動抽出の高度化に関する研究」において、SAR干渉解析における衛星軌道誤差や水蒸気遅延誤差についての研究を実施してきており、干渉SARの誤差についての高度な技術的蓄積を有する。

また、本研究で開発する電離層補正手法に関連する技術開発として、先行研究「GPS統合解析技術の高度化」において、GPS 1周波観測の基線解析のための電離層補正手法を構築したという実績を有する。

さらに、国土地理院は電子基準点を運用しており、本研究で使用する電子基準点データの品質に関して十分な情報の蓄積がある。

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

電子基準点データに基づく電離層補正技術の開発において干渉画像による適合度評価を行うにあたっては、干渉画像の誤差のうち電離層誤差が支配的な画像を選んで実施すべきであるが、干渉画像そのものから判断するのは困難である。そこで本研究では、電子基準点データを用いて、日本域における過去10年間の電離層擾乱現象の日時、規模などの特性を網羅的に調査した上で、電離層擾乱の顕著な日を抽出し、対応するSAR干渉画像を用いて適合度の評価を実施するものであり、内容は妥当である。

また、電離層補正手法としては、先行研究により、電子基準点データに基づく手法が有効であることがわかっているが、手法の構築にあたっては、GPS衛星やGPS受信機のバイアスの精密決定、電離層の異方性の考慮などの課題を解決する必要がある。従って、Pixel-offset法を用いた電離層遅延量推定手法など、SARデータのみを用いた電離層補正手法との比較などを通じて、より信頼度の高い電離層補正手法を完成するという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、手法の検討などは主任研究官が主に行うが、先行研究において開発した電離層モデル推定手法の利用およびその高度化に関しては、先行研究において実績のある地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室長と連携して行うとともに、電離層擾乱現象の日時、規模などの特性の網羅的な調査、電離層補正手法の評価の一部、および、新GSISARとのインターフェースの開発を外部に発注することで、効率的に目標を達成しようとするものであり、研究開発の実施体制は妥当である。

11. 省内他部局等との調整の状況

GPS統合解析装置により生成されたGPS電離層モデルの利用にあたっては、地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室および測地観測センターの協力を得る。また、SARデータのみによる電離層補正手法の開発やSAR時系列解析による評価にあたっては、SAR干渉解析に実績のある地理地殻活動

研究センター 地殻変動研究室の協力を得る。電離層補正システムと新GSISARとのインターフェース構築にあたっては、地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室および測地部宇宙測地課の関係部署の協力を得ながら実施する。

12. 他省庁、異分野等との連携方針等

電離層によるSAR干渉画像の誤差について研究を実施している京都大学、北海道大学や宇宙航空研究開発機構(JAXA)等の研究者と連携をして実施する予定である。

13. 成果活用方針の妥当性

本研究で開発される電離層補正システムを測地部において行われるALOS-2を用いた干渉SARによる国土の地盤変動監視に適用することで、地盤変動の正確で稠密な情報の安定的な提供が可能となり、地盤変動の信頼性向上が期待される。特に、地震・火山活動や地すべりなどによる災害が発生した際、SAR干渉画像による地盤変動情報を適時に提供することで被害域の迅速な把握やその後の地殻活動の推移予測が可能となり、防災に貢献する。また、火山活動に伴う地殻変動の推移情報の早期提供は、噴火警報を通じた被害軽減につながると期待されるほか、噴火予測への貢献も期待される。さらに、電子基準点と干渉SARを組み合わせた全国の活断層における安定・正確な地殻変動の監視が可能となり、内陸地震の発生に至る準備過程のメカニズム解明に資する。

波及効果として、全国の活断層における地殻変動の監視が行われた場合、内陸地震の準備過程のメカニズムの理解がすすむことで、将来において、地殻変動の推移に基づく危険度予測へとつながることが期待される。また、本研究で開発したSAR電離層補正手法を公開することにより、大学・研究機関におけるALOS-2以外の衛星も含めた干渉SARを用いた地盤変動把握の高精度化に寄与する。さらに、本研究により、干渉SARによる地盤変動情報の安定性・信頼性が向上することにより、地盤沈下監視における水準測量の効果的な計画策定のための干渉SARの活用が促進されると期待される。

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

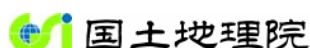
国土交通省国土地理院 地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室

住所：茨城県つくば市北郷1番

TEL：029-864-1111(内8332)、FAX：029-864-2655

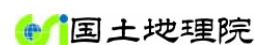
衛星干渉SARによる高度な地盤変動監視のための電離層補正技術に関する研究

国土地理院 地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室



Geospatial Information Authority of Japan

イントロダクション:用語の説明



SAR(Synthetic Aperture Radar:
合成開口レーダ)

人工衛星などに搭載して斜め下の地上方向に電波を照射し、その反射波の**画像**を取得するレーダ。

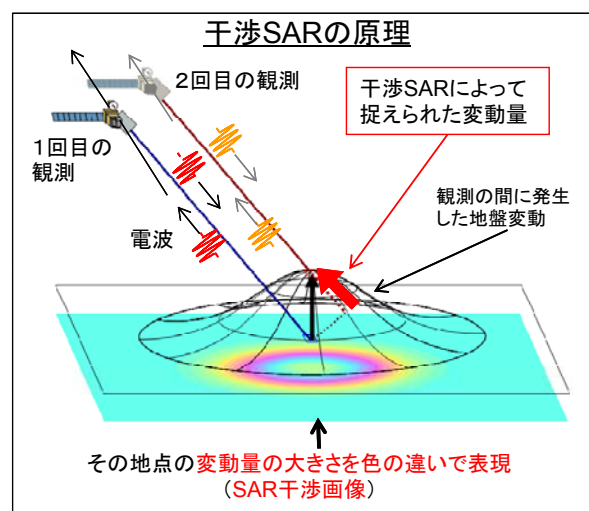
干渉SAR

異なる2時期に地表の同じ範囲をSARで観測すると、その期間に生じた地盤変動がレーダから地表までの距離の変化として**面的に捉えられる**。この技術を干渉SARという。

電離層

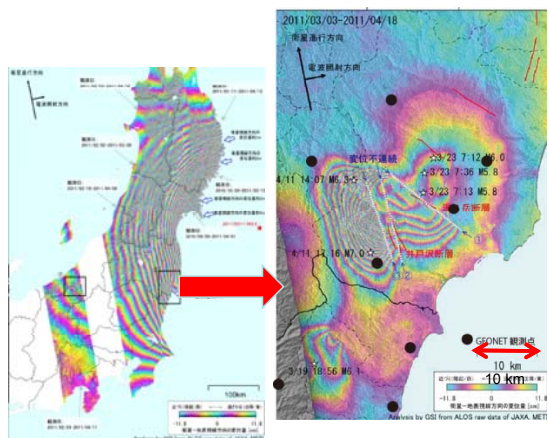
高度約60～800kmにある、太陽からの紫外線やX線によって大気分子が電離して生じた**電子やイオンを多く含む大気の層**。

電波は電離層を通過する際に**遅延が発生**する。**電離層に粗密**が生じると電波の遅延にも差が生じ、電波による距離計測の結果に見かけの変化が生じる。電離層による遅延を補正することを**電離層補正**という。



①東北地方太平洋沖地震発生によって日本列島にかかる力のバランスが変化したことにより、**広範囲において内陸活断層の地震が誘発**されることが懸念されている。内陸活断層で地震の発生に至る仕組みを解明し、地殻変動の推移に基づく危険度予測につなげるためには、全国の活断層において、電子基準点による監視に加え、**干渉SARによる面的な監視を高頻度**に行うことが効果的である。

東北地方太平洋沖地震
によって誘発されたとされる地震

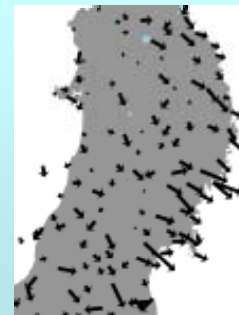
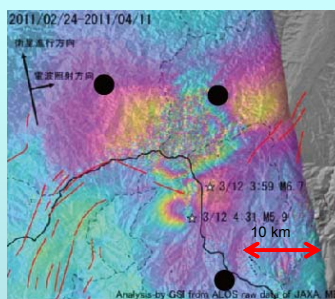


干渉SAR

(空間分解能 Δ : $\sim 10\text{m}$)
(時間分解能 Δ : $\sim 50\text{日}$)

電子基準点

(空間分解能 Δ : $\sim 20\text{km}$)
(時間分解能 Δ : $\sim 1\text{日}$)



内陸活断層は空間スケールが小さい($\sim 10\text{km}$)のため、
電子基準点に加えて干渉SARによる監視が不可欠

監視

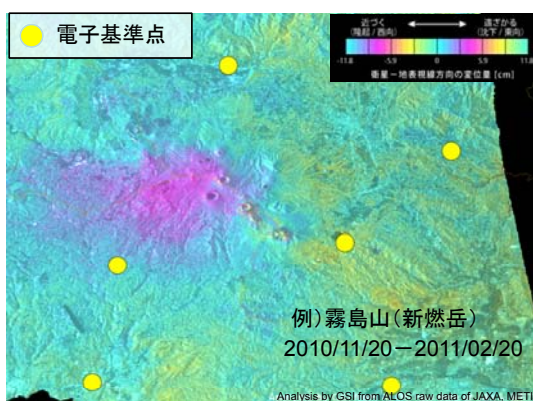
内陸地震の発生に至る仕組みの解明

Slide 3

②発災時における**被害域の速やかな把握**や地震・火山活動等に伴う**地殻活動の推移予測**のためには、**SAR干渉画像を適時に提供**することが有効であるが、その実現のためには、毎回の観測で地盤変動を面的に正確に捉える必要がある。

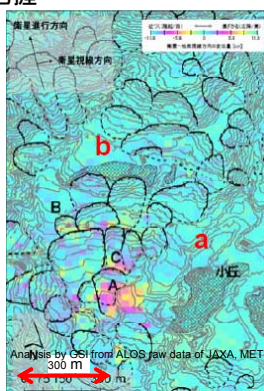
例えば噴火を伴う火山活動では、地殻変動の推移は気象庁による噴火警報等の判断材料となり、住民の避難等被害軽減につながる。

火山活動に伴う地殻変動の面的な把握

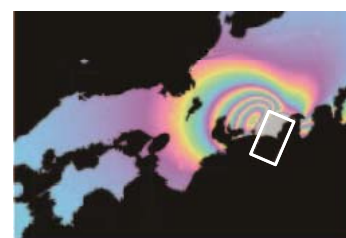


→地下のマグマの移動や膨張・収縮の状況

高分解能($\sim 10\text{m}$)を生かした
動きの遅い地すべりの進展の
把握



想定される地震発生領域の中
で破壊された範囲の把握

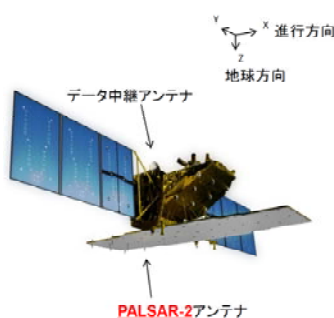


→周辺域でさらに破壊が発生
するかの予測への貢献

Slide 4

H25年度打ち上げ予定のALOS-2(だいち後継機)においては、だいちに比べ、1)緊急時に**速やか**な画像取得が可能、2)衛星の位置制御および位置推定がより正確になることによる地盤変動検出の**高精度化**、3) **広域**(**~350 km**)を一度に観測するScan-SARモードが利用可能、などの改良が見込まれる。

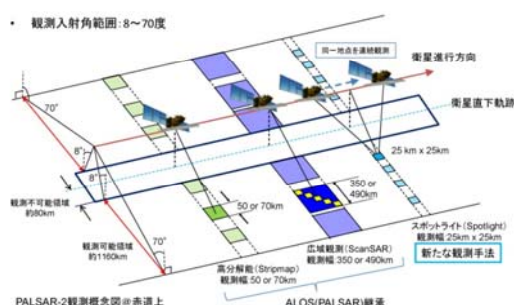
注: 緊急観測要求後、おおむね3日以内に取得

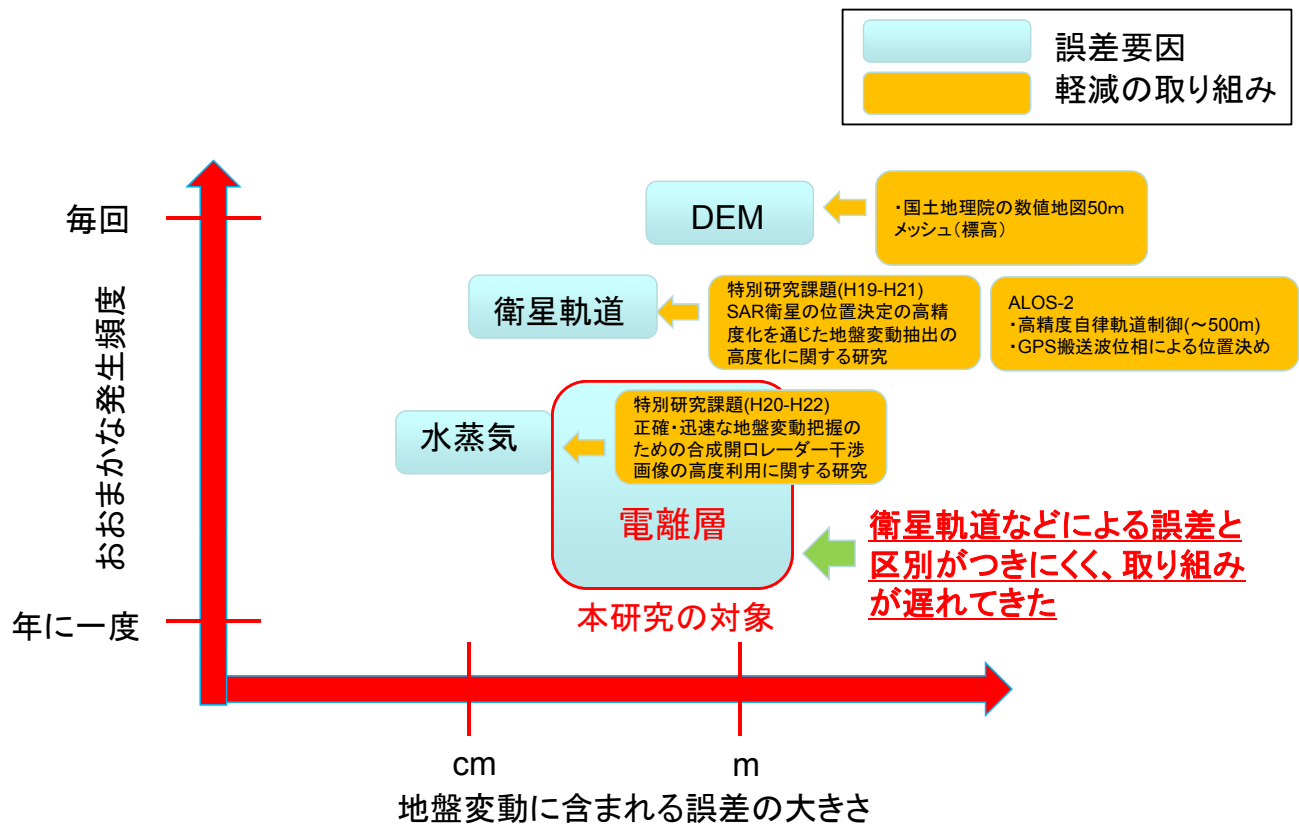


種類	太陽同期準回帰軌道
運用軌道	高度 628km(赤道上)
通過時刻	12:00(正午)@赤道(降交軌道)
設計寿命	5年(目標7年)
打上	時期 2013年度(平成25年度)
ロケット	H-IIA
質量	約2トン
衛星	パドル 2翼パネル
ミッションデータ伝送	直接伝送およびデータ中継衛星経由
合成開口レーザ周波数	Lバンド(1.2GHz帯)
観測性能	スプレッドシート 分解能: 1~3m 観測幅: 25km
高分解能	分解能: 3/6/10m 観測幅: 50/50/70km
広域観測	分解能: 100/60m 観測幅: 350/490km

JAXAホームページより

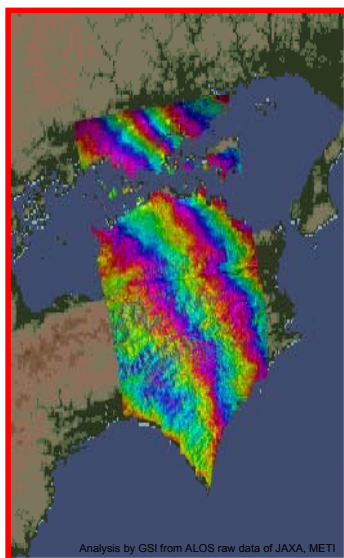
PALSAR-2の観測概念図



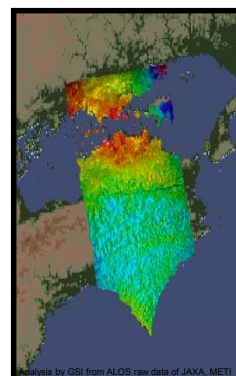


Slide 7

2008/07/18—2009/7/21



(参考) 2007/10/16—2007/12/01

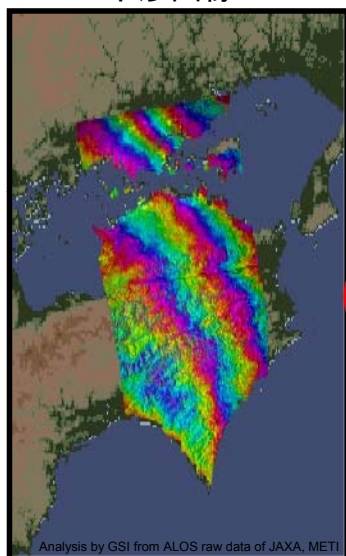


明らかに地殻変動ではないパターン

電離層の影響？

Slide 8

2008/07/18－2009/7/21
のSAR干渉画像

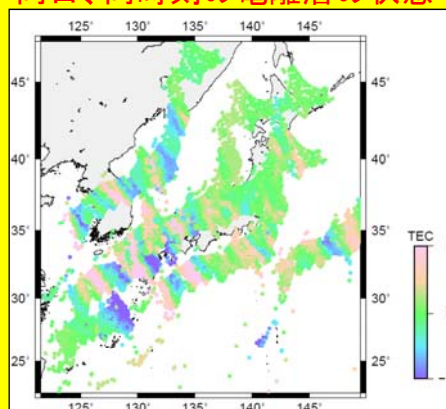


パターン
が一致

先行研究「GPS統合解析技術の高度化」(H21-H23)
電子基準点データを用いた、GPS解析(1周波観測注)に適用可能な
電離層補正

成果の利用

同日、同時刻の電離層の状態



「中規模伝搬性電離層擾乱(MSTID)」が発生していた
数100km程度の空間スケール。北西－南東の波面をもち、
南西に伝播。

干渉SARへの応用：電離層の状態の表現が鍵

- SAR観測方向の電離層の状態を高精度に表現
- 電子基準点の受信機固有の誤差の推定を高度化

等

定量的な補正を安定的
に実現

すでに、H24年度一般研究課題として研究に着手

注 GPSの1周波観測：GPS衛星が送信する2種類の周波数の電波のうち、片方の電波だけを使用する観測方法。観測機器が安価な反面、観測点間の距離が長くなると電離層の影響により誤差が大きくなる。

本研究の背景・必要性

国土地理院における研究の準備状況

国土地理院は全国1200点余の電子基準点を運用

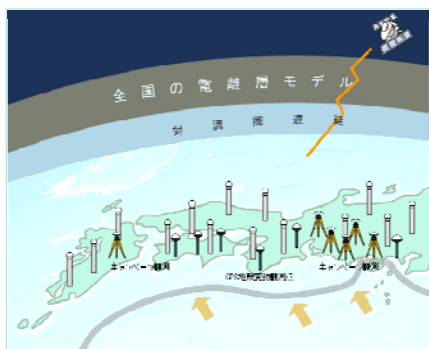


電離層状態の推定に、電子基準点のデータを利用可能

特別研究課題「GPS統合解析技術の高度化」(H21-H23)において、
GPS1周波観測に適用可能な電離層補正手法を構築



研究成果をSAR干渉解析における電離層補正に
応用可能



- 目的:
国土地理院が実施する国土の定常的な地盤変動監視において、**電子基準点データに基づく電離層補正を実現**することで、地盤変動の正確で面的な情報の安定的な提供を可能とし、ALOS-2の特徴を生かした干渉SARを用いた国土の**地盤変動監視の信頼性向上**を図る。
- 概要
 - (1) 電離層擾乱の特性把握および干渉SARにおける影響評価
 - (2) 電子基準点データに基づくSAR電離層補正技術の開発
 - (3) 国土地理院におけるALOS-2を用いた干渉SARによる国土の地盤変動監視に適合した電離層補正システムの構築

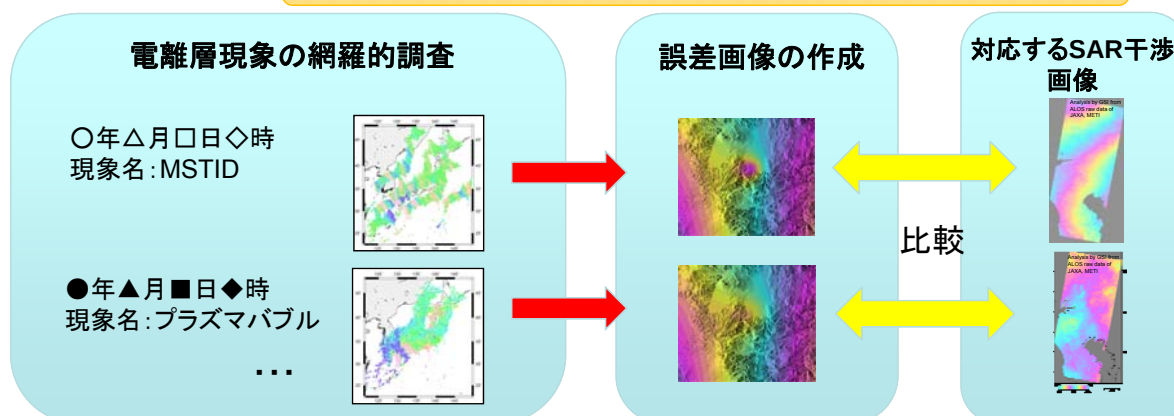
Slide 11

研究内容(1) 電離層擾乱の特性把握および干渉SARにおける影響評価

特別研究課題「GPS統合解析技術の高度化」(H21-H23)で開発した電離層モデルを元に、日本周辺域において、

- ① 過去10年間の全国の電子基準点データにより、**電離層現象の種類、発生日時、空間・時間スケール、振幅などを網羅的に調査**
- ② 干渉SARの電離層補正に適した形で**電離層の状態を表現する手法(電離層表現手法)**を開発
- ③ ①で特定した擾乱現象のうち、対応する干渉SARの観測の組があるものについて、②をもとにして**電離層誤差の推定画像(誤差画像)**を作成し、対応する**SAR干渉画像(ALOS)**と比較して評価

電離層現象の干渉SARに対する影響評価の工程

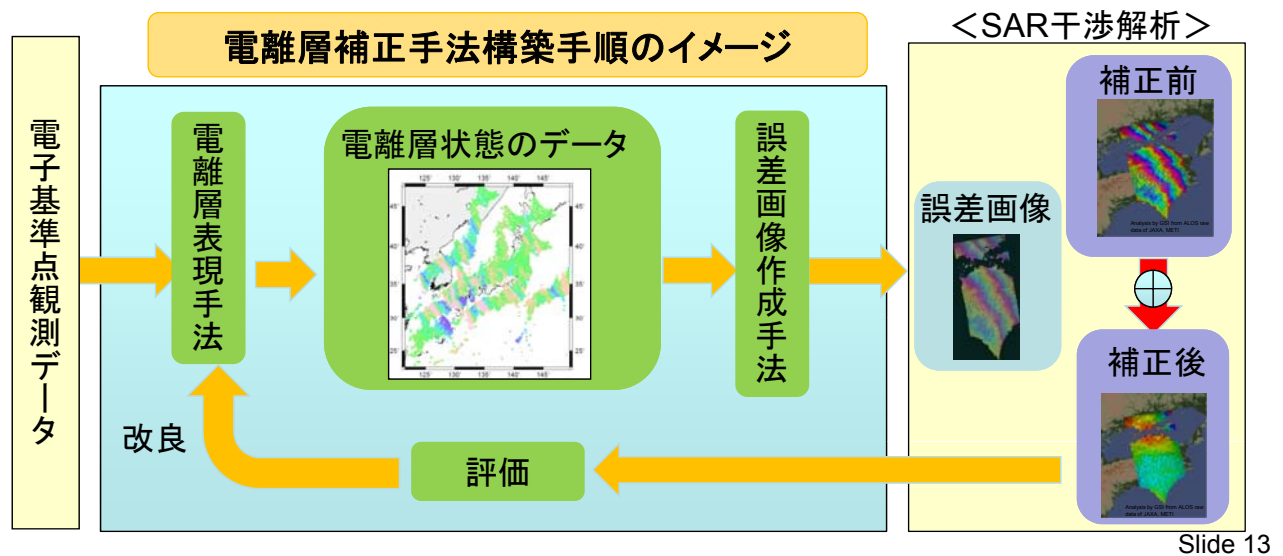


Slide 12

研究内容(2) 電子基準点データに基づくSAR電離層補正技術の開発

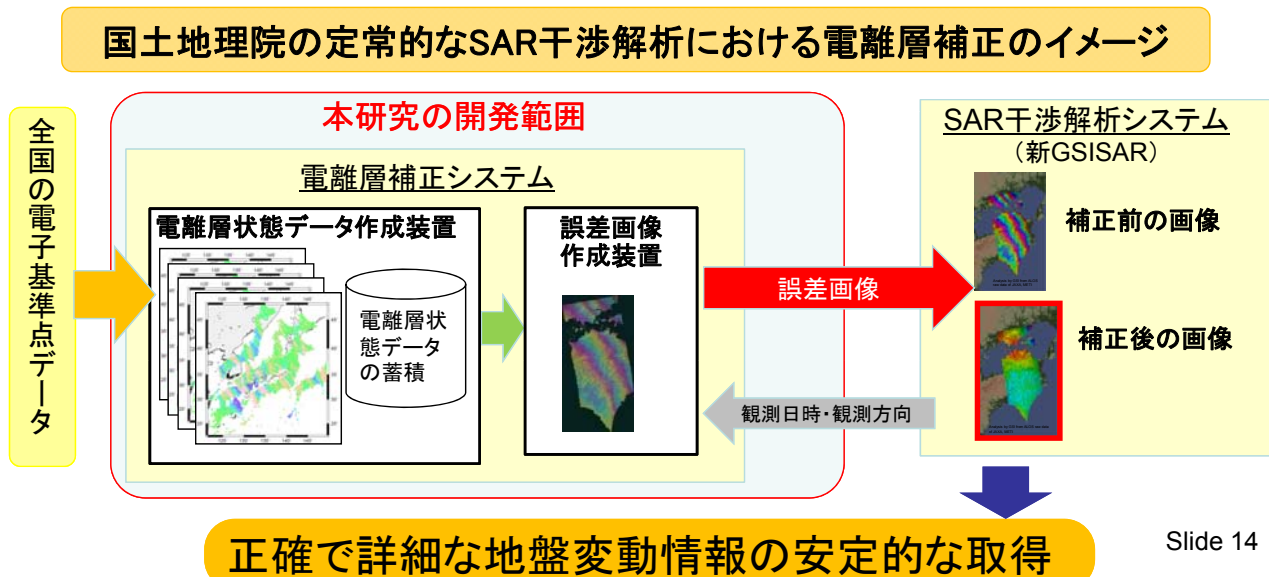
(1)で開発した電離層表現手法をもとに、以下の手順を通じてSAR干渉解析に適した電離層補正手法を構築する

- 1) SAR電離層補正に適した電離層表現手法の改良と、それに基づいた電離層状態のデータの作成
- 2) (1)で特定された事例について、SAR電離層補正手法の開発および評価
- 3) SAR電離層補正手法の改良



研究内容(3) 国土地理院におけるALOS-2を用いた干渉SARによる国土の地盤変動監視に適したSAR電離層補正システムの構築

(2)で構築したSAR電離層補正手法について、国土地理院における干渉SARによる国土の地盤変動監視に用いられる解析ソフトウェアである**新GSISAR**で利用可能なよう、必要なインターフェースの作成を行うとともに、ALOS-2データを用いた評価を通じ、**国土地理院におけるALOS-2を用いた干渉SARによる国土の地盤変動監視に適したSAR電離層補正システム**を構築する。また、評価の過程で作成した電離層表現の**アーカイブ**を作成する。



正確な地盤変動の情報を安定的に提供

電子基準点による広域的な地殻変動観測

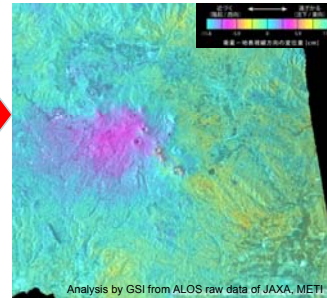


電離層補正を適用した干渉SARによる詳細な地盤変動観測

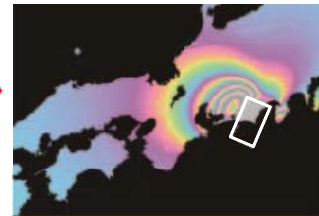


地盤変動監視の信頼性向上

火山活動に伴う地殻活動の推移監視

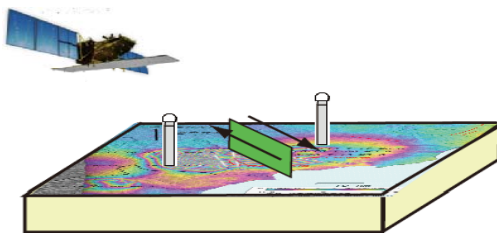


発災時における適時な防災情報の提供



地震・火山噴火の被害軽減への貢献

内陸活断層で地震発生に至る仕組み解明のための、全国の活断層における安定・正確な地殻変動監視を可能に



Slide 15

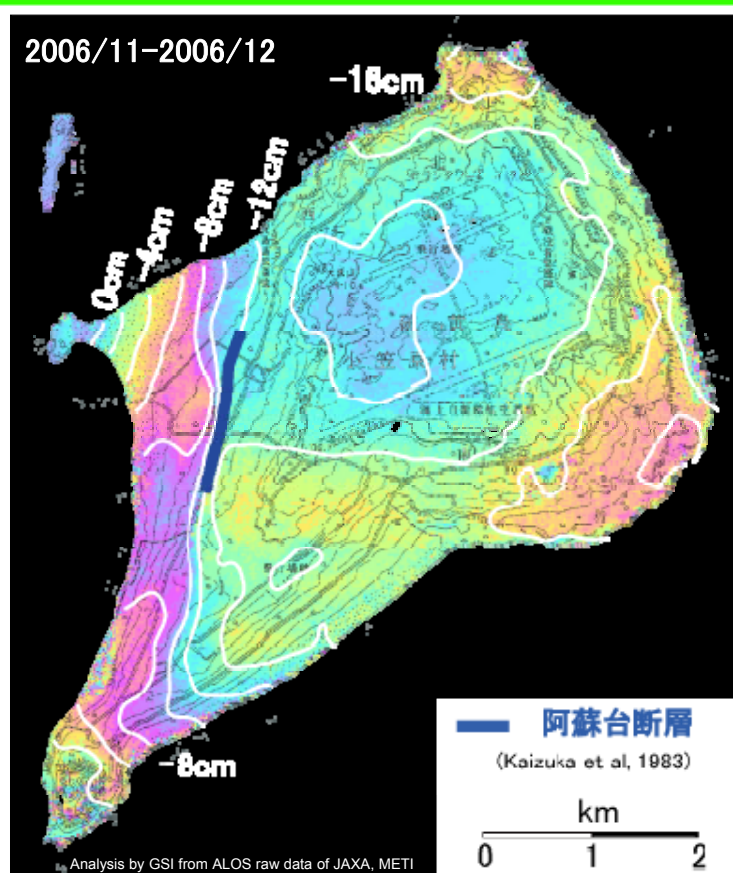
波及効果

- 全国の活断層における安定・正確な地殻変動監視が面的に行われた場合、内陸地震の発生に至る仕組みの理解がすすみ、将来において、地殻変動の推移に基づく危険度予測へつながると期待される
- SAR電離層補正手法を公開することで、大学・研究機関におけるALOS-2以外の衛星も含めた干渉SARを用いた地盤変動把握の高精度化に寄与する
- 干渉SARによる地盤変動情報の安定性・信頼性が増すことで、地盤沈下監視における水準測量の効果的な計画策定のための干渉SARの活用が促進される

Slide 16

Slide 17

参考：火山活動に伴う地殻変動の干渉SARによる把握の例：硫黄島



複雑な様式の地殻変動
・断層を境に異なる様式
・島全体の隆起と中心部の相対的な沈降



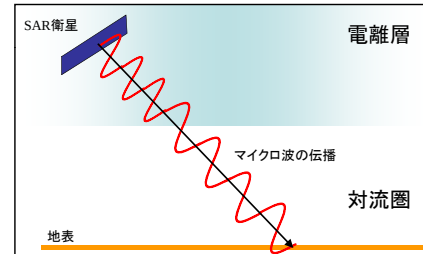
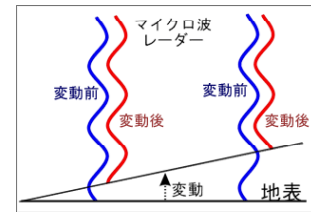
衛星干渉SARによる面的に詳細な地盤変動把握が有効

Slide 18

- 干渉SARは異なる2期間のSAR観測から、この間の地盤変動を検出

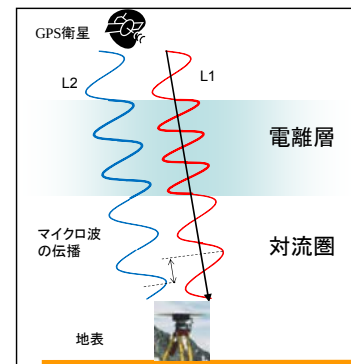
国土地理院HP
http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/mechanism/mechanism03.htmlより

- 電波は、電離層を通過する際に**遅延**が生じる。遅延の大きさは、電波の周波数によって異なる。
- 電離層の粗密**があると同じ周波数の電波でも**遅延にも差**が生じ、見かけの地殻変動が現れる。



GPS観測

- 2種類の周波数の電波を送信
→電離層により、それぞれの電波には**遅延に差**が生じる
→2周波観測から**電離層の粗密を推定可能**



Slide 19

参考:干渉SARと電離層現象

- Fukushima and Hashimoto (2009):
 - ALOSの干渉画像にしばしば顕著なノイズが入る
 - そのパターンは**電離層擾乱のパターンに整合的であるように見える**
- 「合成開口レーダーによる地震活動に関連する地殻変動観測手法について」
(平成23年10月7日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会)
 - 「京都大学によるGPS-TECのwebsite (<http://stegps.kugi.kyoto-u.ac.jp/>)から取得したパス417 観測時刻近傍13:30(UT)のGPS-TEC (perturbation)の分布を見ると…**TEC^{注)}の擾乱が見られる日を含む干渉画像には、顕著な干渉縞が現れている**

注) TEC: 電離層全電子数(Total Electron Content)。電離層を構成する気体中の電離電子の量。

- 「現状では、経験的に擾乱の大きい日のデータを除くことにならざるを得ない」

参考：日本域においてSAR干渉解析に影響を与える 可能性がある電離層現象

●中規模伝搬性電離層擾乱(MSTID)

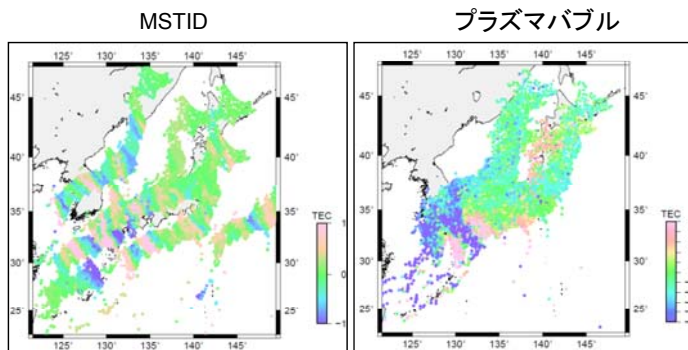
数100km程度の空間スケールを持ち、中・低緯度域で夏と冬の夜間に発生する
北西－南東の波面をもち、南西に伝播

●プラズマバブル

磁気赤道^{注1)}・低磁気緯度域で日没後～夜間に発生する現象で、電離層下端が
Rayleigh-Taylor不安定により波打ち、電子密度が周辺よりも極端に低い領域が
発達。日本付近では、春分、秋分の前後によく見られる

注1) 磁気赤道：地磁気の伏角(地磁気の向きが水平面となす角度)がゼロの点を結んだ線

GPS-TEC^{注2)}で捕らえた電離層現象



注2) TEC：電離層全電子数(Total Electron Content)
電離層を構成する気体中の電離電子の量

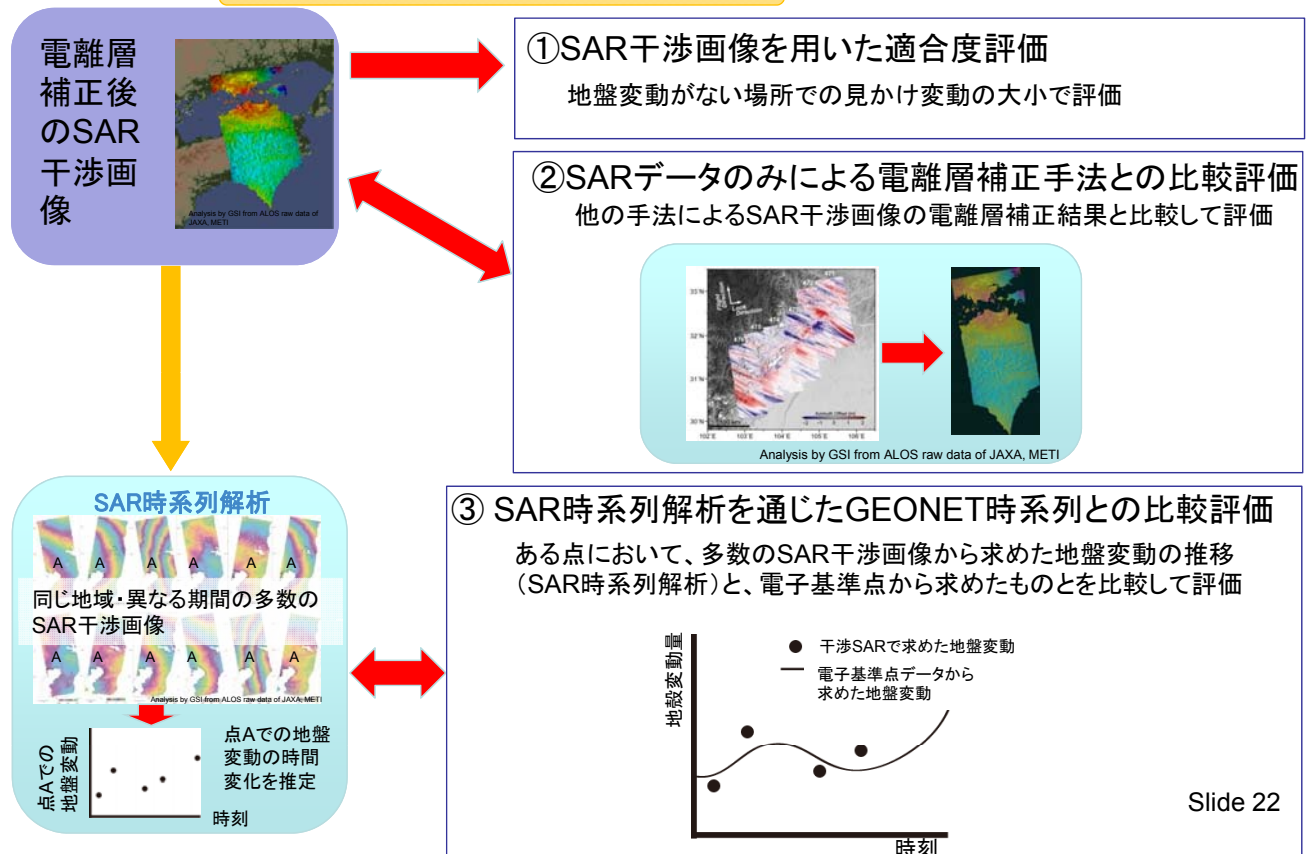
- 複雑な空間構造(小スケール～数100km)を有し、単純な曲面近似では完全な補正は不可
- 大規模構造(数100km)の振幅が大きい

- 通常の観測モード(観測幅70km)でも、スケールの小さい電離層の粗密により、見かけの地殻変動が生じる
- 広域を観測できるScan-SARモード(観測幅350 km)では、電離層の粗密の大規模構造の影響により、より大きな空間スケールで見かけの地殻変動が生じる

Slide 21

研究内容(2) 2) SAR電離層補正手法の開発および評価

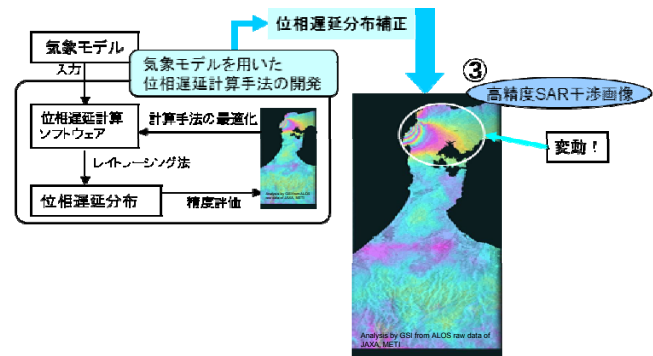
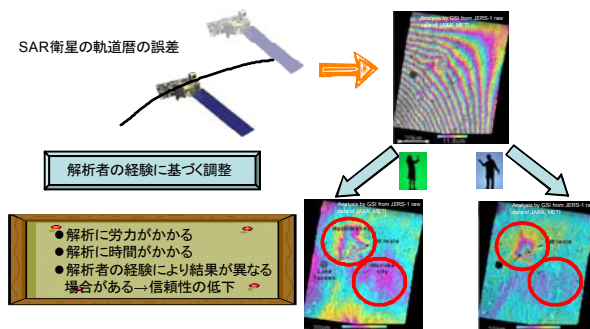
SAR電離層補正手法の評価方法



Slide 22

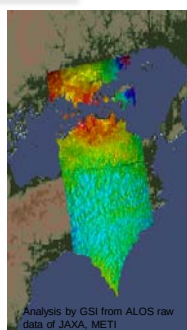
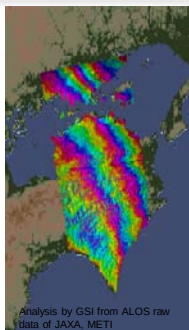
特別研究課題(H19-H21)
SAR衛星の位置決定の高精度化を通じた地
盤変動抽出の高度化に関する研究

特別研究課題(H20-H22)
正確・迅速な地盤変動把握のための合成開口
レーダー干渉画像の高度利用に関する研究



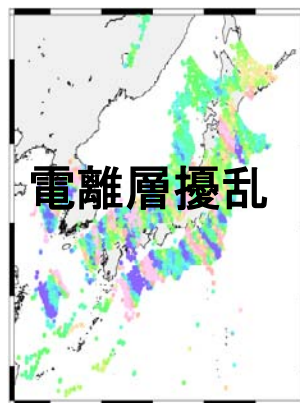
研究の背景・必要性

×
電離層誤差
を含んだ
干渉画像



○
誤差の
少ない
干渉画像

原因は？



電子基準点
データでみた
電離層の状態

干渉SARによる国土の地盤変動監視において、
電離層によると思われる誤差により、正確な
地盤変動情報が抽出できない場合がある

干渉SARに影響する電離層擾乱の定量的な補正技術の開発が必要とされている

研究内容

本研究

電子基準点データに基づく電離層補正技術を開発し、**ALOS-2衛星干渉SAR**による国土の地盤変動監視へ適合した補正システムを構築する。

■電離層擾乱の特性把握および干渉SARへの影響評価(H25)

- 過去の電子基準点データから、電離層擾乱の発生日時やスケールを網羅的に調査・特定
- 電離層状態表現手法の開発、特定した日時の電離層誤差画像を作成、「だいち」のSAR干渉画像と比較・評価

■電子基準点データに基づくSAR電離層補正技術の開発(H26)

- SAR電離層補正に適した電離層状態表現手法の改良
- SAR電離層補正手法の開発、評価、改良

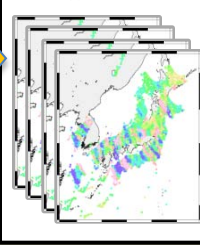
■国土地理院における干渉SARによる国土の地盤変動監視に適合した電離層補正システムの構築(H27)

国土地理院の定常的なSAR干渉解析における電離層補正のイメージ

本研究の開発範囲

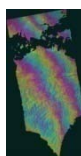
電離層補正システム

電離層状態データ作成装置



電離層
状態
データの
蓄積

誤差画像 作成装置



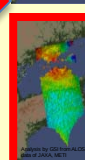
誤差画像

観測日時・方向

SAR干渉解析システム (新GSISAR)



補正前
の画像



補正後
の画像

詳細な地盤変動情報

研究効果

地震・火山噴火の被害軽減への貢献

- 地震発生時、火山活動時における地盤変動情報の速やかな提供
→ 気象庁による噴火警戒レベル等の判断材料 → 避難勧告による被害軽減
→ 被害域の速やかな把握、地殻活動の推移予測へ
- 全国の活断層の安定・正確な地殻変動の監視へ