

研究課題終了時評価表

1. 研究課題名：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
2. 研究期間：平成20年4月 ～ 平成23年3月 （3年間）
3. 予算：特別研究 103,368千円（3年間の総額）

4. 成果の概要

（1）大気遅延誤差に関する研究

大気中水蒸気を起因とした位相遅延による合成開口レーダー（以下、SAR）干渉画像内の誤差（以下、大気遅延誤差）を低減するため、数値気象モデルを利用した誤差低減手法を開発した。レイトレーシング法を計算手法に組み込むことで、マイクロ波の伝播経路の屈折も考慮した高度な位相遅延量の計算を実現した。実際のSAR干渉画像に適用した結果、従来の手法（大気一標高補正）が有効に機能しないデータに対しても、有意な低減効果が認められた（最大85%減）。

（2）位相連続化処理に関する研究

従来のCUI（キャラクタユーザインターフェース）上での対話型操作による地盤変動解析を、より正確・迅速に行うため、GUI（グラフィカルユーザインターフェース）操作による位相連続化高度処理システムを開発した。GUI操作による位相伝播経路の編集機能等を実現することで、高解像度を維持したまま、不連続な位相情報から連続的な地盤変動量を抽出することが可能になった。位相連続化処理の高度化に伴い、定量的で視認性に優れた等値線付き変動量図の作成や震源断層モデル構築のためのデータリサンプリング処理が可能となった。

5. 当初目標の達成度

[目標]

SAR干渉画像による正確・迅速な地盤変動把握を実現することを目的として、干渉画像の高度利用を可能とする以下の技術の開発を目標として本研究を進めた。

- （1）SAR干渉画像に適合した位相遅延分布の計算手法を開発する。
- （2）位相連続化のための高度処理システムを開発する。

[達成度]

上記目標の技術開発に成功し、当初の目標を達成した。この結果、SAR干渉画像を利用した地盤変動の把握が、従来より正確かつ迅速に実現可能となった。

- （1）数値気象モデルを用いたレイトレーシング法による位相遅延量計算手法を開発することにより、目標を達成した。これにより、SAR干渉画像内に含まれる大気遅延誤差の低減処理が可能となった。
- （2）位相伝播経路の編集機能等を実装したGUI操作ベースの位相連続化処理システムを開発することにより、目標を達成した。また、位相連続化の高度化に伴い、定量的で視認性に優れた

等値線付き変動量図の作成や震源断層モデリング作業の高度化など目標を上回る成果を生んだ。

6. 成果公表状況

研究報告書、発表論文、口頭発表、出願特許数等を示す。

研究報告書	6 件
発表論文 査読付き	1 件 (投稿中)
口頭発表	13 件
特許等	0 件

7. 成果活用の見込み

- 1) 一部機能は既に測地部の高精度地盤変動測量事業で利用が始まっている。今後、開発した機能を既存のSAR解析ソフトウェア(新GSISAR)へ実装していくことで事業での活用が見込まれる。これにより、地盤変動監視や緊急時における防災情報提供などの高度化・効率化が期待される。
- 2) 複雑な地盤変動領域においても正確な変動量抽出が可能となったことで、地震メカニズム解明の高度化が期待される。
- 3) 本研究で開発した高解像度を維持した位相連続化の処理技術は、現行のALOSデータより高空間分解能となる予定の次期SAR衛星(ALOS-2)における解析にも応用できることが期待される。

8. 達成度の分析

(1) 必要性の観点からの分析

1) 大気遅延誤差に関する研究

大気中の水蒸気分布は時空間的に不均質な場合が多く、大気遅延誤差の低減には、大気状態を詳細に反映したデータを基にした処理が必須である。本研究では、数値気象モデルを用いて SAR 撮像時の大気中屈折率分布をモデル化し、レイトレーシング法による正確な位相遅延量計算を実現することにより、誤差低減処理を可能とした。

2) 位相連続化処理に関する研究

位相の繰り返し表現は、変動量を把握しにくく、定量的な解析も困難である。しかし、高解像度画像の位相連続化処理は技術的に難しく、低解像度にして一部正確性を犠牲にしたり、迅速性を欠いたCUI操作を経て位相連続化が実現されてきた。本研究では、伝播経路の編集をGUI操作で実現することにより、高解像度を維持したまま位相連続化処理を正確かつ迅速に遂行することを可能とした。

(2) 有効性の観点からの分析

1) 大気遅延誤差に関する研究

本研究では、SAR干渉画像に含まれる誤差のうち、大気中の水蒸気に起因した位相遅延を主要因と想定し低減手法を開発した。その結果、数値気象モデルを用いることにより、従来の誤差低減手法の効果が小さい場合にも、本研究で開発した処理により誤差が有意に低減される場合を確認できた。従って本研究のアプローチは有効であった。

2) 位相連続化処理に関する研究

高解像を維持した位相連続化処理が可能になったことを受けて、等値線付き変動量図表示機能および震源断層モデリングのためのデータリサンプリング機能を開発した。これにより、色の繰り返しで表現する干渉画像を定量的で視認性に優れた変動量図として表示することや震源断層モデリング作業を高度化することが可能となった。地盤変動監視業務等への実用化につながる端緒となり、本開発は有効であった。

(3) 効率性の観点からの分析

1) 大気遅延誤差に関する研究

位相遅延量計算には、別予算課題（国土交通省総合開発プロジェクト「準天頂衛星測位・通信システムの開発」）で開発されたプログラムの一部を活用し、研究に係るコスト・時間を効率化した。また、気象庁とのオンライン防災情報の相互交換に関する協定によって国土地理院が所有する数値気象モデルが利用可能なシステムを開発することで、気象データにかかるコストの削減に努めた。

2) 位相連続化処理に関する研究

位相連続化処理システムの主要機能のほとんどを自作して開発費用の削減・抑制を図りつつ、GUI操作機能の開発に重点的に投資することで、操作の利便性・簡便性・汎用性を高めたシステム開発を効率的に実施した。また、国土地理院内の関係部署との頻繁（平均2ヶ月毎）な意見交換や処理システムの試用を通じて事業現場の意見を開発にフィードバックさせ、将来の事業化を見据えた効率的な研究遂行に努めた。

9. 残された課題と新たな研究開発の方向

本研究では、将来の事業化を見据えて、既存の解析ソフトとの親和性を考慮しつつ開発を進めてきた。しかし現段階では、開発したソフトウェア等は個別に使用する状況にある。今後これら機能を既存の解析ソフトへ順次実装し、実用性・利便性の高いシステムを構築することで、高精度地盤変動測量事業での活用の展開を図る必要がある。また、大気遅延誤差の低減処理後も数cmの誤差が残存する場合があることがわかり、さらなる精度向上には別の誤差要因（電離層擾乱等）の低減も必要である。本研究において得られた誤差に関する技術や知見を生かして、SAR干渉解析のさらなる高精度化に向けた将来の研究・取り組みが望まれる。

10. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし。

11. 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 地殻変動研究室

TEL : 029-864-1111(内8232)

FAX : 029-864-2655

平成 20 年度～平成 22 年度 特別研究
「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」
に関わる成果公表リスト

[研究報告書]

- ・ 国土地理院調査研究年報（平成 20 年度，平成 21 年度，平成 22 年度(予定)）.
- ・ 「地震予知のための新たな観測研究計画（第 2 次）」平成 20 年度年次報告（機関別）.
- ・ 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成 21 年度年次報告(機関別).
- ・ 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成 22 年度年次報告(機関別) (予定).

[公表論文]

(査読付き)

- ・ Tobita, M., T. Nishimura, T. Kobayashi, K. X. Hao, and Y. Shindo, Estimation of coseismic deformation and a fault model of the 2010 Yushu earthquake using PALSAR interferometry data, submitted to Earth Planet. Sci. Lett (Under Review).

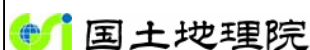
(査読無し)

[口頭発表]

- ・ 小林知勝・石本正芳・矢来博司・飛田幹男（2010）：数値気象モデルを用いた SAR 干渉解析における大気起因位相遅延量誤差の軽減の試み，日本測地学会第 114 回講演会.
- ・ 飛田幹男・西村卓也・小林知勝（2010）：PALSAR 干渉画像による 2010 年青海省の地震に伴う地殻変動，日本地震学会 2010 年度秋季大会.
- ・ 小林知勝・石本正芳・矢来博司・飛田幹男（2010）：数値気象モデルを用いた SAR 干渉解析における大気起因位相遅延量誤差の軽減の試み，日本地震学会 2010 年度秋季大会.
- ・ 矢来博司・鈴木啓・野口優子・飛田幹男・小林知勝（2010）：「だいち」 SAR 干渉解析による豊後水道周辺の非定常地殻変動抽出の試み，日本地震学会 2010 年度秋季大会.
- ・ Kobayashi, T., T. Nishimura, and M. Tobita (2010): Crustal deformation associated with the 2010 Haiti Earthquake, detected by InSAR analysis using ALOS/PALSAR data, 8th Joint Meeting of UJNR Panel on Earthquake Research.
- ・ Tobita, M., T. Nishimura, and T. Kobayashi (2010): Coseismic Deformation of the 2010 Yushu Earthquake from PALSAR interferometry, 8th Joint Meeting of UJNR Panel on Earthquake Research.
- ・ 飛田幹男・西村卓也・小林知勝（2010）：PALSAR 干渉画像による 2010 年青海省の地震に伴う地殻変動，平成 22 年度東大地震研究所共同利用 研究集会「地震・火山活動と関連する災害のリモートセンシング」.
- ・ 小林知勝・矢来博司・石本正芳・飛田幹男（2010）：数値気象モデルを用いた SAR 干渉解析における大気中水蒸気起因の位相遅延量誤差の軽減の試み，日本地球惑星科学連合 2010 年大会.
- ・ 飛田幹男・小林知勝・矢来博司（2010）：InSAR における Phase Unwrapping，日本地球惑星科学連合 2010 年大会.
- ・ 小林知勝・西村卓也・飛田幹男（2010）：ALOS/PALSAR データにより検出された 2010 年ハイチ地震に伴う地殻変動と震源断層モデル，日本地球惑星科学連合 2010 年大会.
- ・ 飛田幹男・島田政信・橋本学・小澤拓・宮城洋介・矢来博司・雨貝知美（2009）：SAR 干渉画像中の残存縞の軽減について，日本地球惑星科学連合 2009 年大会.
- ・ 飛田幹男・宗包浩志・矢来博司（2009）：地震・火山観測に有効な ALOS-2 の理想像，ALOS-2 利用ワークショップ 1.
- ・ 矢来博司・飛田幹男・石本正芳・宗包浩志（2009）：数値気象モデルを用いた SAR 干渉画像における大気位相遅延の評価について，日本地球惑星科学連合 2009 年大会.

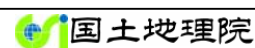
「正確・迅速な地盤変動把握のための 合成開口レーダー干渉画像の 高度利用に関する研究」

国土地理院 地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室



Geospatial Information Authority of Japan

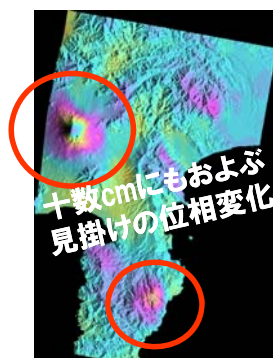
本研究の背景



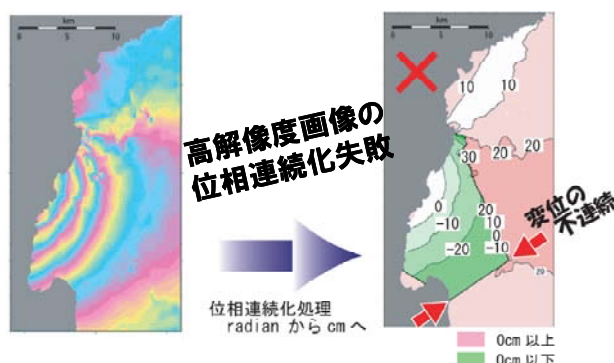
SAR干渉解析による正確・迅速な地盤変動の把握には、高精度な変動量計測の技術が必要である。しかし、干渉画像に含まれる大気中水蒸気による位相遅延誤差*および変動量抽出(位相連続化処理)に関する技術的問題がその障害となっている。

*以降簡単のため「大気遅延誤差」と呼ぶ

＜大気遅延誤差の問題＞



＜位相連続化処理技術の問題＞



目標

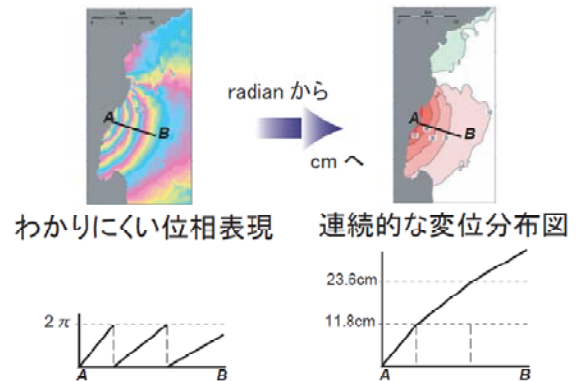
SAR干渉画像による正確・迅速な地盤変動把握を実現することを目的として、干渉画像の高度利用を可能とする以下の技術の開発を本研究の目標とする。

- (1) SAR干渉画像に適合した位相遅延分布の計算手法の開発
- (2) 位相連続化のための高度処理システムの開発

(1) 大気遅延誤差に関する研究



(2) 位相連続化処理に関する研究



Slide 3

(1) 大気遅延誤差に関する研究

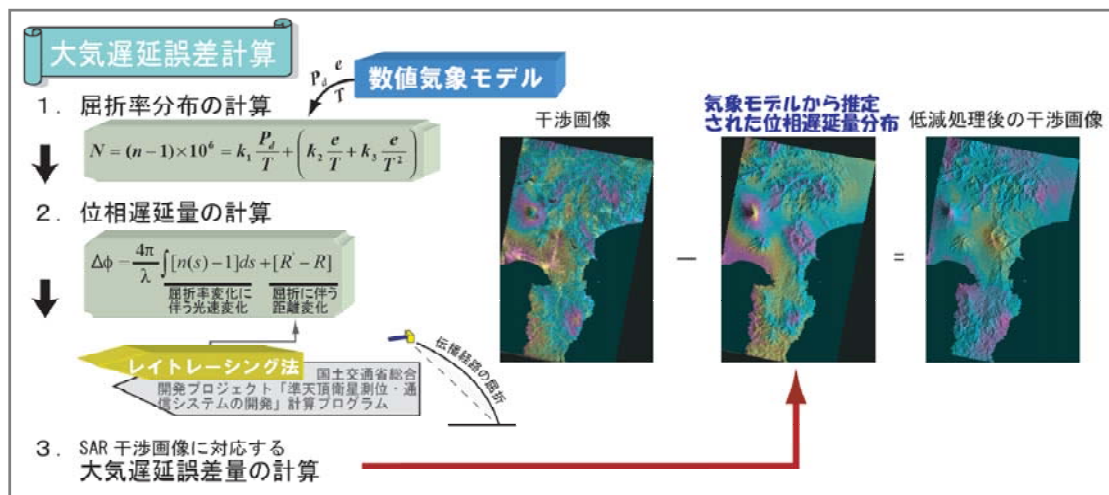
Slide 4

背景

- ・水蒸気分布は時空間的に不均質 ⇒ 誤差低減は容易ではない
- ・大気状態を詳細に反映したデータを基にした遅延量計算が必要

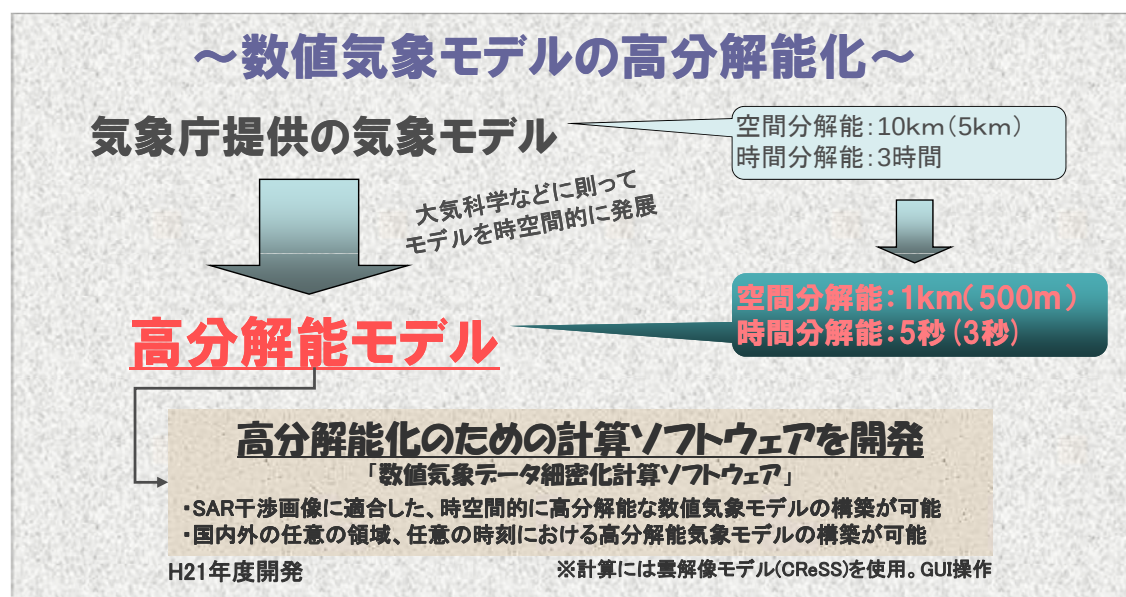
【本研究】

- ・**数値気象モデル**を利用した誤差低減処理
- ・レイトレーシング法による、屈折を考慮した高度な遅延量計算



Slide 5

数値気象モデル ～SARデータに適合した気象モデルの構築～



■各種モデルデータ(気象庁提供)に対応

国土地理院所有の数値気象モデル*、MANAL、MSM、GALAL、GSM

有償 有償 有償 有償

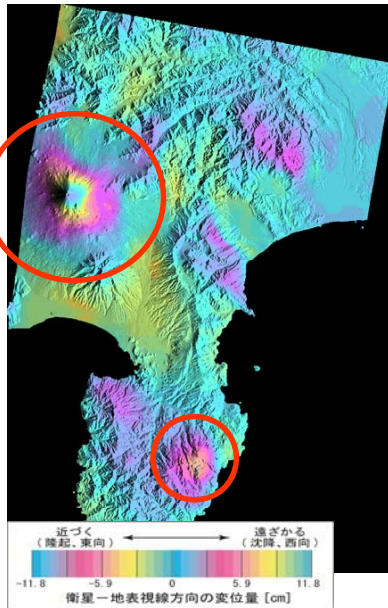
国内用 海外用

*国土地理院と気象庁とのオンライン防災情報の相互交換に関する協定「電子基準点等観測データ及び数値予報格子点データの交換に関する細部取り決め協議書」によって、気象庁から提供されている数値気象モデルデータ

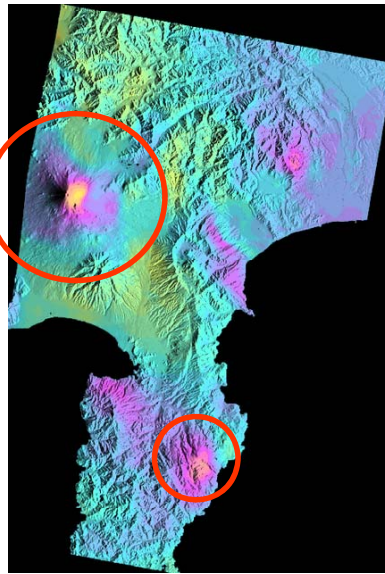
Slide 6

〔従来の手法では困難だった大気遅延誤差の低減に成功〕

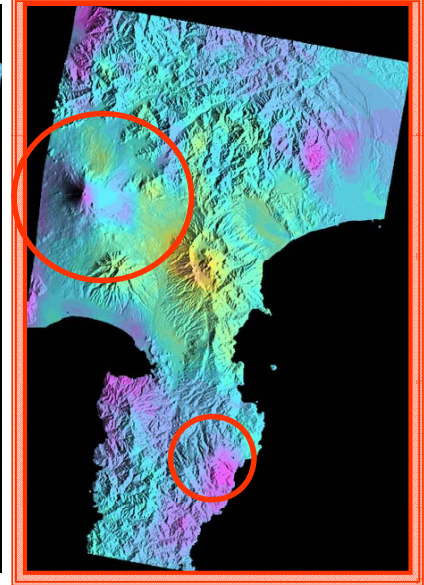
低減処理なし



従来の手法(大気一標高補正)



数値気象モデル

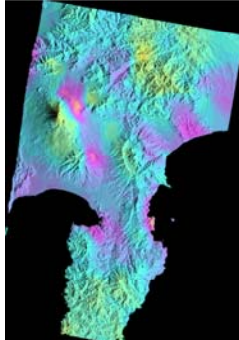


誤差: 富士山 13cm → 2cmに!
【最大85%減】

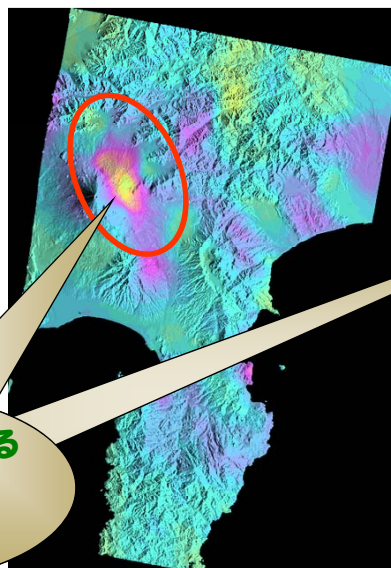
Slide 7

〔数値気象モデルの高分解能化で、より効果的な大気遅延誤差の低減〕

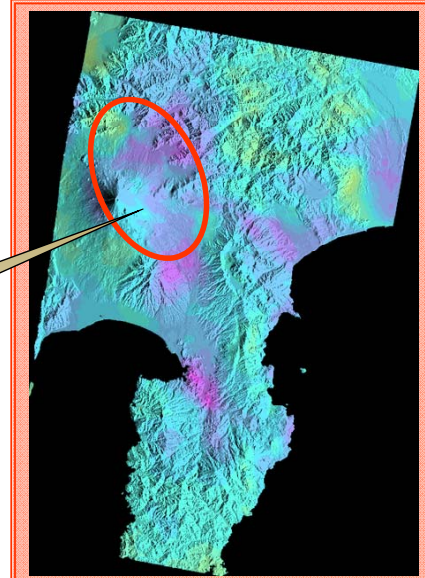
低減処理なし



高分解能化前
(5km 3時間)



高分解能モデル
(500m 3秒)



空間的に局在する
大気遅延誤差の
低減に成功!

初期値・境界値モデル

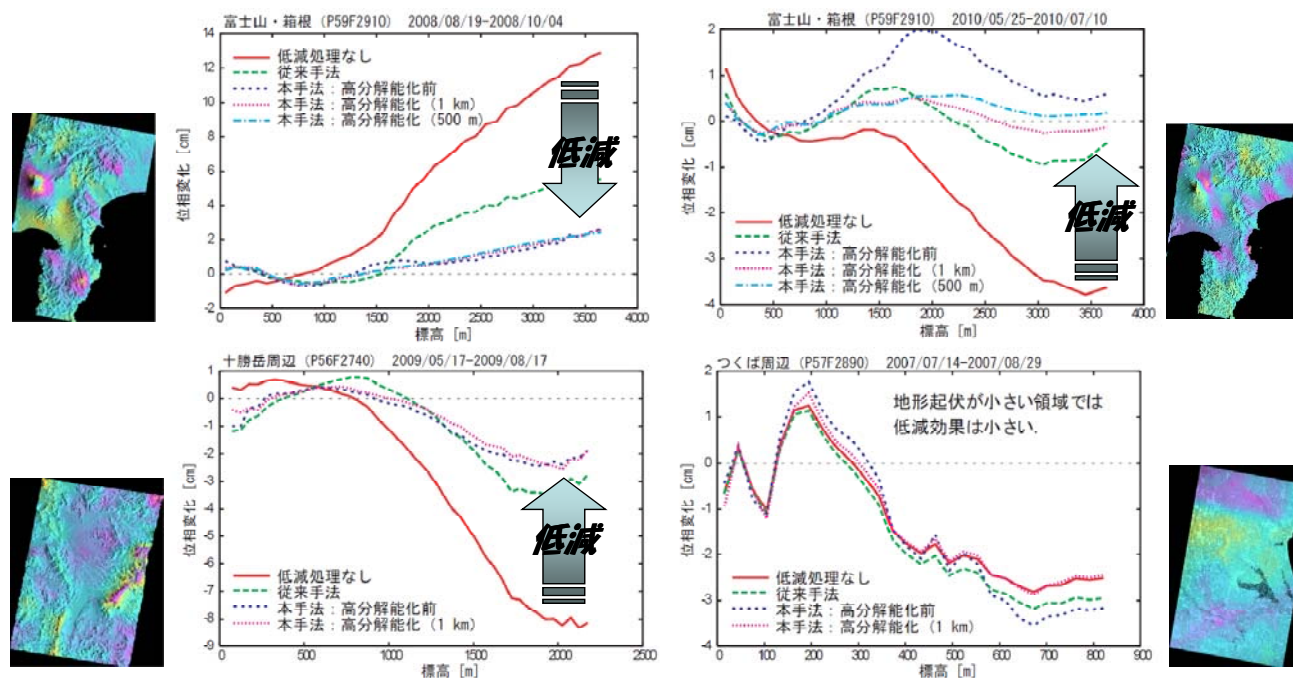
高分解能化

〔数値気象データ細密化計算ソフトウェア〕

Slide 8

【標高の高い領域で、数値気象モデルによる低減処理は効果を発揮】

▼位相のばらつきが2cm程度の領域では低減効果は小さい。



Slide 9

低減処理結果一覧 ～画像全体の標準偏差の比較～

■標高1000m以上のデータについて評価

は、最も標準偏差(SD)が小さくなった処理を示す。

干渉画像	低減処理方法	低減処理なし	従来の手法	本研究手法
富士・甲府(080721-090908)		1.8	1.8	1.4
富士・伊豆(080819-081004)		2.5	1.9	1.3
富士・伊豆(090522-090822)		2.0	1.9	1.8
富士・伊豆(090522-091007)		1.3	1.3	1.4
富士・伊豆(090822-091007)		1.3	1.3	1.3
富士・伊豆(100525-100710)		1.7	1.6	1.0
果駒周辺(080716-090719)		1.4	1.3	1.2
果駒周辺(090603-091019)		1.1	1.0	1.0
岩手山周辺(070829-080716)		4.9	4.9	4.4
岩手山周辺(090603-090903)		0.9	0.9	0.7
十勝岳周辺(080629-090517)		1.9	1.6	1.2
十勝岳周辺(080629-090817)		1.1	0.9	0.9
十勝岳周辺(090517-090817)		2.8	1.8	1.4
十勝岳周辺(080728-090731)		1.3	1.2	1.5
十勝岳周辺(080728-090915)		1.3	1.3	1.4
十勝岳周辺(090731-090915)		0.9	0.9	0.8
果駒周辺(080624-081109)		1.0	1.0	2.0

※単位: cm

◎低減処理なしとの比較

本研究手法のSDの方が小さい
⇒ 12/17件 (71%)

◎従来の手法との比較

本研究手法のSDの方が小さい:
(※低減処理なしのSDが最も小さい場合を除く)
⇒ 10/13件 (77%)

1. 開発した手法が、実データにおいても有効に機能することを確認。
2. 従来の手法では効果が小さい場合にも有効に機能することを確認。

～新たな誤差低減処理手法として
利用できる可能性が示された～

Slide 10

(2) 位相連続化処理に関する研究

Slide 11

位相連続化処理

背景

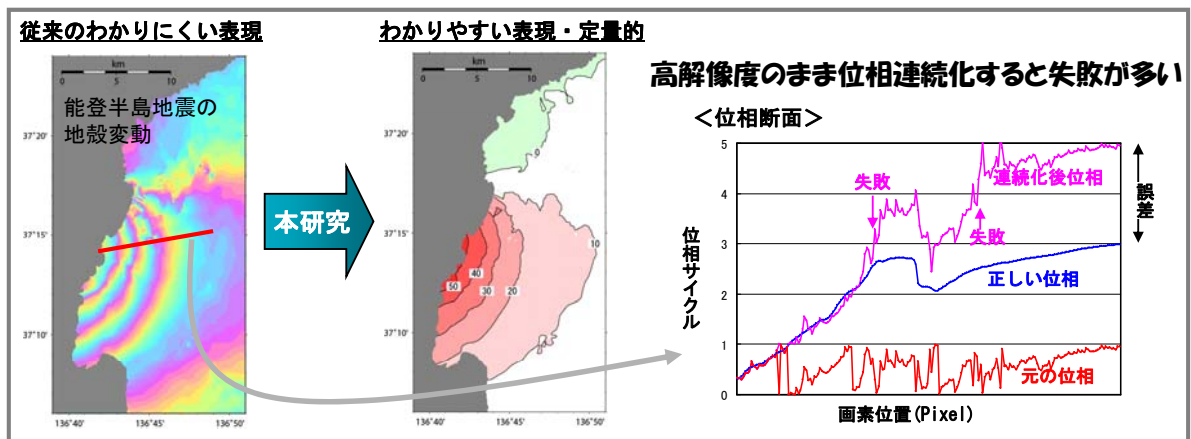
- ・位相の繰り返し表現は、変動量を把握しにくく、定量的な解析が困難。
- ・しかし、高解像度画像の位相連続化処理は技術的に容易ではない。

問題点

- ・〔従来〕専門的技術を要するコマンド操作が必須 ⇒ 迅速性を欠いた解析
- ・〔従来〕空間解像度を犠牲にして処理 ⇒ 正確性を欠いた計測

【本研究】

高解像度を維持した位相連続化が可能な処理システムの開発

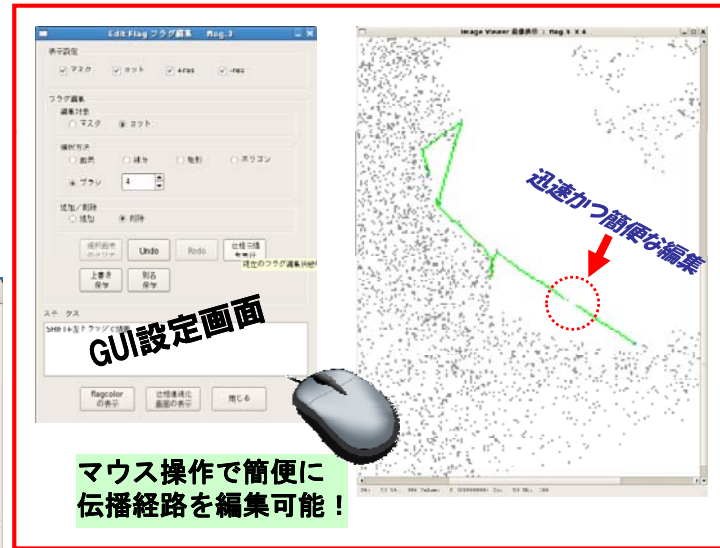
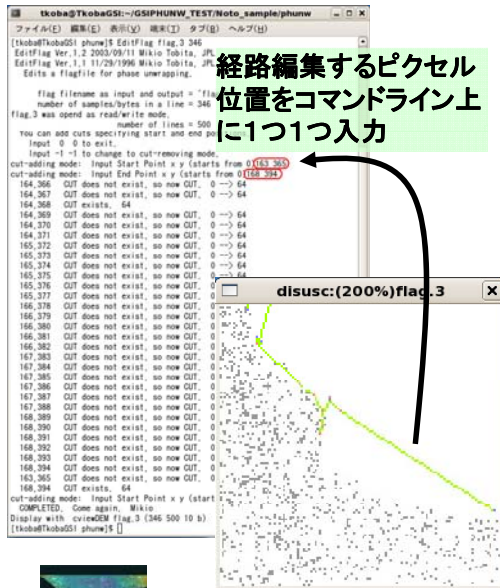


Slide 12

高解像度画像における正確・迅速な位相連続化処理が可能に

【従来】

【新機能】



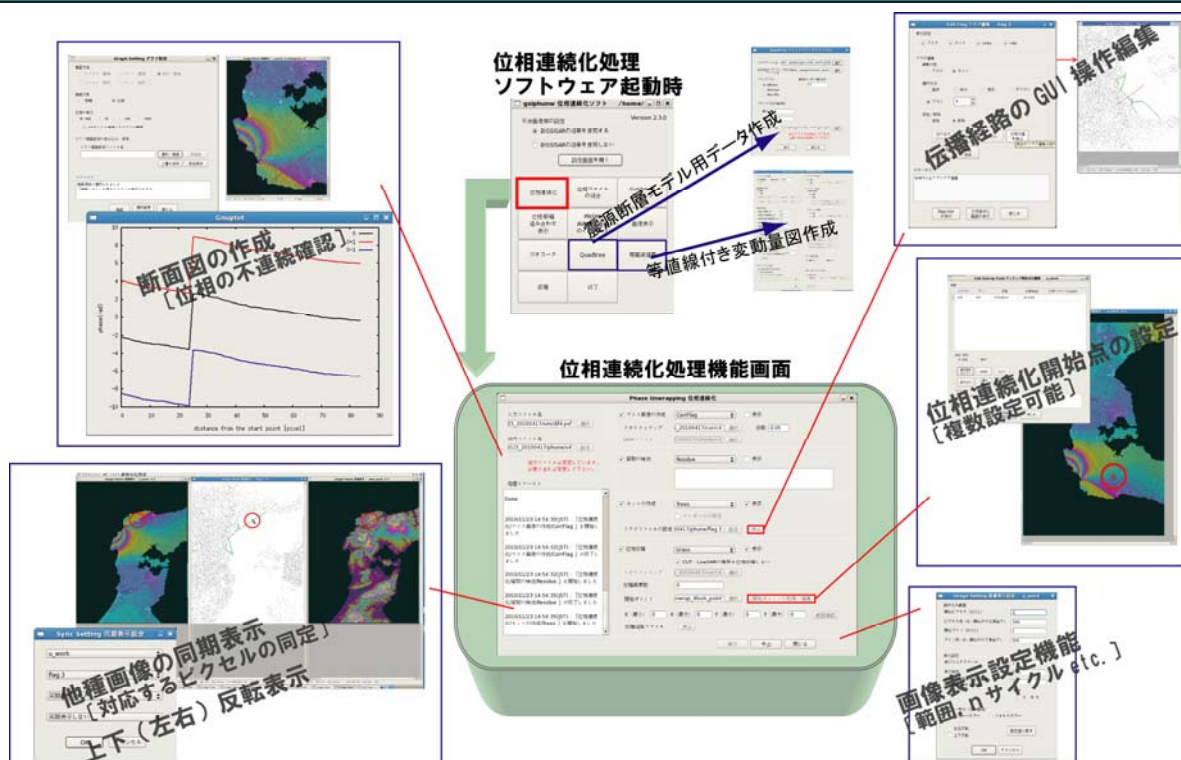
操作の迅速性・正確性が向上

※GUI（グラフィカルユーザインターフェース）

Slide 13

位相連続化処理システムに搭載される主要機能

世界に先駆けて本格的なGUI操作ベースの位相連続化専用ソフトウェアを開発



Slide 14

【応用1】 等値線付き変動量図表示機能

定量的で視認性に優れた変動量の表現に

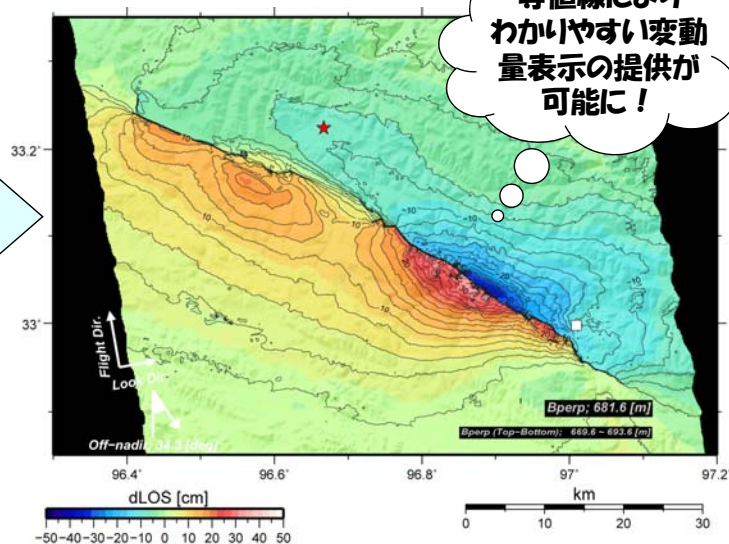
位相連続化処理の高度化により、**正確な等値線**の作成が可能となった

2010/04/14 中国青海省地震

位相の線い返し表現では、
変動の様子がわかりにくい...



GUI設定画面



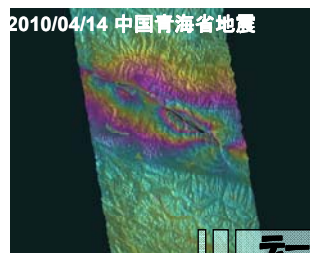
Slide 15

【応用2】 震源断層モデリングのためのデータリサンプリング機能

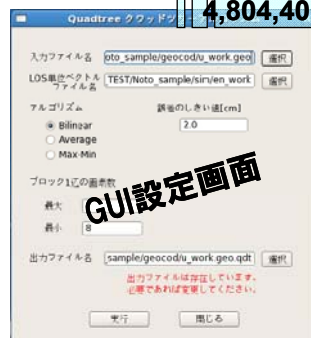
震源断層モデリングの高度化に

位相連続化処理の高度化により、モデリングに重要な情報を損なうことなく
最適なデータを作成可能に。

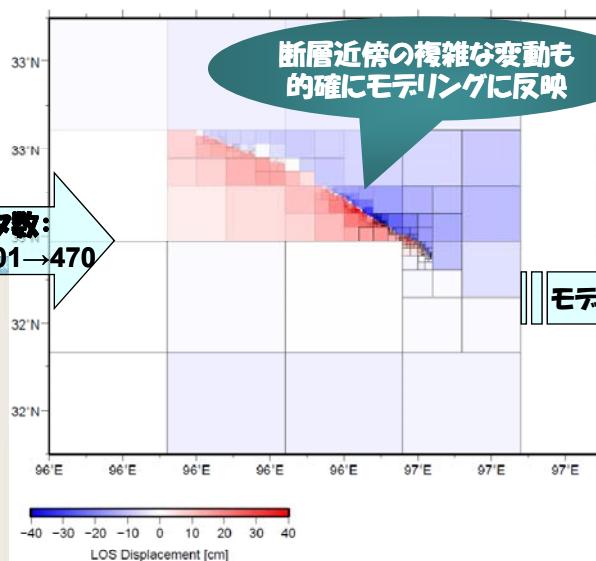
2010/04/14 中国青海省地震



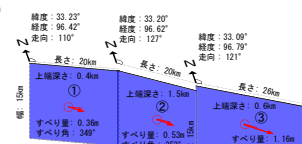
データ数:
4,804,401 → 470



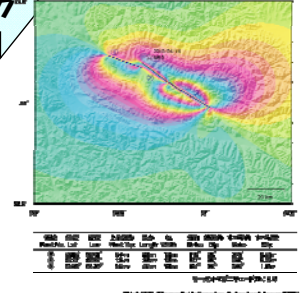
GUI設定画面



モデリング



断層面モデルと合成表面変位



Slide 16

- 大気遅延誤差低減処理システム、位相連続化ソフトの開発
 - ・ 測地部の高精度地盤変動測量事業に利活用
(※一部の機能は既に利用を開始済)
 - ・ SAR干渉解析戦略の高度化への貢献
 - ・ 地震発生メカニズムの解明の高度化
- 大気遅延の誤差量推定・位相連続化に関する技術や知見
 - ・ 現行のALOSデータより高空間分解能となる予定の次期SAR衛星 (ALOS-2) データへの応用
 - ・ SAR干渉画像内の誤差低減に関する研究 (大気遅延誤差低減処理の高度化、他の誤差要因の研究) へのフィードバック
- 国土地理院－気象庁の相互交換データの利用
 - ・ 国土地理院所有の数値気象モデルの測地観測への利活用の開拓

Slide 17

(1) 大気遅延誤差に関する研究

- SAR干渉画像における大気遅延誤差の低減処理システムの開発に成功
 - 1) 数値気象モデルを利用した、レイトレーシング法による位相遅延量計算手法を開発
 - 2) 数値気象モデルを用いた誤差低減の有効性を確認 **【正確性の向上】**
→ 新しい低減手法としての可能性

(2) 位相連続化処理に関する研究

- 位相連続化のための高度処理システムの開発に成功
 - 1) GUI操作による位相伝播経路編集機能の開発
 - ・ CUI操作からGUI操作へ **【迅速性の向上】**
 - ・ 高解像度を維持した地盤変動量抽出作業が可能に **【正確性の向上】**
 - 2) 定量的で視認性に優れた等値線付き変動量図の作成が可能に
 - 3) 震源断層モデル構築のための最適なデータセットの作成が可能に

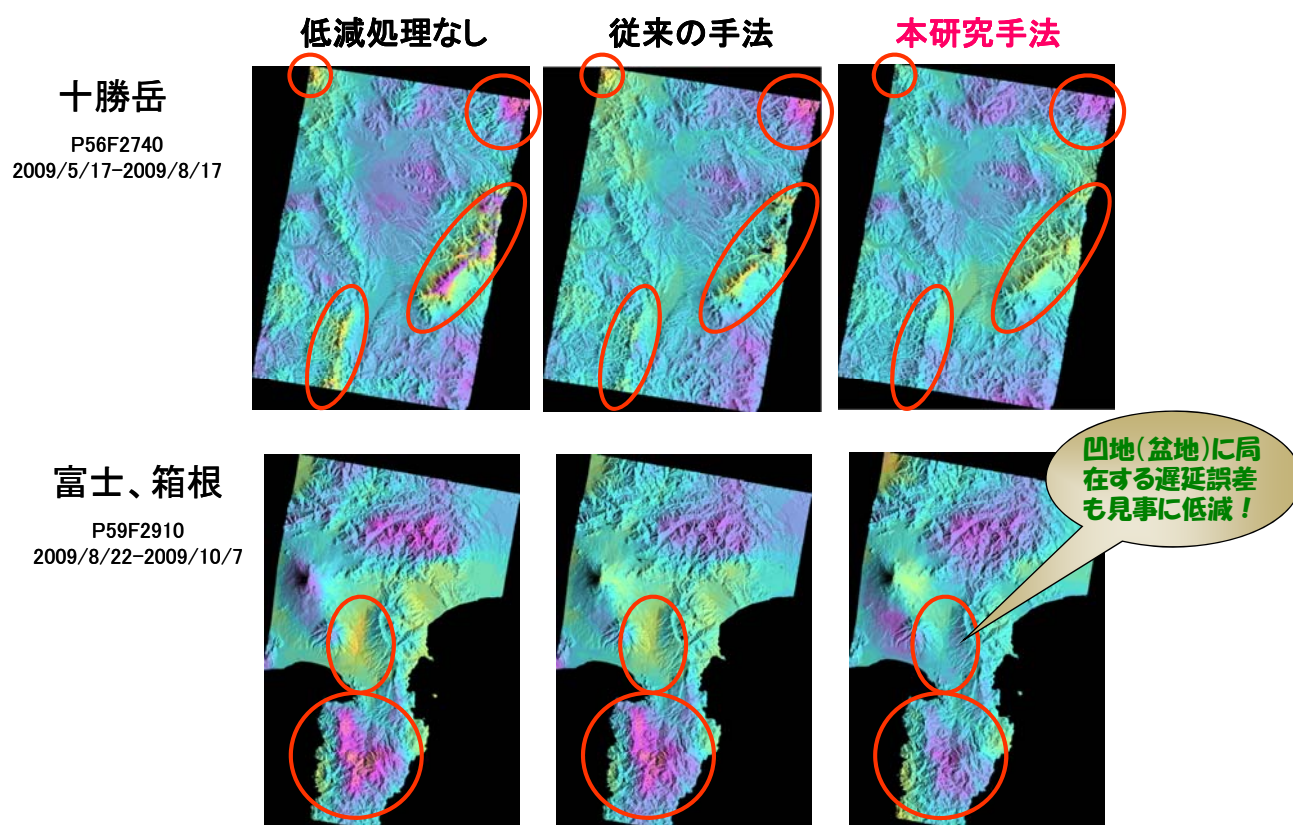
**SAR干渉解析の正確性・迅速性が向上
干渉画像の高度利用化へ**

Slide 18

以下、参考資料

Slide 19

参考資料1



Slide 20

つくば P57F2890 2007/7/21-2009/9/8

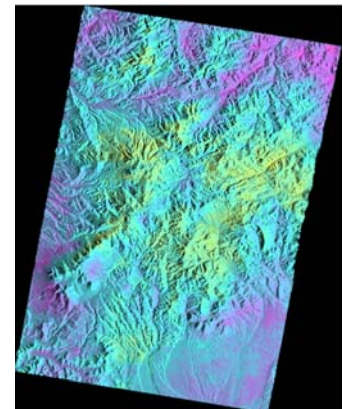
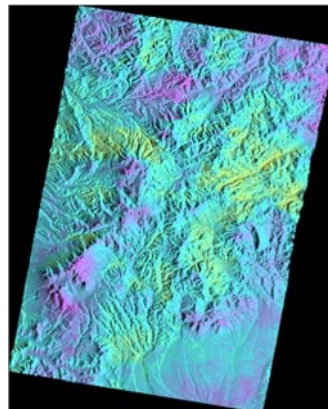
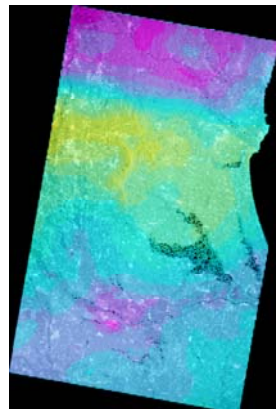
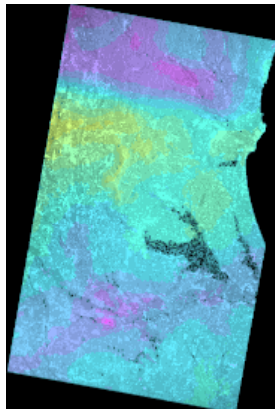
十勝岳 P55F2740 2009/7/31-2009/9/15

低減処理なし

本研究手法

低減処理なし

本研究手法



▼位相擾乱が元々小さい干渉画像では、低減処理の効果は有意に見られない場合がある。

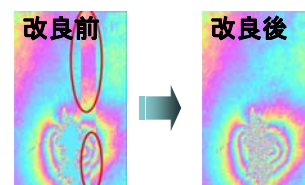
▼地形起伏に乏しい領域では、低減処理の効果は有意に見られない場合がある。
(元々そのような領域は擾乱が小さいためと推測される)

Slide 21

参考資料3 ～位相連続化処理システムに実装された主な機能の特長～

1. 位相伝播アルゴリズムの改良

ブランチカット法+改良型の選択可能,
複数の位相伝播アルゴリズム搭載



2. 連続化経路を制御するカットのGUI編集機能 Undo・Redo可

3. 画像表示機能の高度化

上下・左右反転機能, 拡大縮小, 同期表示 ⇒世界初!

4. プロファイルグラフ表示機能

±1サイクルグラフも表示 縦・横・斜め方向も可

5. 等値線付き変動量図表示機能

png・kmzファイルの自動生成も

6. 震源断層モデルの正確・迅速化のためのQuadtree機能の追加

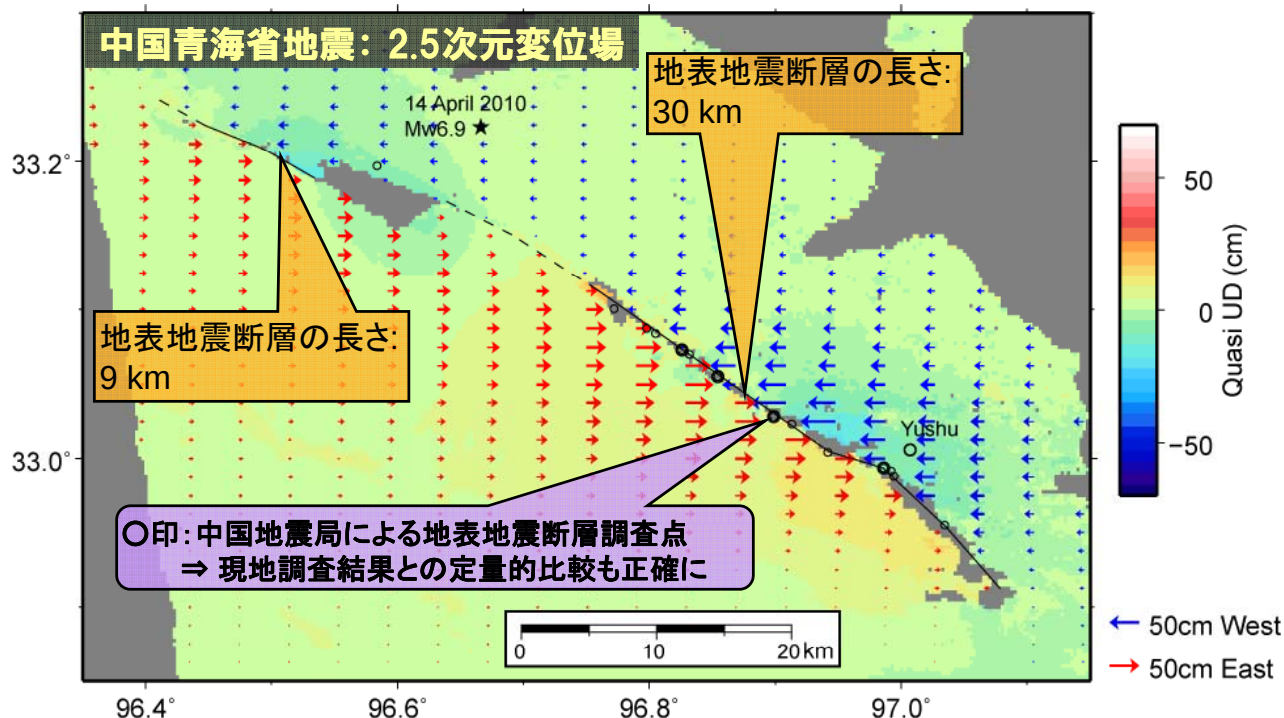
7. ジオコード画像の位相連続化機能

8. 離島などの位相連続化に必要な位相ファイルの結合

※ CorrFlag, Residue, Trees, Grassの位相連続化基本プログラムは国土地理院が開発

Slide 22

断層近傍まで正確な位相連続化が可能となることで、
地表地震断層の位置・形状や断層近傍の変位量の推定が高精度化。



Slide 23

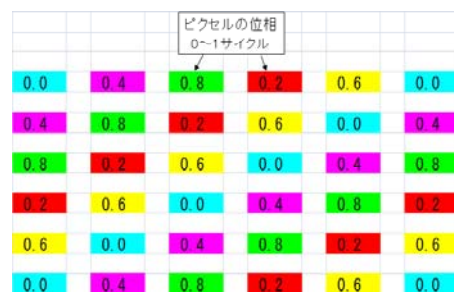
【位相連続化処理】

位相の連続化は、連続化を行う経路に沿って、
位相の傾きを積分することで実現される。

$$\phi(r) = \int_C \nabla \phi \cdot dr + \phi(r_0)$$

しかし、ノイズ等のために失敗する場合が多い。

＜ノイズのない理想的な位相の場合＞



位相連続化



＜ノイズがある場合＞



位相連続化



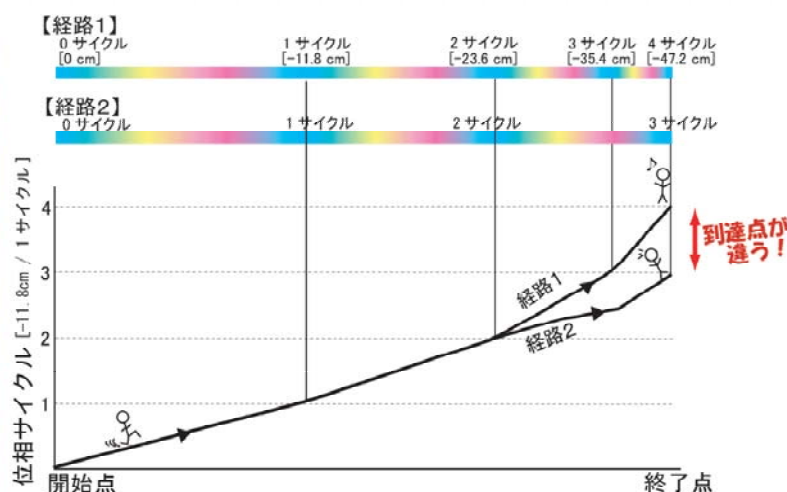
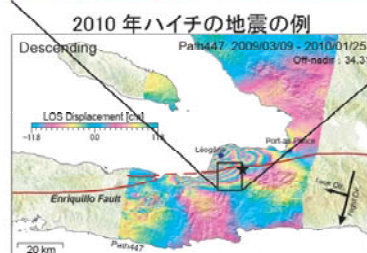
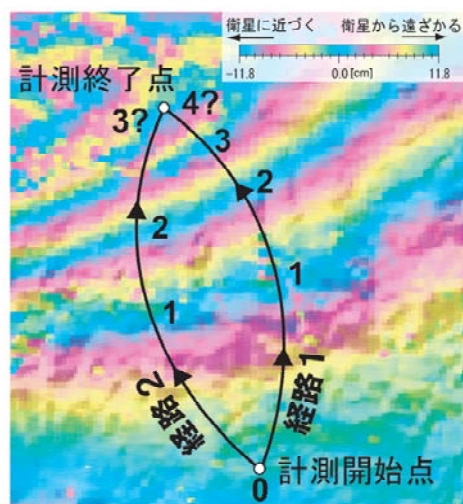
変位に
不連続

経路によって連続化後の変位に
1サイクルの違いが生じる！

※干渉図の位相は0～1サイクルで表している

Slide 24

参考資料6 ～位相連続化処理の経路依存性2～



経路1：青色の回数4 $\Rightarrow 4 \times -11.8\text{cm} = -47.2\text{cm}$
 経路2：青色の回数3 $\Rightarrow 3 \times -11.8\text{cm} = -35.4\text{cm}$

計測量に
違いが！

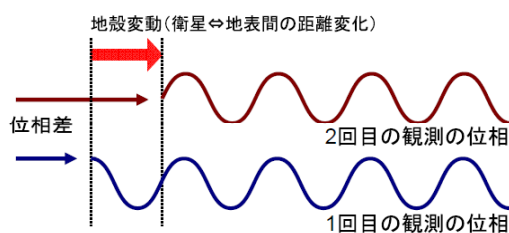
位相を繋げる経路によって変動量が異なる！

Slide 25

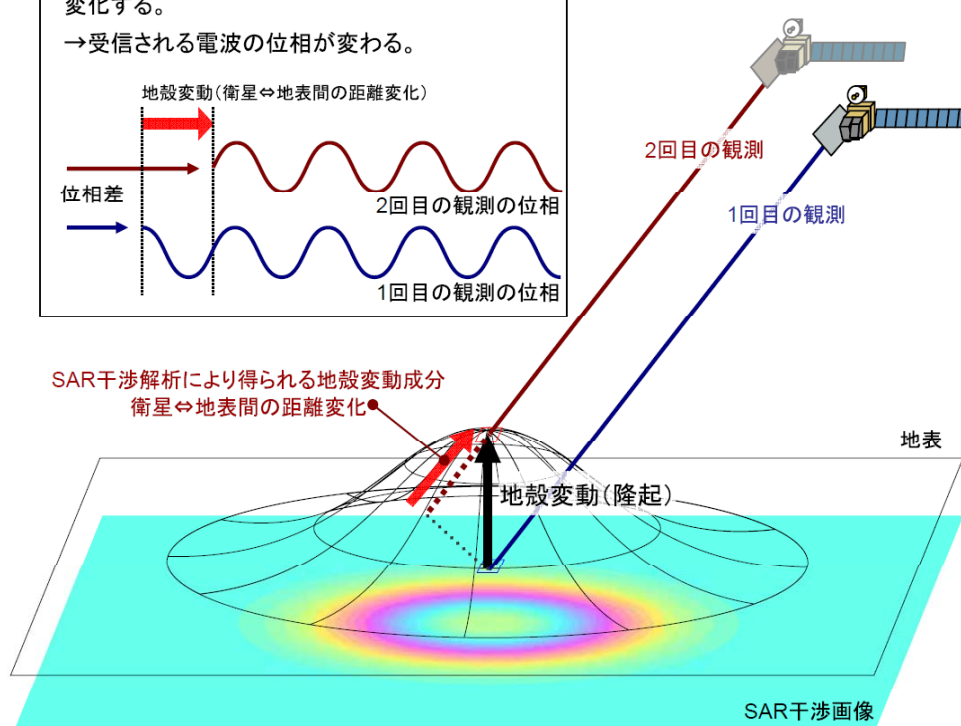
参考資料7 ～SAR干渉の原理～

地殻変動が起こった場合、衛星⇄地表間の距離が変化する。

→受信される電波の位相が変わる。



SAR干渉解析により得られる地殻変動成分
衛星⇄地表間の距離変化



SAR干渉解析により得られる地殻変動成分の概略図

Slide 26

研究課題終了時評価表

1. 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地盤変動研究室

TEL : 029-864-1111(内8232) FAX : 029-864-2655

2. 研究課題名

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

3. 研究期間

平成20年4月 ～ 平成23年3月 (3年間)

4. 予算

特別研究経費 103,368 千円 (3年間の総額)

5. 分科会委員

○里村 幹夫、田部井 隆雄、日置 幸介

6. 成果の概要

干渉 SAR 画像の誤差低減のための対流圏水蒸気遅延の補正と位相連続化の高度処理システムを開発した。

7. 当初目標の達成度

当初目標の(1) SAR 干渉画像に適合した位相遅延分布の計算手法の開発と(2) 位相連続化のための高度処理システムの開発ともに、ほぼ達成されている

8. 成果公表状況

今回開発手法を使った英文論文が1篇投稿中であるが、手法に特化した論文の発表はまだない。

9. 成果活用の見込み

当初目標(1)、(2)の両手法ともに実用化の段階にある。

10. 達成度の分析

達成度は高く、とくに気象数値モデル使用により、火山地域を含む高標高域で改良の成功率が高いことが重要である。

11. 残された課題と新たな研究開発の方向

大気遅延の破線追跡プログラムの改良による省時間化。

ピクセルオフセット法と位相連続化の有機的結合。

12. その他、課題内容に応じ必要な事項

電離層遅延の補正に関する基礎的研究を開始すべきである。

また、今回開発した GUI 操作による位相連続化処理のシステムをさらに改良し、国土地理院外の SAR 研究者にも公開することを期待する。

13. 総合評価 ①. 十分な成果 2. 一部不満足 3. 部分的成果 4. 失敗

新規研究課題提案書

提案課・室名 問合せ先	課・室名：国土地理院地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室 地殻変動研究室 住 所：茨城県つくば市北郷 1 番 TEL：029-864-1111(内線8333) FAX：029-864-2655
研究課題名	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
研究制度名	特別研究
研究期間	平成20年 4月 ～ 平成23年 3月 (3年間)
① 課題分類	(3) 防災・環境保全に貢献する研究開発
② 研究開発の 背景・必要性	干渉合成開口レーダー（干渉SAR）は地表面の変位を高密度に得られる技術であり、地震・火山活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すると期待されている。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いる。平成19年3月発生の能登半島地震に関する解析から地震時に生じた地盤変動を「だいち」により詳細に検出できる可能性が明らかになった。 現在の定常解析では軌道情報の誤差や大気の水蒸気位相遅延などによる大きな誤差がSAR干渉画像に含まれている。地盤変動を示す干渉画像を作成するには熟練技術者の試行錯誤的な解析を必要とし、迅速な解析が困難であるとともに、気象条件が良い場合を除けば大気による誤差を十分に除去できない事例もみられる。また、干渉画像で与えられる位相情報から地盤変動量を求める位相連続化（アンラップ）技術が未完成であり、特に、解像度を維持した手法は開発されていない。このため、干渉SAR手法による半自動的な処理により、高解像度で正確な地盤変動を迅速に抽出する技術の開発が求められている。 軌道情報については、平成19年度から開始された特別研究「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」において誤差低減技術の開発が行われている。 大気による位相遅延については、地形と相関するという仮定に基づく解析がこれまで行われてきた。気象モデルの空間・時間分解能が精細化しつつあり、国土交通省総合技術開発プロジェクト「準天頂衛星測位・通信システムの開発」において、気象モデルを用いたレイトレーシング法による位相遅延量の算出手法が確立され、気象モデルを用いた水蒸気位相遅延除去手法の実現が可能となる環境が整ってきた。 位相連続化処理においては、従来のSAR衛星では画像の干渉性が低いため平滑化を行う必要があり、解像度を犠牲にしてきた。一方、「だいち」では画像の干渉性が高く、高解像度での位相連続化処理が実現できれば、高解像度の地盤変動を抽出する可能性を持つことが分かってきた。 従って、気象モデルを用いた水蒸気位相遅延補正手法、高解像度に適合したアンラップ手法を開発し、SAR衛星の位置決定の高精度化手法と統合する技術開発を行うことにより、SAR干渉画像を利用した正確・迅速な地盤変動把握を実現し、緊急時における防災情報の迅速な提供等が期待される。 なお、本研究課題での研究成果は、「だいち」SARデータだけでなく、他の地球観測衛星のSARデータにも応用が可能である。
③ 研究開発の 目的・目標	SAR干渉画像による正確・迅速な地盤変動把握を実現することを目的として、SAR干渉画像に適合した位相遅延分布の計算手法の開発、アンラップ処理の高度化を行うことにより、干渉画像の高度利用を可能とする技術を開発することを目標とする。

④ 研究開発の内容	・ レイトレーシング法による、SAR干渉画像に適合した位相遅延分布の計算手法の開発 ・ 実データを用いた位相遅延モデルの評価 ・ 特別研究「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」の成果として得られる軌道情報と、本研究での位相遅延モデルを組み込んだSAR干渉画像高度利用化手法の開発 ・ 高解像度を維持した位相連続化処理技術・半自動化システムの開発
⑤ 研究開発の方法、実施体制	気象モデルを用いたレイトレーシング計算による水蒸気位相遅延推定手法の検討は宇宙測地研究室主任研究官および研究官が行う。推定位相遅延量分布の評価については宇宙測地研究室主任研究官と地殻変動研究室および測地部宇宙測地課が協力して行う。また、アンラップ処理の高度化については、地殻変動研究室長が宇宙測地研究室、測地部宇宙測地課と協力して行う。 エフォートは次の通り。宇宙測地研究室主任研究官（矢来：30%）、宇宙測地研究室研究官（宗包：10%）、地殻変動研究室長（飛田：10%）。
⑥ 研究開発の種類	3. 技術開発
⑦ 現在までの開発段階	1. 研究段階
⑧ 想定される成果と活用方針	・ SAR干渉画像提供の迅速化に伴う、緊急時における適時的な防災情報の提供 ・ SAR干渉画像の信頼性向上を通じた、より正確な地盤変動情報の提供 ・ 「だいち」SAR干渉画像からの地盤変動情報の高度利用による地盤変動監視 ・ より正確な地盤変動情報の提供による地震メカニズム解明の高度化 ・ 地盤変動情報の提供による防災対策の支援 ・ 研究の進展に応じ、適宜「だいち」干渉SAR解析へ適用し、成果を提供
⑨ 研究に協力が見込まれる機関名	情報通信研究機構、宇宙航空研究開発機構
⑩ 関係部局等との調整	河川局砂防部、国土技術政策総合研究所、（独）土木研究所
⑪ 備考	

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

正確・迅速な地盤変動把握を阻害する要因

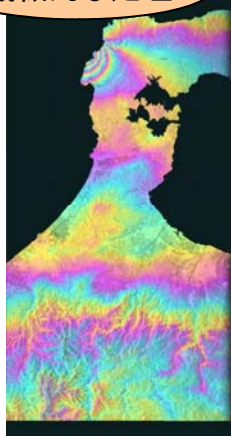
- ・軌道値の誤差
- ・大気中水蒸気による位相遅延
- ・位相連続化(アンラップ)処理

- ・軌道縞・水蒸気位相遅延の残留
→干渉画像の**精度低下**
- ・高解像度変動量抽出が**困難**

半自動処理による**迅速化**

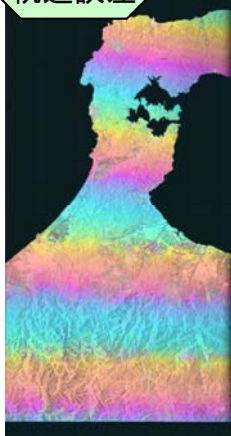
①

機械的な処理



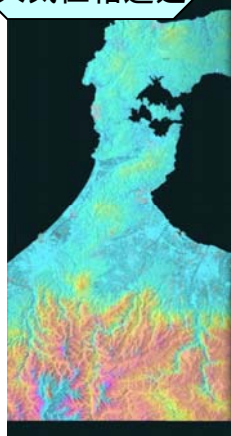
=

軌道誤差



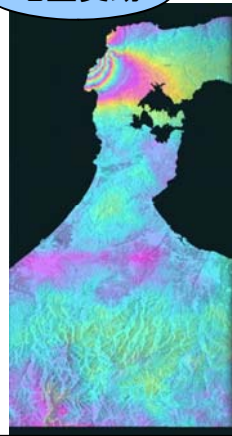
+

大気位相遅延



+

地盤変動



②

信頼度が高い**位相**

特別研究「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」

高精度軌道値

除去

除去

位相遅延分布推定

本研究

気象モデル

入力

気象モデルを用いた位相遅延計算手法の開発

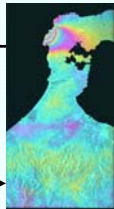
位相遅延計算ソフトウェア

計算手法の最適化

レイトレーシング法

位相遅延分布

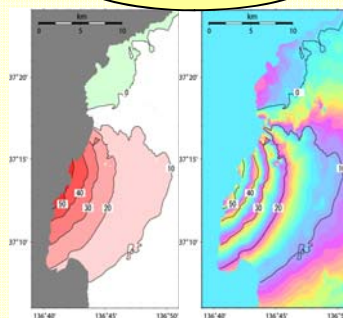
精度評価



位相連続化処理法の高度化

③

変動量図



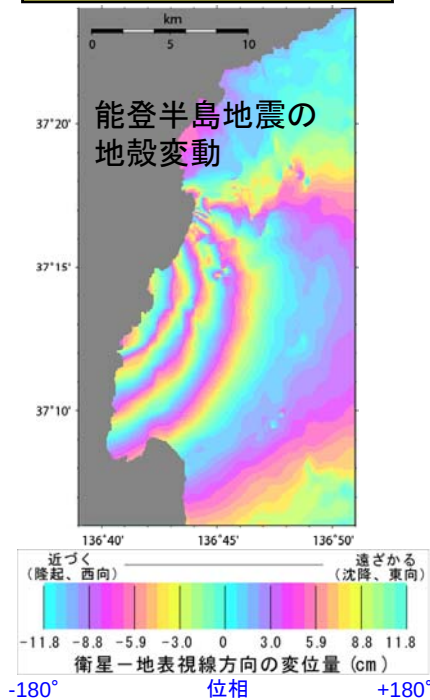
高解像度に適合した位相連続化手法

高解像度かつ**正確な変動量**の把握
(単位はcm)

- より正確な地盤変動情報の提供
- 緊急時の適時的な防災情報の提供
- より効率的な地盤変動監視

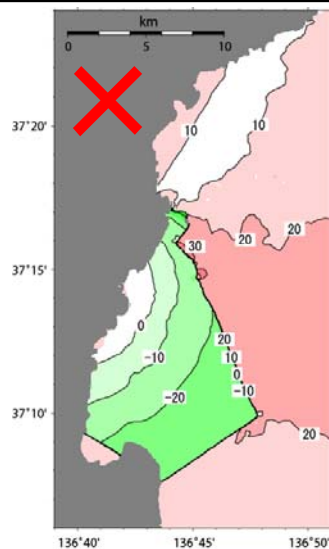
正確・迅速な地盤変動把握のための合成開口レーダー干渉画像の高度利用に関する研究

従来のわかりにくい表現



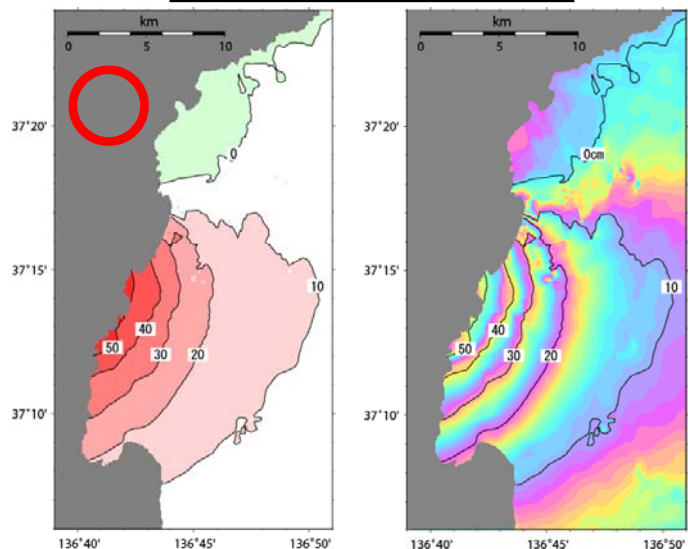
- ・ 干渉SAR画像の変動は位相で表現される。
 - ・ 位相連続化処理 (Phase Unwrapping) をしないと、コンターが描けない。
 - ・ 一般ユーザーが使いにくい。
 - ・ 三次元化ができない。
 - ・ 位相連続化処理を自動的に行うアルゴリズムは現存しない。
- ↓
- ・ GUI (Graphical User Interface) を利用した会話的な位相連続化処理法を開発する。

高解像度画像では位相連続化失敗



本研究

わかりやすい表現・定量的



衛星 (西南西上空) に向かう変動量 (cm)

具体的な位相連続化処理法の構想

- ・ 基本：特異点 (Residue, Singularity) の性質を利用する。
- ・ コヒーレンスを参考に人間がガイドを引く。
- ・ GUIによる試行錯誤 (判断は人間)
- ・ 崖、断層を人間が引く
- ・ レイオーバー、シャドウを見極める
- ・ 位相、コヒーレンス、地形、特異点画面の切り替え
- ・ 複数の位相連続化処理アルゴリズムの併用