



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Measuring precision, temporal decorrelation, and integrative analysis of InSAR with different frequency bands [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	森下, 遊
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	乙第7000号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63215
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yu_Morishita_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 森 下 遊

学 位 論 文 題 名

**Measuring precision, temporal decorrelation,
and integrative analysis of InSAR with different frequency bands**

（異周波数帯の干渉 SAR の計測精度，時間干渉性低下
及び統合的解析手法に関する研究）

地表面は様々な要因によって変動しており，その変動を計測・監視することにより，防災・減災に貢献することができる．変動を計測するための測地学的手法の一つである干渉 SAR は，面的かつ高分解能な情報をもたらし，多くの詳細な地殻・地盤変動を明らかにしてきた．特に近年では，高品質な SAR データの蓄積により可能となった時系列解析と呼ばれる手法により，数 mm/yr といった微小な速度で進行する変動が検出可能となっている．また，L，C，X といった異なる周波数帯のデータが利用可能になり，対象に依じて最適なデータを選択することが可能になってきた．さらに，これら異なる特性を持つ異周波数帯のデータを統合的に利用することで，従来では検出できなかった変動も捉えられるようになることが期待される．最適なデータの選択や統合的利用のためには，異周波数帯の特性の違いを把握することは重要である．

干渉 SAR において不可避な問題として，干渉性の低下がある．地表面の状態が大きく変化してしまうと，干渉性が低下してしまい，干渉 SAR では変動計測が不可能となる．本研究の対象地域の一つであるオランダの泥炭草地は，時間の経過とともに干渉性が急速に低下する特性があり，PSI や SBAS といった時系列解析手法を含む従来の干渉 SAR の手法では詳細な変動を検出するに至っていない．また，軟弱な地盤であるため，安定した地上観測点を設置することができず，他の有効な変動計測手法も存在しない．しかし，農業利用のための排水により泥炭は減少しており，地盤沈下及び温室効果ガスの排出につながっている．泥炭草地の高さの変化を把握することは洪水危険性評価，地下水管理及び地球温暖化にとって重要である．

本論文では，異周波数帯の干渉 SAR の研究について，主に以下 3 つの話題を記述する．

(1) L 及び C バンドの変動計測能力の比較

時系列解析は微小な速度で進行する地盤沈下や構造物の変形等の監視への利用が期待されているが，監視手法として利用するためには，どの程度の変動であれば検出可能であるのかを把握しておく必要がある．しかし，これまでに実施されてきた地上観測データとの比較による精度検証は，主に多量の観測データが存在する C バンドや X バンドによるものであり，L バンドの事例は少なかった．また，比較対象の地上観測データは，鉛直方向のみの水準測量や低密度な GNSS 観測データが多く，定量的な評価としては十分とは言いきれない．

そこで、高密度に GNSS 連続観測が実施されている静岡県御前崎市周辺を対象に、L バンド及び C バンドのデータを使用して時系列解析 (PSI) を実施し、変動計測精度の定量的な評価及び異周波数帯同士の比較を行った。その結果、PS 点密度はデータの空間分解能が高いほど高く、植生地域においては L バンドに優位性が見られた。個々の PS 点の計測誤差は L バンドで 8-11mm 程度、C バンドで 2-3mm 程度で、おおむね波長に比例するため、構造物監視等には短い波長が適していると考えられる。GNSS 観測結果との比較から、空間平均した PS 点の計測誤差に波長依存性はあまり見られず、LOS 変位量で 4-6mm 程度、LOS 平均変位速度で 2mm/yr 程度であった。これらのことから、ある程度の PS 点を空間的に平均することにより、L バンドでも C バンドに匹敵する精度が得られると考えられる。

(2) L, C, X バンドにおける時間干渉性低下の定量的評価

干渉 SAR における時間干渉性低下速度は、レーダーの周波数帯 (波長) 及び対象地域の散乱特性に依存する。また、衛星搭載 SAR では、最短の時間間隔は衛星の回帰日数と等しく、それよりも速く干渉性が低下してしまう地域では、干渉 SAR では変動計測は不可能になってしまう。よって、時間干渉性低下が急速な地域における干渉 SAR による変動計測の可否は、レーダーの波長、対象地域の散乱特性、衛星の回帰日数によって決まるといえる。

まず、時間干渉性低下を 3 つのパラメータにより表現するモデルを導出した。次に、研究対象地域の泥炭草地において、L, C, X の 3 つの周波数帯の SAR データを使用して SAR 干渉解析を実施し、干渉性の指標であるコヒーレンスを計算した。結果から、時間間隔が短い干渉ペアであれば十分なコヒーレンスが得られることがあること、また、季節依存性があり、冬季ではコヒーレンスが高い傾向にあることがわかった。さらに、実データから計算されたコヒーレンスを使用して、各周波数帯における時間干渉性低下モデルのパラメータを季節ごとに推定した。その結果、時間干渉性低下は長波長ほど遅いこと、また冬季には遅いことを定量的に示した。また、空間平均する独立標本数が多いほど、つまりセンサー固有の空間分解能が高いほど、有意な結果が得られやすいことが定量的に示された。回帰日数の短い新たな SAR 衛星であれば、当該地域でより有意な結果が得られる可能性があることがわかった。

(3) 複数衛星干渉 SAR の統合的利用による変動計測

対象地域である泥炭草地では、十分な干渉性を得るには時間間隔が短い必要がある。しかし、時間的にゆっくり変動する地盤沈下のような現象において、時間間隔が短いということは変動量が小さいことを意味し、相対的に誤差の影響が大きく変動を計測することは困難となる。多量のデータを利用して誤差を低減し微小な変動を検出することができる PSI や SBAS といった干渉 SAR 時系列解析においても、従来の手法では十分な計測精度を得ることはできていない。

そこで、波長や入射角が異なるデータを統合的に利用することでデータ量を増やし、解の信頼度を高める計算手法を考案した。また、周囲とは異なる特性を持つ散乱体を除去してコヒーレンス及び平均化位相の推定精度を高めるため、効率的な適応型コヒーレンス推定手法を考案した。これらの手法を使用した結果、泥炭草地での変動分布が初めて詳細に捉えられた。平均では 33.6mm/yr の地盤沈下、2 月 17 日頃に極大、8 月 18 日頃に極小となり 10.6mm の振幅を持つ年周変動が推定された。