



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Geodetic and meteorological studies of the water vapor delay signal in InSAR with the use of numerical weather model [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	木下, 陽平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第11377号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55556
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Youhei_Kinoshita_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

自然史科学専攻 博士（理 学） 氏 名 木下 陽平

学 位 論 文 題 名

Geodetic and meteorological studies of the water vapor delay signal in InSAR with the use
of numerical weather model

(数値気象モデルを用いた InSAR における水蒸気遅延シグナルの測地学的・気象学的研究)

中性大気の時空間的変動は衛星測位システム (GNSS)、超長基線電波干渉法 (VLBI)、合成開口レーダー干渉法 (InSAR) などのマイクロ波を用いる宇宙測地技術に伝搬遅延効果を引き起こす。特に下層大気中の水蒸気の時空間的変動および観測自体の少なさから、最新の数値気象モデルを以てしても中性大気による伝搬遅延効果を正確に見積もることは困難である。それゆえに伝搬遅延効果は空間的な位相変化として InSAR 画像中に現れる。GNSS の場合には、中性大気による伝搬遅延効果は観測点の位置と同時に高い精度で推定されるが、InSAR の場合には中性大気伝搬遅延、特に対流圏以下で起こる対流圏伝搬遅延は地殻変動、軌道推定誤差、数値標高モデル (DEM) の誤差、電離層擾乱による位相変化などのシグナルから分離するのが容易ではない。一方で、地殻変動などの他のシグナルの寄与が無い場合には、InSAR は非常に高い空間分解能で大気中の水蒸気の分布を捉えることができ、それゆえに気象学的な応用が可能である。本論文では、InSAR に現れる水蒸気による伝搬遅延について、それを気象学的なシグナルと見做した場合と地殻変動検出におけるノイズと見做した場合について ALOS/PALSAR データと高空間分解能数値気象モデルを用いて行った研究について記述する。本論文は以下の 2 つの話題について記述する。

(1) 数値気象モデル WRF モデルを用いた InSAR における対流圏伝搬遅延補正効果の検証

InSAR において、水蒸気による伝搬遅延効果は数 cm からそれ以上の見かけ上のシグナルとなって現れ、それゆえに経年の地殻変動のような地球物理学的なシグナルの検出にとって障害となっている。数値気象モデルの計算結果が空間波長 5 - 50 km の対流圏伝搬遅延の補正にどの程度有効なのかを検証するため、我々は北海道中央部での 54 の干渉画像に対して以下に述べる 3 つの対流圏伝搬遅延補正法の効果を比較検証した。第一の補正法は従来から用いられている DEM に基づいた地形相関遅延補正法である。第二の補正法は気象庁のメソ数値気象モデル (MSM) データに基づいた補正法で、MSM データから伝搬

遅延量を計算し、干渉画像から引くものである。ここで MSM データは 3 時間毎のデータしか存在しておらず、かつ水平空間分解能も 10 km と干渉画像と比べて粗いため、干渉画像に合わせるために時間的にも空間的にも内挿する必要がある。より物理的に最もらしい遅延補正を行うため、我々は数値気象モデル WRF(Weather Research and Forecasting model) を用いて SAR 観測時刻における大気状態のシミュレーションを行った。水平空間分解能は 1 km, 初期値・境界値には MSM データを用い、WRF の計算結果から MSM 補正法と同様に伝搬遅延量の計算を行った。

補正の結果、干渉画像中に地形に関連したシグナルが卓越している場合には、DEM による補正と MSM による補正は同等の補正効果を示した。しかしながら、地形に関連したシグナルが小さい場合には、3 つのいずれの補正法も有効ではなかった。WRF による補正法は、事例によっては局所的な伝搬遅延の補正に成功していたが、全体としては他の補正法ほど有効な補正をしなかった。全球大気モデルによる補正が対流圏伝搬遅延の長波長成分を有効に補正できることが示されている一方、高空間分解能の NWM を以てしても対流圏伝搬遅延のより短波長な成分を有効に補正できないのは初期値・境界値の現実大気再現度の不正確さに起因しているのであろう。より現実大気に近い初期値・境界値を用いることで、対流圏伝搬遅延の地形に非関連な成分に対しても NWM は有効な補正法になるであろう。

(2) InSAR データで捉えた 2008 年西濃豪雨時の水蒸気シグナル: 3 次元水蒸気モデリングと WRF モデルを用いた再現実験

本研究は InSAR で捉えた 2008 年 9 月 2 日の西濃豪雨時の水蒸気シグナルの検出事例の紹介とその事例解析の結果を報告する。ALOS/PALSAR の緊急観測から得られた干渉画像から空間スケール約 10 km で視線方向に約 130 mm 変化する局所的な水蒸気伝搬遅延シグナルが検出された。この局所的シグナルに基づいて我々は波線追跡法を用いて 3 次元水蒸気分布の推定を行った。推定の結果、局所的シグナルの位置に地表から高度 9000 m に達する水蒸気の飽和した領域を推定した。この局所的シグナルを地球物理学的に検証するため、我々は数値気象モデルの WRF を用いて局所的シグナルの再現実験を行った。その結果、干渉画像での局所的シグナルに振幅・空間スケール共に似た伝搬遅延を引き起こす発達した対流を再現することに成功した。この対流はシグナルの南約 10 km に存在する養老山地での地形性上昇流によって引き起こされていることが示唆された。そこで地形による影響を調べるため DEM から養老山地を取り除いた感度実験を行った結果、元のシミュレーションで再現された対流は再現されなかった。この結果は高空間分解能の数値気象モデルにとって現実的な地形が重要であることを示している。また、WRF のシミュレーション結果から水蒸気ではなく降水粒子による伝搬遅延の影響を見積もった結果、降水粒子の影響は水蒸気による伝搬遅延量の約 20 %に達し、その効果は水蒸気による伝搬遅延の領域に比べより局在化していた。