

「だいち」合成開口レーダーで観測された京都盆地と大阪平野の地盤変動

橋本 学*

Ground Deformation in the Kyoto Basin and the Osaka Plain Detected by ALOS/PALSAR

Manabu HASHIMOTO *

Abstract

I analyzed SAR images acquired by ALOS/PALSAR to reveal ground deformation in the Kyoto basin and the Osaka plain, Japan. I stacked interferograms from ascending and descending orbits, respectively, and applied a 2.5 dimension analysis. I used 24 SAR images from the ascending orbits and 15 images from the descending orbits acquired during the period from 2007 to 2010. I found uplift of about 10 mm/yr in the southern part of the Kyoto basin and 5 mm/yr subsidence along the Arima - Takatsuki Tectonic Line. It is noteworthy that the uplift in southern Kyoto is bounded by two active faults. Since the spatial pattern of the deformation is correlated with the basement structure of the distributed faults, it is speculated that changes in groundwater level in the alluvial plain affect the deformation. I also found a rapid subsidence of 10 mm/yr or larger on the reclaimed lands in the Osaka bay.

キーワード：SAR, 京都盆地, 大阪平野, 地盤沈下, 活断層

Key words : SAR, Kyoto basin, Osaka plain, ground subsidence, active faults

1. はじめに

沖積平野下に伏在する断層の運動による地震災害が相次いでいる。ニュージーランドで発生した2010年9月3日のダーフィールド地震および2011年2月22日のクライストチャーチの地震は、これ

まで知られていなかった地下に伏在する断層が運動することにより生じた (Elliot *et al.*, 2012)。また、1995年1月17日阪神・淡路大震災を引き起こした兵庫県南部地震の震源断層の北半分は、地表面には明瞭な痕跡を残していない (Hashimoto *et*

* 京都大学防災研究所
DPRI, Kyoto University

本論文に対する討論は平成27年2月末日まで受け付ける。

al., 1996)。阪神・淡路大震災では、過去の断層運動により形成された複雑な地下構造により強震動の集中が生じたことが、被害を大きくした一因とされている (Sekiguchi *et al.*, 2000)。したがって、沖積平野下の地下構造、特に基盤形状の解明が、伏在断層の検出や強震動予測等地震災害軽減のために不可欠である。

基盤形状の推定には、主として地震波探査が用いられるが、この手法は基本的に測線に沿った二次元断面の情報を与えるに留まる (例えば, Ito *et al.*, 2006)。都市域では多くの探査を実施することは困難なため、これを補完する手法が必要である。

米国などで地盤沈下領域において面的に地盤変動を把握することにより、地下に伏在する断層の形状を把握する試みがなされている (例えば, Bell *et al.*, 2002)。地盤沈下は帯水層内の地下水位の変動に関係するため、地盤沈下あるいはその回復が見られる場所の地下には帯水層があると推定される。そして、地盤変動の小さい領域との境には、断層が存在すると考えられる。

面的に地盤変動を検出する手段として、合成開口レーダー (以下, SAR) 干渉法 (以下, InSAR) がある。これまでも地盤沈下の検出に人工衛星搭載合成開口レーダー画像が用いられて来た。Bell *et al.* (2002) は、欧州宇宙機関が打ち上げた European Remote Sensing Satellite (ERS) の画像を干渉処理し、さらにスタッキングを行うことにより Las Vegas 盆地の地盤変動を検出した。そして、大きい沈下を示す領域は伏在断層により境されることを示した。

本研究は、Bell *et al.* (2002) の考えを京都盆地と大阪平野に適用し、地盤変動と断層や堆積層の分布との関連性を明らかにすることを目的とする。合成開口レーダー画像の解析により高空間分解能の地盤変動分布を示し、これから読み取れる断層や地盤の情報について議論する。

2. 解析データと解析手法

本研究では、我が国が打ち上げた陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS) 搭載の合成開口レーダー

(Phased Array-type L-band SAR, 以下 PALSAR) の画像を用いた。「だいち」は2006年1月24日に打ち上げられ、高度約690kmのほぼ極軌道(軌道傾斜角約98°)から観測を行った。太陽同期軌道であるため、地球の昼側では南行、夜側では北行に運行するように設計されていた。PALSARの他にパンクロマチック立体視センサ(PRISM)と高性能可視近赤外放射計2型(AVNIR-2)が搭載されていたが、南行軌道では光学センサのPRISMとAVNIR-2の観測が優先され、PALSARの観測は主として北行軌道でなされた。なお、ALOSは2011年4月21日に電源トラブルに見舞われ、5月15日をもって運用を停止した(宇宙航空研究開発機構, 2012)。

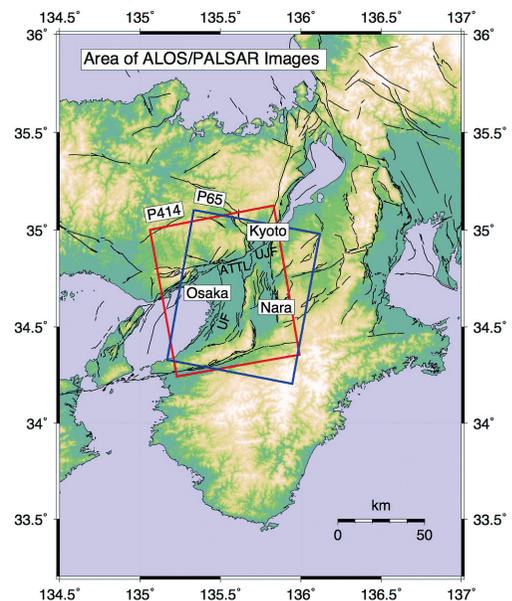


Fig. 1 Footprints of ALOS/PALSAR images used in this study. Red and blue rectangles denote footprints for the ascending (Path 414) and descending (Path 65) orbits, respectively. Black lines indicate surface traces of active faults (Active Fault Database of the Geological Survey of Japan, AIST, https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html). ATTL, UF and UJF indicate the Arima-Takatsuki Tectonic Line, Uemachi and Ujigawa faults, respectively.

京阪神地域全域をカバーする PALSAR の観測は、2つの軌道からなされた。一つは北行軌道(パス414, フレーム680)で、2006年10月8日～2010年10月19日の間に24回の観測がなされた。もう一つは南行軌道(パス65, フレーム2920)で、2007年1月9日から2010年10月20日に15回の観測がなされた。これらの軌道からの画像がカバーするおよその範囲を Fig. 1に示す。Fig. 2には、国土地理院の GNSS 連続観測網 (GEONET) の観測点の1年間の変位(2007年1月25日～2月8日～2008年1月1日～2月9日)から合成される南行軌道での観測に対する干渉画像を示している。これによると1年あたりせいぜい10mm程度の変動しか期待できないことがわかる。ALOS/PALSAR の干渉処理により得られる変位の誤差は、電離層や対流圏によるものを除いて、14mm程度との報告がある (Sandwell *et al.*, 2008)。したがって、ある程度長い時間間隔の画像のペアを用いることにより有意な変動を検出する可能性が高くなる。また、多くの独立するペアの干渉画像

を用いることにより誤差も小さくすることができる。

それぞれのパスにおける画像の観測時期と、最初の観測時の衛星位置を基準とした各観測時の衛星位置までの距離(垂直基線長)の関係を Fig. 3に示す。SARの干渉処理において、高い干渉性を得るためにはできるだけ垂直基線長が短いことが必要である(例えば、地震調査委員会, 2011)。ALOSの場合には Fig. 3に示すように、垂直基線長が時間とともに正の方向へ増大していくので、干渉性の低下が予想された。2008年半ばに JAXA は ALOS の軌道補正を行い、約5 km 負の方向へ移動させた(面外補正)。この補正の結果、2009年後半以降の画像と2008年以前の画像との垂直基線長が短くなり、2～3年の時間間隔で、かつ垂直基線長の短いペアが多く構成できることとなった。このため、本研究で扱う京阪神のように地盤変動の小さい地域においては、干渉解析に有利な条件が整った。

解析処理には Gamma Remote Sensing 社の

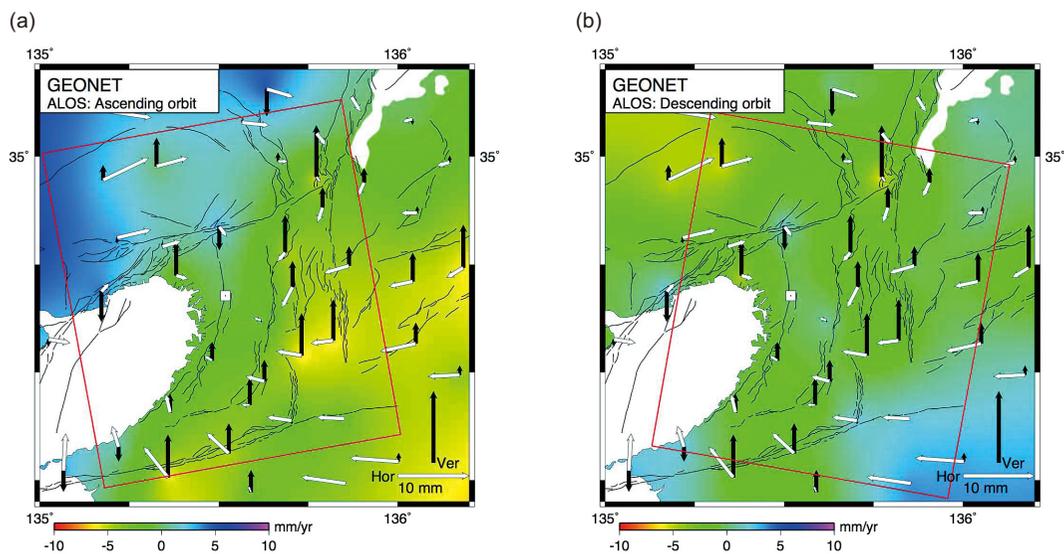


Fig. 2 Synthetic interferograms deduced from the F3 solution (<http://terras.gsi.go.jp/ja/index.html>) of GEONET sites in the Kinki district: (a) ascending, (b) descending orbits, respectively. Displacements during the period from January 25 - February 8, 2007 to January 1 - February 9, 2008 are converted to line of sight changes. White and black arrows indicate horizontal and vertical displacements, respectively with relative to the GEONET Osaka (white square). Red rectangle is the footprint of ALOS/PALSAR image.

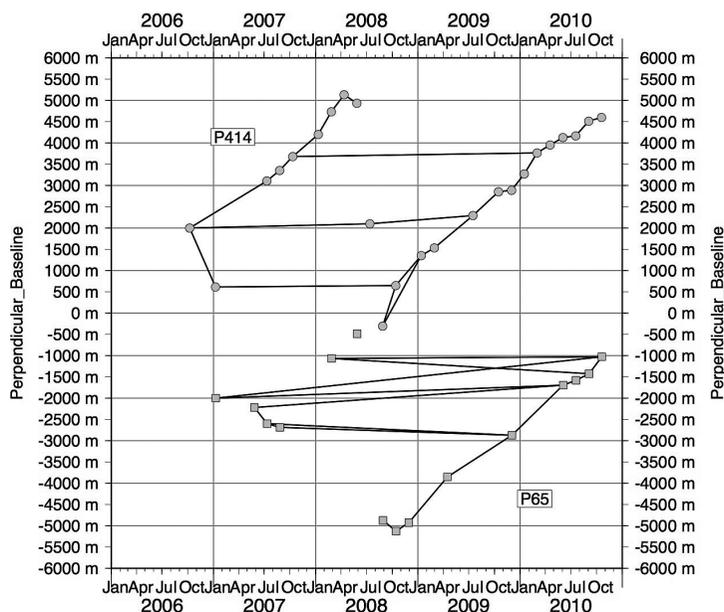


Fig. 3 Spatial and temporal baselines of ALOS/PALSAR used in this study. Circles and squares indicate images acquired from ascending and descending orbits, respectively. Solid lines denote pairs for interferometry. Vertical axis is shifted in order to avoid overlapping of graphs.

Gamma ソフトウェアを用い、国際農業研究協議グループ (Consultative Group on International Agriculture Research (CGIAR)) による Hole-filled SRTM3 DEM (Jarvis *et al.*, 2008) を使った 2パス干渉解析を行った。この際には、できる限り垂直基線長が短く観測時間間隔の長いペアを干渉解析し、スタッキングを行い、平均視線距離変化率を得た。なお、特に北行軌道からの画像には、電離層擾乱によると考えられる大きな波長の長い変動が認められることがある (島田, 2010; Hashimoto and Fukushima, 2011)。また、同様な長波長の変動は、軌道誤差によっても生じる。長波長の変動は今回の研究目的においてはノイズとなる。そこで、干渉解析においてフラットニング処理を行い、波長の長い変位のパターンがなくなるように調整した。Fig. 4およびFig. 5にアンラップした干渉画像 (視線方向の変位に直したもの) を示す。

南行軌道では、東より約 10° 南よりの上空、仰角約 51° (マイクロ波の入射角約 39°) の方向に衛星がある。一方、北行軌道では西より約 10° 南よ

りの上空、仰角約 51° の方向が視線方向となる。したがって、南行・北行の両軌道の画像を用いることにより、変位の独立な 2 成分を観測していることになる。これらの画像中の対応する地点の視線距離変化から、東西方向と疑似上下方向の変位 2 成分を合成した (Fujiwara *et al.*, 2000)。なお、本研究で用いる干渉処理では、衛星の視線方向が上述のように東西に偏っているため、南北成分は得られない。

3. 解析結果

Fig. 6およびFig. 7に北行および南行軌道におけるスタッキングした干渉画像を示す。

北行軌道の画像では、京都盆地南部の視線距離短縮が顕著である (Fig. 6)。大阪平野中東部には東北東-西南西走向の視線距離短縮の帯状の領域が認められる。ただし、これは Fig. 4f の 2008 年 7 月 13 日と 2009 年 7 月 16 日のペアの干渉画像のような、電離層起源と考えられるノイズの可能性もある。湾岸部の埋立て地では、年間 10 mm を越える視線距離伸張が見られる。なお、山岳地におい

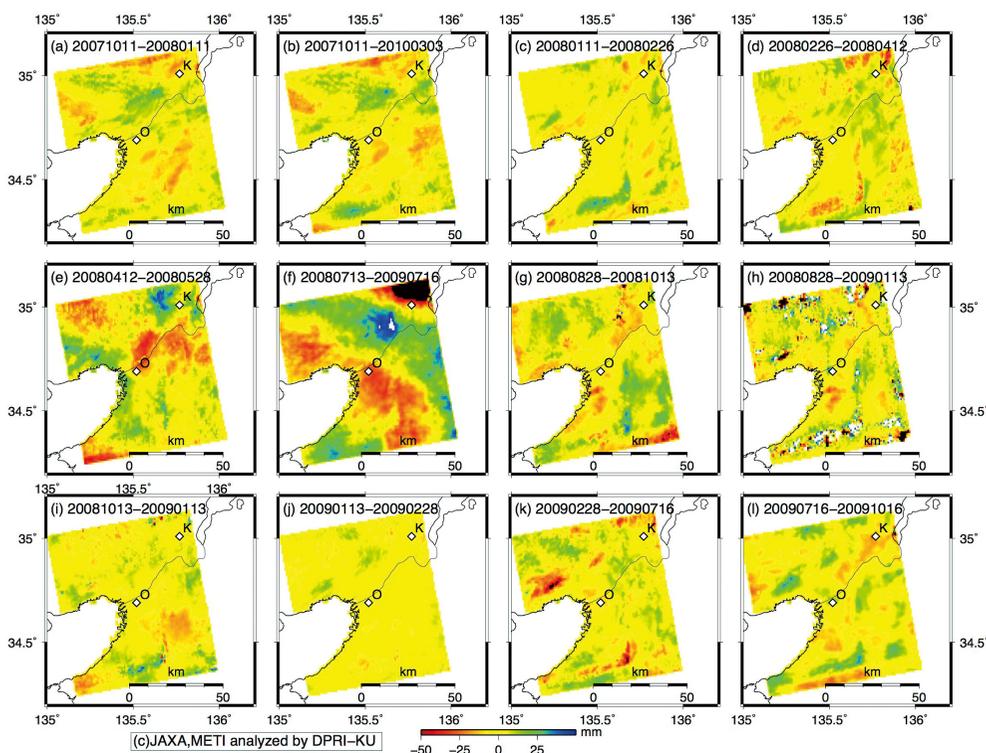


Fig. 4 Part of unwrapped interferograms for the ascending orbits. Acquisition dates of images are indicated on the upper left corner of each image. Green to blue colors indicate increase of the line-of-sight, while orange to red colors show decrease. K and O indicate the location of the Kyoto and Osaka prefectural offices, respectively.

て見られる変動は、大気の影響を受けていたり、干渉ペアによっては干渉性が低いことから、見かけの変動が生じている可能性が高い。

南行軌道の観測からも京都盆地南部の視線距離短縮が認められる (Fig. 7)。また、有馬・高槻構造線に平行する視線距離伸長が認められる。湾岸部の埋め立て地では、年間10mm までのスケールを超えた視線方向伸長が見られ (Fig. 7)、埋め立て地の地盤沈下速度が大きいことが示唆される。

上記の特徴がPALSARの観測特有のものでないことを確認するために、TerraSAR-Xの画像の干渉解析を行った。TerraSAR-Xはドイツが打ち上げた衛星で、使用するマイクロ波の波長が約31mmのXバンドSARを搭載している。このセンサは高空間分解能を持つが、観測幅がPALSARの約70kmに比べ約50kmと小さいため、京阪神地域

をカバーするためには2つのパスの観測が必要である。Fig. 8には、3つのペアの干渉画像を示している。いずれも2008年9～10月と2010年12月に観測された画像のペアである。各ペアの観測時期が異なるため、干渉画像の重なる部分で不連続があることに留意されたい。Fig. 8においても、京都盆地南部の視線距離短縮と有馬・高槻構造線に沿った視線距離伸長が認められる。

PALSARの北行および南行スタッキング干渉画像の2.5次元解析の結果、京都盆地南部では年間約10mmの隆起、有馬・高槻構造線に沿っては年間約5mmの沈降が得られた (Fig. 9)。京都盆地で見つかった隆起域は、東西約7km、南北約6kmに及び、大きく2つに分かれる (Fig. 10)。それぞれの西縁が西山断層系の椋原断層・灰方断層に一致しており、地下構造を反映しているものと

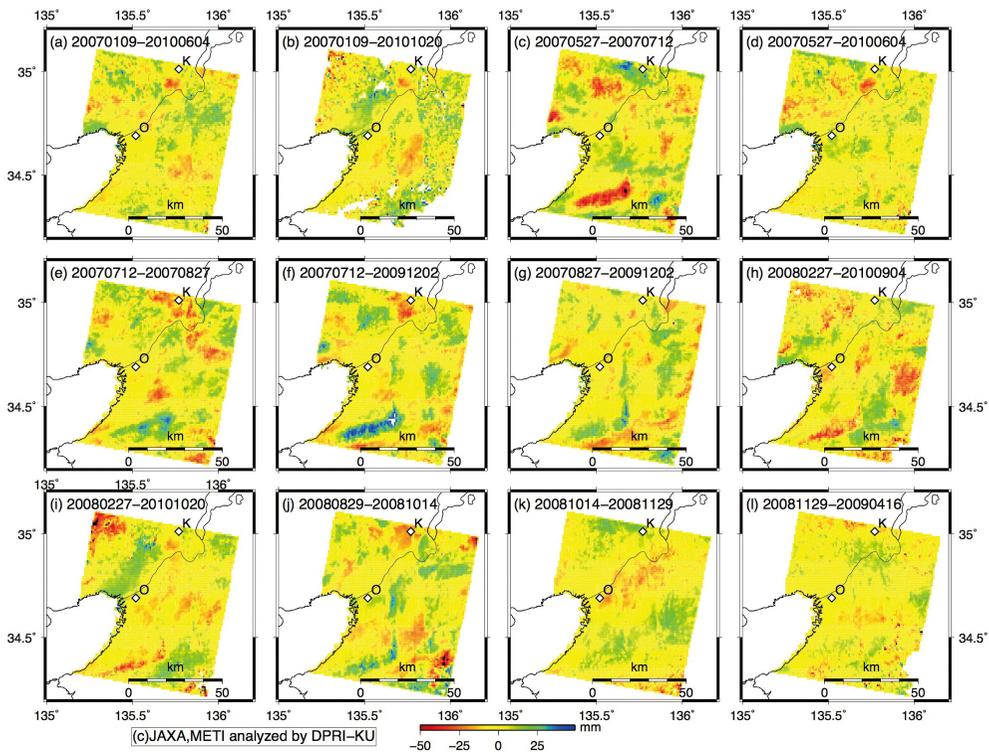


Fig. 5 Part of unwrapped interferograms for the descending orbits. Acquisition dates of images are indicated on the upper left corner of each image. Green to blue colors indicate increase of the line-of-sight, while orange to red colors show decrease. K and O indicate the location of the Kyoto and Osaka prefectural offices, respectively.

考えられる。一方、南縁は宇治川断層よりは約 2 km 北にずれており、宇治川断層とは異なる構造が隠れていることを示唆する。有馬・高槻構造線に沿った沈降域は、長さ約 16 km、幅約 1 km の規模である。有馬・高槻構造線に平行する沈降域の西端、豊中付近では局所的に 10 mm/年を超える沈降となっている。また、これらの領域では、顕著な東西成分は得られていないので (Fig. 11)、ほぼ上下方向の変動であると推察される。

その他、顕著な地盤変動として、大阪湾岸埋め立て地の沈降 (Fig. 9中の黄色矢印)、淀川北岸の沈降 (Fig. 9中の AM の周辺)、大阪府庁の西側の局所的な沈降 (Fig. 9中の O の周辺) などが認められる。生駒断層帯 (Fig. 9中の IK の周辺) などの活断層帯に沿って、有馬・高槻構造線に平行な沈降域と同様な帯状の沈降が認められる。ただ

し、これらの領域については、一部が山地にかかり干渉性が低い所もある。

4. 議論

リモートセンシングにおいては、グランドトゥールズによる検測が不可欠である。今回、GNSS 観測網の観測点間隔より短い波長の変動について注目しているので、水準測量結果と比較することが適当である。Fig. 12は京都盆地を北東から南西に横切る水準路線に沿った上下変動である。この路線では、1996年まではほぼ毎年国土地理院により水準測量が実施されていた。しかし、その後間隔が延びて、最新の測量は2009年6~7月に行われている (国土地理院, 2010)。この結果では、京都盆地南部の水準点219-1から216-1の間に最大 40 mm の隆起が観測されている (Fig. 12中の実

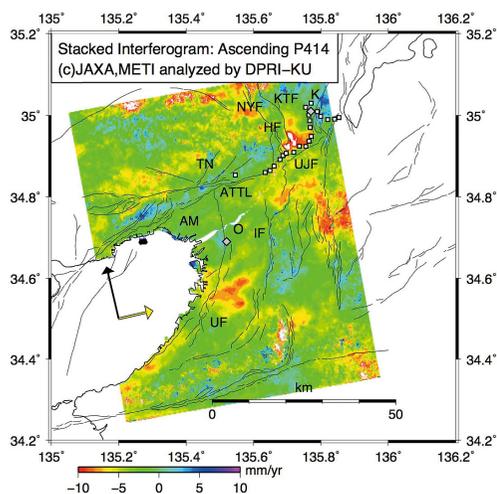


Fig. 6 Stacked interferogram for the ascending orbit over the Kyoto-Osaka area. Diamonds indicate the Kyoto (K) and Osaka (O) Prefectural Offices. Small squares are the first order leveling benchmarks of the Geospatial Information Authority. Thin solid lines are surface traces of active faults. Black and yellow arrows show the directions of heading of satellite and emission of microwave, respectively. Blue to purple colors indicate increase of the line-of-sight, while yellow to red colors show decrease. TN and AM denote Toyonaka and Amagasaki cities, respectively. ATTL, UF, UJF, IF, NYF, KTF, and HF are the Arima-Takatsuki Tectonic Line, Uemachi, Ujigawa, Ikoma, Nishiyama, Katagihara and Haikata faults, respectively.

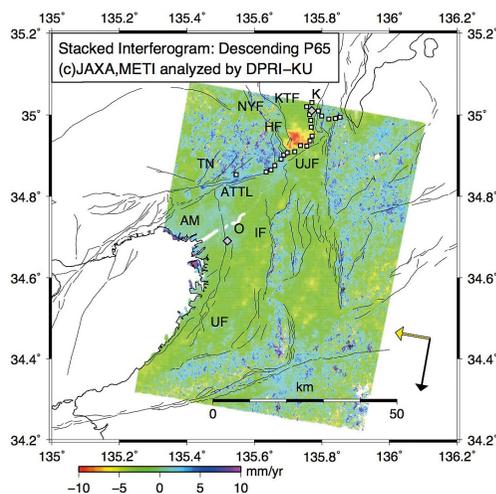


Fig. 7 Stacked interferogram for the descending orbit over the Kyoto-Osaka area. The legend is common to Fig. 6.

線)。Fig. 9の疑似上下成分図より抽出した水準点を含むピクセルでの変動を5倍してプロットすると Fig. 12中の破線が得られる。両者の上下変動のパターンはよく似ており、妥当な結果が得られていると結論できる。なお、観測期間の違い、SAR画像中のサンプリング領域の大きさなどの影響により、特に水準点218-1などにおいて両者に多少の差が生じていると考えられる。

今回の解析でいくつか興味深い変動が検出された。特に、京都盆地南部の隆起と有馬・高槻構造線に沿った沈降は注目に値する。

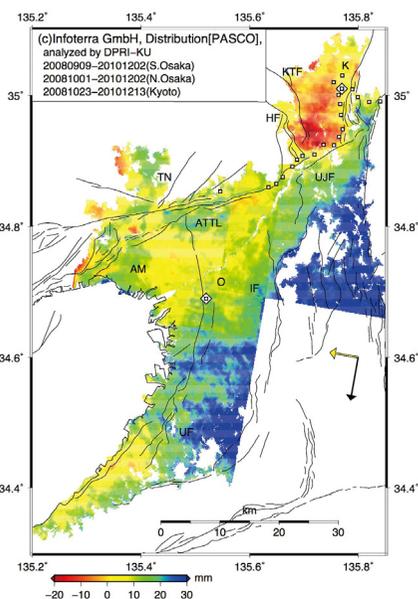


Fig. 8 Interferograms of pairs for TerraSAR-X images acquired during September - October, 2008 and December, 2010. Linear discontinuities are boundaries of interferograms due to the superposition of three interferograms. Blue to purple colors indicate increase of the line-of-sight, while yellow to red colors show decrease. See also the legend of Fig. 6.

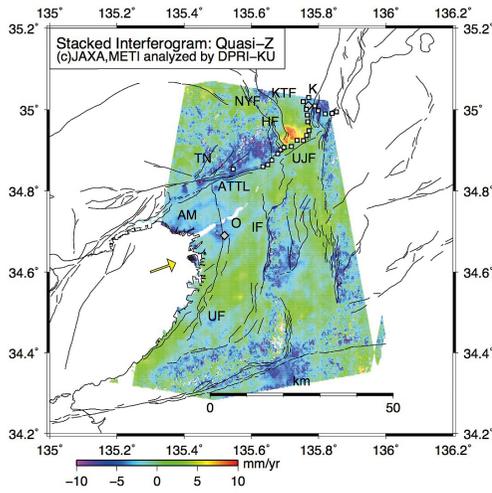


Fig. 9 The result of 2.5D analysis of stacked interferograms in Figs. 6 and 7. The quasi-vertical components are shown. Blue to purple colors indicate subsidence, while yellow to red colors show uplift. The legend is common to Fig. 6.

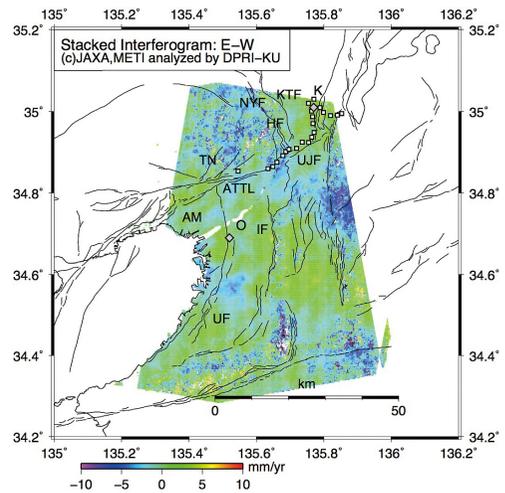


Fig. 11 The result of 2.5D analysis of stacked interferograms in Figs. 6 and 7. The east-west components are shown. Blue to purple colors indicate westward shift, while yellow to red colors show eastward motion. The legend is common to Fig. 6.

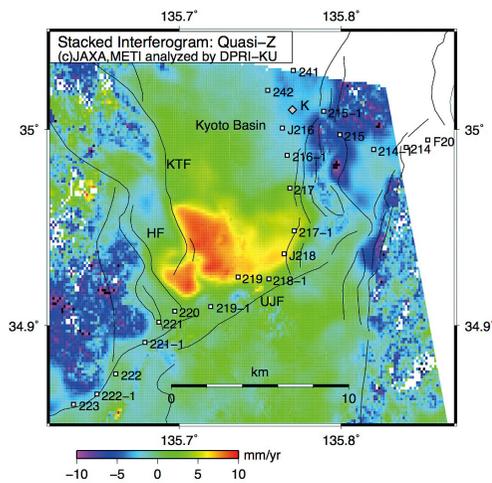


Fig. 10 Close-up map of the Kyoto basin of quasi-vertical component (Fig. 9). Squares and diamond indicate leveling benchmarks and the Kyoto Prefectural Office, respectively. Numerals are identification code of benchmarks. JF, KF, and HF denote the Ujigawa, Katagihara and Haikata faults, respectively.

前者は、隆起域の西の境界が活断層に一致しており、ここで地層の物性が変わると推察される。Las Vegasのケース (Bell *et al.*, 2002) と同様に、活断層の西側は透水性の低い岩盤、東側は帯水層で構成されると考えられる。南側の境界は、宇治川断層より有意に北にずれており、宇治川断層とは異なる物質境界の存在を示唆する。

この隆起がいつ始まったか、については、以下のように考える。Fig. 12では、SARから推定した疑似上下変動を5倍すると水準測量結果とオーダーが合うことを示した。水準測量の結果は1996年から2009年の上下変動であるのに対し、SARデータは2006年から2010年の4年間の平均隆起速度である。すなわち、SARの観測は、水準測量の期間のうち最後の1/3をカバーする。SARで得られた速度で隆起していたとすると、2004年ごろに隆起が始まったと推定される。京都府乙訓地域では、2000年に上水の水源が地下水から桂川水系の京都府営水道に切り替えられた (環境省, 2012)。地盤隆起の原因として、堆積層中の帯水層の膨脹が考え易いことから、この水源の切り替えによる

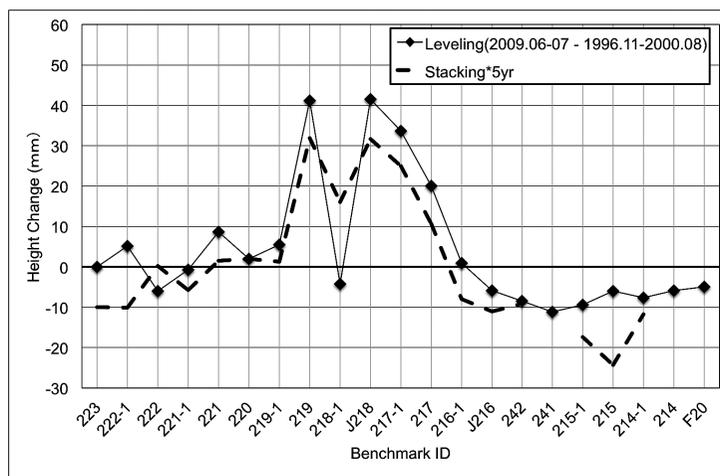


Fig. 12 Comparison of vertical movements derived from 2.5D analysis of stacked interferograms with that detected by leveling surveys by the Geospatial Information Authority. Solid line indicates the result of the survey during the period of November, 1996 - August, 2000 and June - July, 2009 [GSI, 2010]. Dashed line is x 5 magnified vertical motion sampled from Fig. 9.

地下水位の回復が最も可能性が高い。しかし、隆起開始が2004年ころとする SAR データからの推定とは整合しない。上記の推定では一定の割合で隆起したと仮定したが、時間的に変化したことも考えられる。このため、2000年から2006年までの間にどのような変動が生じていたかを解明することが必要である。これは、ERS/Envisat などのデータを解析することで可能であると考えられる。

次に、有馬・高槻構造線に沿った帯状の沈降領域について考える。有馬・高槻構造線は右横ずれ断層であるので(寒川, 1978), この運動が進行しているのであれば、断層の南側に西向き、北側には東向きの変動が期待される。しかし、東西方向の成分には変化が見られないので (Fig. 11), 断層運動によるものとは考えにくい。有馬・高槻構造線は北摂山地と千里丘陵の間を走っており、断層のトレスも複数認められていることから、地溝を形成していると考えられる。赤松ら (2006) による重力データから推定した基盤構造には、有馬・高槻構造線に沿って、複数の窪みが並んでいることがわかる。この窪みの堆積層は周囲より厚いので、帯水層の貯水量も周囲より大きいと考えられる。何らかの原因でこの帯水層中の水が大き

く減少し、水位低下をおこしたために沈下が生じた可能性がある。

5. 結論および今後の課題

ALOS/PALSAR の京都盆地と大阪平野の画像を収集し、干渉解析・スタッキングと2.5次元解析を行い、地盤変動の疑似上下成分と東西成分を抽出した。その結果、京都盆地と大阪平野に特徴的な以下の地盤変動が進行していることが明らかとなった。

- 1) 京都盆地南部の年約10mm の隆起
- 2) 有馬・高槻構造線に沿った年約5mm の沈降
- 3) 豊中周辺の年約10mm の沈降
- 4) 大阪湾岸埋立て地の沈降、淀川北岸の沈降、大阪府庁の西側の局所的な沈降。

1) については水準測量結果との比較による検証を行い、隆起の分布が活断層に制約されることを示した。2) については、微細な基盤構造の凹凸との関係を議論した。

ALOS は2011年5月で運用停止したが、2014年には後継機の ALOS-2が打ち上げられる予定である。今回検出された変動がどのように推移していくのか、ALOS-2の観測により検討できる可能性

がある。一方、過去の履歴を明らかにするため、JERS-1やヨーロッパの衛星の画像など長期間の蓄積がなされている既存のデータを解析し、得られた変動の検証を試みる必要もある。

謝 辞

3名の査読者の貴重なご指摘のおかげで、原稿を大きく改善することができました。西村卓也氏と福島洋氏には、草稿に対して貴重なコメントをいただいた。本研究で使用した PALSAR データは、宇宙航空開発研究機構 (JAXA) による「陸域観測技術衛星の防災利用実証実験」地震 WG (事務局) 国土地理院) の活動の一環として、JAXA および国土地理院より提供されました。また、「上町断層の重点観測」によるサポートも頂きました。なお、PALSAR Level1.0 データの所有権は、宇宙航空研究開発機構および経済産業省にあります。TerraSAR-X 画像は、(株) パスコ主催 SAR 応用技術研究会第3期 (2010年度) 採択課題「TerraSAR-X による大阪平野の地盤沈下の把握と地盤形状の推定」において貸与されたものを使用しました。GNSS による変動図の作成のため、国土地理院電子基準点 GEONET の F3 解析解を使用しました。以上の方々に感謝致します。

参考文献

- 赤松純平・中村佳重郎・西村敬一・駒澤正夫：重力データを用いた地殻密度構造、大都市圏大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動 (強い揺れ) の予測「地殻構造調査研究」平成17年度成果報告書、pp.571-576、[http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/daidai/h17/seika-hokokusho/honbun_final/3_3_12\(pp.571-576\).pdf](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/daidai/h17/seika-hokokusho/honbun_final/3_3_12(pp.571-576).pdf), 2006.
- Bell, J.W., F. Amelung, A.R. Ramelli, and G. Blewitt: Land subsidence in Las Vegas, Nevada, 1935-2000: New geodetic data show evolution, revised spatial patterns, and reduced rates”, *Environmental Engineering Geoscience*, vol. VIII, 3, 155-174, 2002.
- Elliot, J.R., E.K. Nissen, P.C. England, J.A. Jackson, S. Lamb, Z. Li, M. Oehlers, and B. Parsons: Slip in the 2010-2011 Canterbury earthquakes, New Zealand, *J. Geophys. Res.* Vol.117, B03401, doi:10.1029/2011JB008868, 2012.
- Fujiwara, S., T. Nishimura, M. Murakami, H. Nakagawa, and M. Tobita: 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.27, pp.2049-2052, 2000.
- Hashimoto, M., and Y. Fukushima: Evaluation of the Capability of ALOS/PALSAR to Detect Secular Crustal Deformations in Subduction Zones, Special Issue of the 28th International Symposium on Space Technology and Science, http://archive.ists.or.jp/upload_pdf/2011-n-12.pdf, 2011.
- Hashimoto, M., T. Sagiya, H. Tsuji, Y. Hatanaka, and T. Tada: Co-seismic displacements of the 1995 Hygo-ken Nanbu earthquake, *J. Phys. Earth*, Vol.44, pp.255-279, 1996.
- Ito, K., Y. Umeda, H. Sato, I. Hirose, N. Hirata, T. Kawanaka, and T. Ikawa: Deep seismic surveys in the Kinki district: Shingu-Maizuru line, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, Vol.81, pp.239-245, 2006.
- Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, and E. Guevara: Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>, 2008, 2013年12月6日。
- 地震調査委員会：「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」報告書、pp.57, 2011.
- 環境省：全国地盤環境情報ディレクトリ (平成23年度版) - 京都府【京都盆地】、http://www.env.go.jp/water/jiban/dir_h23/26kyouto/kyouto/index.html, 2012, 2013年12月6日。
- 国土地理院：近畿地方の地殻変動、地震予知連絡会報、84巻、pp.408-411、http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou83/08_02.pdf, 2010.
- Sandwell, D., D. Myer, R. Mellors, M. Shimada, B. Brooks, and J. Foster: Accuracy and resolution of ALOS interferometry Vector deformation maps of the Father's Day intrusion at Kilauea, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.46, pp.3524-3534, 2008.
- 寒川 旭：有馬 - 高槻構造線中・東部地域の断層変位地形と断層運動、*地理学評論*, Vol.51, pp.760-773, 1978.
- Segiguchi, H., K. Irikura, and T. Iwata, Fault

geometry at the rupture termination of the
1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake: Bull.
Seism. Soc. Am., Vol.90, pp.117-133, 2000.

島田政信:ALOS/PALSAR の運用と干渉について, 測
地学会誌, Vol.56, No.1, pp.13-39, 2010.

宇宙航空研究開発機構:陸域観測技術衛星「だいち」
(ALOS) プロジェクトについて, 平成24年1月
11日宇宙開発委員会提出資料, [http://www.
jaxa.jp/press/2012/01/20120111_sac_daichi.pdf](http://www.jaxa.jp/press/2012/01/20120111_sac_daichi.pdf),
2012, 2013年12月6日

(投稿受理:平成25年12月26日
訂正稿受理:平成26年4月24日)