

衛星 SAR による上下変動測量マニュアル

令和 7 年 9 月

国土交通省国土地理院

【改訂履歴】

マニュアル名称	年月	備考
衛星 SAR による上下変動測量 マニュアル	令和 6 年 6 月	制定
	令和 7 年 4 月	日本測地系 2011 から日本 測地系 2024 への改定に伴 い改正
	令和 7 年 9 月	計算プログラム利用のため のユーザー登録が不要とな ったことに伴い改正

目次

序	1
1. はじめに	1
2. 衛星 SAR 地盤変動測量成果について	1
3. 本マニュアルの概要	2
第1章 総則	4
第2章 衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いた上下変動測量	6
第1節 概説	6
第2節 作業計画及び選点	7
第3節 地上測量の実施	8
第4節 上下変動量の調整計算	8
第5節 品質評価	12
第6節 成果等の整理	12
第3章 干渉 SAR 時系列解析	13
第1節 衛星 SAR 観測データの取得	13
第2節 SAR 干渉解析	13
第3節 干渉 SAR 時系列解析	14
第4節 成果等の整理	16
第4章 資料	16
標準様式	16
参考資料：干渉 SAR 時系列解析結果の解説	20

序

1. はじめに

国土地理院では、日本全国の地殻・地盤変動を把握するため、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が運用している陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」（ALOS-2）の観測データを用いた SAR 干渉解析を行ってきた。SAR 干渉解析は、同じ場所を衛星で 2 回観測し、その間に生じた地表の動きを求める解析手法であり、地上に観測機器を設置することなく、面的に地表の変動を捉えることができる。一方で、観測の時期が衛星の運用スケジュールに依存することや、高い精度で変動を捉えるには衛星の軌道誤差や大気に起因する誤差の推定・除去が必要であること、さらには観測できるのは衛星と地表を結ぶ方向（衛星視線方向）の距離の変化であること等の課題から、測量作業での利用は進んでいない状況にある。

こうした背景の中、国土地理院では、SAR 干渉解析の高度化を進めており、2021 年には、新たな解析手法として、干渉 SAR 時系列解析を導入した。干渉 SAR 時系列解析は、多数の SAR 干渉解析結果を統計的に処理することにより、衛星の軌道誤差や大気に起因する誤差を推定・除去することができる解析手法であり、従来の SAR 干渉解析では捉えることが難しかった微小な地表の変動を検出することが可能となった。国土地理院は、2022 年 4 月に、衛星合成開口レーダー地盤変動測量（以下「衛星 SAR 地盤変動測量」という。）を基本測量に位置付け、定常的に干渉 SAR 時系列解析を実施し、その解析結果を公表することとした。

従来から地盤沈下等の把握のために実施されている水準測量は、測量した水準点の変動は非常に高い精度で把握できるものの、測量作業に多大な時間と労力を要するため、測量できる箇所が限られ、変動が生じている範囲を詳細に把握することが困難である。地盤沈下のような上下変動の把握を目的として実施する測量において、干渉 SAR 時系列解析結果を有効に活用することで、従来よりも効率的にかつ稠密に、広範囲の上下変動分布が得られることが期待される。

本マニュアルは、衛星 SAR データを用いた干渉 SAR 時系列解析結果を活用して、高い空間分解能で上下変動の分布を得るための標準的な作業方法をまとめたものである。

2. 衛星 SAR 地盤変動測量成果について

衛星 SAR 地盤変動測量では、成果を算出するために干渉 SAR 時系列解析を実施している。干渉 SAR 時系列解析に用いるデータは、「だいち 2 号」の 2014 年の打ち上げ以来蓄積されてきた北行・南行軌道の観測データである。これらの観測データを用いて、まず 2 時期の観測データ（以下「観測ペア」という。）を用いた SAR 干渉解析を行う。観測ペアには観測場所の違いや観測間隔に任意性があるため、一定の条件（垂直基線長 200m 以内、南行軌道は観測間隔 730 日以内、北行軌道は観測間隔 1095 日以内を基本とする）を満たす観測ペアについて干渉解析を実施する。得られた SAR 干渉画像に対して、対流圏遅延補正や電離層遅延補正、電子基準点の観測データによる長波長補正を行い、また、電子基準点の観測デ

一タから推定される広範囲かつ長期的な地殻変動を推定し除去する。なお、離島等の一部地域では、電離層遅延補正、電子基準点の観測データによる長波長補正は行わず、多項式曲面近似式による長波長補正を適用する。

これらの補正処理を行った SAR 干渉画像を用いて、SBAS 法による位相最適化処理（統計的な処理により観測日の最適な変動量を求める処理）を行い、観測日毎の変位量を求め、さらに変位速度を算出する。この際、地震の影響が顕著に見られる地域については、地震時の変動を推定し除去する。以上によって得られる変位速度は、衛星視線方向の変位速度であり、衛星が南から北方向に進む場合（北行軌道）は西側上空からの変位速度、衛星が北から南方向に進む場合（南行軌道）は東側上空からの変位速度である。この異なる 2 つの衛星視線方向の変位速度を用いて、2.5 次元解析（Fujiwara et al., 2000¹）を行い準上下方向及び準東西方向の変位速度を求める。ここで、「準」とは上下方向、東西方向からわずかにずれた方向であることを示す（図 1）。

南行軌道、北行軌道の各衛星視線方向、準上下方向、準東西方向の 4 つの変位速度を衛星 SAR 地盤変動測量成果として公開・提供している。今後も、「だいち 2 号」及び 2024 年に打ち上げられた先進レーダ衛星「だいち 4 号」（ALOS-4）の観測データを用いて、定期的に測量成果を公開・提供する予定である。

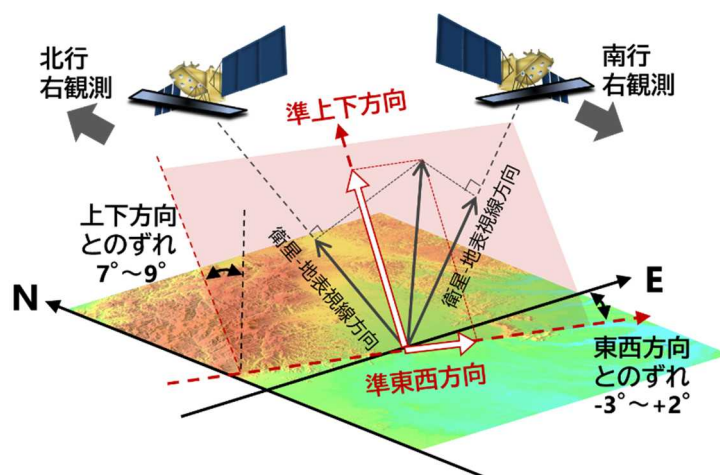


図 1. 2.5 次元解析の模式図

3. 本マニュアルの概要

1) 本マニュアルの使用方法

① 公共測量を実施する場合

測量計画機関において作業規程の準則を準用している場合、準則第 17 条（機器等及び作

¹ Fujiwara, S., T. Nishimura, M. Murakami, H. Nakagawa and M. Tobita (2000): 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, Geophysical Research Letters, 27, 2049-2052.

業方法に関する特例) 第3項の規程に基づく国土地理院が整備した新たな測量技術に関するマニュアルとして使用することができる。測量計画機関は、公共測量を実施する際にはあらかじめ測量法第36条(計画書についての助言)に基づく国土地理院の技術的助言を受けなければならない。その際、提出する計画書に本マニュアルを使用する旨を記載する。

② 基本測量及び公共測量以外の測量を実施する場合

基本測量及び公共測量以外の測量を実施する場合にも、本マニュアルを利用することができる。利用に当たっては、利用目的に応じて本マニュアルに示す各種基準や精度管理表等が当該測量に適しているかを確認する必要がある。

2) 本マニュアルの構成

本マニュアルは、測量技術としての干渉 SAR 時系列解析結果を用いた測量に対する理解を深め、その利用の普及・促進を図るため、条文、運用基準のほかに解説を加えている。

なお、本マニュアルの全体構成は、以下のとおりである。

① 第1章 総則

本マニュアルの目的、干渉 SAR 時系列解析を用いた測量を実施するにあたっての条件及びデータの取扱い等について規定している。

② 第2章 衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いた上下変動測量

衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いた上下変動量計算を実施するにあたっての工程別作業区分及び作業手法について規定している。

③ 第3章 干渉 SAR 時系列解析

国土地理院の公開・提供する衛星 SAR 地盤変動測量成果を用いず、SAR 干渉解析による SAR 干渉画像の作成、作成した SAR 干渉画像を用いた干渉 SAR 時系列解析を実施するにあたっての作業手法について規定している。

④ 第4章 資料

衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いた上下変動測量を実施するにあたっての精度管理のための標準様式を規定する。また、本マニュアルを補足するための資料として、参考資料を添付している。

第1章 総則

(目 的)

第1条 本マニュアルは、作業規程の準則（平成20年国土交通省告示第413号。以下「準則」という。）第17条の機器等及び作業方法に関する特例の規定に基づき、国土地理院が提供する衛星合成開口レーダー地盤変動測量成果又は本マニュアル第3章に基づく干渉SAR時系列解析結果（以下「衛星SAR地盤変動測量成果等」という。）を用いて、調査対象地域及び対象期間の上下変動分布を得るための方法について、標準的な作業方法等を定めることにより、規格の統一及び必要な精度の確保に資するとともに、技術の利用促進を図ることを目的とする。

(準則の準用)

第2条 本マニュアルに定めるもの以外は、準則を準用する。

(作業計画)

第3条 作業計画は、準則第11条の規定を準用する。

(工程管理)

第4条 工程管理は、準則第12条の規定を準用する。

(精度管理)

第5条 測量作業機関は、測量の正確さを確保するため、適切な精度管理を行い、その結果に基づいて精度管理表を作成し、これを測量計画機関に提出しなければならない。

2 測量作業機関は、各工程別作業の終了時、その他適切な時期に所要の点検を行わなければならない。

(測量成果の検定)

第6条 測量成果の検定は、準則第15条の規定を準用する。

(成果及び資料等の様式)

第7条 衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いて得られた上下変動分布、資料等は、本マニュアルに規定する標準的な様式で作成するものとする。ただし、成果等の使用、保存等に支障がないと認めて測量計画機関が指示し、又は承認した場合に限り、異なる様式により作成することができる。

(運用基準)

第8条 本マニュアルの運用に関し必要な事項については、本マニュアルの中に運用基準として定める。

第2章 衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いた上下変動測量

第1節 概説

(要旨)

第9条 「衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いた上下変動測量」とは、衛星 SAR 地盤変動測量成果等及び基準点の標高を測定する測量（以下「地上測量」という。）によって得られる上下変動量を用いて、調査対象地域及び対象期間の上下変動分布を得るための測量をいう。

(地上測量の方法)

第10条 地上測量は、2 級水準測量相当以上の精度で上下変動量を測定可能な方法とする。

<第10条 運用基準>

2 級水準測量相当以上の精度で上下変動量を測定可能な方法として、準則第2編第3章（レベル等による水準測量）を標準とする。このほかの測量技術を使用する場合には、計画機関の承認を得ることとする。

(工程別作業区分及び順序)

第11条 工程別作業区分及び順序は、次を標準とする。

- 一 作業計画及び選点
- 二 地上測量の実施
- 三 上下変動量の調整計算
- 四 品質評価
- 五 成果等の整理

第2節 作業計画及び選点

(作業計画)

第12条 作業計画は、第3条の規定によるほか、調査目的に応じて設定した調査対象地域及び調査対象期間における、衛星 SAR 地盤変動測量成果等及び過去の地上測量成果を確認のうえ、作業計画を作成するものとする。また、地上測量を行うための平均計画図を作成するものとする。なお、調査対象地域及び調査対象期間に、季節的な上下変動が想定される場合は、干渉 SAR 時系列解析で得られる時系列変位データを確認し、作業計画を作成する必要がある。

(選点)

- 第13条 「選点」とは、平均計画図に基づき、現地において既知点（電子基準点を除く。）の現況を調査するとともに、上下変動を把握する目的で地上測量を行う基準点（以下「観測点」という。）を選定し、選点図及び平均図を作成する作業をいう。
- 2 既知点の現況調査は、異常の有無等を確認し、基準点現況調査報告書を作成するものとする。
 - 3 観測点は、調査対象期間の始期に地上測量が実施されており、2時期の標高の差を比較することで調査対象期間の上下変動量が算出できる基準点とする。また、衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いて行う上下変動量の調整計算等を考慮し、適切な位置に選定するものとする。
 - 4 観測点の位置を選定したときは、その位置を地形図に記入し、選点図を作成するものとする。選点図には、路線等も記入するものとする。
 - 5 平均図は、選点図に基づいて作成し、計画機関の承認を得るものとする。

<第13条 運用基準>

地上測量を行う観測点は、以下の方針で選点するものとする。

- ・水準路線長は、調査対象範囲が 10km 四方の場合、概ね 40 km 以上を標準とする。
- ・水準路線は、調査対象範囲の概ね四隅付近を通り、最低 1 路線は調査対象範囲の中心付近を通るものとする。なお、水準路線は、必ずしも全て調査対象範囲を通る必要はない（図2）。ただし、衛星 SAR 地盤変動測量成果等の取得可能地域とする。
- ・水準路線のうち、調査対象範囲の概ね四隅付近については、上下変動量が得られる水準点等（観測点）を 500m 以上、かつ、1km 未満の間隔で 2 点以上配置することを標準とする。

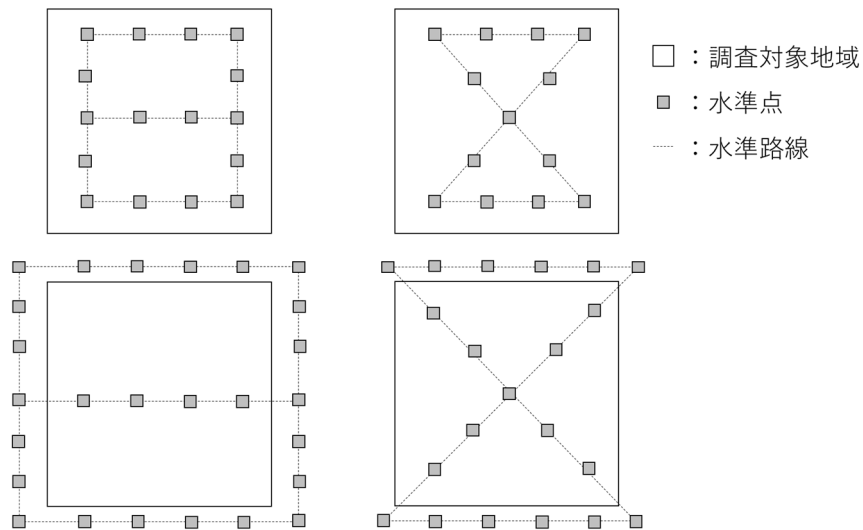


図 2. 水準路線図の概念図

第 3 節 地上測量の実施

(観測の実施)

第 1 4 条 観測点において地上測量を実施し、標高を算出する。

<第 1 4 条 運用基準>

準則第 2 編第 3 章（レベル等による水準測量）に基づき実施する。

【解説】

衛星 SAR 地盤変動測量成果等で得られる変動量は、準上下方向であること、広域かつ長期的な変動は差し引いていることから、地上測量で得られた上下変動量とは系統的な差が含まれる。そのため、地上測量によって得られる上下変動量を用いて衛星 SAR 地盤変動測量成果等による変動量の調整を行う必要がある。

第 4 節 上下変動量の調整計算

(地上測量による上下変動量の計算)

第 1 5 条 調査対象期間の上下変動量は、前条で算出した標高から観測点における過去の地上測量で求められた標高を引いて算出するものとする。

(衛星 SAR 地盤変動測量成果等による変位速度の取得)

第 16 条 衛星 SAR 地盤変動測量成果等のうち、準上下方向の変位速度データを取得する。

＜第 16 条 運用基準＞

衛星 SAR 地盤変動測量成果等から、調査対象範囲及び第 14 条で示す地上測量を実施した観測点が含まれる範囲の準上下方向の変位速度データを取得する。

(衛星 SAR 地盤変動測量成果等による準上下変動量の計算)

第 17 条 前条で得られた準上下方向の変位速度データから、調査対象期間の準上下方向の変動量を算出するものとする。

(変換パラメータの算出)

第 18 条 前条までに得られた地上測量による上下変動量と衛星 SAR 地盤変動測量成果等による準上下方向の変動量の差から変換パラメータを算出する。

＜第 18 条 運用基準＞

変換パラメータの計算には、以下の計算式のほか、これと同精度又はこれを上回る精度を有することが確認できる場合には、当該計算式を使用することができるものとする。

なお、地上測量により得られた上下変動量は全て計算に使用することを標準とする。

変換パラメータの計算式

$$d_0^S - d_0^L = a_0 + a_1 x_0 + a_2 y_0 + a_3 x_0 y_0$$

$$d_1^S - d_1^L = a_0 + a_1 x_1 + a_2 y_1 + a_3 x_1 y_1$$

$$d_2^S - d_2^L = a_0 + a_1 x_2 + a_2 y_2 + a_3 x_2 y_2$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$d_n^S - d_n^L = a_0 + a_1 x_n + a_2 y_n + a_3 x_n y_n$$

ここで、 $d_i^S - d_i^L (i = 0, 1, \dots, n)$ は、地上測量を実施した観測点位置（経度、緯度： x_i, y_i ）における衛星 SAR 地盤変動測量成果等による上下変動 d_i^S と地上測量（2 級水準測量相当以上）による上下変動 d_i^L の差、 $a_j (j = 0, \dots, 3)$ は、変換パラメータを表す。この式を最小二乗法で解くことにより、変換パラメータを求める。

以上の計算には、国土地理院が提供する計算プログラムを用いることも可能である。

(<https://sarprod.gsi.go.jp/toolsProvided>)

(点検計算)

第19条 前条で計算した変換パラメータは、点検計算を行うものとする。点検計算の結果、許容範囲を超えた場合は、再計算や再測を行う等適切な措置を講ずるものとする。また、変位速度が周囲よりも大きい地点等については、地点ごとに干渉 SAR 時系列解析で得られる時系列変位データを取得し、季節的な上下変動や短期間に生じた上下変動の有無を確認する。

<第19条 運用基準>

点検計算は、次のとおり実施するものとする。

1. 地上測量を実施した全観測点について、衛星 SAR 地盤変動測量成果等で得られる準上下方向の変動量に変換パラメータを適用して、調整済み上下変動量を算出する。調整済み上下変動量の計算には、以下の計算式のほか、これと同精度又はこれを上回る精度を有する変換パラメータを算出した場合には、当該パラメータの使用に適した計算式を使用することができるものとする。

調整済み上下変動量の計算式

$$d_0 = d_0^S - (a_0 + a_1 x_0 + a_2 y_0 + a_3 x_0 y_0)$$

$$d_1 = d_1^S - (a_0 + a_1 x_1 + a_2 y_1 + a_3 x_1 y_1)$$

$$d_2 = d_2^S - (a_0 + a_1 x_2 + a_2 y_2 + a_3 x_2 y_2)$$

$$\vdots$$

$$d_N = d_N^S - (a_0 + a_1 x_n + a_2 y_n + a_3 x_n y_n)$$

ここで、 $d_k(k=0,1,\dots,n)$ は、地上測量を実施した全観測点における調整済み上下変動量、 $a_j(j=0,\dots,3)$ は、変換パラメータを表す。

2. 地上測量による上下変動量と調整済みの上下変動量の差を算出し、全観測点の当該差の標準偏差（以下「差の標準偏差」という。）を求め、許容範囲以内であることを確認する。許容範囲は 3mm 以内とする。
3. 適切な措置に資する情報として干渉 SAR 時系列解析で得られる時系列変位データを取得し、調査対象期間における調査対象範囲の変位の時間変化を確認する。
4. 第2項の許容範囲を超えた場合には、周囲と異なる変動をしている観測点（地上測量による上下変動量と調整済みの上下変動量の差が 9mm を超える点を標準とする。以下「異常点」という。）を確認し、異常点における地上測量の上下変動を除いて変換パラメータの再計算及び第1項及び第2項の計算を行う。差の標準偏差が許容範囲内になる場合には、その結果を採用する。
5. 前項において、許容範囲を超える場合には、再測を行う。国土地理院が提供する衛星 SAR 地盤変動測量成果を用いた場合には、地上測量の再測を行う。本マニュアル第

3章に基づく干渉 SAR 時系列解析結果を用いた場合には、干渉 SAR 時系列解析の再解析又は地上測量の再測を行う。

(調査対象地域の上下変動量の算出)

第20条 調査対象範囲内の衛星 SAR 地盤変動測量成果等で得られる準上下方向の変動量に変換パラメータを適用し、調整済みの上下変動量を算出するものとする。

＜第20条 運用基準＞

変換パラメータに基づく調整済み上下変動量の計算には、以下の計算式のほか、これと同精度又はこれを上回る精度を有する変換パラメータを算出した場合には、当該パラメータの使用に適した計算式を使用することができるものとする。

調整済み上下変動量の計算式

$$d_0 = d_0^S - (a_0 + a_1 x_0 + a_2 y_0 + a_3 x_0 y_0)$$

$$d_1 = d_1^S - (a_0 + a_1 x_1 + a_2 y_1 + a_3 x_1 y_1)$$

$$d_2 = d_2^S - (a_0 + a_1 x_2 + a_2 y_2 + a_3 x_2 y_2)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$d_N = d_N^S - (a_0 + a_1 x_N + a_2 y_N + a_3 x_N y_N)$$

ここで、 $d_k(k = 0, 1, \dots, N)$ は、調査範囲内の衛星 SAR 地盤変動測量成果等の全点における調整済み上下変動量、 $a_j(j = 0, \dots, 3)$ は、変換パラメータを表す。

以上の計算には、国土地理院が提供する計算プログラムを用いることも可能である。

(<https://sarprod.gsi.go.jp/toolsProvided>)

(変換パラメータファイル及び上下変動量ファイルの作成)

第21条 前条までに得られた情報を変換パラメータファイル及び上下変動量ファイルに保存する。

＜第21条 運用基準＞

変換パラメータファイル及び上下変動量ファイルは、本マニュアルで規定する様式に基づき作成するものとし、記載する項目は、次を標準とする。

1. 変換パラメータファイル

- 一 地上測量の観測点の位置情報（緯度、経度）
- 二 地上測量の観測点における地上測量の上下変動量及び衛星 SAR 地盤変動測量成果等で得られる準上下方向の変動量並びにそれらの変動量差

- 三 変換パラメータ
- 四 変換パラメータ計算時の分散共分散行列

2. 上下変動量ファイル

- 一 調査範囲内の地上観測点全点の位置情報（緯度、経度）
- 二 衛星 SAR 地盤変動測量等による上下変動量
- 三 変換パラメータによる調整量
- 四 調整済み上下変動量

第5節 品質評価

（品質評価）

第22条 品質評価は、準則第44条の規定を準用する。

第6節 成果等の整理

（成果等の整理）

第23条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 変換パラメータファイル
- 二 上下変動量データファイル
- 三 地上測量による成果
- 四 作業記録
- 五 精度管理表
- 六 その他資料

第3章 干渉 SAR 時系列解析

第1節 衛星 SAR 観測データの取得

(衛星 SAR 観測データの取得)

第24条 調査対象範囲及び調査対象期間を含む人工衛星により取得された SAR 観測データを取得する。

<第24条 運用基準>

北行軌道及び南行軌道ともに、調査対象範囲をカバーするデータを取得する。また、調査対象期間を含む期間に観測された北行軌道、南行軌道それぞれについて 8 観測以上のデータを取得することを標準とする。

【解説】

「だいち 2 号」の観測データを用いる場合には、必要に応じて過去の観測データを用いることで 8 観測以上を確保すること。「だいち 4 号」等の高頻度観測衛星のデータを用いる場合には、入手可能な調査対象期間の前後 1 か月の間に観測されたデータを全て用いることを標準とする。

第2節 SAR 干渉解析

(SAR 干渉解析)

第25条 前条で取得した衛星 SAR 観測データを用いて SAR 干渉解析を実施し、SAR 干渉画像を作成する。

<第25条 運用基準>

SAR 干渉解析は、北行軌道及び南行軌道それぞれについて、以下の条件及び手順で実施することを標準とする。

1. SAR 干渉解析に用いる解析データの観測ペアの選択基準は、垂直基線長及び観測間隔に基づいて選択することとし、垂直基線長 200m 以内、南行軌道は観測間隔 730 日以内、北行軌道は観測間隔 1095 日以内を標準とする。このほかの観測ペアの選択基準に基づく場合には、計画機関に承認を得ること。また、実際に適用した観測ペアの選択基準は、解析結果とともに作業記録として明示すること。
2. SAR 干渉解析は、以下の項目の作業を行うことを標準とする。
 - (1) 2 時期の観測データの位置合わせ
 - (2) 初期干渉画像の作成
 - (3) 軌道縞・地形縞の除去
 - (4) 各種補正手法の適用

(5) フィルター処理

(4) の各種補正手法の適用は、必要に応じて、対流圏遅延補正、電離層遅延補正、電子基準点データ (GNSS 補正) や多項式曲面近似式等による長波長補正を実施するものとする。

第3節 干渉 SAR 時系列解析

(干渉 SAR 時系列解析)

第26条 前条で得られた SAR 干渉画像を用いて、干渉 SAR 時系列解析を実施する。

<第26条 運用基準>

1. 干渉 SAR 時系列解析は、スタッキング法又は SBAS 法を用いることを標準とする。
2. 干渉 SAR 時系列解析は、北行軌道及び南行軌道それぞれについて、以下の項目の作業を行うことを標準とする。

- (1) 位相連続化处理
- (2) 位相連続化处理画像の確認
- (3) 長波長誤差の補正
- (4) ジオコード
- (5) 位相最適化处理 (SBAS 法のみ)
- (6) 変位速度の推定

(1) から (4) までの処理は、前条で得られた全ての SAR 干渉画像に対し、個別に処理を行い、その結果得られたデータを用いて変位速度を求める。

【解説】

- (1) 位相連続化处理とは、SAR 干渉画像の位相情報を連続した変位量に戻す処理をいう (図4)。

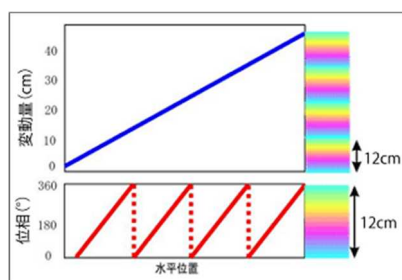


図4. 位相連続化处理の模式図

- (2) 位相連続化が正常に処理されているか確認を行い、正常に処理されていない場合には、修正を行う。
- (3) 長波長誤差の補正は、SAR 干渉解析で適用していない場合、必要に応じて実施する。
- (4) ジオコードとは、ここでは、位相連続化处理後に得られた画像を等緯度・等経度の画像にリサンプリングする処理をいう。

- (5) 位相最適化処理とは、SBAS 法により観測日の最適な変動量を求める処理をいう。
- (6) SBAS 法による場合には、最適化された観測日の変動量に基づき変位速度を求める。
スタッキング法による場合は、以下の手順で変位速度を求める。

- 一 位相連続化処理画像毎の変位速度の算出
- 二 平均変位速度の算出

【解説】

- 一 位相連続化処理画像毎の変位量が一定の速度で変化したと仮定して変位速度を求める。
 - 二 ここで得られる位相連続化処理画像毎の変位速度を全て平均して変位速度を求める。
- ・ 変位速度は、北行軌道及び南行軌道のそれぞれにおいて求め（衛星視線方向の変位速度）、この結果を後続の 2.5 次元解析に用いる。
 - ・ スタッキング法は、時間的に不規則な水蒸気による誤差等が軽減され、一定の速度で継続する変動を抽出することに適している。そのため、調査対象期間内に、顕著な地震時変動が生じた場合や一時的に変動が生じたことが明らかな場合には適用できないことに注意が必要である。

(2.5 次元解析)

第 27 条 前条で得られた北行軌道及び南行軌道による変位速度を用いて、2.5 次元解析を実施する。

【解説】

前条で得られた北行軌道及び南行軌道の変位速度は、それぞれ西側上空、東側上空からの異なる 2 方向の変位速度である。これらの方向は、ほぼ東西方向及び上下方向の平面上になるため、これら 2 方向の変位速度を用いることで、準東西方向と準上下方向に分離することができる（図 1）。この手法を 2.5 次元解析という。2.5 次元解析で得られた準上下方向の変位速度を、第 2 章で示す衛星 SAR 地盤変動測量成果等を用いた上下変動測量に用いることができる。

(変位速度データファイルの作成)

第28条 前条までに得られた北行軌道及び南行軌道における衛星視線方向、準上下方向、及び準東西方向の変位速度それぞれについて、変位速度データファイルを作成する。

<第28条 運用基準>

変位速度データファイルは、北行軌道及び南行軌道における衛星視線方向、準上下方向、準東西方向それぞれに作成し、本マニュアルで規定する様式に基づき作成するものとする。格納する情報は、次を標準とする。

- 一 画像位置情報（緯度、経度）（単位：度）
- 二 緯度方向、経度方向のグリッド数
- 三 グリッド間隔（単位：度）
- 四 変位速度（cm/年）

第4節 成果等の整理

(成果等の整理)

第29条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 変位速度データファイル
- 二 作業記録
- 三 その他資料

<第29条 運用基準>

作業記録は、SAR 干渉解析、干渉 SAR 時系列解析に適用した解析条件（使用衛星データの諸元情報、干渉ペアの選択条件、使用観測データの一覧、干渉ペアの一覧等）をまとめた資料とする。

第4章 資料

標準様式

ここで示す様式以外は作業規程の準則付録4標準様式を準用する。

- | | |
|-----|---|
| 様式1 | 上下変動量計算 精度管理表 |
| 別紙1 | 衛星 SAR 地盤変動測量成果等による変位速度データ、
準上下変動量データ及び上下変動測量成果データファイル形式 |
| 別紙2 | 変換パラメータファイル形式 |

上下変動量計算 精度管理表

地 区 名				作業機関名			
調査期間	自 至	年 年	月 月	日 日	作 業 者		点 検 者

水準点 番 号	水準測量成果			干渉 SAR 時系列解析	調整後	較差 ② - ①	備考
	緯度	経度	高低差①	高低差	高低差②		
	°	°	cm	cm	cm	cm	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
				最小値 (cm)	.	.	
				最大値 (cm)	.	.	
				平均値 (cm)	.	.	
				標準偏差 (cm)	.	.	
				RMS 誤差 (cm)	.	.	

衛星 SAR 地盤変動測量成果等による
変位速度データ、準上下変動量データ及び
上下変動測量データファイル形式

データ形式・格納方法

- 1) データ形式は、GeoTIFF 形式のバイナリファイルとする。
- 2) データは、等緯度・等経度間隔の値とする。
- 3) 緯度・経度は、度単位とする。
- 4) 変位速度データの単位は cm/年、準上下変動量データ及び上下変動測量成果データの単位は cm とする。
- 5) 座標系は、日本測地系 2024 (JGD2024) とする。
- 6) 緯度・経度及びデータは、グリッド（ピクセル）中心位置の値とする。
- 7) データの格納順は、西北端を開始点とし、西から東の順に格納したデータを、北から南の順に格納する。
- 8) 開始点の座標値（緯度・経度）（単位：度）、グリッド（ピクセル）サイズ（単位：度）、グリッド数（画像サイズの幅と縦）を格納する。
- 9) ファイル名に、調査対象期間（yyyymmdd-yyyymmdd）を明示する。

上下変動測量 変換パラメータファイル形式

データ形式・格納内容

- 1) データ形式は、テキストファイルとする。
- 2) 変換パラメータ計算プログラムの出力ファイルとすることができる。
- 3) 次の情報が格納されたものとする。
 - i) パラメータ数
 - ii) 推定されたパラメータと各パラメータの標準偏差
 - iii) 入力データ及び残差（経度、緯度、水準測量による標高差、SAR による標高差、水準測量と SAR の標高差の差）

変換パラメータファイルの例

```
# Num of paramters
4
# Standard deviation
3.516229602891524e-01
# Parameters (coeff and stddev)
-7.259346117902985e+03    6.395277773888772e+04
5.195363882935712e+01    4.557982627400666e+02
2.148619173659814e+02    1.804752555437663e+03
-1.537408374049519e+00    1.286265974358282e+01
# Data (lon lat obs cal o-c)
140.1933271800  35.5527492900    0.5668    0.2989    0.2679
140.2099999200  35.5472331900    0.5553    0.2577    0.2976
140.2322878600  35.5423979700    0.4409    0.2011    0.2398
140.2563950500  35.5326009100    0.2023    0.1438    0.0585
140.2737874800  35.5302428200   -0.0735    0.0992   -0.1727
140.2950724200  35.5209931100   -0.1996    0.0500   -0.2496
140.2859094900  35.5358252900   -0.1821    0.0622   -0.2443
140.1530090800  35.3896877100    0.2439    0.5076   -0.2637
140.1645104200  35.3822561300    0.2318    0.4840   -0.2522
```

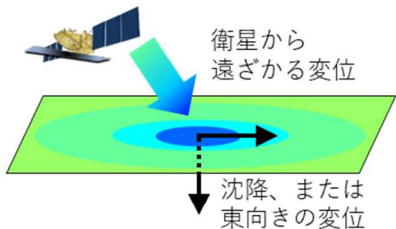
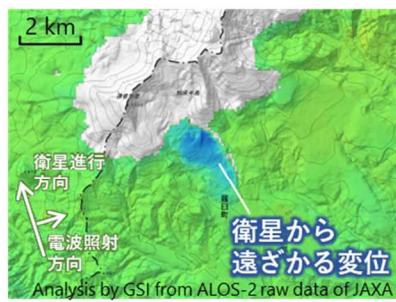
干渉SAR時系列解析結果の解説

国土地理院の干渉SAR時系列解析結果は、解析に用いたデータ期間における平均的な変位速度（1年あたりの変位量）を表しています。変位速度の画像として、衛星視線方向（地表と衛星を結ぶ方向）、準上下方向※、準東西方向※の異なる種類の画像が閲覧できます。さらに、衛星視線方向の画像には、衛星の進行方向によって北行軌道（西側から観測）と南行軌道（東側から観測）の2種類の画像があり、それぞれ画像が表す変位の向きが異なります。

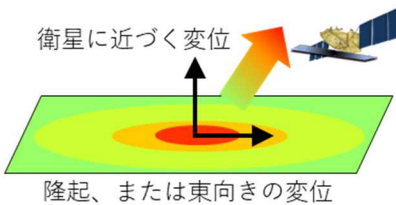
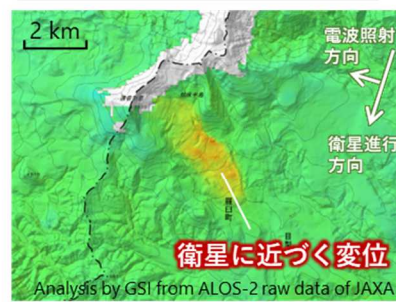
※ 準上下方向、準東西方向の「準」とは、解析により得られた地表の変位の方向が、東西方向、上下方向からわずかにずれていることを示しています。

干渉SAR時系列解析結果の見方（知床半島）

衛星視線方向【北行軌道】



衛星視線方向【南行軌道】



衛星に近づく
衛星から遠ざかる

衛星視線方向の変位速度 [cm/年]

色と変位速度の関係

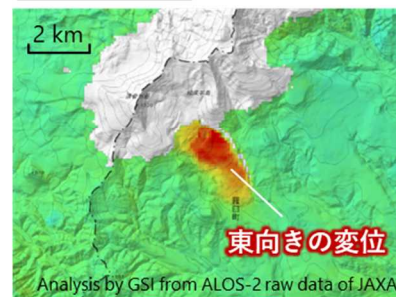
色が青色に近いほど、衛星から遠ざかる変位速度が大きく
赤色に近いほど、衛星に近づく変位速度が大きいことを示しています。

同じような変位を観測した場合でも、観測する向き（北行軌道か南行軌道か）により、色の表す変位の向きが異なりますので、北行軌道か南行軌道かを意識して結果を見る必要があります。

準上下方向



準東西方向



沈降／西向き
隆起／東向き

準上下方向／準東西方向の変位速度 [cm/年]

色と変位速度の関係

色が青色に近いほど、沈降あるいは西向きの変位速度が大きく
赤色に近いほど、隆起あるいは東向きの変位速度が大きいことを示しています。

準上下方向及び準東西方向の変位速度は、北行軌道及び南行軌道から得られた衛星視線方向の変位速度を、上下、東西方向に変換したものです。衛星視線方向の変位速度に比べ、正確に上下方向や東西方向の変化がわかります。