

ALOS/PALSAR データの干渉 SAR 測量への利用とデータ処理・解析システムの構築概要
 Utilization of ALOS/PALSAR Data for InSAR Survey Project and
 Construction of Data Processing/Analysis System

測地部

和田弘人・松坂 茂・藤原 智¹・仲井博之²・藤原みどり・雨貝知美

Geodetic Department

Kozin WADA, Shigeru MATSUZAKA, Satoshi FUJIWARA, Hiroyuki NAKAI,
 Midori FUJIWARA and Tomomi AMAGAI

地理地殻活動研究センター 飛田幹男・福崎順洋・矢来博司

Geography and Crustal Dynamics Research Center

Mikio TOBITA, Yoshihiro FUKUZAKI and Hiroshi YARAI

要 旨

国土地理院は、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)に搭載されているLバンド合成開口レーダ(PALSAR)の観測データを用いて干渉 SAR 解析を定常的に実施する。

干渉 SAR による解析の成果は、他の GPS・水準測量等と同様に、高精度地盤変動測量の一つとして位置づけられている。干渉 SAR を測量業務として継続して実施するためには、全国を隈無く繰り返し観測するデータが必要である。そのため、国土地理院は宇宙航空研究開発機構に、全国をカバーし、かつ一部地域について高頻度に観測を行う基本観測要求を提案している。また、大規模災害発生時の緊急対応を考慮した観測案も併せて提案している。

また、国土地理院は、宇宙航空研究開発機構から定期的に提供される大容量の観測データを、効率的に処理・解析するためのシステムを設計・構築してきた。システムは「前処理システム」、「高次処理支援システム」、「高次処理システム」から構成され、これらが連携して、観測データの管理から干渉解析による成果の作成まで、一貫して干渉 SAR に関わる全ての処理を行う。

構築した処理・解析システムを用いて、「だいち」の校正検証期間の開始から現在までに、いくつかの地域の緊急解析を実施してきた。この内、第 105 回火山噴火予知連絡会で、「だいち」の定常運用後初めて、硫黄島の干渉 SAR 解析の成果を提出・公表した。

干渉 SAR の定常解析は今後、地盤沈下・火山地域の特定期域について、年 1～数回程度の頻度で情報を更新し公表する予定である。また将来には、定常解析の範囲を広げ、全国土をカバーした地殻・地盤変動図を作成する予定である。

1. はじめに

国土地理院はこれまで、SAR データによる定量的な地殻・地盤変動計測の実利用に向けて、解析手法

ならびにそれらに必要なソフトウェアの研究開発を 1994 年から行ってきた。これ以降、今日まで地震・火山による地殻変動や(例えば、村上ほか, 1995; Tobita et al., 2001; Fujiwara et al., 2006), 地盤沈下(中川ほか, 1999; 藤原ほか, 2005)など、地表の変動現象を様々なスケールで捉えることに成功してきた。

これらの研究開発の成果を基に、平成 16 年度からの第 6 次長期基本測量計画では、高精度地盤変動測量として、2006 年 1 月に宇宙航空研究開発機構(以下、「JAXA」という。)により打ち上げられた陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS: Advanced Land Observation Satellite) (以下、「だいち」という。)の合成開口レーダ(PALSAR: Phased Array L-band Aperture Radar)を用いて、干渉 SAR の技術を一般的な測地測量のツールとして利用することが提示されている。これに合わせて測地部は、干渉 SAR 解析を定常業務とする部門として、宇宙測地課に地球変動観測係を設置した。宇宙測地課では、それまで地理地殻変動研究センターで設計・開発が進められてきた干渉 SAR のための統合的なデータ処理・解析システムを引き継ぎ、ALOS/PALSAR データの定常利用に向けて改良を行ってきた。

本稿では、2 章で干渉 SAR の特徴と利点の概要を述べる。次に、干渉 SAR 解析を定常的な測量業務として実施する上で必要な、PALSAR データに係わる国土地理院の観測要求と、JAXA の PALSAR 観測スケジュールを示す(3 章)。4 章では、JAXA から提供されるデータを扱うためのデータ処理・解析システムの各機能の概要を説明する。最後に、干渉 SAR の成果提供の方針とこれまでに行った解析例、今後 5 年程度の成果の目標を示し(5 章)、今後のシステムの課題について述べる(6 章)。

2. 干渉 SAR の特徴

干渉 SAR は、これまでの測地測量技術とは大きく

異なる特徴を有する。これについて、干渉 SAR を現在の測地測量の主力である GPS と比較し、その利点について簡単に以下に述べる。また海外の SAR 衛星にはない、ALOS/PALSAR の利点について述べる。

2. 1 干渉 SAR と GPS との比較

干渉 SAR と GPS の比較を表-1 に示す。干渉 SAR の最大の利点は、地上での観測機器を必要とせず、広範囲な地表の変化を面的な情報として得られることである。この特徴により例えば、災害発生時等に、観測対象地域への到達が困難な場合であっても、その地域の地表の変動の様子を一様に面的に捉えることができる。また、PALSAR は「だいち」に搭載されている他の光学センサと異なり、能動センサであるので昼夜に関係なく、また雨天など観測領域の天候状況に左右されずに地表を捉えることができる。

逆に GPS と比較して不利な点は、定常観測の間隔が 46 日（「だいち」の周回期日数）毎と、特定の領域の変動を連続的に捉えることができない点や、変動量が 3 次元ではなく、衛星と地表間の視線方向上の変化（衛星の方向から見て“近づく”か“遠ざかる”）のみであるので、実際の地表の動きに対する、解析結果の解釈が難しい場合等がある。これらについては、緊急時にセンサの観測モードを変更し、隣接する地域を観測できるようにすることで、観測の間隔を短くしたり、2 方向からの観測結果を組み合わせることで解析的により立体的に地殻変動の情報を得ることで、不利な点のある程度までカバーすることが可能である (Fujiwara et al., 2000)。

表-1 地表変動観測での干渉 SAR と GPS の違い

比較項目	干渉 SAR	GPS
地上の観測設備	不要	現地に受信機が必要
情報の広がり	面的	点・線的
観測時期	数十日に1回	24時間可能
連続観測	不可能	可能
変動量の絶対値	直接求められない (解析によって可)	観測可能
測定量の次元	1次元 衛星-地表の視線方向	3次元

2. 2 Lバンド SAR の利点

衛星に搭載されている SAR センサには、海外のものも含め、様々な帯域のものがある。海外では主に C・Xバンドのレーダが用いられている。日本では過去の JERS-1 衛星から Lバンドを採用しており、「だいち」もセンサ名が示すとおり、Lバンドを搭載している。センサの帯域の違いは、地表の変化量

の検出精度に関係し、Cバンドでは1波長の長さは約 4 cm、これに対してLバンドでは約 24cm であり、変動量の検出精度としては、Cバンドの方が高い。しかし一方で、センサの帯域は、先の検出精度とは別に干渉性にも関係する。図-1 は、平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震の震源域周辺を例にした、CバンドとLバンドの干渉 SAR の干渉性の範囲の違いを示したものである。左図はCバンドによる地震発生前後の解析であり、右図はLバンドによる同領域を地震のイベントを含まない時期に解析した結果である。この地震は震源域が丘陵地帯に広がっている。Cバンドの解析では、干渉が得られたのは平野部に限定されている。一方で、Lバンドではほぼ全ての領域で干渉している。このことから分かるように、Cバンドでは地表が森林等の植生によって覆われているような日本の国土では、地表の変動が捉えられずに適用範囲が限定されてしまう。これに対し、Lバンドでは平野部だけではなく、森林に覆われた山間部をも含めた広い範囲を、解析の対象とすることができる。

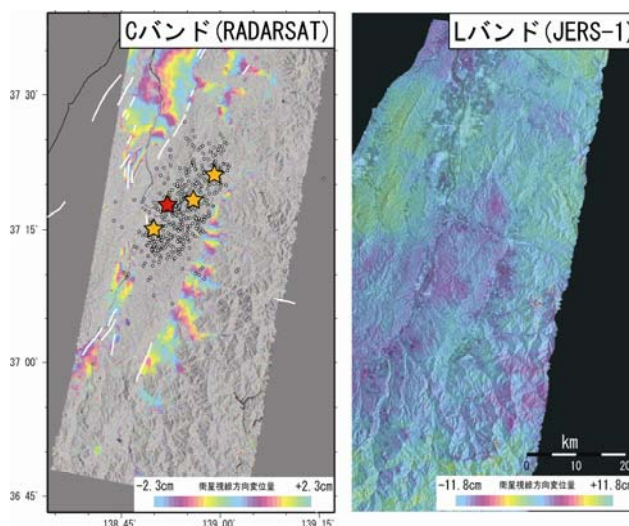


図-1 バンドの違いによる干渉の範囲の違い

(左)2004年10月1日~10月25日(Cバンド):© Canadian space agency, Agence spatiale canadienne 2004. Received by Canada Centre for Remote Sensing (CCRS). Processed and distributed by RADARSAT International. Enhancement and interpretation by GSI.

(右)1993年7月8日~10月4日(Lバンド): The data is processed and distributed by METI/JAXA. Enhancement and interpretation by GSI.

(★は本震・☆は同日の規模の大きい余震の震央位置)

3. 国土地理院の観測要求の方針

国土地理院は、JAXA との研究協定により、「だいち」の基本観測計画に対する要求で、主に地殻・地盤変動の監視を目的として、高頻度に観測する領域を提案している。また基本となる定常時の観測領域

の要求とは別に、災害等の緊急時に対応するための観測の要求も JAXA に提案している。以下にこれらの観測要求の概要を示す。

3. 1 基本観測要求

国土地理院は、干渉 SAR による高精度地盤変動測量の対象として、地震・火山・地すべり・地盤沈下の4つの事象を想定している。この内、地震・地すべりは、日本全国どこでも発生する可能性があるとして、特定の地域を定めずに、一部離島を除く範囲を要求範囲としている。また、これとは別に次に示す地域・対象については、より高頻度の観測要求を行っている（表-2）。

表-2 国土地理院 PALSAR 基本観測要求一覧
(A: Ascending 軌道 D: Descending 軌道)

解析の目的	解析対象/シーン数	取得見込み回数
地盤沈下情報の作成	日本の特定地域 13 シーン	A 5 回程度
地殻変動測量 重点観測	活火山 406 シーン	A 5 回程度
地殻変動観測 定常観測	日本全土 1750 シーン	A 3 回程度 D 3 回(東)1 回(西)
	世界の地殻変動 32000 シーン	A 1 回程度 D 3 年で 1 回程度

3. 1. 1 日本の特定地域 (13 地域)

図-2 に示す矩形領域は、全国の主要な平野部の地盤沈下監視地域をカバーするように設定されている。地盤沈下には様々な要因が存在し、日常生活・工業用水の利用の他、水田等の灌漑用取水や、冬期の道路融雪のための汲み上げ、天然ガスを含むかん水の採取、渇水時の生活用水への利用など多岐にわたる（環境省、2006）。これらの地域では、従来から地下水位の監視や、水準測量等により地盤沈下が監視されている。干渉 SAR では対象域の面的な変動量の情報を得ることで、これまでに知られていない地盤沈下地域の発見や、既往の水準観測路線の効率化のための地盤沈下情報を作成する予定である。

また、この領域では、地盤沈下の監視とは別に、地殻変動の強化観測地域、例えば関東平野南部や、御前崎を含む静岡平野では、高頻度に観測・解析を行うことで、定常的な地殻変動を捉えることを目指している。

3. 1. 2 活火山地域 (96 地域)

図-2 に示す三角で示した地点は、気象庁の活火山総覧に掲載されている陸域の火山である。干渉 SAR による火山の監視は、噴火前後数日～数週間の地殻変動の動きを捉える短期的な防災対応と共に、

定常的な解析により、数ヶ月～数年単位での中・長期的な火山活動のモニタリングを想定している。

この内、機動観測課や測地観測センター、気象庁地震火山部、大学研究機関等が特に活動を注目している火山については重点的に年3～4回程度、その他についても年1～2回程度の解析を常時実施し、研究者や防災担当者への情報提供を想定した成果の公表を行う予定である。



図-2 高頻度観測要求地域 (日本)

3. 1. 3 世界の地殻変動地域

JAXA への高頻度観測要求では、前述の日本国内の他にも、世界の地殻変動の様子を把握することを目的として、図-3 の赤枠内に示す世界の主要な変動地域も要求対象としている。これらの地域の干渉解析は、定常解析としてではなく、主に地殻変動の研究や、国際協力の枠組みとして、大規模な自然災害発生時の緊急解析成果の提供を目的としている。

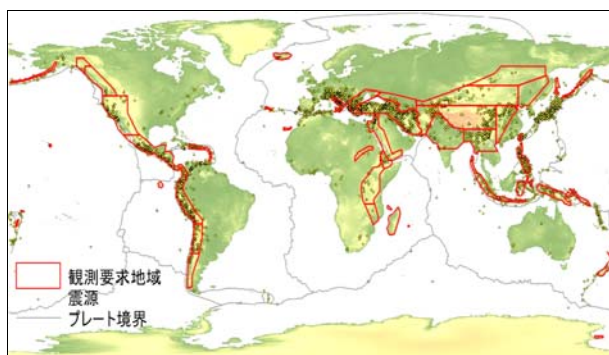


図-3 高頻度観測要求地域 (世界)

3. 2 PALSAR 観測スケジュール

PALSAR の基本観測計画は、様々な分野の要求を勘案して決定される。例えば、国土地理院が要求する地殻・地盤変動の監視の目的以外にも、農林業の分野では、農業用地の利用・作物や植生の生育状況の把握、海洋分野では流氷の状況把握やオイルなどの漂流物の範囲の特定、海流の動きの把握等での利用が検討されている。また、京都議定書の提案に沿った地域観測として、アマゾン森林域の広範な観測等も予定されている。PALSAR の多くのユーザーは環境モニタリング分野での利用が主であり、干渉 SAR を目的としたユーザーは一部である。環境モニタリングのための観測条件は、季節の限定や観測モードの違いから、国土地理院が望む条件とは必ずしも一致しない。このため、地殻・地盤変動の解析に定常的に用いる観測条件（34.3° 高分解能モード）のデータを、年間を通して絶えず取得することはできない。表-3 の今後2年間の PALSAR 基本観測スケジュールはこの状況を表しており、国土地理院は表中「GSI」の期間のデータを、定常解析で用いる予定である。なお、PALSAR は夜間の Ascending 軌道を主に利用する。これは、昼間の Descending 軌道では、光学センサと観測スケジュールを共有するため、PALSAR の観測量が限定されるためである。なお、基本観測スケジュールは今後、年に2回程度、各分野のユーザーの要望を受けて適宜改定が行われる予定である。

大規模自然災害等の発生時には、国土地理院も含め、防災に関わる関係機関の要求により、最優先で、緊急観測が行われる。「だいち」の観測は、観測モードを一つに固定すると、同一地域を46日に1回観測できる。干渉 SAR 解析を想定し、観測モードを既存のデータと同一にする必要がある場合、災害発生後の緊急観測は、平均して23日程度（1～46日の平均）待つ必要があり、災害状況把握として迅速な対応は期待できない。このため、緊急観測までの待ち時間を短縮するための戦略として、予め複数の入射角で対象領域を観測しておくベース観測を要求している。PALSAR は基本的に3つの入射角（21.5°、34.3°、41.5°）による観測が想定されている。基本観測は主に34.3°を使用するが（表-3中黄色）、他の2つの入射角に変更することで、同一の軌道上から隣接する範囲を観測することが可能となる。すなわち、同一衛星軌道上での観測モードの変更により、定常観測の3倍の範囲をカバーすることができる。このため、ベース観測として、予め3つの入射角で日本全域を観測しておけば、緊急観測の際には期待値として、先の平均23日の1/3の8日程度の待ち時間で災害地域の観測が可能となる。国土地理院では、基本観測の初期に3つの入射角によるベース観測を要求し（表-3中7～9Cycle）、このデータを災害発生時に実施する干渉 SAR 解析のマスターデータとして取得する予定である。

表-3 日本周辺域の PALSAR 基本観測スケジュール

年	2006			2007												2008								
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Satellite cycle	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22								
Ascending	日本全国土	21.5	GSI	41.5				FBD	FBD	FBD				GSI	GSI	GSI	FBD	FBD	GSI	FBD				
Descending	東日本				GSI				GSI	GSI								GSI				GSI	GSI	
	西日本		GSI											GSI										

GSI	34.3° 高分解能モード
21.5	21.5° 高分解能モード
41.5	41.5° 高分解能モード

FBD	34.3° 低分解能モード
Ascending 軌道 夜間(PALSARセンサのみ)	
Descending 軌道 昼間(光学センサと共用)	

4. データ提供と処理・解析工程

4. 1 PALSAR データの処理・解析の流れ

国土地理院には、前述の基本観測要求に基づいて、該当する領域全ての L0 形式フォーマットデータ（以下、「L0 データ」という。）が提供される。初めに干渉 SAR 解析に用いる強度・位相情報画像を得るためには、L0 データに対して各種処理を行う必要がある。また、提供されるデータは最終的には数万シーンに上るため、これらを効率的に管理し、解析者の方針に応じて干渉処理に用いるペアデータのシーン検索等を行う必要がある。図-4 に国土地理院の PALSAR データの提供から成果公表までのデータ処理・解析

の流れを示す。

提供される L0 データは、一般ユーザーが入手するシーン単位の形式ではなく、「だいち」から地上局に送られてくる受信信号に近い、低次レベルのデータである。このため、最初に PC 上で扱うための、ファイルシステム形式への変換が必要となる。L0 データは、「だいち」が特定の観測モードでセンサの起動から終了までの一連の観測シーケンスの集合データ（以下、「ダウンリンクセグメント」という。）である。一つのダウンリンクセグメントには、数～100 シーンのデータが含まれている（図-5）。このため、ダウンリンクセグメントを、個々のシーン単位に切

り出した一般的な L1.0 形式フォーマットデータ(以下、「L1.0 データ」という。)へ変換する必要がある。これらの処理を行うと同時に、観測データならびに衛星軌道情報をデータベースに登録するまでの処理工程を「前処理」という。

L1.0 データは PC 上で扱え、シーン単位に切り出されたデータであるが、依然としてセンサの受信信

号のままであるので、これに信号圧縮処理を行い画像化する(再生処理)ことで、干渉処理のための強度・位相画像となる。このデータを用いて干渉 SAR の解析を行い、最終的に経緯度情報を付与(ジオコード)した成果物を作成するまでの処理工程を「高次処理」という。次にこれらの工程を実現する各システムの機能について述べる。

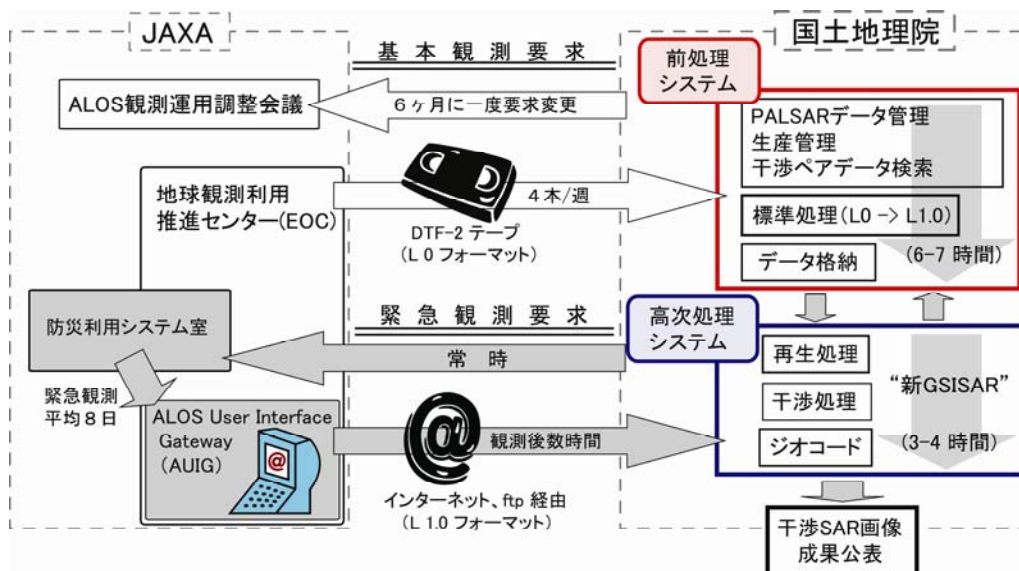


図-4 PALSAR データ処理・解析システム内の流れ

```
Downlink segment: W0144364002-06
Observation time(UTC): 20060616 13:11:46 - 20060616 13:26:54
Total including/segment scene numbers: 109/109
Path number: 410
Operation mode: A FBS 41.5
region = 125.832/142.173/21.707/75.463
```

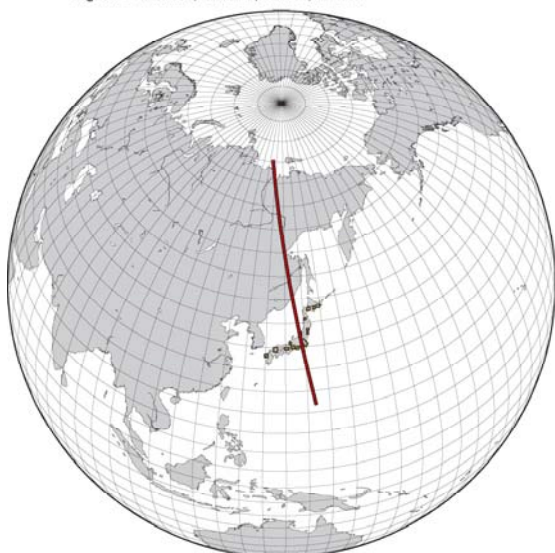


図-5 ダウンリンクセグメント(109 シーン分)の例

4. 2 JAXA による PALSAR データ提供

基本観測要求では、図-4 中白抜き矢印の流れに従い、国土地理院の要求に合致する観測条件の L0 データを、DTF-2 テープにより提供を受ける。

ALOS/PALSAR は、1 週間にデータ容量にして 2.8Tbyte 程度の観測を実施するが、この内、国土地理院の観測要求に合致するデータは 900Gbyte 程度である。国土地理院は 1 週間に 4 本程度のデータの提供を受け、シーン数にして 600~800 シーンを定常的に前処理する必要がある。図-6 は、観測要求に沿った今後 3 年間の PALSAR データの受領予定量を示す。表-3 の観測スケジュールに従い、年間を通して平均的にデータが得られるわけではなく、かなりの変動が予想され、瞬間的には現在の前処理システムで処理を行える限界を超える月もある。

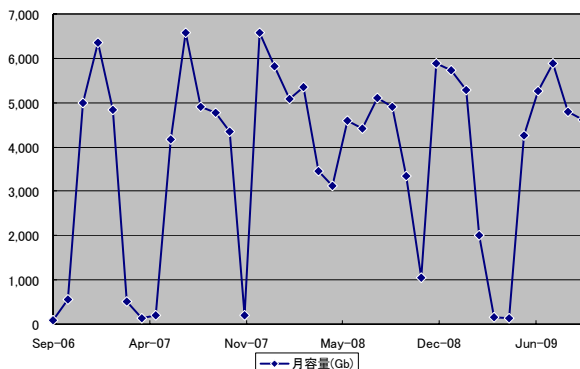


図-6 基本観測要求の月間データ提供予定量

前述の基本観測要求とは別に、緊急観測要求では、成果提供を迅速に行うため、物理媒体によるデータの提供ではなく、JAXAのWebによるデータ提供システムであるAUIGを経由してシーン単位でのL1.0データを取得する(図-4中灰色の矢印の流れ)。この場合、L1.0データに対して前処理を行う必要はなく、直接高次処理へデータを渡すことができる。なお、1シーンあたりのL1.0データの容量は、300~800Mbyte程度である。

4.3 前処理システム

前処理システムは、図-10中赤枠内に示したサーバ群で構成され、L0、1.0データおよび、「だいち」軌道情報他を入力データとして、以下の処理を行う。

- ・L1.0、1.1、1.5画像作成(標準処理)
- ・ブラウザ画像およびサムネイル画像作成
- ・画像情報データベース登録
- ・軌道情報データベース登録
- ・生産管理
- ・画像位置、火山、電子基準点、気象、地形の各データをGISにより同時表示
- ・干渉処理を念頭に置いて、干渉可能な画像同士をペアとして管理
- ・基線成分・時間間隔・気象などをキーに干渉可能な画像ペアを検索

前処理システムの運用者は、運用者端末(図-7)を通じて、データ管理サーバに処理を依頼する。システム全体の管理情報はこのサーバに収められており、管理サーバは、処理内容に応じて、各専用処理サーバ(簡易再生サーバ・標準処理サーバ)に処理を依頼する。処理の対象であるL0データは、DTF-2テープから一次データサーバに読み込まれた後、必要に応じて各サーバへ読み出される。

前処理システムでの標準的な処理の流れは以下のようなになる。

- 1) DTF-2のL0データに付随する観測情報・軌道情報データを前処理システムに登録する。
- 2) 1)で登録された観測情報データを基に、運用者が各シーンに対応するサムネイル画像を作成するために、簡易再生処理を実行する。
- 3) 簡易再生処理に伴って、生成された諸情報を基に、運用者が登録されたシーンの検索を行う。
- 4) 3)で検索したシーンと、干渉可能なシーンを検索し、ペアデータの抽出を行い、高次処理のためのL1.0データと諸情報を準備・作成する。

なお、緊急観測等により、提供されるL1.0データも、別途前処理システムへ登録される。

干渉SARは、他の測地測量データとは異なり、画像データを扱うことから、前処理・高次処理を経ても、データ容量はそれほど減らない。むしろ、干渉

処理により、理屈の上ではnシーン分のデータから、 nC_2 の組み合わせ分の成果が作成できることから、中間ファイルを含めると、元のデータ容量よりも膨大になる。このため、前処理システムでは、運用者が登録された観測情報を基に、ペアデータ検索を行い、高次処理のための、L1.0データを準備する段階で初めて、L0データをシステムに読み込む。

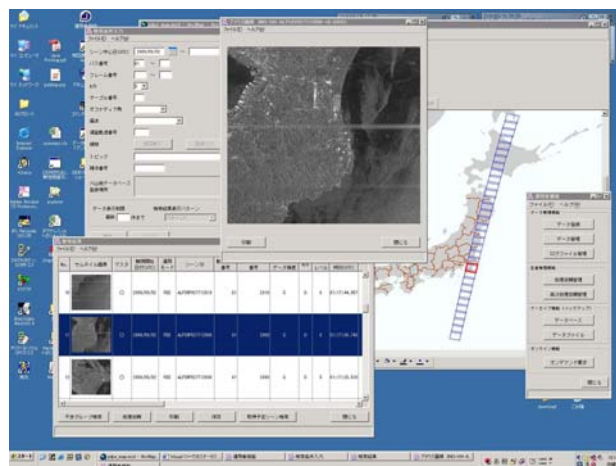


図-7 前処理システム運用者端末画面

4.4 高次処理支援システム

前処理は、検索機能を除き、基本的には一人の担当運用者が、L0データの処理を実行するために処理系全体を占有するシングルタスクのシステムである。これに対して高次処理は、複数の解析担当者が個々の高次処理解析装置で干渉解析を行う、ゆるやかに結合されたマルチタスクのシステムである。

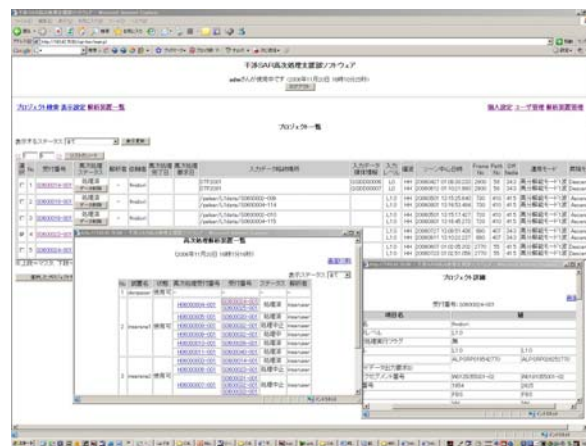


図-8 高次処理支援システム Web 画面

高次処理支援システムは、各々が独立して機能する高次処理解析装置をネットワークにより束ね、高次処理システム全体の稼働状況の監視と、過去の干渉処理情報を管理する。また、前処理システムから各高次処理解析装置へのデータ配信を行う。高次処

理支援システム自体は高次処理管理装置（図-10）に置かれ、Web アプリケーションとして動作する（図-8）。複数の解析担当者は、それぞれ Web 上から各高次処理解析装置の動作状況を確認しつつ、どの高次処理解析装置で解析を行うかを選択する。選択を受けて、支援システムが高次処理に必要なデータセットを所定の高次処理解析装置に転送・準備する。

4. 5 高次処理システム（新 GSISAR）

高次処理システムの中心は、干渉処理ソフトウェアの「新 GSISAR」である（図-9）。本ソフトウェアは、地理地殻活動研究センターが中心となり開発してきた、コマンドラインベースの JERS-1/SAR 用のソフトウェア「GSISAR」の機能を改良し、GUI の実装により、解析担当者が容易に解析を実行できるよう操作性を向上させたものである。新 GSISAR はそれ自体、単独で機能するが、高次処理支援システムとの組み合わせにより、前処理システムからのデータ提供を受けることで、解析者が手動で個々のデータを取得・管理する作業が不要となる。また、新 GSISAR

は、ある程度のスペックを有する任意の LinuxPC にインストールすることで解析環境を容易に構築できることから、これをインストールした LinuxPC を高次処理支援システムを介して、ネットワーク内に高次処理解析装置として登録することで、容易に高次処理システムを拡張することができる。

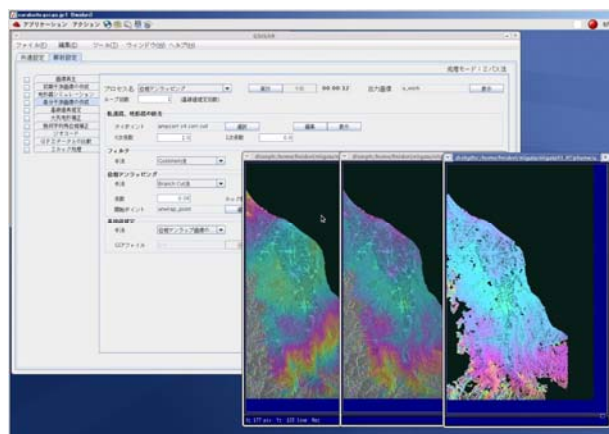


図-9 高次処理システム（新 GSISAR）画面

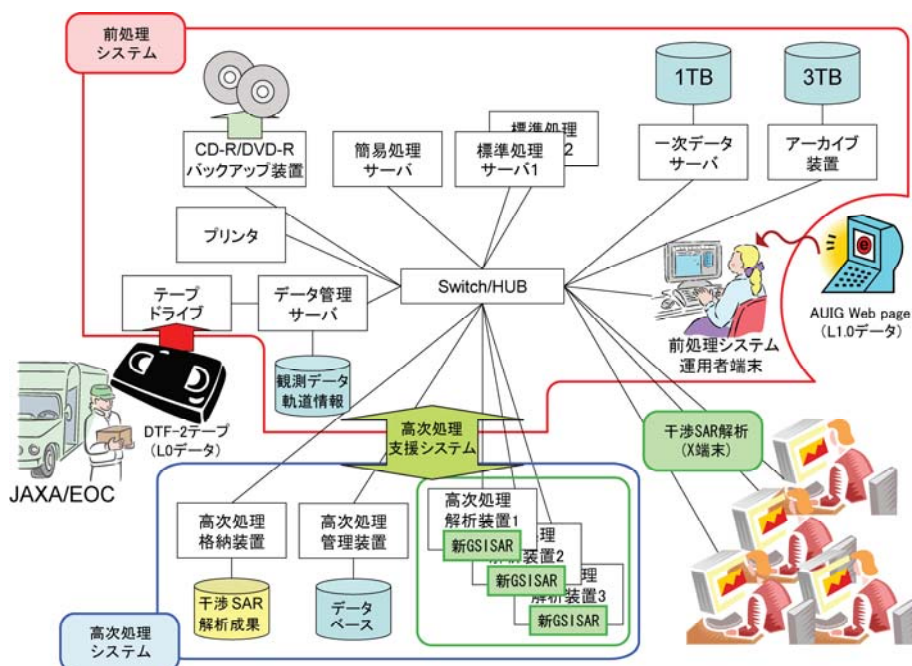


図-10 ALOS/PALSAR データ処理・解析システム全体図

4. 6 前処理・高次処理システムの処理能力

前処理および高次処理に必要な時間は、標準的な処理の場合、4. 3章で示した1)～4)を行い、高次処理システムに L1.0 データを渡すまでに、6～7時間を要する。高次処理システムでは、個々のシーンについて、解析者が干渉処理に要する時間は3～4時間程度である。

このことから、前処理システムは、1日に DTF-2テープ1本程度のデータに対する処理能力があり、

週平均4本分のデータ提供に対して、それほど余裕は無いが、十分処理可能であると言える。一方、高次処理システムでは、新 GSISAR の導入によって、解析担当者は1日に2～3シーン（シーン連結を考慮すれば最大6～9シーン分）程度を処理することができる。この分量は、日本全国を定常的にカバーして解析することは現状では難しいが、3章で示した、日本国内の特定地域を定期的に解析することは可能である。

また、現在のシステムを用いれば、例えば災害対応等で緊急解析を実施する場合、保有している L0 データから解析成果を作成するには 1 日程度、AUG 経由で直接 L1.0 データが得られれば、前処理システムを経由せずに直接高次処理から開始できるため、データ受領後、半日程度で解析結果を得ることができる。

5. 干渉 SAR の成果提供の方針

5. 1 定常解析

高精度地盤変動測量では、定常解析として発生場所がある程度特定され、中～長期間継続する定期的な変動を示す地盤沈下・火山活動等の監視を想定している。

地盤沈下はその原因から、経年変化を捉えると同時に季節的な変動パターンも捉えることが重要である。解析に際しては、当該地域の地盤沈下を最も良く捉えられる時期の解析を行い、当面は水準路線の効率化の基礎資料の作成を目標とし、最終的には、地盤沈下情報についての主題図の作成を目指す。

火山活動については、火山地域とその周辺の準定常～低速な地殻変動の監視を目的として、大学・関係機関等により重点的に監視されている火山を中心に、観測データが得られ次第順次解析を行う。成果は解析の都度更新し、Web 上での公表のほか、火山噴火予知連絡会等への基礎資料として提出する予定である。

これらの成果の提供について、干渉 SAR の有用性を広く認識し、利用してもらうために、Web ページを通じて一般への情報提供のほか、研究・防災担当関係者の利用を想定し、以下のような情報を併せて提供する予定である。

(一般向け)

- ・干渉 SAR による変動図に地形図を重ね合わせた画像および概要解説文

(専門家向け)

- ・経緯度情報を有する変動量テキストデータ
- ・干渉処理の諸解析条件 (用いたデータ・軌道情報等)
- ・GPS による水蒸気量の空間的なばらつきの大さき指標

専門家には、干渉 SAR の結果を、精度・誤差要因等の理解を前提とした上で、他の成果と重ね合わせて利用してもらうことを想定し、経緯度情報を付与した単純なテキストデータだけではなく、例えば一般的に普及している GIS ソフトや Google Earth 等のフォーマットによる成果の提供も予定している。また、干渉 SAR 画像には多くで、大気中の水蒸気擾乱による伝搬遅延の影響が見られ、水蒸気擾乱の大きさが地表の変動を見る上で直接誤差になる (藤原ほ

か, 1998)。現時点ではこの影響を定常処理の中で取り除くことは難しいことから、例えばこの影響の大きさを提示する指標として、雨貝 (2006) による GPS による水蒸気量擾乱指数の情報 (図-11) を併せて提示することで、利用者が干渉 SAR の成果を見る上での、判断材料の 1 つを提供することも考えている。

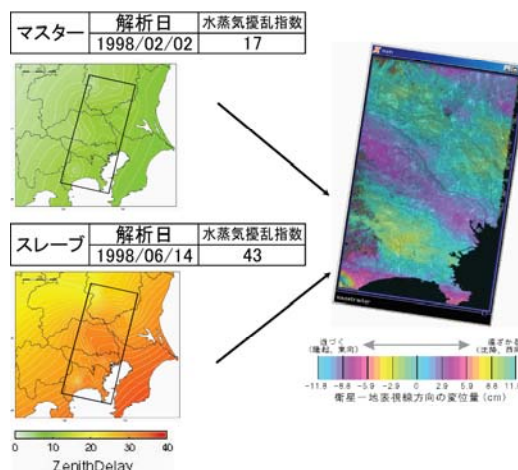


図-11 GPS から推定した水蒸気量擾乱指数 (雨貝, 2006)

5. 2 緊急解析の成果提供

地震・火山噴火や地すべり等の自然災害の発生時には、その周辺領域の緊急観測要求と解析を実施し、地殻・地盤変動の情報を被害地域の分布推定や、断層位置・地すべり等の把握に活用する予定である。

「だいち」打ち上げ後、5月中旬の初期校正運用から、定常運用に移行した11月現在までに、宇宙測地課と地理地殻活動研究センターで、表-4に示す地域を対象に、防災対応として緊急観測要求および解析を実施してきた。

表-4 これまでの緊急解析の対象

解析の対象	解析期間	イベント
ムラピ山及び南部地域 (インドネシア)	4/29・6/14	火山・地震
桜島	5/26・7/11	火山
十勝岳	5/17・7/2	火山
箱根山	8/20・10/5	火山
硫黄島	8/1・11/1	火山
口永良部島	8/26・10/11 9/17・11/2	火山

この内、国土地理院は、「だいち」の定常運用段階以後、11月14日に行われた第105回火山噴火予知連絡会に、対外的に初めての解析成果 (硫黄島・口永良部島) を提出・公表している (図-12)。

「だいち」は周回軌道の性質として、観測を行う

領域上空を現地時間の午前・午後 10 時半前後に通過する。前述実際に行われた緊急観測では、日本国内の場合、午前 10:30 頃に観測されれば、その後 5 時間程度で、JAXA による Web を通じた L1.0 データの配信通知から、国土地理院側でのダウンロードまで完了することができる。このため、当日の夜には一応の解析が終了し、翌日昼頃には成果の提供が可能

となる。また、夜間の観測の場合、JAXA からのダウンロード通知は翌日午前となるので、データのダウンロード後、干渉解析を経て夕刻頃には成果提供が可能である。

これらの試験運用の経験から現状では、緊急解析で「データが得られれば」、翌日中には成果を提供することが可能である。

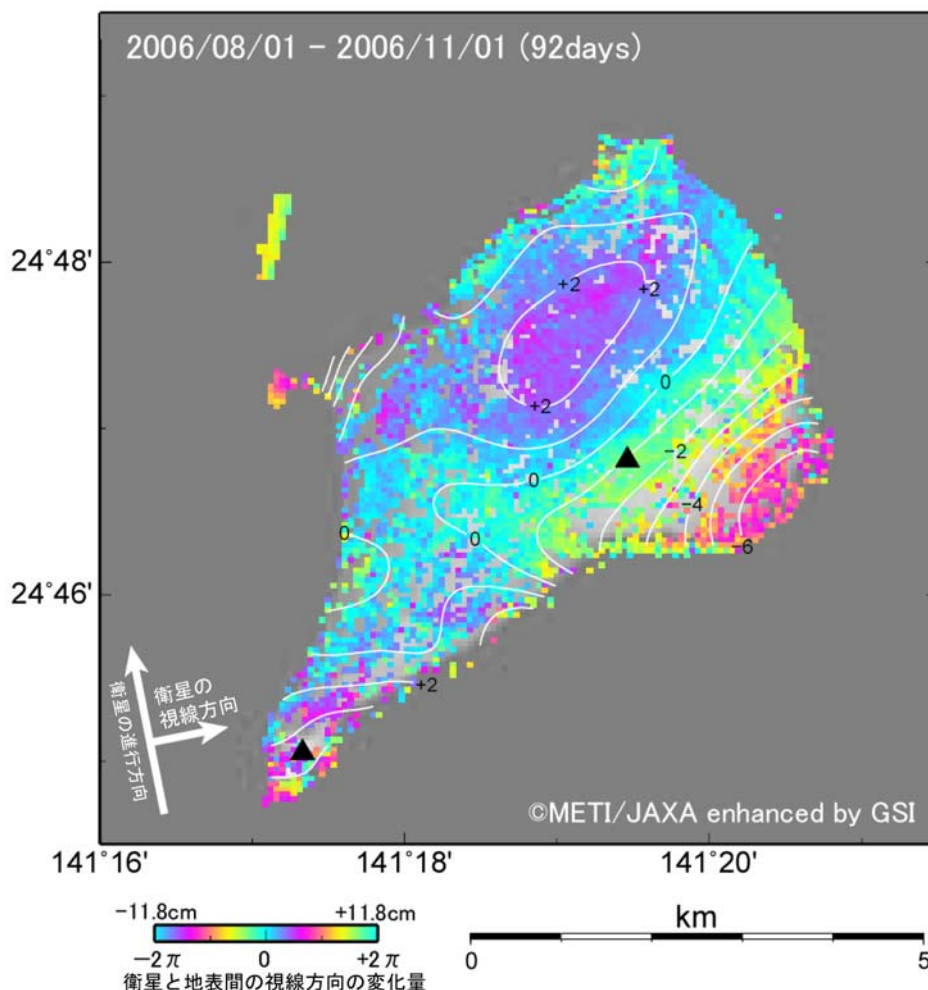


図-12 ALOS/PALSAR データの干渉 SAR 解析で得られた硫黄島の地殻変動（国土地理院ほか、(2006) に一部加筆）。色は衛星の視線方向の距離の変化を示す。コンター間隔は 1 cm。衛星が西側上空から観測しているため、衛星に近づく変位は、隆起・西南西方向への変位が卓越することを示す。これとは逆に衛星から遠ざかる変位は、沈降・東北東への変位が卓越することを示す。

5. 3 長期的な成果作成の展望

「だいち」は仕様上、定常運用段階として打ち上げ後の 3 年間、衛星の機能が維持されれば全体で約 5 年間の運用が見込まれている。この間に干渉 SAR 解析は、地盤沈下・火山地域等の地殻・地盤変動地域の数ヶ月～1 年毎の定期的な成果作成を目指す。また、この解析の実施と並行して、解析の適用範囲を徐々に特定地域の外に拡大し、5 年程度後、すなわち ALOS/PALSAR のデータ利用の集大成として、全国土をカバーした地殻・地盤変動地図の作成を予定

している。

解析の範囲を広げ、全国土の地盤・地殻変動地図を作成するには、地盤沈下・火山地域のように比較的大きな変動が想定される地域よりも、空間・変動量のスケール共に「より小さい」地表の変化を捉える必要がある。干渉 SAR は、空間分解能が 10m 以下であり、藤原ほか (2005) が示すように、小さい空間スケールの地表の変化を捉えることに適している。一方で、変動の大きさは、観測時の大気の水蒸気擾乱の影響により、cm レベルの変化量を常に捉えられ

るには至っていない。このため、より小さい変化を捉える上で最大の誤差要因となる、大気の影響を低減し、常に cm レベルの精度の地表の変化を捉えるための手法の研究が必要となる。

また、干渉 SAR の成果を解析の単位であるシーンを越えて接合するには、広域に整合した変化量の絶対値が求められる GEONET の成果の利用が必要となる。前述の大気の影響の低減の手法の研究と併せて、飛田ほか (2005) に示されるような、GEONET から得られる成果との融合の手法の研究開発の発展は、最終的な目標である地盤・地殻変動地図を作成する上で、また国土地理院で干渉 SAR を行うことのみとして重要な要素となる。

6. 今後の課題

国土地理院はこれまでに、PALSAR データの定常利用を想定して、本稿で示した処理・解析システムを「だいち」の打ち上げ前から設計・準備してきた。これらのシステムは設計当初の性能と機能を満たし、運用が開始されている。

一方で、「だいち」打ち上げ後の校正運用期間中に提供された試験観測データによる処理・解析システムの動作試験や、計画初期の予想を超える観測データの供給量から、将来の運用面の課題も浮かび上がっている。今後数年間、「だいち」の観測が継続し、観測データが膨大なものになるにつれ、確実に現在の処理・解析システムのボトルネック部分に限界が訪れる。これについて、早い段階での対応が必要な課題を以下に示す。

1) 干渉処理の自動化・高速化

GUI ベースの新 GSISAR の導入と、高次支援システム等により、解析処理の操作性の向上とデータ管理が軽減された。しかし、高次処理では、依然として

個々のシーン毎に解析者の判断が必要とされる工程があり、自ずと干渉処理を行えるシーン数には限りがある。このため、定常時に JAXA から提供されるデータ量に対して、ここから生産される成果量には大きな開きがあることから、高次処理システムの高度化、特に新 GSISAR の自動化・高速化を進める必要がある。

2) 解析成果の管理

PALSAR データが蓄積されるにつれて、それぞれの領域では、干渉ペアを作成できるデータの組み合わせ数は飛躍的に増加する。これに対して現在のシステムには、解析成果のデータを保管・管理する機能は未整備である。高次処理支援システムへの当該機能の追加とこれをサポートする大容量サーバ等の整備が急がれる。

7. まとめ

国土地理院は、定常的な地殻・地盤変動地域の解析や、災害状況の把握等、広域・多目的利用の目標を掲げることで、ALOS/PALSAR のパワーユーザーとして、大容量の観測データを無償に近い形で提供を受ける。これにより、全国を繰り返し隈無くカバーする行政サービスとして、測量事業ベースでの干渉 SAR 解析の実施が可能となった。

国土地理院は大容量の PALSAR データの入口となるデータ処理・解析システムを構築し、今後本格化する定常解析への準備を整えた。干渉 SAR による定常解析の成果は初めに、地盤沈下と火山の監視に用いられる予定である。今後は、提供を受けるデータ量に見合う成果を、特定地域の地殻・地盤変動の監視や災害状況把握のためだけではなく、利用可能な分野を広げて、普及・提示していく必要がある。

参考文献

- 雨貝知美 (2006) : GPS 水蒸気情報システムの構築と干渉 SAR への応用, 平成 18 年度専門課程高等測量研修 個別課題研究 最終報告書, 国土地理院。
- 藤原智, 飛田幹男, 村上亮 (1998) : 干渉 SAR における水蒸気情報の重要性, 気象研究ノート「GPS 気象学」, 192 号, 199-212.
- Fujiwara, S., T., Nishimura, M., Murakami, H., Nakagawa, M., Tobita and P. A., Rosen, (2000) : 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, *Geophysical Research Letters*, 27, 2049-2052.
- 藤原智, 仲井博之, 板橋昭房, 飛田幹男, 矢来博司 (2005) : JERS-1 干渉 SAR による小空間スケール地表変位の検出, *測地学会誌*, 第 51 巻, 第 4 号, 199-213.
- Fujiwara, S., M., Tobita, H. P., Sato, S., Ozawa, H., Une, M., Korai, H., Nakai, M., Fujiwara, H., Yarai, T., Nishimura, F., Hayashi (2006) : Satellite Data Gives Snapshot of the 2005 Pakistan Earthquake, *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, Vol. 87, No. 7, 73, 77.
- 環境省, 全国地盤環境情報ディレクトリ (平成 16 年度版), http://www.env.go.jp/water/jiban/dir_h16/mokuji.htm (accessed 24 Nov. 2006)
- 気象庁 (2005) : 日本活火山総覧 (第 3 版) 一気象長編一, 気象庁。

- 国土地理院, 防災科学技術研究所, 宇宙航空研究開発機構, 気象庁 (2006): 人工衛星データを用いた硫黄島の地殻変動の試験的調査の結果について, 第 105 回火山噴火予知連公表資料.
- 村上亮, 藤原智, 斎藤隆 (1995): 干渉合成開口レーダーを使用した平成 7 年兵庫県南部地震による地殻変動の検出, 国土地理院時報, 第 83 集, 24-27.
- 中川弘之, 村上亮, 藤原智, 飛田幹男 (1999): JERS-1 による干渉 SAR で検出した関東平野北部地域の地盤沈下, 日本測地学会誌, 第 45 巻, 347-350.
- Tobita, M., M., Murakami, H., Nakagawa, H., Yarai, S., Fujiwara, P. A., Rosen (2001): 3-D surface deformation of the 2000 Usu eruption measured by matching of SAR images, Geophysical Research Letters, Vol. 28, No. 22, 4291-4292.
- 飛田幹男, 宗包浩志, 松坂茂, 加藤敏, 矢来博司, 村上亮, 藤原智, 中川弘之, 小澤拓 (2005): 干渉合成開口レーダーの解析技術に関する研究, 国土地理院時報. 第 106 集, 37-49.
- 宇宙航空研究開発機構, 地球観測利用推進センター (2004): ALOS ミッション運用インターフェース仕様書 Draft1.3 (案) - JAXA/国土地理院編一, 宇宙航空研究開発機構.
- 宇宙航空研究開発機構 (2006): ALOS データ利用ガイドブック, 宇宙航空研究開発機構.
- 宇宙航空研究開発機構, AUIG (ALOS User Interface Gateway), <https://auig.jaxa.jp/auigs/jp/top/index.html> (accessed 24 Nov. 2006)