

推進1-2-4 別紙

陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)プロジェクト に係る事後評価について

別紙 補足説明資料

平成24年 1月 16日

宇宙航空研究開発機構

宇宙利用ミッション本部

陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)プロジェクト に係る事後評価について

別紙 補足説明

目 次

1. 「だいち」概要
 2. 衛星管制
 3. ミッション運用
 4. 校正の概要
 5. 貢献
「だいち」による東日本大震災への対応
 6. 電力低下について
- 別紙 略語集

1. 「だいち」概要

- ・衛星外観・分解図
- ・ユーザの利用計画と要求
- ・センサ技術の流れ
- ・センサ概要
- ・センサの観測範囲
- ・災害緊急観測概要
- ・衛星運用諸元

1. 「だいち」概要： ユーザの利用計画と要求

国土地理院、農林水産省、経済産業省、災害観測関係機関等の利用計画とユーザ要求を集約して、ミッション要求とALOSシステム仕様を設定した。

「ALOSの開発による地球観測技術の継承と発展」 計画調整部会

○地図作成 国土地理院

- ・利用計画：日本全土で整備されている基も必要性の高い中縮尺(2万5千分の1)地形図の更新作業を迅速かつ効率的に実施するため、「だいち」のPRISMセンサのデータを用いた手法を導入。
- ・要求：本計画を定常業務レベルで実現させ得るのは、広い観測幅を高い標高分解能、空間分解能を併せ持つ光学センサ(PRISM)が必要。

○農地面積調査 農林水産省

- ・利用計画：「衛星データを用いた耕地面積及び作付面積の面積調査手法の開発研究」の成果を踏まえ、従来の手法の面積調査からリモートセンシング技術を応用した面積調査手法に変更していく計画。
- ・要求：耕地／作付面積調査を従来手法から衛星を利用した調査手法に変更するためには、光学センサと電波センサの同時観測、広い観測幅と高い空間分解能の観測が必要。

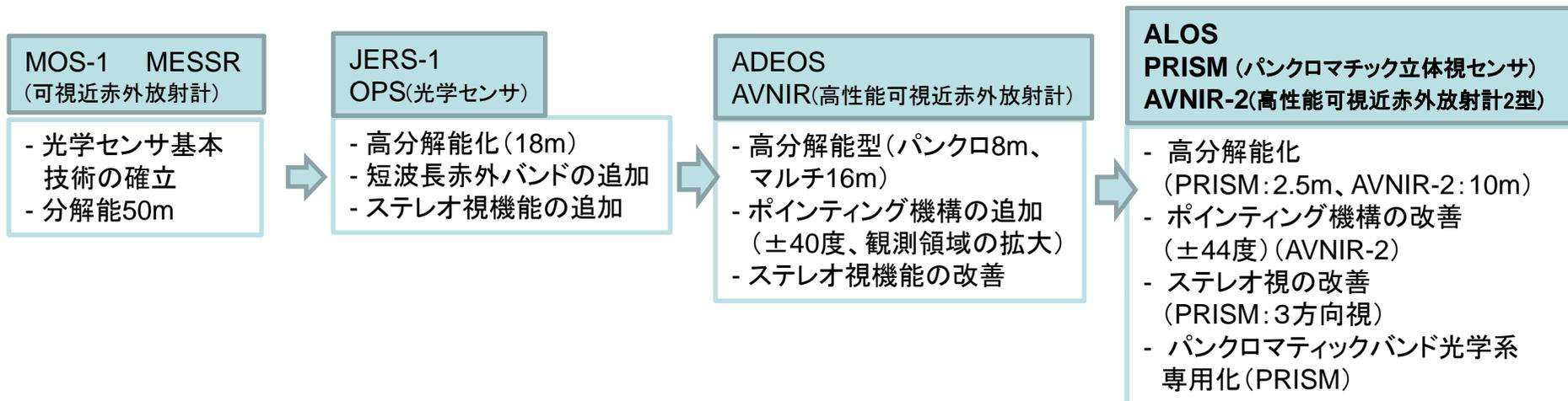
○災害観測実験協力 フランス国立研究センター(CNES)

- ・利用計画：NASDAとCNESにより、地球観測衛星データの災害監視への利用可能性を実証するため、「だいち」とSTEREOSAT(CNES衛星)を用いて共同の実証実験を計画。
- ・要求：光学センサと校正開口レーダの同時搭載は災害観測実験に有効で不可欠。

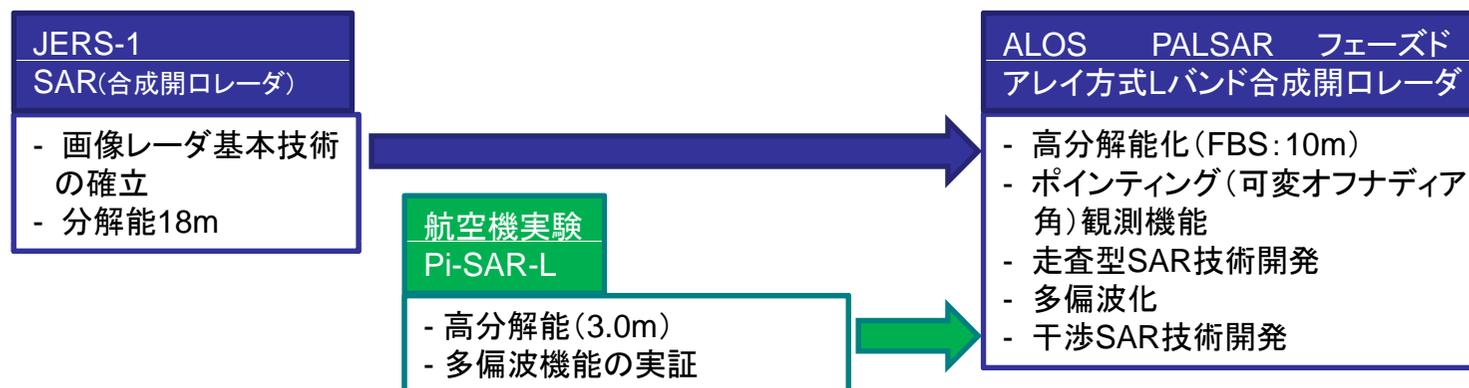
○資源探査 経済産業省

- ・利用計画：JERS-1の合成開口レーダ(SAR)で行われている資源探査における地質判読技術を高め、PALSARで得られる新しいパラメータに対応したデータ解析技術の向上を図る。
- ・要求：JERS-1の後続機から能力を向上させる次世代合成開口レーダ(PALSAR)は、観測幅、分解能、電波の照射角の変化を組み合わせることで地質解析精度を向上。

光学センサ



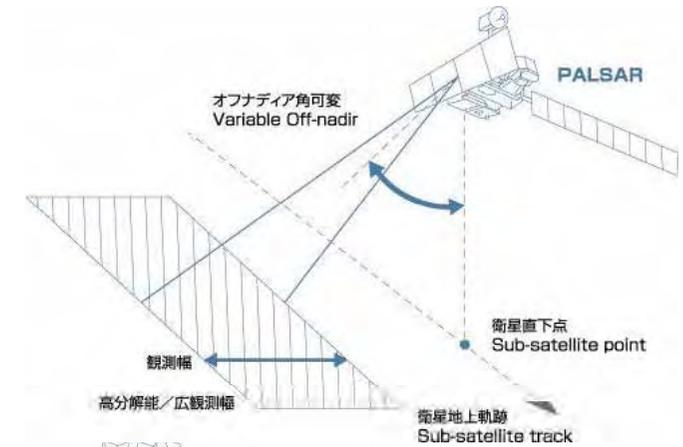
レーダセンサ



1. 「だいち」の概要 : センサ概要

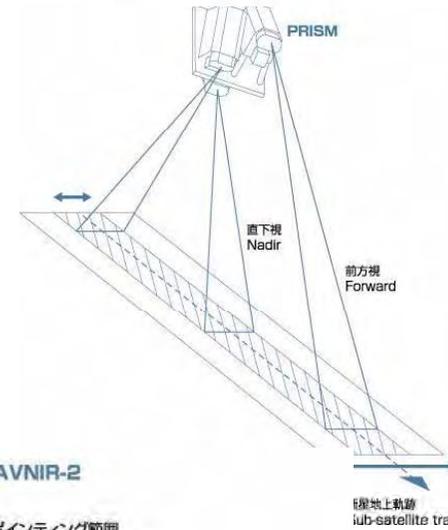
PALSAR

主要観測モード	高分解能モード	ScanSAR
観測周波数	L-band (1.27GHz)	
偏波	HH, VV, HH&HV, VV&VH	HH, VV
地上分解能	10m	100m
ルック数	2	8
観測幅	70km	250-350km
オフナディア角	9.9~50.8°	
雑音等価後方散乱係数	約-23 dB	



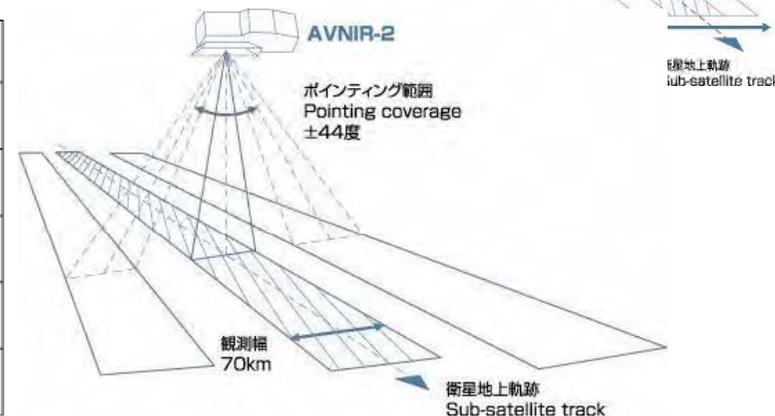
PRISM

観測波長帯 (μm)	0.52-0.77	
光学系数	3式 (直下視 / 前方視 / 後方視)	
ステレオ視B/H比	1.0 (前方視 / 後方視間)	
信号対ノイズ比	>70	
空間周波数伝達特性	>0.2	
地上分解能	2.5m	
観測幅	35km (3方向視モード)	70km (直下視のみ)
ポインティング角	±1.5度 (3方向視モード)	

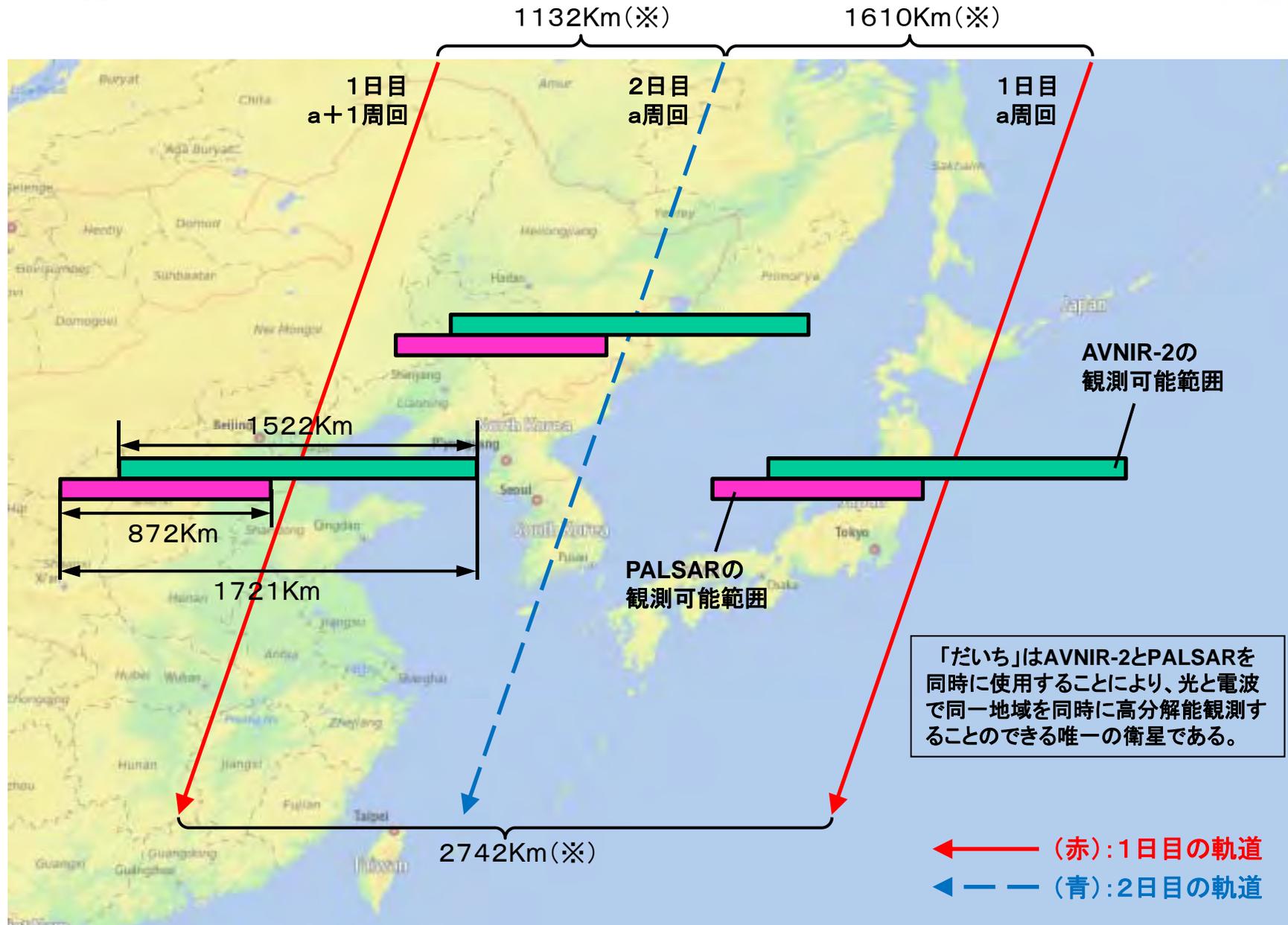


AVNIR-2

観測波長帯 (μm)	Band1: 0.42-0.50, Band2: 0.52-0.60 Band3: 0.61-0.69, Band4: 0.76-0.89
信号対ノイズ比	>200
空間周波数伝達特性	Band1~3: >0.25 Band4: >0.2
地上分解能	10m (直下)
観測幅	70km (直下)
ポインティング角	±44度

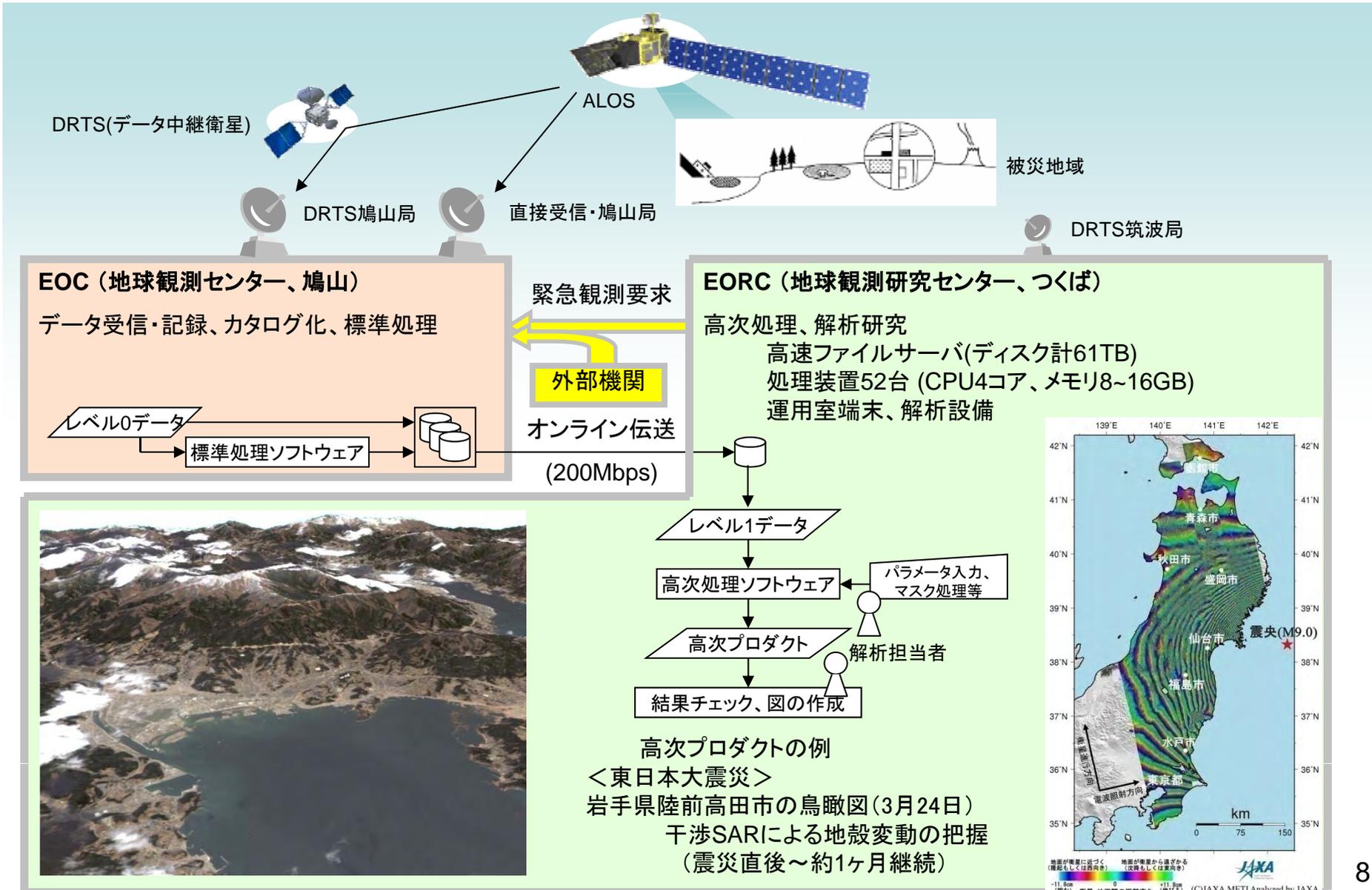


1. 「だいち」の概要 : センサの観測範囲



※赤道上での軌道間隔。軌道間隔は高緯度になるにつれて狭くなる。

1. 「だいち」の概要 : 災害緊急観測概要



1. 「だいち」の概要 : 衛星運用諸元

主要な仕様等	運用状況
<p>1. ミッション寿命: 3年以上、5年目標</p> <p>2. 軌道 降交点通過地方時(Ts)10:30±15分 ノミナル軌道(RSP)±2.5Km以内 打ち上げ搭載推進薬量 : 180kg</p> <p>3. 電力 発生電力:7Kw以上、バッテリー容量250Ah(50Ah x5台) 所要電力 約6.4Kw(日照)、約3.5Kw(日陰)</p> <p>4. 指向 指向制御精度 ±0.1deg(R/P/Y) 位置決定精度 1m以下</p> <p>5. 通信 ALOS-DRTS-地上 (衛星間通信:SN) ALOS-地上(地上局:GN) DT直接受信(X-バンド) コマンド計画: 13タイムライン数 テレメトリデータ取得</p> <p>6. 安全設計/リスク管理 システム機能(LLM、電源監視) 各機器のFDIR、自律化等 冗長設計(待機等) ALOS-TDRS (リスク管理)</p> <p>7. ミッション ミッションデータ取得・処理 記録容量96GB 記録、再生、伝送性能 PRISM AVNIR-2 ホィンティング駆動/156000回 内部光源点灯回数/260回 PALSAR TEDA(宇宙放射線 技術データ取得装置)</p>	<p>1. 平成18年1月24日～平成23年4月22日 5年3ヶ月</p> <p>2. 軌道 Ts:10:25～10:30 RSP±0.5Km以内 残推進薬: 定常運用3年/115kg、後期利用5年/110kg。</p> <p>3. 発生電力8Kw 以上、BAT5台とも正常、性能劣化等なし 日照:2Kw～最大5Kw程度。日陰:3.5Kw程度</p> <p>4. 指向制御精度 R:0.025°,P:0.015°,Y:0.039° 位置決定精度 0.37m (3σ)</p> <p>5. 通信(SN):平均12パス/9時間/日 (GN):平均2パス/20分/日 DT直接受信(X-バンド) 国内、海外局(データノード) コマンド計画 :8～9タイムライン/2日(約2500コマンド/日) テレメトリ取得 :LSSR記録・再生で24時間取得。</p> <p>6. 安全設計/リスク管理 システム機能(LLM/DMS検出・姿勢制御系検出・電源検出) 高精度姿勢系FDIR動作,PALSAR自律化検出 DRC TWTA-B系移行(平成19年4月A系電源異常) Kaバンドの適合性確認、平成22年4月運用開始。</p> <p>7. ミッション 取得量654万シーン(H23/4) 容量・メモリ劣化なし。 PRISM動作回数:約30,000回、運用デューティ:25% AVNIR2動作回数:約43,000回、運用デューティ:25% ホィンティング駆動: 5700回 内部光源点灯回数: A系:51回、B系:27回 PALSAR動作回数:約86,000回、運用デューティ:50%(最大値) TEDA常時観測</p>

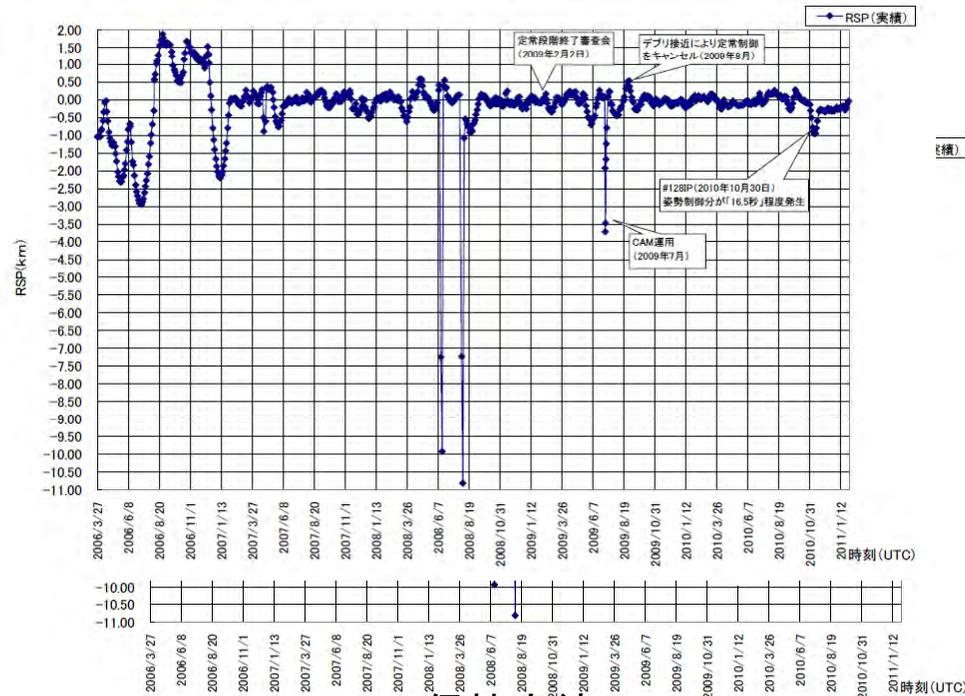
2. 衛星管制

- 1) 軌道保持状況
- 2) 高精度軌道決定
- 3) デブリ回避運用
- 4) 太陽フレア・磁気嵐による回避運用
- 5) テレメトリ・トラッキング・コマンド系 (TTC系)
- 6) 姿勢軌道制御系 (AOCS系)
- 7) 電源系 (EPS系)
- 8) データ中継衛星通信部 (DRC)
- 9) センサの動作状況

1) 軌道保持状況

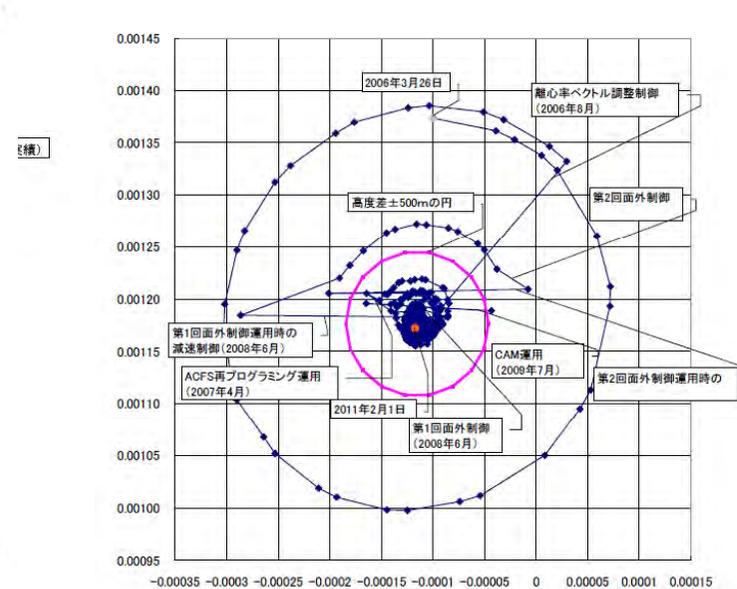
軌道運用中、干渉SAR性能を向上を目的とした軌道制御の高精度化を維持した。
(RSP:観測ノミナル軌道)

軌道保持	要求	実績	制御頻度
RSP保持	RSP \pm 2.5km (RSP \pm 0.5km目標)	\pm0.5km以内	毎週土曜日(JST)
衛星高度変動(離心率制御)	高度変動 \pm 2km (\pm 0.5km目標)	\pm0.5km以内	
降交点通過地方太陽時(Ts) 変動最小	10:30 \pm 15分以内 で 変動最小	10:25~10:32	1回/約2.5年 ・後期利用段階では未実施



RSP保持実績

(面外,CAM,姿勢制御分の誤差が大きい場合などでは逸脱)



離心率ベクトルの遷移

(中央の○が \pm 0.5kmの範囲:面外,CAM制御などは逸脱)

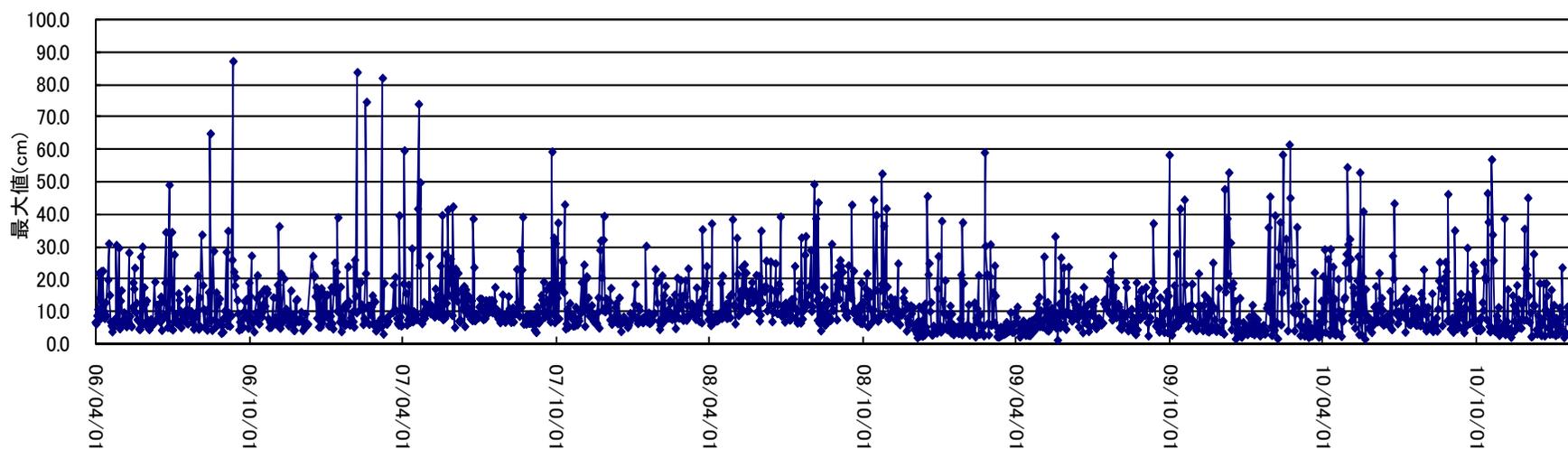
2) 高精度軌道決定

GPSR観測データを使用して高精度軌道決定を実施し、3日前の24時間分の精密軌道暦を毎日EOCへ提供した。

(GPSR: 全球測位システム受信機)

- 軌道決定精度要求 : 1m以内(オーバーラップ比較による最大値)
- 精度実績 : 平均 12cm

ALOS運用: 軌道オーバーラップ比較: 位置の差(最大)



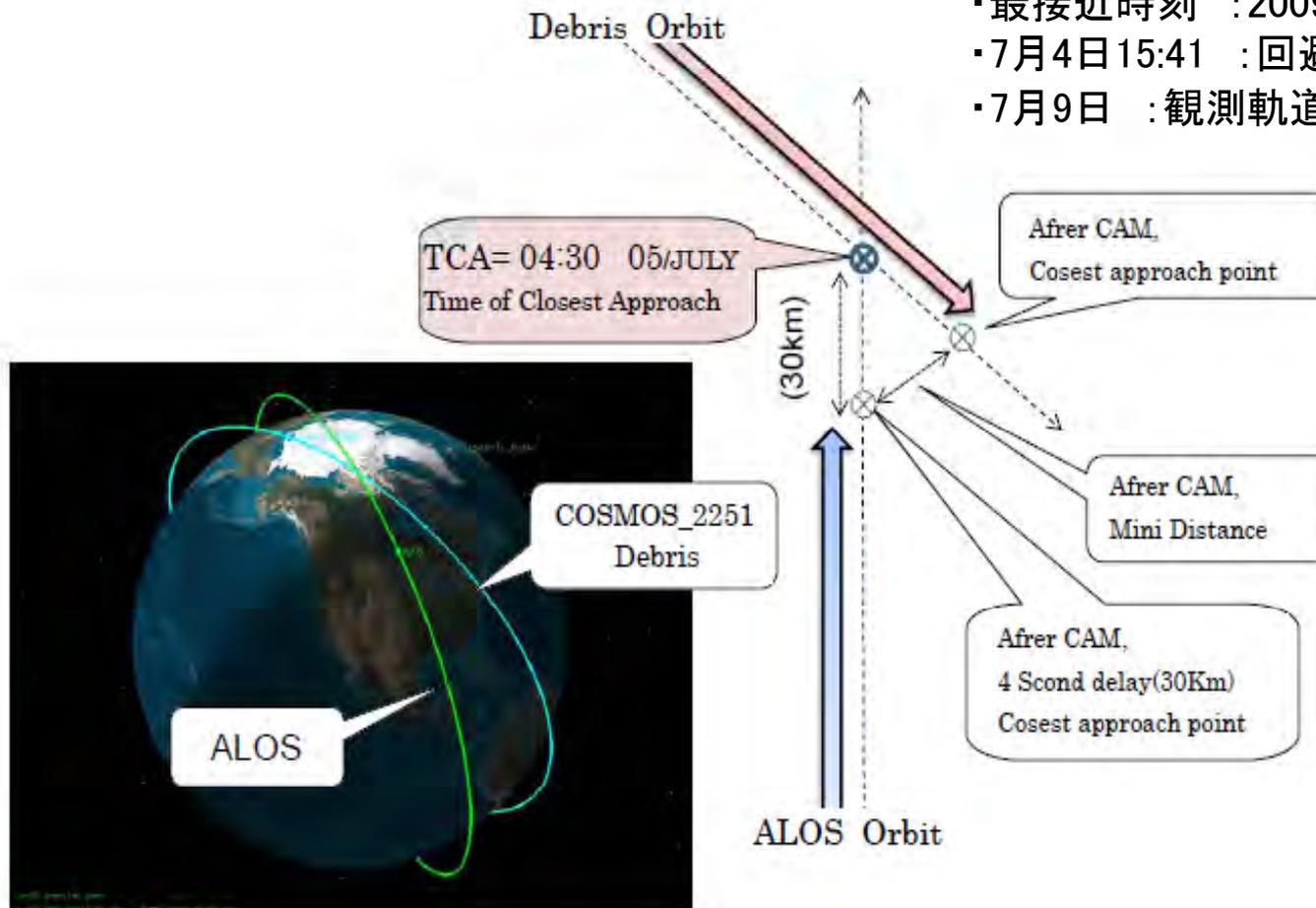
高精度軌道決定精度

3) デブリ回避運用

2008年12月より、軌道力学チームによる「だいち」デブリ監視を開始して以降、定期監視において、実施判定基準を超えるデブリ接近は、2011年1月24日までに9回検出されている。この内、実際に最終判定会議において回避運用の実施と判断され、回避のための制御を実施したのは1回のみである。

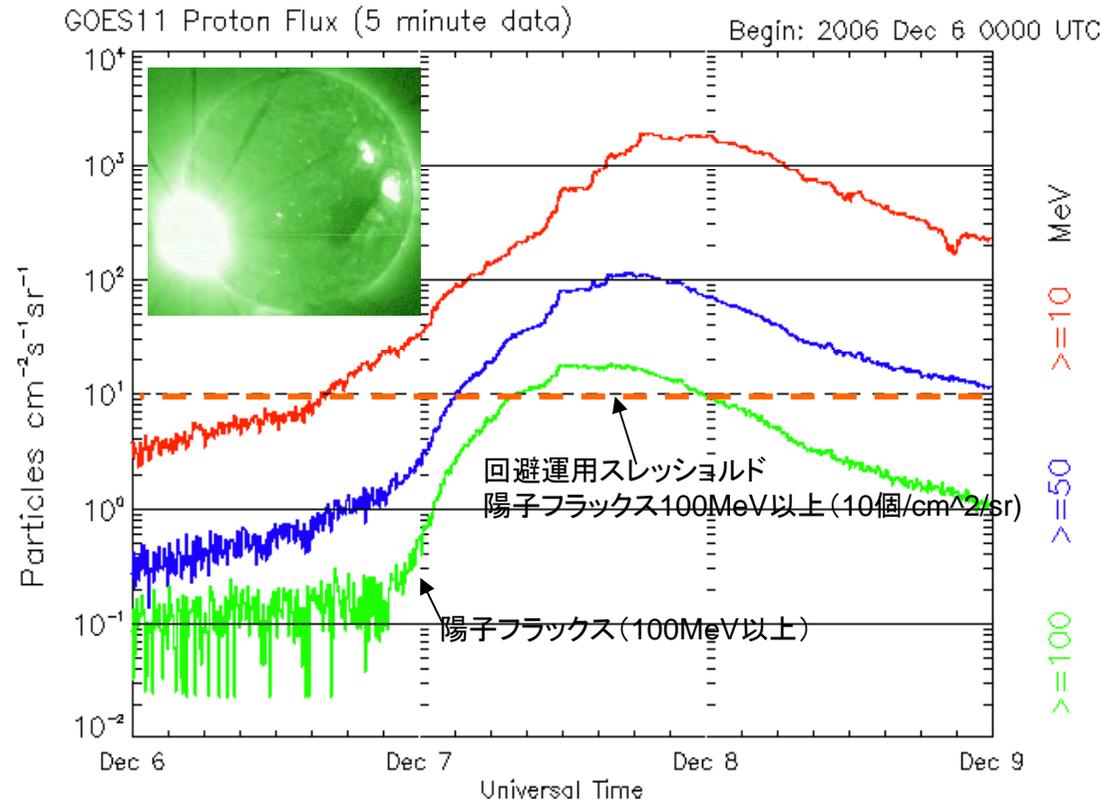
- ・デブリ : コスモス2251
- ・最接近時刻 : 2009年7月5日 04:30(UT)
- ・7月4日 15:41 : 回避の増速制御(CAM)を実施。
- ・7月9日 : 観測軌道へ復帰。

CAM : 衝突回避マヌーバ
(collision avoidance manoeuvre;)



4) 太陽フレア・磁気嵐による回避運用

2006年12月7日に太陽フレア回避運用基準のスレッシュホールド(100MeV以上の陽子フラックス)を越えたため、衛星の安全を考慮し、ミッション機器(PRISM / AVNIR-2 / PALSAR)はスタンバイモードを実施し、観測運用を中止した。(観測運用の再開は12月11日)
 これ以降、運用期間中に回避運用基準を超える宇宙環境擾乱の発生はなかった



Updated 2008 Dec 8 23:56:04 UTC

NOAA/SEC Boulder, CO USA

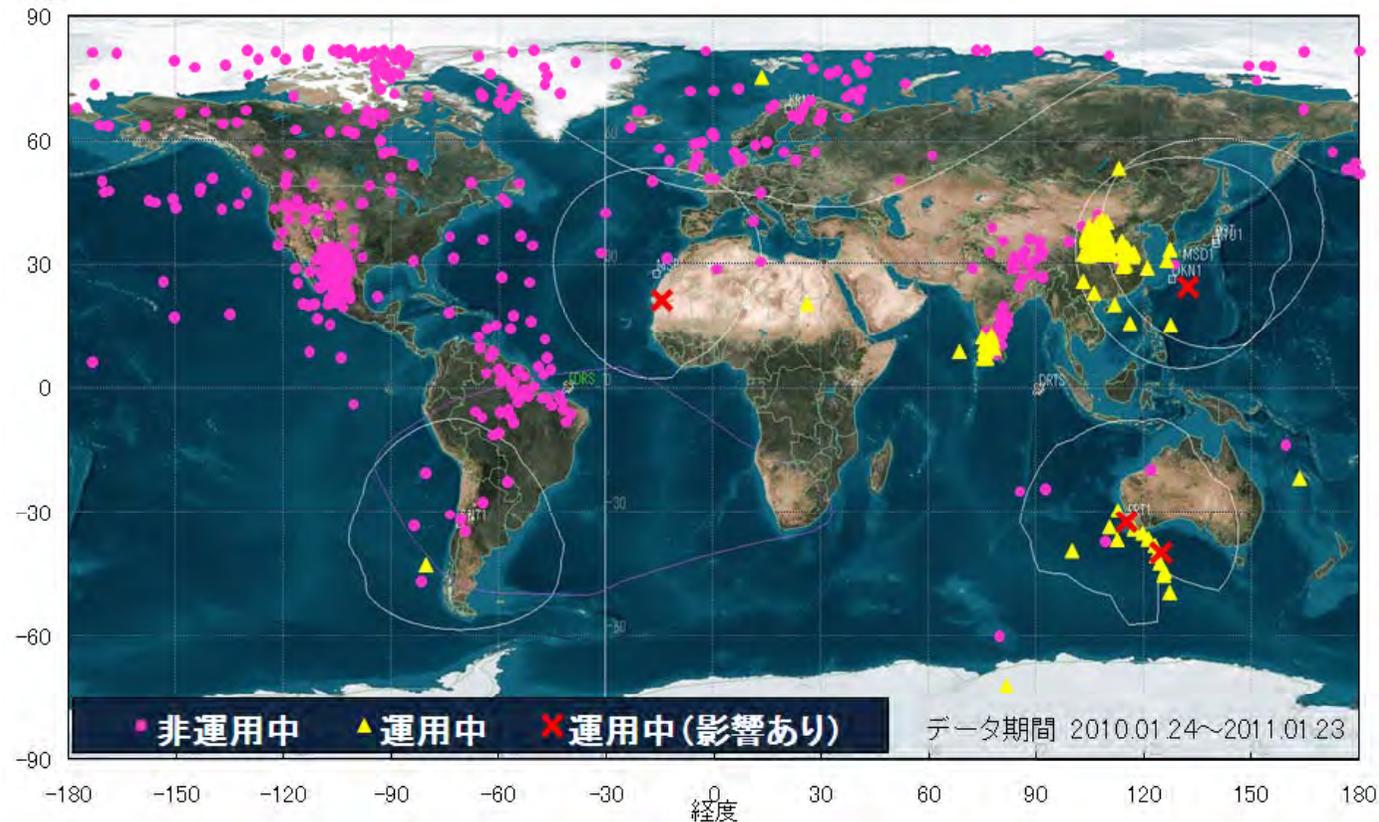
5) テレメトリ・トラッキング・コマンド系 (TTC系)

【軌道上運用による知見】

24時間のテレメトリデータにより、Sバンド受信機において、外来波などの雑音によるものと考えられるレベル変動が確認されている。

可視中に干渉が発生したと考えられるレベル変動は約190回あり、内4回については受信機片系 UNLOCK、リンク断、コマンド受信の中断などの一過性の影響はあったが、運用は正常に終了。

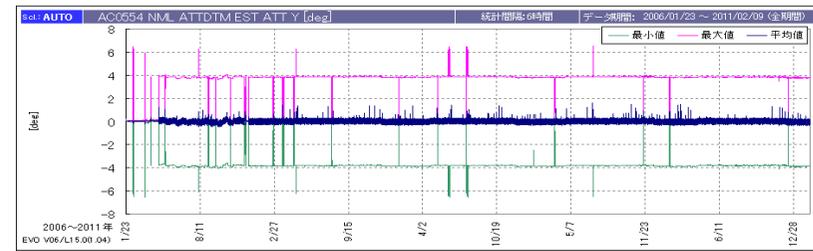
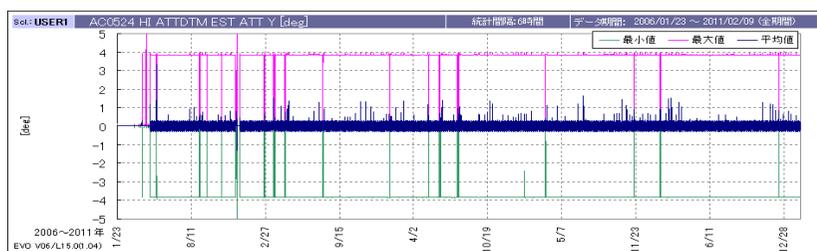
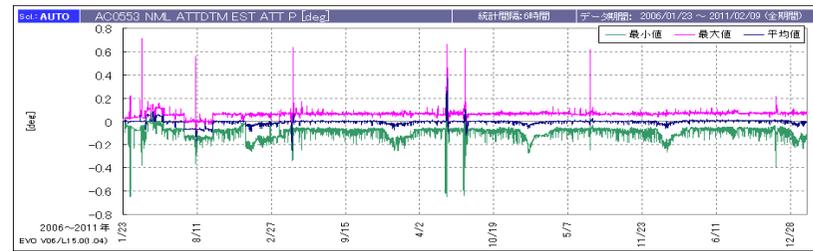
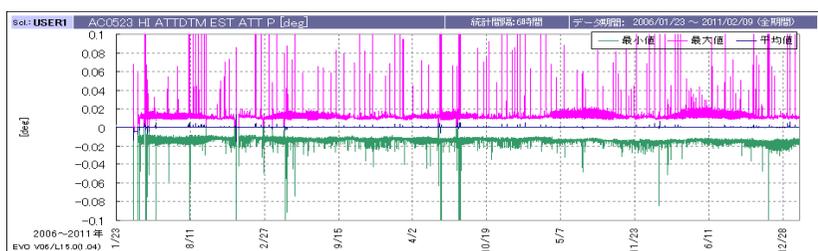
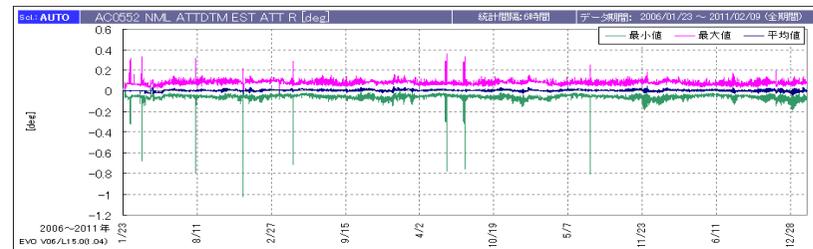
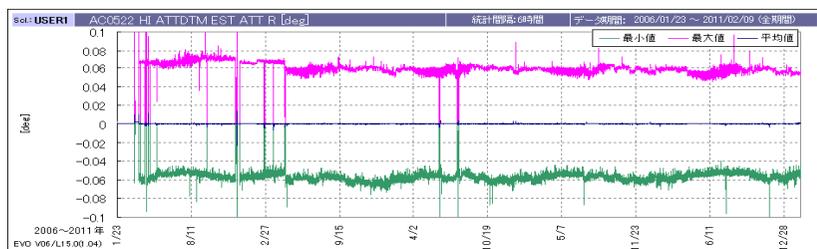
Sバンド(SSA/USB) 受信レベル変動発生位置 (調査期間 1年間:2010/1~2011/1)



6) 姿勢軌道制御系 (AOCS系)

【推定姿勢角】

通常の姿勢軌道制御系は、高精度姿勢決定系での運用を継続している。高精度姿勢決定系推定姿勢角は軌道制御、パドル熱誘導ダイナミクスなどの一時的な変動を除き、R: 約 ± 0.06 deg、P: 約 ± 0.02 deg、Y \pm 約4deg (YSあり)を安定して維持した。



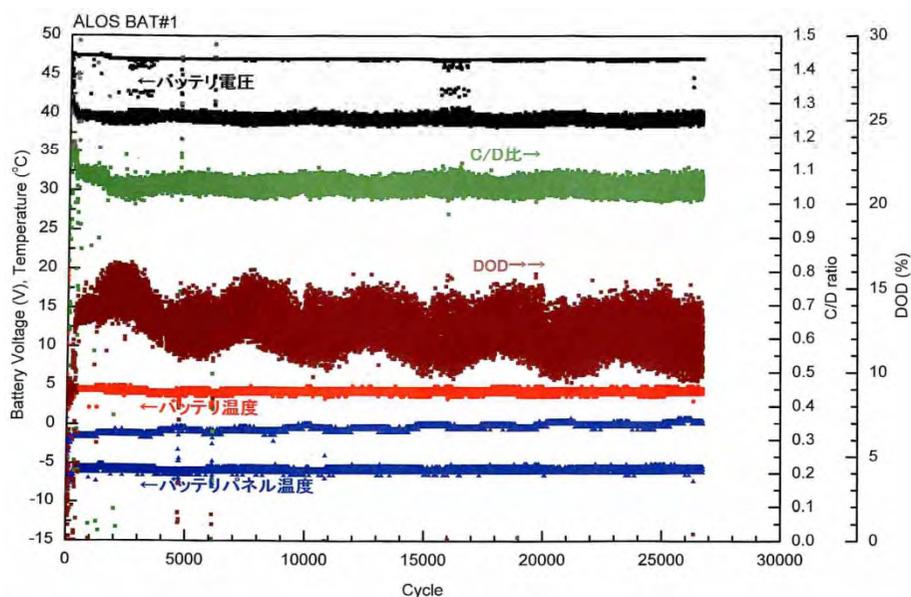
高精度姿勢決定系 推定姿勢角 (R,P,Y)

標準姿勢決定系 推定姿勢角 (R,P,Y)
(参考/運用リミット値 R,P,Y: ± 0.4 deg, ± 0.4 deg, ± 5 deg)

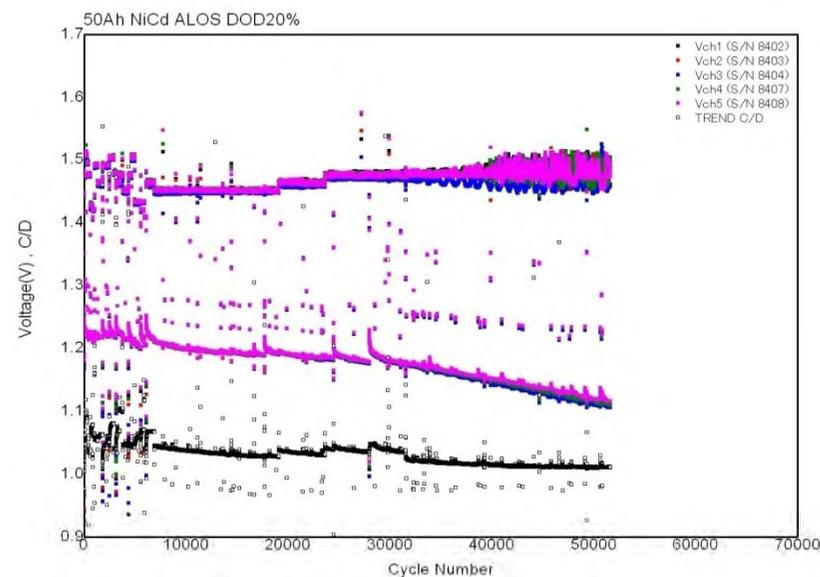
7) 電源系 (EPS系)

【バッテリー特性(軌道上特性・地上模擬試験)】

- 放電末期電圧は、バッテリー放電深度(DOD)の変動に伴って増減するものの、顕著な劣化の傾向もなく、打上げから5年間を通じて、38.2V(1.195V/セル)以上を維持した。充電対放電比(C/D)についても、同様にDODに依存するが、1.02~1.08の適正な範囲で安定しており、当面V/Tカーブは適切であると判断していた。
- DODは、最大15%程度であり、衛星の温度上昇に伴うヒータ電力減少が要因と考えられる減少傾向が見られることから、余裕のある運用(DOD::20%以下)を継続することが可能である。
- 電源評価として実施している地上の運用模擬試験(DOD20%@10°C)では、軌道上より放電深度が深く、温度が高いという悪条件下において、9年相当の51,000サイクルを達成しており、放電末期電圧が1.15Vに達するのは40,000サイクル(7年以上)程度であることから、軌道上でも7年以上運用できることが評価されていた。



軌道上運用5年間におけるバッテリーの電圧・温度・C/D比・DODの推移



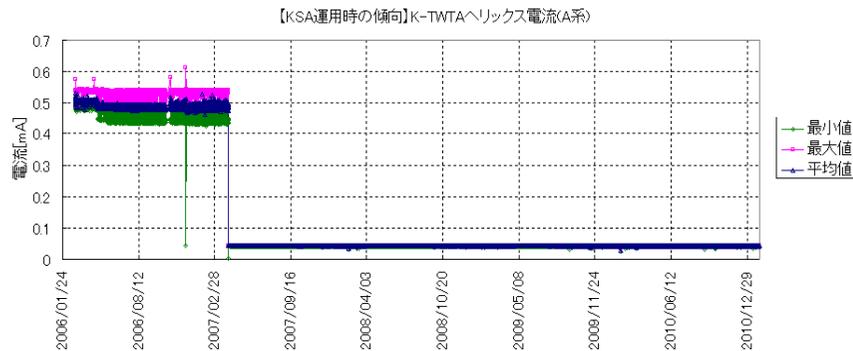
地上運用模擬試験結果(DOD20%@10°C)

8) データ中継衛星通信部 (DRC)

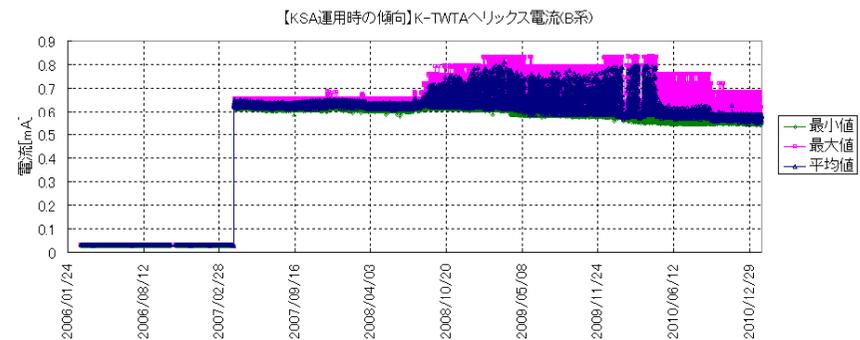
【K-TWTA-Bの運用状況】

2007年4月5日(定常段階)に、TWTA-Aに高圧電源OFFの事象が発生して以降、TWTA-Bに切り替え、長期(4年間)の運用を実施した。

後期利用段階の終了時点において特に問題は発生していない。

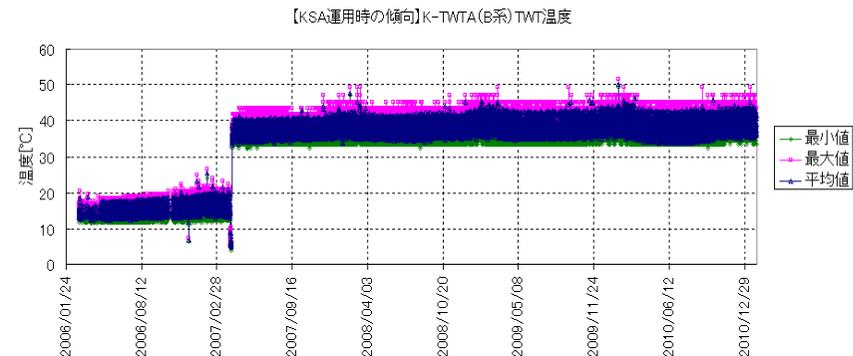


TWTA-A: 2768時間(2006/2~2007/4)



TWTA-B: 12276時間(2007/4~2011/1)

運用上限値(1.5mA)に対し、0.8mA以下。
変動は、運用に影響はないと判断。
生データカウント値でもモニタ強化。



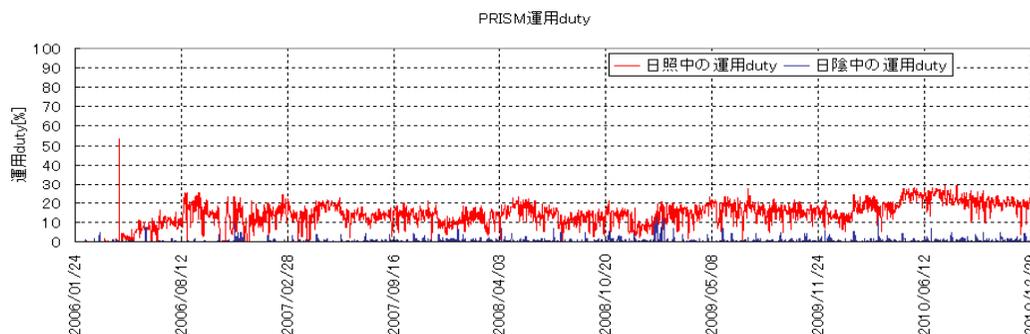
TWTA-B: 温度推移

9) センサの動作状況(2011/1/23時点)

【PRISM運用状況】

- PRISM累計動作 : 4,079時間、28,679回

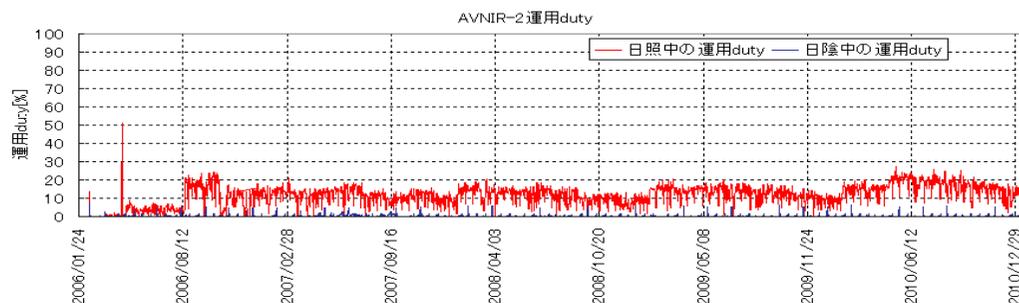
運用デューティ/DAY:
約20~25%(日照中)



【AVNIR-2運用状況】

- AVNIR-2累計動作 : 3,596時間、40,410回
- ポイント駆動[<156,000回] : 7,944回
- 内部光源点灯時間/回数[<55時間/260回]
- A系: 14.6時間/78回、B系: 8.9時間/44回

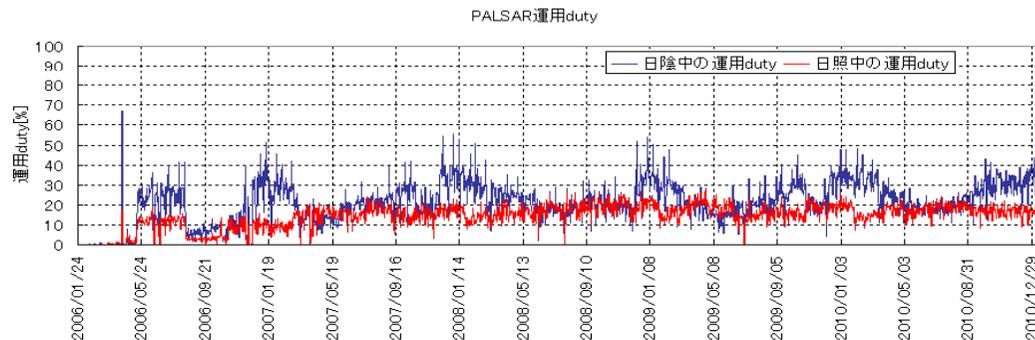
運用デューティ/DAY
約5~25%(日照中)



【PALSAR運用状況】

- PALASR累計動作 : 7,294時間、85,053回

運用デューティ/DAY
約10~20%(日照中)
約5~50%(日陰中)



3. ミッション運用

- 1) 後期利用段階(軌道上3年以降)の観測計画方針
- 2) 観測データの取得・処理状況
- 3) 未取得地域・データへの対応
- 4) TDRS利用
- 5) データ受信実績
- 6) ユーザの利便性向上への改善実施(例)と 緊急観測データ提供改善

1) 後期利用段階(軌道上3年以降)の観測計画方針

○取得されたアーカイブ等の状況に鑑み、共通観測におけるJAXAのリソース配分を以下の通り変更した。

①光学系センサによるカバー率を向上させる(空白地域は埋める。場所、時間及び季節を考慮した全球観測)。

- ・雲量0~2%における未観測領域を優先的に観測する。

- ・ディセンディング(日照時)のPALSAR観測を縮小し、未観測領域の撮像機会を年間2回から4回に増やす。

②アーカイブが十分蓄積された地域に対するリソースを削減。また、JAXAによる校正検証に対するリソースを削減。

○上記によって削減されたリソースは、新たな観測要求を受け付けるためのリソースとして再配分し、配布事業者などを活用した利用開拓に供する。(配布業者を含むの占有率は、今までに比べ10%拡大できる。)

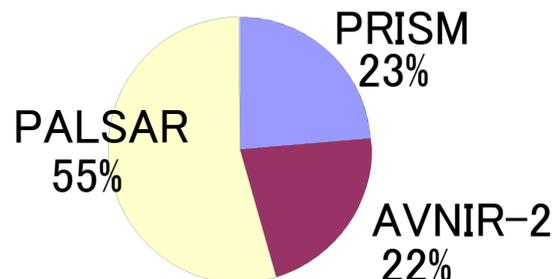
○これらの変更を行うにあたり、現状、共通観測におけるパワーユーザーへのリソース配分は、従来通りの規模で進めることが可能。また、観測目的に関する順位付けの変更も不要。

後期利用段階: 2009/1/24~2011/1/23

優先順位	観測目的	定常段階での占有率(%)	後期利用での占有率(%)	後期利用での観測実績		
				観測時間(秒)	%	
1	災害状態把握	—	—	12,615	0.06	
2	校正検証	3	2	312,266	1.42	
3	共通観測	共通観測	46	46	12,130,732	55.18
		パワーユーザー要求			1,149,547	5.23
		JAXA内部要求			1,275,895	5.80
4	協定に基づく国内利用機関による独自観測	5	5	1,036,688	4.72	
5	配布業者による観測(データノードを含む)	27	37	5,375,740	24.45	
6	研究目的観測	5	5	689,519	3.14	
合計		100	100	21,983,002	100.00	

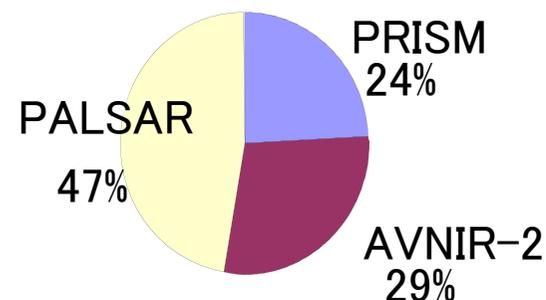
2) 観測データの取得・処理状況

定常段階の観測時間割合
(2006/10/20-2009/01/23)



観測運用調整会議
光学センサの観
測機会を増加。

後期利用段階の観測時間割合
(2009/01/24-2011/01/23)



データ処理数の実績は、目標である地上データ処理シーン数(60シーン/日/センサ)を上回っており、当初設計以上の画像処理を実施。

センサ	1日平均処理数		処理・提供数総計	
	定常	後期	定常	後期
AVNIR-2	53.9	85.5	28,940	40,839
PRISM	118.2	189.1	59,329	86,835
PALSAR	52.0	171.5	23,431	30,746
小計	224.0	446.1	111,700	158,420

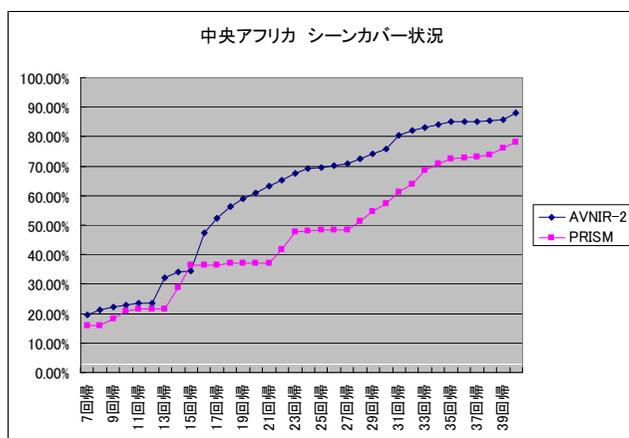
3) 未取得地域・データへの対応

- 雲量0~2%の晴天シーンの未観測領域である中央アフリカ域、南アメリカ域および東南アジア域において、可能な限り撮像機会を増やし(年間2回から4回へ)観測を実施した。
- 結果、各領域に対する晴天シーンのカバー率が3割弱から7割近く程度であったところ、6割強から9割近くまでカバー率が向上した。

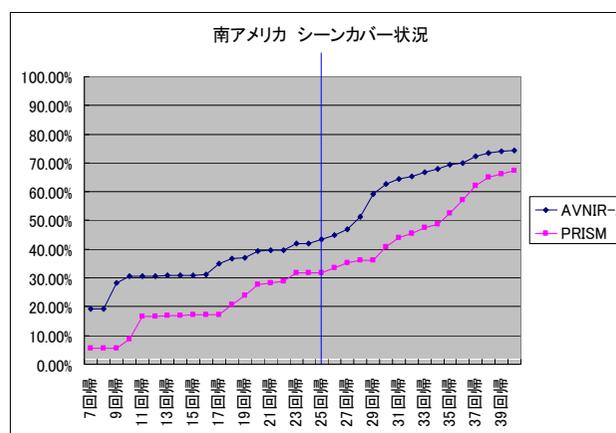
晴天シーン(雲量0%~2%)のカバー状況

	センサ	対象シーン	定常段階終了迄	後期利用段階終了迄
中央アフリカ	AV2	4,827	3,334 (69.1%)	4,245 (87.9%)
	PSM	18,970	9,098 (48.0%)	14,803 (78.0%)
南アメリカ	AV2	3,803	1,593 (41.9%)	2,822 (74.2%)
	PSM	14,896	4,748 (31.9%)	10,023 (67.3%)
東南アジア	AV2	4,521	2,558 (56.6%)	3,514 (77.7%)
	PSM	17,284	10,485 (60.7%)	14,878 (86.1%)

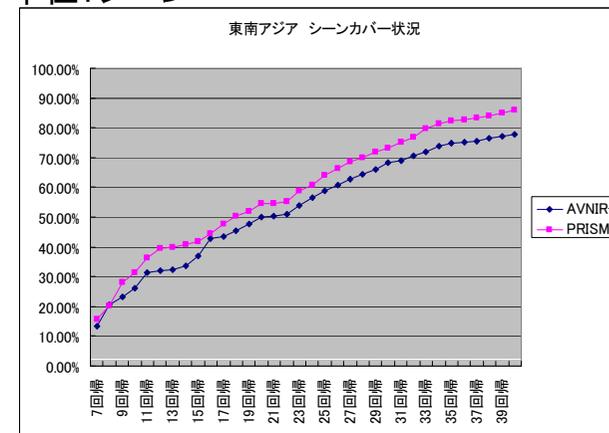
単位:シーン



中央アフリカ地域



南アメリカ地域におけるシーンカバー率の推移



東南アジア地域

4) TDRS利用

- 平成22（2010）年4月12日より、NASAの中継衛星（TDRS）を利用した「だいち」データの取得が開始された。
- 後期利用段階の後半の残り9ヵ月でTDRSが加わったことにより、TDRS利用開始後で約10%のデータ取得量（時間）の増加に貢献した。

(2010/4/12～2011/1/23)

		後期利用段階(2010/04/12-2011/01/23)の 観測時間		TDRS運用開始後の TDRSの割合
		DRTS+DT経由	TDRS経由	
PRISM		2,371,396	69,386	2.84%
AVNIR-2		2,683,722	261,898	8.89%
PALSAR	アセンディング	2,403,744	675,244	21.93%
	ディセンディング	1,050,578	46,898	4.27%
合 計		8,509,440	1,053,426	11.02%

単位：秒

5) データ受信実績

	受信 パス数	データ量 (GB)	欠損 パス数 ()内全損	欠損率 (%)
合計	12,010	437,841	115(62)	0.96
DRC (DRTS経由)	9,488	405,847	87(34)	0.92
DRC (TDRS経由)	1,226	29,450	24(24)	1.96
DT (直接受信)	1,296	2,544	4(4)	0.31

- 約99%のパスを正常に受信している。
- データ取得率は、DRTS経由が約93%、TDRS経由が約6.5%、DTが約0.5%となっている。
- 欠損分には不可避な原因(降雨減衰等)もあったが、受信状況は良好であった。

	原因
DRC (DRTS経由)	鳩山地上設備不具合
	つくば地上設備不具合
	荒天(降雨減衰等)
	特異点・非駆動領域
	「だいち」衛星
	その他
DRC (TDRS経由)	NASA地上設備不具合
	NASA側都合
DT (直接受信)	鳩山地上設備不具合
	荒天(降雨減衰等)
	マルチパス

- 6) ユーザの利便性向上への改善実施(例)と 緊急観測データ提供改善
- (1) 処理設備(レベル1)の換装(2009年12月)
 - ⇒処理能力の向上:60シーン/日/センサ⇒600シーン/日
 - ⇒注文の集中による滞留が劇的に改善((2)と合わせて)
 - (2) セントラル情報システムの換装(2009年11月)、機能改善(2011年1月)
 - ⇒換装とともにRAID増設(3.7TB⇒200TB)
 - ⇒媒体からのデータ読み込み待ちが無くなった⇒提供時間の改善
 - ⇒機能改善により、記録設備とのタイムアウトが無くなった⇒提供時間の改善
 - (3) PD向けのL1データ提供のオンライン化(2009年12月)⇒提供時間の改善
 - (4) ERSDAC再送要求によるL0データ提供のオンライン化(2009年11月)
 - ⇒提供時間の改善
 - (5) AUIGのIE(Internet Explorer)
 - 最新バージョン(ver.8)への対応
 - ⇒一般ユーザはもちろん、各省庁標準バージョンでの利用が可能.
 - (6) AUIGの地図データ更新
 - ⇒日本国内:市町村合併等を反映、世界:誤記修正等最新の状況を反映

今後、「AUIGの検索速度向上」を計算機換装時に合わせて実施する等検討予定。

AUIG:ALOSユーザインタフェースゲートウェイ(「だいち」のカタログ検索やデータ注文等を行うためのWebベースソフトウェア)

