

# 低推力・連続加速による低軌道 InSAR ミッションの提案

児玉 哲哉\*

## A proposal of InSAR satellite mission by low power and continuous propulsion

By  
Tetsuya KODAMA\*

**Abstract** : SAR Interferometry Dual Satellite System (SIDUSS) has been proposed since 1994 as a future InSAR satellite project. A proposal InSAR satellite and LEO missions by low power and continuous propulsion are discussed.

**Key words** : InSAR, SIDUSS, Dawn Dusk Orbit, Objectives and Means

### 1. はじめに

1994年以来、検討を重ねてきた SAR インターフェロメトリ双子衛星システム (SIDUSS) は、Dawn Dusk Orbit から同一の SAR 単独搭載衛星により、干渉 SAR (InSAR) 技術により高精度・高頻度で地殻変動検出を実現するシンプルな衛星システムである [1].

### 2. InSAR とは

1993年に Massonet らが ERS-1搭載 SAR によるランダース地震の地殻変動の検出に成功して以来、InSAR は注目を集めるようになり、1995年に発生した兵庫県南部地震でも国土地理院と宇宙開発事業団 (当時) が JERS-1

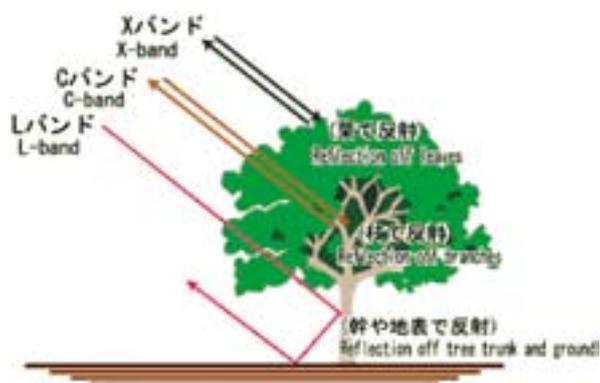


図1 SARの周波数による反射特性の違い (JAXA ウェブサイトから)

\* Satellite Operations Engineering Department, Office of Space Applications, JAXA

による地殻変動の検出に成功している [2,3]。1998年には我が国の研究者の自発的な動きにより「InSAR 技術研究会」が創設された [4]。InSAR 技術研究会有志の尽力により、地殻変動検出における L バンド SAR の必要性が認知されるに至った [5]。

地震や火山噴火による地殻の面的変動が一目瞭然に理解できるのが InSAR のユニークな点であるが、その他のミッションとして、2000年に NASA は Shuttle Radar Topography Mission で、スペースシャトルから60m のブームを展開し、二機の SAR アンテナを使った InSAR 観測により、全球の陸域80%のデジタル標高モデル (DEM) の作成を行った。衛星観測では TerraSAR 2 機による DEM 作成を目的とした Tandem-X ミッションが計画されている。

### 3. SIDUSS 衛星システム

多くの SAR 単独搭載衛星が採用している Dawn Dusk Orbit (図2) には次のメリットがある。

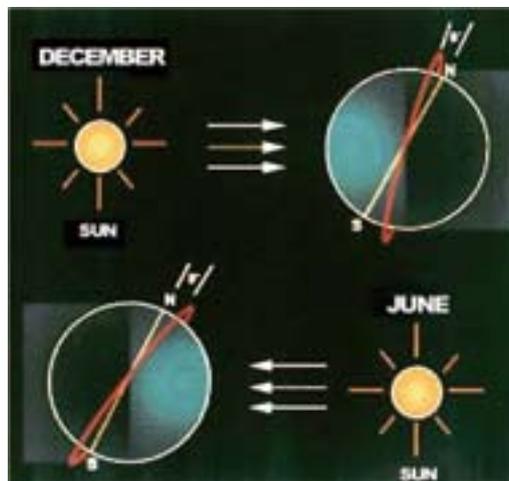


図2 Dawn Dusk Orbit (Canadian Space Agency ウェブサイトから)

- ① 常時太陽入射が得られ、反太陽面は放熱面に利用できるので、大電力を消費する SAR ミッションに最適。
- ② 太陽電池パドルの展開・駆動機構を不要とすることが可能。
- ③ 衛星前影投影面積が小さくなり、軌道を低く設定できるのでアクティブセンサ搭載に有利。
- ④ 一般的な光学観測衛星と受信運用時間帯が重ならない。

Dawn Dusk Orbit の採用により、シンプルな設計で SAR 単独搭載衛星を実現できるため、衛星の低コスト化・高信頼性達成に寄与することが可能となる。SIDUSS の打上げ・軌道上コンフィギュレーション、重量配分及び観測軌道をそれぞれ図3、表1及び表2に示す。(展開機構は SAR アンテナ一箇所のみ)

SIDUSS は H-IIA の投入能力 (高度550km の太陽同期軌道に約5200kg) に対し十分な重量マージンを有しているため、余裕を持った設計とすることが可能となり、これも衛星の低コスト化・高信頼性達成に寄与する。また、同時に多くのビジーバック衛星を搭載することも可能である [6]。

観測軌道を1日15周の回帰軌道高度 (560km) 前後に設定することによって、軌道変換によって1日最大4回の観測が実現可能となる。この軌道により、JERS-1 及び ALOS ではそれぞれ44日・46日であった回帰日数は、2機の運用によって14日となる。しかも Descending と Ascending の観測によって、地表面変位ベクトルの推定精度を大幅に向上させることが可能であり、これから静的な断層パラメータ推定に関する決定的な情報が得られることが実証されている [7]。更に進行方向に対して両方向観測ができれば、実質的に回帰日数7日、すなわち一週間に一度の観測が可能となり、強力な地殻変動監視の目となることが期待できる。(NASA は GPS や InSAR デー

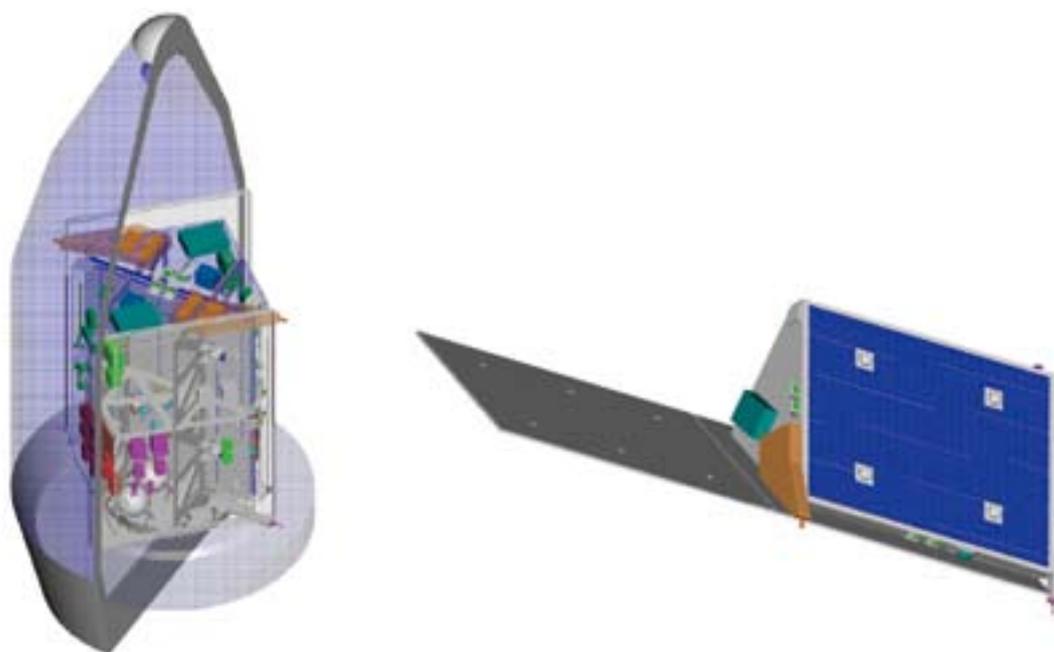


図3 SIDUSS 打上げ・軌道上コンフィギュレーション

表1 SIDUSS 重量配分

SAR	500	アンテナ部370kg + 電気回路部130kg
TT & C	37	Sバンドアンテナを含む
AOCS	115	GPSR, 恒星センサ含む
EPS	76	Li-ion 40AH battery × 2
SAP	50	変換効率27%@ multi-junction セル (2.8kW)
DRTS	36	MDR 72GB, Xバンドアンテナ含む
STR	300	乾燥重量の約21% (通常15%程度)
TCS	35	
計装系	112	LRR 含
推進系	30	4N × 4, 20N × 8, φ550タンク × 2
推薬	120	full tank
計	約1400kg	(3000kg 未満@ 2機)

表2 SIDUSS 観測軌道

回帰日数	飛び越し数	回帰周回数	軌道高度 [km]
28	- 5	415	616.734
28	- 3	417	594.302
28	- 1	419	572.049
28	0	15	560.989
28	+ 1	421	549.972
28	+ 3	423	528.070
28	+ 5	425	506.339

タを利用した Quakesim プロジェクトで地震の中期予測を実施中 [8])

現在 ALOS 後継機構想として、データ中継アンテナを備えた光学衛星・レーダー衛星 2 機ずつで構成された災害監視衛星が提案されているが、地球観測衛星の防災分野の利用については、まだ初期段階であり、今後解決すべき課題が数多く存在するという認識である [9]。(平成13年度の国土地理院の報告によれば、現場レベルでは航空写真やヘリコプターからの映像を単独で利用するにとどまっている [10])

同じような衛星が打上げればユーザーは増えるかも知れないが、予算が一定という前提では業界は疲弊する。

諸外国と比較しても、継続的なLバンド SAR 衛星の開発・運用実績があるのは日本のみであり、今日では InSAR の観測結果は地震予知連絡会でも必要不可欠なものとなっている [11]。故に我が国は、地殻変動検出に特化したLバンド SAR 単独搭載衛星群を構築するのが戦略的に正しいのではないだろうか [12]。

#### 4. 低軌道・連続加速の適用

SIDUSS の設計思想の一つは、ALOS/PALSAR 既開発品を可能な限り流用し、低コスト化と高信頼性を両立させる点にある。よっていきなり200km程度の観測軌道にすることはせず、現実的な500~600kmの観測軌道を選択し、搭載ペイロード余裕を活かして実証用イオンエンジンを搭載する形態を提案する。

#### 5. 地球観測ミッションにおける低軌道観測の必要性

低軌道観測による地球観測として、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) や重力場観測衛星 (GOCE) が運用・開発中であるが、これらの衛星ではミッション達成の「手段」として低い観測軌道が選定された。

光学観測ミッションを例として考えた場合、仮に軌道高度と衛星重量を1/3にすれば、衛星サイズは $(1/3)^3 \sim 0.7$ 未満程度となる。よって分解能は倍程度に向上するが観測幅は1/3の衛星ができる。観測頻度を向上させるには衛星数を増やせばよいが、コストが増加し、何よりも問題なのは各衛星の信頼度を高くしなければ、単一衛星を越えるメリットが見出せない点にある。実際には衛星が小型化するほどペイロード効率は低下するため、衛星の小型化と大口径の光学設計を両立させなければならない。(これは低コスト化の大きな障害となる)

運用上の観点では、短い可視時間・地上局の狭い可視範囲がデメリットとなる。

よって地球観測においてミッション達成上の必要性を除けば、「観測頻度が低く観測幅が狭くても高分解能を要求するミッション」か「軌道高度200km前後の高層大気・電離層観測」しか低軌道観測の存在意義はない [13]。

#### 参考文献

- [1] “インターフェロメトリ双子 SAR 衛星システム”, NASDA News No.158, Jan. 1995
- [2] Massonnet et al., “Radar interferometric mapping of deformation in the year after the Landers earthquake”, Nature 369, May 1994
- [3] 例えば国土地理院干渉 SAR <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/> など
- [4] InSAR 技術研究会 <http://insar.array.co.jp/INSAR-WS/>
- [5] “調査観測計画部会報告書「地震に関する基盤的調査観測計画の見直しと重点的な観測体制の整備について」の意見募集と修正について”, 地震調査研究推進本部第19回政策委員会, 平成13年8月22日
- [6] 児玉, “SAR インターフェロメトリ双子衛星システム (SIDUSS)”, 宇宙・航行エレクトロニクス研究会・電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 105, No. 158, 2005
- [7] 小林・大久保, “JERS-1 干渉 SAR による活火山周辺の地殻変動の検出 - 岩手火山・伊豆半島など -”, 平成11年度東京大学地震研究所共同利用 (研究集会) 「干渉 SAR 技術の応用とその課題」, 1999年9月
- [8] <http://quakesim.jpl.nasa.gov/>
- [9] 防災のための地球観測衛星等の利用に関する検討会, “防災のための地球観測衛星システム等の構築及び運用の進め方について”, 文部科学省, 平成18年9月

- [10] 国土地理院, “航空宇宙技術の災害への利用可能性に関する調査”, 平成13年度調査研究年報
- [11] 日本地震学会地震予知検討会 編, “地震予知の科学”, 東京大学出版会, 2007年5月
- [12] 児玉, “地震火山国の宇宙機関として実施すべき将来ミッションは何か?”, 第2回宇宙ミッションシンポジウム, 2004年12月
- [13] 読売新聞, “3年後打ち上げ目標, 上空180キロ「超低空衛星」開発へ”, 2007年10月27日