

低軌道デブリ観測用搭載光学センサの検討

○松本晴久、柳沢俊史（JAXA）、北澤幸人（JAXA 客員;IHI）、黒崎裕久（JAXA）

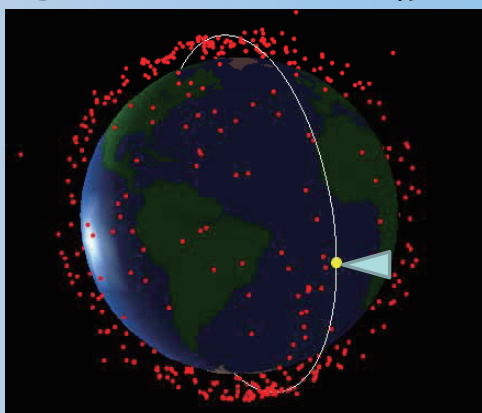
2009年2月のイリジウム・コスモス衛星の衝突事故から、衛星同士の衝突が現実にかかる程、低高度のデブリ環境はクリティカルな状態に入った。各国とも独自の接近解析に基づく、デブリ(衛星も含む)に対する衛星衝突回避マナー(衛星制御運用)の運用を実施している。さらに、米国においては、衝突の可能性がある場合、各国の衛星運用者に連絡する運用(Joint Space Operation Center(JSPOC)情報、2009年9月から)を開始した。

現在、地上観測でカタログ化(軌道の明らかなもの)されているデブリの大きさは約10cm以上である。米国を中心に今後大きさ1cm程度までの計測・カタログ化を目指す必要があるという共通認識のもと、観測システムの検出能力向上を目指しているが、課題が多く実現には至っていない。一方、日本では、諸外国に比べ観測システムの規模及び設備数において大きく遅れを取っている。日本では口径数m程度の光学望鏡のような大型観測設備の保有は困難なため、これまで「重ね合わせ法」というソフト的技法と用いて、光度で2等級程度検出能力を向上させる技術の研究を行ってきた。この技術により小型望遠鏡でもその仕様以上の検出能力を保有することが可能となった。

本発表では、衛星搭載小型光学望遠鏡を開発し「重ね合わせ法」の研究結果も活用し、現在、地上観測で実現していない大きさ1cm程度までのデブリカタログ化実現についての検討結果を示す。

スペースガード研究会

低軌道デブリ観測用搭載 光学センサの検討



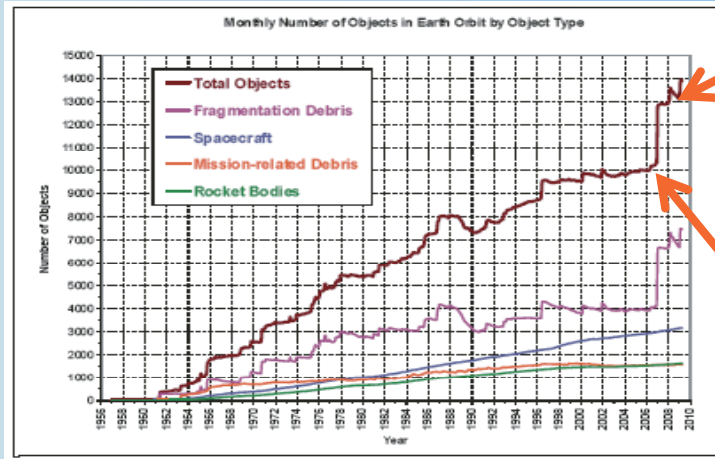
○松本晴久¹⁾、柳沢俊史¹⁾、北澤幸人²⁾、黒崎裕久¹⁾

1)(独)宇宙航空研究開発機構

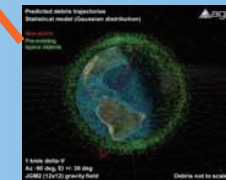
2)(独)宇宙航空研究開発機構 客員;(株)IHI

研究の背景(その1)

- 2009年2月のイリジウム・コスモス衛星の衝突事故から、衛星同士の衝突が現実にかかる程、低高度のデブリ環境はクリティカルな状態に入った。各国とも独自の接近解析に基づく、デブリ(衛星も含む)に対する衛星衝突回避マヌーバー(衛星制御運用)の運用を実施している。さらに、米国においては、衝突の可能性がある場合、各国の衛星運用者に連絡する運用(Joint Space Operation Center (JSpOC)情報、2009年9月から)を開始した。



2009.2.10 ロシアの軍事通信衛星とイリジウム(Iridium)社の通信衛星との衝突事故

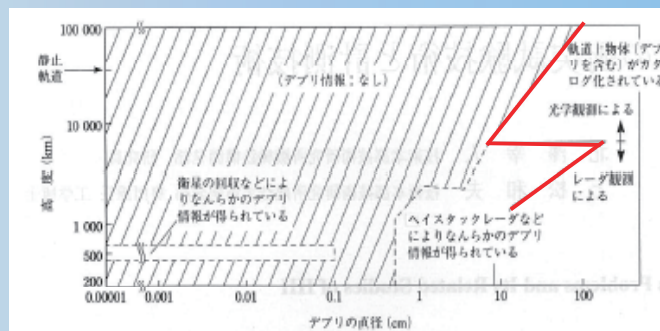


2

2007.1.11 ASAT破壊実験

研究の背景(その2)

- 地上観測でカタログ化されているデブリの大きさは約10cm以上
- 1cm程度までの計測・カタログ化を目指す必要があるが課題が多く実現には至っていない。
- 日本では、「重ね合わせ法と」というソフト的技法と用いて、光度で2等級程度検出能力を向上させる技術の研究を行っている。この技術により小型望遠鏡でもその仕様以上の検出能力を保有することが可能となった。



デブリの大きさ、軌道高度に対する計測可能範囲

3

観測システム(案)

地球の昼と夜の境界を周回するような軌道を通り、太陽と反対方向に小型光学望遠鏡(レンズ及びCCDカメラからなる観測装置)を向けて視野内を通過する低軌道デブリからの反射光を観測する。また、デブリが多く存在する800-100kmより低い600km程度の軌道を取ることで位相を変化させる。

特徴

- ◆ カメラを常に一方向に固定できる。
- ◆ 観測する低軌道デブリは常に準光の条件を確保できる。
- ◆ 常時観測が可能。

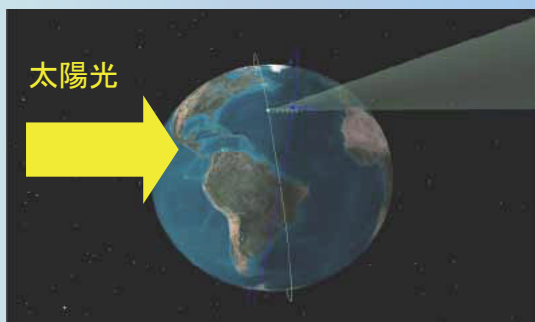
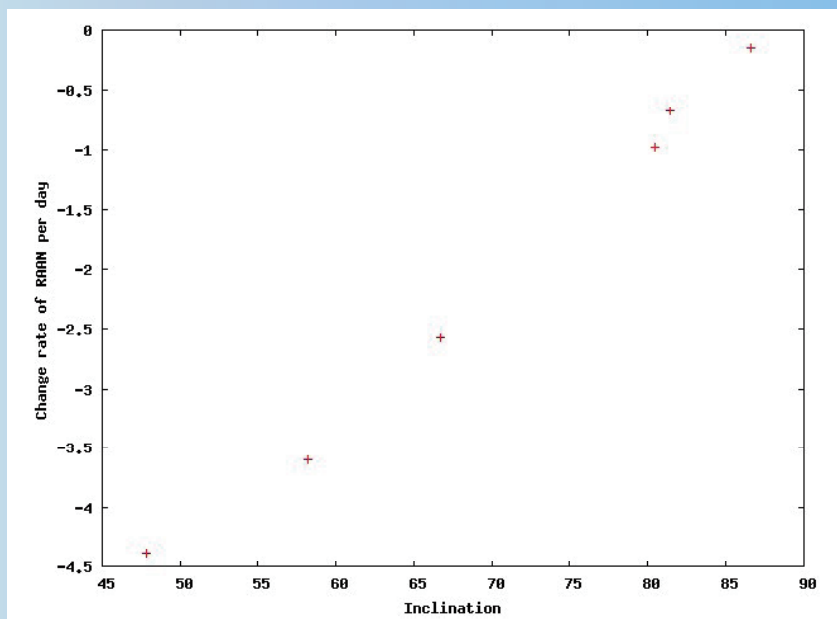


図1 低軌道デブリ観測衛星(案)(STK出力)



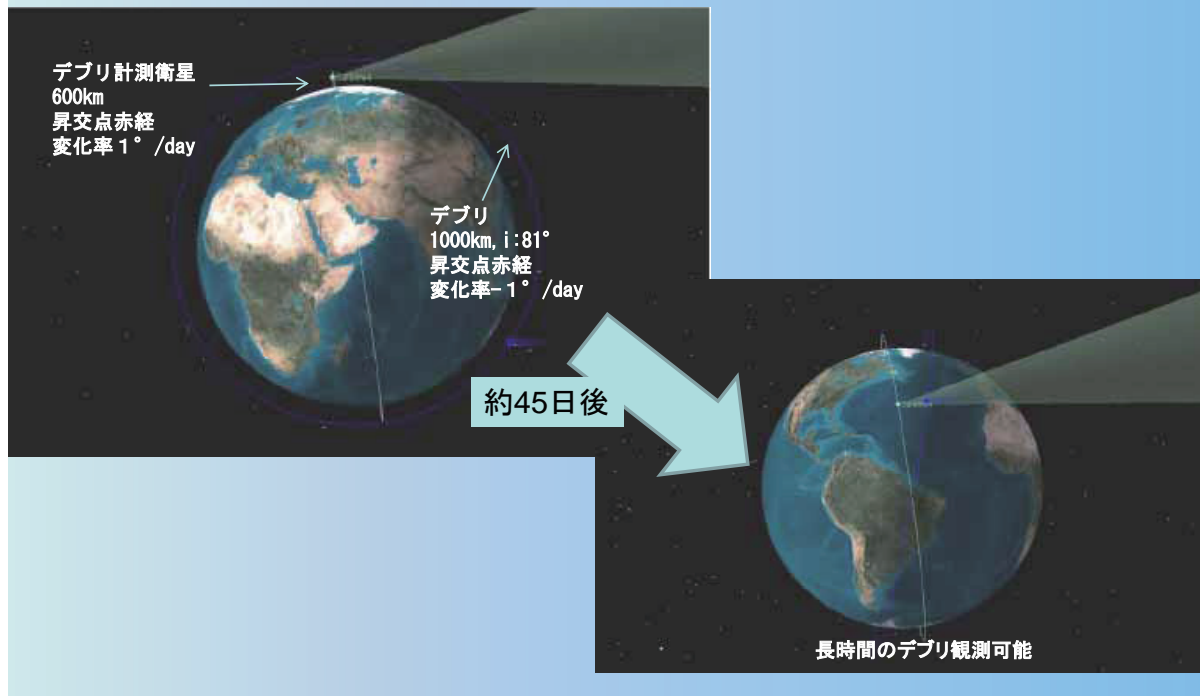
図2 低軌道デブリ観測装置 ⁴

軌道傾斜角に対する 昇交点赤経の1日の変化量



デブリの見え方

i が 81° , 67° , 48° のデブリについて、約180日、100日、67日ごとに観測条件が良くなる



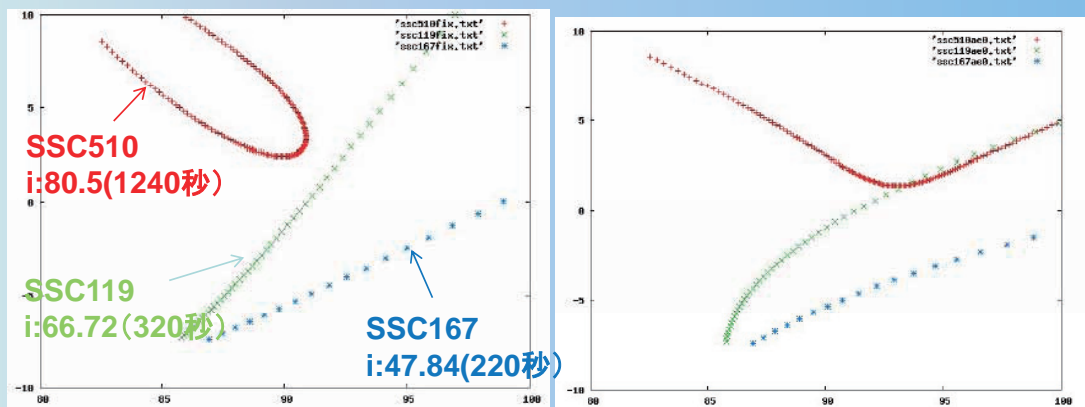
検出デブリのサンプル

比較的観測条件がよいと想像できる、軌道傾斜角 45° 以上の以下の3つのデブリについて確認した。

SSC	epoch	a(km)	e	i	RAAN	ω	M
510	5.812	7379.95	0.0014	80.50	121.17	230.45	129.53
119	4.849	7202.16	0.0101	66.72	149.76	78.90	282.34
167	4.410	719.99	0.0092	47.84	96.28	285.69	73.36

画像上での飛跡

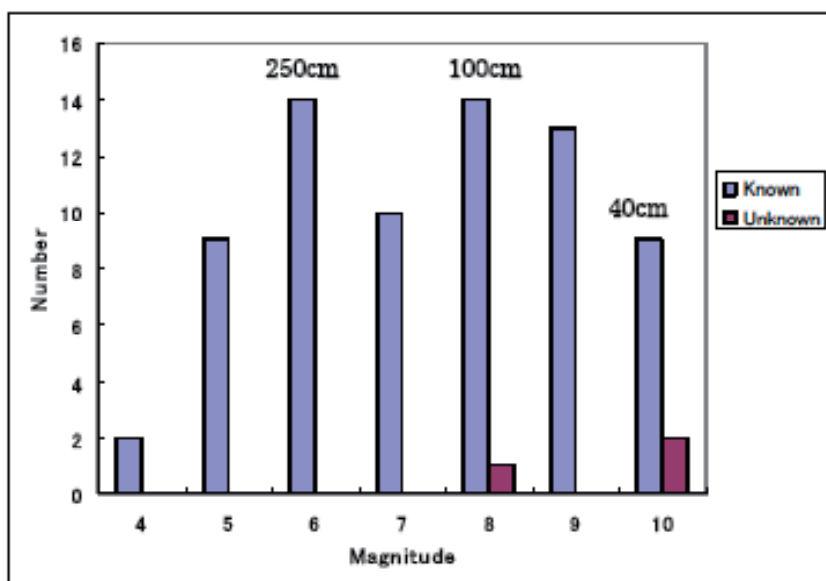
- カメラの視野 $20^{\circ} \times 20^{\circ}$ 、各点は10秒間隔



地球座標で固定

慣性座標で固定

JAXA低軌道デブリ観測装置で 検出された低軌道物体の明るさ分布



軌道観測の特徴

- 観測軌道と搭載方法を考慮すること低軌道デブリを常時観測することができる。
- 地上観測と軌道上観測の違い
 - 反射光の位相角 : 地上 $\sim 90^\circ$ に対して軌道 $\sim 0^\circ$ である (有利)
 - 距離: 地上に比べ軌道は、約2倍 (不利)
 - 視野通過時間: 地上観測に比べ軌道観測時間は長い (有利)
 - スカイバックグラウンド なし (有利)

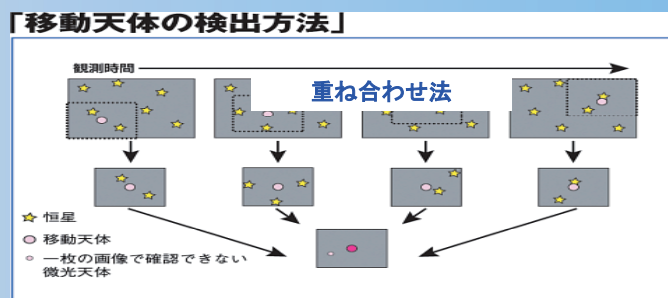
10

観測可能サイズ

未踏技術研究センターでの地上からのデブリ観測装置とNASAの口径3mLMT(Liquid Mirror Telescope)で検出された低軌道物体の明るさ分布、デブリとの距離及び露出時間を考慮したところ、200mmF2(口径10cm)のカメラレンズにFLI製CCDカメラML4240の検出器で地上観測に比べ2等程度暗い12~14等(7~17cm)まで可能であることが分かった。さらに、重ね合わせ法が適用できれば、14~16等(3~7cm)の物体が検知可能となる。



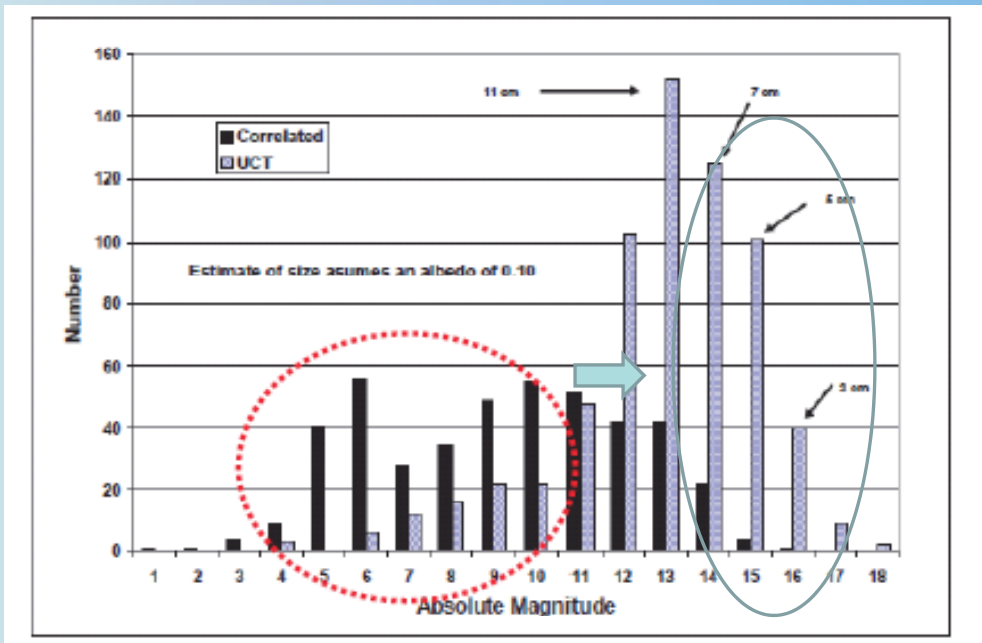
低軌道デブリ観測装置



あらゆる方向と速度を想定して画像をシフトさせ中央値をとるという処理を行い暗いデブリを検知する。

11

NASA, LMTで検出された低軌道物体の明るさ



12

撮像素子候補

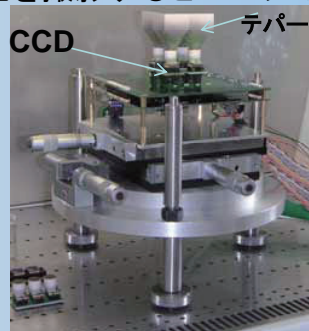
- センサ
 - イメージインテンシファイアー (I.I.)
 - CMOSイメージセンサ
- 構造
 - 電子増倍機能を持つ撮像素子をR・G・Bごとに3枚搭載する。(五藤光学研究所が「スーパー超高感度カメラ (NC-R550a) で実現)



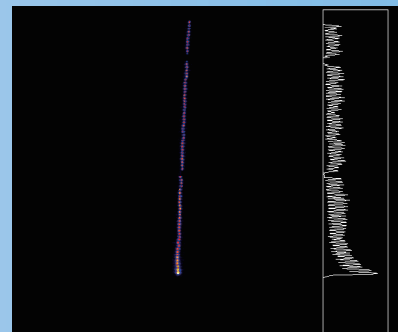
13

イメージンテンシファイアー(I.I.)

- I.I.を宇宙で使用する利点
 - 高い電子増倍($\sim 5 \times 10^5$)能力をもち、放射線に強く、10年のミッションでも劣化しない。
 - 光電面をうまく作れば、常温でも暗電流がほとんど出ない。
 - 高圧を必要とするが電流が μA 程度なので電力消費がすくない。
- 問題点
 - 誤って強い光を撮影するとセンサの寿命が短くなる。

70mm Φ I.I.

飛跡読み取りシステム



鉄の飛跡

14

超高感度非冷却CMOSイメージセンサ

- 最新の研究成果により、CMOSイメージセンサでも以下の特徴を有するセンサの実用化が進行中。
- 高感度・超低ノイズ(1電子以下)
 - 10フレーム/秒、被写体照度0.03lxにおいて低照度撮影を行った結果、高電子増倍管による超感度CCDイメージセンサを用いたカメラ(EM-CCDカメラ)よりもノイズ感の少ない映像が得られるという報告がある。
- 広ダイナミックレンジ(>80dB)

15

今後の課題

NO.	項目	課題
1	観測システム	代表的なデブリデータ、観測可能時間、デブリ観測数等を考慮し最適な観測システムを検討する。 [検討事項] 観測衛星の最適な軌道要素、搭載位置(シンバルの有無)、通信方式、デブリの見え方(光学等級、視野内での運動)等を明らかにする。
2	小型光学望遠鏡	既開発品である全天X線監視装置(MAXI)のCCD読み取り技術やGOSAT搭載カメラ等の技術レベルを基に開発センサの仕様、課題、対処方法を抽出する。 [検討事項] 性能要求: 検知サイズ: 1mm~10cm(暫定)、フラックス計測、追跡能力、形状、材質、距離計測 全体: リソース(電力、重量、寸法、データ量) 光学系: 望遠鏡の方式(屈折、反射、反射屈折式)、基本構造 ノイズ対策: 散乱光、月・惑星光による迷光、黄道光、夜光 カメラ系: 投光器(レーザ等)の有無、計測波長、CCDのスペック、支持構造 環境対策: 熱設計、放射線設計(特に部品、レンズ)、コンタミ(アウトガス) データ処理: CPU性能、データフォーマット、 重ね合わせ法用の軌道上画像処理アルゴリズムの検討
3	シミュレーションソフトウェアの開発	観測システムの仕様・性能、軌道上物体のカタログデータ等を加味したシミュレーションソフトウェアを開発する。
4	開発計画・ミッションシナリオ検討	フライト品の開発計画の検討、及び衛星への実装方法、検証方法及び効果的なデータ取得のためのミッションシナリオを検討する。

まとめ

●軌道上観測の特徴を生かすことにより、地上観測では実現していない大きさ数cm程度までのデブリ観測の可能性について述べた。

●日本独自のセンサ技術および「重ね合わせ法」の研究成果を活用することにより、ユニークな衛星搭載小型光学望遠鏡の開発が可能である。