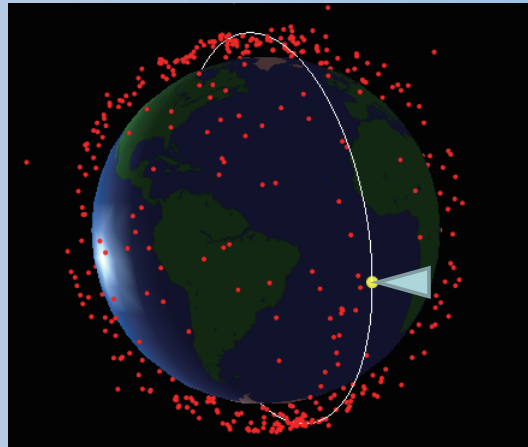


第8回宇宙環境シンポジウム

衛星搭載光学デブリセンサの検討



○松本晴久¹⁾、柳沢 俊史¹⁾、北澤幸人²⁾

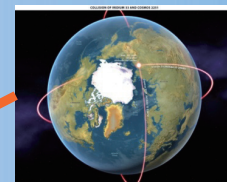
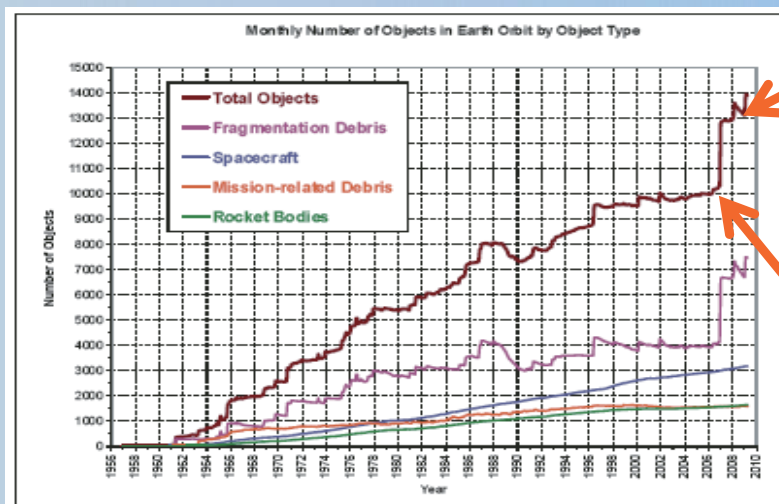
1)(独)宇宙航空研究開発機構

2)(独)宇宙航空研究開発機構 客員;株IHI

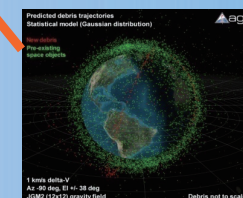
1

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、衝突の可能性のある場合、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

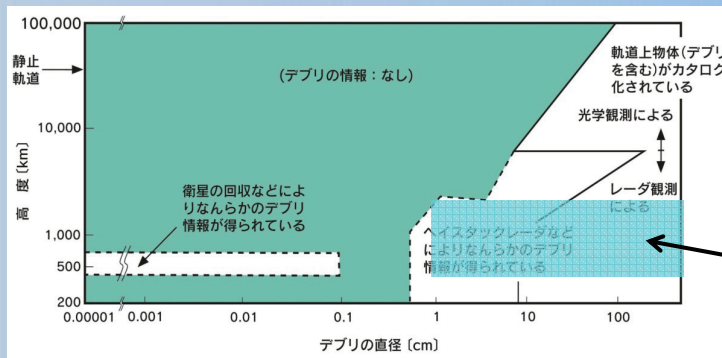


2

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1~2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。

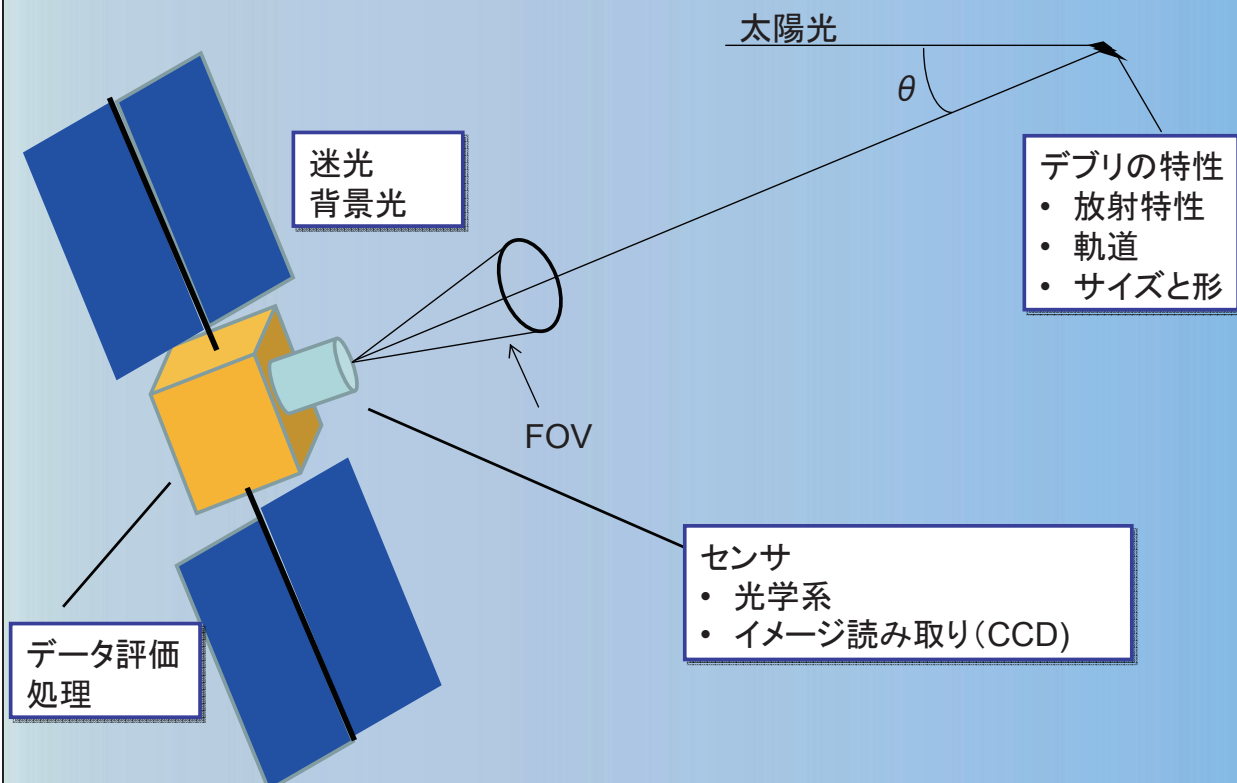


計測対象

3

デブリの大きさ、軌道高度に対する計測可能範囲

軌道観測イメージ



4

昨年度までの成果 —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800-1000km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)

5

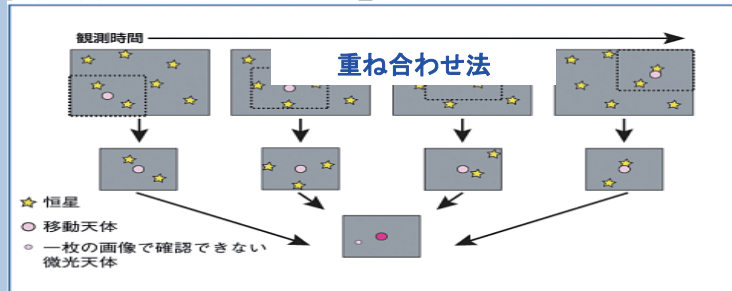
昨年度までの成果 —観測可能サイズ—

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

「移動天体の検出方法」



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。

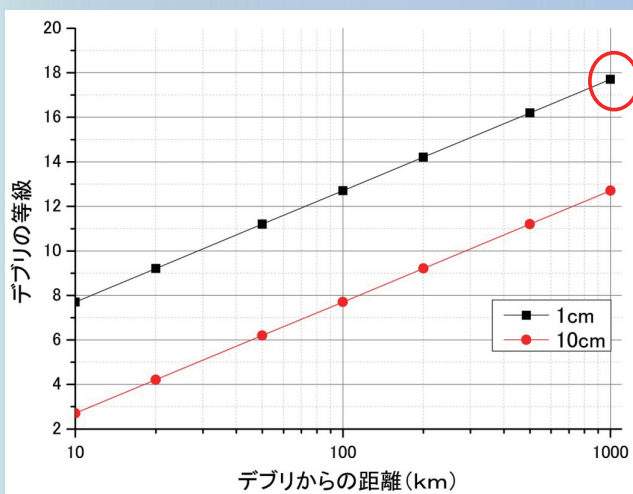
6

観測の目標

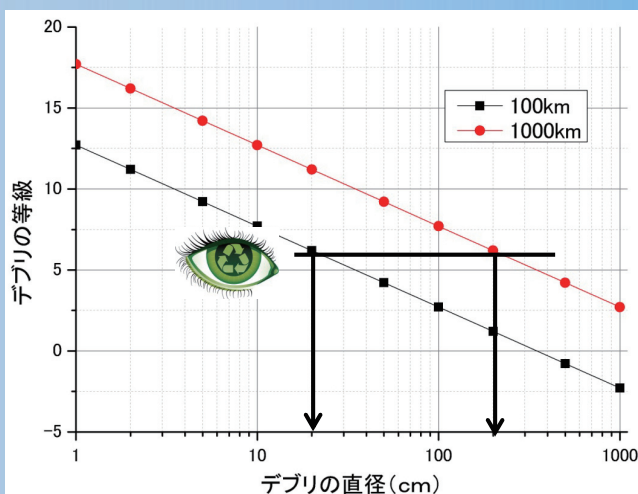
- 対象デブリ
 - 観測衛星から1000km離れたデブリ
- モデルの改良(第1目標)
 - デブリ分布密度の計測
- 10cm以下のデブリのカタログ化(第2目標)
 - 軌道要素
 - 動き(オプション)
 - 形状・材質 (オプション)

7

デブリまでの距離・デブリサイズ・等級との関係 — Lambertian球、アルベド 0.1、位相角0° を想定 —



デブリからの距離と等級の関係
黒:1cm、赤:10cm



デブリ直径と等級の関係
黒:100km、赤:1000km

※ Nakは、0.85と大きい

8

装置の検討

-デブリ検出性能は何により決まるか？-

項目	検出デブリの直径との関係				備考
	比例	1/2乗で比例	反比例	1/2乗で反比例	
距離	○				
デブリ速度		○			
SN		○			
光学系の焦点距離		○			(Fnの小さいもの1.2が理想)
光学系の口径			○		
デブリのアルベド				○	
1ピクセルの露光時間				○	
光学特性				○	
ピクセルサイズ				○	(但し、位置分解能は悪くなる)

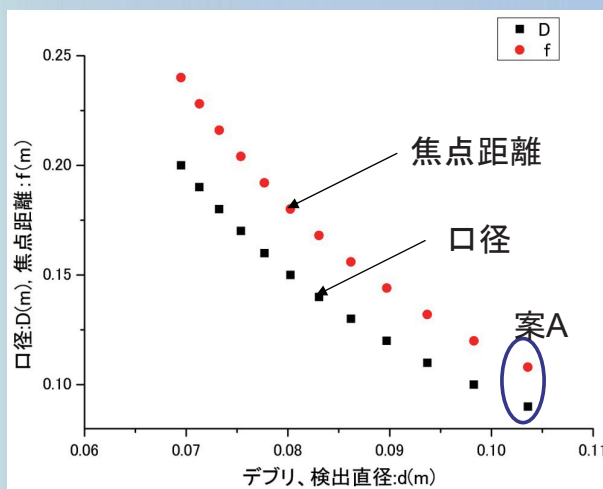
小さい方が良い

大きい方が良い

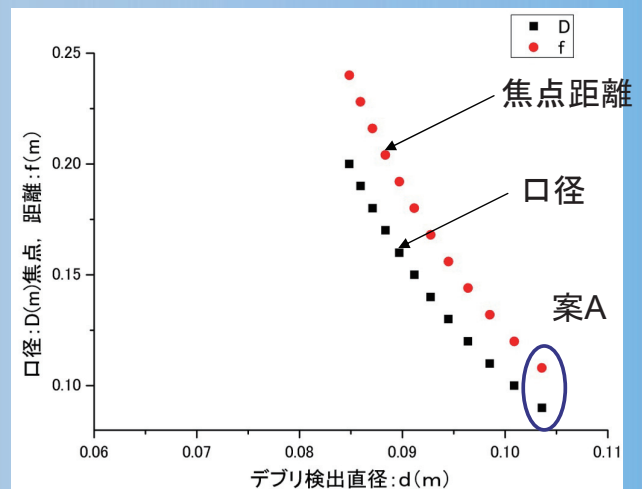
受光光学系の口径はできるかぎり大きくしたい。
 観測可能なデブリの直径は、受光光学系の焦点距離の1/2乗に比例し、検出器のピクセルサイズの1/2乗に反比例して大きくなる。
 これは、積分時間から導かれるものである。従って、受光光学系の焦点距離はできる限り小さくし、検出器のピクセルサイズはできるかぎりだけ大きくしたい。
 上記から受光光学系の口径を大きく、焦点距離は短くすることはFナンバーをできる限り小さく(明るく)し(F=焦点距離÷レンズ口径)、そのうえで焦点距離を長くしてでも口径を大きくすべきということになる。
 但し、Fナンバーを固定し、焦点距離(口径)を増しても、観測可能デブリ直径は焦点距離(口径)の1/2乗に反比例する。

焦点距離,口径と検出デブリサイズの関係

-次頁 案AでF1.2に固定した場合-



イメージ劣化率が変化しないとした場合
(焦点距離(口径)の1/2乗に反比例)



焦点距離によるイメージ劣化率を考慮した場合

スペック(案) デブリ速度 0.4° /sec, 4×4ビニング

項目	レンズ		反射物	
	案A	案B	案C	案D
光検出器	24×24 1024×1024 CCD	←	←	←
焦点距離(f)(mm)	106.5	100	183.4	600
Fナンバー(Fn)	1.2	1.4	1.2	3
全角(FOV)	13.3° × 13.3°	14.2° × 14.2°	7.7° × 7.7°	2.3×2.3°
有効口径(D)(mm)	88.7	71.4	152.0	200
波長域(Δλ)	0.2 μm (450~650nm, 基準波長:550nm)	←	0.3 μm (400~700nm, 基準波:550nm)	←
光学特性	0.215	0.222	0.3	0.188
S/N(dB)	5(目標 2)	←	←	←
リードノイズ	10e- (目標 5e-)	←	←	←
検出サイズ(cm) ()内重ね合わせ	10.4(6.6)	12.3(7.8)	5.5(3.4)	9.6(6.08)
優先順位	2	4	1	3 11

空間分布評価のキーとなるもの

- 明るさ(等級)
 - 恒星を選び評価
- デブリまでの距離/距離変化率
 - 軌道から推測
- アルベド
- 検出率
- デブリの大きさ

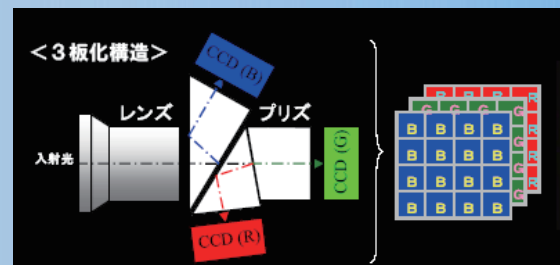
デブリの軌道決定に対するパラメータ

- 必要データ
 - デブリの位置(角度) 3点
- 角度観測精度に対する要求
 - 0.001° 以下(暫定)
 - 現状、 0.001° 以下は、困難であるためどこまで要求を落とせるか検討中
- 姿勢決定精度
 - 取得できた恒星データを用いる

13

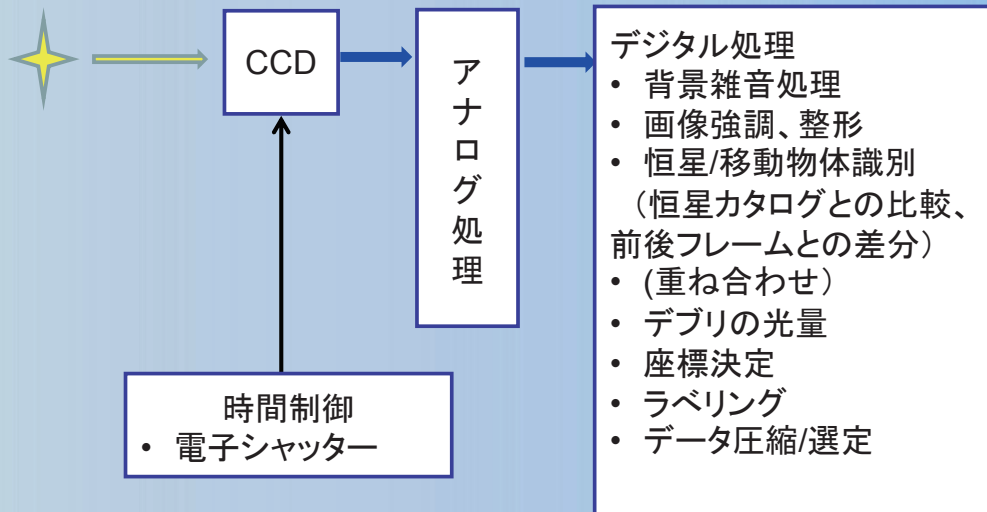
明るさの変化で得られるもの

- 太陽光入射の量の変化
 - 太陽光の入射条件の違い
 - デブリまでの距離の違い
 - デブリの大きさ
- 見た目の断面積の変化
 - 自転による変化
 - 反射率の変化
 - 表面物質(状態)の違い(多色観測BVRI)
 - 形状



14

軌道上データ処理



どこまで軌道上で行うか？

15

今後の計画

- ハードウェアの検討
 - F1.2に近い光学センサの実現
 - 軌道決定における角度分解能の依存性評価
 - CCDのノイズ低減、大型サイズの採用
 - デブリの追跡機能
- 観測条件設定の見直し
 - 露光時間の最適化
 - 現在約0.4度/secを設定、(ラフな解析で5倍遅いものもそれなりにあるので、移動速度の遅いものに絞るのも一つの方法)
 - ターゲットの距離を1000kmからより近いものにする。500kmならば $0.7(1/\sqrt{2})$ 倍のものが見えるようになる。
- シミュレーションソフトウェア
 - GOSAT カメラデータ評価
 - ソフトウェアの開発

16

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。
- 今年度を目標に予備検討を終了させる。