

美星スペースガードセンターにおけるデブリ観測の現状

○西山広太（日本スペースガード協会）

岡山県美星町にある美星スペースガードセンターは、地球近傍小惑星およびスペースデブリの発見・監視を目的とした施設であり、口径 1.0m と 0.5m の2台の望遠鏡を使って、365日体制で観測を実施している。スペースデブリは、基本的に天空上での移動量が位置測定の基準となる恒星と大きく違う点の特徴である(スペースデブリの観測は軌道データ(TLE=Two Line Element 等)を使って対象天体を追尾する方法で行っている)。そのため、デブリ観測では観測方法(追尾や露出時間の制限)や解析方法(天体の検出、位置測定)が通常の日体観測とは異なっており、小惑星観測に比べ観測の効率や精度等が相対的に悪くなる傾向を生み出している。美星スペースガードセンターでは、アプリケーション等の開発によってデブリ観測の効率化を進めており、今回はそれを中心としたデブリ観測の概要、また、デブリ観測の精度についても報告する。

2010/12/16-17 第3回スペースガード研究会&第4回デブリワークショップ

美星スペースガードセンターにおけるデブリ観測の現状 (BSGC)

1) BSGCの仕事

2) デブリ観測の概要

観測装置、観測方法、検出・測定の流れ

3) 位置測定誤差について

4) 高速移動天体（低軌道衛星）の試験観測

日本スペースガード協会
美星スペースガードセンター観測員
西山広太

はじめに：BSGCの仕事

観測関係

- 365日体制で観測
- 「利用者」の依頼に基づき観測を実施
- 主として静止軌道帯の衛星・デブリ
- 即日、観測=>位置測定=>結果報告

観測以外

- 観測・解析環境の改善
観測システムの開発・修正（望遠鏡、CCD制御プログラム等）
データ処理プログラムの開発（自動検出測定プログラム等）
- 観測機器・データの評価
望遠鏡・CCDカメラの基本性能評価
限界等級の評価
位置測定値の精度やその要因についての検討
気象データの解析
- あらたな観測手法の検討・開発等
高速移動天体の試験観測（低軌道衛星：高度600～1000km程度）
TDIによるデブリ観測システムの開発

2) デブリ観測の概要

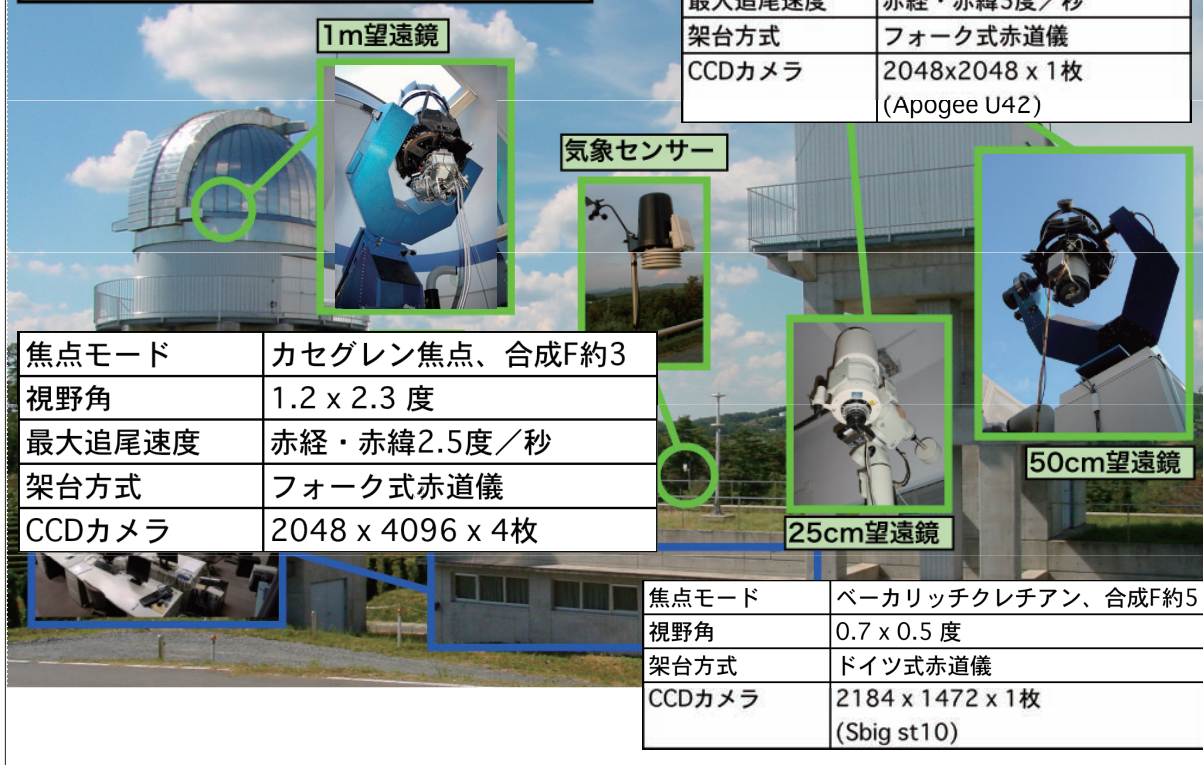
観測装置

観測方法

デブリの検出・位置測定

観測装置

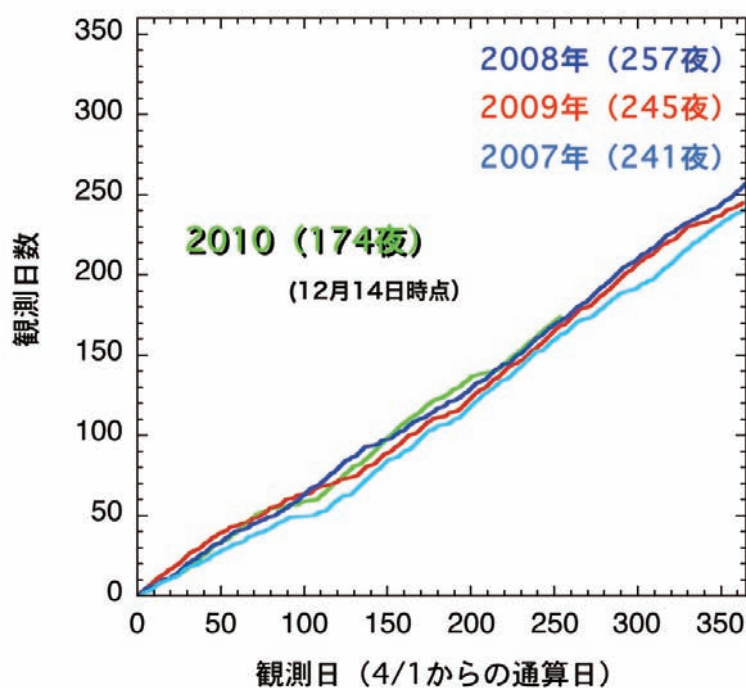
美星スペースガードセンター観測システム



BSGCの観測日数

観測日数累計

観測実施率～70%



デブリの観測方法

- ・デブリの動きにあわせて追尾（TwoLineElement：衛星の軌道データを使用）
- ・連続4～6枚程度撮像 → ブリンクして検出
- ・露出時間：0.1秒～10秒（長時間露出：恒星が線状となり座標決定が困難）



デブリの検出・位置測定 ⇒ ほぼ自動化

1) 観測画像の座標決定

恒星像の重心の算出（XY座標）
星表との比較（赤経、赤緯値の決定）

2) 点像物体のピックアップ

画像からあるS/N以上の座標値を算出
周辺3x3ピクセルの重心を計算（XY座標）

3) デブリ候補像の決定

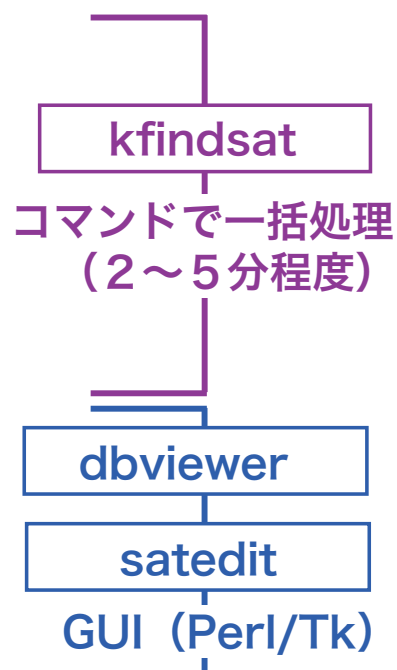
複数画像の点像物体の座標値を比較
座標の変化の誤差がしきい値以下かどうか

4) 誤検出確認

観測者が画像をみて確認

5) 最終結果まとめ

*使用言語：C, Perl, Perl/Tk(GUI)



3) 位置測定誤差について

デブリ観測時の誤差の特徴

1) 画像の座標決定の誤差が大きい

衛星は恒星に対して移動

静止衛星の場合 (15秒角/秒) [小惑星~0.01秒角/秒]

=>恒星が線像となる

=>恒星の重心位置の誤差が大きくなる

*典型的な露出時間(0.1秒~2.0秒)では
誤差は顕著に現れない(2009年調査)



小惑星観測

2) 時刻の誤差が位置誤差に影響

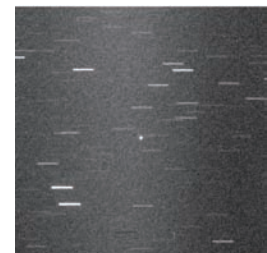
時刻**0.1秒**の誤差 => **1.5秒角** [1ピクセル = 1秒角 (1m望遠鏡)]
(静止軌道上で**310m**)

シャッター開閉時間の不安定生調査 (2007年調査)

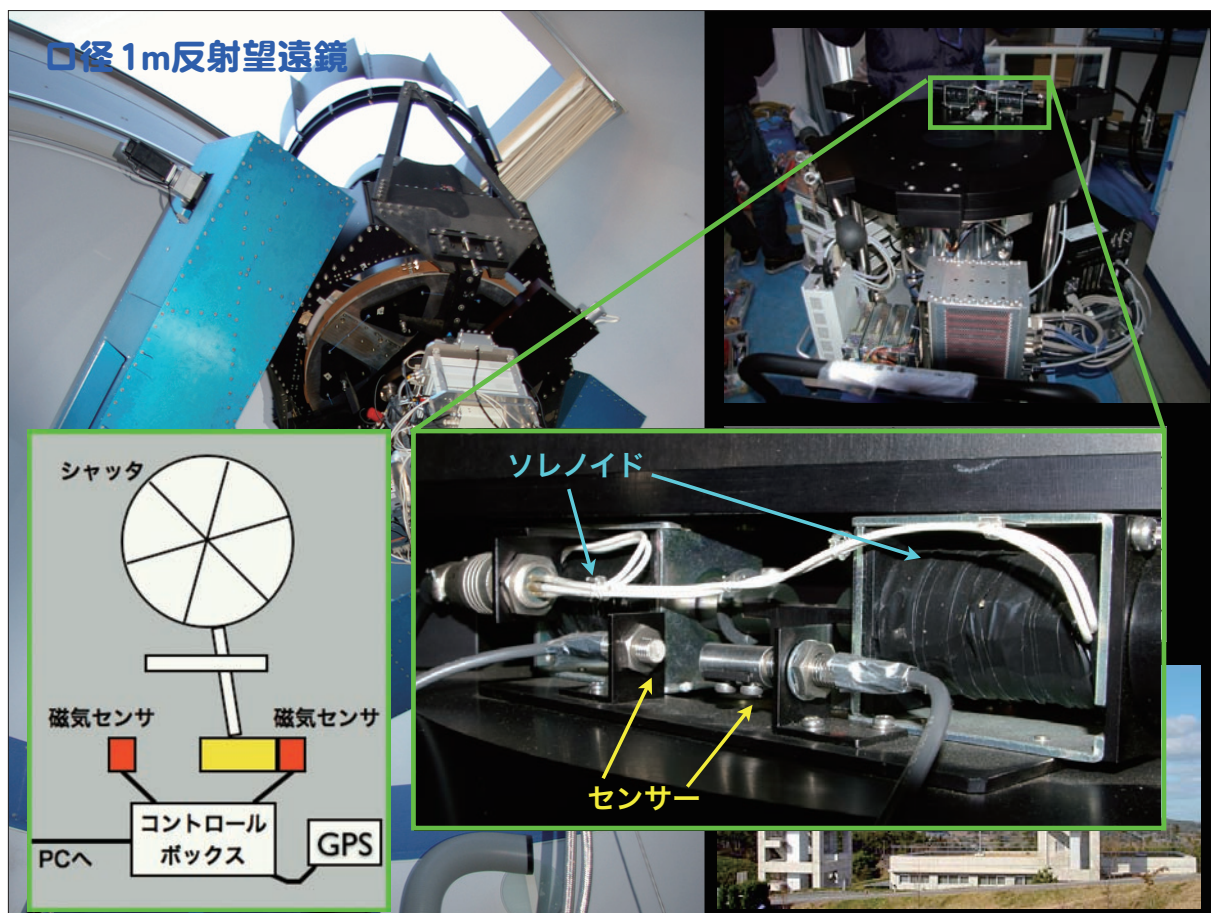
・0.5秒角程度の位置測定誤差に (赤経値)

赤緯の位置誤差 ~0.3秒角 (2008、2009年調査)

=> 新CCD導入 (2009年1月) 時にシャッタにGPSセンサを設置



デブリ観測



観測

- ・2010年12月11日
- ・観測機器：1.0m望遠鏡
- ・TLEによるトラッキングモード
- ・対象：MTSAT-1R (05006A)
35,775 x 35,797 km, 0.0°
(静止軌道)

明るさ12.5等程度

開始時刻 (UTC)	露出時間 (秒)	撮影枚数 (枚)
10:32:34	0.3	25
10:38:46	0.3	25
10:45:17	0.3	25
10:51:24	0.3	25
10:57:50	0.3	25
11:03:56	0.3	25
11:10:08	0.1	25
11:16:09	0.1	25
11:22:10	0.1	25
11:28:41	0.1	25
11:34:41	0.1	25
11:40:59	0.1	25



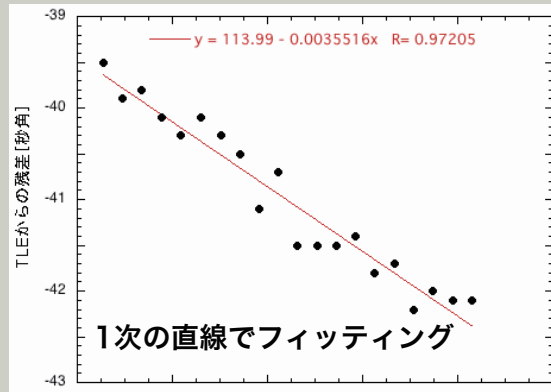
”05006A”の観測画像（連続する5枚）
視野中心付近（600x480）をトリミング
近傍の未確認衛星 => Xobj

位置測定精度の指標

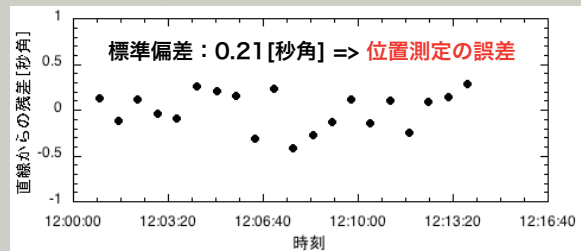
位置測定データ

TLEからの残差

残差の標準偏差

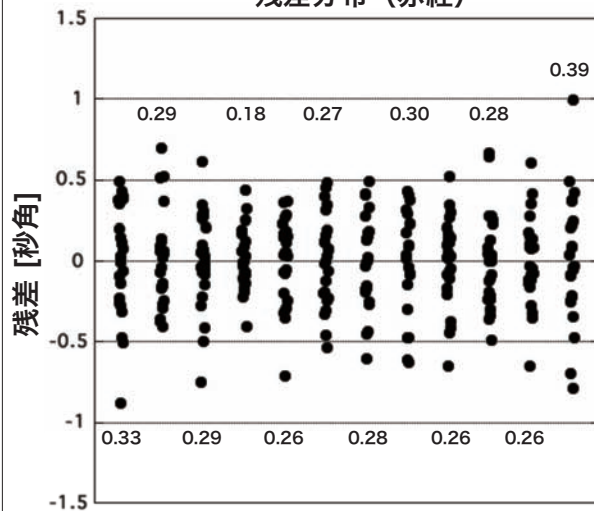
位置測定精度の指標
(位置測定の誤差)

直線からの残差を求める

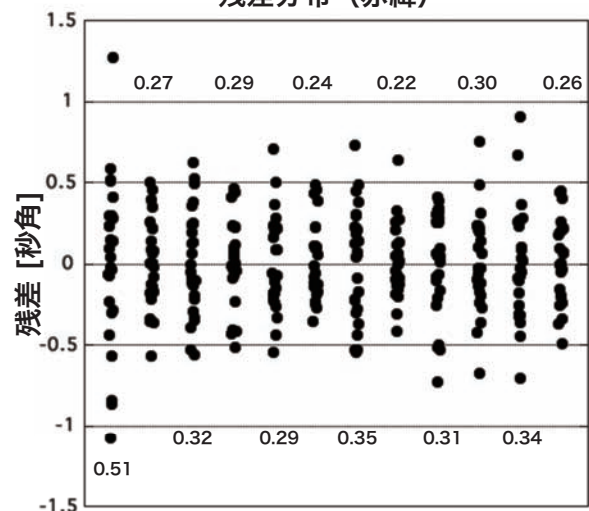


結果

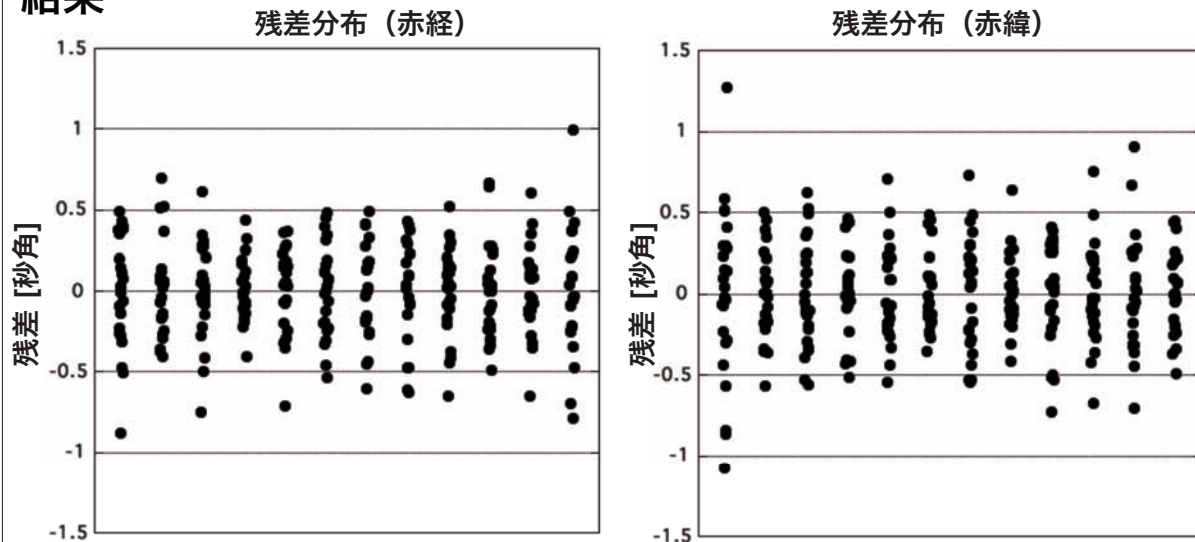
残差分布 (赤経)



残差分布 (赤緯)

位置測定誤差の平均 (秒角)
(2010年)赤経: 0.28 ± 0.05 赤緯: 0.31 ± 0.07

結果



位置測定誤差の平均 (秒角)
(2010年)

赤経: 0.28 ± 0.05

赤緯: 0.31 ± 0.07

シャッターGPSモニタなし

(2007年、2008年)

赤経: ~ 0.5

赤緯: ~ 0.3



結果

位置測定誤差の平均 (秒角)
(2010年)

赤経: 0.28 ± 0.05

赤緯: 0.31 ± 0.07

シャッターGPSモニタなし

(2007年、2008年)

赤経: ~ 0.5

赤緯: ~ 0.3



- ・ 赤経と赤緯の誤差は同程度 ~ 0.3 秒角
- ・ 赤経の誤差が改善

新シャッター機構により

=>時刻の精度が上がったため

時刻誤差: 20m秒以下

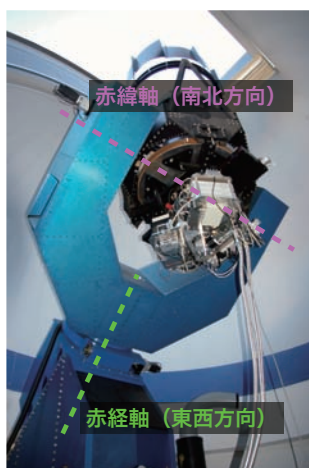
(0.3 秒角/ 15 秒角 = 0.02 秒)

4) 高速移動天体の試験観測 (低軌道衛星)

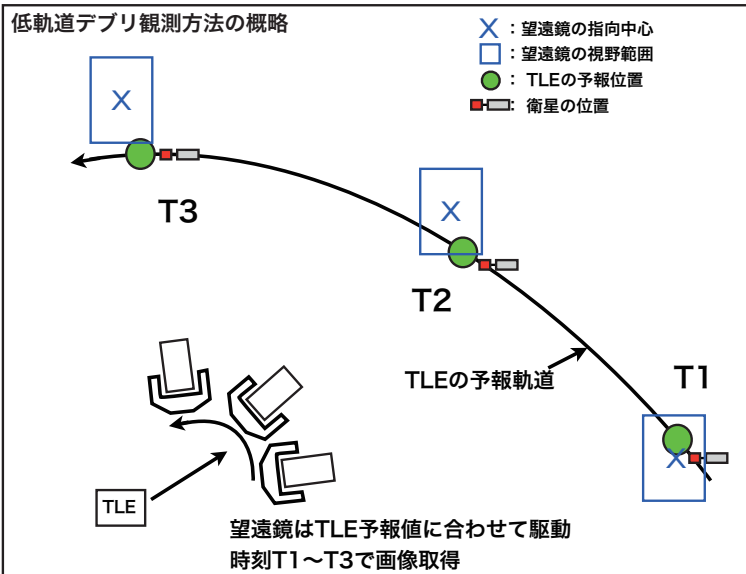
BSGCにおける低軌道デブリの観測

望遠鏡を軌道要素TLE(Two Line Element)に基づいて駆動させ天体をとらえる

1.0m望遠鏡の駆動軸



低軌道デブリ観測方法の概略



指向差分 = 望遠鏡の指向中心 (X) - TLE予報位置 (●)

指向差分が望遠鏡の視野内 = 検出

BSGCにおける低軌道デブリの観測

2006年～2007年：駆動軸の改修 =>

高い機械精度

0.1秒毎にエンコード値を監視・補正

	駆動速度	
軸	600秒角/秒	3600秒角/秒
赤経軸	1.0秒角rms以下	1.0秒角rms以下
赤緯軸	2.0秒角rms以下	7.0秒角rms

=

高度600km程度の
低軌道デブリは充分
追尾可能

1.0mの視野の1%以下

2008年～2009年：試験観測

機械精度に反して検出率は低い (38%)

=>低検出率の原因を特定：制御プログラムのバグ

試験観測で高検出率 (93%) を達成

試験観測と結果

観測:2010年3月25, 26日

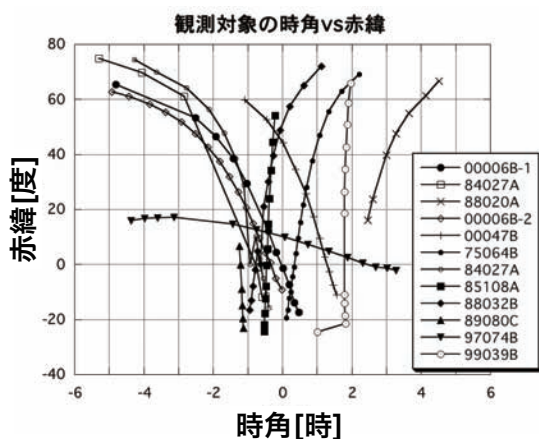
観測天体数：12

(高度500km～800km)

明るい対象を選定 (4等以上)

露出時間：0.1秒

TLEによる追尾

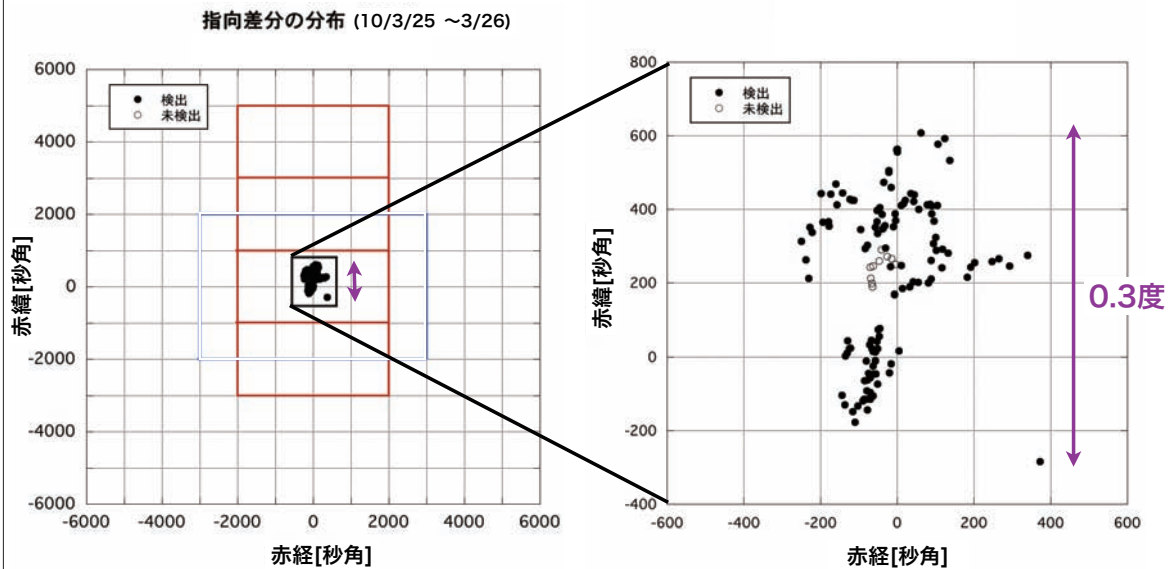


観測日	衛星名 (国際標識)	軌道高度	検出数/撮像枚数 積分時間	天球上の移動
2010年3月25日	Cosmos 2369 R (00006B)	831 x 852km	1/11 0.1sec	東南東→北北東
2010年3月25日	Cosmos 1544 (84027A)	532 x 552km	5/5 0.1sec	南南東→北北西
2010年3月25日	Cosmos 1933 (88020A)	568 x 585km	7/7 0.1sec	南→北
2010年3月26日	Cosmos 2369 R (00006B)	831 x 852km	17/17 0.1sec	南西→北北東
2010年3月26日	Lacrosse 4 R (00047B)	553 x 648km	11/11 0.1sec	南→北東
2010年3月26日	Meteor 2-1 R (75064B)	830 x 909km	16/16 0.1sec	北→南
2010年3月26日	Cosmos 1544 (84027A)	532 x 552km	12/12 0.1sec	南→北
2010年3月26日	Cosmos 1703 (85108A)	559 x 577km	12/12 0.1sec	北→南
2010年3月26日	Cosmos 1939 R (88032B)	553 x 605km	12/12 0.1sec	南南東→北
2010年3月26日	Intercosmos 24 R (89080C)	498 x 2449km	6/6 0.1sec	北→南南東
2010年3月26日	ETS-7 (97074B)	485 x 493km	14/14 0.1sec	西北西→東
2010年3月26日	Okean OR (99039B)	629 x 651km	12/12 0.1sec	北北東→南

• 検出率93% (125/135)

=>未検出の1天体 (00006B) は予報誤差または暗い天体であった可能性が高い

指向差分の分布 = 望遠鏡の指向中心 - TLE予報位置



望遠鏡の指向誤差は0.3度程度

TLEの予報誤差の推定

方法

検出天体の座標値とTLE予報値との差分

=> TLEの予報誤差

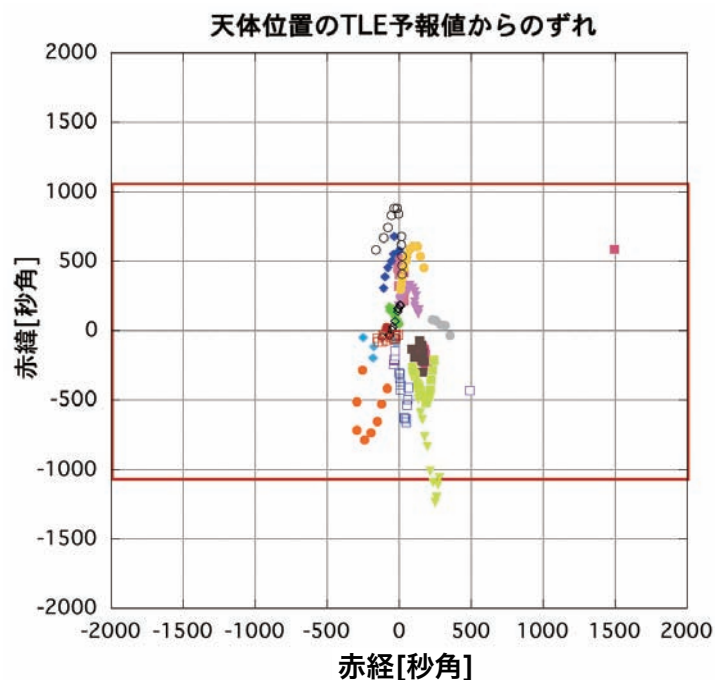
サンプル

検出天体 (2009年観測)

天体数: 19天体

188点 (総観測点数 204)

TLEの予報誤差の推定



TLE予報誤差0.6度程度（指向誤差の2倍）

=> 検出の可否はTLE予報値の精度に依存

まとめ：高速移動天体（低軌道衛星）の試験観測

- ・ 1.0m望遠鏡により低軌道衛星の追尾観測を実施
- ・ 望遠鏡の指向誤差は0.3度程度
- ・ TLE予報値の誤差は0.6度程度
- ・ 検出の可否はTLE予報値の精度に依存
- ・ 高度600km程度の低軌道衛星は充分追尾可能

2010/12/16-17 第3回スペースガード研究会&第4回デブリワークショップ

美星スペースガードセンターにおけるデブリ観測の現状

まとめ

1) BSGCの仕事

2) デブリ観測の概要

3) 位置測定誤差について

- ・ 赤経と赤緯の誤差は同程度 ~ 0.3 秒角
 (静止軌道衛星の場合)
- ・ 時刻誤差：20m秒以下と推定

4) 高速移動天体（低軌道衛星）の試験観測

- ・ 望遠鏡の指向誤差は0.3度程度
- ・ TLE予報値の誤差は0.6度程度
- ・ 高度600km程度の低軌道衛星は充分追尾可能