

Tomo-e Gozenと重ね合わせ法による 高速移動微小NEOのサーベイ観測計画

奥村真一郎、浦川聖太郎（日本スペースガード協会）

柳沢俊史、吉川 真（JAXA）

酒向重行、大澤 亮、小島悠人（東京大学）

Tomo-e Gozen 開発チーム

内容

- 移動天体の観測とトレイルロス、重ね合わせ法について
- Tomo-eカメラによる高速移動微小NEO (=Near Earth Object)の観測計画

Tomo-e カメラと重ね合わせ法による 高速移動天体の観測

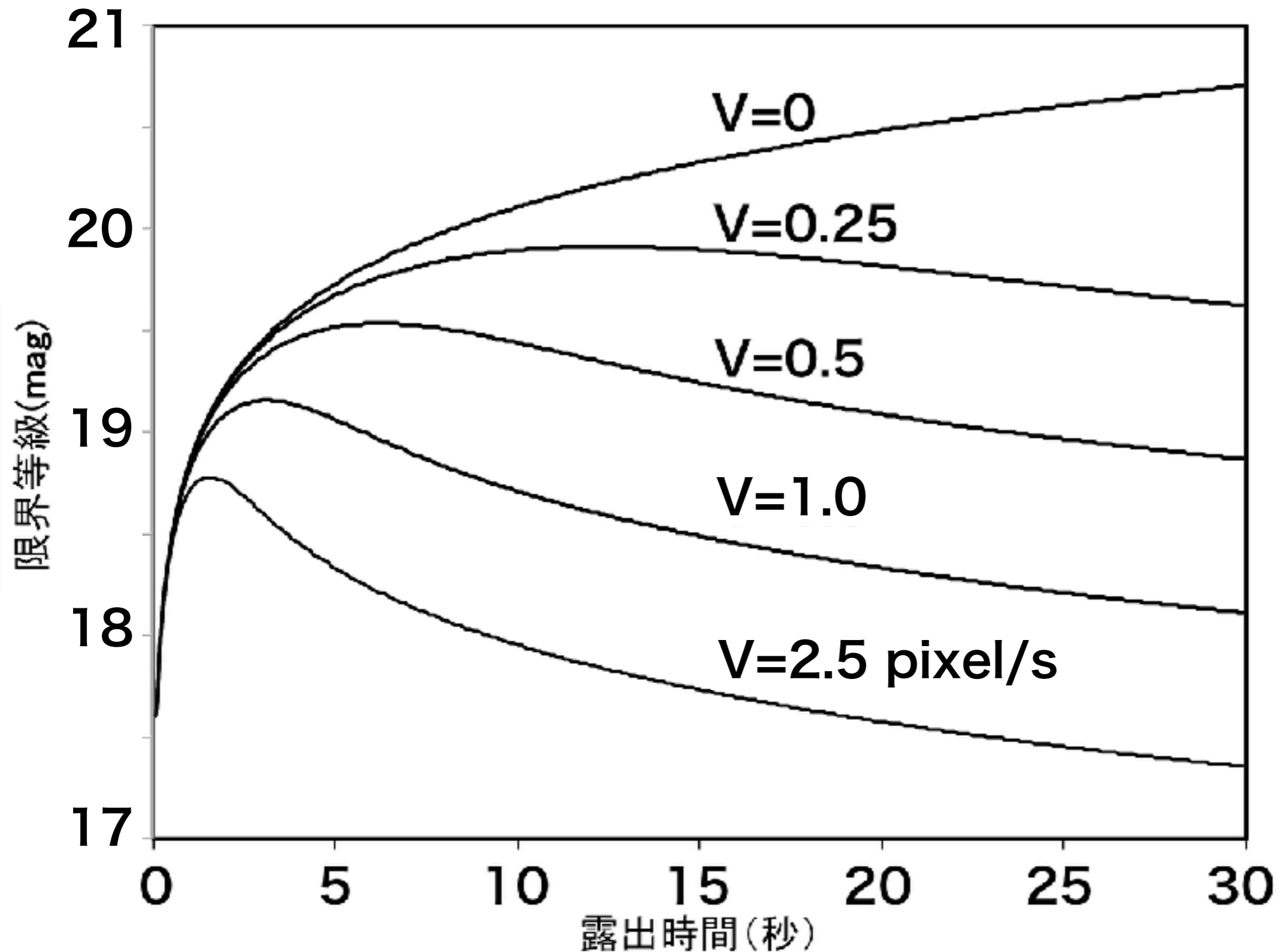
★ 観測対象

1. 地球に接近する未発見の小惑星
→2018年度の科研費天文学分野に応募：採択
2. 静止軌道（高度36000km）の未知スペースデブリ
→2017年度の科研費航空宇宙工学分野に応募：不採択

高速移動天体の観測

- ・ 移動天体→露出中にトレイルするため検出しにくい
(トレイルロス)

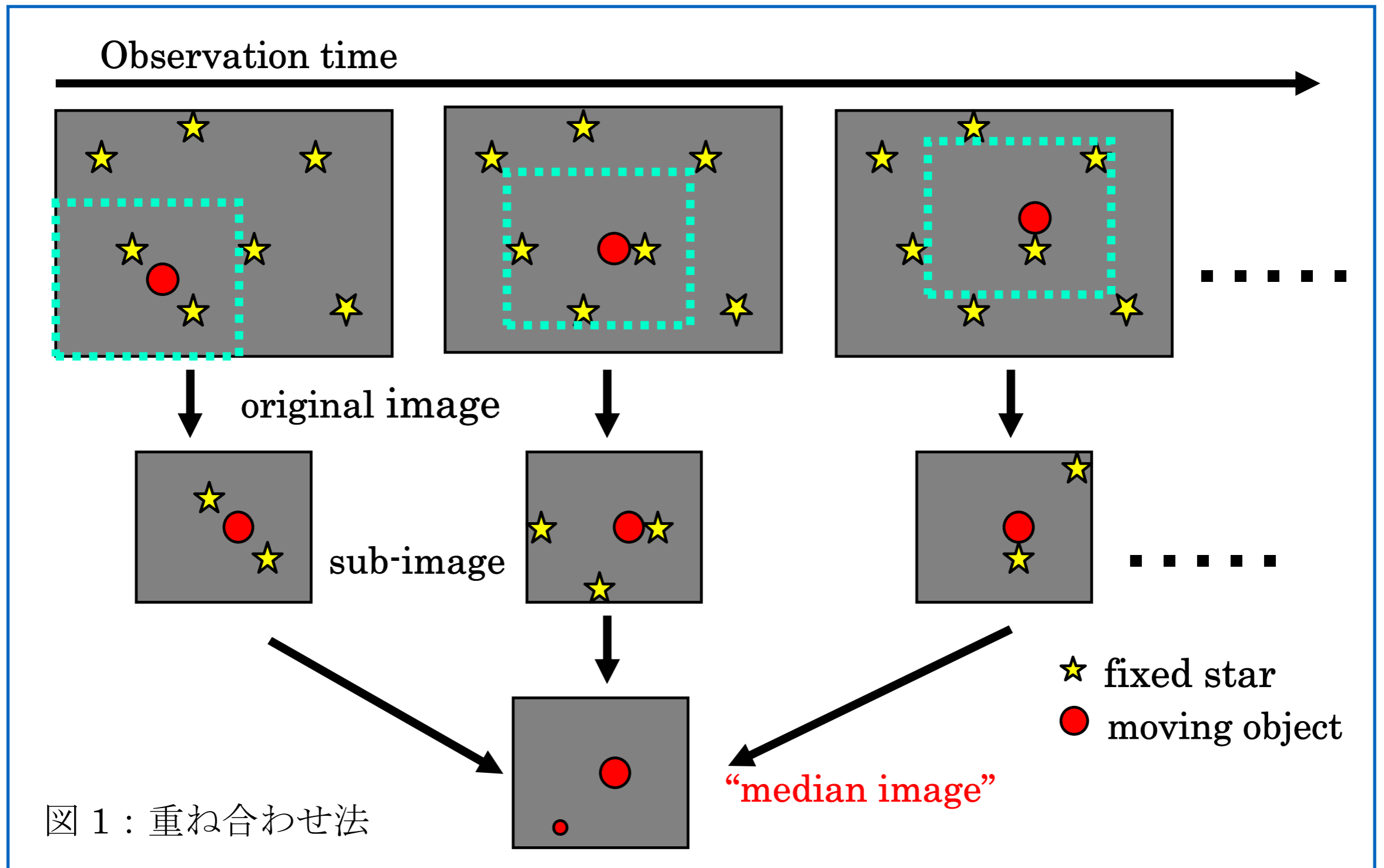
移動速度と限界等級 (トレイルロス)



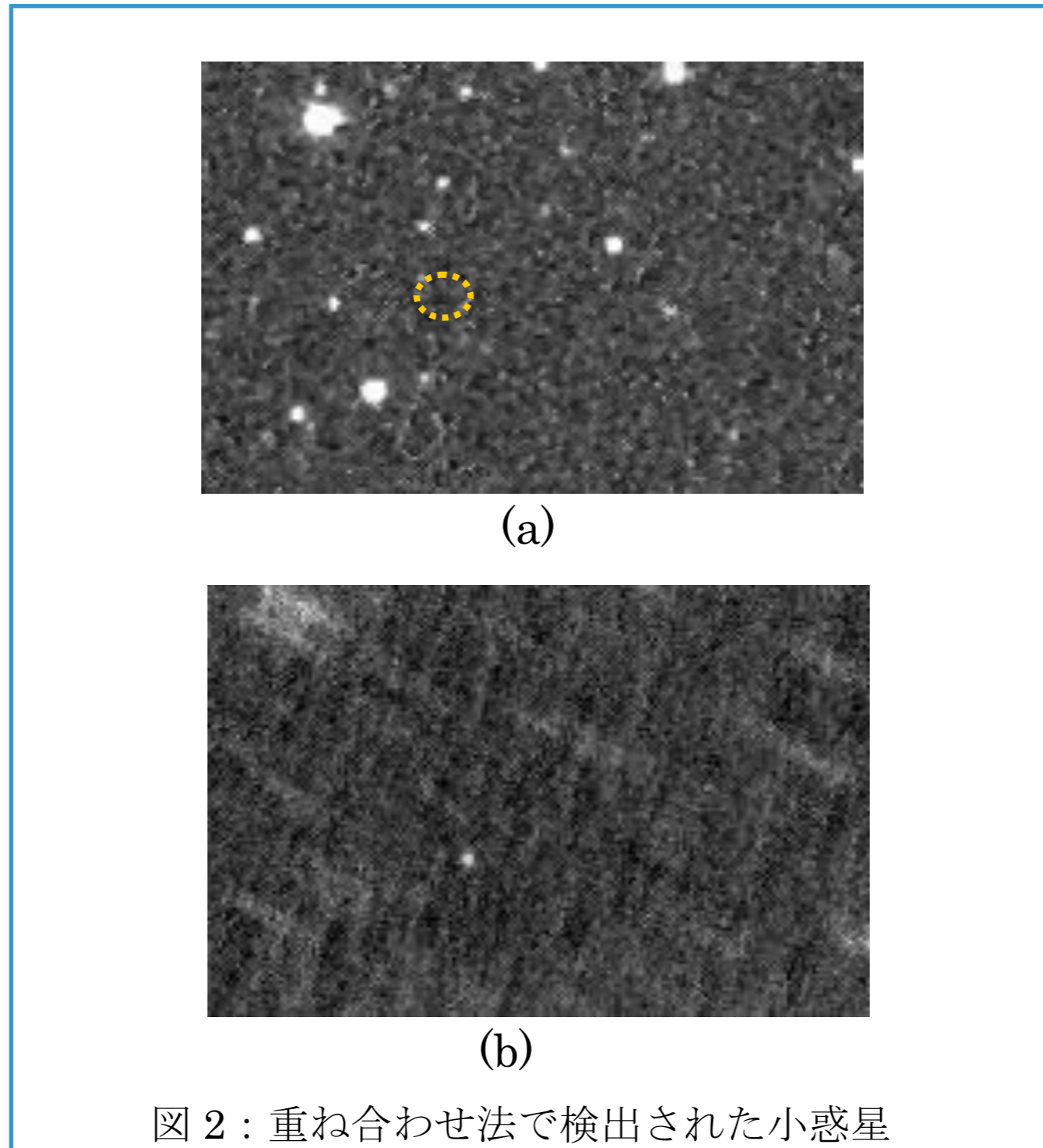
重ね合わせ法による高速移動天体の観測

- ・ 移動天体→露出中にトレイルするため検出しにくい
(トレイルロス)
- ・ 短い露出の画像を足し合わせる「重ね合わせ法」
Yanagisawa+ 2005, PASJ 57, 399
柳沢他2017, 天文月報110(10), 645
あらゆる方向、あらゆる移動速度を仮定して足し合わせ

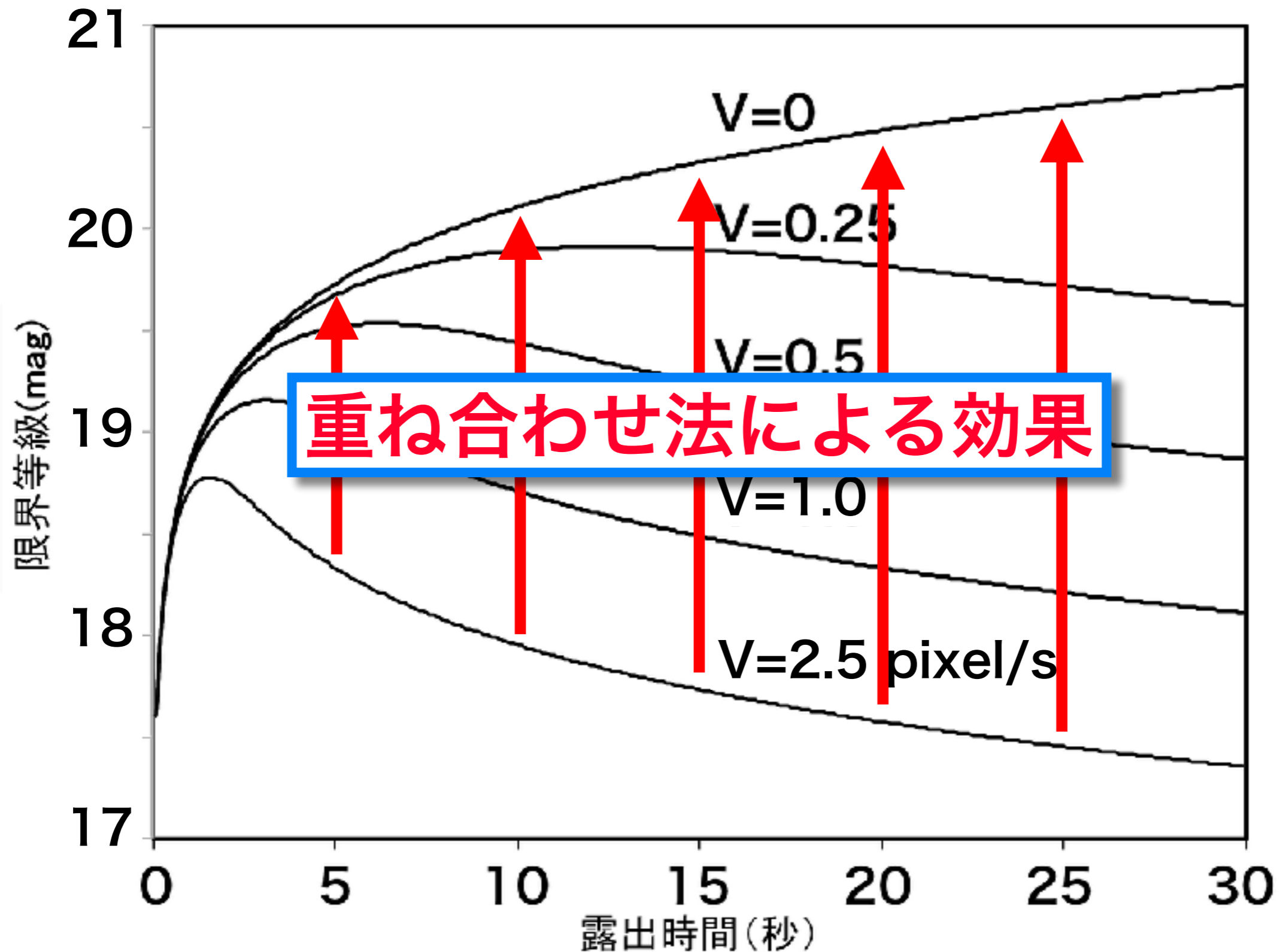
重ね合わせ法による高速移動天体の観測



重ね合わせ法による高速移動天体の観測



移動速度と限界等級 (トレイルロス)



重ね合わせ法による高速移動天体の観測

- ・ 移動天体→露出中にトレイルするため検出しにくい
(トレイルロス)
- ・ 短い露出の画像を足し合わせる「重ね合わせ法」
 - Yanagisawa+ 2005, PASJ 57, 399
 - 柳沢他2017, 天文月報110(10), 645あらゆる方向、あらゆる移動速度を仮定して足し合わせ
- ・ マシンパワーが必要
 - 解析時間の短縮のためにはFPGAボードの導入とアルゴリズムの最適化が必要

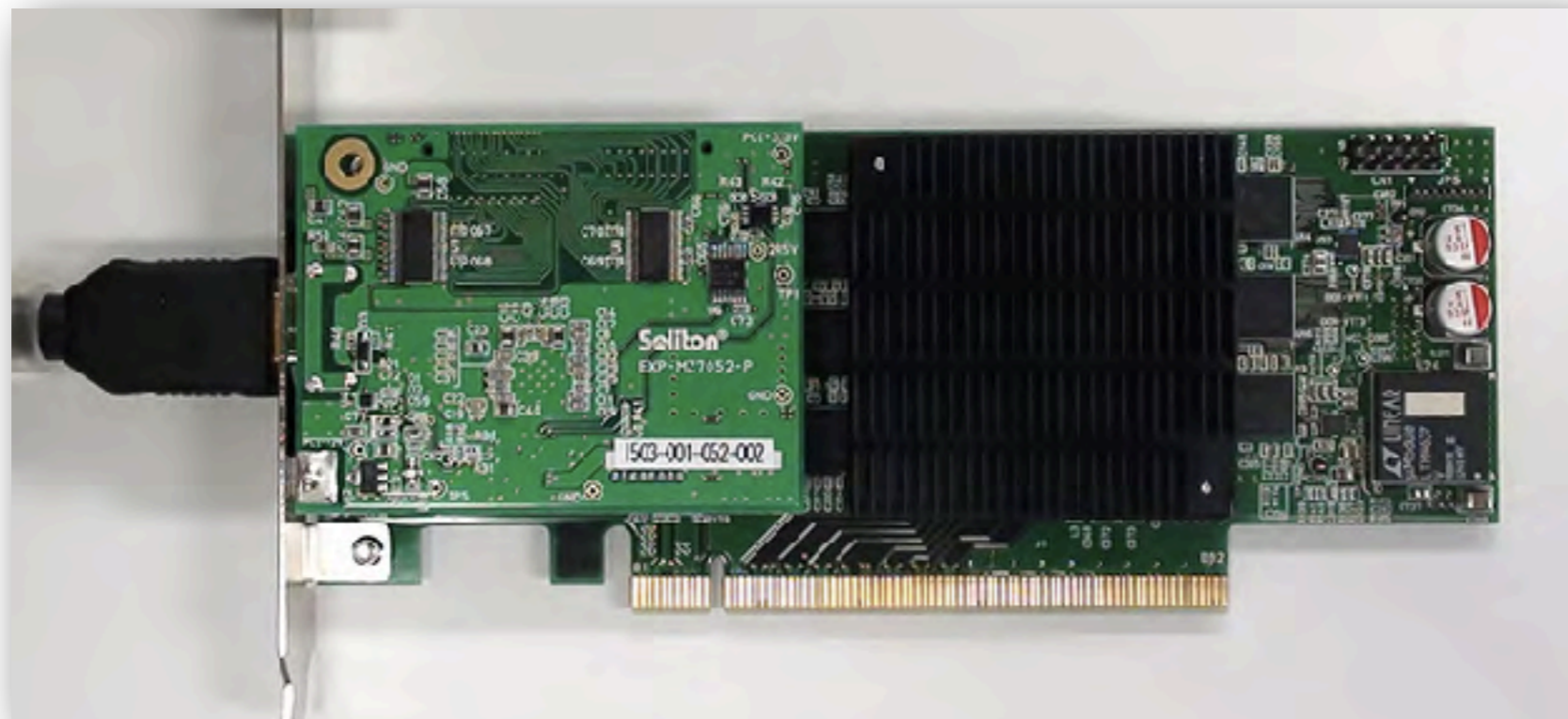
FPGA (field-programmable gate array)

- ・ FPGAって何？

直訳すると

「現場で書き換え可能な論理回路の多数配列。」

「ハードウェア言語を使ったプログラミングによって書き換えのできる論理回路。」



Tomo-e カメラと重ね合わせ法による 高速移動微小天体(地球接近小惑星)の観測

- ・ 広視野・高速カメラという特徴



Tomo-e Gozenカメラは移動天体に対して非常に有効

Tomo-e Gozenカメラと重ね合わせ法の組み合わせにより、
移動天体に対して非常に高いパフォーマンスを発揮

Tomo-e カメラと重ね合わせ法による 高速移動微小天体(地球接近小惑星)の観測

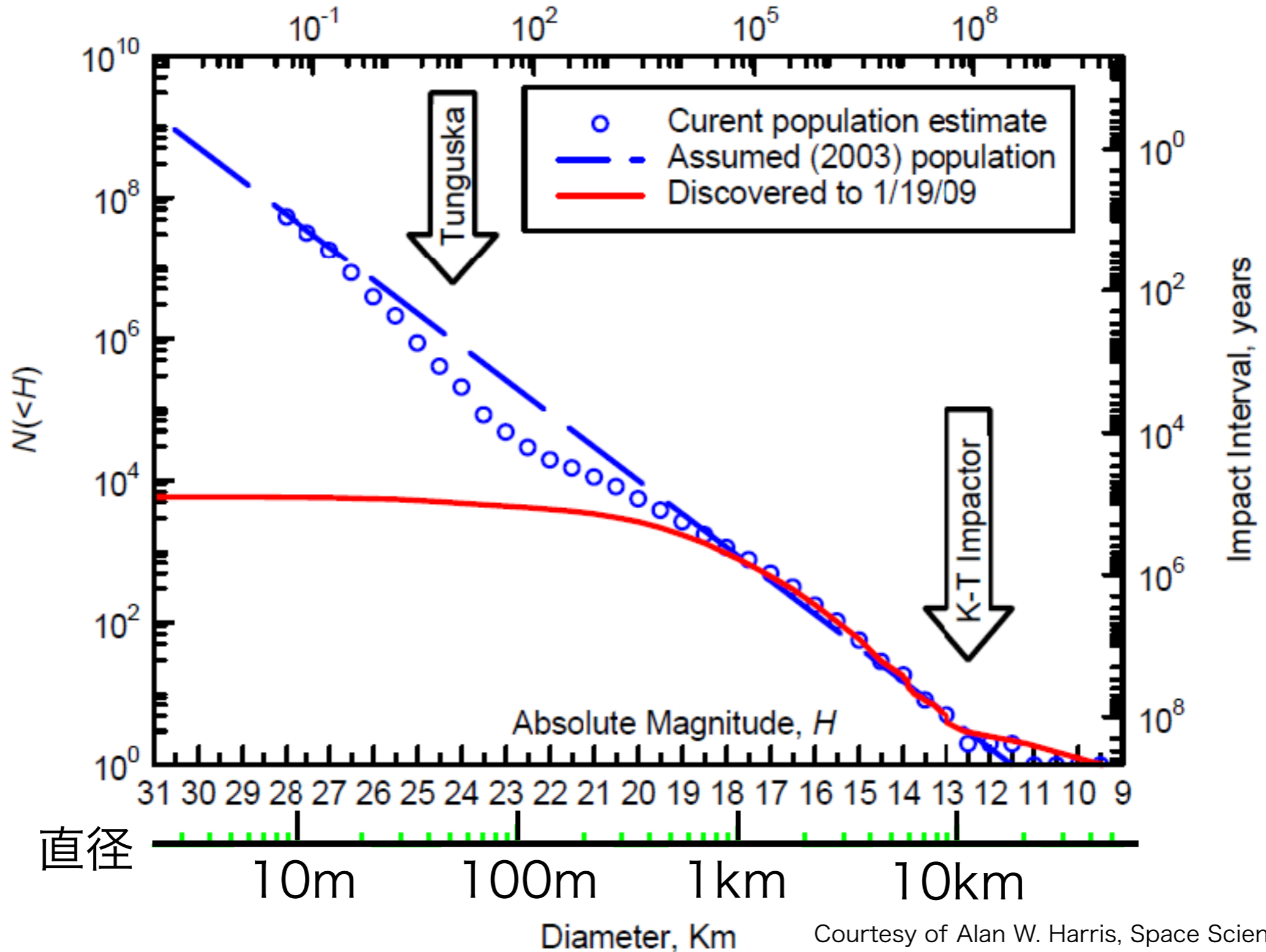
対象	典型的な 移動速度	最適露出時間 (1.2"/pixとして)
地球接近小惑星	~ 1 – 120"/min (~ 0.02 – 2" /s)	~ 0.6 – 60 s

例えば 0.5秒露出×64枚重ね合わせ → ~ 20–21 mag



2"/s 程度移動する天体に対しての感度は
8m級望遠鏡に相当！

地球接近小惑星の大きさ分布



実施計画

基盤研究(B)(一般)

「高速移動天体の検出による微小天体サイズ分布の解明」
(JP18H01261)

- ・ 平成30年度～平成32年度の3年間

実施計画(スケジュール)

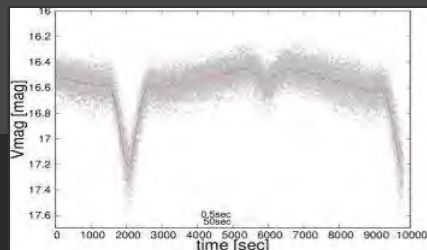
- ・ 今年度
 - FPGAシステムをJAXA調布と美星スペースガードセンターに導入
 - Tomo-eのエレキ改修、試験データ取得
 - 調布と美星で解析アルゴリズムの検討・開発・最適化
- ・ 来年度以降
 - FPGAシステム+必要な計算機類を木曾観測所に導入
 - 即時解析パイプラインの構築
 - 即時フォローアップ観測体制の構築

データ解析フローへの組み込み

※中間生成データは残さない

解析によってデータ総量をおよそ~2 TiB/夜まで削減する
現在は4種類のパイプラインを検討中

1
全測光値
@2Hz



2
長時間
積分画像



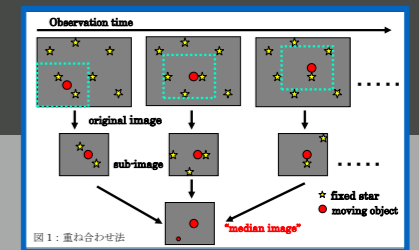
3
抜粋動画
@2Hz



4
高速移動
天体



微小高速
移動天体



検出NEOのフォローアップ体制

- ・ 移動天体発見時、見失ってしまわないために
即時フォローアップ観測が必要



- ・ Minor Planet Centerに報告
- ・ 美星スペースガードセンターでの
即時フォローアップ観測を予定

まとめ

- 重ね合わせ法による移動天体の観測
 - 短時間露出の画像をあらゆる方向、あらゆる速度で足し合わせる「重ね合わせ法」でトレイルロスの影響を軽減
 - Tomo-e Gozenとの組み合わせにより、移動速度によっては8m級望遠鏡に相当する感度を達成
 - 処理にマシンパワーが必要
- 3年計画でTomo-eカメラにFPGA解析システムを導入
 - 即時解析パイプラインの構築
 - 即時フォローアップ体制の確立