

Tomo-e Gozenと重ね合わせ法による 高速移動NEO観測計画の進捗

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、紅山 仁、高橋英則（東京大学）

小島悠人（SONY）

Tomo-e Gozen 開発チーム

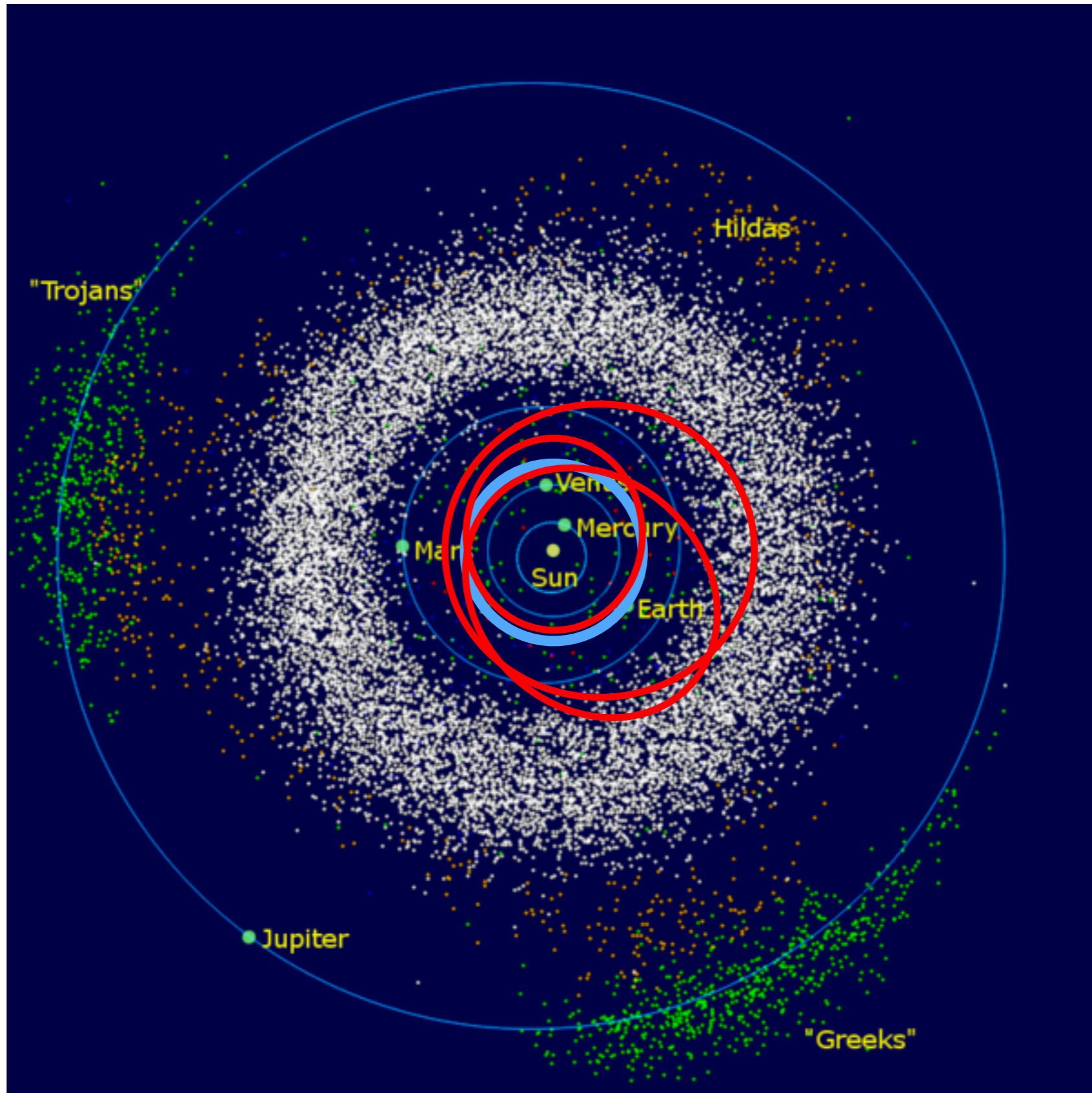
内容

- NEOについて
- 移動天体の観測とトレイルロス
- Tomo-e Gozenカメラの移動天体観測に対する有効性
- 重ね合わせ法による高速移動天体の観測
- Tomo-eカメラと重ね合わせ法の組み合わせによる高速移動NEO観測計画

NEOについて

NEOについて

- NEO = Near Earth Object
(地球接近天体 \cong 地球接近小惑星)



Wikipedia”ヒルダ群”(https://ja.wikipedia.org/wiki/ヒルダ群)の図を改変



チェリャビンスク

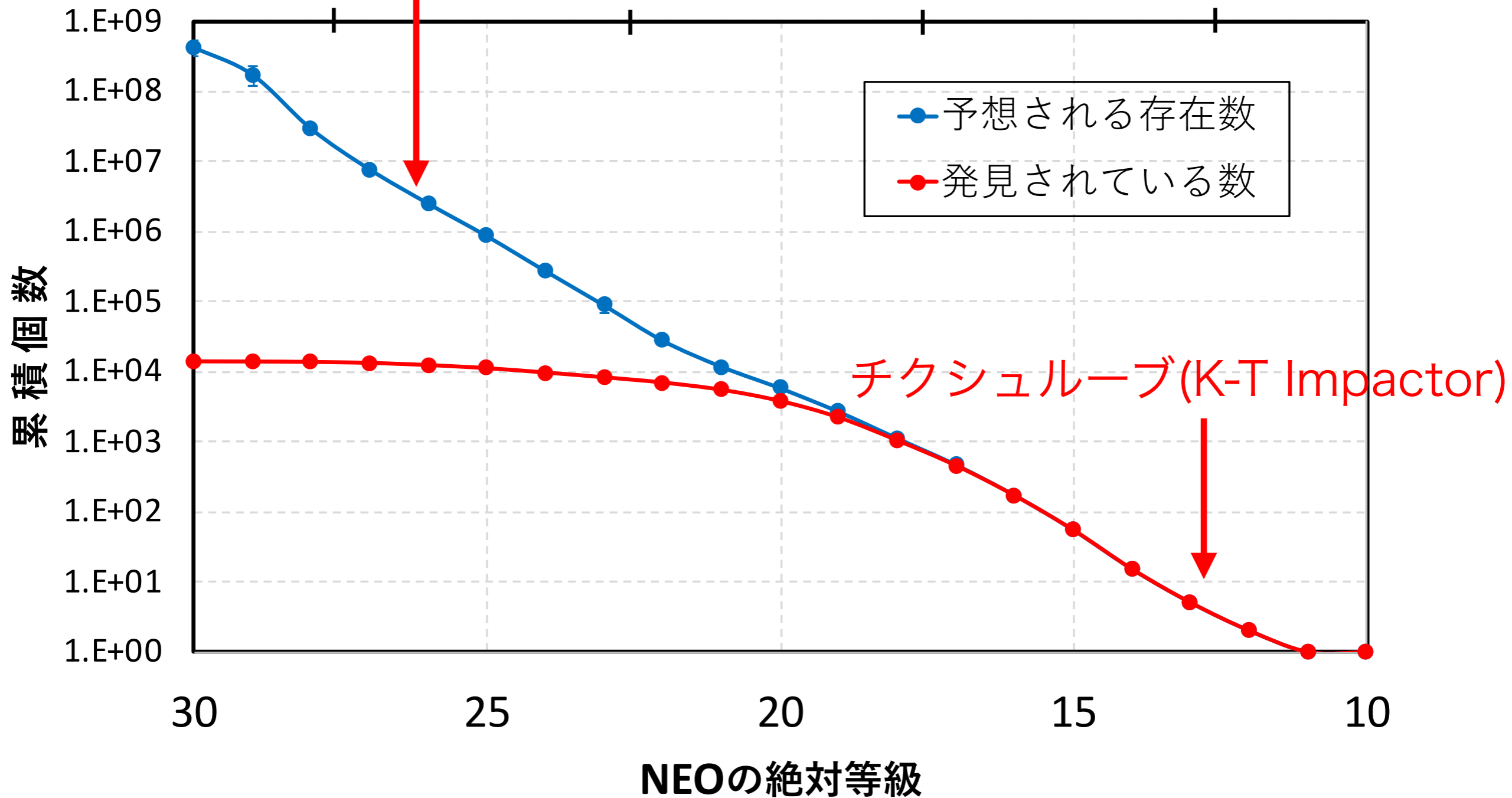
NEOの直径

10m

100m

1km

10km



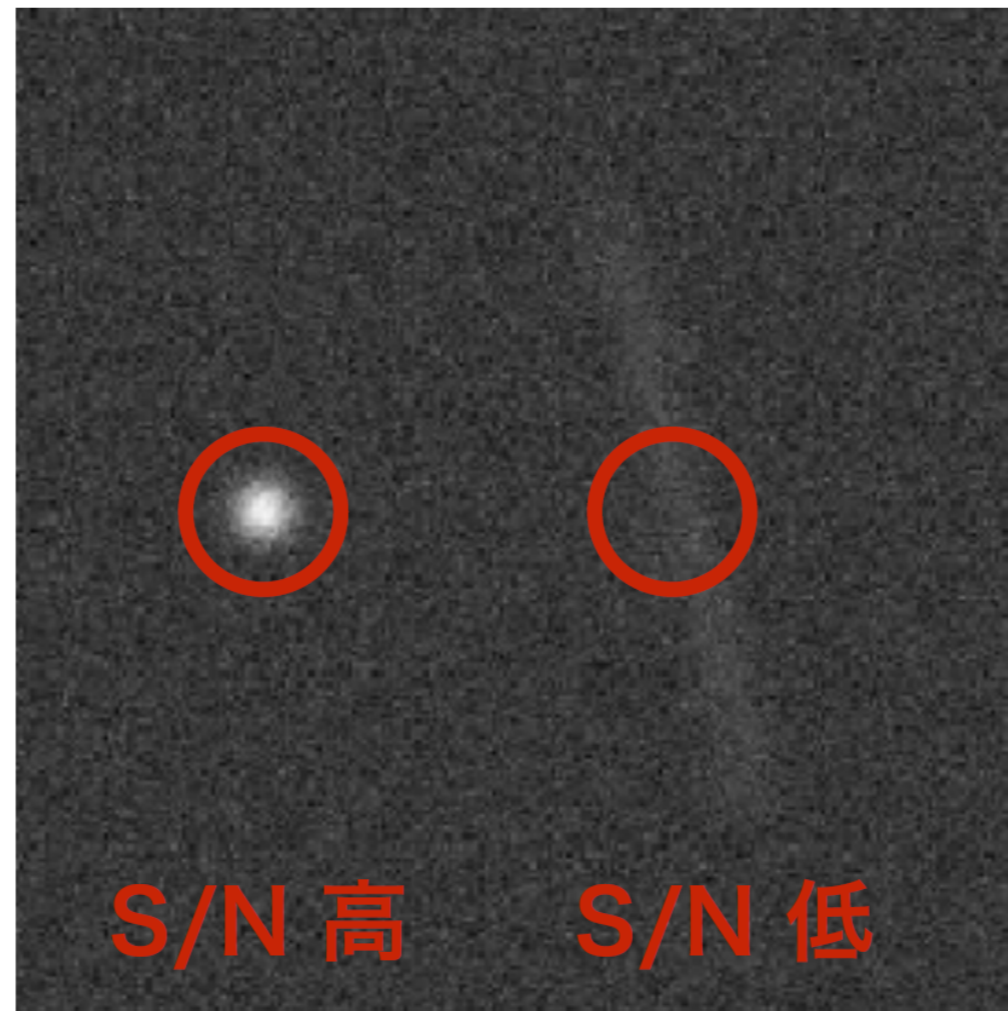
移動天体とトレイルロス

サイズの小さいNEO

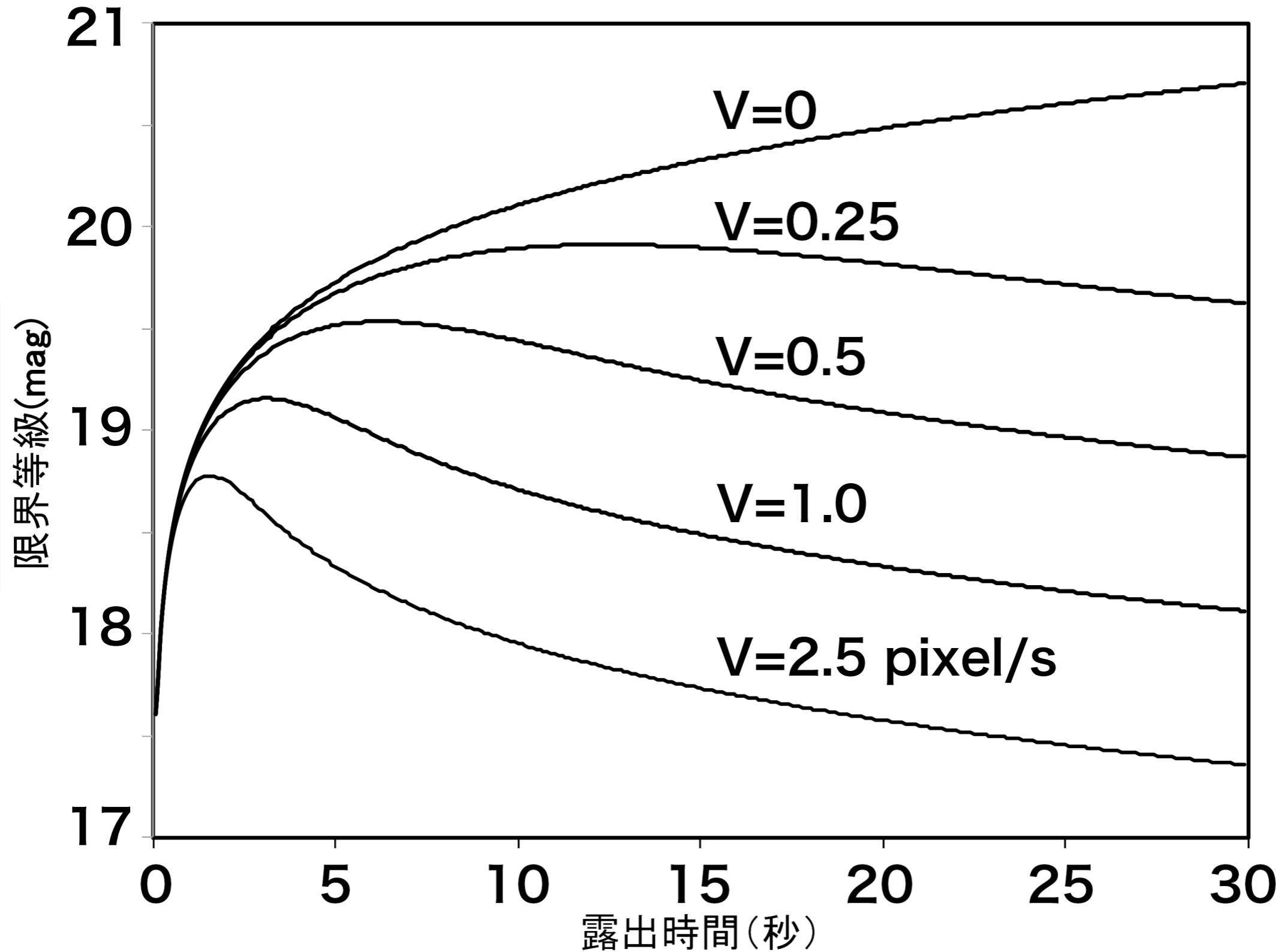
- ・ 小さい → 暗い
- ・ 地球に近づかないと検出不可
- ・ 地球に近づくと → 見かけの移動速度：大

高速移動天体の観測

- ・ 移動天体→露出中に素子間を移動(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)



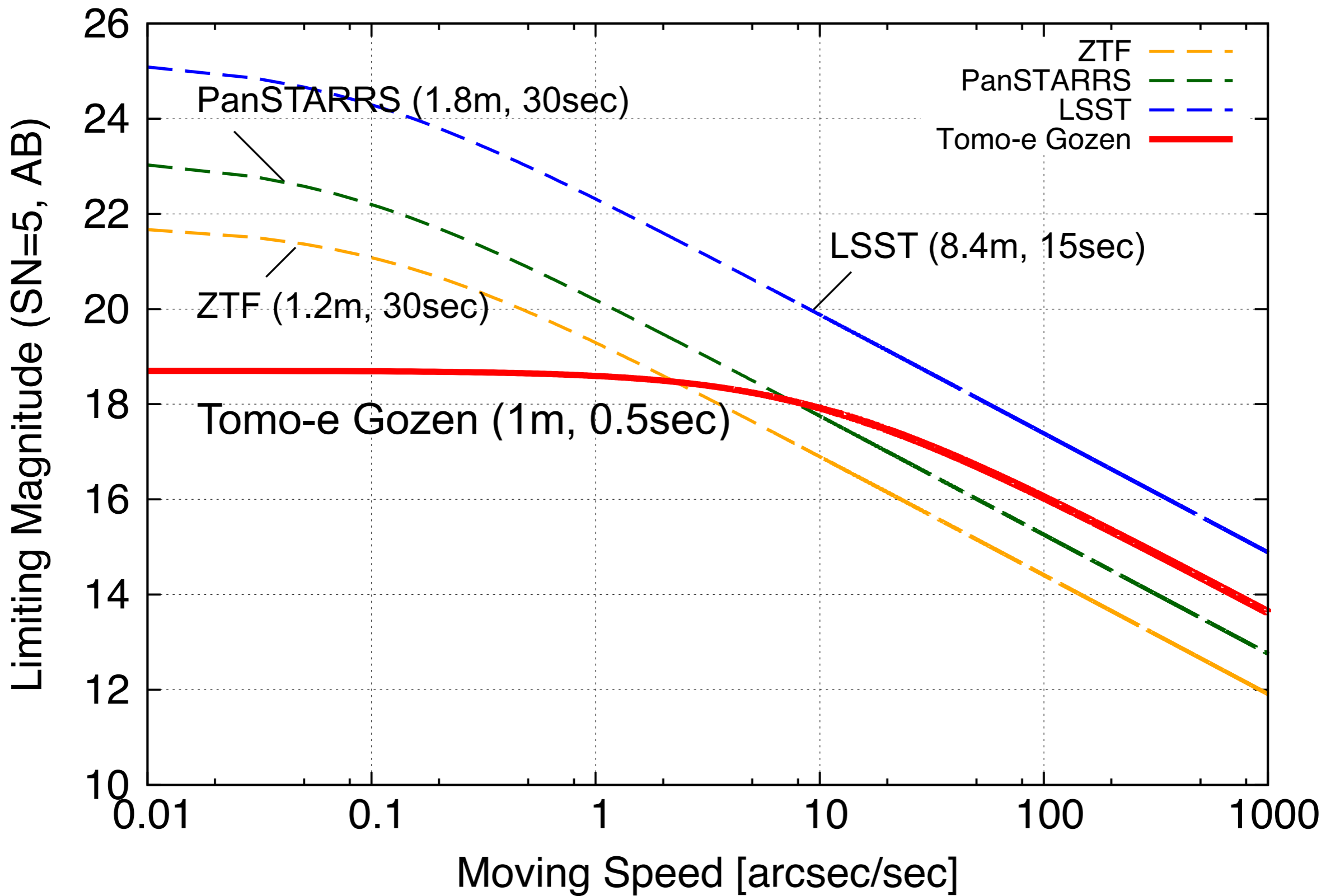
Tomo-e Gozenカメラの 移動天体観測に対する有効性

Tomo-e カメラの移動天体観測に対する 有効性

- ・ 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



移動天体に対する感度 (小島氏作成)

地球接近小惑星 2019FA by Tomo-e Gozen

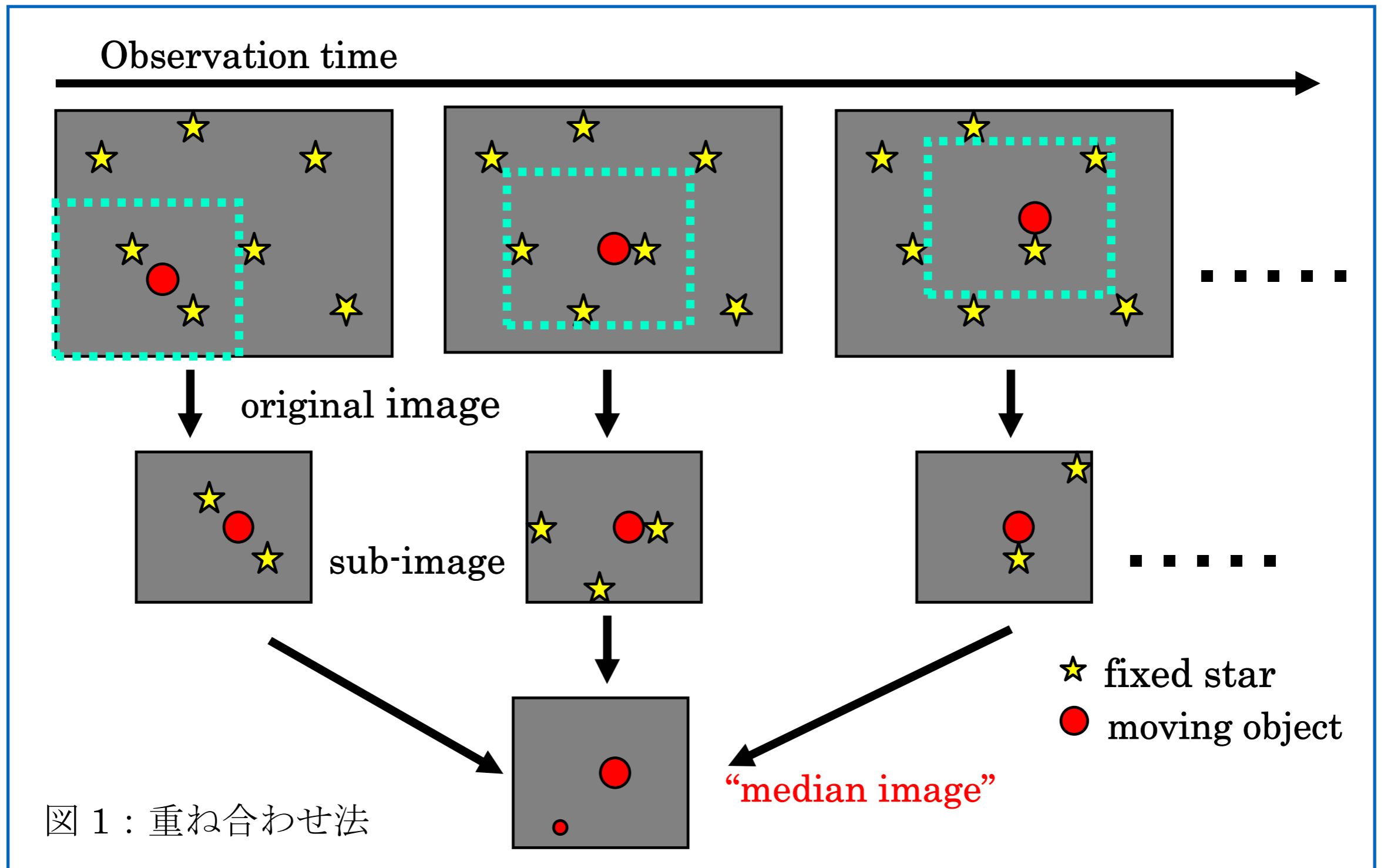


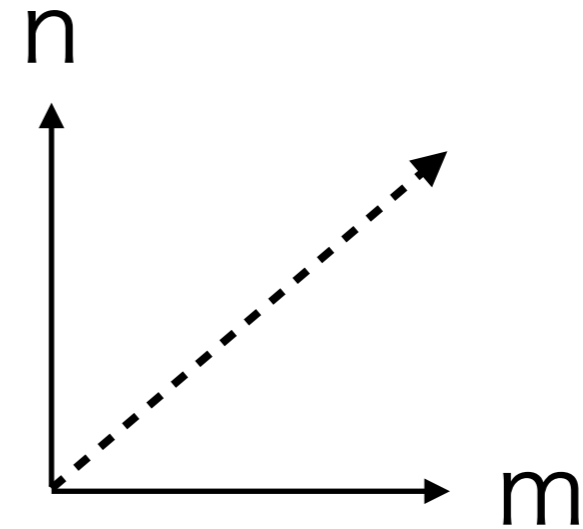
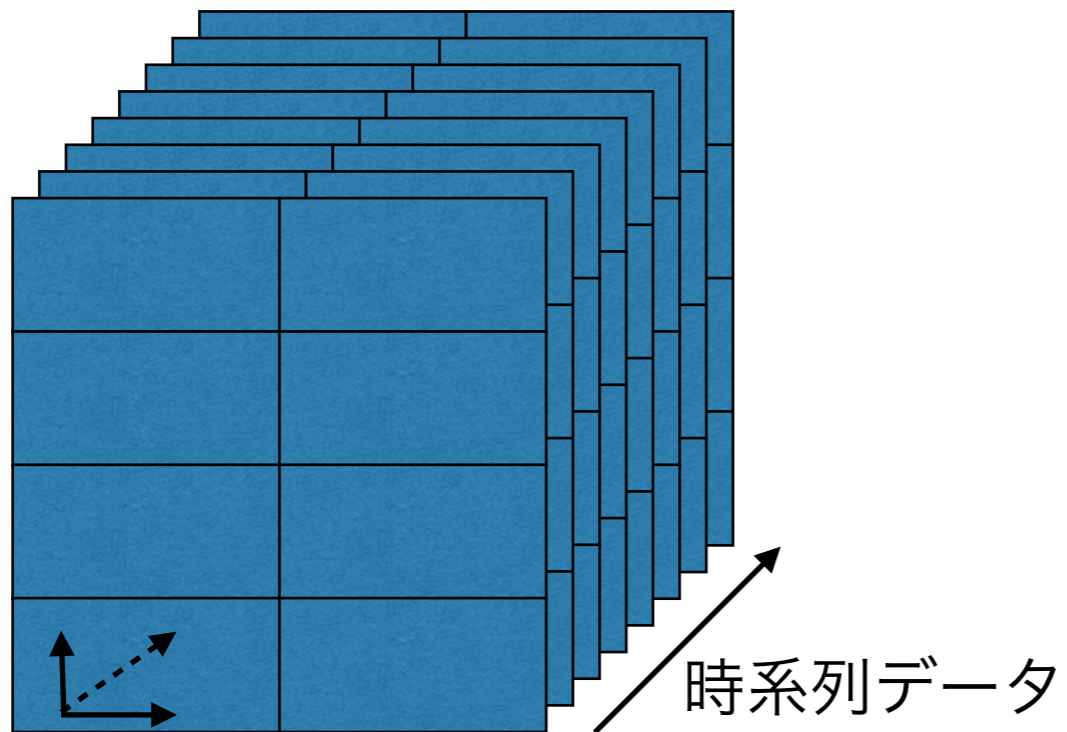
重ね合わせ法による
高速移動天体の観測

重ね合わせ法による高速移動天体の観測

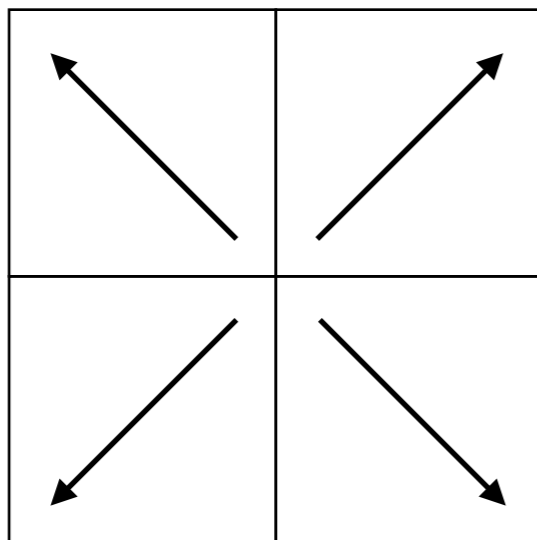
- ・ 移動天体→露出中に素子間をトレイルするため
検出しにくい（トレイルロス）
- ・ 短い露出の画像を足し合わせる「重ね合わせ法」
Yanagisawa+ 2005, PASJ 57, 399
柳沢他2017, 天文月報110(10), 645
あらゆる方向、あらゆる移動速度を仮定して足し合わせ

重ね合わせ法による高速移動天体の観測





(m, n): m=0-255, n=0-255の
256×256=65536通り
(m,nは縦方向・横方向の
移動速度 (pix/frame))

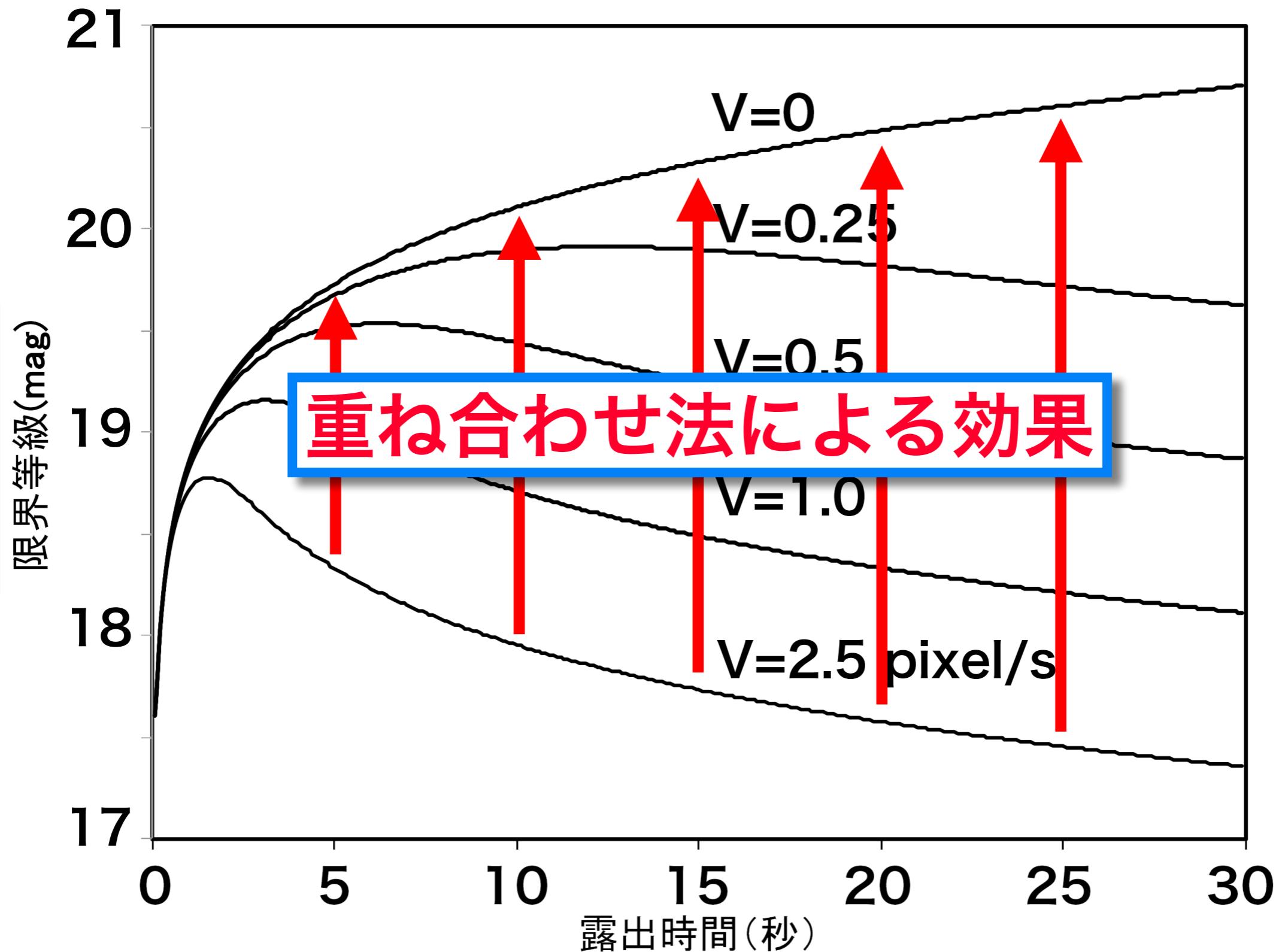


の4方向×65536=262144通り

重ね合わせ法による高速移動天体の観測

- ・ 移動天体→露出中に素子間をトレイルするため
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
 - アルゴリズムの最適化と専用FPGAボードの導入により
解析時間を短縮

移動速度と限界等級 (トレイルロス)



Tomoeカメラと重ね合わせ法の 組み合わせによる高速移動NEO観測計画

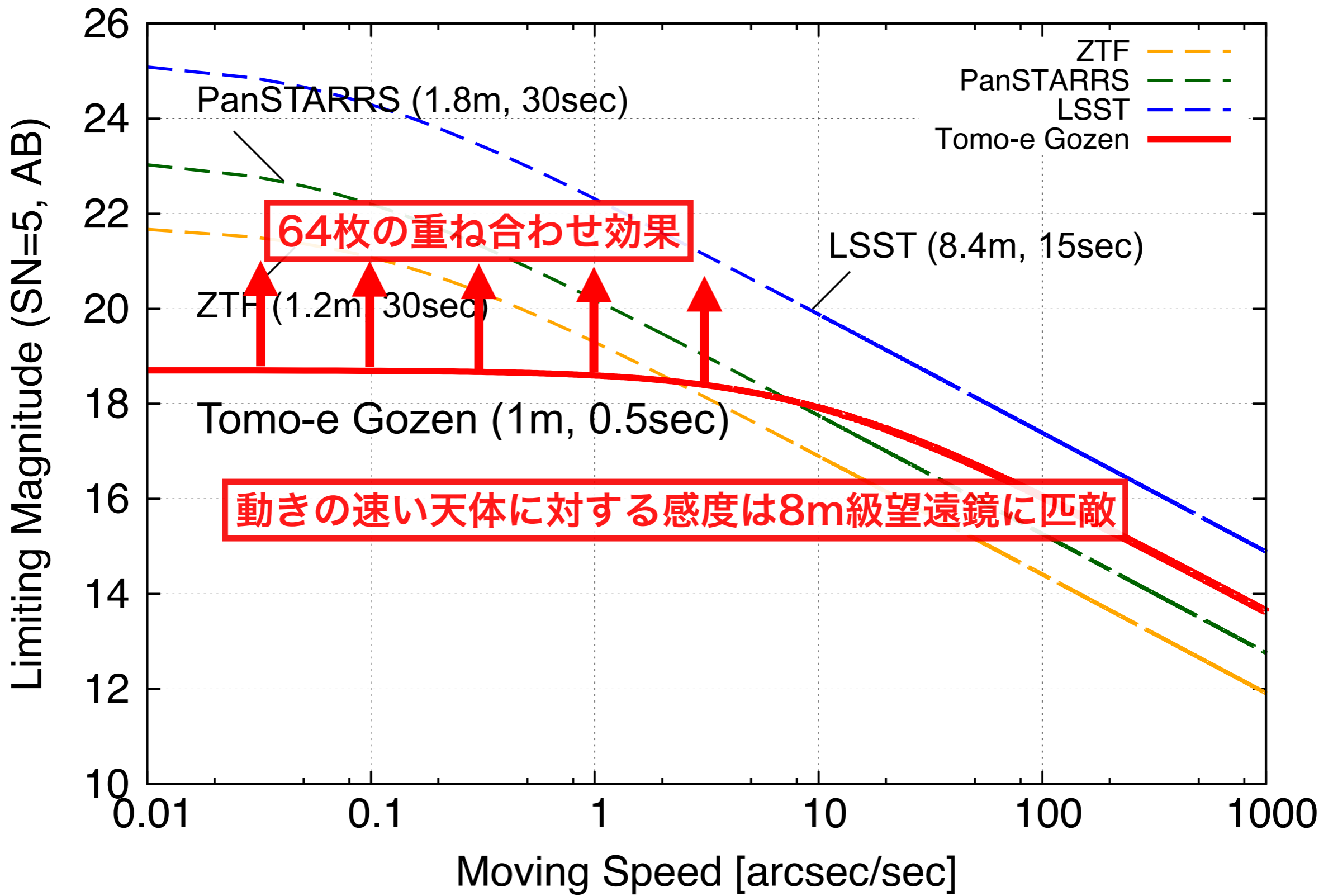
Tomo-e カメラと重ね合わせ法の組み合わせによる高速移動NEOの観測

- ・ 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



移動天体に対する感度 (小島氏作成)

Tomo-e カメラと重ね合わせ法の組み合わせによる高速移動NEOの観測：進捗と計画

- ・ 2018年度～2020年度の3年間
- ・ 昨年度(2018年度)
 - Tomo-eの開発、試験データ取得
 - 解析用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、調布と美星で解析アルゴリズムの検討・開発・最適化

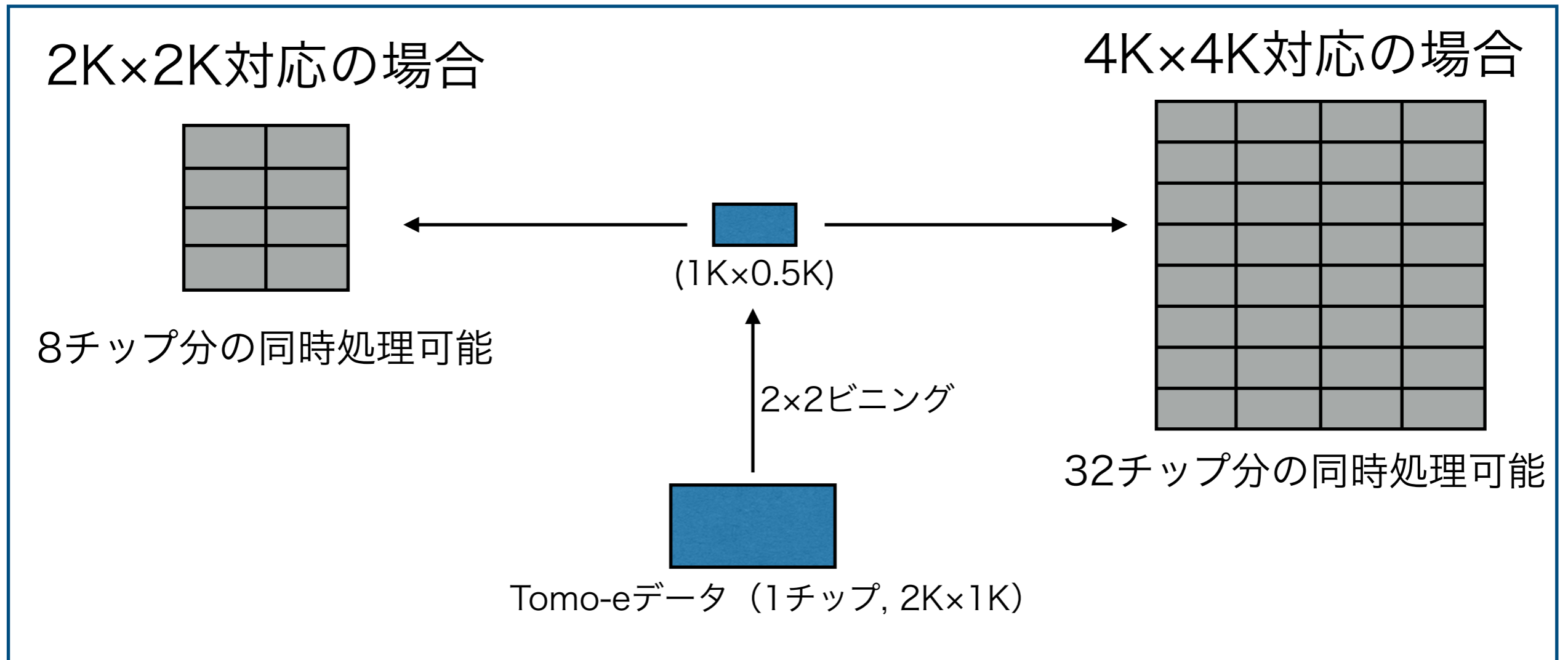
Tomo-e カメラと重ね合わせ法の組み合わせによる高速移動NEOの観測：進捗と計画

- ・ 今年度の計画

- FPGAシステム+必要な計算機類を木曾観測所に導入
- FPGAシステムの改修（2K×2K対応→4K×4K対応に）
- 即時解析パイプラインの構築
- 発見後の処理・報告・フォローアップ観測体制の構築

FPGAシステムの改修

- 現状2K×2Kデータ対応のFPGAを4K×4Kデータに対応させる



まとめ

- 移動天体の観測に有効な二つの技術要素
 - ✓ Tomo-e Gozenカメラ
 - ✓ 重ね合わせ法を組み合わせ、地球に接近して高速で移動するより暗い(より小さい)NEOを発見する
- 上記目的のためにFPGAを用いた解析システムをTomo-e観測データに適用するプロジェクトが進行中(昨年度から3年計画)
 - 今年度は木曾観測所に解析システムを導入
 - FPGAシステムの改修
 - 即時解析パイプライン、発見後処理体制を構築予定