

次期木曾超広視野CMOSカメラの開発概要

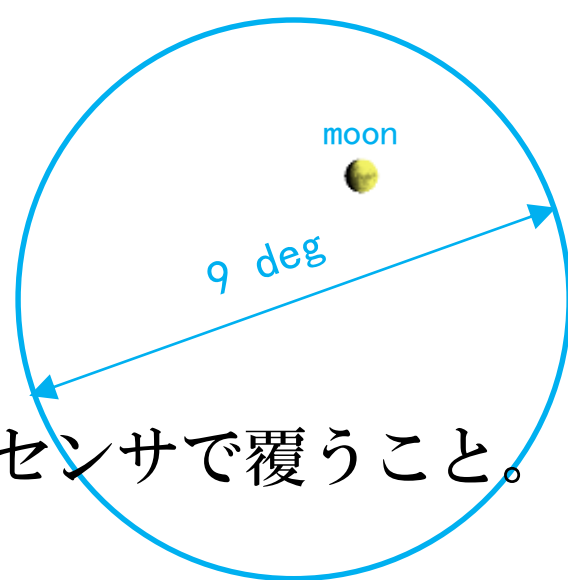
東京大学天文学教育研究センター 酒向 重行

木曾CMOSカメラ開発チーム

超広視野CMOSカメラ

この装置のコンセプトは単純です。

シュミット望遠鏡のすべての焦点面を電子センサで覆うこと。



常温CMOSセンサがそれを可能にします。

高速な読み出しのCMOSセンサの利用は、結果的に

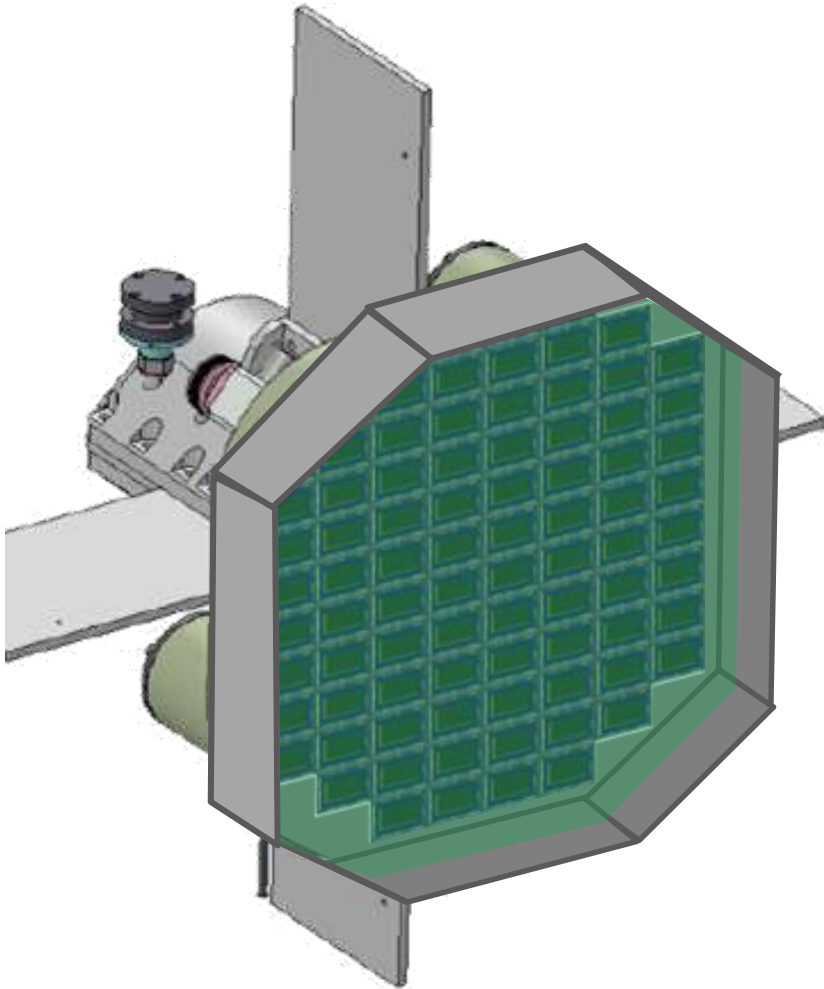
「**超広視野 + 高速観測**」という全く新しい天文学を切り開くことを可能にします。

そこにどんな宇宙が広がっているのか？

木曾超広視野CMOSカメラはそんな観測装置です。

概観

the first wide-field CMOS camera



約 8 4 台の CMOS センサ

視野直径 9 度角

有効視野面積 2 0 平方度

1 6 8 M 画素

最大 2 Hz 読み出し

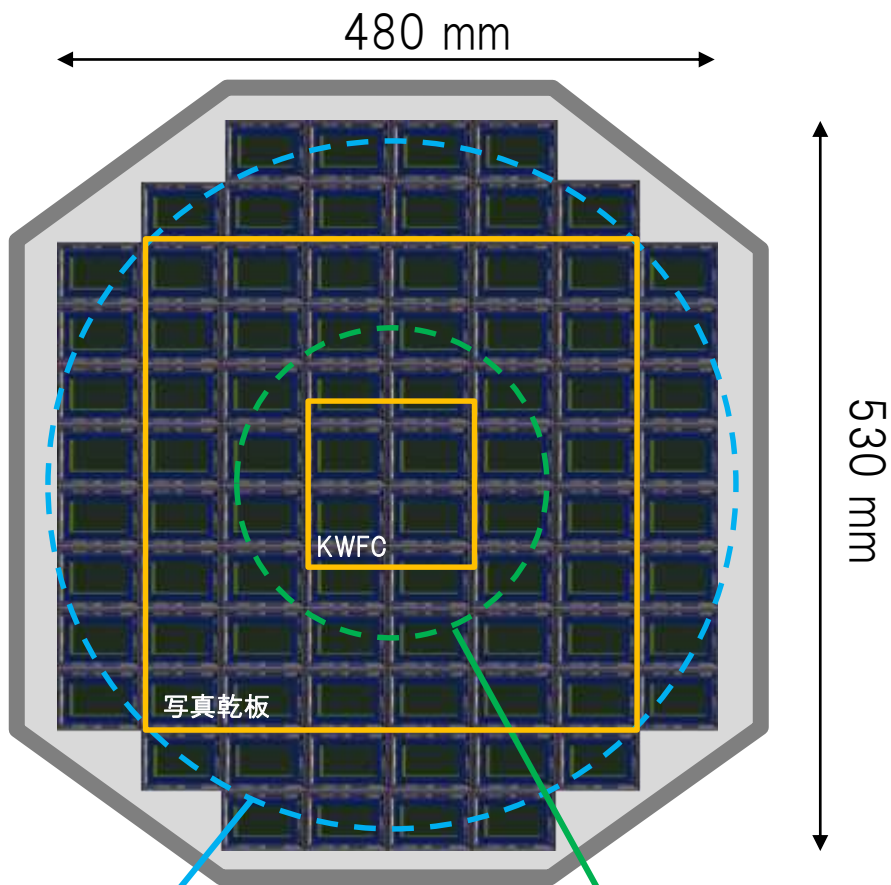
(部分読み出し時は最大 20 Hz)

センサ温度約 1 0 度

筐体内大気圧

手動フィルタ交換

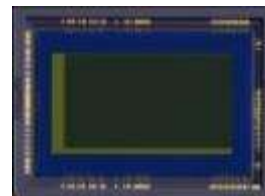
センサ



$\Phi 500 \text{ mm} = \Phi 8.7 \text{ deg}$
vignetting 0.44mag

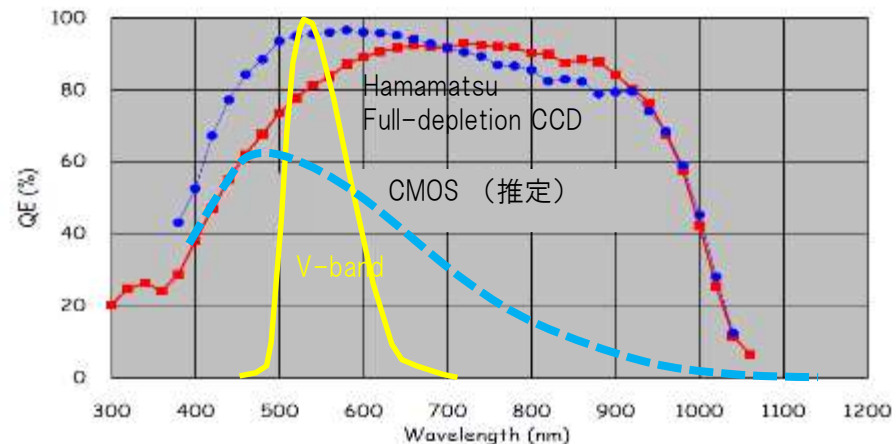
$\Phi 225 \text{ mm} = \Phi 3.9 \text{ deg}$
vignetting free area

35mm Full HD CMOS sensor

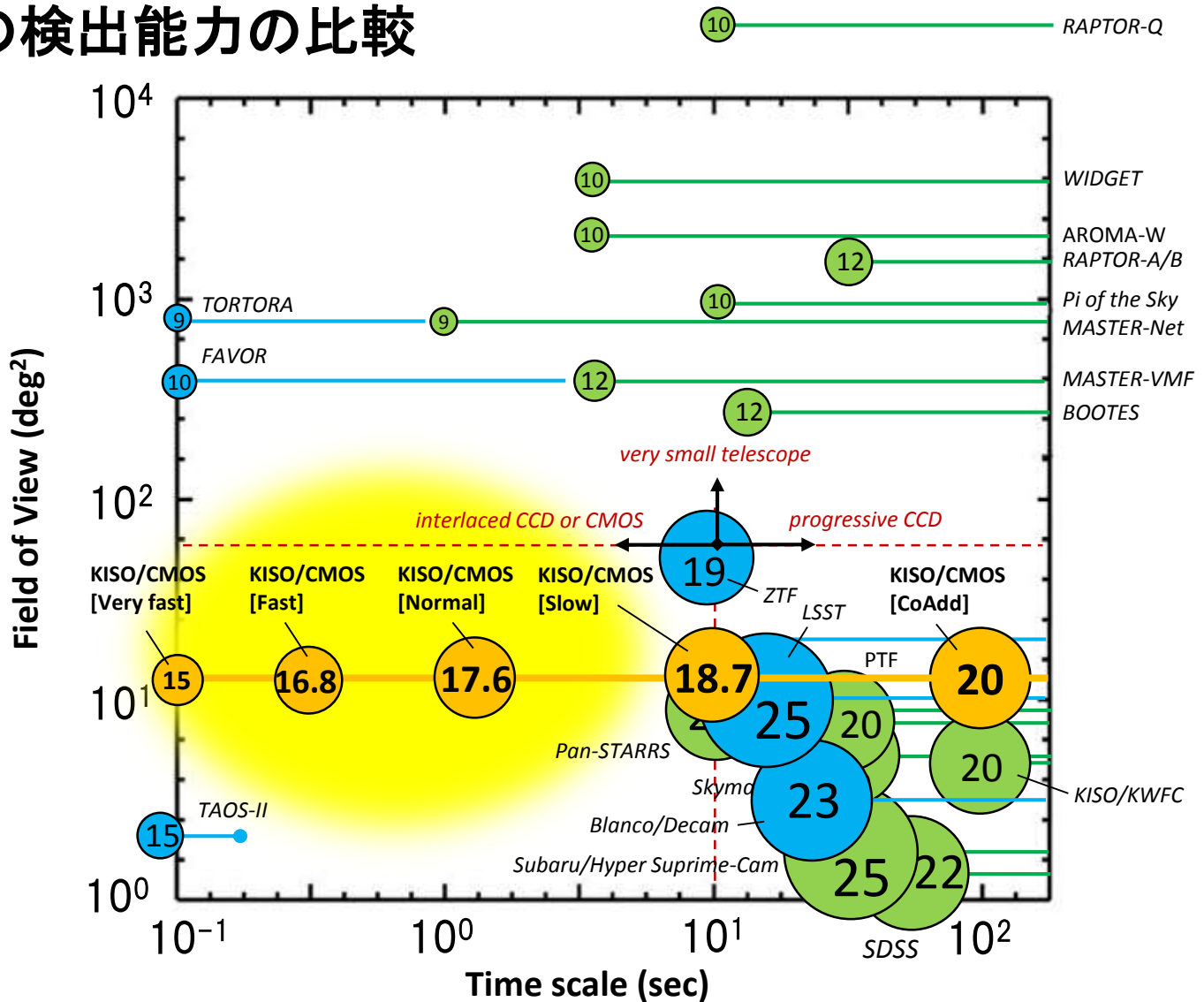


x 84 chips

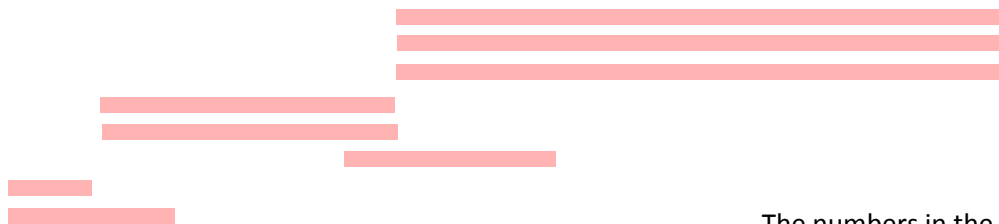
- 表面照射型CMOSセンサ
- マイクロレンズアレイ
- 画素サイズ $19 \mu\text{m}$
- 2k x 1k FullHDフォーマット
- sensor / package area = 0.3



突発減少の検出能力の比較



- GW optical counter parts
- Flaring stars
- GRBs
- Satellite, Debris
- Meteors
- White dwarfs
- Neutron stars
- Occultation of TNOs

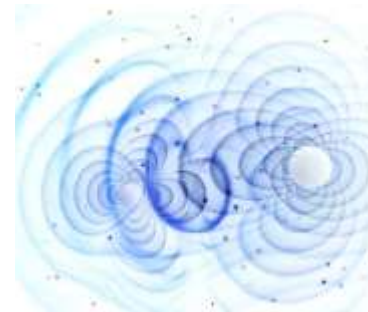


The numbers in the circles indicate limiting magnitudes.

サイエンスターゲット

稀な時間変動現象

1. 重力波候補天体の探査
2. 超新星爆発の瞬間の検出
3. 地球近傍天体の探査
4. 太陽系外縁天体の探査
5. スーパーフレア現象の探査
6. ガンマ線バーストの瞬間の検出
7. 系外惑星トランジットの探査
8. 深宇宙の探査
9. X線天文学での利用



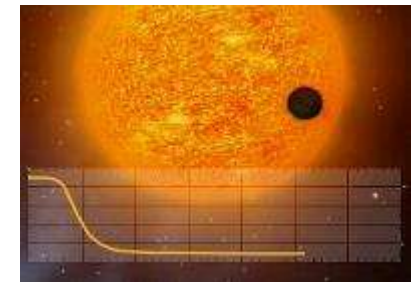
Gravitational wave



Gamma ray burst



Super flare



Planet transit

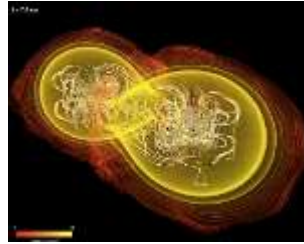
重力波天体フォローアップ(重力波新学術)



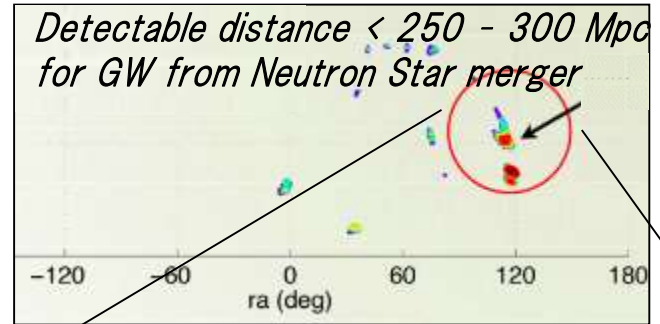
重力崩壊天体
< 10 Mpc



強磁場星のフレア
< 10kpc



中性子星合体
中性子星-ブラックホール合体
< 200 Mpc



GEO600/UK-GR



LIGO x2/USA



VIRGO/FR-IT



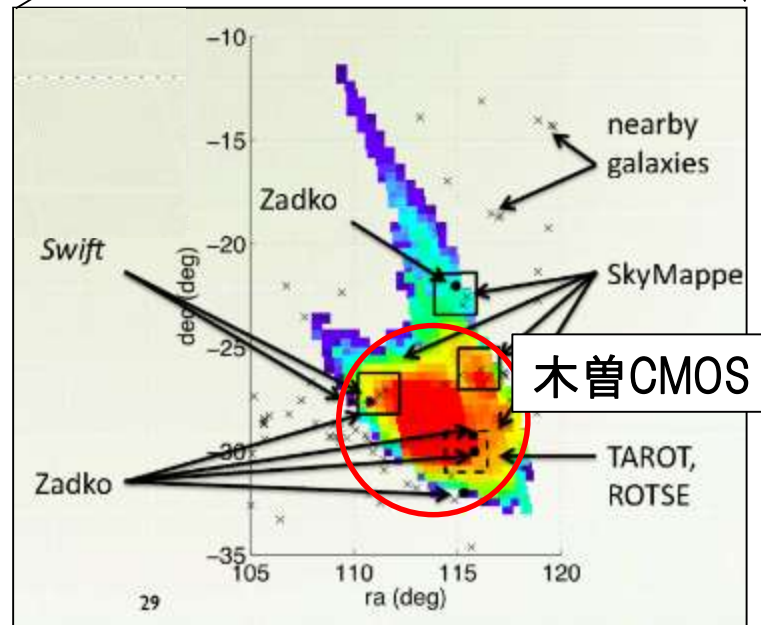
LIGO- India
In prop.

KAGRA/JAPAN



LIGO- Australia
In prop.

KI 01, Kashiyama & KI 11



- ✓ 重力波の到来方向の予測精度 約 ϕ 5度角
- ✓ ϕ 9度角の超広視野CMOSカメラでフォローアップ

重力波の到来方向の予測
Hayama (NAOJ) 2012

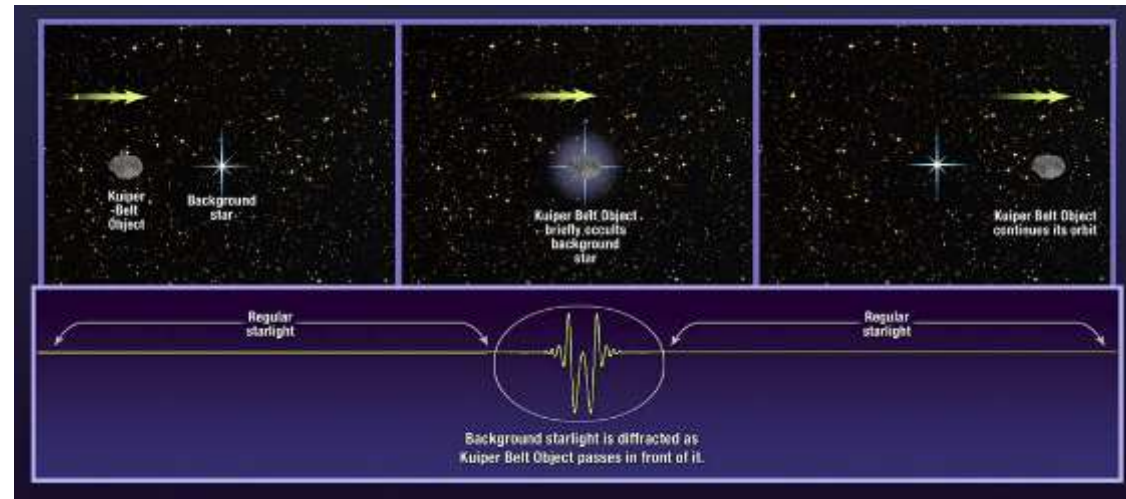
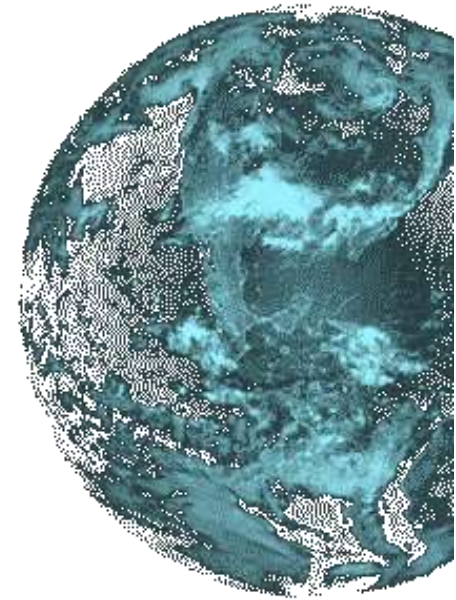
太陽系外縁天体の掩蔽観測（渡部基盤A）

太陽系外縁天体（TNO; Trans Neptune Object）の探査

- TNOは太陽系の惑星の形成時の状態を保存
- TNOの軌道とサイズ分布は貴重な情報源
- 特に惑星の種であるkmサイズのTNOが重要。しかし小さ過ぎて大望遠鏡でも見えない。
- 背景星の掩蔽として観測。TNOのサイズの個数分布を導出。
- 掩蔽時間は数100msec程度。

→ CMOSによる広視野高速観測

- ライバルは台湾・米国・メキシコのTAOS-II計画
 - 広視野望遠鏡 + CMOSセンサ
 - e2V 2k x 4k, 裏面照射CMOS
 - 数10億円規模の計画



天文用イメージセンサの歴史



< 1980

Photo-plate
360 x 360mm



1990

1k x 1k, 12um
12 x 12 mm



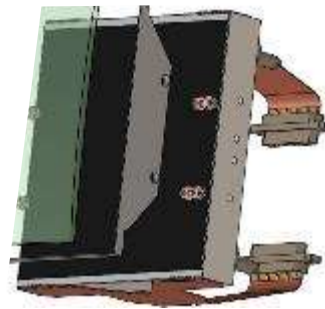
1995

2k x 2k, 24um
48 x 48 mm



2000

4k x 2k, 15um/pix
61 x 30mm
4-side battable

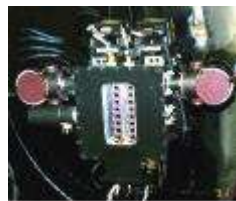


2010

6k x 6k, 15um/pix
90 x 90mm
4-side battable



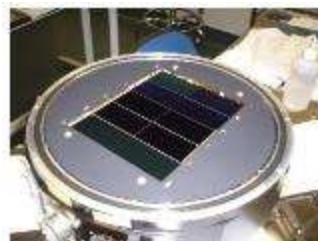
2020, LSST
4k x 4k x 200!!



1991, Kiso
1k x 1k x 16



1994, Kiso
1k x 1k x 40



2000, Subaru
2k x 4k x 10



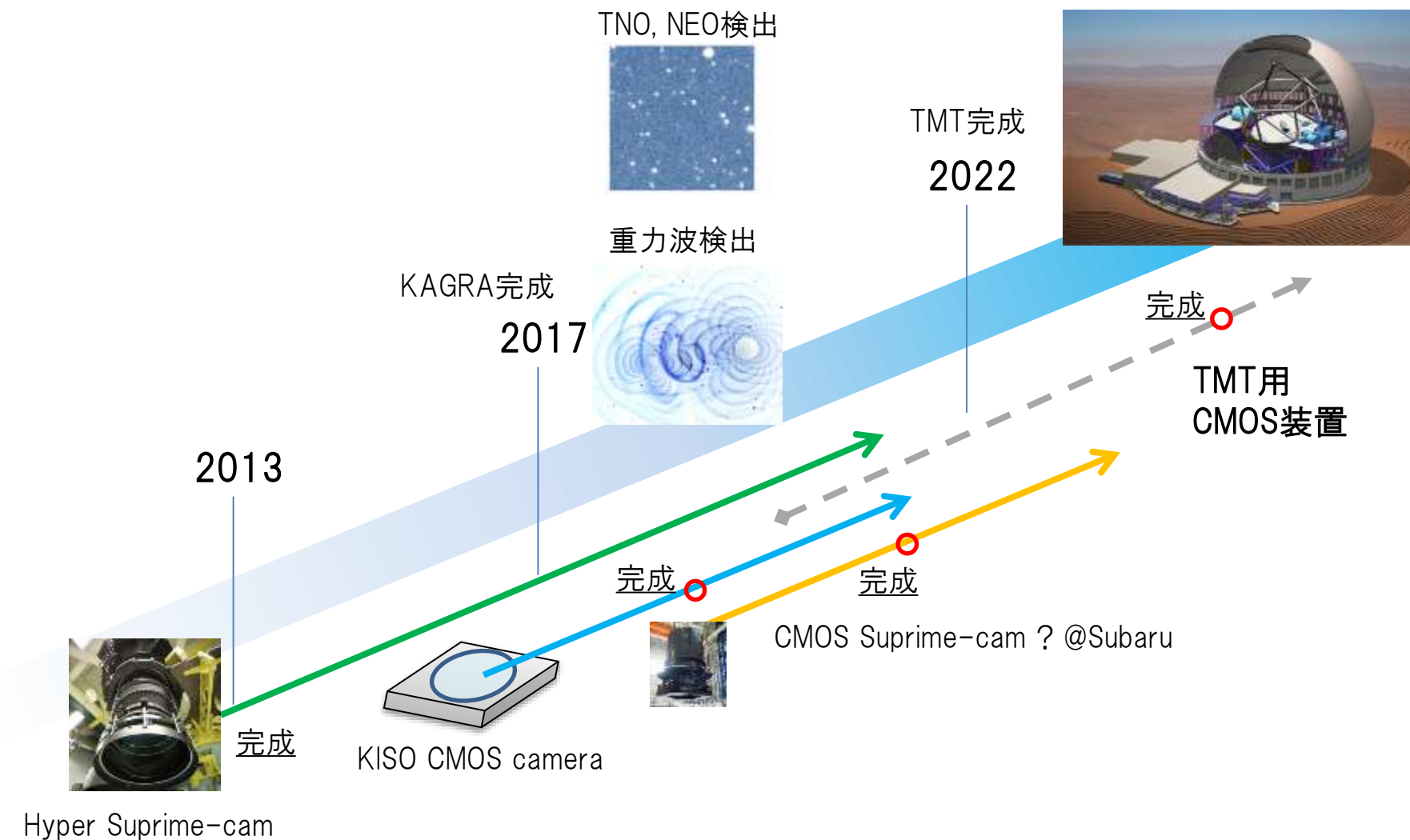
2012, Subaru
2k x 4k x 104

イメージセンサの歴史 = CCDの歴史

次の10年もCCDの時代なのか？ それともCMOSの時代が来るのか？

CCDからCMOSセンサへ

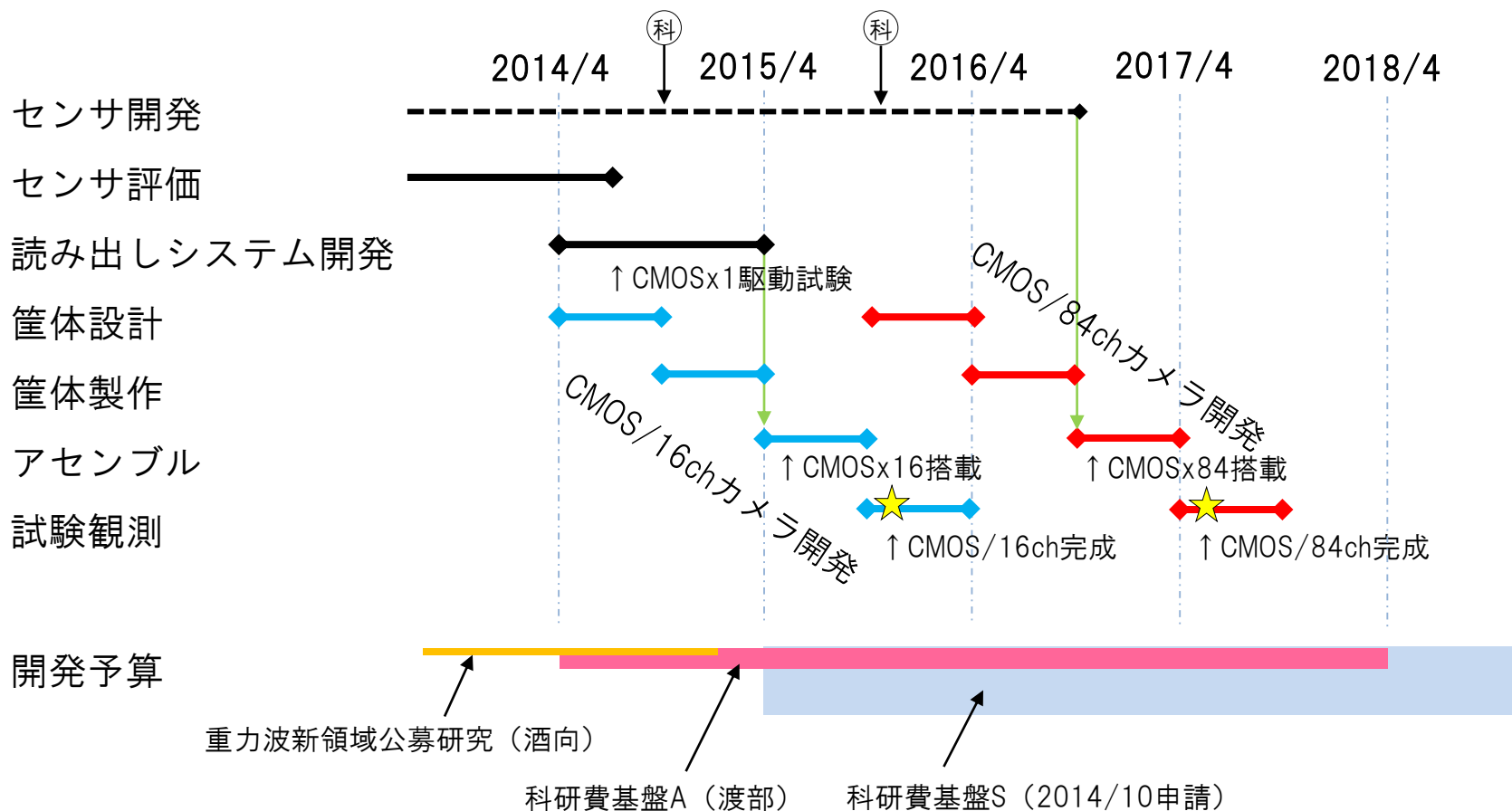
木曾観測所でCMOSを開花させ、TMTへ繋げる



開発スケジュール

超広視野CMOSカメラの目標完成時期： 2017年

(2017年にPalomar ZTFが動き出す)



開発体制（カメラ完成まで）

東京大学木曾観測所

所長、副所長

サイエンス
チーム

年数回の小研究会

【サイエンス検討メンバ】
KWFC, KISOGP, KISS関係者
渡部科研費関係者
重力波関係者
その他順次拡大

【コア】
諸隈、前原、臼井

【サポート】
KISOGPチーム
KISSチーム

開発チーム（PI酒向）

毎週の装置ミーティング

ソフトウェア班

一次処理

突発天体検出

データベース

ハードウェア班

センサ読み出し

センサ設置

筐体

フィルタ

制御ソフト

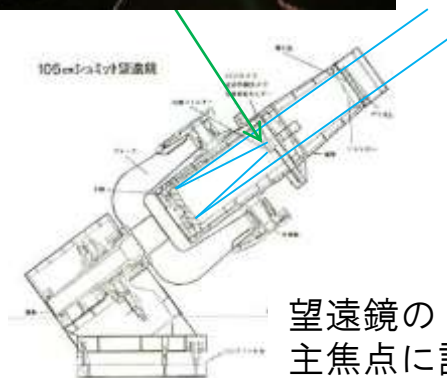
【コア】
酒向、青木、征矢野、
樽沢、三戸、菊池

【サポート】
宮田、本原、藤堂
センチシア、オプト
クラフト

超広視野CMOSカメラの開発進捗

試験観測データを用いた評価

- 2013年12月12-15日（4夜）
- モノクロセンサとカラーセンサを評価
- センサ温度30°C



カメラの準備をする様子



高ダイナミックレンジ画像
M42オリオン星形成領域
フィルタなし
1秒 x 100フレーム
0.25秒 x 100フレーム
0.1秒 x 100フレーム

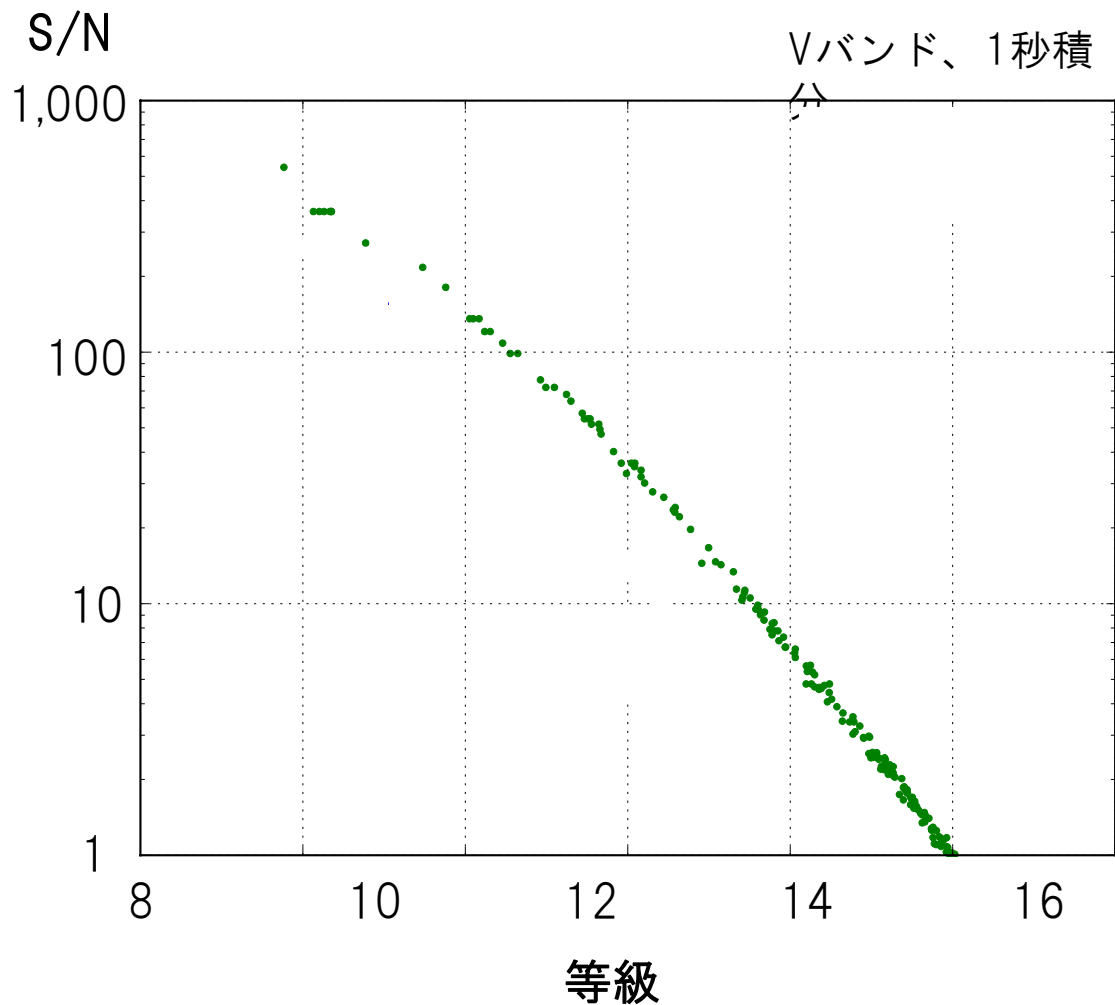


Lovejoy彗星
カラーセンサ
1秒 x 100フレーム

FoV 40' x 20'

詳細は7/11（金）の藤堂らの発表を参照

検出感度の測定

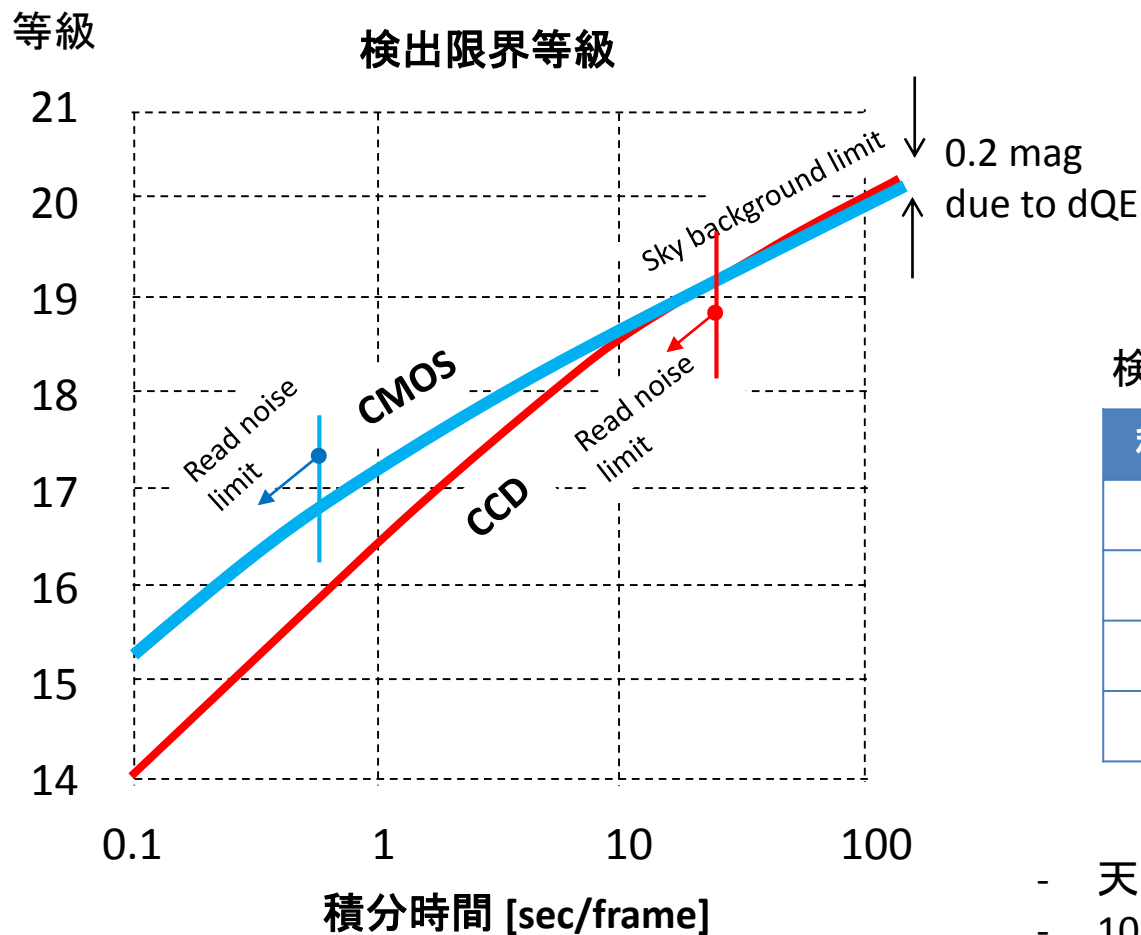


散開星団M45, Vバンド

背景光ノイズ限界の観測を達成

18 20

検出限界等級の予測



検出限界等級 (CMOS)

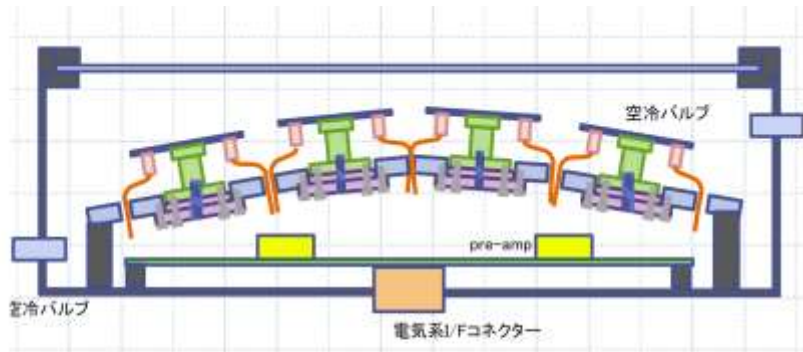
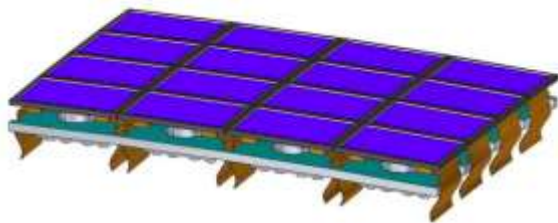
積分時間 (sec)	等級
1/10	15.3
1	17.2
10	18.7
100	19.9

- 天文用CCDと同程度の感度を達成
- 10sec/frame以下では、CCDを上回る感度を達成

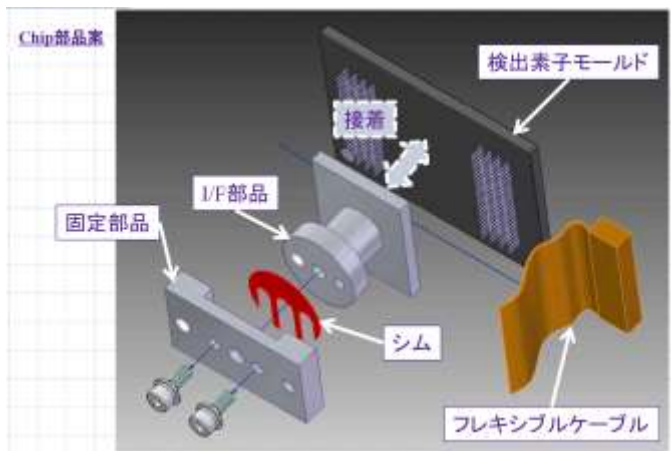
V-band, $S/N = 5$, Seeing = 3"

読み出し時間による観測効率の損失をふくまず

モザイク化の検討



16Chips筐体の概略側面図

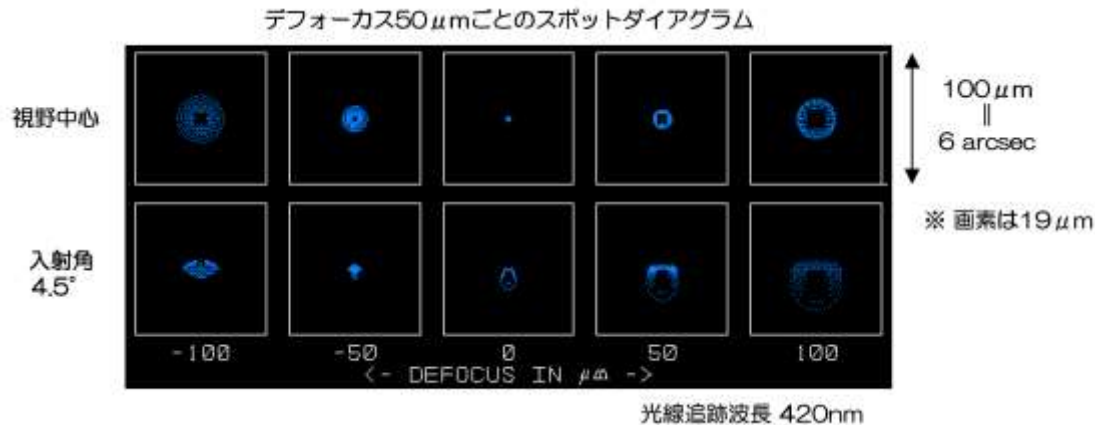


センサを焦点面（ $R=3300\text{mm}$ の球面）上にモザイク配置。

センサ面をフォーカス方向に $\sim 10\mu\text{m}$ の精度で設置が必要

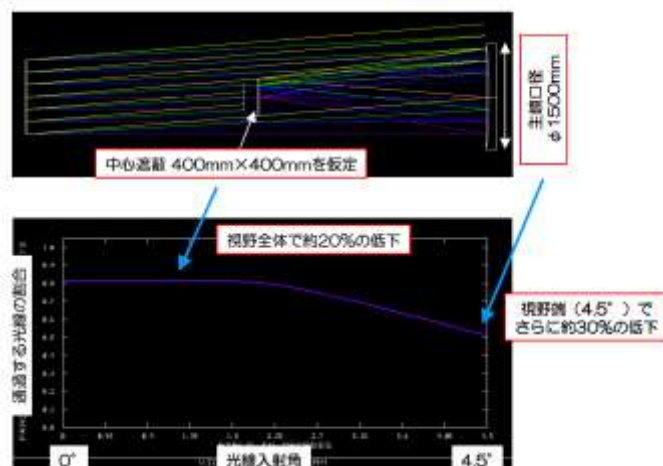
光学設計

• 像の評価



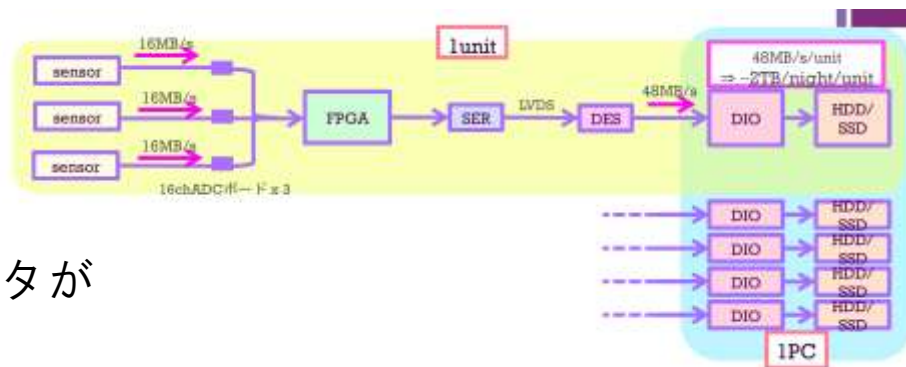
Φ 9度角の全視野で良好な像が得られることを確認

• 遮蔽効果の評価



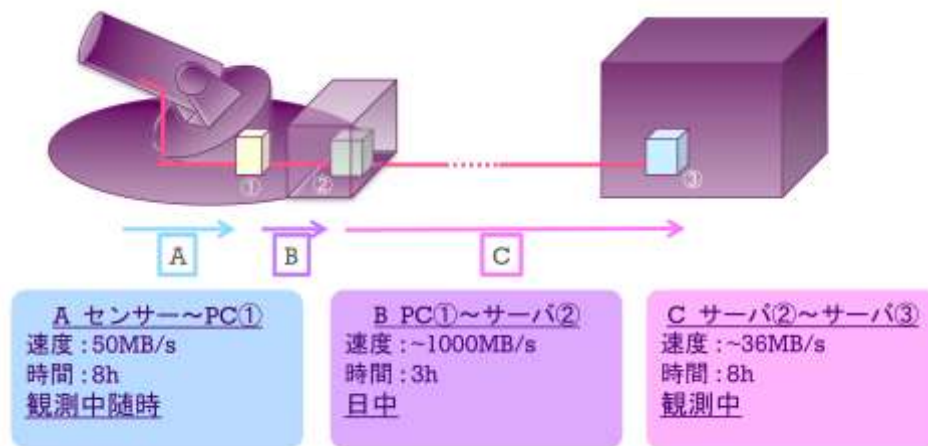
Φ 9度角の視野端での光量損失は、視野中央の30%程度。

センサの読み出しシステムとデータハンドリングの検討



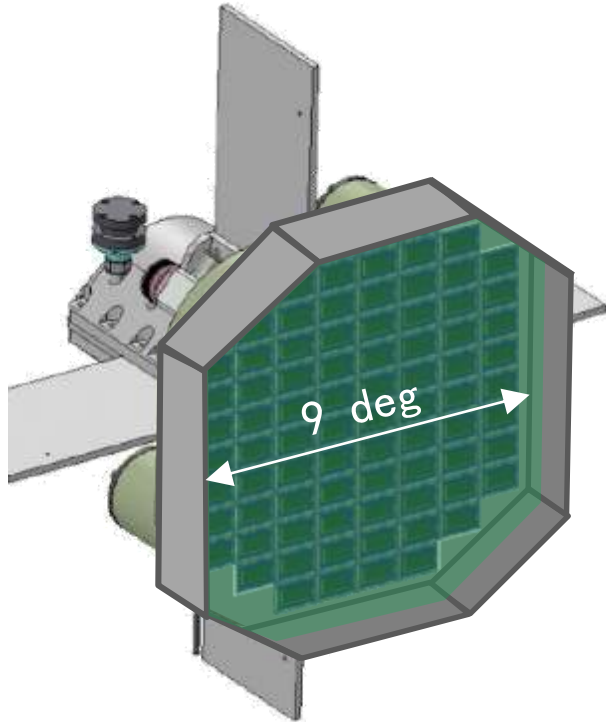
高速読み出しシステムの検討
84台のCMOSセンサが生成するデータが
50TB/nightにおよぶ（2Hz観測時）

データの逐次解析を行うこと
で、ストレージするデータサ
イズを大幅に低減させる。



詳細は7/11(金)の菊池らの発表を参照

木曾超広視野CMOSカメラ



2017年完成予定

約84台のCMOSセンサ

有効視野面積20平方度

168M画素

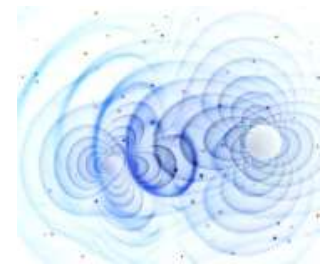
最大2Hz読み出し

(部分読み出し時は最大20Hz)

手動フィルタ交換

積分時間 (sec)	等級
1/10	15.3
1	17.2
10	18.7
100	19.9

検出限界等級



Gravitational wave



Gamma ray burst



Super flare



TNO occultation

木曾超広視野CMOSカメラの名前募集

- 期限 木曾シンポ2日目 7/11(金) 11:10 (休憩時間の終了まで)
- 投稿方法 ポスター掲示板の場所にある箱へ
- 選考方法 木曾観測所の代表者4名
- ガイドライン
 - ✓ アルファベット4文字以上
 - ✓ 発音しやすいこと
 - ✓ 記憶に残ること
 - ✓ 名前から装置の性能・形状・目的などを想像できること
 - ✓ ライバルであるsky mapper, PTF(Palomar transient factory)などを連想させないこと
 - ✓ 何かの略でなくてもよい (例 BANANA, バナナみたいな形状の装置だから)

