

宇宙望遠鏡とその観測装置の要素技術の現状、課題、展望

和田武彦(宇宙航空研究開発機構)

宇宙機

- 姿勢
- 電力
- 通信
- 熱構造
- 輕量化
- 小型化・展開
- 放射線
- 信賴性

宇宙望遠鏡

- 重力変形
- 熱変形
- 打ち上げ環境、剛性
- 軽量化
- 小型化・展開
- 冷却
- フォーメーションフライト

光赤外線観測装置

- 光学系
- フィルター、回折格子
- 波面補償
- 検出器
- データ処理、データ圧縮
- 冷却系
- 電気系 FPGA、部品
- 放射線

姿勢制御

- 衛星姿勢制御
- 能動光学

- センサー
- アクチュエーター
- Focal plane guide sensor

- 安定性
- マヌーバー
 - AKARI 30分/180度

- 熱弾性歪 thermal elastic distortion

JWST pointing

- Absolute 0.45" (1sigma)
 - guide star catalog
 - Roll control
- Stability 6 mas
 - Fine Steering Mirror
 - Fine guidance sensor
- Offset slew accuracy 5 mas

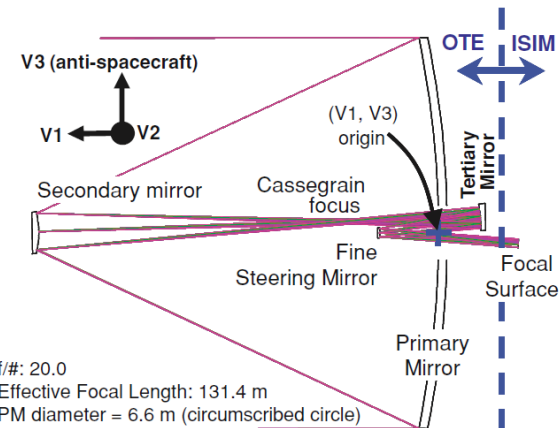


Figure 32. The telescope optical layout. The JWST optical telescope has an effective f/number of 20 and an effective focal length of 131.4 m.

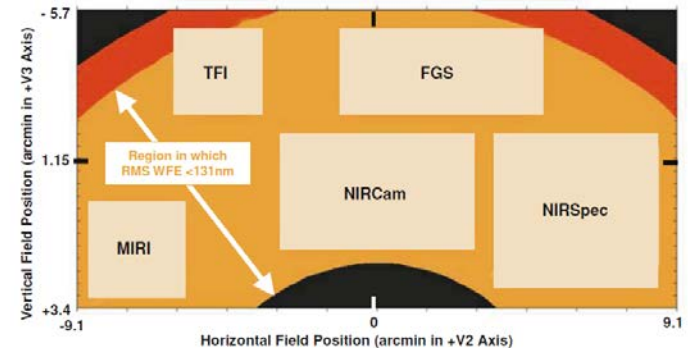
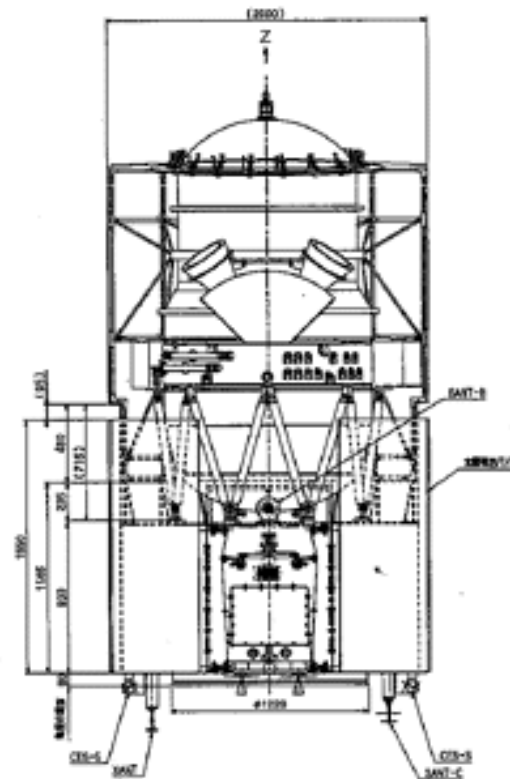


Figure 33. Placement of the ISIM instruments in the telescope FOV.

Fine Guidance Sensor

熱弾性歪 thermal elastic distortion



望遠鏡

- ガラス
- ベリリウム
- SiC

- 研磨
- 研削
- 測定

- 分割鏡
- 展開
- 制御

観測装置光学系

- 冷却光学系
- 同一材料光学系による汎温度性
- All アルミ反射光学系

- 宇宙の厳しい温度環境に応用可能？

観測装置検出器

- 半導体をつかった量子型検出器
 - NICMOS, HAWAII,
 - HgCdTe
 - InSb
 - Si:As
 - Ge:Ga
- CMOS ROIC
 - 30K以下で不安定
 - cryo-SOI CMOS
 - GaAs
- Hybrid
 - In bump with under fill
 - Au NpD bump
- 赤外線センサーのほとんどが、US sole supplier問題を抱えている
 - 輸出規制、価格、供給不安定、技術非開示
- 国産赤外線検出器を

検出器 超伝導

- Transition Edge Sensor (TES)
- kinetic inductance detector (KIDS)
- Quantum capacitance detector (QCD)
- Superconducting nanowire single-photon detector (SNSPD)

冷却

- 宇宙用冷凍機
- 放射冷却

王道

- 大型望遠鏡、天文台
- 確実に実現
- 経費の問題
- スポンサーを見つける
 - 今後20年、GDP、一人当たりのGDPが伸びそうな国
- 安く作る
 - プロジェクトマネジメント技術
 - 先行技術開発
 - 技術実証衛星

邪道

- 小さな、低性能な衛星でもできるサイエンス
- 安く
 - 単目的化
 - 機能代替
 - 高感度観測を、高精度姿勢制御と長時間積分から、ノイズレス検出器による短時間露出観測の重ね合わせで実現
 - 姿勢系からセンサー、データ処理、ダウンリンク
 - 集光力を大口径望遠鏡からたくさんの小口径望遠鏡に
 - ノイズレス(背景光雑音限界)検出器
- 精密姿勢制御を行わない多数の小型衛星で、、、
 - 宇宙ステラジアン望遠鏡
 - チップ微衛星群による低コスト低周波電波干渉計

ステラジアン望遠鏡

戎崎俊一、上野宗孝、三浦均、大野洋介、和田武彦 (東大教養)
渡部潤一 (国立天文台) 村上敏夫 (宇宙研)、吉川真 (通信総合研究所)

1 基本構想

ステラジアン望遠鏡は約1ステラジアン広さの夜空を0.1秒の時間分解能で監視する光学望遠鏡である。広視野カメラ (視野: 5度×5度、口径: 20cm) を144本使う。二組のステラジアン望遠鏡を10kmから100km離して置き、三角視差を使って人工衛星やその破片・流星などによる地球近傍の発行現象を天体現象と区別する。

ステラジアン望遠鏡を用いると光学トランジェント現象の研究を飛躍的に進めることができる。特にガンマ線バーストの光学対応天体、宇宙暗黒物質 (MACHO: Massive Astronomical Compact Halo Objects)、銀河に属さない超新星、地球近傍小惑星の探索に威力を発揮すると考えられる。その他、超新星、新星、閃光星、彗星、脈動変光星が大量に発見されるはずである。ステラジアン望遠鏡が今まで全く知られていなかった未知の天体現象を発見する可能性がある。

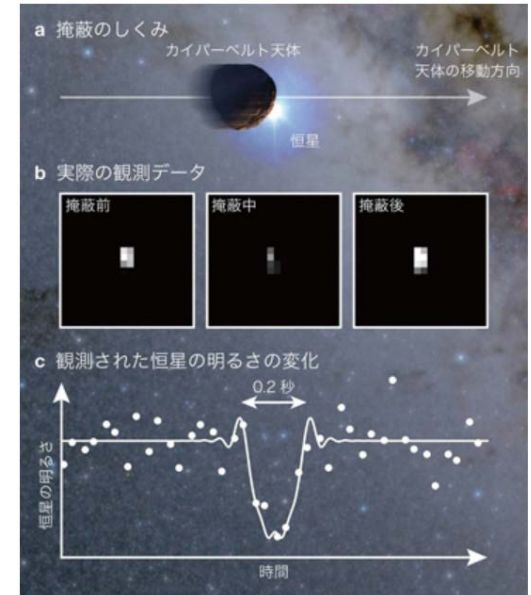
象として捨てる。もし、記録媒体に余裕があればこれらも記録しておき、人工衛星の破片や流星の研究に使う。一方、有為な差が認められないときは、画像をデジタル的に適当な時間積分する。ステラジアン望遠鏡の検出限界は0.1秒サンプリングのとき約16等、1時間積分したとき20等である。

ステラジアン望遠鏡に登載された CCD が吐き出すデータの量は40GB/sに達する。これまでこれだけ大量のデータを取り込める計算機は存在しなかった。もちろん、必要なデータ処理速度も最高速のスーパーコンピューターでもまったく能力不足である。これが、今までこの様な装置が提案されなかった理由であろう。しかし、1つの CCD について行う一時処理は絶望的に多いわけではない。高性能の専用計算機を開発し各々の CCD に取り付ければ十分対処できる。個々の CCD の一時処理には他の CCD のデータをほとんど必要としないので並列処理が可能である。



[図1] (a) 本研究によって史上初めて発見された、微惑星の生き残りと推定される半径約1.3kmの小型カイパーベルト天体の想像図。(b) 巨大望遠鏡でも直接観測不可能な小型カイパーベルト天体を発見した宮古島の口径28cm小型望遠鏡 (OASES観測システム)

Credit: Ko Arimatsu



[図3] 「掩蔽」のしくみ (a) と今回の研究で発見された掩蔽のようす (bおよびc)

Arimatsu et al. 2019, Nature Astronomy, DOI: 10.1038/s41550-018-0685-8

チップ^o微衛星群による 低コスト低周波電波干渉 計

宇宙研 和田（有松、津村）

2014/01/17

2014/01/17
T.waka

chip アンテナ 位置
chip アンテナ位置

main chip
・ 主制御機
・ Wi-Fi

太陽光エネルギーを
取り込む

有機太陽電池
風船
有機性
液体

・ GPS chip
・ Wi-Fi chip

薄膜太陽電池

シリコン薄膜アンテナ

(GPS chip)
(Wi-Fi)

電熱制御回路

化22.1

下量

UV光線、不完全な
比例台照減衰

母船

- chip 制御回路
信号を送出
- 二重化
- (地上局との通信)
- (相関処理)

母船



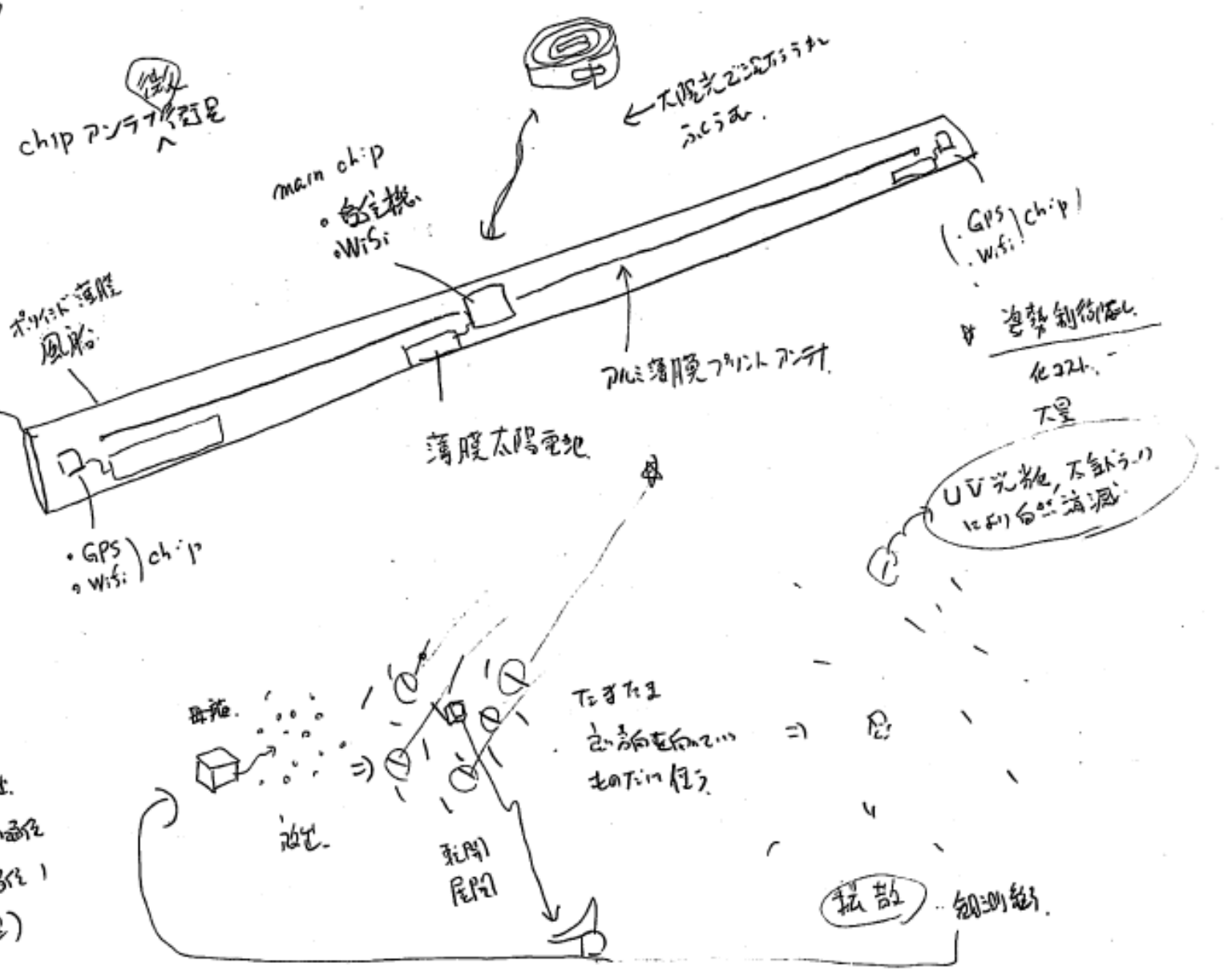
送信

受信

Te 送信
Ta 受信
通信距離
時間経過

振動

観測船



コンセプト

- Chip微衛星群によるスペース電波干渉計
- スペースでしかできない未開波長帯の開拓
 - 大気・電離層吸収で地上からの観測が不可
 - X、赤外線は、IXO、SPICAで開拓される
 - 電離層が邪魔な低周波電波天文(<30MHz?)
- サイエンス
 - 高エネルギー・ノンサーマル現象
 - 太陽系外惑星系での雷(木星電波)
 - High-z HI輝線

コンセプト

- 敷居が小さい
 - 小さい・地上=>大規模・スペースの死の谷を乗り越えられること
 - ローコスト衛星を多数ばらまく干渉計
- Chipアンテナ微衛星
 - VLSI/IT技術を活用した、chip衛星群
 - 姿勢制御を省くことでコスト削減
 - その代り、多量のアンテナ微衛星をばらまくことで対処
- 母船衛星
 - アンテナ微衛星を保持
 - 他アンテナ微衛星とネットワーク化
 - 地上との通信、相関計算
- 使い捨てにしてコスト削減
 - ひとつひとつの機能・信頼性は諦め
 - そのかわり大量に投入(amazon.comのビジネスモデル?)
 - 観測の度にばらまく

Chipアンテナ微衛星

- 主たる機能をone chip化
- 低コスト化による信頼性・機能の低下を大量使用によりカバー
- CMOS VLSI技術・IT技術の進歩
 - 受信機
 - THz(ALMA), GHzができるだから、MHzなら楽勝であろう
 - 通信機
 - 母船/他アンテナ微衛星まで届けばよい
 - wifiネットワーク
 - 姿勢検出
 - GPSチップ
- アンテナ
 - アルミ薄膜印刷アンテナ
 - アルコール封入ポリイミド風船
 - 巻物にしておき太陽光で暖められると伸長
- 電源
 - 印刷型有機太陽電池による自活