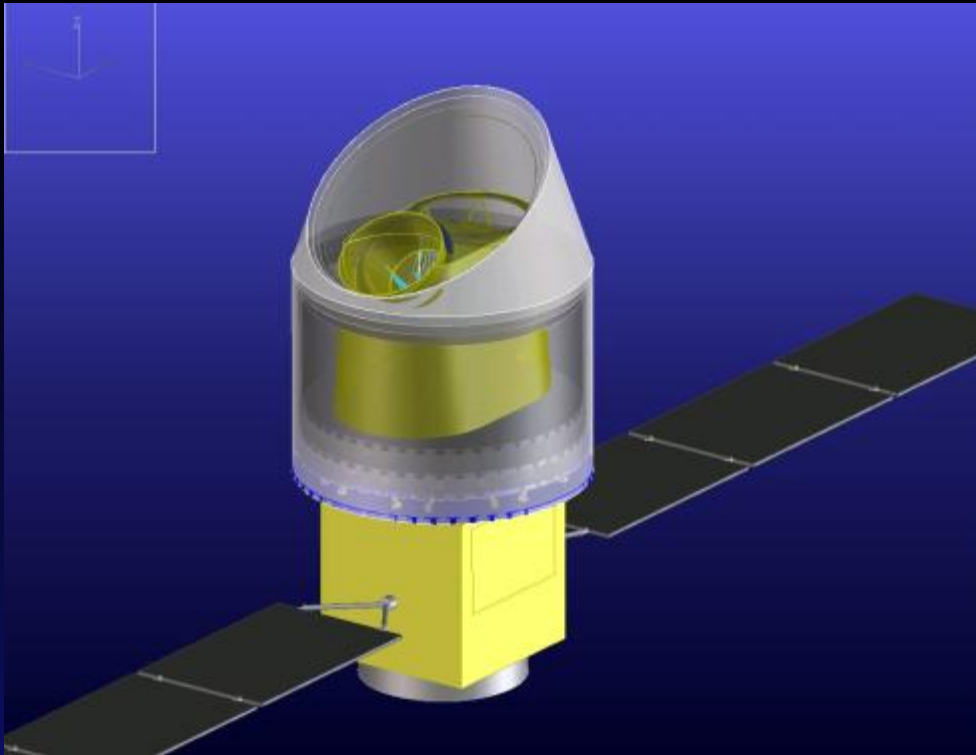


小型科学衛星LiteBIRDのシステム要求分析I

Lite (light) Satellite for the studies of **B**-mode polarization and **I**nflation from cosmic background **R**adiation **D**etection



高エネルギー加速器研究機構 (KEK)
素粒子原子核研究所
宇宙背景放射 (CMB) 実験グループ
羽澄昌史、他 LiteBIRD Working Group

日本物理学会第66回年次大会スライド
2011年4月25日アップロード

LiteBIRDワーキンググループ

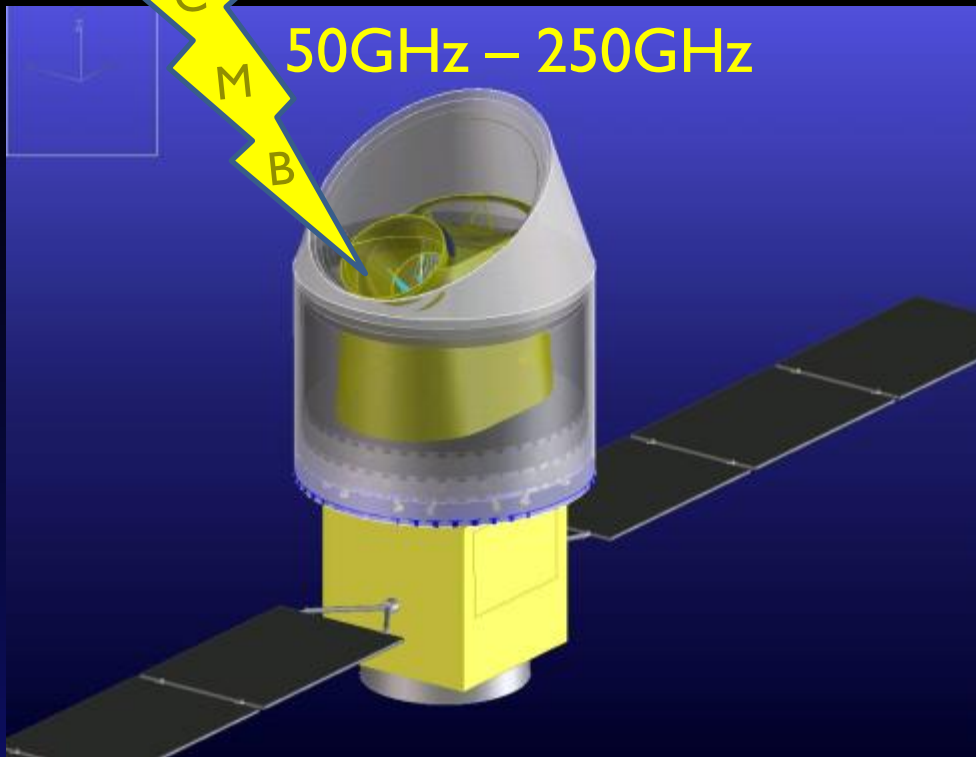
(2008年9月設立)

- 竹井洋、福家英之、松原英雄、満田和久、山崎典子、吉田哲也 (ISAS/JAXA)、← SPICA, DIOS, 大気球
- 篠崎慶亮、佐藤洋一、杉田寛之 (ARD/JAXA)、
- 石野宏和、樹林敦子、服部香里、三澤 尚典、美馬覚 (岡山大理)、
- Adnan Ghribi、William Holzappel、Bradley Johnson、Adrian Lee、Paul Richards、Aritoki Suzuki、Huan Tran (UC Berkeley)、← POLARBEAR, EBEX, APEX, EPIC, BICEP, SPT
- Julian Borrill (LBNL)、← Planck
- 大田泉 (近畿大)、
- 吉田光宏 (加速器/KEK)、
- 石徹白晃治、片山伸彦、佐藤伸明、住澤一高、田島治、永井誠、永田竜、西野玄記、羽澄昌史、長谷川雅也、樋口岳雄、松村知岳 (IPNS/KEK)、← QUIET, POLARBEAR (松村はさらにPlanck, BICEP, EBEX)
- 柳沼えり (総研大)、
- 高田卓 (筑波大)、
- 木村誠宏、鈴木敏一、都丸隆行 (低温セ/KEK)、← POLARBEAR
- 小松英一郎 (UT Austin)、← WMAP
- 鵜澤佳徳、関本裕太郎、野口卓 (ATC/NAOJ)、
- 茅根裕司、服部誠 (東北大理)、← QUIET (茅根)
- 高木 雄太、中村 正吾、村山 慧 (横浜国大)、
- 大谷知行 (理研)

- コンサルタント: 小玉英雄 (KEK)、中川貴雄 (JAXA)、川邊良平 (NAOJ)

What powered Big Bang ?

- 宇宙の起源 = 宇宙科学のグランドチャレンジ
- ビッグバン以前 = 現代宇宙論最大の課題



LiteBIRDはこの大問題に
真っ向から挑む小型衛星

観測内容

宇宙背景放射
(Cosmic Microwave Background
= **CMB**)
の偏光度を全天で超精密観測

CMB 偏光観測の意義

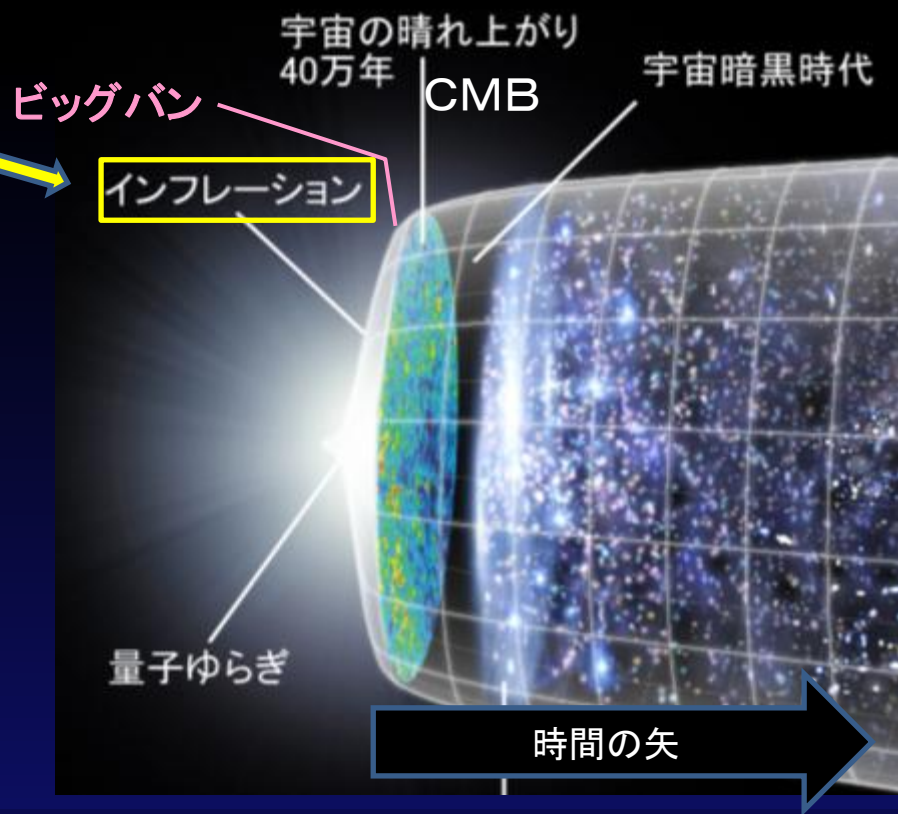
- ビッグバン以前に何が合ったかは、偏光(方向のある情報)でしかわからない！ (他の方法では感度が悪い)

ビッグバン以前を記述する
最有力かつ「非常識」な仮説

「空間の量子ゆらぎ」をともなう
宇宙の急激な加速膨張
= インフレーション仮説

- 原始(背景)重力波の生成
- CMB偏光マップに“渦”を生成

CMB偏光観測は、
インフレーション検証の切り札

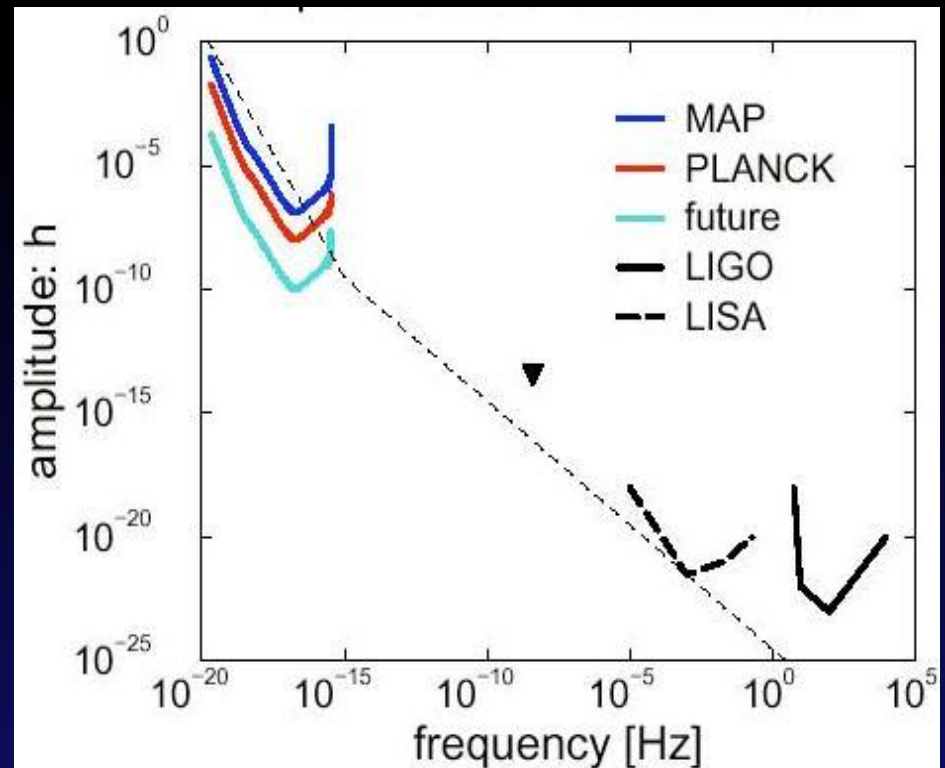


干渉計重力波探索との関係

CMBのほうが感度が高いので、原始重力波の発見にはCMB偏光Bモードがベスト。

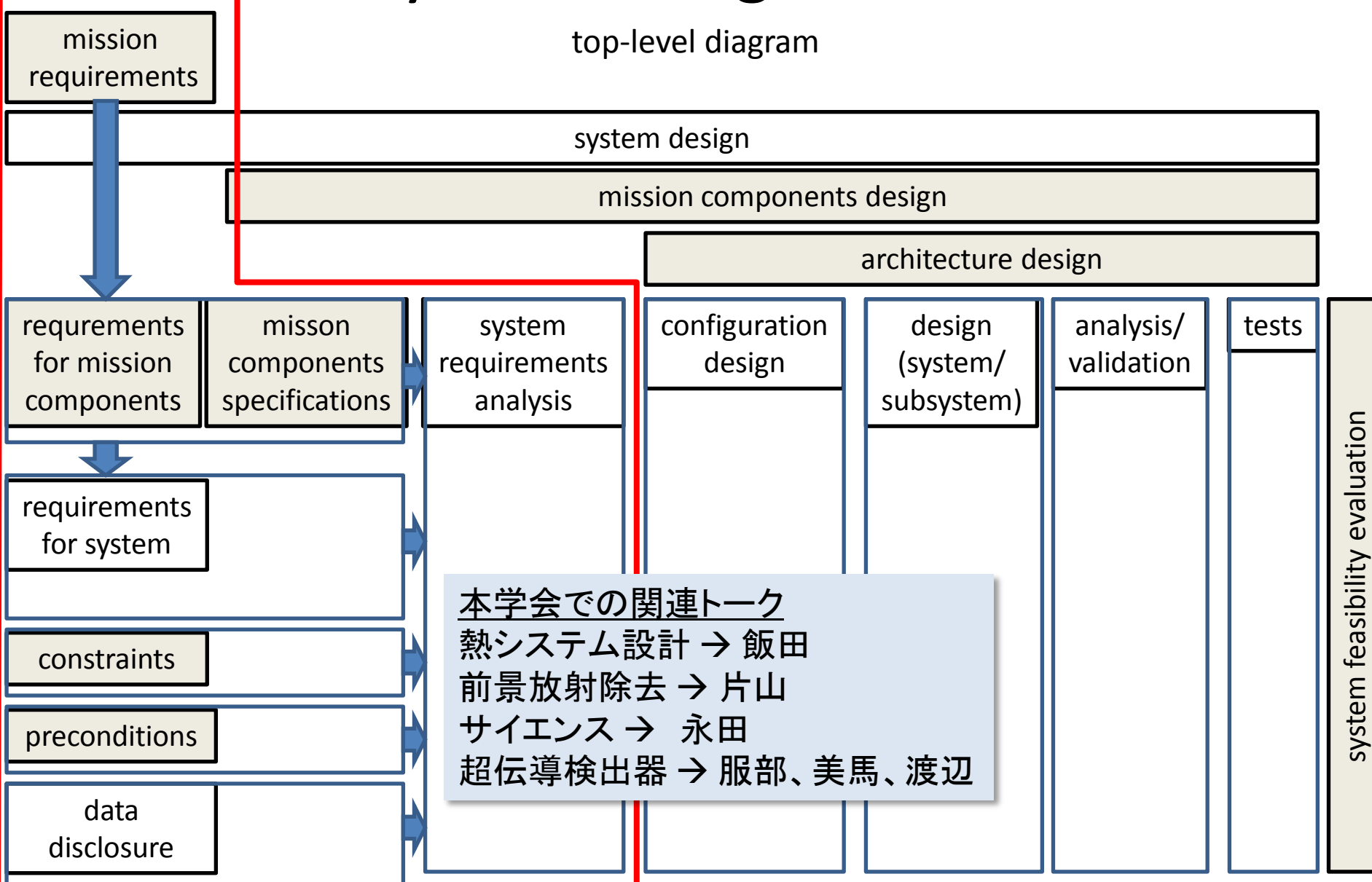
CMBによる原始重力波の発見は、将来の干渉計重力波探索に定量的な大目標を与える。

CMB偏光Bモード観測は従来の光学観測と将来の重力波観測との懸け橋となる！



JAXA system design framework

top-level diagram



要求される観測精度

測定精度

1K

CMBの発見(ペンジャス、ウィルソン) 1978年ノーベル物理学賞
「ビッグバンの証拠」~3K



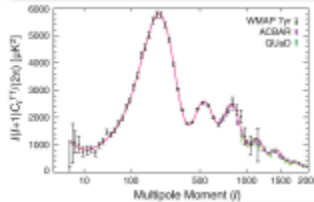
1mK

CMB非等方性の発見~30 μ K、プランク分布の証明
(スムート、マザー) 2006年ノーベル物理学賞
「インフレーション宇宙を示唆、時空の量子揺らぎの証拠」



1 μ K

WMAP, PLANCK : 解像度の向上
→ 宇宙年齢、ダークエネルギー

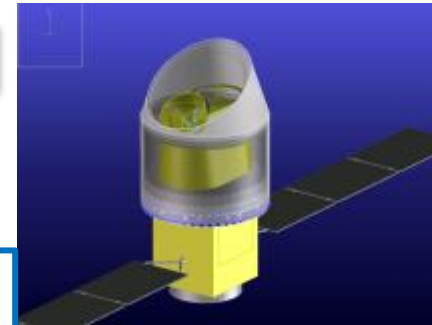


現在、日米共同でこの辺の感度で地上実験準備中

1nK

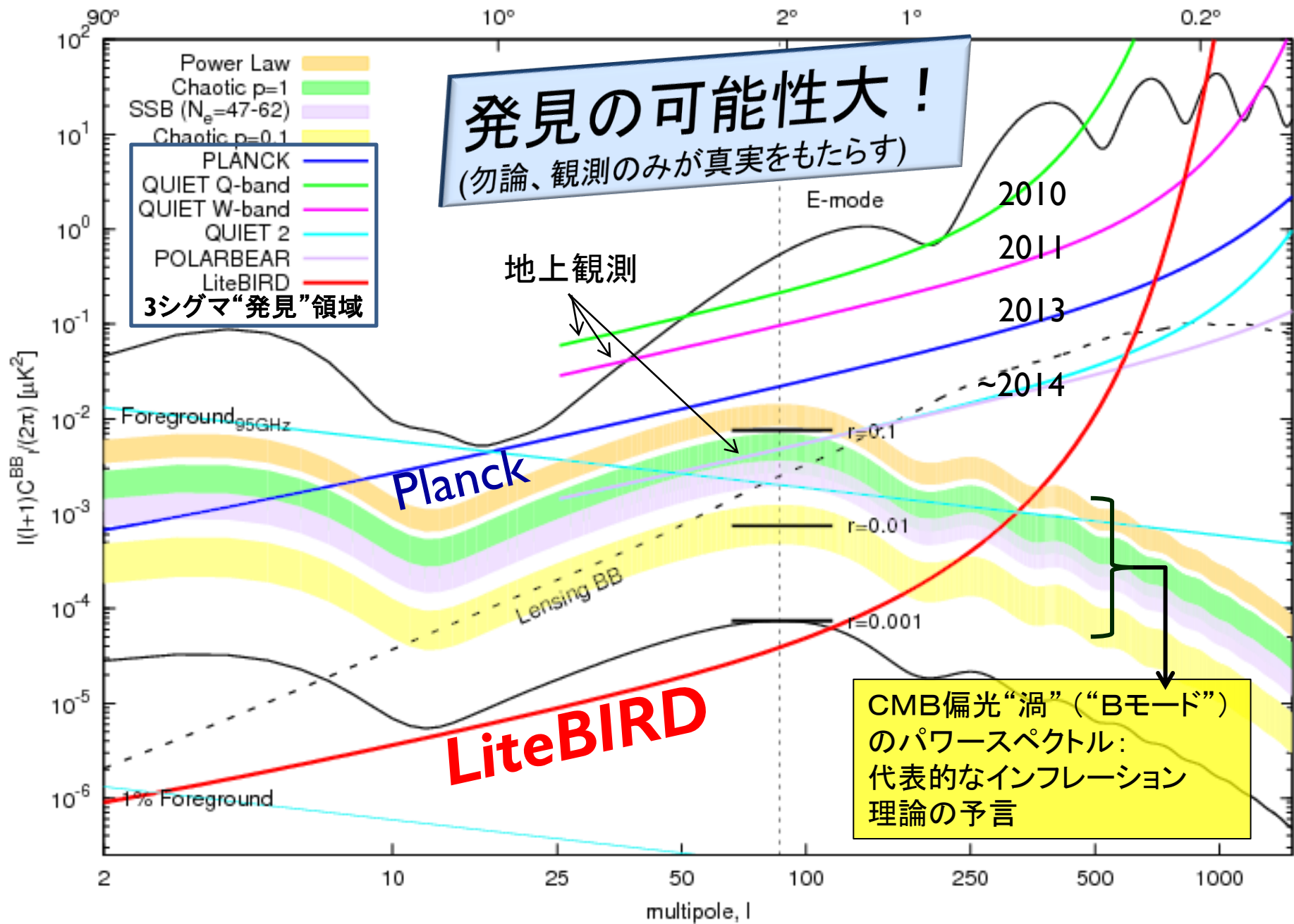
LiteBIRD(日本が主導)

数nKのでこぼこをとらえる“超伝導ミリ波カメラ”

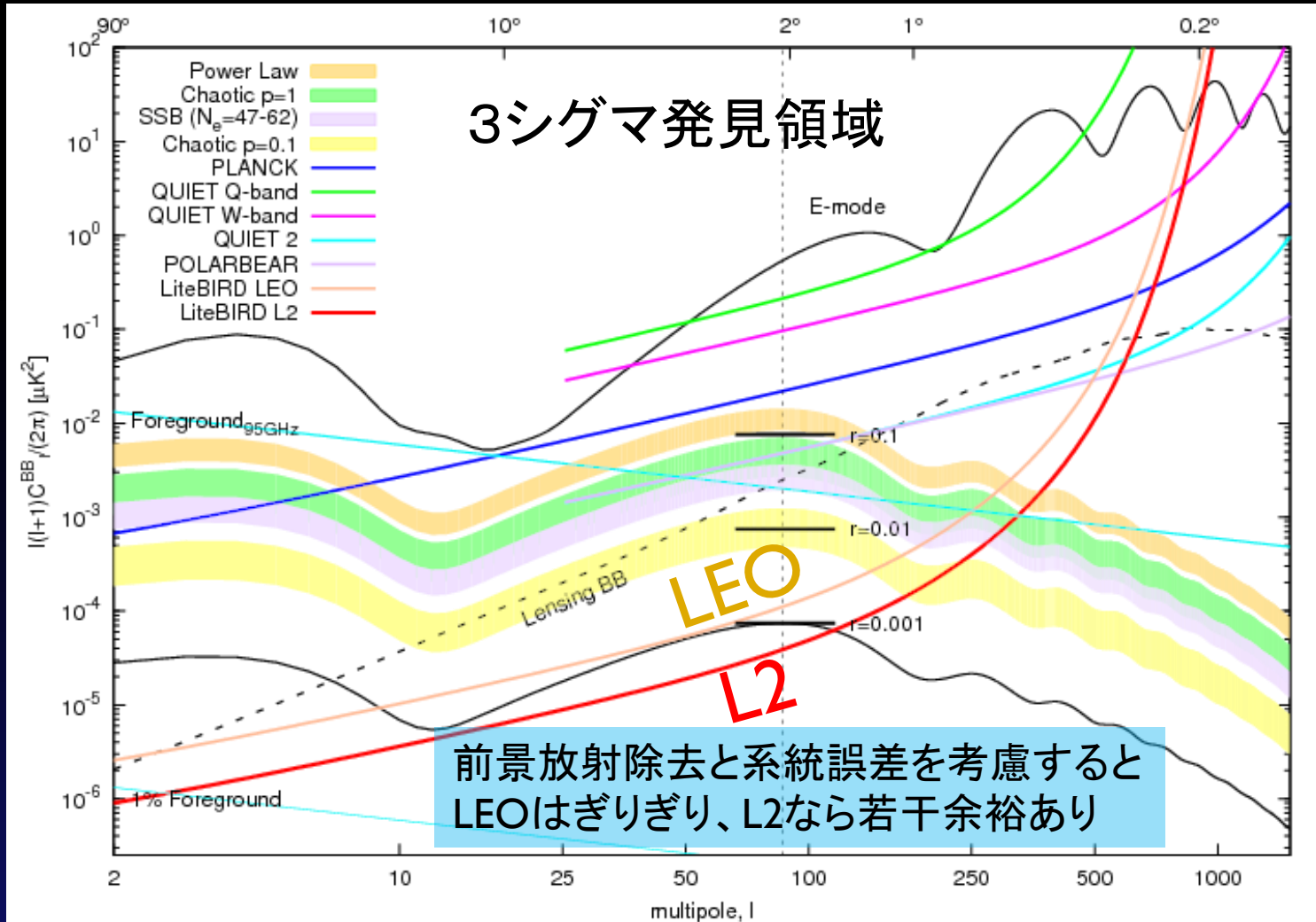


発見から揺らぎの精密測定へ
測定精度の向上

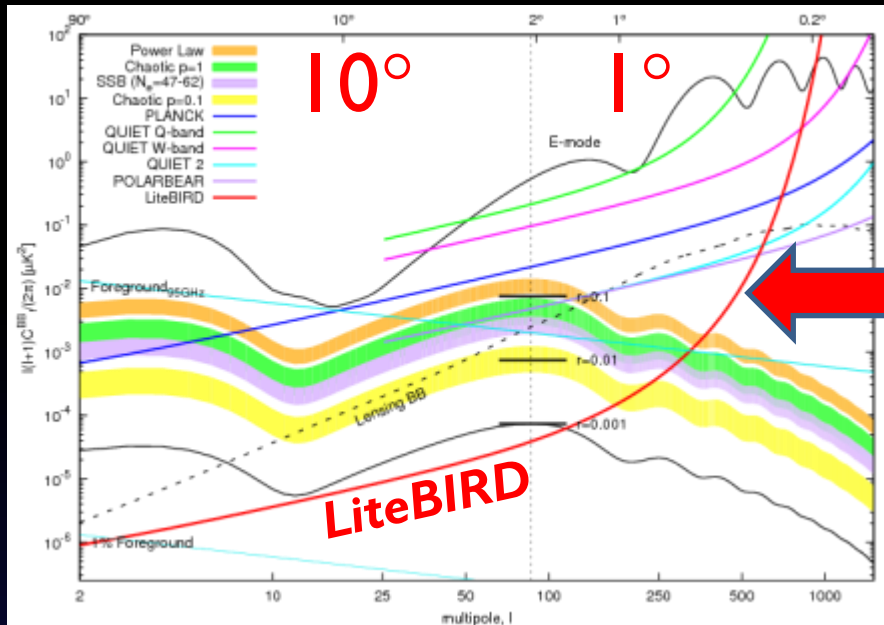
2011/4/25



L2 vs. LEO



何故、小型でやるか？



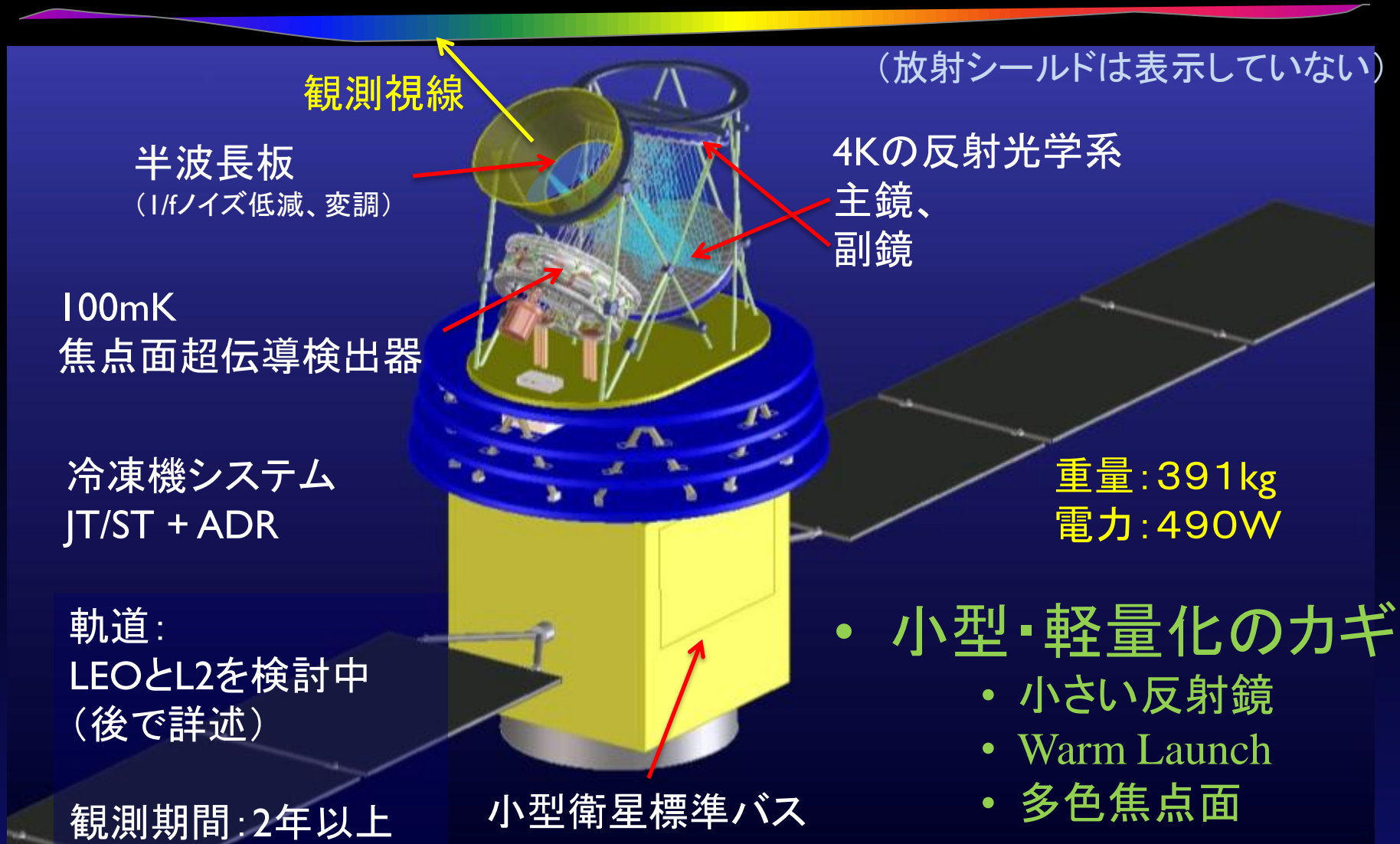
角度分解能は
0.5度 (@150GHz)
で十分

有効直径~50cmの
望遠鏡でよい

- ▶ 小型で究極の観測ができる！
- ▶ 小型なら世界に先駆けて打ち上げられる

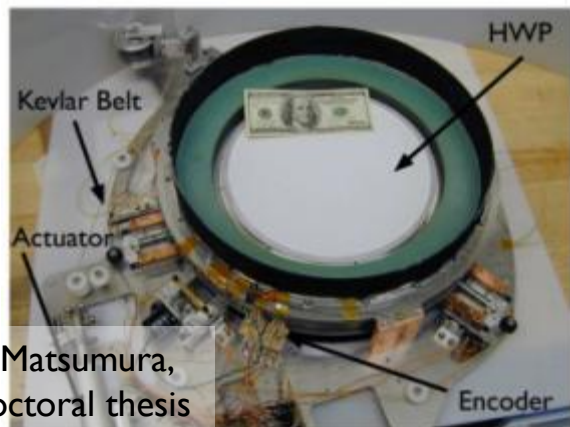
欧米は、中一大型(~1000億円?)、多目的、2020年代中盤以降の可能性大

LiteBIRD装置概要



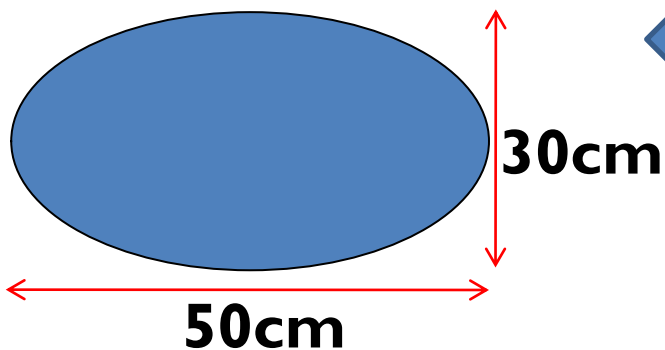
LiteBIRD光学系

回転半波長板



T. Matsumura,
doctoral thesis

利用可能な焦点面



空からの
入射光

半波長板

焦点面

光学系全体を
極低温に冷却する。

30cm

副鏡

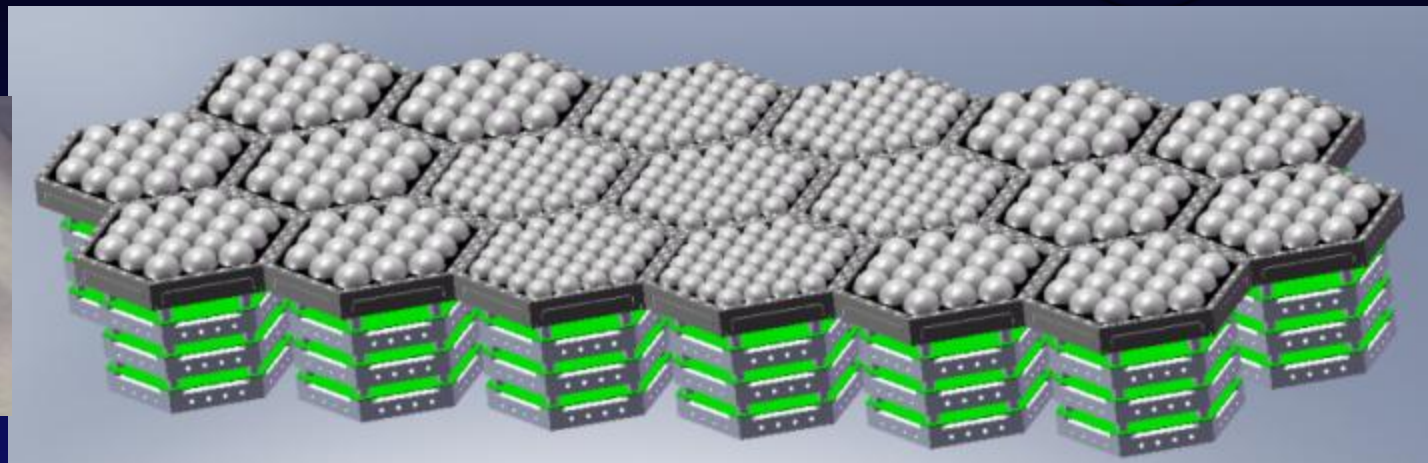
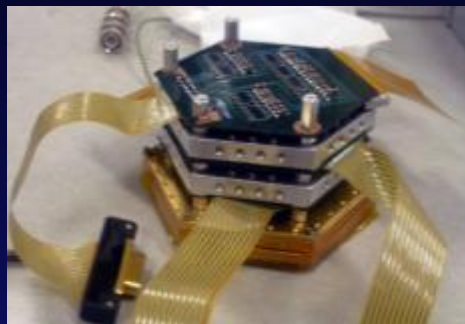
主鏡

設計は完了、現在、プロトタイプ製作中

LiteBIRD

焦点面 (TESオプション)

Band	Beam size [degs]	Pixel size[cm]	Edge Taper [dB]	Aperture efficiency	The # of bolometers	uK arcmin for 2 K mirror/baffle
60	1.7	2.0	4.5	0.65	312	6.35
80	1.3	2.0	7.8	0.84	156	6.53
100	1	2.0	<-10	0.94	156	6.06
Sub total					624	
100	1	1.2	-4.5	0.65	434	4.16
150	0.7	1.2	-10	0.91	434	3.02
220	0.47	1.2	<-10	0.99	434	3.02
Sub total					1302	
Total					1926	1.7



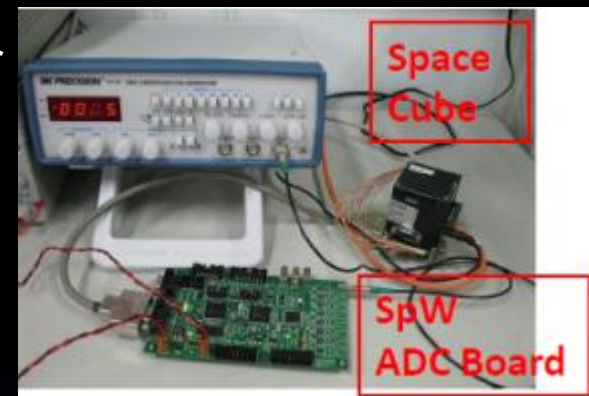
LiteBIRD DAQ・テレメトリー

技術的挑戦

➤機上データ圧縮

データ圧縮実装試験実施済み
Planckと同様の方法で
Virtex-5QV
2個相当のLUT

➤10GB/dayのデータ転送

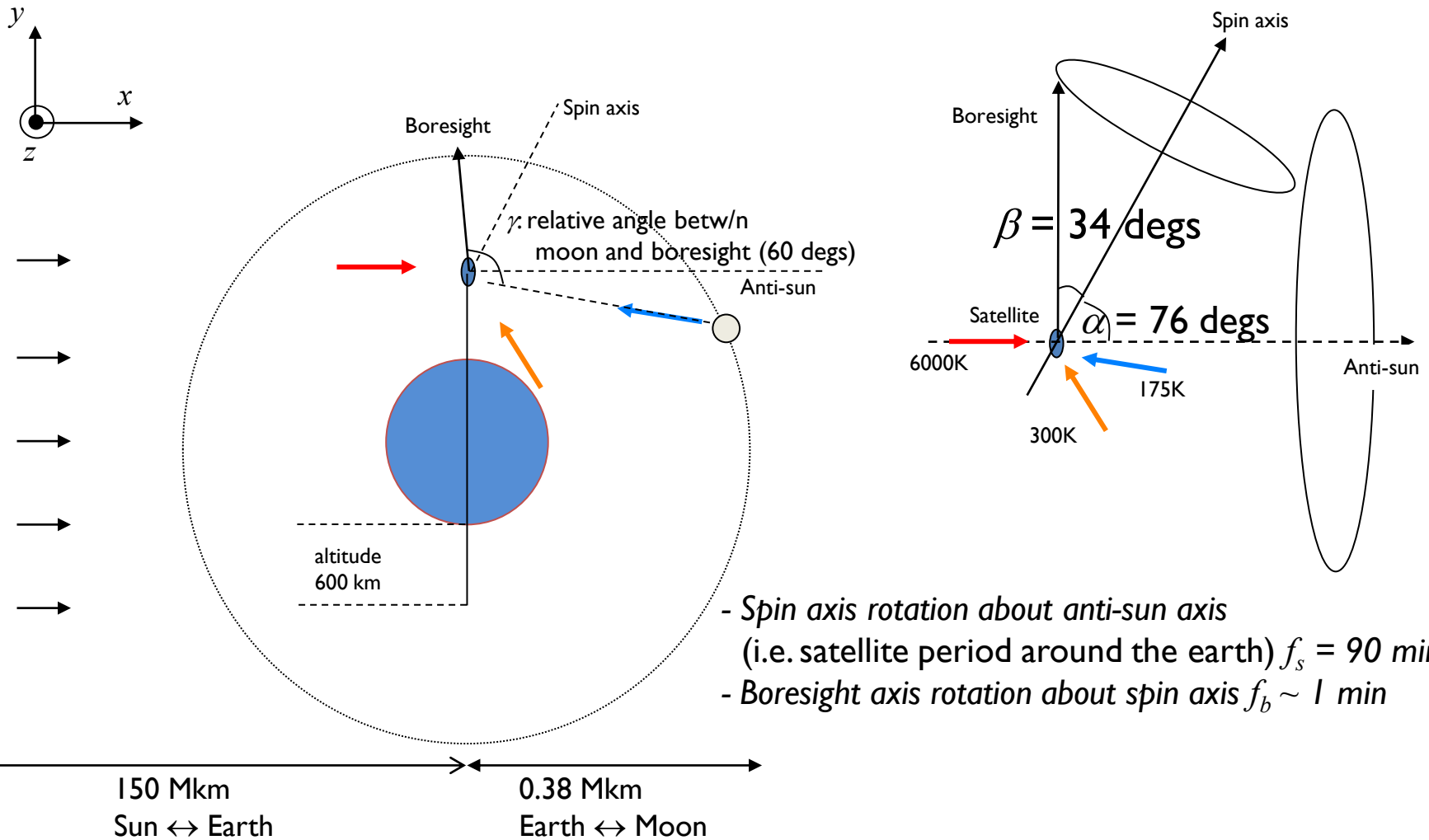


	圧縮前 [kbps]	圧縮前 [Gbyte/day]	圧縮後[kbps] 27.4%圧縮率を仮定	圧縮後 [Gbyte/day]
LEO	2,457.4	26.5	673.3	7.26
L2	3,677.2	39.7	1007.6	10.9

一方テレメトリーで確保可能なデータ転送量は、Xバンドを仮定すると、

	転送レート[kbps]	局数	局数あたりの通信時間[hours/day]	実効可能データ転送量 [kbps]
LEO	10,000	2	0.67	558
L2	4,000	1	6	1,000

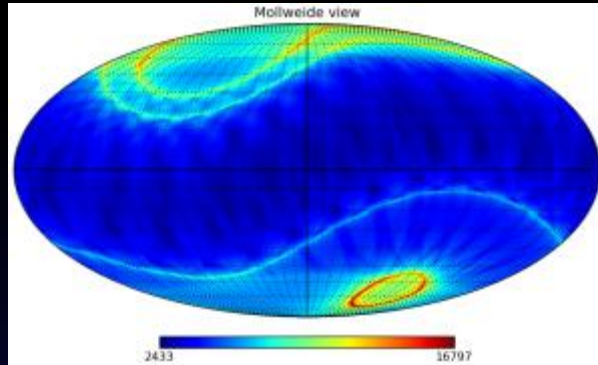
LiteBIRD LEO軌道・スキキャン



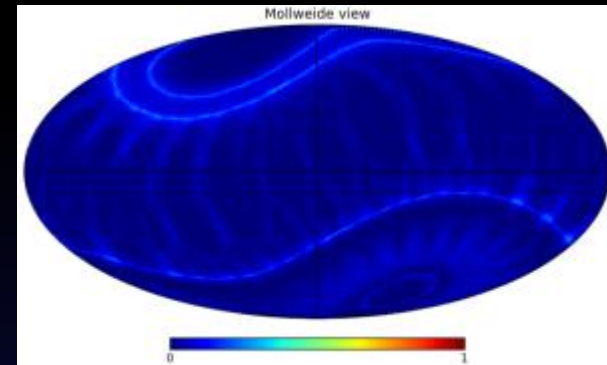
LiteBIRD LEO軌道・スキヤン

- Pros

- JAXA小型科学衛星の枠でやれそう
- 観測時間の一様性と観測偏光角の一様性(クロスリンク)はよい



観測時間

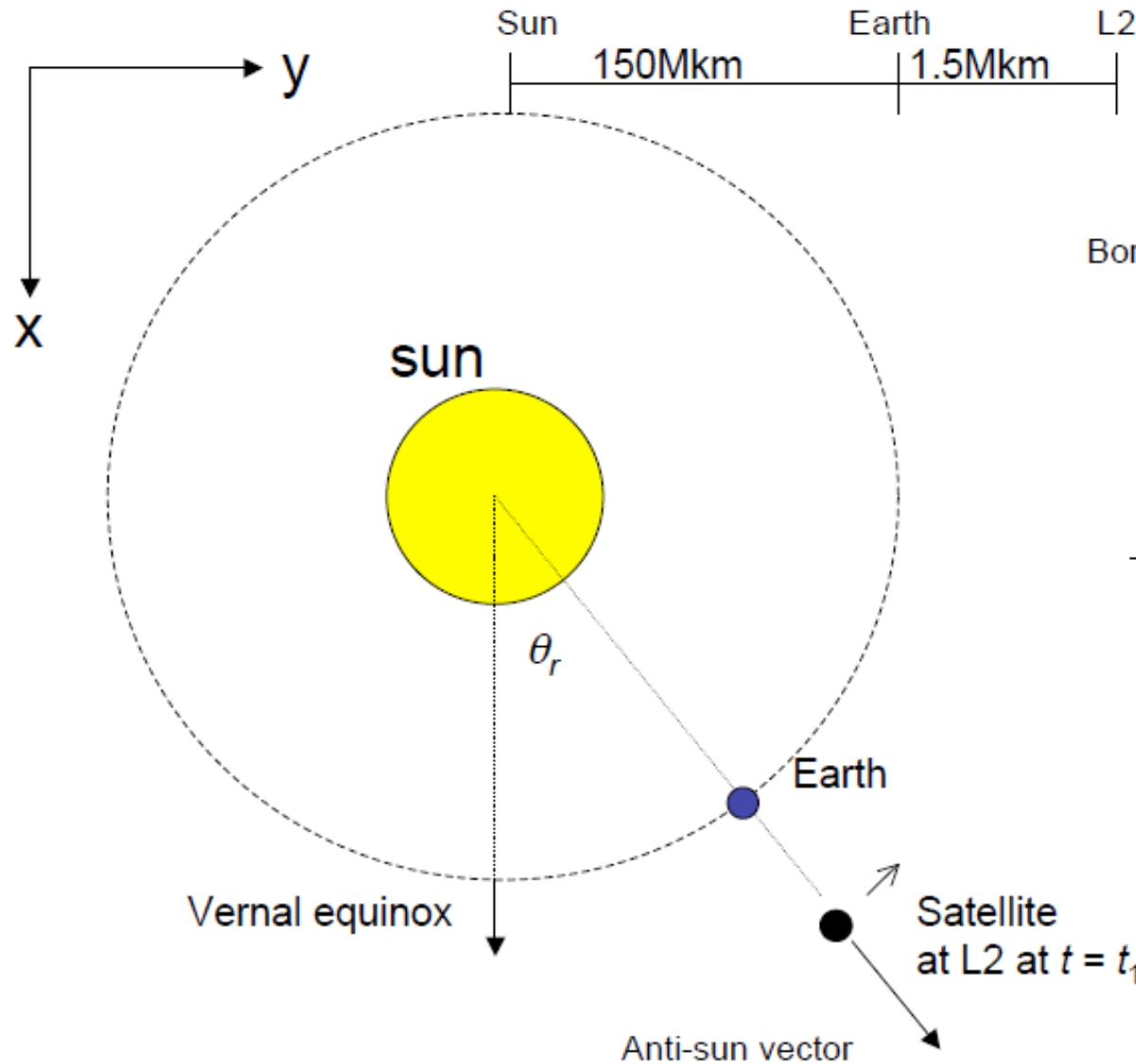


クロスリンク

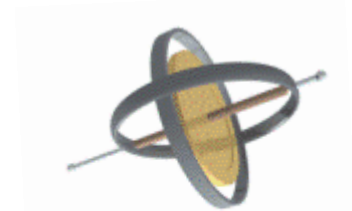
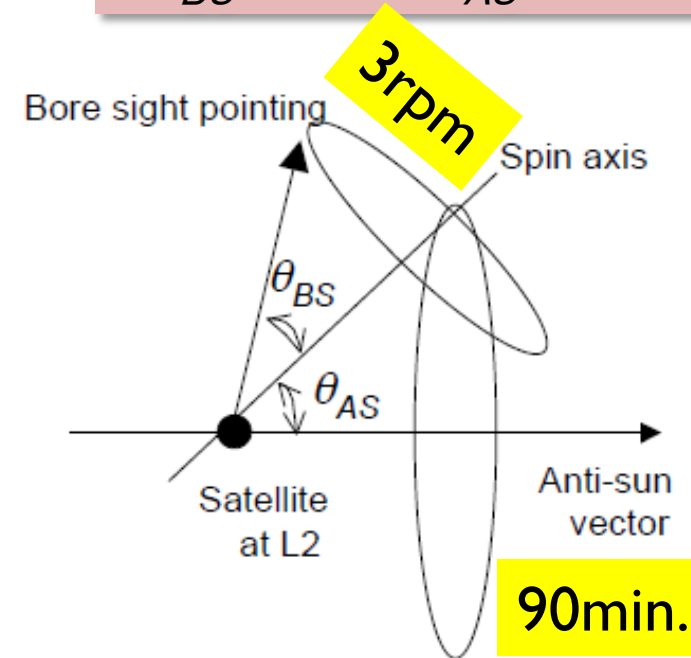
- Cons

- 月と地球のサイドローブ
 - South Atlantic Anomaly
 - 熱設計に余裕がない
 - 姿勢制御(スピン軸を軌道に沿って回転)
- } 観測効率の低下、系統誤差の増加

LiteBIRD L2軌道・スキャン



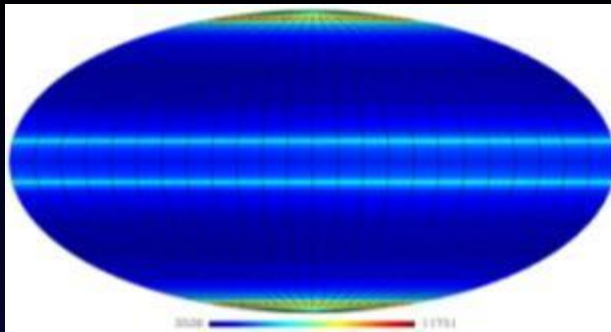
$$\theta_{BS} = 55^\circ, \theta_{AS} = 45^\circ$$



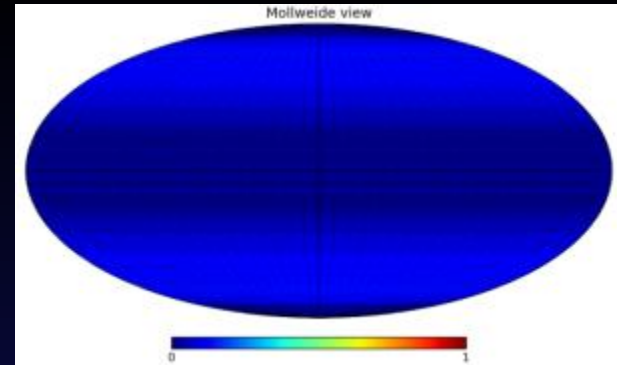
LiteBIRD L2軌道・スキャン

- Pros

- 理想的な環境 → 系統誤差最小
- 地球、月の影響がない → 常に観測可能
- 熱設計等がよりシンプル



観測時間



クロスリンク

- Cons

- L2へ行くこと
- 宇宙線の影響(glitches)

LiteBIRD まとめ

- サイエンス : ビッグバン以前の宇宙、量子重力理論検証
- 観測概要 : L2又はLEO、50-250GHz、全天観測
- 観測装置 : 「数nKのでこぼこをとらえる超伝導ミリ波カメラ」
小型で究極の観測が可能！
- 技術的挑戦：
 - 回転半波長板
 - 多色超伝導カメラと信号多重化
 - 100mKの冷却系とwarm launch
 - 機上データ圧縮と10GB/dayのデータ転送
 - L2へのフライト
 - 熱設計(特にLEO)
- 地上観測による実証: ADRとTESの実証、系統誤差、前景放射の理解

システム設計進行中