

# 宇宙マイクロ波背景輻射 Bモード偏光観測の為の小型科 学衛星LiteBIRD実現性検討 I

Mar. 25, 2012

日本物理学会 2011年年次大会

片山伸彦(KEK)

LiteBIRDワーキンググループ

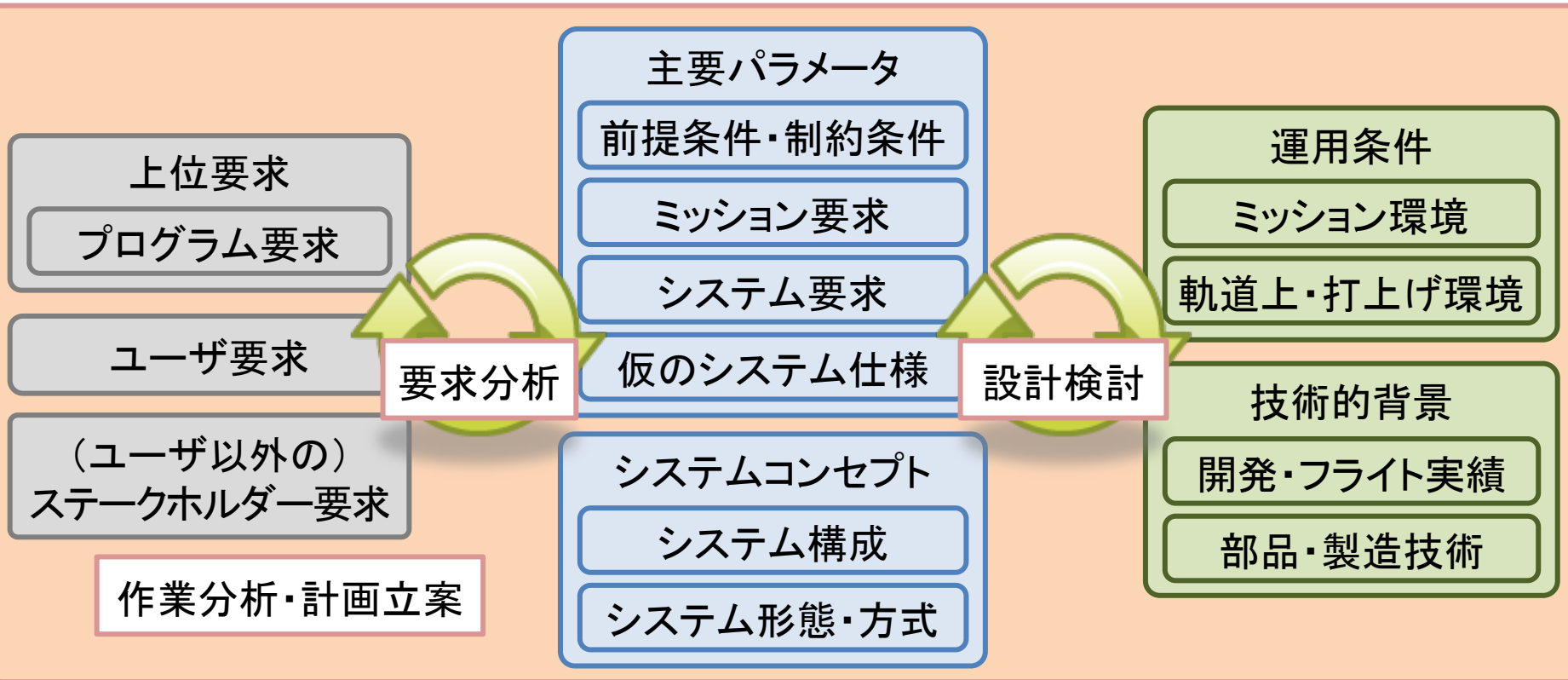
## アウトライン

- 実現性検討とは
- 重要項目の検討状況
- まとめと今後の予定

# 実現性検討とは

■ ミッション要求を達成する為の、観測系、それ以外のシステムの検討

➡ プリプロジェクト化審査の為のシステム要求書を作成



# 重点検討中の項目

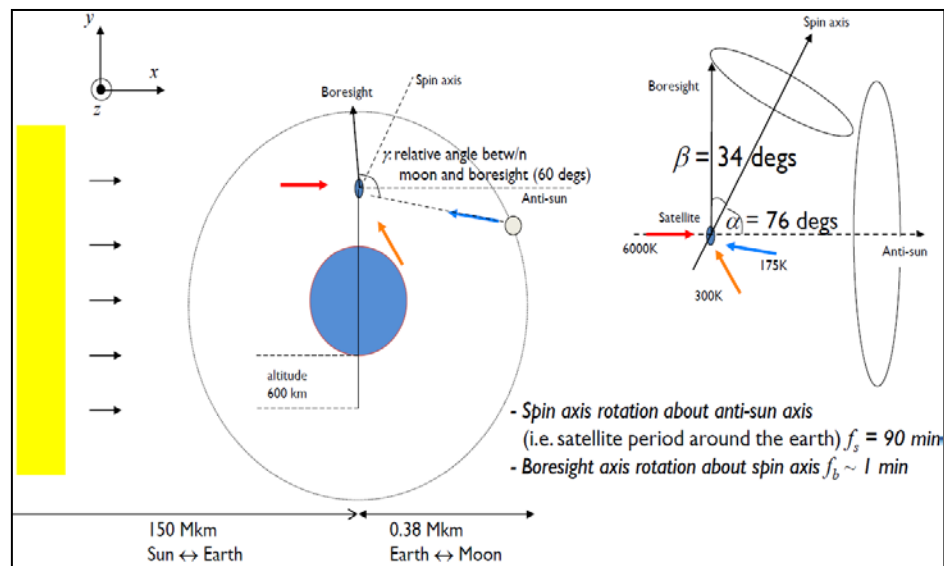
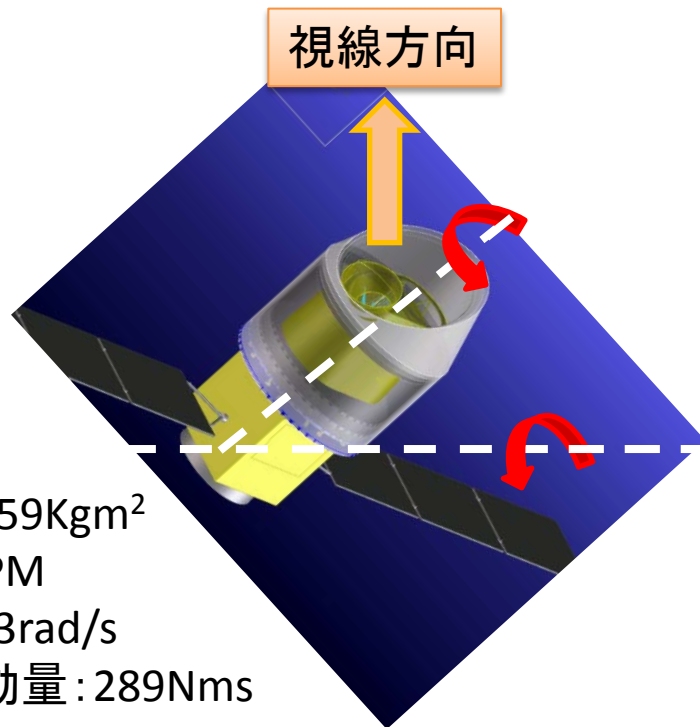
- MDSGの支援により、いくつかの検討事項が明らかになった
  - システムの制限が、より明らかになったもの
    - 姿勢／スキャン
    - 熱設計
    - データサイズ／テレメトリ
  - 検討手法等が、より明らかになったもの
    - 軌道／打ち上げロケット
    - 放射線環境
    - コスト評価
- 検討してミッション要求にフィードバックする

# 例1：姿勢／スキャン

- 姿勢／スキャンについては従来より検討して来た(学会発表あり)
- スキャンを実現させる為のバス側のシステムに対する要求を検討した
- 条件：TESの1/fノイズのknee周波数が100mHz
  - 100mHzで“全天”をスキャン⇒6RPM
  - 歳差運動に必要な角運動量  $289 \times 2 \times \sin 76^\circ = 561 \text{ Nms}$
  - 15Nmsのリアクションホイールが数十台！
  - スラスタ燃料も 沢山必要

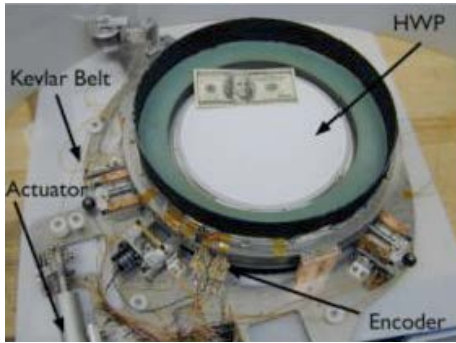


重量:418Kg  
 z軸周り慣性  
 モーメント:459Kgm<sup>2</sup>  
 回転数:6RPM  
 =0.1RPS=0.63rad/s  
 スピン角運動量:289Nms

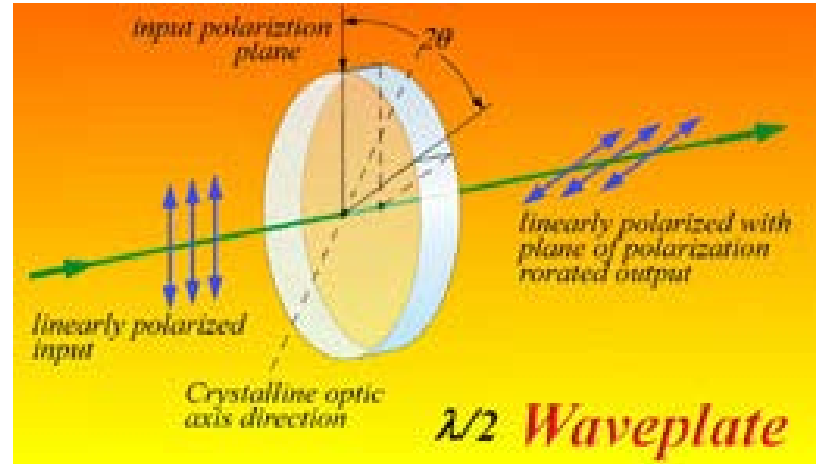


# 姿勢／スキャン

- 「100mHzで“全天”をスキャン⇒6RPM」を検討開始
  - 100mHzはTESの $1/f_{\text{knee}}$ , MKIDは？
  - 半波長板を使用？
  - 中・大型衛星？
  - l=2まで測定のを条件を緩める？
- ⇒ 半波長板を検討
- 姿勢決定の為のスタートラッカーも6RPMでは厳しい
  - 標準品で精度10arcsecだと、 $5^\circ / \text{sec}$ までなら追尾可能
- 開き角 $76^\circ$  もアンテナ、熱などに厳しい
  - L2でアンテナの指向性を狭く出来ない
  - 開き角＋スピン軸に対する視線方向への角度を $90^\circ$  以下に抑えたい



# 半波長板とは

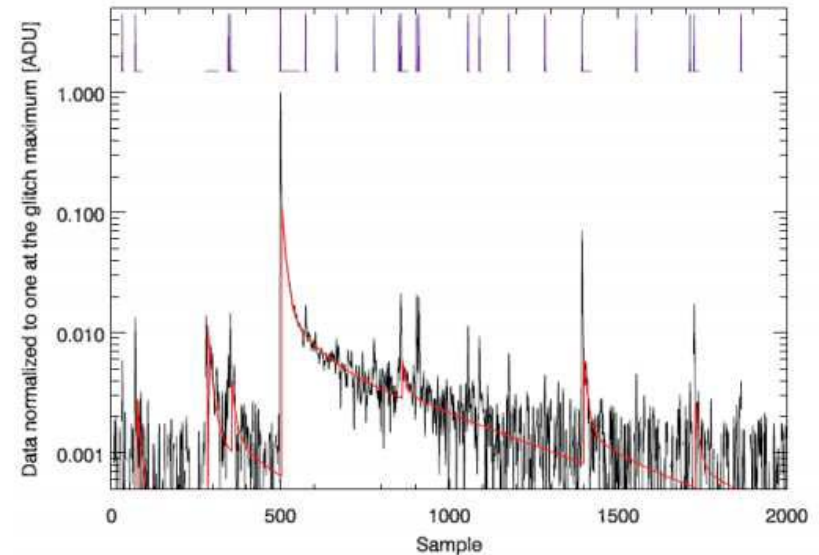


- 複屈折を持つ単結晶を輪切りにしたディスク
- 直線偏光した光は二つの直交方向に成分分解できる。二つの方向で屈折率が違うために位相差が生まれる。
- 位相差がちょうど半波長になるように調整
- 半波長板を回転させると直線偏光を変調(回転)させる事が出来る

- 回転数の4倍の周波数で変調がかかるので測定器の1/f周波数で(衛星を)スピンさせる必要がない
- + 衛星を小型に出来る
- 回転機構を持つ
  - 新たな failure point

# 例2：放射線環境の検討

- Planckで問題になっている
  - 多い
  - 原因不明のものもある
- JAXAのプログラムで計算してもらった
- 自分たちで計算してみた (SPENVIS, 樹林敦子)
- Geant4 を使用して測定器に対する影響を調べる予定



Planckの生データから、放射線の影響を取り除く

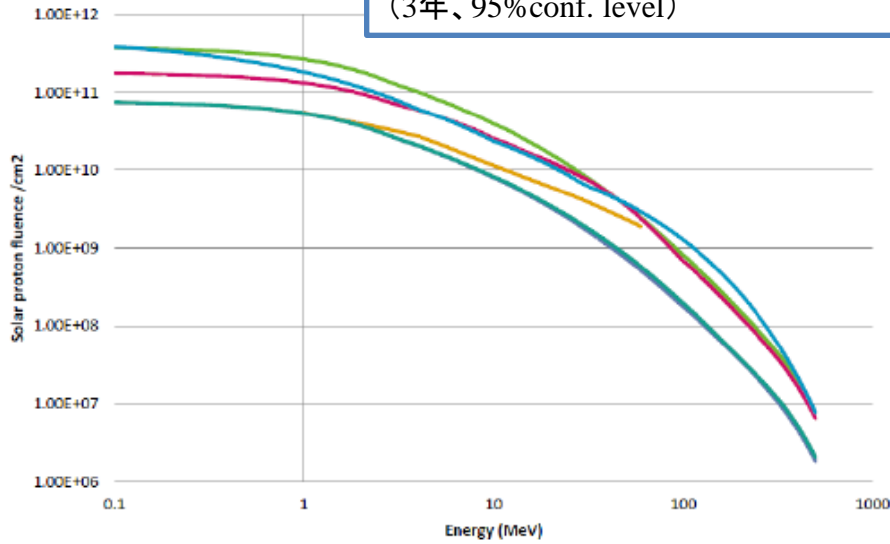
# 放射線環境予測

## using SPENVIS

- SPENVIS (ESAが用意したプログラム)
  - Space Environment Information System
  - <http://www.spennis.oma.be/>
- ミッション要求⇒システム要求より
  - ミッション期間: 2020/1/1から3年間
  - 軌道 時期も重要
    - LEO: 高度400km
    - L2: 高度150万km 近地球惑星間軌道 (簡易見積もり)



# LEO太陽陽子のエネルギーフルエンス (3年、95% conf. level)

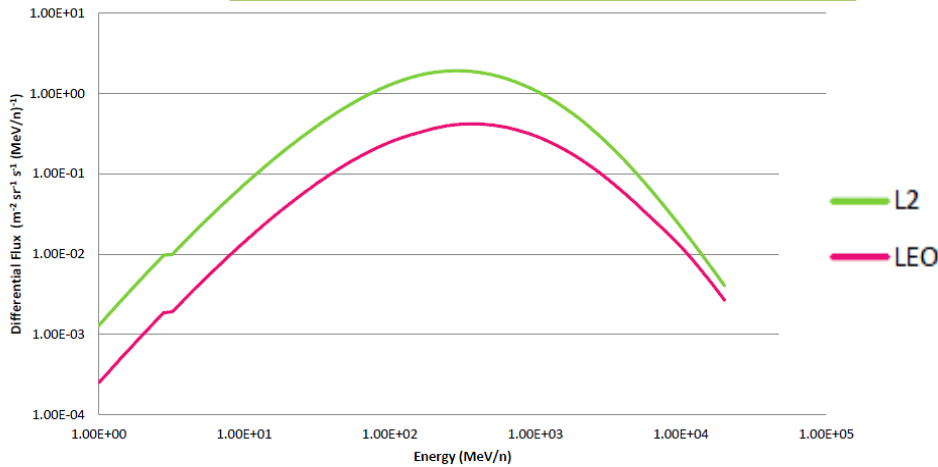


- ESP-total mag. field off
- ESP-worst mag. field off
- JAXA-JPL(90%, stormy)
- SPENVIS-JPL
- ESP-total-quiet
- ESP-total-stormy

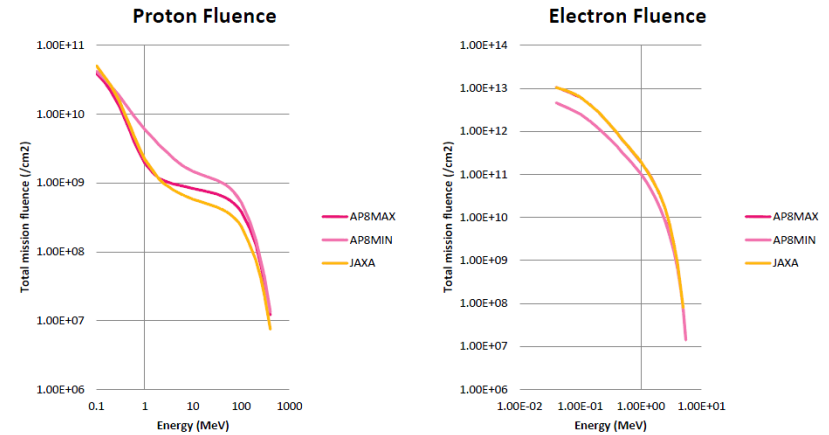
コンポーネント毎にシミュレーションする

L2での予測は地磁気無と同じ

# 銀河宇宙線陽子スペクトラム



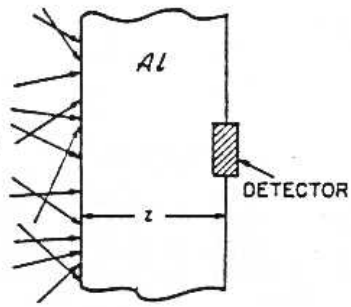
# LEO放射線帯捕捉粒子(電子、陽子)のフルエンス



L2では影響なし

A. Kibayashi

INCIDENT PROTONS  
AND ELECTRONS



CASE 2. FINITE-THICKNESS SLAB

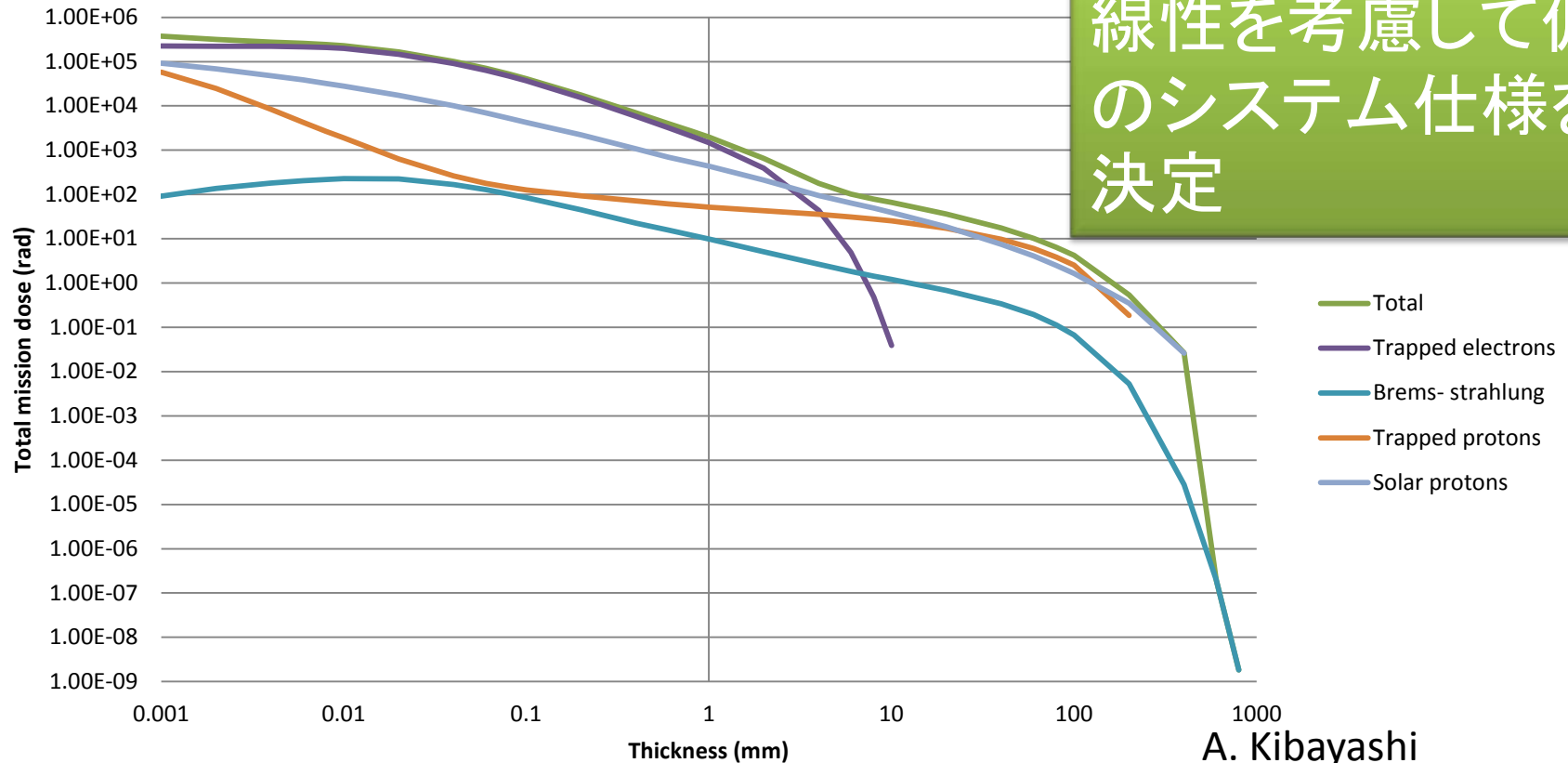
# SHIELDOSE-2 finite Al slab

## LEO Finite

シールドの厚さを  
変数としてDoseを  
計算する



測定器の対放射  
線性を考慮して仮  
のシステム仕様を  
決定



A. Kibayashi

# 例3 観測データ伝送収支

- 地上局可視範囲を右記に示す。制約条件としてエレベーション5度以下は通信不可としている。

- 想定地上局

- ✓ KEK
- ✓ アタカマ(右図には表示なし)
- ✓ JAXA/GN→S-bandのみ
  - KTU(勝浦)
  - MSD(増田)
  - OKN(沖縄)
  - KRN(キルナ@スウェーデン)
  - MSP(マスパロマス@スペイン)
  - PRT(パース@オーストラリア)
  - SNT(サンチャゴ@チリ)

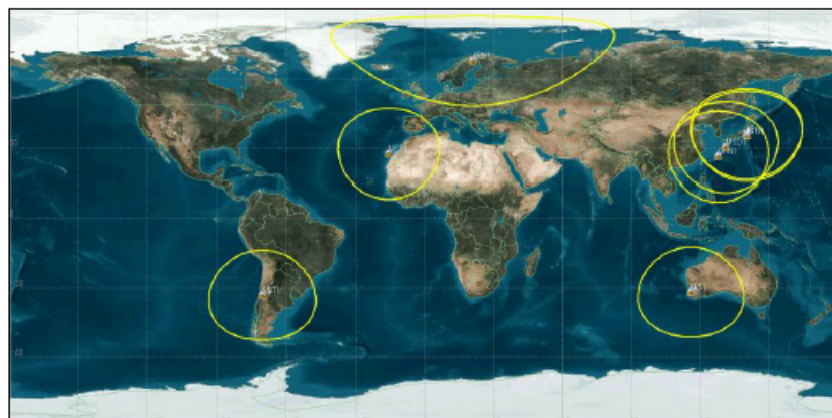
- 軌道高度が高くなるにつれ地上局可視範囲は大きくなる



400km



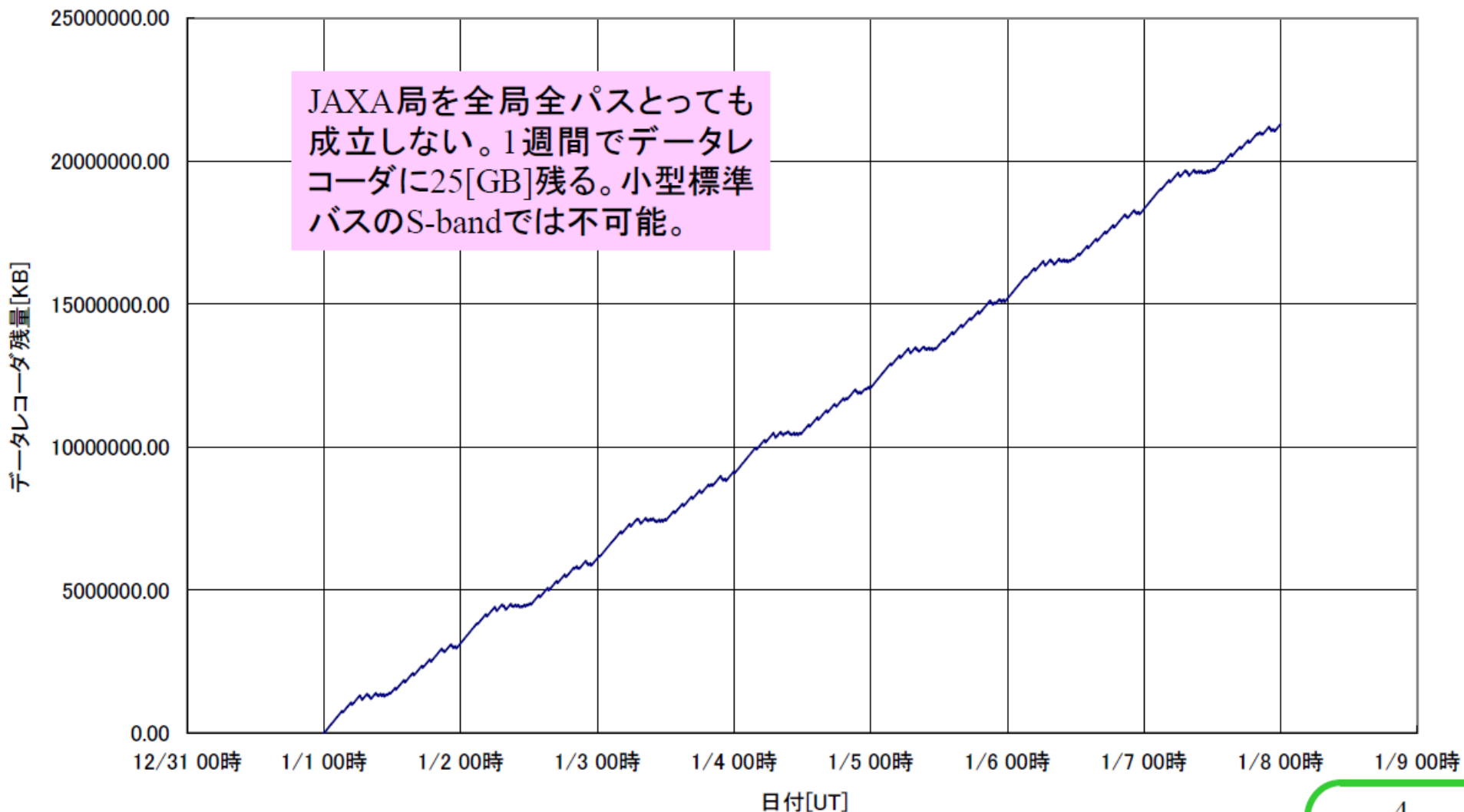
500km



600km

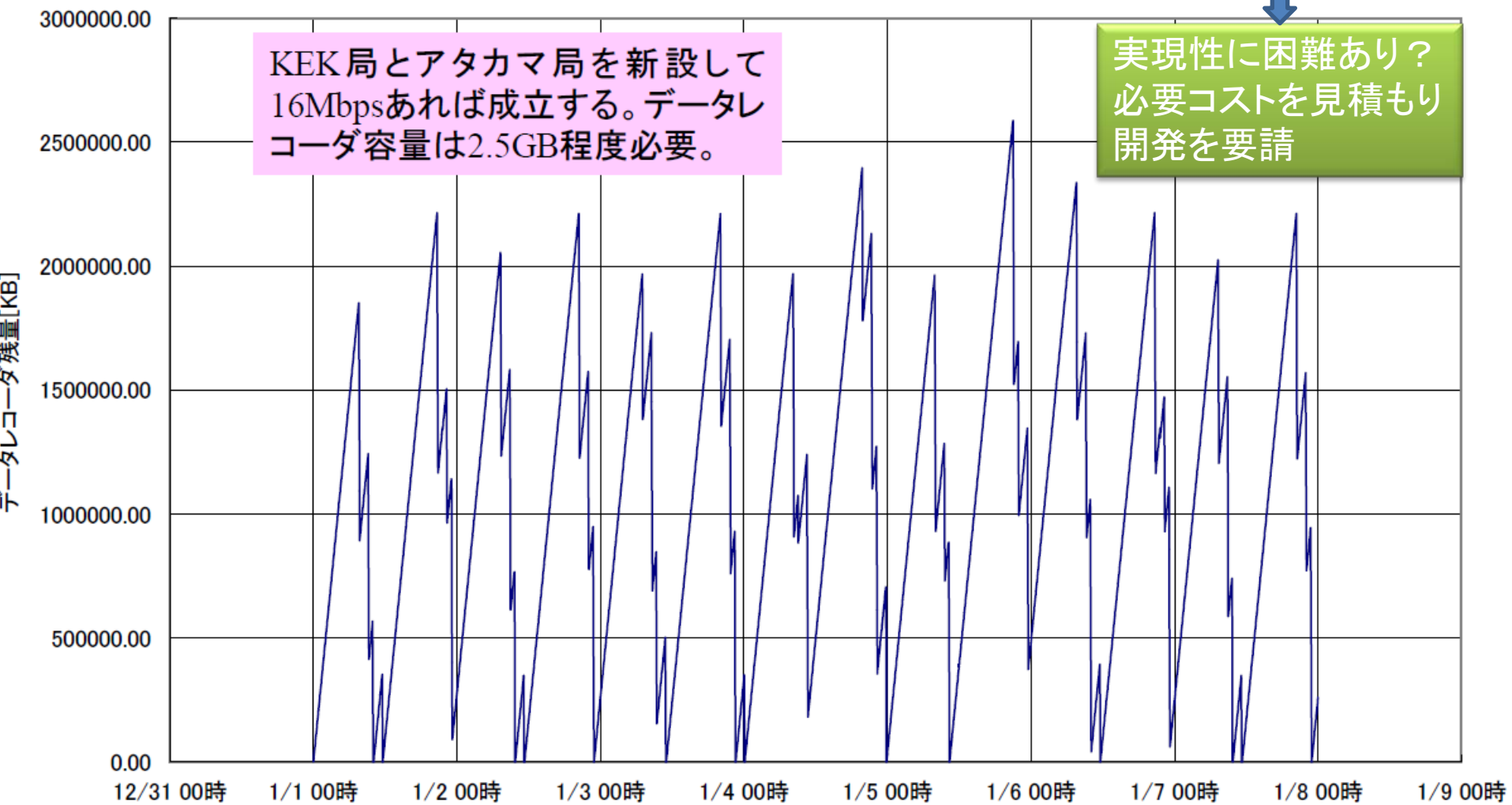
# 4. 観測データ伝送収支

ダウンリンクデータ量 [ミッションデータを 1とした時の割合]	通信バンド	ダウンリンク速度 [Mbps]	地上局	伝送収支 成立可否
1.5	S	2	JAXA/GN全局	×



# 4. 観測データ伝送収支

ダウンリンクデータ量 [ミッションデータを 1とした時の割合]	通信バンド	ダウンリンク速度 [Mbps]	地上局	伝送収支 成立可否
1.5	X	16	KEK1局+アタカマ1局	○



# 搬送波電力対雑音電力密度比(C/N0)

$\{C/N0\} - \{C/N0\}_{req} = \text{margin} > +3\text{dB}$  を満たす送信電力とアンテナゲインの条件をリストアップする。

H. Ishino

**LEO**

低ゲインアンテナ・低電力で要求を満たす。

power [W]	W/W0	antenna gain [dBi]	{C/N0} [dB]	{C/N0} <sub>req</sub> [dB]	margin
5	1	0	88.0	79.5	+8.5
1	3	4.8	85.8	79.5	+6.3

**L2**

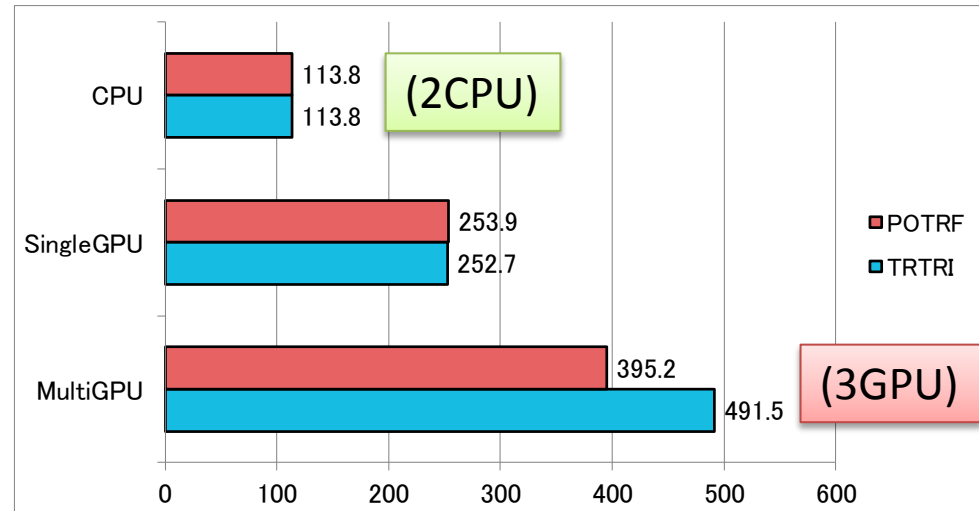
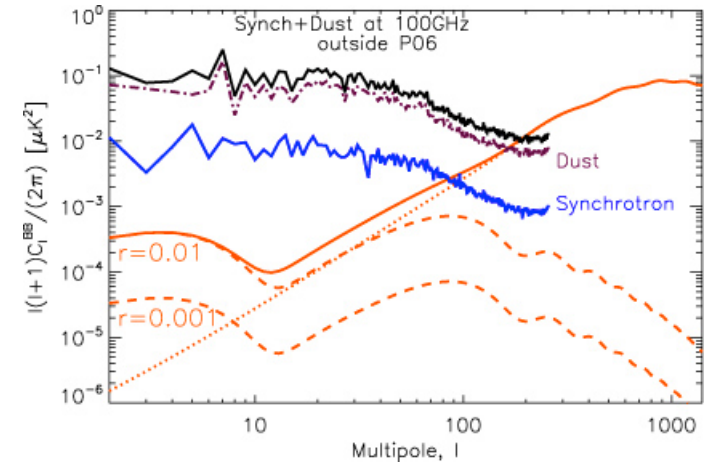
L2の場合、低電力(5W)では高ゲインアンテナ(33dBi)、中ゲイン(17dBi)では高電力(200W)が必要。

power [W]	W/W0	antenna gain [dBi]	{C/N0} [dB]	{C/N0} <sub>req</sub> [dB]	margin
5	2000	33	79.4	76.5	+2.9
200	50	17	79.4	76.5	+2.9

# 前景輻射除去アルゴリズム

- 3周波数⇒多周波数へ一般化
  - 前景輻射の除去率を95%から99%へ高めて信頼性を増す
- $l < 50$ を $l < 100, 200$ へ拡張
  - 重力レンズに因る効果を除去、削減できないか???
  - 計算量が64, 4096倍に

GPUを使用する事で計算速度が4倍になり、一台の計算機でも10万×10万の行列が取り扱えそう(メモリ80GB)



# まとめと今後の予定

- 4月よりMDSGともう1クール作業を行う予定
  - 今エンジニアリングをきっちりやってゆくことが次のステップの為に非常に重要
- ミッション実現性検討WBS(我々の言葉で言うところの系統誤差の検討リスト)に従って検討を開始
- **是非皆さん参加してください**
- L2にするかLEOで頑張るかの決断の時期が迫っている
  - プリプロジェクト化審査の段階では両方のチョイスは残しておけない



# ミッション実現性検討WBS

観測系、それ以外への要求を $r$ の測定精度に換算して評価

系統誤差および測定感度の検討



