

QUIET実験

2008年度現状報告

O. Tajima (KEK)
for the QUIET collaboration

- **イントロダクション**
 - *Physics motivation*
 - *実験の現状*
- **QUIET実験**
 - *Q-band(40GHz帯)の観測の現状*
 - *W-band(90GHz帯)の準備状況*
 - *展望*
- **まとめ**

誰もが疑問に思う事
「宇宙はどうやってはじまったのか？」

時間

↑ 137億年 (現在)

どうやったら実験的(観測的)に
研究できるのか？

10⁻³⁶秒？

量子ゆらぎ

インフレーション



不満: *Inflation*の直接証拠というよりは、
*Inflation*があったとすると説明がつく観測事実

宇宙の一様等方性

- ✓ CMB(宇宙背景放射)の発見(1965)
→ 一様等方な3K放射

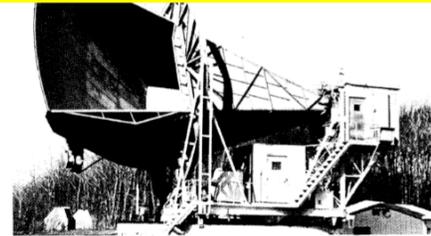
宇宙の大規模構造

- ✓ CMB温度揺らぎ → COBE, WMAP, etc.
- ✓ 銀河団などなど

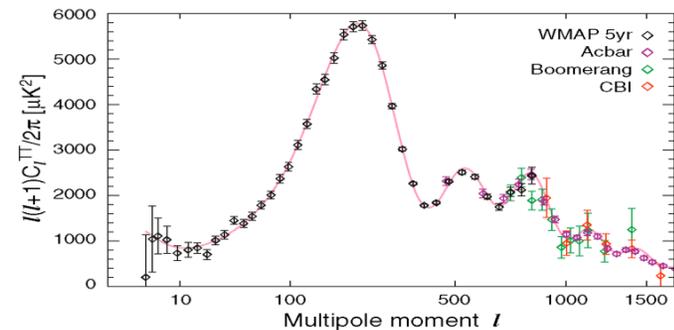
宇宙の平坦性

- ✓ CMB温度揺らぎの精密測定
→ WMAP, BOOMERanG, etc.

1978年ノーベル賞



2006年ノーベル賞



どうやっ

現在も存在する 宇宙スケールの時空揺らぎ

研究するのか？

時間

↑ 137億年 (現在)

今まで観測されてきた最古の情報はCMBの温度 (宇宙誕生後38万年後)

38万年

宇宙マイクロ波
背景放射 (CMB)

? 秒

ビッグバン

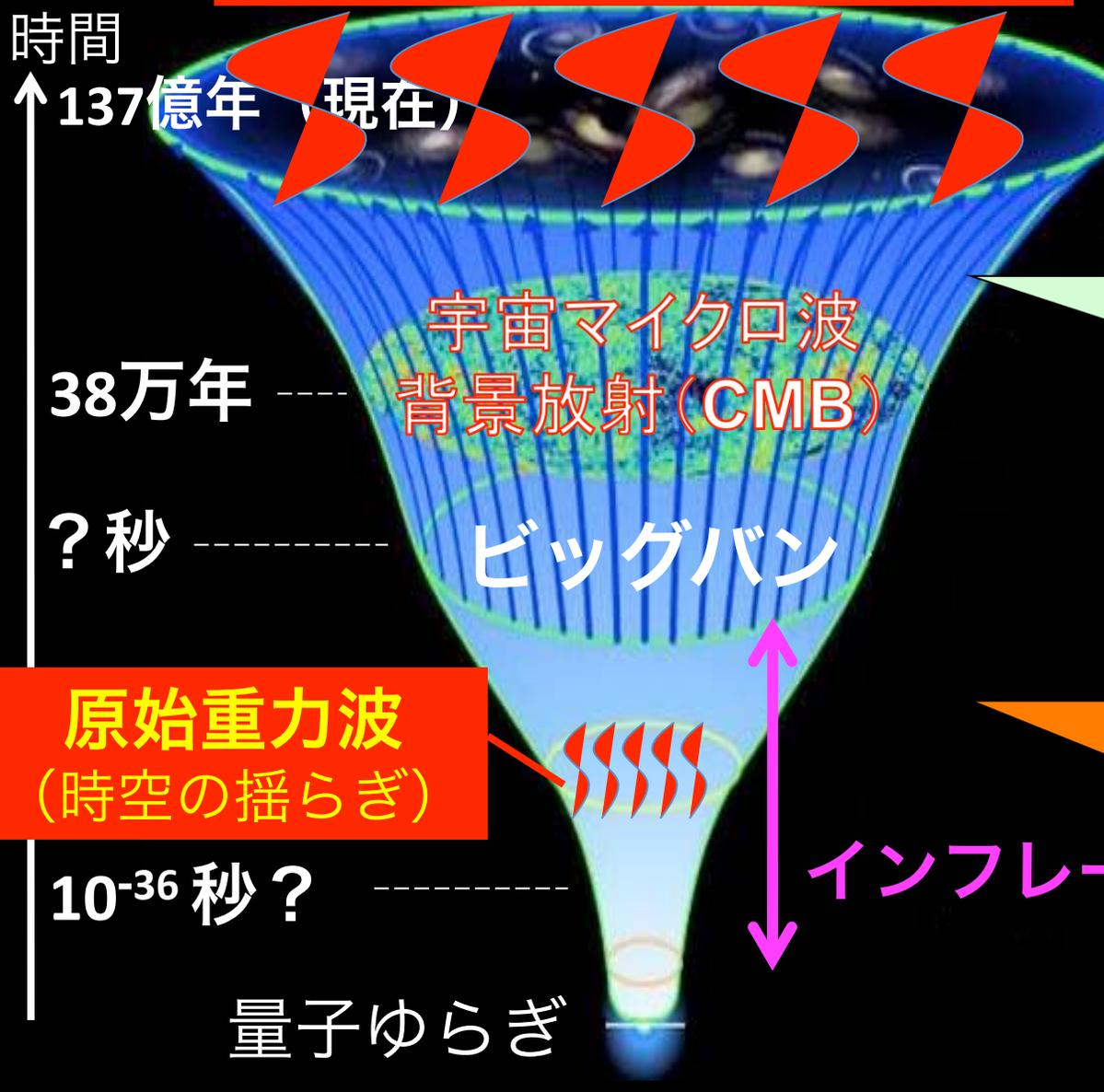
どうにかして
インフレーション
時の情報を測定
できないか!?

原始重力波
(時空の揺らぎ)

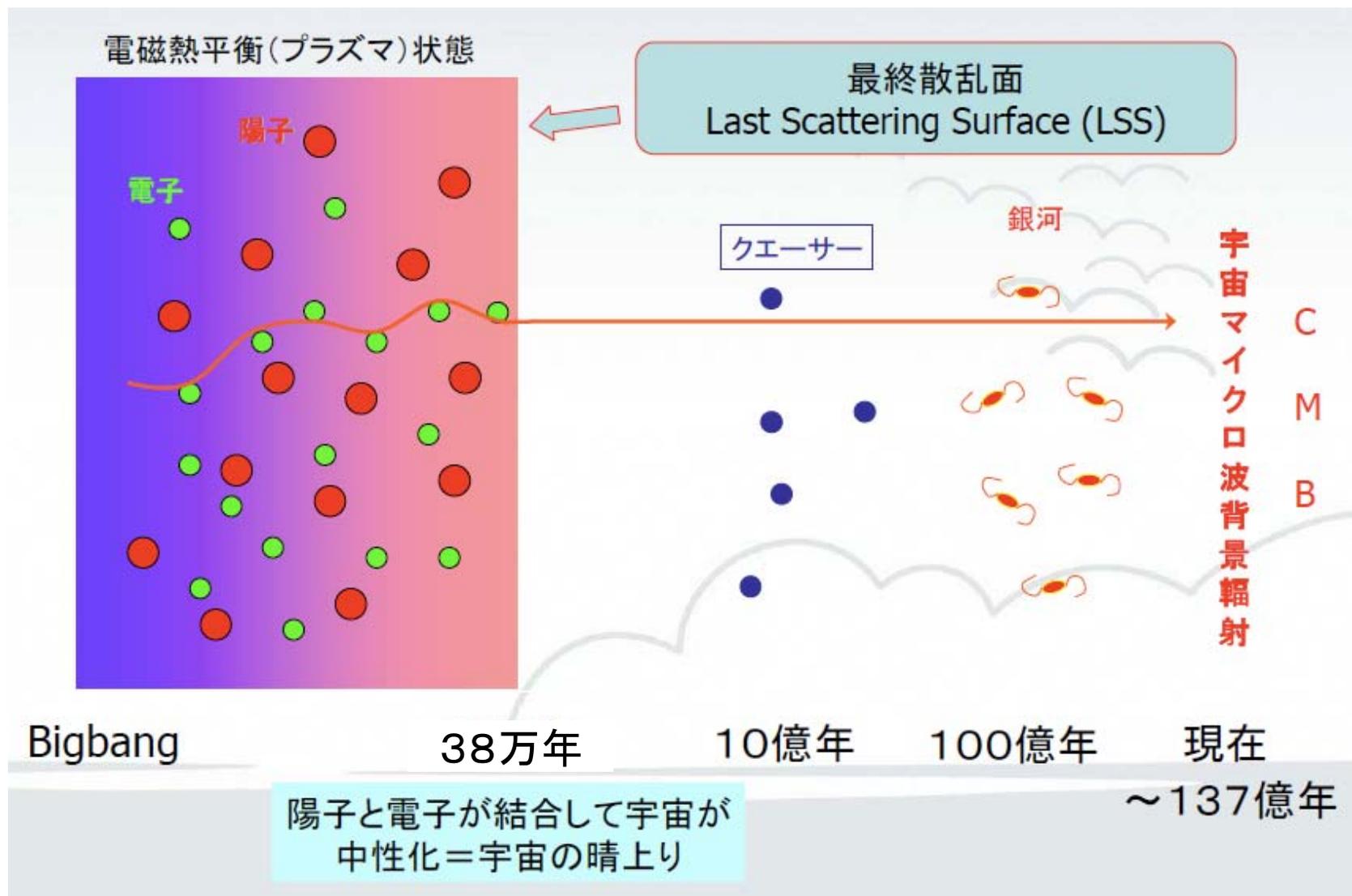
10^{-36} 秒?

インフレーション

量子ゆらぎ

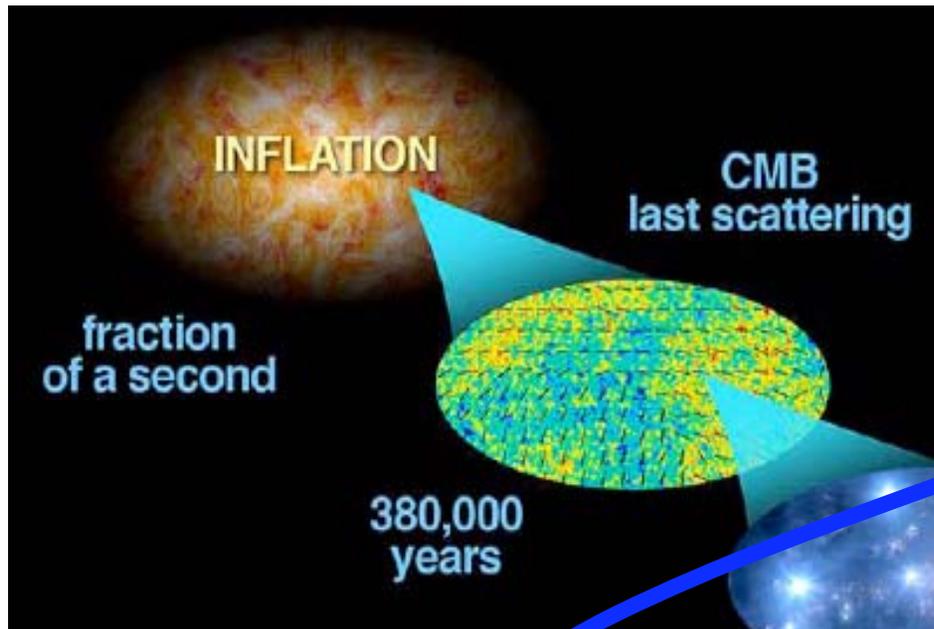


CMBの偏光



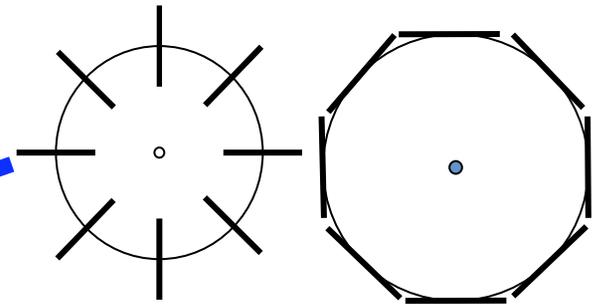
佐々木さん(YITP)のスライドより拝借

Bモード偏光を測定 = 原始重力波の間接測定 Inflationの直接証拠

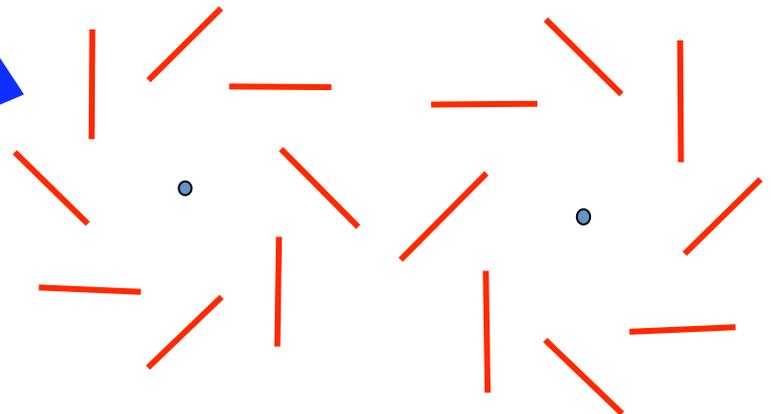


宇宙の大規模構造の原因となる
密度揺らぎ(スカラー)を反映する

E-mode偏光 (parity even)

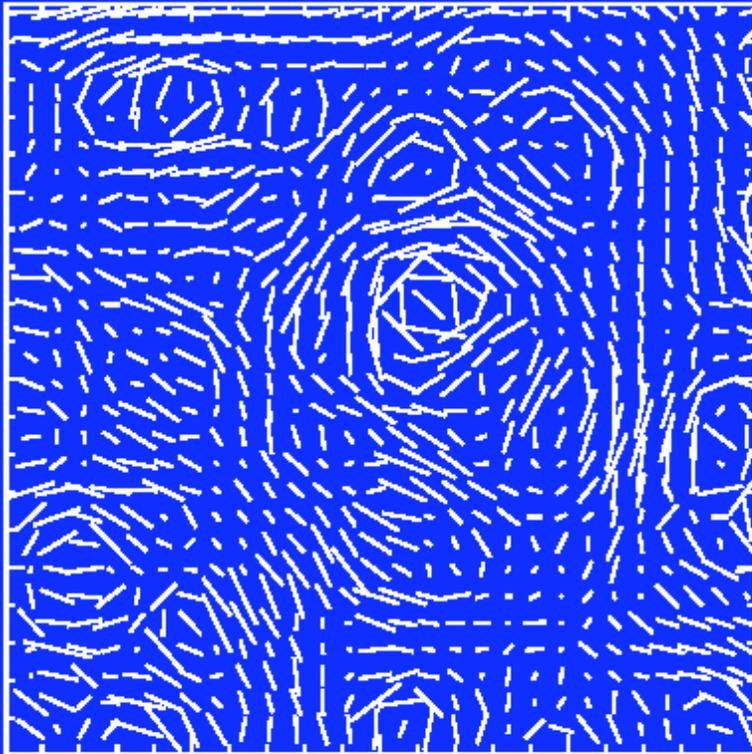


B-mode偏光
(parity odd)

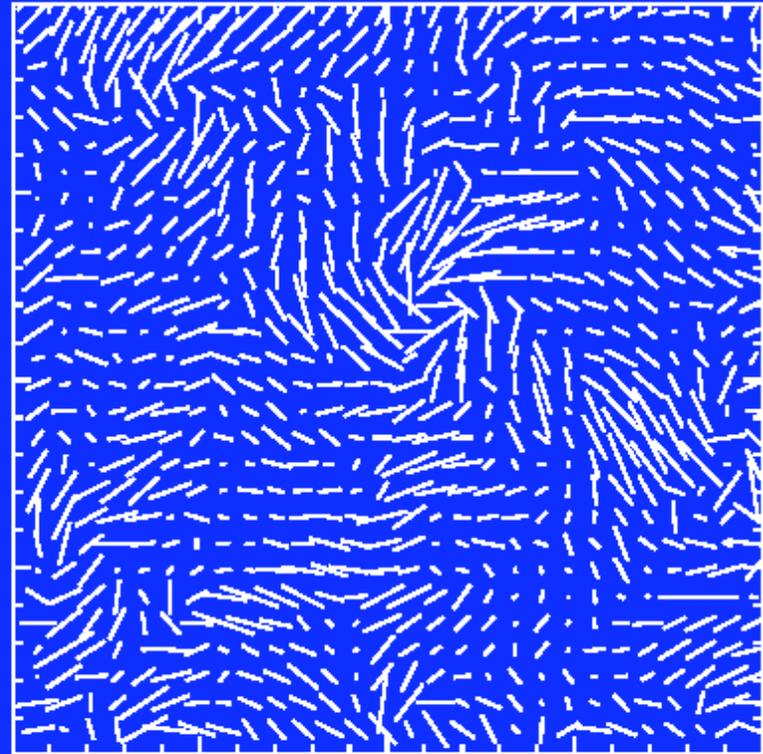


原始重力波による時空の歪み

お空を見上げてparity oddな偏光(B-mode)が観測できればインフレーションの研究が出来る！



E-polarization

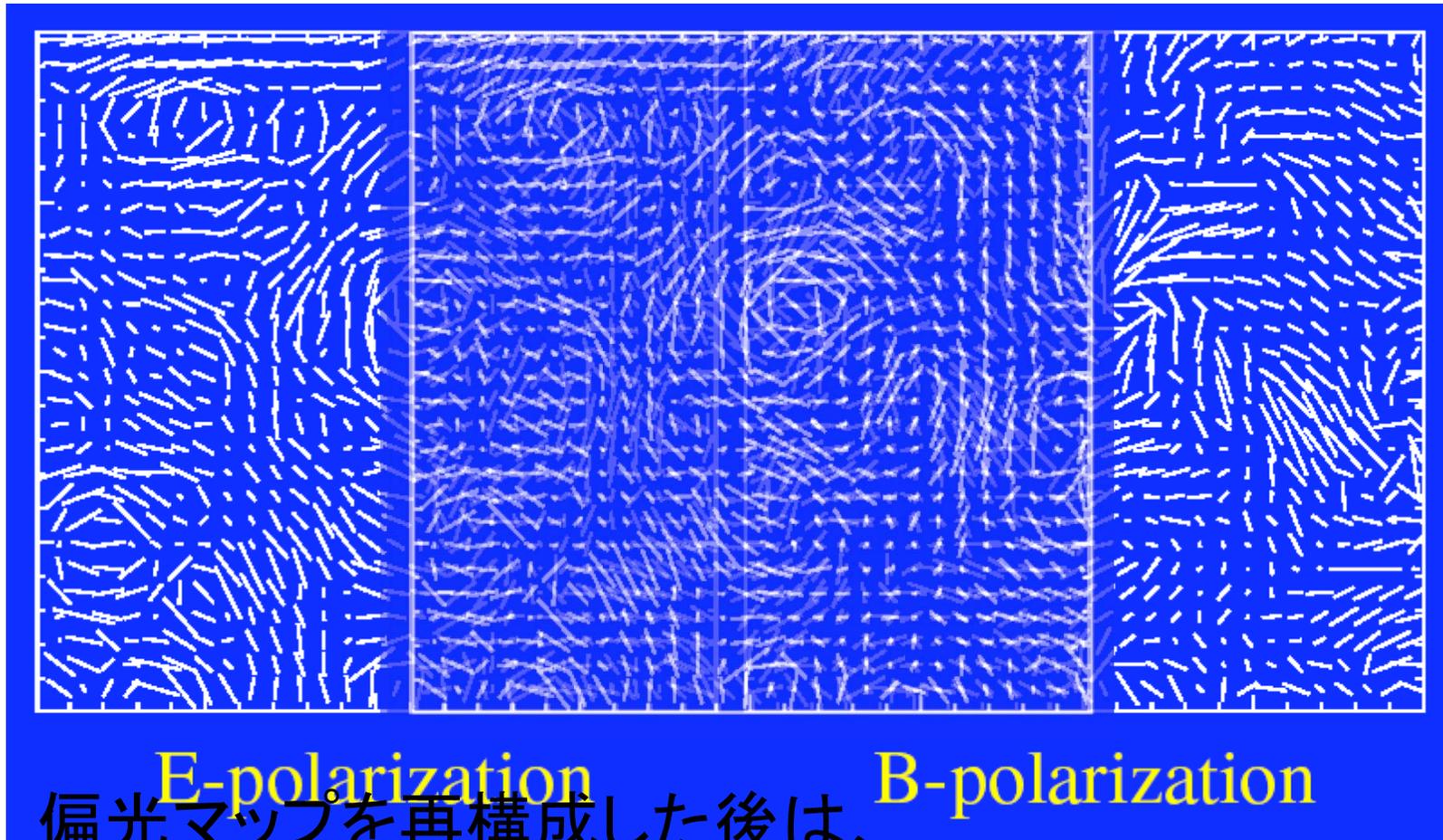


B-polarization

ちなみに...

- Bモード偏光という特別な光がある瞬間に観測できるではありません。

実際に測定される偏光マップ(分布図)
はE/B混ざっている

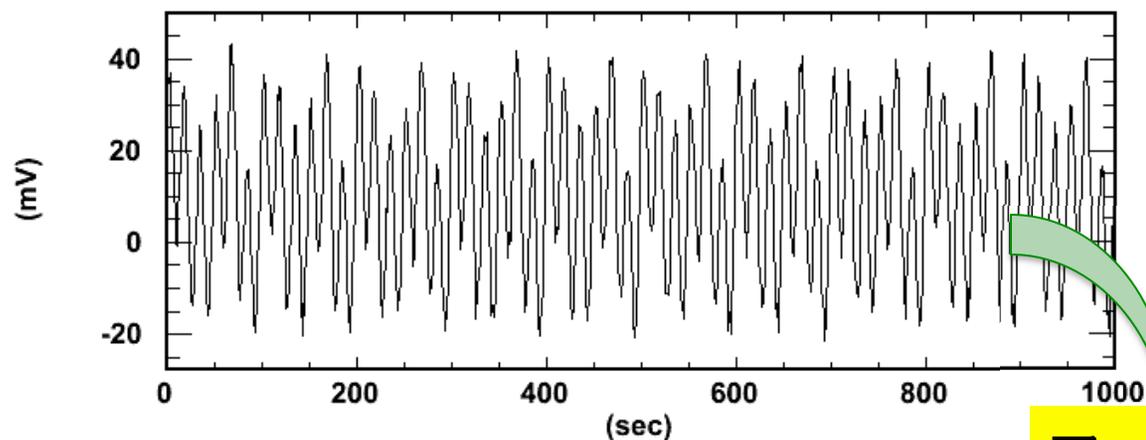


偏光マップを再構成した後は、
パターン認識でこれらを切り分ける(解析の最終段階)

パターン識別に使う手法とえば...

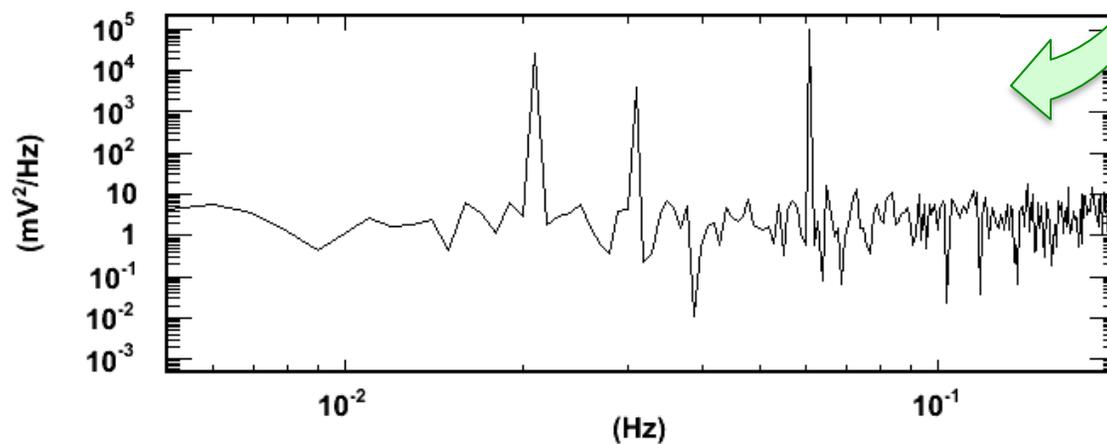
テキトーなtoy simulation

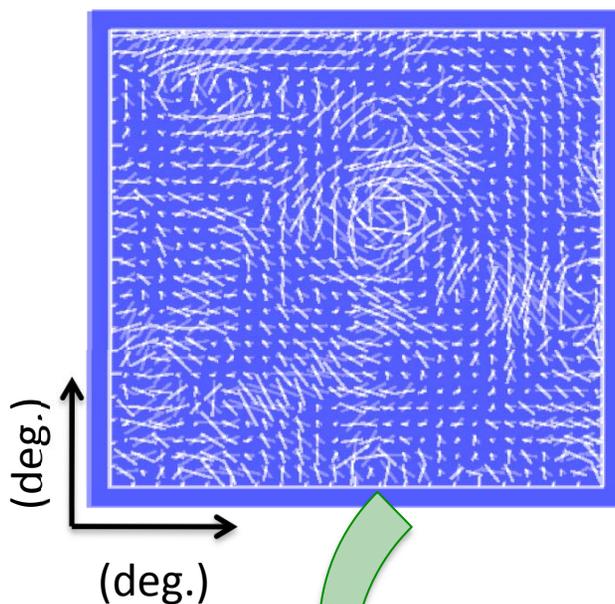
- white noise
- sin成分3つ



フーリエ変換

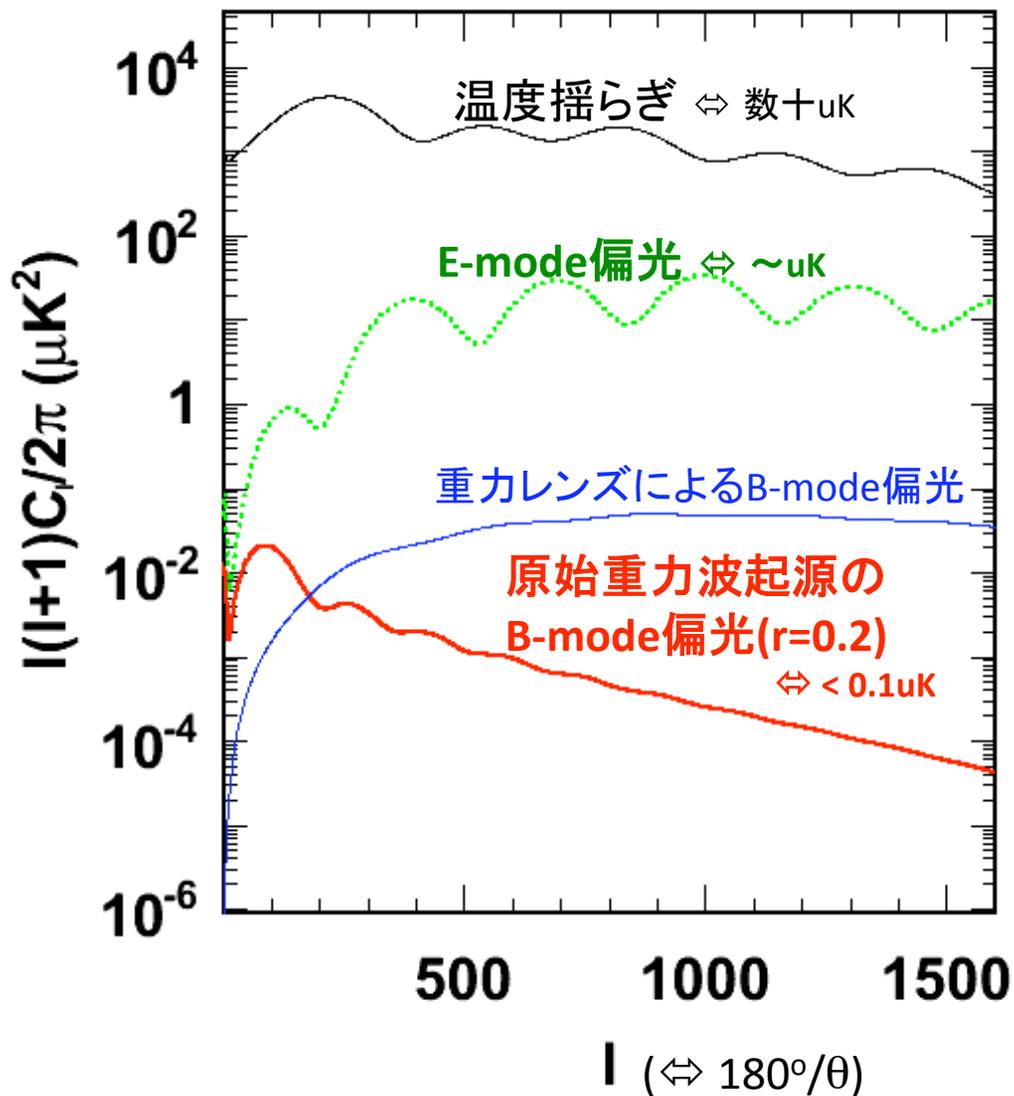
パワースペクトル



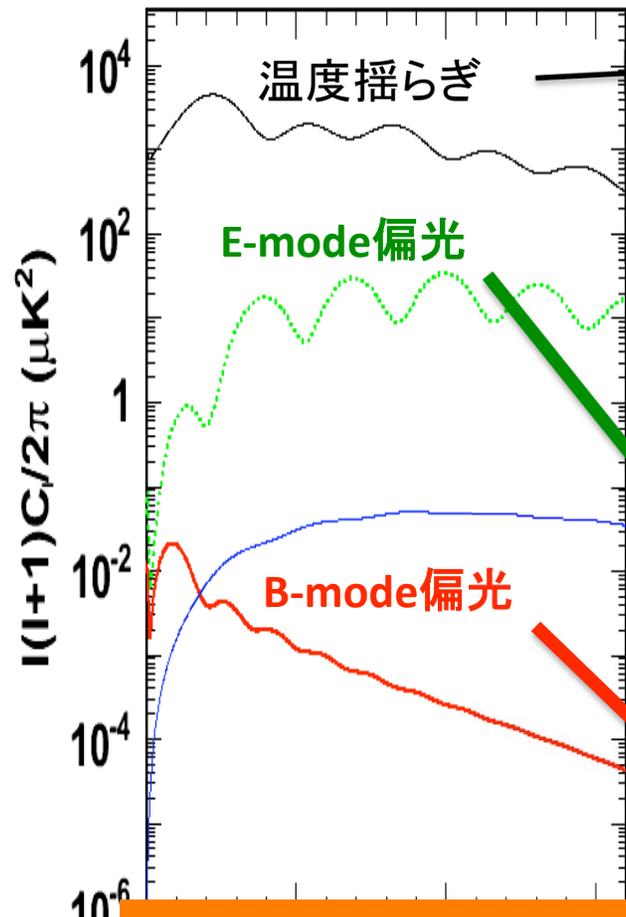
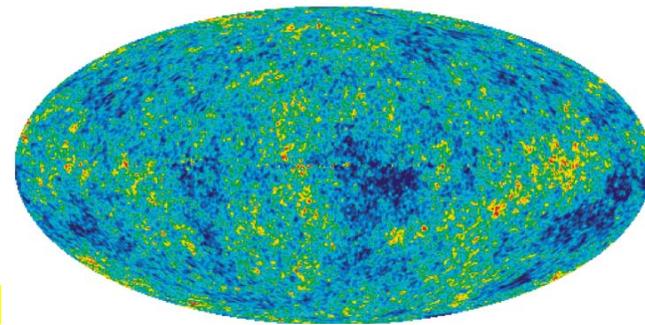


球面調和展開

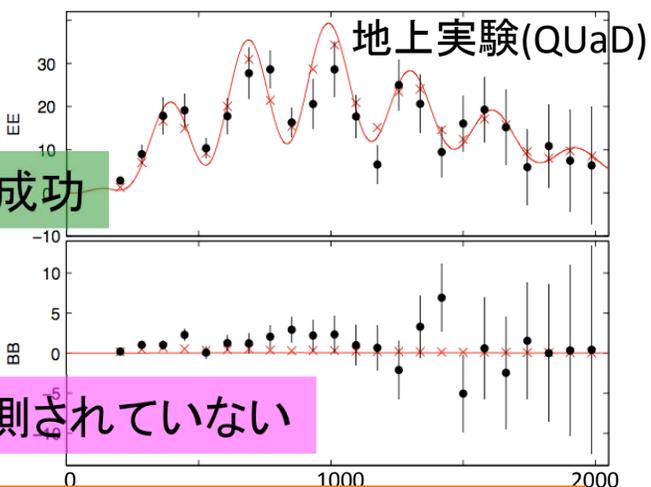
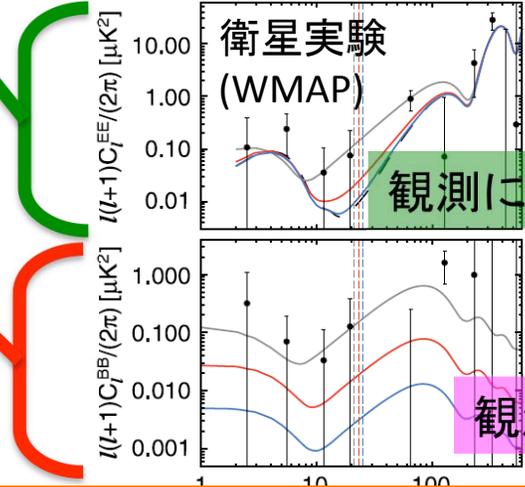
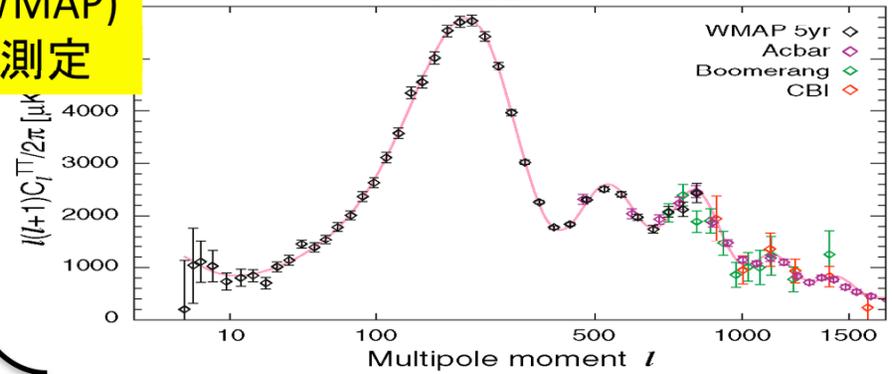
CMBパワースペクトル



実験の現状は？



衛星実験(WMAP)での高精度測定

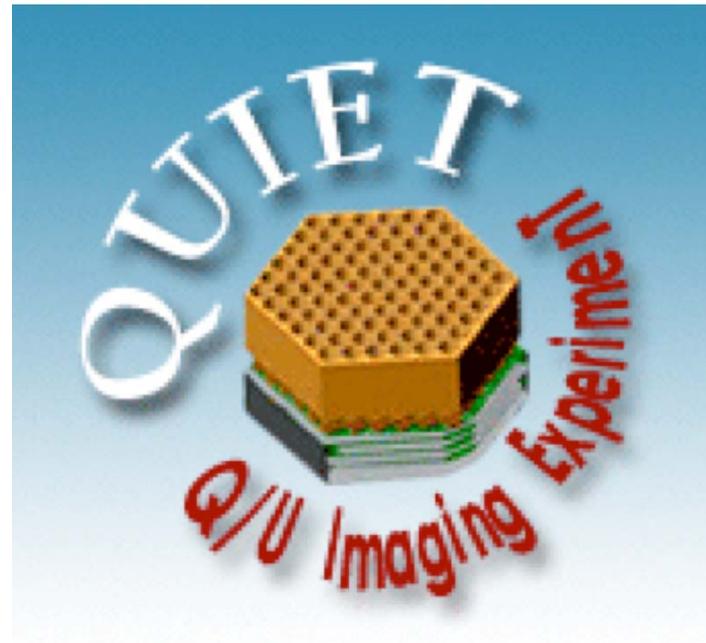


観測に成功

観測されていない

CMB偏光測定においては、(今のところ $l > 50$ では) 最新測定器を搭載できる地上実験にアドバンテージがある！

QUIET実験

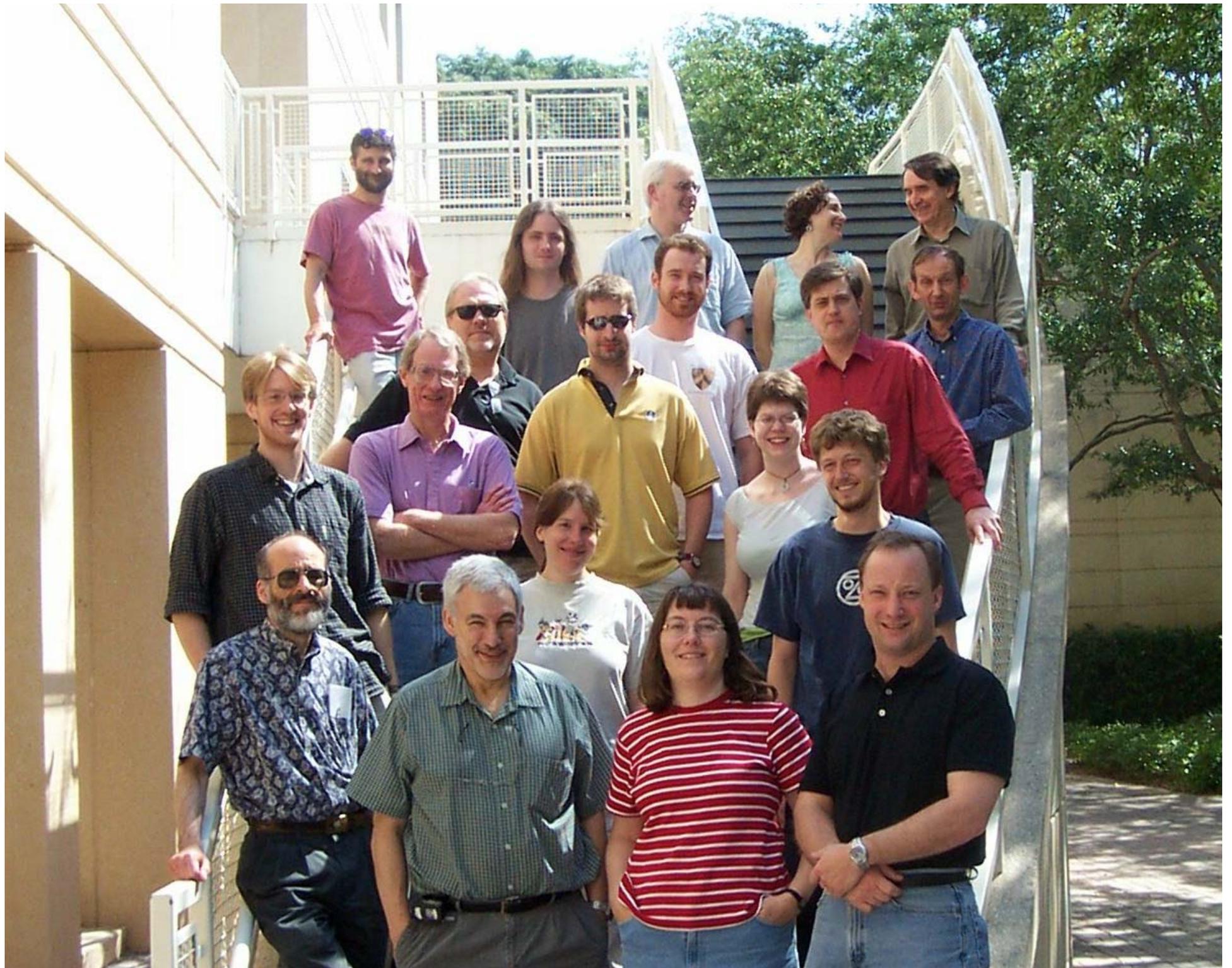


QUIET Collaboration

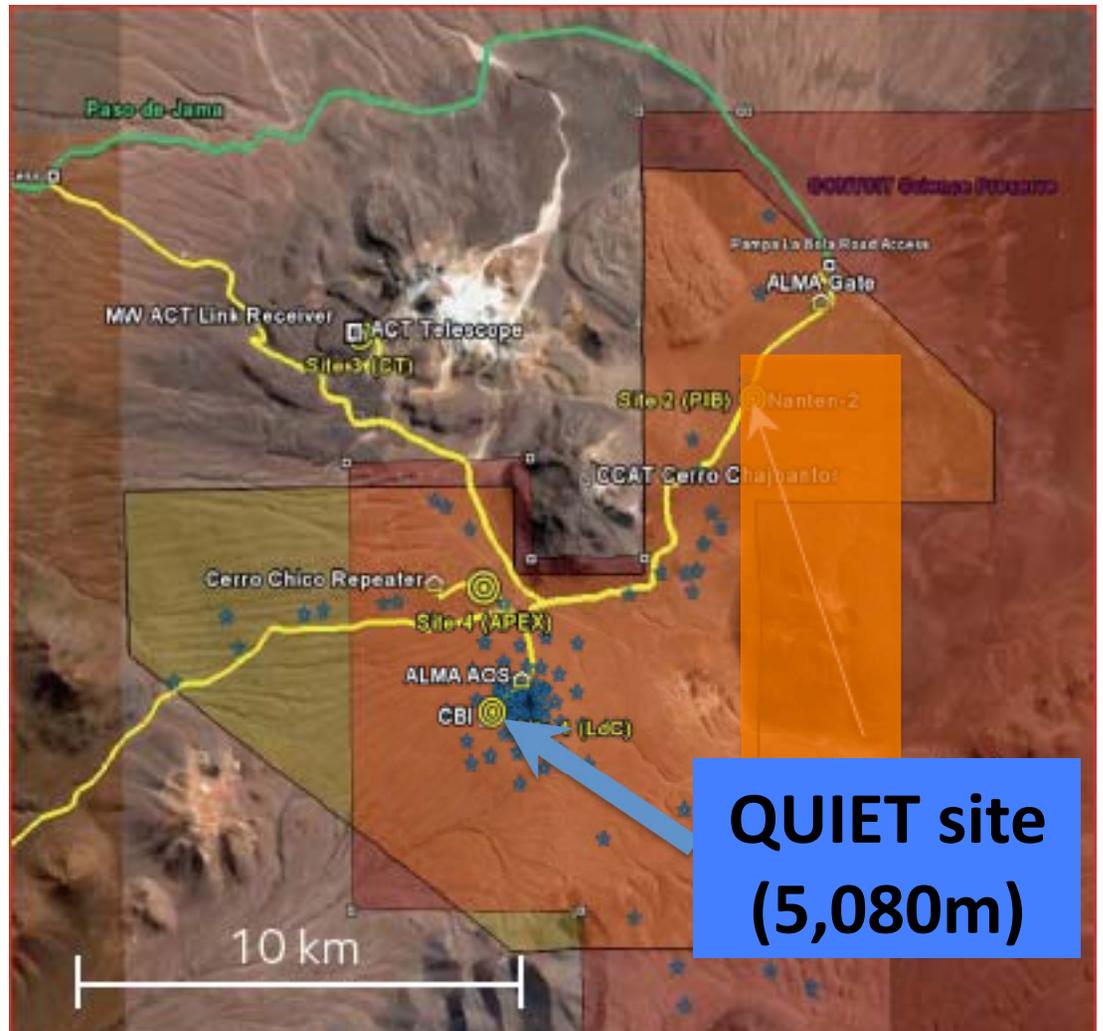
(<http://quiet.uchicago.edu>)



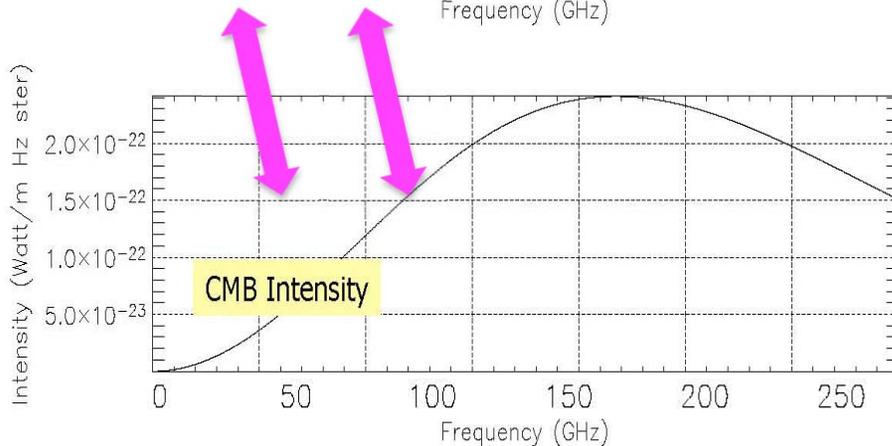
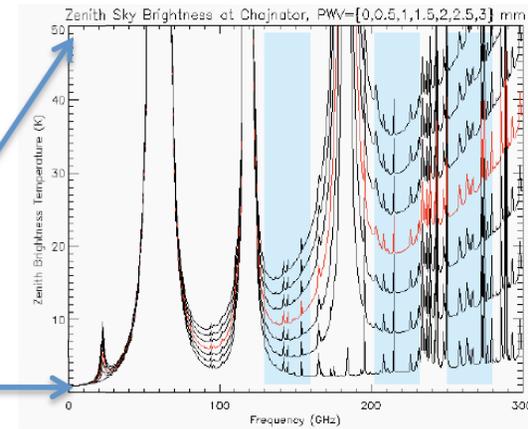
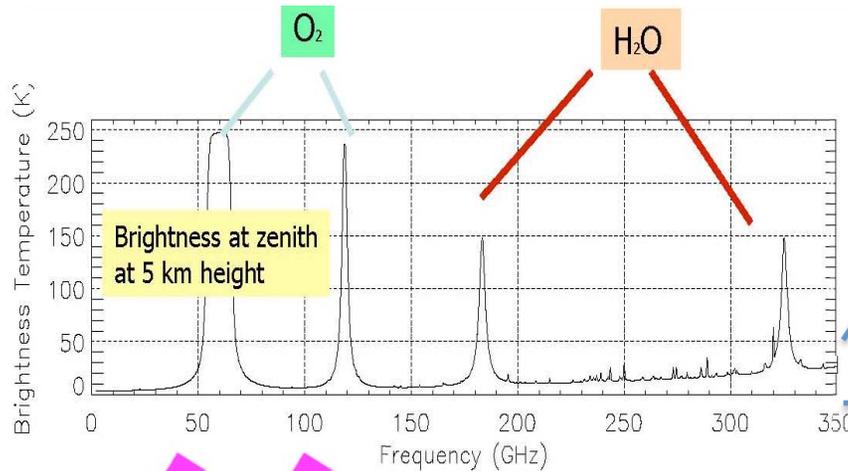
5 countries, 12 institutes, ~40 people



QUIET observation site



なぜこんなところで観測するかというと



大気の輻射熱は周波数依存大間をぬって観測できる！

(地上で観測できる理由の一つ)

とはいえ、

- 快晴(雲がない)

- 低湿度

- 大気の厚みが小さい

を安定にキープできる環境が良い

Chile Atacamaは地上で最もCMB観測に適した場所の一つ！

QUIETではQ-band(40GHz帯)とW-band(90GHz帯)を観測する

アクセス

- 北米→Santiago
 - 夜の飛行機で一晩(12時間)
- Santiago→Calama
 - 午後の飛行機で2時間
- Calama→SanPedro
 - 夕方のシャトルバス2時間
 - 午後8時くらいに到着
 - SanPedro(標高2400m)が前線基地
- SanPedro → 観測サイト
 - 車で1~1.5時間



成田空港から最短40時間くらい



Calama空港





San Pedro街中



SanPedro町外れの
前線基地(Don-Esterban)
海拔2,400m





ちなみに現金必須です

- シャトルバス(Calam空港→SanPedro)の支払いは現金払いのみ
- 現金がないと、「公共バスを乗り継いでいけ」と冷たく追い返されます。
 - このおばちゃんには英語も通じません。
- 空港のATMは良く壊れます(壊れてました)
- 歯医者者の支払いはカードOKでした。













観測サイトの生活環境



- 大気圧・酸素濃度は海沿いの半分
- 日が暮れた途端に気温は氷点下
真夜中 $-14 \sim -20^{\circ}\text{C}$ くらい
- 日中は風速 28m/s のときもある

観測コントロール室(コンテナ)



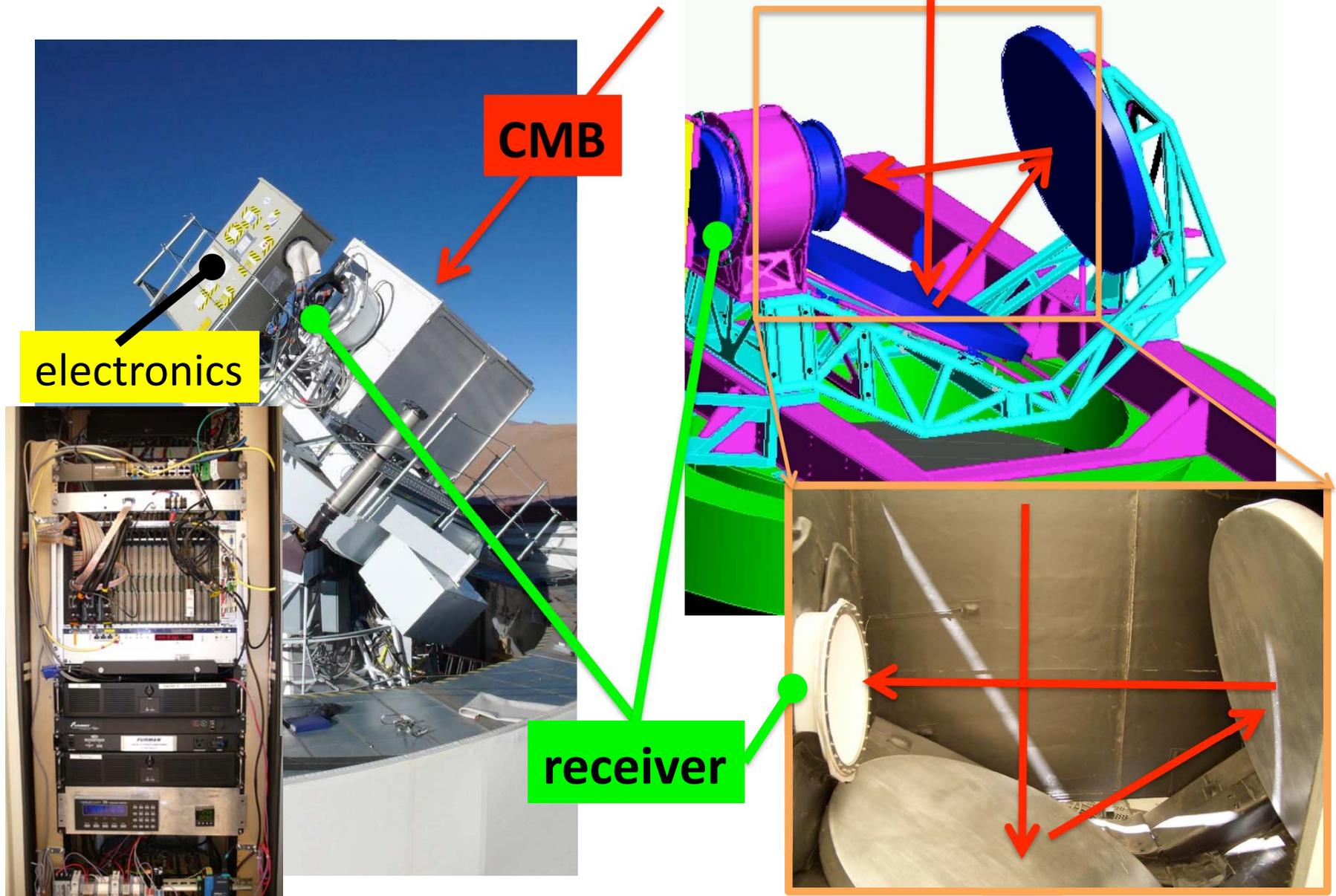
- 酸素濃度 ~20%, 気温~15°C
- ただし気圧は半分のままなので、意識して呼吸しないと酸欠になる



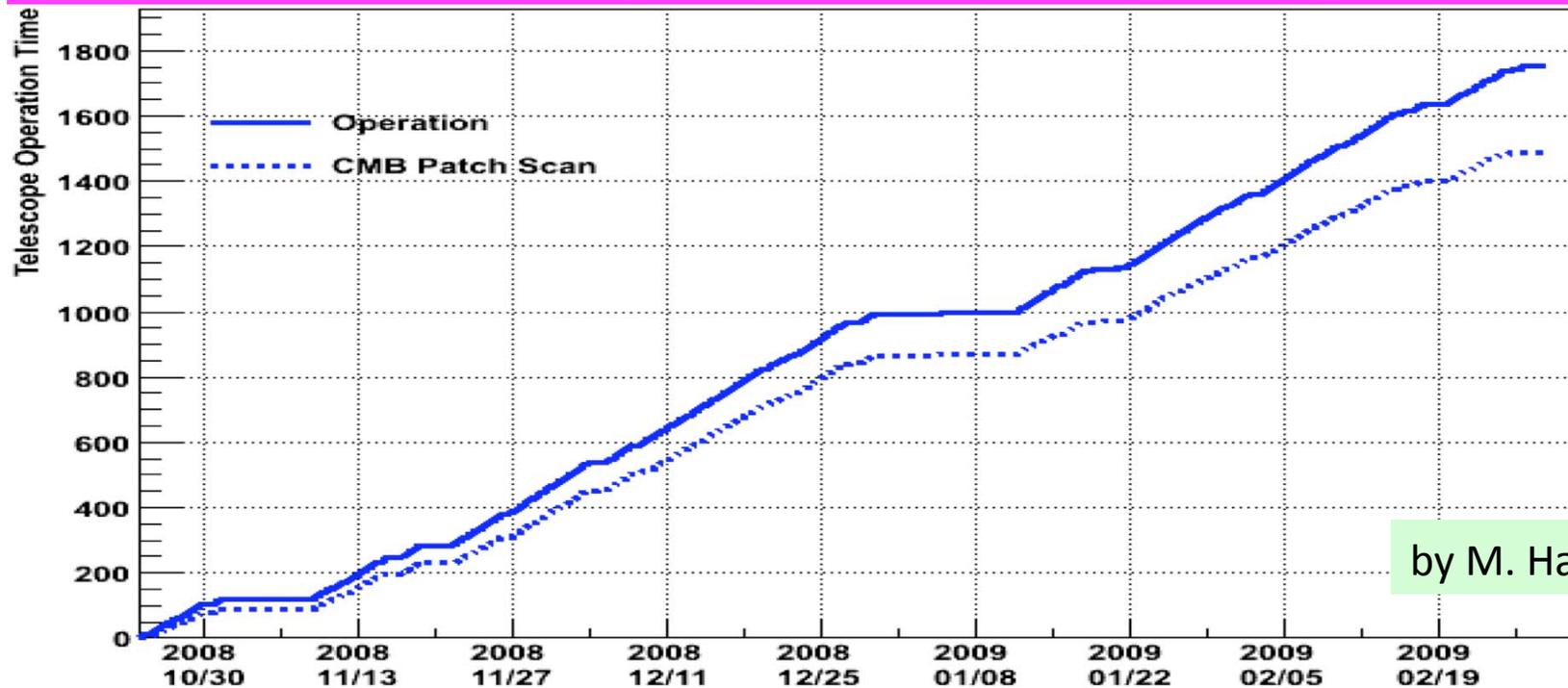
ドームが開くと...



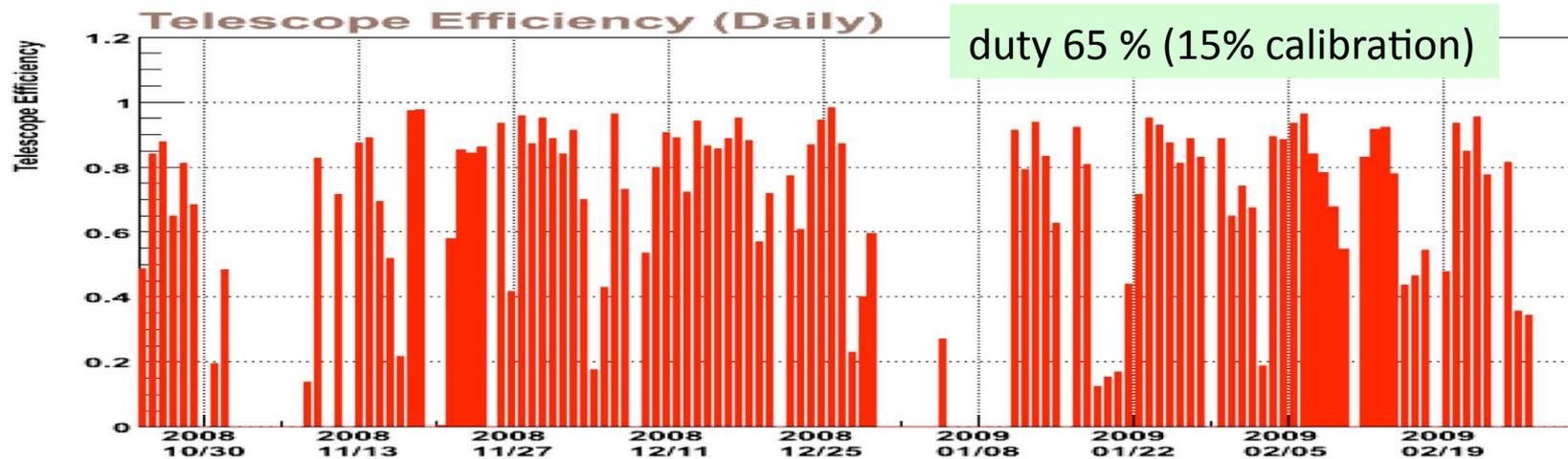
QUIET telescope mount



現在、Q-band(40GHz帯)でのデータを取得中!!



by M. Hasegawa



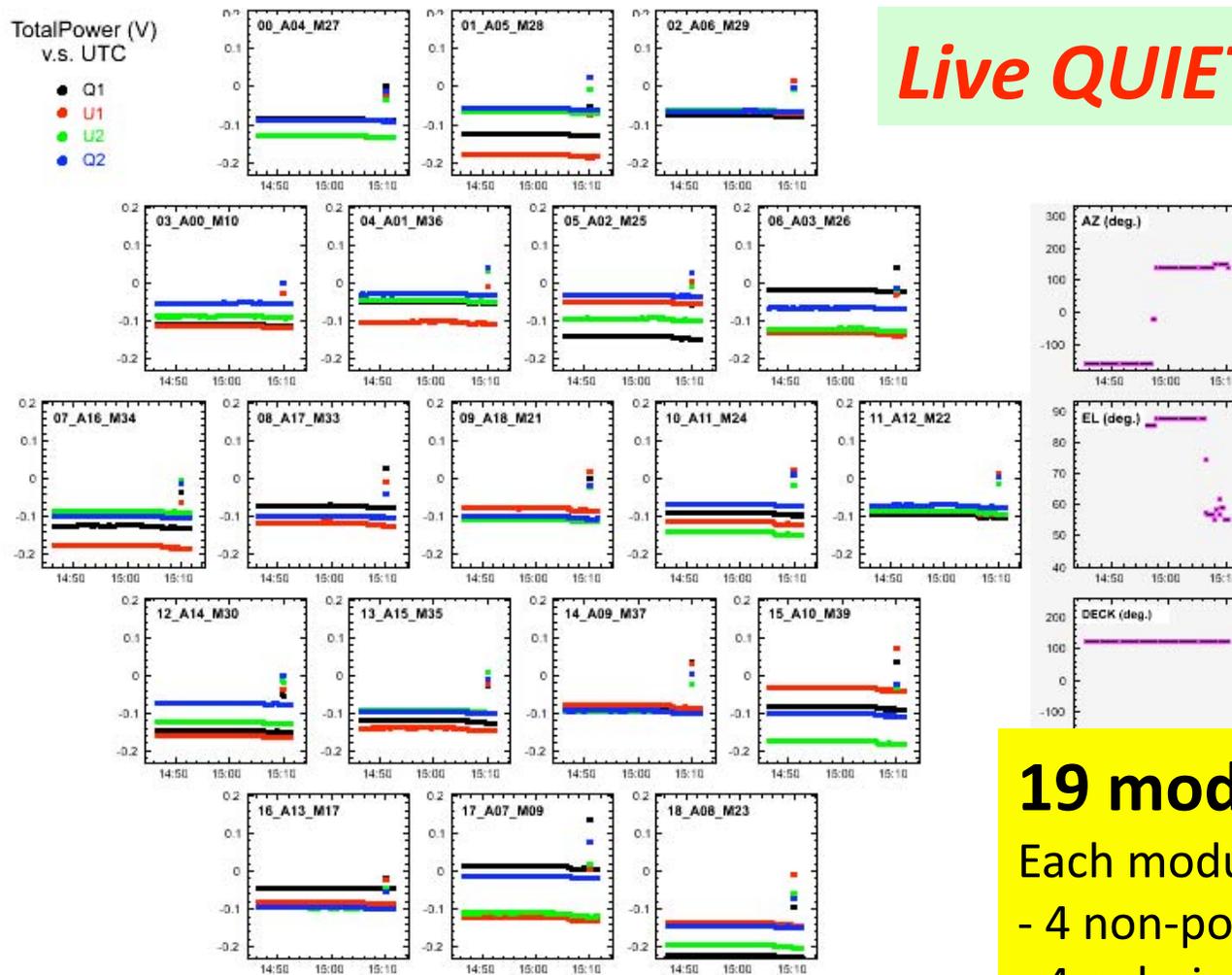
Live The display is automatically updated every 2 minute. [< Previous Live Plots >](#) [< Past Live Plots >](#) [< Past 100Hz Stream Plots >](#) [< Warning Criteria >](#)

Total Power	Demod	Thermometers P2	Thermometers P3	Ground Sense	PC Status	RCS flags	Weather
Drain Currents	Drain Voltages	Gate Voltages	Phase Switch	2.5 V Sense	Bias Table	Web Cam	TP rms

2009.03.12-15:11 (UTC) : CMB patch6a (observation type & target according to the feature marker)

TotalPower (V)
v.s. UTC

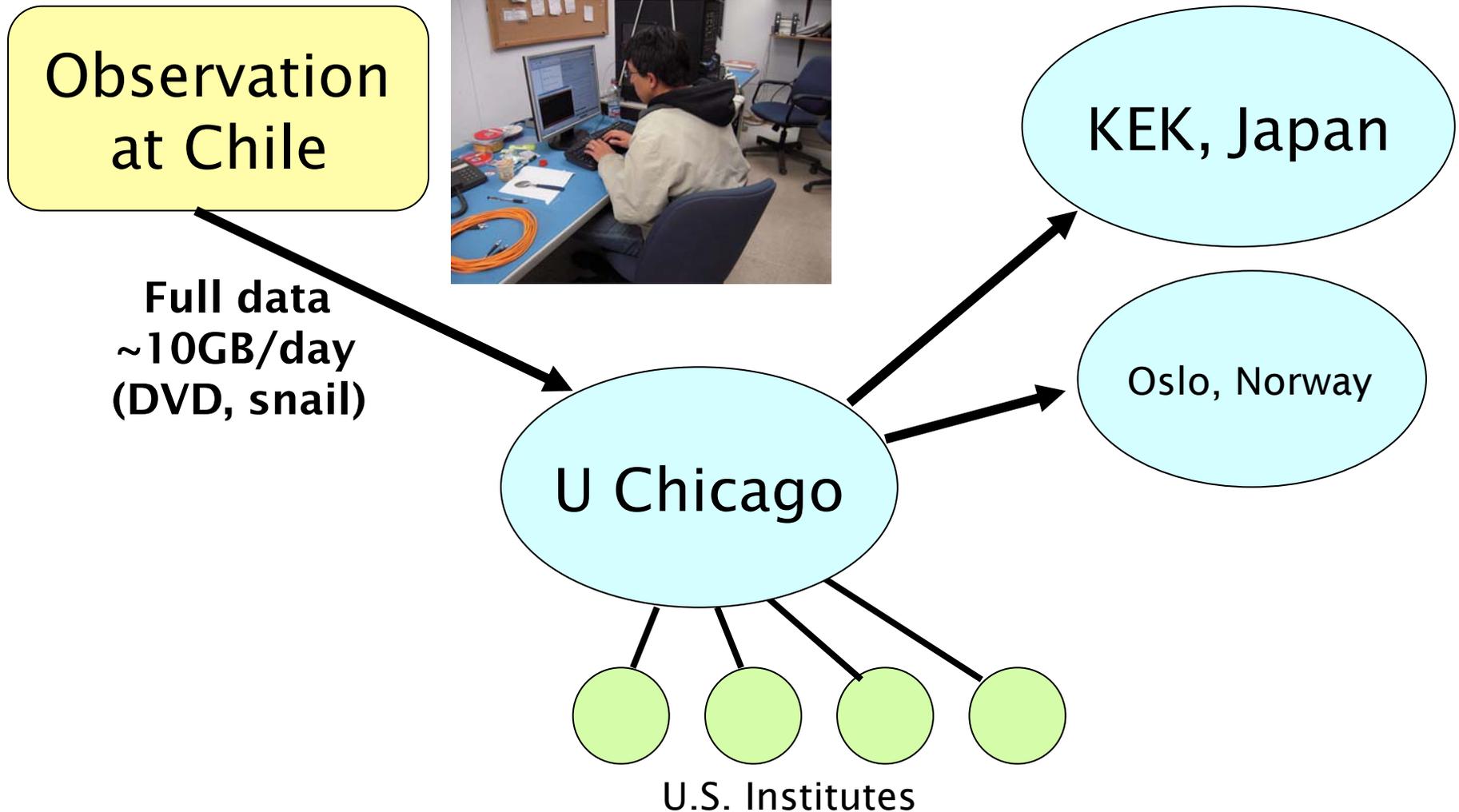
- Q1
- U1
- U2
- Q2



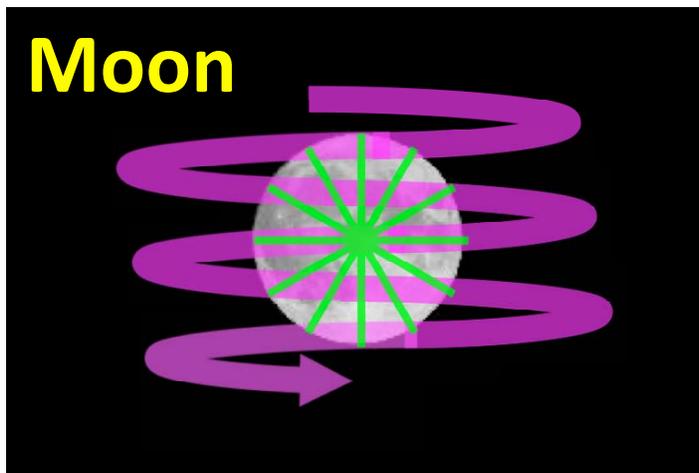
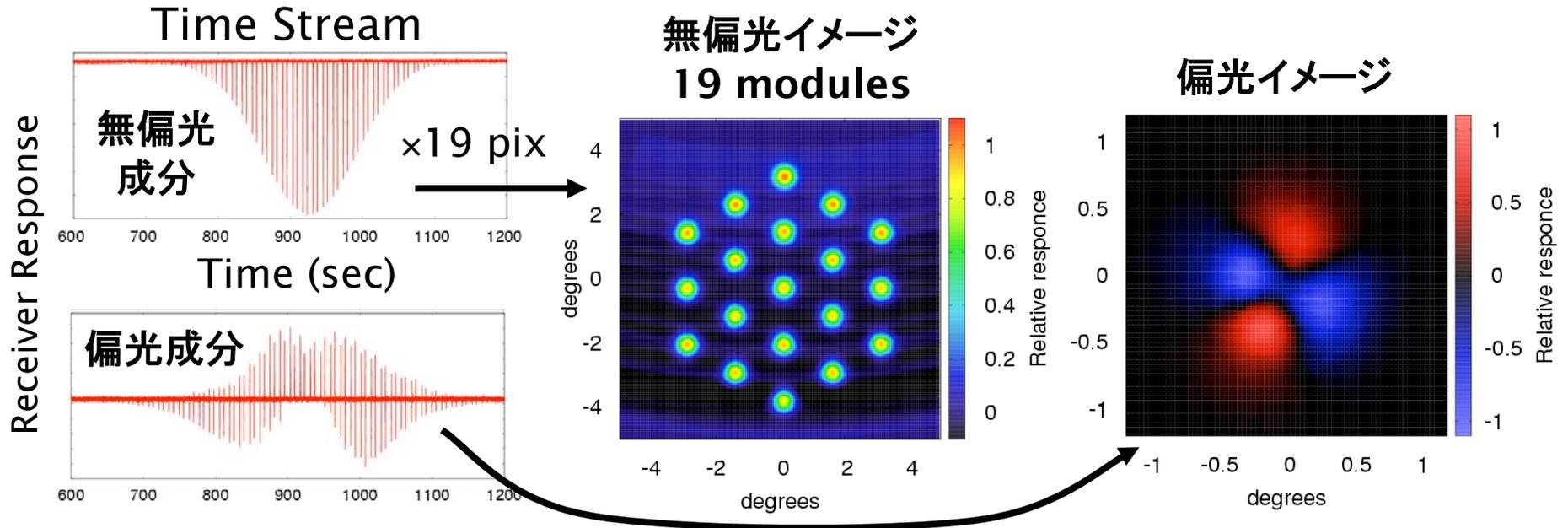
Live QUIET !

19 modules
 Each module has
 - 4 non-polarization outputs
 - 4 polarization outputs ($\pm Q$, $\pm U$)

Data transfer from site



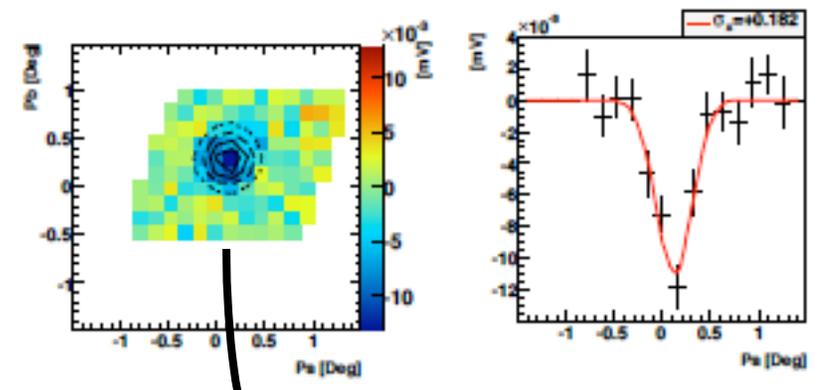
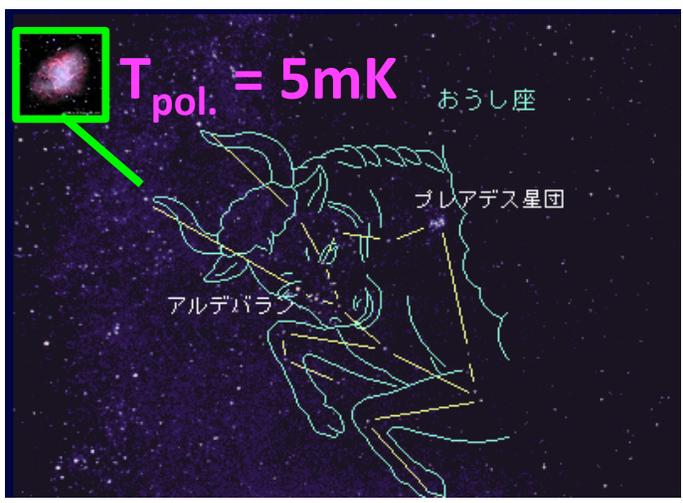
データがちゃんととれている事の一例



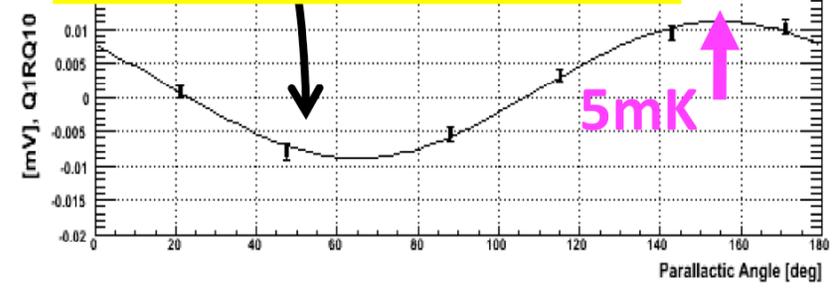
- Receiver is working!
- Optics is OK
 - Reasonable beam size
 - Rough pointing understood

TauAを使った絶対角度と絶対温度の較正

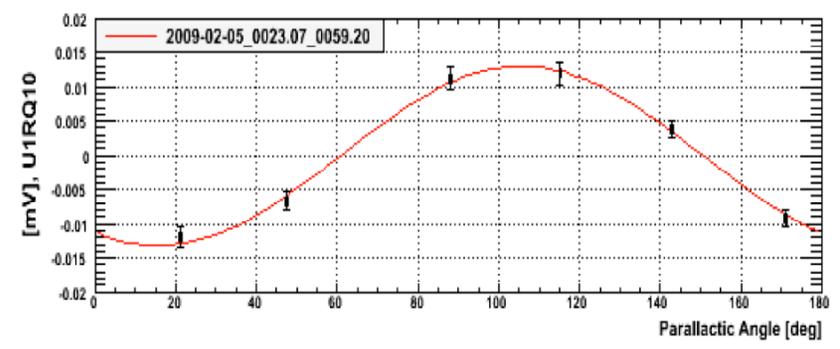
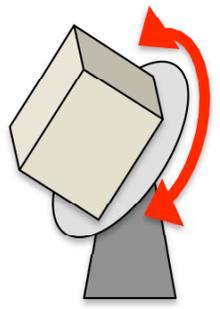
Scan time ~2 min



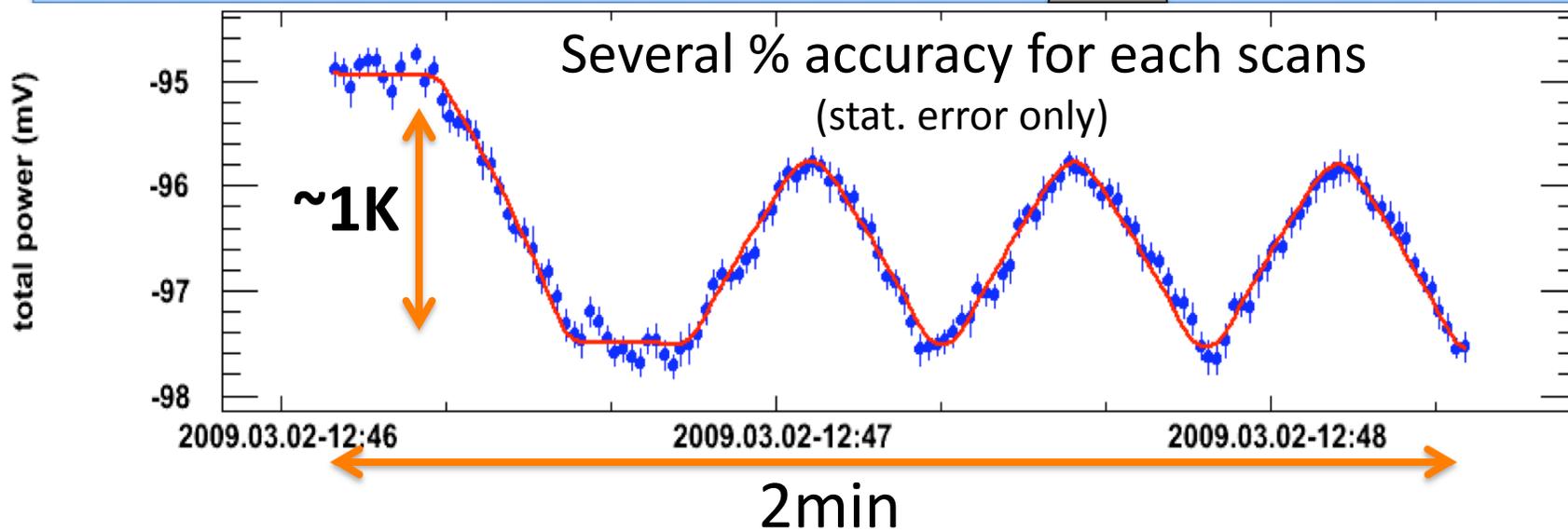
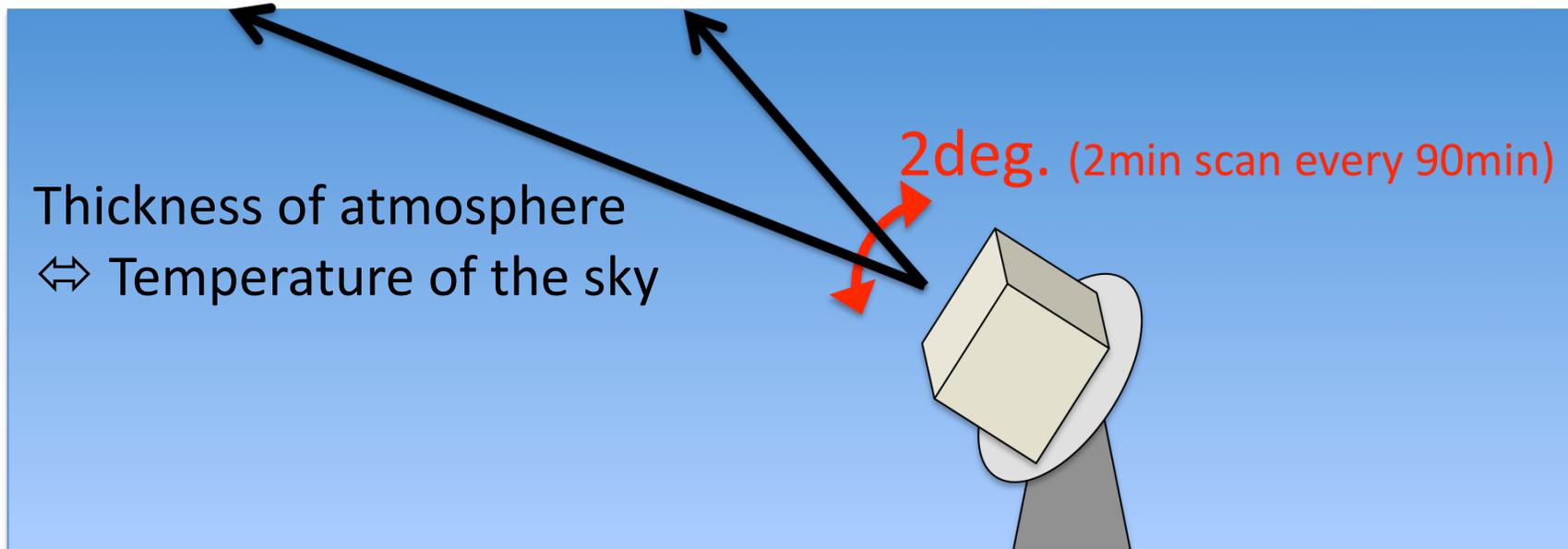
測定精度 ~600uK (~2min scan)



TauA



Gain Monitoring by Skydips (every 90 min)



「順調にデータ取ってます」などという
当たり障りのない「つまらない」話を
皆さん聞きたくないと思うので...

定常運転に至るまでには...

9月: start commissioning

~~No data directory structure (single directory)~~

~~No data transfer scheme~~

~~No data removing scheme~~

~~No event building~~

~~Log file size > data file size~~

身近な例
準備の悪いビームテスト

10月～: observation by shifters

Setup of scan strategy ← M. Hasegawa

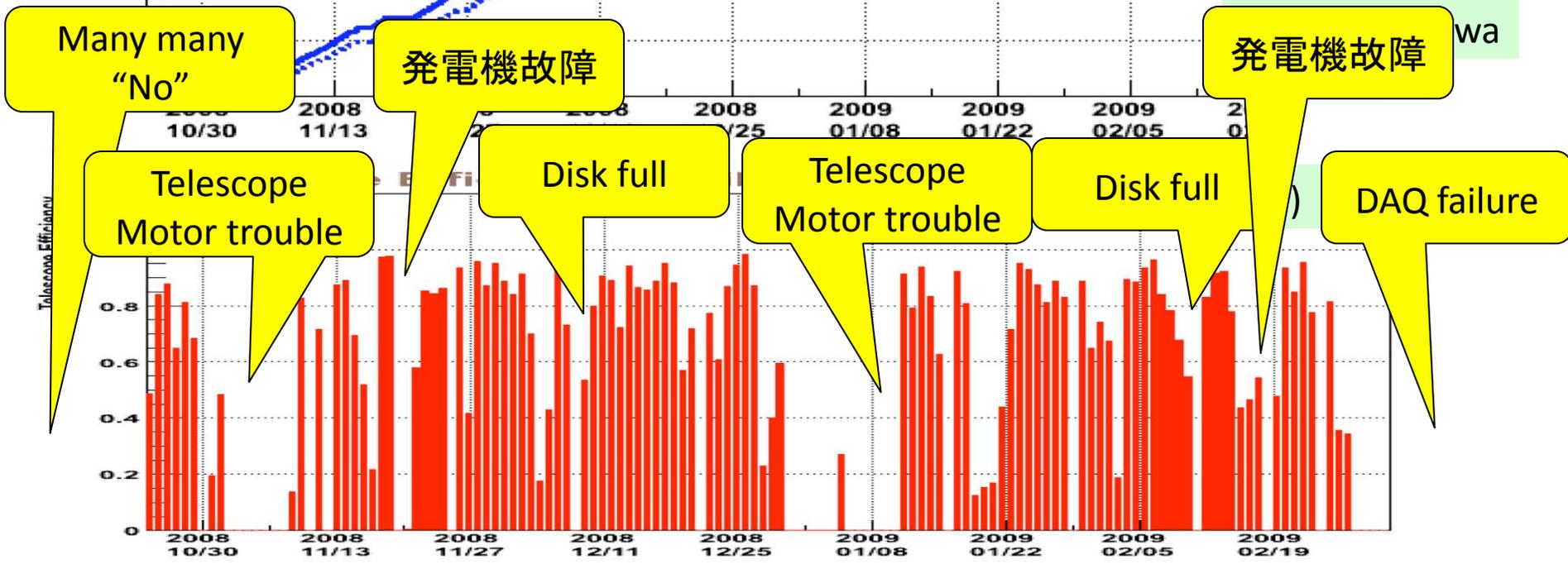
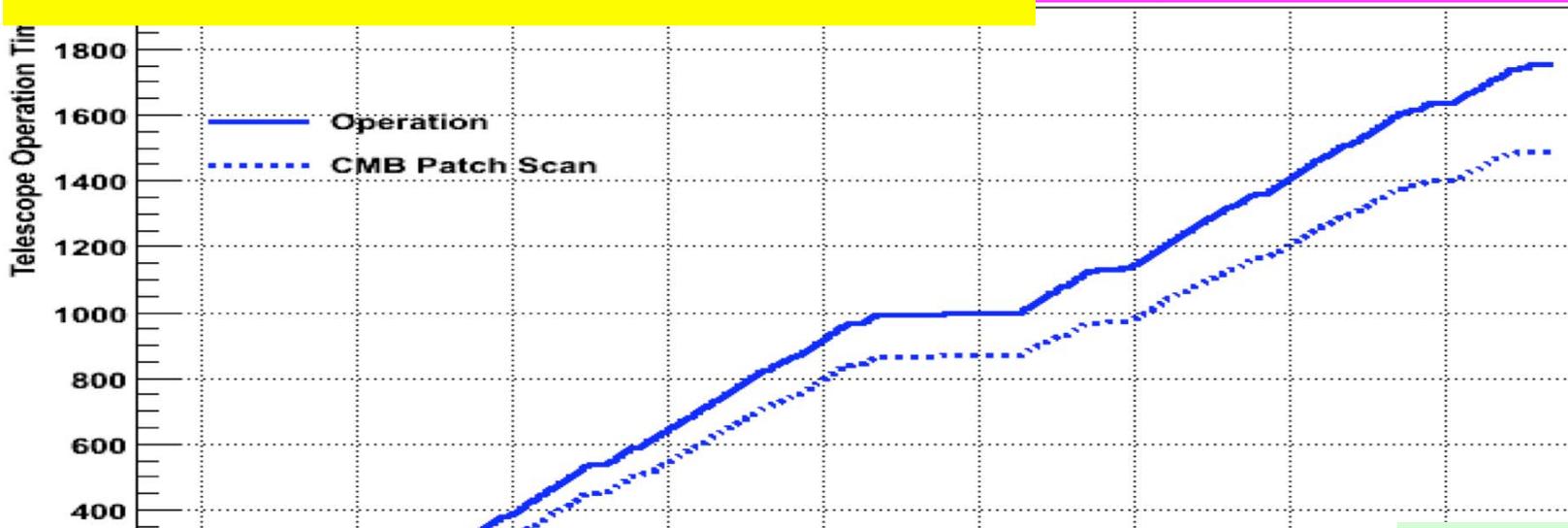
発電機, telescope trouble shooting ← M. Hazumi

シフトがDVD送り忘れて、データ消せなくてDisk full

12月:

establish most of shift tasks / setup documents

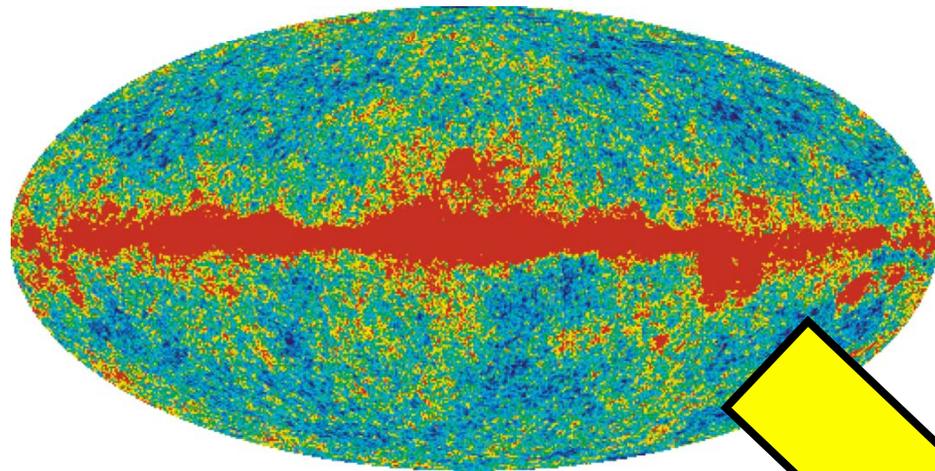
様々なトラブルを乗り越えながら データを取得中!!



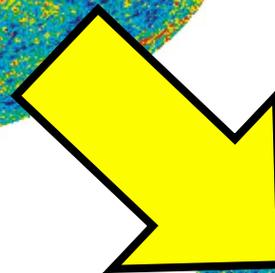
銀河からのsynchrotron放射の影響は高い周波数ほど小さい

W-bandへスイッチ (2009年6月予定)

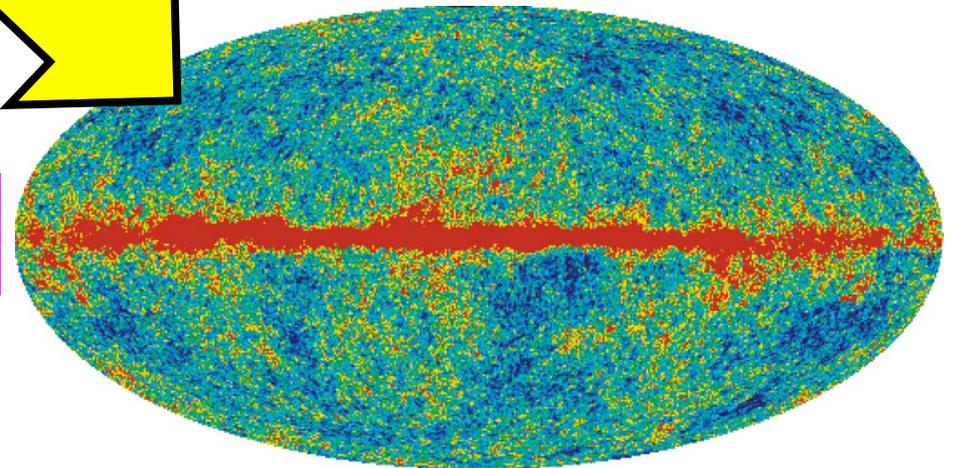
- 銀河からのsynchrotron放射の影響が小さい $\sim 1/10$
- 角度分解能向上 ~ 2 倍

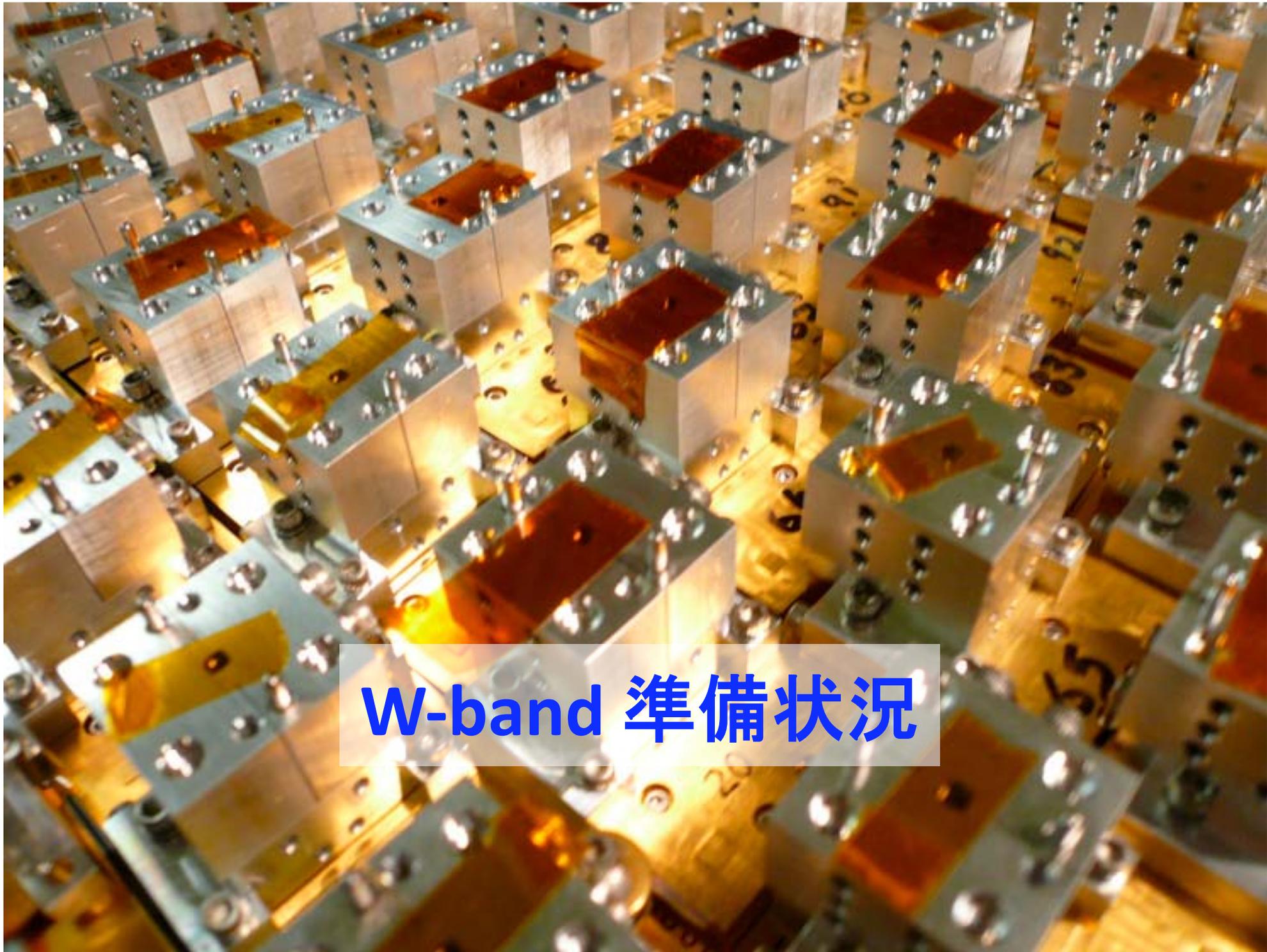


Q-band (41GHz)



W-band (94GHz)





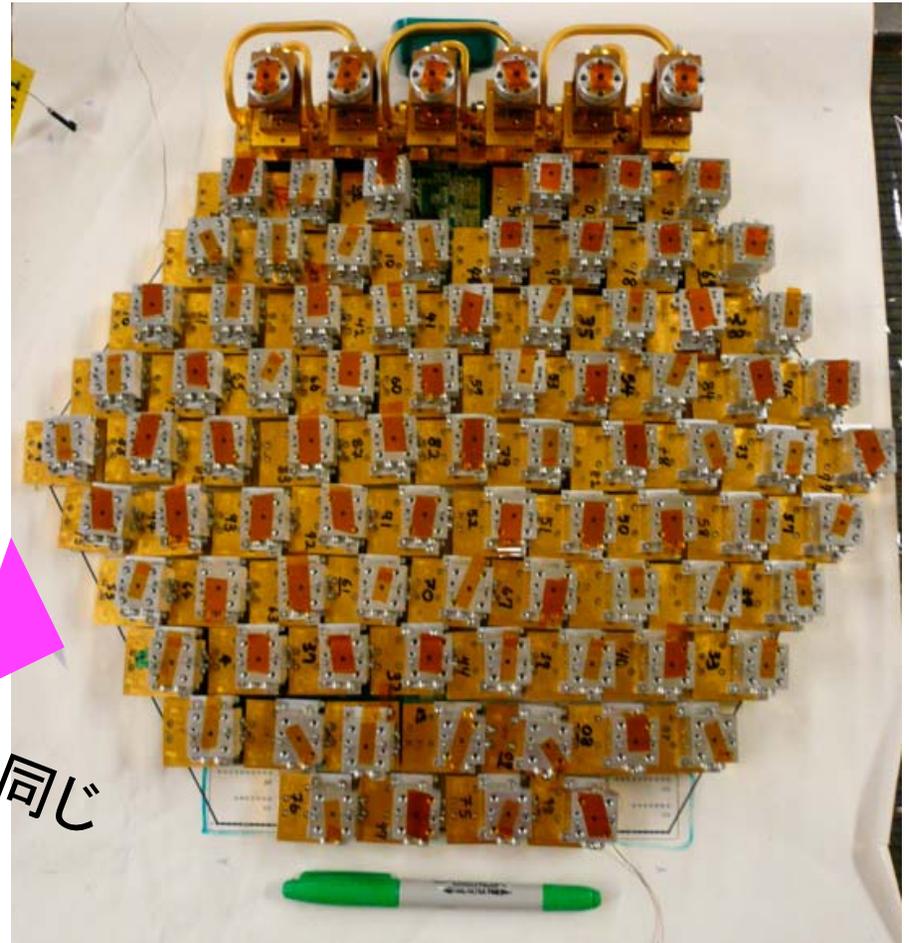
W-band 準備状況

5倍

Q-band: 19 modules

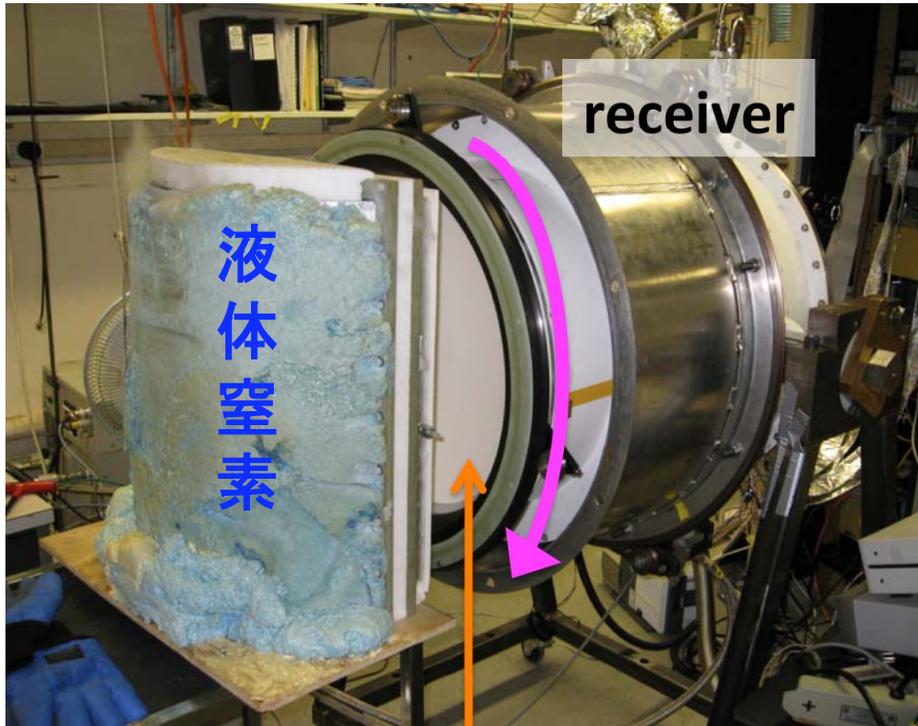


W-band : 91 modules

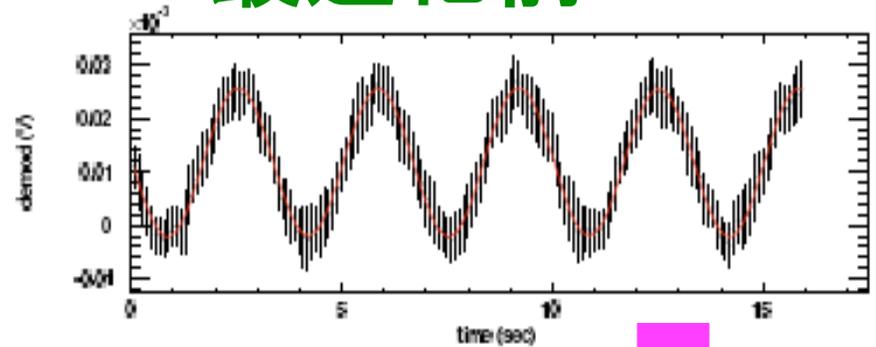


全体の面積は同じ

最適な電流・電圧のパラメータ(10個/module) コンビネーションを探す必要がある

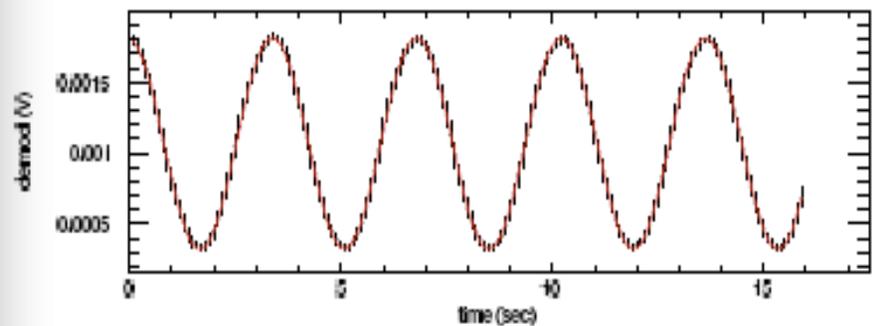


最適化前



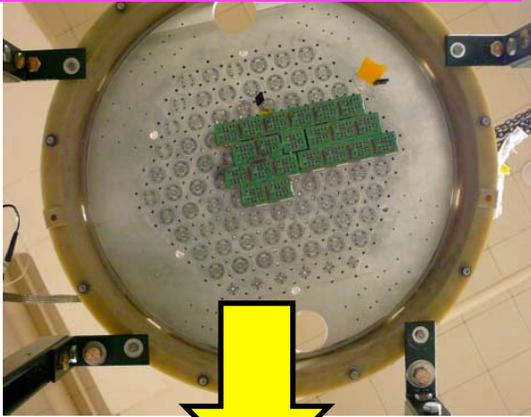
~month / 10 modules

最適化後

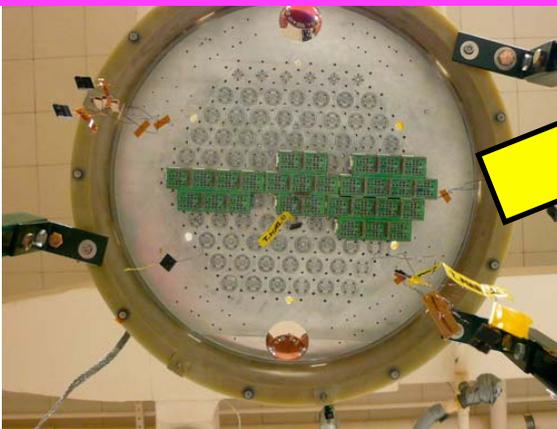


History of W-band module optimization

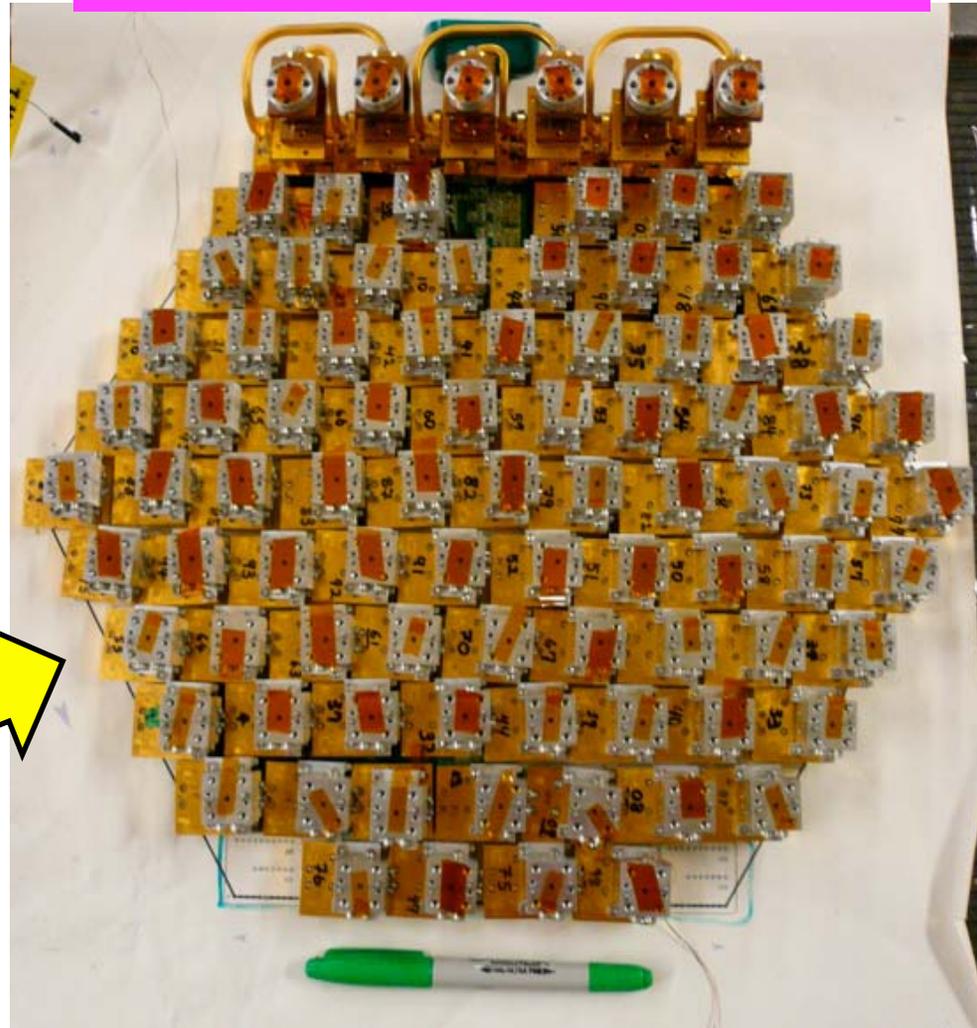
Jul.`08: 21 modules



Aug.`08: 28 modules

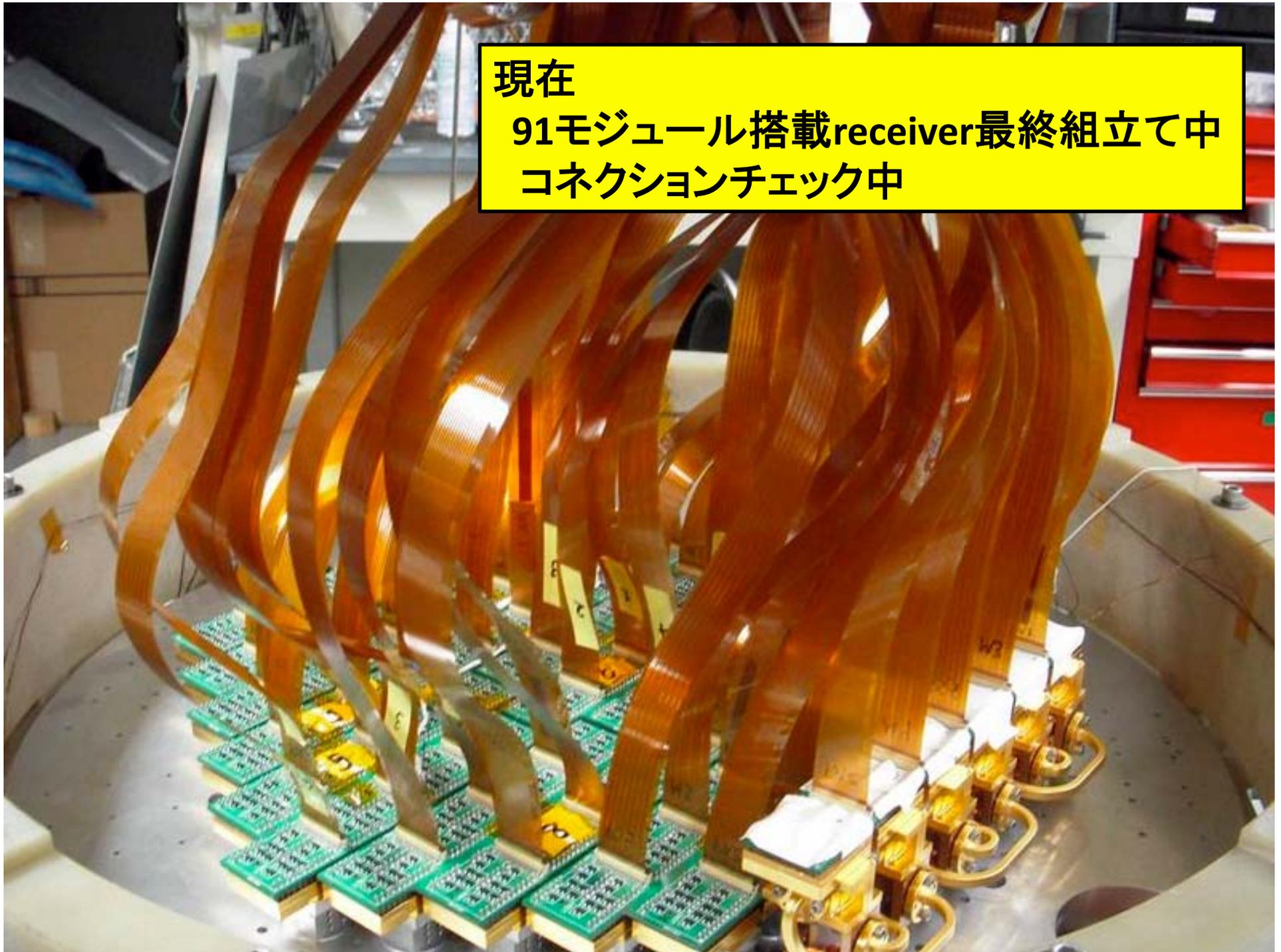


Mar.14`09: 84 modules

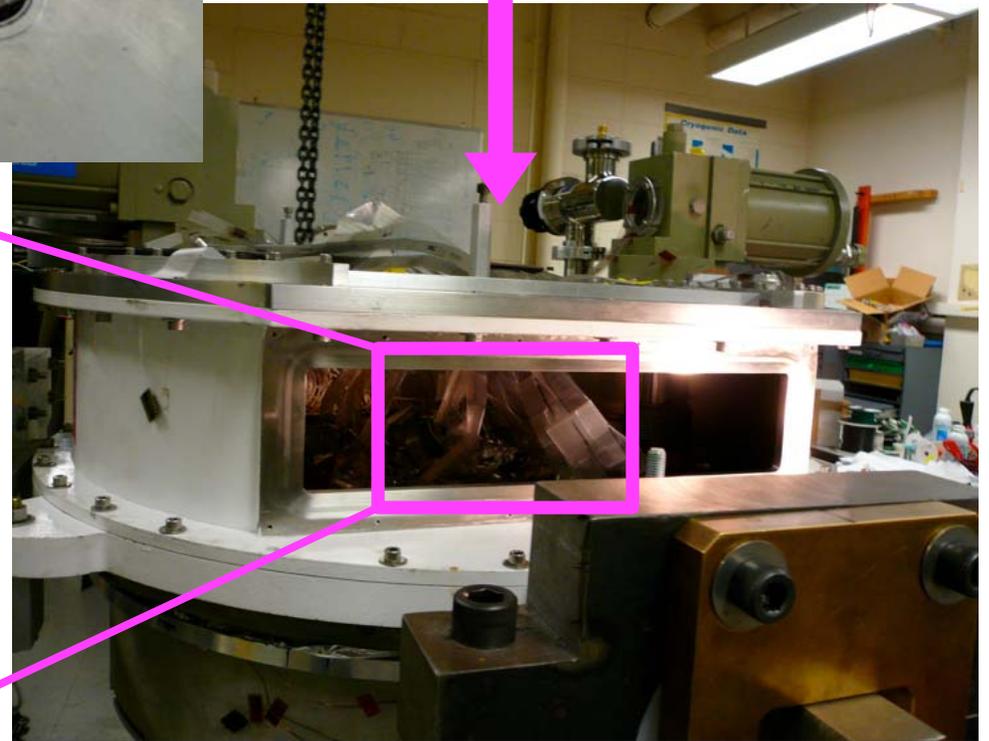
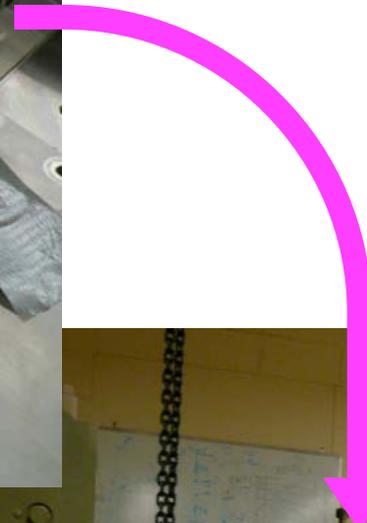
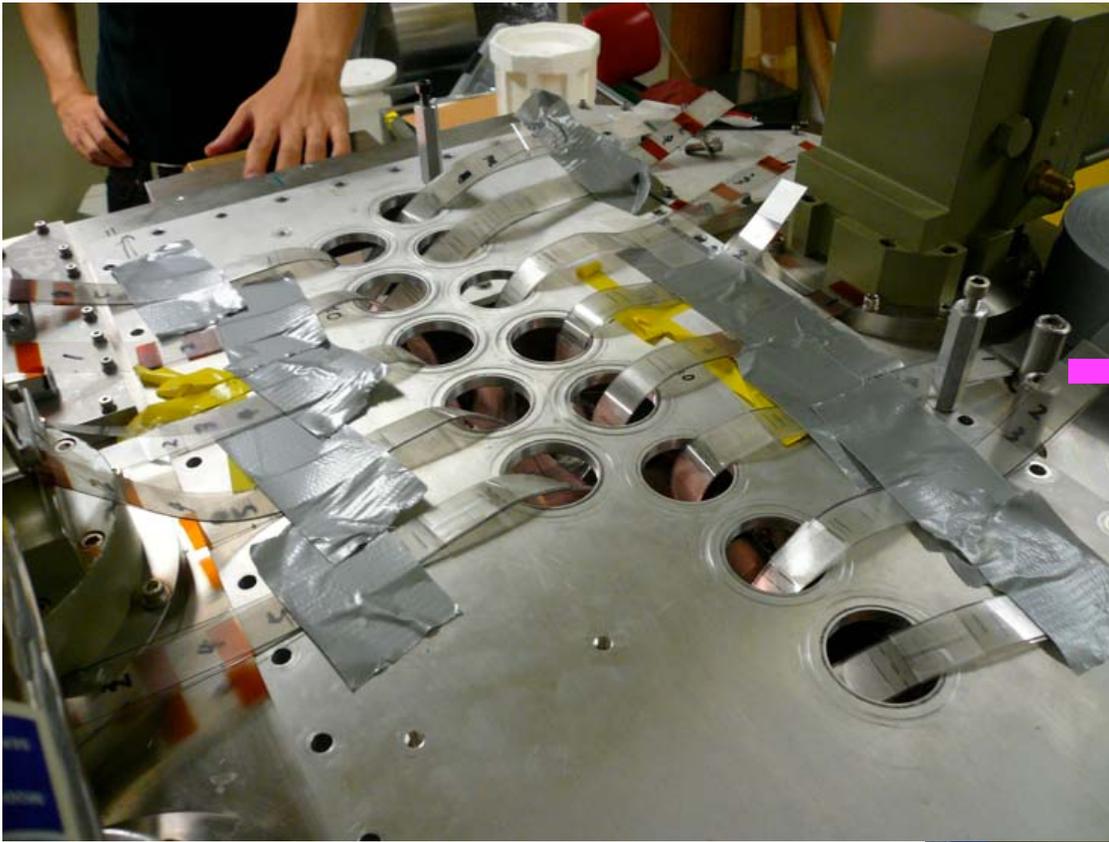


現在

91モジュール搭載receiver最終組立て中
コネクションチェック中



組み立てテスト
Feb. 2009



[Back to Live](#) [Hide Calendar](#)

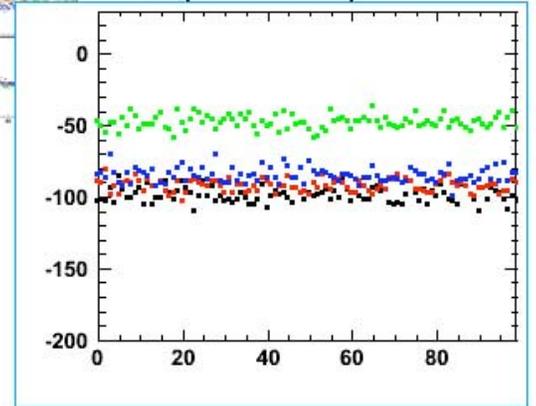
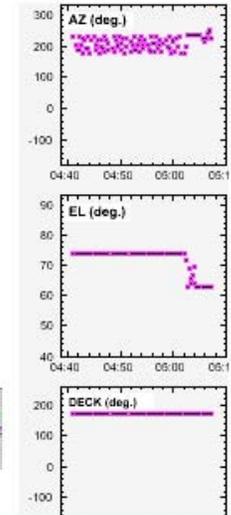
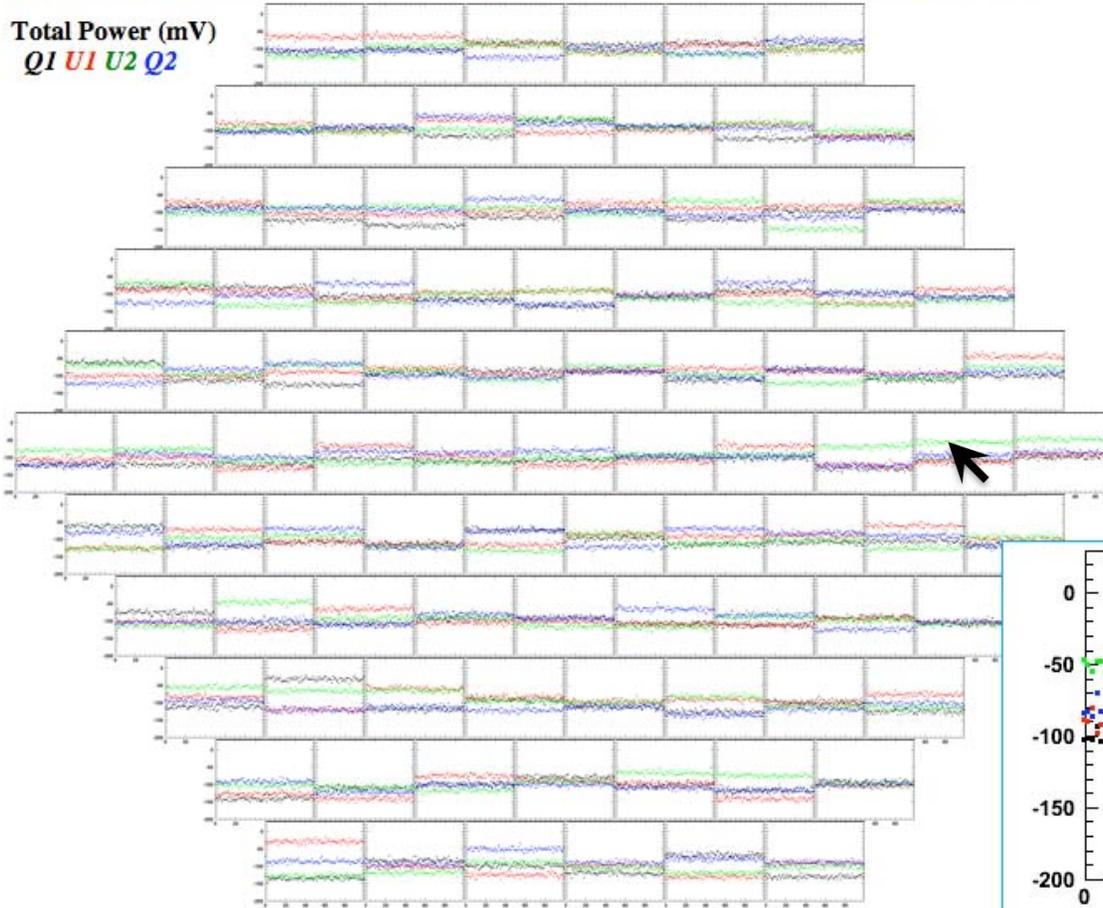
Live The display is automatically updated every 2 minute. [Show Calendar](#) [Hide Calendar](#) [Warning Criteria](#)

Total Power	Demod	Thermometers P2	Thermometers P3	Ground Sense	PC Status	RCS flags	Weather	Clock
Drain Currents	Drain Voltages	Gate Voltages	Phase Switch	2.5 V Sense	Bias Table	Web Cam	TP rms	



2009.04.02-01:56 (UTC) : CMB patch2a (observation type & target according to the feature marker)

Total Power (mV)
Q1 U1 U2 Q2



Past Live: Apr. 2, 2009
[00](#) [01](#) [02](#) [03](#) [04](#) [05](#)
[06](#) [07](#) [08](#) [09](#) [10](#) [11](#)
[12](#) [13](#) [14](#) [15](#) [16](#) [17](#)
[18](#) [19](#) [20](#) [21](#) [22](#) [23](#)

Past 100Hz: Apr. 2, 2009
[00](#) [01](#) [02](#) [03](#) [04](#) [05](#)
[06](#) [07](#) [08](#) [09](#) [10](#) [11](#)
[12](#) [13](#) [14](#) [15](#) [16](#) [17](#)
[18](#) [19](#) [20](#) [21](#) [22](#) [23](#)

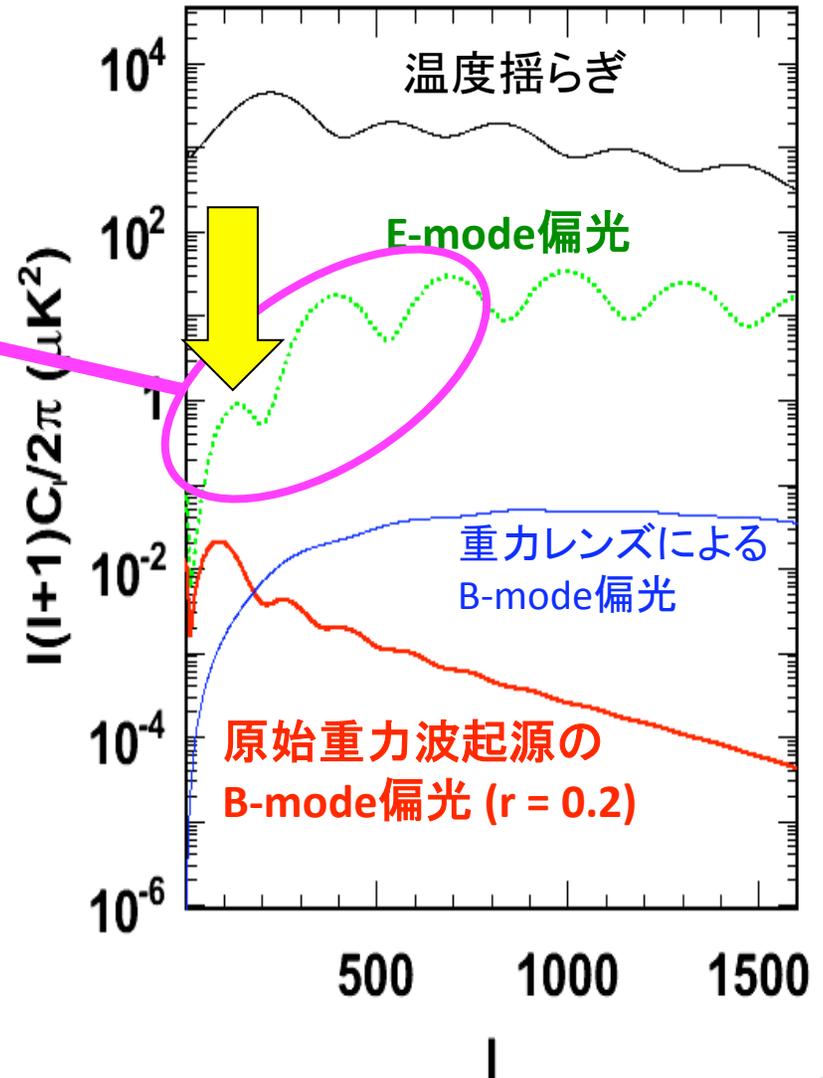
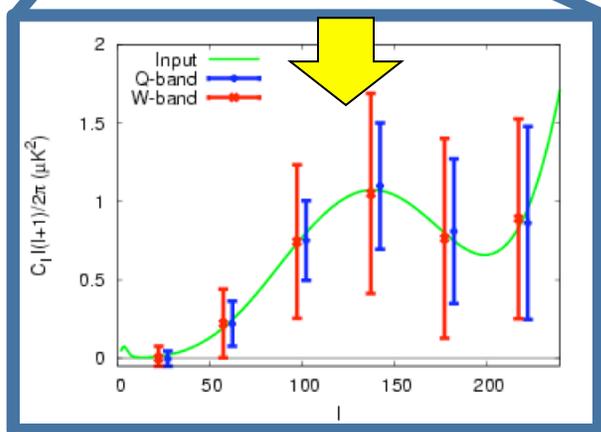
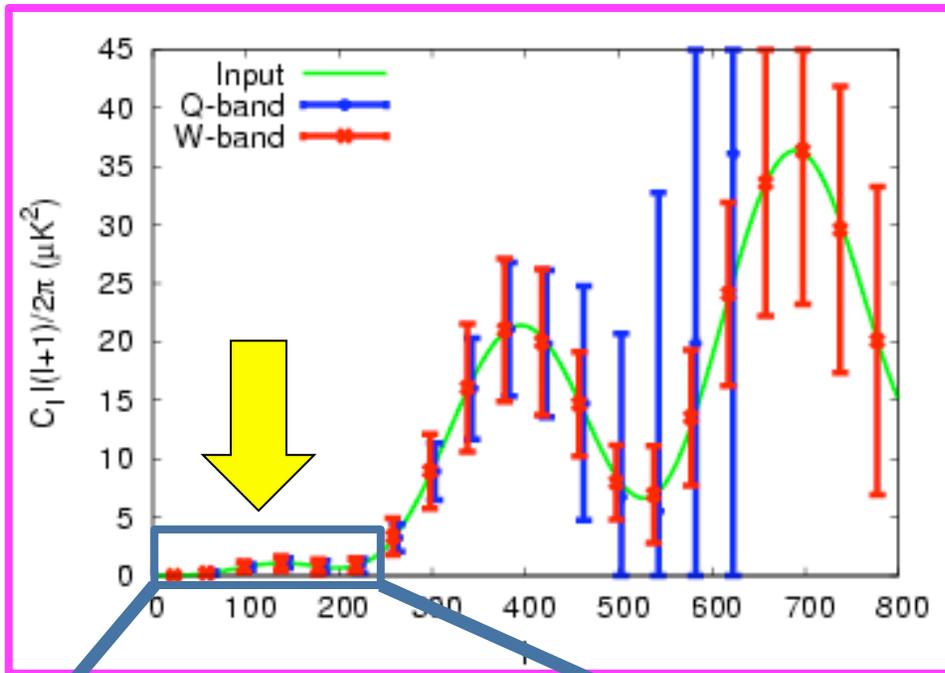
[Down Sample](#)

注) ダミーデータ

W-band用ソフトウェアも急ピッチで準備中

Prospects (by Simulation)

$l \sim 100$ 付近のE-modeピークを世界で初めてクリアに観測
原始重力波起源のB-modeが最大となる領域を世界最高感度で探索

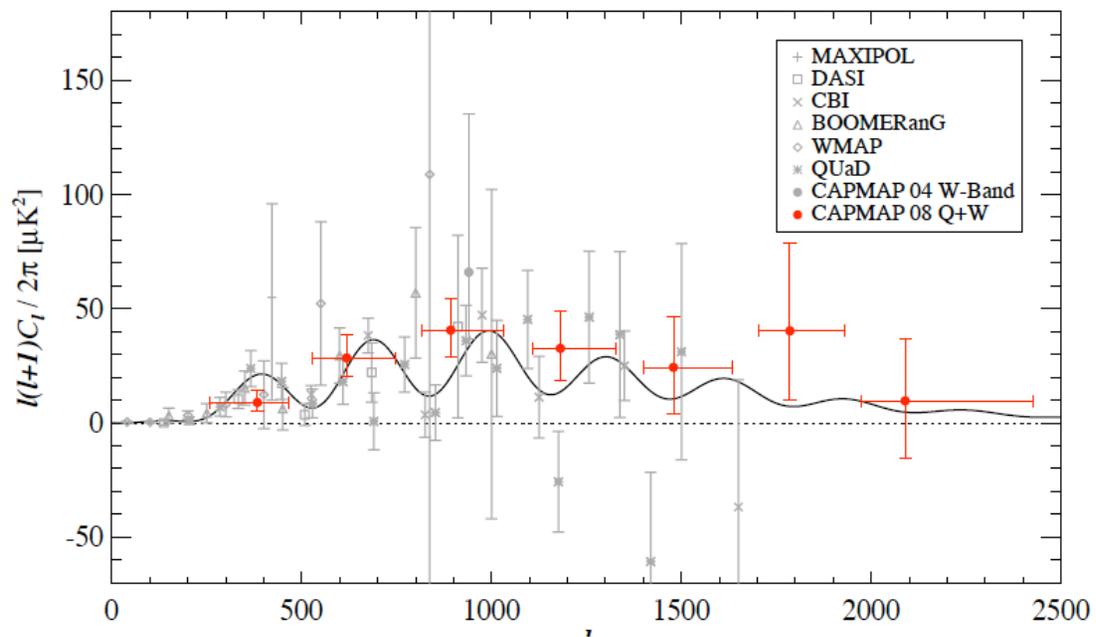
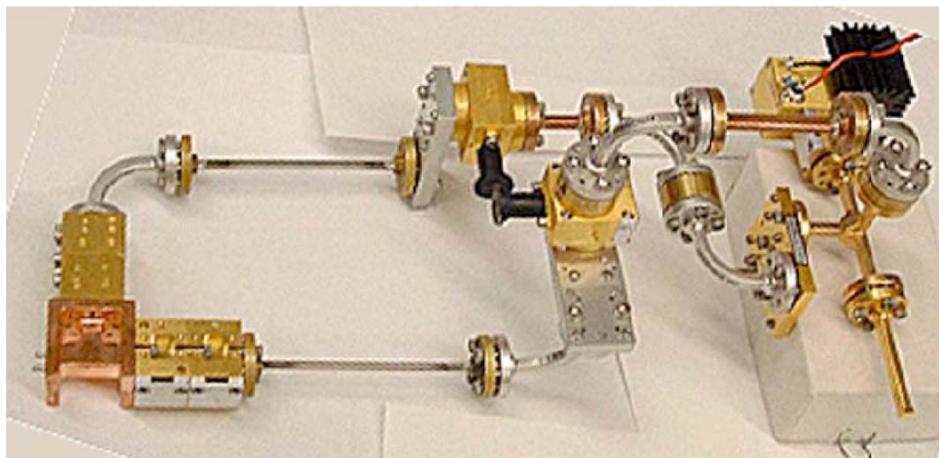


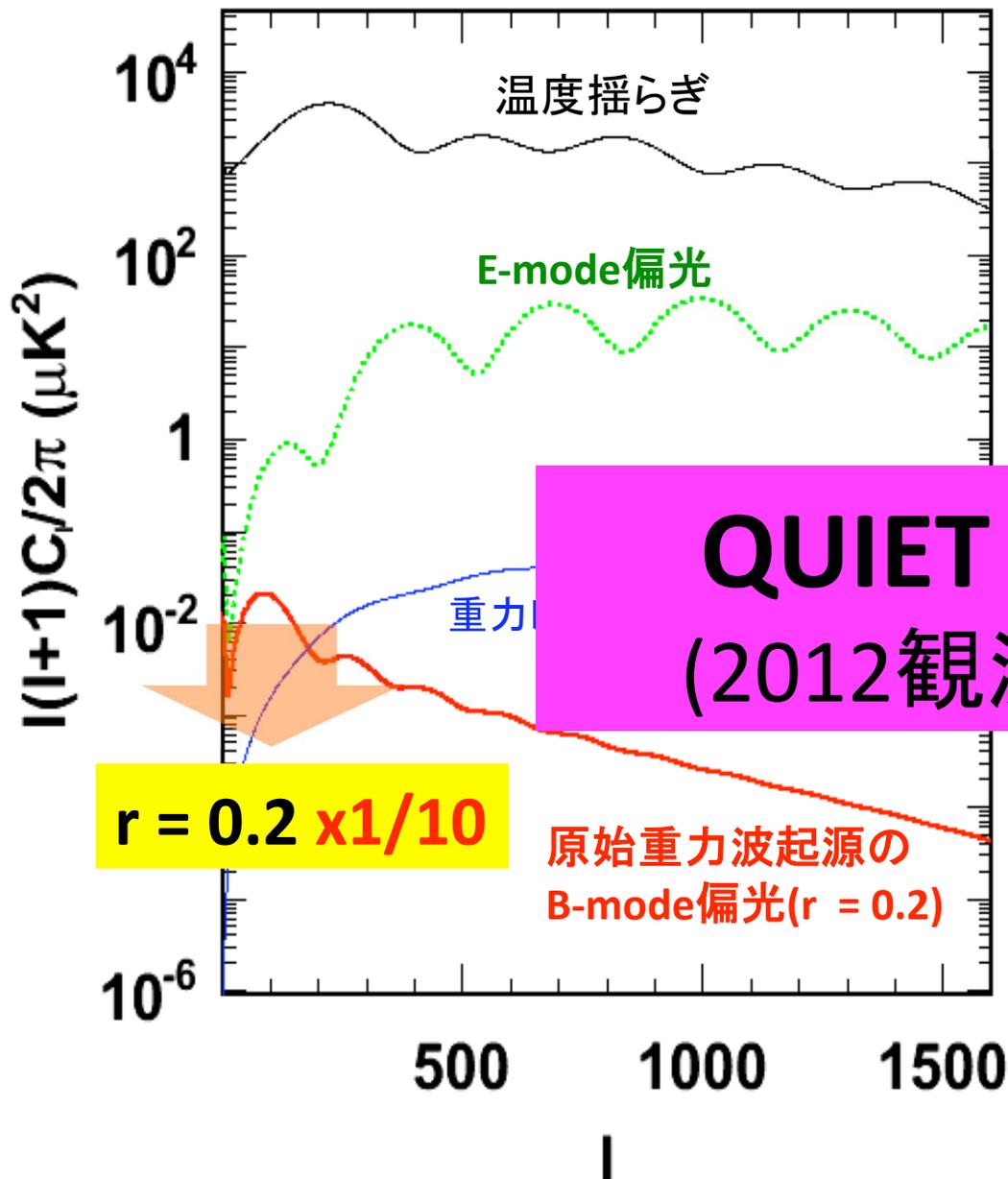
CAPMAP

← E-modeを11 σ で観測



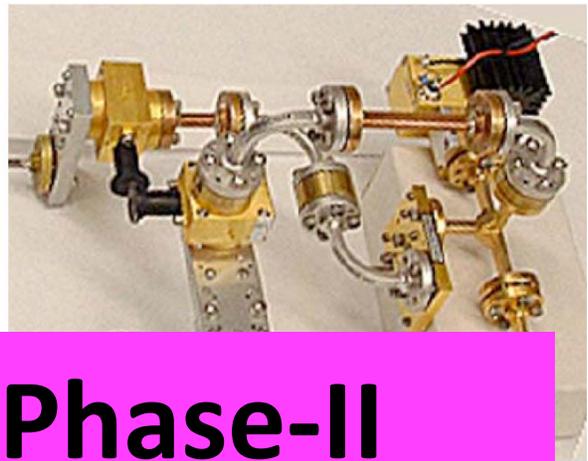
W-band 12ch / Q-band (4ch)





観測

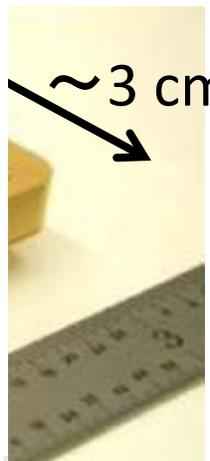
l / Q-band (4ch)



QUIET Phase-II
(2012観測スタート)

r = 0.2 x1/10

原始重力波起源の
B-mode偏光(r = 0.2)



~3 cm

小型モジュール化により
多チャンネルを実現

体積 x1/300
Ch数 x8 x20

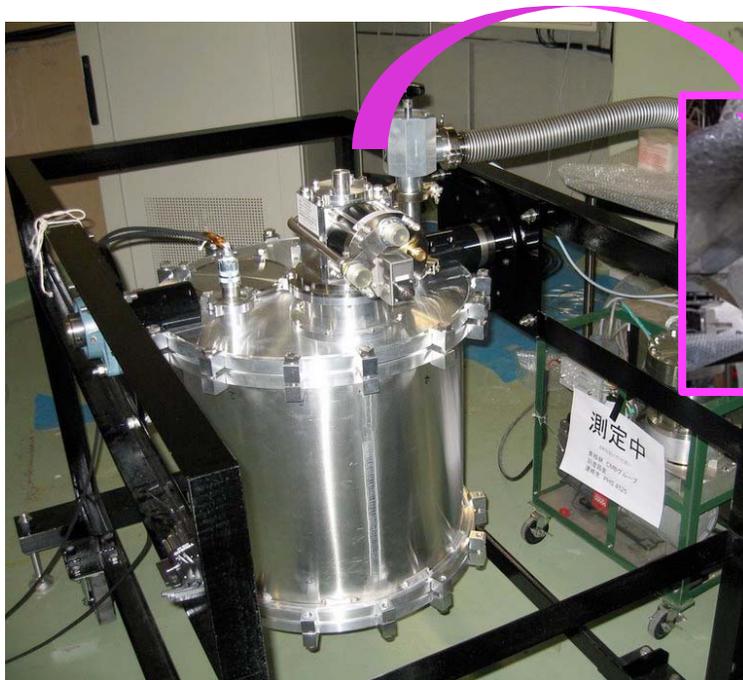


W-band 91ch / Q-band (19ch)

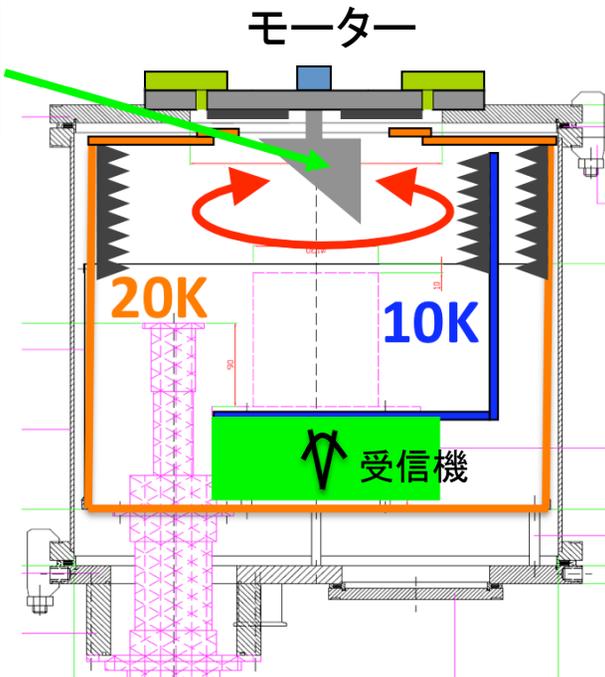
KEK activities for Phase-II

Module R&D/Optimization System

M. Hasegawa



金属
300K



DAQ & Data Management

T. Higuchi

Provide well established system in HEP

Summary

Bモード偏光の世界初観測を目指す

QUIET実験

- Q-bandでの観測を2008年9月からスタート
 - 現在順調にデータ取得中
 - 2,000時間分のデータを蓄積
 - 6月にW-bandへスイッチする予定
 - 全91モジュールの搭載のreceiverの最終チェック中
 - 5月上旬にチリへ搬送
 - 2009年末までに Q,W-band 6ヶ月のデータ取得見込み
 - 原始重力波起源のBモード偏光が最大となる
l~100付近を世界最高感度で直接探索
- 探索感度を一桁向上させるアップグレードプラン
(2012年観測スタート)