

電波干渉計と電波ヘリオグラフ

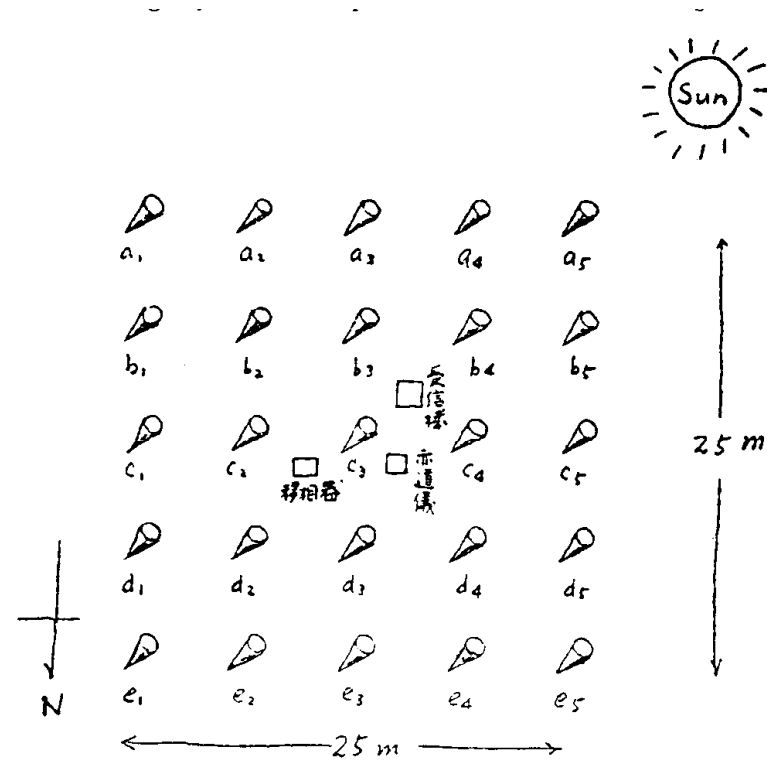
柴崎清登

野辺山太陽電波観測所

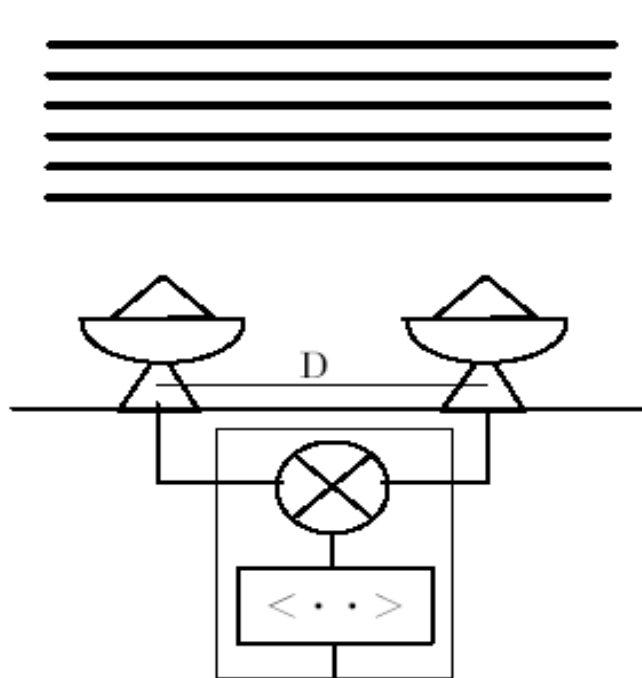
干渉計の教科書

- “Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy” by A.R. Thompson , H.M. Moran, and G.W. Swenson, Jr., John Wiley and Sons, Inc., 1986. ISBN 0-471-80614-5
- “Synthesis Imaging in Radio Astronomy II” Ed. by G. B. Taylor, C. L. Carilli, and R.A. Perley, Astronomical Society of the Pacific 1999. ISBN 1-58381-005-6

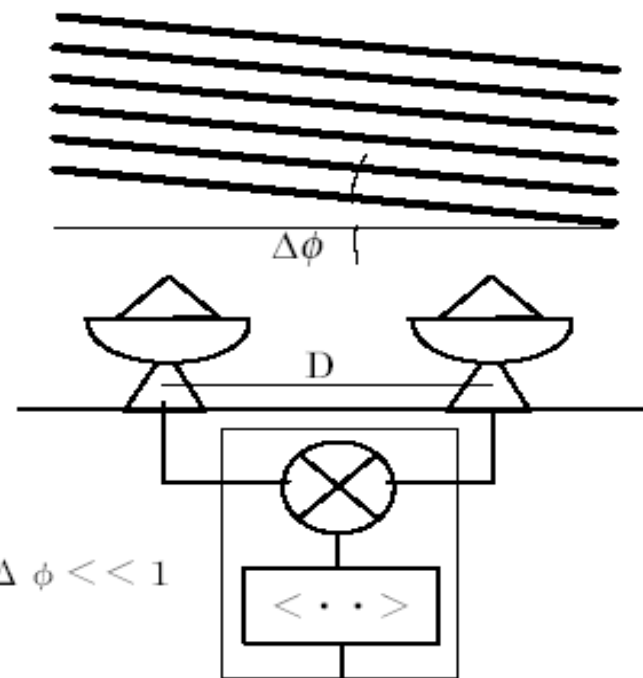
多素子電波干渉計は 日本のオリジナル



1950年 小田グループ



(a)平面波が正面から入射



(b)平面波が正面から $\Delta \phi$ だけ傾いて入射

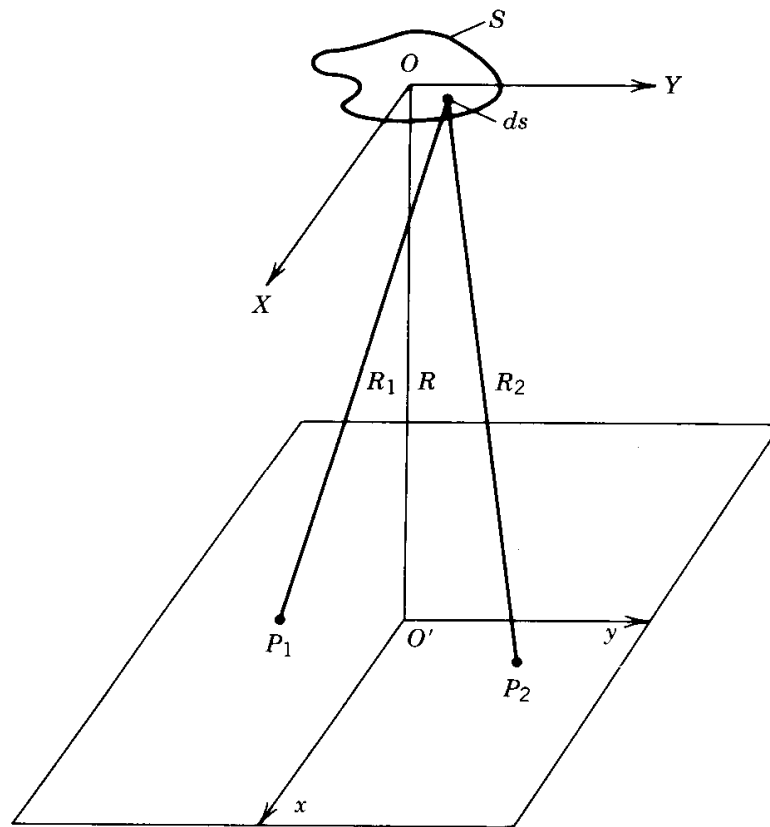
$$\langle E_1(t)E_2^*(t) \rangle = |\epsilon(\Delta\phi)|^2 \exp\left(+i2\pi \frac{D}{\lambda} \Delta\phi\right)$$

$u = D/\lambda$ 、 $x = \Delta\phi$ 、 $B(x) \propto |E(x)|^2$ とおくと、

$$V(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} B(x) \exp(+j2\pi ux) dx$$

実際には、遅延・位相トラッキングが必要

電波干渉計の原理・ フーリエ変換



Van Cittert-Zernikeの定理

Figure A3.1 Geometry of source S and field measurement points P_1 and P_2 .

Van Cittert-Zernikeの定理

UV平面

$$(u, v, w) = \left(\frac{D_x}{\lambda}, \frac{D_y}{\lambda}, \frac{D_y}{\lambda} \right)$$

ビジビリティー(相互相関関数)

$$\mathcal{V}_\nu(u, v) = a_1 a_2^* \int \int_{\text{source}} I_\nu(l, m) \exp(-i2\pi i(ul + vm)) dl dm$$

像合成(フーリエ逆変換)

$$a_1 a_2^* I_\nu(l, m) = \int_u \int_v \mathcal{V}_\nu(u, v) \exp(2\pi i(ul + vm)) du dv$$



太陽電波観測

- 太陽電波の特徴
 - 電波フラックスが大きい(明るい)
 - 広がっている(0.5度角)
 - 構造が複雑である
 - 速い時間変動を示す
 - 変動のダイナミックレンジが大きい
- 太陽観測専用の電波望遠鏡が必要
 - 干渉計でなくてはならない

太陽電波干渉計（電波ヘリオグラフ）

- 太陽観測専用の干渉計
 - 観測周波数帯の選択
 - 太陽フレアに伴う高エネルギー現象の研究 → マイクロ波帯
 - 電波フラックスが大きい（600SFU × 100）
 - 受信機は常温でよい。要減衰器。
 - 広がっている（0.5度）
 - 間隔の狭い干渉計を含むこと
 - 複雑な構造
 - UV平面でのサンプリングが一様に分布すること

太陽電波干渉計（電波ヘリオグラフ）

- 速い変動に対応できること
 - 速いサンプリング（短い積分時間、S/Nの検討）
 - 太陽表面で、干渉計のHPBW内を光速で伝播する時間より速くサンプリングする。
- 変動のダイナミックレンジが大きい
 - 高速に減衰量を変動させる必要があるが、位相の変動をともなう
→ 1ビット相関器
- 観測環境の厳しい日中に観測
 - 地球大気の影響の除去（自己較正法）
- データ量が多く、計算量も大きい
 - アンテナ配列を単純化、UV平面のとり方

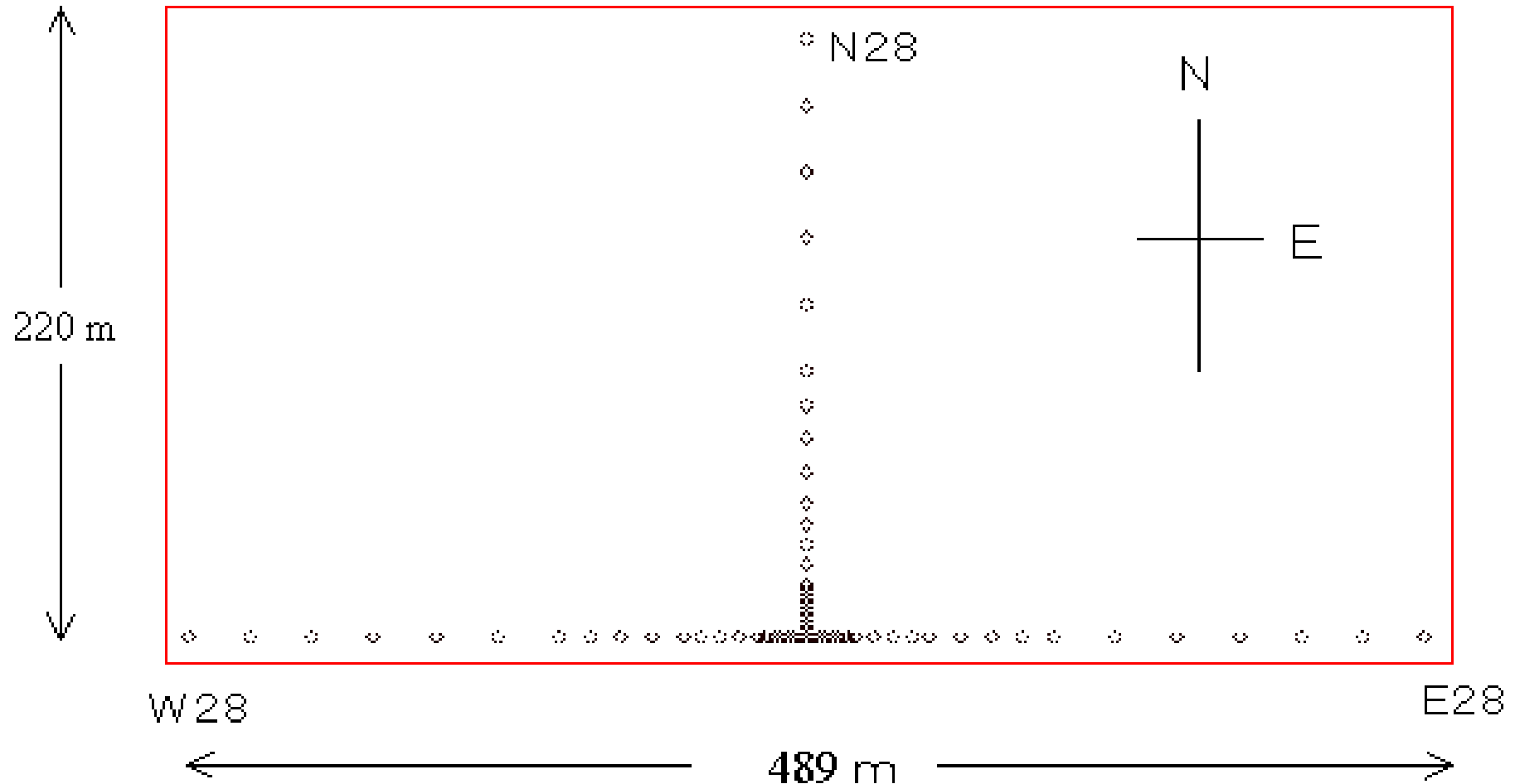
野辺山電波ヘリオグラフ

- 太陽観測専用の電波干渉計
 - 直径80cmのパラボラアンテナ84基
 - 東西490m、南北220mに配置
 - 観測周波数 17GHzと34GHz
 - 空間分解能10秒角（太陽表面で約7000km、太陽半径の1/100）
 - 時間分解能1秒（フレア時は100ミリ秒）
 - 連続8時間（曇りや雨の日も観測可能）

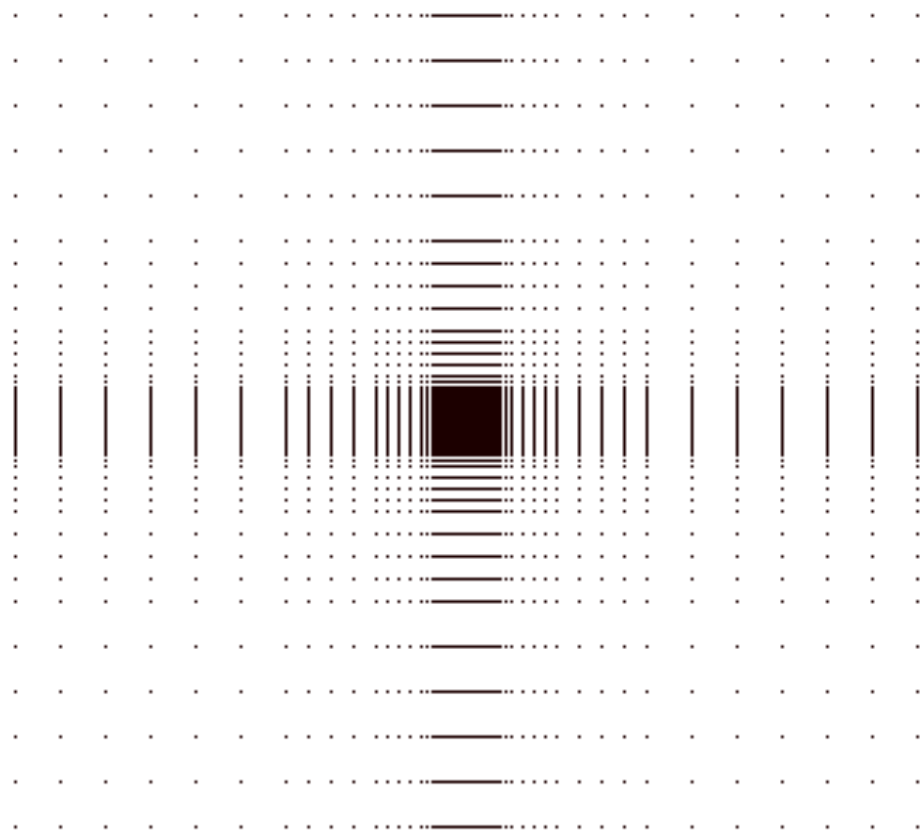
フーリエ逆変換

- 高速フーリエ変換を利用
 - 等間隔のグリッド点にデータを置いて逆フーリエ変換をほどこす
 - グリッディングの作業の計算量が多く、また、それが合成画像の質に関連する。UV平面での畳み込み(convolution)は、画像空間で掛け算
 - 電波ヘリオグラフでは、UV平面をアンテナ面にとることにより、グリッド上のデータがとれるため、グリッディングという作業が不要。

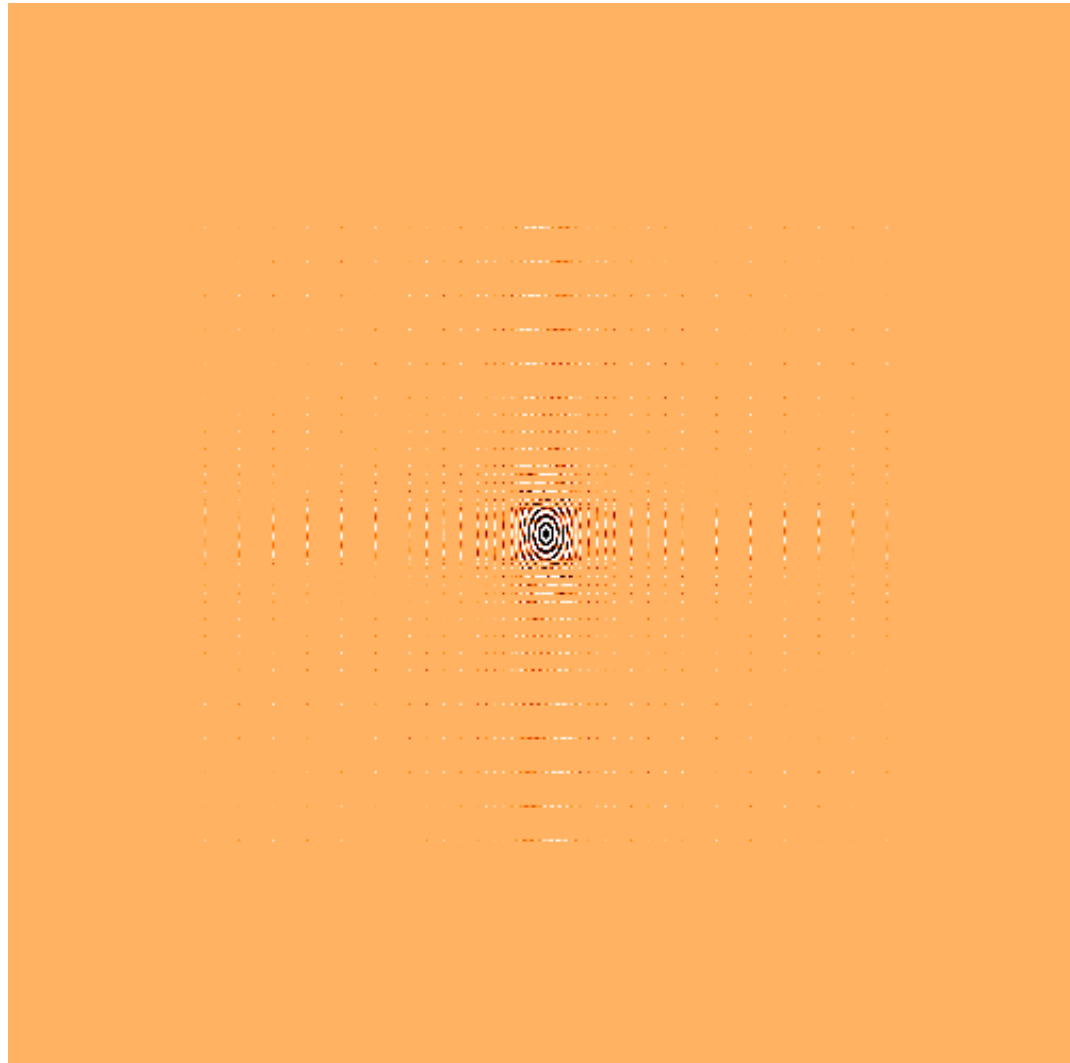
電波ヘリオグラフのアンテナ配列



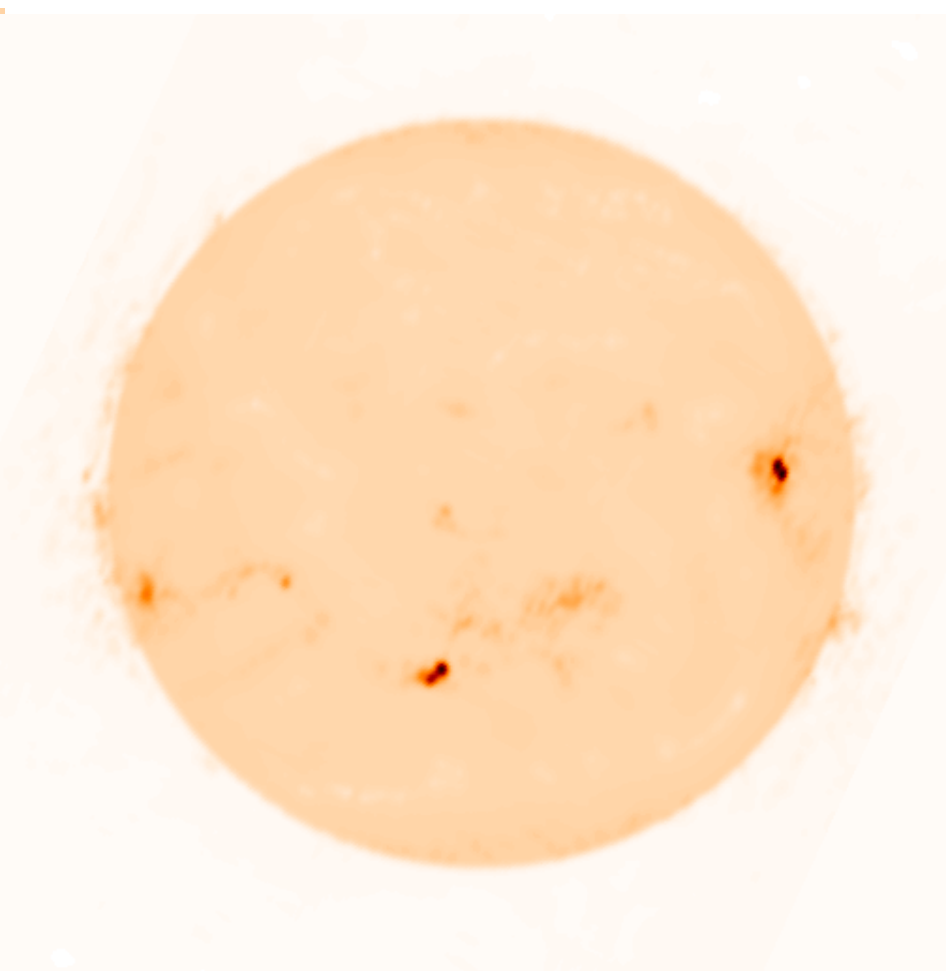
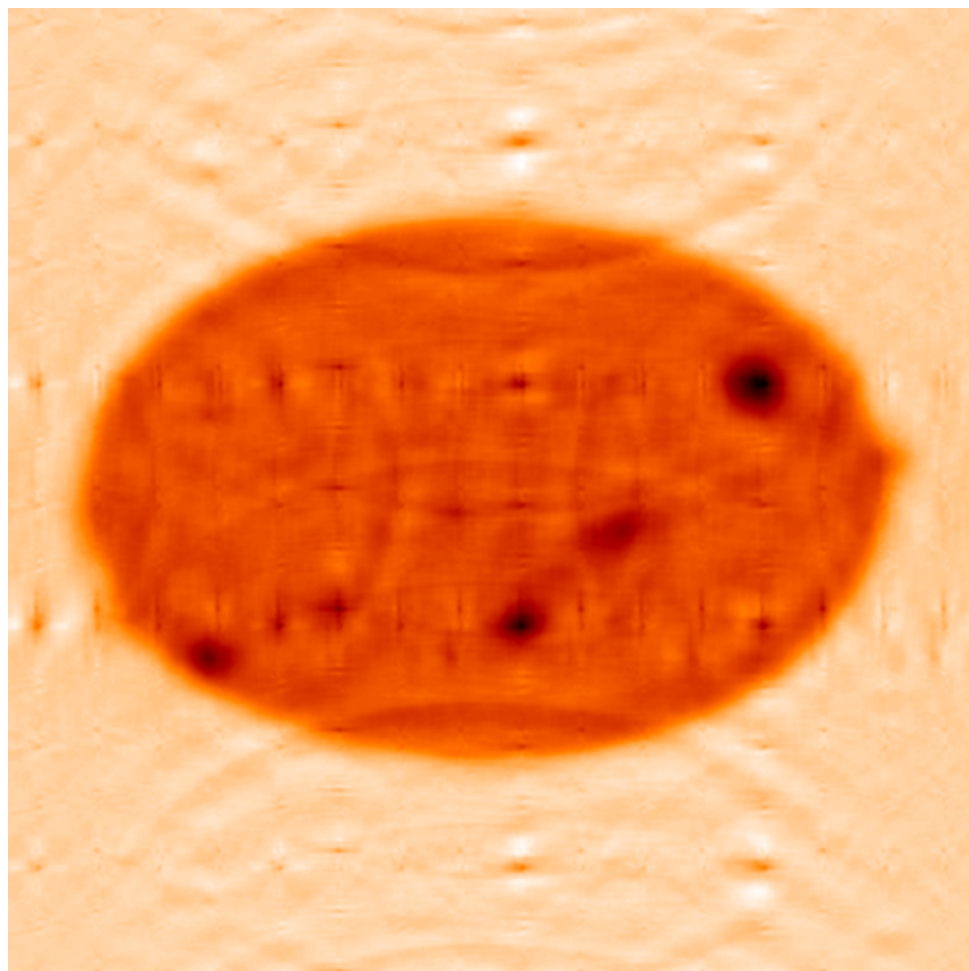
電波ヘリオグラフのUV



太陽のUV(振幅)データ



ダーティーマップとクリーンマップ



画像処理 (Restoration)

- 最も計算量を要する画像 (グリッディング、フーリエ逆変換、画像処理のために大型計算機が必要)
- AIPS というソフトウェアがある。AIPS++ 開発中
- サイドローブの影響を除く一手法: CLEAN
 - 明るい電波源を見つけ、ビームパターンを引き、きれいなビームで置き換える (ゲイン、クリーンレベル)
 - 広がった電波源のクリーンの方法
 - モデル
 - Steer's クリーン
- クリーン以外の方法
 - Maximum Entropy Method (MEM)
 - ill posed problem (不十分なデータから逆問題を解く)

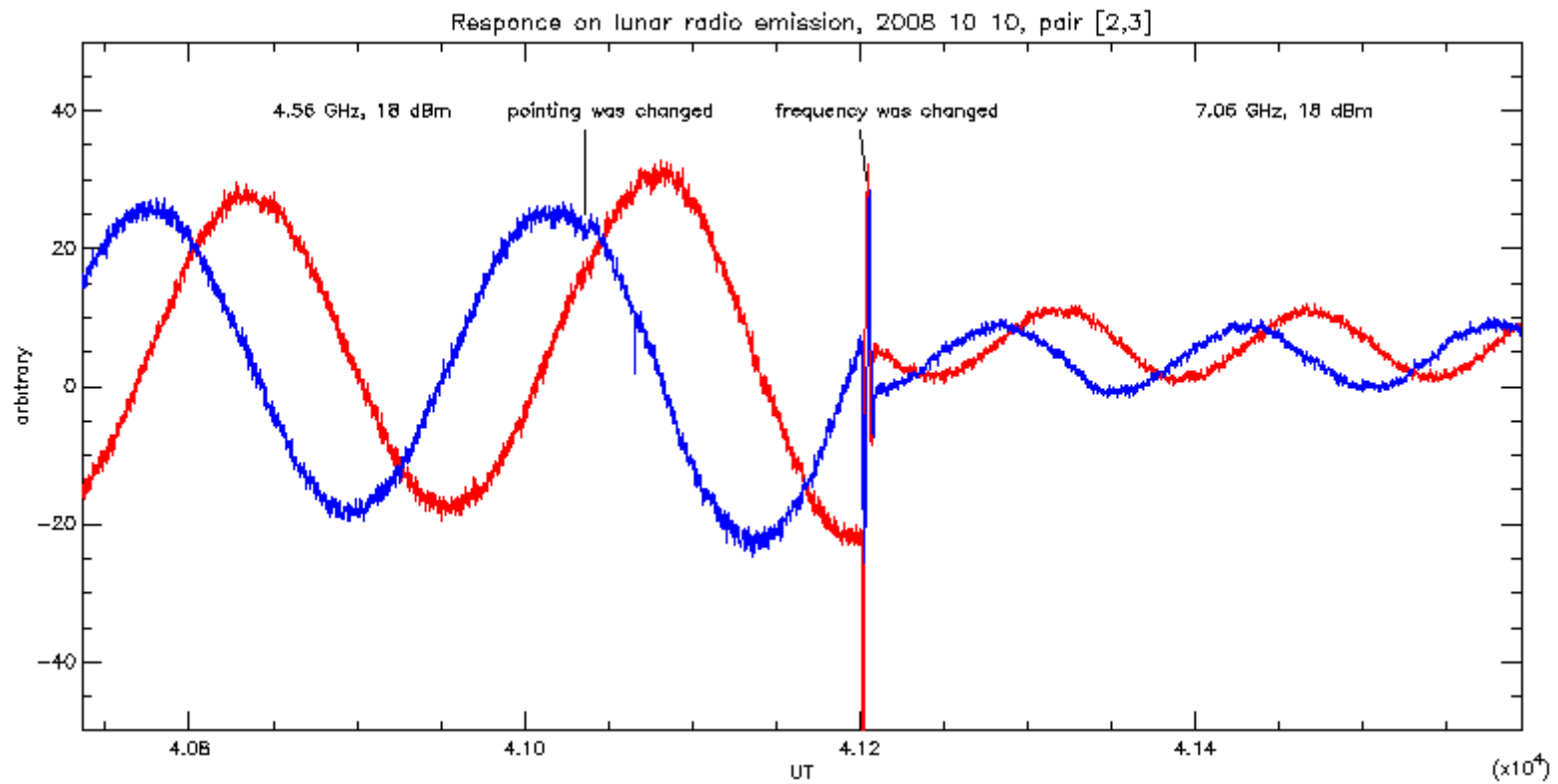
電波輝度と位置の較正

- 位相・振幅の較正に自己較正法の用いているため、電波輝度と位置が不定となる
- これを補うために、静かな太陽の輝度温度および場所を較正に用いている
- 非常に輝度の高いフレアにおいては、この方法が使用できないため、新たな方法を越石さんが開発中
- 今回一般に公開して利用開始（まだ不安定なところが残っている）

野辺山電波ヘリオグラフの今後

- 2015年3月までは運用の予定。今まで2010年3月までの予定であったが、これを5年間延長するための努力中。
- 国外では
 - 米国：FASR計画（予算化が遅れている）
 - 中国：CSRH計画（地鎮祭をすました。土地とアンテナ基礎の予算がついた）
 - ロシア：mSSRT（既存のSSRTを多周波化4-9GHz、100アンテナ分の予算がつき、first fringe が出た）
+ 2-24GHzの新規計画

mSSRTによる月のfirst fringe



Frequency-Agile Solar Radiotelescope



2-element prototype

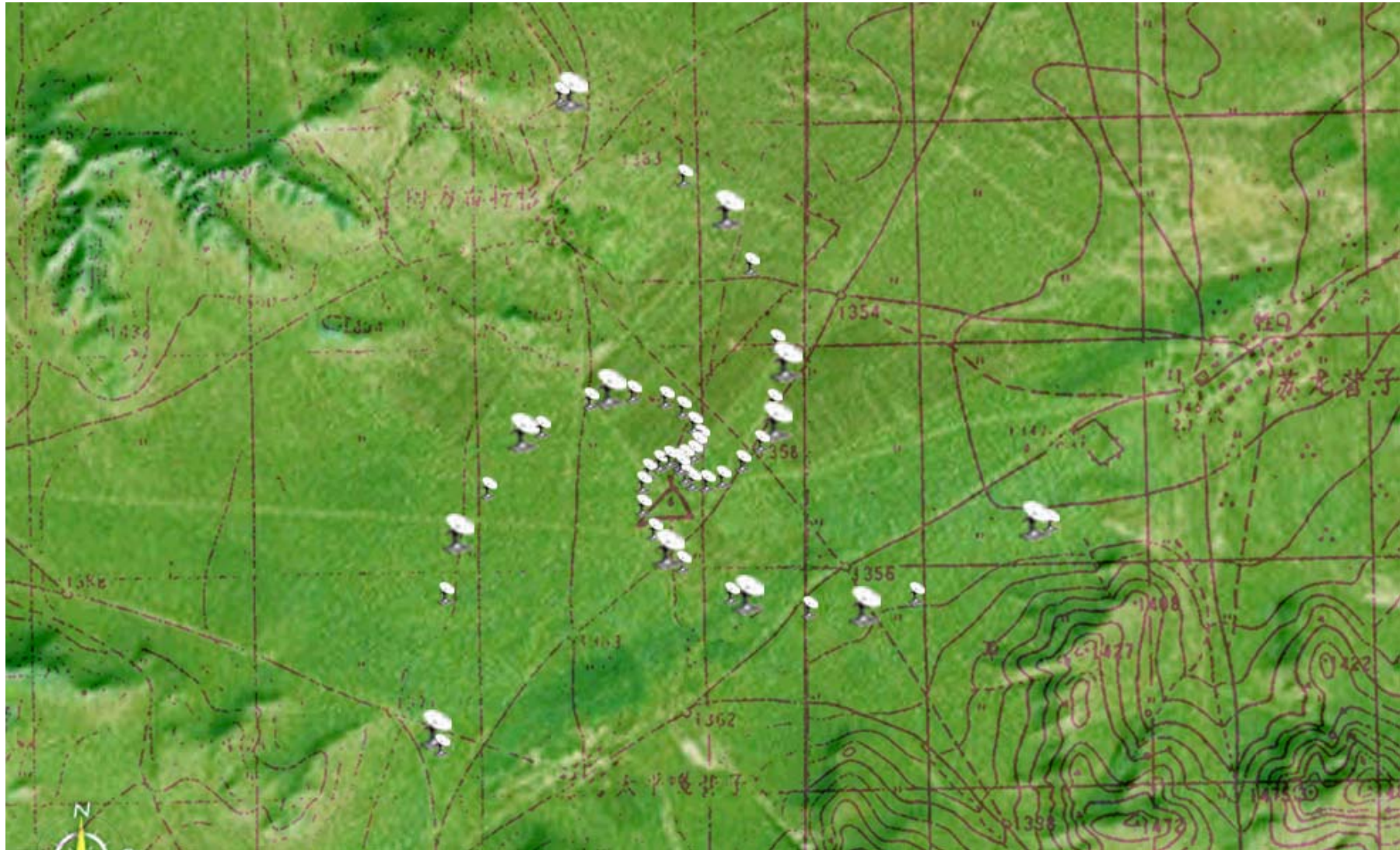
Indoor:

OP Rx,
Ana. Rx.
A/D
Digital
Delay &
Correl.



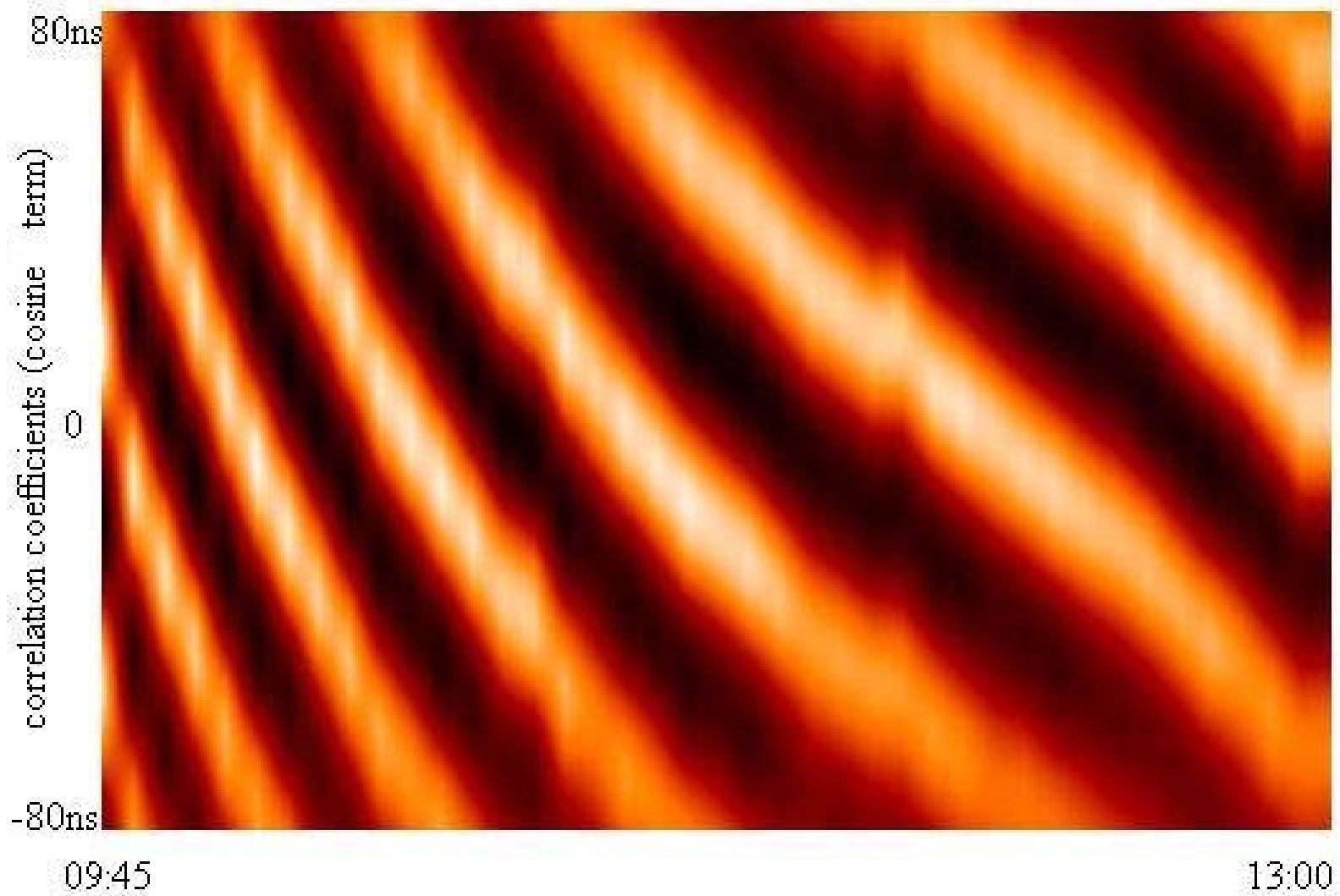
Outdoor: 2*4.5m dish
Feed, LNA, Op.
Tx 1.2-1.8GHz
1Km Op.Fib.

Array arrangement



2008-10-14

23



8-July-2005 Beijing Time

For short baseline of 8 m.