

VLBIと結合素子型干渉計

- 結合素子型干渉計
干渉計を構成する望遠鏡が1箇所にまとまっていて、共通の源振(周波数標準)によって結ばれているもの
- VLBI
(Very Long Baseline Interferometer)
干渉計を構成する望遠鏡が大きく離れていて、各望遠鏡が独立の源振を持つもの

電波干渉計は最も理解しにくい装置？

- 光の場合、
- 光学望遠鏡の出力： CCDイメージ(画像)
- 電波の場合、
- 単一鏡の出力： 温度(1点)
 - 干渉計の出力： ビジビリティ(複素数！)

初心者にはかなりとっつきにくい装置である

干渉計の生みの親: Martin Ryle

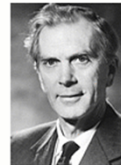
1974年のノーベル賞

- Marin Ryle (1918-84)
英国ケンブリッジ大学で
電波干渉計を開発
- A. Hewish (パルサーの発見)



The Nobel Prize in Physics 1974

"for their pioneering research in radio astrophysics: Ryle for his observations and inventions, in particular of the aperture synthesis technique, and Hewish for his decisive role in the discovery of pulsars"



Sir Martin Ryle
1/2 of the prize
United Kingdom

University of Cambridge
Cambridge, United Kingdom
b. 1918
d. 1984



Antony Hewish
1/2 of the prize
United Kingdom

University of Cambridge
Cambridge, United Kingdom
b. 1924

干渉計の例

Ryle telescope (英国)
13m x 8台



Westerborg (オランダ)
25m x 14台



干渉計の例:2

VLA (米国)
25m x 27台



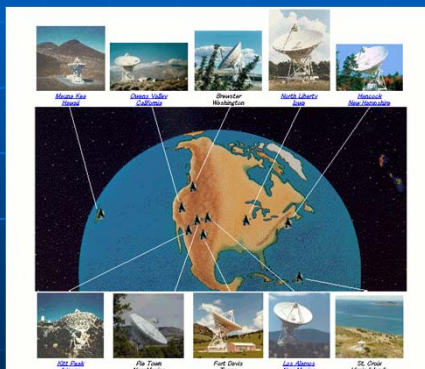
ACTA (豪州)
22m x 6台



VLBIアレイの例 1

VLBA (米国)
25m x 10台

EVN (ヨーロッパを中心に世界中の望遠鏡が参加)



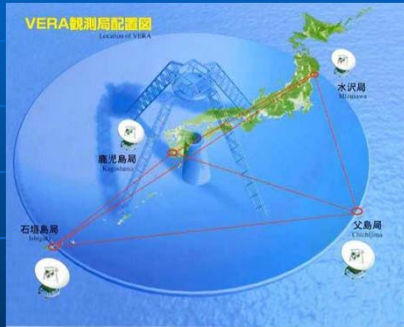
EVN Members MAG 03/2002

大望遠鏡が多く、感度に優れる

NRAOが持つ世界最高峰のアレイ

VLBIアレイの例 2

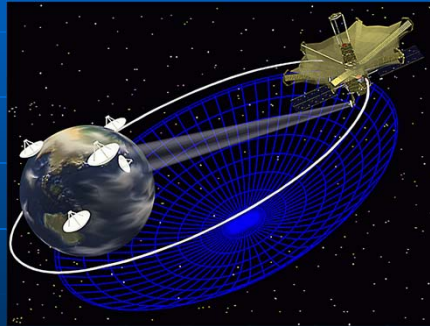
VERA
20m x 4台



分解能 1 mas
波長1 cm, D = 2300 km

2ビーム位相補償による高精度位置計測に特化

VSOP-2 (VLBI用アンテナを積んだ衛星)



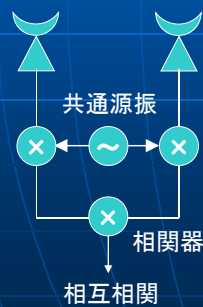
分解能 $\sim 40 \mu\text{as}$
波長7 mm, D = 30000 km

世界最高分解能を目指す

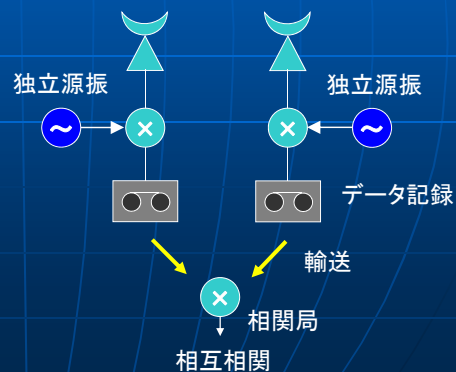
結合素子型干渉計とVLBI

- 両者は原理的に同じだが、技術的には違いがある。

結合素子型:
すべてのアンテナはケーブルで接続されていて、原振も共通。



VLBI:
アンテナ間は接続されていない。原振は独立で、データは記録して相関局へ輸送。



VLBIを特徴づける装置

- 周波数標準
原振が独立なので、アンテナ間で可干渉性を保つため、超高安定度の原振(周波数標準)が必要



水素メーザー
(アンリツ製)

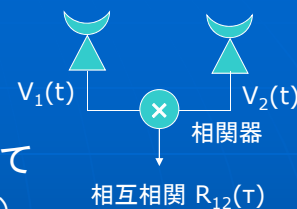
- レコーダー
相関局へのデータ輸送のため、記録媒体にデータを記録する(磁気テープ、HDDなど)



データレコーダー DIR-2000とテープ(ソニー製)

相関器

- 各アンテナからの信号を掛け合わせて干渉させる装置(=干渉計の心臓部)



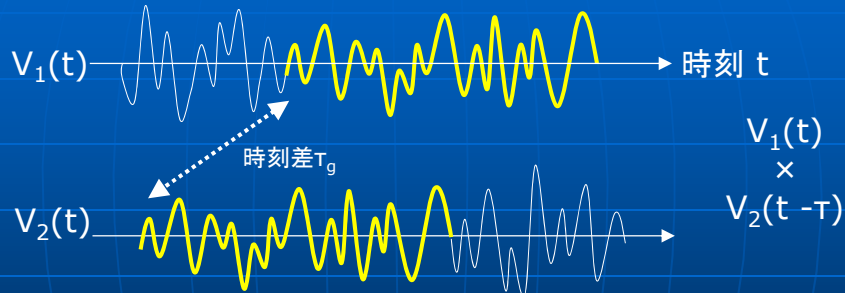
- 2つのアンテナでの受信電圧 $V_1(t)$, $V_2(t)$ に対して、以下の相互相関関数 $R_{12}(\tau)$ を求める

$$R_{12}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T V_1(t) V_2(t - \tau) dt$$

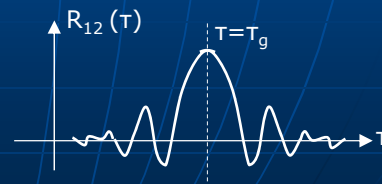
$T \rightarrow \infty$ は十分多くのサンプルをとるという意味。実際には、たとえば $\nu = 1\text{GHz}$ なら $T = 1$ 秒でも10億サイクルのデータが含まれるので実効的に無限大と考えてよい

直感的な見方

- 相関器はある種のパターンマッチングを行っている。



- $R_{12}(T)$ は V_1 と V_2 を時刻 T ずらして積分したもの。 T が T_g に一致すると当然最大になる。これより遅延時間を求めることが可能



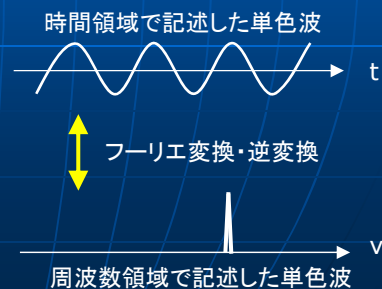
相関関数とパワースペクトル

- 相関関数をフーリエ変換するとパワースペクトルになる(詳しくはスペクトル解析などの教科書を参照)
→ 相関結果からスペクトル(輝線周波数等)の情報も得られる
- フーリエ変換とは、ある物理現象を時間領域(t)から周波数領域(ν)に(あるいは逆に)変換する演算

$$X(\nu) = \int x(t) e^{-2\pi i \nu t} dt,$$

$$x(t) = \int X(\nu) e^{2\pi i \nu t} d\nu,$$

フーリエ変換と逆変換
(干渉計でもっとも重要な数学?)



相関器

- つい最近までは専用計算機
(スーパーコンピューター)



国立天文台三鷹のFX相関器
(VERAなどで使用)

- 最近パソコンのクラスター
で処理する、ソフト相関器が
出現



通常、波は複素数として処理される(複素相関器)

→ 観測者が手にするデータも複素数(の羅列)！
これをvisibilityという

米国国立電波天文台のソフト
相関器(PCクラスター)