

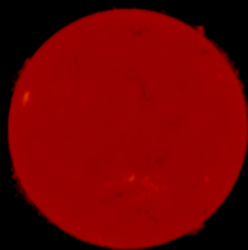
太陽多波長フレアデータ解析研究会 NSRO-CDAW10  
初心者講習 1 : 講義  
太陽観測データ解析概論

2010/10/25@野辺山太陽電波観測所

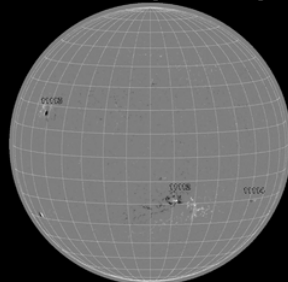
# 太陽観測データ解析とは？

- 太陽の観測的研究は、多波長解析が標準。
  - 硬X線（数百keV～数keV：フレア時の非熱的粒子）
  - 軟X線（数百万度～数千万度：コロナ+フレア時の超高温プラズマ）
  - 極端紫外線（百万度～数十万度：コロナ～遷移層）
  - 紫外線（数万度～数十万度：遷移層～彩層）
  - 可視光（数千度～数万度：彩層～光球[磁場]）
  - 電波[マイクロ波]（数百keV～数MeV：フレア時の非熱的電子  
1万度：彩層[静穏時]）
- これらのデータから、太陽大気現象の物理的描像を得る。

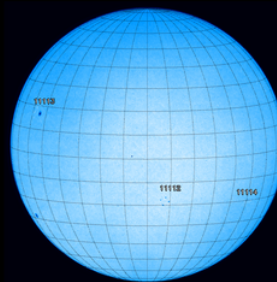
マイクロ波



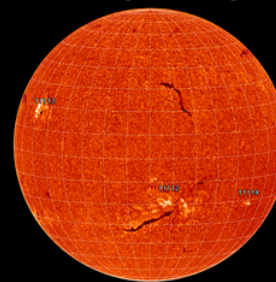
光球磁場[可視光]



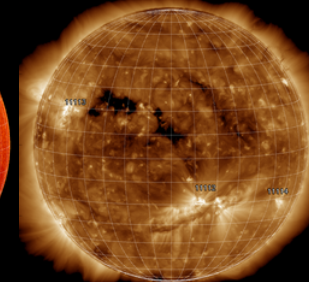
可視光



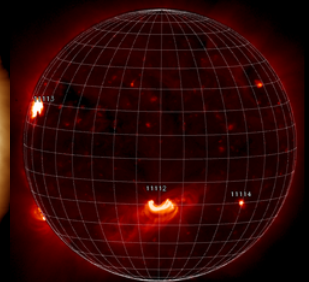
H $\alpha$ [可視光]



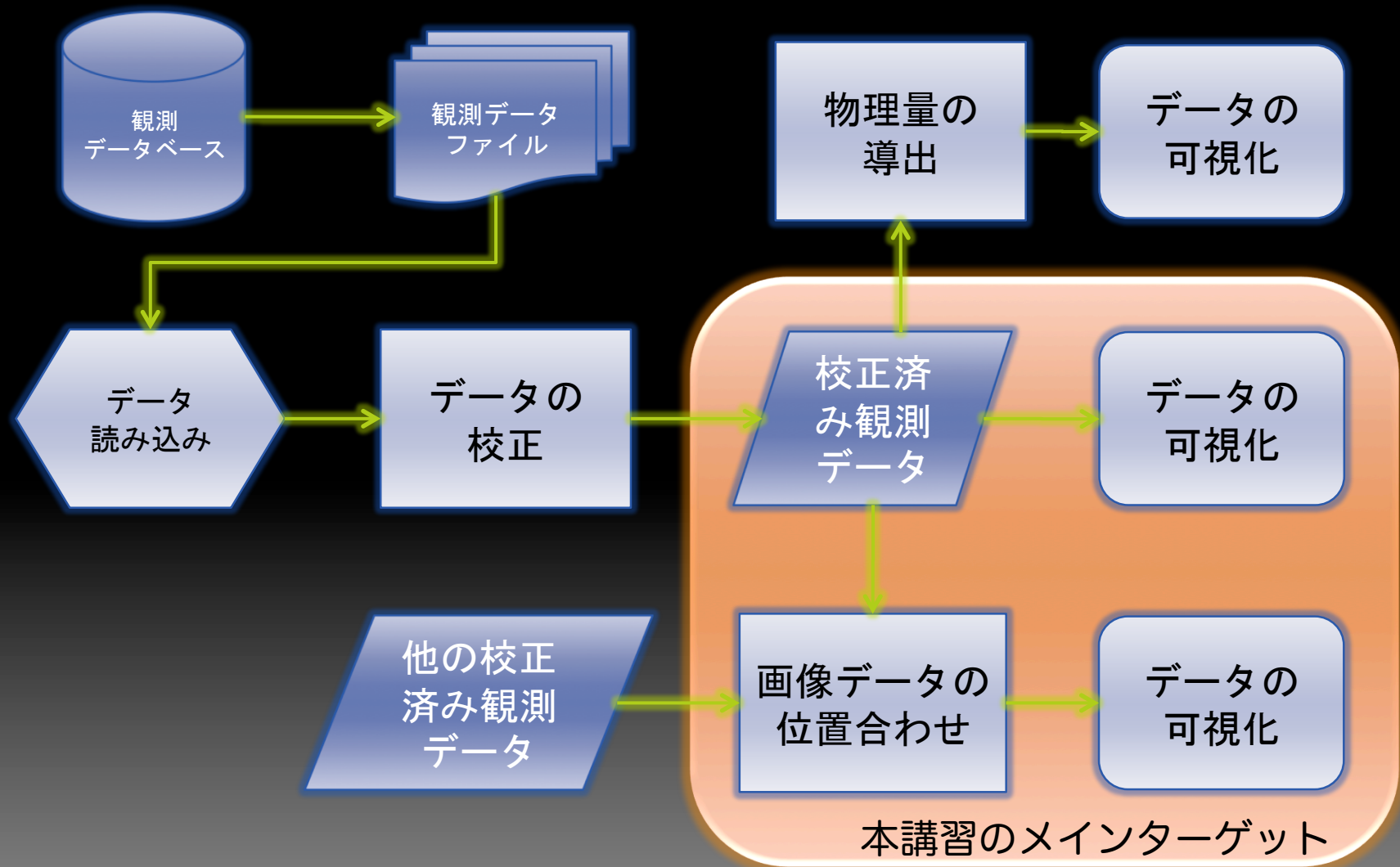
極端紫外線



X線



# 太陽データ解析の流れ



# 本初心者講習の流れ

1. 太陽観測データのフォーマット：講義
2. SSW-IDL 太陽用データ解析環境：講義
3. 野辺山電波ヘリオグラフ/RHESSI：講義
4. 野辺山太陽電波観測所の解析システム：実習 1
5. 観測データの読み込みから可視化：実習 1
  - データの読み込み
  - グラフ作成
  - ムービー作成
  - 2 波長の位置合わせ
6. 野辺山電波ヘリオグラフの像合成：実習 2

# 太陽観測データのフォーマット

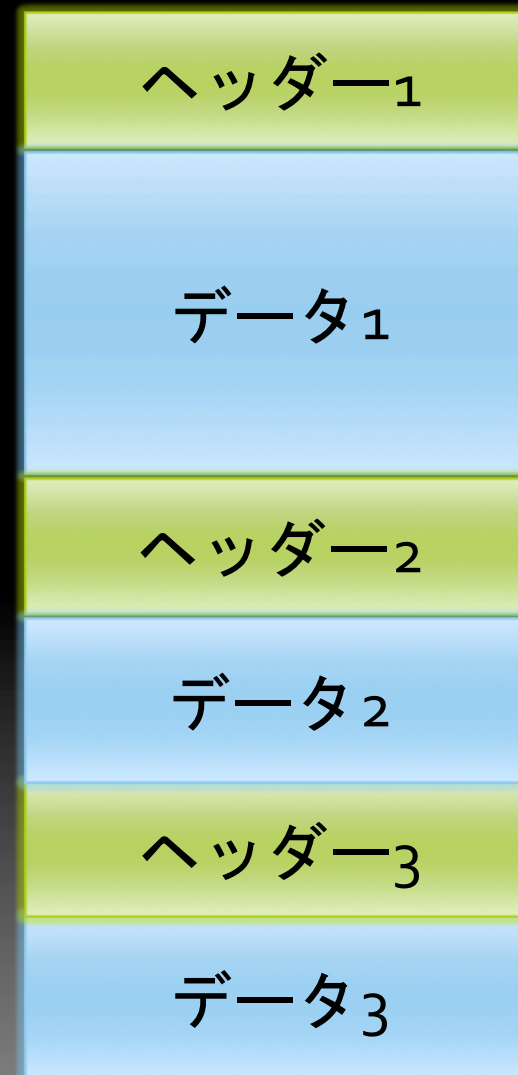
- 天文業界の標準のデータフォーマット

## Flexible Image Transport System [FITS]

- ファイル名は `****.fits` とか `****.fts` が標準的
- 天文のデジタルデータを交換するために1970年代に策定。そのため、1970年代の計算機による制限が一部残っている。
  - 例：ヘッダー1行は80文字という制限。
- 最近の太陽観測データは、ほぼFITSで保存。

# FITSファイルの中身

- Standard FITS
  - ファイルの頭にヘッダー
    - ヘッダー
      - ・ ファイル自身の説明
      - ・ 観測機器
      - ・ 観測パラメーター
        - ・ 観測波長
        - ・ 観測時間
        - ・ 露出時間
    - ヘッダーの後にデータ
      - データの中身は様々
        - ・ 多次元のデータアレイ
          - ・ 多いのは2次元画像
        - ・ 単なるBit列
          - ・ JPEG圧縮されたデータ
      - 最初データのあとに、ヘッダー+データを付け足してOK.



# FITSファイルの見方

- FITSビューワーが、Freeで手に入る。
  - 2次元画像を見るだけであれば、十分使える。
  - FITSビューワー
    - マカリ(NAOJ : Windows)
    - ds9 (SAO : Mac, Linux, Solairs, Windows)
    - fv (GSFC/NASA: Linux, Mac, Windows)  
＜下条のおすすめ＞
      - Standard 以外のFITSにも対応
      - FITSの編集も可能



# fvによるひので/XRT画像の可視化

The screenshot shows the fv software interface on a Mac OS X desktop. The main window displays a large grayscale image of the Sun, titled "Solar (arcsec)". A smaller inset window shows a zoomed-in view of the solar flare. The interface includes a menu bar, a toolbar, and several panels for file management and data viewing.

**fv: Header of XRT20101012\_060301.7.fits[0] in /Users/...**

SIMPLE	=	T	/ created Mon Oct 18 15:32:51 2
BITPIX	=	16	
NAXIS	=	2	
NAXIS1	=	1024	
NAXIS2	=	1024	
DATE	=	'2010-10-18T15:32:51.000'	/creation date
DATE_RFO	=	'2010-10-18T15:32:51.000'	/creation date
SATELLIT	=	33	
TELESCOP	=	'HINODE'	
INSTRUME	=	'XRT'	
TIMESYS	=	'UTC (TBR)'	
MDP_CLK	=	1113205813	
FILEORIG	=	'2010_1018_153157.sci'	
PIROW	=	0	
P2ROW	=	2047	
P1COL	=	0	
P2COL	=	2047	
TR_MODE	=	'FIX'	
IMG_MODE	=	1	
AEC_FLG	=	'off'	
AEC_TNUM	=	0	
AEC_RSLT	=	3	
ORIGIN	=	'JAXA/ISAS, SIRIUS'	
DATA_LEV	=	0	

**fv: Summary of XRT20101012\_060301.7.fits in /Users/shimojo/Desktop/**

Index	Extension	Type	Dimension	View
<input type="checkbox"/> 0	Primary	Image	1024 X 1024	Header Image



# 主なFITSヘッダーのキーワード

- 以下のキーワードは、太陽それ以外を問わず同じ。
  - NAXIS : 何次元のデータか？
  - NAXIS? : ?次元目のデータ数
  - TELESCOP : 望遠鏡/衛星の名前
    - INSTRUME : 望遠鏡/観測装置の名前
  - DATE-OBS : 観測日時
  - EXPTIME : 露出時間
  - CDELT? : ?次元面 1 ピクセル当たりのサイズ (ピクセルサイズ)
- 太陽データでよく使われるキーワード
  - XCEN(YCEN) : 画面中心の太陽座標 (heliocentric coordinate)
  - WAVELENGTH : 観測波長

# FITSビューワの良い点/出来ない事

- 良い点

- 手軽にFITSデータを見ることができる。
- いろんなプラットフォームで使える。

- 出来ない点

- 多くのビューワは、Standard FITSにしか対応していない。
- 校正など、複雑なデータ処理が出来ない。
- **動画としてデータを見れない。**

# 天文データの解析ツール

- X線天文学：  
FTOOL（UNIX上で動くの独自コマンド群）  
で解析
- 光赤外天文学：  
IRAF（独自ソフトウェア）で解析
- 電波天文学：  
CASA(Pythonベースの独自ソフトウェア)  
で解析（旧AIPS/AIPS++）
- 太陽物理学：  
IDL（汎用画像解析ソフト）＋  
SSW（太陽解析用パッケージ）で解析

# IDL: Interactive Data Language

- 元々は、水星探査機マリーナ7/9号のデータ解析用に作成された解析言語
- FORTRANライクな文法
- インタラクティブにコマンドを実行
- グラフ化/可視化が非常に簡単
- プログラムも組める。
  - 概要は、ITTVISのサイトおよびWikipediaを参照
- 問題点：売り物で高価（販売元: ITTVIS)

# SSW: SolarSoftware

- 「ようこう」衛星(1992年打ち上げ)のデータ解析の為に構築された、IDL用解析パッケージが起源。
- 「ようこう」以降の太陽観測衛星および太陽観測装置のほとんどが、IDL+SSW上で解析可能。
- 各観測装置用の解析ソフトは、各装置のPIが準備。
- とりまとめは、LMSALのFreeland氏が行っている。
- このため、太陽研究者はIDL+SSW中毒的な状況。IDL+SSWないと、太陽のデータが解析できない。

詳しくは、実習で説明します。

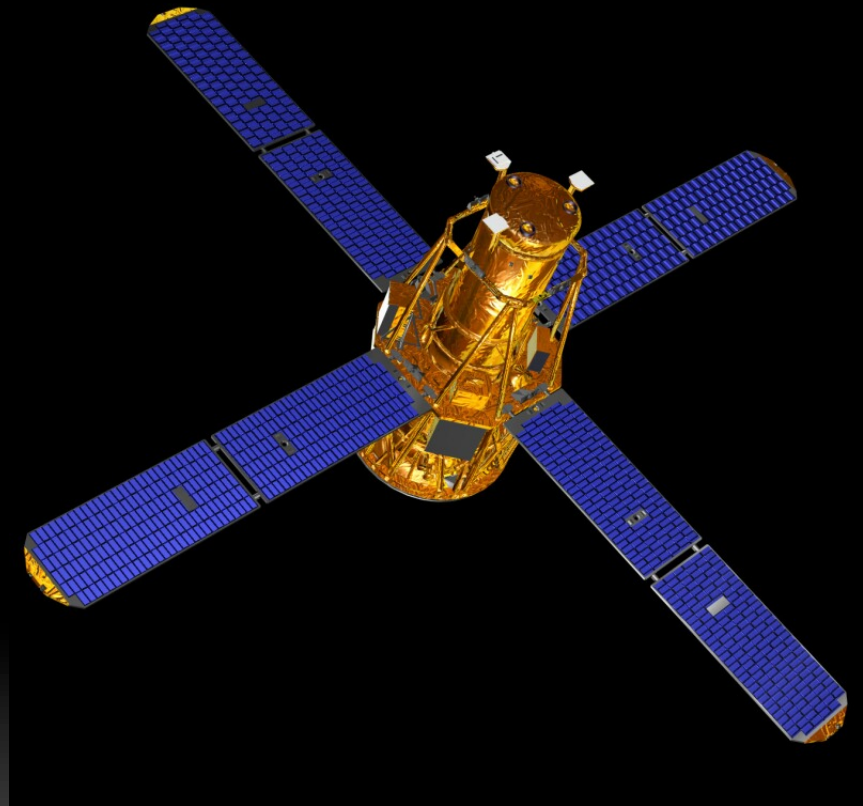
# 野辺山電波ヘリオグラフ(NoRH)

- 太陽専用の電波干渉計
- 視野：太陽全面
- パラボラ口径：84cm
- アンテナ数：84台
- 基線長：
  - 東西500m, 南北250m
- 観測周波数：17GHz, 34GHz
- 空間分解能：10" @ 17GHz, 5" @ 34GHz
- 偏波測定：17GHzのみ円偏光を測定可
- 時間分解能：
  - イベント時：0.1 sec, 定常時：1 sec
- 定常観測開始：1992年7月
  - 34GHzは、1995年11月から観測開始
- 観測時間：7:30~15:30JST (季節により15分程変動)



# Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI)

- 観測波長域  
3keV~17MeV
- フーリエ合成型望遠鏡
- 空間分解能 (最高)
  - <100keV = 2秒角
  - <400keV = 7秒角
  - >1 MeV =36秒角
- 波長分解能
  - <100keV = 1keV
  - <1MeV = 3keV
  - <20MeV = 5keV
- 時間分解能 0.1秒  
画像は最大2秒に1枚



最大の売り文句  
「ガンマ線でも、撮像できます！」  
(ただし、カウントがあれば・・・。)



# 電波と硬X線の観測が抱える同じ悩み



- 可視光のように、鏡やレンズが使えない。
  - 電波：鏡やレンズを巨大化する必要がある。
  - 硬X線：レンズでは屈折せず、鏡では反射せずに透過してしまう。
- 解決方法 →  
    天空のフーリエ成分を観測して、計算機内でフーリエ逆変換

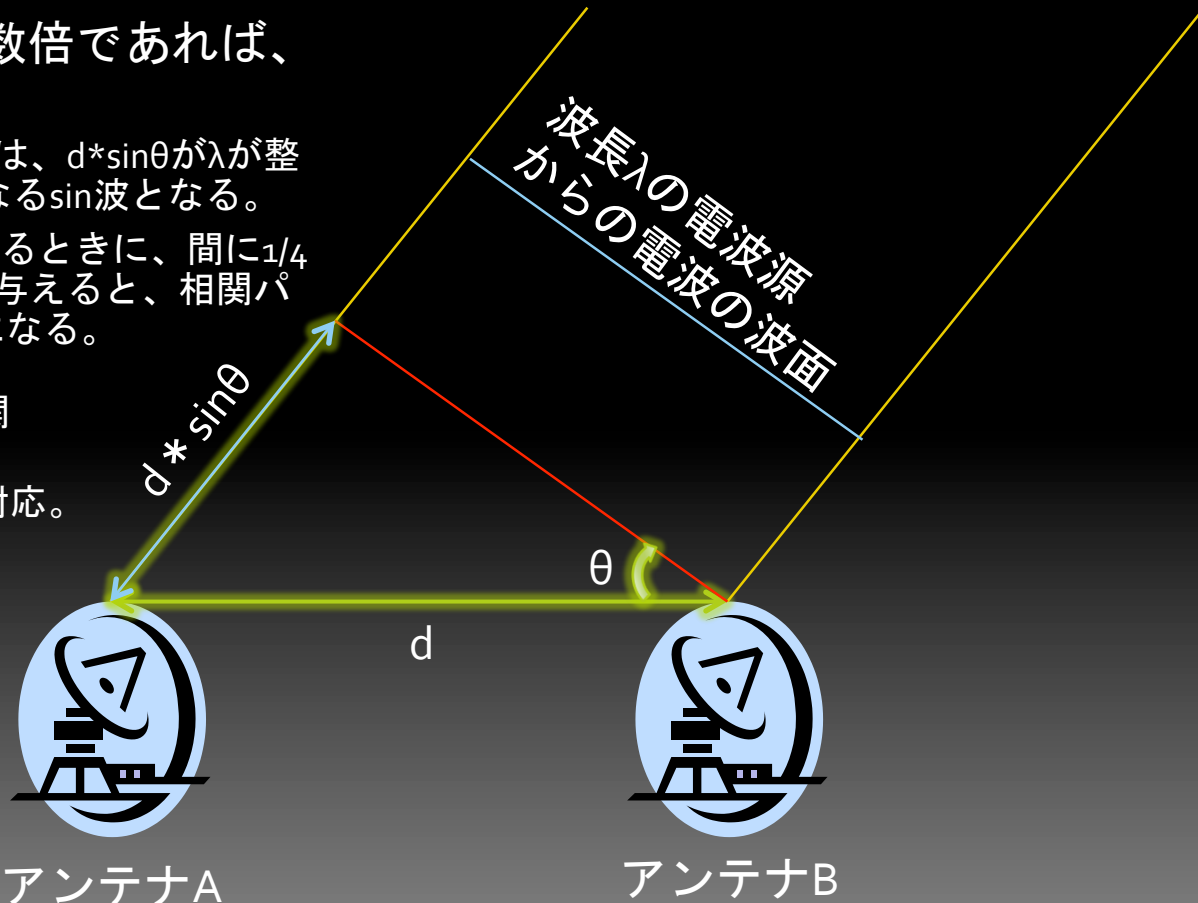
# 天空のフーリエ成分の観測方法：電波

- 基本：2つのある距離 $d$ [基線長]はなれたアンテナの出力の相関をとる。

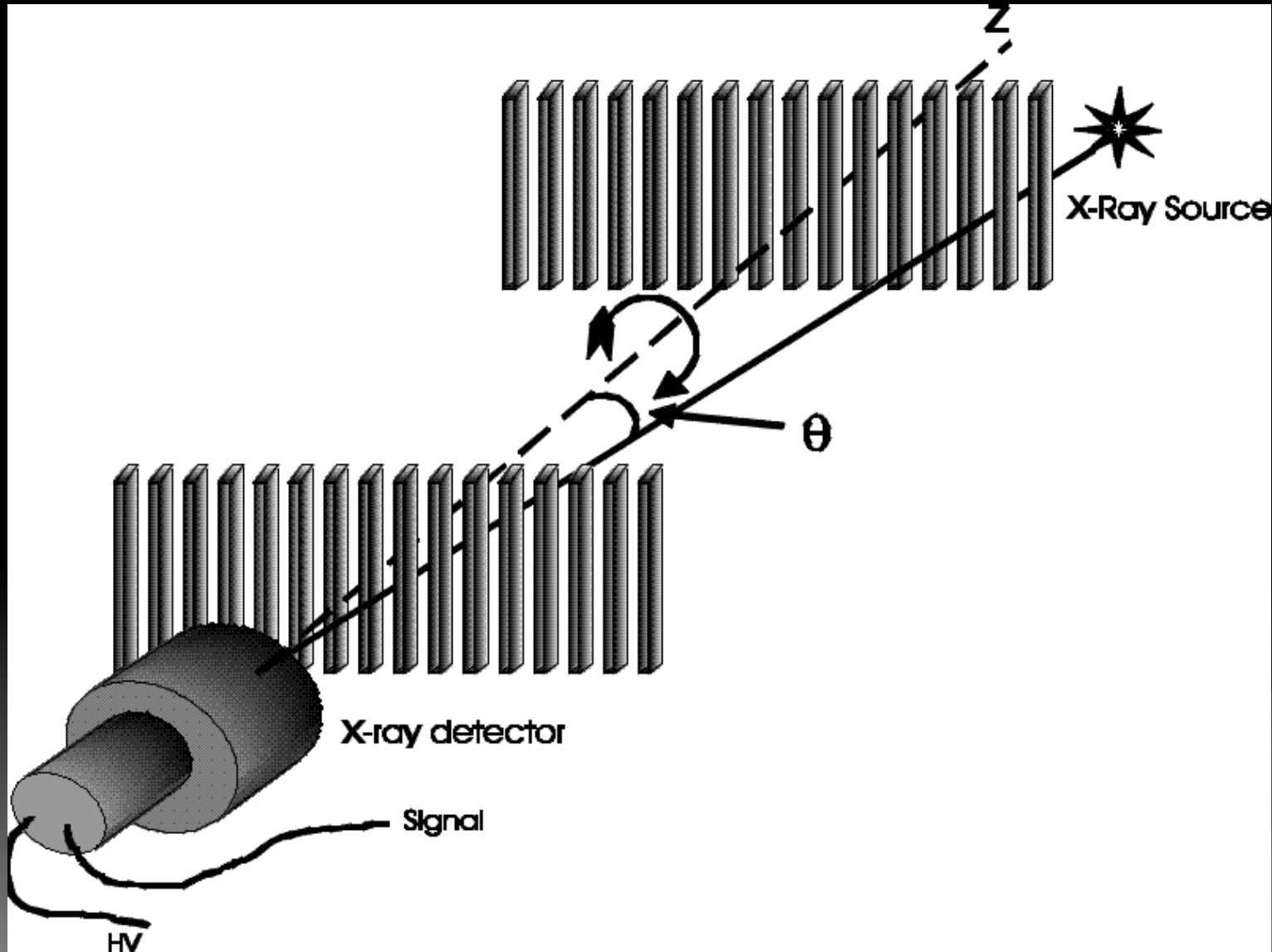
- $d \cdot \sin\theta$ が $\lambda$ の整数倍であれば、干渉が発生。
  - 相関のパターンは、 $d \cdot \sin\theta$ が $\lambda$ が整数倍の $\theta$ が山となるsin波となる。
  - AとBの相関を取るときに、間に $1/4$ 波長分の遅延を与えると、相関パターンはcos波になる。

2つのアンテナの出力の相関  
を取る事=フーリエ級数の  
ある周期の $a_n, b_n$ を得る事に対応。

$d$ が長ければ、短周期  
 $d$ が短ければ、長周期の  
成分を得る事に対応。



# 天空のフーリエ成分の観測方法：硬X線



## 電波干渉計・フーリエ合成型望遠鏡のデータ

- どちらも観測データは、天空のフーリエ成分
  - 直接データを見ても、画像ではない。
- 画像を合成する為には、専用のソフトが必要
  - NoRH/RHESSI共にSSW+IDL上にソフトを完備
- 明日の午前中に、NoRHの画像合成実習を行います。