

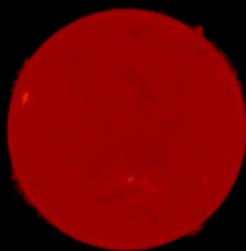
太陽多波長フレアデータ解析研究会 NSRO-CDAW11  
初心者講習 1 : 講義  
太陽観測データ解析概論

2011/11/07@野辺山太陽電波観測所

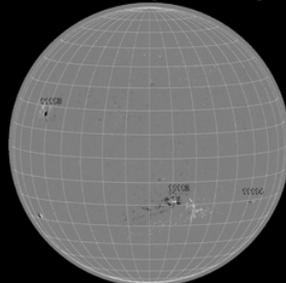
# 太陽観測データ解析とは？

- 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。

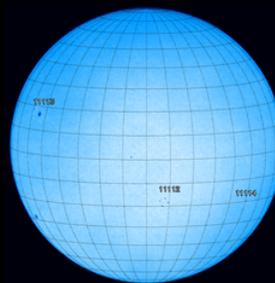
マイクロ波



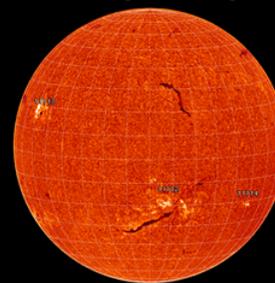
光球磁場[可視光]



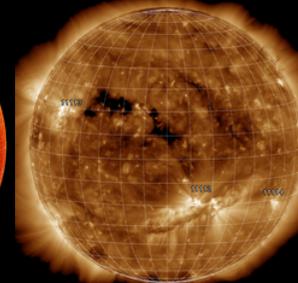
可視光



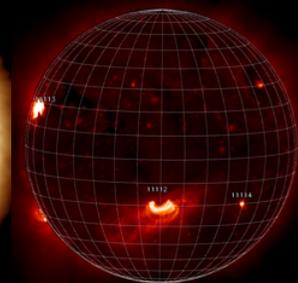
H $\alpha$ [可視光]



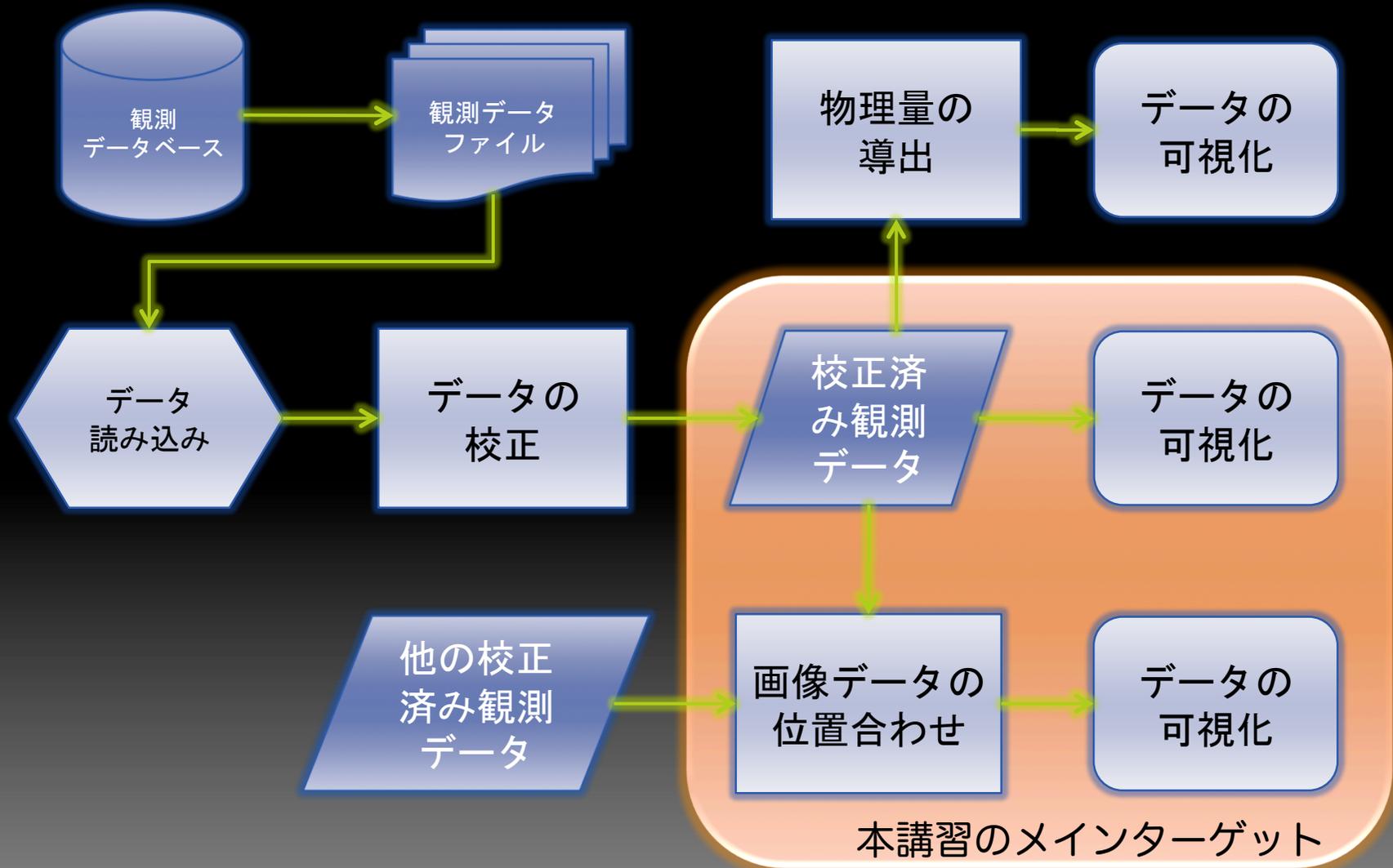
極端紫外線



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：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

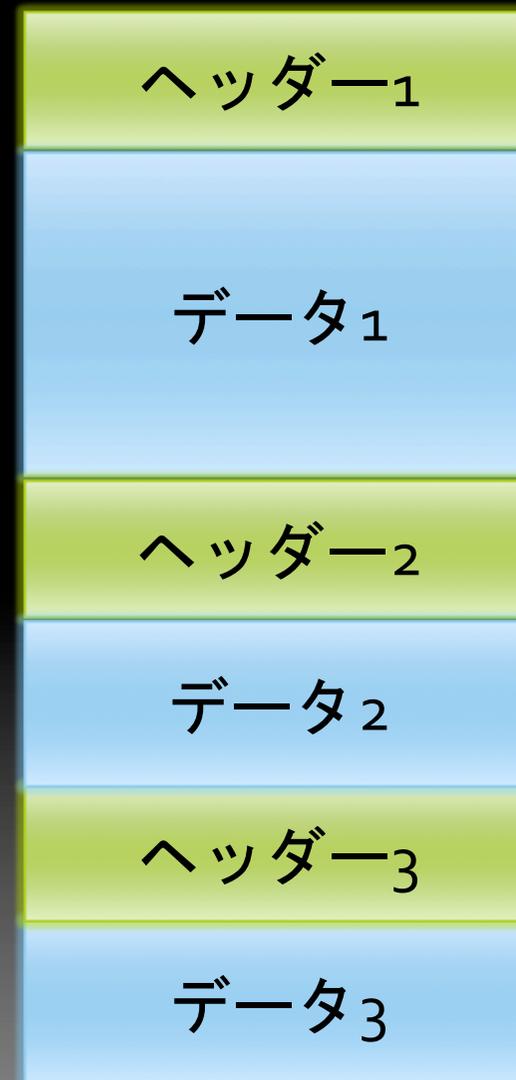
- 天文業界の標準のデータフォーマット

## 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, with a bright solar flare visible. The image is titled "Solar (arcsec)".

The header information window shows the following details:

```
File Edit Tools
Search for: [ ] Find Case sensitive? No
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
PICOL = 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
```

The table window shows the following data:

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)
  - WAVELNTH : 観測波長

# FITSビューワの良い点/出来ない事

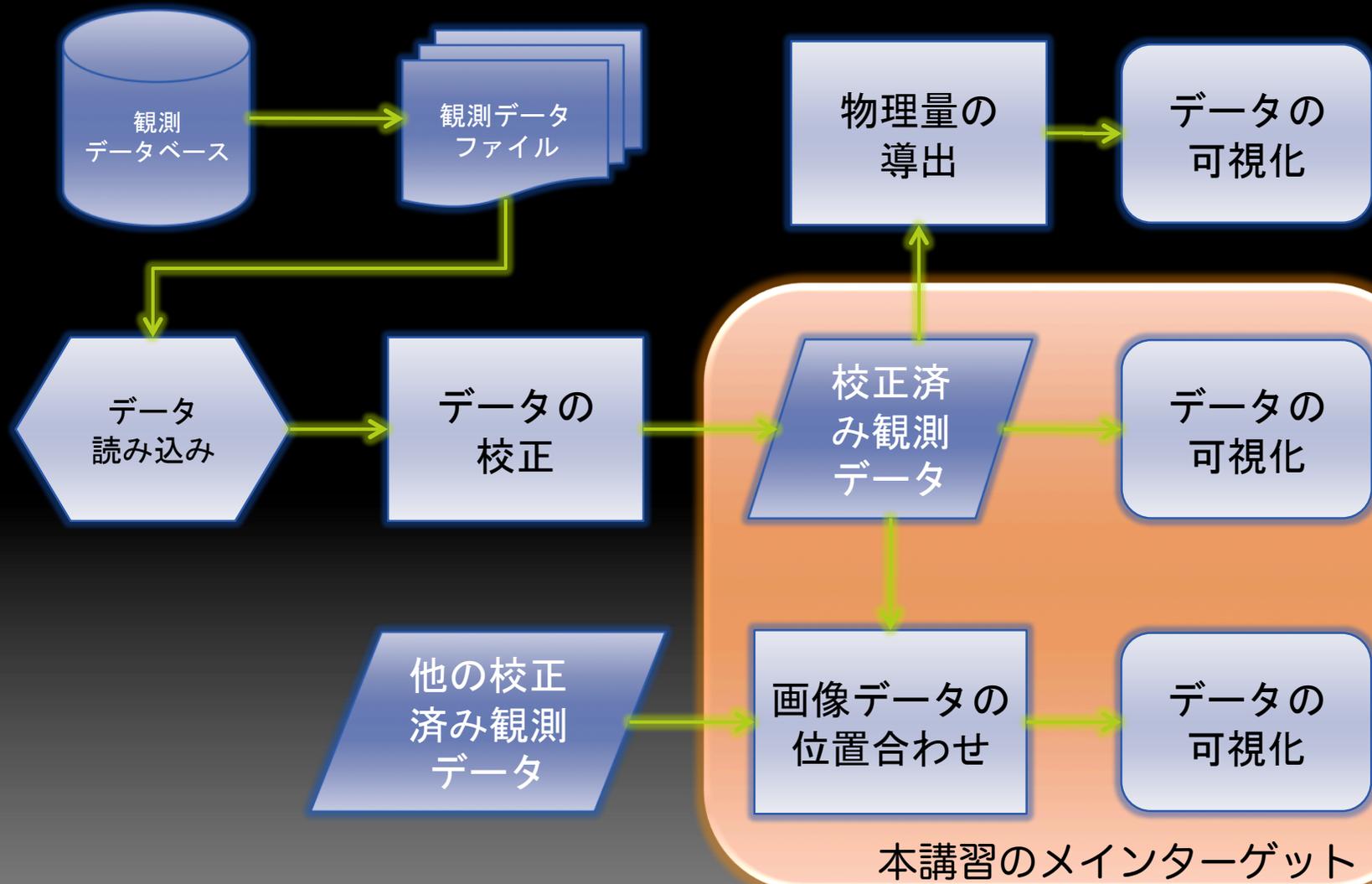
- 良い点

- 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。**

# 太陽データ解析の流れ



# 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。

# 本初心者講習の流れ

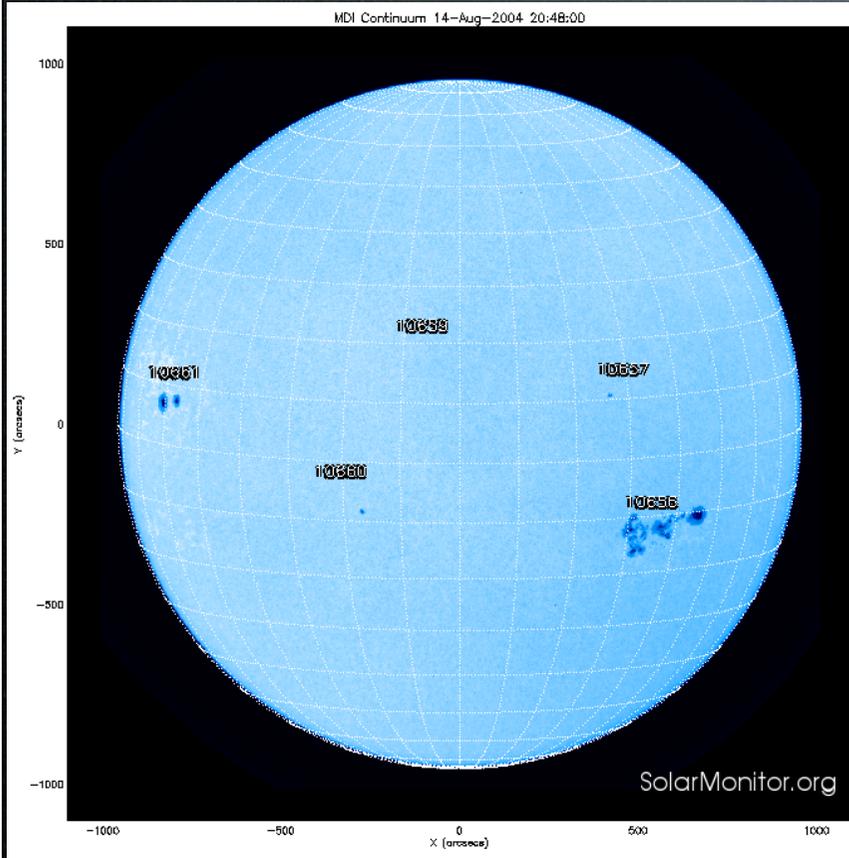
1. 太陽観測データのフォーマット：講義
2. SSW-IDL 太陽用データ解析環境：講義
3. 野辺山電波ヘリオグラフ：講義
4. 野辺山太陽電波観測所の解析システム：実習 1
5. 観測データの読み込みから可視化：実習 1
  - データの読み込み
  - グラフ作成
  - ムービー作成
  - 2 波長の位置合わせ
6. 野辺山電波ヘリオグラフの像合成：実習 2

# 野辺山電波ヘリオグラフ(NoRH)

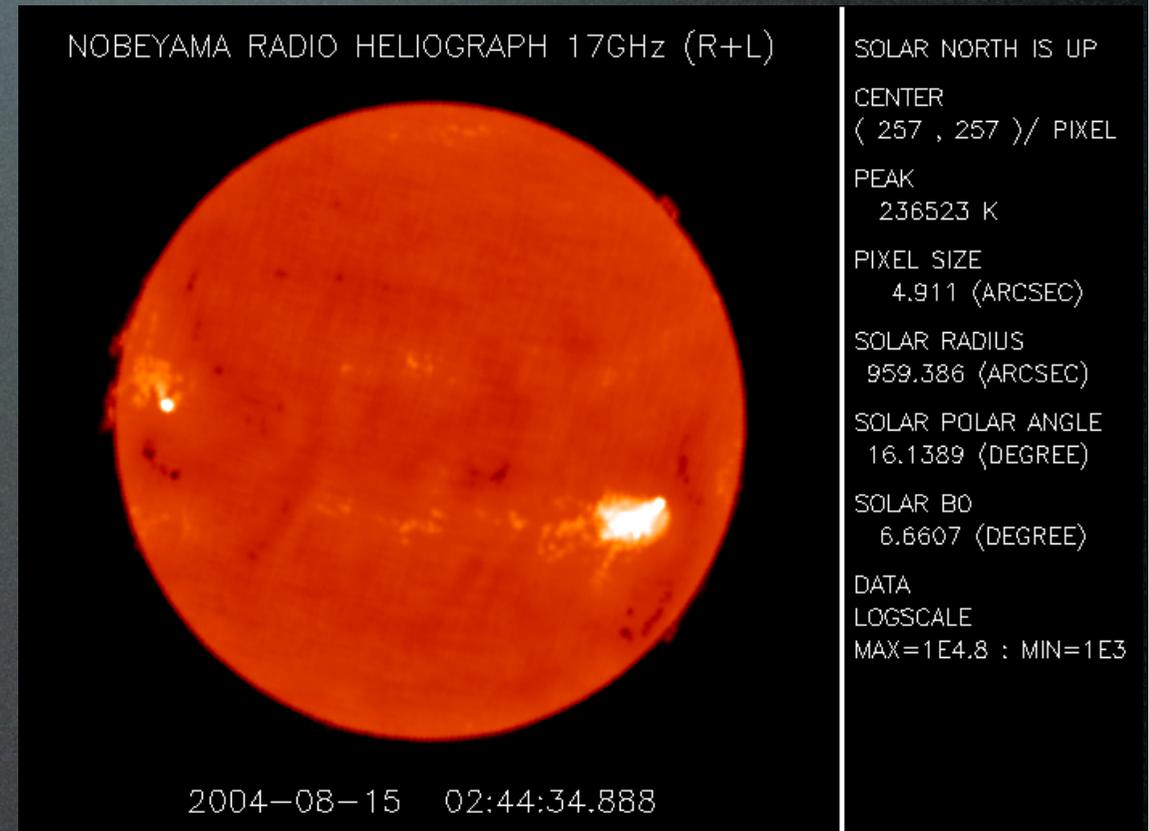
- 太陽専用の電波干渉計
- 視野：太陽全面
- パラボラ口径：84cm
- アンテナ数：84台
- 基線長：
  - 東西500m, 南北250m
- 観測周波数：17GHz, 34GHz
- 空間分解能：10" @ 17GHz, 5" @ 34GHz
- 偏波測定：17GHzのみ円偏光を測定可
- 時間分解能：
  - イベント時：0.1 sec, 定常時：1 sec
- 定常観測開始：1992年7月
  - 34GHzは、1995年11月から観測開始
- 観測時間：7:30~15:30JST (季節により15分程変動)



# 野辺山電波ヘリオグラフで見た太陽



可視光  
(MDI/SOHO)



電波[17 GHz]  
(野辺山電波ヘリオグラフ)

## この話の主題

# 電波画像は何を見ているのか？

◎ 何が電波[マイクロ波]を出しているのか？

✓ 何の情報が電波から得られるのか？

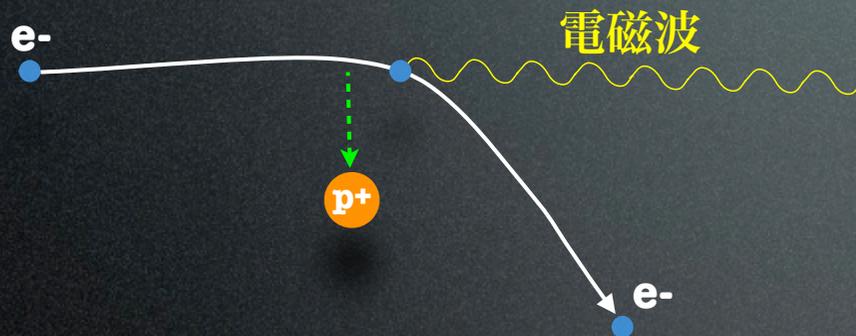
◎ 電波の像を作るには・・・

◎ “これまで”・”これから”の太陽電波観測

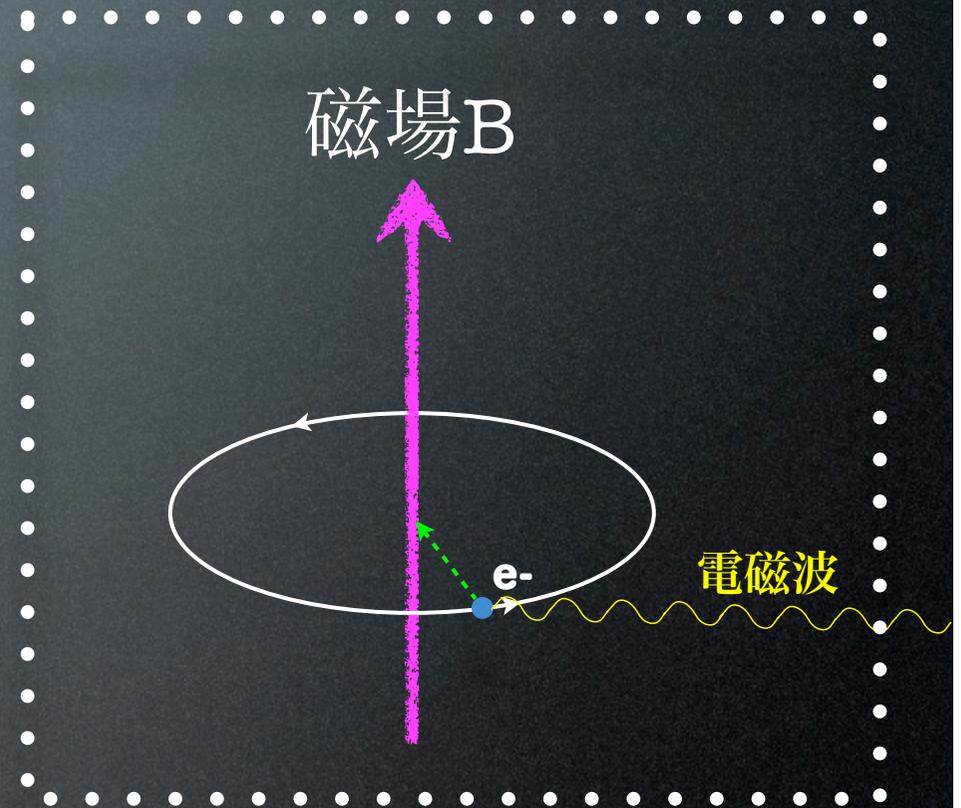
# 太陽大気は何から出来てる？

- 太陽は水素、ヘリウム、・・・のガス玉
- 太陽大気は温度 4000 K--1 MK
  - 太陽大気の至る所で、電離(イオン化)が起こっている。⇒太陽大気は電気を通す気体。
- 電気を通す気体 ⇒ “**プラズマ**”
  - 負の電荷を持つ電子と正の電荷を持つ陽子・イオンが”**自由**”に飛び回っている。

# 本当は自由に動けない荷電粒子



クーロン力による偏向  
(クーロン衝突)



ローレンツ力による偏向  
(ジャイロ運動)

荷電粒子が加速度運動すると、電磁波が放射される。

# ジャイロ運動によって

## マイクロ波を出す電子とは？

- ジャイロ運動によって放射される電磁波の周波数
- ジャイロ運動の周期  $\Omega_e \times n$  (整数)

$$\Omega_e \equiv eB/mc \sim 0.2 (B/10 \text{ Gauss}) \text{ GHz}$$

e:電荷  
B:磁場  
m:電子の質量  
c:光速

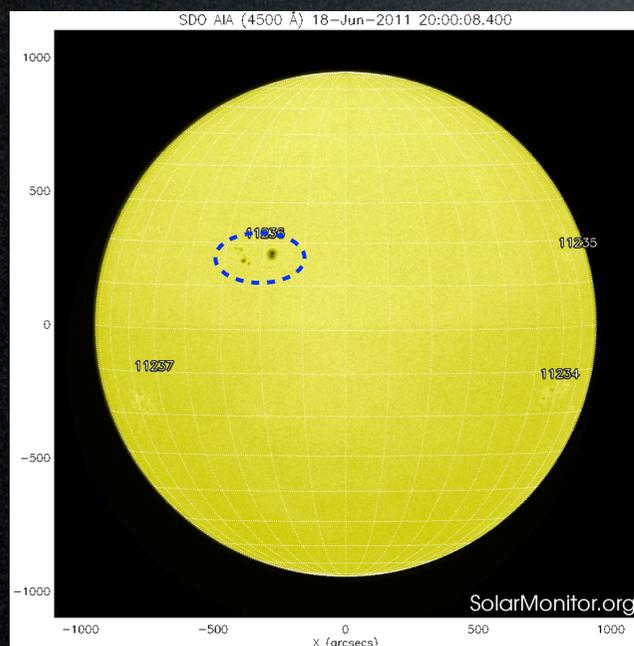
- nは、電子のエネルギー（速度）によって決まる。
  - 数千～数百万度の熱速度  $\Rightarrow n = 1, 2 \dots < 5$ 
    - 17GHzを出そうとすると、  
B=850[425] Gauss (n=1[2]) が必要  $\Rightarrow$  黒点付近
  - 高エネルギーの電子[MeV]  $\Rightarrow n > 5$ 
    - 高エネルギー電子がある場所・時間  $\Rightarrow$  フレア

# 黒点周辺で見える

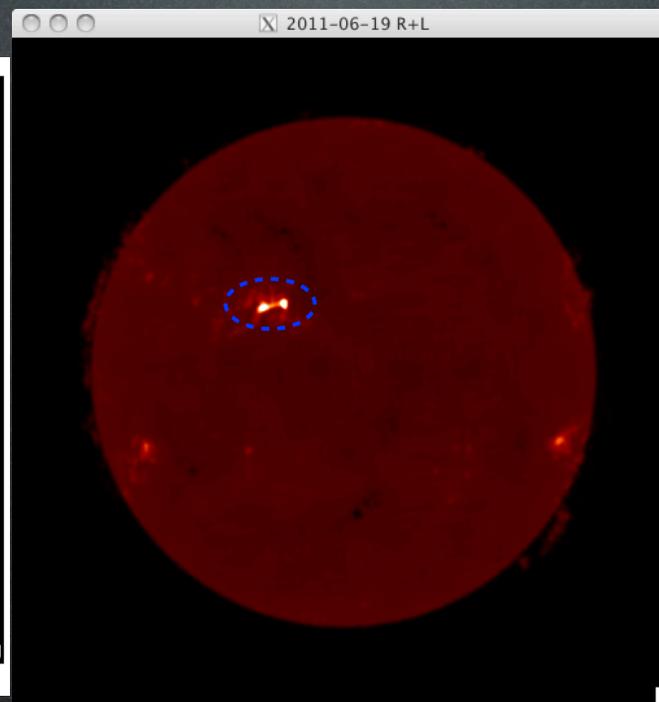
## ジャイロレゾナンス放射

- ジャイロレゾナンス：  
磁場が十分強く、熱運動している電子からマイクロ波が放射される機構

可視光



17GHz 強度



17GHz 円偏波率



ジャイロレゾナンスによる放射は磁場強度により円偏波率が増大。磁場の情報が得られる。

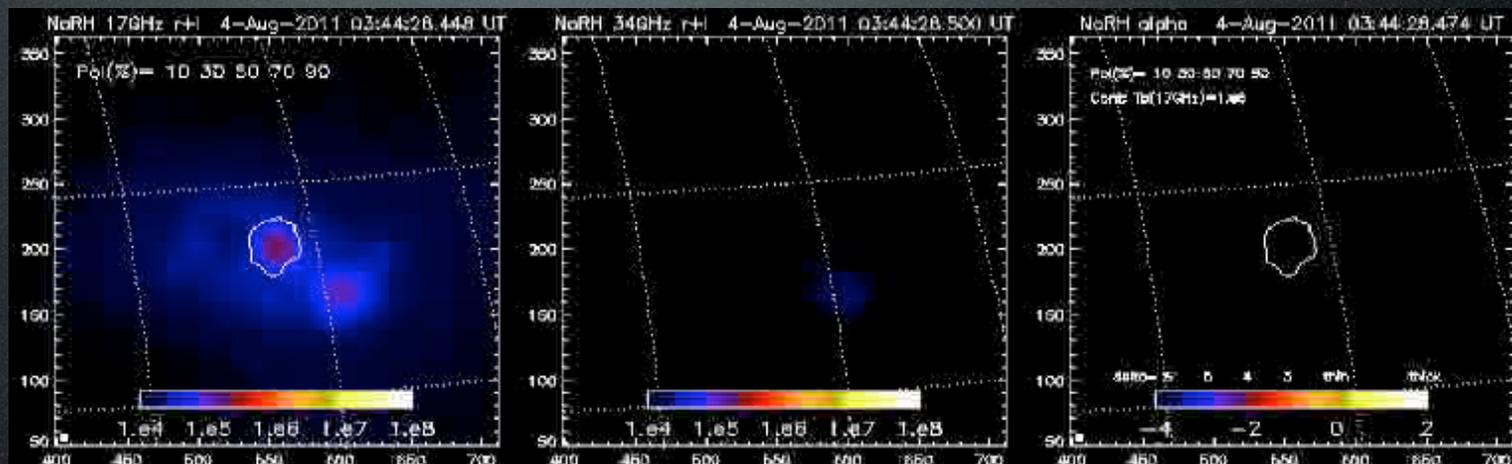
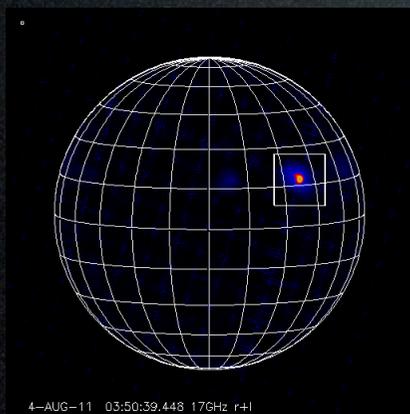
# フレア時に見られる ジャイロシンクロトロン放射

- ジャイロシンクロトロン:

電子の速度が十分早く (高速の数10%)  $n$ が大きい放射

注: 電子の速度がほぼ光速の場合は"シンクロトロン放射"という。円偏波は出ず、直線偏波しか出ない。

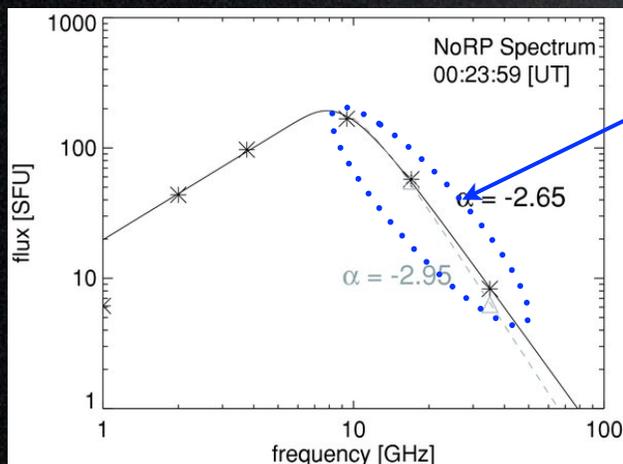
2011/8/4 Flare



17 GHz

34 GHz

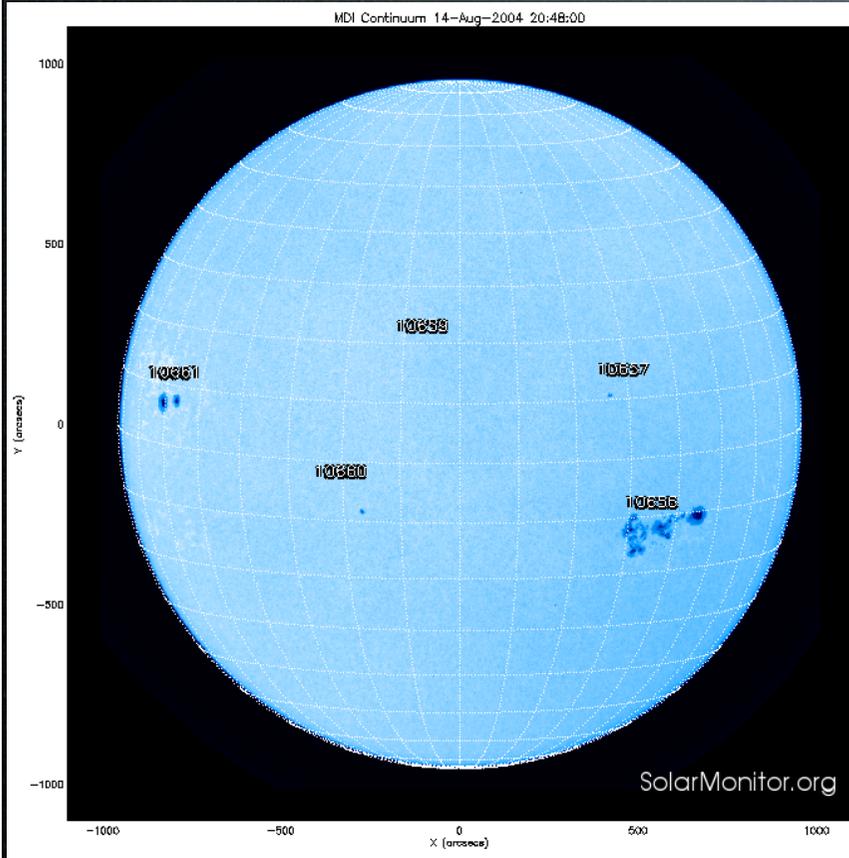
スペクトル [34/14]



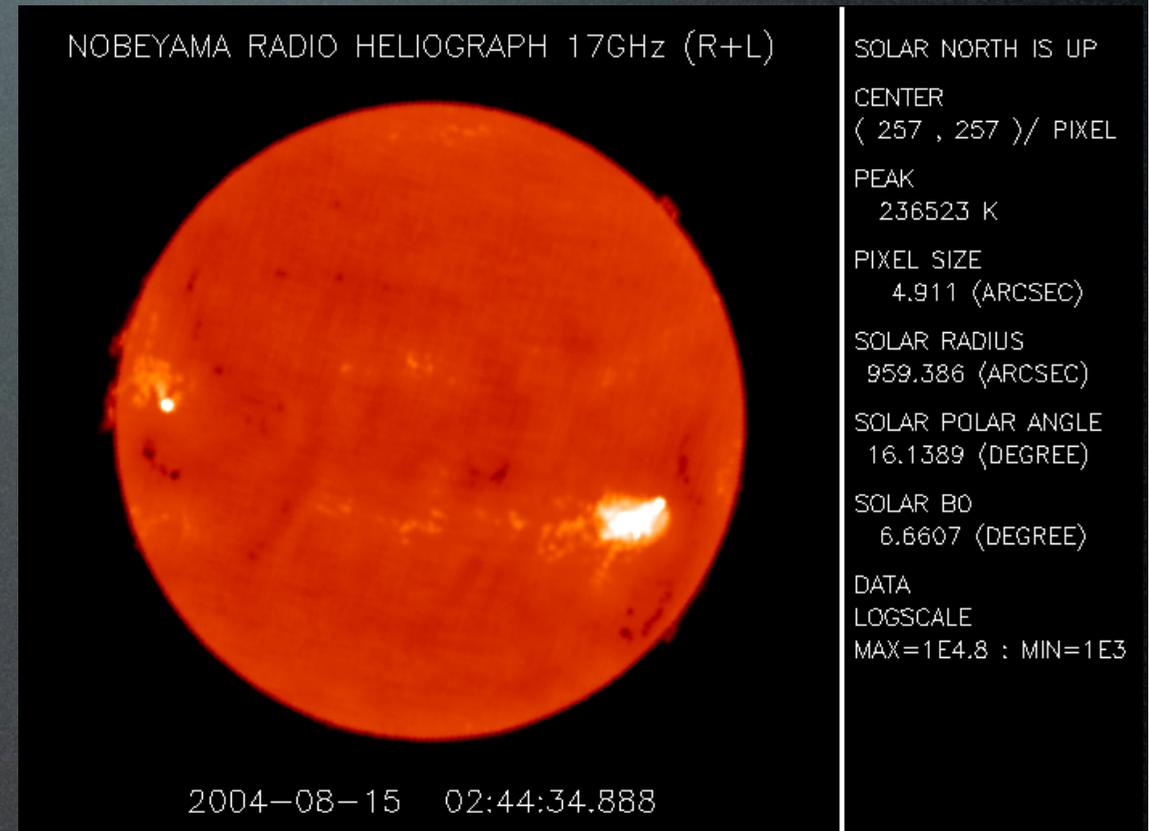
このスペクトルが電子のエネルギーの分布を示している。

シンクロトロン放射の画像とスペクトルを得る事で、  
どこに、どの程度のエネルギーの電子が居るかがわかる。

# 野辺山電波ヘリオグラフで見た太陽

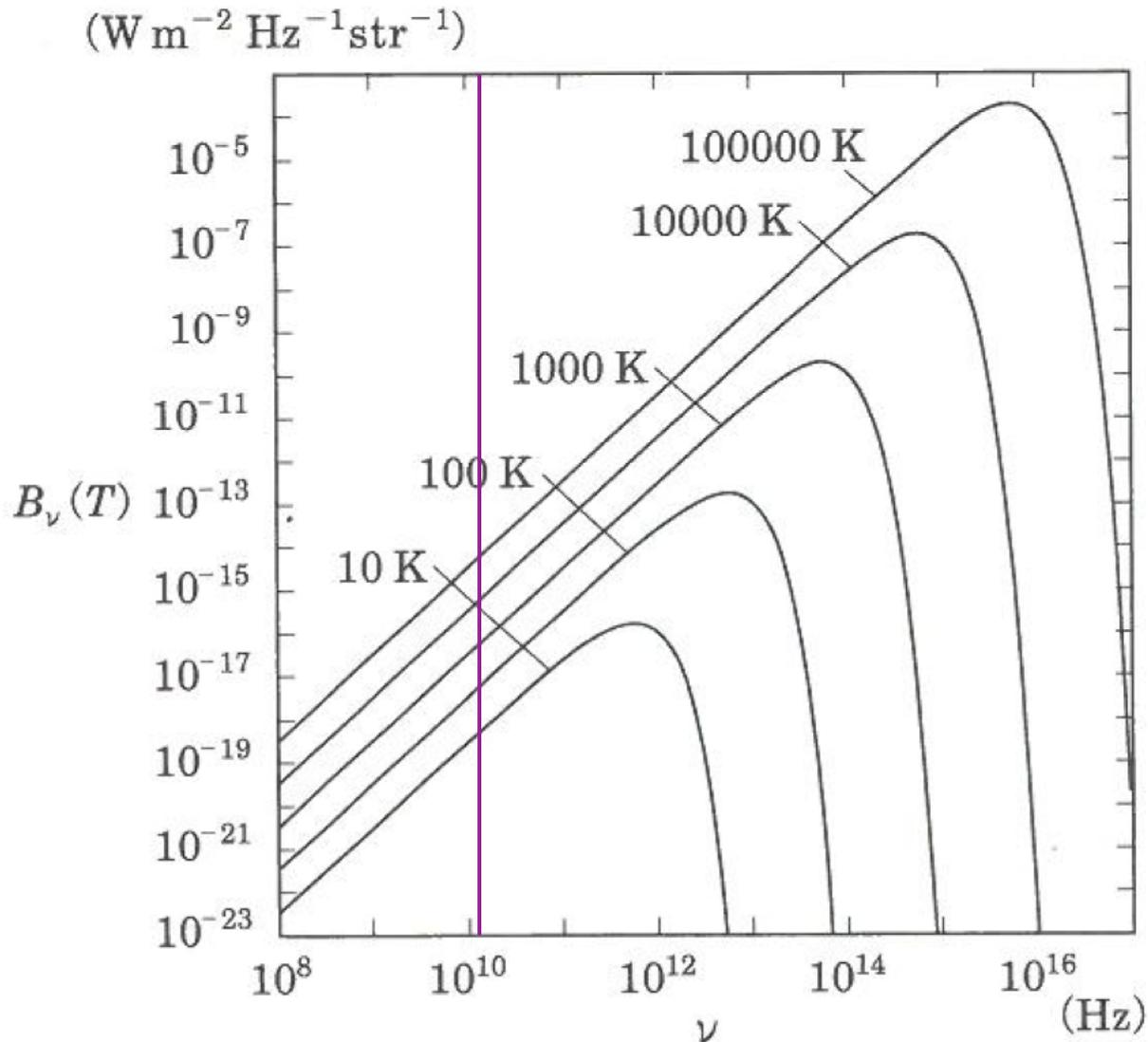


可視光  
(MDI/SOHO)



電波[17 GHz]  
(野辺山電波ヘリオグラフ)

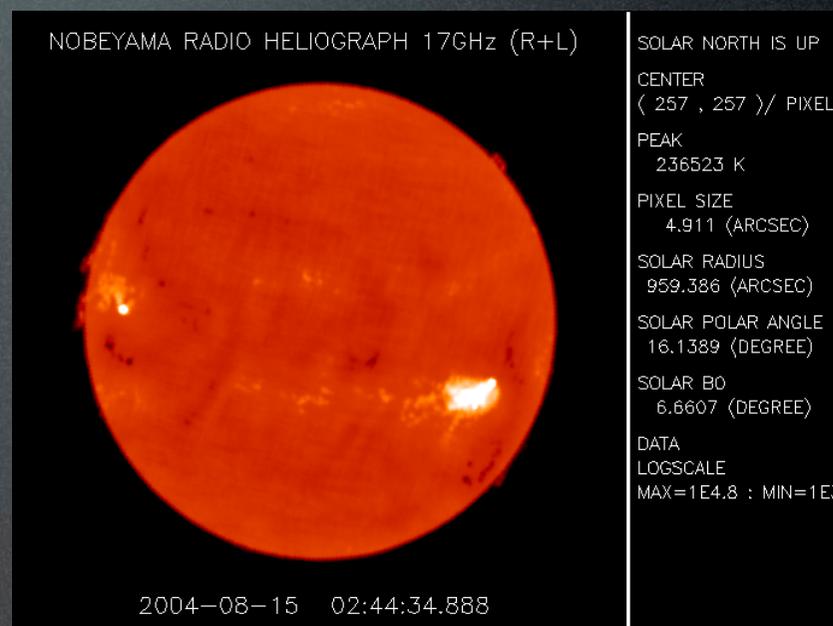
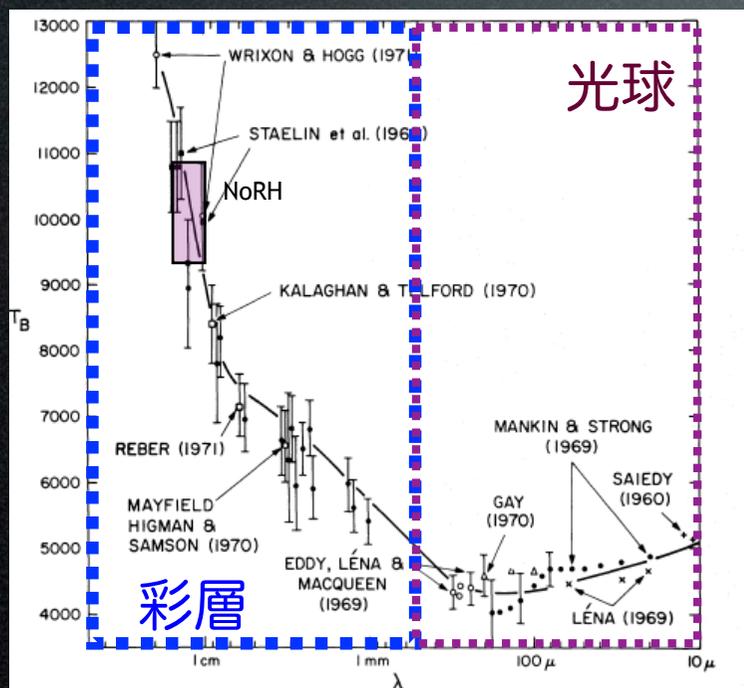
# 大いなる熱放射 [黒体放射]



- NoRHで見えている円盤のほとんどはこれ。
- 光学的に厚い場合、温度で放射強度が決まる。

# 17GHzのディスクは どこを見ているのか？

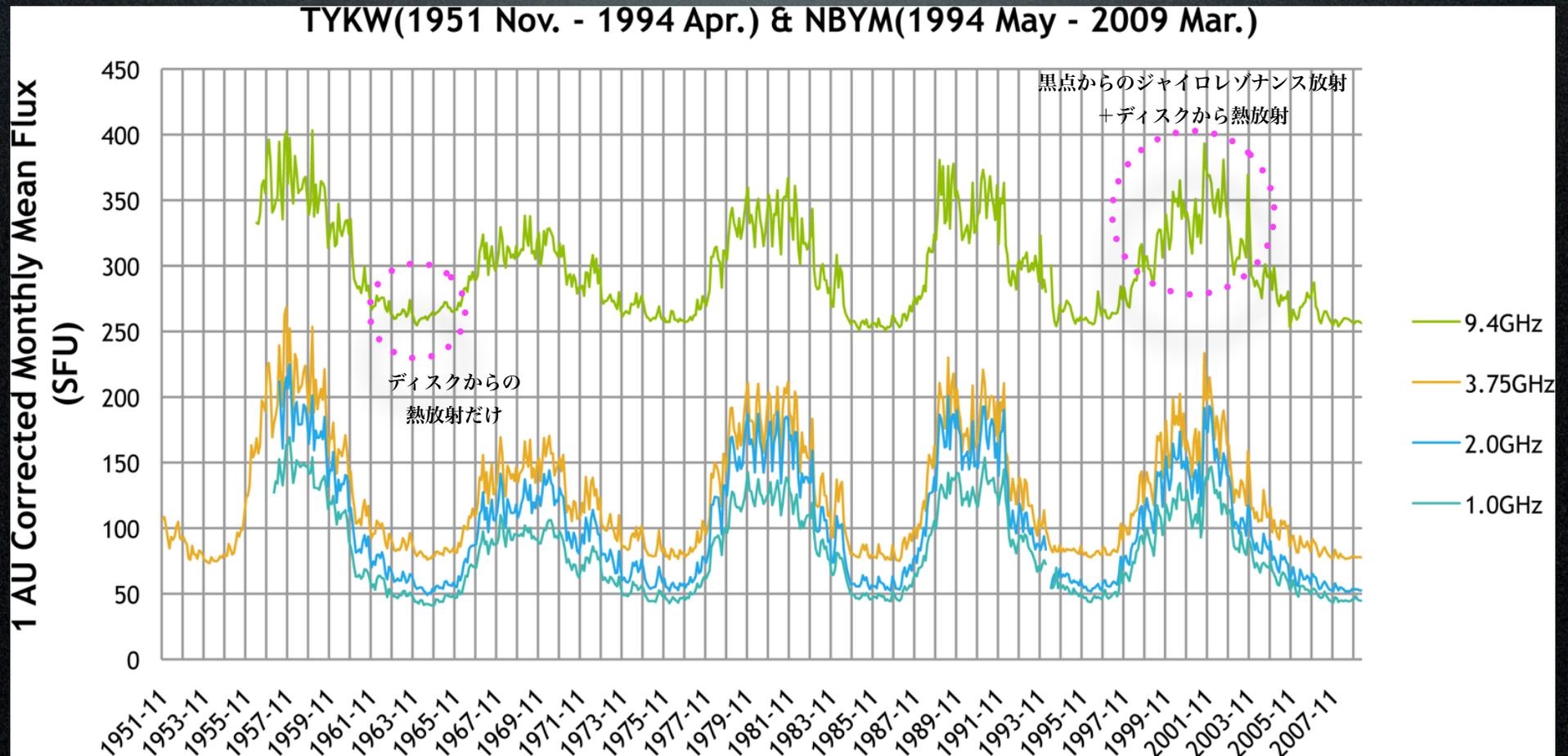
- 輝度温度：電波の強度の指標。
  - その放射が、光学的に厚いプラズマから来ていれば、**輝度温度=プラズマの温度**
  - ディスクからのマイクロ波放射は、ほぼ光学的に厚いプラズマからの放射。



17GHzでのディスクでの平均輝度温度=約1万度  
⇒17GHzのディスクは、彩層を見ている。

# NoRP長期変動の解釈

- 電波の変動と黒点数の変動は同期している。
- NoRPの長期変動にフレアは入っていない。



# 講義終了

- 休憩です。
- この休憩の間に本館に行って、宿泊のチェックインをして、荷物を宿泊部屋に移動してください。
- チェックイン・荷物の移動が終わったら、ヘリオグ棟（この建物）に戻って、2階の解析室（21号室）に集合してください。
- 皆さんが集合したら、実習1を開始します。