

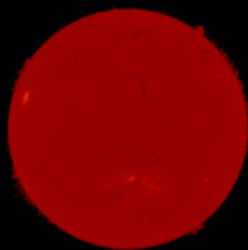
太陽多波長フレアデータ解析研究会 NSRO-CDAW11
初心者講習 1 : 講義
太陽観測データ解析概論

2011/11/07@野辺山太陽電波観測所

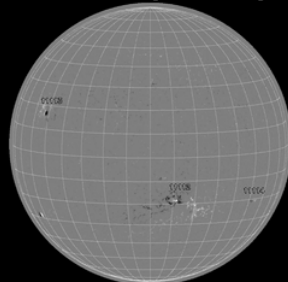
太陽観測データ解析とは？

- 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。

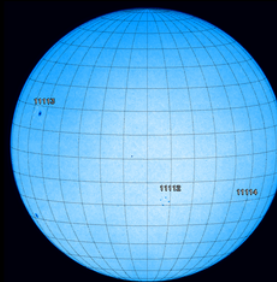
マイクロ波



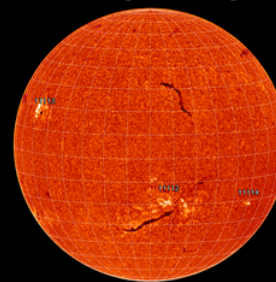
光球磁場[可視光]



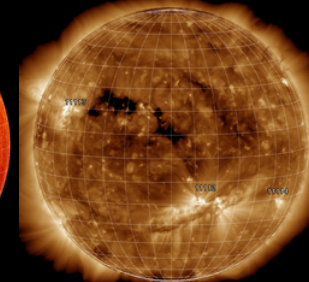
可視光



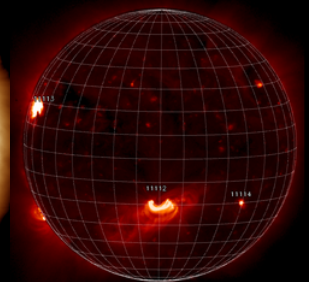
H α [可視光]



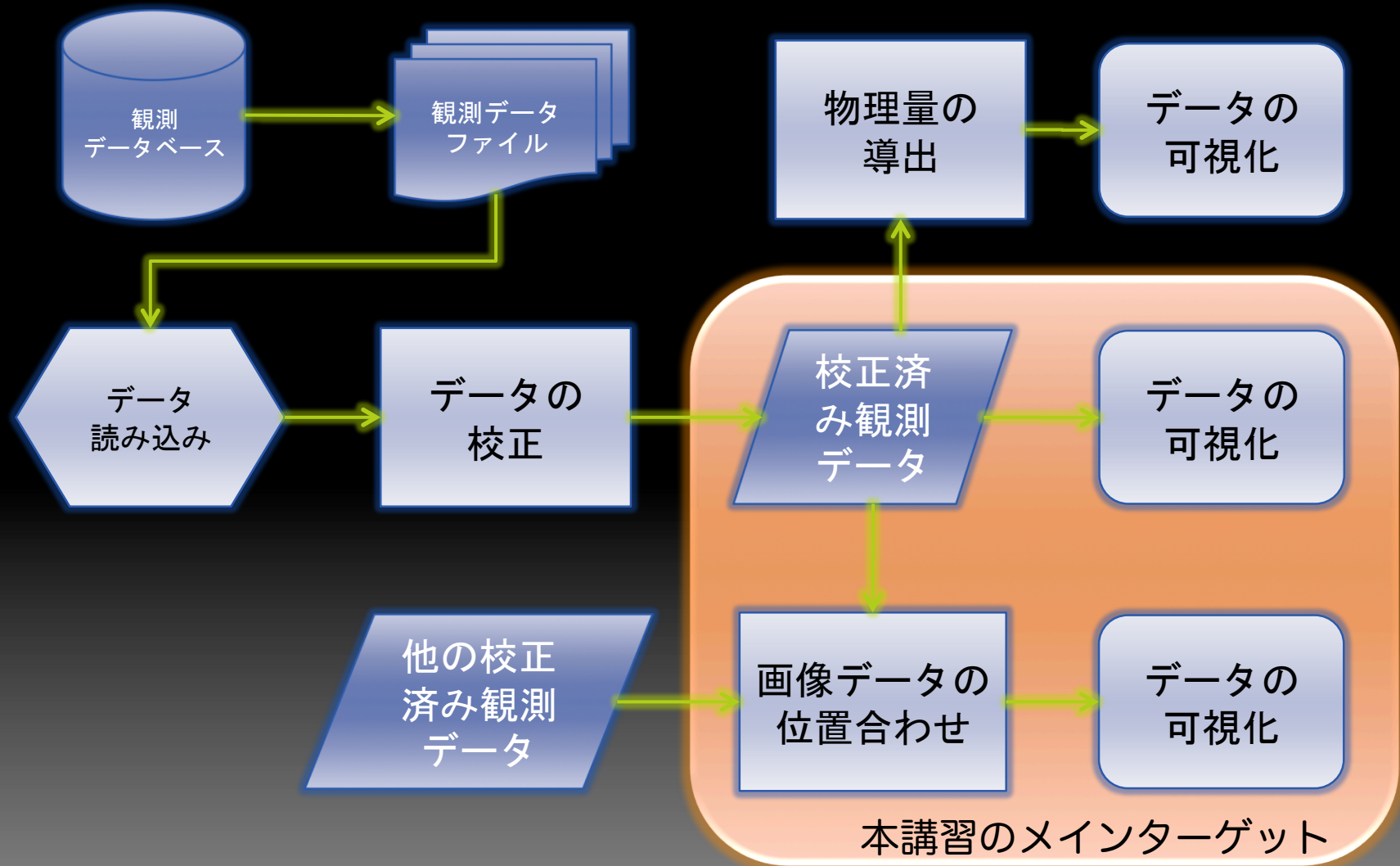
極端紫外線



X線



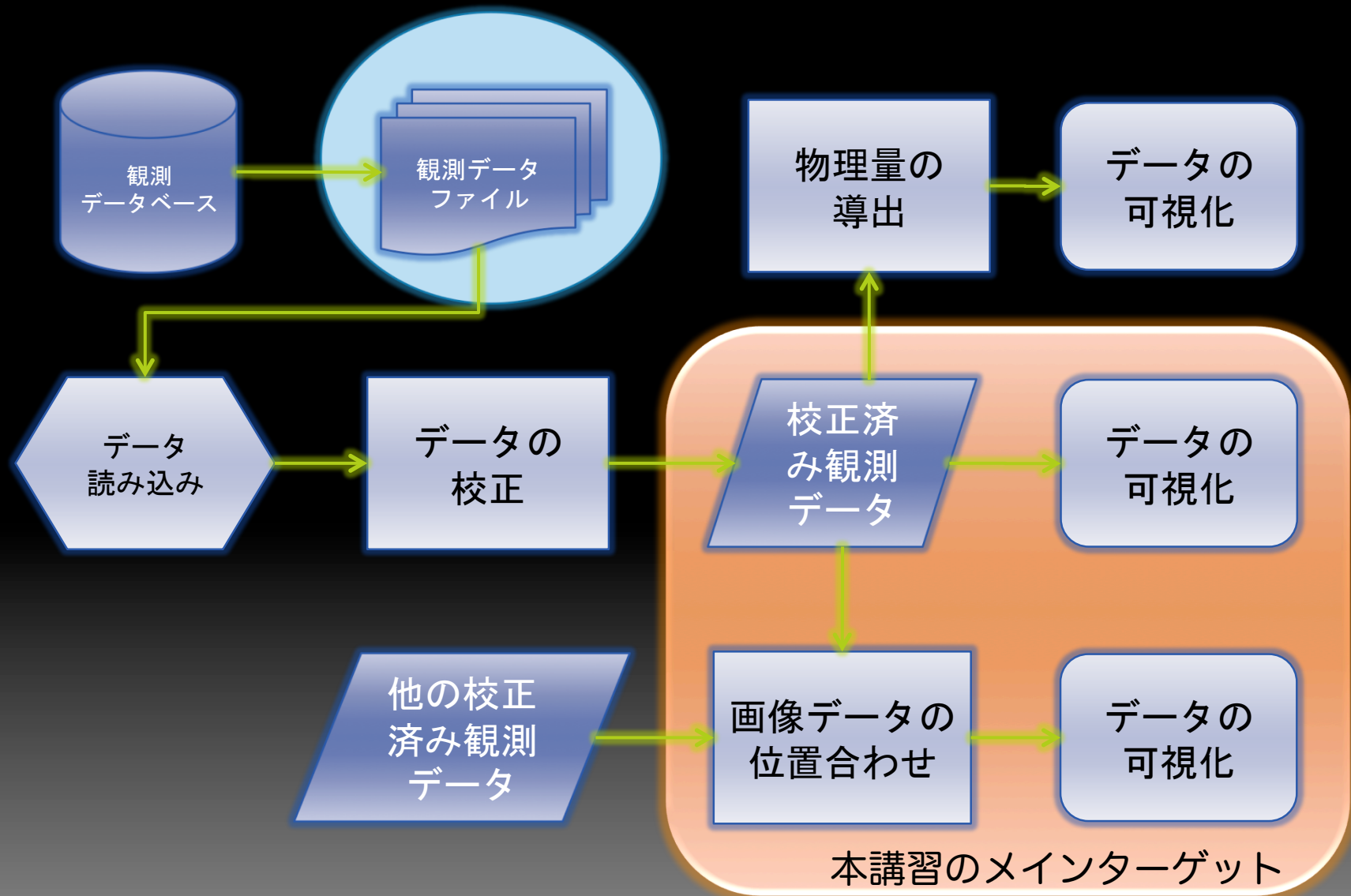
太陽データ解析の流れ



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

太陽データ解析の流れ



太陽観測データのフォーマット

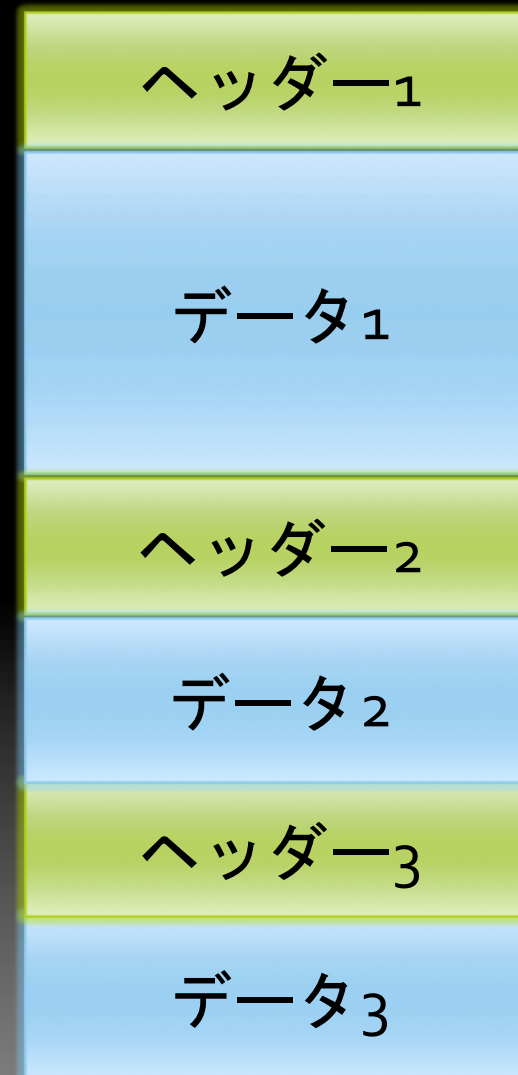
- 天文業界の標準のデータフォーマット

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

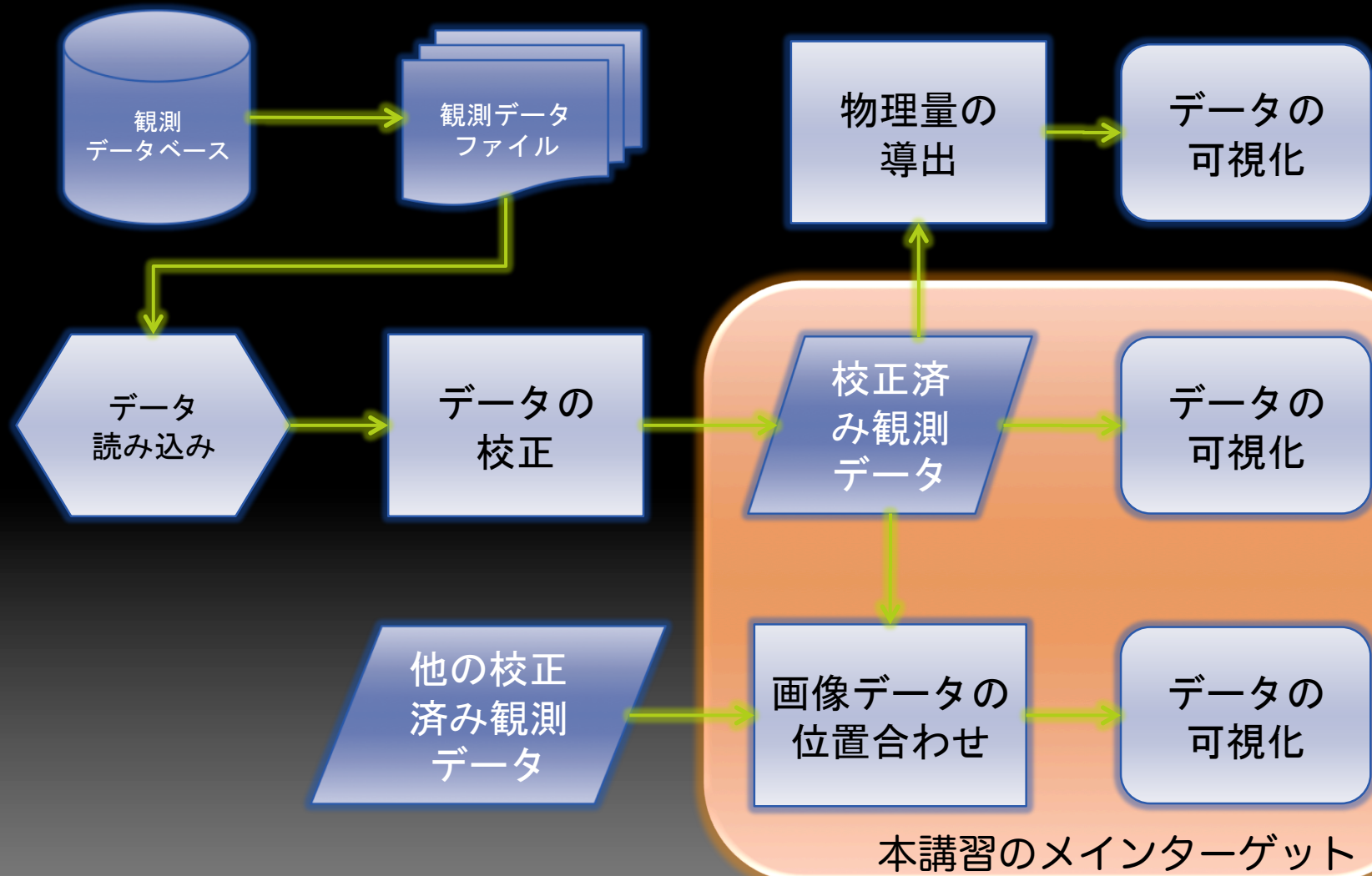
主なFITSヘッダーのキーワード

- 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)
 - 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

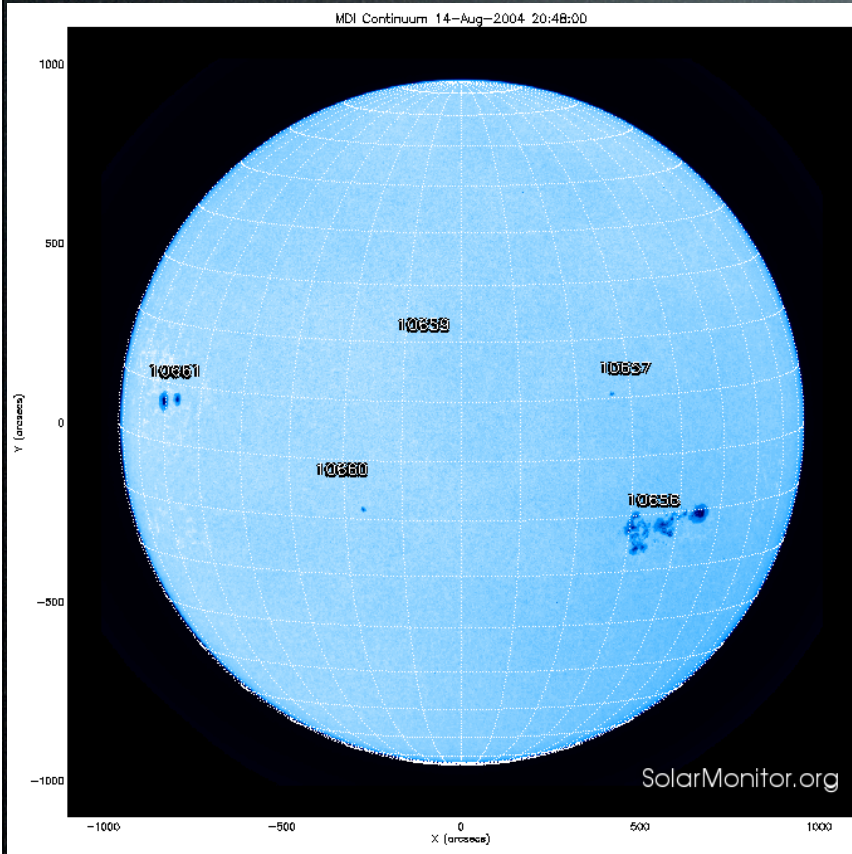
1. 太陽観測データのフォーマット：講義
2. SSW-IDL 太陽用データ解析環境：講義
3. 野辺山電波ヘリオグラフ：講義
4. 野辺山太陽電波観測所の解析システム：実習 1
5. 観測データの読み込みから可視化：実習 1
 - データの読み込み
 - グラフ作成
 - ムービー作成
 - 2 波長の位置合わせ
6. 野辺山電波ヘリオグラフの像合成：実習 2

野辺山電波ヘリオグラフ(NoRH)

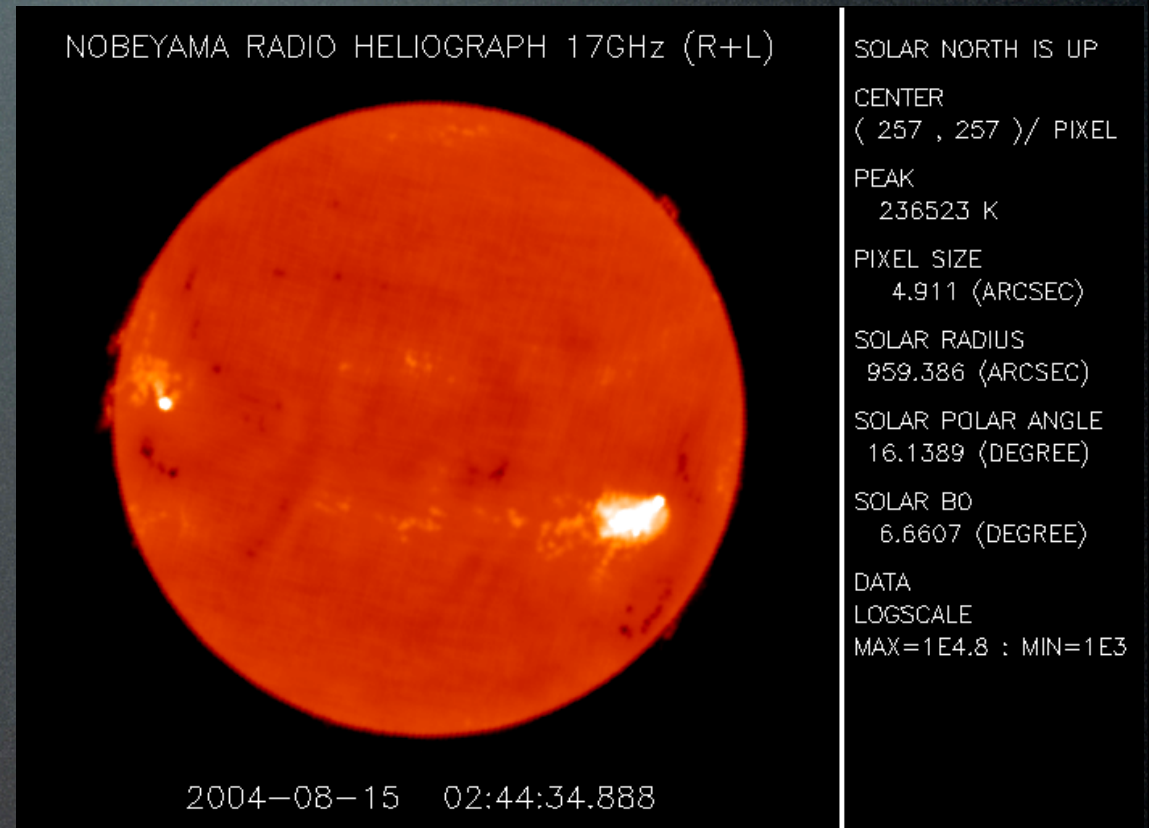
- 太陽専用の電波干渉計
- 視野：太陽全面
- パラボラ口径：84cm
- アンテナ数：84台
- 基線長：
 - 東西500m, 南北250m
- 観測周波数：17GHz, 34GHz
- 空間分解能：10" @ 17GHz, 5" @ 34GHz
- 偏波測定：17GHzのみ円偏光を測定可
- 時間分解能：
 - イベント時：0.1 sec, 定常時：1 sec
- 定常観測開始：1992年7月
 - 34GHzは、1995年11月から観測開始
- 観測時間：7:30~15:30JST (季節により15分程変動)



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？

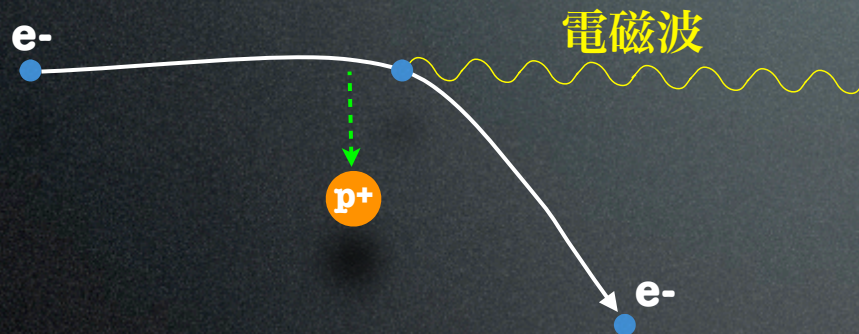
◎ 電波の像を作るには・・・

◎ “これまで”・”これから”の太陽電波観測

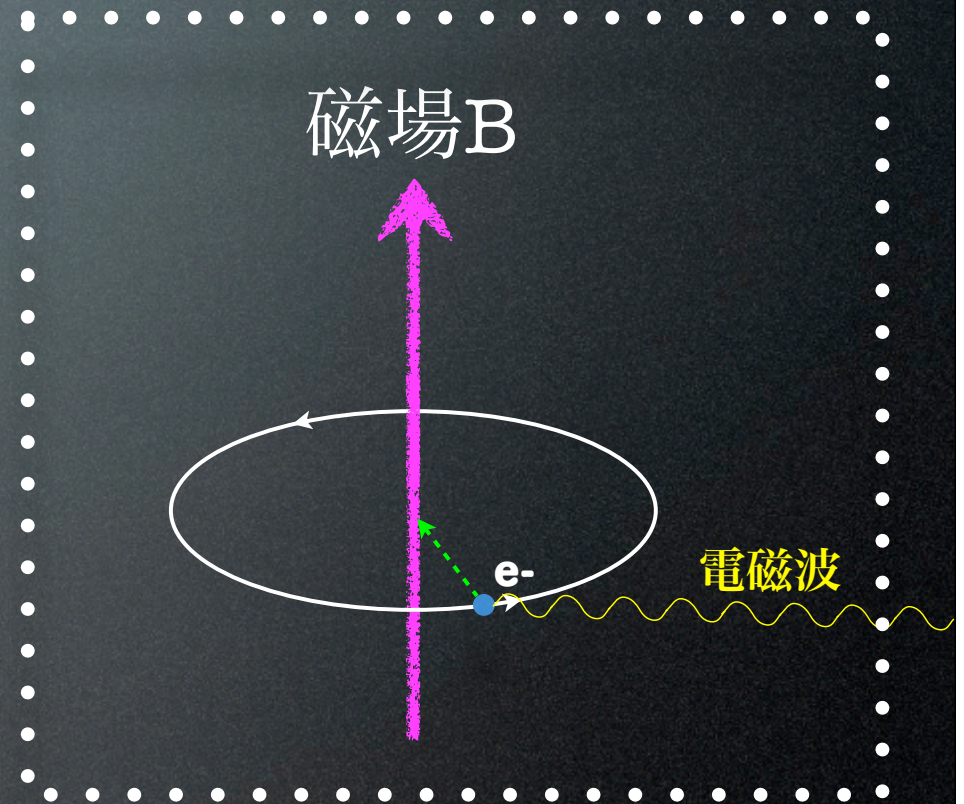
太陽大気は何から出来てる？

- 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

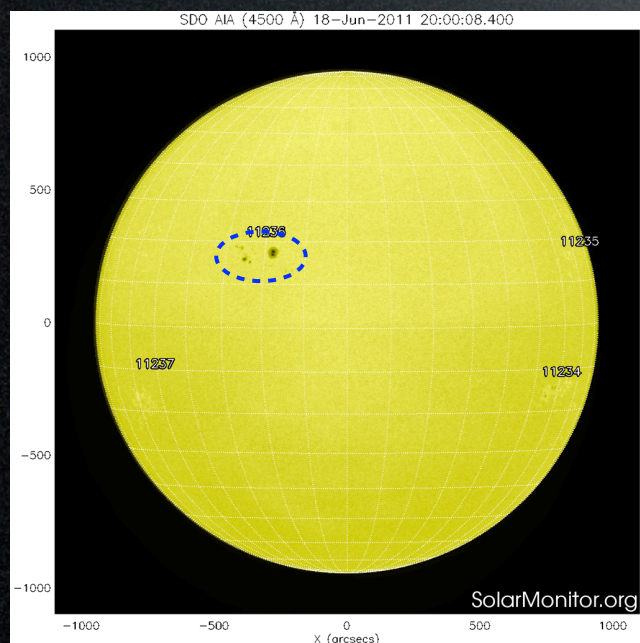
- nは、電子のエネルギー（速度）によって決まる。
 - 数千～数百万度の熱速度 $\Rightarrow n = 1, 2 \dots < 5$
 - 17GHzを出そうとすると、
B=850[425] Gauss (n=1[2]) が必要 \Rightarrow 黒点付近
 - 高エネルギーの電子[MeV] $\Rightarrow n > 5$
 - 高エネルギー電子がある場所・時間 \Rightarrow フレア

黒点周辺で見える

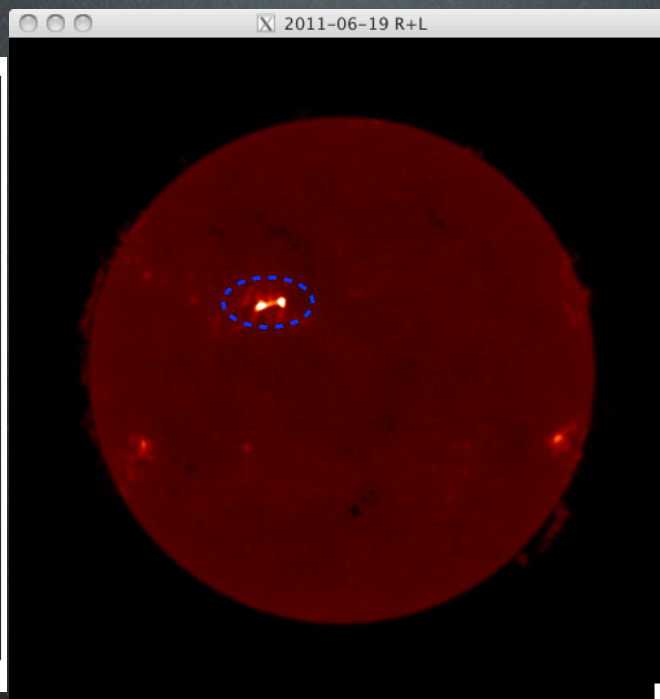
ジャイロレゾナンス放射

- 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。

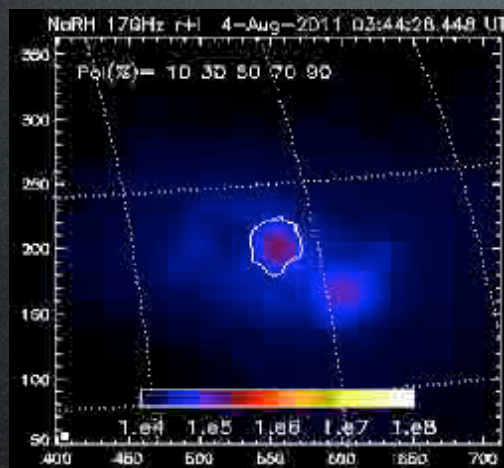
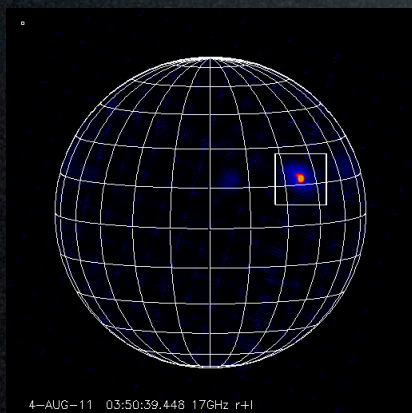
フレア時に見られる ジャイロシンクロトロン放射

- ジャイロシンクロトロン:

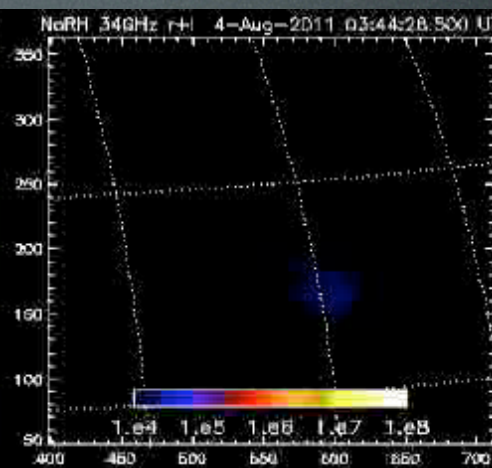
電子の速度が十分早く (高速の数10%) n が大きい放射

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。

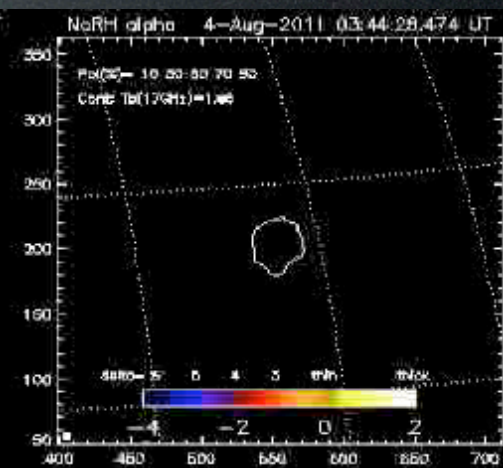
2011/8/4 Flare



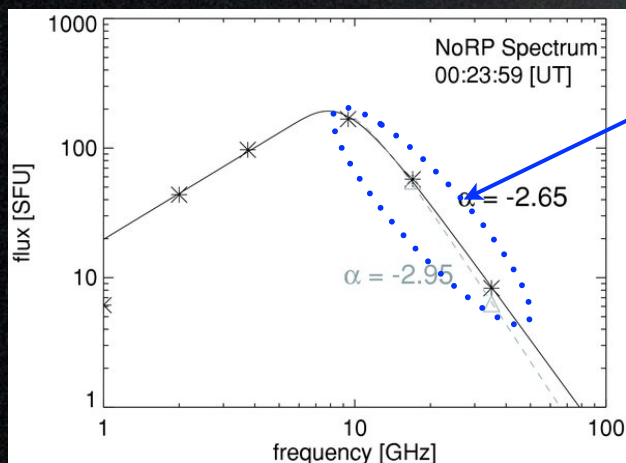
17 GHz



34 GHz



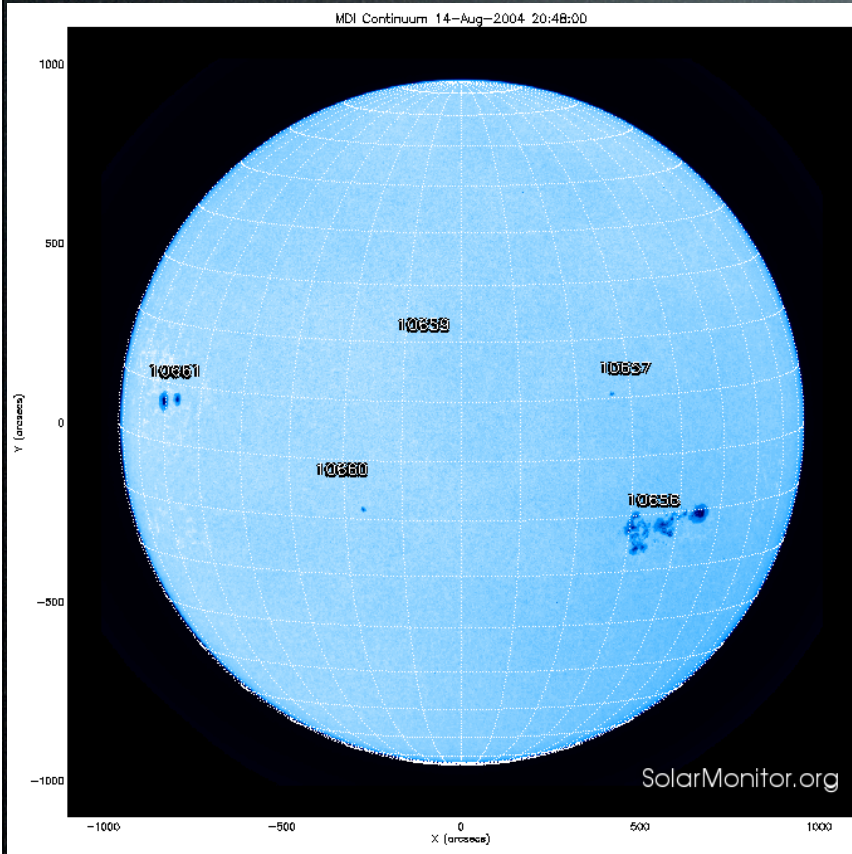
スペクトル [34/14]



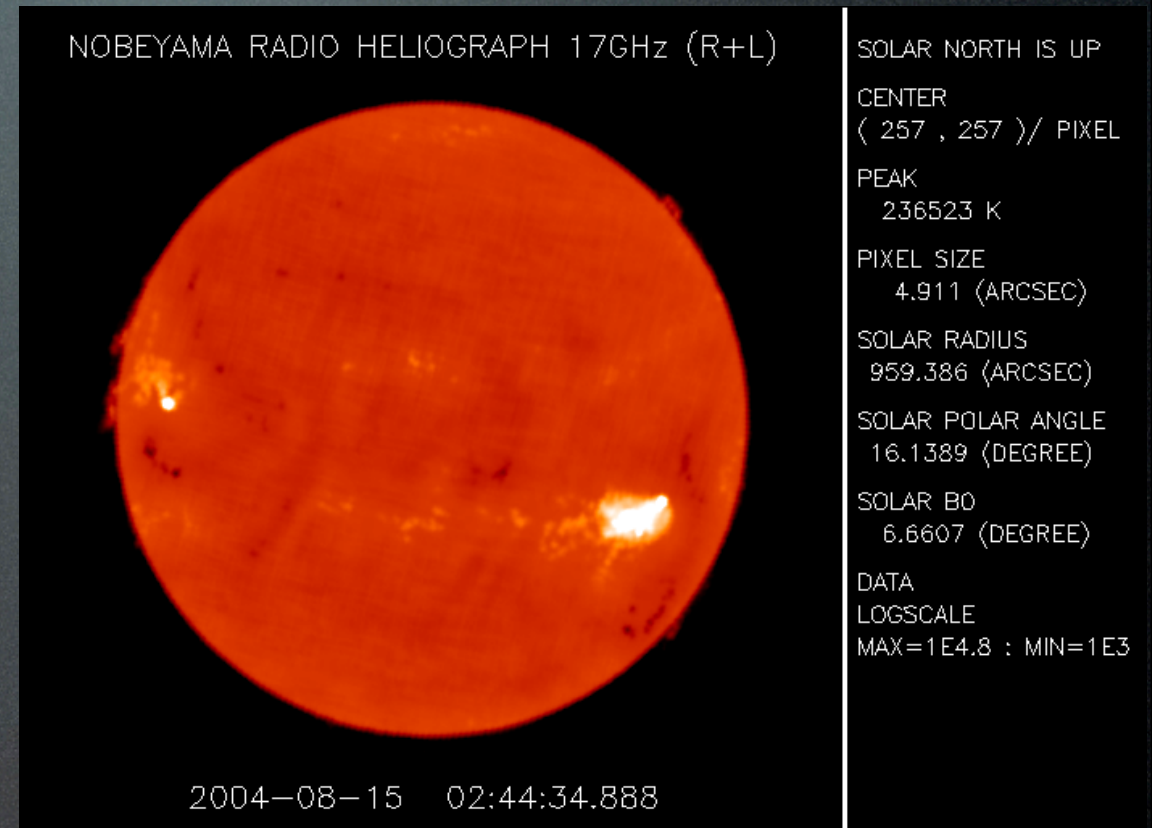
このスペクトルが電子のエネルギーの分布を示している。

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

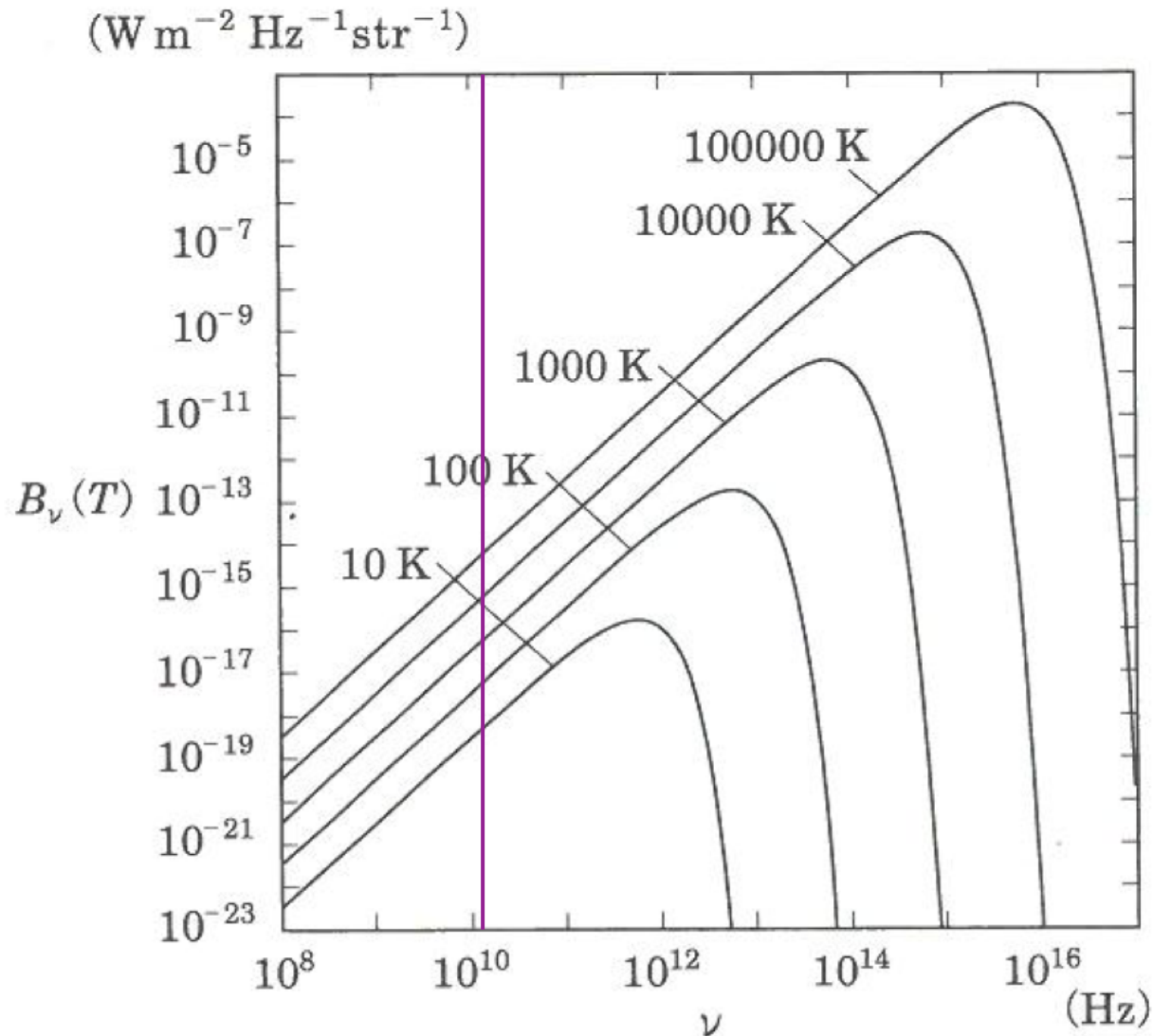


可視光
(MDI/SOHO)



電波[17 GHz]
(野辺山電波ヘリオグラフ)

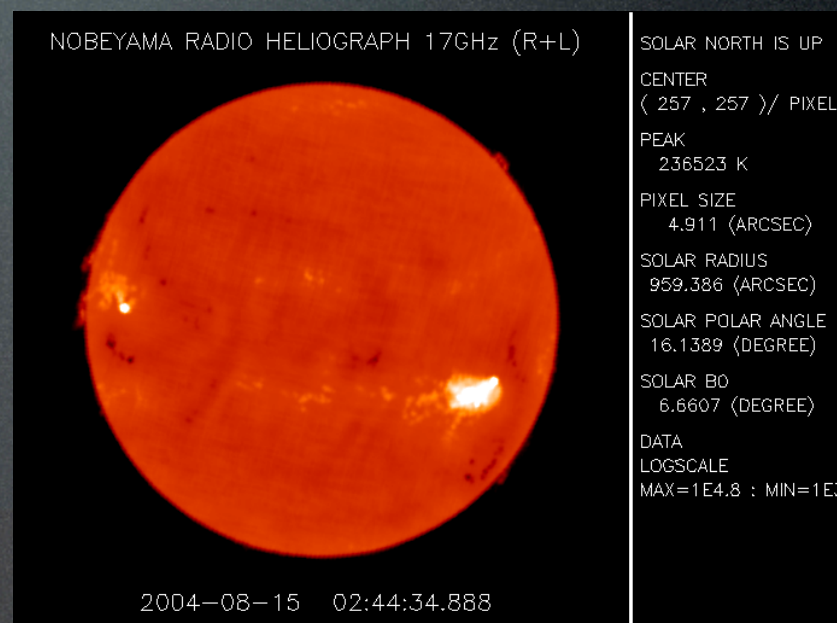
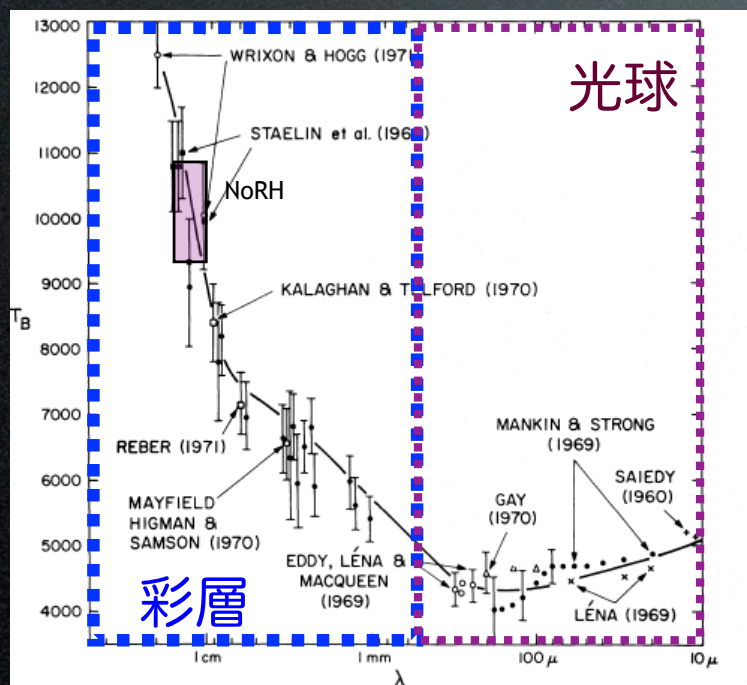
大いなる熱放射 [黒体放射]



- 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？

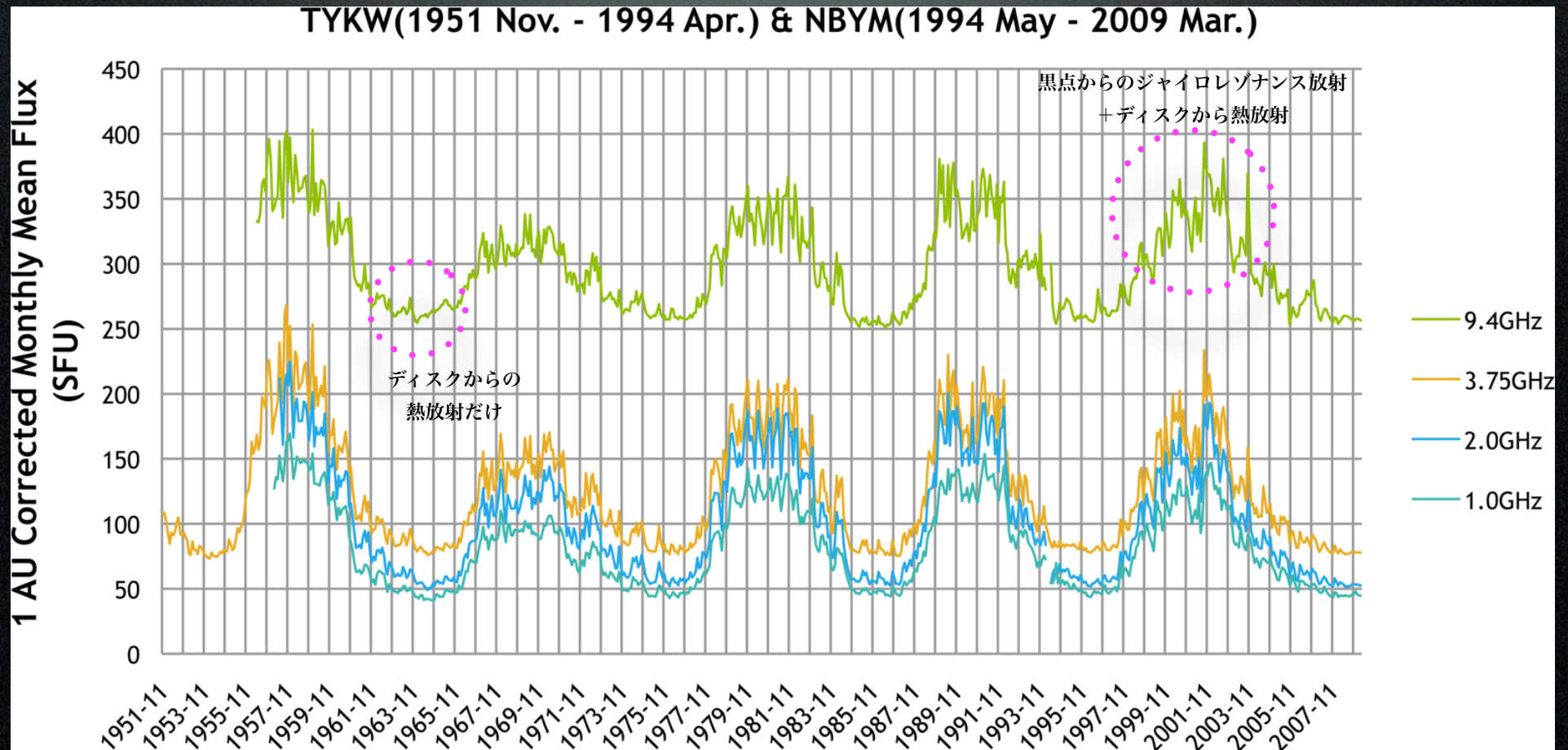
- 輝度温度：電波の強度の指標。
 - その放射が、光学的に厚いプラズマから来ていれば、**輝度温度=プラズマの温度**
 - ディスクからのマイクロ波放射は、ほぼ光学的に厚いプラズマからの放射。



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。