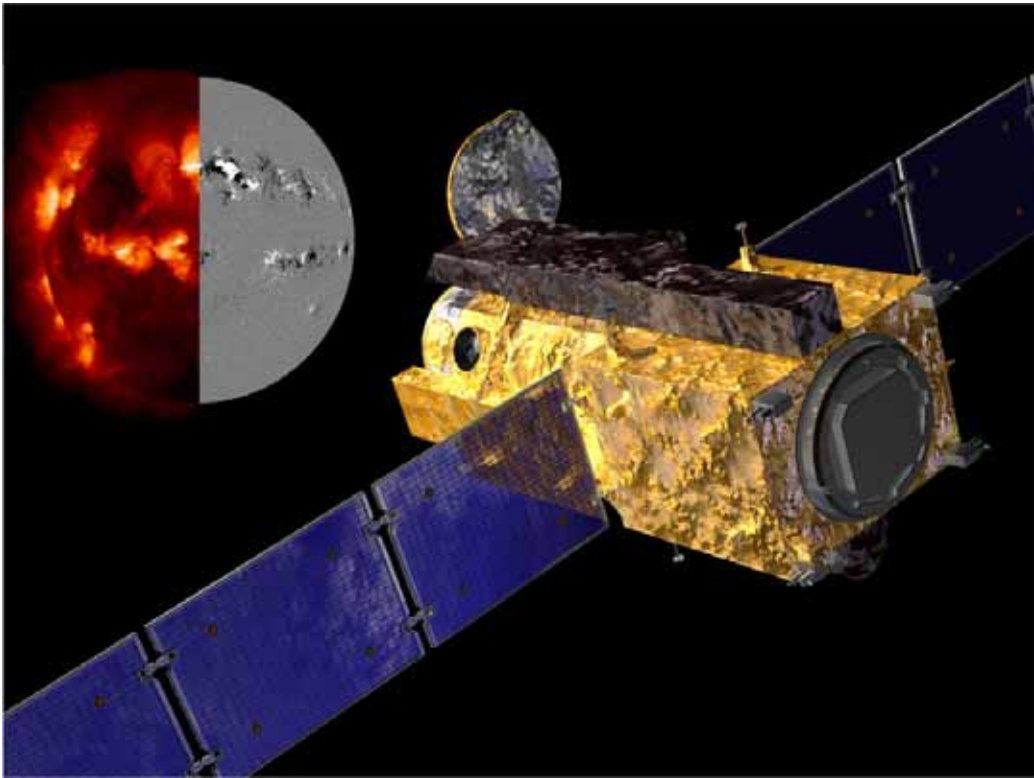


第 2 回 SOLAR-B 講習会



2006 年 6 月 27 日
国立天文台 SOLAR-B サイエンスセンター編

第2回 SOLAR-B 講習会

2006年6月27日

主催: 国立天文台 SOLAR-B サイエンスセンター

共催: 国立天文台天文データセンター

JAXA 宇宙科学研究本部 SOLAR-B プロジェクト

学術創成研究「宇宙天気予報の基礎研究」(代表: 柴田 一成)

冊子目次

0. 第2回 SOLAR-B 講習会プログラム
- I. SOLAR-B 衛星による観測 (下条: 国立天文台)
- II. DARTS データ取得システム演習 (松崎: JAXA*宇宙科学研究本部)
- III. SOLAR-B 科学データの基礎知識 (浅井: 国立天文台)
- IV. XRT データ解析について (成影: JAXA 宇宙科学研究本部)
- V. SOT データ解析入門 (永田: 京都大学)
- VI. EIS データ解析について (神尾: 国立天文台)
- VII. SOLAR-B サイエンスセンターについて (殿岡: 国立天文台)

*JAXA: 宇宙航空研究開発機構

この講義用冊子の PDF 原稿は (<http://solar.nro.nao.ac.jp/solar-b/meeting/koshukai2/>)
にもあります(カラー原稿が入手できます)。同じく、第1回 SOLAR-B 講習会・講義冊
子 PDF 原稿は(<http://solar.nro.nao.ac.jp/solar-b/meeting/koshukai1/>)にあります。
また、SOLAR-B 衛星と各観測装置に関する情報は、国立天文台 SOLAR-B 推進室(サイ
エンスセンター)のホームページ (<http://solar.nro.nao.ac.jp/solar-b/>)にもまとめてあり
ます。どうぞ参考にしてください。

第2回 SOLAR-B 講習会世話人
原 弘久 (国立天文台)
浅井 歩 (国立天文台)
殿岡 英顕 (国立天文台)
永田 伸一 (京都大学)
常田 佐久 (国立天文台)

第2回 SOLAR-B 講習会

日時: 2006年6月27日(火) 10:30 ~ 18:00

場所: 国立天文台三鷹キャンパス 解析研究棟 1階 大セミナー室

プログラム:

10:30-10:40	開催にあたっての挨拶	原	(国立天文台)
10:40-11:00	SOLAR-B 衛星による観測	下条	(国立天文台)
11:00-11:40	DARTS によるデータ取得システム演習	松崎	(JAXA 宇宙研)
11:40-12:00	質問時間 1		
12:00-13:00	昼食休憩		
13:00-13:30	SOLAR-B 科学データの基礎知識	浅井	(国立天文台)
	<< 各観測装置固有事項の説明 >>		
13:30-14:20	XRT データ解析について	成影	(JAXA 宇宙研)
14:20-14:40	質問時間 2		
14:40-15:30	SOT データ解析入門	永田	(京都大学)
15:30-15:50	質問時間 3		
15:50-16:10	休憩		
16:10-17:00	EIS データ解析について	神尾	(国立天文台)
17:00-17:20	質問時間 4		
17:20-17:40	SOLAR-B サイエンスセンターについて	殿岡	(国立天文台)
18:00	閉会		

SOT: Solar Optical Telescope	可視光望遠鏡
XRT: X-Ray Telescope	X線望遠鏡
EIS: EUV Imaging Spectrometer	極紫外線撮像分光装置

-- 第2回SOLAR-B講習会 --

SOLAR-B衛星による観測

下条 圭美(しもじょう ますみ)
国立天文台
SOLAR-Bサイエンスセンター

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 SOLAR-B観測

1

今日のTopics

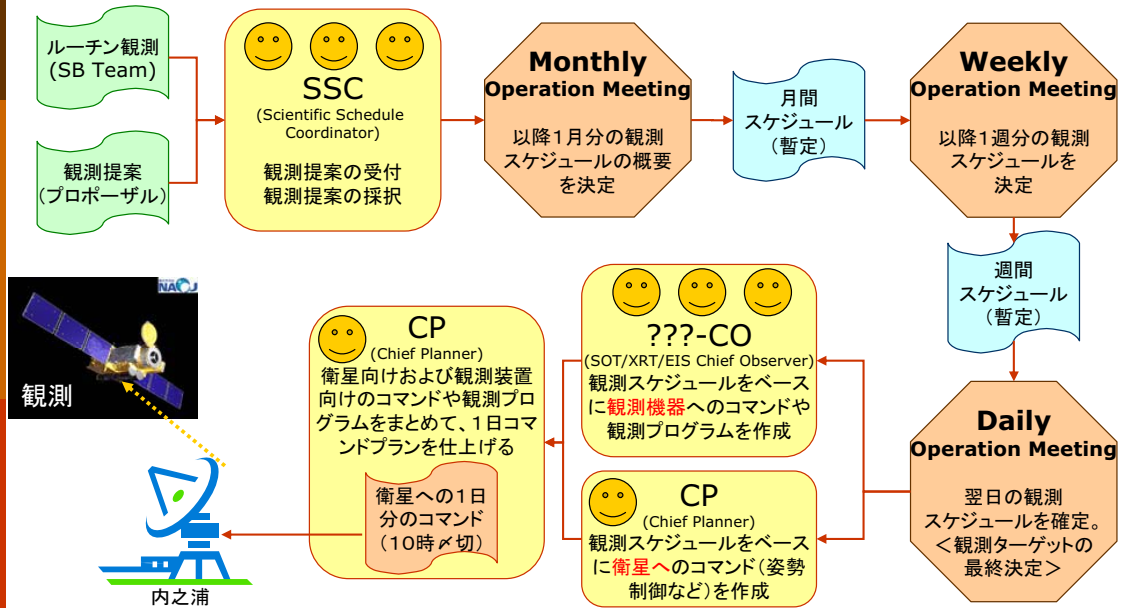
- 観測提案からSOLAR-Bでの観測、
さらにデータが手元にとどくまでの流れ
- 打ち上げ後のスケジュール(予定)
- SOLAR-Bでの観測種別
- SOLAR-B衛星チーム・ルーチン観測の例

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 SOLAR-B観測

2

-観測提案からデータ取得まで:1- 観測計画から観測へ

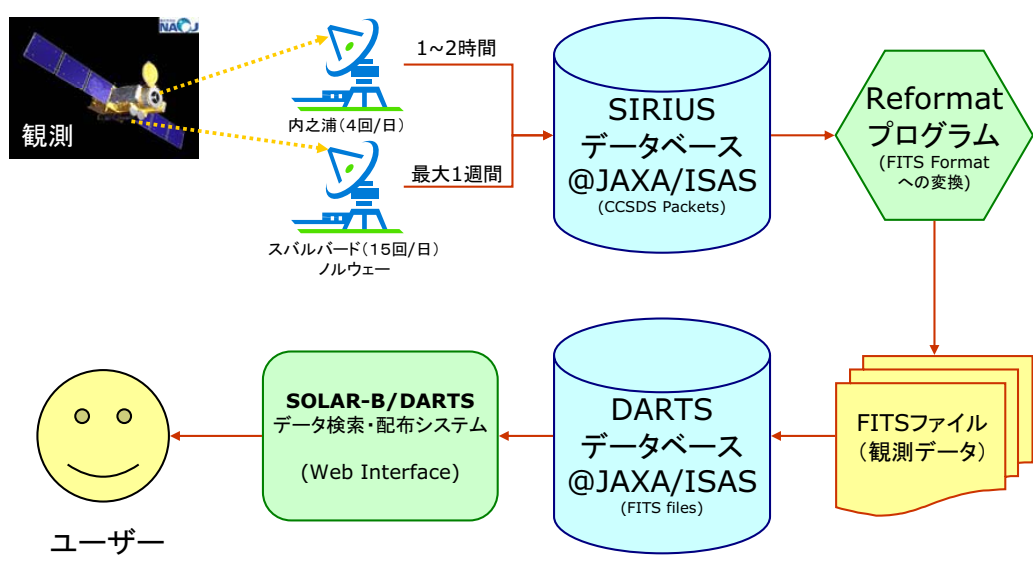


2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 SOLAR-B観測

3

-観測提案からデータ取得まで:2- 観測からデータ取得へ

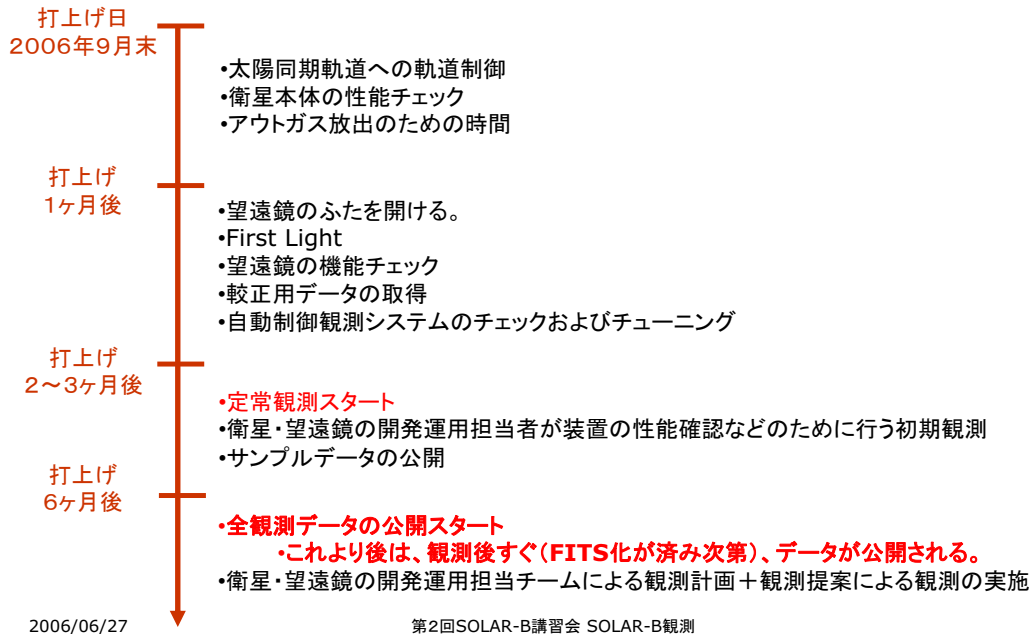


2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 SOLAR-B観測

4

打ち上げからのスケジュール(予定)



SOLAR-Bの観測種別

- SOLAR-Bの観測には、2つの観測種別がある。
 - **衛星・望遠鏡の開発運用担当者がおこなう観測**
 - 打ち上げから6ヶ月間は、観測機器の性能評価のための試験観測のほか、この科学衛星ミッション達成を目標に衛星・望遠鏡の開発運用担当者が中心になって準備した観測を行なう。
 - 打ち上げ後6ヶ月目以降は、この観測と以下の観測提案にそって行う観測が行われる。
 - 観測内容は、Webページ等で公表される。
 - **観測提案にそって行なう観測**
 - 上記の観測以外に、観測提案を受け付けて行う観測
 - SOLAR-B衛星以外の観測衛星・地上望遠鏡との連携観測等の提案も、この観測提案にそって行う観測になります。

注)2006年6月現在、衛星チームの観測や、観測提案についてチーム内で議論をしている段階であり、観測提案の採択のルールなどについては検討中

衛星・望遠鏡の開発運用担当者が行なう観測

- 2006年6月現在、衛星・望遠鏡の開発運用担当者で、打上げ後に行う観測の内容を、今までのSOLAR-B科学国際会議を基に、地上観測や他衛星担当者・理論研究者の意見も聞きつつ、議論中です。
 - SOLAR-B科学国際会議は計6回開催。
内容はNAOJ/ SOLAR-Bホームページおよび会議収録にて閲覧可能。
- 観測内容は、Webで公開される。
- 打上げ後2～3ヶ月から衛星・望遠鏡の開発運用担当チームが観測を行なっていく。
 - この時期の観測データの一部(サンプルデータ)は、打ち上げ6ヶ月前でもWeb等で開示される予定。
- 6ヶ月後は、すべての観測データは観測後、FITS化が済み次第公開である。

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 SOLAR-B観測

7

SOLAR-B衛星での観測の一例

活動領域Tracking観測1(案)

- 東のリムから現れた活動領域を、西のリムまで追尾しながら、活動領域の時間変化を観測する。
 - 活動領域全体を観測。
 - 時間分解能は1分1枚(SOT-FG,XRT)。
 - 空間分解能は最高レベル
 - EISやXRTでは、多くの波長・フィルターによる撮像を行ない、Differential emission Measureの測定を行なう。
 - SOTでは、SOT-SPによるベクトル磁場の観測と共に、FGで光球から彩層にわたる波長域をカバーする。

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 SOLAR-B観測

8

SOLAR-B衛星での観測の一例 活動領域Tracking観測1(案)

SOT-FG 4k x 2k (320" x 160")

G-Band, Magnetogram, Ca II, H_alpha, etc

10分に各波長1枚ずつ

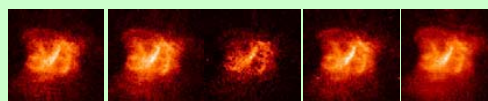


XRT

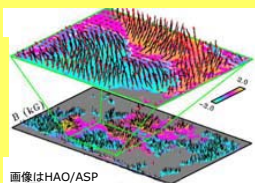
256" x 256"

5枚のフィルターを利用

1分に各フィルター1枚ずつ



SOT-SP
(164" x 164")
83分に1枚

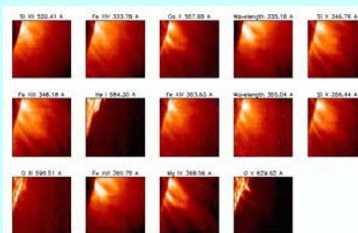


EIS

256" x 256"

EUV >10輝線

50分に各波長1枚ずつ



2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 SOLAR-B観測

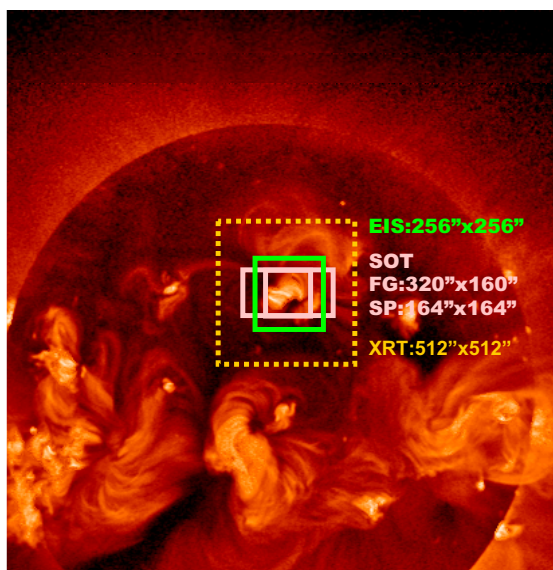
9

注: 上記の図は、すべて異なる領域・時間の観測/SOLAR-Bの観測では、ほぼ同じ時間・場所の観測となる。

SOLAR-B衛星での観測の一例 活動領域Tracking観測1(案)

□ 観測視野

- SOT-FG
 - 320" x 160"
- SOT-SP
 - 164" x 164"
- EIS
 - 256" x 256"
- XRT
 - 512" x 512"



2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 SOLAR-B観測

10

DARTS によるデータ取得システム演習

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究本部

松崎恵一

URL

<http://darts.isas.jaxa.jp/solarb/>

データ検索・取得の流れ

- 1) 望遠鏡を選択する
- 2) 時刻を（必要に応じ位置も）指定する
- 3) Search & Update ボタンを押すとサマリのタイムプロット領域プロットが更新される
- 4) 機器ごとの観測条件を指定する（図 1, 図 2 を参照）

図 1 条件設定 (FG)

SOT-FG

Observation			
Filtergram	<input type="checkbox"/> Filtergram (Simple)	<input type="checkbox"/> FG shutterd I & V	
	<input type="checkbox"/> FG shutterd I & V (Exp Time:1s)	<input type="checkbox"/> FG shuttered I,Q,U & V	
Magnitgram	<input type="checkbox"/> Magnetogram V/I (4 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Magnetogram I & V (4 Wavelength)	
	<input type="checkbox"/> Magnetogram V/I (2 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Magnetogram I & V (2 Wavelength)	
	<input type="checkbox"/> Magnetogram V/I (1 Wavelength)		
Dopplergram	<input type="checkbox"/> Dopplergram (4 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Dopplergram (I+ and I- images:4 Wavelength)	
	<input type="checkbox"/> Dopplergram (2 Wavelength)		
Shutterless mode	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & V	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & V (Exp Time:2s)	
	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & V (Exp Time:1s)	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & Q	
	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & U	<input type="checkbox"/> FG shutterless I,U & V	
	<input type="checkbox"/> FG shutterless I,Q,U & V		
Spacial Information			
Binning	<input type="checkbox"/> 1x1 <input type="checkbox"/> 2x2 <input type="checkbox"/> 4x4		
Wavelength			
BFI	BFI continuum	NFI	
<input type="checkbox"/> CN bandhead 388.3	<input type="checkbox"/> Blue Continuum 450.4	<input type="checkbox"/> Mg I b 517.2	<input type="checkbox"/> H I 656.2
<input type="checkbox"/> Ca II H 396.8	<input type="checkbox"/> Green Continuum 555.0	<input type="checkbox"/> Na I 689.6	<input type="checkbox"/> Fe I 525.0
<input type="checkbox"/> G band 430.5	<input type="checkbox"/> Red Continuum 668.4	<input type="checkbox"/> Fe I 557.6	<input type="checkbox"/> Fe I 630.1

- 5) Show XXX List すると観測の一覧が得られる
- 6) データを取得する
 - メールアドレスを聞かれるので入力する (クッキーに登録すると便利)
 - tar されファイルが FTP Server におかれ、通知メールが送付される
- 7) データをダウンロード
 - ブラウザもしくは FTP クライアントソフトにて取得
 - tar ファイルを解凍

図 2 条件設定 (SP, XRT, EIS)

SOT-SP

Observation		
Mode	Slit	Exposure
<input type="checkbox"/> Normal Map	0.16"	4.0s < t < 6.4s
<input type="checkbox"/> Fast Map	0.32"	t < 4.0s
<input type="checkbox"/> Dynamics	0.16"	t < 4.0s
<input type="checkbox"/> Deep Magnetogram	0.16"	t > 6.4s

XRT

Spatial Information	
Binning	<input type="checkbox"/> 1"x1" <input type="checkbox"/> 2"x2" <input type="checkbox"/> 4"x4" <input type="checkbox"/> 8"x8"
Wavelength	
X-ray	<input type="checkbox"/> Thin Al Mesh <input type="checkbox"/> Thin Al poly <input type="checkbox"/> C poly <input type="checkbox"/> Ti poly <input type="checkbox"/> Thin Be <input type="checkbox"/> Medium Al <input type="checkbox"/> Medium Be <input type="checkbox"/> Thick Al <input type="checkbox"/> Thick Be
Optical	<input type="checkbox"/> Gband

EIS

Spatial Information							
Binning		<input type="checkbox"/> 1"x1" <input type="checkbox"/> 2"x2" <input type="checkbox"/> 4"x4"					
Slit/Slot		<input type="checkbox"/> 1" <input type="checkbox"/> 2" <input type="checkbox"/> 40" <input type="checkbox"/> 266"					
Wavelength							
CCD1		CCD1		CCD0		CCD0	
<input type="checkbox"/> Fe IX	17.107	<input type="checkbox"/> Fe XII	19.239	<input type="checkbox"/> Fe XVI	25.107	<input type="checkbox"/> Fe XXIII	26.376
<input type="checkbox"/> O VI	18.412	<input type="checkbox"/> Ca XVII	19.282	<input type="checkbox"/> Fe XXII	25.316	<input type="checkbox"/> Fe XIV	26.478
<input type="checkbox"/> Fe X	18.454	<input type="checkbox"/> O V	18.290/19.291	<input type="checkbox"/> Fe XVII	25.487	<input type="checkbox"/> Mg VI	26.899
<input type="checkbox"/> Fe XII	18.685/18.688	<input type="checkbox"/> Fe XII	19.352	<input type="checkbox"/> Fe XXIV	25.510	<input type="checkbox"/> Mg VI	27.039/27.040
<input type="checkbox"/> Fe XXI	18.789	<input type="checkbox"/> Fe XII	19.512/19.513	<input type="checkbox"/> He II	25.632	<input type="checkbox"/> Fe XIV	27.051
<input type="checkbox"/> Fe XI	18.823/18.830	<input type="checkbox"/> Fe XIII	20.002	<input type="checkbox"/> Si X	25.837	<input type="checkbox"/> Si VII	27.264
<input type="checkbox"/> Fe XXIV	19.204	<input type="checkbox"/> Fe XIII	20.204	<input type="checkbox"/> Si X	26.106	<input type="checkbox"/> Fe XIV	27.420
		<input type="checkbox"/> Fe XIII	20.380/20.383	<input type="checkbox"/> Fe XVI	26.298	<input type="checkbox"/> Si VII	27.535
						<input type="checkbox"/> Fe XV	28.416

SOLAR-B科学データの 基礎知識

3機器に共通する、データの解析方法

国立天文台野辺山

浅井 歩

asai@nro.nao.ac.jp

第1回講習会 VI章(下条さん執筆)も参照のこと

講義内容

- SOLAR-B科学データの基礎
 - 科学データのフォーマットについて(第1回講習会の復習)
 - 望遠鏡共通のFITSキーワード(リストも)
- SOLAR-B科学データの解析の基礎
 - FITSデータの読み出しソフト
 - フリーのもの(Makali'i, fv)→実演も
 - IDL/SSWを用いての本格的な解析への手引き
- 3機器内のデータのアライメント(位置合わせ)

SOLAR-B科学データの基礎

- DARTSを用いて科学データを手元に持ってくる
→いよいよ解析

1. データの種類を知る

- データのレベル

2. データの構造を知る

- データのフォーマット: FITS
 - FITSの手引き第5版
 - http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~kanamitu/fits/fits_t50/
- FITSの構造: ヘッダー+データ
 - ヘッダー部はASCIIテキスト

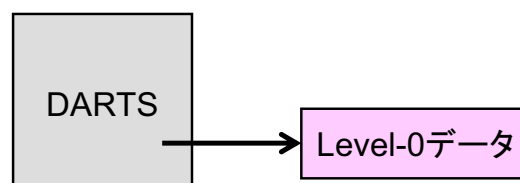
3. データの解析方法を知る

- IDL・SSW、FITS解析用フリーソフト

1. データの種類を知る

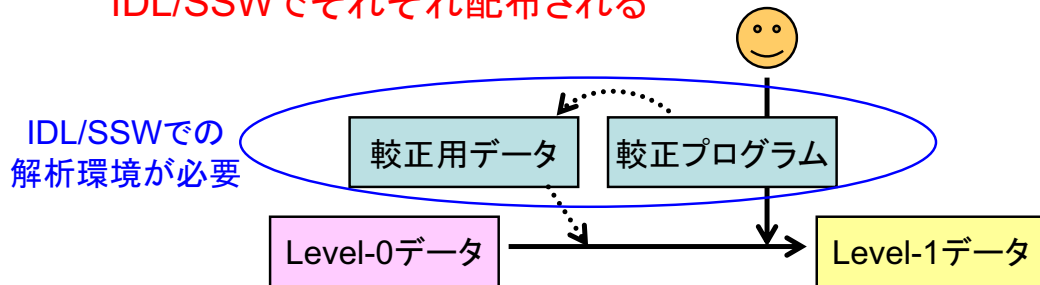
科学データの較正とLevel-0データ

- 観測データから物理量を求めるためには**較正**が必要
- 較正のレベルに応じたデータの分類(観測機器共通)
- Level-0データ
 - DARTSで配布される
 - カウント・位置情報とも較正されていない(衛星から出てきたデータそのものがFITSになったもの)
 - **研究者が実際に解析するのは主にこのデータ**



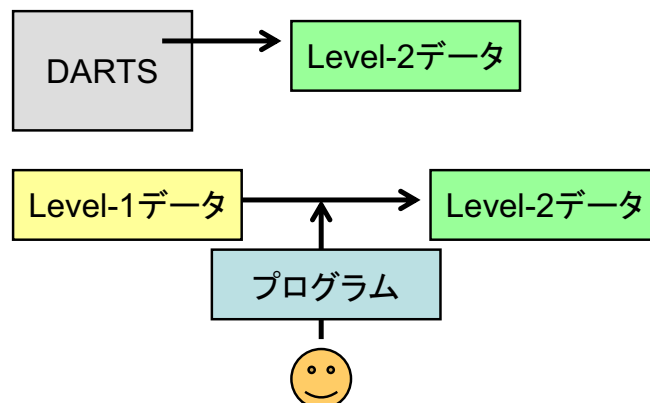
Level-1データ

- Level-1データ
 - DARTSで配布されない
 - Level-0データに対し、**較正用のデータ**を用いて**較正プログラム**を実行することで得られるデータ
 - カウント・位置情報とも較正されている
 - 較正用データやプログラムは各観測機器チームから随時提供される
 - **較正用データはSSWデータベースに、較正プログラムはIDL/SSWでそれぞれ配布される**



Level-2データ

- Level-2データ
 - DARTSで**一部が配布**
 - SOT-SPIによるベクトル磁場マップ(国立天文台・HAO)
 - EISによる紫外線輝線の強度、ドップラー速度、線幅等のマップ(MSSL)
 - Level-1データを更に磁束密度・温度等の物理量に変換したもの



2. データの構造を知る

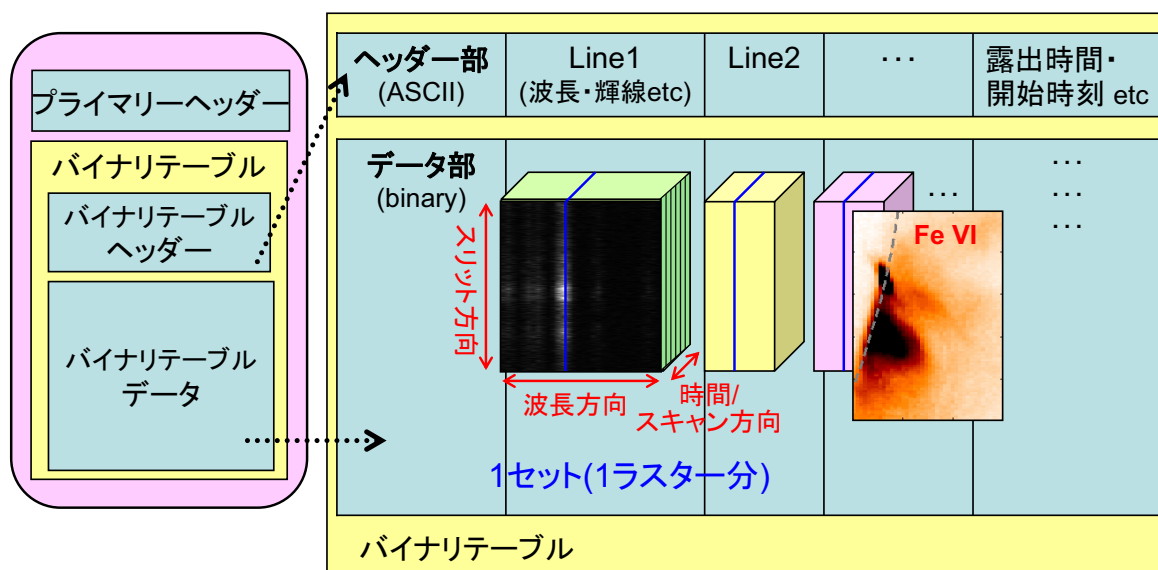
SOT、XRTのデータ構造

- スタンダードFITS
- フリーで入手できるFITSビューワで閲覧可能

XRT	SOT-FG	SOT-SP
<p>ヘッダー</p>	<p>ヘッダー</p> <p>V U Q I</p>	<p>ヘッダー</p> <p>I Q U V</p>
<p>画像1枚 最もシンプルな FITSファイル</p>	<p>画像1枚、もしくは 「IQUV」「ドップラー(赤・青)」といった1セットごと SOT-SPのLevel-2データ ← はこのフォーマット</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Level-0 1スリット位置(1ステップごと) • Level-2 画像1セットごと(IQUV)

EISのデータ構造

- EISはBinary Table Extensionを使用



SOLAR-B科学データの構造:まとめ

- 1ファイルに入っているデータの内容
- 配布されるすべてのデータは、FITSフォーマットでファイル化

SOT-FG	<ul style="list-style-type: none"> • Level-0 画像1枚、もしくは「IQUV」、「ドップラー(赤・青)」といった1セットごと
SOT-SP	<ul style="list-style-type: none"> • Level-0 1スリット位置(1ステップ)ごと • Level-2 画像1セットごと(IQUV)
XRT	<ul style="list-style-type: none"> • Level-0 画像1枚
EIS Binary Table Extensionを 使用	<ul style="list-style-type: none"> • Level-0 1スキャンごと <ul style="list-style-type: none"> - スリット方向xスキャンx波長の3次元データキューブ - 複数の波長(ライン)の画像が、1ファイルに入っている) • Level-2 基本的にLevel-0データと同じ

SOLAR-BのFITSキーワード1

- SOLAR-B科学データのFITSヘッダーに書かれるキーワードのリスト(3機器共通部分)
- 詳しくはWeb上で公開(SOLAR-Bサイエンスセンター/推進室のページ)の予定

キーワード名	例	説明
TELESCOP	'SOLAR-B'	衛星の名前
INSTRUME	'SOT/FG' 'XRT' 'EIS'	観測機器の名前
OBSTITLE	The temperature analysis of pre-flare site	観測のタイトル
OBS_DEC	Filters and time resolution are optimized for Temperature Analysis	観測の特徴
SCI_OBJ	AR / AFS / EFR / FL	観測ターゲットとなる現象
DATA_LEV	0 / 2	データのレベル(0はLevel-0のこと)

SOLAR-BのFITSキーワード2

- つづき

DATA_OBS	'2006-12-31T05:53:29.300'	観測時刻(ラスターの開始時刻)
EXPTIME	0.128	露出時間[sec]
XCEN	250.34	画像中心のX座標(太陽面座標) [arcsec]
YCEN	511.35	画像中心のY座標(太陽面座標)
NAXIS	2 / 3	データの次元、XRT/EISは必ず2、 SOTは2または3
NAXIS n	128	n -次元の要素数(ピクセル数)
CDELTA1	0.15	ピクセルサイズ(X方向) [arcsec]
CDELTA2	0.15	ピクセルサイズ(Y方向) [arcsec]
FOVX	300.3	観測視野のサイズ(X方向) [arcsec]
FOVY	200.6	観測視野のサイズ(Y方向) [arcsec]

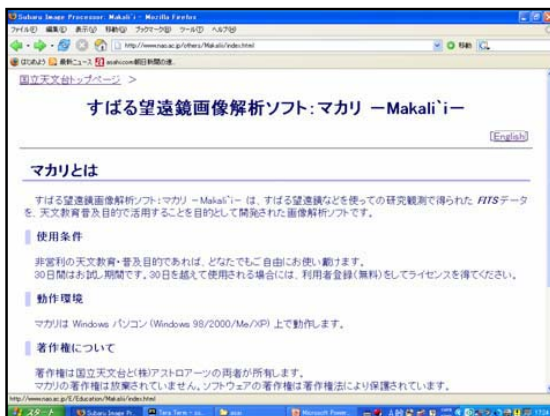
3. データの解析方法を知る

フリーソフトでの解析

- Makali'i [国産の教育向けFITSソフトウェア]

配布元:

<http://makalii.mtk.nao.ac.jp/>



- fv [FITSのブラウザ兼エディタ]

配布元:

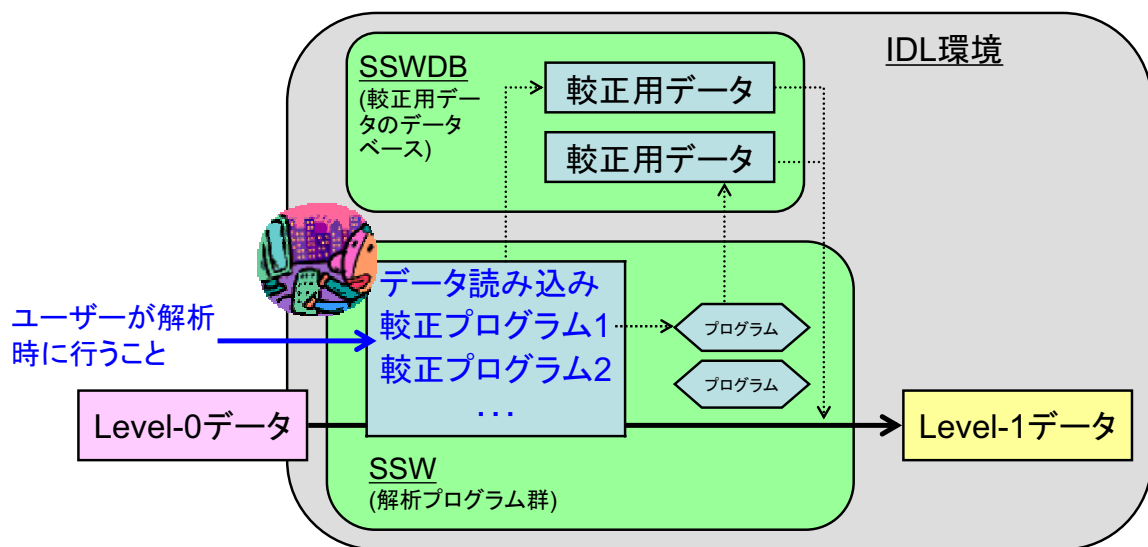
<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/ftools/fv/>



IDLで本格的に解析

- 本格的解析には画像解析用ソフトIDL*とIDL上での太陽データ解析パッケージSSW**、SSWDB***が必須
 - *IDL : Interactive Data Language
 - **SSW : SolarSoftWare
 - ***SSWDB : SSW用のデータベース
 - SSW、SSWDBともFTP等で公開される
- IDL上で、SSW、SSWDBをセットアップすれば、較正や解析ができる
- SOLAR-Bサイエンスセンター(仮称)で解析環境を提供(殿岡さんの講演を参照)

SOLAR-B科学データ: IDLでの解析の概略



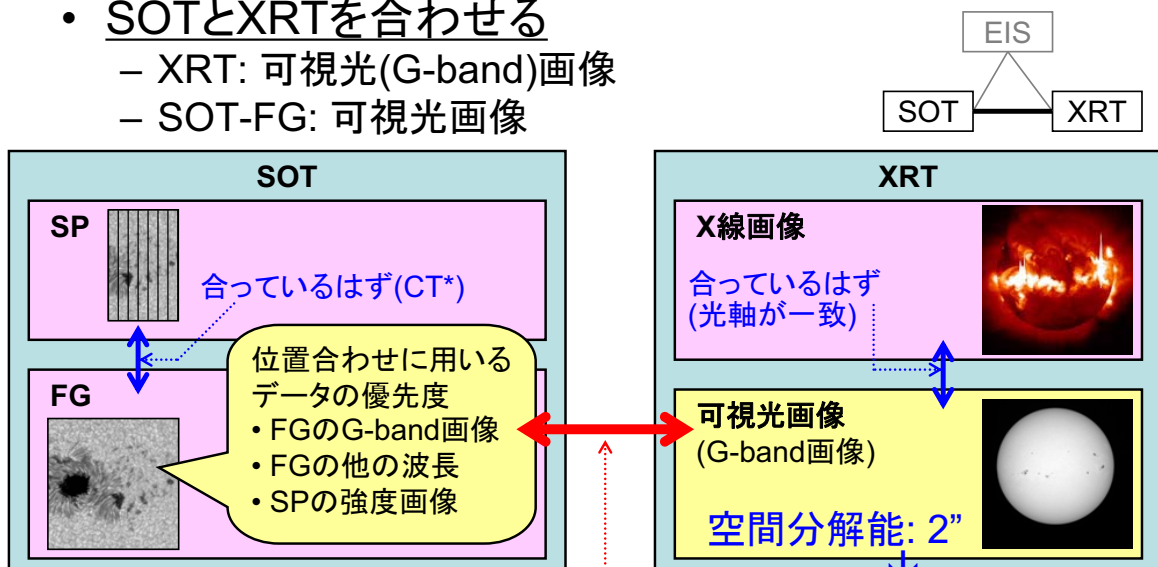
- どのような較正が必要か、どのようなプログラムを走らせれば良いか、IDLを用いた詳細な解析は各機器ごとに説明

解析がうまく進んだら...

- 3つの望遠鏡(SOT/XRT/EIS)のデータを組み合わせたい
→ より大きな科学的成果をあげることができる
- 3つの望遠鏡はそれぞれ独立
 - 独立の観測視野
 - データには独立に校正を施す必要がある
→ 画像間の位置合わせが必要

SOLAR-B内でのデータの位置合わせ 1

- SOTとXRTを合わせる
 - XRT: 可視光(G-band)画像
 - SOT-FG: 可視光画像

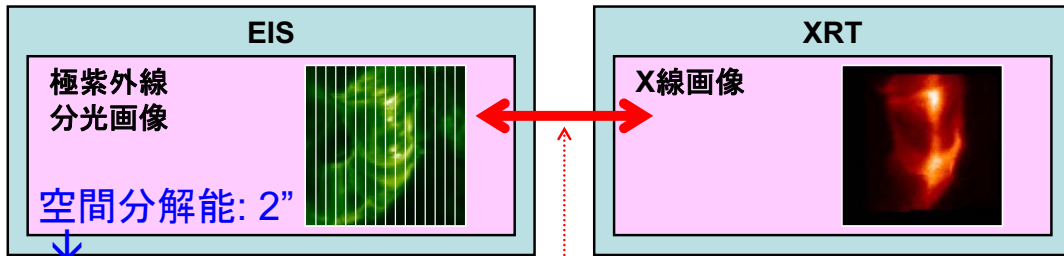
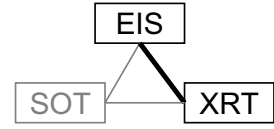


*CT=Correlation Tracker

共通の構造(黒点など)で合わせる → 1"程度まで合う
(近い時刻、視野が重なっていないとだめ)

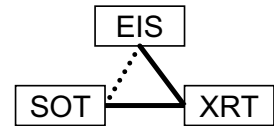
SOLAR-B内でのデータの位置合わせ 2

- XRTとEISを合わせる
 - コロナの画像を用いて合わせる
 - EISでのコロナ輝線でのデータが必要

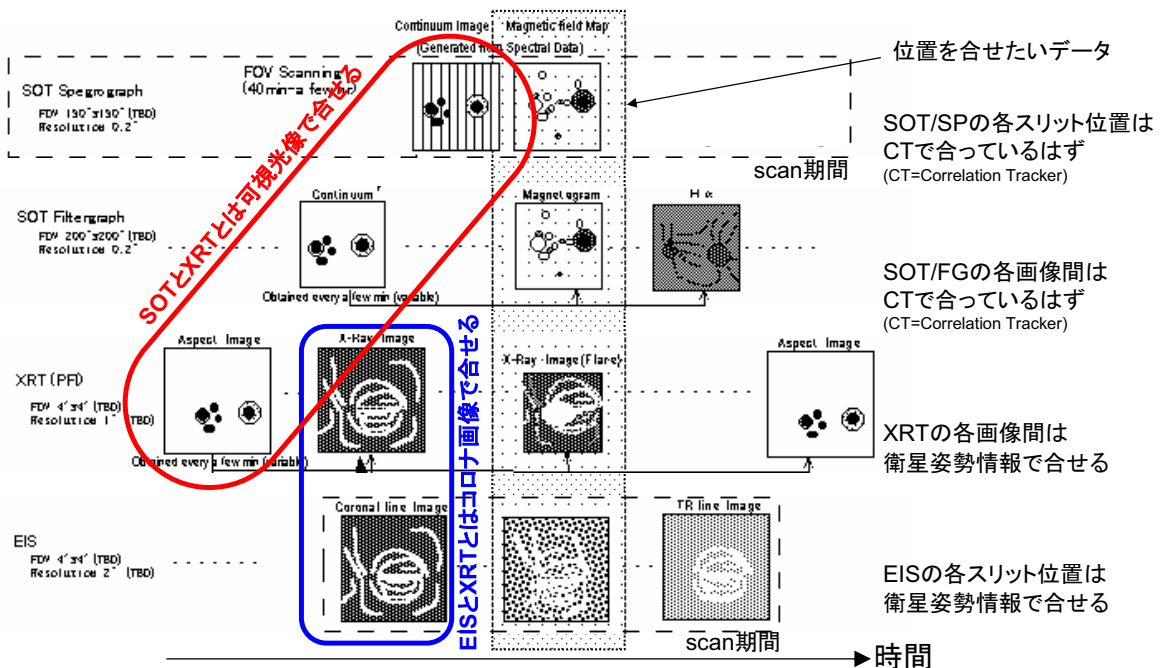


1"程度で合う ← 共通の構造(磁気ループなど)で合わせる
(近い時刻、視野が重なっていないとため)

- SOTとEISを合わせる
 - SOT-XRT、XRT-EISのようにXRTデータを介在して2段階での位置合わせ



SOLAR-B内の位置合わせ まとめ

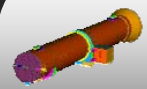




X線望遠鏡(XRT) データ解析について



JAXA 宇宙科学研究本部
成影 典之



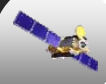
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

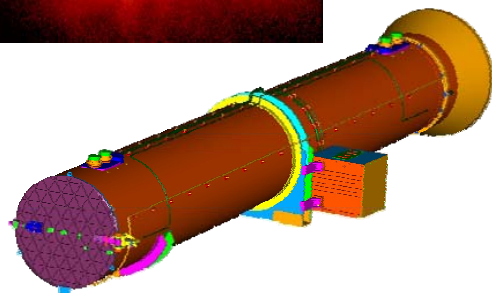
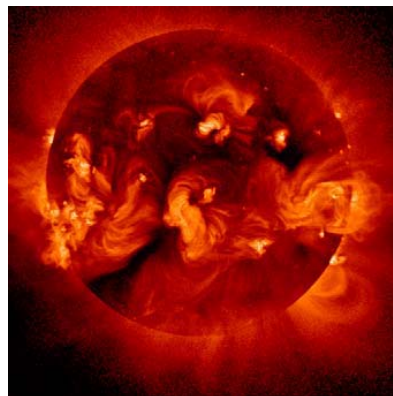
1



もくじ



1. X線 (XRT) で見る太陽
2. XRT 解析の流れ
3. XRT データを読む
4. XRT FITS キーワード
5. XRT データの中身
6. データの補正
7. XRT データ解析
 1. 温度診断
 2. フレアのエネルギーの見積もり
8. 100万度プラズマの観測



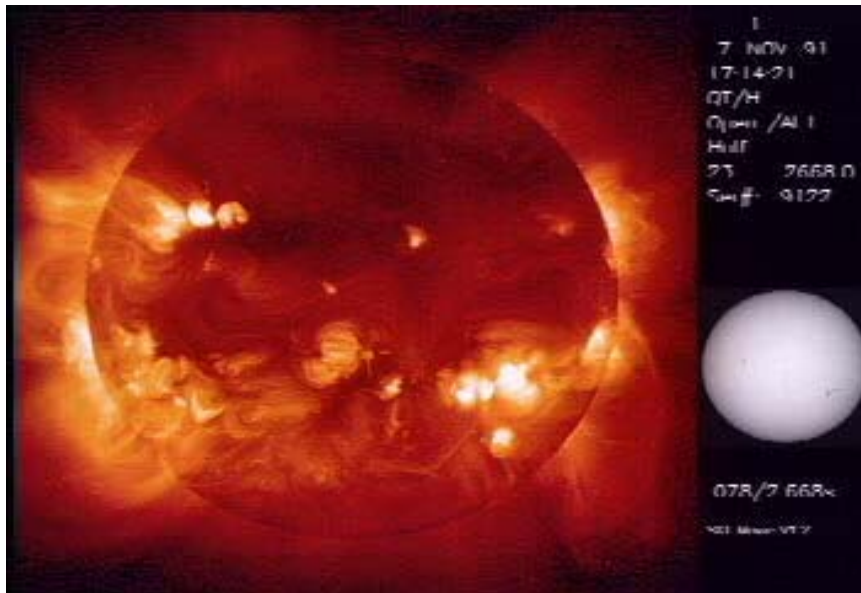
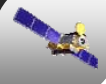
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

2



X線で見える太陽



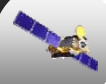
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

3



X線で見える太陽



■ 活動領域

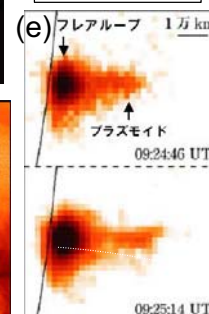
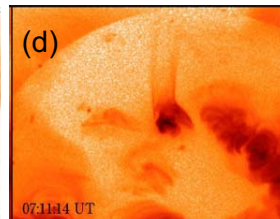
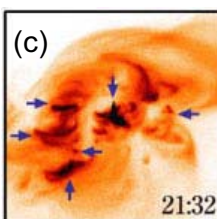
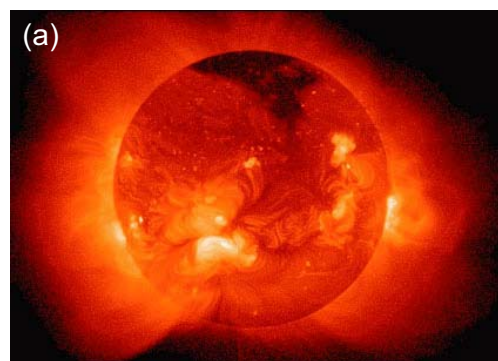
- フレア(a), (b)
- トランジェント・ブライトニング(c)
- ジェット(d)
- プラズモイド噴出(e)
- コロナループ

■ 静穏領域

- フィラメント消滅に伴うアーケード構造
- ストリーマー

■ コロナホール

- X-ray Bright Point (XBP)



<http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/missions/complate/yohkoh/best10.shtml>

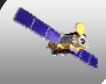
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

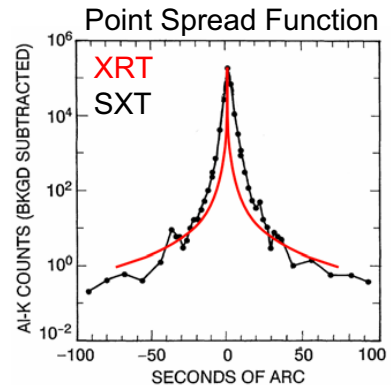
4



XRT で向上する点



- point spread function の向上 : 右図
- dark level が低い : $0.1e^- / \text{sec} / \text{pix}$
 - ➔ 鮮明な画像 : 2秒角分解能 (1秒角ピクセル)
- 低温(100万度)プラズマへの感度 : thin Al mesh フィルター
 - ➔ 新たな太陽像
- pre-flare buffer の装備 + 自動露光調整機能の向上
 - ➔ フレア初期の観測 (前回テキスト参照)



※SXT @ Al K (8.34A) のグラフに XRT @ Cu-L line(13.3A)を重ねた

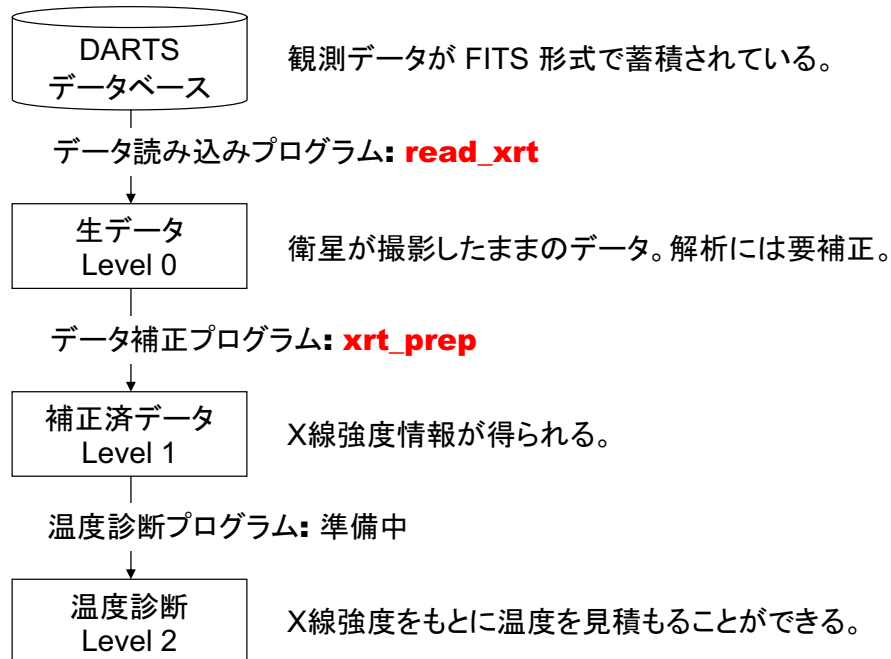
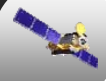
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

5



データ解析の流れ



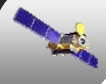
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

6



XRT データ (Lv.0) を読む



SOLAR-B Data Center

<http://darts.isas.jaxa.jp/solarb/top.do>

Back Reset Update Get All Data

現在登録されているデータは、Observation Time Start が 1975-04-28T18:52:06.888 から 2005-12-23T20:45:27.206 のデータです。

Observation Time		Target Position	
Start	(UT) e.g. "2005-06-01T00:00:00.000"	X (arcsec)	Y(arcsec)
End	(UT) e.g. "2005-12-01T00:00:00.000"	X RANGE	Y RANGE
<input type="button" value="Zoom Time"/>		<input type="button" value="Zoom Region"/>	

XRT

Spacial Information	
Binning	<input type="checkbox"/> 1"x1" <input type="checkbox"/> 2"x2" <input type="checkbox"/> 4"x4" <input type="checkbox"/> 8"x8"
Wavelength	
X-ray	<input type="checkbox"/> Thin Al Mesh <input type="checkbox"/> Thin Al poly <input type="checkbox"/> C poly <input type="checkbox"/> Ti poly <input type="checkbox"/> Thin Be <input type="checkbox"/> Medum Al <input type="checkbox"/> Medium Be <input type="checkbox"/> Thick Al <input type="checkbox"/> Thick Be
Optical	<input type="checkbox"/> Gband
ITEM:	
SIZE:	
<input type="button" value="Show XRT List"/> <input type="button" value="Get XRT Data"/>	

空間分解能

フィルターを選ぶ。
温度診断のためには
2種類必要。

Back Reset Update Get All Data

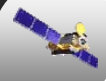
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

7



XRT データ (Lv.0) を読む

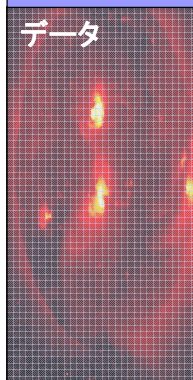


XRT FITSファイル

キーワード

- 撮像時刻
- 使用フィルター
- 露光時間
- 領域位置情報
- など

データ



- XRT画像は、FITSファイルに保存される。
- FITSファイルは、キーワード部分とデータ部分で構成されている。
 - キーワード部分
撮影時刻、使用フィルター、露光時間などの撮影情報が入っている。
 - データ部分
CCDカメラで撮った太陽(コロナ)の姿そのものが入っている。
- 1つのFITSファイルに1つのXRT画像が納められている。

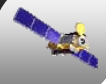
2006/06/27


第2回SOLAR-B講習会 XRT

8



XRT 解析ソフト



 IDL : データ解析ビジュアライゼーション ソフトウェア

<http://www.ittvis.com/idl/index.asp> (本家)

<http://www.jicoux.com/idl.html> (日本代理店)

IDL SSW XRT 解析用パッケージ

- read_xrt : XRT データ読み込み
- xrt_prep : XRT データ補正

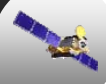
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

9



XRT データ (Lv.0) を読む



■ 読みたい FITSファイルの指定

```
IDL > files = 'file_name'
```

複数のファイルを指定するには、

```
IDL > files = findfile('*.fits')
```

ファイルの指定に、**ワイルドカード**が使える。

■ read_xrt で XRT データを読み込む

```
IDL > read_xrt, files, index, data
```

index には FITS ファイルの index 情報が、data には画像が入る。

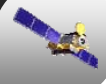
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

10



XRT データの中身



- help コマンドを使って、index, data の中身を確認。

```
IDL > help, index, data
INDEX  STRUCT = -> ***** Array[10] ← 10枚の画像情報
DATA   FLOAT  = Array[512, 512, 10] ← 512x512 pixel の画像が10枚
```

index は構造体になっており、様々な情報がひとつにまとめられている。
以下の方法で中身を確認することが出来る。

```
IDL > help, index, /structures
DATE_OBS   STRING  '2006-09-30T01:23:45.678' ← FITS キー
TELESCOP   STRING  'SOLAR-B'                 ← ワードに相当
INSTRUME   STRING  'XRT'                     ← する情報が
:                                                  入っている
:
```

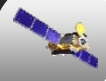
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

11



XRT 画像を見る



- 1枚の画像を見る

```
IDL > tvscl, data[*,* ,0]
```

X線画像は、log で表示したほうが見やすいので、

```
IDL > tvscl, alog10(data[*,* ,0]>1)
```

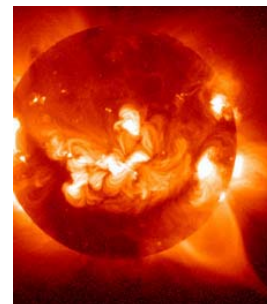
- 複数の画像をパラパラ漫画のように見る

```
IDL > stepper, alog10(data>1)
```

```
"スペースキー": 次の画像   "b": ひとつ前の画像
"m": ムービー              "q": 終了
```



↓ log で表示すると



2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

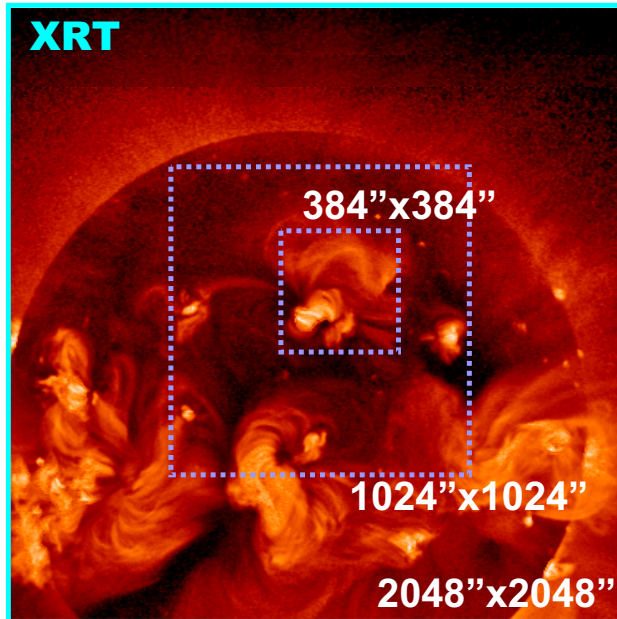
12



XRT FITS キーワード



- 観測日時
- 視野
 - 最大 2048" x 2048"
- 空間分解能
 - 1", 2", 4", 8" から選択可能。
- 露出時間
 - 1msec ~ 64sec から選択。
- フィルター
 - 観測対象の温度と輝度に応じて9つの中から選択する。
 - アライメント用の可視光撮像可。
- 画像圧縮：定量解析時には要チェック
 - 可逆圧縮(DPCM)を主に使用。
 - 非可逆圧縮(JPEG)も使用可能。



2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

13



XRT FITS キーワード



キーワード名	例	説明
DATA_OBS	'2006-12-31T05:53:29.300'	観測時刻
E_ETIM	1028	実際にかかった露光時間 [μ sec] ※EXPTIME [sec] は予定した露光時間
EC_FW1_	'Al_poly'	観測フィルタ名 どちらか片方は必ず 'open'
EC_FW2_	'open'	
ICMPMD	3	圧縮モード 0: 非圧縮 3: 可逆圧縮 7: 非可逆圧縮 ※温度解析には向かない

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

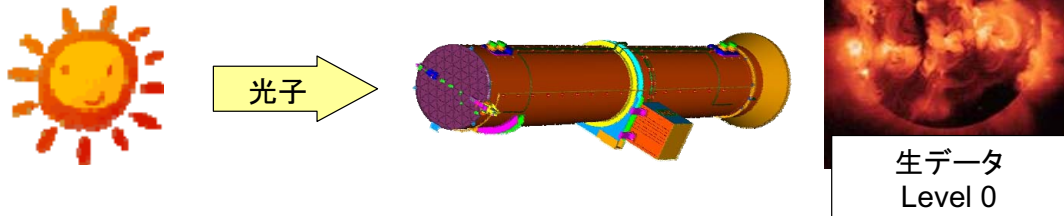
14

5

XRT Lv.0 データの中身



- data の各ピクセルには CCDカメラが受信した光の強度(が圧縮されているもの)が入っている。



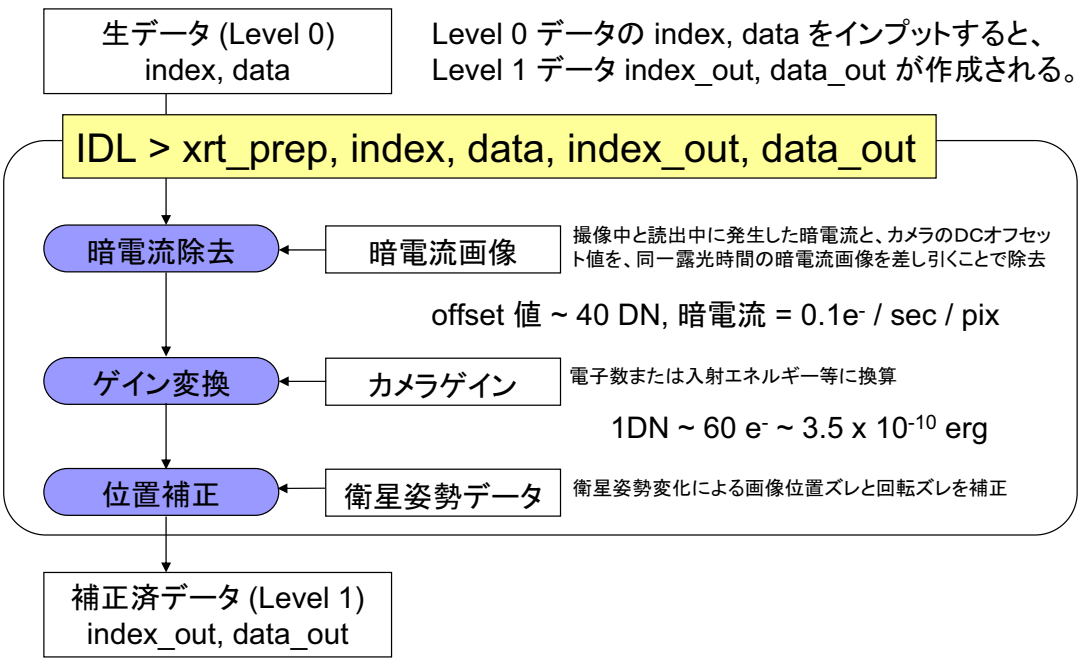
太陽からの光子が入射 [erg] → CCDで受光 [DN] → 圧縮保存

望遠鏡の影響

太陽から放射された光子数(エネルギー)を求めるには、補正が必要。

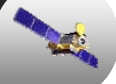
6

データの補正 (Lv.0→Lv.1)



7

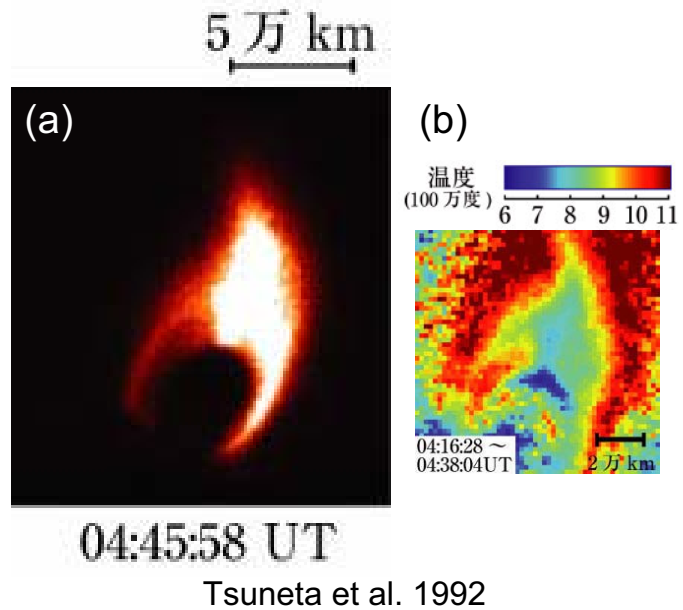
XRT データ解析



- XRT (X線) データを使えば、コロナの温度を見積ることが出来る。

図(a)はフレア時のX線の強度を表し、図(b)はX線の強度から見積った温度分布を示している。

→ ろうそくの炎のように、外側ではX線強度が弱いが高温であることが分かる。



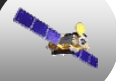
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

17

7.1

XRTが感受するX線強度



- XRTがフィルターを用いて感受するX線の強度

$$I_{\text{filter}} = EM \times f_{\text{filter}}(T)$$

$$= n^2 V \times f_{\text{filter}}(T)$$

$EM \equiv n^2 V$: エミッションメジャー(コロナプラズマの量)

n : コロナプラズマの密度

V : コロナプラズマの体積

T : コロナプラズマの温度

$f_{\text{filter}}(T)$: フィルターの温度感度

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

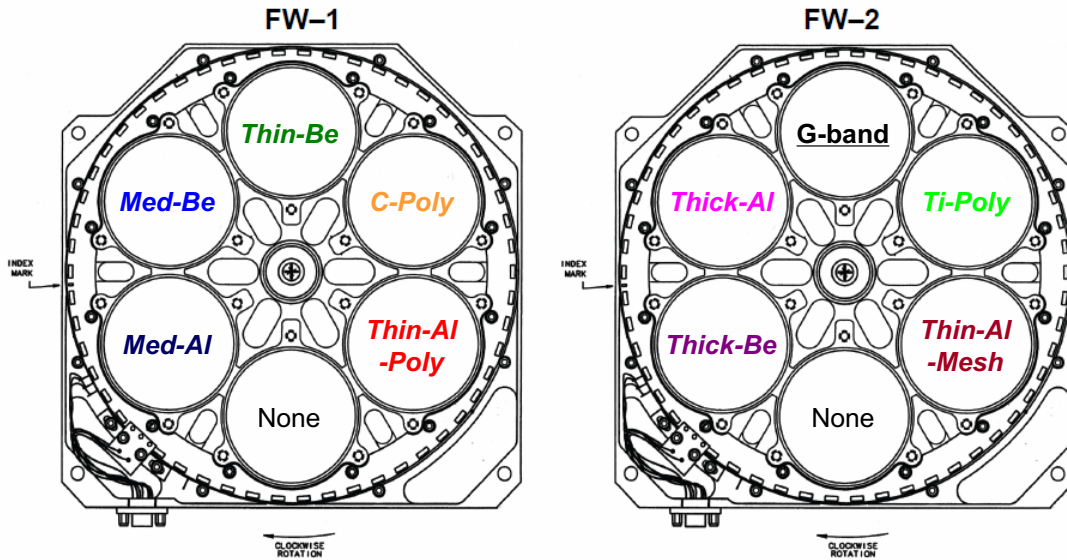
18



XRT のもつフィルター



- X線観測用9枚と、可視光フィルター 1枚をもつ



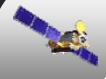
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

19

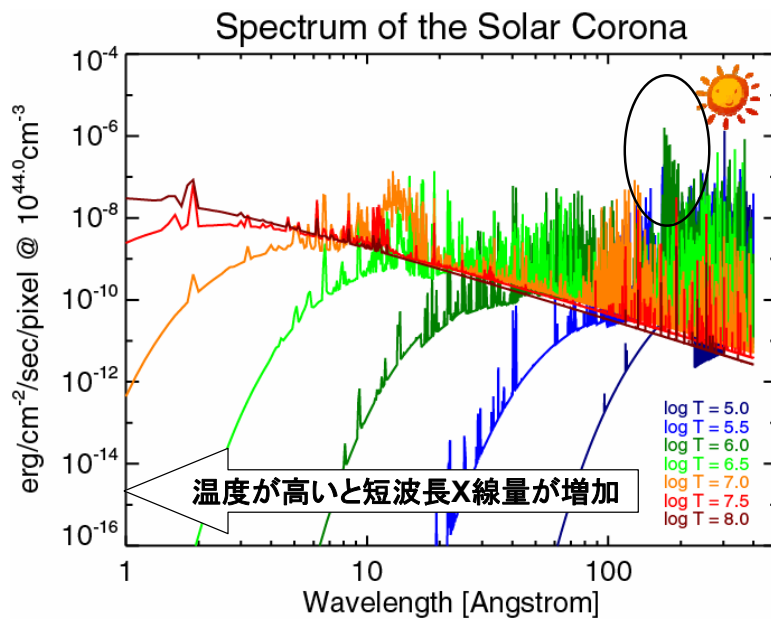


太陽コロナのスペクトル



太陽コロナからのスペクトルは、光学的に薄いプラズマでモデル化され、波長と温度の関数として表される。スペクトルは、連続光成分と輝線成分から成る。

XRT は **100万度** に敏感な150~200 Å 近傍にある輝線群に注目し**低温コロナ**を観測する。



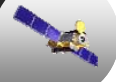
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

20

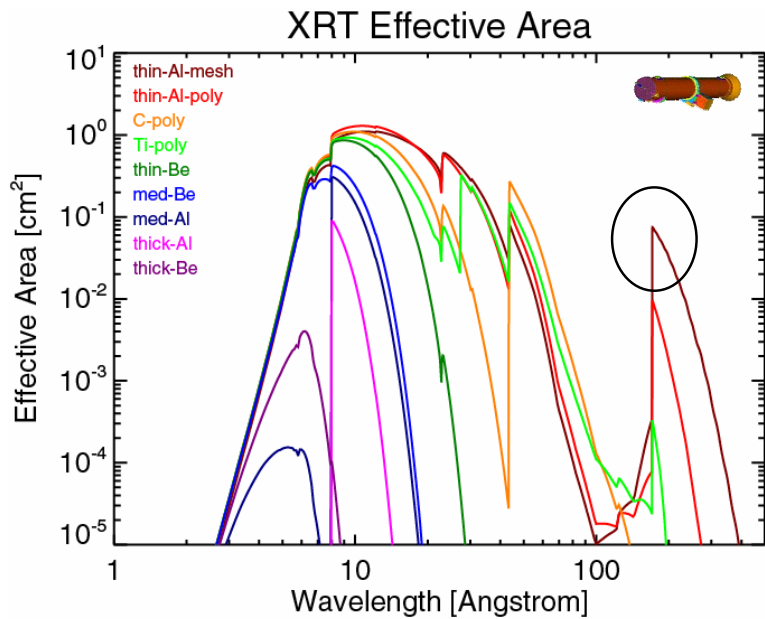


フィルタの波長感度(有効面積)



- XRT は波長感度特性の異なる9種類のフィルターを持つ。
- 特定の輝線に偏らない広い波長感度が XRT の特徴。

100万度プラズマ (前頁記述の150~200 Å 近傍にある輝線群)を観測するために、**thin-Al-mesh** フィルターでは170~200 Åにも感度を持たせてある。



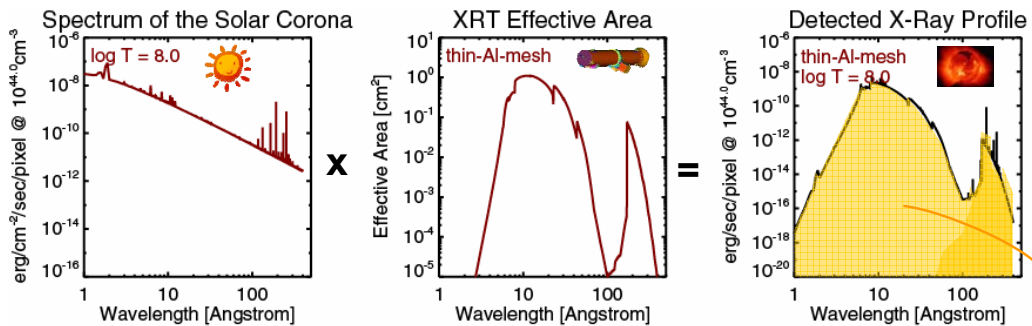
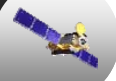
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

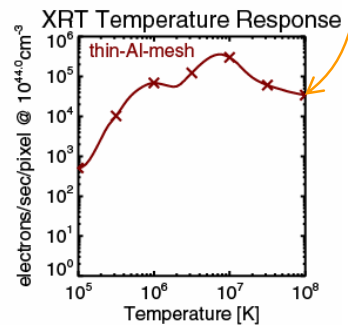
21



XRTが捉える太陽コロナ



- ある温度の太陽スペクトル × フィルタ感度(有効面積)
 = ある温度の太陽プラズマから XRT がフィルターを通して受けるエネルギーの分布
- ➔ 波長方向に積分すると、ある温度の太陽プラズマから XRT がフィルターを通して受けるエネルギーが求まる。
 - ➔ これを温度毎にプロットすると、「フィルターの温度感度: $f_{\text{filter}}(T)$ 」が得られる。



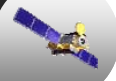
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

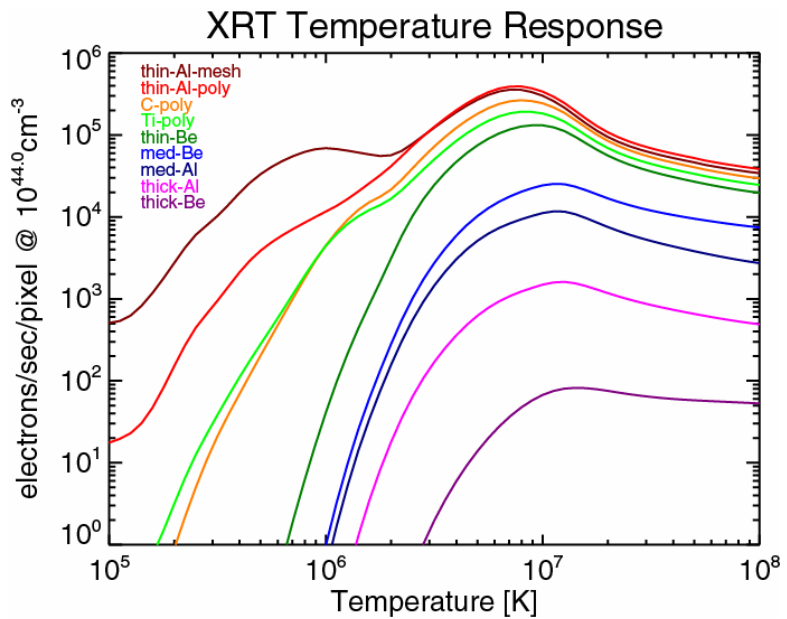
22



フィルターの温度感度 $f_{\text{filter}}(T)$



- 温度感度は、各フィルターによって異なる特徴をもつ。
- ➔ 厚いフィルターほど高温成分に感度がある。
- 特定輝線に偏らないので、広い温度感度範囲を持つのが特徴的。
- thin-Al-mesh の温度感度曲線は、100万度近辺に盛り上がり(100万度に感度)があることが特徴である。



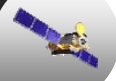
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

23



温度診断: filter ratio method



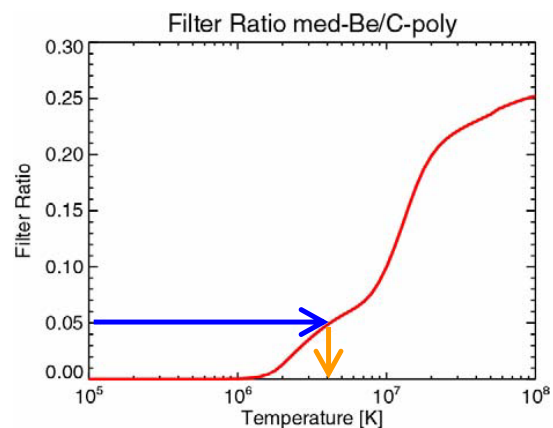
- X線強度の相対比を用いた方法
※単温度を仮定している。

$$\frac{I_{\text{filter1}}}{I_{\text{filter2}}} = \frac{EM \times f_{\text{filter1}}(T)}{EM \times f_{\text{filter2}}(T)}$$

filter1 と filter2 が同じプラズマを見ているとすると、分子と分母の EM は約分出来る。

$$= \frac{f_{\text{filter1}}(T)}{f_{\text{filter2}}(T)}$$

フィルターのペア毎に決まった関数
(前頁のフィルター感度の比)



※通常、数種類のフィルターを用いて観測するので、温度解析が行える。

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

24

7.1

温度診断の注意点と対処法



- 温度診断する対象に合ったフィルターペアを選ぶ。
 - お薦めフィルターは後述。
- 十分なカウント数があること
 - 時間方向に積分（同じフィルターの画像を複数枚を足し合わせる） or 空間方向に積分（ピクセルを足し合わせる）
- 2種類のフィルターの観測時間差を対象現象の時間スケールより短くする。→ 内挿・外挿し、時刻を合わせる。
- サチュレーションを起こしている部分は解析出来ない。

※見積った温度は、フィルターの感度で重みがついた平均温度。

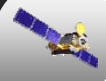
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

25

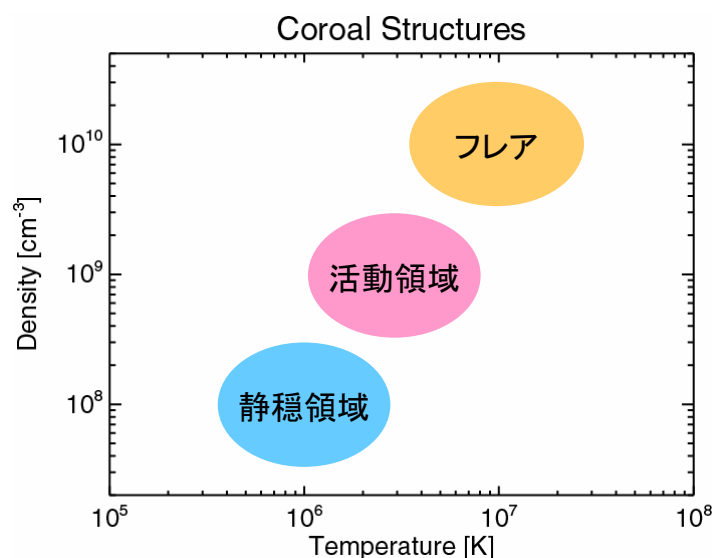
7.1

フィルターペア選択の注意点



温度診断を行う際は、診断対象に適したフィルターペアを選択する必要がある。

右図は、フレア・活動領域・静穏領域の代表的な温度と密度の関係を示した図である。この3領域についてお薦めのフィルターペアを紹介する。



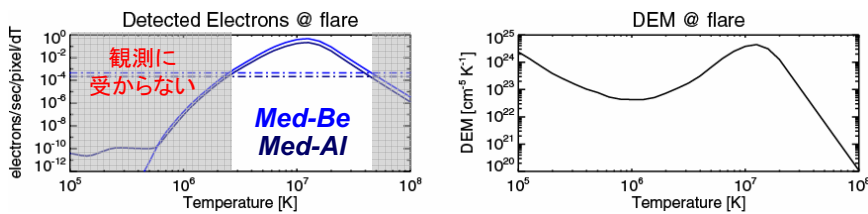
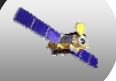
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

26



観測領域とフィルタ感度



- 右図は、フレア領域における温度とプラズマ量の関係を表したグラフ。(Differential Emission Measure: DEM)
- 左図は、右図にフィルタ感度を掛けて求めた、フレア領域をXRT (Med-Be と Med-AI フィルタ) で見たときの受光量。
- ➔ 受光量ピーク値の数百～千数百分の1以下の感度しかない温度域は観測自体が出来ない。(左図ではピーク値の1/1000 が閾値)

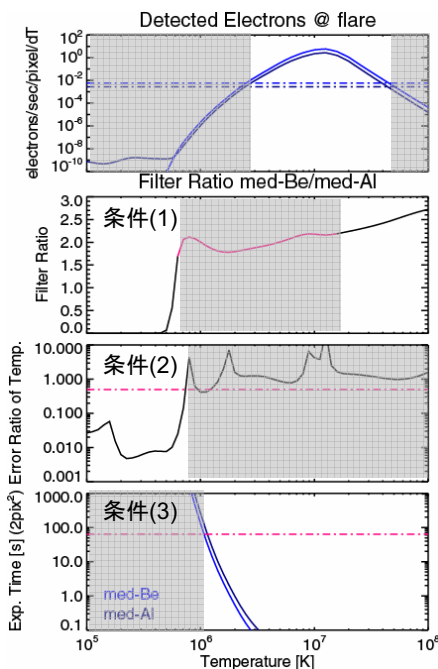
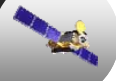
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

27



フィルターペア選択の注意点



- 対象領域が観測できるフィルタであることが分かったら、以下の3点に注意してフィルターペアを選ぶ。
- 1. ある filter ratio から温度が一義的に決まる。
- 2. 測光誤差による温度誤差が小さい。(左図の線は 50% のエラー)
- 3. 測光誤差を 10% 以下にするために必要な露光時間が長すぎない。(左図の線は、XRTの最長露光の64秒)

med-Be と med-AI のペアは、すべての条件を満たす温度範囲がなく、温度診断に使えないことが分かる。

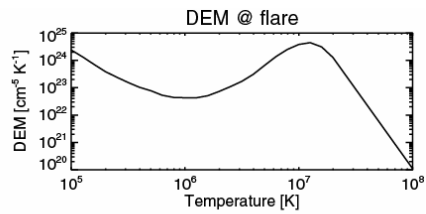
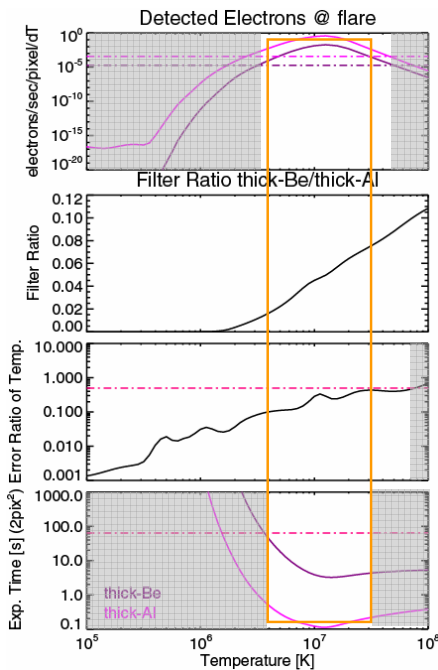
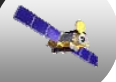
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

28

7.1

お薦めフィルター：フレア



フィルターペア	診断可能温度範囲
thick-Be thick-Al	4~30MK
thick-Be med-Al	3~30MK

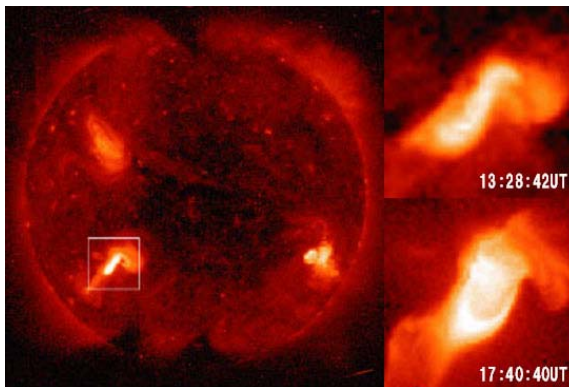
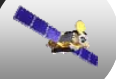
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

29

7.2

フレアのエネルギーの見積もり



$$I_{\text{filter}} = EM \times f_{\text{filter}}(T)$$

$$EM \equiv n^2 V \approx n^2 S^{3/2}$$

$$E_{\text{thermal}} = \frac{3}{2} nkT$$

- 温度(T)は、XRTの温度診断から見積れる。
- エミッションメジャー(EM)は、温度とX線強度から見積れる。
- 体積(V)は、XRT画像のフレア領域の面積(S)から仮定する。

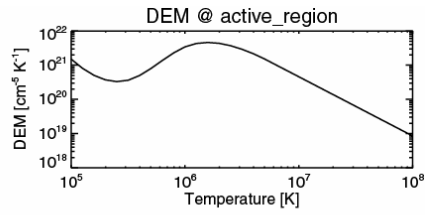
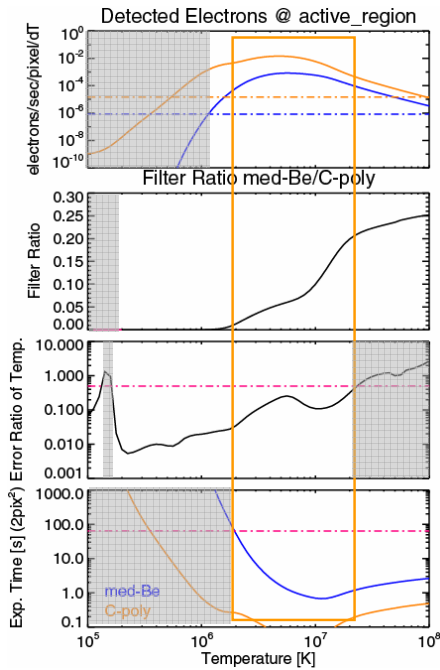
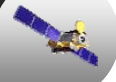
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

30



お薦めフィルター：活動領域



フィルターペア	診断可能温度範囲
Med-Be C-poly	2~20MK
thin-Be thin-Al-poly	1.5~10MK

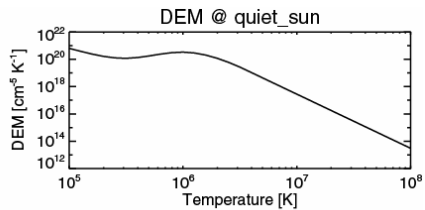
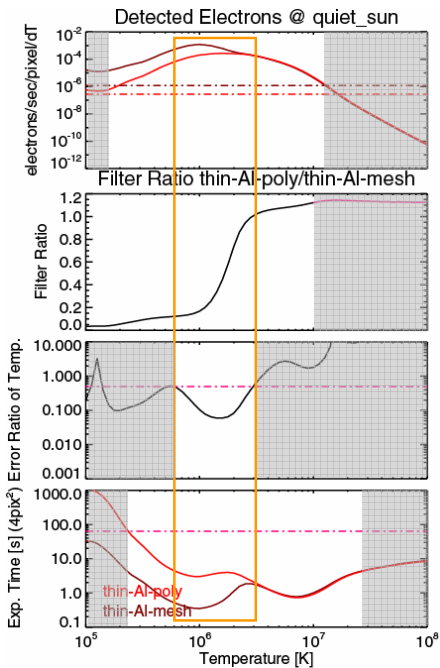
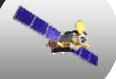
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

31



お薦めフィルター：静穏領域



フィルターペア	診断可能温度範囲
thin-Al-poly thin-Al-mesh	0.6~3MK

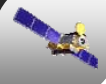
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

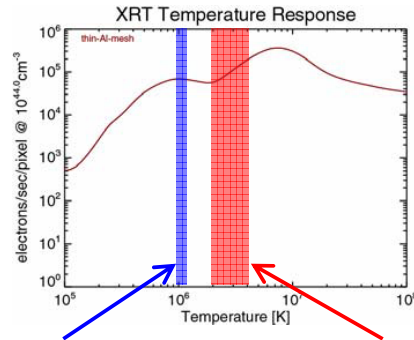
32



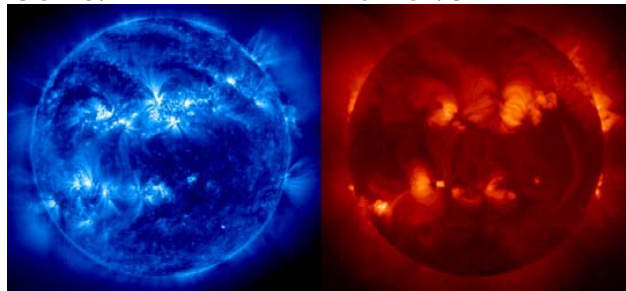
100万度プラズマへの感度



- **thin-Al-mesh** の温度感度曲線には、700万度にピークがある大きな山と、**100万度近辺**がピークの小さな盛り上がりがある。
- ➔ 200万度以上のプラズマが少ない領域では、100万度のプラズマを観測することが出来る。



SOHO/EIT 171A 1MK Yohkoh/SXT 2~4MK



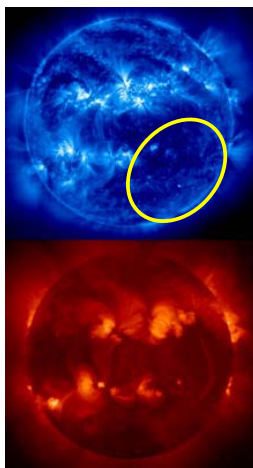
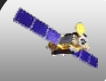
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

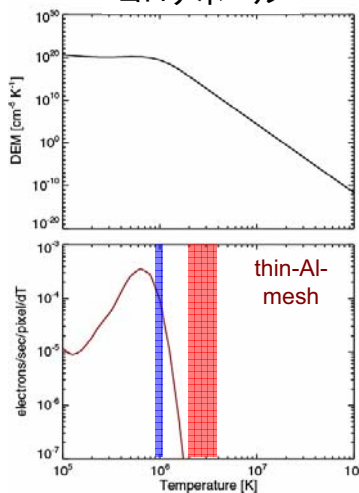
33



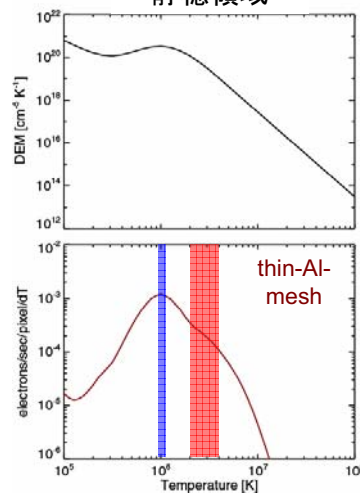
100万度プラズマへの感度



コロナホール



静穏領域



← 温度とプラズマ量の関係

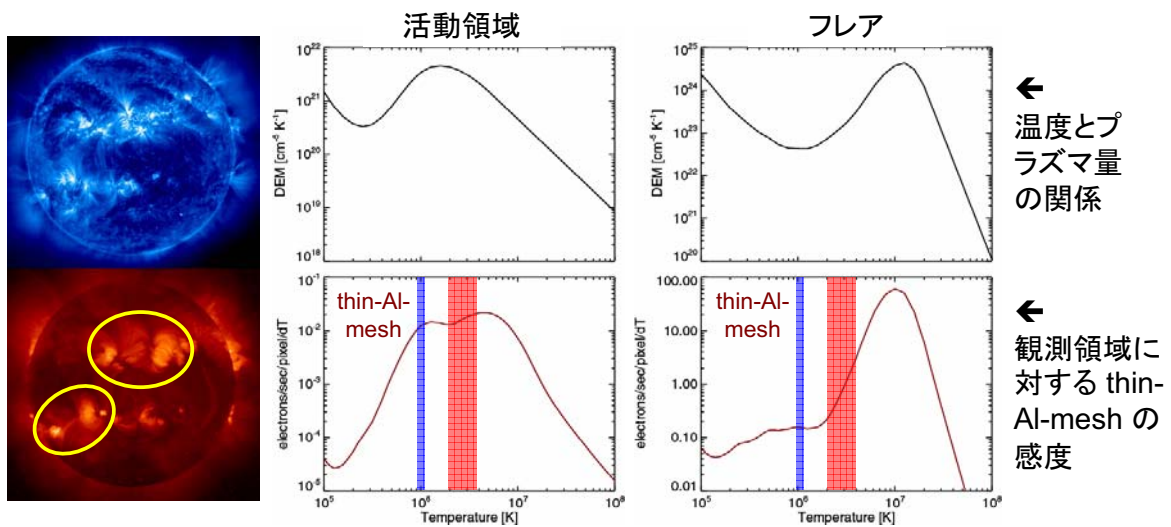
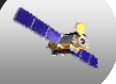
← 観測領域に対する thin-Al-mesh の感度

- **コロナホール**や**静穏領域**では、100万度近辺のプラズマが多数を占めている(上段のDEM参照)。thin-Al-mesh フィルターは、その**100万度プラズマ**を観測することが出来る。

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

34

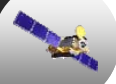


- 活動領域、フレアといった高温プラズマが多数を占める領域(上段のDEM参照)では、100万度近辺に受光強度の盛り上がりはあるが、高温成分の方が卓越しているため、SXTのような画像になると思われる。

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

35



- XRTは高分解能で鮮明な太陽像を見ることが出来る。
 - FITSビューアーがあれば簡単に見ることが出来る。
- XRTは2種類以上のフィルターを用いて温度診断を行うことが出来る。(要IDL)
 - フィルターペアの選択には注意が必要。
 - 温度診断プログラムは準備中。
- コロナホール・静穏領域では、100万度の低温プラズマを見ることが出来る。

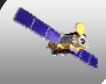
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

36



付録：XRT性能表



X-Ray Optics	
Optics	Optimized Wolter-I-like grazing incidence optics
Focal length	2708 mm
Mirror micro-roughness	6 Å expected (TBD; analysis ongoing)
Aperture size	> 340 mm
Spatial resolution	68 % of encircled energy in 2 arcsec (at 0.523 keV)
Wavelength range	6–200 Å
Effective area	> 1.0 cm ² at 0.523 keV
Visible Light Optics	
Focal length	2708 mm
Wavelength	4305 Å (G-band)
Focal Plane CCD Camera	
CCD device	E2V 2048×2048 back-illuminated
Pixel Size	13.5 μm = 1.0 arcsec
Field of view	34×34 arcmin (capable of covering the whole Sun)
Image readout	500 kpixel/s

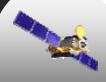
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

37



付録：参考ホームページ・文献



■ 参考ホームページ

- SOLAR-B衛星全般

<http://solar.nro.nao.ac.jp/solar-b/>

<http://www.isas.ac.jp/j/enterp/missions/solar-b/index.shtml>

- 「ようこう」衛星(SOLAR-Bの前任機)

<http://www.isas.jaxa.jp/home/solar/>

<http://www.lmsal.com/SXT/homepage.html>

■ 参考文献

- 科学衛星SOLAR-B実験計画書<第3分冊>

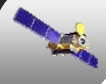
2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

38



Contact Point



何かありましたら...

- 坂尾 太郎 (JAXA 宇宙科学研究本部)
sakao@solar.isas.jaxa.jp
- 鹿野 良平 (国立天文台・SOLAR-B推進室)
ryouhei.kano@nao.ac.jp
- 成影 典之 (JAXA 宇宙科学研究本部)
narukage@solar.isas.jaxa.jp

2006/06/27

第2回SOLAR-B講習会 XRT

39



SOLAR-B衛星可視光望遠鏡

データ解析入門

永田伸一(京都大学)

nagata@kwasan.kyoto-u.ac.jp

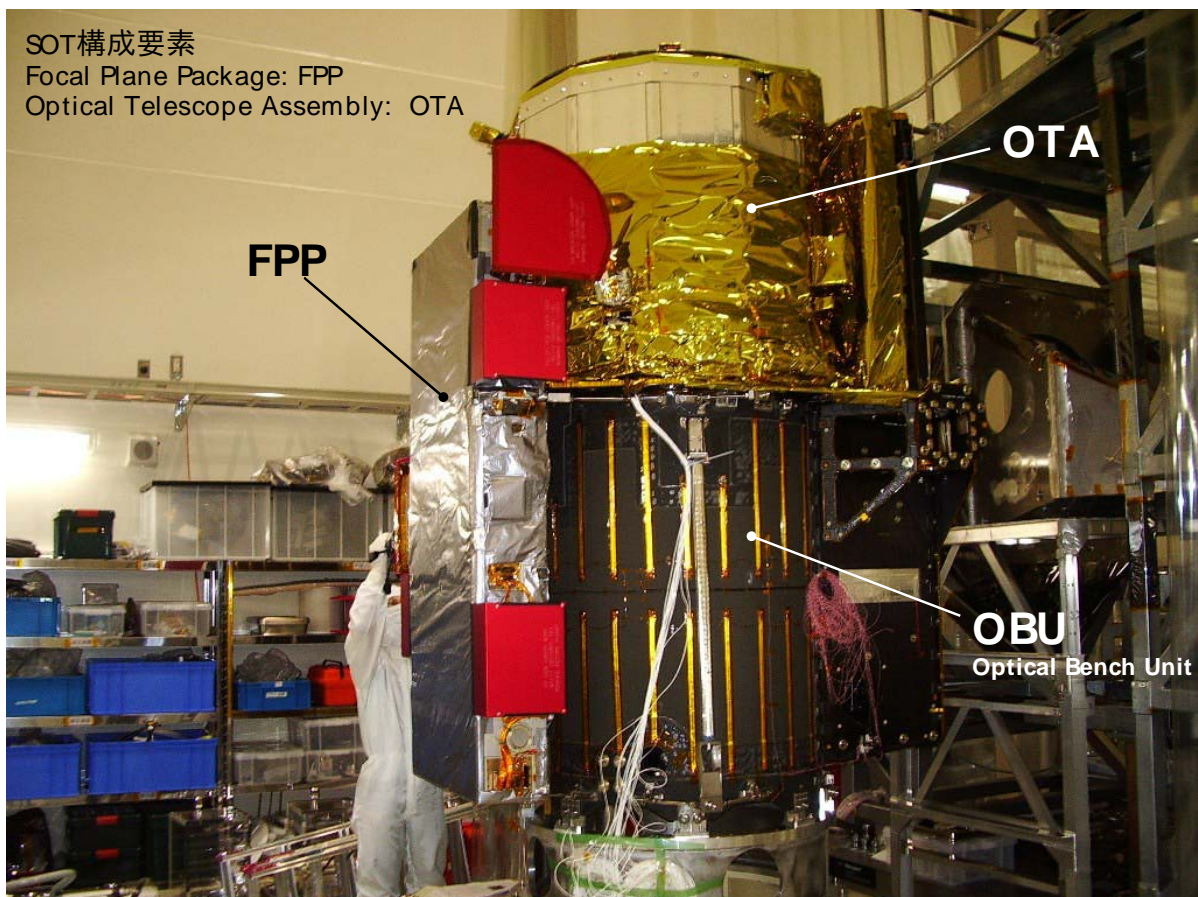
はじめに

- 可視光望遠鏡(Solar Optical Telescope:SOT)は、3883-6684 Åにある吸収・連続スペクトルの、撮像・分光データを収集する。太陽物理学の基本問題である、光球磁場と上空高温大気の関係、太陽内部での磁場生成機構等の理解は、SOTを用いた研究により大きく進展するであろう。
- 本講演では、太陽光学観測の初学者が、SOTデータの解析を始めるにあたり、知っておくことが望ましい、観測データから物理量[強度、磁場、速度、温度]を導出する原理と、データの見方について述べる。
- SOTについてより基本的な事項は、第1回講習会資料が参考になる。また、更なるデータ解析の詳細については来る第3回講習会にて演習が計画されている。

内容

- SOTデータと解析
- データ処理方法
 - フィルターグラム
 - ドップラーグラム
 - 磁場診断
 - 温度診断
- 開発中の解析ツール
- 資料

3



SOTデータと解析

5

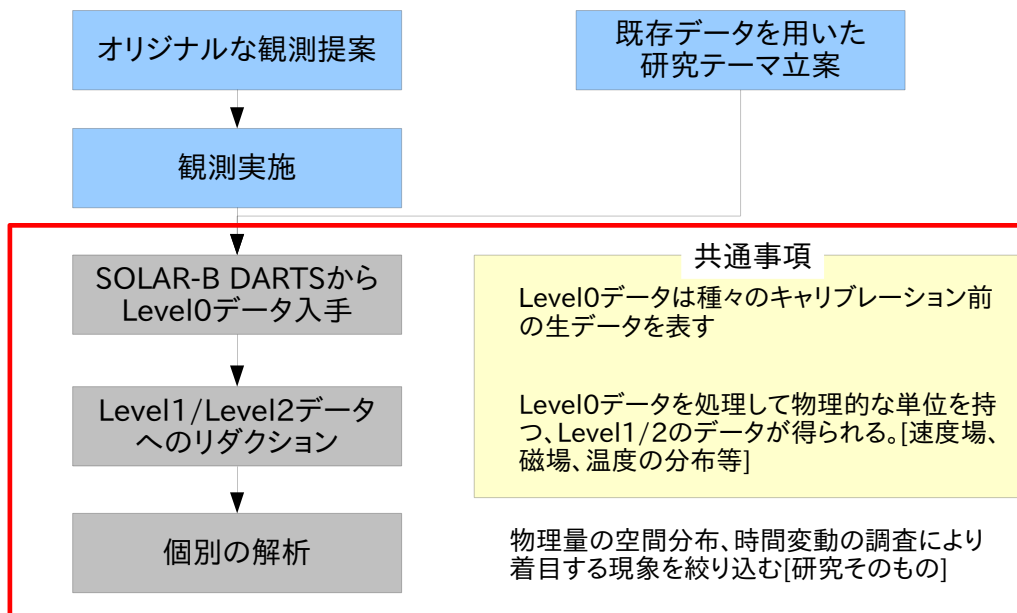
SOTデータと解析

- SOTの取得するデータとは:
 - SOTはさまざまな波長帯域の光量を撮像、および分光により計測する
 - 得られた「光量」の分布を、機上処理、地上ソフトを使って、物理的な単位を持ったデータに変換する
 - 解析者自身で、生データから物理的な単位を持ったデータへの変換が必要な場合がある。
 - 解析者は、研究目的に応じ、着目する大気層に対応する波長帯域のobservableを選択しなければならない。

6

SOTデータと解析

SOTデータ解析フロー

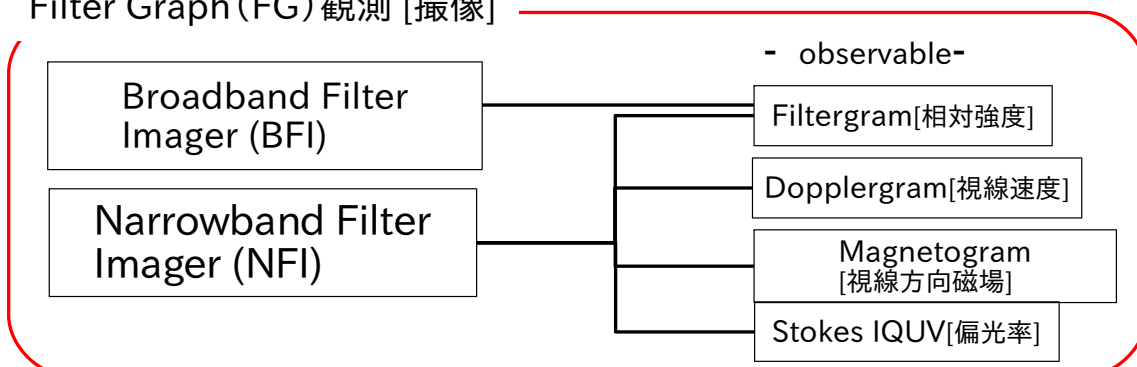


7

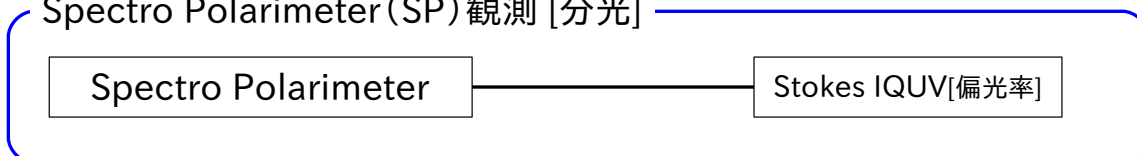
SOTデータと解析

撮像と分光により4種類のobservableが得られる。

Filter Graph (FG) 観測 [撮像]

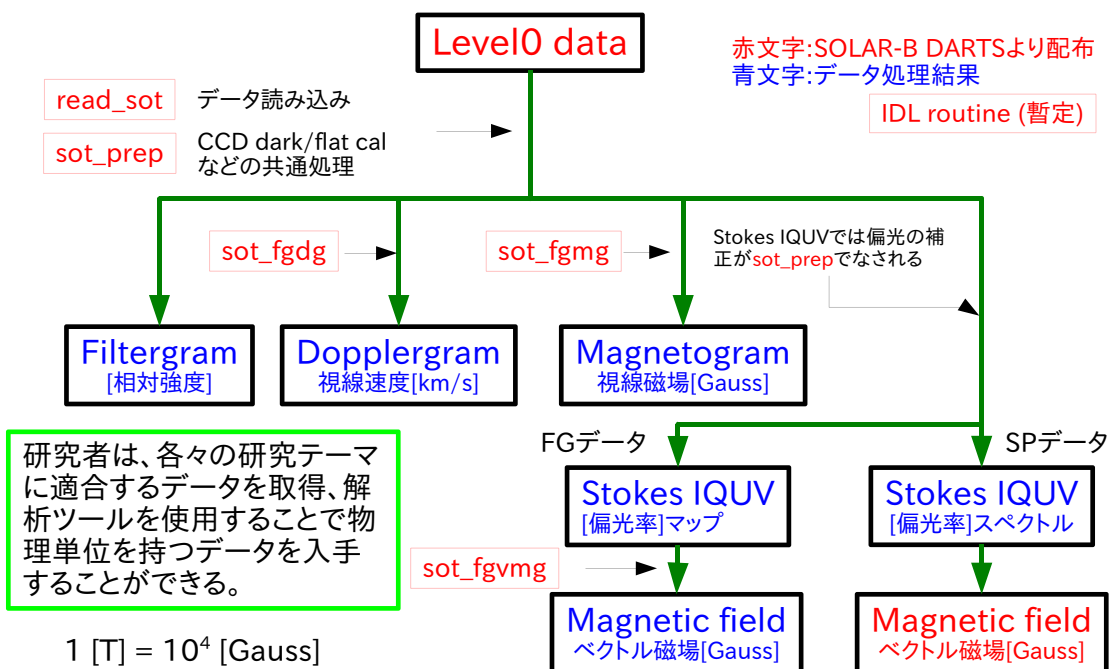


Spectro Polarimeter (SP) 観測 [分光]



8

SOTデータと解析



9

SOTデータと解析

SOLAR-B DARTSでのSOTデータ選択:

- 時刻と視野は3望遠鏡共通選択
- FGとSPで、ウィンドウ内のデータ選択場所が異なる
- FGの場合、observable/binning/wavelengthを選ぶ
- SPの場合観測モードを選択する

SOT-FG		SOT-SP				
observable	Observable			Observation		
	Filtergram	<input type="checkbox"/> Filtergram (Simple)			Mode	Slit
	Magnetogram	<input type="checkbox"/> Magnetogram V/1 (4 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Magnetogram I & V (4 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Normal Map	0.16"	4.0s < t < 6.4s
		<input type="checkbox"/> Magnetogram V/1 (2 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Magnetogram I & V (2 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Fast Map	0.32"	t < 4.0s
		<input type="checkbox"/> Magnetogram V/1 (1 Wavelength)		<input type="checkbox"/> Dynamics	0.16"	t < 4.0s
	Dopplergram	<input type="checkbox"/> Dopplergram (4 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Dopplergram (I+ and I- images: 4 Wavelength)	<input type="checkbox"/> Deep Magnetogram	0.16"	t > 6.4s
	Dopplergram	<input type="checkbox"/> Dopplergram (2 Wavelength)				
	Stokes IQUV					
	Shuttered	<input type="checkbox"/> FG shuttered I & V	<input type="checkbox"/> FG shuttered I & V (Exp Time:1s)			
	Shutterless	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & V	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & V (Exp Time:2s)			
	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & V (Exp Time:1s)	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & Q				
	<input type="checkbox"/> FG shutterless I & U	<input type="checkbox"/> FG shutterless I,U & V				
	<input type="checkbox"/> FG shutterless I,Q,U & V					
Spatial Information						
Binning	<input type="checkbox"/> 1x1	<input type="checkbox"/> 2x2	<input type="checkbox"/> 4x4			
Wavelength						
	BFI	NFI				
<input type="checkbox"/> CN bandhead	388.3	<input type="checkbox"/> Blue Continuum	450.4	<input type="checkbox"/> Mg I b	517.2	
<input type="checkbox"/> Ca II H	396.8	<input type="checkbox"/> Green Continuum	555.0	<input type="checkbox"/> H I	656.2	
<input type="checkbox"/> G band	430.5	<input type="checkbox"/> Red Continuum	668.4	<input type="checkbox"/> Na I	689.8	
				<input type="checkbox"/> Fe I	525.0	
				<input type="checkbox"/> Fe I	630.1	

SOLAR-B DARTS ウィンドウの抜粋

10

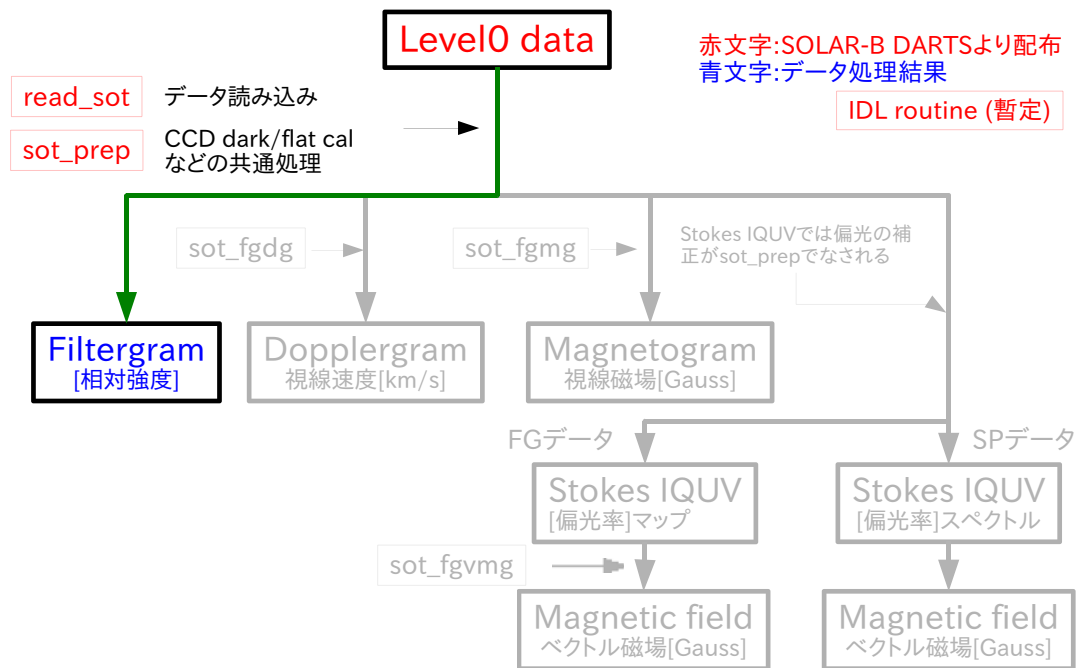
データ処理方法

11

フィルターグラム

12

フィルターグラム



13

フィルターグラム

- フィルターグラムは、「着目する現象がよく見えるデータは何か?」という視点で選ぶ。(選択可能な6波長帯、6吸収線は第1回講習会資料を参照。)
- 現象の時間発展の調査に加えて、水平方向速度場などを導出して研究を進める。

フィルターグラムのデータ例

装置	波長	大気高さ	特徴
BFI	CH I 4305	光球	“G-band”。光球面の磁気要素、粒状斑の観測に適する。時系列データを動画として用いる他に、光球の水平速度を導出し、対流運動と磁束管の相互作用を探る。
BFI	Ca II H 3968	彩層低部-上部	温度最低層から彩層の高い領域まで、比較的広範囲の大気層で発生するエネルギー解放現象の観測に適する。
NFI	H I 6563	彩層上部	“H-alpha”: 彩層での磁束管の分布、運動の観測に適している。光球から浮上する磁束管、大小様々のジェット現象、コロナ中に浮かぶ filamentなどをとらえ、光球とコロナをつなぐ情報が得られる。

14

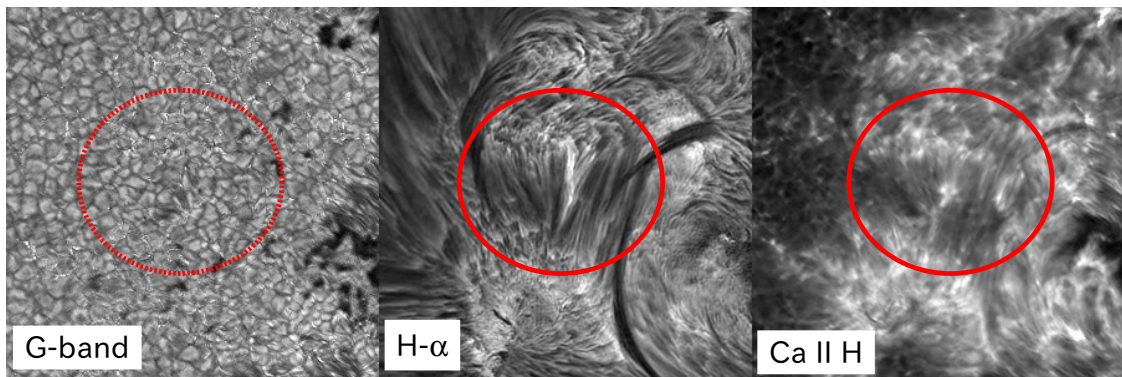
フィルターグラム

- フィルターグラムの処理は共通処理のsot_prepのみ
- 研究の主たる手法は:
 - 異なる大気層(観測波長)の構造比較
 - 時間変動の調査(movie)

微細磁束管の生成のタイミングは?

浮上する磁束管

微細な加熱現象と磁束浮上の関係は?



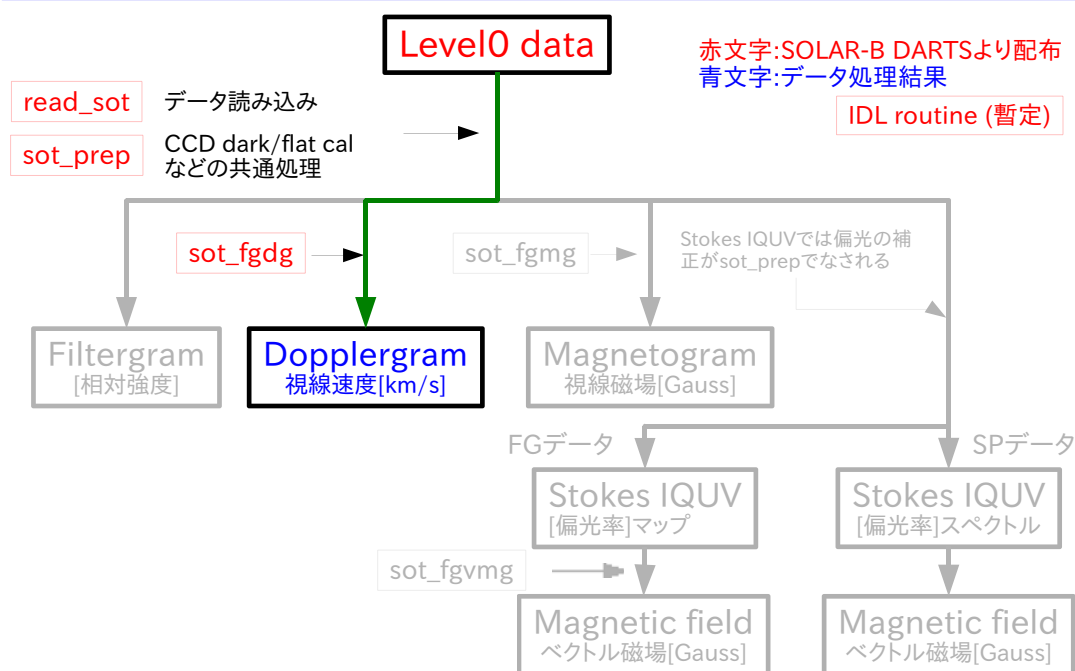
2005.06.06 observed with DOT

15

ドップラーグラム

16

ドップラーグラム



17

ドップラーグラム

- 彩層での活動的な現象、光球の振動現象をとらえることで、現象の定量的な調査が可能になる。
- 水平方向速度場とあわせて、**3次元速度**を決めることができる。光球では3次元磁場データと合わせることで、対流と磁束管の相互作用を定量的に調査できる。

ドップラーグラムのデータ例

装置	波長	大気高さ	特徴
NFI	Fe I 5576	光球	Landeのg因子が0であるために、磁場(ゼーマン効果)の影響を受けずに視線方向速度を求めることができる。
NFI	Mg I 5173	彩層底部	光球と彩層の同時観測により、速度場の3次元構造が調べられる。
NFI	Na I D 5869	彩層底部	
NFI	H I 6563	彩層	“H-alpha”: 彩層にある磁束管の運動や、コロナ中のfilamentの運動速度を求める事ができる。Jet現象などのエネルギーを定量的に評価することにつながる。

18

ドップラーグラム

実際の観測とデータ処理(sot fgdg):

通常観測では4波長で画像を取得する(Fel5576の場合)

F1: -90mA, F2: -30mA, F3: +30mA, F4: +90mA

4枚の画像から生成される比(下式のS)から速度を求める

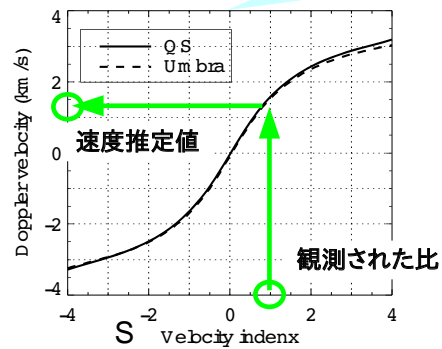
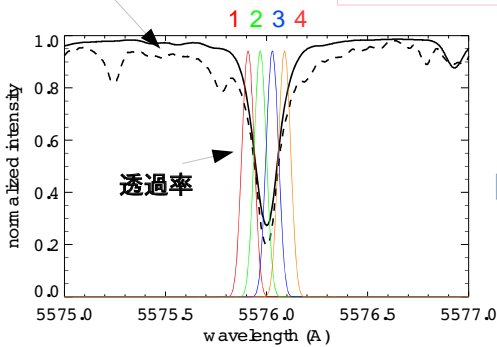
吸収線形状

(計算値:モデルに依存)

$$S = \frac{F_1 + F_2 - F_3 - F_4}{F_1 - F_2 - F_3 + F_4}$$

→ 波長シフト
→ ライン深さ

大気モデルと透過率を用いて
画像比と速度の対応(ルックア
ップテーブル)を準備する



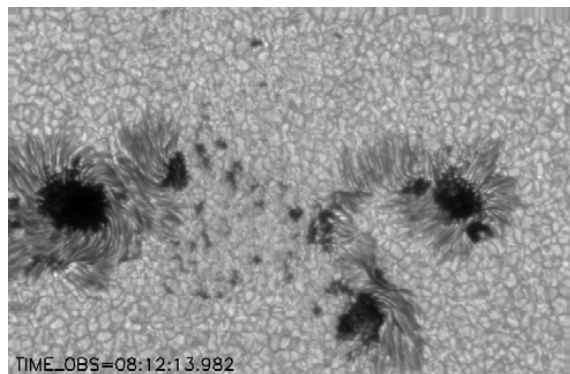
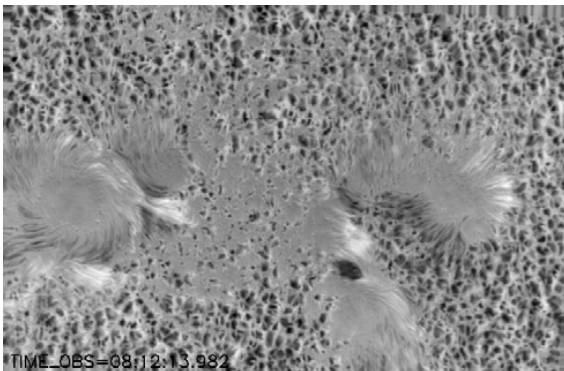
19

ドップラーグラム

Dopplergramデータ例

Observed with SST on 2005-07-09

連続光画像には、大きさの異なる複数の
黒点、粒状斑が見える



ドップラーグラム(FeI 6302)には、黒点半暗
部にそった流れ(Evershed flow)、粒状斑の
対流運動が見える。

20

ドップラーグラム

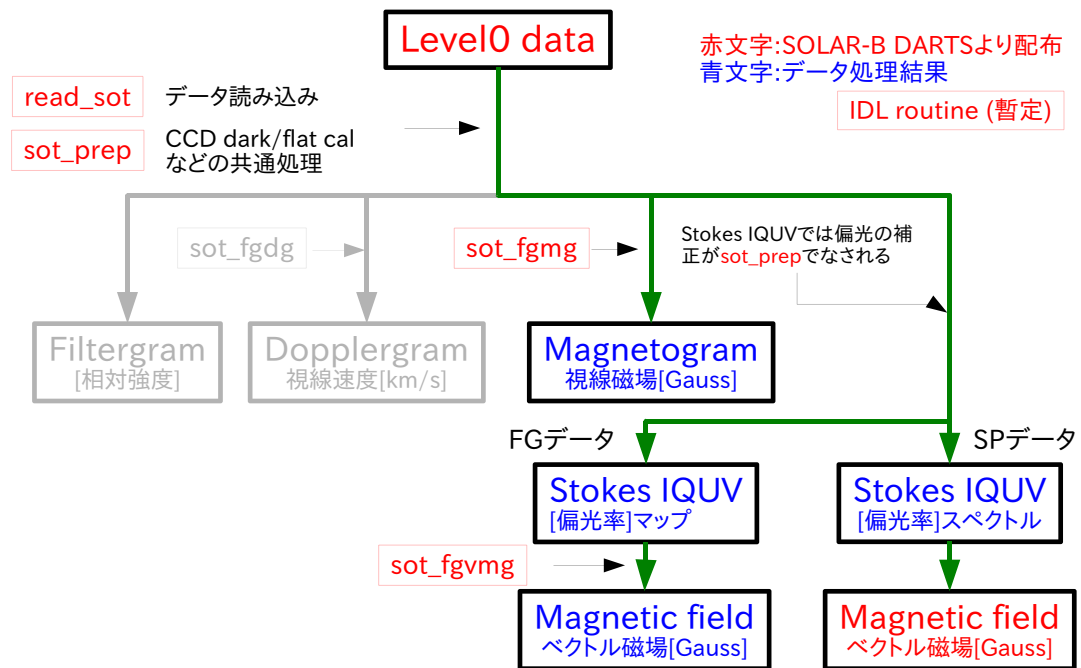
- 計測誤差について
 - 光子雑音に起因する統計誤差(1σ)
 - FeI 5576 : ~ 30 [m/s] ($0.08''$ /pix, 0.3s)
 - MgI 5173: ~ 100 [m/s] ($0.08''$ /pix, 1.0s)
 - H alpha: ~ 100 [m/s] ($0.08''$ /pix, 0.5s)
 - 系統誤差には以下の要因がありうる(補正後の残量)
 - リオフィルター透過率の不定性 ~ 100 [m/s]
 - リオフィルター波長チューニング不定性 ~ 50 [m/s]
 - 仮定する大気モデルの不定性
- 注: リオフィルターの不定性は視野内一様のバイアス誤差

21

磁場診断

22

磁場診断



23

磁場診断

SOTで得られる磁場データ

個々の研究目的に最適な観測データを選ぶことができる。

磁場データ	装置	波長	大気高さ	特徴
視線方向磁場	NFI	Fel 6302	光球	視線方向磁場強度の2次元分布が得られる。~10sの高時間分解能。
		Fel 5250	光球	
		NaI 5896	彩層底部	
ベクトル磁場	NFI	Fel 6302	光球	ベクトル磁場に加え、視線方向速度の2次元分布が得られる。~1minの時間分解能。
		Fel 5250	光球	
		MgI 5172	彩層底部	
ベクトル磁場	SP	Fel 6302/6303	光球	ベクトル磁場、視線方向速度の他の大気パラメータも導出可能。1Slit位置で~5sで高精度観測可能。

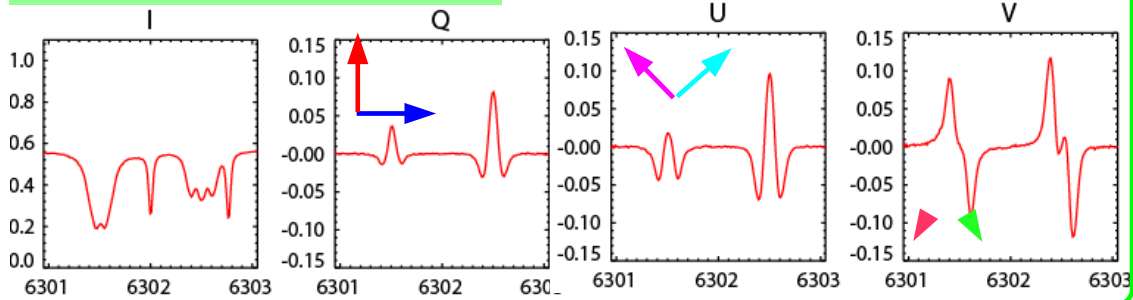
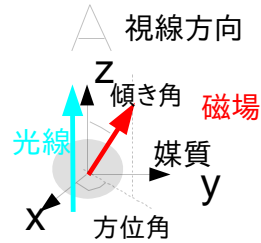
24

磁場診断

Stokes Inversion

観測値(Stokes ベクトル)から磁場を求めることは、結果(Stokes ベクトル)から原因(大気構造)を求める一種の逆問題。

- Vの大きさ->視線方向磁場強度
 - Q/Uの大きさ->水平方向磁場強度
 - Q/Uの比->方位角
- $$\frac{V}{I} \propto B_z, \quad \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \propto B_{\perp}, \quad \tan^{-1}\left(\frac{U}{Q}\right) \propto 2\theta$$



25

磁場診断

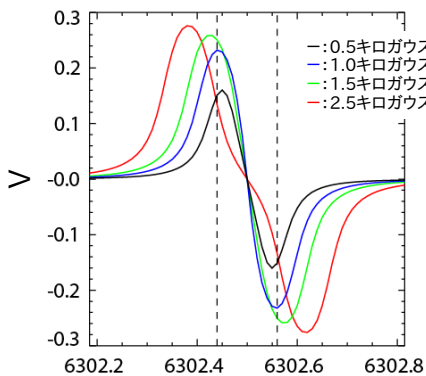
視線方向磁場のデータ処理(sot fgmg):

磁場強度の増加に伴いVの振幅が増加することを利用:

最も単純な場合2波長観測 (吸収線中心±60m)

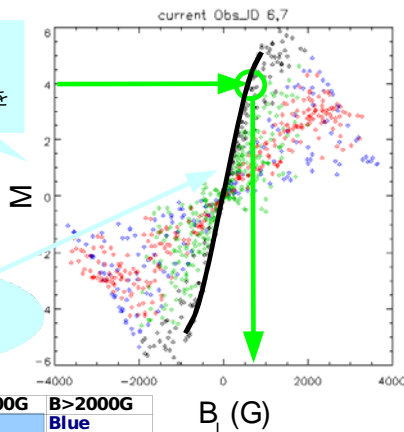
$$M = \frac{F_1^+ - F_2^+ - F_1^- + F_2^-}{F_1^+ + F_2^+ + F_1^- + F_2^-} \rightarrow \frac{V}{I} \propto B_z$$

$F_i^\pm = I_i \pm V_i$ ($i=1: +60, i=2: -60$)



大気モデルと透過率を用いて画像比と速度の対応(ルックアップテーブル)を準備する

ドップラーシフトが小さく、磁場が2kG以下に対応するテーブルを準備する



Shift	B < 2000G	B > 2000G
S < 60mA	Black	Blue
S > 60mA	Green	Red

26

磁場診断

視線方向磁場とドップラーシフト(sot_fgmg)

4波長(吸収線中心-90, -30, +30, +90)を使ってI+VとI-Vの吸収線中心を求める:
ドップラーグラムの速度indexと同じ式(分子が波長シフト、分母がライン深さを表す)

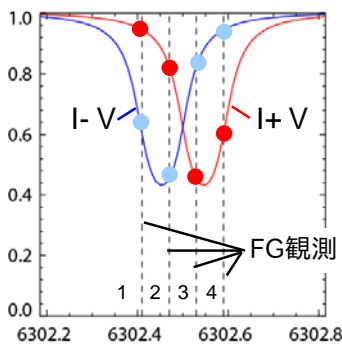
$$S_{\pm} = \frac{F_1^{\pm} + F_2^{\pm} - F_3^{\pm} - F_4^{\pm}}{F_1^{\pm} - F_2^{\pm} - F_3^{\pm} + F_4^{\pm}}$$

$$F^{\pm} = I \pm V$$

波長シフトはドップラー効果とゼーマン効果による

S_+ : ドップラーシフト+ゼーマン効果に対応

S_- : ドップラーシフト-ゼーマン効果に対応



2種類のindexから速度と視線方向磁場を同時に決定できる

$$R = S_+ + S_- \rightarrow \text{ドップラーシフトに対応}$$

ゼーマン効果の影響がなくなる

$$M = S_+ - S_- \rightarrow \text{V振幅、ゼーマンシフトに対応}$$

ドップラーシフトの影響がなくなる

27

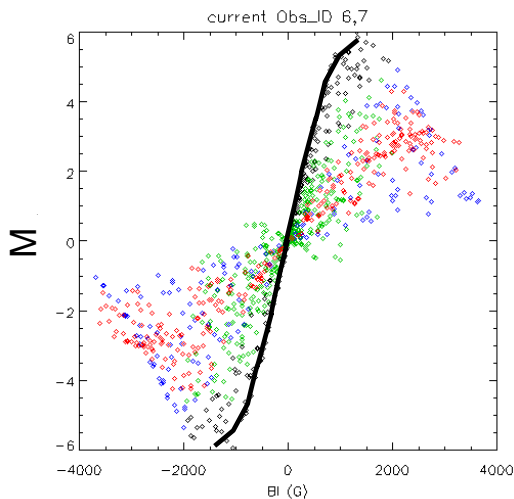
磁場診断

視線磁場解析方法の比較(sot_fgmg)

2波長観測でドップラーシフトを無視する場合

FeI6302.5A, $\lambda = [-60, 60]$

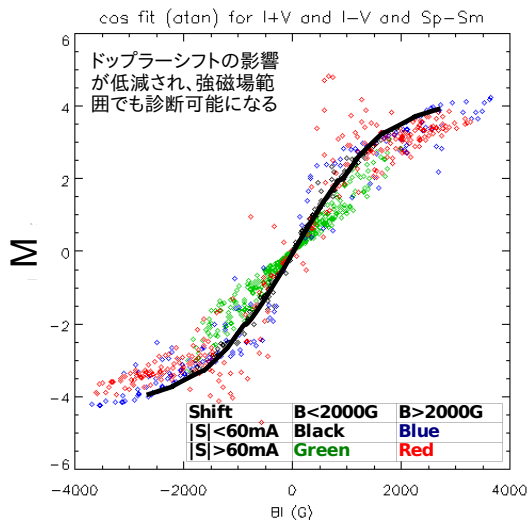
$$M = \frac{F_1^+ - F_2^+ - F_1^- + F_2^-}{F_1^+ + F_2^+ + F_1^- + F_2^-}$$



4波長観測でドップラーシフトを考慮する場合

FeI6302.5A, $\lambda = [-90, -30, 30, 90]$

$$S_{\pm} = \frac{F_1^{\pm} + F_2^{\pm} - F_3^{\pm} - F_4^{\pm}}{F_1^{\pm} - F_2^{\pm} - F_3^{\pm} + F_4^{\pm}} \quad \begin{matrix} M = S_+ - S_- \\ R = S_+ + S_- \end{matrix}$$



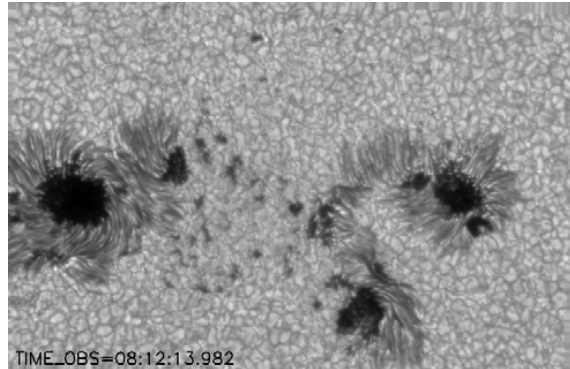
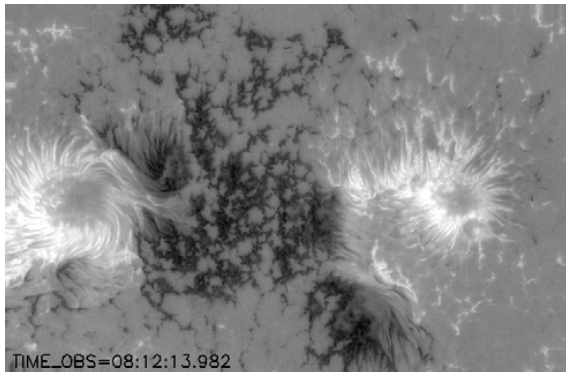
28

磁場診断

Magnetogramデータ例

Observed with SST on 2005-07-09

連続光画像には、大きさの異なる複数の黒点、粒状斑が見える



マグネトグラム(Fel 6302)には、黒点半暗部の筋状磁場構造、粒状斑間に集められた磁束管の分布が見える

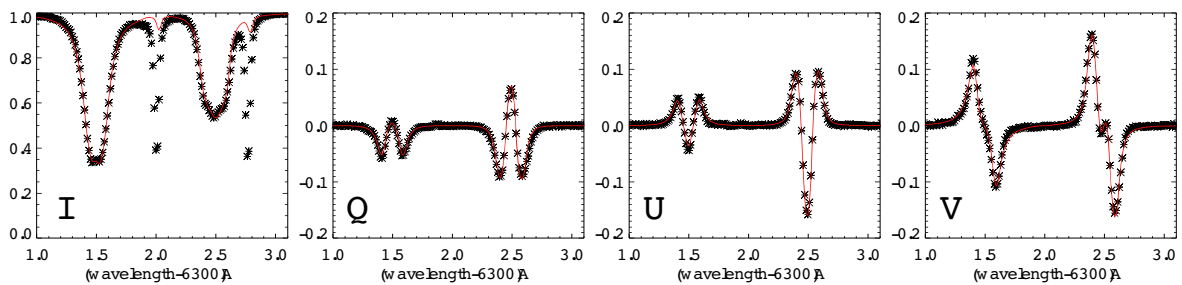
29

磁場診断

SPベクトル磁場診断

- IQUV4成分の112点での観測値を、もっともよく説明する大気モデルを最小自乗法により推定する。[12パラメータの $\chi^2 = (\text{観測} - \text{計算})^2$]
- 大気モデルはStokesベクトルの解析解[海野解]を求めることのできるMilne-Eddington(ME)モデルを使用。(温度以外は高さ方向に一様な大気構造を仮定する。)

*: 観測値, 赤実線: モデル



30

磁場診断

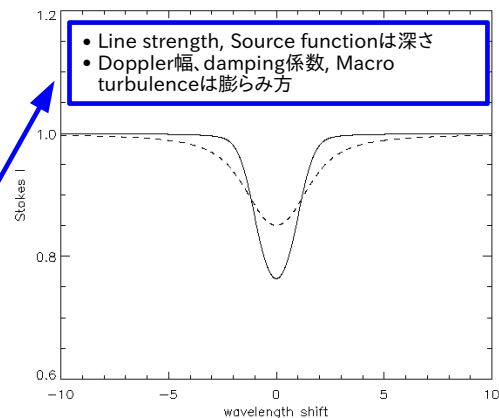
SPベクトル磁場診断

- ME大気を用いて導出されたパラメータはSOLAR-B DARTSから配布される。
- スペクトルデータ(Stokes IQUV)は、ME大気モデルの制限を受けない解釈に用いる事ができる。

ME fittingのパラメータ

パラメータ	数
Magnetic field	3
Line of sight velocity	1
Line strength	1
Doppler width	1
Damping parameter	1
Source function	2
Macro-turbulence	1
Stray light fraction	1
Stray light shift	1

pixel内の非磁気大気の割合とそのドップラー速度



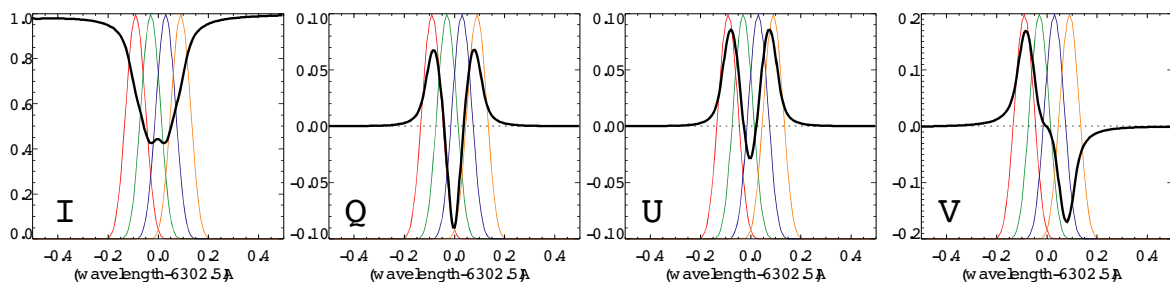
31

磁場診断

NFIベクトル磁場診断

- IQUV4成分の4点での観測値から、磁場強度、視線方向角度、方位角、視線方向速度の4パラメータを求める。
- 大気モデルから、観測値のテーブルを準備し、観測をもっともよく説明する磁場と速度を探す[4パラメータの $\chi^2 = (\text{観測} - \text{計算})^2$]。

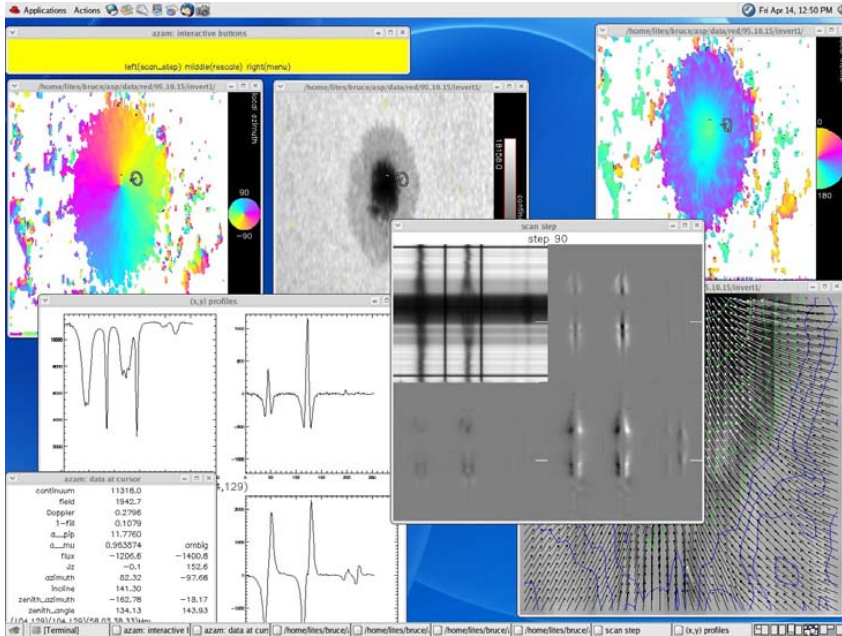
黒実線: モデルプロファイル
色実線: フィルター透過プロファイル



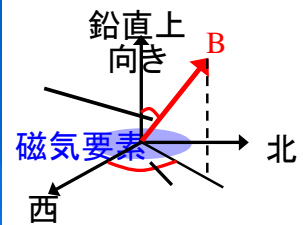
32

磁場診断

3次元磁場表示 [標準表示ソフト AZAM]



磁場強度、傾き角、方位角、スペクトルをデスクトップ上に表示することができる。



33

磁場診断

- 磁場計測の統計誤差 (S/N 0.1%の場合の検出限界)

Wavelength	Instrument	geff	Detection limit	
			Bl(G)	Bt(G)
Mg I 5172	NFI	1.75	19	686
Fe I 5250	NFI	3.00	8	148
Na I 5896	NFI	1.33	11	877
Fe I 6302	NFI	2.50	5	170
Fe I 6302	SP	2.50	2	103

方位角の精度は、水平方向磁場強度の関数として決まる [例: 500G => 0.45度]

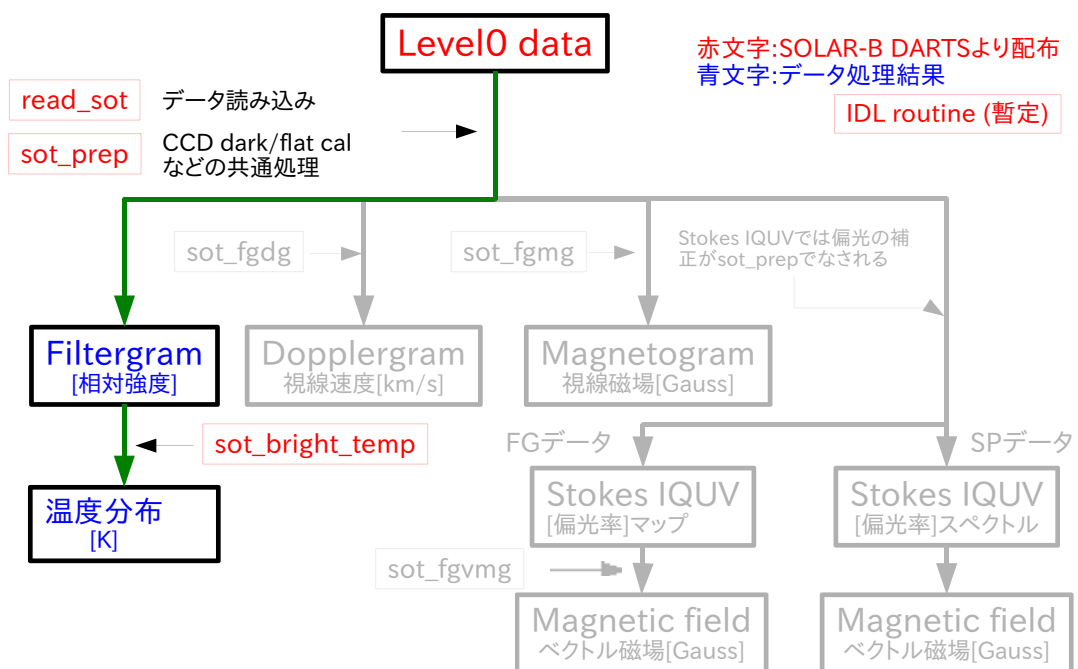
- 磁場計測の系統誤差(定量的な評価は全般に難しい)
 - SPはFGに比較して観測波長点数が多く、かつ波長分解能が高いため、より高精度の磁場診断が可能
 - Stokes Inversionに用いる大気モデルへの依存性
 - NFI装置起源(透過幅、波長シフト不定性)

34

温度診断

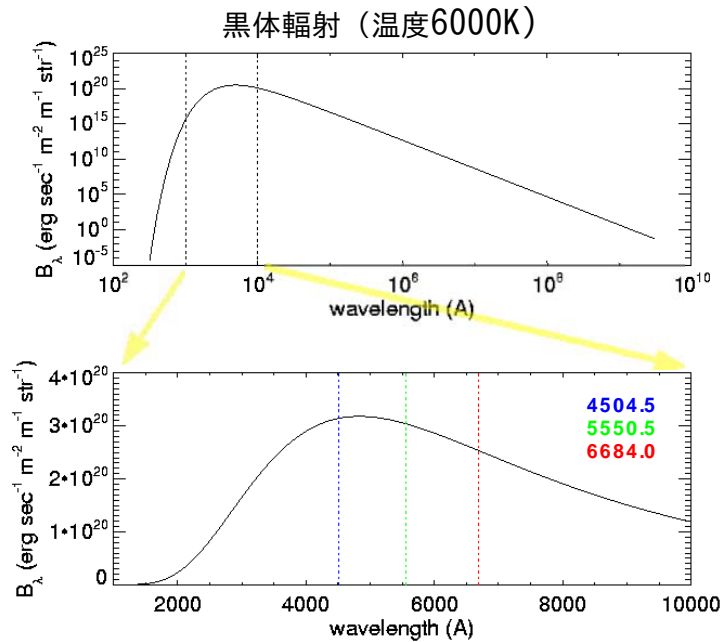
35

温度診断



36

温度診断



Planck関数

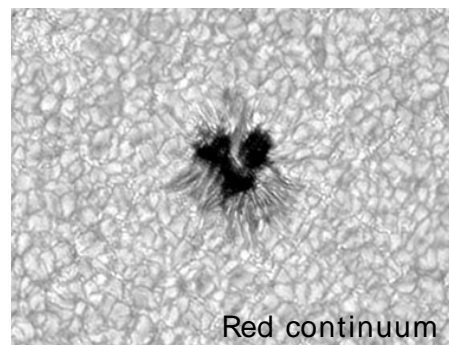
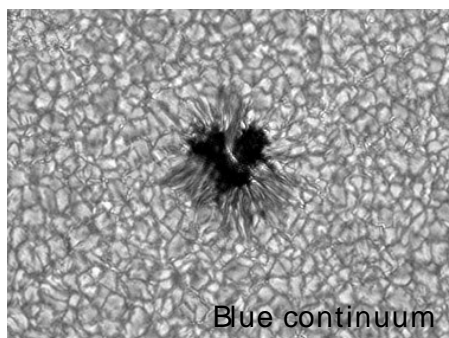
$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$

複数波長点で連続光強度を計測、黒体放射の式に当てはめて温度を導出する

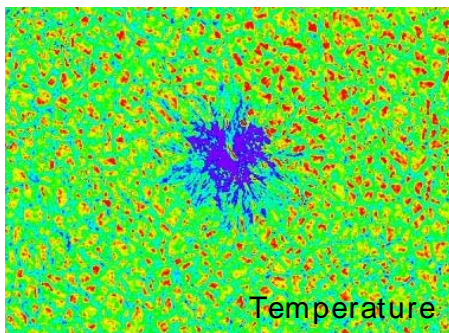
$$I_{\lambda_1}, I_{\lambda_2}, I_{\lambda_3} \rightarrow T$$

37

温度診断



Data taken with DOT



- 2画像の強度比から相対温度分布を得ることができる(黒点が相対的に低温であることを示している)
- 絶対温度は強度キャリブレーションの精度で決まる

38

開発中の解析ツール

39

開発中の解析ツール

主として日本で開発を進めているツール

- 基本データ処理ツールの開発
 - SPデータのME大気モデル解高速パイプライン処理
 - FGデータの磁場/速度変換プログラム
 - 磁場データの方角180度不定性除去
 - 非ME大気モデルによるSPデータ処理
- 磁場データ解析ツールの開発
 - Potential+linear force freeコロナ磁場の導出
 - Nonlinear Force Freeコロナ磁場の導出
 - MHD計算によるコロナ磁場の導出
- 局所日震学解析手法開発

40

開発中の解析ツール

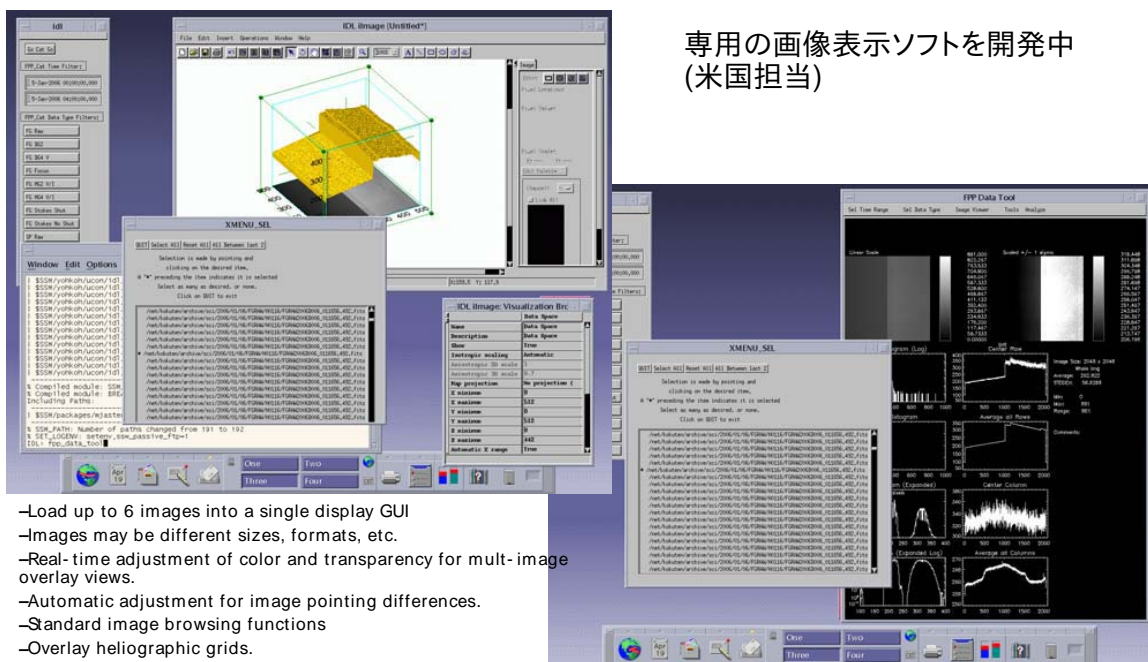
主として米国で開発を進めているツール

- 画像解析ツール
 - 構造の抽出 (bright points, pores, penumbral filaments, etc.): *sot_image_segment.pro*
 - Wavelet denoise and spatial filter: *sot_wavelet_denoise.pro*
 - 連続光画像からの表面温度導出: *sot_bright_temp.pro*
- 時系列データの解析
 - 望遠鏡間のアラインメント: *sot_align.pro**
 - Can also use D. Zarro's mapping routines for this (<http://orpheus.nascom.nasa.gov/~zarro/idl/maps.html>)
 - 像面湾曲の補正: *sot_destretch.pro**
 - 5分振動除去フィルター: *sot_3dfft.pro**
 - Correlation tracking: *sot_correlation_track.pro**
 - Object tracking: *sot_track_object.pro**
 - Corkflow mapping: *sot_corkflow.pro**

*These routines exist in prototype form (La Palma data analysis tasks)

41

開発中の解析ツール



専用の画像表示ソフトを開発中
(米国担当)

- Load up to 6 images into a single display GUI
- Images may be different sizes, formats, etc.
- Real-time adjustment of color and transparency for multi-image overlay views.
- Automatic adjustment for image pointing differences.
- Standard image browsing functions
- Overlay heliographic grids.
- Export processed images back to IDL session.
- Export to Postscript printer, EPS, TIFF, JPEG, PNG, etc.

42

資料

43

参考文献

- SOLAR-B実験計画書 可視光望遠鏡(SOT)編
- 第1回SOLAR-B講習会テキスト
 - SOTによる太陽大気構造の診断
 - 可視光望遠鏡観測の実際 データキューブ

SOT担当者

常田佐久¹、末松芳法¹、一本潔¹、清水敏文²、
勝川行雄¹、永田伸一³、久保雅仁²

1:国立天文台

2:宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

3:京都大学

EISデータ解析について

国立天文台 SOLAR-B推進室

神尾 精

目次

- EISの特徴
- FITSファイルの構造
- クイックルックの使い方
- 機器較正について
- 基本的な解析
- 高度な解析

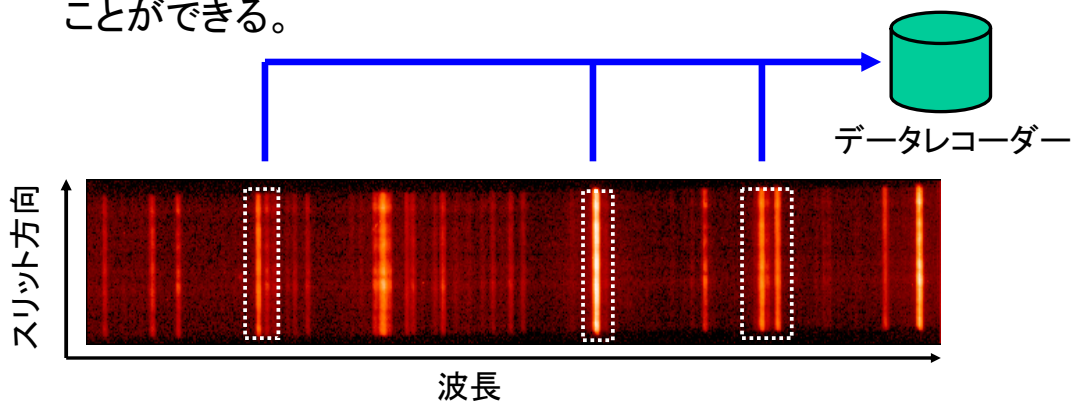
EISの特徴

- 極紫外線分光器
→ 太陽大気の運動を調べる
- 10万度～1000万度の輝線を観測
→ 遷移層、コロナの活動現象の解明
- 波長分解能
→ ドップラー速度で2km/s、輝線幅で4km/s
- 高い感度(有効面積)
→ 高い時間分解能を達成

詳しくは、第1回SOLAR-B講習会のテキストを参照
<http://solar.nro.nao.ac.jp/solar-b/>

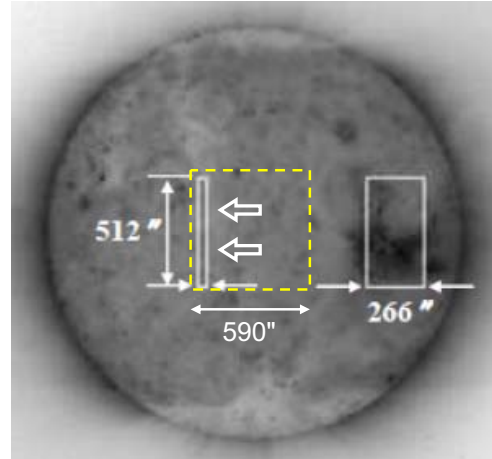
ウィンドウ

- EISの観測波長域は170-210Å、250-290Åの2つ
- そのうち、観測テーブルで指定された波長域(ウィンドウ)のスペクトルだけが記録されている
- スリット方向についても、最大512"のうち一部を取り出すことができる。



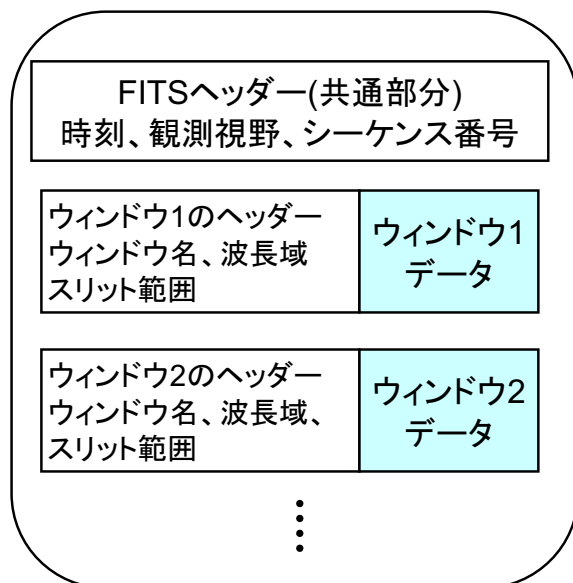
ラスタースキャン

- スリットの幅は1"と2"の2種類
- スリットは南北方向に置かれている
- 太陽面上のスリット位置を東西方向に動かすことにより、最大で590"x512"の視野をカバーする
- スキャンには時間がかかるため、時間変化の激しい現象を観測するときには要注意
- スロットは40"と266"の2種類
- スロット観測では空間分布と波長の情報が畳み込まれる



FITSファイルの構造

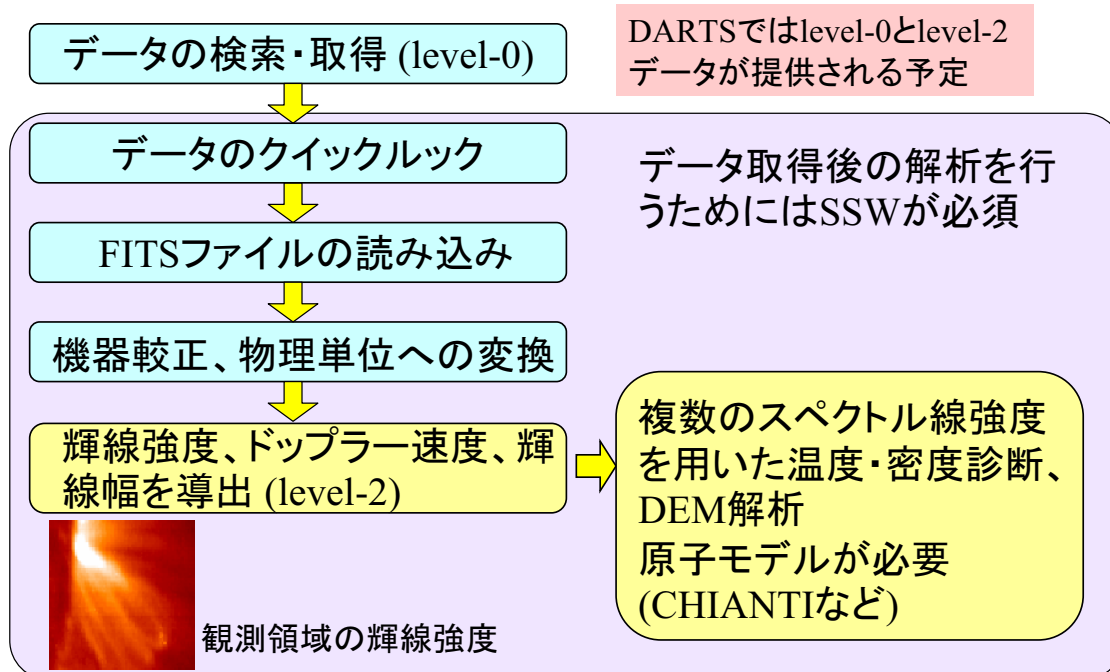
- 1つのFITSファイルは1つのラスタースキャンに対応する
- Binary table extensionで3次元データキューブを保存
(波長方向×スリット方向×スキャン方向)
- スロットまたはスリット位置固定の観測では、1回の撮像が1つのファイル



FITSキーワード

INSTRUME	EIS	EISの観測データ
SEQ_ID	観測シーケンス番号	観測プログラムを特定する情報
RAST_ID	ラスターの固有番号	
DATE_OBS	ラスター開始時刻	ラスタースキャンの開始・終了時刻
DATE_END	ラスター終了時刻	
LL_NR	ラインリスト番号	観測波長リストの番号
TWAVEN	ウィンドウ中心波長	n 番目ウィンドウの波長(Å)
SAEC	自動露出調整	1:ON / 0:OFF
RCNR	太陽自転の 追尾解除	1:太陽自転を 追尾しない / 0: 追尾する
L_DC	ダーク補正	データが較正済みかどうか 1: Yes / 0: No level-0ならずすべて0になる
L_FF	フラットフィールド補正	
L_CR	Cosmic ray除去処理	
L_ABS	物理単位への変換	

解析の流れ



DARTSからEISデータを取得

観測日時

Observation Time		Target Position	
Start	(UT) e.g. "2005-06-01T00:00:00.000"	X (arcsec)	Y(arcsec)
End	(UT) e.g. "2005-12-01T00:00:00.000"	X RANGE	Y RANGE
Zoom Time		Zoom Region	

観測領域
の座標

EIS

Spatial Information			
Binning	<input type="checkbox"/> 1"x1" <input type="checkbox"/> 2"x2" <input type="checkbox"/> 4"x4"		
Slit/Slot	<input type="checkbox"/> 1" <input type="checkbox"/> 2" <input type="checkbox"/> 40" <input type="checkbox"/> 266"		
Wavelength			
CCD1	CCD1	CCD0	CCD0
<input type="checkbox"/> Fe IX 17.107	<input type="checkbox"/> Fe XII 19.239	<input type="checkbox"/> Fe XVI 25.107	<input type="checkbox"/> Fe XXIII 26.376
<input type="checkbox"/> O VI 18.412	<input type="checkbox"/> Ca XVII 19.282	<input type="checkbox"/> Fe XXII 25.316	<input type="checkbox"/> Fe XIV 26.478
<input type="checkbox"/> Fe X 18.454	<input type="checkbox"/> O V 18.290/19.291	<input type="checkbox"/> Fe XVII 25.487	<input type="checkbox"/> Mg VI 26.899
<input type="checkbox"/> Fe XII 18.685/18.688	<input type="checkbox"/> Fe XII 19.352	<input type="checkbox"/> Fe XXIV 25.510	<input type="checkbox"/> Mg VI 27.039/27.040
<input type="checkbox"/> Fe XXI 18.789	<input type="checkbox"/> Fe XII 19.512/19.513	<input type="checkbox"/> He II 25.632	<input type="checkbox"/> Fe XIV 27.051
<input type="checkbox"/> Fe XI 18.823/18.830	<input type="checkbox"/> Fe XIII 20.002	<input type="checkbox"/> Si X 25.837	<input type="checkbox"/> Si VII 27.264
<input type="checkbox"/> Fe XXIV 19.204	<input type="checkbox"/> Fe XIII 20.204	<input type="checkbox"/> Si X 26.106	<input type="checkbox"/> Fe XIV 27.420
	<input type="checkbox"/> Fe XIII 20.380/20.383	<input type="checkbox"/> Fe XVI 26.298	<input type="checkbox"/> Si VII 27.535
			<input type="checkbox"/> Fe XV 28.416

ピクセル加算

スリット/スロット

観測データに
含まれる輝線を選択

- DARTS Solar-B/EIS BASIC検索画面

クイックルックの使い方

- IDL>xfiles
ファイル選択画面が開く

ファイル形式: FITS →

ディレクトリを入力 →

ファイル選択
(1つだけ)

Exit

Start/Stop for file search. Time Units: DD-MON-YR HH:MM:SS.MS

Start Time: 01-Jan-00 00:00:00 Stop Time: 31-Dec-00 23:59:59

Select data source

◇ CCSDS **FITS** ◇ HK

Search Directory /ssw/solarb/eis/data/science/fits/

```

/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_1.fits
/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_2006-01-06T15:13:02.087.fits
/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_2006-01-06T15:13:04.009.fits
/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_2006-01-06T15:13:04.371.fits
/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_2006-01-06T15:13:05.087.fits
/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_2006-01-06T15:13:06.516.fits
/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_2006-01-06T15:13:09.072.fits
/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_2006-01-06T15:13:11.035.fits
/ssw/solarb/eis/data/science/fits/eis_sim0.fits
    
```

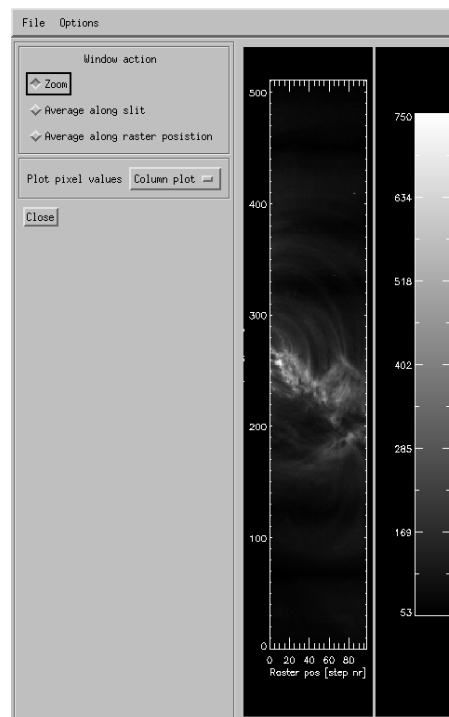
操作画面



表示

- 波長ウィンドウごとの強度分布が表示できる。

※表示データはTRACE衛星の極紫外線画像から合成したもの



解析に必要な機器較正

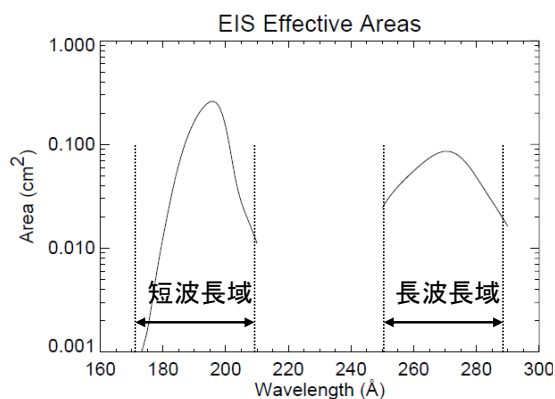
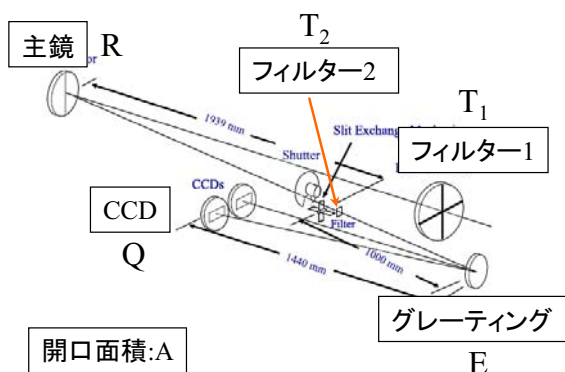
取得されたデータについて、観測装置の特性を補正して物理量に直す作業が必要

- EISの有効面積
 - CCDカメラの特性
バイアス
ダーク(暗電流)
 - スペクトル像のゆがみ (打ち上げ後にデータ取得)
 - 較正に必要なデータはSSWDBで配布されるため、ユーザーが個別に取得しなくてもよい
- SSWに較正用プログラムが用意される。
解析用の較正データは、衛星打ち上げ後に取得したものをを用いる。

有効面積

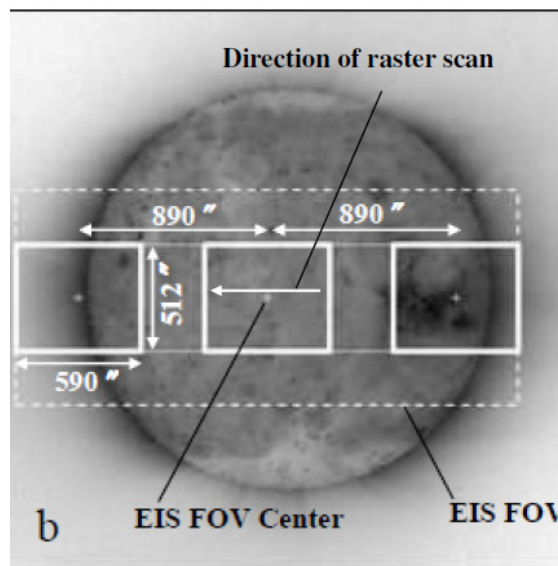
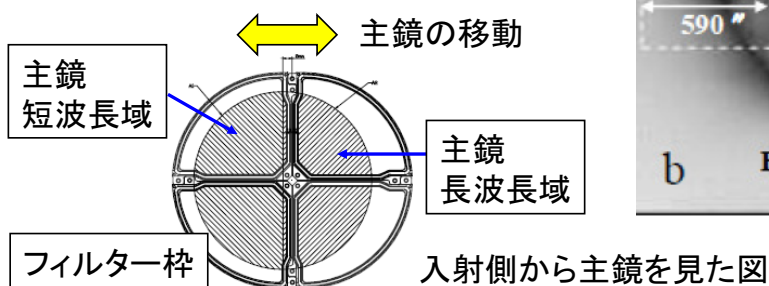
望遠鏡素子の効率をかけたものを有効面積という。
開口面積の実効値で、波長によって異なる。

$$A_{\text{eff}}(\lambda) = A T_1(\lambda) R(\lambda) T_2(\lambda) E(\lambda) Q(\lambda)$$

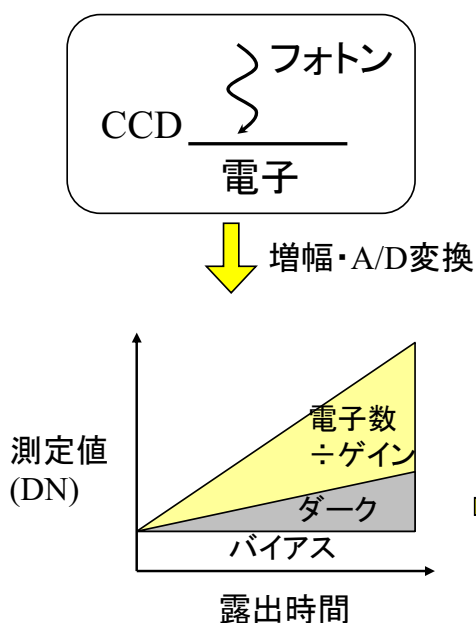


有効面積の変化

- ラスタースキャンの最大視野の大きさは $590'' \times 512''$
- 主鏡を平行移動することにより、観測視野を東西方向に $890''$ 移動できる。
- 主鏡を平行移動すると、フィルターの枠に隠される有効面積が変化する(最大25%)



CCDカメラの特性



- CCDでは入ってきた光子に比例して電荷が発生する。
- 1光子(195\AA) \rightarrow 17.4電子
(270\AA) \rightarrow 12.6電子
- EISの性能 (打ち上げ前)
読み出しノイズ ~ 2.5 (DN)
ゲイン ~ 7 (electron/DN)
バイアス ~ 500 (DN)
ダーク ~ 0.1 (DN/sec)

データ圧縮による誤差

- 圧縮による誤差が、フォトンノイズ(入射フォトン数の平方根)よりも十分に小さければ影響は少ない

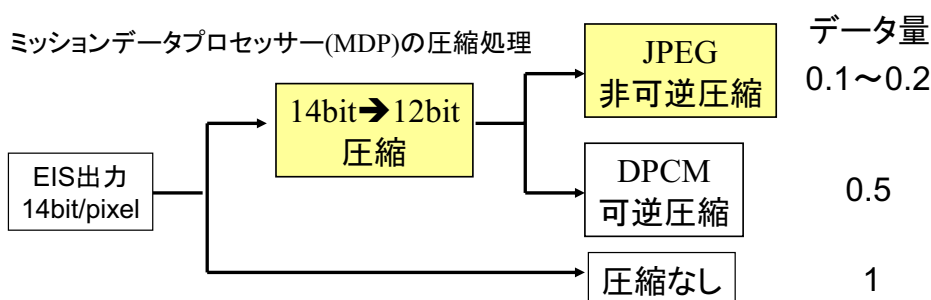
- EISでA/D変換されたデータは1画素14bit

- 14bit→12bit圧縮

圧縮前のデータをN(DN)とすると
$$X = \begin{cases} N & (N \leq N_c) \\ a + (bN + c)^{1/2} & (N > N_c) \end{cases}$$

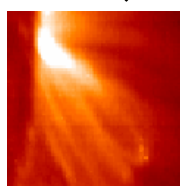
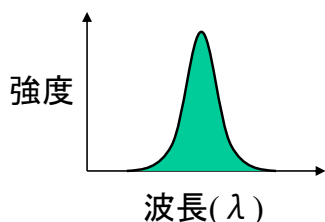
圧縮と復元の処理で生じる誤差は最大でフォトンノイズの3%程度

- JPEG圧縮の誤差は入力画像や圧縮率によって異なる



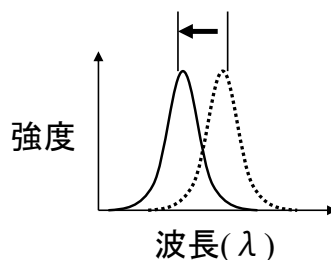
スペクトルの解析

1. 輝線強度面積を求める

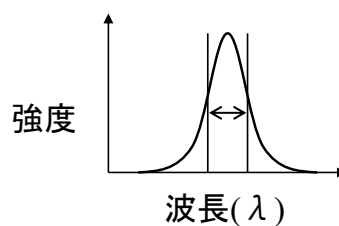


強度分布

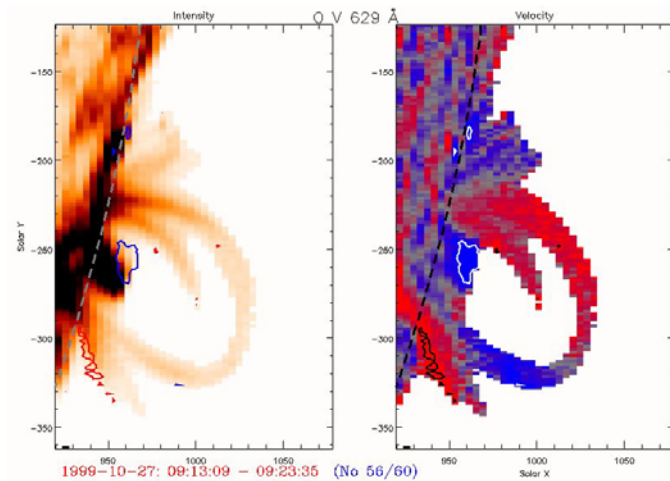
2. ドップラーシフト
視線方向速度



3. 輝線幅
熱運動、非熱的運動、分光器の幅を含む



視線方向速度

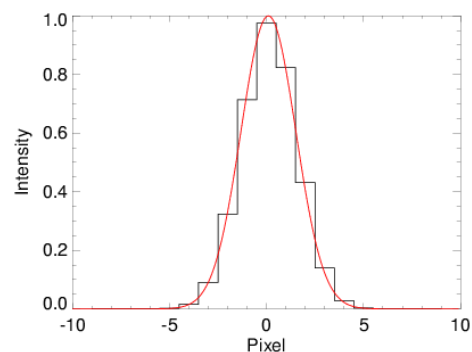


SOHO/CDSによるポストフレア
ループ頂点から足元へのプラズマの流れを捉えたもの
($\sim 100\text{km/s}$)

- コロナループ中のプラズマ運動の視線方向成分
- EISでは速度精度が向上する($\sim 2\text{ km/s}$)

波長精度

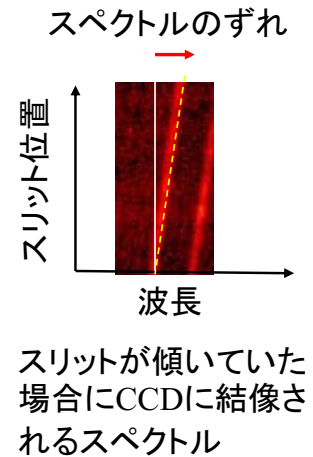
- EISの波長スケール
 $\lambda = \lambda_0 + 0.0223 x + 10^{-8} x^2$
 $1\text{pixel} = 0.0223\text{\AA}$ 影響は小さい
 $(34\text{km/s} @ 195\text{\AA})$
- プロファイル全体をガウス関数でフィットすれば、ピクセルサイズ以下の変位を求めることができる($\sim 2\text{km/s}$)。
- ただし、EISには波長の絶対基準が無い。
- 遷移層(10^5K)では最大 10km/s のレッドシフトがあり、平均速度を0とはみなせない。



スペクトルをガウス関数でフィットして、ガウス関数の中心波長を求める

スペクトルのゆがみ

- スリットの向きがCCDに対して傾いていると、CCDに結像されるスペクトルがゆがむ。
- スペクトルが本来の結像位置からずれていると、ドップラーシフトを求めたときに擬似的な速度場を生み出す。
- これを補正するためには、衛星打ち上げ後にスペクトルのゆがみを測定する必要がある。



輝線幅

- 観測される輝線幅(W)は、プラズマの熱運動、非熱的運動(乱流など)、分光器による広がり幅を含んでいる
- Wの測定値から、熱運動+非熱的運動の大きさがわかる。プラズマの温度が決まれば、非熱的運動の大きさがわかる。

$$W = \sqrt{(\Delta\lambda)^2 + 4 \ln 2 \left(\frac{\lambda}{c}\right)^2 \left(\frac{2kT}{M} + \xi^2\right)}$$

分光器による広がり幅
EISでは約0.044Å
(~2pixel)

熱運動

非熱的運動

FeXV 284Å (200 photons)

→ dW = 4km/s の精度

強度比を用いた解析

- 電子温度や電子密度によって、2つの輝線強度が大きく変化する組み合わせがある
- 輝線強度比は、イオン—自由電子の衝突励起と放射過程によって決まるため、ローカルな物理状態を反映している。
- 温度や密度と、輝線強度比の関係を計算するためには原子モデルが必要。

イオン	波長(Å)	
Fe XI	180.40	189.13
Fe XII	186.89	193.51
Fe XIII	202.04	203.83
Fe XIV	264.79	274.20

EISで観測できる、電子密度に敏感な輝線の組の例

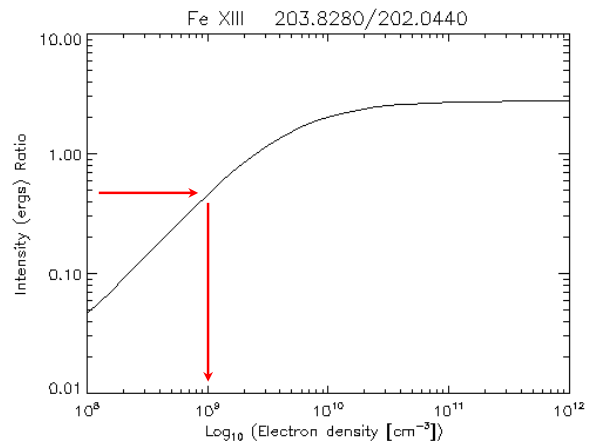
※原理については第1回SOLAR-B講習会テキストを参照

CHIANTI

- 温度や密度などの条件をもとに原子の励起状態と遷移確率を計算し、放射されるスペクトルを計算するソフトウェア。SSWの一部として配布され、IDLの上で動作する。
- 密度・温度解析で用いるライン強度比を求めるためには、原子モデルの計算が必要なため、CHIANTIのデータを用いる。
- CHIANTIについて詳しくは
<http://www.chianti.rl.ac.uk/>

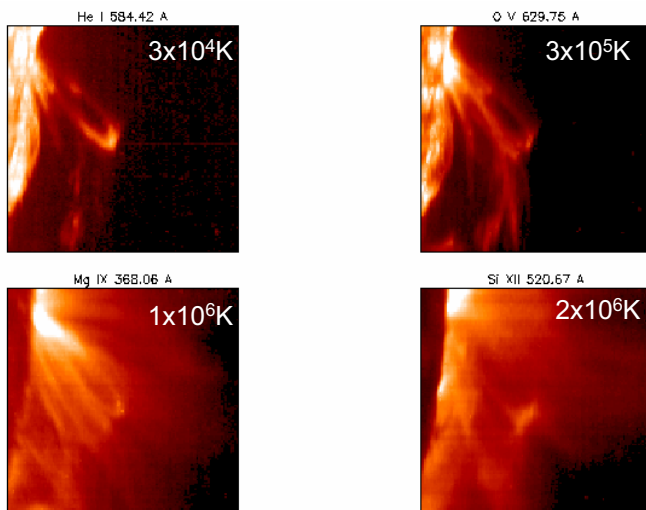
密度解析の例

- CHIANTIを使って、電子密度と2つの輝線強度比の関係を求める
- 観測された強度比から電子密度を推定できる
- 空間構造(視線方向の長さなど)がわからなくてもよい。
- ただし、視線方向には密度・温度は一樣であると仮定している。一樣と見なせない場合には正しい結果は得られない。



温度解析も同様の手順
(ラインの組み合わせは異なる)

コロナの多温度構造

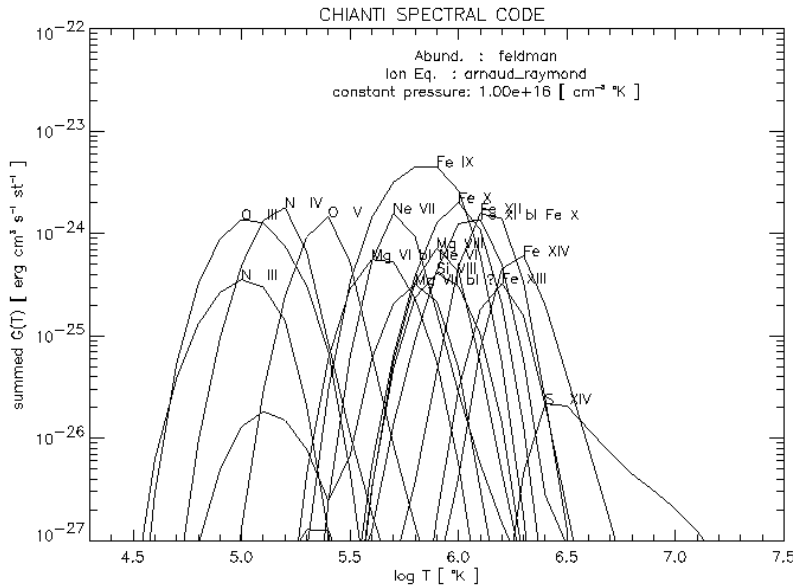


SOHO/CDS NIS Raster, 3-Dec-1996 10:01:40

- 輝線によって異なる温度域が見える
→異なる温度のプラズマの重ね合わせ
- 視線方向の分布、あるいは分解能以下の微細構造の重ね合わせ

SOHO/CDSによる太陽周縁部のコロナ観測

イオンの種類と温度



- イオンからの放射強度と温度の関係を示したものの
- イオンの種類によって温度依存性が異なる。

Differential Emission Measure

- Emission measure
 観測される絶対強度 I は以下の式で表される

$$I = \int G(T) n_e^2 dh$$

$$EM = \int n_e^2 dh \quad \text{と置くと、} I = EM G(T)$$

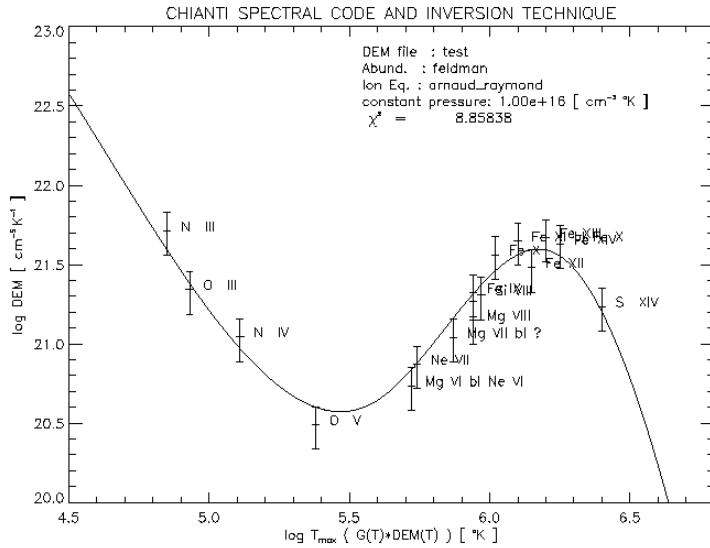
Emission Measure
 密度で決まる

原子モデルから決まり
 温度に依存

- Differential Emission Measure (DEM)
 EMの温度分布

$$EM = \int \frac{dEM}{dT} dT$$

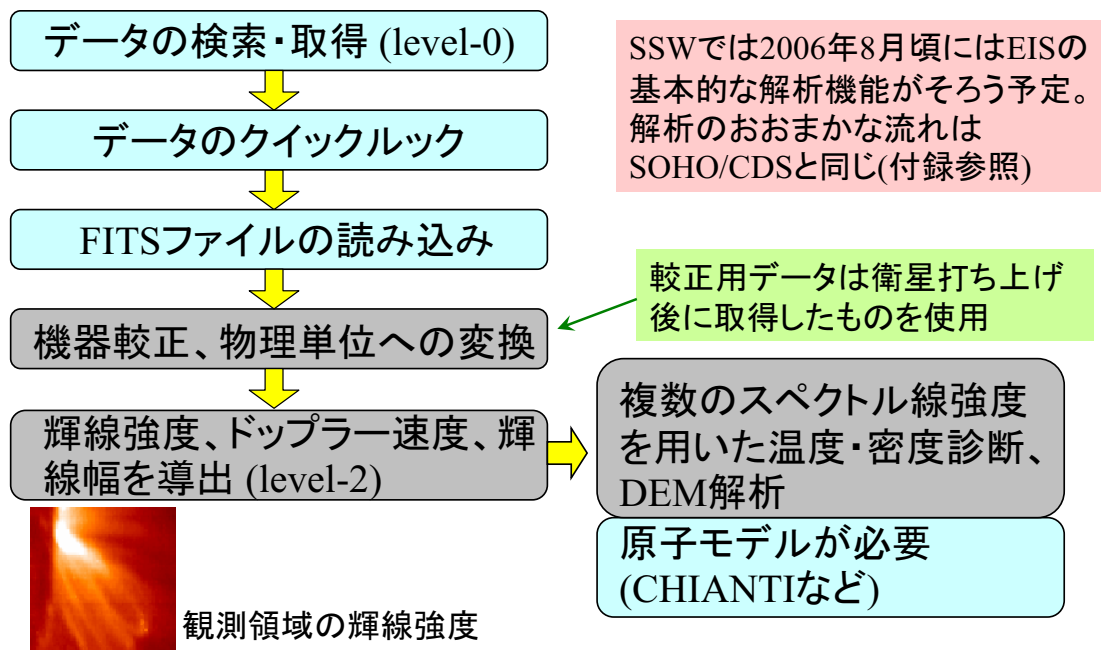
DEM解析



- 広い温度範囲の輝線強度のデータをもとに、DEMを求める
- プラズマの温度分布がわかる
- EISで観測できるのは主に $10^{5.5}K$ 以上のライン。これより低温のラインは少ない。

EISで観測できる範囲

解析ソフトの現状



EISの参考文献

論文

- Culhane et al. (2005) *Advances in Space Research*, Vol. 36, Issue 8, pp.1494-1502.
EIS全般
- Lang et al. submitted to *Applied Optics*.
EISの機器校正について
- Korendyke et al. submitted to *Applied Optics*.
EISの機構と光学的性能について
- Windt et al. (2004) *Applied Optics*, Vol. 43 Issue 9, pp.1835-1848.
極紫外線を反射するEISの多層膜コーティングについて
- Seely et al. (2004) *Applied Optics*, Vol. 43 Issue 7, pp.1463-1471.
EISのグレーティングの特性について

教科書

- Mariska (1992) *The Solar Transition Region*, Cambridge University Press.
極紫外線による太陽観測の基礎

付録: EIS観測できるラインリスト

Ion	Wave	T	Short Wavelength			Long Wavelength					
			Incident	Detected	DN						
Fe X	184.54	6.00	13.09	0.74	2.40	Fe XIII	251.96	6.20	16.76	0.51	1.22
Fe VIII	185.21	5.60	8.87	0.60	1.93	He II	256.32	4.90	9.25	0.40	0.94
Fe VIII	186.60	5.60	6.02	0.56	1.80	Si X	258.37	6.10	13.54	0.68	1.58
Fe XII	186.85	6.10	10.34	1.01	3.26	Fe XIV	264.79	6.30	17.41	1.28	2.90
Fe XII	186.88	6.10	13.97	1.38	4.43	Fe XIV	270.52	6.30	7.89	0.68	1.51
Fe XI	188.23	6.10	17.87	2.27	7.26	Fe XIV	274.20	6.30	12.22	0.96	2.10
Fe XI	188.30	6.10	6.82	0.88	2.80	Si VII	275.35	5.80	9.35	0.69	1.50
Fe X	190.04	6.00	4.09	0.69	2.17	Si VIII	277.06	5.90	8.36	0.54	1.17
Fe XII	192.39	6.10	10.98	2.40	7.50	Fe XV	284.16	6.30	68.25	2.11	4.46
Fe XI	192.83	6.10	3.82	0.87	2.70						
Fe XII	193.52	6.10	29.06	6.95	21.58						
Fe XII	195.12	6.10	48.15	12.44	38.34						
Fe XII	195.13	6.10	4.98	1.29	3.97						
Fe XIII	196.54	6.20	6.44	1.66	5.08						
Fe XII	196.65	6.10	6.43	1.65	5.04						
Fe XIII	200.02	6.20	7.61	1.12	3.38						
Fe XIII	201.13	6.20	8.53	0.86	2.57						
Fe XIII	202.04	6.20	18.02	1.26	3.76						
Fe XIII	203.83	6.20	31.63	1.18	3.47						

- 静穏領域での予測カウント値
($s^{-1} \text{ pixel}^{-1}$)

付録: EIS観測できるラインリスト

Ion	Wave	T	Incident	Detected	DN						
Short Wavelength						Long Wavelength					
Fe XI	180.41	6.10	480.70	7.02	23.41	Fe XIII	251.96	6.20	397.65	12.11	28.89
Fe X	184.54	6.00	147.56	8.31	27.08	He II	256.32	4.90	29.19	1.27	2.97
Fe XII	186.85	6.10	186.61	18.26	58.74	S XIII	256.68	6.40	143.76	6.40	15.00
Fe XII	186.88	6.10	253.87	25.00	80.44	Fe XIV	257.39	6.30	158.04	7.40	17.28
Fe XI	188.23	6.10	261.35	33.24	106.16	Si X	258.37	6.10	249.17	12.46	29.00
Fe XI	188.30	6.10	99.28	12.77	40.78	Fe XVI	262.98	6.40	154.60	10.30	23.54
Fe X	190.04	6.00	46.14	7.74	24.49	Fe XIV	264.79	6.30	543.86	39.89	90.57
Fe XII	192.39	6.10	206.05	45.04	140.73	Fe XIV	270.52	6.30	250.65	21.57	47.94
Fe XI	192.83	6.10	55.93	12.69	39.57	Fe XIV	274.20	6.30	396.32	31.01	68.00
Fe XII	193.52	6.10	548.26	131.05	407.15	Fe XV	284.16	6.30	3229.59	99.66	210.86
Ca XIV	193.87	6.50	24.62	6.02	18.66						
Fe XII	195.12	6.10	907.96	234.65	723.02						
Fe XII	195.13	6.10	89.64	23.17	71.40						
Fe XIII	196.54	6.20	147.64	38.04	116.37						
Fe XII	196.65	6.10	116.40	29.87	91.33						
Fe XIII	197.43	6.20	48.21	11.78	35.87						
Fe XIII	200.02	6.20	180.32	26.63	80.04						
Fe XIII	201.13	6.20	203.14	20.47	61.19						
Fe XIII	202.04	6.20	439.19	30.80	91.64						
Fe XIII	203.80	6.20	241.31	9.05	26.69						
Fe XIII	203.83	6.20	749.17	27.83	82.10						

- 活動領域での予測カウント値 ($s^{-1} \text{ pixel}^{-1}$)

付録: EIS観測できるラインリスト

Ion	Wave	T	Incident	Detected	DN						
Short Wavelength						Long Wavelength					
Fe XXI	187.92	7.00	34298.14	4131.93	13218.94	Fe XVI	251.06	6.40	66188.77	1837.63	4400.50
Fe XI	188.23	6.10	9368.79	1191.53	3805.73	Fe XXII	253.17	7.10	32180.93	1092.27	2593.84
Fe XXIV	192.03	7.20	189315.64	40003.63	125245.34	Fe XVII	254.87	6.70	66730.63	2600.74	6134.91
Fe XII	192.39	6.10	7626.77	1666.93	5209.03	Fe XXIV	255.11	7.20	101716.30	4040.24	9521.41
Ca XVII	192.82	6.70	219452.22	49746.21	155108.72	He II	256.32	4.90	108063.31	4689.85	11000.40
Fe XII	193.52	6.10	20345.04	4863.21	15108.55	S XIII	256.68	6.40	52808.81	2352.37	5509.76
Ca XIV	193.87	6.50	8714.48	2130.59	6607.34	Fe XVI	262.98	6.40	116130.12	7735.10	17683.88
Fe XII	195.12	6.10	33682.56	8704.86	26821.93	Fe XXIII	263.77	7.10	91040.15	6336.80	14443.74
Fe XIII	196.54	6.20	6142.33	1582.69	4841.41	Fe XIV	264.79	6.30	31941.00	2342.82	5319.44
Fe XII	196.65	6.10	4241.22	1088.51	3327.87	Fe XVII	269.41	6.70	14806.13	1266.21	2825.64
Fe XIII	200.02	6.20	7737.11	1142.55	3434.18	Fe XIV	270.52	6.30	15148.67	1303.62	2897.18
Ca XV	200.97	6.60	14209.02	1518.53	4542.72	Fe XXI	270.57	7.00	29343.42	2525.09	5610.87
Fe XX	201.05	7.00	12026.51	1250.39	3739.21	Fe XIV	274.20	6.30	24752.87	1936.87	4246.74
Fe XIII	202.04	6.20	19404.28	1360.68	4048.92	Fe XV	284.16	6.30	507595.53	15663.91	33140.60
Fe XIII	203.83	6.20	32127.88	1193.66	3520.82						
Fe XVII	204.65	6.70	61496.85	1841.19	5408.85						

- フレアでの予測カウント値 ($s^{-1} \text{ pixel}^{-1}$)

付録: SOHO/CDSの解析手順

- FITSファイルの読み込み、必要な較正を行う

IDL> qlds=readcdsfits(filename) FITSファイルの読み込み

IDL> vds_debias, qlds バイアス補正

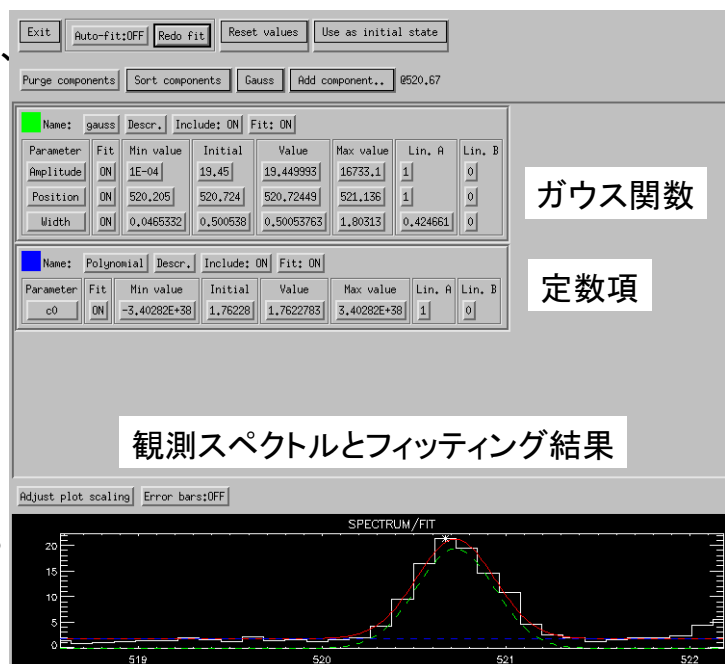
IDL> vds_calib, qlds ダーク、フラット補正

IDL> nis_calib, qlds, /erg, /sterad 物理単位に変換
(ergs/cm²/sec/sterad)

※EISのデータ構造はSOHO/CDSとほぼ同じである。EISではプログラムの名前やオプションは異なるが、解析手順はSOHO/CDSに準じたものになる

フィッティングの初期値

- 輝線強度、ドップラーシフト、輝線幅を導出するため、ガウス関数でフィッティングする。
- 観測領域中の1点のスペクトルを取り出し、ガウス関数+定数項の式でフィッティングし、各係数を決定する。




IDL> sp=gt_spectrum(qlds,win=0, \$
xix=0, yix=0, lam=lam)
IDL> xcfit,lam,sp,fit

全データのフィッティング

- 決定した係数を初期値として、1つのウィンドウ内の全てのスペクトルをフィッティングする

```
IDL> data=gt_windata(qlds, 0)      ウィンドウ0のスペクトルを取り出す
IDL> weights = 1. / (data > 1)
IDL> cfit_block,lam,data,weights,fit,-100,result,residual  フィッティング実行
IDL> amplitude=result[0,*,*]     ガウス関数のピーク強度
IDL> position=result[1,*,*]      ガウス関数の中心波長
IDL> width=result[2,*,*]        ガウス関数の幅
IDL> background=result[3,*,*]    背景の強度(定数項)
IDL> residual=result[4,*,*]     フィッティングの残差
```

SOLAR-Bサイエンスセンターについて

国立天文台SOLAR-B推進室
殿岡 英顕



もくじ

- サイエンスセンターの目的
- サイエンスセンターの提供するサービス
- SOLAR-Bデータ解析環境の提供
- アカウント申請方法およびそのポリシー
- ユーザーサポート

サイエンスセンターの目的

SOLAR-B 衛星データの科学解析における中枢機関として、解析環境・データベース等を構築し、研究拠点として機能させる。

- 国内外の研究者にSOLAR-B観測データ解析環境を提供し、SOLAR-Bによる科学的成果を最大化する。
- 解析を行ったデータを配布したり、データ検索システムを構築することにより、SOLAR-B観測データへのアクセスを容易にし、国内外の研究者との共同研究を活発化させる。
- 太陽研究と日々の生活の関連性を、最新の観測データを基に知って頂き、一般の人々に太陽研究の重要性を認知してもらおう。

サイエンスセンターの提供するサービス

- SOLAR-Bデータ解析環境の提供
- データ解析のユーザーサポート
- 講習会の開催
- ムービーファイル作成
- SOT-SPデータを使用したベクトル磁場マップの作成

SOLAR-Bデータ解析環境の提供 : 1

IDL+SSW解析環境の提供

- SOLAR-Bデータ解析のための標準的な解析環境をサイエンスセンターで提供する
- IDLの使用
 - IDL解析用サーバ(Sun Fire X4100)が4台
 - IDLライセンスが30
- アカウントを取得すれば、IDL+SSWの環境が利用できる

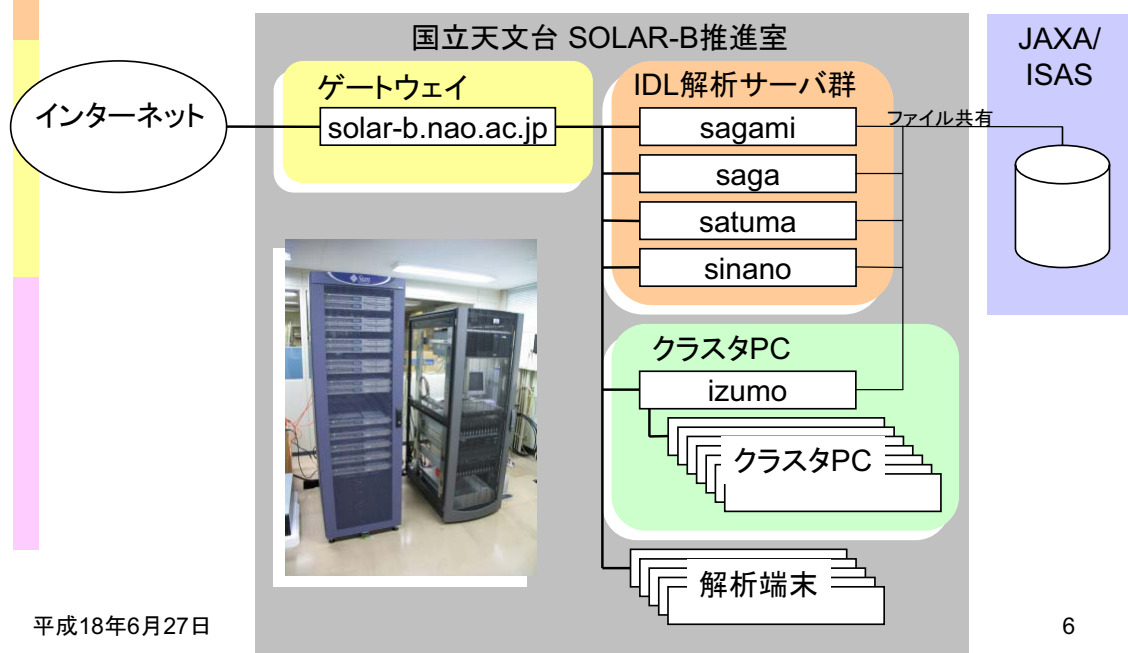
平成18年6月27日

サイエンスセンターについて

5

SOLAR-Bデータ解析環境の提供

計算機構成



平成18年6月27日

6

SOLAR-Bデータ解析環境の提供: 2 計算機リソース(ネットワークからの利用)

- IDL解析サーバとPCクラスターを用意
- IDL解析サーバでは、IDL+SSWが使用可能
- PCクラスターは、ユーザー自身でのSPベクトル磁場導出や局所日震学の解析に利用
 - PCクラスターの共同利用開始は、この冬ごろを予定
- 宇宙研とファイル共有をおこなっており、最新のデータを利用可能。
- ネットワークからは、ゲートウェイ(solar-b.nao.ac.jp) にいったんSSHでloginしてから使う

平成18年6月27日

サイエンスセンターについて

7

SOLAR-Bデータ解析環境の提供: 3 計算機リソース(来台しての利用)

- 共同利用室を設置。
- 来台者用端末は Sun Ultra20 (AMD Opteron CPU)+24インチ液晶モニタ 10台(北研改修時のプレハブでは8台)
- 端末でのIDL+SSWによる解析
- IDLサーバを使ってのIDL+SSWによる解析



平成18年6月27日

サイエンスセンターについて

8

アカウント申請方法およびそのポリシー

- 対象は国内、海外の研究者、教育機関関係者
- アカウント申請はWebインターフェースによる
- 有効期間は1年間。継続可能。更新手続きもWebで行う。
- 申請受付開始時期(7月上旬予定)
- ディスク容量 3GB (/home)
- メールは登録アドレスへ転送
- ワークショップ等の短期利用にはvisitorアカウント(1ヶ月有効)を用意

平成18年6月27日

サイエンスセンターについて

9

ユーザーサポート

- 講習会の開催
 - 講習会資料を解析マニュアルとして提供。
- ユーザーサポートの受付窓口
 - Webで問い合わせ。
- 頻繁に聞かれる質問にはFAQ集を作成
 - 質問の前にはご覧ください。

平成18年6月27日

サイエンスセンターについて

10

おわりに

- 国立天文台 SOLAR-B 推進室ホームページ
<http://solar.nro.nao.ac.jp/solar-b/>
- サイエンスセンターホームページ
<http://solar.nro.nao.ac.jp/solar-b/sbssc/>
 - ユーザー申請、更新
 - 利用方法などのドキュメント、FAQ集
 - 質問などの受付窓口