

Solar SV データおよび Cycle 4 ALMAデータ の説明と解析手順

下条圭美
国立天文台・チリ観測所



USBメモリーをまわします。

“ALMA_Solar_SV” (86.1 MBytes)

“AIA”(210.5 Mbytes)

というディレクトリーと

“DS9”

の中に入っている、皆さんのPCのプラットフォームと
あつたDS9のインストールファイルをコピーしてください。

Linux: *...tar.gz, Windows: *....exe, Mac: *...dmg

できればDS9(FITSビューアー)を
インストールしておいてください。

トピック

ALMA太陽観測データとはなんぞや？

- 生データ、較正済みデータ、画像データ、SVデータ
 - どうやって、較正や像合成をするの？
 - 観測所から配布されるSVデータやCycleでの観測データは？

太陽SVデータの紹介

データ解析時の注意事項

- ノイズレベルの導出
- 単一鏡観測データの注意点

実際にSVデータに触れてみよう。

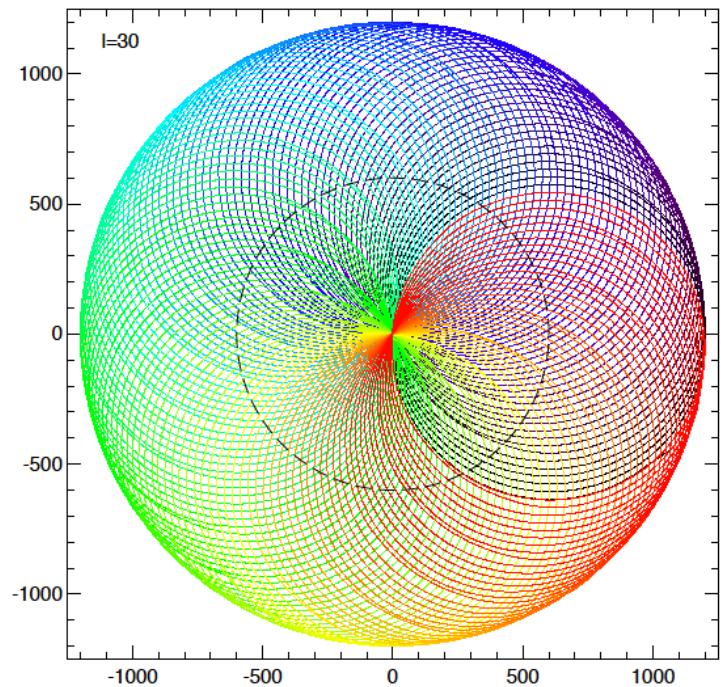
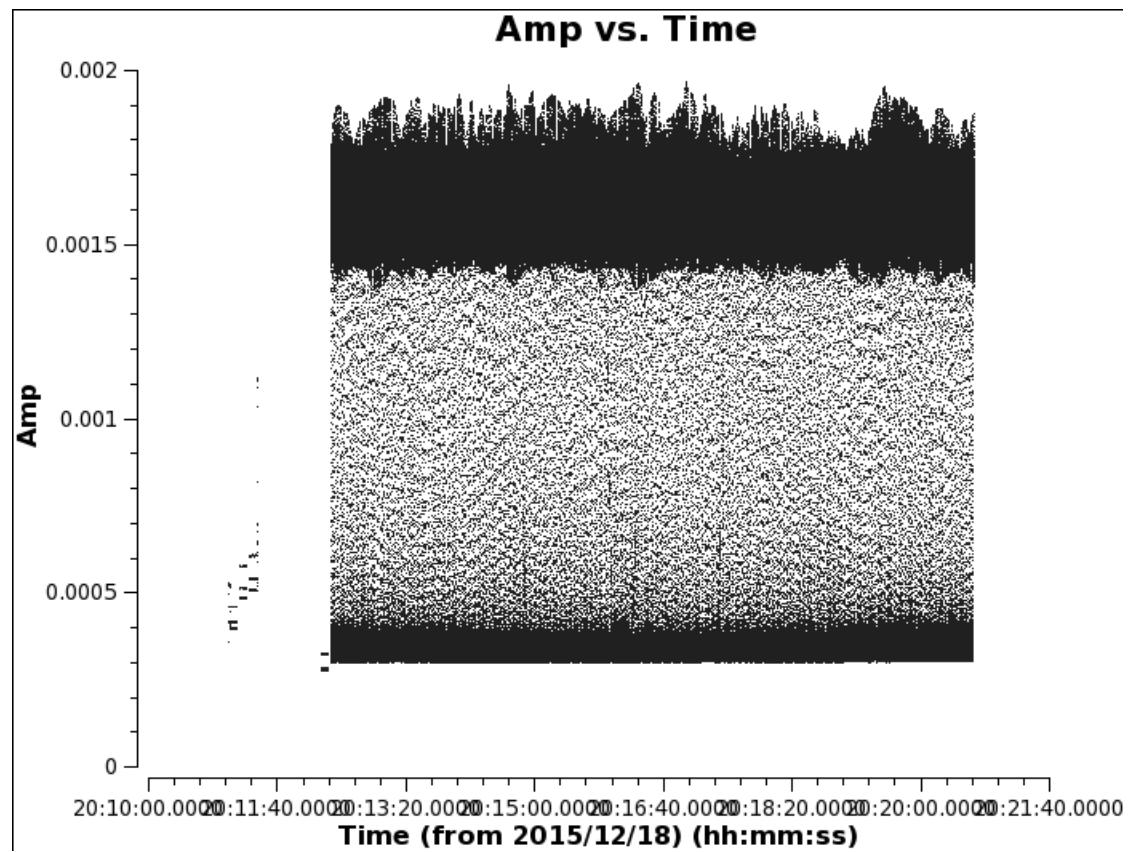
ALMAから得られる 太陽観測データ

12mアレイ,7mアレイと単一鏡観測が同時に行われる。

- 干渉計観測データ
 - 12m+7mアレイで得られたデータ
- 単一鏡観測データ
 - 12mアンテナ1(2~3)台で得られたデータ
- いずれも画像データではなく時系列データ。

単一鏡観測生データ

Total Powerの時系列データ



干渉計観測データとは

観測量Visibility $V(u, v) = \iint I(x, y) \exp(i(ux + vy)) dx dy$

理想的には、

$$V_{obs} = V_{real}$$

実際には、

$$V_{obs} \neq V_{real}, V_{obs} = GV_{real}$$

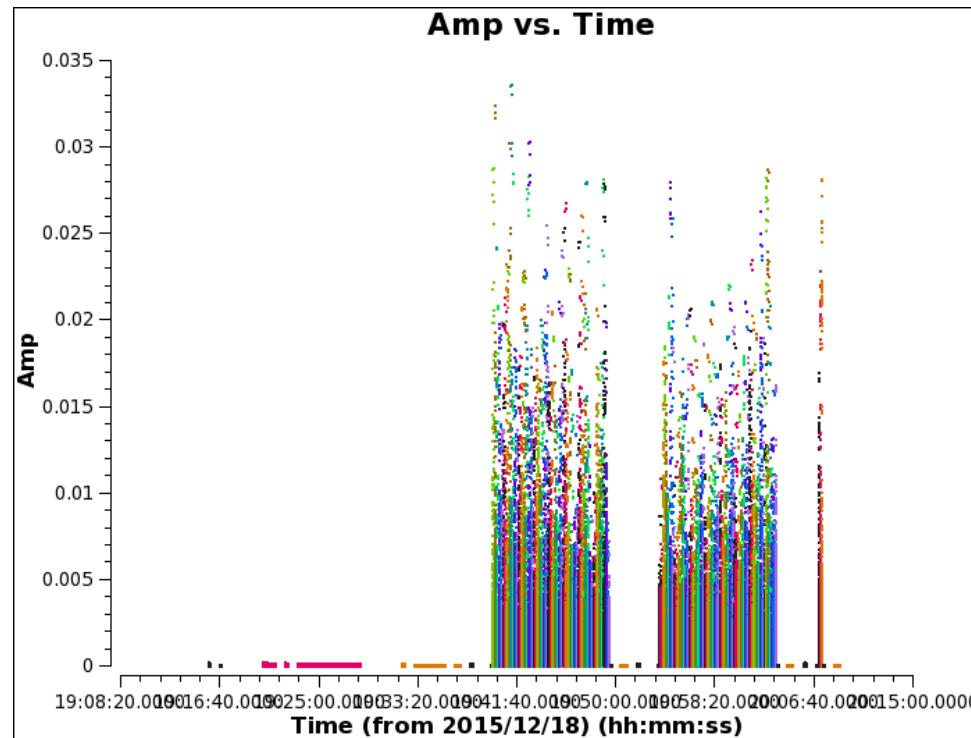
- 大気・装置起因で”G”(ゲイン)が加わる
- Gは複素量(振幅と位相)

V_{obs} は複素数なのでオイラー表記をすると $re^{i\phi}$

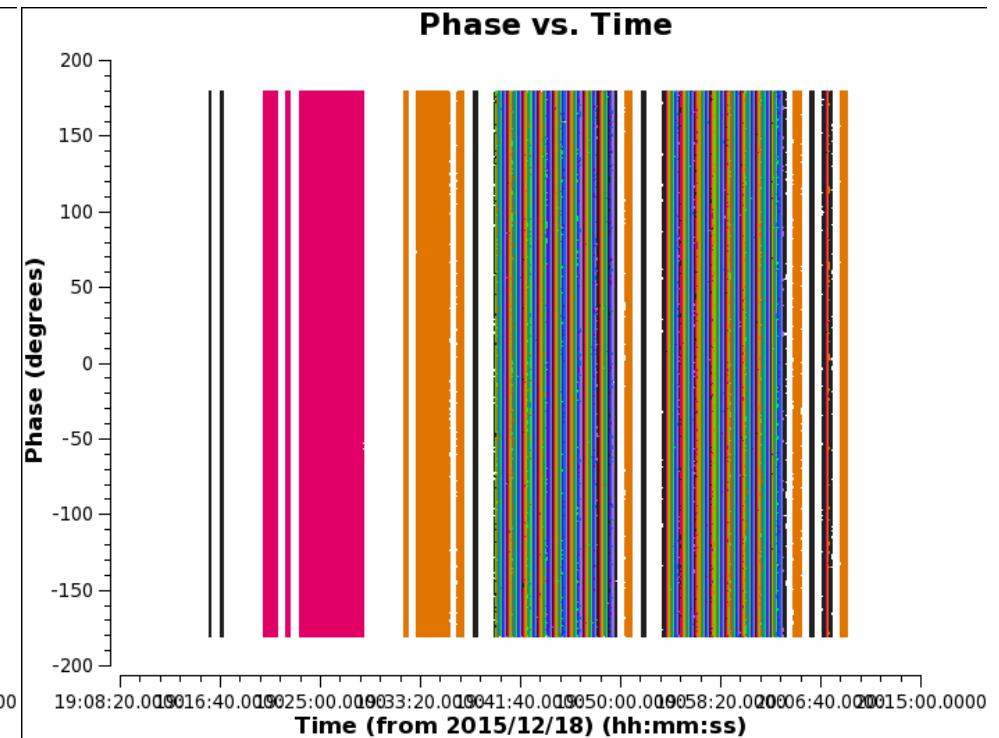
r ”amplitude”と、 ϕ ”phase”的時系列データ

実際の生データ(MOSAIC観測)

Amplitudeの時系列データ



phaseの時系列データ

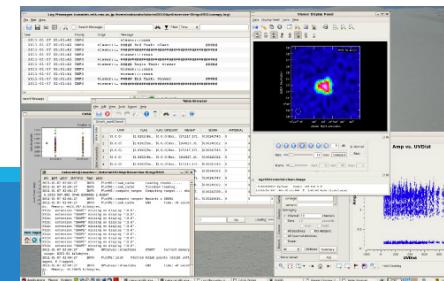


Common Astronomy Software Applications (CASA)

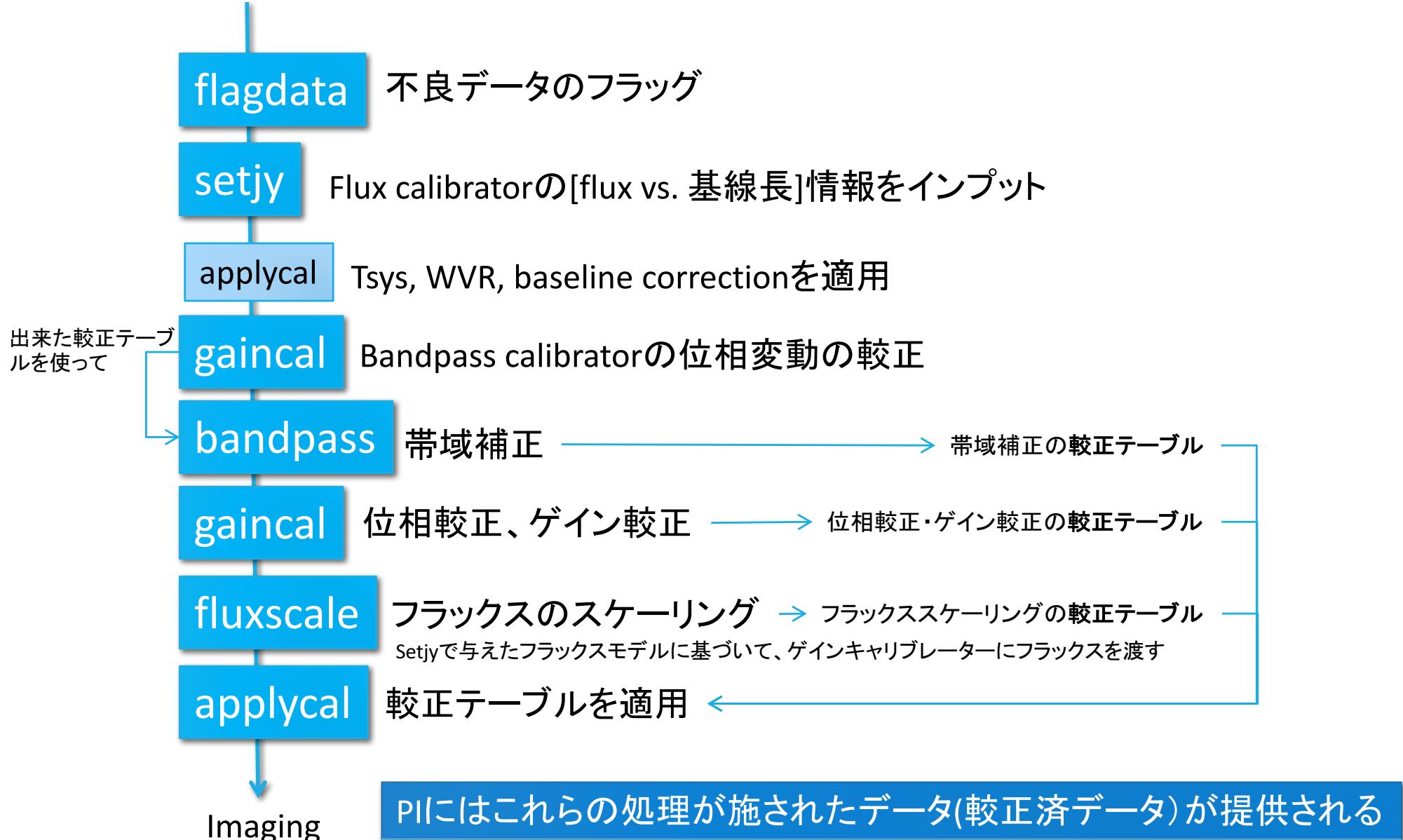
ALMA観測データ(干渉計＆単一鏡両方とも)の較正・イメージングは、(事実上)CASAでしかできない。

CASA

- Pythonをベースとした、解析ソフトウェアパッケージ
 - 太陽研究者には、「IDL+SSWの関係がPython+CASAの関係と同じ」と言えばわかりやすい？
- ALMA と EVLA(Karl G. Jansky Very Large Array)の標準データ解析ソフトウェア。
- すべてFreeSoftwareなので、解析環境を整えるのにお金はいらない。
- 対応プラットフォーム : Linux and OS X (macOS)
- PythonとCASAで実装されているtask(IDLでいうprocedure)やToolbox(低レベルの関数)を組み合わせて、解析スクリプトを作成することができる。
- 天体電波観測データに特化しているため、他波長との位置合わせにCASAを使おうとすると、開発が必要。
- 中間ファイルを多量に出力するため、Disk I/O性能が非常に重要(基本NFSなどネットワークディスクは利用厳禁)。
- 像合成をFITSファイルで出力できる。



CASAによる干渉計データ解析の流れ(簡略版)



観測終了後、観測所からPIに渡されるものは？

= PIに与えられた専有期間後にアーカイブから取得できるものは？

正確にいうと

- 観測生データ(Visibility, Total Powerデータ)
- Visibility & Total Powerデータ較正用CASAスクリプト
- リファレンス画像作成用の像合成CASAスクリプト
- リファレンス用の画像(1観測1画像[TBC])
 - サイエンス用の画像(ムービー用高時間ケーデンス画像など)は、自分で作る必要がある。
 - 干渉計観測データと単一鏡観測データを結合したデータは提供されない！

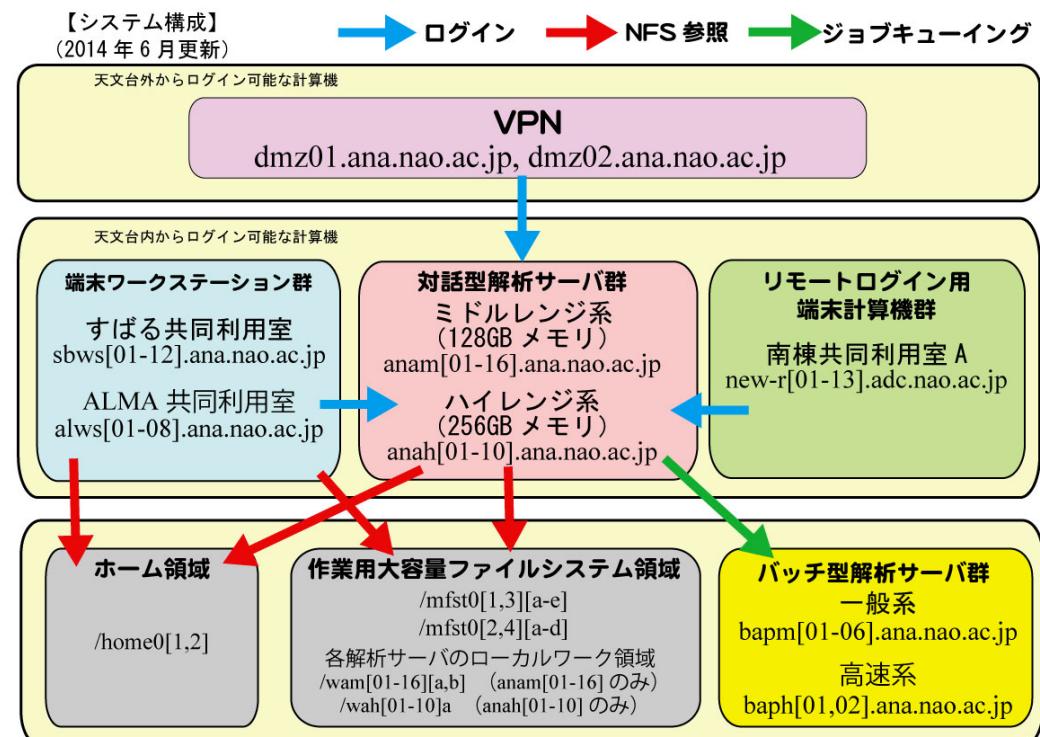
ALMA観測データでサイエンスするためには、CASAの実行環境が必須。

他波長データ解析システム

@ADC/NAOJ (<http://www.adc.nao.ac.jp>)

国立天文台/天文データセンターでは、 CASA実行環境として、他波長データ解析システムを日本の研究者に提供している。

- **注:SDASとは違います。**
- 今年前半に、SSW+IDLがこのシステム上でも使えるようになります！
- データの長期保存に難あり。
- CASA on SDAS はできない。



Officialには...

Face-to-Faceサポート for PI

helpdeskを通して、PIからALMA Regional Center (ARC)に
Face-to-Faceサポートリクエストができる。

- Face-to-Faceサポートの方法
 - EA-ARCへの訪問
 - 電話相談
 - テレビ会議
 - Skype

対象は、PIもしくはCo-I。

<http://alma.mtk.nao.ac.jp/j/forresearchers/ea-arc/userguide.html>

観測終了後、観測所からPIに渡されるものは？

= PIに与えられた専有期間後にアーカイブから取得できるものは？

正確にいうと

- 観測生データ(Visibility, Total Powerデータ)
- Visibility & Total Powerデータ較正用CASAスクリプト
- リファレンス画像作成用の像合成CASAスクリプト
- リファレンス用の画像(1観測1画像[TBC])
 - サイエンス用の画像(ムービー用高時間ケーデンス画像など)は、自分で作る必要がある。
 - 干渉計観測データと単一鏡観測データを結合したデータは提供されない！

ALMA観測データでサイエンスするためには、CASAの実行環境が必須。

Tutorial of solar data reduction

<https://almascience.nao.ac.jp/alma-data/science-verification/tutorial-alma-solar-science-verification-data>

Sunspot_Band6_Calibration_for_CASA_4.7

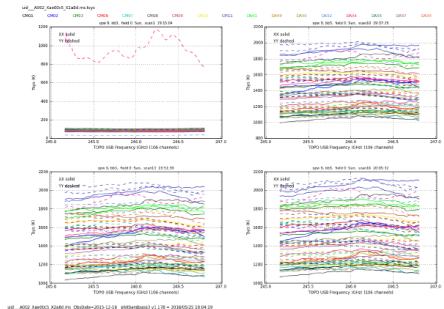


Figure 2. The plots of the Tsys of Spw=7.

We will apply the Tsys calibration table to the data of the calibrators with the task `applycal`, which reads the specified gain calibration tables, applies them to the (raw) data column, and writes the calibrated results into the corrected column. For non-solar observations, we also apply the WVR (Water Vapor Radiometer) calibration table to data. However, we must NOT apply the WVR table to the solar data, because the WVR receivers at the Sun occur the saturation.

We apply the Tsys calibration table to the data of the bandpass calibrator:

```
# In Casa
applycal(vis = mso, field = '1', spw = '5,7,9,11',
        gaintable = mso + '.tsys', gainfield = '1',
        interp = 'linear,linear', calwt = T, flagbackup = F)
```

In the observations, we do not the atmospheric calibration of the phase calibrator between the scientific scans, because a long suspension of scientific observations has a bad influence on science. Therefore, we apply the Tsys calibration table, which is created from the data of the atmosphere

Sunspot_Band6_Feathering_for_CASA_4.7

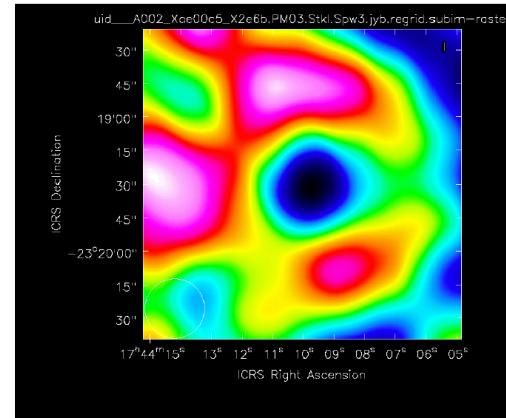


Figure 2. The trimmed map from the full-sun map.

As the final process of the preparation of the single-dish data, we multiply the trimmed image by the primary beam response, as follows.

```
# In Casa
imsubimage(imagename=int_base+'.flux',outfile=int_base+'.flux.subim',
           box='555,565,1505,1490')

immath(imagename=[sd_img_base+'.jyb.regrid.subim',int_base+'.flux.subim'],
       expr='IM0*IM1', outfile=sd_img_base+'.jyb.regrid.subim.depb')
```

Reference papers (準備中)

干渉計観測 Shimojo et al. 2017

Solar Physics
DOI: 10.1007/*****

Observing the Sun with ALMA: High Resolution Interferometric Imaging

M. Shimojo^{1,2} · T.S. Bastian³ · A.S. Hales^{4,3} · S.M. White⁵ ·
K. Iwai⁶ · R.E. Hills⁷ · A. Hirota^{4,1} · N.M. Phillips^{4,8} ·
T. Sawada^{4,1} · P. Yagoubov⁹ · G. Siringo^{4,8} · S. Asayama¹ ·
M. Sugimoto¹ · R. Brajša¹⁰ · I. Skokić¹¹ · M. Bartá¹¹ · S. Kim¹² ·
H.S. Hudson^{13,14} · S. Wedemeyer¹⁵ · D.E. Gary¹⁶ · B. De
Pontieu^{17,15} · G.D. Fleishman¹⁶ · B. Chen¹⁶ · Y. Yan¹⁸ · I. de
Gregorio^{4,8} · S.A. Corder^{4,3}

© Springer ****

✉ M.S. Shimojo
masumi.shimojo@nao.ac.jp

単一鏡観測 White et al. 2017

Solar Physics
DOI: 10.1007/*****

Observing the Sun with ALMA: Fast-scan Single-dish Mapping

S.M. White¹ · K. Iwai² · N.M. Phillips^{3,4} · R.E. Hills⁵ · A. Hirota^{3,6} ·
P. Yagoubov⁷ · G. Siringo^{3,4} · M. Shimojo⁶ · T.S. Bastian⁸ · A.S. Hales^{3,8} ·
T. Sawada^{3,6} · S. Asayama^{3,6} · M. Sugimoto⁶ · R.G. Marson⁹ · W. Kawasaki⁶ ·
E. Muller⁶ · T. Nakazato⁶ · K. Sugimoto⁶ · R. Brajša¹⁰ · I. Skokić¹¹ · M. Bartá¹¹ ·
S. Kim¹² · A.J. Remijan⁸ · I. de Gregorio^{3,4} · S.A. Corder^{3,8} · H.S. Hudson¹³ ·
M. Loukitcheva^{14,15,16} · B. Chen¹⁴ · B. De Pontieu¹⁷ · G.D. Fleishmann¹⁴ ·
D.E. Gary¹⁴ · A. Kobelski¹⁸ · S. Wedemeyer¹⁹ · Y. Yan²⁰

© Springer ****

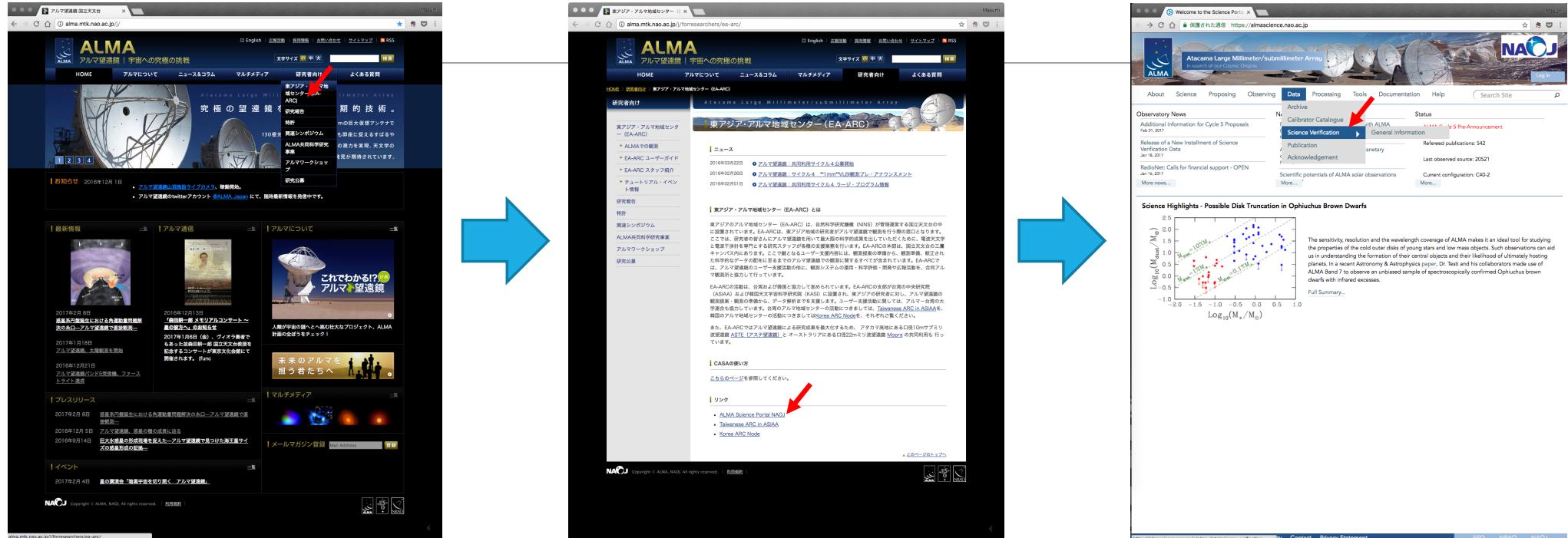
✉ S.M. White
stephen.white.24@us.af.mil

Science Verification (SV) Data

ALMA観測所が、ALMAの性能をコミュニティーに
デモンストレーションするためのデータ。

- プロポーザル準備に欠かせない。
 - どんな画像が取れるのかが見える。
- 誰もが自由に科学目的にデータを利用できる。
 - 論文への利用に謝辞の明記以外に制限は無い。

SVデータのありか



<https://almascience.nao.ac.jp/alma-data/science-verification>



保護された通信

<https://almascience.nao.ac.jp/alma-data/science-verification>

Baseline Campaign. Details of the imaging of the long baseline data are given in a [CASA Guide page](#).

16. SDP.81 Band 4, Band 6 and Band 7: very high angular resolution, long (~10 km) baselines. This data was observed as part of the 2014 ALMA Long Baseline Campaign. Details of the imaging of the long baseline data are given in a [CASA Guide page](#).

Update: Note that the Band 4 CO image products deployed before March 2nd, 2015, were not continuum subtracted. These have now been replaced with continuum-subtracted images. Details of the additional continuum subtraction step are given in the imaging script on the [long baseline CASA Guide page](#). Note also that the Band 4 CO image products deployed before April 17, 2015, used a rest frequency corresponding to an adopted redshift $z=3.04$ (142.641 GHz). For consistency with the other spectral line data on this target, these have now been replaced with images that adopt $z=3.042$.

17. 3C 286 Band 6: continuum polarization. Details of the calibration and imaging of these polarization data are given in a [CASA guide](#).

18. Arp 220 Band 5: H₂O, CS and HNC observations.

19. Sgr B2(N) Band 5: almost complete spectral scan from 163 GHz to 211 GHz with the hybrid 12m-7m array.

20. Solar observations:

- 2014 campaign: single pointings in a quiet solar region at [Band 3](#) and [Band 6](#), and in an active solar region at [Band 3](#) and [Band 6](#).
- 2015 campaign: 149 pt mosaic of the active region AR12470 at [Band 3](#) and [Band 6](#) and of the limb near the Sun's south pole at [Band 6](#).
- 2015 campaign: 39 pt mosaic of quiet sun region near the east limb at [Band 3](#) and [Band 6](#).
- 2015 campaign: single pointings of the west side of the active region AR12470 at [Band 3](#) ([16 December](#) and [17 December](#) data).

Commissioning Test data

1. Proof of Concept of Response to Targets of Opportunity: [GRB 110715A followup Band 7: continuum](#). Many thanks to the following people for participating in the Rapid Response testing: Dale Frail, Ashley Zauderer, Andreas Lundgren, Itziar de Gregorio, Mark Rawlings, Diego Garcia, Stuart Corder

2. Pluto Band 7 TDM data in support of NASA JPL New Horizons Mission: [Pluto band 7: continuum](#). Many thanks to Leslie Young and Alan Stern (Southwest Research Institute), Hal Weaver (Johns Hopkins APL), Bill Folkner (JPL, Caltech) and the NASA New Horizons Team, Ed Fomalont for the astrometric scheduling, data reduction and analysis, and Diego Garcia-Appadoo for the preparation of the scheduling blocks.

3. Single quasar observations over tens of minutes or longer to determine the properties of atmospheric delay variation over baselines up to 15 km. These data were obtained as part of the past ALMA Long Baseline Campaigns. See the [README](#) file for a general description of the dataset, and [10kmBL_DataStatus.pdf](#) for a detailed listing of the datasets.

Using the data for publication

Please refer to the [Publication acknowledgement](#) section.

Solar SV data released on 18 January 2017

1. Single pointing in Band 3 obtained on 11 December 2014 UT of a quiet solar region
2. Single pointing in Band 6 obtained on 11 December 2014 UT of a quiet solar region
3. Single pointing in Band 3 obtained on 12 December 2014 UT of an active solar region
4. Single pointing in Band 6 obtained on 12 December 2014 UT of an active solar region
5. 149 pt mosaic in Band 3 obtained on 16 December 2015 UT of a preceding sunspot of the active region AR12470
6. 39 pt mosaic in Band 3 obtained on 16 December 2015 UT of a quiet sun region near the east limb and the foot of a prominence
7. Single pointing in Band 3 obtained on 16 December 2015 UT of the west side of the preceding sunspot of the active region AR12470
8. Single pointing in Band 3 obtained on 17 December 2015 UT of the west side of the preceding sunspot of the active region AR12470
9. 39 pt mosaic in Band 6 obtained on 17 December 2015 UT of a quiet sun region near the east limb
10. 149 pt mosaic in Band 6 obtained on 18 December 2015 UT of a preceding sunspot of the active region AR12470
11. 149 pt mosaic in Band 6 obtained on 20 December 2015 UT of the limb near the Sun's south pole

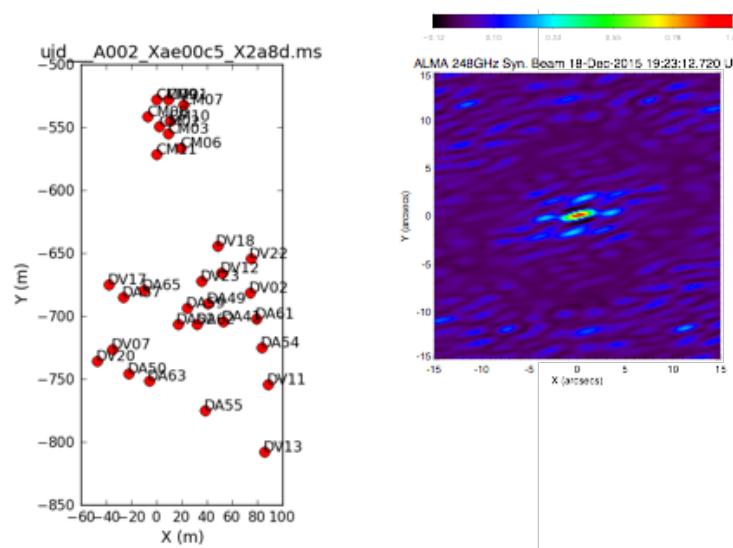
单一鏡観測無し
&
Fluxが基本不定

2015 Solar Commissioning Campaign

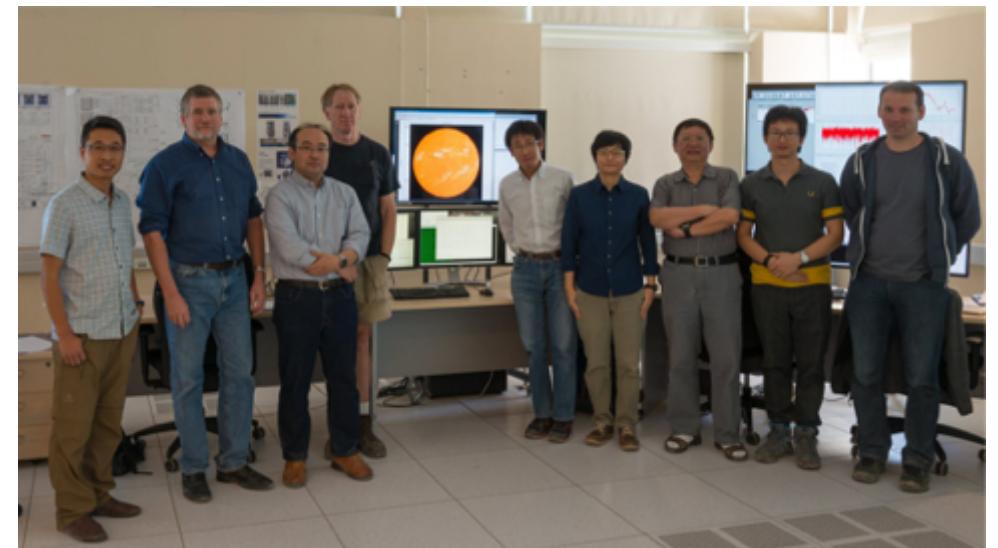
2015/12/14 - 2015/12/21

of antennas: 20~23 12-m + 7~8 7-m antennas. Total: **27~31 antennas**... with C36-1 (Most compact configuration)

Spatial resolution: **~2.4" @ Band6 / ~ 4.9" @ Band3**



Cycle4 : 12m x 40 + 7m x 10 = 50 antennas



太陽SVデータの中身

****_Readme.txt

- “Read me” text (スクリプトの利用方法も含む。)

****_UncalibratedData.tgz

- 生データ(Visibility)と解析・像合成に必要なCASAスクリプト

****_CalibratedData.tgz

- 較正済みデータ(Visibility)・太陽全面画像と像合成および干渉計+単一鏡に必要なCASAスクリプト

****_Referenceimages.tgz

- 上記の同封されたCASAスクリプトで作成される画像ファイル(FITSファイル)
- USBメモリーからコピーしてもらったファイル群
 - 太陽全面画像 (*_SD_I.fits データ単位: 輝度温度[K])
 - 干渉計データから像合成した画像 (*AllSpw_I.fits データの単位: flux density [Jy/beam])
 - 干渉計データと単一鏡データを合わせた画像(*_Feather_K.fits データの単位: 輝度温度[K])

ファイル名と観測内容

AR_Band3_SP_*.tgz

- Single-Pointing, AR12470, 5min、單一鏡観測無し、100GHz

AR_Band3_SPI_*.tgz

- Single-Pointing, AR12470, ~1 hrs, 100GHz

Prominence_Band3_*.tgz

- 39-point MOSAIC, プロミネンスの足元を含むリム。100GHz

QS_Plage_Band6_*.tgz

- 39-point MOSAIC, plageを含む静穏領域(on disk)。239GHz

SouthPole_Band6_*.tgz

- 149-point MOSAIC, 南極を含むリム, 239GHz

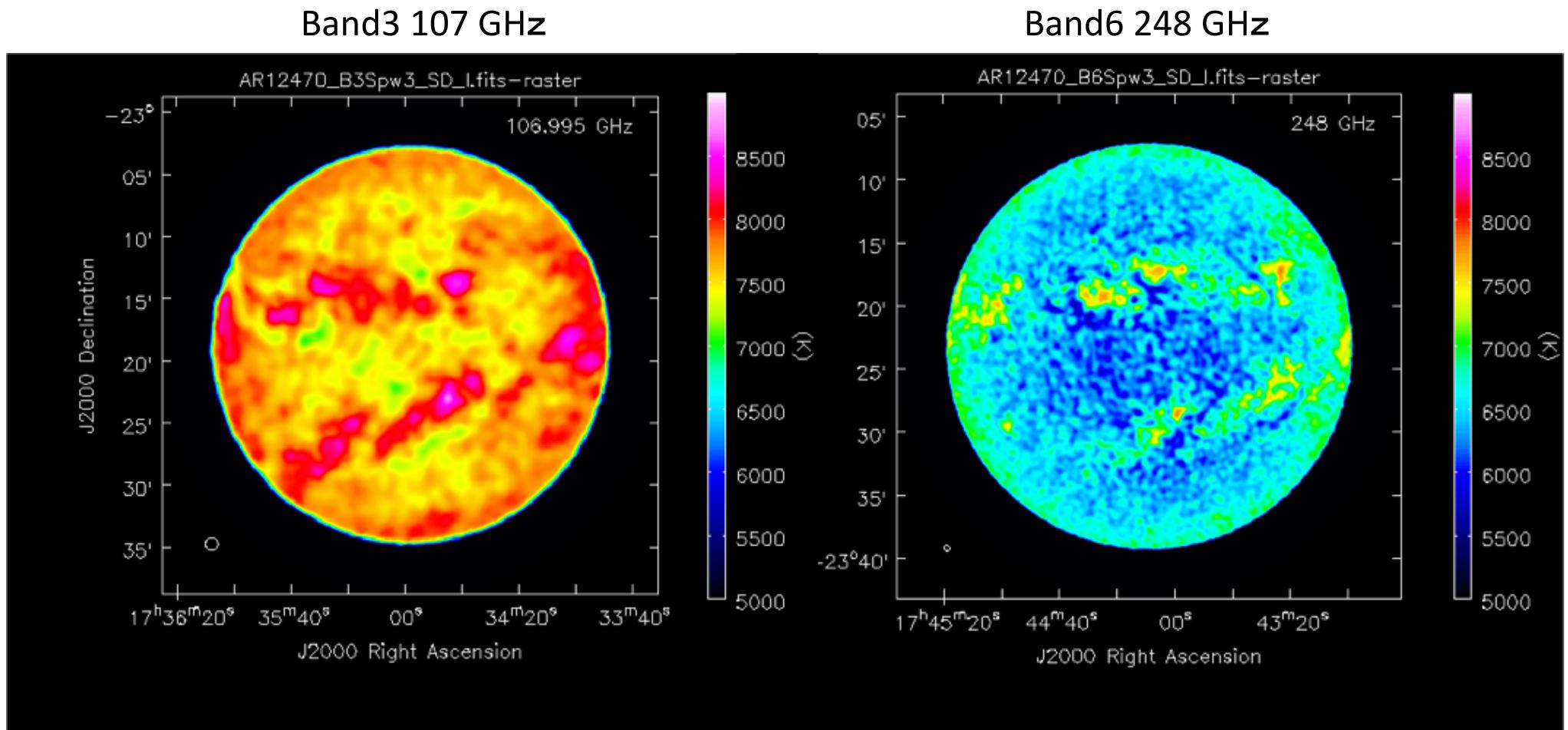
Sunspot_Band3_*.tgz

- AR12470 先行黒点, 149-point MOSAIC, 100GHz

Sunspot_Band6_*.tgz

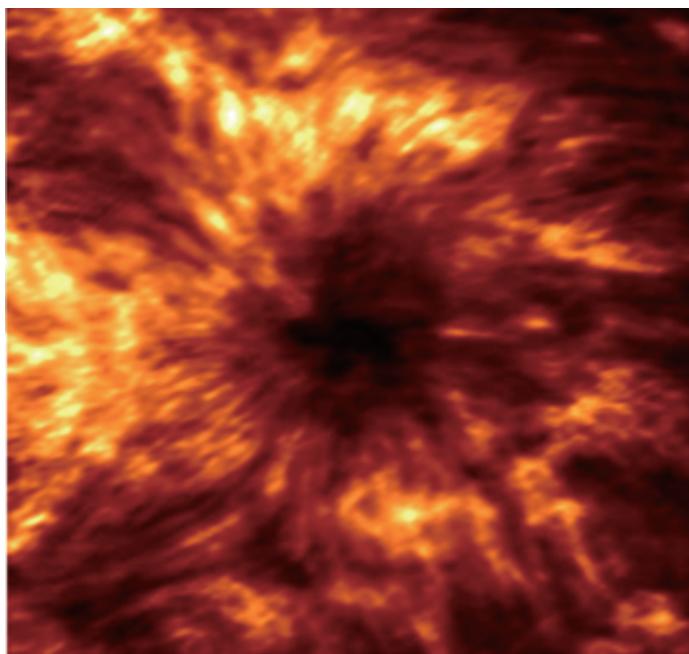
- AR12470 先行黒点, 149-point MOSAIC, 239GHz

太陽全面画像(单一鏡観測) (* _SD_I.fits) 2015/12/16,17,18,20

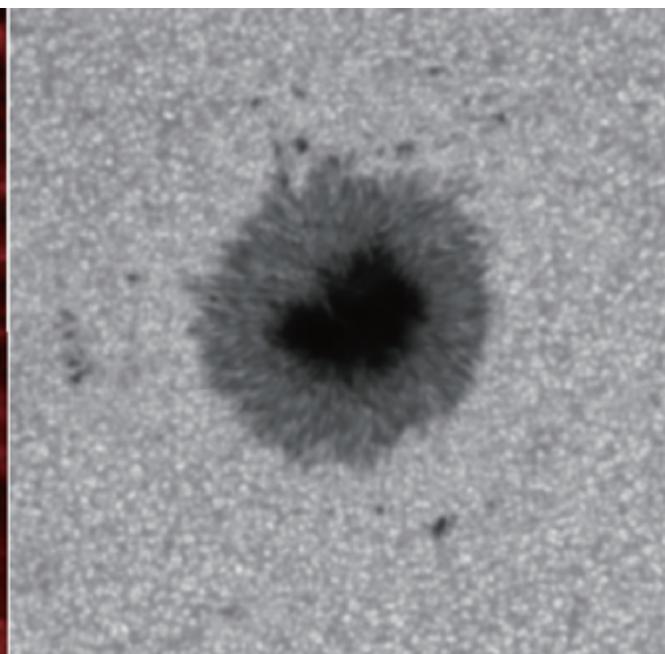


注:2014年のSVデータには太陽全面像はありません。

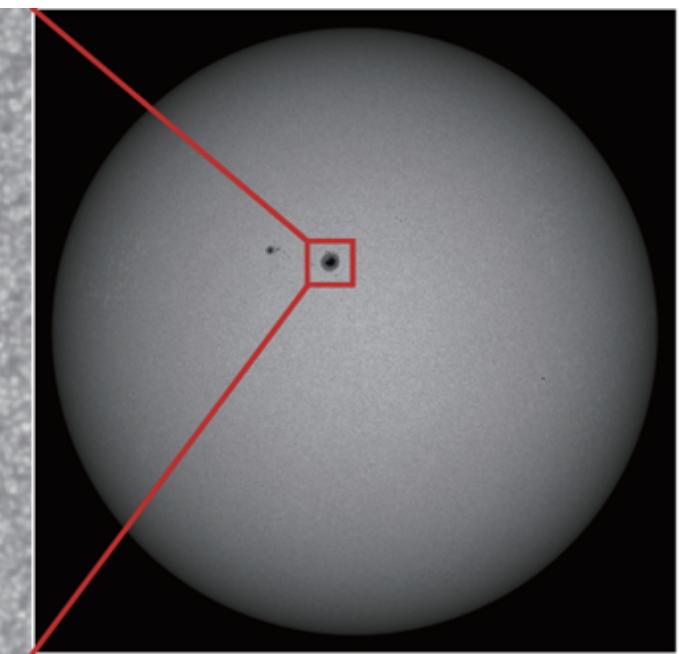
Sunspot_Band6 (2015/12/20) 149point-MOSAIC obs. AR12470



Band6/239GHz



White Light(HMI)

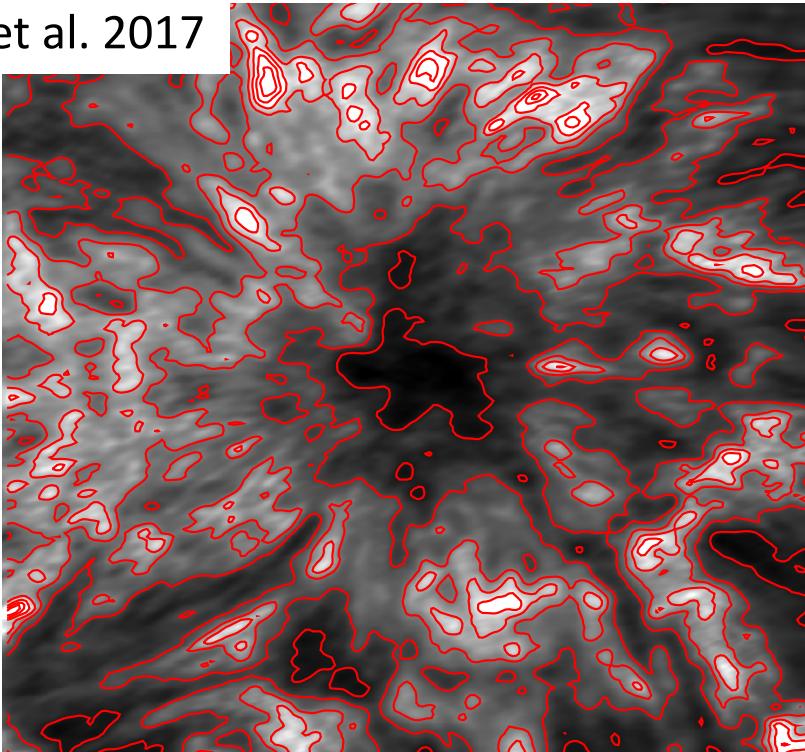


White Light(HMI)

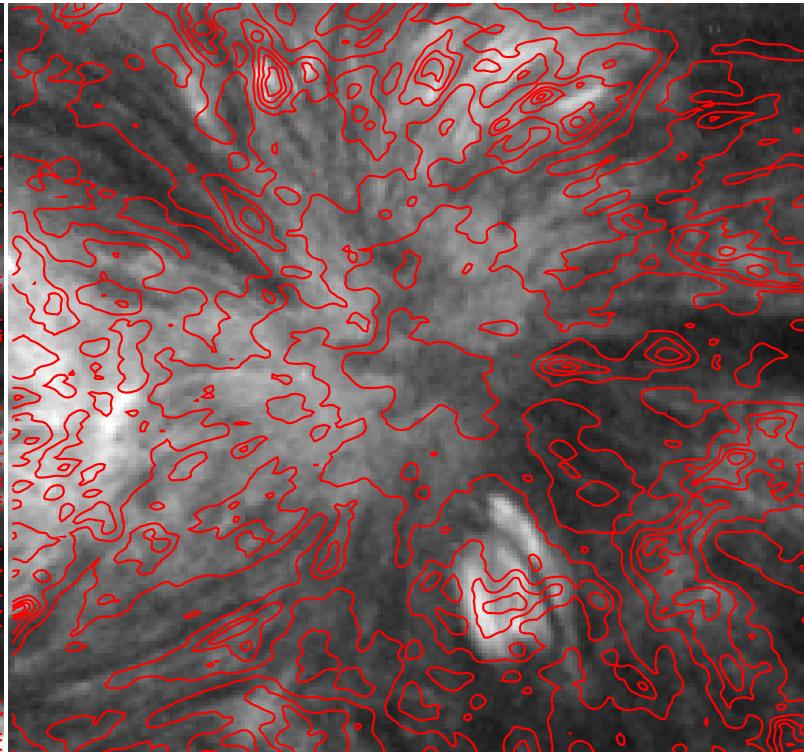
“The Sun” (UK タブロイド誌)

The screenshot shows the homepage of The Sun website. At the top, there's a navigation bar with links for HOME, FOOTBALL, SPORT, TV & SHOWBIZ, LIVING, NEWS, VIDEOS, SUN BINGO, and SUN BETS. Below the navigation is a blue header bar with links for All News, UK News, World News, Politics, Tech and science, and Opinion. The main content area features a large image of a television screen showing a video conference. To the right of the image, Japanese text reads "テレビ会議ならVTVジャパン". Below this, another section has Japanese text: "実際の導入事例を多数掲載中。実績と信頼で選ぶ企業向けテレビ会議" and a link "vtv.co.jp". On the left side of the main content, there's a news article titled "TURTLE-Y RIDICULOUS Bizarre 'megaturtle' seen on the surface of the sun in pictures from ALMA telescope". The article includes a short description, the author's name (MARGI MURPHY), the date (18th January 2017, 2:42 pm), social sharing icons for Twitter and Facebook, and a "COMMENT NOW" button. Below the article are two images: one showing a solar flare in space and another showing a close-up of a sea turtle.

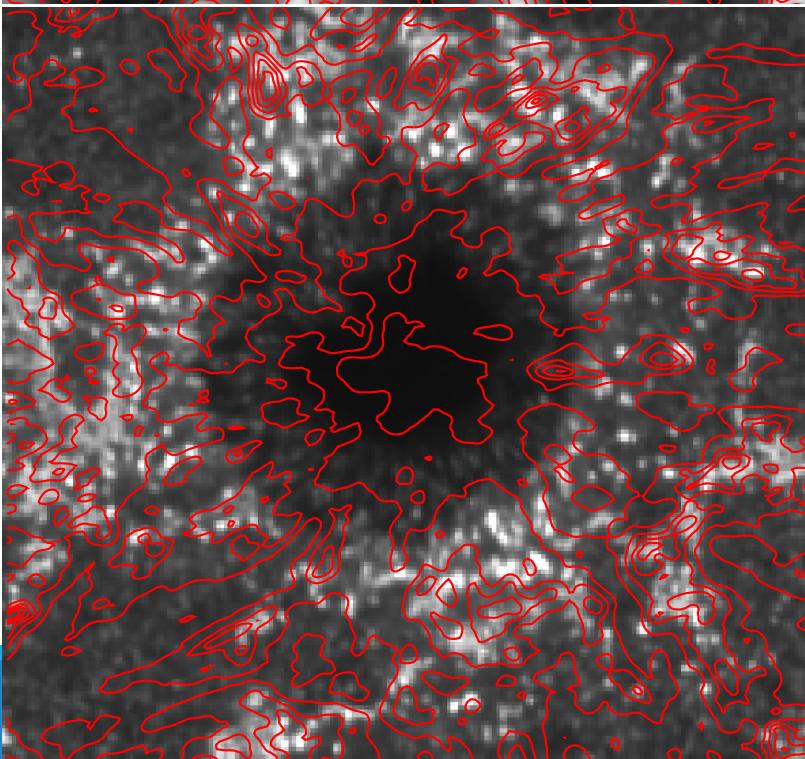
ALMA
239GHz



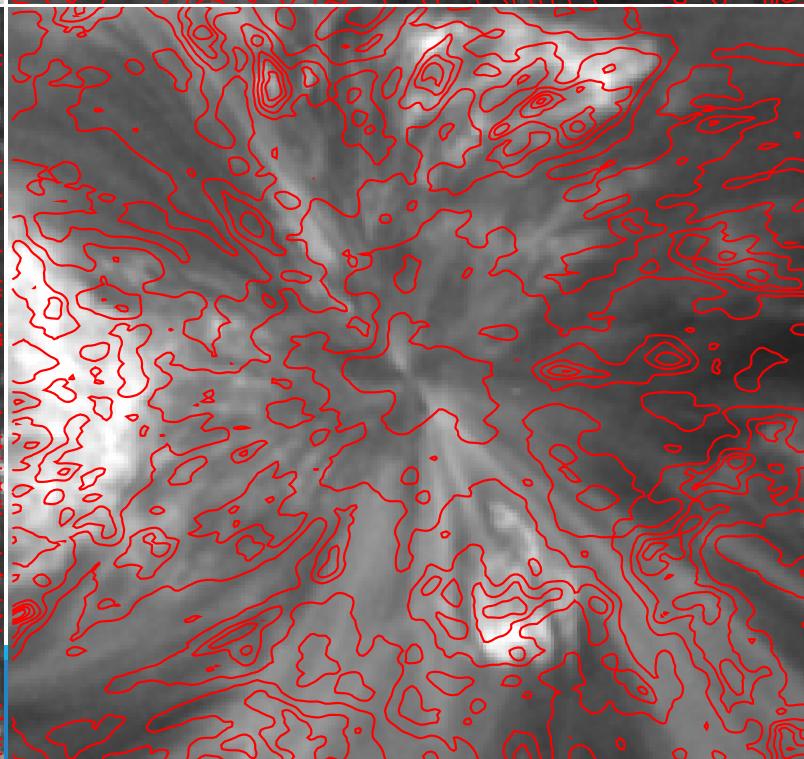
AIA
304



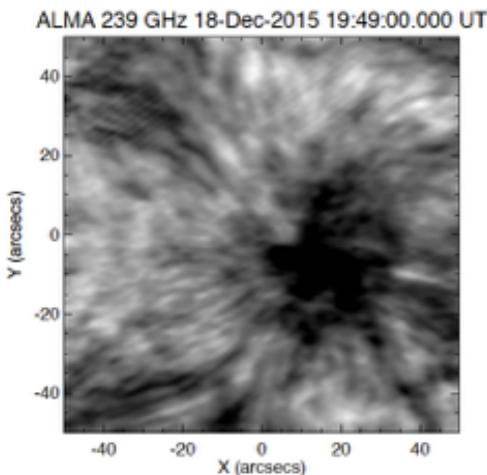
AIA
1700



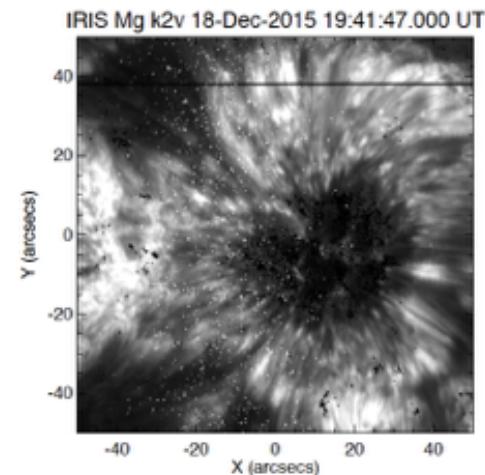
AIA
193



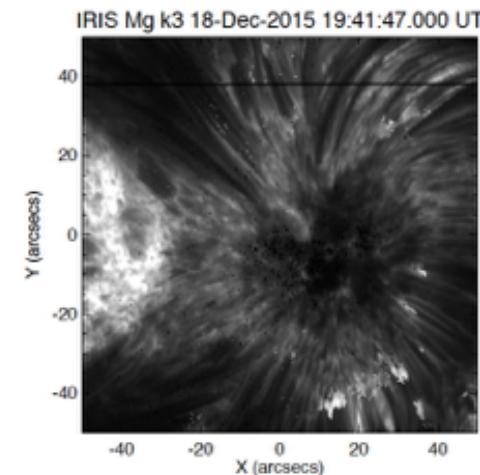
ALMA 239 GHz



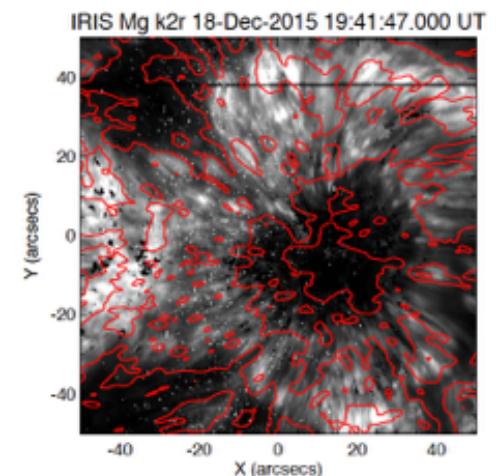
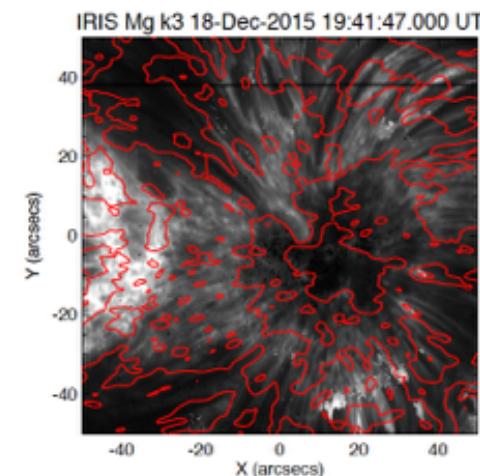
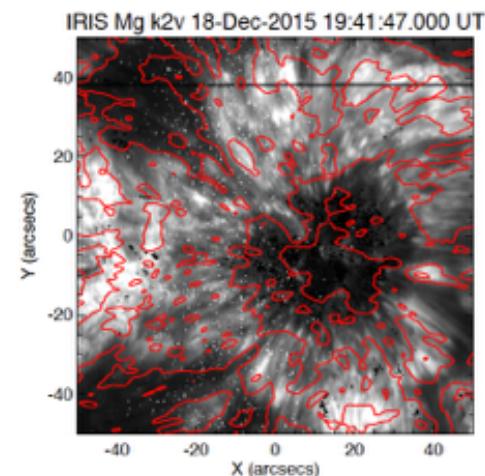
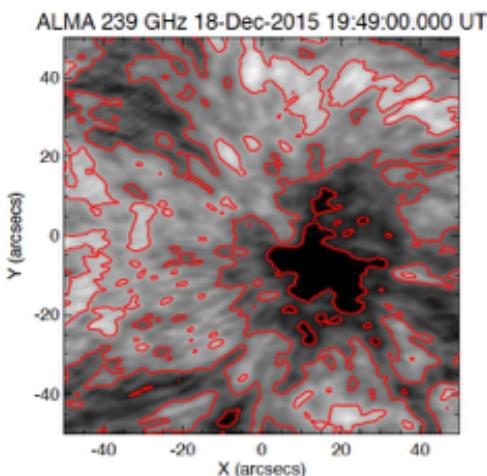
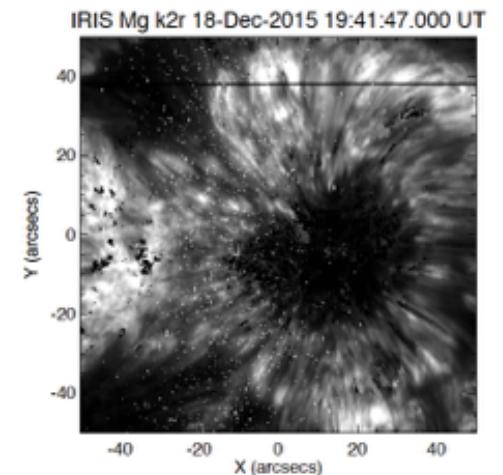
IRIS Mg k2v

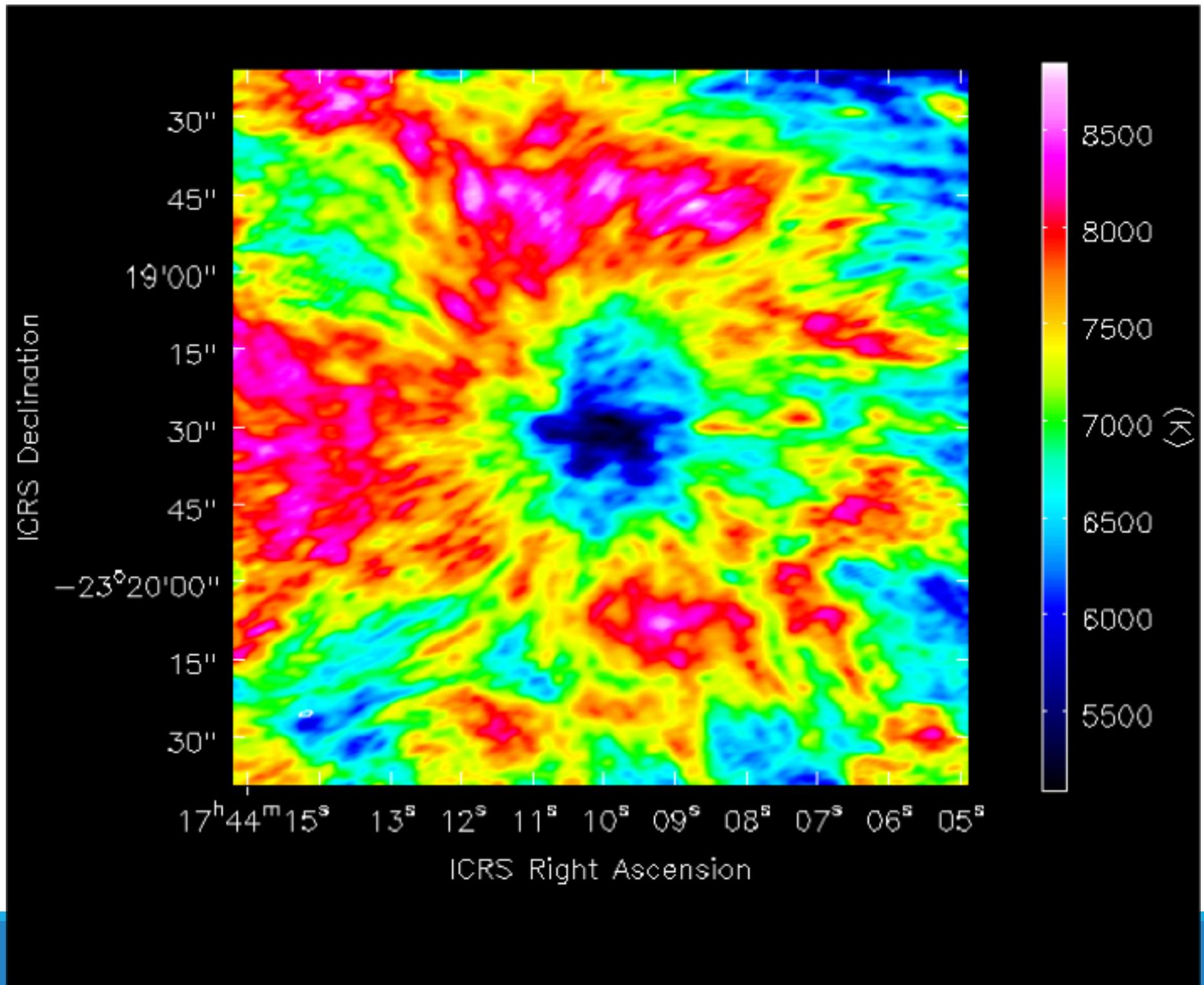


IRIS Mg k3

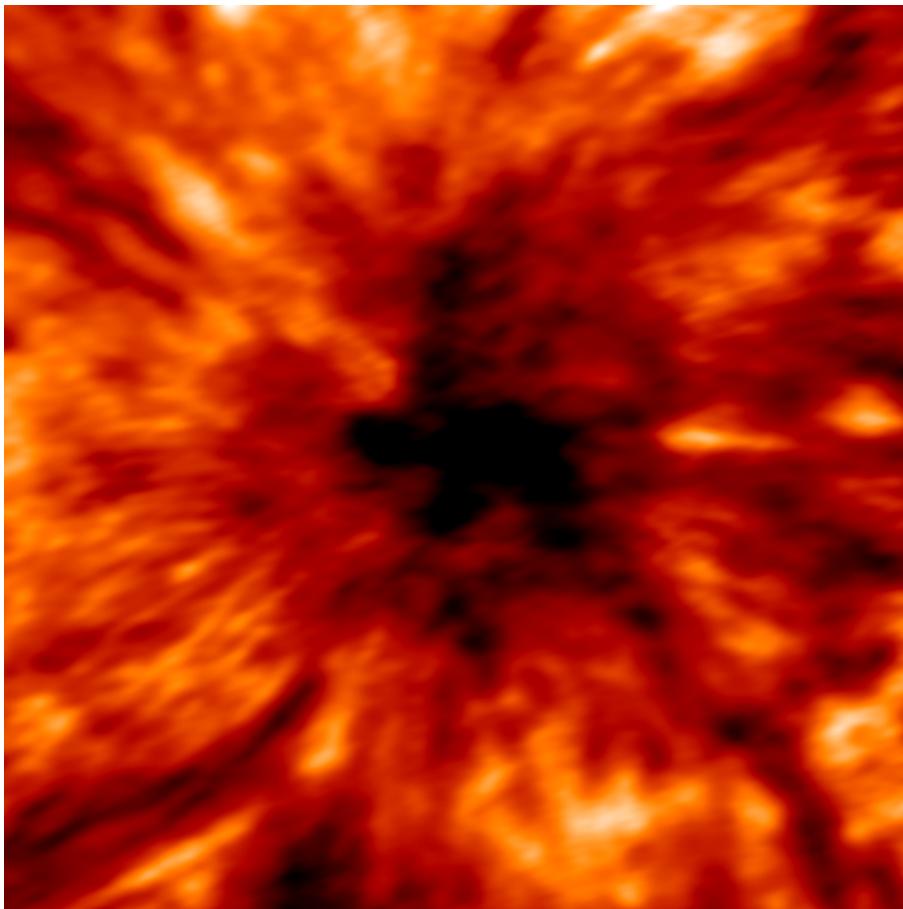


IRIS Mg k2r

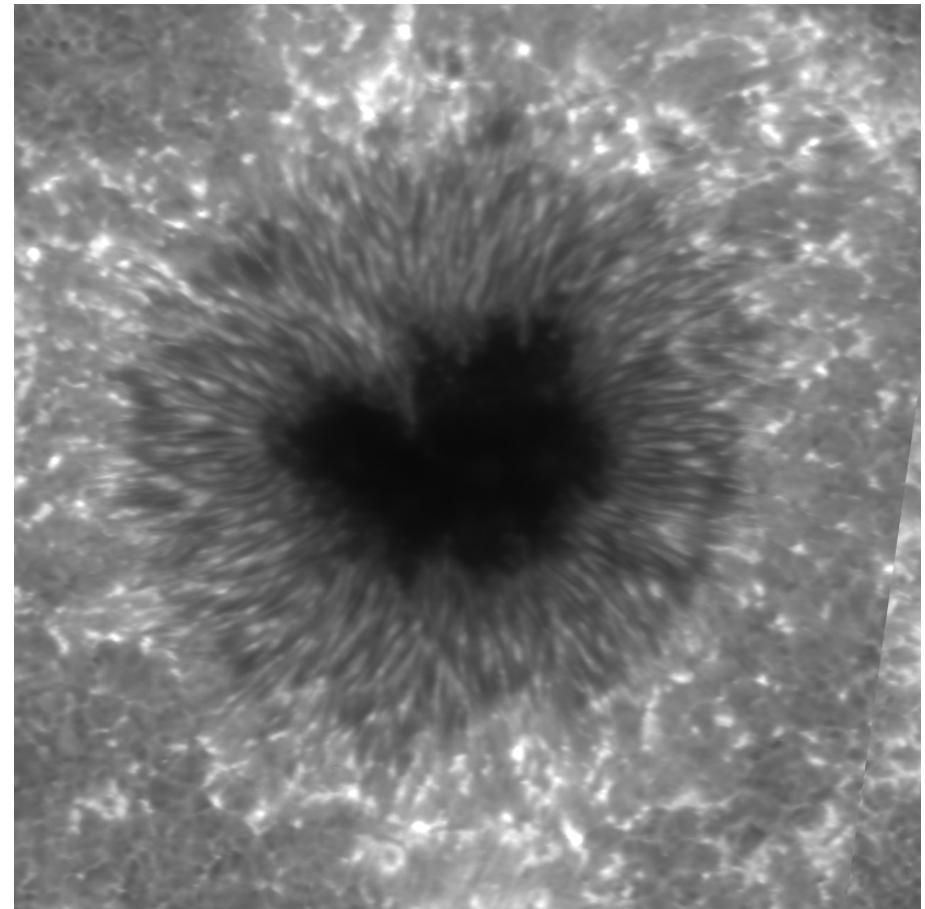




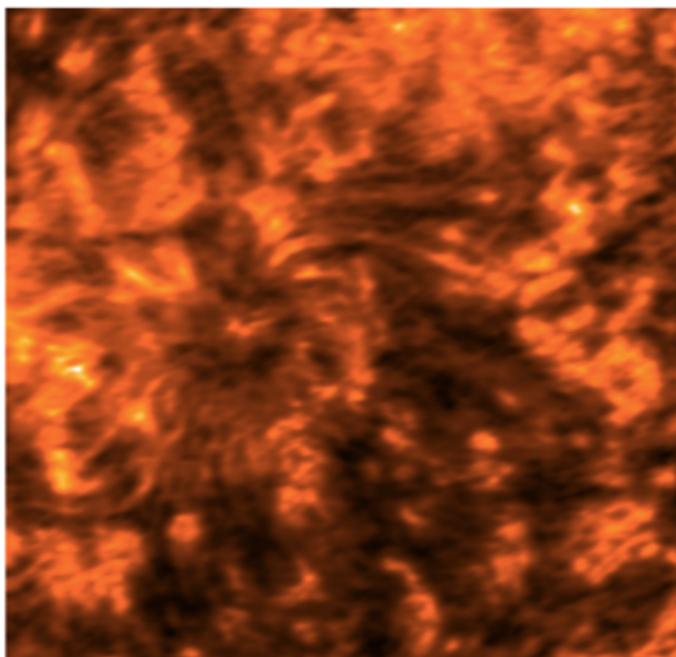
ALMA 239 GHz 18-Dec-2015 19:39 -- 20:03 UT



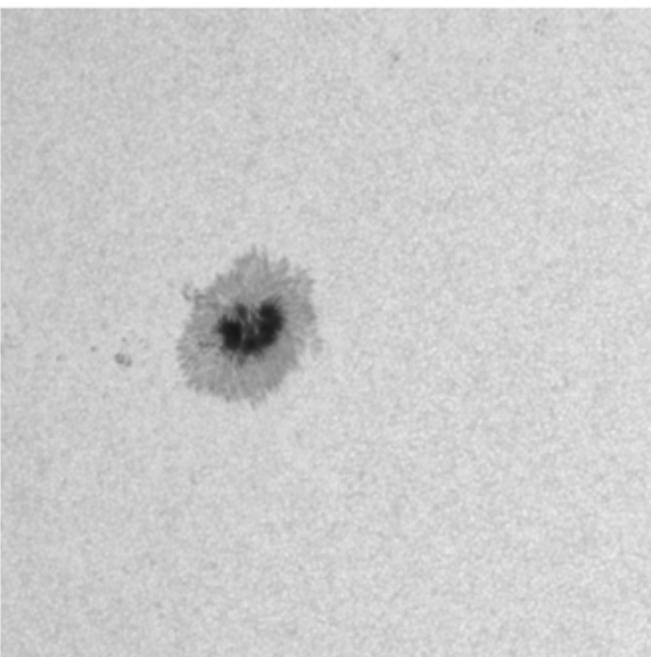
Hinode SOT Ca II H 18-Dec-2015 19:49:32.732 UT



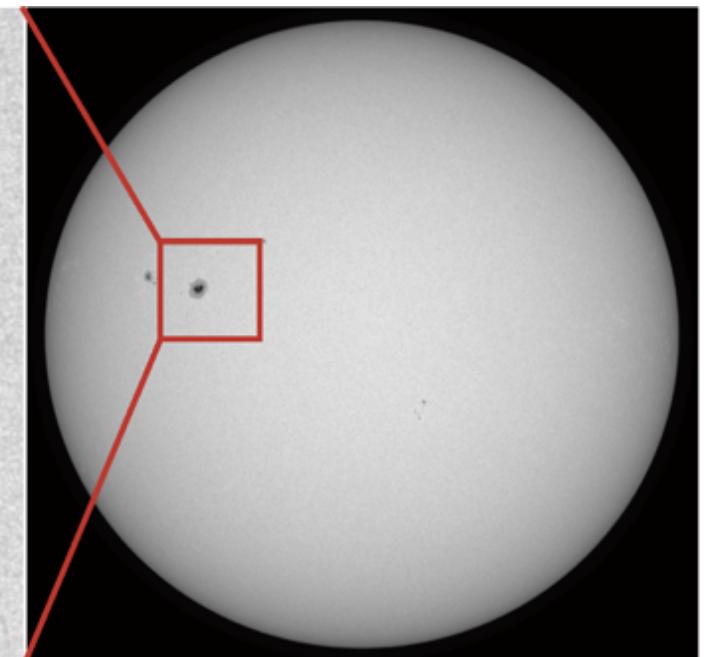
Sunspot_Band3 (2015/12/18) 149point-MOSAIC obs. AR12470



Band3/100GHz

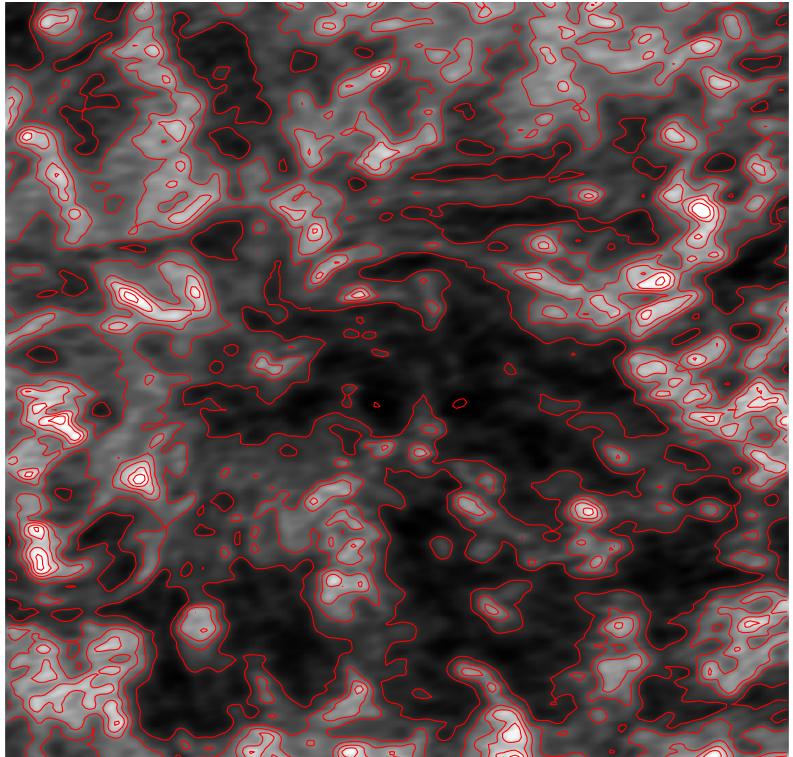


White Light(HMI)

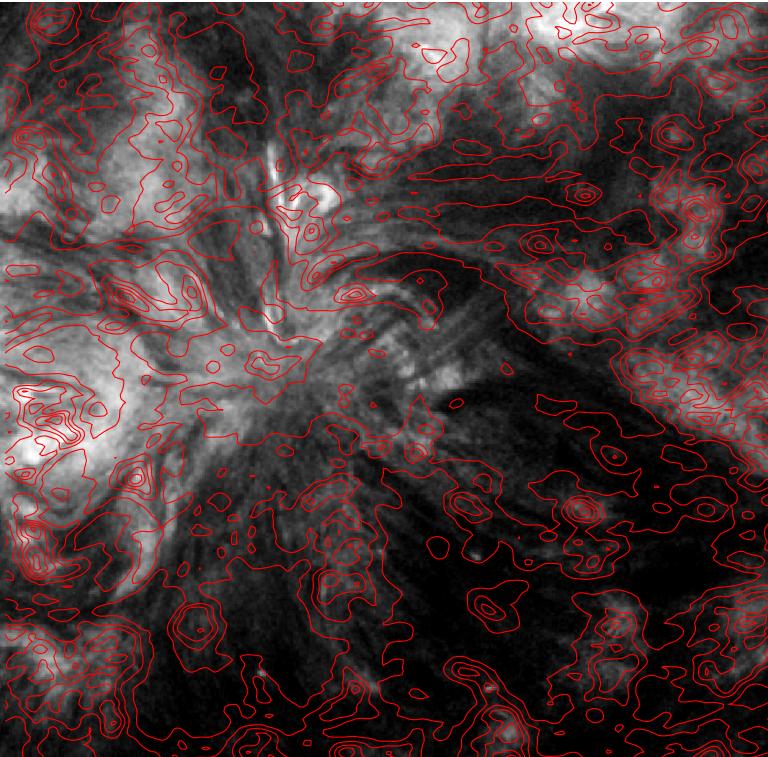


White Light(HMI)

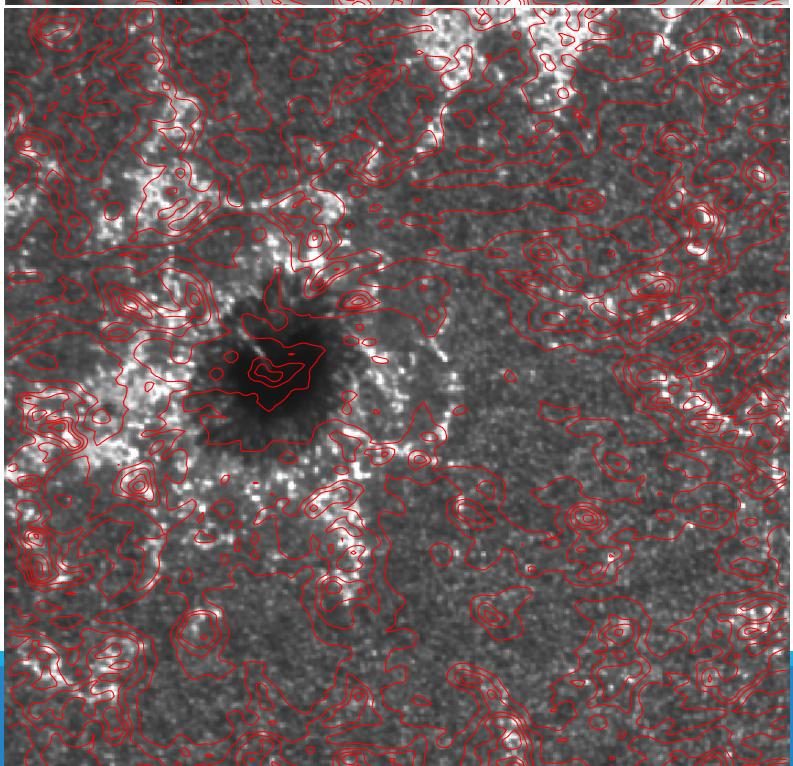
ALMA
100 GHz



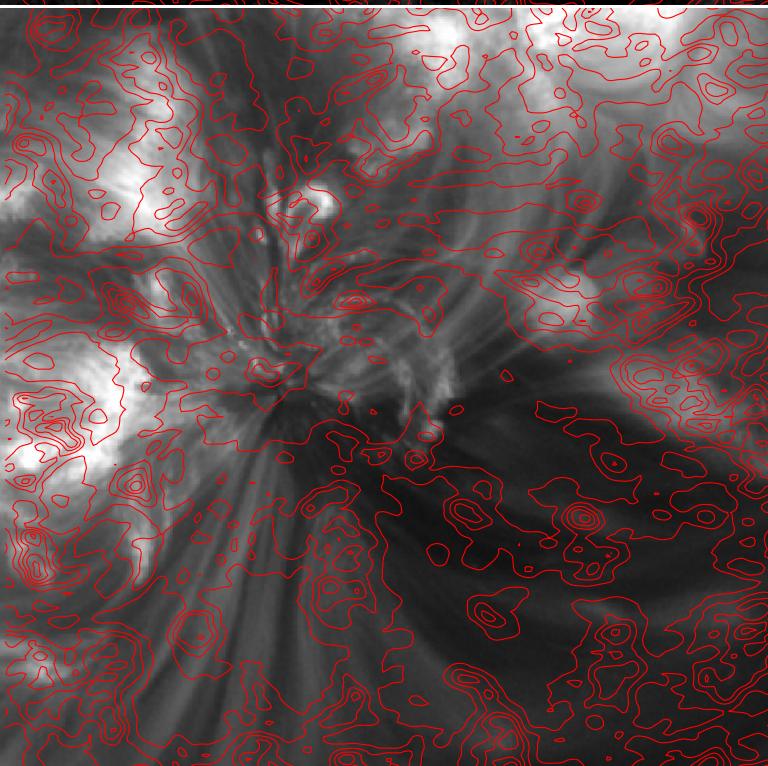
AIA
304



AIA
1700



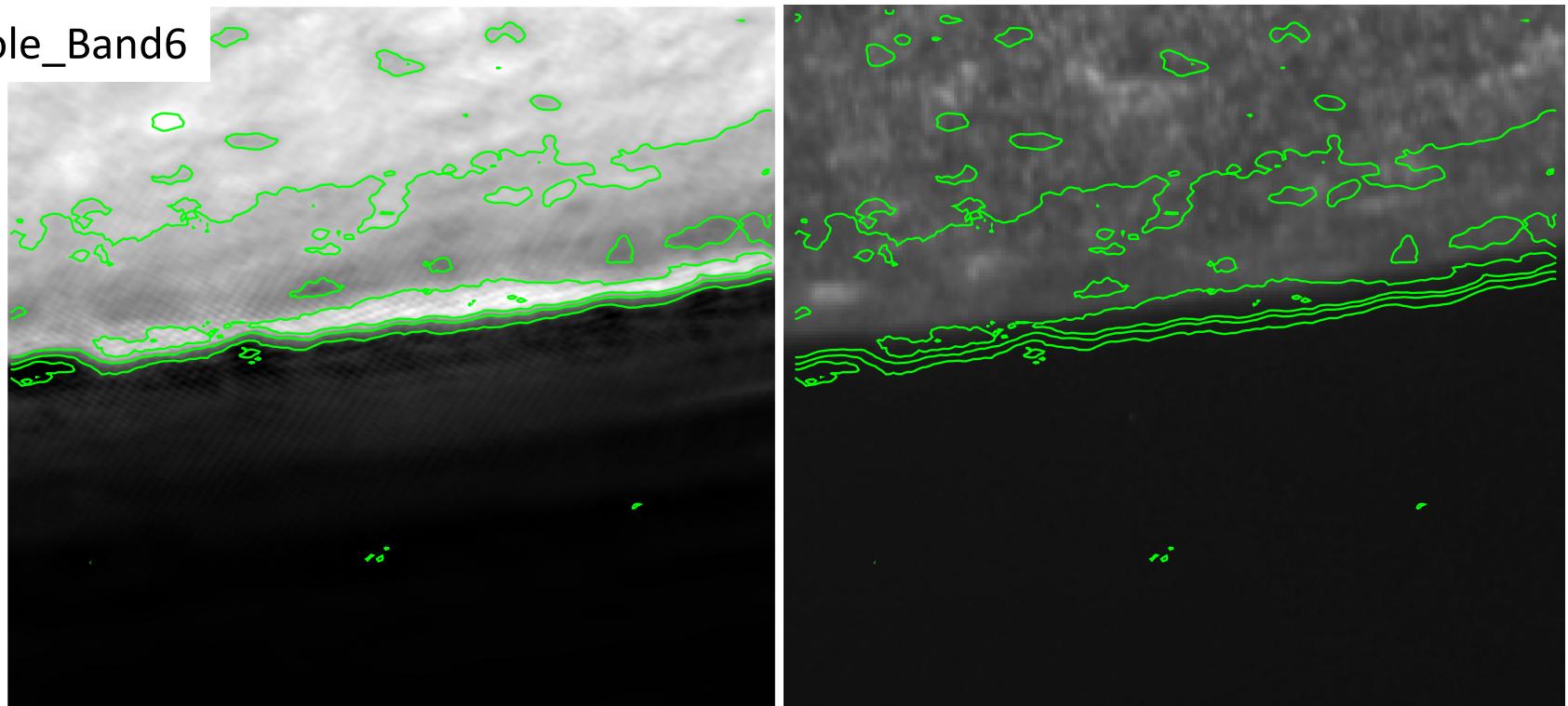
AIA
193



SouthPole_Band6

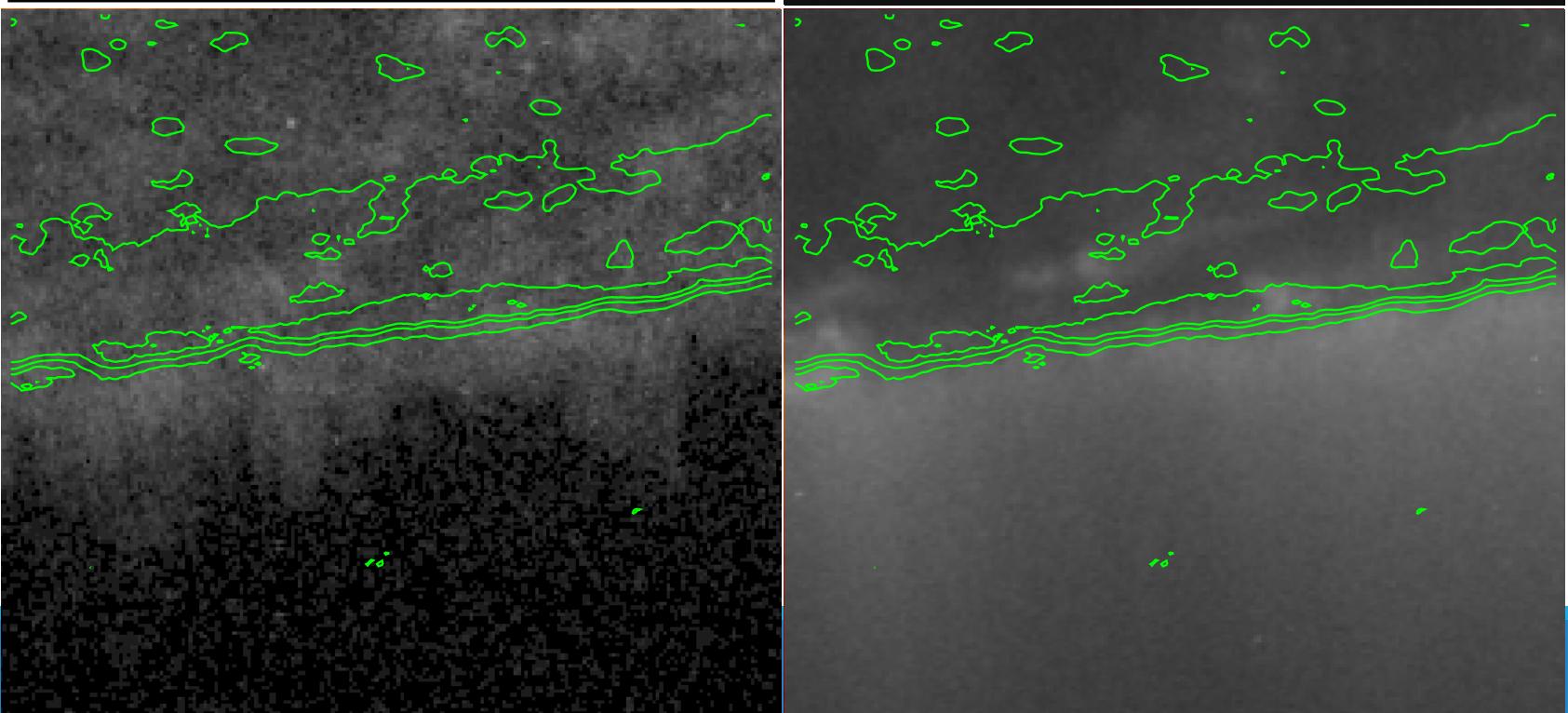


ALMA
239GHz



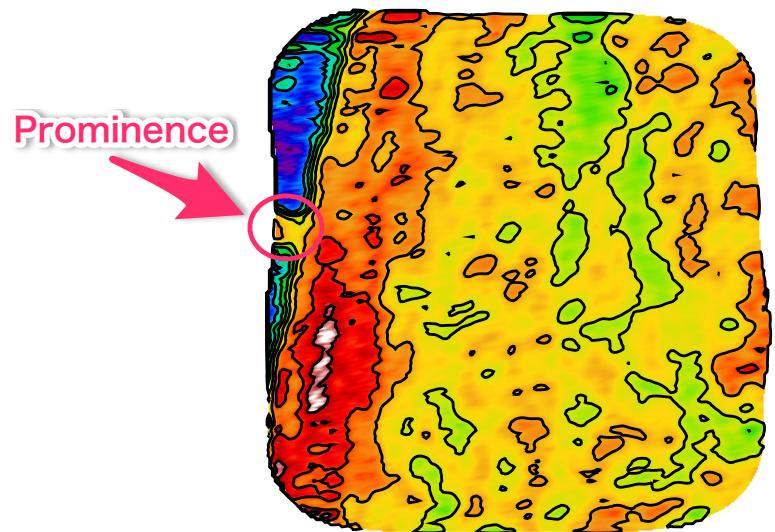
AIA
304

AIA
1700

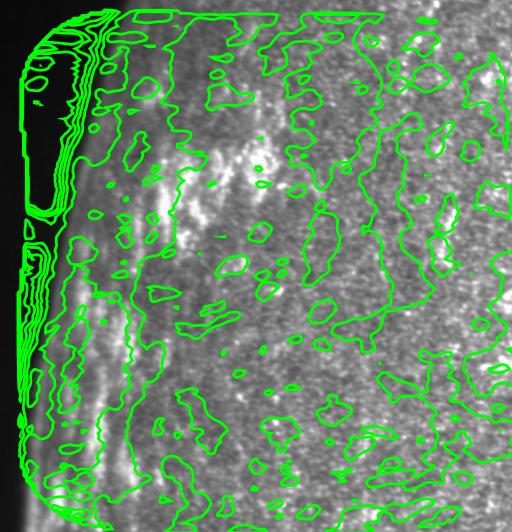


AIA
193

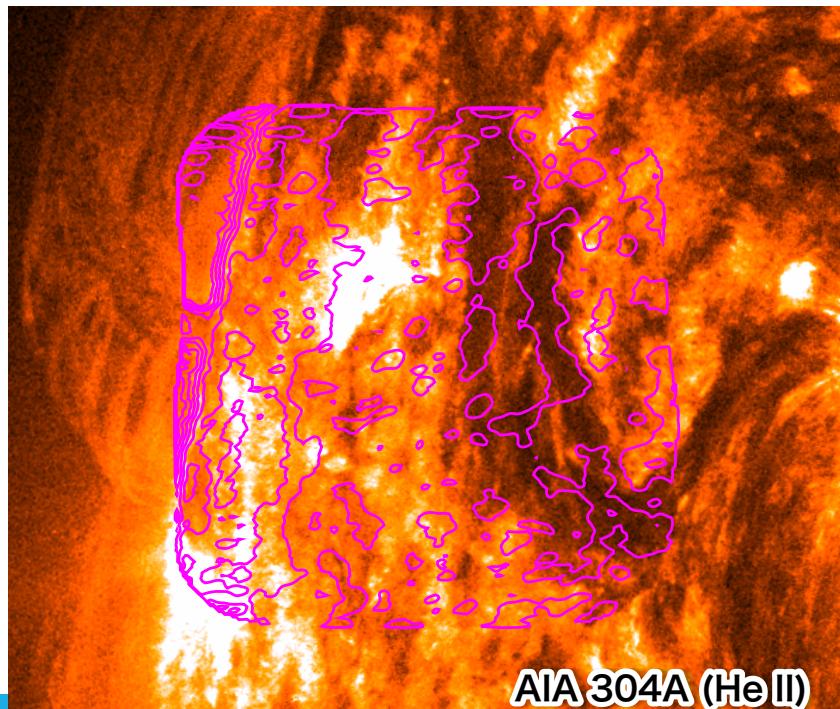
Prominence Observation 2015-12-16



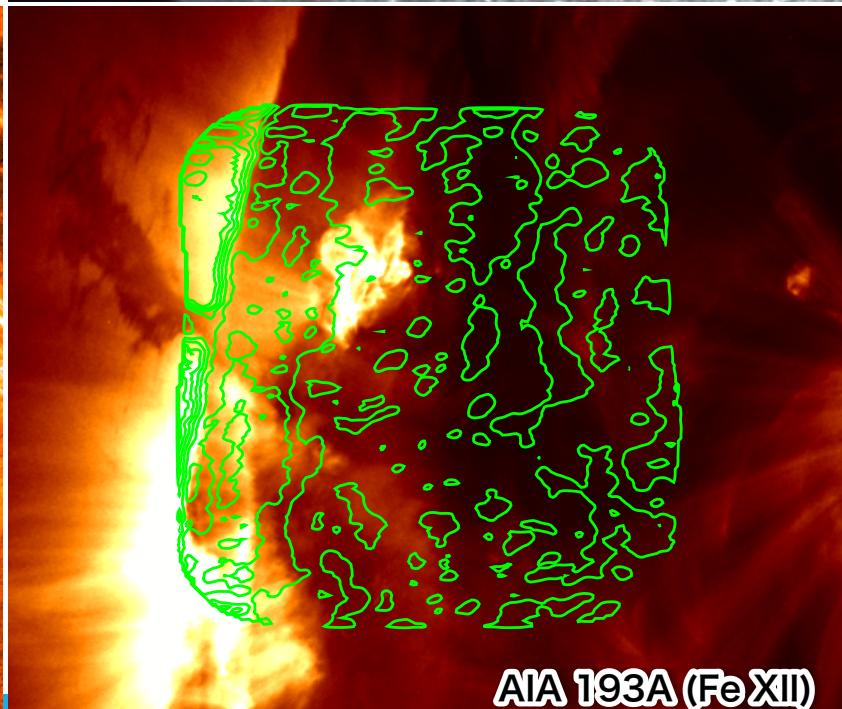
ALMA band3 105GHz 39pts-Mosaic



AIA 1700A (UV. cont.)

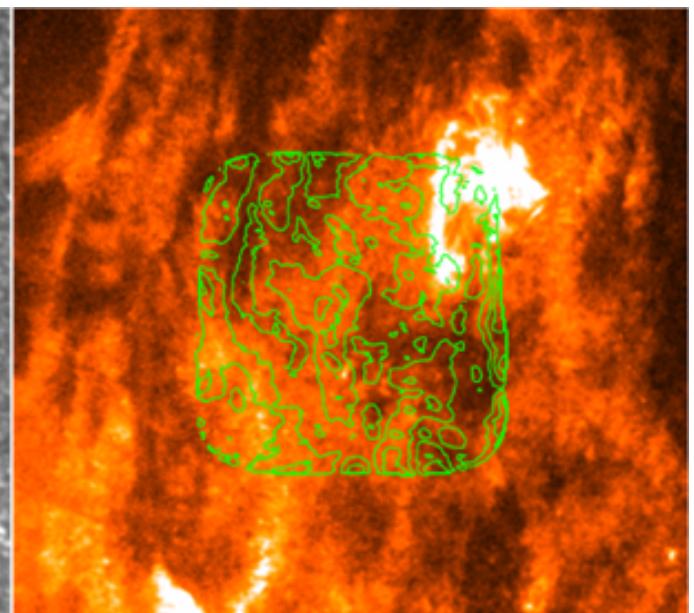
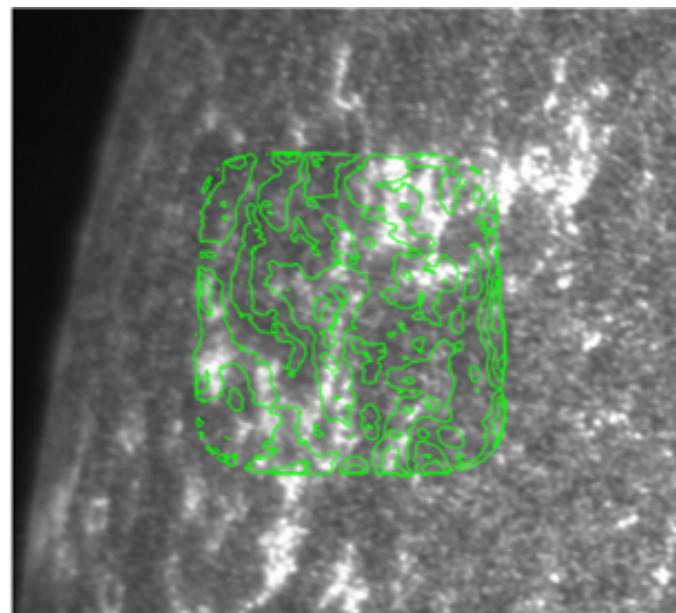
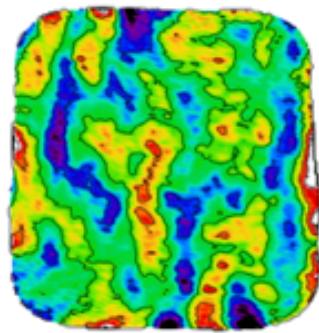


AIA 304A (He II)

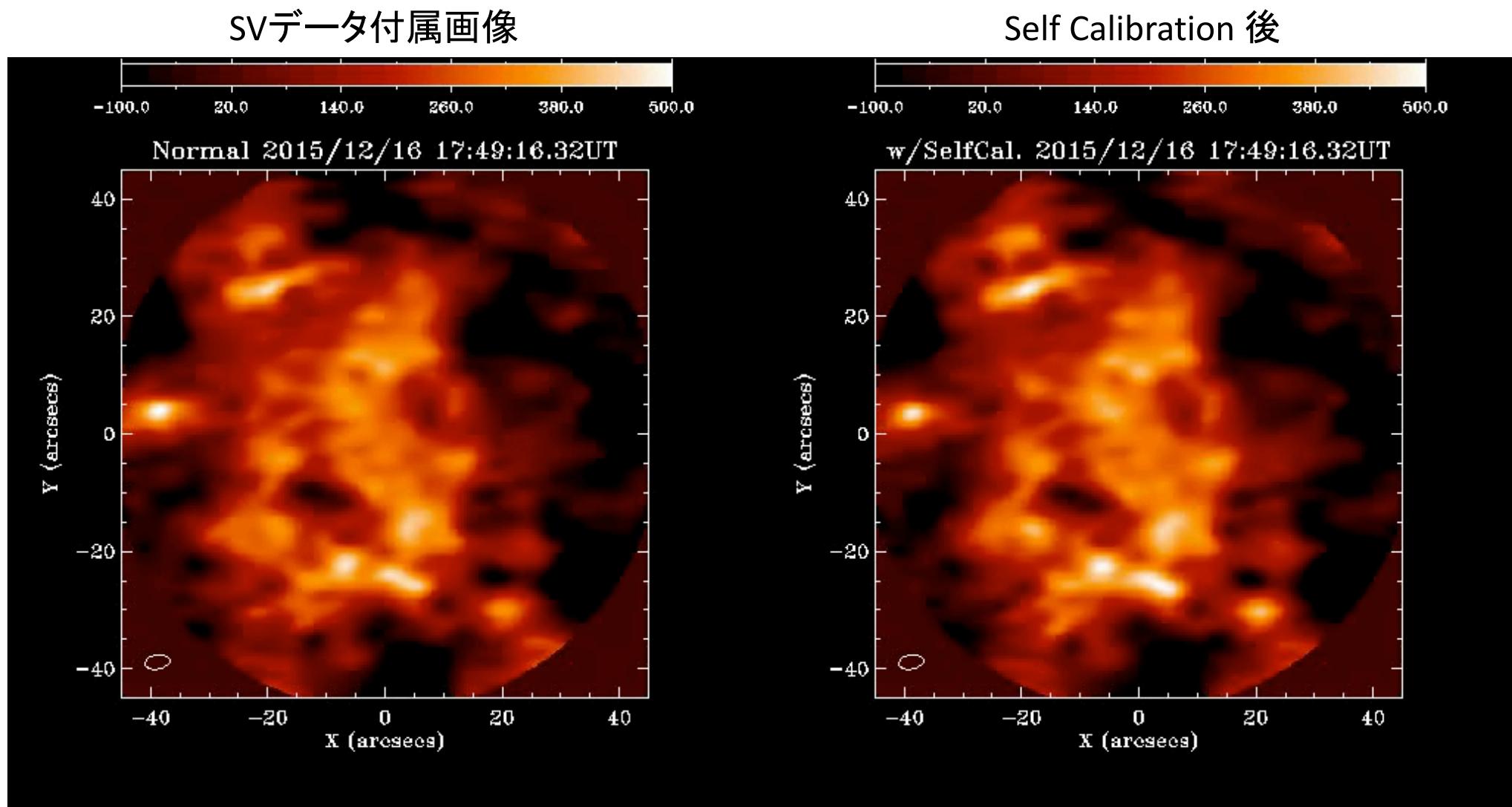


AIA 193A (Fe XII)

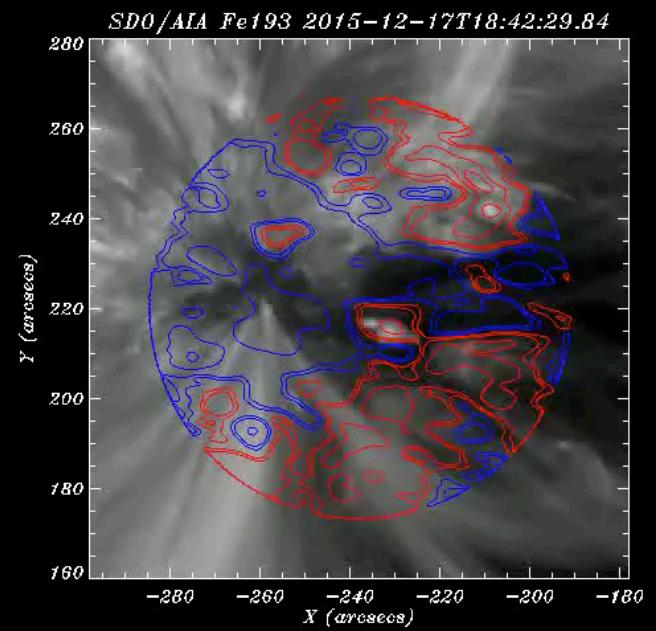
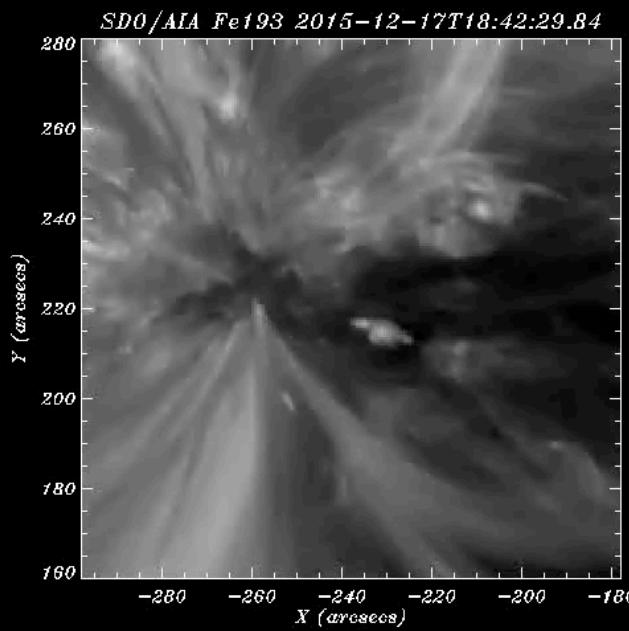
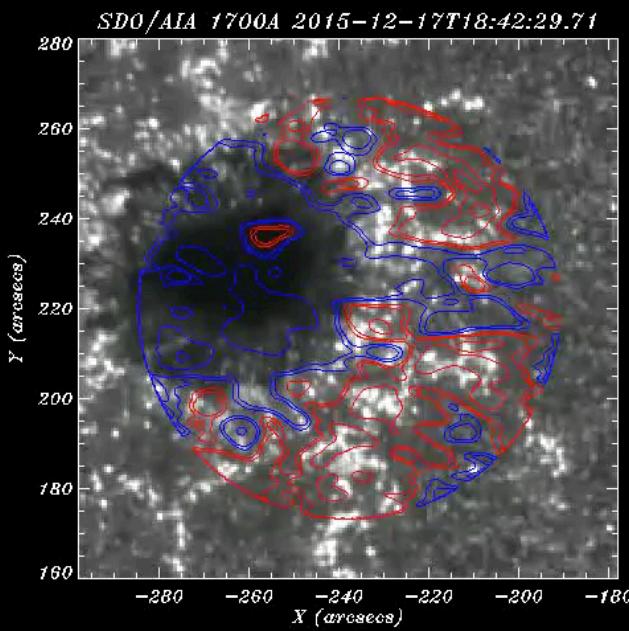
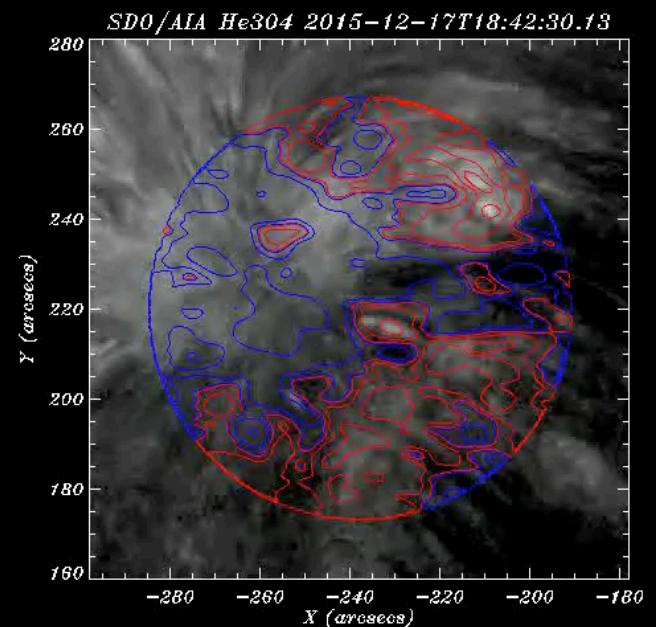
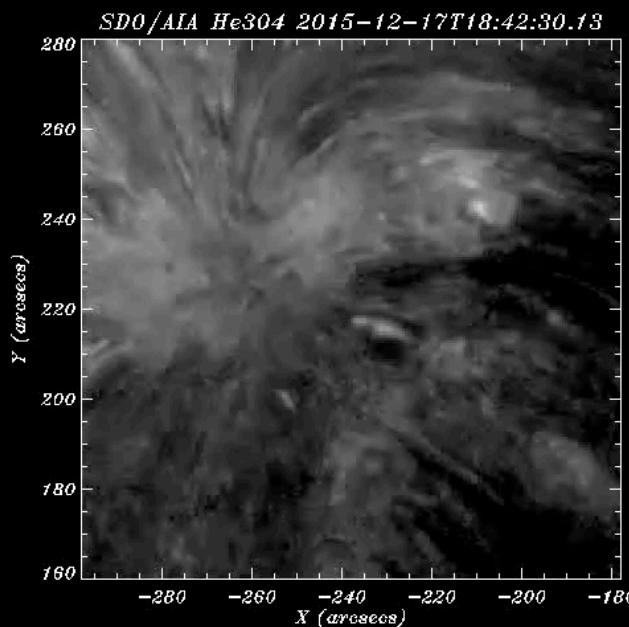
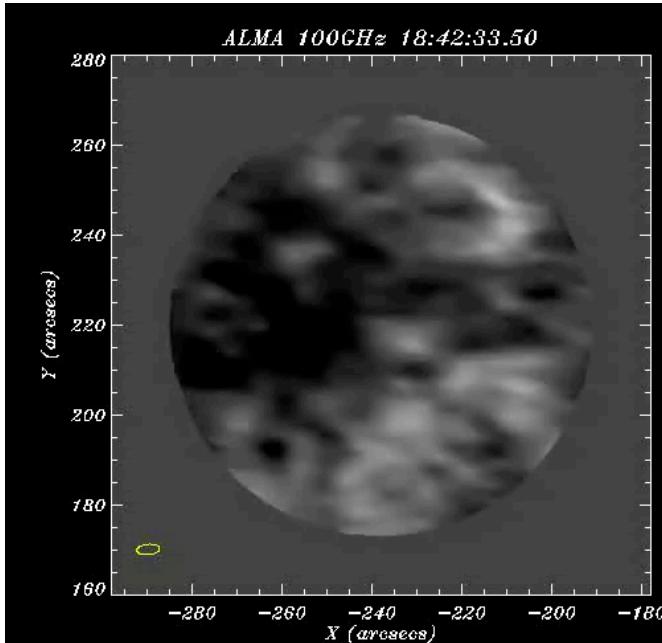
QS_Plage_Band6



AR_Band3_SP (5min)



AR_Band3_SPI (~1hr) Self Calibration後+co-alignment



トピック

ALMA太陽観測データとはなんぞや？

- 生データ、較正済みデータ、画像データ、SVデータ
 - どうやって、較正や像合成をするの？
 - 観測所から配布されるSVデータやCycleでの観測データは？

太陽SVデータの紹介

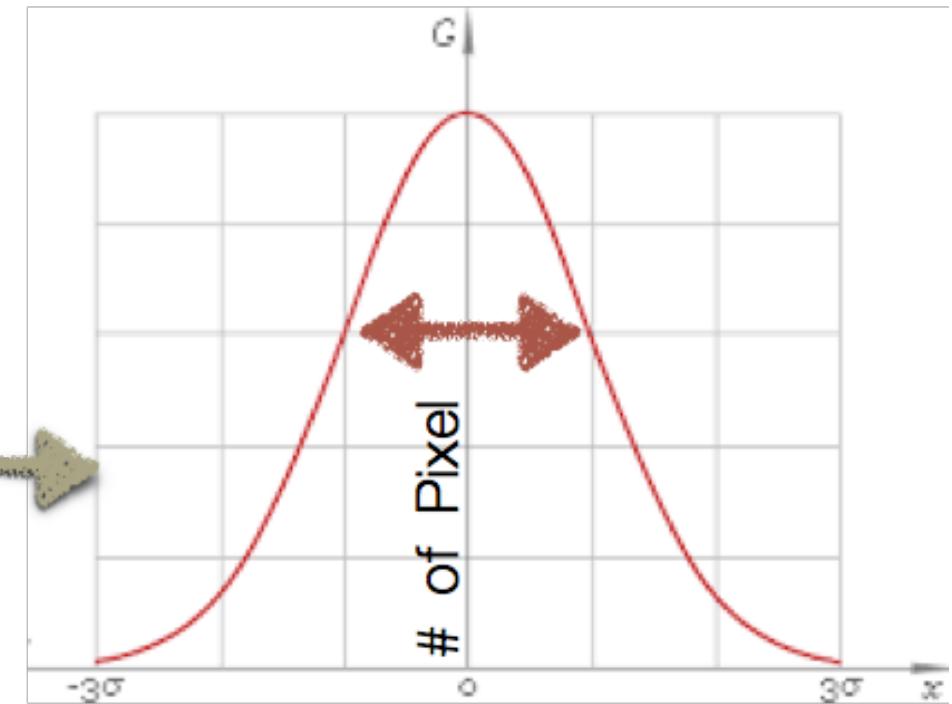
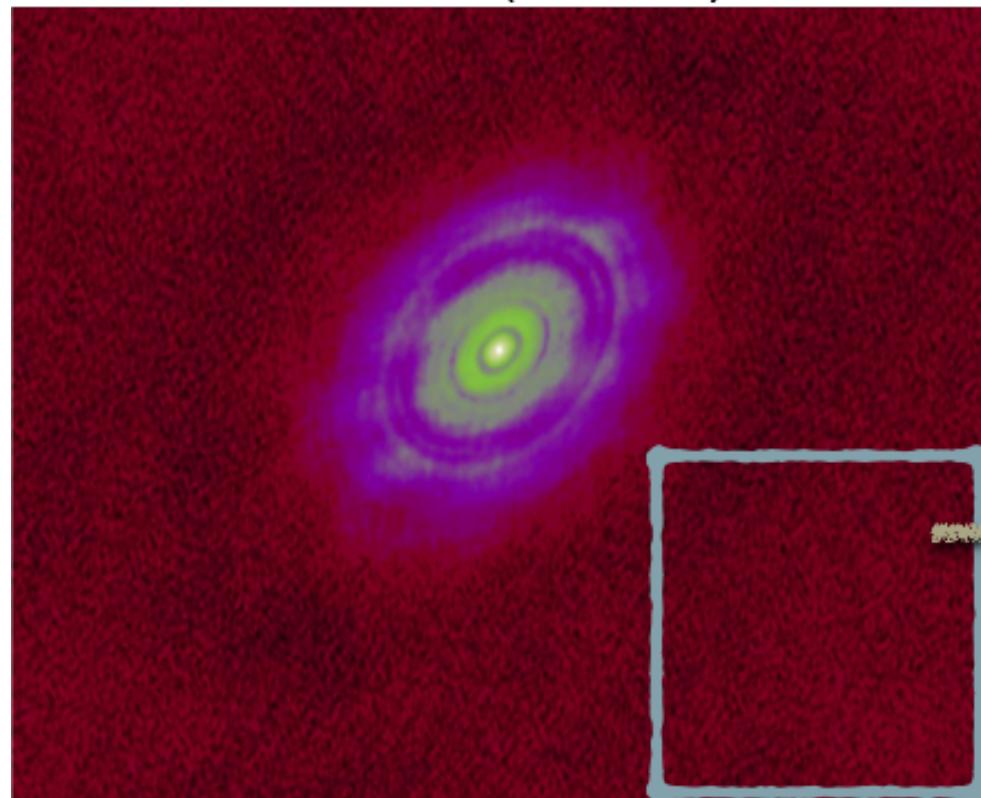
データ解析時の注意事項

- ノイズレベルの導出
- 単一鏡観測データの注意点
- 干渉計観測データと単一鏡観測データの組み合わせ方

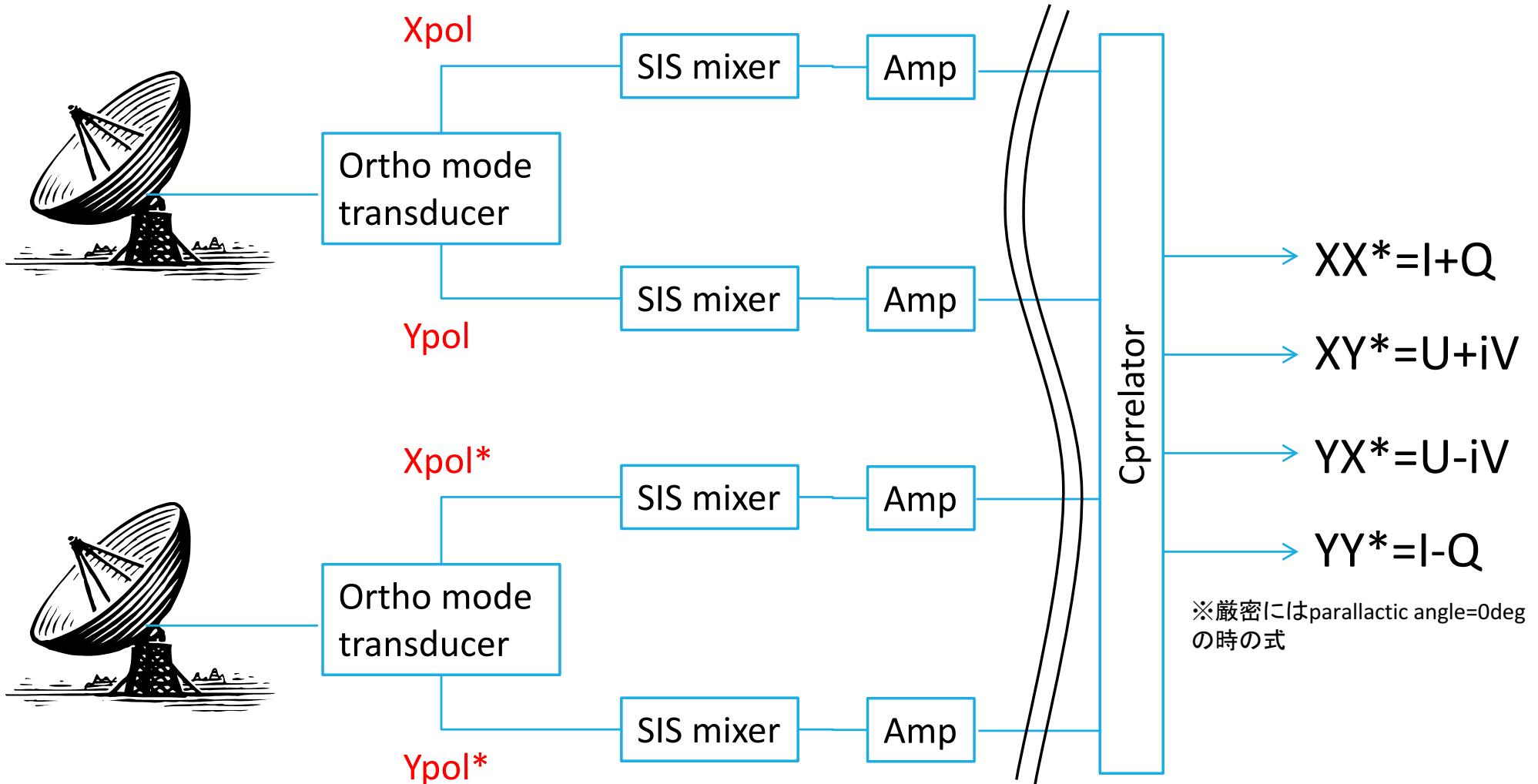
実際にSVデータに触れてみよう。

干渉計データのノイズレベル (太陽以外の場合)

HL Tau (Band7)

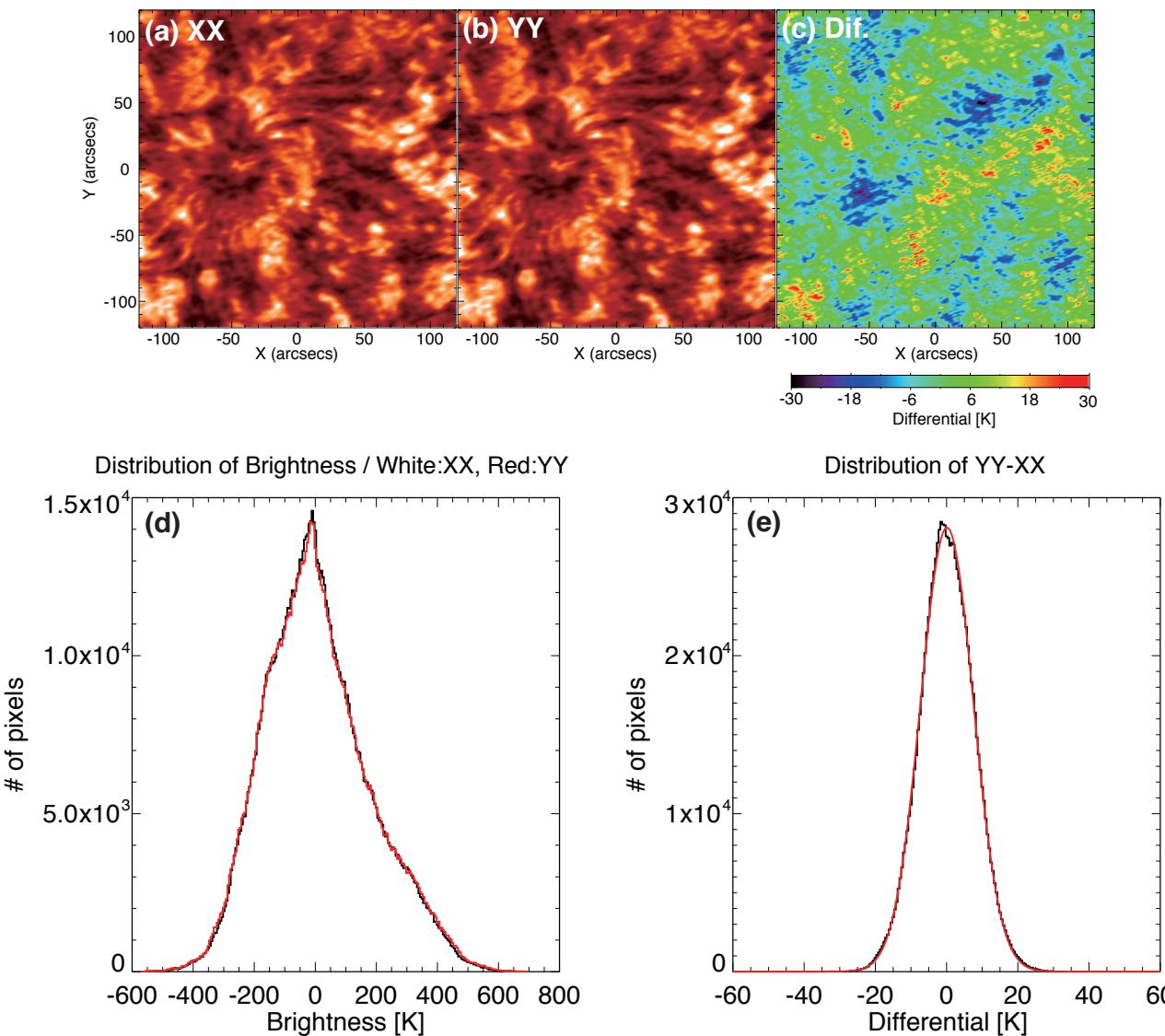


偏光測定の仕組み



4つの相関を使って、4つのStokes parameterを分離

フレアが発生していないければ、
100/239GHzは熱放射



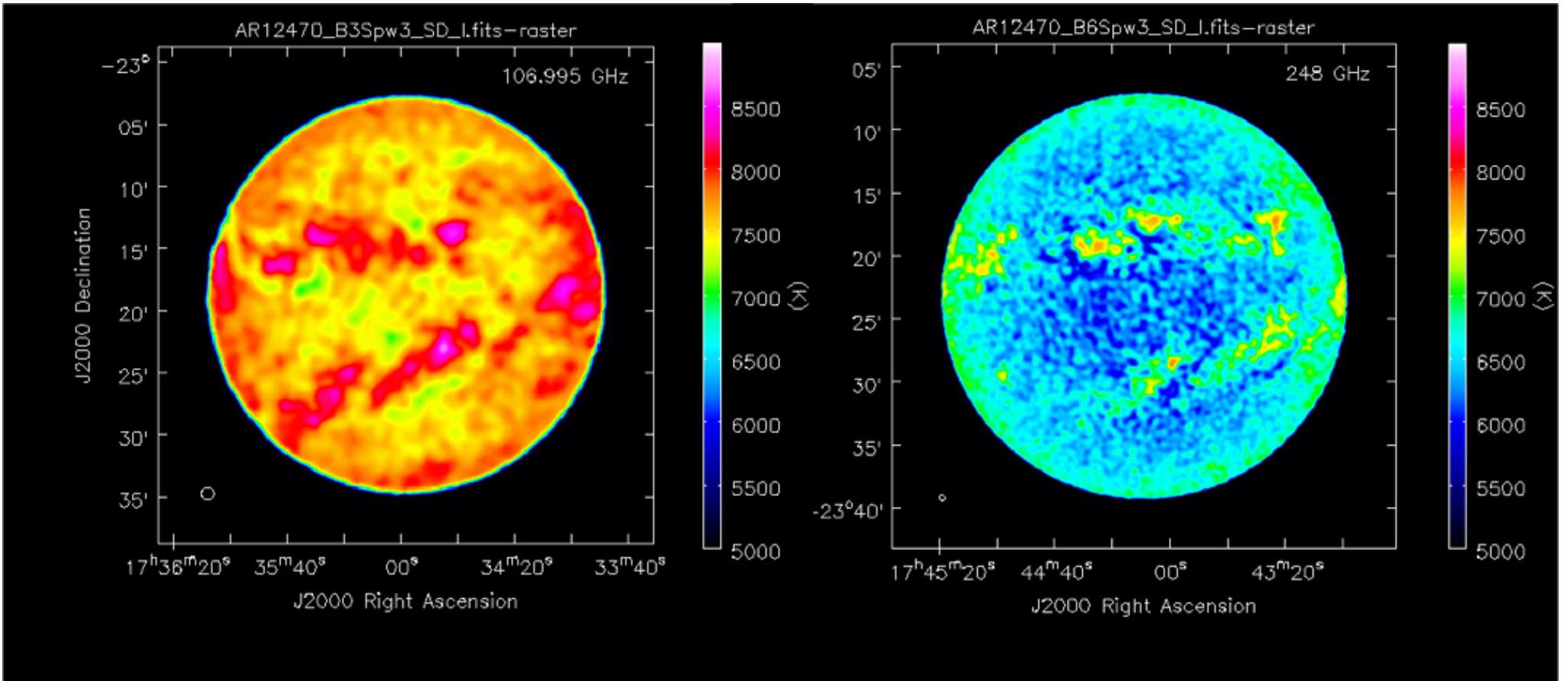
磁場によって偏波はあるが、
偏波率と周波数は逆比例。
100/239GHzでは、ほぼ測定
不可能なレベル。



誤差がなければ、XXとYY
データそれぞれから作った
画像の差は0になるはず。

差分 = 誤差

Sunspot_Band3 : 7.4 K/6s/8GHz
Sunspot_Band6 : 16.7K/6s/8GHz



White et al. 2017

絶対強度較正がまだ確立していない。

太陽中心付近を7300K @ 100GHz、5900K@239GHzにスケールしなおして、利用すること。

注: SVデータはこのスケーリングを行っていない！！

USBメモリーからの データコピーは終 わりましたか？

まずは、DS9をインストールしてください。



www.almaobservatory.org

The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), an international astronomy facility, is a partnership among Europe, North America and East Asia in cooperation with the Republic of Chile. ALMA is funded in Europe by the European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere (ESO), in North America by the U.S. National Science Foundation (NSF) in cooperation with the National Research Council of Canada (NRC) and the National Science Council of Taiwan (NSC) and in Japan by the National Institutes of Natural Sciences (NINS) in cooperation with the Academia Sinica (AS) in Taiwan and the Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI). ALMA construction and operations are led on behalf of Europe by ESO, on behalf of North America by the National Radio Astronomy Observatory (NRAO), which is managed by Associated Universities, Inc. (AUI) and on behalf of East Asia by the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ). The Joint ALMA Observatory (JAO) provides the unified leadership and management of the construction, commissioning and operation of ALMA.