# 2019 木星／GRSとSEBsリング暗斑の相互作用 ～なぜGRSにフレークができるのか？～ （中間報告）

EPSC-DPS2019-546

The Great Red Spot in 2019 and its unusual interaction with retrograding vortices

Clyde Foster, John Rogers, Shinji Mizumoto, Andy Casely, Marco Vedovato

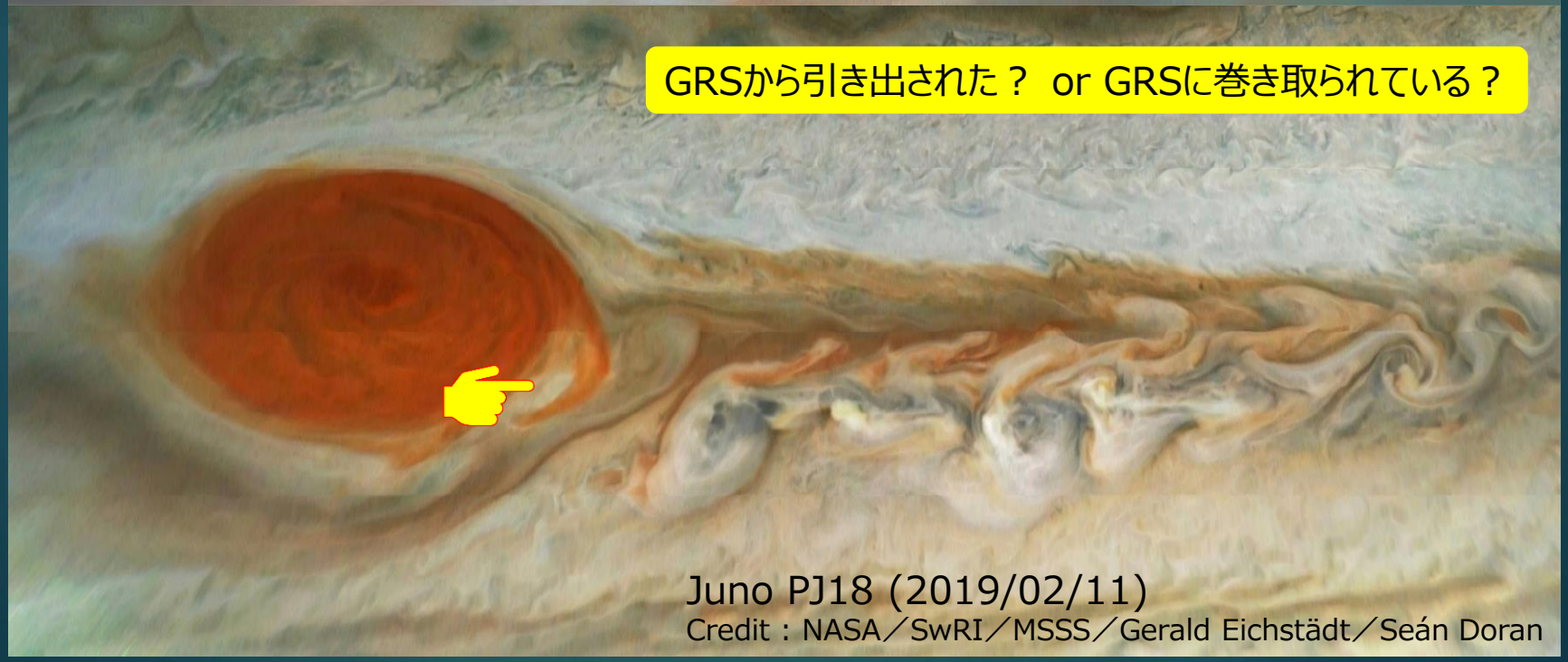
水元 伸二　Shinji Mizumoto

@月惑星研究会　ALPO-Japan

# 大赤斑（GRS）のフレークとは？

Juno PJ12 (2018/04/01)
Credit：NASA／SwRI／MSSS／Gerald Eichstädt／Seán Doran

GRSから引き出された？ or GRSに巻き取られている？



Juno PJ18 (2019/02/11)
Credit：NASA／SwRI／MSSS／Gerald Eichstädt／Seán Doran

# GRSフレークと関連現象の観測例

1) 地上からの観測
アマチュアによる観測画像

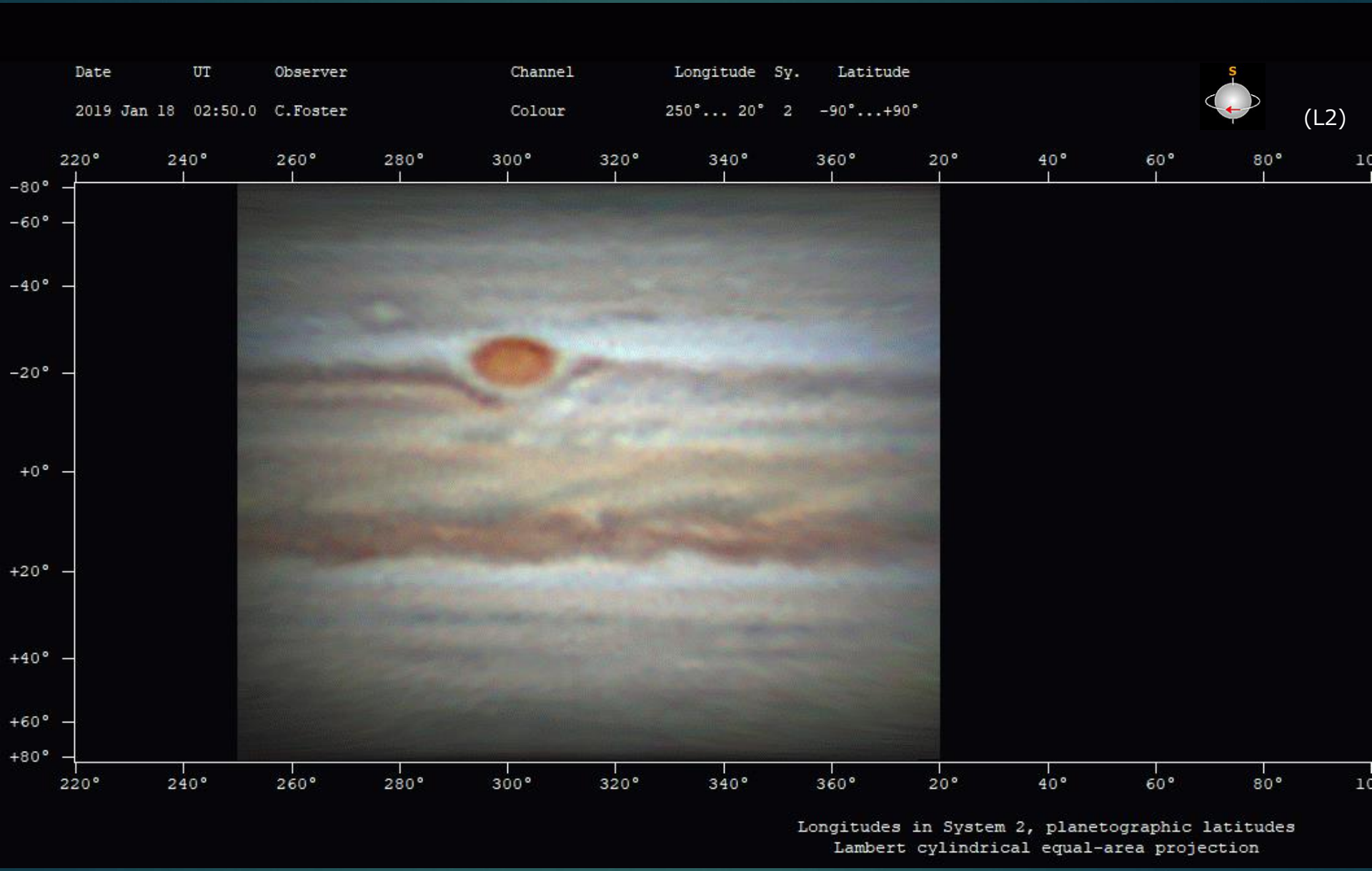
2) HST-OPALによる観測
Habble Space Telescope
Outer Planet Atmospheres Legacy

3) 惑星探査機による観測
Juno, Cassini, Voyager-2, Voyager-1

【用語に関する注意】
- アーム → BAA：フレーク(flake:薄片)、ブレード(blade:刃)
- リング暗斑、ジェット暗斑
  → BAA：逆行リング(retrograding ring)、SEBsリング(SEBs ring)

当報告ではフレーク、SEBsリング暗斑を使用

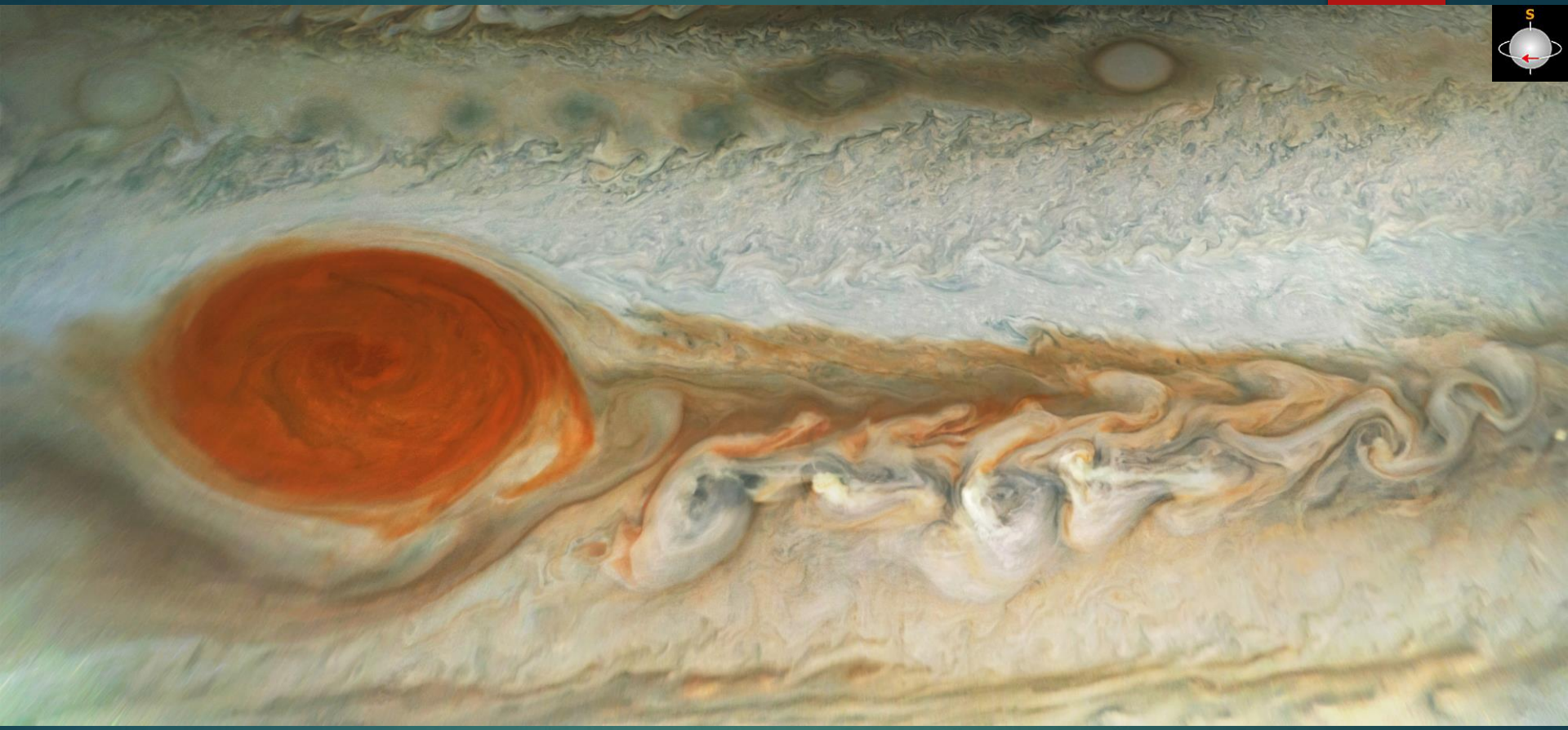
# GRS フレーク
# 2019年の観測例


Date UT Observer Channel Longitude Sy. Latitude
2019 Jan 18 02:50.0 C.Foster Colour 250°... 20° 2 -90°...+90°
S
(L2)
220° 240° 260° 280° 300° 320° 340° 360° 20° 40° 60° 80°
-80° -60° -40° -20° +0° +20° +40° +60° +80°
Longitudes in System 2, planetographic latitudes
Lambert cylindrical equal-area projection

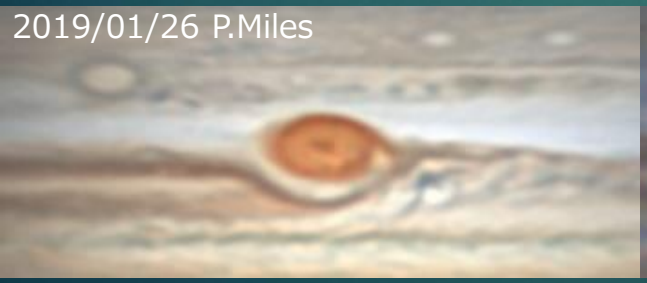
# Juno PJ18 (2019/02/11)

Credit : NASA／SwRI／MSSS／Gerald Eichstädt／Seán Doran






GRSにフレーク

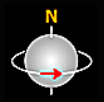



フレーク形成

SEBsとの間にブリッジ形成

# Jupiter
## Great Red Spot activity

20 May 2019
23:16.1UT




GRS Hollow

SEBs ring within GRS hollow

Possible new flake forming

Large SEBs Ring entering GRS Hollow (being distorted)

Multiple small SEBs rings (vortices generated by the SEBs jetstream)

Turbulent outbreaks in the GRS wake

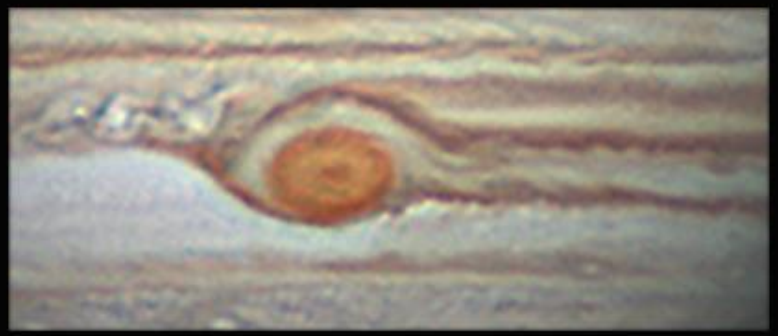
Direction of South equatorial Belt south (SEBs) jetstream

Direction of South Tropical Zone jetstream

Reddish remnants of the recent large GRS flake

Small flake

RGB



Unannotated

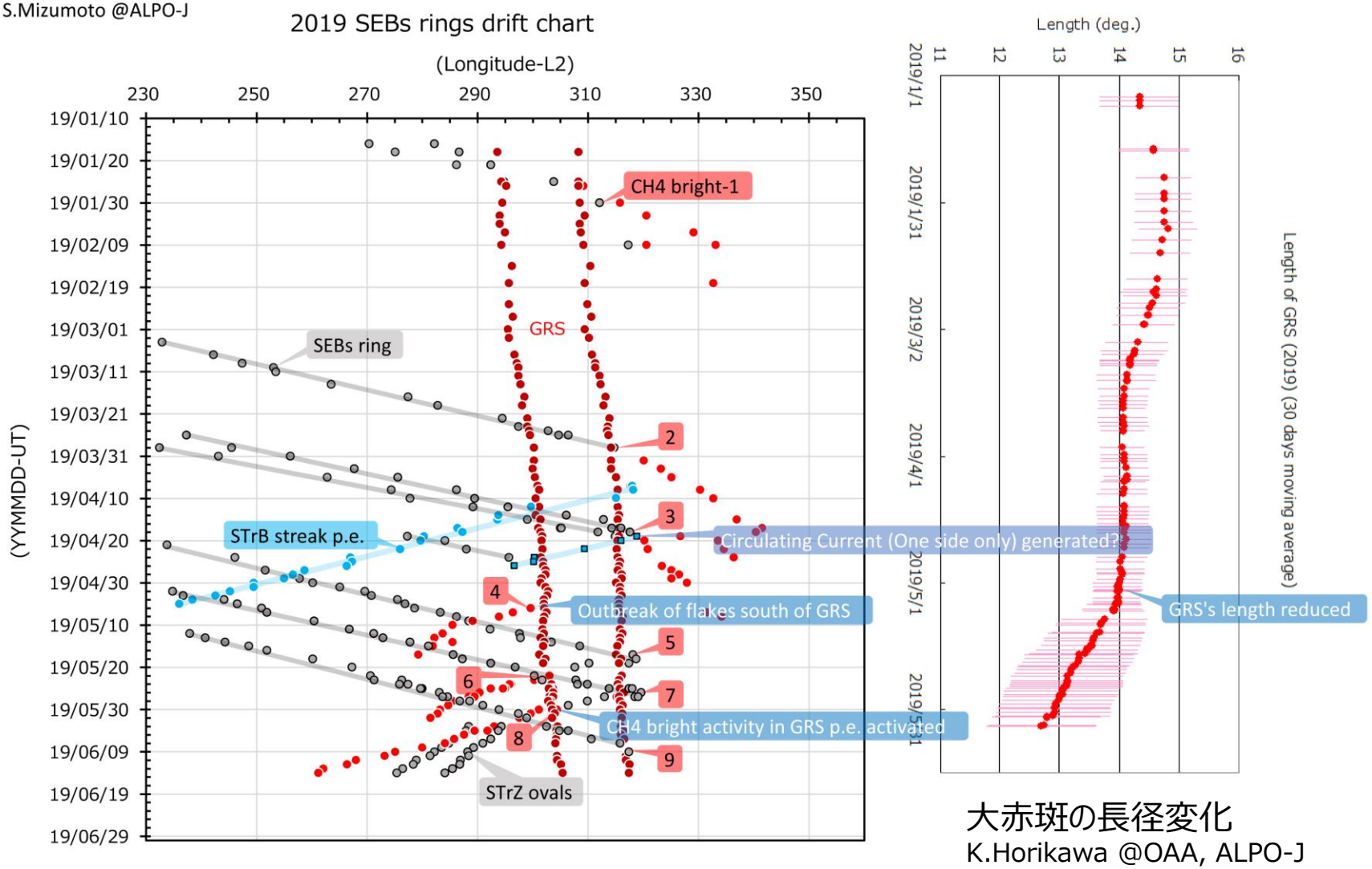
Methane (890nm) wavelength image showing recent large flake

Clyde Foster
Centurion South Africa

2019/05/24～06/04 Jupiter GRS(CH4-RGB)
Marco Vedovato

START
2019 May 24

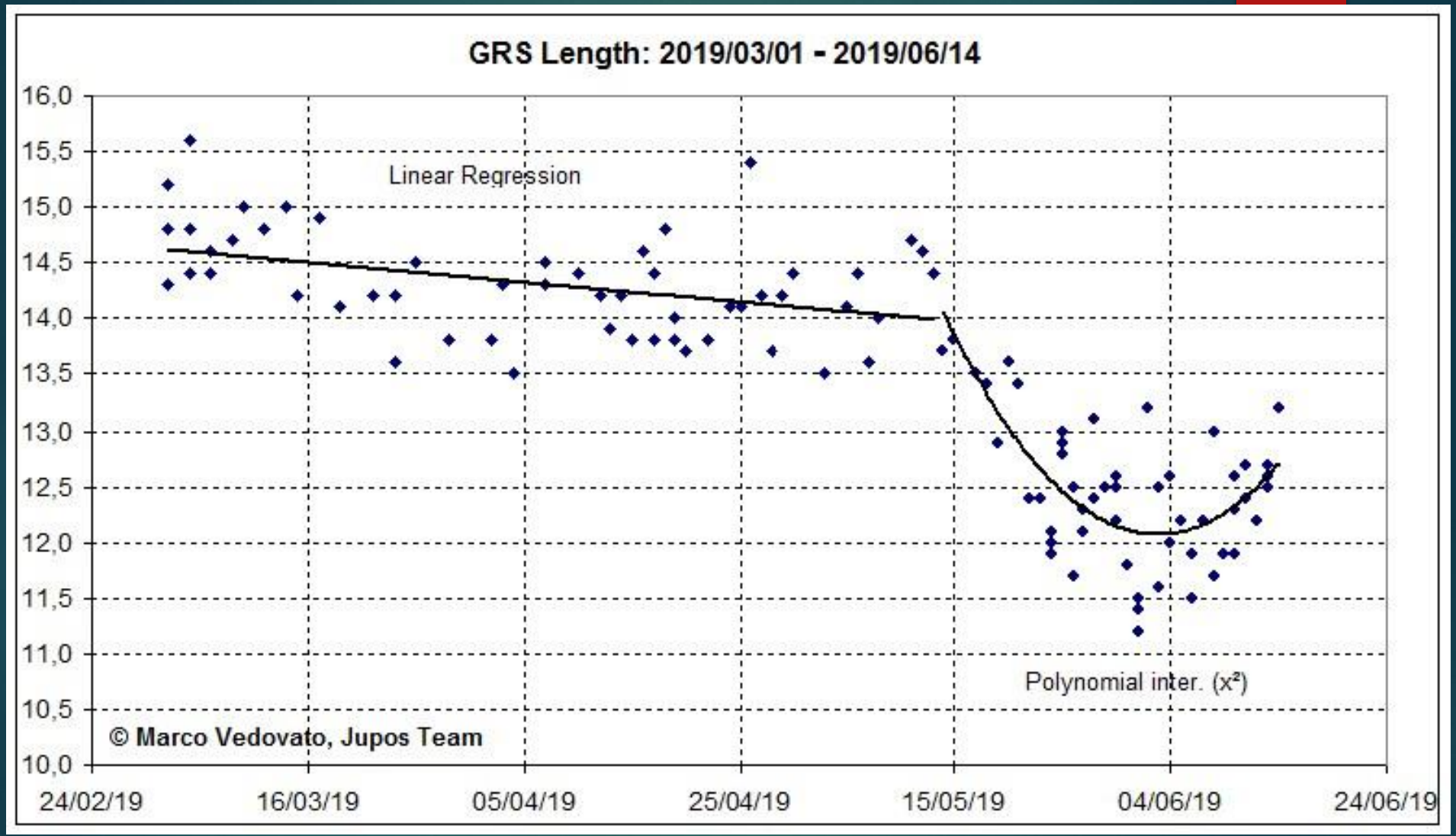
S.Mizumoto @ALPO-J




大赤斑の長径変化

K.Horikawa @OAA, ALPO-J

1) 循環気流(片側のみ)発生?(4月中旬以降)
2) 赤い雲の後退活動が停止(4月中旬以降)
3) 赤い雲の大部分はGRSの南を通って前方へ供給(4月中旬以降)
4) GRSの南側でflake(No.4,6,8)発生(5月上旬以降)
5) GRS前端でCH4 bright活動が活発化(5月中旬以降)
6) GRSの長さが減少(5月中旬～)

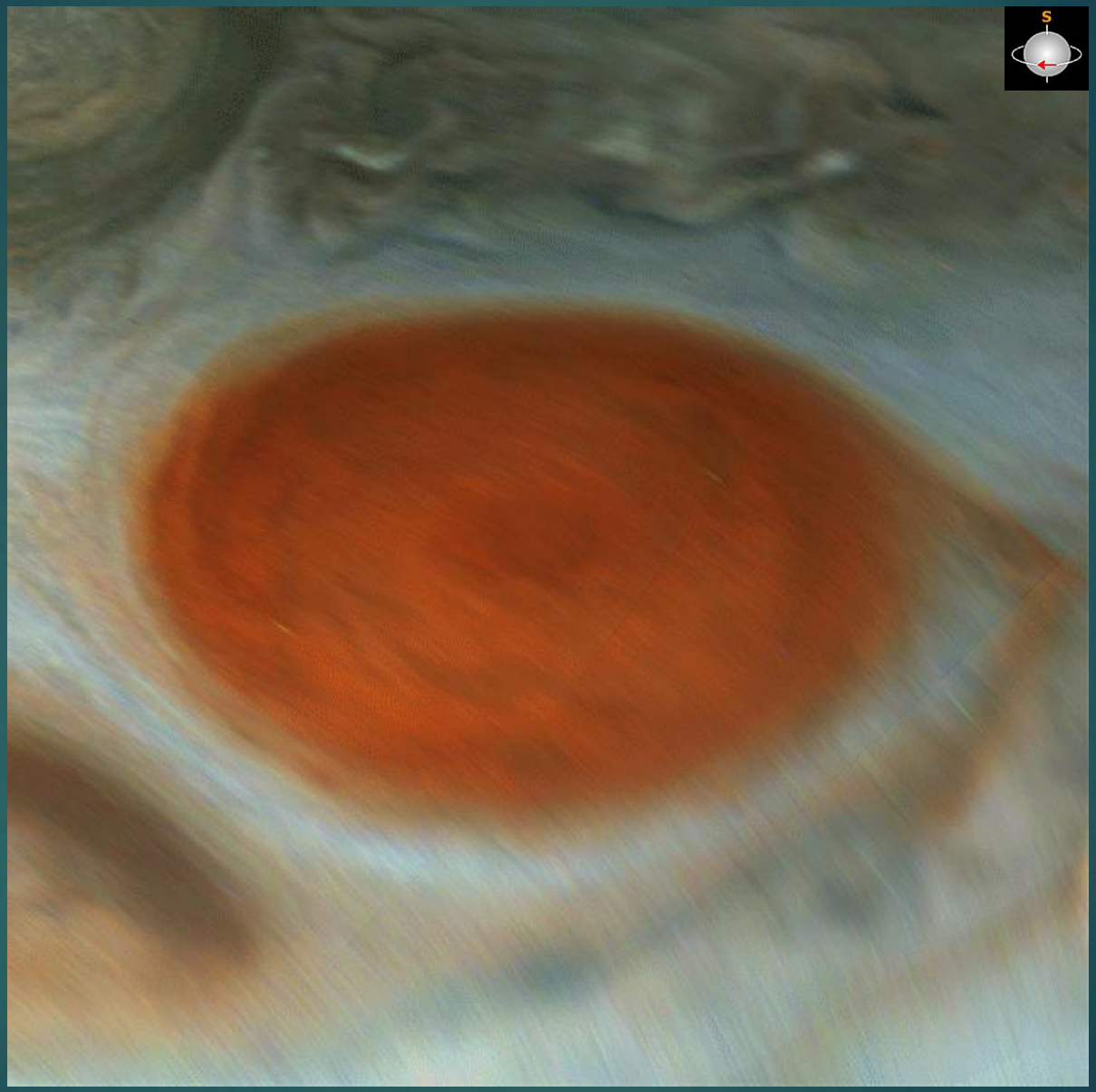

GRS Length: 2019/03/01 - 2019/06/14
16,0
15,5
15,0
14,5
14,0
13,5
13,0
12,5
12,0
11,5
11,0
10,5
10,0
Linear Regression
Polynomial inter. (x²)
© Marco Vedovato, Jupos Team
24/02/19
16/03/19
05/04/19
25/04/19
15/05/19
04/06/19
24/06/19

# GRS フレーク
# 過去の観測例

Juno PJ17 (2018/12/21)

Credit : NASA／SwRI／MSSS／Gerald Eichstädt／Seán Doran

流れの方向に
注意

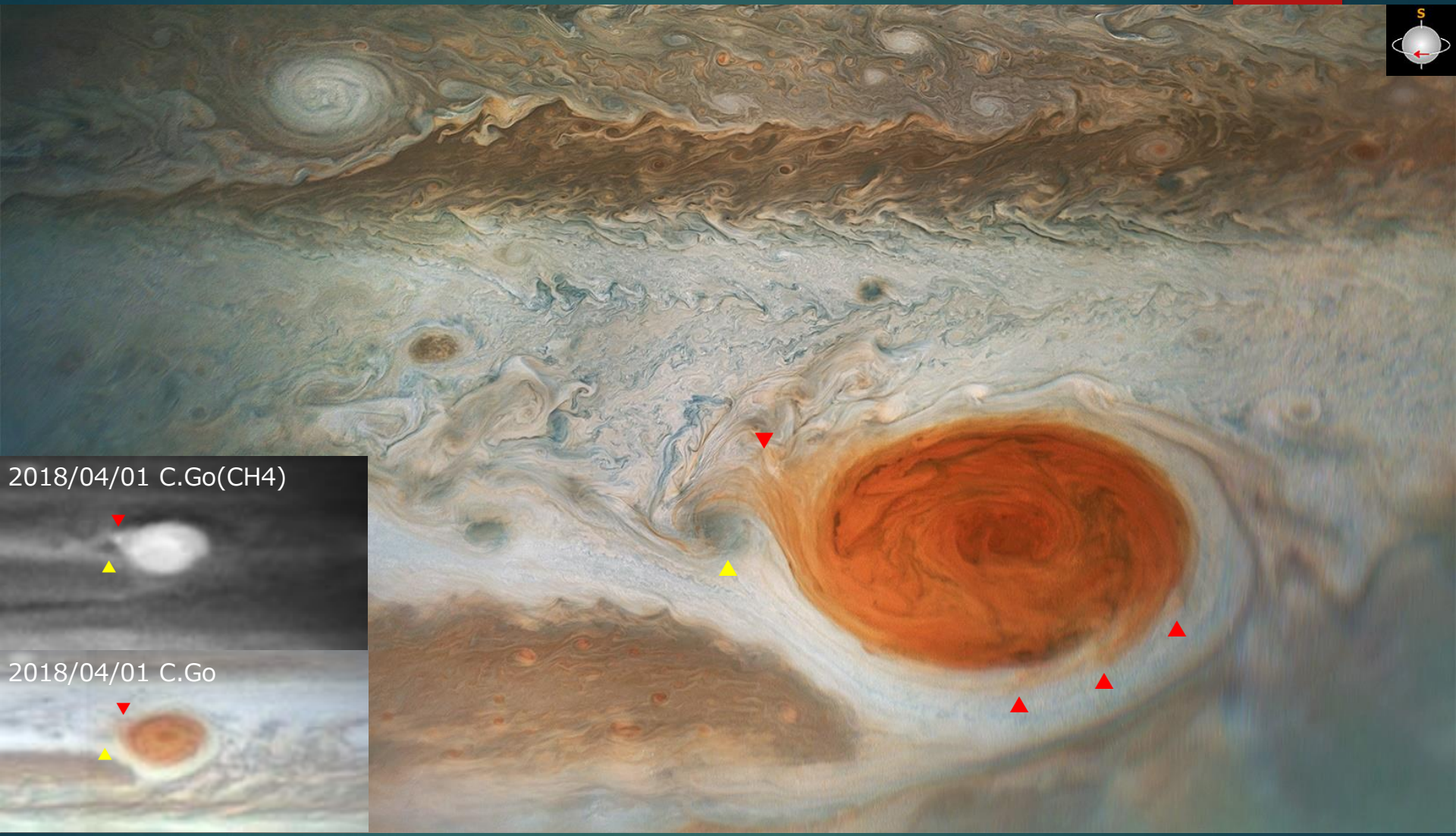



流れの方向に
注意

GRS外周部：回転方向に対して後方になびく雲

# Juno PJ12 (2018/04/01)

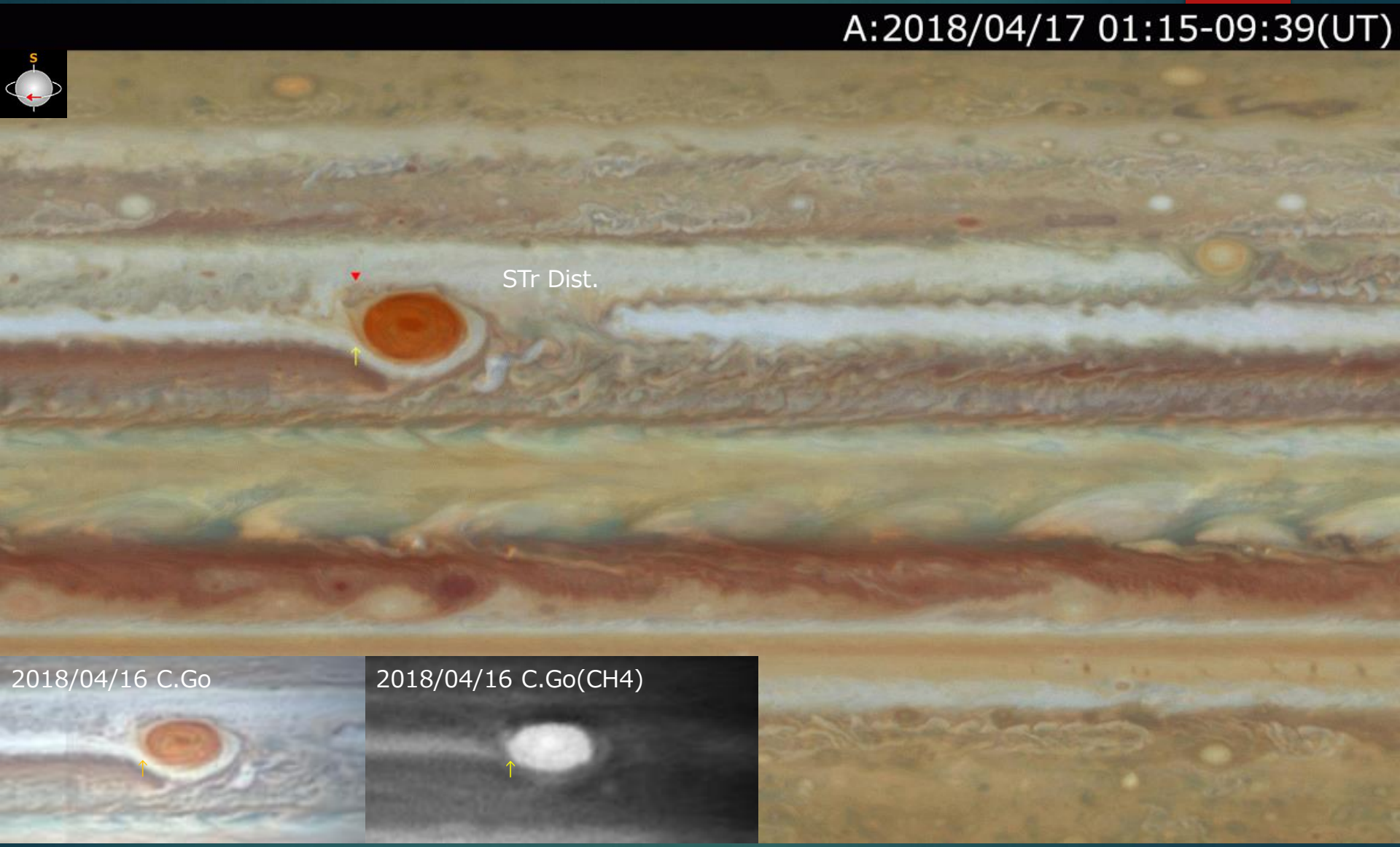
Credit : NASA／SwRI／MSSS／Gerald Eichstädt／Seán Doran



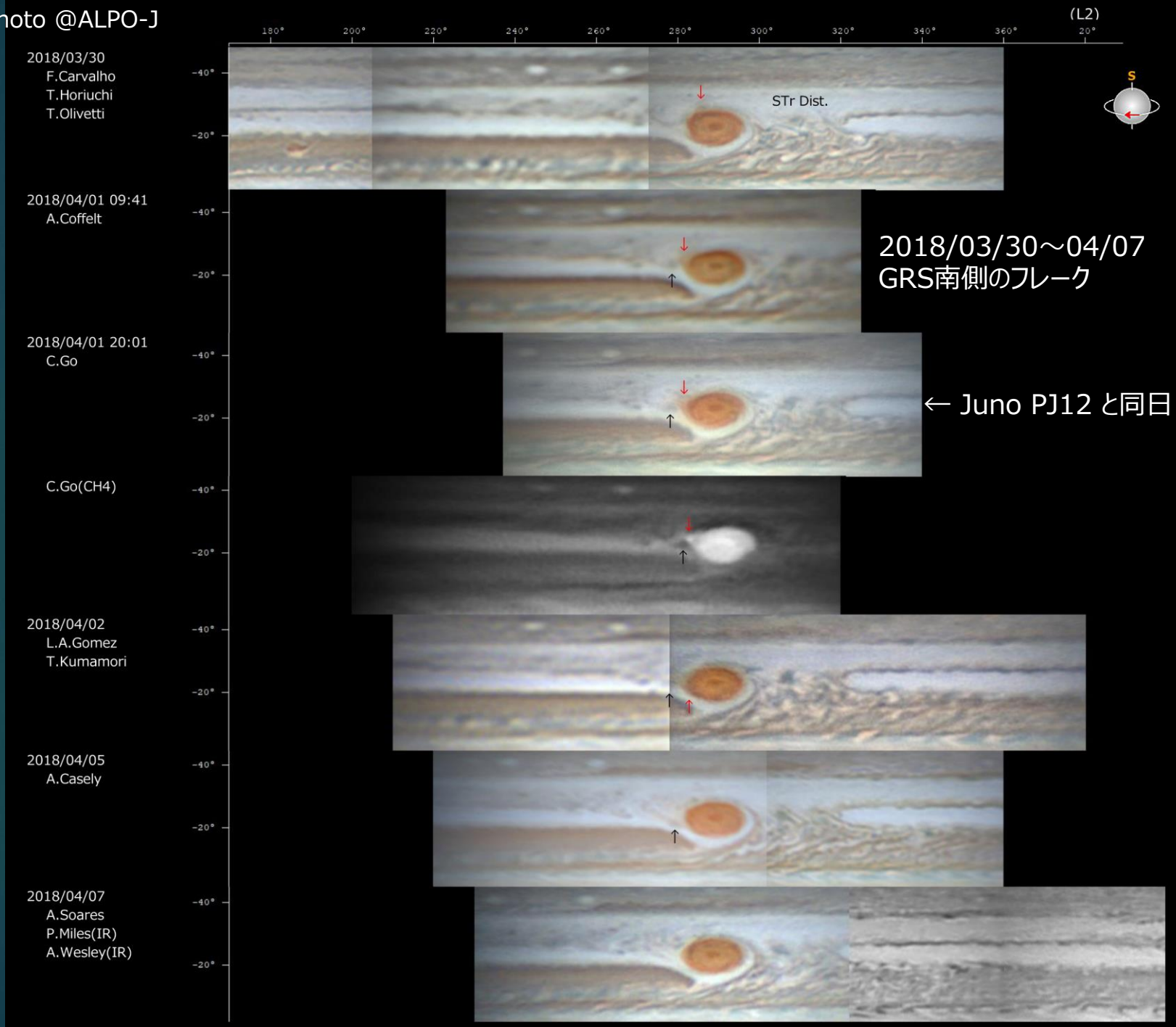

2018/03/30頃にGRS南側にできたフレーク▼(CH4 bright)を反時計回りの渦▲が巻き取っている
RS bayでは別のフレークが形成中▲

# HST-OPAL（2018/04/17）約半日間隔の２枚の画像

S.Mizumoto @ALPO-J




GRS南側（上）を通過する雲の変化と
GRS前方（左）で暗い雲▼に押されるようにしてフレーク↑（CH4 bright）
が形成されつつあることに注意

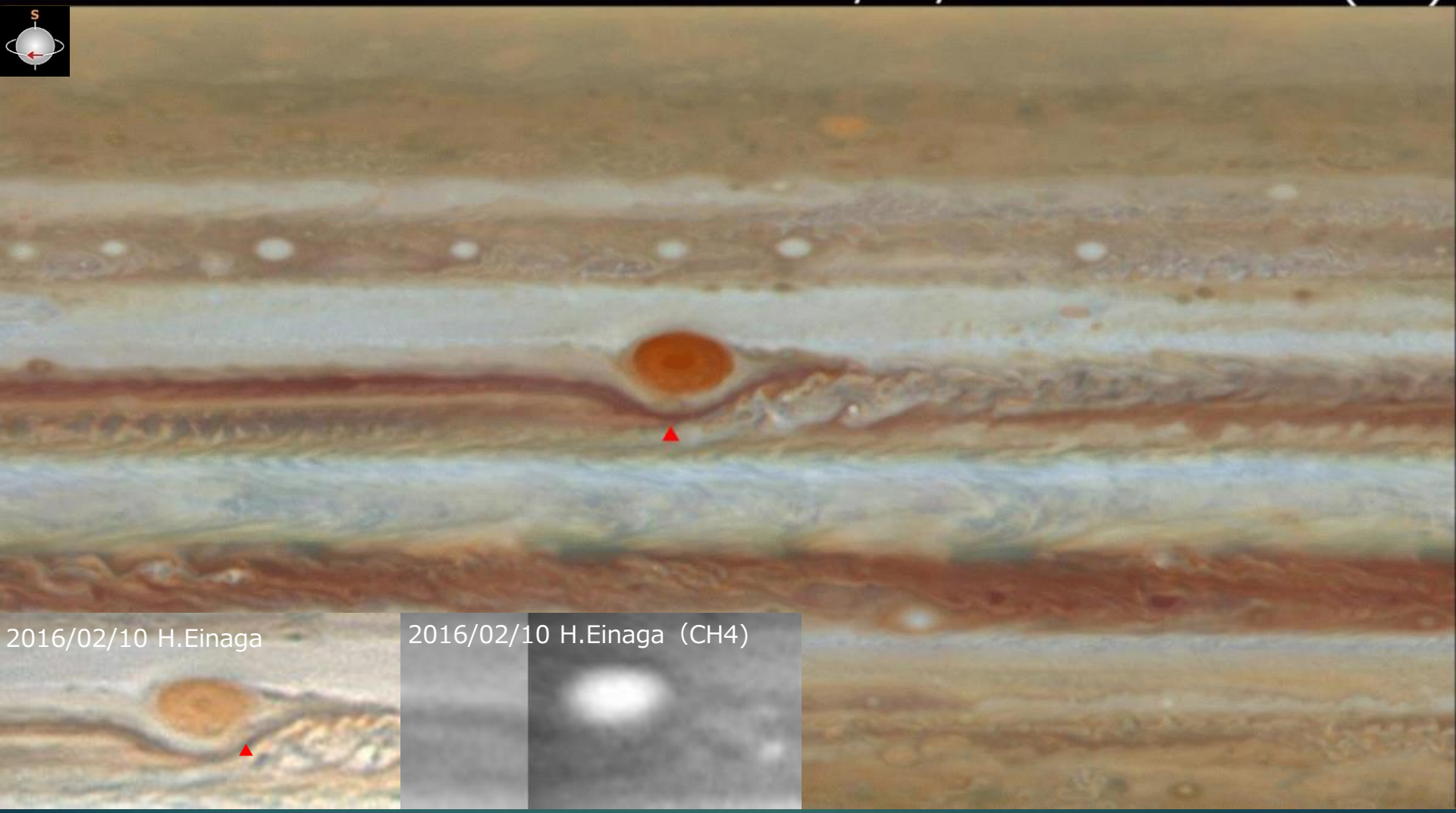

(L2)
180° 200° 220° 240° 260° 280° 300° 320° 340° 360° 20°
-40°
-20°
STr Dist.
S
2018/03/30
F.Carvalho
T.Horiuchi
T.Olivetti
2018/04/01 09:41
A.Coffelt
2018/04/01 20:01
C.Go
C.Go(CH4)
2018/04/02
L.A.Gomez
T.Kumamori
2018/04/05
A.Casely
2018/04/07
A.Soares
P.Miles(IR)
A.Wesley(IR)
2018/03/30～04/07
GRS南側のフレーク
← Juno PJ12 と同日

# Juno PJ07 (2017/07/11) PIA22178 : GRS Rotation

Credit : NASA／JPL-Caltech／SwRI／SSS／Gerald Eichstadt／Justin Cowart

GRS外周部：回転方向に対して後方になびく雲
GRS内部に多くの反時計回りの渦が存在

A:2016/02/09 09:35-18:04(UT)

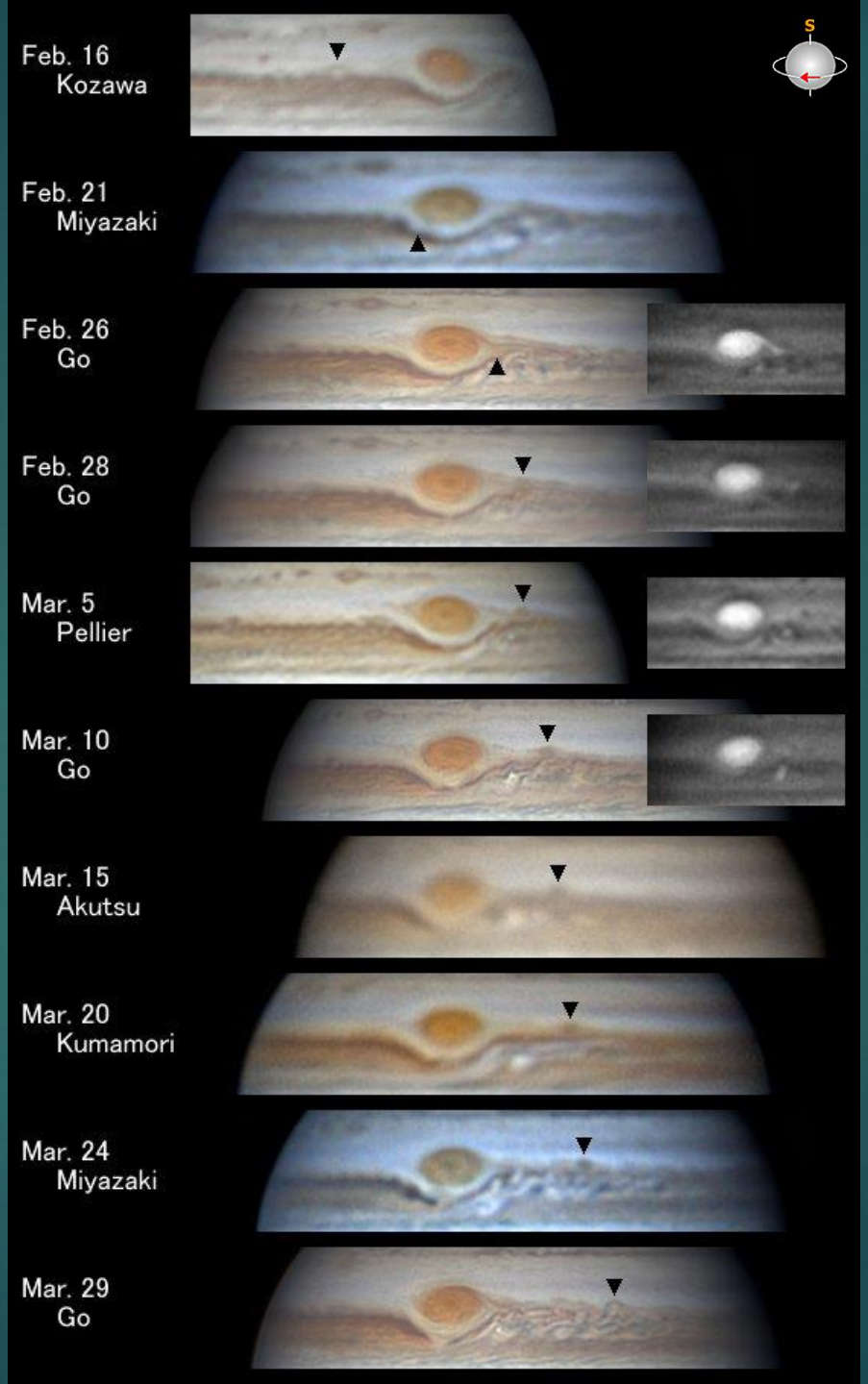



SEBsリング暗斑がRS bayを通過中
SEBsリング暗斑▲の変形と、その西側（右）でフレーク↓が形成されつつあることに注意

# 2015 SEBsリング暗斑とGRS

K.Horikawa @OAA, ALPO-J






SEBsリング暗斑
RS bayへ侵入

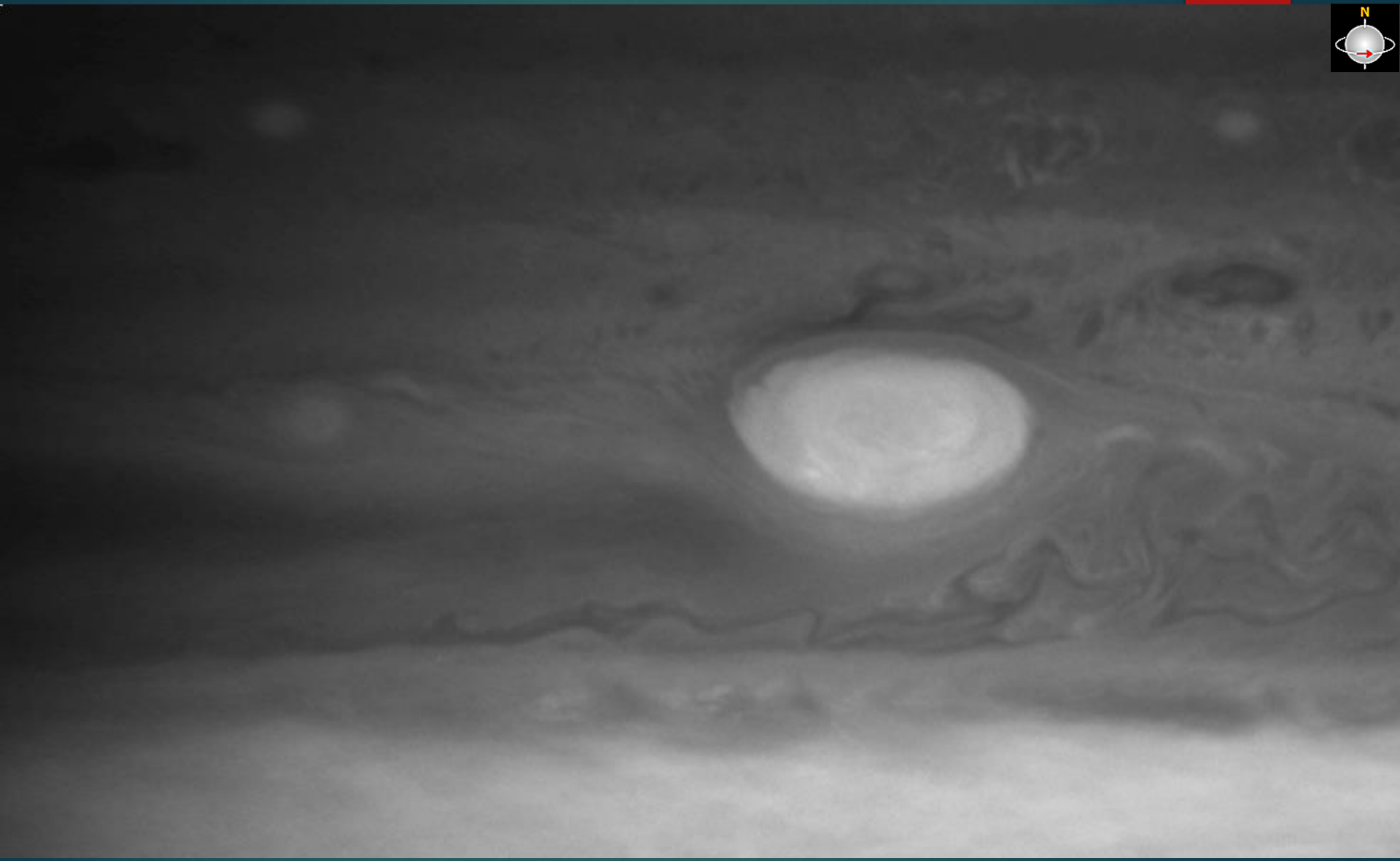
フレーク形成
CH4 bright化

SEBsリング暗斑
後方で再凝集？

# Cassini (2000/12/15) Jupiter’s GRS ／ MT3 filter(CH4)

Credit : Cassini (ISS)／NASA／JPL-Caltech／SSI／Björn Jónsson (2019/06/11)

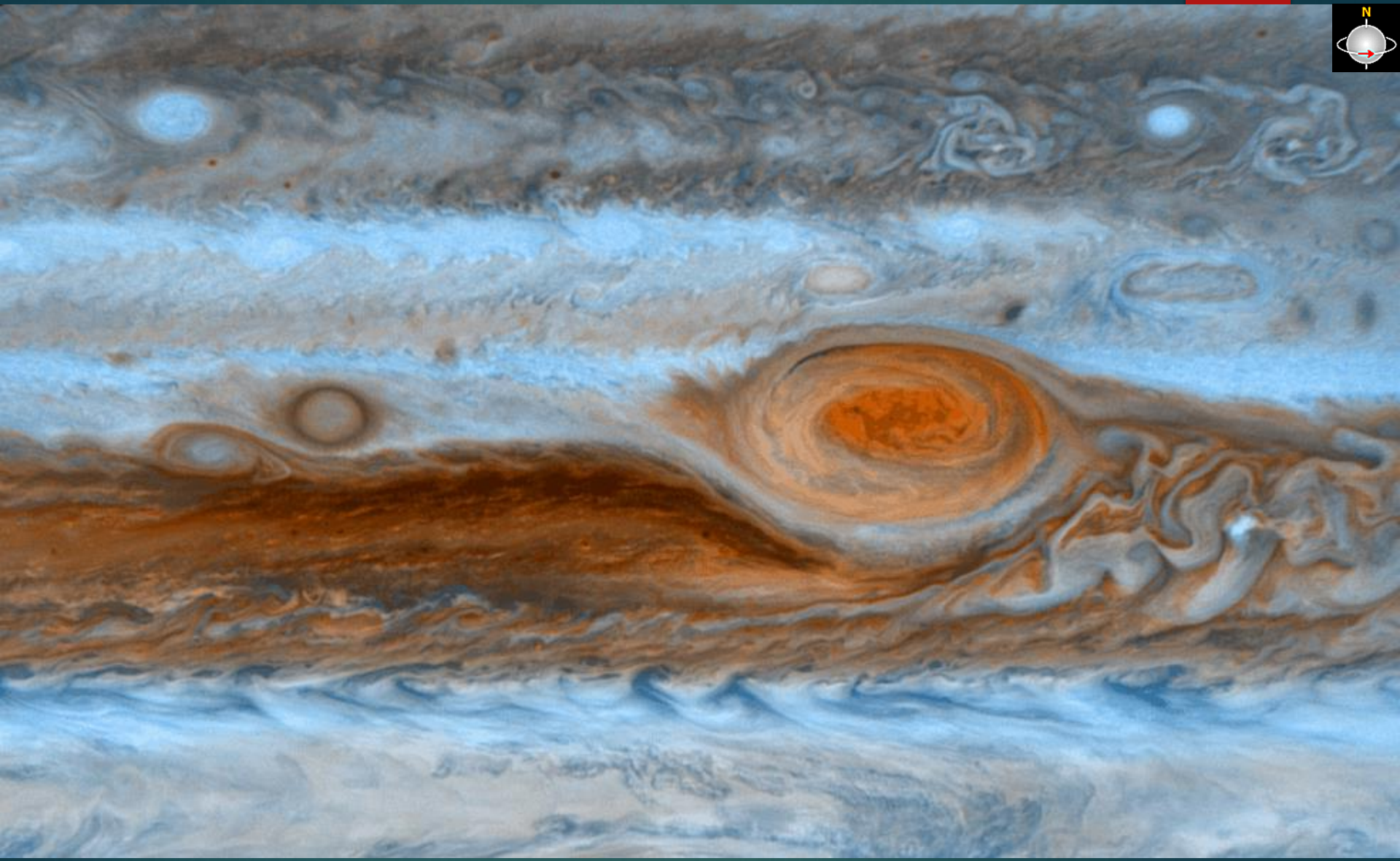




# Cassini (2000/12/15) Jupiter’s GRS ／ MT3 filter - enhanced color

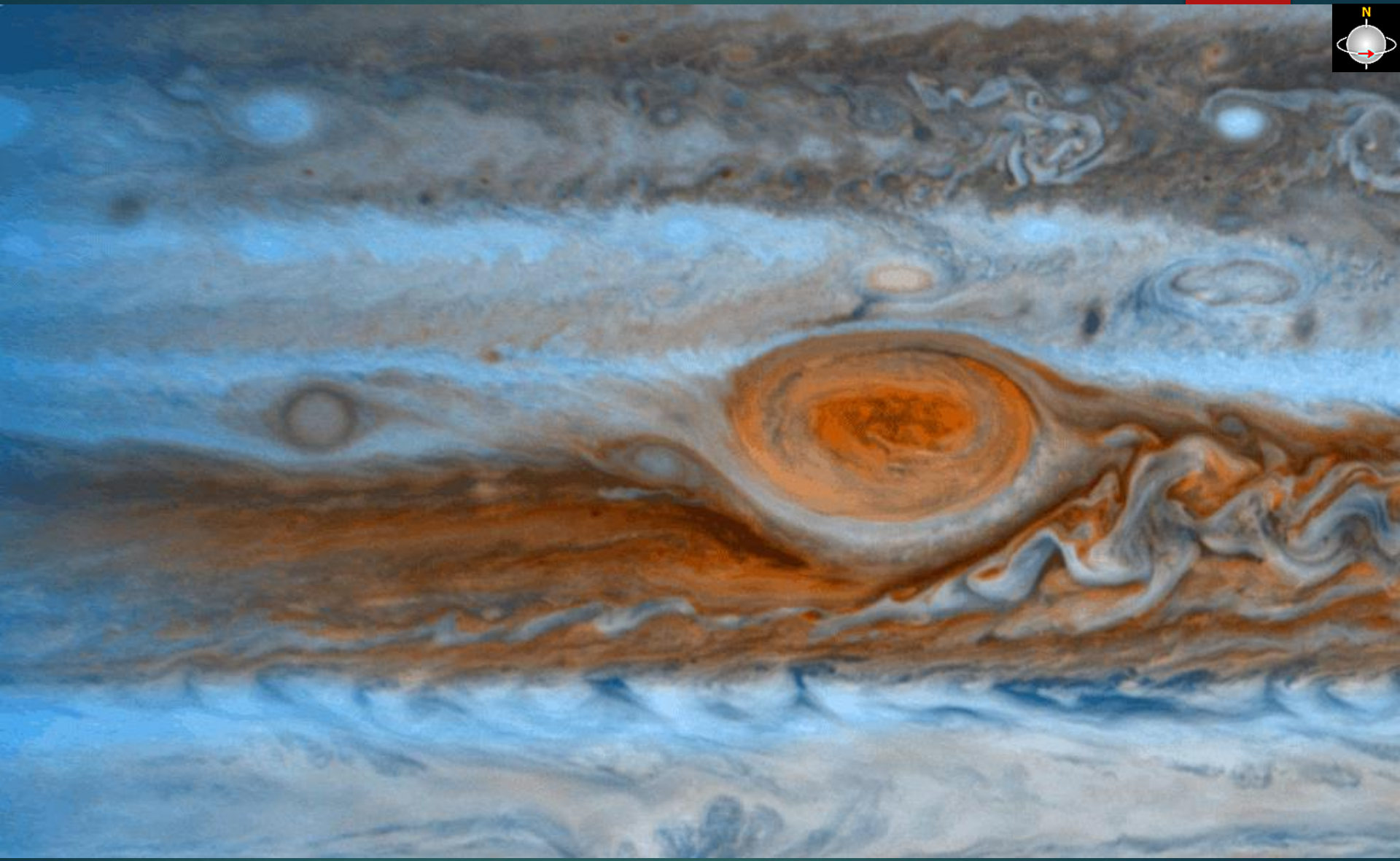
Credit : Cassini (ISS)／NASA／JPL-Caltech／SSI／Björn Jónsson (2019/06/11)





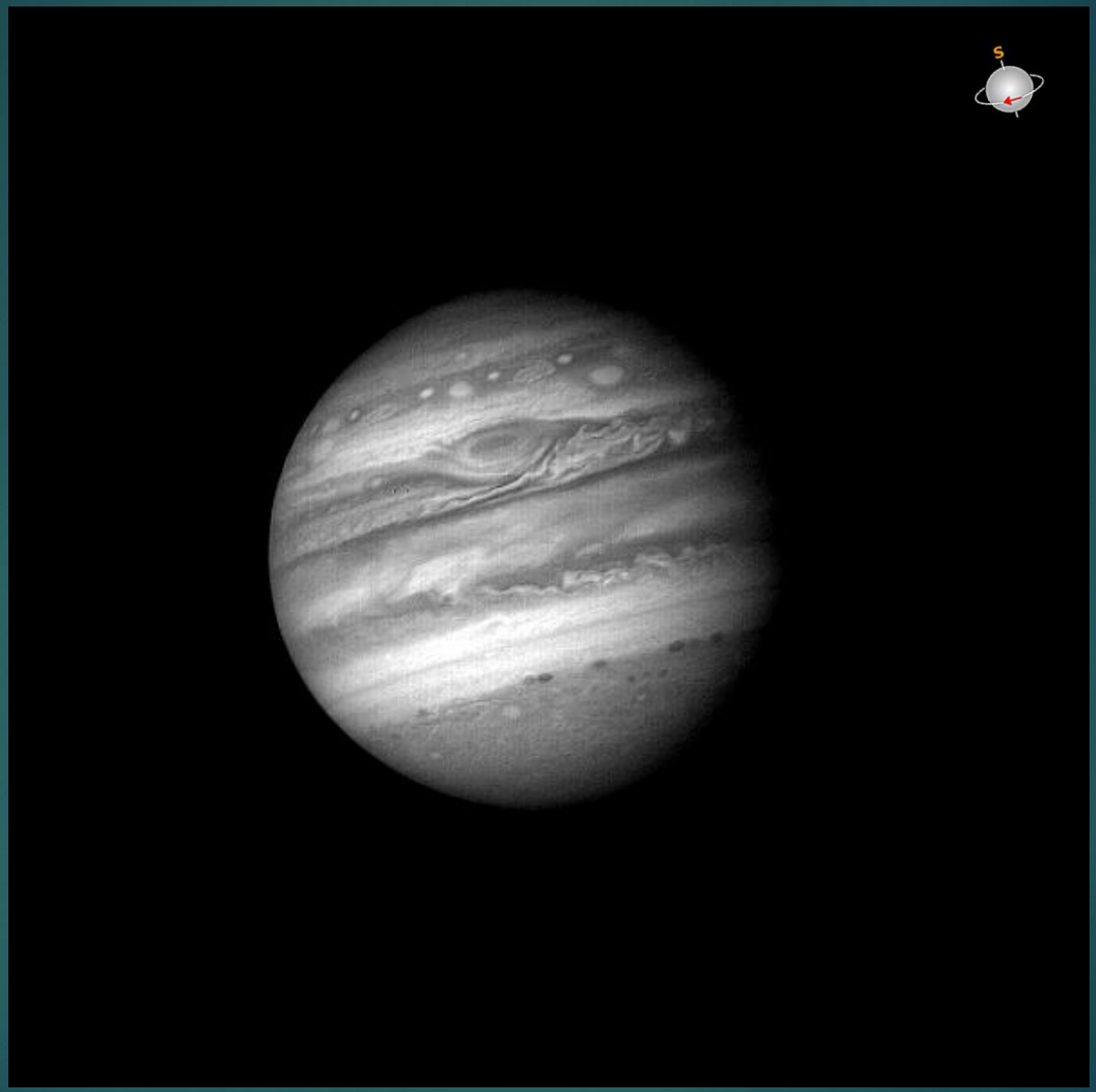
# Cassini (2000/12/15) Jupiter's GRS ／ enhanced color

Credit : Cassini (ISS)／NASA／JPL-Caltech／SSI／Björn Jónsson (2019/06/11)



# Voyager 1 (1979/01/06～02/03) Jupiter’s GRS(blue)

Voyager 1 Imaging Science Subsystem (ISS) : NASA

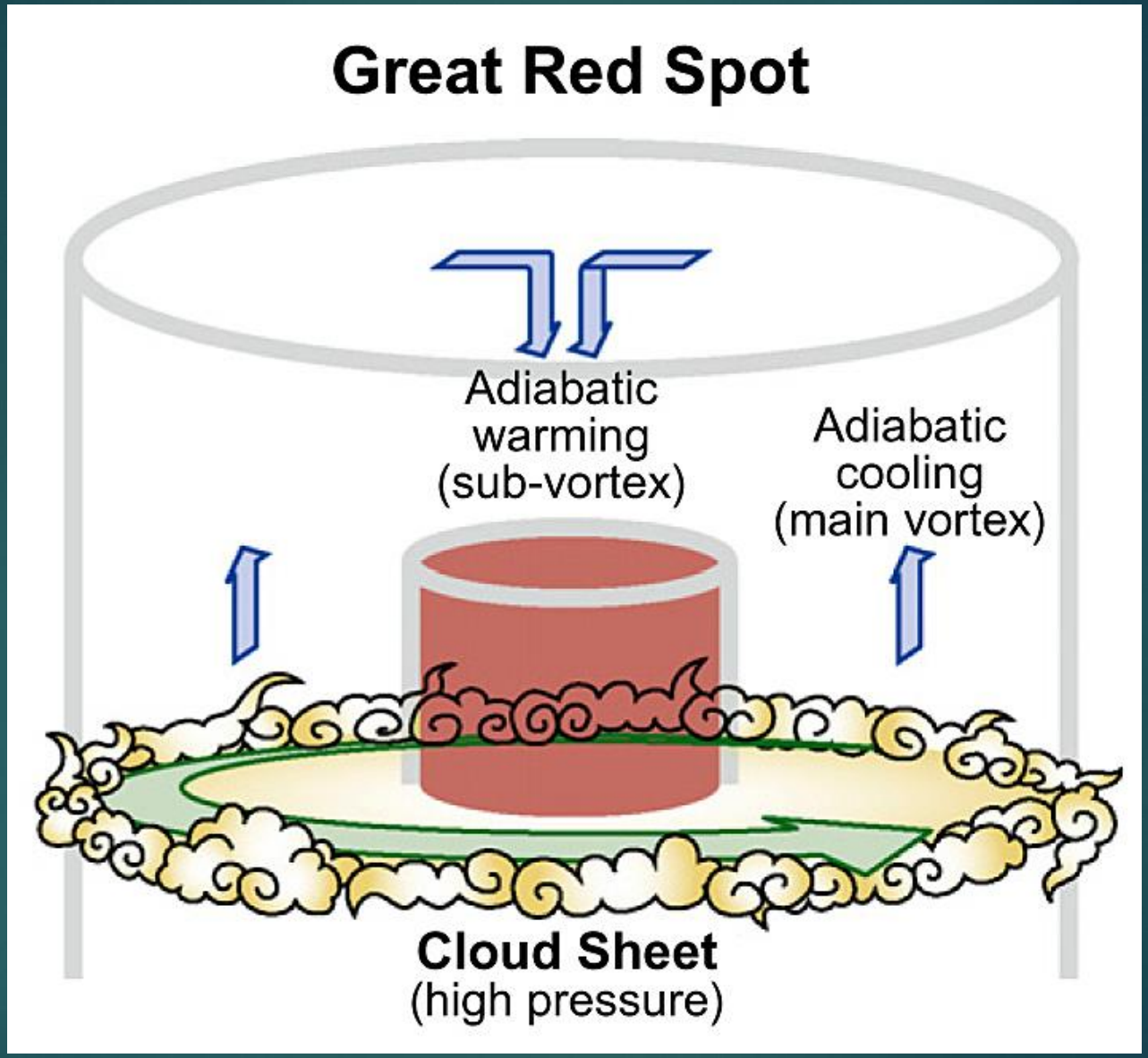


# GRSの垂直構造

# Persistent Rings in and around Jupiter's Anticyclones - Observations and Theory



Imke de Pater, M.Wong, P.Marcus et al. Icarus 210 (2010) 742–762




GRS外周部：上昇気流、GRS中心部：下降気流

# Voyager 2 probe (1979/07/07) Jupiter's GRS

Credit : NASA／JPL／Björn Jónsson／Seán Doran

GRS外周部：上昇気流、GRS中心部：下降気流

# GRS フレーク
# ま と め

# 大赤斑（GRS）のフレークと関連現象

| | 発生年月 | SEBs リング暗斑 | GRSフレーク 発生有無 | GRSフレーク 発生場所 | GRSフレーク メタンブライト | GRS前方 ストリーク | GRS南側 アーチ | bay f.e. 暗塊 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 2019/06 | bay開口部から一部漏れ出す? | △? | RS bay | △ | ○ | ○ | △? |
| 8 | 2019/05-06 | – | ○ | GRS南側 | ○ | ○ | ○ | 準循環気流 |
| 7 | 2019/05 | ○ | ○ | RS bay | ○ | ○ | ○ | 準循環気流 |
| 6 | 2019/05 | – | ○ | GRS南側 | ○ | ○ | ○ | 準循環気流 |
| 5 | 2019/05 | ○ | ○ | RS bay | ○ | ○ | ○ | 準循環気流 |
| 4 | 2019/05 | – | ○ | GRS南側 | ○ | ○ | ○ | 準循環気流 |
| 3 | 2019/04 | ○ | ○ | RS bay | ○ | ○ | ○ | 準循環気流 |
| 2 | 2019/03-04 | ○ | ○ | RS bay | ○ | × | ○ | ○ |
| 1 | 2019/01-02 | ○ | ○ | RS bay | ○ | × | ○ | ○ |
| 0 | 2018/12 | ? | ○ | RS bay | ? | ×? | ○ | PJ-17 |
| | 2018/03-04 | – | ○ | GRS南側 | ○ | × | ○ | STr Dist. |
| | 2016/07-08 | ○ | ○ | RS bay | × | △ | ○ | ○ |
| | 2015/02-03 | ○ | ○ | RS bay | ○ | △ | ○ | ○ |
| | 2014/10-11 | ○ | ? | RS bay | × | ○ | ○ | ○ 準循環気流 |
| | 2014/01-03 | ○ | ? | RS bay | × | × | △ | △ |

# なぜ大赤斑（GRS）にフレークができるのか？

＜観測された現象＞

【発生場所と発生のきっかけ】

1) フレークはRS bayに侵入したSEBsリング暗斑との接触により発生する
2) フレークはGRSの南側でも暗斑(白斑?)などとの接触により発生する
3) フレークのメタンブライト化はGRSの前端 or 後端で起きる(流れの分岐点)
4) RS bay後端に準循環気流発生(4月中旬)

【SEBsリング暗斑 & フレーク】

5) SEBsリング暗斑やGRS南側の暗斑はメタンブライトではない
   → GRSより低い位置に存在
6) SEBsリング暗斑はRS bayで徐々に変形し、その存在が不明瞭になる
7) フレークは最盛期にメタンブライト化する
8) フレークはメタンブライト化後に分割される

【GRS】

9) GRSの長径が減少(5月中旬)

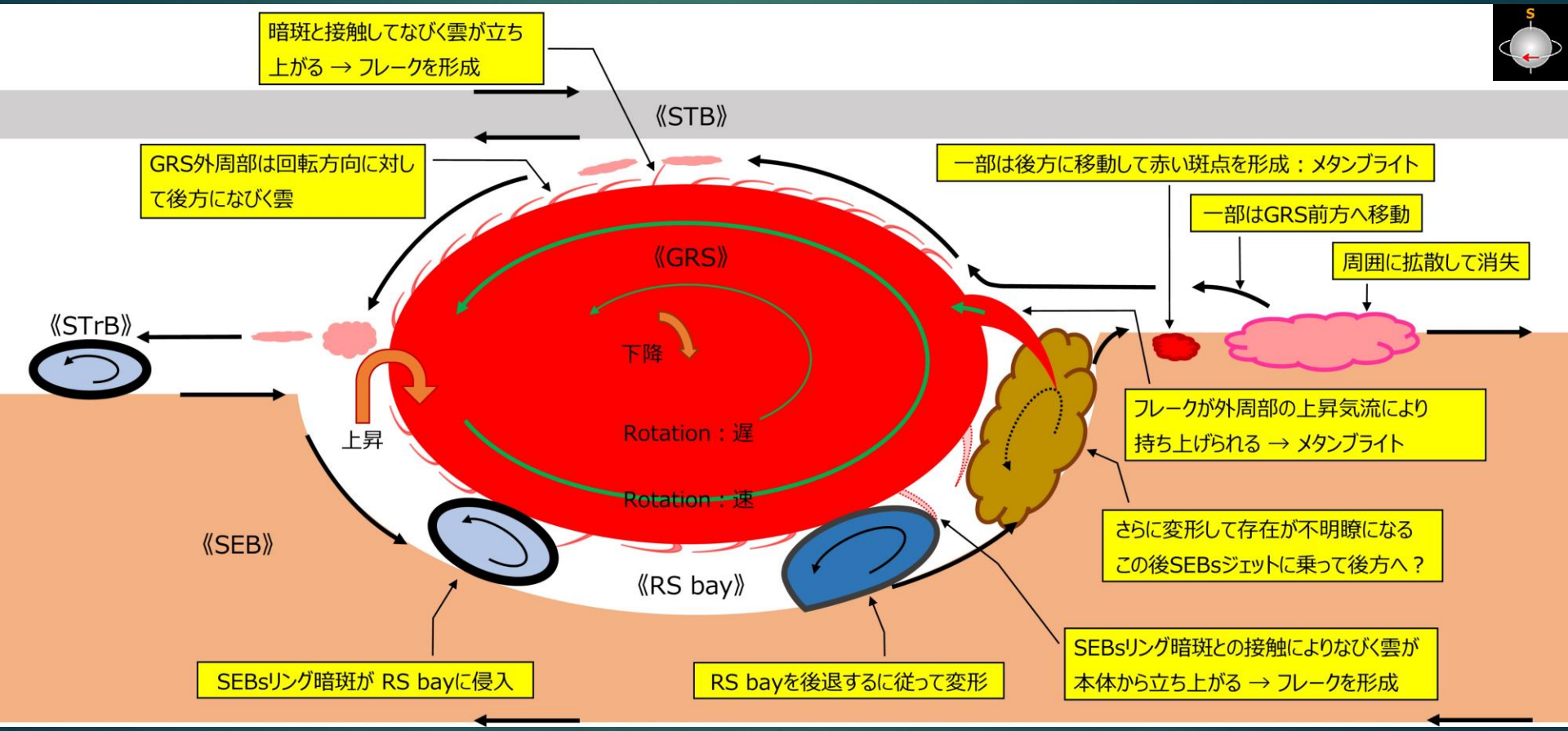
【GRS外周部】

10) GRS外周部は回転方向に対して後方になびく雲（Juno画像など）
11) GRS外周部は暗斑などとの接触により、なびく雲の先端部が
    GRS本体から立ち上がる（HST画像など）

# なぜ大赤斑（GRS）にフレークができるのか？

＜前提＞

1) GRS：反時計回りの渦(高気圧的渦)
2) GRS外周部：上昇気流、GRS中央部：下降気流
3) SEBsリング暗斑：反時計回りの渦(高気圧的渦)



# なぜ大赤斑（GRS）にフレークができるのか？

＜まとめ＞

GRS外周部は回転方向に対して後方になびく雲で
RS bayを急速に後退するSEBsリング暗斑や
GRS南側を急速に前進する暗斑などとの相互作用により
→ なびく雲の先端部が立ち上がり(X-Y)フレークが形成される
→ フレークは外周部の上昇気流により上昇し(Z)メタンブライト化する

＜疑問点＞

SEBsリンク暗斑は過去に何度もRS bayへ侵入したが
→ 必ずしもフレークが形成される訳ではない
→ フレークは必ずしもメタンブライト化する訳ではない
メタンブライト化：2015/02-03,2018/03-04(GRS南側),2019
例-1）2016：GRS南側に青黒いアーチを形成． メタンブライト化せず
例-2）2014：アーチ、ストリーク形成． メタンブライト化せず
など過去のほとんどのケースでフレークは確認されず、メタンブライト化しない

最近の高解像画像で地上から観測可能になった？
過去の報告は過少報告されている可能性がある？(BAA 2019 Report No.4)
GRSサイズ小→入ってくる渦による崩壊を受けやすくなった？(BAA 2019 Report No.4)

# END

水元 伸二　Shinji Mizumoto

@月惑星研究会　ALPO-Japan