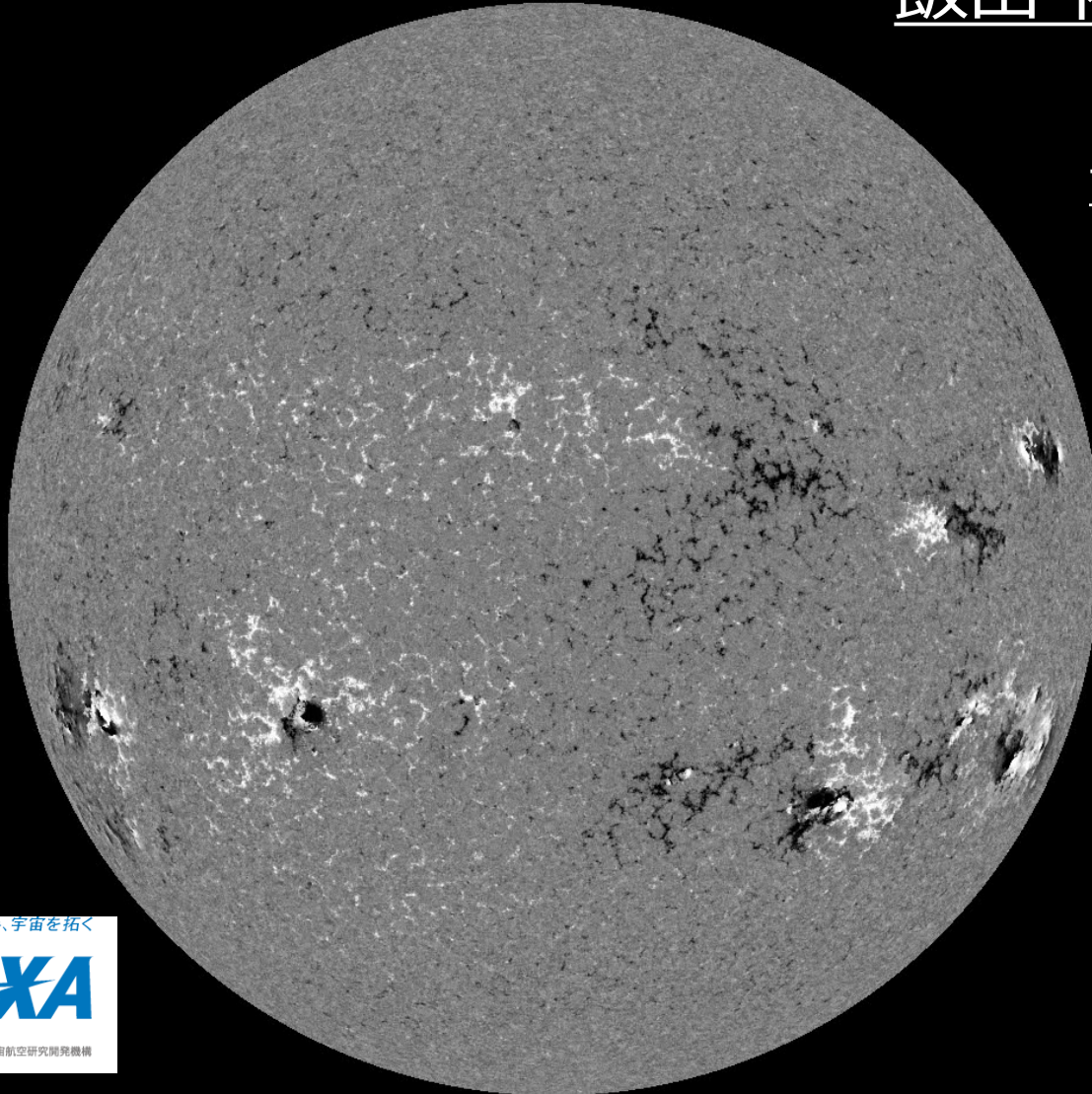


# 表面磁場輸送とその異方性

飯田 佑輔 (ISAS/JAXA)

Special Thanks  
for 4-3班 and 今田さん



空へ挑み、宇宙を拓く



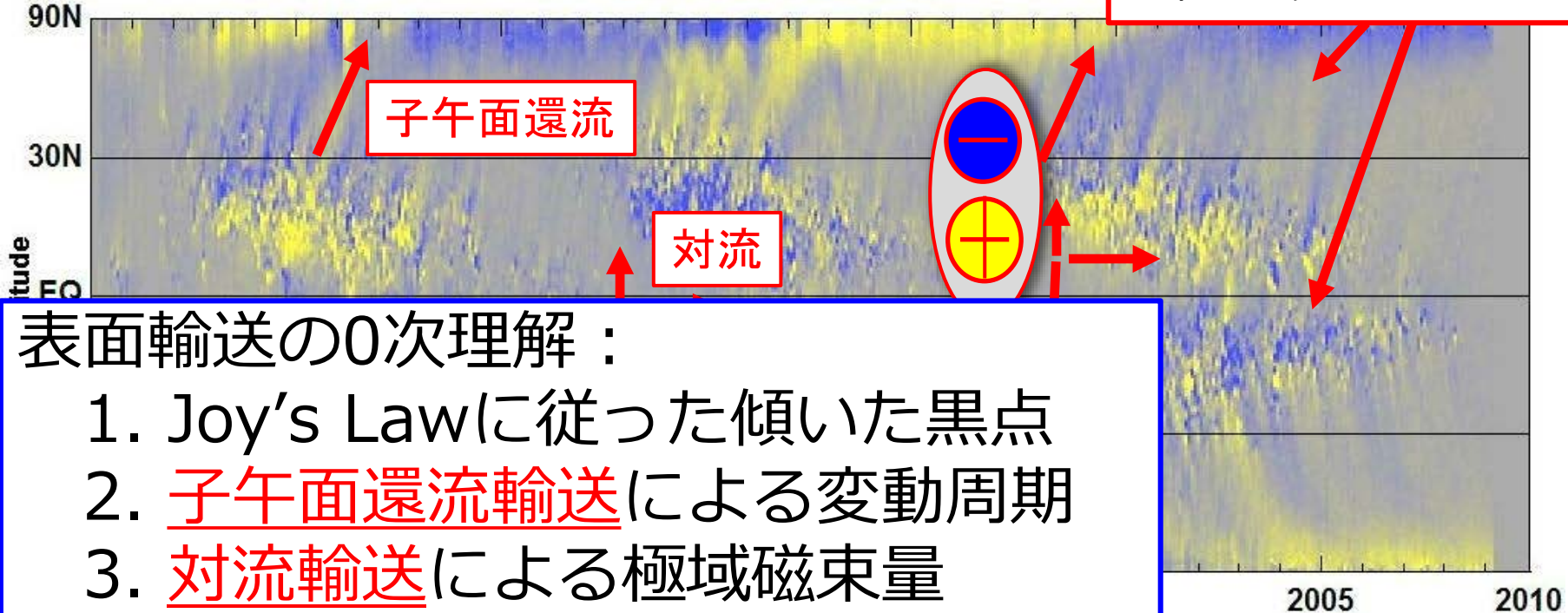
# ダイナモ問題における表面磁場輸送

観測される表面輸送は以下の式でよく表せる。(Wang+, Science98)

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times [\mathbf{v} \times \mathbf{B}] - \nabla \times [\kappa(r) \nabla \times \mathbf{B}] + \mathbf{S}(r, t)$$

- 1. 子午面還流
- 2. 差動回転
- 3. 対流

子午面還流vs対流輸送  
 +黒点の傾き  
 = 南北半球間の相互作用  
 = 極域磁束量

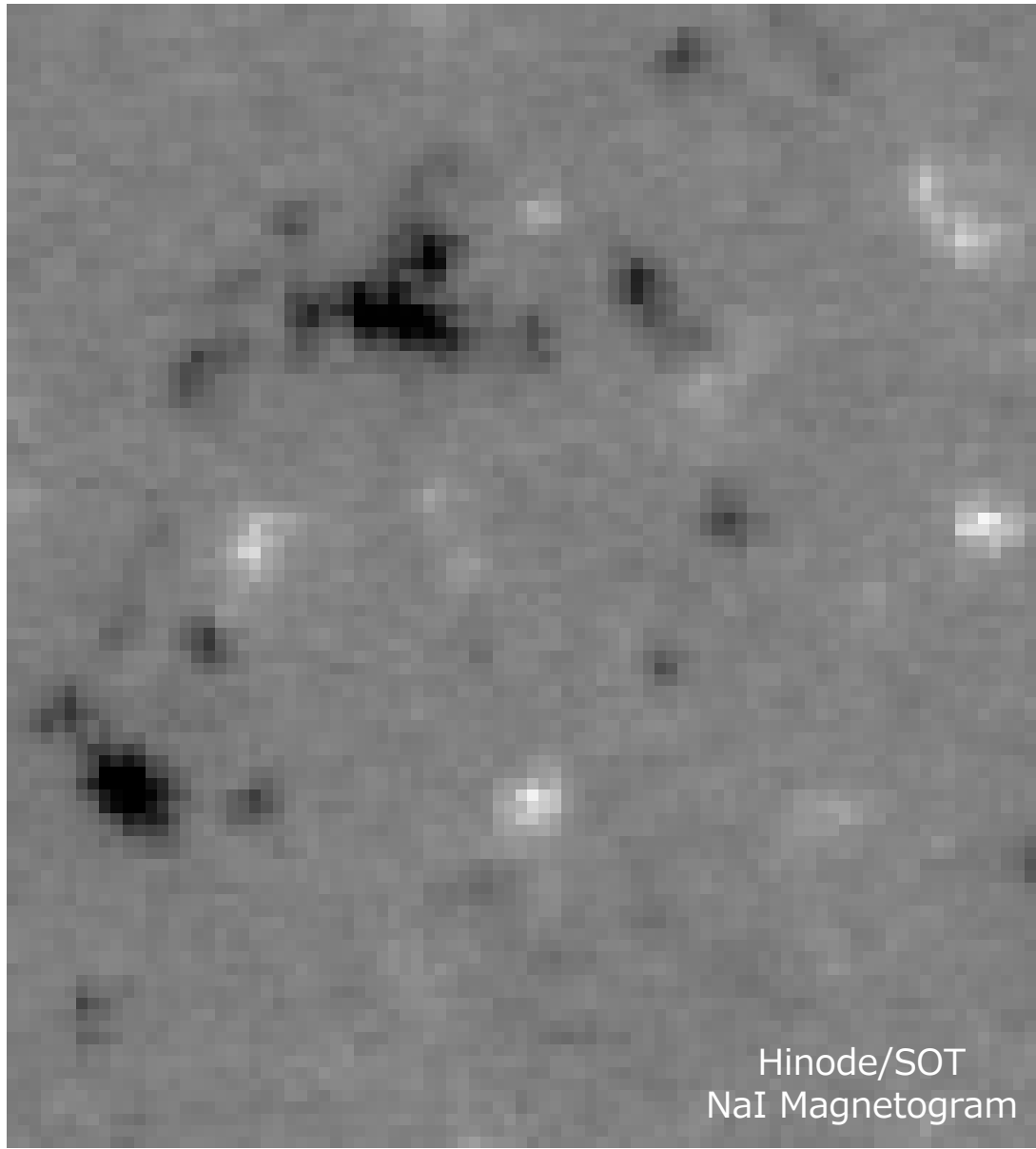


表面輸送の0次理解：

1. Joy's Lawに従った傾いた黒点
2. 子午面還流輸送による変動周期
3. 対流輸送による極域磁束量

# 高空間分解能観測による表面磁場描像

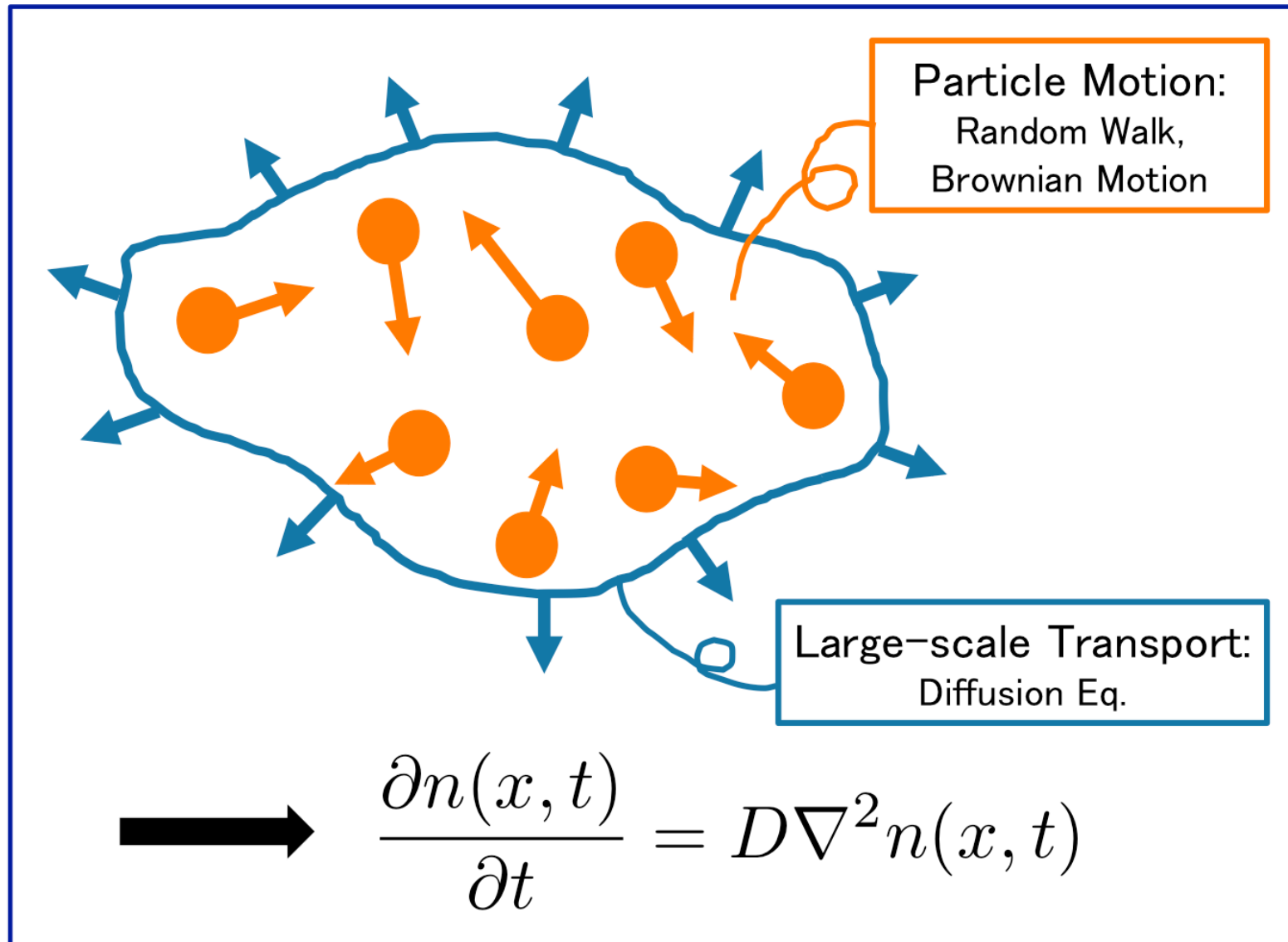
のっぺりした磁場領域ではなく、磁極として輸送されている。



# 対流輸送に関する研究

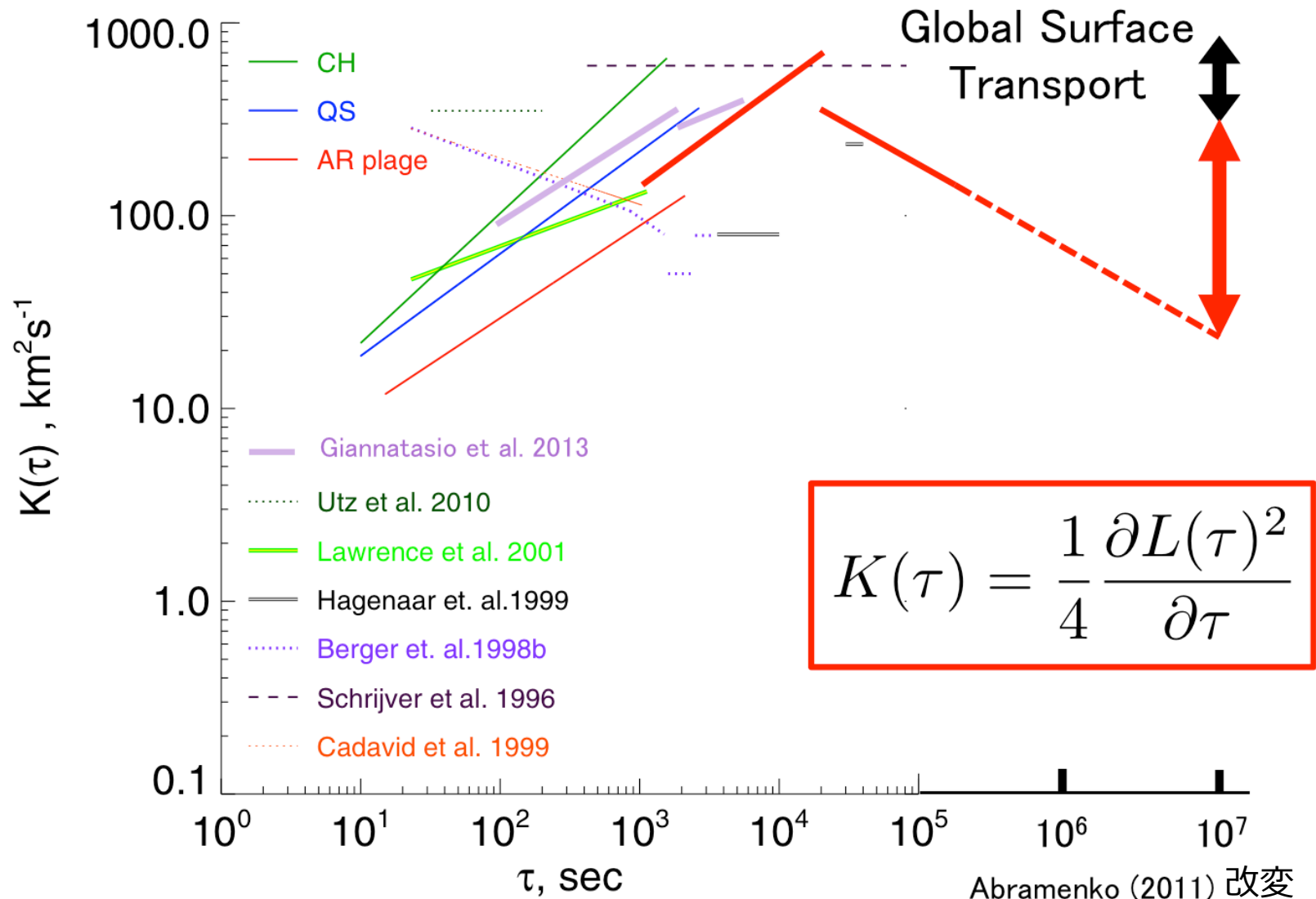
磁極運動から対流輸送について迫れるか？

→ “変位自乗( $x^2$ )  $\propto$  経過時間( $t$ )” が必要条件。



# 対流輸送に関する研究

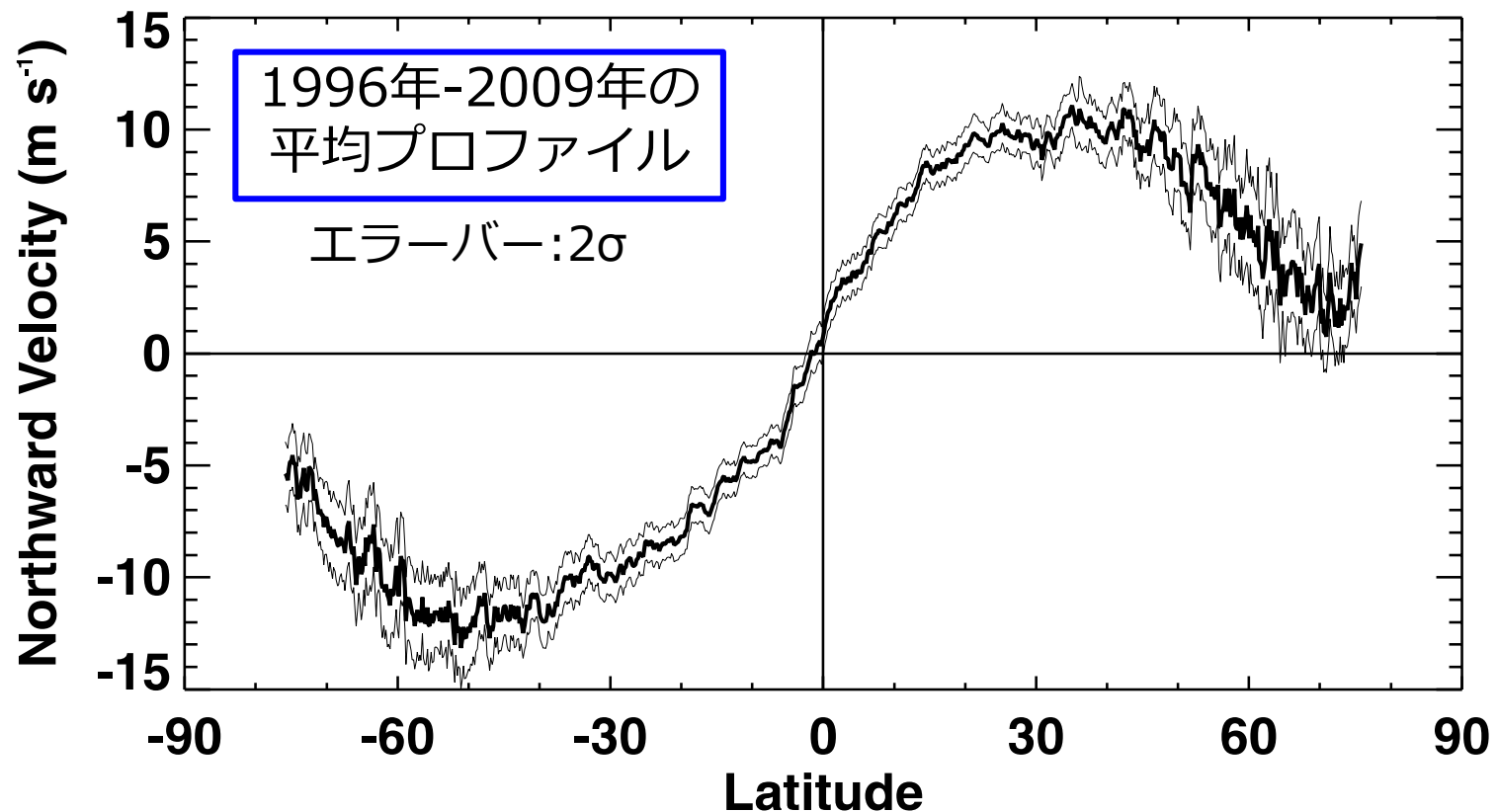
これまではグローバルでは通常拡散として扱われてきた。  
しかし、近年の**磁極追跡では通常拡散以外**を示している。



# 子午面還流に関する研究

**磁場領域の最相関位置**として観測(Hathaway&Rightmire, Science10)。しかし、8hr平均しているため磁極構造との対応は調べられない。

1. SoHO/MDIの全球データ(=96<sup>min</sup> cadence)を5枚(=8<sup>hr</sup>)合計。
2. 帯に分けて、相関係数が高い部分から速度を求める。
3. 速度場をある程度足し合わせ、子午面還流を求める。



# 表面磁場輸送研究の現状

極域磁場の形成(ひいては太陽周期活動)を理解する上で、**太陽表面での磁場輸送**は最重要事項の一つである。現在のシ

## 本研究の目的

**磁極構造輸送の南北非等方性**が、現在の衛星観測で最高空間分解能を持つ「ひので」データから捉えられるかを検証する。

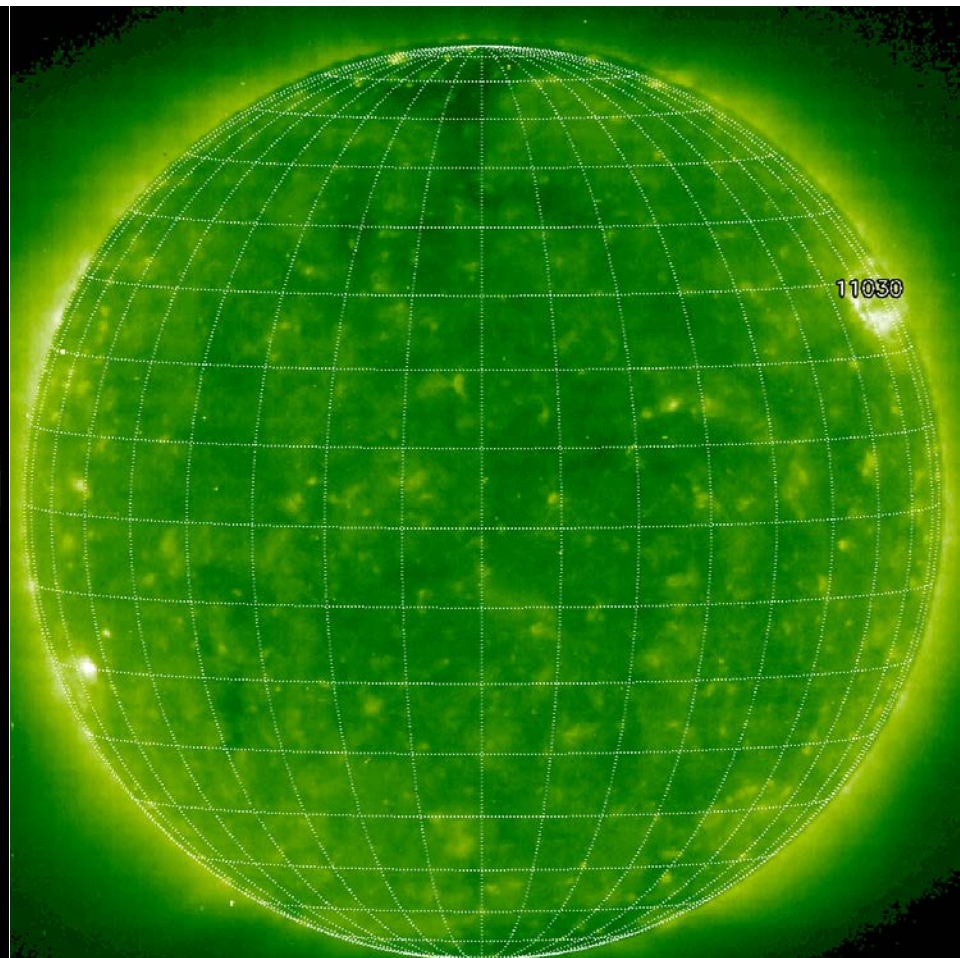
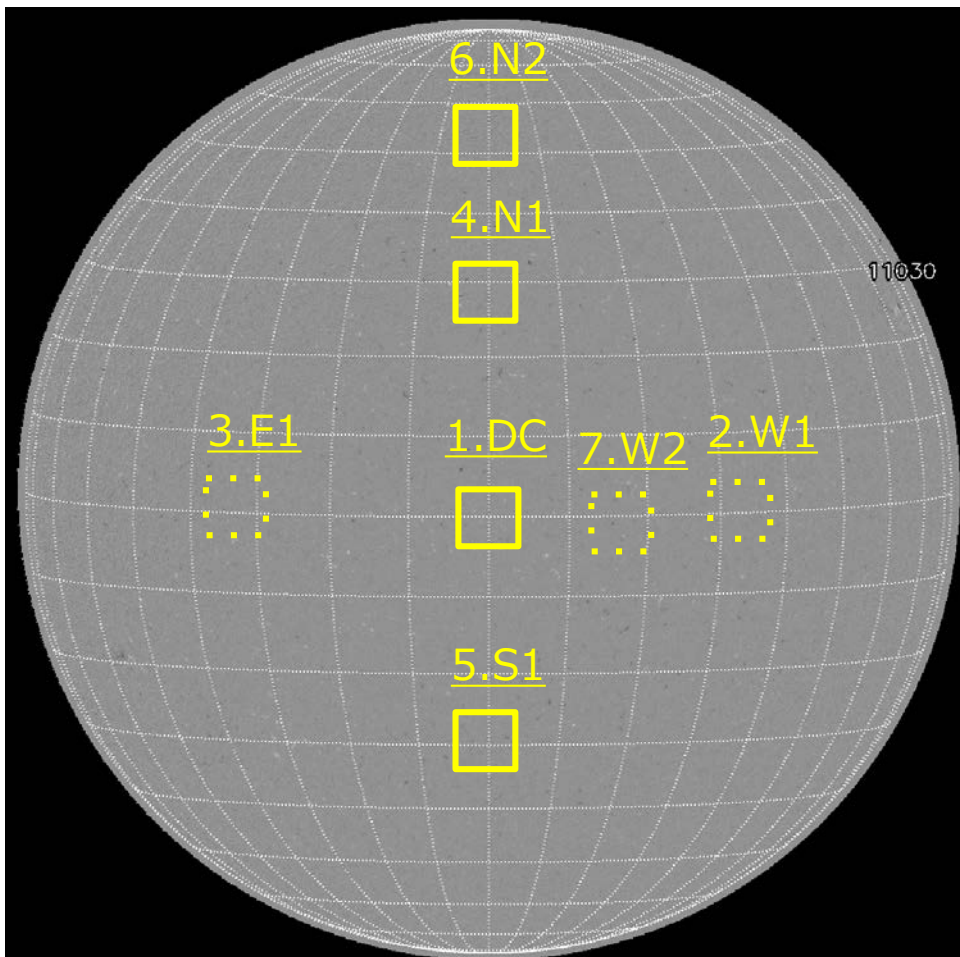
によると考えられている。

しかし、特に表面での**磁場輸送の南北非等方性(～子午面還流)**について、実際の磁極運動から捉えた研究は存在せず、ローカルな磁極の運動とグローバルな輸送の描像はつながっていない。

# 観測データ概要

観測日時: 2009/11/11-13

- 観測概要:
- 各観測点で ~3hr30min
  - FG: NaIVDG, 110"x110", ~1min (SP:100"x122")
  - DC (0,0), **N1 (0,500)**, N2 (0,800), S1(0,-500)





# データ補正

今回の発表では以下の補正を行った。

## L1データ : fg\_prep実行

- Dark, Flat処理
- 左右CCDのGain差 (不完全)
- SAA処理 (不完全)

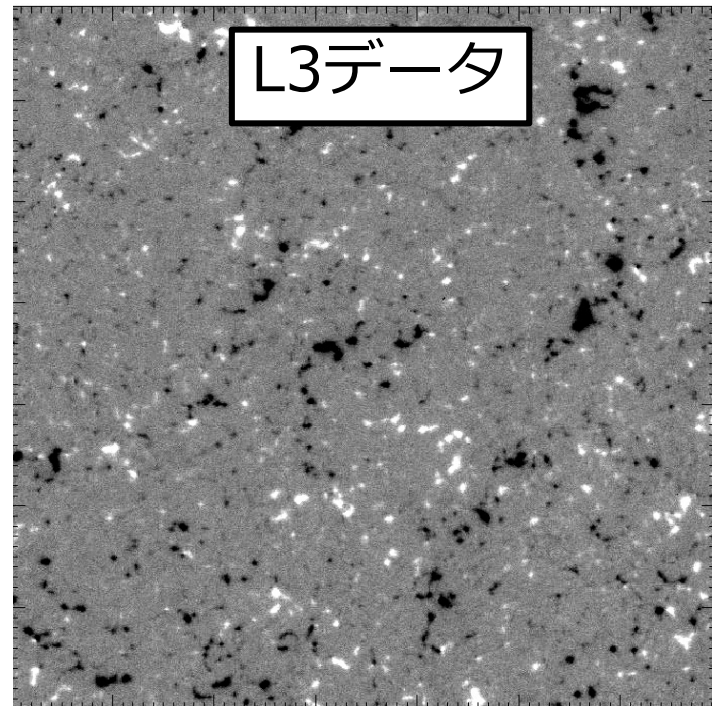
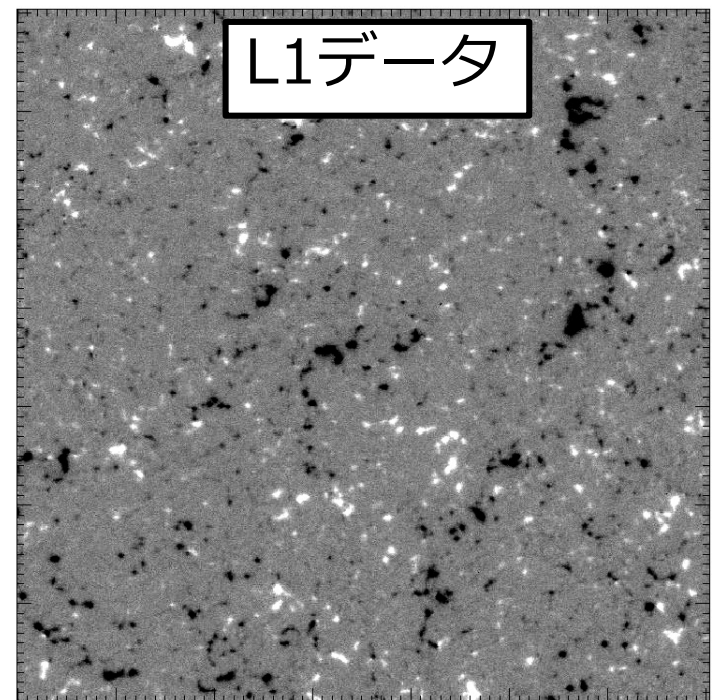
## L2データ : CCD関連処理

- 不適なフレームを目で除く  
(CCD readout, ぼやけ, SAA)
- 左右CCDのGain差補正

## L3データ : 微動の補正

- L2データの相関で微動を除く
- 全フレーム共通領域切り出し

→ 今回の発表では、**projection補正**、**磁場強度への換算は行っていない**。



# 磁極認識・追跡

## ・認識・追跡方法

### 認識：Clumping法

- 単一スレシヨルドでシグナルが有効か判断

### 追跡：Overlapping法

- 画像間の重なりから判断
- 複数の重なりは磁束量から
- 時間間隔によって、余白

→ **重心の速度**を求める。

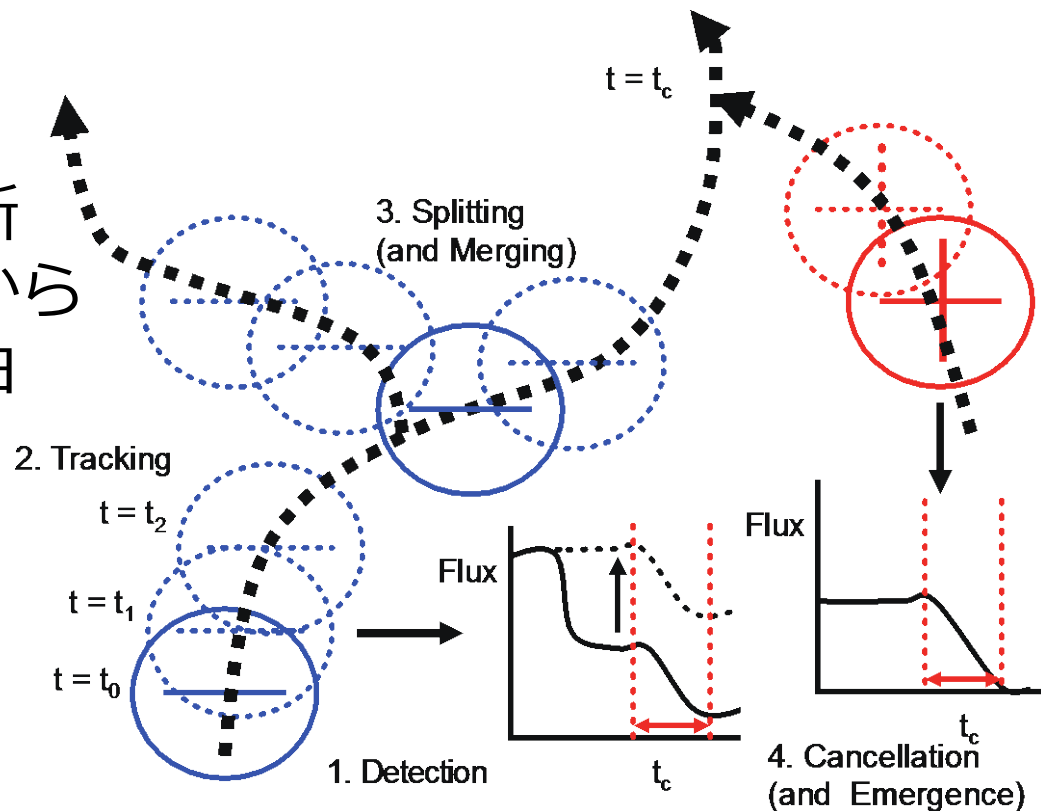
## ・認識・追跡パラメータ

有効シグナル： **$1.5\sigma$**

サイズ：**10pixel**

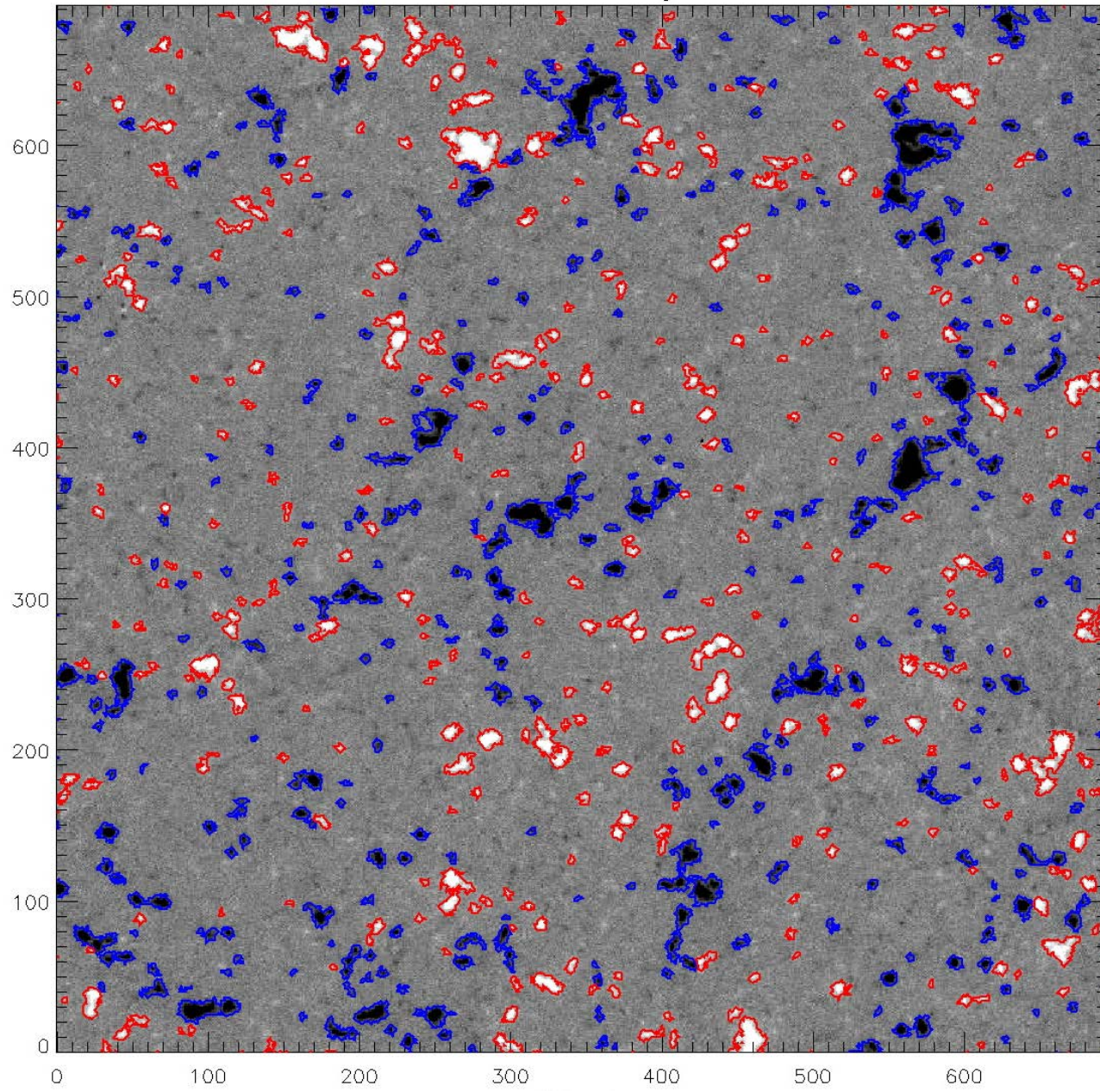
追跡空間余白：**0pixel**

→ 現在、**安定して追跡できるぎりぎり**。



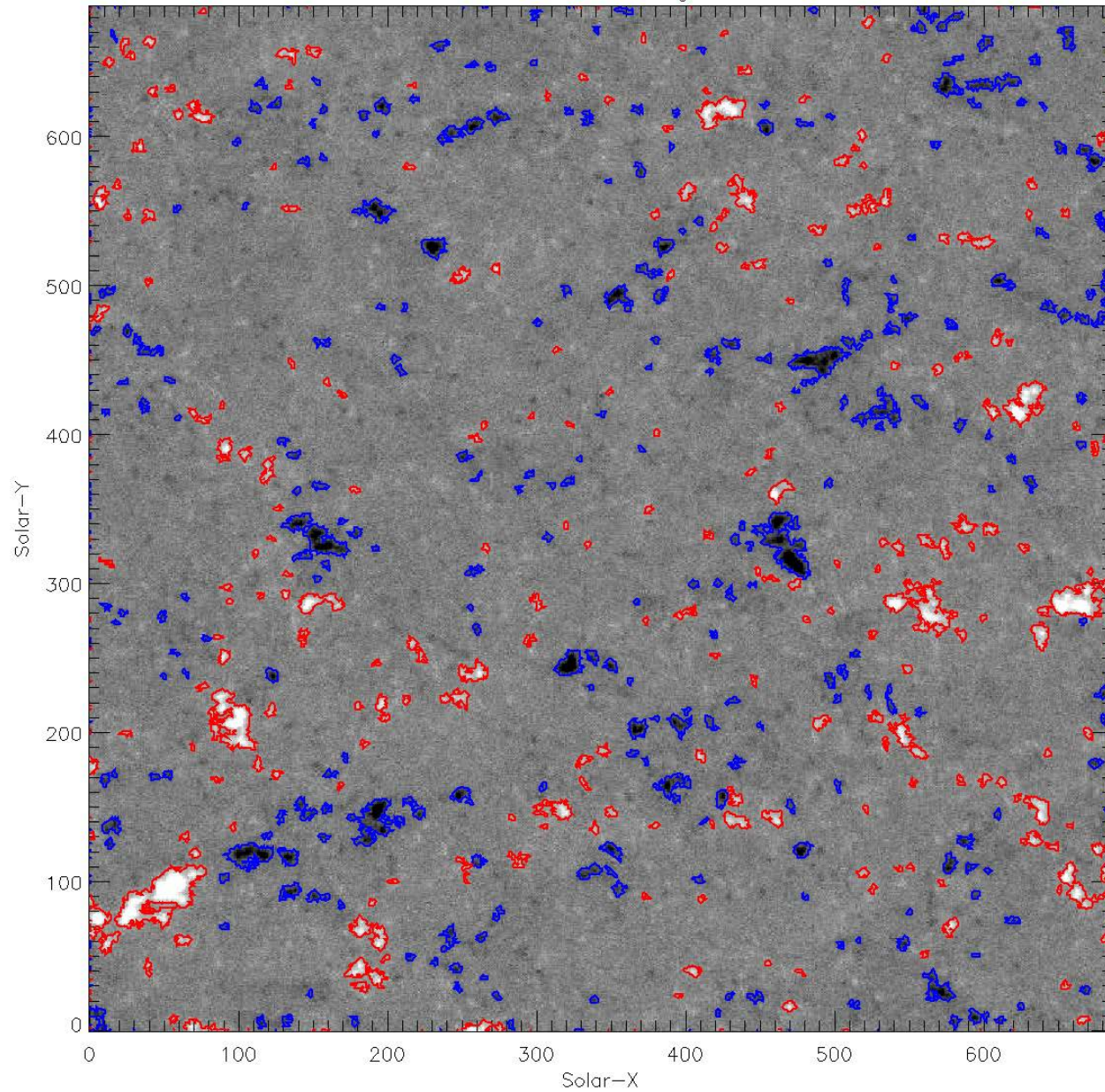
# 追跡結果 : DC

Tracked Patches : Image No.000



# 追跡結果 : N2

Tracked Patches : Image No.000



# 追跡結果

各データ、約12,000-16,000個の磁極(寿命4-6分)が追跡された。

	正極 (認識)	負極 (認識)	正極 (追跡)	負極 (追跡)	寿命(正)	寿命(負)
DC	75289	81174	12682	12283	5.94	6.61
N1	<u>68297</u>	<u>83838</u>	<u>14592</u>	<u>14954</u>	<u>4.68</u>	<u>5.60</u>
N2	64006	68422	16734	15585	3.82	4.39
S1	66552	71021	13348	12203	4.99	5.82

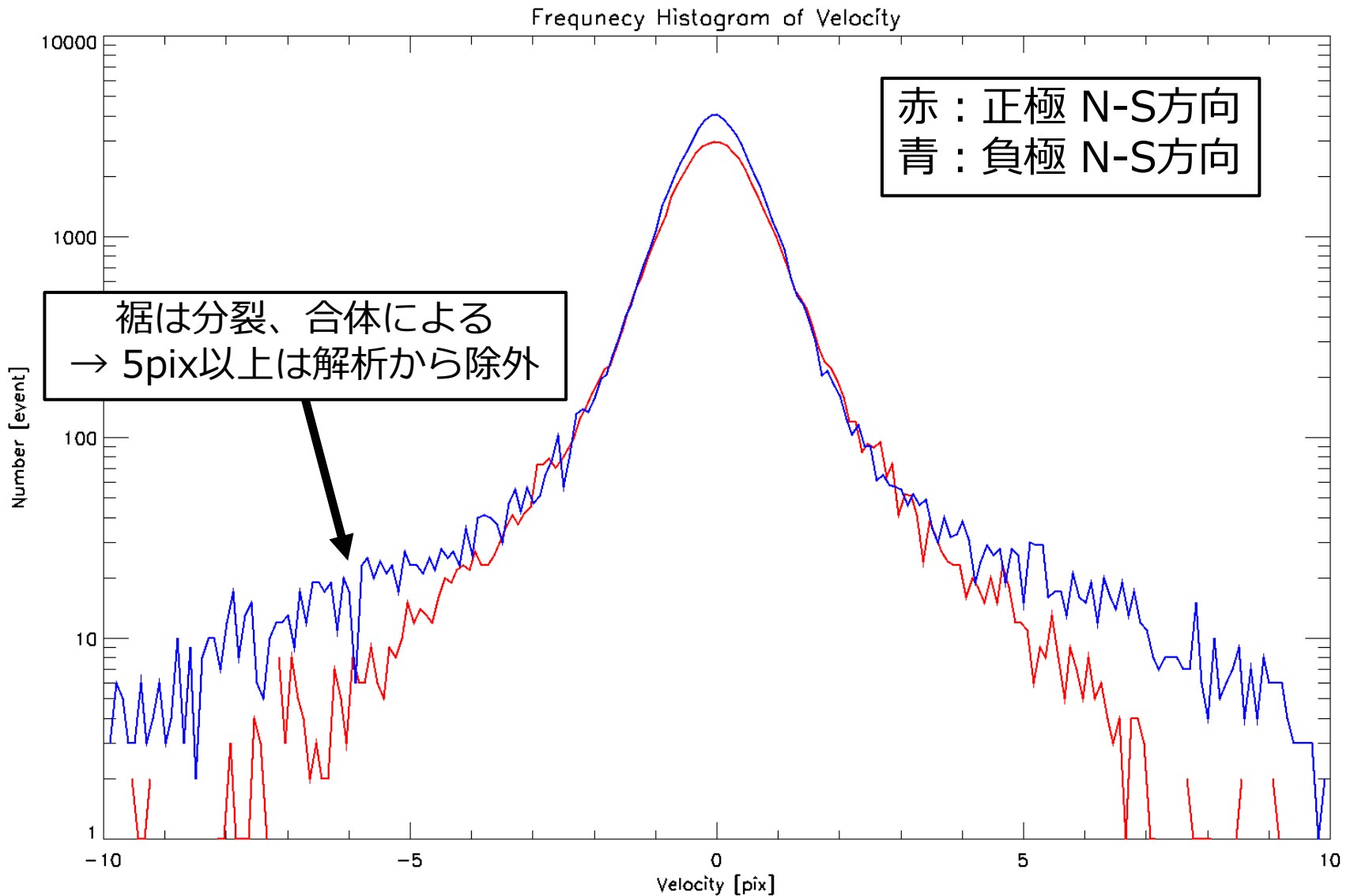
## 解析内容

1. 速度ヒストグラム
  - 典型的にどれくらいの速度か？
2. 速度平均
  - **平均速度で差**があるか？
3. 速度平均の磁束量依存性
  - **大小の磁極で差**があるか？

注目点は、2, 3で差がでるか？

# 磁極移動速度 (N1)

ほとんどの磁極は、1pix/Frame( $\sim 1.5\text{km/s}$ )以下の移動速度。



# 南北移動速度平均

符号付き平均速度：単位はPix/Frame (1pix/Fr~1.5km/s)

#  $\sigma$  : Gaussian Fittingの幅/ $\sqrt{}$ (磁極数)

	V (正)	$\sigma_v$	V (負)	$\sigma_v$	$V_{rel}$	$\sigma_v$
DC	0.0185	<u>0.035</u> <u>7</u>	0.0208	<u>0.033</u> <u>1</u>	- 0.0023	<u>0.048</u> <u>7</u>
N 1	0.0378	<u>0.040</u> <u>4</u>	0.0254	<u>0.033</u> <u>1</u>	0.0124	<u>0.052</u> <u>2</u>
N 2	0.0450	<u>0.044</u> <u>9</u>	0.0656	<u>0.040</u> <u>9</u>	- 0.0206	<u>0.060</u> <u>7</u>
S1	0.0435	<u>0.041</u> <u>0</u>	0.0628	<u>0.036</u> <u>6</u>	0.0193	<u>0.055</u> <u>0</u>

20以下であり、

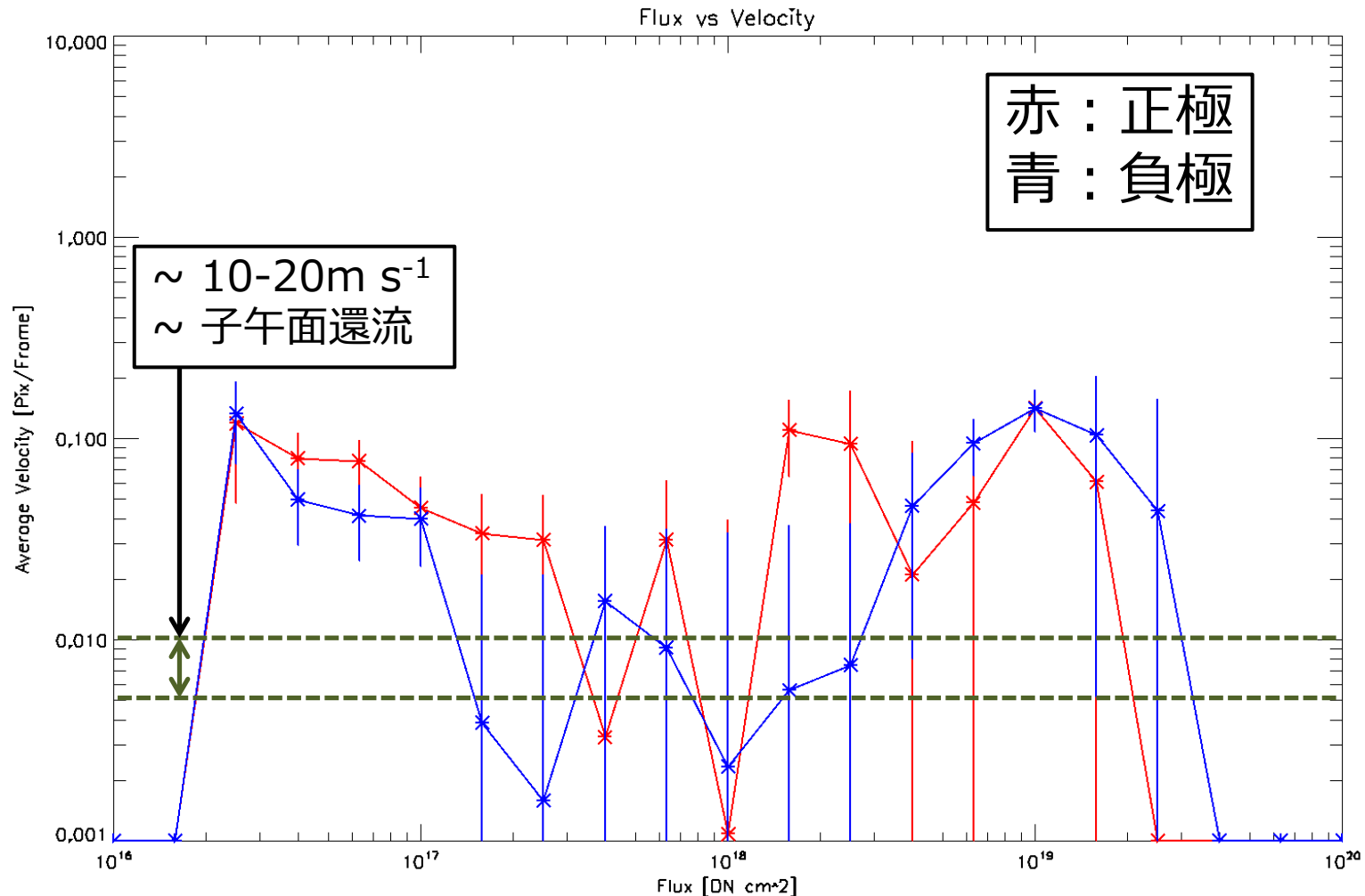
**平均速度では有意な差は見えなかった。**

数学的理由：解析数が足りない  $\rightarrow$  視野大 or より小さい磁極  
# ののでは、不可能

物理的理由：磁束量に依存する?  $\rightarrow$  調べてみる。

# 磁束量vs速度 (N1)

ずれは $2\sigma$ のエラーバー以下で、**有意な差は見えなかった**。  
しかし、**子午面還流は0.01以下の速度**であり、エラーバー以下の異方性でもグローバルスケールに影響を与えられる。  
#  $\sigma$  : bin内でGaussian Fittingの幅/ $\sqrt{\text{磁極数}}$





# 結果のまとめと問題点

現段階の解析では、ひのでの空間分解能で出せる精度 (<0.1pix~100km)で速度について、**2 $\sigma$ 以上の優位な異方性は見えなかった。**

しかし、子午還流による異方性(10-20 m s<sup>-1</sup>)はおおよそ 0.005-0.01pix/min であり、現段階の2 $\sigma$ 以下の速度異方性でも十分にグローバルな表面輸送に影響を与える。つまり、結局は**子午面還流を捉えるまでは結論がだせない。**

問題点は、期待できる異方性スケールが非常に小さいこと。なので、**「観測データの空間分解能を上げる」 or 「時間を稼いで異方性を大きくする」** ことが必要。

# Solar-Cの高空間分解能での改善

子午面還流の速度は10-20 m s<sup>-1</sup>。構造が変わらない1分間隔で観測すると、

**0.6-1.2km @ 1min**

が判別するべき異方性となる。空間分解能の上昇は、

**0.3" (Hinode) → 0.1" (Solar-C)**

なので、2σエラーバーは

10km (Hinode) → **3.3km (Solar-C)**

になると期待できる。まだ、**2σエラーバーの1/6-1/3程度**で厳しそう。何とか時間を稼いで異方性を大きくできないか？

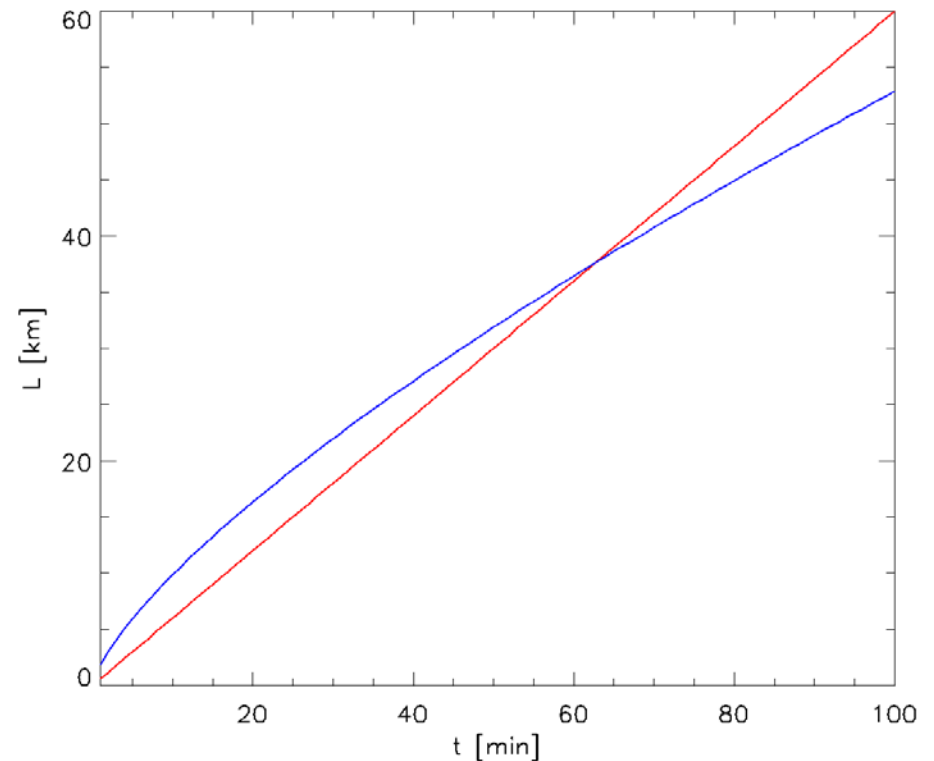
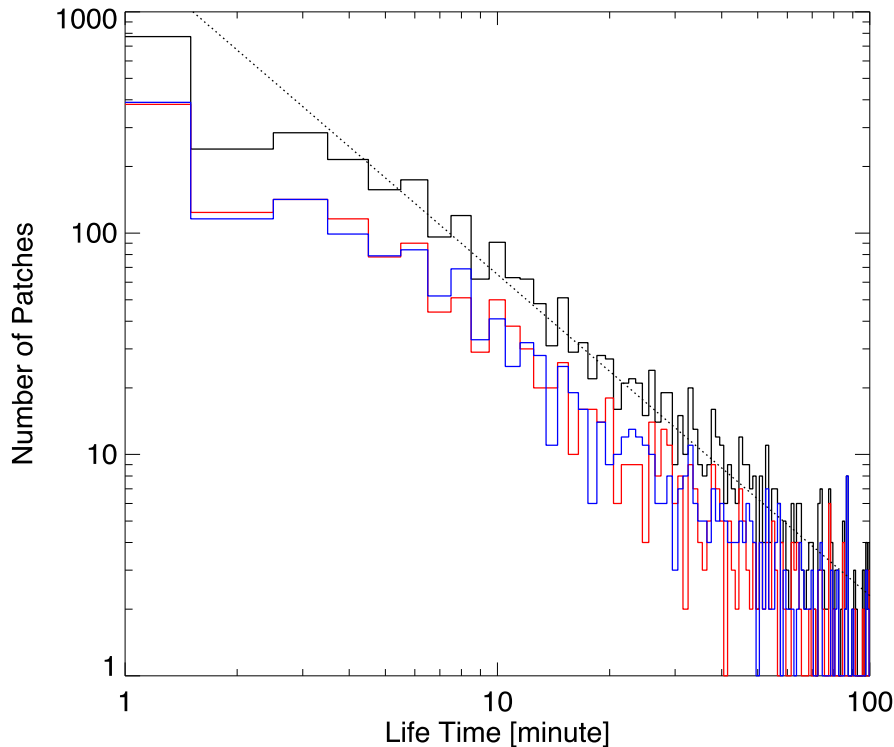
# 磁極追跡の利用

時間を稼ぐには、**磁極追跡**が利用できる。ただし、追跡数が減る。磁極の寿命は、**100分以下**ではおよそ $t^{-1.45}$ に比例する(Iida; 2012)。また、**視野はできる限り大きく**とる(100"x100"→180"x180")。

- 期待できる異方性： $>0.6t$  [km]
- $\sigma$ の変化： $3.3/1.8\sqrt{(t^{-1.45})} = \underline{1.8t^{0.73}}$  [km]

となる。右下図から、**60分以上の追跡**を行えば $\sigma$ は超える。

Number Distribution of Life Time



# まとめ

現段階の解析では、ひのでの空間分解能で出せる精度では**優位な異方性は見えなかった**。Solar-Cで空間分解能が上がれば、以下のような観測で子午面還流レベルの異方性が見えると期待できる。

観測視野：**180"x180"** (Full FoV for wide mode)

時間間隔：**1分** (追跡を可能にするため)

観測時間：**3.5時間**~ (3.5日で70分いるものが $\sigma$ 程度)

