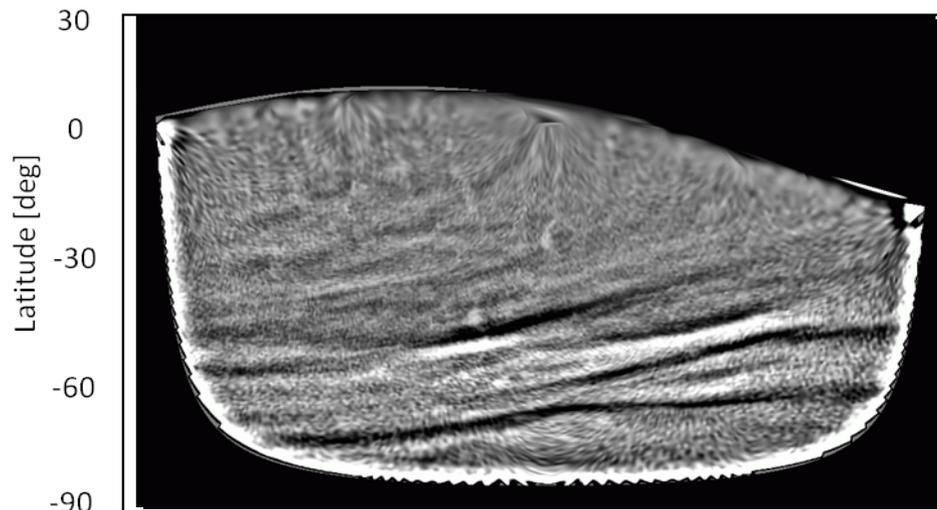
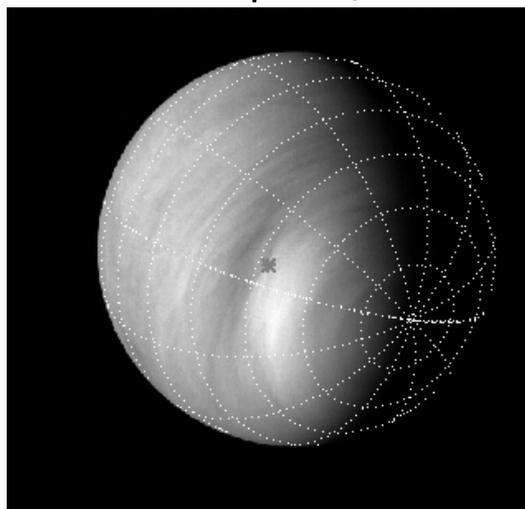


雲追跡について

神山徹 (産総研)

連続した雲画像から風速を推定する

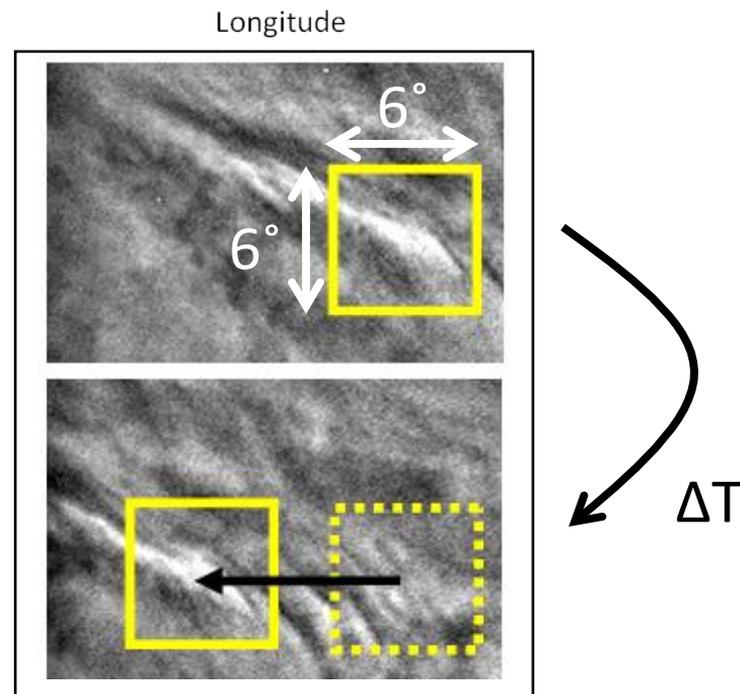
Venus Express/VMC

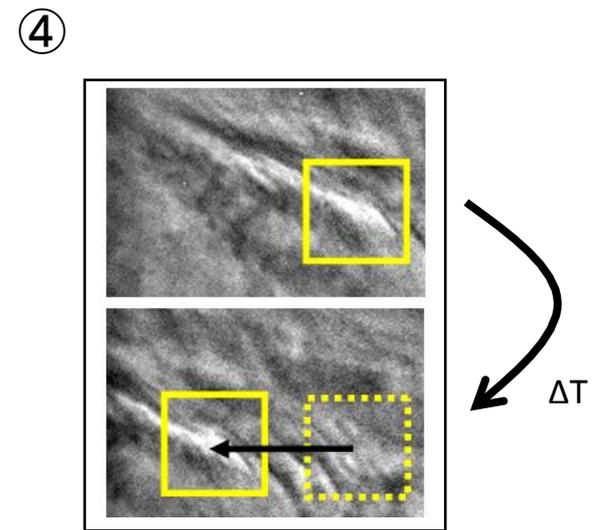
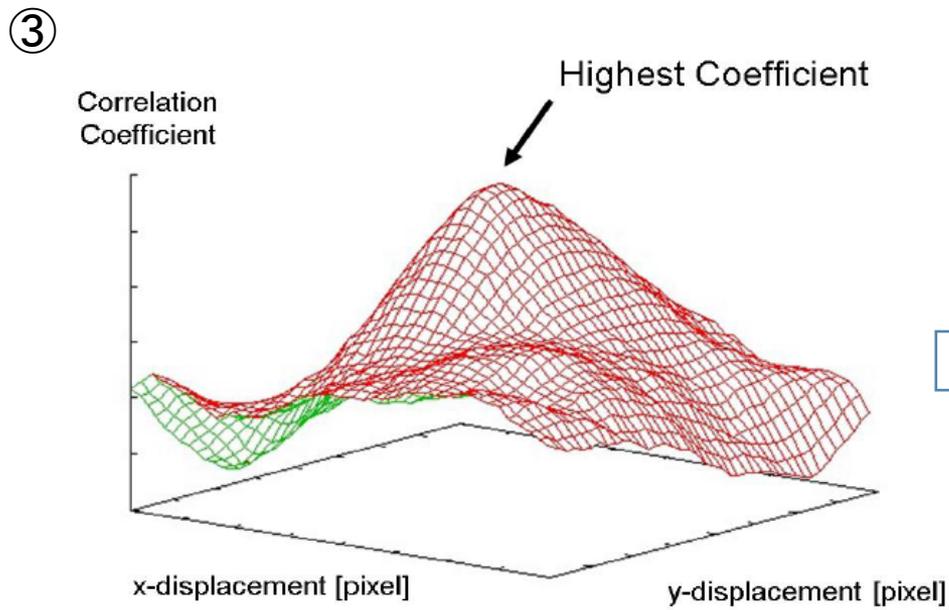
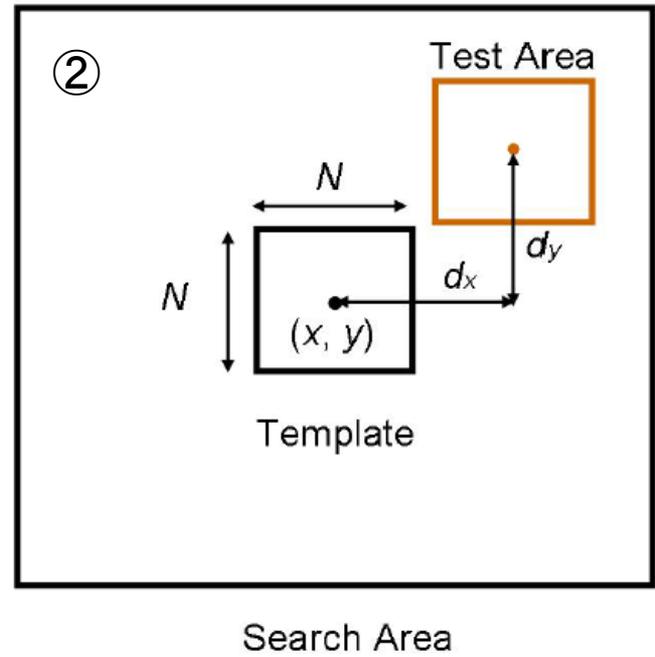
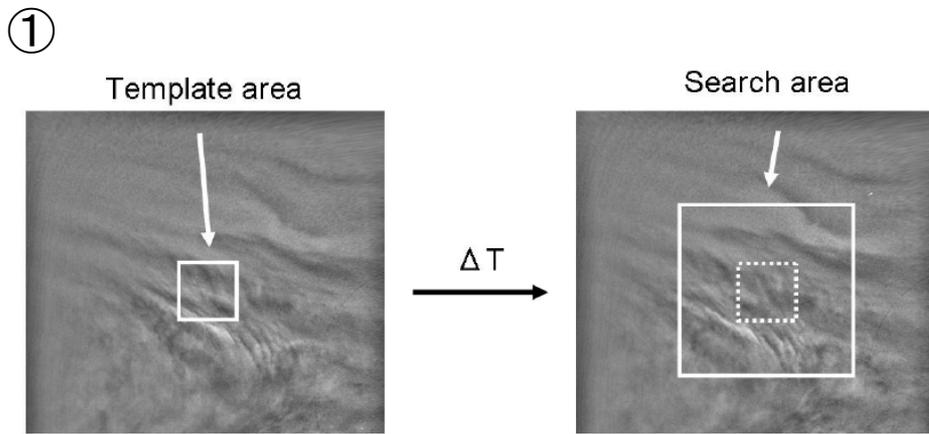


1.金星画像に緯度経度を対応付けし
緯度・経度座標系へ展開

2.雲追跡

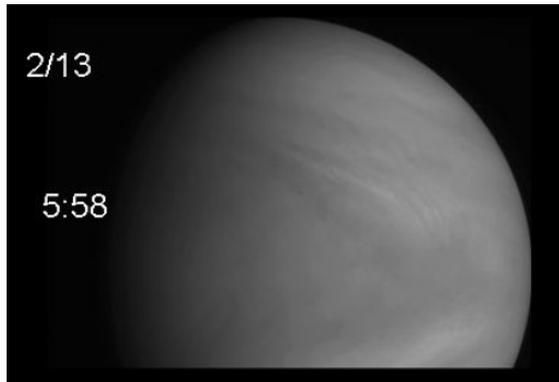
- ・雲の動きから風速を推定
- 画像間の相関を利用した雲追跡
- ・Template: $6^{\circ} \times 6^{\circ}$
- ・緯度経度 3° 毎に配置



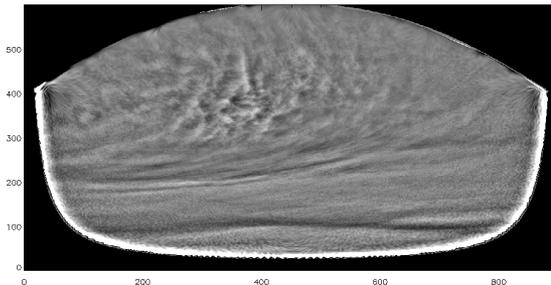


誤追跡ベクトル

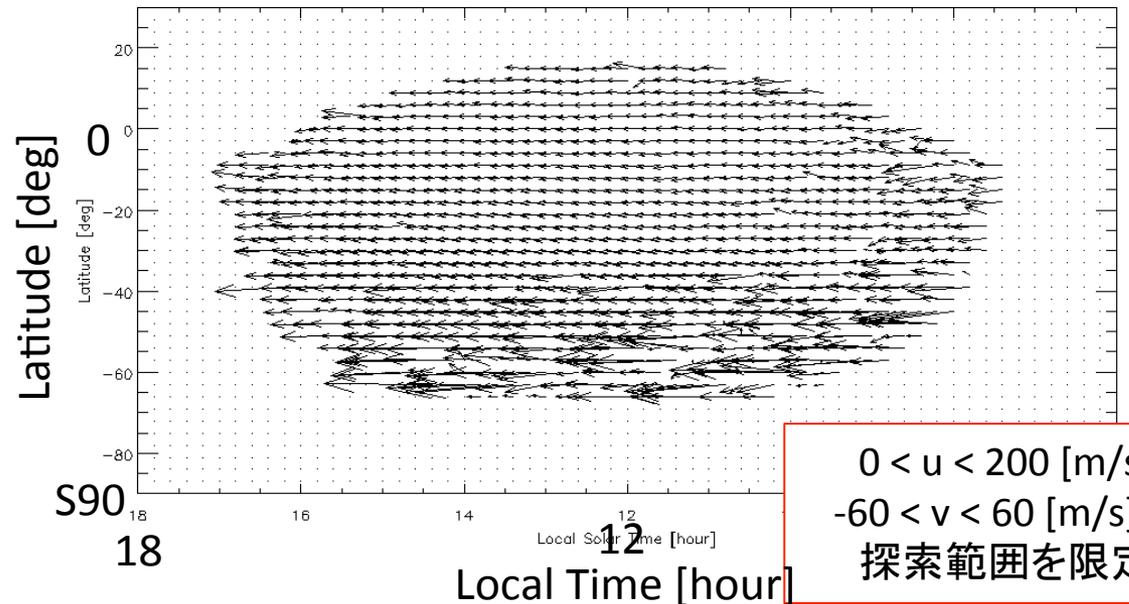
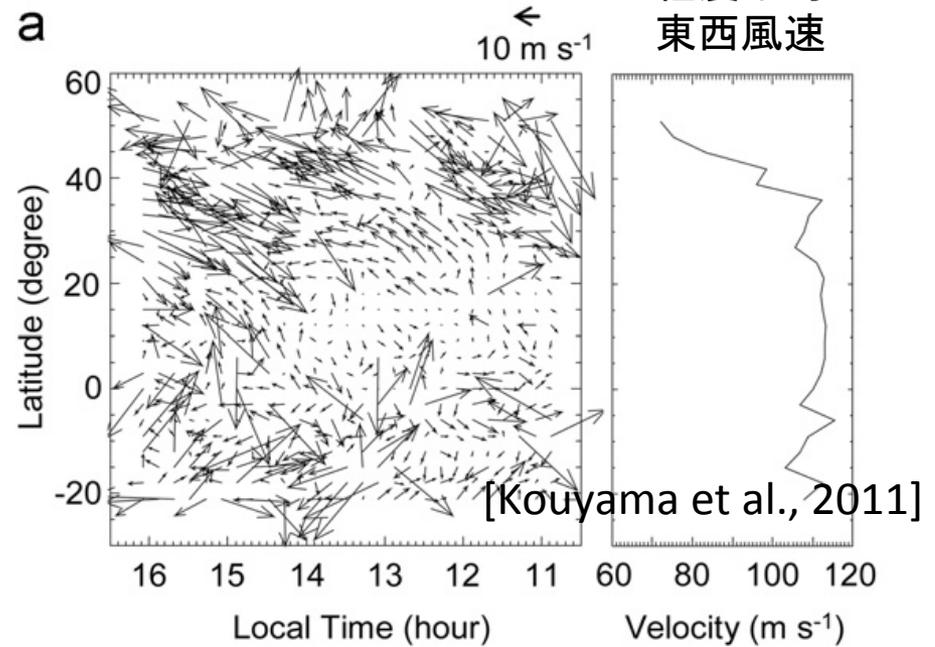
1990年2月13日
Galileo/SSI



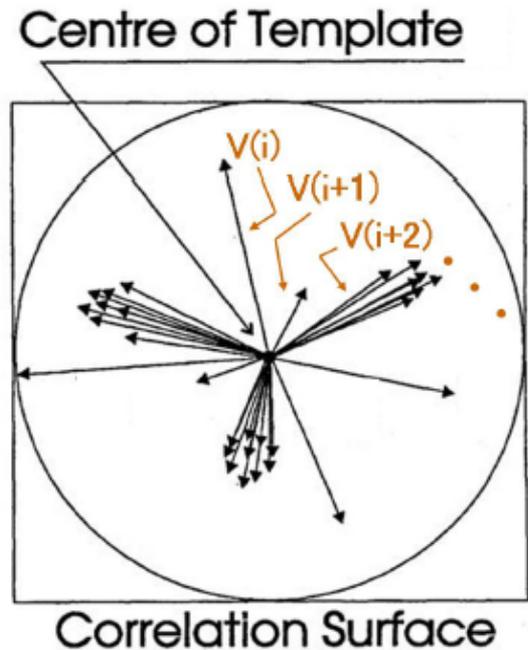
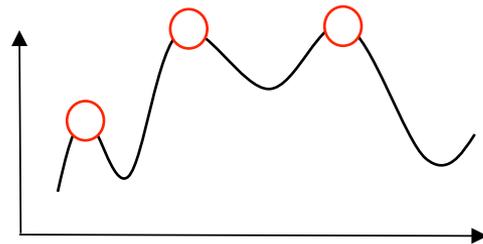
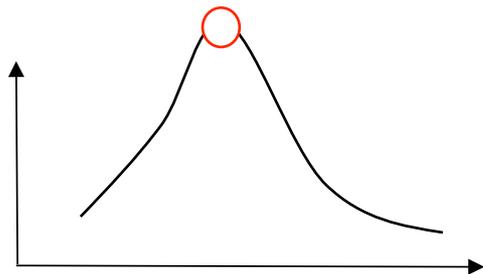
VMC data
軌道: 0462



経度平均からの残差ベクトル



- × いつもシングルピーク
- マルチピークの時もある

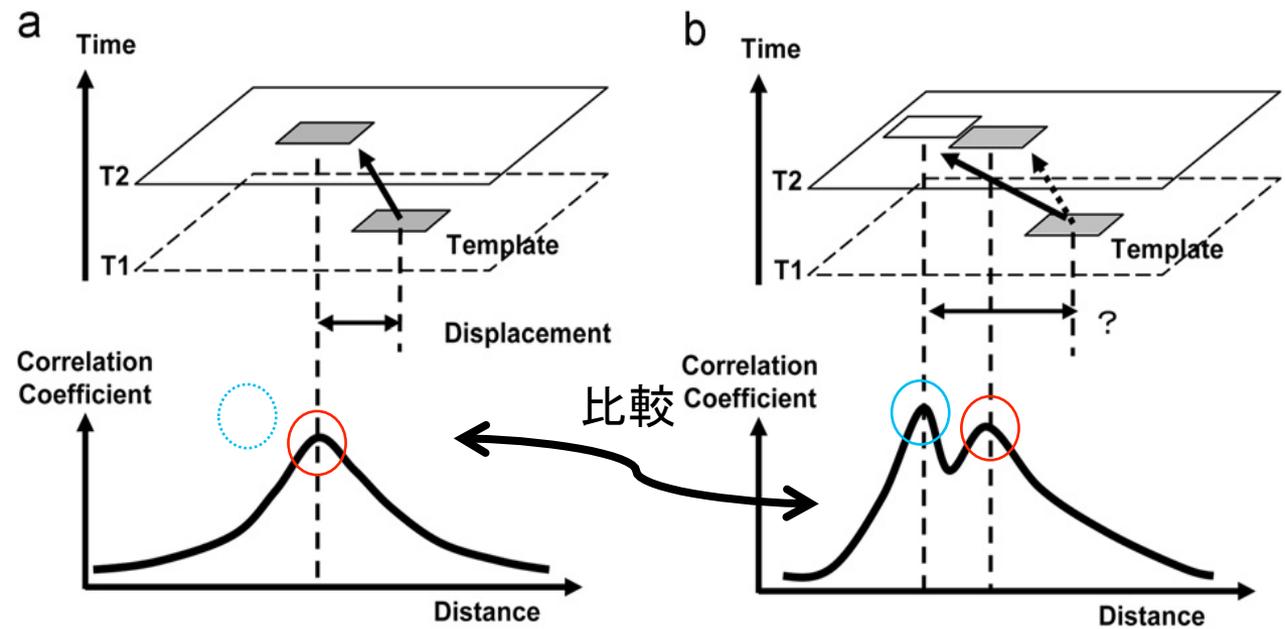
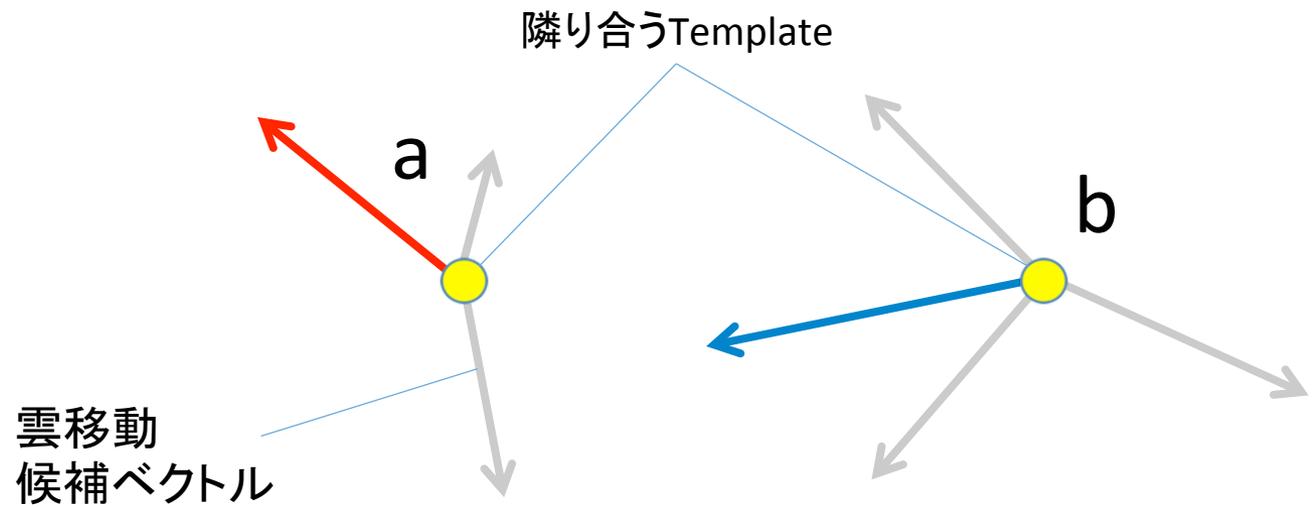


[after Wu, 1995]

- ◇誤ベクトルを減らすための取り組み [Wu, 1995; Evans 2000]
- 2枚の画像組で相関を調べて雲追跡ベクトルを算出
ただし1つだけではなく、多数の雲追跡候補ベクトルを用意
- 隣接するテンプレートの結果との比較をして、
より周りになじむ雲追跡ベクトルを選択する
(流体の運動を念頭)

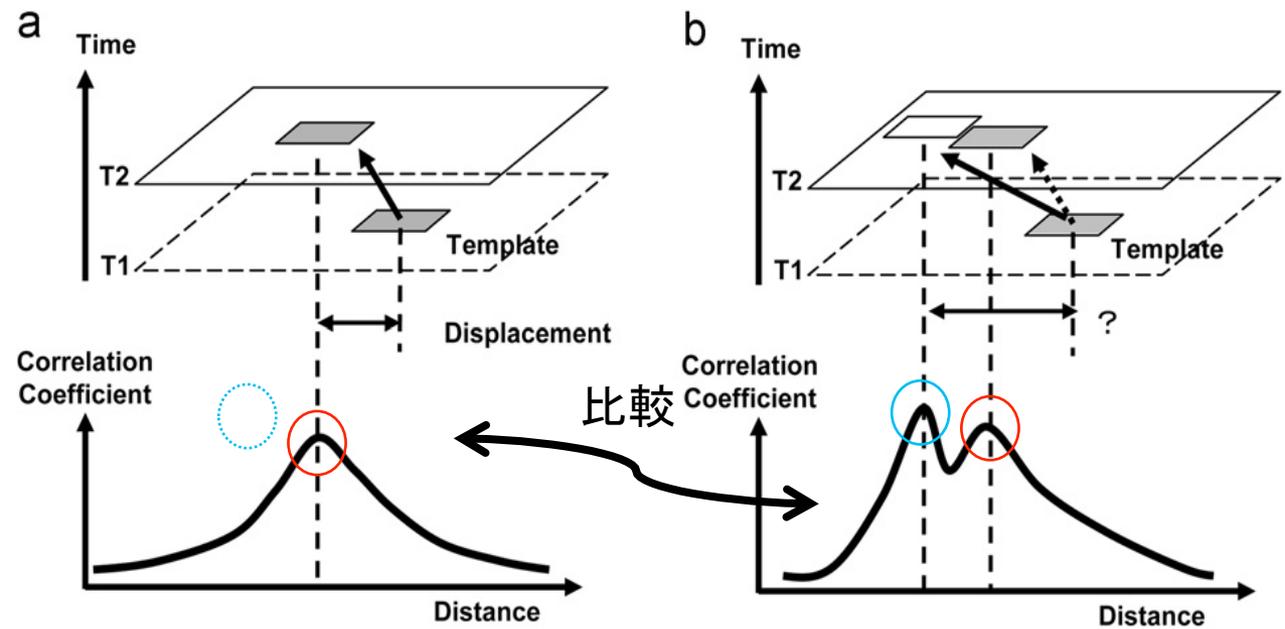
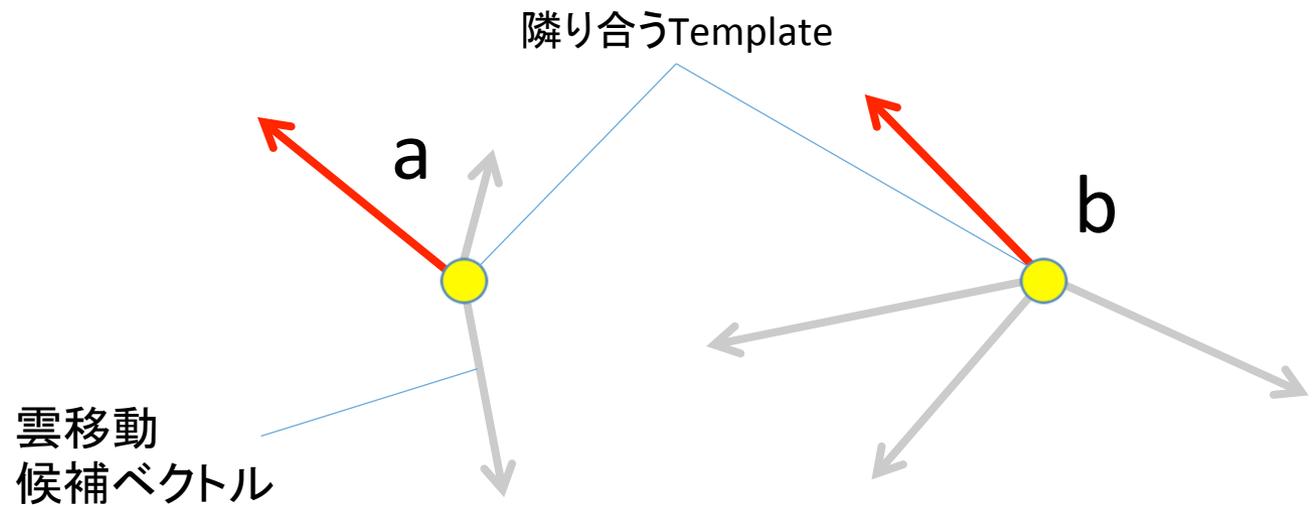
誤ベクトル修正アルゴリズム

[Wu, 1995; Evans, 2000; Fanning]



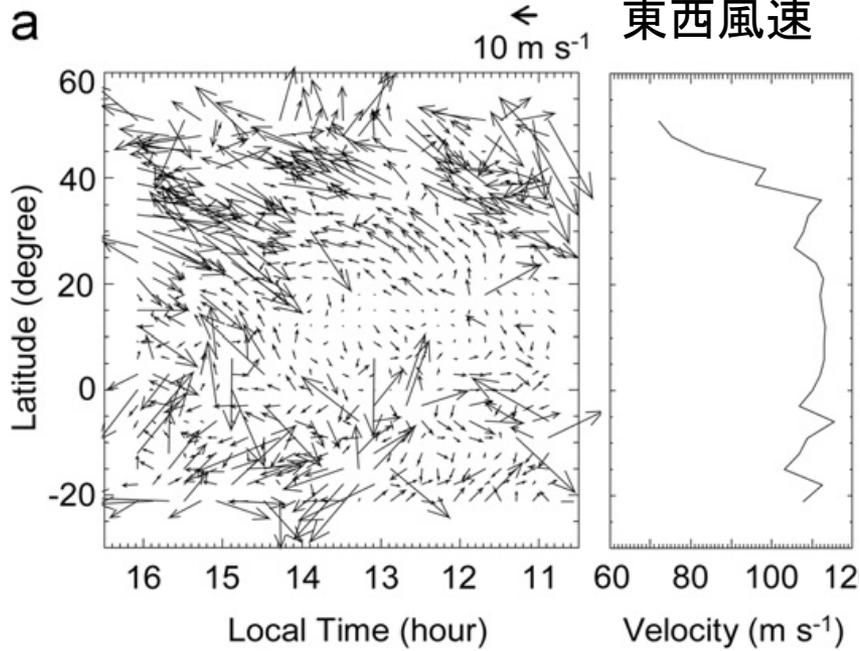
誤ベクトル修正アルゴリズム

[Wu, 1995; Evans, 2000; Fanning]

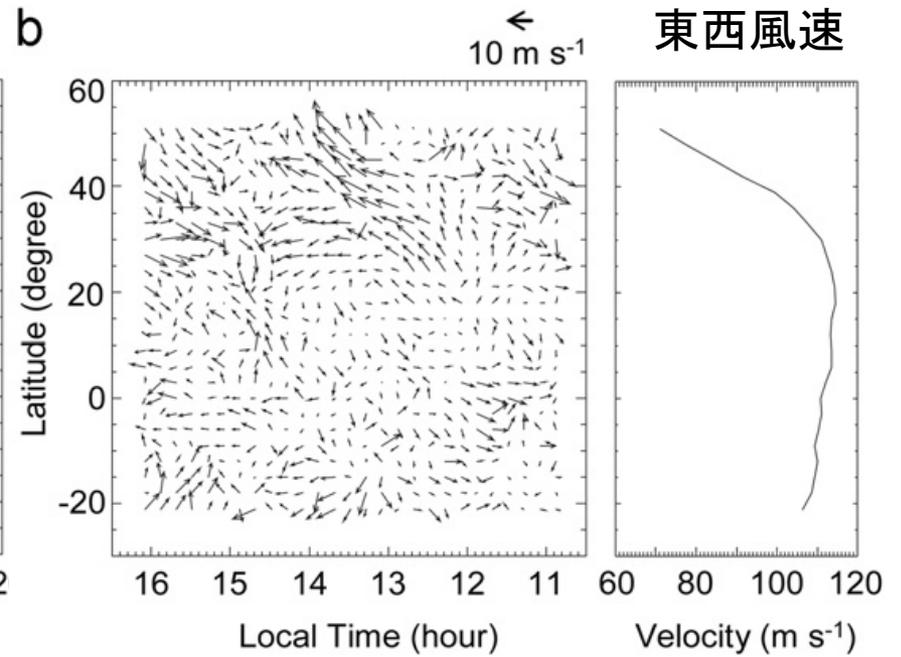


経度平均からの残差ベクトル

誤ベクトル低減処理前



誤ベクトル低減処理後

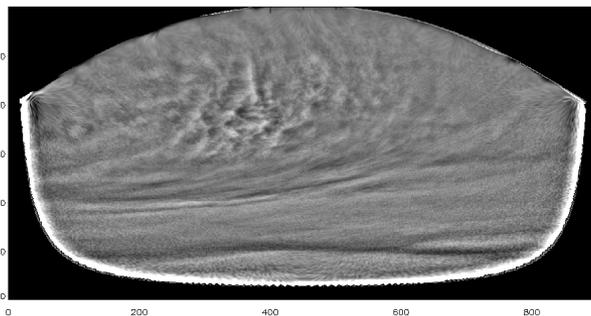
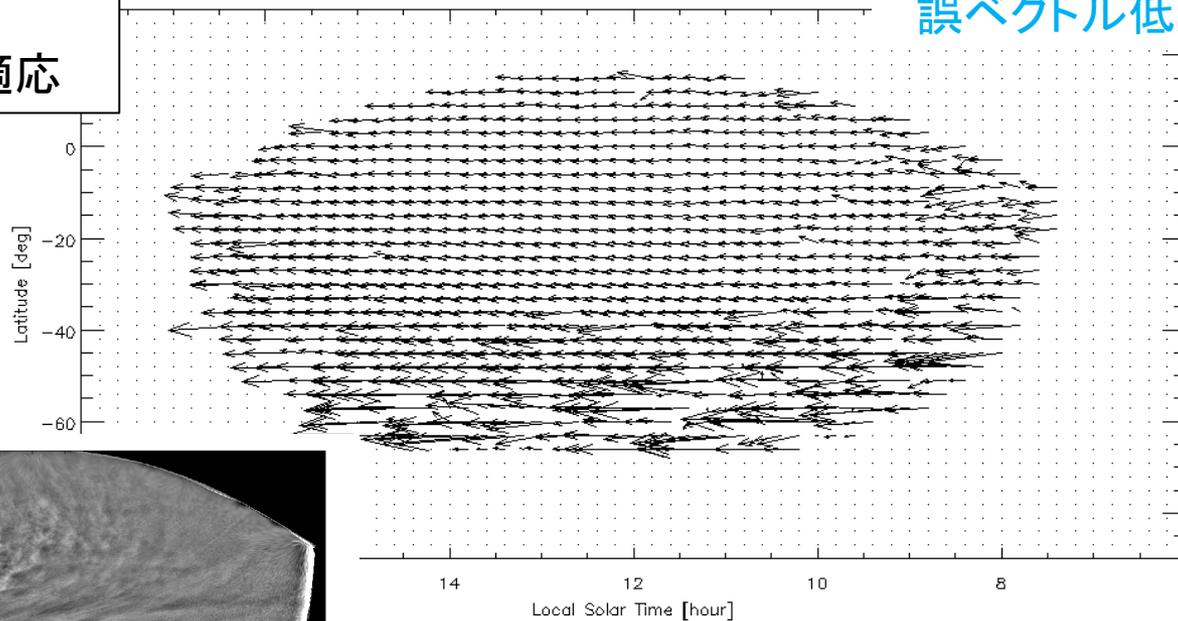


Galileo/SSI, 1990年2月13日取得データに適応

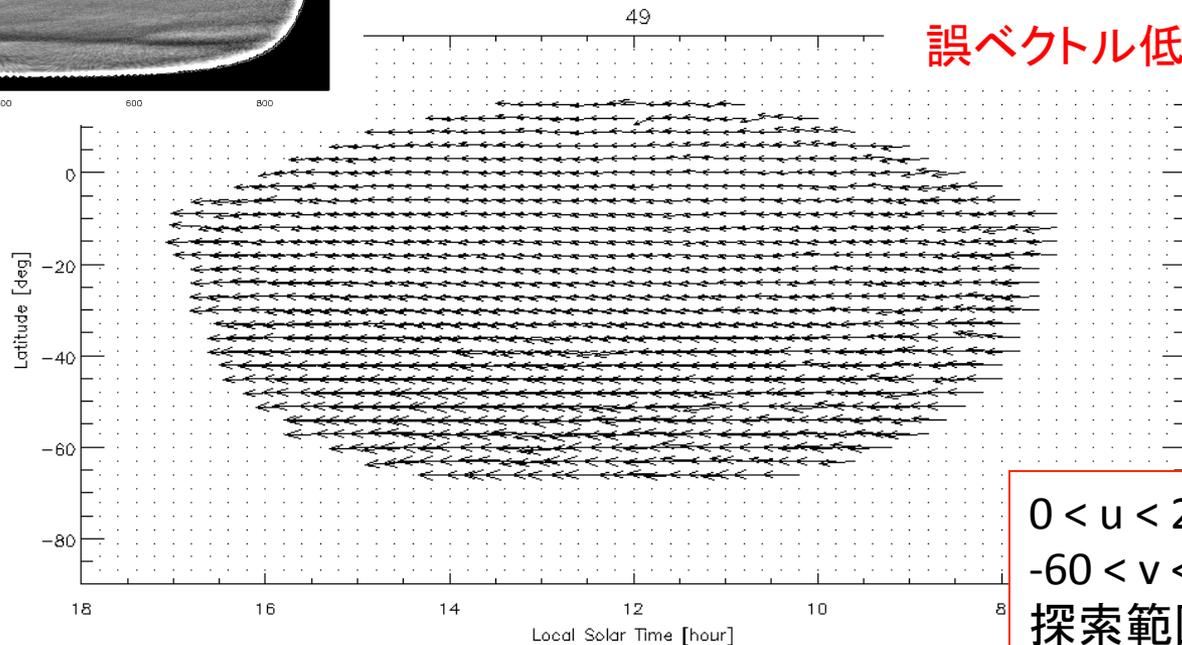
[Kouyama et al., 2011]

VMC data
軌道: 0462に適応

誤ベクトル低減処理前



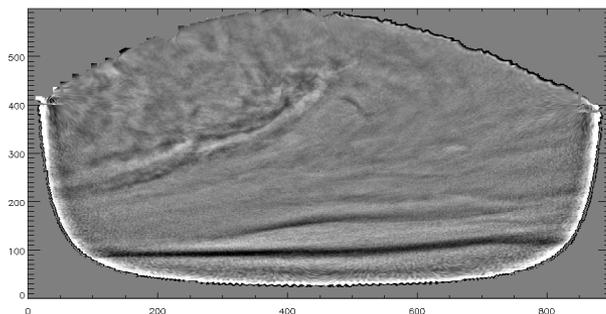
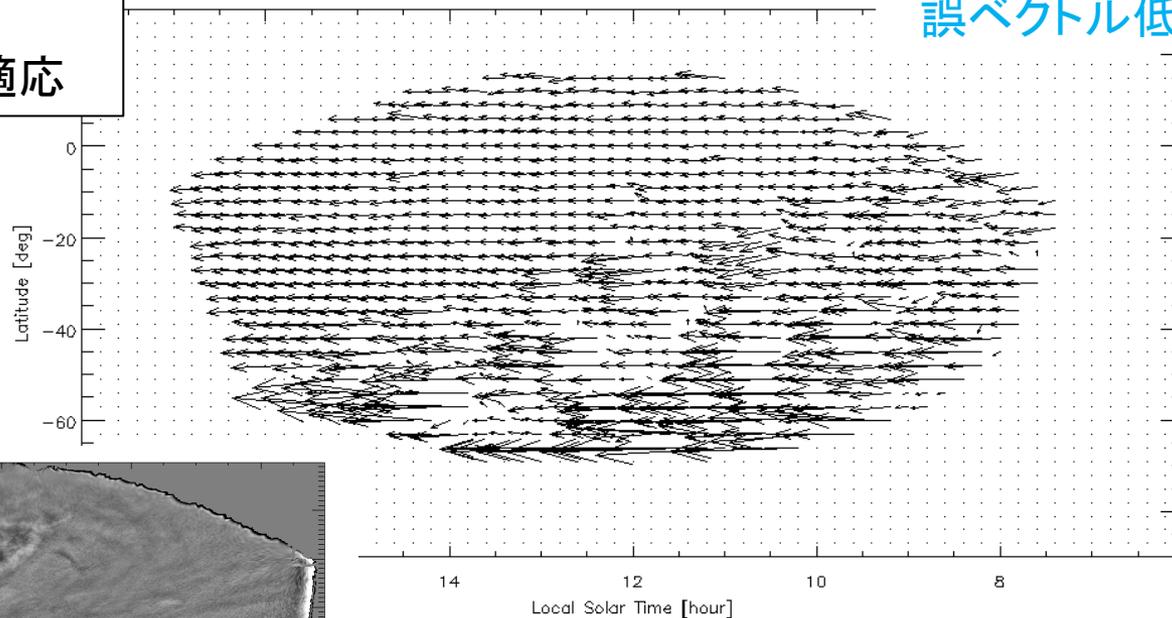
誤ベクトル低減処理後



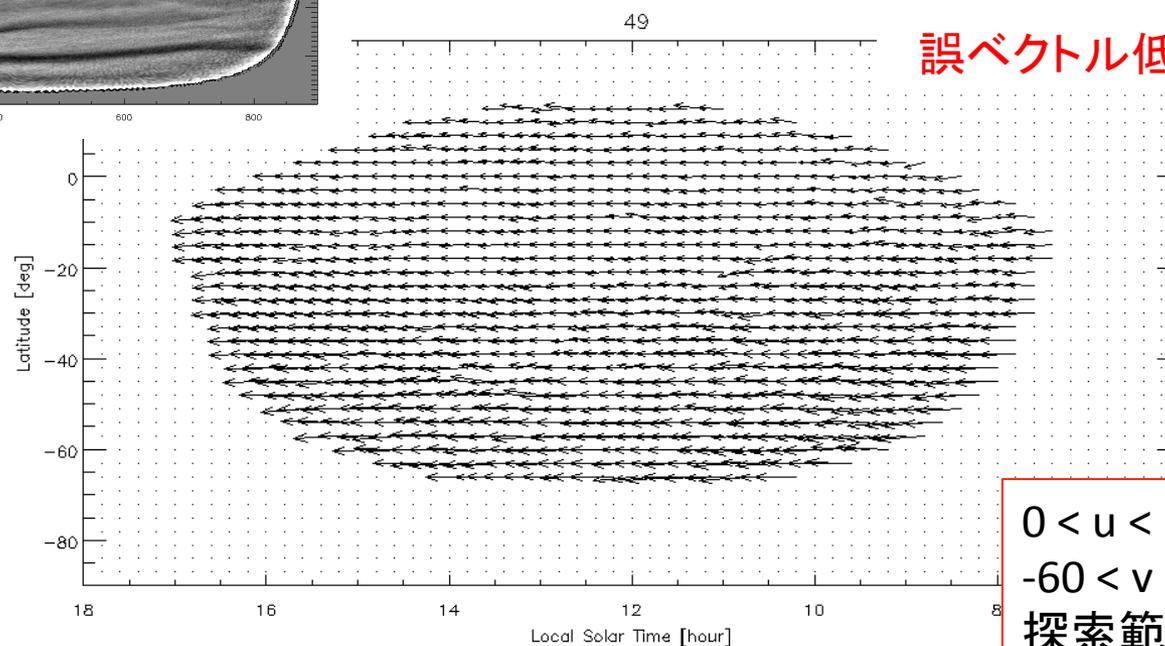
$0 < u < 200$ [m/s]
 $-60 < v < 60$ [m/s]に
探索範囲を限定

VMC data
軌道: 0463に適応

誤ベクトル低減処理前

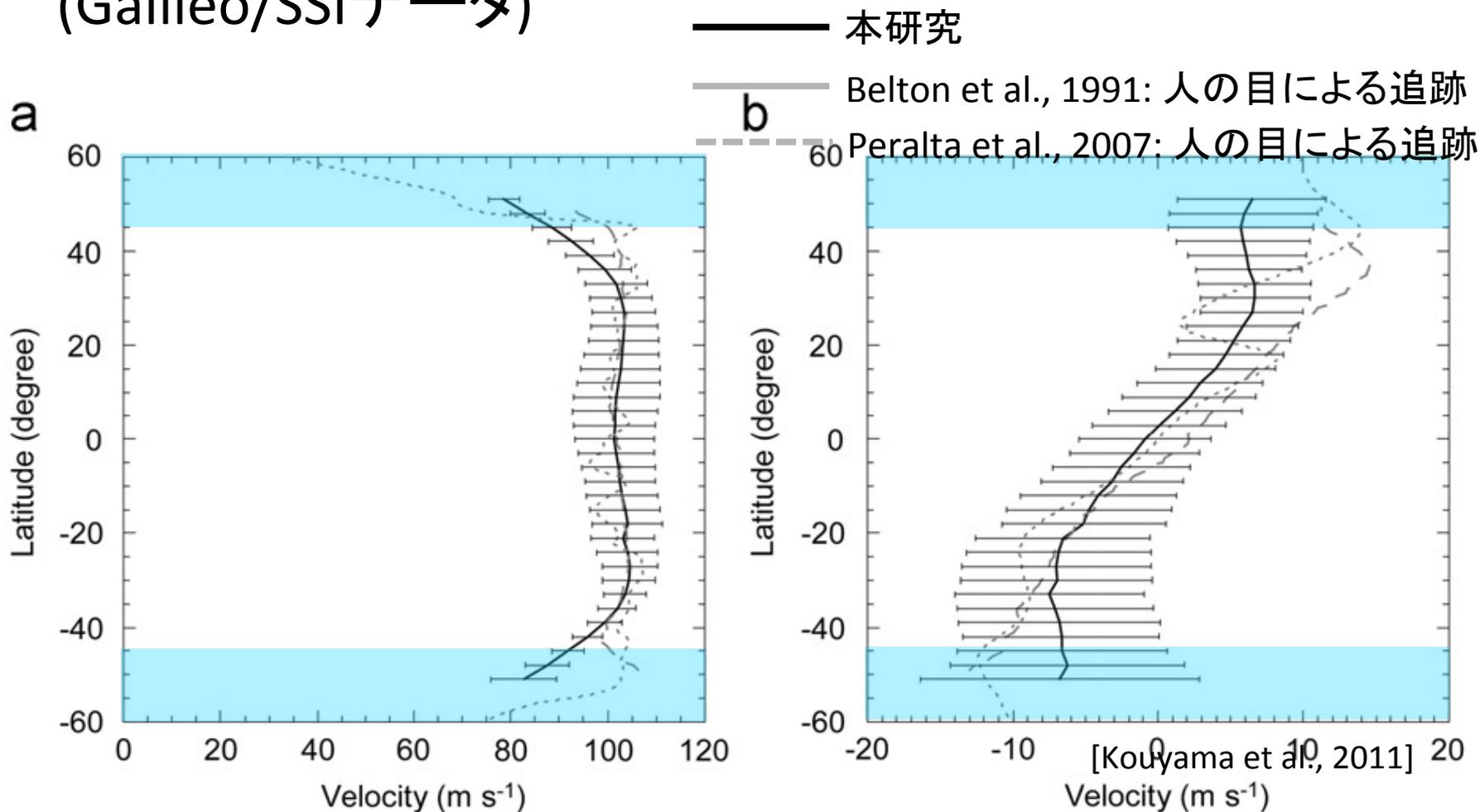


誤ベクトル低減処理後



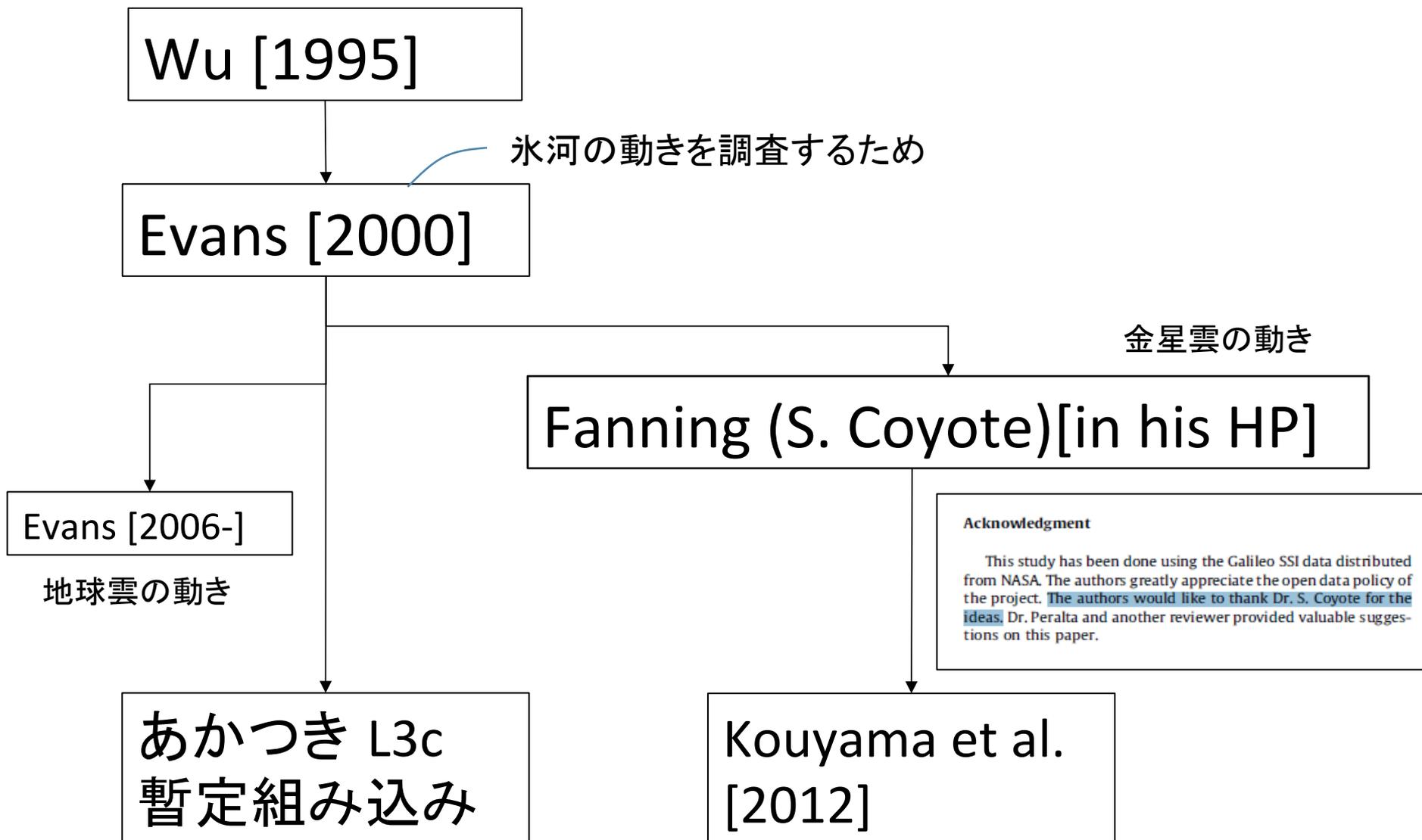
$0 < u < 200$ [m/s]
 $-60 < v < 60$ [m/s]に
探索範囲を限定

同一データセットを用いた風速推定値の比較 (Galileo/SSIデータ)



エラーバーは各緯度における風速の標準偏差
(潮汐構造の振幅・軌道毎の風速変動も反映)

「隣接するテンプレートとの比較による候補ベクトルの絞り込み法」の歴史



[Evans, 2000]

$$P^{(n+1)}(J \rightarrow j) = \frac{P^{(n)}(J \rightarrow j)Q(J \rightarrow j)}{\sum_{\lambda \in \Omega_{2J}} P^{(n)}(J \rightarrow \lambda)Q(J \rightarrow \lambda)}$$

$$Q(J \rightarrow j) = \prod_{I \in G_j} \sum_{i \in \Omega_{2J}} P^{(n)}(I \rightarrow i)R(I, J, i, j).$$

$$R(I, J, i, j) = \exp \left[\frac{|\Delta x_{I,i} - \Delta x_{J,j}|}{\sigma} \right] \cdot \exp \left[\frac{|\Delta y_{I,i} - \Delta y_{J,j}|}{\sigma} \right] D(I, J)$$

各成分の差をそれぞれ

P: 評価に使う関数(≡相関係数)
Q, R: 重みづけ関数
D: テンプレート間距離(のようなもの)
 σ : 調整定数

[Fanning version]

$$p(i) = \frac{p(i)q(i)}{\sum_j p(j)q(j)}$$

$$q(i) = \sum_n \sum_k p(k) \exp \left[-\frac{|v_n(k) - v(i)|^2}{\sigma^2} \right] \left(-\frac{g}{d_n} \right)$$

p: 評価に使う関数(≡相関係数)
q: 重みづけ関数
d: テンプレート間距離
 σ, g : 調整定数

ベクトルの差の絶対値²

(after Kouyama et al., 2012)

[Evans, 2000]

$$P^{(n+1)}(J \rightarrow j) = \frac{P^{(n)}(J \rightarrow j)Q(J \rightarrow j)}{\sum_{\lambda \in \Omega_{2J}} P^{(n)}(J \rightarrow \lambda)Q(J \rightarrow \lambda)}$$

$$Q(J \rightarrow j) = \prod_{I \in G_j} \sum_{i \in \Omega_{2J}} P^{(n)}(I \rightarrow i)R(I, J, i, j).$$

$$R(I, J, i, j) = \exp \left[\frac{|\Delta x_{I,i} - \Delta x_{J,j}|}{\sigma} \right] \cdot \exp \left[\frac{|\Delta y_{I,i} - \Delta y_{J,j}|}{\sigma} \right] D(I, J)$$

各成分の差をそれぞれ



P: 評価に使う関数(≡相関係数)
Q, R: 重みづけ関数
D: テンプレート間距離(のようなもの)
 σ : 調整定数

[Fanning version]

$$p(i) = \frac{p(i)q(i)}{\sum_j p(j)q(j)}$$

$$q(i) = \sum_n \sum_k p(k) \exp \left[-\frac{|v_n(k) - v(i)|^2}{\sigma^2} \right] \left(\frac{g}{d_n} \right)$$

ベクトルの差の絶対値²

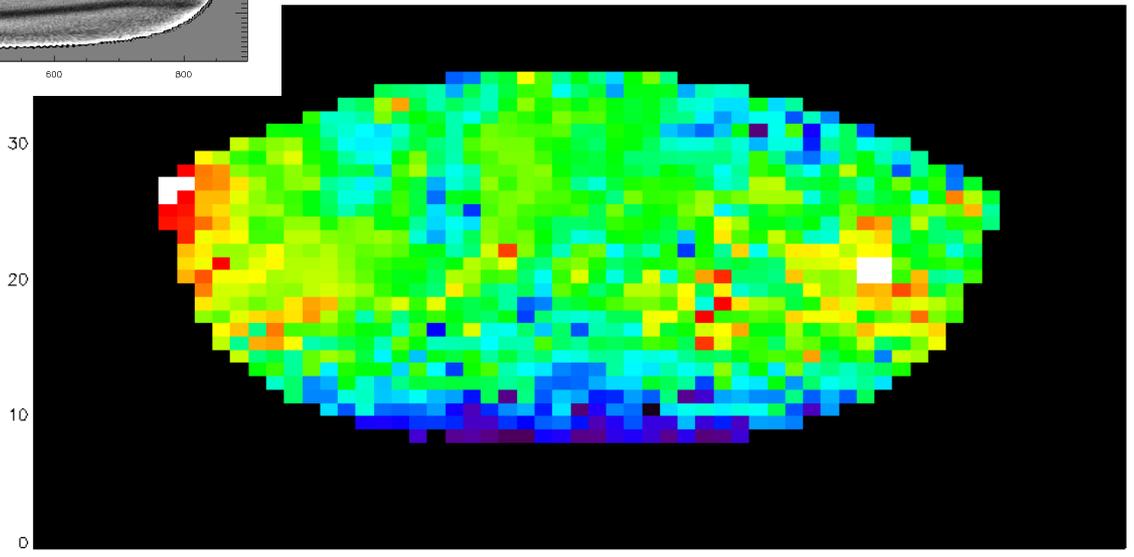
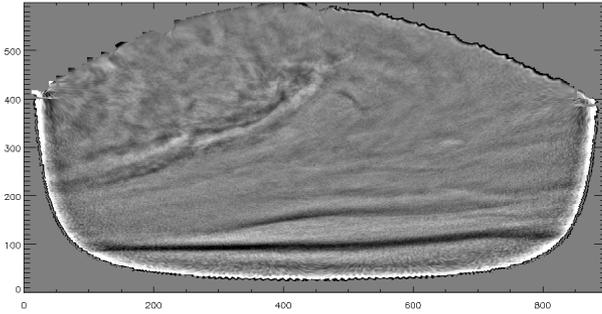
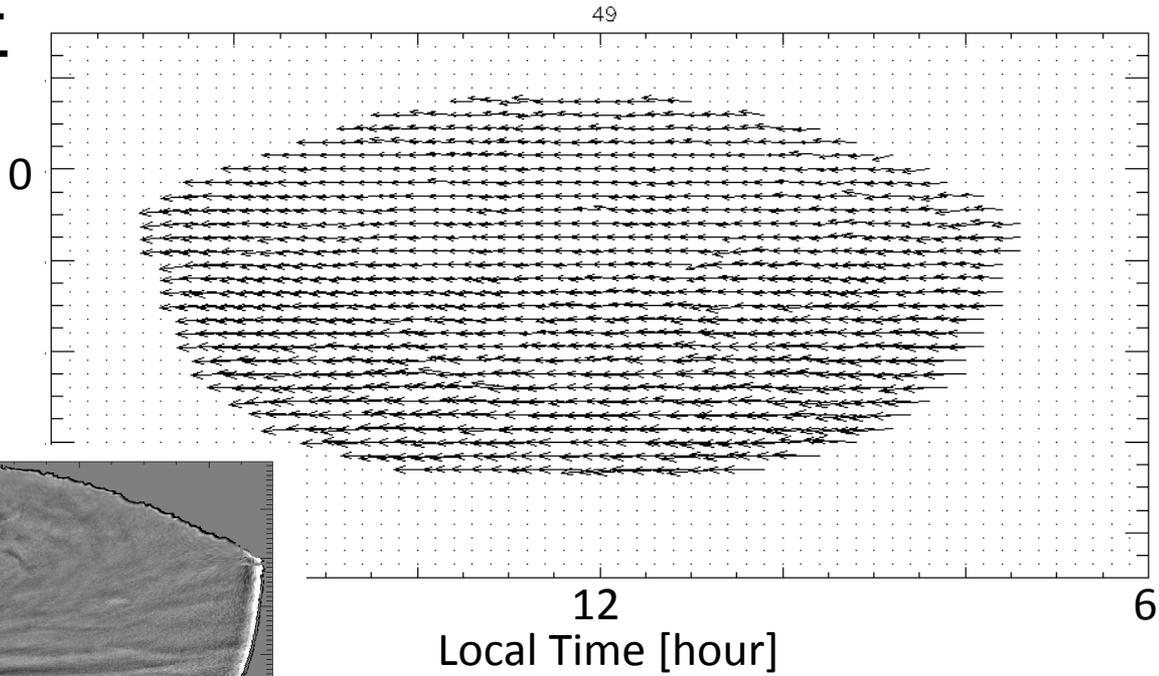


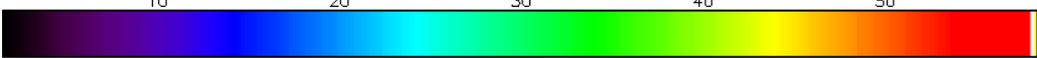
マイナスは
タイポでした。。

(after Kouyama et al., 2012)

誤差評価について

-atitude [deg]

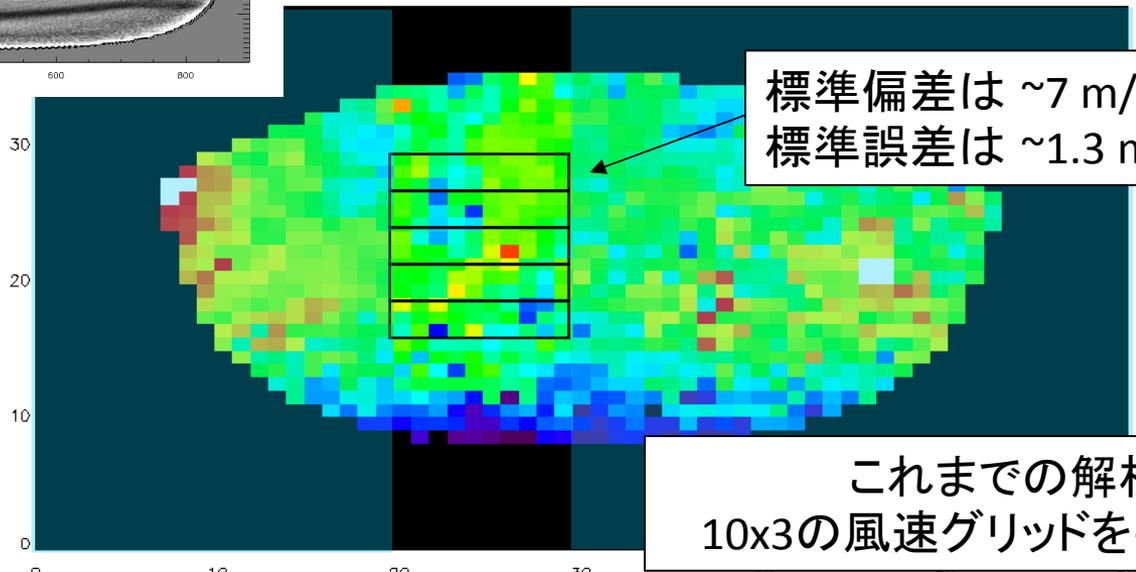
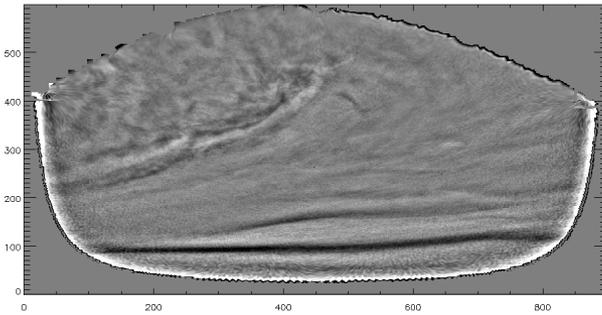
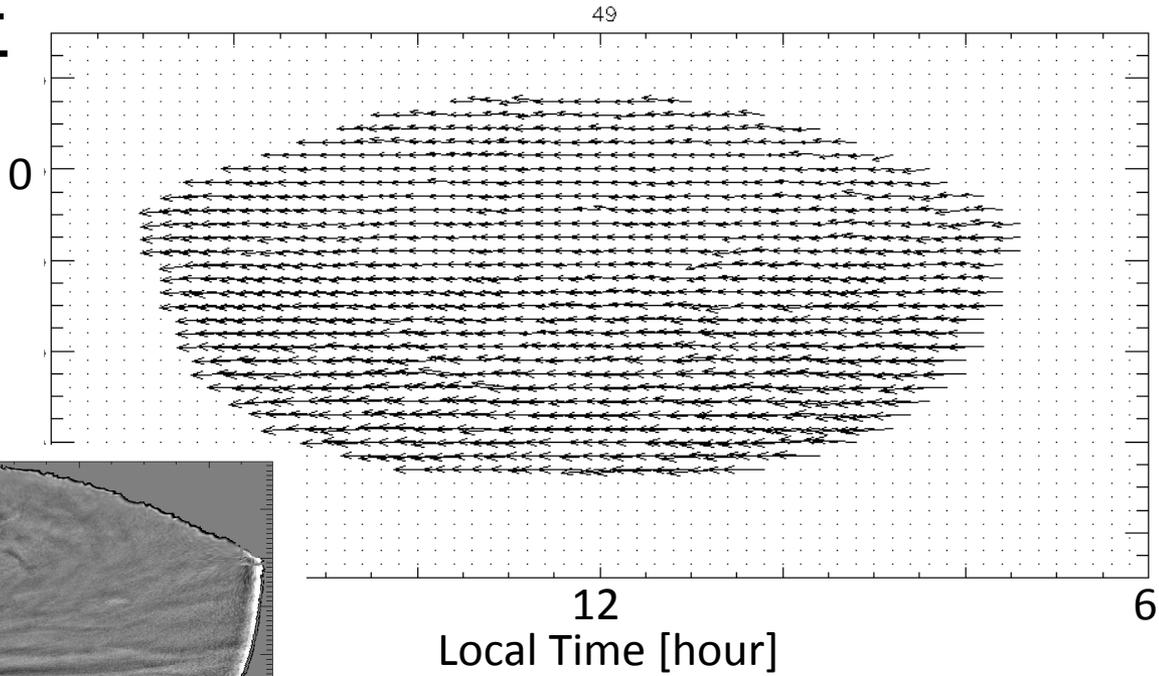


40 [m/s] <  > 120 [m/s]

Detailed description: A color scale bar for the heatmap. The scale ranges from 0 to 60, with major ticks at 10, 20, 30, 40, 50, and 60. The colors transition from black at 0 to purple, blue, cyan, green, yellow, and red at 60. The text '40 [m/s] <' is on the left and '> 120 [m/s]' is on the right.

誤差評価について

-atitude [deg]



標準偏差は ~7 m/s
標準誤差は ~1.3 m/s

これまでの解析では
10x3の風速グリッドを平均して利用

40 [m/s] <  > 120 [m/s]

誤差に埋もれることなく
風速変動をとらえることができる

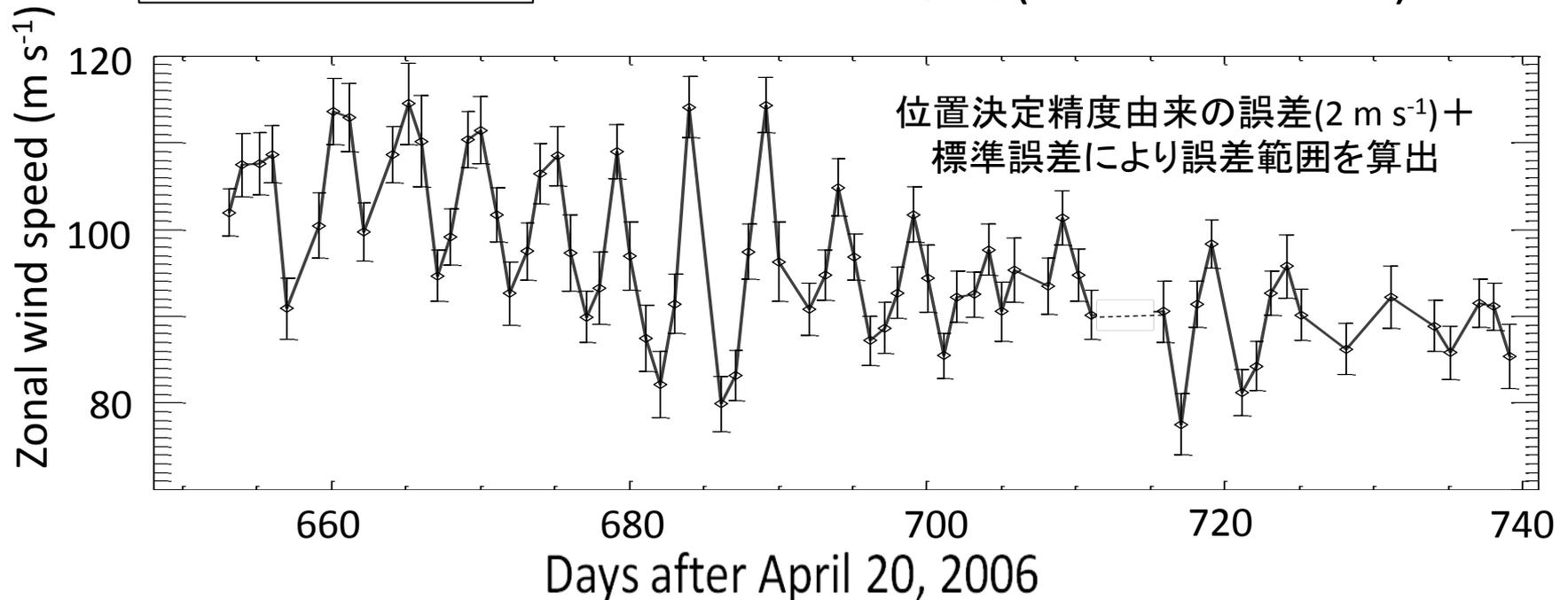
実際のデータへ適用

ように見える

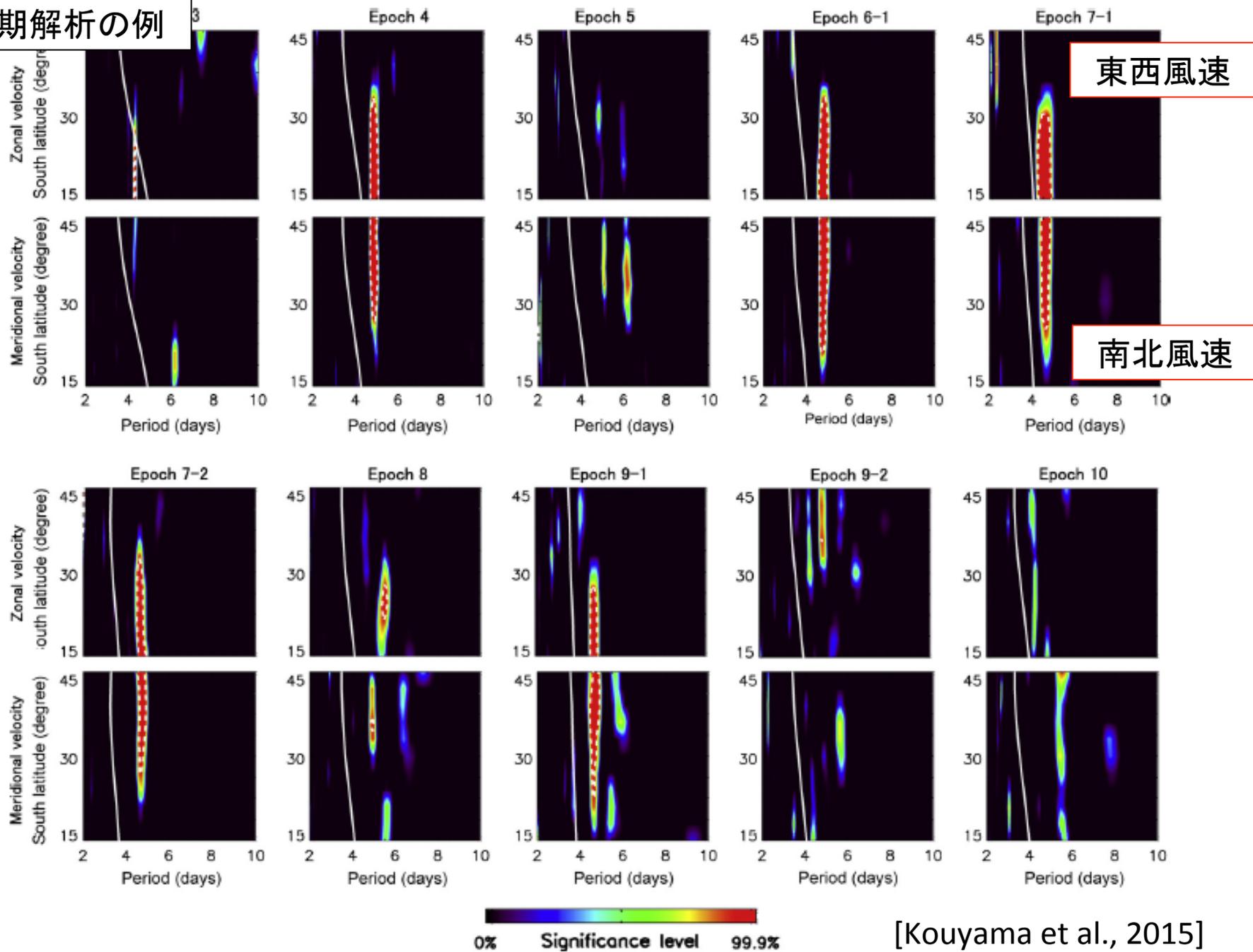
Venus Express / Venus Monitoring Camera: 紫外雲画像

ローカルタイム13時
緯度18°S

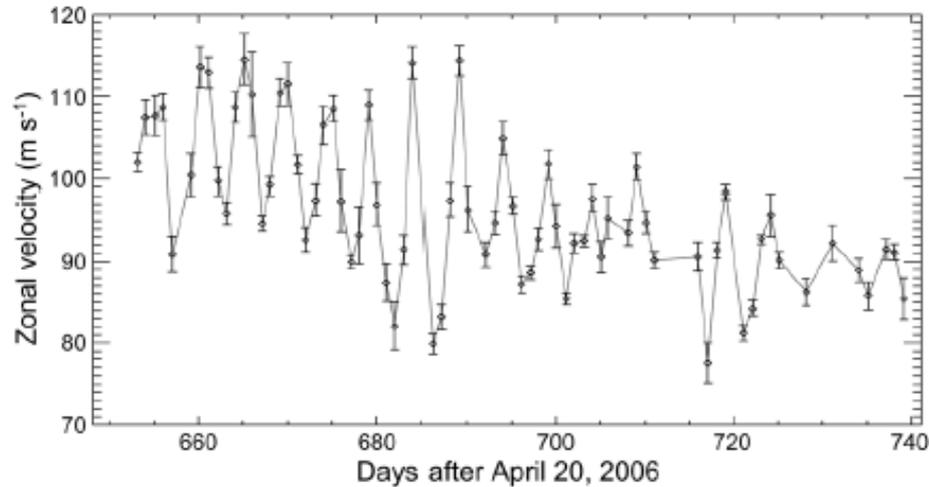
データ期間: 2008年1月28 – 5月1日
30ベクトル平均(Lon:30° × Lat:9°)



周期解析の例

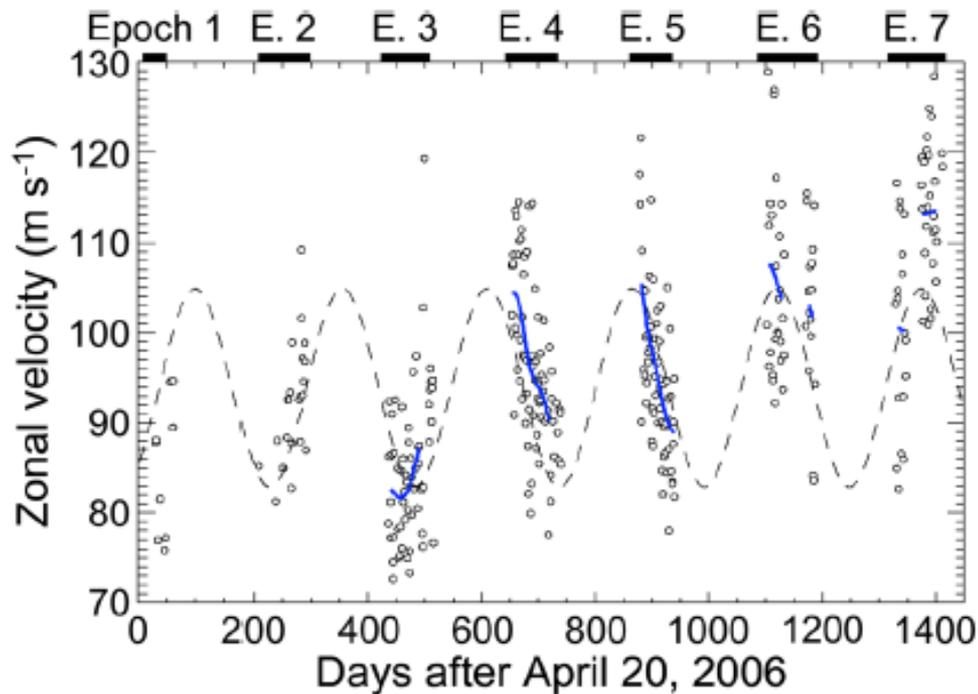


[Kouyama et al., 2015]



数日周期の 風速変動の同定

- Kelvin波的
- Rossby波的

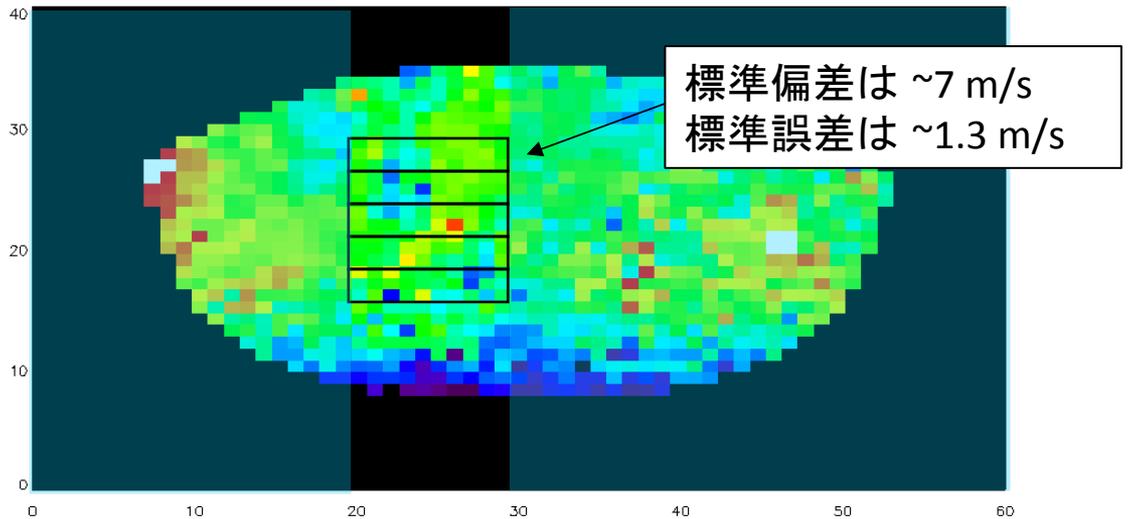


長期的な風速変動

金星年単位の風速変動？
[Kouyama et al., 2013]

もっと長い(~10年)長期変動
+ 小さな季節性の年変動？
[Khatuntsev et al. 2013]

誤差評価について



◇領域内の風速分布の標準偏差は

1. 本来の誤差(画像ノイズ、雲の曖昧さ、誤ベクトル等)によるばらつき
 2. 風速分布からくる真の分布(潮汐構造など)
- が混ざったもの。これを着目ベクトルの誤差として採用すると、1由来だけのものよりは大きいので、過小評価はしていないと期待。

◇平均値を使うことでランダム誤差は統計的に減少(=標準誤差)
(ただし空間分解能は犠牲)

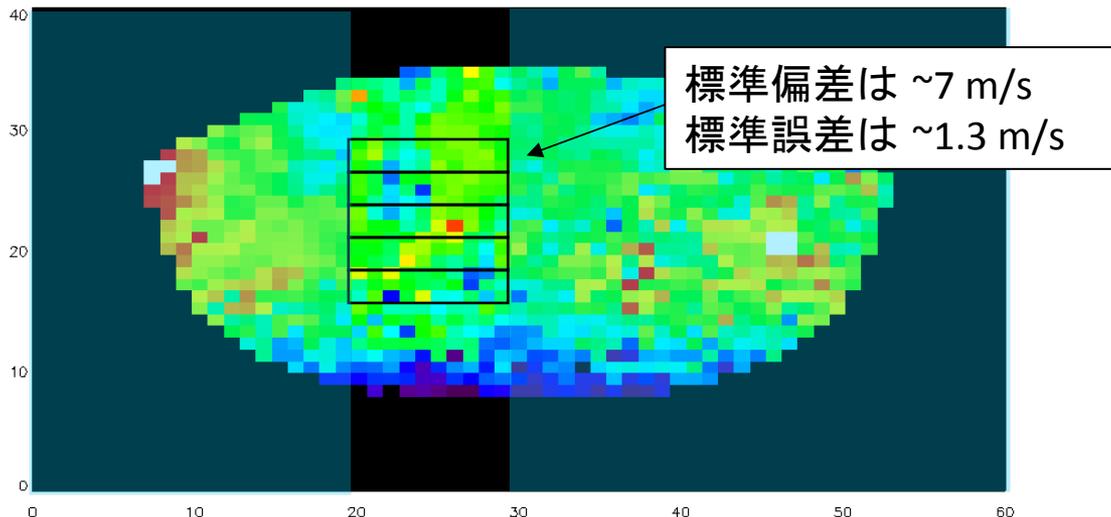
◇系統誤差(ベクトル間に共通するバイアス)は減少しない

・採用した手法によって生じる系統誤差は正直なところ

よくわかっていない(誤ベクトルは本当に低減されているの?)

→これまで人の目による結果と整合する、赤道-45°までの解析のみを発表

誤差評価について



◇「なるべく正しい雲追跡ベクトルを求めたい」

+「リーズナブルな誤差をつけたい」 少なくとも過小評価は避けたい

◇相関曲面(ピークの高さや尖度)を利用した誤差評価は実施せず
(いろいろ考察。。。)

●誤ベクトルを選択してしまった場合、相関曲面ピークでの誤差評価は
雲追跡に対しては意味を持たない(それぞれのピーク位置に対しては意味あり)

●誤ベクトルを選択してしまうことこそが最大誤差要因

・誤ベクトルを選ばないことが最大の品質改良手順

それでも誤ベクトルを選んでしまう可能性があるなら、それは誤差に反映すべき

・相関曲面で評価される誤差はベクトルのばらつきとなって現れるはず。

=> とある領域の標準偏差を誤差とみなすのが理にかなっていきそう？

誤差評価おまけ

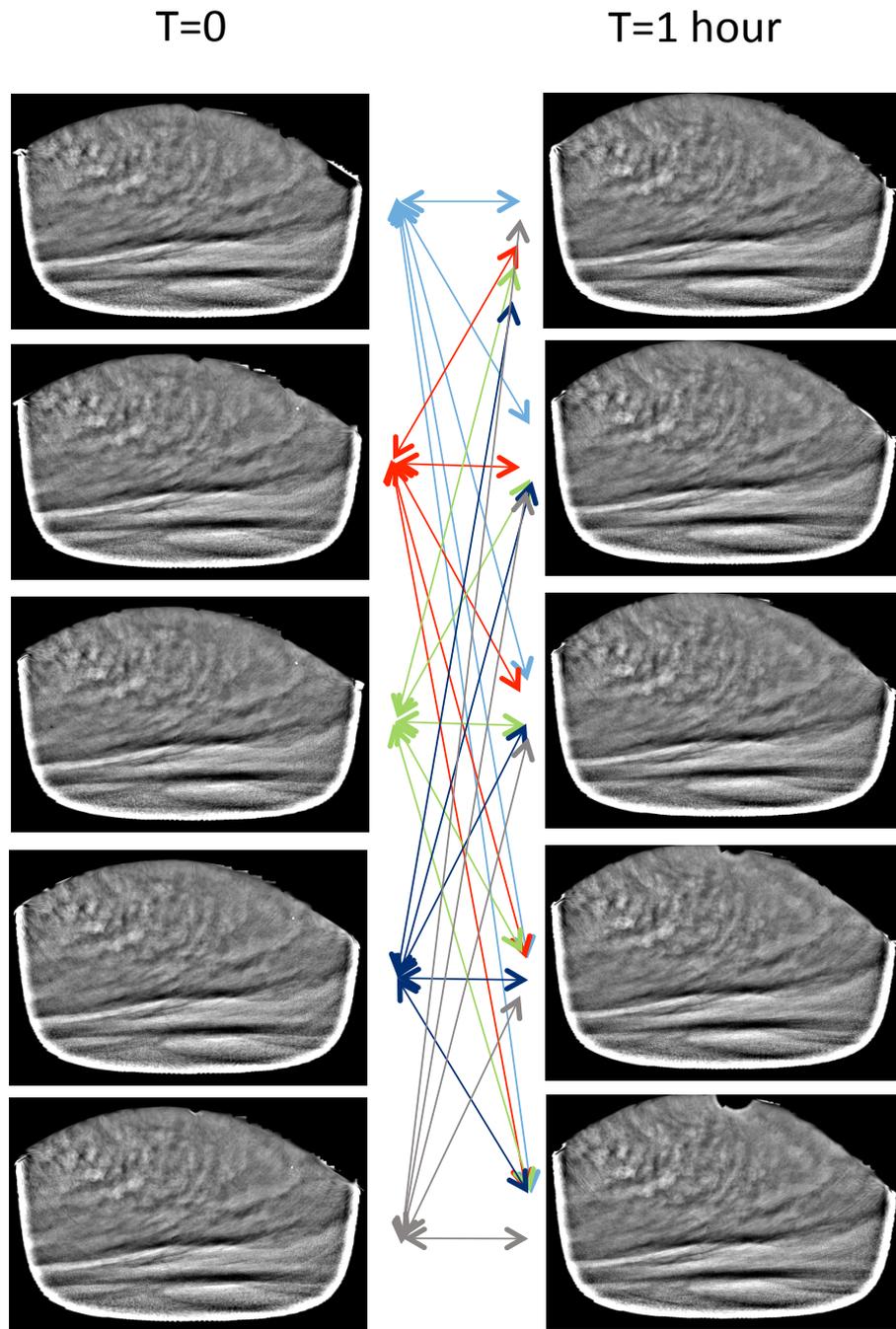
軌道番号 470の撮像データを利用
1枚目が撮像された時間をT=0とすると
10分以内に撮像されたデータが5枚と、
1時間後に同様に5枚のデータが存在

T=0グループと
T=1グループで
5x5=25組の速度場を算出

同一地点でのベクトルばらつきから 6.5分
誤差(標準偏差)を導出

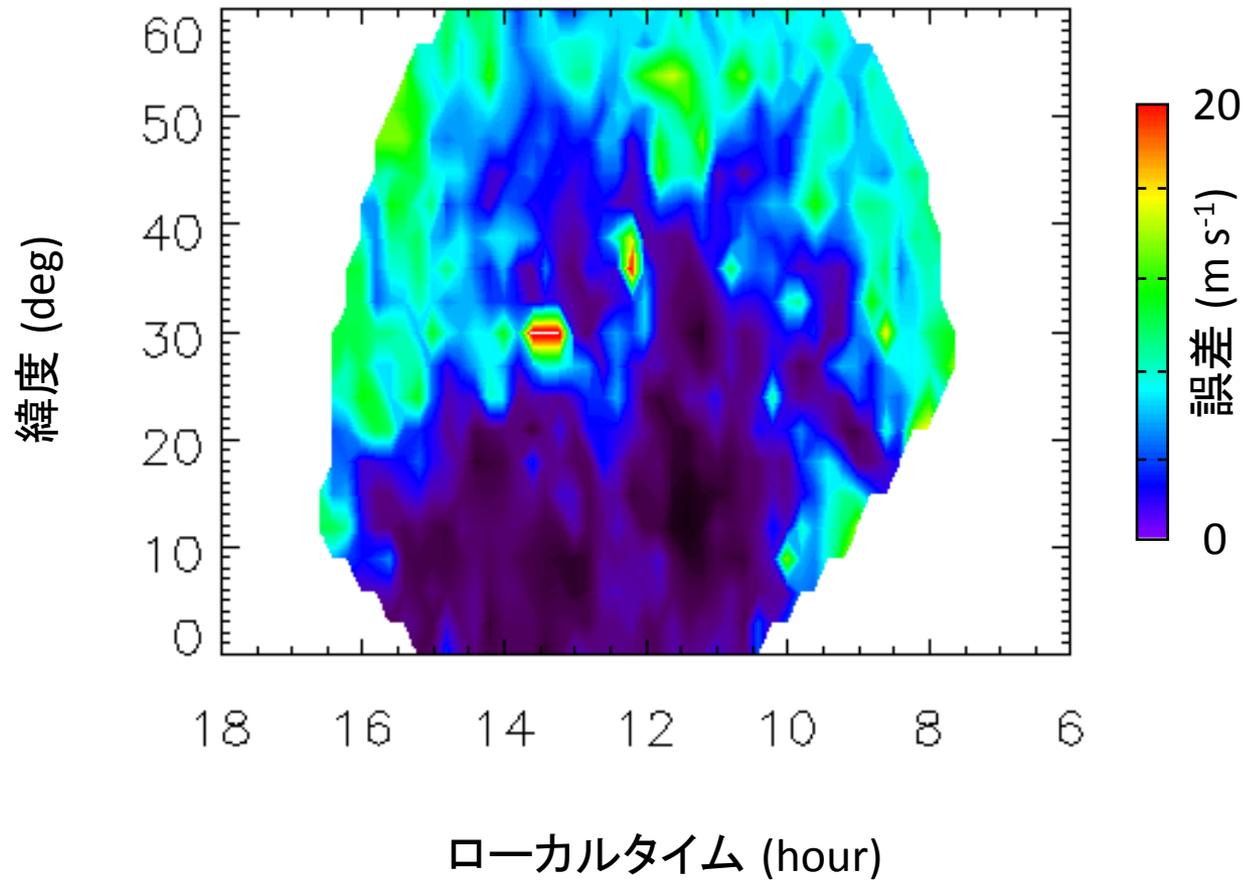
ばらつきの要因は
撮像毎に変化する
・位置決定誤差
・画像のランダムノイズ

ただし模様によって
ノイズの影響の度合いが異なるはず 9.5分



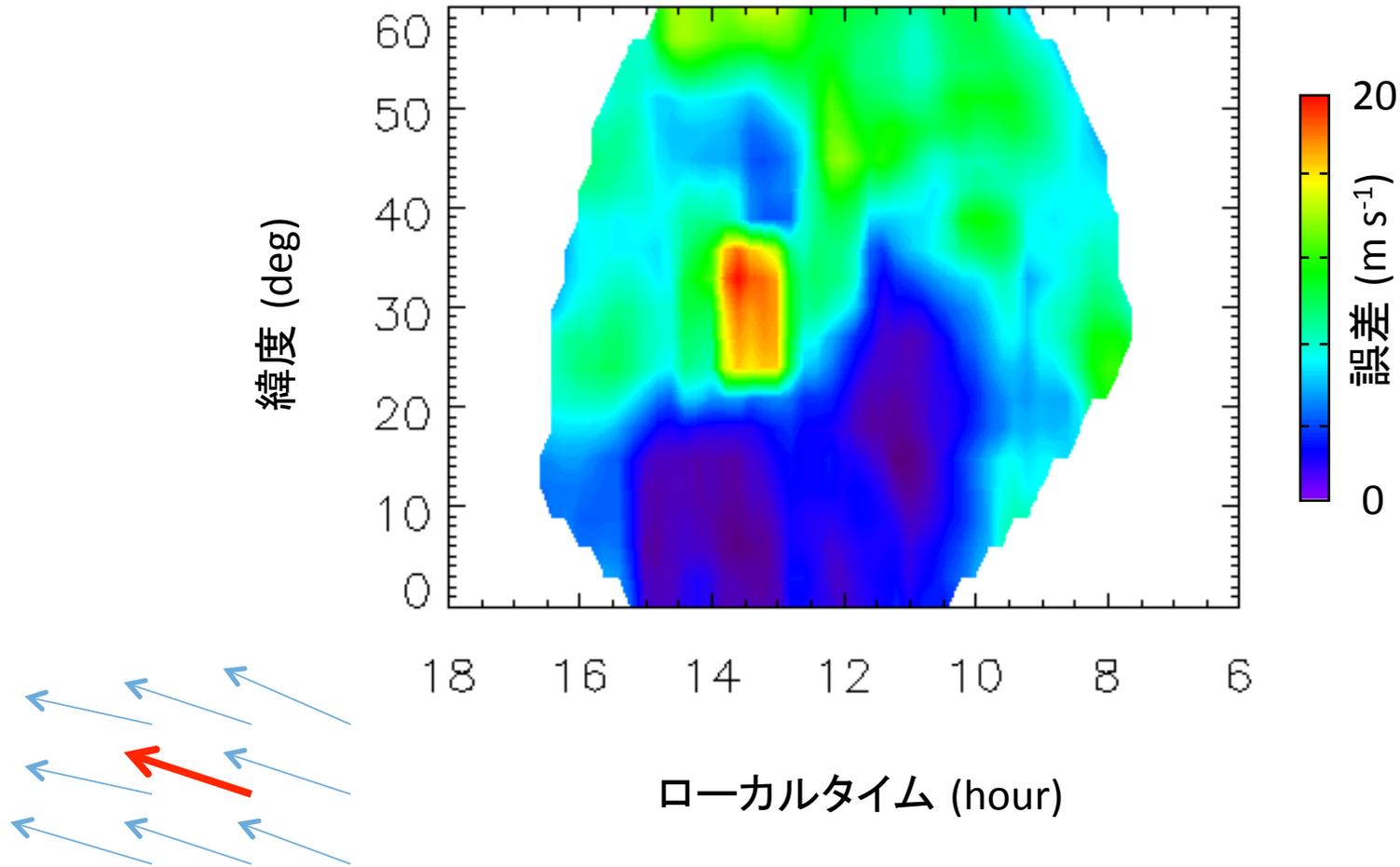
結果1

25組の東西風速の速度場から求めたばらつきを誤差とした場合

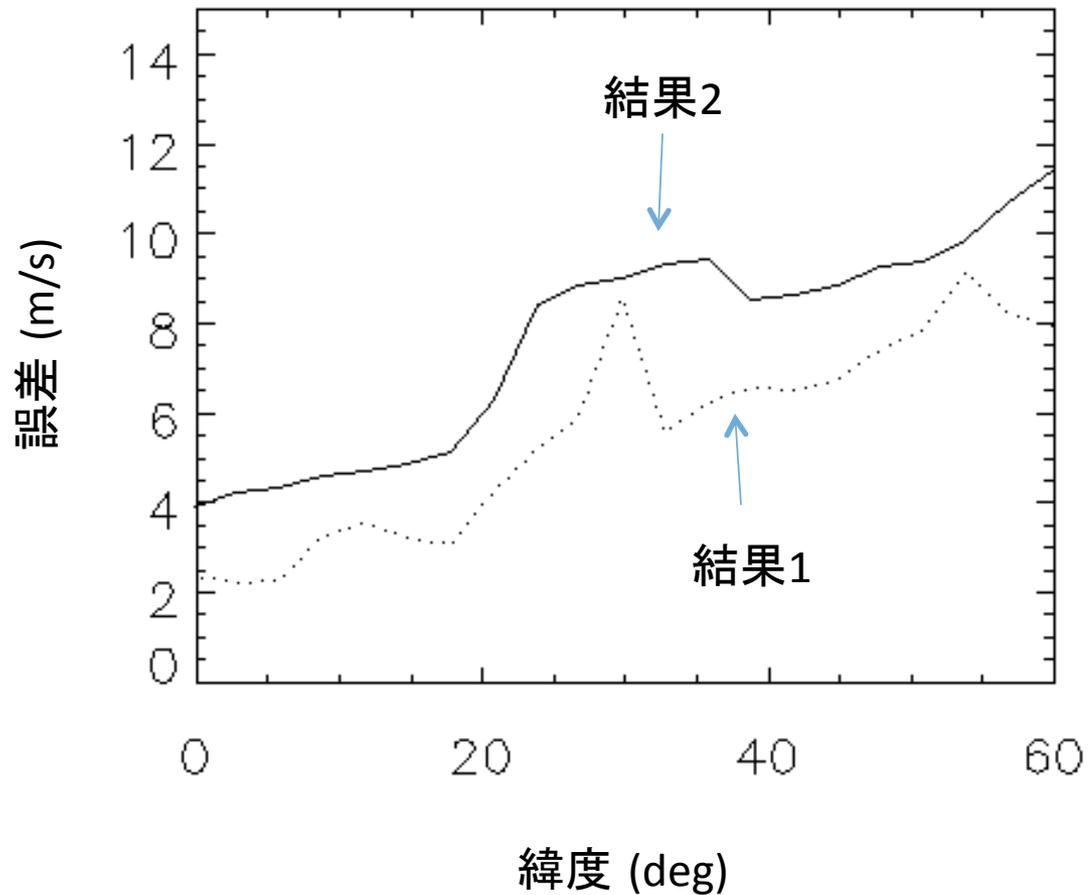


結果2

着目した速度ベクトルとその周りの8ベクトルを使って
ばらつきを求め、それを誤差とした場合

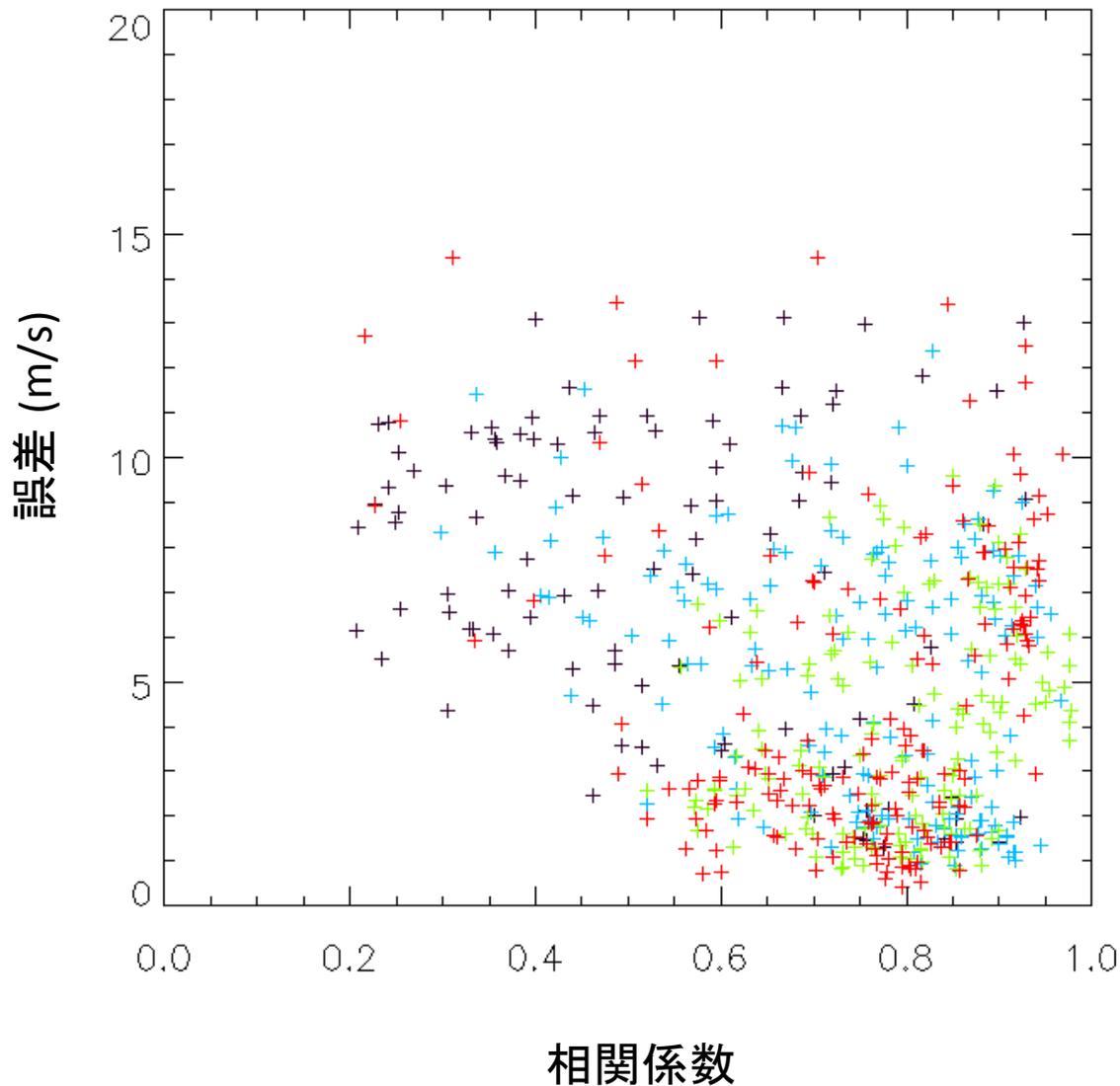


結果1と結果2の比較から



着目した速度ベクトルとその周りの8ベクトルを使って求めたばらつきは
過大評価気味ではあるが誤差の上限を押さえることができる

誤差の大きさと相関係数の関係



相関が高くて
誤差が小さくなるとは限らない

	緯度幅	誤差と相関係数の相関
+	< 60 S 40 S >	-0.293
+	< 40 S 20 S >	-0.362
+	< 20 S 0 >	0.007
+	< 0 20 N >	-0.111
	全体	-0.28538910

全体としては弱い逆相関だが
低緯度帯は無相関

まとめ

○神山がこれまで利用してきた雲追跡手法:

- ・2枚の画像組の相関を調べる方法
- ・隣接するテンプレートの結果との比較でより周りになじむ雲追跡ベクトルを選択する方法
- ・誤差評価は雲追跡ベクトルのばらつきから導出
標準偏差 = 各ベクトル一つ一つに対する誤差
標準誤差 = 着目領域の平均値に対する誤差

○時間分解能: 2枚組を使うので撮像間隔

○空間分解能: テンプレートサイズのスケール?
平均を使う場合は平均する領域サイズ

○池川さん・堀之内先生手法との連携

→両手法間の整合性チェック?

→運用内容に合わせた適応?

(1組の画像しか得られないときなど)

