

金星探査機Venus Expressの紫外画像 を用いた風速推定と誤差評価

池川 慎一(北大院環境科学院D1)

堀之内 武(北大院地球環境科学研究所)

協力(L3プログラムの提供):

小郷原一智, 神山徹, 檜村博基, 佐藤尚毅, 高木征弘, 今村剛

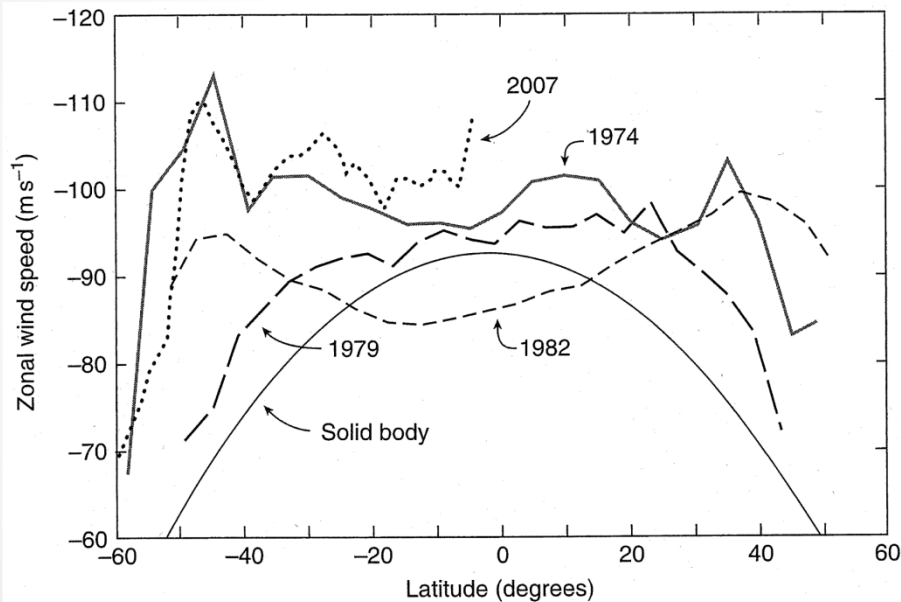
本日の内容

- インTRODクシヨN
- 相互相関法による雲追跡
- 相互相関法による雲追跡の改良
- まとめ

イントロダクション
...

雲頂の風速分布

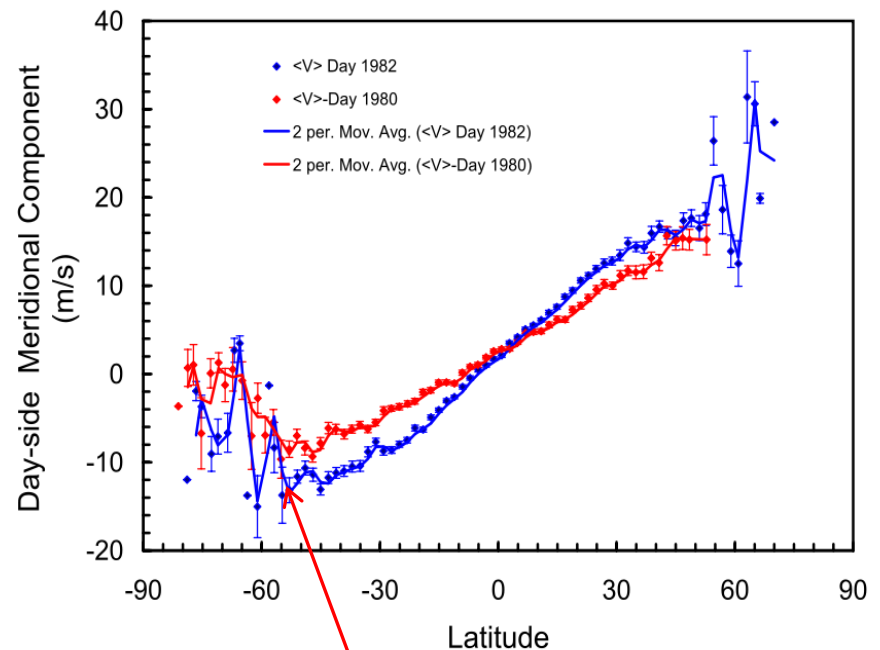
東西風速



(山本 D論, 2012, 京大)

剛体回転に近い平均東西風
と中緯度にジェットを形成する
平均東西風が存在する

南北風速

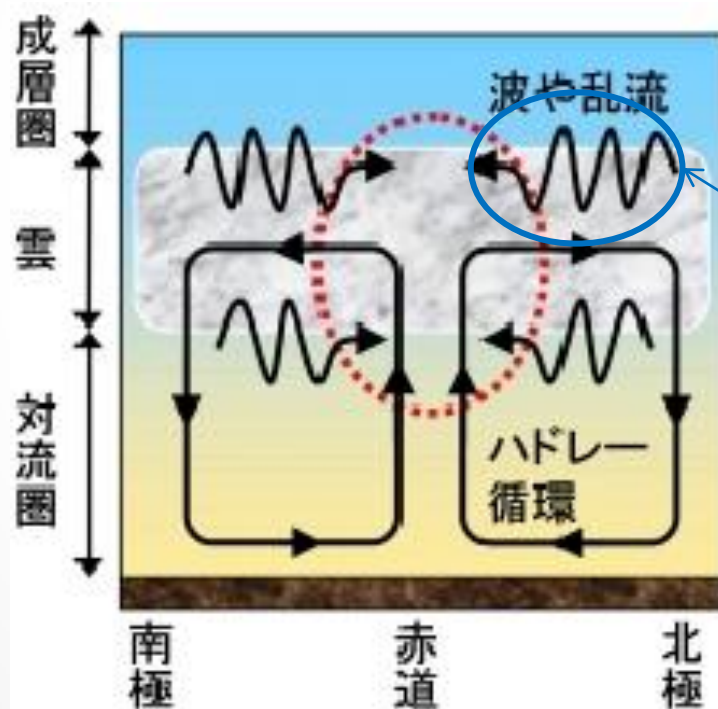


(Limaye, 2006)

ハドレー循環が存在する?

スーパーローテーション説明理論(候補)

- 子午面循環によって固体惑星から雲層上部に輸送されてきた角運動量を赤道にためる理論(Gierasch, 1975).



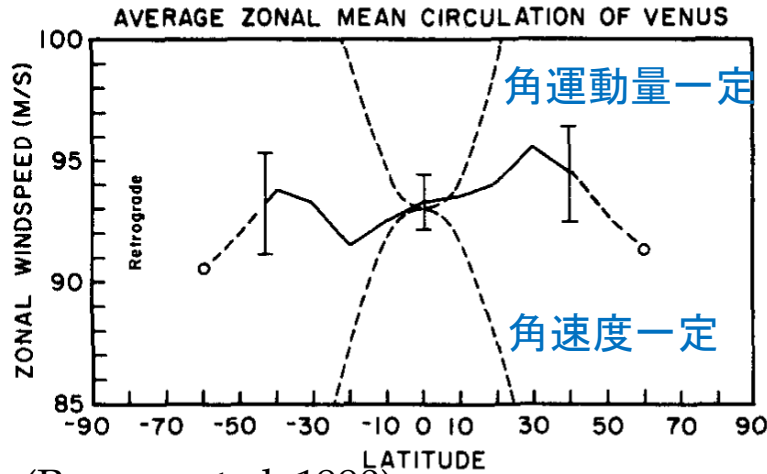
観測から波や乱流による
運動量輸送を見積もりたい

子午面循環に着目した理論の概略図

(http://www.stp.isas.jaxa.jp/venus/sci_meteor.html)

雲頂の運動量輸送

角運動量: 低緯度 > 高緯度



(Rossow et al, 1990)

角運動量が失われている

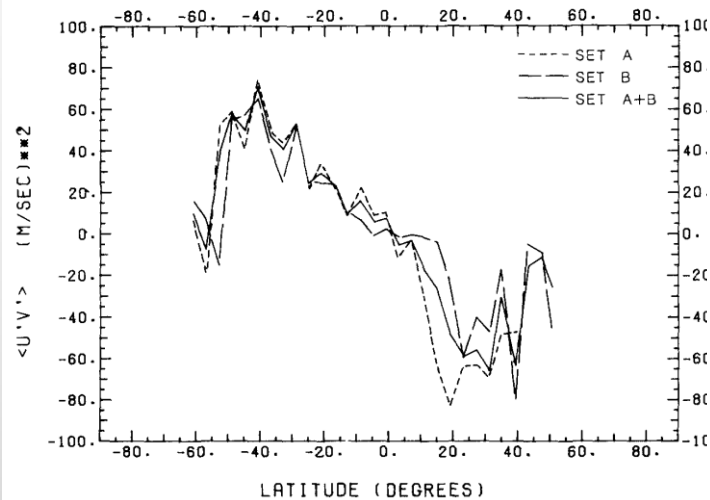


しかし

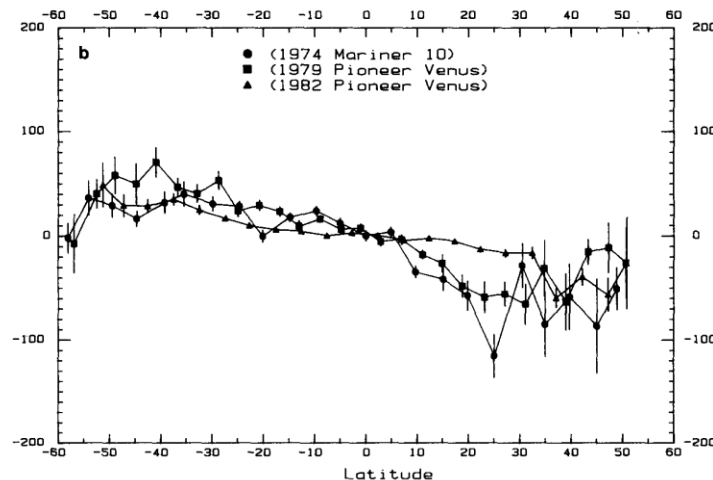
擾乱による運動量輸送は極向き



先行研究に比べて細かなスケールの擾乱による運動量輸送を見積もる必要がある。



● (Limaye, 1982, 1988)



風速推定方法

- マニユアルトラッキング

人間の目による風速推定

(Suomi, 1974; Limaye, 1977) など
最近では, 1万個のベクトルを導出(Moissl et al, 2008)

- デジタルトラッキング

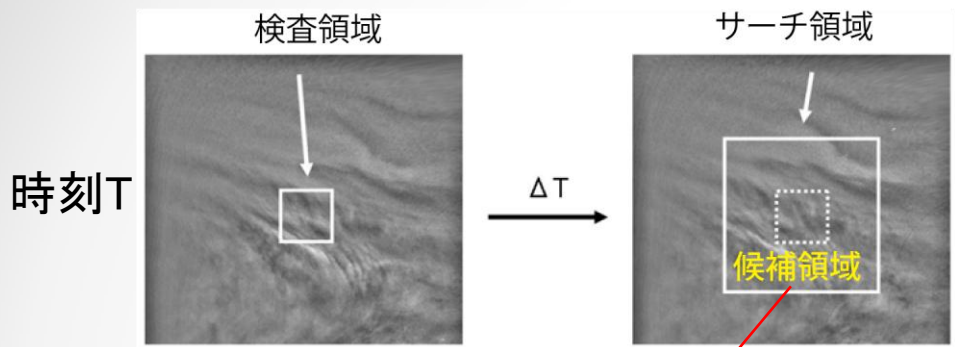
相互相関法を用いた風速推定

(Rossow, 1990) など
気象庁(JMA 1984)の雲トラッキング方法を採用

- 長所: 検査領域に依存しない
- 短所: 大量処理には向かない

- 長所: 自動で雲移動ベクトルを算出できる
- 短所: 誤ベクトルを算出する

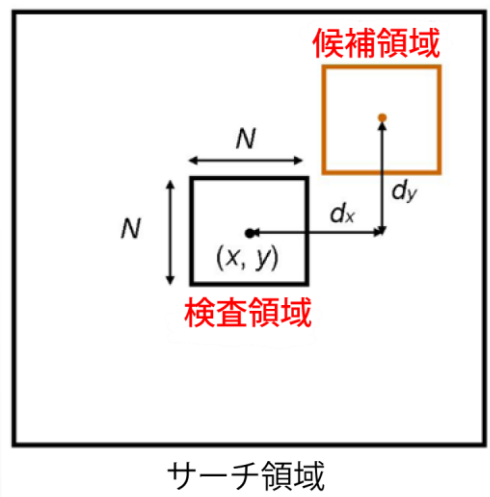
相互相関法



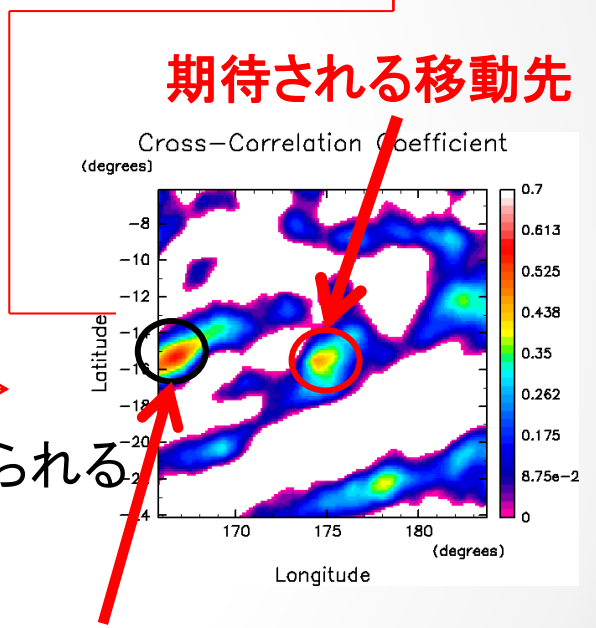
時刻T+Δ T

$$u = (R + H) \cos \phi \frac{\Delta \lambda}{\Delta t}$$

$$v = (R + H) \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$



マッチングの模式図
(神山修論, 2008, 東大)一部改編



相関曲面が得られる

- 誤ベクトルの除去
- 不採用とし欠損とする (Rossow 1990)
 - 不採用して別のピークを探す (Ogohara et al 2011, Kouyama et al 2012)

風速の誤差評価方法1

- 相関面の尖り度合を利用して、誤差評価を改良する方法 (村地ら2003, 神山修論2007)

母集団の輝度分布が正規分布に従っていると仮定

1. フィッシャーのZ変換を用いて、相関係数の誤差を導出する

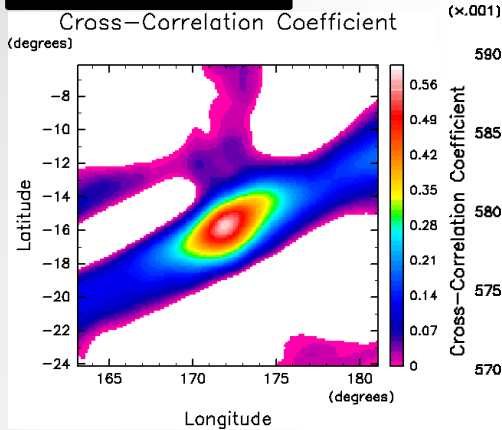
$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+R}{1-R} \quad \longrightarrow \quad Z \text{は平均 } \frac{1}{2} \ln \frac{1+\rho}{1-\rho}, \text{ 分散 } \frac{1}{N-3} \text{ の正規分布に従う}$$

R:標本相関係数, ρ :母相関係数, N:標本の有効自由度

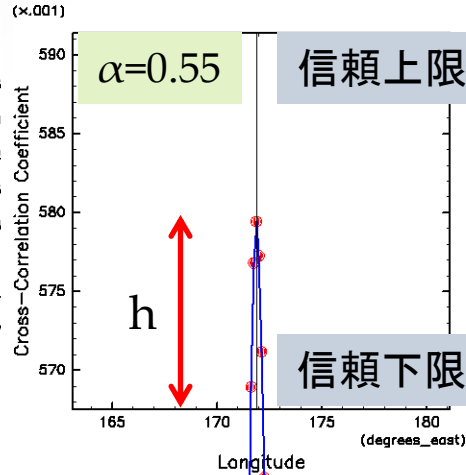
2. 相関係数の誤差を風速の誤差に変換する

風速の誤差評価方法2

1 相関曲面

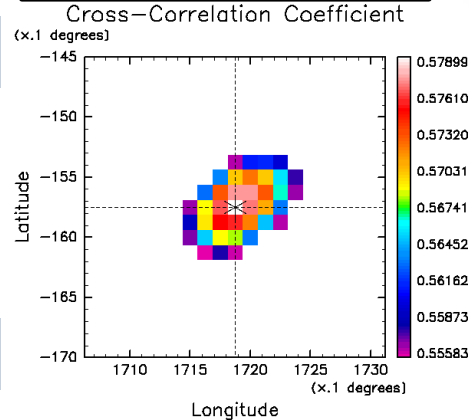


1



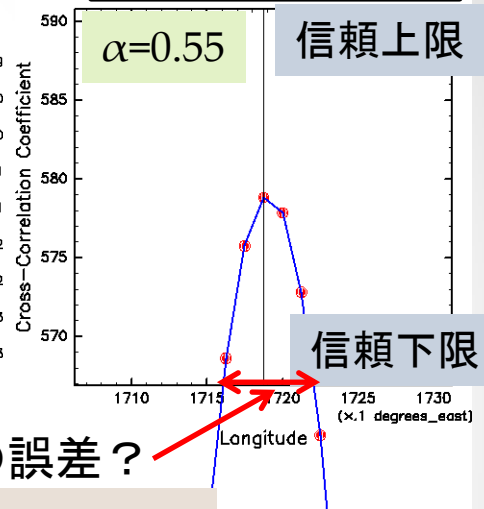
2

2 最大相関係数-2h



3

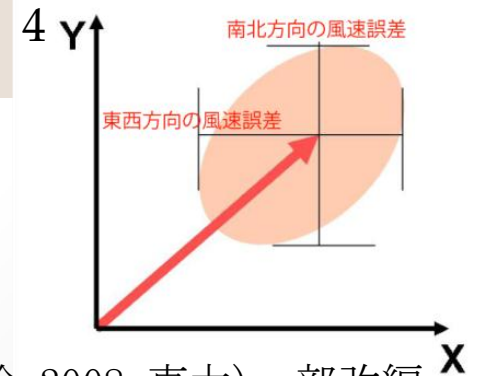
3 相関係数の誤差



風速の誤差？

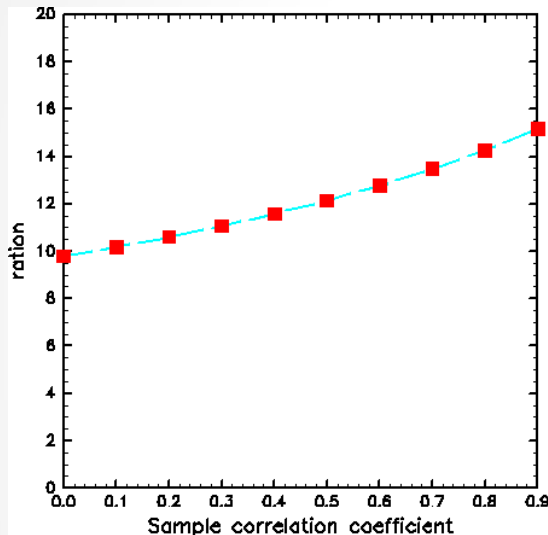
1. 最大相関係数の誤差hを計算
2. 「最大相関係数-h」以上の値を用いて, 楕円放物面でフィッティング
3. フィッティング結果を元に, 最大相関係数と誤差を算出
4. 相関係数の誤差の下限値と相関曲面の交点が誤差

長軸をx, y軸に投影することにより正確な誤差を見積もる.



(神山修論, 2008, 東大) 一部改編

標本=自由度で計算してしまいました すみません（相関係数の誤差の部分）



相互相関法の雲追跡の誤差のみ修正しました
(Metz 1991).

画像データを緯度経度に変換する際にオーバー
サンプリングをしているので、標本は互いに独立でない。

仮定: 相関曲面が楕円放物面の場合
自由度が100倍低下すると10~15倍程度相関係数の
誤差が増加する。

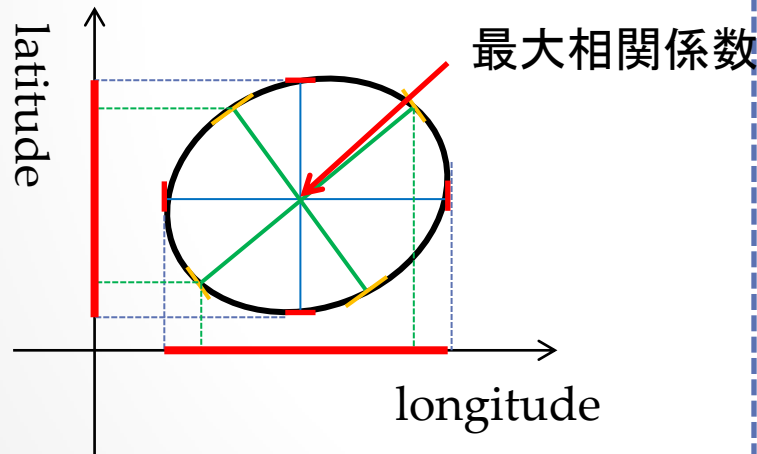
6 × 6(信頼係数0.99)/60 × 60(信頼係数0.99)

- 標本の輝度値が各々独立である場合(有意水準 α :0.01)⇒
自由度が100倍低下した場合(有意水準 α :0.55)
- 標本の輝度値が各々独立である場合(有意水準 α :0.1)⇒
自由度が100倍低下した場合(有意水準 α :0.43)

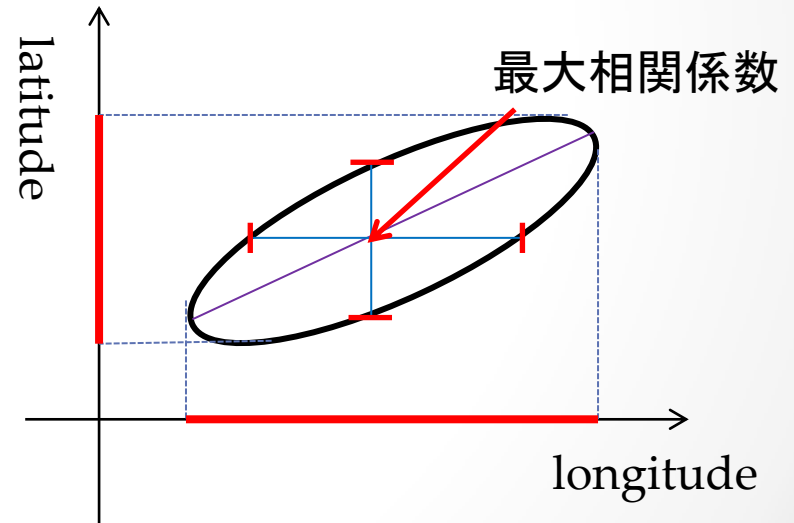
有意水準 $\alpha=0.01$ を使用すると誤差が大きくなり過ぎるので、
以後 $\alpha=0.1$ を採用。

誤差評価

- ① 長軸/短軸が小さい場合は長軸をx, y 軸に投影した長さと最大相関係数の断面の長さを比較し, 長い方の半分を風速の誤差に換算する.



- ② 長軸/短軸が大きい場合は長軸をx, y 軸に投影した長さの半分を風速に換算した量を風速の誤差とする.



採用ベクトル

	東西風速	南北風速
相関曲面の形状 (ピーク近傍)	楕円放物面	楕円放物面
相関係数	0.5	0.5
風速	$-200 \leq u \leq 0$	$-50 \leq v \leq 50$

- 相関曲面が放物面放物面のような誤差が非常に大きな構造を除去する.
- 風速と相関係数の誤ベクトル判断基準は先行研究に基づく.(Ogohara et al 2012)

研究目的(大)

- 運動量輸送を正確に推定する

- 高分解能の風速推定



検査領域を小さくすることで, 実現できる.
しかし, 誤ベクトルが増える.

- 風速精度の向上



相互相関法を用いた推定結果に対して

- ローパス処理
- 帯状平均



精度低下



つまり, 個々の風速の信頼性と精度を向上させる必要がある.

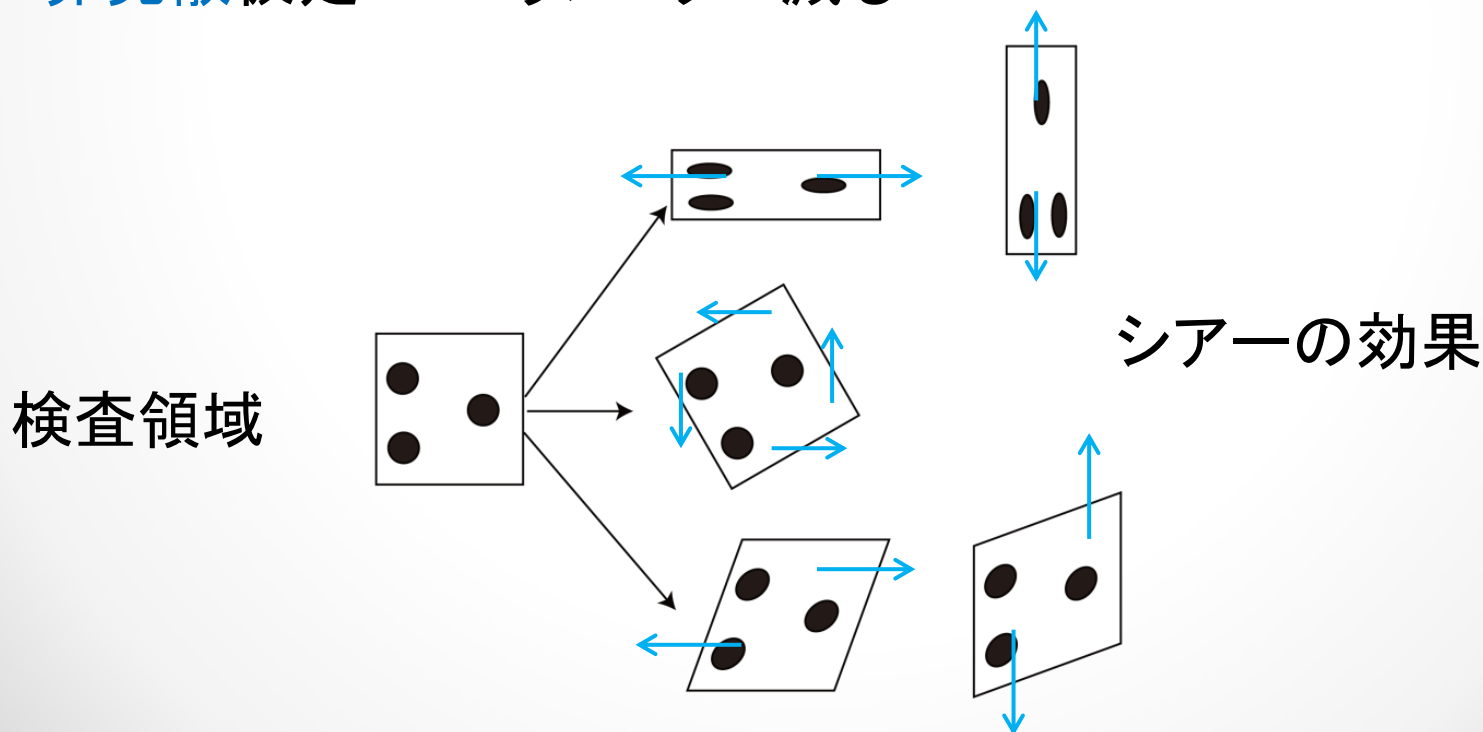
変形を考慮した雲追跡手法1(旧)

- 雲のパターンが線形に変化すると仮定する

$$u = u_0 + u_1x + u_2y$$

$$v = v_0 + v_1x + v_2y$$

- 非発散仮定 → パラメータが減る



変形を考慮した雲追跡手法2(旧)

・風速ベクトル

$$u = u_0 + u_1x + u_2y$$
$$v = v_0 + v_1x + v_2y$$

・初期値(の周りを網羅的に検索)

u_0, v_0 第一推定値より

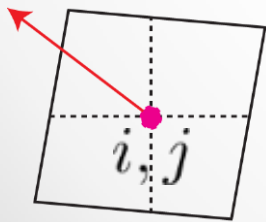
パラメータ

$$u_0, v_0, u_1, u_2, v_1$$

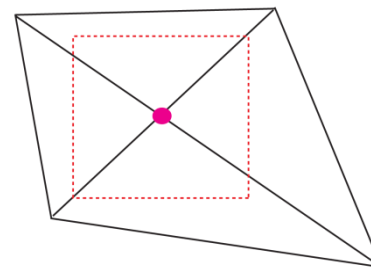
→ 検査領域を変形させ、従来の雲追跡手法を行う

相関係数が最大場合のパラメータ
を採用する

第二推定の u_1, u_2, v_1
(ローカル)



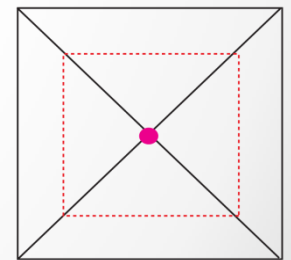
最終的に得られる
変形パターン



変形させた検査領域から
再び検査領域を設定する

面積一定

$(u_0, v_0)\Delta t$



検査領域の大きさを
広めに設定する



変形させた金星

変形を考慮した雲追跡手法の問題点

・風速ベクトル

$$u = u_0 + u_1x + u_2y$$

$$v = v_0 + v_1x + v_2y$$

- u_0, v_0 : 相互相関法による雲追跡の結果

u_0, v_0 の周囲でパラメータの値を変化させ
最大相関係数をとるパラメータの最適な値を
算出.

- u_0, v_0 の信頼性は不明. \longrightarrow 得られる推定結果の信頼性も不明.
- 相互相関法による推定結果は不安定. \longleftarrow 変形以前に

1ペアの推定に依存する不確かさの影響?

- 複数の画像を使用する.
- 推定結果に対する信頼性の指標が必要.

研究目的(今回)

- **ノイズに対してロバストな推定手法を確立する.**

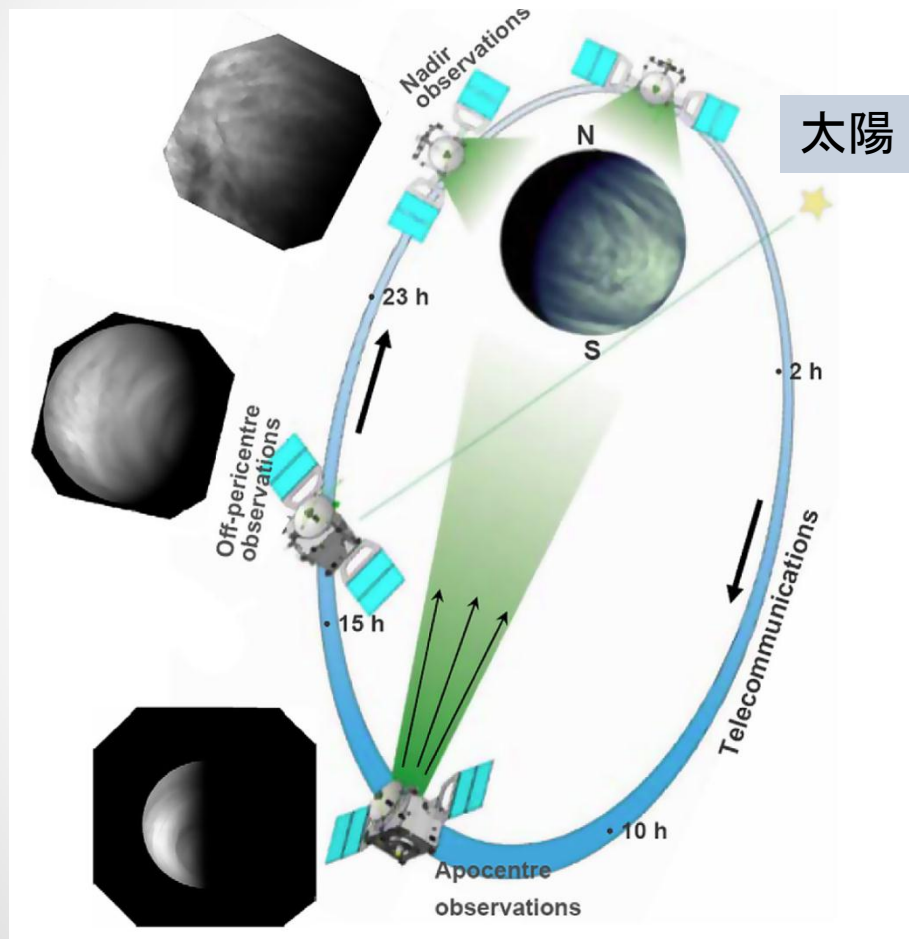
ノイズの種類

- 読み出しノイズ
- カメラの感度の劣化によって生じたノイズ

- **信頼できる誤差評価手法を確立する**

- 個々の風速を評価する指標
- 前・後処理を変えた場合に対する統一的な評価する基準

Venus Express



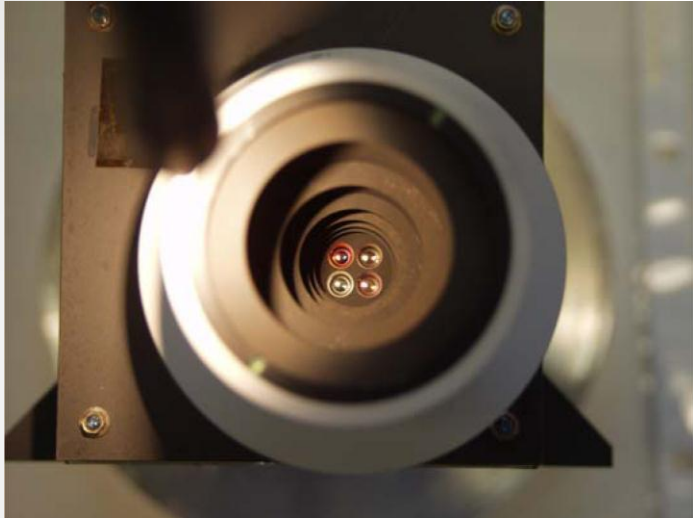
D.V Titov(2012)より抜粋

欧州宇宙機関の金星探査機

- 衛星の軌道: 楕円極軌道
- 金近点: 250 km
- 遠近点: 66000 km
- 2005-02-10～現在

*金星半径: 6052km

本研究で使用するカメラ

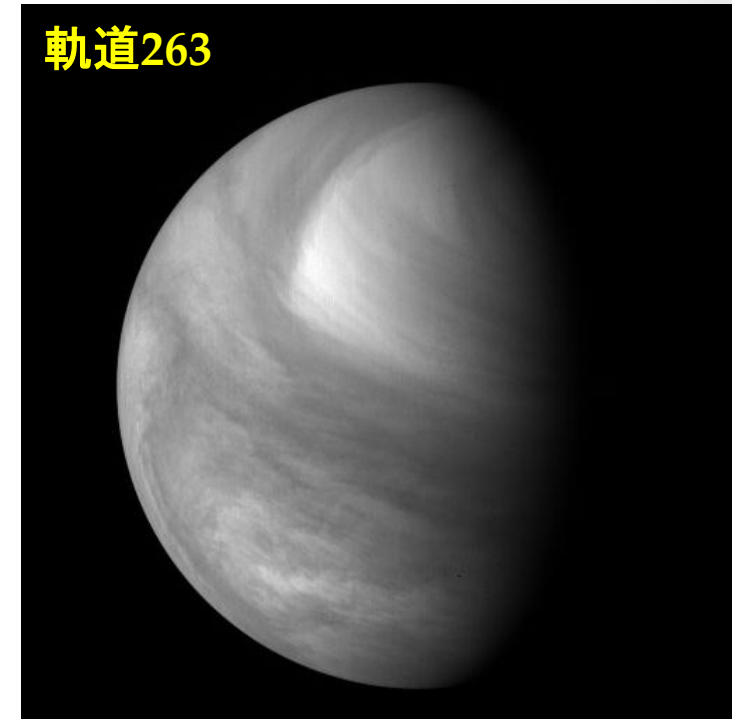


Venus Expressに搭載されているVenus Monitoring Camera(VMC)の紫外画像を使用.

- 可視1チャンネル(513nm).
- **紫外1チャンネル(365nm).**
- 近赤外2チャンネル(935nm, 1010nm).

本研究で使用するデータ

- 紫外画像
 - 波長:365[nm]
 - 観測対象:太陽からの散乱光を観測する
 - 観測高度:地上から65~70[km]
- 空間分解能
 - 近金点:約0.2[km/pixel]
 - 遠金点:約45[km/pixel]
- 時間分解能:約20[minutes]
- 画像サイズ:512×512[pixel]
- 視野角:約17.5度



全球が撮像されている生データ

処理のながれ

- **前処理**
 - 緯度経度変換(あかつきL3提供)
 - 輝度補正(Belton et al 1990)
 - 空間フィルタリング
- **雲追跡手法及び誤差の改良**
 - 相互相関法による雲追跡

相互相関法による雲追跡

...

風速推定条件

検査領域のサイズ

7.5° × 7.5° (Ogohara et al 2011)

使用するフィルター

CV

移動平均(チューキーコサインフィルタ)

フィルターサイズ

ハイパス(細かな構造を抽出するため):5.5° × 5.5°

サーチ領域のサイズ

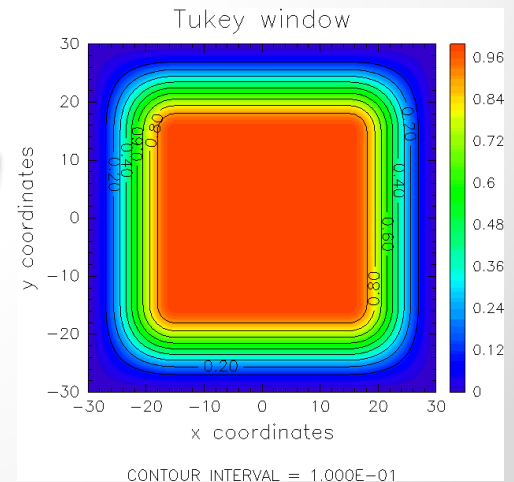
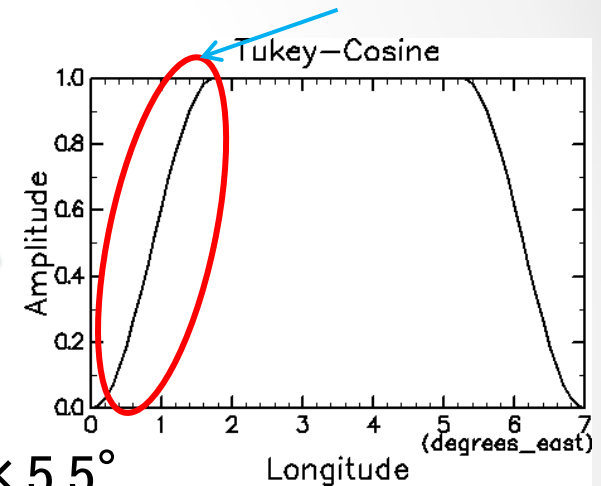
領域設定:

東西:-200[m/s]<u<0[m/s]

南北:-100[m/s]<v<100[m/s]

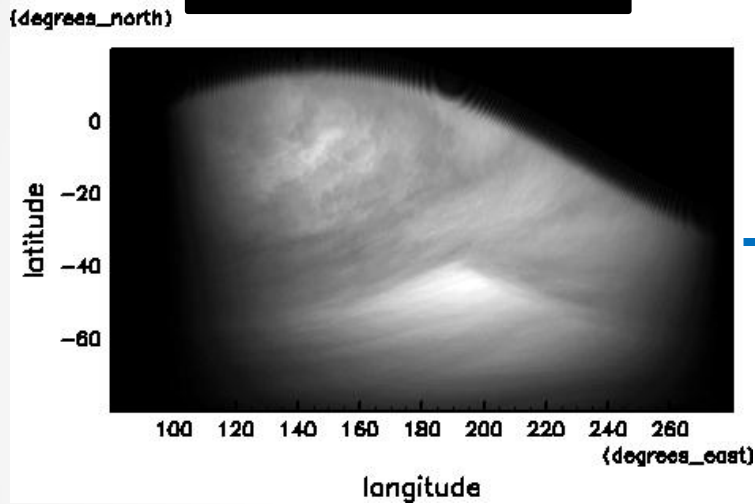
ボックスの中心:(u, v)=(-100[m/s], 0[m/s])

端はコサイン関数

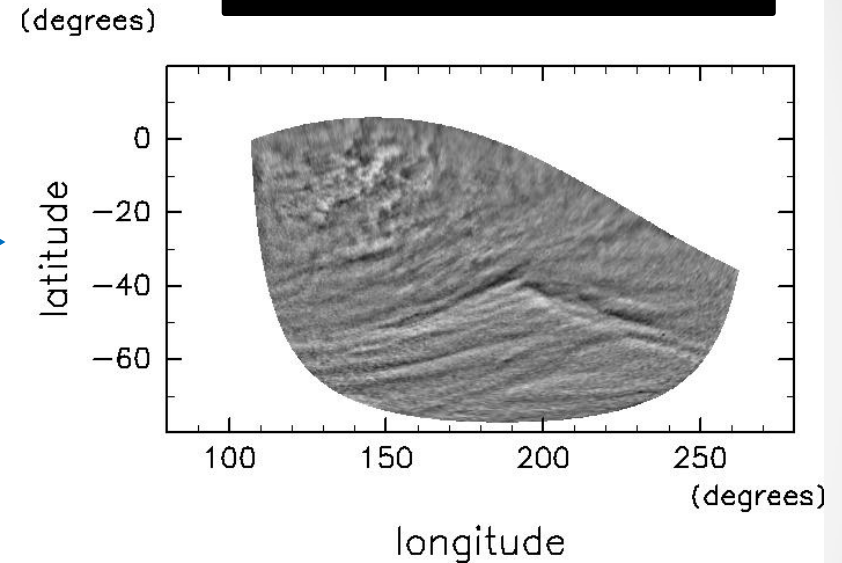


前処理結果

生データの結果



フィルタリングの結果



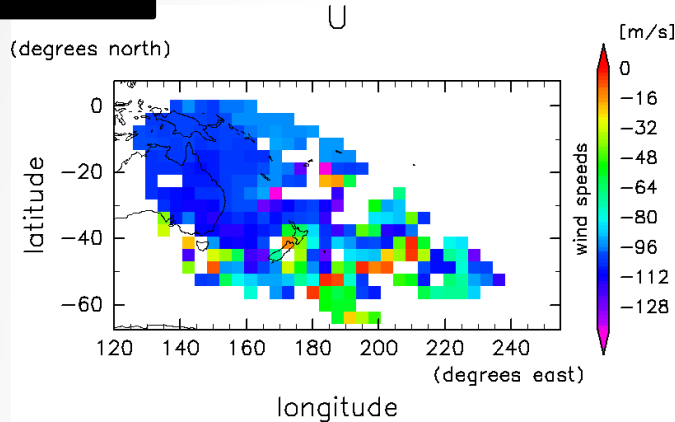
ハイパス処理の結果

- 低緯度には細かな構造あり
- 中緯度には筋状の構造あり

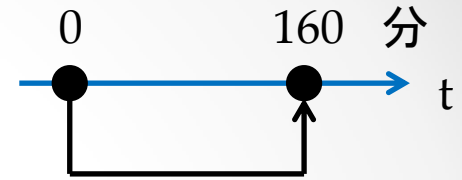
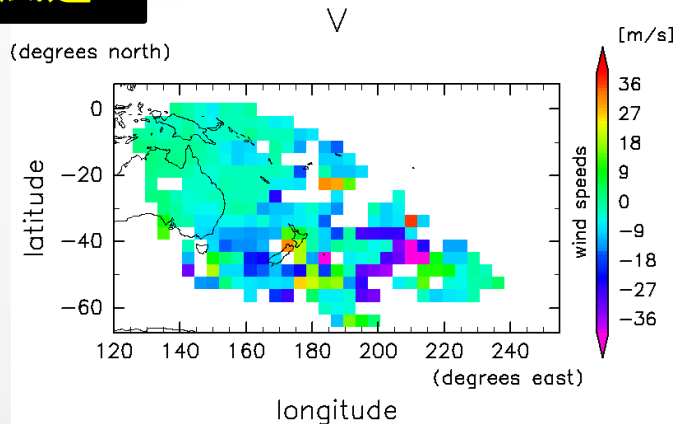
雲のパターン
東から西へ移流

相互相関法による雲追跡の結果

東西風速



南北風速



東西風及び南北風ともに風速に大きなバラつきが見られる。

↓ 個々の風速は信頼できない

本来の研究目的であった運動量輸送を見積もることは到底できない

(原因として考えられること)

- 雲の不明瞭さ
- 雲の変形
- ノイズの影響
- 筋状構造の雲の影響

ノイズの影響にロバストな手法を確立

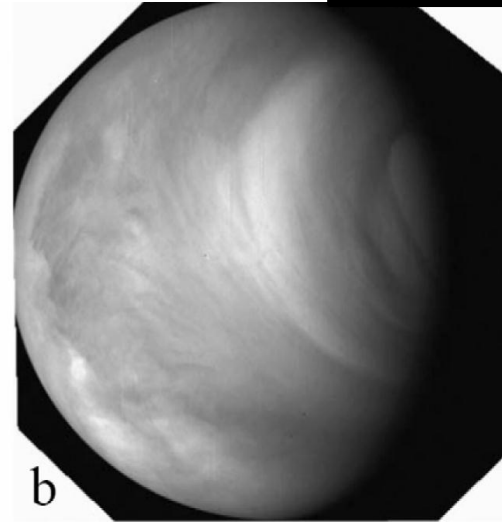
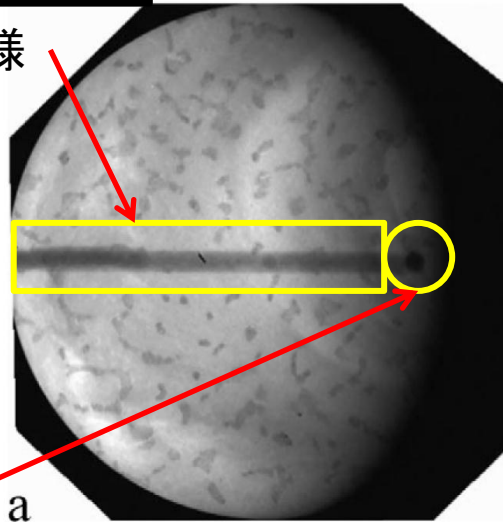
ノイズがシグナルと程度の空間スケール: 相関のピーク的位置はずれる

VMCにおけるノイズとは？

生データ

補正後

紫外画像固有の模様



VMCの全ての波長帯に存在

D.V Titov(2012)より抜粋

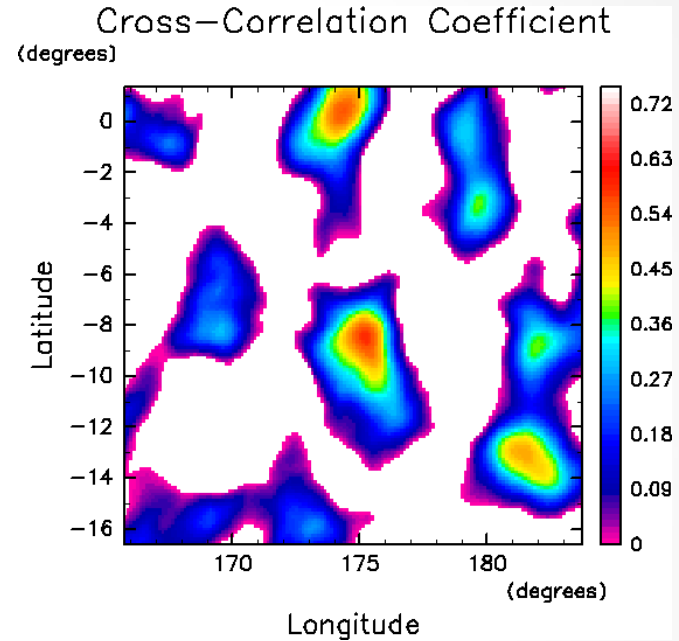
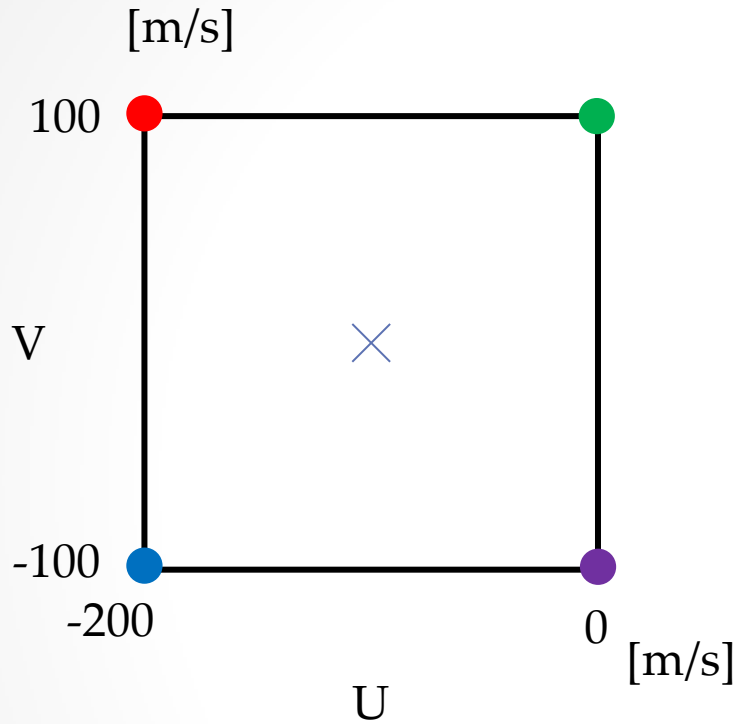
主なノイズ

- 読み出しノイズ
- 太陽光による感度の劣化

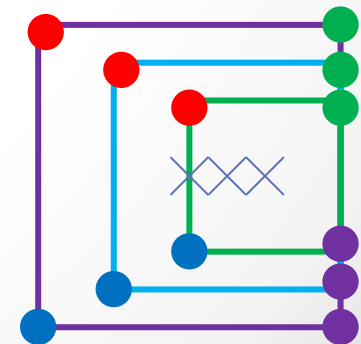
(原因)

2006年3月~4月期間のカメラの開口部分が2週間太陽にさらされた

相関曲面の座標系



サーチ領域



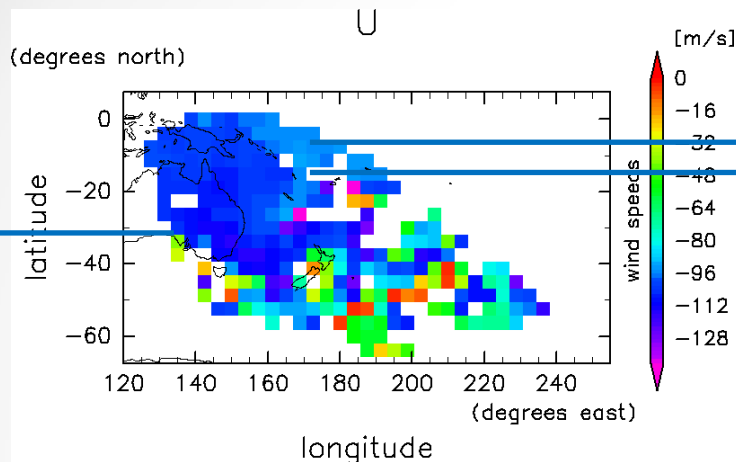
相関曲面の各座標系

緯度・経度座標

風速

典型的な相関曲面の形状

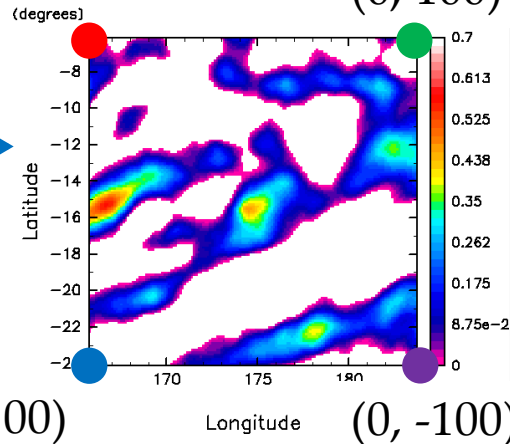
東西風速



偽のピークが最大の相関係数であるケース

(-200, 100)

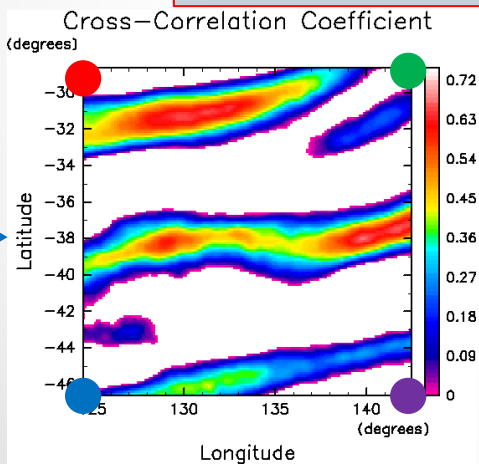
Cross-Correlation Cc (0, 100)



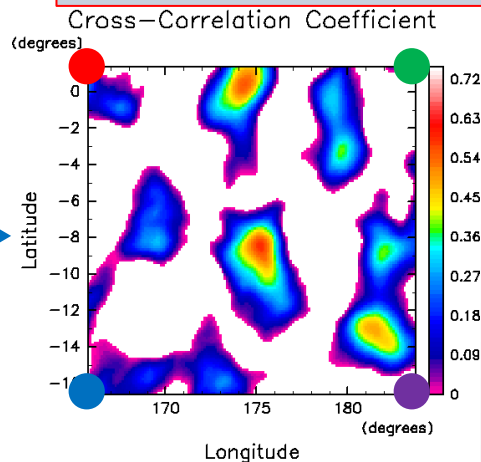
(-200, -100)

(0, -100)

筋状構造を反映したケース



複数のピークが存在するケース



推定結果に対する信頼性

風速推定の信頼性評価方法

使用する指標

- 風速の誤差
- 周囲との風速差の最大値

風速の誤差に対する信頼性

- 決定係数

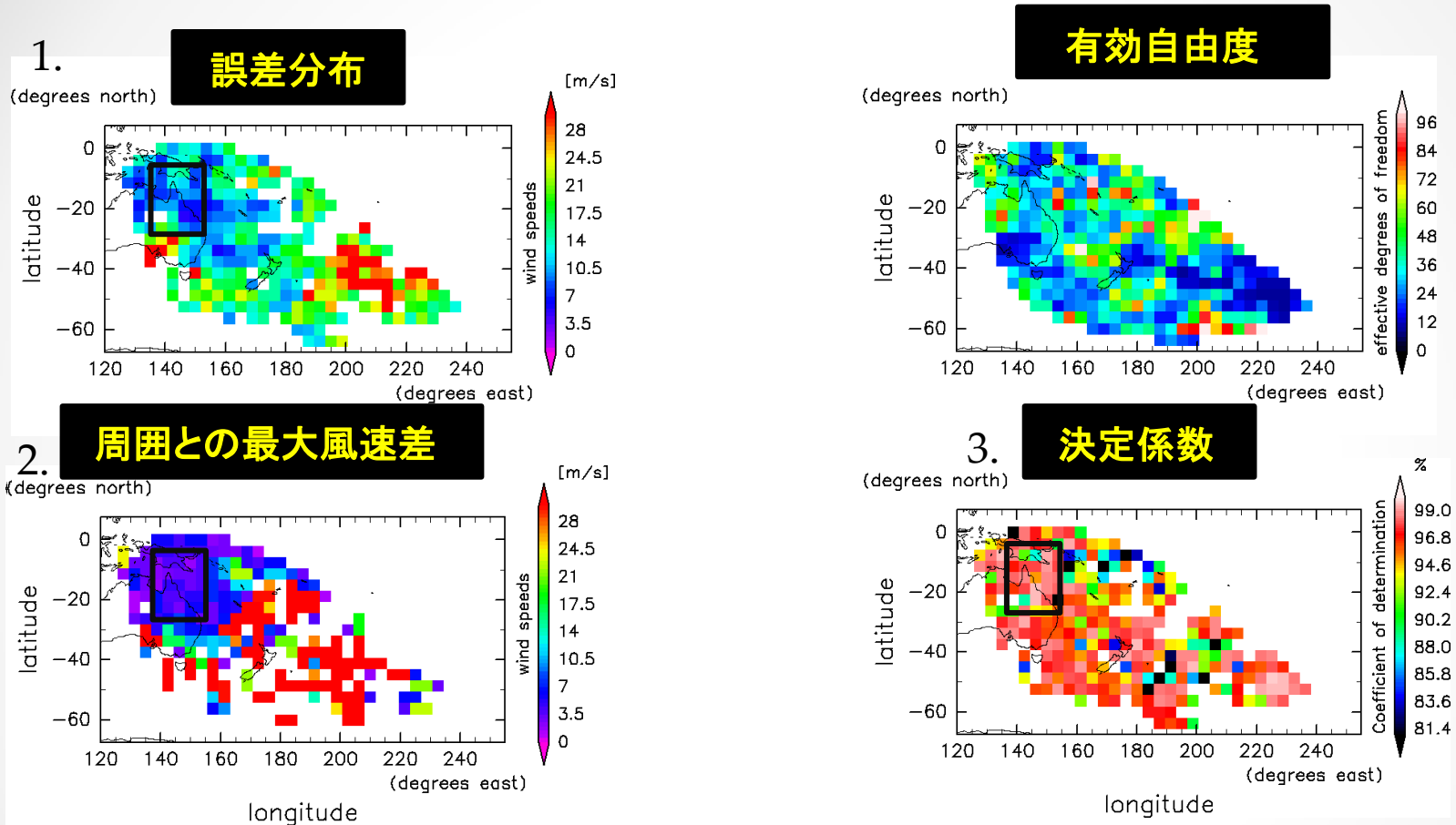
- 観測データをフィッティングモデルでどの程度説明できるかを示す指標
- 観測データとフィッティングモデルの相関係数の二乗

1. 風速の誤差に対する信頼性を評価
2. 2つの指標を用いて推定結果の信頼性を評価



信頼できる推定結果は手順1, 2で整合性がある

相互相関法による推定結果の誤差評価1



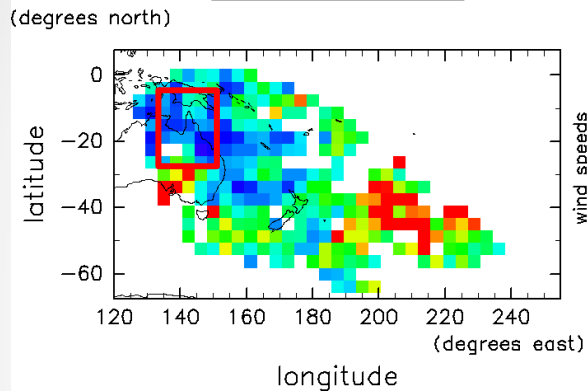
低緯度のボックス領域は、3つの指標との整合性がよい

➡ それ以外の場所における推定結果はほとんど信頼できない

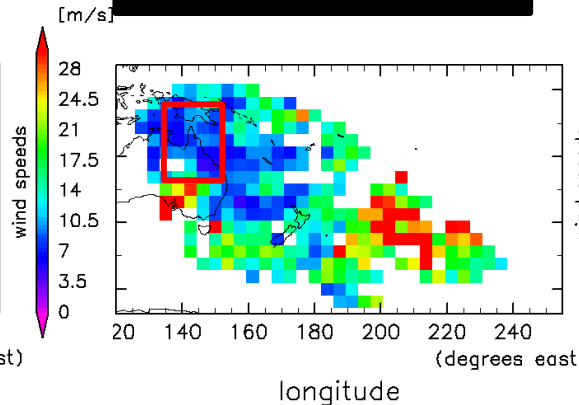
1ペアの推定は、ノイズの影響のせいで、たまたまピークが尖ったりして、風速の精度が向上している可能性あり

相互相関法による推定結果の誤差評価2

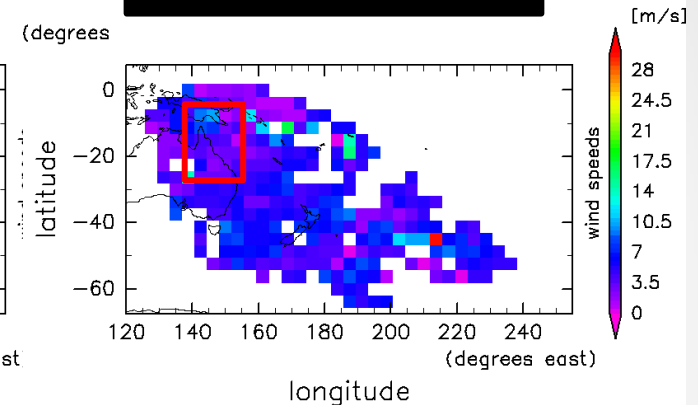
誤差分布



東西風速の誤差



南北風速の誤差



- 相互相関法による推定誤差の信頼性の高い領域(ボックス内)では, 南北風の誤差よりも, 東西風の誤差の方が大きい傾向にあるように見える。



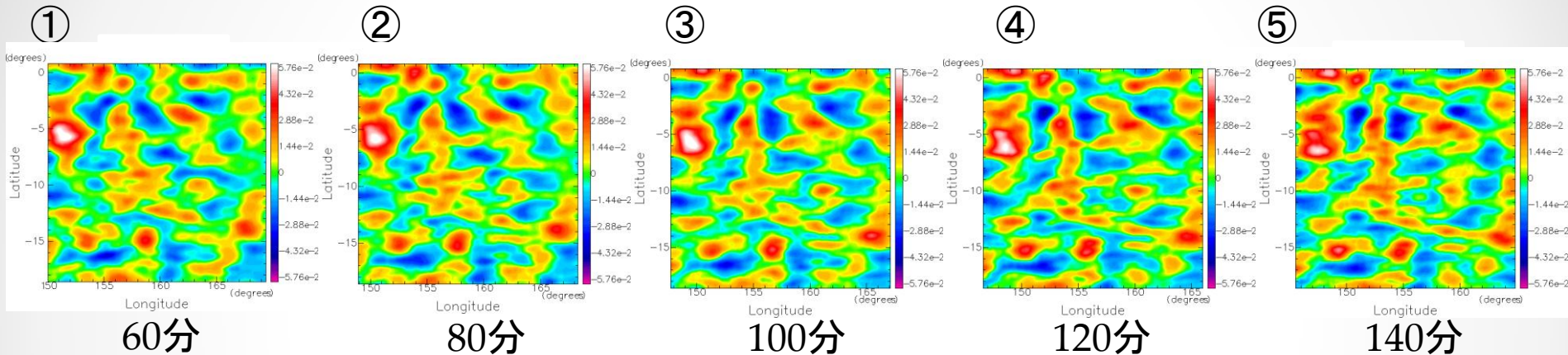
南北風は誤差がおよそ6[m/s]以下で見積ることができている。
事例数を増やしても言えるのか？

相互相関法による雲追跡の 改良

...

時間ずらしの重ね合わせ

複数の時刻のペアから算出した相関面を重ね合わせる。
仮定:風速は時間変化しない



使用背景

- 検査領域＋候補領域の雲のパターンを完全に信用できない。



検査領域＋候補領域にノイズが沢山存在している場合

メリット

- 検査領域＋候補領域に多数のノイズが存在する場合に有効



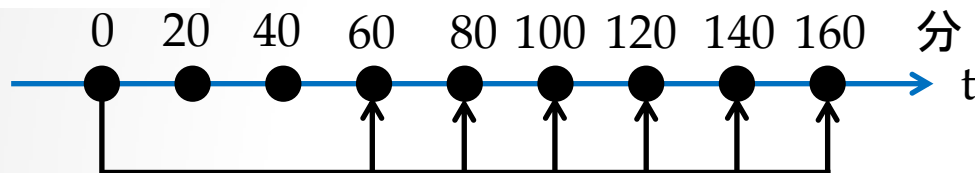
画像ごとに無相関と仮定した場合、ノイズは $1/\sqrt{n}$ で減少

- 似た雲のパターンを追わない  時間間隔が小さい場合は探索範囲も狭い

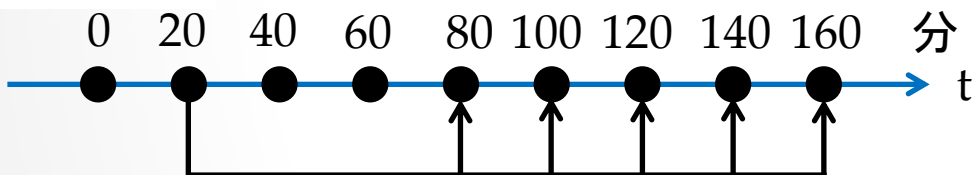
時間ずらしの重ね合せのアルゴリズム

使用する画像ペアの組み合わせの模式図

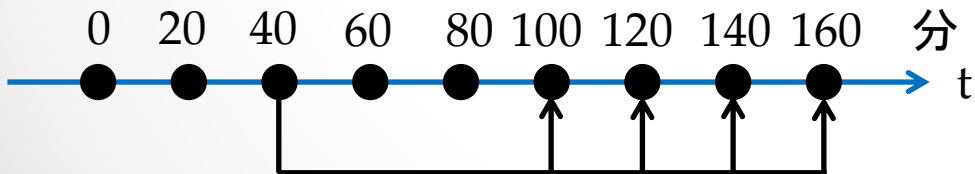
1ステップ



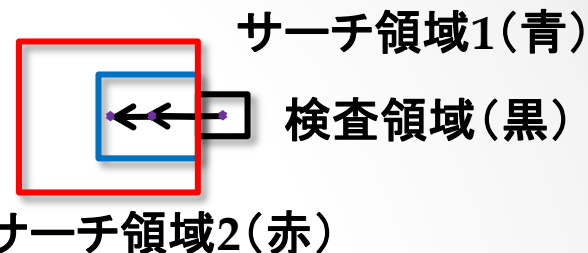
2ステップ



3ステップ



1ステップだけでは, 検査領域
におけるノイズに無力



雲のパターンが一定速度で東から西へ移流すると仮定する。



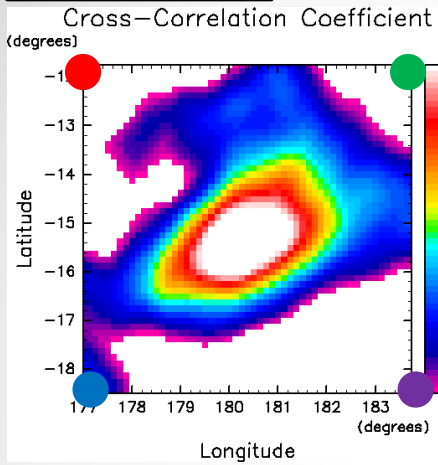
各時刻で得られる相関曲面も線形に拡大していく(緯度経度の場合)。



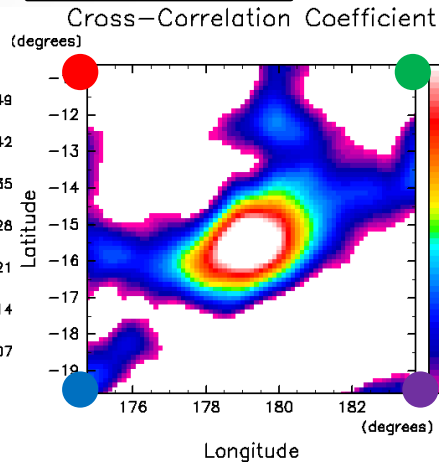
相関曲面の中心を基準に拡大して重ね合わせる。

1ペアによる各時刻の相関曲面

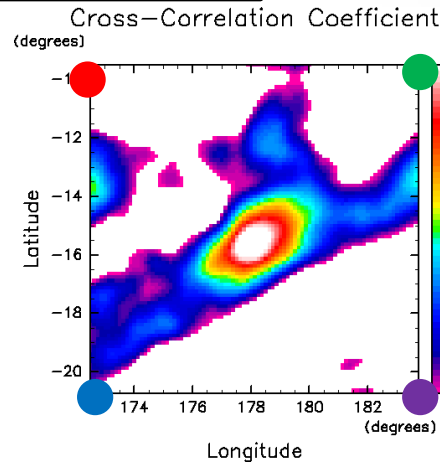
60[分]



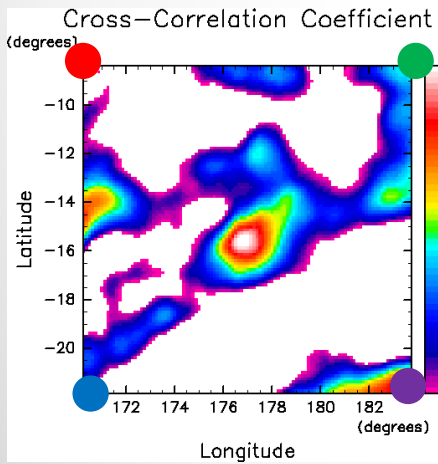
80[分]



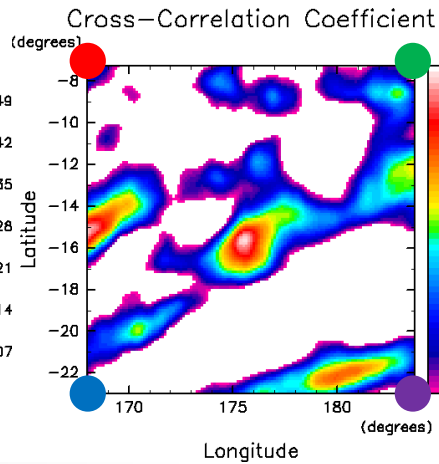
100[分]



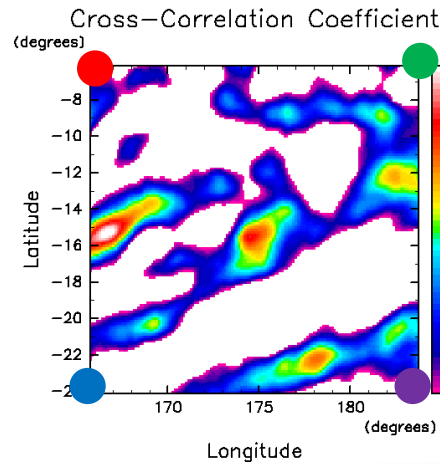
120[分]



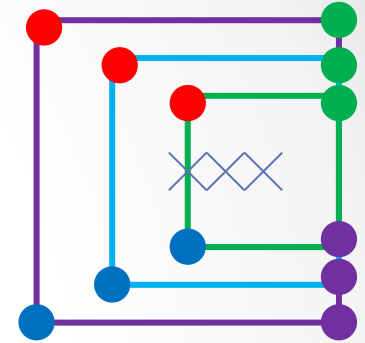
140[分]



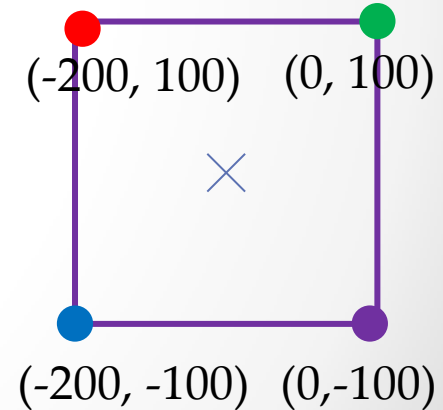
180[分]



緯度経度座標



風速



60[分]~140[分]の各相関面を160[分]における相関面と同じ大きさに拡大し(線形補間), 相関曲面を平均する。

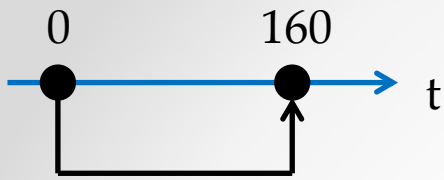
時間ずらしの重ね合せによる効果

期待される効果

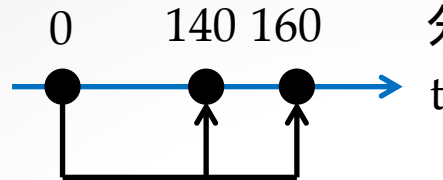
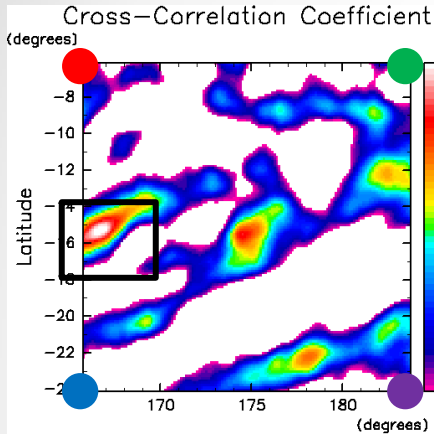
- ペアを増やすことで, SN向上
- 相関係数向上
- 似たパターンの追跡防止

□ : 最大相関係数の位置

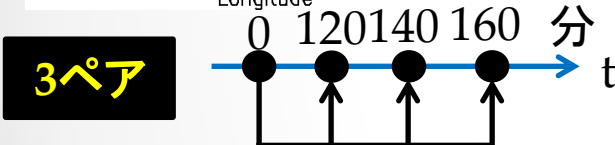
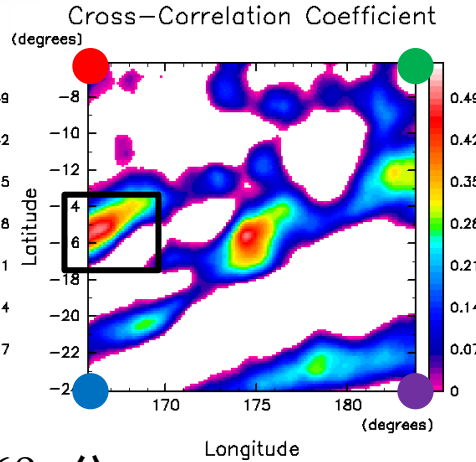
離散化誤差の大きなペアの影響を受ける



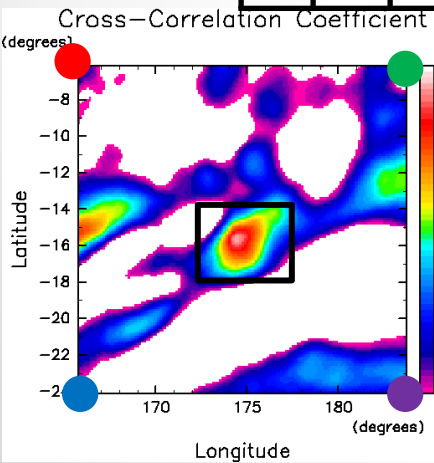
1ペア



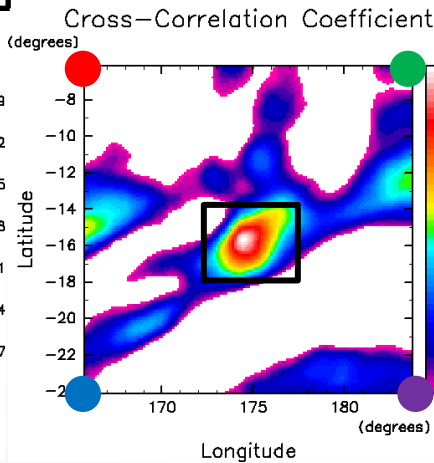
2ペア



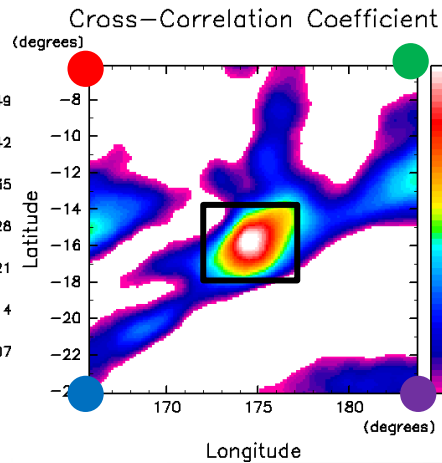
3ペア



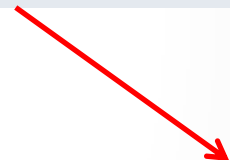
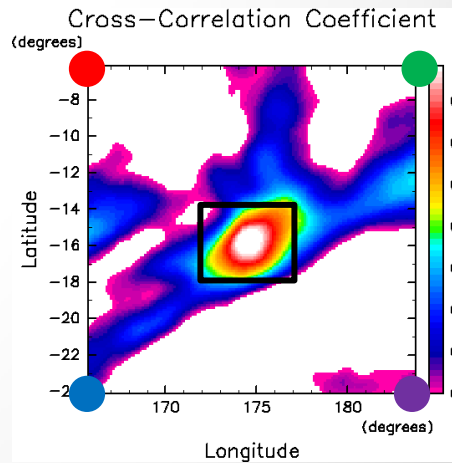
4ペア



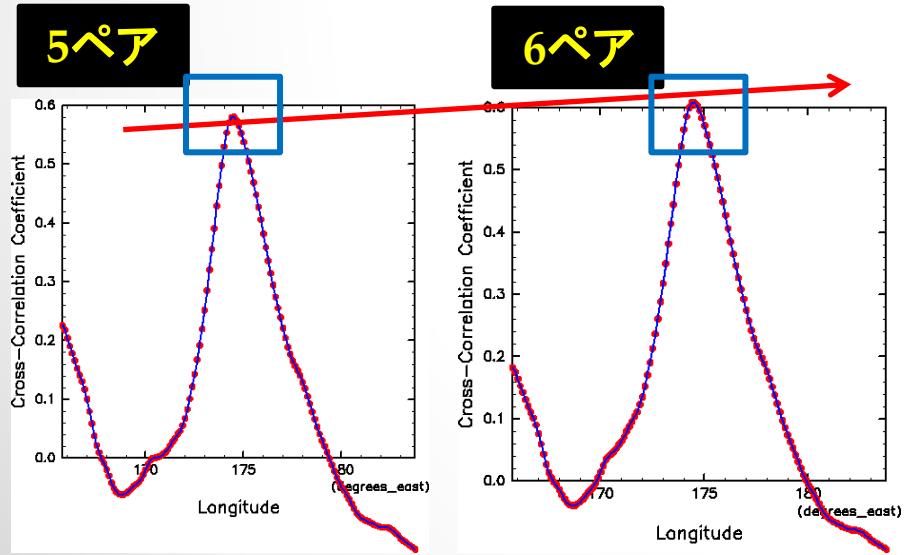
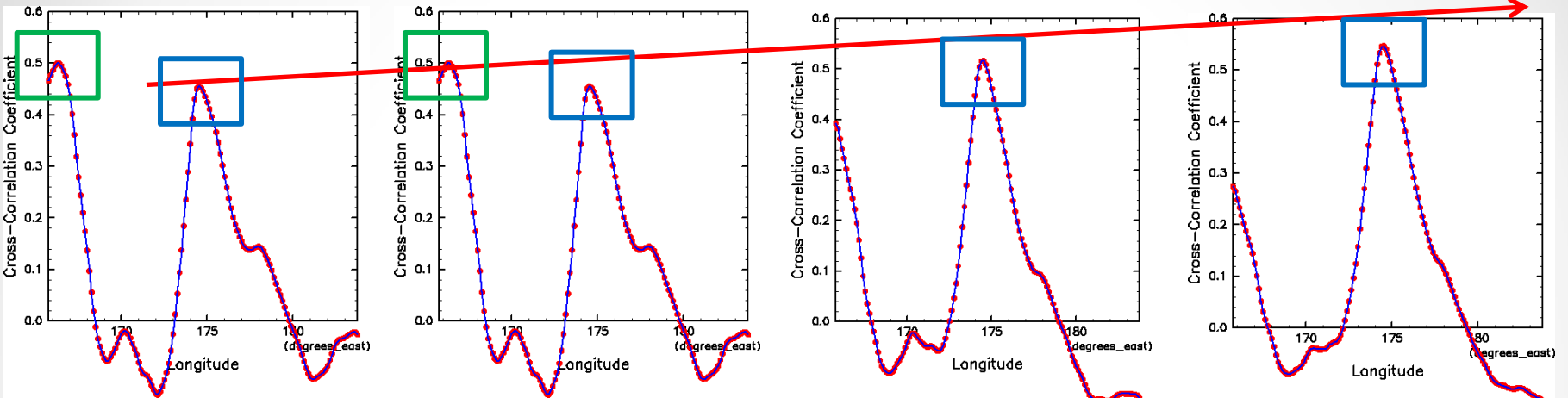
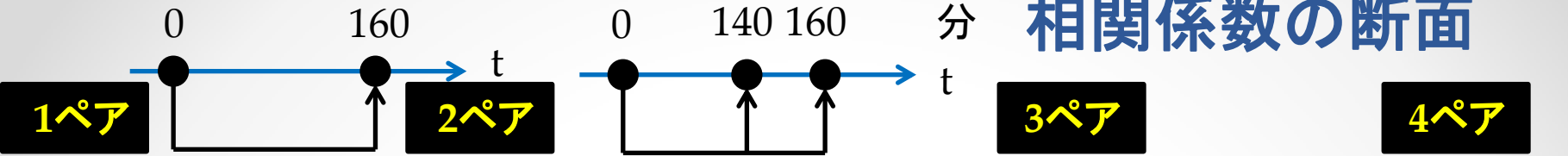
5ペア



6ペア



相関係数の断面



□ : 真のシグナル
 □ : 偽のシグナル

- 複数の時間の重ね合わせを行うことで、相関係数が向上する。
- 最小時間刻み幅の離散化誤差の影響を受ける。

相関係数は向上するが、推定誤差は増える？

相関係数の断面から見た相関係数と推定精度2

0 120 140 160 分

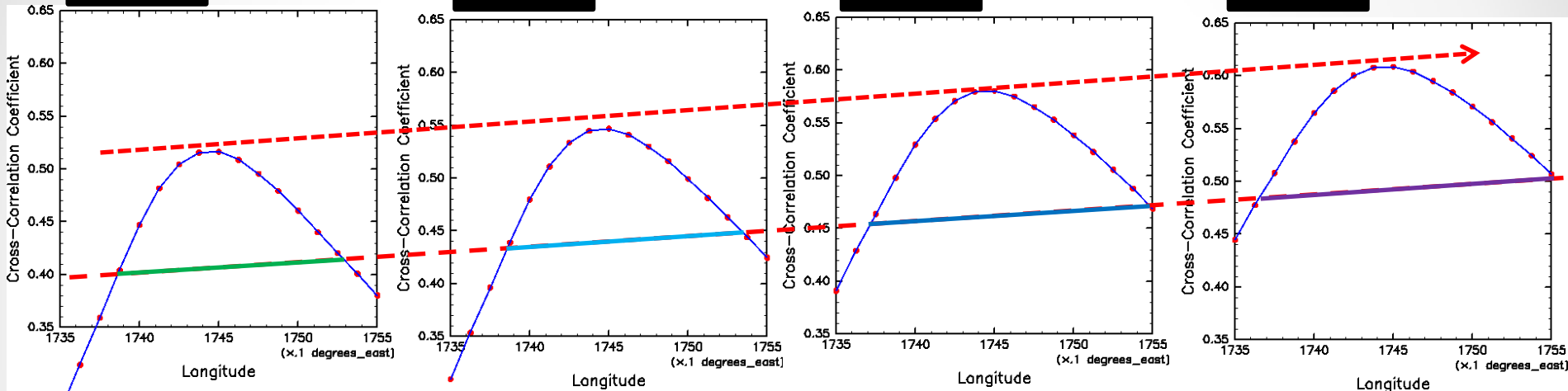


3ペア

4ペア

5ペア

6ペア



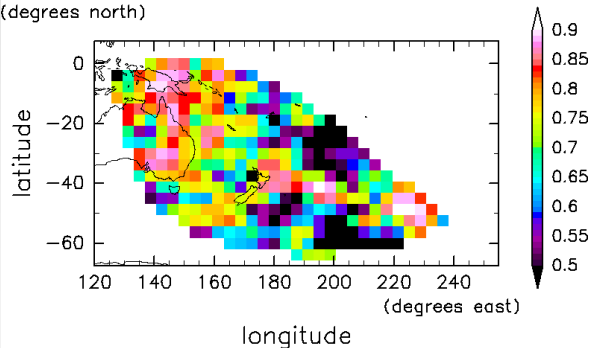
各線はペアを増やした場合の推定誤差の変化を示す。

- 相関曲面を複数枚重ね合わせることで、予想通り推定誤差が大きくなっている。
- 相関係数の増加とともに、推定誤差も増加している。

時間ずらしの重ね合わせによる相関係数の変化

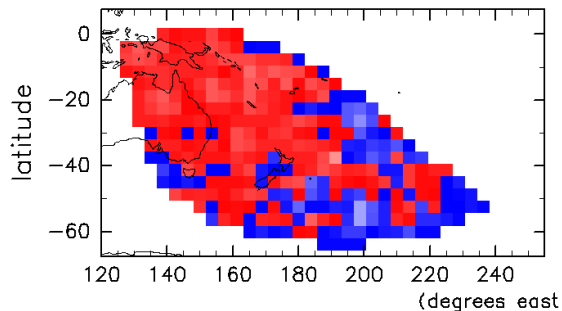
6ペア

Maximum correlation coefficient
(degrees north)



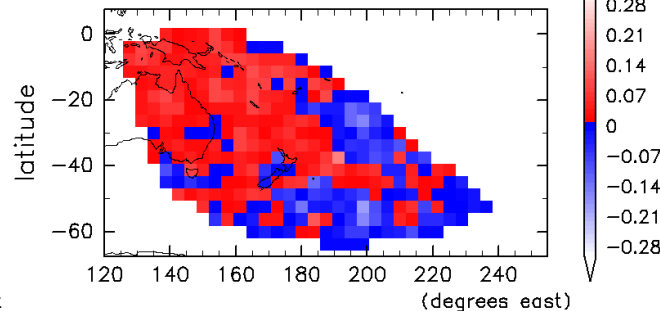
6ペア-1ペア

(degrees north)



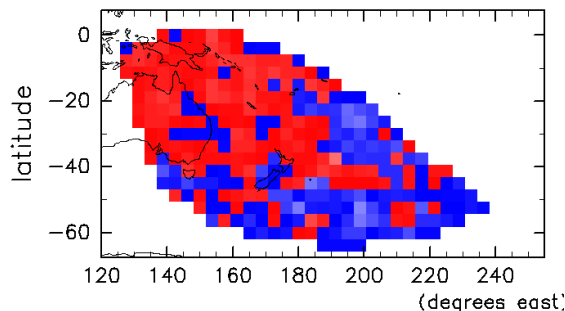
5ペア-1ペア

(degrees north)



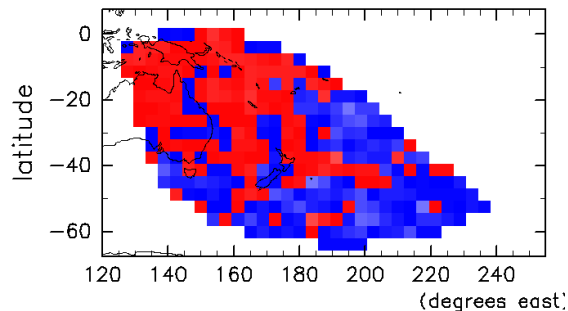
4ペア-1ペア

(degrees north)



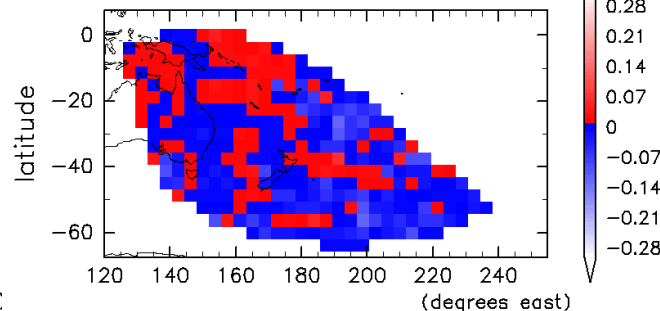
3ペア-1ペア

(degrees north)



2ペア-1ペア

(degrees north)



- 予想通り枚数を増やすことにより、相関係数も向上
- 使用する画像の枚数を沢山確保することが重要
- 中緯度は低緯度ほど重ね合わせによる改善がない

空間ずらしの重ね合わせ

使用背景

候補領域の雲のパターンが完全に信用しない。

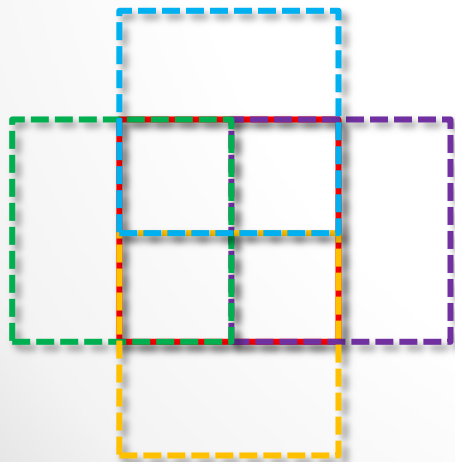


ノイズ対策+似たパターンを追跡防止

メリット

周囲の検査領域の情報量を用いれば検査領域を小さく設定しても、

- ノイズを低減できる。
- シアー大きくても同定ミスを防ぐ。



デメリット

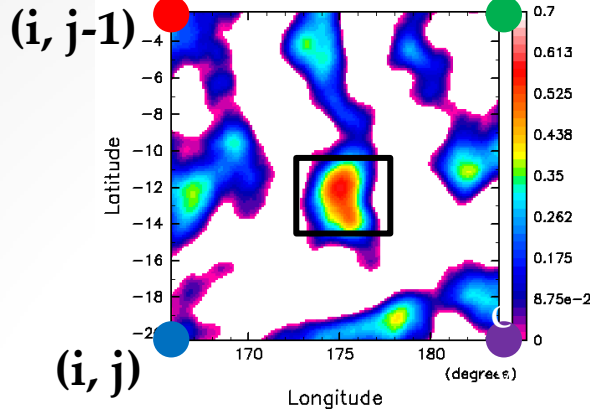
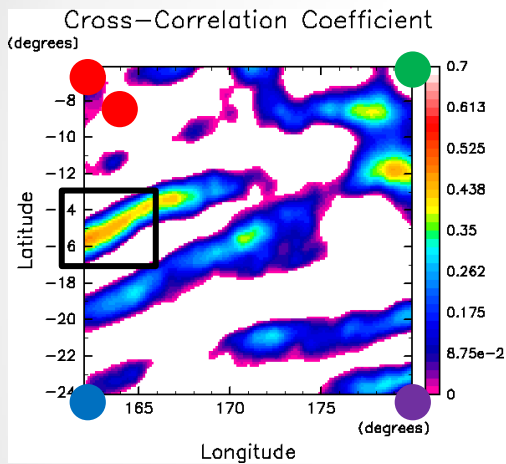
- 空間分解能の低下



空間分解能は検査領域の2倍

- 検査領域内のノイズに対しては無力

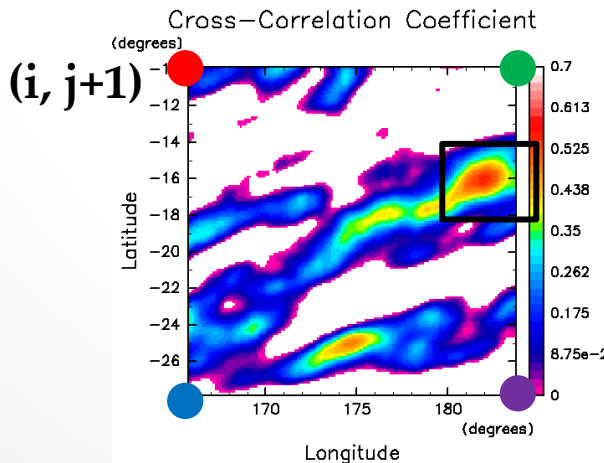
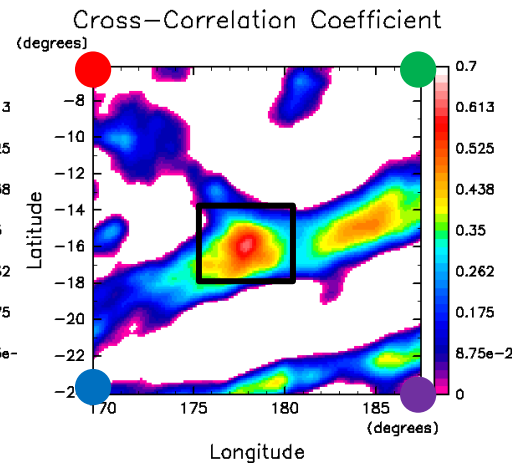
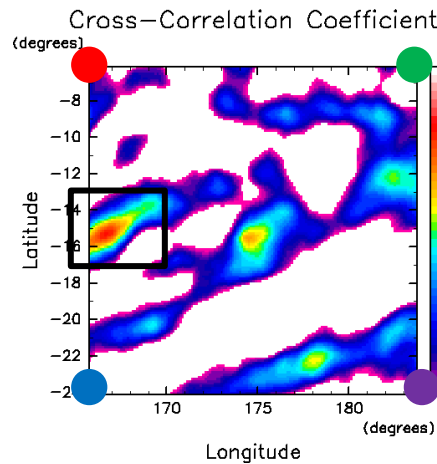
(i-1, j)



(i, j)

□ : 最大相関係数の位置

- 隣接する相関曲面の平均値を (i, j) の相関曲面と見なす.
 - 物理的には $15^\circ \times 15^\circ$ の空間構造の現象を抽出していることに相当する.
- (i+1, j)

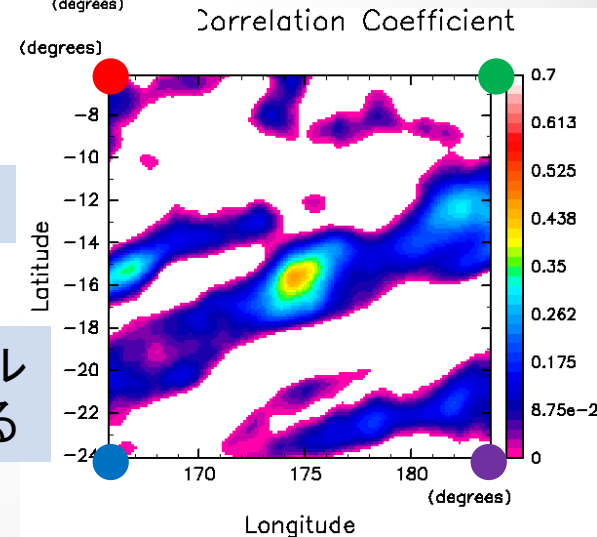


(i, j+1)

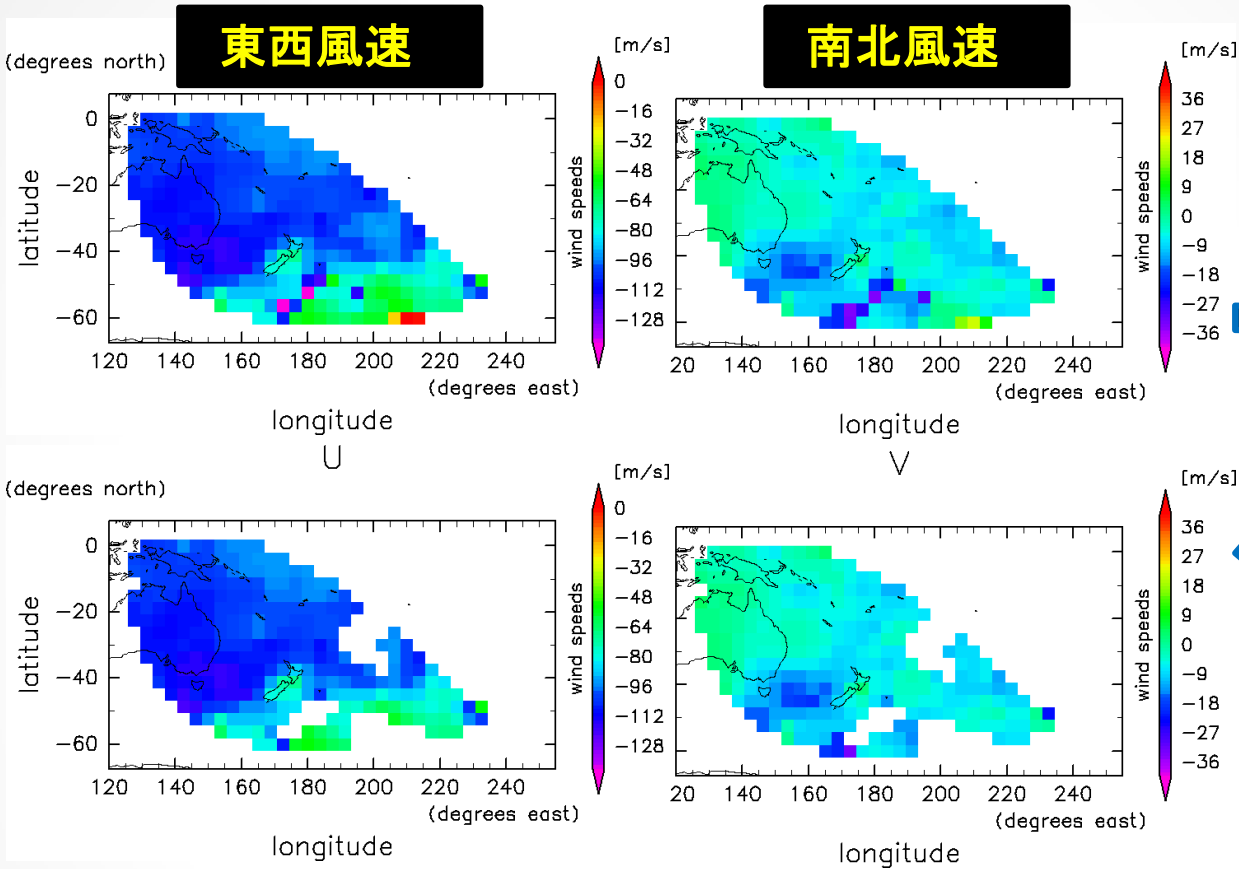
重ね合わせ



偽のシグナルは除去できる



重ね合わせ(時間+空間)による推定結果1(11ペア)



採用するベクトル

- 安定した推定結果のように見えるが、個々の風速がどの程度信頼か不明

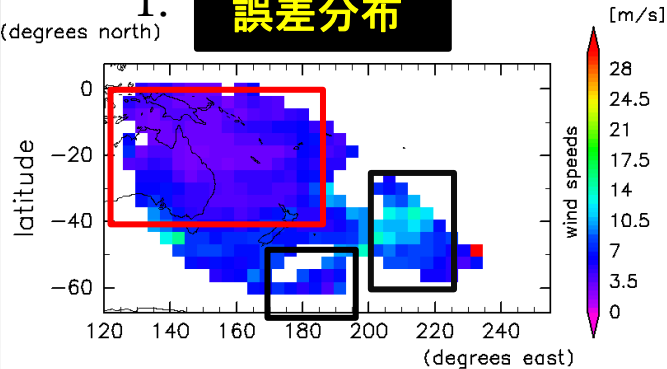


複数の指標を用いて信頼性を評価する必要がある

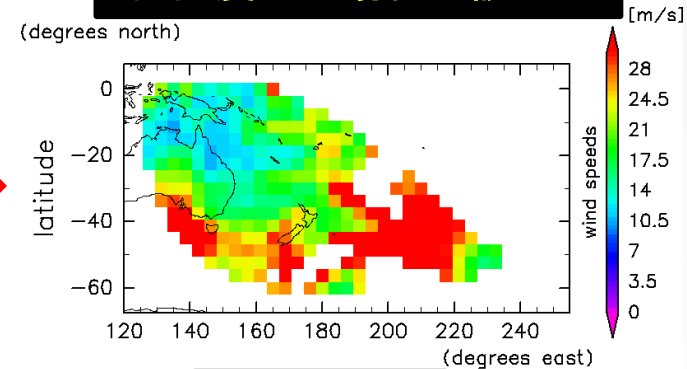
推定結果の誤差評価1-1

1.
(degrees north)

誤差分布

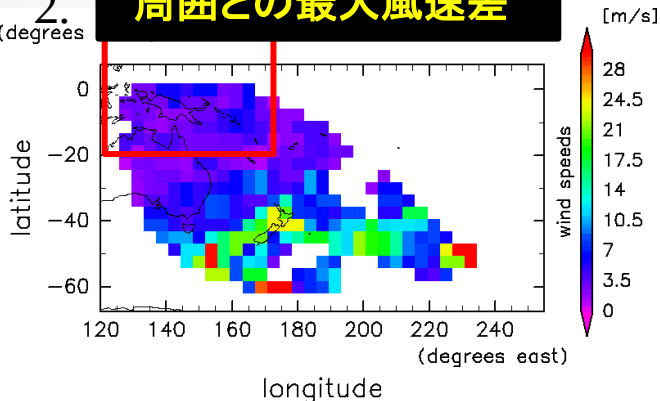


自由度36の場合の誤差



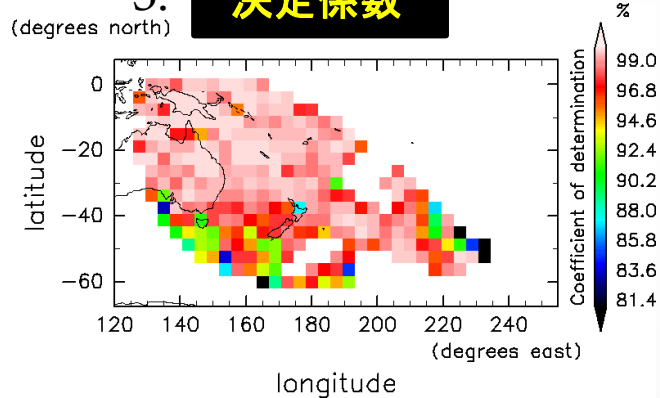
2.
(degrees

周囲との最大風速差



3.
(degrees north)

決定係数



- 信頼できるところ



ボックス内(赤)は、各々の整合性がよい。

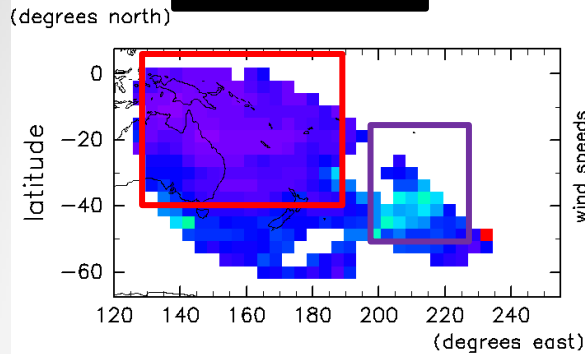
- 信頼できないところ



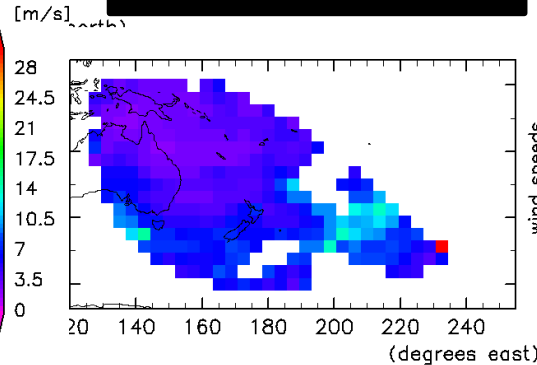
ボックス内(黒)は、1の信頼性が低く2との整合性が悪い

推定結果の誤差評価1-2

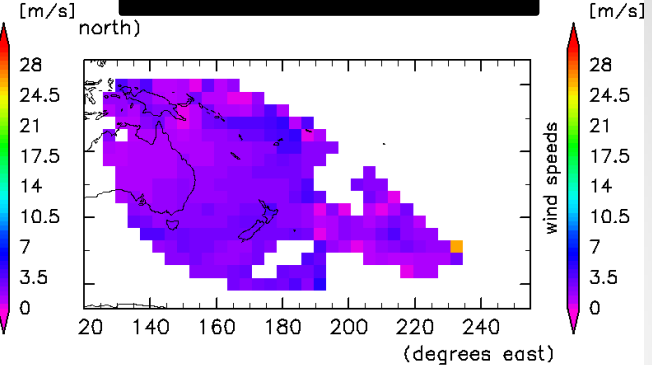
誤差分布



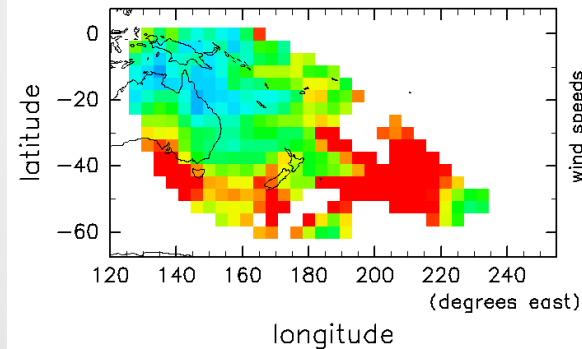
東西風速の誤差



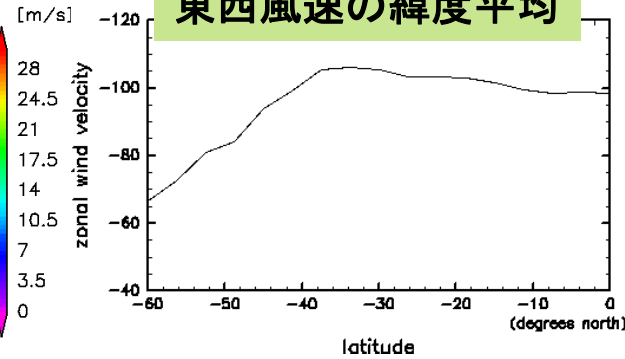
南北風速の誤差



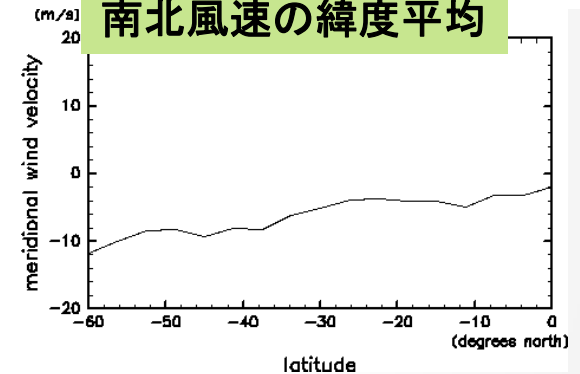
自由度36の場合の誤差



東西風速の緯度平均



南北風速の緯度平均



- 精度がよいところ

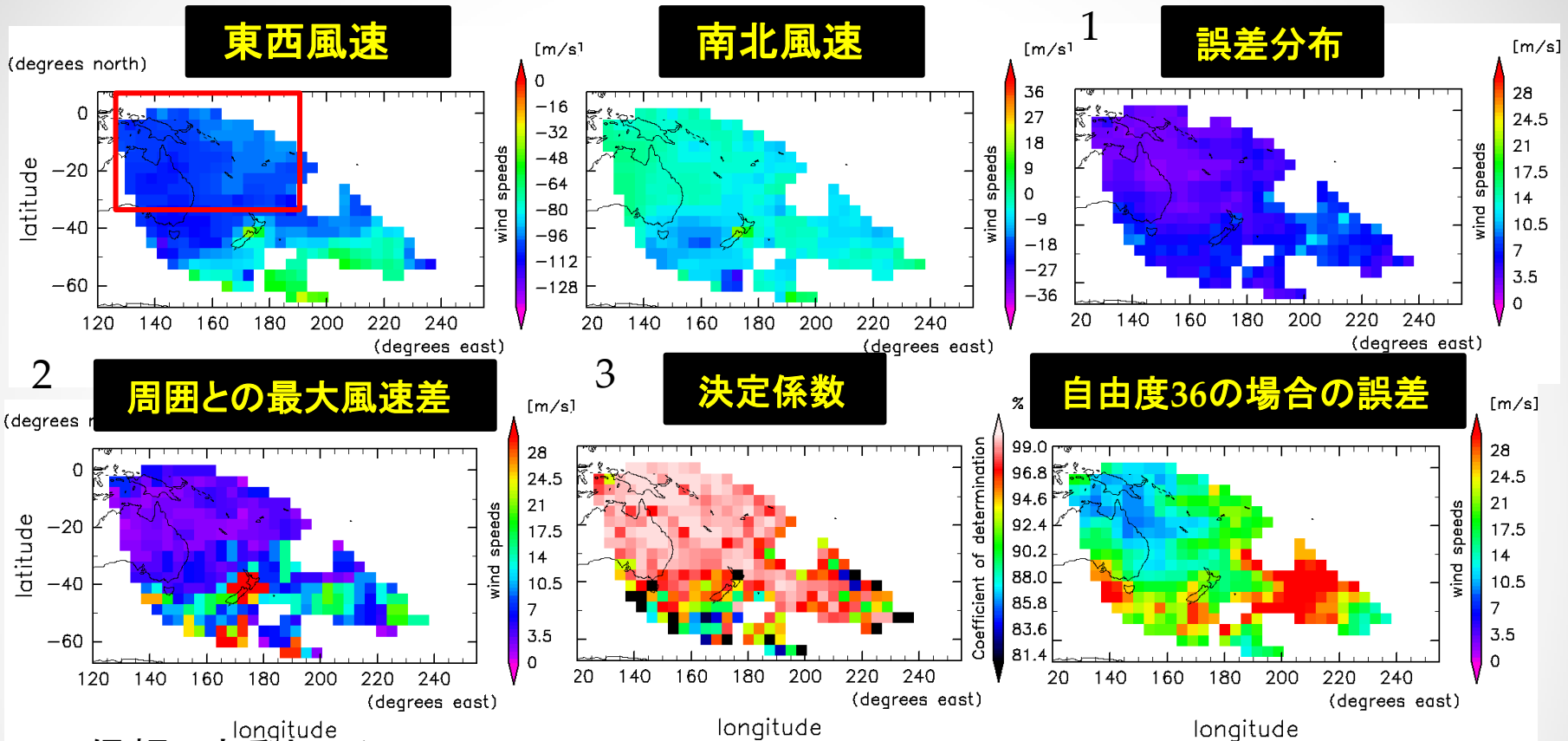
→ 東西風も低緯度は、誤差およそ10m/s(自由度36)以下で風速を見積もることができる。

- 精度がよくないところ

→ 南北風は低緯度と同程度の誤差で、東西風は低緯度の2倍程度以上の誤差で風速が求まる。

→ 筋状の雲が多いことが原因

重ね合わせ(時間+空間)による推定結果と誤差評価2(6ペア)



信頼できるところ



ボックス内は、3つの指標と整合性がとれる

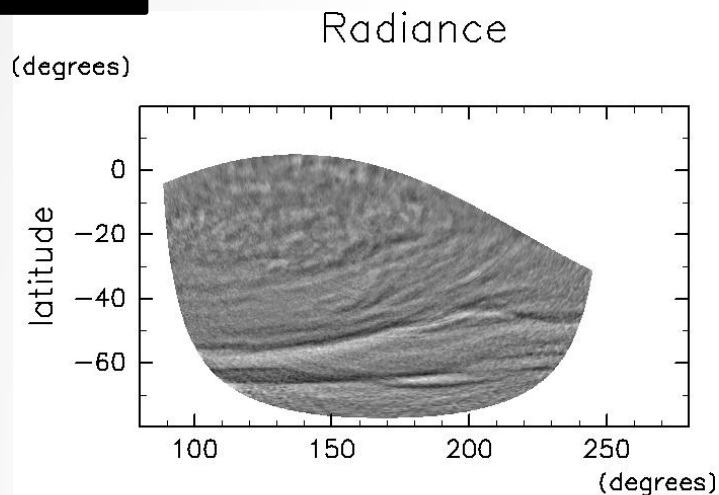
信頼できないところ



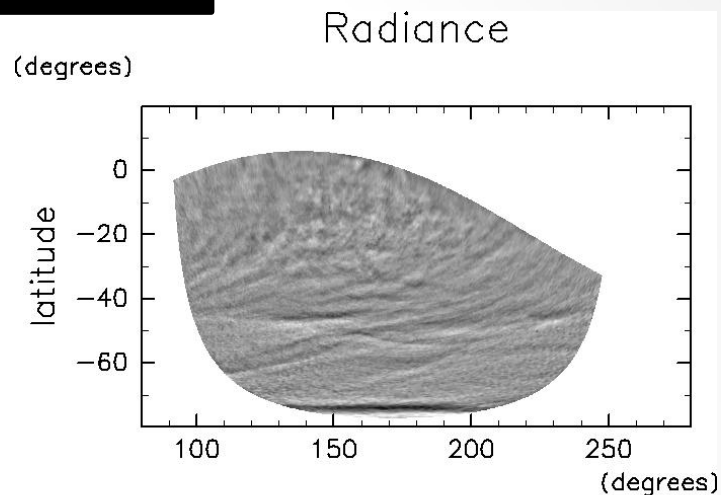
指標1と3からボックス外は、あまり指標1の信頼性はよくない。
指標1と2はボックス外では、整合性がよくない。

他の軌道では?

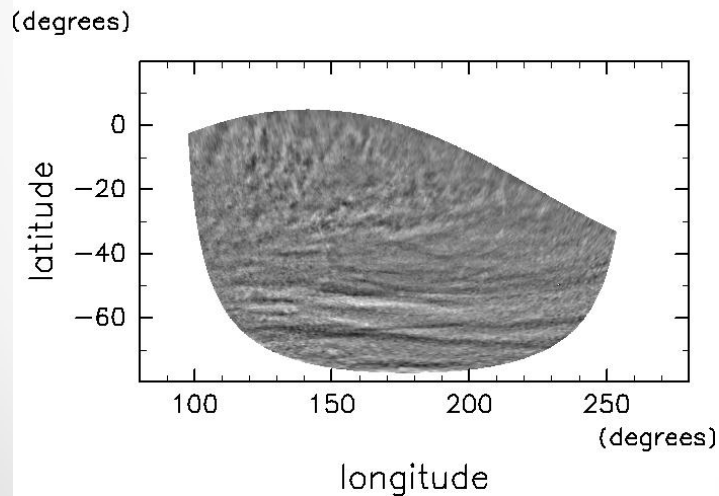
軌道257



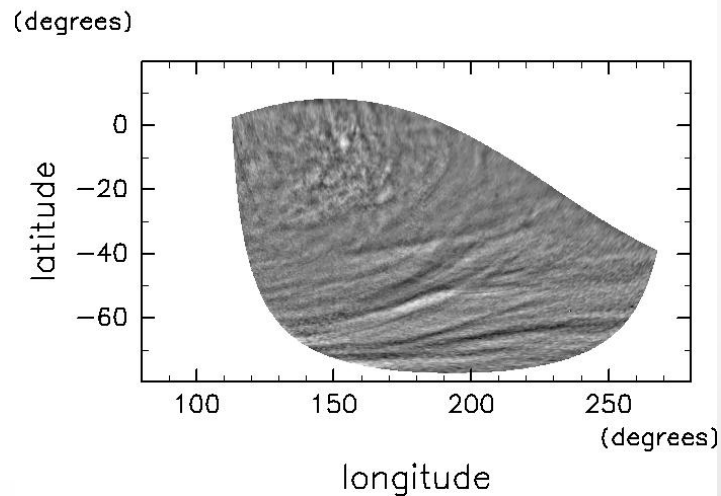
軌道258



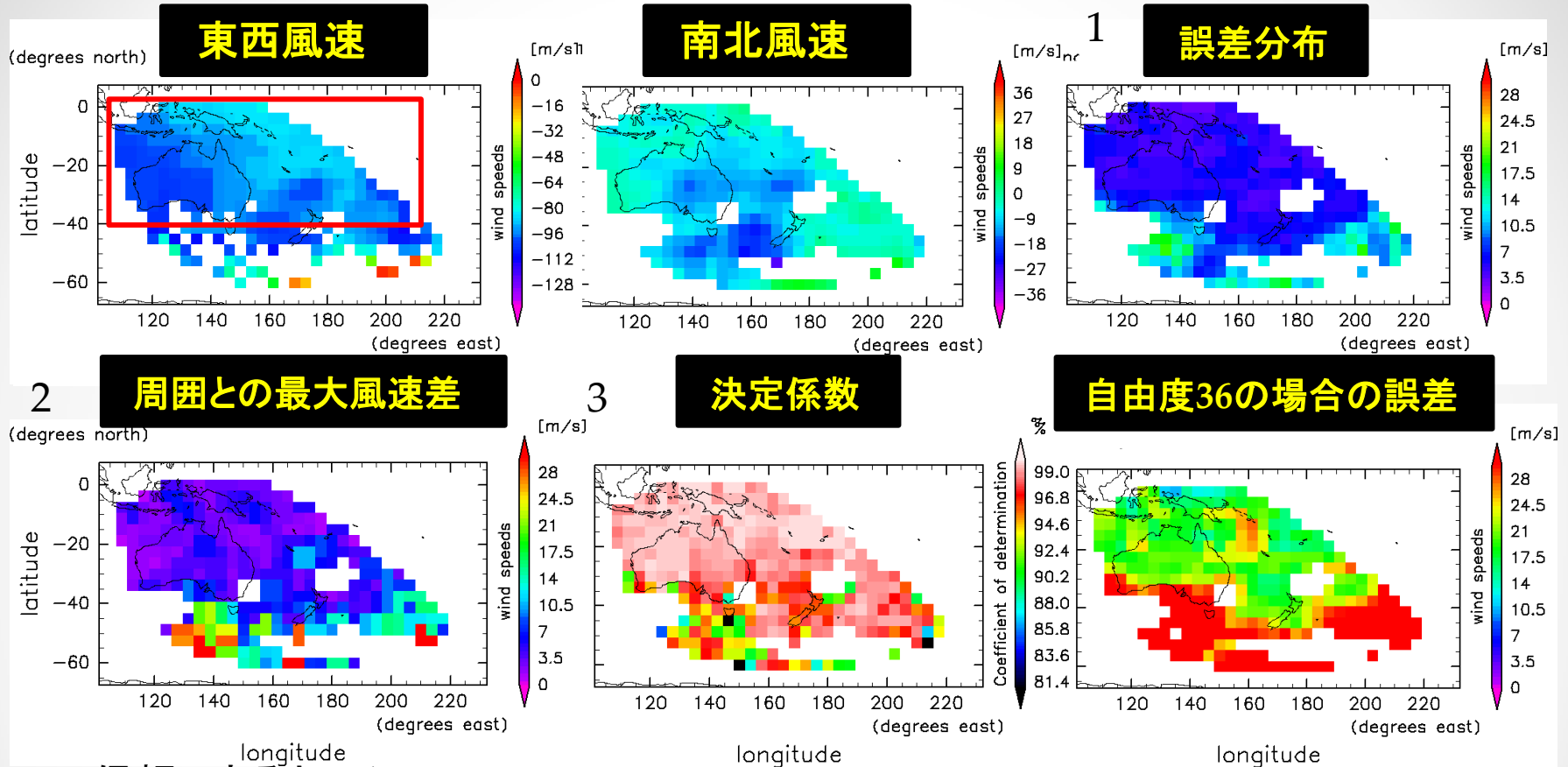
軌道260



軌道265



軌道257の推定結果と誤差評価(11ペア)



信頼できるところ



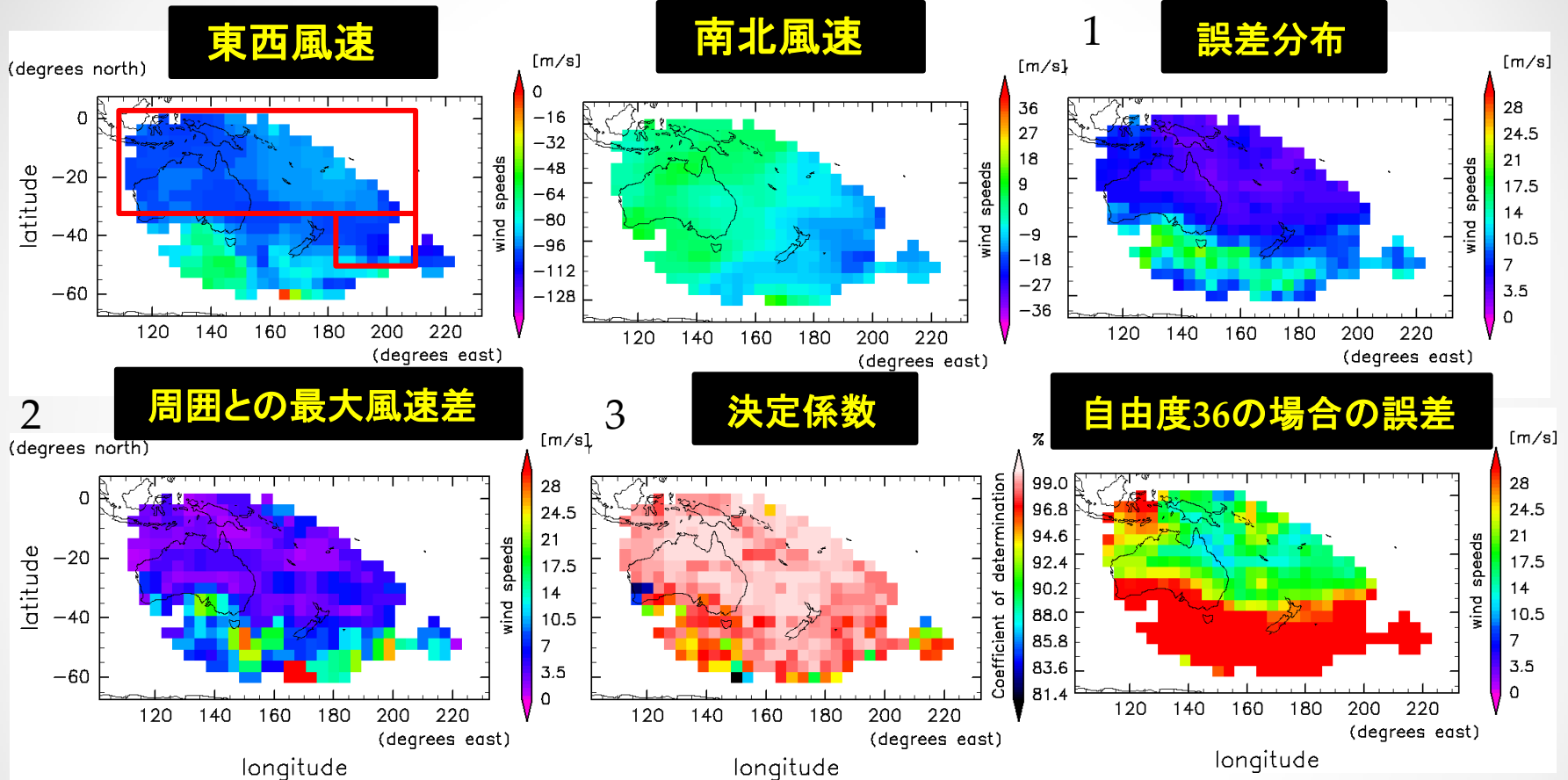
ボックス内は、3つの指標と整合性がとれる

信頼できないところ



指標1と3からボックス外は、指標1も信頼性が高い。
指標1と2からボックス外は、整合性がよくないところが多い。

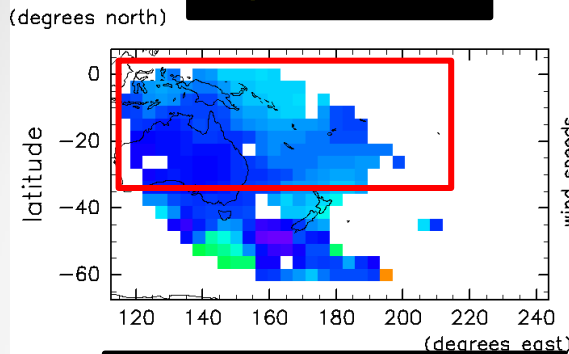
軌道258の推定結果と誤差評価(11ペア)



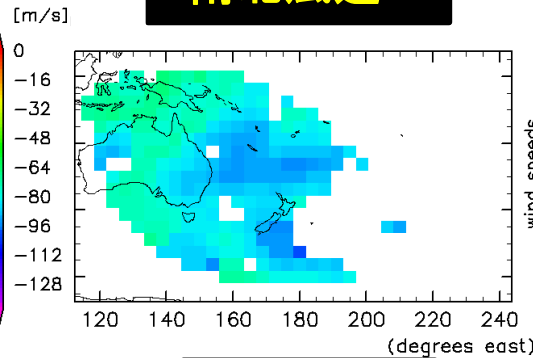
ボックス内は、3つの指標と整合性がとれる

軌道260の推定結果と誤差評価(11ペア)

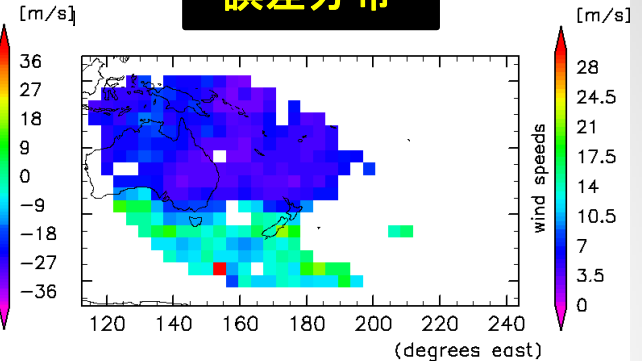
東西風速



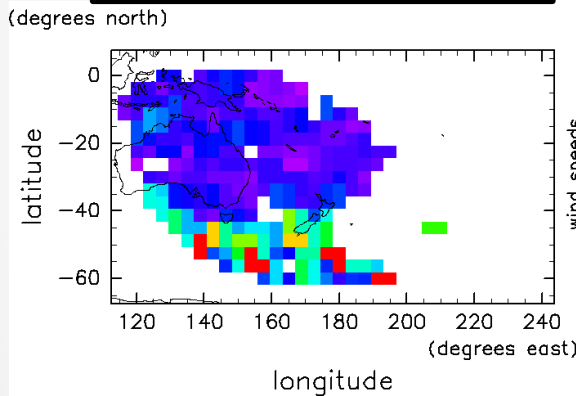
南北風速



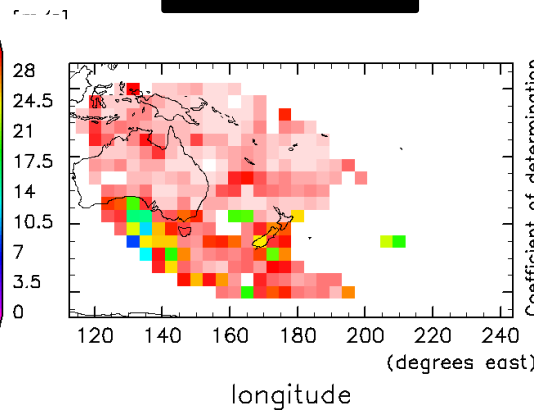
1 誤差分布



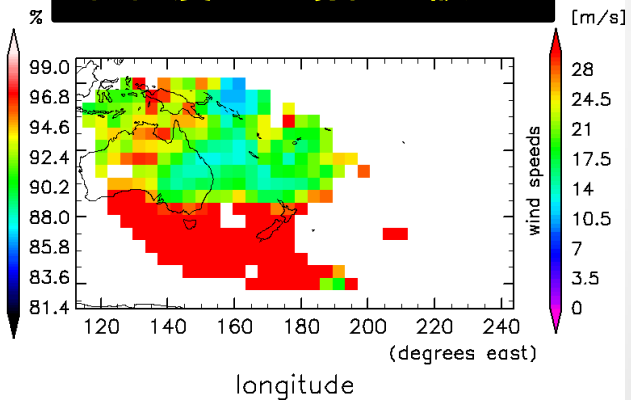
2 周囲との最大風速差



3 決定係数



自由度36の場合の誤差



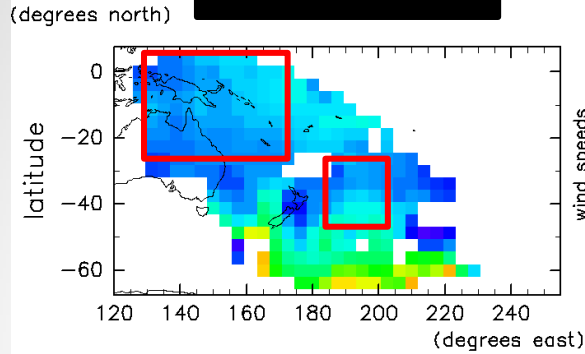
ボックス内は、3つの指標と整合性がとれる



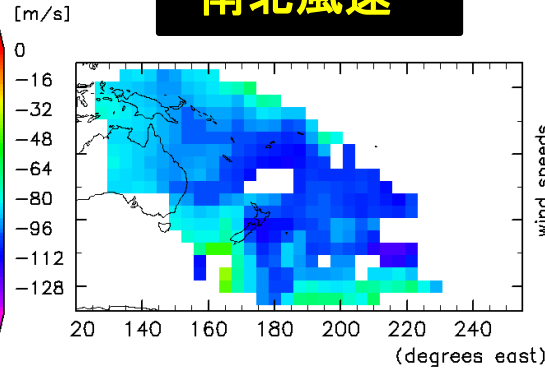
指標1から、中緯度では誤差が非常に大きく信頼できない

軌道265の推定結果 (7ペア)

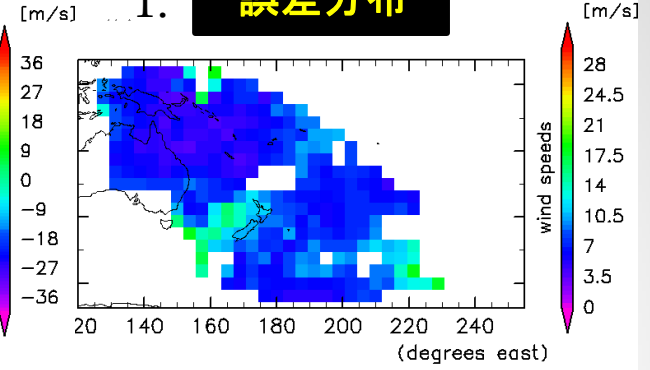
東西風速



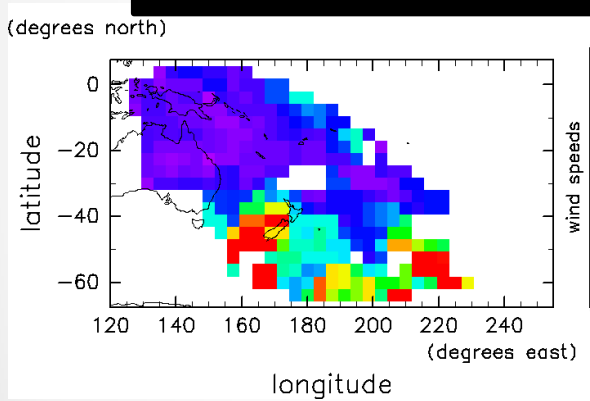
南北風速



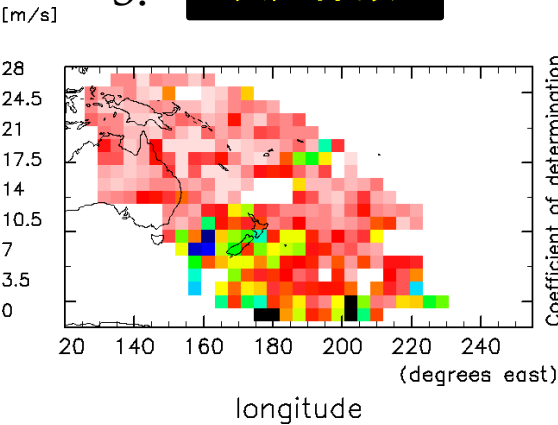
1. 誤差分布



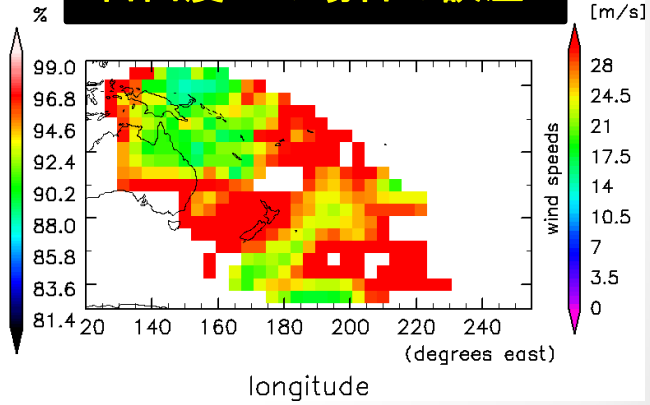
2. 周囲との最大風速差



3. 決定係数



自由度36の場合の誤差



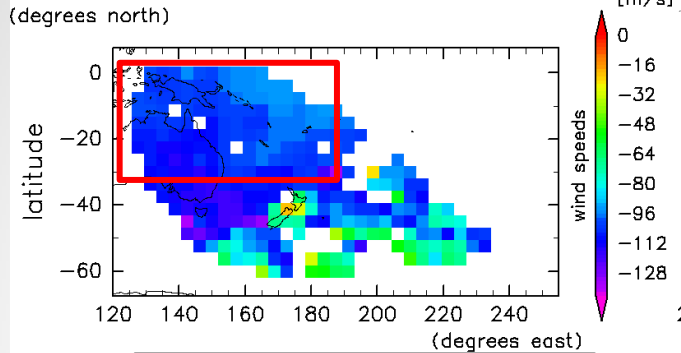
使用するペアが少ない場合は指標1の信頼性が低い



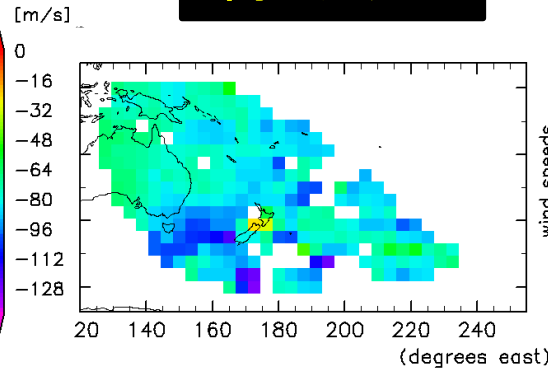
使用するペアが少ない場合は, 低緯度の信頼できる領域が減少

時間ずらしの重ね合わせだけしたら？(11ペア)

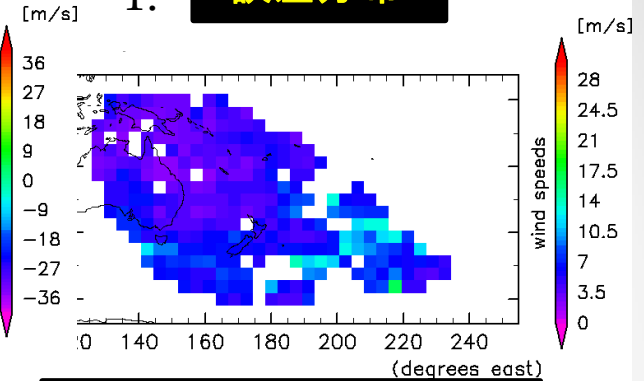
東西風速



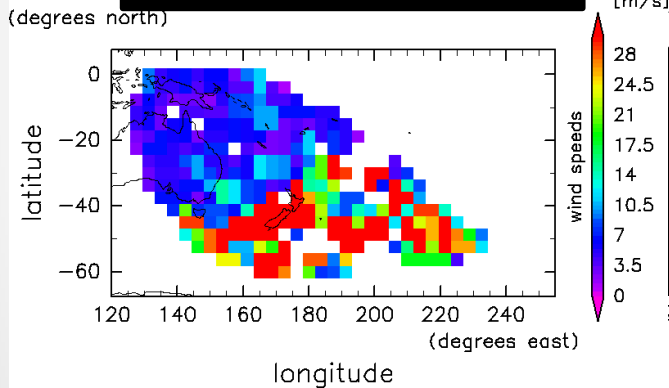
南北風速



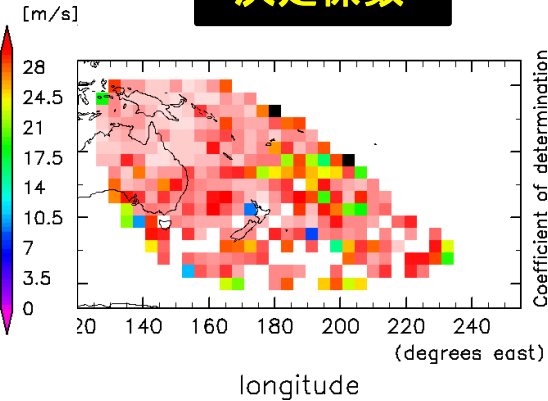
1. 誤差分布



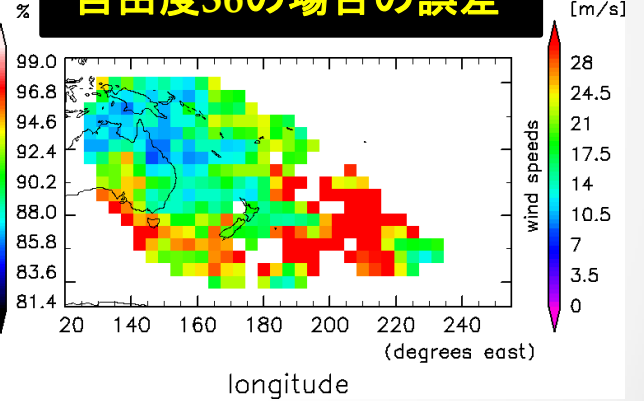
2. 周囲との最大風速差



3. 決定係数



自由度36の場合の誤差



- 空間ずらしを使用しない場合

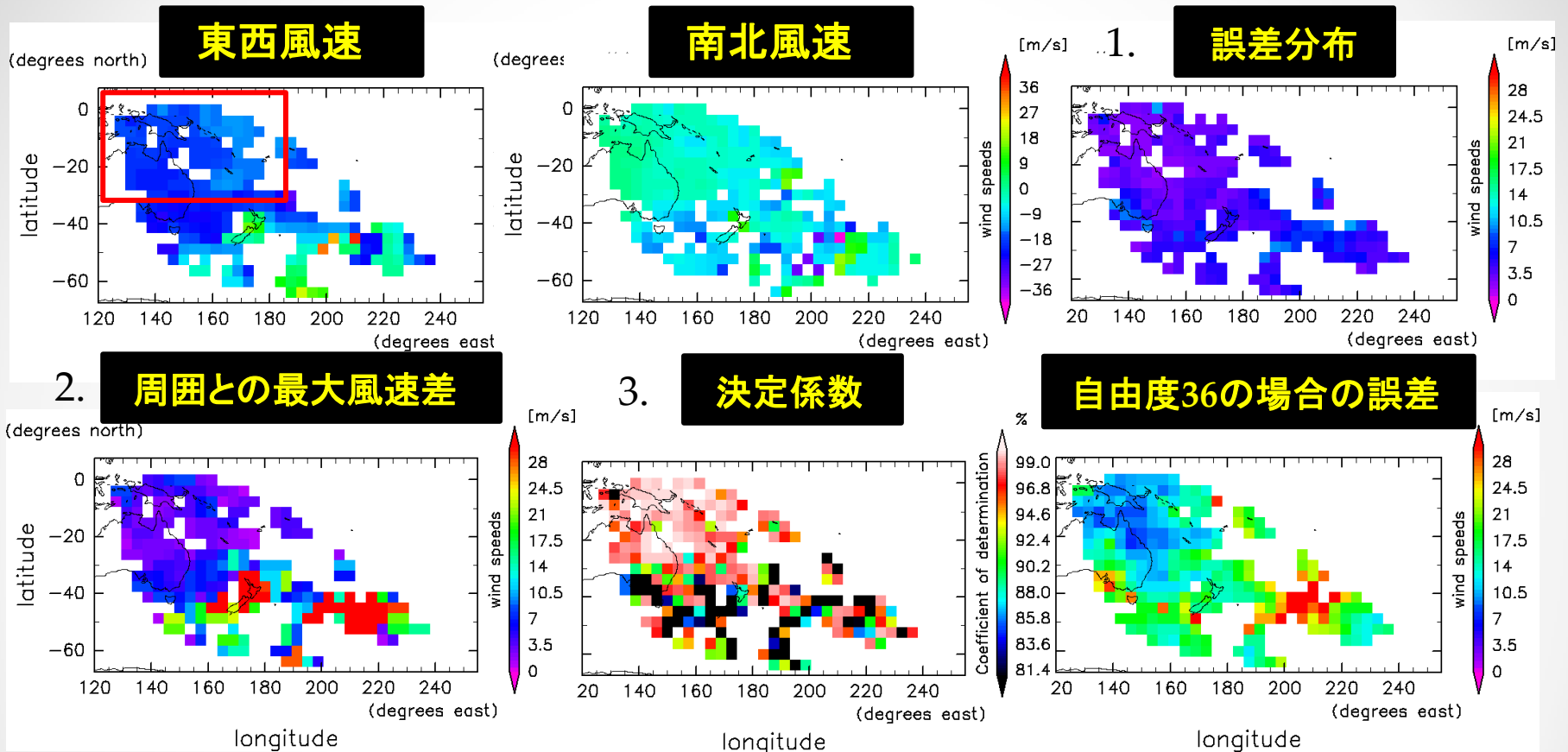


指標1, 3から, 1の結果は中緯度では信頼性が非常に低い



指標1, 2の整合性は中緯度ではほとんどない

空間ずらしの重ね合わせだけしたら?(1ペア)

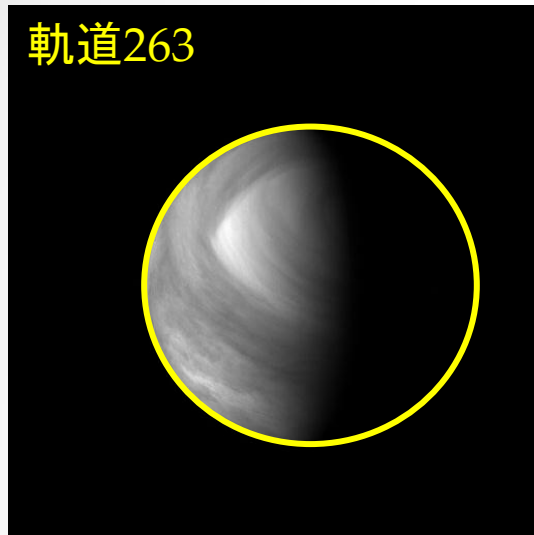


• 時間ずらしを使用しない場合

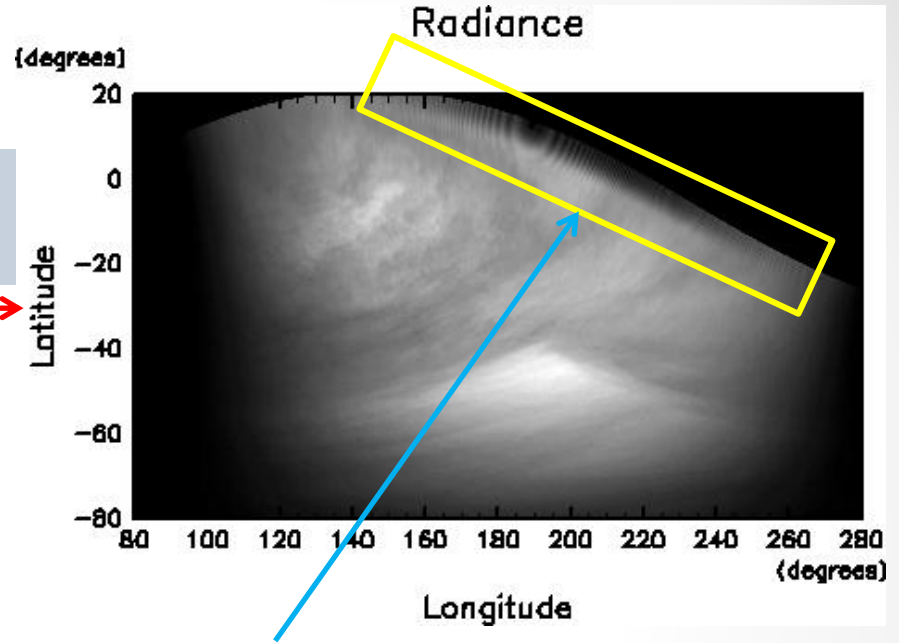
➡ 時間ずらしの場合以上に, 中緯度では指標1が信頼できない

➡ 中緯度では指標1, 2の整合性も悪い

リム補正のあり・なし



緯度・経度
変換



観測による視線方向のズレ → リム近傍の宇宙空間を雲頂と見なす

リム補正をした場合に期待される効果

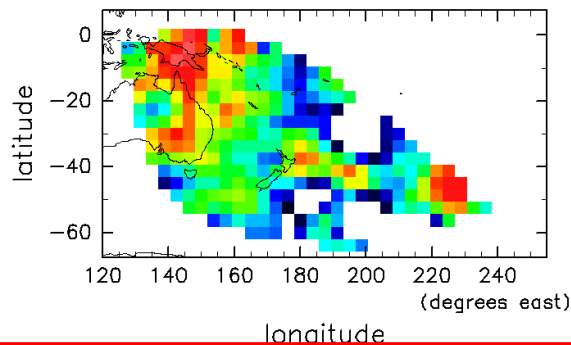


	相関係数	誤差
低緯度	高くなる	小さくなる
中緯度	あまり変化しない？	

リム補正あり・なしの結果（時間＋空間）

最大相関係数

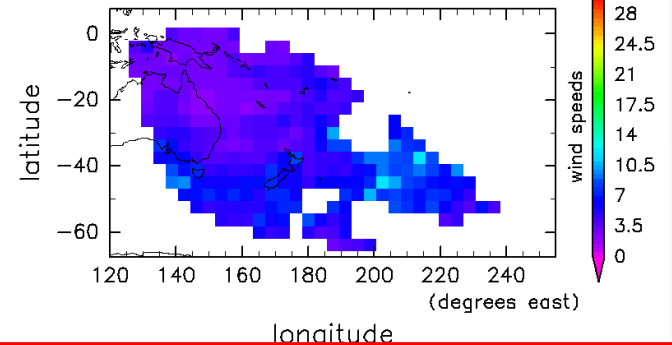
Maximum correlation coefficient
(degrees north)



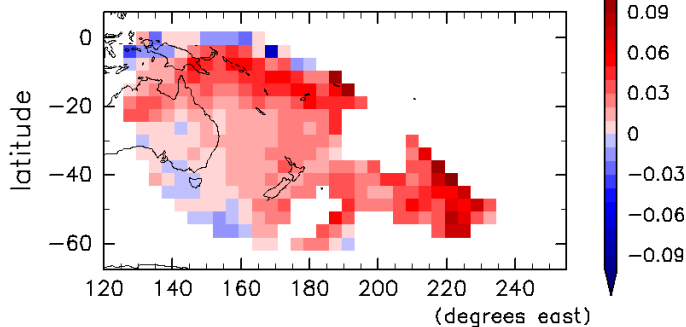
リム補正あり(11ペア)

誤差分布

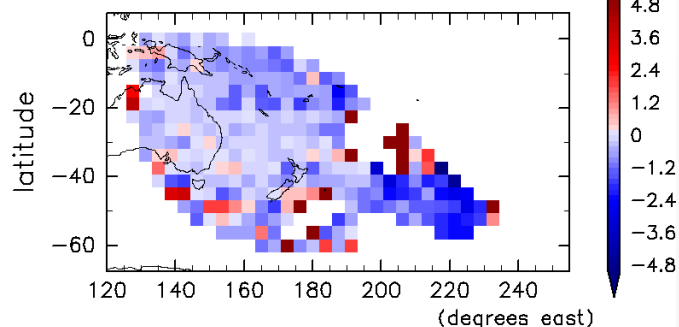
(degrees north)



リム補正ありなし(最大相関係数)



リム補正ありなし(誤差)



	相関係数	誤差
低緯度	高くなった	小さくなった
中緯度	若干高くなった	不明

まとめ

...

まとめ

- 時間・空間ずらしの重ね合わせを行うこと, 誤ベクトルの発生を抑える



ノイズ対策



似たパターンの追跡防止

- 複数の異なる指標を用いて, 個々の風速の信頼性を評価した(誤差評価修正中).

個々の推定結果診断



低緯度:信頼性大. 中緯度:信頼性小

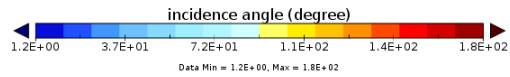
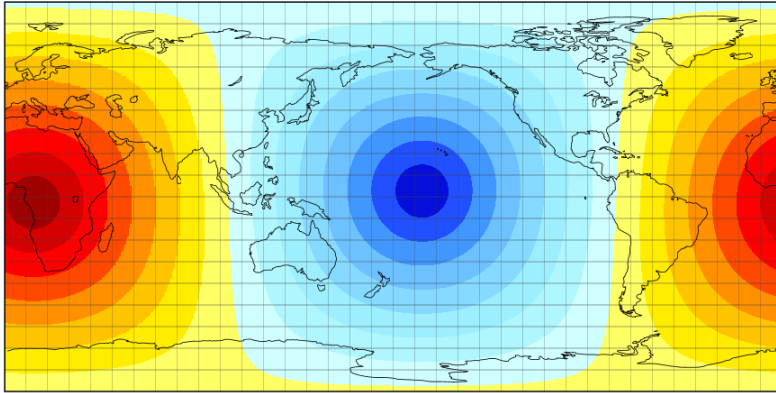
今後の展望

- 自由度を考慮した時間・空間ずらしの重ね合わせによる風速推定の誤差を導出する.
- 時間・空間ずらしの重ね合わせによる風速推定の事例結果を増やす.
 - ➡ 手法の有意性
 - ➡ 帯状平均の時間変動を見積もる
- 画像に様々なノイズを与えて、時間・空間ずらしの重ね合わせによる推定結果の精度を調べる.

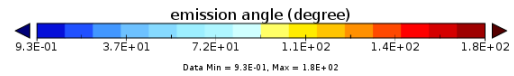
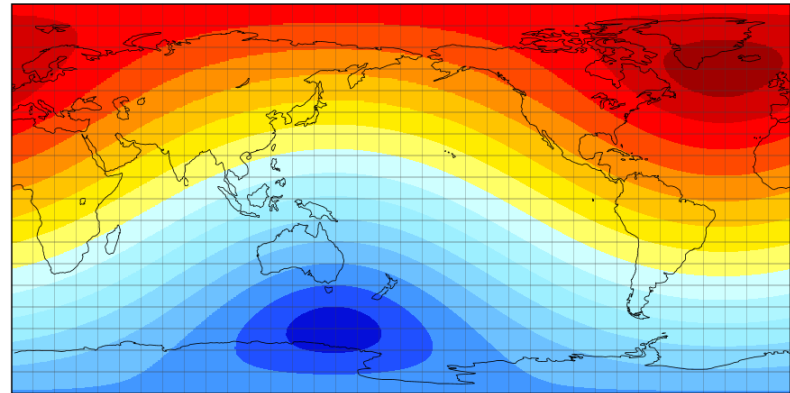


輝度補正

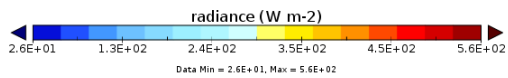
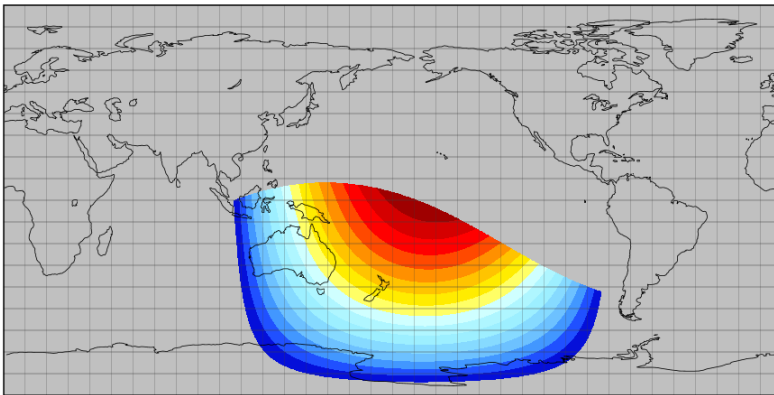
incidence angle



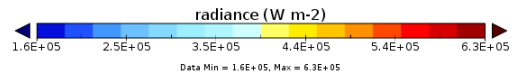
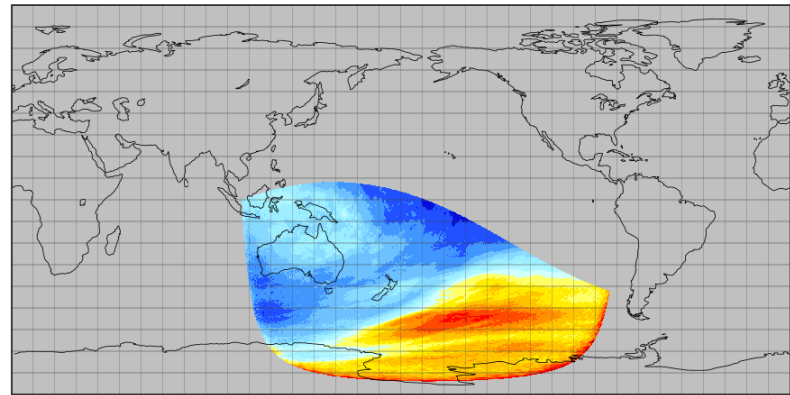
emission angle



radiance



radiance



$$I = B \frac{F'}{\pi \mu} (\mu \mu')^k \frac{1 - \exp(-\mu' / a)}{1 - \exp(-\mu / b)}$$

I : 反射強度

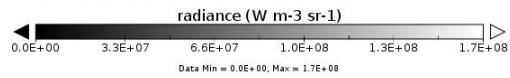
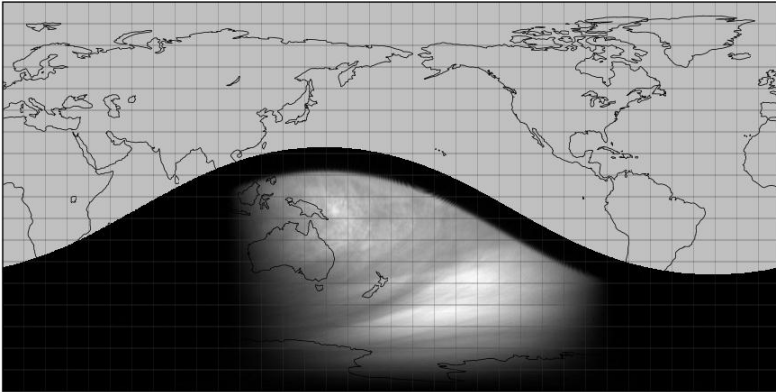
F' : 太陽フラックス

μ' : 太陽入射角の余弦

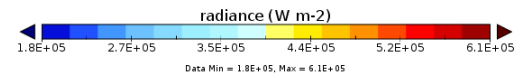
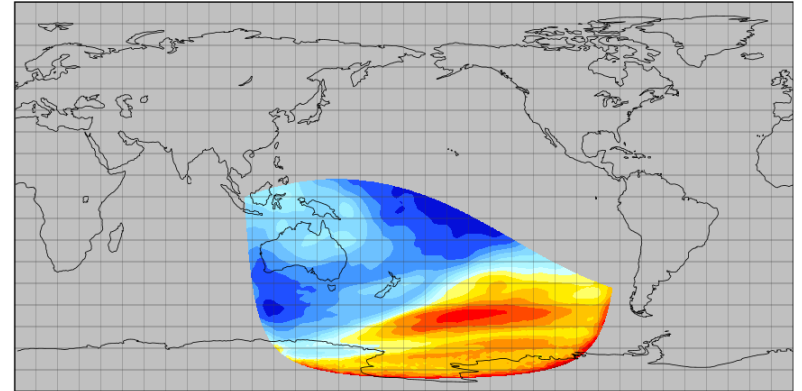
μ : 衛星天頂角の余弦

ハイパス処理

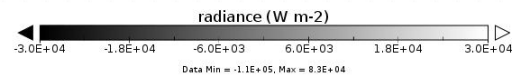
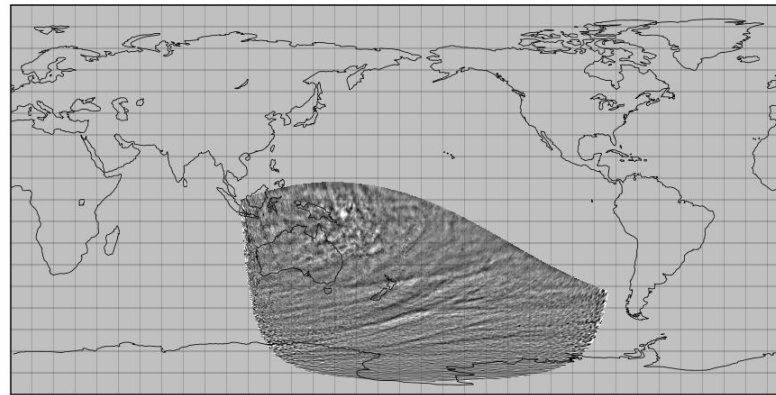
radiance



radiance



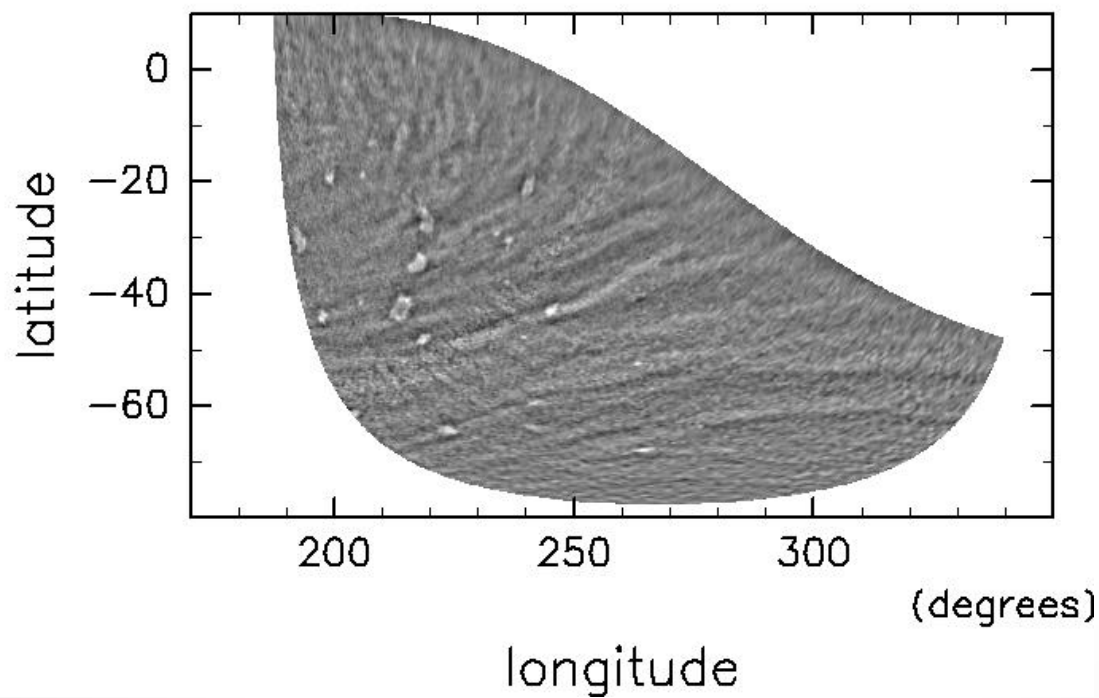
radiance



カメラのシミ

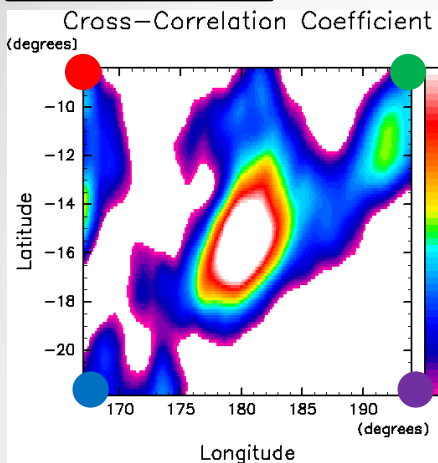
Radiance

(degrees)

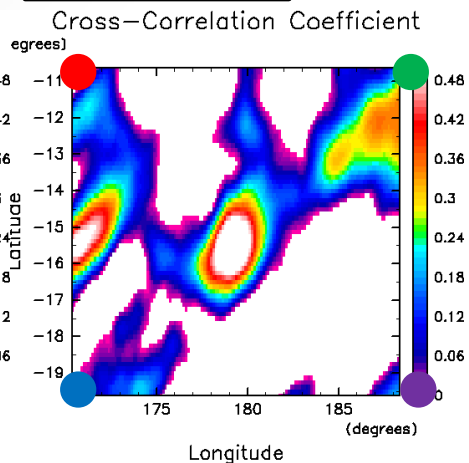


1ペアによる各時刻の相関曲面

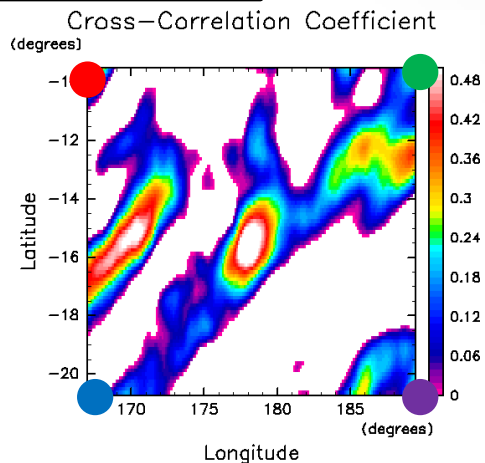
3600[s]



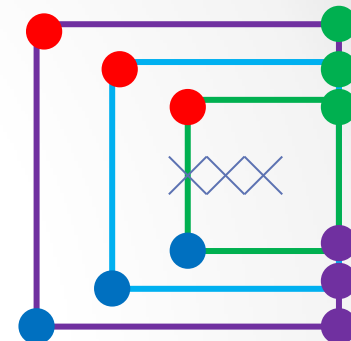
4800[s]



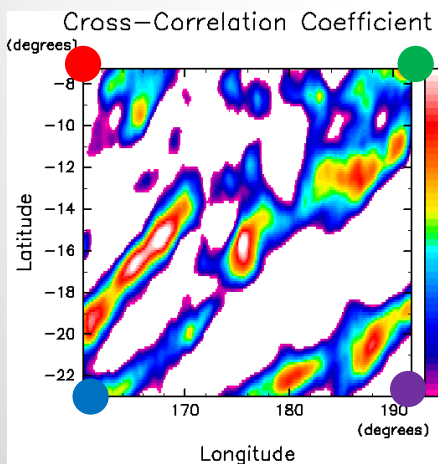
6000[s]



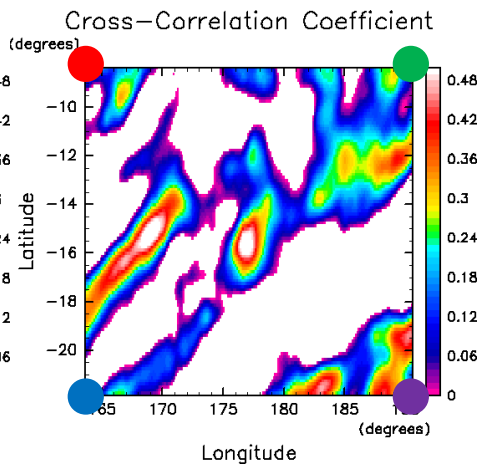
緯度経度座標



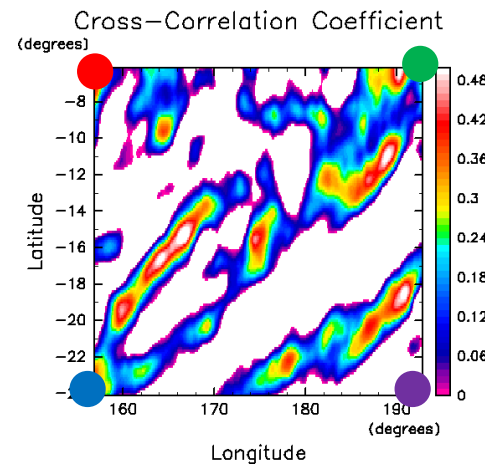
7200[s]



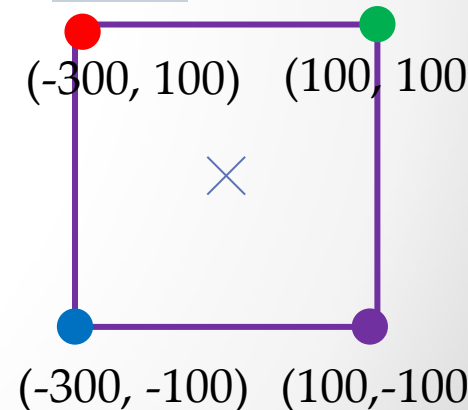
8400[s]



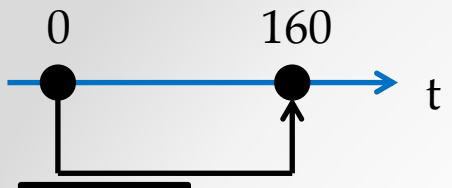
9600[s]



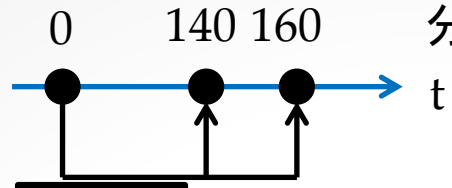
風速



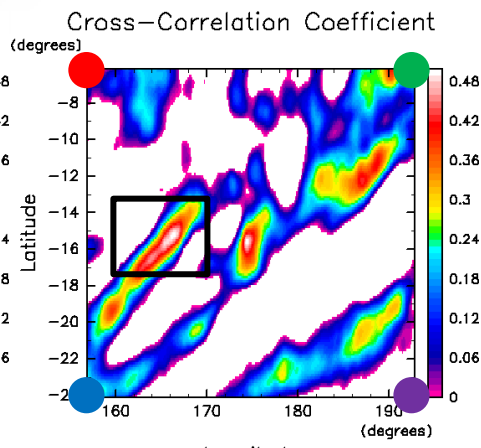
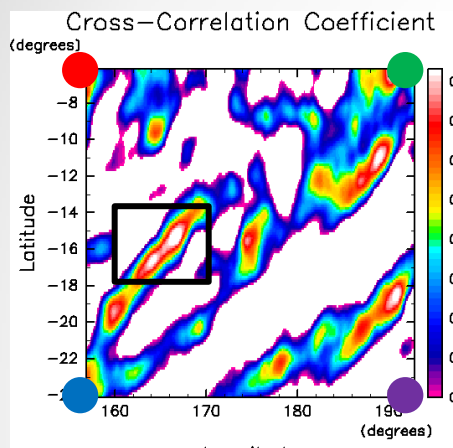
時間ずらしの重ね合せによる効果



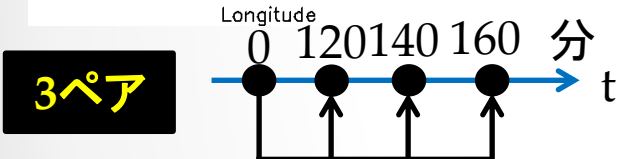
1ペア



2ペア



□ : 最大相関係数の位置

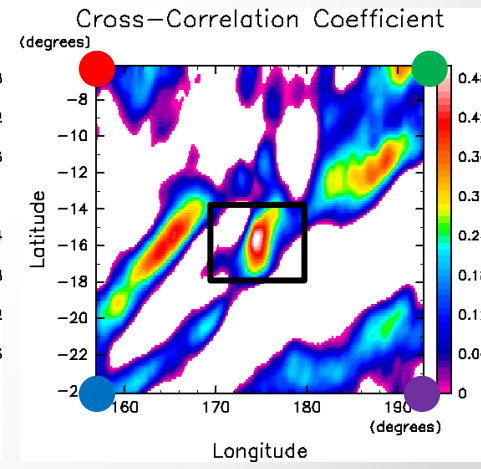
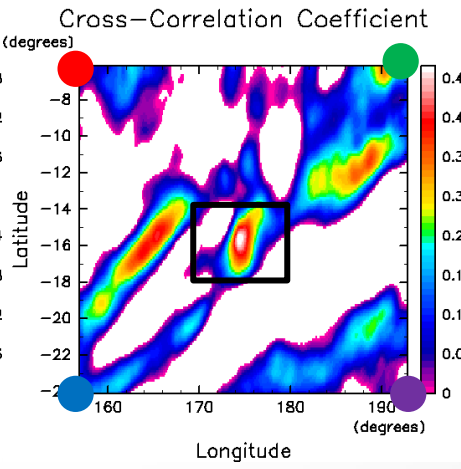
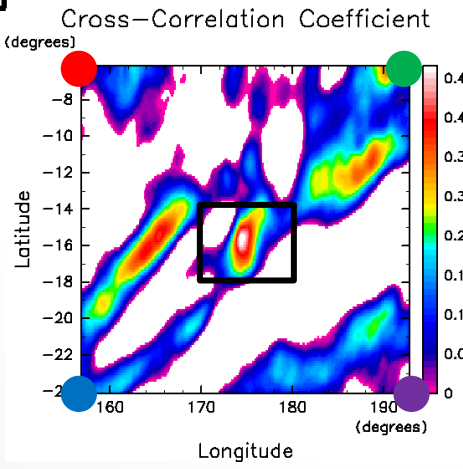
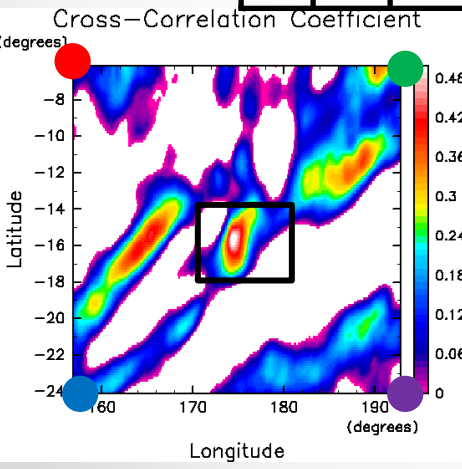


3ペア

4ペア

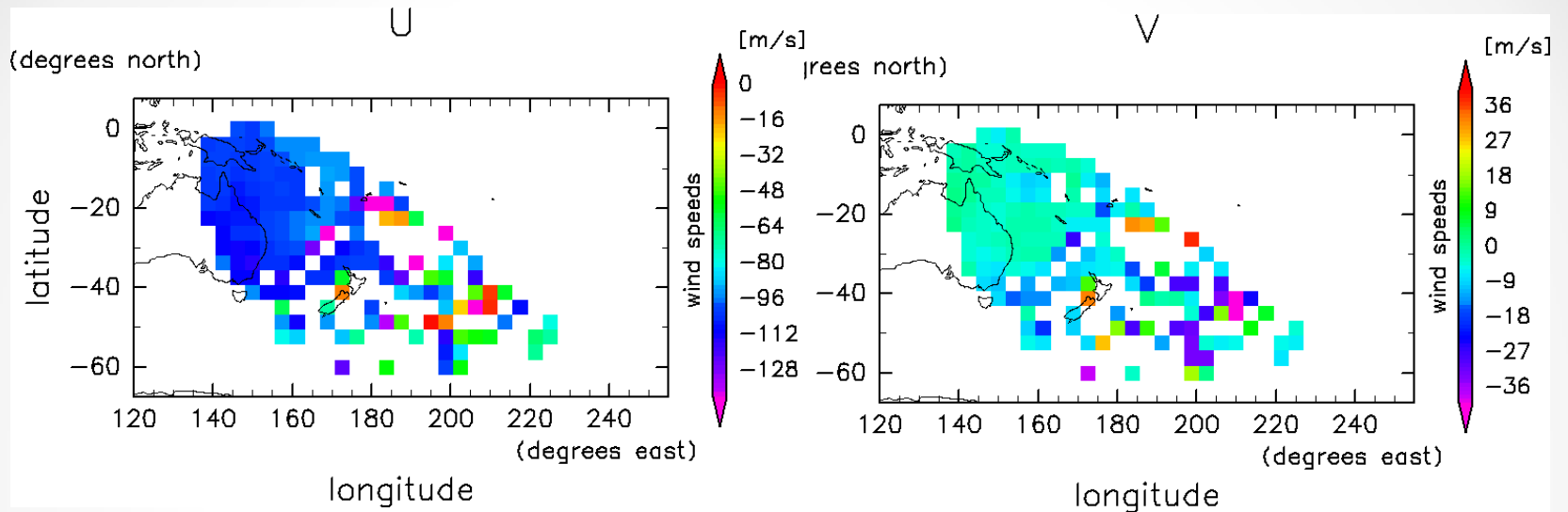
5ペア

6ペア

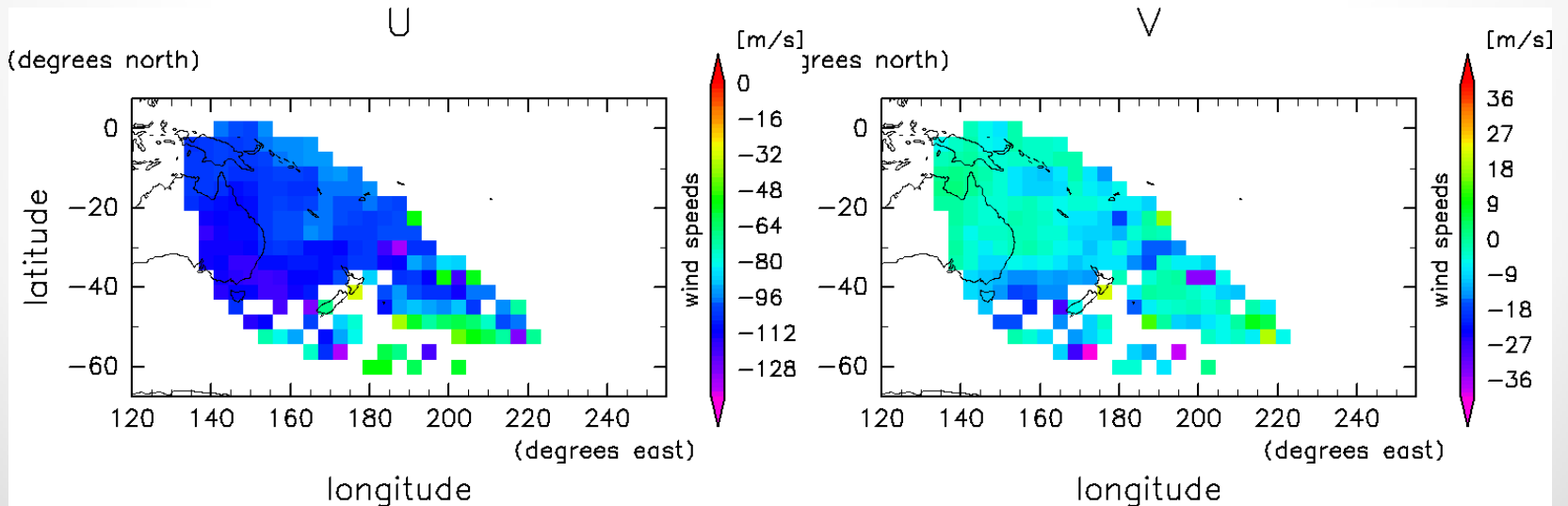


軌道263, 時間刻み幅=160分

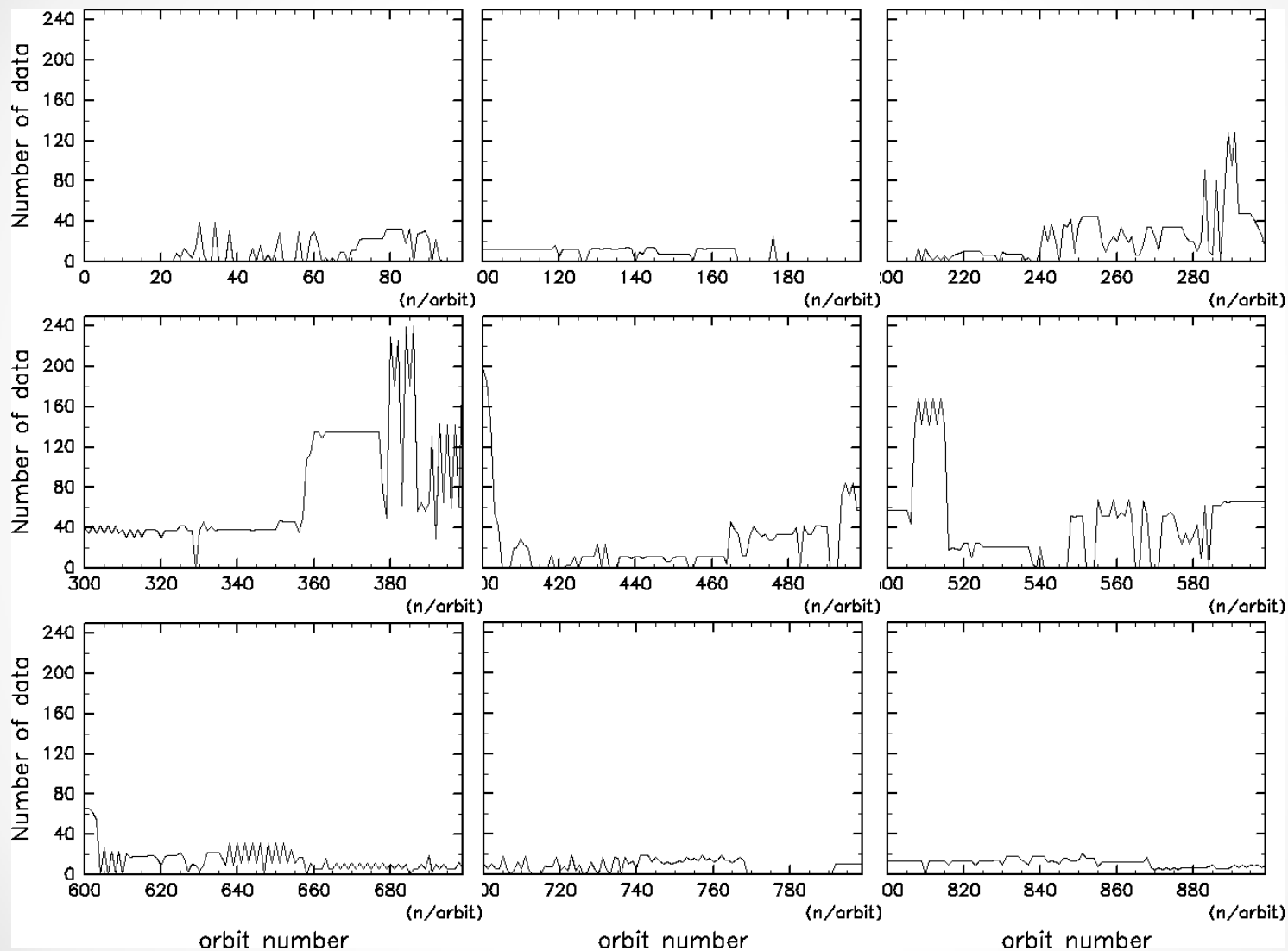
相互相関法による雲追跡の結果



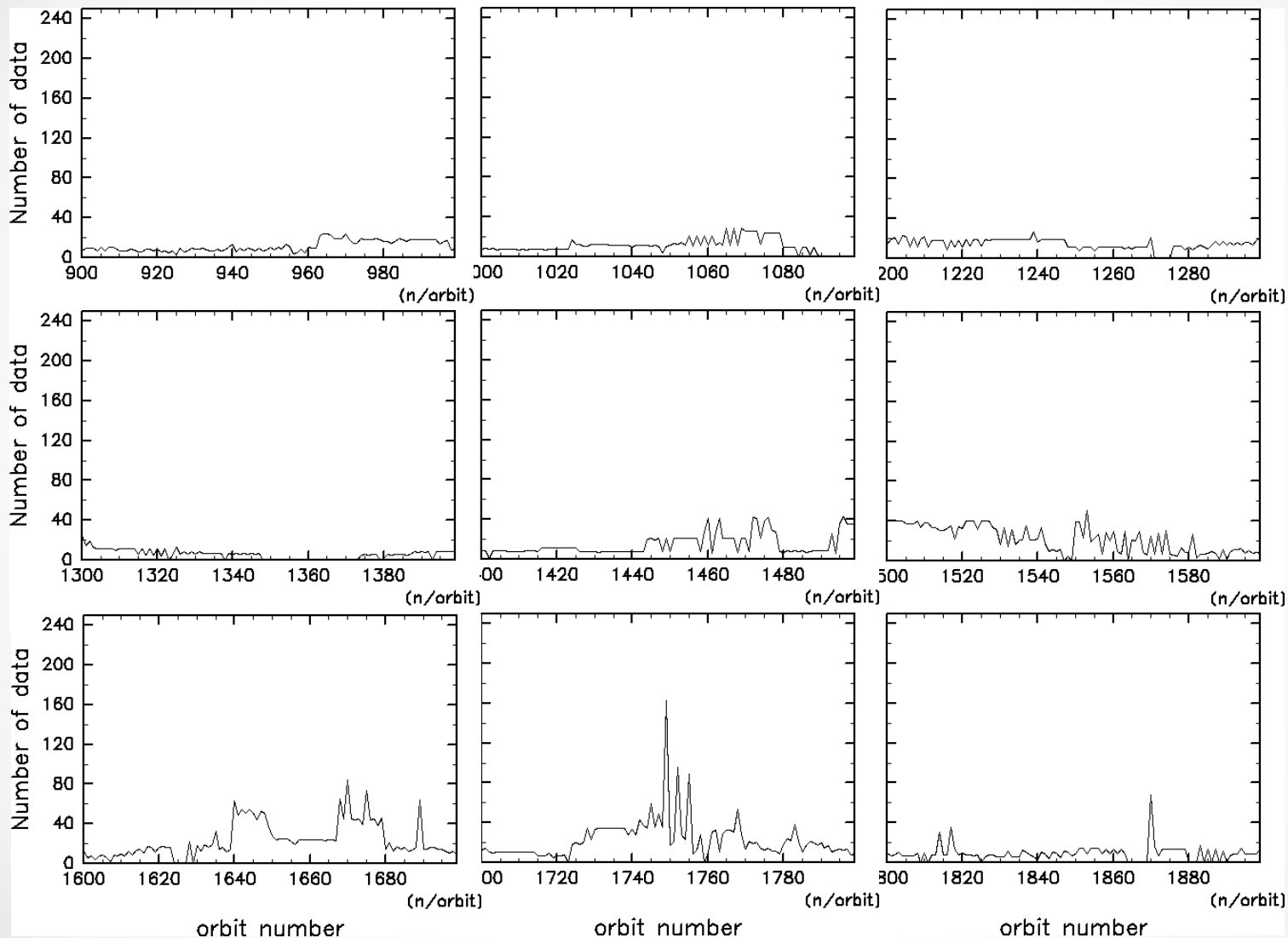
時間・空間ずらしの重ね合わせの結果



軌道1~899における紫外画像の撮像枚数(全球のみ)



軌道900~1899における紫外画像の撮像枚数(全球のみ)



軌道1900~2099における紫外画像の撮像枚数(全球のみ)

