

気象における渦と渦

稲津 將 (北海道大学)

1. イントロダクション

7スライド

自己紹介

北海道大学 大学院理学研究院

自然史科学部門 地球惑星ダイナミクス分野

大学院理学院 自然史科学専攻 地球惑星ダイナミクス講座

理学部 地球惑星科学科

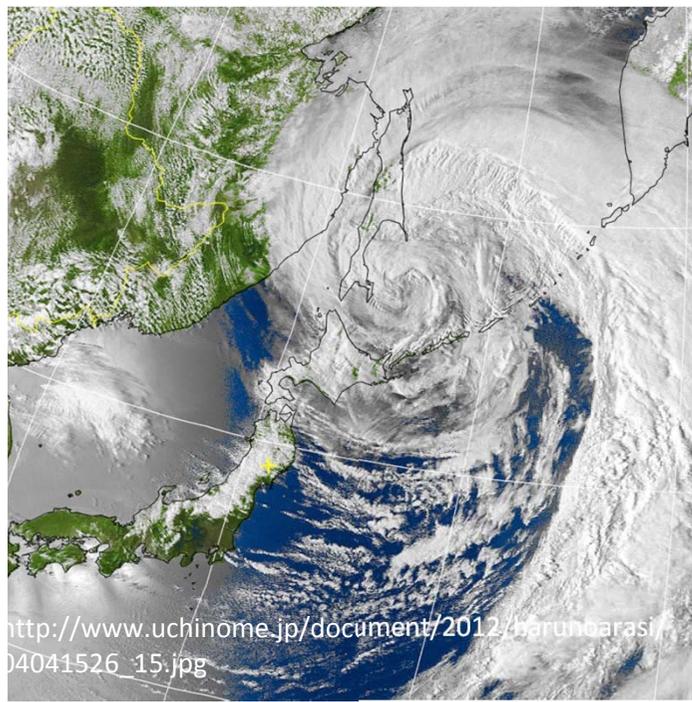
海洋気候物理学研究室 准教授

稲津 將(いなつ まさる)

専門 気象学

博士(地球環境科学)

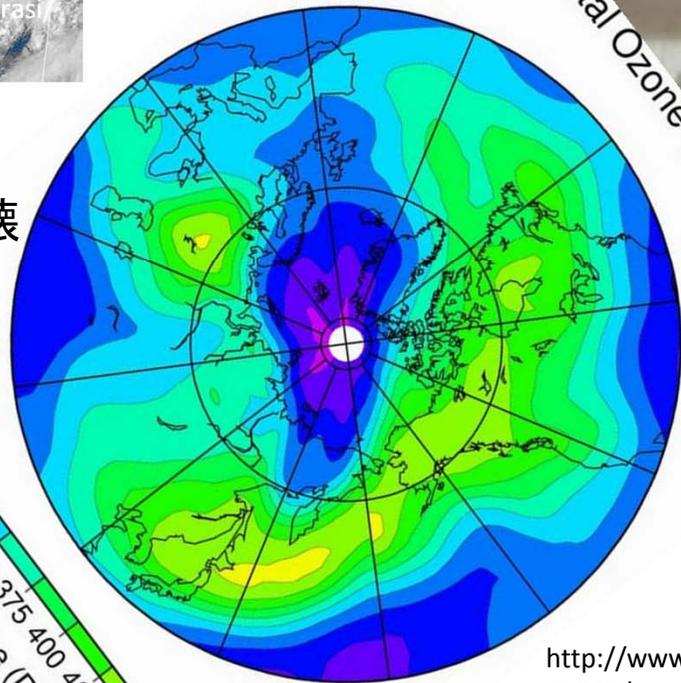
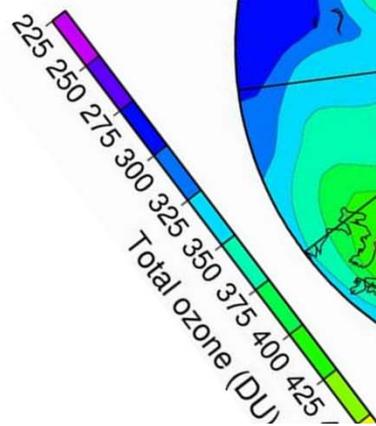
2012年4月4日「爆弾低気圧」



2012年5月6日竜巻(茨城県つくば市)



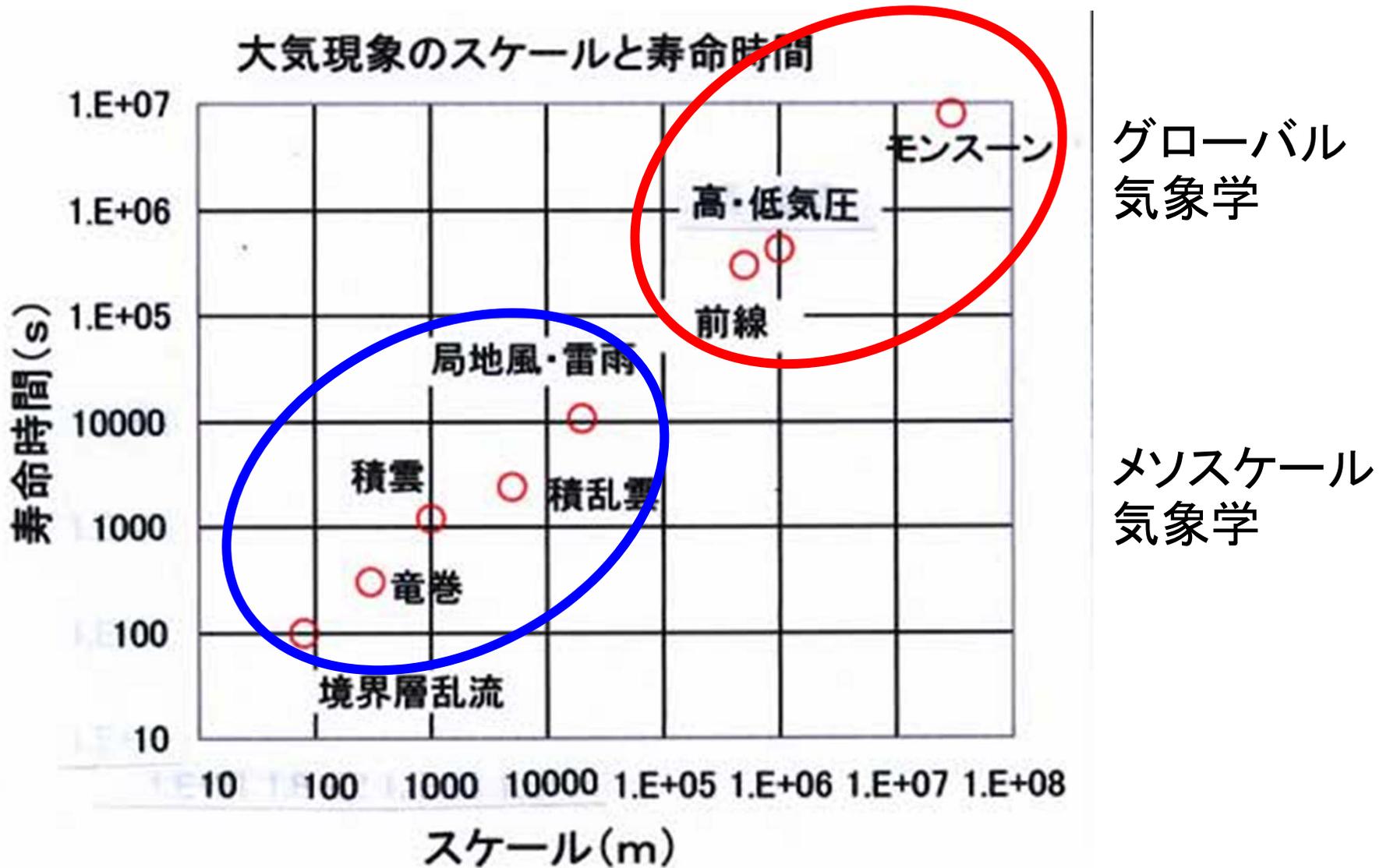
2011年3月25日
観測史上最大のオゾン破壊



OMI Total Ozone (2011/03/25)

<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20111003/images/hosokub.jpg>

気象のスケール



本講演の目的

グローバル気象学における

小さな渦と大きな渦の関係を解説する。

- 小さな渦...天気図スケールの温帯低気圧
- 大きな渦...惑星スケールの大気循環

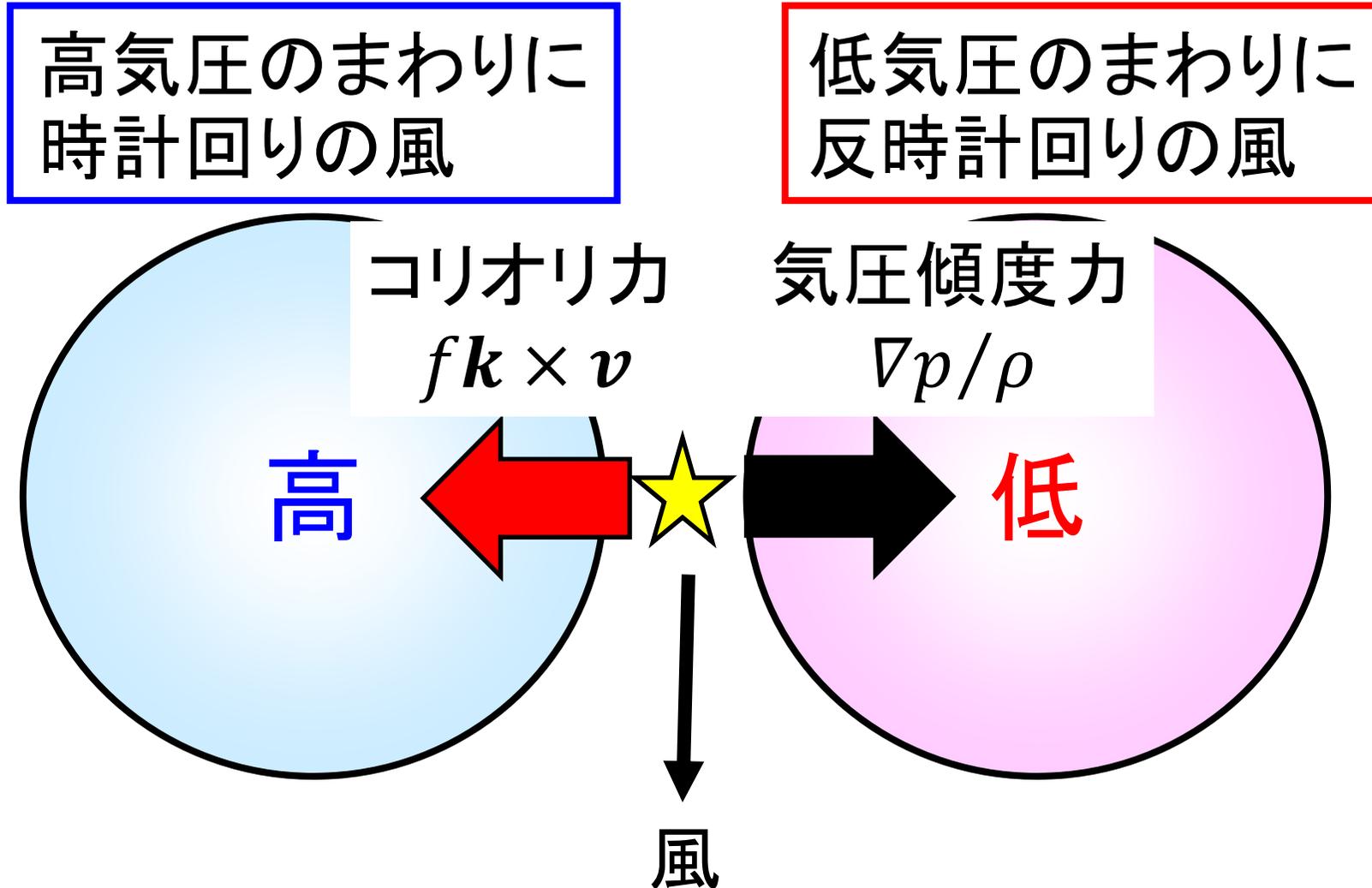
目次

1. イントロダクション(7枚)
2. 気象における渦の見方(7枚)
3. 低気圧の形態学と力学の融合(17枚)
4. 極渦変動にみる決定論と確率論(17枚)
5. 気候系のホットスポット(略)
6. まとめ(1枚)

2. 気象における渦の見方

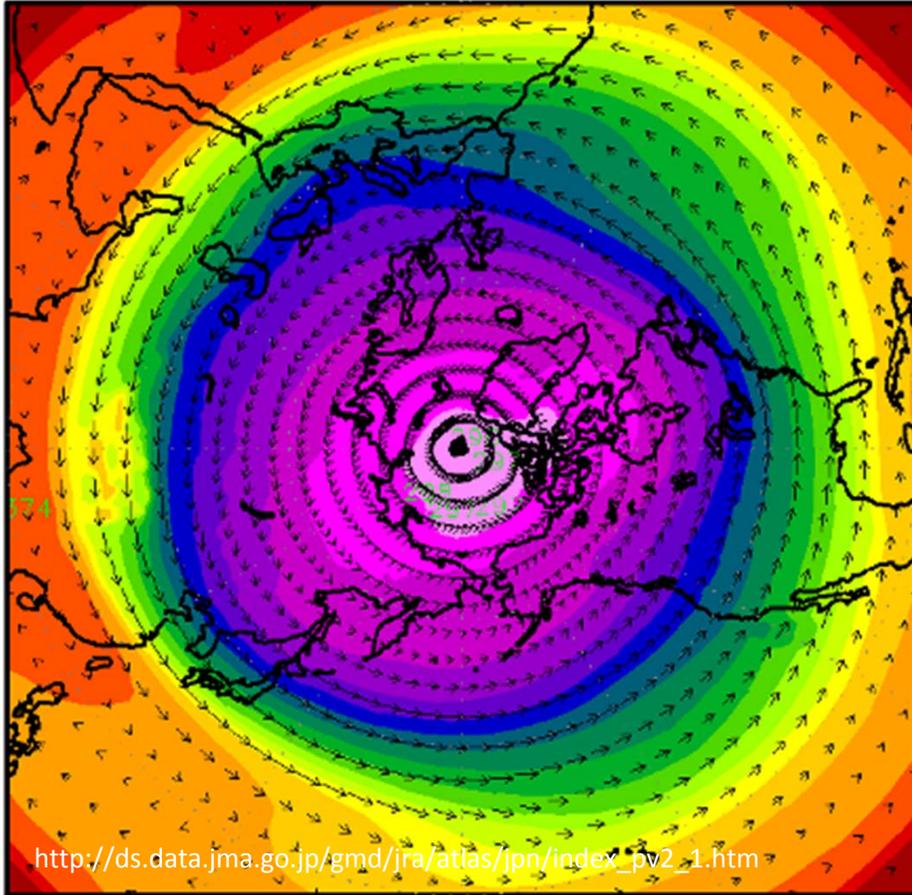
7スライド

地衡風平衡＝水平非発散



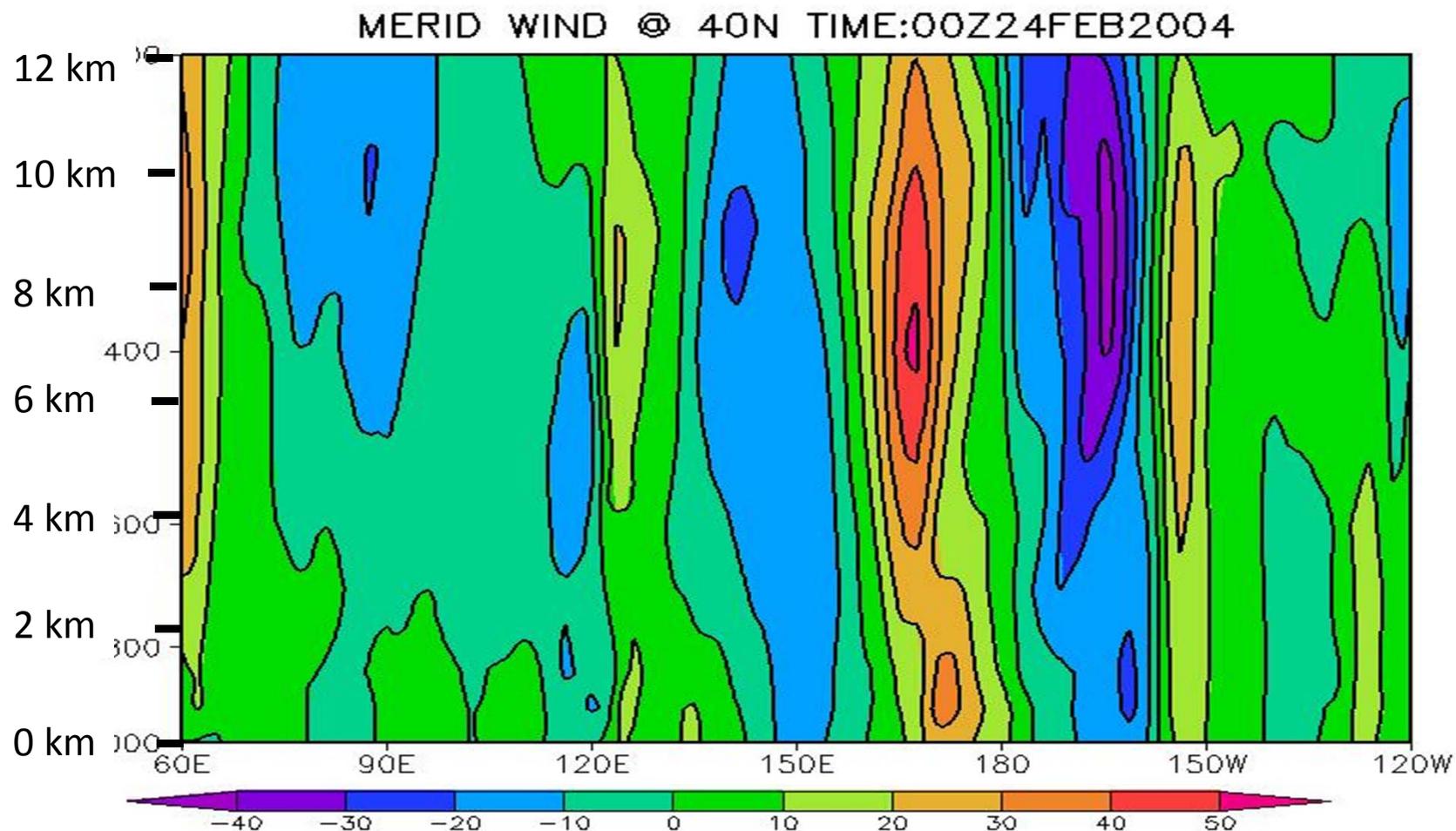
渦位 (ポテンシャル渦度)

Potential temperature and wind on the 1



渦位 =
絶対渦度の鉛直成分
×
渦管の長さ
(ラグランジュ的
保存量)

(注1) 気象は水平2次元の



2004年2月24日00時の北緯40度の南北風の東西断面図(10m/s毎の等値線)。データはJRA25再解析データ(観測値と数値予報値を混ぜた値)を使った。

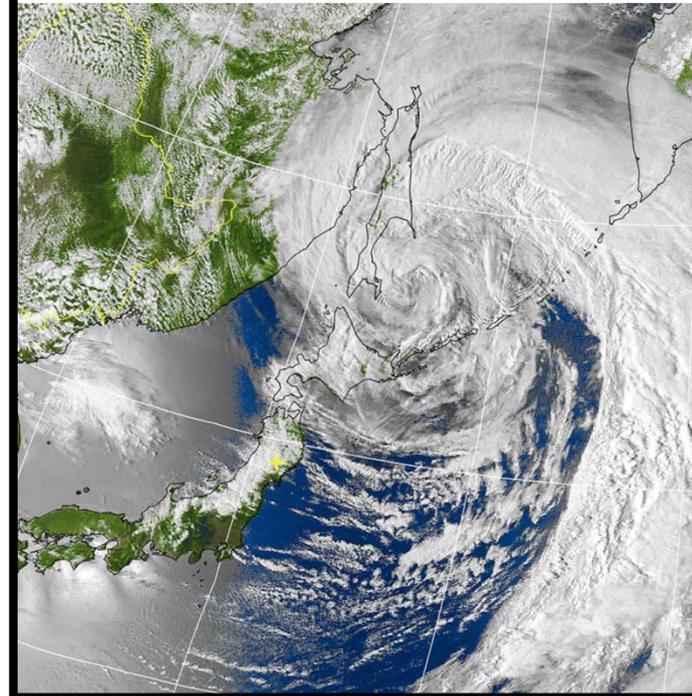
(注2) 自転の効果

$$f = 2\Omega \sin \theta$$



<http://shogei-bungu.com/?pid=7397296>

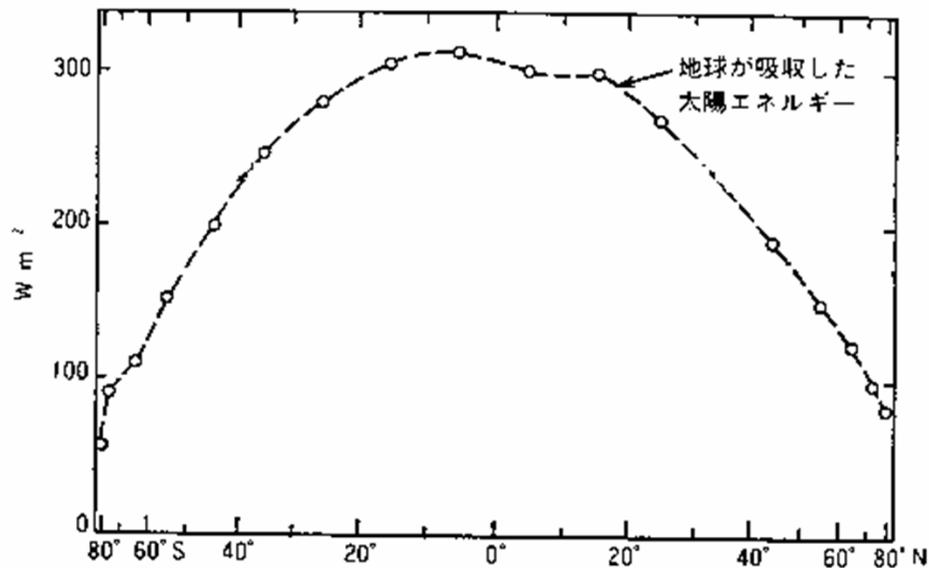
$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$



http://www.uchinome.jp/document/2012/harunoarasi/04041526_15.jpg

気候における渦の役割

極域と熱帯域の太陽加熱差を
どのように解消するか？



対流



<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/first/marangoni/kiso.html>

波動



http://paoc.mit.edu/labguide/circ_exp_fast.html

まとめ

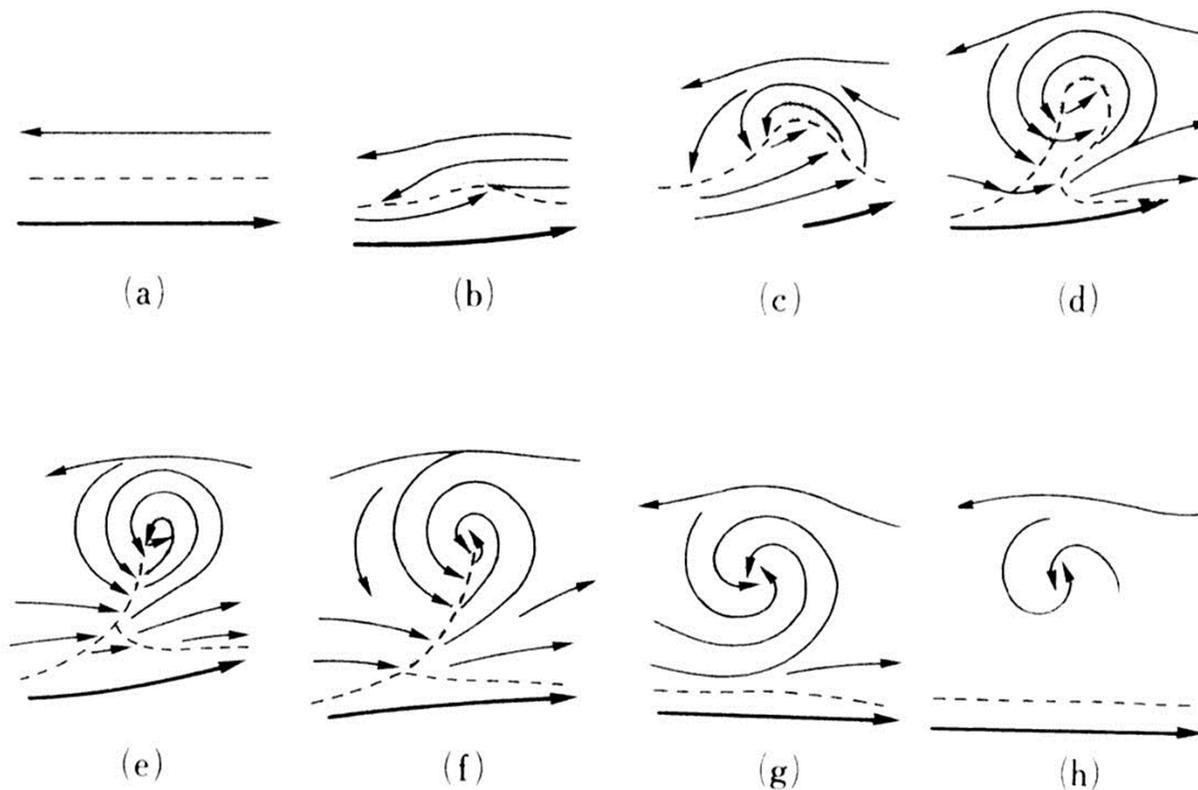
- 気象学の重要な保存量、それは

渦位

3. 低気圧の形態学と力学の融合

17スライド

記述の歴史「ベルゲン学派」



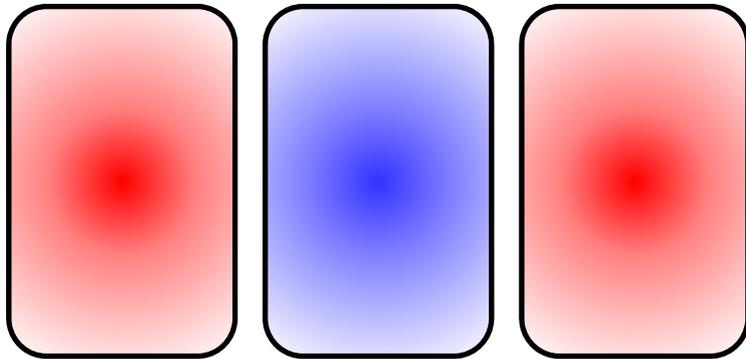
Bjerknes and Solberg (1922)

Jule Gregory Charney (1917–1981)

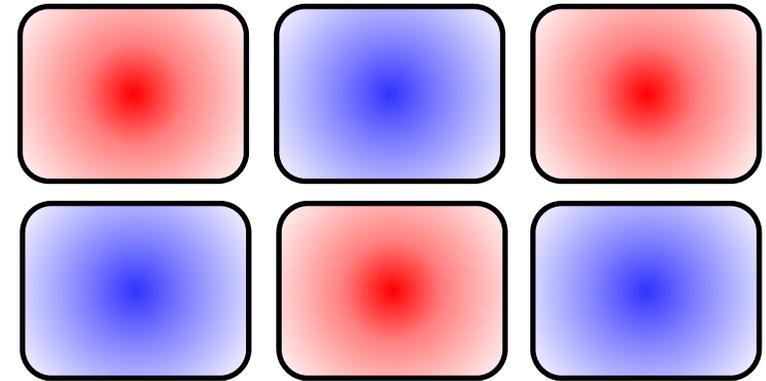


チャーニーの傾圧不安定論

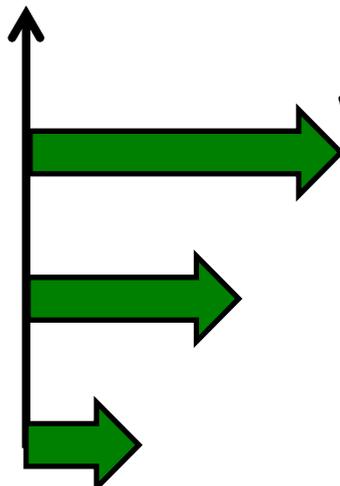
順圧モード



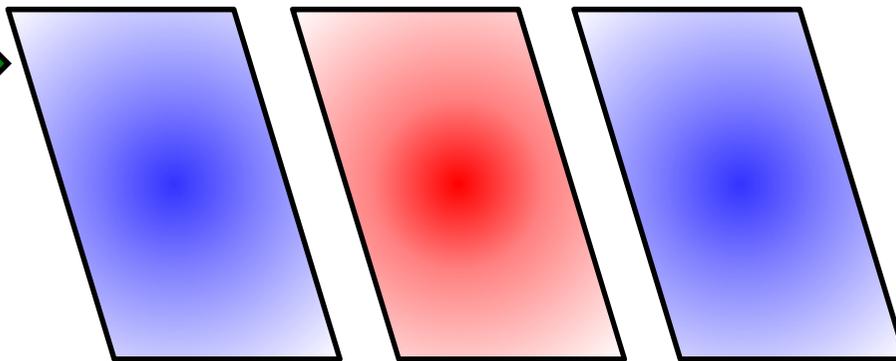
傾圧モード



鉛直上方向



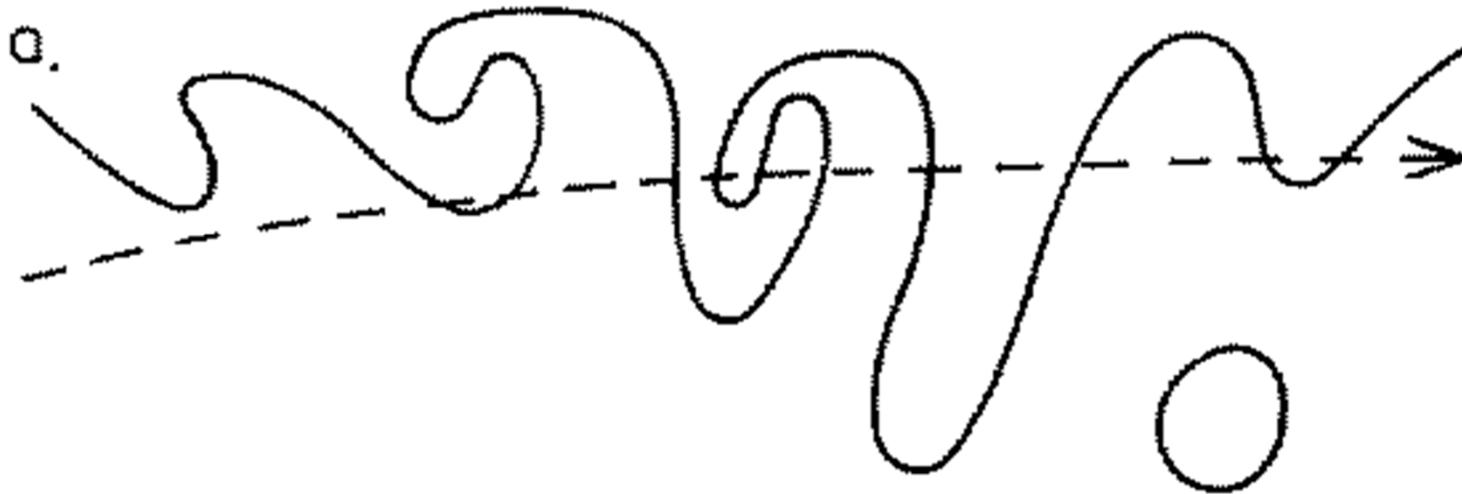
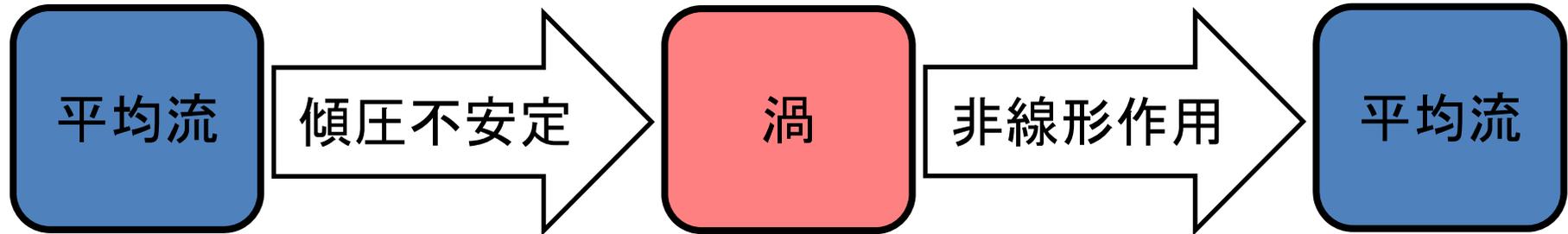
傾圧不安定モード



渦と流れの相互作用

西太平洋における
低気圧の発達

東太平洋における
流れの蛇行



Thorncroft et al. (1993, Quart. J. Roy. Met. Soc.)

閑話休題(気象のプロ)

気象学者
約300人
大学・研
究所

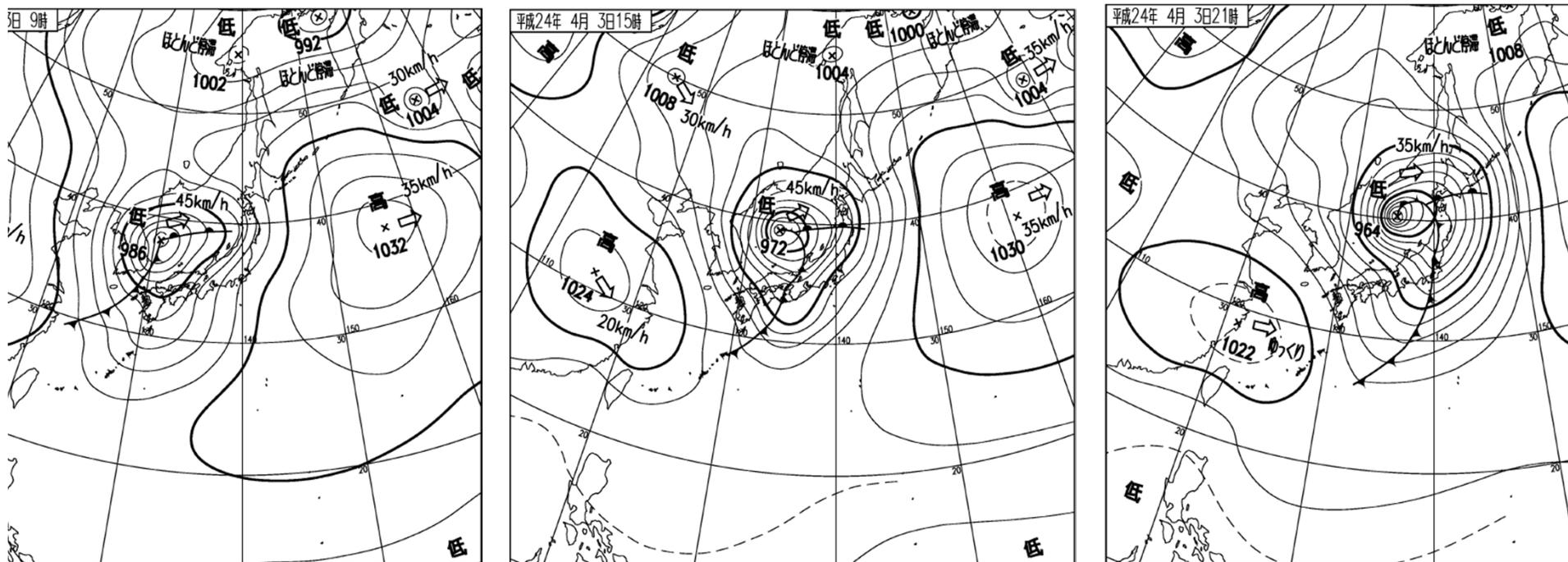
予報官を含む
気象庁職員

気象のプロは天気図が読める
(はず)

約9,000人
おもに民間

民間気象会社
約1000~2000人

低気圧動態の定量化

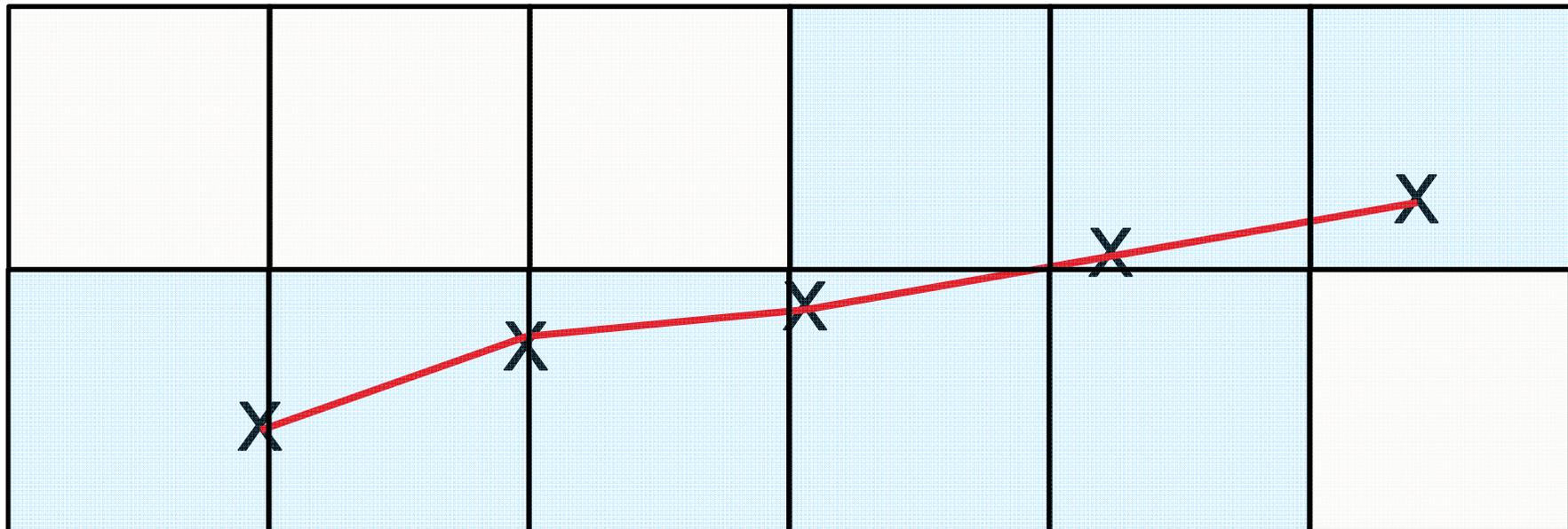


長期の観測データ・数値計算データから、
【自動的】に低気圧を追跡したい。

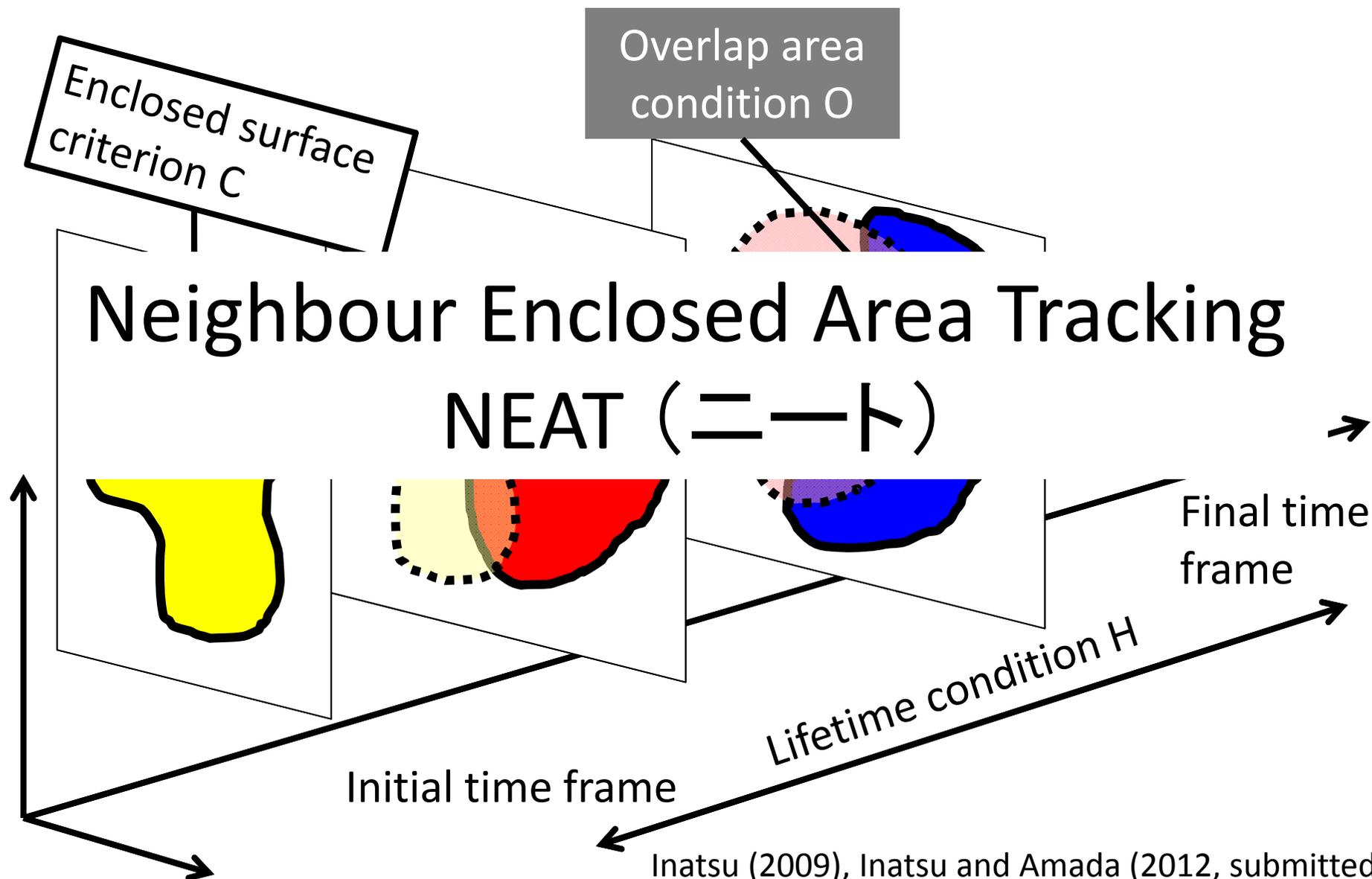
従来型低気圧トラッキング

1. Cyclone identification
2. Cyclone tracking
3. Cyclone activity quantification

Ulbrich et al. (2009)



隣接閉領域トラッキング



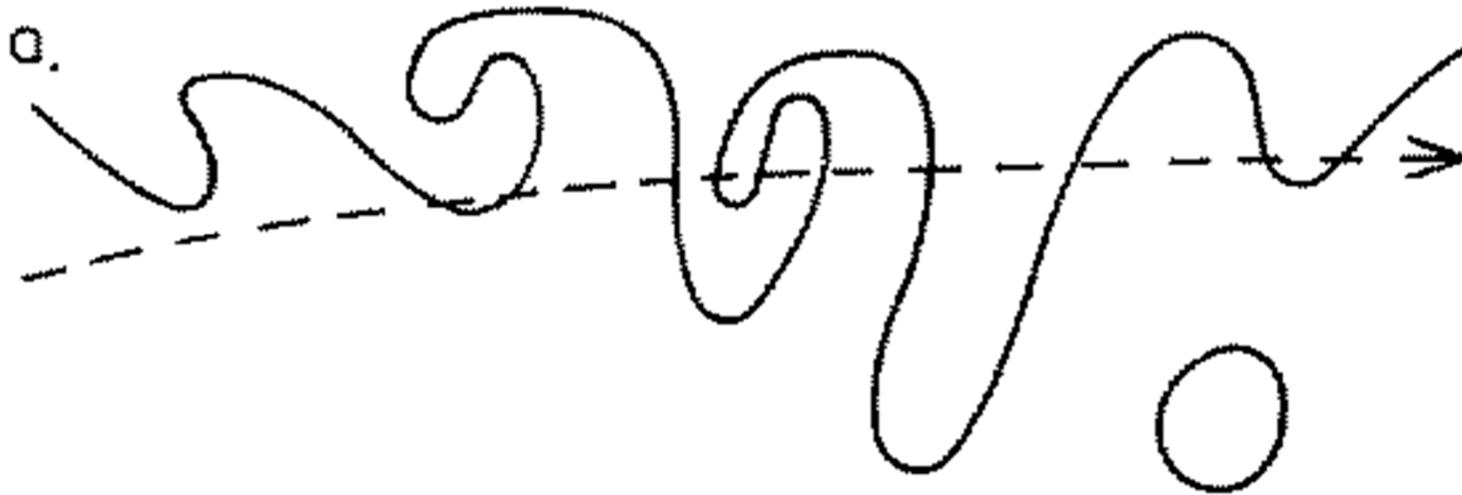
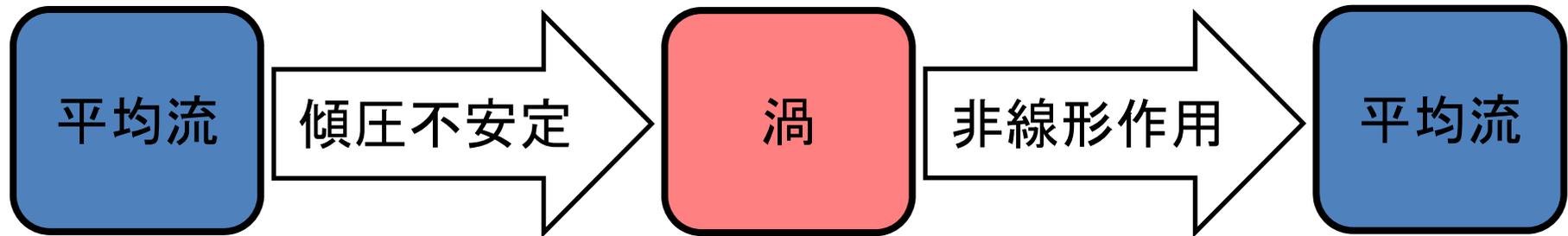
隣接閉領域トラッキング#2

- 渦の併合や分離の定量化が可能。
- 渦の力学と形状の関係を評価可能。
- 従来型トラッキングのad hocなチューニングを一掃。
- トラッキング国際比較プロジェクト(IMILAST)に参加。

渦と流れの相互作用

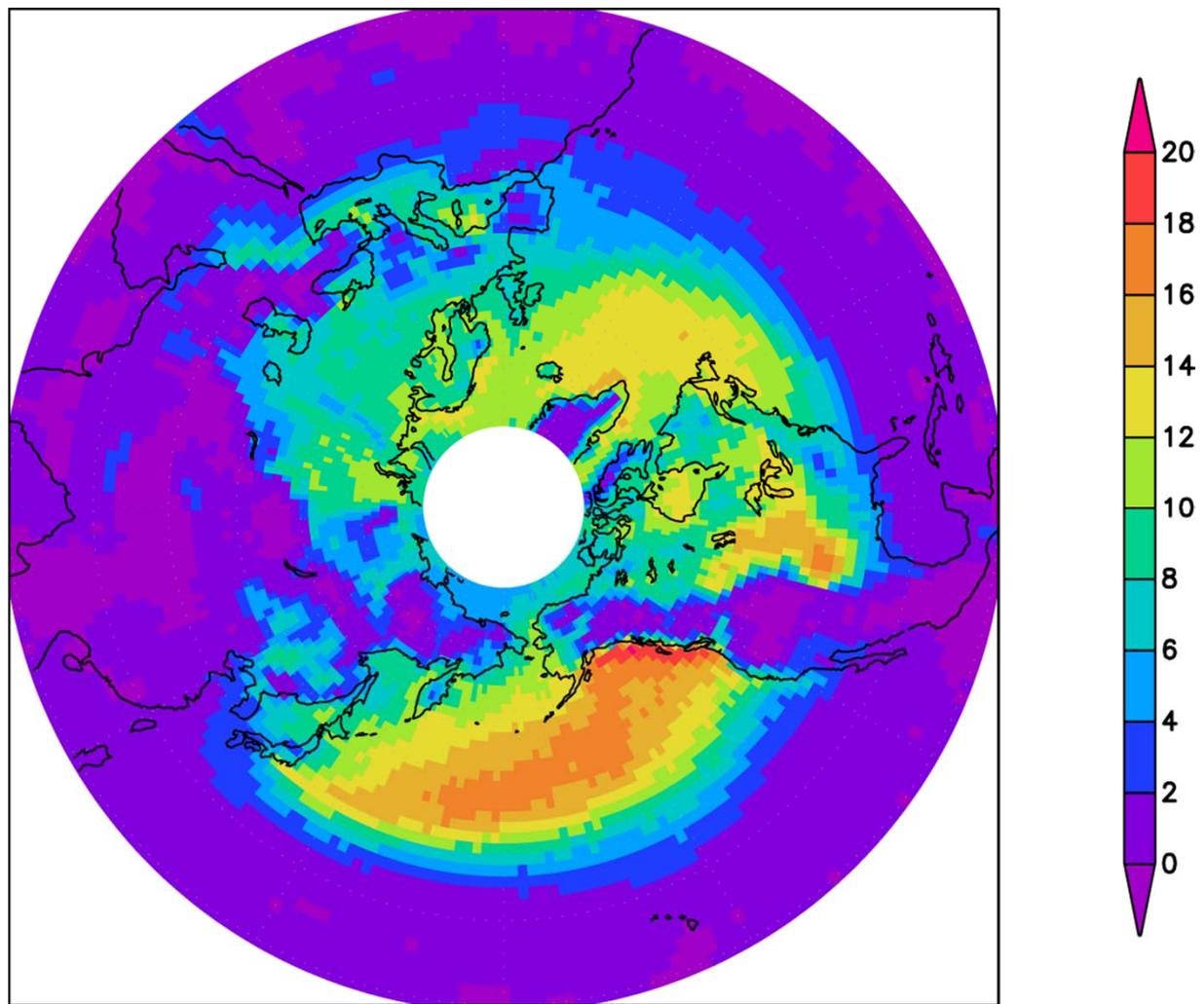
西太平洋における
低気圧の発達

東太平洋における
流れの蛇行



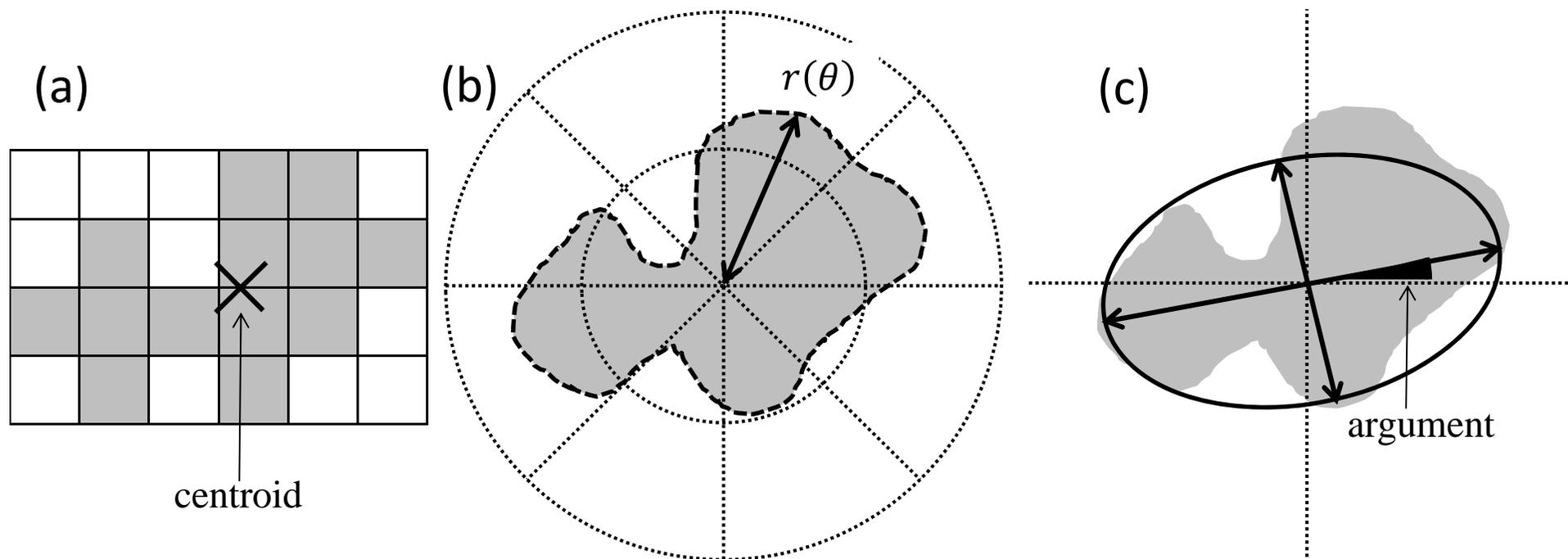
Thorncroft et al. (1993, Quart. J. Roy. Met. Soc.)

NEATによる低気圧の定量化

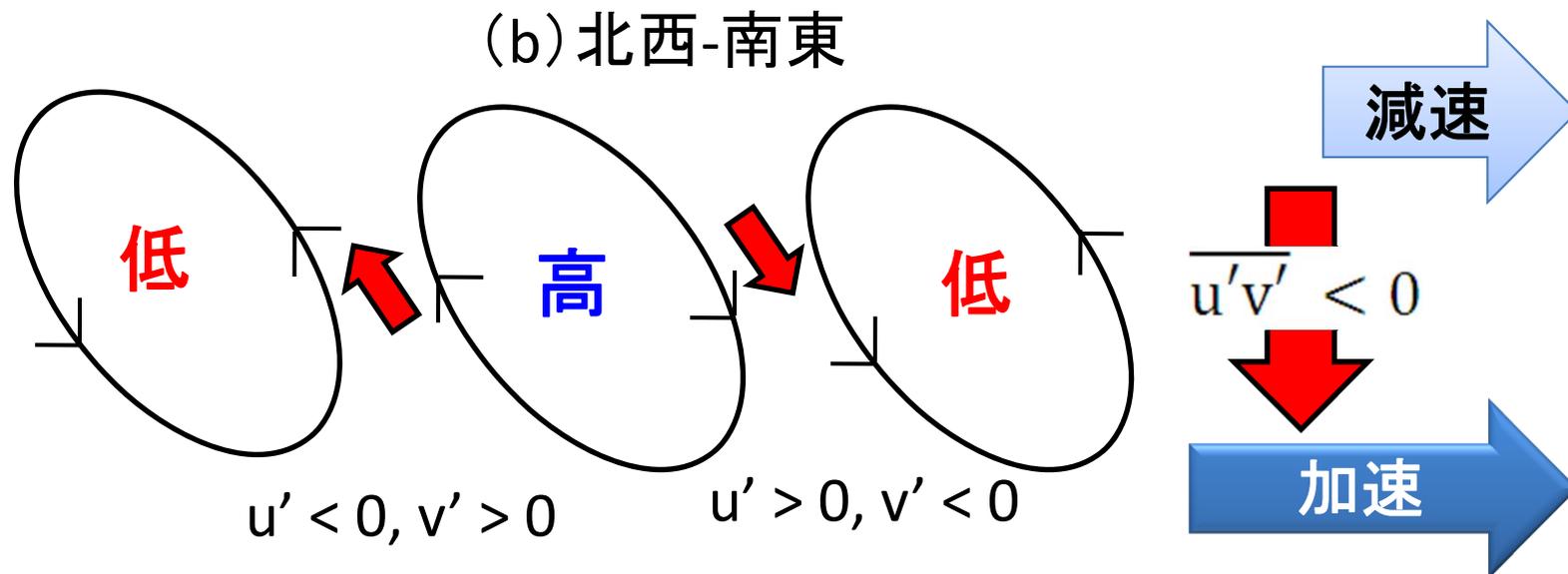
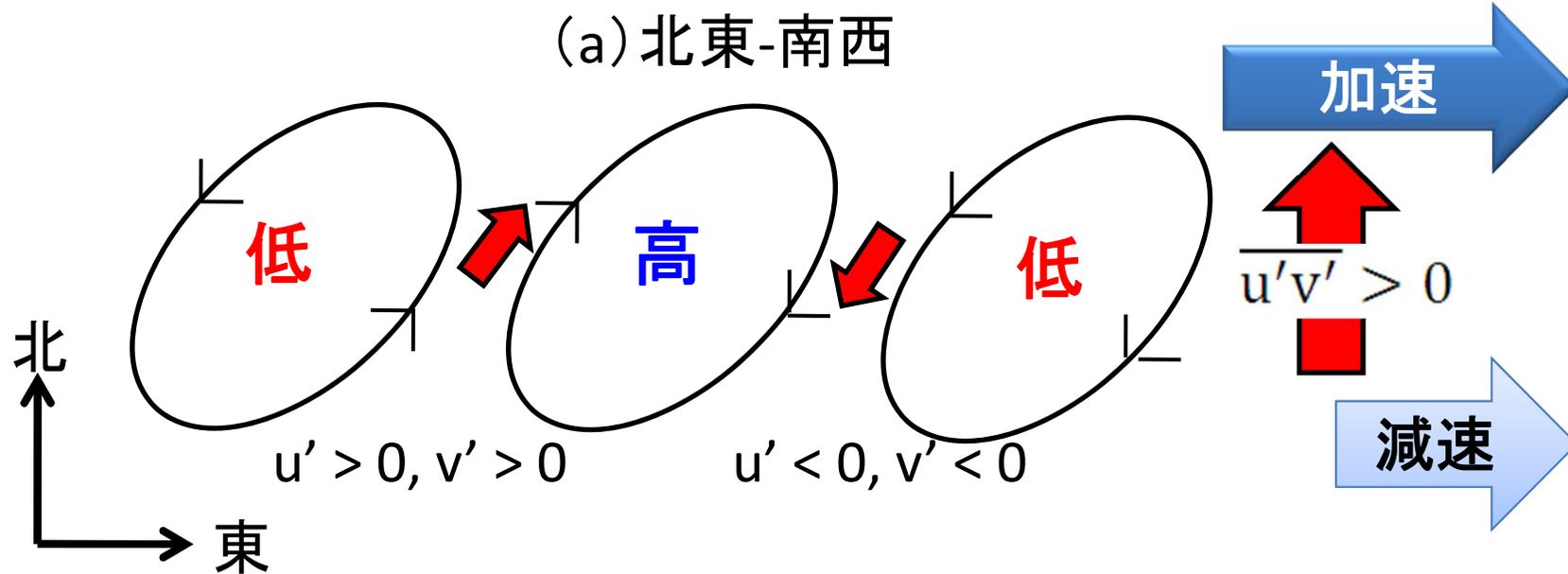


Urs et al. (2012, BAMS)

低気圧「形状」の定量化



低気圧の形状を楕円にフィッティング



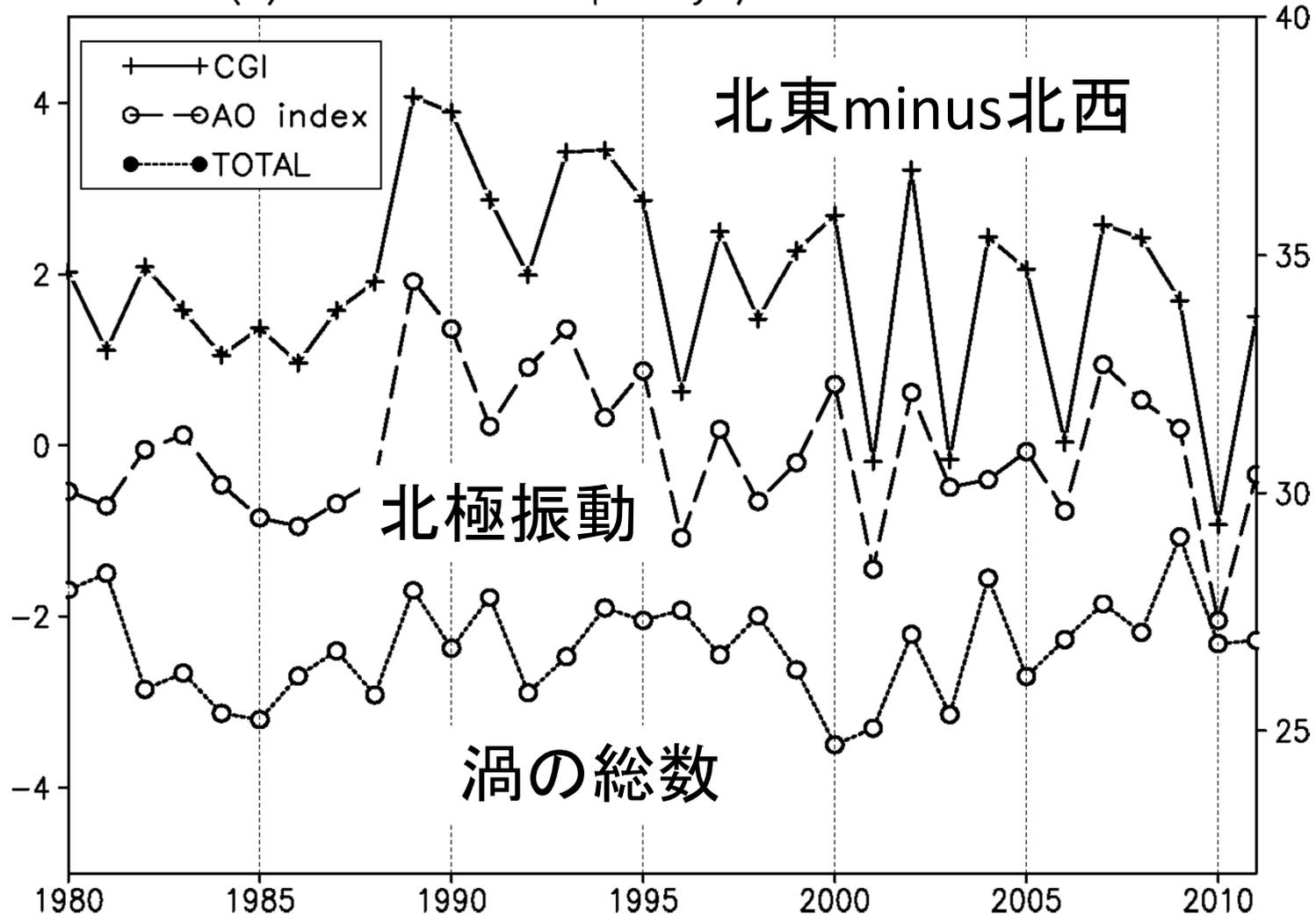
渦の東西風 u' と渦の南北風 v' の相関性が、
西風平均風の分布を変える。

北極振動(Arctic Oscillation)



北極振動と渦の傾き

(c) NH-Mean Frequency / AO index & CGI



まとめ

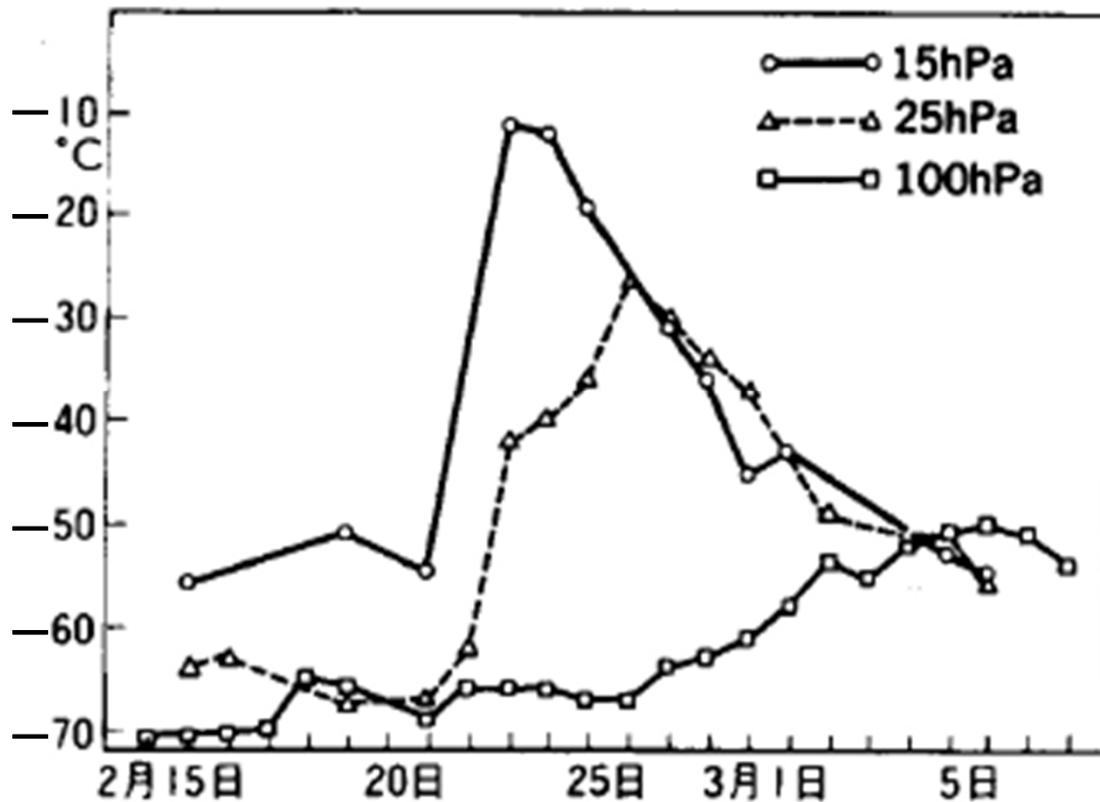
- 気象における渦の動態の重要な一つは、**温帯低気圧の動態**である。
- 渦の動態は**自動的な追跡アルゴリズム**によって実現する。
- 最新の追跡アルゴリズムによって、**伝統的な渦の形態学と現代的な渦の力学**を結びつけることができた。

4. 極渦変動にみる決定論と確率論

17スライド

成層圏突然昇温

1952年ベルリン自由大学における
高層気象観測



高層気象観測



渦の活動度フラックス(1)

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{v}q) = 0$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\mathbf{v}}\bar{q}) = -\nabla \cdot (\overline{\mathbf{v}'q'}) \equiv -\frac{\partial}{\partial y} \nabla \cdot \mathbf{F}$$

大きな渦の時間変化と小さな渦の時間変化
の関係を定量的に診断する

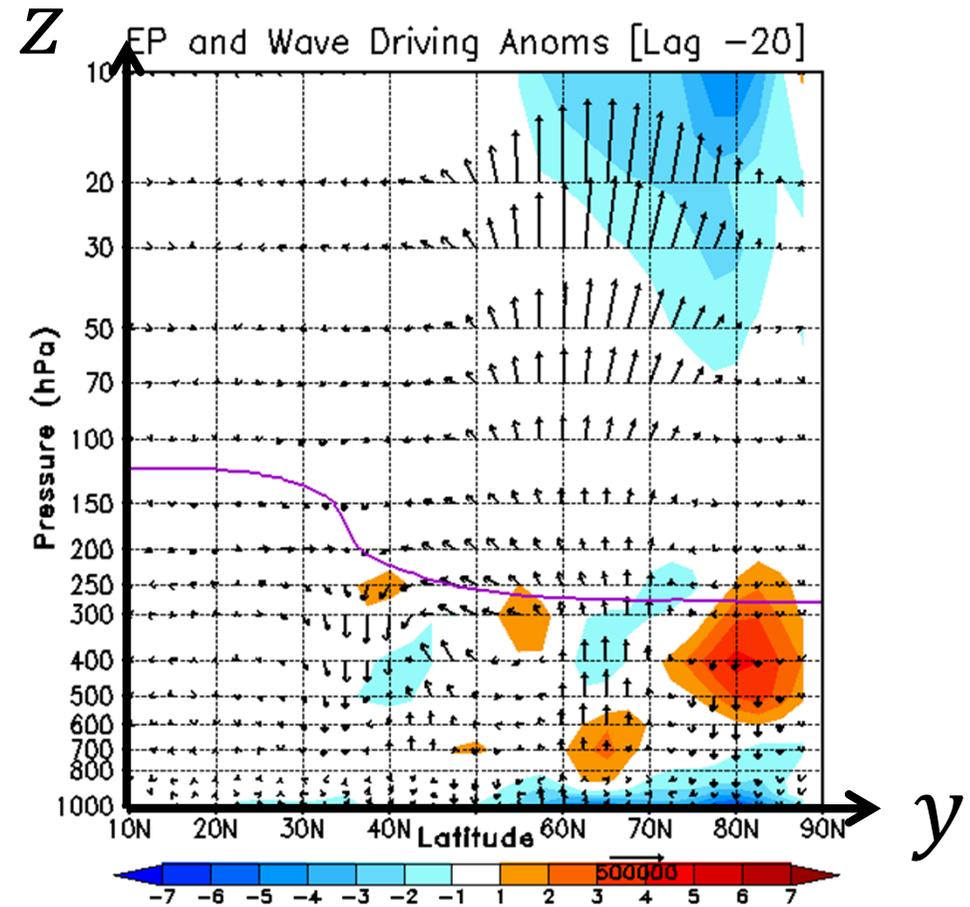
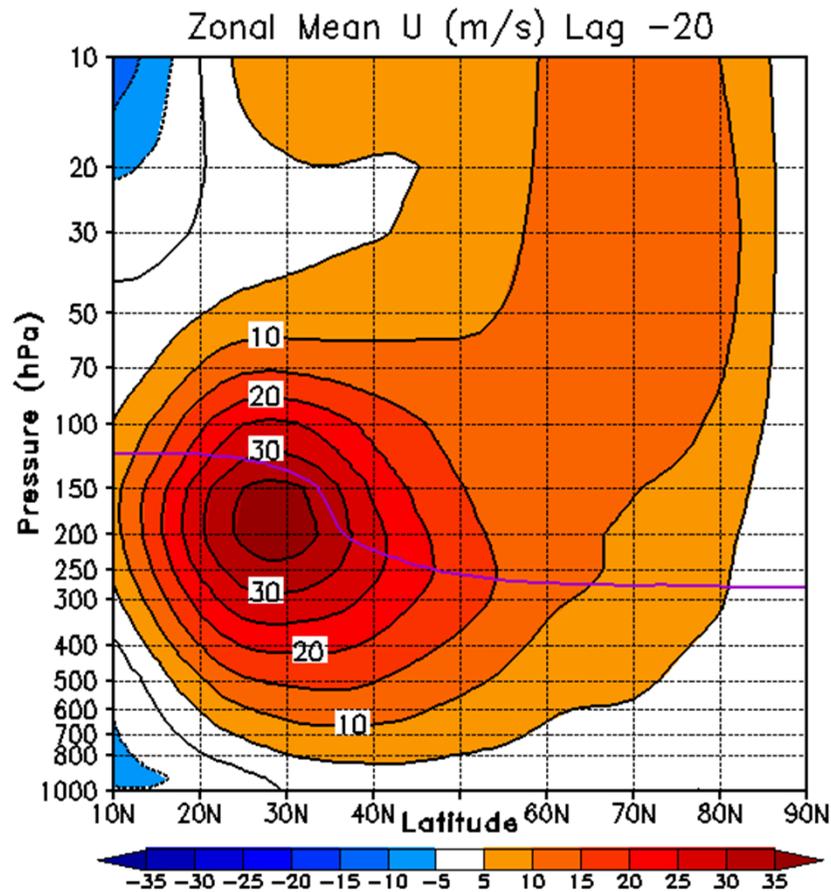
渦の活動度フラックス(2)

$$\mathbf{F} = \left(\frac{\overline{v'v'} - \overline{u'u'}}{2}, \quad -\overline{u'v'}, \quad \frac{f}{S} \overline{v'\theta'} \right)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = \nabla \cdot \mathbf{F} \cong \nabla \cdot \mathbf{C}_g A$$

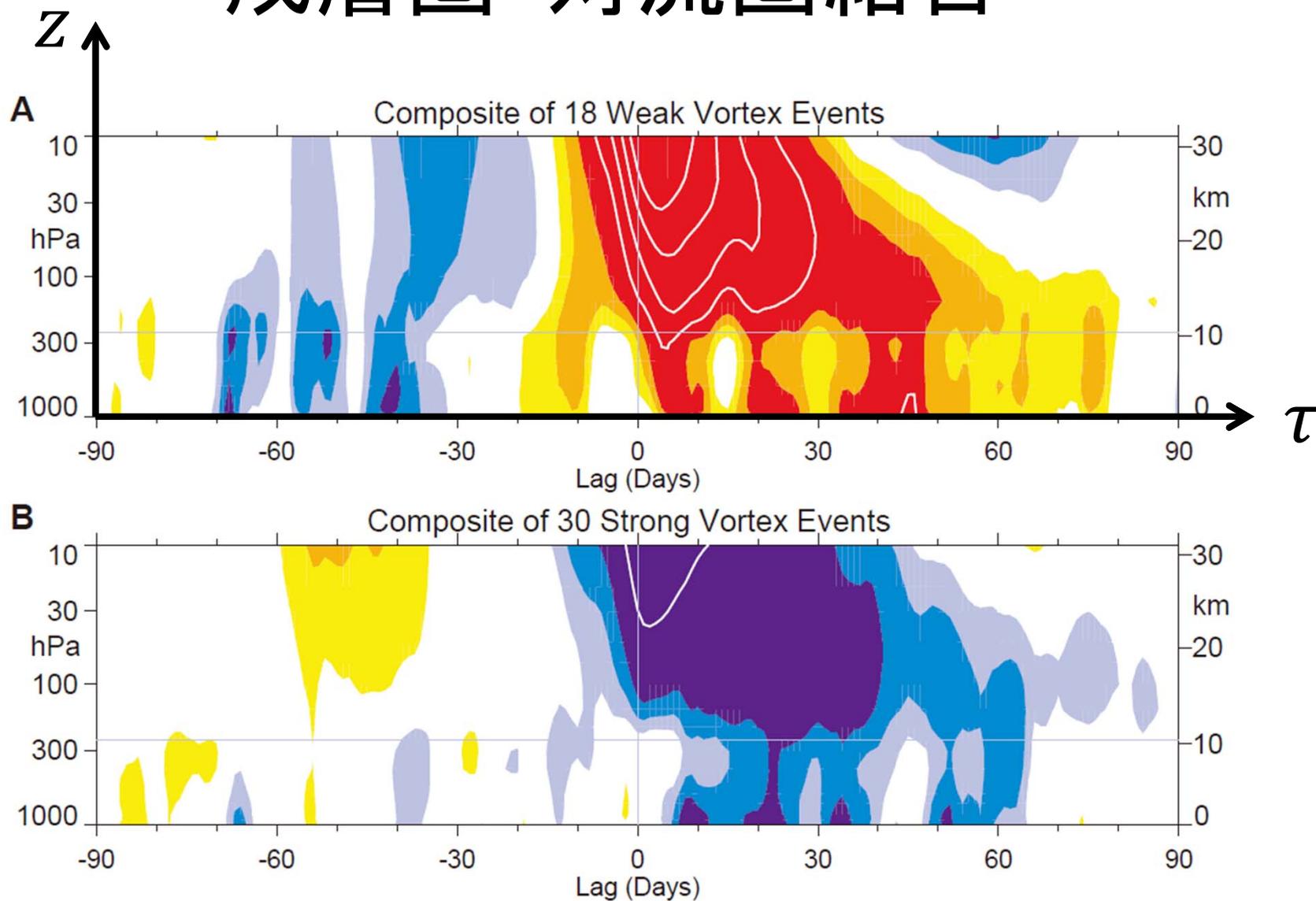
1. フラックス収束は西風減速の作用
2. フラックスは波のエネルギー伝播
3. フラックスの成分は運動量や熱の輸送

成層圏突然昇温の診断



Black et al's PPT downloaded from NOAA; Limpasuvan and Polvani (2004)

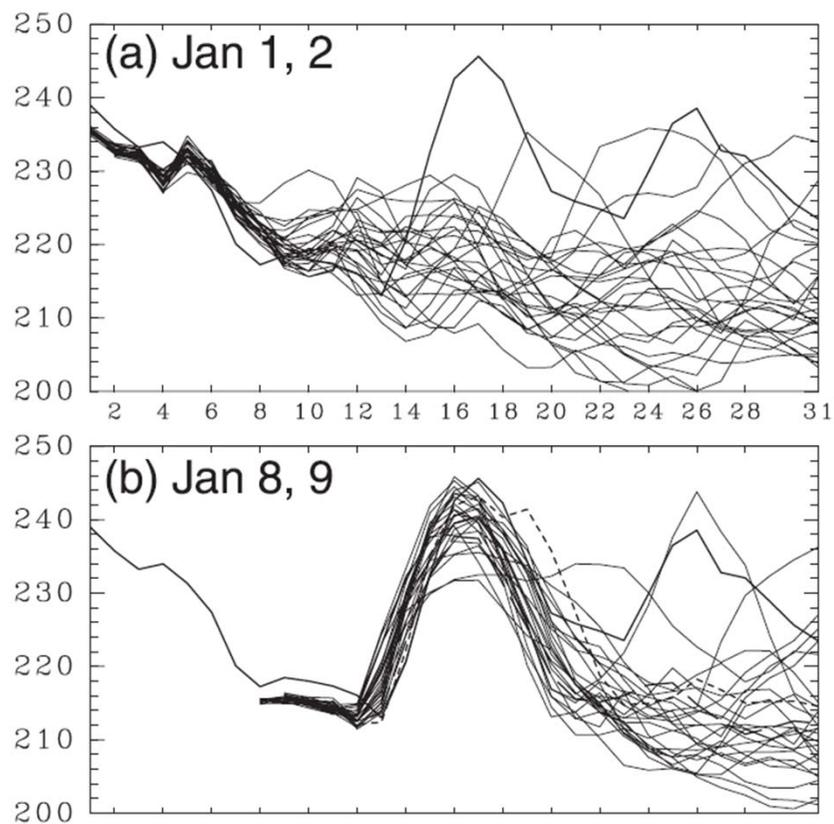
成層圈・対流圏結合



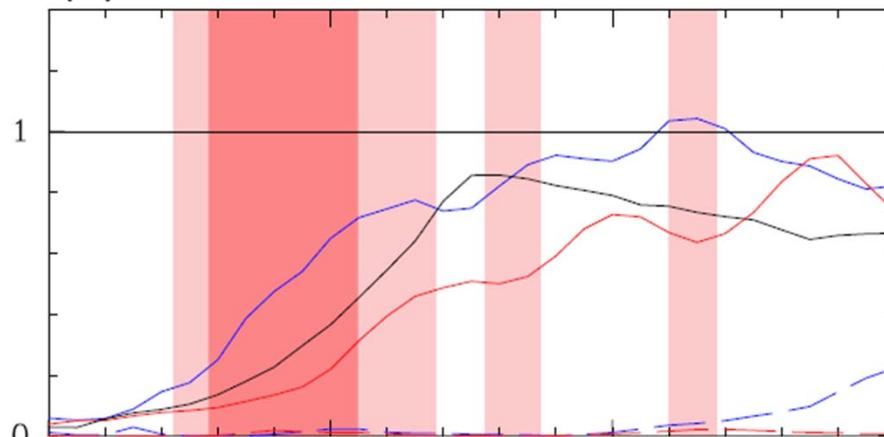
Baldwin and Dunkerton (2001)

アンサンブル予報

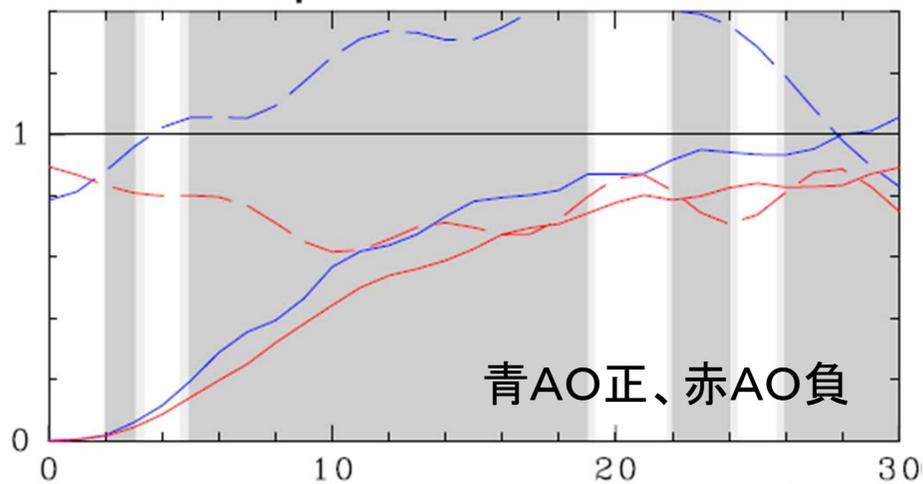
2003年1月
成層圏突然昇温の予報事例



(a) 250hPa MSE of NAM



250hPa Spread of NAM



青AO正、赤AO負

Mukougawa and Hirooka (2007); Mukougawa et al. (2009)

変動予測の見方

気象力学

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot (vq) = Q$$

大気は**無限次元空間**で**決定論的**な振る舞いをするとして予測される。

予測可能性は初期の誤差に対する鋭敏さによって評価する(**アンサンブル予報**)。

「気候力学」

$$da_j = A_j dt + S_{ij} dW_j$$

大気は**低次元空間**で**確率論的**な振る舞いをするとして予測される。

予測可能性は、確率微分方程式の係数(**ドリフトベクトル**と**拡散テンソル**)によって評価される。

フォッカー＝プランク方程式

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x_j} (A_j p) + \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} (B_{ij} p)$$

時系列データからFPE係数を推定可能

ドリフトベクトル $A_j = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left\langle \frac{\Delta x_j}{\Delta t} \right\rangle$

拡散テンソル $B_{ij} = \frac{1}{2} S_{ik} S_{jk} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left\langle \frac{\Delta x_i \Delta x_j}{2\Delta t} \right\rangle$

$\langle \cdot \rangle$ はアンサンブル平均。

Mathematics Meets Meteorology... Again?



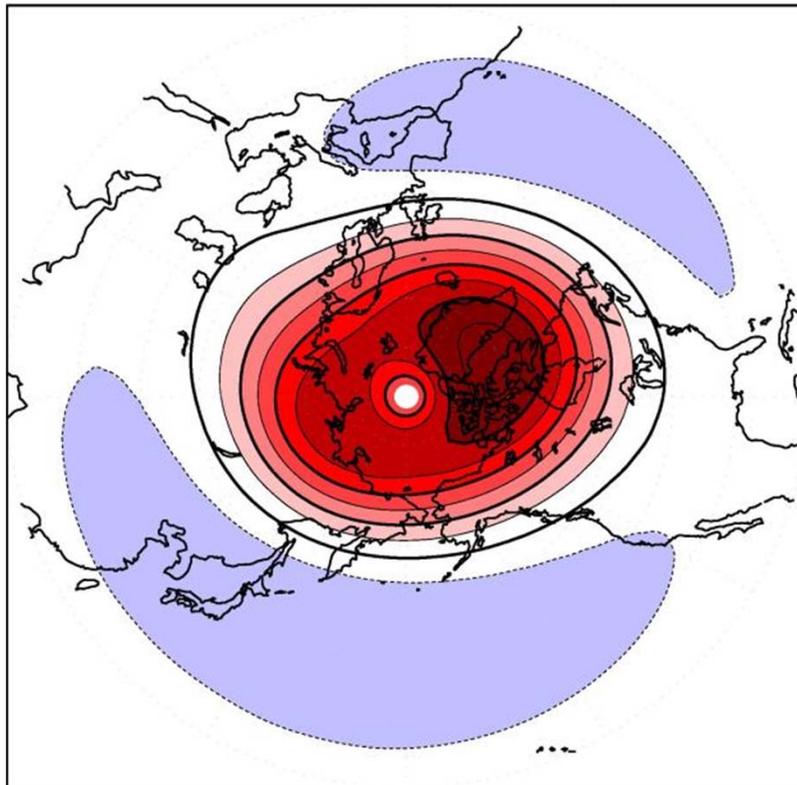
北海道大学
気象学 = 数学連携研究チーム
(**Met**eorology + **Mat**hematics)



主成分分析

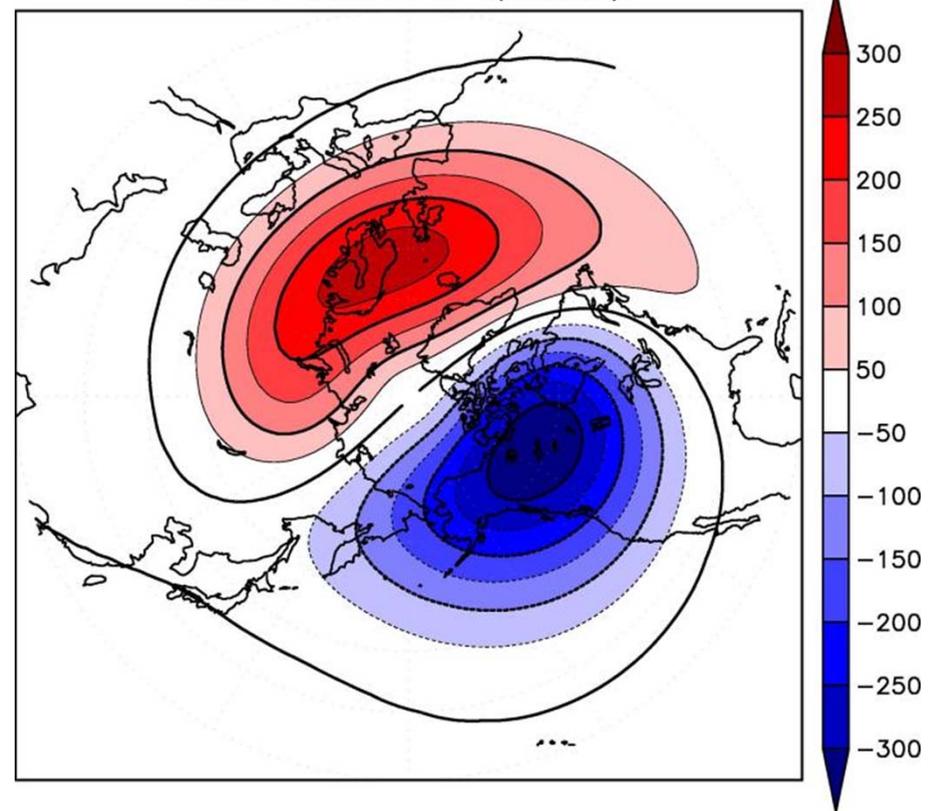
極渦崩壊

EOF1 Z10L DJF (41.1%)



波動伝播

EOF2 Z10L DJF (23.2%)



まとめ

- 成層圏突然昇温は真冬におこる**極渦の崩壊**である。
- 成層圏突然昇温は**波と流れの相互作用**の理論によって、説明される。
- **低次元系の確率論的**な見方による新たな成層圏突然昇温の予測可能性理論を構築している。

渦と関係したところの目標

- **マルチスケール相互作用**: グローバル気象学とメソ気象学の融合は最新のテーマである。
- **確率統計気象学** (または真の「気候力学」): 確率過程の入った低次元モデルによる予測可能性の評価を研究している。
- **地球環境確率予測**: 気候情報の応用利用には高精度な確率情報の提供が急務である。