

(台風セミナー@京都 2011/9/13-14)

台風の発生過程と非軸対称構造の力学

台風はなぜ軸対称構造なのか？

～ 台風発生メソスケール過程～

～ synopticとmesoスケールをつなぐ力学～

筆 保 弘 徳
横浜国立大学



1部：台風発生過程のレビュー

2000年代のメソスケール過程研究を中心に

2部：台風はなぜ軸対称構造なのか？

総観スケールとメソスケールをつなぐ

台風発達過程



1部 台風発生過程のレビュー



1部：台風発生過程のレビュー

1.1 台風発生過程とは

1.2 解明の壁

1.3 トップダウン仮説とボトムアップ仮説

1.4 2000年代後半の観測研究と
シミュレーション研究による仮説証明



1.1 台風発生過程とは



台風発生メカニズムの解明は・・・

気象学研究においても、**最も解明されていないメカニズムの一つ**とされている (Emanuel 2003; Gore 2006; 伊藤 2007)

解明を困難にする原因は？

1. 台風発生が起きる亜熱帯域海上での密な観測が困難
2. 高精度な気象モデルを用いた数値シミュレーションを行っても、**長時間・多重スケール現象**である台風を再現するのは困難



2000年代にはいると・・・

- ・コンピュータ技術と数値モデル開発が飛躍的に進む
- ・直接的観測(航空機の利用)やリモートセンシング観測技術の向上



これまで難しかった個々の対流雲の振る舞いなどが観測・再現される

台風発生過程研究のレビュー

- ・ 1990年代後半～2000年代の研究
- ・ メソスケール過程の研究を・・・経緯を含めて
- ・ 何が分かっていないか、今後の研究課題をいっしょに探る



台風発生過程の定義はない！

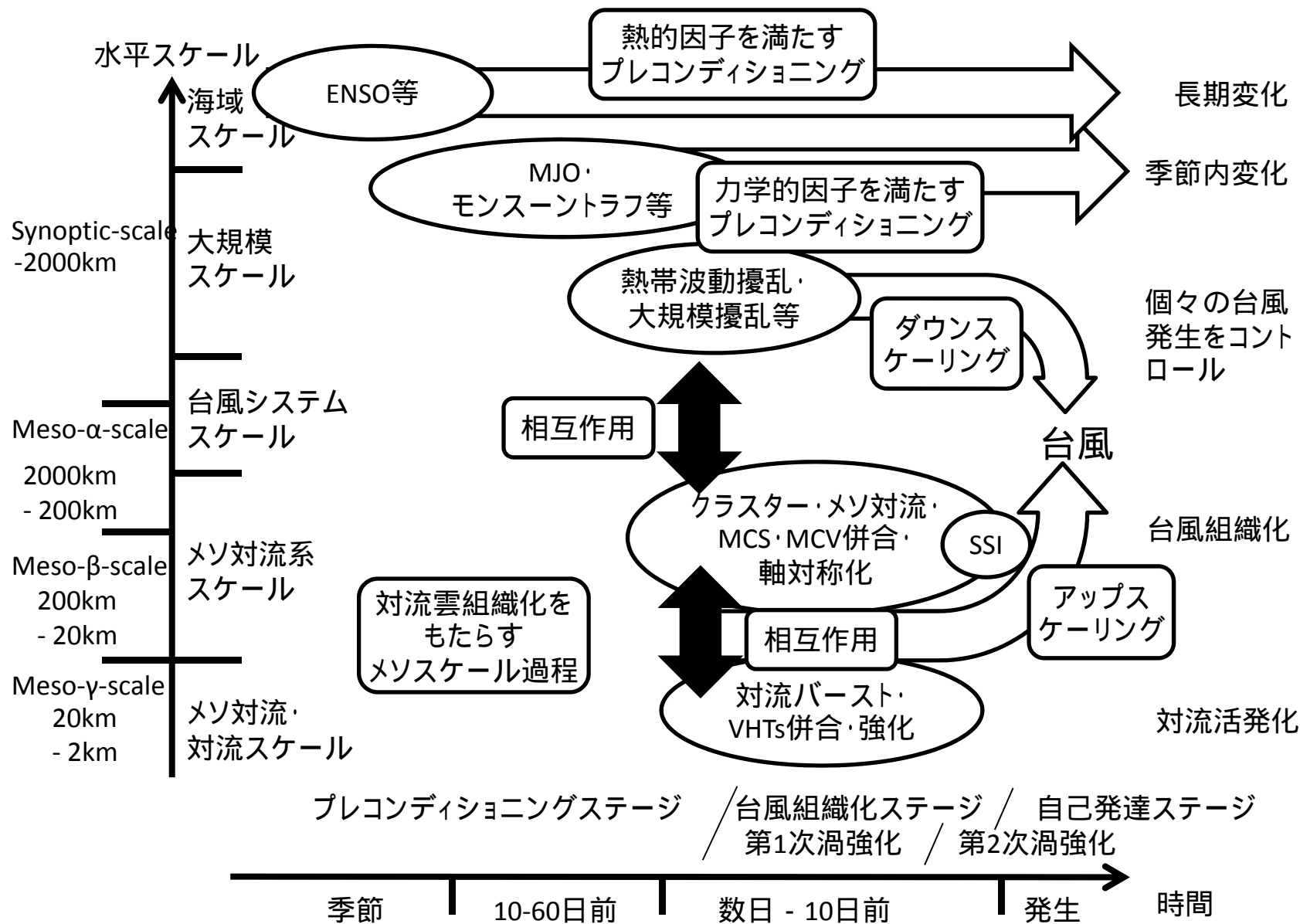
- ・物理的なメカニズムを考えた場合、閾値 17ms^{-1} という数字に大きな意味はない(「台風」山岬1982)
- ・台風発生過程の定義の曖昧さが、発生問題をさらに複雑にしているという指摘もある(Harr 2006)

ここでの台風発生過程の定義

雲や渦が全くない場から、台風発生に適した環境場が整った亜熱帯海上で対流雲が発生し、それらが組織化して**台風構造**と**自己発達メカニズム**を持つまでの過程



A synthesis of the cyclogenesis process



台風発生メソスケール過程の要点

- (1) 対流雲の集団の持続的な発生
: 温暖核形成
- (2) 渦の強化
: 温暖核の維持と海上風の強まりの効果
- (3) 台風システムスケールへの発達
: 自己発達メカニズムCISKの条件



1.2 台風発生メソスケール過程解明の 壁



Roadblocks

(要点1) 対流雲の集団の持続的な発生

(1) 台風発生前(海上風速が強まる前)に
対流活発化が観測

Zehr(1992)

(2) MCSs内層状領域での対流バースト

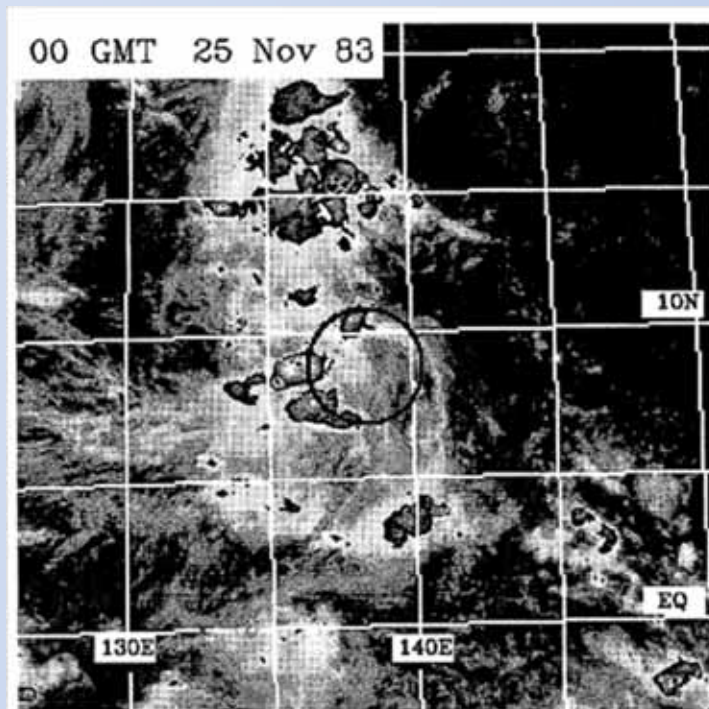
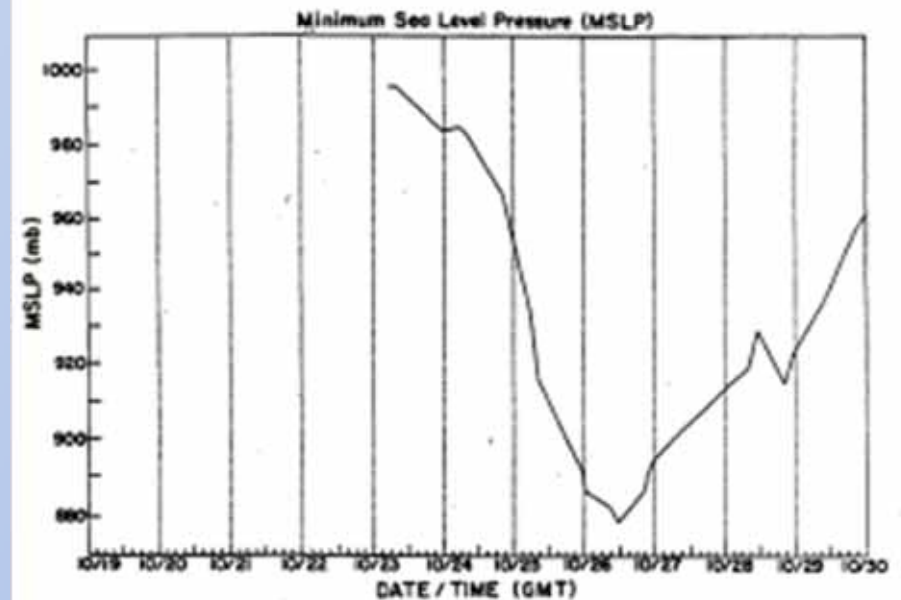
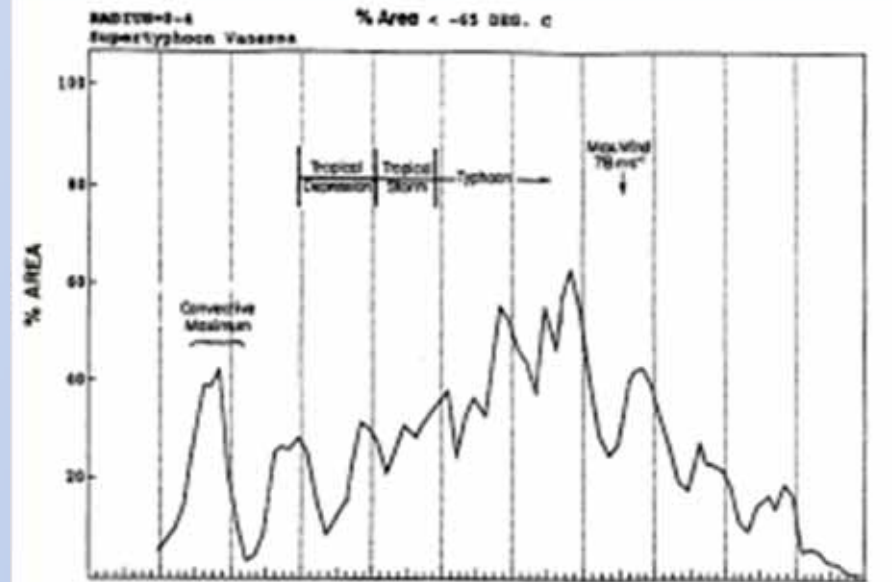


Figure 3.7: Satellite images before, during and after the early convective maximum. Enhanced IR images, Ruth, 1983. a) Before, 00 GMT 25 Nov. b) During, 12 GMT 25 Nov. c) After, 12 GMT 27 Nov. Visible images, Doyle, 1984. d) Before, 03 GMT 1 Dec. e) During, 03 GMT 2 Dec. f) After, 03 GMT 3 Dec.



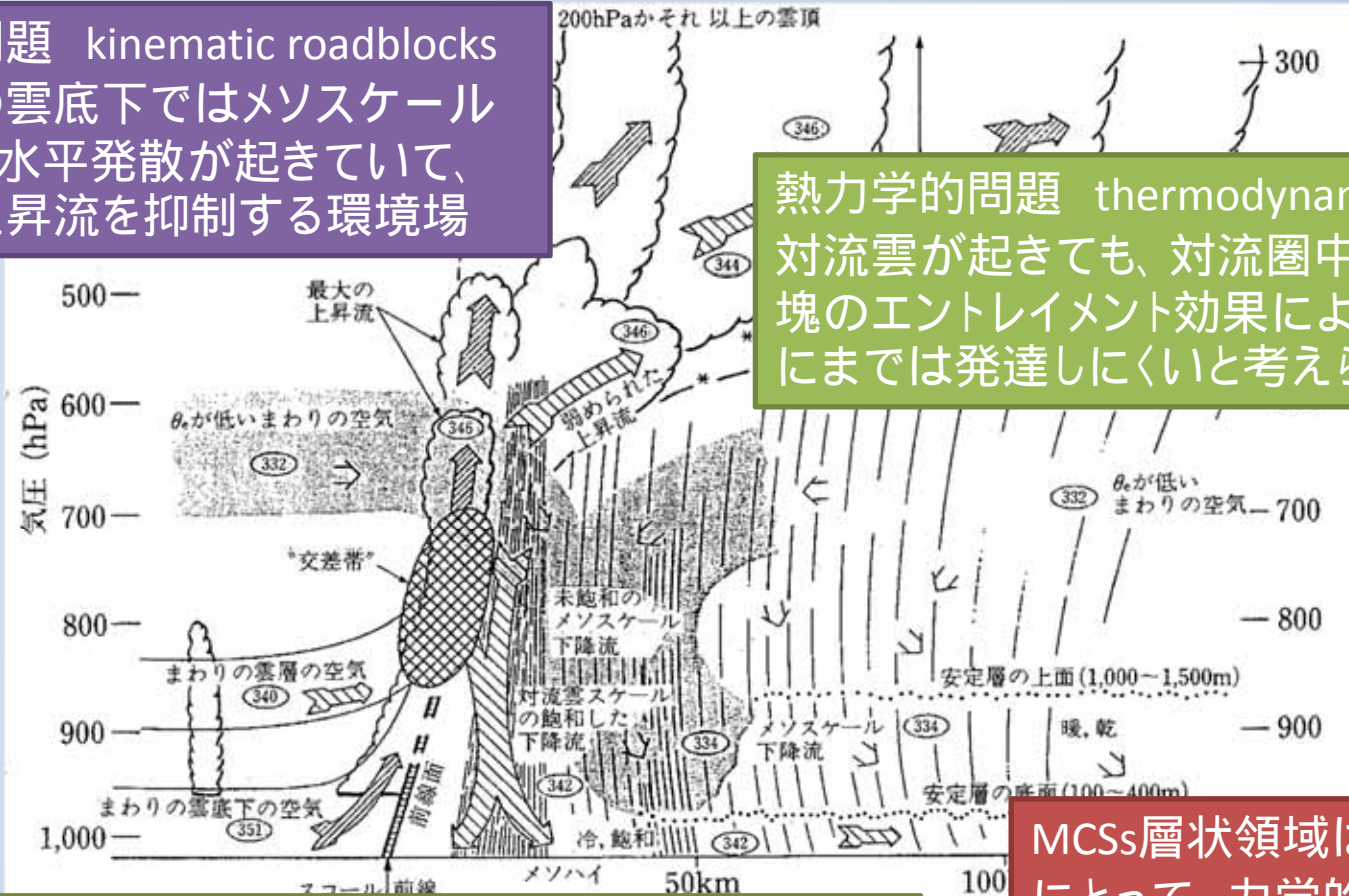
Figures 3.1: Typhoon Vanessa, 1984. a) Time series of percent area at $R = 0-4^\circ$ with $T_B < -65^\circ\text{C}$. The time and magnitude of the maximum sustained surface wind speed are indicated. b) Corresponding MSLP (mb) from aircraft observations. Date/Time is in GMT with month/day labels. Vertical lines are about 10 min apart.



Roadblocks

MCSs層状領域で対流バースト発生？

力学的問題 kinematic roadblocks
層状雲の雲底下ではメソスケール
下降流と水平発散が起きていて、
対流性上昇流を抑制する環境場



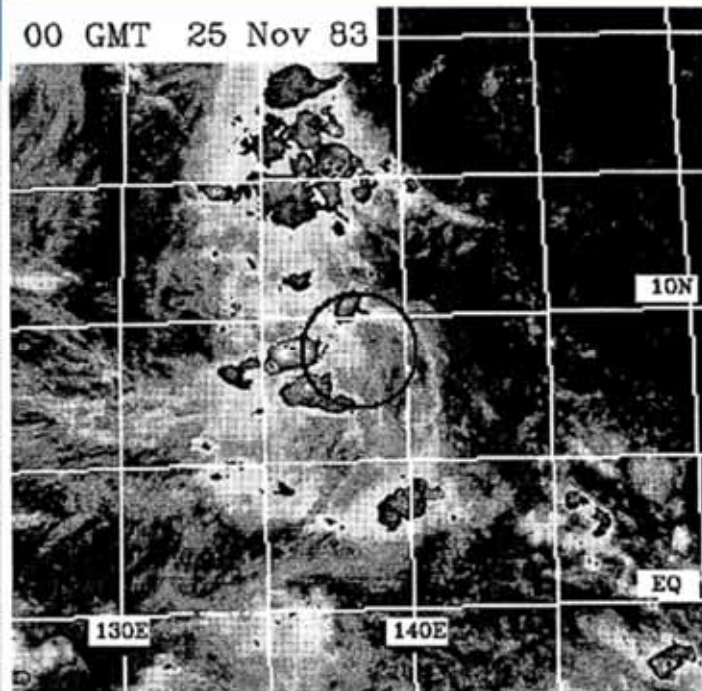
熱力学的問題 thermodynamic roadblocks
対流雲が起きてても、対流圏中・下層の乾燥気塊のエントレインメント効果により、深い対流雲にまでは発達しにくいと考えられる

熱力学的問題 thermodynamic roadblocks
層状領域の境界層は、対流領域から降水蒸発冷却と下降流により流れてきた冷湿な気塊で満たされている。この冷湿(安定)な境界層は対流性上昇流発生を抑制に働く

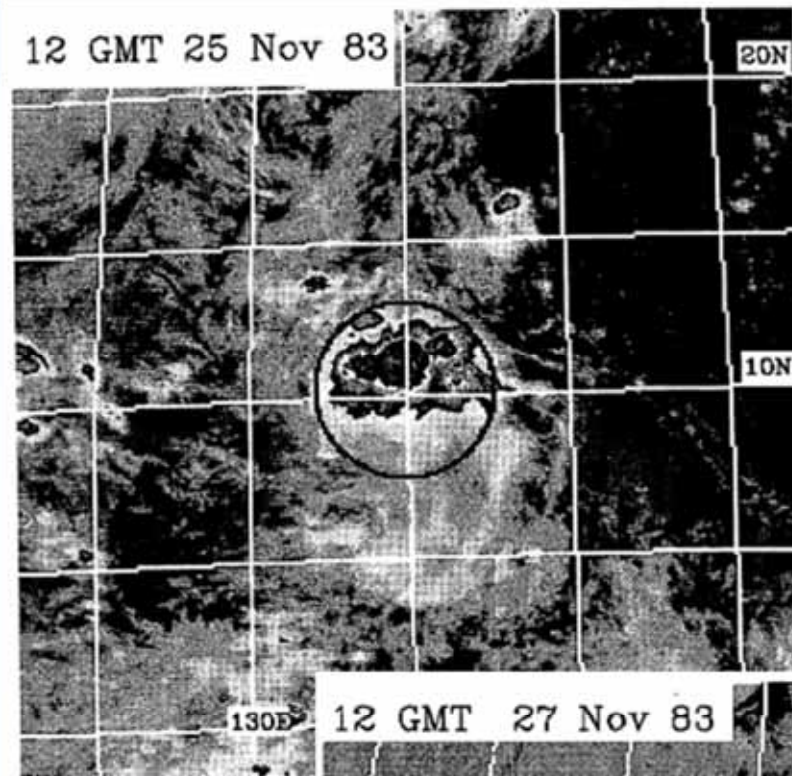
MCSs層状領域は、対流活発化にとって、力学的・熱力学的に不都合な環境場？



00 GMT 25 Nov 83



12 GMT 25 Nov 83



12 GMT 27 Nov 83

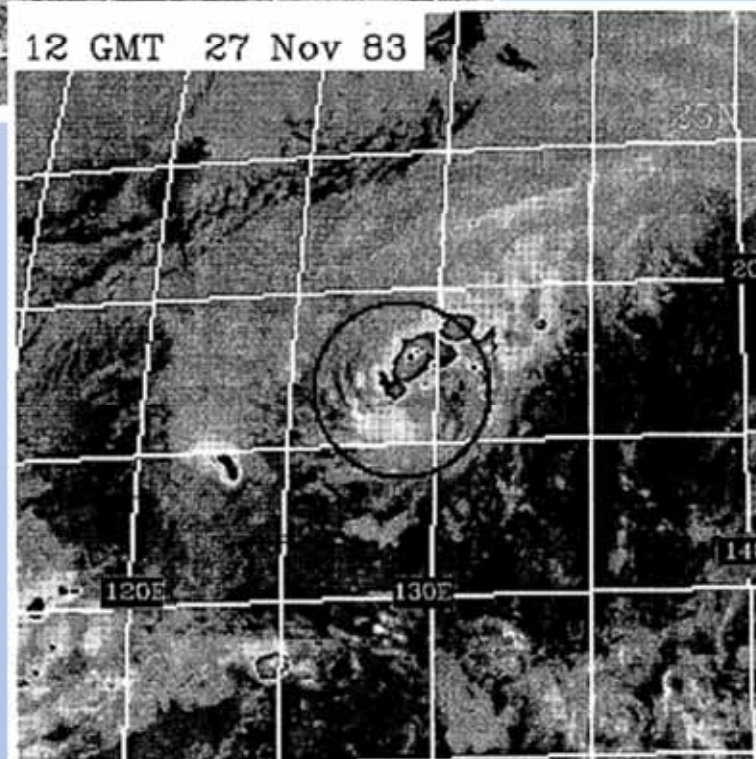
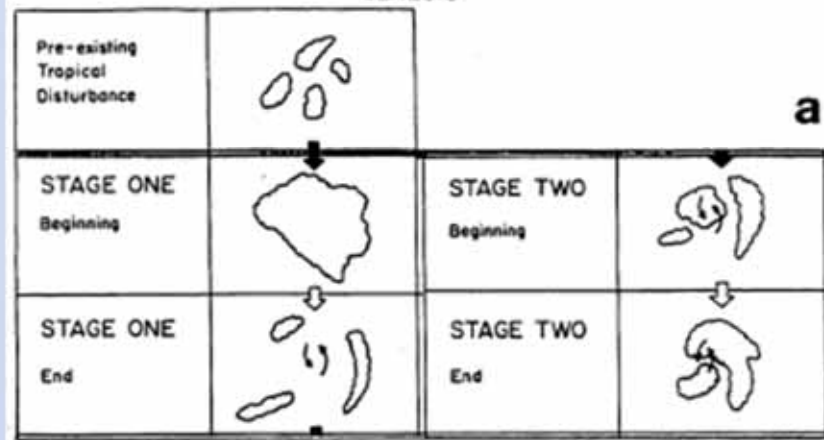


Figure 3.7: Satellite images before, during and after the early convective maximum. Enhanced IR images, Ruth, 1983. a) Before, 00 GMT 25 Nov. b) During, 12 GMT 25 Nov. c) After, 12 GMT 27 Nov. Visible images, Doyle, 1984. d) Before, 03 GMT 1 Dec. e) During, 03 GMT 2 Dec. f) After, 03 GMT 3 Dec.

GENESIS



(要点2) 渦の強化:対流圏下層ピークの正渦

Q. 対流圏下層の正渦の発生はどうして起きる？

1990年代後半から2000年代前半2種類の仮説



1.3 トップダウン仮説と ボトムアップ仮説



(要点2) 渦の強化: 対流圏下層ピークの正渦

Q. 対流圏下層の正渦の発生はどうして起きる？

1990年代後半から2000年代前半2種類の仮説

トップダウン仮説

ボトムアップ仮説

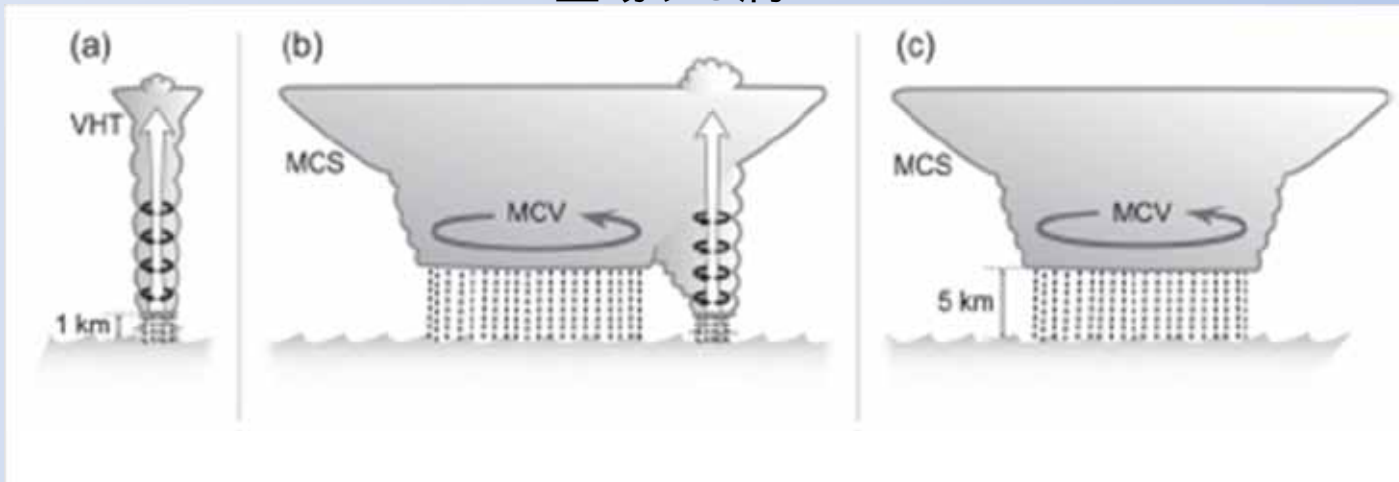
E. Ritchie

M. Montgomery



Top-down theory vs. Bottom up theory

登場する渦



Vortical hot tower ; VHT,
対流領域で発生する渦

VHT対流性渦
対流スケール1 ~ 10km
渦強度は強い
長生き 数時間

Mesoscale convective vortex ; MCV
MCS内の層状領域で発生する渦

MCV 層状性渦
層状領域スケール数十 ~ 数百km
渦強度は弱い
長生き 数日

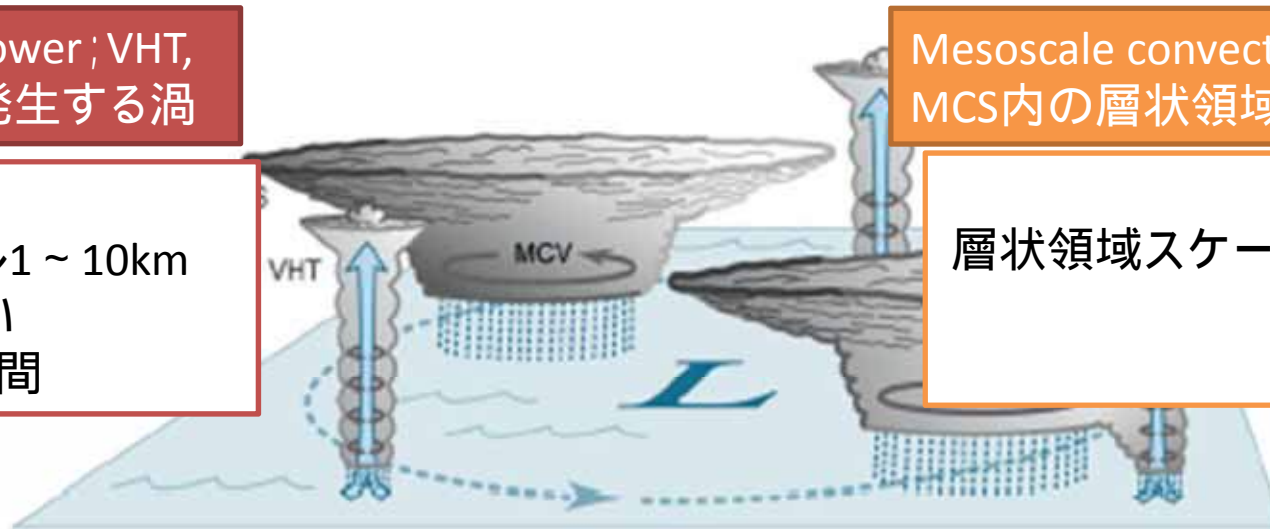


FIG. 2. MCS life cycle within a developing tropical cyclone. (a) The MCS begins as a set of one or more isolated deep VHTs. The vorticity of the low-level environment is stretched by convergence in the lower portions of the updraft and advected upward. (b) The convective-scale cells are transient components of a larger and longer-lived MCS, and as individual vortical hot towers of the MCS die off, they form a precipitating stratiform cloud out of the weakly buoyant upper portions of the old deep cells while new towers form, so that at its mature stage



トップダウン-MCV併合仮説

Ritchie and Holland (1997)

Simpson, Ritchie, Holland, Halverson, Stewart (1997)

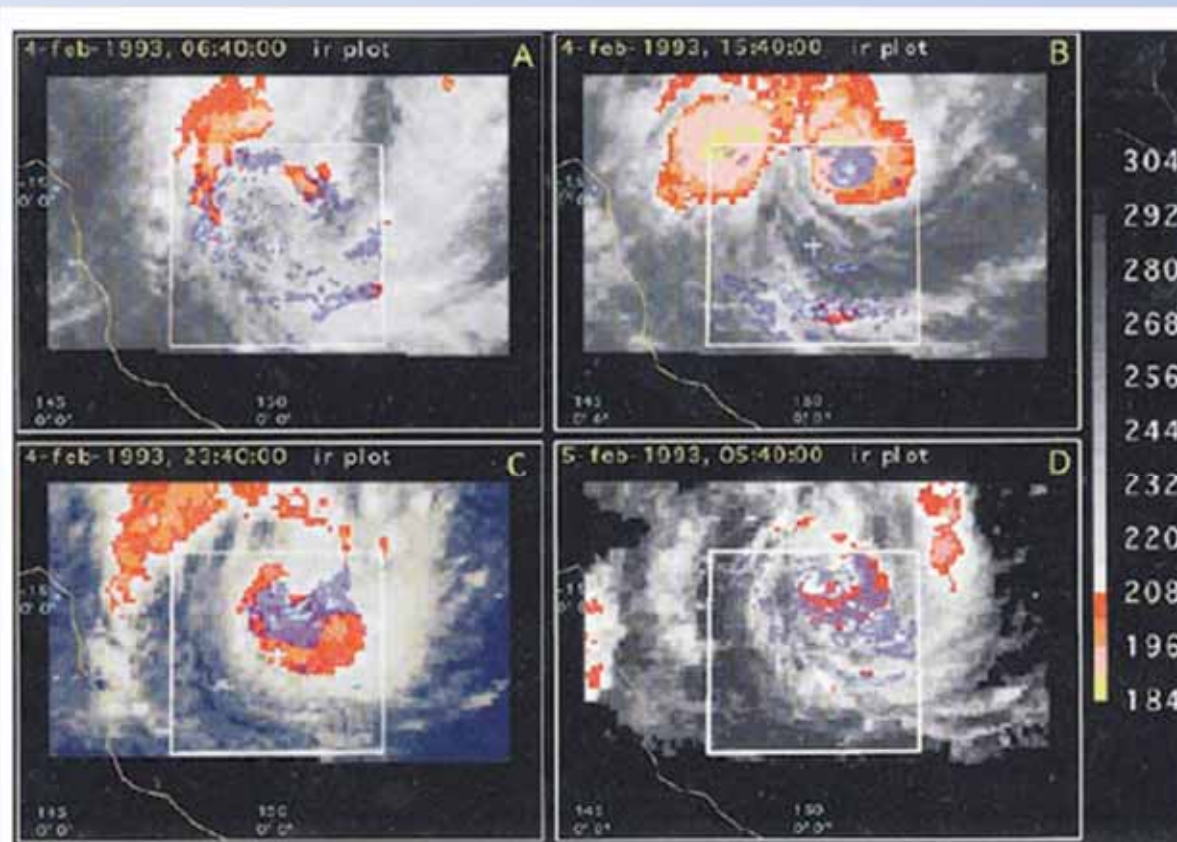


FIG. 2. Examples of the over-the-Willis Island radar and GMS satellite imagery used in the mesoscale analysis of Tropical Cyclone Oliver: (a) 0640 UTC 4 February, (b) 1540 UTC 4 February, (c) 2340 UTC 4 February, and (d) 0540 UTC 5 February. The radar is located by the white cross, and the outer limit of its range is the white square. Dark and light blue radar contours refer to min rates of 0.2–2 and 2–10 mm h⁻¹, respectively. Red, pink, and yellow GMS colors indicate all resolved areas of cloud tops colder than 208, 196, and 184 K, respectively.

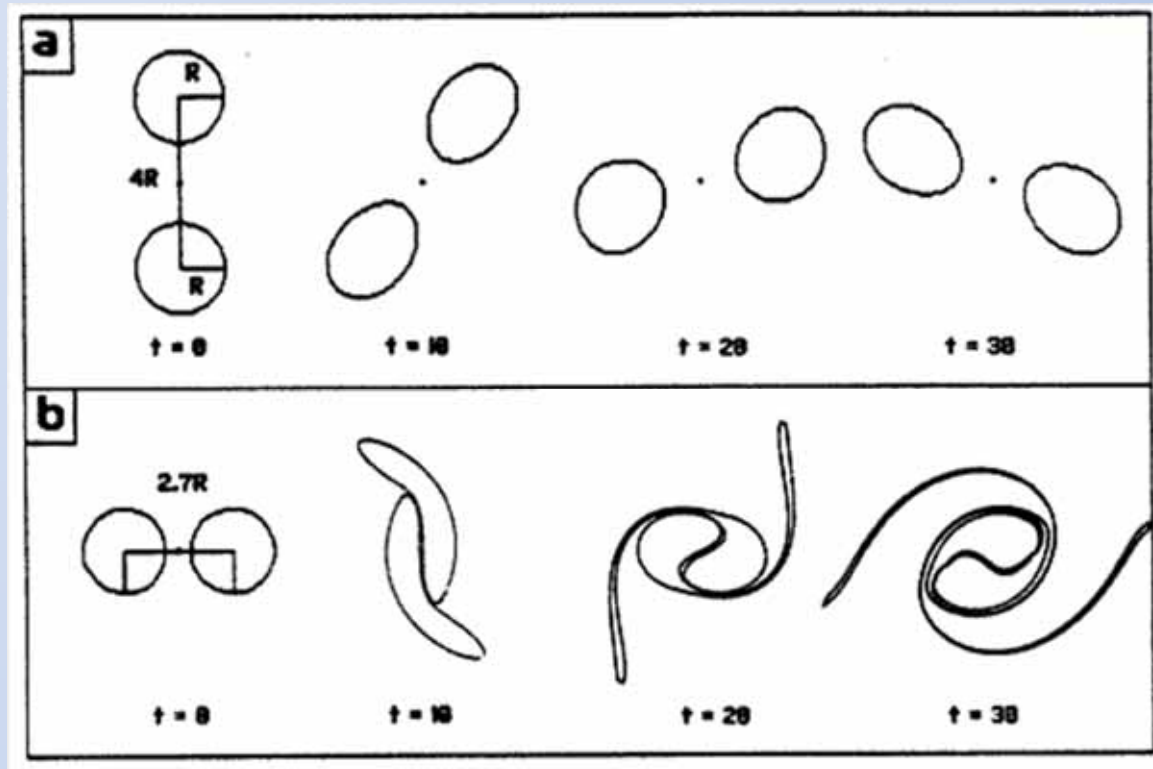
1. TC Irving(1992)やTC Oliver(1993)の発生過程において複数のクラスターが併合する様子が観測

2. 複数のMCVsの併合過程が起きていると考えた



渦の運動理論

McWilliams 1984 ; Dritschel and Waugh 1992 ; Ritchie and Holland 1993



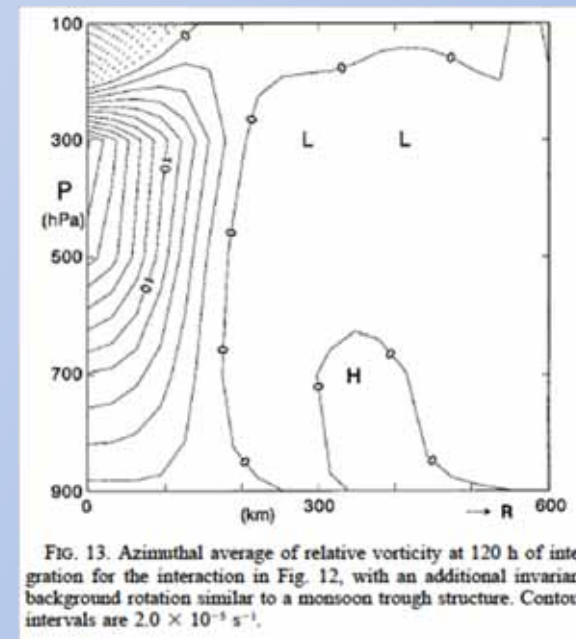
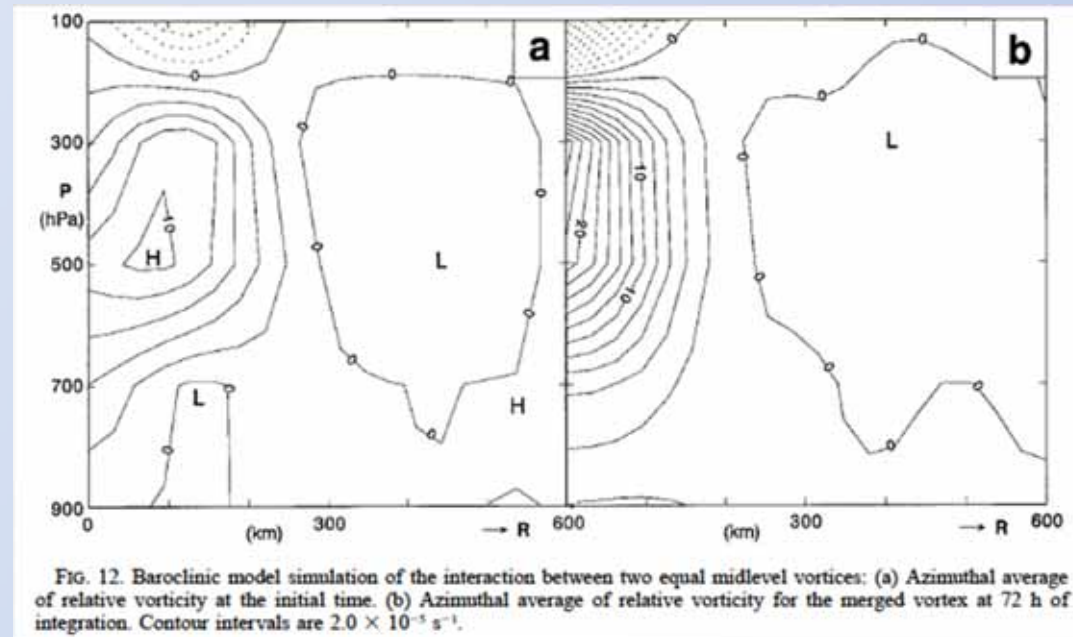
同規模の水平スケールで同じ符号の2つの渦がある程度近い距離にあれば、一方の渦回転の軌道に乗ったり、一方を引き延ばしたりしながら2つの渦は併合(併合過程; merging)する。



トップダウン-MCV併合仮説

Ritchie and Holland (1997)

Simpson, Ritchie, Holland, Halverson, Stewart (1997)



3. 併合過程によりMCVsは発達し、正渦領域は水平スケールだけでなく、鉛直方向にも発達・拡張(extension)する。理想場数値実験とRossby penetration depth(D)により、この正渦の鉛直方向の発達・拡張を説明した。



トップダウン-シャワーヘッド仮説

Bister and Emanuel (1997)

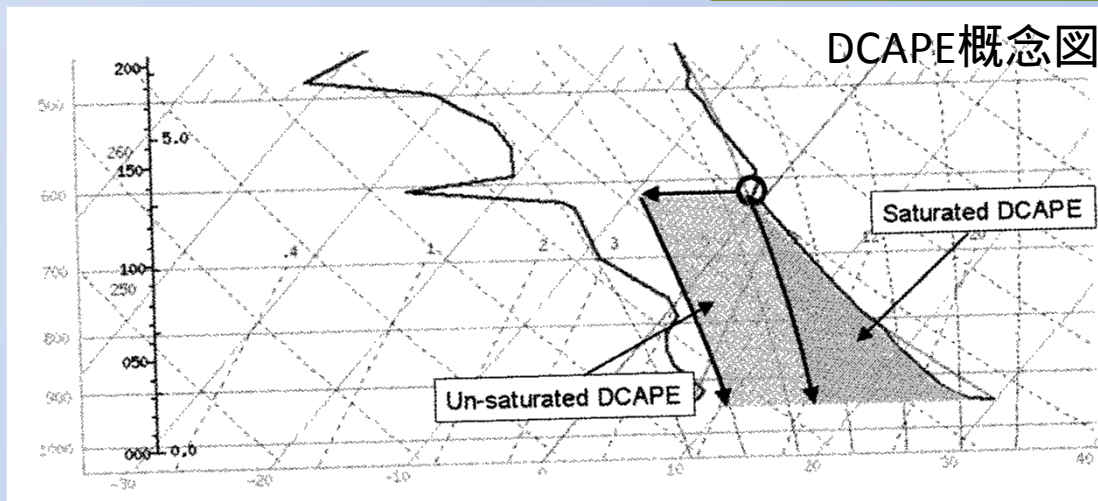
1.

層状領域のメソスケール下降流は、層状降水と乾燥域がもたらす蒸発冷却により形成されている(力学的問題)

非断熱的要因の下降流の強さ = downdraft convective available potential energy (DCAPE)により見積もられる(Emanuel 1994)

対流圏中・下層が湿っているほど、また安定なほどDCAPEは小さく、非断熱的要因の下降流は弱くなる

持続的な層状性降水の蒸発冷却の重要性



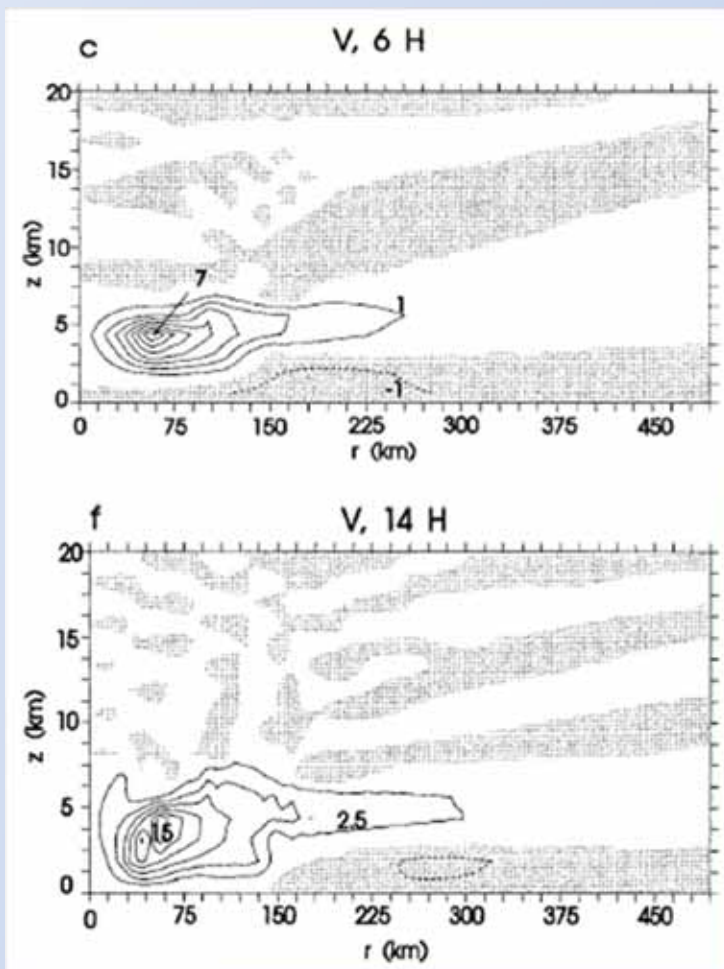
2.

MCS層状領域には持続的な層状性降水があり、その降水蒸発により対流圏中・下層の湿潤化

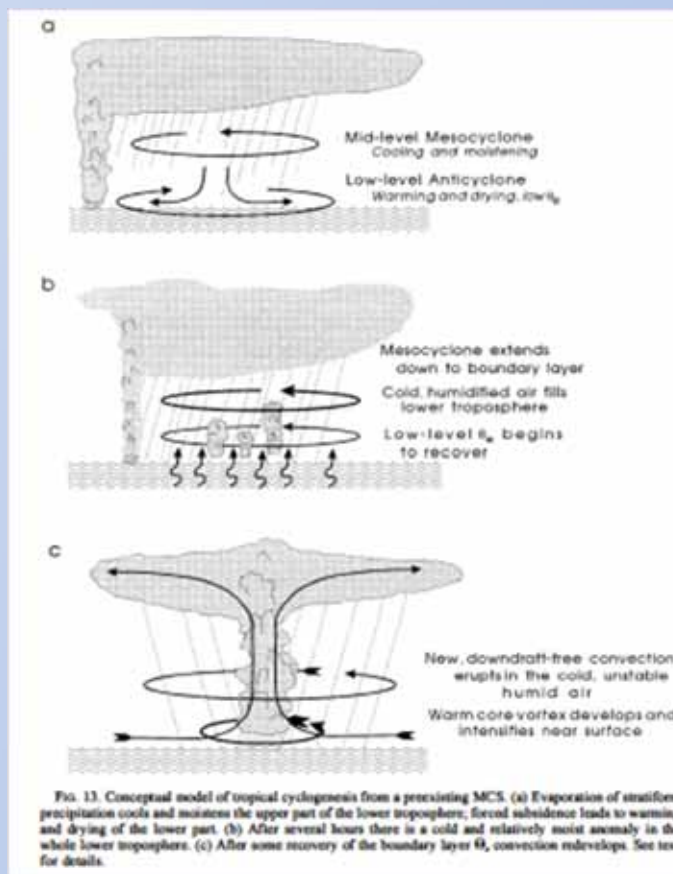


トップダウン-シャワーヘッド仮説

Bister and Emanuel (1997)



トップダウン仮説概念図



3.

メソスケール下降流により対流圏中層のMCVが地上付近まで鉛直下方輸送(downward advection)されて、下層渦が形成すると考察した。

対流圏下層の正渦は、海上風の強化により対流活発化を引き起こす。



Q. 対流圏下層の正渦の発生はどうして起きる？

渦は中層に起源

トップダウン-MCV併合仮説

力学的問題

複数のMCVsが併合過程により発達し、対流圏中層渦の鉛直下方への発達(downward extension of mid-level vortex)を通して対流圏下層の渦が形成

トップダウン-シャワーヘッド仮説

力学的問題

熱力学的問題

1つのMCVがメソスケール下降流により対流圏下層へ輸送(downward advection of mid-level vortex)されると説明



ボトムアップ仮説

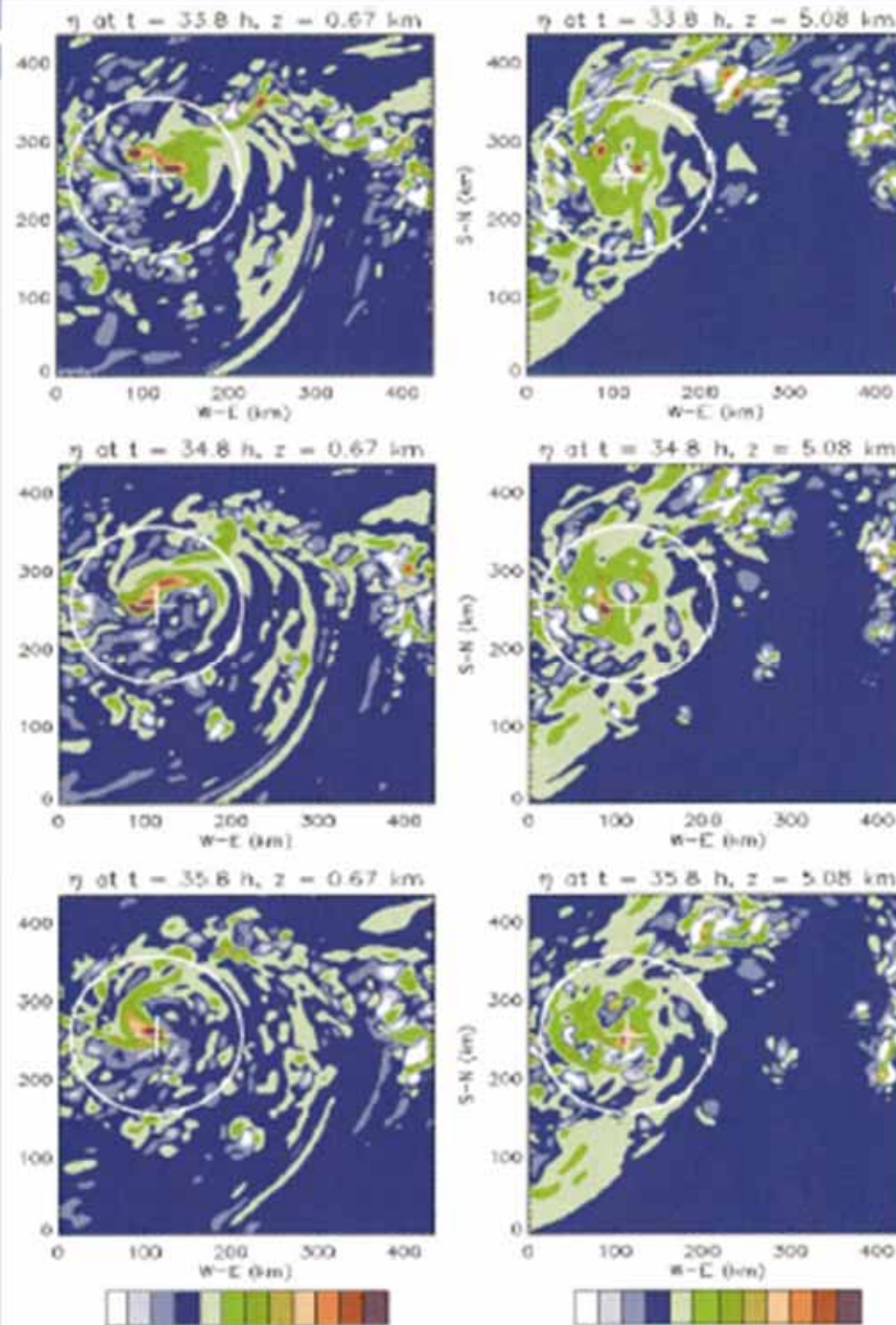
Hendrics, Montgomery, Davis (2004)

3.

MM5による高解像度(3km)現実場シミュレーションを行い、TC Diana(1984)の発生過程に対する対流性渦の重要性を示す。この高解像度シミュレーションでは、強い対流性上昇流に伴う水平スケール10-30kmで対流圏下層から上層まで強い渦VHTsが発生。

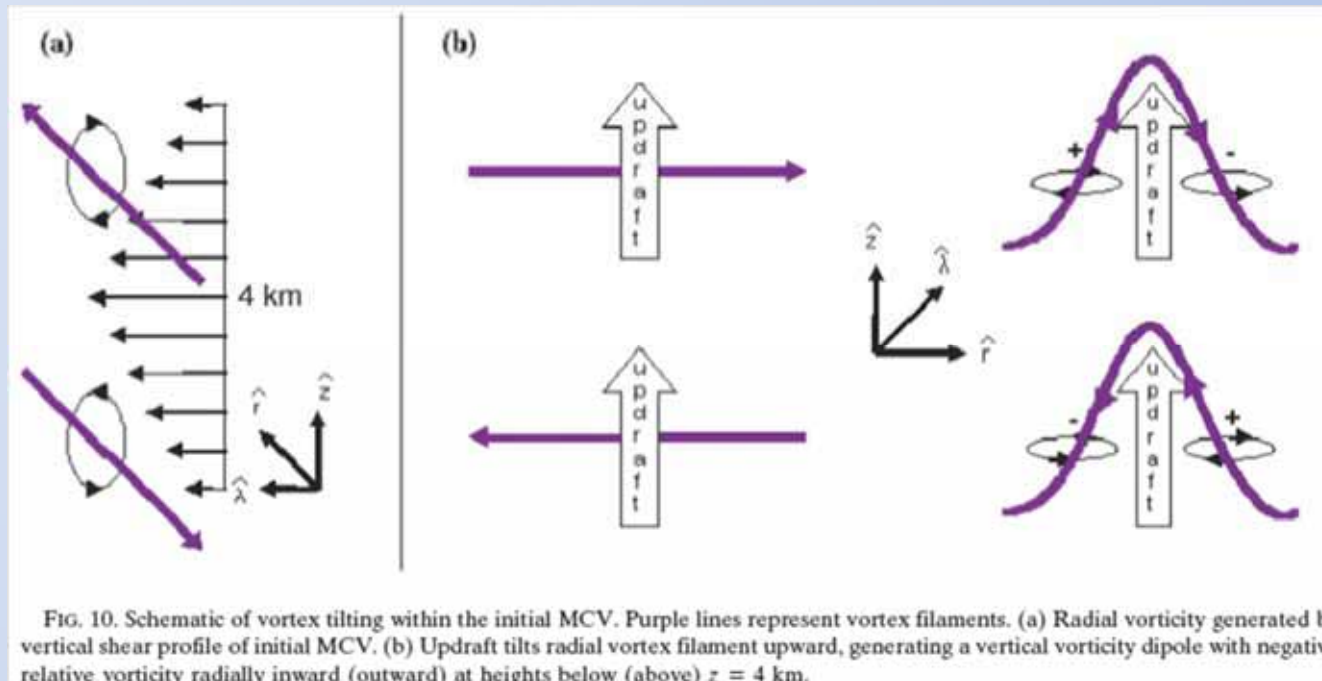
4.

VHTs併合過程と軸対称化が対流圏下層の正渦強化をもたらしていた。



VHT形成メカニズム

Montgomery et al. (2006)



1. 鉛直シアが大きい領域では水平渦が発生する。
2. その領域で強い対流性上昇流が発生すると、水平渦度が起き上がり効果(tilting項または非移流項)と鉛直移流により、対流スケールの正と負が対となった鉛直渦が形成される。
3. 背景場のMCVに伴う正渦による分別効果と、上昇流域側にある正渦が対流性上昇流により引き延ばし効果(stretching項または移流項)を受けることで、正渦(VHT)だけが強化される。



Q. 対流圏下層の正渦の発生はどうして起きる？

渦は中層に起源

トップダウン-MCV併合仮説

力学的問題

複数のMCVsが併合過程により発達し、対流圏中層渦の鉛直下方への発達(downward extension of mid-level vortex)を通して対流圏下層の渦が形成

トップダウン-シャワーヘッド仮説

力学的問題

熱力学的問題

1つのMCVがメソスケール下降流により対流圏下層へ輸送(advection of mid-level vortex)されると説明

ボトムアップ仮説

渦は下層に起源

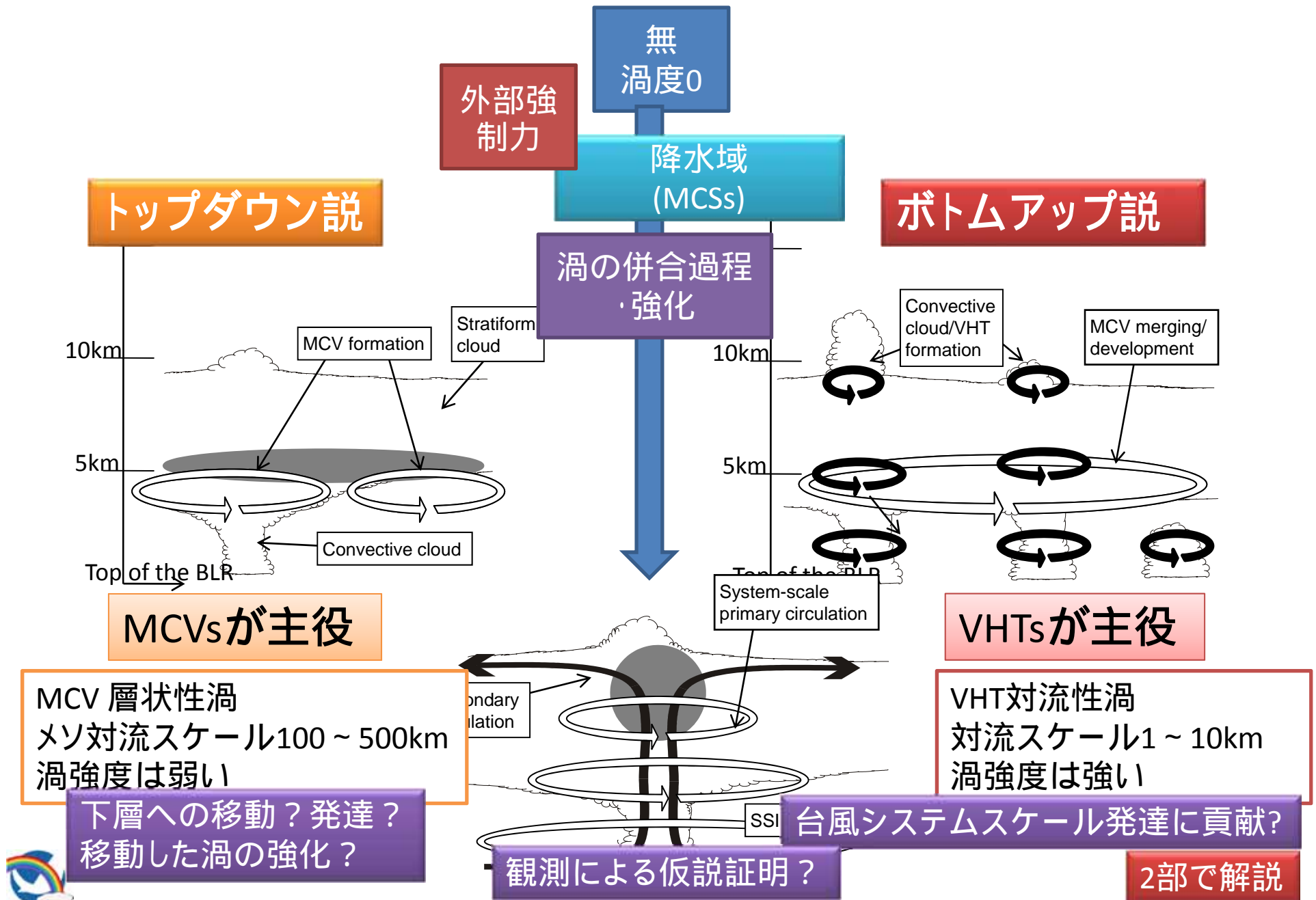
力学 ~~問題~~

熱力学 ~~問題~~

対流スケールの渦VHTsの併合過程が台風発生過程に貢献している



Top-down theory vs. Bottom up theory



1.4 2000年代後半の観測研究と シミュレーション研究による仮説証明



ドップラーレーダ・飛行機観測

Reasor et al. (2005) = TC Dorry(1996)

Sippel et al. (2006) = TC Allison(2001)

Houze et al. (2009) = TC Ophelia(2005)

Bell and Montgomery (2010) = TC Hagupit(2008)

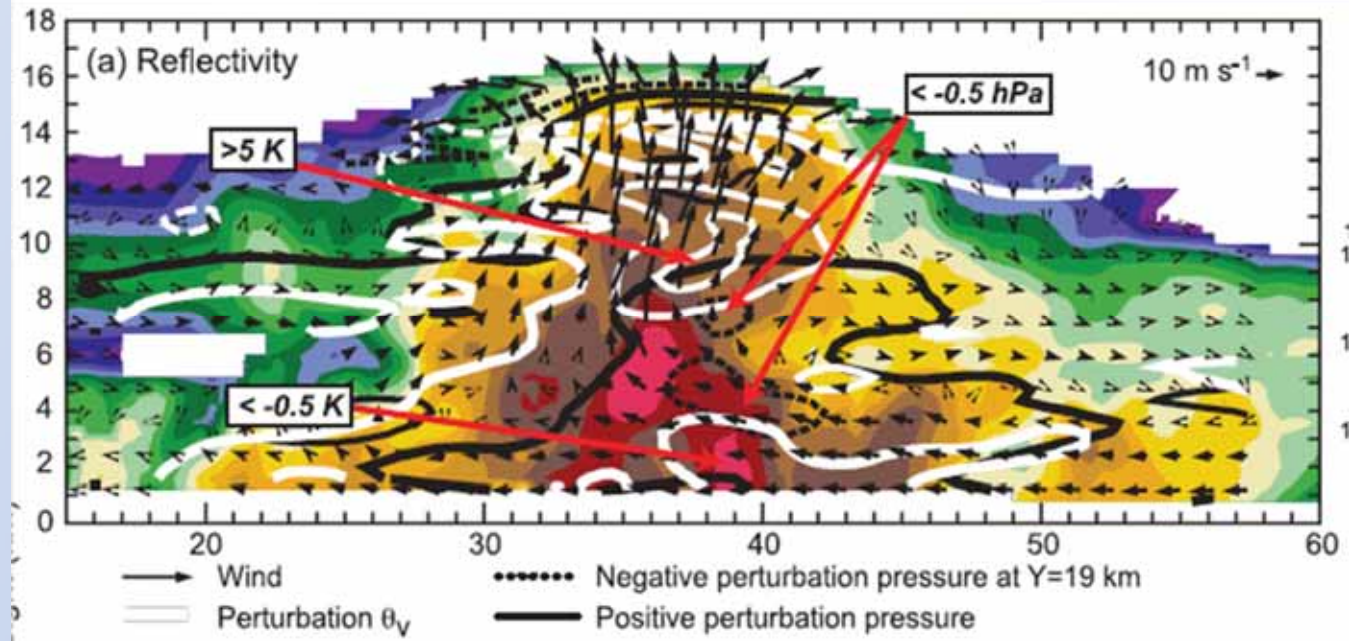
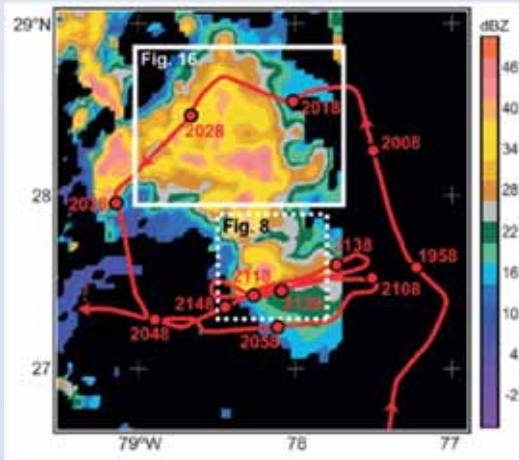


対流性渦の存在を確認

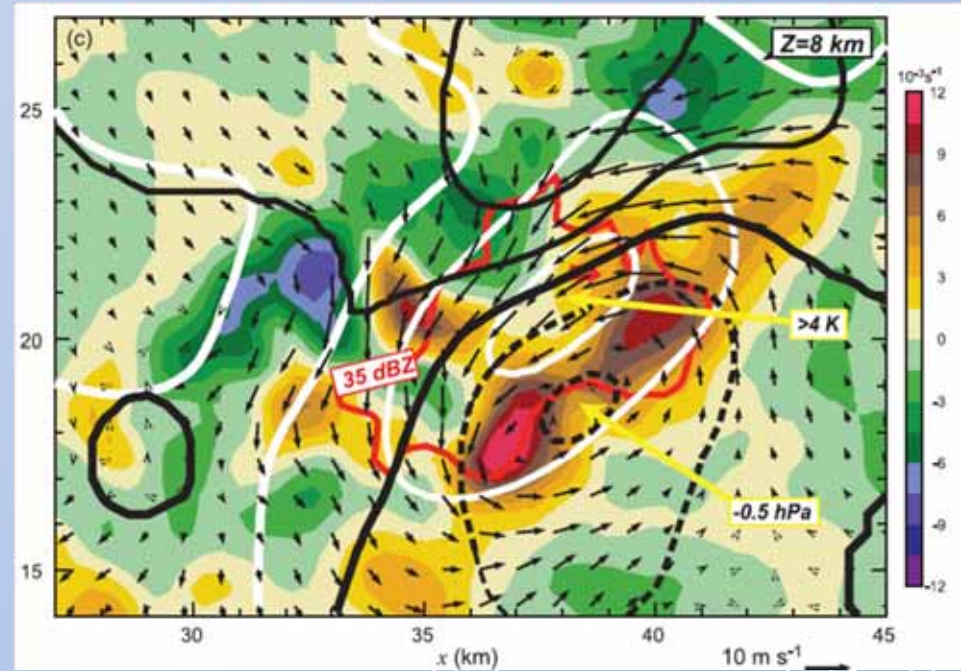


Recent observational studies

Houze 2010
Houze et al. 2009



2005年9月6日2108-2123UTCにおける
Harricane Opheliaの飛行機搭載型ドップ
ラーレーダの観測結果。(a)は(c)y=19km
での鉛直断面図。(c)は高度8kmの平面
図。(a)反射強度(影 dBz)と東西風と鉛直
流(ベクトル)、浮力場(仮温位偏差、2.5K
間隔の白コンター)と気圧摂動(0.5hPa間
隔の黒コンター、太線は0)。(c)鉛直相対
過度(影)と風の摂動(ベクトル)と浮力場(1
K間隔の白コンター)と気圧の摂動(0.5hPa
の黒コンター)。



Houze et al. 2009 観測結果のまとめ

- ◆ 強い上昇流域と強い正の相対渦度が一致した場所 = VHTの存在
- ◆ 対流性上昇流は、広域(約10km)で鉛直方向に深く(17km)、対流圏中・上層で強い(10-20ms⁻¹でピークは30ms⁻¹)
- ◆ 層状性降水域の降水蒸発や降水の引きずり効果は起きているが、対流圏中層の渦を下層へ移流させるような強い下降流が確認されていない = トップダウン-シャワーヘッド仮説の否定
- ◆ MCVsは層状領域で発生・発達しているが、対流圏下層までは発達していない = トップダウン-MCVマージ仮説の否定



Recent observational studies

Houze et al. 2009 観測結果のまとめ

対流雲形成メカニズム=non-gust-front convective triggering

対流圏下層の深い吹き込み・降水による蒸発冷却・非断熱加熱による浮力効果

1. 層状性降水の蒸発冷却・混合の高密度・高湿の境界層

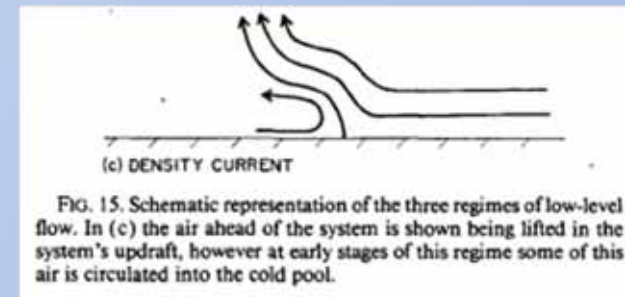
2. 強い海上風と摩擦による強い吹き込みの気塊

3. 自由対流高度まで、**MCSs層状領域は、対流活発化**
にとって、**力学的・熱力学的に不都合な環境場？**

4. 対流圏上層の非断熱加熱による浮力も加わり強い対流性上昇流が発生

周囲の大規模擾乱の影響も加わり対流圏下層の吹き込み層が深くなれば、その上昇流は深く発達する

1970-80年代に理想場数値実験の研究(Yamasaki 1977ab, 1979, 1983, 1984, 1988; Crook and Moncrieff 1988)で得られた対流雲活発化のメカニズムと整合的



高解像度-現実場シミュレーション研究

Tory et al. 2006a,b, 2007

Kieu and Zhang 2008, 2009, 2010

Fang and Zhang 2010

Fudeyasu et al. 2008, 2010ab

Braun et al. 2010



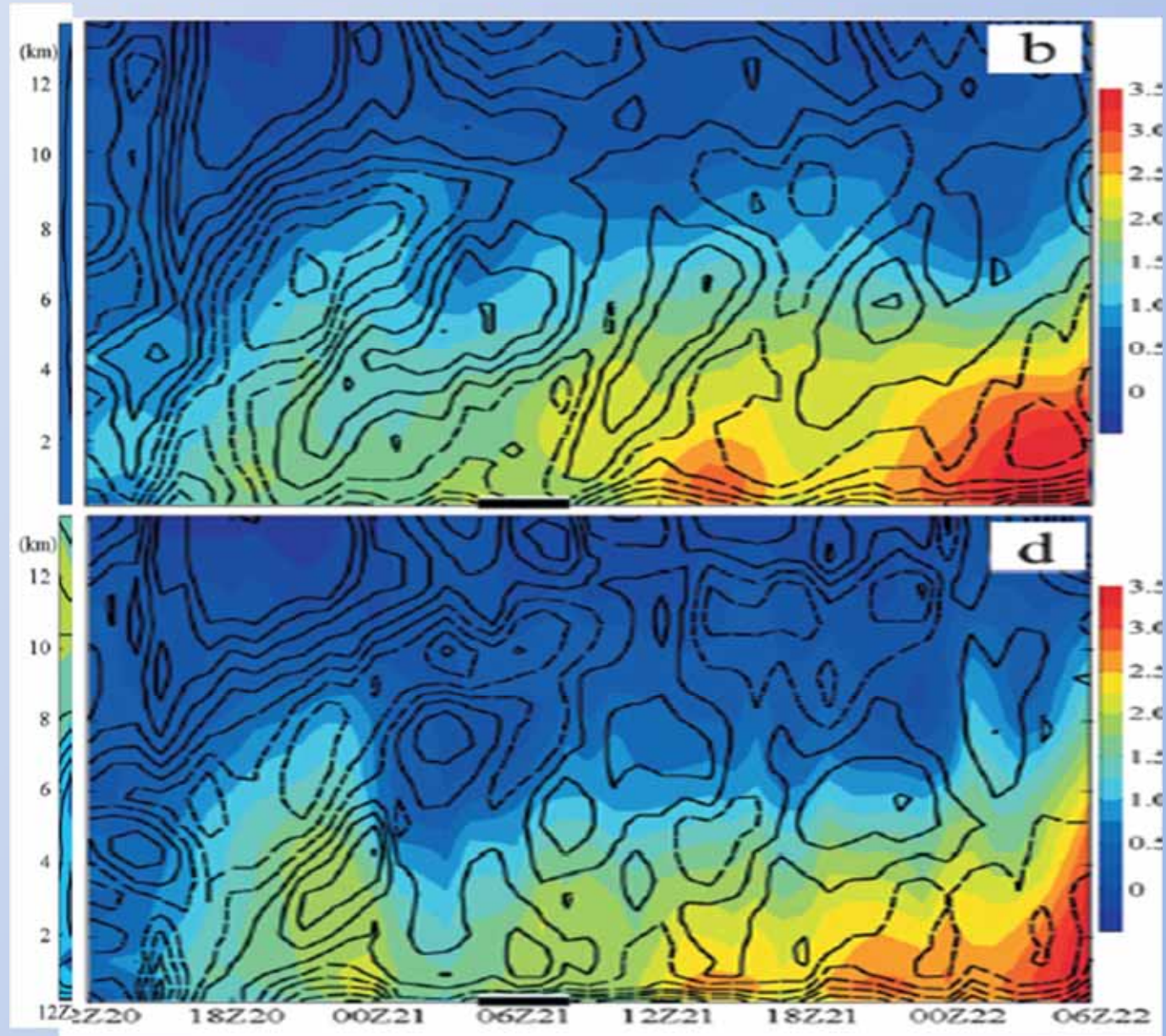
ボトムアップ仮説を支持



Recent model studies

Fang and Zhang
2010

時間-高度鉛
直断面図; 水平
発散(コンター;
破線 = 負)と相
対渦度(影);
(上)渦度の中心
(下)中層の流線
中心から90km
半径円平均



高解像度-現実場シミュレーション研究

Tory et al. 2006a,b, 2007

Kieu and Zhang 2008, 2009, 2010

Fang and Zhang 2010

Fudeyasu et al. 2008, 2010ab

Braun et al. 2010



ボトムアップ仮説を支持

高解像度-理想場実験研究

Nguyen et al. 2008: VHT併合過程の詳細

Nolan 2007:

対流バーストにはRH80%以上(熱力学的問題)

層状性降水ではなく、数日かけた断続的な対流雲



台風発生メソスケール過程の研究の歩み

- 1990年代後半: 衛星観測によるクラスターの併合過程に注目して、トップダウン-MCV併合仮説が立てられる
- 2000年代前半～半ば: 高解像度シミュレーション結果より、対流スケールの渦VHTsの併合過程が台風発生過程に貢献というボトムアップ仮説が立てられる
- 2000年代後半: 観測・シミュレーションにより、ボトムアップ仮説を支持する報告が多い

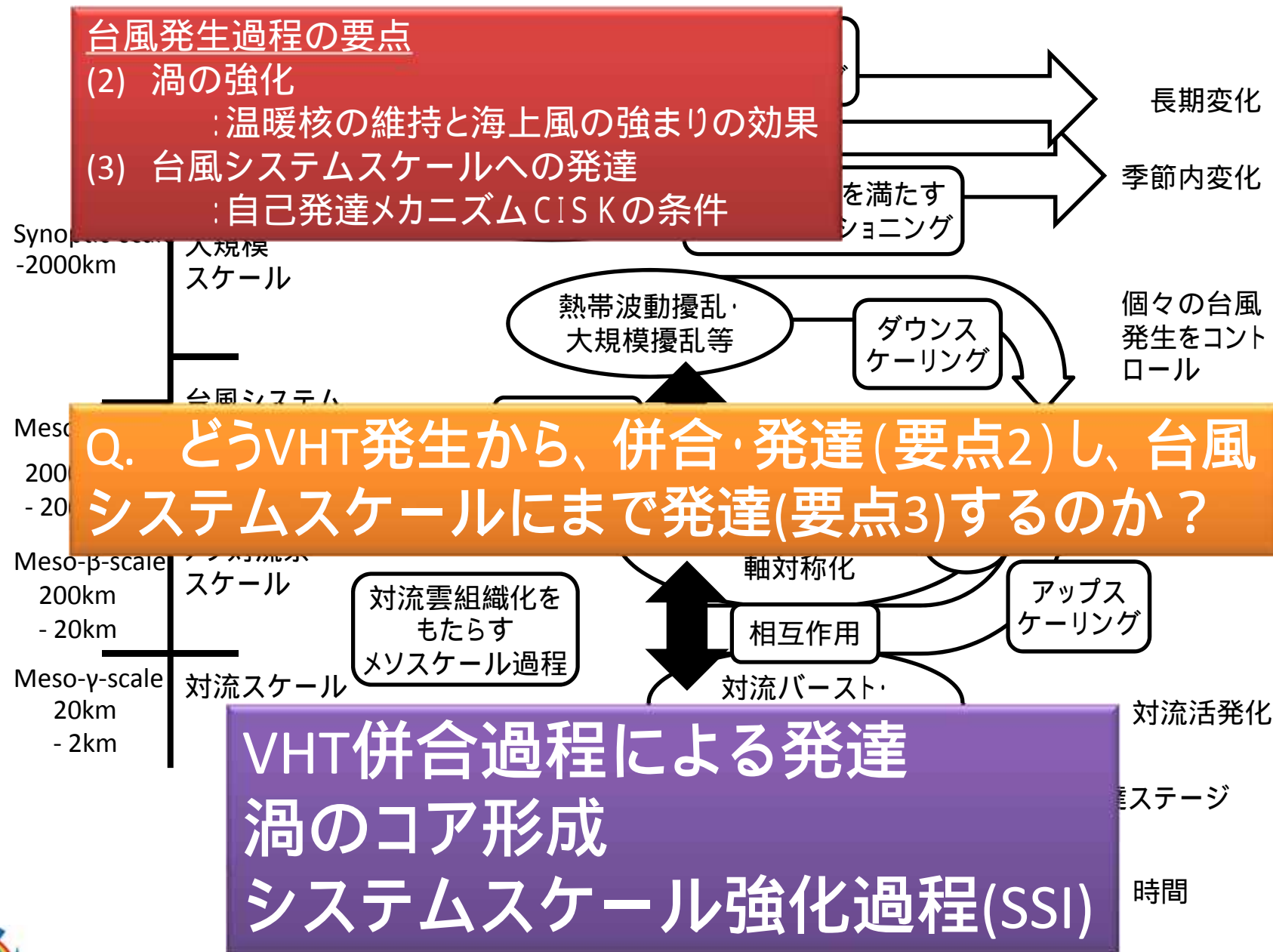


2部 台風はなぜ軸対称構造 なのか？

～ 総観スケールとメソスケールをつなぐ力学～



A synthesis of the cyclogenesis process



NICAMによるMJO実験で再現された台風発生過程

Miura et al. 2007

Nasuno et al. 2009

NICAM MJO experiment

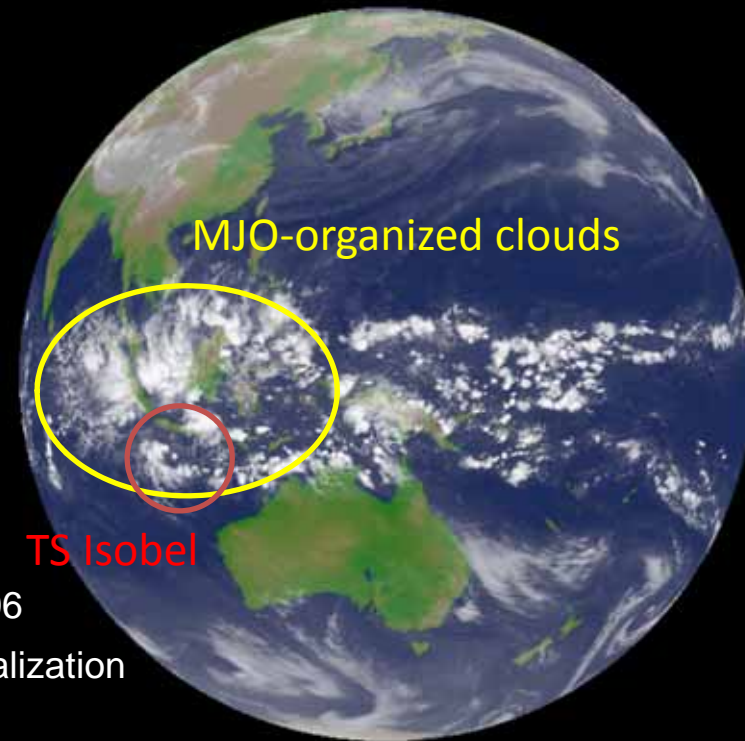
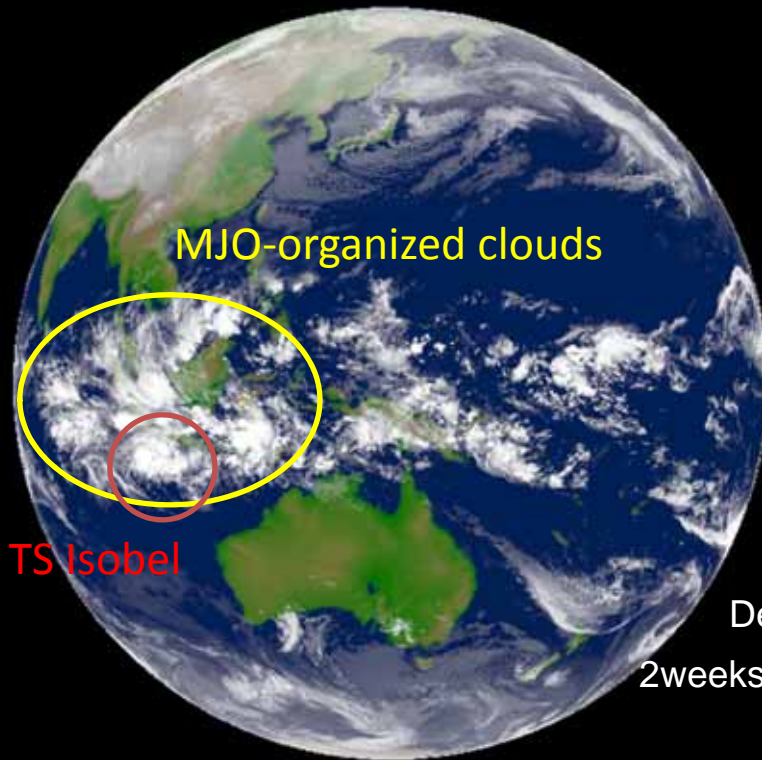
- Horizontal grid resolution:
 - glevel 10: **7 km**
- Vertical domain:
 - 0 m ~ 38,000 m, **40-levels** (stretching grid)
- Initial conditions:
 - Interpolated from **NCEP reanalysis** (6 hourly, 1.0degree grids)
 - **2006-12-15 00:00:00**
- Boundary conditions:
 - **Reynolds SST**, Sea ICE (weekly data)
 - ETOPO-5 topography, Matthews vegetation
 - UGAMP ozone climatology (for AMPI2)
- Integration:
 - **32 days** from 15 December 2006 to 16 January
- Note:
 - **Subgrid scale convective parameterization was not used**
 - **Artificial techniques to nudge were not used**



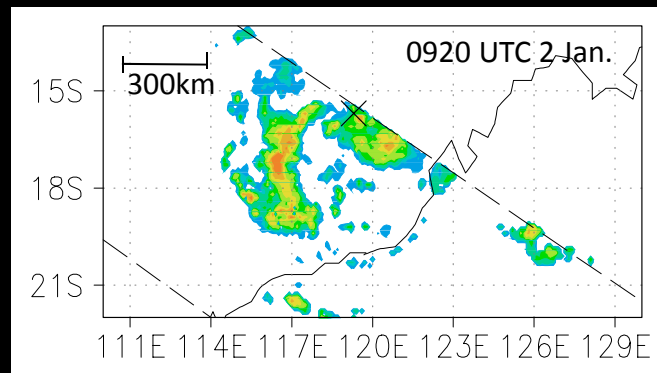
Observation vs. NI CAM

MTSAT-1R

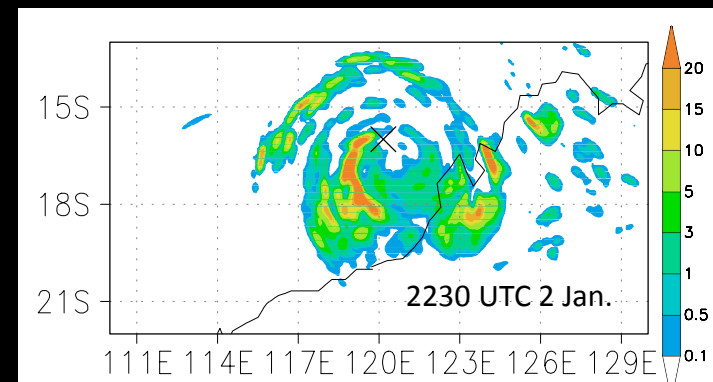
NICAM



Surface rain rate (mm hour⁻¹) by TRMM-TMI

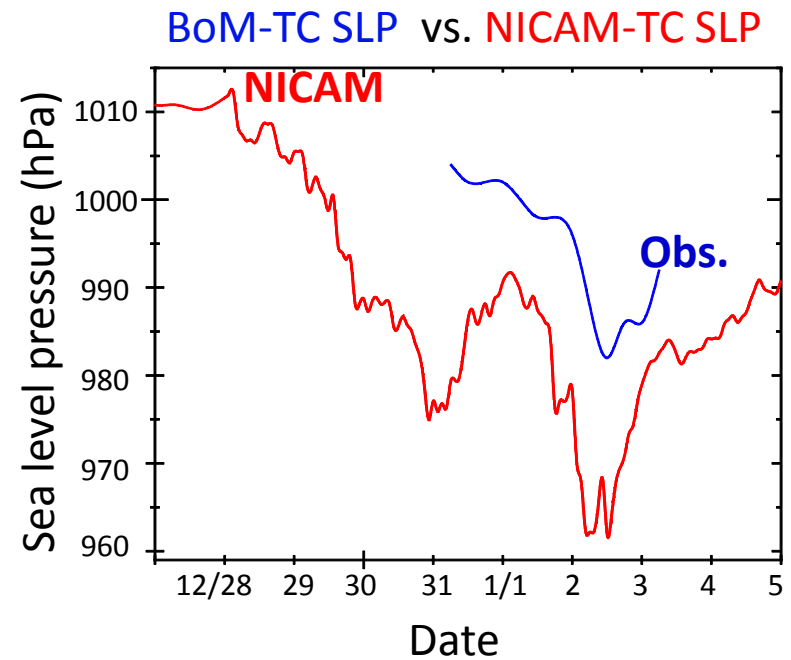
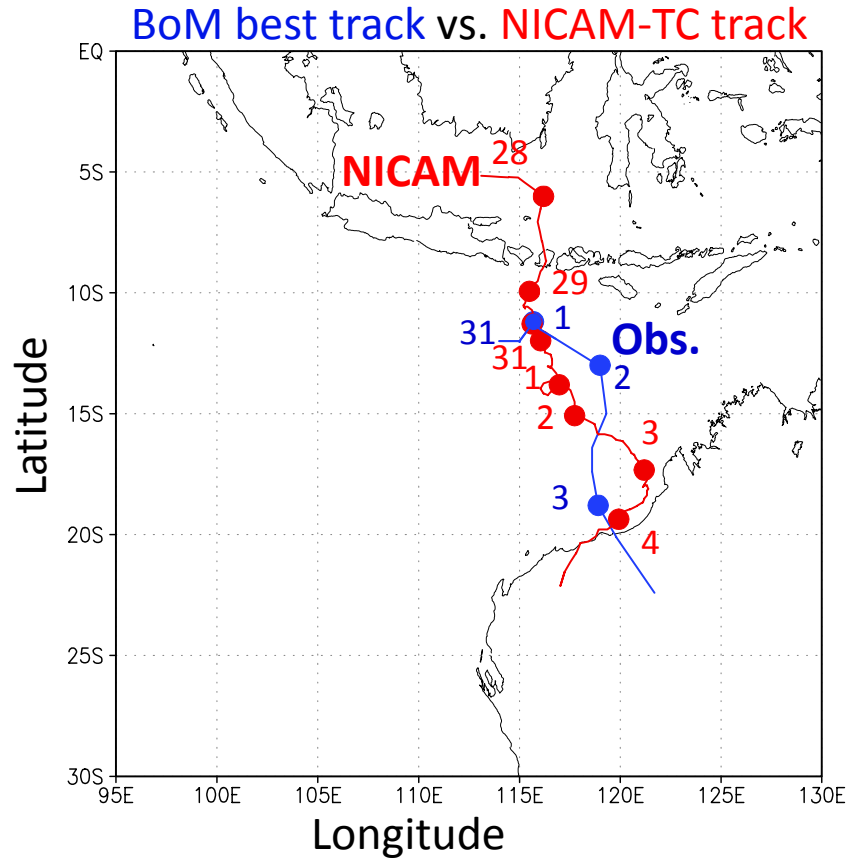


Surface rain rate (mm hour⁻¹) by NICAM



Observation vs. NI CAM

BoM: Australian Government Bureau of Meteorology

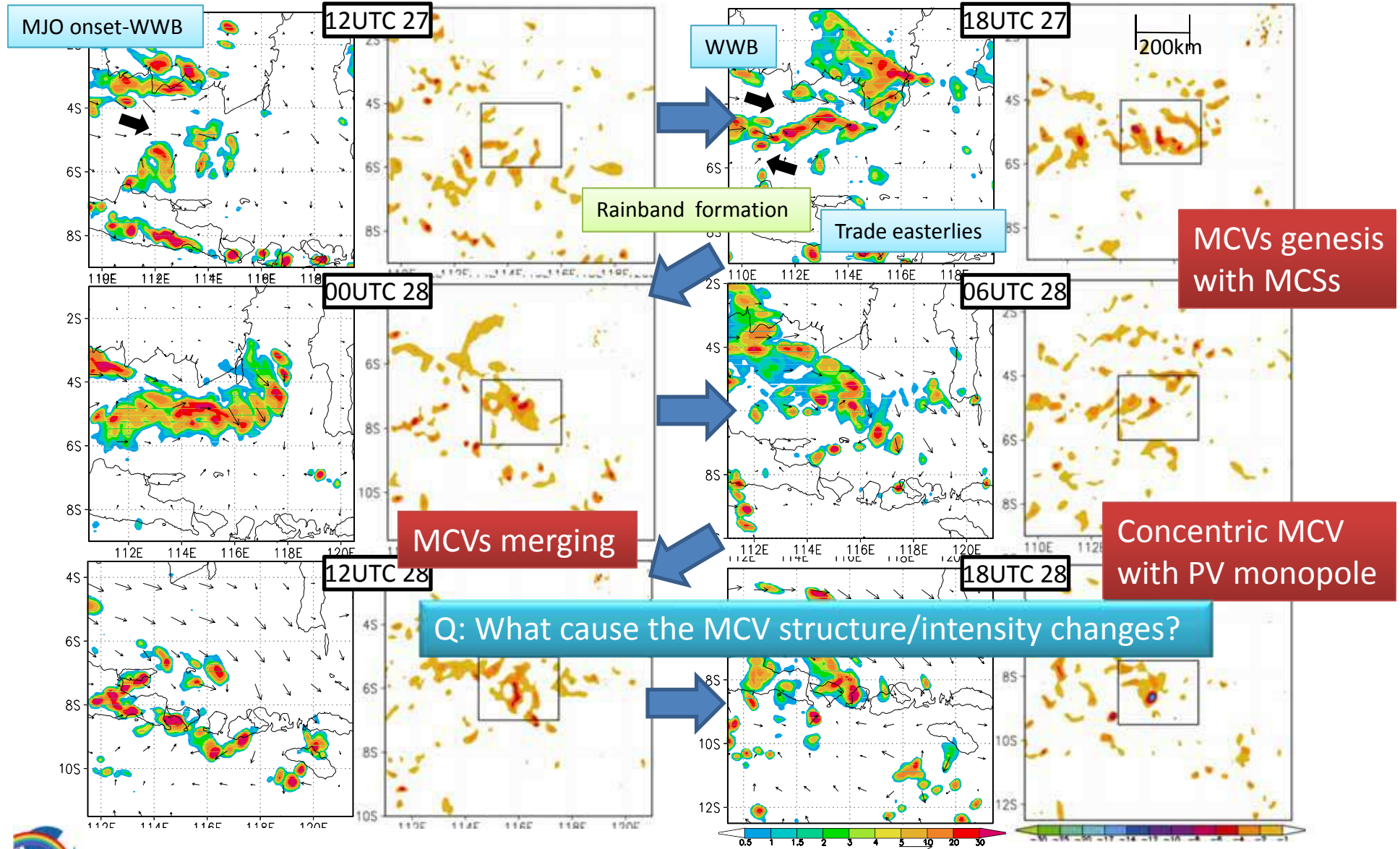


NICAM reasonably captured Isobel's motions, timing, and intensity changes.



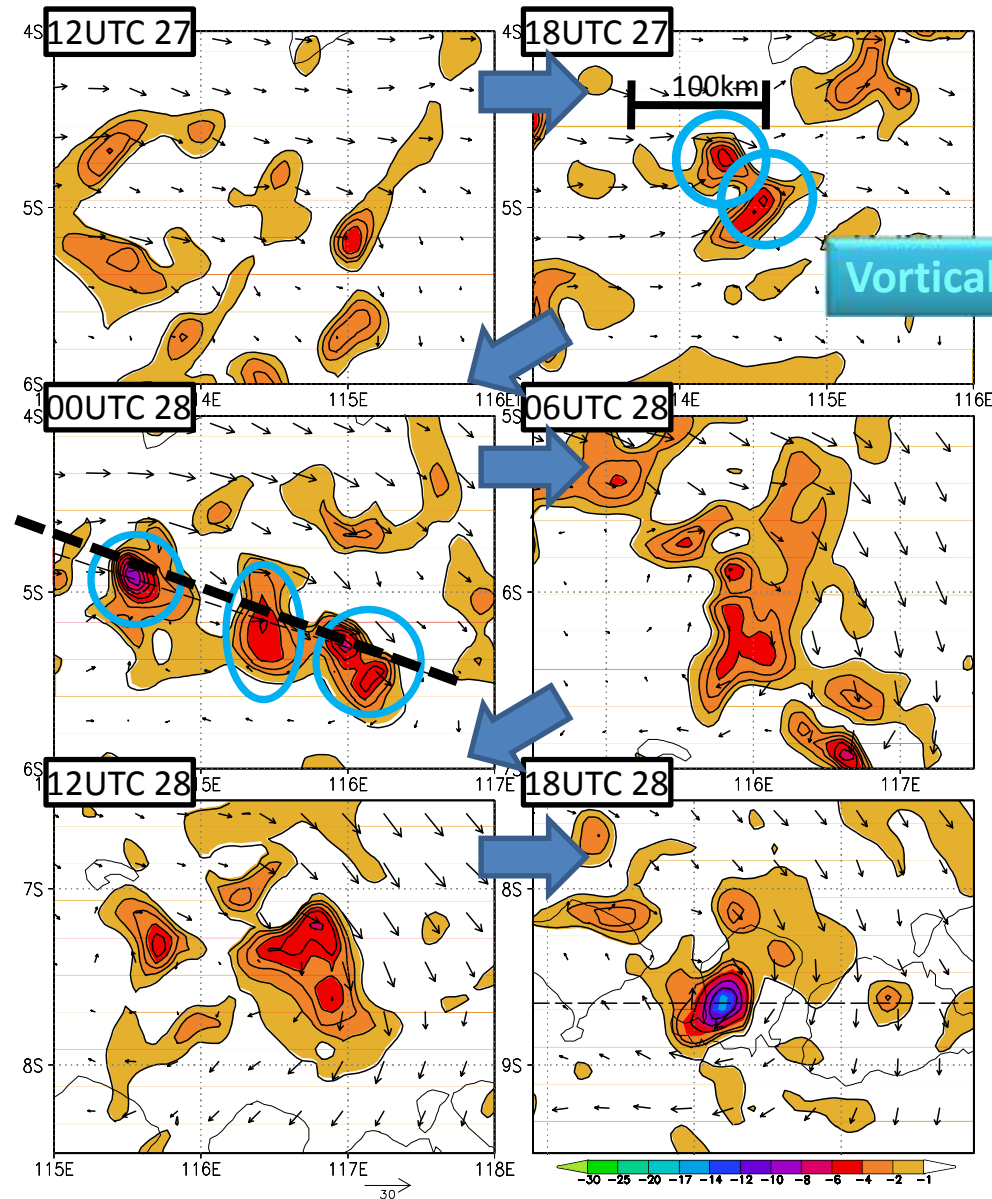
Time series of MCV evolution in IE stage

Time series with 6 hourly interval in the IE stage
Precipitation & Surface wind 310-330K isentropic cyclonic PV



Time series of VHTs evolution in I E stage

310-K isentropic surface cyclonic PV

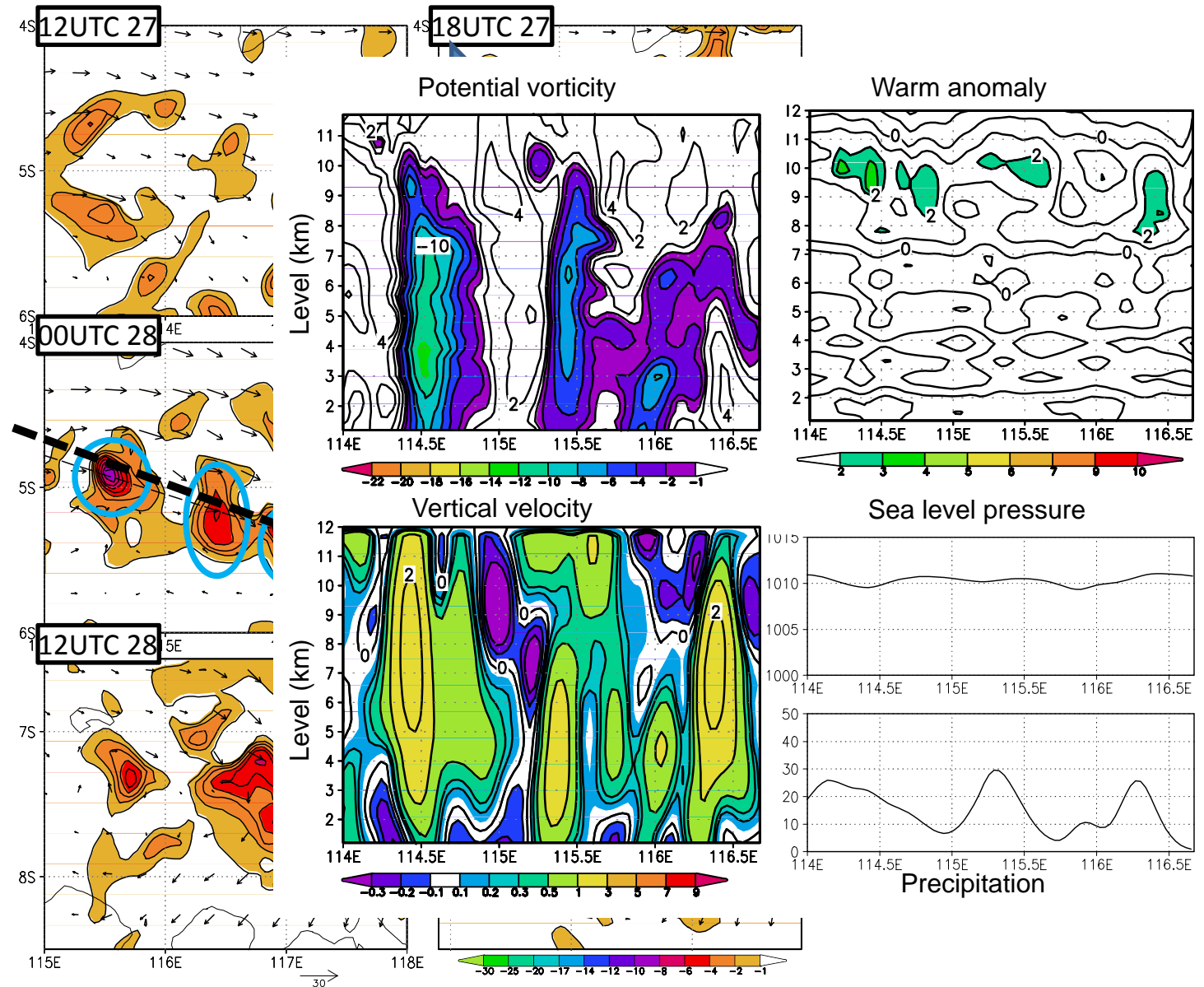


Vortical hot tower (VHT)



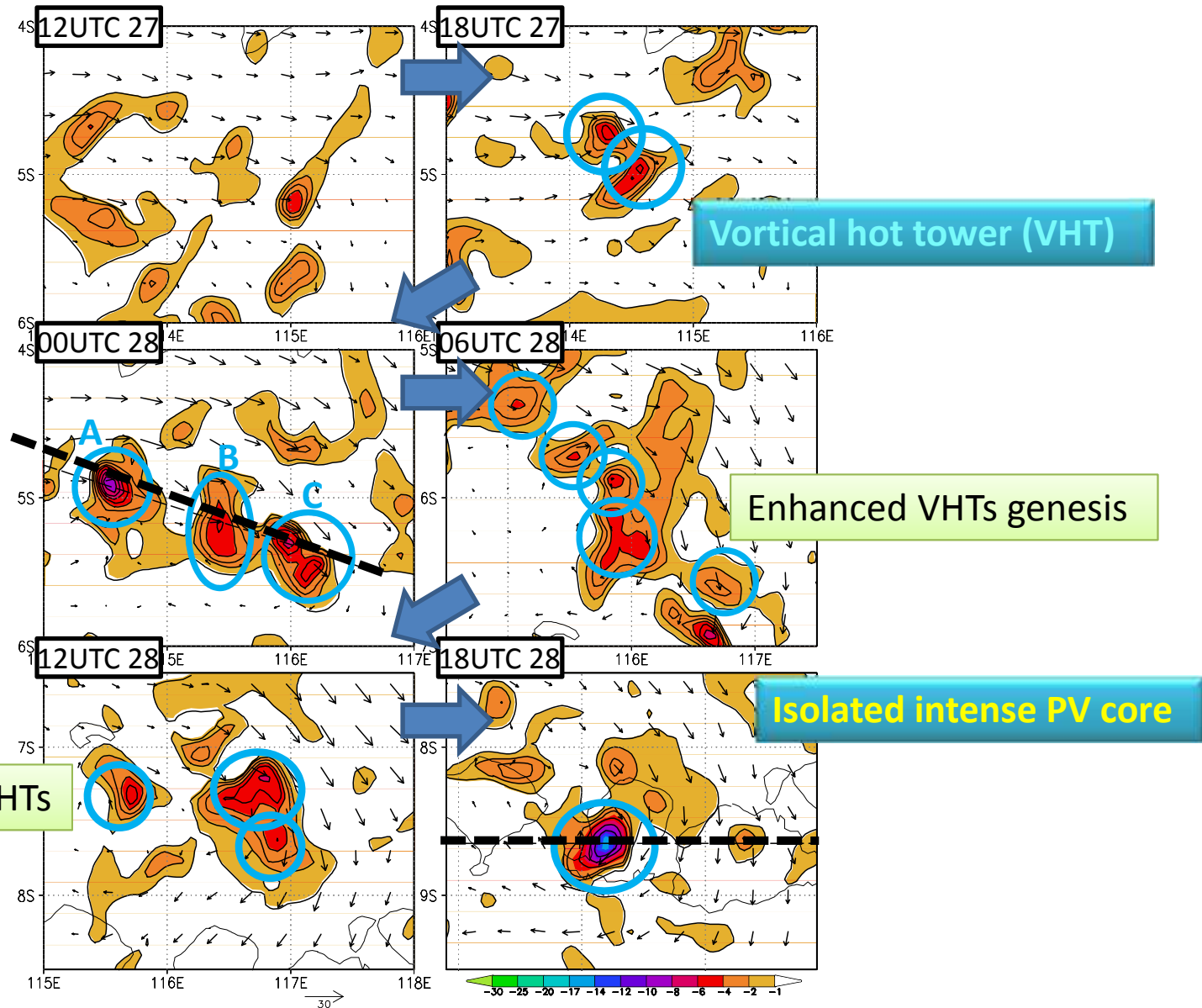
Time series of VHTs evolution in I E stage

310-K isentropic surface cyclonic PV



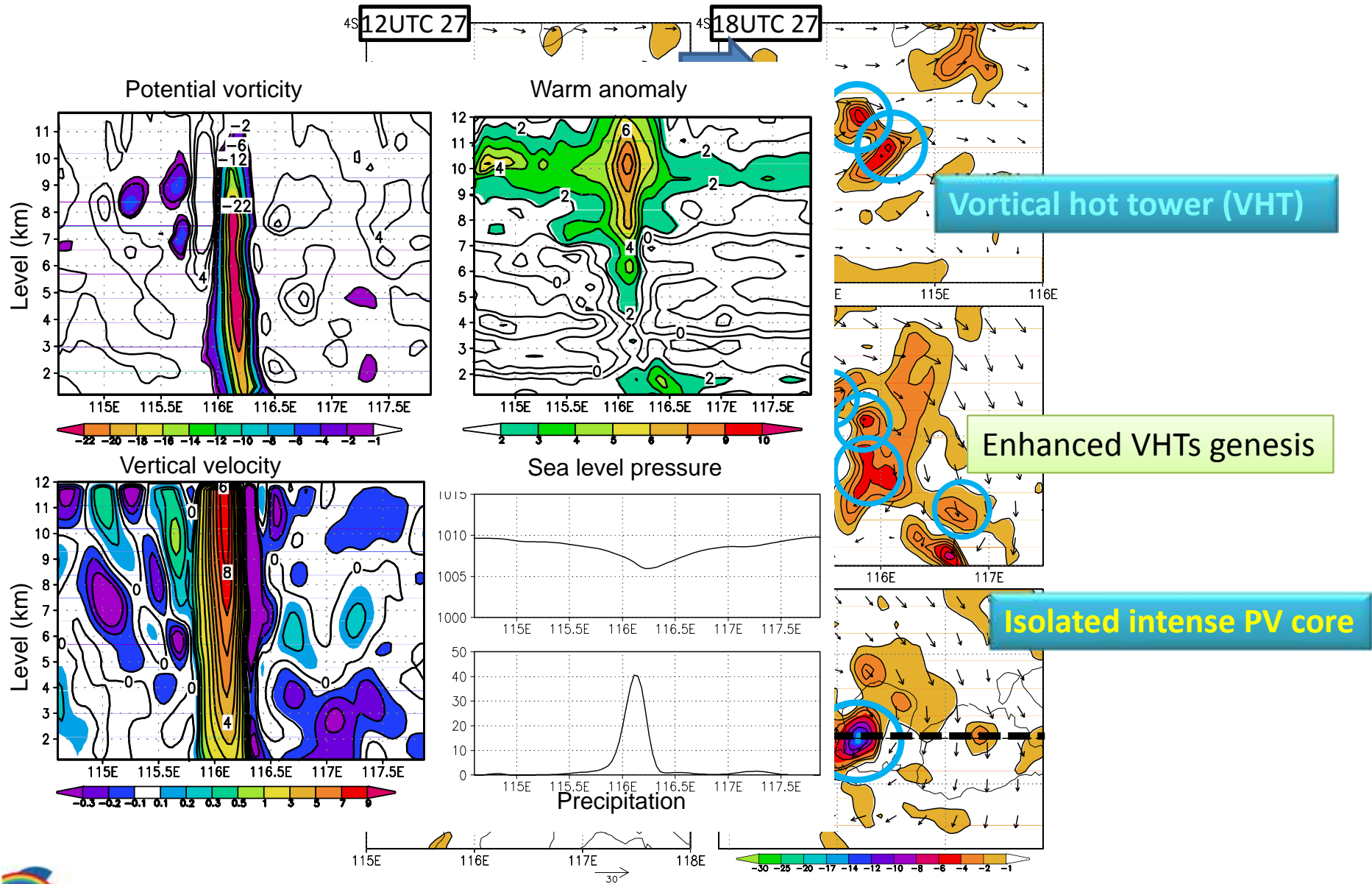
Time series of VHTs evolution in I E stage

310-K isentropic surface cyclonic PV

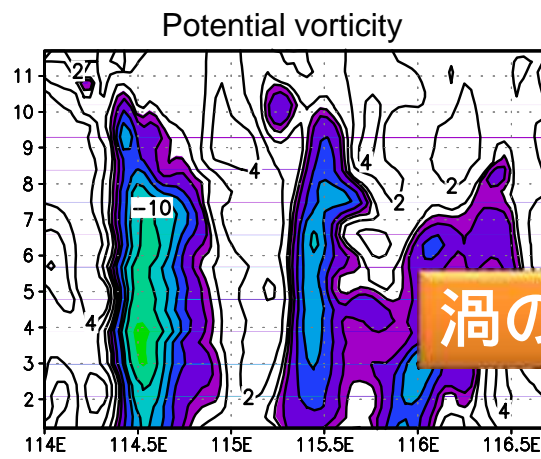


Time series of VHTs evolution in I E stage

310-K isentropic surface cyclonic PV



MCVs-VHTs



低気圧性渦位の6時間毎変化

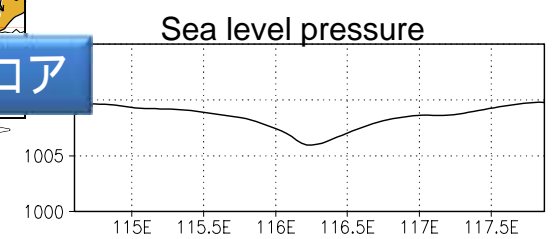
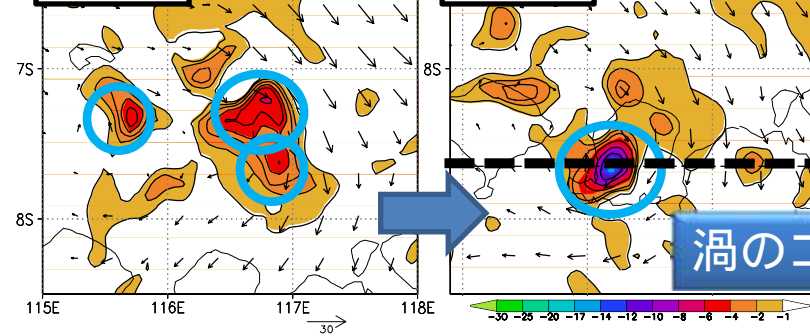
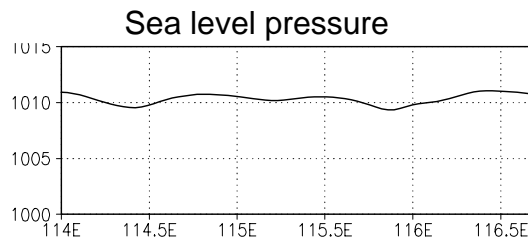
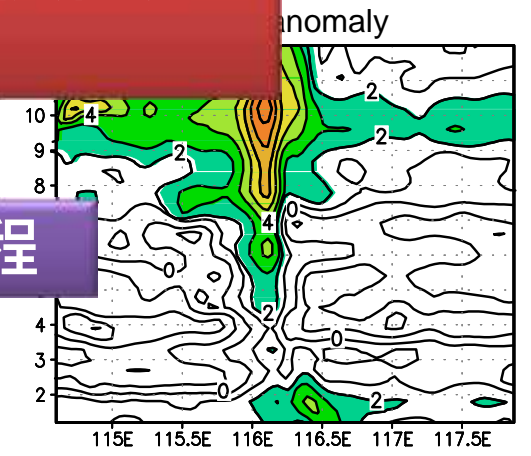
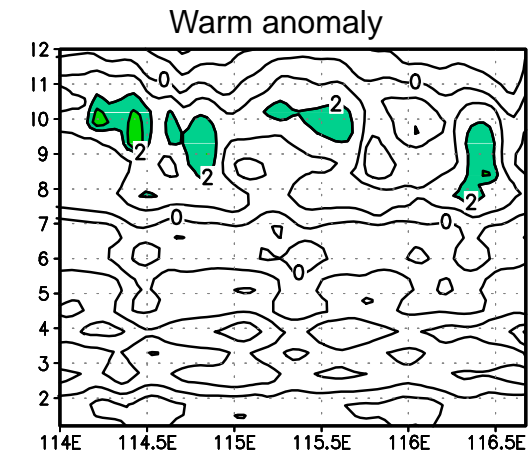
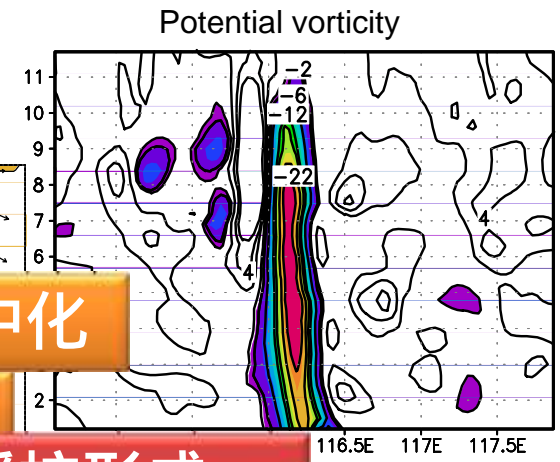


渦のコア形成 = 対流雲集団の集中化

Key: 強い渦・軸対称化・温暖核形成
= 傾度風バランス化

システムスケール強化過程

渦のコア



台風バランス力学

1. 第一次近似で温度 - 気圧 - 1次循環はバランス構造を持つ

バランス: 傾度風、静水圧平衡、温度風関係

$$f_0 v + \frac{v^2}{r} = \frac{\partial \phi}{\partial r}, \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = g \frac{\theta}{\theta_0}, \quad (f_0 + \frac{2v}{r}) \frac{\partial v}{\partial z} = \xi S = \frac{g}{\theta_0} \frac{\partial \theta}{\partial r},$$

2. 外力により、1次近似バランスが崩される

外力: 非断熱効果、摩擦、渦効果

$$\bar{Q} = \frac{g}{\theta_0} (-\overline{u' \frac{\partial \theta'}{\partial r}} - \overline{w' \frac{\partial \theta'}{\partial z}} + \bar{\theta}) \quad \bar{F} = -\overline{u' \zeta'} - \overline{w' \frac{\partial v'}{\partial z}} + \bar{F}_{sg}$$

3. 傾度風バランス維持(調節)に2次循環が役割を果たす

診断方程式: Sawyer-Eliassen equation (Eliassen 1951)

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{A}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{B}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{C}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} + \frac{B}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) = \frac{\partial \bar{Q}}{\partial r} - \frac{\partial \bar{\xi F}_v}{\partial z}$$

2次循環 外力

流線関数 $v_{\tan} = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad w = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r},$

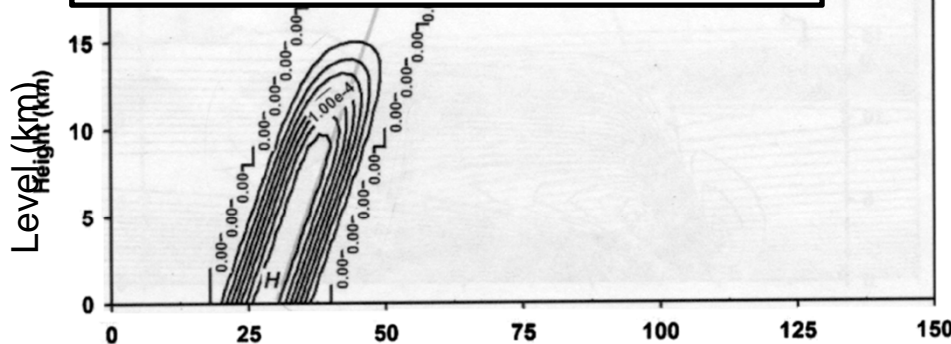


過去の研究

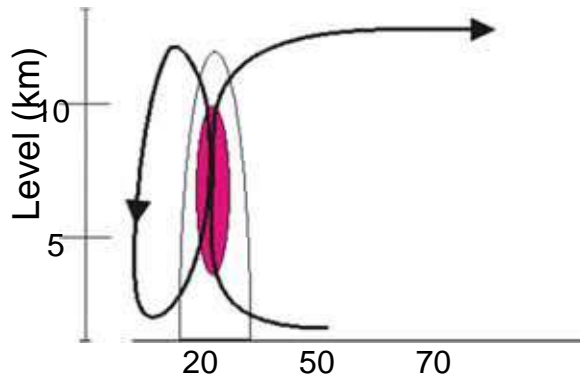
Pendergreass and Willoughby (2009)

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{A}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{B}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{C}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} + \frac{B}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) = \frac{\partial \bar{Q}}{\partial r} - \frac{\partial \bar{\mathcal{F}}_v}{\partial z}$$

外力: 壁雲に見立てた非断熱加熱



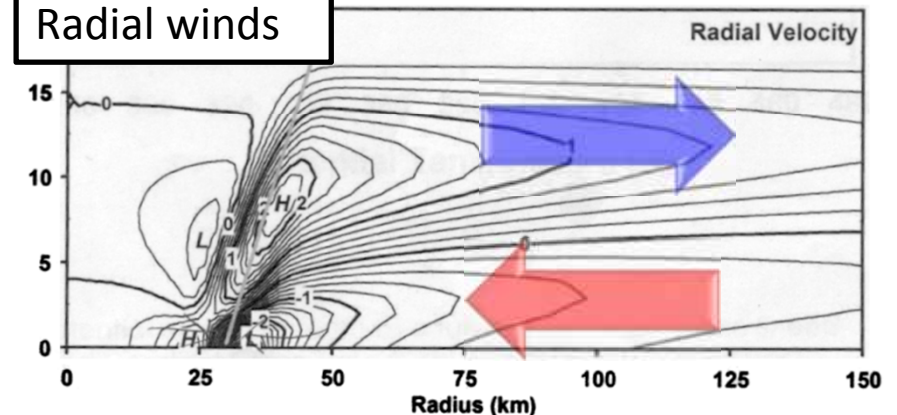
壁雲非断熱加熱による2次循環



Vertical velocity



Radial winds

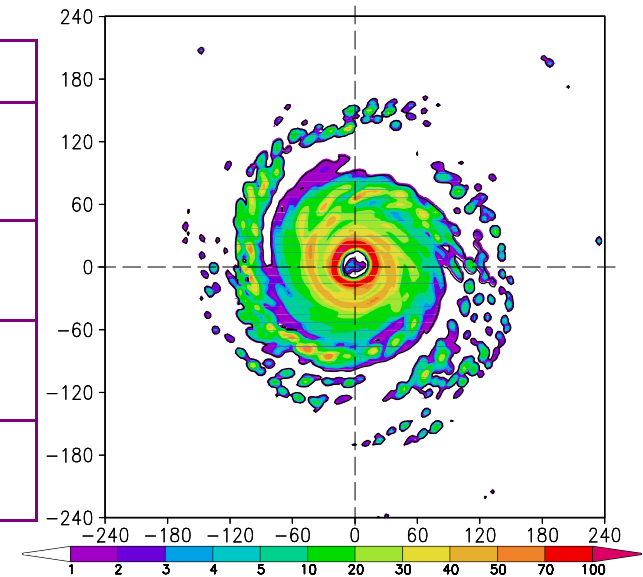


システムスケール発達過程 =
2次循環による絶対角運動量輸送により1次循環は発達する



台風理想実験TCM4と診断モデルEliassen

Model	TCM4 (Nonhydrostatic tropical cyclone model)
Model domain	3-dimensional domain (Cartesian -σ coordinate) Nested Mesh 4 : 2.5 km \times 2.5 km
Government equation	Primitive equation (non hydrostatic version)
Precipitation scheme	Explicit treatment of bulk cloud microphysics package
Convective parameterization	None

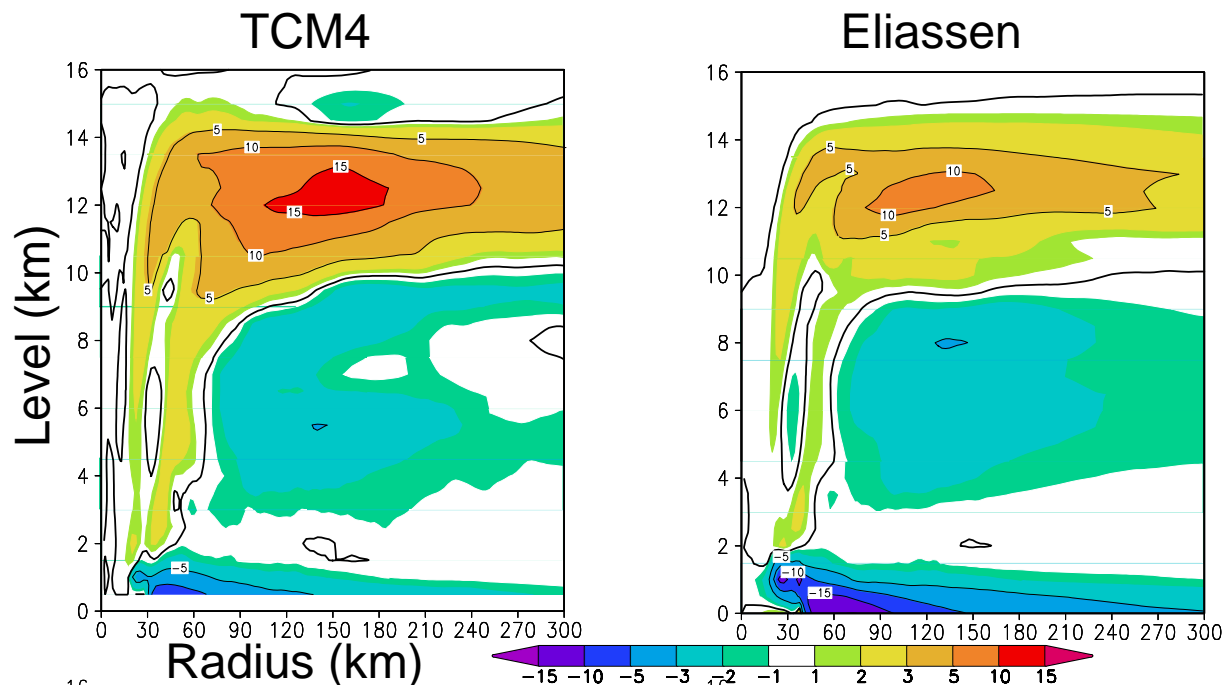


Model	Eliassen model (version 3)
Model domain	2-dimensional domain Radius 70 \times 2.5km (0-175km)
Government equation	Sawyer-Eliassen equation (Eliassen 1951) $\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{A}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{B}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{C}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} + \frac{B}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) = \frac{\partial \bar{Q}}{\partial r} - \frac{\partial \bar{\xi} F_v}{\partial z}$

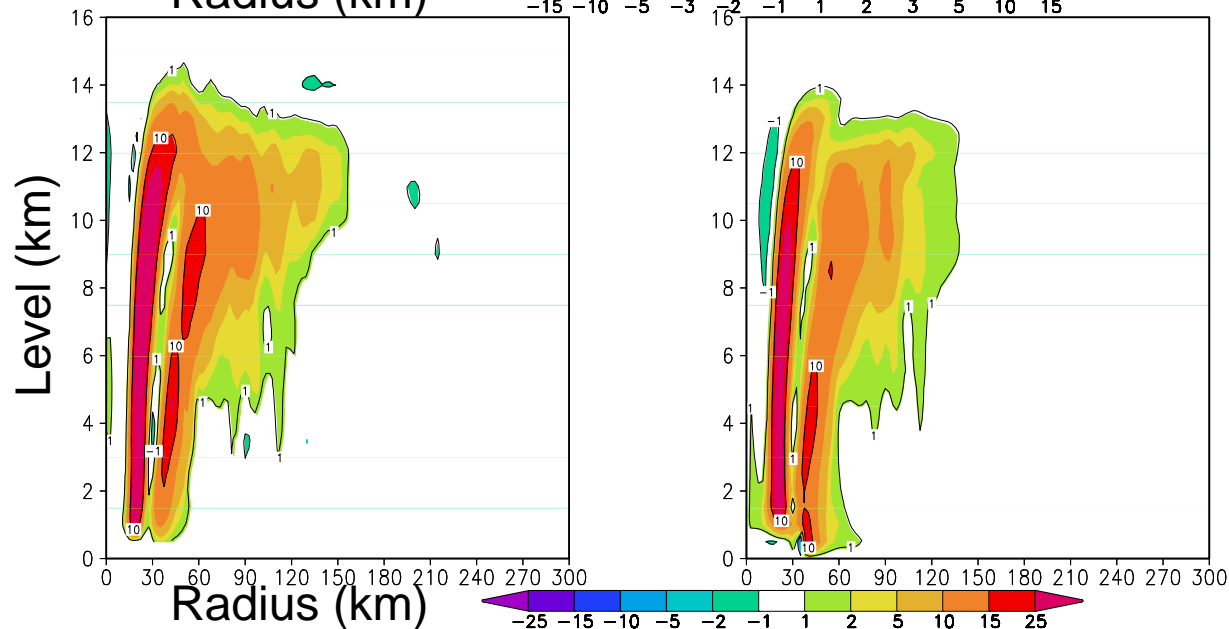


TCM4 2次循環 vs Eliassen 診断2次循環

Radial winds
動径風：
Outflow/
Inflow



Vertical velocity
鉛直流：
Updraft/
Downdraft

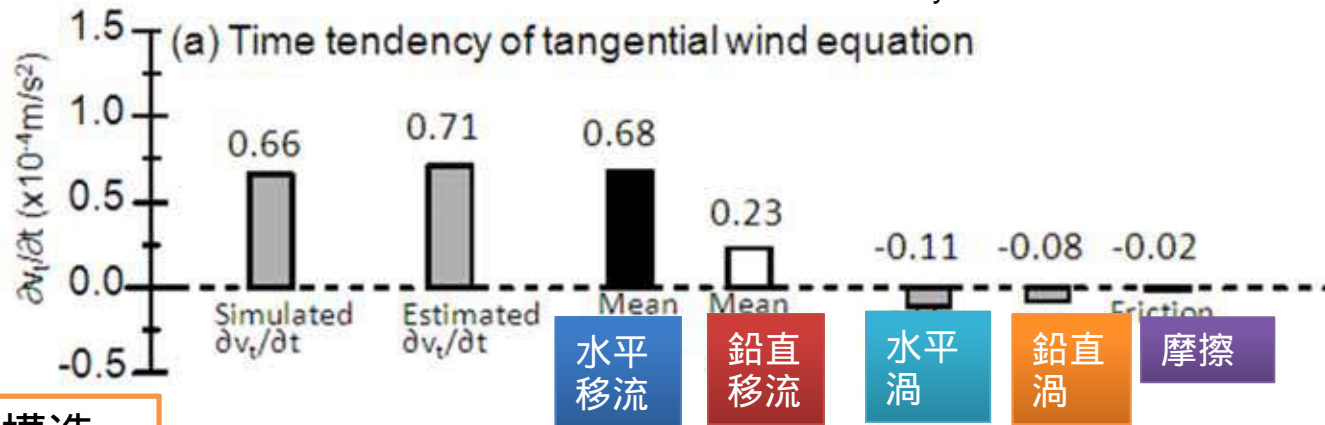


收支解析結果

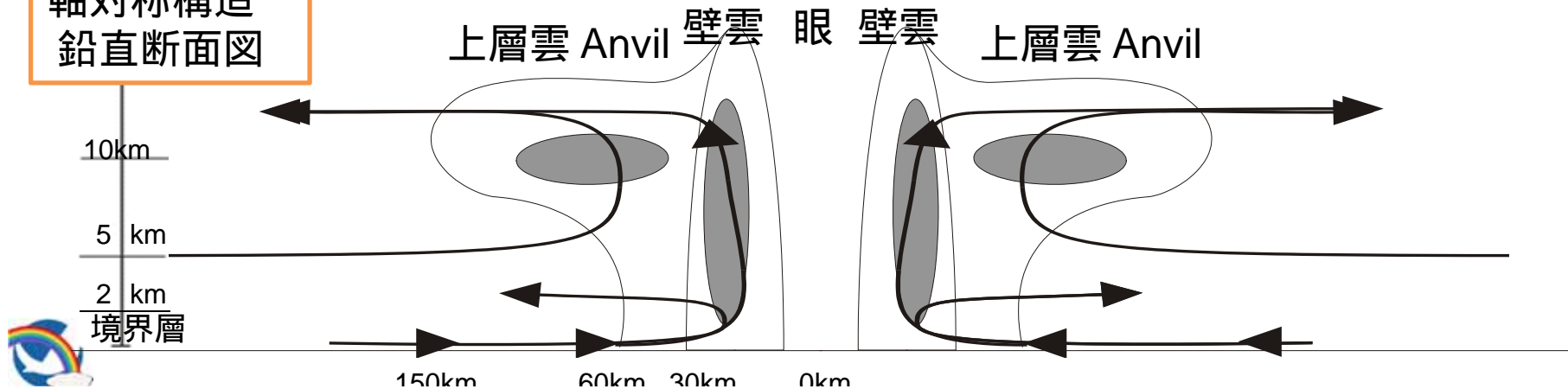
Budget for azimuthal-mean tangential moment

$$\frac{\partial \bar{v}_t}{\partial t} = \underbrace{-\bar{v}_r \bar{\eta}}_{\text{水平移流}} - \underbrace{\bar{w} \frac{\partial v_t}{\partial z}}_{\text{鉛直移流}} - \underbrace{\bar{v}_r \bar{\eta}}_{\text{水平渦}} - \underbrace{\bar{w} \frac{\partial v_t}{\partial z}}_{\text{鉛直渦}} + \underbrace{\bar{F}_\lambda}_{\text{摩擦}}$$

Mean horizontal flux Mean vertical advection Eddy vorticity flux Eddy moment advection Friction (tangential)

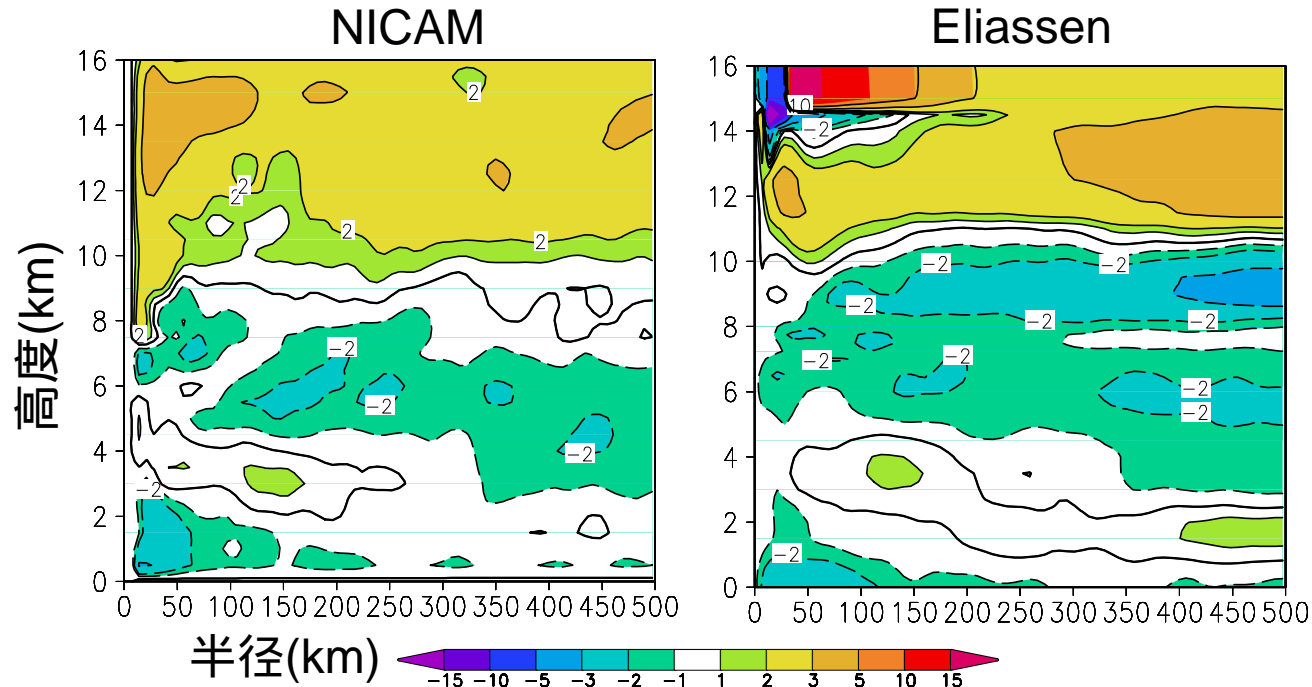


軸对称構造
鉛直断面図

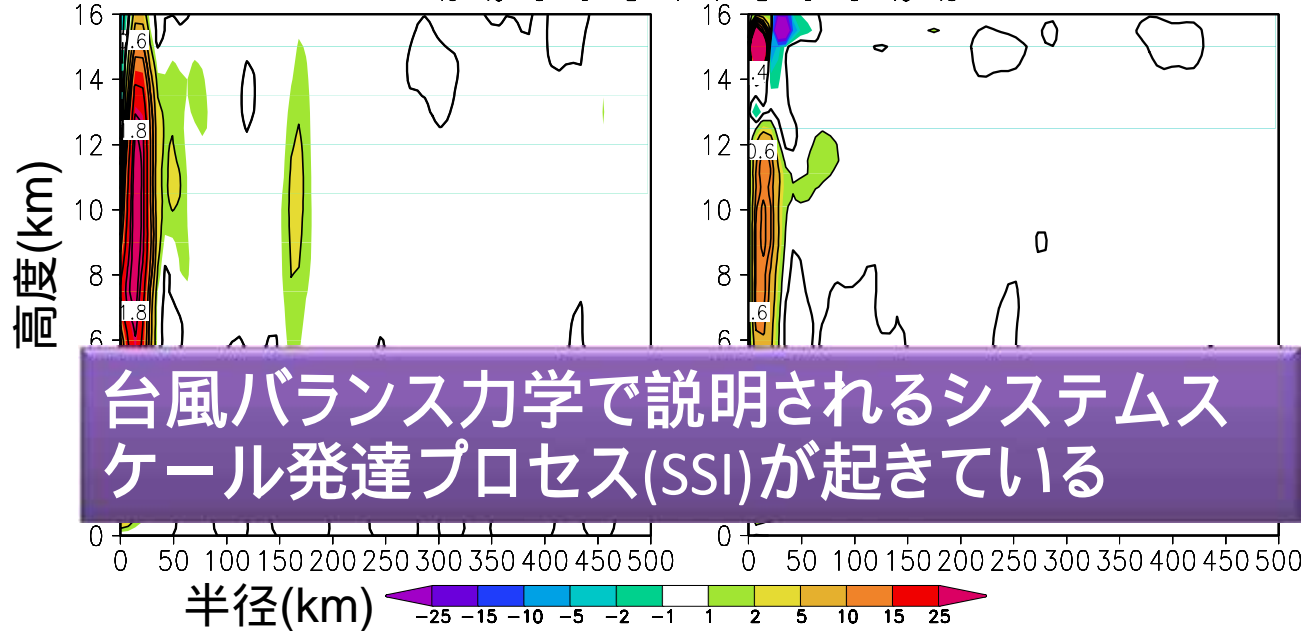


NICAM-台風2次循環 vs Eliassen-台風2次循環

動径風:
Outflow/
Inflow



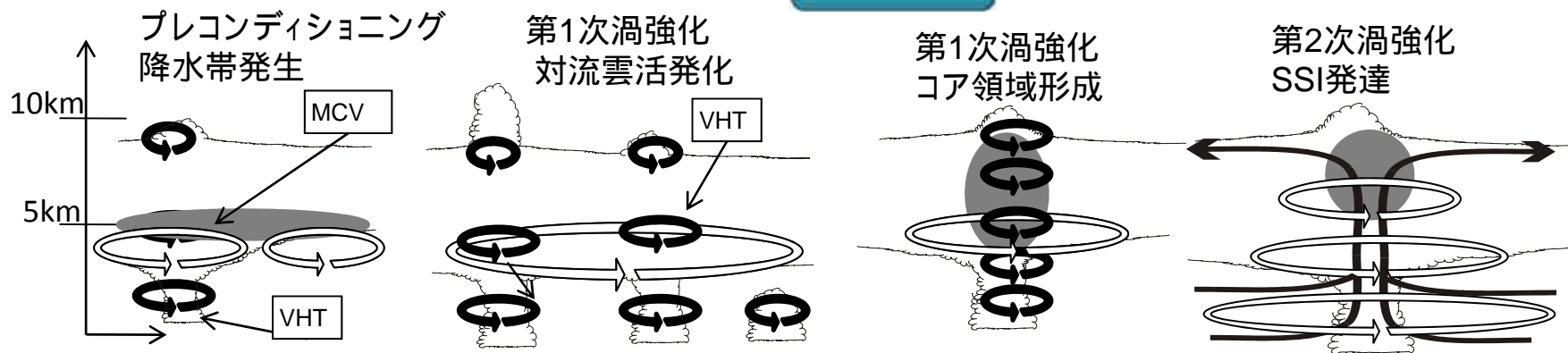
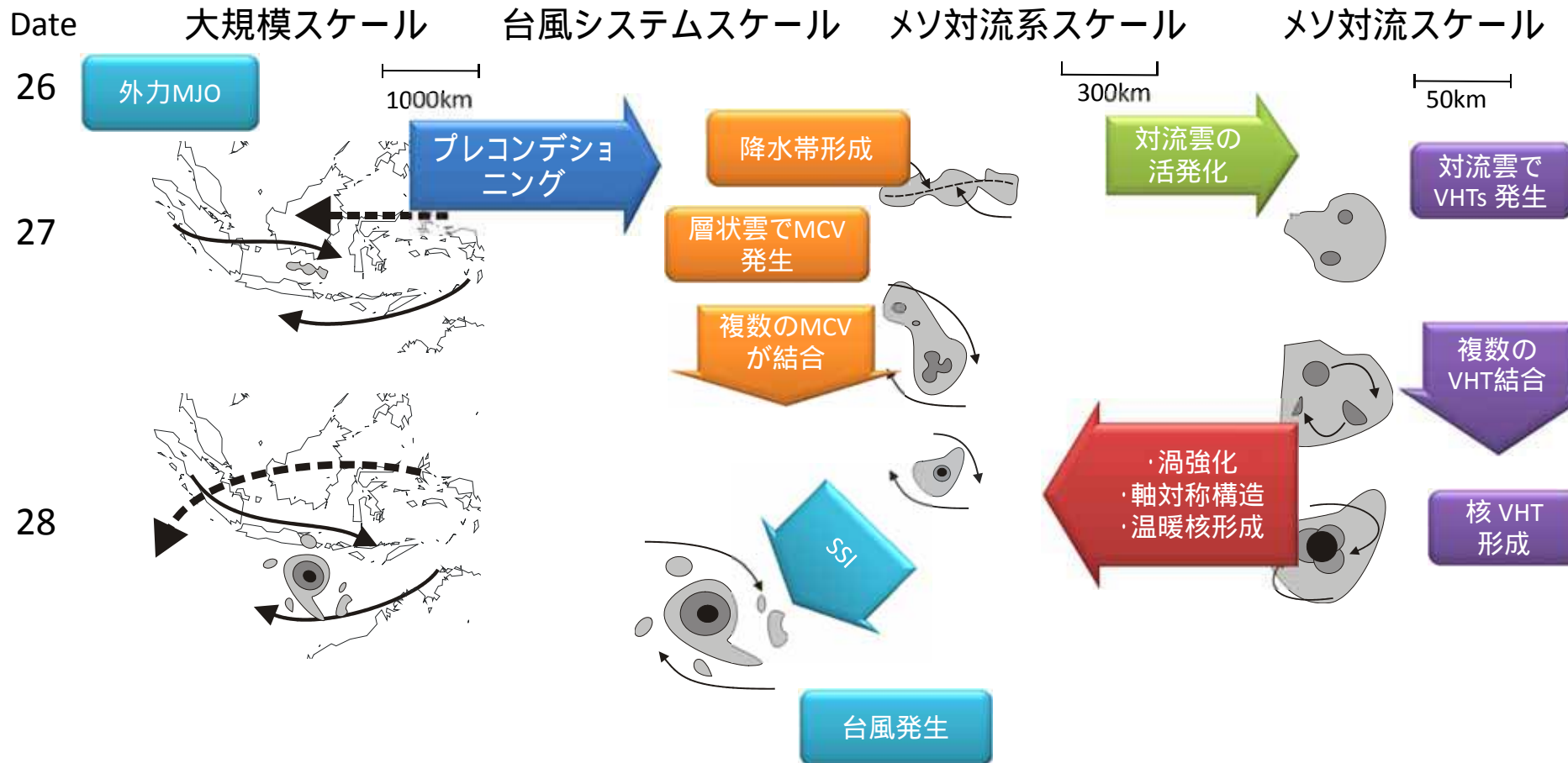
鉛直流:
Updraft/
Downdraft



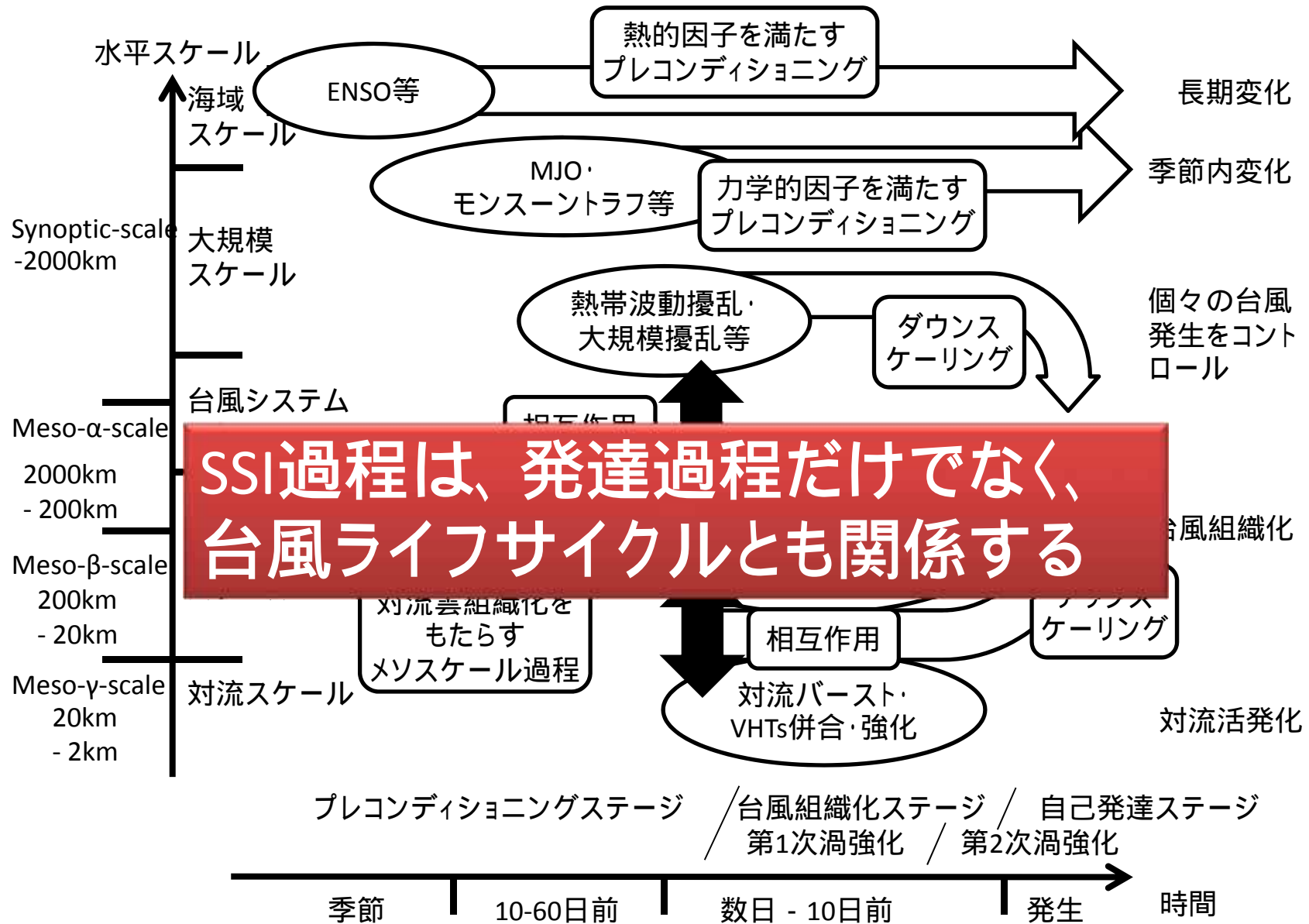
台風バランス力学で説明されるシステムスケール発達プロセス(SSC)が起きている



Schematic diagram of Isobel's cyclogenesis process



A synthesis of the cyclogenesis process



Life stages of modeled I sobel

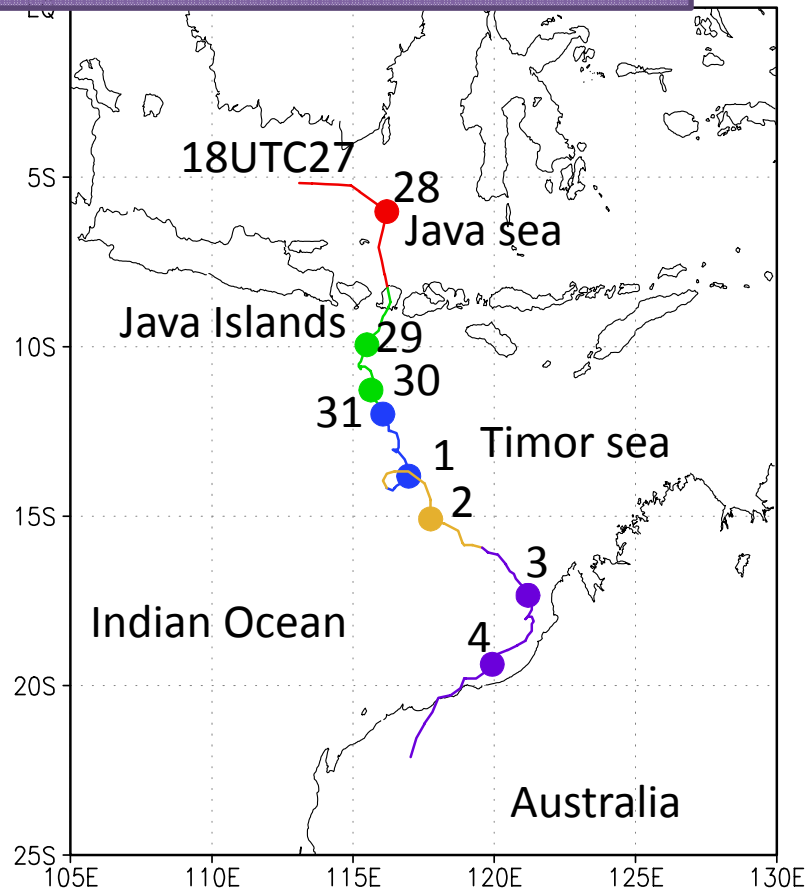
Initial eddy (IE) stage: Eddy is developing

Intensifying stage: TC Isobel is intensifying

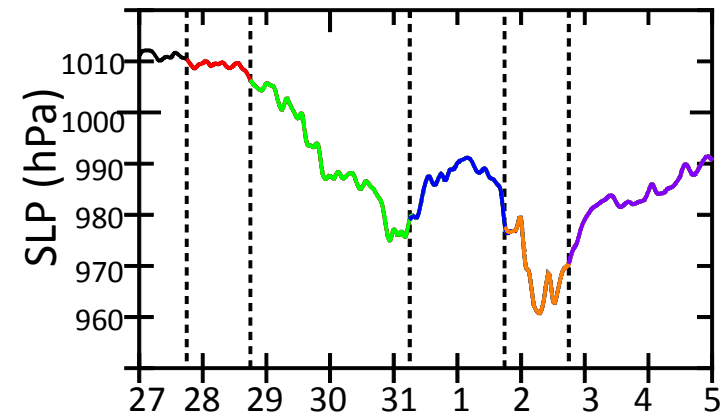
Break stage: Intensification is interrupted

Re-intensifying stage: TC Isobel is developing again

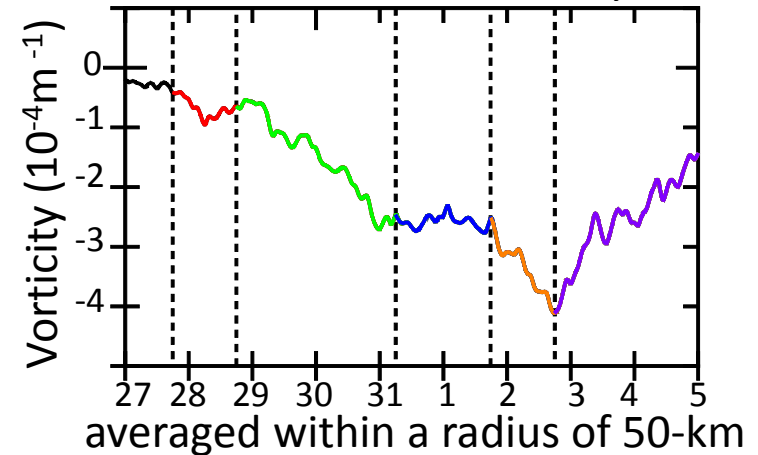
Decaying stage: TC Isobel is decaying



Central sea level pressure



Surface relative vorticity

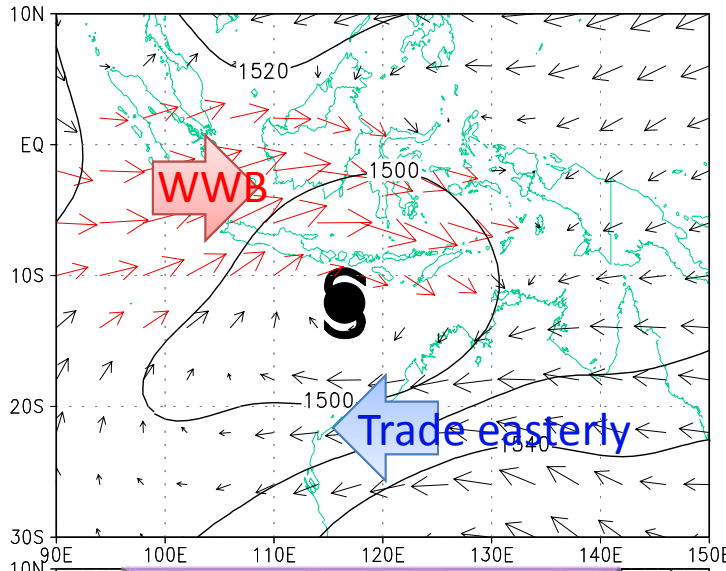


Time evolution of large-scale environment

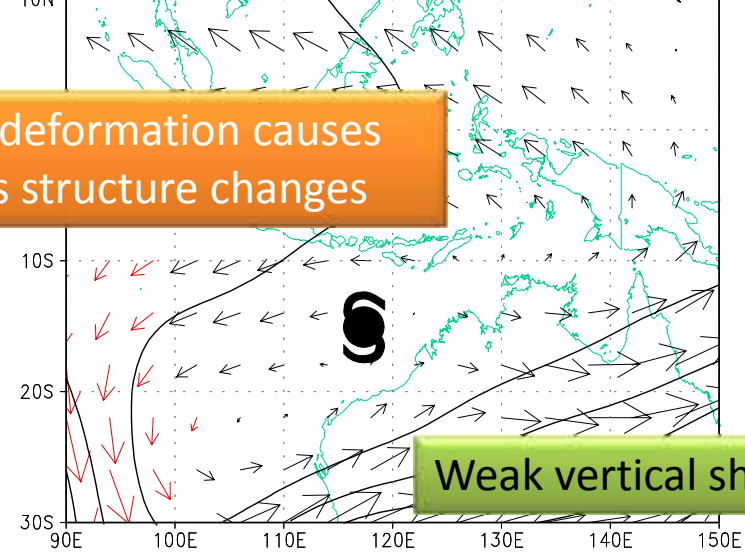
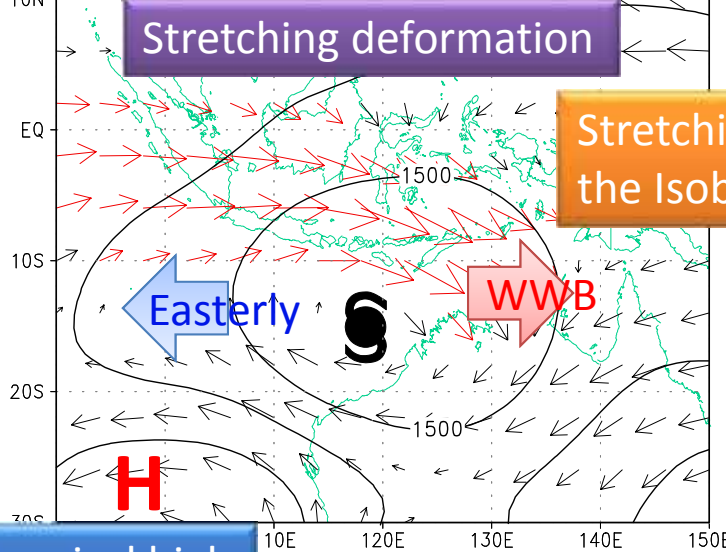
850-hPa large-scale flows

200-hPa large-scale flows

Intensifying stage



Break stage



Stretching deformation causes the Isobel's structure changes

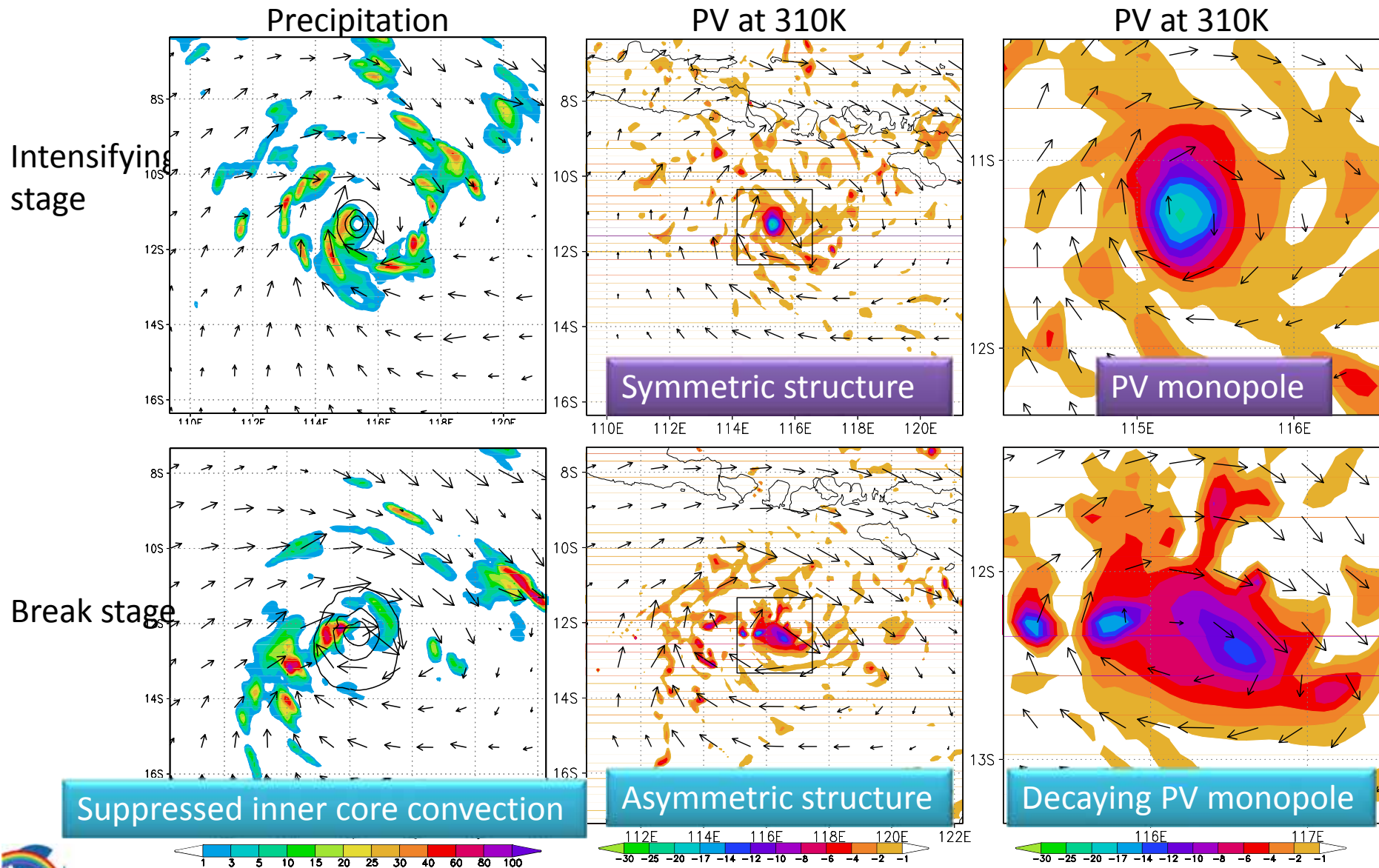
Sub-tropical high

5 Westerly

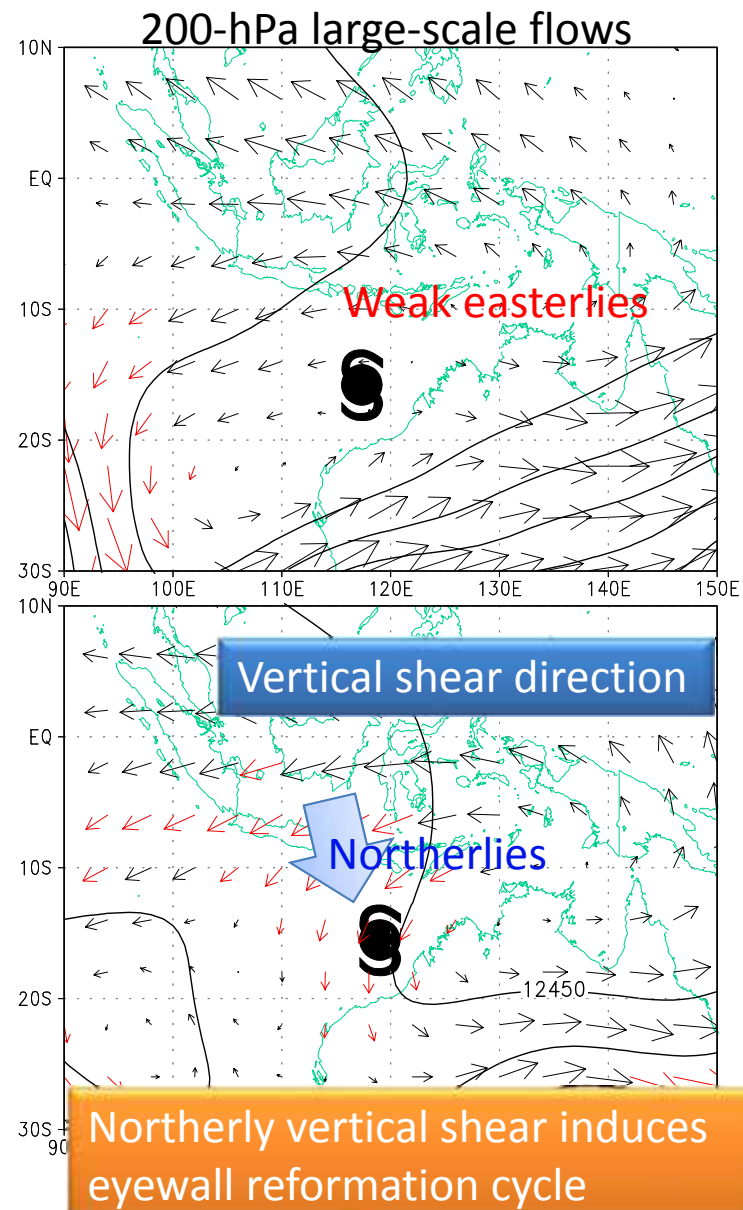
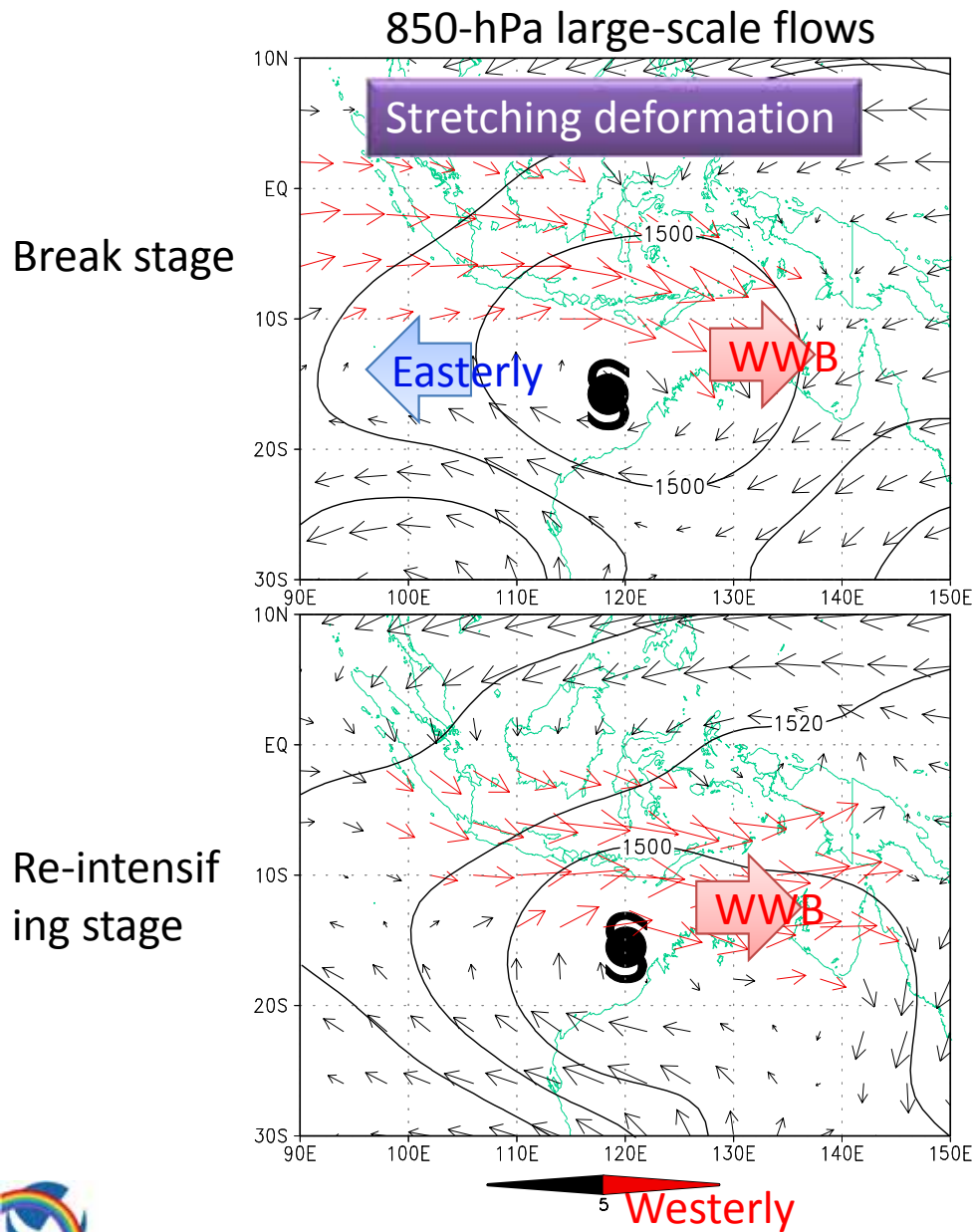
5 Northerly



Changes in symmetric structures

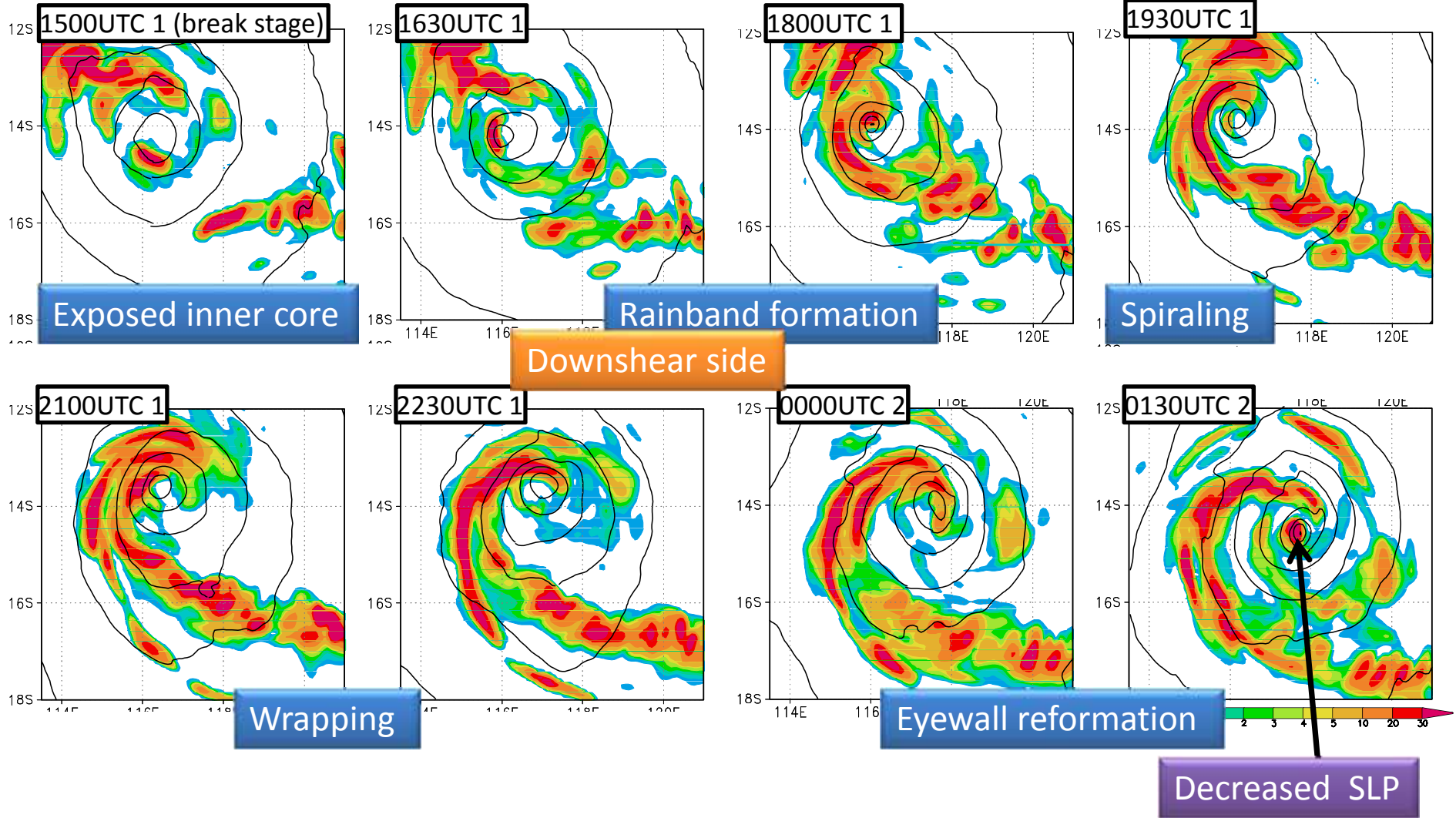


Time evolution of large-scale environment

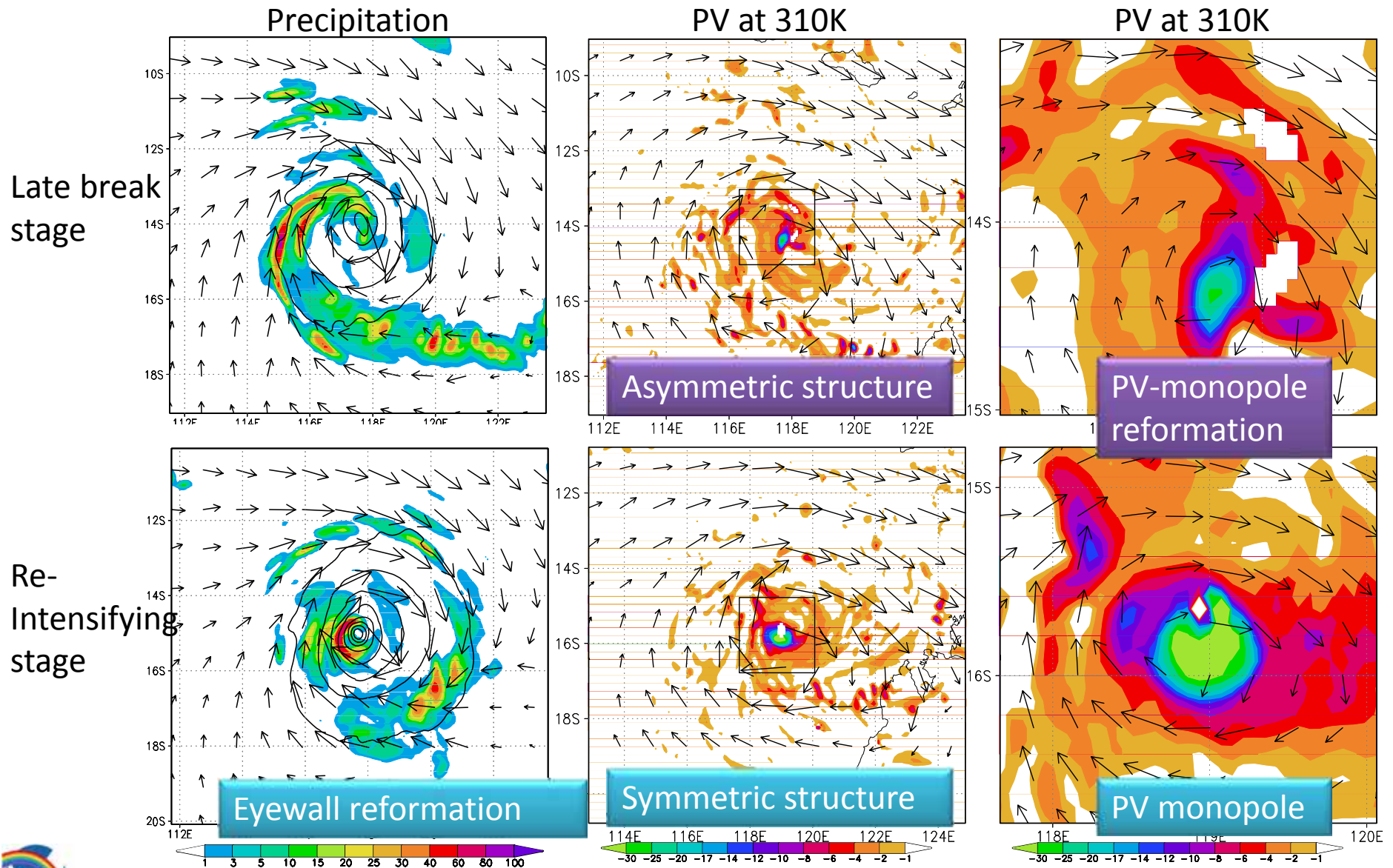


Eyewall reformation cycle

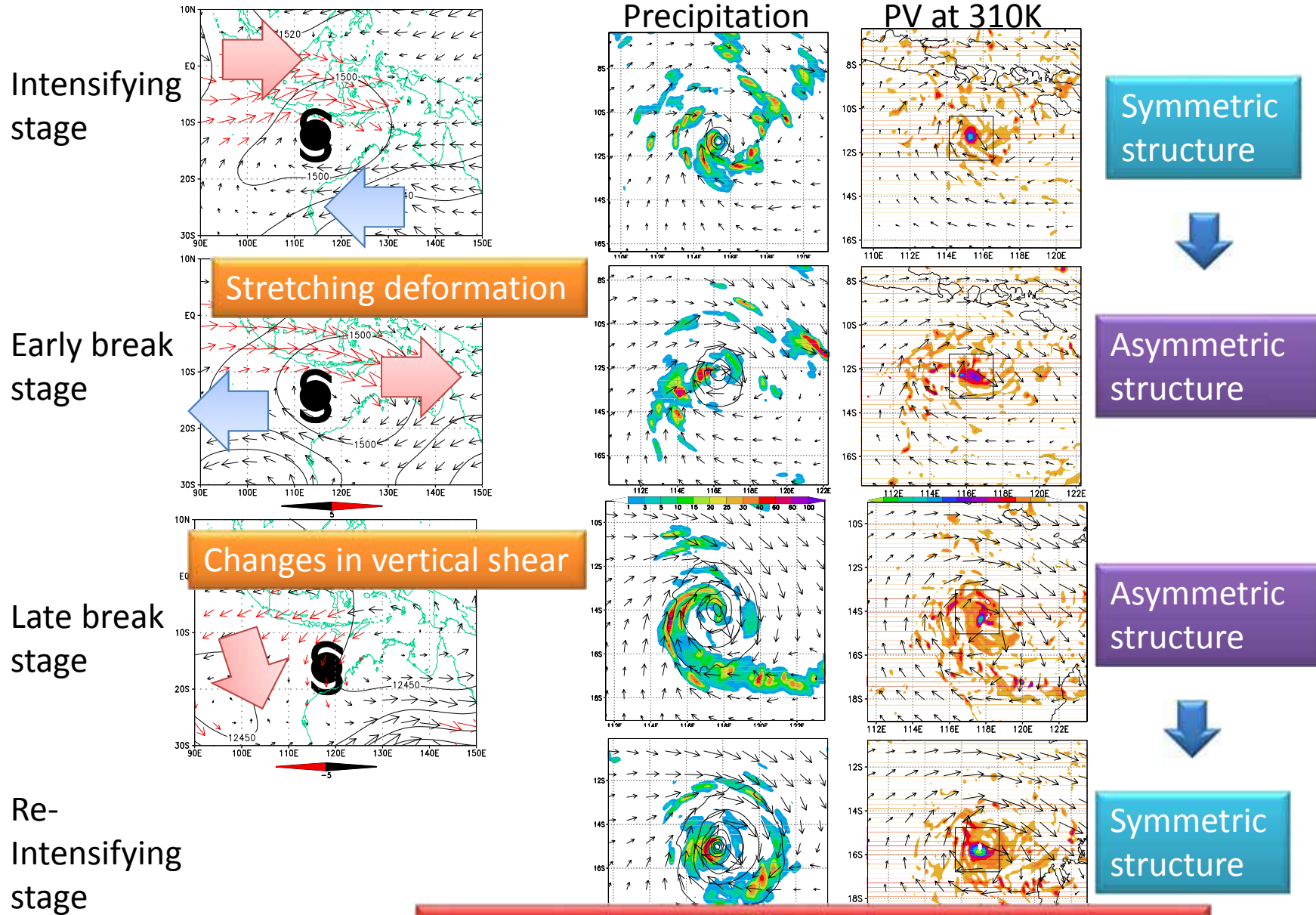
Time series with 1.5 h interval
Precipitation & SLP



Changes in symmetric structures



Changes in structure due to external influence



Q: Why intensification needs symmetric structure?



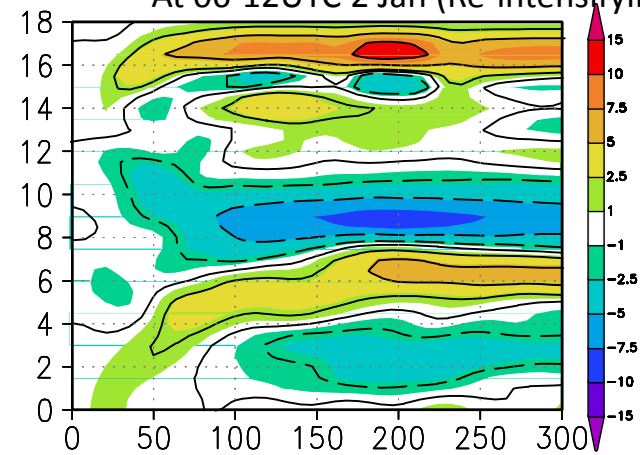
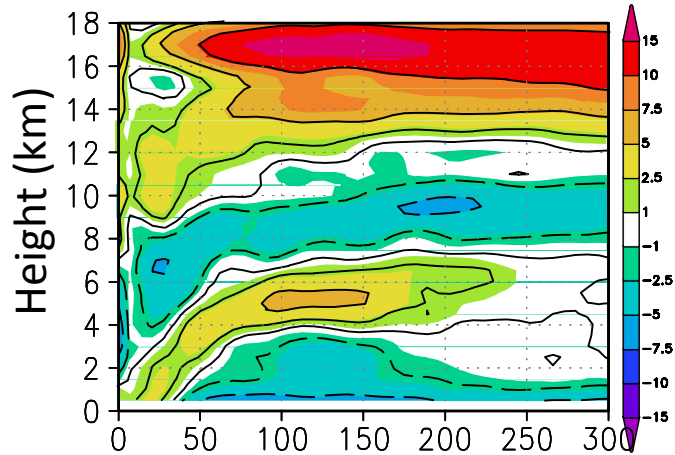
NICAM vs. Eliassen model

NICAM results

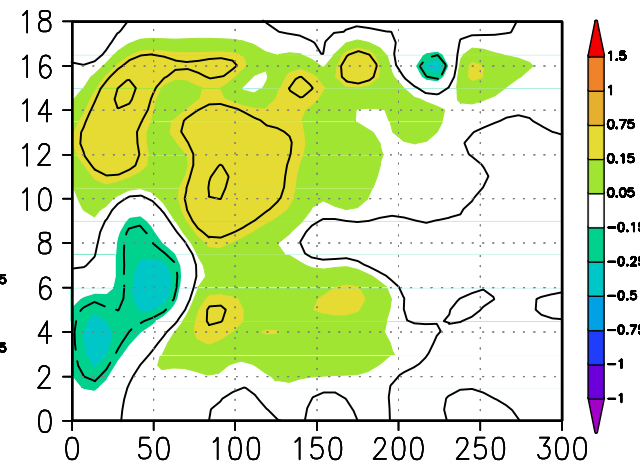
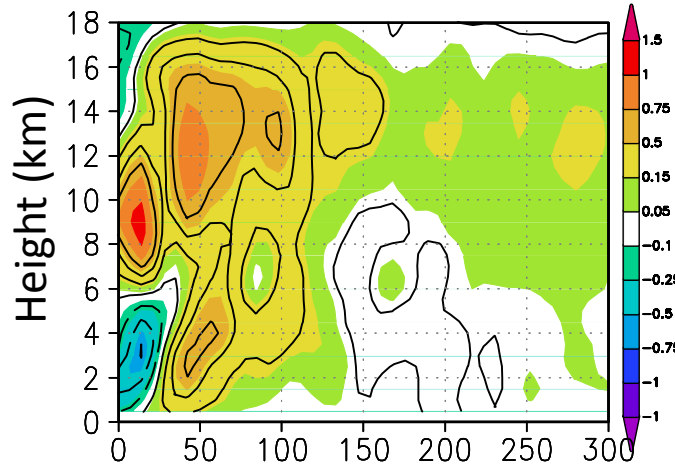
Eliassen model results

At 06-12UTC 2 Jan (Re-intensifying stage)

Azimuthal mean
radial winds
Positive: Outflow
Negative: Inflow



Azimuthal mean
vertical winds
Positive: Updraft
Negative: Downdraft



診断結果: Transverse circulations diagnosed by Eliassen model are qualitatively/quantitatively similar to the corresponding simulated winds.

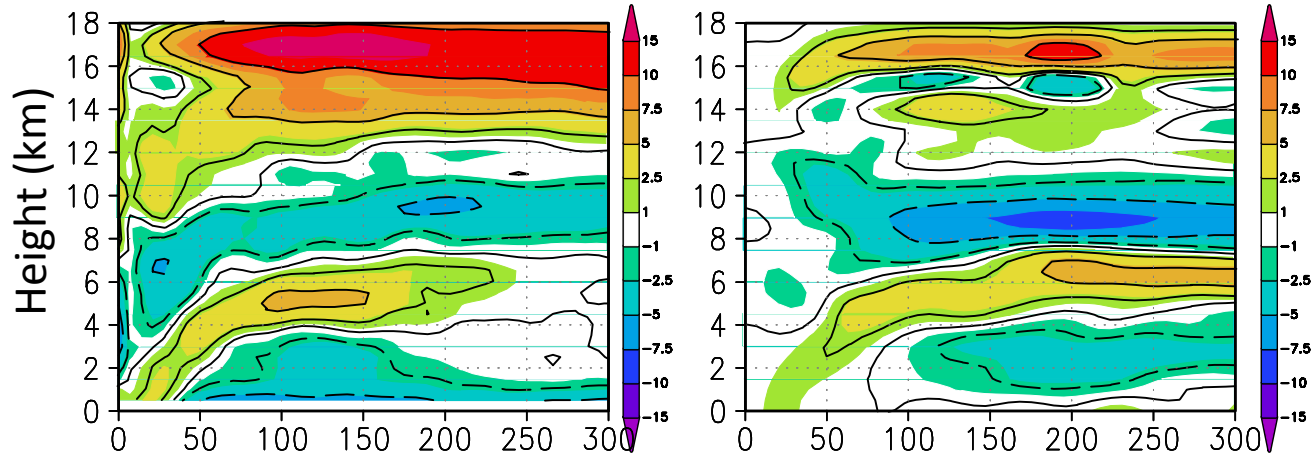


NICAM vs. Eliassen model

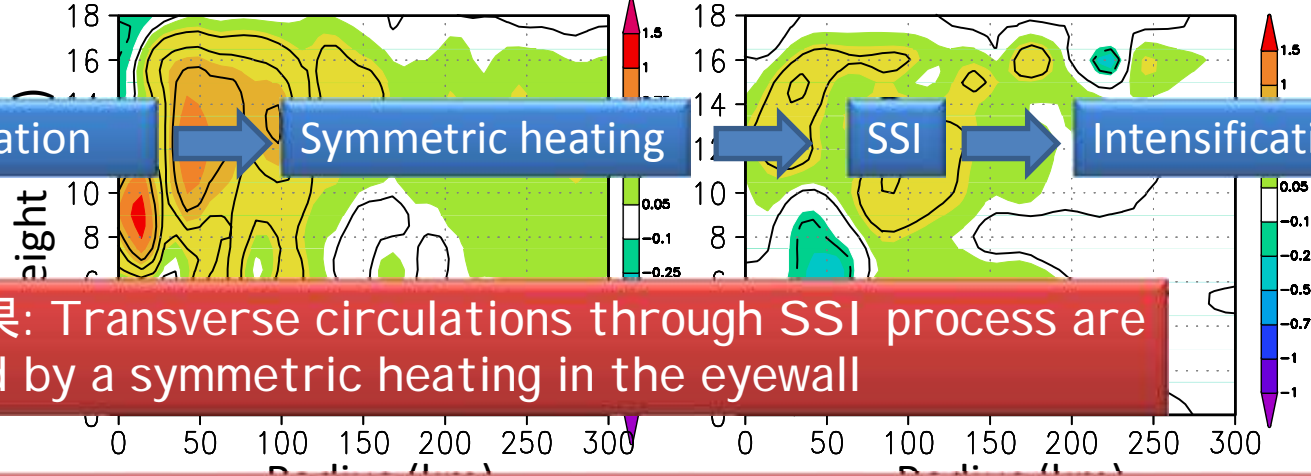
NICAM results

Eliassen model results

Radial winds
 Positive: Outflow
 Negative: Inflow



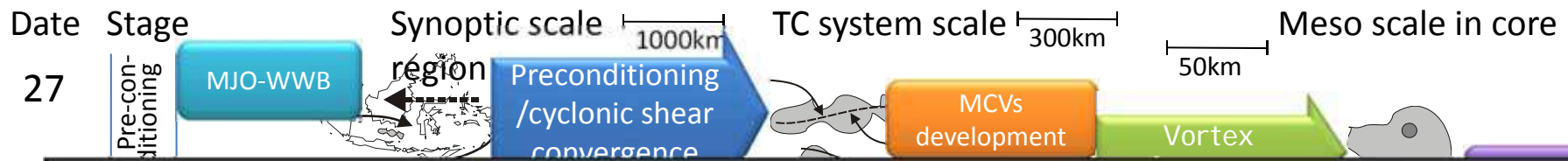
Vertical
 Positive: Updraft
 Negative: Downdraft



感度実験の結果: Transverse circulations through SSI process are mainly induced by a symmetric heating in the eyewall

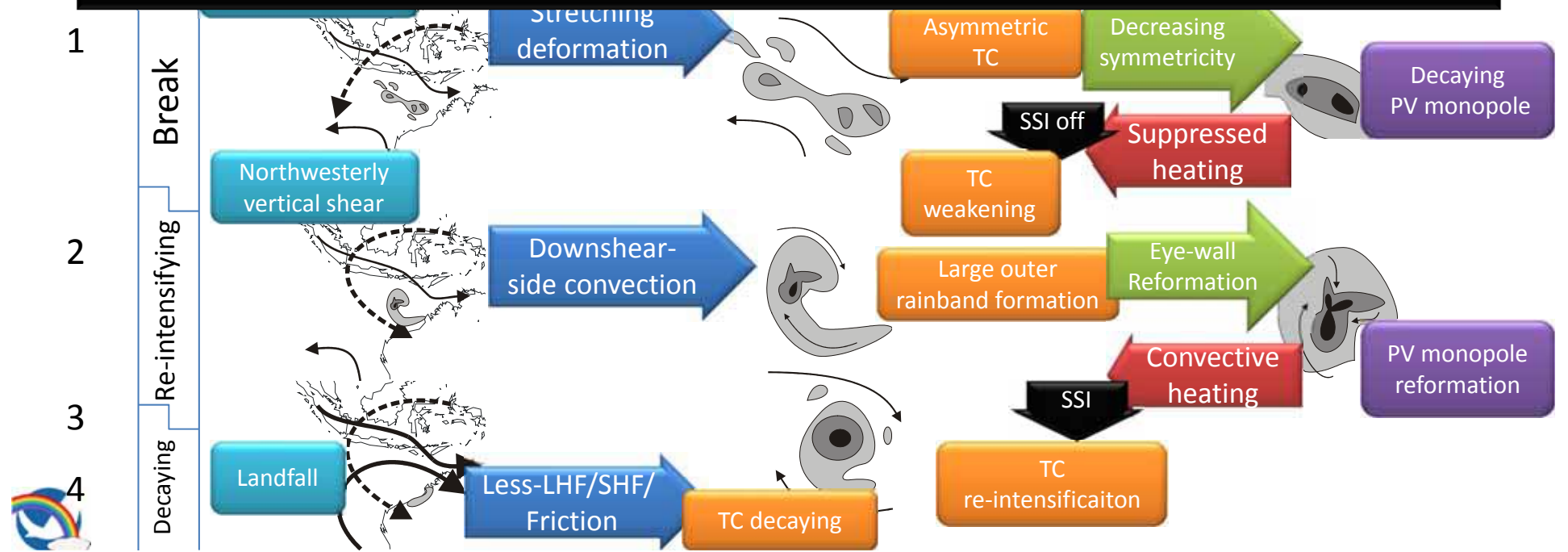
診断結果: Transverse circulations diagnosed by Eliassen model are qualitatively/quantitatively similar to the corresponding simulated winds.





2 大規模場現象 > 台風構造(対流雲の組織化・軸対称/非軸対称)をコントロール

2
3
3 メソスケール過程 > 対流雲組織化・軸対称非断熱加熱(壁雲形成)による SSI を通して、台風ライフサイクル(発達/衰弱)を決定する



Summary

Findings in Fudeyasu et al. 2010ab

- Isobel's life cycle involves **multi-scale interactions** from large scale to cloud scale over the intraseasonal time scale.
- Meso-scale cyclogenesis process, supporting **"Bottom up theory"**.
- The external influence **controls** the Isobel's structure changes, while the internal processes (axisymmetrization, eyewall formation) **leads to the Isobel's intensity changes through the SSI**.
- The SSI process induced the mid-level inflow that supplies angular momentum needed to spin up the vortex. (秋の気象学会)
- A mark of **new era** for weather and climate predictions with global-cloudsystem-resolving models.



台風発生メソスケール過程の研究の歩み

1990年代後半: 衛星観測によるクラスターの併合過程に注目し、トップダウン-MCV併合仮説が立てられる

2000年代前半～半ば: 高解像度シミュレーション結果より、対流スケールの渦VHTsの併合過程が台風発生過程に貢献というボトムアップ仮説が立てられる

2000年代後半: 観測・シミュレーションにより、ボトムアップ仮説を支持する報告が多い

- **大規模擾乱 > プレコンディショニング = 対流活発化**
= 台風発生コントロール
- **メソスケール過程 > (要点1)対流雲組織化 (要点2)渦併合過程による強化 = 第1次渦強化**
- **アップスケーリング過程 = (要点3)SSI 第2次渦強化**
- **SSIは発達過程でも適応 = 軸対称構造が重要**

台風はなぜ軸対称構造を持つのか



Discussion

今後の課題 台風発生マルチスケール相互作用

- なぜ台風はそれほど頻繁に発生しないのか？

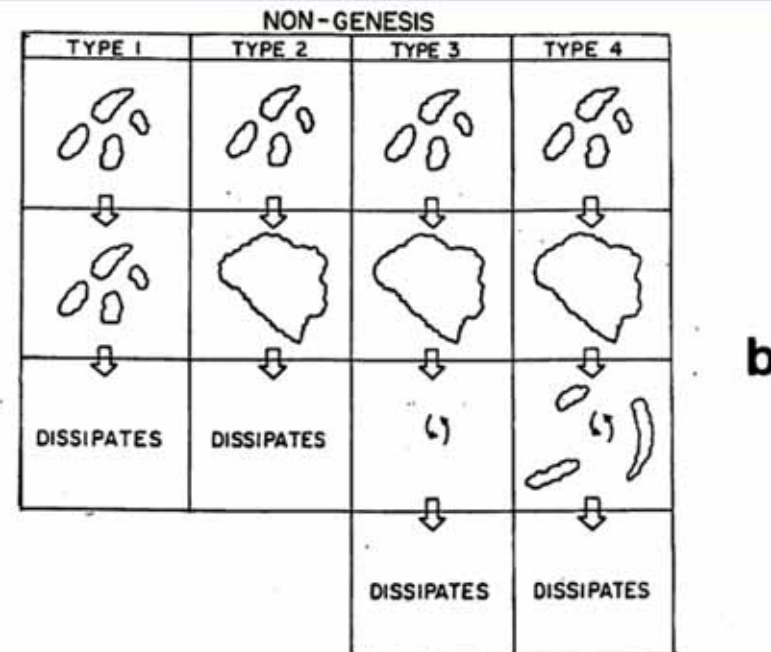
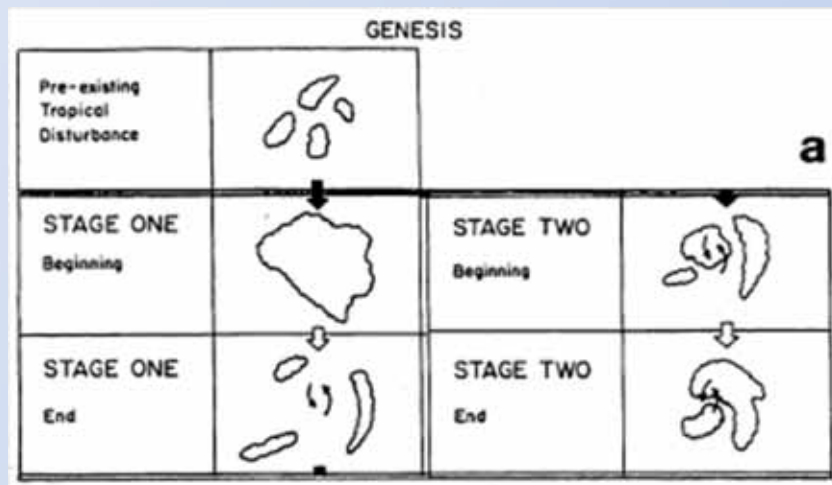


Figure 3.11: Idealized schematics of the satellite observed cloud patterns associated with (a) tropical cyclogenesis, and (b) non-genesis showing four types of non-developing tropical disturbances.

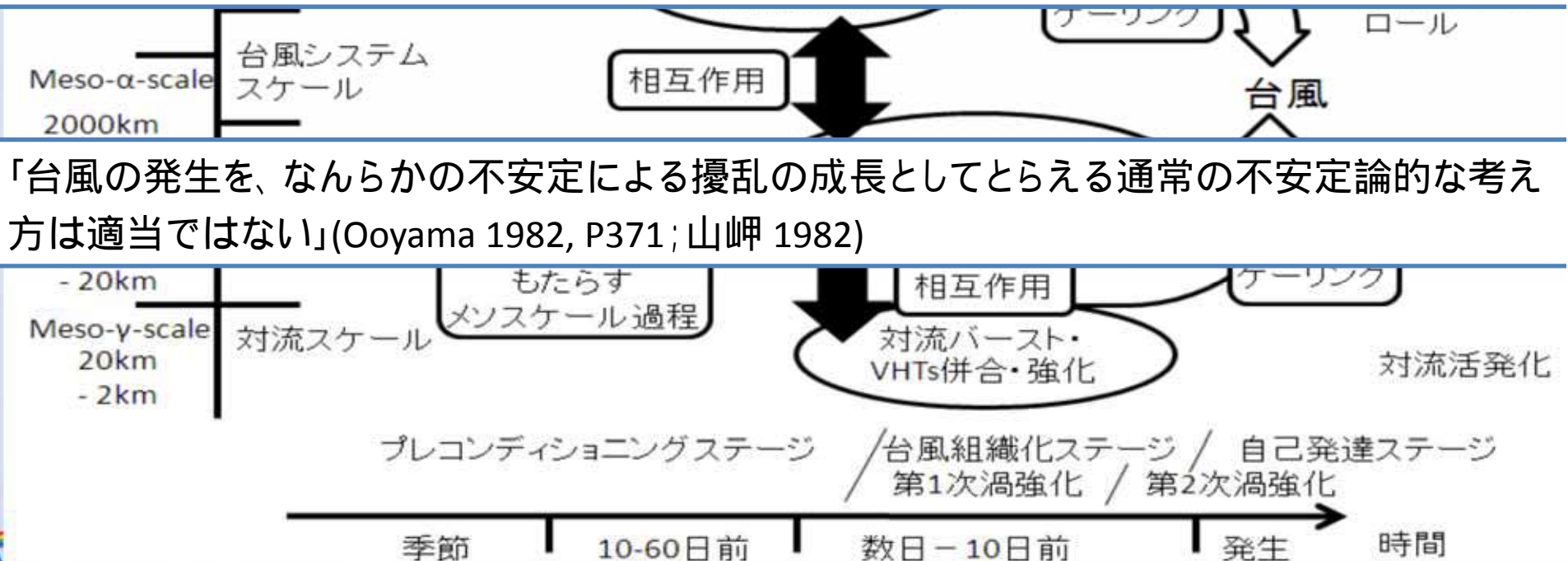


今後の課題 台風発生マルチスケール相互作用

- なぜ台風はそれほど頻繁に発生しないのか？

現実大気 = 水平シアや鉛直シア、乾燥気塊の慣入など、台風発生過程にとって負の影響が多く存在する。 ≠ 理想場実験での「箱入り台風」の発生

メソスケール過程による台風発生完了までの長い期間に、この負の影響から台風の卵が守られるかどうか、台風が誕生できるかの要と言える。(近年の研究marsupial paradigm)



Summary

このスライドは…

研究室ホームページ

筆保研究室でgoogle検索

教育・講義 > 講演 > 台風セミナースライド

user 「typhoon」 pass 「tctc」

- ・現在v2を置いている
- ・木曜日にv3と引用文献リストをアップ

内容は…

気象研究ノート「台風(仮名)」 2012年予定

2章「台風発生過程」 3章「台風発達過程」



台風 = 線香花火

1. 激しい現象で比較的長生き

2. ライフサイクル

発生 of 仕方

ロウソク・マッチなど(外的強制力は多種)

火薬 (内部プロセス1つ)

火を付けた瞬間 = 第一次渦強化

しばらくして落ち着く = 第二次渦強化

発達 of 仕方

球 = 軸対称 球が崩れる = 非軸対称

環境風に弱い

3. どちらも日本の夏の風物詩でしょう・・・

