

# 赤道付近で発生した台風 Vamei(0126 号)

東京大学 気候システム研究センター

倉田耕輔(Kohsuke Kurata)・高橋正明(Masaaki Takahashi)

北半球ではほとんどの台風は北緯 5 度以北で発生している。この事は台風の生成にはコリオリの力が重要な役割を果たしている事を示している。

しかし、およそ 50 年に数度というきわめて希な割合で北緯 5 度よりも低緯度で台風が生成されることがある。1つの例として 2001 年 12 月 27 日に台風へと発達した台風 Vamei がある。Vamei は 2001 年 12 月 20 日頃に東経 100 度～120 度、北緯 5 度以南の領域で作られた渦がその後発達し、同月 27 日に北緯 1.5 度というきわめて赤道に近い領域で台風 Vamei へと発達していったというものである。

本研究ではこの特別な台風をメソモデルである MM5 を用いて 10km という水平分解能の下、数値実験を行いその生成及び発達の様子を調べる事を目的としている。

## 1. Vamei について

Vamei (0126 号) は、2001 年 12 月 27 日 6 時に、図 1 の矢印の先に当たる東経 104 度、北緯 1.5 度で台風へと発達した。発達直後の半径は 200km であり、その後この台風は、最大風速 39m/s、最大瞬間風速 54m/s まで発達する。

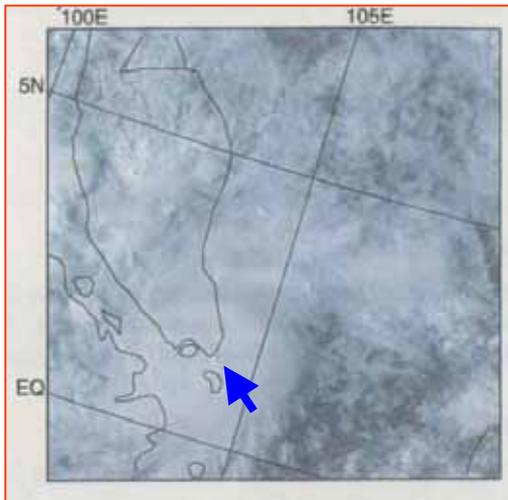


図1  
2001/12/27 09:00 visible  
Typhoon Vamei  
C.-P.Chang et al.(2003)

## 2. 既往の研究

### 2.1 Borneo Vortex について

Vamei の生成に深く関わっているとされている Borneo Vortex について解説する。

冬になると、東経 100 度～120 度、南緯 10 度～北緯 10 度付近の領域では、大陸から吹き出す寒気、即ち Cold Surge によって、Borneo の渦と呼ばれる渦が形成されることがある。

図 2 は北半球の冬( 1999/2000～2000/2001 )の 850hPa と地上における風と渦度の様子である。contour は 850hPa における渦度を表し、影が付いている部分が地上の渦度を表している。また、矢印は地上の風を表している。(C.P.Chang et al.,2003)

図 2 によると、地上では、絶対渦度が小さいにも関わらず、赤道付近に渦度の大きい領域が見ら

れる。

また、図3は1951/52～2001/02までに発生した渦の中心の位置を示しており、枠内の数字は、分母は渦が続いた日数の合計、分子は96時間以上続いていた渦の数を表している。図3でも

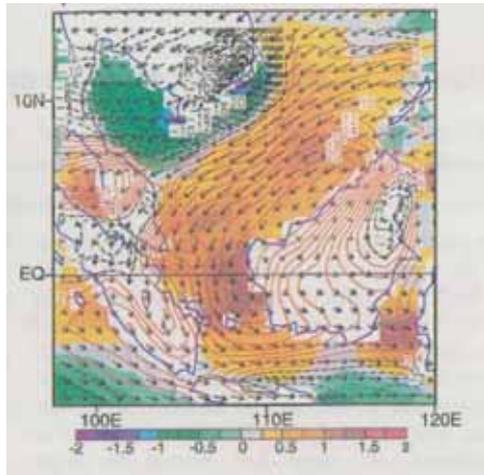


図2  
北半球の冬の平均(1999/2000~2000/2001)の  
850hPaの風と渦度色の付いている部分は地上の渦度  
Typhoon Vamei C.-P.Chang et al.(2003)

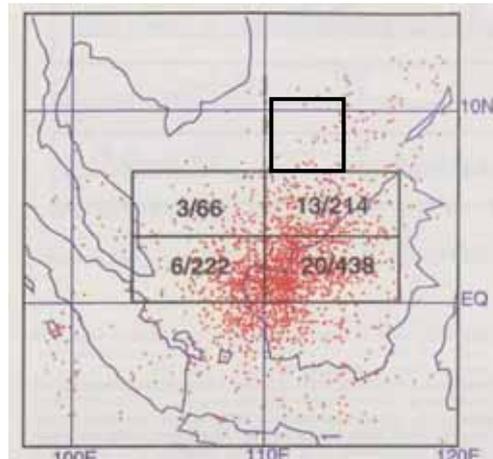


図3  
1951/52から2001/02までに発生したBorneoの  
渦の中心の位置  
図右上の枠内が図4のデータを取った領域  
Typhoon Vamei C.-P.Chang et al.(2003)

絶対渦度が小さい赤道付近で、相対渦度のため渦が形成されている様子が見られる。

## 2.2 2001/12のCold Surgeの様子

図4は、図3の太枠の領域における99/00,00/01,01/02年の冬季のCold Surgeの強さの時間変動を表したものである。

図4を見ると、Vameiが発生した2001年12月27日以前に10m/s以上のCold Surgeが約一週間続いている様子が見られる。

このことから、VameiはこのCold Surgeが強まった時に形成されたと考えられる。

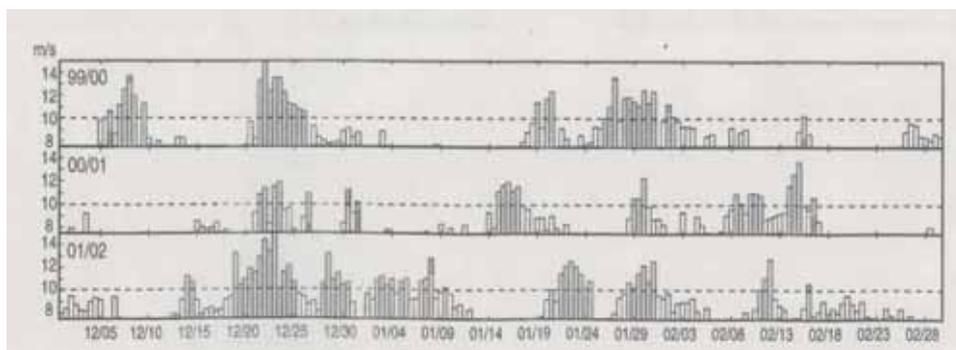


図4 99/00,00/01,01/02の冬の寒気移流の様子。点線よりも上に出ているbarは風速10m/s以上のもの。Typhoon Vamei C.-P.Chang et al.(2003)

### 3. ECMWF データによる 2001 年 12 月 20 日 ~ 12 月 27 日の様子

図 5 に 2001 年 12 月 20 日 6 時の 850hPa の水平風の流線と渦度、図 6 には 2001 年 12 月 27 日 6 時の 850hPa の水平風の流線と渦度、1000hPa~100hPa における北緯 2 度の渦度、温度アンマリーの鉛直分布を示す。a は東経 100 度 ~ 120 度、南緯 2 度 ~ 北緯 15 度の 850hPa 水平風の流線である。これにより南シナ海から強い Cold Surge が流入している様子が見られる。また b は a と同じ領域の渦度である。Cold Surge が南シナ海を通る際に収束し、ボルネオ島の西側では正渦度の領域が形成されている様子が見られる。

図 6 は 27 日 6 時の渦度の様子である。a は東経 100 度 ~ 120 度、南緯 2 度 ~ 北緯 15 度の 850hPa 水平風の流線である。図 5 a に比べ、渦がはっきりしている。また、b は a と同じ領域での渦度であるが、これは図 5 に比べ値が大きくなっている。c、d はそれぞれ北緯 2 度における渦度、温度アンマリー鉛直断面図であるが、c によると、500hPa 付近まで渦度の強い領域が広がっており、d では、およそ 300hPa 付近では円で囲んだように暖気核が形成されている様子が見られる。

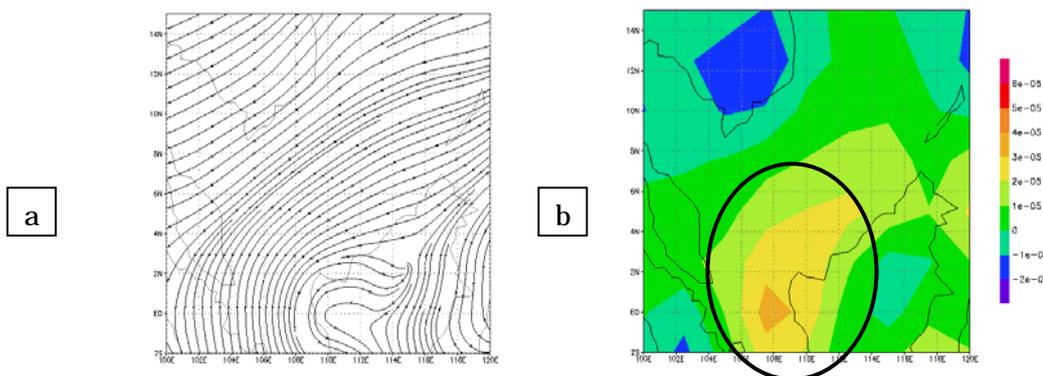
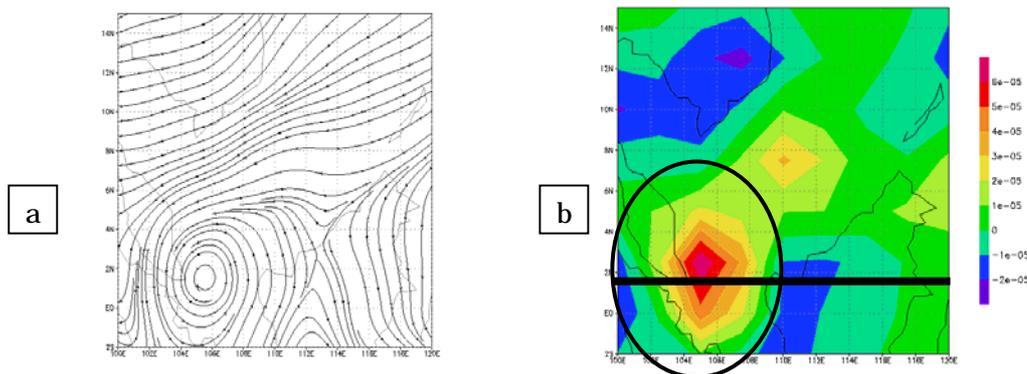


図 5 2001 年 12 月 20 日 6 時の a:850hPa の水平風、b:850hPa の渦度。  
丸枠が注目している正渦度の極大域である。



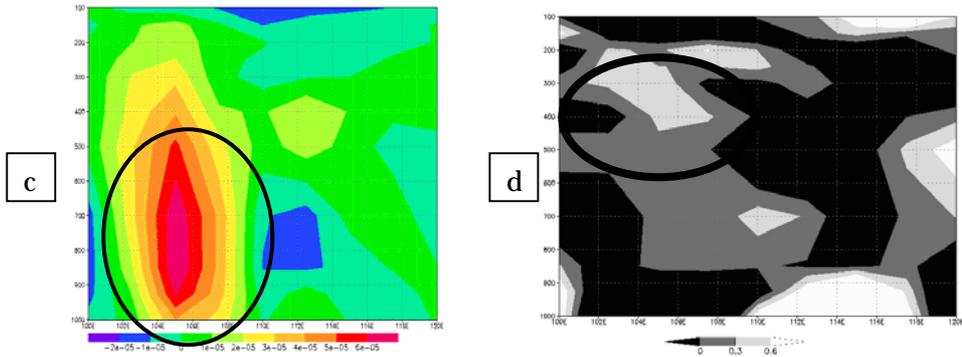


図6 2001年12月27日6時の a:850hPaの水平風、b:850hPaの渦度、c:bの線に対応する北緯2度の渦度の鉛直分布、d:bの線に対応する北緯2度の温度アノマリー渦度の鉛直分布。b,cの丸枠が目立っている正渦度の極大域、dの丸枠は暖気核を示している。

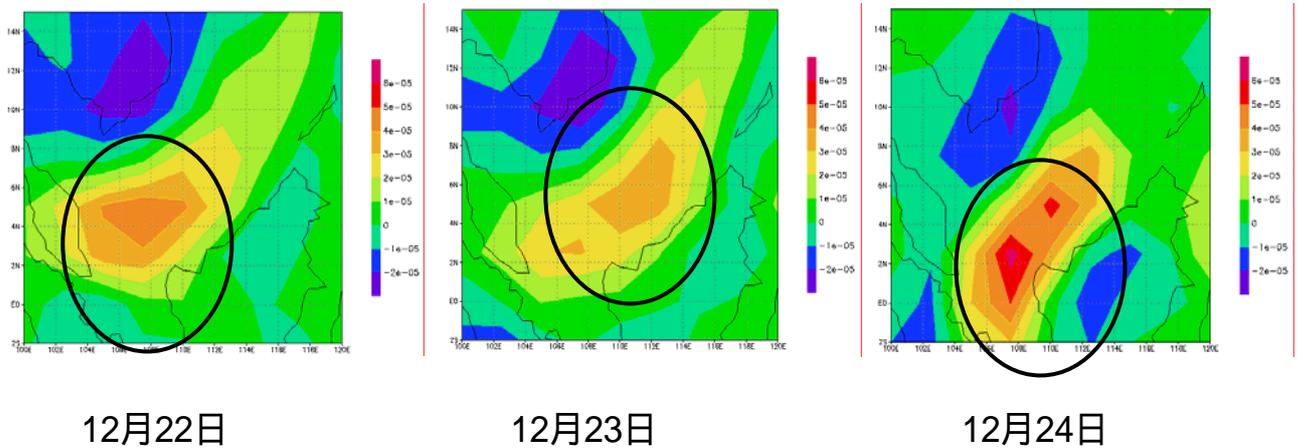


図7 2001年12月22日6時～12月24日6時の渦度の様子である。丸枠が目立っている正渦度の極大域

また、図7は2001年12月22日6時～12月24日6時までの渦度の様子であるが、これを見ると、22日は図6aの渦度の極大域があった位置から少し北へと移動している。その後、23日には、さらに北東へと移動するが、24日には再びボルネオ島の西側へと戻っている。その後、渦度の強度はその場所でさらに強まっていった。

#### 4. ECMWF データによる収支解析と数値実験

4章では、図7において、渦度の中心が移動している様子を収支解析と数値実験によって、このような移動をした原因を調べる。

##### 4.1 ECMWF データによる渦度の収支解析

使用したデータはECMWFデータであり、解像度は2.5度である。

渦度の収支解析した高度は850hPaである。

渦度の式より

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \underbrace{-\vec{v} \cdot \nabla(\zeta + f)}_{\text{A項}} - \underbrace{\omega \frac{\partial \zeta}{\partial p}}_{\text{B項}} - \underbrace{(\zeta + f) \nabla \cdot \vec{v}}_{\text{C項}} + \underbrace{k \cdot \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial p} \times \nabla \omega \right)}_{\text{D項}} \quad \text{とする。}$$

##### 4.1.1 12月22日6時～23日6時について

この節では12月22日～23日の移動を調べる。渦度の収支解析をすると図8のようになる。

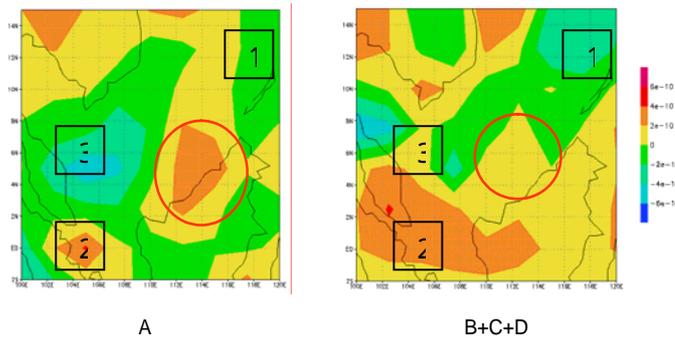


図8 12月22日～23日渦度の収支解析。Aは渦度変化を示し、B+C+Dは渦度の式の右辺を示している。

渦度変化の様子は図8の左図のようになり、オイラー的に見るとボルネオ島の北側では渦度が強化されていることが分かった。また、右図と比較すると、1の部分は正しいが、2の部分は値が大きすぎ、3の部分は符号が逆になっているなど、2, 3の部分ではフォーシングが強くなってしまっている。しかし、丸枠内を見ると、定性的に正しそうなので、図9により、この部分の成分を考える。

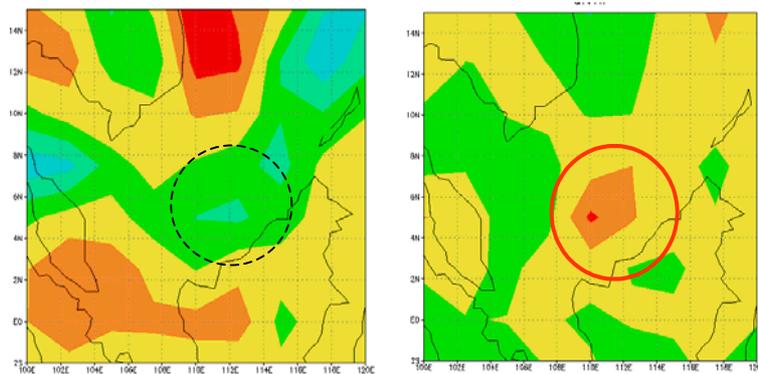


図9 渦度の成分。左図が移流項、右図は発散項

傾斜項は小さいので省略するが、図9の渦の丸枠、即ち、発散項が効いていることが分かる。参考として、移流項の図に波線の円で同じ場所を示した。よって、22日から23日の渦度の極大域の移動は、22日の渦度の極大域の北側で収束が強まったために生じたと考えられる。

#### 4.1.2 12月23日6時～24日6時について

この節では12月23日～24日の渦度の移動を調べる。収支解析すると、図10の様になる。

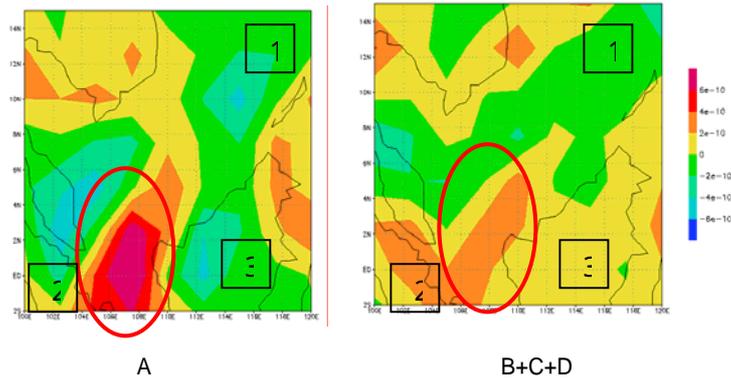


図 10 12月23日～24日の渦度の収支解析。Aは渦度変化を示し、B+C+Dは渦度の式の右辺を示している。

図 10 の左図はオイラー的に見るとボルネオ島の西側で渦度が強化されている様子が見られる。また、右図と比較すると、1の部分は正しそうであるが、2, 3の部分はフォーシングが強くなってしまっている。しかし、円の部分が定性的に正しいと考え、各成分を比較してみると、

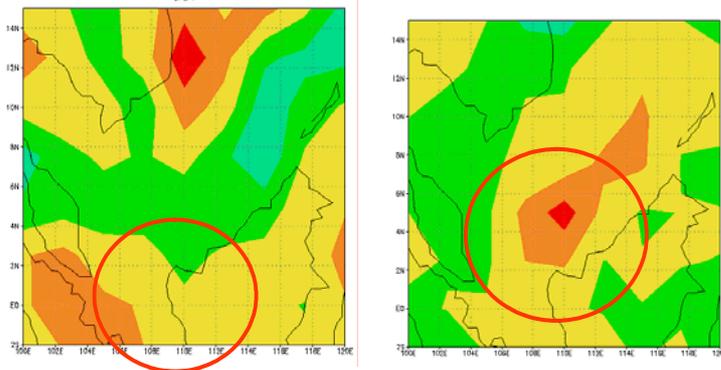


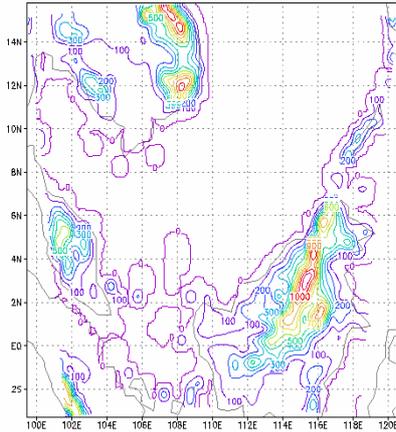
図 11 渦度の成分。左図が移流項、右図は発散項

図 11 のようになる。傾斜項は小さいため省略する。B項とC項、即ち移流項と発散項が同程度効いていると考えられる。よって、23日から24日の正渦度の北から南への移動は、収束により生じた正過度が強い Cold Surge により北から南へと流されたために生じたと考えられる。

## 4.2 数値実験

4.1 では粗い分解能で時間的な発展を調べた。ところが、対流のプロセスにより、台風ができていくのであるから、この節では対流を explicit に表現するモデルで様子表現することが目的である。

### 4.2.1 計算条件について



- 使用したモデル : 5<sup>th</sup>-Generation PSU/NCAR Mesoscale Model(MM5)
- 水平グリッド間隔 : 10km
- グリッド数(水平) : 250 × 250
- グリッド数(鉛直) : 26(1000hPa~10hPa)
- 積分時間 : 2001/12/20/6~2001/12/27/6
- Explicit moisture scheme : simple ice
- 4次元同化 : あり
- 積雲パラメタリゼーション : なし

上に、計算領域 (contour は等高度線) と、その条件を挙げる。

#### 4.2.2 初期条件及び境界条件について

初期条件は 2001 年 12 月 20 日 6 時の ECMWF データを、また、10hPa という境での境界条件は放射境界条件、水平方向の境界条件は 2001 年 12 月 20 日 6 時 ~ 2001 年 12 月 27 日 6 時の時間に対応している ECMWF データを用いている。また、内部は 4 次元同化を行っている。

#### 4.2.3 シミュレーション結果と観測の比較

850hPa における水平風の流線 (12 月 27 日 6 時)

12 月 27 日の水平風の流線の比較である。観測に比べ、モデルの結果は、渦の中心の東側の流線の張り出しは弱いものの、渦の中心の位置や渦の北側の流線の様子はほぼ再現できている。

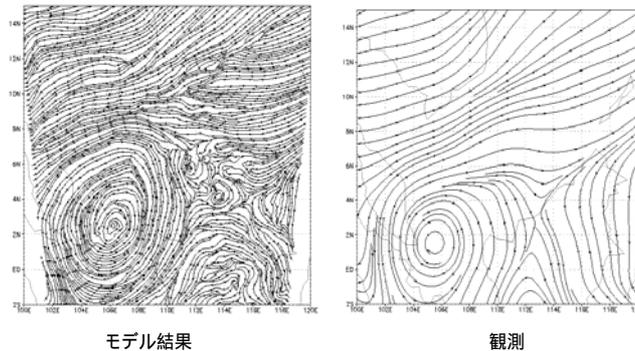


図 1 2 2001 年 12 月 27 日 6 時の 850hPa の水平風の流線。左図がモデル結果、右図は観測  
1000 ~ 100hPa の間の北緯 2 度における温度アノマリーの分布 (12 月 27 日 6 時)

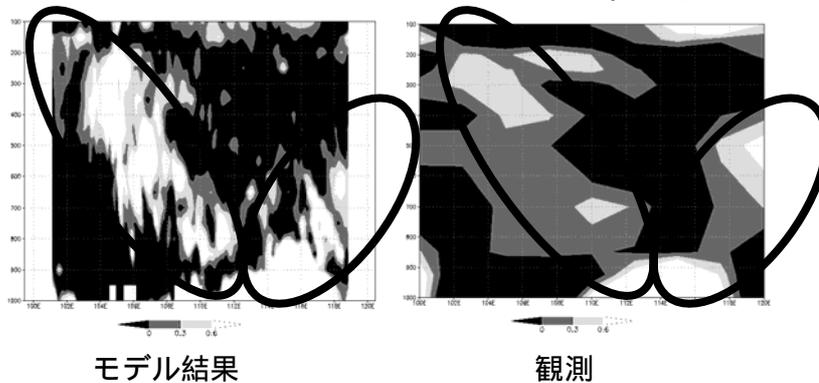


図 1 3 2001 年 12 月 27 日 6 時の北緯 2 度における 1000hPa ~ 100hPa の温度アノマリーの鉛直分布。左図がモデル結果、右図は観測

12月27日の温度アノマリーの鉛直分布の比較である。値の大きさに違いはあるが円で囲んだ下方から上方に向かう温度アノマリーの分布の傾きや、東経110度～118度付近の温度の高い領域などは再現できている。

、 から判断すると、細かいところで違いはあるものの、大まかに見ると正しそうである。

#### 4.2.4 シミュレーション結果：850hPaのPVの様子

12月22日6時～23日6時

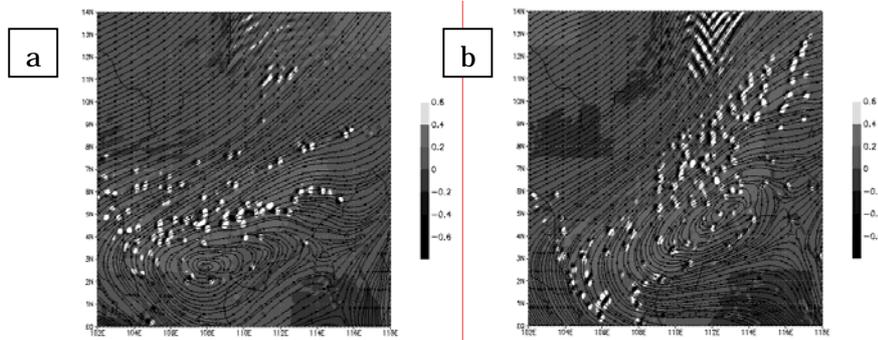


図14 12月22日6時、23日6時のPVと水平風の流線のモデル結果

図14ではaでの渦の中心よりも北側に対流がたくさん生じ、または北東風によって流されてきた対流が集まる様子が見られ、渦の中心が北東へとシフトし始めた。よって、この期間の渦の移動は主に対流による収束、即ち、発散項が寄与していると考えられる。

2月23日6時～24日6時

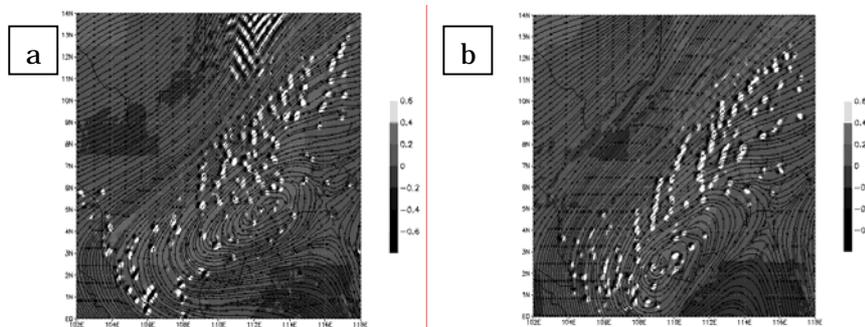


図15 12月23日6時、24日6時のPVと水平風の流線のモデル結果

図15ではaからbの変化は、aの渦の周辺に対流が集まり始めたが、強い北東風のために、渦と対流が南へと流されてしまった。この期間の移動は、収束により生じた対流や北東風によって流されてきた対流や渦が北東風によって流されてしまったため生じたと考えられ、発散項と移流項の両方が寄与していると考えられる。

#### 5. まとめ

台風 Vamei に対応する渦度の移動を ECMWF データを使い、budget 解析をした。それにより、渦がいったん北へと移動し、その後南へと移動するという変化を解析したところ、発散項や移流項が重要であることが示唆されたが、渦の移動と対流の interaction を調べるために数値シミュレーションを行った。その結果、

- 22日～23日（渦度が北へ移動）

ECMWF データ : 発散項が寄与

シミュレーション : 発散項が寄与

- ・ 23 日 ~ 24 日 (渦度が南へ移動)

ECMWF データ : 発散項と移流項

シミュレーション : 発散項と移流項

となり、ECMWF データによる渦度解析でははっきりとしなかった explicit に対流を含んだ渦の変化の様子をみることができた。

#### <参考文献>

- ・ C.-P. Chang, Ching-Hqang Liu ,and Hung-Chi Kuo(2001) Typhoon Vamei: An equatorial tropical cyclone formation
- ・ 小倉義光 (1997) :メソ気象の基礎理論