

平成 20 年度地球科学輻合ゼミナール 後期第 3 回  
中高緯度対流圏循環の形成と変動～偏西風とストームトラック～

講演者: 向川 均 (防災研究所 災害気候研究分野)

報告者: 竹村 和人 (防災研究所 災害気候研究分野)

佐治 憲介 (防災研究所 災害気候研究分野)

## 1 はじめに

中緯度対流圏で卓越する偏西風は、地表面付近での温度の強い南北勾配によって、上空ほど強く、対流圏界面付近で最大となる。この西風の極大域は、ジェット気流(図1の左)と呼ばれる。また、中緯度では、ジェット気流と関連して、ストームトラックと呼ばれる、移動性の高、低気圧の活動が活発な領域(図1の右)が存在する。このストームトラックの形成には、地表面付近の温度の南北勾配や大陸海洋の熱的コントラストが重要である。ストームトラックは、強い西風や、降水による海洋への淡水補給を通して、地球規模での海洋循環の形成などの、気候形成に重要な役割を果たしている。

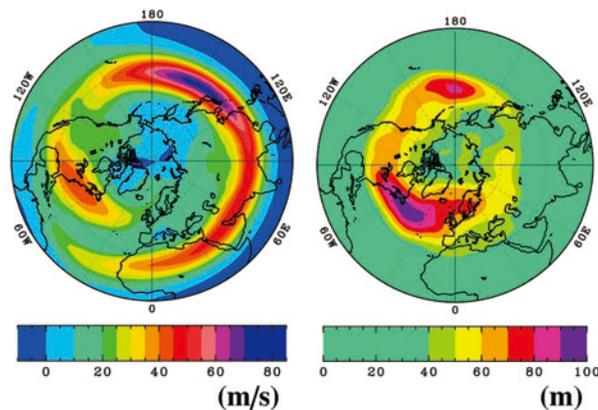


図 1: (左) ジェット気流, (右) ストームトラックの 1 月平均図.

## 2 傾圧不安定

鉛直シアをもつ偏西風は不安定であり、この不安定を解消するために、波長が約 4000km の波動が生じる。この波動は傾圧不安定波と呼ばれ、谷部が鉛直方向に西傾することによって、熱を北向きに輸送する役割をもっている。一方、実際の天気図(500hPa 高度)を見ると、偏西風波動の谷や峰は北東-南西方向に伸び、運動エネルギーの転換を通して、西風ジェットが強化される。このことは、ストームトラックに伴う、北向きの渦度輸送としても理解できる。傾圧不安定波と関連した、ジェット気流やストームトラックが東西非一様性をもつ原因としては、海陸の熱的コントラスト、海面水温 (SST) の南北勾配、熱帯域での暖水塊などが挙げられる。

### 3 ストームトラックの形成要因

ストームトラックの形成には大規模山岳、海陸の熱的コントラスト、海面水温分布といった熱的強制が寄与していると考えられているが、それらの役割について調べるために、大気大循環モデル (AGCM) を用いた数値実験を行った。

#### 実験 1. 理想化した SST, 海陸分布を与えたときの東西風, ストームトラックの分布

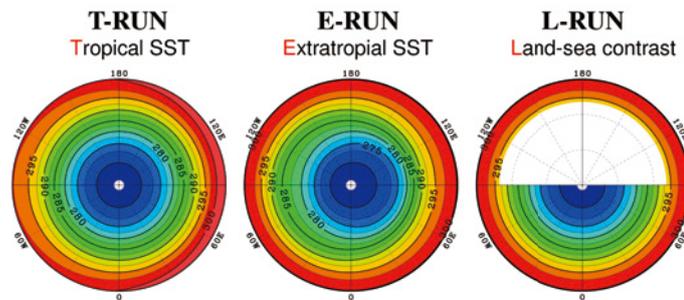


図 2: 数値実験 1

熱帯の SST を東西非一様にした場合 (T-RUN, 図 2 左), 中高緯度の南北温度勾配を東西非一様にした場合 (E-RUN, 図 2 中), 北半球中高緯度の半分を陸にした場合 (L-RUN, 図 2 右) の 250hPa 面の東西風は, T-RUN では強い非一様性をもち, E-RUN ではほぼ東西一様, L-RUN では弱い非一様性をもつという結果が得られた (図 3 左). よって, ジェット気流の局在的な強化には熱帯の SST 分布が最も寄与していると言える. ところが, ストームトラックについては, T-RUN では弱い非一様性, E-RUN では強い非一様性, L-RUN ではほぼ東西一様となった (図 3 右). よって, ストームトラックの東西非一様性には, 中高緯度における温度の南北勾配が最も寄与していることが示唆される.

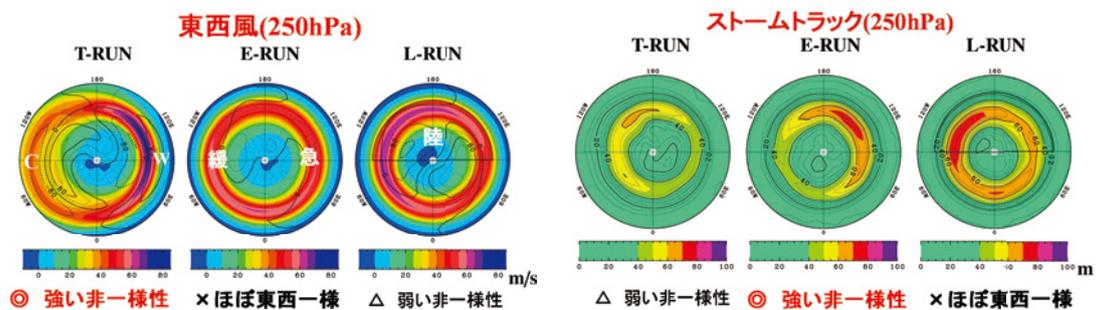


図 3: 理想化した SST, 海陸分布を与えたときのジェット (250hPa 東西風) とストームトラックの分布.

## 実験 2. 海陸の熱的コントラストや、熱帯の SST の東西非一様性を与えたときの大気の応答

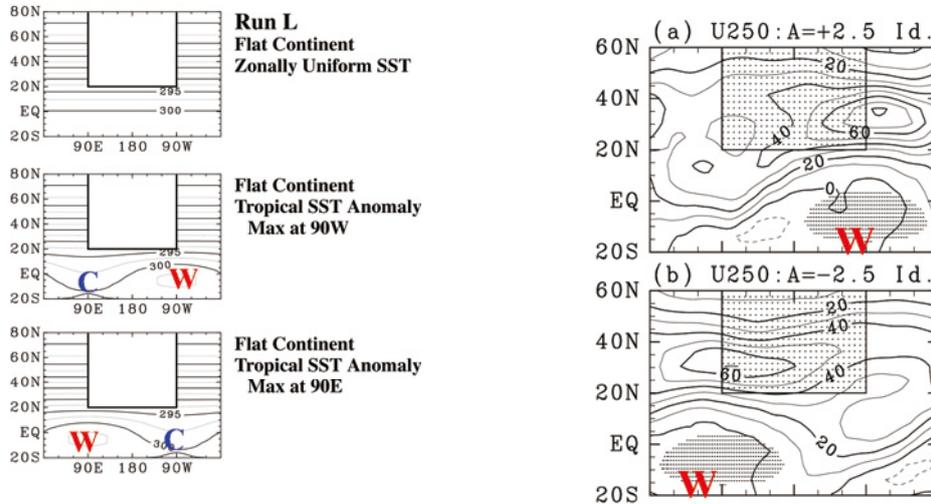


図 4: 数値実験 2

次に、中高緯度に長形状の理想化した陸を与え、熱帯域での SST 分布を、(1) 東西一様にしたとき (図 4 左上)、(2) 陸の東岸付近を高温、西岸付近を低温にしたとき (図 4 左中)、(3) 東岸付近を低温、西岸付近を高温にしたとき (図 4 左下)、の 250hPa 面の東西風を調べた結果を以下に示す。

(1) 東西風はほぼ東西一様となったが、陸における強い放射冷却によって大気下層の温度が下がり、東岸付近で温度の強いコントラストが生じた。

(2) 陸の東岸付近で強い東西風となり、東西非一様となった (図 4 右上)。

(3) 陸の西岸付近で強い東西風となり、東西非一様となった (図 4 右下)。

この実験からも、熱帯の SST 分布がジェット強化に最も寄与していることがわかった。

## 実験 3. 東西非一様な SST を異なる緯度帯に与えたときのストームトラックの分布

全地球を海とし、東西非一様な SST を、(a) 北緯 30 度、(b) 北緯 40 度、(c) 北緯 50 度、に与える実験を行った (図 5 左、(a)(b)(c))。ただし、SST の南北勾配については、3つの実験とも同じである。このとき、ストームトラックは、(a) では東西非一様、(b) と (c) ではほぼ東西一様となった (図 5 右)。実験結果より、暖水塊がより低緯度にあるほど、海面からの蒸発量が増加し、降水量が増加することによって、強い非断熱加熱が生じ、ストームトラックが局所的に強まることが示された。以上をまとめると、本研究により、次のようなストームトラックの維持機構が示された。

- 大気下層での温度の南北勾配が生じることによって、ストームトラックが形成される。

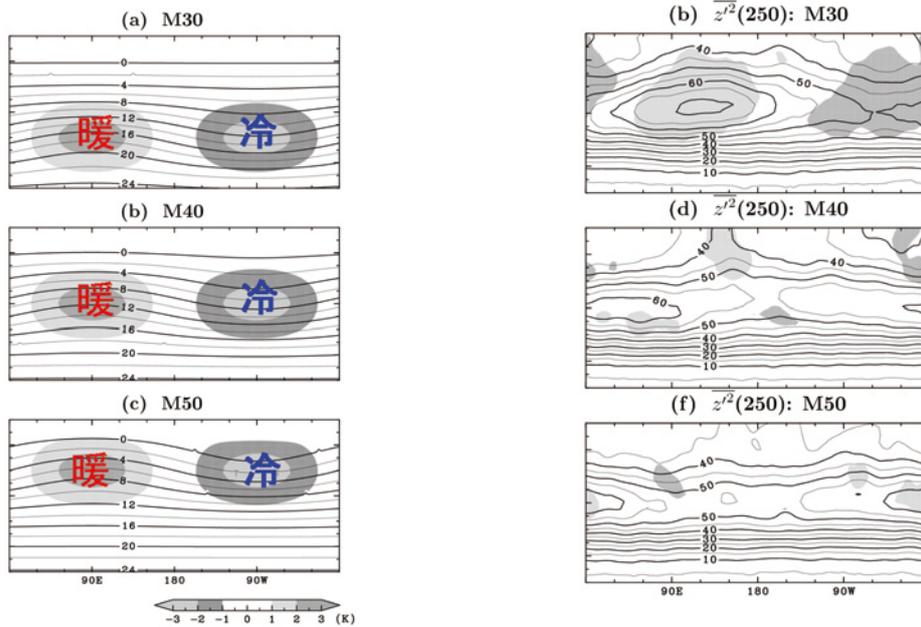


図 5: 数値実験 3

- それに伴う降水によって非断熱加熱が生じ、大気下層において定常波強制が与えられ、温度勾配が維持される。
- ストームトラックが維持される。

この維持機構は、従来のストームトラックの維持機構の理論とは異なるものである。

#### 4 地球温暖化時の偏西風とストームトラックの変化

現在、地球温暖化による気候への影響について、さまざまな研究がなされている。例えば、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第四次評価報告書(AR4)によると、地球温暖化に伴い、2100年までに全球平均温度は約3℃上昇し、全球平均降水量は約5%増加するとされている。ここでは、地球温暖化に伴い、偏西風とストームトラックがどのように変化するかに着目して、Lorenz and DeWeaver (2007, JGR), Yin (2005, GRL)に基づき、その特徴を述べる。

##### 温度分布の変化

以下、温暖化に伴う気候変化は、二酸化炭素の人為的な排出量が比較的大きいA2シナリオにおける2080年 - 2099年のアンサンブル平均から、20世紀再現実験(20C3M)における1980年 - 1999年のアンサンブル平均をひいたもので評価する。これらは、AR4の15モデルの出力結果により得られたものである。図6によると、対流圏中上層では高温化、成層圏では寒冷化の兆候がみられ、対流圏界面付近で南北温度勾配は増大する。また、地表面付近では南北温度勾配は減少しており、このことは温暖化に伴い、ストームトラックが弱くなることを示唆する。

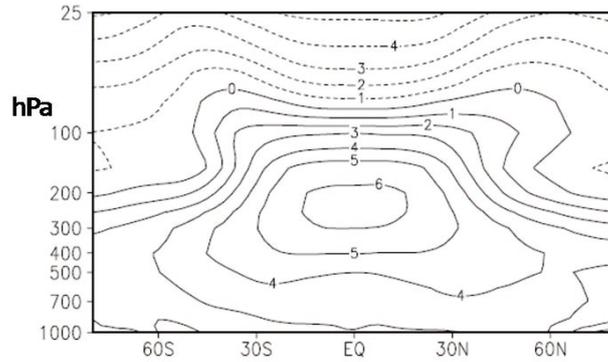


図 6: 地球温暖化に伴う年帯状平均温度変化 (K) (Lorenz and DeWeaver(2007,JGR), Yin(2005,GRL) より)

### 偏西風の変化

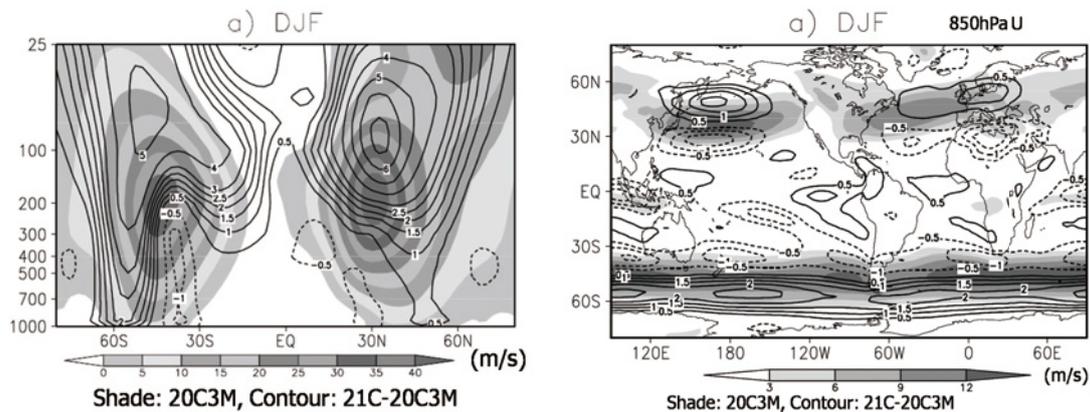


図 7: 地球温暖化に伴う東西風の変化 (北半球冬季). 左図: 帯状平均東西風. 右図: 850hPa 高度における東西風 (Lorenz and DeWeaver,2007,JGR より)

地球温暖化に伴い、偏西風は対流圏内で極側にシフトし、その風速も大きくなる (図 7 左). さらに、偏西風は成層圏下部でも強化されることが分かる. 太平洋のストームトラック域での偏西風の極側シフトが明瞭である (図 7 右).

### ストームトラックの変化

地球温暖化に伴い、ストームトラックは極側、上向きにシフトし、強度は大きくなる (図 8 左). 図 8 右は、地球温暖化に伴う大気の傾圧度の変化を表しているが、対流圏界面付近で傾圧度が大きくなっており、ストームトラックの変化は、対流圏界面付近の傾圧度の変化と関係していることを Yin(2005) は指摘している. 一方、大気下層では傾圧度が低下している. このことは、はじめに述べた、ストームトラックの形成には大気下層の傾圧度が重要であるという事実と矛盾している.

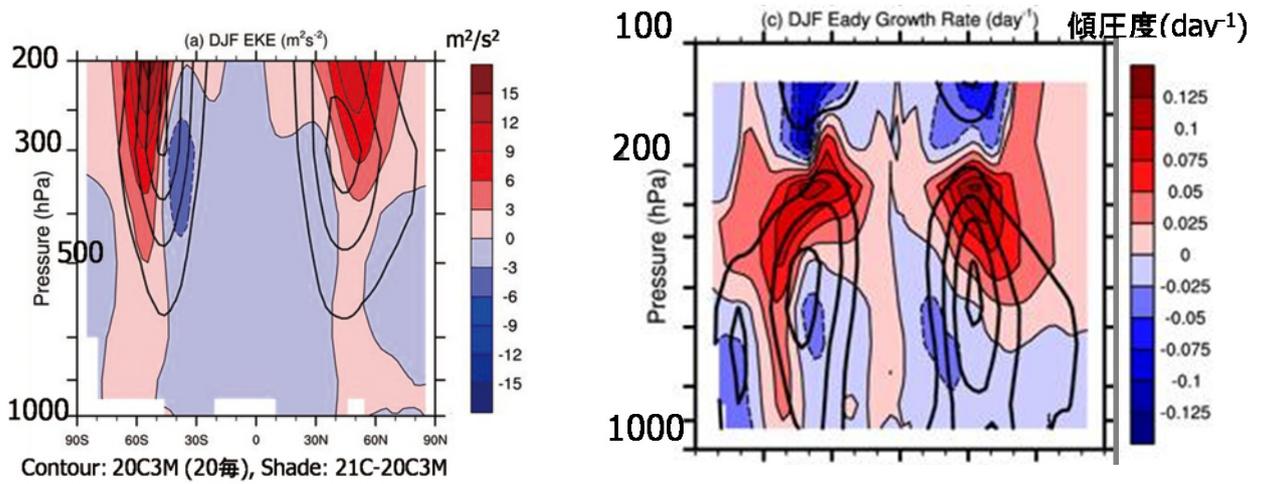


図 8: 地球温暖化に伴う移動性高低気圧の運動エネルギー (DJF) の変化 (左図) と、大気の傾圧度の変化 (右図) (Yin,2005,GRL より)

### IPCC AR4 モデル間での分散

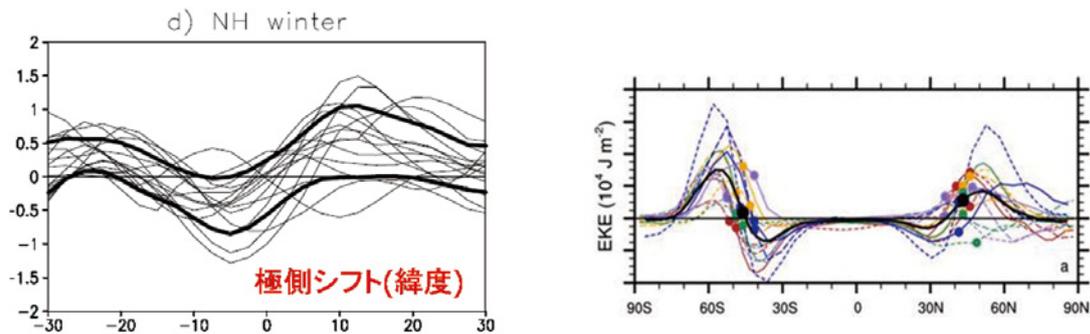


図 9: 地球温暖化に伴う 850hPa 高度における東西風の変化 (左図, Lorenz and DeWeaver,2007,JGR より), ストームトラック活動度の変化 (右図, Yin,2005,GRL より)

図 9 は、地球温暖化に伴う 850hPa 高度における東西風の変化 (左), ストームトラック活動度の変化 (右) である。モデルによってばらつきが大きく、地球温暖化に伴うストームトラックの変化を評価するには、解析評価期間が短すぎることが示唆される。

## 5 まとめ

- 移動性高低気圧波は、偏西風ジェット気流の傾圧不安定により生成される。
- 偏西風ジェットや、移動性高低気圧波は東西非一様であり、偏西風ジェットコアや、ストームトラックと呼ばれる局在的に強い領域が存在する。
- 偏西風ジェットの局在的な強化には、熱帯域の暖水塊が大きく寄与している。
- ストームトラックの東西非一様性には、中緯度域における海面水温南北勾配、移動性高低気圧波に伴う非断熱加熱が大きく寄与している。
- 地球温暖化に伴うストームトラックの変化はうまく説明されていない。