

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400466

研究課題名(和文)大雨をもたらす梅雨前線帯低気圧の発達過程の普遍的モデルの構築

研究課題名(英文)Development processes of Baiu frontal depressions causing heavy rainfall

研究代表者

川野 哲也(Kawano, Tetsuya)

九州大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30291511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：数値モデルを用いて梅雨前線帯低気圧(BFD)の構造と発達過程を調査した。梅雨前線帯の特徴が東西で異なることに着目し、水蒸気が豊富な西部で発達する低気圧をW-BFD、傾圧性が相対的に大きな東部で発達する低気圧をE-BFDという2つのカテゴリーに分け、それぞれの発達過程を調査した。まず、各カテゴリーの典型事例の再現数値実験を行った。有効位置エネルギーの収支解析と潜熱加熱を除いた感度実験の結果は、BFD発達における潜熱加熱の重要性を明らかにした。特にW-BFD発達において潜熱加熱は決定的な役割を果たしていた。さらに、東西一様な環境場を用いた理想化数値実験によってこれらの発達過程の特徴が確認された。

研究成果の概要(英文)：Considering differences in features between the western and eastern parts of the Baiu frontal zone, we divided Baiu frontal depressions (BFDs) into two types: BFDs that peaked in the western region (hereafter, W-BFDs) and BFDs that peaked in the eastern region (hereafter, E-BFDs). We investigated the structure and development process of each type of BFDs, using a numerical model. Realistic numerical experiments (CNTLs) well reproduce the BFD features. CNTLs and experiments without latent heating associated with precipitation processes show that latent heating is very important to the BFD development. In particular, latent heating plays a critical role in the W-BFD development. These results were verified by idealized numerical experiments with zonally homogeneous environments.

研究分野：気象学

キーワード：梅雨前線帯 低気圧 潜熱加熱 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

梅雨前線帯低気圧(BFD)の発生・発達には、東アジア域の日々の気象から気候にまで大きな影響を与えるとともに、しばしば集中豪雨などの甚大な災害を引き起こすことから、気象学的な観点からだけでなく防災上の面からも非常に重要な研究課題である。

一般的な低気圧の発達過程は傾圧不安定理論によって説明され、低気圧は南北温度傾度(傾圧性)の大きい領域(前線帯)において傾圧性をエネルギー源として発達する。また、低気圧の発生・発達にともなう雲システム形成の際に生じる非断熱加熱(潜熱加熱)が、低気圧の2次的なエネルギー源となり低気圧の発達をさらに促進すると考えられている。しかしながら、梅雨前線帯は一般的な前線帯とは異なる環境場を持つ特殊な前線帯であるため、上述したような一般的な低気圧の発達過程がBFDの発達過程に全て当てはまるとは考えにくい。その環境場の特徴として、水蒸気をより多く含む湿潤な環境場であるということがあげられる。さらに、梅雨前線帯は東西でも環境場の特徴が異なり、およそ140°Eよりも西側においては小さい南北温度勾配と大きい水蒸気勾配によって特徴づけられ、東側では大きい南北温度勾配と小さい水蒸気勾配によって特徴づけられる。すなわち、西側は豊富な水蒸気の存在、東側は大きな傾圧性が特徴である。これらのことから、BFDの発達過程については、別の枠組みでの理解が必要となる。しかし、これまでの研究はすべて事例解析にとどまっており、BFDの発達過程に関して未だ統一的理解は得られていない。本研究では、梅雨前線帯の西部と東部の環境場の違いにも着目し、それぞれの領域で発達する梅雨前線帯低気圧を2つのカテゴリー(水蒸気が豊富な西部で発達する低気圧をW-BFD、傾圧性の大きな東部で発達する低気圧をE-BFDとする)に分け、それぞれの発達過程を調査した。

2. 研究の目的

BFDの発達過程の理解を前進させることを目的として、長期再解析データの解析と数値シミュレーションとからなる組織的な研究

を行う。長期再解析データを用いた詳細なデータ解析はすでに行っているため、本研究では数値モデルを用いた再現実験と理想化実験から、長期再解析データ解析から得られた結果の検証とBFDの発達過程のさらなる理解を目指す。

3. 研究の方法

本研究では大別して以下の2つの方法で梅雨前線帯低気圧の数値実験を行った。なお、いずれの実験においても領域非静力学モデル(Weather and Research Forecasting model; WRF)を用いた。

(1) 再現数値実験

典型的なW-BFDおよびE-BFDを選び、水平解像度20kmの再現実験を行った。地表面温度の初期値・境界値はNCEP FNLから作成し、それ以外はJRA-25/JCDASデータから作成した。これらの再現実験を以後CNTLとする。

降水形成に伴う潜熱加熱の影響を調査するために、潜熱加熱を除いた実験(NOLH)を行った。また、上層擾乱の影響を調べるために、Piecewise PV inversion手法によって上層擾乱(ここでは500hPaより上方の高渦位偏差)を除いた初期値・境界値を作成し、それを用いた実験(NOUL)を行った。

(2) 理想化数値実験

再現数値実験から得られた結果を一般化し、BFDの発達過程の普遍的なモデルを構築するために、東西一様という理想化された環境場を用いた水平解像度20kmの数値実験(I-CNTL)を行った。この東西一様な環境場は、W-BFDとE-BFDそれぞれが発達する12時間前の5日平均場を低気圧中心でコンポジットし、その中心を通る南北鉛直断面内のジオポテンシャル高度と温度を東西一様に与えることで作成した。水蒸気場に関しては5日平均を行わず、それ以外はジオポテンシャル場・温度場と同様の方法で作成した。初期の南北風は0、東西風は地衡風平衡から計算された。低気圧を発生させるための初期擾乱としては最大温度摂動4Kの東西波数1の波動擾乱を与えた。計算領域の境界条件としては、南北方向は開放条件、東西方向は周期条件とした。

降水形成に伴う潜熱加熱の効果を調べるために、再現実験と同様に潜熱加熱を除いた実験(I-NOLH)を行った。

4. 研究成果

(1)再現数値実験

W-BFD と E-BFD のいずれの CNTL 実験でも観測された W-BFD と E-BFD の特徴がよく再現された。

まず、BFD 発達のエネルギー源である有効位置エネルギーの収支解析を行った。豊富な水蒸気が存在する環境で発達する W-BFD では、潜熱加熱による有効位置エネルギー生成が発達期の全期間にわたり支配的であった。一方、相対的に大きな傾圧性の環境場で発達する E-BFD では、全期間を通して潜熱加熱による有効位置エネルギー生成と傾圧生成はほぼ同程度であった。このことから BFD 発達における潜熱加熱の重要性が示された。特に W-BFD 発達では潜熱加熱が決定的な役割を果たしていることが明らかになった。

潜熱加熱を除いた実験(NOLH)は、上述の有効位置エネルギー収支解析によって示された、W-BFD 発達における潜熱加熱の重要性を改めて示した。すなわち、E-BFD NOLH 実験の低気圧の発達は抑制されるものの、構造は維持されるのに対して、W-BFD NOLH 実験の低気圧は急速に弱体化して、その構造を保持できなくなっていた。

CNTL 実験の初期値・境界値から上層擾乱を除いた場を用いた NOUL 実験では、W-BFD、E-BFD とともに発達が弱まった。この発達抑制の主な原因は、上層擾乱によって誘起される下層南風による低気圧中心付近への暖湿空気の流入が減少する効果によるものであると考えられる。

以上の結果は、申請者らがこれまでに行ってきた、長期再解析データを用いた解析結果と整合的である。

本研究で行った再現実験において、非常に興味深い W-BFD の発達過程が確認された。発達初期では、低気圧中心で積雲対流が発生し中心付近で渦位生成が行われ、低気圧が発達する。これは強い渦の領域で潜熱加熱が起こることによる渦強化過程(非線形 CISK メカニ

ズム)と考えられる。発達後期では、強化された渦が低気圧中心前面での南風を強め、下層収束を強化する。その結果、前面での積雲対流活動が活発になり、その場所で潜熱加熱による渦位生成が強化される。これは非断熱ロスビー渦強化メカニズムと整合的である。すなわち、W-BFD 発達はその発達段階に応じて変遷が見られ、発達初期では非線形 CISK メカニズム、発達後期では非断熱ロスビー渦強化メカニズムによって発達していることが示された。

(2)理想化数値実験

東西一様な理想化された環境場においては、低気圧が発達するまでに現実よりも長い時間を要するものの、W-BFD、E-BFD とともに観測された構造や発達過程を示した。I-CNTL 実験と I-NOLH 実験の結果は、前節に述べた再現数値実験結果(すなわち、CNTL と NOLH)と整合的であった。

これらのことは、長期再解析データの解析、再現数値実験および理想化数値実験で示された、W-BFD の発達過程と E-BFD の発達過程が普遍的なものであることを示している。本研究で明らかにされた普遍的な BFD 発達過程を要約すると以下ようになる。BFD の発達過程は一般の温帯低気圧のそれとは異なる。また、梅雨前線帯の西部で発達する低気圧(W-BFD)と東部で発達する低気圧(E-BFD)との間にもその発達過程に差がある。すなわち、W-BFD 発達においては潜熱加熱が決定的な役割を果たし、E-BFD 発達においては潜熱加熱の効果と傾圧性の効果がほぼ同程度で E-BFD 発達に寄与している。これは新しい知見である。また、W-BFD には潜熱加熱によって駆動される特有の発達過程があることを明らかにした点も新しい知見である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Honda, T., and T. Kawano: A possible mechanism of tornadogenesis associated with the interaction between a supercell

and an outflow boundary without horizontal shear, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 73, 1273-1292, 2016, doi:10.1175/JAS-D-14-0347.1, 査読有

[学会発表](計 15 件)

柄本英伍・川野哲也：梅雨前線帯の低気圧の発達過程-東西非一様な環境場を用いた理想化実験-, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 2013 年 5 月 15 日, 東京都渋谷区

河田雅生・川野哲也・川村隆一：様々な環境場におけるスコールラインの水収支解析, 日本気象学会 2013 年度春季大会, 2013 年 5 月 16 日, 東京都渋谷区

河田雅生・川野哲也・川村隆一：下層風鉛直シアの変化に対するスコールラインの応答, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 11 月 10 日, 宮城県仙台市

河田雅生・川野哲也・川村隆一：下層風鉛直シアの変化に対するスコールラインの応答, 2013 年度日本気象学会九州支部発表会, 2014 年 3 月 1 日, 福岡県福岡市

的場徹・川野哲也・川村隆一：春季先島諸島周辺におけるニンジン状雲の発生メカニズム 2013 年度日本気象学会九州支部発表会, 2014 年 3 月 1 日, 福岡県福岡市

的場徹・川野哲也・川村隆一：春季先島諸島周辺におけるニンジン状雲の発生メカニズム, 日本気象学会 2014 年度春季大会, 2014 年 5 月 23 日, 神奈川県横浜市

Kawada, M., T. Kawano, and R. Kawamura: Response of squall lines to low-level wind shear, Asia Oceania Geosciences Society 11th General Meeting, 2014 年 7 月 31 日, Sapporo, Japan

Honda, T., and T. Kawano: Idealized numerical experiments on tornadogenesis in horizontally heterogeneous environments, 10th International Conference on Mesoscale Meteorology and Tropical Cyclones, 2014 年 9 月 16 日, Boulder, USA

Kawada, M., T. Kawano, and R. Kawamura: Response of squall lines to low-level

wind shear, 10th International Conference on Mesoscale Meteorology and Tropical Cyclones, 2014 年 9 月 16 日, Boulder, USA

Kawano, T., and E. Tochimoto: Development processes of Baiu frontal depressions: A numerical study, 10th International Conference on Mesoscale Meteorology and Tropical Cyclones, 2014 年 9 月 18 日, Boulder, USA

的場徹・川野哲也・川村隆一：2013 年 3 月に先島諸島周辺に発生したニンジン状雲の数値シミュレーション, 日本気象学会 2014 年度秋季大会, 2014 年 10 月 23 日, 福岡県福岡市

Kawano, T., and T. Honda: Idealized numerical experiments on tornadogenesis in horizontally heterogeneous environments, 27th Conference on Severe Local Storms, 2014 年 11 月 20 日, Madison, USA

河田雅生・川野哲也・川村隆一：下層風鉛直シア環境場における発達期スコールラインの構造変化, 2014 年度日本気象学会九州支部発表会, 2015 年 3 月 7 日, 鹿児島県鹿児島市

的場徹・川野哲也・川村隆一：東シナ海周辺で発生するクラウドクラスターに関する統計的研究, 日本気象学会 2015 年度秋季大会, 2015 年 10 月 30 日, 京都府京都市

大元和秀・川野哲也・川村隆一：広島豪雨をもたらした線上降水帯の数値シミュレーション, 2015 年度日本気象学会九州支部発表会, 2016 年 3 月 5 日, 福岡県福岡市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川野哲也 (KAWANO TETSUYA)
九州大学・大学院理学研究院・助教
研究者番号：30291511