

数値実験による台風二重壁雲の形成メカニズム —対流圏中上層からの乾燥空気の流入 および蒸発・昇華による冷却の役割—

笠見 京平（東京大学大気海洋研究所 佐藤正樹研究室）

1. はじめに

台風ではしばしば壁雲交換と呼ばれる現象が見られることがある。この現象は壁雲の外側に別の壁雲が生じ、その後内側の壁雲が消滅する現象である。壁雲交換は台風の強度に大きな影響を与える現象であるため、そのメカニズムを解明することは、科学的のみならず、社会的にも重要な課題である。

二重壁雲の形成メカニズムとしては、渦度異常の軸対称化 (Terwey and Montgomery 2008)、渦度勾配の局所的な増大による摩擦上昇流 (Kepert 2013)、境界層の非平衡力学 (Huang et al. 2012)などが提唱されているが、いまだにコンセンサスは得られていない。Huang et al. (2012)によると、下層インフローに伴う接線風強化によって中心から離れた位置に外側壁雲が形成する。また、層状性降水域の非断熱冷却によって形成される対流圏中層から下層への流れと、二重壁雲との関連が指摘されている (Didlake et al. 2018)。Ge (2015)では、台風周辺が湿潤である方が外側壁雲形成に有利であると述べられている。一方で、対流圏中上層が湿潤であると、非断熱冷却によって形成される対流圏中層から下層への流れが弱まり、外側壁雲形成に不利な働きをすることも考えられ、対流圏中上層の水蒸気場が外側壁雲の形成にどのような影響を及ぼすのかについては十分に理解されているとは言えない。そこで、本研究では外側壁雲の形成における対流圏中上層からの乾燥空気の流入と蒸発・昇華による冷却の役割を数値実験によって調べた。

2. NICAM を用いた理想化実験

まず、NICAM を用いて理想化実験を行った。今回は plane NICAM と呼ばれる設定を用いて計算した。plane NICAM は、正 20 面体の隣り合う 2 面に対応する菱形領域だけを取り出し、平面に置き直したものである。1 辺 4096km の菱形、すなわち 1 辺約 2365km の正六角形に対応する領域で計算を行い、水平格子間隔は 2km、鉛直層数は 74 層とした。1 ヶ月の放射対流平衡実験の結果の平均値を背景場とし、領域中心に初期渦を置いて計算を行った。コントロール実験では、対流圏中上層の乾燥空気流入の存在と非断熱冷却による下降流の形成が確認できた。また、Huang et al. (2012)で指摘されている超傾度風による外側壁雲形成メカニズムが働いていることも確認できた。感度実験では、外側壁雲が形成

する直前に台風外側の対流圏中上層の水蒸気量を増やす実験を行った。その結果、対流圏中上層の水蒸気量が少ないほど外側壁雲の形成に有利であることがわかった。対流圏中上層の水蒸気量を増加した時に外側壁雲の形成に影響を与える過程は、対流圏中上層と下層において二段階に働いていると考えられる。まず対流圏中上層で

1. インフロー域の蒸発・昇華冷却が弱くなることにより下降流が弱くなる（上昇流偏差が生じる）。
 2. 上昇流偏差の下側の対流圏中層に低圧偏差、上側の対流圏上層に高圧偏差が生じる。
 3. 高圧偏差の外側で内向きの気圧傾度力が小さくなり、インフローが弱くなる。
 4. インフローが弱くなったことに伴って角運動量輸送が小さくなり、下降流付近の接線風も弱くなる。
- という変化が生じる（図 1）。

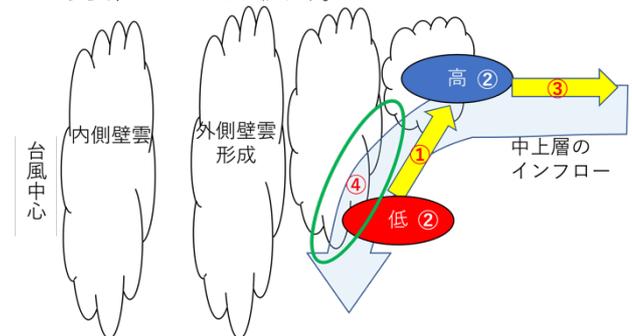


図 1. 水蒸気感度実験の中上層概略図。

この内、対流圏中層の低圧偏差と接線風の弱まりが下層にも影響する。下層では

1. 対流圏中層の低圧偏差が下層まで広がる。
 2. 低圧偏差の内側で内向きの気圧傾度力が小さくなり、インフローが弱くなる。
 3. 下層インフローが弱くなったことに伴う角運動量輸送の減少、対流圏中層の接線風の弱まりに伴う対流圏中層からの角運動量輸送の減少によって外側壁雲形成域で接線風が弱くなる。
 4. 接線風が弱くなると非傾度風成分はインフローを強める向きに働く。
 5. インフローを強める向きの力によって外側壁雲形成域では発散偏差となり、外側壁雲の対流が弱まる。
- という流れで外側壁雲の形成に影響を与える（図 2）。この過程は、Huang et al. (2012) で指摘されている外側

壁雲形成過程を弱める働きをしていると考えられる。以上より、対流圏中上層の乾燥空気の流れおよび蒸発・昇華冷却が外側壁雲の形成に有利に働いていることがわかった。

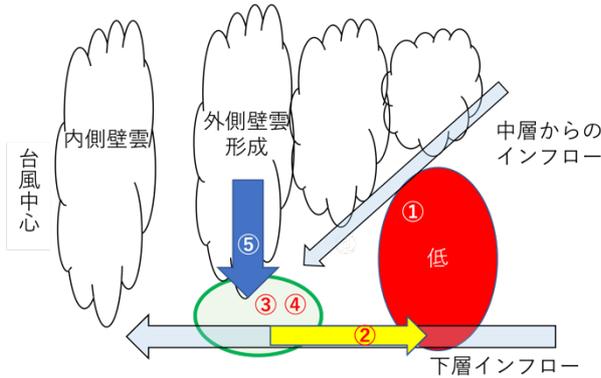


図2. 水蒸気感度実験の下層概略図.

3. asuca を用いた現実実験

次に、*asuca* を用いて、令和2年台風第10号 Haishen の再現実験を行った。水平格子間隔は 1km、鉛直層数は 76 層とした。2020 年 9 月 5 日 0 時初期値の実験では、台風の西側に理想化実験とよく似た乾燥空気の流入が見られた。初期時刻を変えて 4 つの実験したところ、初期値が新しいほど二重壁雲の再現性が良くなる傾向が確認できた。外側壁雲が形成しつつある時刻における、初期時刻が異なる実験間の動径風場と水蒸気場を比較すると、二重壁雲を良く再現していた新しい初期値の実験ほど台風西側のインフローが強く(図3)、乾燥していた(図4)。しかし、乾燥したインフローが見られたのは台風の西側に限られ、軸対称場では不鮮明であった。二重壁雲を良く再現していた新しい初期値の実験において台風の西側に見られた乾燥したインフローは、初期時刻において高層気象観測を行っている名瀬の風下側にあった。そのため、初期時刻において、高層気象観測のデータが同化されたため、予報実験における二重壁雲の再現性が良くなった可能性がある。これは、対流圏中上層の水蒸気場と動径風場をより正確に把握できれば、二重壁雲をより正確に予測できるようになる可能性があることを示唆している。

4. まとめと今後の課題

本研究では、NICAM を用いた理想化実験を行い、対流圏中上層の乾燥空気の流入および蒸発・昇華冷却の外側壁雲形成における役割を確認した。*asuca* を用いた現実実験では、現実の台風でも対流圏中上層で乾燥空気が流入していることが確認でき、対流圏中上層の水蒸気場と動径風場を正確に把握することの重要性を示唆する結果となった。

今後は、他の事例でも対流圏中上層の乾燥空気流入

が外側壁雲形成に寄与しているのか統計的に調べることで、外側壁雲形成に有利な環境場を定量的に把握できる可能性がある。

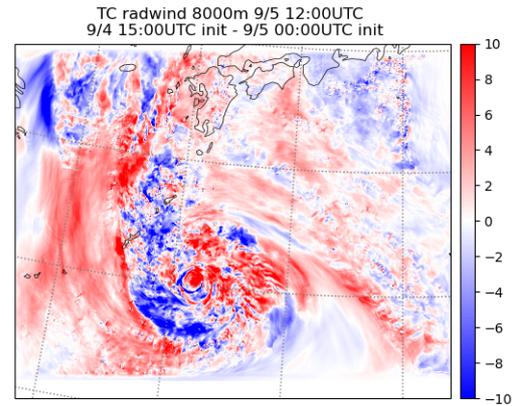


図3 2020年9月5日12時における高度約8000mの動径風(m/s). 9月4日15時初期値実験の値から9月5日0時初期値実験の値を引いたもの.

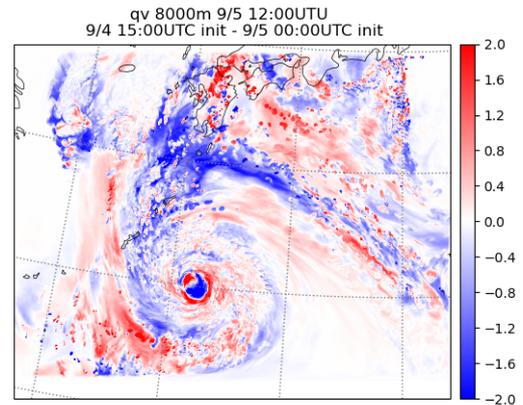


図4 2020年9月5日12時における高度約8000mの水蒸気混合比(g/kg). 9月4日15時初期値実験の値から9月5日0時初期値実験の値を引いたもの.

参考文献

- Terwey, W. D., and M. T. Montgomery, 2008, *J. Geophys. Res.*, **113**, D12112.
- Keperth, J. D., 2013, *J. Atmos. Sci.*, **70**, 2808-2829.
- Huang, Y. -H., et al., 2012, *J. Atmos. Sci.*, **69**, 662-674.
- Didlake, A. C., et al., 2018, *J. Atmos. Sci.*, **75**, 2909-2929.
- Ge, X. Y., 2015, *Atmos. Sci. Let.*, **16**, 273-278.