

台風に伴う北向き非地衡風のPREへのインパクト -雲解像モデル実験-

齊藤 和雄^{1,2,3}・松信 匠⁴・大泉 伝^{2,3}

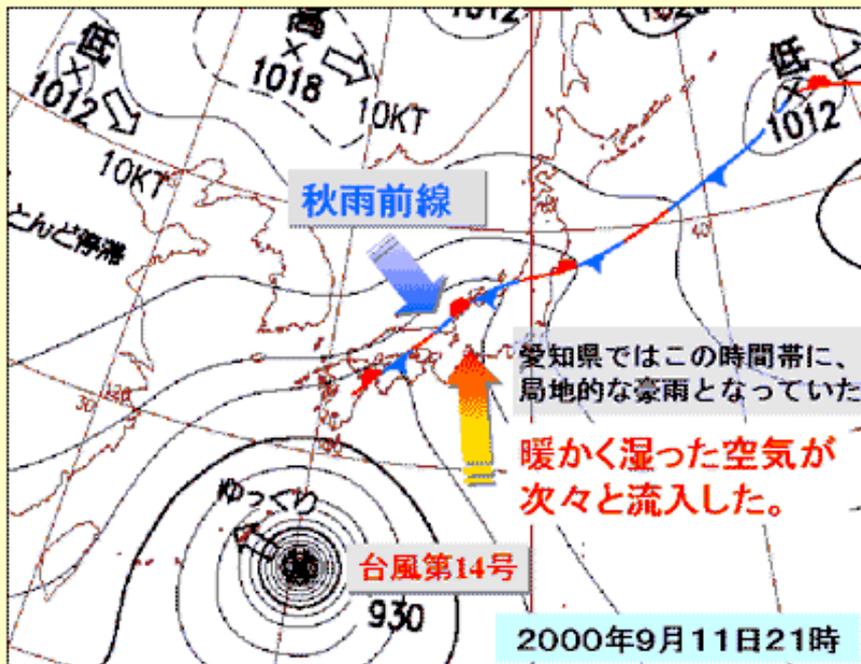
- 1 東大大気海洋研究所
- 2 気象業務支援センター
- 3 気象研究所
- 4 ミュンヘン大学

- はじめに
- 台風に伴う非地衡風と北向き水蒸気フラックス
- 雲解像モデル実験とその結果
- まとめと今後

はじめに

台風がまだ南海上にある時などに、しばしば台風から離れた場所で大雨が降る場合がある。日本で有名な事例としては平成12年9月の東海豪雨があり、近年でも平成17年台風第14号や平成25年台風第18号が上陸前に日本に大雨をもたらしている。

→しばしば「台風からの湿った南風が前線を刺激する」と説明される。



(21 UTC Sep 10, 2000 東海豪雨)

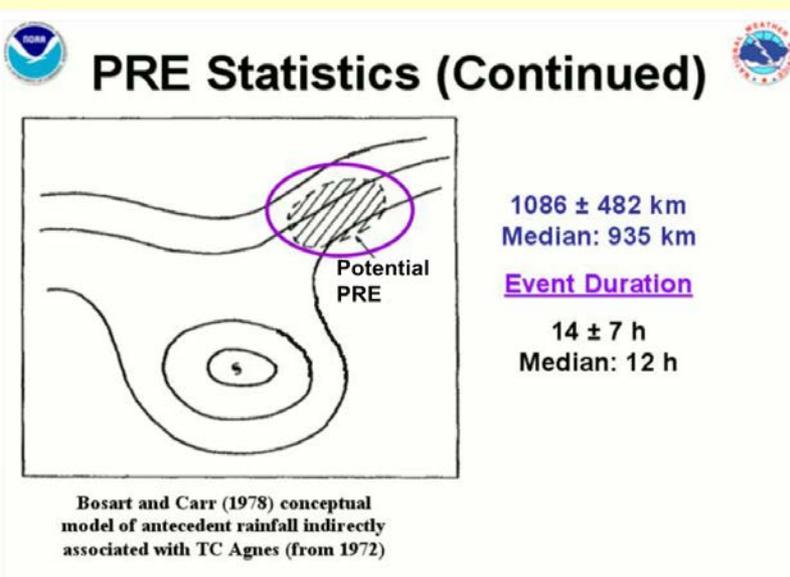


(00UTC, Sep 15, 2013 台風第18号)

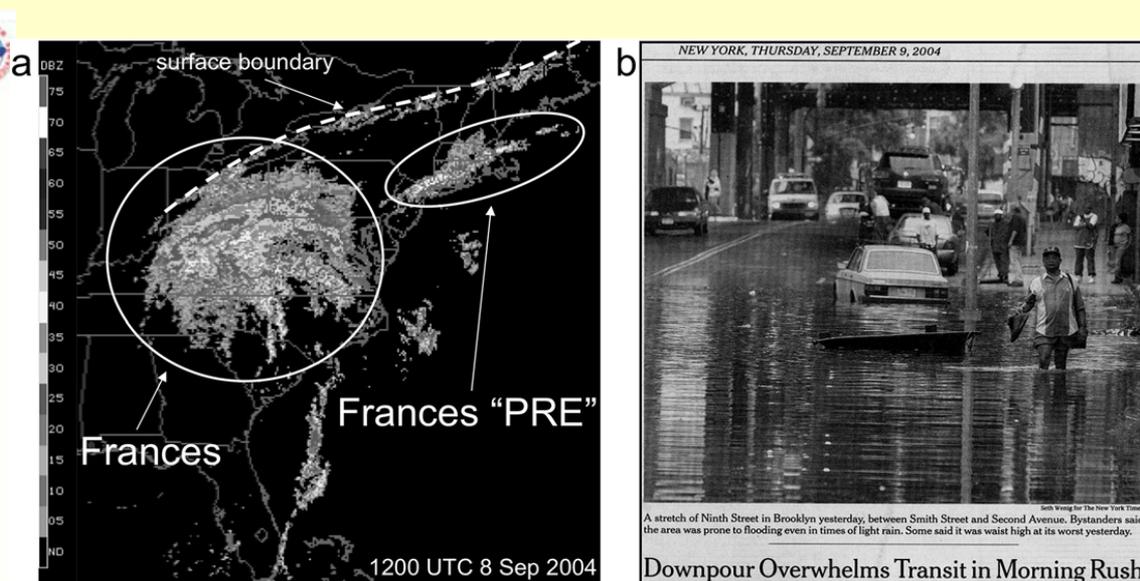
Predecessor Rain Event (PRE)

このような台風による遠隔降水の強化は海外でも知られており、‘PRE’ と呼ばれている(Cote 2007, Galarneau et al. 2010, Schumacher et al. 2011, Bosart et al 2012, Moore et al. 2013, Yuan et al. 2018).... PREは転向する台風の前面での北向きの深い水蒸気輸送に関係している、とされている。

Kodama and Satoh (2022)が多数例の統計解析

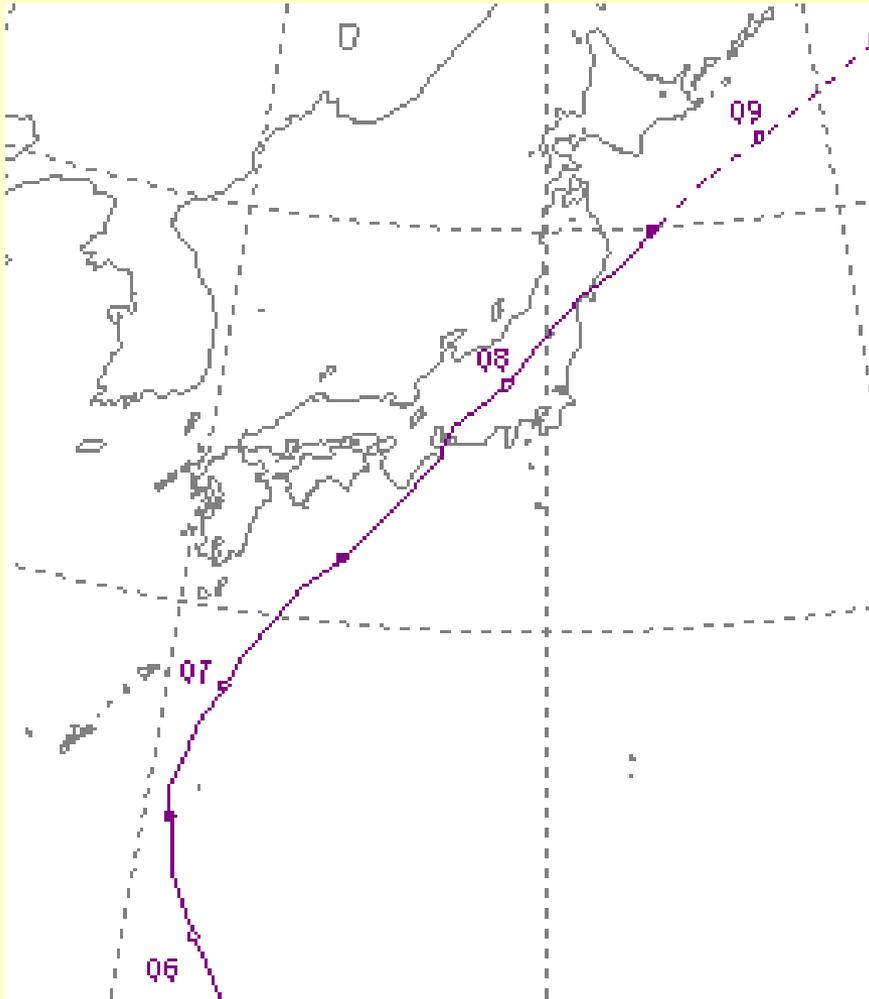


Cote (2007)



Galarneau et al. (2010)

2009年10月 台風18号 (Melor)



南大東島の西で転向、10月8日5時過ぎに
愛知県知多半島付近に上陸

死者6名、負傷者135名

愛知県東海市で1時間に 83.5 mm の雨、
近畿地方の一部で6-9日の総雨量 300mm
以上

愛知県・埼玉県・福島県・宮城県を中心に
床上浸水538棟・床下浸水2865棟

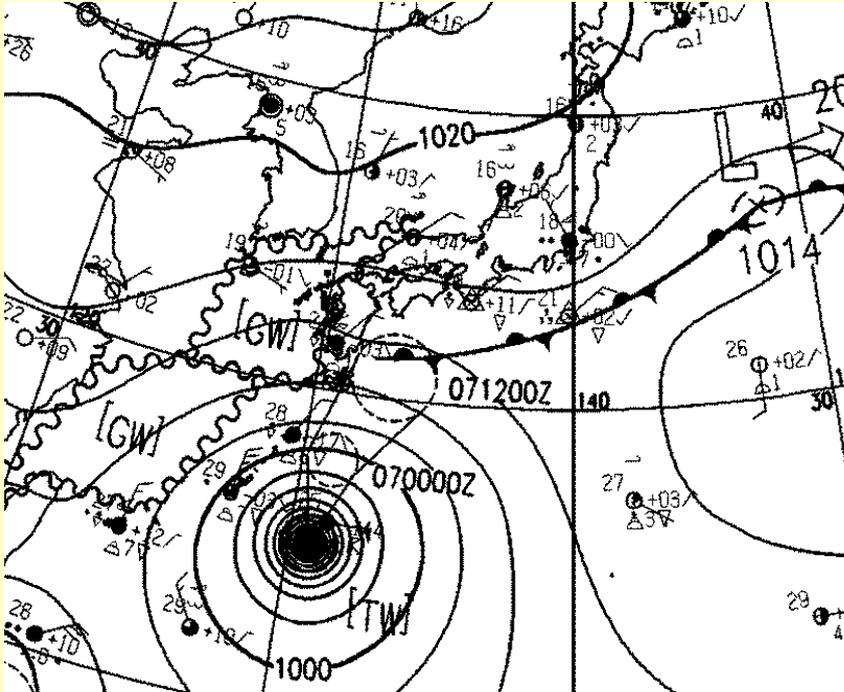
南大東島で58.9m/s

神野西ふ頭(豊橋市)で防潮堤(高さ4メー
トル)を越える高潮

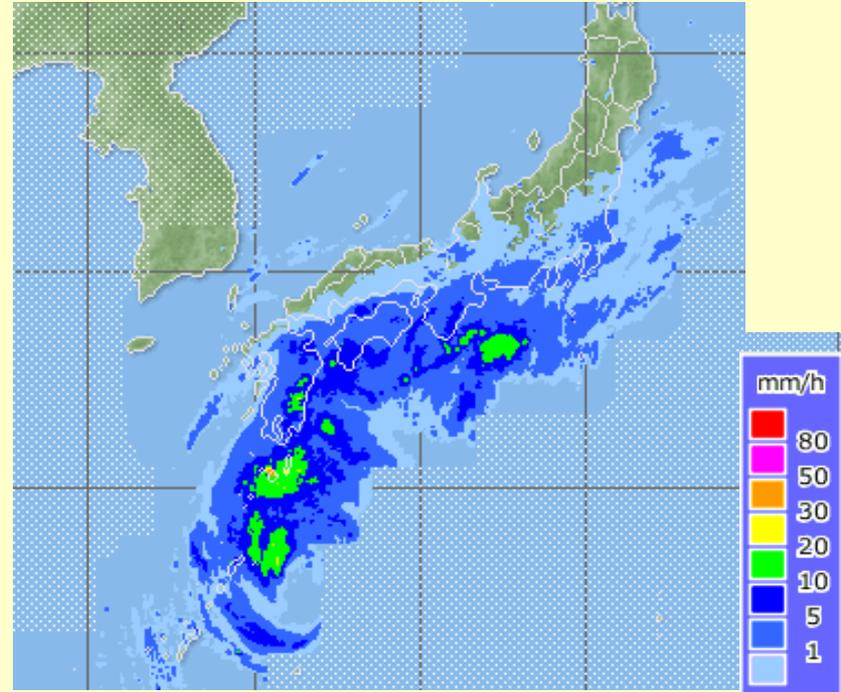
茨城県土浦市と龍ヶ崎市、千葉県九十九
里町と山武市で竜巻(鈴木・小林 2010)

2009年台風18号の経路図
(気象庁HPより)

2009年10月台風18号



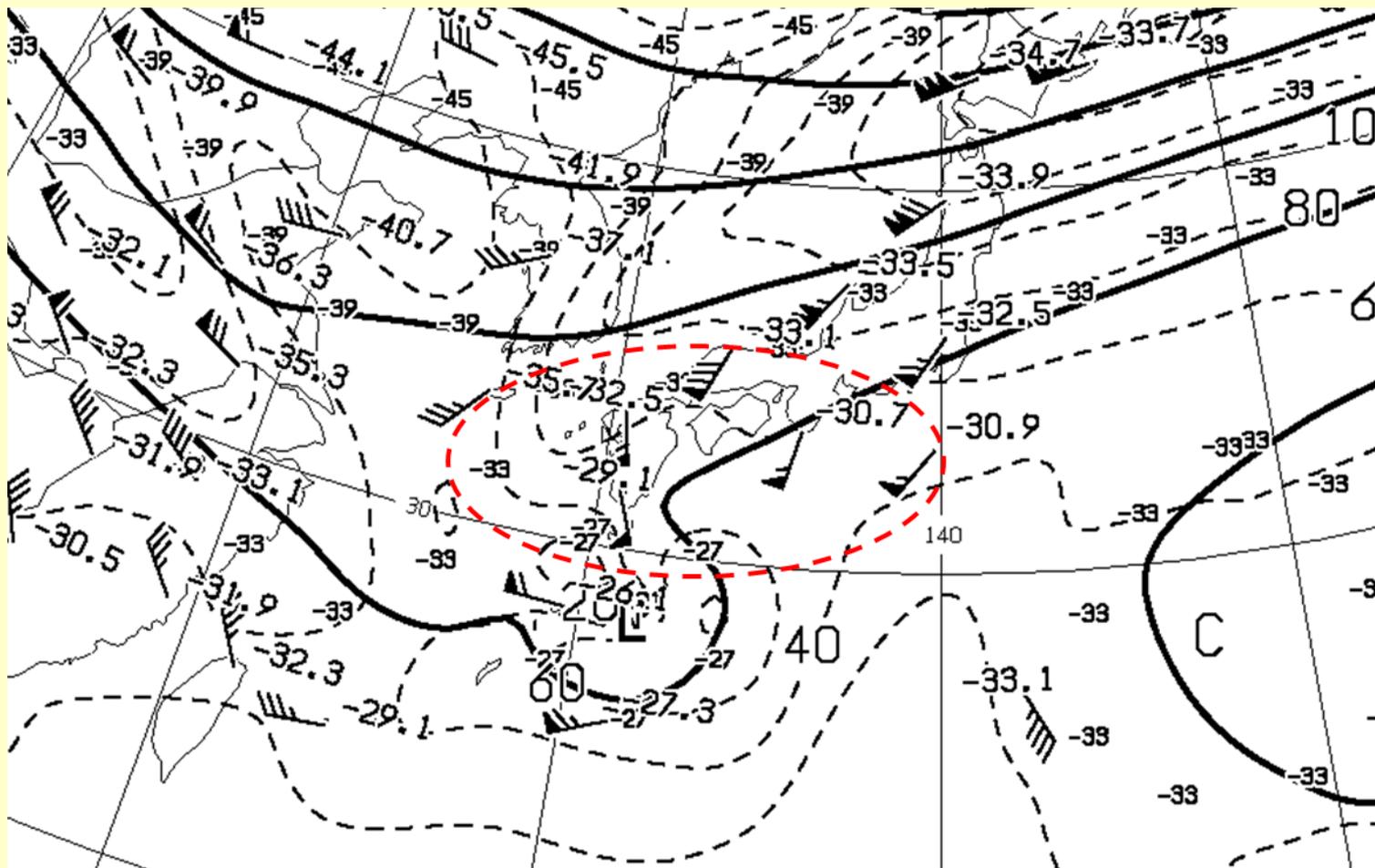
2009年10月06日12UTCにおける気象庁地上天気図



2009年10月07日00UTCにおける気象庁解析雨量

台風上陸前の6-7日に高知・宮崎で100mm以上の降水

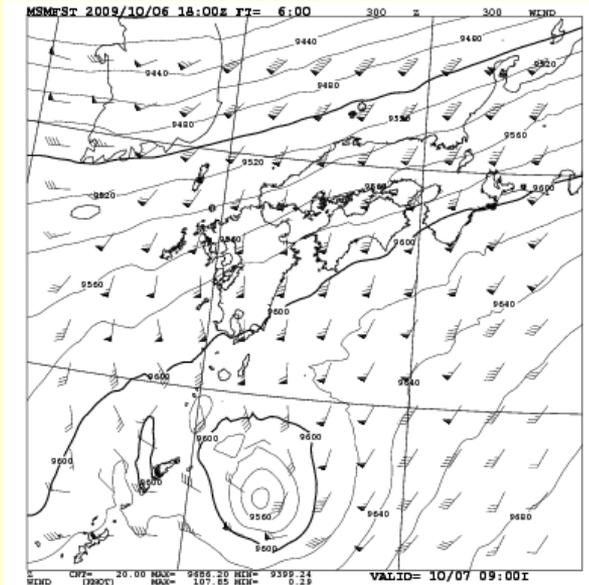
西日本上空で等高線を横切る北向き非地衡風を観測



2009年10月07日00UTCにおける300hPaの気象庁客観解析図

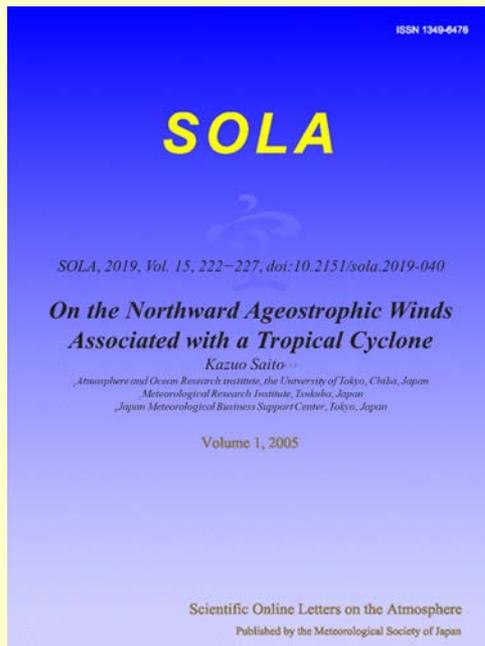
気象予報士会機関紙「てんきすと」にQ&A(齊藤 2011)

北向き非地衡風の成因(Saito 2019)



気象庁メソ解析を初期値にGSM予報値を境界条件に水平格子間隔10kmのNHMで非地衡風を再現。理論的考察と感度実験で非地衡風の成因を解析

- 北向き非地衡風は、上層で顕著で水平解像度10kmの数値モデルで再現できた。
- 降水の影響はあるものの、**水平風速の加速度ベクトルの左向きに生じる力学的な非地衡風が成因だった。**
- この考え方で台風吹き出し出し上層風の**非軸対象性も説明**できる。



PREに対する北向き非地衡風の影響についての疑問

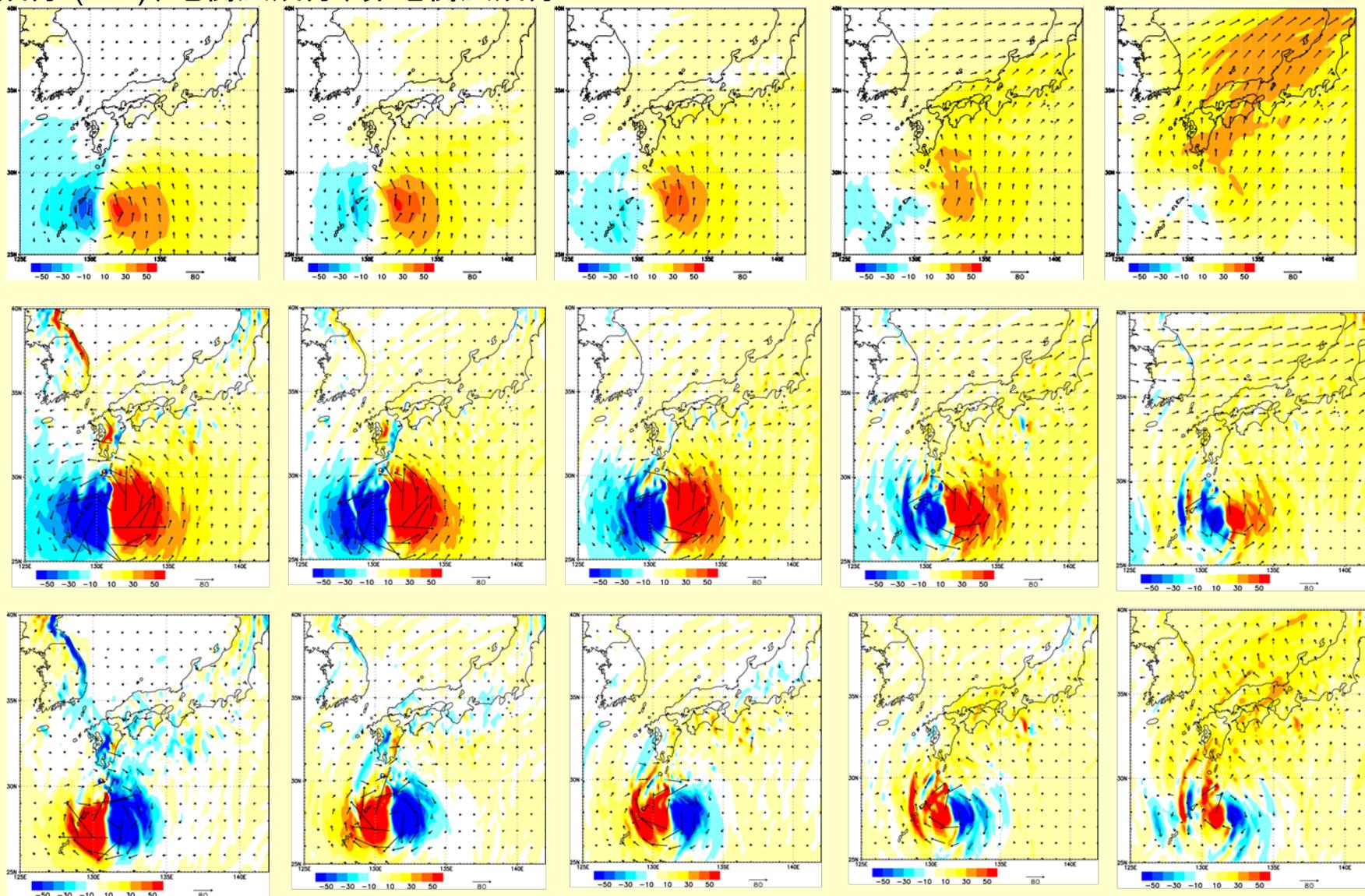
- ・Saito (2019)で示された北向き非地衡風は300hPaなど上層で顕著だが下層では不明瞭
- ・水蒸気は下層に集中しているので、日本域の降水へのインパクトは小さいのではないか？
- ・前線を刺激する水蒸気は下層に入るのでは？

→非地衡風による北向き水蒸気フラックスの大きさを定量的に見積もり、上記の寄与を減らした数値実験を行い、日本域の降水量がどの程度変わるか調べる (Saito and Matsunobu 2020)

各高度の地衡風と非地衡風 (Saito and Matsunobu 2020)

Time= 00UTC 7 Oct 2009 (FT=6)

V成分 (m/s)、地衡風成分、非地衡風成分



1km ($Z^*=1028\text{m}; z=11$)

3km ($Z^*=3148\text{m}; z=19$)

5km ($Z^*=5058\text{m}; z=24$)

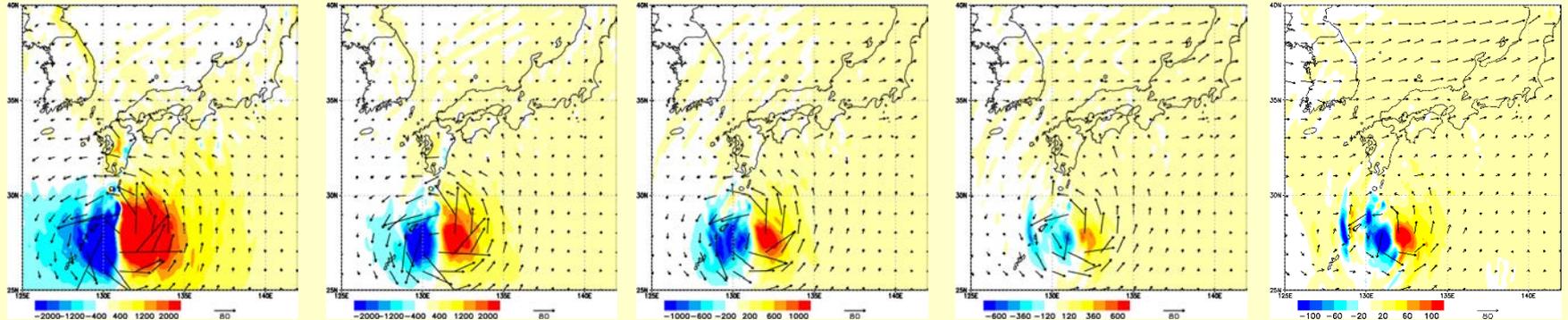
7km ($Z^*=6910\text{m}; z=28$)

9km ($Z^*=9050\text{m}; z=32$)

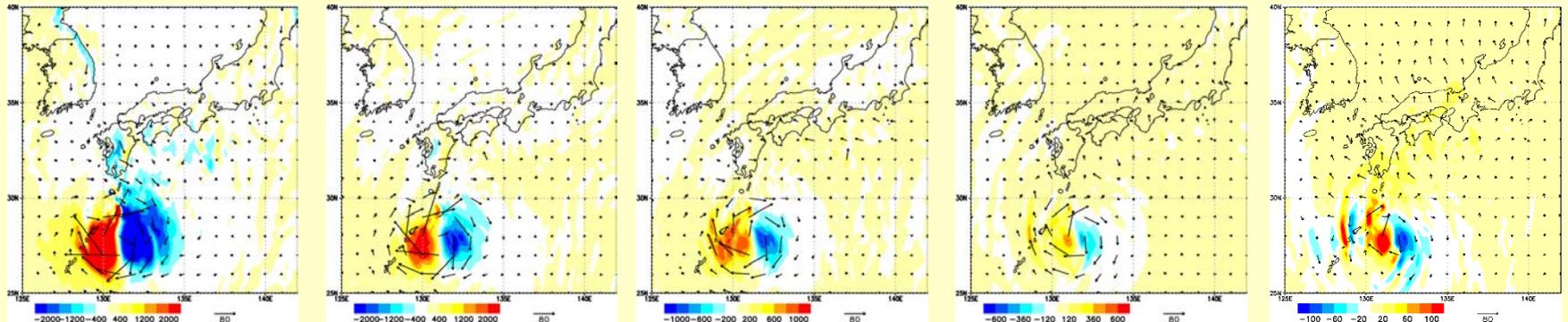
Time= 00UTC 7 Oct 2009 (FT=6)

各高度の北向き水蒸気フラックス (kg/m/s)

地衡風成分



非地衡風成分



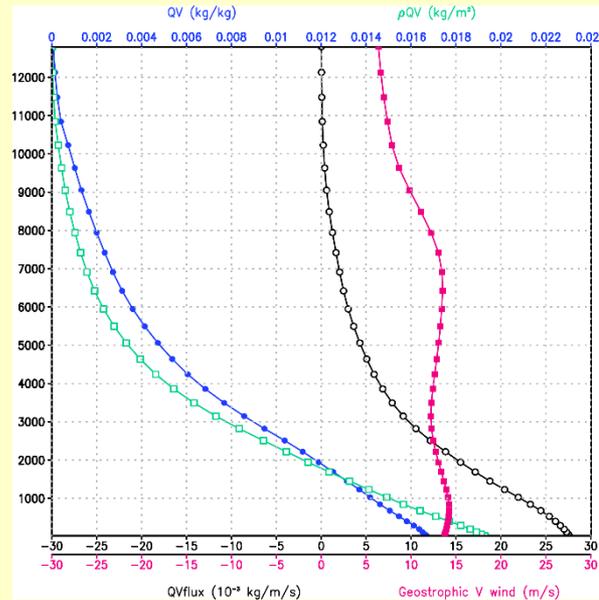
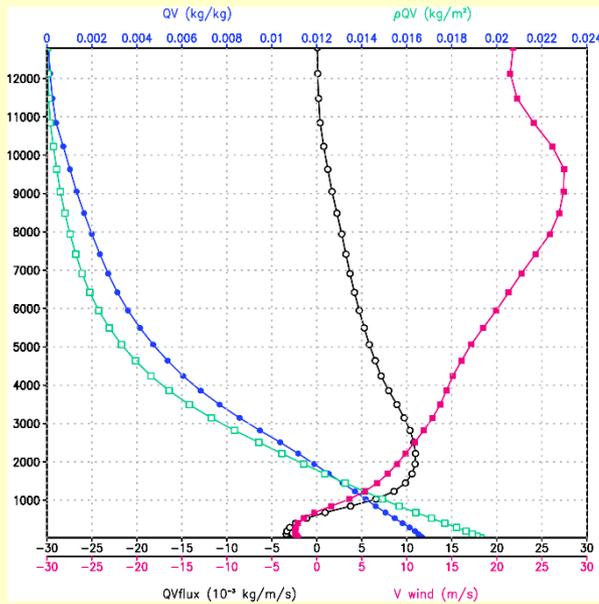
1km (z=1-15)

3km (z=16-21)

5km (z=22-26)

7km (z=27-30)

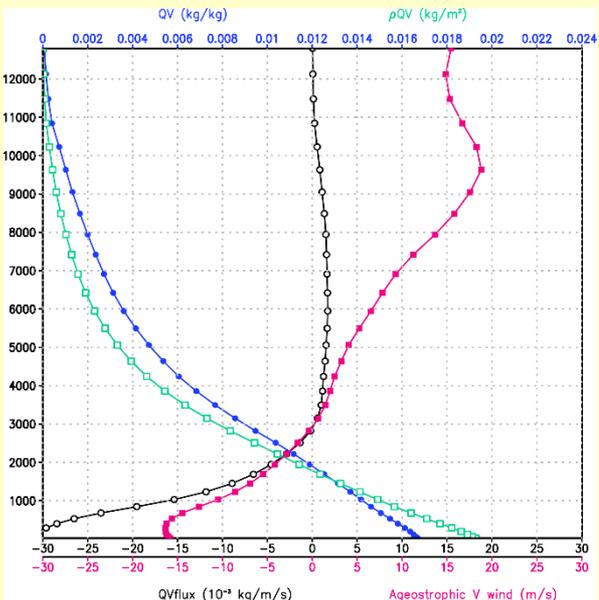
9km (z=31-34)



左上) 日本の南岸域 (130-137 E, 30-33 N) で平均した各高度の水蒸気量(緑)と、北向き風速(赤)および水蒸気フラックス(黒)の鉛直プロファイル

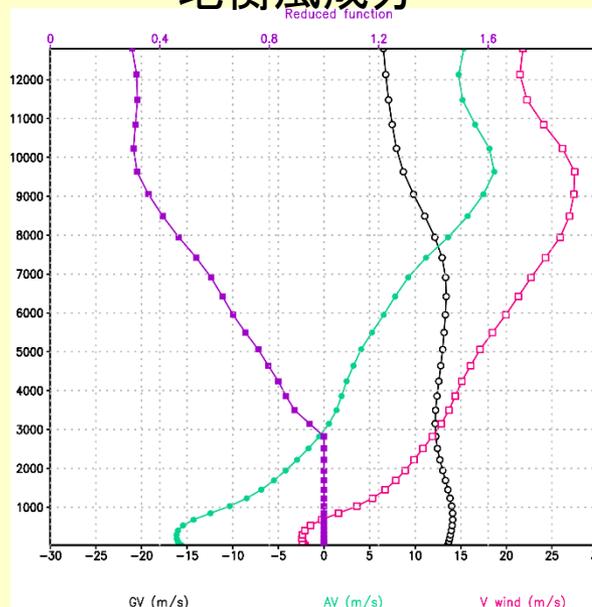
右上) 地衡風成分 (全層で北向き)

水蒸気量と北向き風速、フラックス



非地衡風成分

地衡風成分



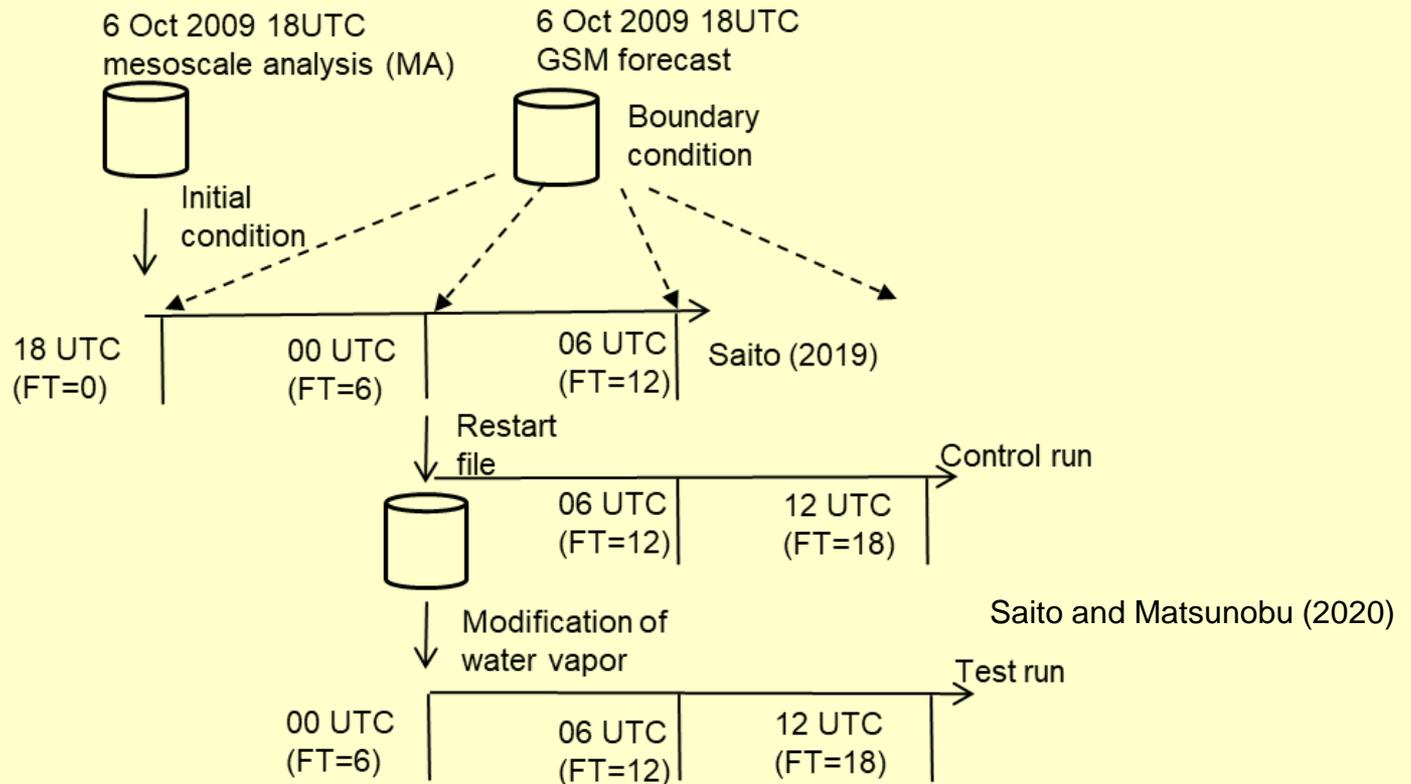
地衡風成分の寄与率

左下) 非地衡風成分 (3kmより上で北向き)

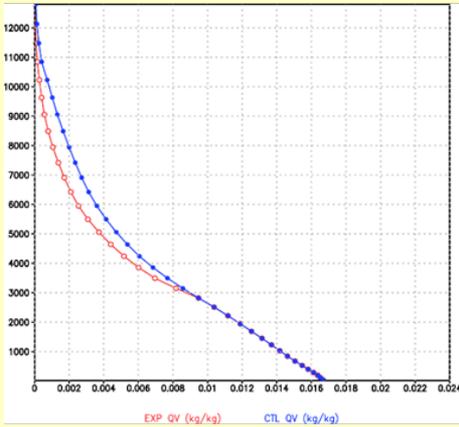
右下) 北向き風速(赤)における地衡風(黒)、非地衡風(緑)と地衡風の寄与率(紫: 3km以下は1にしている)

感度実験 (Saito and Matsunobu 2020)

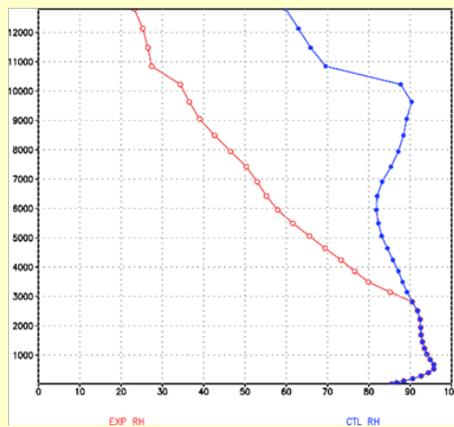
- 日本の南岸域(130-137 E, 30-33 N)のFT=6 (00UTC 7 Oct 2009) における水蒸気量に、前述スライドの地衡風寄与率をかけて、非地衡風による寄与分を除去、リスタートして結果がどう変わるか比較する。
- 上層水蒸気の影響のみを見るため風速場は変えない。



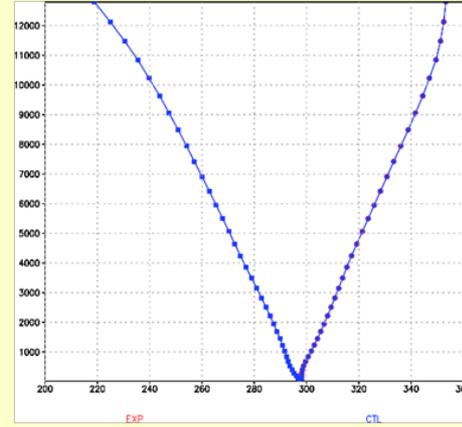
QV変更実験(赤) コントロール(青)



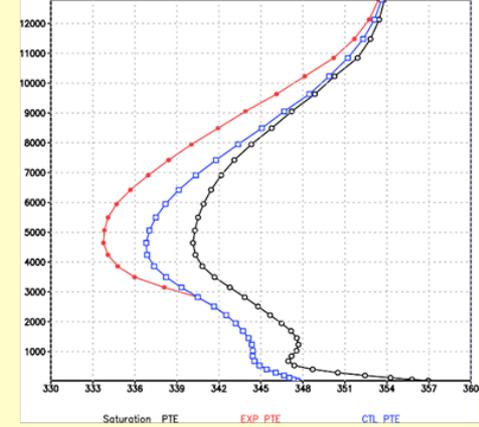
QV (kg/kg)



RH (%)



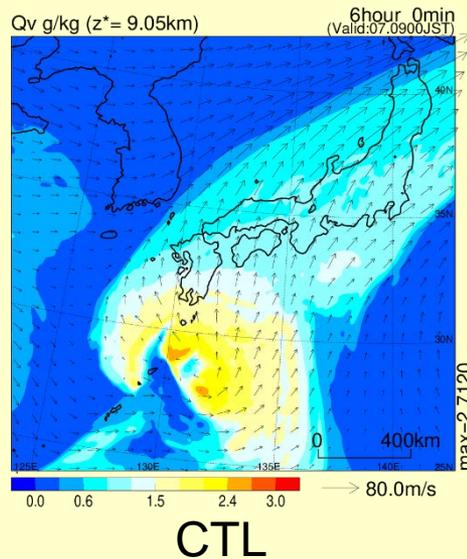
T, θ



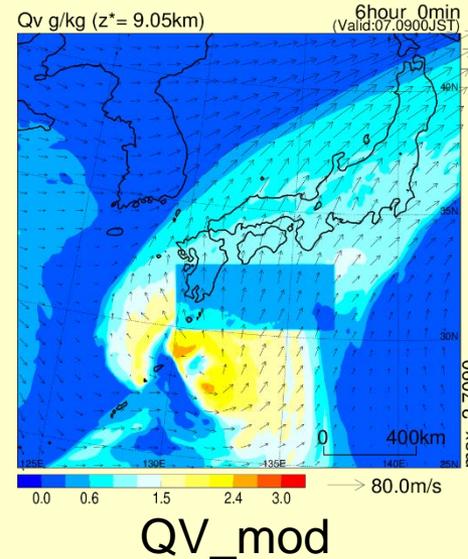
θ_e, θ_{es}

QV_mod実験での水蒸気量の減少 9.19×10^6 tons (5.49 mm, 8.1%)
 下層の水蒸気不変のためCAPEの変化は小さい (979.4 J/kg \rightarrow 953.8 J/kg, 2.6%)

$Z^* = 9.05$ km
 のQv, u, v

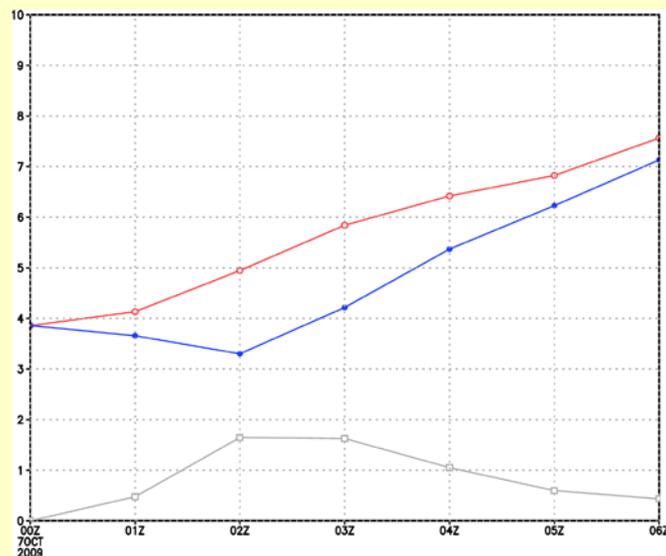
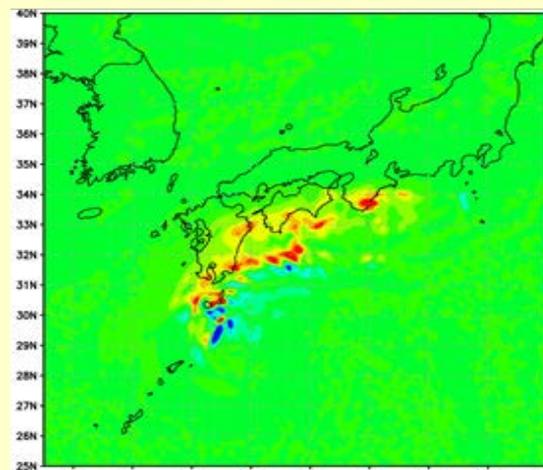
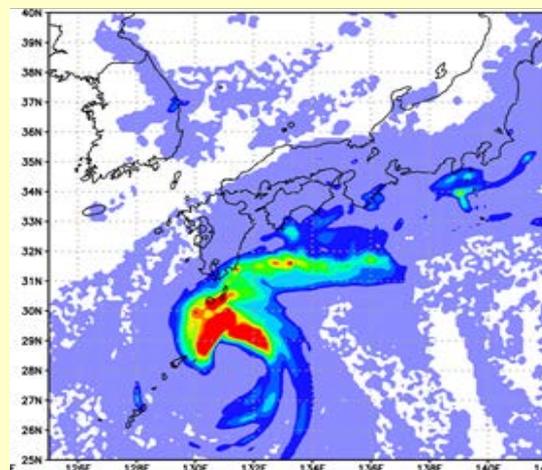
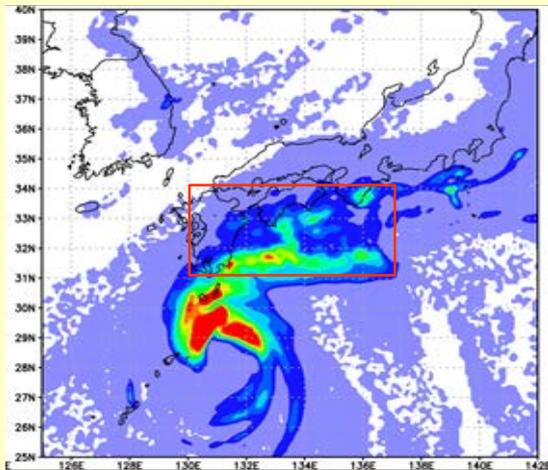


CTL



QV_mod

FT=6-12の赤枠領域(E130°-137°, N31°-34°)積算降水量



赤枠領域の平均1時間降水
強度[mm/h] FT=6-12

領域内の降水量の減少
 12.38×10^6 tons (6.18 mm, 11.0%)

・リスタート時に減らした可降水量
 9.19×10^6 tons (5.49 mm, 8.1%)を上回る

CNTL QV_mod CTL-QV_mod

Saito and Matsunobu (2020)

SOLA

ISSN 1349-8476

SOLA, 2020, Vol. 16, 198–205, doi:10.2151/sola.2020-034

Northward Ageostrophic Winds Associated with a Tropical Cyclone. Part 2: Moisture Transport and Its Impact on PRE

Kazuo Saito^{1,2,3}, and Takumi Matsunobu⁴

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, Chiba, Japan

² Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan

³ Japan Meteorological Business Support Center, Tokyo, Japan

⁴ Graduate School of Science and Technology, University of Tsukuba, Japan

Scientific Online Letters on the Atmosphere

Published by the Meteorological Society of Japan

- 北向き非地衡風は上層で顕著で高度9kmにピークを持つが、水蒸気フラックスは3kmより上で正、高度6-7kmで最大。
- 日本南岸で非地衡風の寄与分だけ水蒸気を減らした数値実験を行い、日本域の降水量がどの程度変わるか調べた。実験開始後1-6時間後の降水量が広範に減少（1時間降水強度では局所的に50%以上、領域平均でも30%近く減少した）。
- 降水量の減少は主に大規模凝結により、積雲対流スキームでの降水量は殆ど変わらなかった。

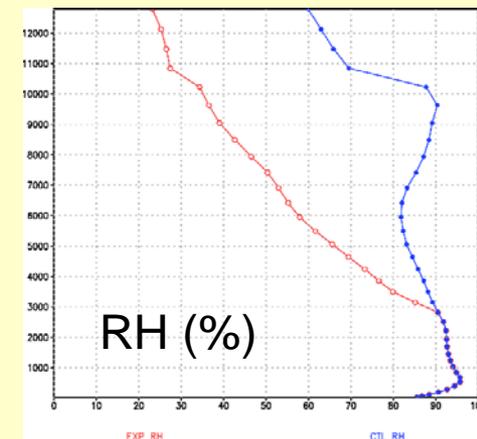
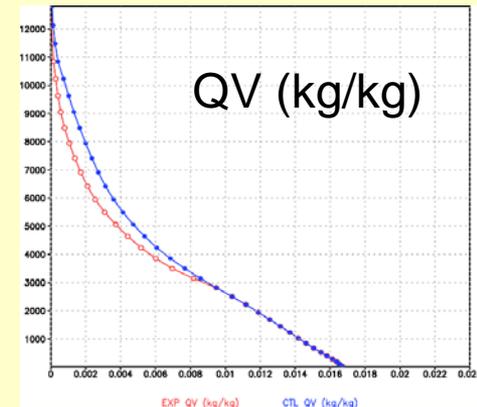
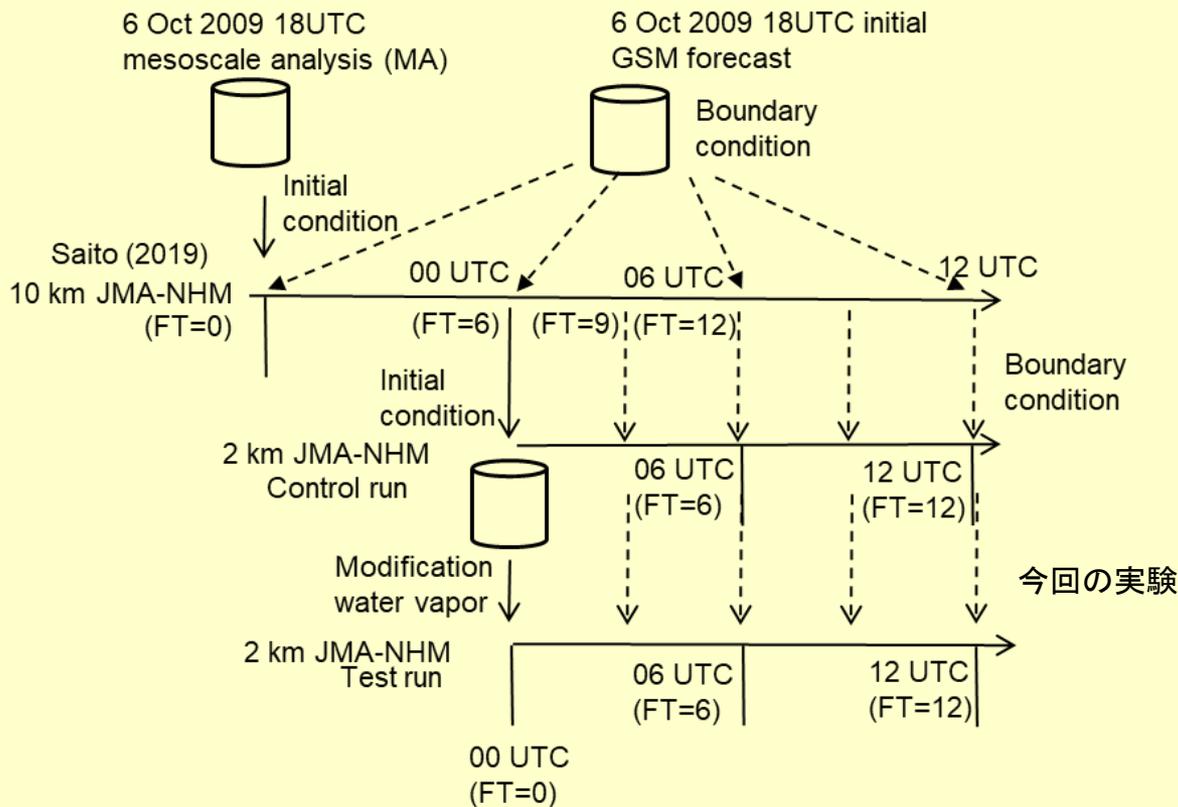
残された課題

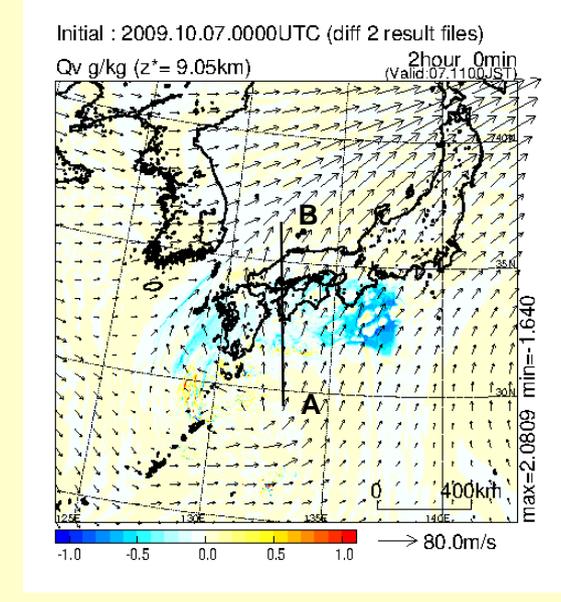
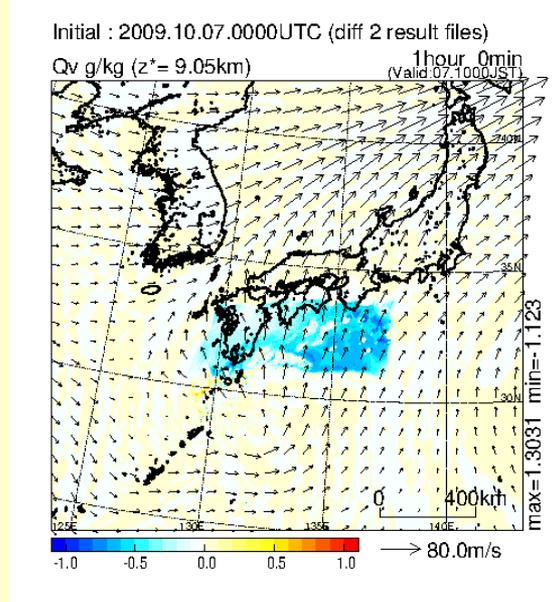
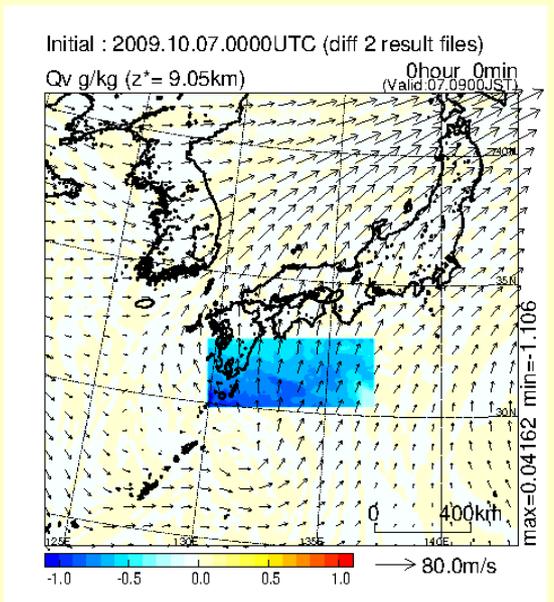
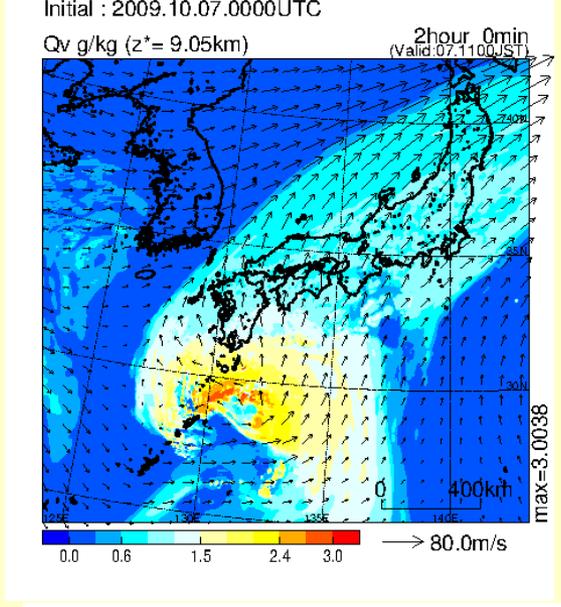
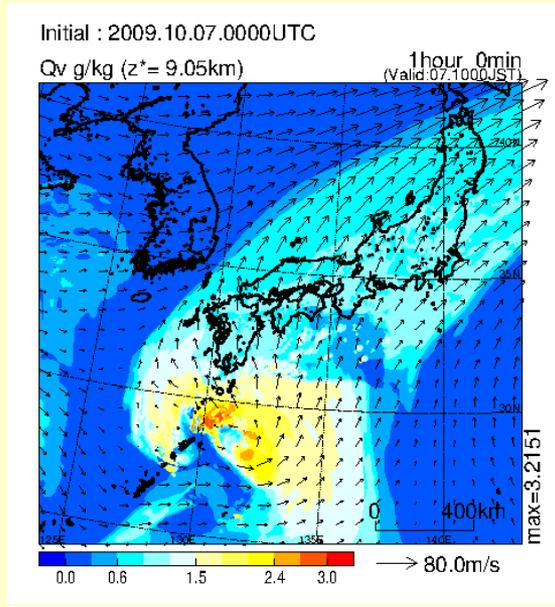
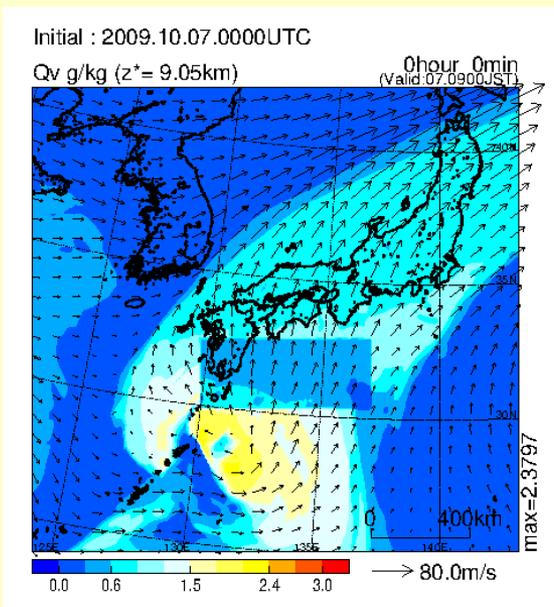
- 中上層の加湿による降水量増大のメカニズム
- 非地衡風の二次循環に伴う大規模上昇流の効果
- Kato (2018) 東アジアでの豪雨での最下層の湿りの重要性を指摘
- Takemi (2007; 2014) スコールライン強度への環境場(中層の湿り)の影響を数値実験で調査
- Takemi and Unuma (2019) 湿潤絶対不安定域 (MAUL)の厚さの重要性の指摘
- Feeder-Seederメカニズム？

→雲解像モデル実験

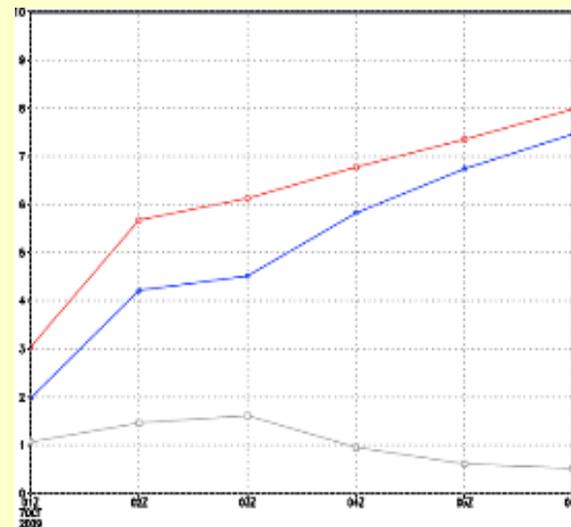
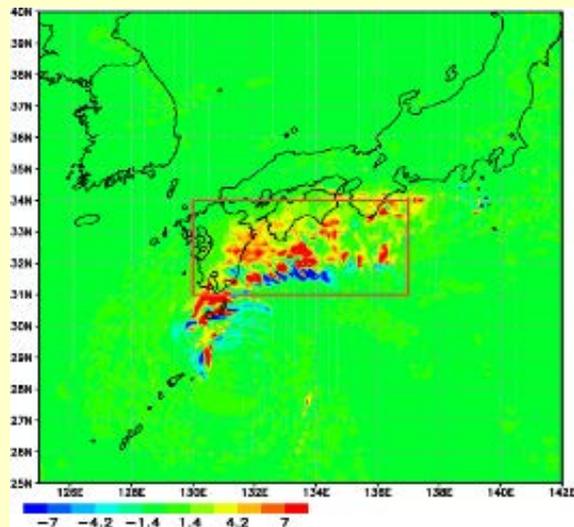
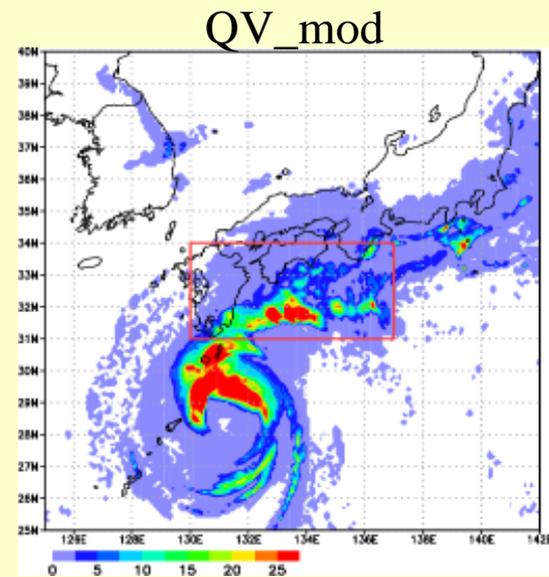
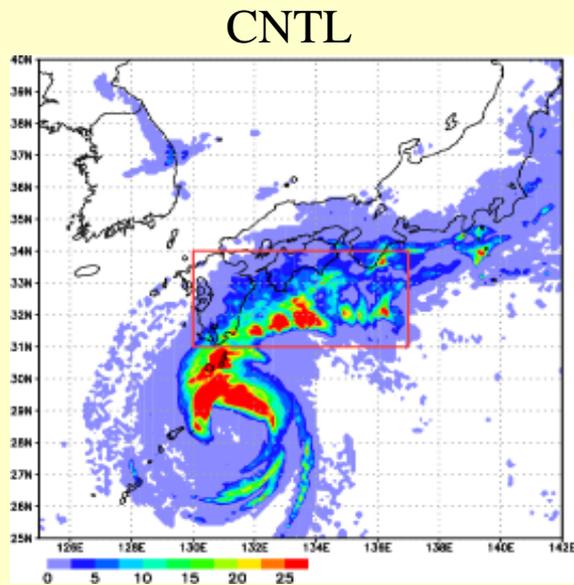
雲解像モデル実験(今回)

- 日本の南岸域(130-137 E, 30-33 N)のFT=6 (00UTC 7 Oct 2009)から雲解像モデルをネスティング。前述の非地衡風による寄与分を除去した場合と比較する。





上) 改変実験における $z=9.05\text{km}$ の水蒸気量。下) 標準実験との差。

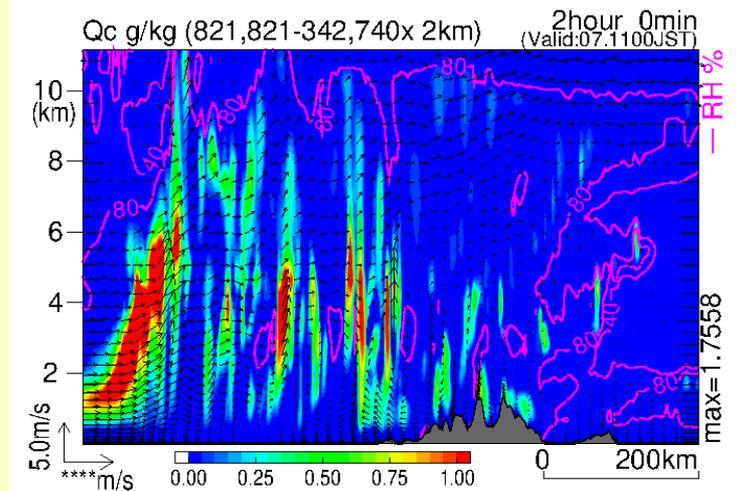
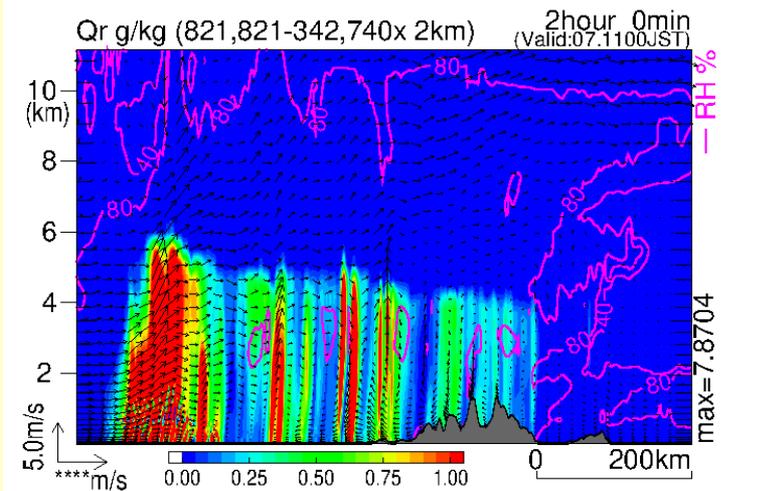
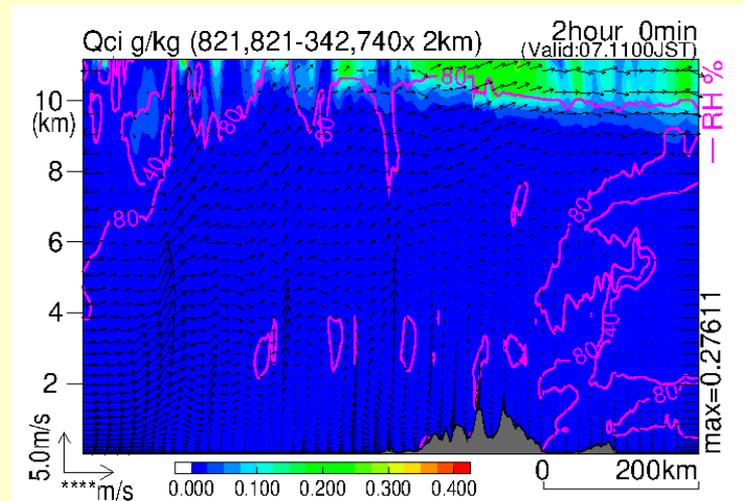
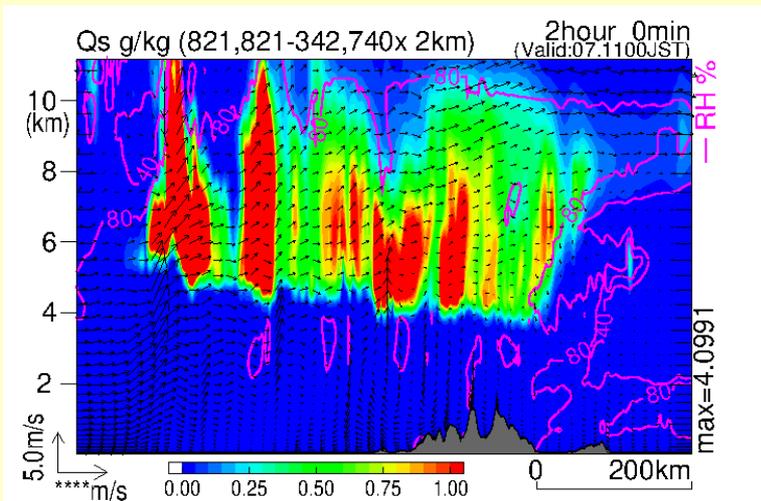


CNTL

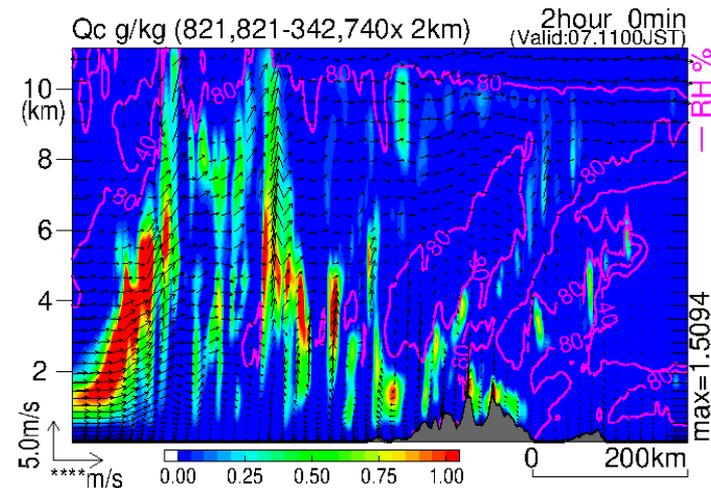
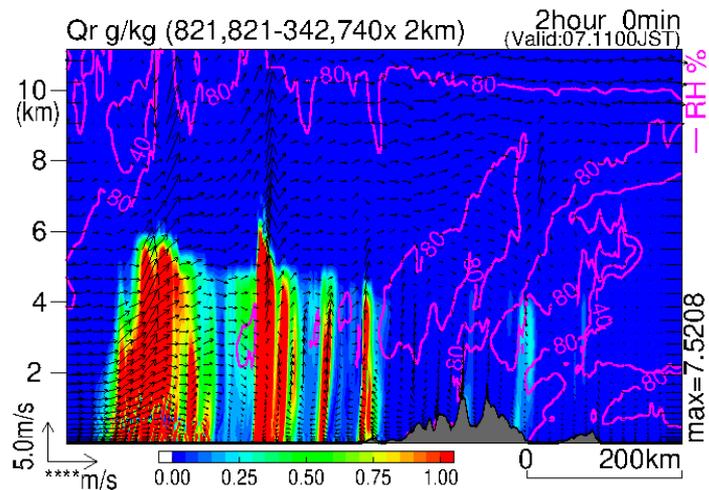
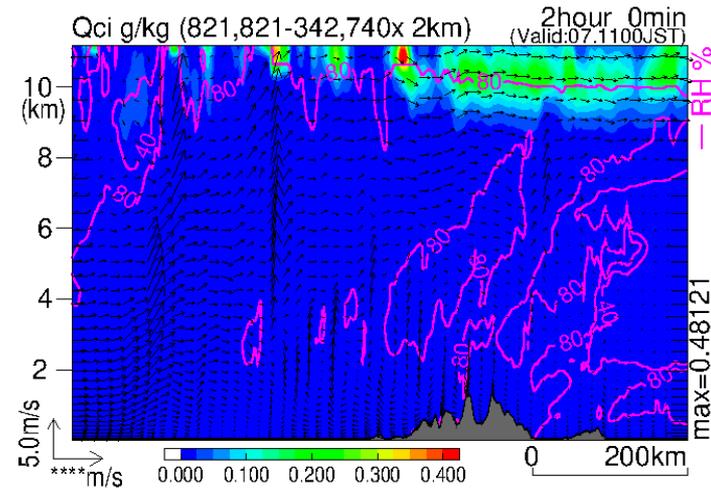
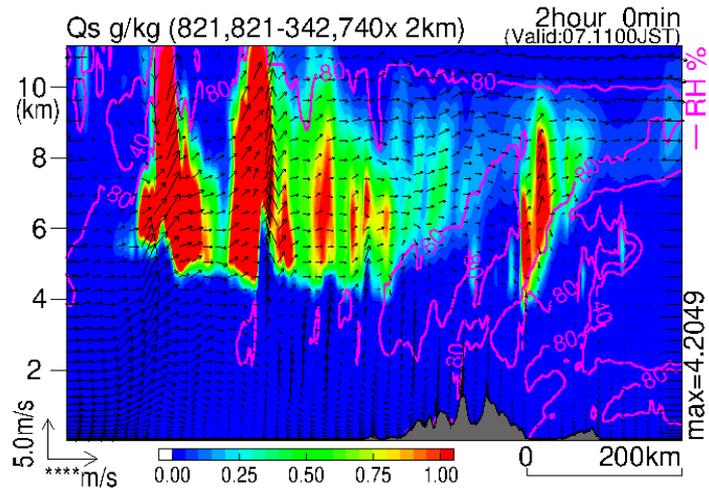
QV_mod

CNTL-QV_mod

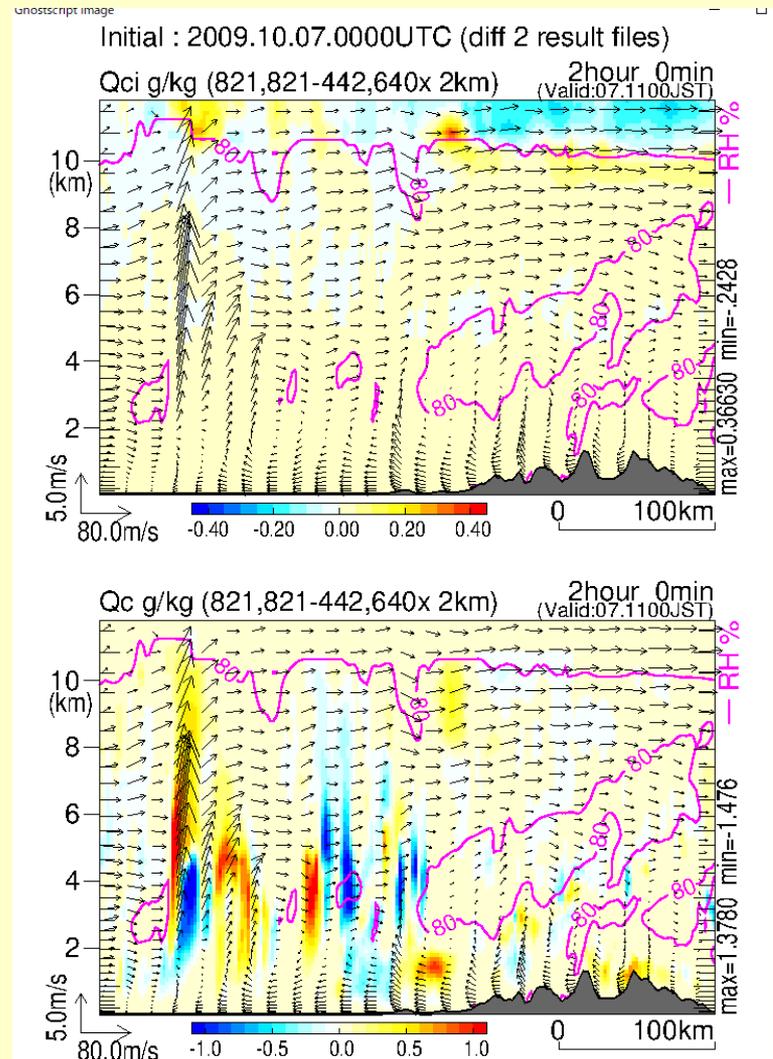
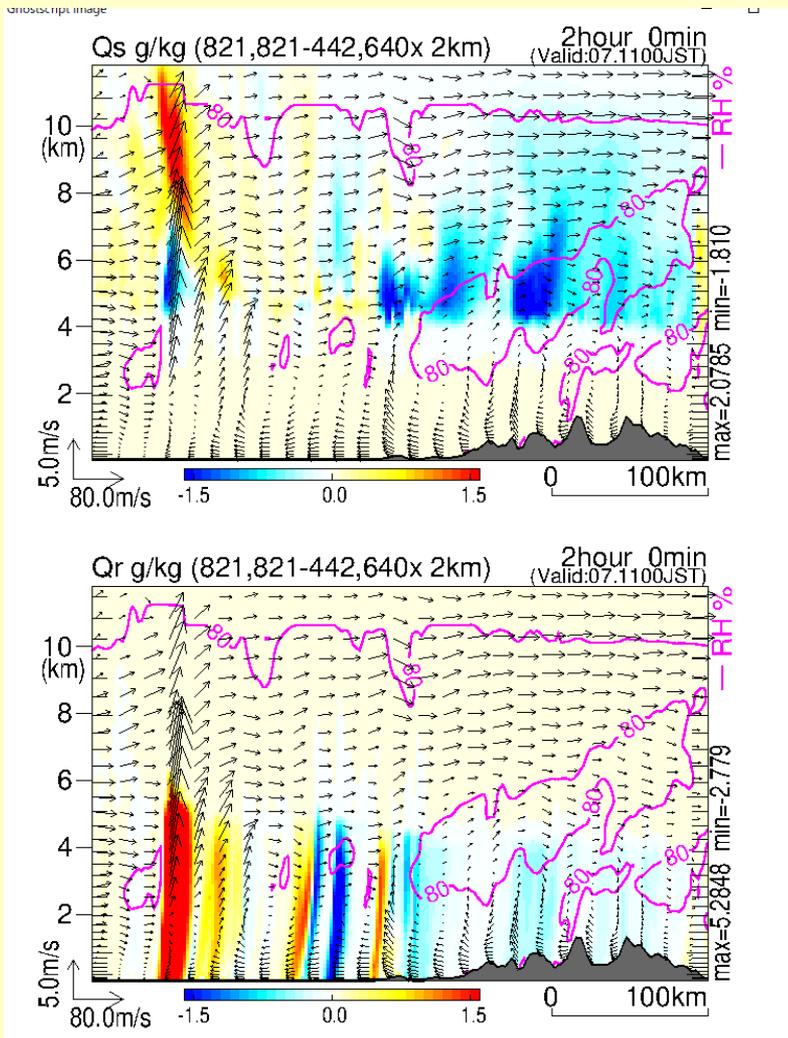
左上) 標準実験におけるFT=3の前1時間の降水量。右上) 改変実験。
 左下) 両者の降水の差。右下) 西日本(130-137 E, 31-34N)域で平均した1時間降水強度の時間変化。FT=1-3で降水量が30%弱減少。
 FT-1-6の総降水量の減少は 12.20×10^6 tons (10.8%; 6.09 mm)。



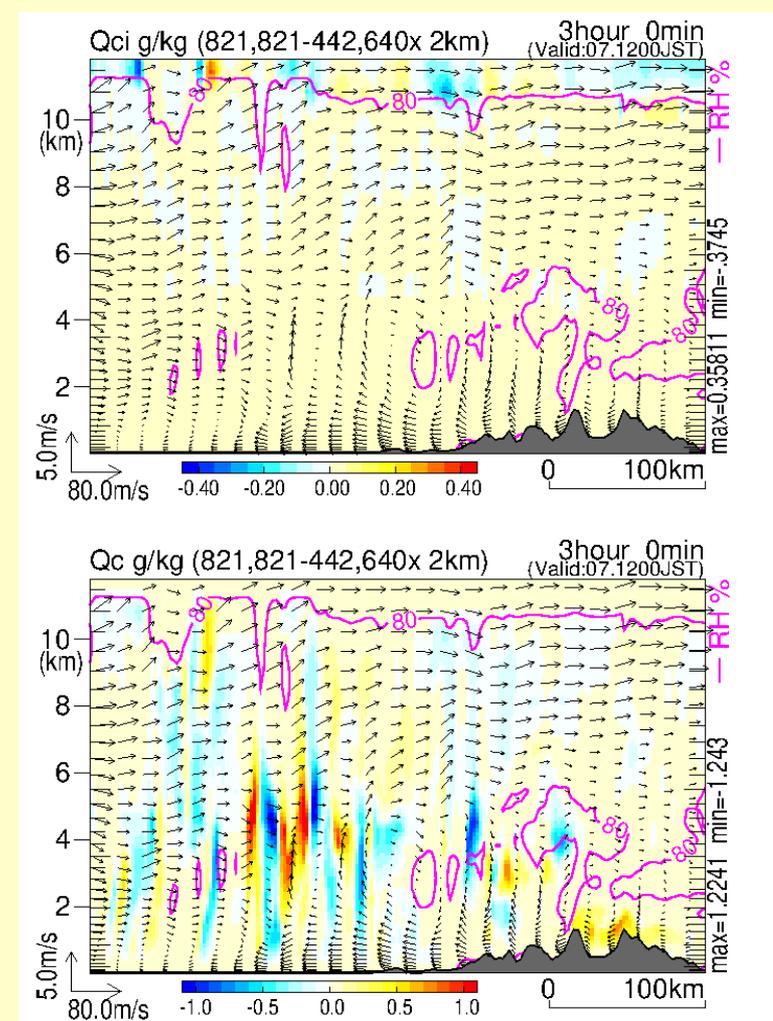
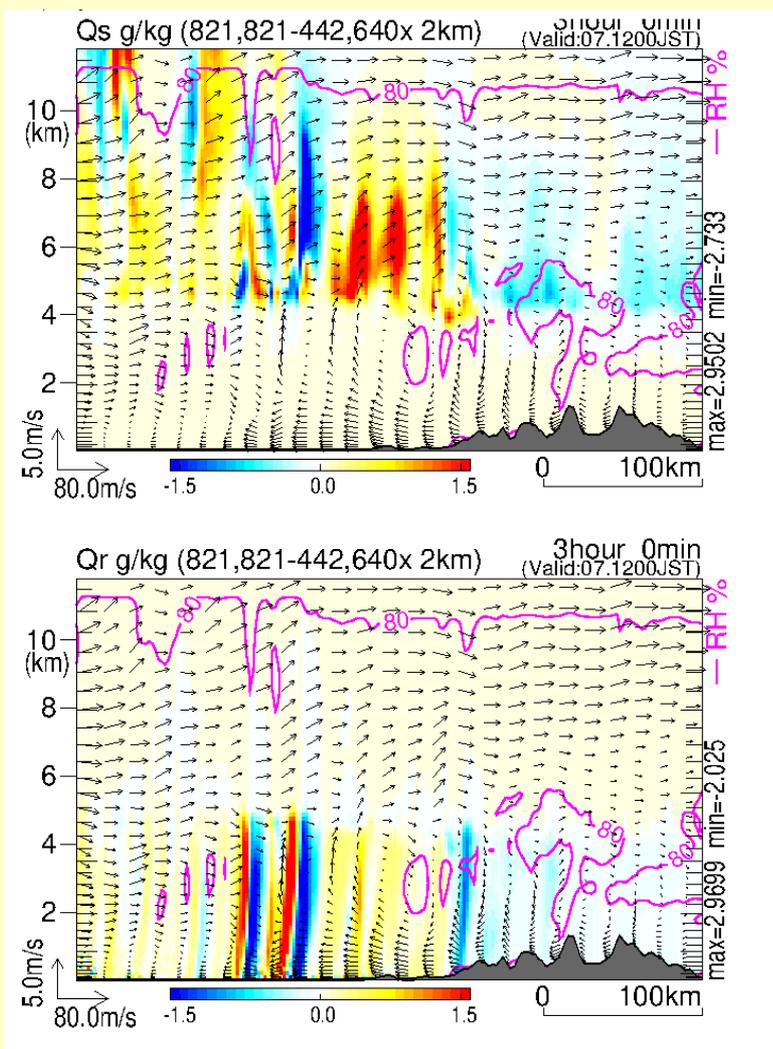
日本南岸での雪(左上)、雨(左下)、雲氷(右上)、雲水(右下)の132.5Eの南北鉛直断面。標準実験、FT=2。



日本南岸での雪(左上)、雨(左下)、雲氷(右上)、雲水(右下)の南北鉛直断面。水蒸気改変実験、FT=2。

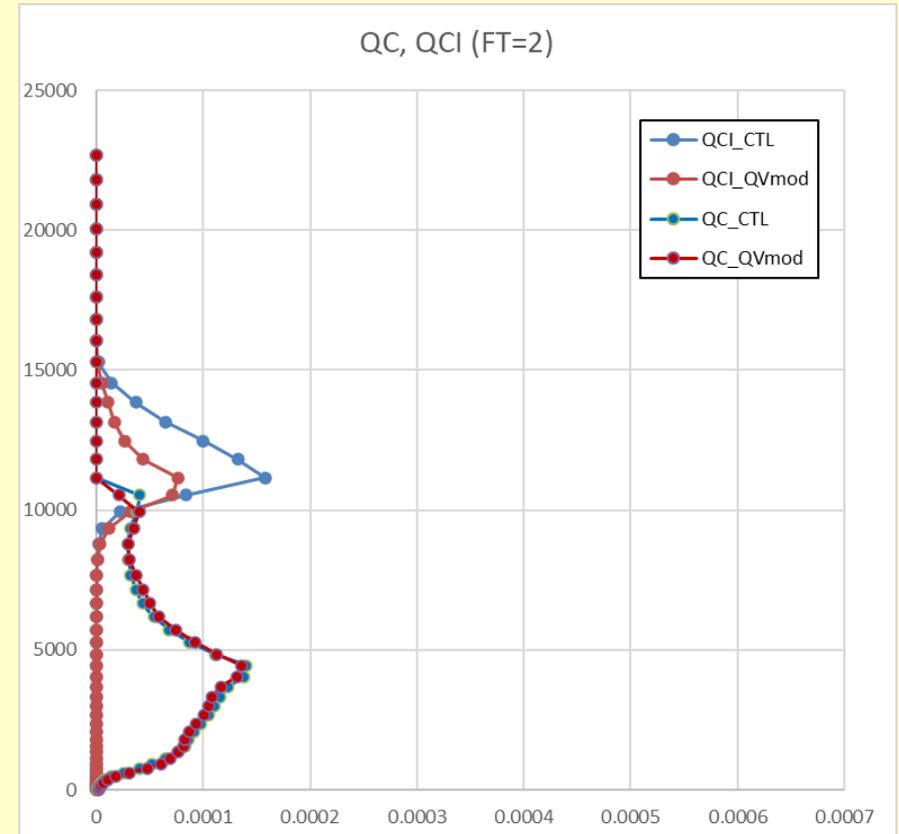
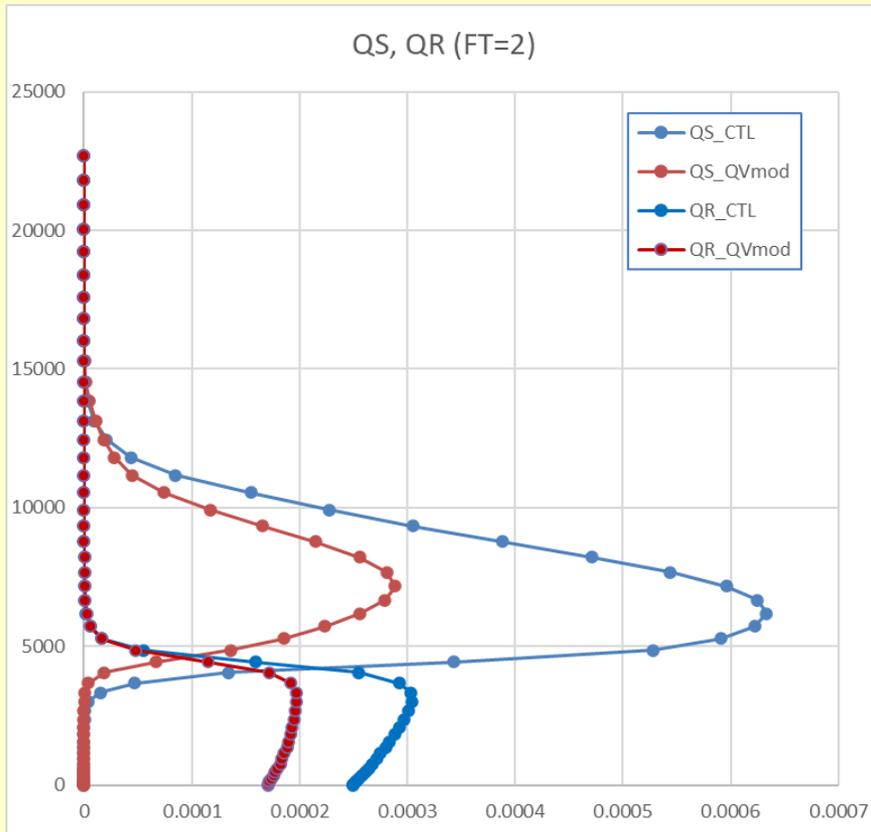


両実験の差分。FT=2。中央部400kmの拡大図。



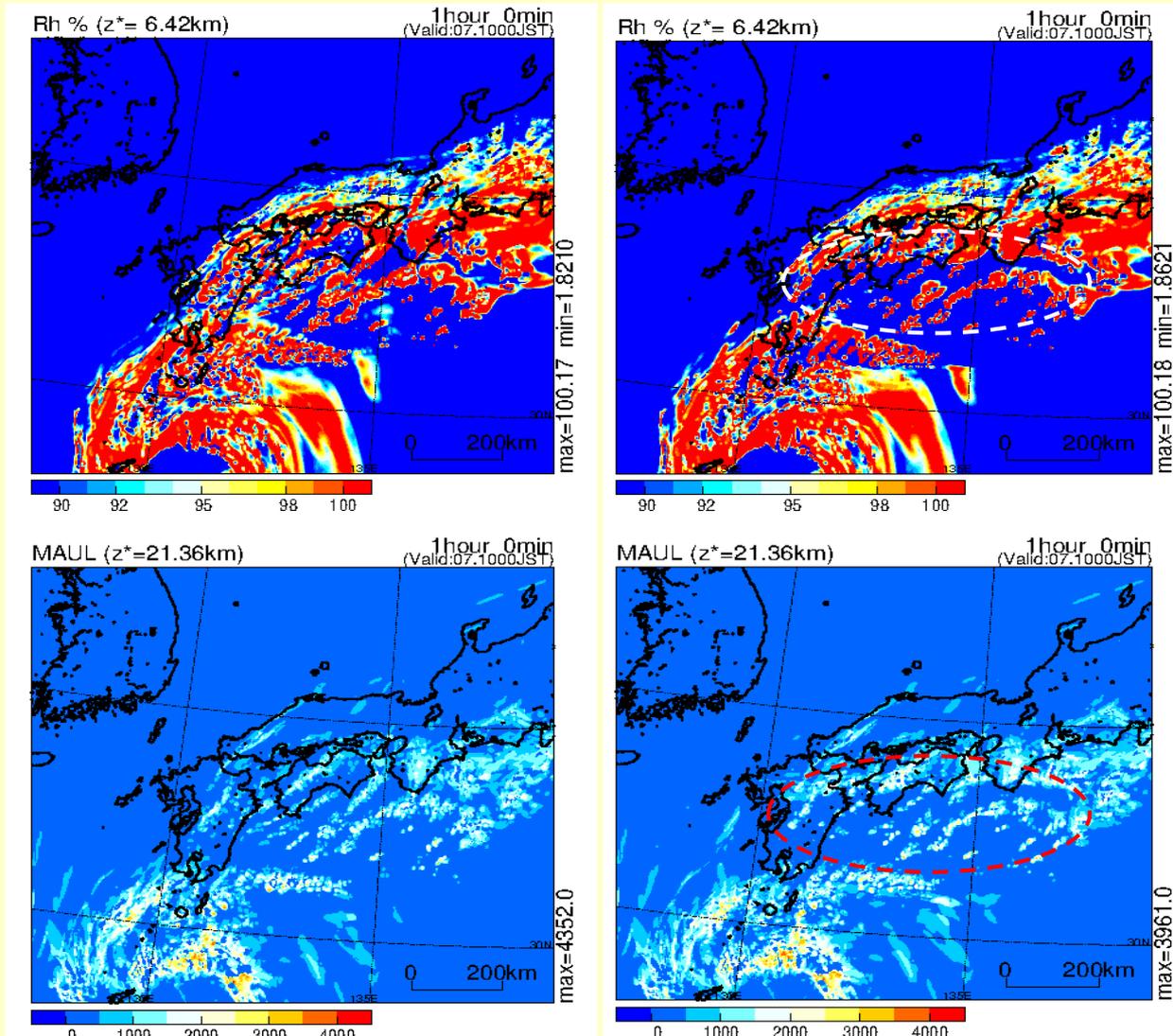
両実験の差分。FT=3。中央部400kmの拡大図。

雲物理変数の鉛直分布 (FT=2)



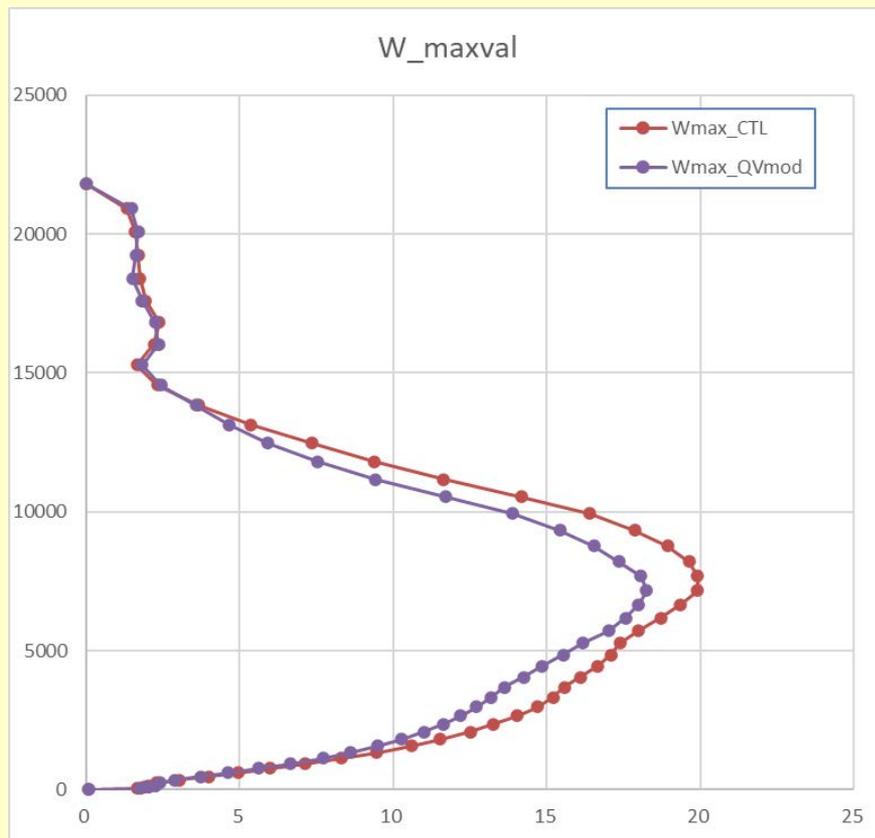
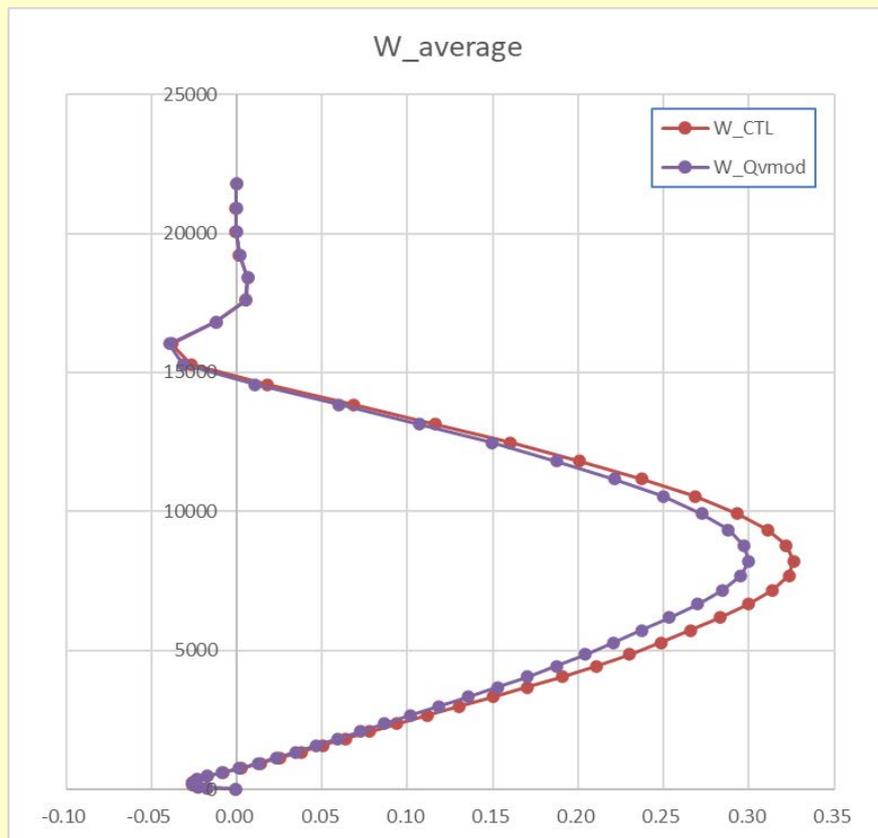
西日本(130-137 E, 31-34N)域で平均したFT=2の雲物理変数混合比の鉛直プロファイル。雪(QS)が大きく減少、その下の降水(QR)も減少。雲水(QC)や霰(QG:省略)の違いは僅か。

MAUL域の解析



FT=1 での標準実験(左)と水蒸気改変実験(右)での高度 6.42km の相対湿度(上)と 5.5km より上で鉛直積算した MAUL (Moist Absolute Unstable Layer)域の厚み(下)

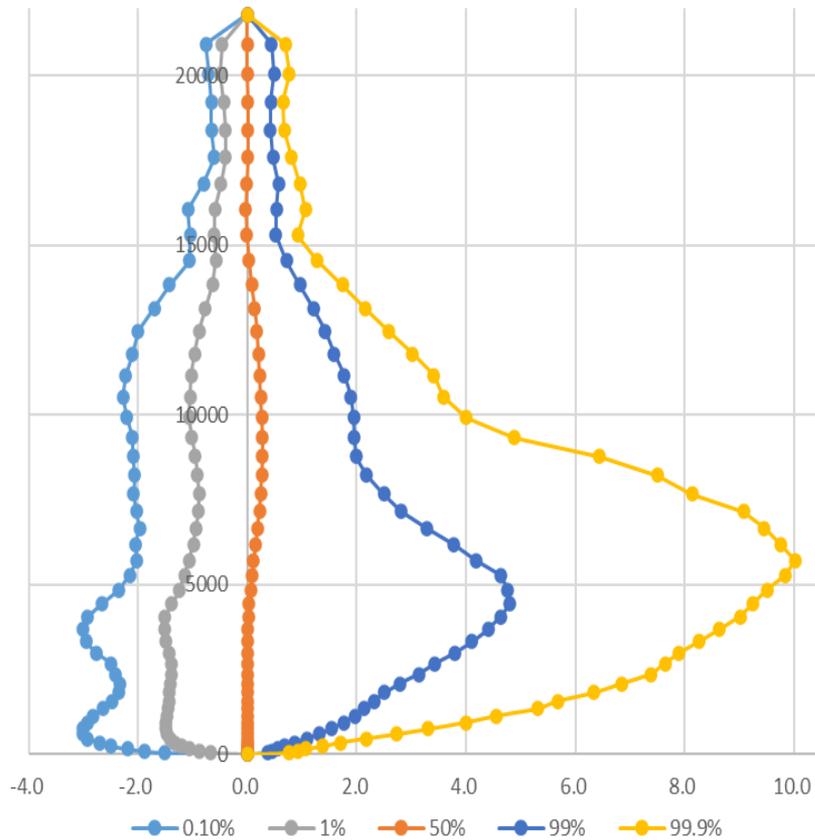
鉛直流の鉛直分布 (FT=0-6期間平均)



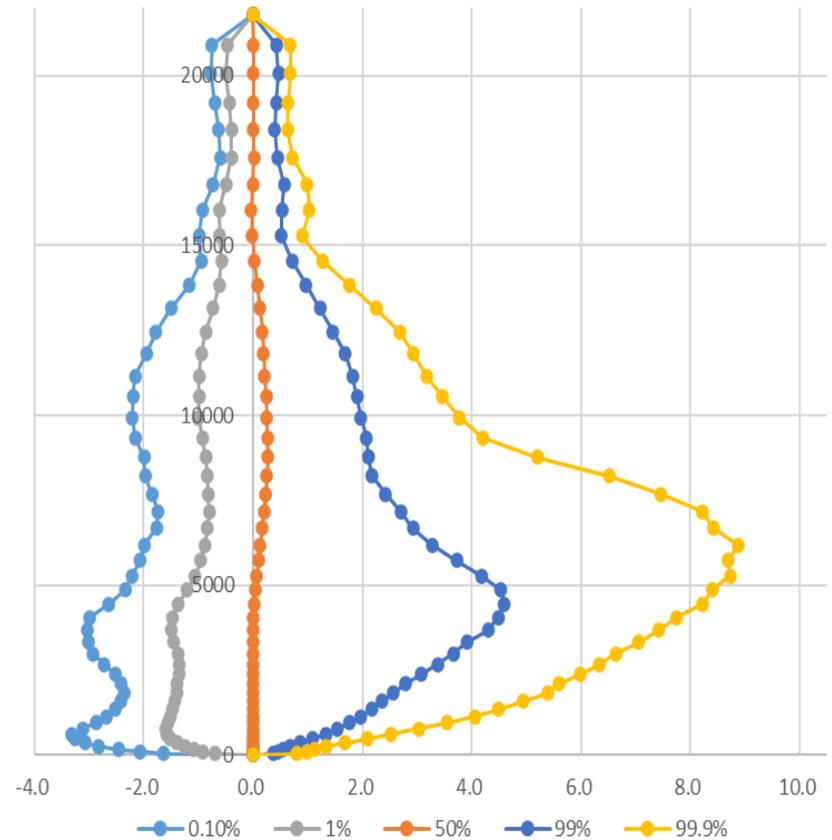
西日本(130-137 E, 31-34N)域のFT=0-6の期間平均上昇流(m/s)の鉛直プロファイル。左)領域平均 右)領域内最大値。
標準実験の方が上昇流が強いが違いはそれ程大きくはない。

Contoured Frequency by Altitude Diagram

Contoured-Frequency-by-Altitude Diagram
CTL FT=5



Contoured-Frequency-by-Altitude Diagram
QVmod FT=5



西日本(130-137 E, 31-34N)域の鉛直流のCFAD。
左) CNTL 右) 水蒸気改変。FT=5。

まとめ

- Saito and Matsunobu (2020) の補遺として、2009年台風18号のPREについて、2km雲解像モデルによる南岸域での上層水蒸気改変実験を行った。10km積雲パラメタライズモデルとほぼ同レベルの降水量減少が得られた。
- 水蒸気減少域は北向きに移流し、**中上層の雪と上層の雲氷が大きく減少しその下の降水を減らしていた**。CAPEの大きさは殆ど変わらないが、MAUL域や対流セルの上昇流の大きさにも差が見られた。
- 過冷却水は少なく、Seeder-feederメカニズムは効いていない。
- 非地衡風は、下層に水蒸気を供給するのではなく中上層を加湿し、対流圏に**「深い」**北向き水蒸気輸送をもたらし中上層に大量の凝結を生むことでPRE降水量の増大に寄与した。
→従来の**「台風による前線刺激の考え方」**を変える結果 (Saito et al. 2022; SOLA受理)。

非地衡風の二次循環に伴う大規模上昇流の効果についても今後調査

References

[斉藤和雄, 2011: \(回答\) 南海上に台風がある時の等高度線と風向の不整合. てんきすと, 71, 10-11.](#)

[Saito, K., 2019: On the northward ageostrophic winds associated with a tropical cyclone. SOLA, 15, 222-227.](#)

[Saito, K., and T. Matsunobu, 2020: Northward ageostrophic winds associated with a tropical cyclone. Part 2: Moisture transport and its impact on PRE. SOLA, 16, 198-205.](#)

Saito, K., T. Matsunobu, and T. Oizumi, 2022: Effect of upper-air moistening by northward ageostrophic winds associated with a tropical cyclone on the PRE enhancement. SOLA, 18, 77-80 (TBA), doi:10.2151/sola.2022-014 (in press)