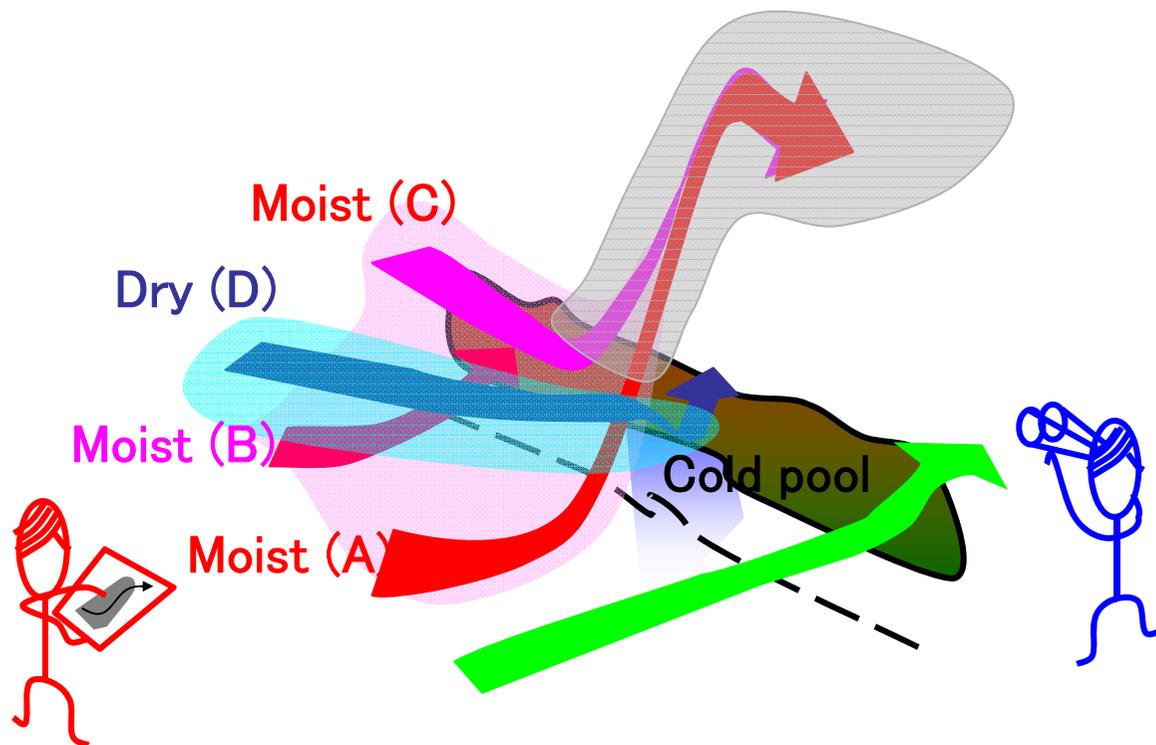


線状降水帯の形状と構造

-気流解析の勧め-

気象研究所
瀬古 弘



紹介する解析事例

線状降水帯

a. スコールライン型降水系

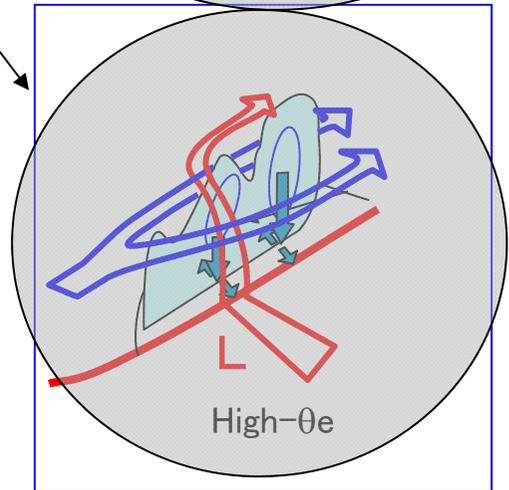
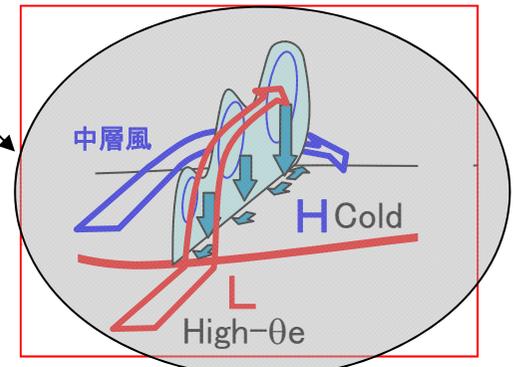
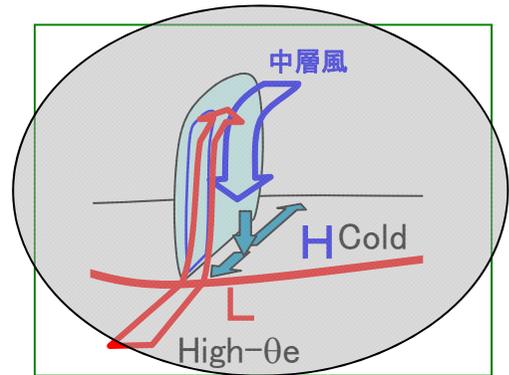
b. バックビルディング型降水系

c. バック アンド サイド
ビルディング型降水帯

d. 形態に関する数値実験

e. 大阪平野の線状降水帯

東シナ海で発達する梅雨期の降水系
線状降水帯が多い。
その解析の助けになれば...



スコールライン型降水系

夏季の関東平野で 観測された降水帯

- ・1995年8月16日に
寒冷前線に伴う
スコールラインが
関東地方を通過。
- ・**前面には32mm/hour
以上の強雨、
後面は1-4mm/hourの
弱い降水域。**
- ↓
- ・**アメリカ中西部の
スコールラインと
似た典型的な降水パターン。**

Radar

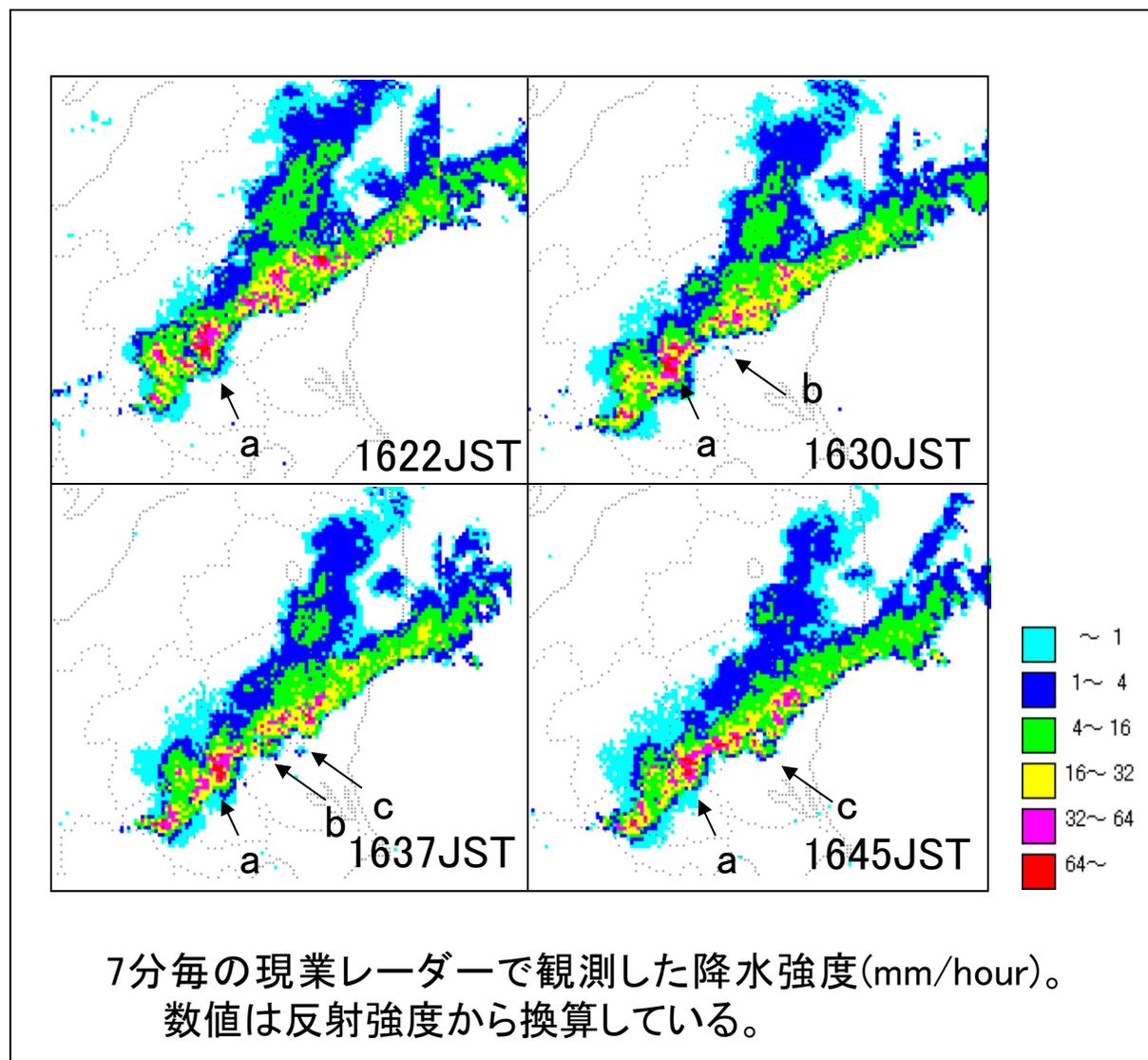
1995 8/16 1700JST



(Radup)

対流セルの振る舞い

- ・前面の対流域は幅が狭く連続的に分布。個々の対流セルの識別は困難。
- ・降水域aは多くの対流セルで構成。新しい対流セルが降水域aの近傍で発生して、入れ替わっていた。
- ・前面から南東側に離れたところに対流セルbが発生。7分後には発達してスコールラインの降水域の一部になる。

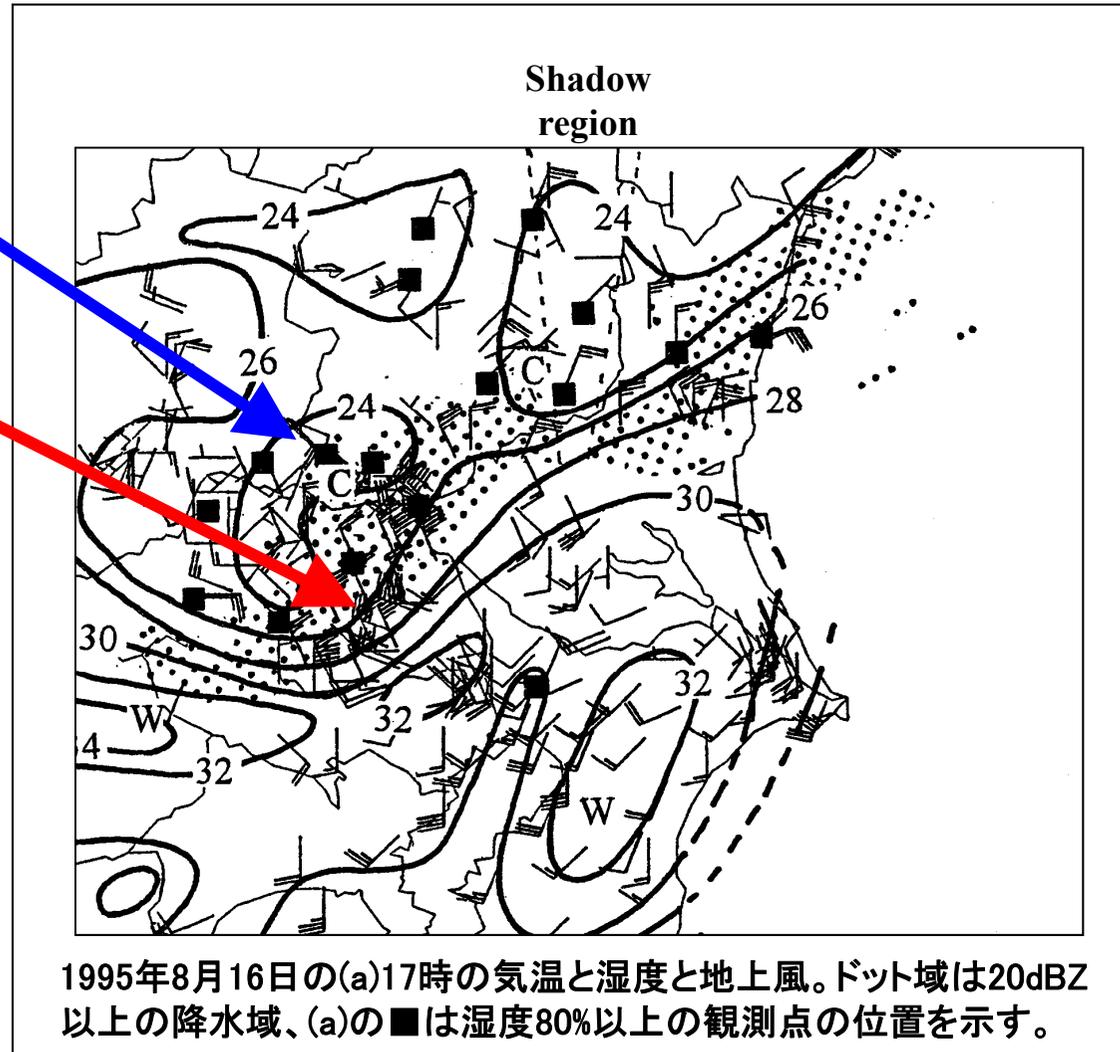


(Radup)

地上の観測データの変化

- 激しい対流域が通過した埼玉県北部では12度以上も下降、顕著な発散に。
- スコールラインの先端に沿って収束域があり、その南側では南よりの風。収束域の北側には、幾つかの発散域
- 南側の下層インフローと収束する気流は、降水帯内の対流活動により作られた冷気流が主体。

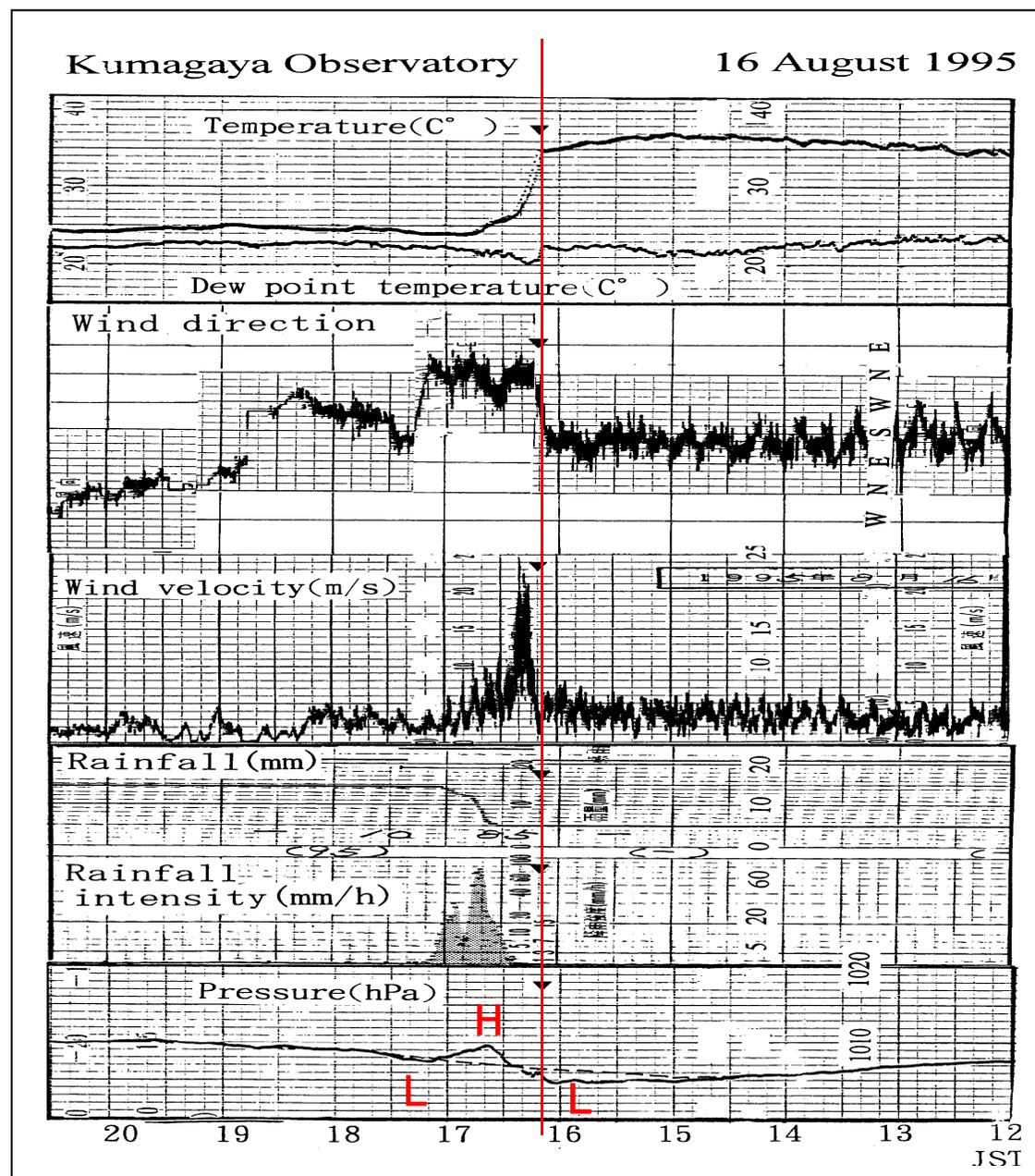
降水帯は寒冷前線本体ではなく、寒冷前線の前面に発達したスコールラインであった。



(アメダス+官署+自治体データ)

通過時の変化

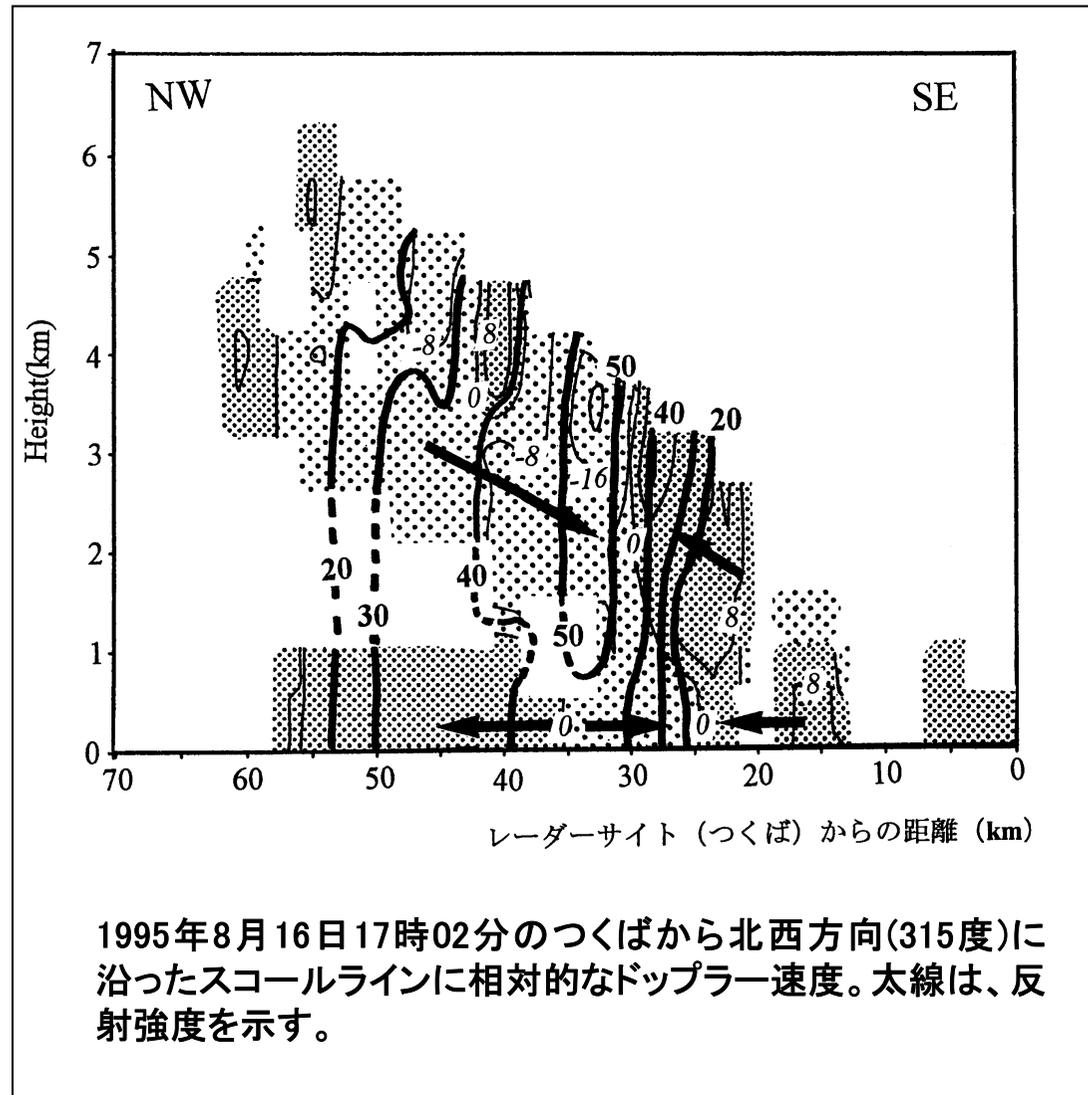
- ・16時10分から気温が急激に下降。露点温度も下降
- ・気温の急激な下降と同時に北風が急激に強くなり、16時15分頃に24m/s以上の強風(ガスト)。気温と露点も低下→乾燥気塊。
- ・前後1時間30分の時間平均からの偏差に注目。
 - 気圧が次第に下がり、
 - 気温下降の直前に上昇。
 - 降水強度が強くなると気圧は徐々に上昇。
 - 降水がやむ頃には気圧は極小になり、再びゆっくりと上昇。



(官署データ)

気流等の鉛直構造

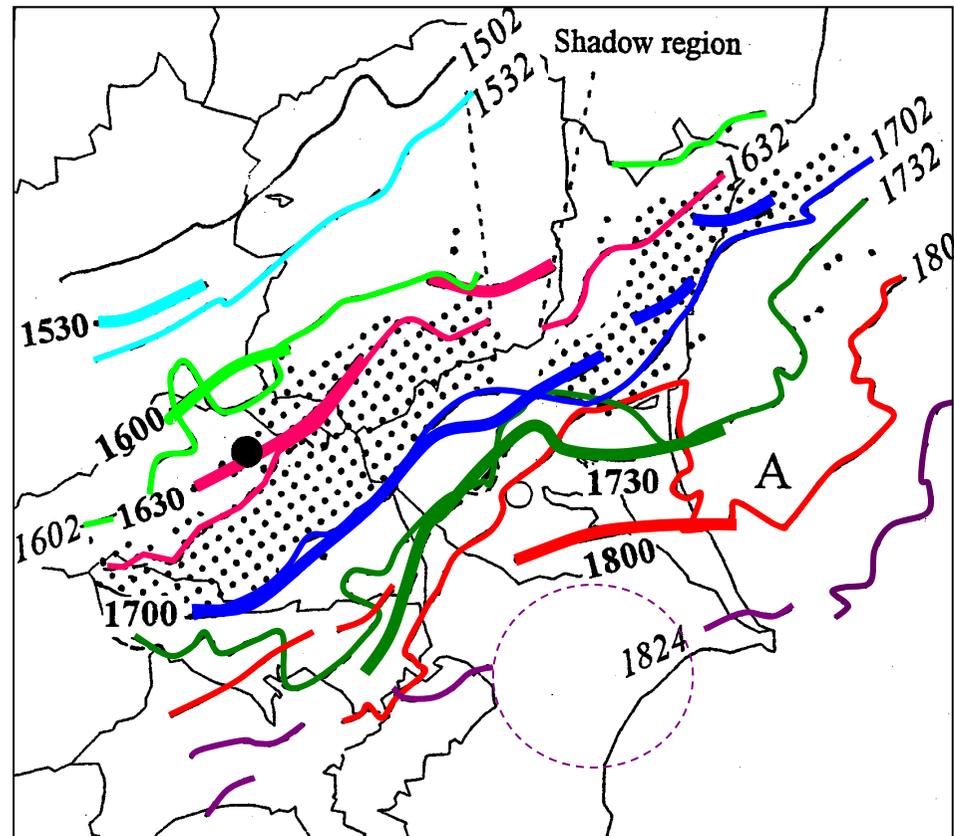
- ・スコールラインにほぼ直交方向の鉛直断面図をみると...
- ・レーダーから35km付近に50dBZ以上の強い降水域。
- ・高度2-3kmでは、強い降水域よりも南東側は、レーダから遠ざかる風が、北西側では強い降水域に近づく風。
- ・地上近くでは前面で収束。強い降水域の下では発散。
- ・強い降水域の下層の発散、その上側の収束という水平収束の鉛直分布
↓
強い降水域では下降流。



(ドップラーレーダデータ+解析ツール)

降水帯維持の条件

- ・ライン状を保っていた時刻は、ガストフロントと強い降水域の先端がほぼ一致。
- ・18時00分には茨城県東部の対流が強くなり、降水域が南東にせりだした。茨城県南部では、この降水域からの冷気流が先着。
- ・その後は
どうなりますか？



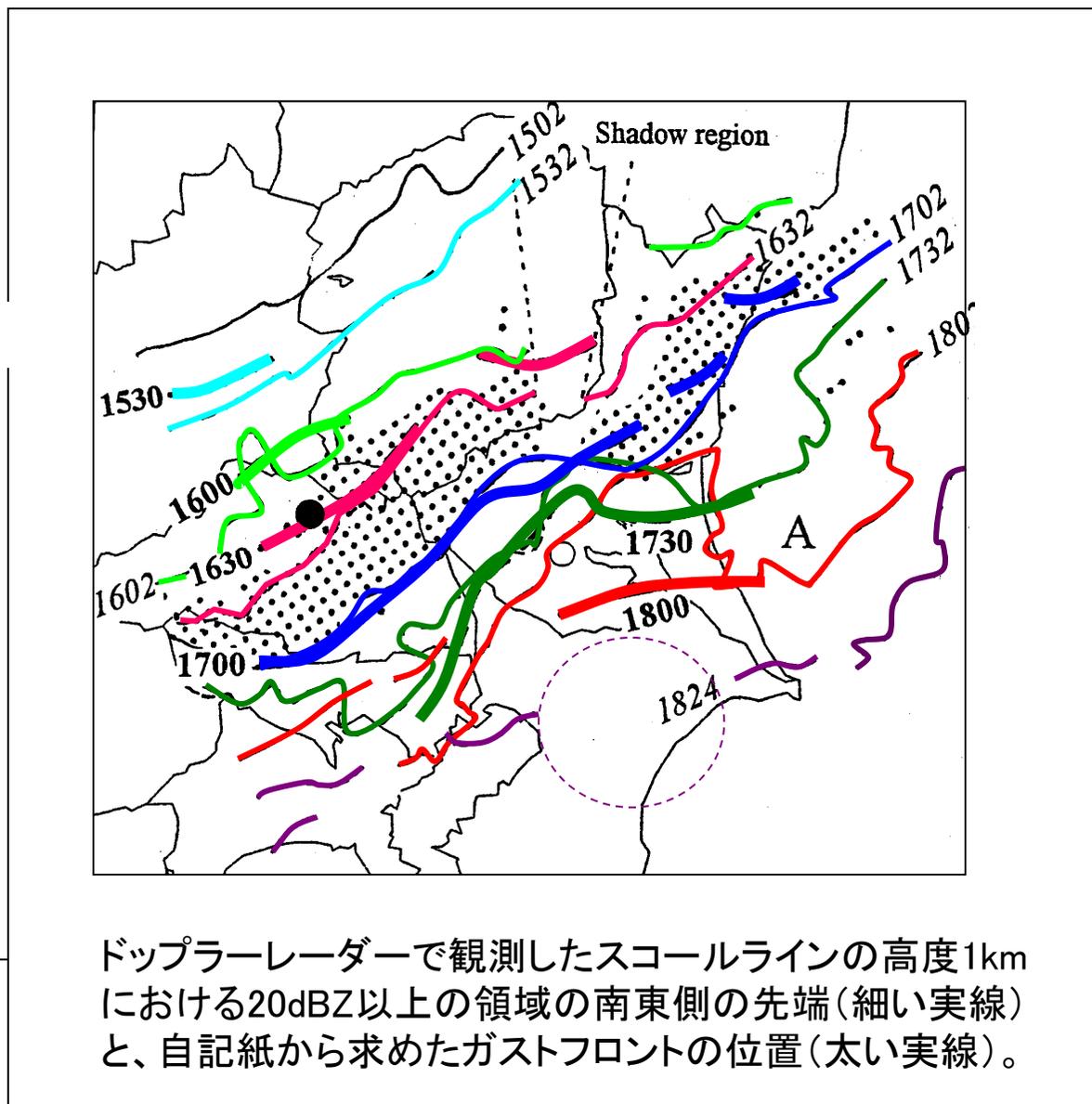
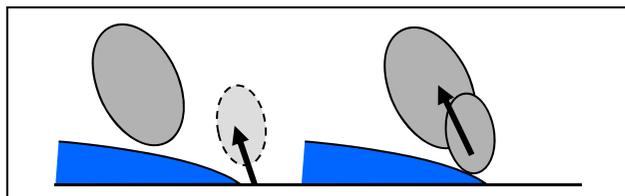
ドップラーレーダーで観測したスコールラインの高度1kmにおける20dBZ以上の領域の南東側の先端(細い実線)と、自記紙から求めたガストフロントの位置(太い実線)。

(アメダス+官署+自治体データ)

降水帯維持の条件

- 北西側の降水域とガストの位置が離れ、冷氣塊により持ち上げられた空気が降水域に供給されず、衰弱。

Radar 1995 8/16 1800JST

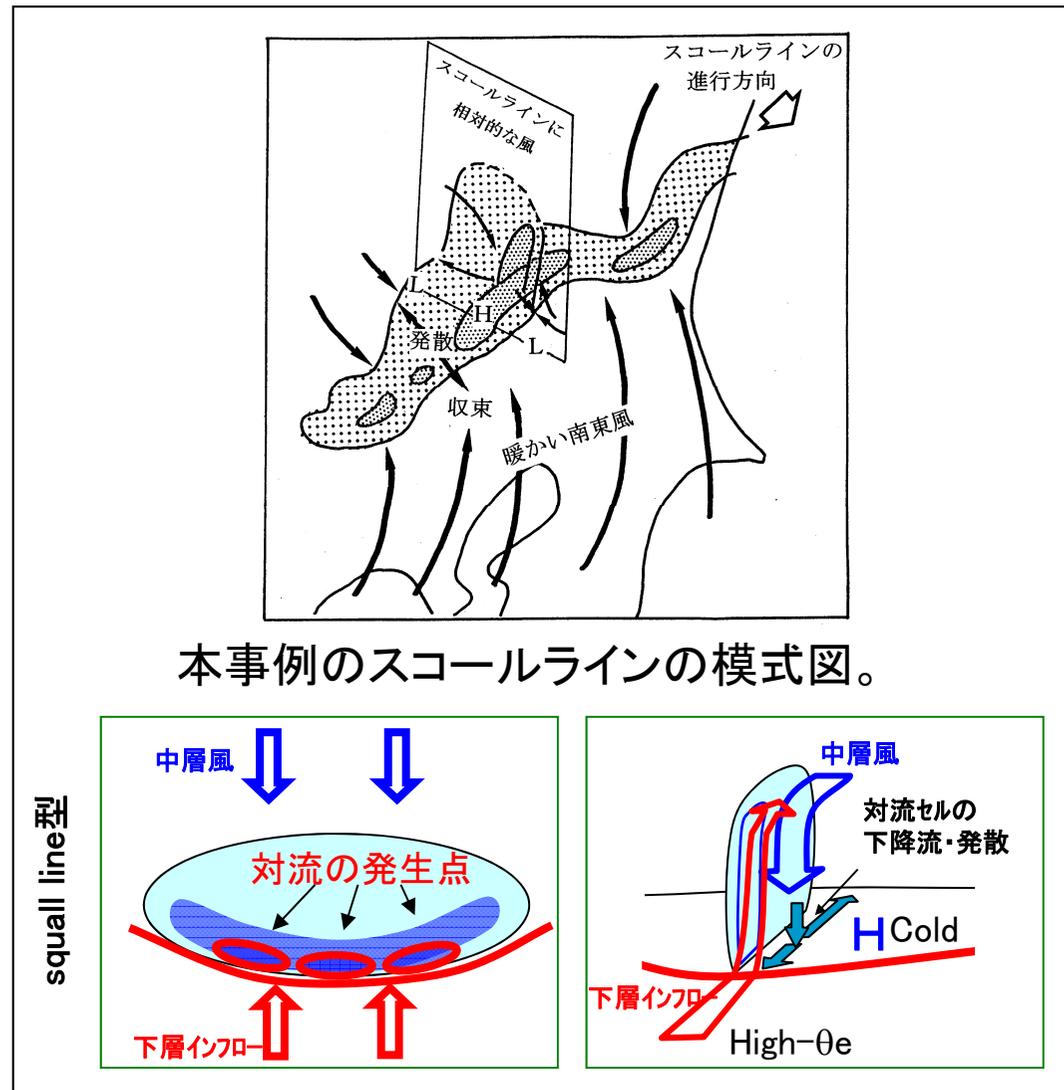


ドップラーレーダーで観測したスコールラインの高度1kmにおける20dBZ以上の領域の南東側の先端(細い実線)と、自記紙から求めたガストフロントの位置(太い実線)。

(アメダス+官署+自治体データ)

スコールライン型の模式図

- ・前面には強い降水域。
後側には弱い降水域。
- ・対流セルは狭い強い降水域内で発生発達を繰り返している。
- ・強い降水域では冷気塊が地上付近で発散し、暖かい下層インフローが前面に沿って収束。
- ・後面では、高度2.0kmより上側にある北西風が、強い降水域の下層に吹き込み、冷気塊を形成。
- ・下層インフローと逆方向の中層風と乾燥した中層風が特徴。

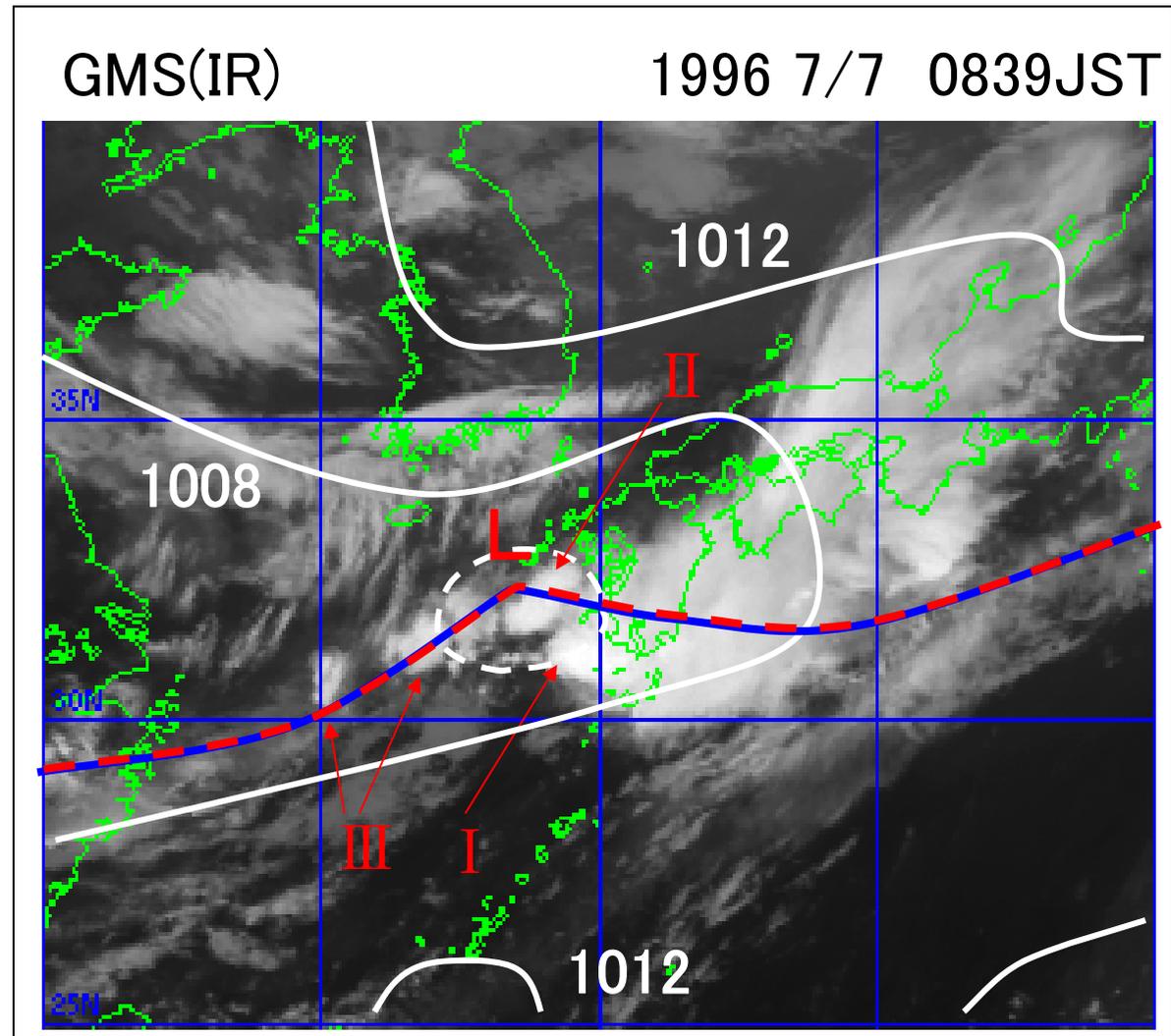


バックビルディング型降水系

梅雨期の2つの 型の降水帯

メソスケールの特徴

- ・ 降水系は南九州で
17時間停滞
- ・ 降水系は雲域 I ~ III
で構成
- ・ 雲域 I は低気圧のすぐ
南で発達, 雲域 II・III
は前線付近で発達

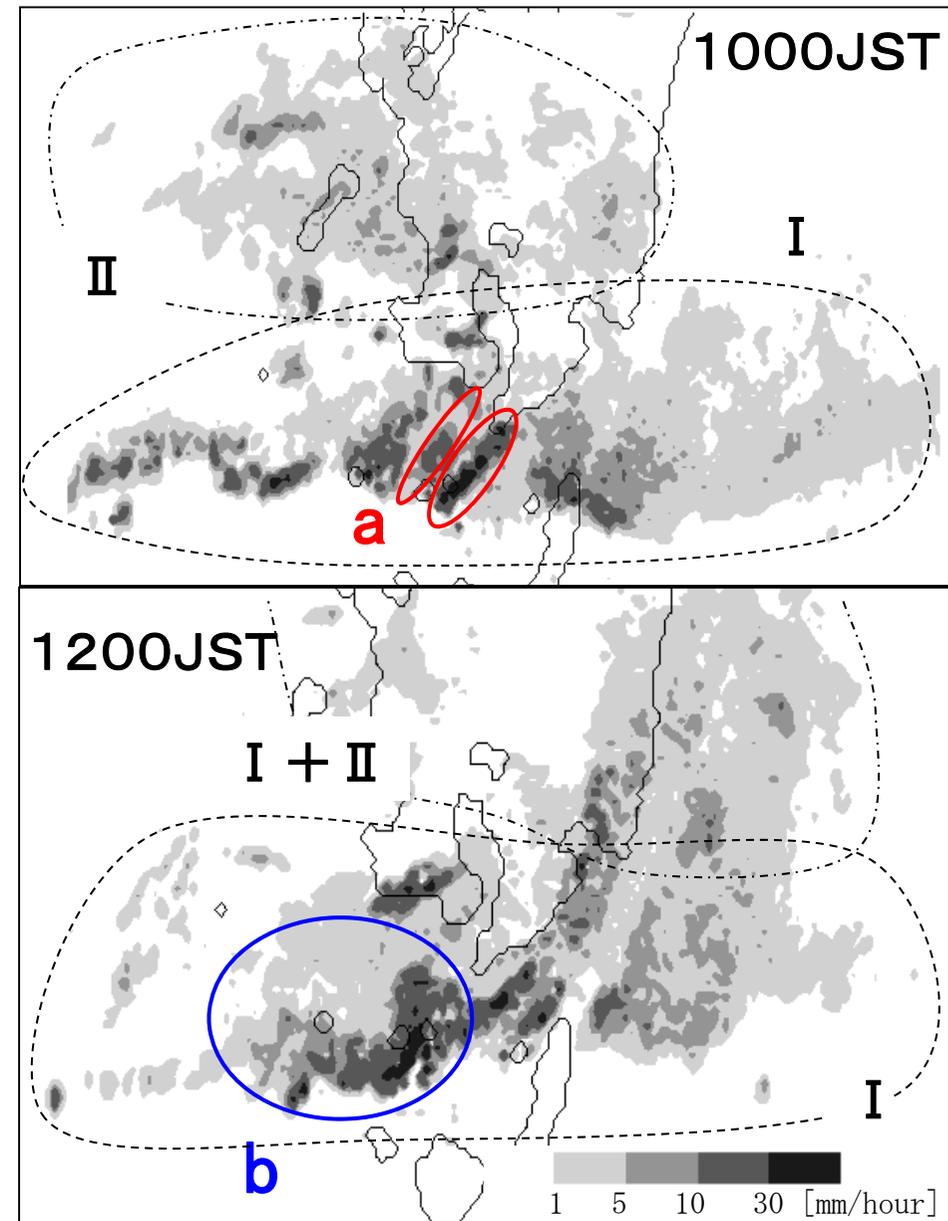


1996年7月7日08時39分の赤外画像と09時の地上天気図
(ひまわり+天気図)

M β スケールの特徴

用いたデータ 種子島現業レーダ

- ・ 降水域 I, II は雲域に対応。
- ・ 降水域 I : 九州の南で停滞
降水域 II : 東に移動
- ・ 降水域 I は
弱い降水域と, さらに
小さなスケールの降水帯で構成。
- ・ 2つの型の小さなスケールの
降水帯が存在 :
線状の降水帯 a
弧状の降水帯 b
(今回、bについては省略)



(Radup)

メ β スケールの 特徴

用いたデータ:

種子島現業レーダ

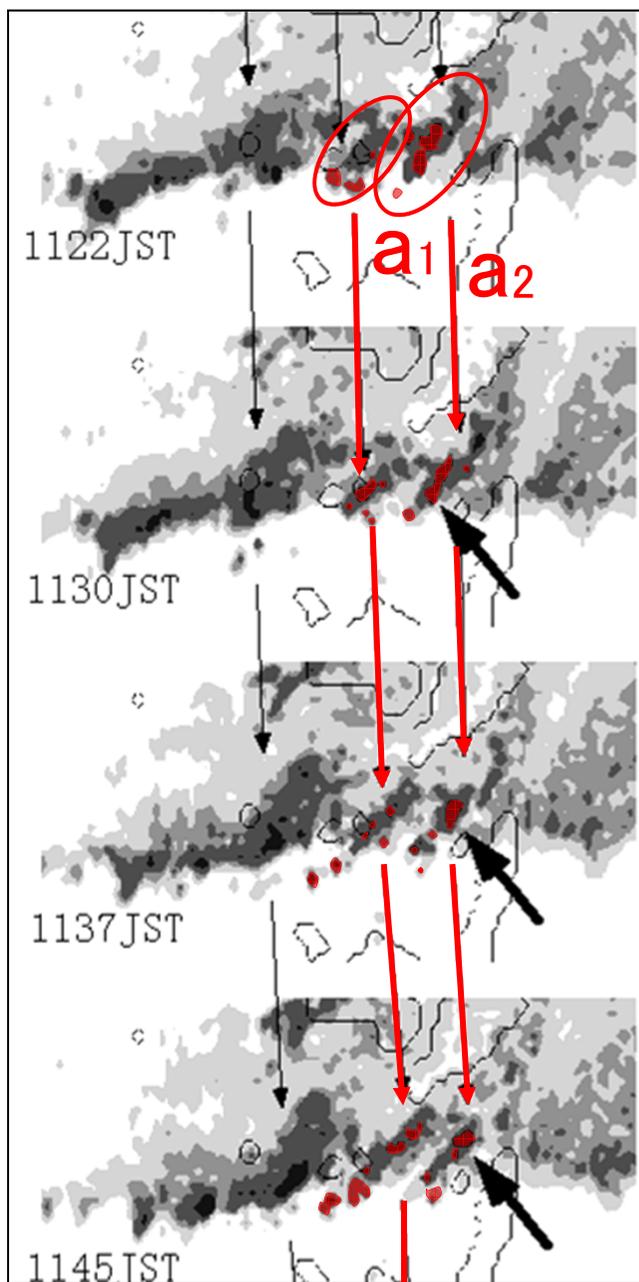
- ・降水帯はメ γ スケールの対流で構成。
- ・降水帯は東に移動。
- ・個々の降水帯はバックビルディング型。

用いたデータ:

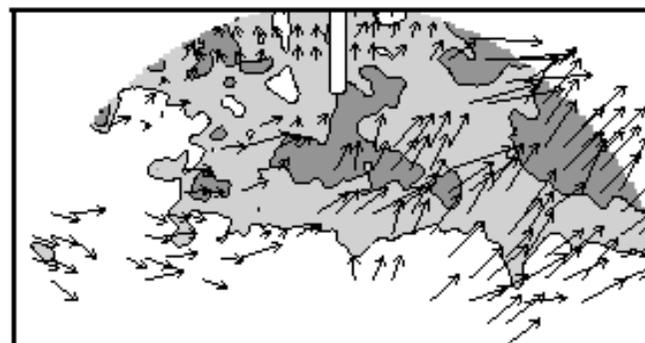
気象研レーダ(屋久島)

手法:VVP法

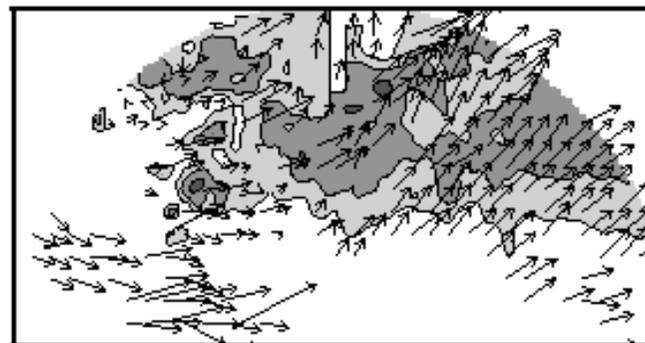
- ・推定できた高度1.0-3.5kmでは、降水帯の走向とほぼ同じ南西風。



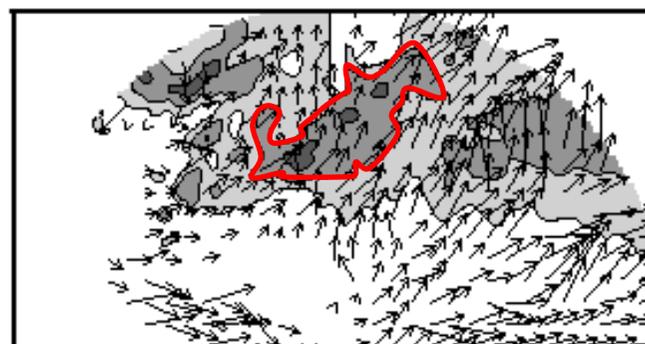
1026JST z=3.5km



z=2.0km



z=1.0km

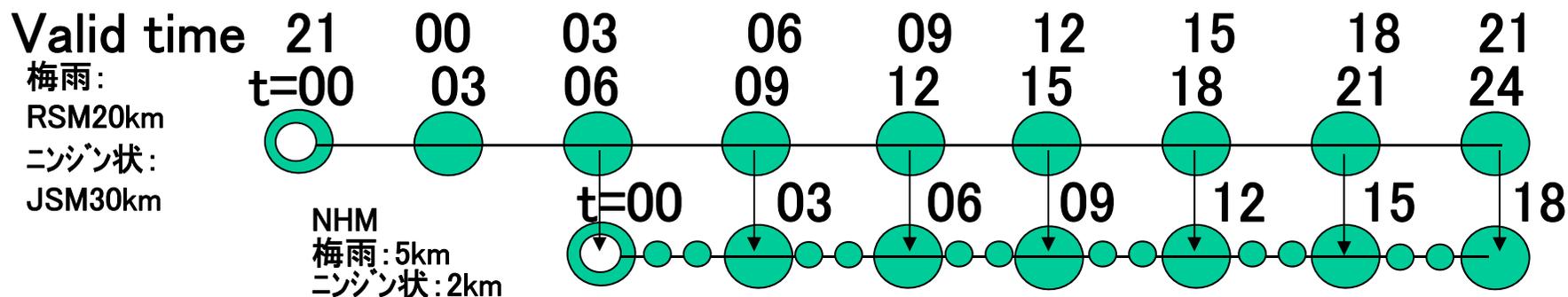


(Radup)
(ドップラーレーダデータ+解析ツール)

数値モデル

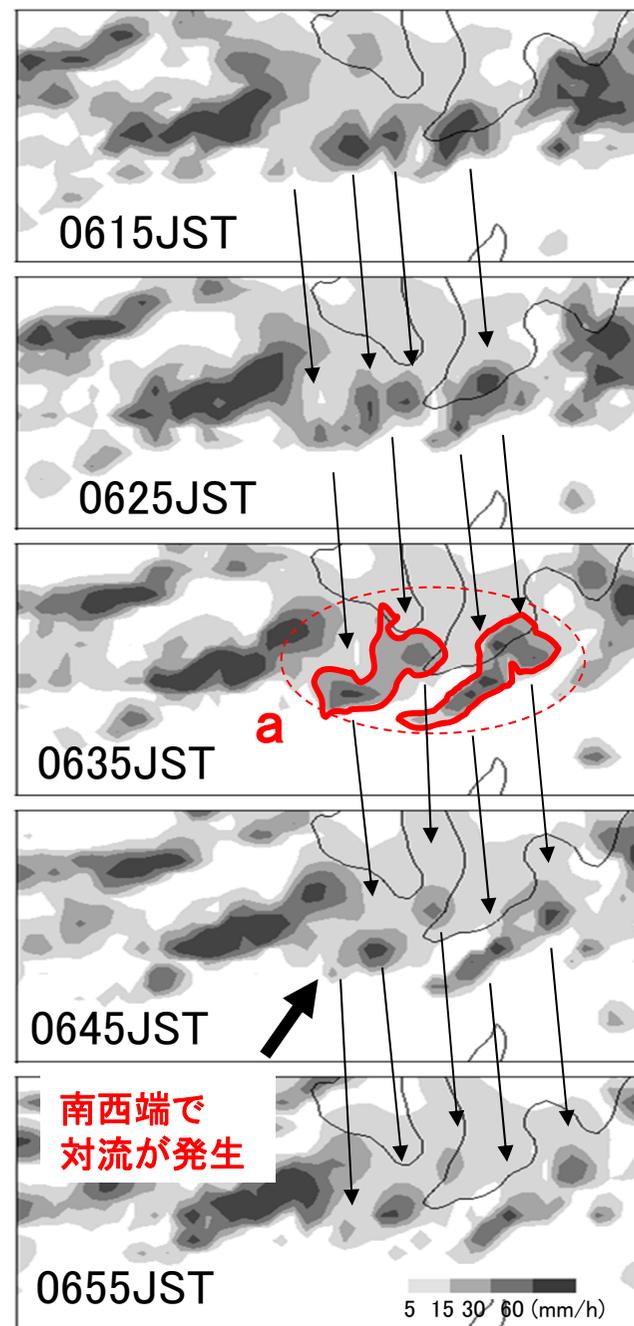
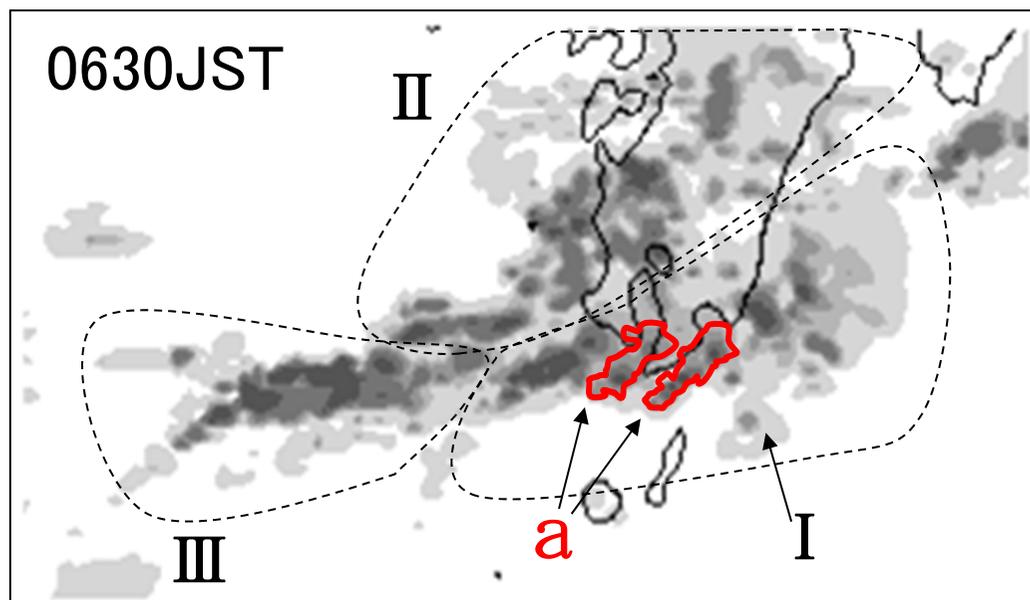
気象研究所非静力学メソスケールモデル (齊藤と加藤,1996)

- ・マップファクタを用いた完全圧縮系 (梅雨)・非圧縮系 (ニンジン状)
- ・鉛直座標: 山岳に沿う座標系
- ・水平座標: ポーラステレオ座標
- ・移流スキーム: ArakawaCグリッド (Ikawa and Saito,1991)
2次精度の移流形式 (Clark,1977)
ホックスラグランジアン雨滴落下スキーム (Kato,1995)
- ・降水スキーム: 梅雨 雲水・雨水・雲氷・雪・霰を予報
ニンジン状 雲水・雨水を予報
- ・水平分解能・格子数: 梅雨 5km(200×200×38)
ニンジン状 2km(200×200×38)
- ・初期値と境界値



数値モデルで再現した M β スケールの特徴

- ・降水システムは南九州で発達。
- ・降水システムは降水域 I ~ III で構成。
- ・降水域 I 内に小さな降水帯が組織化。
- ・複数の降水帯が東に移動。
- ・降水帯内で対流セルが風上で発生、
風下に移動。→ **バックビルディング型**
降水帯aの特徴は再現できた→構造をみる。



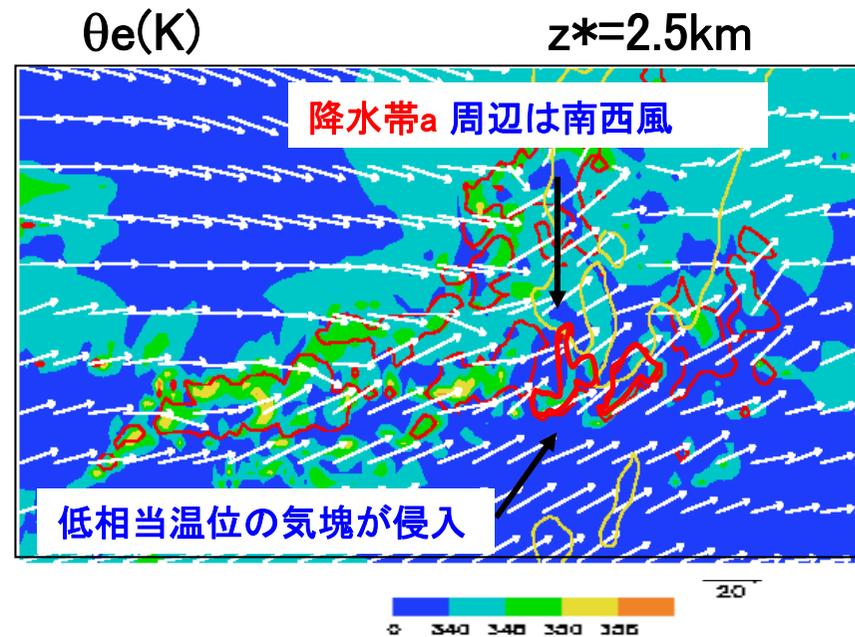
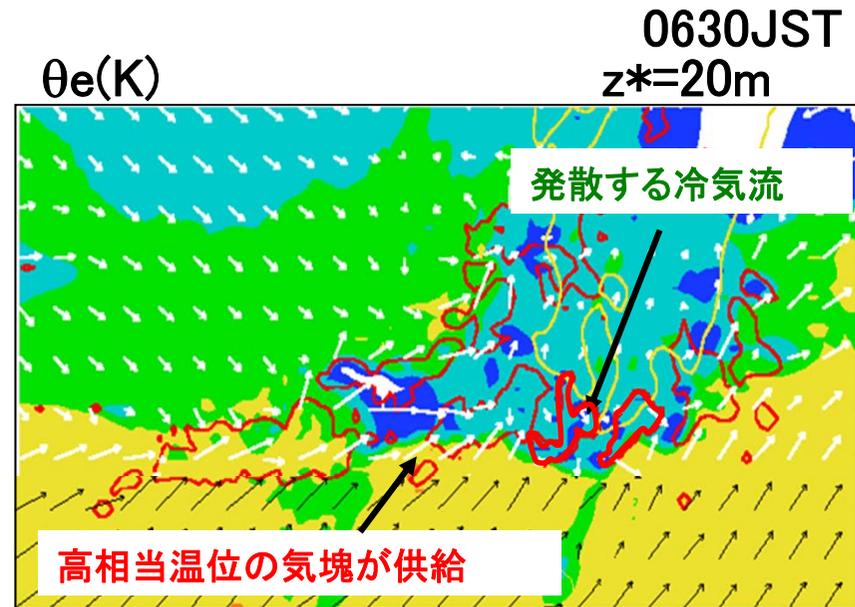
数値モデルで再現した M β スケールの特徴

地表付近 (20m)

- ・ 降水帯の南から、南西風により高相当温位の気塊が、降水システムに供給。
- ・ 降水帯の下では、低相当温位の気塊が発散。

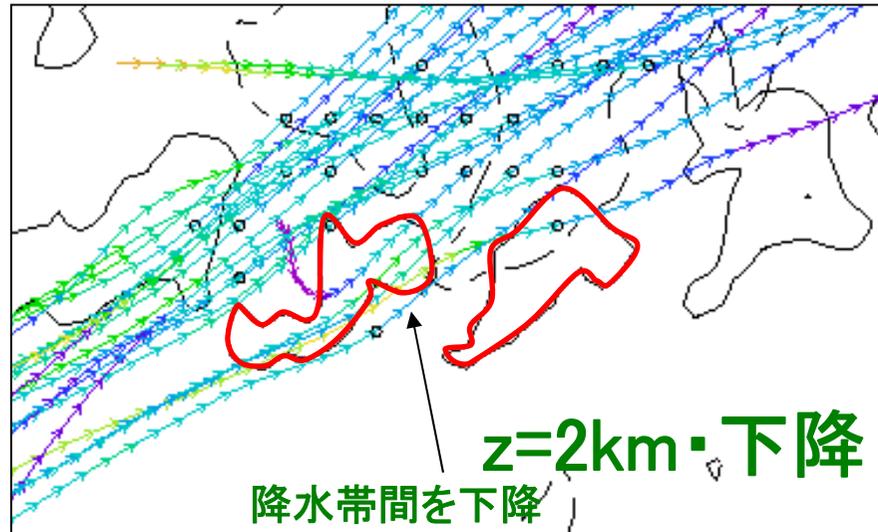
高度2.5km

- ・ 低相当温位の南西風が降水帯周辺を通過。
- ・ 風向は、小さなスケールの降水帯の走向とほぼ同じ方向。

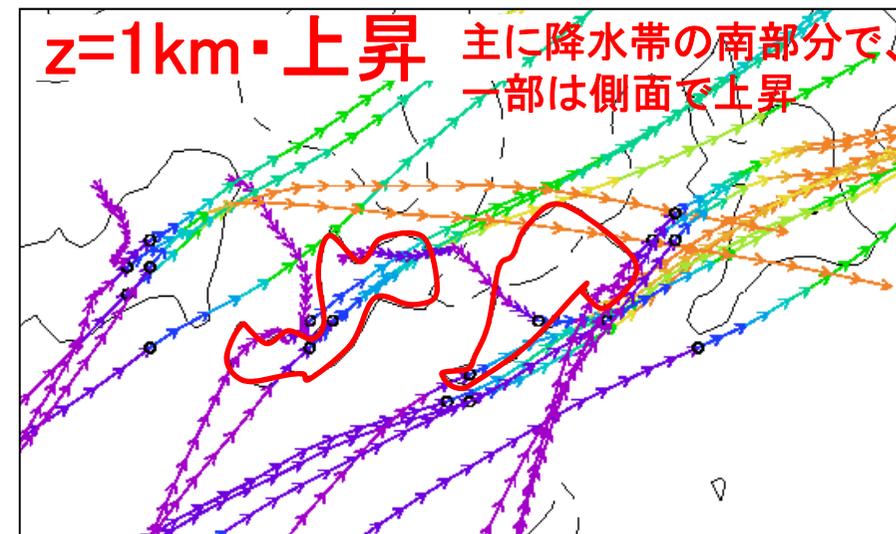
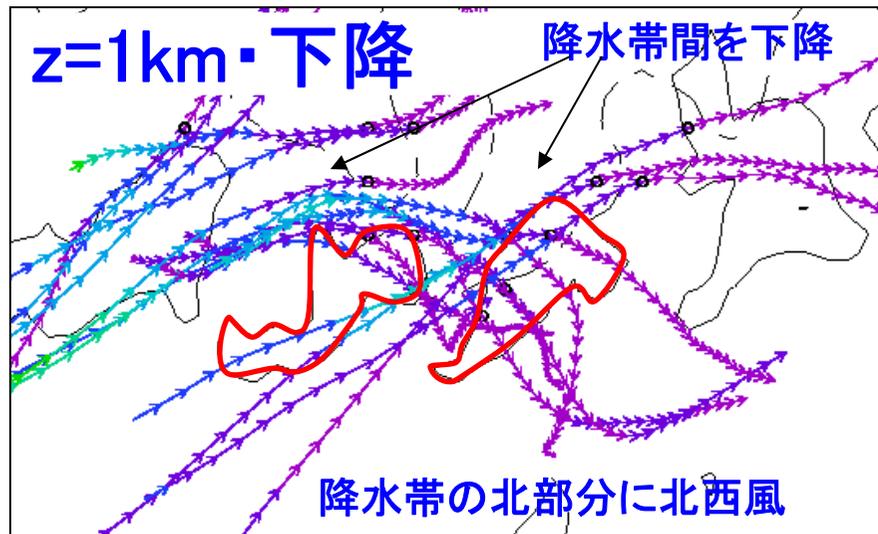


バックビルディング型の気流構造

トレース期間
0430-0830JST

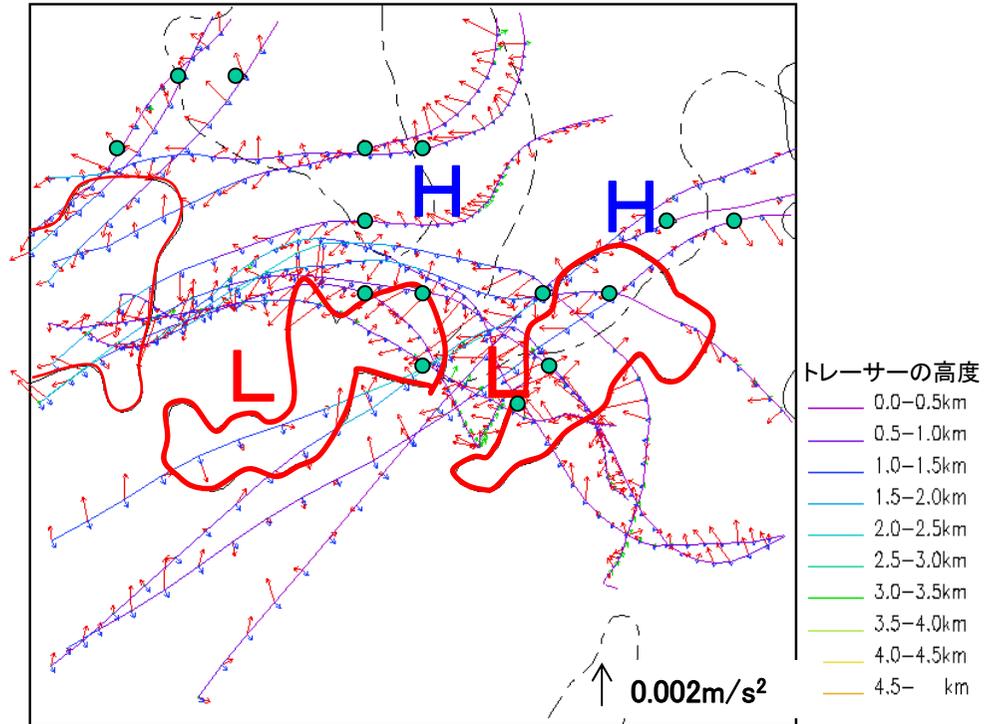
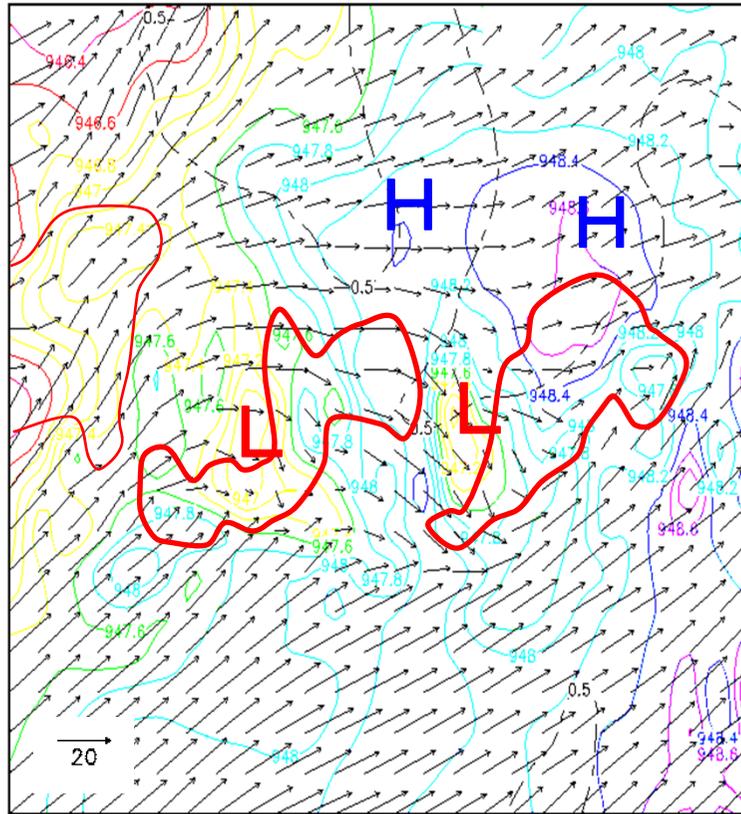


- ・○は0630JSTのトレーサーの位置
- ・0630JSTに各高度にあって、前後2時間に高度が
下降: 500m以上
上昇: 2.5km以上
変化したものをPlotした。



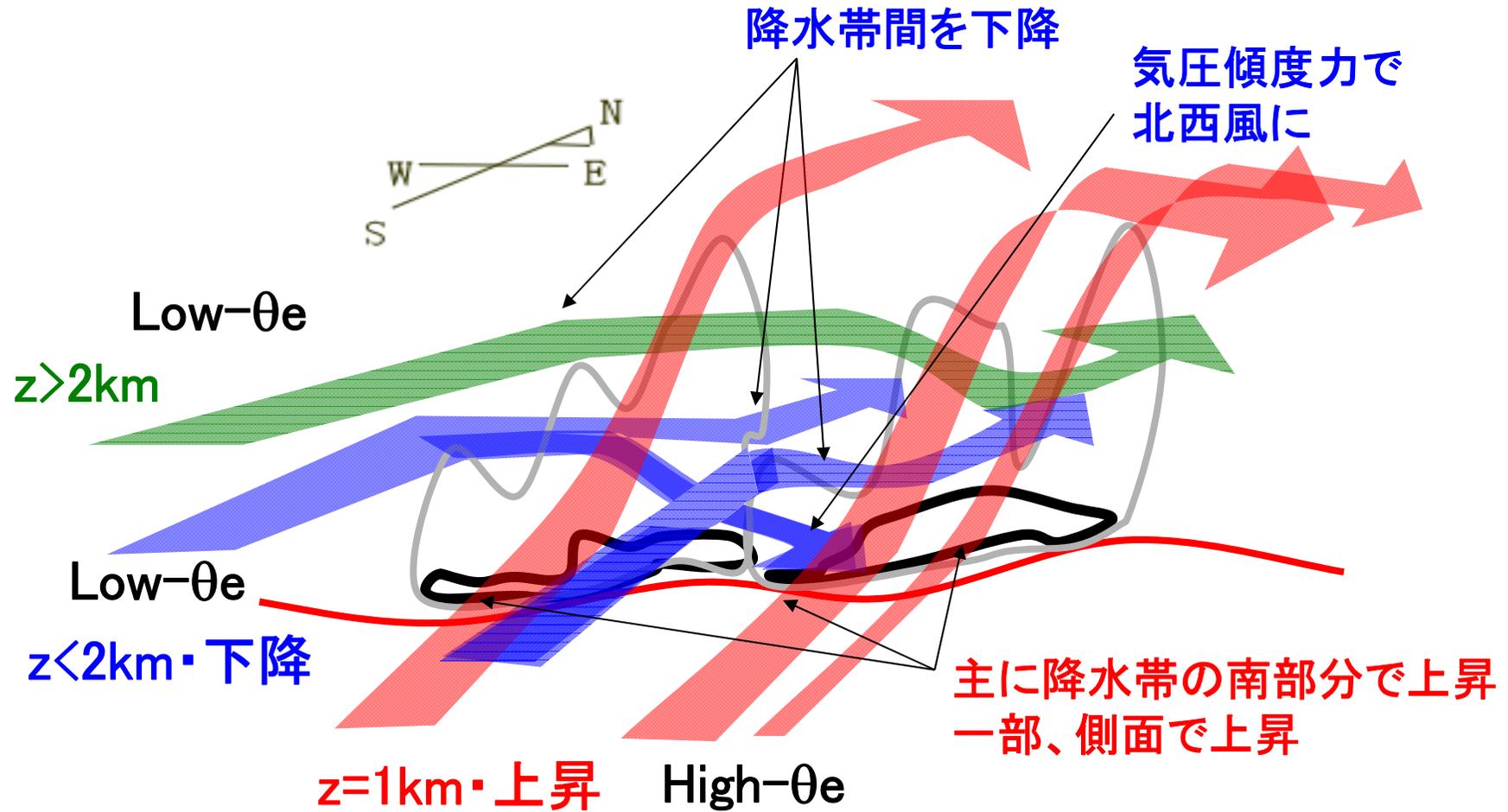
(NHM+流跡線解析ツール)

バックビルディング型の気流構造



(a) FT=3h30m (6 時 30 分) の 高 度 500m の 気 圧 と 水 平 風 の 水 平 分 布 。
(b) FT=3h30m に 高 度 1.0km に あ っ て 前 後 2 時 間 の 間 に 500m 以 上 下 降 し た ト レ ー サ ー の 受 け た 外 力。ト レ ー サ ー の 高 度 は 軌 跡 の 色 で 表 し て い る。○ は FT=3h30m の ト レ ー サ ー の 位 置 を 示 す。ベ ク ト ル は ト レ ー サ ー が 受 け た 5 分 毎 の 気 圧 傾 度 力 (赤)、拡 散 (緑)、コ リ オ リ カ (青) で あ る。

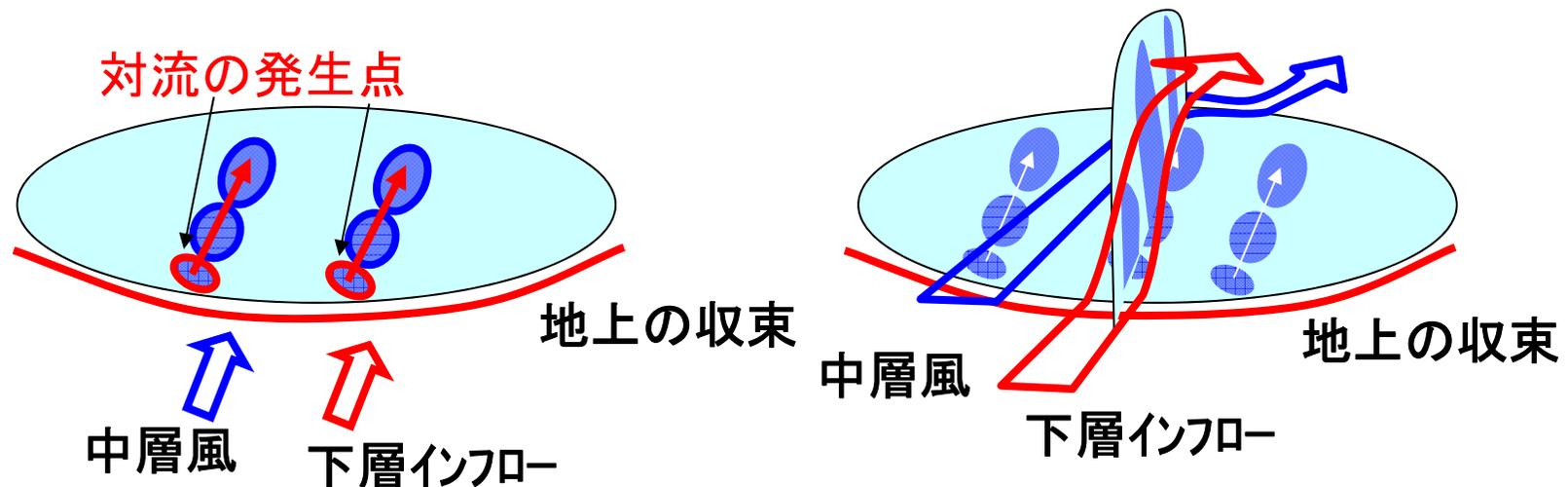
バックビルディング型の降水帯の気流構造



降水帯aの気流の模式図

バックビルディング型の線状降水系

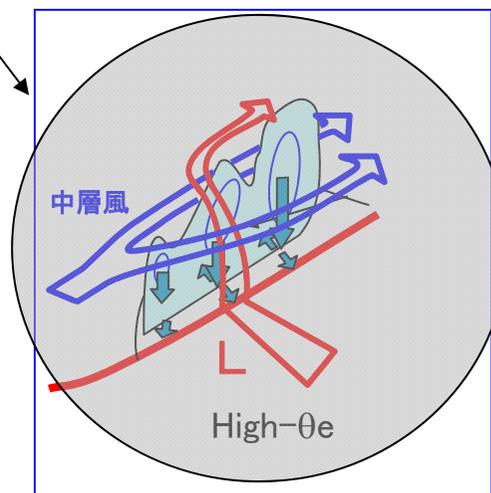
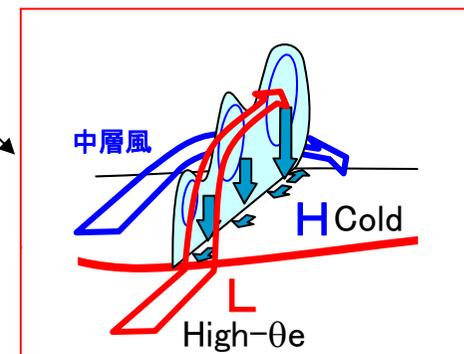
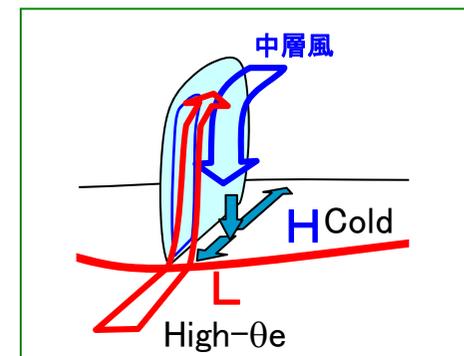
- ・降水域に大きな角度で下層インフローが流入する場合、
高度2-3km以上の水平風が下層インフローとほぼ平行な場合に形成
- ・ α/β スケールの降水域内に、さらに小さなスケールの降水帯が存在。
 - 降水帯の南部分で下層インフローが、発散する気流と収束。
 - 対流は風上で発生し、風下に移動。
 - 高度2.5kmの気流は、降水帯の間を通過。



紹介する解析事例

線状降水帯

- a. スコールライン型降水系
- b. バックビルディング型降水系
- c. バック アンド サイド
ビルディング型降水帯
- d. 形態に関する数値実験
- e. 大阪平野の線状降水帯

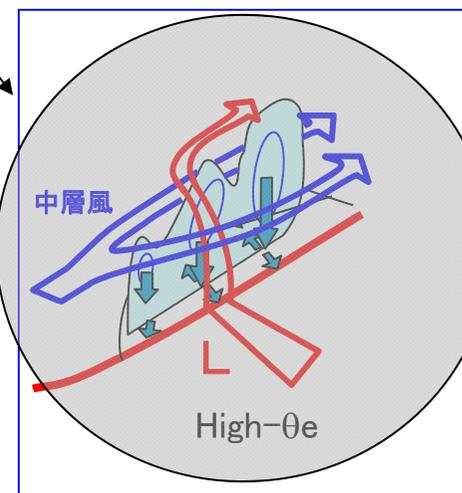
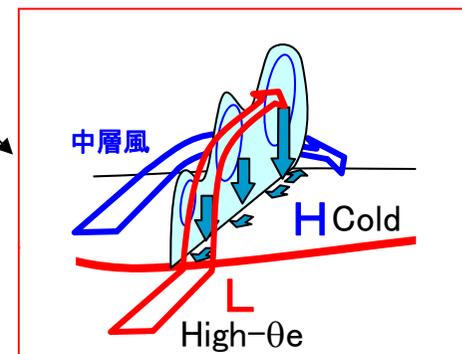
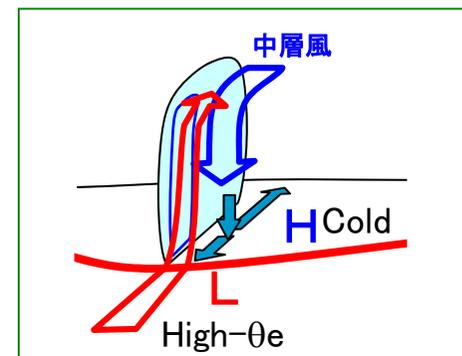


東シナ海で発達する梅雨期の降水系
線状降水帯が多い。
その解析の助けになれば...

紹介する解析事例

線状降水帯

- a. スコールライン型降水系
- b. バックビルディング型降水系
- c. **バック アンド サイド
ビルディング型降水帯**
- d. 形態に関する数値実験
- e. 大阪平野の線状降水帯

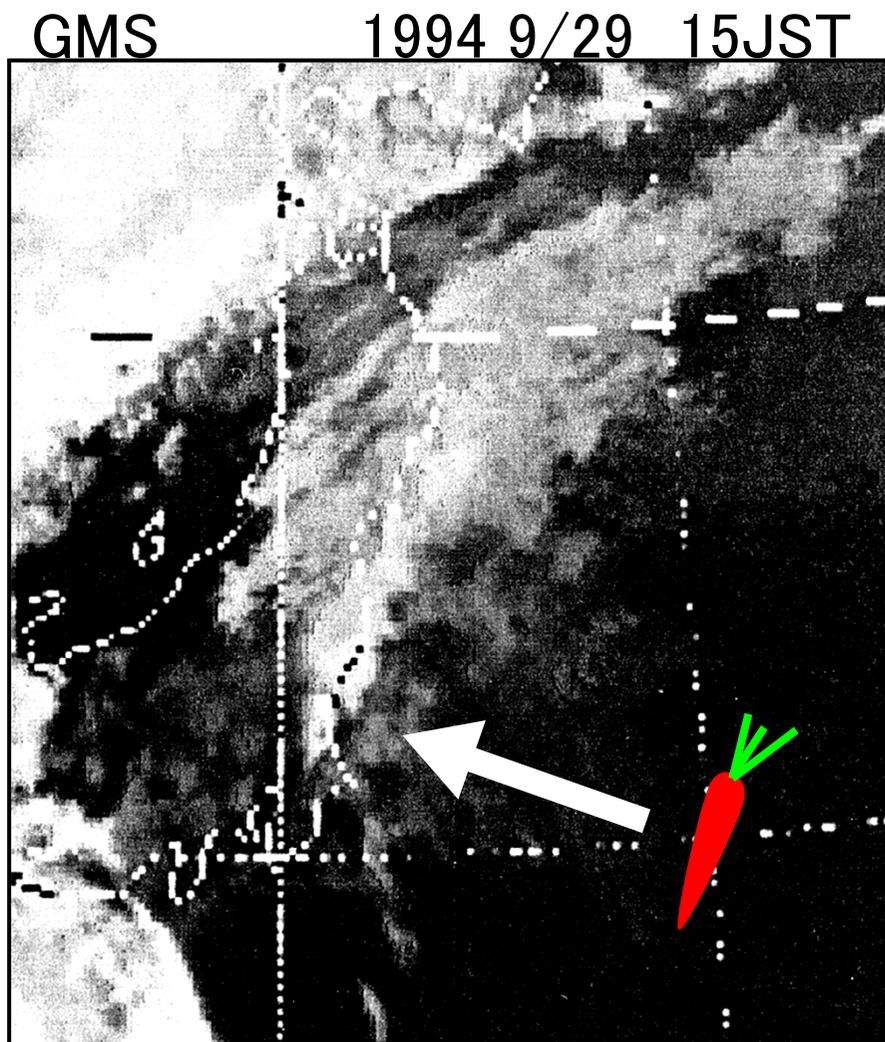


東シナ海で発達する梅雨期の降水系
線状降水帯が多い。
その解析の助けになれば...

バック アンド サイドビルディング型降水帯

台風接近時のニンジン状雲域を持つ降水帯

- ・台風9426(Orchid)接近時に降水帯が発達(白矢印)
- ・南端が尖ったニンジン状の雲域
- ・9月29日5時-19時まで持続降水帯による最大降水量267mm(茨城県北部 花園)



(ひまわり)

降水帯内の強い降水域

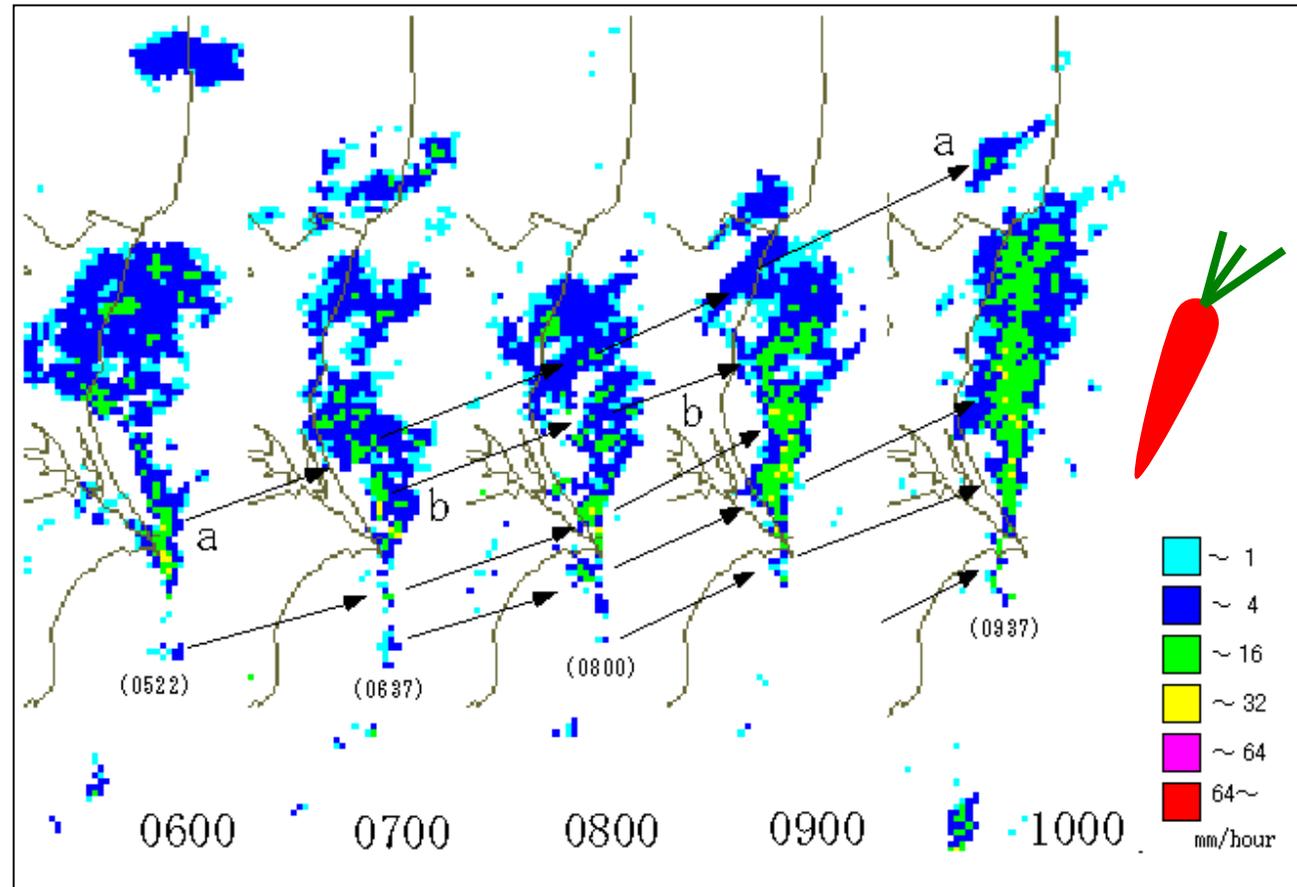
用いたデータ
現業レーダーデータ

- 降水帯の形状
ニゾン状

- 構成する降水の特徴
南部分: 南北に連なる
強い対流域
北部分: 弱い降水域
+ 対流域

- 対流セルの動き
南の小さな対流が発生
→ 北に移動し、ニゾン状の降水帯と併合
→ 西に膨らむ領域になって北に移動.

この降水系の特徴: 降水帯内の強い降水域が南北に繋がっていること。



現業レーダーによる1994年9月29日
06~10JSTの降雨強度の時系列

(Radup)

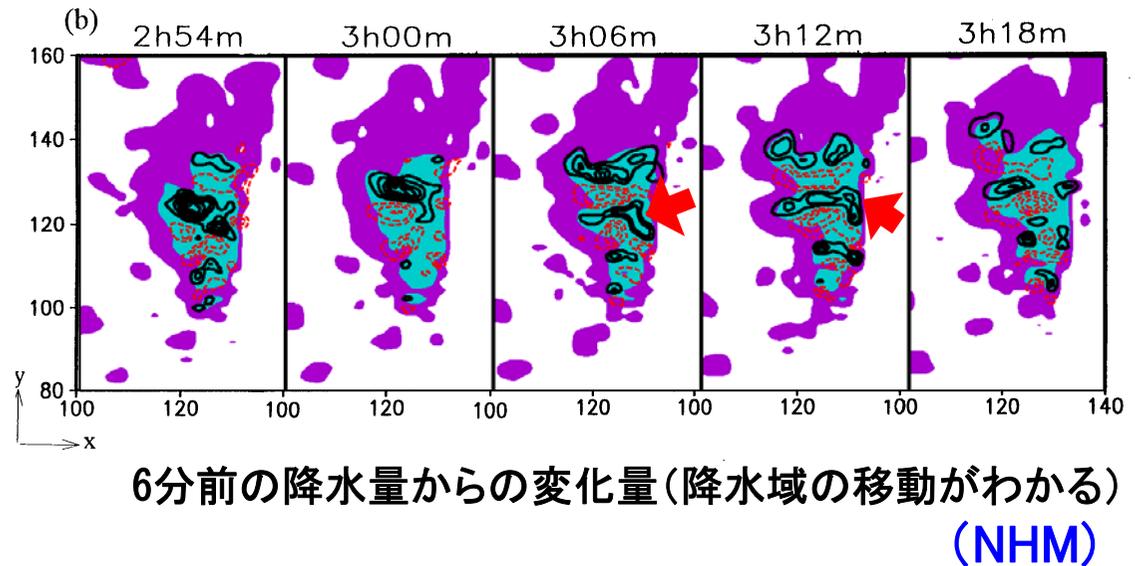
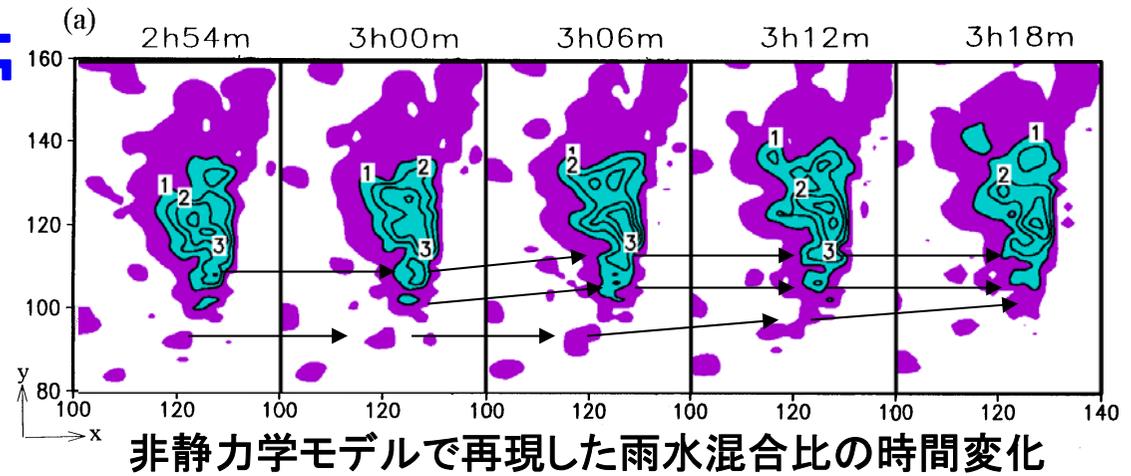
ニンジン状の降水帯 の再現実験

再現した降水域の特徴

- ・南に尖ったニンジン状
- ・降水帯の北部分は弱い降水域
- ・南側の小さい対流が北に移動して併合
- ・西へ膨らみつつ北に移動
- ・東側でも降水強度の強まり
対流セルの発生 (赤矢印)



観測と同じ特徴を再現。→再現した降水帯の構造をみる。



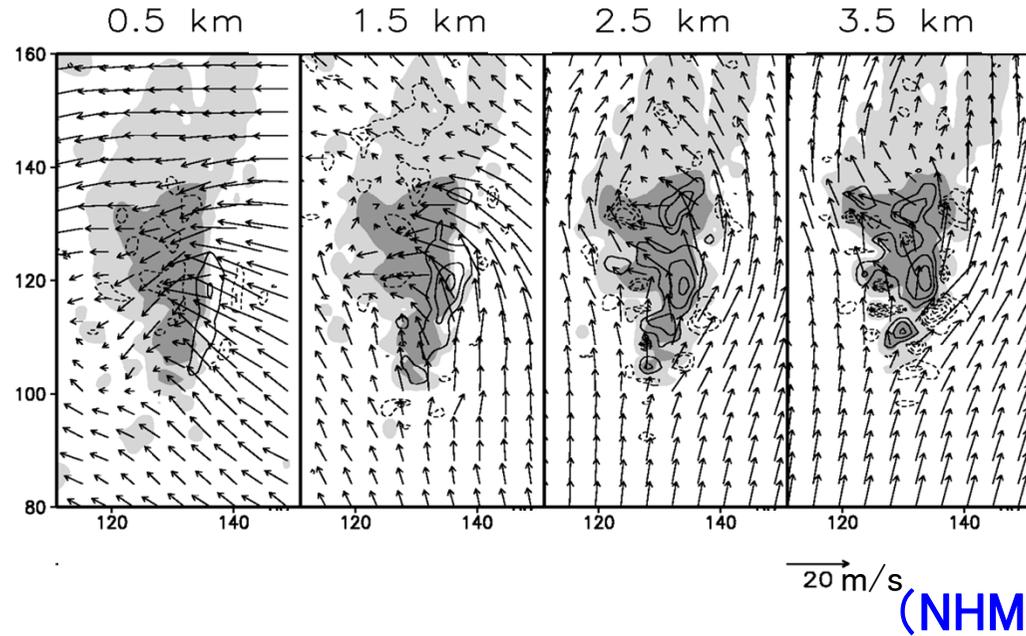
降水帯の 気流構造

降水帯付近にトレーサー
を置き、FT=2-4hの期間
を追跡

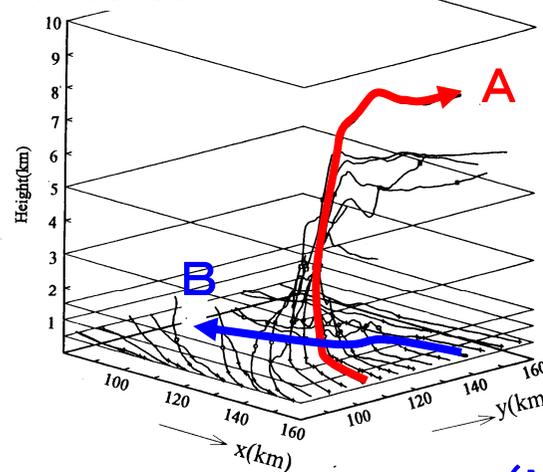
- ・開始高度 0.5km **A**
側面で上昇し、北へ移動
- ・開始高度 0.5km **B**
北側から降水域に入り
下降
- ・開始高度 3.0km **C**
降水帯を避けて分岐
高度3kmの乾燥
気塊は下降してい
ない。

水平風・上昇流

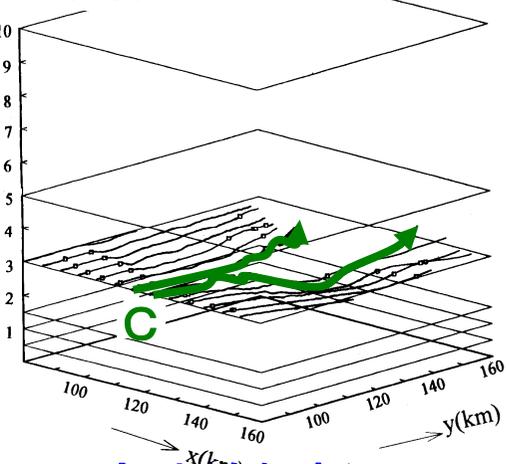
FT=3h00m



開始高度0.5km



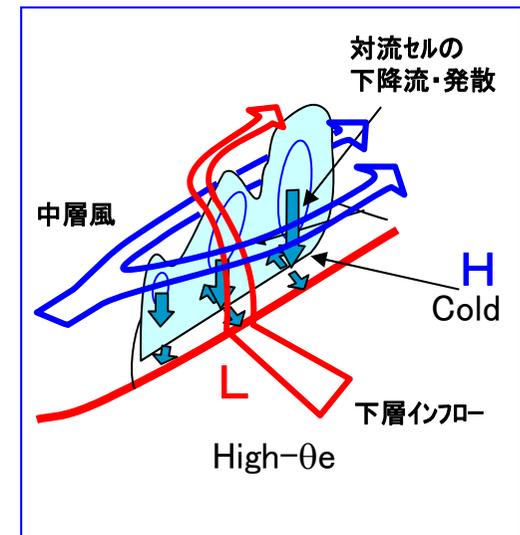
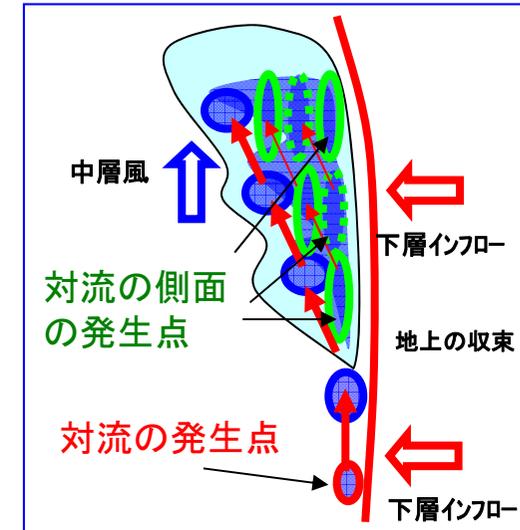
開始高度3.0km



(NHM+流跡線解析ツール)

バック アンド サイド ビルディング型 の線状降水システム

- ・ 降水域に大きな角度で下層インフローが流入する場合、降水帯と**高度3kmの水平風（中層風）**の風向と同じ場合に形成。
- ・ 降水帯の下層インフローが吹き込む側は、連続的な強い対流域が形成。
 - ・ 中層風の風上側で対流域が発生。
 - 中層風の風下に移動し、降水帯と併合。
 - **下層インフローの風下に膨らむ強い対流域。**
 - 中層風の風下に移動。
 - ・ **中層風の風上に発生し（バックビルディング）、中層風の風下に移動する間も、下層インフローにより側面で対流セルが発生する（サイドビルディング）。**
- ・ 下層インフローの逆側に降水←持続する構造。

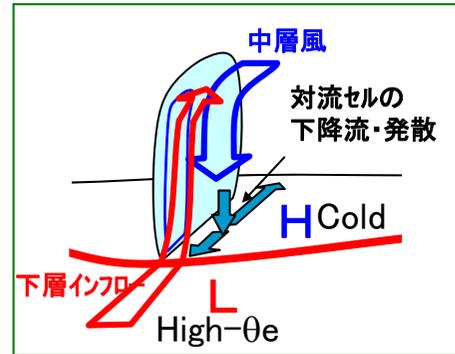
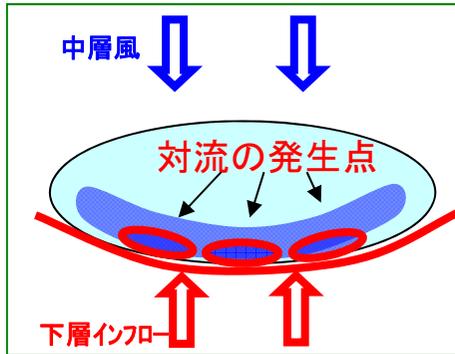


3つの線状降水帯の気流構造

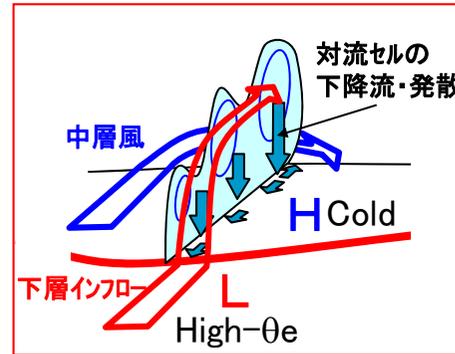
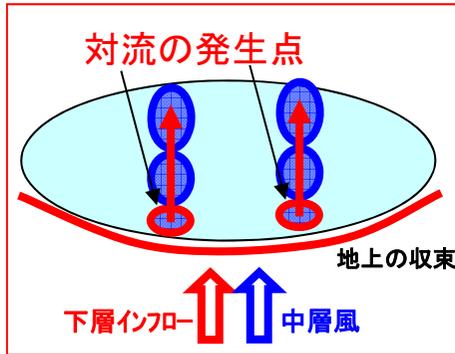
線状降水系の形態

内部構造

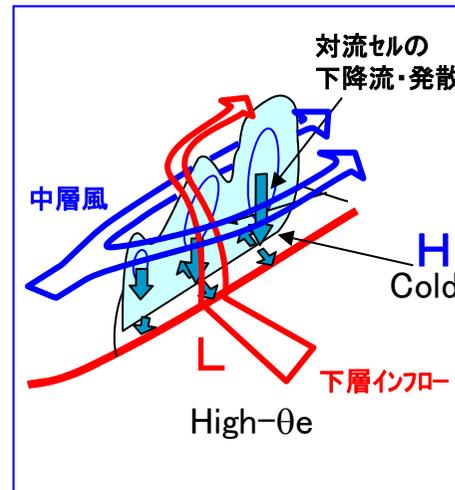
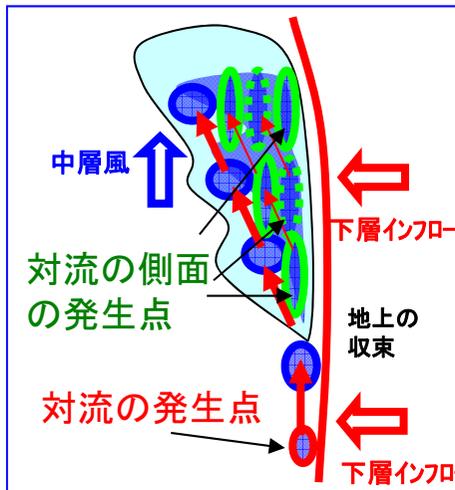
スコールライン型



バックビルディング型



バックアンドサイドビルディング型



【スコールライン型】

- ・ 中層の後面から気流が侵入
- ・ 下降して下層インフローと収束
- ・ 前面に新しい対流発生

【バックビルディング型】

- ・ 対流の発散がインフローと収束
- ・ 前面に対流発生, 風下に移動
- ・ 中層気塊は降水帯間を通過

【バックアンドサイドビルディング型】

- ・ 中層風の風上で対流が発生
- ・ 中層風の風下に移動
- ・ 対流の発散がインフローと収束
- ・ 側面で新しい対流を強化

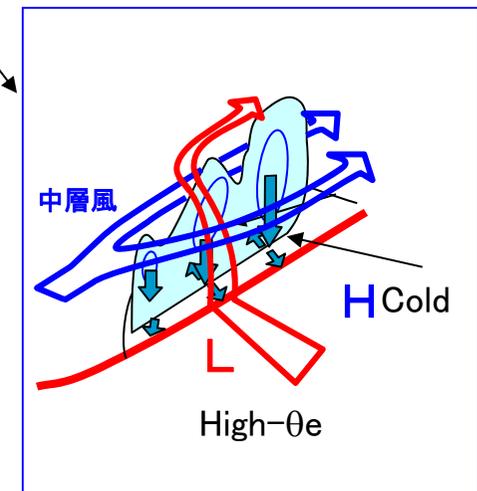
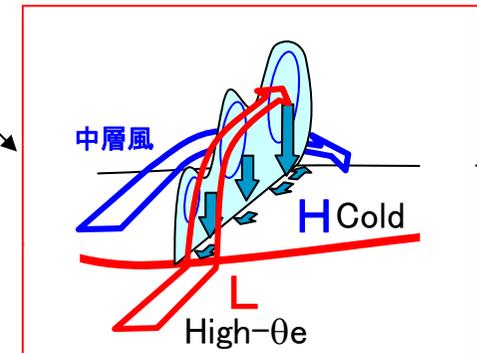
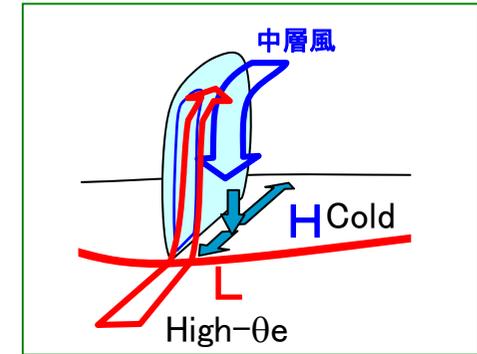
【注意】ここでの“中層”は、下層インフローより上層(3km程度)を意味している。

	バックビルディング型	バックアトサイドビルディング型	スコールライン型
下層風と中層風の関係	同方向	直角方向	逆方向
対流セルの移動	<p>対流セルは中層風で流される。</p>	<p>対流セルは中層風で流される。</p>	<p>対流の発生点で固定</p>
対流セルが発生・強化する場所	<p>地上の収束線</p> <p>対流セルからの発散</p>	<p>地上の収束線</p> <p>対流セルからの発散</p>	<p>地上の収束線</p> <p>対流セルからの発散</p>

紹介する解析事例

線状降水帯

- a. スコールライン型降水系
- b. バックビルディング型降水系
- c. バック アンド サイド
ビルディング型降水帯
- d. 形態に関する数値実験
- e. 大阪平野の線状降水帯

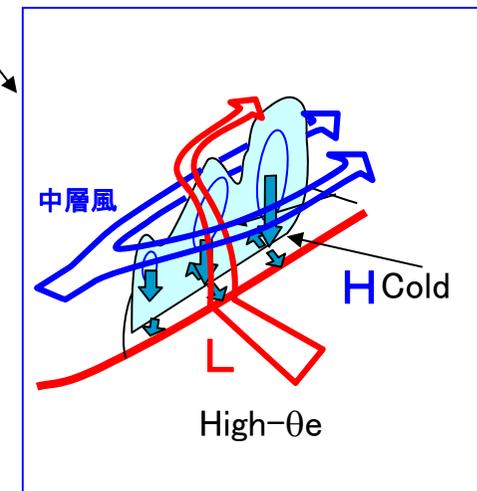
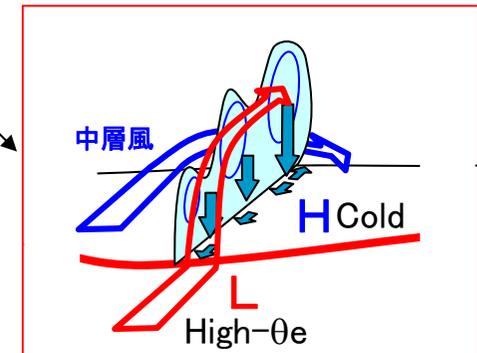
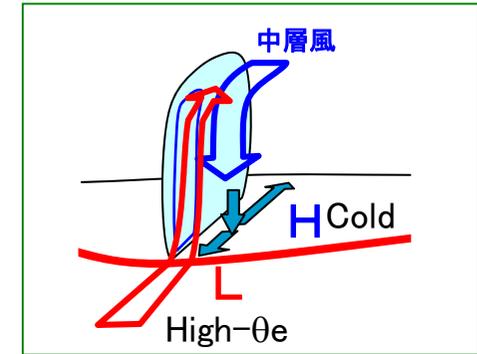


東シナ海で発達する梅雨期の降水系
線状降水帯が多い。
その解析の助けになれば...

紹介する解析事例

線状降水帯

- a. スコールライン型降水系
- b. バックビルディング型降水系
- c. バック アンド サイド
ビルディング型降水帯
- d. 形態に関する数値実験
- e. 大阪平野の線状降水帯



東シナ海で発達する梅雨期の降水系
線状降水帯が多い。
その解析の助けになれば...

線状降水系の形態に関する数値実験

これまでの事例研究から

線状降水系の型
や特徴

インパクト有
ケースを増やす

インパクト不明
効果を調べる

注目する環境

下層インフローに対
する中層の風向
と風速

中層の湿度

共通な環境

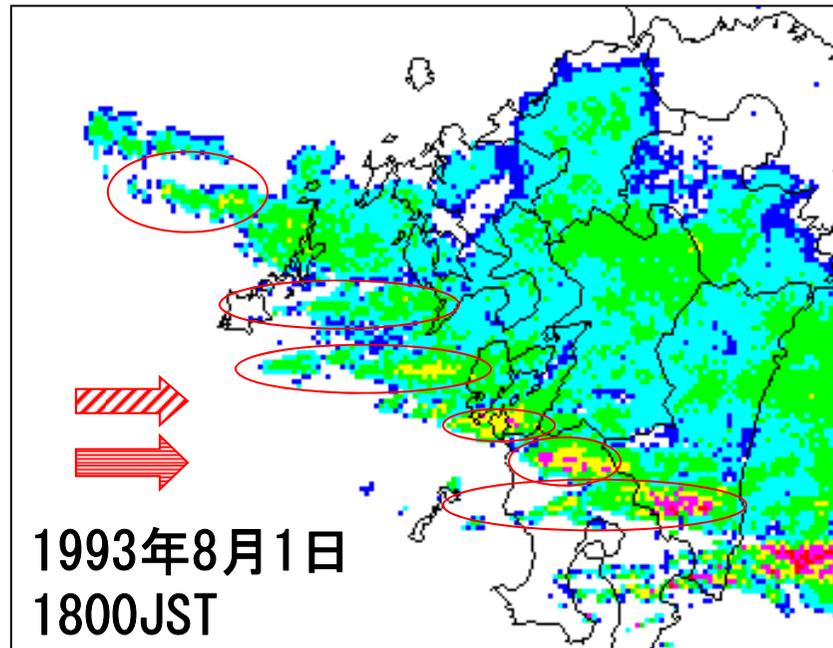
温度, 湿度(中層以外)の鉛直プロファイル(梅雨降水システム南側を採用)
高度1.5km以下の下層風, 下層風の収束, 下層の水平温度傾度

注目する環境を変えて実験を行い,組織化した線状降水系を調べる。

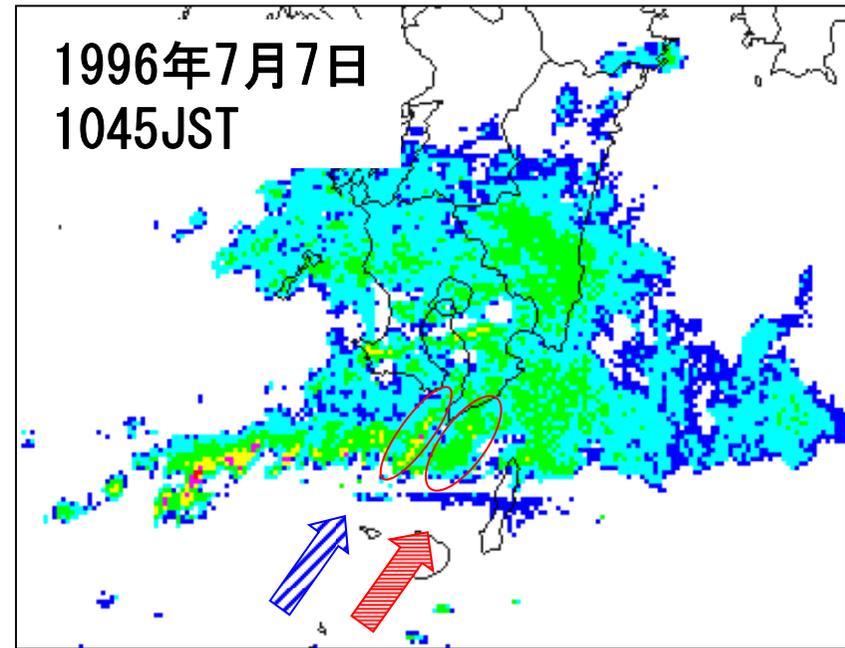
数値モデル

- ・ モデル 気象研非静力学メスケールモデル(NHM)
- ・ 降水スキーム 雲水・雨水を予報
- ・ 水平分解能、格子数 2km, 200×200×38

そのほかのバックビルディング型の線状降水系との比較



湿った中層風 → 下層風



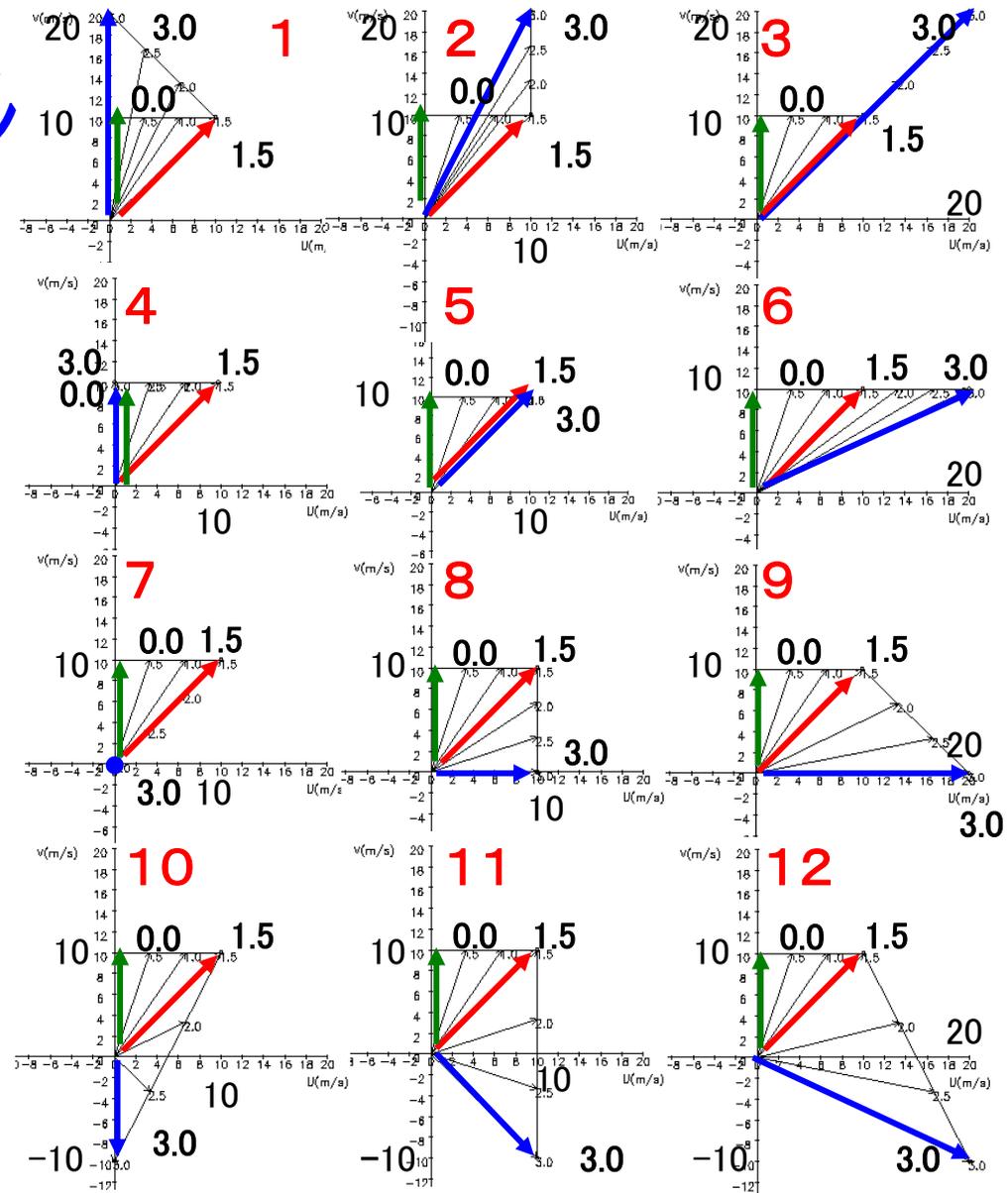
乾いた中層風 → 下層風
(Radup)

- ・ 1993年8月1日の事例では、**中層風も高相当温位**な気塊。
- ・ 1996年7月7日の事例では、**中層風が低相当温位**な気塊。

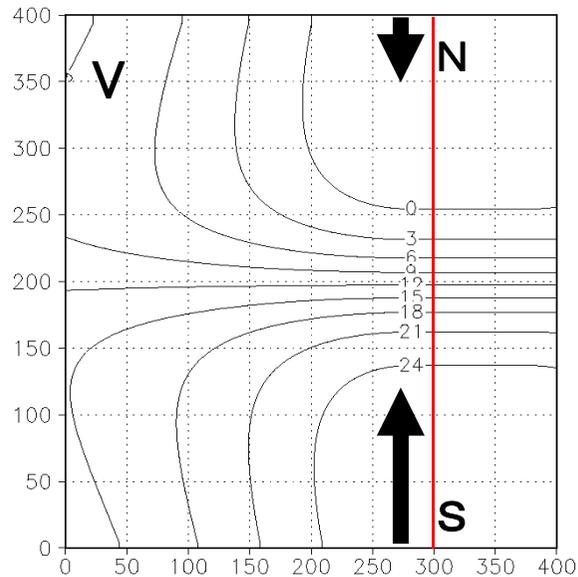
中層風が湿っている方が、降水強度が強い。
湿度による影響はあるのだろうか？

水平風鉛直プロファイル

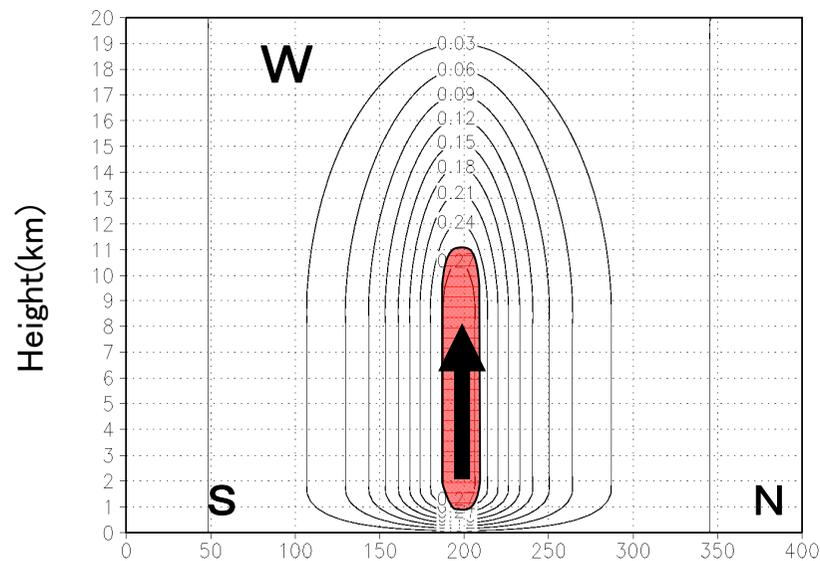
- ・ β スケールの線状降水系に
ほぼ相対的な水平風。
- ・ 水平一様に与える。
⇒収束は変えない。
- ・ 高度1.5kmより下層
全ケースで共通。
- ・ 高度3.0km
10m/sずつ変えて与える。
- ・ 高度3.0kmより上層
3.0kmと同じ水平風。



水平一様に与える水平風の棒グラフ、太字は高度(km)。



高さ20mでの南北風分布



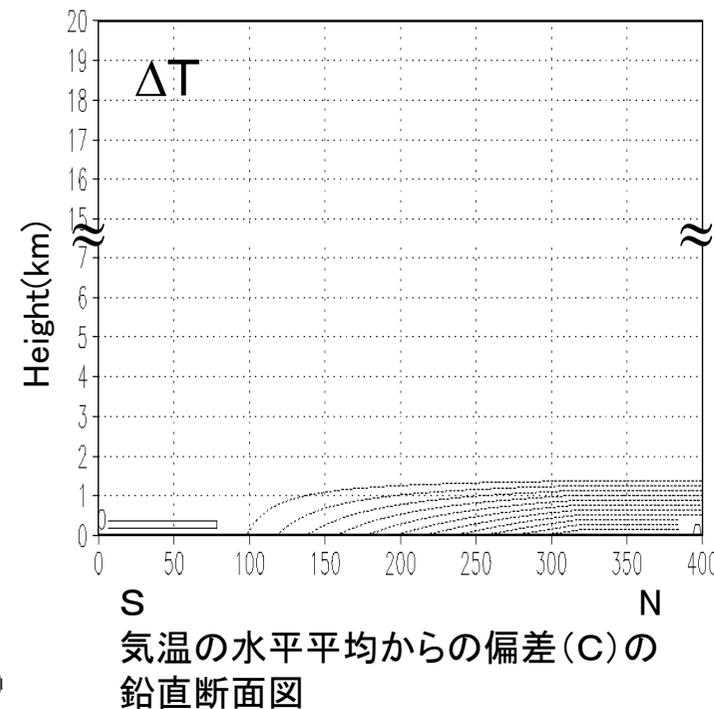
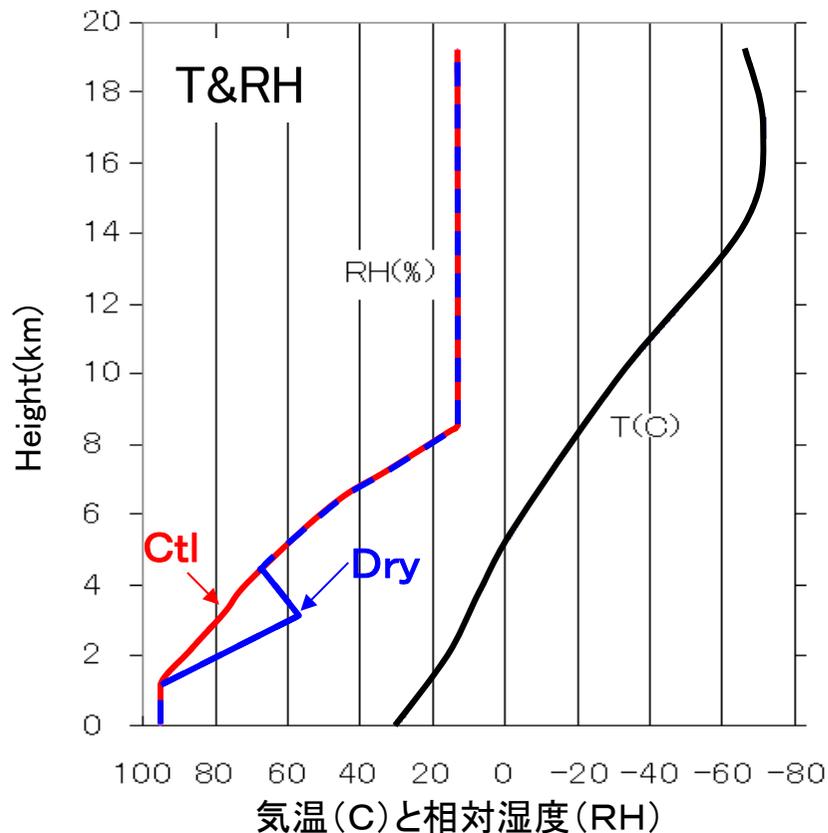
x=300kmでの鉛直風分布

南北風に与える収束と鉛直流

- ・ 下層の南北風の収束
再現実験と同程度を下層1.5kmに与える。
- ・ 計算領域上端では鉛直流がなくなるように、
 発散を高度8km以上に与える。
- ・ 鉛直流0.26m/s以上は、飽和にする。

温度・水蒸気の鉛直プロファイル

- ・ NHMで再現した梅雨期の降水システム南側の成層
- ・ 水平温度傾度 下層1.5kmに再現実験と同程度。
- ・ 中層の水蒸気量 (変える環境)
水蒸気は高度1.5-4.5kmを最大60%に減らす。



線状降水系の型と 高度3km以上の風向の関係

・スコールライン型

【下層インフローと逆方向、または弱い場合
(ケース7, 8, 10, 11)】

⇒下層インフローと直交する長く伸びた降水帯の形成。

・バックビルディング型

【下層インフローと同方向の場合(ケース4, 5)】

⇒降水域内に中層風と平行な降水帯の形成。

⇒逆方向のケースに比べて、降水域が広がり、降水強度も小さい。

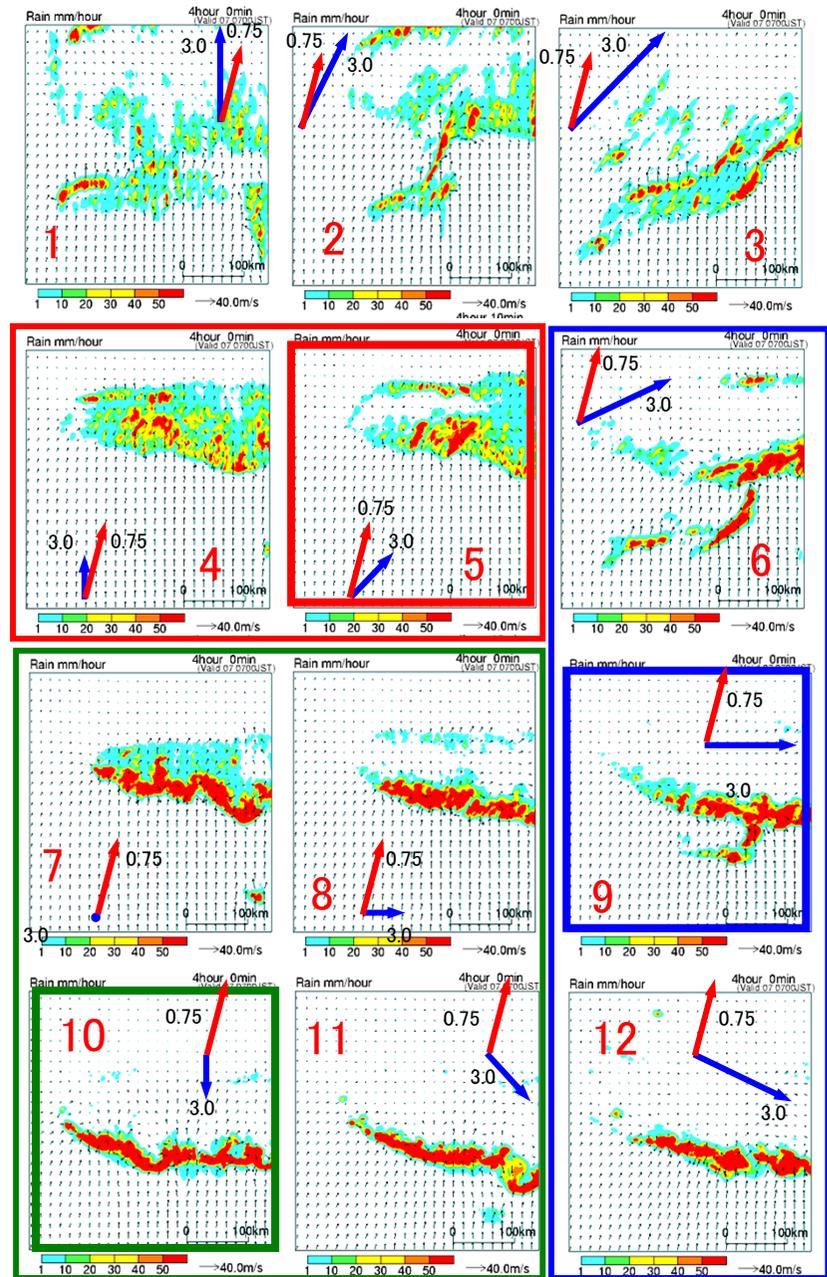
・バックアンドサイドビルディング型

【下層インフローと直交方向の場合
(ケース6, 9, 13)】

⇒中層風と平行な降水帯の形成。

⇒中層風の風上側に小さい降水域

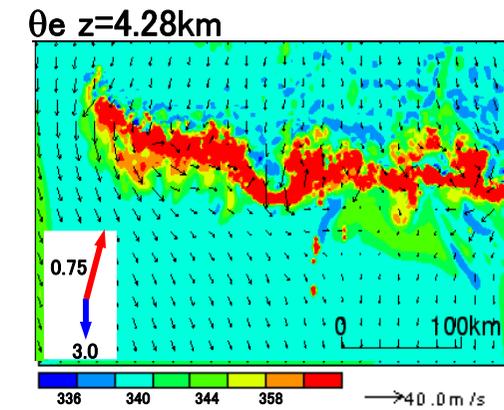
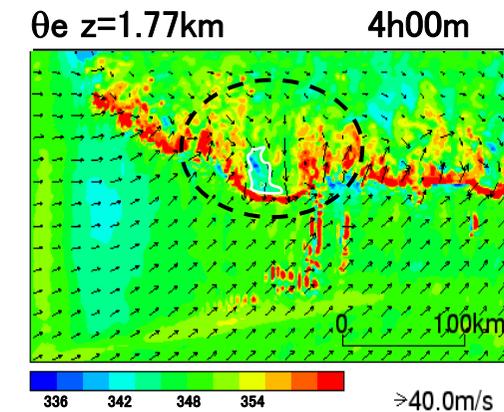
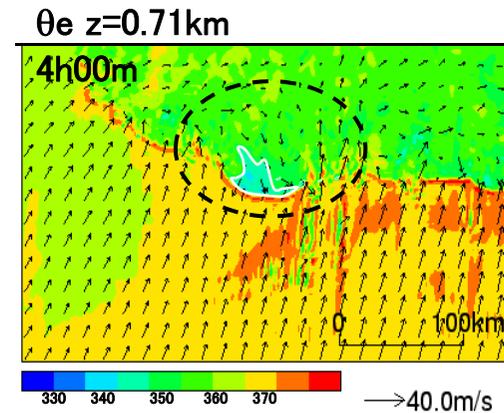
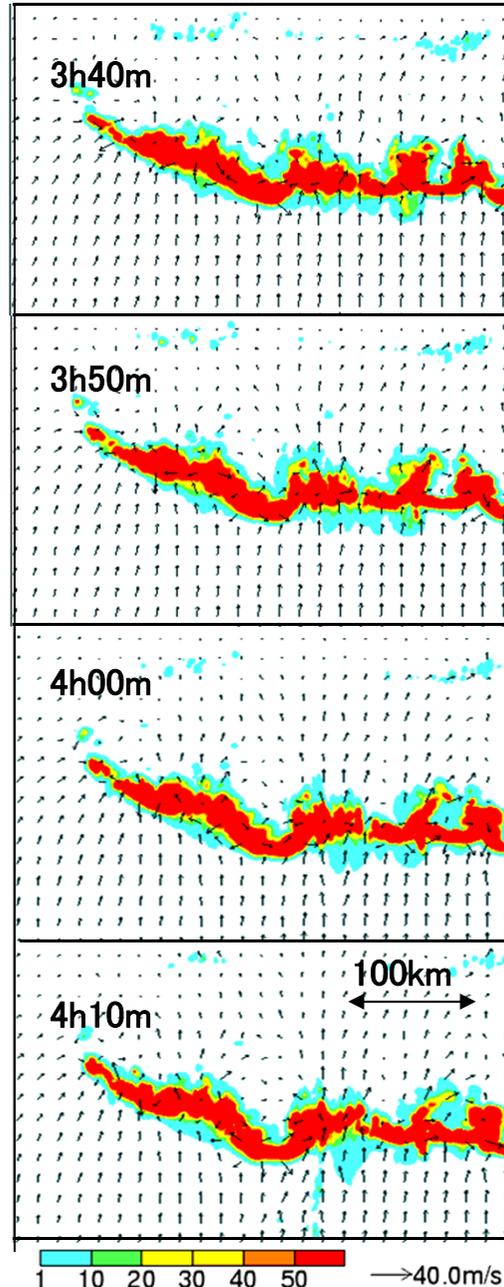
・典型的なケース5, 10, 9を調べる。



(NHM)

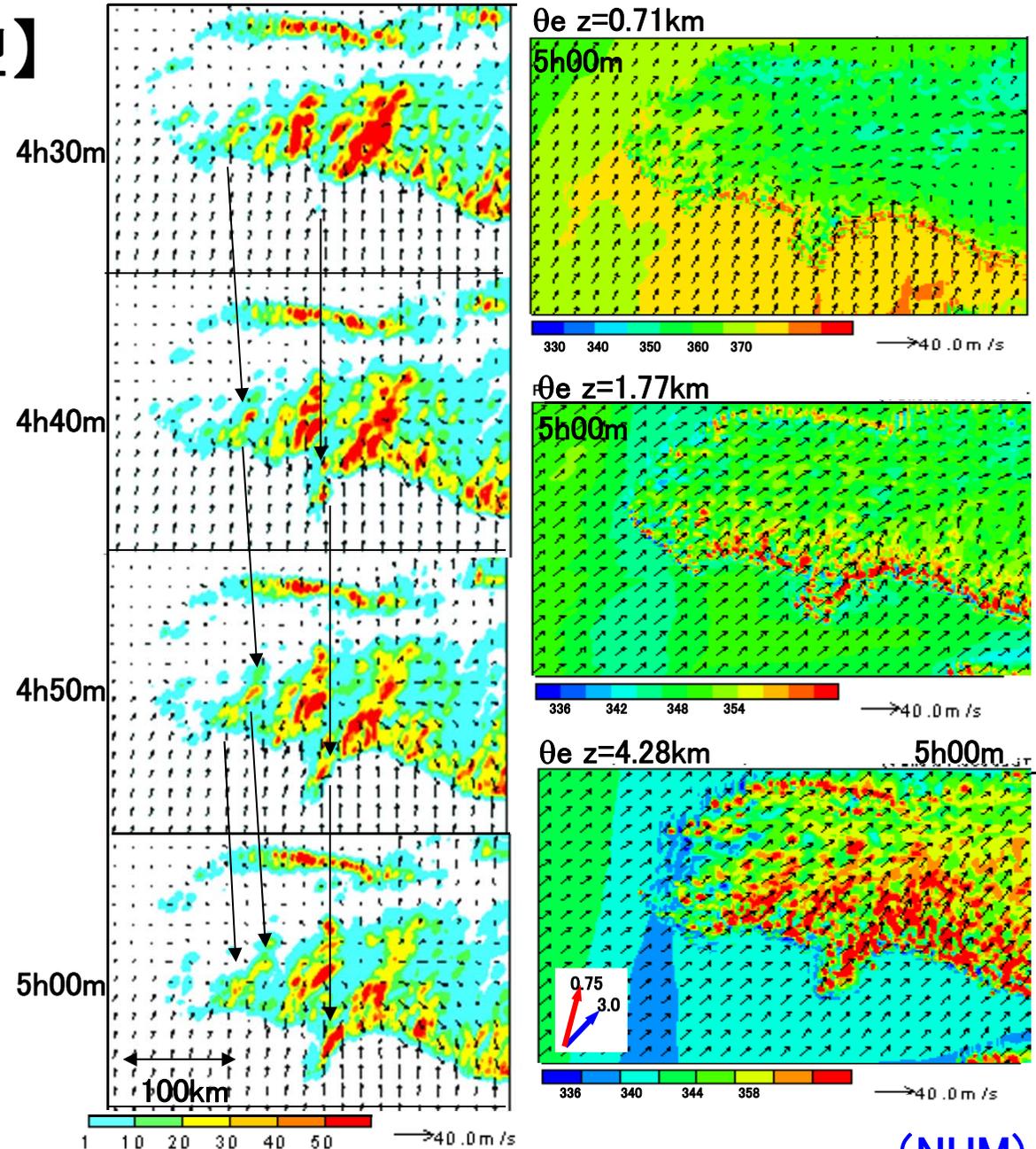
【ケース10:スコールライン 型】

- ・下層インフローの逆側からの中層風の侵入。
- ・下層の発散する気流と南からの高相当温位のインフローが収束。
- ・高度0.7km, 1.8kmの降水域の北側で低相当温位の北風(右図○) → 中層の気塊が下降。
- ・メソβスケールの降水帯はスコールライン型に組織化。



【ケース5:バックビルディング型】

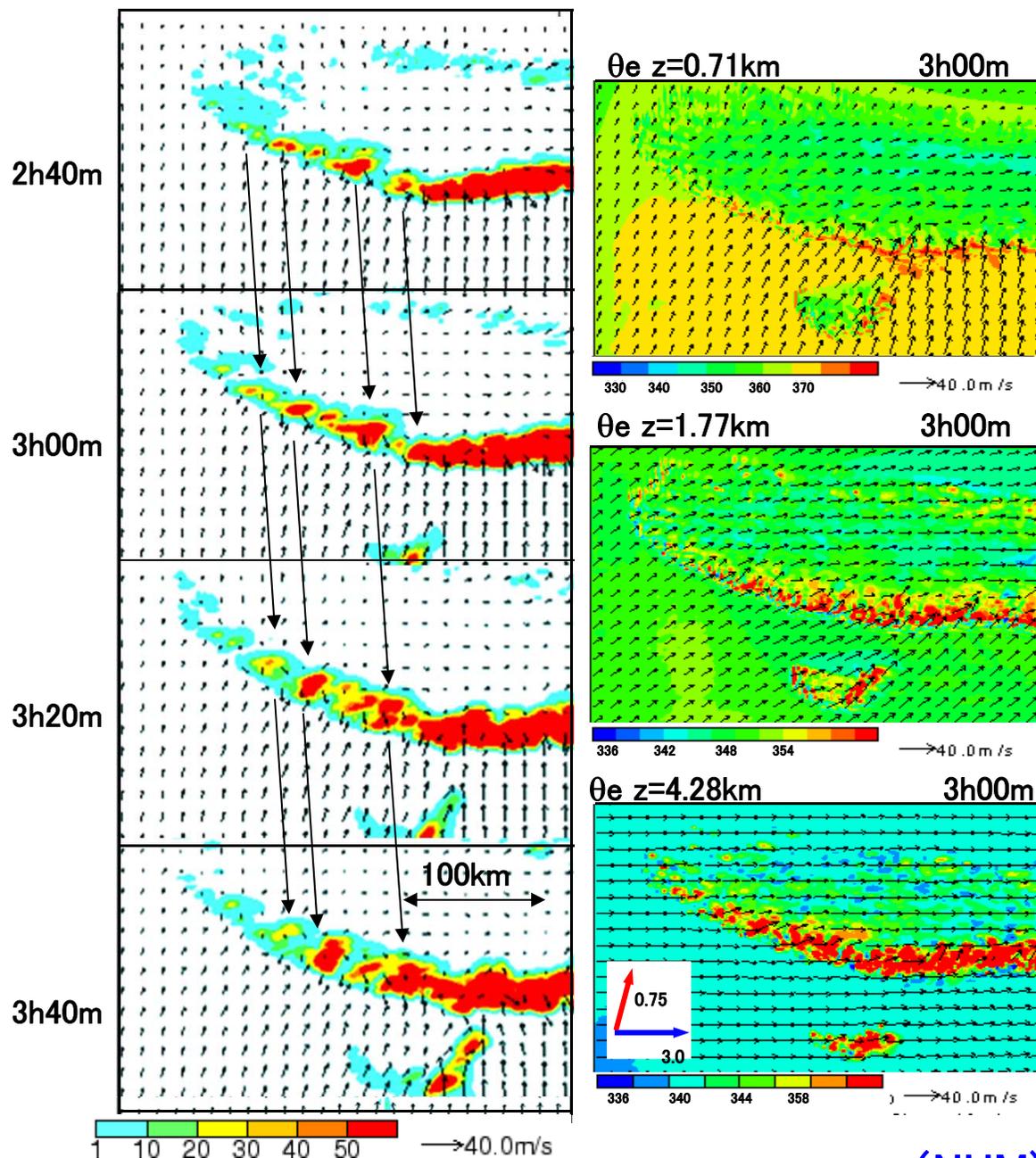
- ・全層が南～南西風のほぼ同じ風向。
- ・下層の発散する気流と南からの高相当温位のインローが収束。
- ・新しい対流域が、降水帯の南端で発生。
→発達しながら後方へ移動し、減衰。
- ・メソスケール降水域内に風向に平行なバックビルディング型の降水帯が形成



(NHM)

【ケース9：バックアンド
サイト「ビルディング」型】

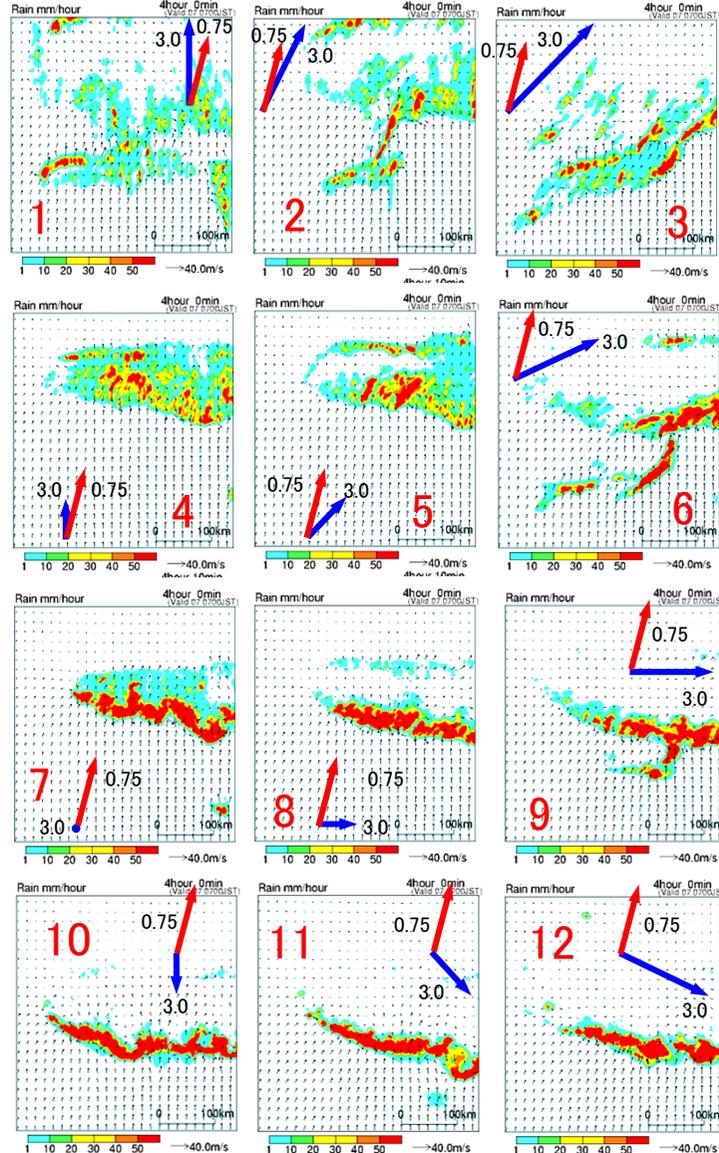
- 下層インフローに直交する中層風。
- メソスケールの降水帯は中層風に平行に組織化。
- 下層：発散する気流と南からの高相当温位のインフローが収束。
- メソスケールの降水帯の西端で新しい対流域が発生。
→ 発達しながら東へ移動し、降水帯に併合。



(NHM)

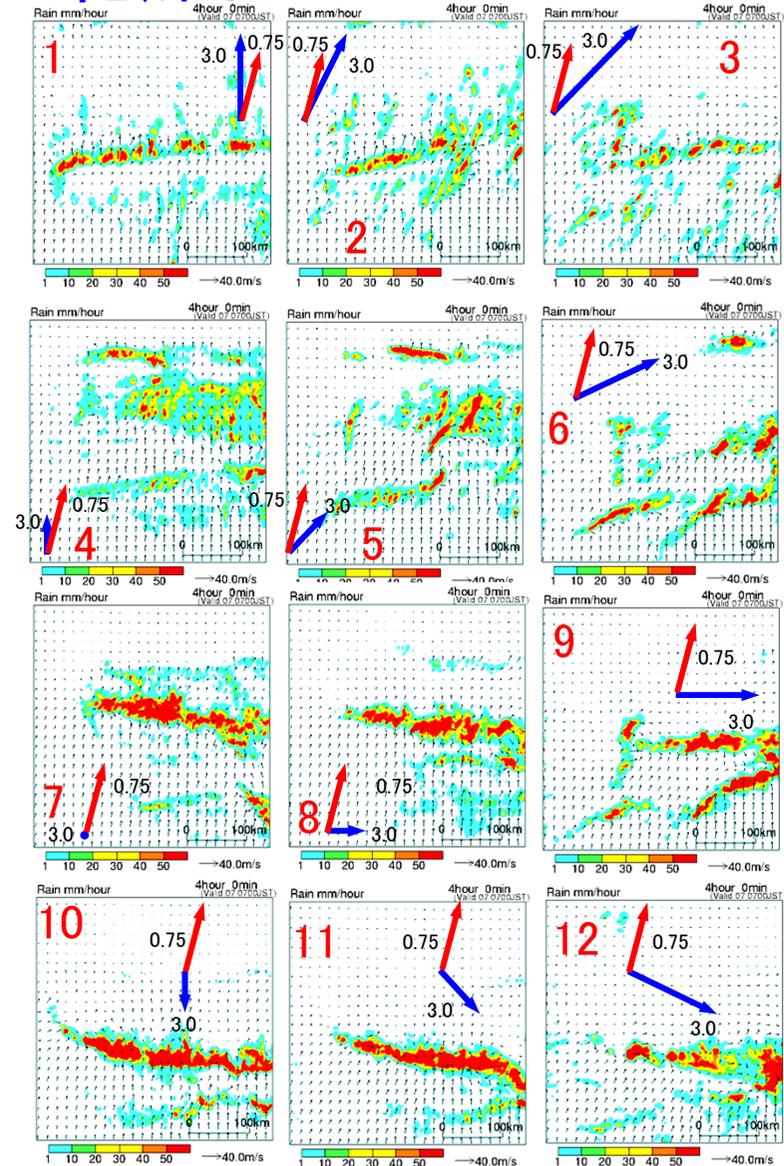
中層の乾燥化と線状降水システムの形状

コントロール FT=4h00m



乾燥化

FT=4h00m

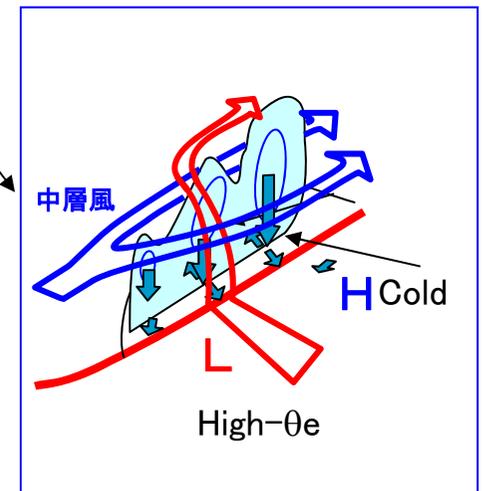
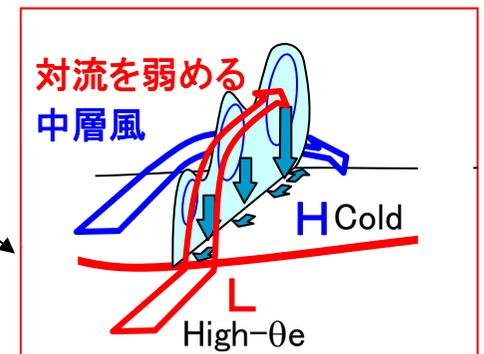
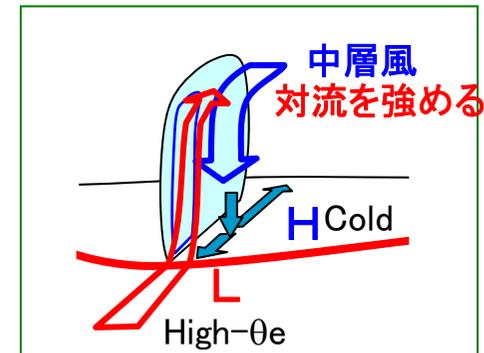


(NHM)

	内部構造	雨水の蒸発	雲水の蒸発	不安定化	水蒸気量の減少	降水量の減少
スコールライン型		中層風が下層の収束を強化。 +			少ない水蒸気 ↓ 降水量の減少	95% —
バックビルディング型			中層風が降水域を通過。 —	新しい対流域の形成。 —	— —	87% — — —
バックアクト・サイドビルディング型			降水帯を通過する中層風が少ない。		— —	91% — —

ここまでのまとめ・・・

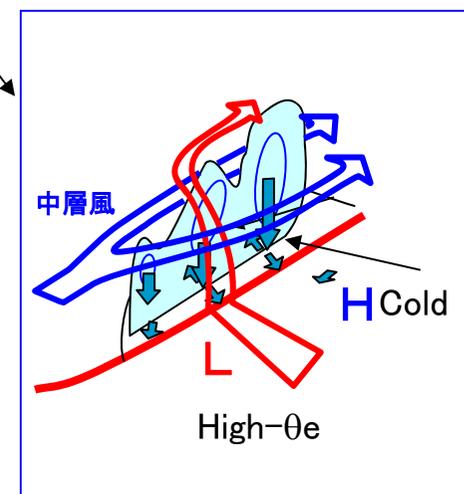
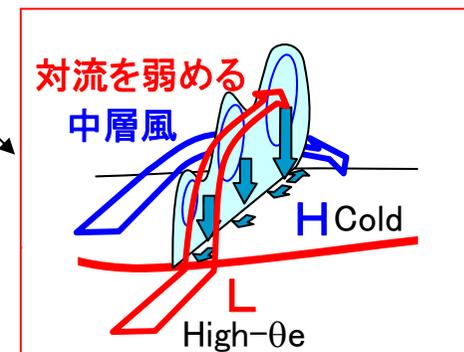
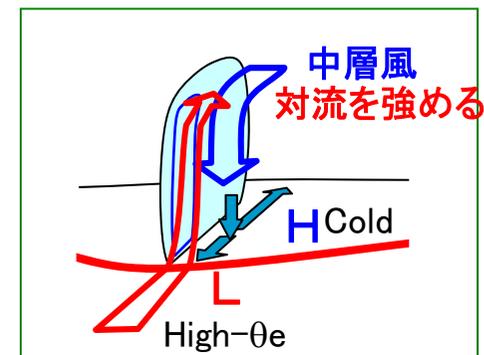
- ・ 同じ線状降水帯でも、
 - スコールライン型降水系
 - バックビルディング型降水系
 - バック アンド サイドビルディング型降水帯などの形態がある。
- ・ 形態ごとに、降水帯の特徴
移動速度や中層の乾燥気塊の
寄与が異なっている。
- ・ 気流構造を見ることは、
降水帯の振る舞いを理解・予想するのに必要。



紹介する解析事例

線状降水帯

- a. スコールライン型降水系
- b. バックビルディング型降水系
- c. バック アンド サイド
ビルディング型降水帯
- d. 形態に関する数値実験
- e. 大阪平野の線状降水帯

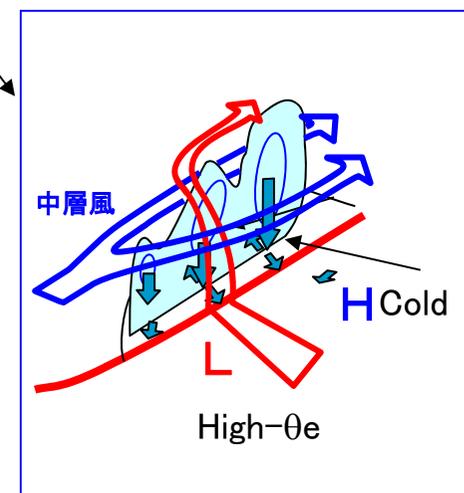
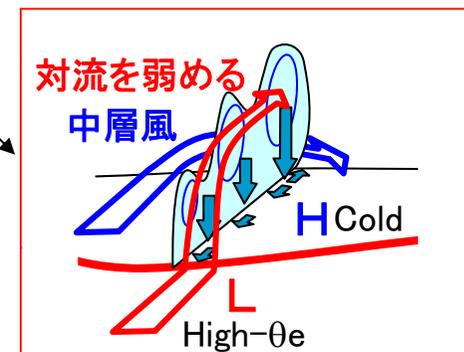
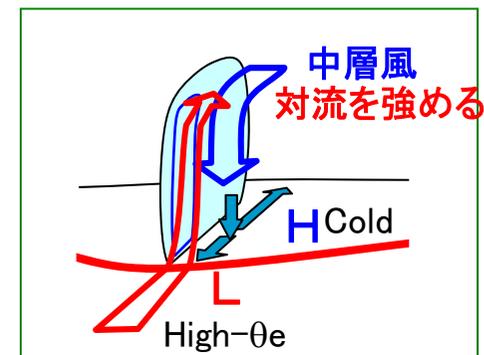


東シナ海で発達する梅雨期の降水系
線状降水帯が多い。
その解析の助けになれば...

紹介する解析事例

線状降水帯

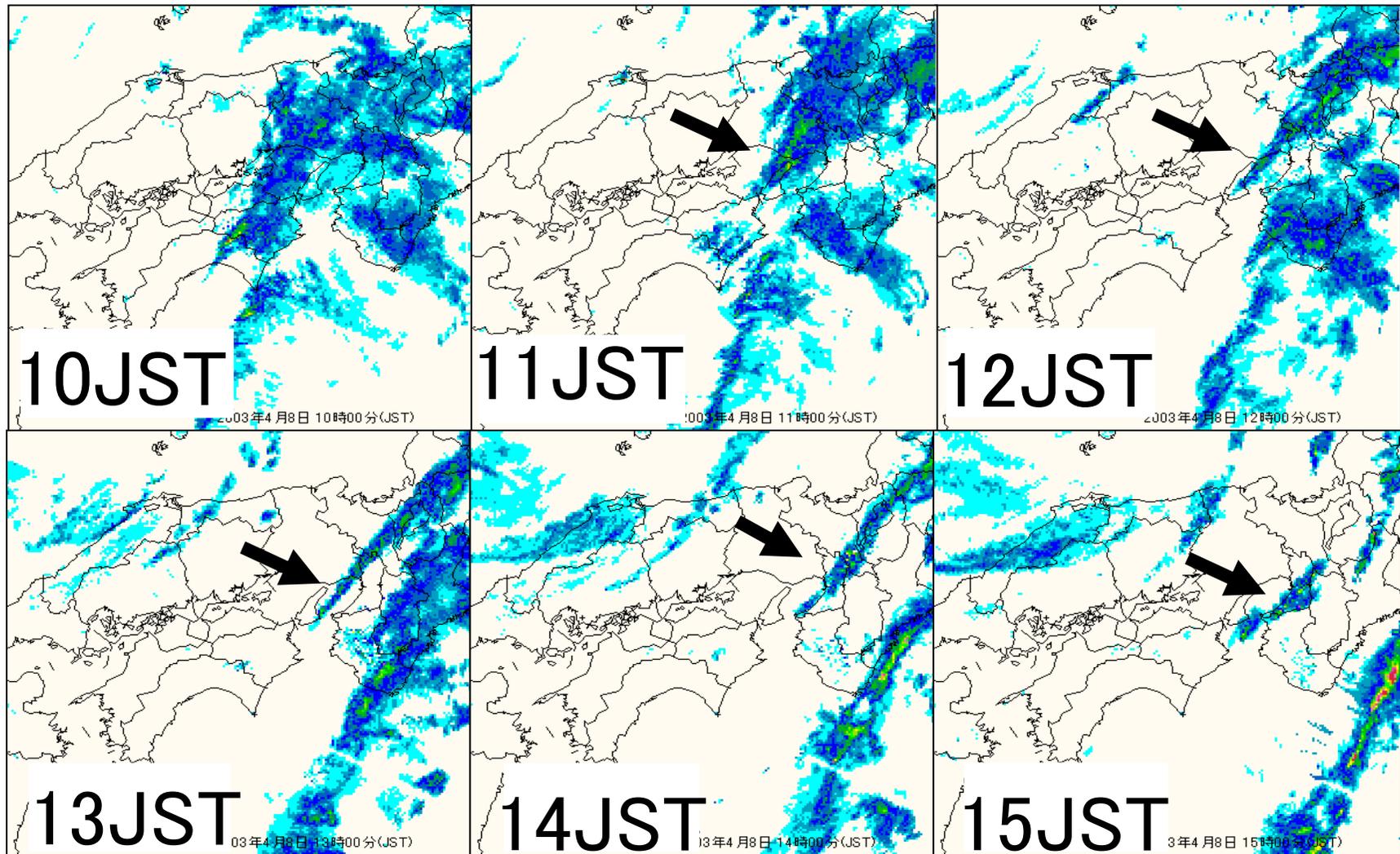
- a. スコールライン型降水系
- b. バックビルディング型降水系
- c. バック アンド サイド
ビルディング型降水帯
- d. 形態に関する数値実験
- e. 大阪平野の線状降水帯



他の事例で
確認してみよう！

大阪平野で観測された線状降水帯

監視レーダ(2003年4月8日)

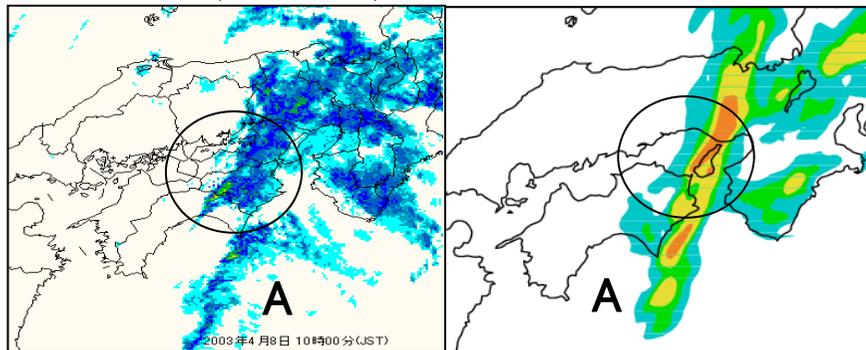


(現業レーダ)

数値モデルで再現した線状降水帯の特徴

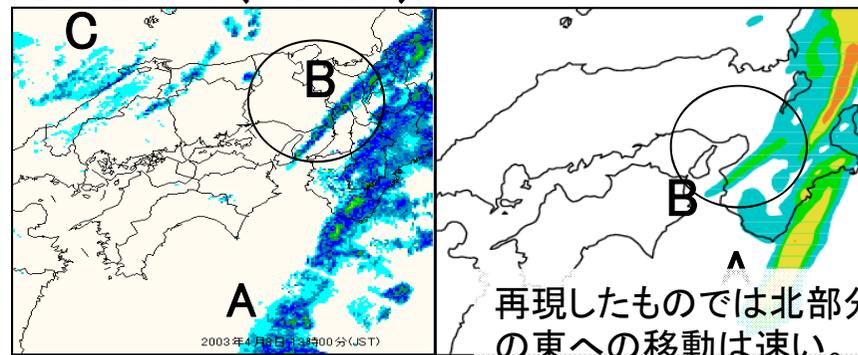
5km格子のNHMの実験結果(初期値:8日06時)

1000JST (FT=4h)

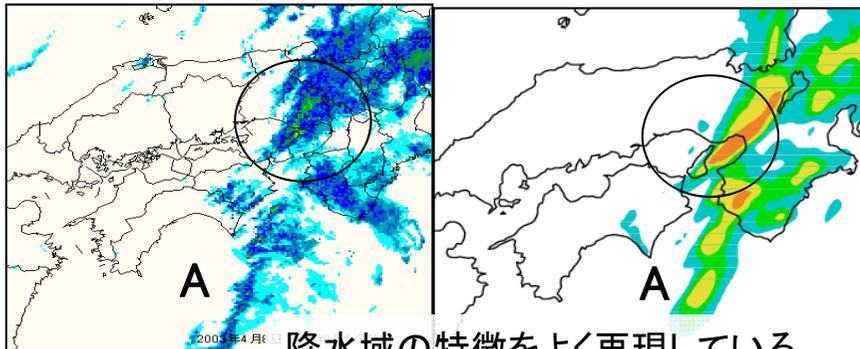


1300JST (FT=7h)

(現業レーダ+NHM)

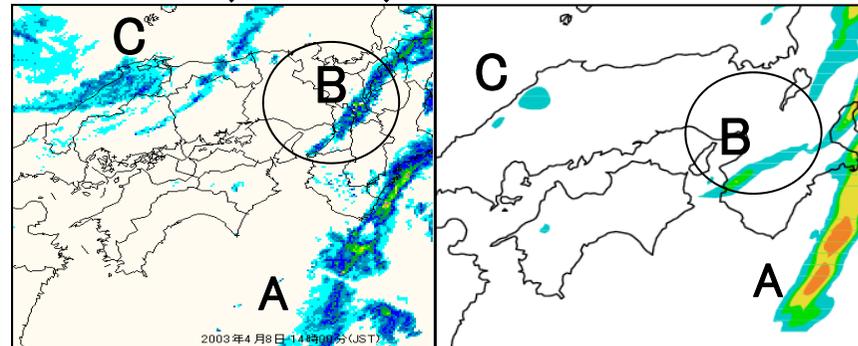


1100JST (FT=5h)

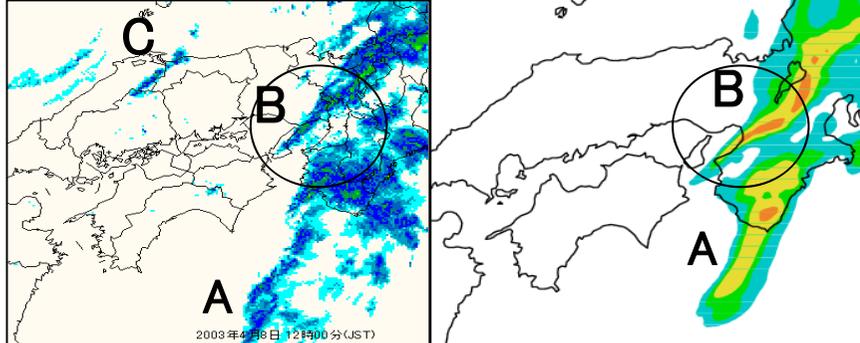


降水域の特徴をよく再現している

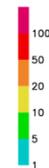
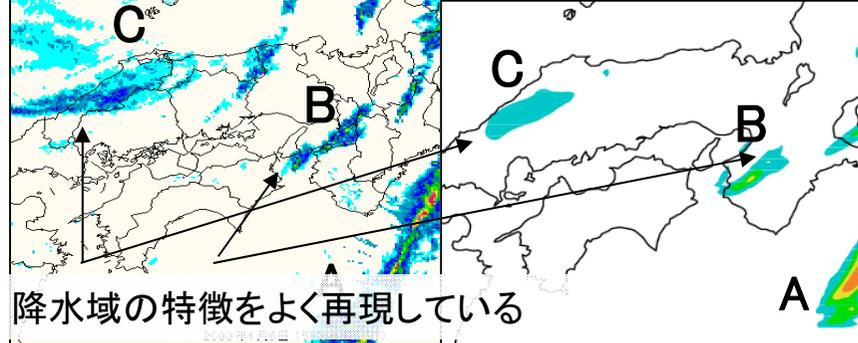
1400JST (FT=8h)



1200JST (FT=6h)



1500JST (FT=9h)



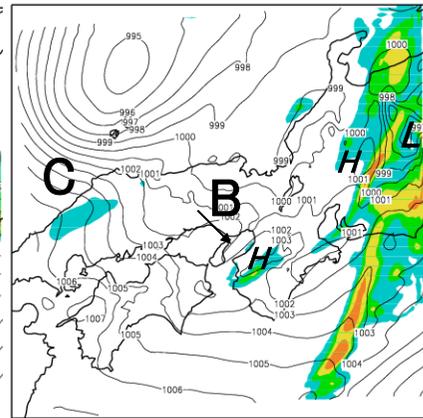
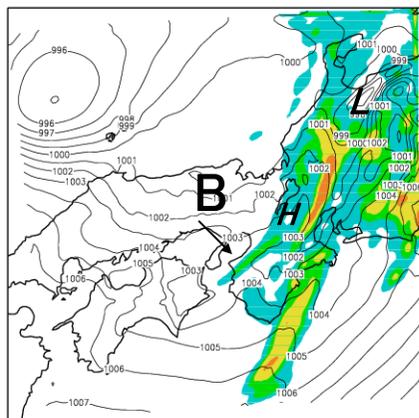
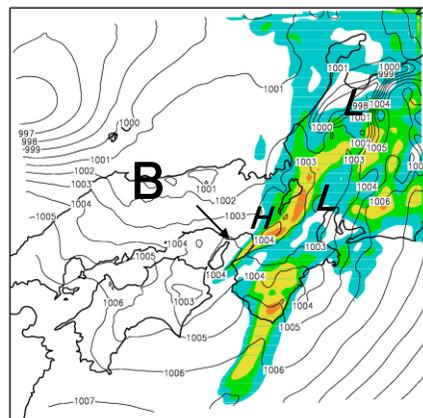
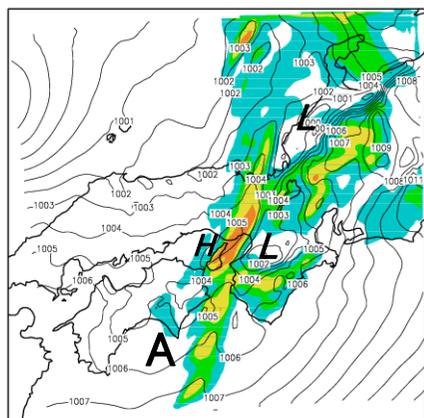
1000JST (FT=4.5h)

1200JST (FT=6h)

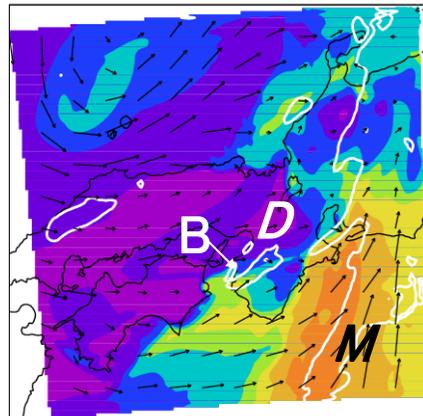
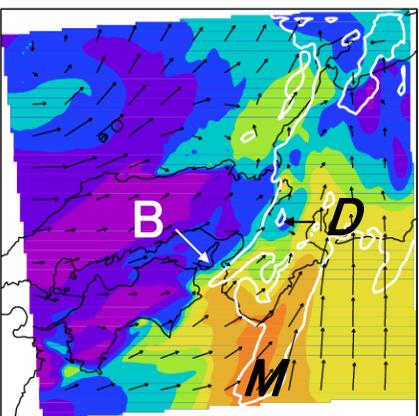
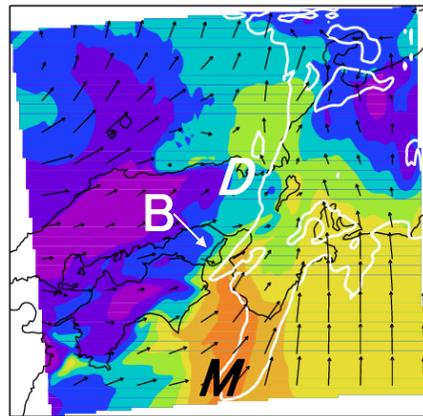
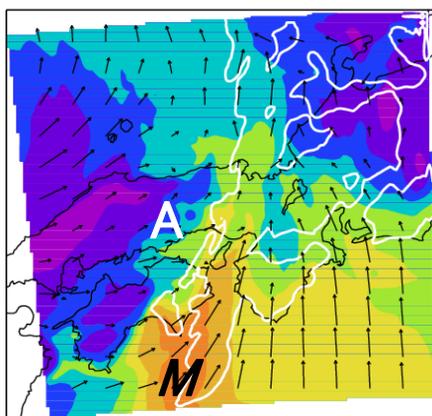
1300JST (FT=7h)

1500JST (FT=9h)

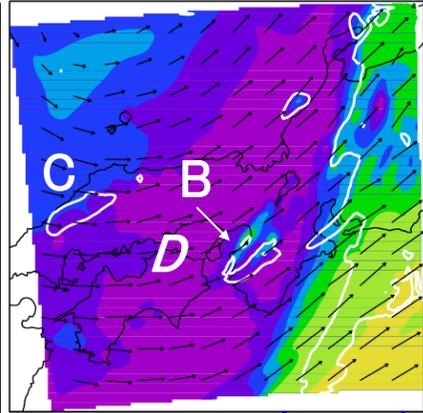
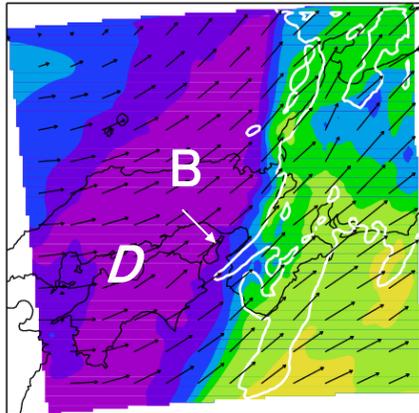
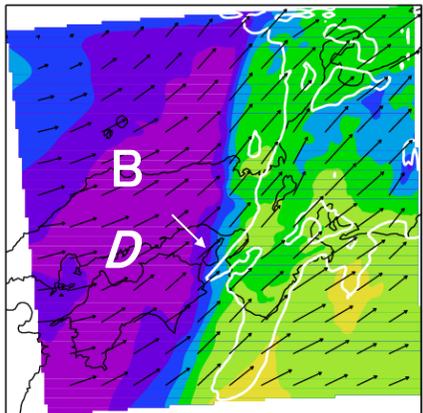
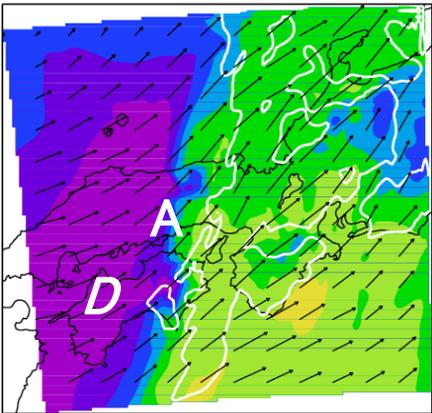
降水域・海面気圧



Qv(g/kg) z*=20m



Qv(g/kg) z*=3km



(NHM)

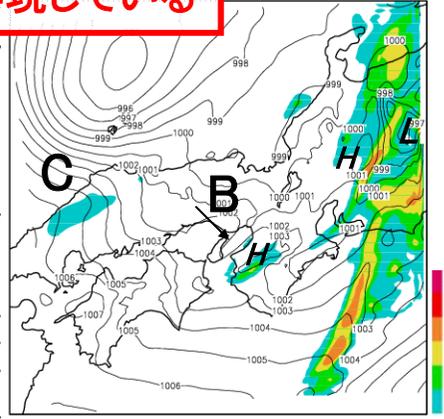
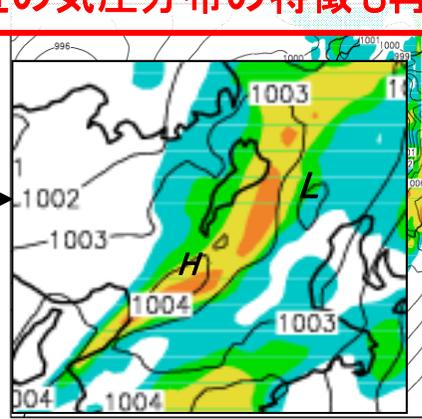
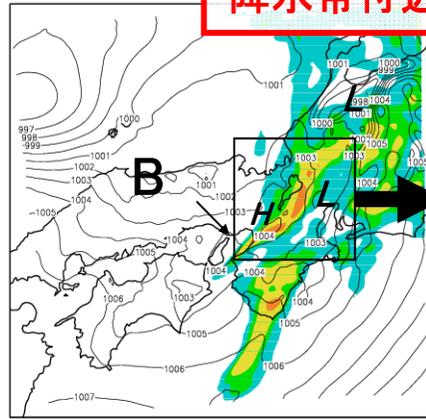
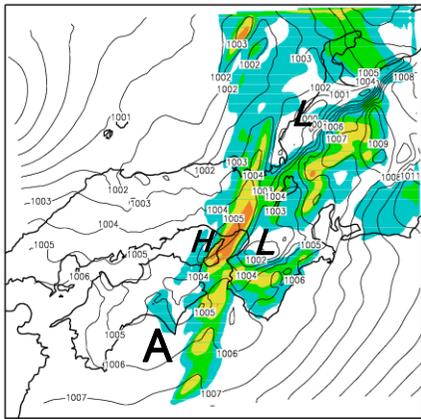
1000JST (FT=4.5h)

1200JST

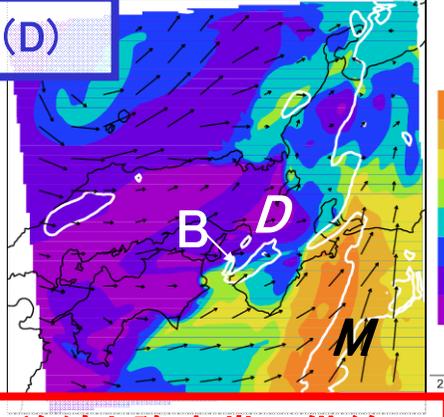
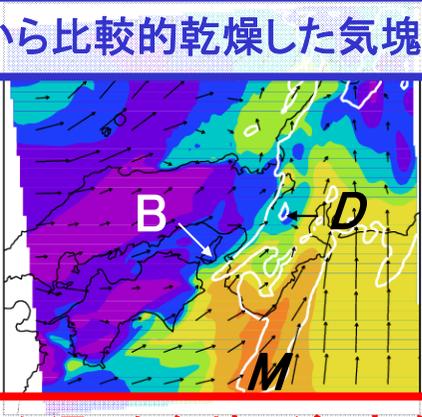
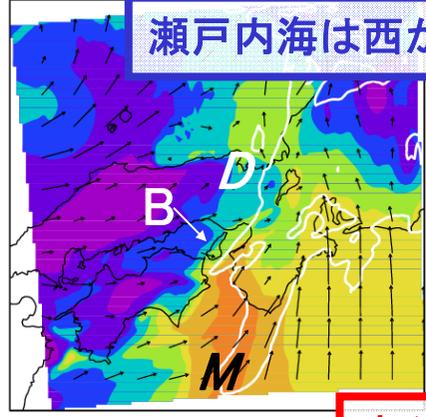
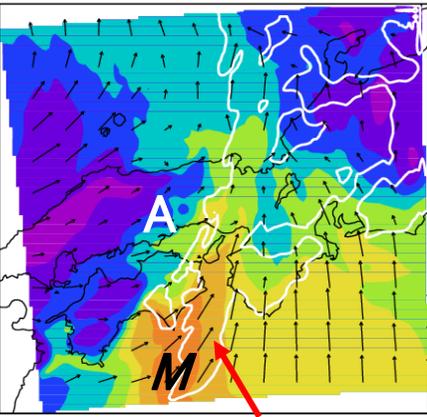
降水帯付近の気圧分布の特徴も再現している

1500JST (FT=9h)

降水域・海面気圧



Qv(g/kg) z*=20m

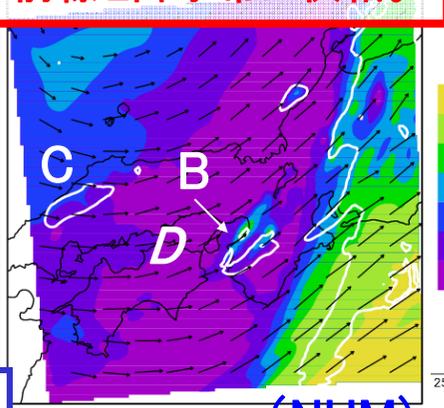
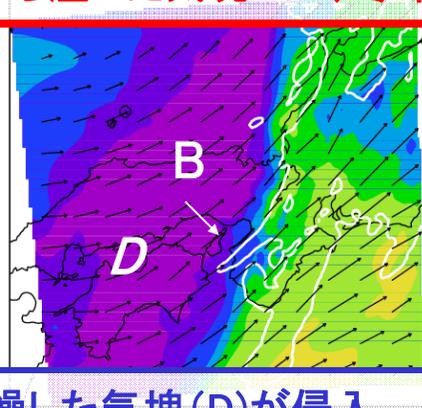
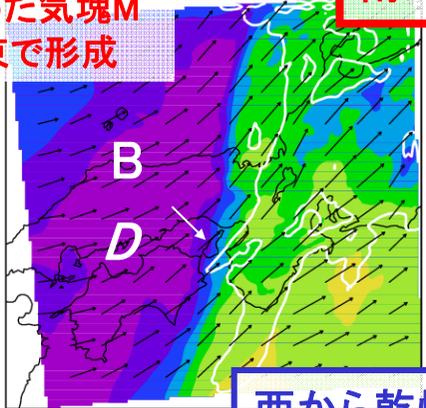
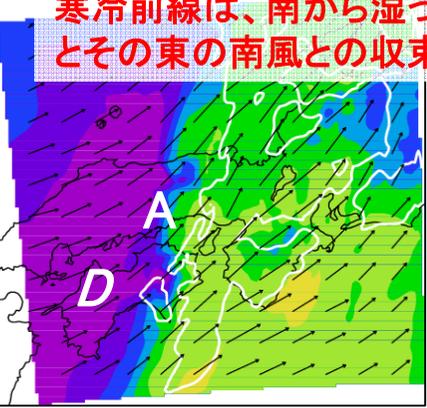


瀬戸内海は西から比較的乾燥した気塊(D)

南から湿った気塊Mが、寒冷前線と降水帯に供給。

寒冷前線は、南から湿った気塊Mとその東の南風との収束で形成

Qv(g/kg) z*=3km

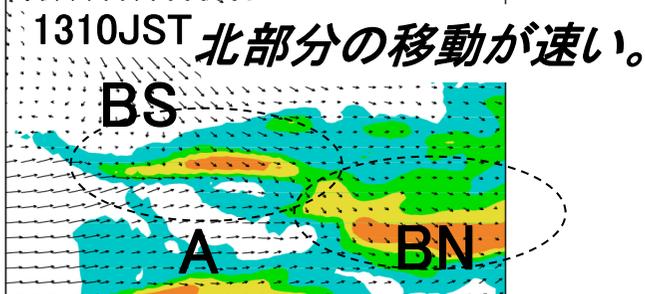
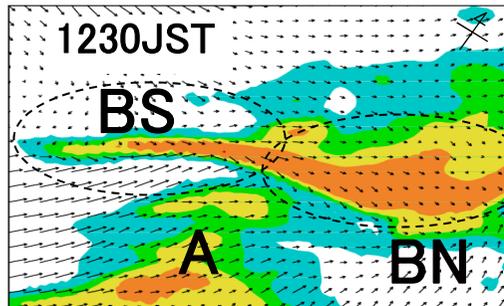
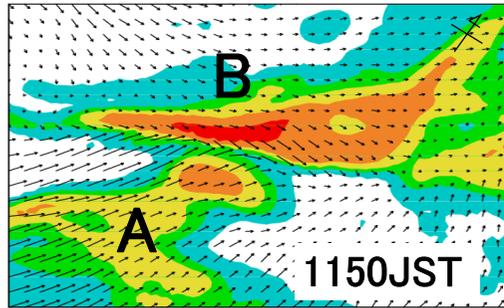
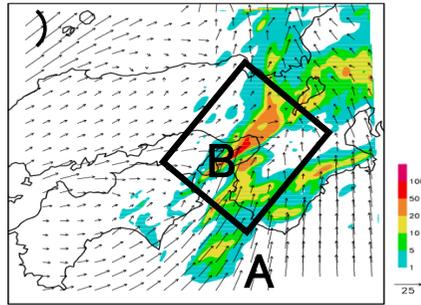


西から乾燥した気塊(D)が侵入。

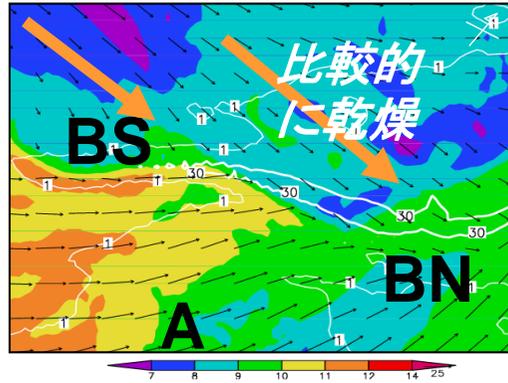
(NHM)

降水帯周辺の水平分布(2km格子NHM)

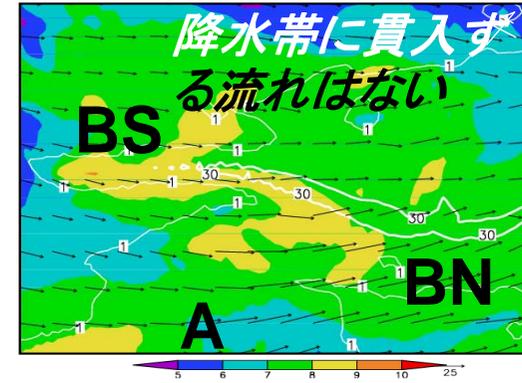
1150JST(FT=290min)



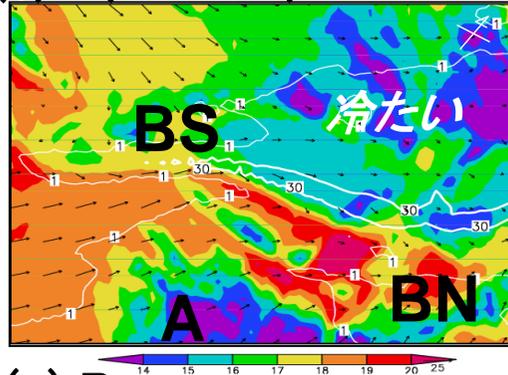
(a) $Q_v(z^*=0.5\text{km})$



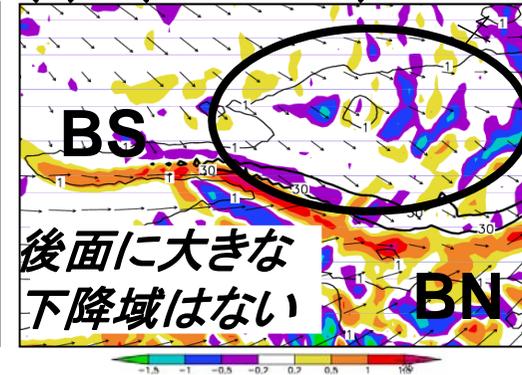
(b) $Q_v(z^*=1.5\text{km})$



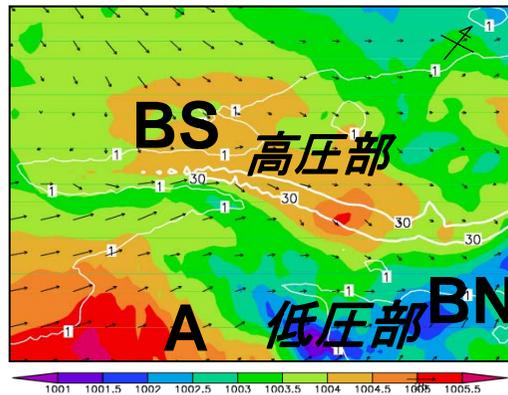
(c) $T(z^*=20\text{m})$



(d) $w(z^*=0.5\text{km})$



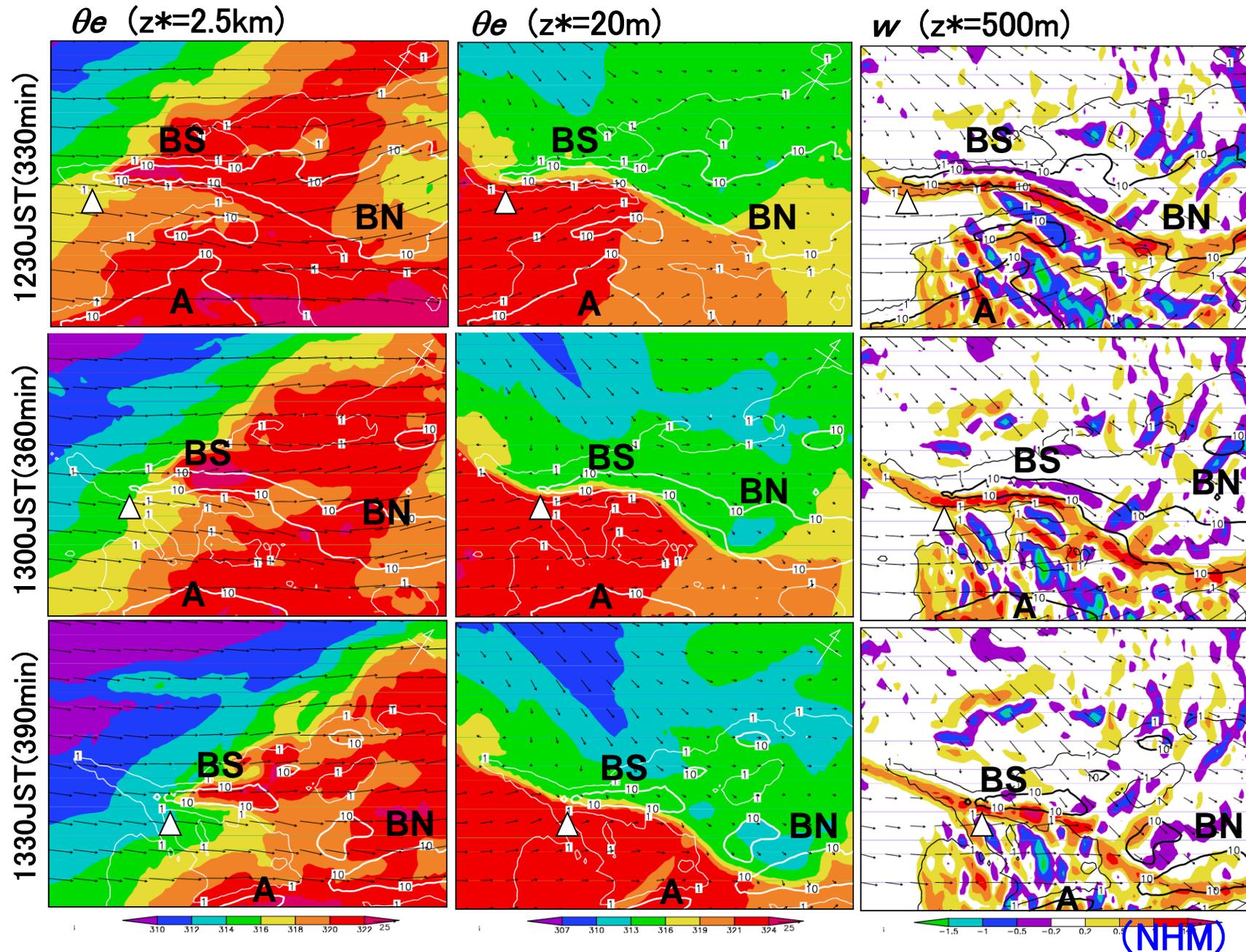
(e) P_{sea}



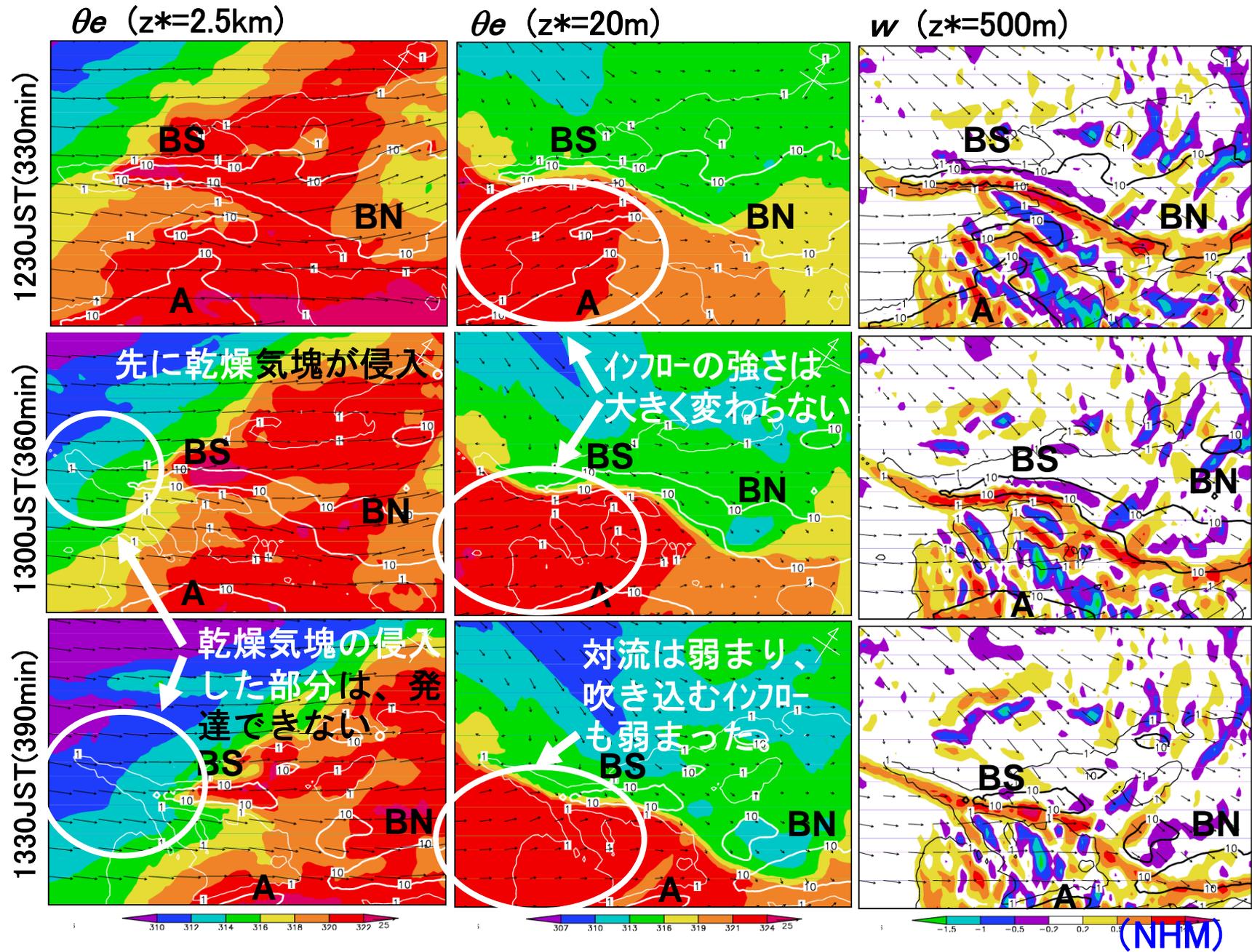
1230JSTの水平分布

(NHM)

乾燥気塊の接近時の変化(2km格子NHM)



乾燥気塊の接近時の変化(2km格子NHM)

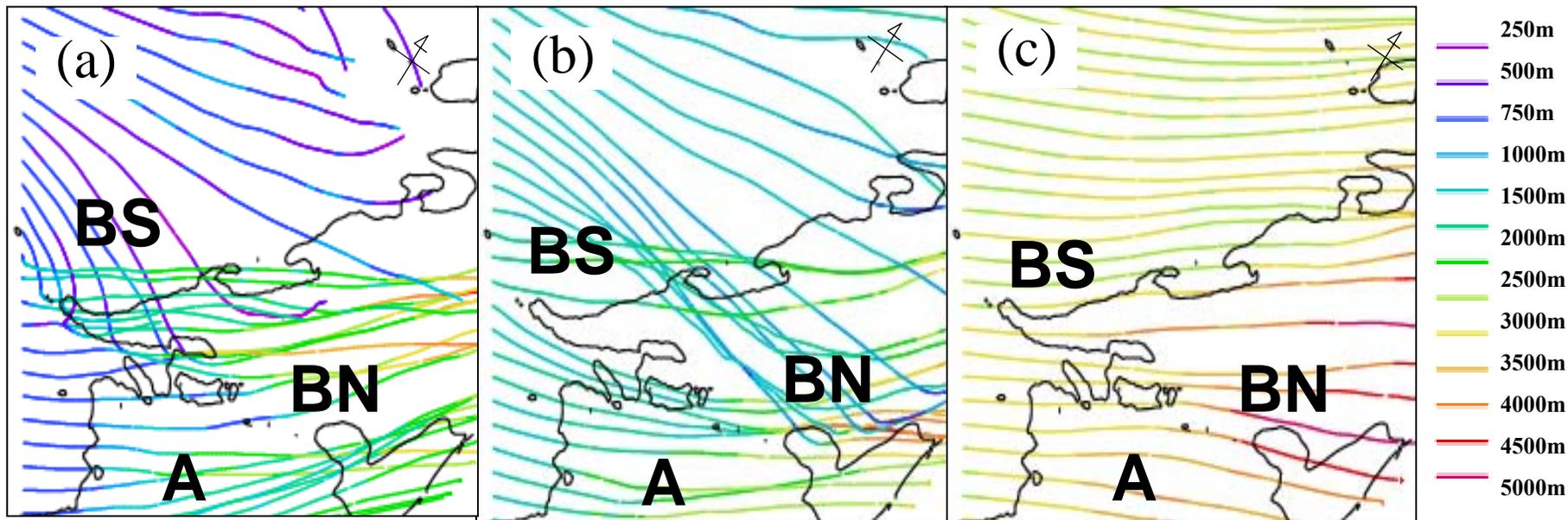


降水帯周辺の流跡線(12JST-13JST)

z=500m

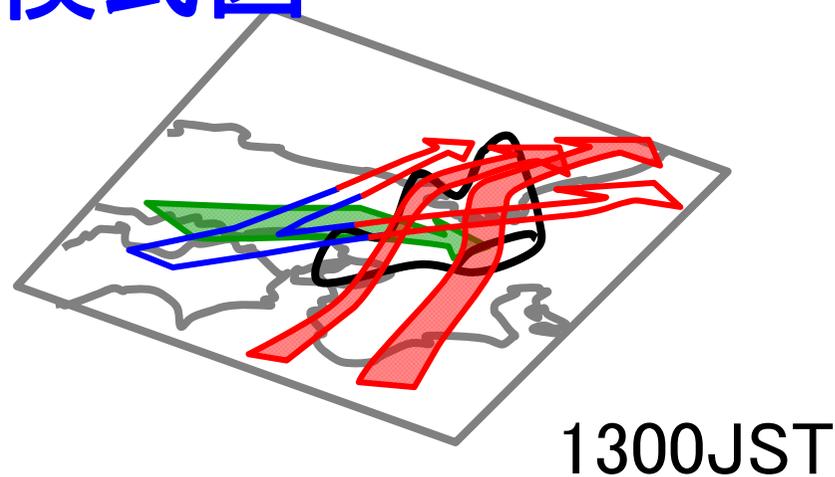
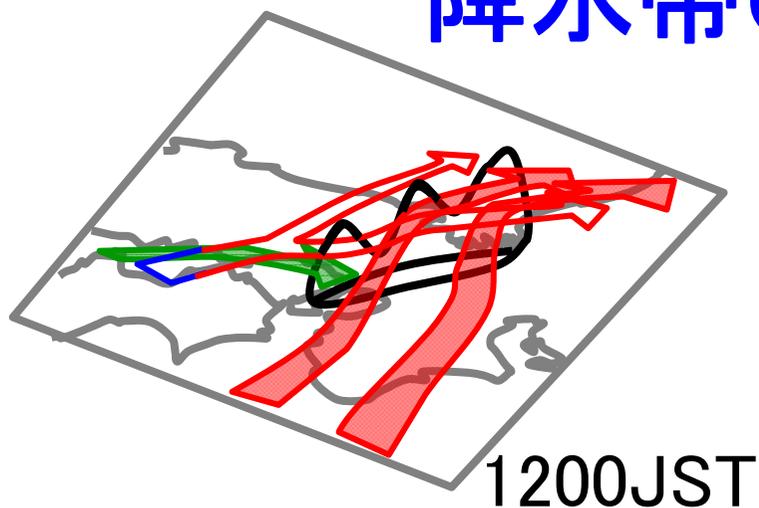
z=1.5km

z=3.0km



(NHM+流跡線解析ツール)

降水帯の模式図



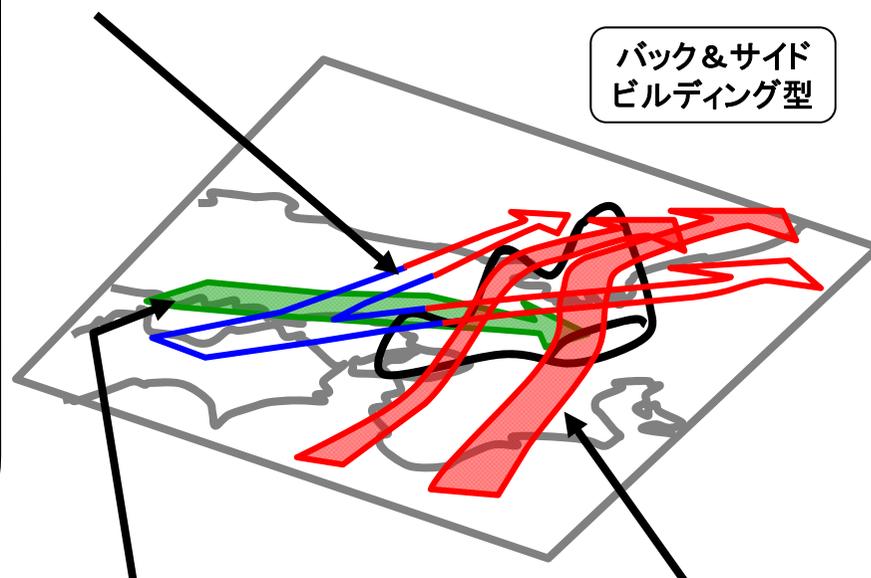
環境や地形を変えた数値実験

観測データと数値モデルの再現結果から、

- ・メソスケールの線状降水帯は紀伊水道と瀬戸内海の気塊が収束したバックアンドサイドビルディング型
- ・線状降水帯形成前に、前線の降水域の低圧部により、南風が強まる。
- ・中層から乾燥気塊の侵入で衰弱

寒冷前線に伴う収束
→各気流の特性を変える。

降水帯の特徴に関する
・中層の湿度



- ・高度2km以下の西風
- ・高度2km以下の南風の強さと湿度に注目する。

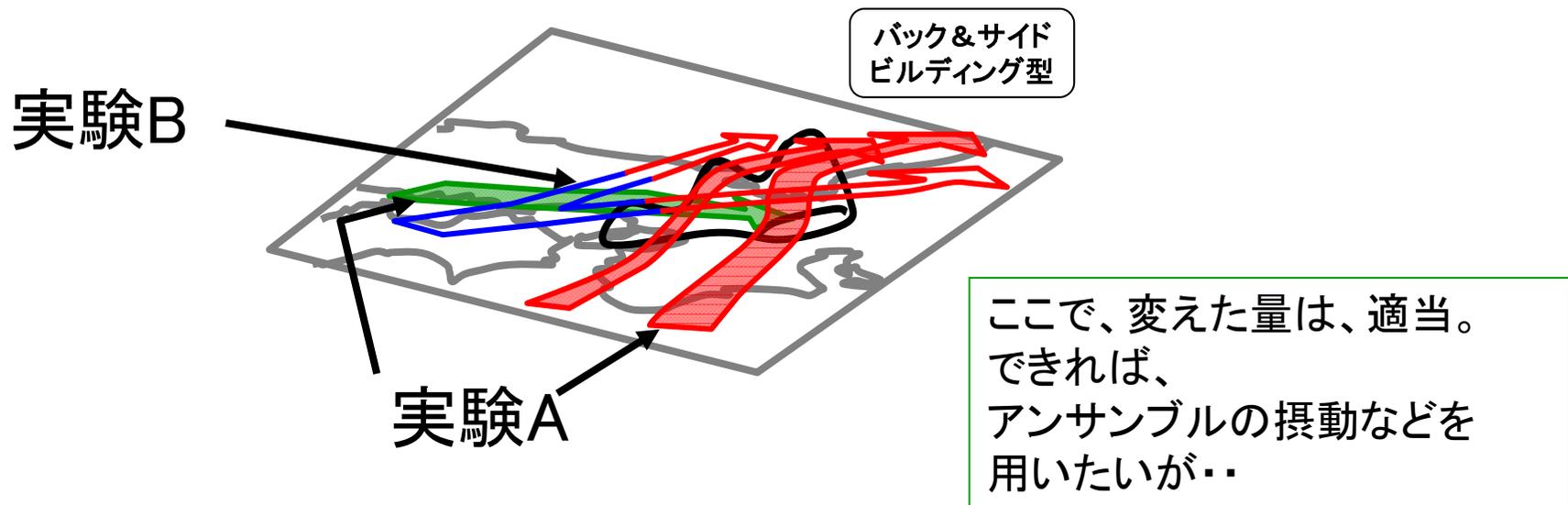
A. 下層風のインパクトを見るために...

(実験1)???

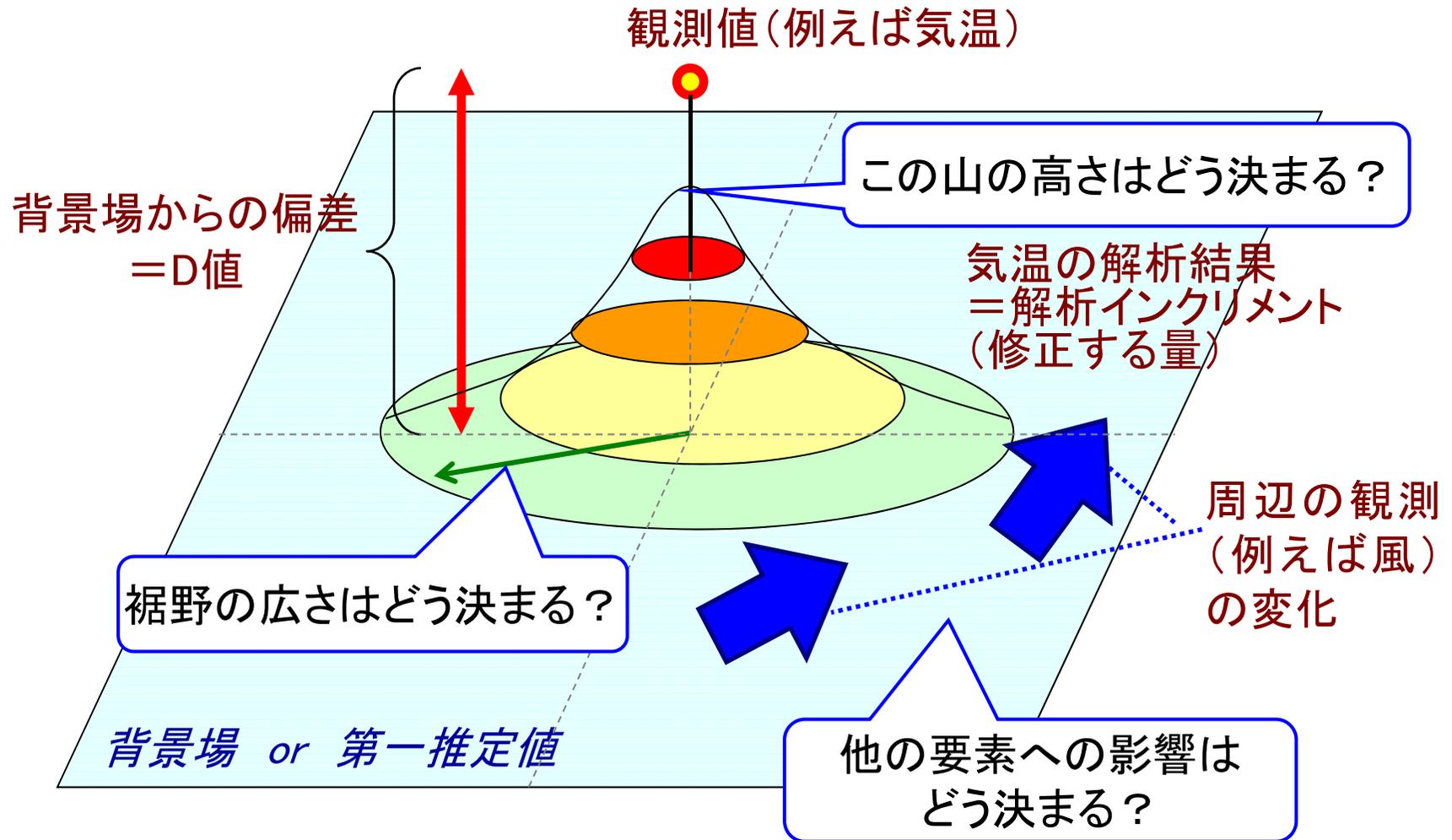
B. 中層の乾燥気塊のインパクトを見るために...

(実験2)???

- ・どのような実験を考えますか？
- ・模擬データをどうかする→他の変数もバランスよく変化
- ・メソ4DVarでなくても、NHM-3DVar(JNoVA0) ができる。



データ同化に必要な情報 (イメージ)

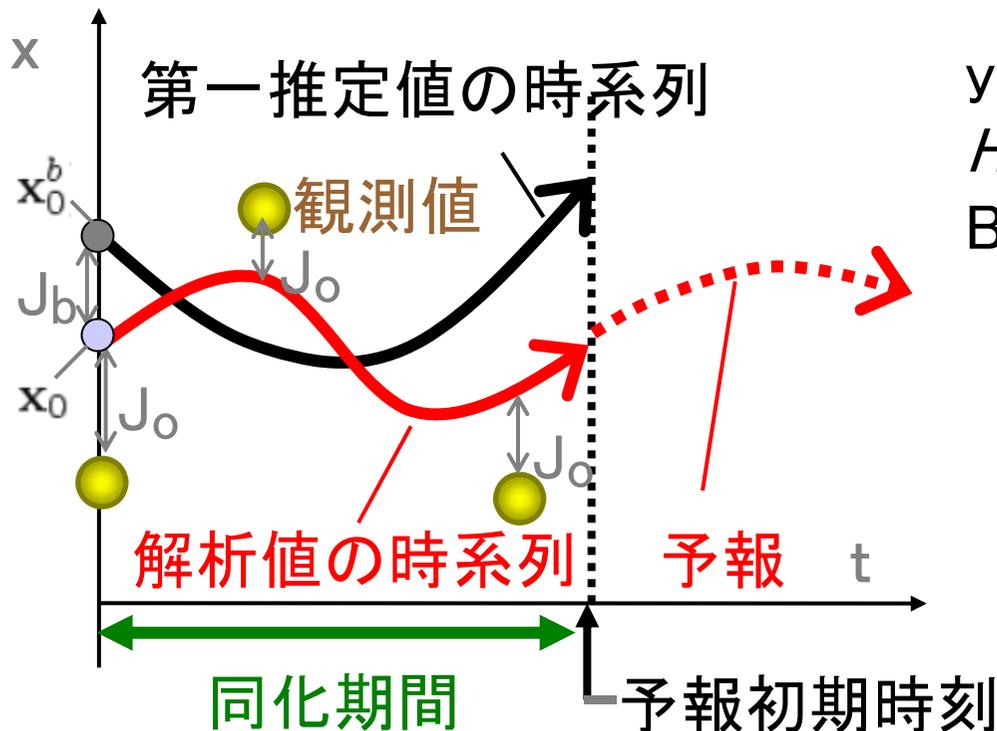


4次元変分法を利用する

評価関数 J を最小化する x_0 を求める。

$$J(\mathbf{x}_0) = \underbrace{\frac{1}{2}(\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}_0^b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}_0^b)}_{J_b: \text{第一推定値とのずれ}} + \underbrace{\sum_{k=0}^N \frac{1}{2}(H_k \mathbf{x}_k - \mathbf{y}_k^o)^T \mathbf{R}^{-1}(H_k \mathbf{x}_k - \mathbf{y}_k^o)}_{J_o: \text{観測値とのずれ}}$$

$\mathbf{x}_{k+1} = M_k \mathbf{x}_k \quad (k = 0, \dots, N)$: 予報モデルによる1ステップの積分



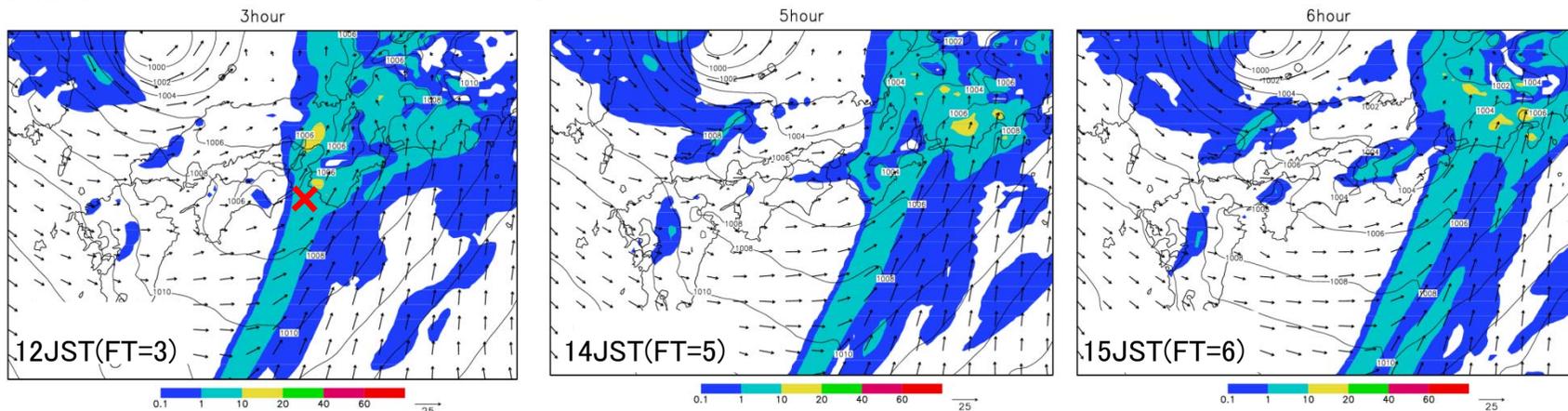
\mathbf{y}_k^o : 観測値

H_k : 予報変数 → 観測変数変換

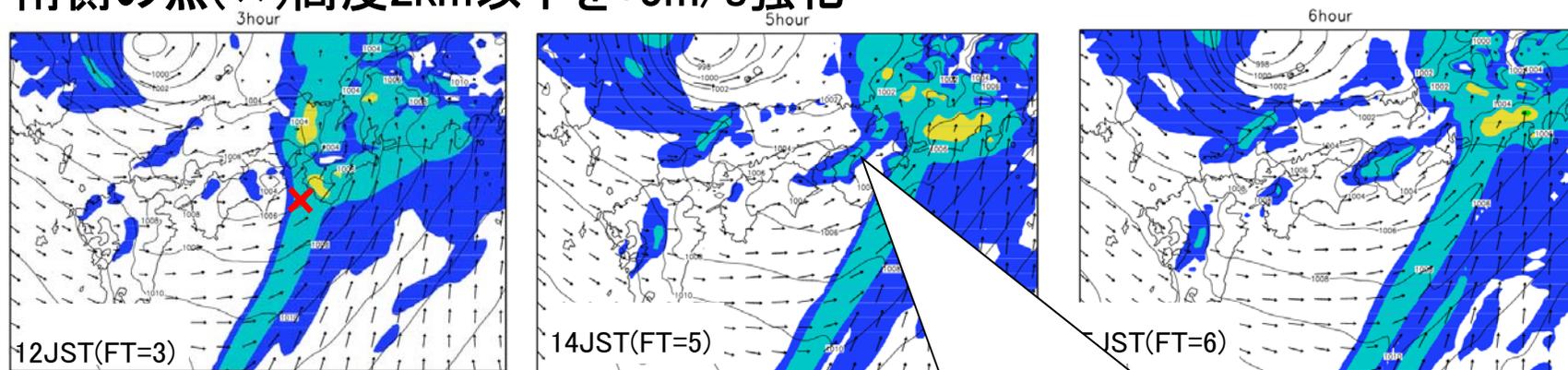
\mathbf{B} : 予報の誤差、 \mathbf{R} : 観測の誤差

同化期間全体で、
第一推定値、模擬観測
データともっともバラン
スのとれた状態を探す

模擬データなし(ペナルティ項のみ)

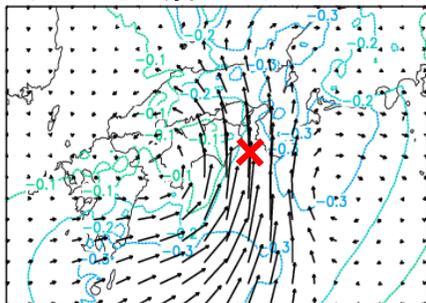


南側の点(×)高度2km以下を+5m/s強化

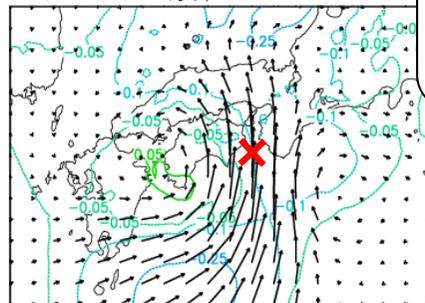


初期値の模擬データなしとの差

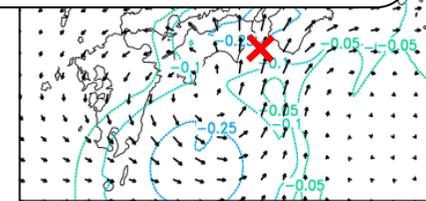
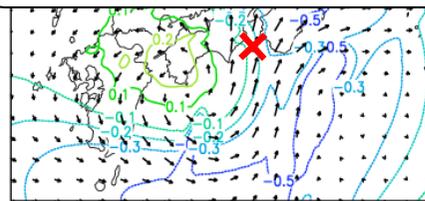
気温差(下層1km)



比湿差(下層1km)

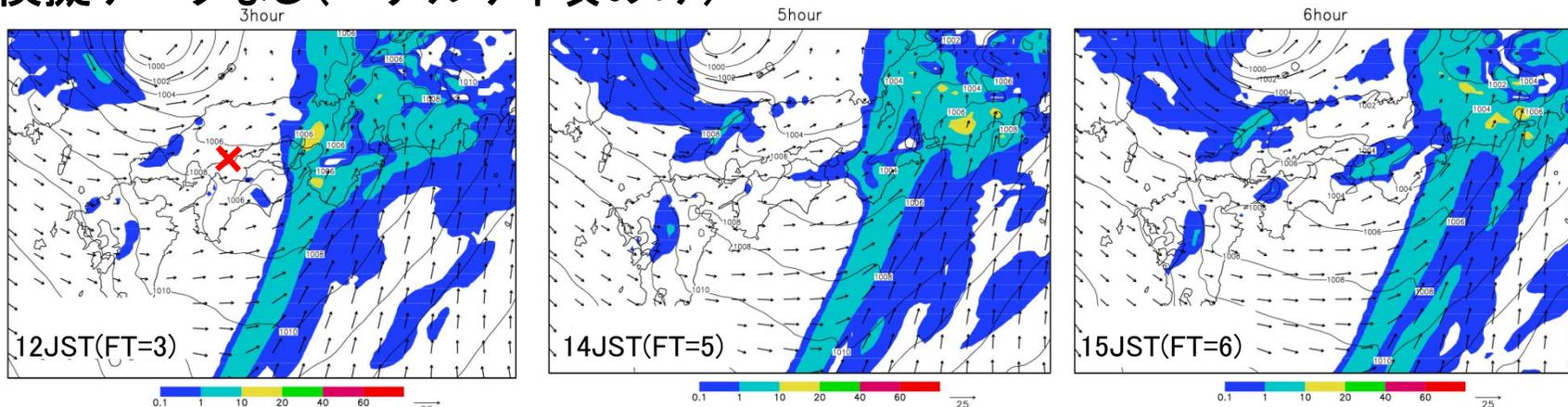


・14時(予報時間5時間後)の線状降水帯が、より明瞭に。

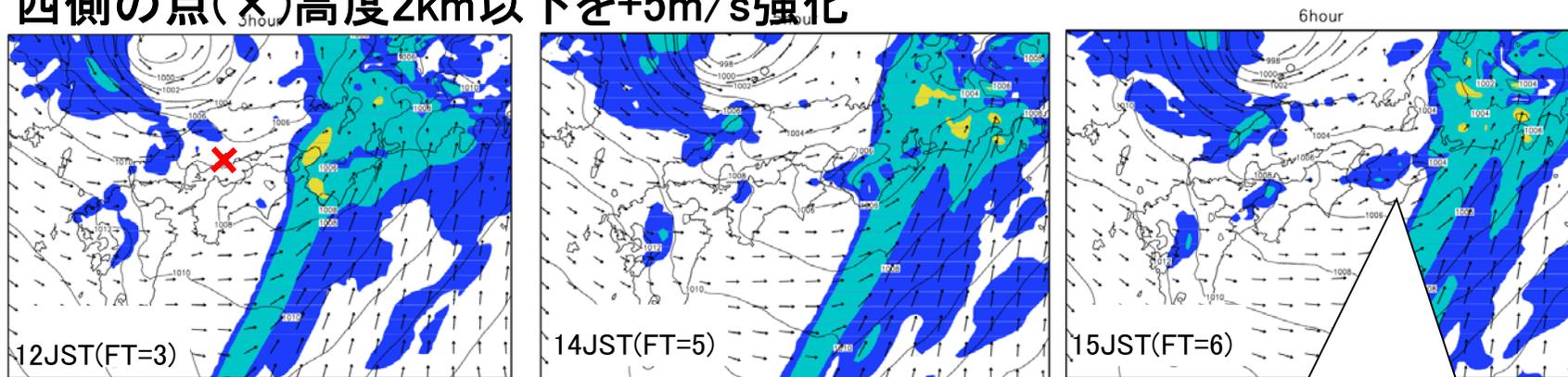


(MSM+メソ4DVar)

模擬データなし(ペナルティ項のみ)



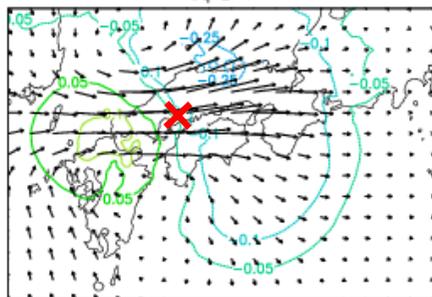
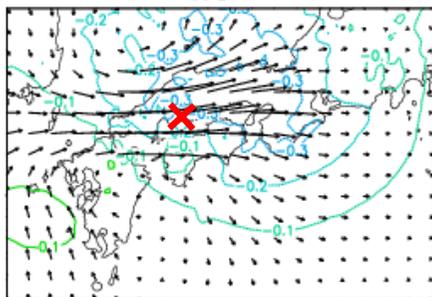
西側の点(x)高度2km以下を+5m/s強化



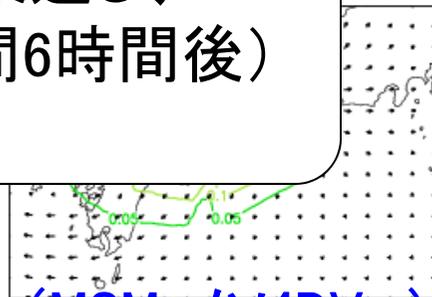
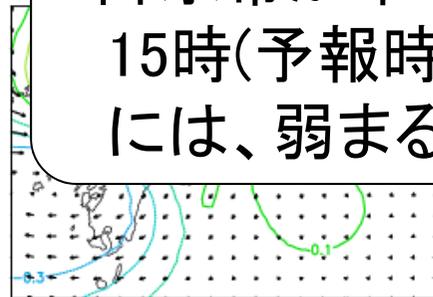
初期値の模擬データなしとの差

気温差(下層1km)
dt z=7

比湿差(下層1km)
dq z=7

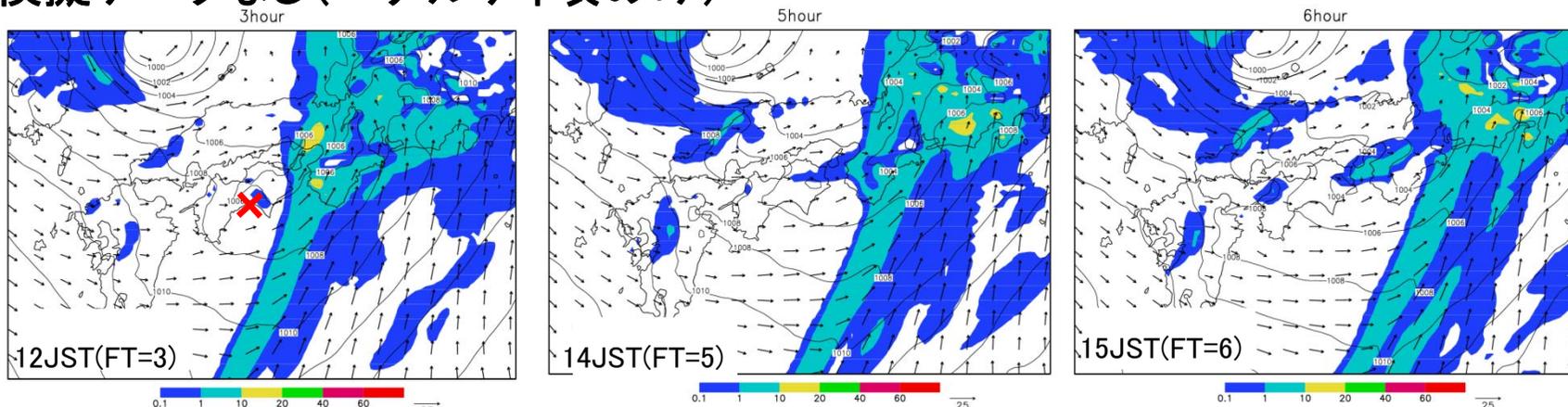


・降水帯が早く東進し、
15時(予報時間6時間後)
には、弱まる。

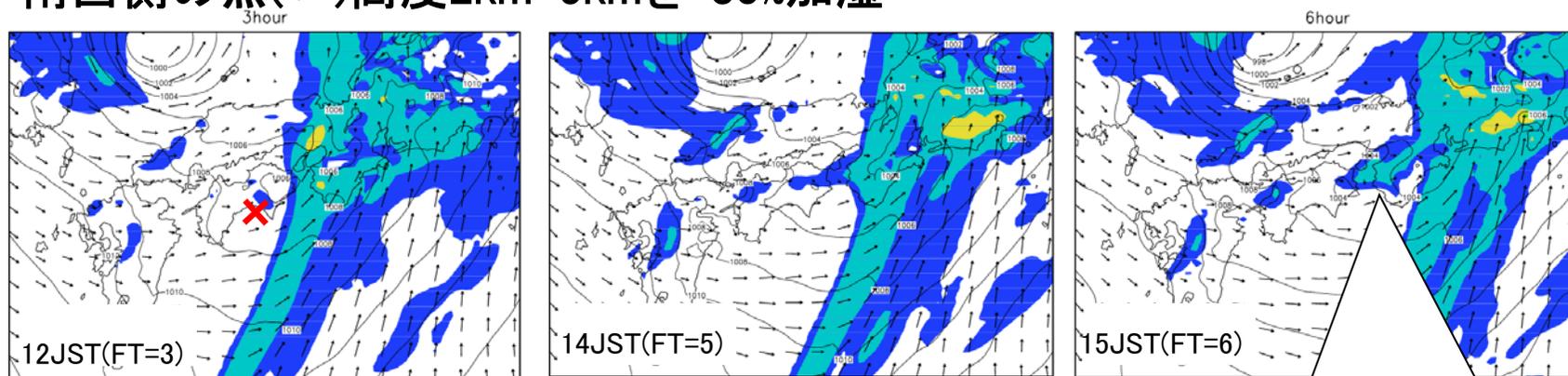


(MSM+メソ4DVar)

模擬データなし(ペナルティ項のみ)



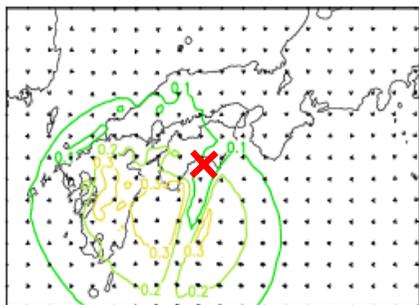
南西側の点(×)高度2km-5kmを+30%加湿



初期値の模擬データなしとの差

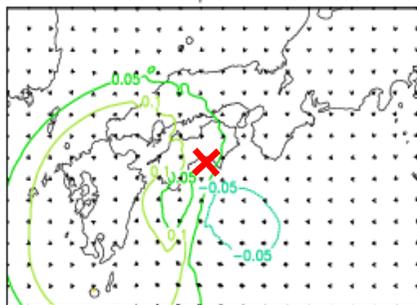
気温差(下層1km)

$dt_{z=7}$



比湿差(下層1km)

$dq_{z=7}$



- ・15時の降水帯がより強まる。
- ・中層が湿っていることが、降水帯に好都合なことを示唆。

(MSM+メソ4DVar)

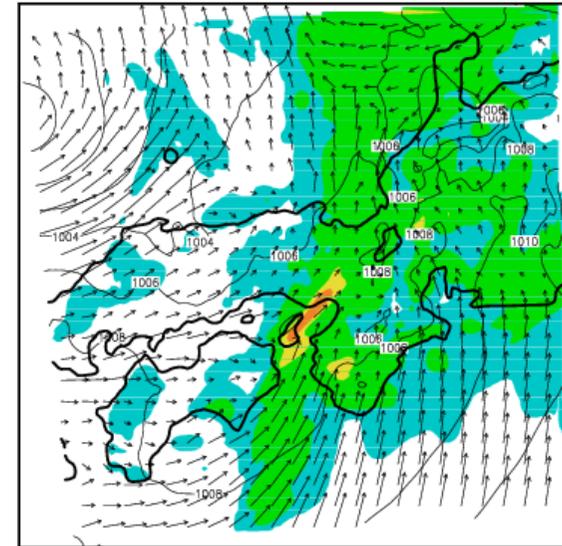
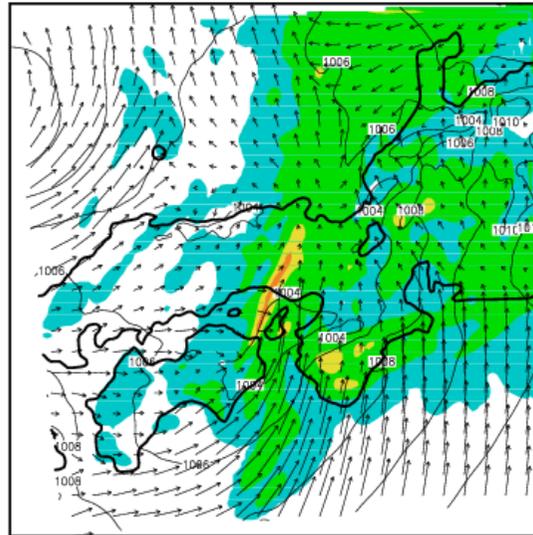
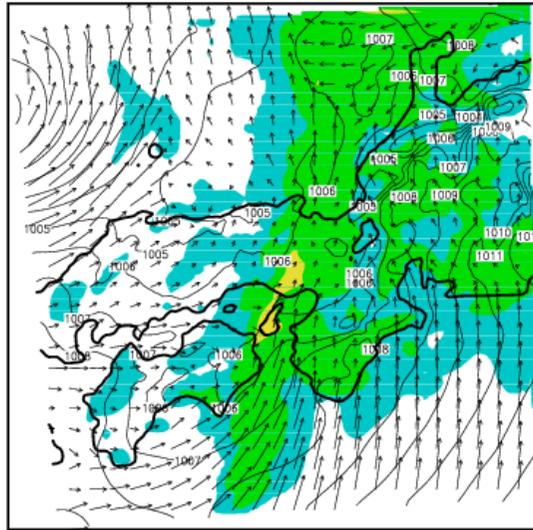
内挿してNHMで実験

模擬データなし

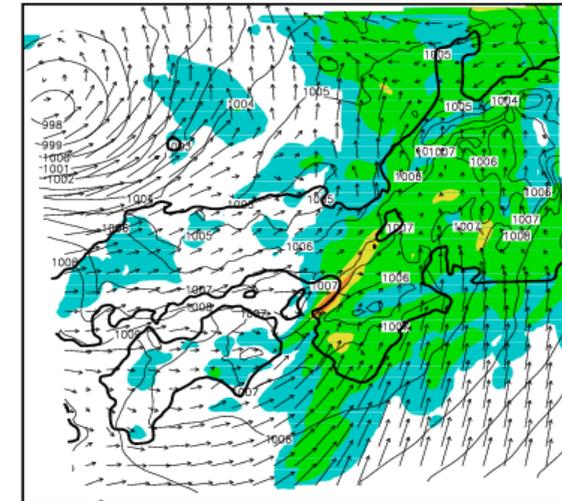
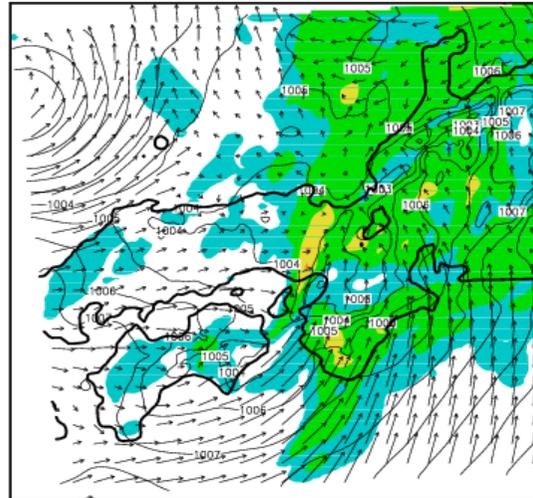
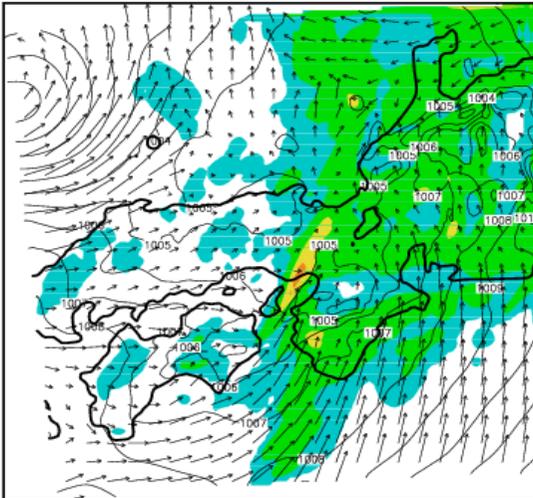
南側の高度2km以下の南風を+5m/s強化

西側の高度2km以下の西風を+5m/s強化

FT=120min



FT=180min



(NHM)

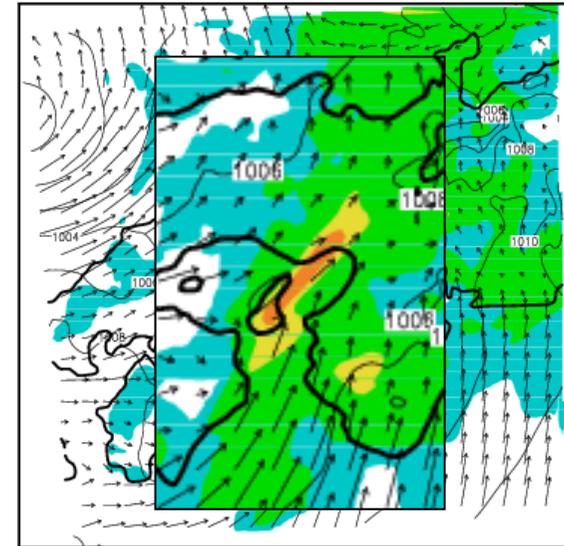
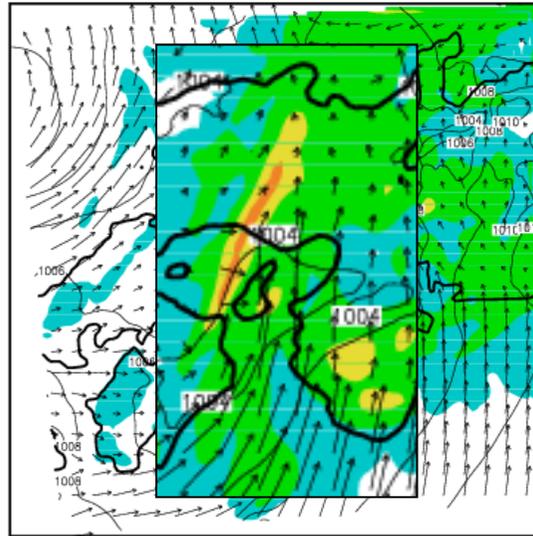
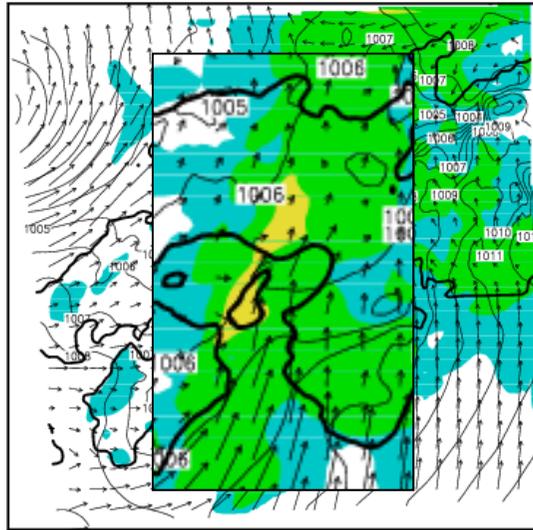
内挿してNHMで実験

模擬データなし

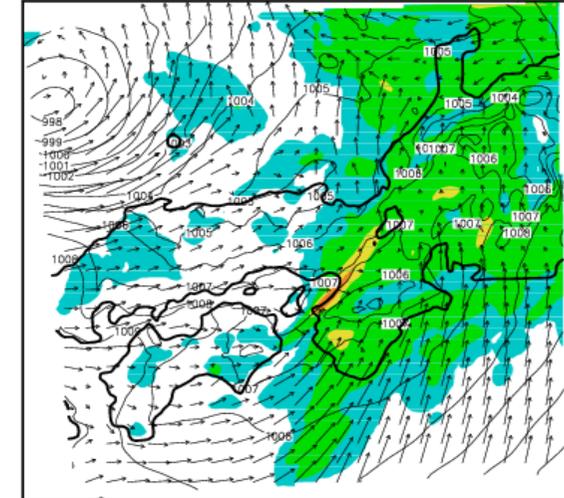
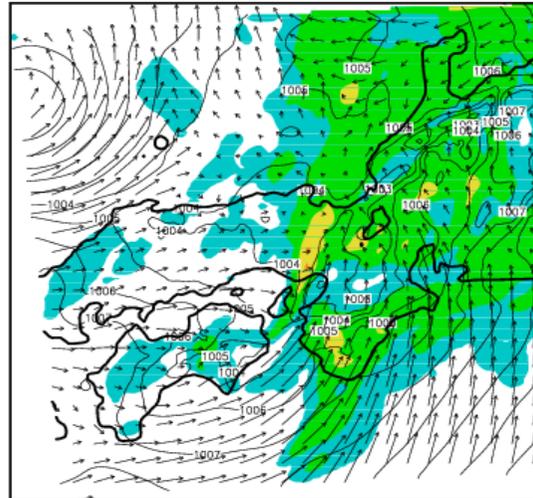
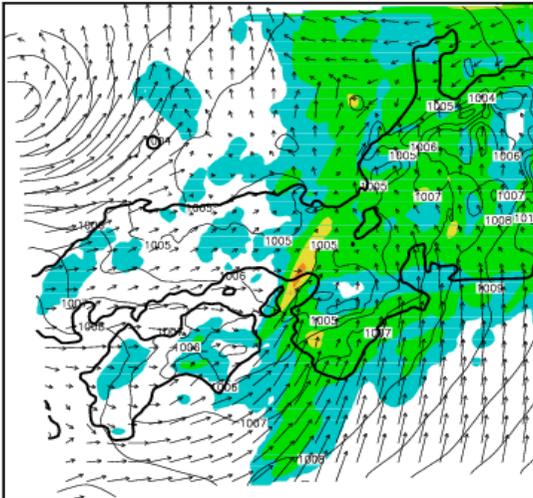
南側の高度2km以下の南風を+5m/s強化

西側の高度2km以下の西風を+5m/s強化

FT=120min



FT=180min



(NHM)

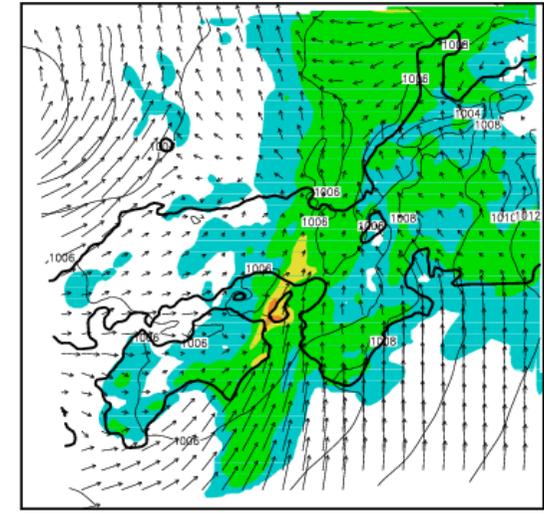
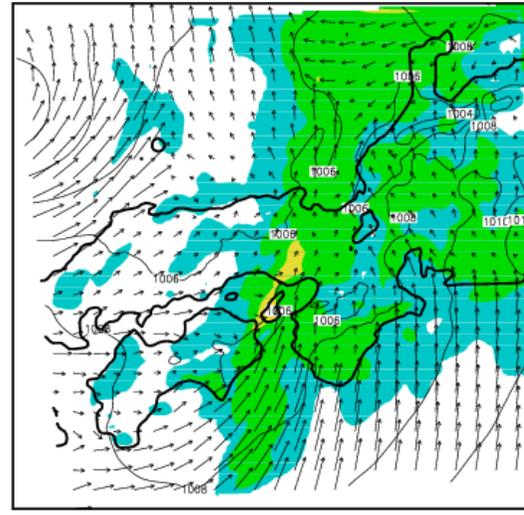
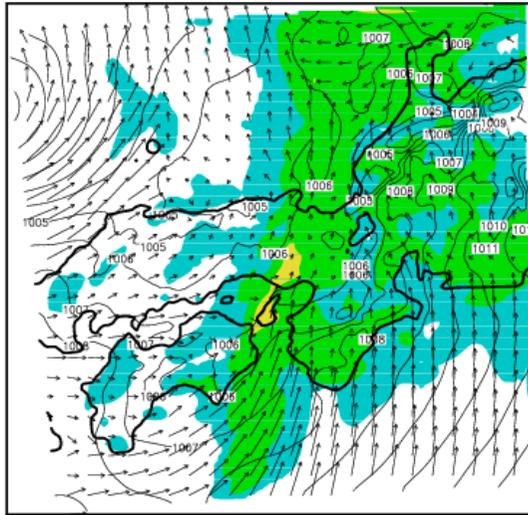
内挿してNHMで実験

模擬データなし

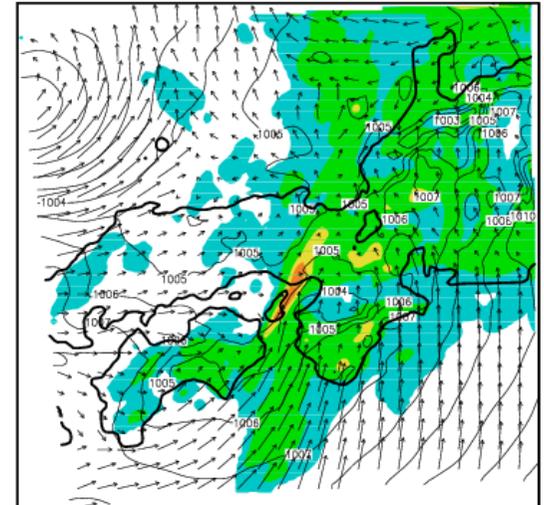
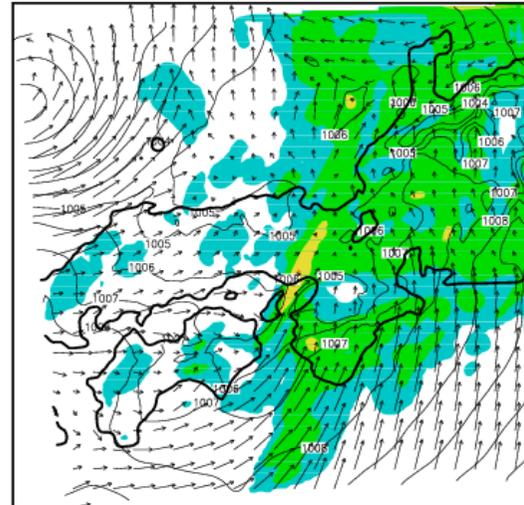
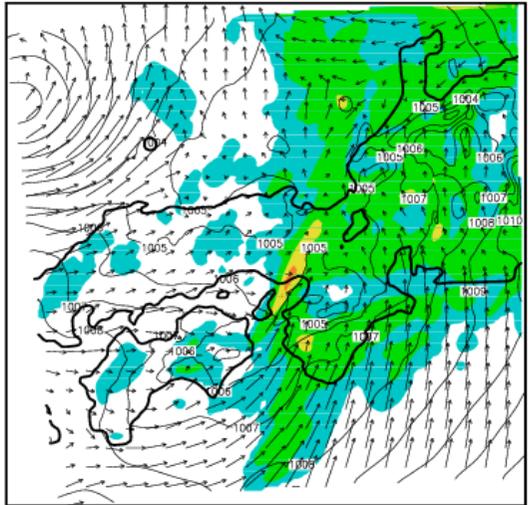
南側の高度2km以下
を+20%乾燥化

南側の高度2km
以下を+20%加湿

FT=120min



FT=180min



(NHM)

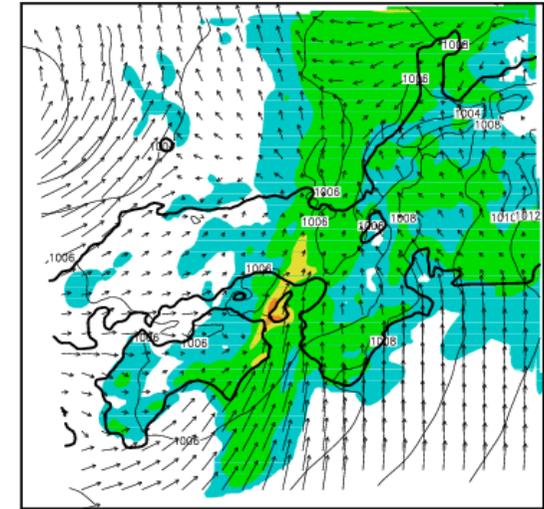
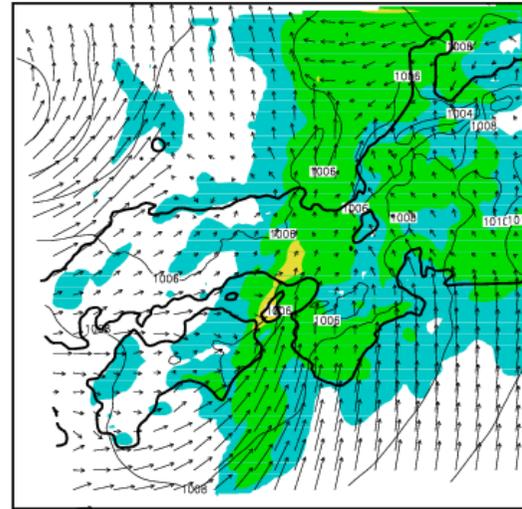
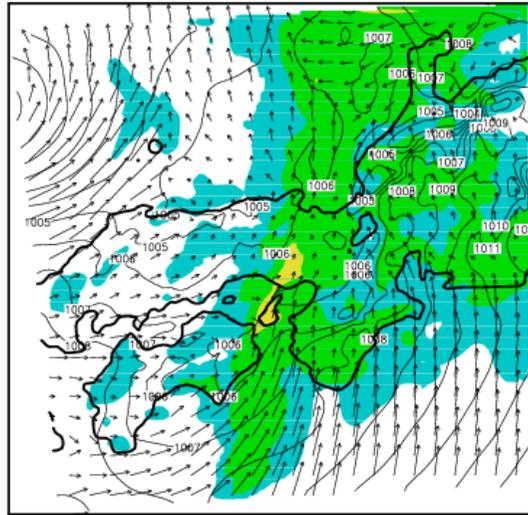
内挿してNHMで実験

模擬データなし

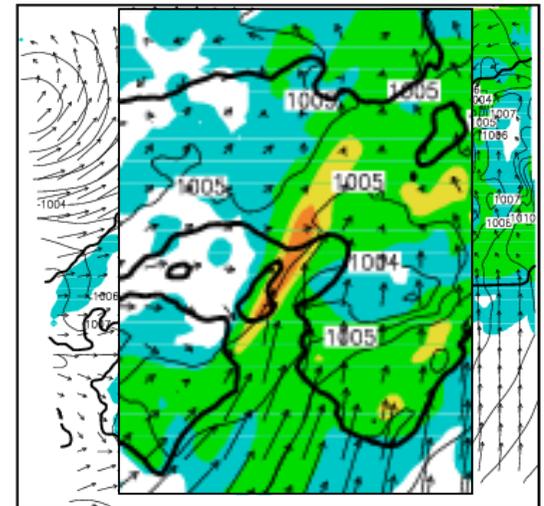
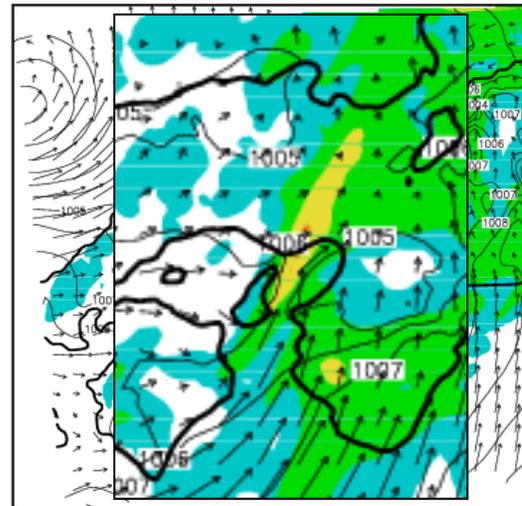
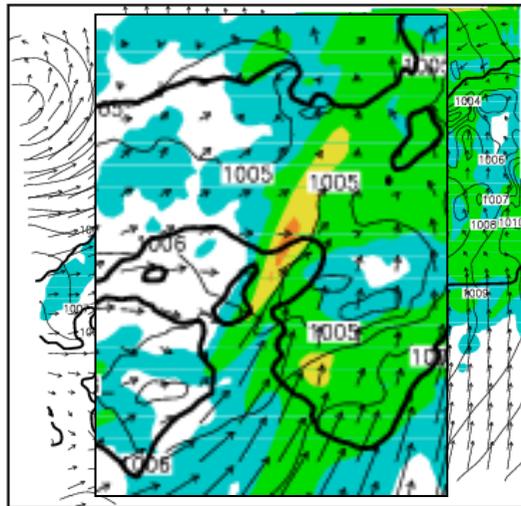
南側の高度2km以下
を+20%乾燥化

南側の高度2km
以下を+20%加湿

FT=120min



FT=180min



(NHM)

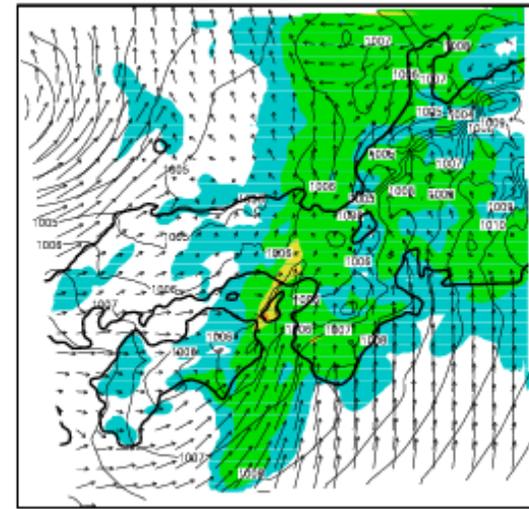
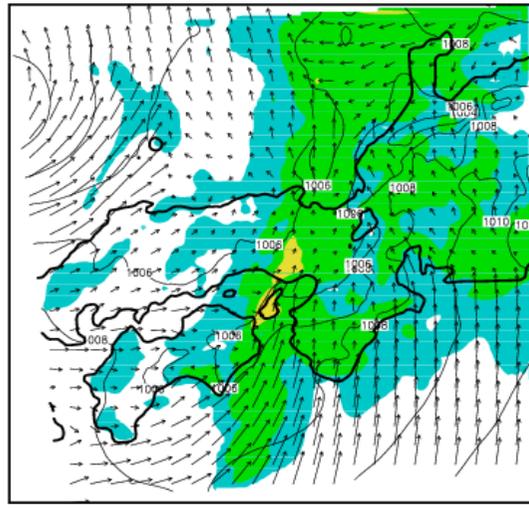
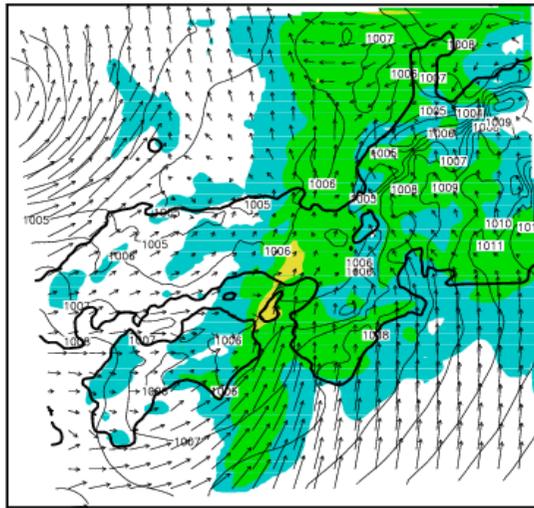
内挿してNHMで実験

模擬データなし

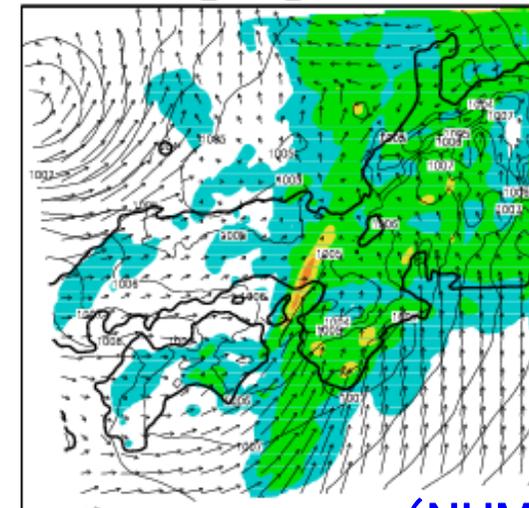
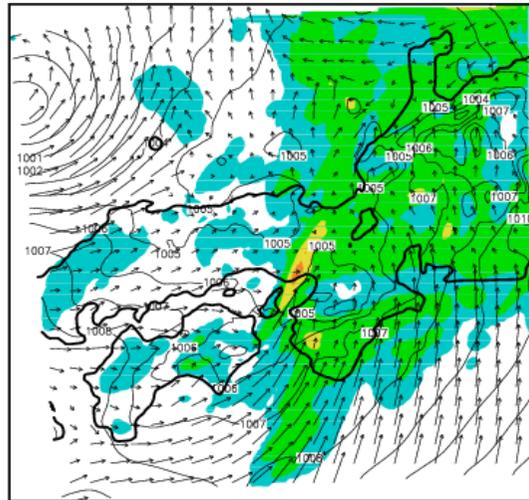
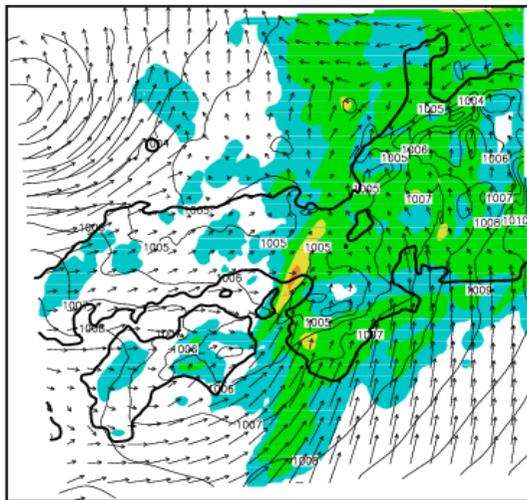
西側の高度2km
以下を+20%加湿

南西側の高度2-5km
を+30%加湿

FT=120min



FT=180min



(NHM)

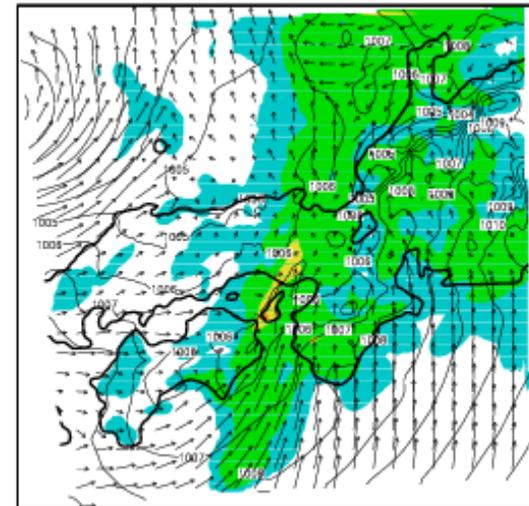
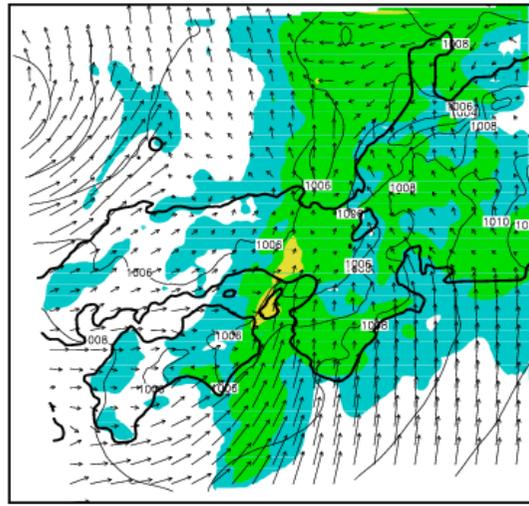
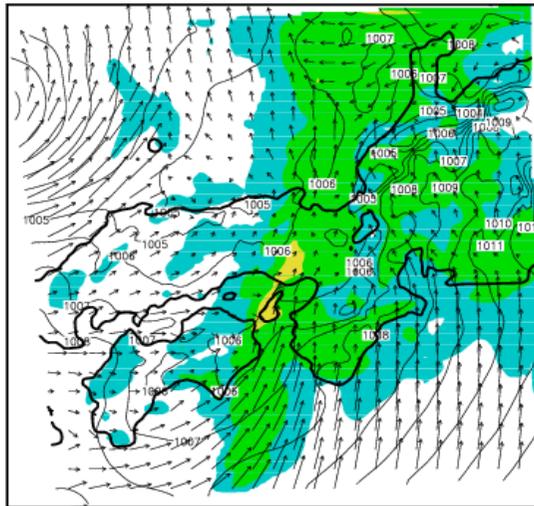
内挿してNHMで実験

模擬データなし

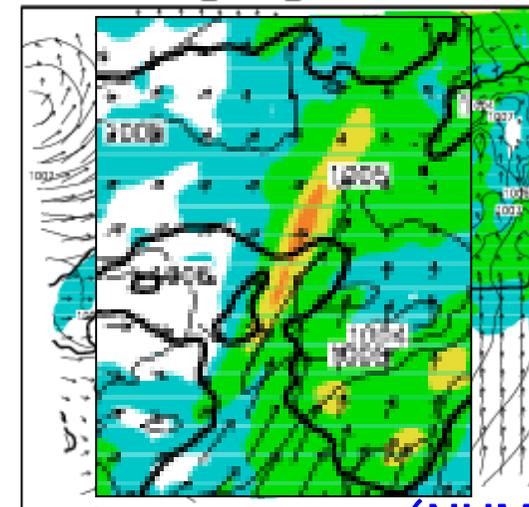
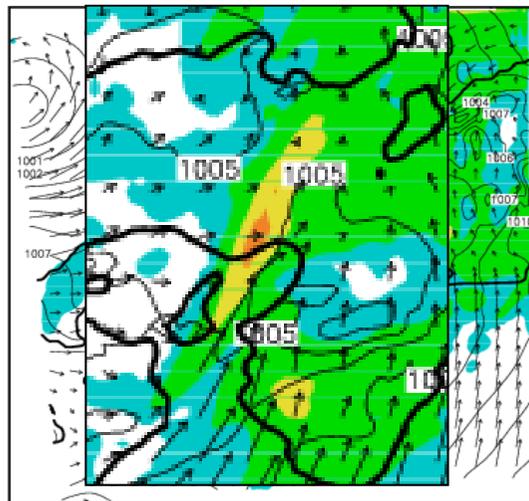
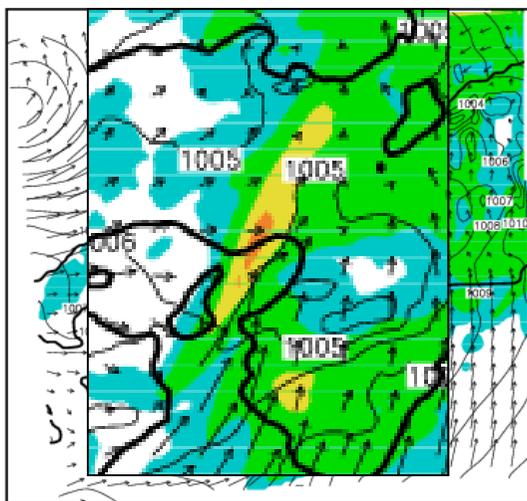
西側の高度2km
以下を+20%加湿

南西側の高度2-5km
を+30%加湿

FT=120min

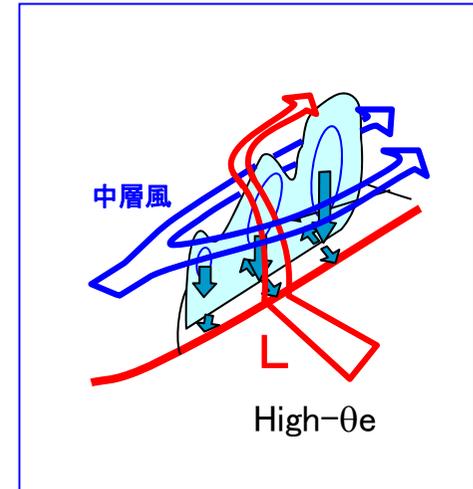


FT=180min

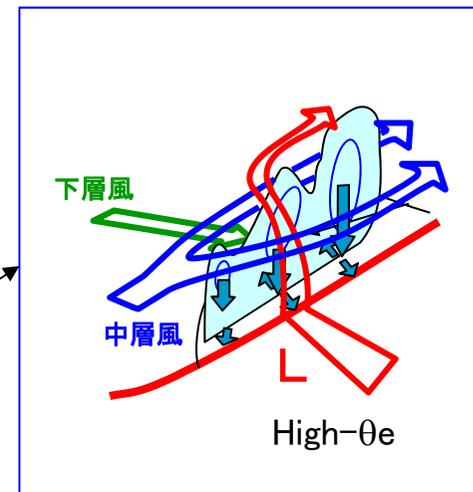


(NHM)

- ・同じ線状降水帯でも、
 - スコールライン型降水系
 - バックビルディング型降水系
 - バック アンド サイドビルディング型降水帯などの形態がある。



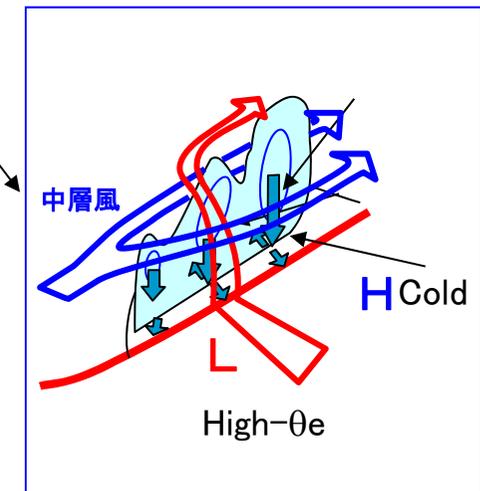
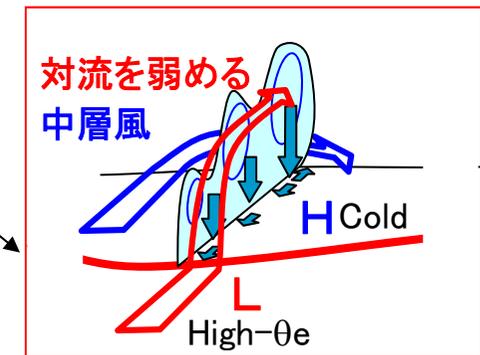
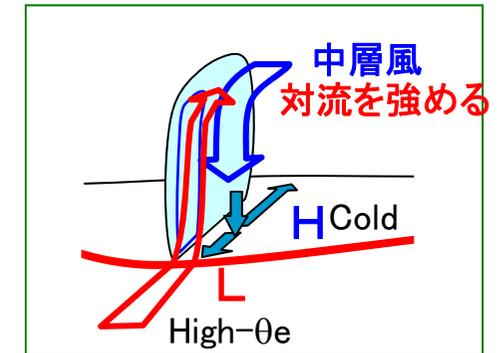
- ・形態ごとに、降水帯の特徴
移動速度や中層の乾燥気塊の
寄与が異なっている。



- ・大阪の線状降水帯は、バック アンド サイドビルディング型降水帯に
下層後面からの収束という特徴を持っていた。

まとめ

- ・同じ線状降水帯でも、
 - スコールライン型降水系
 - バックビルディング型降水系
 - バック アンド サイドビルディング型降水帯などの形態がある。



- ・形態ごとに、降水帯の特徴
移動速度や中層の乾燥気塊の
寄与が異なっている。
- ・気流構造を見ることは、
降水帯の振る舞いを理解・予想するのに必要。