最近の顕著事例の事例検証を通じた現業数値予報モデル改良のための課題の発見

気象庁予報部数値予報課
原　旅人

気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 1

現業モデルの改良のために

- ボトムアップアプローチ
  - 部品ごとの精査
- トップダウンアプローチ
  - 部品を結合したモデル予想の検証
- 顕著事例には、モデルの課題も顕著に現れる
  - 特に予想と実況が大きく異なった場合

気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 2

なぜこんな解析をするのか？

- 顕著事例ではモデルの問題点も顕著に見える。
  - モデルの課題もわかりやすい。
- プロダクト利用上の留意点が見えてくる
  - 降雪時のGとMの気温予想の違いの原因を明らかにしたことで、予報作業も変わった。
  - 数値予報現業として、プロダクトの品質上のコメントにも役立つ
- 気象現象の理解にもつながる
  - 気象現象を理解しないとモデル開発はできない

気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 3

本日の話題

- 2013/1/14 関東の大雪
- 2013/10/14-15 台風第26号接近に伴う伊豆大島の大雨
- 2013/9/14—15 台風第18号の事例
  - 初めて特別警報が京都・滋賀に発表された事例
- 2014/2/8　関東の大雪の事例
- 2014/2/14—2/15 の関東(特に北関東・山梨)の大雪

いずれも水の相変化、温度傾度帯の形成・維持が非常に重要

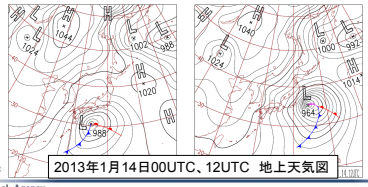
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 4

事例概要と着眼点

- 2013年1月14日、南岸低気圧の通過に伴い関東地方南部は大雪となった。
- 予報結果を検証するとともに、大雪に至った過程の解析、それを踏まえたGSMとMSMのモデルの特性と利用上の留意点を示す。

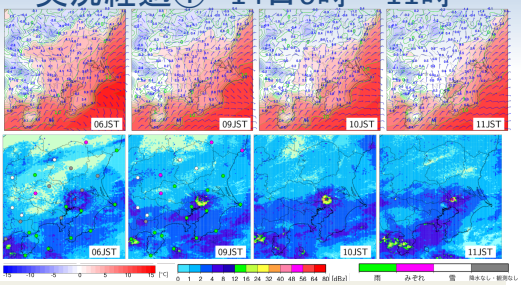
実況経過

- 本州の南岸を急速に発達しながら通過する低気圧の影響で、太平洋側の各地で強風が吹き、海は大しけとなった。
- 関東地方では14日未明から降り始めた雨が、朝から昼前にかけて雪に変わり、14日21時までの12時間降雪量で、大手町で8cm、横浜で13cmなど関東地方南部で大雪となった。



2013年1月14日00UTC、12UTC 地上天気図

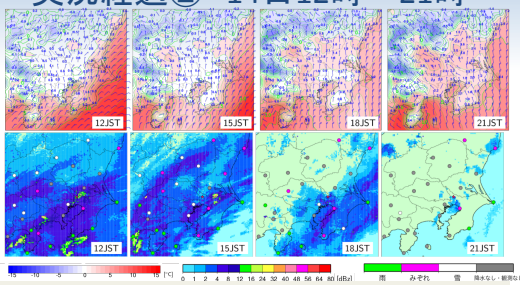
実況経過① 14日6時～11時



06JST 平野部は4℃以上あり、観測からも降水現象は雨。
09JST 北部山沿いから徐々に気温は下がる、宇都宮で雪を観測
10,11JST 北関東の内陸部や東京・神奈川の西方から急激に気温が低下、0℃付近に。

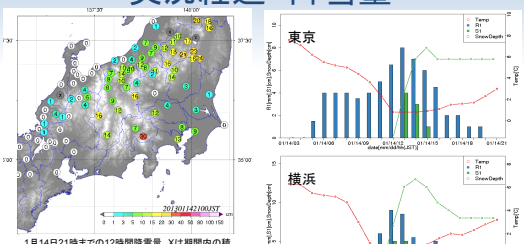
（上段）毎時大気解析の地上気温（赤青塗り分け）、風（矢羽根）、アメダス地上気温（青数字）
（下段）気象レーダー画像と地上気象観測の天気

実況経過② 14日12時～21時



12JST 千葉の北東部まで気温が0℃付近に、東京で雪を観測。（10時20分から雪）
15JST 関東南部を中心に0℃付近を維持、天気は各地で雪を観測した。東京湾東岸でも0℃付近まで気温が下がり天気はみぞれを観測。
18,21JST 降水の終わりとともに西方から気温が上がり、一連の現象は終わった。東京は20JSTまで雪を観測した。

実況経過 降雪量

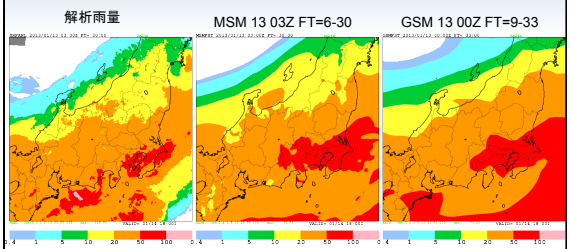


1月14日21時までの12時間降雪量、Xは期間内の積雪深の欠測を含む地点

1月14日3時～21時の東京、横浜の正時の気温、1時間降水量、1時間降雪量、積雪深の時系列

1. 14日21時までの12時間に、大手町で8cm、横浜13cm、千葉9cmなど関東地方の南部を中心に大雪となった。
2. 昼前に急激に気温が下がり、昼過ぎにかけて気温が一定の時間がある。この時間の降雪量が多い。

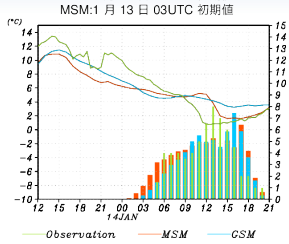
注目すべきポイント
降水量(1/14 18JST までの24時間)



- 関東では24時間で60mm超の降水を観測。この時期としては多い降水量。
- 関東でモデルの降水量がやや過剰であるが、だいたいよい

注目すべきポイント
地上気温・降水量の実況との比較(東京)

GSM:1 月 13 日 00UTC 初期値
MSM:1 月 13 日 03UTC 初期値



折れ線グラフは気温、棒グラフは降水量。
緑:観測、赤:MSM予想、青:GSM予想

•降水はこの時期としては多い。24時間雨量で60mmを超える。
•地上気温は、強い降雪となる12JST前に0℃台に急激に低下。その後、ほぼ一定の状態が数時間継続する。

•降水量の予想は、GSM、MSMとも大きく実況と違わない。

•気温の予想は、MSMでは気温の低下とその後の気温一定状態は予想できていたが、タイミングが2時間ほど遅れている。GSMでは、0℃台への気温の低下が予想できていなかった。

気温の時間変化率に着目したモデルの予想の分析

数値モデルにおける気温の時間変化

気温の時間変化率に着目したモデルの予想の分析

- GSM: 気温が実況ほど下がらなかった。
- MSM: 気温の低下のタイミングに遅れがあったものの、ほぼ実況に近い推移を予想していた。

これらの気温低下の予想の違いが降雪量ガイダンスの大きな違いに。

数値予報モデルの気温予測の過程に注目

数値予報モデルの仕組み

- 数値予報モデルは、さまざまな過程からの予報変数の時間変化率を評価し、それを足し合わせて時間積分して、次のタイムステップの予報変数の値を求めることを繰り返す

予報変数の時間変化率を求める
時間変化率は格子点の値を用いて表す

力学過程
移流
気圧傾度力
コリオリカ
重力

物理過程
境界層内輸送
対流輸送
重力波抵抗
放射
水の相変化
水の形態変化

時間積分する
各予報変数の次のタイムステップの値を求める

予報値と時間変化率

- 数値予報モデルでは、各過程の時間変化率を求めて、それを足し合わせ時間積分した値を予報値として出力する。
  - 予報値だけ見ても、どの過程が寄与してその結果になったかははっきりとは分からない。
    - 予報変数だけから解析する場合は、推定や感度実験による感度を見ることが多いが、推定の域を出ないこともあるし、感度実験はそれによって注目している現象以前の物理を変えてしまうことも
  - 時間変化率を見れば、モデルがなぜその予報値を出力したかは一目瞭然となる。
    - 時間変化率を統計した解析は行われているが、事例解析で活用した例は少ないかも。

数値予報モデルにおける気温の時間変化

温度の時間変化率 = 温度の移流 + 断熱圧縮・膨張による変化率
+ 非断熱加熱率

非断熱加熱率 = 乱流に伴う熱の鉛直輸送による加熱率
+ 格子スケールの凝結・蒸発・融解による加熱率
+ 積雲対流に伴う熱の鉛直輸送による加熱率
+ 長波放射による加熱率
+ 短波放射による加熱率

数値予報モデルでは、これらの各項の寄与を評価している。

気温の時間変化率に着目したモデルの予想の分析

実況データの分析を通じた気温低下の要因の考察

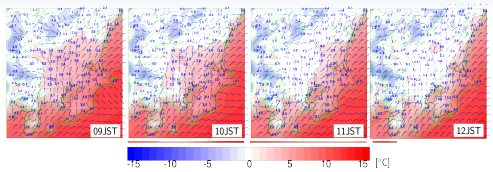
寄与が小さいと考えられる過程の排除

- 関東地方はすでに厚い雲に覆われていて、短波放射は雲によって遮られており、下層の短波放射による加熱はほぼ無視できる。
- 雲からの長波放射による加熱と地表面付近の長波放射による冷却がほぼ釣り合うため、長波放射の寄与も無視できる。
- 気温低下時の関東での気圧低下は5hPa程度であり、大きな場の気圧変化に伴う断熱圧縮・膨張に伴う温度変化も無視できる。
- 前線に伴う層状の雲による降水が主で、積雲対流に伴う加熱の寄与も無視できる。

気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 20

毎時大気解析に見る寒気移流の寄与(熊谷)

毎時大気解析・アメダス観測の地上気温と風

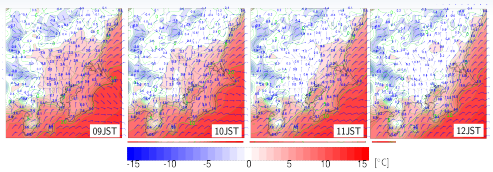


•移流による時間変化率: -(風速)×(温度の空間傾度)
　•北風が常に寒気移流にならないことに注意。
•熊谷の地上気温変化:2.4℃(09JST)→0.8℃(10JST)、風は北西～北北西2.5m/s程度
•寒気移流だけで気温が下がったとすると、10kmで1.7Kの温度傾度が必要。しかし、北関東の温度傾度はそれよりもかなり小さく、**熊谷の気温低下は寒気移流だけでは説明できない。**

気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 21

毎時大気解析に見る寒気移流の寄与(東京)

毎時大気解析・アメダス観測の地上気温と風



•移流による時間変化率: -(風速)×(温度の空間傾度)
　•北風が常に寒気移流にならないことに注意。
•東京の地上気温変化:3.0℃(1030JST)→1.0℃(1130JST)、風は北西～北北西4m/s程度
•東京湾の西側には、海陸の温度コントラストで、強い温度傾度が存在。しかも、風が強い。寒気移流だけで気温が下がったとすると、10kmで1.3Kの温度傾度が必要であるが、そのくらいの温度傾度はあり、**寒気移流が大きく寄与していると考えられる。**

気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 22

降水の蒸発による冷却の寄与

- 南岸低気圧による関東の降雪では、低気圧に先行する雨の蒸発による冷却によって雪に変化することが多い。
  - 雨雪判別に相対湿度が影響する原因の一つ
- 本事例の場合は、10JSTで関東地方の湿球温度の実況は2℃程度。
  - すなわち、降水の蒸発による冷却では、2℃程度までしか低下しない。
  - しかし、実況では関東の広い範囲で0～1℃の領域が広がっていることから、別の冷却源の存在を示唆。

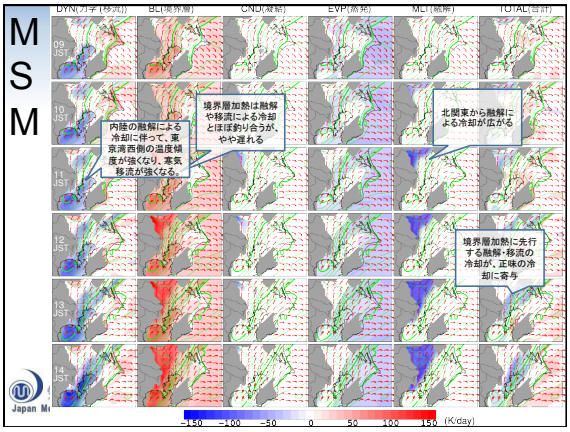
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 23

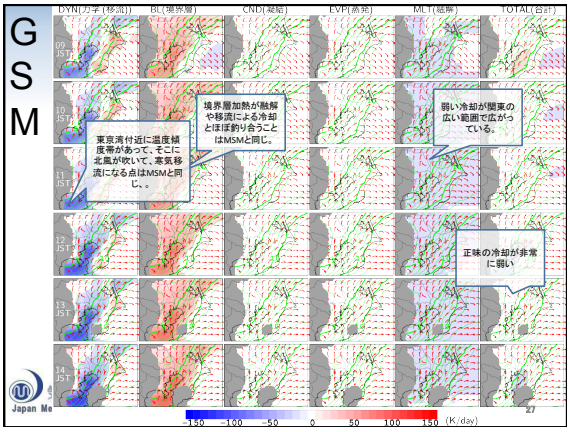
気温の時間変化率に着目したモデルの予想の分析

GSM・MSMの気温の変化率の違い

大気の最下層における MSMとGSMの気温の変化率の違い

- MSMは地上50m面、GSMは990hPaの地表面に近いところの気温の各過程からの時間変化率の寄与を示す。
  - 移流には鉛直移流を含む
- 解析対象の予報
  - MSM:2013/01/13 03UTC初期値
  - GSM:2013/01/13 00UTC初期値

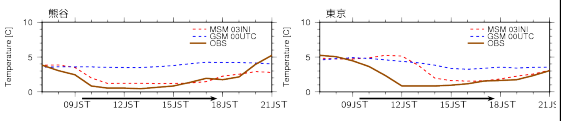




熊谷・東京における 気温時間変化率の鉛直時間断面

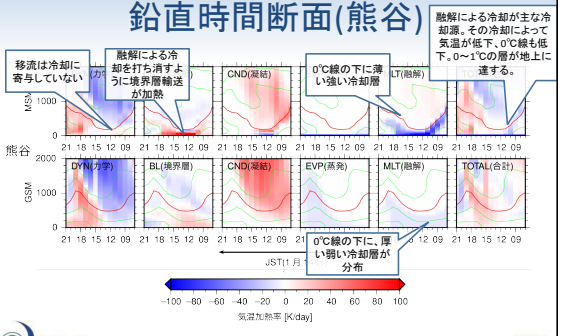
- これまでの考察で、北関東と東京湾の西側で気温低下の要因が異なることが示唆される。
- 北関東、関東それぞれの代表地点として熊谷と東京を選択。
- 鉛直時間断面は、横軸が時刻(JST)で時間は右から左へ進む(ウィンドプロファイラの表示と同じ)、縦軸は高度。図中の等値線は気温(2℃おき)で赤線は0℃線。

熊谷と東京の地上気温予想

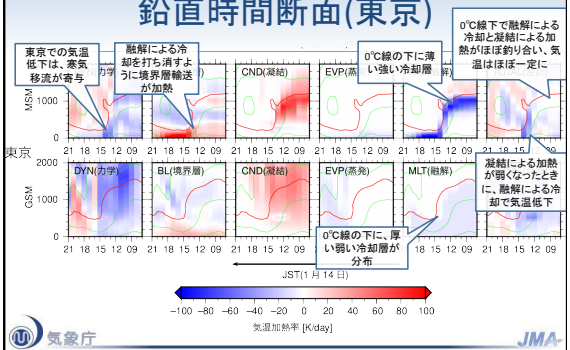


- MSM(赤線)
  - 熊谷では、気温低下タイミングが若干遅れるが、実況にほぼ追随
- GSM(青線)
  - 気温はほとんど低下せず

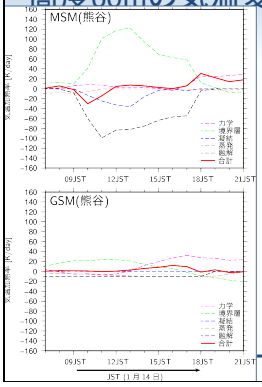
MSM/GSMの気温時間変化率の 鉛直時間断面(熊谷)



MSM/GSMの気温時間変化率の鉛直時間断面(東京)



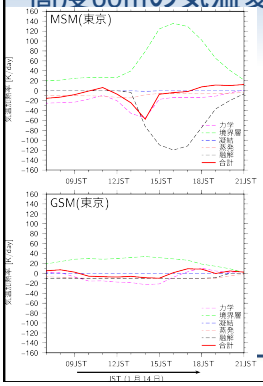
高度60mの気温変化率の時系列(熊谷)



•融解による冷却が先行して、境界層の加熱がやや遅れて大きくなる。そのため、融解熱が大きくなる最初の時には正味で冷却になるが、その後は加熱と冷却がほぼ釣り合い、気温は変化しない。
- 実況でも降雪になってからは気温はほぼ一定だったことと整合。

•MSMと比べると、どの過程も時間変化率が小さい。
•融解による冷却率は、10K/日で一定になっているのがわかる。

高度60mの気温変化率の時系列(東京)



•力学(移流)による冷却が先行して、それに融解による冷却、境界層の加熱が続く。移流や融解による冷却が大きくなるときに正味で冷却になるが、その後は加熱と冷却がほぼ釣り合い、気温は変化しないことは熊谷と同じ。
- 実況でも降雪になってからは気温はほぼ一定だったことと整合。

•MSMと比べると、どの過程も時間変化率が小さいのは熊谷と同じ。
•融解による冷却率は、10K/日で一定になっているのも熊谷と同じ。
•熊谷に比べると、力学(移流)による冷却が大きく、MSMでも移流による冷却が先行することと整合的。

凝結による加熱の生成要因

- MSMでは、融解による冷却と凝結による加熱が打ち消し合っていた。
- 飽和している場合、冷却され気温が下がると飽和水蒸気量が減少して、その減少分が凝結する。
  - その冷却源は、融解熱のような非断熱加熱と上昇流に伴う断熱膨張によるもの
    - 後者は上昇流が大きいほど、冷却率が大きくなる。

ここまででわかったこと（実況の解析）

- 降雪に至る関東の気温低下は、
  - 北関東では、気温傾度があまり大きくなく、寒気移流だけでは急激な冷却は説明できない。
  - 一方、東京湾の西側には温度傾度帯があり、寒気移流が冷却に寄与していると考えられる。
  - 湿球温度は2℃程度で、降水の蒸発による冷却では説明できない。
  - 寒気移流、降水の蒸発による冷却以外の強い冷却源がありそう。

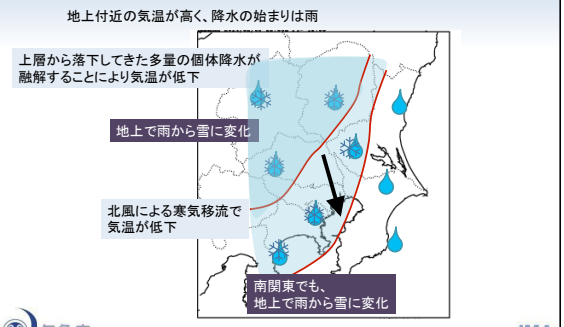
ここまででわかったこと（MSMの気温時間変化率の解析）

- 北関東では、雪の融解による冷却が気温の急激な低下に寄与。
  - 融解による冷却は、降水量に比例する。降水量が多かったことが融解が大きく寄与した要因。
- 東京湾の西側では、実況で見られるような寒気移流が先行して、その冷却によって雪に変わって融解による冷却が発生。
- 移流、融解熱などの冷却は、少し遅れて境界層輸送による加熱とのバランスする。
  - 大気が冷却されることで、地表面より大気温度が低くなって、地表面から大気へ熱が輸送
  - 境界層加熱が他の冷却とバランスするまでは正味で冷却になるが、やがて加熱と冷却がほぼ釣り合う。
    - 実況で地上気温が降雪時に時間的に一定になっていることと整合的。

ここまででわかったこと（GSMの気温時間変化率の解析）

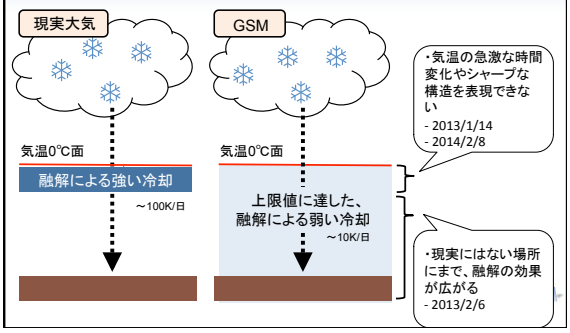
- MSMに見られた融解による冷却が小さく、0℃層より下に広がっている。
  - GSMでは計算安定性を確保するために、雲過程での降水蒸発による冷却、融解による冷却にそれぞれ10K/日の上限値が設定されている。
    - MSMでの融解による冷却は最大-120K/日であり、それに比べるとかなり小さい。
    - モデル面各層で、10K/日の融解熱に対応する量の雪を解かし、融け残りはそれより下の層で解かす。その繰り返し。
  - この上限値のために、冷却が十分に表現されなかった。

推定される気温低下のメカニズム



GSMの蒸発・融解による冷却

計算安定性確保のため
モデルの各鉛直層にそれぞれ上限値（10K/日）が設定されている

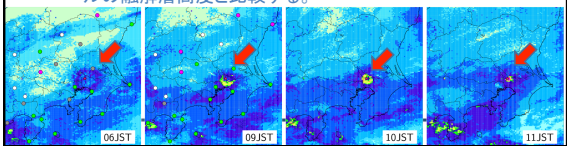


気温の時間変化率に着目したモデルの予想の分析

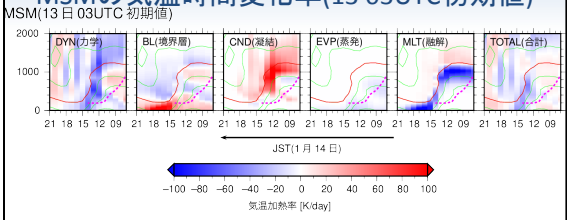
MSMの気温低下が遅れた原因

ブライトバンドに見る融解層高度の推移

- レーダー観測に現れるブライトバンド
  - 融解層がレーダービームを強く反射することから現れるもの。融解層の高度がレーダーサイト付近で一定であれば、円形に現れる。
  - この事例の東京レーダーの観測でも出現。
  - 時間経過とともに、円形の領域が小さくなった。
    →融解層の高度が低下していることを示す。
  - ブライトバンドの大きさから融解層の高度を推定し、モデルの融解層高度と比較する。

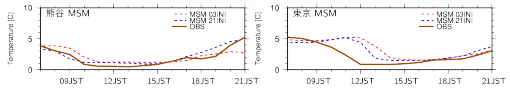


東京レーダーサイト(柏)における MSMの気温時間変化率(13 03UTC初期値)



- MSMの予想では、先に見た東京と同様に、融解による冷却と凝結による加熱がほぼ釣り合って、0℃線の位置が一定である状態が続いている。
- 一方、ブライトバンドから推定した融解層高度(ピンク破線)は、時間経過とともに下がっており、融解層の低下の様子が一致していない。

13日21UTCのMSMの地上気温変化

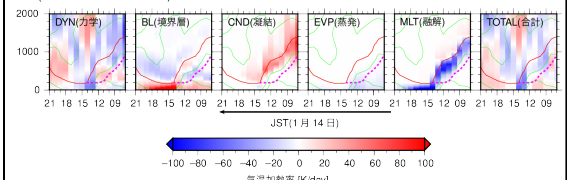


•熊谷では、気温低下のタイミングは、21UTC初期値の方が実況によくあっている。
•東京では、依然、時間ずれはあるものの、21UTC初期値の方が気温低下のタイミングが少し早く、実況に近い。

•融解層高度の推移は、03UTC初期値と21UTC初期値で大きく違っていた。

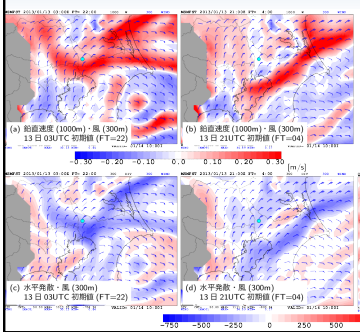
東京レーダーサイト(柏)における MSMの気温時間変化率(13 21UTC初期値)

MSM(13日21UTC初期値)



•プライドバンドから推定した融解層高度よりはモデルの0℃線の方が高いものの、ほぼ一定の状態を数時間継続した03UTC初期値に対し、21UTC初期値では推定融解層高度とほぼ同じペースで、モデルの0℃線が低下している。
•凝結による加熱がやや小さく、正味で融解熱による冷却が上回っている。

03UTC初期値と21UTC初期値で 凝結熱の大きさが異なる原因



•03UTC初期値では、柏レーダーから東京にかけて上昇流(収束域)になっているのに対し、21UTC初期値では上昇流・収束は強くない。
•収束の位置は、毎時大気解析とも一致。
•03UTCでは、**実況にない上昇流によって、凝結熱が大きくなっていたと考えられる。**

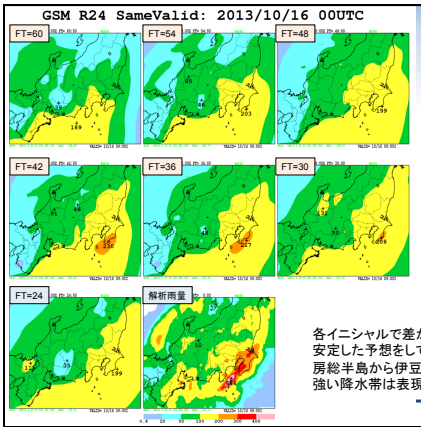
21UTC初期値でも融解層高度や 気温の低下タイミングが遅れた原因

- 考えられる原因
  - 初期値の0℃線の位置が実況よりも高かった可能性
    - 第一推定値となるモデルの予報では、融解層の低下を表現していなかった

    21UTCの関東内陸には、高層の気温観測(航空機観測、ゾンデ観測など)がないため、実況より高めになっている第一推定値の融解層の位置を修正できなかった。

0℃線の高度はその後の気温低下の動向に大きな影響を与え、数値予報の大きな不確実要素になる。

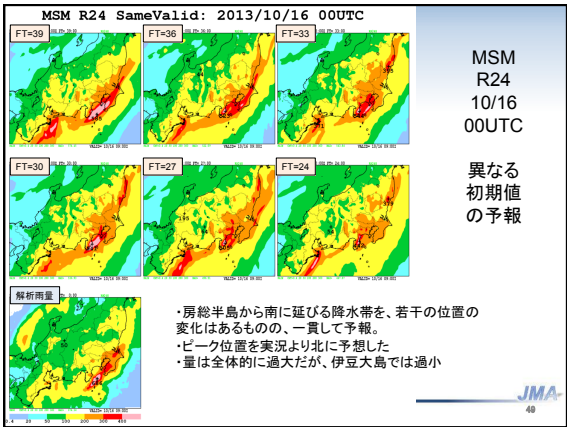
台風第26号接近に伴う 伊豆大島での大雨

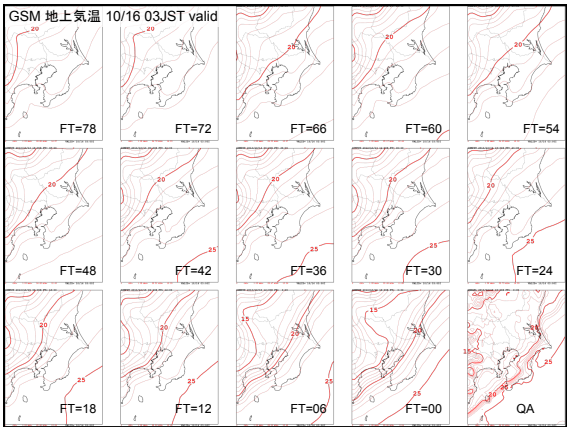


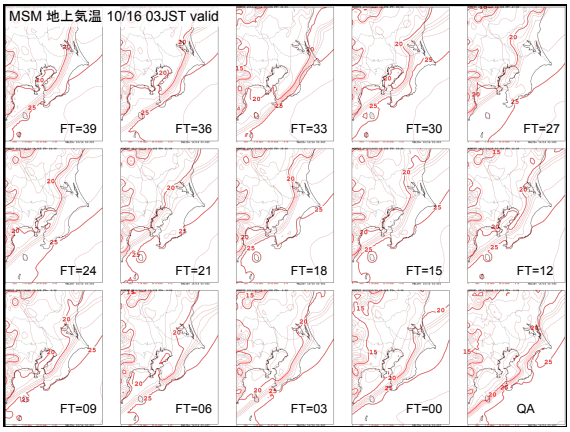
GSM
R24
10/16 00UTC

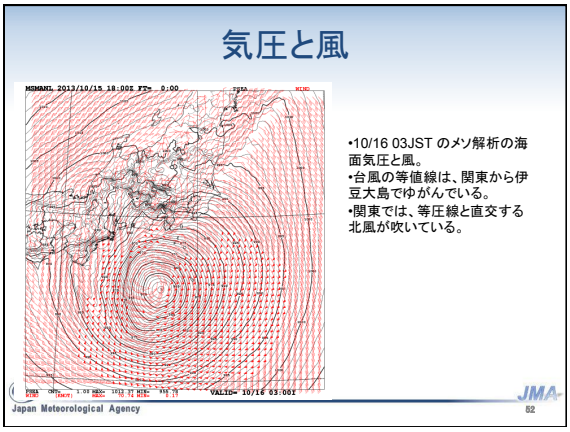
異なる初期値の予報

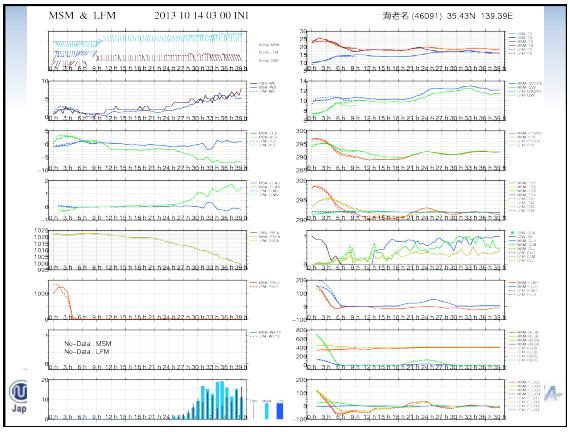
各イニシャルで差が少なく、安定した予想をしているが、房総半島から伊豆大島にかけての強い降水帯は表現できていない。


MSM R24 SameValid: 2013/10/16 00UTC
FT=39
FT=36
FT=33
FT=30
FT=27
FT=24
解析雨量
MSM
R24
10/16
00UTC
異なる
初期値
の予報
・房総半島から南に延びる降水帯を、若干の位置の変化はあるものの、一貫して予報。
・ピーク位置を実況より北に予想した
・量は全体的に過大だが、伊豆大島では過小
JMA
49

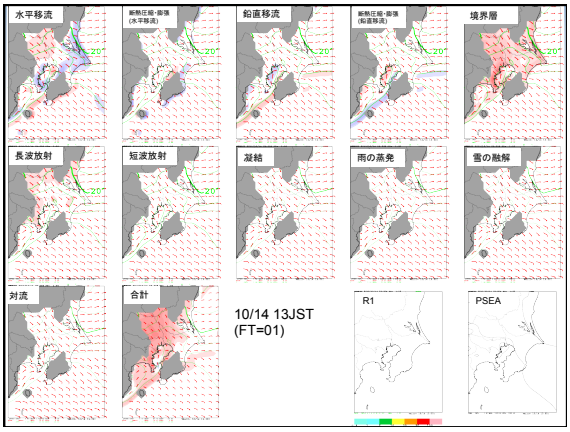

GSM 地上気温 10/16 03JST valid
FT=78
FT=72
FT=66
FT=60
FT=54
FT=48
FT=42
FT=36
FT=30
FT=24
FT=18
FT=12
FT=06
FT=00
QA


MSM 地上気温 10/16 03JST valid
FT=39
FT=36
FT=33
FT=30
FT=27
FT=24
FT=21
FT=18
FT=15
FT=12
FT=09
FT=06
FT=03
FT=00
QA

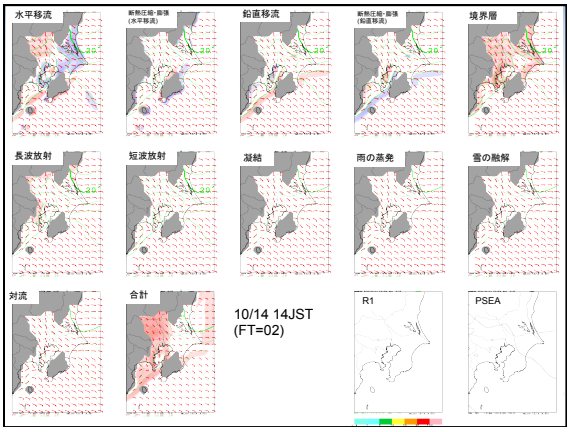

気圧と風
•10/16 03JST のメソ解析の海面気圧と風。
•台風の等値線は、関東から伊豆大島でゆがんでいる。
•関東では、等圧線と直交する北風が吹いている。
JMA
Japan Meteorological Agency
52


MSM & LFM 2013 10 14 03 00 INI
No-Data : MSM
No-Data : LFM

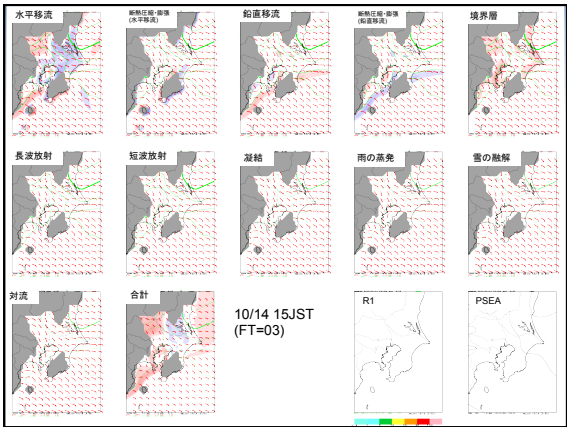
地表面付近(高度50M)の
気温変化率(MSM 10/14 03Z INI)
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA
54



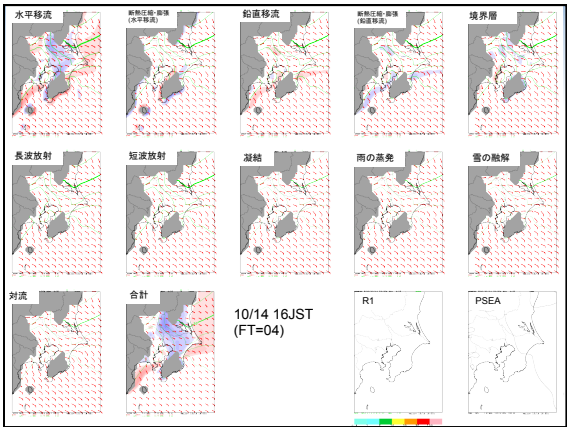
10/14 13JST
(FT=01)



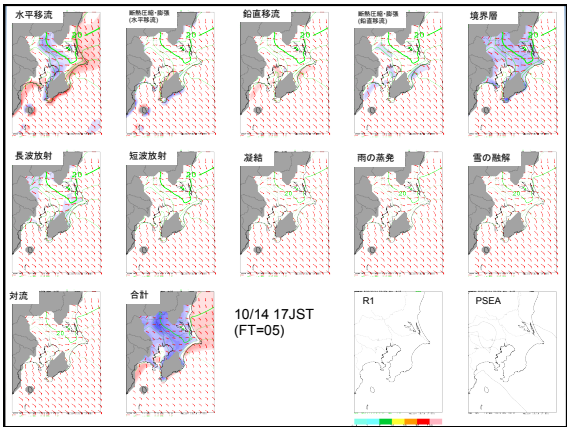
10/14 14JST
(FT=02)



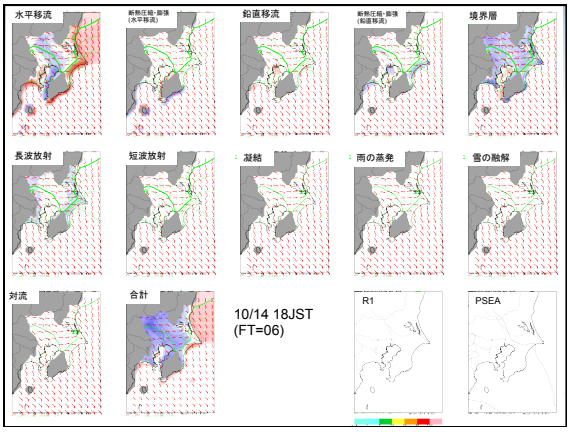
10/14 15JST
(FT=03)



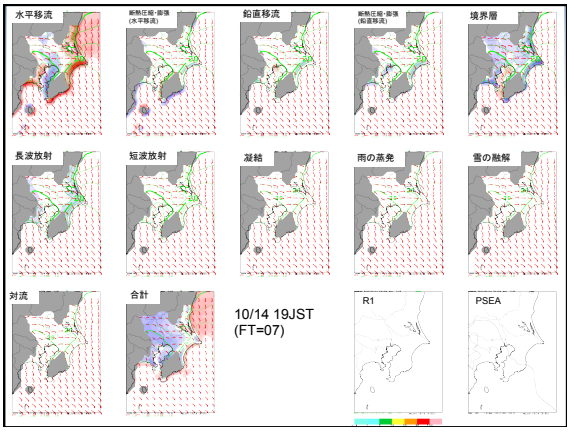
10/14 16JST
(FT=04)



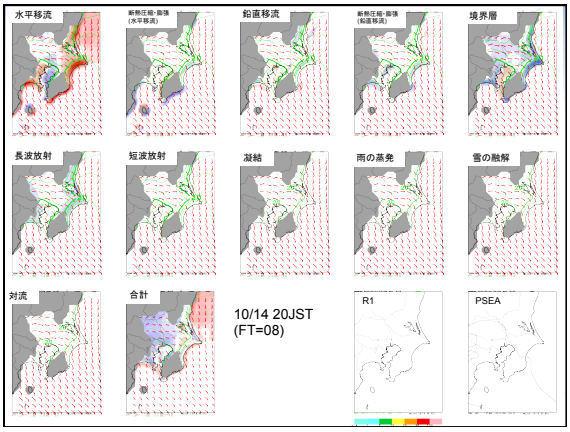
10/14 17JST
(FT=05)



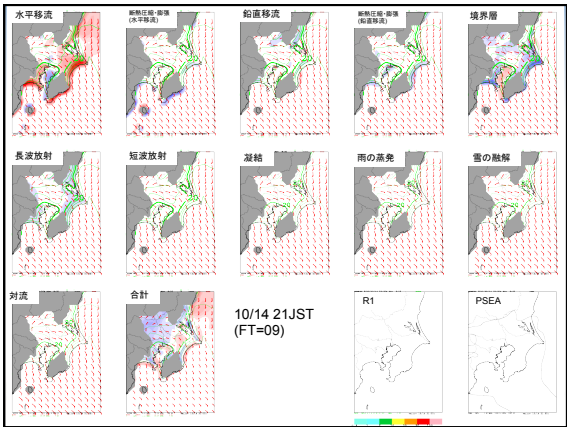
10/14 18JST
(FT=06)



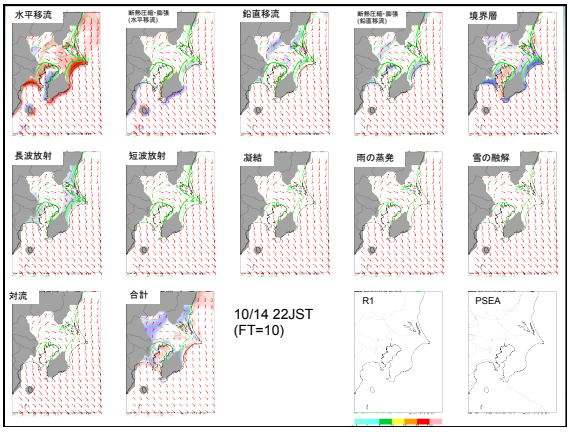
10/14 19JST
(FT=07)



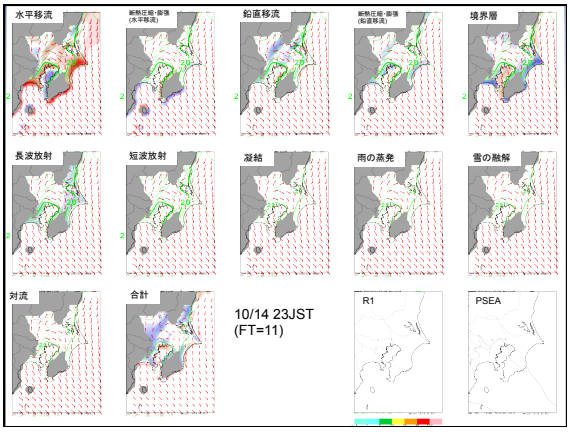
10/14 20JST
(FT=08)



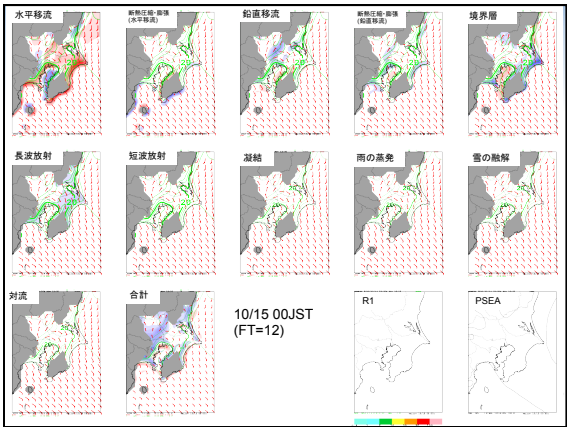
10/14 21JST
(FT=09)



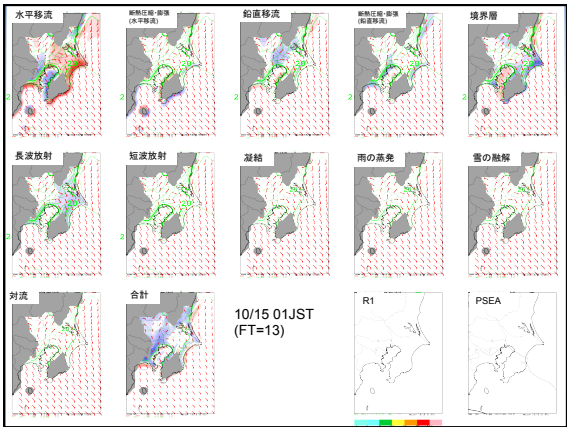
10/14 22JST
(FT=10)



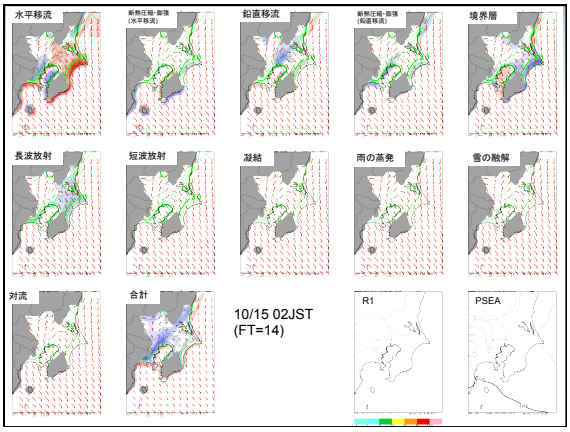
10/14 23JST
(FT=11)



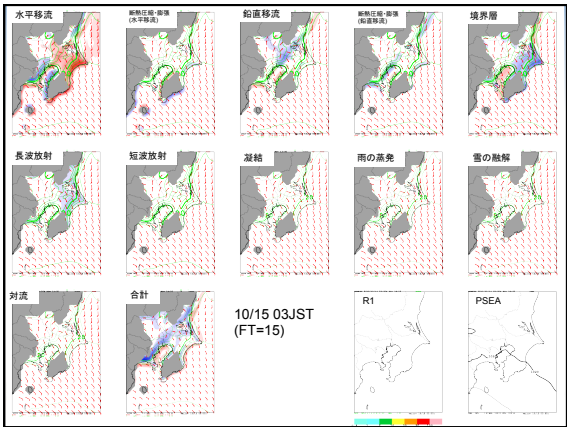
10/15 00JST
(FT=12)



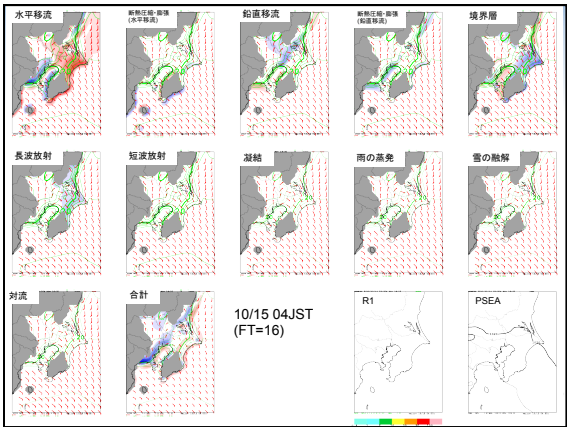
10/15 01JST
(FT=13)



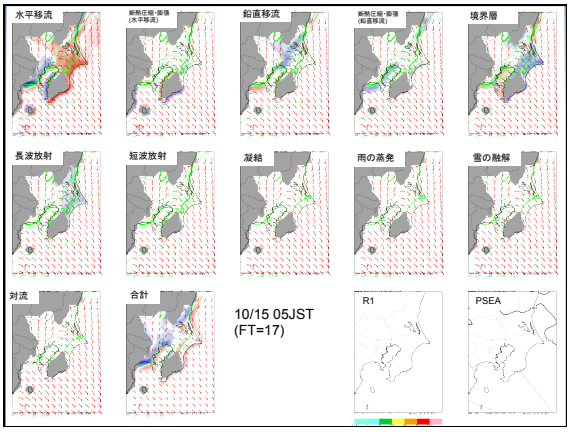
10/15 02JST
(FT=14)



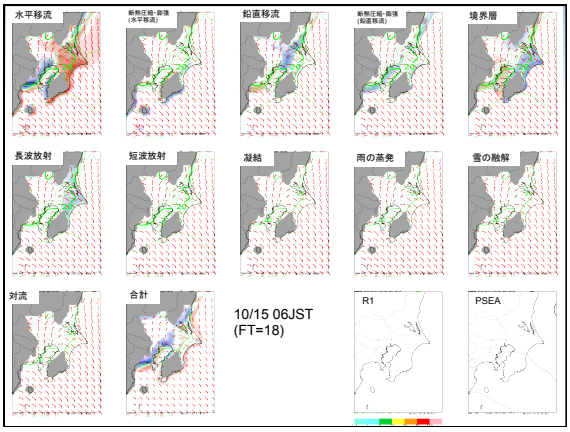
10/15 03JST
(FT=15)



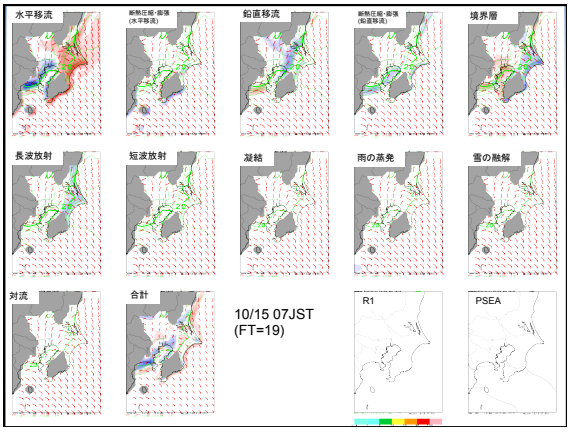
10/15 04JST
(FT=16)



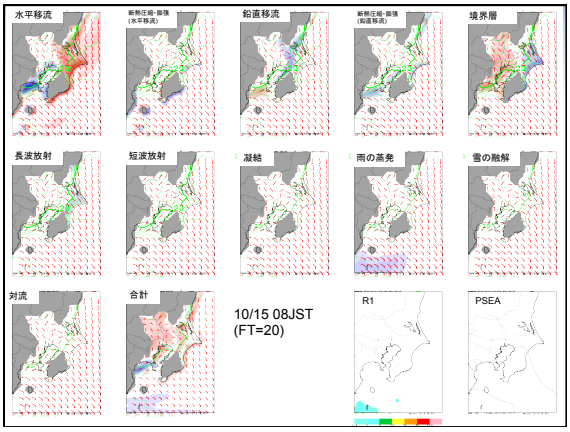
10/15 05JST
(FT=17)



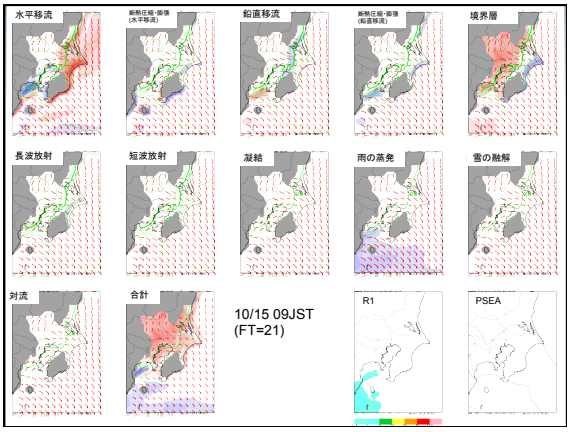
10/15 06JST
(FT=18)



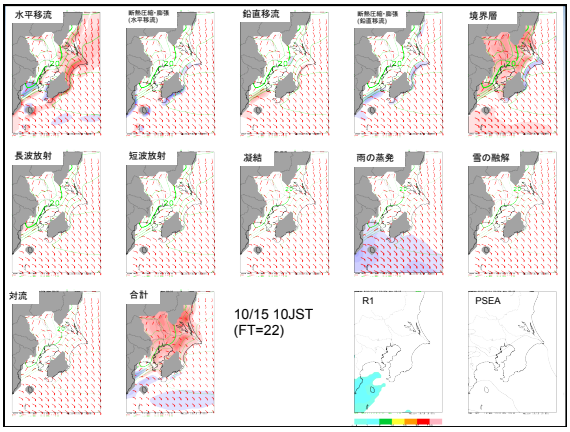
10/15 07JST
(FT=19)



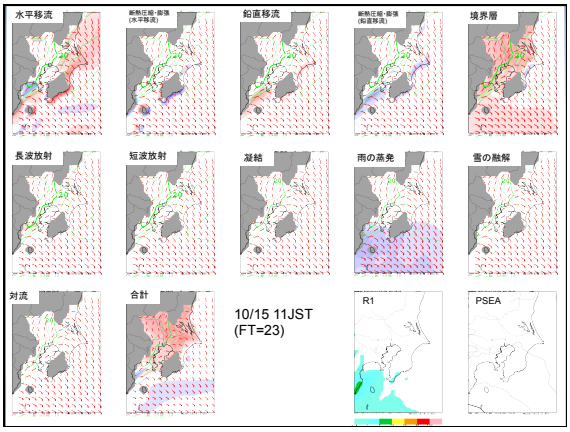
10/15 08JST
(FT=20)



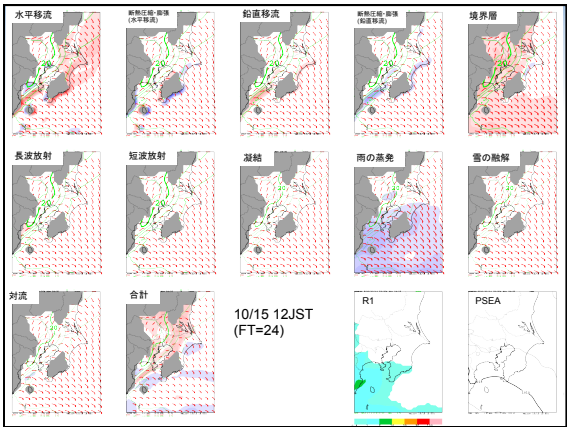
10/15 09JST
(FT=21)



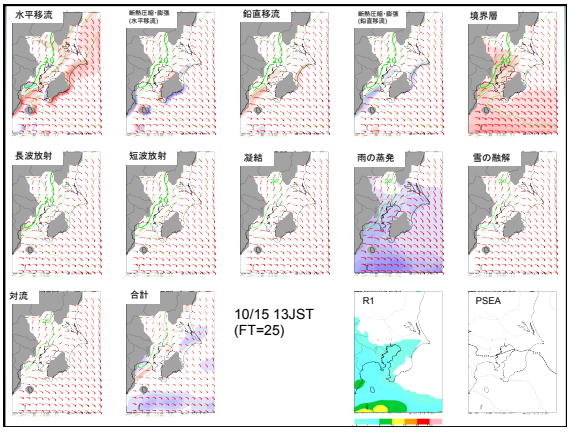
10/15 10JST
(FT=22)



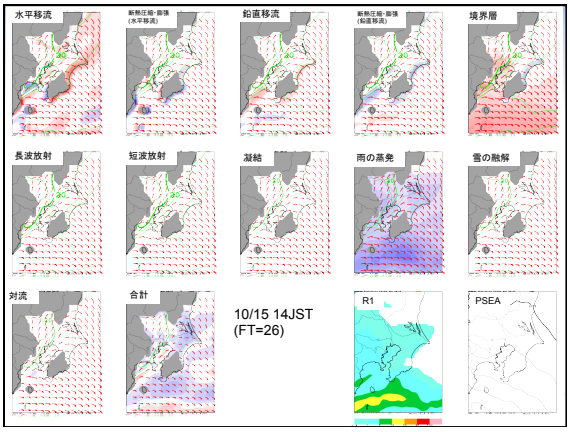
10/15 11JST
(FT=23)



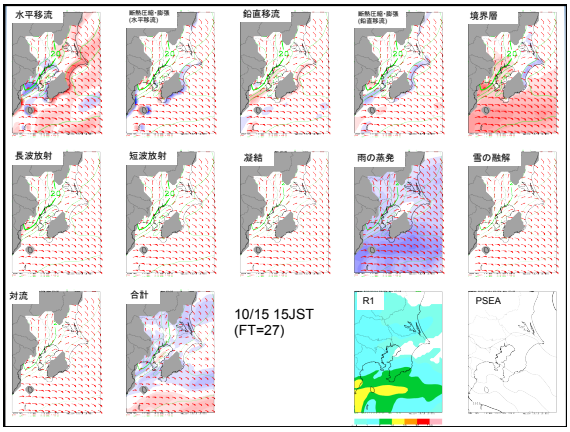
10/15 12JST
(FT=24)



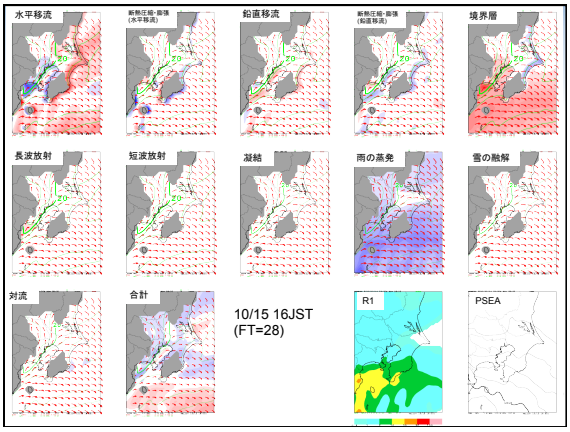
10/15 13JST
(FT=25)



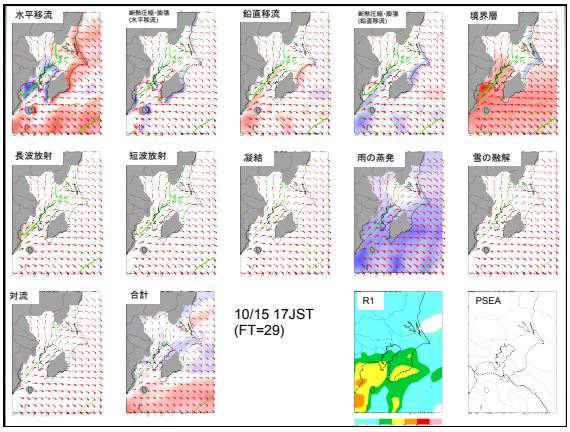
10/15 14JST
(FT=26)



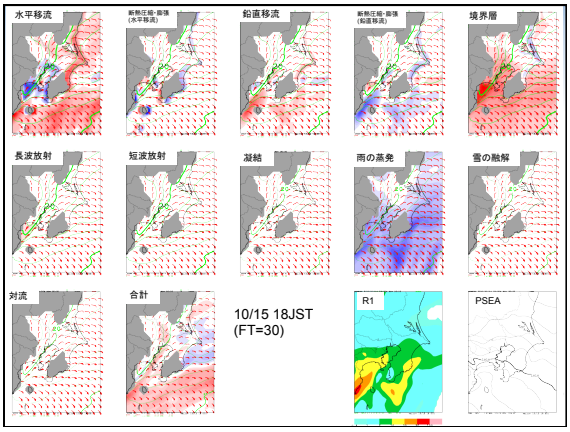
10/15 15JST
(FT=27)



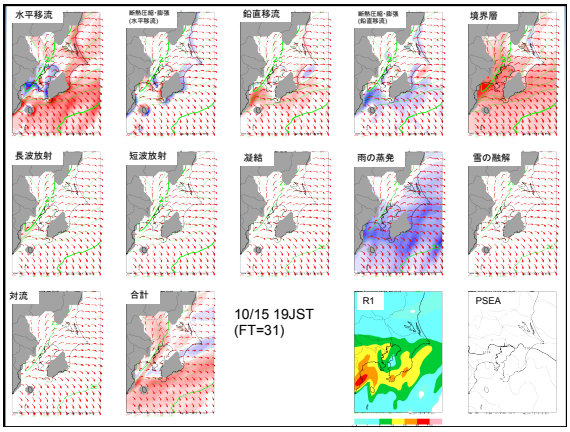
10/15 16JST
(FT=28)



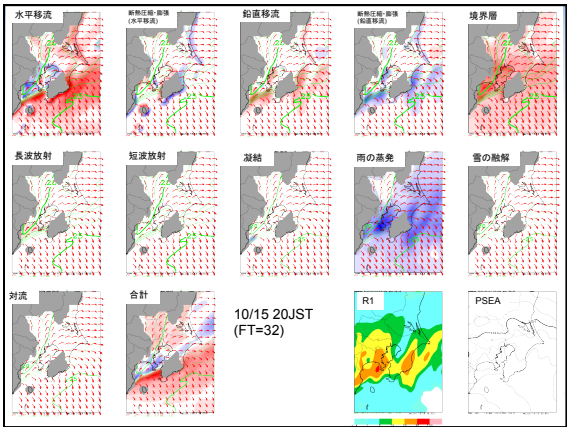
10/15 17JST
(FT=29)



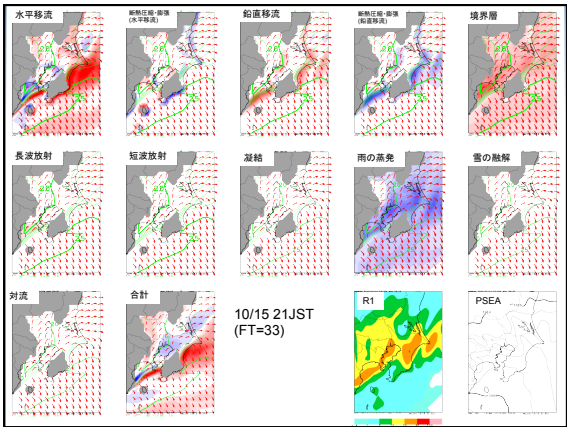
10/15 18JST
(FT=30)



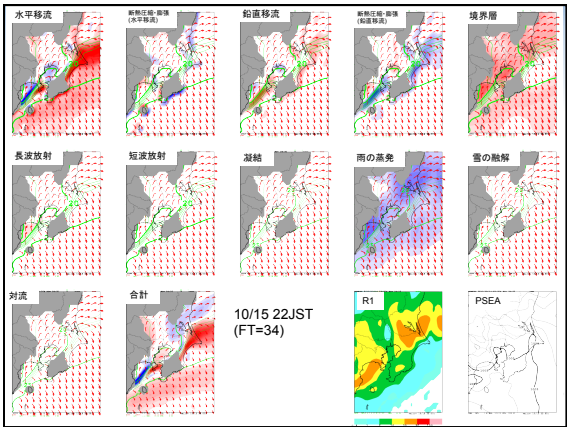
10/15 19JST
(FT=31)



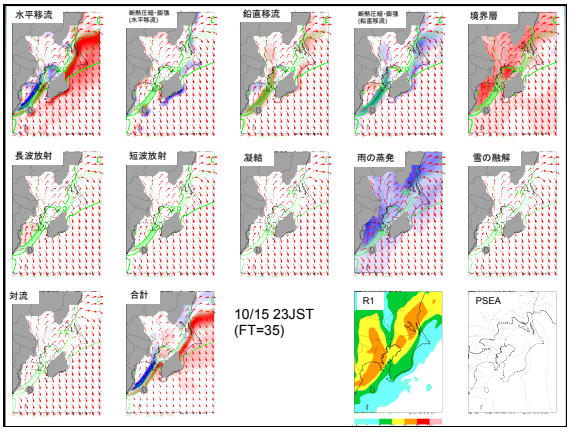
10/15 20JST
(FT=32)



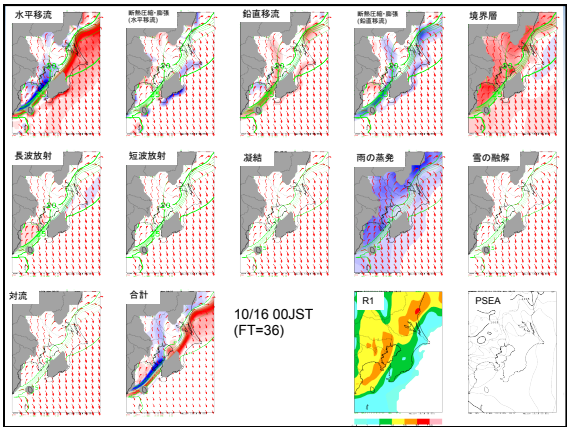
10/15 21JST
(FT=33)



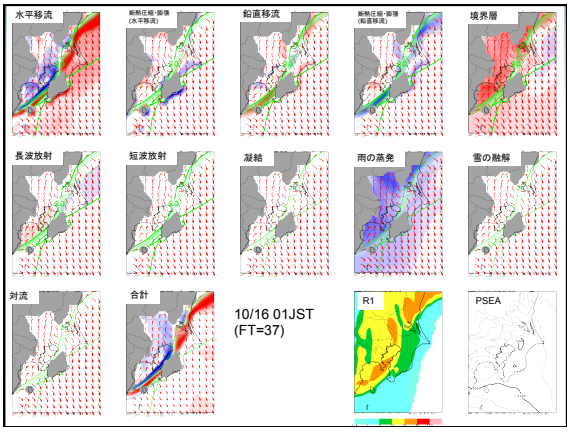
10/15 22JST
(FT=34)



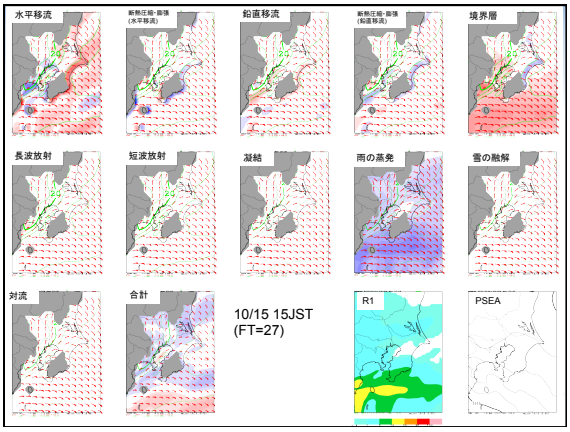
10/15 23JST
(FT=35)



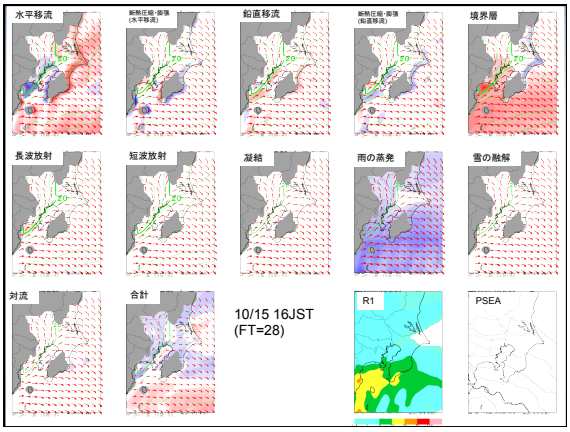
10/16 00JST
(FT=36)



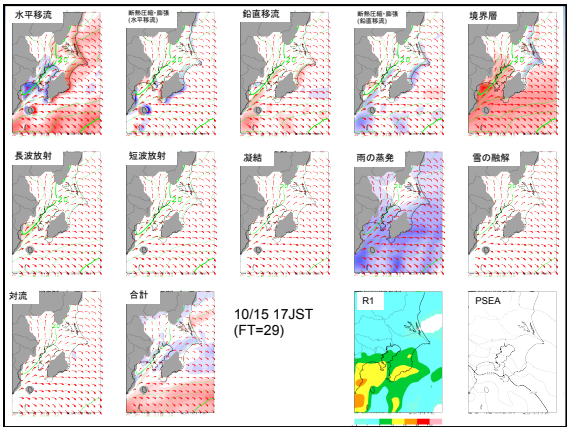
10/16 01JST
(FT=37)



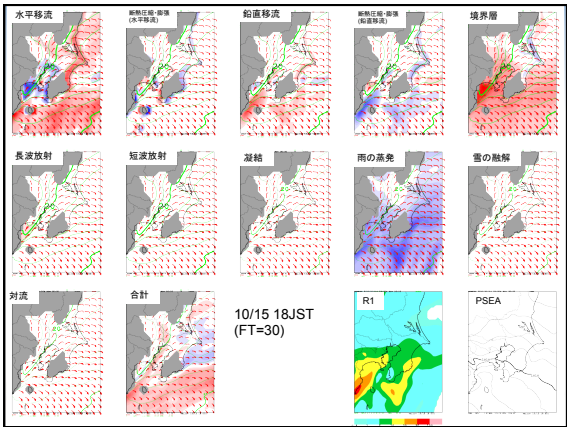
10/15 15JST
(FT=27)



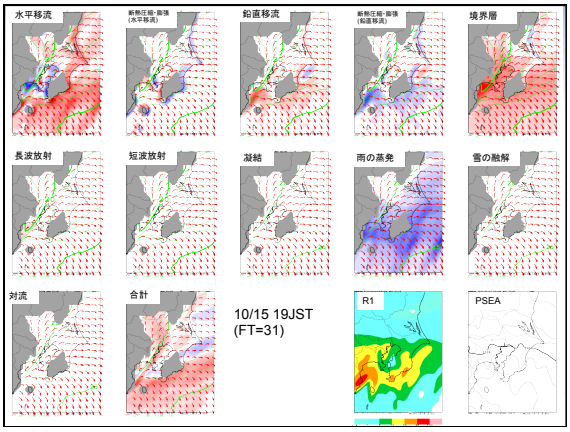
10/15 16JST
(FT=28)



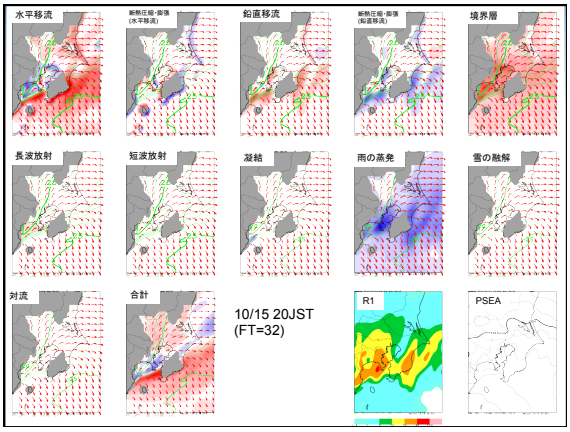
10/15 17JST
(FT=29)



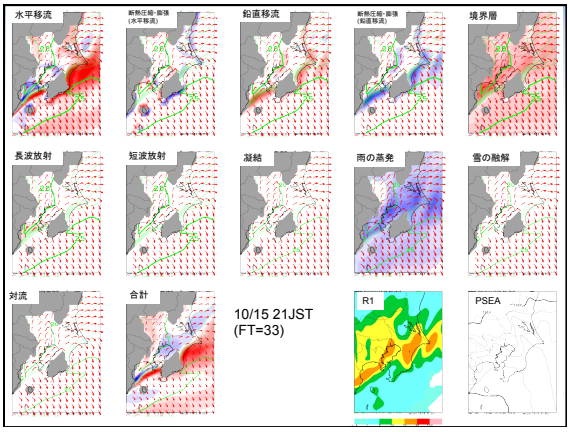
10/15 18JST
(FT=30)



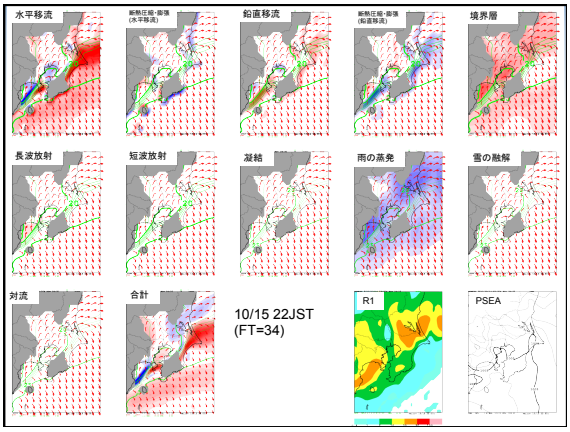
10/15 19JST
(FT=31)



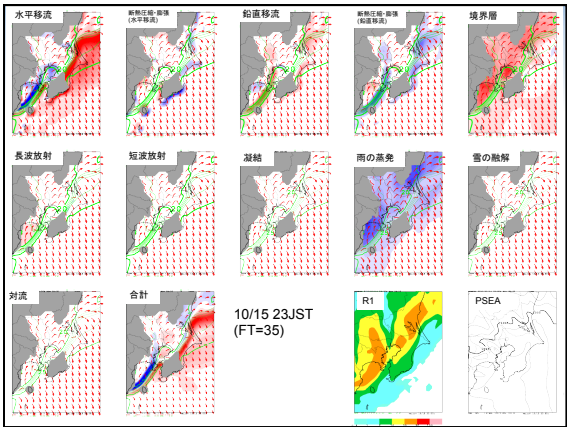
10/15 20JST
(FT=32)



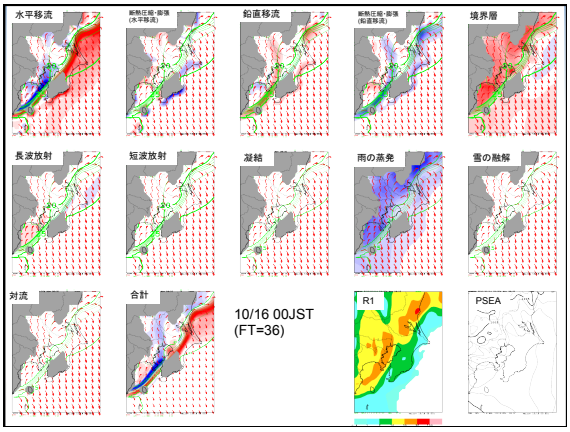
10/15 21JST
(FT=33)



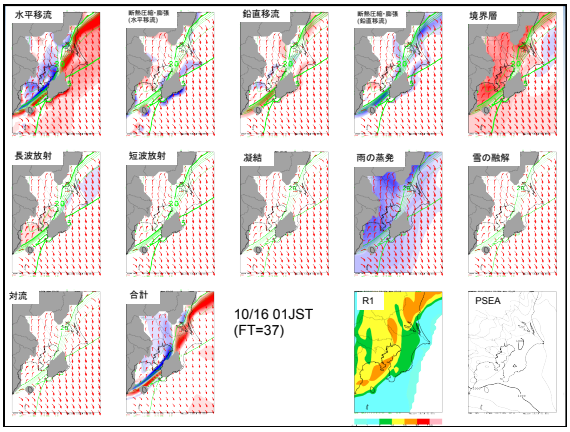
10/15 22JST
(FT=34)



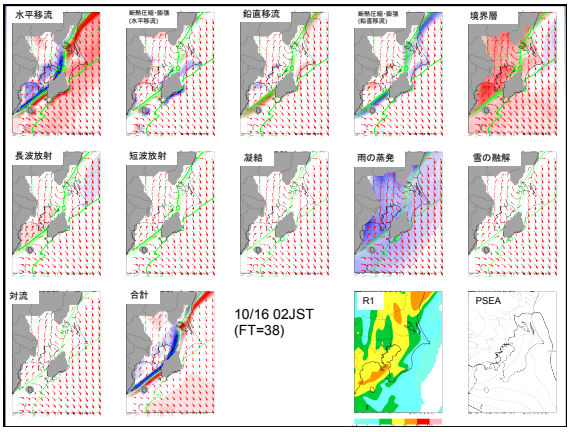
10/15 23JST
(FT=35)

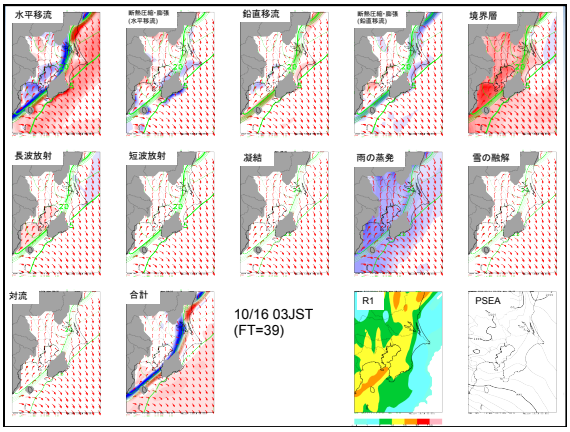


10/16 00JST
(FT=36)

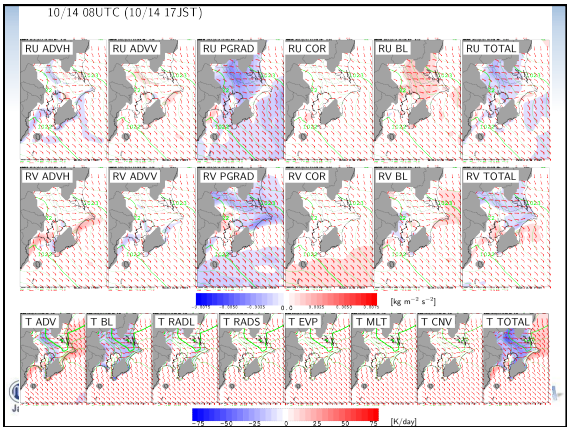


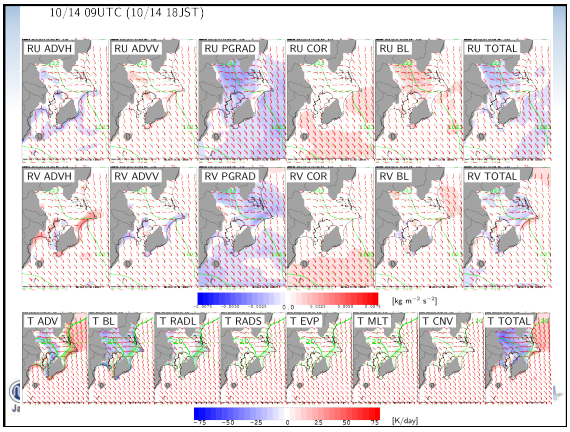
10/16 01JST
(FT=37)

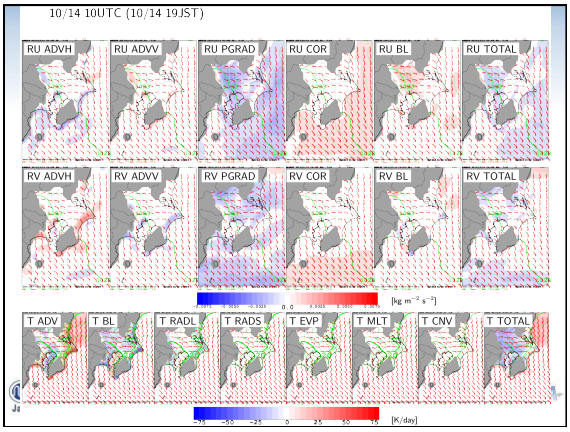

水平移流
鉛直移流
境界層
長波放射
短波放射
凝結
雨の蒸発
雪の融解
対流
合計
R1
PSEA
10/16 02JST
(FT=38)

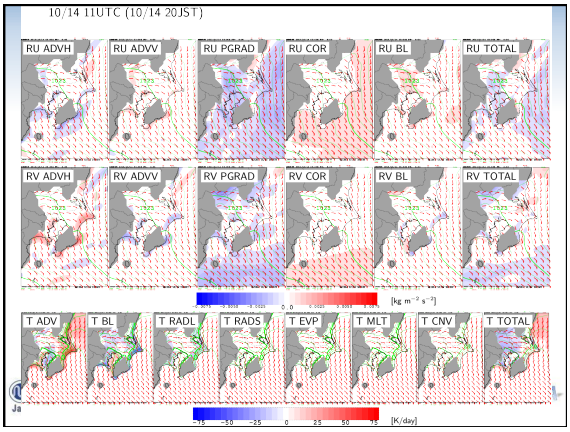

水平移流
鉛直移流
境界層
長波放射
短波放射
凝結
雨の蒸発
雪の融解
対流
合計
R1
PSEA
10/16 03JST
(FT=39)

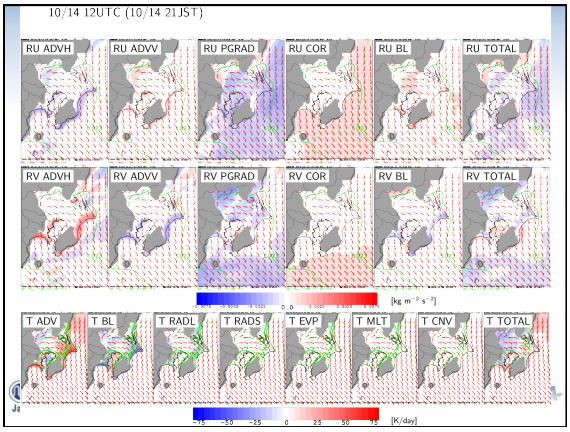
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA
105

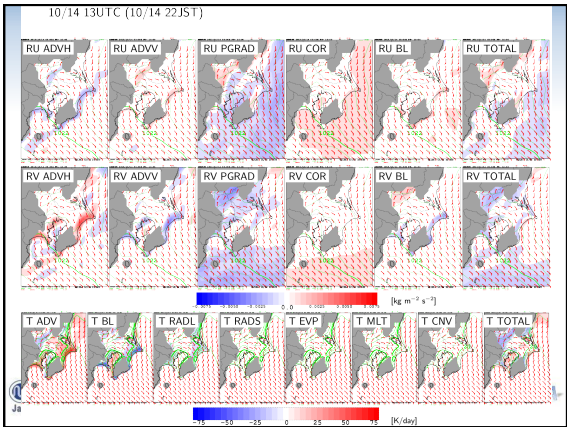

10/14 08UTC (10/14 17JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]

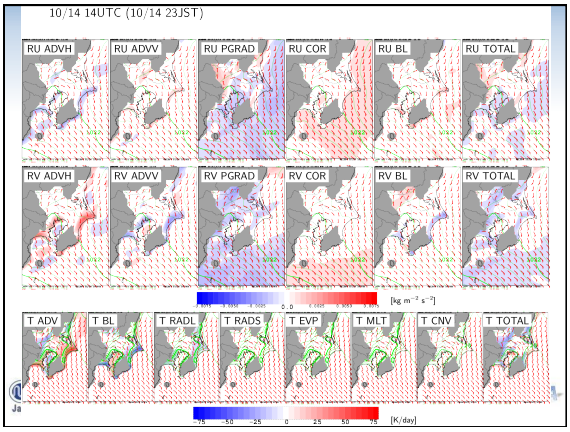

10/14 09UTC (10/14 18JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]

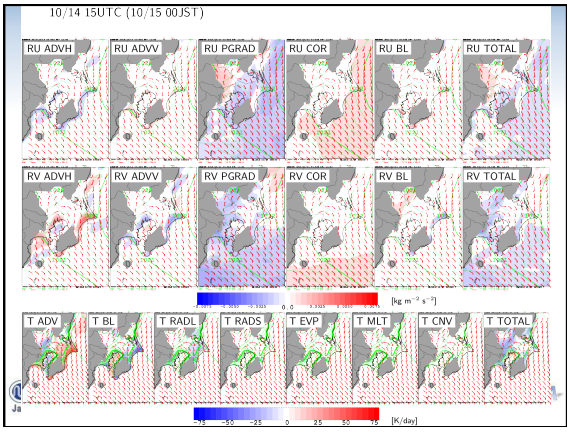

10/14 10UTC (10/14 19JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]

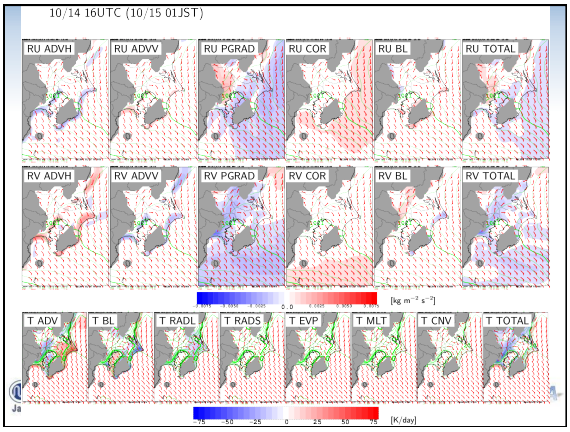

10/14 11UTC (10/14 20JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
[kg m⁻² s⁻²]
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]

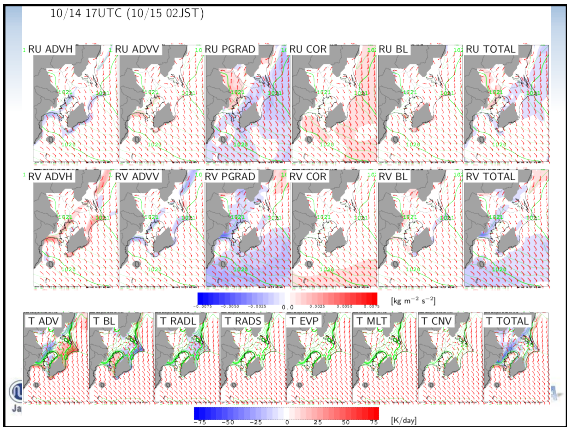

10/14 12UTC (10/14 21JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
[kg m⁻² s⁻²]
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]


10/14 13UTC (10/14 22JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
[kg m⁻² s⁻²]
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]


10/14 14UTC (10/14 23JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
[kg m⁻² s⁻²]
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]

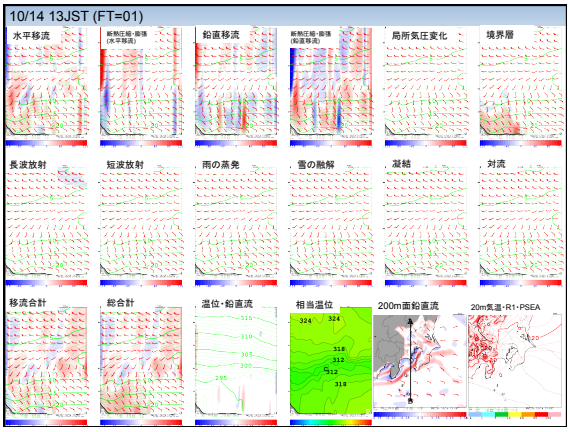

10/14 15UTC (10/15 00JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
[kg m⁻² s⁻²]
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]

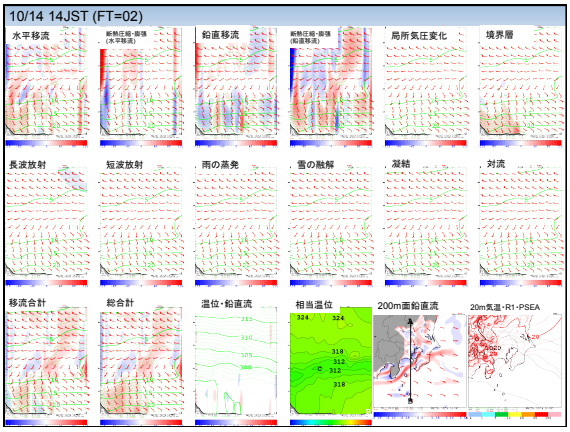

10/14 16UTC (10/15 01JST)
RU ADVH
RU ADVV
RU PGRAD
RU COR
RU BL
RU TOTAL
RV ADVH
RV ADVV
RV PGRAD
RV COR
RV BL
RV TOTAL
[kg m⁻² s⁻²]
T ADV
T BL
T RADL
T RADS
T EVP
T MLT
T CNV
T TOTAL
[K/day]

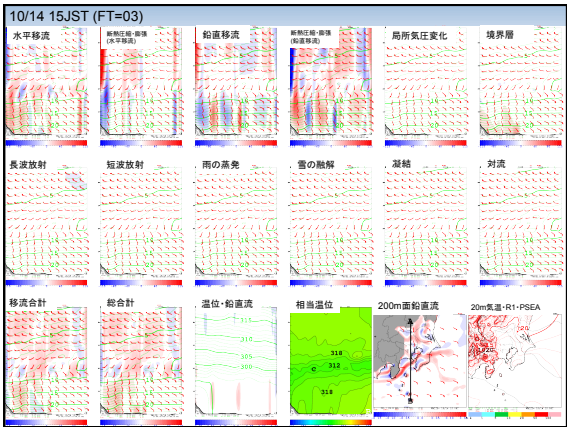


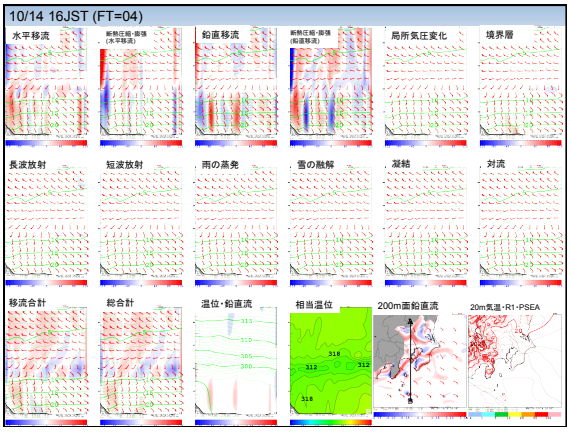
気温変化率の鉛直断面
MSM 10/14 03Z INI

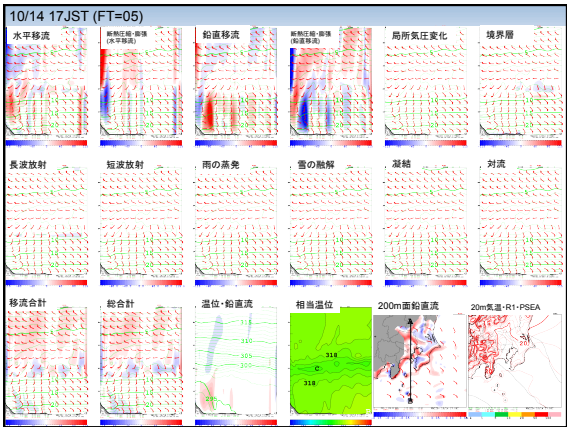
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 116

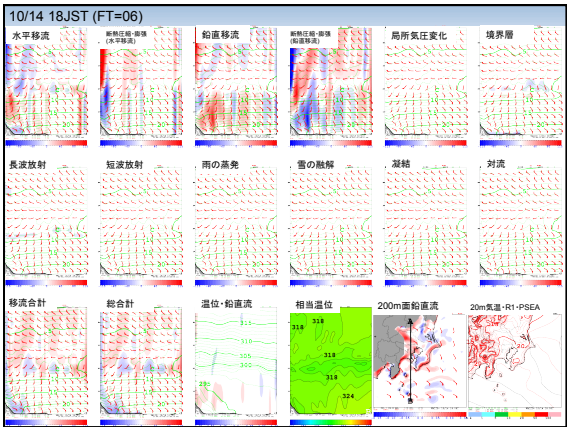


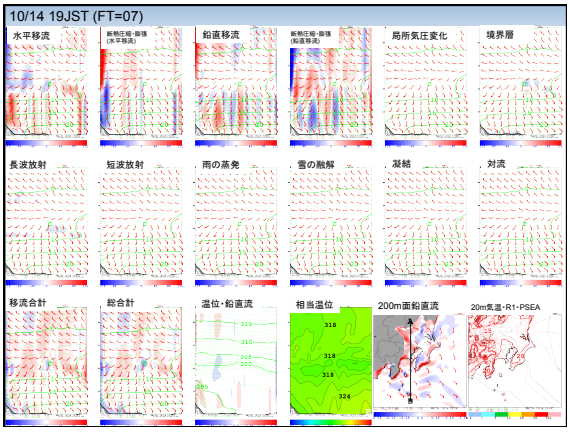


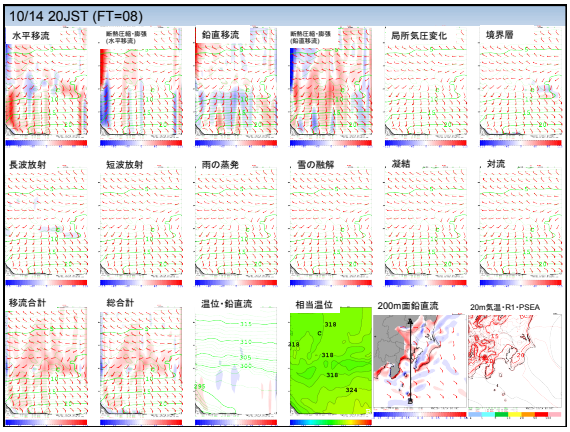


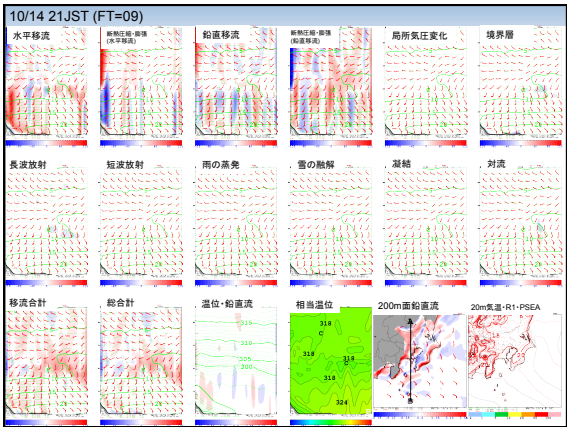


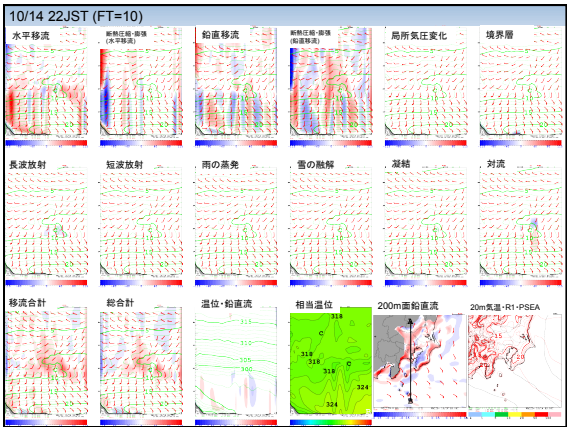

10/14 17JST (FT=05)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

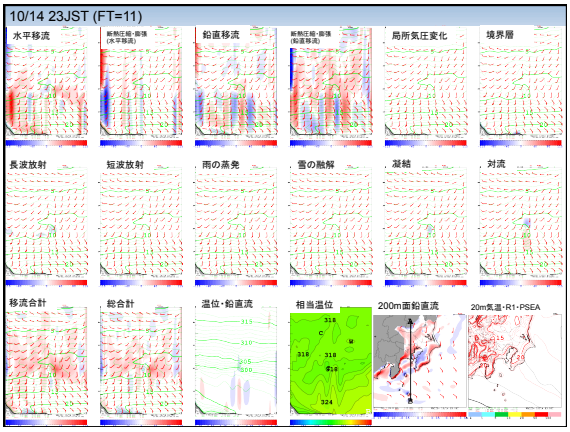

10/14 18JST (FT=06)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

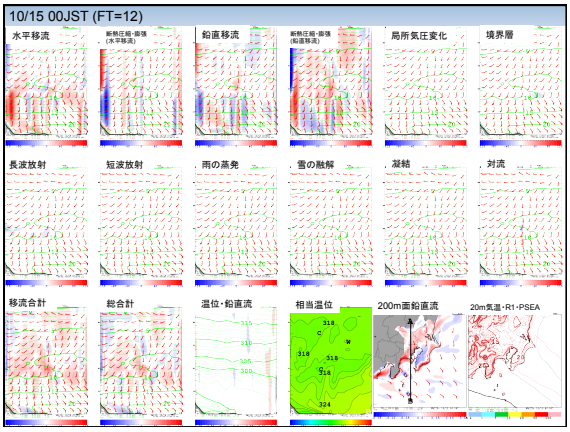

10/14 19JST (FT=07)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

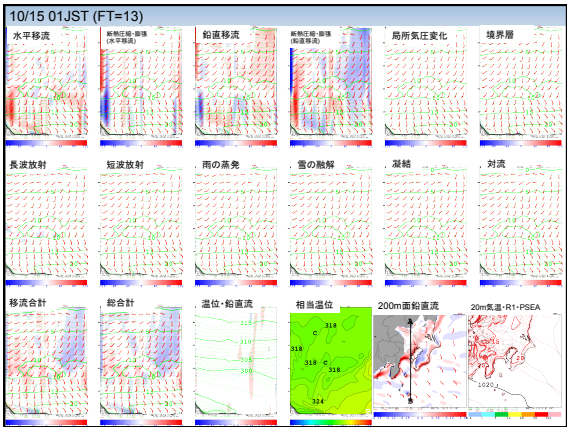

10/14 20JST (FT=08)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

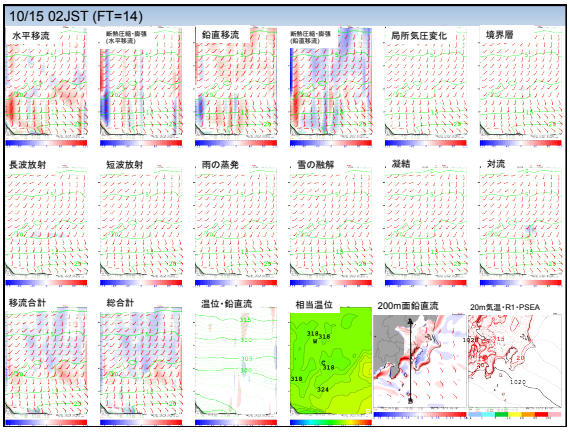

10/14 21JST (FT=09)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

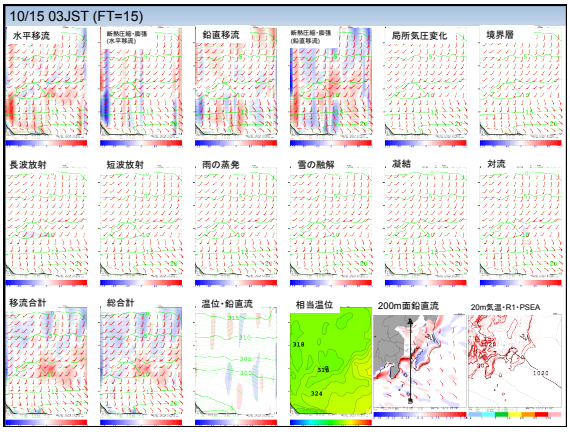

10/14 22JST (FT=10)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

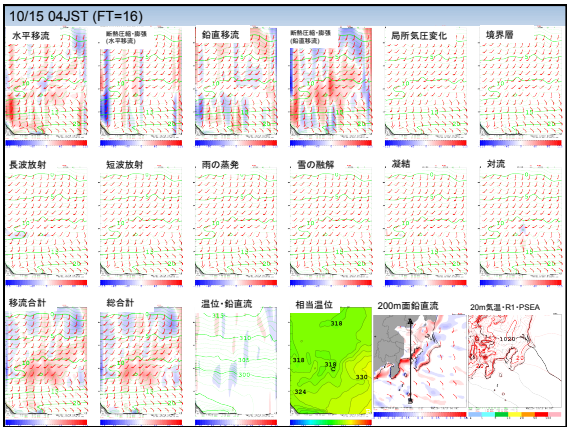

10/14 23JST (FT=11)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

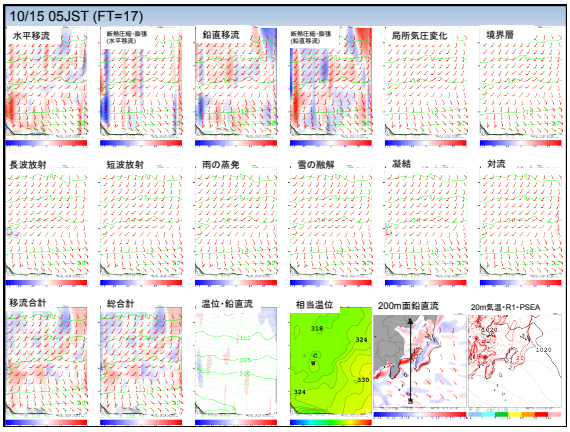

10/15 00JST (FT=12)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

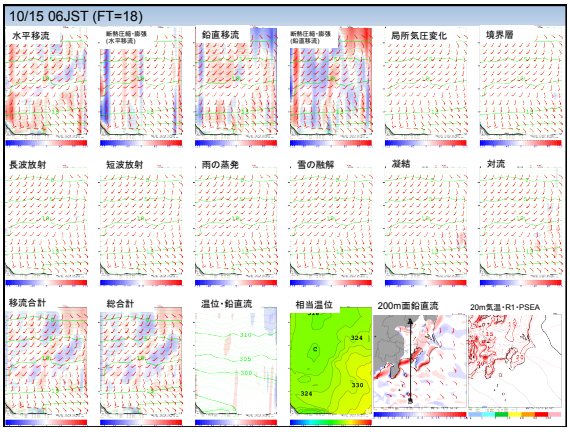

10/15 01JST (FT=13)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

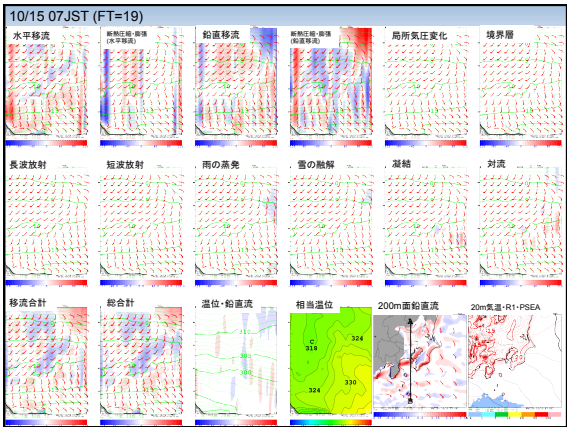

10/15 02JST (FT=14)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

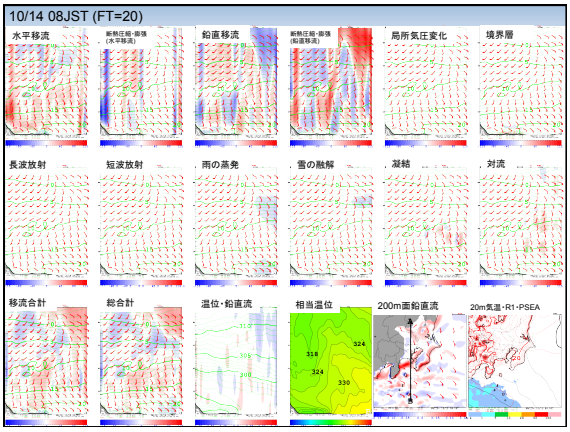

10/15 03JST (FT=15)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

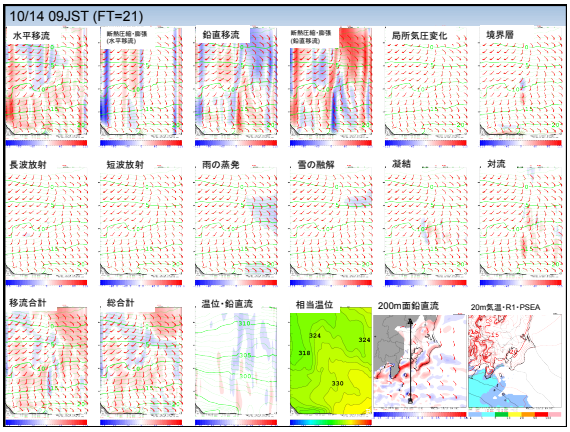

10/15 04JST (FT=16)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

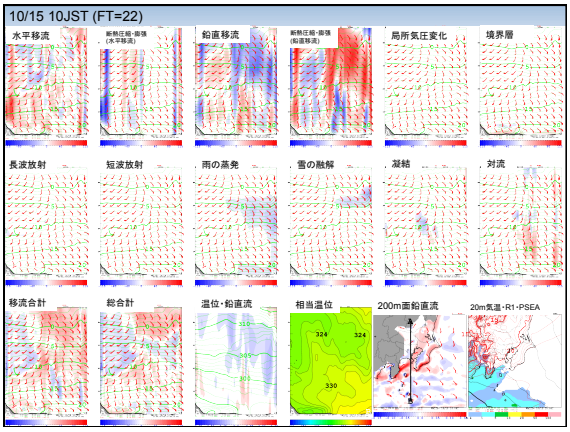

10/15 05JST (FT=17)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

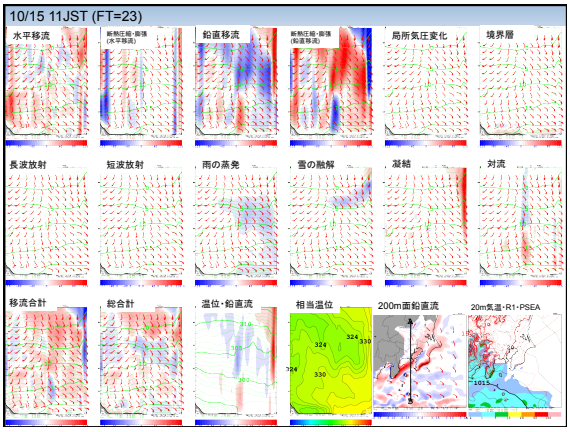

10/15 06JST (FT=18)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

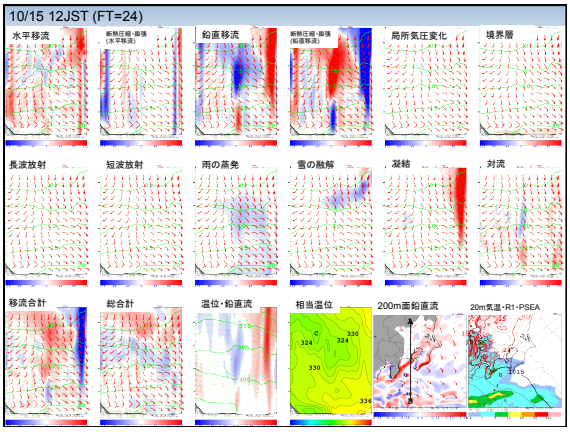

10/15 07JST (FT=19)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

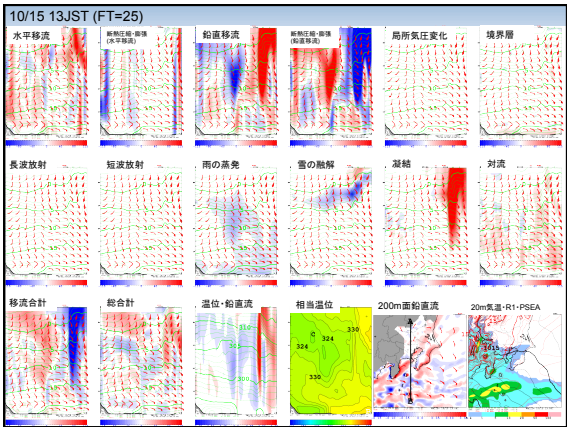

10/14 08JST (FT=20)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

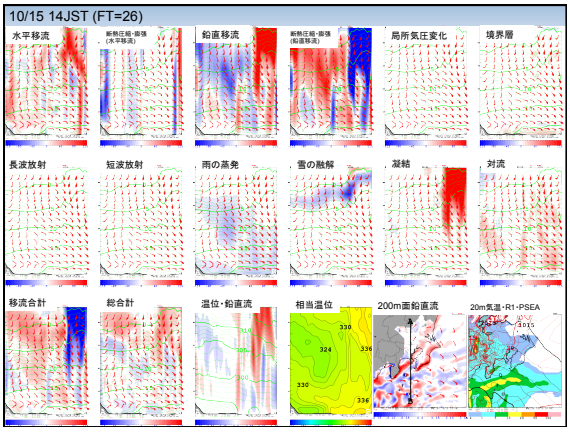

10/14 09JST (FT=21)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

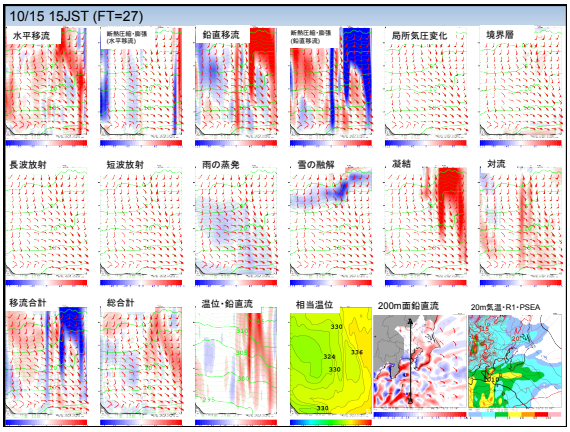

10/15 10JST (FT=22)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

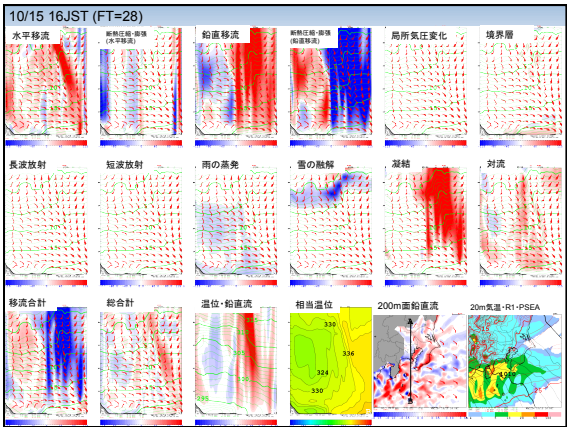

10/15 11JST (FT=23)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

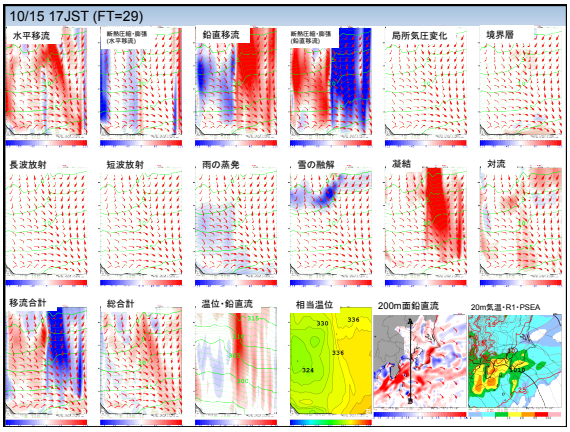

10/15 12JST (FT=24)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

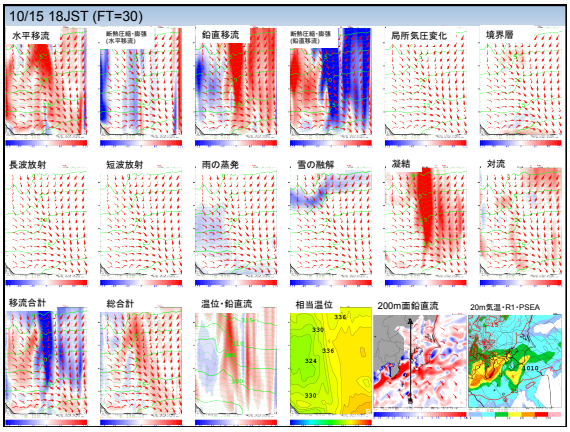

10/15 13JST (FT=25)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

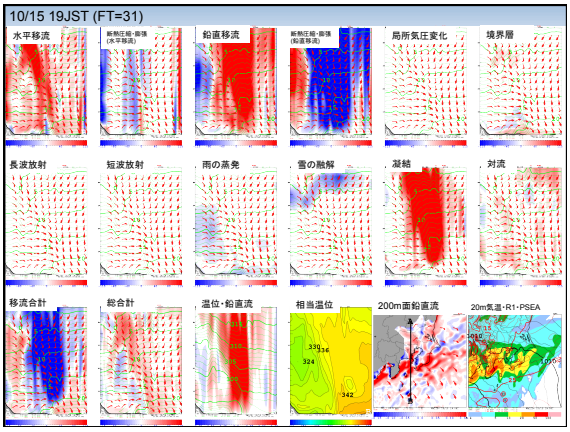

10/15 14JST (FT=26)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

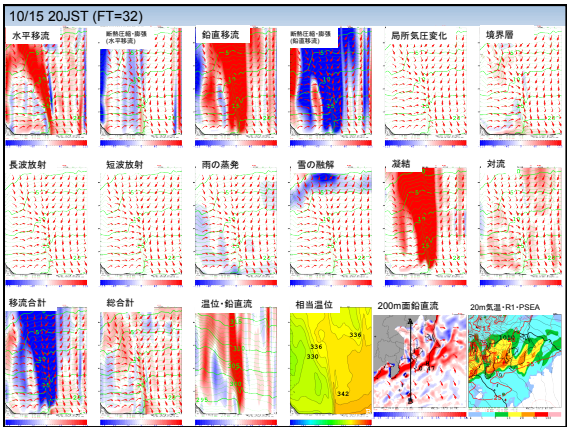

10/15 15JST (FT=27)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

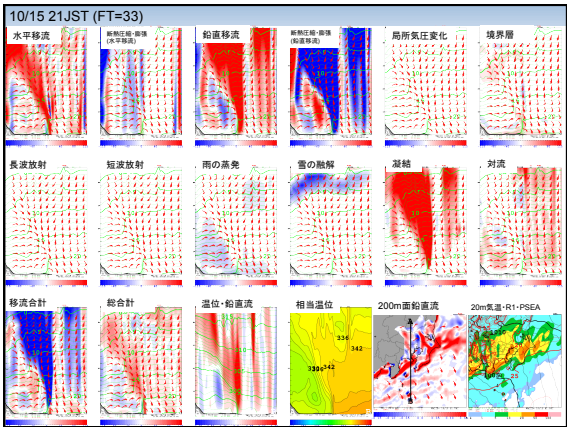

10/15 16JST (FT=28)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

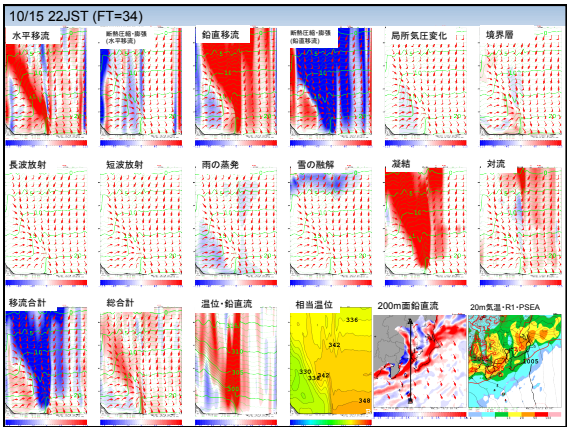

10/15 17JST (FT=29)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

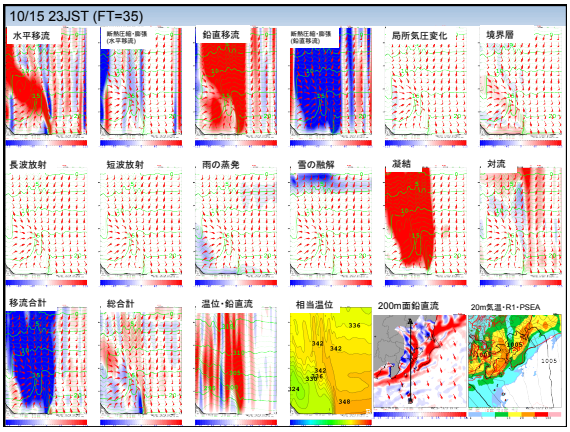

10/15 18JST (FT=30)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

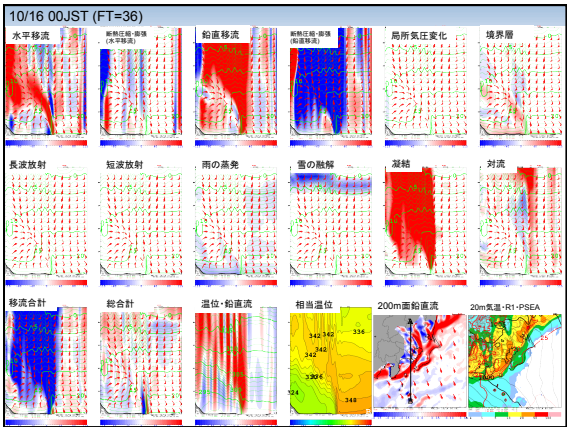

10/15 19JST (FT=31)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

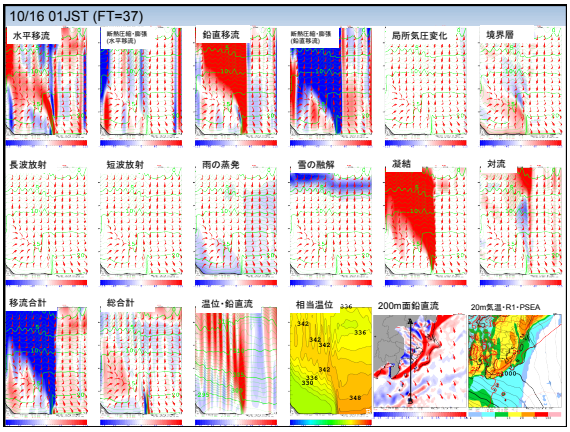

10/15 20JST (FT=32)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

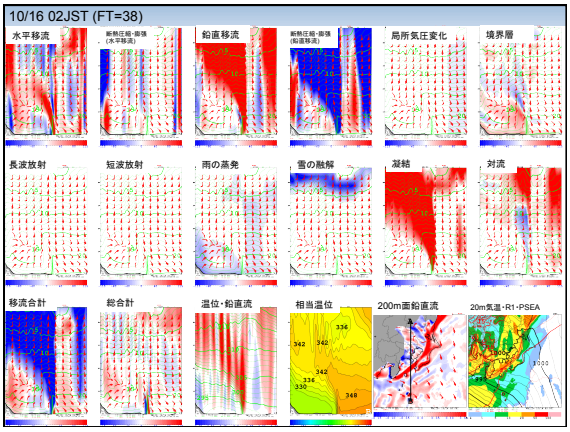

10/15 21JST (FT=33)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA

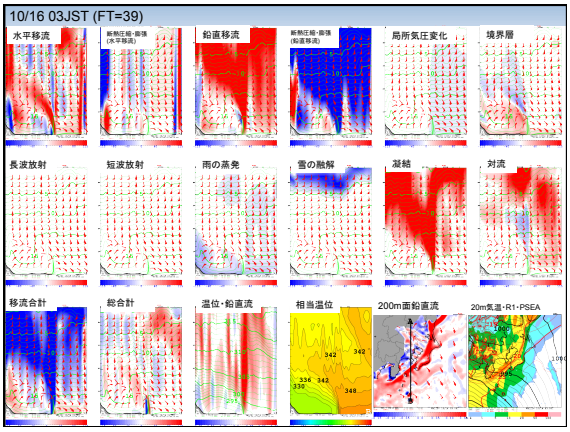

10/15 22JST (FT=34)
水平移流
鉛直移流
局所気圧変化
境界層
長波放射
短波放射
雨の蒸発
雪の融解
凝結
対流
移流合計
総合計
温位・鉛直流
相当温位
200m面鉛直流
20m気温・R1・PSEA











MSMの中で起きていること

- 14日17JSTごろから、境界層による冷却で関東が冷え始める。
- その冷却が進むとともに、風が北風に変化して、寒気移流によって冷却を強める。
  - 気圧傾度力を見ると、冷却とともに関東北西部に高圧部が形成されているのがわかる。
- ある程度、気温が下がると、関東の気温は時間的にほとんど変化しなくなる。
  - 特に降水が始まると降水蒸発による冷却によって大気が地面より冷却され、境界層加熱が駆動されて、その冷却と加熱がほぼ釣り合う状況に。
    - 境界層輸送によって、混合層が発達する状況

MSMの中で起きていること

- 陸上では、気圧傾度に比べてコリオリカが弱く、気圧傾度力の方向に風が吹くようになっている。
  - コリオリカが弱いのは風が弱いからで、陸上では境界層の運動量輸送(つまり摩擦)によって、風が弱められている。
  - すなわち、釣り合いの状態になく、気圧傾度力の方向に運動量が加速される状態にある。
    - 北風がだんだん強くなる実況と合致。
  - 不安定境界層が発達することで、運動量輸送も盛んになる。
    - 降水蒸発による冷却は境界層の加熱で多くは打ち消されて温度には寄与しないが、混合層の発達を促し、その発達によって摩擦が強くなり、気圧傾度に対して、風が相対的に弱くなり、コリオリカの寄与が小さくなって、気圧傾度力が主になっていると言える。

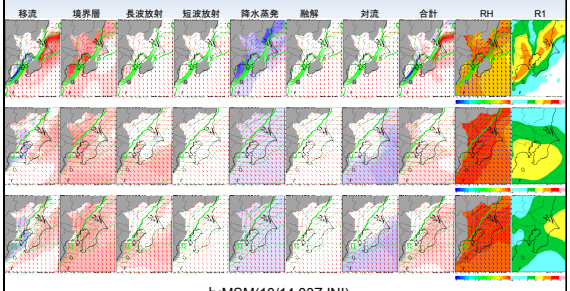
MSMの中で起きていること

- 14日の夕方からの内陸の冷却で、沿岸に海陸の間で、下層に薄い強い温度傾度帯が形成
  - モデルでは15日の日中に気温がやや上がりすぎて、その維持を弱めているが、実況では15日の日中も維持。
  - その薄い温度傾度帯に台風からの暖気が乗り上げ、その上空で凝結。凝結熱の加熱と上昇流による断熱膨張による冷却の残差の加熱が温度傾度帯の暖域側の急激な昇温に寄与。風下では降水による冷却によって、より温度傾度を1000m付近まで強める。

モデルの中で起きていること

- 温度傾度帯は強化される
  - 寒気側では、主に水平移流と断熱膨張による冷却が、鉛直移流、水平移流、凝結による加熱を上回り、暖気側では加熱が上回り、より温度傾度を強める。
  - 温度傾度帯の暖気側では南からの風を、寒気側では北からの風を強めている。
    - (通常の)前線強化の過程と類似

10/15 23JST (MSM FT=35)



上:MSM(10/14 03Z INI)
中:GSM(10/14 00Z INI)
下:GSM(10/15 00Z INI)

GSMとMSMの比較

- GSMでは雲過程に伴う降水蒸発に伴う冷却が上限値(10K/日)に達している。
  - 融解に伴う冷却も、同様に上限に達して、600hPa付近の融解層以下に鉛直方向に大きく広がっており、一部が地表面近くに達している(つまり雪が降っている)
  - 内陸側からの降水蒸発による冷却が弱く、温度傾度帯の形成も弱い。
- GSMでは対流スキームが降水蒸発による冷却を表現
  - その大きさは、MSMの雲物理の降水蒸発の冷却と同程度であるが、暖気移流が弱いために、この冷却と暖気移流が打ち消し合って、暖気側からも、温度傾度帯の形成が弱い。

GSMとMSMの比較

- GSMでは温度傾度帯への暖気移流が弱かった
  - 台風の進行位相の違いもその要因の一つ
  - しかし、進行位相がより実況にやや近くなった予報でも、暖気移流は弱いまま(南成分が弱い)
  - 温度傾度帯の形成が弱いために、MSMで見られたフィードバック(“前線”強化の過程)が見られず、暖気をより引き入れなかったことも原因か。

MSMの時間変化率に着目した解析でわかってきたこと

- 前日夜の安定境界層による関東内陸の冷却に伴って、下層にごく薄い温度傾度帯(沿岸前線)が形成された。
- 内陸が冷却されたことによって内陸が相対的に高圧部になり、台風の接近とともに北から南への気圧傾度力が卓越して北風が維持・強化された(コリオリ力は相対的に弱かった)
- 台風の接近に伴い、内陸からは降水蒸発による冷却、海上からは暖気移流による加熱によって下層の薄い温度傾度帯(沿岸前線)が強化された。
- 維持・強化された北風による寒気移流で沿岸前線が伊豆大島付近まで南下した

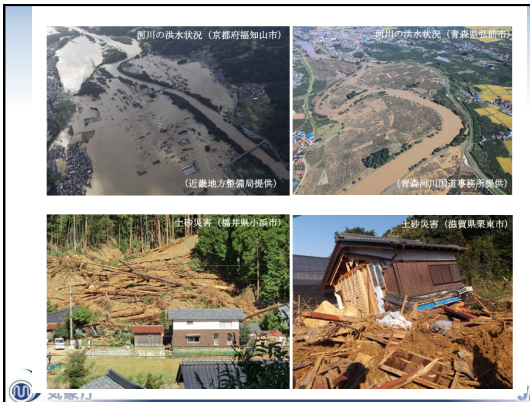
MSMの時間変化率に着目した解析でわかってきたこと

- 薄い沿岸前線に台風からの暖気が乗り上げて対流が発生し、生成した雲の凝結熱による加熱が上昇流に伴う断熱膨張による冷却を上回り、暖域側から沿岸前線の上空の温度傾度を強化し、やがて、下層の沿岸前線と一体となった。
- 一体となった温度傾度帯のごく近傍では、さまざまな過程からの加熱と冷却がほぼ釣り合って温度傾度帯は停滞し、ごく下層では、主に寒域側からの寒気移流や降水蒸発による冷却、暖域側からの暖気移流によって、温度傾度帯がさらに強化された。
-

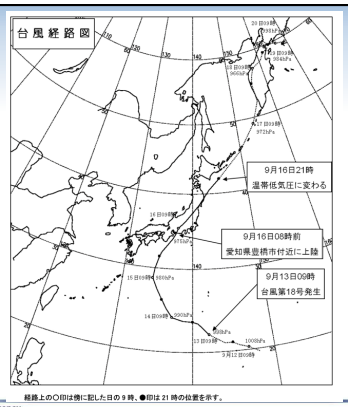
MSMの時間変化率に着目した解析でわかってきたこと

- GSMでは、寒気側の陸域で降水蒸発による冷却が抑制され、暖域側の海上では暖気移流が弱く、対流スキームの降水蒸発による冷却によって打ち消されることで、温度傾度帯の形成を妨げ、"前線"強化の過程も働かなかった。
  - 必ずしも、水平解像度の問題ではないことに注意。
- この事例では、さまざまなフィードバックによって、温度傾度帯が強化されたと推察され、フィードバックが発生するきっかけを表現しそこなうと、表現が大きく変わってしまう一つの例。

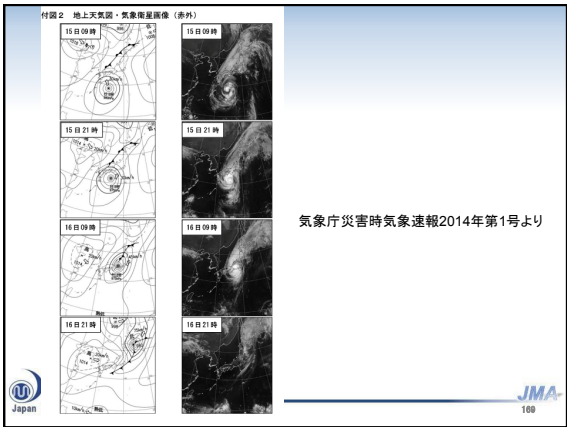
平成26年台風第18号接近に伴う近畿北部での大雨



気象庁災害時気象速報2014年第1号より

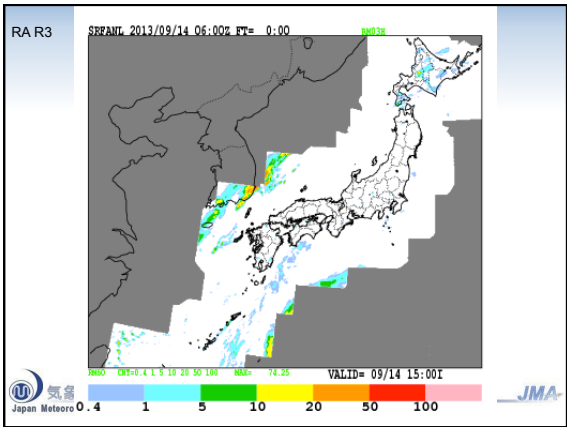


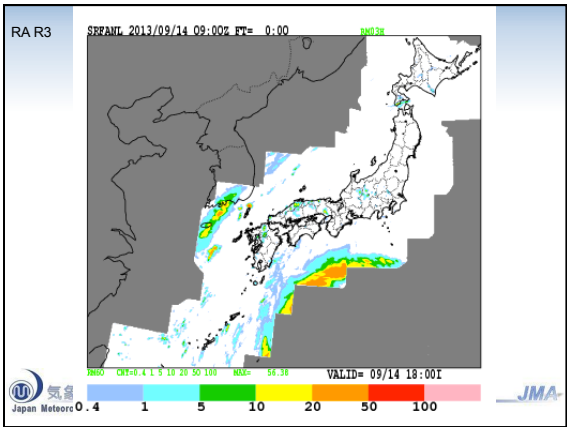
気象庁災害時気象速報2014年第1号より

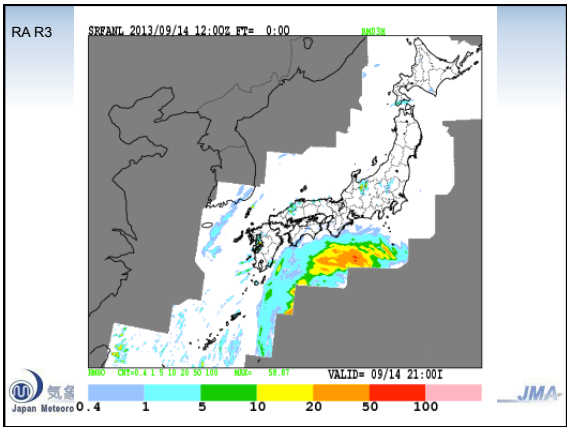


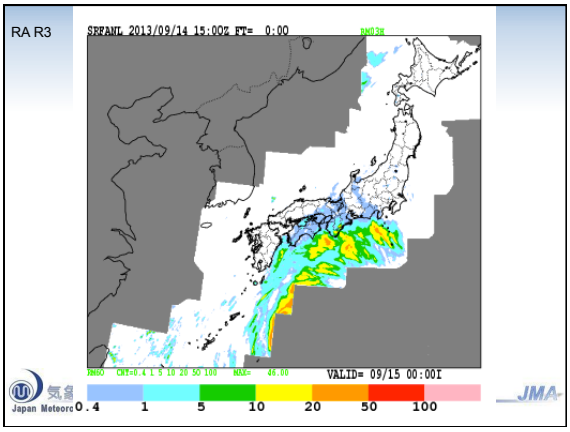
降水の実況

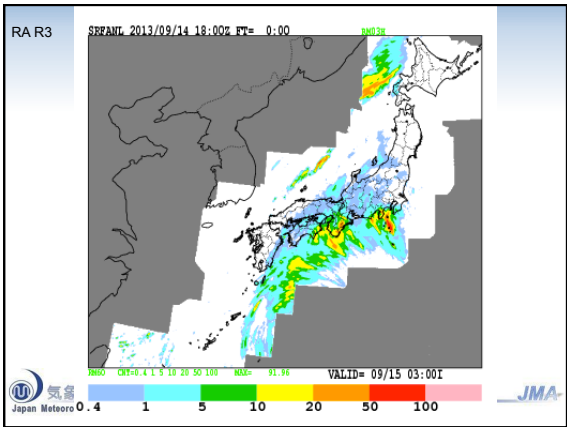
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA
170

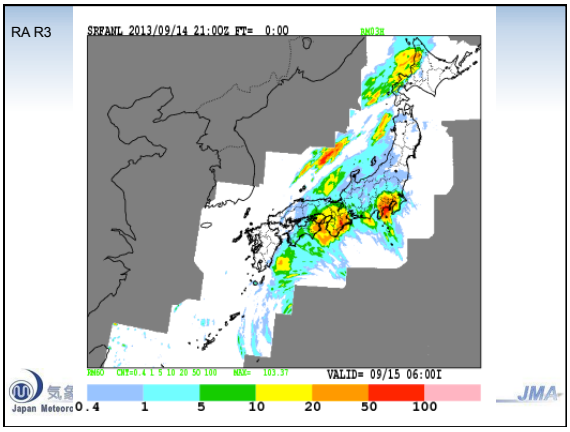


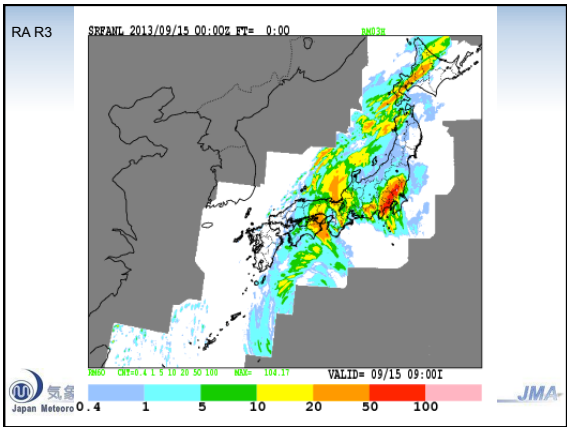


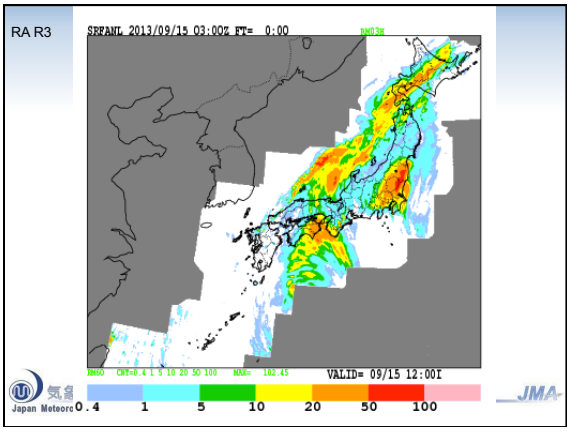


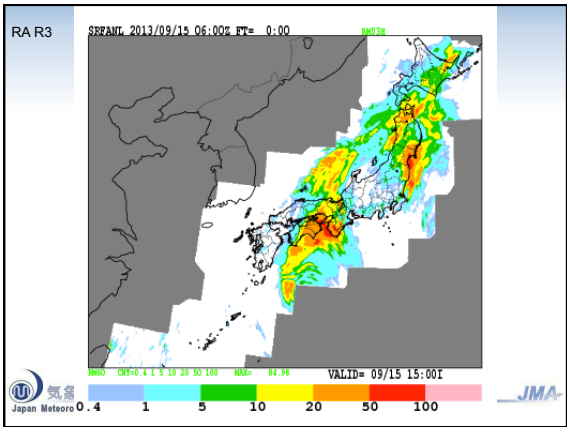


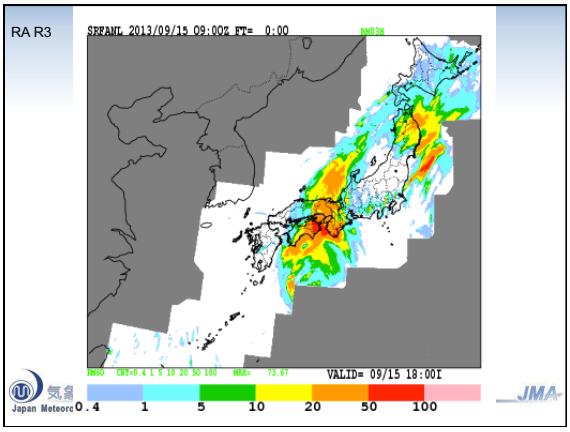

RA R3
SFEANL 2013/09/14 18:00Z FT= 0:00
VALID= 09/15 03:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

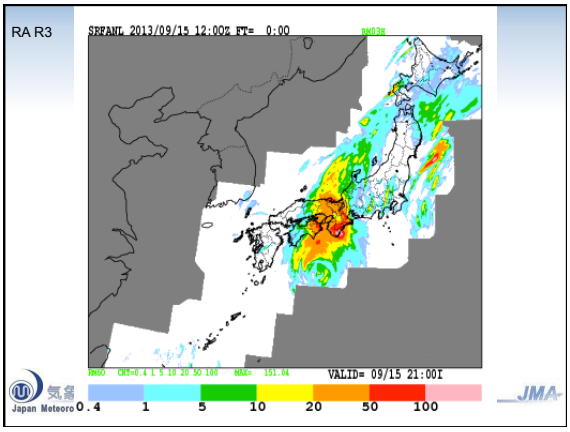

RA R3
SFEANL 2013/09/14 21:00Z FT= 0:00
VALID= 09/15 06:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

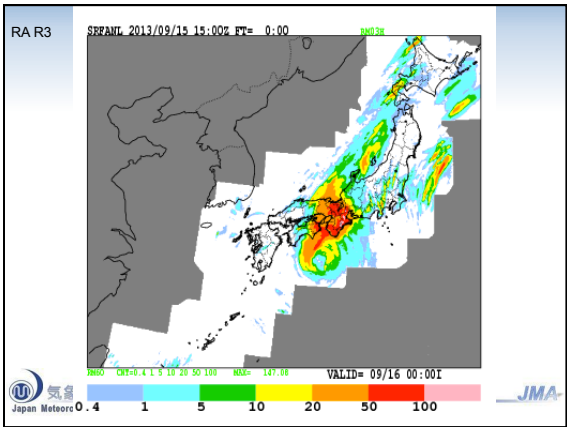

RA R3
SFEANL 2013/09/15 00:00Z FT= 0:00
VALID= 09/15 09:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

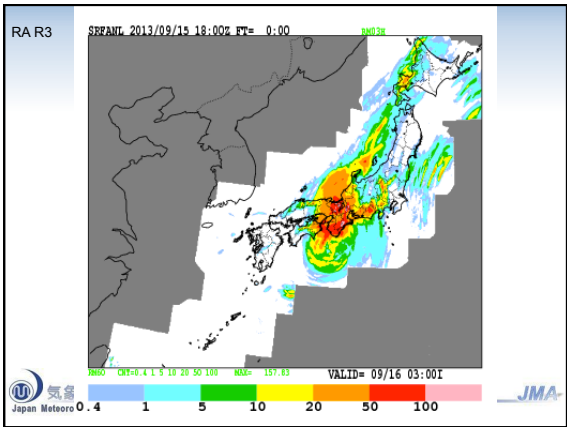

RA R3
SFEANL 2013/09/15 03:00Z FT= 0:00
VALID= 09/15 12:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

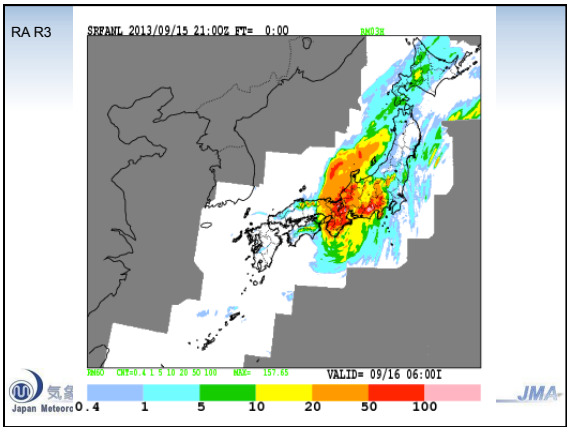

RA R3
SFEANL 2013/09/15 06:00Z FT= 0:00
VALID= 09/15 15:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

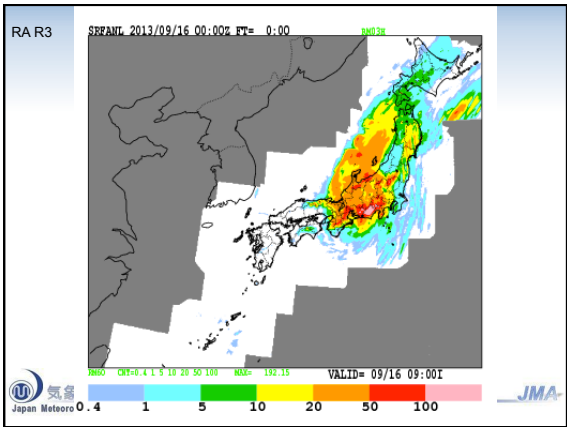

RA R3
SFEANL 2013/09/15 09:00Z FT= 0:00
VALID= 09/15 18:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

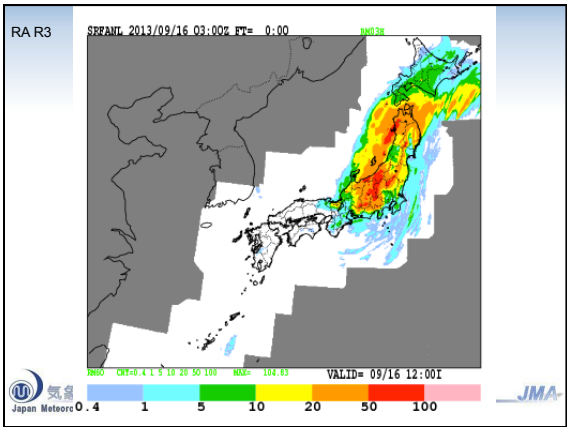

RA R3
SFEANL 2013/09/15 12:00Z FT= 0:00
VALID= 09/15 21:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

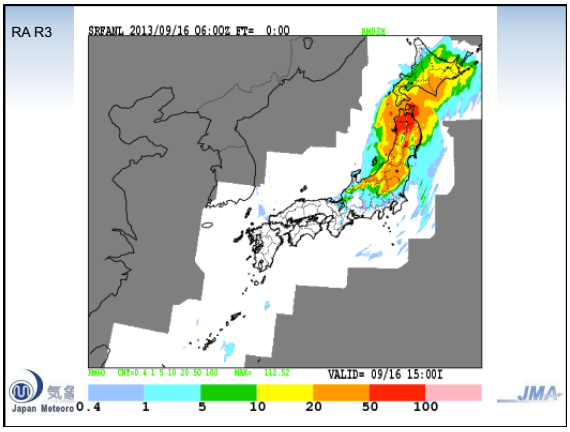

RA R3
SFEANL 2013/09/15 15:00Z FT= 0:00
VALID= 09/16 00:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

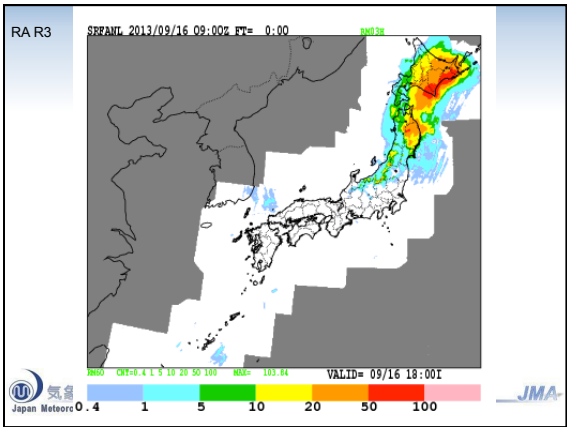

RA R3
SFEANL 2013/09/15 18:00Z FT= 0:00
VALID= 09/16 03:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

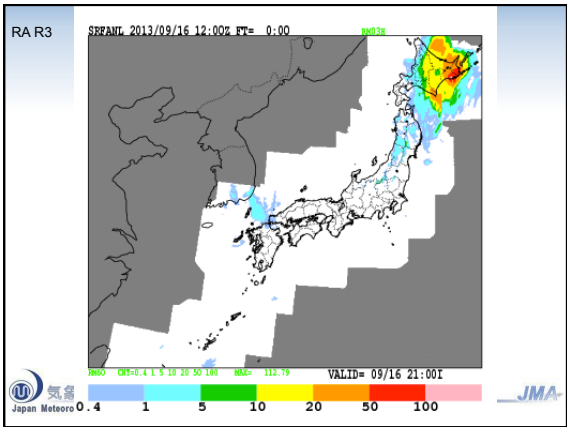

RA R3
SFEANL 2013/09/15 21:00Z FT= 0:00
VALID= 09/16 06:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

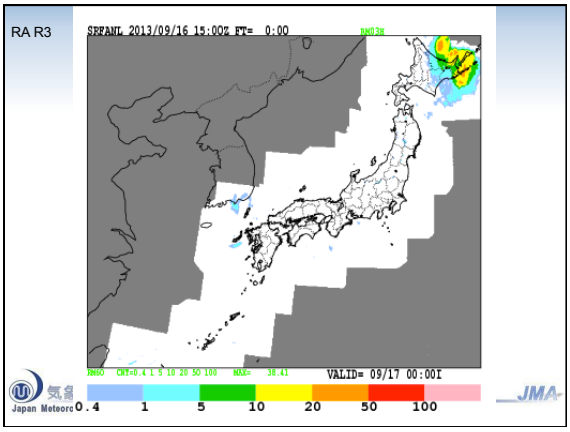

RA R3
SFEANL 2013/09/16 00:00Z FT= 0:00
VALID= 09/16 09:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

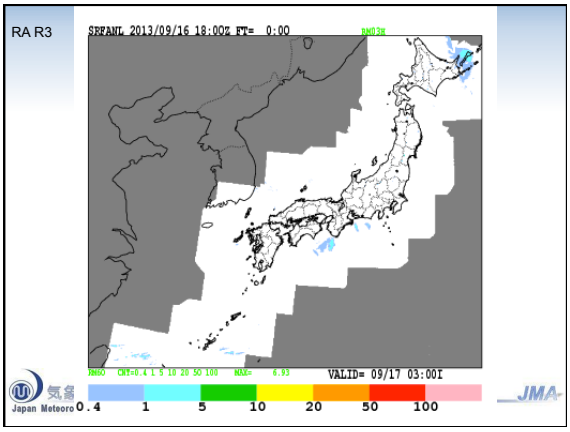

RA R3
SFEANL 2013/09/16 03:00Z FT= 0:00
VALID= 09/16 12:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

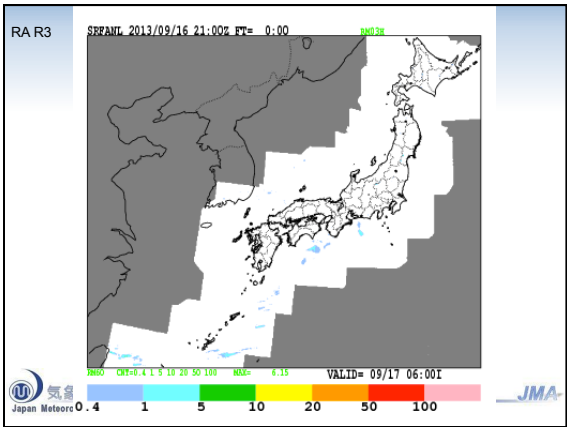

RA R3
SFEANL 2013/09/16 06:00Z FT= 0:00
VALID= 09/16 15:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

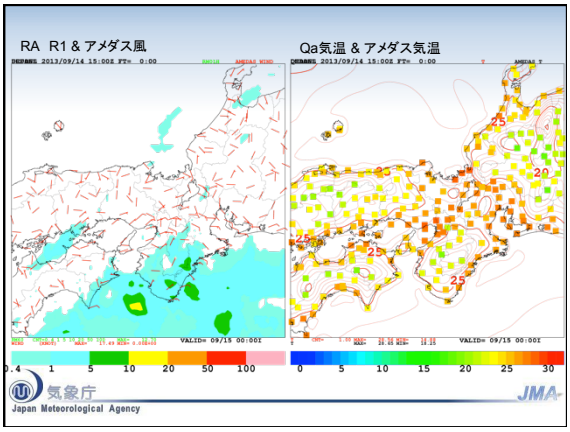

RA R3
SFEANL 2013/09/16 09:00Z FT= 0:00
VALID= 09/16 18:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

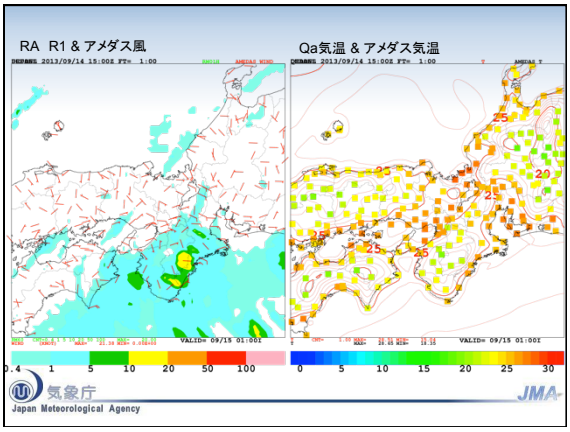

RA R3
SFEANL 2013/09/16 12:00Z FT= 0:00
VALID= 09/16 21:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

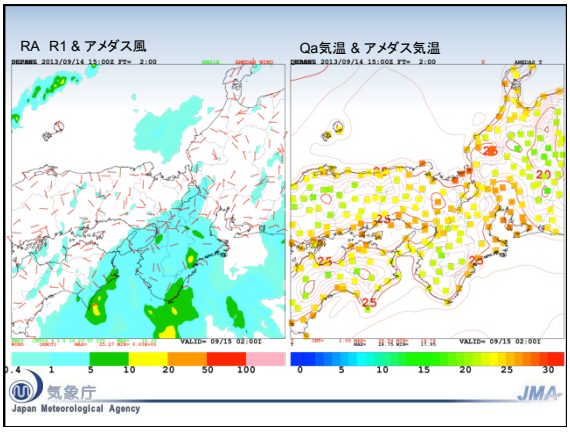

RA R3
SFEANL 2013/09/16 15:00Z FT= 0:00
VALID= 09/17 00:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

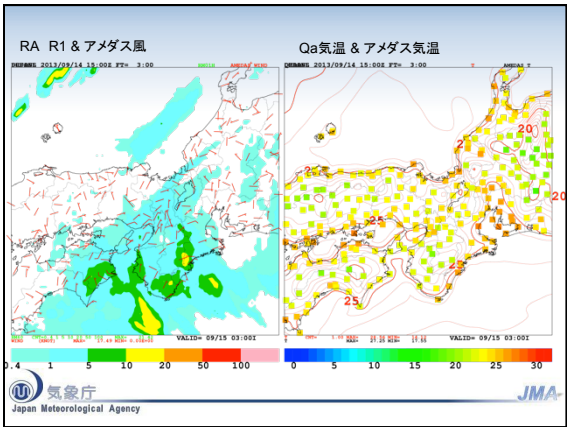

RA R3
SFEANL 2013/09/16 18:00Z FT= 0:00
VALID= 09/17 03:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

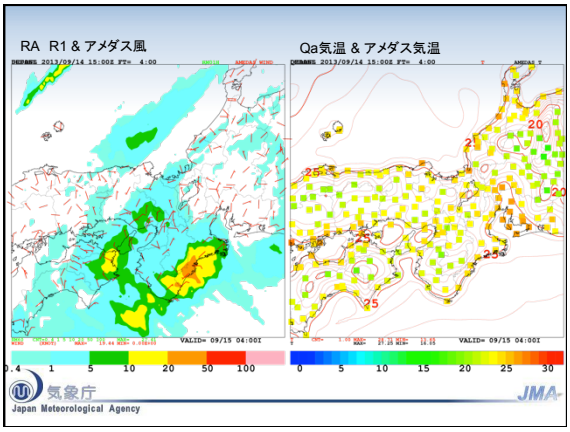

RA R3
SFEANL 2013/09/16 21:00Z FT= 0:00
VALID= 09/17 06:00I
0.4 1 5 10 20 50 100
JMA

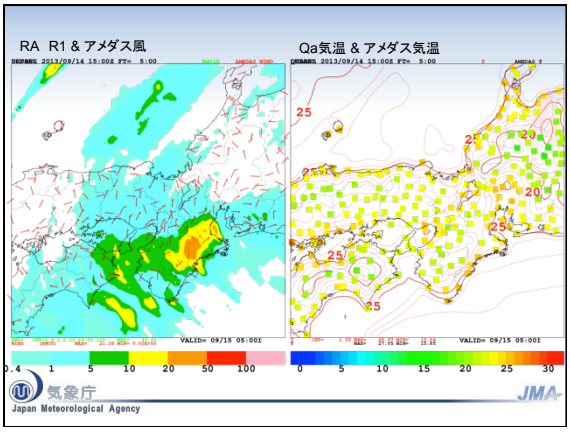

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

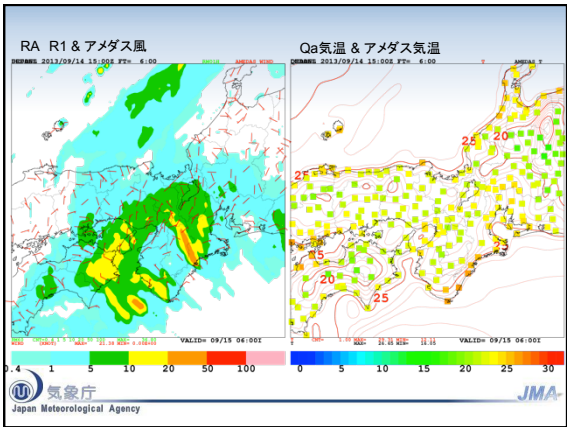

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

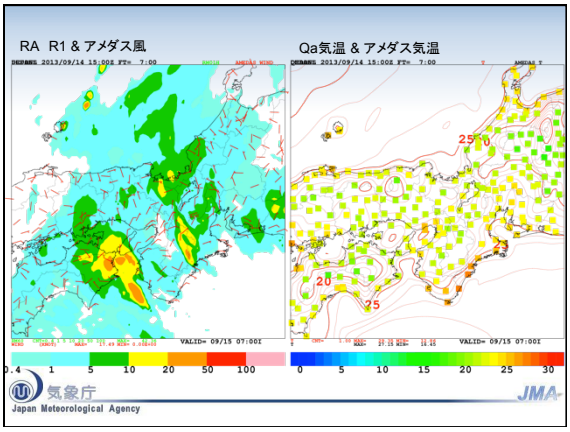

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

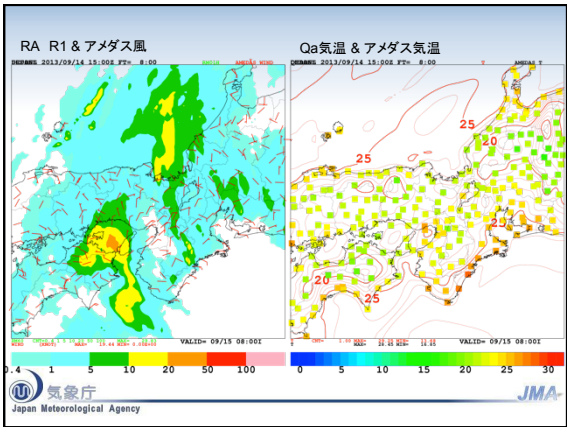

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

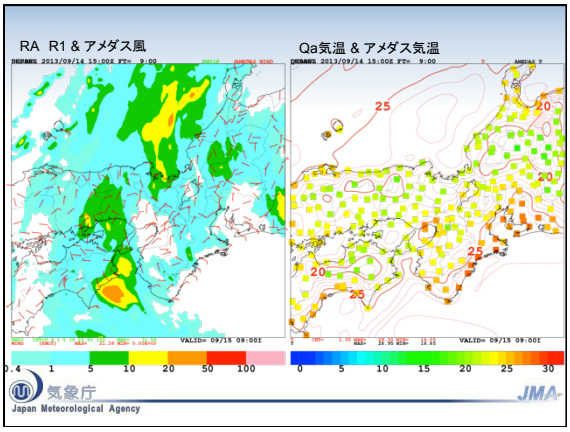

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

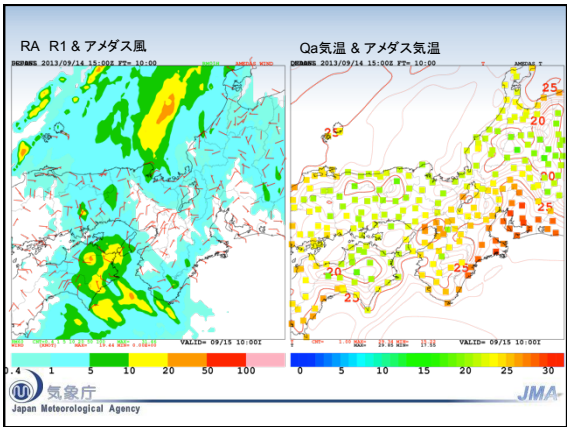

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

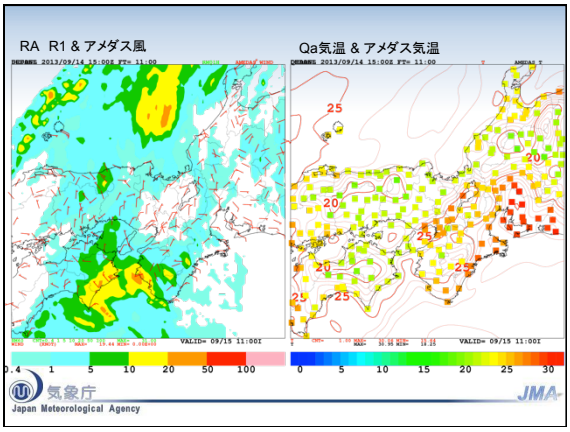

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

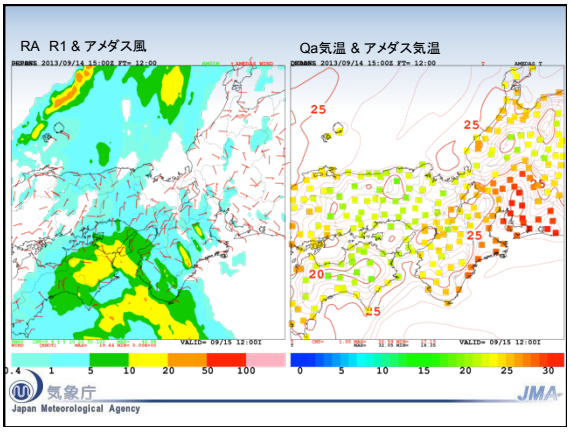

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

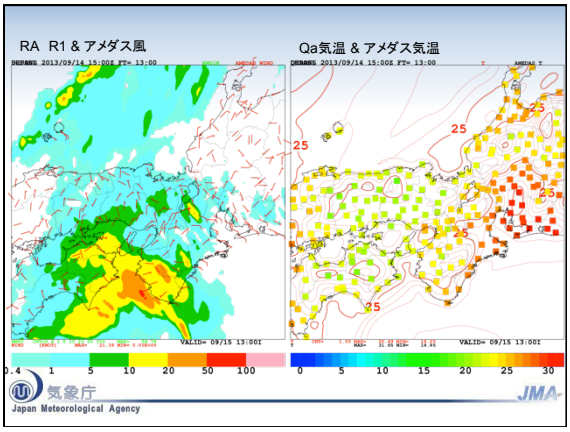

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

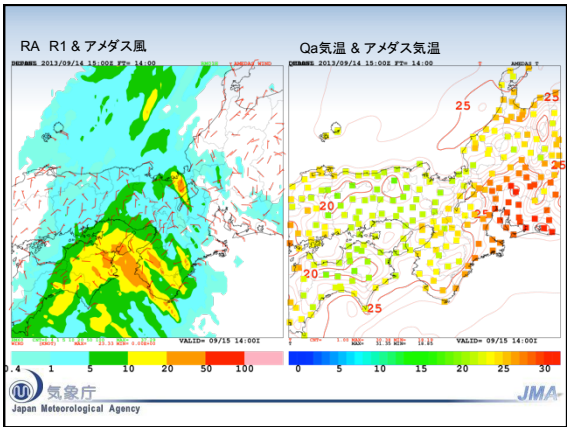

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

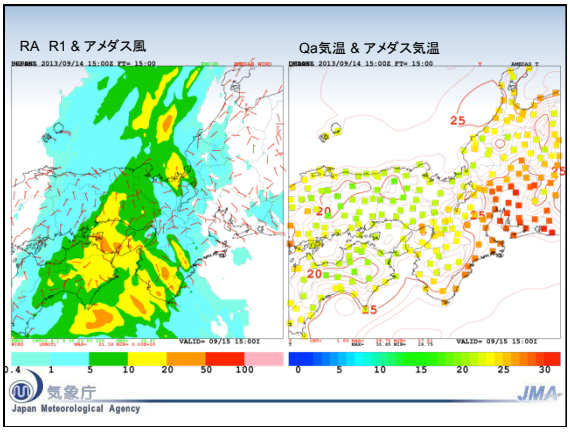

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

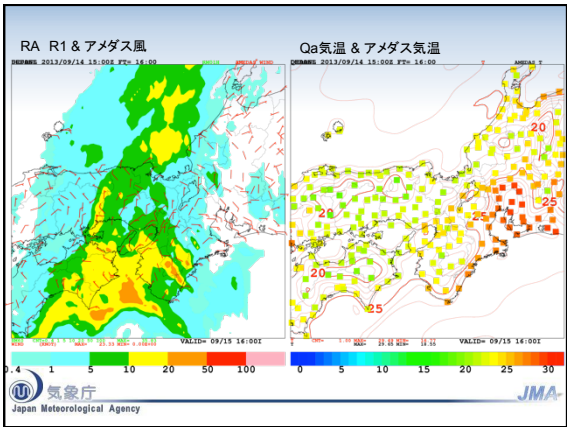

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

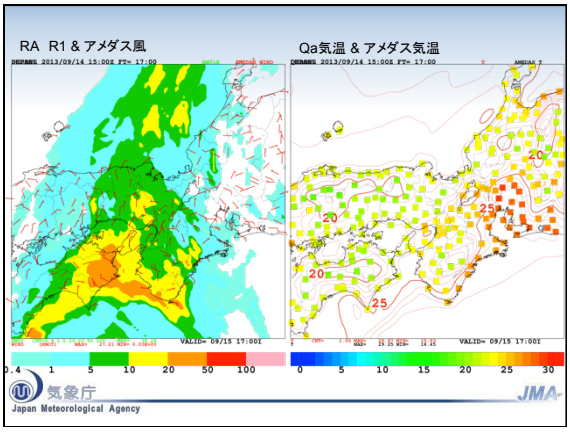

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

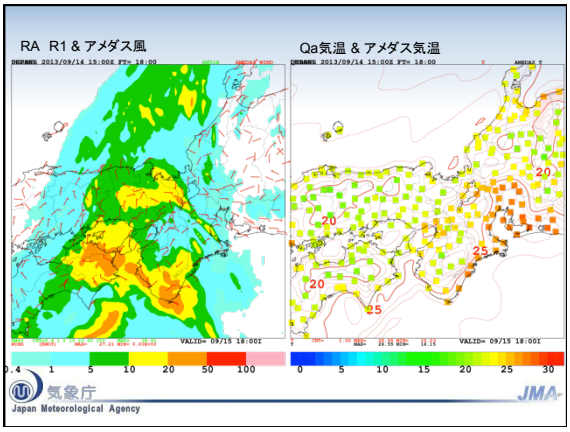

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

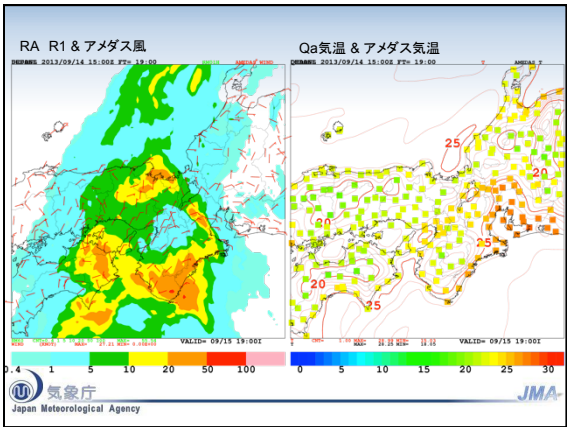

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

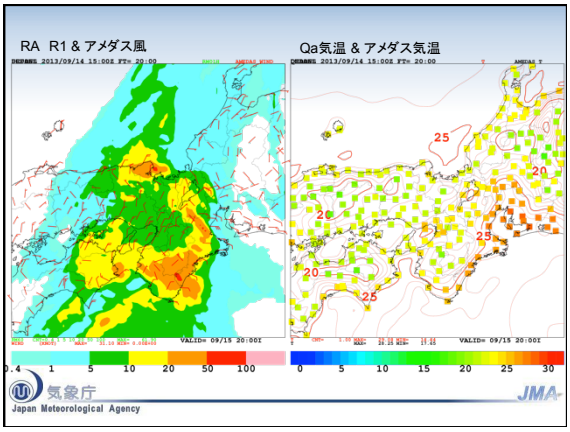

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

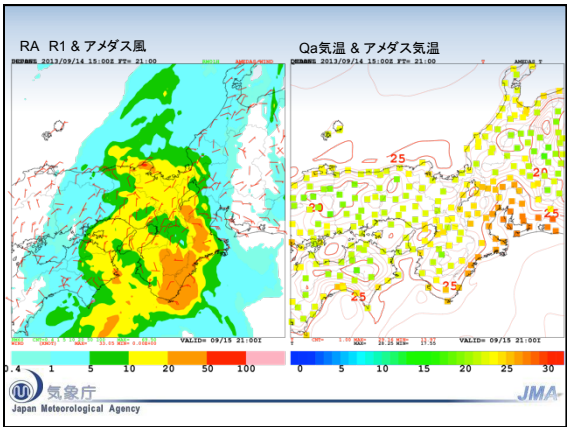

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

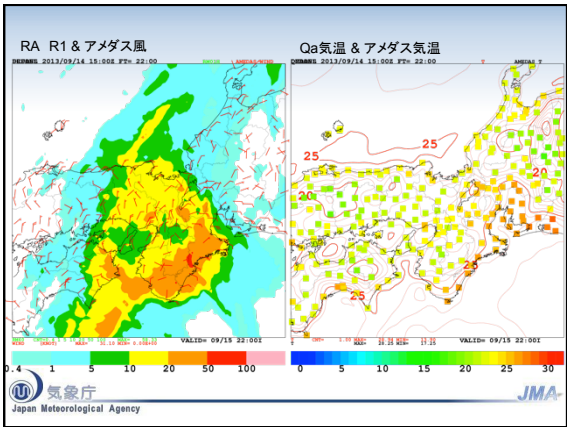

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

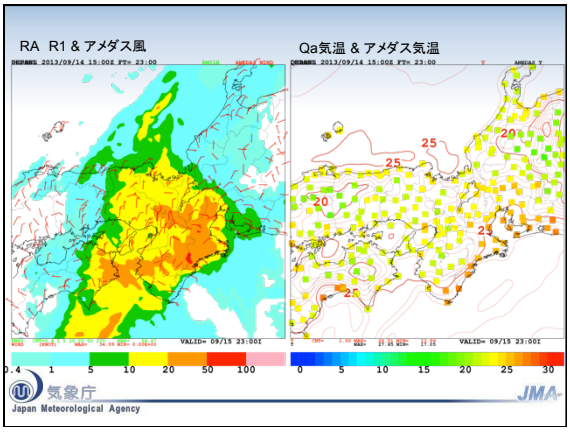

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

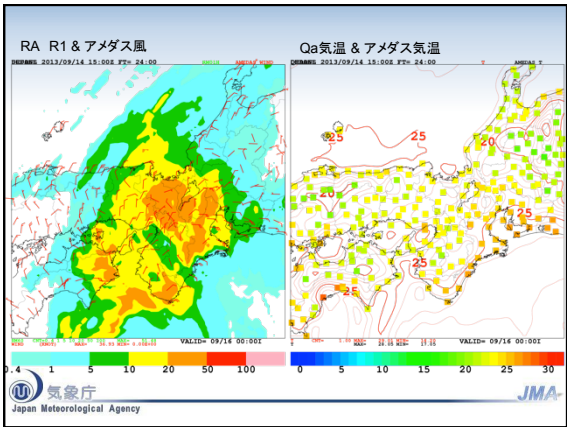

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

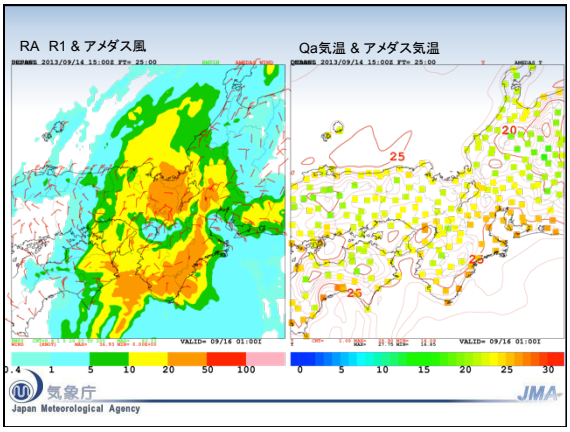

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

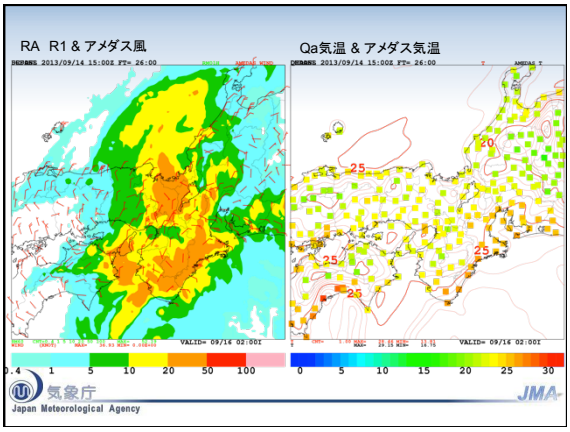

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

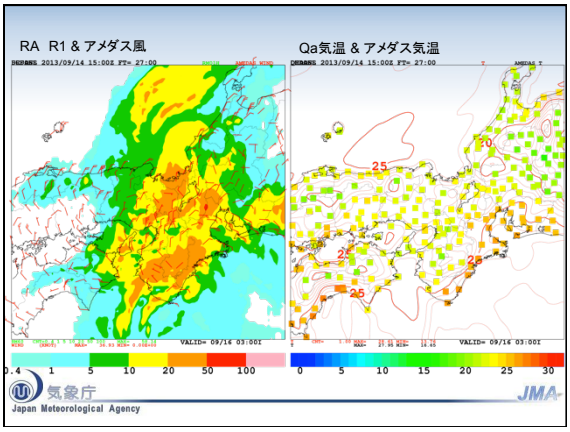

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

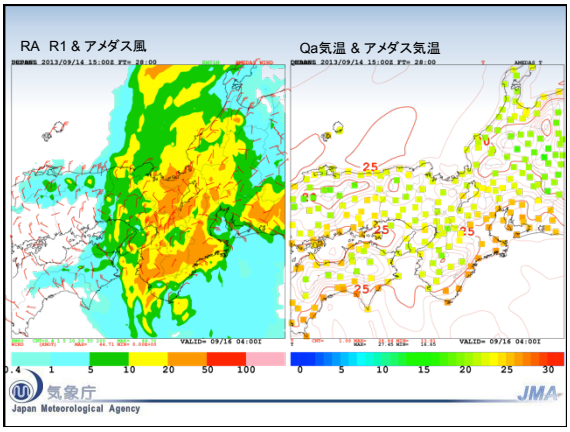

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

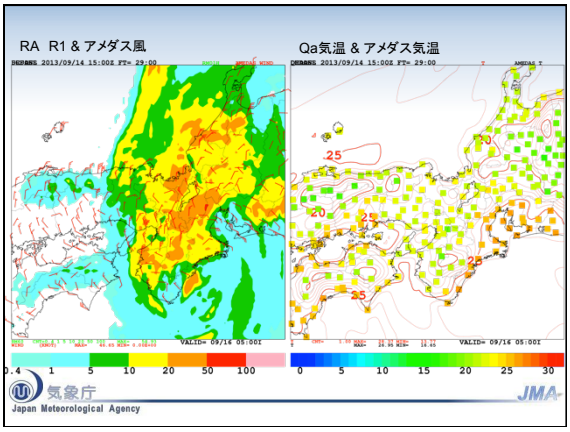

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

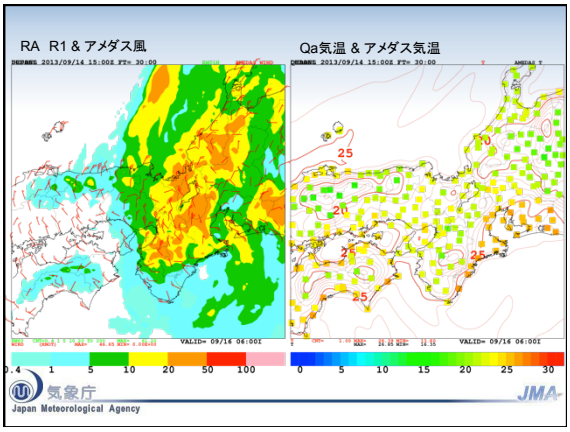

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

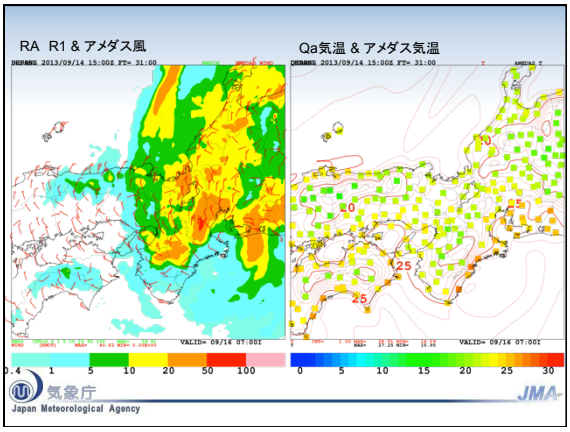

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

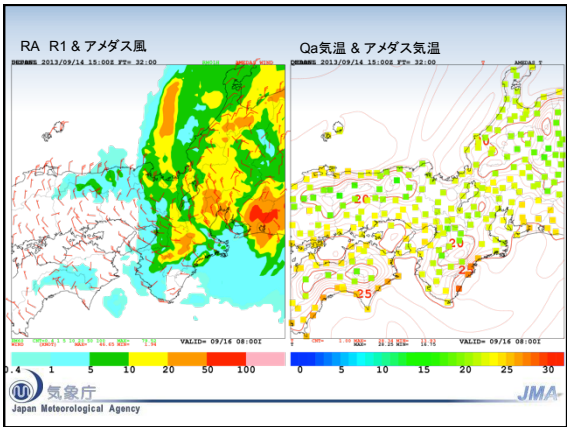

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

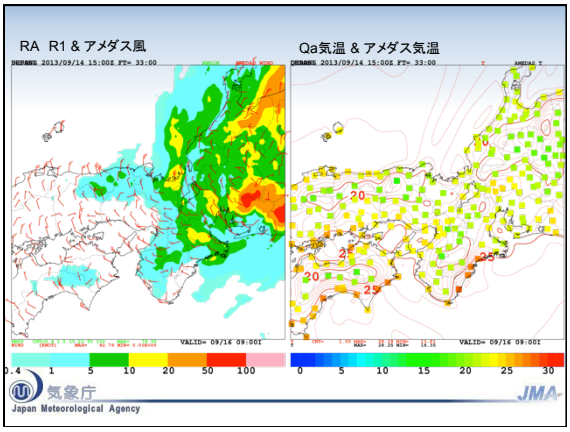

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

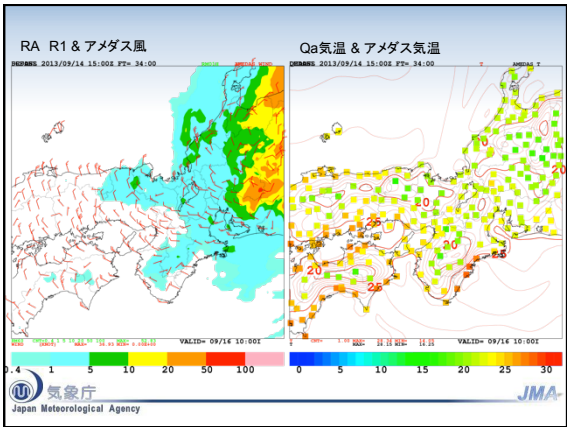

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

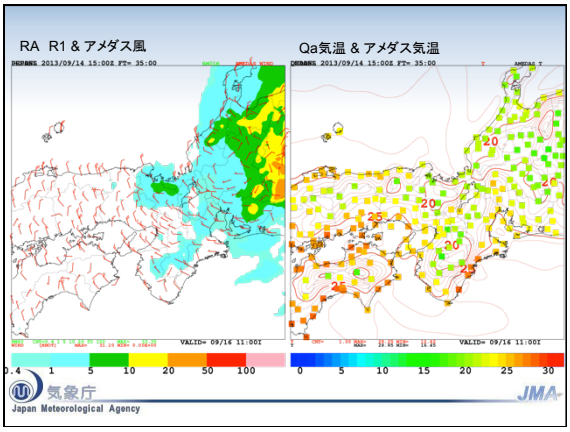

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

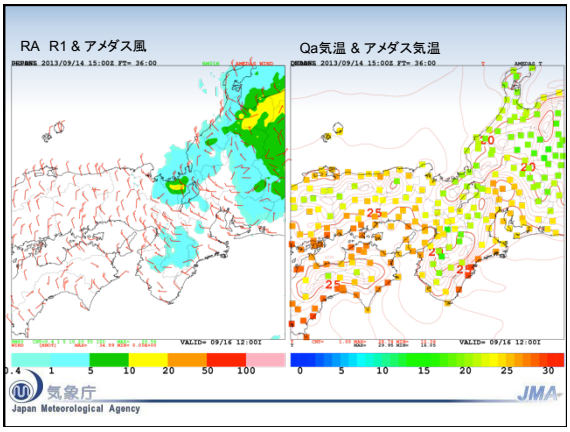

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

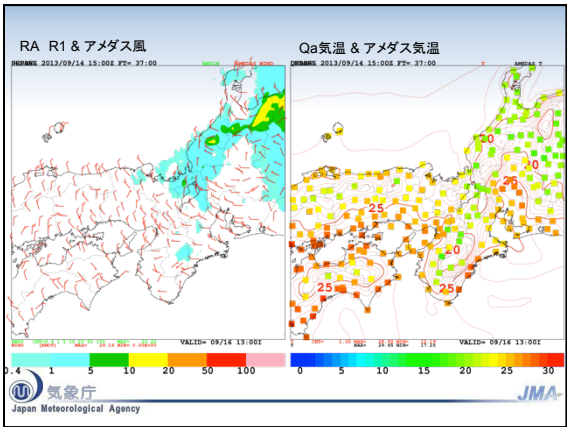

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

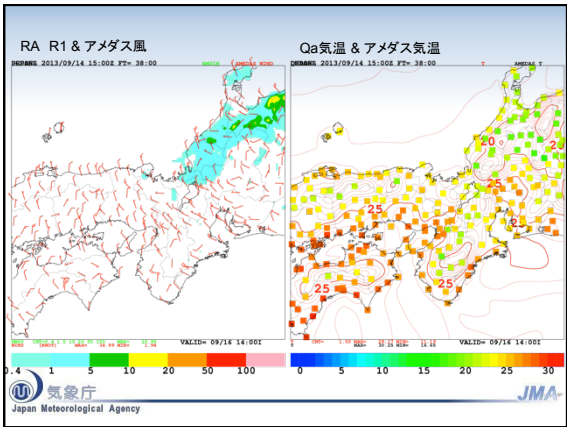

RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


RA R1 & アメダス風
Qa気温 & アメダス気温
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

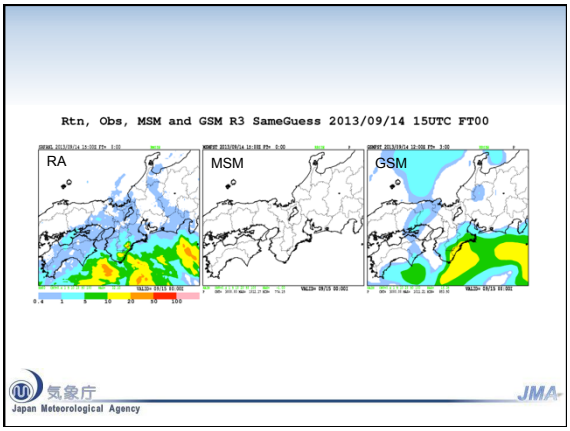


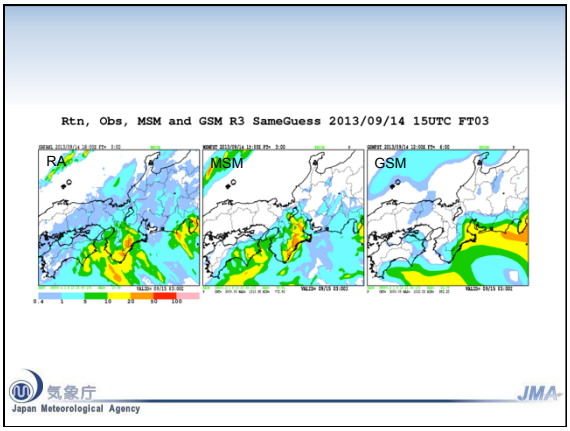




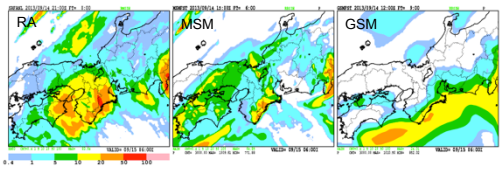
降水のモデル間比較

気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA
232



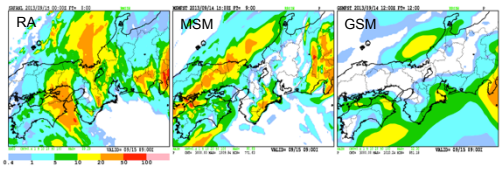


Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT06



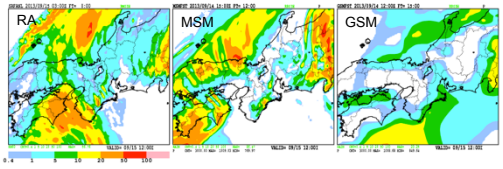
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT09



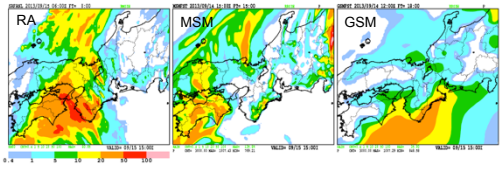
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT12



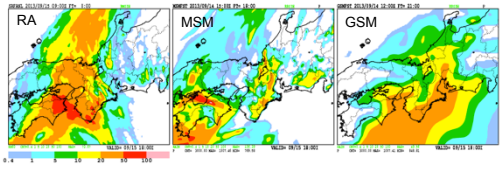
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT15



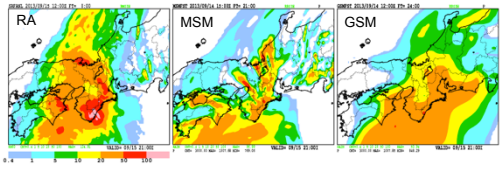
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT18



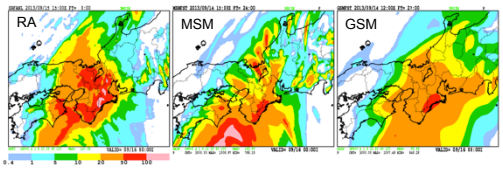
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT21



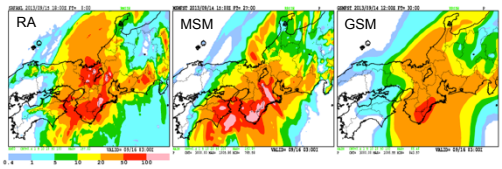
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT24



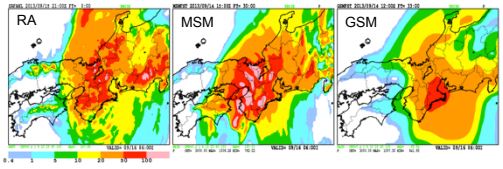
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT27



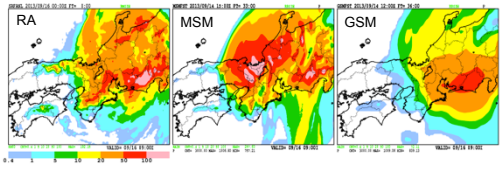
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT30



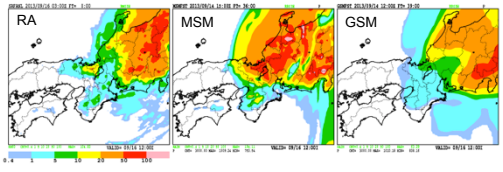
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT33



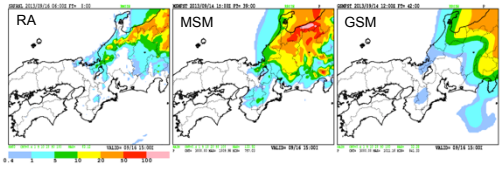
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT36

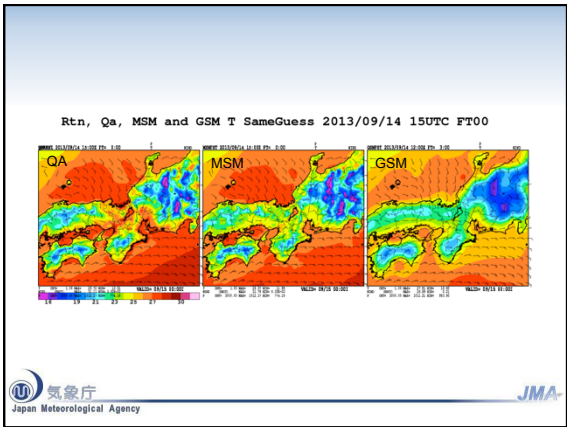


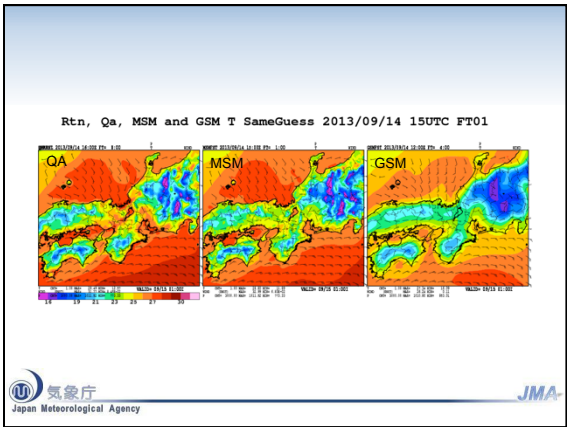
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

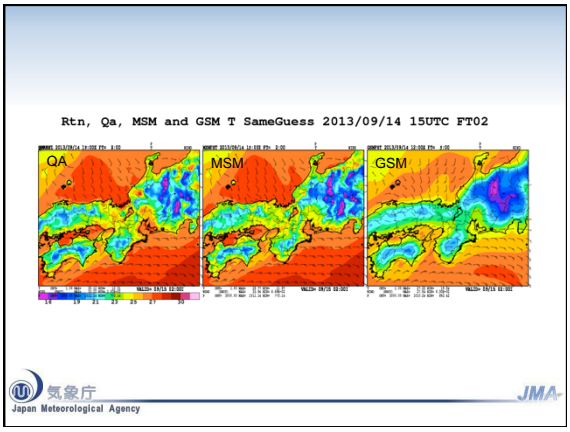
Rtn, Obs, MSM and GSM R3 SameGuess 2013/09/14 15UTC FT39

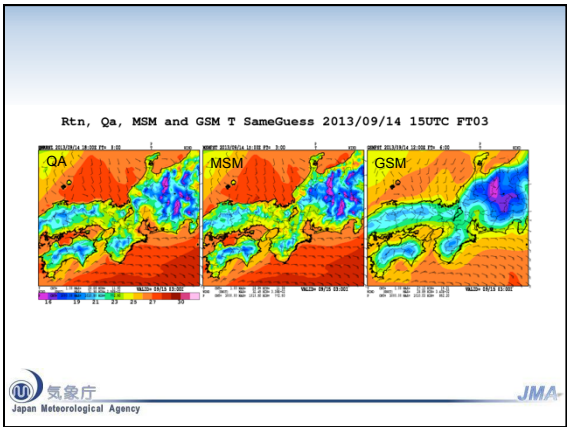


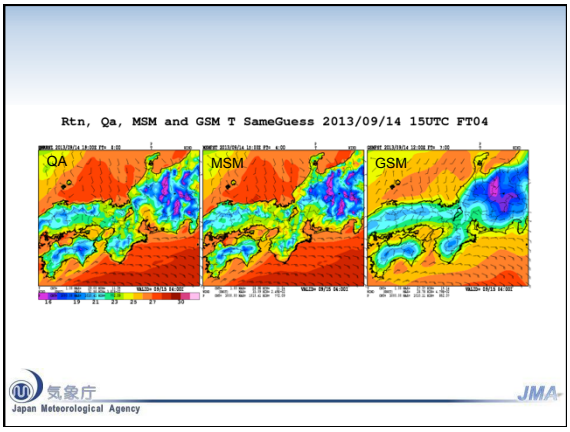
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

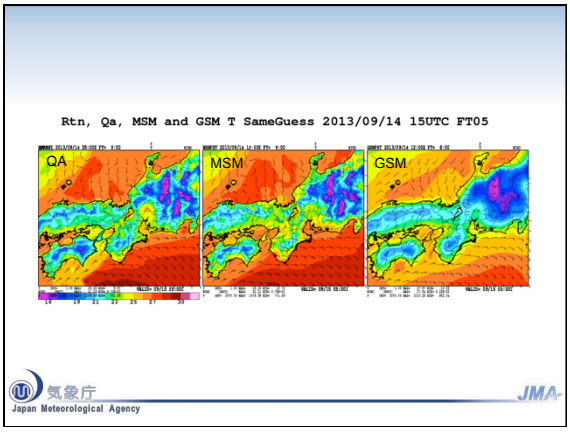

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT00
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT01
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

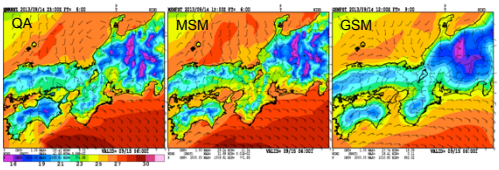

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT02
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT03
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT04
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

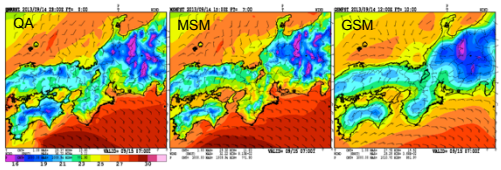

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT05
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT06



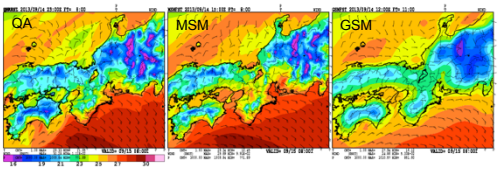
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT07



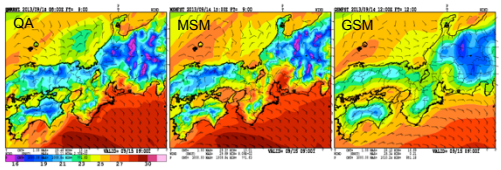
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT08



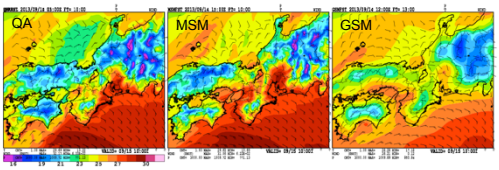
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT09



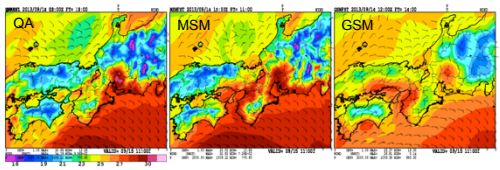
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT10

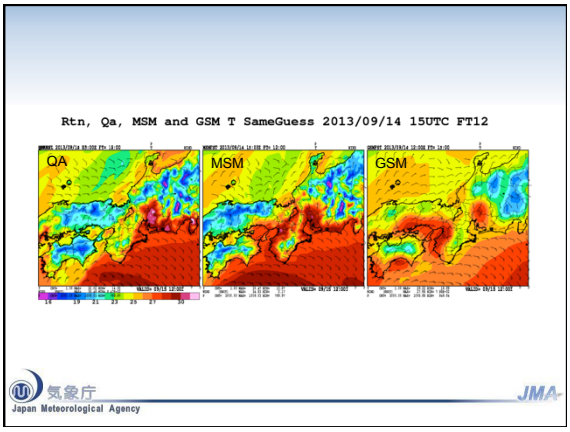


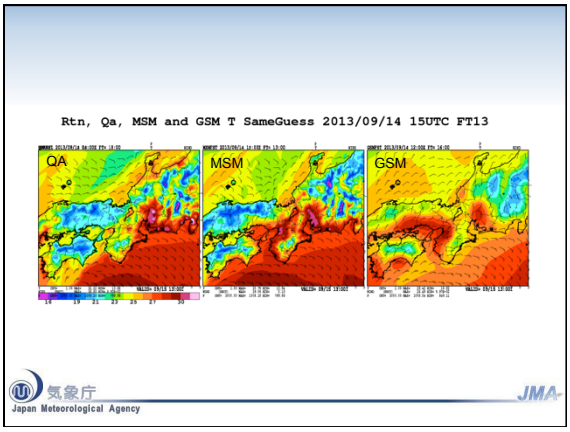
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

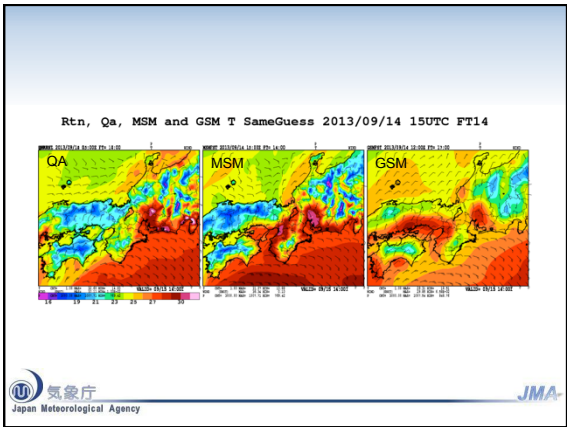
Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT11

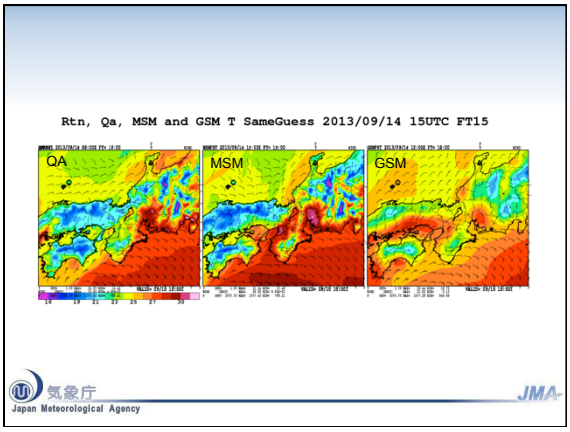


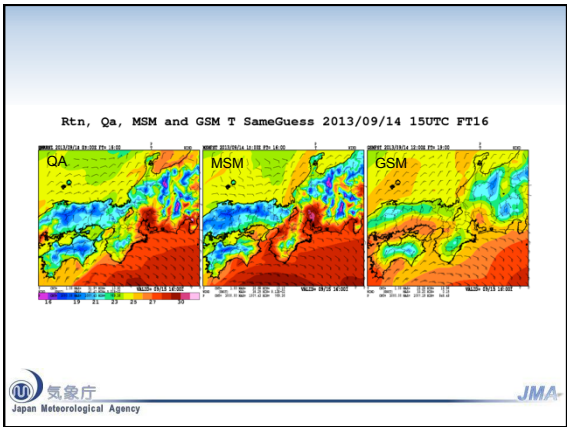
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

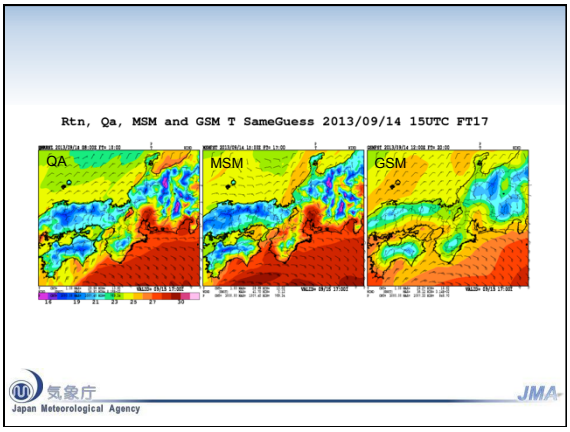

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT12
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT13
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

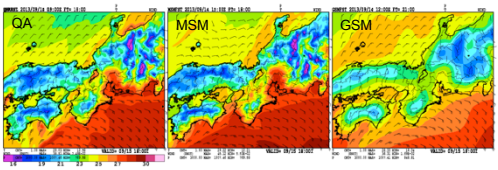

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT14
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT15
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT16
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

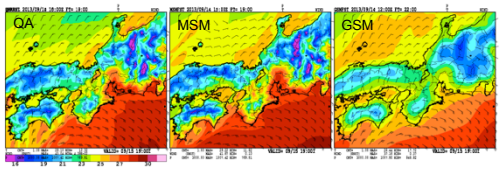

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT17
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT18



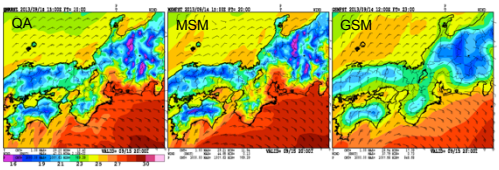
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT19



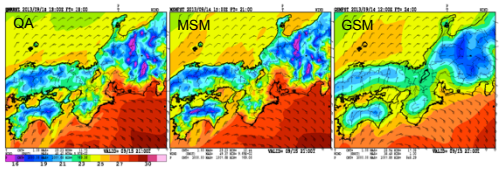
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT20



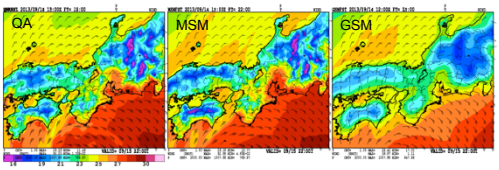
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT21



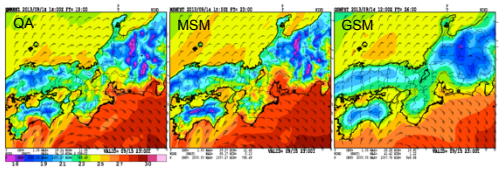
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT22

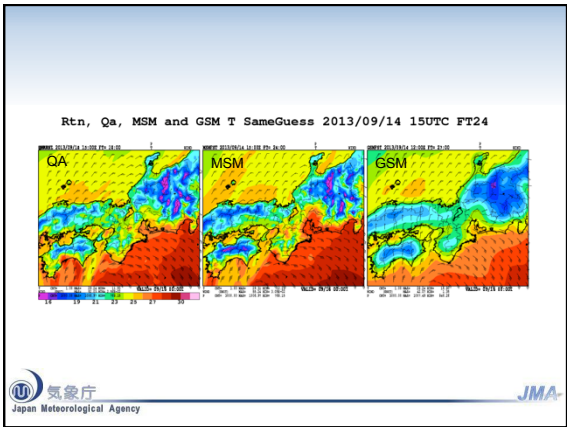


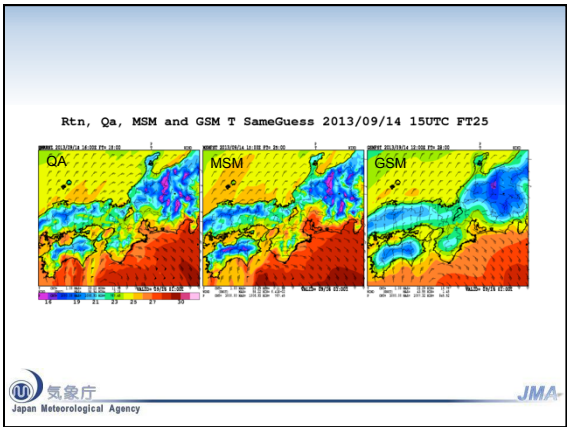
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

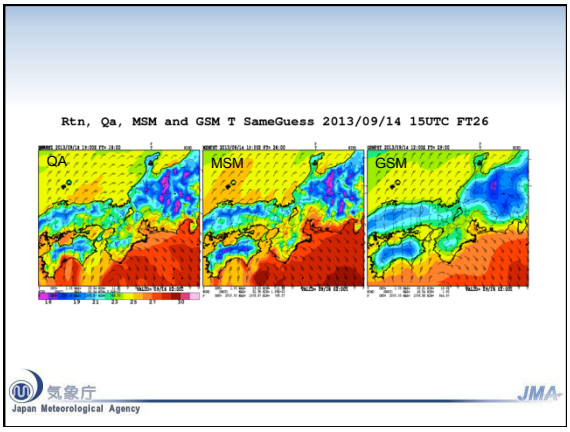
Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT23

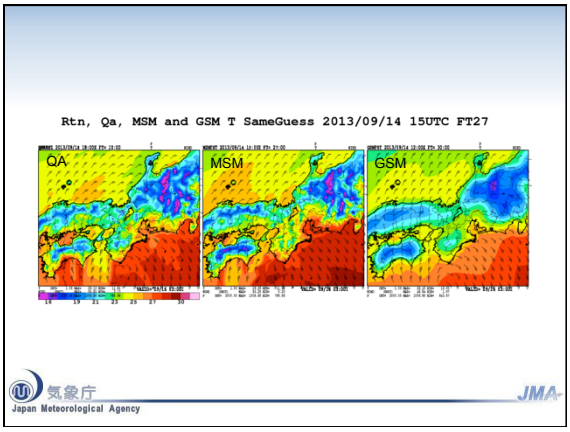


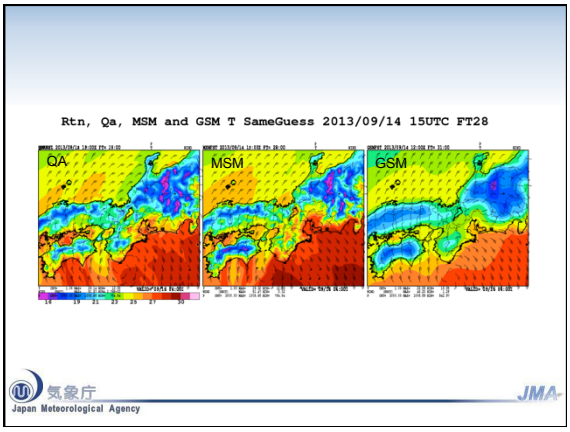
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

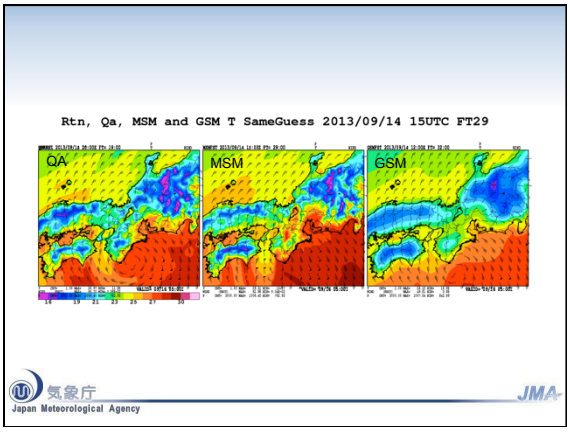

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT24
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT25
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

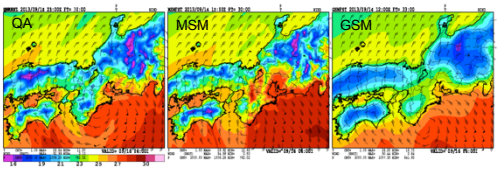

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT26
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT27
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA


Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT28
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

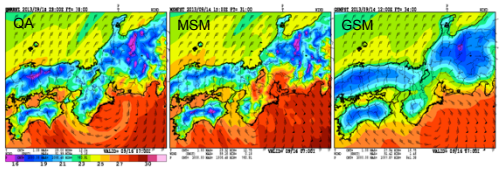

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT29
QA
MSM
GSM
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT30



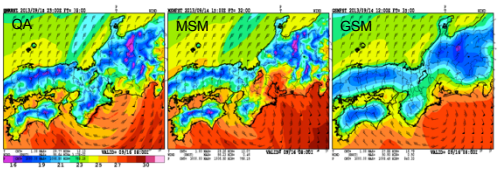
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT31



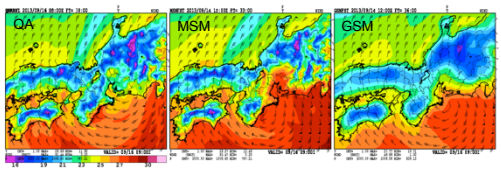
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT32



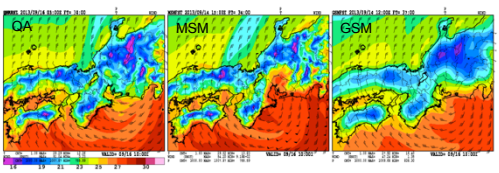
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT33



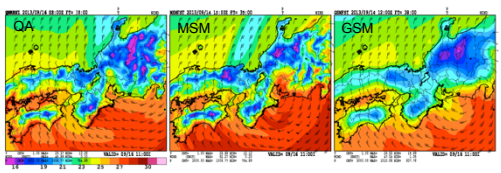
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT34



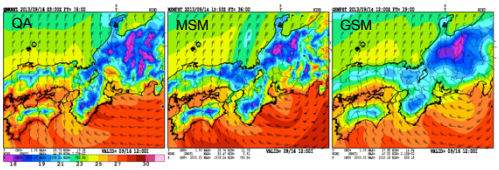
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT35



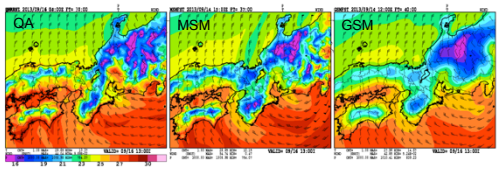
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT36



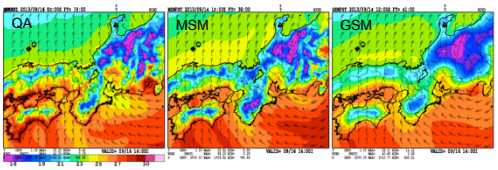
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT37



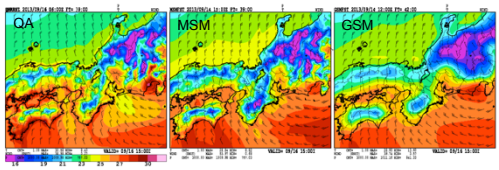
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT38



気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

Rtn, Qa, MSM and GSM T SameGuess 2013/09/14 15UTC FT39

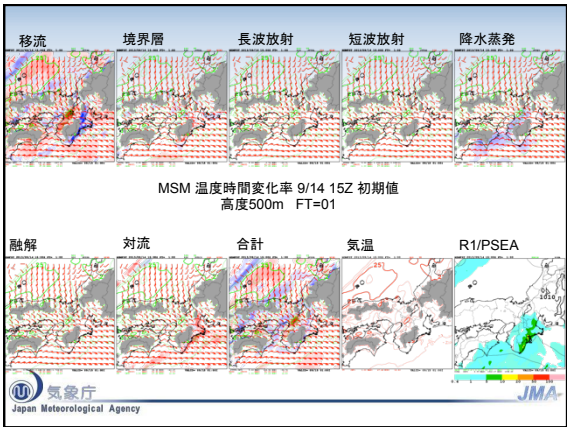


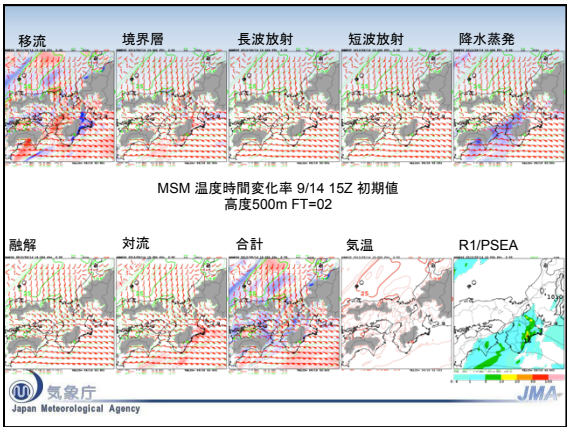
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA

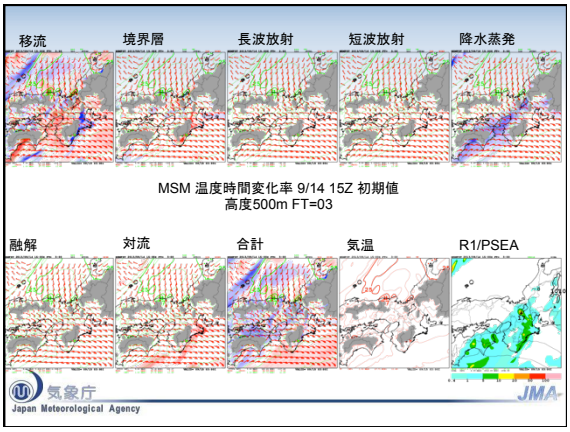
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 287

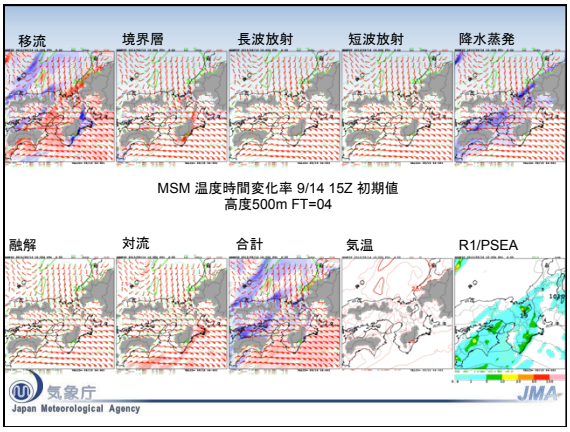
各過程からの時間変化率

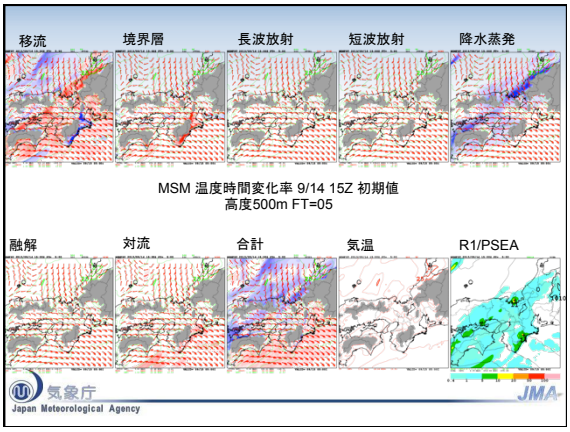
気象庁 Japan Meteorological Agency JMA 288

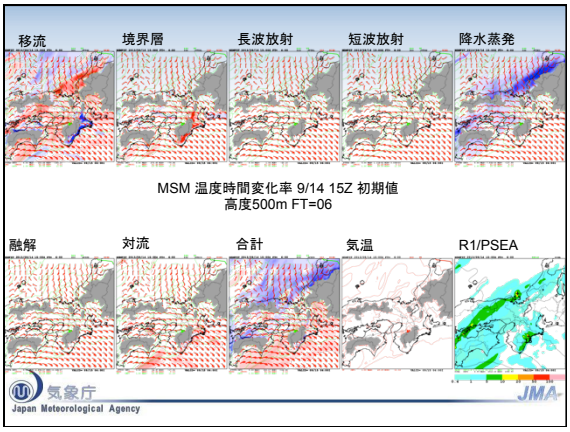

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=01
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

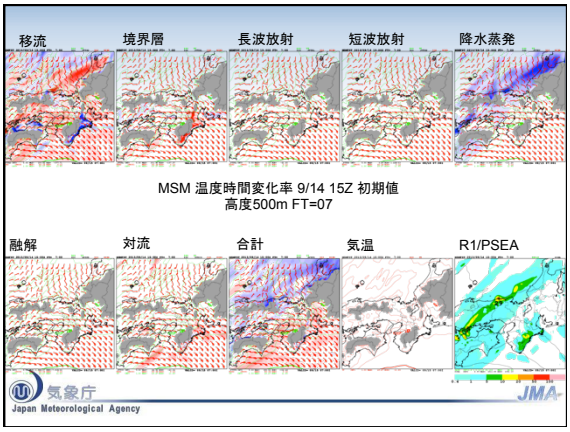

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=02
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

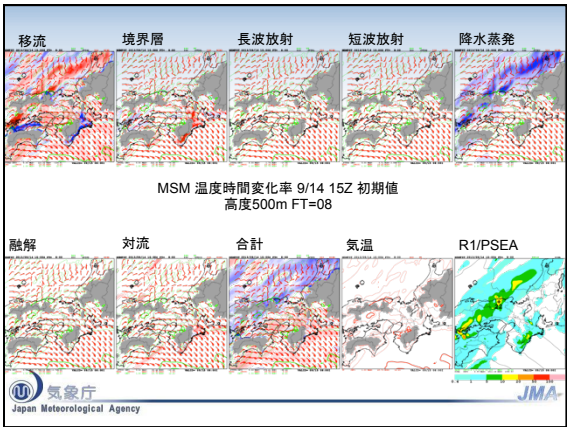

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=03
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

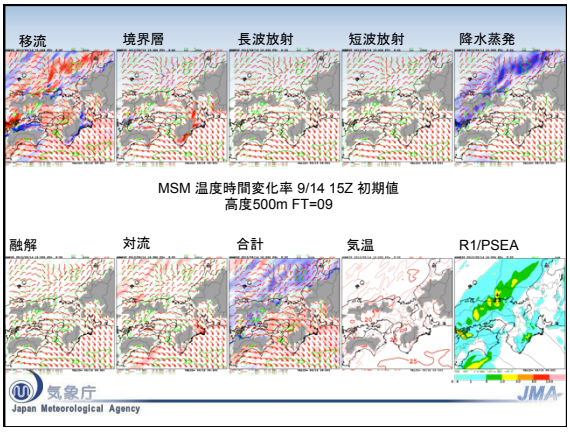

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=04
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

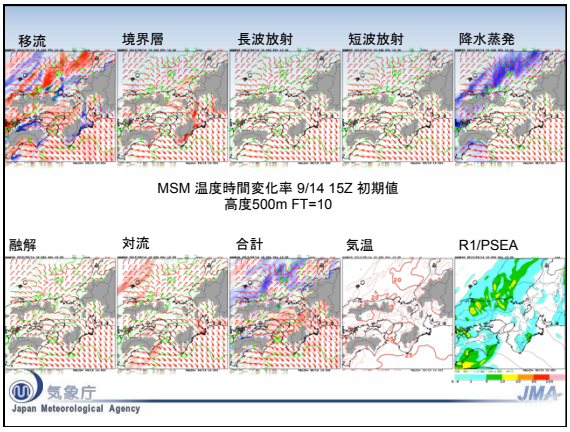

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=05
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

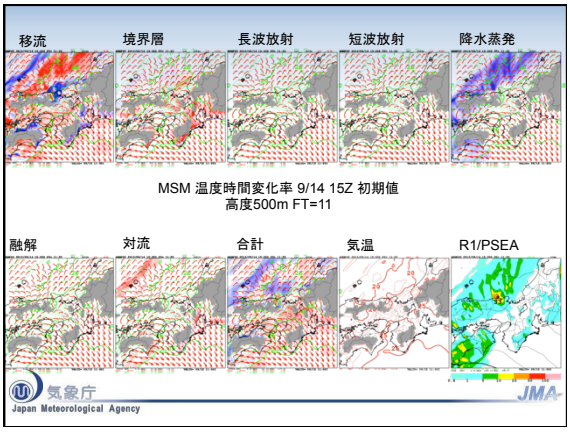

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=06
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

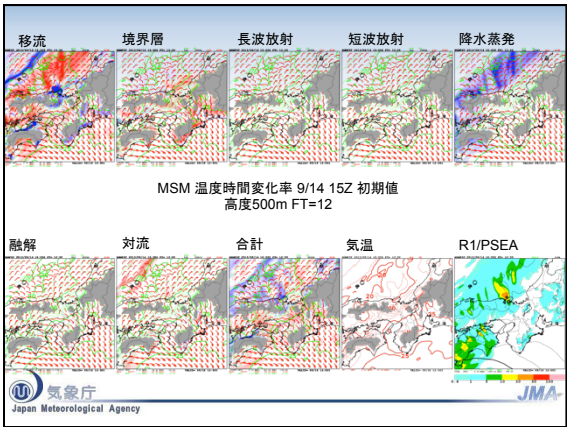

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=07
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

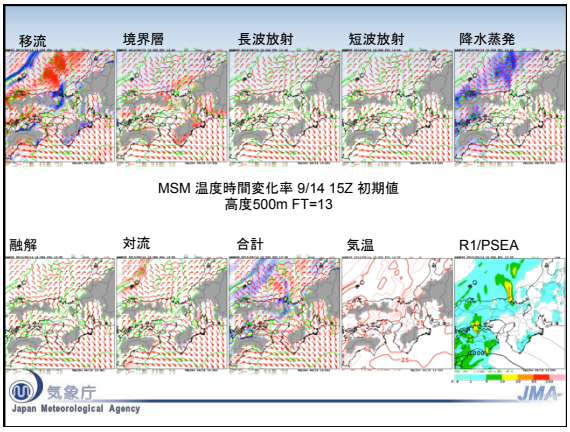

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=08
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

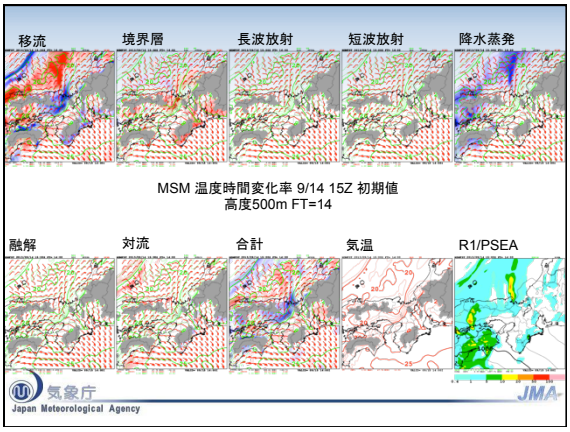

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=09
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

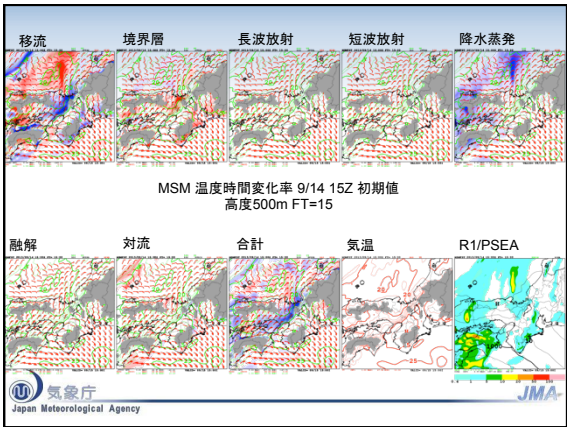

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=10
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

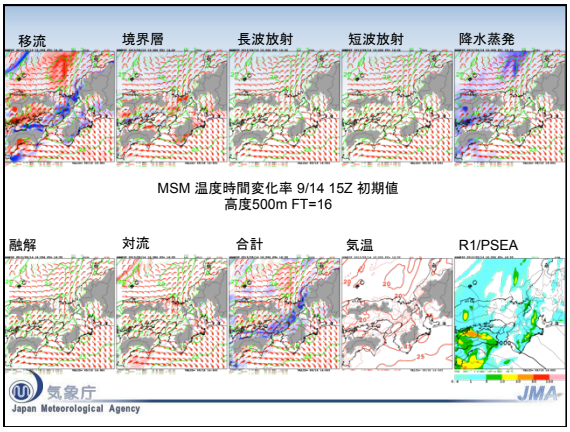

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=11
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

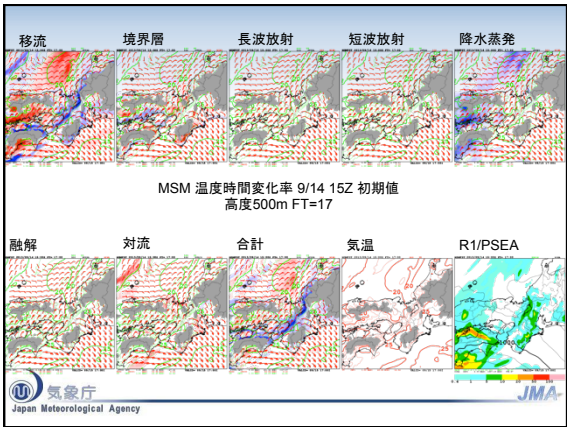

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=12
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

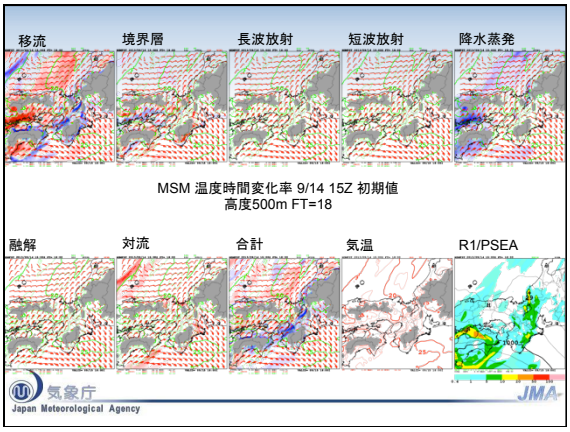

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=13
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

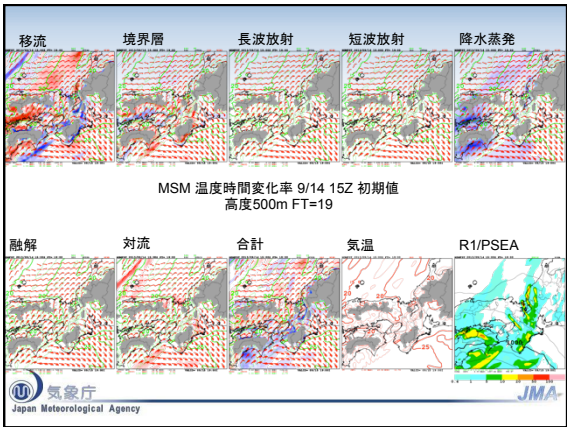

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=14
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

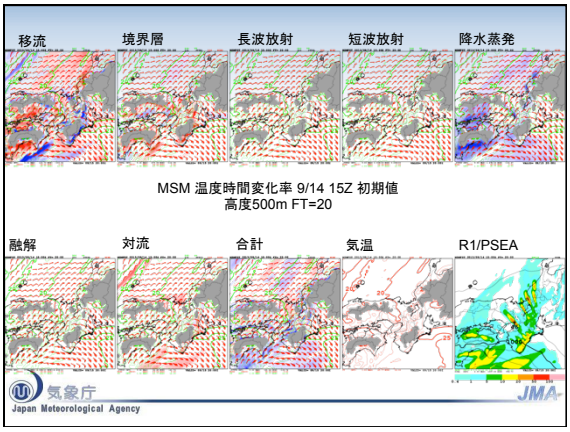

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=15
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

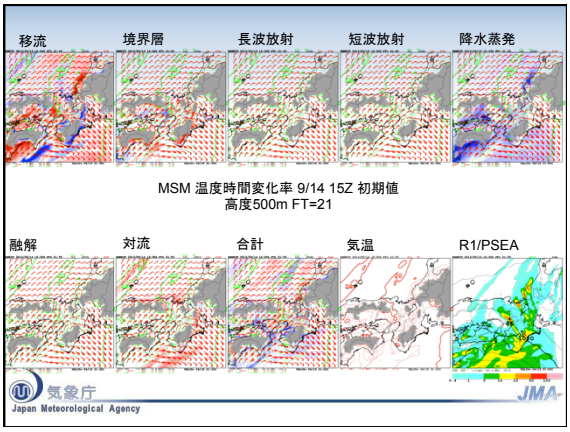

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=16
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

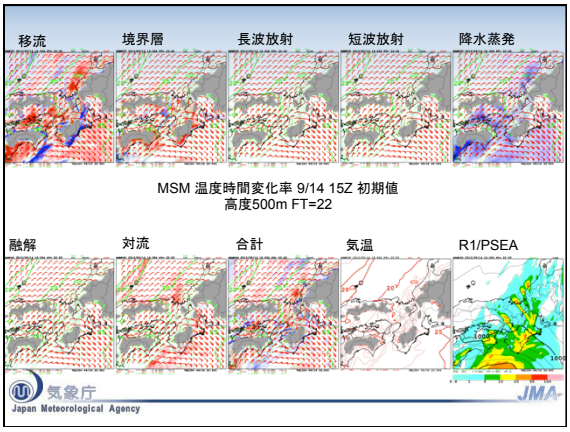

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=17
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

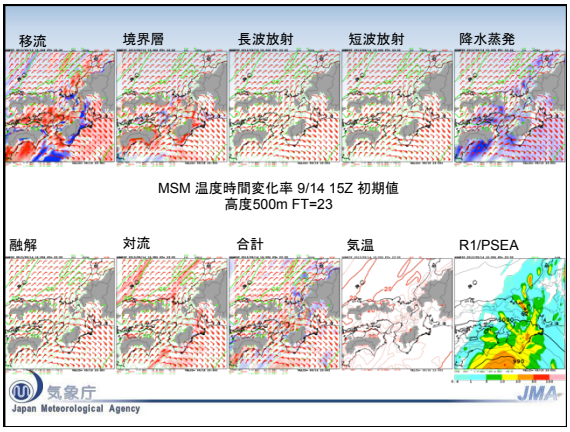

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=18
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

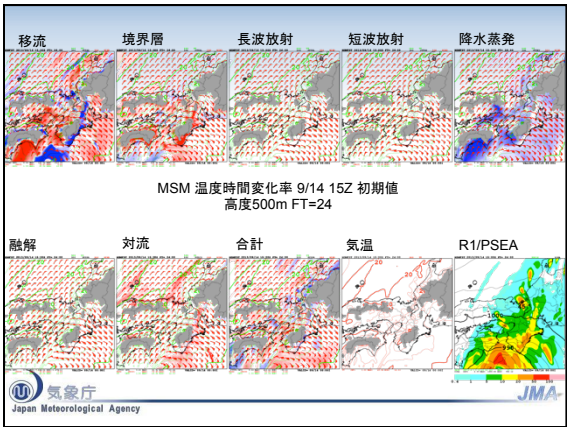

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=19
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

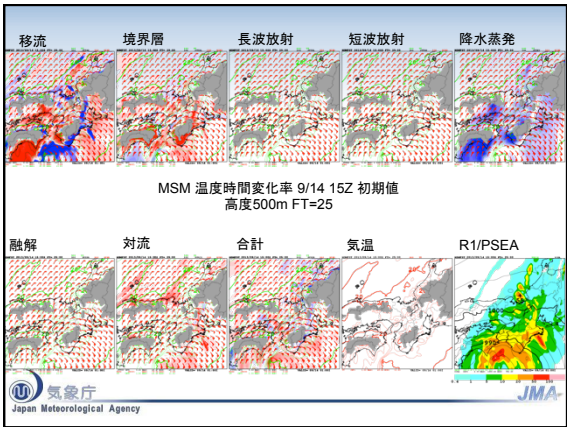

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=20
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

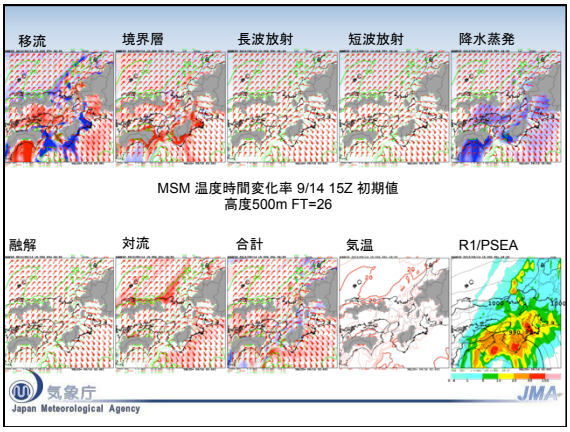

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=21
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

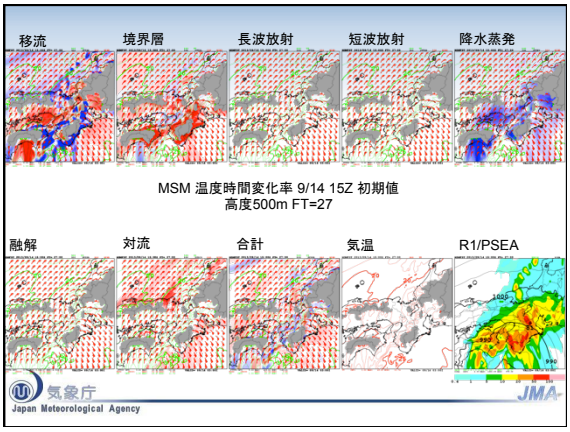

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=22
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

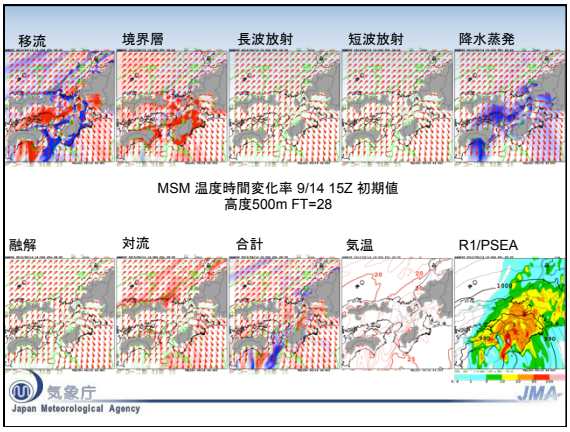

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=23
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

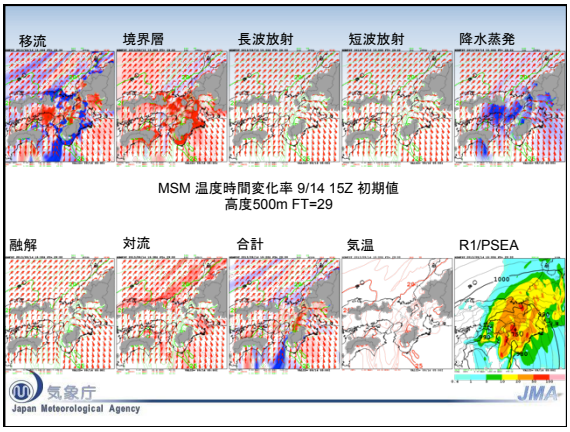

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=24
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

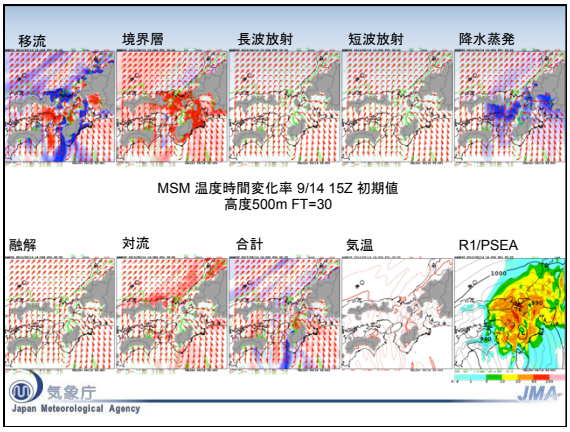

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=25
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

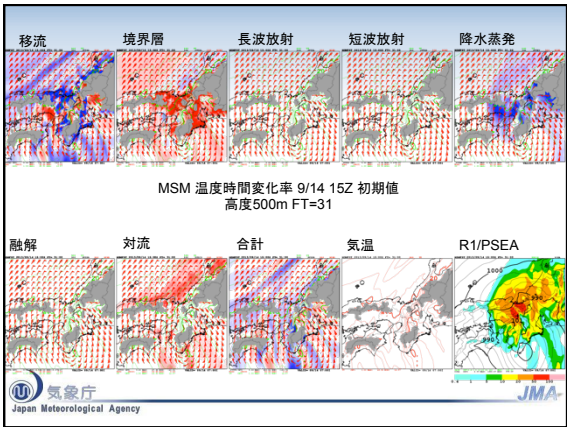

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=26
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

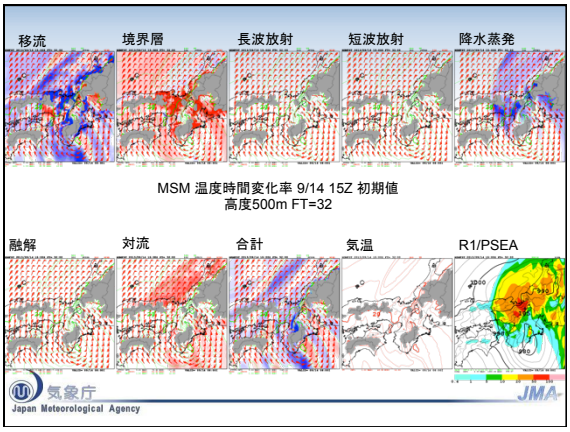

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=27
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

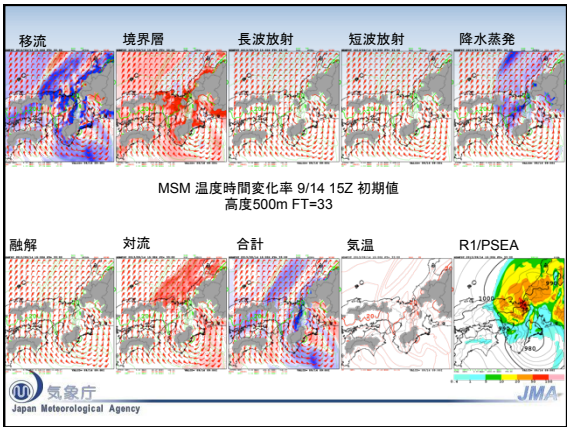

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=28
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

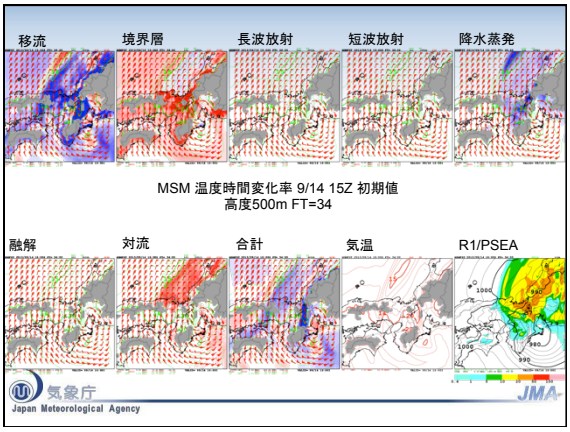

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=29
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

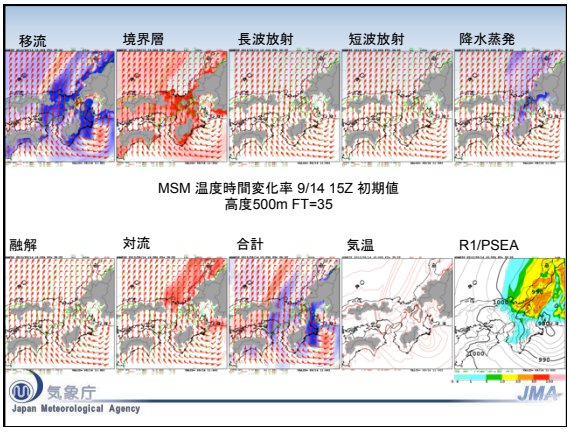

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=30
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

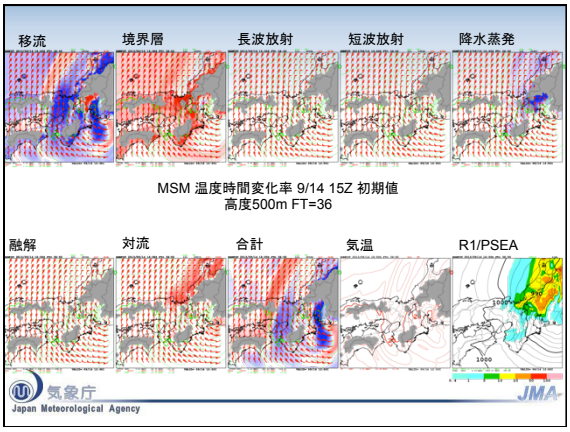

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=31
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

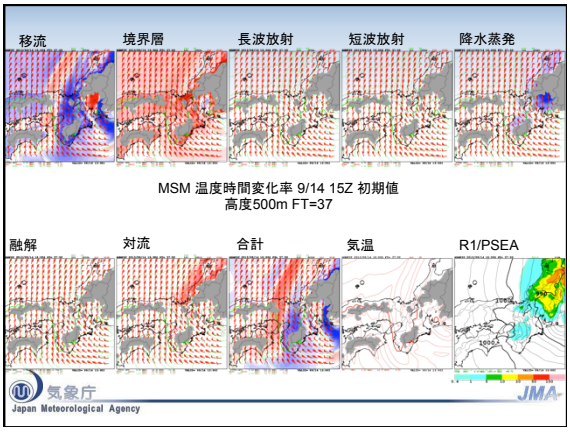

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=32
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

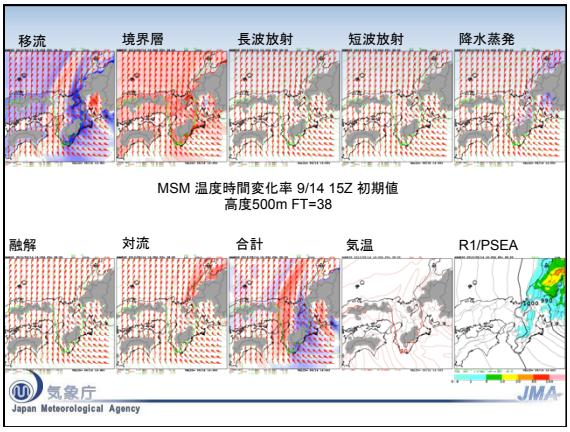

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=33
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

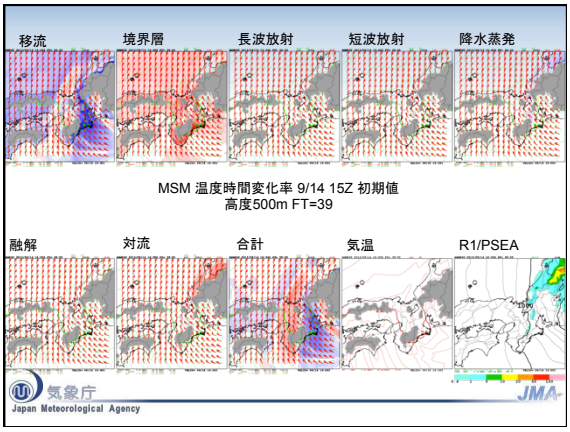

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=34
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

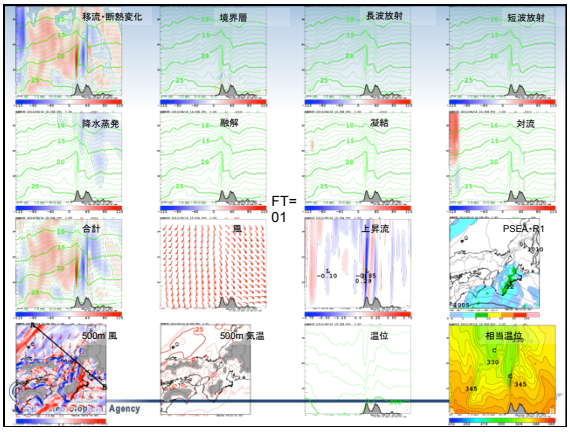

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=35
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

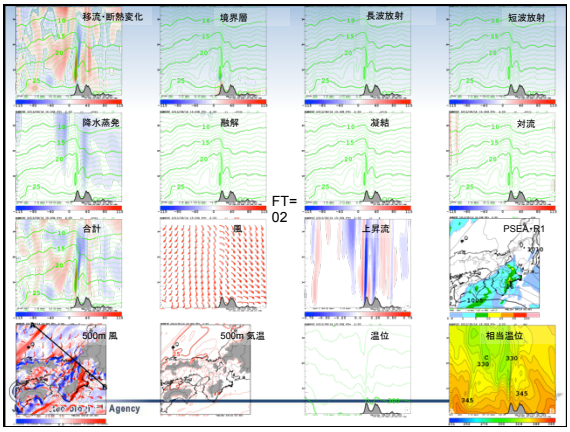

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=36
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

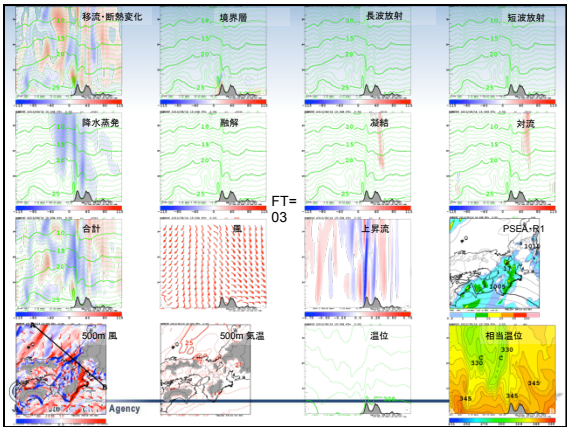

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=37
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

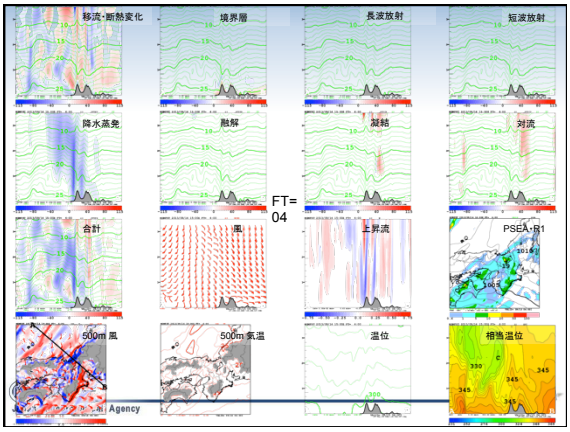

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=38
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

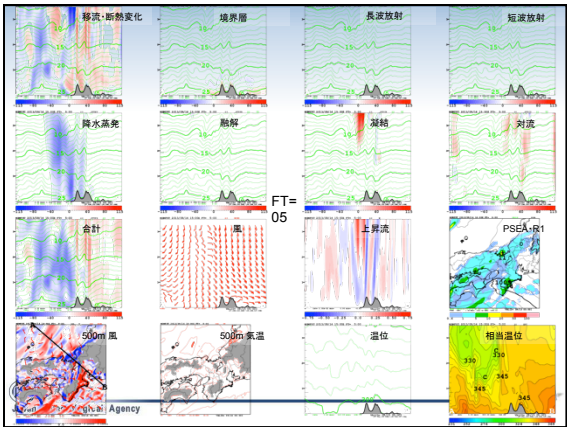

移流
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
MSM 温度時間変化率 9/14 15Z 初期値
高度500m FT=39
融解
対流
合計
気温
R1/PSEA
気象庁
Japan Meteorological Agency
JMA

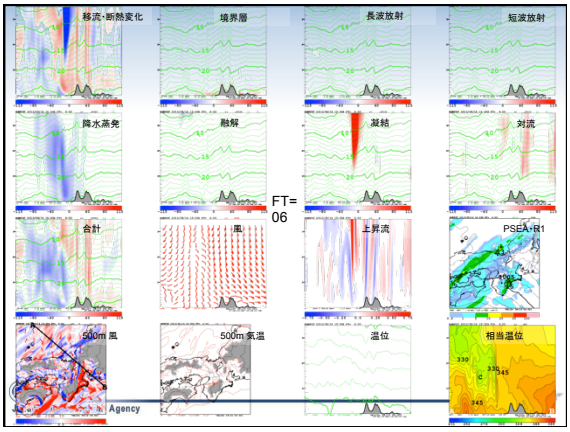

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
01
Agency

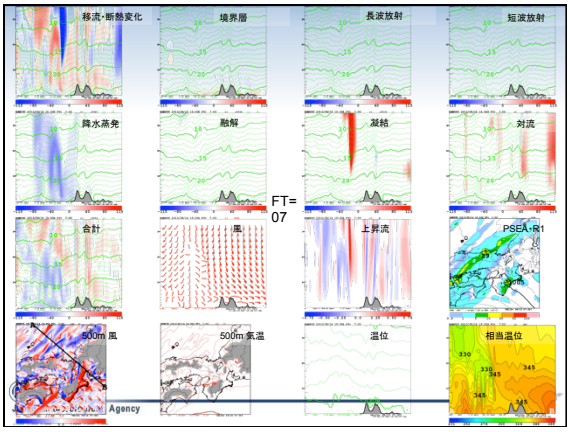

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
02
Agency

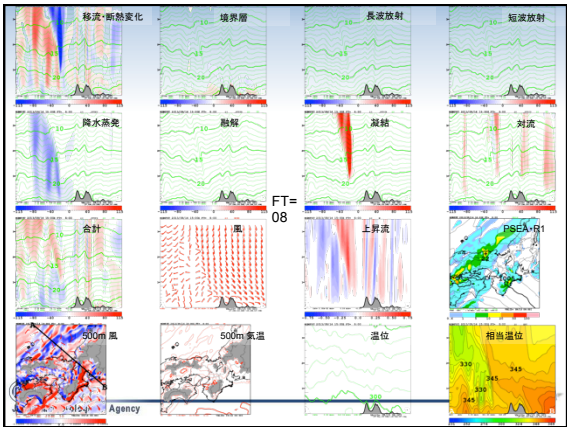

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
03
Agency

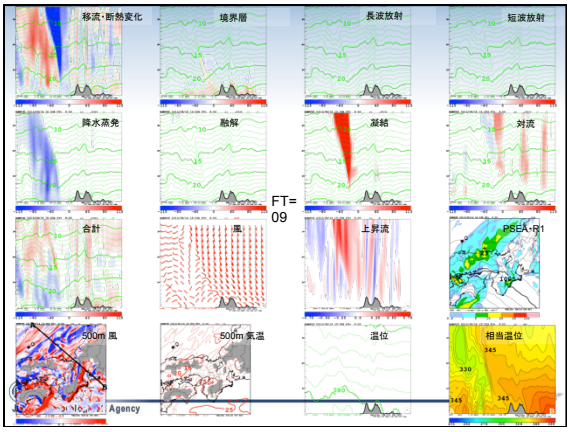

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
04

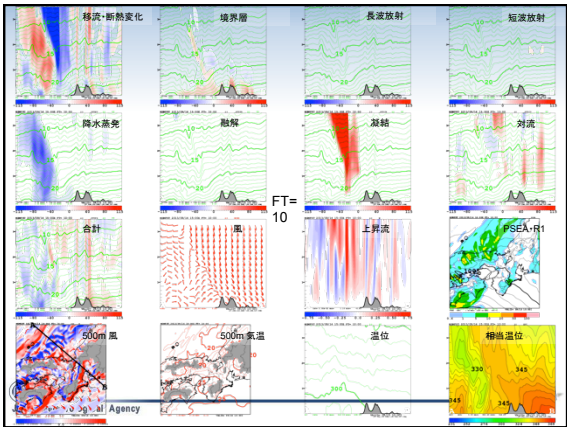

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
05

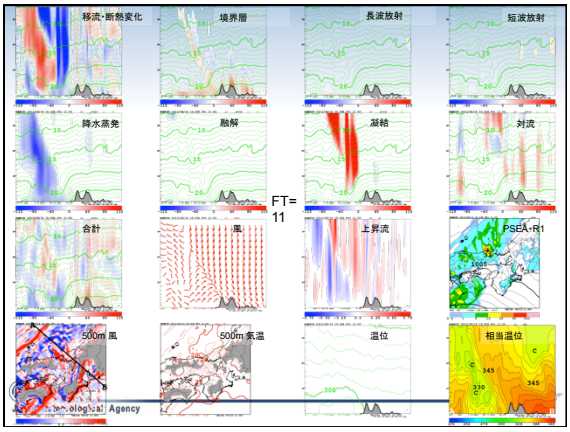

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
06

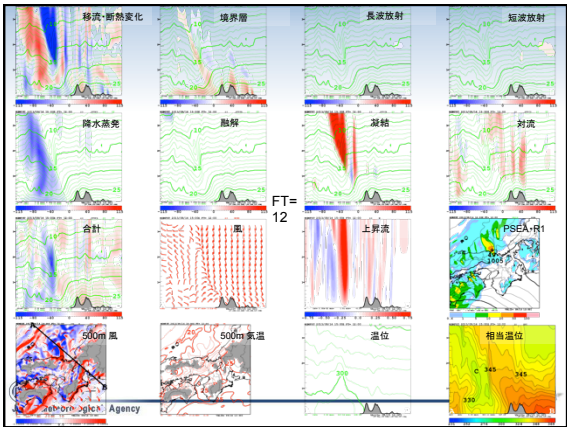

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
07

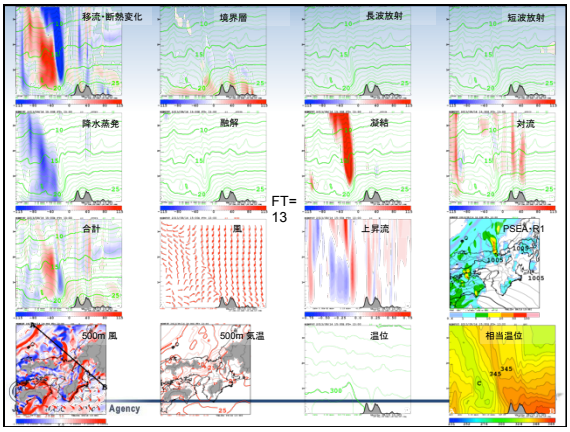

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
08

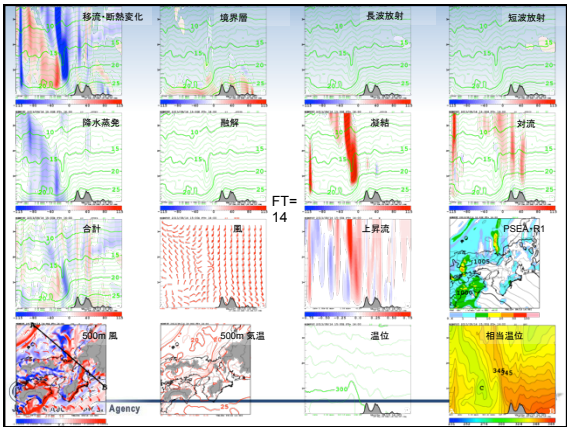

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
09

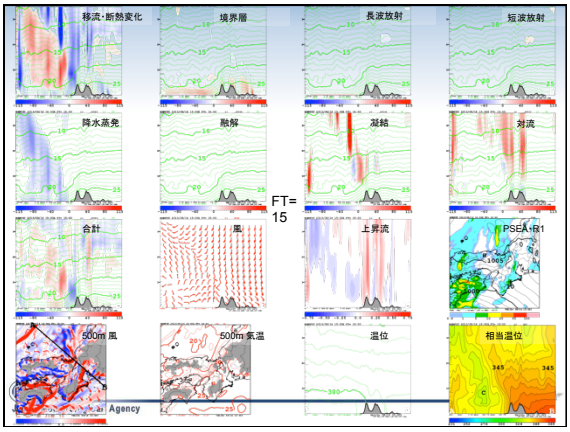

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
10

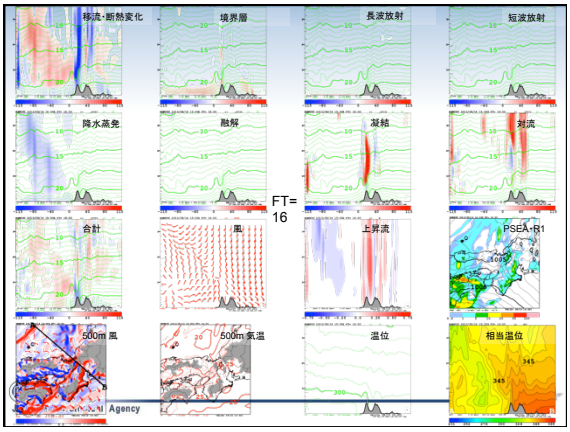

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
11

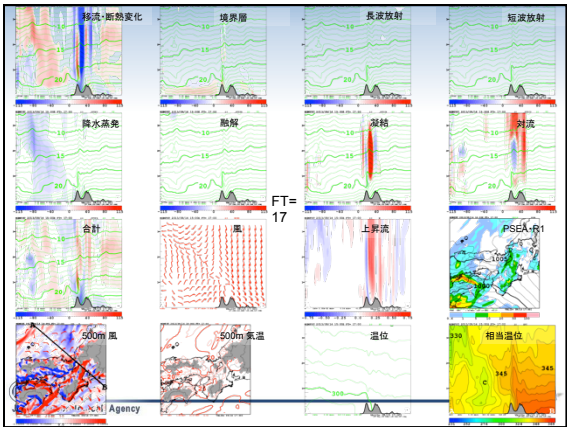

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
12

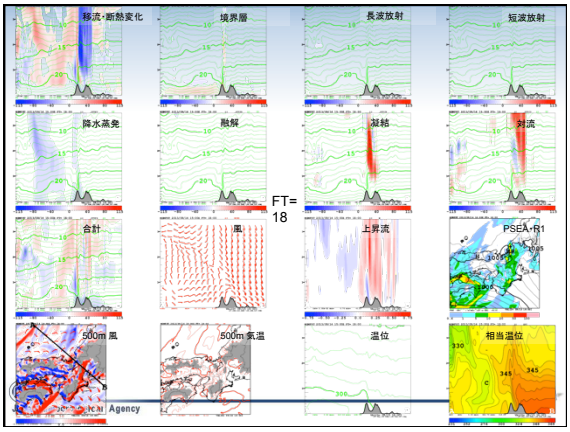

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
13

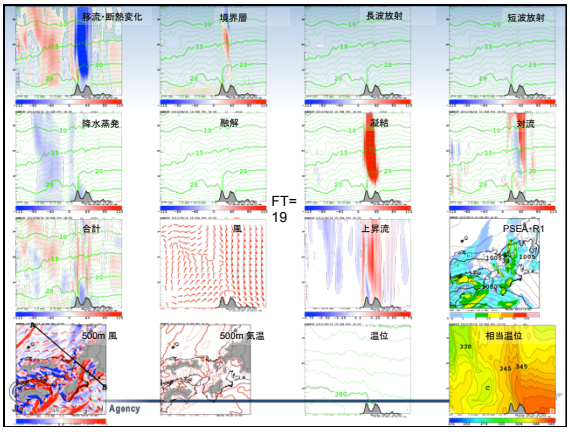

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
14

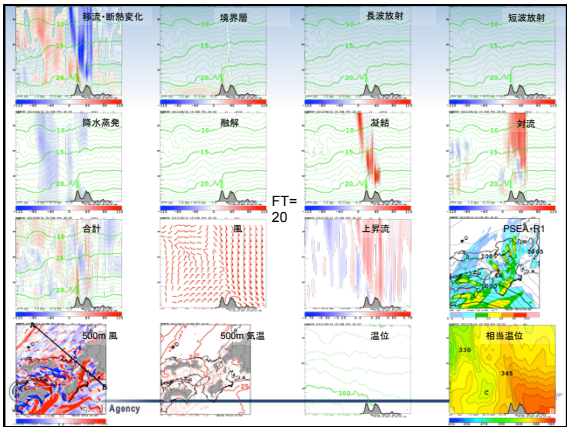

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
15

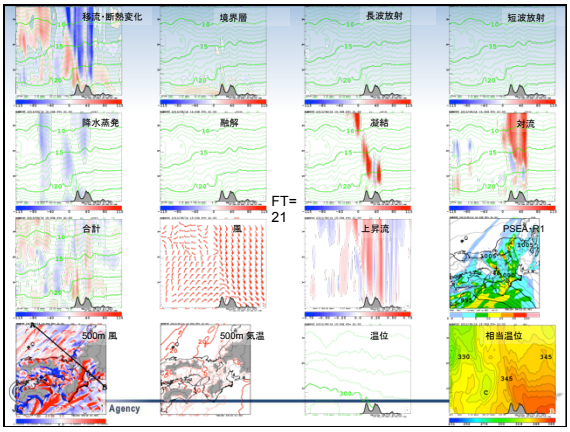

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
16
Agency

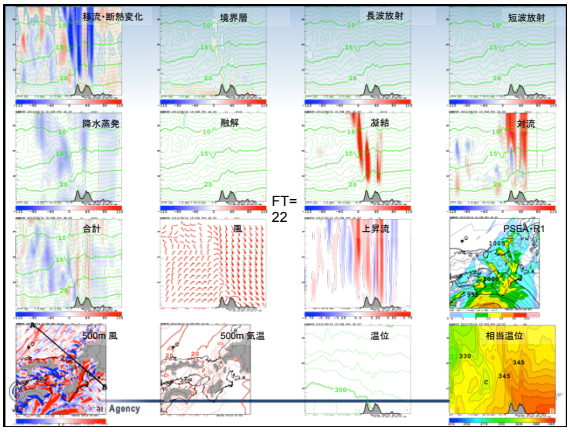

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
17
Agency


移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
18
Agency

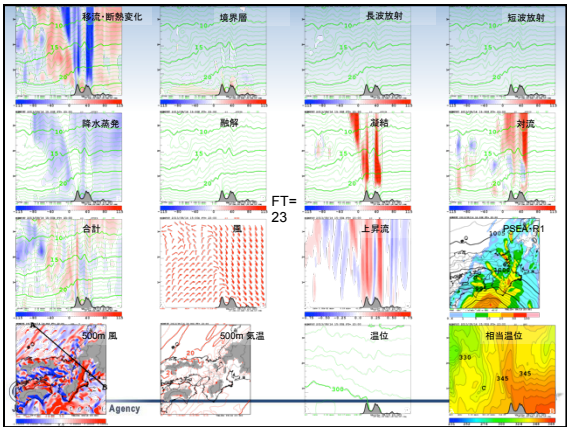

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
19
Agency


移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
20
Agency

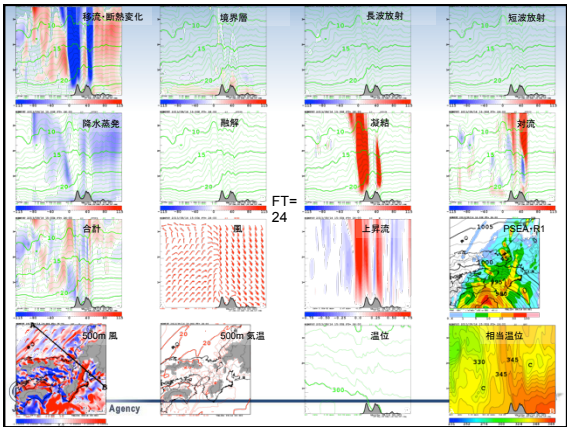

移流・断熱変化
境界層
長波放射
短波放射
降水蒸発
融解
凝結
対流
合計
風
上昇流
PSEA-R1
500m 風
500m 気温
温位
相当温位
FT=
21
Agency



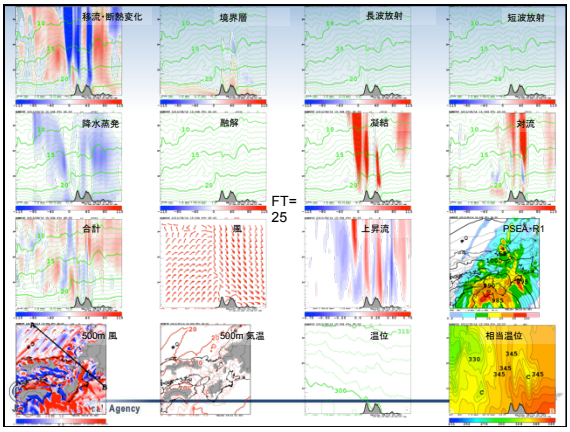
FT=
22



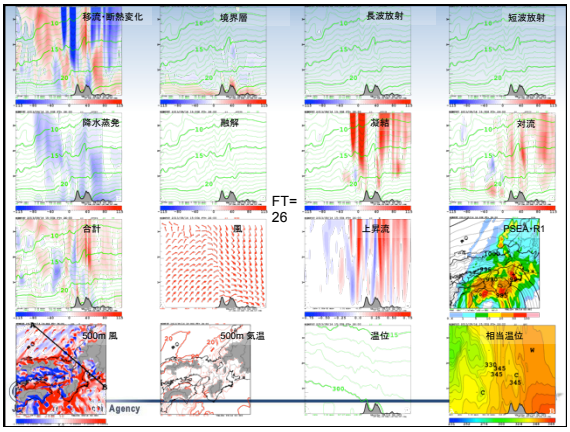
FT=
23



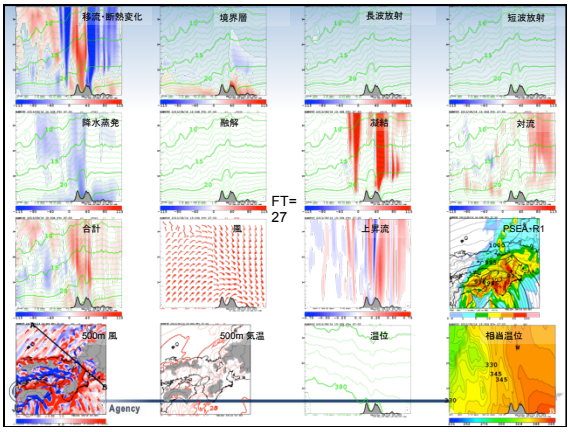
FT=
24



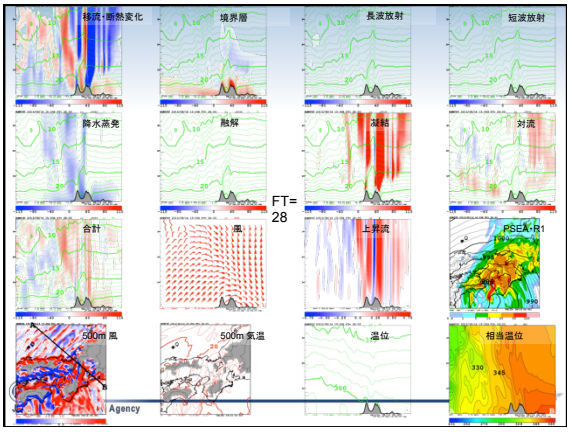
FT=
25



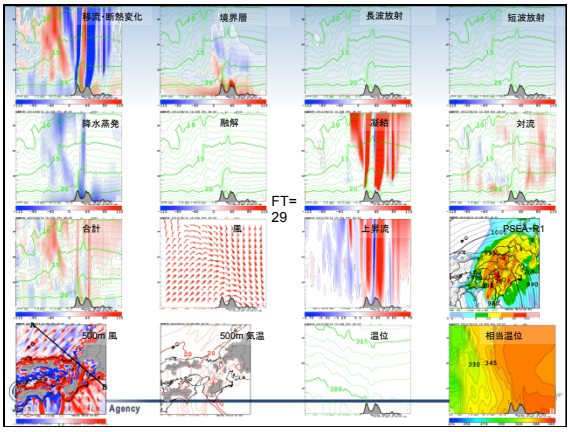
FT=
26



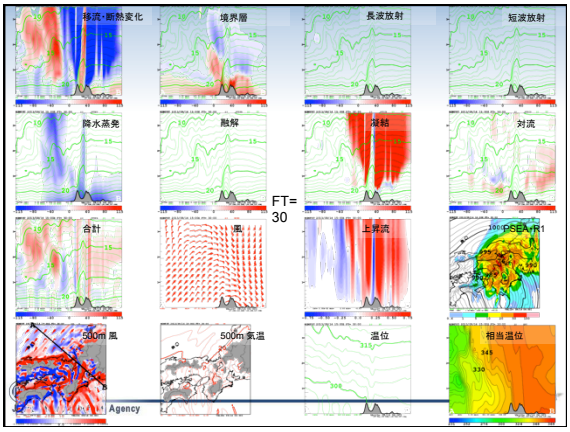
FT=
27



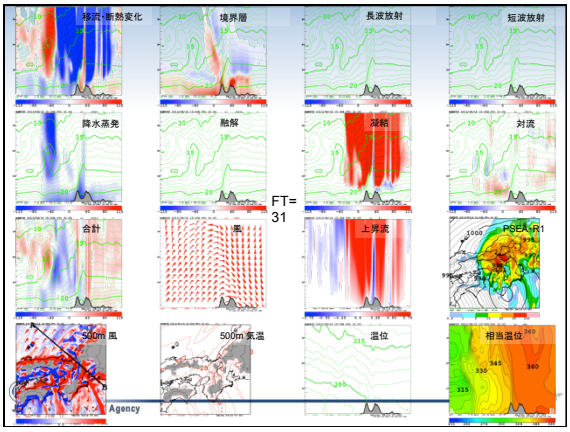
FT=28



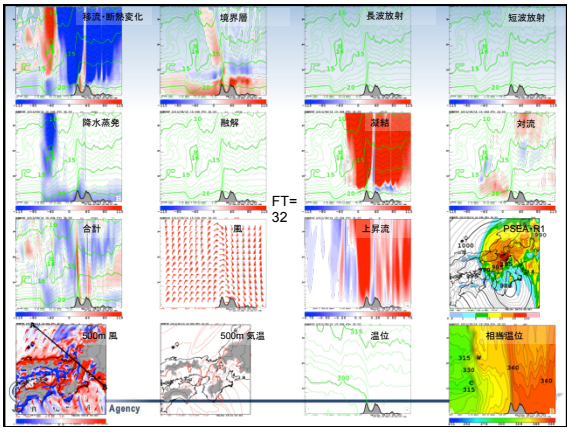
FT=29



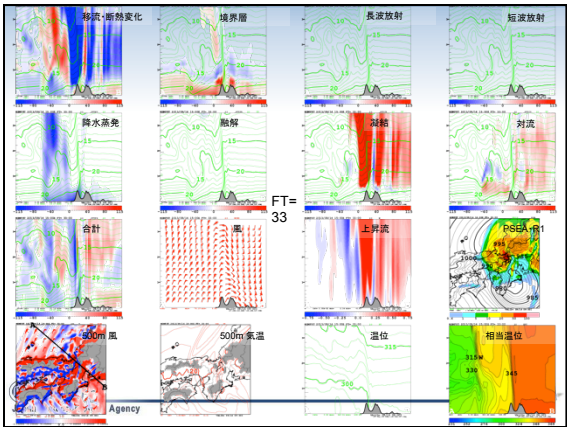
FT=30



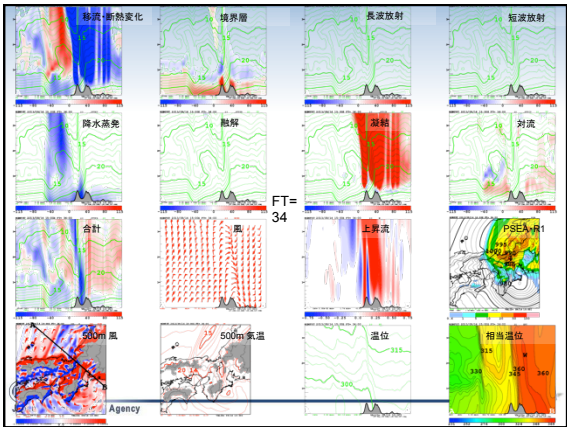
FT=31



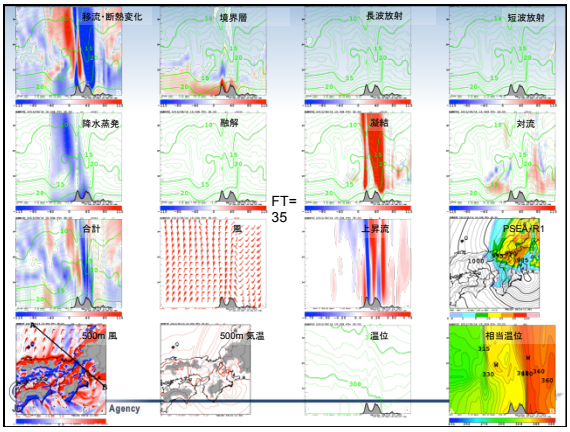
FT=32



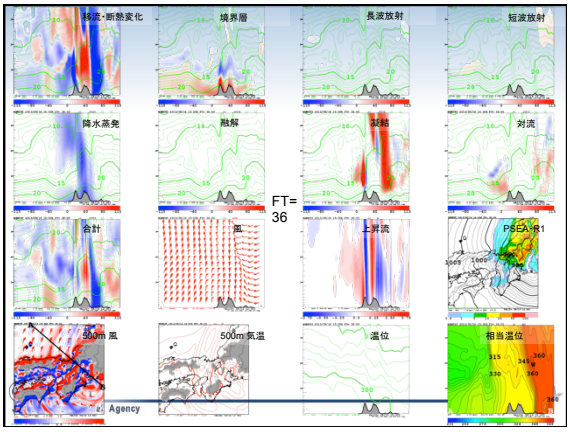
FT=33



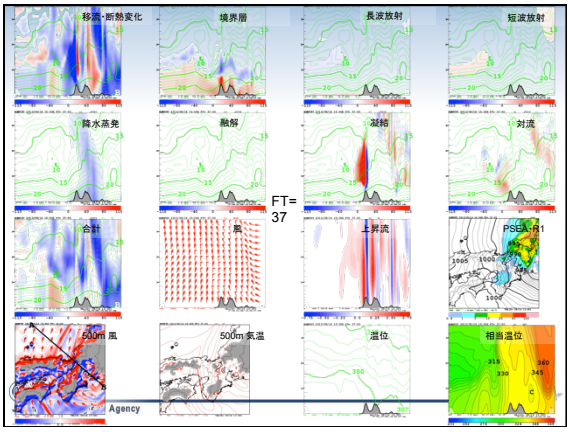
FT=
34



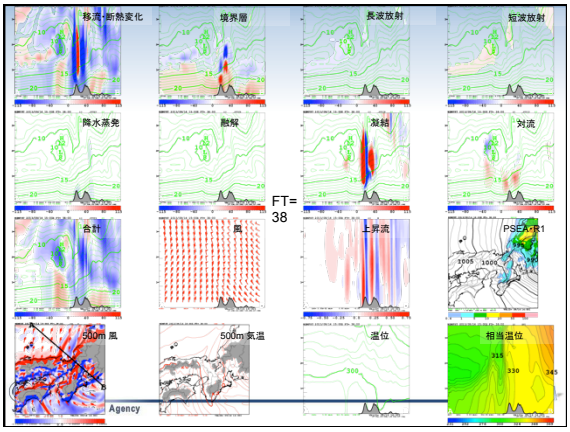
FT=
35



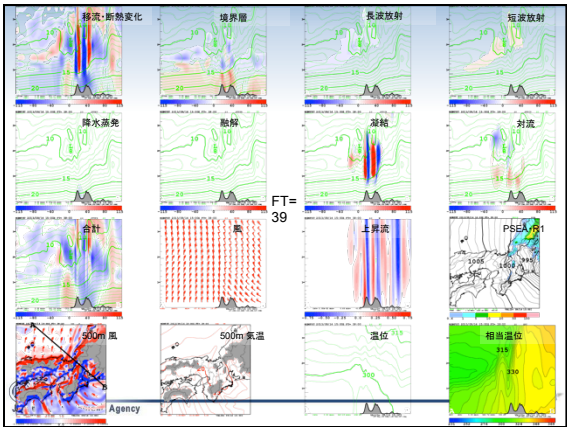
FT=
36



FT=
37



FT=
38



FT=
39

この事例の特徴

- 台風に先行する降水(アウターバンド)により、北側が冷却、高圧部を形成
  - 北側の下層の風は北風になり、温度傾度の維持と強化に寄与
  - 琵琶湖の南には日中に(日射による？)昇温も見られ、温度傾度を強化
- 台風本体接近時には、地形と温度傾度帯への暖湿の乗り上げによって、自由対流高度に達して対流が発生。温度傾度帯は琵琶湖付近まで押し上げられるものの、寒気側の降水蒸発により冷却で琵琶湖付近で停滞。そこに断続的に台風本体の暖湿流が流れ込み、対流が継続的に発生。風下の若狭湾付近に強い降水をもたらす。

モデルの予想

- そもそも、台風の進行位相の問題はあるが
  - 水の相変化が関係するので、GSMでは温度傾度帯の表現が弱く、それに沿った強い降水を表現できていない。
  - MSMでは、その表現がある。ただし、位置のずれもあり。
    - 温度傾度帯の動向を巡る表現には、フィードバックがかかるために、微妙な違いが大きな差になることも。

温度傾度帯の形成・強化

- 寒気側での冷却が先行しているのが共通点
  - 海陸の温度差による沿岸前線のような種があることも
  - 冷却源はさまざま
    - 総観規模の寒気の流入
    - 安定境界層(放射冷却)による冷却
    - 擾乱に先行する降水による蒸発・雪の融解
  - 寒気側の冷却によって、局所的な高圧場が形成され、気圧傾度力が勝って、等圧線を横切る北風が卓越するようになる→強化・維持に重要

温度傾度帯の強化

- 暖気側が対流不安定であると、暖気の温度傾度帯での乗り上げが強制上昇となり、対流が発生。
- その対流による凝結で、暖気側で鉛直に昇温。温度傾度が強くなる。もちろん、暖気移流も寄与
- その対流雲が風下の寒気側で降水をもたらし、その蒸発・融解で寒気側を冷却し、寒気側からも温度傾度を強める。
- 局所的な高圧部による北風も強化・維持に寄与

温度傾度帯の移動

- 多くのケースで、温度傾度帯が実況より寒気側に入ってしまうことも。
  - つまり、寒気側も正の温度変化率になってしまうということ。
  - 暖気側からの暖気移流が温度傾度帯の先に"しみださない"ためには
    - 温度傾度帯を横切る風が温度傾度帯での気圧傾度力で減速されてゼロになり、上に乗り上げる必要
      ＝十分な気圧傾度を生み出す気温差が必要
      暖気側の暖気移流は擾乱の接近とともに傾度帯を横切る成分が強くなる
    - "しみだし"をキャンセルする冷却源が温度傾度帯から寒気側に冷却源が必要
      - 代表的な冷却源は寒気移流と蒸発・融解による冷却
      - 蒸発・融解による冷却は降水量に大きく依存する
        » 降水量予想が過小であると、十分な冷却をもたらさない。
      - 寒気側の風が温度傾度帯の走向に沿う場合には、わずかな風向の違いが暖気移流にも寒気移流にもなりうる。
      - 特に寒気側の動向はわずかな違いがフィードバックされて、最終的な結果が大きく異なる、すなわち不確実性が大きくなりやすい。

まとめ

- とりあげた4事例では、すべて強い温度傾度帯が形成され、その傾度帯上で強い降水をもたらしたり、その動向しだいで気温、雨雪種別に大きな影響をもたらしうる。
- しかし、特に寒気側の動向は現象的にも不確実性が大きく、その結果、温度傾度帯の動向も不確実性が大きい。
  - 暖気側が入り込みすぎることが多く、寒気側の冷却源が不十分であることが多いようだ。
- 先行する北側での冷却が、温度傾度帯の形成・維持・強化(北風の強化)に強く関係している。
- GSMでは、蒸発・融解に伴う冷却に上限があるため、温度傾度帯の形成に水の相変化が大きな役割を果たす場合には表現が十分でないことに注意。