

# メソアンサンプルと1km-asucaを 用いた豪雨解析

瀬古 弘 (気象研)

「富岳」成果創出加速プログラム  
「防災・減災に資する新時代の大アンサンプル気象・大気環境予測」  
2021年度成果発表会

2022年3月11日

# 富岳成果創出プロジェクトの関係

○富岳成果創出プロジェクトでは高分解能な1000メンバーの大アンサンブル実験を実施する。

○現業メソアンサンブル(格子間隔5km) の出力や、1km格子の領域モデルでどこまでできるか を示すのは必要なことと考える。

- 21メンバーの現業アンサンブル予測で豪雨の要因は探れるのか？
- 強い降水が表現しづらいメソアンサンブルと1km格子モデル予測の合わせ技で、降水量の確率予測はできるのか？

(上記に関連する疑問)

豪雨予測の環境パラメータ (CAPE等)は妥当なのか？

# メソアンサンブル数値予報モデルGPV (MEPS)

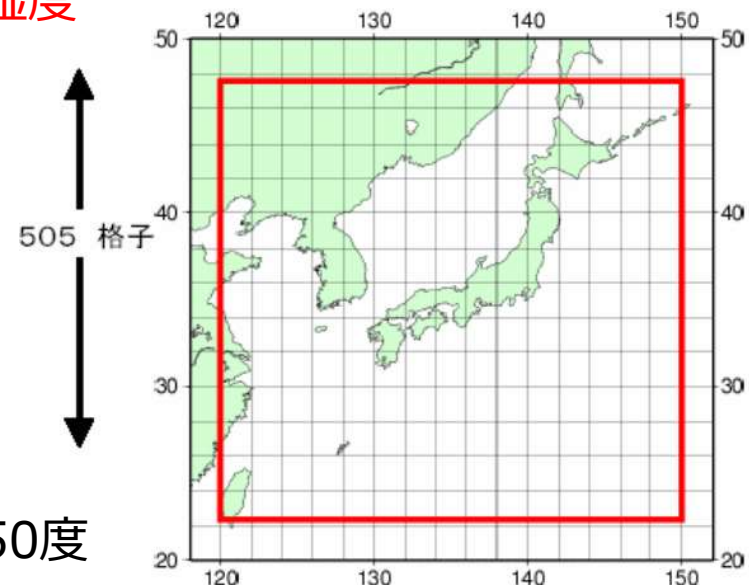
<http://www.jmbasc.or.jp/jp/online/file/f-online10250.html>

## はじめに

- ・ 数値予報課のご協力により、**気象業務支援センター**に提供している**メソアンサンブル数値予報モデルのGPV (MEPS)**を取得。
- ・ アンサンブル手法（全球特異ベクトル法、メソ特異ベクトル法）を用いた**21メンバー**
- ・ MEPSは複数の予測結果が取得でき、気象現象の発生を**確率的**に捉えることが可能。  
(この発表では、**確率的にとらえること以外の利用法を探る**)

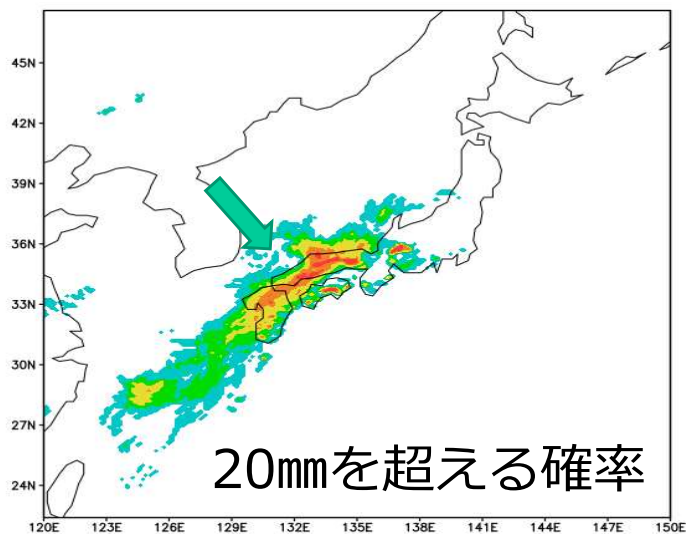
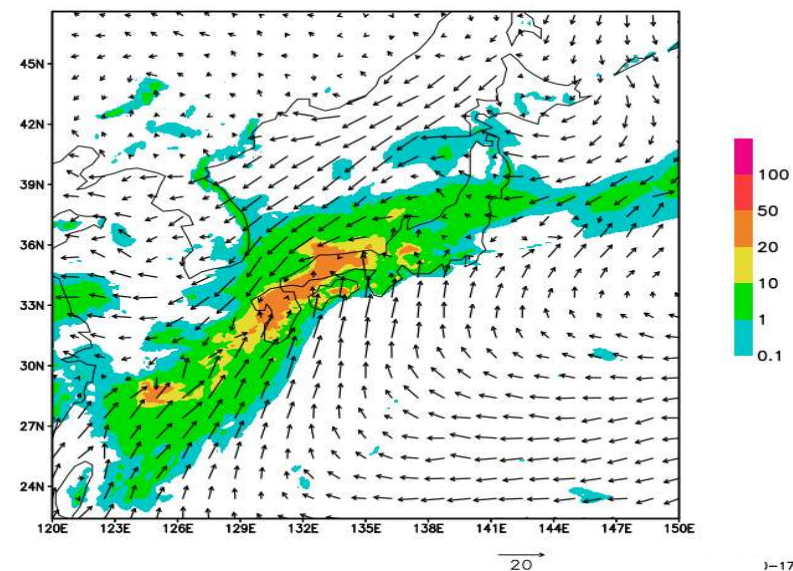
## データの概要

- 要素 ※1： 風（2要素）とは、東西成分と南北成分。
- ・ 地上：海面更正気圧、風（2要素）、気温、**積算降水量**、日射量
- ・ 975hPa・**950hPa**： **風（2要素）**、気温
- ・ **925hPa**・**850hPa**： **風（2要素）**、気温、**相対湿度**
- ・ **500hPa**： 高度、気温、**相対湿度**
- ・ **300hPa**： 高度、**風（2要素）**
- 初期値： 00, 06, 12, 18UTC
- 予報時間： 39時間予報（**3時間間隔**）
- アンサンブルメンバー数： 21メンバー
- 格子系：等緯度等経度
  - ・ 地上： 0.05度×0.0625度（格子数 481×505）
  - ・ 気圧面： 0.1度×0.125度（格子数 241×253）
- 配信領域：北緯 22.4度～47.6度、東経 120度～150度

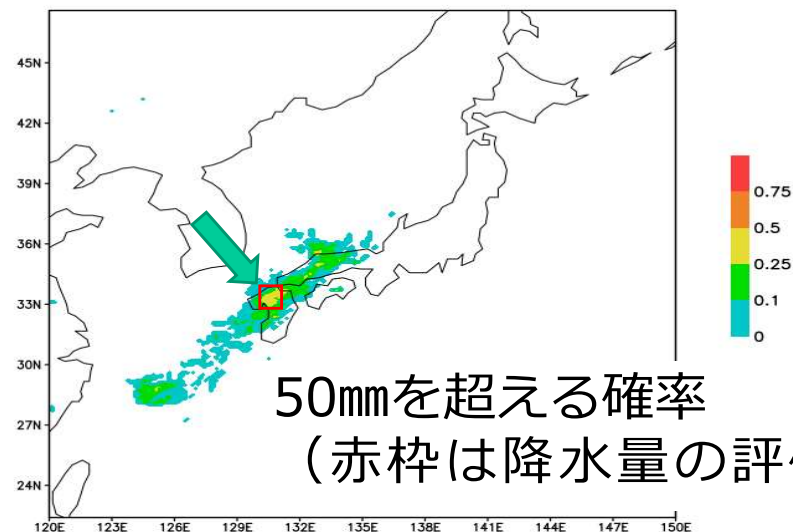


# 2018年7月6日21時の 3時間降水量の アンサンブル平均と 20mmと50mmを超える 確率分布 (初期時刻6日9時)

## アンサンブル平均の3時間降水量



20mmを超える確率



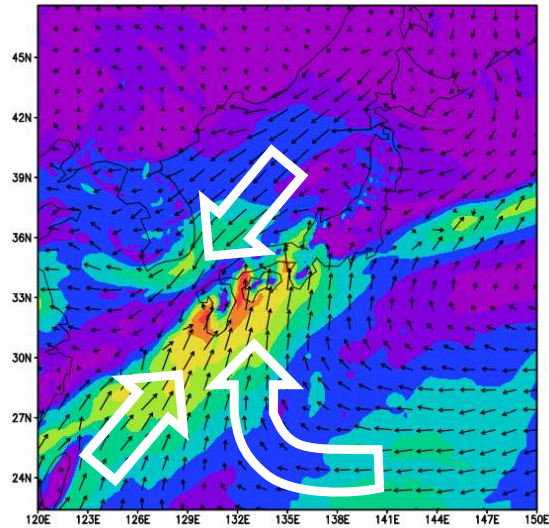
50mmを超える確率  
(赤枠は降水量の評価域)。

- 20mmを超える降水域が九州から兵庫県まで伸び、50mmを超える確率が25%以上の領域が九州北部に見られた(格子が粗いため降水量が過小)。
- 降水量の評価域は、九州北部の赤枠で示す。

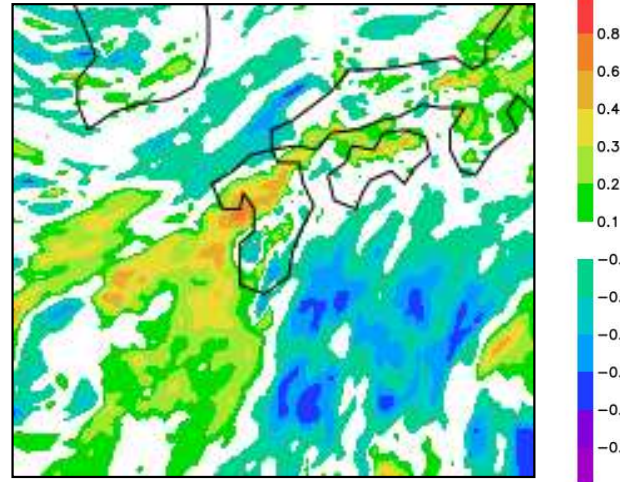
# 925hPaでの水蒸気流量と九州北部の3時間降水量との相関

3時間前の18時

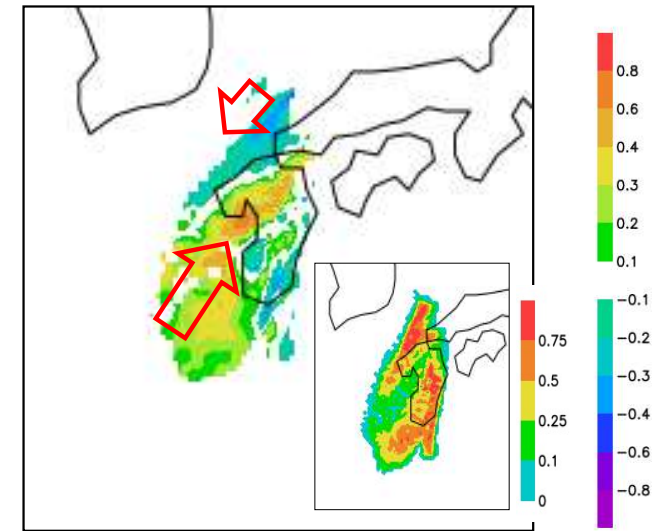
925hPaでの水蒸気流量



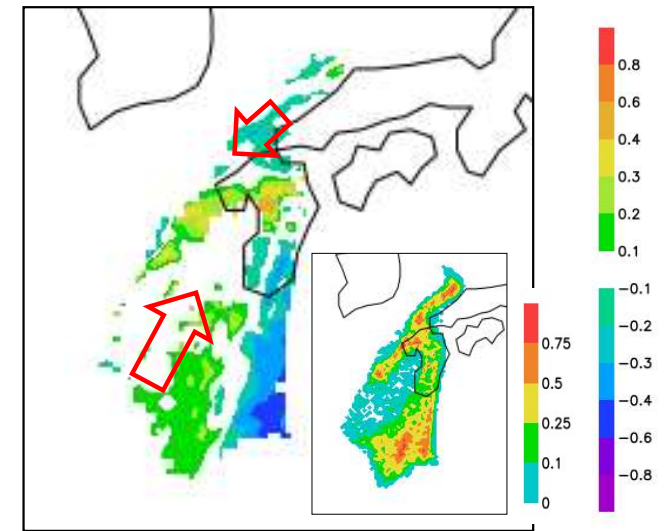
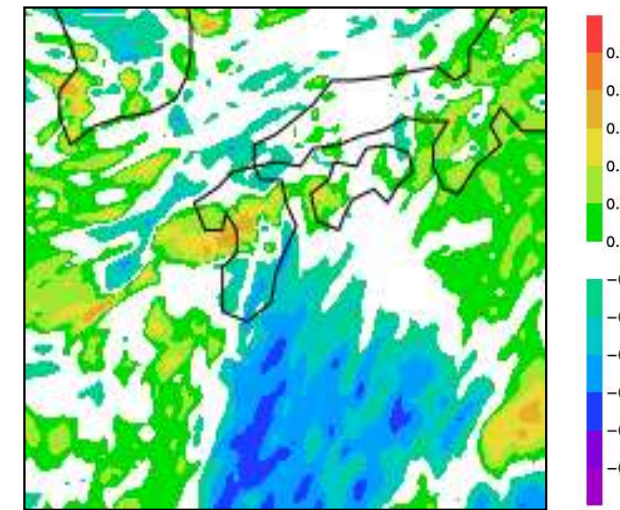
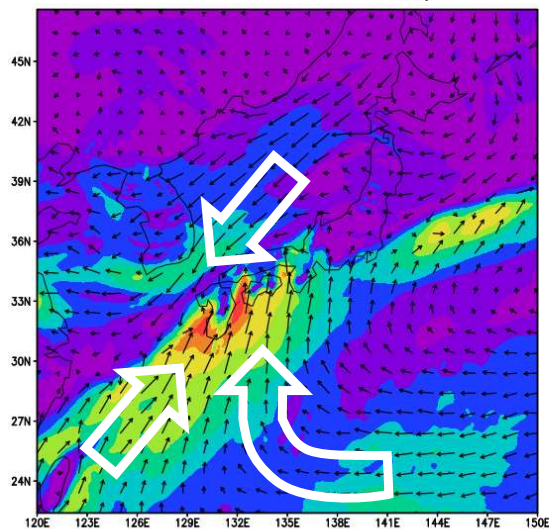
九州北部の降水量との相関



九州北部に流れ込む  
気流に限定



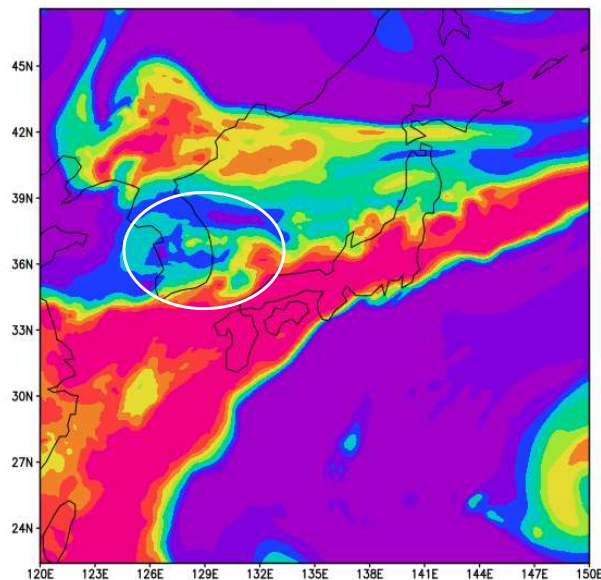
6時間前の15時



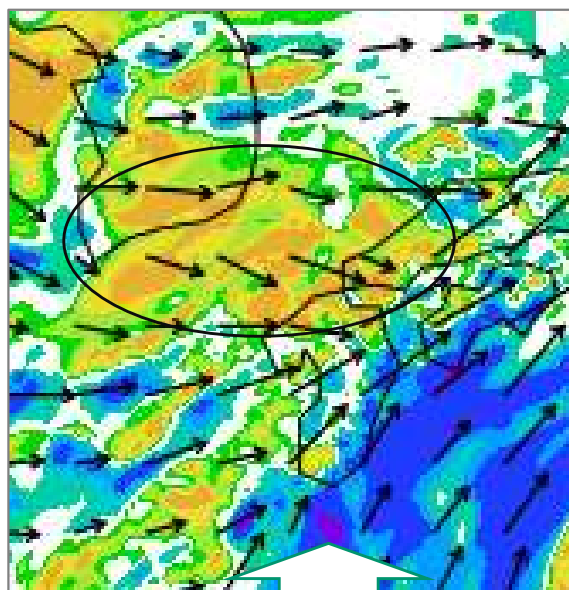
- 九州北部の南西側と北東側から強い降水域に水蒸気が供給(流跡線)。
- サンプリングエラーで相関域が過度に広がるが、流跡線で限定可能。

# 500hPaでの湿度と九州北部の3時間降水量との相関

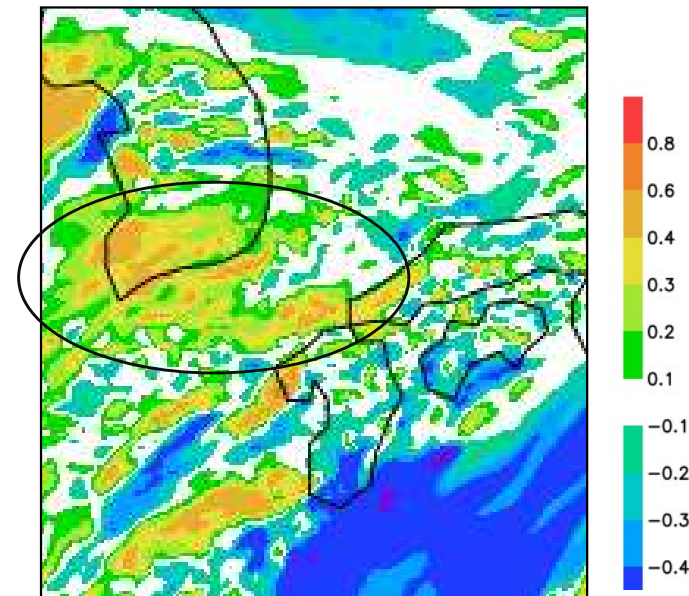
3時間前の18時の湿度



3時間前の7月6日18時

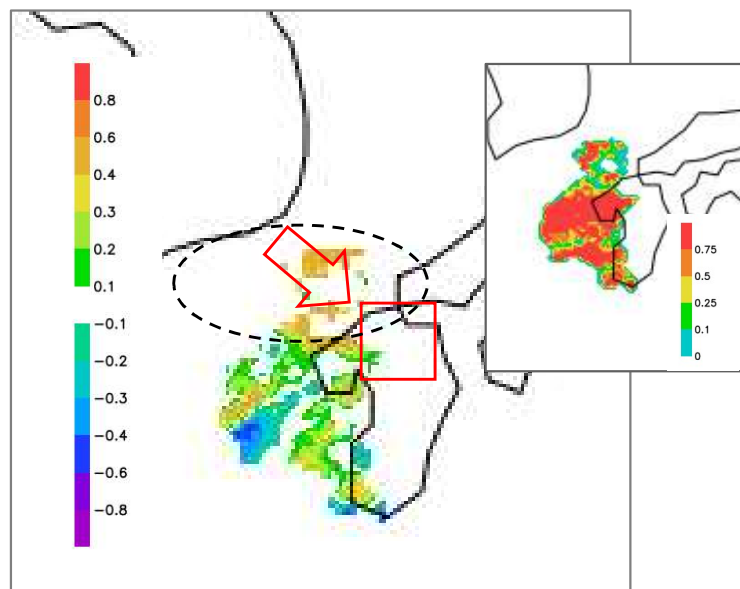


6時間前の15時



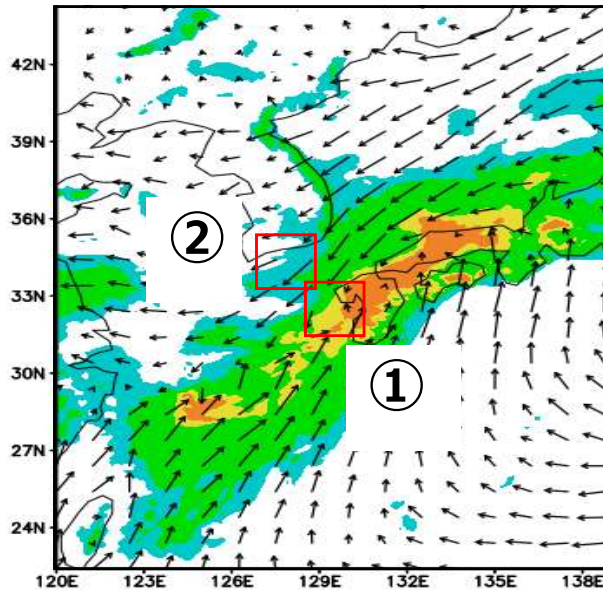
5km格子asucaの  
決定論的予報による  
500hPaの水平風。

九州北部の北西側が湿って  
いると降水量が大きいこと  
を示す。

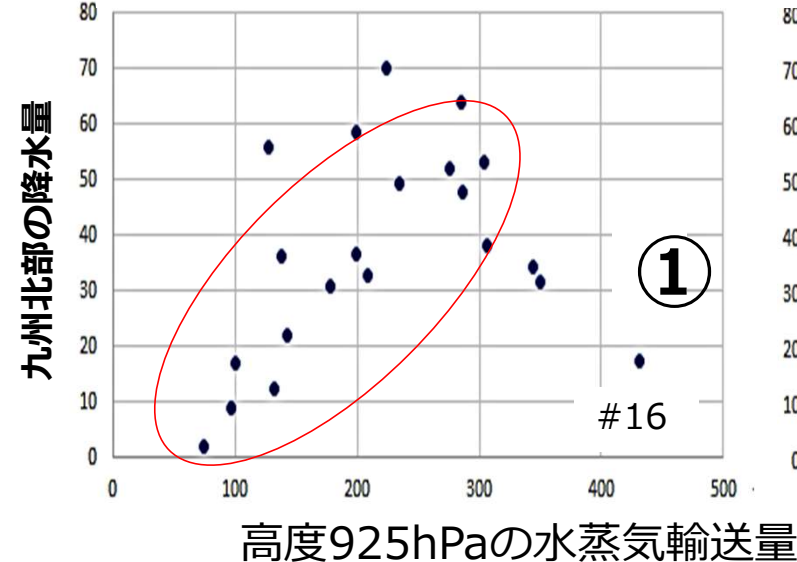


- 高度500hPaでは、北西側からも、気流が流入している
- その場所では湿度が高いほど、降水量が多い。中層が乾いていると降水量が少ないという傾向がある。

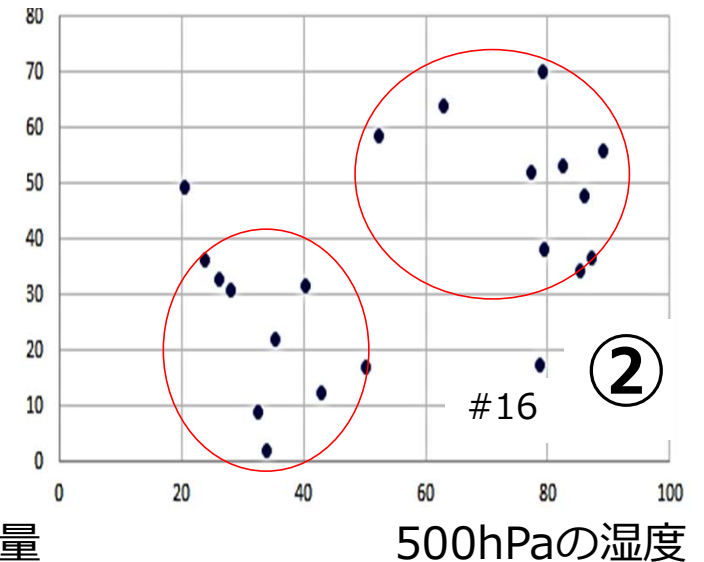
# 散布図を確認



高度925hPaの水蒸気輸送量



500hPaの湿度



九州北部の降水量と、18時における高度925hPaの水蒸気流量(左)と500hPaの湿度(右)との散布図。それぞれ、①(130E,33N)、②(128E,34.5E)を中心とした1.25度×1度の平均で評価した。

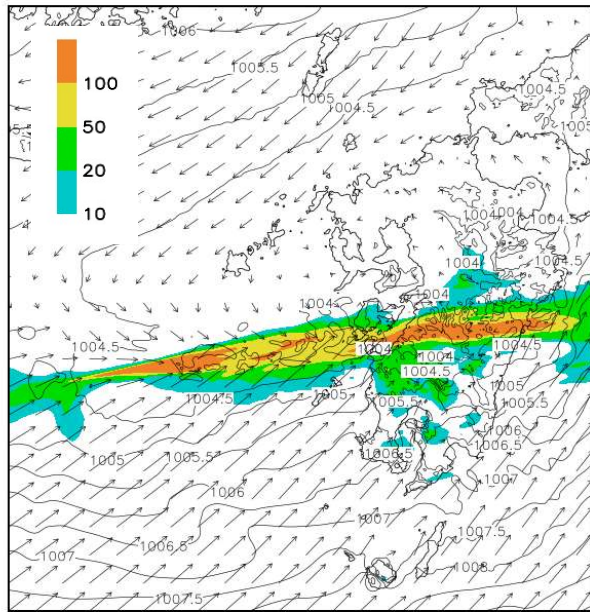
- 3時間前の925hPaの**水蒸気流量と降水量**は、外れているメンバーがあるものの、相関が比較的に大きく、**水蒸気流量が増えるほど降水量が大きくなっているアクセル型の要因**と考えられる。
- 500hPaの湿度では他の条件の寄与により解釈が難しいが、**散布図が2つのグループに分かれて見えることから、スイッチ型の要因**と考えられる。

# メソアンサンプルを用いた線状降水帯の予測

## 考え方と流れ

- (1) 格子間隔5kmのメソアンサンプルでは線状降水帯を強い降水は表現できない。線状降水帯は弱い雨域で表現していると考え、**組織化(持続⇒降水量に反映)を補強**する。
- (2) **高分解能モデルを用いて典型的な事例、もしくは同じ事例で実験して、組織化のパラメータ(今回は3時間降水量で約175mm)の閾値を得る。**(発生時刻・位置や強度は、粗い格子のメソアンサンプルでも表現されているはずと考える。)

7/3 18UTC

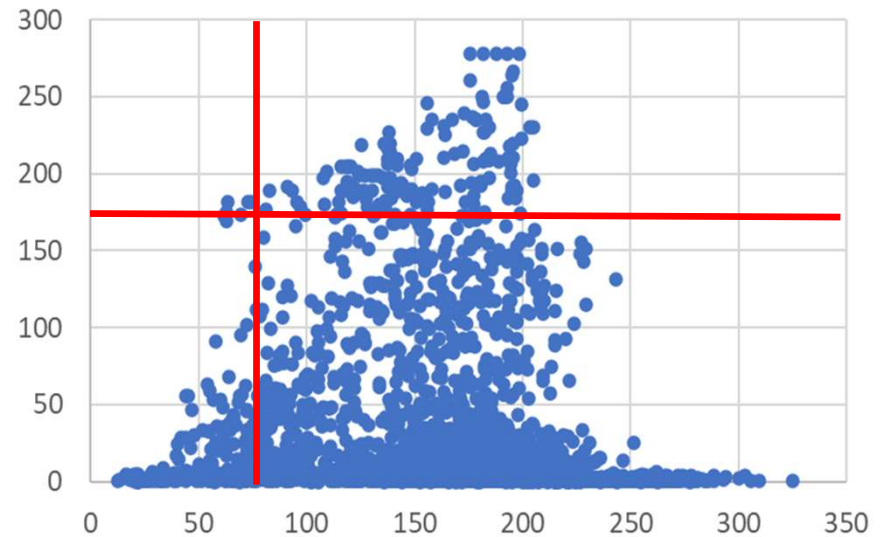


20

格子1km-asucaを用いて、再現した令和2年7月豪雨の降水分布

(縦軸)  
3時間内に  
到達する  
範囲内のR3の  
最大値。  
(3時間雨量が  
0.1mm以下の点。  
範囲を決めるのに  
950hPa の風向を  
考慮。)

80を閾値として選択



(横軸)950hPaと850hPa の鉛直シアの  
大きさ×925hPa の水蒸気量。  
(支援センターからのデータで算出可)

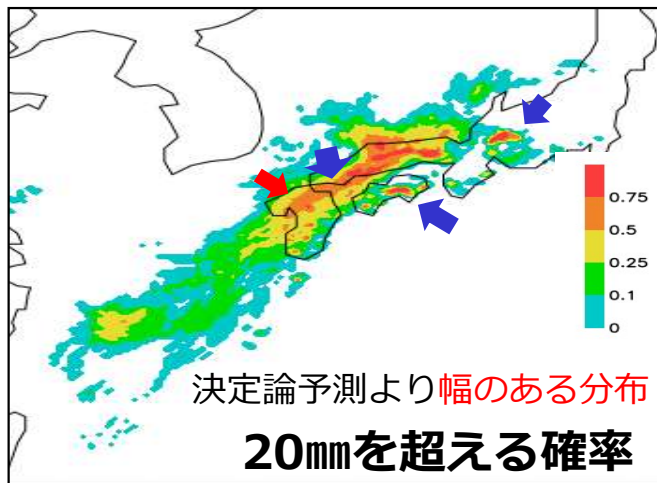


# メソアンサンプルを用いた線状降水帯の予測

## 考え方と流れ

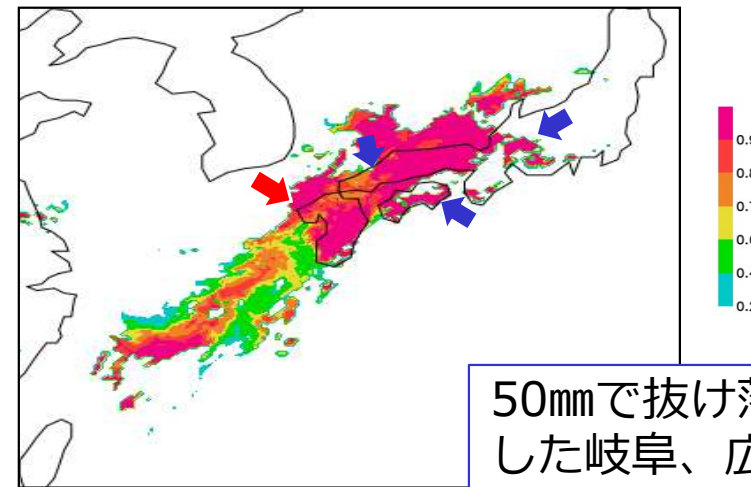
(3)5km格子のメソアンサンプルを用い、上記の閾値を超える割合で、線状降水帯の発生(3時間降水量で約175mm)の有無や確率を推定。

### 平成30年7月豪雨



降水が20mmを超える確率では、九州北部、岐阜、広島高知は50%以上。

### 閾値を超える確率

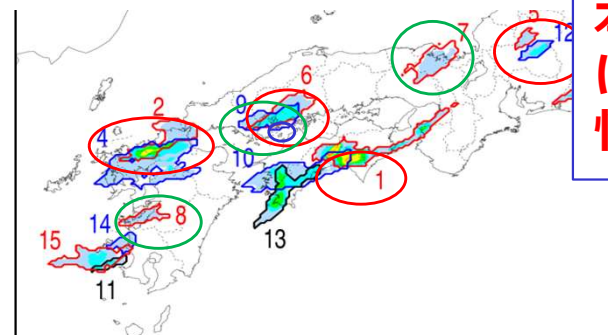


50mmで抜け落ちた発生した岐阜、広島、高知が拾えている。

**メソアンサンプルやMSMでは弱くても、本手法で、線状降水帯により大雨になる可能性ある地域が分かる。**

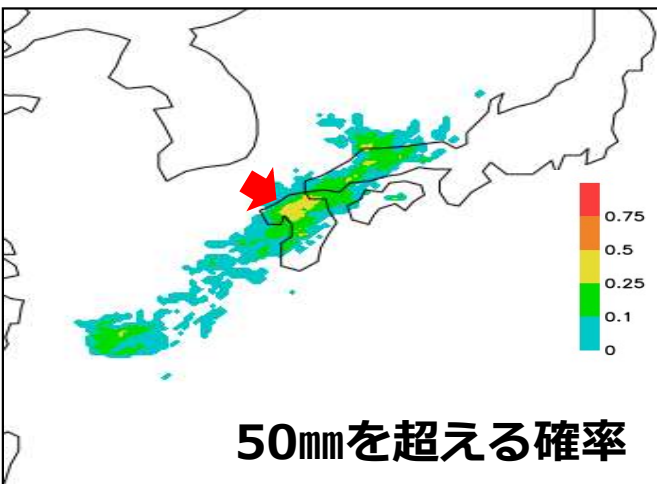
注目した期間に発生したものを○を付けた。更に3時間後は○。

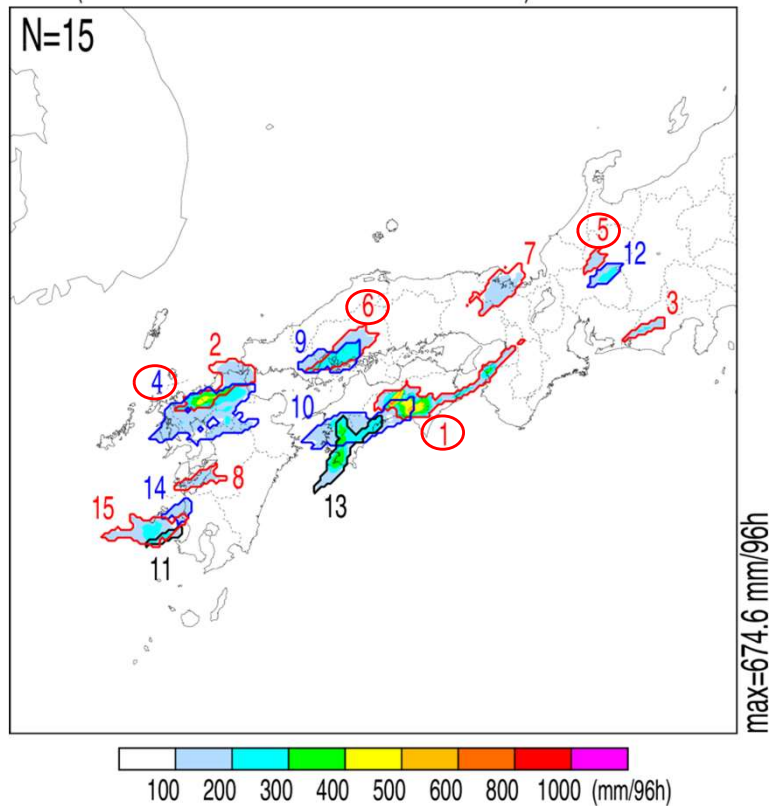
### 実際に発生した線状降水帯 (廣川さん作成)



50mmとすると岐阜、広島、高知は抜け落ちている。

### 50mmを超える確率





# 2018年 7月5日00JST - 9日00JSTの 線状降水帯による降雨 (廣川さん資料)

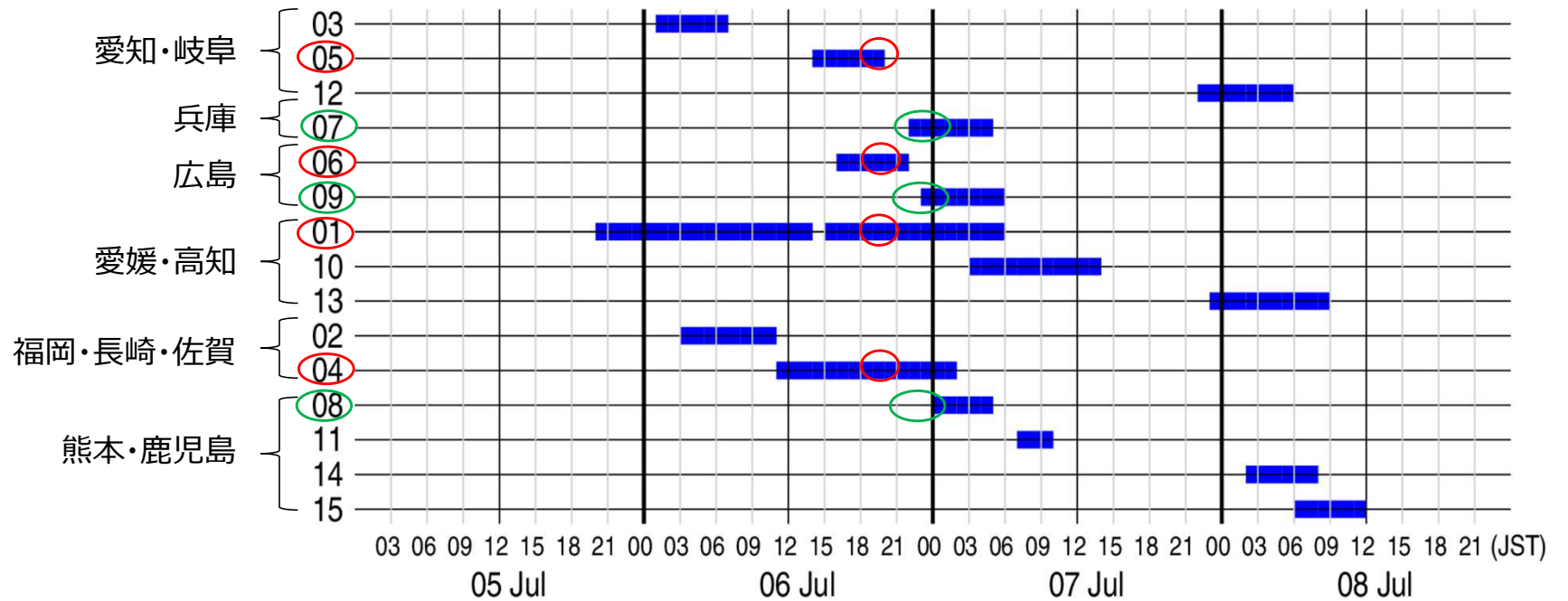
期間中、線状降水帯は15事例

線状降水帯による降雨の期間と地域  
(ステージ分類は北畠さんによる)

**STAGE 1**  
北からの寒気と南からの  
水蒸気が多い暖気

**STAGE 2**  
顕著な上層トラフ  
の東進

**STAGE 3**  
上層トラフの直下  
または通過後

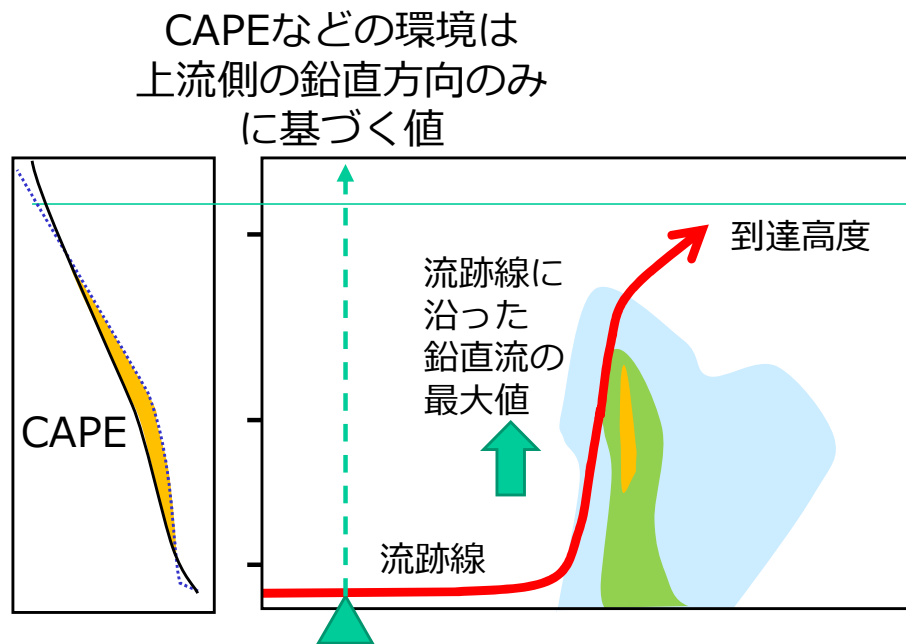


# 1km格子asucaの利用

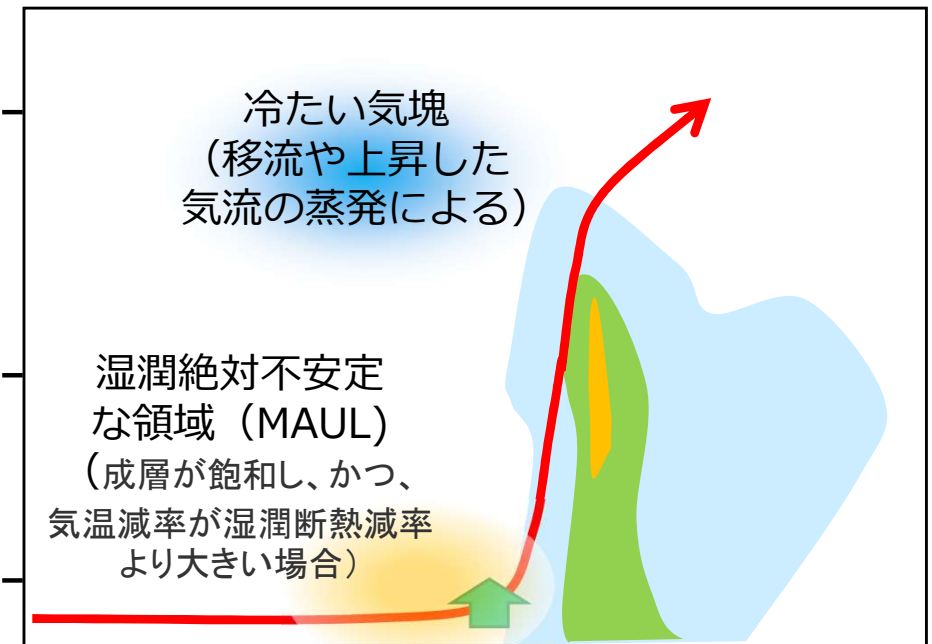
## -豪雨を引き起こした降水系の流跡線解析-

### 問題意識

- ・ 豪雨の環境や発生状況について、気流に基づいて理解したい。



CAPE等の環境は、上流側の情報でどこまで表されるのかを確認したい。  
(CAPEには周囲との混合がない等の欠点がある)



上空の冷たい気塊による不安定や、最近、注目され始めている湿潤絶対不安定な成層 (MAUL) を気流に基づいて理解したい。

# 予報モデルと再現実験

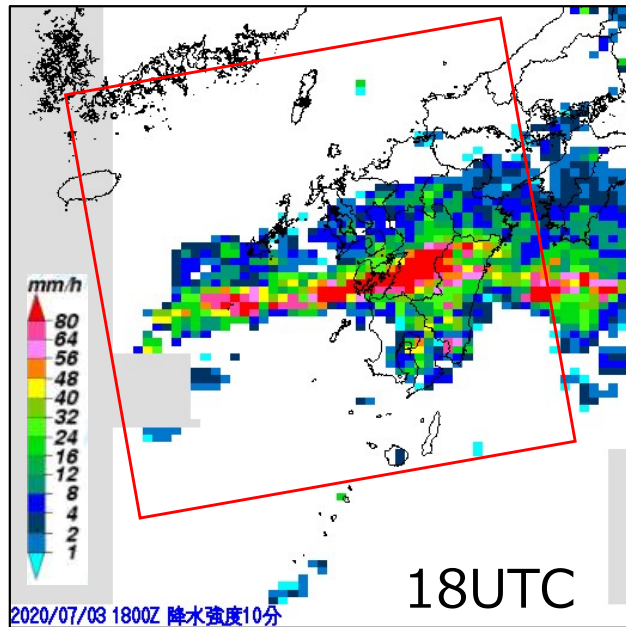
## (1) 数値予報モデル

asuca、水平格子間隔：1km。KFは利用しない。

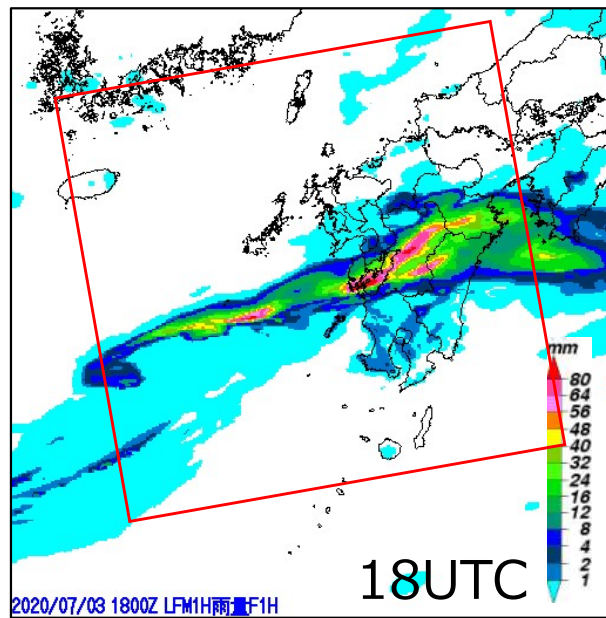
## (2) 再現実験

実験期間：7月3日 9 UTC~21UTC

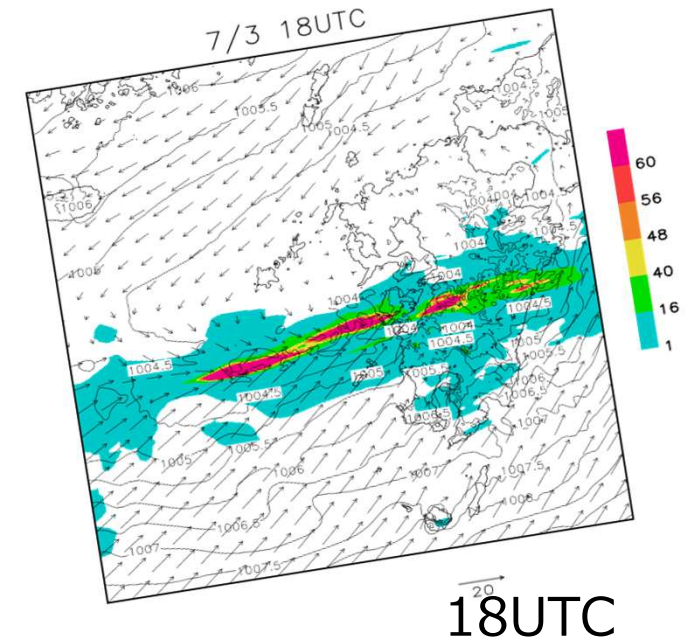
レーダー合成  
降水強度10分



LFM1時間降水量



1km格子 再現実験



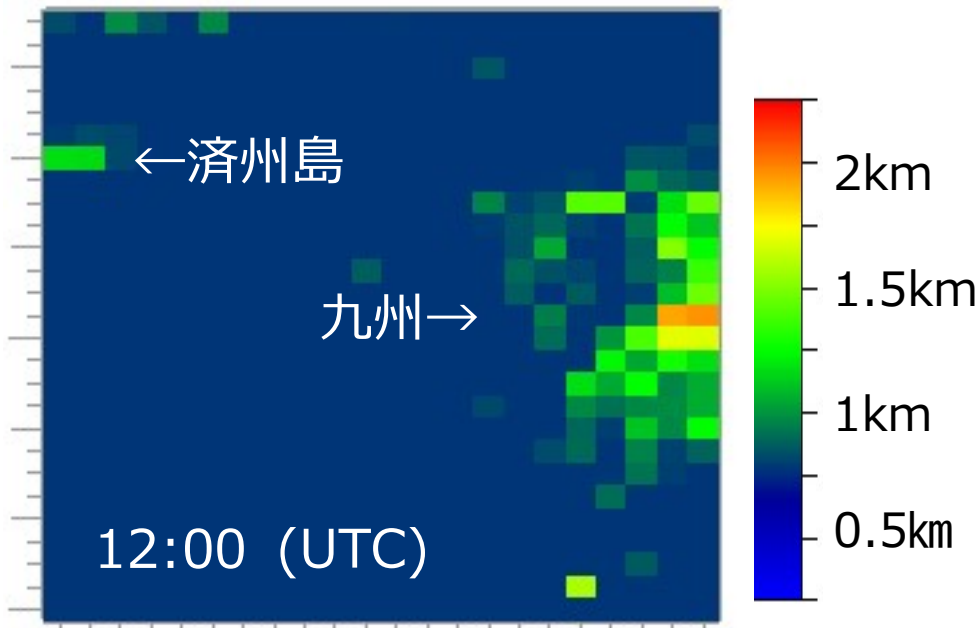
1kmの再現実験において、降水分布は概ね再現できている。

# 流跡線解析

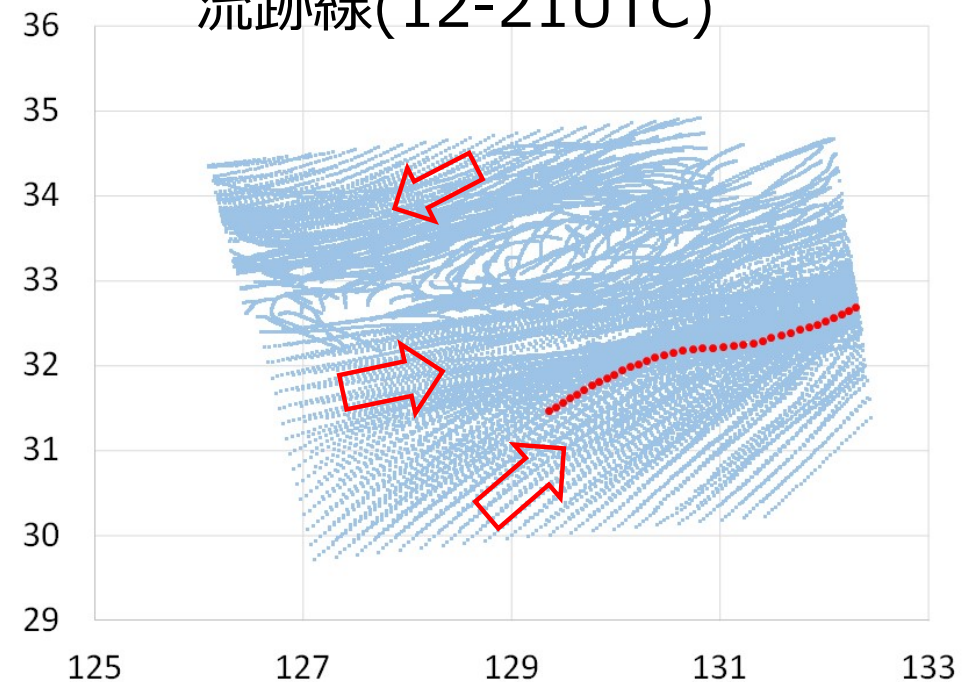
## (3) 流跡線解析

初期時刻の3時間後の12UTCから5分毎に出力を利用。  
パーセルを九州付近に高度525m(k=12)に東西南北に  
20km毎にパーセルを置き5分毎の3次元の風速で移動させる。

パーセル(z=525m)の設置範囲



流跡線(12-21UTC)



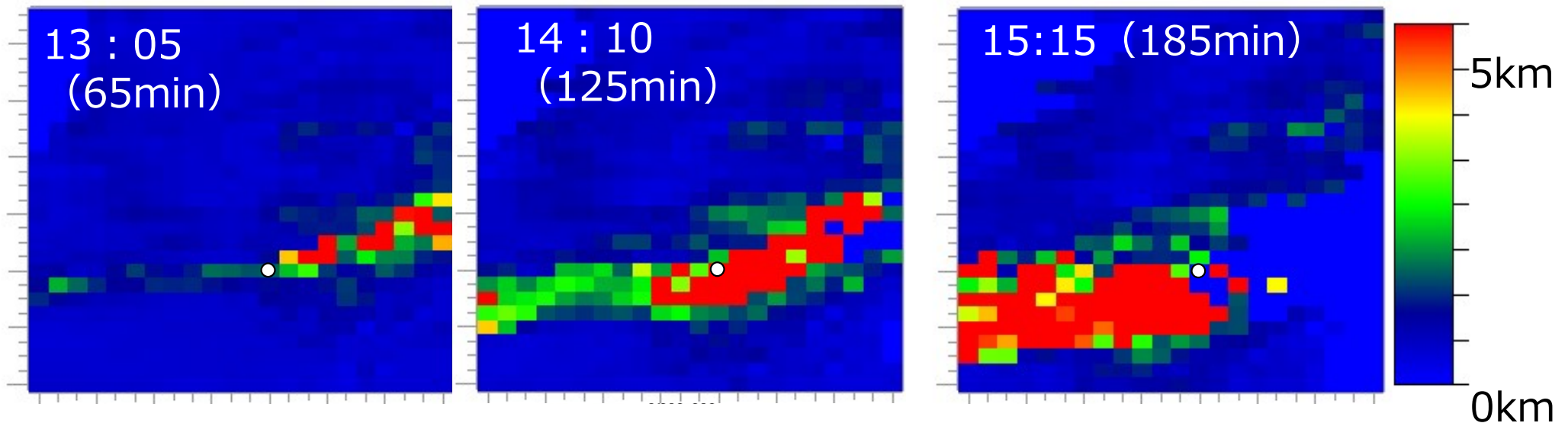
**流跡線解析は赤い流跡線に注目。**

# 流跡線解析

## (3) 流跡線解析

初期時刻の3時間後の12UTCから5分毎に出力を利用。  
パーセルを九州付近に高度525m(k=12)に東西南北に  
20km毎にパーセルを置き5分毎の3次元の風速で移動させる。

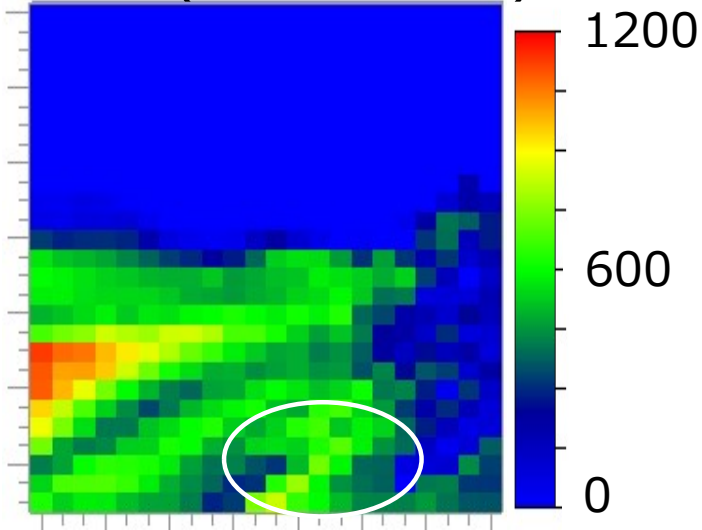
各時刻のパーセルの持つ高度（場所は追跡開始時刻12UTCの位置）



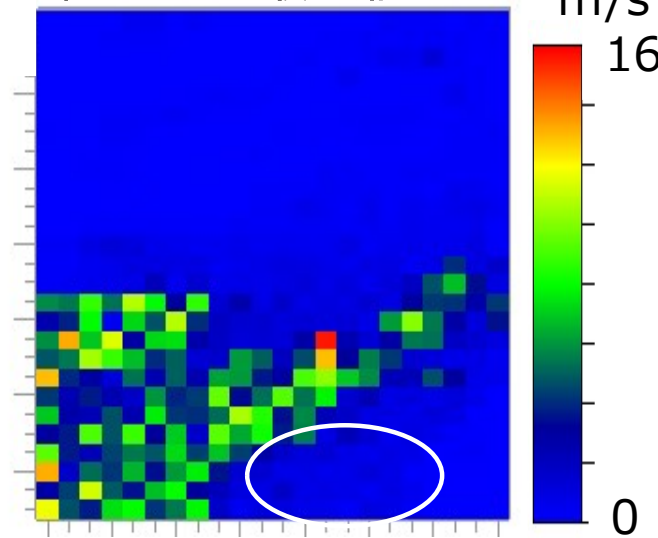
- 各時刻の高度を追跡開始時刻の位置に描画した。
- 南西側からの気流が上昇している。時刻と共により南西側に起源がある気塊が上昇していることがわかる。
- 流跡線解析は白丸の位置のものを注目。

# CAPEと流跡線上の上昇流の最大値、到達高度

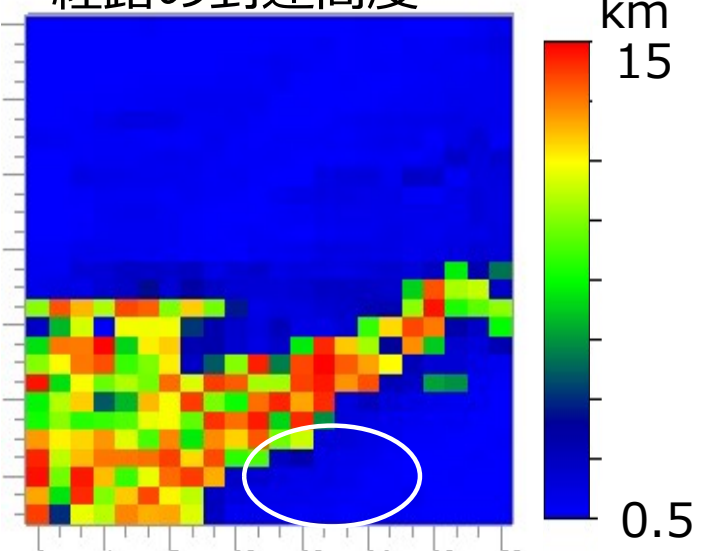
CAPE(追跡開始時刻)



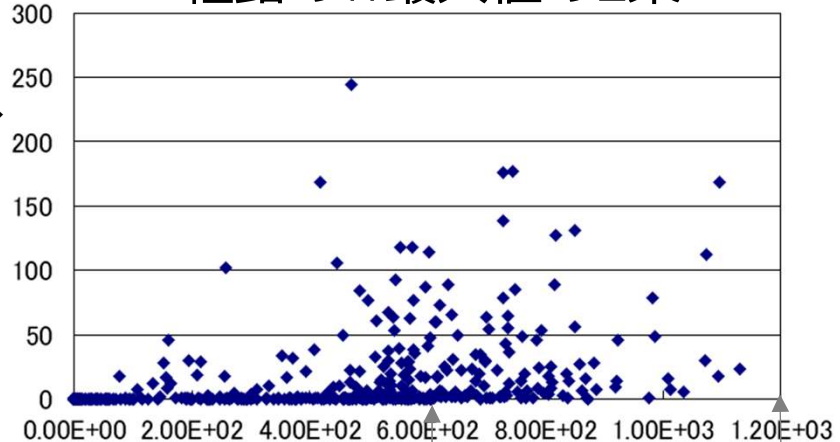
経路のw最大値



経路の到達高度



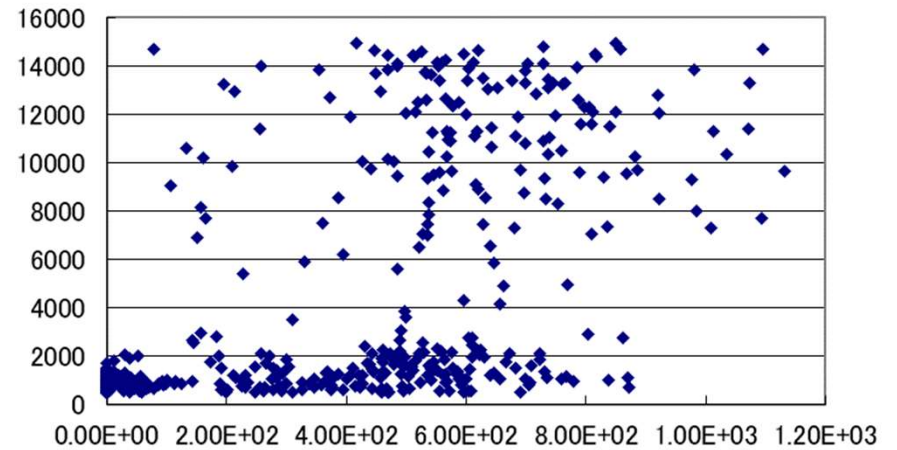
経路のw最大値の2乗



wが  
15m/s  
程度  
↑  
値が合わない  
のは周りとの  
混合の効果。  
(5分毎では最大値  
を捉えられないこ  
ともある)

CAPE(追跡開始時刻)  
CAPEで得られるw最大値: 35m/sに相当 50m/sに相当

経路の到達高度

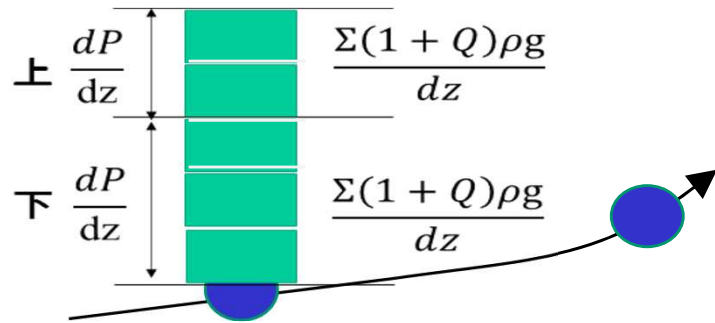


CAPE(追跡開始時刻)

- 追跡開始時刻のCAPEの分布は**大まかに鉛直流や到達高度と対応している。**
- 上昇しない気塊にもCAPEが高い部分があり(○)、細かく見ると対応しない。

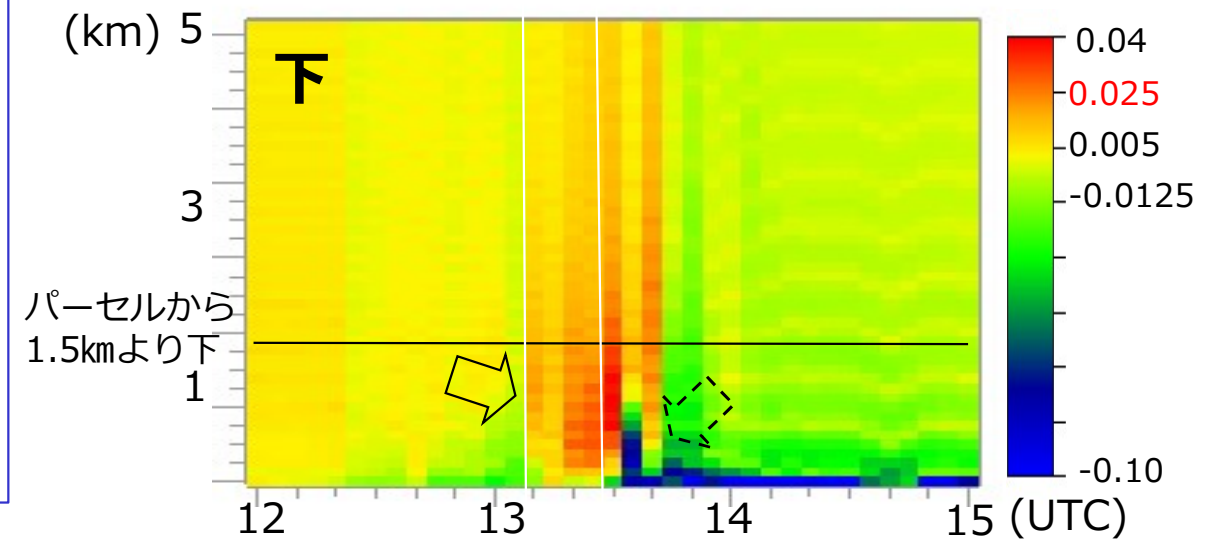
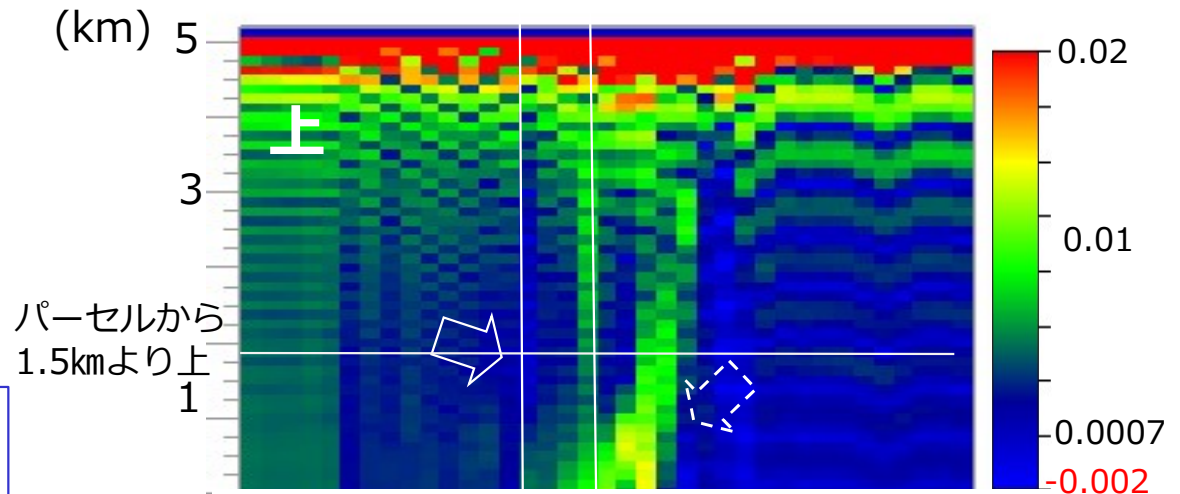
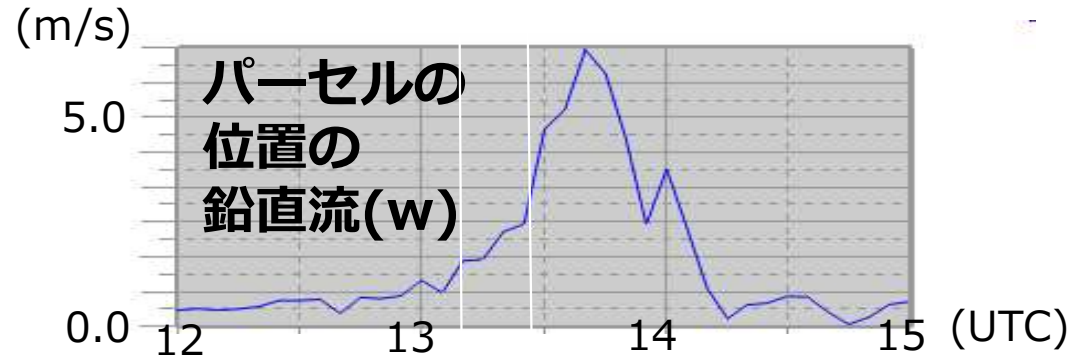
# 上空の冷たい気塊の効果

## 鉛直方向の加速度の計算



パーセル(●)から上側に100m毎の50層を考え、1-49層まで高度を変えて、その上側と下側で鉛直方向の気圧傾度と重力の差を計算。

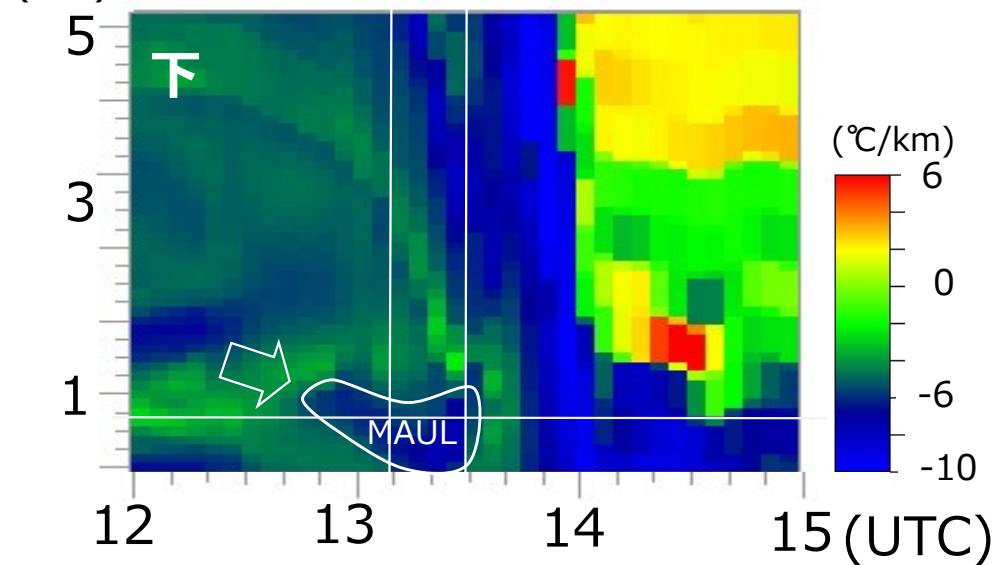
- 13時10分にパーセルが飽和。パーセルの上1.5km(地表から2-3.5km)までに上への加速域(下図の黒⇒)。
- その上(1.5kmより上、地表から3.5kmより上)に下向きの加速域(上図の白⇒)。値は小さい。
- パーセルは上向きの加速にとり残される(破線の⇒)



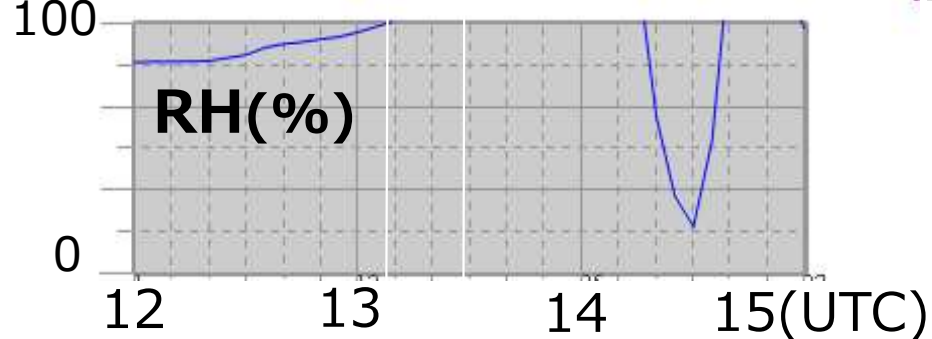
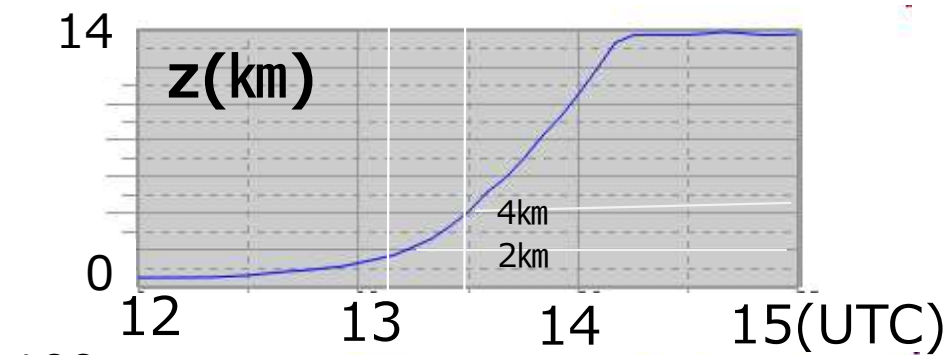
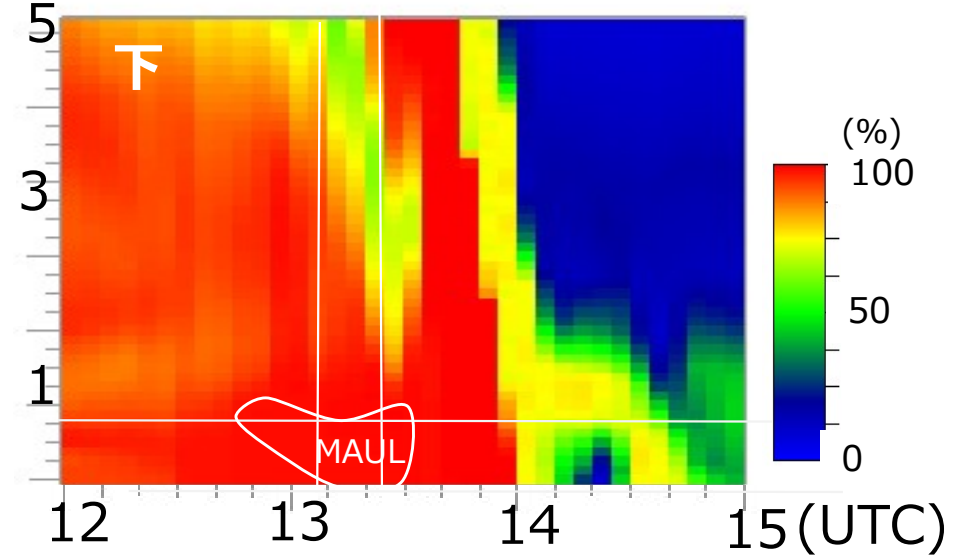


# 湿潤絶対不安定な成層(MAUL)の重要性

(km) パーセルの上側の温度減率



(km) パーセルの上側の平均湿度



- 13時10分付近の上向き加速度が現れた部分(黒い○)の下側にMAUL (温度減率が大きくほぼ飽和。白い○)。
- この状態が持続した20分間にパーセルは2kmから4kmに上昇。
- MAULの状態を經由し、対流が発達している。

# まとめ

- 気象庁現業のメソアンサンプル予報を用いて相関解析が行える事例があることがわかった。
- サンプルングエラー等により豪雨との関係がわかりにくい相関分布でも、下層の気塊の流入や上層のトラフなど、既知の知見を用いると豪雨の降水量に寄与する領域が取り出せる可能性がある。
- 散布図から、降水量を決める要因としてアクセル型とスイッチ型があることがわかった。
- 環境と豪雨の関係と高分解能モデルで求め、その関係を格子の粗いメソアンサンプル予報に適用する手法を提案した。
- 格子間隔1kmのasucaを用いて、流跡線解析を行った。
- CAPEと流跡線上の上昇流の大きい領域は一致しないが、大まかに見て対応している（だから利用されている）。
- 気流の上昇はMAULの状態を経て、凝結により強まる。  
この事例で注目したパーセルは、上空の冷たい気塊の影響はパーセルの1.5kmぐらいの上側にあるが、効果は小さい。