

2012-05-06 03:00:00

2012年5月6日関東地方における竜巻の発生環境場とポテンシャル予報について

日本気象株式会社
応用気象グループ 予報課
櫻井 溪太

6th

306.00

310.00

326.00

330.00

2012年5月6日に発生した竜巻

平成24年5月6日に発生した竜巻の被害範囲(関東)

③

茨城県筑西市・桜川市

竜巻(F1)

被害長さ:約21km、被害幅:約600m

②

栃木県真岡市・益子町・茂木町・
茨城県常陸大宮市

竜巻(F1~F2)

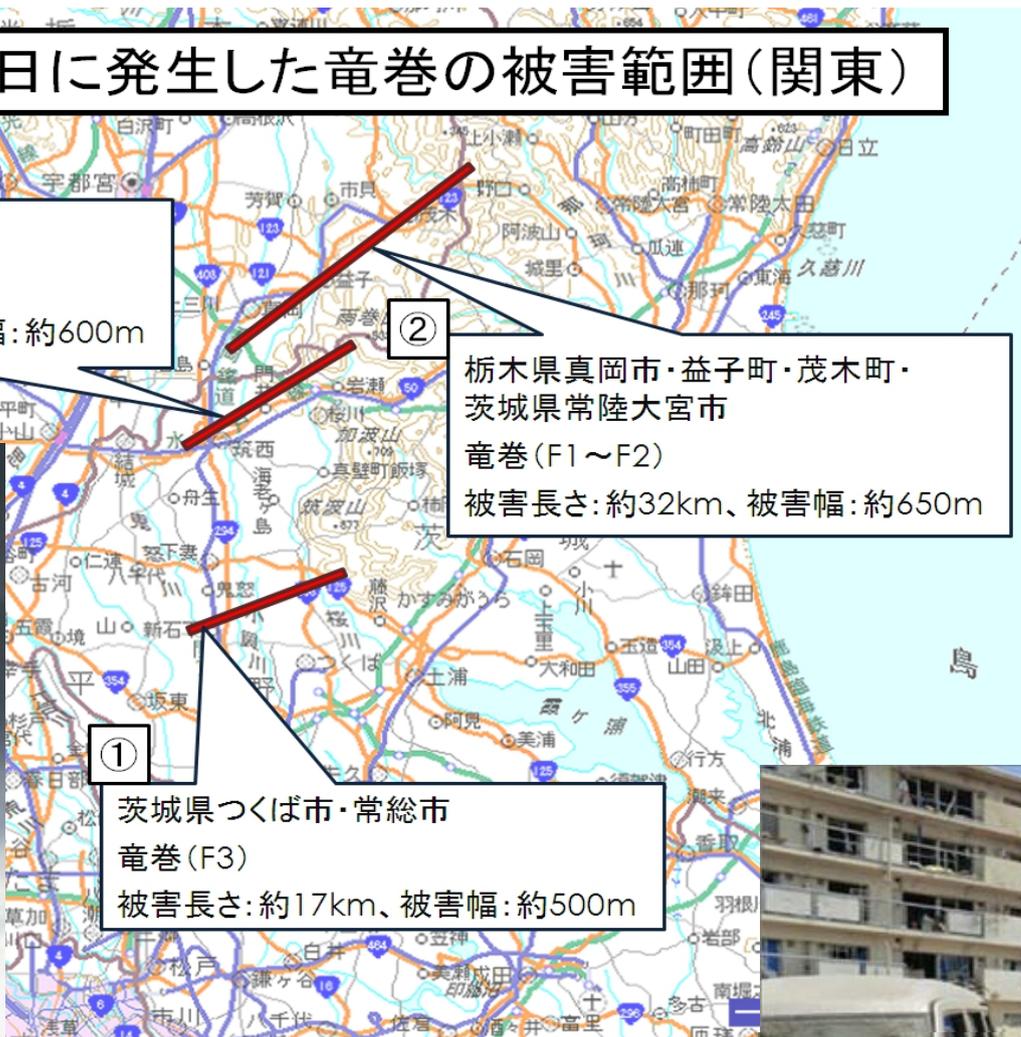
被害長さ:約32km、被害幅:約650m

①

茨城県つくば市・常総市

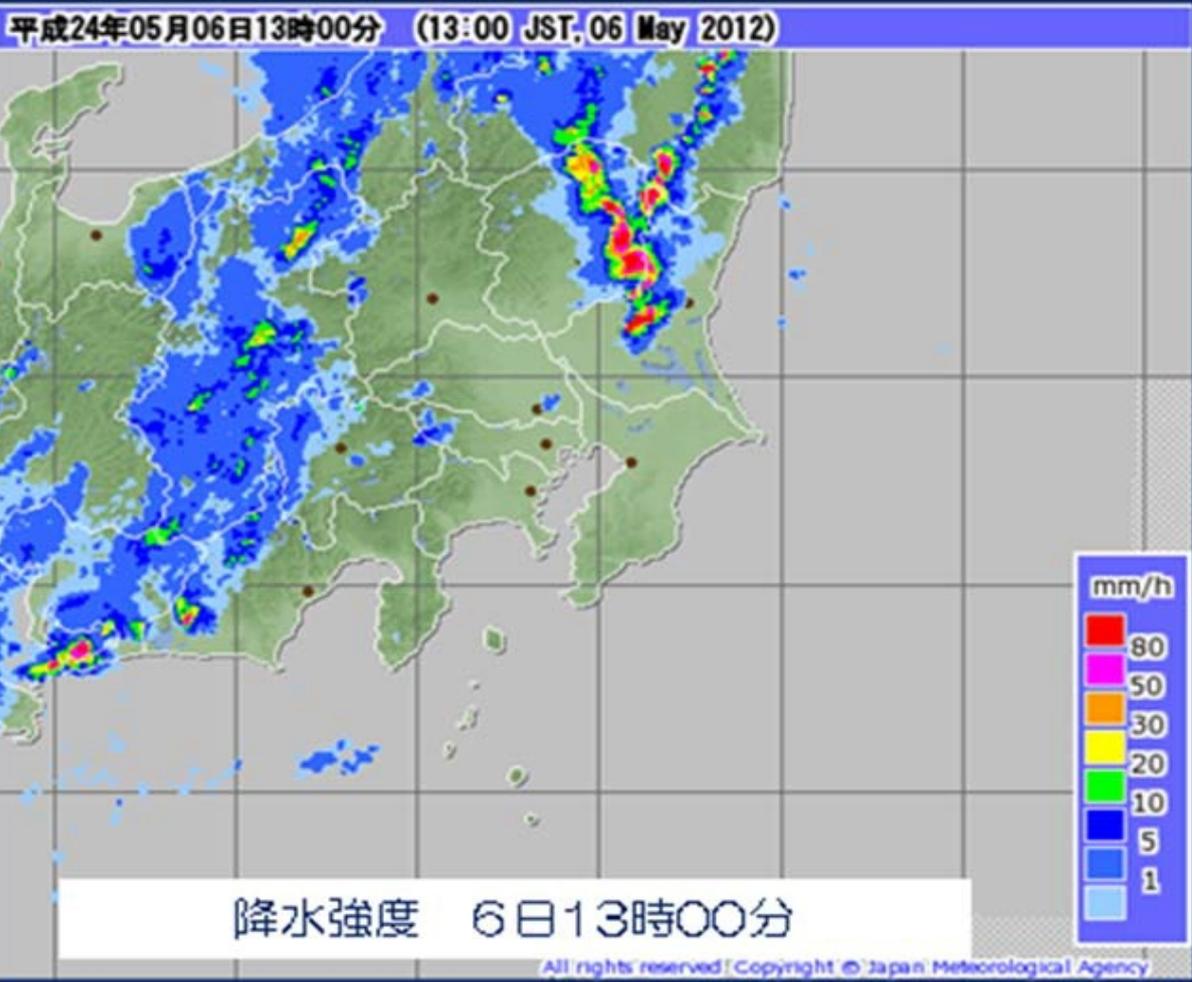
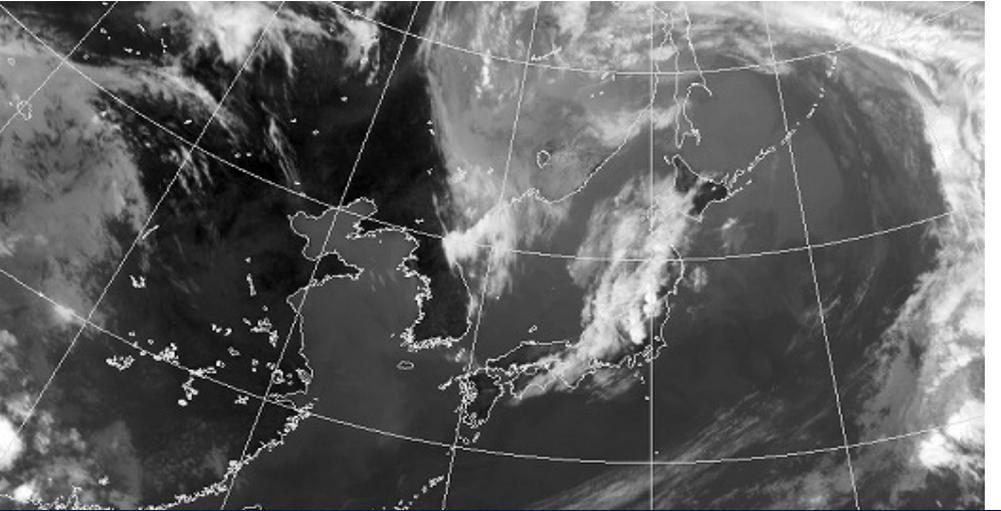
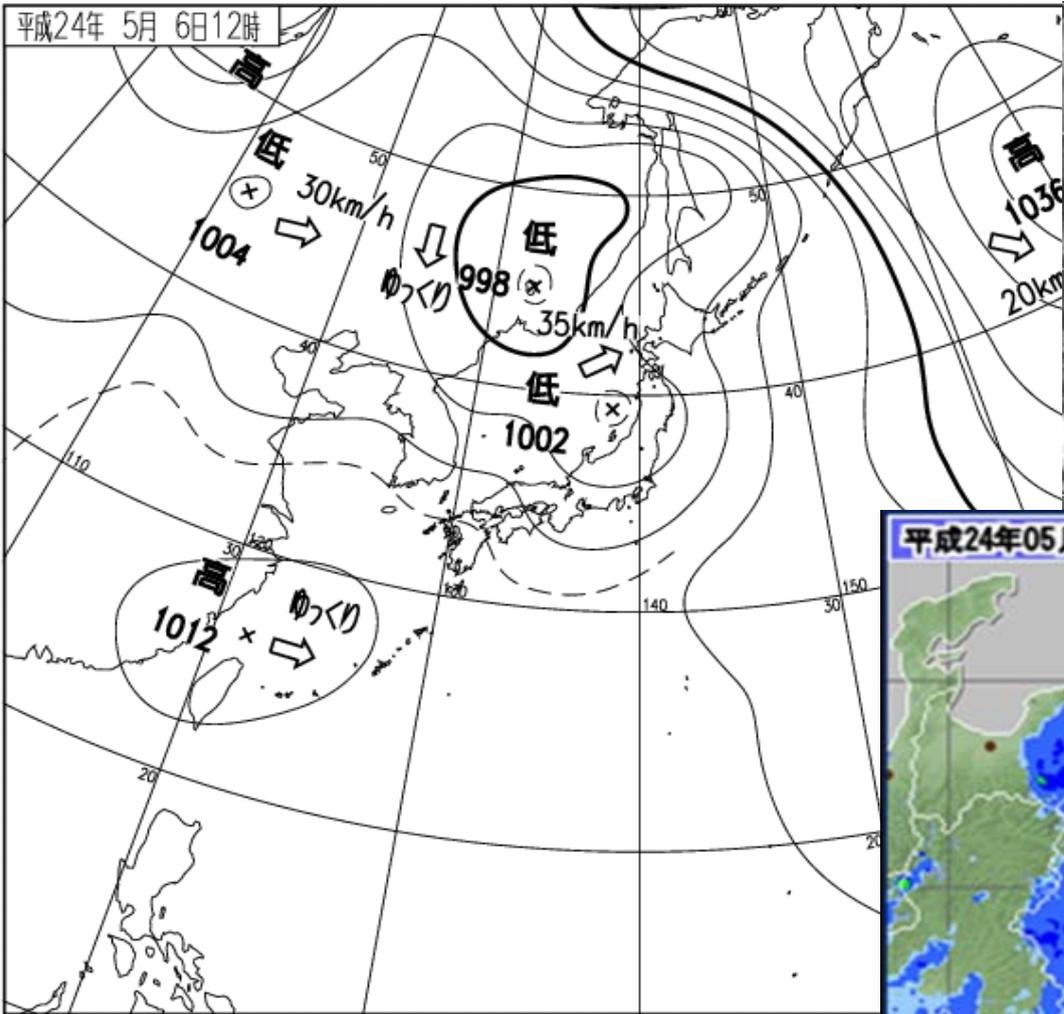
竜巻(F3)

被害長さ:約17km、被害幅:約500m



※平成24年5月6日に発生した竜巻について(報告)(気象庁報道発表資料)

平成24年 5月 6日12時

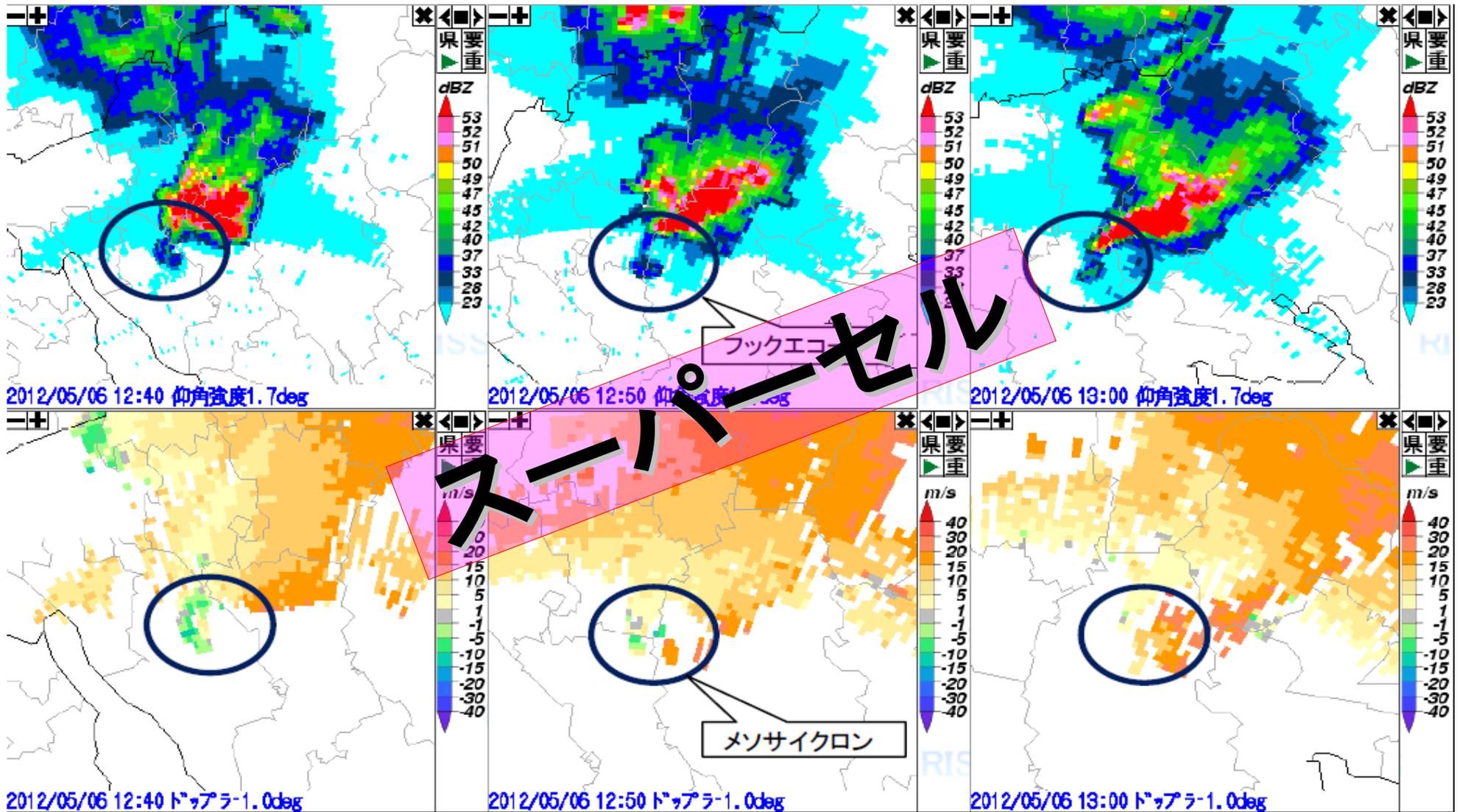


気象概況

- 500hPaで-21度以下の寒気
 - 日本海の低気圧に伴う暖湿気
 - 日射による地上気温の上昇
- ⇒不安定性雷雨
落雷、突風、降雹

※平成24年5月6日に発生した竜巻について(報告)(気象庁報道発表資料)

常総市～つくば市の竜巻の親雲

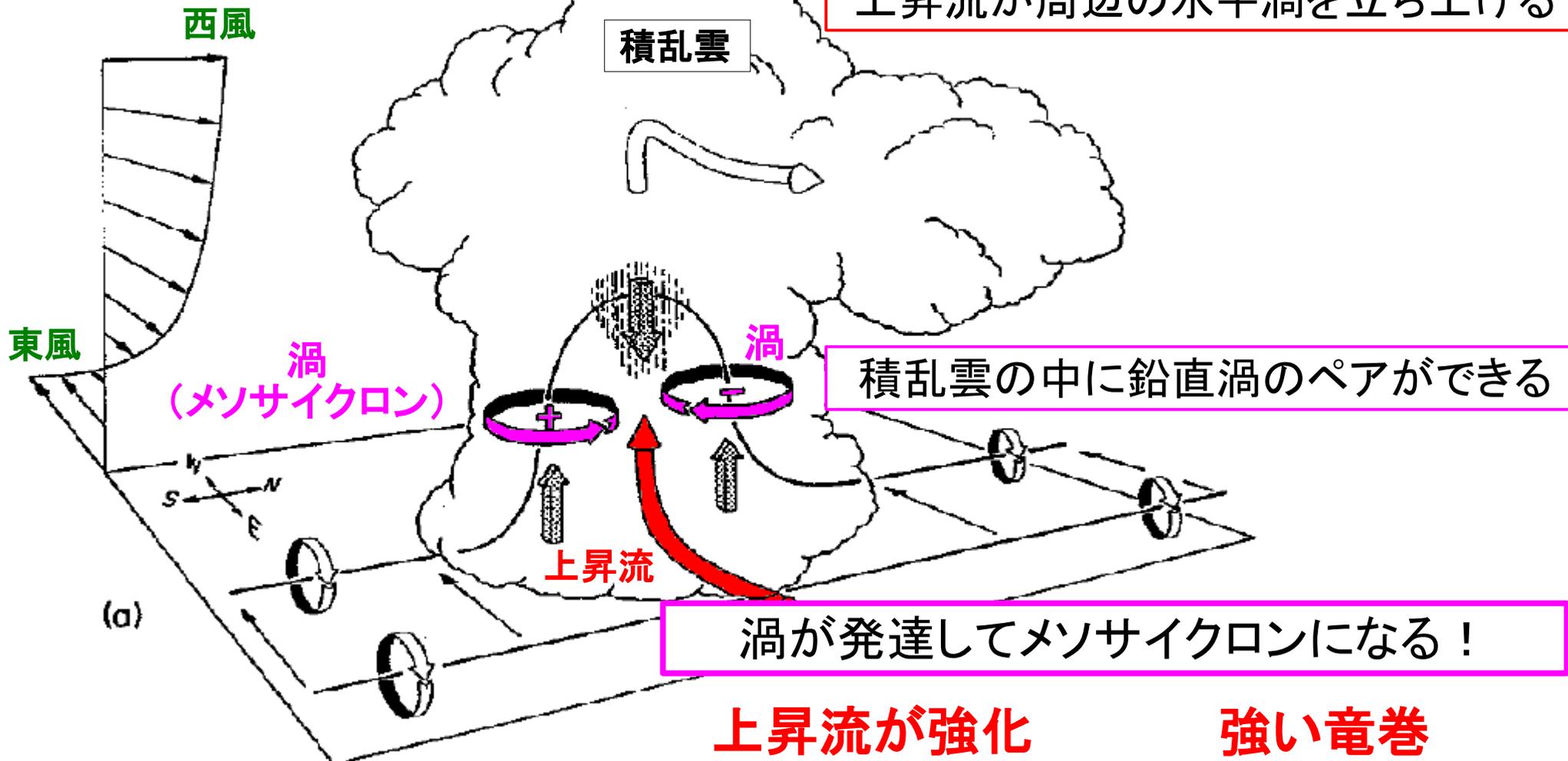


※平成24年5月6日に発生した竜巻について(報告)(気象庁報道発表資料)

スーパーセルの力学

周辺の風が高さとともに風向変化
(鉛直シア)

上昇流が周辺の水平渦を立ち上げる



積乱雲の中に鉛直渦のペアができる

渦が発達してメソサイクロンになる！

上昇流が強化

強い竜巻

(※Klemp(1987)の図を加工)

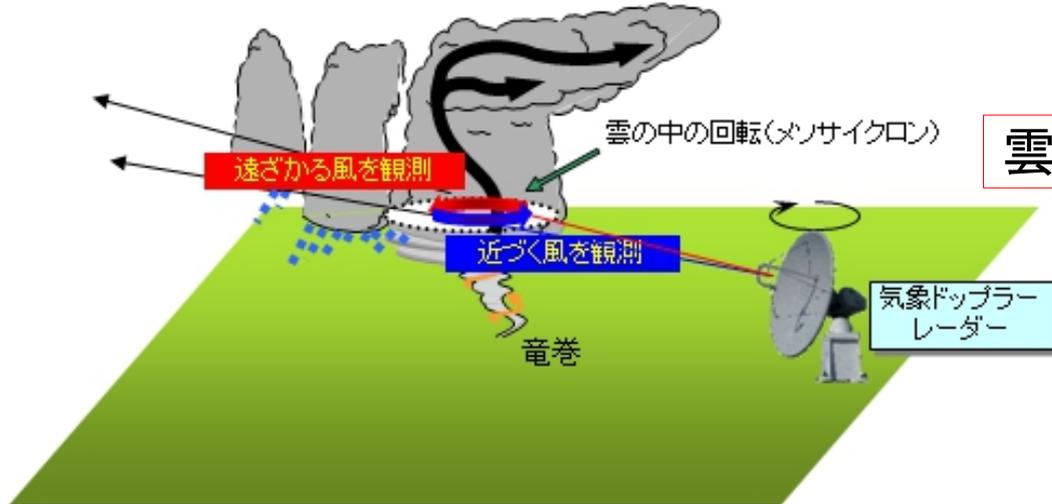
気象庁の竜巻予測

「竜巻注意情報」

発表を確認できる場所：
テレビ
ラジオ
気象庁HP
携帯お天気サイト(お天気ナビゲータ)

ドップラーレーダーによる観測

発達した積乱雲



雲の中の回転(メソサイクロン)を検出！

スーパーセル

竜巻発生確度ナウキャスト
(常時10分毎)

気象情報(随時)
前日や当日朝など

この段階では
何も表示
されない

雷注意報
(数時間前)

竜巻が今にも発生する
(または発生している)
可能性がある

竜巻注意情報

竜巻発生確度ナウキャスト
に着目

各段階での基本的な対応

【半日～1日後に竜巻等が発生する可能性がある】

- ・行動計画の点検、危険回避行動などを検討する。
- ・今後の気象情報(雷注意報など)に注意する。

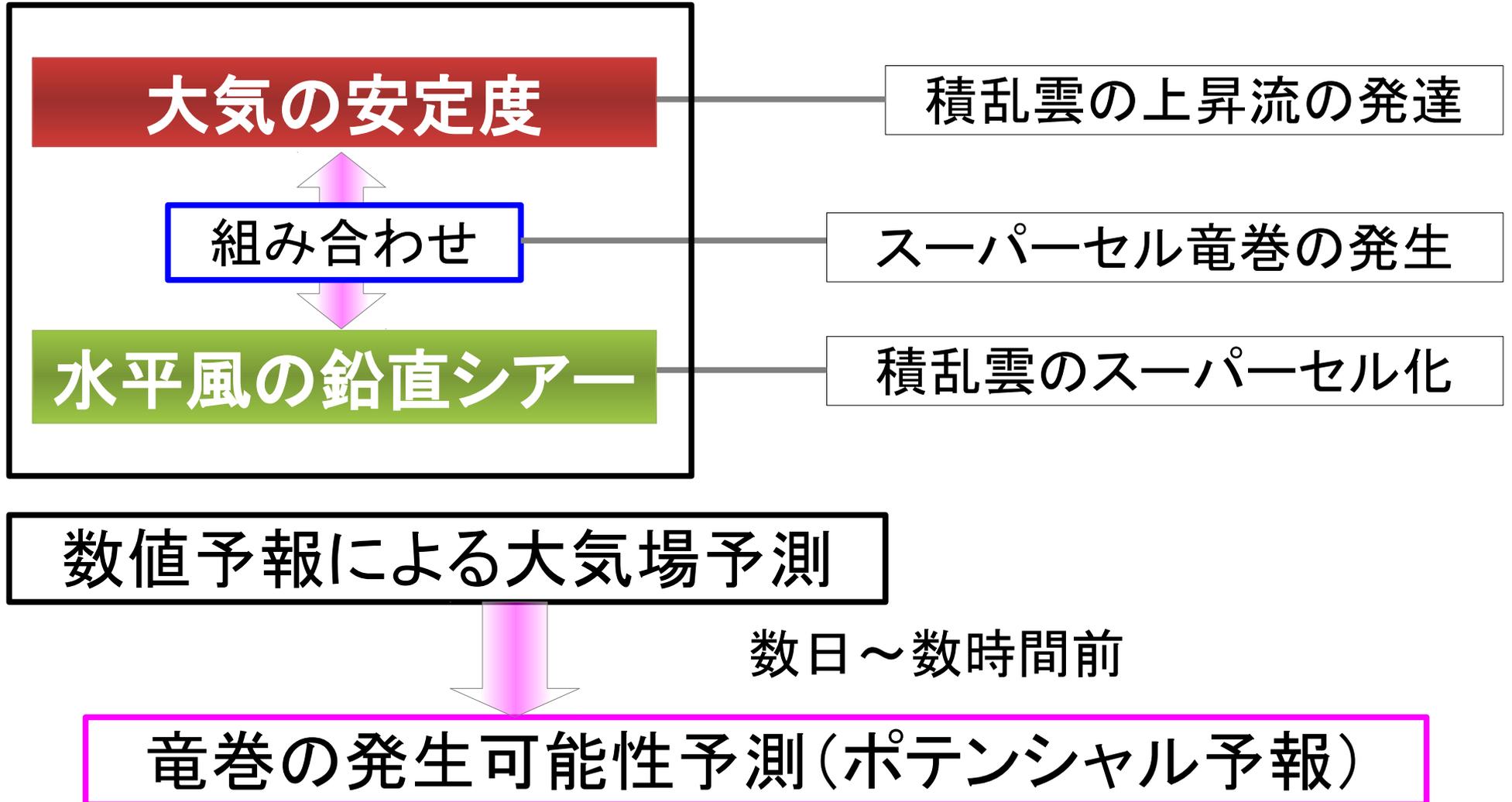
【数時間以内に竜巻等が発生する可能性がある】

- ・安全対策に時間を要する場合は、もしものときの危険回避行動を確認する。
- ・周辺の気象状況の変化や今後の気象情報(竜巻発生確度ナウキャストなど)に注意する。

【竜巻等が発生しやすい気象状況になっている】

- ・発達した積乱雲が発生しており、積乱雲の近辺では竜巻等が発生しやすい気象状況である。
- ・竜巻発生確度ナウキャストで、竜巻等が発生する可能性のある地域を確認する。
- ・安全確保に時間を要する場合には、1時間先までの予測も利用して早めの危険回避準備をする。
- ・周囲の空の変化に注意し、積乱雲が近づく兆しがあれば、危険回避行動をとる。

ポテンシャル予報



環境パラメータ

大気の安定度

- **対流有効位置エネルギー**

Convective Available Potential Energy

$$CAPE = g \int_{LFC}^{LNB} \frac{T_{vp}(z) - T_{ve}(z)}{T_{ve}(z)} dz$$

T_{vp} : 空気塊の仮温度, T_{ve} : 環境場の温度
LFC: 自由対流高度, LNB: 浮力中立高度

- CIN
- SSI
- Li
- Ki
- TT
- 0-3km lapse rate
- $\max\theta_e - \min\theta_e$ (相当温位差)

水平風の鉛直シアーの大きさ

- **ストームに相対的なヘリシティ**

Storm Relative Helicity

$$SRH = - \int_0^h k \cdot (\mathbf{V}(z) - \mathbf{C}) \times \frac{\partial \mathbf{V}(z)}{\partial z} dz$$

\mathbf{V} : 水平風, \mathbf{C} : ストームの移動, h : 高度

- **バルク・シアーBulk Shear(BS)**

鉛直シアーベクトルの大きさ

- MS
- BRNS

複合パラメータ

- **Significant Tornado Parameter**

$$STP = \left(\frac{mlCAPE}{1000Jkg^{-1}} \right) \times \left(\frac{0 - 6kmBS}{20ms^{-1}} \right) \times \left(\frac{0 - 1kmSRH}{100m^2s^{-2}} \right) \times \left(\frac{(2000 - mlLCL)}{1500m} \right)$$

- EHI
- VGP
- SCP
- KHI

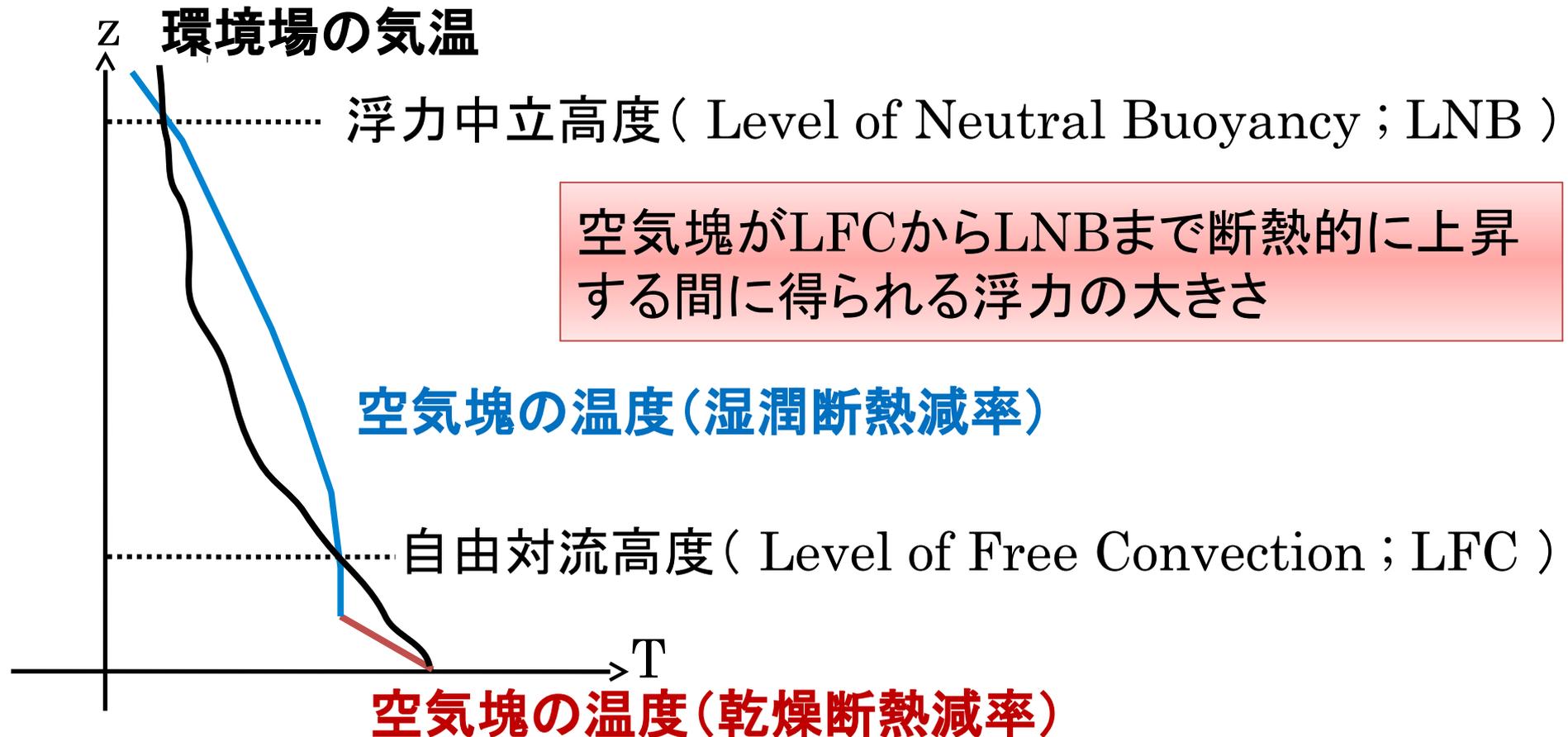
対流有効位置エネルギー

(Convective Available Potential Energy; CAPE)

(Moncrieff and Miller, 1976)

$$CAPE = g \int_{LFC}^{LNB} \frac{T_{vp}(z) - T_{ve}(z)}{T_{ve}(z)} dz$$

T_{vp} : 空気塊の仮温度, T_{ve} : 環境場の仮温度, g : 重力加速度



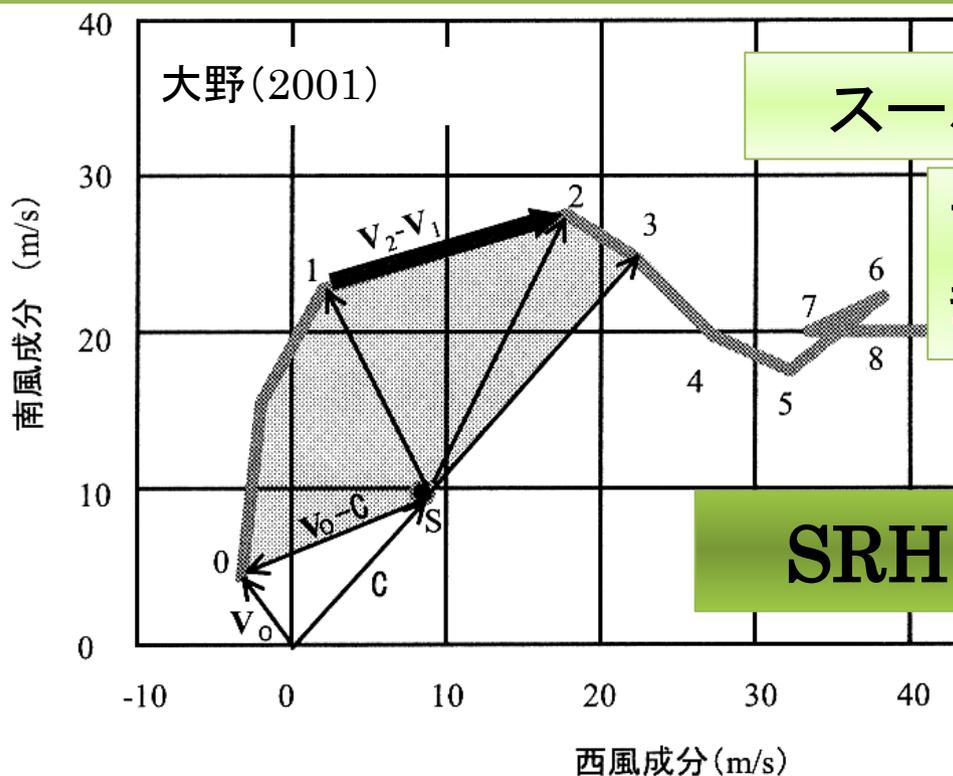
ストームに相対的なヘリシティ (Storm Relative Helicity; SRH) (Davies-Jones et al. 1990)

$$SRH = - \int_0^h k \cdot (V(z) - C) \times \frac{\partial V(z)}{\partial z} dz$$

C : 雷雨の移動ベクトル (Bunkers et al. 2000)

V : 水平風, k : 鉛直方向の単位ベクトル, h : 高度

雷雨に吹き込む下層風が雷雨の中へと運び込む回転(渦)の大きさ



スーパーセル発達に適した風のホドグラフ

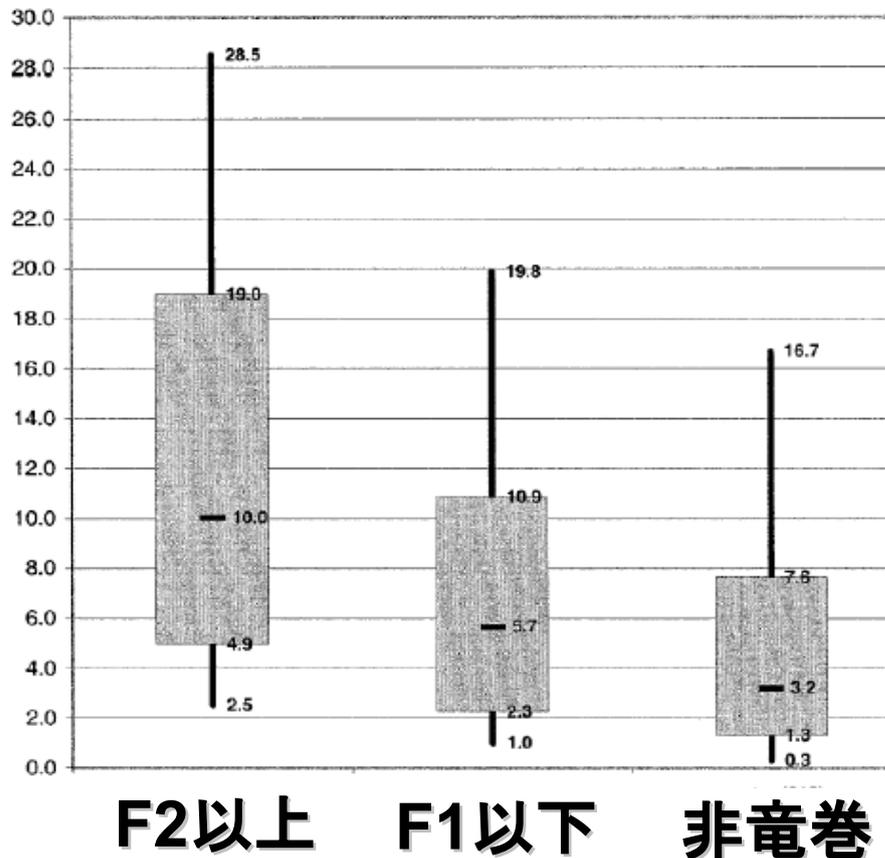
下層(0-3km)の鉛直シアベクトルの向きが時計回りに回転している

SRH = 陰の付いた扇形の面積の2倍

環境パラメータ

Significant Tornado Parameter (Thompson et al., 2003)

$$STP = \left(\frac{mlCAPE}{1000Jkg^{-1}} \right) \times \left(\frac{0 - 6kmBS}{20ms^{-1}} \right) \times \left(\frac{0 - 1kmSRH}{100m^2s^{-2}} \right) \times \left(\frac{(2000 - mlLCL)}{1500m} \right)$$



STP > 1.0

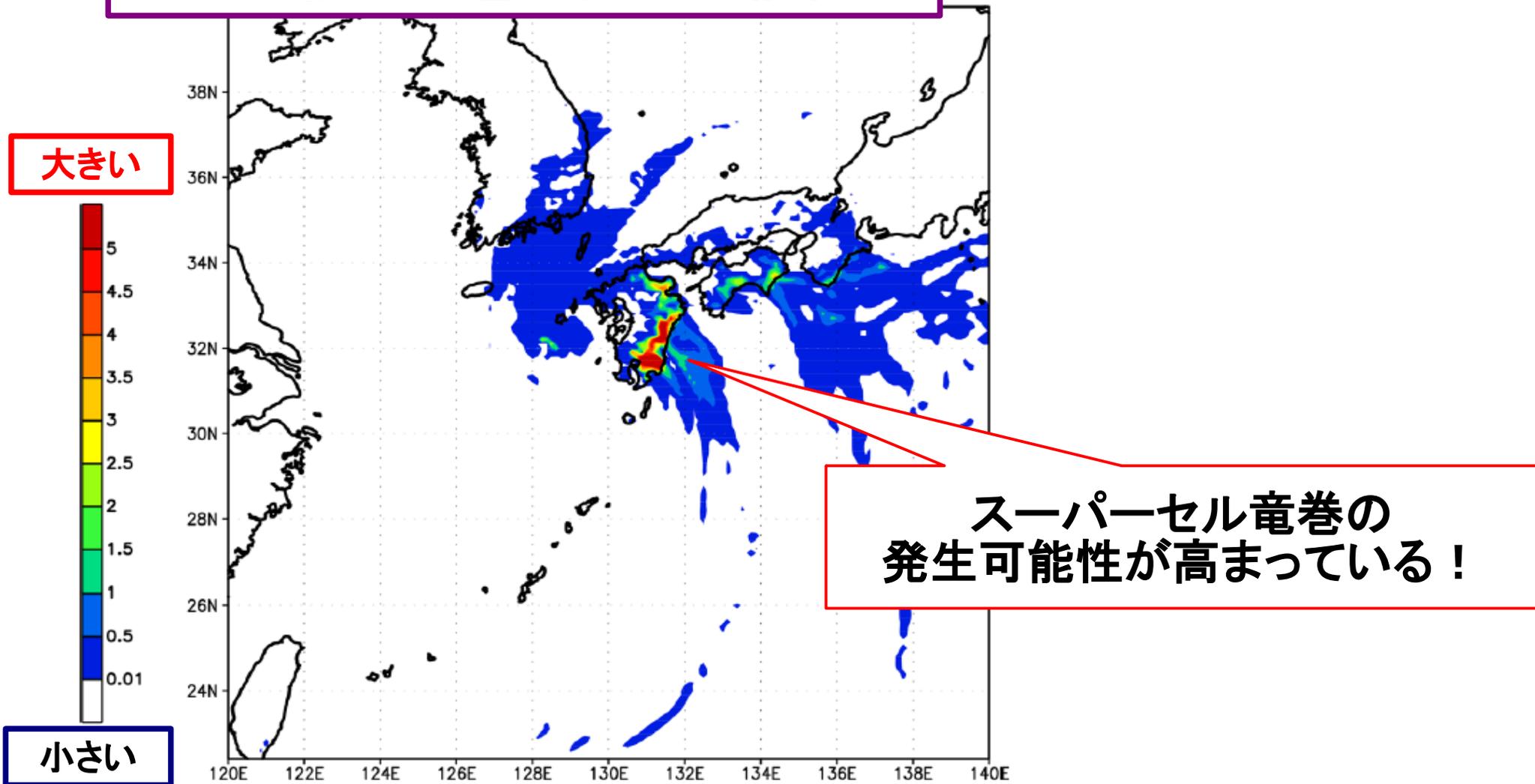
F2以上の強い竜巻
を伴う雷雨の検出
に有効

竜巻予測の事例 (Sakurai and Mukougawa, 2009, SOLA)

2006年9月17日台風13号に伴う竜巻

2006年9月17日9時から6時間後(竜巻発生時刻)の数値予報

STP(強い竜巻の発生可能性)

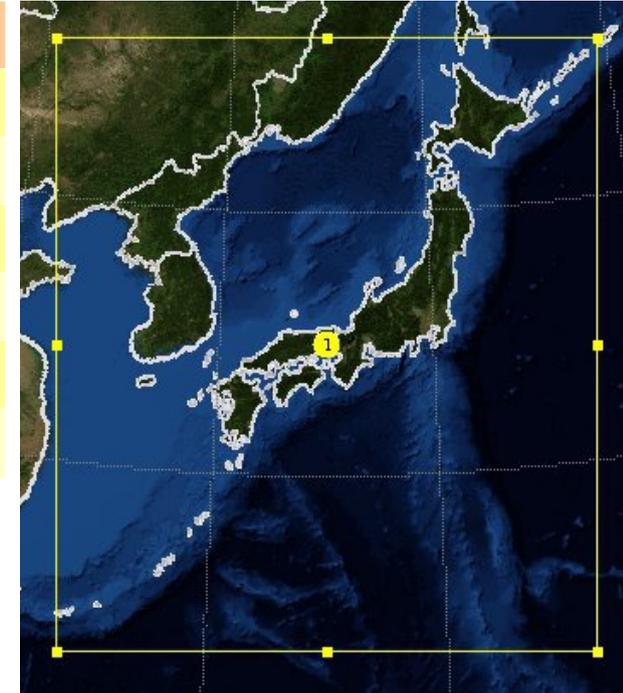


5月6日の竜巻ポテンシャル予報

使用データ

5km格子WRFモデル

モデル	WRF-ARW
領域, 格子数	日本域, 466 × 521
水平解像度	5 km × 5 km
鉛直層数	35 層
Time step	30 s
初期時刻	00, 06, 12, 18 UTC
積分時間, 出力間隔	54 h, 1 hourly

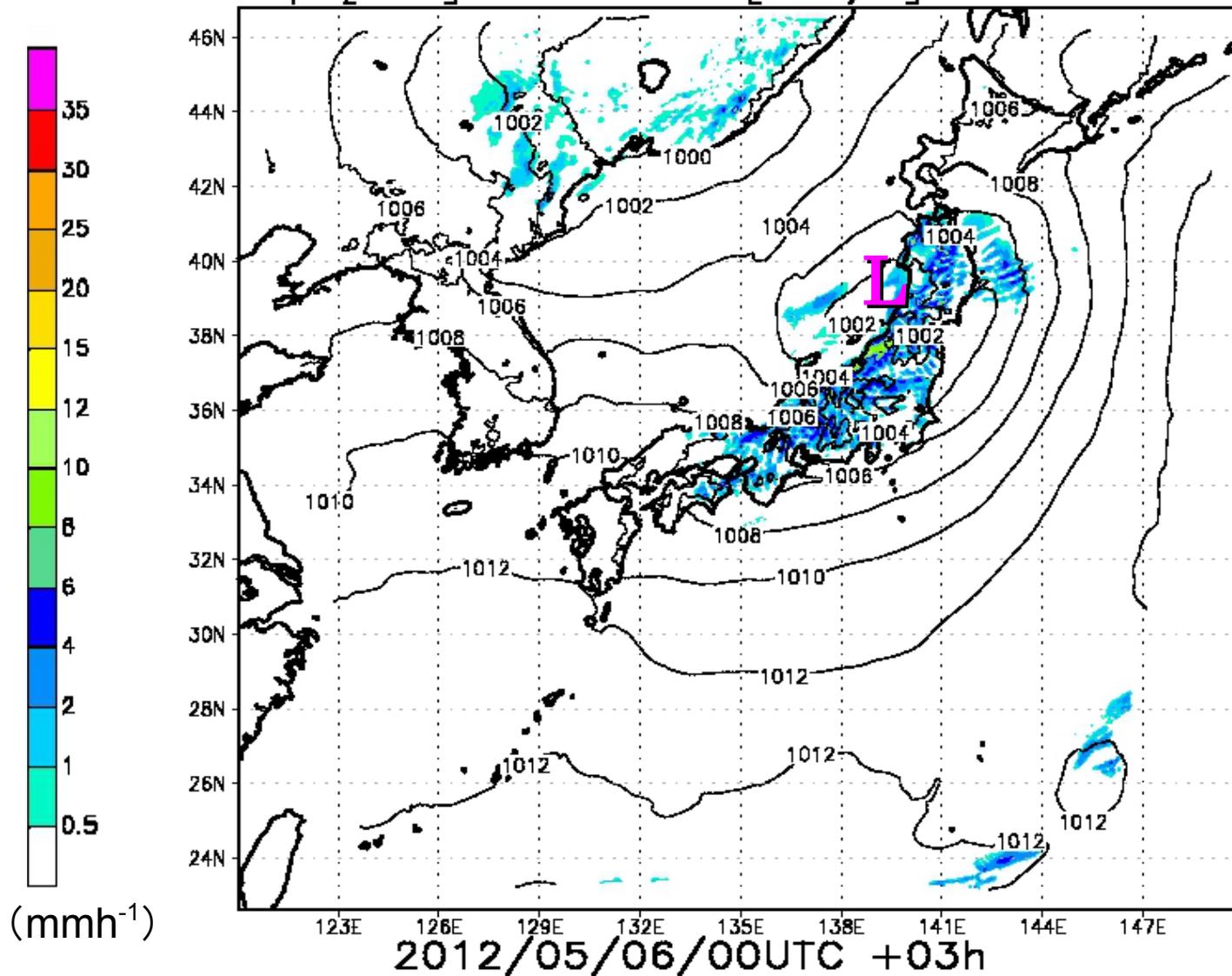


総観状況

初期時刻: 2012年5月6日00UTC
3時間予報値

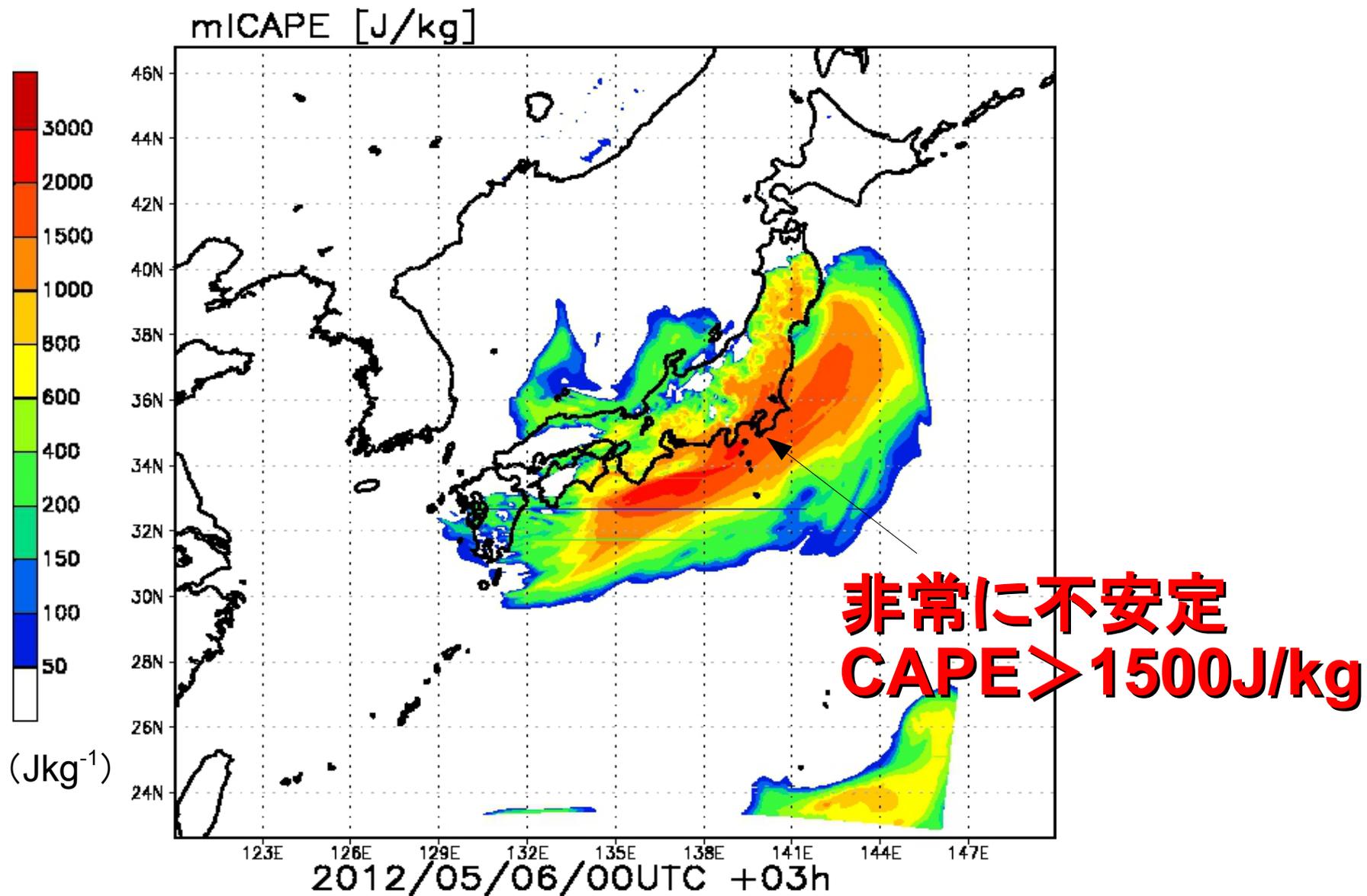
海面気圧・前1時間降水量

slp [hPa] & rain fall [mm/h]



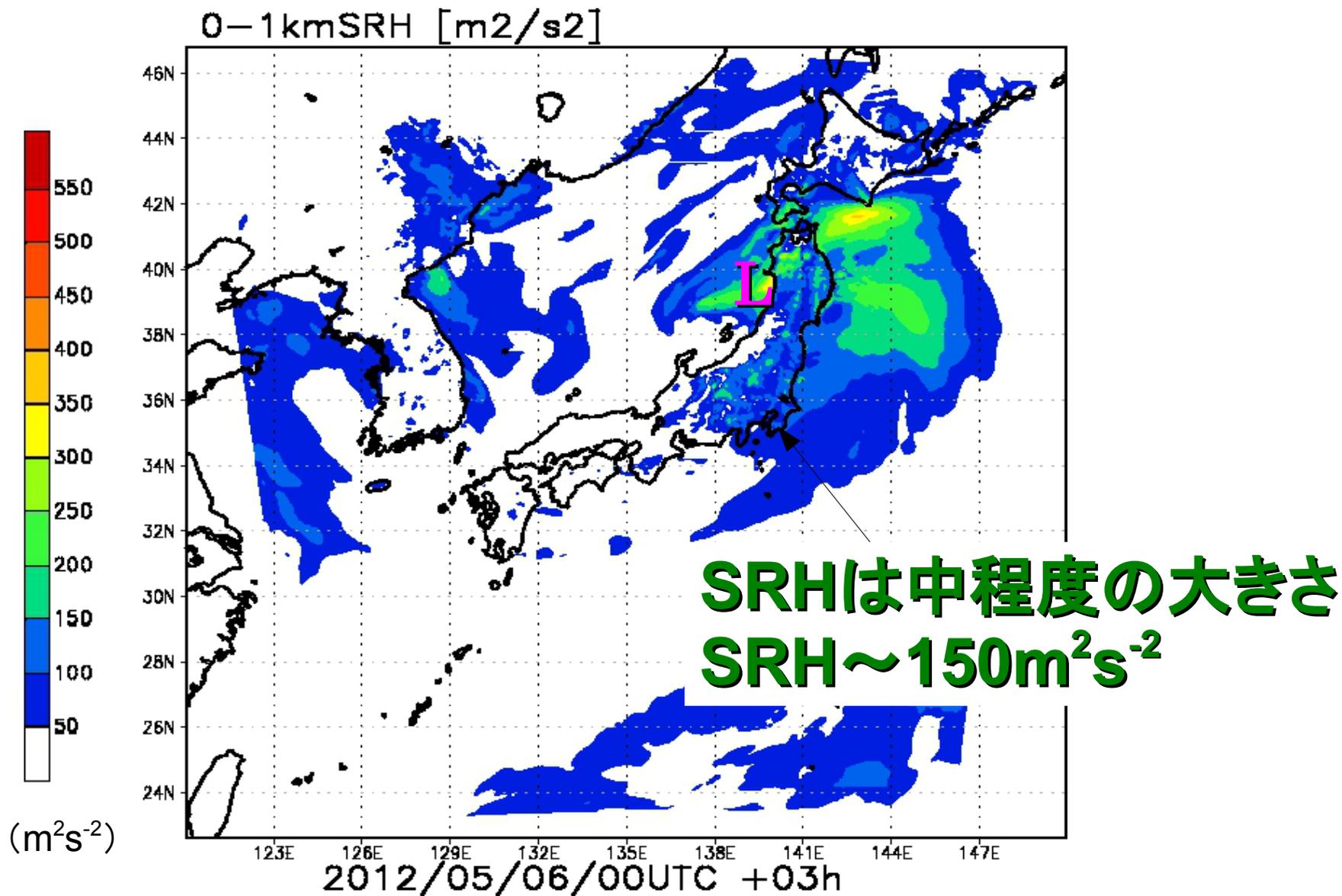
大気の安定度 (CAPE)

初期時刻: 2012年5月6日00UTC
3時間予報値



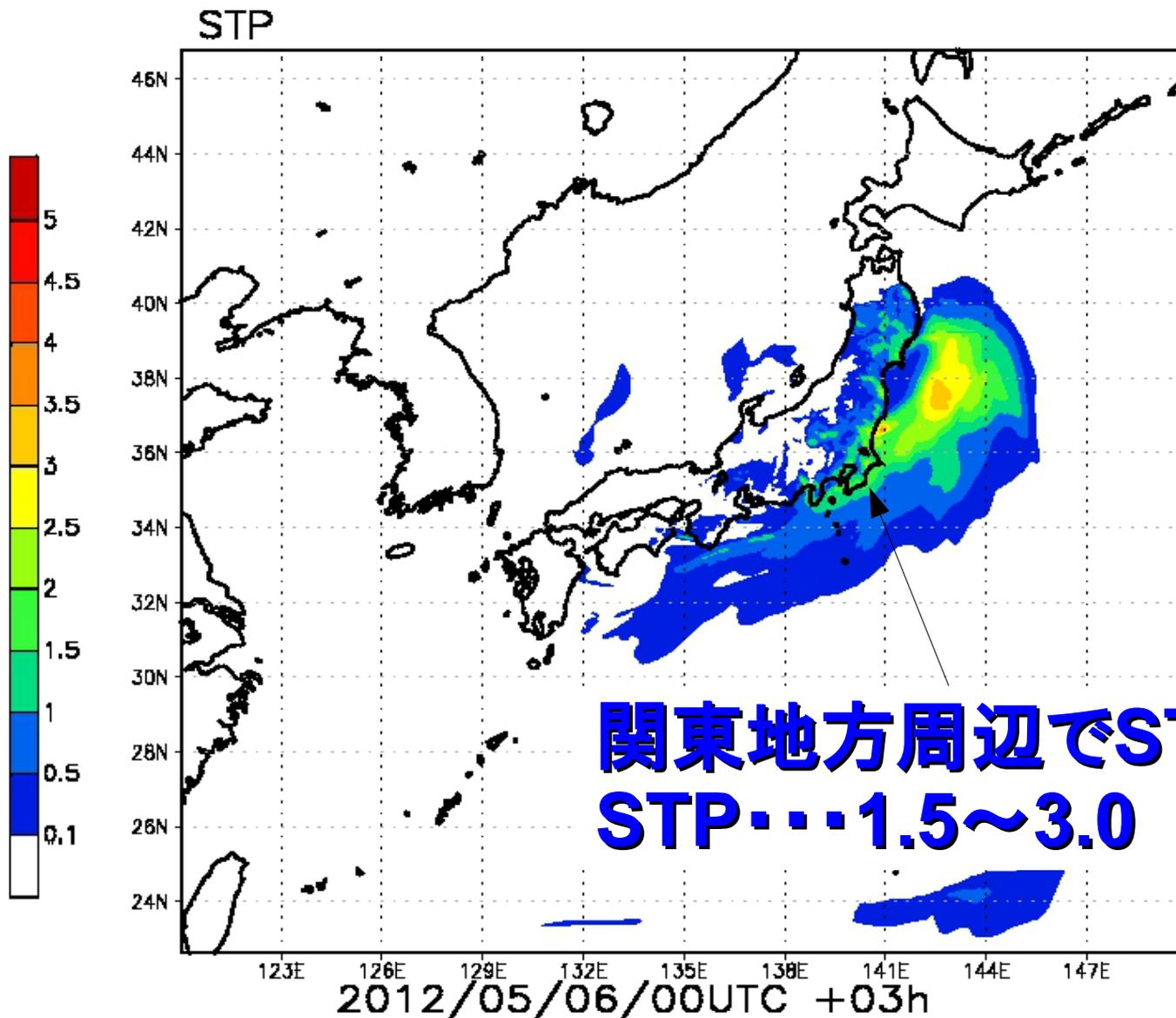
鉛直シアー(SRH)

初期時刻:2012年5月6日00UTC
3時間予報値



複合パラメータ(STP)

初期時刻:2012年5月6日00UTC
3時間予報値



**関東地方周辺でSTPが大きい
STP...1.5~3.0**

2012年5月6日のポテンシャル予報

大きなCAPE ($> 1500 \text{Jkg}^{-1}$)

強い上昇流を持つ積乱雲の発達

中程度のSRH ($\sim 150 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$)

積乱雲のスーパーセル化

関東地方周辺で大きなSTP (1.5~3.0)

F2以上の強い竜巻を伴う雷雨の発生可能性

数時間～数日前にどれくらい竜巻発生可能性があるかを把握できていたかもしれない？

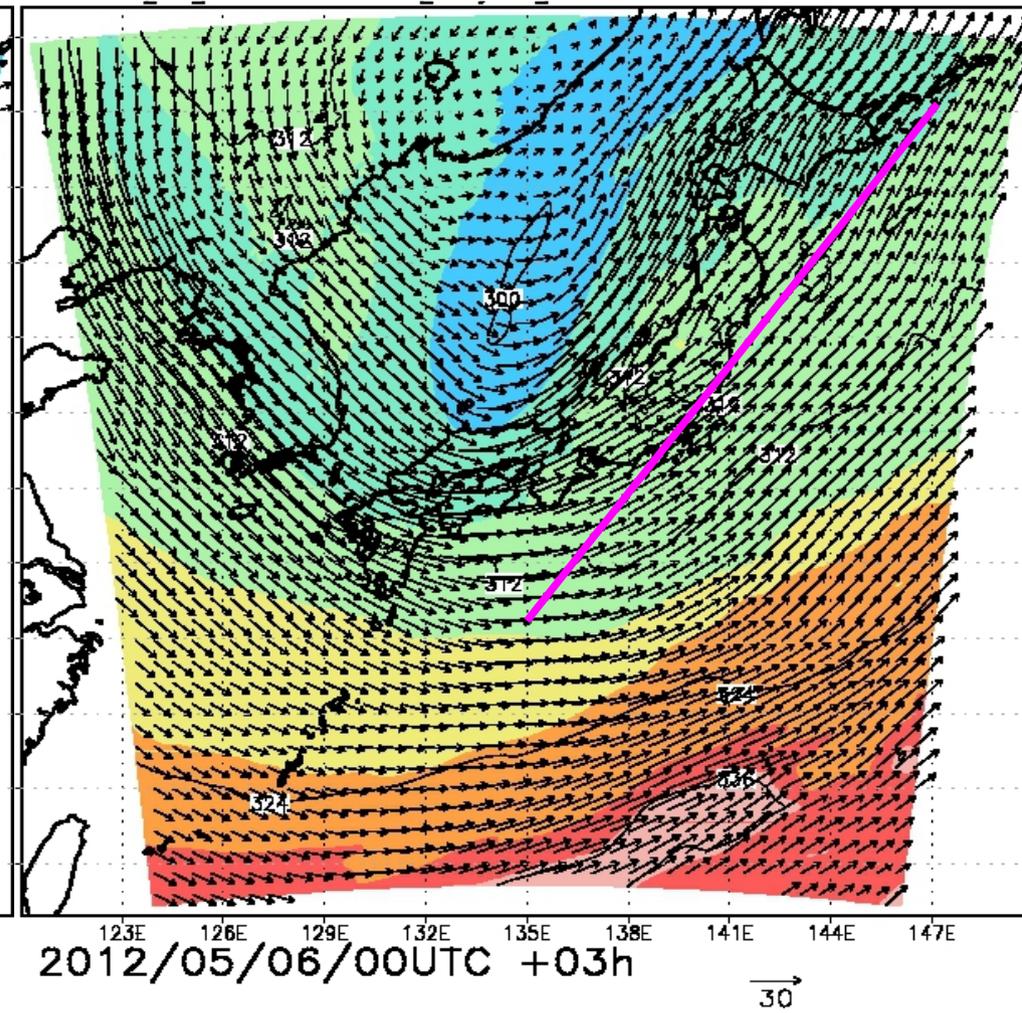
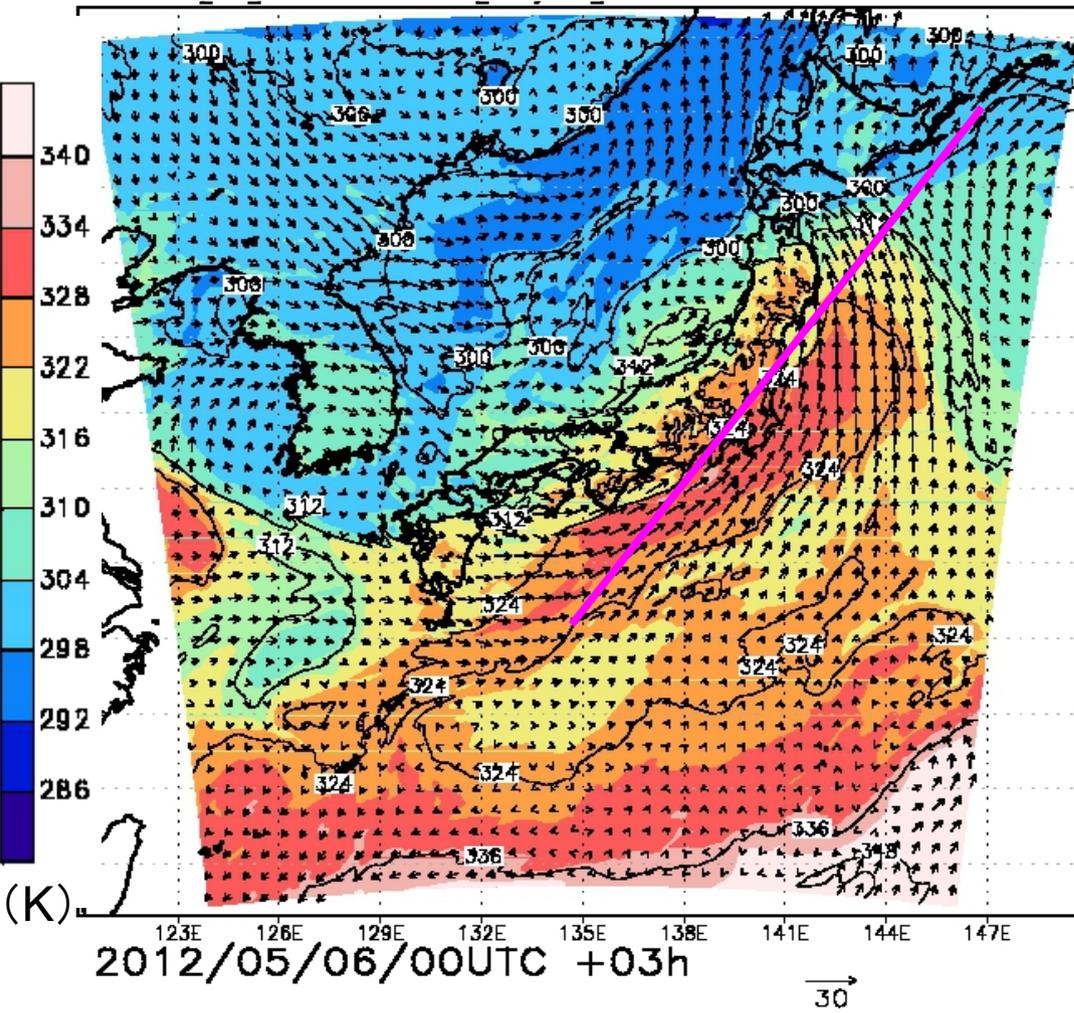
環境場形成の特徴

環境場の特徴

初期時刻: 2012年5月6日00UTC
3時間予報値

975hPa相当温位・風

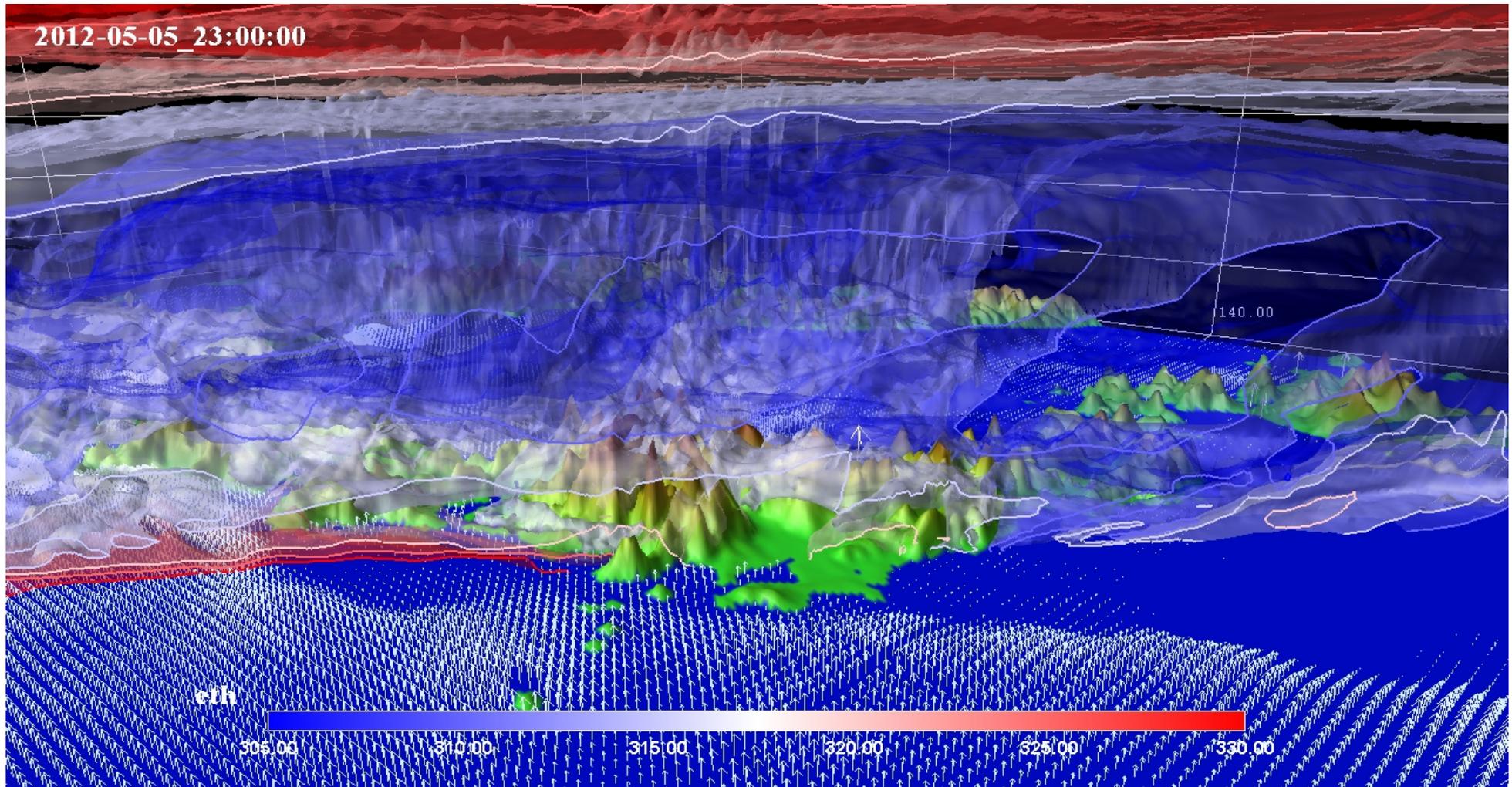
500hPa相当温位・風



下層高相当温位 + 上層低相当温位 = 対流不安定 (CAPE大)
下層南寄り風 + 上層西寄り強風 = 大きな鉛直シアー (SRH大)

環境場形成の特徴

相当温位の3次元断面図(等値面)



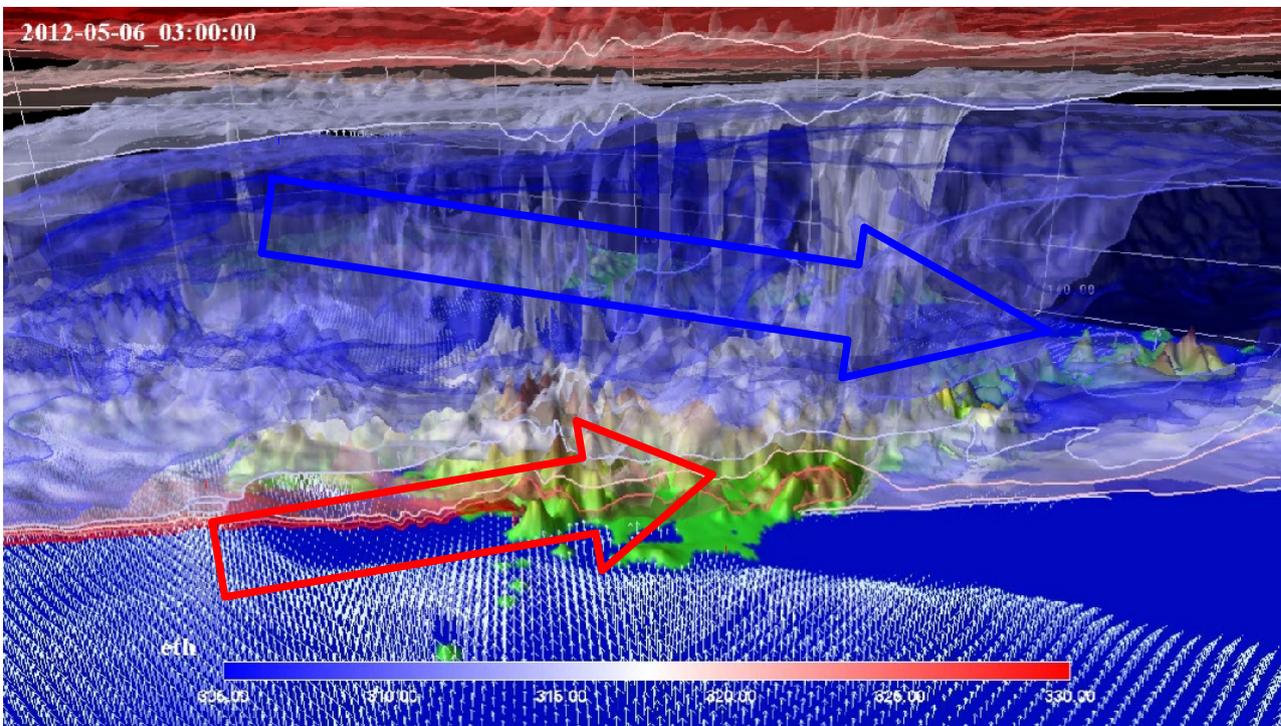
矢印:上向き水蒸気フラックス

※AVS/Express(サイバネットシステム株式会社ビジュアルリゼーション部様作成)

環境場形成の特徴

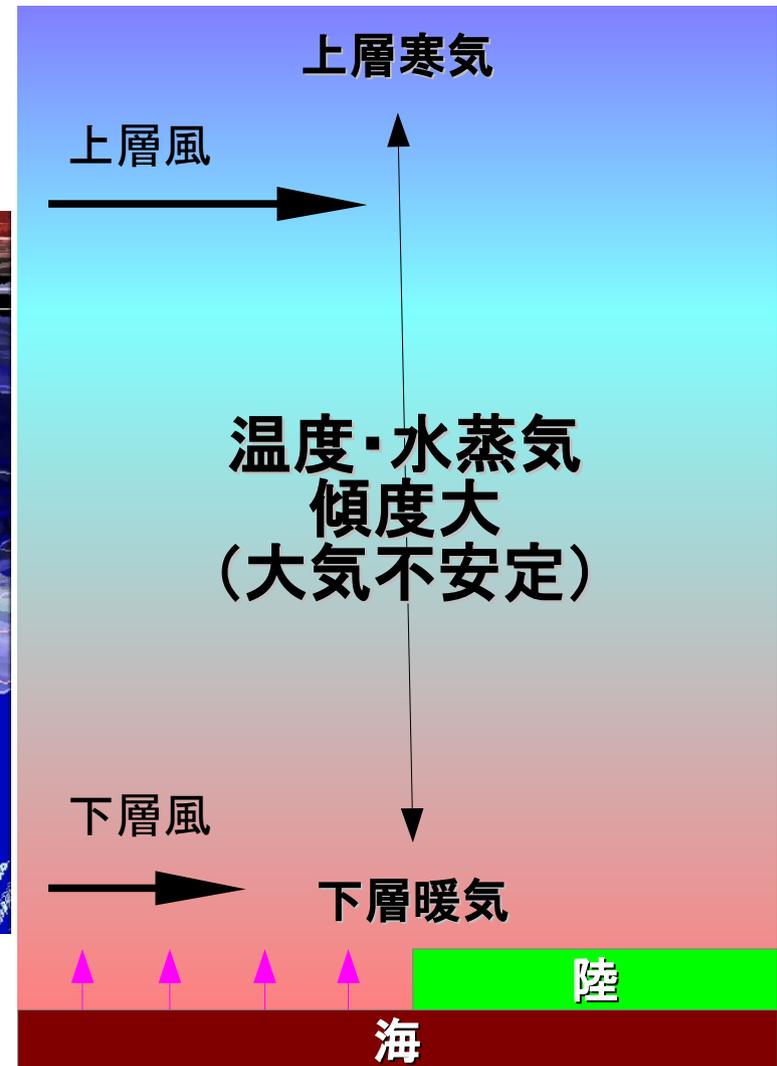
大きなCAPE ($> 1500 \text{Jkg}^{-1}$)

上層トラフに伴う寒気の移流



海上からの下層暖気移流

大気・海洋の鉛直断面概念図

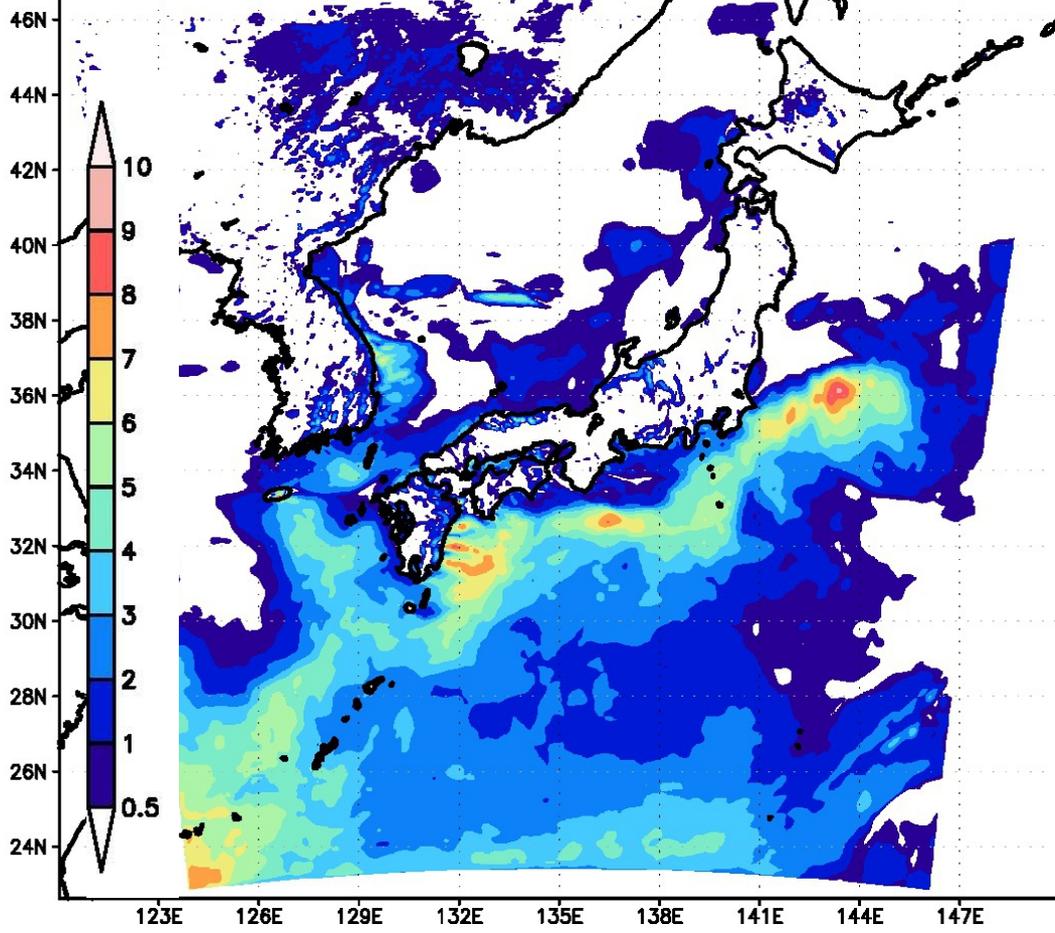
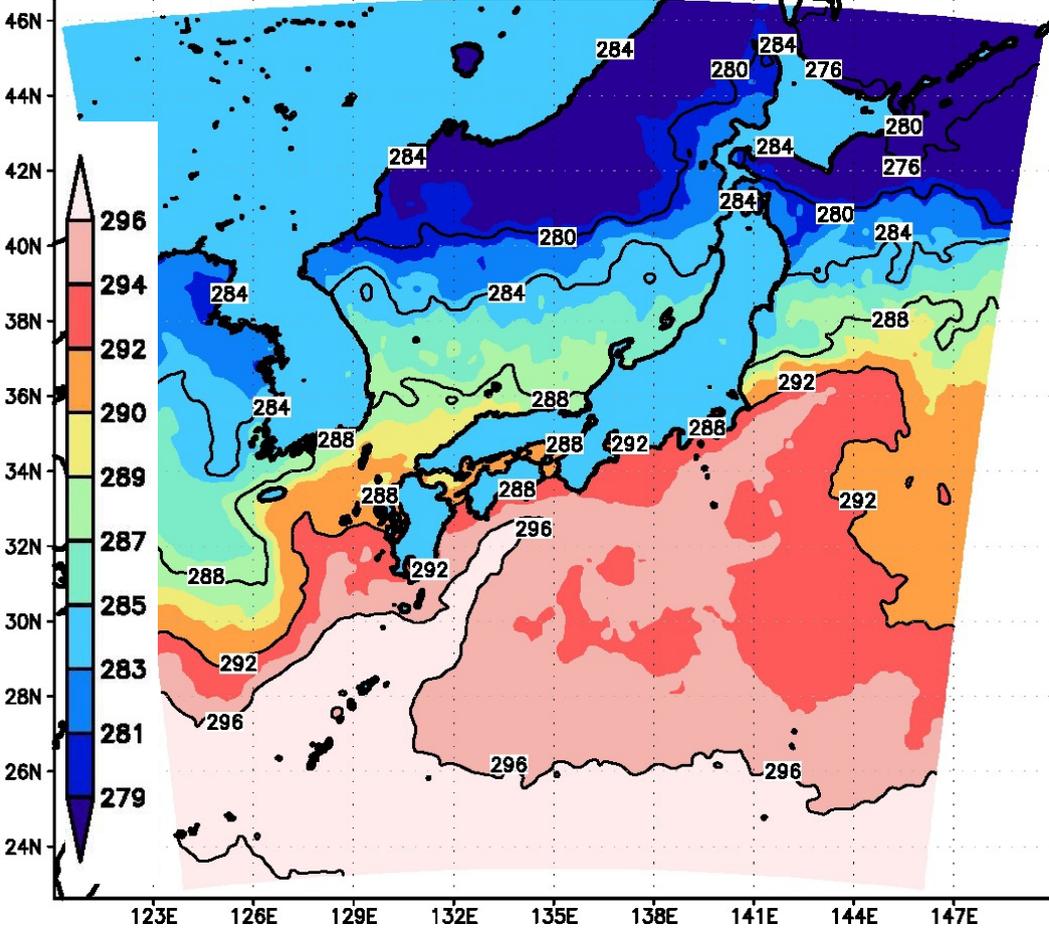


海面からの水蒸気フラックス

2012/05/05/12UTC +03h

SST(K)

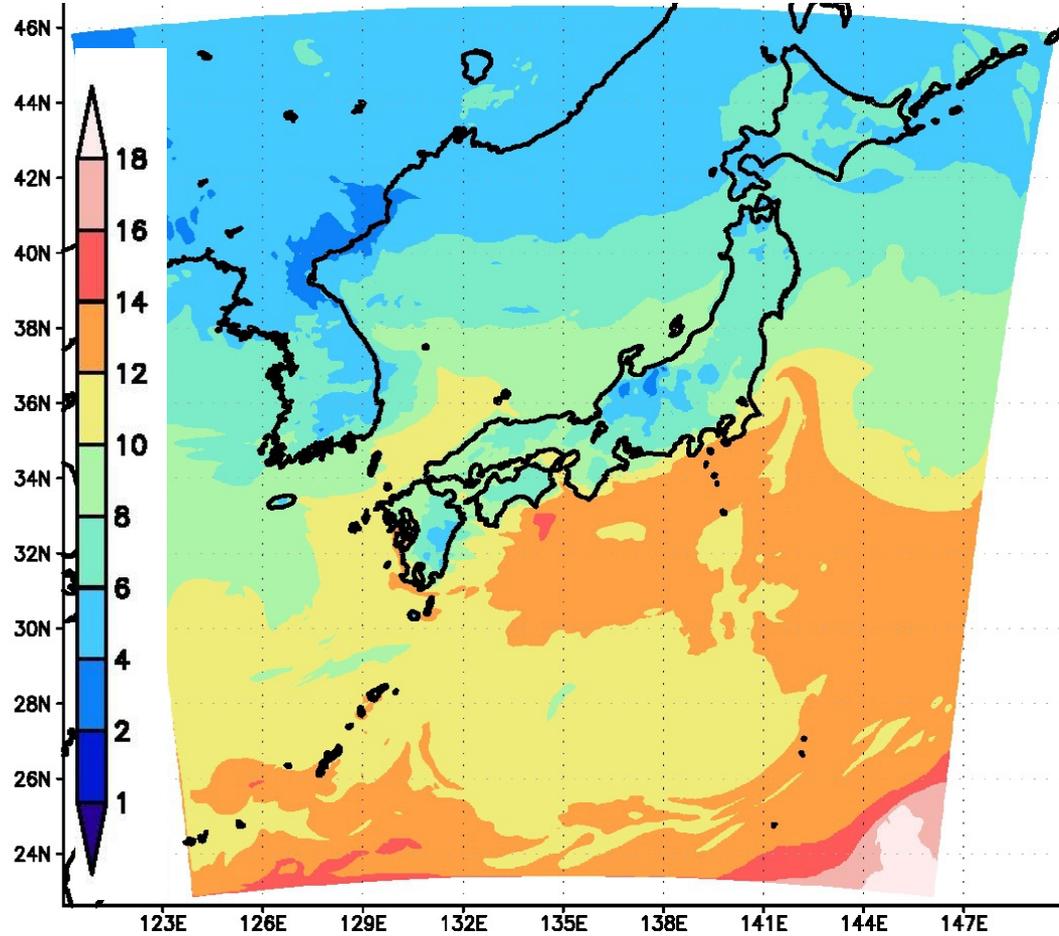
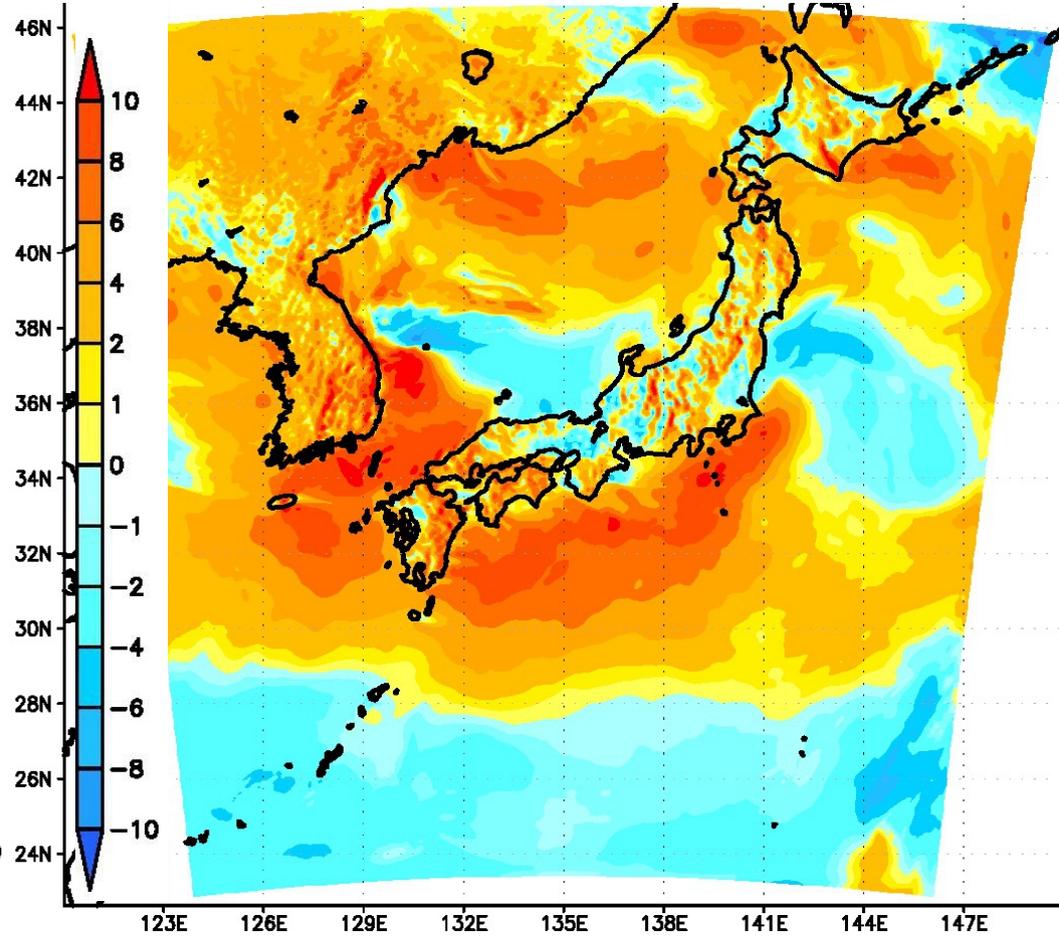
QFX($10^{-5}\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$)



2012/05/05/12UTC +03h

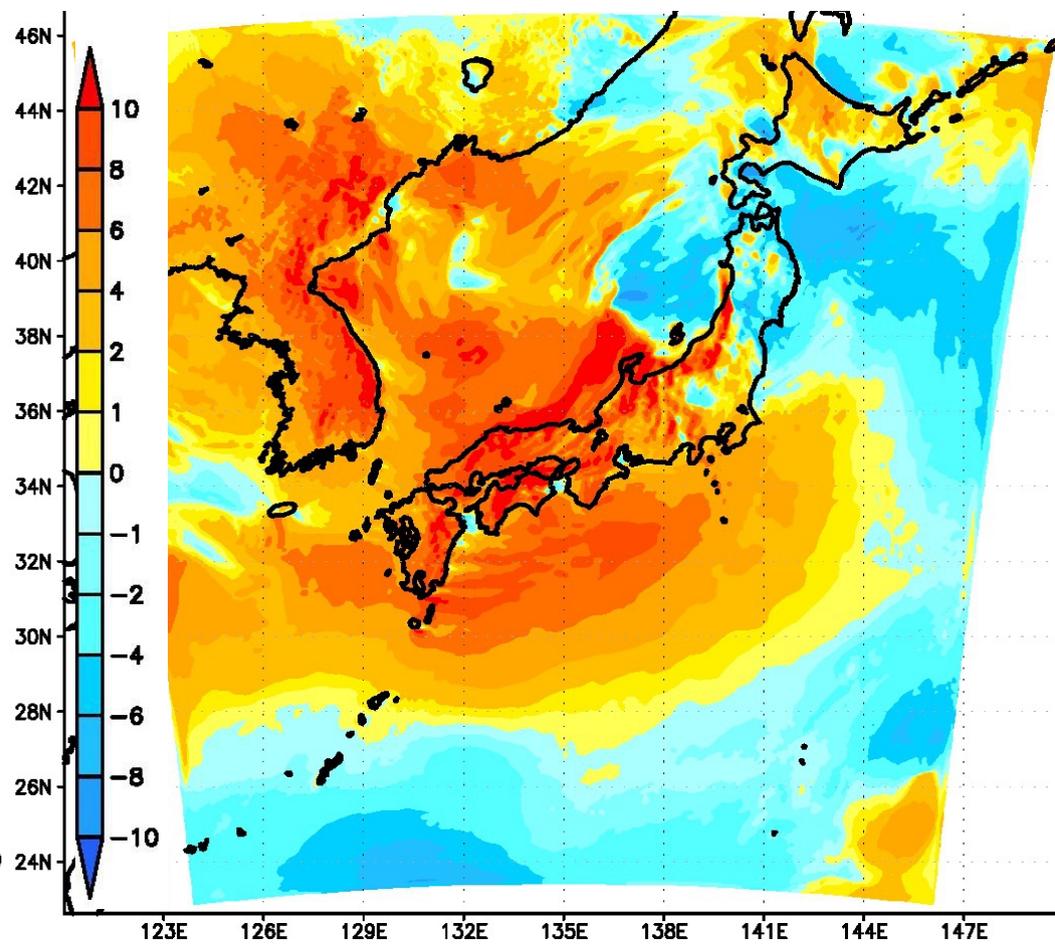
$U(\text{ms}^{-1})$

QVAPOR(gkg^{-1})

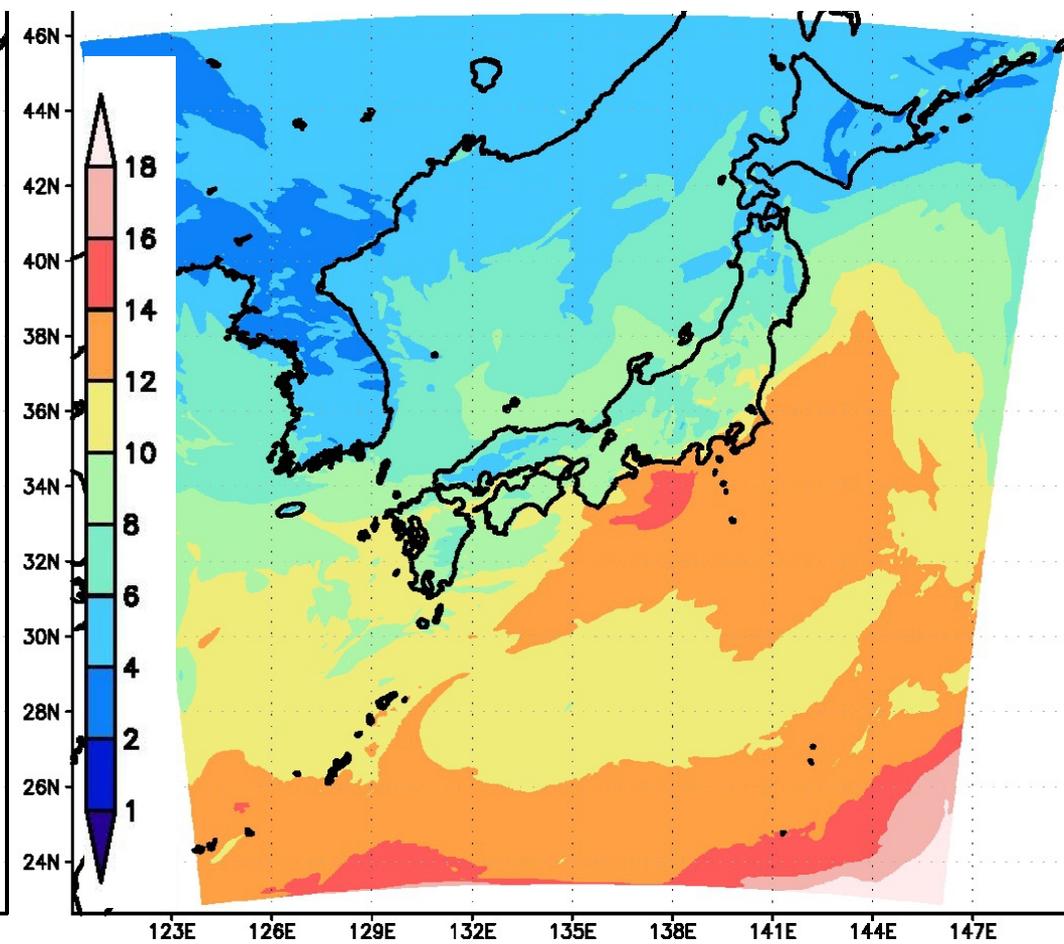


2012/05/05/12UTC +15h

$U(\text{ms}^{-1})$

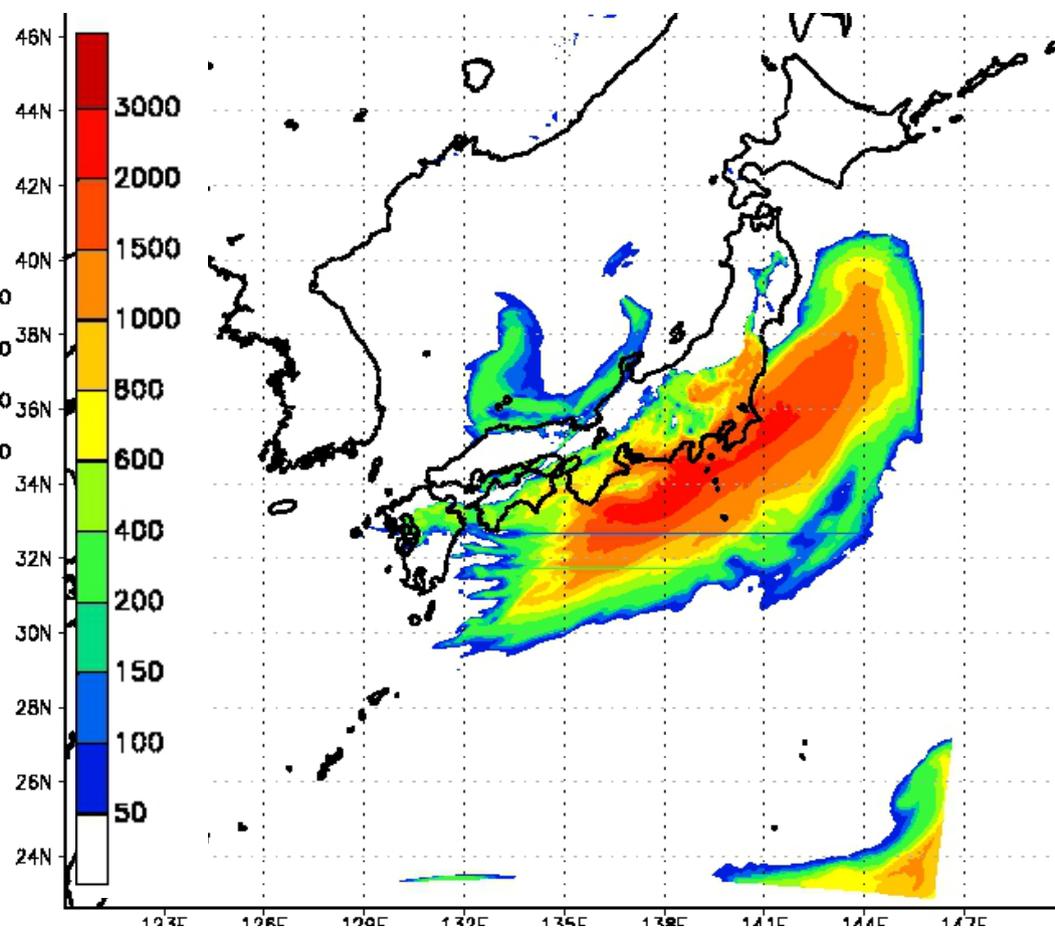


QVAPOR(gkg^{-1})

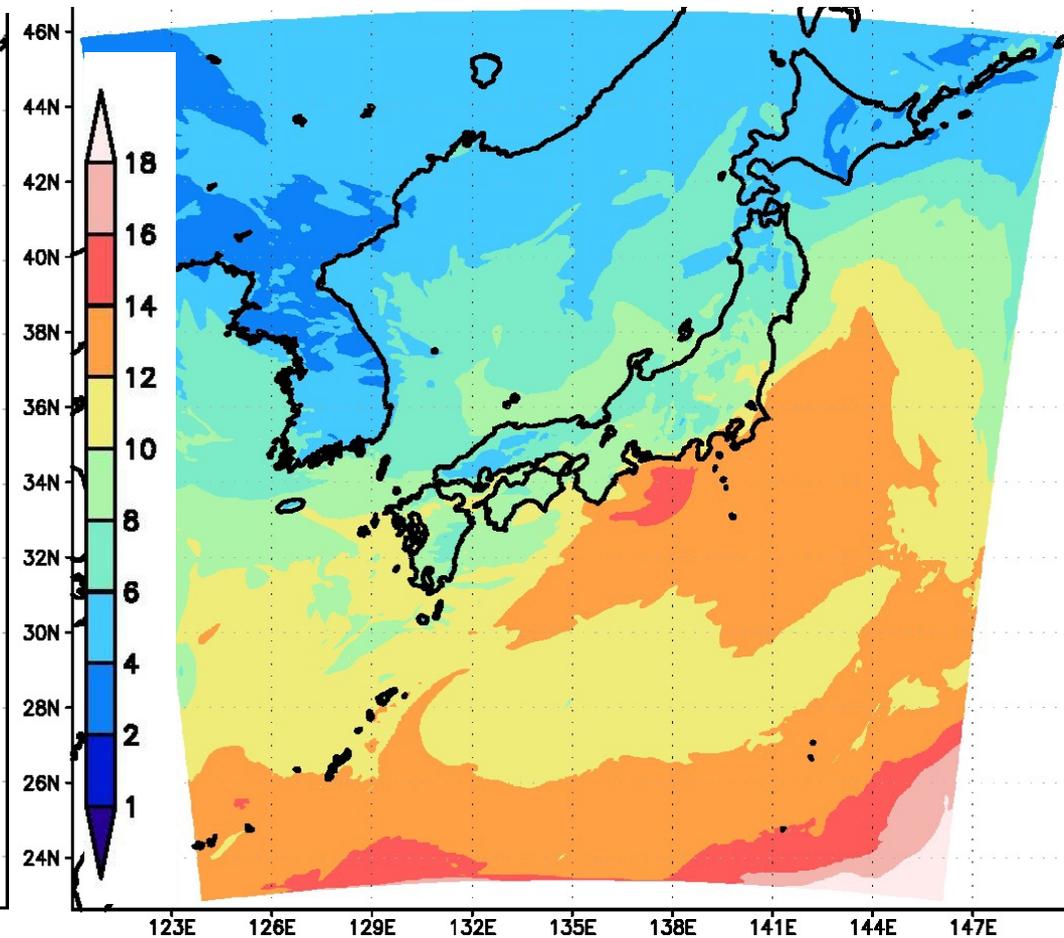


2012/05/05/12UTC +15h

CAPE(Jkg⁻¹)



QVAPOR(gkg⁻¹)



環境場形成の特徴

大きなCAPE ($> 1500 \text{Jkg}^{-1}$)

海上からの下層暖気移流+上層トラフに伴う寒気の移流

下層水蒸気の起源・・・高SST海面からの供給

中程度のSRH ($\sim 150 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$)

地上低気圧に伴う南寄り風+上層トラフに伴う西寄り風

謝辞

3次元可視化には、AVS/Expressを用いた。
動画を作成頂いたサイバネットシステム株式会社ビジュアルリゼーション部に感謝する。

