

実例に基づいた予報作業の例

予報作業における気象現象の理解に基づく局地気象解析

1 はじめに

- 1-1 現業における基本作業
- 1-2 総観場及び環境場の理解における課題

2 2019年実例から検討する予報作業

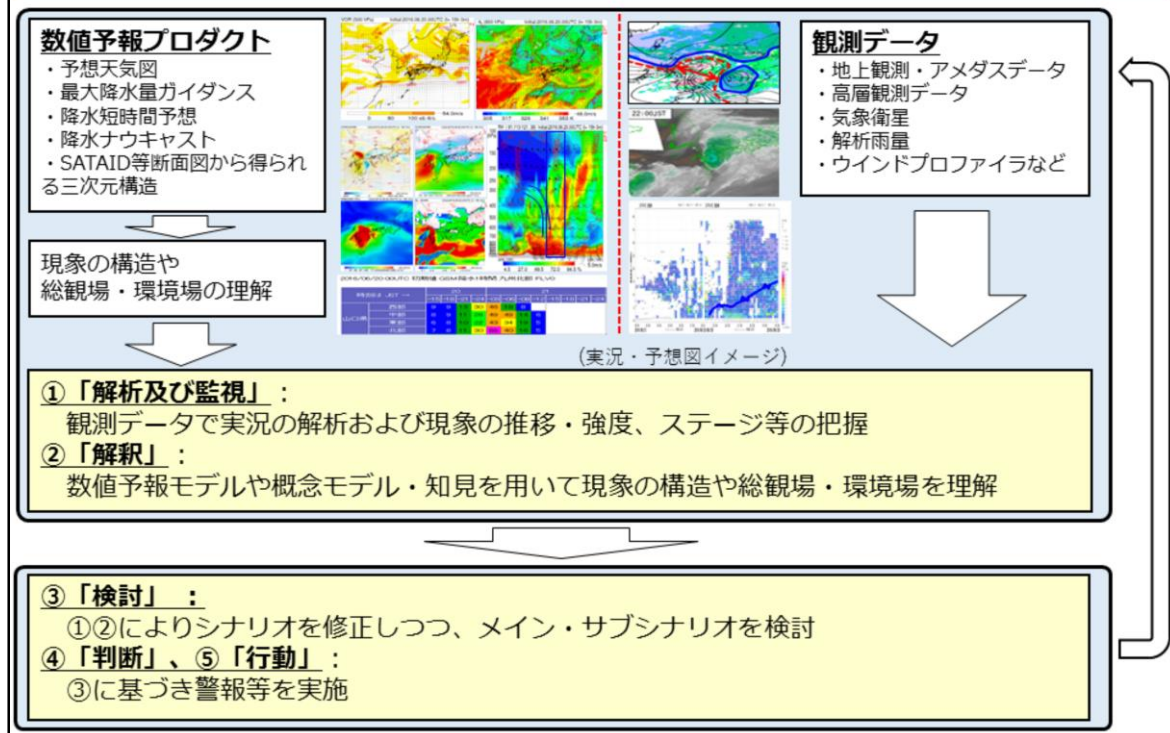
- 2-1 2019年災害級事例における予報精度の課題
- 2-2 概念図から得られる、現象を強化する上部対流圏システムの直観的な理解
- 2-3 2019年実例から辿る予報作業
 - 2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例
 - 2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例
 - 2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例

3 まとめ

2020年（令和2年）度 予報技術研修

1-1 現業における基本作業

大雨の根拠となる総観場及び環境場を予報担当者が理解＝予報担当者の本来あるべき姿



【現業における基本作業】

大雨の根拠となる総観場及び環境場を予報担当者が理解することが、予報担当者の本来あるべき姿である。

予報作業において、大気現象を理解する上で、数値予報プロダクトから得られる現象の構造理解に基づき、実況とモデルの差異や各種現象レベルの違いを①**解析及び監視**し、現象の②**解釈**を行う。

そして、①②によりシナリオを修正しつつ、メイン・サブシナリオの③**検討**を行い、これに基づき警報等を**判断**し、⑤**行動**を実施する。

これらを繰り返し行うことが、現業における基本作業である。

これらについては、平成25年度、平成26年度予報技術研修テキストも参照されたい。

・平成25年度予報技術研修テキスト 第1章 これからの予報官に求められるもの

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/19/all.pdf>

・平成26年度予報技術研修テキスト 第2章 予報作業における総観場の把握と局地気象解析について

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/20/all.pdf>

1-2 総観場及び環境場の理解における課題

1. 総観スケールの現象について、理解ができているか

- ・ 総観スケールの現象は、天気に対する影響力が大きいことを再認識する
- ・ 総観スケール現象についての解析や解釈を、予報作業の時間内で効率的かつ効果的に行う
⇒ 総観スケール現象により起こり得る天気シナリオを解釈することで、ガイダンスが不得意とする現象であっても、サブシナリオを構築できるようになる

2. 顕著現象発生に直接関係する局地現象を、効率的に解析できているか

- ・ 地上局地解析において、すべての要素を解析することは予報作業の中で不可能
⇒ 総観スケールの現象から、地上で何が起き得るのかを想定し、効率的な局地解析を行うことが求められている

現象の理解により、適切なメイン・サブシナリオ構築が可能となる

【適切なメイン・サブシナリオ構築により得られる運用上の利点】

メインシナリオで雨量予想が少なく、実況で予想以上の雨量となる場合でも、サブシナリオを適切に設定し、警報級の可能性【中】を付加することができるようになる

【総観場及び環境場の理解における課題】

1. 総観スケールの現象について、理解ができているか

- ・ 総観スケールの現象は、天気に対する影響力が大きいため、予報作業には、総観スケールを対象とした現象の解析・解釈から得られる現象の把握が重要であることを再認識する。
- ・ 予報官は、総観スケールにおける現象を十分に把握し、起きうる現象について十分な解析・解釈を行い検討することにより、ガイダンスが不得意とする現象であっても、効率的かつ効果的にサブシナリオとして構築することが重要である。

2. 顕著現象発生に直接関係する局地現象を、効率的に解析できているか

- ・ メソβスケールを対象とした解析・解釈では地上の気圧・気温・露点・風・気圧変化など様々な要素について平面、時系列などの解析を行うことにより現象の空間的、時間的スケールの把握や今後の現象の推移を読み取ることが可能となるが、限られた予報作業時間の中ですべての要素を解析することは不可能である。このため、時間内にすべての要素を解析するのではなく、効率的な局地解析が必要となる。

- ・ 大局的な総観スケールの現象を十分に把握することにより、地上でどのような局地現象が起き得るのかを想定し効率的な局地解析を行うことが求められている。

(例) Jetストリーク入口右側や出口左側の上層発散域や寒冷渦接近に伴う南東象限では上昇運動が生じており、地上では収束やシアラインが強化されて顕著現象となることが多いなど。

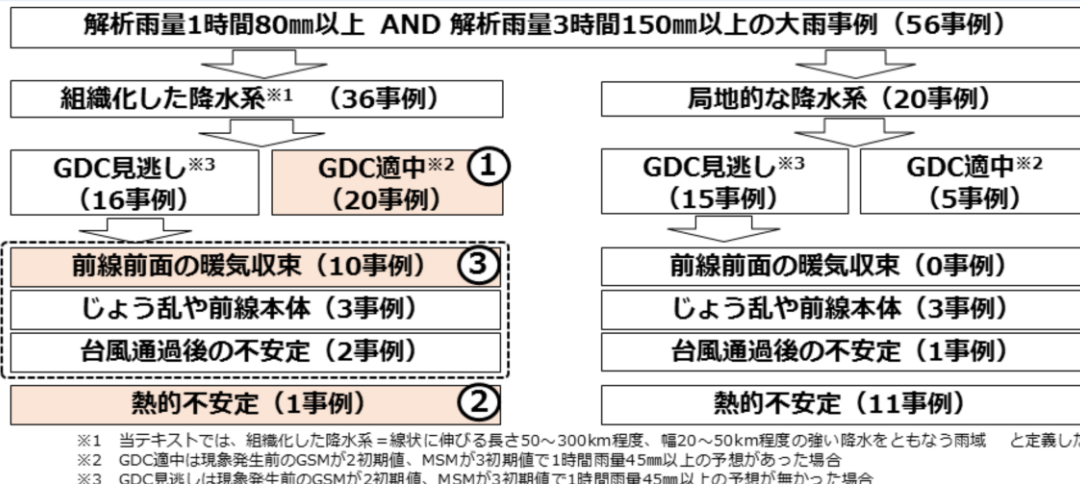
⇒ 総観スケール現象から局地現象まで、効率的に理解し解釈しておくことにより、適切なメイン・サブシナリオ構築が可能となる。また、これらが予報作業に求められていることである。

【適切なメイン・サブシナリオ構築により得られる運用上の利点】

- ・ メインシナリオで警報クラスの雨を予想した場合は警報級の可能性【中】や【高】は適切に運用されているが、メインシナリオで雨量予想が少なく、実況で予想以上の雨量（警報クラス）となった場合、サブシナリオが不適切なため警報級の可能性「-」で運用されている場合が、多く見られる。

適切なメイン・サブシナリオを構築しておくことで、メインシナリオで雨量予想が少なく、実況で予想以上の雨量となった場合でも、適切なサブシナリオに切り替えて、警報級の可能性【中】を付加することができるようになる。

2-1 2019年災害級事例における予報精度の課題



今回の研修テキストでは、以下の事例を考察する。（図中①～③の番号は、以下の事例番号に対応）

- ① 熱帯じょう乱起源の暖湿気と内陸の滞留寒気に伴うシアーライン近傍で発生した組織化した降水系：
2019年10月25日の沿岸前線に伴う大雨（千葉県 適中事例）
 警報級の大雨：予想あり 量的予想：過少
- ② 熱的不安定（高気圧のリッジ後面の上層発散場）で発生した組織化した降水系：
2019年7月24日の熱的不安定に伴う大雨（栃木県 見逃し事例）
 警報級の大雨：予想なし 量的予想：過少
- ③ 暖域内の暖気収束（ジェットストリーク入口右側）で発生した組織化した降水系：
2019年7月18日の暖気収束に伴う大雨（高知県 見逃し事例）
 警報級の大雨：予想なし 量的予想：過少

【2019年災害級事例における予報精度の課題】

GDC(＝ガイダンス) 適中、見逃しの定義は以下のとおり定め、検証を行う。

- ・組織化した降水系＝線状に伸びる長さ50～300km程度、幅20～50km程度の強い降水をともなう雨域
- ・GDC適中は現象発生前のGSMが2初期値、MSMが3初期値で解析雨量1時間45mm以上の予想があった場合
- ・GDC見逃しは現象発生前のGSMで2初期値、MSMで3初期値で解析雨量1時間45mm以上の予想が無かった場合

① 組織化した降水系と局地的な降水系の発生頻度とGDCの予報精度

1) 組織化した降水系

- ・GDC（ガイダンス、以下同じ）適中20事例、見逃し16事例であり、適中がやや上回っている。
- ・GDC見逃し事例では、前線前面の暖気収束による事例が最も見逃しが多く、見逃し事例の62%を占める。熱的不安定は通常団塊状の降水（局地的な降水）となる場合が多く、レアケース。

2) 局地的な降水系

- ・GDC適中が5事例に対して、見逃し15事例で見逃しが非常に多くなっている。
- ・GDC見逃し事例では、熱的不安定による事例が最も多く、見逃し事例の73%を占め、夏場の不安定降水の精度の悪さが際立つ結果となった。

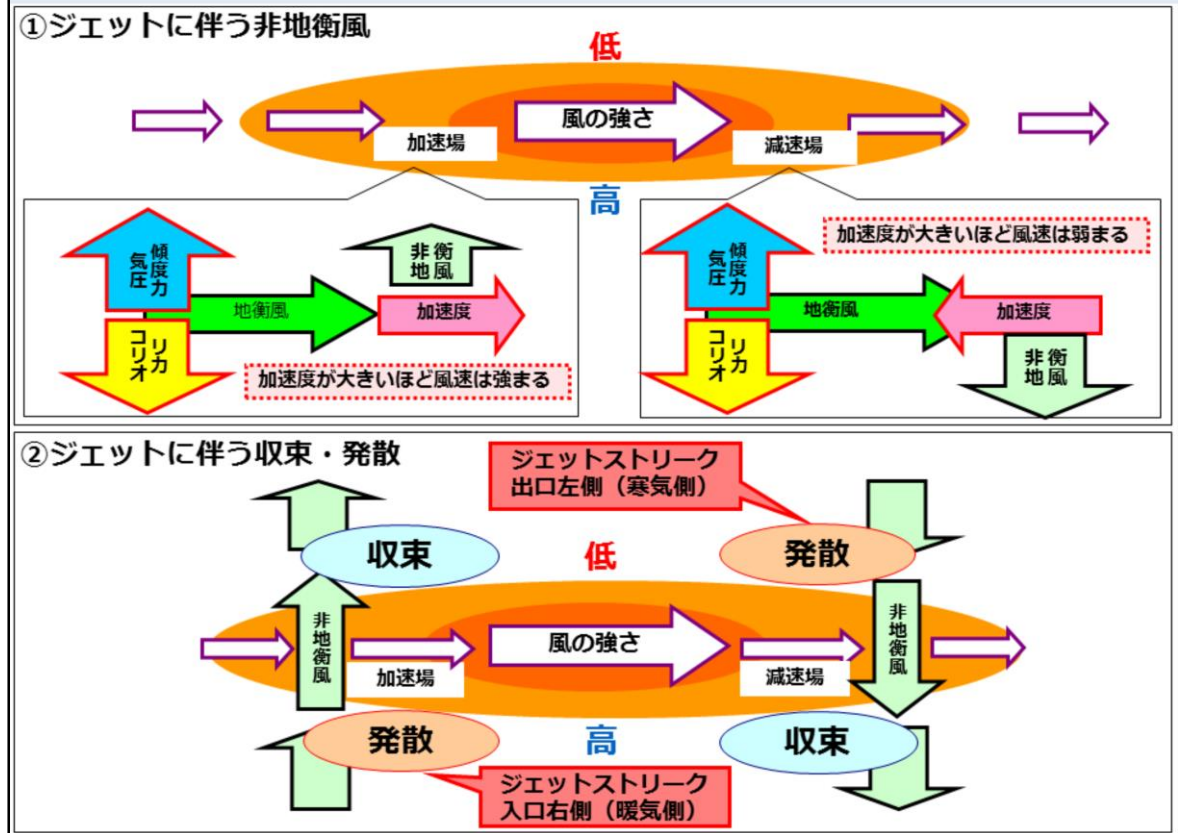
② GDC見逃しの組織化した降水系のうち、総観場における現象の理解によって、ある程度サブシナリオを考察できる特徴が見られた事例、また、GDCが適中した事例の中からメインシナリオ通りに現象が推移した事例の中から、以下3事例について考察する。

局地的な降水系については熱的不安定の実況（収束等）の強弱によって左右されるため、予想が難しく、今回の事例紹介からは除外した。

今回の研修テキストで取り上げる事例

- ①熱帯じょう乱起源の暖湿気と内陸の滞留寒気に伴うシアーライン近傍で発生した組織化した降水系：
2019年10月25日の沿岸前線に伴う大雨（千葉県 適中事例）
 警報級の大雨：予想あり 量的予想：過少
- ②熱的不安定（高気圧のリッジ後面の上層発散場）で発生した組織化した降水系：
2019年7月24日の熱的不安定に伴う大雨（栃木県 見逃し事例）
 警報級の大雨：予想なし 量的予想：過少
- ③暖域内の暖気収束（ジェットストリーク入口右側）で発生した組織化した降水系：
2019年7月18日の暖気収束に伴う大雨（高知県 見逃し事例）
 警報級の大雨：予想なし 量的予想：過少

2-2 概念図から得られる、現象を強化する上部対流圏システムの直観的な理解 その1



【概念図から得られる、現象を強化する上部対流圏システムの直観的な理解 その1】

- ① ジェットストリークに伴う非地衡風（上層におけるある等高度面で考える）
- ・風の強さは、地衡風成分の風向・風速を示す。実際に吹く風の風向・風速ではない。
 - ・オレンジ色の部分が強風軸（濃い部分が強風のコア）。紫の矢印は地衡風成分の風速をイメージ（実際の風ではない）。
 - ・赤枠の矢印は力（風の成分でないことには注意）、黒枠が風の成分
 - ・加速度は地衡風を加速・減速させる力で、非地衡風の効果によって現れたジェット気流によって地衡風が加速・減速されていることを示す。
 - ・ジェットストリークの入り口では、空気の流れが加速されると、その加速力に対応した非地衡風が高圧側から低圧側に吹くことでバランスする。
 - ・ジェットストリークの出口では、入り口と逆の現象となる。
- ② ジェットストリークに伴う収束・発散
- ・風の強さは、地衡風成分の風向・風速を示す。実際に吹く風の風向・風速ではない。
 - ・非地衡風は加速度の大きさに比例するので、強風軸の入口と出口付近が最大となり、強風軸から遠ざかるほど小さくなる。
 - ・図に示す（矢印の長さが風速をイメージ）ように、加速場においては、風の流れの右側で発散、左側で収束となり、減速場においてはこれと逆となる。
 - ・上層発散が中層付近の上昇流を励起するため、ジェットストリーク入り口右側とジェットストリーク出口左側では発散により対流が強化されることになる。
 - ・非地衡風はジェットストリーク入口で強く（上向き矢印）、次第に小さくなり、コア付近ではゼロ、ジェットストリーク出口に向けて強まる（下向き矢印）。

（参考文献）

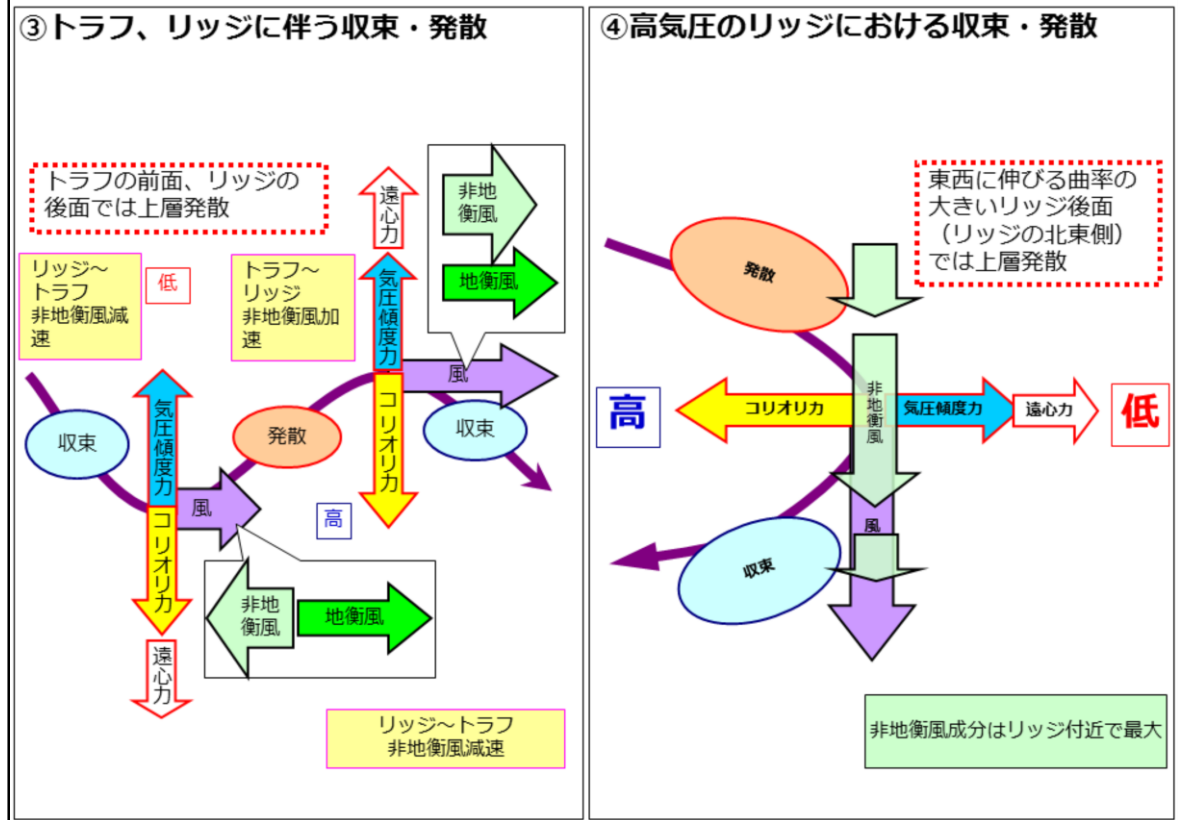
総観気象学 基礎編（気象庁監修 北島尚子著）

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_synop_basic_20200206.pdf

総観気象学 応用編（気象庁監修 北島尚子著）

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_synop_advance_20200508.pdf

2-2 概念図から得られる、現象を強化する上部対流圏システムの直観的な理解 その2



【概念図から得られる、現象を強化する上部対流圏システムの直観的な理解 その2】

③トラフ、リッジに伴う収束・発散

- ・紫曲線は、等高度線に沿った風の流れ。
- ・トラフ、リッジの移動はなく、実際の風は傾度風（気圧傾度力、コリオリカ、遠心力が釣り合った状態）で近似できると仮定すると、
 - ア）トラフでは、遠心力による非地衡風が生じ、地衡風とは逆方向に吹く。
 - イ）リッジでは、遠心力による非地衡風が生じ、地衡風と同じ向きに吹く。
- その結果、トラフ前面・リッジ後面では地衡風とは逆方向に吹く、非地衡風により発散を生じ、トラフ後面・リッジの前面では、非地衡風が地衡風と同じ向きに吹くことにより収束が生じる。これはトラフの前面では低気圧が発達するという一般認識と合致する。

④高気圧のリッジにおける収束・発散

- ・③項で、トラフ・リッジにおける収束・発散の解説を行ったが、東西に伸びる高気圧にも置き換えることができる。
- ・右図は高気圧をイメージしたものになるが、③と同様にリッジ後面（リッジ北東象限）では地衡風とは逆方向に吹く、非地衡風により発散が生じる。
- ・傾度風が吹くと仮定し、遠心力による非地衡風成分を考えると、上層で高気圧が東に強く張り出している場合、東西走向のリッジ軸の先端（高気圧性曲率：最大）において非地衡風成分（北風）は最大で、同高気圧の北東象限が定性的に上層発散域となる。（平成26年度予報技術研修テキストより）

（参考文献）

総観気象学 基礎編（気象庁監修 北島尚子著）

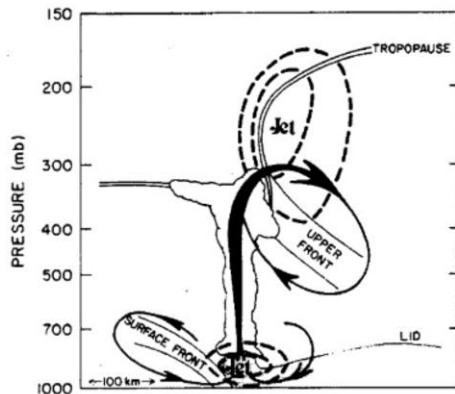
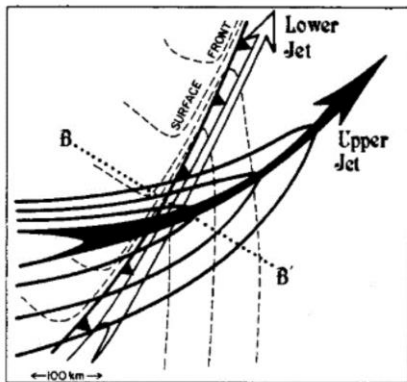
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/expert/pdf/textbook_synop_basic_20200206.pdf

総観気象学 応用編（気象庁監修 北島尚子著）

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/expert/pdf/textbook_synop_advance_20200508.pdf

2-2 概念図から得られる、現象を強化する上部対流圏システムの直観的な理解 その3

上層の総観規模擾乱による下層前線・メソスケール現象に対する影響



Shapiro (1982) による上層ジェットストリークと下層前線の関係の模式図 (Bluestein, 1988より)

総観気象学 応用編 (気象庁監修 北島尚子著) 4.5上層の総観規模擾乱による下層前線・メソスケール現象に対する影響より抜粋

下層前線強化による上昇流

- ・下層前線が強化されると、暖気側で上昇流が発生。

ジェットストリーク入口右側と出口左側で励起される上昇流

- ・ジェットストリーク入口右側では暖気側で上昇流、出口左側では寒気側で上昇流が励起。

上部対流圏のジェットストリークに伴う上昇流と下部対流圏の下層前線に伴う上昇流の相互作用

- ・下層前線強化による上昇流と上層発散に伴う上昇流が、結合することによって背の高い対流が生じることから、上層発散は対流の持続に寄与する可能性がある。

【概念図から得られる、現象を強化する上部対流圏システムの直観的な理解 その3】

この概念図は、上層ジェットストリーク出口右側（暖気側）で下降運動、出口左側（寒気側）で上昇運動が励起されることを示している。また、下層前線が強化される領域では、暖気側で上昇運動、寒気側で下降運動が励起されることを示している。

このようにジェットストリーク出口で発生する上昇流が下層前線前面の上昇流と結合することにより背の高い対流が生じることを示唆している。一方、上層ジェットストリーク入口では暖気側（右側）で上昇流、寒気側（左側）で下降流が励起される。この場合も下層前線前面の上昇流と結合すると背の高い対流が生じることが考えられる。

上層発散が励起する上昇気流の風速は積乱雲のものに比べれば桁違いに弱いものの、時間空間スケールが大きいため環境場の湿潤化と密度成層の不安定化（正確には中立化で、上空ほど上昇気流が強い領域では等温線の間隔が開く）をもたらす、これが積乱雲の発達に寄与すると考えられます。このような成層不安定化への影響を意識を向けると、上層の上昇流励起の影響を総合的に評価して予報作業に活用しやすくなります（上層発散域の接近に伴い成層がより不安定化するか、意外と影響は少ないとか、上層発散域の接近前から成層が非常に不安定かつ湿潤なので接近を待ってはいけないとか）。

積乱雲の発生や発達において、下層で励起される上昇気流の役割は多量の水蒸気を含む気塊を自由対流高度まで持ち上げて積乱雲を発生させることが最も重要であり、上中層の上昇気流の役割は主に成層不安定化に作用して積乱雲がより発達しやすい環境を形成することが最も重要です。それぞれの成因が別物であるだけでなく、重要な役割も異なるからこそ、上層と下層の相互作用は効果が大きいのだと思います。

(参考文献)

Bluestein, H. B., 1988: Fronts and jet streaks: A theoretical perspective. Mesoscale Meteorology and Forecasting, P. S. Ray Ed., American Meteorological Society, 173 - 215. Shapiro, M. A., 1982: Mesoscale Weather Systems of the Central United States. CIRES, Univ. of Colo./NOAA, 78pp.
総観気象学 基礎編 (気象庁監修 北島尚子著)
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_synop_basic_20200206.pdf
総観気象学 応用編 (気象庁監修 北島尚子著)
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_synop_advance_20200508.pdf

2-3 2019年実例から辿る予報作業

目的

- ・ 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例
- ・ 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例
- ・ 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例

の3事例を用いて、気象現象の理解に基づく局地気象解析の手法について説明を行う。

(1) 総観場及び環境場の理解

メイン・サブシナリオの構築を目的として、以下の作業を行う

- ・ 総観場および環境場を把握する
- ・ モデルを用いて、現象の変化を各種予想資料を用いて気象学的根拠に基づき理解及び解釈する

(2) 予想や実況の確認

シナリオ通り現象が経過しているかを確認

- ・ 実況値（衛星水蒸気画像（暗化域）、WPR（温度風解析+風向解析）等）を用いて実況とモデルの差異を確認し、適切な解釈を実施。
- ・ 実況の変化、特に中上層の時系列変化、に基づき現象を解釈。
 - ・ SATAIDによる衛星画像及び断面図、WPRの温度風解析
 - ・ 実況の確認

(3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

メインシナリオからサブシナリオへの、切り替えの必要性和タイミングについて考察

- ・ 顕著現象発生において、トリガーとなり得る要素を現象の解釈からの確に選出し、メソβスケールにおける局地現象の適切な解釈を実施。

【2019年実例から辿る予報作業】

2019年の実例を用いて、気象現象の理解に基づく局地気象解析の手法について説明を行う。

(1) 総観場及び環境場の理解

メイン・サブシナリオの構築を目的として、以下の作業を行う

- ・ 総観場および環境場を把握する
- ・ モデルを用いて、現象の変化を各種予想資料を用いて気象学的根拠に基づき理解及び解釈する
 - ・ 大雨の概要
 - ・ 場の把握
 - ・ 警報級の可能性の付加検討
 - ※GDCが不得意とする顕著現象をメイン・サブシナリオで効率よく予測し、大雨の警報級の可能性「中」の積極的な利用につなげる

(2) 予想や実況の確認

シナリオ通り現象が経過しているかを確認

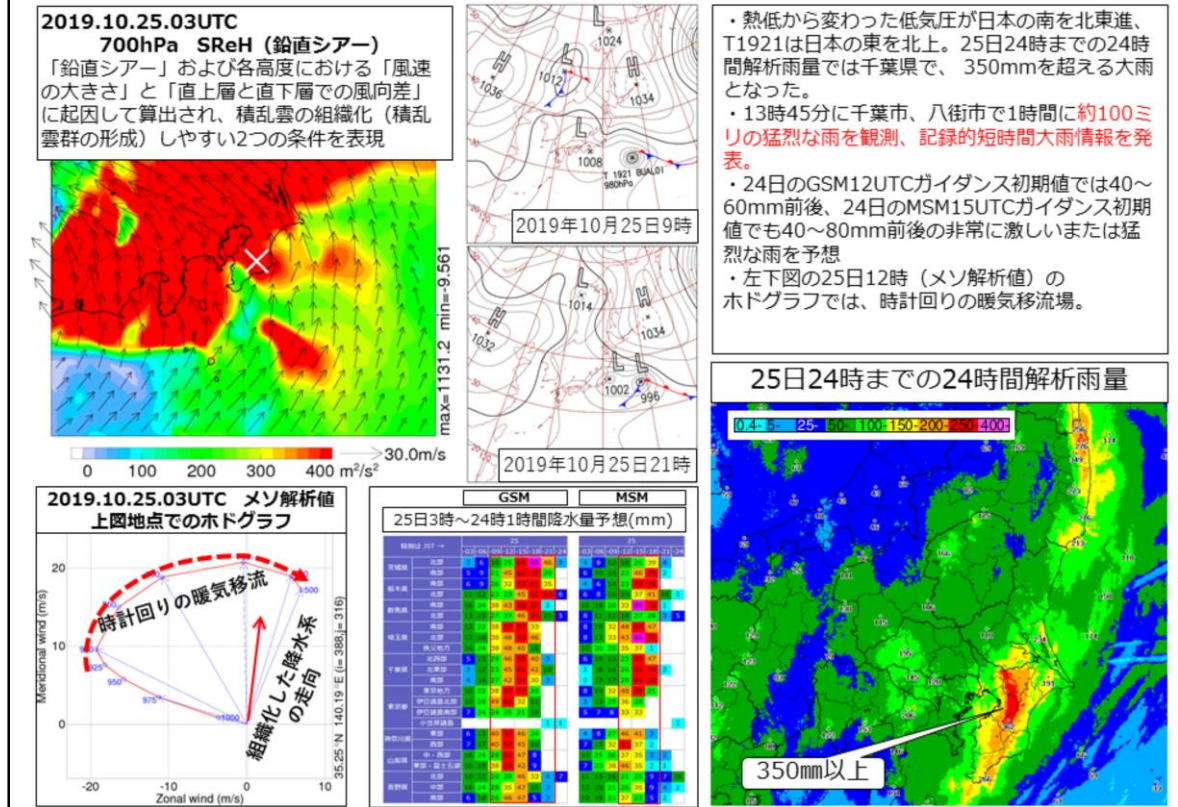
- ・ 実況値（衛星水蒸気画像（暗化域）、WPR（温度風解析+風向解析））を用いて実況とモデルの差異を確認し、適切な解釈を実施。
- ・ 実況の変化、特に中上層の時系列変化、に基づき現象を解釈。
 - ・ SATAIDによる衛星画像及び断面図、WPRの温度風解析
 - ・ 実況の確認

(3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

メインシナリオからサブシナリオへの、切り替えの必要性和タイミングについて考察

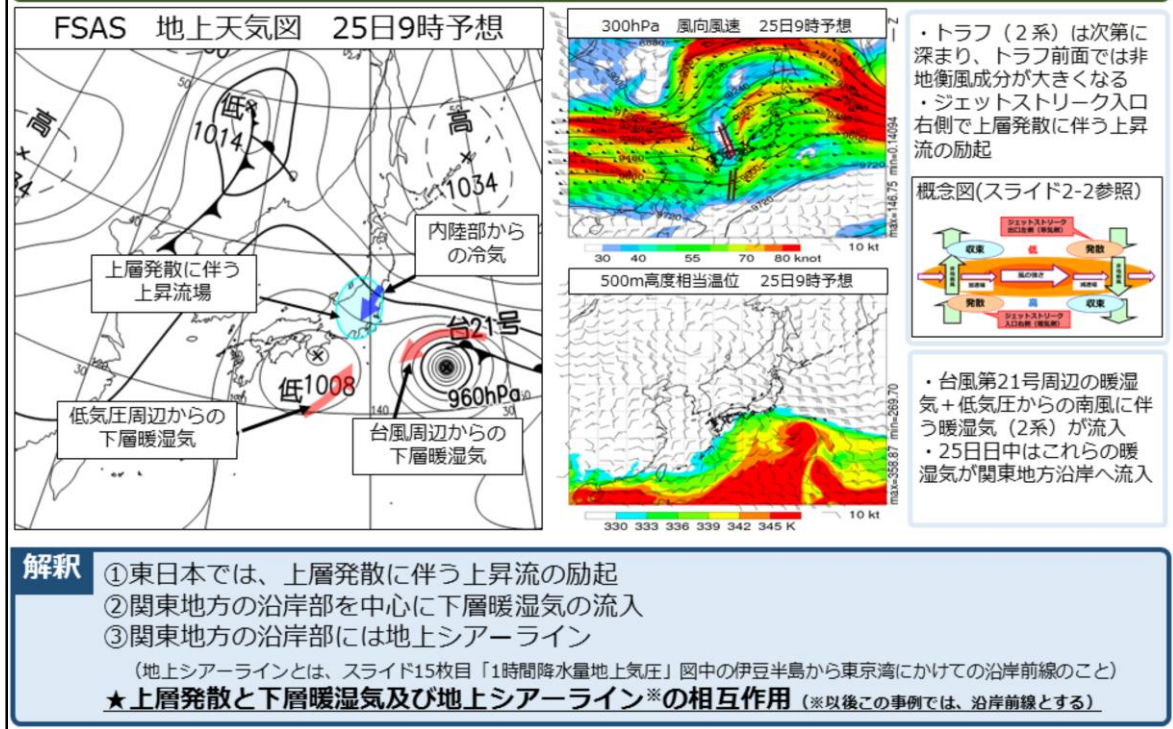
- ・ 顕著現象発生において、トリガーとなり得る要素を現象の解釈からの確に選出し、メソβスケールにおける局地現象の適切な解釈を実施。

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解



2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 GSM_24日00UTC初期値、地上天気図は24日9時のFSAS24を利用し、25日9時の総観場及び環境場を把握



【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

GSM_24日00UTC初期値、地上天気図は24日9時のFSAS24を利用し、25日9時の総観場及び環境場を把握する。

- ・トラフ (2系) は次第に深まり、トラフ前面では非地衡風成分が大きくなる。
 →概念図に示すようにジェットストリーク入口右側で上層発散に伴う上昇流の励起が予想される
- ・台風第21号周辺からの東風に伴う暖湿気や東海沖の低気圧周辺からの南風に伴う暖湿気 (2系) が東海地方から関東地方の沿岸へ流入する。
 25日日中はこれらの暖湿気が関東地方沿岸へ流入することが予想される。
- ・内陸側で形成された冷気が地上付近では北寄りの風と共に沿岸付近へ向かって流入することが予想される。

以上より、

- ①東日本では、上層発散に伴う上昇流の励起
- ②関東地方の沿岸部を中心に下層暖湿気の流入
- ③関東地方の沿岸部には地上シアーライン

(沿岸前線は、MSMの方が明瞭に予想されることが多く、千葉県では過去事例から多くの知見が予報に活用されている)

★関東地方では上層発散と下層暖湿気及び沿岸前線の相互作用が予想される

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的

- ・総観場及び環境場の把握そして予想シナリオの検討を行うことで、天気変化をもたらす環境場を理解し、メイン・サブシナリオを構築する
- ・サブシナリオの構築では、下層で上昇した空気塊を圏界面付近までさらに上昇させるシステムに着目し、災害級の大雨予想に備える

予報作業の流れ 1 対象現象：2019年10月25日の沿岸前線に伴う大雨1

予想時の着目する要素を示すと共に、メインとサブのシナリオについて検討する。
今回の現象では、24日15UTC_MSM初期値を用いて、25日朝から夜のはじめ頃にかけて3時間毎の着目する要素を基にシナリオを組み立てる。

シナリオ組み立て時の基軸：

- 1. 上層発散に伴う中層から上層にかけての上昇流を予想 【上層の場を予想】**
 - ・300hPa面等から上層ジェット対応の発散場に伴う上昇流について考察
- 2. 下層の暖湿気流入や収束域の強化から強雨域を予想【下層の場を予想】**
 - ・地上の降水分布や500m高度データの各種予想資料及び下層気温分布から収束域での降水の強まりについて考察
- 3. 上層発散や下層収束に伴う（下層から上層にかけての）上昇流を断面図から捉え、各層における上昇流の相互作用を予想 【上昇流場の相互作用をイメージ】**
 - ・断面図から下層と上層の現象は別物であることを把握し現象をイメージ

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

目的：総観場及び環境場の把握そして予想シナリオの検討を行うことで、天気変化をもたらす環境場を理解し、メイン・サブシナリオを構築する
サブシナリオの構築では、下層で上昇した空気塊を圏界面付近までさらに上昇させるシステムに着目し、災害級の大雨予想に備える

2019.10.25千葉県を対象とした大雨に伴う総観場の予想 (MSMを利用してシナリオを組み立てる)

24日15UTC MSM初期値から予想時の着目する要素を示すと共に、メインとサブのシナリオについて検討する。ここでは25日朝から夜のはじめ頃にかけて3時間毎の着目する要素を基にシナリオを組み立てる（12時及び18時は省略）。

シナリオを組み立てる時には以下の3点の関連性を軸に検討を進める。

- ①上層発散に伴う中層から上層にかけての上昇流を予想
→300hPa面等から上層ジェット対応の発散場に伴う上昇流について確認
- ②下層の暖湿気流入や収束域の強化から強雨域を予想
→地上の降水分布や500m高度予想、可降水量及び下層気温分布から収束域での降水の強まりについて確認
- ③上層発散や下層収束に伴う（下層から上層にかけての）上昇流を断面図から捉え、各層における上昇流の相互作用を予想
→断面図から下層と上層の現象は別物であることを把握し現象をイメージする

予報作業の流れ 2 対象現象：2019年10月25日の沿岸前線に伴う大雨

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ：

- ・総観場で着目する各要素について25日9時、12時、15時、18時の3時間毎の時系列で示し、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる。
- ・予報作業で用いる最大降水量ガイダンスや着目する要素が示す環境場等から、1時間最大降水量を予想する。
また、空間や時間のズレを考慮すると共に、メインシナリオとサブシナリオを予想する。

千葉県1時間最大降水量ガイダンス 単位:mm

		10/25							
		-03	-06	-09	-12	-15	-18	-21	-24
MSM 24日 15UTC 初期値	北西部	6	18	13	23	53	47		
	北東部	2	18	14	24	53	74	2	
	南部	2	13	17	20	54	50		
GSM 24日 12UTC 初期値	北西部	5	13	29	46	53	40	3	
	北東部	3	12	23	45	61	42	10	
	南部	4	14	27	42	54	30	3	

※直近のLFMの1時間最大降水量ガイダンスでも同様の時間帯に50~60mm予想となっていた

警報級の可能性の検討：

- ・総観場及び環境場から沿岸前線に伴う上昇流とジェットストリーク入口右側の上昇流による相互作用によって対流が顕著となる予想となっておりガイダンスでも警報級となっている。
- ・ガイダンスは警報級が予想されているため、前日の段階で警報級の可能性[高]を見込む。
(現象の理解に基づくガイダンスの吟味)

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ

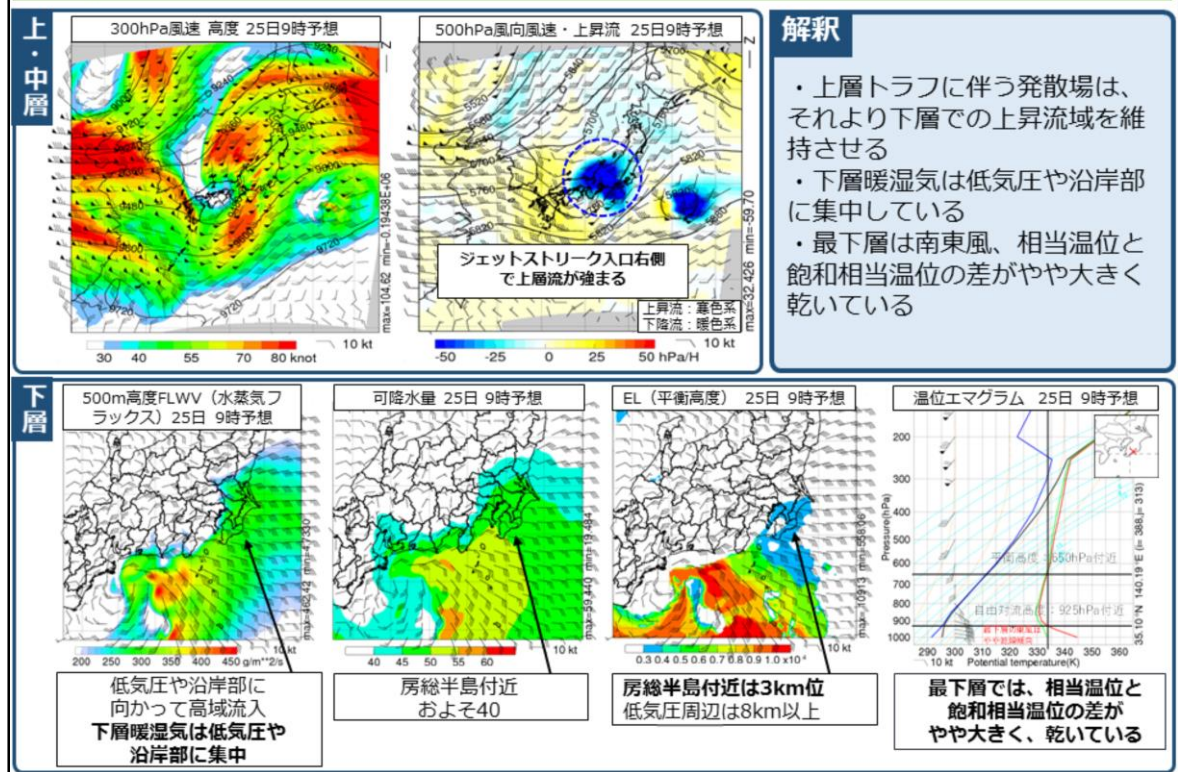
- ・総観場で着目する各要素について25日9時、12時、15時、18時の3時間毎の時系列で示し、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組立てる。(次資料以降参照(12時及び18時は省略))
- ・予報作業で用いる最大降水量ガイダンスや着目する要素が示す環境場等から、1時間最大降水量を予想する。また、空間や時間のズレを考慮すると共に、メインシナリオとサブシナリオを予想する。

警報級の可能性の検討：

- ・総観場及び環境場から沿岸前線に伴う上昇流とジェットストリーク入口右側の上昇流による相互作用が強まる予想となっておりガイダンスでも警報級となっている(大雨は予想しているが、量的予想が過少)。
- ・ガイダンスは警報級が予想されているため、前日の段階で警報級の可能性「高」を見込む。
(現象の理解に基づくガイダンスの吟味)

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 9時時点での「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 9時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

- ①上・中層：上層トラフに伴う発散場は、それより下層での上昇流域を維持させる
ジェットストリーク入口右側で上昇流が強まることを確認する
「下層」
- ②下層：下層暖湿気は低気圧や沿岸部に集中し、房総半島付近のELは約3km
- ③最下層は南東風、相当温位と飽和相当温位の差がやや大きく乾いている

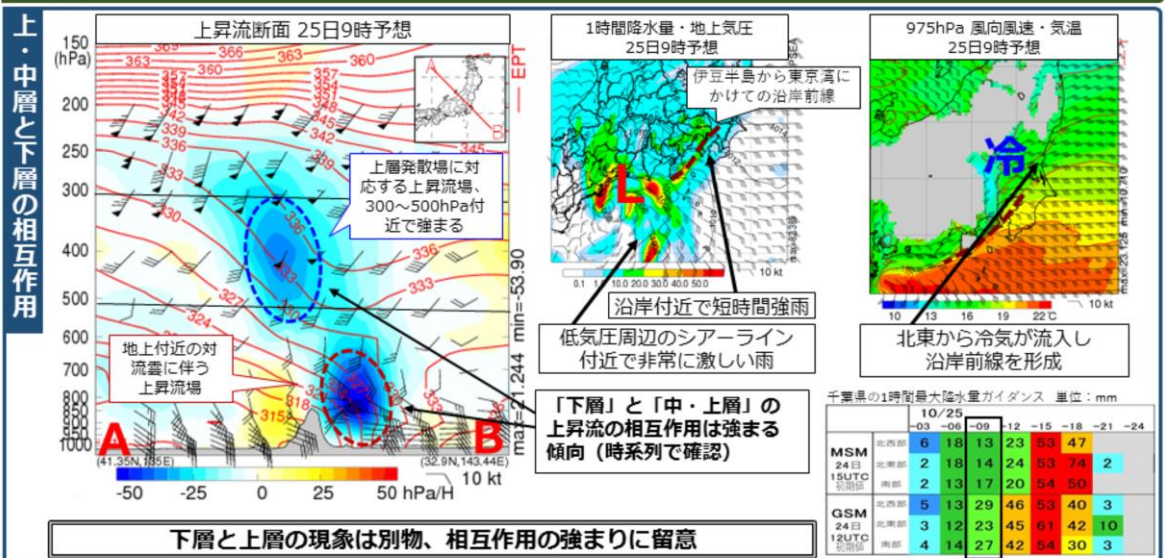
※図上右(500hPa上昇流)では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

(参考：図解説中小規模気象学(気象庁監修 加藤輝之著))

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 9時時点での「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



解釈 以下のメイン・サブシナリオを組み立てる。

【メインシナリオ】

房総半島 1時間降水量：40ミリ 沿岸前線付近（可降水量を参考に）

【サブシナリオ】

下層冷気の南下が強まり、房総半島で沿岸前線が強化された場合や位置ずれを考慮し、1時間降水量：50ミリ

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 9時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

①上・中層：上層トラフに伴う発散場は、それより下層での上昇流域を維持させる
ジェットストリーク入口右側で上昇流が強まることを示す

「下層」

②下層：下層暖湿気は低気圧や沿岸部に集中し、房総半島付近のELは約3km

③最下層は南東風、相当温位と飽和相当温位の差がやや大きく乾いている

「相互作用」

④メインシナリオ：房総半島付近への沿岸前線の形成はやや不明瞭であることから可降水量を参考に 1時間降水量 40ミリ

「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用は強まる傾向があるため実況に留意

⑤サブシナリオ：内陸側からの下層冷気の南下が強まり、房総半島で沿岸前線による収束が強化された場合、位置ずれを考慮し 1時間降水量 50ミリ

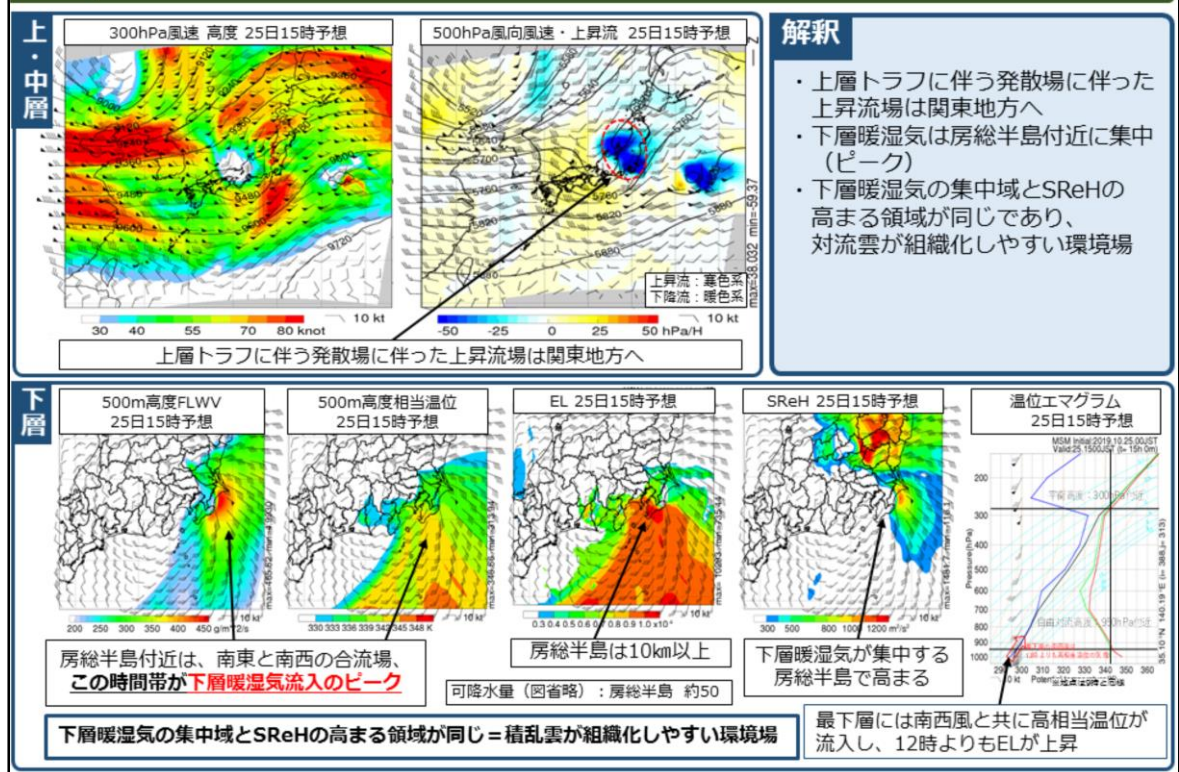
※図左（上昇流断面図）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 15時時点での「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 15時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

- ①上層トラフに伴う上昇流場は関東地方上空へ進む
「下層」
- ②下層暖湿気が房総半島に集中し、EL10km以上、SReHは高まり、対流雲が組織化しやすい環境場(この時間帯がピーク)
→下層暖湿気の集中域とSReHの高まる領域が同じ
- ③最下層には南西風と共に高相当温位が流入し湿潤化、12時よりもELは上昇
- ④メインシナリオ: 房総半島は下層暖湿気流入のピーク
ガイダンス参考に1時間降水量 60ミリ
「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用のピーク
「相互作用」
- ⑤サブシナリオ: 下層の収束強化 可降水量×1.5倍の1時間降水量 80ミリ
- ⑥最悪のシナリオ: 「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用のピークが重なり 1時間降水量: 100ミリ
→上層擾乱と下層擾乱の相互作用により、下層で上昇した空気塊を圏界面付近までさらに上昇させるシステム強化

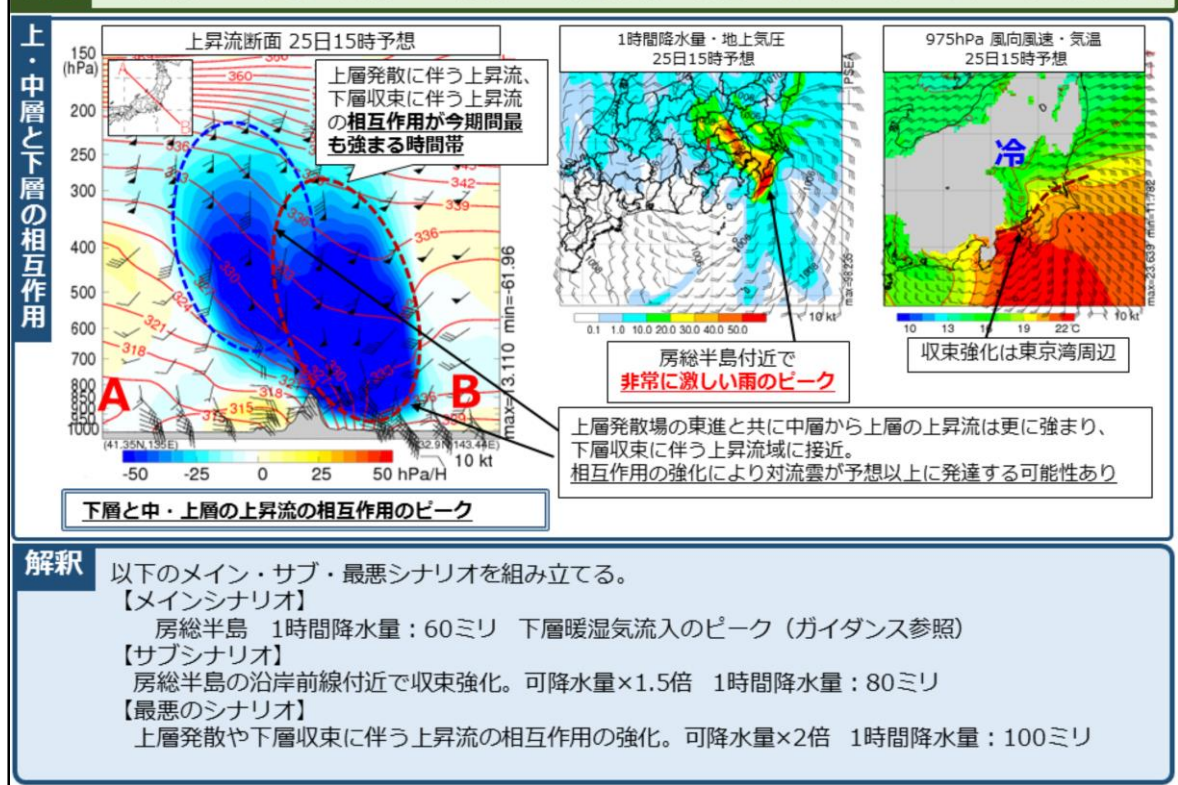
※図上右(500hPa上昇流)では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

(参考: 図解説中小規模気象学(気象庁監修 加藤輝之著))

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 15時時点での「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 15時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる

「上層・中層」

①上層トラフに伴う上昇流域は関東地方上空へ進む

「下層」

②下層暖湿気が房総半島に集中し、EL10km以上、SReHは高まり、対流雲が組織化しやすい環境場（この時間帯がピーク）

→下層暖湿気の集中域とSReHの高まる領域が同じ

③最下層には南西風と共に高相当温位が流入し湿潤化、12時よりもELは上昇

④メインシナリオ：房総半島は下層暖湿気流入のピーク

ガイダンス参考に1時間降水量 60ミリ

「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用のピーク

「相互作用」

⑤サブシナリオ：下層の収束強化 可降水量×1.5倍の1時間降水量 80ミリ

⑥最悪のシナリオ：「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用のピークも重なり 可降水量×2倍の1時間降水量：100ミリ

→上層発散や下層収束に伴う上昇流の相互作用に伴い、下層で上昇した空気塊を圏界面付近までさらに上昇させるシステムが強化

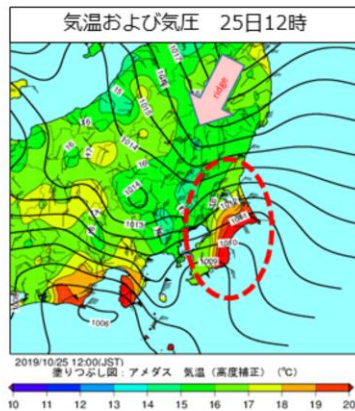
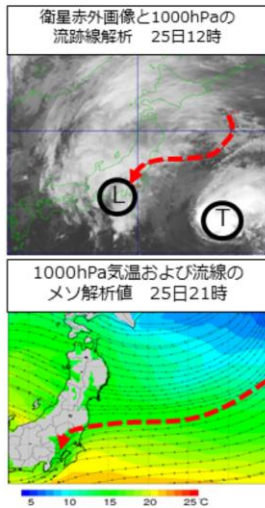
※図左（上昇流断面図）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

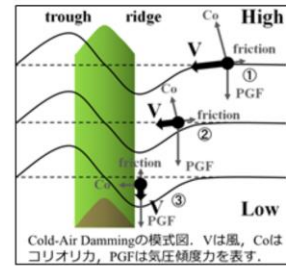
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認

目的 シナリオ通りに現象が進んでいるか、寒気の形成状況を確認する



Cold-Air Dammingとは



「Cold-Air Damming (以下、CADと表記する)」は、南北に連なる山地を西側に持つ海岸平野部で、気圧のリッジと北寄りの風を伴う冷気が強化されることを指す。
(参考文献) 荒木健太郎, 2015 : Cold-Air Damming. 天気, 62, 545-547.)

解釈

- ・図左上：25日12時はオホーツク海高気圧起源からの気塊の移流（赤破線）が関東地域に確認できる（CAD形成を示唆）。
- ・図中央：25日12時JSTの気温および気圧（中央図）で、北から楔状の高気圧の張り出しがあり、**内陸の寒気と千葉沿岸の暖気での温度傾度が大きい。**
- ・図左下：1000hPa気温および流線のメソ解析値（24日21時、25日12時、25日18時）では、CADでの寒気移流（赤破線）が確認できる。

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認】

目的：シナリオ通りに現象が進んでいるか、寒気の形成状況を確認する

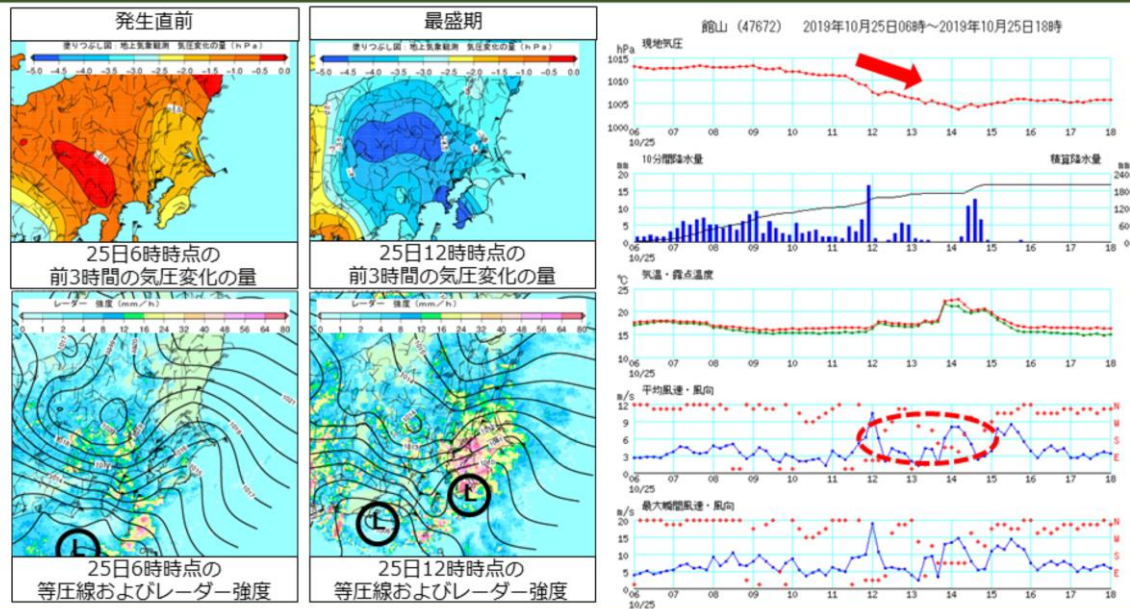
- ・SATAIDを用いた流跡線解析1000hPa（左上図）では、25日12時はオホーツク海高気圧起源からの気塊の移流（赤破線）が関東地域に確認できる（CAD形成を示唆）。また、25日12時JSTの気温および気圧（中央図）でも、北から楔状の高気圧の張り出しがあり、内陸の寒気と千葉沿岸の暖気での温度傾度が大きい。
- ・1000hPa気温および流線のメソ解析値（24日21時、25日12時、25日18時）では、最盛期までCADでの寒気移流が見て取れ、衰弱期では南東風系となり寒気移流も弱まったとわかる。

Cold-Air Dammingとは

「Cold-Air Damming (以下、CADと表記する)」は、南北に連なる山地を西側に持つ海岸平野部で、気圧のリッジと北寄りの風を伴う冷気が強化されることを指す。
(参考文献) 荒木健太郎, 2015 : Cold-Air Damming. 天気, 62, 545-547.

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認

目的 シナリオ通りに現象が進んでいるか、気圧低下を確認する



解釈

- ・ 前3時間の気圧変化量：関東甲信内陸及び三浦半島から千葉南部にかけて3時間-4hPa程度の気圧低下
- ・ 地上気圧：千葉南部付近ではメソ低気圧が発生。発生直前では千葉南部と関東甲信内陸との気圧差がおおむね5hPa、最盛期でもおおむね5hPa、気圧傾度の大きい状態が維持されていた
- ・ 千葉県館山での観測時系列（図右）では、12時頃から気圧の急激な低下があり、風向も南寄りの風系に変わったため、気温・露点温度が上昇し、**局地的なメソ低気圧の形成**があったことが示唆される。

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認】

目的：シナリオ通りに現象が進んでいるか、気圧低下を確認する

【3時間の気圧変化の量】

・ 25日06時JSTの発生直前（左上図）では、気圧の顕著な低下は見られないが、25日12時JSTの最盛期（中央上図）では、関東甲信内陸及び三浦半島から千葉南部にかけて-4hPa程度の気圧低下が見て取れる。

【地上気圧】

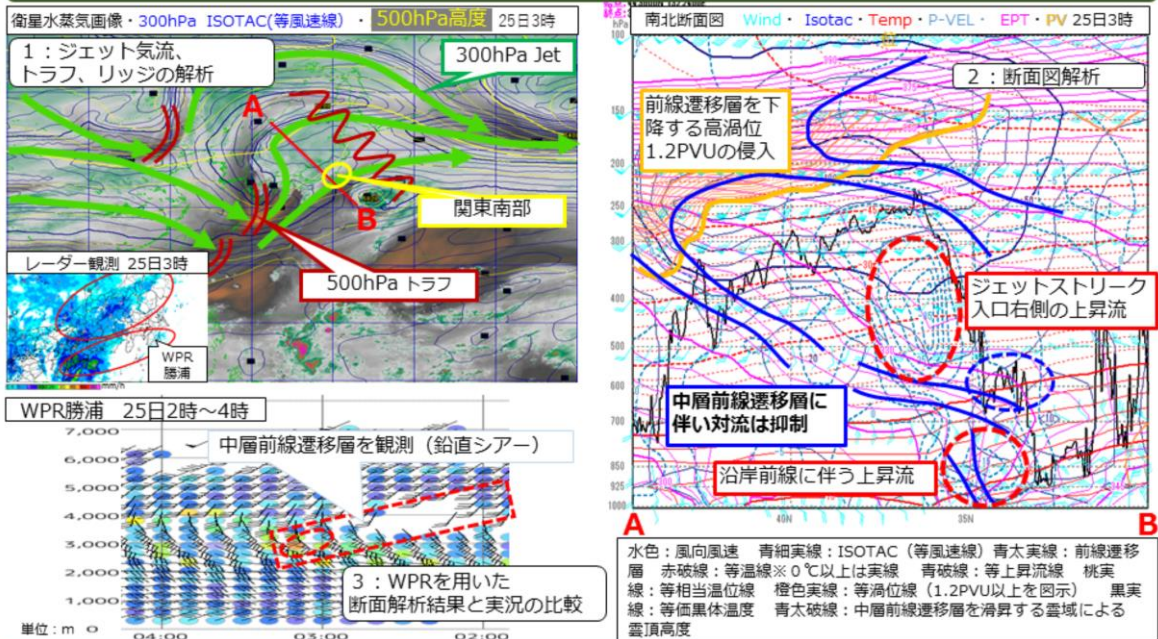
・ 25日06時JSTの発生直前（左下図）では千葉南部付近では、メソ低気圧の発生がわかる。また、千葉南部と関東甲信内陸との気圧差がおおむね5hPa（1019-1014）であった。
 ・ 25日12時JSTの最盛期（中央下図）でも、おおむね5hPa（1014-1009）となっていることから、気圧傾度の大きい状態が維持されていたことが見て取れる。

【館山の観測時系列】

・ 千葉県館山での観測時系列（右図）では、12時頃から気圧の急激な低下があり、風向も南寄りの風系に変わった。このため、気温・露点温度が上昇し、**局地的なメソ低気圧の形成**があったことが示唆される。

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認

目的 現象発生前 25日3時において、WPR（実況）と、SATAID（GSM（予想値）+雲頂高度（実況））より、予想と実況を照らし合わせ、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討



解釈 関東地方南岸付近では現在、ジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）と沿岸前線に伴う上昇流（中下層）との相互作用による対流雲の発達は見られない（中層で安定層）

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認】

目的: WPR（実況）と、SATAID（GSM（予想値）+雲頂高度（実況））より、予想と実況を照らし合わせ、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討

衛星水蒸気画像

・九州付近にはトラフ後面の明瞭な暗域侵入、西日本～東日本はトラフ前面で明瞭な明域。

レーダー観測

・東日本太平洋側の沿岸では、エコー強度の強い領域が見られ、一部線状化したエコーも見られる。また、日本海側では面的広がりのある弱いエコー強度が卓越している。

SATAID南北断面（東日本）

・北陸地方の日本海側（北緯37度付近）では寒帯ジェットストリーク入口右側で上昇流（中上層）を確認、東日本太平洋沿岸（北緯35度付近）の下層では温度傾度を伴った沿岸前線周辺で上昇流（中下層）を確認、中層前線は緩やかに傾斜。レーダー観測と断面構造から東日本日本海側では層積雲、東日本太平洋側では対流雲の存在をそれぞれ示唆。

WPR勝浦

・4000m付近に空白域及び大きな鉛直シア（3時頃から鉛直シアが明瞭）の存在、中層付近に安定層の存在を示唆。

SATAID断面図解析より得られる解釈

- ・関東地方南岸付近ではジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）と沿岸前線に伴う上昇流（中下層）との相互作用による対流雲の発達は見られない。
- ・関東南岸の沿岸前線は、この段階では上層前線が起因する下層収束ではなく、内陸部での冷氣層形成に伴い沿岸部で温度傾度が大きくなることによる下層のみの収束である
- ・沿岸前線に伴う対流は中層前線による安定層によって抑制。

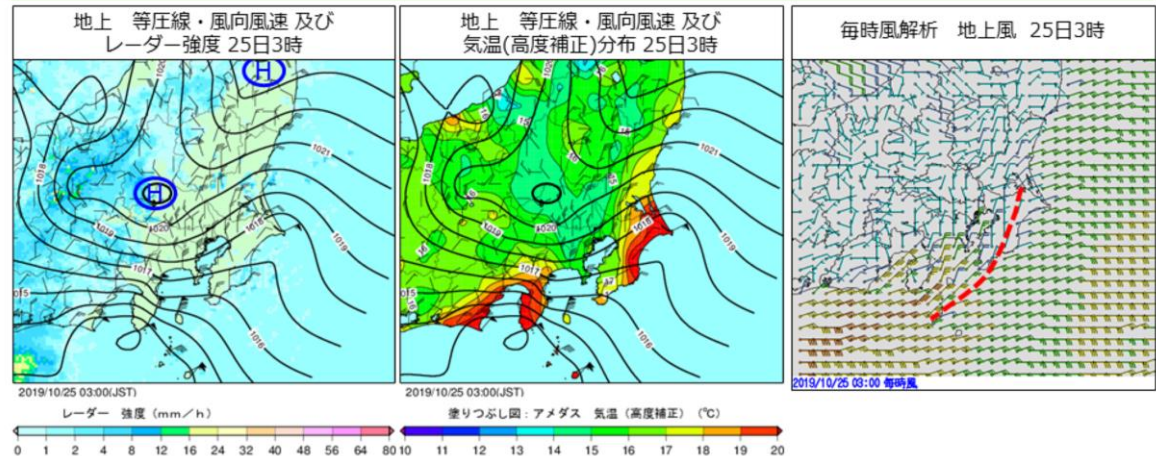
※ジェットと前線遷移層の概念図については、

総観気象学基礎編 3.1 上部対流圏のジェット気流 を参照のこと。

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_synop_basic_20200206.pdf

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認

目的 現象発生前 25日3時において、メソ高気圧の存在、温度傾度の大きさ、沿岸収束の形成について局地解析で確認し、沿岸前線の強化と中上層の前線の変化（安定層の推移）を確認する



オホーツク海高気圧から**楔状の高気圧張り出し**および関東地方に**メソ高気圧**

千葉県および静岡県の沿岸では、**温度傾度が大きい**

千葉県沿岸では、**沿岸収束の形成**

解釈 局地解析では沿岸前線の強化（気圧傾度、温度傾度が大きくなる）と、中上層の前線の変化（安定層の推移）に注目。

沿岸前線形成の可能性を考慮し、サブシナリオおよび最悪シナリオへの切り替えを検討

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認】

目的：メソ高気圧の存在、温度傾度の大きさ、沿岸収束の形成について局地解析で確認し、沿岸前線の強化と中上層の前線の変化（安定層の推移）を確認する

前スライド（SATAIDによる総観場の解釈（現象発生前 25日3時））より、

- ・ 関東南岸の沿岸前線は、この段階では上層前線が起因する下層収束ではなく、内陸部での冷氣層形成に伴い沿岸部で温度傾度が大きくなることによる下層のみの収束である
- ・ 中層付近の安定層によって対流が抑制されている

ことが伺える。これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

【左図】レーダーエコーおよび等圧線では、関東甲信地方は、低気圧前面で10mm程度の弱い降水を観測。東北地方から楔状の高気圧および関東地方にメソ高気圧が解析できる。

【中図】高度補正した等温線では、北からの寒気移流により、内陸では15°C前後の相対的な冷氣が広がり、千葉県および静岡県の沿岸では20°C前後となっていることから、温度傾度が大きい状態が確認できる。

また、等圧線では、オホーツク海高気圧から楔上の高気圧張り出しと関東内陸にはメソ高気圧も解析できた。

【右図】地上の毎時風では、千葉県沿岸部から伊豆諸島に向けて北と北東の地上シアーが確認でき、千葉県沿岸では、沿岸収束の形成が見て取れる。

局地解析では沿岸前線の強化（気圧傾度、温度傾度が大きくなる）と、中上層の前線の変化（安定層の推移）に注目する必要がある。

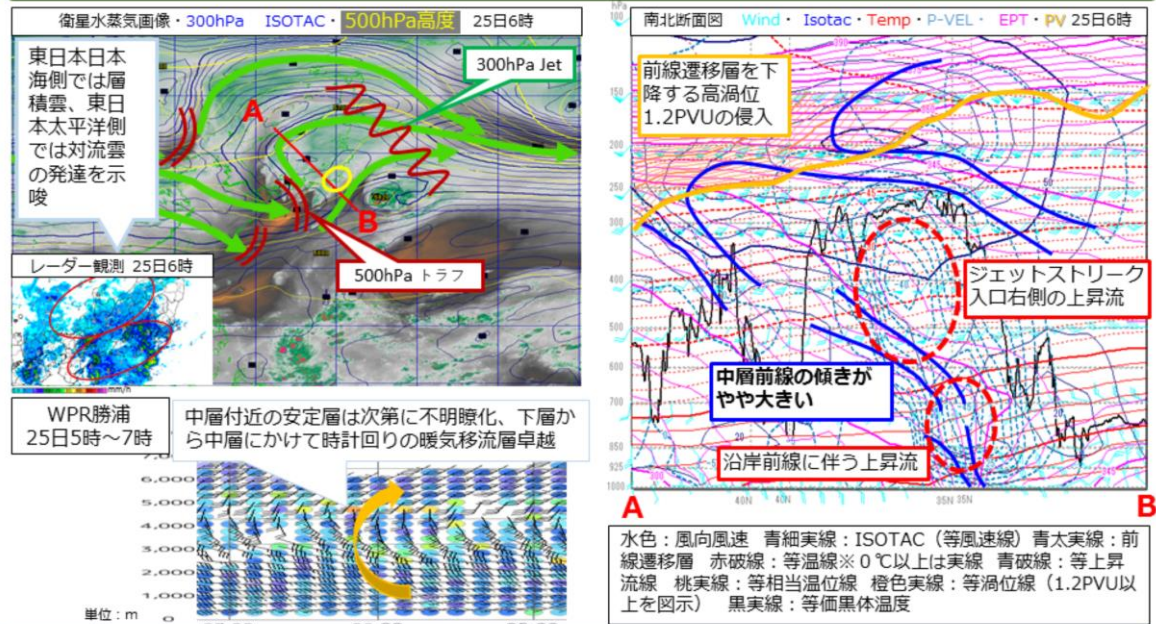
【シナリオの検討】

沿岸前線形成の可能性を考慮し、サブシナリオおよび最悪シナリオへの切り替えを現象発生前に検討する。

（千葉県では過去の経験から、「沿岸前線の強化→強雨域が同一地域に停滞→予想をはるかに超える大雨」の知見がある。この時点でサブシナリオの検討はもちろんのこと、最悪のシナリオまでを含めた検討も行うことを示す）

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認

目的 現象発生直前 25日6時において、ジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）と沿岸前線に伴う上昇流（中下層）との相互作用を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討



解釈 ジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）と沿岸前線に伴う上昇流（中下層）との相互作用は関東沿岸では見られないが、伊豆諸島付近ではエコーの発達が見られるため、トラフ東進に伴い両上昇流の相互作用が徐々に顕著となってきている。

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (2) 予想や実況の確認】

目的：ジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）と沿岸前線に伴う上昇流（中下層）との相互作用を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討

衛星水蒸気画像

・西日本にトラフ後面の明瞭な暗域が侵入し、東日本はトラフ前面の明域明瞭で、暗域先端部。

SATAID南北断面（東日本）

・関東地方北部から北陸地方日本海側（北緯36~37度）では寒帯ジェットストリーク入口右側で上昇流（中上層）を確認、東日本太平洋沿岸（北緯35度付近）の下層では温度傾度を伴った沿岸前線周辺で上昇流（中下層）を確認、中層前線の傾きがやや大きい。レーダーと断面構造から東日本日本海側では層積雲、東日本太平洋側では対流雲の発達を示唆。

WPR勝浦

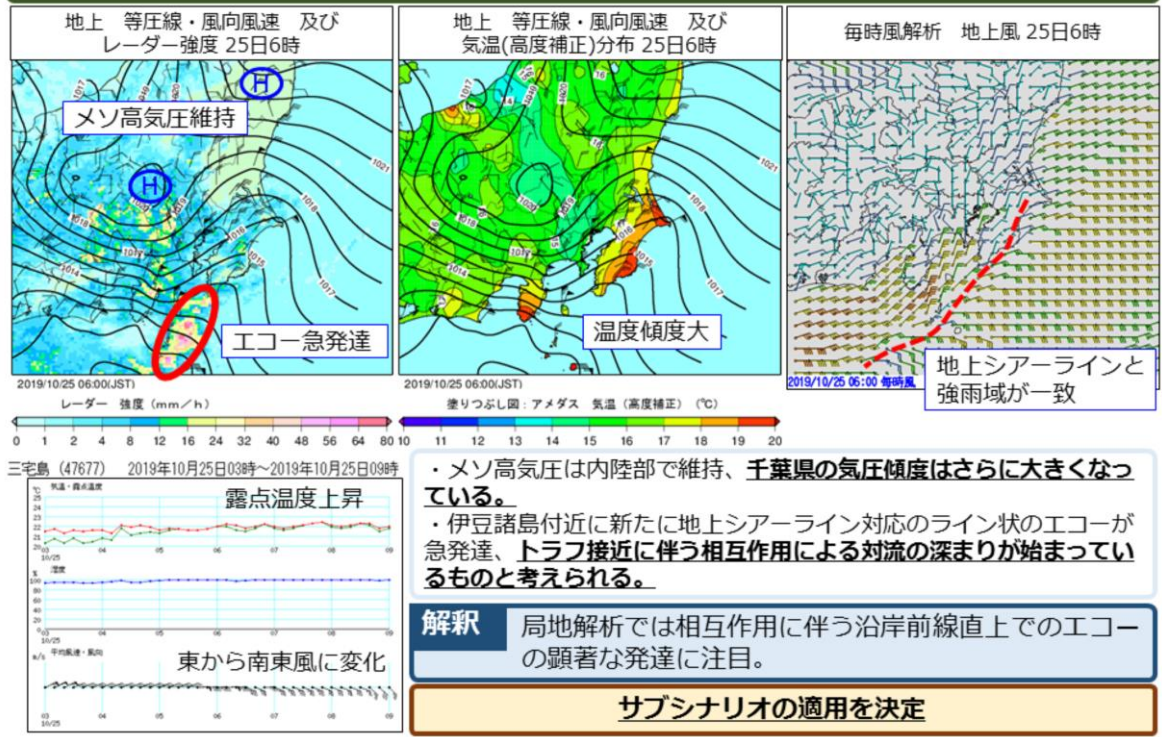
・中層付近の鉛直シア（安定層）は次第に不明瞭化、下層から中層にかけて時計回りの暖気移流層が卓越

SATAID断面図解析より得られる解釈

・ジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）と沿岸前線に伴う上昇流（中下層）との相互作用は関東沿岸では見られないが、伊豆諸島付近ではエコーの発達が見られるため、トラフ東進に伴い両上昇流の相互作用が徐々に顕著となってきている。

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 現象発生直前 25日6時において、地上の気圧傾度、温度傾度、露点温度などを確認し、地上収束や暖気移流強化を解析、現象発生場所を確認する



【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

目的: 地上の気圧傾度、温度傾度、露点温度などを確認し、地上収束を解析、現象発生場所を確認する

前スライド (SATAIDによる総観場の解釈 (現象発生直前 25日6時)) より、ジェットストリーク入口右側の上昇流 (中上層) と沿岸前線に伴う上昇流 (中下層) との相互作用は関東沿岸では見られないが、伊豆諸島付近ではエコーの発達が見られるため、トラフ東進に伴い両上昇流の相互作用が徐々に顕著となってきている。

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

【左上図】レーダーエコーおよび等圧線では、メソ高気圧は維持され、関東沿岸から東海沖にかけて低気圧接近に伴う気圧の低下があり、千葉県の気圧傾度はさらに大きくなっている。

また、伊豆諸島付近に新たにラインエコーが急速に発達しており、トラフ接近に伴う相互作用による対流の深まりが始まっているものと考えられる。

【中図】高度補正した等温線では、温度傾度が大きい状態が千葉県では引き続き維持されている (静岡県沿岸は解消傾向)。

【右図】地上の毎時風では、地上シアーラインは伊豆諸島西海上付近まで解析され、強雨域と一致していることがわかる。

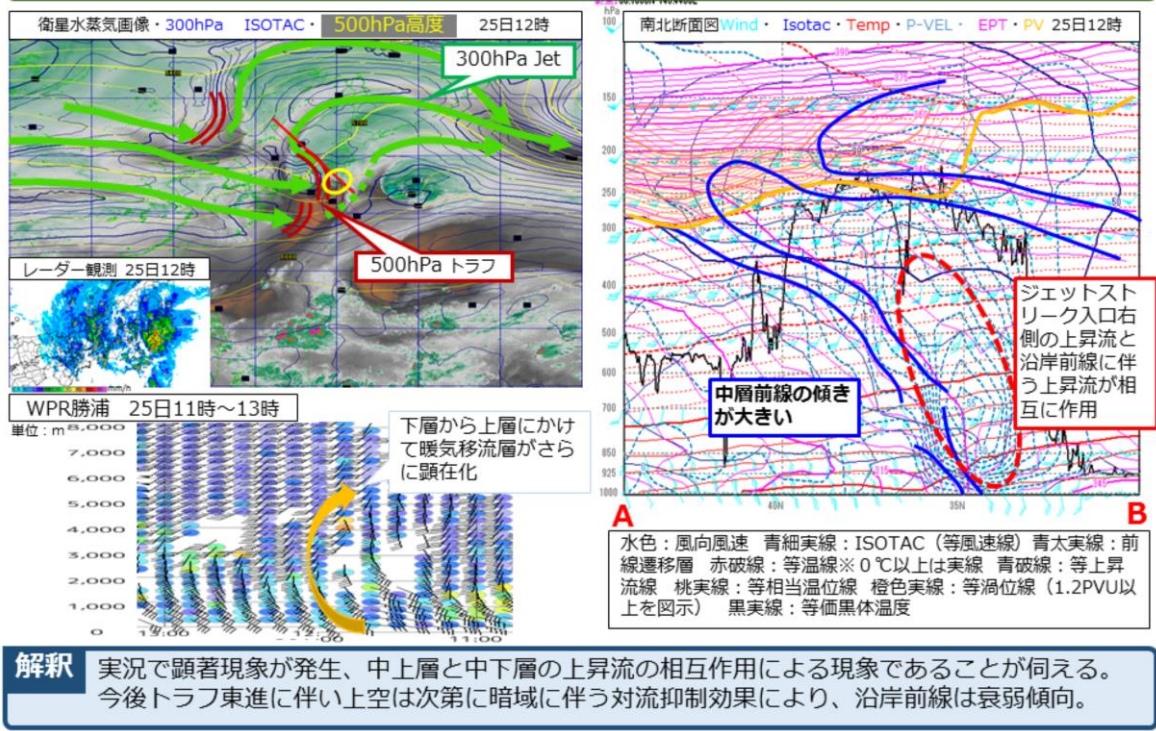
【左下図】三宅島の観測時系列では、06時から東から南東風系に変わり、露点温度も22°Cへ上昇し、暖気移流を示唆。

【シナリオの検討】

沿岸前線形成を現在の対流雲の実況から確認し、確度の高さを検討することにより、現象発生前にサブシナリオの適用および最悪シナリオの可能性を考察する。

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 最盛期 25日12時において、ジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）と沿岸前線に伴う上昇流（中下層）との相互作用を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討



【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

目的：ジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）と沿岸前線に伴う上昇流（中下層）との相互作用を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討

衛星水蒸気画像

・東日本太平洋沿岸までトラフ対応の明瞭な暗域が侵入、東日本は暗域先端部でバウンダリーが明瞭。

SATAID南北断面（関東付近）

・関東地方（北緯35～36度）では寒帯ジェットストリーク入口右側での上昇流と関東南岸の沿岸前線対応の上昇流が重なり、中層前線の傾きがさらに大きくなっている。レーダー観測と断面構造及び等価黒体温度から、東日本太平洋側では圏界面に到達する対流雲の顕著な発達を示唆。

WPR勝浦

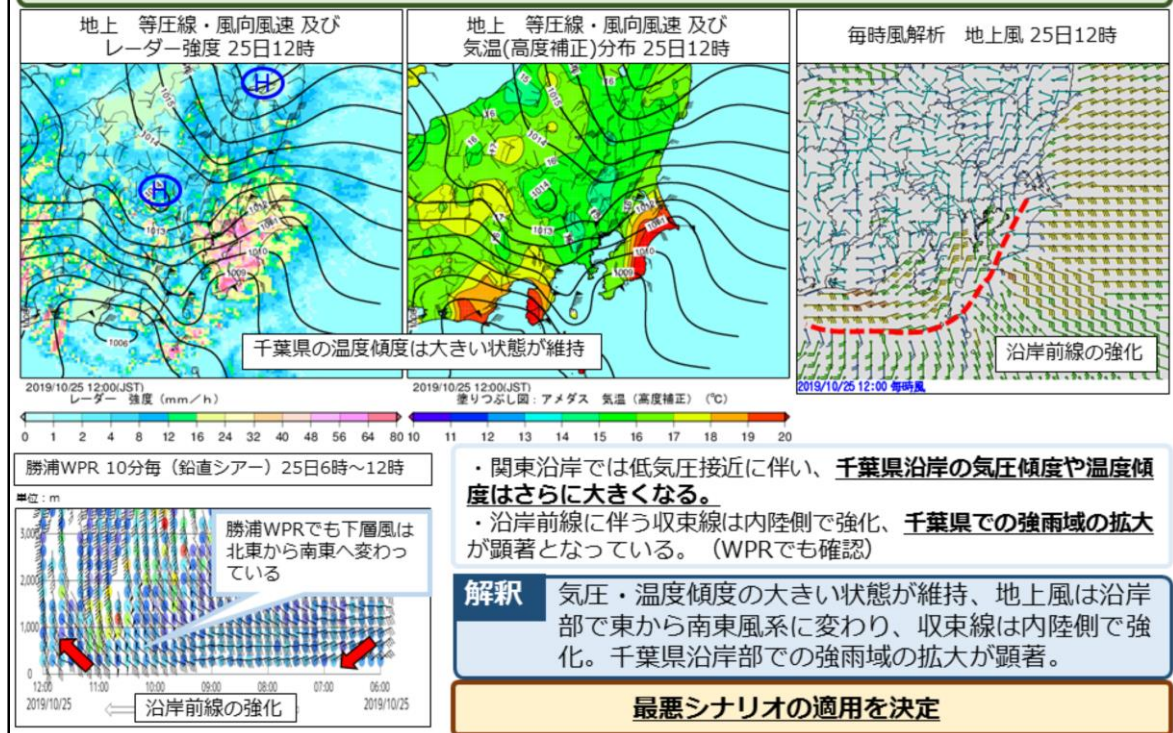
・下層から上層にかけて風が一様に強まり時計回りの暖気移流が顕在化。

SATAID断面図解析より得られる解釈

・実況では顕著な現象が発生、中上層と中下層の上昇流の相互作用による現象の顕在化であることが伺える。トラフ東進に伴い上空では次第に暗域拡大に伴う対流抑制効果により、前線（沿岸前線）は衰弱傾向。

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 最盛期 25日12時において、地上の気圧傾度、温度傾度などを確認し、地上収束を解析、現象が持続されるかどうかを確認する



【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

目的: 地上の気圧傾度、温度傾度などを確認し、地上収束を解析、現象が持続されるかどうかを確認する

前スライド (SATAIDによる総観場の解釈 (最盛期 25日12時)) より、実況では顕著な現象が発生、中上層と中下層の上昇流の相互作用による現象の顕在化であることが伺える。トラフ東進に伴い上空では次第に暗域拡大に伴う対流抑制効果により、前線 (沿岸前線) は衰弱傾向。

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

【左上図】レーダーエコーおよび等圧線では、楔状の高気圧およびメソ高気圧は維持されるも気圧としては下降傾向だが、関東沿岸では低気圧接近に伴いさらに気圧が低下し、千葉県の気圧傾度は大きい状態が維持されていることが解析できる。また、千葉県全体に強雨域が広がっていることも確認できる。

【中図】高度補正した等温線では、千葉県では引き続き、温度傾度の大きい状態が維持されている。

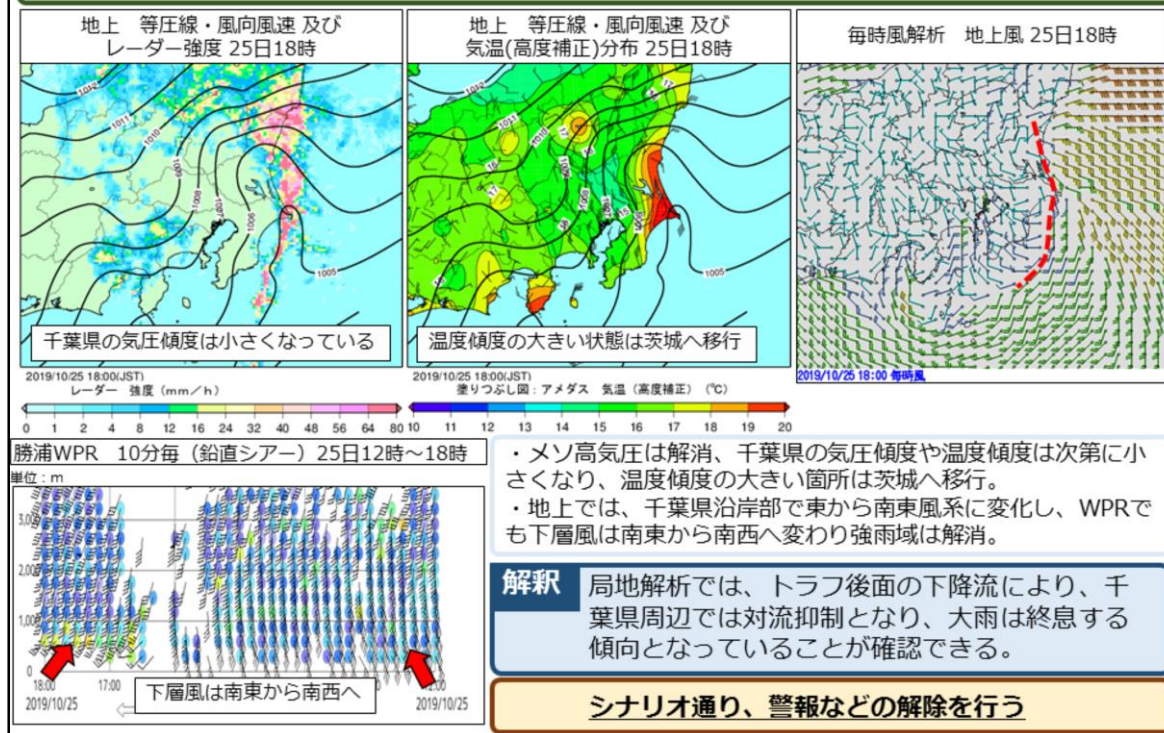
【図上右、図左下】地上の毎時風では、千葉県沿岸部は東から南東風系にかわり、勝浦WPRでも下層風は北東から南東へ変わっていることから沿岸前線に伴う収束線は内陸側で強化、千葉県沿岸部での強雨域の拡大が顕著となっている。

【シナリオの検討】

対流雲の広がり、実況雨量などから最悪シナリオの適用を検討し、警報や土砂災害警戒情報、指定河川洪水予報、特別警報など、段階的に防災気象情報の発表を検討する。

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 衰弱期 25日18時において、地上の気圧傾度、温度傾度などを確認し、地上収束を解析、現象の衰弱タイミングを確認する



【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

目的：地上の気圧傾度、温度傾度などを確認し、地上収束を解析、現象の衰弱タイミングを確認する

【左上図】レーダーエコーおよび等圧線では、楔状の高気圧およびメソ高気圧は解消され、気圧傾度、温度傾度ともに強雨域北上と共に小さくなっていることが確認できる。

【中図】高度補正した等温線では、温度傾度の大きい状態は強雨域のエコー移動とともに茨城、福島へ移行していることがわかる。

【右図、左下図】地上の毎時風では、千葉県沿岸部は東から南東風系にかわり、勝浦WPRでも下層風は南東から南西へ変わっていることから強雨域は解消傾向にあると見て取れる。

【シナリオの検討】

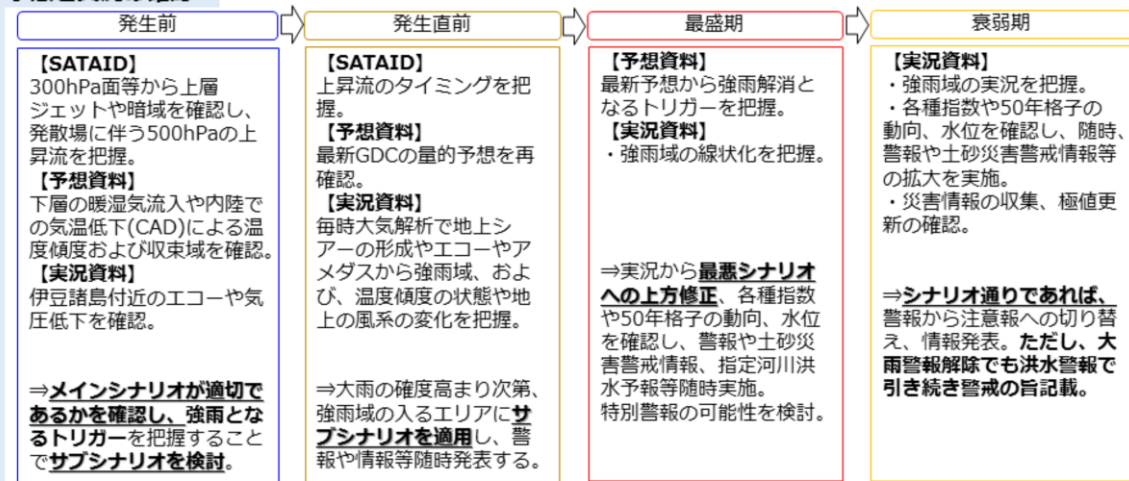
対流雲の解消トリガーを実況からシナリオ通りか確認する。

2-3-1 2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 まとめ

シナリオ検討

- ・9時予想 (メイン) 房総半島 1時間降水量: 40ミリ、強雨は低気圧周辺 (サブ) 下層冷気の南下が強まり、房総半島で沿岸前線が強化された場合、可降水量並み1時間降水量: 50ミリ
- ・15時予想 (メイン) 房総半島 1時間降水量: 60ミリ、下層暖湿気流入のピーク (サブ) 房総半島の沿岸前線付近で収束強化。可降水量×1.5倍 1時間降水量: 80ミリ (最悪のシナリオ) 上層発散や下層収束に伴う上昇流の相互作用の強化が重なる 可降水量×2倍 1時間降水量: 100ミリ

予想と実況の確認



現象の各ステージの理解により、適切なメイン・サブシナリオ構築および適用が可能となる

【2019年10月25日 沿岸前線に伴う大雨事例 まとめ】

シナリオ検討:

- ・9時予想 (メイン) 房総半島 1時間降水量: 40ミリ、強雨は低気圧周辺 (サブ) 下層冷気の南下が強まり、房総半島で沿岸前線が強化された場合、可降水量並み1時間降水量: 50ミリ
- ・15時予想 (メイン) 房総半島 1時間降水量: 60ミリ、下層暖湿気流入のピーク (サブ) 房総半島の沿岸前線付近で収束強化。可降水量×1.5倍 1時間降水量: 80ミリ (最悪のシナリオ) 「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用のピークも重なり 可降水量×2倍 1時間降水量: 100ミリ
- ⇒上層発散や下層収束に伴う上昇流の相互作用に伴い、下層で上昇した空気塊を圏界面付近までさらに上昇させるシステムが強化

予想と実況の確認:

発生前

【SATAID】 300hPa面等から上層ジェットや暗域を確認し、発散場に伴う500hPaの上昇流を把握。

【予想資料】 下層の暖湿気流入や内陸での気温低下(CAD)による温度傾度および収束域を確認。

【実況資料】 伊豆諸島付近のエコーや気圧低下を確認。

⇒**メインシナリオが適切であるかを確認し、強雨となるトリガーを把握することでサブシナリオを構築。**

直前

【SATAID】 上昇流のタイミングを把握。

【予想資料】 最新GDCの量的予想を再確認。

【実況資料】 毎時大気解析で地上シアアの形成やエコーやアメダスから強雨域、および、温度傾度の状態や地上の風系の変化を把握。

⇒**大雨の確度高まり次第、強雨域の入るエリアにサブシナリオを適用し、警報や情報等随時発表する。**

最盛期

【予想資料】 最新予想から強雨解消となるトリガーを把握。

【実況資料】

- ・強雨域の線状化を把握。

⇒**実況から最悪シナリオへの上方修正、各種指数や50年格子の動向、水位を確認し、警報や土砂災害警戒情報、指定河川洪水予報等随時実施。特別警報の可能性を検討。**

衰弱期

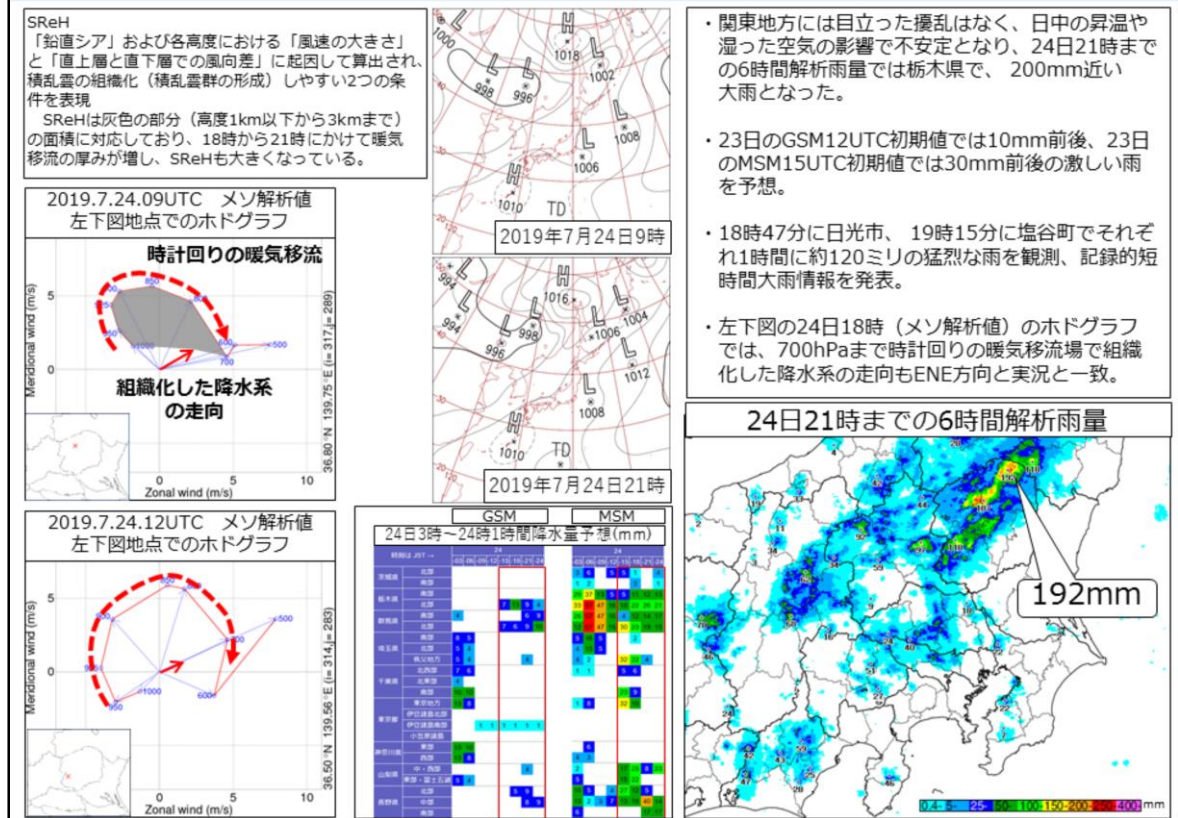
【実況資料】

- ・強雨域の実況を把握。
- ・各種指数や50年格子の動向、水位を確認し、随時、警報や土砂災害警戒情報等の拡大を実施。
- ・災害情報の収集、極値更新の確認。

⇒ **シナリオ通りであれば、警報から注意報への切り替え、情報発表。ただし、大雨警報解除でも洪水警報で引き続き警戒の旨記載。**

⇒ **現象の各ステージの理解により、適切なメイン・サブシナリオ構築および適用が可能となる**

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

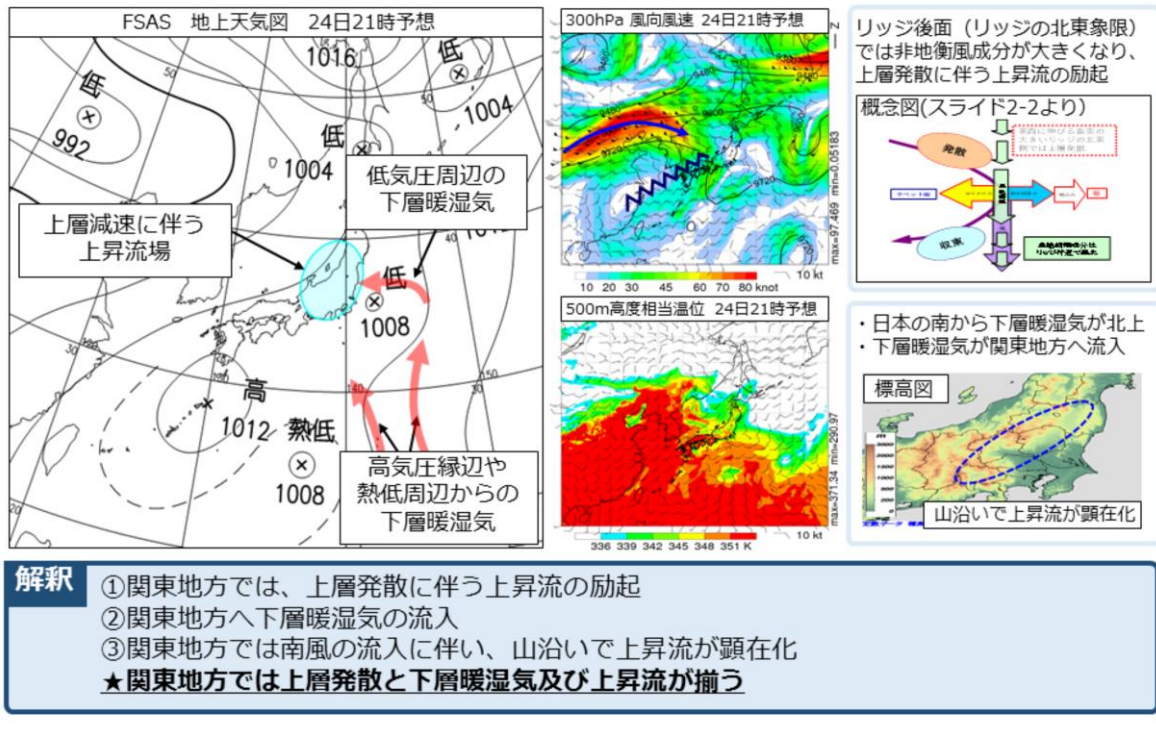


【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

- ・関東地方には目立った擾乱はなく、日中の昇温や湿った空気の影響で不安定となり、24日21時までの6時間解析雨量では栃木県で、200mm近い大雨となった。
- ・23日のGSM12UTC初期値では10mm前後、MSM15UTC初期値では30mm前後の激しい雨を予想。
- ・18時47分に日光市、19時15分に塩谷町でそれぞれ1時間に約120ミリの猛烈な雨を観測、記録的短時間大雨情報を発表。
- ・左下図の24日18時（メソ解析値）のホドグラフでは、700hPaまで時計回りの暖気移流で組織化した降水系の走向もENE方向と実況と一致。

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

目的 現象1日前において、GSM_23日12UTC初期値、地上天気図は23日21時のFSAS24を利用し、24日21時の総観場及び環境場を把握



【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

GSM_23日12UTC初期値、地上天気図は23日21時のFSAS24を利用し、24日21時の総観場及び環境場を把握

・リッジ後面（リッジの北東象限）では非地衡風成分が大きくなり、図上右のように上層発散に伴う上昇流の励起が予想される。

・高気圧縁辺や熱帯低気圧北上に伴い日本の南から下層暖湿気が北上。

また、関東の東海上の低気圧から南東風と共に下層暖湿気が関東地方へ流入することが予想される。

① 関東地方では、上層発散に伴う上昇流の励起

② 関東地方へ下層暖湿気の流入

③ 関東地方では南風の流入に伴い、山沿いで上昇流が顕在化

★ 関東地方では上層発散と下層暖湿気及び上昇流が揃う

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

目的 メイン・サブシナリオ構築のための予報作業の流れに関する説明

予報作業の流れ 1 対象現象：2019年7月24日の熱的不安定に伴う大雨

予想時の着目する要素を示すと共に、メインとサブのシナリオについて検討する。
今回の現象では、24日00UTC_MSM初期値を用いて、24日夕方から夜のはじめ頃にかけて3時間毎の着目する要素を基にシナリオを組み立てる。

シナリオ組み立て時の基軸：

- 1. 上層発散に伴う中層から上層にかけての上昇流を予想【上層の場を予想】**
 - ・300hPa面等から上層ジェット対応の発散場に伴う上昇流について考察
- 2. 下層の暖湿気流入や収束域の強化から強雨域を予想【下層の場を予想】**
 - ・地上の降水分布や500m高度データの各種予想資料について考察
- 3. 上層発散や下層収束に伴う（下層から上層にかけての）上昇流を断面図から捉え、各層における上昇流の相互作用を予想【上昇流場の相互作用をイメージ】**
 - ・断面図から下層と上層の現象は別物であることを把握し現象をイメージ

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

目的：総観場及び環境場の把握そして予想シナリオの検討を行うことで、天気変化をもたらす環境場を理解し、メイン・サブシナリオを構築する
サブシナリオの構築では、下層で上昇した空気塊を圏界面付近までさらに上昇させるシステムに着目し、災害級の大雨予想に備える

2019.7.24栃木県を対象とした大雨に伴う総観場の予想

（MSMを利用してシナリオ組み立てる）

予想時の着目する要素を示すと共に、メインとサブのシナリオについて検討する。
今回の現象では、24日00UTC_MSM初期値を用いて、24日夕方から夜のはじめ頃にかけて3時間毎の着目する要素を基にシナリオを組み立てる。

シナリオを組み立てる時には以下の3点の関連性を軸に検討を進める。

- ①上層発散に伴う中層から上層にかけての上昇流を予想
→300hPa面等から上層ジェット対応の発散場に伴う上昇流について確認
- ②下層の暖湿気流入や収束域の強化から強雨域を予想
→地上の降水分布や500m高度予想、可降水量及び収束域での降水の強まりについて確認
- ③上層発散や下層収束に伴う（下層から上層にかけての）上昇流を断面図から捉え、各層における上昇流の相互作用を予想
→断面図から下層と上層の現象は別物であることを把握し現象をイメージする

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

予報作業の流れ 2 対象現象：2019年7月24日の熱的不安定に伴う大雨

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ：

・総観場で着目する各要素について24日15時、18時、21時の3時間毎の時系列で示し、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる。（次資料以降参照）

・予報作業で用いる最大降水量ガイダンスや着目する要素が示す環境場等から、1時間最大降水量を予想する。
また、空間や時間のズレを考慮すると共に、メインシナリオとサブシナリオを予想する。

栃木県の1時間最大降水量ガイダンス 単位:mm

		7/24					7/25		
		-12	-15	-18	-21	-24	-03	-06	-09
MSM 24日00UTC 初期値	北部	9	13	36	37	28	15		
	南部			4	13	13	1		
GSM 24日00UTC 初期値	北部			14	14	13	7	6	
	南部						4	9	5

警報級の可能性の検討：

- ・この事例は高気圧のリッジ後面（非地衡風成分はリッジ付近で最大）で発生する上昇流により、地上の熱的な収束との相互作用が強まると予想
- ・ガイダンスでは注意報級以下となっている（大雨は予想しておらず、量的予想が過少）。
- ・リッジ後面では上層が発散場となり、それより下の層の上昇流を強めるシステムが働く。当日昼予報で警報級の可能性[中]または [高]を見込む必要がある。（現象の理解に基づき、ガイダンスの雨量を上方修正）

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 （1）総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ：

・総観場で着目する各要素について24日15時、18時、21時の3時間毎の時系列で示し、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる。（次資料以降参照）

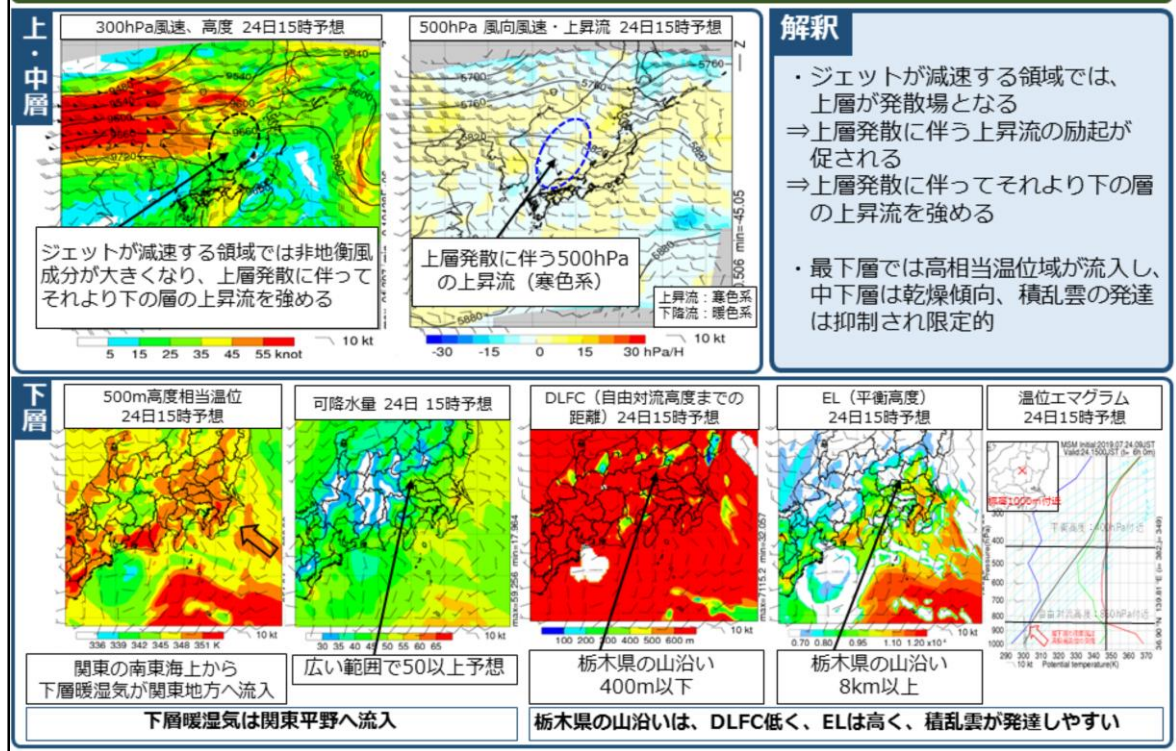
・予報作業で用いる最大降水量ガイダンスや着目する要素が示す環境場等から、1時間最大降水量を予想する。また、空間や時間のズレを考慮すると共に、メインシナリオとサブシナリオを予想する。

警報級の可能性の検討：

- ・この事例は高気圧のリッジ後面（非地衡風成分はリッジ付近で最大）で発生する上昇流により、地上の熱的な収束との相互作用が強まると予想
- ・ガイダンスでは注意報級以下となっている（大雨は予想しておらず、量的予想が過少）。
- ・リッジ後面では上層が発散場となり、それより下の層の上昇流を強めるシステムが働く。当日昼予報で警報級の可能性「中」または[高]を見込む必要がある。（現象の理解に基づき、ガイダンスの雨量を上方修正）

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

目的 24日15時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 15時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

①ジェットが減速する領域では、上層が発散場となる（ジェットが減速する領域では非地衡風成分が大きくなる）

⇒上層発散に伴う上昇流の励起が促される

⇒上層発散に伴ってそれより下の層の上昇流を強める

「下層」

②下層暖湿気は関東の南東海上方面から関東平野へ流入。栃木県の山沿いは、DLFCは低く、ELは高く、積乱雲が発達しやすい場となる

③最下層では高相当温位域が流入するが、中下層は乾燥傾向、積乱雲の発達は抑制され、限定的とみる

④メインシナリオ：栃木県での積乱雲の発達は限定的

ガイダンス参考に1時間降水量 30ミリ

「相互作用」

⑤サブシナリオ：700hPaの風速は10～15ktと弱め、山沿いで発達した積乱雲が停滞した場合、可降水量並みの1時間降水量 50ミリ

（「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用は弱い状況）

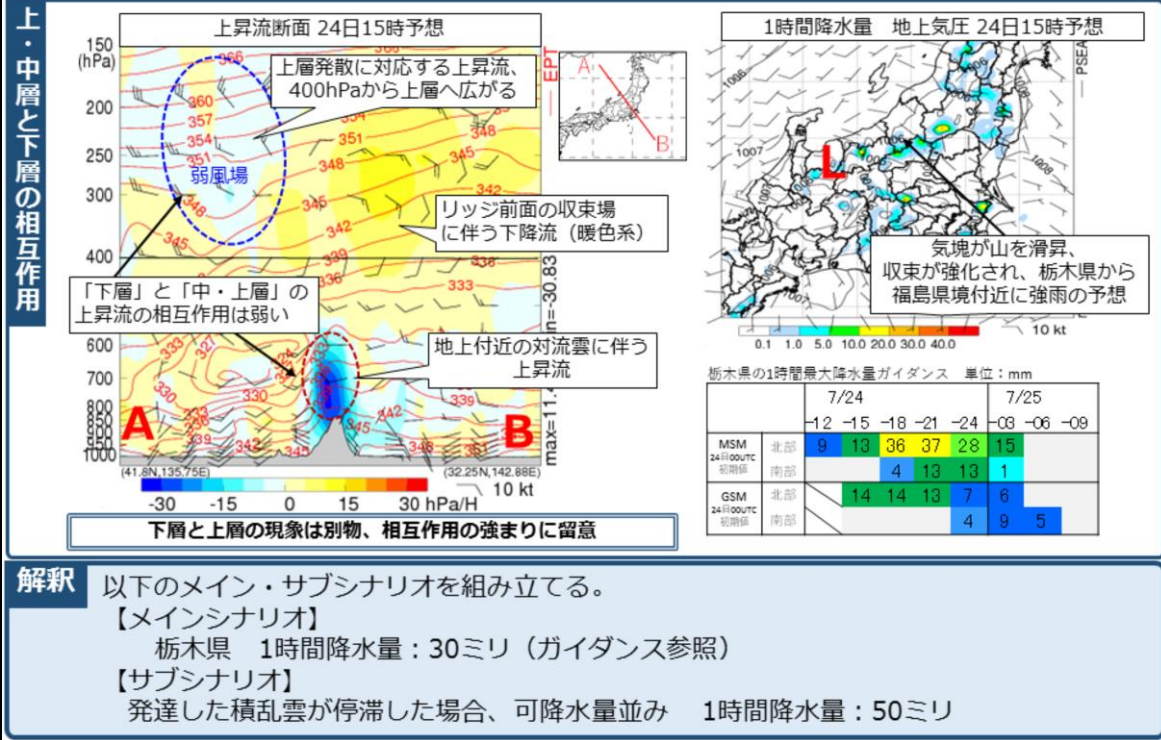
※図上右（500hPa上昇流）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の100km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

目的 24日15時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 15時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

①ジェットが減速する領域は、それより下層での上昇流を維持させる
→ジェットが減速する領域では非地衡風成分が大きくなり、上層発散に伴う上昇流の励起が促される

「下層」

②下層暖湿気は関東の南東海上方面から関東平野へ流入。栃木県の山沿いは、DLFCは低く、ELは高く、積乱雲が発達しやすい場となる

③最下層では高相当温位域が流入するが、中下層は乾燥傾向、積乱雲の発達は抑制され、限定的とみる

④メインシナリオ：栃木県での積乱雲の発達は限定的
ガイダンス参考に1時間降水量 30ミリ

「相互作用」

⑤サブシナリオ：700hPaの風速は10～15ktと弱め、山沿いで発達した積乱雲が停滞した場合、可降水量並みの1時間降水量 50ミリ

（「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用は弱い状況）

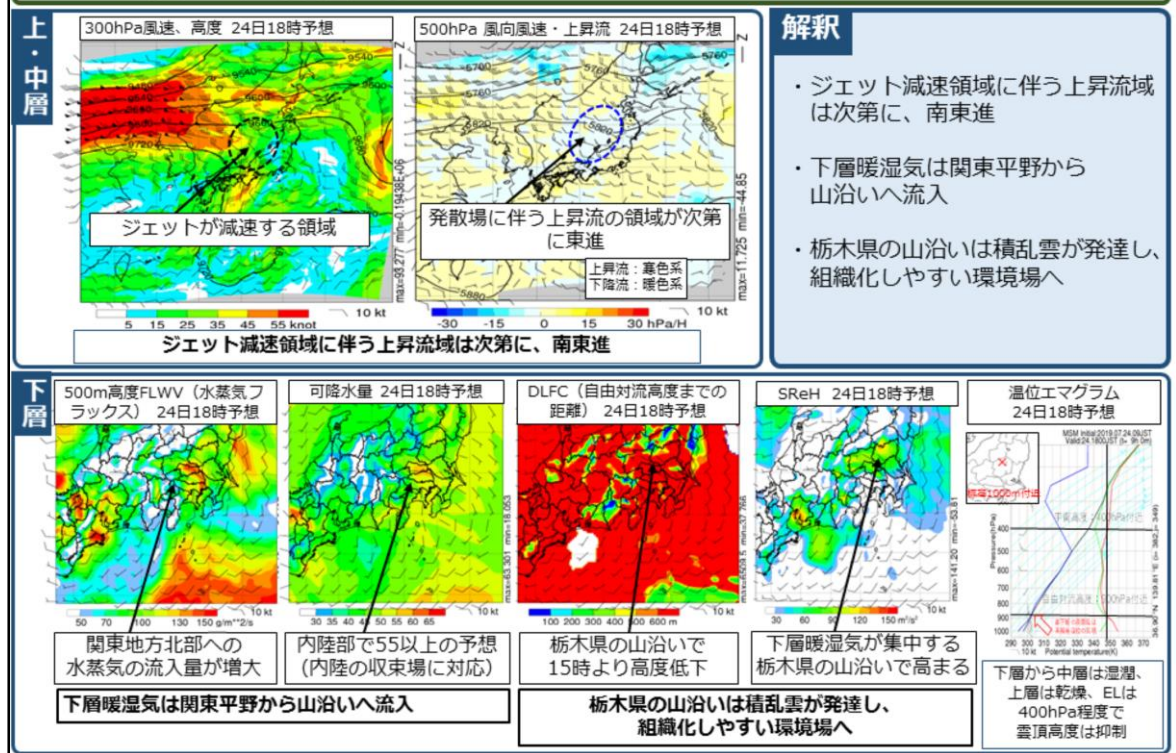
※図左（上昇流断面図）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の100km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

目的 24日18時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 18時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

- ①リッジ後面の上昇流域は南東進
「下層」
- ②下層暖湿気は関東平野から山沿いへ流入し、栃木県の山沿いは積乱雲が発達し、組織化しやすい環境場へ
→下層暖湿気の集中域とSReHの高まる領域が同じ
- ③下層から中層は湿潤、上層は乾燥傾向、ELは400hPa程度で雲頂高度は抑制されるが、15時よりも大気の状態はより不安定へと変化
- ④メインシナリオ：栃木県では700hPaはおよそ10～15KTと弱く、積乱雲は停滞しやすいことからガイダンスも参考に1時間降水量 50ミリ
「相互作用」
- ⑤サブシナリオ：下層と中・上層の上昇流の相互作用は次第に強化傾向。「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用が強まった場合、可降水量の1.5倍程度の1時間降水量 80ミリ

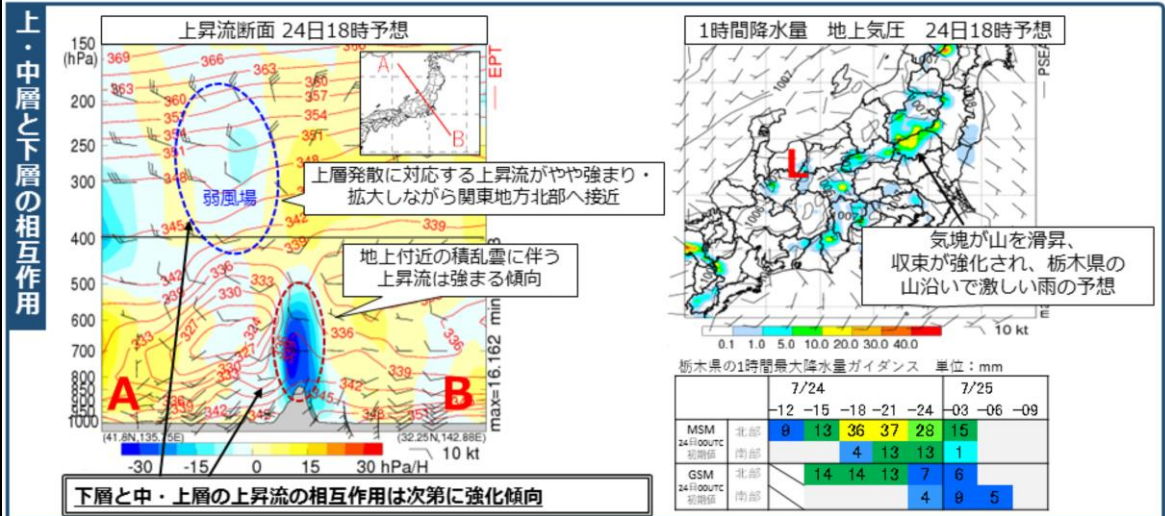
※図上右（500hPa上昇流）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の100km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

目的 24日18時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



解釈 以下のメイン・サブシナリオを組み立てる。

【メインシナリオ】

栃木県 1時間降水量：50ミリ 700hPaはおよそ10KTと弱く積乱雲は停滞しやすい
(ガイダンス参照)

【サブシナリオ】

「下層」と「中・上層」の上昇流が相互作用した場合、
可降水量の1.5倍程度 1時間降水量：80ミリ

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 18時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

①ジェット減速領域に伴う上昇流域は南東進

「下層」

②下層暖湿気は関東平野から山沿いへ流入し、栃木県の山沿いは積乱雲が発達し、組織化しやすい環境場へ

→下層暖湿気の集中域とSReHの高まる領域が同じ

③下層から中層は湿潤、上層は乾燥傾向、ELは400hPa程度で雲頂高度は抑制されるが、15時よりも大気の状態はより不安定へと変化

④メインシナリオ：栃木県では700hPaはおよそ10～15KTと弱く、積乱雲は停滞しやすいことからガイダンスも参考に1時間降水量 50ミリ

「相互作用」

⑤サブシナリオ：下層と中・上層の上昇流の相互作用は次第に強化傾向。「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用が強まった場合、可降水量の1.5倍程度の1時間降水量 80ミリ

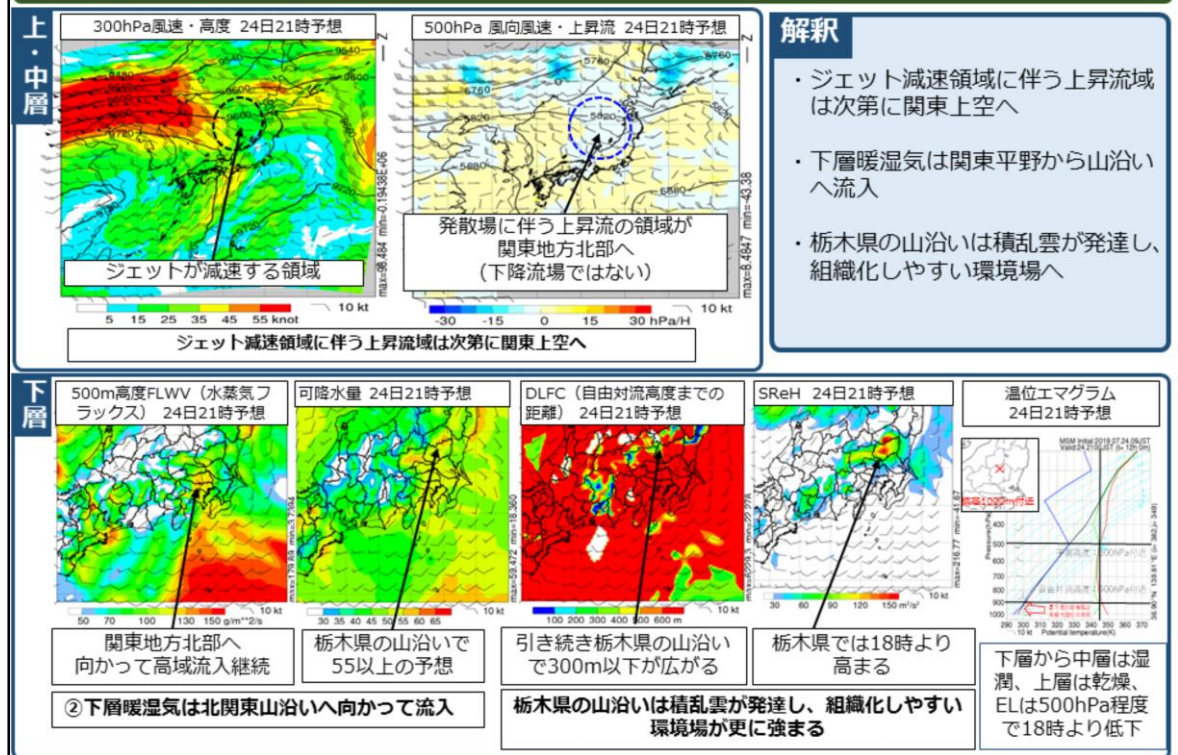
※図左（上昇流断面図）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の100km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

目的 24日21時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 21時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

- ①ジェット減速領域に伴う上昇流域は次第に関東地方北部へ達する
「下層」
- ②栃木県の山沿いは積乱雲が発達し、組織化しやすい環境場が18時より強まる
- ③下層から中層は湿潤、上層は乾燥傾向、ELは500hPa程度で18時より低下
- ④メインシナリオ：栃木県では積乱雲は停滞しやすい場が継続し1時間降水量 50ミリ
「相互作用」
- ⑤サブシナリオ：下層と中・上層の上昇流の相互作用は次第に強化傾向。「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用が強まった場合、可降水量の1.5倍程度の1時間降水量 80ミリ18時と同等。

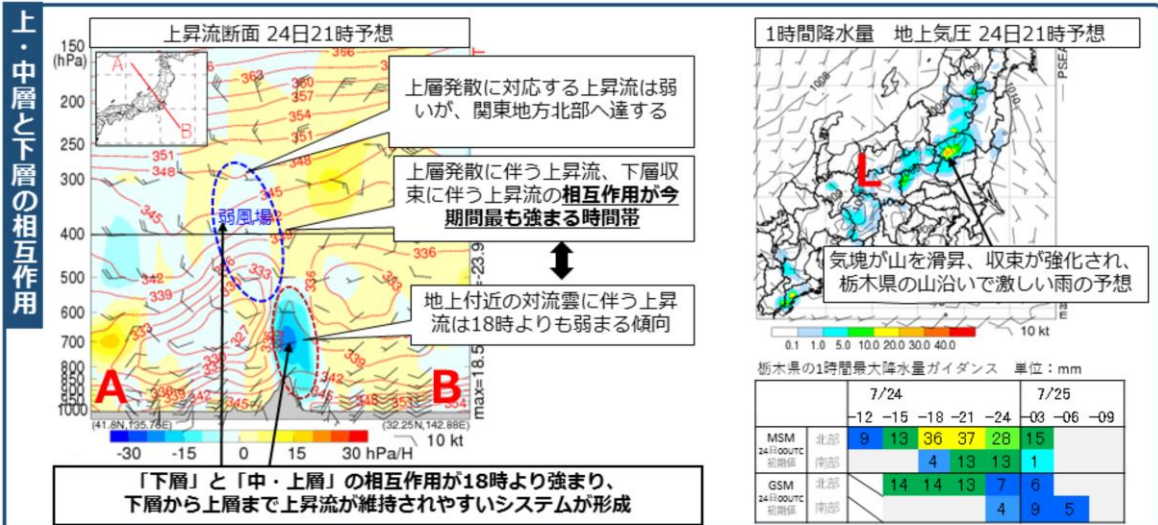
※図上右（500hPa上昇流）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の100km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解

目的 24日21時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



解釈

以下のメイン・サブシナリオを組み立てる。

【メインシナリオ】

栃木県 1時間降水量：50ミリ 積乱雲は停滞しやすい場合は継続（ガイダンス参照）

【サブシナリオ】

「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用が強化した場合、可降水量の1.5倍程度 1時間降水量：80ミリ（18時と同等）

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例（1）総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 21時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

- ①ジェット減速領域に伴う上昇流域は次第に関東上空へ達する
「下層」
- ②栃木県の山沿いは積乱雲が発達し、組織化しやすい環境場が18時より強まる
- ③下層から中層は湿潤、上層は乾燥傾向、ELは500hPa程度で18時より低下
- ④メインシナリオ：栃木県では積乱雲は停滞しやすい場が継続し1時間降水量 50ミリ
「相互作用」
- ⑤サブシナリオ：下層と中・上層の上昇流の相互作用は次第に強化傾向。「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用が強まった場合、可降水量の1.5倍程度の1時間降水量 80ミリ
18時と同等。

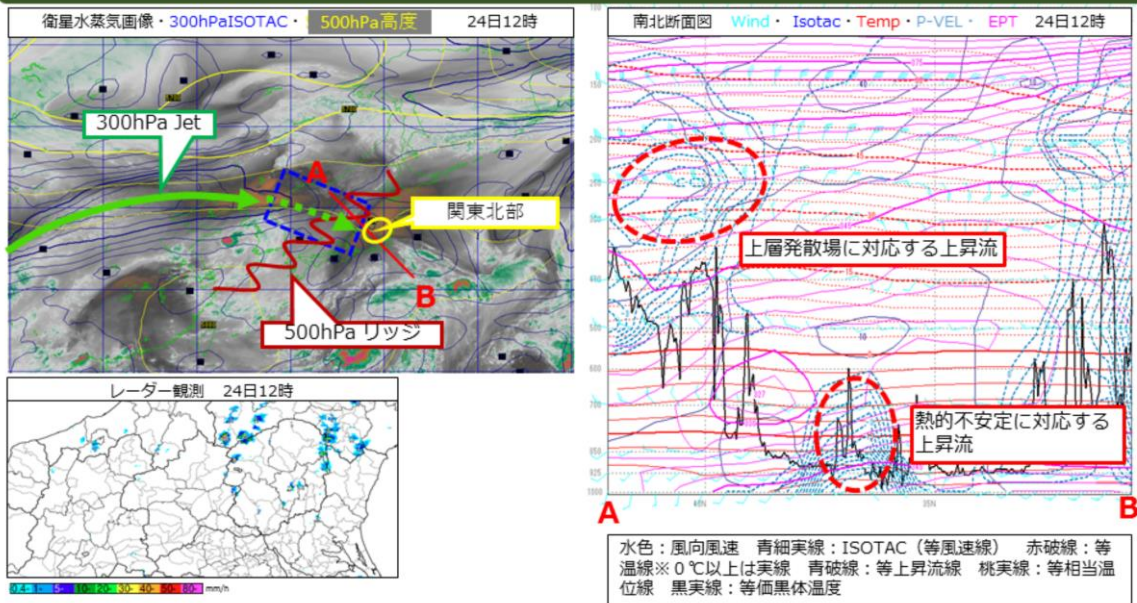
※図左（上昇流断面図）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の100km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (2) 予想や実況の確認

目的 発生前 24日12時において、高気圧のリッジ後面（リッジ北東象限）における上層発散を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討



解釈 高気圧リッジ軸はゆっくり東進、地上気温高く成層不安定な状態となっており、今後熱的不安定の顕在化により上層まで積乱雲が発達し、高気圧リッジ後面の上層発散に伴う上昇流も加わる可能性があるため、積乱雲の組織化の可能性。

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (2) 予想や実況の確認】

目的：高気圧のリッジ後面（リッジ北東象限）における上層発散を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討

【衛星水蒸気画像】

・東日本では暗域明瞭、日本海では明域明瞭でリッジに対応（非地衡風成分はリッジ付近で最大）。

【SATAID南北断面（東日本）】

・日本海（北緯40度付近）では高気圧リッジ後面の非地衡風に対応する上昇流（上層）を確認、関東地方北部（北緯37度付近）では熱的な収束に伴う上昇流（下層）が確認できる。断面構造や等価黒体温度からそれぞれの上昇流に対応し、日本海では上層雲、関東地方北部では対流系の下層雲の存在をそれぞれ示唆。

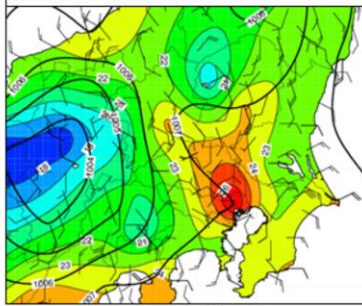
SATAID断面図解析より得られる解釈

- ・地上気温の日中昇温により、熱的な収束が顕在化。
- ・高気圧リッジ軸（上層発散域）はゆっくり東進しているが、この段階では上層発散域は日本海付近のため顕著な発達は見られない。
- ・今後、熱的不安定の顕在化により上層まで積乱雲が発達すると上層発散に伴う上昇流が加わる可能性があるため、積乱雲の組織化の可能性はある。

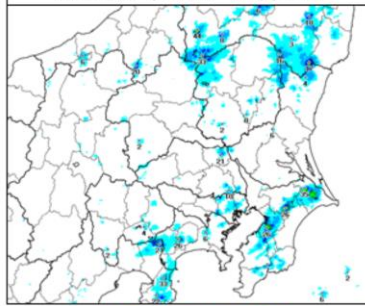
2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例(3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 24日12時において、局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

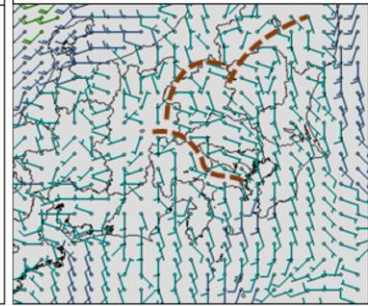
露点温度と海面気圧の地上実況図 24日12時



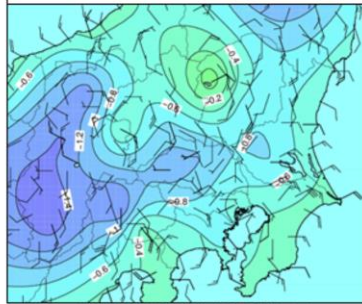
解析雨量(1時間) 24日12時



毎時風大気解析950hPa 24日12時



気圧変化量の地上実況図 24日12時



- ・長野県付近で気圧低下し熱的低気圧が発生、日射・地形による収束線が北東方向と南東方向に指向。
- ・関東地方北部で露点温度の傾度がやや大きい。
- ・栃木県で日射・地形により降水エコーが発生。
- ・福島県でも日射・地形による収束線周辺で雨雲がまとまり1時間30~40ミリの降水を解析。

解釈

局地解析では熱的な収束に注視し、衛星画像及び総観場の解釈による高気圧リッジ軸(上層発散域)の東進に着目する。熱的な収束に伴う雨は収束線周辺で見られるものの、上層発散域は日本海付近のため、この段階では積乱雲の組織化は見られない。

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例(3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

目的: 局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【現象の適切な理解に基づく局地解析】

前スライド(SATAIDによる総観場の解釈(発生前24日12時))より、

・衛星では東日本で暗域明瞭、日本海では明域明瞭でリッジに対応(非地衡風成分はリッジ付近で最大)。

・地上気温の日中昇温により、熱的な収束が顕在化。

・高気圧リッジ軸(上層発散域)はゆっくり東進しているが、この段階では上層発散域は日本海付近のため顕著な発達は見られない。

・今後、熱的不安定の顕在化により上層まで積乱雲が発達すると上層発散に伴う上昇流が加わる可能性があるため、積乱雲の組織化の可能性。

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

・長野県付近で顕著に気圧が低下し、熱的低気圧が発生している。そこから日射・地形による収束線が北東方向と南東方向にのびている。

・関東地方北部で露点温度の傾度がやや大きい。

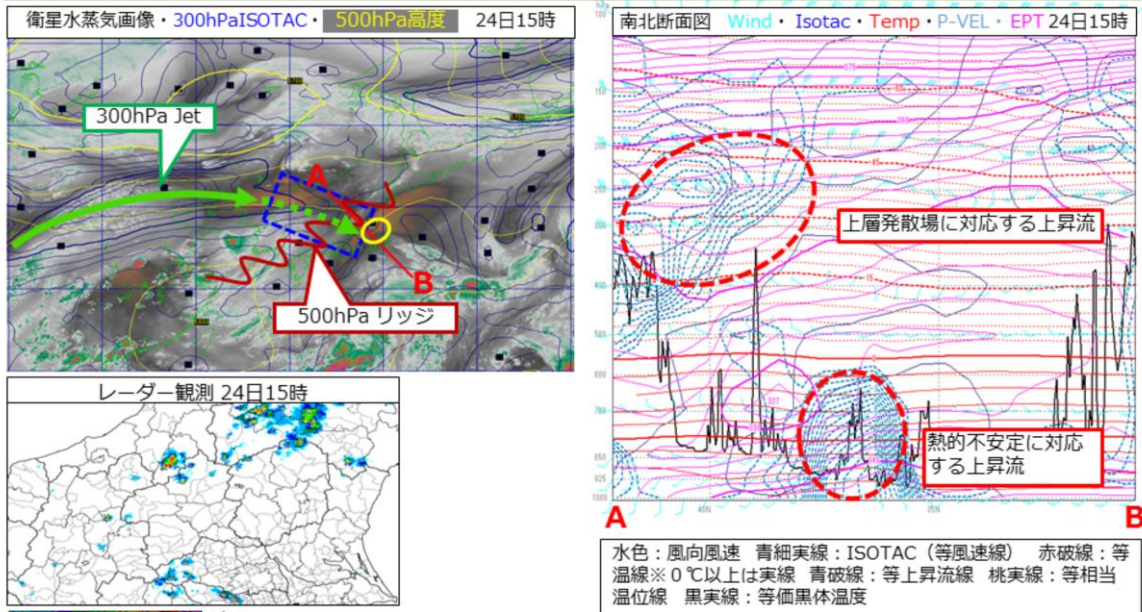
・栃木県では、日光地域や那須地域で日射や地形の影響による降水エコーが発生している。

・福島県側でも日射・地形による収束線周辺で雨雲がまとまりつつあり30~40ミリの降水を解析している。

衛星画像及び総観場の解釈より、熱的な収束に伴う雨は収束線周辺で見られるものの、上層発散域は日本海付近のため、現段階では積乱雲の組織化までではないと判断できる。

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (2) 予想や実況の確認

目的 発生直前 24日15時において、高気圧のリッジ後面（リッジ北東象限）における上層発散を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討



解釈 地上付近の熱的な収束が今後強まると高気圧リッジ軸は順調に東進しているため、積乱雲の組織化の可能性が非常に高い。この地点でサブシナリオへの切り替えの検討。

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (2) 予想や実況の確認】

目的：高気圧のリッジ後面（リッジ北東象限）における上層発散を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討

【衛星水蒸気画像】

・日本海の明域はリッジ東進に伴い日本海沿岸まで東進（非地衡風成分はリッジ付近で最大）。

【SATAID南北断面（東日本）】

・高気圧先端の高気圧性曲率の大きな領域（非地衡風）に対応する上昇流域（上層）は東日本日本海側（北緯38度付近）まで東進、関東地方北部（北緯37度付近）の熱的な収束に伴う上昇流（下層）も拡大傾向。断面構造や等価黒体温度から、日本海の上昇流域は次第に東日本へ拡大しているが、現段階での関東地方北部は対流雲の発達は無く、下層雲が示唆される程度。

SATAID断面図解析より得られる解釈

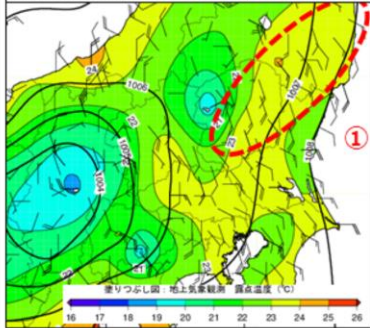
- ・地上気温の日中昇温により、熱的な収束が顕在化。
- ・高気圧リッジ軸（上層発散域）はさらに東進。

熱的不安定のさらなる顕在化により上層まで積乱雲が発達する可能性が高く、上層発散に伴う上昇流も確実に接近しているため、積乱雲が組織化する可能性が非常に高い。

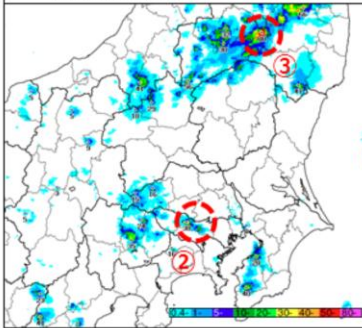
2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 発生直前24日15時において、局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

露点温度と海面気圧の地上実況図 24日15時



解析雨量 (1時間) 24日15時



毎時風大気解析 950hPa 24日15時



気圧変化量の地上実況図 24日15時



- ・ 鹿島灘から南東風流入で高露点温度域拡大 (①)。
- ・ 相模湾からの南風と東京都付近の東風による収束域でエコー顕在化 (②)。
- ・ 福島県で日射・地形による収束域の降水が明瞭 (③)。
- ・ 群馬、埼玉県で気温の上昇に伴う気圧低下が顕著 (④)。

解釈 局地解析では熱的な収束に伴う海上からの高露点域の侵入や収束線周辺でのエコーの発達に注視し、衛星画像及びSATAIDによる高気圧リッジ軸 (上層発散域) の位置確認を行うことにより、福島県付近の積乱雲の組織化が相互作用であることが判断できる。

(サブシナリオへの変更)

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【現象の適切な理解に基づく局地解析】

前スライド (SATAIDによる総観場の解釈 (最盛期～衰弱期)) より、

- ・ 衛星画像では日本海の明域はリッジ東進に伴い日本海沿岸まで東進 (非地衡風成分はリッジ付近で最大)。
- ・ 地上気温の日中昇温により、熱的な収束が顕在化。
- ・ 高気圧リッジ軸 (上層発散域) はさらに東進。
- ・ 熱的不安定のさらなる顕在化により上層まで積乱雲が発達する可能性が高く、上層発散に伴う上昇流も確実に接近しているため、積乱雲が組織化する可能性が非常に高い。

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

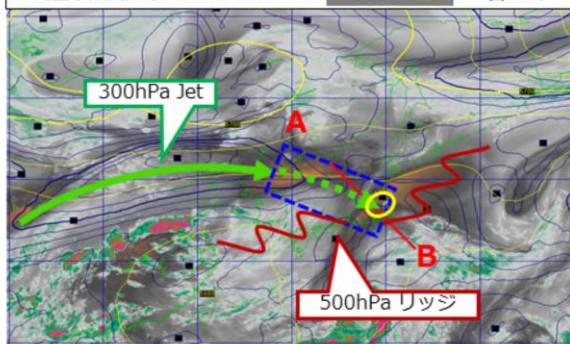
- ・ 鹿島灘から流入する南東風が顕著となり、露点温度23°C以上の領域①が拡大。
- ・ 福島県で日射・地形による収束域の降水が明瞭③となる。
- ・ 相模湾から流入する南風が顕著となり、東京都多摩北部地域付近の東風との収束域でエコー②が発生。
- ・ 群馬県前橋・桐生地域から埼玉県北西部地域にかけての地域④で気温上昇に伴い気圧低下が顕著。

SATAIDによる総観場の解釈より、高気圧リッジ軸が順調に東進。福島県側の収束域の降水は1時間80ミリを解析、福島県付近では下層と中・上層の上昇流の相互作用が始まっていることを示唆。

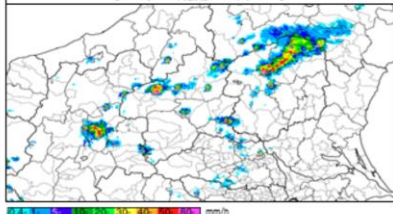
2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (2) 予想や実況の確認

目的 最盛期 24日18時において、高気圧のリッジ後面（リッジ北東象限）における上層発散を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討

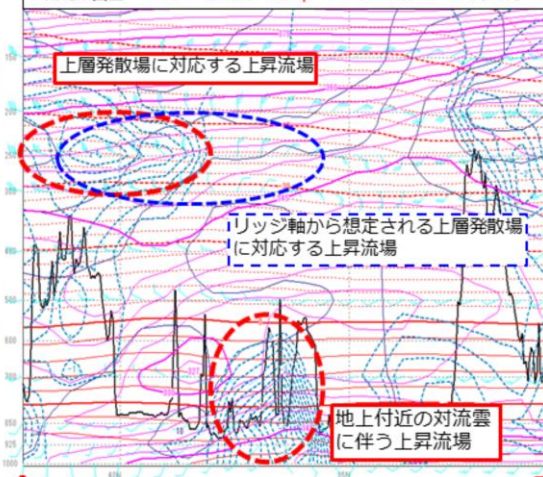
衛星水蒸気画像・300hPa ISOTAC・500hPa高度 24日18時



レーダー観測 24日18時



南北断面図 Wind・Isotac・Temp・P-VEL・EPT 24日18時



水色：風向風速 青細実線：ISOTAC（等風速線） 赤破線：等温線※0℃以上は実線 青破線：等上昇流線 桃実線：等相当温位線 黒実線：等価黒体温度

解釈 高気圧のリッジ後面（リッジ北東象限）の上層発散に対応する上昇流場がしばらく続いたため、積乱雲組織化の継続が見込まれる。

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (2) 予想や実況の確認】

目的：300hPaリッジ北東側における上層発散を確認し、現象がシナリオ通りに進んでいるか検討

【衛星水蒸気画像】

・日本海の明域はリッジ東進に伴い東日本まで東進（非地衡風成分はリッジ付近で最大）。

【SATAID南北断面（東日本）】

・300hPaリッジ先端の高気圧性曲率の大きな領域（非地衡風）に対応する上昇流域（上層）は東日本日本海側（北緯38度付近）までとなっているが、リッジから考察すると東日本上空では、すでに上昇流域（上層）が卓越しているものと考察できる。関東地方北部（北緯37度付近）の熱的な収束に伴う上昇流（下層）も強い。断面構造や等価黒体温度から、関東地方北部では上層の上昇流が卓越しているため、関東地方北部では対流雲の発達を示唆。

SATAID断面図解析より得られる解釈

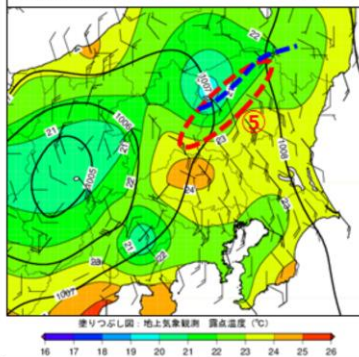
・300hPaリッジ軸（上層発散域）は関東上空へ侵入、積乱雲の組織化の継続が見込まれる。

高気圧のリッジ後面（リッジ北東象限）における上層発散はしばらく続いたため、積乱雲組織化の継続が見込まれる。

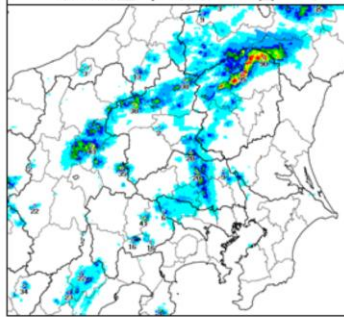
2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 最盛期24日18時において、局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

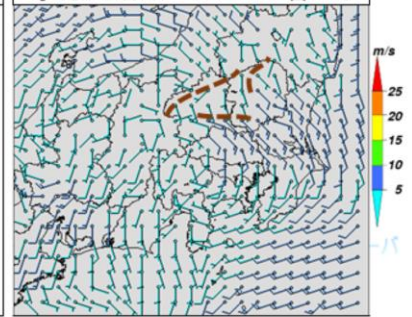
露点温度と海面気圧の地上実況図 24日18時



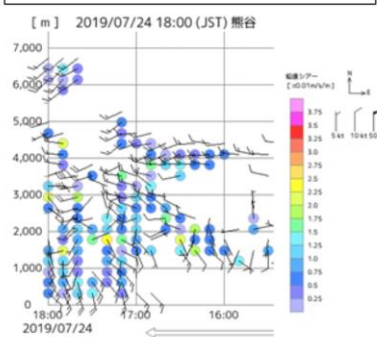
解析雨量 (1時間) 24日18時



毎時風大気解析 950hPa 24日18時



熊谷 WPR 24日16時~18時



- ・福島・栃木県境の日射・地形による収束線が徐々に南下。
- ・熊谷WPRは17時以降、下層南風が卓越し3000m付近まで時計回りの暖気移流層拡大し、鉛直シアーが大きくなっている。
- ・栃木県那須地域の降水エコーは、那須地域と日光地域の境界付近の露点温度集中帯（南側斜面）付近⑤で対流が強化。

解釈 局地解析では熱的な収束に伴う海上からの高露点域の侵入や収束線周辺でのエコーの線状化に注視し、衛星画像及びSATAIDによる高気圧リッジ軸（上層発散域）の位置確認及びWPRによる鉛直シアーの動向を確認することにより、群馬県付近の積乱雲の線状化が相互作用の結果であることが判断できる。

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

前スライド（SATAIDによる総観場の解釈（最盛期 24日18時））より、

- ・日本海の明域はリッジ東進に伴い東日本まで東進（非地衡風成分はリッジ付近で最大）。
 - ・高気圧リッジ軸（上層発散域）は関東上空へ侵入、積乱雲の組織化の継続が見込まれる。
- これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

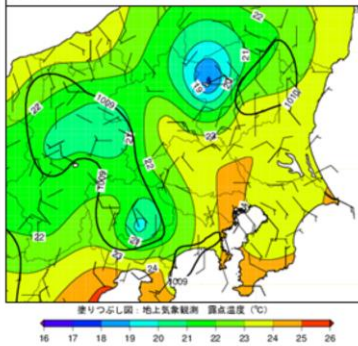
- ・気圧低下が顕著だった地域を指向するように、福島県と栃木県の県境付近の日射・地形による収束線が徐々に南下し、関東地方南部にあった日射・地形による収束線が北上してきている。
- ・熊谷のWPRでは17時過ぎから下層の南風が強まり、3000m付近まで時計回りの風向変化となり暖気移流の厚みが増している。
- ・栃木県那須地域の降水エコーは、栃木県那須地域と日光地域の境界付近の等露点温度線の集中帯（南側斜面）付近⑤で対流が強化され線状化しつつある。

SATAIDによる総観場の解釈より、高気圧リッジ軸は東日本まで東進。積乱雲の組織化が継続し、等露点温度線の集中帯付近で組織化した降水系が維持される可能性が高い。

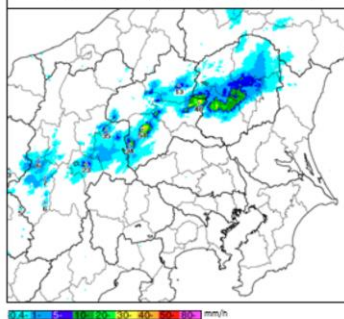
2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例(3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 衰弱期24日23時において、局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

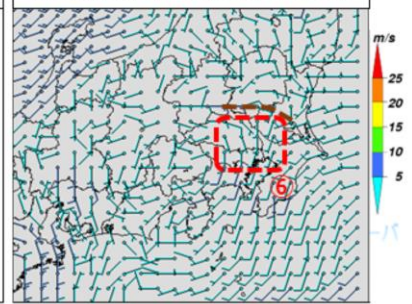
露点温度と海面気圧の地上実況図 24日23時



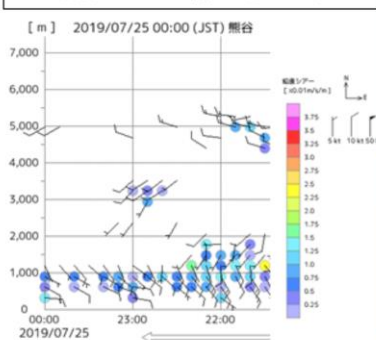
解析雨量(1時間) 24日23時



毎時風大気解析 950hPa 24日23時



熊谷 WPR 24日22時~24時



- ・日没後の気温下降による日射・地形による収束線の不明瞭化。
- ・栃木・群馬県の950hPaのシアーラインに吹き込む南風(⑥)の弱まりに伴い 降水が衰弱。
- ・熊谷WPRでは22時以降、下層南風が弱まり、時計回りの暖気移流層減少。

解釈

局地解析では下層収束や暖湿気の補給が弱まり現象が衰弱、上空では高気圧リッジ軸(上層発散域)はしばらく停滞するが、下層の収束が解消及びWPRでは暖気移流層の縮小が確認できるため、今後積乱雲の線状化及び組織化は衰弱傾向となる。

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例(3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

目的: 局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

二つ前のスライド(SATAIDによる総観場の解釈(最盛期24日18時))より、

- ・日本海の明域はリッジ東進に伴い東日本まで東進(非地衡風成分はリッジ付近で最大)。
 - ・高気圧リッジ軸(上層発散域)は関東上空へ侵入、積乱雲の組織化の継続が見込まれる。
- これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

- ・日没後の気温低下により長野県付近の熱的低気圧や周辺の日射・地形による収束線も不明瞭となる。
- ・栃木県から群馬県にかけて950hPaのシアーラインに吹き込む南寄りの風⑥が弱まり降水が衰弱し始める。
- ・熊谷のWPRでは22時過ぎから下層の南風が弱まり、時計回りの風向変化も2000mから1000m付近になり暖気移流の厚みも減少している。

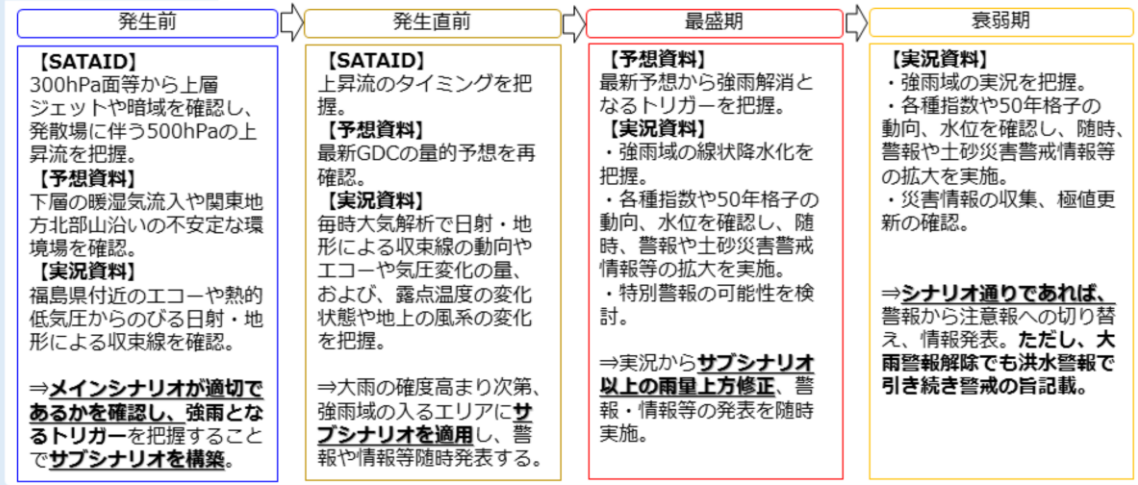
下層収束や暖湿気の流入が弱まり、現象が衰弱。上空では高気圧リッジ軸(上層発散域)はしばらく停滞のため、下層の収束が解消するまでは留意。

2-3-2 2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 まとめ

シナリオ検討

- ・15時予想 (メイン) 栃木県 1時間降水量：30ミリ、強雨は関東地方北部山沿い周辺 (サブ) 発達した対流雲が停滞した場合、可降水量並み1時間降水量：50ミリ
- ・18時予想 (メイン) 栃木県 1時間降水量：50ミリ、700hPaはおよそ10KTと弱く対流雲は停滞しやすい (サブ) 「下層」と「中・上層」の上昇流が相互作用した場合、可降水量の1.5倍程度 1時間降水量：80ミリ

予想と実況の確認



現象の各ステージの理解により、適切なメイン・サブシナリオ構築および適用が可能となる

【2019年7月24日 熱的不安定による大雨事例 まとめ】

シナリオ検討：

- ・15時予想 (メイン) 栃木県 1時間降水量：30ミリ、強雨は関東地方北部山沿い周辺 (サブ) 発達した対流雲が停滞した場合、可降水量並み1時間降水量：50ミリ
- ・18時予想 (メイン) 栃木県 1時間降水量：50ミリ、700hPaはおよそ10KTと弱く対流雲は停滞しやすい (サブ) 「下層」と「中・上層」の上昇流が相互作用した場合、可降水量の1.5倍程度 1時間降水量：80ミリ

予想と実況の確認：

発生前

【SATAID】 300hPa面等から上層ジェットや暗域を確認し、発散場に伴う500hPaの上昇流を把握。

【予想資料】 下層の暖湿気流入や関東地方北部山沿いの不安定な環境場を確認。

【実況資料】 福島県付近のエコーや熱的低気圧からのびるシアラインを確認。

⇒メインシナリオが適切であるかを確認し、強雨となるトリガーを把握することでサブシナリオを構築。

発生直前

【SATAID】 上昇流のタイミングを把握。

【予想資料】 最新GDCの量的予想を再確認。

【実況資料】 毎時大気解析で地上シアの動向やエコーや気圧変化の量、および、露点温度の変化状態や地上の風系の変化を把握。

⇒大雨の確度高まり次第、強雨域の入るエリアにサブシナリオを適用し、警報や情報等随時発表する。

最盛期

【予想資料】 最新予想から強雨解消となるトリガーを把握。

【実況資料】

- ・強雨域の線状降水化を把握。
- ・各種指数や50年格子の動向、水位を確認し、随時、警報や土砂災害警戒情報等の拡大を実施。
- ・実況からサブシナリオ以上の雨量上方修正、警報・情報等の発表を随時実施。
- ・特別警報の可能性を検討。

衰弱期

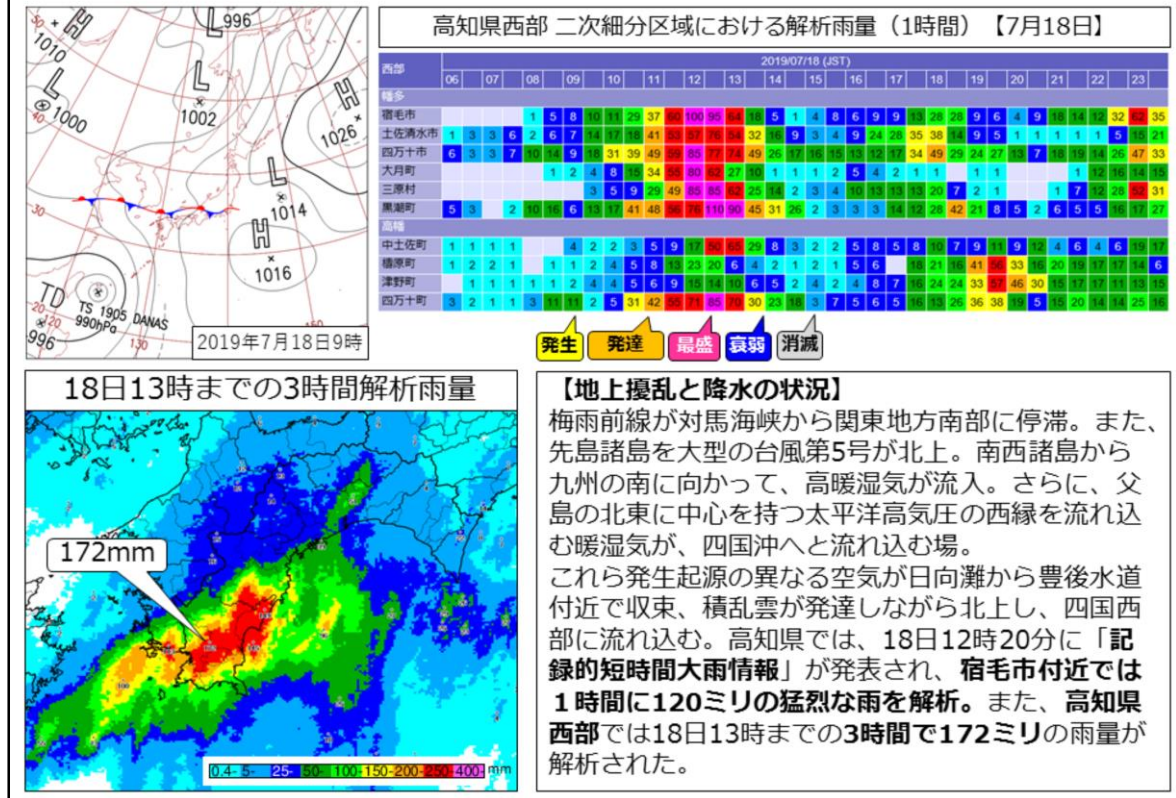
【実況資料】

- ・強雨域の実況を把握。
- ・各種指数や50年格子の動向、水位を確認し、随時、警報や土砂災害警戒情報等の拡大を実施。
- ・災害情報の収集、極値更新の確認。

⇒シナリオ通りであれば、警報から注意報への切り替え、情報発表。ただし、大雨警報解除でも洪水警報で引き続き警戒の旨記載。

⇒現象の各ステージの理解により、適切なメイン・サブシナリオ構築および適用が可能となる

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解



【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

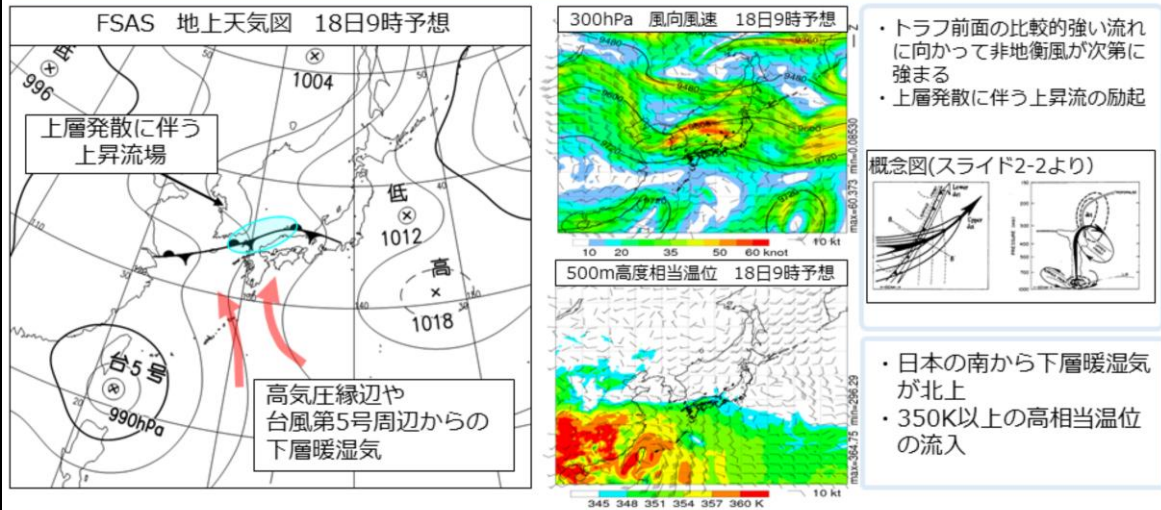
【地上擾乱と降水の状況】

梅雨前線が対馬海峡から関東沿岸に停滞。また、先島諸島近海を大型の台風第5号が北上。南西諸島から九州の南に向かって、高暖湿気が流入。さらに、日本の南東海上に中心を持つ太平洋高気圧の西縁を流れ込む暖湿気が、四国の沖へと流れ込む場。これら発生起源の異なる空気が日向灘から豊後水道付近で収束、積乱雲が発達しながら北上し、四国西部に流れ込む。

高知県では、18日12時20分に「記録的短時間大雨情報」が発表され、宿毛市付近では1時間に120ミリの猛烈な雨を解析。また、高知県西部では18日13時までの3時間で172ミリの雨量が解析された。

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 現象1日前において、GSM_17日00UTC初期値、地上天気図は17日9時のFSAS24を利用し、18日9時の総観場及び環境場を把握



解釈

- ①山陰沖を中心に上層発散に伴う上昇流の励起
 - ②四国地方へ下層暖湿気の流入
 - ③山陰沖に停滞する前線付近で収束の強化を予想
- ★山陰沖を中心に上層発散と下層暖湿気及び地上収束が揃う（実際は四国付近での大雨）

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

GSM_17日00UTC初期値、地上天気図は17日9時のFSAS24を利用し、18日9時の総観場及び環境場を把握

・トラフ前面の比較的強い流れに向かって非地衡風が次第に強まり、左図のように上層発散に伴う上昇流の励起が予想される

・高気圧縁辺や台風第5号の北上に伴い日本の南から下層暖湿気が流入。また、九州地方から四国地方にかけて500m高度で350K以上の高相当温位の流入が予想される。

- ①山陰沖を中心に上層発散に伴う上昇流の励起
- ②四国地方へ下層暖湿気の流入
- ③山陰沖に停滞する前線付近で収束の強化を予想

★山陰沖を中心に上層発散と下層暖湿気及び地上収束が揃う（実際は四国付近での大雨）

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 メイン・サブシナリオ構築のための予報作業の流れに関する説明

予報作業の流れ 1 対象現象：2019年7月18日の暖気収束に伴う大雨

予想時の着目する要素を示すと共に、メインとサブのシナリオについて検討する。
今回の現象では、17日15UTC_MSM初期値を用いて、18日朝から夕方にかけて3時間毎の着目する要素を基にシナリオを組み立てる。

シナリオ組み立て時の基軸：

- 1. 上層発散に伴う中層から上層にかけての上昇流を予想** 【上層の場を予想】
 - ・300hPa面等から上層ジェット対応の発散場に伴う上昇流について考察
- 2. 下層の暖湿気流入や収束域の強化から強雨域を予想** 【下層の場を予想】
 - ・地上の降水分布や500m高度データの各種予想資料について考察
- 3. 上層発散や下層収束に伴う（下層から上層にかけての）上昇流を断面図から捉え、各層における上昇流の相互作用を予想** 【上昇流場の相互作用をイメージ】
 - ・断面図から下層と上層の現象は別物であることを把握し現象をイメージ

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

目的：総観場及び環境場の把握そして予想シナリオの検討を行うことで、天気変化をもたらす環境場を理解し、メイン・サブシナリオを構築する
サブシナリオの構築では、下層で上昇した空気塊を圏界面付近までさらに上昇させるシステムに着目し、災害級の大雨予想に備える

2019.7.24高知県を対象とした大雨に伴う総観場の予想

17日15UTC MSM初期値から予想時の着目する要素を示すと共に、メインとサブのシナリオについて検討する。

ここでは18日朝から夕方にかけて3時間毎の着目する要素を基にシナリオを組み立てる。
シナリオを組み立てる時には以下の3点の関連性を軸に検討を進める。

- ①上層発散に伴う中層から上層にかけての上昇流を予想
→300hPa面等から上層ジェット対応の発散場に伴う上昇流について確認
- ②下層の暖湿気流入や収束域の強化から強雨域を予想
→地上の降水分布や500m高度予想、可降水量及び収束域での降水の強まりについて確認
- ③上層発散や下層収束に伴う（下層から上層にかけての）上昇流を断面図から捉え、各層における上昇流の相互作用を予想
→断面図から下層と上層の現象は別物であることを把握し現象をイメージする

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

予報作業の流れ 2 対象現象：2019年7月18日の暖気収束に伴う大雨

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ：

- ・総観場で着目する各要素について18日9時、12時、15時の3時間毎の時系列で示し、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てた。(次資料以降参照)
- ・予報作業で用いる最大降水量ガイダンスや着目する要素が示す環境場等から、1時間最大降水量を予想する。また、空間や時間のズレを考慮すると共に、メインシナリオとサブシナリオを予想する。

高知県の1時間最大降水量ガイダンス 単位:mm

		7/18								7/19		
		-03	-06	-09	-12	-15	-18	-21	-24	-03	-06	-09
MSM 17日 15UTO 初観場	中部	3			18	36	29	23	19	18	18	30
	東部				5	41	40	31	25	19	20	29
	西部	3		10	33	20	11	8	9	14	16	26
GSM 17日 12UTO 初観場	中部	8	2		3	8	14	13	13	14	17	28
	東部	8				5	7	11	12	12	14	28
	西部	5				11	11	12	14	12	10	14

警報級の可能性の検討：

- ・この事例は総観場からジェットストリーク入口右側の上昇流が強まる予想となっているが、下層では収束弱く、ガイダンスでは注意報級以下となっている。(大雨は予想しておらず、量的予想が過少の可能性もある)。
- ・ガイダンスは注意報以下が予想されているため、朝予報段階で警報級の可能性[-]を見込むが、昼予報では、実況における下層収束の強まり等を考慮し、サブシナリオを含め警報級の可能性[中]を考慮しておく必要がある。(現象の理解に基づくガイダンスの吟味)

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ：

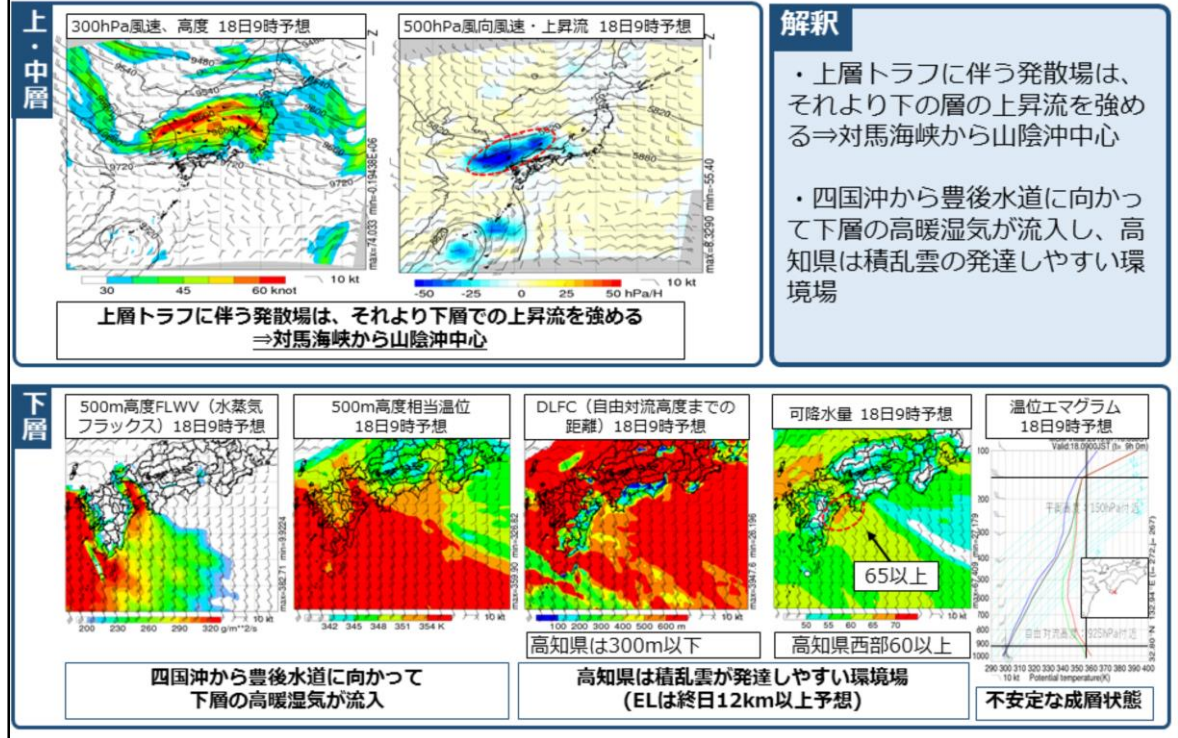
- ・総観場で着目する各要素について18日9時、12時、15時の3時間毎の時系列で示し、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組立てる。(次資料以降参照)
- ・予報作業で用いる最大降水量ガイダンスや着目する要素が示す環境場等から、1時間最大降水量を予想する。また、空間や時間のズレを考慮すると共に、メインシナリオとサブシナリオを予想する。

警報級の可能性の検討：

- ・この事例は総観場からジェットストリーク入口右側の上昇流が強まる予想となっているが、下層では収束弱く、ガイダンスでは注意報級以下となっている。(大雨は予想しておらず、量的予想が過少の可能性もある)。
- ・ガイダンスは注意報以下が予想されているため、朝予報段階で警報級の可能性[-]を見込むが、昼予報では、実況における下層収束の強まり等を考慮し、サブシナリオを含め警報級の可能性[中]を考慮しておく必要がある。(現象の理解に基づくガイダンスの吟味)

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 18日9時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 9時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
 「上層・中層」

- ①上層トラフに伴う発散場は、それより下の層の上昇流を強める⇒対馬海峡から山陰沖中心
 「下層」
- ②四国沖から豊後水道に向かって下層の高暖湿気が流入し、高知県は積乱雲の発達しやすい環境場
 →海上方面から流入する下層暖湿気はかなり高く、500m高度の相当温位は354K以上
- ③下層から上層にかけて湿潤、不安定な成層状態
- ④メインシナリオ：高知県ではガイダンス参考に、1時間降水量 20ミリ
 四国地方で「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用が強まる予想はほとんど無い
 「相互作用」
- ⑤サブシナリオ：下層暖湿気流入予想が予想より早まった場合を想定し
 1時間降水量 30ミリ

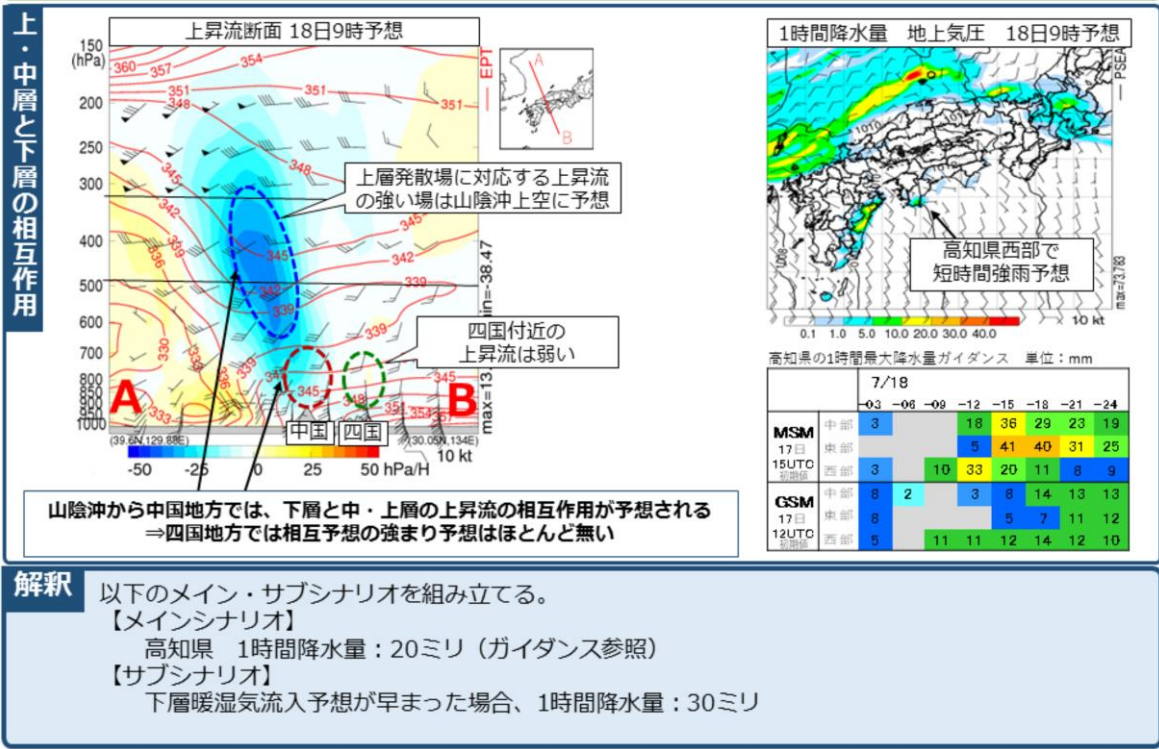
※図上右 (500hPa上昇流) では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

(参考：図解説中小規模気象学 (気象庁監修 加藤輝之著))

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 18日9時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



解釈

以下のメイン・サブシナリオを組み立てる。

【メインシナリオ】

高知県 1時間降水量：20ミリ（ガイダンス参照）

【サブシナリオ】

下層暖湿気流入予想が早まった場合、1時間降水量：30ミリ

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 9時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

- ①上層トラフに伴う発散場は、それより下の層の上昇流を強める⇒対馬海峡から山陰沖中心「下層」
- ②四国沖から豊後水道に向かって下層の高暖湿気が流入し、高知県は積乱雲の発達しやすい環境場
→海上方面から流入する下層暖湿気はかなり高く、500m高度の相当温位は354K以上
- ③下層から上層にかけて湿潤、不安定な成層状態
- ④メインシナリオ：高知県ではガイダンス参考に、1時間降水量 20ミリ
四国地方で「下層」と「中・上層」の上昇流の相互作用が強まる予想はほとんど無い「相互作用」
- ⑤サブシナリオ：下層暖湿気流入予想が予想より早まった場合を想定し
1時間降水量 30ミリ

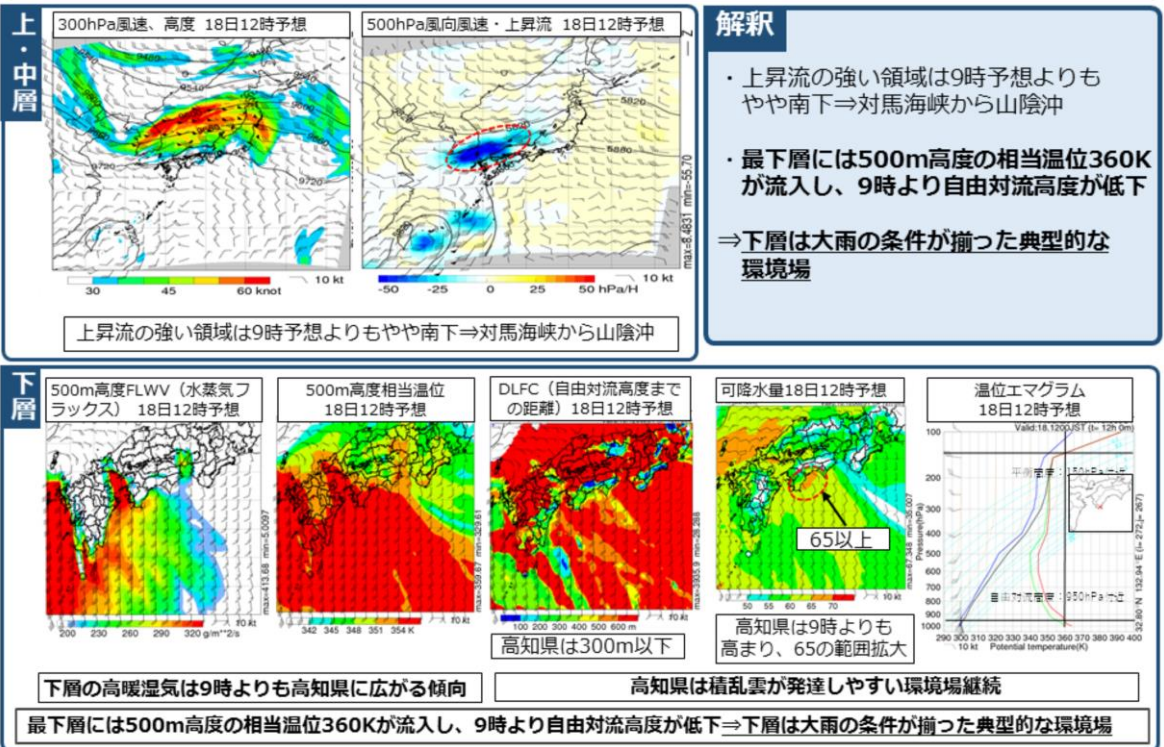
※図左（上昇流断面図）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 18日12時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 12時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

- ① 上昇流の強い領域は9時よりもやや南下傾向（対馬海峡から山陰沖は変化なし）
「下層」
- ② 下層の高暖湿気は9時よりも高知県に広がる傾向、高知県は積乱雲の発達しやすい環境場が継続
- ③ 最下層には500m高度の相当温位360Kが流入し、9時より自由対流高度が低下
⇒下層は大雨の条件が揃った典型的な環境場
- ④ メインシナリオ：高知県はガイダンス参考に山沿い中心、1時間降水量 40ミリ
下層と中・上層の上昇流の相互作用は9時より強まるが、山陰沖中心
「相互作用」
- ⑤ サブシナリオ：上層トラフが予想より深まることで、四国地方で下層と中・上層の上昇流の相互作用が強まった場合、可降水量並みの1時間降水量 60ミリ

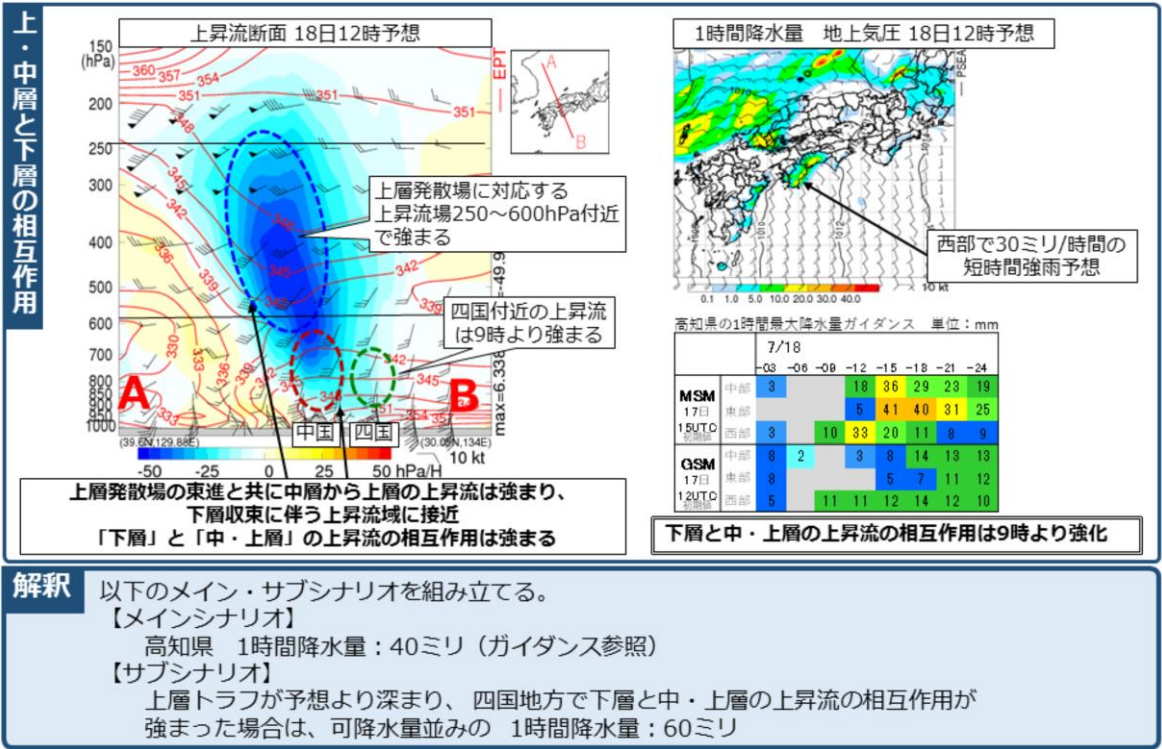
※図上右（500hPa上昇流）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 18日12時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 12時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
 「上層・中層」

- ① 上昇流の強い領域は9時よりもやや南下傾向（対馬海峡から山陰沖は変化なし）
「下層」
- ② 下層の高暖湿気は9時よりも高知県に広がる傾向、高知県は積乱雲の発達しやすい環境場が継続
- ③ 最下層には500m高度の相当温位360Kが流入し、9時より自由対流高度が低下⇒下層は大雨の条件が揃った典型的な環境場
- ④ メインシナリオ：高知県はガイダンス参考に山沿い中心、1時間降水量 40ミリ
下層と中・上層の上昇流の相互作用は9時より強まるが、山陰沖中心
「相互作用」
- ⑤ サブシナリオ：上層トラフが予想より深まることで、四国地方で下層と中・上層の上昇流の相互作用が強まった場合、可降水量並みの1時間降水量 60ミリ

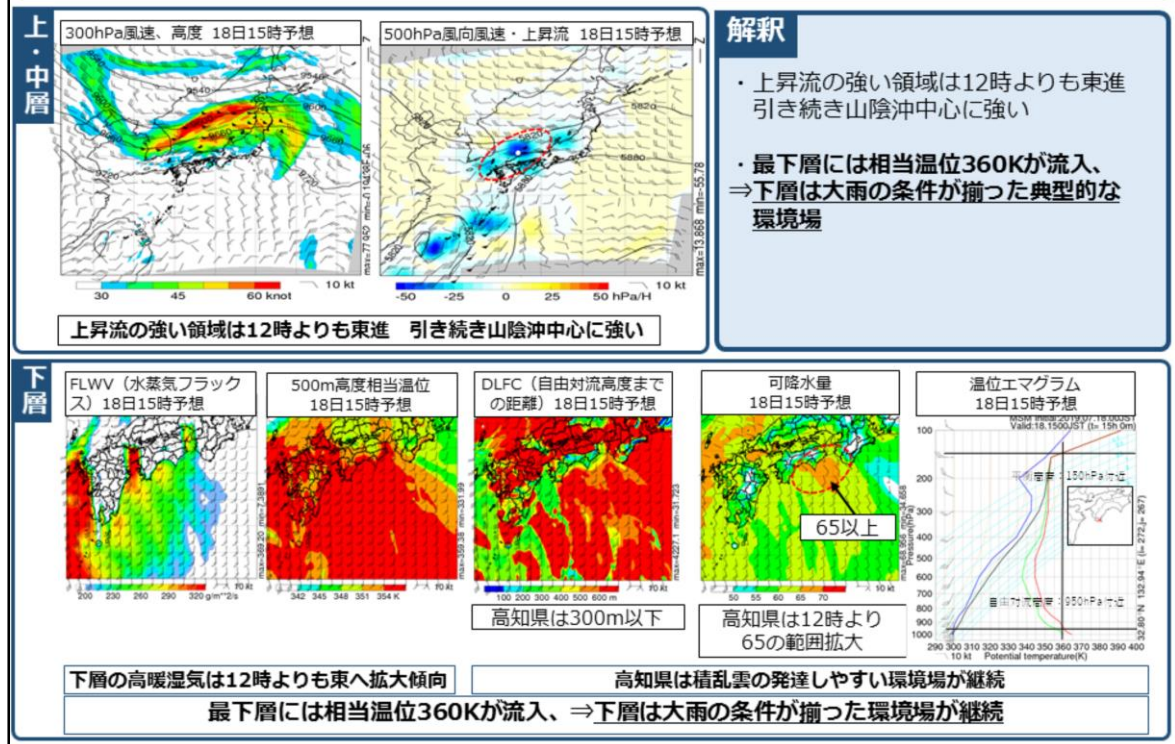
※図左（上昇流断面図）では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

（参考：図解説中小規模気象学（気象庁監修 加藤輝之著））

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解

目的 18日15時予想において、「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる



【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (1) 総観場及び環境場の理解】

シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 15時

「上層・中層」⇒「下層」⇒「相互作用」の関連をイメージしながらシナリオを組み立てる
「上層・中層」

①上層トラフと共に上昇流の強い領域は12時よりも東進 引き続き山陰沖中心に強い
「下層」

②下層の高暖湿気は12時よりも東へ拡大し、高知県は積乱雲の発達しやすい環境場が継続

③下層の大雨の条件、顕著現象をもたらさうる状況は継続

④メインシナリオ：強雨は高知県全域に広がり、地形要因に伴う収束強化により山沿い中心に1時間降水量 50ミリ

四国地方で下層と中・上層の上昇流の相互作用は12時よりやや弱まる傾向

「相互作用」

⑤サブシナリオ：上層トラフが予想より深まり、下層と中・上層の上昇流の相互作用が強まった場合は、可降水量並みの1時間降水量 60ミリ

※図上右 (500hPa上昇流) では、環境場による影響を現業作業中に検討するため、格子の200km移動領域平均を取り、図を作成している。

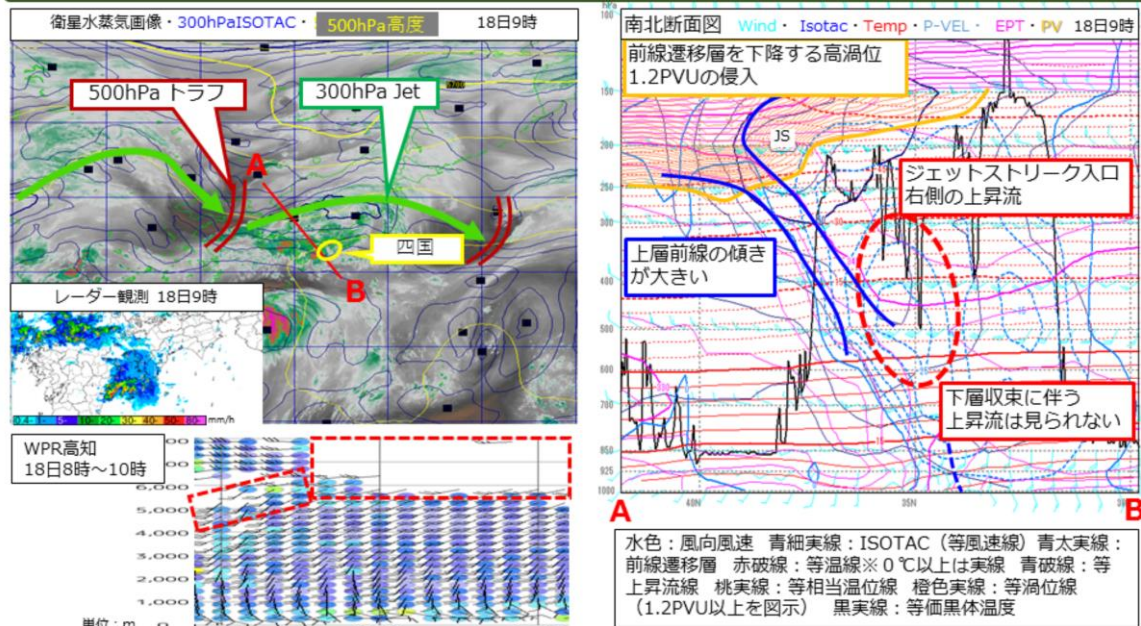
(参考：図解説中小規模気象学 (気象庁監修 加藤輝之著))

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的

発生前18日9時において、総観場及び環境場の把握を行うことで、天気変化をもたらす環境場を理解し、メイン・サブシナリオを構築する



解釈

モデルでは下層収束に伴う上昇流が見られないが、ジェットストリーク入口右側の中上層の上昇流は表現されており、レーダー観測の日向灘のエコーの北東進に伴う下層収束がジェットストリーク入口右側の上昇流と重なった場合、想定外の大雨となる可能性を示唆。

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

【衛星水蒸気画像】

ボツ海付近にトラフ対応の明瞭な暗域、西日本ではトラフ前面で明瞭な明域。

【南北断面（中国地方・四国地方）】

・中国地方（北緯35度付近）では亜熱帯ジェットストリーク入口右側で上昇流（中上層）を確認、四国地方太平洋沿岸（北緯33度付近）の下層では南東風と東風の収束が予想されるが、収束線起源の上昇流（中下層）は確認できない。中層前線の傾きは大きい。断面構造からジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）は中国地方で顕著で、四国地方沿岸では下層収束は見られるが、収束に伴う上昇流は見られない。ただし、レーダー観測では日向灘を顕著なエコーが北東進しており、四国地方ではエコーに伴う収束線の接近を示唆。

【WPR高知】

・5500m以上は空白域の存在、安定層の存在を示唆。中層南西風のため日向灘付近の顕著なエコーの北東進を示唆。

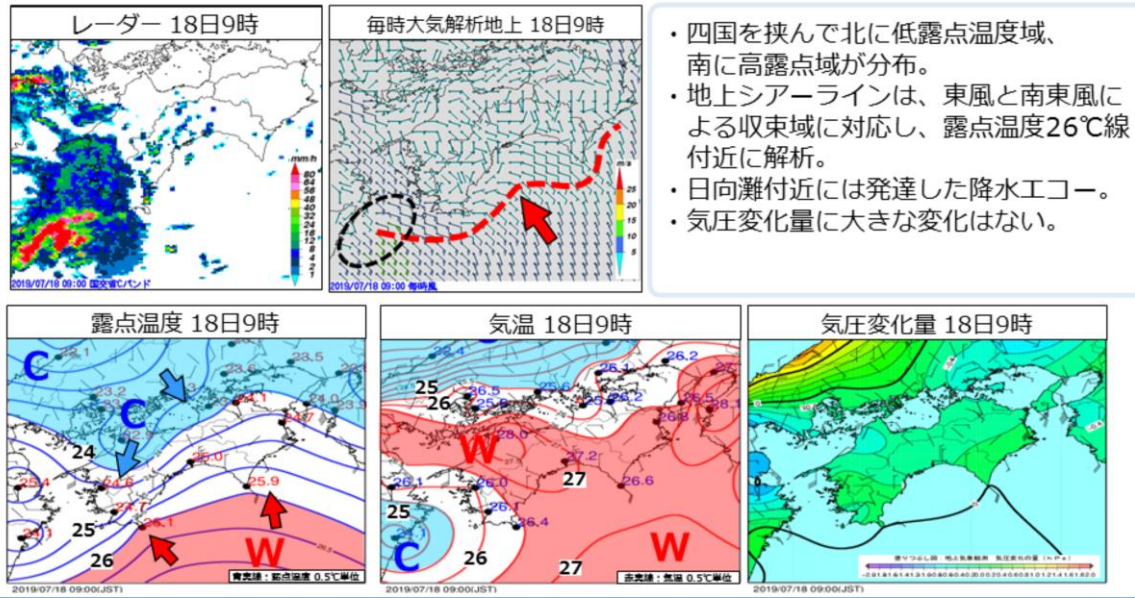
【SATAID断面図解析より得られる解釈】

・モデルでは下層収束に伴う上昇流が見られないが、ジェットストリーク入口右側の中上層の上昇流は表現。
 ・レーダー観測の日向灘のエコーの北東進に伴う下層収束がジェットストリーク入口右側の上昇流と重なった場合、想定外の大雨となる可能性を示唆。

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的

発生前18日9時において、局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する



解釈 局地解析では四国沖のシアーラインの強化に注視。さらに、日向灘付近の発達した降水エコーが、700hPaの南西風に流され、四国西部の沿岸域に達する可能性がある。今後、ジェットストリーク入口右側に表現される上昇流により、下層収束が顕在化することで、シアーラインに伴う積乱雲の組織化が示唆される。(サブシナリオへの移行)

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

前スライド (SATAIDによる総観場の解釈 (発生前)) より、

- ・モデルでは下層収束に伴う上昇流が見られないが、ジェットストリーク入口右側の中上層の上昇流は表現。
- ・レーダー観測の日向灘のエコーの北東進に伴う下層収束がジェットストリーク入口右側の上昇流と重なった場合、想定外の大雨となる可能性を示唆。
- ・ここで、サブシナリオに移行する。

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

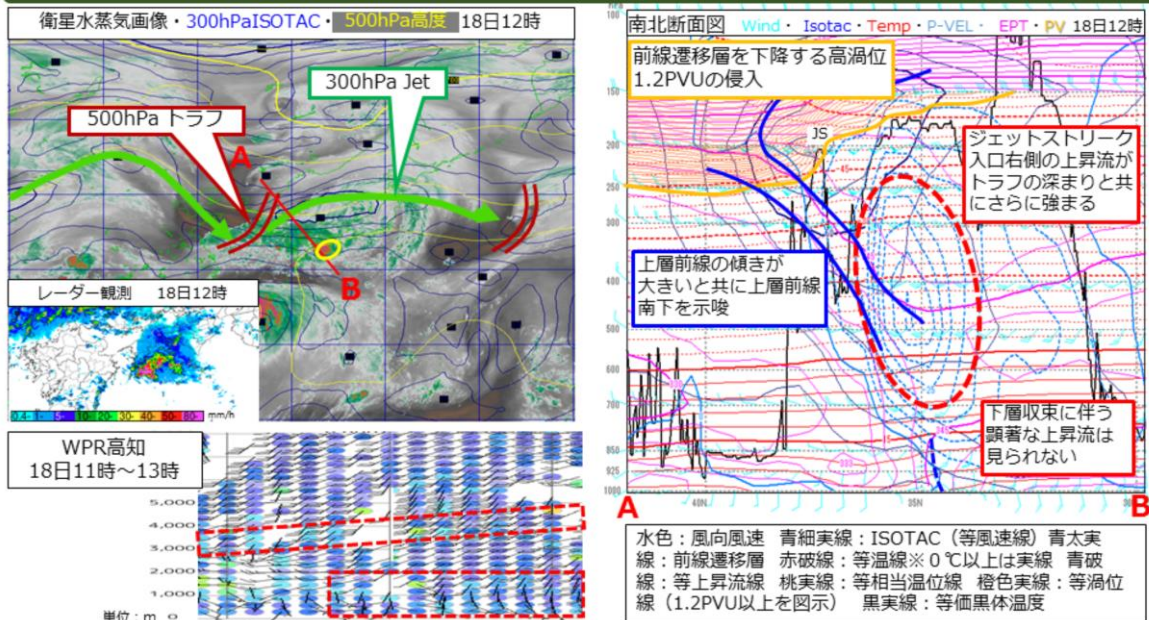
着目点

- ・四国を挟んで北に低露点温度域、南に高露点域が分布。
- ・地上シアーラインは、東風と南東風による収束域に対応し、露点温度26°C線付近に解析。
- ・日向灘付近には発達した降水エコー。
- ・気圧変化量に大きな変化はない。

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的

発生直前・最盛期 18日12時において、総観場及び環境場の把握を行うことで、天気変化をもたらす環境場を理解し、メイン・サブシナリオを構築する



解釈

モデルでは下層収束に伴う上昇流が見られないが、ジェットストリーク入口右側の上昇流域は順調に南下し四国地方上空に達しており、ジェットストリーク入口右側の上昇流の相互作用による大雨となっていることが、レーダーの強雨域からも解釈できる。

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

【衛星水蒸気画像】

・ボツ海付近にトラフ対応の明瞭な暗域、西日本ではトラフ前面で明瞭な明域。

【南北断面（中国地方・四国地方）】

・中国地方（北緯34～35度付近）では亜熱帯ジェットストリーク入口右側で上昇流（中上層）を確認、四国地方太平洋沿岸（北緯33度付近）の下層では南東風と東風の収束が予想されるが、収束線起源の上昇流（中下層）は確認できない。中層前線の傾きはさらに大きくなり、中層前線の南下を示唆。断面構造からジェットストリーク入口右側の上昇流（中上層）は中国地方から四国地方まで南下、四国地方沿岸では、収束に伴う上昇流は見られないが、レーダー観測ではエコーが四国地方沿岸で停滞傾向、等価黒体温度も圏界面付近に見られ、収束線の顕在化を示唆。

【WPR高知】

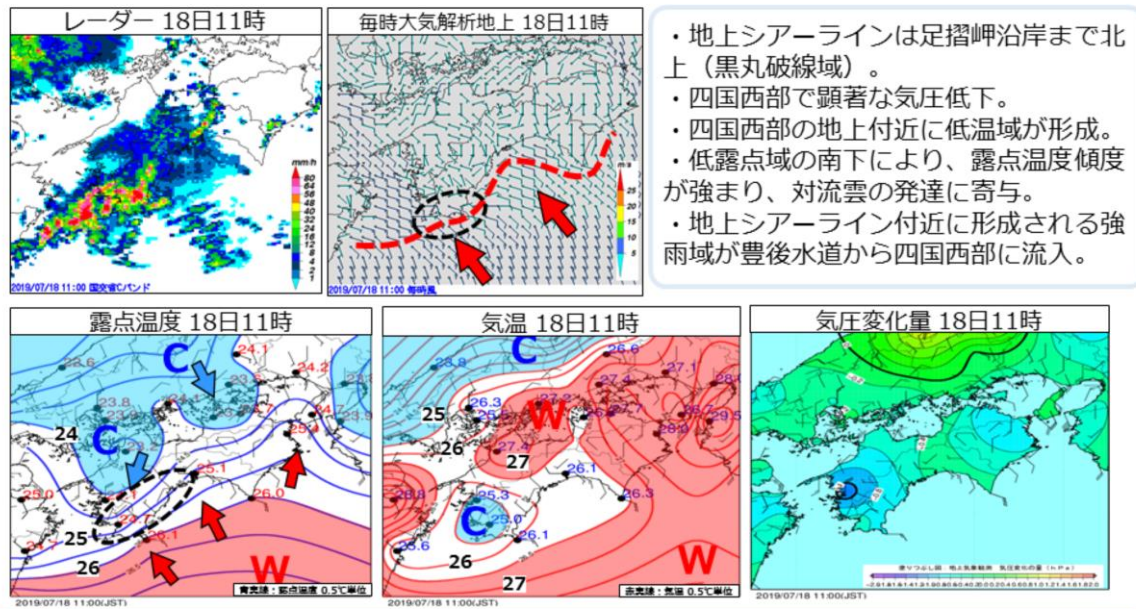
・中層付近を下降する反時計回りの寒気移流層（上層前線）の高度低下を示唆。下層では時計回りの暖気移流層が明瞭。

【解釈】

・モデルでは下層収束に伴う上昇流が見られないが、ジェットストリーク入口右側の上昇流域は順調に南下し四国地方上空に達しており、ジェットストリーク入口右側の上昇流の相互作用による大雨となっていることが示唆される。

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 発生直前18日11時において、局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する



- ・地上シアーラインは足摺岬沿岸まで北上（黒丸破線域）。
- ・四国西部で顕著な気圧低下。
- ・四国西部の地上付近に低温域が形成。
- ・低露点域の南下により、露点温度傾度が強まり、対流雲の発達に寄与。
- ・地上シアーライン付近に形成される強雨域が豊後水道から四国西部に流入。

解釈 局地解析では、シアーラインが四国西部の沿岸域まで北上したことで、露点温度傾度が強まり、豊後水道から流入してきた強雨域により、四国西部で強雨がもたらされている。上層との相互作用により、今後の降水エコーの盛衰に注視する必要がある。

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

前スライドより、

- ・モデルでは下層収束に伴う上昇流が見られないが、ジェットストリーク入口右側の上昇流域は順調に南下し四国地方上空に達している。
- ・レーダー観測の状況から下層収束とジェットストリーク入口右側の上昇流の相互作用による大雨となっていることが伺える。

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

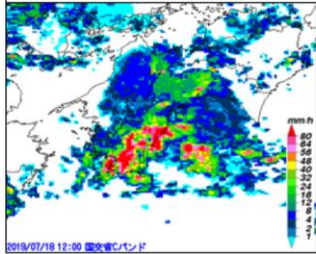
着目点

- ・地上シアーラインは足摺岬沿岸まで北上（黒丸破線域）。
- ・四国西部で顕著な気圧低下。
- ・四国西部の地上付近に低温域が形成。
- ・低露点域の南下により、露点温度傾度が強まり、対流雲の発達に寄与。
- ・地上シアーライン付近に形成される強雨域が豊後水道から四国西部に流入。

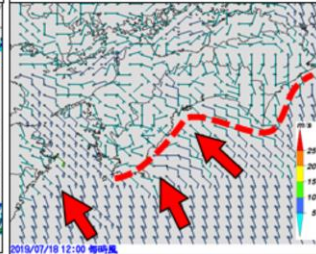
2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 最盛期18日12時において、局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

レーダー 18日12時

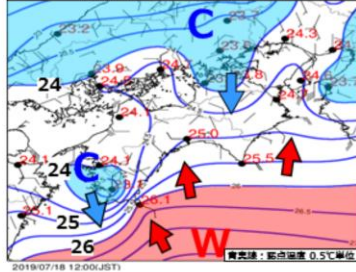


毎時大気解析地上 18日12時

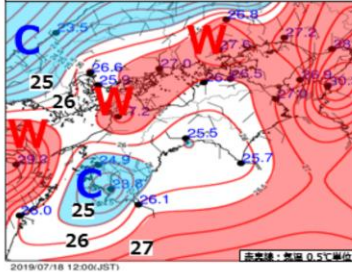


- ・四国西部で非常に発達したエコーが線状化、露点温度傾度が非常に大きくなっている。
- ・四国西部では、強い降水による冷気塊が顕在化され、南海上から高温域が流入し、地上シアーラインを強化。
- ・気圧変化量は四国西岸で気圧低下がやや見られる。

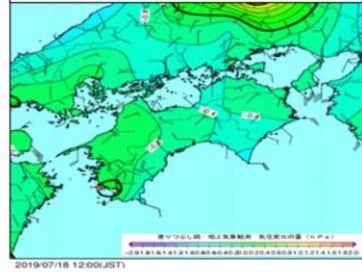
露点温度 18日12時



気温 18日12時



気圧変化量 18日12時



解釈

局地解析より、シアーラインはほぼ同じ位置に停滞。四国西部で線状化した降水エコーが確認でき、四国西部で引き続き強雨がもたらされている。四国西部では、上層発散場と対応して下層収束が強化され、積乱雲が発達しやすい状況と判断できる。

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

総観場の解釈 (スライド省略) より、

- ・モデルでは下層収束に伴う上昇流が見られないが、ジェットストリーク入口右側の上昇流域は順調に南下し四国地方上空に達している。
- ・レーダー観測の状況から下層収束とジェットストリーク入口右側の上昇流の相互作用による大雨となっていることが伺える。

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

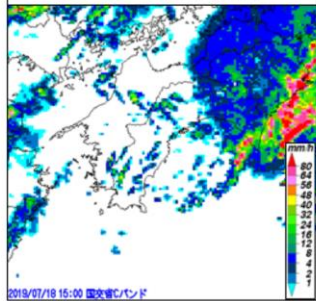
着目点

- ・四国西部で非常に発達したエコーが線状化、露点温度傾度が非常に大きくなっている。
- ・四国西部では、強い降水により冷気塊が顕在化し、南海上から高温域が流入して、地上シアーラインを強化。
- ・気圧変化量は四国西岸で気圧低下がやや見られる。

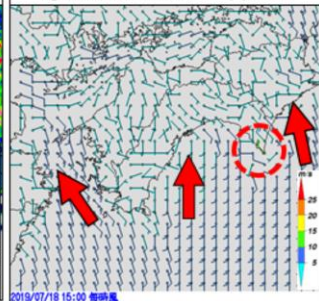
2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析

目的 衰弱期18日15時において、局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

レーダー 18日15時

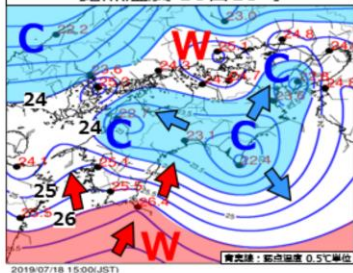


毎時大気解析地上 18日15時

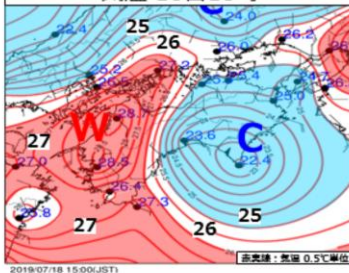


- ・毎時大気解析地上では室戸岬に低気圧性循環が明瞭で強雨域に対応。
- ・地上付近の高露点域は、四国西部の海岸部を地形に沿って北上。
- ・地上気温は四国東部に低温域、四国西部に高温域が広域に分布、四国中部には南北走向の顕著な温度傾度が形成。
- ・四国西部では、顕著な雨雲の発達は見られず、散在したエコーがみられる程度。
- ・気圧変化量は四国西部で低下傾向。

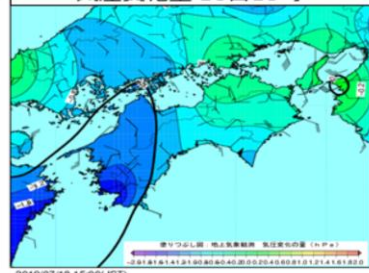
露点温度 18日15時



気温 18日15時



気圧変化量 18日15時



解釈 モデル及びSATAIDによる総観場の解釈より、四国付近ではトラフが通過し、トラフ後面の下降流による対流抑制の場に変化。大雨は終息する傾向となることが伺える。

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 (3) 現象の適切な理解に基づく局地解析】

総観場の解釈 (スライド省略) より、

- ・トラフは通過し、トラフ後面の下降流によって四国付近では対流抑制。
- ・大雨は終息する傾向となることが伺える。

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

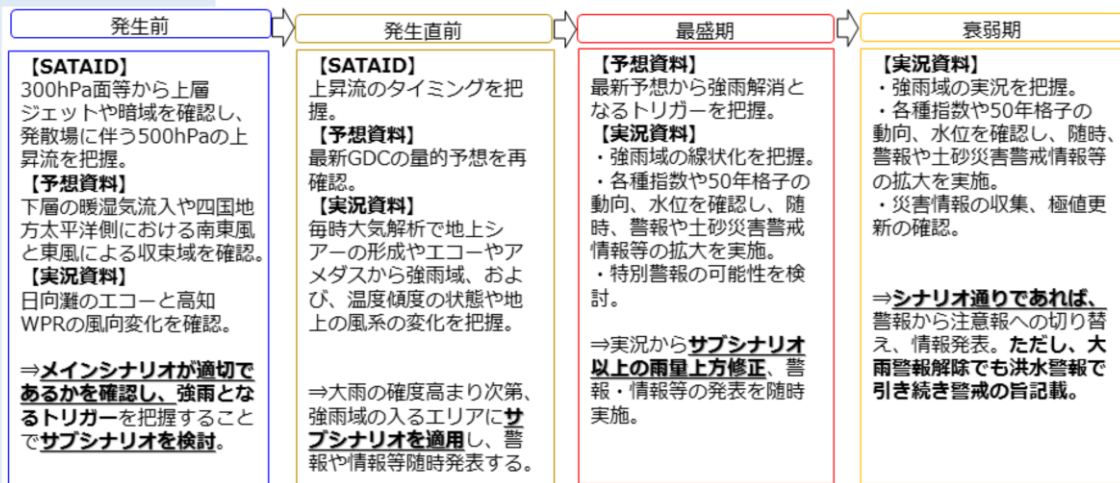
- ・毎時大気解析地上では室戸岬に低気圧性循環が明瞭で強雨域と対応している。
- ・地上付近の高露点域は、四国西部の海岸部を地形に沿って北上。
- ・地上気温は四国東部に低温域、四国西部に高温域がそれぞれ広域に分布し、四国中部には南北走向の顕著な温度傾度が形成。
- ・四国西部では、顕著な雨雲の発達はみられず、散在した降水エコーがみられる程度。
- ・気圧変化量は四国西部で低下傾向。

2-3-3 2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 まとめ

シナリオ検討

- ・9時予想 (メイン) 高知県 1時間降水量：20ミリ (サブ) 下層暖湿気流入が早まった場合 1時間降水量：30ミリ
- ・12時予想 (メイン) 高知県 1時間降水量：40ミリ (サブ) 上層トラフが予想より深まり、四国地方で下層と中・上層の上昇流の相互作用が強まった場合は、可降水量並みの 1時間降水量：60ミリ
- ・15時予想 (メイン) 高知県 1時間降水量：50ミリ 地形効果による収束強化により、山沿いでまとまる (サブ) 上層トラフが深まり、相互作用が強まった場合は、可降水量並みの 1時間降水量：60ミリ

予想と実況の確認



現象の各ステージの理解により、適切なメイン・サブシナリオ構築および適用が可能となる

【2019年7月18日 暖気収束に伴う大雨事例 まとめ】

シナリオ検討

- ・9時予想 (メイン) 高知県 1時間降水量：20ミリ (サブ) 下層暖湿気流入が早まった場合 1時間降水量：30ミリ
- ・12時予想 (メイン) 高知県 1時間降水量：40ミリ (サブ) 上層トラフが予想より深まり、四国地方で下層と中・上層の上昇流の相互作用が強まった場合は、可降水量並みの 1時間降水量：60ミリ
- ・15時予想 (メイン) 高知県 1時間降水量：50ミリ 地形効果による収束強化により、山沿いでまとまる (サブ) 上層トラフが深まり、相互作用が強まった場合は、可降水量並みの 1時間降水量：60ミリ

予想と実況の確認

発生前

【SATAID】 300hPa面等から上層ジェットや暗域を確認し、発散場に伴う500hPaの上昇流を把握。

【予想資料】 下層の暖湿気流入や四国地方太平洋沿岸における南東風と東風による収束域を確認。

【実況資料】 日向灘のエコーと高知WPRの風向変化を確認。⇒**メインシナリオが適切であるかを確認し、強雨となるトリガーを把握することでサブシナリオを検討。**

直前

【SATAID】 上昇流のタイミングを把握。

【予想資料】 最新GDCの量的予想を再確認。

【実況資料】 毎時大気解析で地上シアアの形成やエコーやアメダスから強雨域、および、温度傾度の状態や地上の風系の変化を把握。⇒大雨の確度高まり次第、強雨域の入るエリアに**サブシナリオを適用し**、警報や情報等随時発表する。

最盛期

【予想資料】 最新予想から強雨解消となるトリガーを把握。

【実況資料】

・強雨域の線状降水化を把握。

・各種指数や50年格子の動向、水位を確認し、随時、警報や土砂災害警戒情報等の拡大を実施。

・実況から**サブシナリオ以上の雨量上方修正**、警報・情報等の発表を随時実施。

・特別警報の可能性を検討。

衰弱期

【実況資料】

・強雨域の実況を把握。

・各種指数や50年格子の動向、水位を確認し、随時、警報や土砂災害警戒情報等の拡大を実施。

・災害情報の収集、極値更新の確認。

⇒ **シナリオ通りであれば**、警報から注意報への切り替え、情報発表。ただし、大雨警報解除でも洪水警報で引き続き警戒の旨記載。

⇒ **現象の各ステージの理解により、適切なメイン・サブシナリオ構築および適用が可能となる**

3 まとめ

なぜ、予報作業において気象現象の理解に基づく 局地気象解析が必要か

1. ガイダンスは完全ではない

～総観場の状況により、ガイダンスの雨量予想が過少となる事例がある～

- ・上層の上昇流が励起される場、それより下の層の上昇流を強める場において、ガイダンスの雨量予想が過少となる事例が散見される。
- ・ガイダンスの適切な修正は、現象の適切な理解が重要。

2. 天気現象の理解は複数シナリオの構築につながる

～上部対流圏システムの把握は、下層のシステムが大雨をもたらす原因の解明につながると共に、

時間に限りのある予報作業中での的確な予報作業につながる～

総観場（上部対流圏システム）と局地解析（下層システム）の相互作用を理解することで、天気現象を適切に理解し、ガイダンスの不得手な現象に対してもシナリオ組み立てを行える。



**ガイダンスの量的予想を吟味し、より適中率の高い予報作業を行う。
このため、総観場を読み解き局地現象で現象を見極めることが
必要である。**

【補足】

1. 上層上昇流が励起される場、それより下の層の上昇流を強める場において、ガイダンスの雨量予想が過少となる事例が散見される。
ガイダンスを適切に修正してメイン・サブシナリオを構築するためには、数値予報資料から現象の構造及び天気現象を適切に理解し、予想を組み立てることが重要となる。
2. 上部対流圏システムの把握は、下層のシステムが大雨をもたらす原因の解明につながると共に、時間に限りのある中で、的確な予報作業を行うことにつながる。
総観場（上部対流圏システム）と局地解析（下層システム）の相互作用を理解することで、天気現象を適切に理解し、ガイダンスの不得手な現象に対してもシナリオ組み立てを行える。本稿では、以下の内容について説明を行っている。
 - ・上部対流圏システムの概念的な理解
 - ・具体例を用いた現象の理解
 - ① ジェットストリーク入口右側の上層発散場
 - ・ガイダンス過少事例（10月25日）、ガイダンス見逃し事例（7月18日）。
 - ② 高気圧のリッジ後面（リッジ北東象限）における上層発散場
 - ・ガイダンス見逃し事例（7月24日）。
3. 下層のシステムが大雨をもたらす原因となることは、これまで様々な文献等で明らかにされてきたが、下層の大雨をもたらす環境場の条件下であっても、大雨が発生する場合や、発生しない場合があり、防災情報の発表判断に苦慮するケースが多々見られる。
4. ガイダンスの量的予想の吟味は、GSM・MSMの単なる判別ではなく、現象の理解に基づきガイダンスの上方・下方修正及び修正なしなどを適切に判断し、GSM・MSMのどのモデルが最も確からしい値を示しているのか等を考察することである。