

令和3年度 予報技術研修テキスト

予報担当者に求められる予報技術と 実例に基づいた予報作業の例

令和4年3月
気象庁 大気海洋部 予報課

MENU

- 1 予報担当者に求められる予報技術**
- 2 実例に基づいた予報作業の例**
2020年8月22日 熱雷による大雨事例
- 3 全体のまとめ**

1 予報担当者に求められる予報技術

1 予報担当者に求められる予報技術

気象情報に対するニーズは日々高度化、多様化しており、気象庁が提供する防災気象情報はこれらに対応するように変遷してきている。

主な防災気象情報の運用開始等

- 土砂災害警戒情報の運用開始 ⇒ H17年
- 大雨警報の細分化（土砂災害と浸水害） ⇒ H22年
- 市町村を対象とした注警報の発表 ⇒ H22年
- 大雨特別警報の運用開始 ⇒ H25年
- 危険度分布の提供 ⇒ H25年～土砂災害判定メッシュ情報の提供開始、
H29年～浸水害・洪水害も含め危険度分布の提供開始
- 警報級の可能性の発表 ⇒ H29年（後に早期注意情報に変更）
- 大雨災害に対する警戒レベル導入 ⇒ R2年

※ 段階的に拡大したものは最初の運用開始年

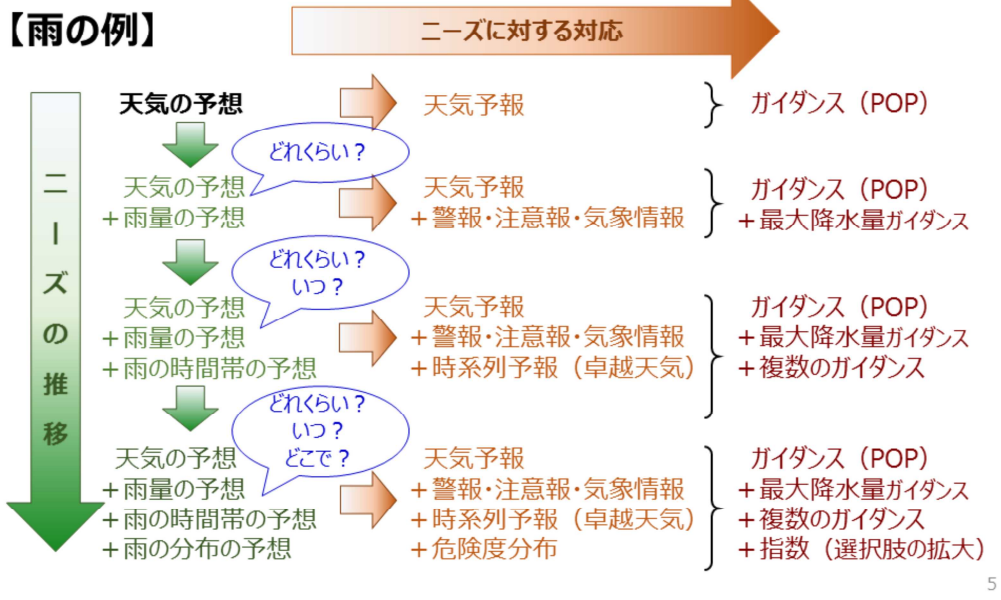
4

気象情報に対するニーズは日々高度化、多様化しており、気象庁が提供する防災気象情報はこれらに対応するように変遷してきている。

一例として、最近の主な防災気象情報の運用開始等について示す。

1 予報担当者に求められる予報技術

求められるニーズに対応した各種予測資料やツールの開発



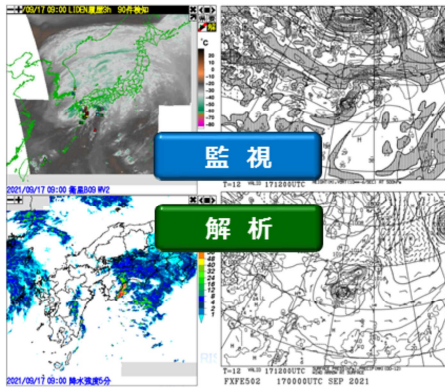
雨の予想を例にすると、単に雨が降るか降らないかだけであれば、利用する資料や提供するためのツールは少なくても済むが、どのくらいの量が、何時から何時まで、どこに降るのかを求められれば、それぞれに応じた資料を準備し、ユーザーが利用しやすい形態で提供するための技術が必要となる。

1 予報担当者に求められる予報技術

新しい技術が導入されれば、それを活用するために必要な知識を習得することは必須である。

一方で、予報担当者として持つべき技術力の基盤は揺るがない。

FAX天気図から、顕著現象について、発生する可能性の高低、発生するエリア、発生するタイミング等をどれだけ把握できるか！



着目すべきポイントの整理

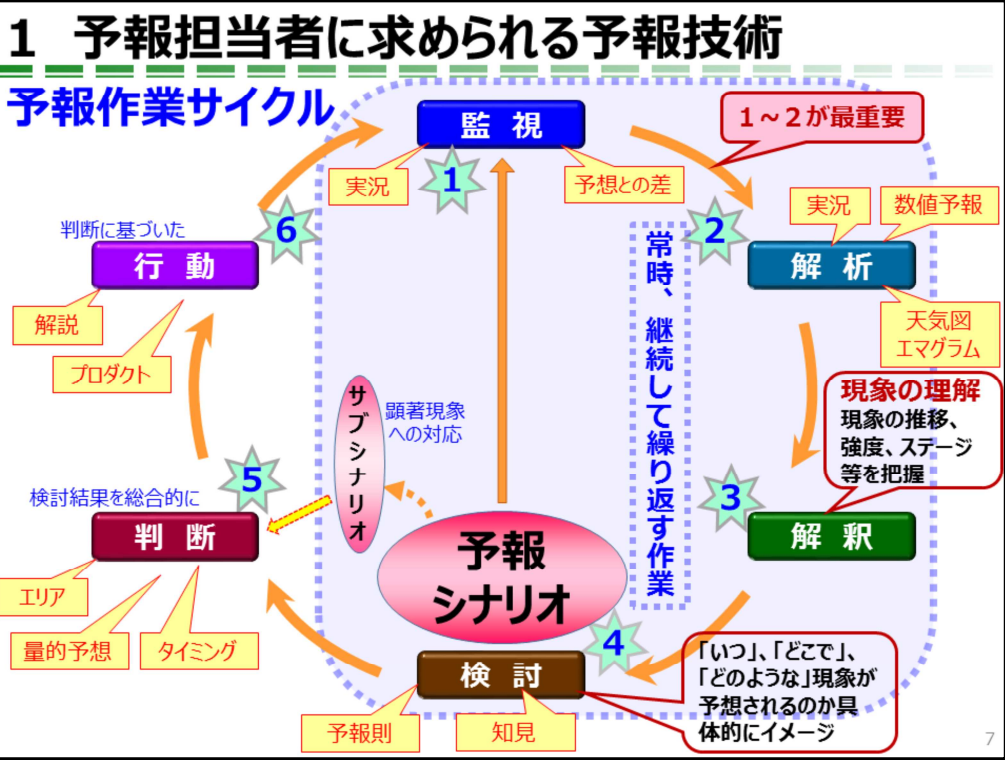
- どの資料を詳細に解析する？
- 現象へのインパクトが大きい要素は何？
- どうなれば現象がより強まる？
⇒サブシナリオの準備

判断

様々なケースを想定し、最も必要な準備は何かを考え行動に移す。

6

このようなユーザーからのニーズの変化に対応するためには、新しい技術を導入し、それを使いこなせるように習熟することは必須であるが、天気がどのように推移し、どの程度の現象が出現するかについて、大まかに把握することが先決であり、大まかな把握の段階でどの程度細かいところまで考えを巡らすことができるかによって、現象の出現に向けた準備の進め方が大きく変わってくる。



これは、気象庁において予報官が常時行っている作業を示したものである。

1～2

予報作業サイクルのスタートとなるのは実況の監視だが、監視作業の前提として大まかな場の把握は欠かせない。総観場の把握が適切にできていればこそ局地現象の解析を丁寧に行うことができる。

この実況監視と解析作業が予報作業サイクルの最も重要な部分であり、解析の成功なくして予報の適中はない。

3～4

現象が理解できれば、次に予報シナリオを構築して予想に移行することになるが、ここに予報則や知見などのこれまでの積み重ねが活かされる。これらを「気付き」によって生かし切れるかどうか腕の見せ所でもある。

5～6

ここまでの作業で予報シナリオが決まり、プロダクトの発表および発表したプロダクトの解説に向けた具体的な準備を進める。ここでもリードタイムや作業時間も考慮した迅速な判断が必要。

まとめ

天気図を読み解く力は、一朝一夕には高まらないかも知れないが、毎日の作業の中で何を感じ、感じたものをどのように検証するかを工夫し続けることで、読み解く力を高める速度は変わる。

1 予報担当者に求められる予報技術

数値予報技術が進歩しても一定程度の予報誤差は必ず起きるため、予報担当者は常に技術力の向上を図り、予報誤差をカバーするための対策を考える必要がある。

- スケールが小さい現象の予測
 - ✓ 沿岸前線
 - ✓ 不安定現象（発雷・短時間強雨・竜巻等）
- 強雨域の推移
 - ✓ 注警報基準に達するかどうか
 - ✓ 隣接市町村等への広がり
- 雨雪判別と降雪量
 - ✓ 寒気の滞留
 - ✓ 風の予想との関連性
 - ✓ 雪水比
- 局地的な現象
 - ✓ 特定風向での風の強まり
 - ✓ 霧

人によって判断が異なることがないように資料を準備する

予報則を整備

ワークシート

概念モデル

特定地点の基準値設定

誰もが活用できる技術でなければならない

8

数値予報が進歩してもすべての現象を予測することは不可能であり、予測できない現象は必ず起きる。このような予測が難しい現象に対する準備として、過去の同様な現象についてまとめ、次に起きた時に備えることが重要となる。その際、個人のスキルの差によって判断がバラバラにならないように、現象の発生過程から予想を導くまでを誰もが活用できるようにまとめた資料を準備しておくことが重要である。

1 予報担当者に求められる予報技術

予報則が整備されていれば、誰もが活用できる予報技術として予報担当者の考えが統一され、予報作業における判断も適切に行える。

- 数値予報・ガイダンス
⇒実況との比較に基づき、修正の有無を検討した上で利用
- 予報則
現象が、ある特定の気圧配置で発生するなど、**場の把握ができており、かつ、ワークシートやフローチャートなど客観的な予測手法が整備されている**もの
- 実況補外
各種観測実況、ノウキャストや降水短時間予報など
⇒目先（長くても数時間程度）の予報に利用
- 知見
現象が発生する場合は把握できており、客観的な資料としてまとめられているが、予報則は整備されていないもの
- 経験則
気象学的な根拠が不明な個人的経験や感性による解釈で、資料としてまとめられていないもの。

状況に応じて最適な資料を選択して利用

経験則や知見は予報則として整備することを目指す

実況が記述内容と合致しているか確認した上で利用

予報作業への利用は原則的には不可

私たちが普段予報作業で使用している「経験則」、「知見」、「予報則」などの言葉について、それぞれの捉え方が異なるように、用語の整理をしておきたい。

一般的に、「経験」は、自分がやってみたことそのものについて使われる言葉で、「知識」は、自分が経験したことだけでなく、本で読んだことや、人から聞いたことも含まれる。

「知見」は、あくまでも自分が見たり、

経験して知った知識のことを指す。気象学的な根拠が不明な「昔からの言伝え」が「経験則」として引き継がれていることもあるが、予報技術として利用することを考えると、個人のスキルの差によって判断が

バラバラとなる可能性があり、これを避けるためには、その現象が発生する場の把握ができること、すなわち、現象が発生する過程が客観的資料としてまとめられている必要がある。これを「知見」と位置付ける。

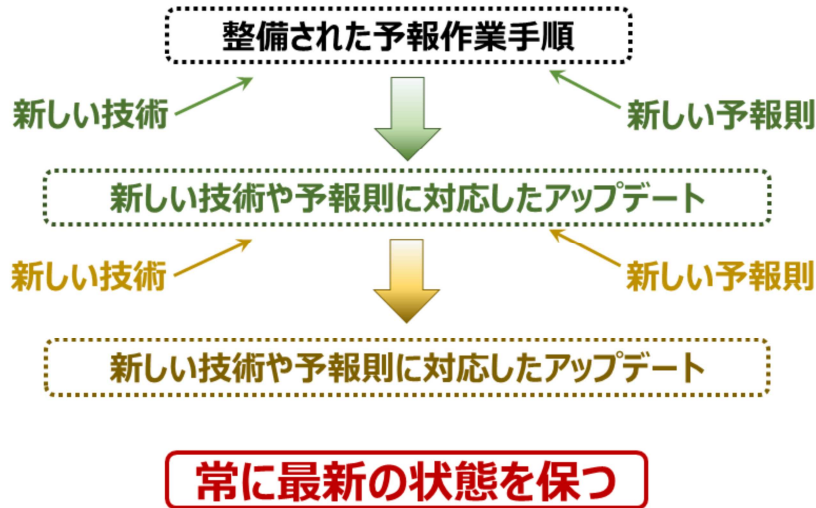
更に、「予報則」は「知見」を基にした客観的な予測手法が整備されているものを指す。

予報に利用することを考えたとき、誰もが理解できるものであることが必要となるため、

「予報則」としてまとめておくことが最善となる。

1 予報担当者に求められる予報技術

組織としての判断力、対応力を高めるためには、予報作業を統一的に進められるような作業手順を整備し、作業手順の変化に応じて迅速に更新して常に最新の状態に保つことが必要となる。



10

予報則は、一度整備して終わることなく、新たに事例を追加してさらに精度を高めることや、数値予報の改善やガイダンスの特性変更等に対して、なるべく時間を置かずにアップデートし、常に最新の状態が保てるように整備することが重要となる。

2 実例に基づいた予報作業の例

2 実例に基づいた予報作業の例

目的

- ・2020年8月22日 長野県、群馬県の熱的不安定に伴う大雨（連日の熱的不安定降水）
- ・この事例から、場面に応じた予測資料を用いて気象現象を理解し、これまでの知見や予報則からの気づきを活用した現業作業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
- ・現象の変化を各種予測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する

- ・実況値（衛星水蒸気画像（暗化域）、WPR（温度風解析+風向解析）等）を用いて実況と数値予報資料の差異を確認し、適切な解釈を実施する
- ・前日の実況経過との比較、類似事例との比較から下層暖湿気の流入、中・上層の時系列変化等、実況と予想の変化を読み解き、現象を解釈する

(3) 現象の適切な理解

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する

- ・顕著現象発生において、トリガーとなり得る要素を的確に選出し、メソβスケールにおける局地現象の適切な解釈を行う

12

本テキストでは、実例に基づいた予報作業の例として、2020年8月22日 長野県、群馬県の熱的不安定に伴う大雨（連日の熱的不安定降水）の事例を説明する。

内容は、これらの現象が発生する直前に作成したシナリオを基に、予報担当者が、実況と予想の変化を比較しながら読み解き、現象を解釈するスタイルで作成している。また、予報作業を行う上では、**多くの数値予報資料のみならず、前日や過去の類似事例の振り返りから得られた気づき、これまでに整理された予報則や知見を理解することが重要**となる。

2020年8月22日 熱雷による大雨事例

- (1) 天気概要
- (2) 予報作業の流れ（気付き）
- (3) 予報作業の流れ（シナリオ作成）
- (4) ステージ毎の予想と実況の比較
- (5) 予報作業例のまとめ

13

・ここから熱雷による大雨事例について、事例の概要、予報担当者が行う作業、予報作業例のまとめの順に解説し、予報担当者が行う作業として、前日の振り返り作業と、当日の予想シナリオ作成作業、当日の実況監視と予想シナリオ修正作業を取り上げる。

・なお、予報担当者は当日朝8時～9時頃から予報作業に入ると想定し、前日夜から当日朝にかけて予報作業に従事していた予報担当者から気象シナリオを引く次ぐイメージとしている。本資料で使用した数値予報資料の初期値は、特に断りがない限り、GSMは8月21日12UTC、MSMは8月21日15UTCとする。

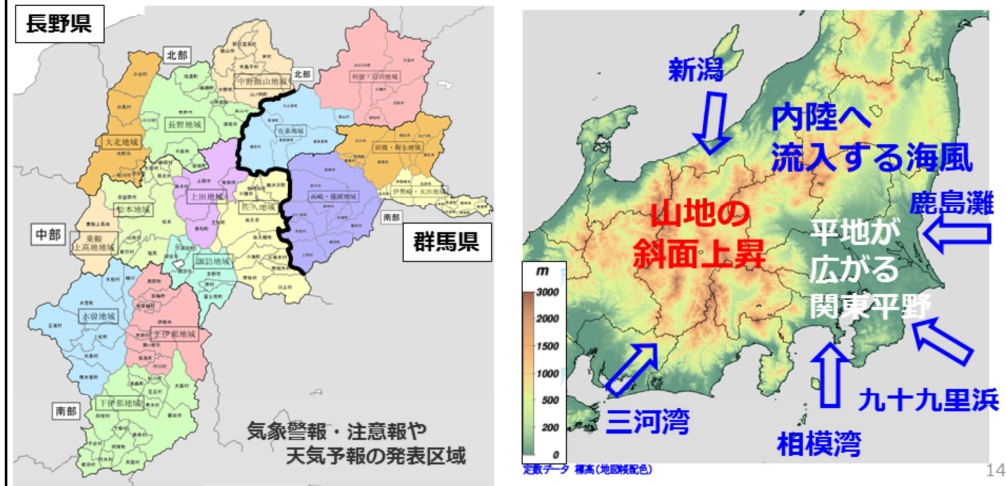
2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (1) 天気概要

関東甲信地方の地形の特徴と熱雷発生域との関連

2020年8月22日の午後は、関東甲信地方で大気の成層状態が不安定となり、広い範囲で対流雲が発達し、熱的不安定に伴う大雨となった。

長野県は、標高3,000m級の高い山々に囲まれ、面積の55%は標高1,000m以上の山地で占められ、起伏の多い複雑な地形をしている。

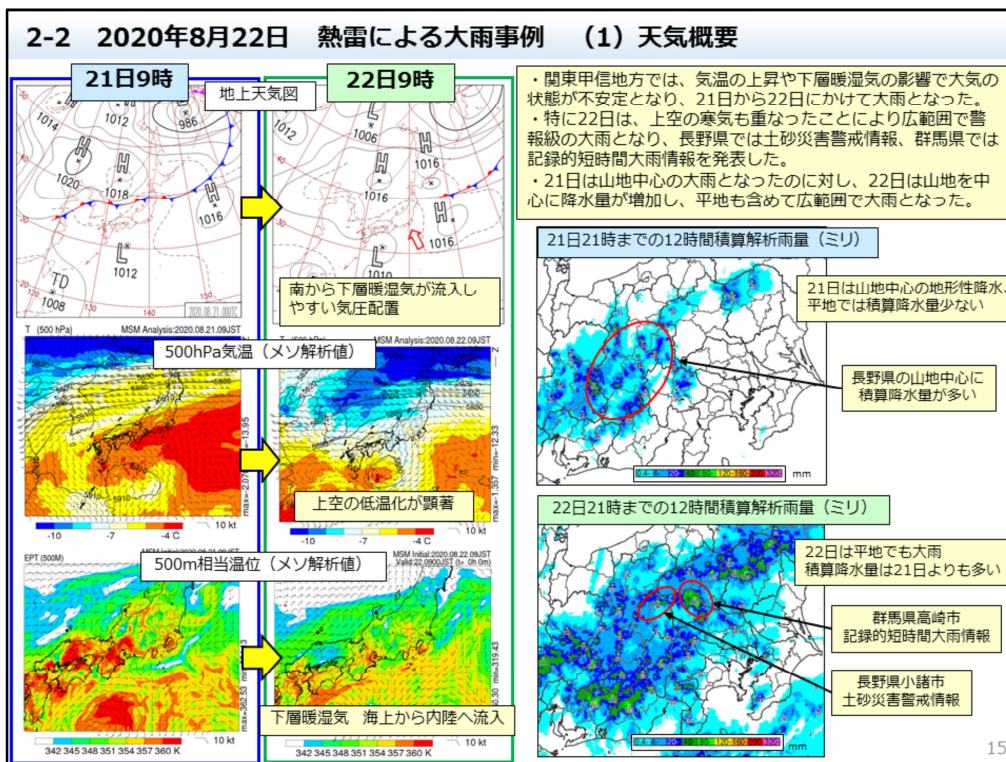
群馬県は、南西は関東山地、北西は三国山脈、北東は帝釈山脈及び足尾山地と三方を山に囲まれる一方、南東部は関東平野に通じた開けた地形をしている。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (1) 天気概要】

関東甲信地方の地形の特徴と熱雷発生域との関連

- ・ 関東甲信地方で発生する熱雷に伴う短時間強雨の発生域は、地形が大きく影響していると考えられる。
- ・ 長野県は、標高3,000m級の高い山々に囲まれ、面積の55%は標高1,000m以上の山地で占められ、起伏の多い複雑な地形をしている。
- ・ 群馬県は、南西は関東山地、北西は三国山脈、北東は帝釈山脈及び足尾山地と三方を山に囲まれる一方、南東部は関東平野に通じた開けた地形をしている。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (1) 天気概要】

事例概要

- ・ 関東甲信地方では、日中の気温の上昇や下層暖湿気の影響で大気の成層状態が不安定となり、21日から22日にかけて大雨となった。
- ・ 特に22日は、上空の寒気も重なったことにより広範囲で警報級の大雨となり、長野県では土砂災害警戒情報、群馬県では記録的短時間大雨情報を発表。
- ・ 21日は山地中心の大雨であったのに対し、22日は山地を中心にさらに降水量が増加し、平地も含めて広範囲で大雨となった。

熱雷とは

熱雷：夏期、強い日射により局地的に発生する雷。[参考]気象庁 予報用語 (https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kori.html)

21日から22日にかけての総観場

- ・ 地上では、21日は前線が日本海から東北北部に停滞するが、22日は日本の東の高気圧が本州付近へ張り出し、管内は、21日から22日にかけて晴れや曇りとなり、最高気温が35℃を超える猛暑日となった。
- 22日は、高気圧の縁辺を周る下層暖湿気や低気圧周辺の下層暖湿気が流入しやすい場となった。
- ・ 500hPaでは、22日にかけて寒気を伴ったトラフが中国東北区から日本海へ進み、本州の南岸の上層の寒冷渦が北上し、平年よりも低い-6℃以下寒気が管内に影響。
- ・ 500mの相当温位では、21日から22日にかけて沿岸部や平地に沿って354K以上の気塊が流入。
- 22日は、日本の東の高気圧縁辺や四国沖の低気圧周辺の下層暖湿気が海上から内陸へ向かって流入しやすい場となった。

2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (1) 天気概要

関東甲信地方における22日の解析雨量帳票 (ミリ)

関東甲信地方	2020/08/22 (JST)																													
	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23														
茨城県			2		12	13	7			1	2	3	7	8	4		5	7	5	2										
栃木県						3	15	19	17	32	38	31	47	66	57	72	73	56	35	30	13	13	13	11	4	3	3	2		
群馬県						8	10	6	23	31	15	16	20	36	56	45	51	47	69	64	90	85	67	42	18	7	2	1	2	
埼玉県						3	8	15	22	26	43	33	15	15	22	19	26	41	39	32	36	42	52	27	11	4	4	3		
東京都			10	17	19	16	34	37	21	21	18	7	16	23	16	10	17	10	16	15	6	8	9	16	17	15	20	27	17	7
千葉県						15	30	34	24	22	4		15	20	16	5	23	47	43	19	2	4	3	2	13	27	30			
神奈川県							1		13	33	33	10	2												11	29	40	42	31	
長野県	1	1			21	27	39	35	40	37	34	50	55	60	61	47	39	59	70	45	34	33	22	24	17	4	4	3	1	1
山梨県					6	18	37	29	21	35	40	22	38	40	44	59	41	53	41	6	4	3	2	1	1	1			2	39

- ・長野県では昼過ぎ～夕方、群馬県では夕方～夜のはじめ頃に非常に激しい雨や猛烈な雨を解析
 - ・当日午前中の気象情報では、1時間最大降水量の予想は長野県で40ミリ、群馬県で50ミリで、当初の予想を超える短時間強雨
- ⇒気象シナリオの変更が必要な事例・・・何をみて、どう考えるか？

【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (1) 天気概要】

長野県では昼過ぎ～夕方、群馬県では夕方～夜のはじめ頃に非常に激しい雨や猛烈な雨が解析された。

当日午前中に発表された気象情報では、1時間最大降水量の予想は長野県で40ミリ、群馬県で50ミリで、当初の予想を超える短時間強雨となった。

このため、本事例では、22日の午後には気象シナリオの変更が必要となる。

2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例（2）予報作業の流れ（気付き）	
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 対象現象：2020年8月22日 熱雷による大雨事例	
<p>予想時の着目する要素を示すとともに、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、MSM予測資料21日15UTC_初期値を用いて、22日15時、18時、21時にかけて3時間毎の着目する要素を基にシナリオを組み立てる。</p>	
シナリオ組み立て時の基軸：	
1. 前日（21日）の熱雷発生時の環境場について振り返る	
<ul style="list-style-type: none"> ・着目した要素で環境場を確認し、予想値と実況値を比較 ・大雨の発生時刻や強度、広がりについて考察 	
2. 前日（21日）の着目点から予想を補正しシナリオを新たに作成	
<ul style="list-style-type: none"> ・前日（21日）の実況から得られた特徴から当日（22日）の大雨予想を考察 ・当日（22日）のガイダンス等の予測資料を補正 	
3. メインシナリオからサブシナリオへ変更するためのトリガー等と共有	
<ul style="list-style-type: none"> ・前日（21日）の実況経過で得られた気付き等から、シナリオ変更のトリガーを判断 	
17	

【2020年8月22日 熱雷による大雨事例（2）予報作業の流れ（気付き）】

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

また、同じような環境場が連日続く場合、2日目のシナリオ構築では、1日目の実況を参考に量的予想を補正し、大雨に備える

シナリオ組み立ての基軸

- ・予想時の着目する要素を示すとともに、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、前日（21日）の熱雷発生時の環境場について振り返りを行い、着目した要素の予想値と実況を比較することにより、大雨の発生時刻や強度、広がりについて考察する。

「前日の気付きから当日は何に着目するか」を重点に予報作業を行なう。

2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例（2）予報作業の流れ（気付き）

シナリオ組み立て時の基軸 1

21日の実況や予測資料からの特徴や気付きを参考に22日のシナリオを組み立てる

予報作業の流れ

何故、振り返りを行うのか？

- ・ 21日と22日で同じような環境場であれば、22日も熱雷が発生し、それに伴い大雨が発生することが予想されるから。
- ・ 同一地域、同一時間に同じような現象が発生することをイメージして予報を組み立てることができるから。
- ・ シナリオを作成するときには、21日の実況と両日の環境場を比較することで、ガイダンス等を補完する予想資料となり、予想確度が高まることが期待されるから。

振り返りのポイント：21日と22日を比較して、どちらが悪天となるか見極める

- ・ 悪天を予想した場合、21日と比較してどの程度悪くなるか見積もる。
- ・ 大雨の発生期間や強度、分布等の予想について考察する。
- ・ 考察からメインシナリオを組み立て、サブシナリオをイメージする。

18

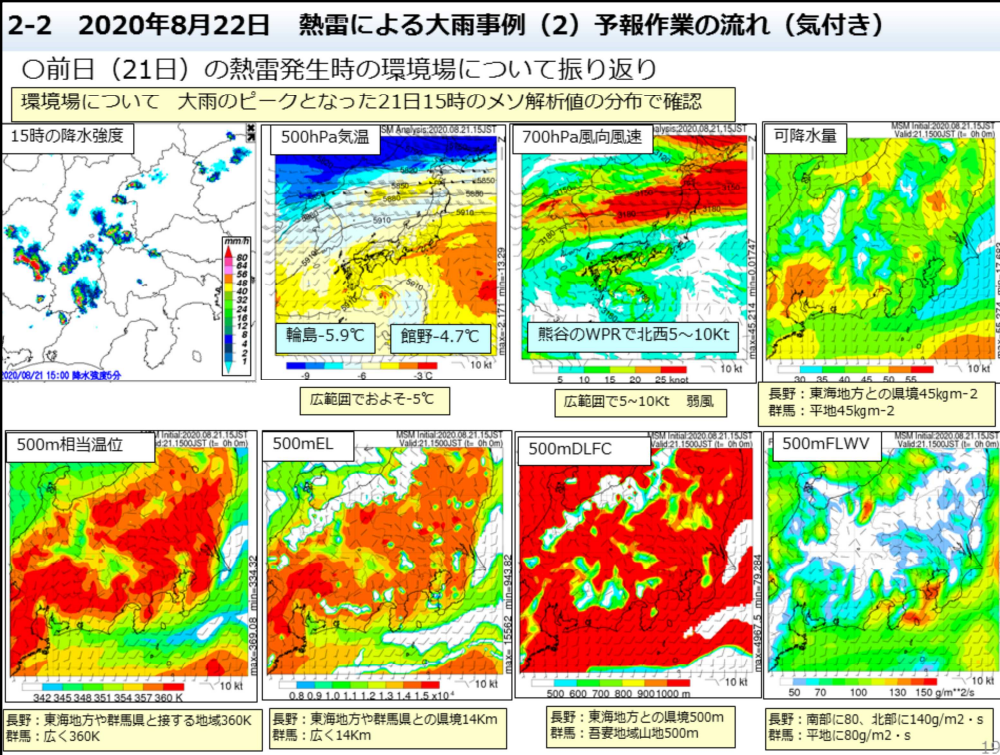
【2020年8月22日 熱雷による大雨事例（2）予報作業の流れ（気付き）】

何故、振り返りを行うのか？

- ・ 21日と22日で同じような環境場であれば、22日も熱雷が発生し、それに伴い大雨が発生することが予想されるから。
- ・ 同一地域、同一時間に同じような現象が発生することをイメージして予報を組み立てることができるから。
- ・ シナリオを作成するときには、21日の実況と両日の環境場を比較することで、ガイダンス等を補完する予想資料となり、予想確度が高まることが期待されるから。

振り返りのポイント：21日と22日を比較して、どちらが悪天となるか見極める

- ・ 悪天を予想した場合、21日と比較してどの程度悪くなるか見積もる。
- ・ 大雨の発生期間や強度、分布等の予想について考察する。
- ・ 考察からメインシナリオを組み立て、サブシナリオをイメージする。

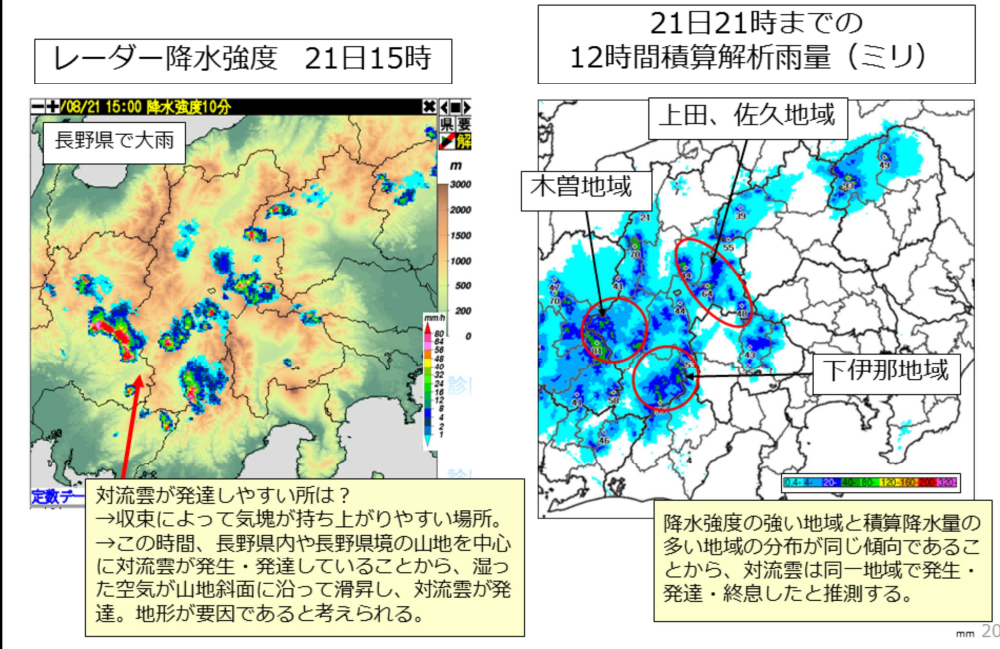


●前日 (21日) の熱雷発生時の環境場について振り返り (気付き)

・環境場について 大雨のピークとなった21日15時のメソ解析値の分布で確認
これらの値は、各県15時頃対流雲が発生した地域を基本に、各要素の最大値または最小値をから求めた。

2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例（2）予報作業の流れ（気付き）

目的 前日（21日）の実況や予測資料から、特徴や気付きを得る



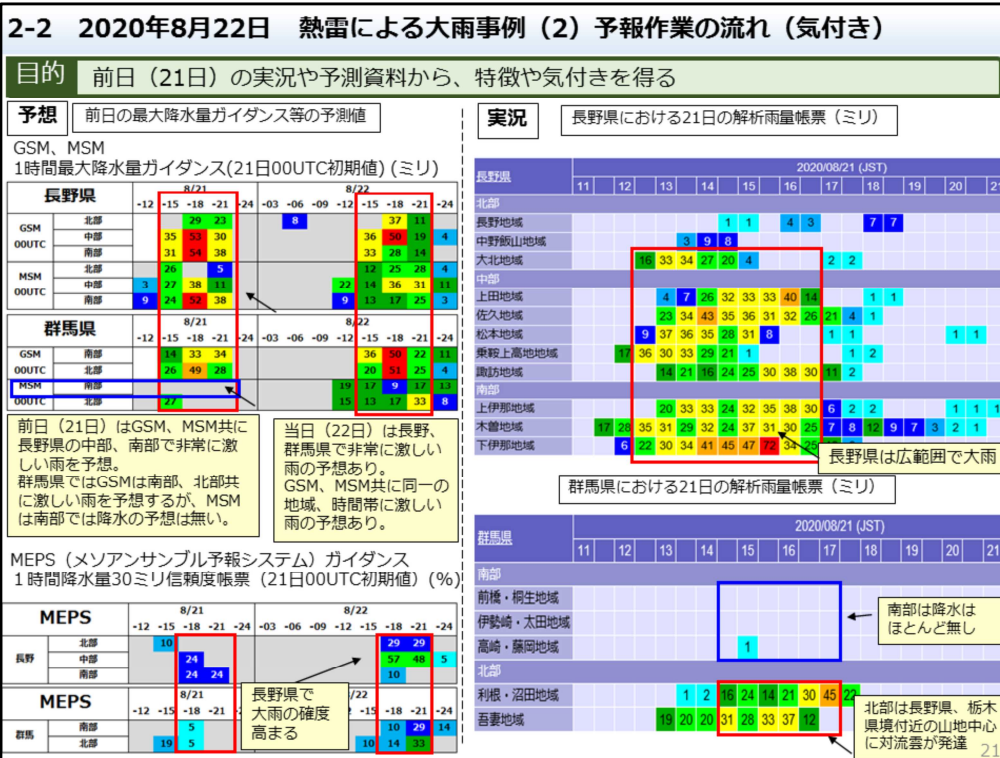
【2020年8月22日 熱雷による大雨事例（2）予報作業の流れ（気付き）】

21日の熱雷発生時の特徴

- ・両県ともに複数地域で対流雲が発生しているが、特に長野県を中心に対流雲が発達した。
- ・対流雲は主に県境付近の山地で発生した。
- ・単一の対流雲は、発生⇒発達⇒衰弱のサイクルが2～3時間程度だった。
- ・対流雲のサイクルはそれぞれ単発的で、組織化する傾向はなかった。
- ・発雷は長野で12時前から、群馬で14時前から検知し、ともに18時頃で終息した。

21日の環境場について振り返り

- ・21日は長野県を中心に対流雲が発達し、長野県南部では非常に激しい雨を夕方に観測した。
- ・中層（700hPa付近）の風が5～10ktと弱かったことから、雨雲が停滞しやすい場であった。
- ・強雨域は、山地斜面に沿って発達した対流雲が主要因であると考えられる。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例（2）予報作業の流れ（気付き）】

21日の実況と予測資料の比較

- ・実況では、長野県南部で72ミリの非常に激しい雨を解析した。最大降水量ガイダンスでは、GSM、MSMともに長野県南部で非常に激しい雨を予想しており、予想は概ね適中した。
- ・実況では、群馬県北部の栃木県境の標高の高い山地で45ミリの激しい雨を解析した。最大降水量ガイダンスでは、GSMの分布に近いが、GSMは実況に比べ広すぎる傾向（図省略）。MSMは全体に過少傾向であったが南部での降水予想はなく、南部での降水無し予想は適中した。
- ・24時間降水量のガイダンス分布（図省略）では、GSM、MSMともに降水の広がりについては実況と同じ傾向だったが、地域ごとの最大降水量については、MSMは過少となり、GSMに近かった。
⇒GSMの方が降水量を多く予想した要因として、900hPaから700hPa付近の層がMSMに比べ湿潤で、山地で対流雲が発生・発達しやすい成層状態であったことが考えられる（図省略 温位エマグラム）。
⇒熱雷事例の1時間最大降水量予想では、GSMやMSMの降水量や降水の分布のみならず、着目する要素の分布を時系列で捉え複合的に検討する必要がある。

- ・MEPSガイダンスの1時間30ミリ以上となる確率は、前日（21日）は長野県の方が高いが、当日（22日）は両県とも30%以上で、21日より1時間30ミリ以上となる信頼度が高くなる予想。
- ・長野県では22日も引き続き短時間強雨が予想される。また、群馬県では22日は21日と比べ確率が高く、夜のはじめ頃の時間帯に短時間強雨の確度が高まる予想。

以上のことから、シナリオの組み立てについて以下の通り検討する。

- ①21日の実況と予想の傾向から、GSMやMSMの最大降水量や降水の分布のみならず、着目する要素の分布を時系列で捉え検討する。
- ②MEPSガイダンスの最新予想に着目する。

MEPS（メソアンサンブル予報システム）ガイダンスの信頼度帳票について

- ・信頼度は「（設定した降水量の閾値を超えるメンバー数） / （アンサンブル予報20メンバー+コントロール予報（MSM）） × 100」単位は%。

2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例(2) 予報作業の流れ(気付き)							
目的 前日(21日)の実況や予測資料から、特徴や気付きを得る							
21日熱雷発生時(15時)の環境場について、群馬県、長野県で着目する要素を、メソ解析値から求めた(⇒次ページには分布図を示す)。							
	500hPa 気温	700hPa 風向風速	可降水量	500m高度			
				EPT 相当温位	FLWV 水蒸気 フラックス量	DLFC 自由対流高度まで の距離	EL 平衡高度
群馬県	広範囲 -5℃	広範囲 5~10kt (弱風)	平地 45kg/m ²	広範囲 360K	平地 80g/m ² ・s	吾妻地域山地 500m	広範囲 14Km
長野県	(平年並み)	(弱風)	東海地方との県境 付近 45kg/m ²	東海地方や群馬県と 接する地域 360K	南部に80、北部 140g/m ² ・s	東海地方との県境 500m	東海地方や群馬県と の県境14Km
(上記の値は、各県15時頃対流雲が発生した地域を基本に、各要素の最大値または最小値から求めた)							
<small>FLWV(水蒸気フラックス量、単位:g/m²・s)：単位時間、単位面積あたりに流入する水蒸気量。値が大きいほど豪雨となりやすい。 DLFC(自由対流高度までの距離、単位:m)：気塊を持ち上げた時に自由対流高度までに達する高度。値が小さいほど自由対流高度に達しやすい。 EL(平衡高度、単位:km)：気塊を持ち上げたときに到達する、浮力がなくなる高度。値が大きいほど対流雲の発達高度が大きくなりやすい。 可降水量(単位:kg/m²)：地表から大気上端までの単位断面積の気柱に含まれる水蒸気の総量。</small>							
21日の熱雷発生時の環境場と実況経過を振り返りを行った結果、 <ul style="list-style-type: none"> ・21日は上層トラフの通過はなく、500hPaの気温は平年並み。 ・21日の熱雷発生ピーク時の環境場についてメソ解析値の分布から確認できた。 ・最大降水量ガイダンスやMEPSガイダンス等から、22日は21日より1時間降水量や積算降水量が多くなることが予想される。 ・21日は山地斜面に沿って局地的に対流雲が発達していたが、22日は21日より広い範囲で対流雲が発生することが予想される。 ⇒振り返りを行うことで多くの気付きを得ることができる							

【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(2) 予報作業の流れ(気付き)】 21日の実況と予測資料の比較

21日の熱雷発生時の環境場と実況経過を振り返りを行った結果、

- ・21日は上層トラフの通過はなく、500hPaの気温は平年並み。
 - ・21日の熱雷発生ピーク時の環境場について予想値として確認できた。
 - ・最大降水量ガイダンスやMEPSガイダンス等から、22日は21日より1時間降水量が多くなることが予想される(最大降水量ガイダンス等から)。
- (最終的な量的予想は着目した要素の変化やガイダンス等を含めて検討した結果から判断します)
- ・21日は山地斜面に沿って局地的に対流雲が発達していたが、22日は21日より広い範囲で対流雲が発生することが予想される(24時間降水量のガイダンス分布から)。
- ⇒振り返りを行うことで多くの気付きを得ることができる**

※表について

表の値は、各県15時頃対流雲が発生した地域を基本に、メソ解析で各要素の最大値または最小値から求めた。

FLWV(水蒸気フラックス量、単位:g/m²・s)：単位時間、単位面積あたりに流入する水蒸気量。値が大きいほど豪雨となりやすい。

DLFC(自由対流高度までの距離、単位:m)：気塊を持ち上げた時に自由対流高度までに達する高度。値が小さいほど自由対流高度に達しやすい。

EL(平衡高度、単位:km)：気塊を持ち上げたときに到達する、浮力がなくなる高度。値が大きいほど対流雲の発達高度が大きくなりやすい。

可降水量(単位:kg/m²)：地表から大気上端までの単位断面積の気柱に含まれる水蒸気の総量。Kg/m²はmmに相当。

2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (3) 予報作業の流れ (シナリオ作成)

シナリオ組み立て時の基軸 2

予報作業の流れ 対象現象：2020年8月22日 熱雷による大雨事例

前項で得た気付きや特徴

- ・ 山地斜面を滑昇しながら対流雲が発達→地形の影響が大きいと考えられる。
- ・ 21日は、下層は高暖湿気、700hPaの風は弱く対流雲が発達した場合、雨雲は停滞しやすく、短時間強雨に伴う大雨が発生しやすい場であった。
- ・ 21日は、上層トラフの通過は無く、500hPaの気温は平年並みであったことから対流雲の発達 は限定的で、メソ解析値で示された大気の成層状態が不安定な山地中心に大雨となったと推測。
- ・ 最大降水量ガイダンスやMEPSガイダンスの傾向から、22日は21日よりも短時間強雨が広範囲に見込まれ、積算降水量が多くなることが予想される。

⇒これらの点に着目しながら作業を進める。

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22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」について昨日の実況経過と環境場から得られた気付きを意識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。
- ・ 空間や時間のズレを考慮するとともに、メインシナリオとサブシナリオを予想する。

23

【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (3) 予報作業の流れ (シナリオ作成)】

前項で得た気付きや特徴

・ 山地斜面を滑昇しながら対流雲が発達→地形の影響が大きいと考えられる。
⇒日射による気温上昇と共に斜面上昇風が湿った空気を持ち上げ、山地を中心に対流雲が発達した。

その後、降水による気温低下に伴い斜面上昇風は弱まり、対流雲の発達は終息した。

・ 21日は、下層は高暖湿気、700hPaの風は弱く対流雲が発達した場合、雨雲は停滞しやすく、短時間強雨に伴う大雨が発生しやすい場であった。

・ 21日は、上層トラフの通過は無く、500hPaの気温は平年並みであったことから対流雲の発達は限定的で、メソ解析値で示された大気の状態が不安定な山地中心に大雨となったと推測。

・ 最大降水量ガイダンスやMEPSガイダンスの傾向から、22日は21日よりも短時間強雨が広範囲に見込まれ、積算降水量が多くなることが予想される。

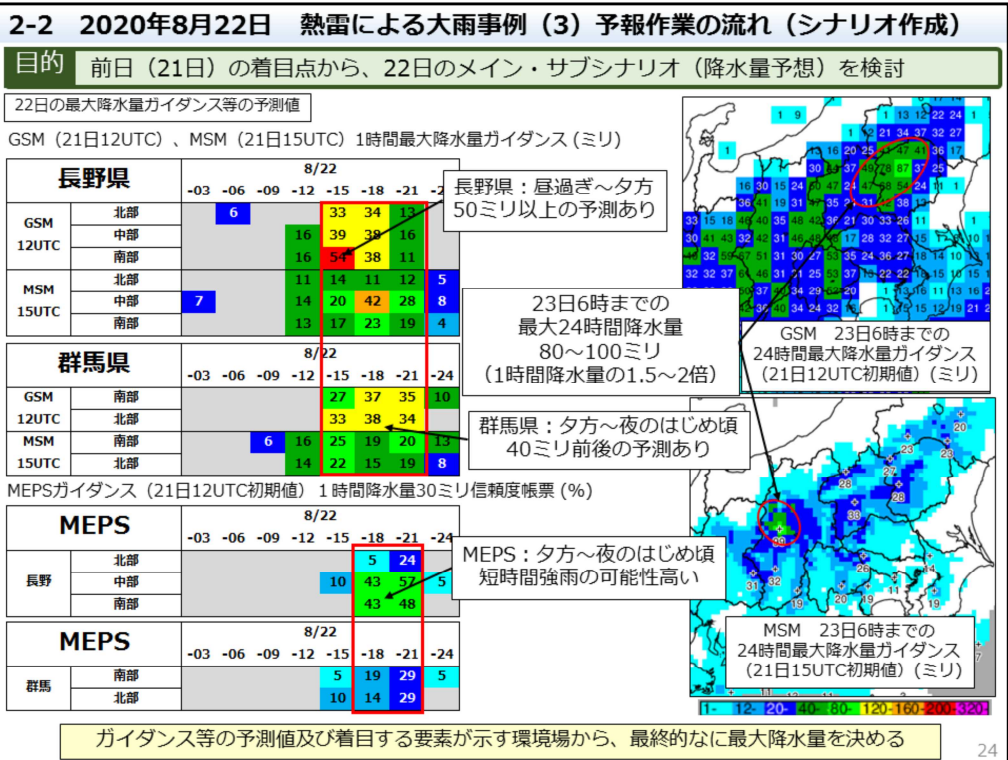
⇒これらの点に着目しながら作業を進める。

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22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」について昨日の実況経過と環境場から得られた気付きを意識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。

・ 空間や時間のズレを考慮するとともに、メインシナリオとサブシナリオを予想する。



**【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (3) 予報作業の流れ (シナリオ作成)】
22日のシナリオ検討**

- ・ 21日の振り返りより、降水量予想はGSM予測資料を参考にガイダンス以上を見込むイメージで検討する。
- ・ ガイダンスから予想する短時間強雨の期間は、長野県は昼過ぎ～夕方、群馬県は夕方～夜のはじめ頃。
- ・ 1時間最大降水量は、長野県、群馬県ともに40～50ミリ、翌日6時までの24時間降水量は、ガイダンスや前日の実況から80～100ミリ程度が見込まれる (1時間降水量の1.5～2倍程度)。
- ・ MEPSガイダンスも、夕方～夜のはじめ頃に短時間強雨となる可能性が高まることを示唆している。

→ガイダンス等から予想された降水量予想と着目する要素が示す環境場から、最終的なシナリオとともに最大降水量を決める。

2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (3) 予報作業の流れ (シナリオ作成)

シナリオ組み立て時の基軸 3

予報作業の流れ 対象現象：2020年8月22日 熱雷による大雨事例

群馬県のメインシナリオ

・南東風、海風とともに水蒸気が県内へ流入。山地斜面での強制上昇により自由対流高度に達し、積乱雲が発生・発達。上空寒気の影響もあり、21日よりも山地を中心に広範囲で積乱雲が発達。

群馬県のサブシナリオ

・平地の収束や山地斜面での強制上昇により自由対流高度に達し積乱雲が発生・発達。
・積乱雲から流出した冷気塊と海上方面から移流した暖湿気塊との間で収束が強化され、複数地点で対流雲が発生・発達し、組織化。
[実況監視の着目点]
・海上方面からの風の先端域で発生する対流雲の有無や対流雲周辺の気温低下（冷気外出流）と共に発生する局地的な収束域の広がりに着目する。

⇒海上方面からの南よりの風の先端域で発生する組織的な対流雲をトリガーにサブシナリオへ変更する。

長野県のメインシナリオ

・上空寒気の南下の影響で、21日よりも広範囲での短時間強雨を見込む。21日と同じような地域で対流雲が発達し、全体的に降水量が増えるイメージ。

長野県のサブシナリオ

・関東地方と接する地域（上田、佐久地域）や東海地方と接する地域（下伊那、木曾地域）を中心に、21日よりも下層暖湿気の移流が強まり、予想以上に対流雲が発達。
[実況監視の着目点]
・発雷の分布と解析雨量に着目し、発雷や解析雨量が昨日よりも広く、多い場合には、広範囲で21日以上の短時間強雨を見込むシナリオへ変更する。

⇒21日と比較し、発雷の発生域や短時間強雨発生域を広範囲で確認したことをトリガーにサブシナリオへ変更する。

【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (3) 予報作業の流れ (シナリオ作成)】

群馬県のシナリオ検討

○メインシナリオ

・南東風、海風とともに湿った空気が県内へ流入。山地斜面での強制上昇により自由対流高度に達し、積乱雲が発生・発達。昨日よりも山地を中心に平地でも積乱雲が発達。

○サブシナリオ

・平地の収束や山地斜面での強制上昇により自由対流高度に達し積乱雲が発生・発達。
・積乱雲から流出した冷気塊と海上方面から流入した暖湿気塊との間で収束が強化され、複数地点で対流雲が発生・発達し、組織化する（風上側へ向かって広がるイメージ）。
・実況監視では海上方面からの風の先端域で発生する対流雲の有無や対流雲周辺の気温低下（冷気外出流）とともに発生する局地的な収束域の広がりに着目する。

この収束域は海上方面からの風が弱まるまで（収束が弱まるまで）対流雲の発生・発達が持続することが予想される。
⇒よって、海上方面からの南寄りの風の先端域で発生する複数の対流雲の発生をトリガーにサブシナリオへ変更する。

※群馬県に限らず、熱雷発生時に発達した積乱雲が要因となって発生する冷気外出流によって、第二、第三世代の対流雲が発生することがある。

これらの対流雲は単発の対流雲とは異なり、同時に複数（組織的）発生することで、予想以上の広がりを持った短時間強雨となる。

長野県のシナリオ検討

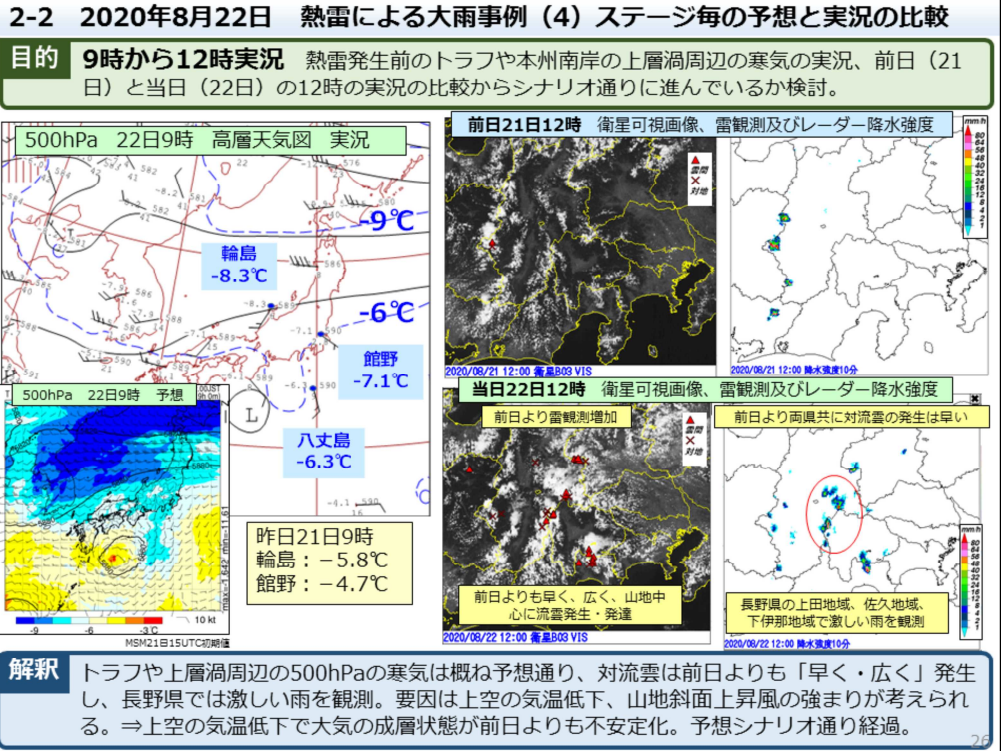
○メインシナリオ

・昨日、自由対流高度まで達しなかった地域の対流雲が、上空寒気（500hPaで-7℃、昨日差-2℃）の南下の影響で自由対流高度まで達し、昨日よりも広範囲の発雷とともに、短時間強雨を見込む。昨日と同じような地域で対流雲が発達し、全体的に降水量が増えるイメージ。

○サブシナリオ

・昨日よりも下層暖湿気の移流が強まり、上空の寒気も低下する。東海地方や関東地方と接する地域（上田、佐久地域や下伊那、木曾地域）を中心に、予想以上に対流雲が発達する可能性あり。

・実況監視では昨日の実況の気付きを参考に。特に予想値がピークとなる昼過ぎから夕方は発雷の分布と解析雨量に着目し、発雷や解析雨量が昨日よりも広く、多い場合には、広範囲で昨日以上の短時間強雨を見込むシナリオへ変更する。
⇒よって、昨日より広範囲（特に東海地方や関東地方と接する地域）で雷や短時間強雨を確認したことをトリガーにサブシナリオへ変更する。



**【2020年8月22日 熱雷による大雨事例（4）ステージ毎の予想と実況の比較】
 9時から12時の実況**

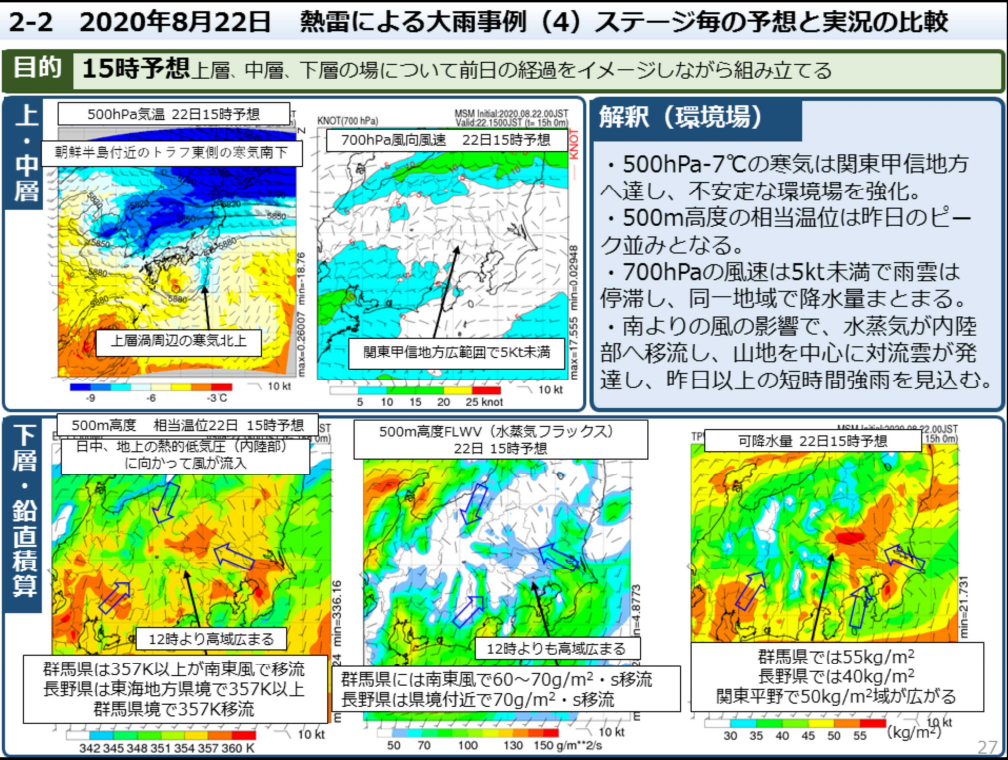
目的：熱雷発生前の9時における中国東北区から日本海へ東進するトラフ及び本州南岸の上層渦周辺の寒気や、前日（21日）と当日（22日）の12時の実況の比較からシナリオ通りに進んでいるか検討。

高層天気図500hPa

・中国東北区から黄海付近にかけてトラフに対応する-6℃以下の寒気、本州南岸の上層渦周辺の-6℃以下の寒気を実況から確認。
 ⇒予想と概ね同じでシナリオ通り進んでいる。

昨日と今日の実況比較

・対流雲は前日より早く、広く発生し、長野県の上田地域、佐久地域、下伊那地域で激しい雨を観測。
 要因は上空の気温低下や山地斜面上昇風の強まりが考えられる。
 ⇒上空の気温低下、下層暖湿気の流入予想はシナリオ通り経過。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例（4）ステージ毎の予想と実況の比較】
シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 15時

「上層、中層」

- ・500hPa気温：寒冷渦に伴う寒気が南から北上、一方、朝鮮半島付近のトラフ東側に広がる-7℃以下の寒気が日本海側から次第に南下する予想。
 ⇒関東甲信地方の上空は、当日（22日）は、前日（21日）より気温が低下（-7℃）し、大気成層状態が不安定となる。
- ・700hPa風向風速：関東甲信地方の広範囲で5kt未満の弱い風を予想。
 ⇒雨雲が停滞し、同一地域で降水がまとまる。

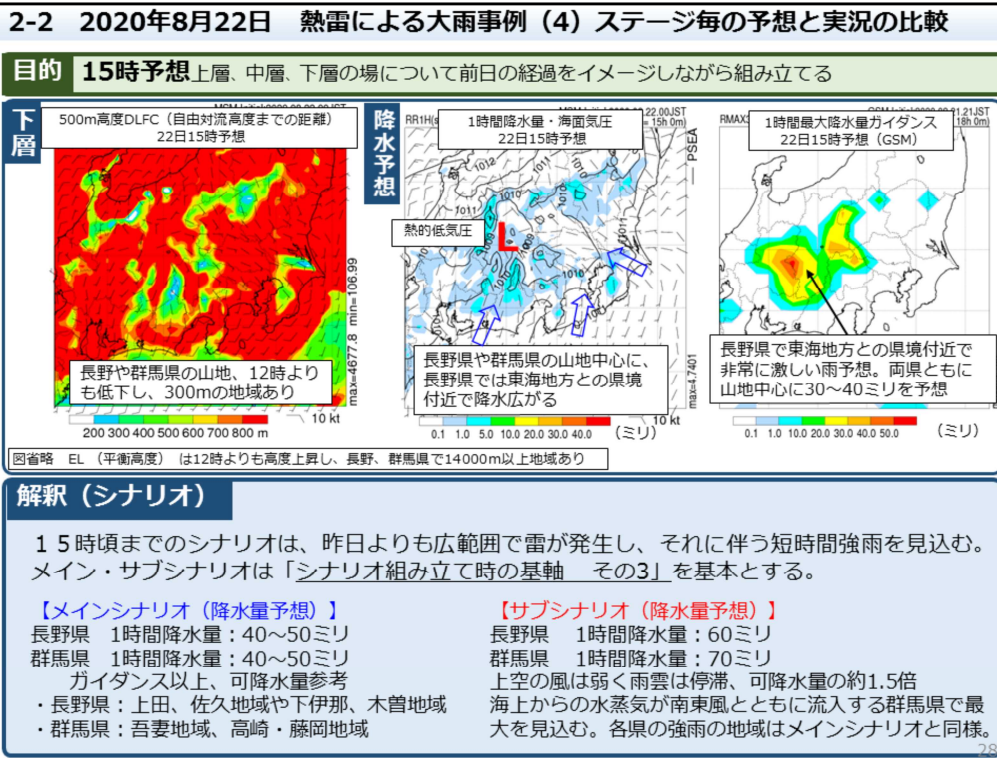
なお、この事例は上層発散は弱く、上層と下層との相互作用が強まる予想も弱い（図省略）。
 ⇒夕方頃、下層から中層にかけて上昇流が一時的に強まるが、上層発散に伴う上昇流が励起される予想は弱く、対流雲が発達しても一時的で持続性は低い見込み。

「下層・鉛直積算」

- ・500m相当温位、500mFLWV：12時よりも広範囲で高い値となる。群馬県では南東風により、長野県では東海県境付近や群馬県境付近で高い値を予想。
 長野県北部には新潟県側からも流入する予想。
- ・可降水量：12時よりも高い値の範囲が広がる。関東平野を中心に50kg/m²以上の範囲が広がる予想。
 ⇒下層暖湿気の移流が昨日より強まるため、特に山地を中心に、広い範囲で大気の不安定な場が強化される。

熱的低気圧とは

主として日中の加熱により発生する低気圧。「地形性の低気圧」として用いる。
 [参考]気象庁 予報用語 (https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/haichi1.html#C23)



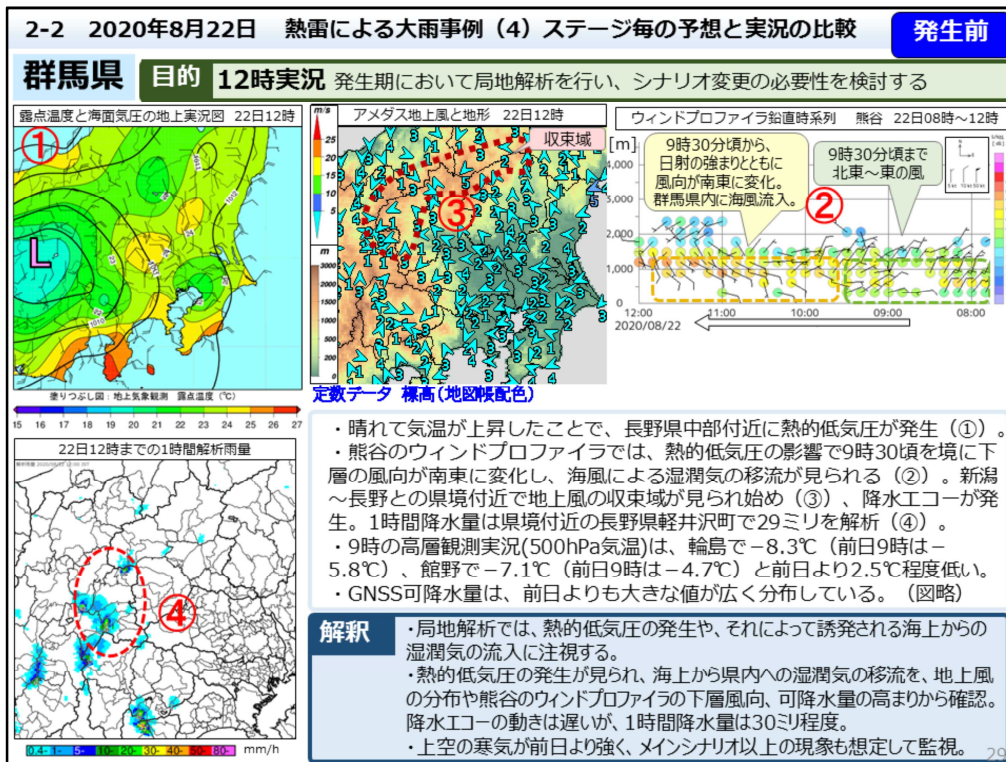
【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較】
シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 15時

「下層」

- ・500m高度DLFC (自由対流高度までの距離)：長野や群馬県の山地、12時よりも低下し、300mの地域を予想。
 - ・EL (平衡高度)：12時よりも高度上昇し、長野、群馬県で14000m以上地域を予想。
 - ・地上の熱的低気圧に向かって内陸部に風が流入する予想。
 - ・降水予想：長野県や群馬県の山地を中心に、長野県では東海地方との県境付近で降水が広がる予想。
- (1時間最大降水量ガイダンスはGSMを掲載。MSM予想と比較する意味もあるが、モデルの積雲対流のパラメタリゼーションの違いによりGSMの方がMSMより降水を弱め・広めに予想する傾向があり、不安定降水の可能性のある領域を確認しやすいことから掲載した)

「シナリオ」

- ・メインシナリオ：ガイダンス以上を見込む。可降水量を参考に、昨日 (21日) 大雨となった地域を中心に1時間降水量40~50ミリ。
- ・サブシナリオ：上空の風は弱く、雨雲は停滞しやすい。可降水量の約1.5倍を見込み、昨日 (21日) 大雨となった地域を中心に1時間降水量60~70ミリ。特に、海上からの水蒸気が南東風により流入しやすい群馬県で最大70ミリを見込む。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(4) ステージ毎の予想と実況の比較】
群馬県 発生前 12時頃

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

前スライド(環境場の解釈)より、

- ・地上気温上昇に伴う熱的低気圧の発生
 - ・海風強化に伴い、内陸部へ向かって湿潤気の流れする場が形成
- これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

- ・長野県中部付近に熱的低気圧が発生している。
- ・熊谷のウィンドプロファイラでは、熱的低気圧の影響で9時30分頃を境に下層の風向が南東に変化し、群馬県内への海風による湿潤気の流れが見られる。
- ・新潟～長野との県境付近で地上風の収束域が見られ始め、降水エコーが発生。
- ・1時間降水量は県境付近の長野県軽井沢町で29ミリが解析されている。
- ・9時の高層観測実況(500hPa気温)は、輪島で-8.3℃(前日9時は-5.8℃)、館野で-7.1℃(前日9時は-4.7℃)と、前日より2.5℃程度低い。
- ・図は省略するが、群馬県内のGNSS可降水量は、前日12時では40kg/m²台前半であったが、当日12時では50kg/m²台前半の値が南部の一部に分布し、北部も含めて40kg/m²台後半の値が広く分布している。

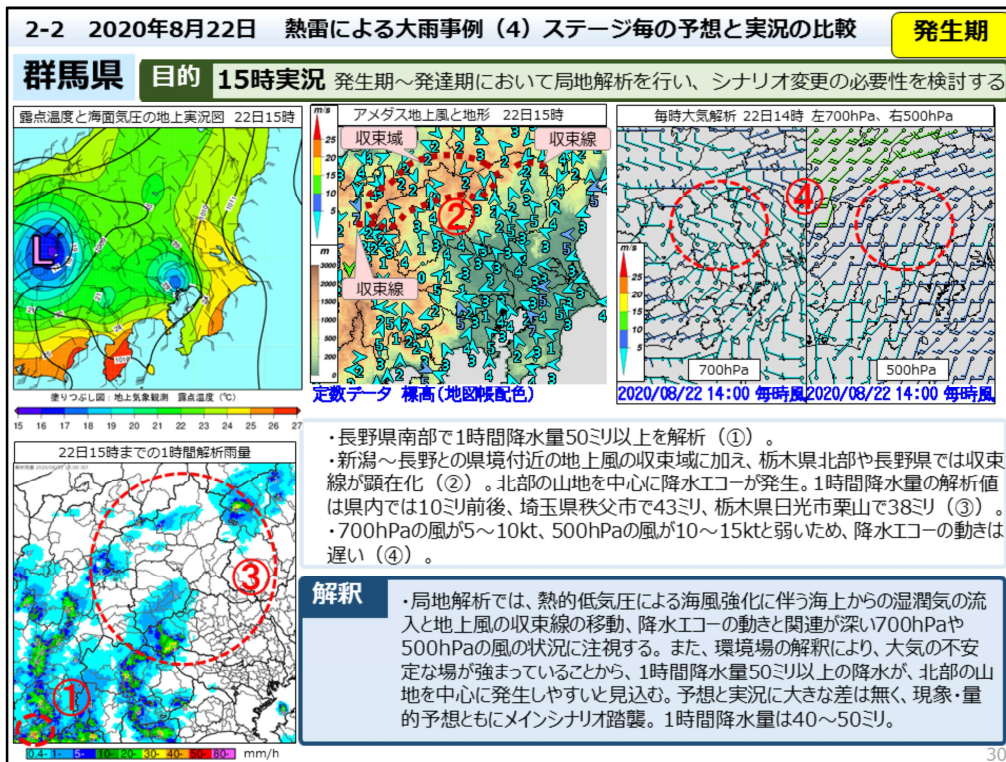
熱的低気圧が発生して海風が強化され、海上から群馬県内への湿潤気の流れが、可降水量の高まりや熊谷のウィンドプロファイラの下層風向、地上風の分布からわかる。

降水エコーの動きが遅いが、群馬県内での降水は領域が限定的でまだ弱い。

県境付近では29ミリの1時間降水量が解析されている中で、

前日と比べて、上空の寒気が強く、GNSS可降水量が大きいことから、前日よりも大気の状態が不安定であると考えられ、前日よりも顕著な現象が発生しやすい状況と見られる。

また、上空の寒気が予想よりもさらに強くなった場合は、メインシナリオ以上の現象となる可能性があることから、実況を監視する必要がある。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(4) ステージ毎の予想と実況の比較】
群馬県 発生期 15時頃

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

前スライド(環境場の解釈)より、

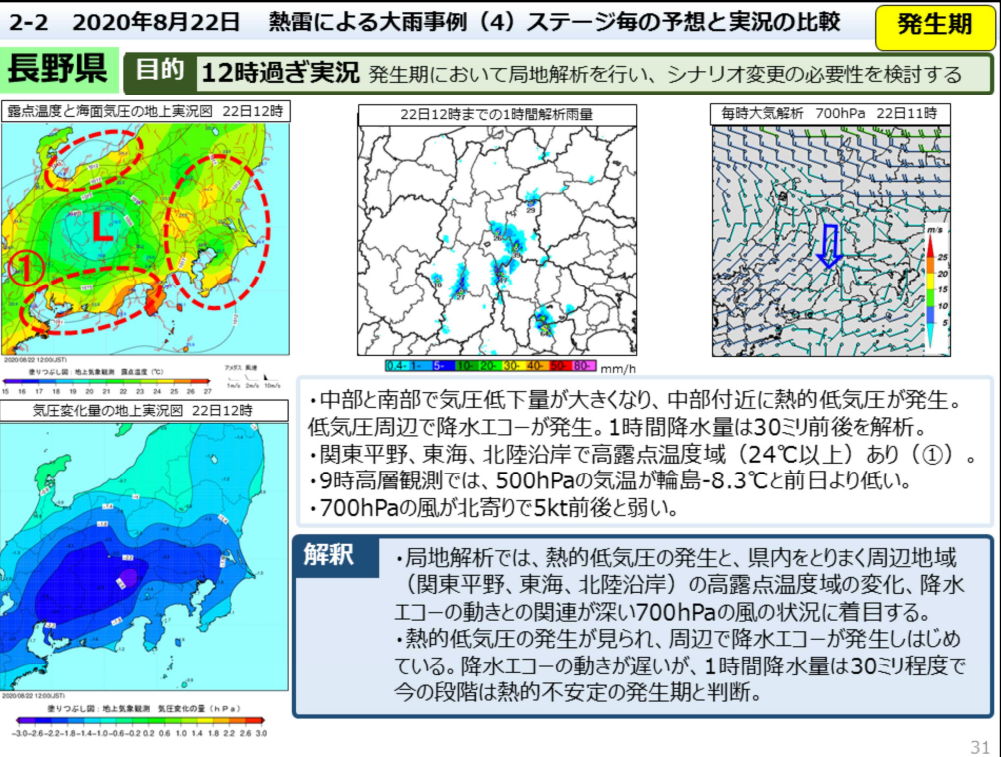
- ・関東甲信地方に500hPaで-7℃の寒気が移流
 - ・海風強化に伴い、内陸部へ向かってさらに湿潤気が移流
- これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

- ・長野県南部で1時間降水量50ミリ以上が解析されている。
- ・新潟～長野との県境付近の地上風の収束域に加え、栃木県北部や長野県では収束線が顕在化。北部の山地を中心に降水エコーが発生している。
- 1時間降水量は群馬県内では10ミリ前後が解析されている。周辺では埼玉県秩父市で43ミリ、栃木県日光市栗山で38ミリが解析されている。
- ・700hPaの風が5～10kt(5m/s以下)、500hPaの風が10～15kt(10m/s以下)と弱いため、降水エコーの動きは遅い。
- ・15時の時点では、前日と当日でこれらに大きな違いは見られない。

局地解析では、熱的低気圧が発生して海風が強化され、海上から群馬県内への湿潤気の流入が続いている。群馬県内で解析された1時間降水量は10ミリ前後だが、上空の風が弱いため降水エコーの動きが遅い状況であり、周辺では埼玉県秩父市で43ミリ、栃木県日光市栗山で38ミリの1時間降水量が解析されている。新潟～長野との県境付近の地上風の収束域に加え、栃木県北部や長野県では収束線が顕在化しており、今後、その付近での対流雲の発生・発達を見込む。

また、総観場及び環境場の解釈により、大気不安定な場が強まっていることから、今後、群馬県内でも1時間あたり50ミリ以上の降水が、北部の山地を中心に発生しやすいと見込む。この時点で、予想と実況に大きな差は無く、現象・量的予想とともにメインシナリオを踏襲。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較】
長野県 発達期 12時過ぎ

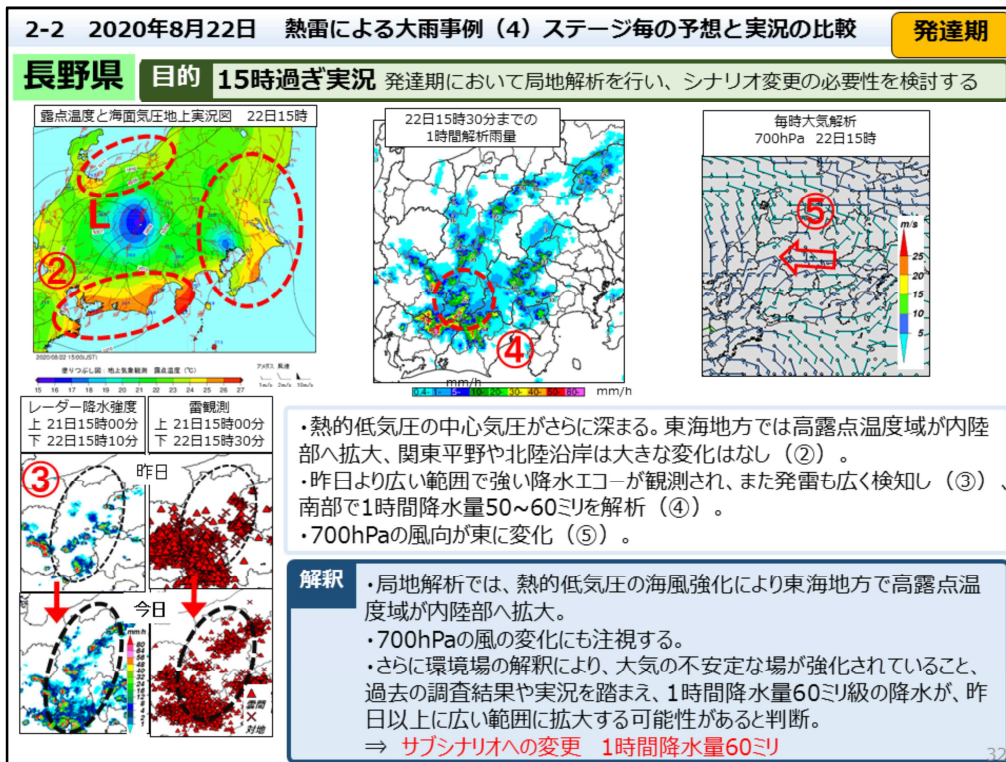
目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

着目点

- ・中部と南部を中心に顕著に気圧が低下し、中部付近に熱的低気圧が発生。
- ・熱的低気圧周辺の中央アルプスや八ヶ岳周辺で降水エコーが発生している。1時間降水量は30ミリ前後。
- ・関東平野、東海、北陸沿岸で露点温度24℃以上の領域が所々広がる（過去の予報技術検討会において、沿岸の露点温度24℃以上という条件は、1時間降水量50ミリ以上の熱的不安定降水を見積もる際の目安として報告されている）。
- ・9時の高層気象観測では、輪島で-8.3℃と前日より2℃程度低かった。
- ・700hPaの風は北寄りで5kt前後で弱い。

熱的低気圧が発生し、内陸部に向かって湿潤空気が移流する場が形成され始める中、県内をとりまく周辺地域（関東平野、東海、北陸沿岸）で露点温度が24℃以上の領域が広がっている。降水エコーがこの熱的低気圧の周辺で発生し始めており、発雷も検知している。降水エコーは700hPaの風が弱いため、動きが遅いが、昨日のピーク時のような1時間降水量50ミリを超える解析雨量はまだ出しておらず、今の段階は熱的不安定の発生期であると判断できる。ただし、上空の気温が低く経過しており、今後予想される不安定な場の強まりが予想以上に早くなる可能性も視野に入れて、実況監視を強化する必要がある。



**【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(4) ステージ毎の予想と実況の比較】
 長野県 発達期 15時過ぎ**

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

前スライド（環境場の解釈）より、

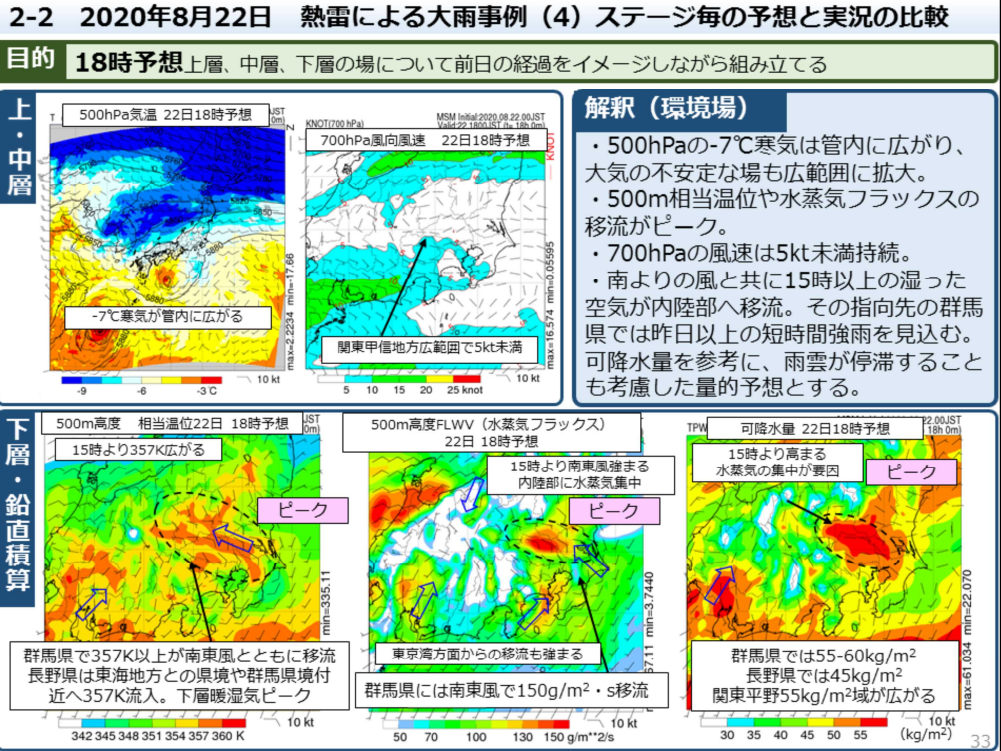
- ・ 関東甲信地方に500hPaで-7℃の寒気が移流
- ・ 海風強化に伴い、内陸部へ向かって湿潤気が移流

これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

- ・ 東海地方では海風に伴う湿潤気移流が盛んで、露点温度24℃以上の領域が拡大するとともに、沿岸部では露点温度が27℃以上に達している地点も出現。昨日の大雨最盛期と比べると、南部を中心に広い範囲で強い降水エコーが発生し、雷が多く観測している。また、下伊那地域ではメインシナリオを超える1時間降水量（50~60ミリ）を広く解析しはじめている。
- ・ 降水エコーの動きと関連が深い、700hPaの風向が東に変化。700hPaの風向が東の場合、南部だけではなく、北部と中部の西側地域を中心に1時間降水量50ミリ以上となる可能性がある。

環境場の解釈より、500hPaの寒気により大気的不安定な場が強まる中、熱的低気圧の海風強化により、東海地方では湿潤気の移流が盛んとなっている。昨日の大雨最盛期と比べて、降水エコーが広く出現、発雷も多く検知しはじめ、下伊那地域では広い範囲でサブシナリオ並みの1時間降水量50~60ミリの降水を解析。また、700hPaの風の場合が東に変化しており、1時間降水量50ミリ以上の降水域が、南部だけではなく、北部と中部でも広がる可能性がある。これらを踏まえると、1時間降水量60ミリ級の降水が、昨日以上に県内の広い範囲で広がる可能性があるとの判断できるため、サブシナリオへ変更をする。



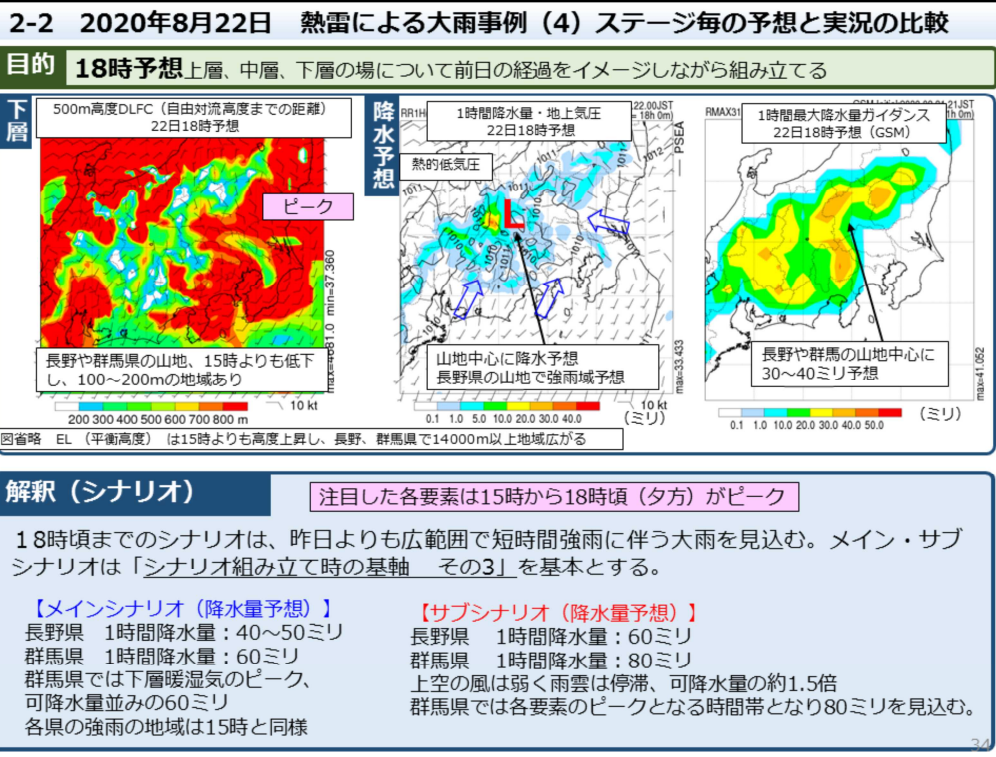
【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較】
シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 18時

「上層、中層」

- 500hPa気温：-7°Cの寒気は関東甲信地方管内に広がる予想。
- 700hPa風向風速：関東甲信地方の広範囲で5Kt未満の弱風場が持続する予想。

「下層・鉛直積算」

- 500m相当温位：15時よりも357Kの範囲が拡大する予想。
 - 500mFLWV：鹿島灘方面からの流入が強まり、水蒸気量のピーク。また、東京湾方面からも水蒸気量の移流が強まる予想。
 - 可降水量：水蒸気フラックスが高まったことにより水蒸気が集中し、15時よりも値が大きくなる予想。
- ⇒下層暖湿気移流がさらに強まり、ピークを迎える。内陸部では水蒸気が集中し、雨雲が発達する。



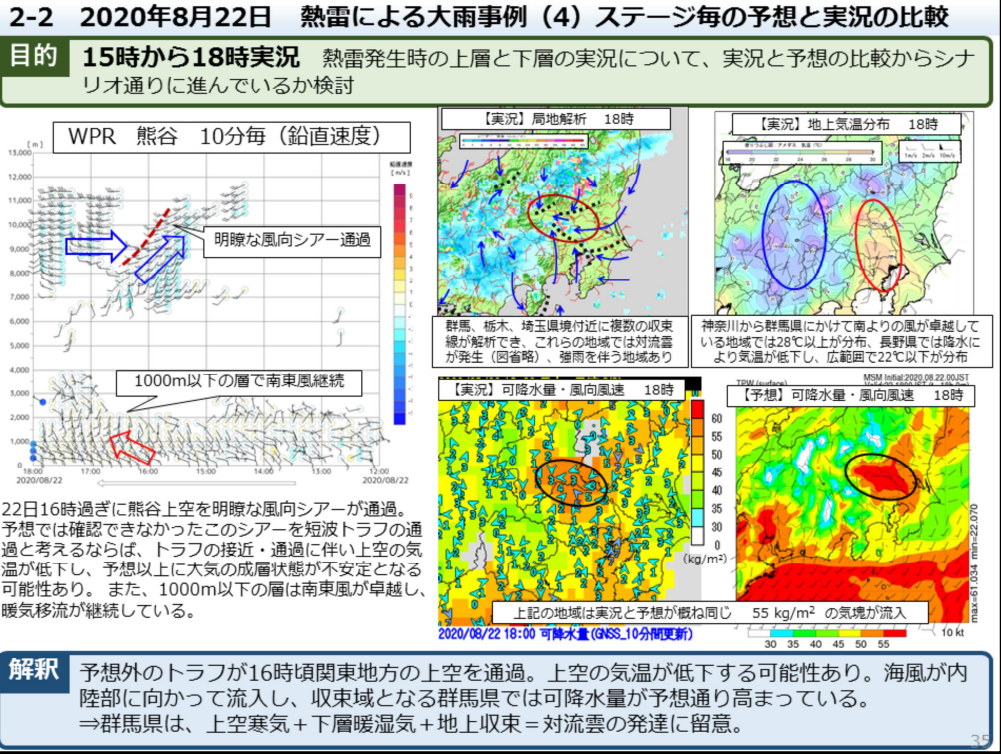
**【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較】
シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 18時**

「下層」

- ・500m高度DLFC (自由対流高度までの距離) : 長野や群馬県の山地、15時よりも低下し、100から200mの地域を予想。
- ・EL (平衡高度) : 15時よりも高度上昇し、長野、群馬県で14000m以上地域が広がる予想。
- ・地上の熱的低気圧に向かって内陸部に風が流入する予想。
- ・降水予想 : 長野県や群馬県の山地を中心に強雨域を予想。

「シナリオ」

- ・メインシナリオ : 群馬県では降水のピークとなる。昨日 (21日) と同様な地域、山地を中心に非常に激しい雨を見込む。
- ・サブシナリオ : 上空の風は弱く、雨雲は停滞しやすい。広範囲で大雨を見込み、可降水量の約1.5倍。群馬県では各要素のピークとなる時間帯となり80ミリを見込む。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較】
15時から18時の実況

目的：15時から18時実況 熱雷発生時の上層と下層の実況について、実況と予想の比較からシナリオ通りに進んでいるか検討。

(前日 (21日) の18時頃は対流雲の発生・発達は終息している)

WPR 熊谷

・22日16時過ぎに熊谷上空約9000m付近 (200~300hPa付近) を明瞭な風向シアアが通過。予想では確認できなかったこのシアアを短波トラフの通過と考えるならば、トラフの接近・通過に伴い上空の気温が低下し、予想以上に大気の成層状態が不安定となる可能性あり。また、1000m以下の層は南東風が卓越し、暖気移流が持続している。
 ⇒上空の気温低下と下層暖湿気の流入で今後の対流雲の発達に留意。

局地解析

・群馬、栃木、埼玉県境付近に複数の収束線が解析でき、これらの地域では対流雲が発生し強雨を伴う地域あり

地上気温分布

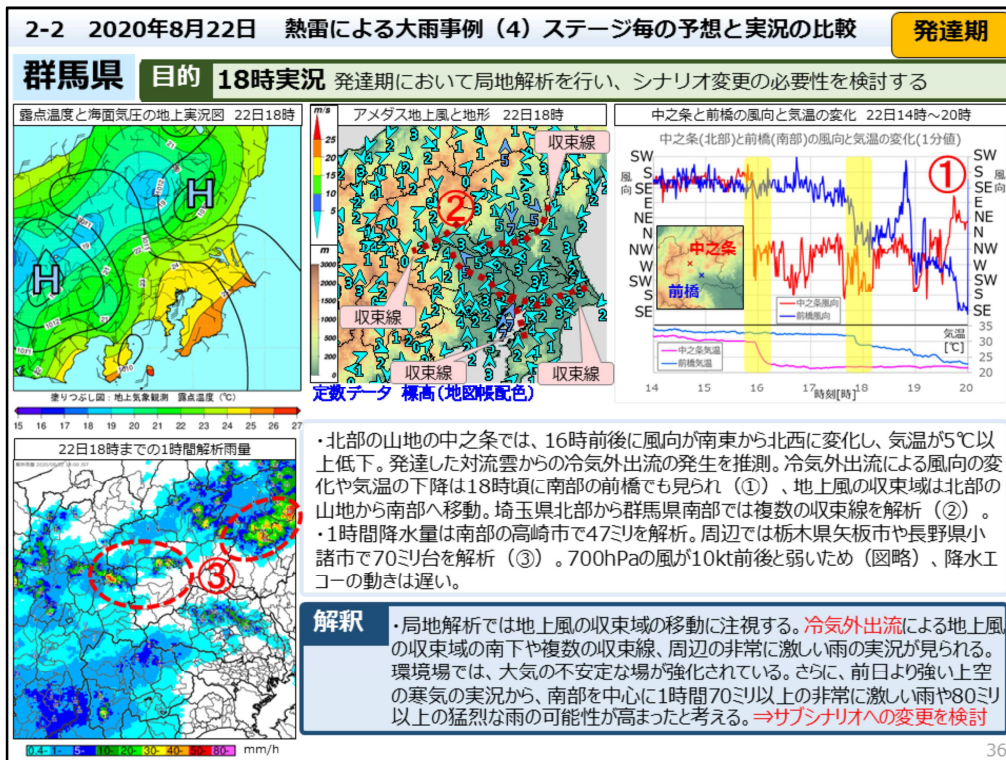
・神奈川から群馬県にかけて南よりの風が卓越している地域では28℃以上が分布、長野県では降水により気温が低下し、広範囲で22℃以下が分布

可降水量の実況と予想の比較

・地上の収束線付近は実況と予想が概ね同じ 55 kg/m² の気塊が流入

解釈

予想外のトラフが16時頃関東地方の上空を通過。このため、予想以上に上空の気温が低下する可能性があり、地上付近の収束場では留意。海風が内陸部に向かって流入 (地上気温が高く水蒸気を多く含む) し、収束域となる群馬県では可降水量が予想通り高まっている
 ⇒群馬県は上空寒気+下層暖湿気+地上収束=対流雲の発達に留意
 ⇒サブシナリオの冷気外出流に伴う地上収束の監視を強化。
 ⇒長野県では気温低下に伴い、新たな対流雲の発生・発達は単発的で限定的でピークは過ぎつつある。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(4) ステージ毎の予想と実況の比較】
群馬県 発達期 18時

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

前スライド(環境場の解釈)より、

- ・関東甲信地方に500hPaで-7℃の寒気が広がり、大気的不安定な場が広範囲に拡大。
 - ・下層の水蒸気量はピークを迎える。
- これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

- ・北部の山地の中之条(なかのじょう)では、16時前後に風向が南東から北西に変化し、気温が5℃以上低下した。発達した対流雲から冷気外出流が発生したと推測される。
- ・冷気外出流による風向の変化や気温の下降は18時頃に南部の前橋でも見られ、地上風の収束域は北部の山地から南部へ移動した。
- ・地上風の収束線が、埼玉県北部から群馬県南部にかけての範囲で複数解析された。
- ・1時間降水量は南部の高崎市で47ミリが解析された。周辺では栃木県矢板(やいた)市や長野県小諸(こもろ)市で70ミリ台が解析された。
- ・700hPaの風が10kt前後(5m/s前後)と弱いため、降水工コーの動きは遅い。

環境場の解釈より、500hPaの寒気により大気的不安定な場が強まる中、

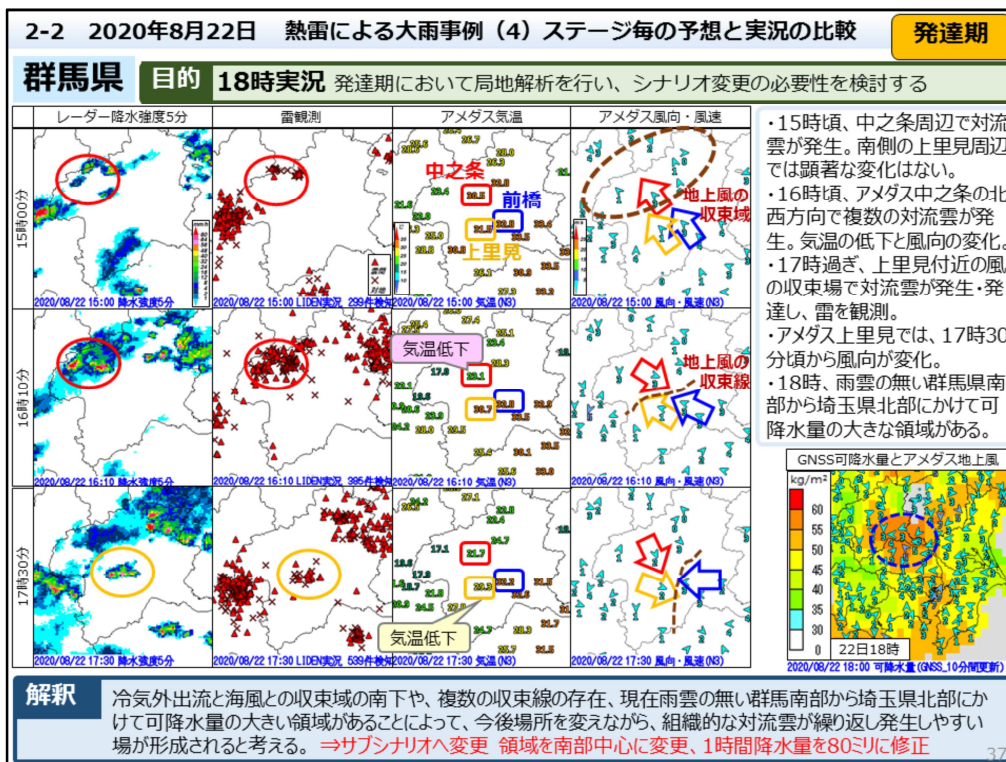
熱的低気圧が次第に不明瞭になるが、海風による海上からの湿潤気の流れは南部を中心に続く。

実況では、北部の山地で発達した対流雲からの冷気外出流により、地上風の収束域が南下しており、埼玉県北部から群馬県南部にかけての範囲では、複数の収束線が解析される。

県内では強雨域が群馬県北部の山地だけでなく南部にも広がっており、群馬県南部の高崎市では47ミリの1時間降水量が解析されている。

また、周辺の県では1時間降水量70ミリ以上の非常に激しい雨を解析し始めた。

大気的不安定な場が強まっていることに加え、前日より強い上空の寒気の実況、冷気外出流による地上風の収束域の南下や、群馬県南部から埼玉県北部にかけての複数ある地上風の収束線、周辺の降水の実況から、今後は、群馬県南部を中心に1時間70ミリ以上の非常に激しい雨、もしくは80ミリ以上の猛烈な雨の可能性が高まったと考える。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(4) ステージ毎の予想と実況の比較】
群馬県 発達期 18時

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

・16時頃から見られた冷氣外流出と、組織的な対流雲の発生の実況について、時間を追って現象を見る。

着目点

・15時頃、中之条(なかのじょう)周辺で対流雲が発生。南側に位置する上里見(かみさとみ)周辺では顕著な変化はない。

・16時頃、アメダス中之条の北西方向で複数の対流雲が発生。気温の低下と風向の変化(南東→北西)が見られた。

・約1時間後の17時過ぎ、上里見付近の風の収束場で対流雲が発生・発達し、雷を観測している。

・アメダス上里見では、17時30分頃から風向が変化している(南東→北西)。

・18時、雨雲の無い群馬県南部から埼玉県北部にかけて可降水量55kg/m²以上の大きな領域が見られる。(この可降水量自体は、予測資料でも表現されていた。)

これにより、この地域で下層風が収束しており、水蒸気が集中していることが推測される。

・さらに、埼玉県北部から群馬県南部にかけての範囲で、地上風の収束線が複数解析された(前スライド参照)。

冷氣外流出と海風との収束域の南下や、複数の収束線の存在、18時の時点で雨雲の無い群馬南部から埼玉県北部にかけて可降水量の大きい領域があること(下層風の収束や水蒸気の集中)によって、今後場所を変えながら、組織的な対流雲が繰り返し発生しやすい場が形成されると考える。

⇒サブシナリオへ変更(領域を群馬県南部中心に変更、1時間降水量を80ミリに上方修正)

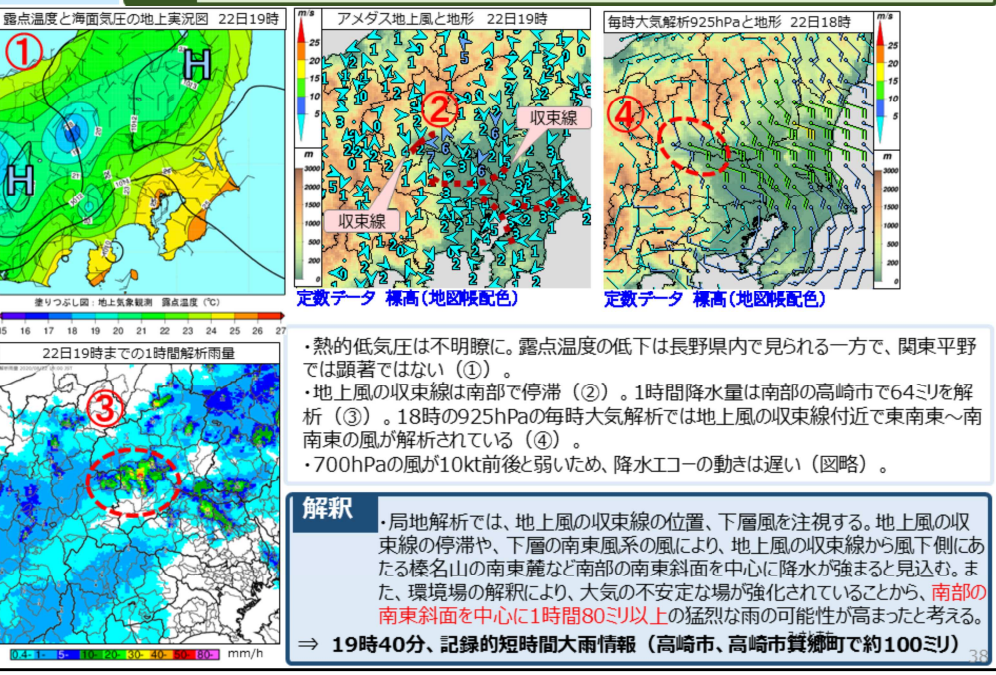
※ ・GNSS可降水量の算出には、国土地理院の電子基準点等観測データを使用。

・GNSS可降水量の算出には、宇宙航空研究開発機構のMADCOCAプロダクトを使用。

・GNSS可降水量の算出には、T.TakasuによるソフトウェアRTKLIBを使用。

2-2 2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較 **最盛期**

群馬県 目的 19時実況 最盛期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



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較】
群馬県 最盛期 19時

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

- 前スライド(環境場の解釈)より、
- ・関東甲信地方に500hPaで-7℃の寒気が広がり、大気不安定な場が広範囲に拡大。
 - ・下層の水蒸気量はピークを迎える。
- これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

- ・熱的低気圧は不明瞭に。露点温度の低下は長野県内で見られる一方で、関東平野では見られない。
- ・地上風の収束線は南部で停滞。1時間降水量は南部の高崎市で64ミリを解析。
- ・18時の925hPaの毎時大気解析では地上風の収束線付近で東南東～南南東の風が解析されている。
- ・700hPaの風が10kt前後(5m/s前後)と弱いため、降水エコーの動きは遅い。

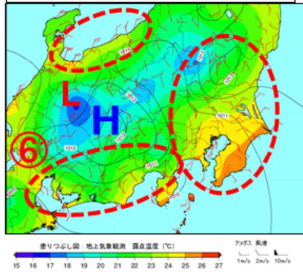
環境場の解釈より、500hPaの寒気により大気不安定な場が強まる中、熱的低気圧が不明瞭になるが、海風による海上からの湿潤気の流れは続く。

地上風の収束線は群馬県南部で停滞しており、下層925hPaでは東南東～南南東の風が続いている。そのため、榛名山(はるなさん)の南東麓にあたる県南部の高崎市では19時までの1時間で64ミリの降水を解析した。下層風向により、榛名山の南東麓など南部の南東斜面を中心に1時間80ミリ以上の猛烈な雨の可能性が高まったと考える。

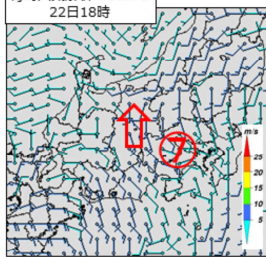
⇒ 19時40分、記録的短時間大雨情報(高崎市と、高崎市箕郷町(みさとまち)でそれぞれ約100ミリ)

長野県 目的 18時過ぎ実況 最盛期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

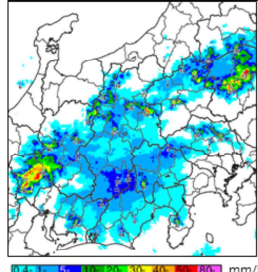
露点温度と海面気圧の地上実況図 22日18時



毎時大気解析 700hPa 22日18時



22日18時までの1時間解析雨量



- ・熱的低気圧の中心示度は浅くなる。東海では高露点温度域が沿岸部も含めて縮小。関東平野ではやや内陸部へ拡大、北陸沿岸は変化なし(⑥)。
- ・県内の1時間降水量は15時と比べて、南部ではかなり弱くなったが、中部では一部60ミリ前後を解析。
- ・700hPaの風向は、南寄りに変化(⑦)。

解釈

・局地解析では、熱的低気圧が衰弱して、東海地方では露点温度が全体的に低下、南部では15時と比べて降水がかなり弱くなったことに注視する。一方、寒冷渦の北上や寒気トラフの接近に伴い、関東甲信地方では大気的不安定な場が続いており、北部や中部ではまだ対流雲の発達している所が見られる。周辺実況や環境場から1時間降水量60ミリ級の降水が持続する可能性があると判断し、シナリオは維持。

【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(4) ステージ毎の予想と実況の比較】
長野県 最盛期 18時過ぎ

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

前スライド(環境場の解釈)より、

- ・関東甲信地方に500hPaで-7℃の寒気が広がり、大気的不安定な場が広範囲に拡大。
- ・下層の水蒸気量はピークを迎える。

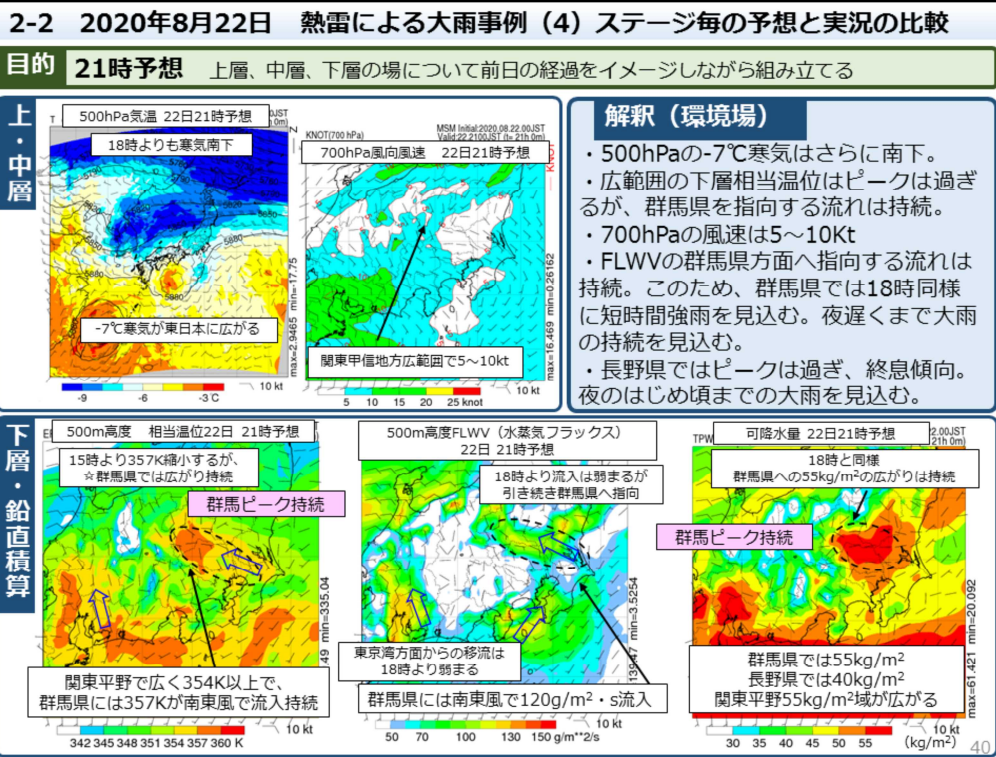
これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

- ・熱的低気圧の衰弱により、東海地方の内陸部の広い範囲で見られた露点温度24℃以上の領域が沿岸部に後退。一方、関東平野では露点温度24℃以上の領域が内陸部にやや拡大している。
- ・南部では、15時に広い範囲で解析されていた1時間降水量50ミリ以上の領域はなくなり、発達した対流雲は無くなる。一方、寒冷渦の北上や上層トラフの通過に伴い、関東甲信地方では大気的不安定な場が続いており、まだ1時間降水量50ミリ以上を解析している所がある。
- ・700hPaの風向は南寄りに変化。風下側の北部や中部で1時間降水量50ミリ以上となる可能性がある。

熱的低気圧が衰弱。東海地方では露点温度が広範囲で低下しているが、関東平野では逆に、露点温度が上昇している地域が見られ、長野県をとりまく周辺地域では全体としてまだ水蒸気量は多い。南部では対流雲の発達が弱くなり、1時間降水量が10ミリ前後に落ち着いてきたが、北部と中部ではまだ対流雲が発達している地域があり、1時間降水量50ミリ以上の降水となっていることに注視。これは、寒冷渦北上や上層トラフ通過により、関東甲信地方の大気的不安定な場が続いていることが影響していると推測されるため、今後も対流雲が所々で発達する可能性は残されていると判断。

500hPaの寒気が広がっている環境場の解釈も踏まえて、実況で見られるような、サブシナリオ並みの1時間降水量60ミリの降水がまだ持続する可能性があるとして判断し、シナリオは変更せずに維持する。



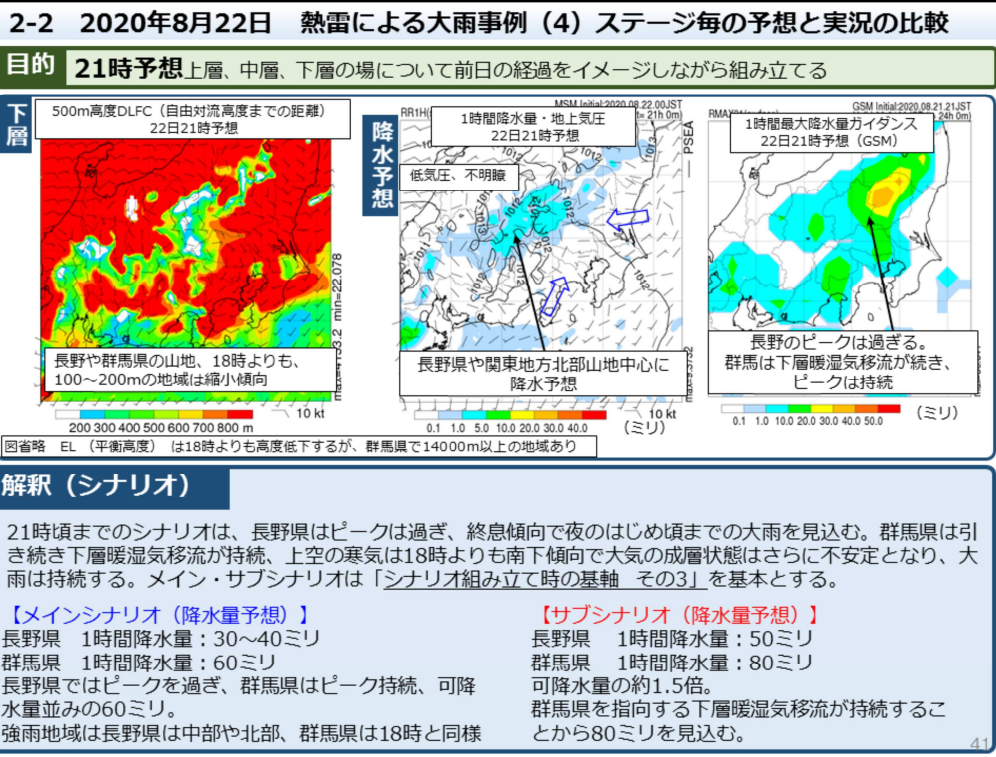
**【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較】
シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 21時**

「上層、中層」

- 500hPa気温：朝鮮半島付近のトラフの東側に広がる-7℃の寒気はさらに南下を予想。寒冷渦に伴う寒気も南から北上する予想。
- 700hPa風向風速：関東甲信地方の広範囲で5~10ktの予想。

「下層・鉛直積算」

- 500m相当温位：18時より357Kの範囲は縮小するが、群馬県では引き続き357K以上となる予想。
- 500mFLWV：18時より水蒸気の流入量は少なくなるが、引き続き群馬県を指向する予想。
- 可降水量：18時と同様に、群馬県への広がり持続する予想。
⇒群馬県では下層暖湿気の移流が持続し、大雨も持続する見込み。



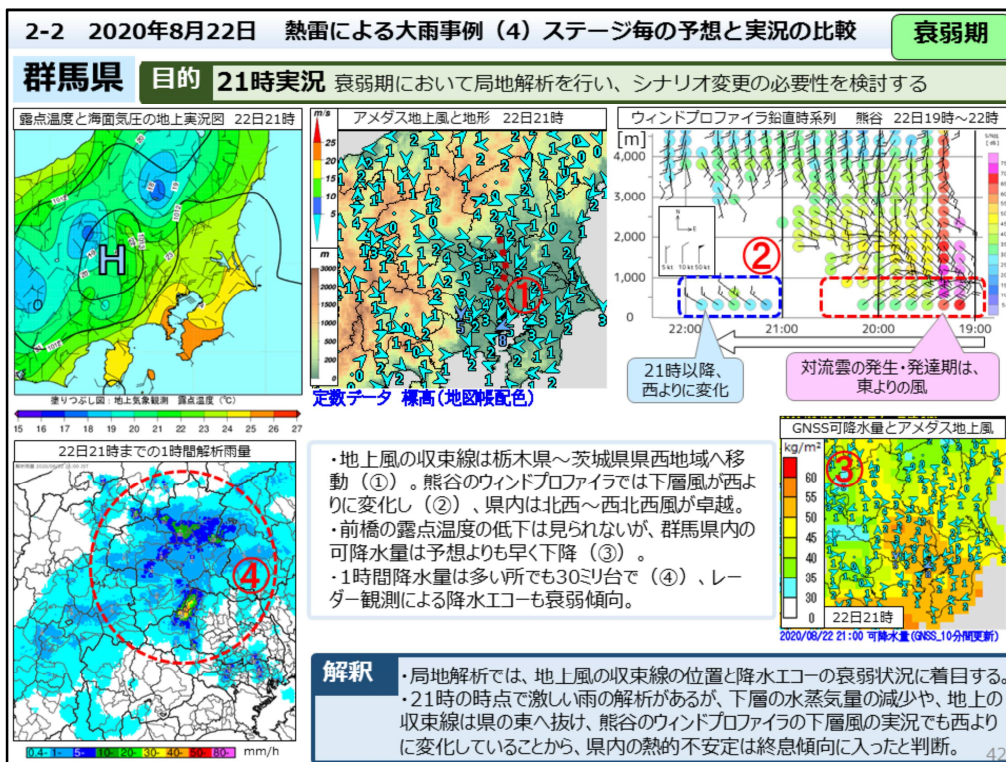
【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (4) ステージ毎の予想と実況の比較】シナリオ組み立てまでの予報作業の流れ 21時

「下層」

- ・ 500m高度DLFC (自由対流高度までの距離) : 長野や群馬県の山地、18時よりも、100~200mの地域は縮小傾向を予想。
- ・ EL (平衡高度) : 18時よりも高度低下するが、群馬県で14000m以上の地域を予想。
- ・ 地上の熱的低気圧は不明瞭となるが、内陸部に向かって風が流入する予想。
- ・ 降水予想 : 長野県のピークは過ぎるが群馬県の山地を中心に引き続きピークは持続する予想。

「シナリオ」

- ・ メインシナリオ : 長野県ではピークを過ぎるが、群馬県ではピークが持続する見込み。可降水量並の降水を見積もる。
- ・ サブシナリオ : 上空の寒気が南下傾向であること、群馬県では下層暖湿気移流が持続することから、群馬県では猛烈な雨を見込む。
可降水量の約1.5倍。群馬県を指向する下層暖湿気の流入が持続することから80ミリを見込む。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(4) ステージ毎の予想と実況の比較】
群馬県 衰弱期 21時

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

前スライド(環境場の解釈)より、

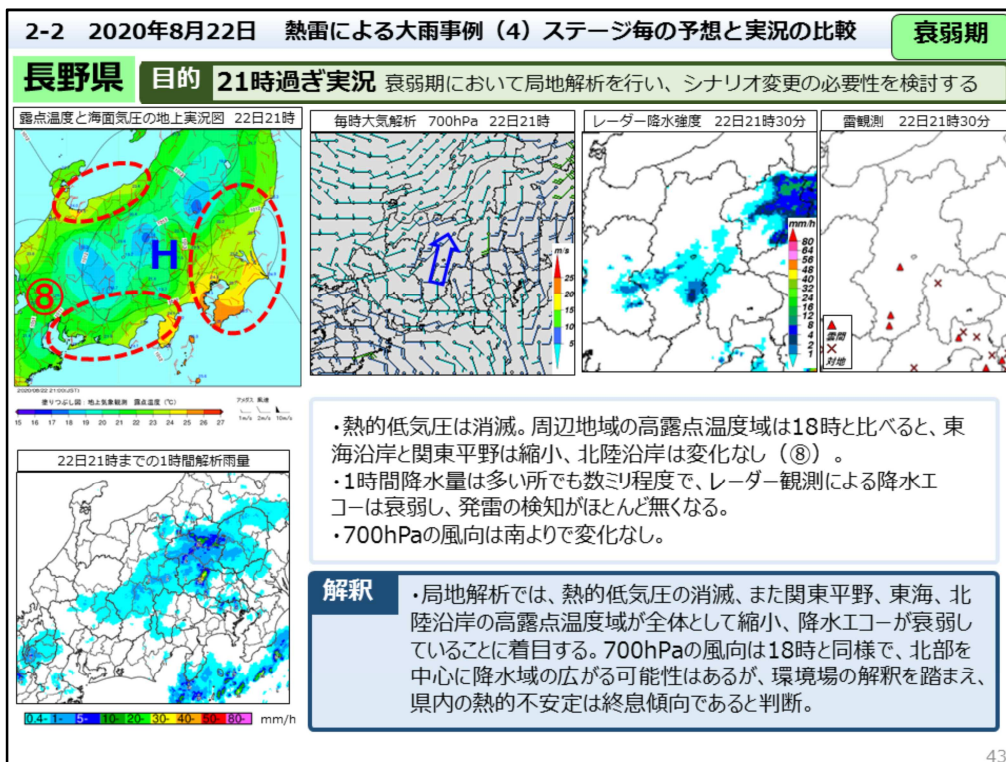
- ・下層の相当温位は18時比べてピークは過ぎるが、群馬県を指向する流れは持続
- ・南よりの風は弱まるが、群馬県を指向する流れは持続。このため、群馬県では18時同様に短時間強雨の可能性あり。

これを踏まえて、以下に着目した。

着目点

- ・群馬県内にあった地上風の収束線は栃木県～茨城県県西(けんせい)地域へ移動した。熊谷のウィンドプロファイラでは下層風が西よりに変化し、県内は北西～西北西風が卓越している。
- ・21時の時点で前橋の露点温度は22.1℃で、20時の22.0℃からの低下は無いが、群馬県内のGNSS可降水量はおおむね50kg/m²未満となり、予想よりも早い下降傾向が見られた。
- ・1時間降水量は多い所でも30ミリ台で、レーダー観測による降水エコーも衰弱傾向。

21時の時点で激しい雨の解析があり、前橋での露点温度の低下は見られないが、群馬県内のGNSS可降水量が下降傾向であることから、下層の水蒸気量の減少が推測される。また、熱的低気圧の消滅に加え、地上の収束線が県の東へ抜け、熊谷のウィンドプロファイラの下層風の実況でも西よりに変化していることから、今後、県内の対流雲の発達の可能性は低くなったと考え、熱的不安定は終息傾向に入ったと判断。



**【2020年8月22日 熱雷による大雨事例(4) ステージ毎の予想と実況の比較】
 長野県 衰弱期 21時過ぎ**

目的：局地解析を行い、シナリオ変更の必要性を検討する

【局地解析】

前スライド（環境場の解釈）より、

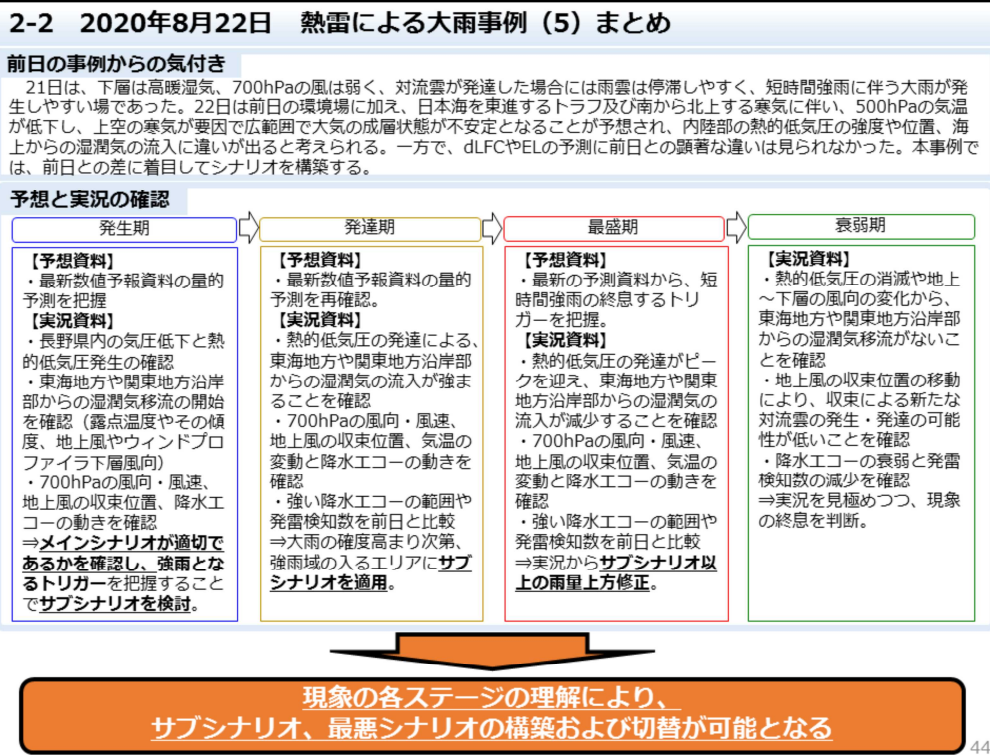
・下層の相当温位は18時比べて低下、熱的不安定のピークは過ぎ、終息傾向
 これを踏まえて、以下に着目し局地解析を進める。

着目点

- ・熱的低気圧は消滅、関東平野、東海、北陸沿岸では18時比べて、露点温度は全体的に低下し、水蒸気量は減少している。
- ・降水エコーは衰弱し、発雷の検知がほとんど無くなり、1時間降水量は多い所でも数ミリ程度。
- ・700hPaの風向は、県内の広い範囲で南寄りが続き、変化なし。

熱的低気圧の消滅、長野県をとりまく周辺地域（関東平野、東海、北陸沿岸）で水蒸気量が減少、降水エコーは消散し、雷の観測がほとんど無くなっていることに着目。

700hPaの風向は、18時と同様に南寄りであり、過去の調査結果から、今後も北部を中心に降水域が広がる可能性は残されているものの、環境場の解釈により県内の熱的不安定は終息傾向であり、大雨のピークは過ぎたと判断する。



【2020年8月22日 熱雷による大雨事例 (5) まとめ】

前日の事例からの気付き

21日は、下層は高暖湿気、700hPaの風は弱く、対流雲が発達した場合には雨雲は停滞しやすく、短時間強雨に伴う大雨が発生しやすい場であった。22日は前日の環境場に加え、日本海を東進するトラフ及び南から北上する寒気に伴い、500hPaの気温が低下し、上空の寒気が要因で広範囲で大気の成層状態が不安定となることが予想され、内陸部の熱的低気圧の強度や位置、海上からの湿潤気の流れに違いが出ると考えられる。一方で、dLFCやELの予測に前日との顕著な違いは見られなかった。本事例では、前日との差に着目してシナリオを構築する。

予想と実況の確認：

発生前

【予想資料】

- ・最新数値予報資料の量的予測等の結果を把握

【実況資料】

- ・長野県中部と南部の気圧低下量と熱的低気圧発生の確認
 - ・東海地方や関東地方沿岸部からの湿潤気移流の開始を確認
 - ＜長野県＞ 周辺地域（関東平野、東海、北陸沿岸）の露点温度24℃以上の領域を確認
 - ＜群馬県＞ 地上風や熊谷のウィンドプロファイラの下層風向、露点温度やGNSS可降水量の上昇から、関東地方沿岸部からの湿潤気移流を確認
 - ・700hPaの風向・風速の状況や、地上風の収束位置、降水工コーの動きを確認
 - ＜長野県＞ 700hPaの風向から予想される強雨域の確認、700hPaの風向・風速から予想される降水工コーの動きの確認
 - ＜群馬県＞ 地上風の収束位置から予想される熱的不安定性降水の発生位置の確認、700hPaの風向・風速から予想される降水工コーの動きの確認
- ⇒**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。**

発達期

【予想資料】

- ・最新数値予報資料の量的予測を再確認。

【実況資料】

- ・熱的低気圧の発達による、東海地方や関東地方沿岸部からの湿潤気移流の強まりを確認
 - ＜長野県＞周辺地域（関東平野、東海、北陸沿岸）の露点温度24℃以上の領域拡大の有無を確認
 - ＜群馬県＞引き続き、地上風や熊谷のウィンドプロファイラの下層風向、露点温度やGNSS可降水量から、関東地方沿岸部からの湿潤気移流の持続を確認
 - ・700hPaの風向・風速の状況や、地上風の収束位置、気温の変動、降水エコーの動きを確認
 - ＜長野県＞700hPaの風向から予想される強雨域の確認、700hPaの風向・風速から予想される降水エコーの動きの確認
 - ＜群馬県＞地上風の収束位置から予想される熱的不安定性降水の発生位置の確認、地上風の収束位置や気温の変動から冷氣外出流の発生の有無の確認、700hPaの風向・風速から予想される降水エコーの動きの確認
 - ・強い降水エコーの範囲や発雷検知の数について、前日の大雨の最盛期と比較
- ⇒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**する。

最盛期

【予想資料】

- ・最新の予測資料から、短時間強雨の終息するトリガーを把握。

【実況資料】

- ・熱的低気圧の発達がピークを迎え、東海地方や関東地方沿岸部からの湿潤気移流の減少を確認
 - ＜長野県＞周辺地域（関東平野、東海、北陸沿岸）の露点温度24℃以上の領域拡大や減少の有無を確認
 - ＜群馬県＞引き続き、地上風や熊谷のウィンドプロファイラの下層風向、露点温度やGNSS可降水量から、関東地方沿岸部からの湿潤気移流の持続を確認
 - ・700hPaの風向・風速の状況や、地上風の収束位置、気温の変動、降水エコーの動きを確認（各県の着目点は、発達期と同様。）
 - ・強い降水エコーの範囲や発雷検知の数について、前日の大雨の最盛期と比較
- ⇒実況から**サブシナリオ以上の雨量上方修正**。

衰弱期

【実況資料】

- ・熱的低気圧の消滅や地上～下層の風向の変化から、東海地方や関東地方沿岸部からの湿潤気移流がないことを確認
 - ＜長野県＞熱的低気圧が消滅し、周辺地域（関東平野、東海、北陸沿岸）の露点温度24℃以上の領域縮小の有無を確認
 - ＜群馬県＞地上風の収束位置が県内から県外へ移動し、熊谷のウィンドプロファイラの下層風向が東よりから西よりに変化したことにより、関東地方沿岸部からの湿潤気移流がないことを確認
 - ・地上風の収束位置の移動により、収束による新たな対流雲の発生・発達の可能性が低いことを確認（主に群馬県）
 - ・降水エコーの衰弱と発雷検知数の減少を確認
- ⇒実況を見極めつつ、現象の終息を判断。

3 全体のまとめ

3 Recap (全体の振り返りとまとめ)

予報作業における重要なポイント

- ◆ **予測資料を読み解き、適切に判断して行動に結び付けること**
 - ・・・複数の予測資料から、その場面で必要となるものを適切に選択し、決められた時間内に解釈、検討、判断して確実に伝える技術。
 - ☞ 予報作業では限られた時間で効率よく判断することが求められている。そのためには、自らのスキルを最大限に発揮することが重要。
- ◆ **予報技術を維持・向上すること**
 - ・・・日々変化するニーズに対応するためには、ニーズに応じて様々な改善が必要となるが、ベースとなるものは、これまでに積み重ねてきた予報技術。
 - ☞ 日々の作業を検証し、顕著現象や数値予報が不得手な現象等について予報則や知見としてまとめるなど、知識の習得に前向きに取り組むこと。
 - ☞ 予報則や知見は必要に応じて改善し、いつでも利用可能な状態を保つことを組織的に取り組むなど、個人と組織が連帯感を持って技術的な課題をクリアしていくことが技術力向上につながる。

46

予報作業における重要なポイントについてまとめる。

ひとつは、予測資料を読み解き、適切に判断して行動に結び付けることである。そのためには、複数の予測資料から、その場面で必要となるものを適切に選択し、決められた時間内に解釈、検討、判断して確実に伝える技術が必要であるが、予報作業では限られた時間で効率よく判断することが求められる。自らのスキルを最大限に発揮することが重要である。

もうひとつは、予報技術を維持・向上することである。日々変化するニーズに対応するためには、ニーズに応じて様々な改善が必要だが、ベースとなるものは、これまでに積み重ねてきた予報技術である。その技術を維持・向上するためには、日々の作業を検証し、顕著現象や数値予報が不得手な現象等について予報則や知見としてまとめるなど、知識の習得に前向きに取り組むことが重要である。また、予報則や知見は必要に応じて改善し、いつでも利用可能な状態を保つことを組織的に取り組むなど、個人と組織が連帯感を持って技術的な課題をクリアしていくことが技術力向上につながる。

おわり