

平成30年7月豪雨及び 今夏の高温の要因について

～異常気象をもたらす長期的な現象の紹介～

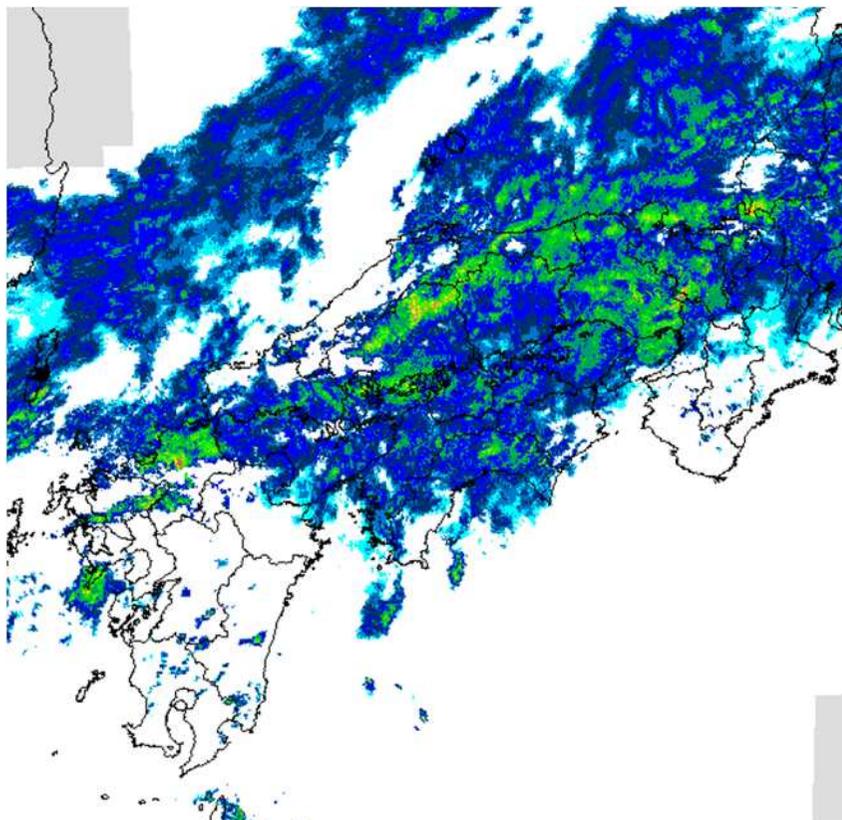
今回の講習会では、今年の夏に発生した平成30年7月豪雨及び7月中旬以降の記録的な高温を主な対象として、これらの現象をもたらした大気の流れとそのメカニズムについてわかりやすく解説いたします。

気象庁 地球環境・海洋部
気候情報課 異常気象情報センター

新保 明彦

今年（2018年）の夏の顕著な現象

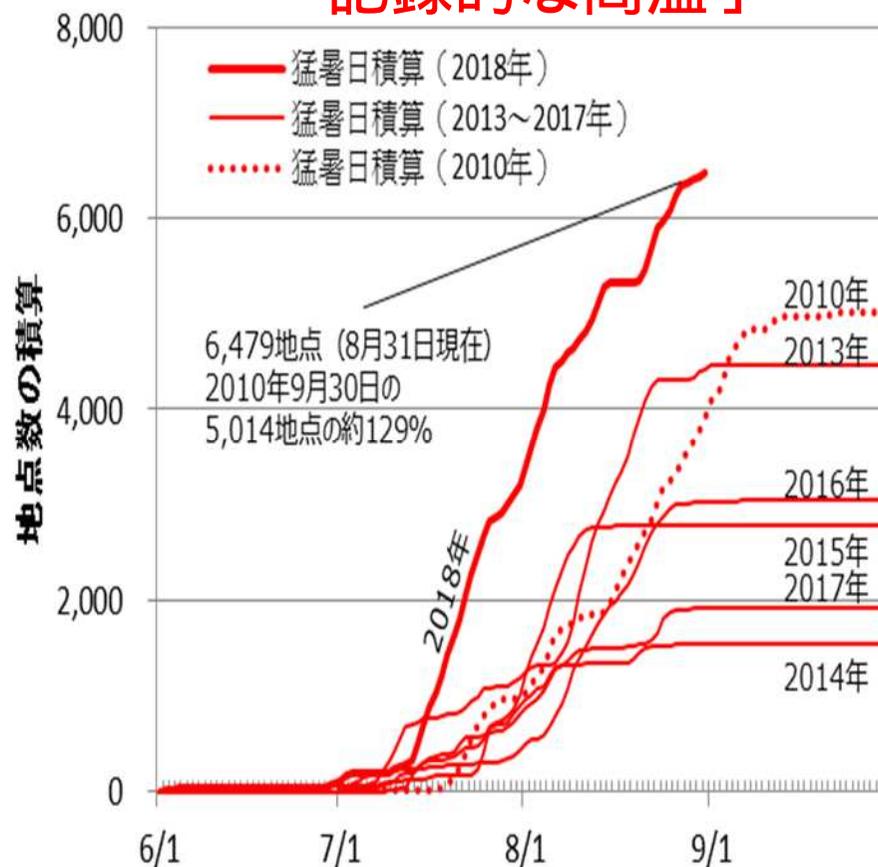
「平成30年7月豪雨」



2018/07/05 12:10 降水強度5分

西日本から東海地方を中心に、広い範囲で記録的な大雨となった。

「記録的な高温」



東日本から西日本を中心に、各地で記録的な高温となった。

目次

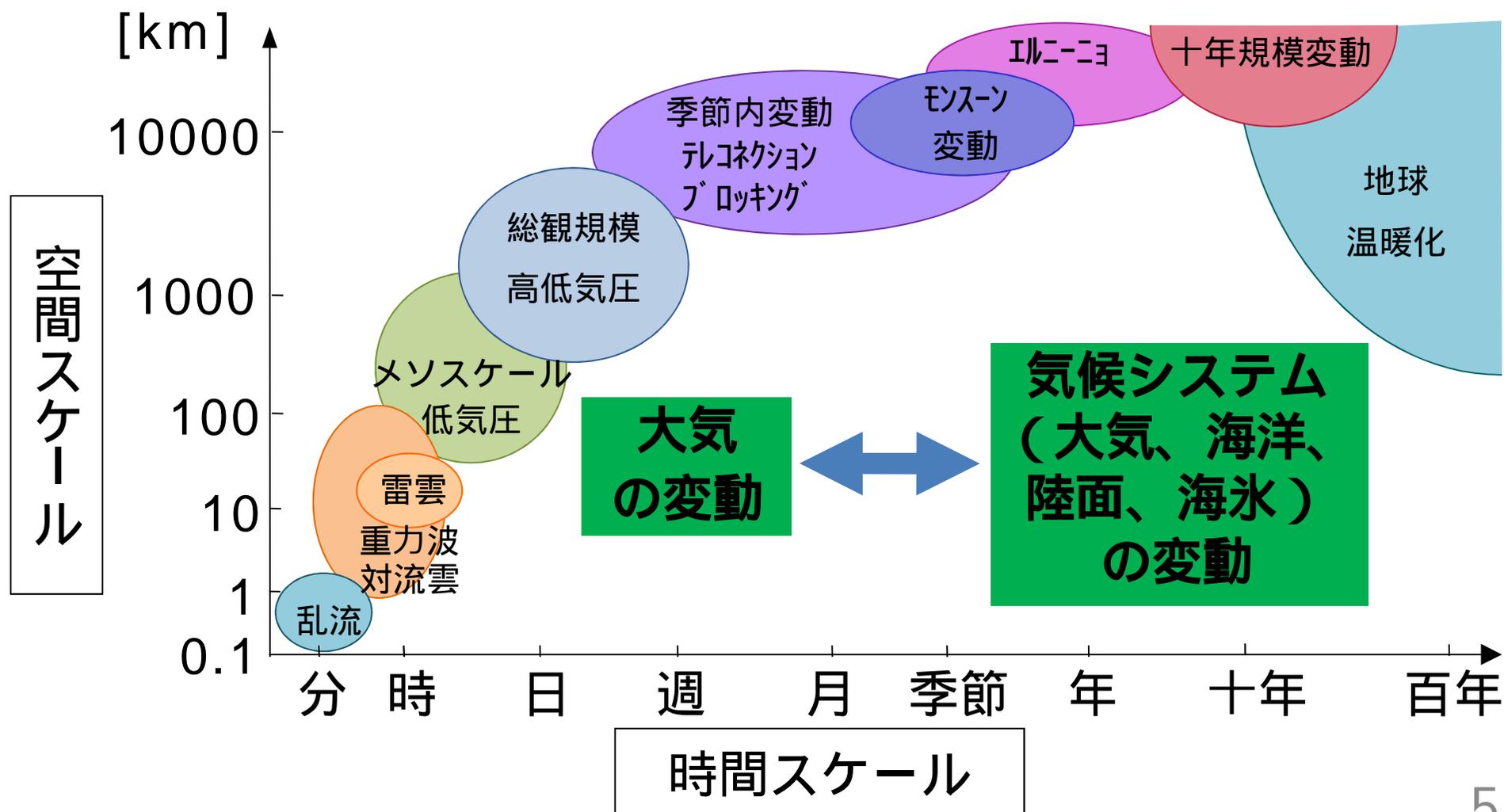
- はじめに
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の特徴
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の要因
- さいごに

異常気象とは？

- 一般に、過去に経験した現象から大きく外れた現象のこと。
 - 大雨や強風等の激しい数時間の現象から数か月も続く干ばつ、極端な冷夏・暖冬なども含む。
 - 気象災害も異常気象に含む場合がある。
- 気象庁では、原則として「ある場所（地域）・ある時期（週、月、季節等）において30年に1回以下の頻度で発生する現象」を異常気象としている。

気象現象の時間・空間スケール

- 異常気象を理解するためには、様々な時間・空間スケールの気象現象に注目する必要がある。

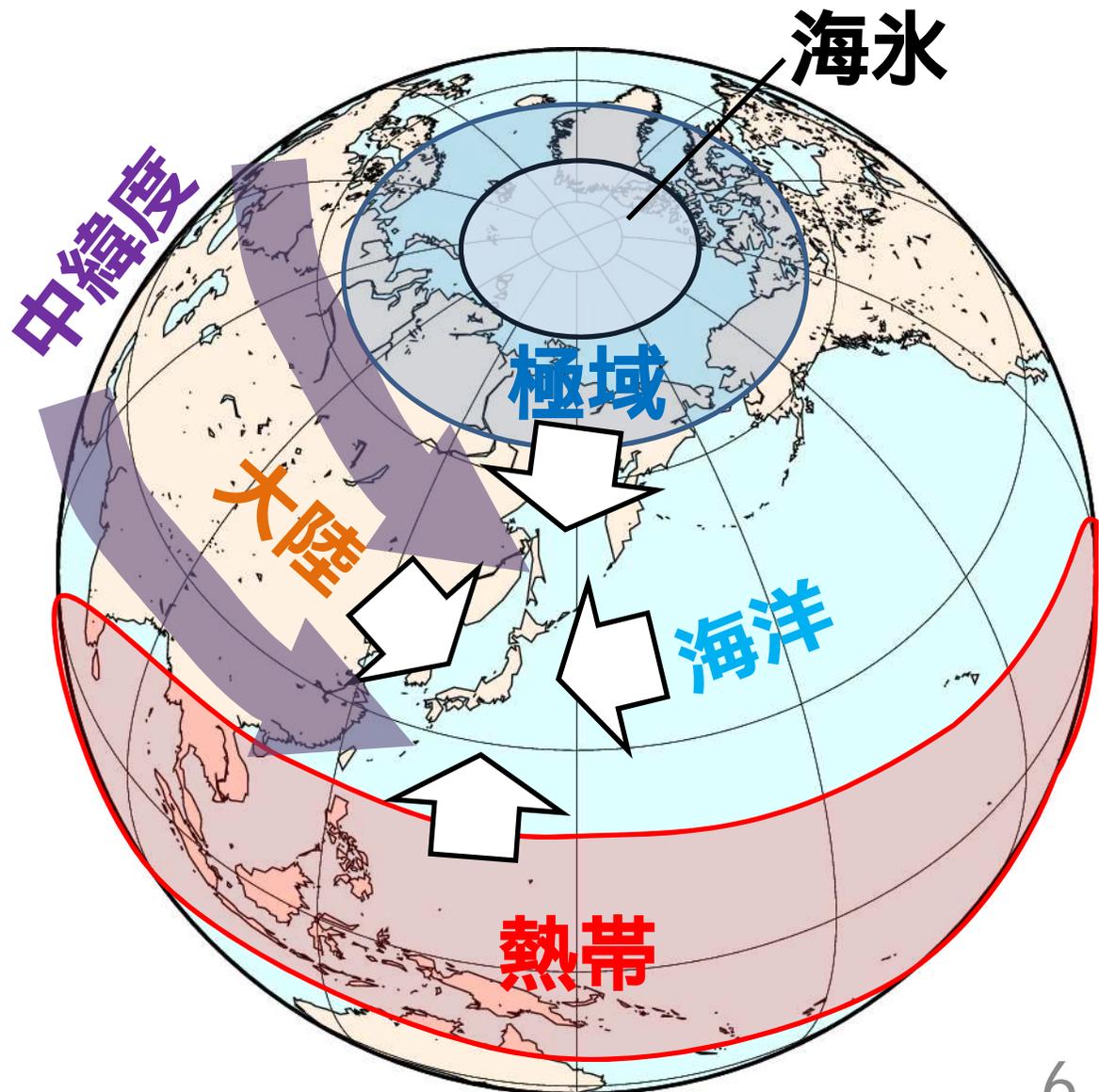


< 持続的な > 異常気象は何故発生するの？

- 異常気象の発生には、大気や海洋などで構成される地球の「**気候システム**」の揺らぎ（**変動**）が影響する。

< キーワード >

- エルニーニョ / ラニーニャ現象
- 偏西風の蛇行**
- 地球温暖化**



目次

- はじめに
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の特徴
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の要因
- さいごに

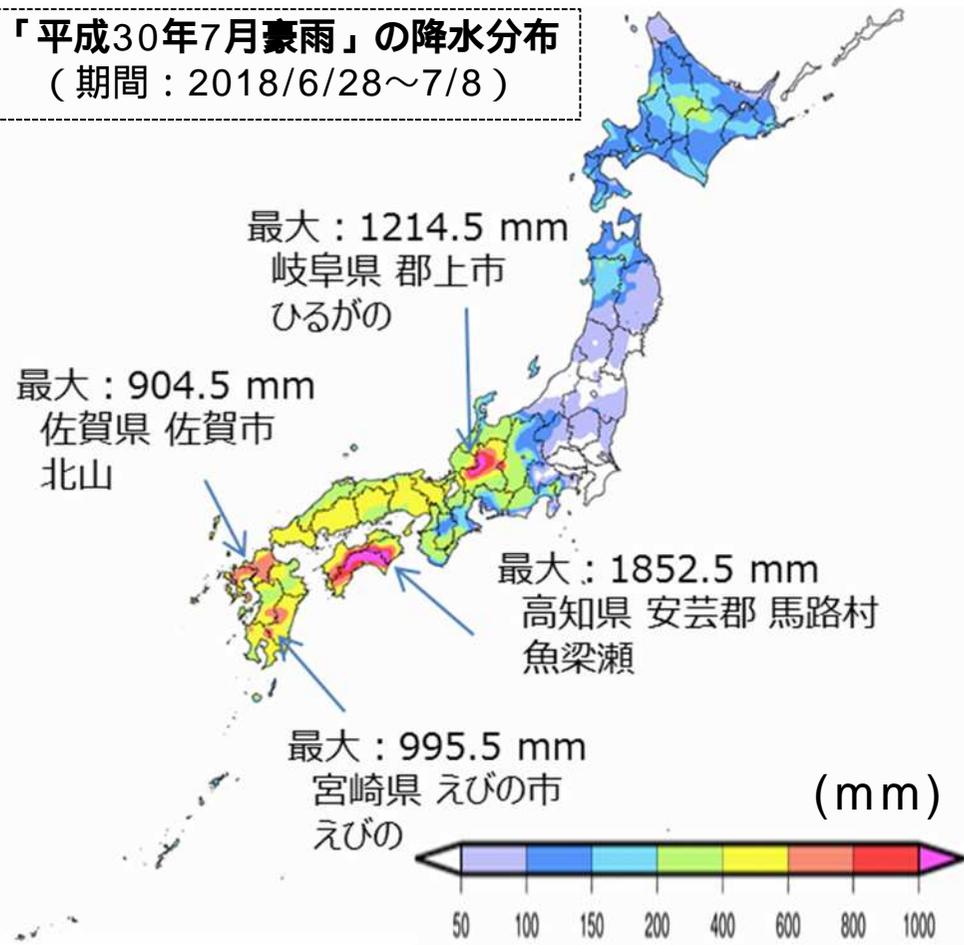
(メモ)

- 以下、明示しない限り、「偏差」 = 「平年値からの偏差」です。
- 平年値は、1981～2010年（30年間）の平均値です。

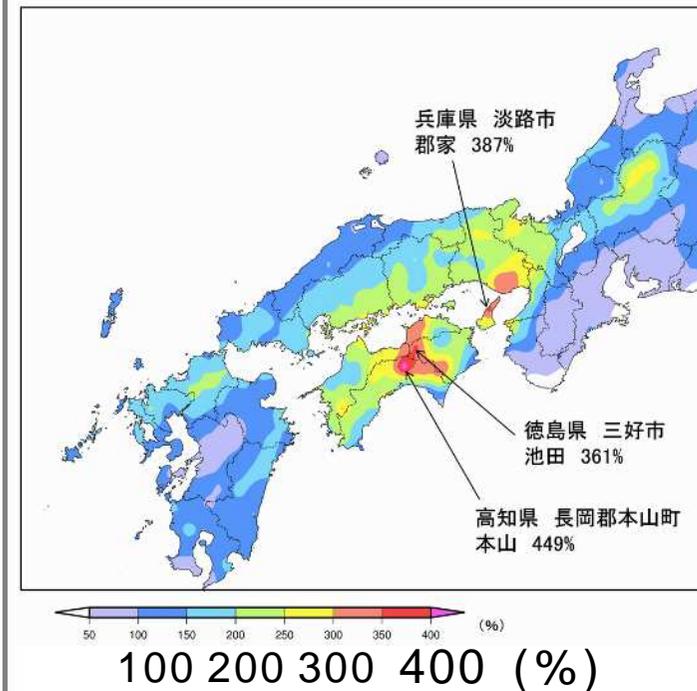
平成30年7月豪雨：大雨の特徴

- 総降水量：四国で**1800ミリを越える地点**がみられた。
- 7月の**月降水量平年値の2~4倍の大雨**となったところがあった。

「平成30年7月豪雨」の降水分布
(期間：2018/6/28~7/8)

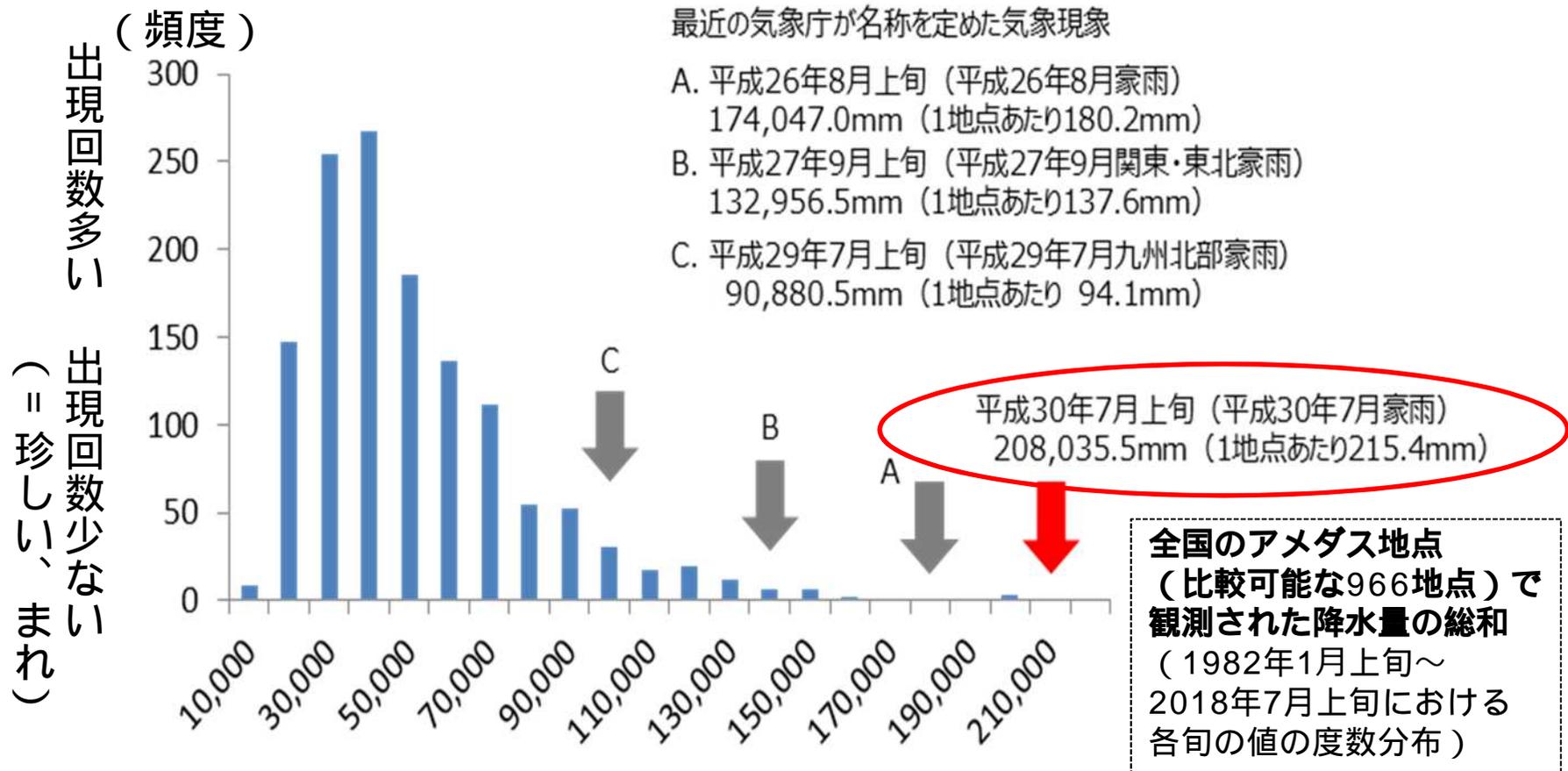


「平成30年7月豪雨」
の降水量平年比
(期間：2018/6/28~7/8)
(7月の月降水量平年値との比較)



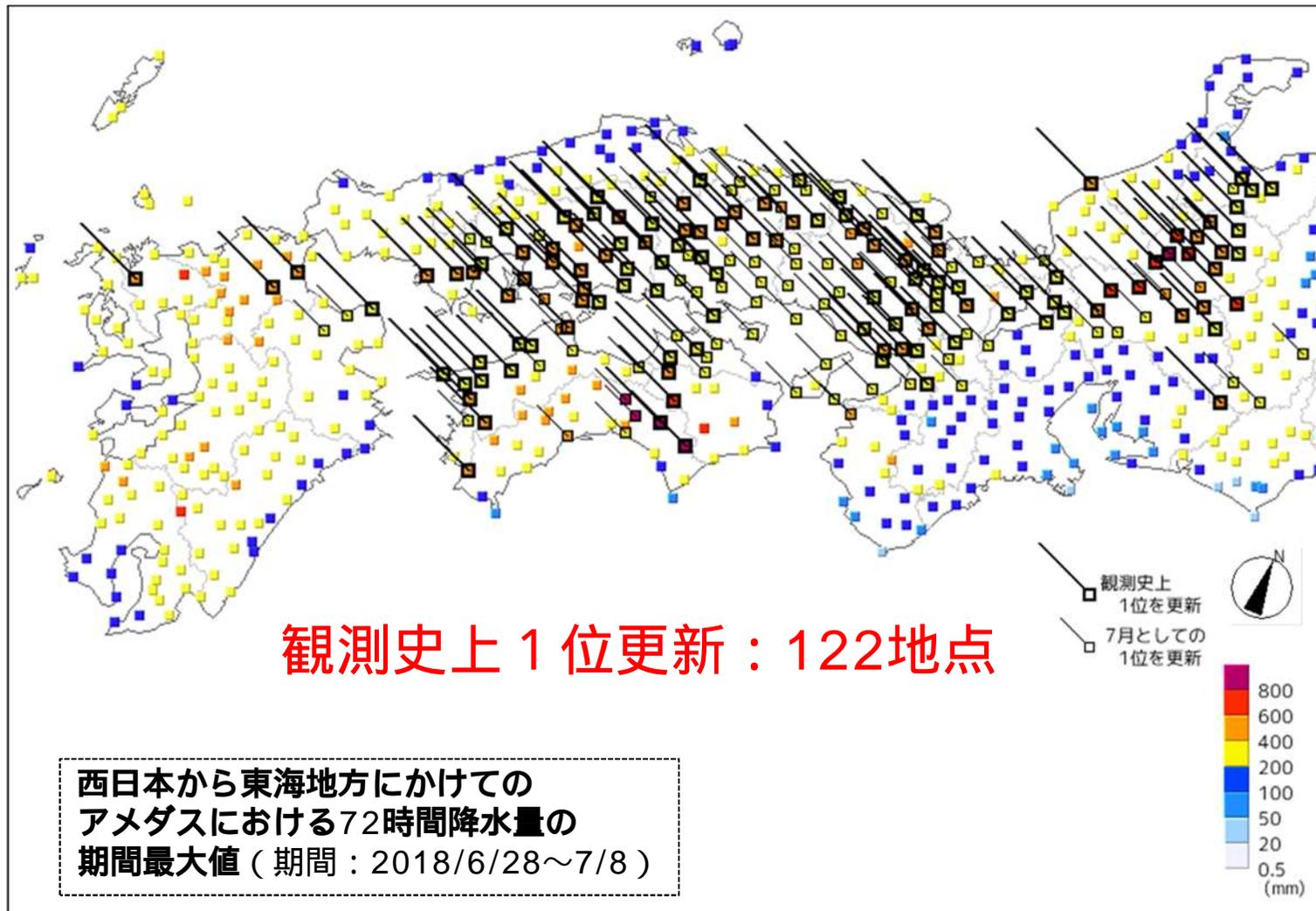
平成30年7月豪雨：大雨の特徴

- 10日ごと（旬）の統計：2018年7月上旬（7/1～10）の全国総降水量は、過去と比べて最も大きい値だった（1982年以降）。



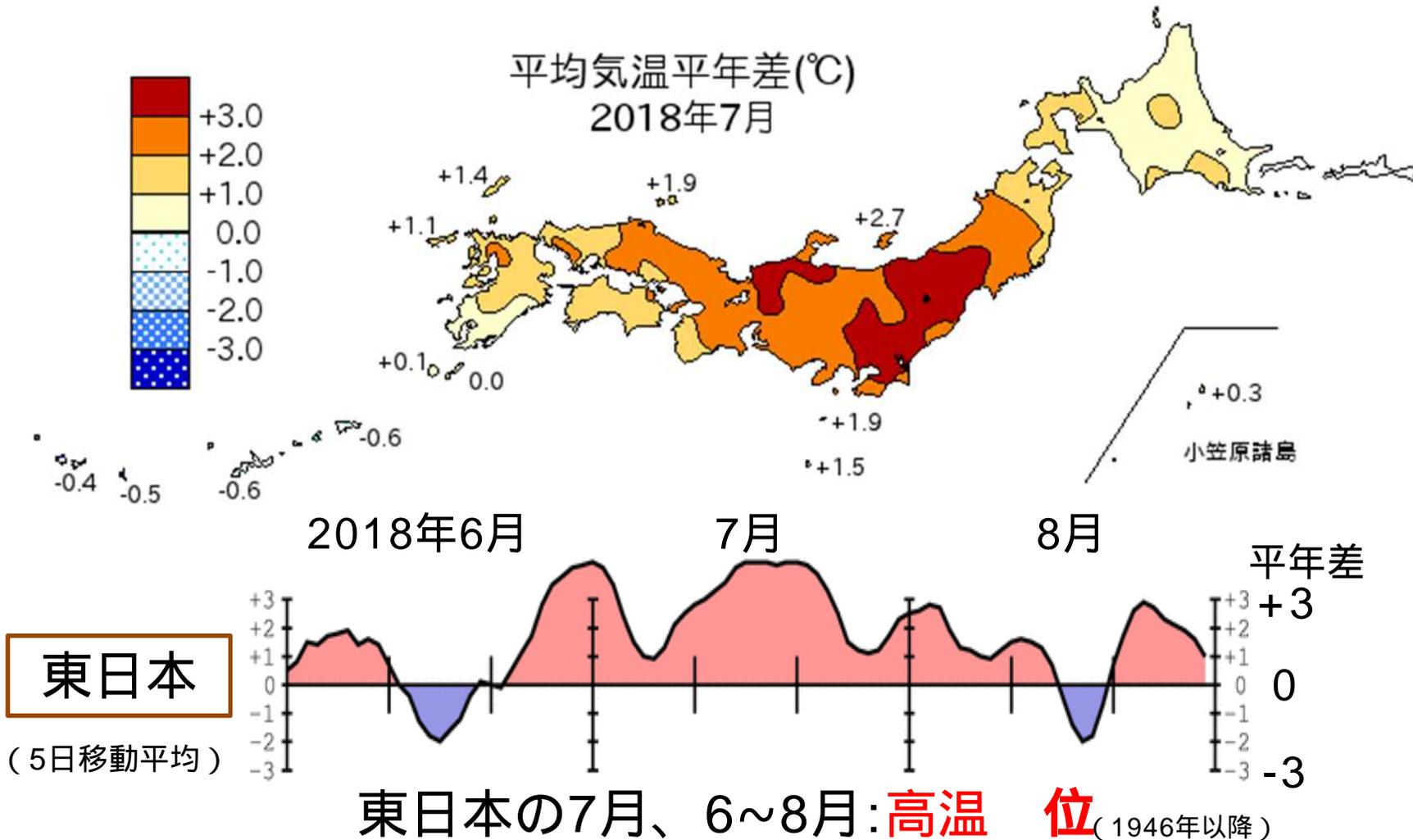
平成30年7月豪雨：大雨の特徴

- 特に2～3日間（48～72時間）の降水量が記録的に多い地域が西日本から東海地方を中心に広い範囲にみられた。



7月中旬以降の記録的な高温の特徴

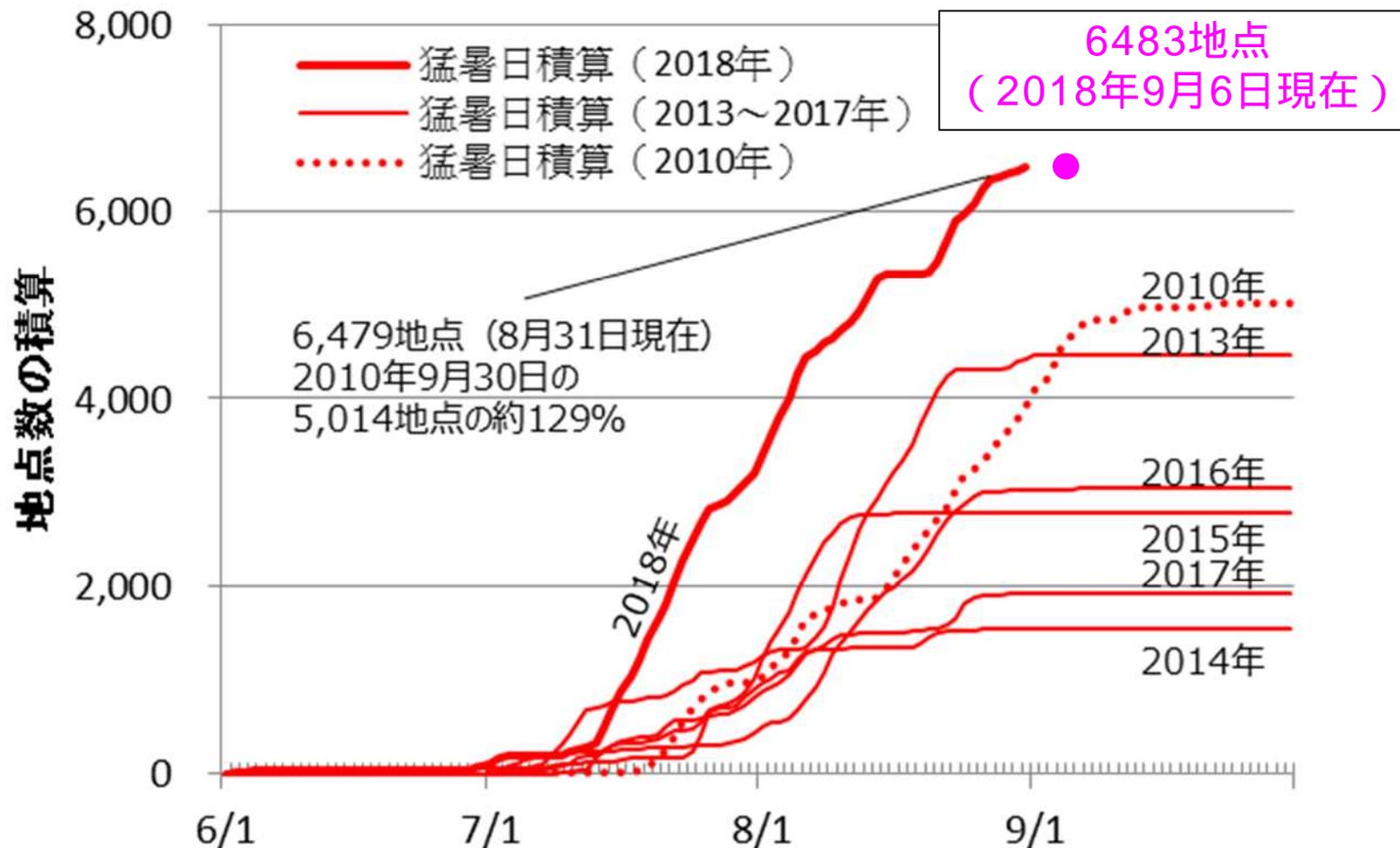
- 平均気温：東日本では、7月（平年差+2.8℃）、6～8月（同+1.7℃）となり、それぞれ7月及び6～8月として統計開始以来1位の高温となった。



7月中旬以降の記録的な高温の特徴

- **猛暑日数**の積算は、2010年（猛暑日数の年間総和が1976年以降で最大）の日数を超えた。

6/1からの積算、各年の最終的な値は9/30時点の値。

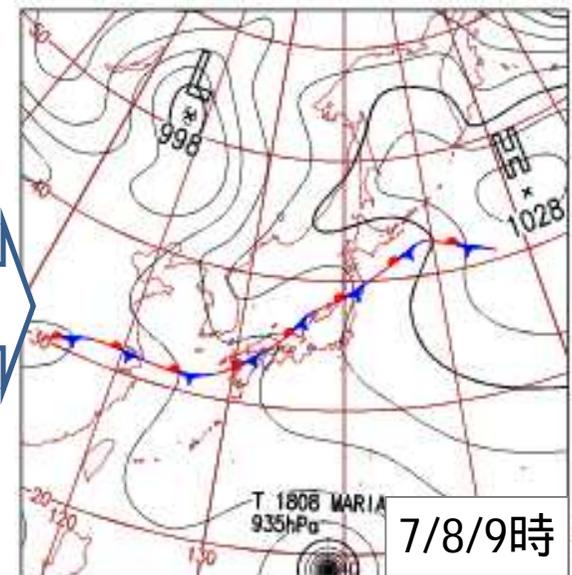
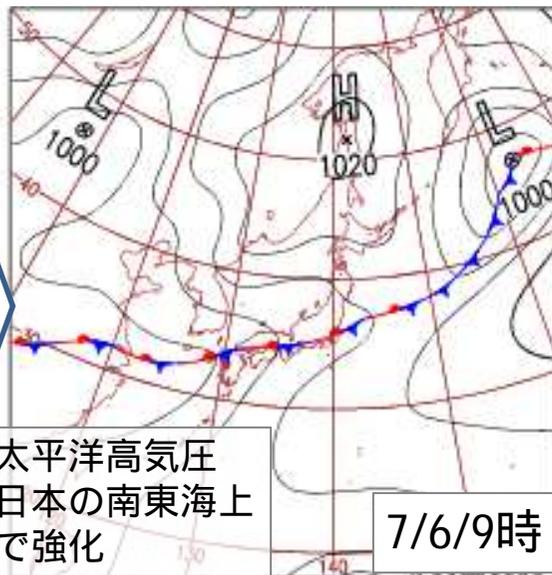
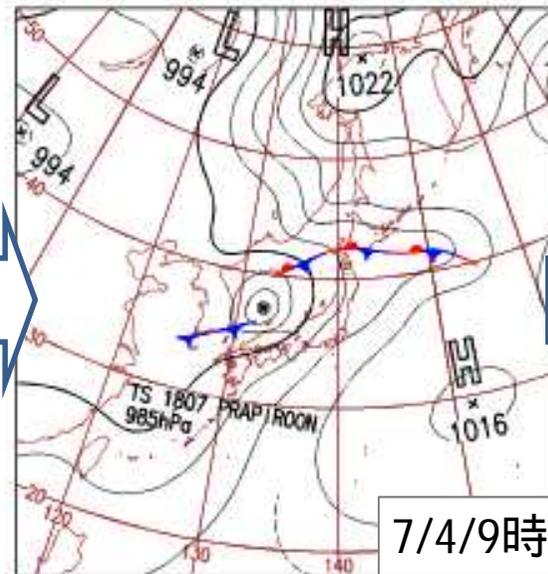


目次

- はじめに
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の特徴
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の要因
- さいごに

地上天気図

- 7/5～8：西日本付近に梅雨前線が停滞し、大雨となった。



豪雨をもたらした要因

- (A) 多量の水蒸気を含む2つの気流が西日本付近で持続的に合流
- (B) 梅雨前線の停滞・強化などによる持続的な上昇流の形成
- (C) 局地的な線状降水帯の形成

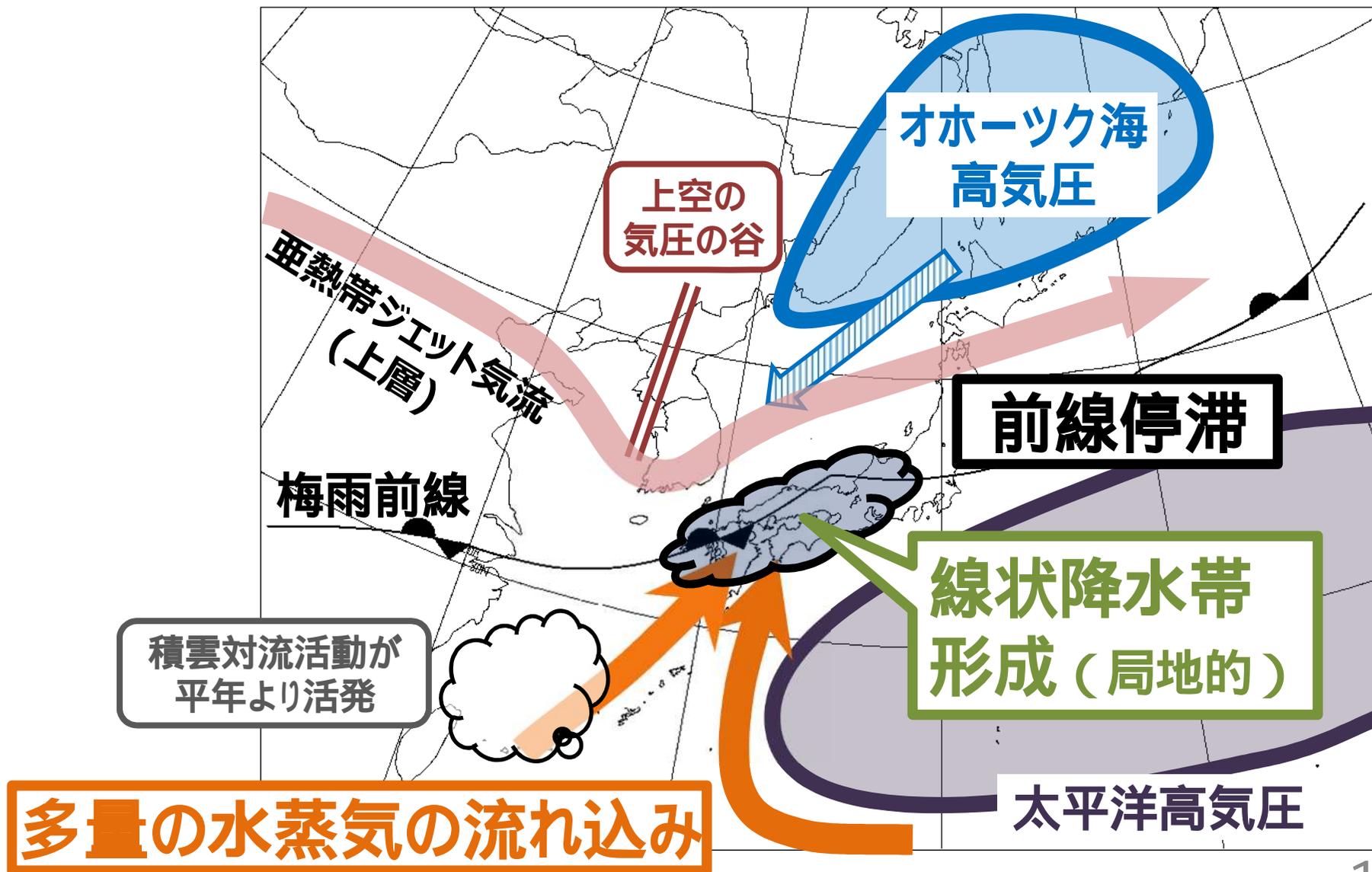
- (ア) 太平洋高気圧の日本の南東側へ張り出し
- (イ) 赤ツ海高気圧が非常に発達(日本海側へ張り出し)
- (ウ) 朝鮮半島付近の上空の気圧の谷
- (エ) 東シ海付近の積雲対流活動が平年より活発

上層の亜熱帯ジェット気流が大きく蛇行して持続
(シクロードテレコネクション(シクロードパターン))

上層の寒帯前線ジェット気流が大きく蛇行して持続

- 長期的には、極端な大雨の強さが増大する傾向
- 地球温暖化に伴う大気中の水蒸気量の長期的な増加傾向

西日本を中心とした記録的な大雨（7月5日から8日） をもたらした大気の流れ

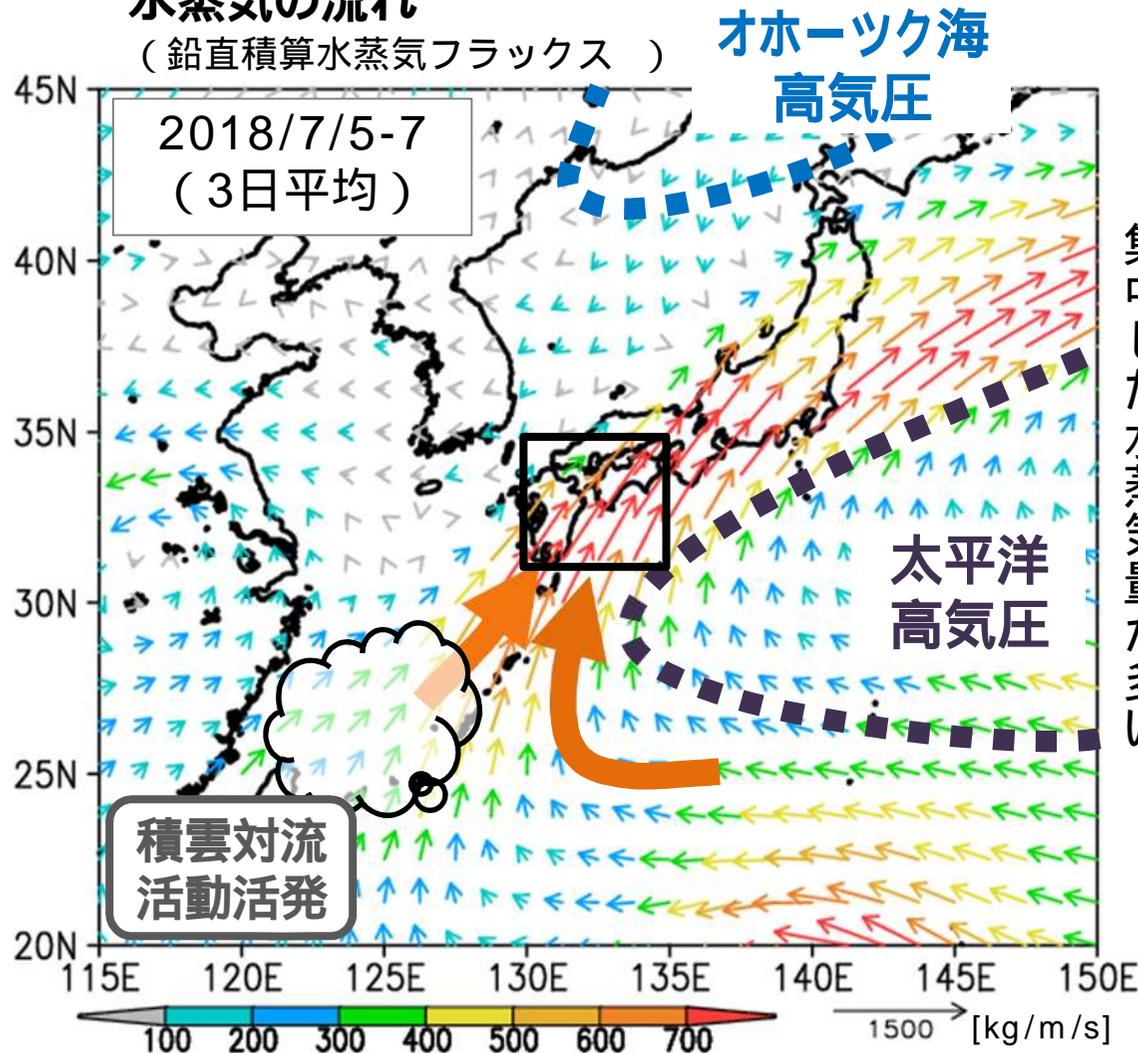


多量の水蒸気の西日本付近への流入

- 太平洋高気圧が日本の南東に張り出した。
- 東シナ海付近の積雲対流活動が活発だった。

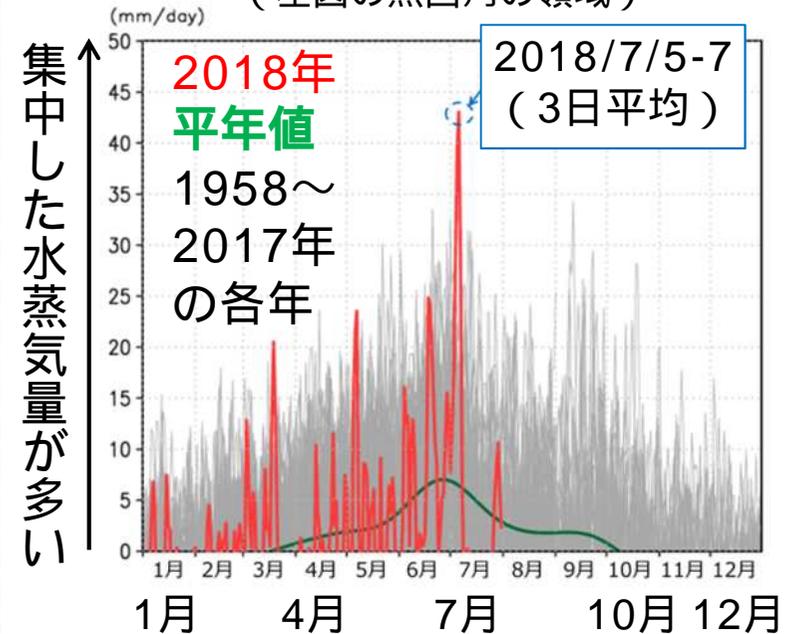
水蒸気の流れ

(鉛直積算水蒸気フラックス)



西日本付近に集中した水蒸気量の時系列

(31.25-35N, 130-135E)
(左図の黒四角の領域)

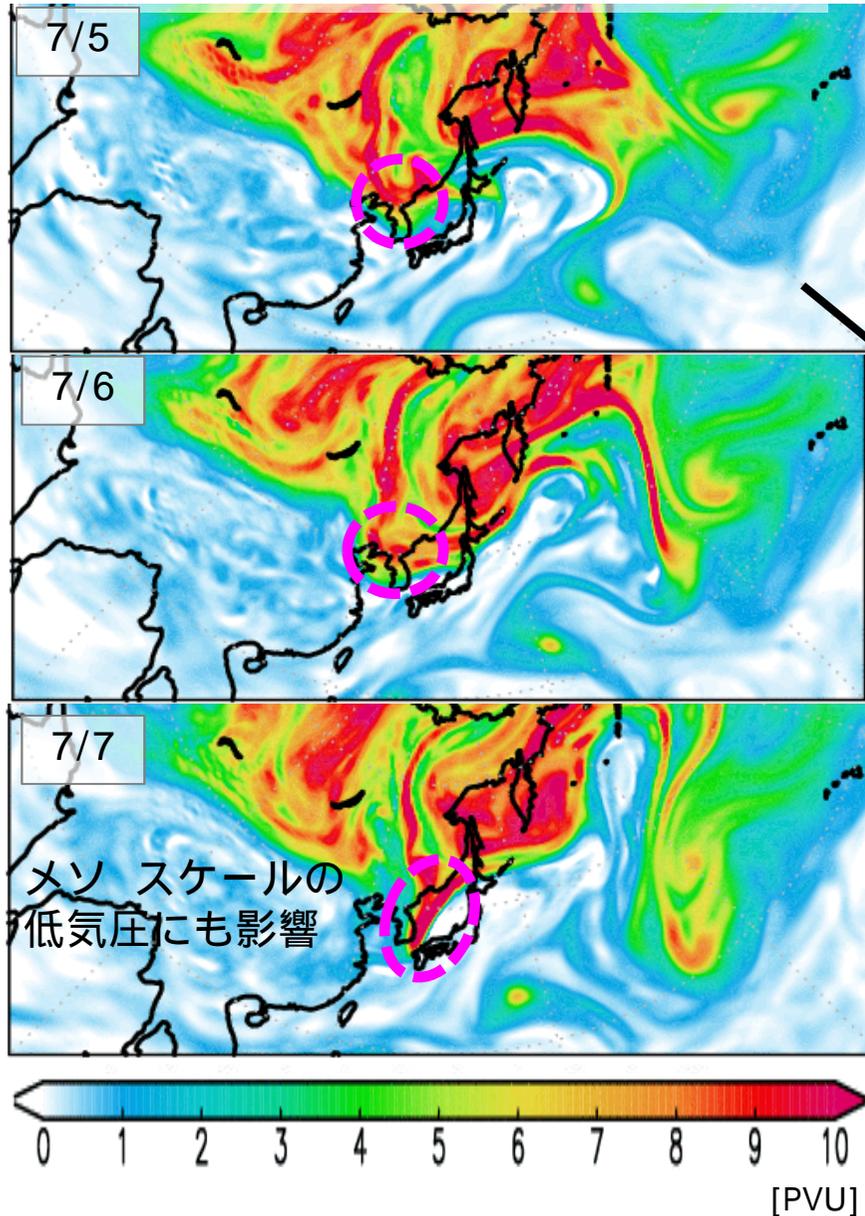


鉛直積算 = 地表面～300hPa

(300hPa面は上空約10000m付近。水蒸気量は上空ほど小さくなり、平均的には300hPa面の水蒸気量は地上付近と比べて数%となる。)

持続的な上昇流の形成

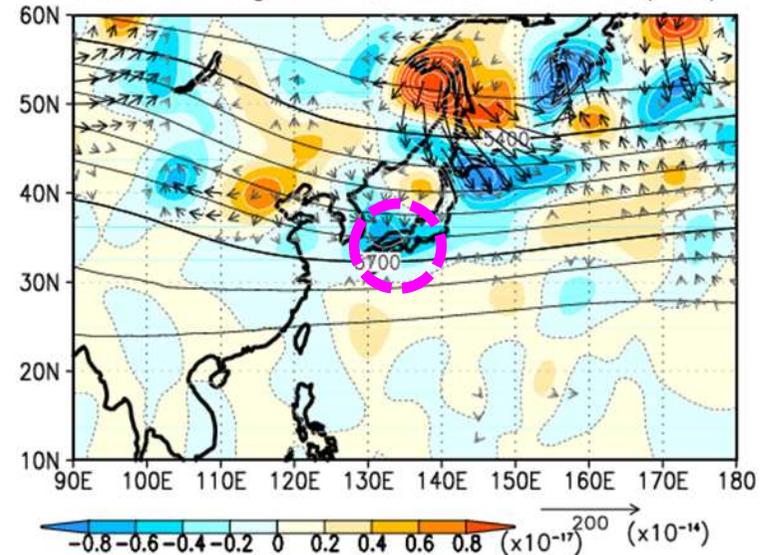
等温位面渦位 (350K面)



- 西日本付近に上昇流の励起されやすい場が形成された。
- 一つの要因として、上空のトラフの寄与が考えられる。

500hPa Q-ベクトル
とその収束発散

500hPa Height & Q-vector & divQ (hist)



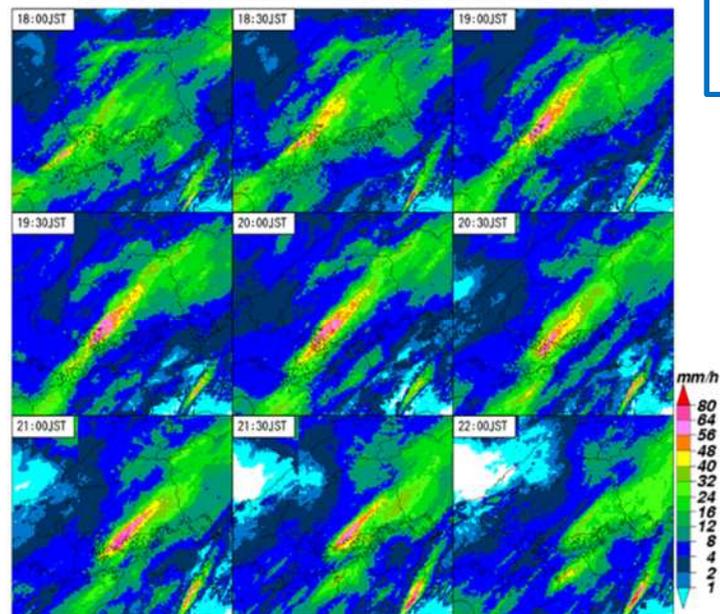
上昇流に対応

下降流に対応

局地的な線状降水帯の形成

広島県でみられた線状降水帯 (7月6日夕方～夜)

解析雨量による1時間降水量の分布



- 7/5～8に、15個の線状降水帯が出現した。
- 発生した線状降水帯の中には、バックビルディング型の特徴を持つものがあった。
- 大気下層に多量の水蒸気が流入するタイミングで形成された。
- 積乱雲の高さ：広島県のケースでは高度9km程度、他の線状降水帯では高度15kmまで発達したケースもあった。

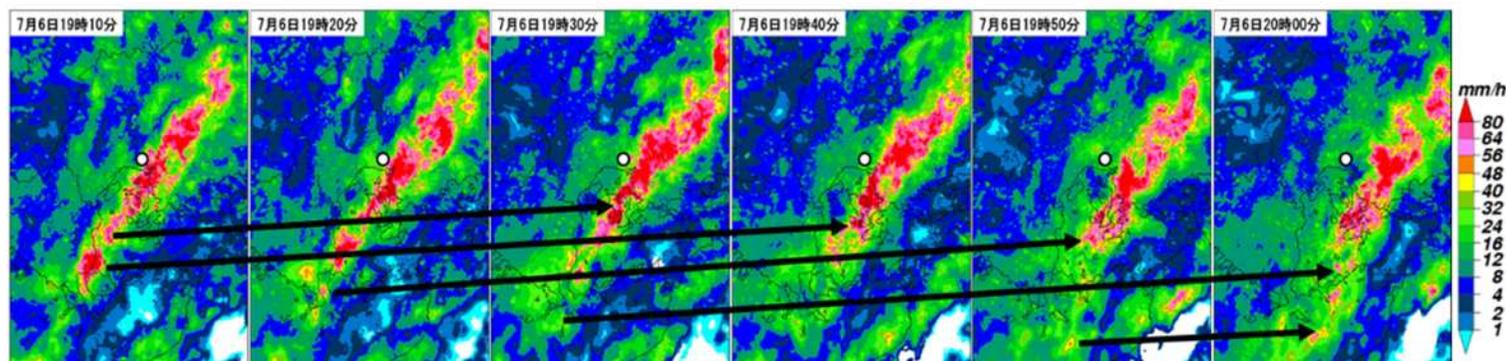
降水量の時系列

広島 (67437) 2018年7月6日9時～2018年7月7日9時



線状降水帯による降水

高解像度降水ナウキャストによる降水強度分布 (mm/h) の時系列



豪雨をもたらした要因

- (A) 多量の水蒸気を含む2つの気流が西日本付近で持続的に合流
- (B) 梅雨前線の停滞・強化などによる持続的な上昇流の形成
- (C) 局地的な線状降水帯の形成

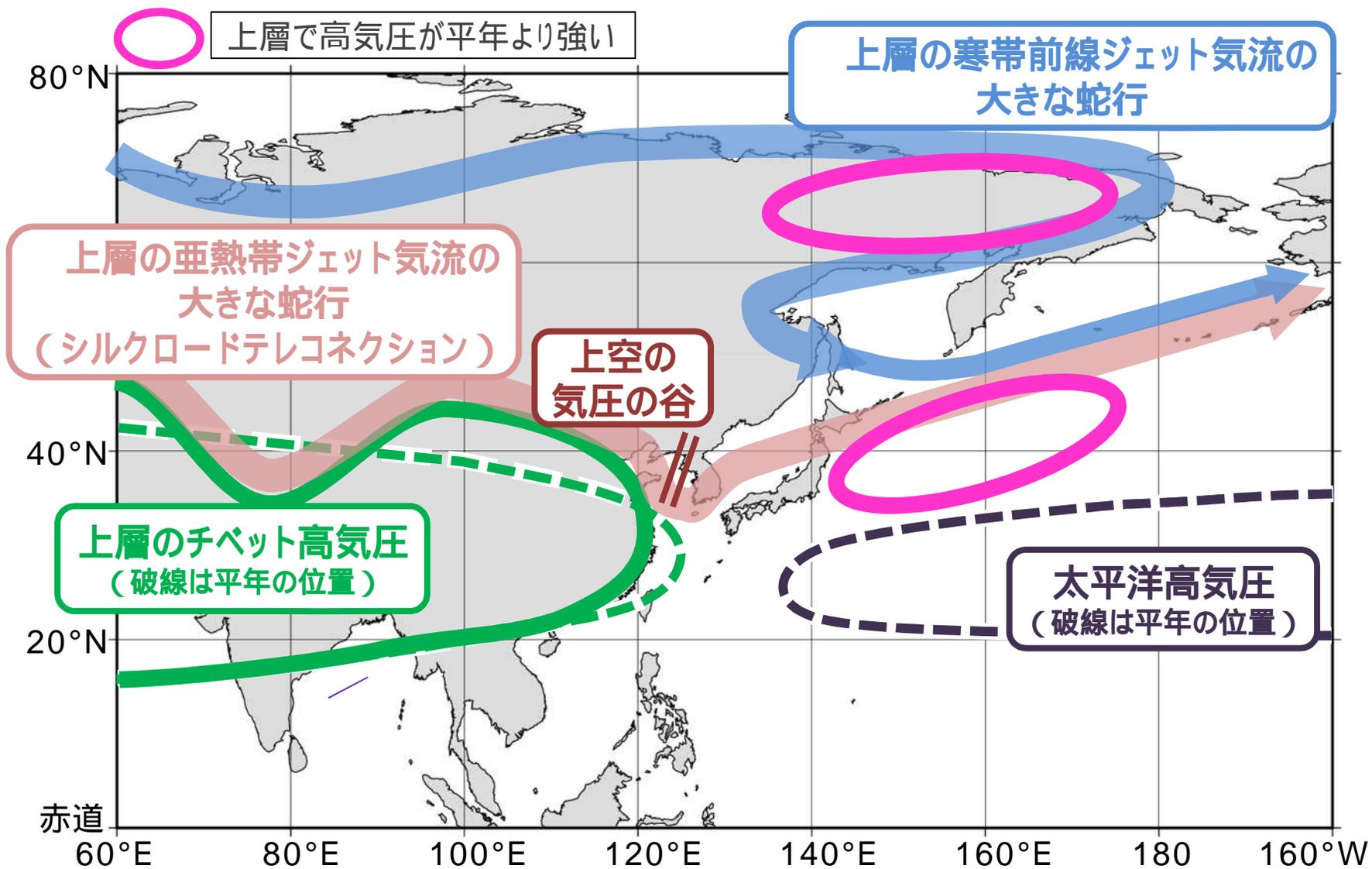
- (ア) 太平洋高気圧の日本の南東側へ張り出し
- (イ) 赤ツ海高気圧が非常に発達(日本海側へ張り出し)
- (ウ) 朝鮮半島付近の上空の気圧の谷
- (エ) 東シ海付近の積雲対流活動が平年より活発

上層の亜熱帯ジェット気流が大きく蛇行して持続
(シクロードテレコネクション(シクロードパターン))

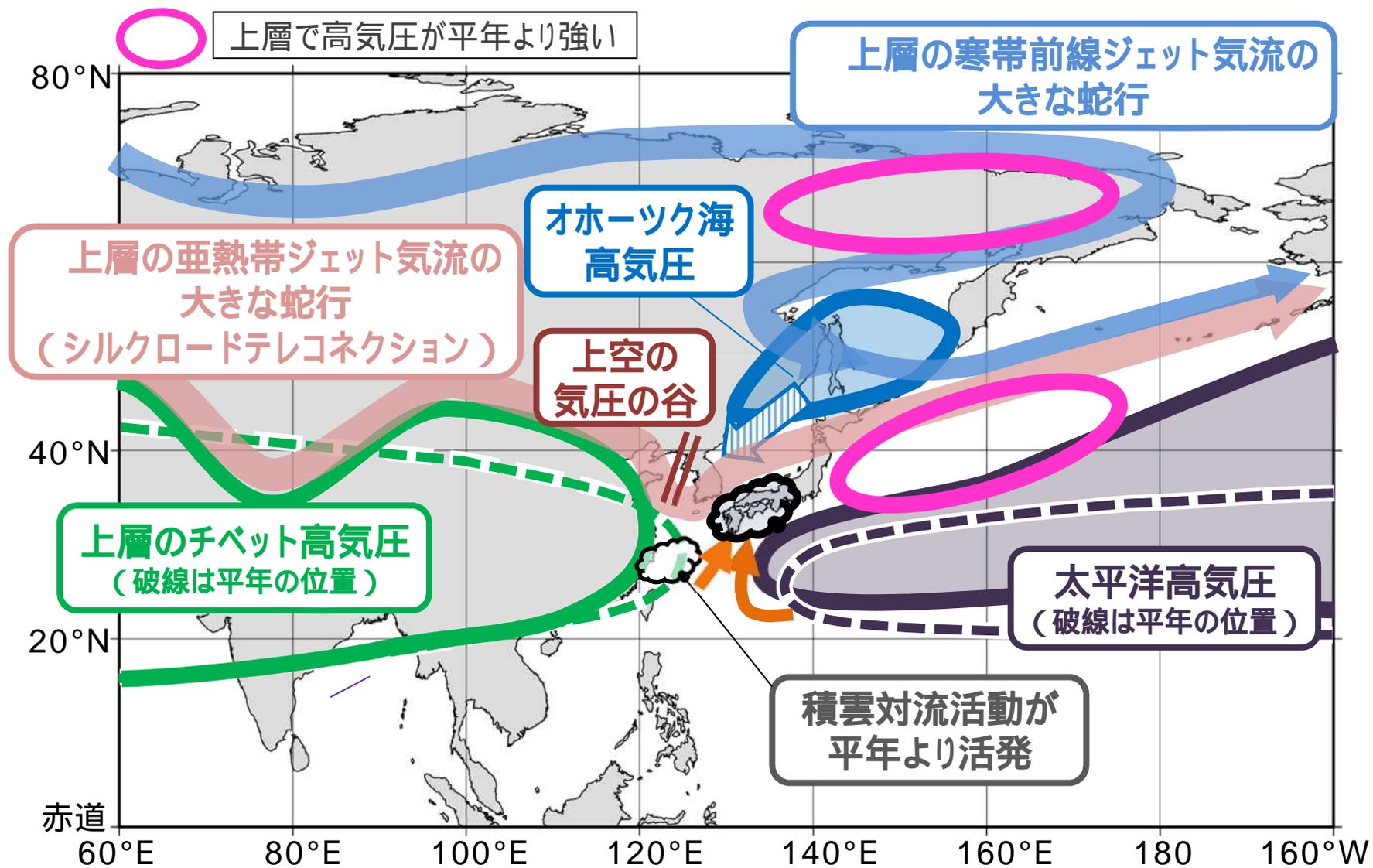
上層の寒帯前線ジェット気流が大きく蛇行して持続

- 長期的には、極端な大雨の強さが増大する傾向
- 地球温暖化に伴う大気中の水蒸気量の長期的な増加傾向

西日本を中心とした記録的な大雨（7月5日から8日） をもたらした大規模な大気の流れ



西日本を中心とした記録的な大雨（7月5日から8日） をもたらした大規模な大気の流れ

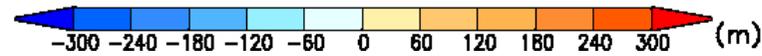
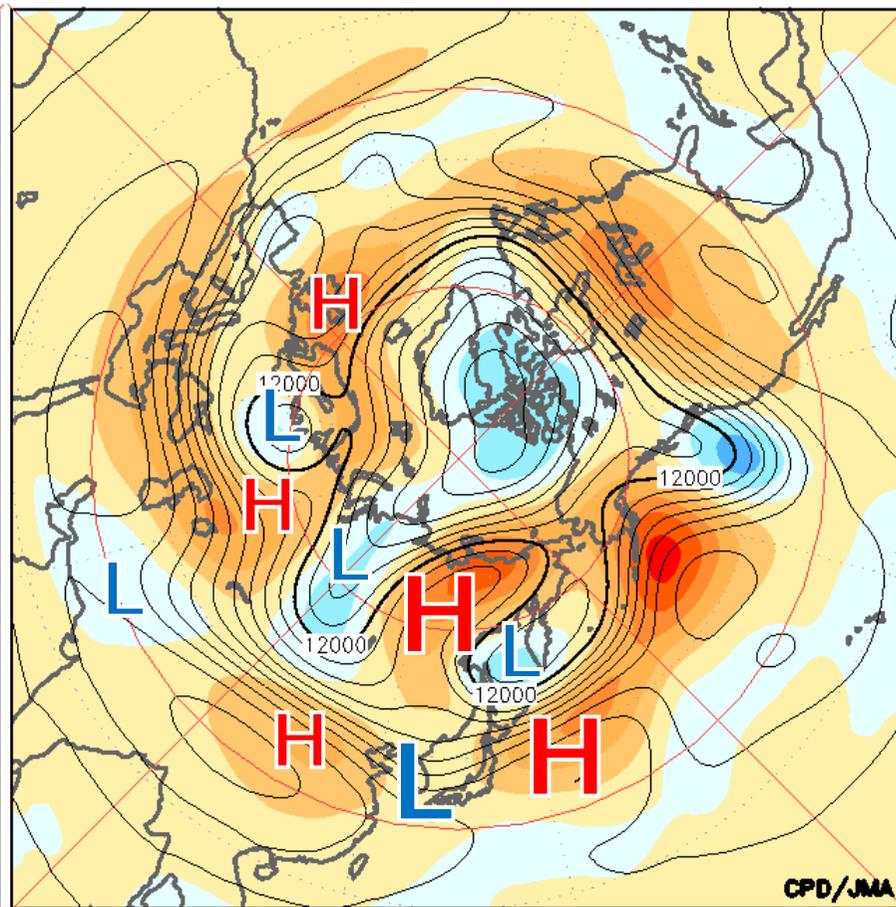
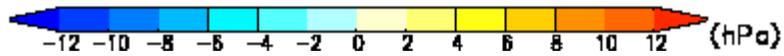
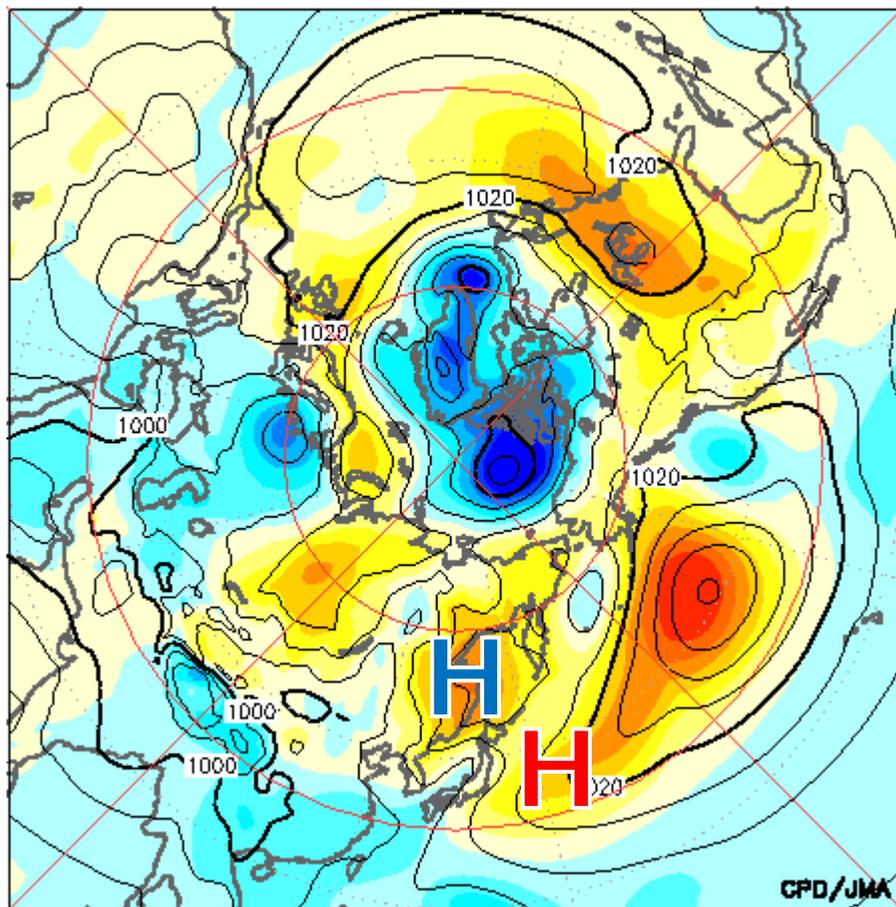


大規模な循環場の状況 (7/4~8 (5日平均))

・ JRA-55
・ 時刻はUTC

海面更正気圧と平年差 (hPa)

200hPa高度と平年差 (m)

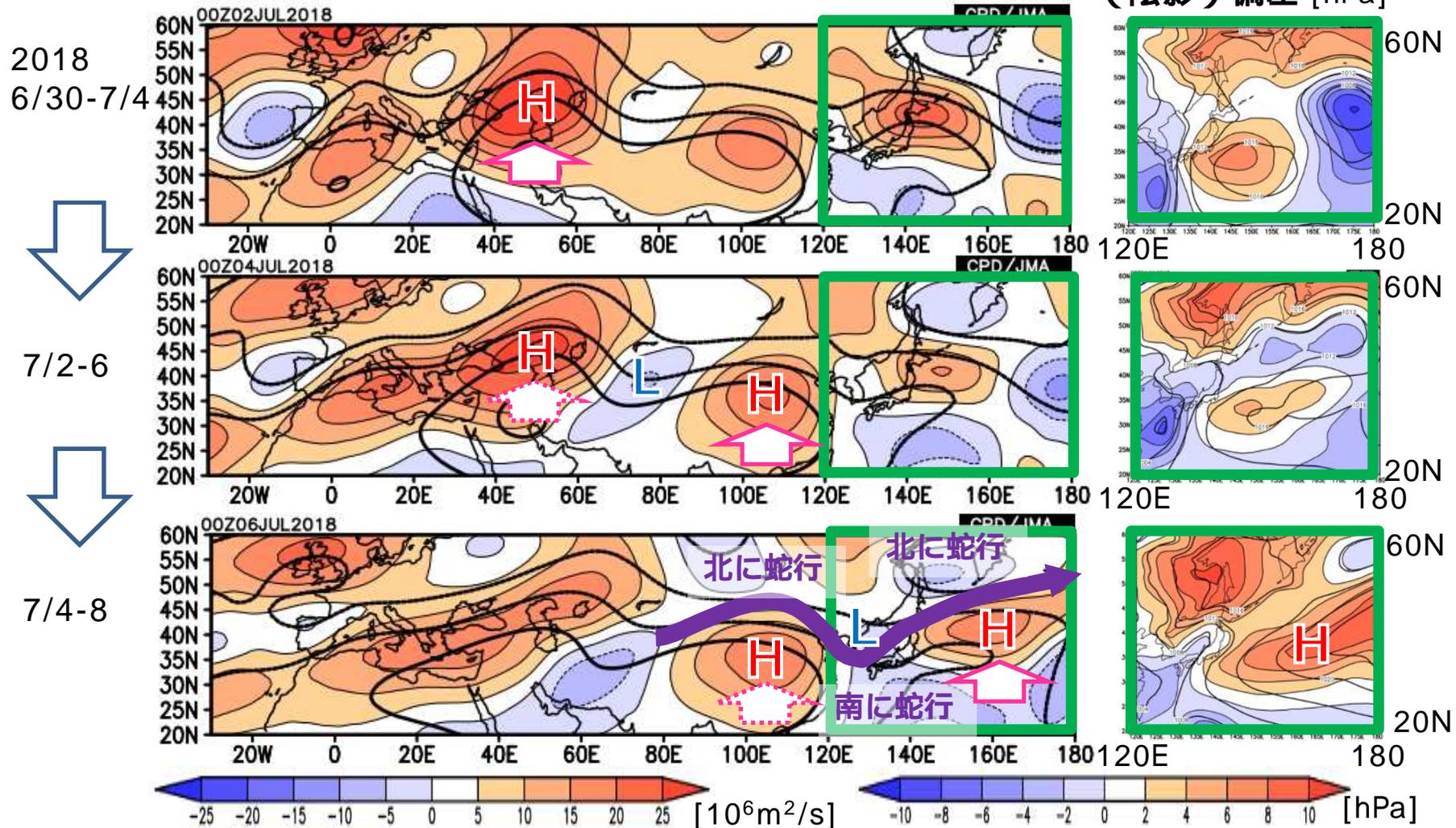


上層の亜熱帯ジェット気流の蛇行

- 1-アジア大陸上空の亜熱帯ジェット気流が蛇行。
- このジェット気流の蛇行と太平洋Hの張り出し/東海上への後退が関連。

(線) 200hPa流線関数と(陰影) 偏差 [$10^6 m^2/s$]

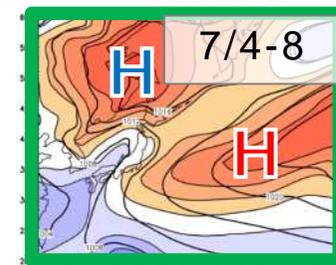
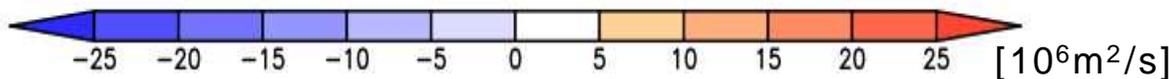
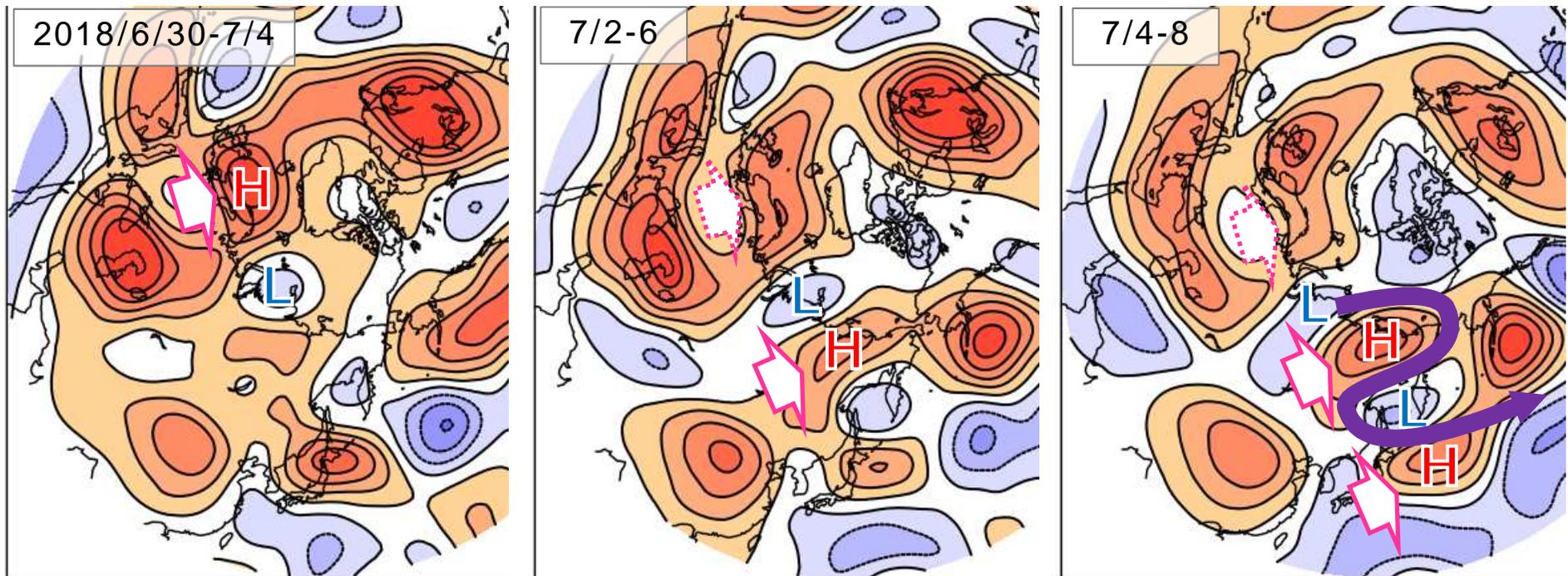
(線) 海面更正気圧と(陰影) 偏差 [hPa]



上層の寒帯前線ジェット気流の蛇行

- ユーラシア大陸北部上空の寒帯前線ジェット気流が蛇行。
- 上空の寒帯前線ジェット気流の蛇行と地上のオホーツク海高気圧と太平洋高気圧の盛衰が関連。

(陰影) 200hPa流線関数偏差 [$10^6\text{m}^2/\text{s}$]

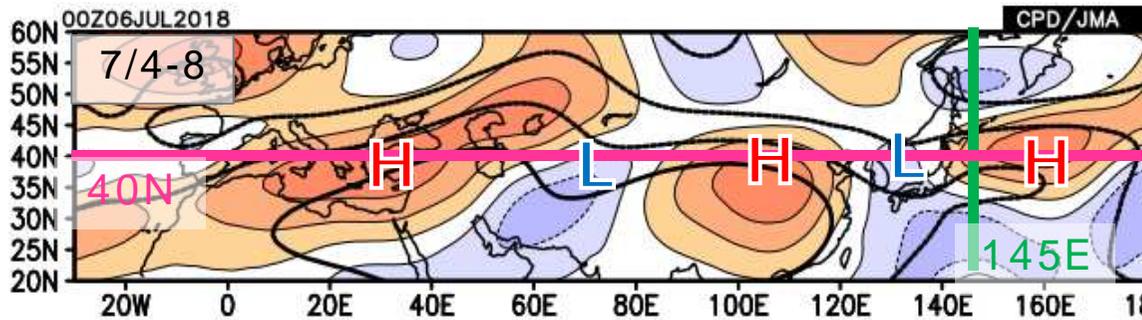


(線) 海面更正気圧と(陰影) 偏差 [hPa]

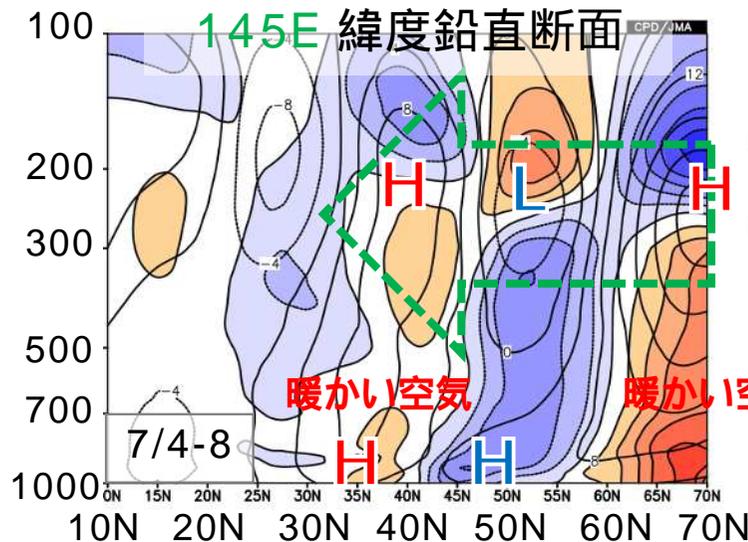
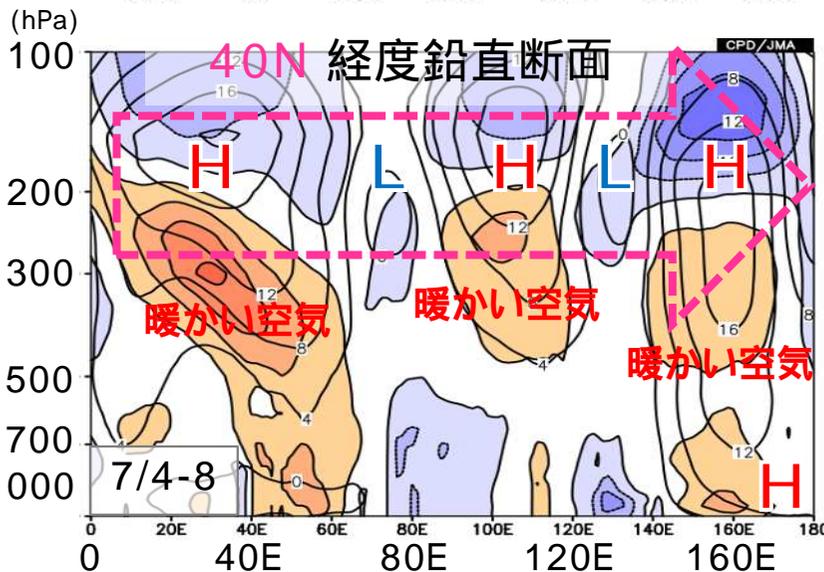
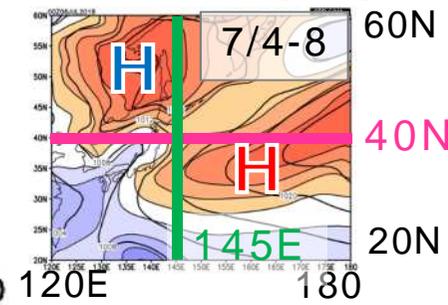
「持続的な」上空のジェット気流の蛇行 「ロスビー波」の伝播

- 基本的には「等価順圧」の構造 持続性が高い。
- 但し、上層ほど西及び北にやや傾く構造。

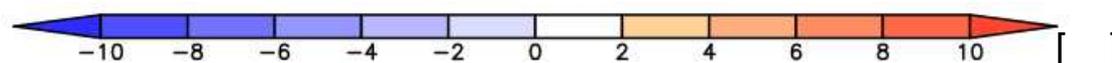
(線) 200hPa流線関数と(陰影)偏差 [10⁶m²/s]



(線) 海面更正気圧と(陰影)偏差 [hPa]



(線) 流線関数偏差 [10⁶m²/s]
(陰影) 気温偏差 []



< キーワード > ロスビー波



- **ロスビー波**：地球が「球」で「回転」しているために存在。
「絶対渦度 = 相対渦度 + 惑星渦度」
を保存。
- 特徴：位相速度は西向き。波長が長いほど西向き位相速度大きい。
平均東西流が西風の場合、波長により西風と釣り合って停滞することがある。+ ジェット気流にトラップされやすい。
(準)定常ロスビー波 (持続的な)異常気象の要因になり得る。
- 特徴：群速度は東向き。
(群速度 = 波のかたまり (波束) のエネルギーの伝播)
離れた領域に影響を与え得る：**テレコネクション**
- **ロスビー波の生成・増幅メカニズム**
 - 地形による強制、局所的な加熱による強制。
 - 大気の流れの不安定性。

< キーワード > テレコネクション

- **テレコネクション**：ある場所での「偏差」が、地球上の遠く離れた場所へ影響を及ぼすこと。
- 強弱を繰り返しつつ、数週間から数か月持続し、広域な異常天候をもたらすこともある。
- 「現れやすい」偏差パターンがある。

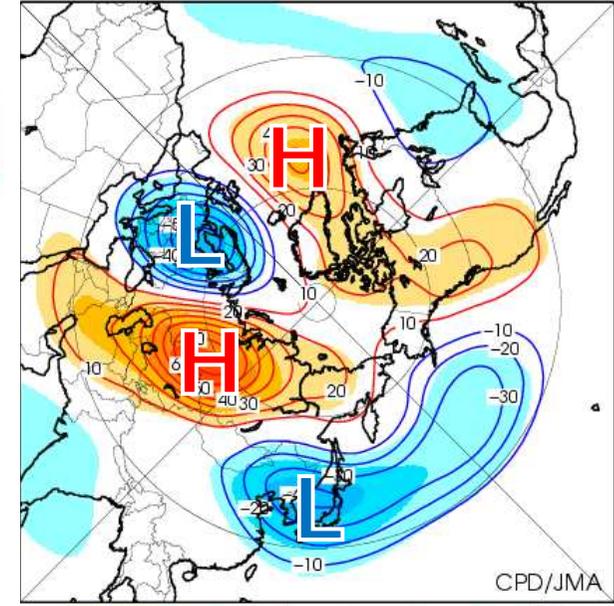
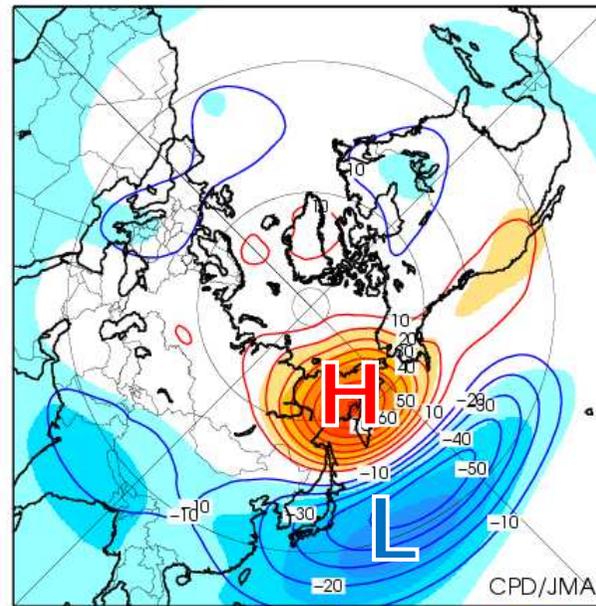
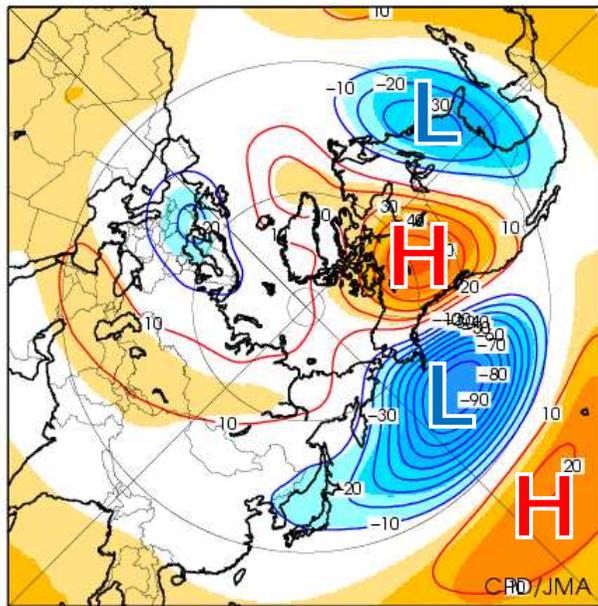
< 代表的なテレコネクションパターン >

逆(H<->L)でもよい。

PNA：太平洋-北米パターン

WP：西太平洋パターン

EU：ユーラシアパターン



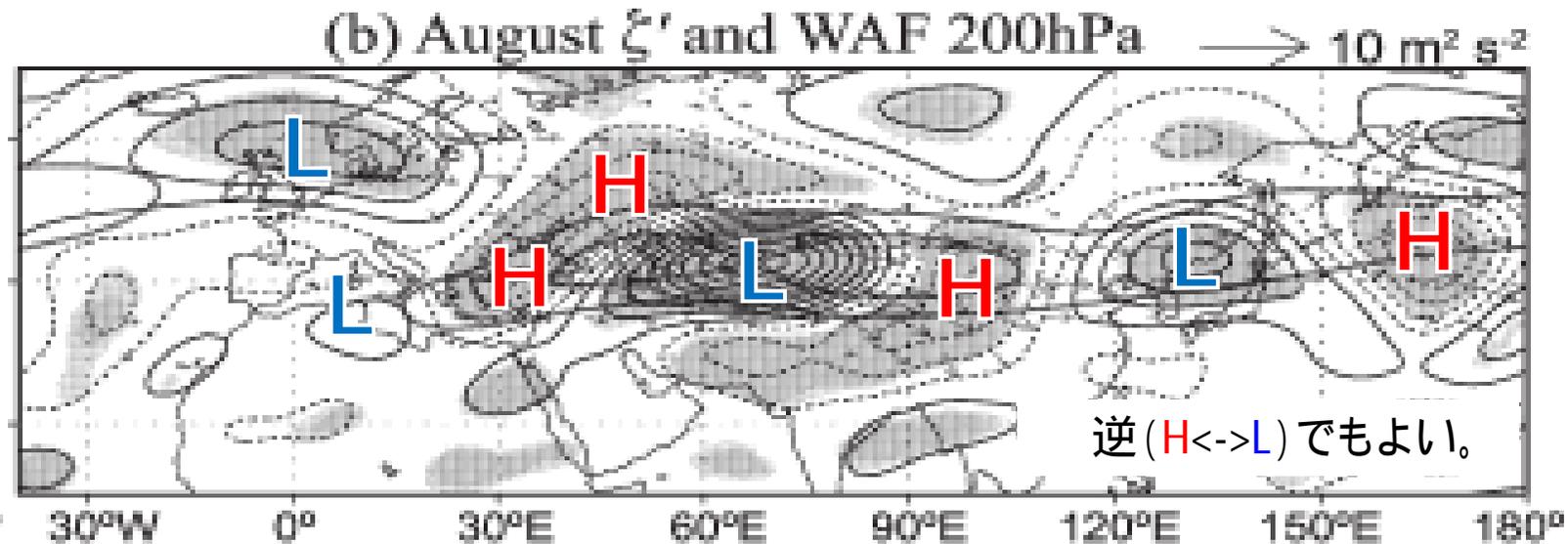
-0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.2 0.4 0.6 0.8

-0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.2 0.4 0.6 0.8

-0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.2 0.4 0.6 0.8

<キーワード>シルクロードテレコネクション (シルクロードパターン)

- 夏季のユーラシア大陸上空では、**亜熱帯ジェット気流 (アジアジェット)**の大きな蛇行がしばしば現れる。
 - これを「**シルクロードテレコネクション**」と呼び、特に最も出現しやすいパターンで、小笠原高気圧の強弱に関連するパターンを「**シルクロードパターン**」と呼ぶ。
- (Enomoto et al. 2003; Enomoto 2004 ; 榎本 2005)



シルクロードパターン(8月)の例:200hPa南北風の主成分(EOF)解析に基づく場合
(小坂 2011の第2図から抜粋)

豪雨をもたらした要因

- (A) 多量の水蒸気を含む2つの気流が西日本付近で持続的に合流
- (B) 梅雨前線の停滞・強化などによる持続的な上昇流の形成
- (C) 局地的な線状降水帯の形成

- (ア) 太平洋高気圧の日本の南東側へ張り出し
- (イ) 赤ツ海高気圧が非常に発達(日本海側へ張り出し)
- (ウ) 朝鮮半島付近の上空の気圧の谷
- (エ) 東シ海付近の積雲対流活動が平年より活発

上層の亜熱帯ジェット気流が大きく蛇行して持続
(シクロードテレコネクション(シクロードパターン))

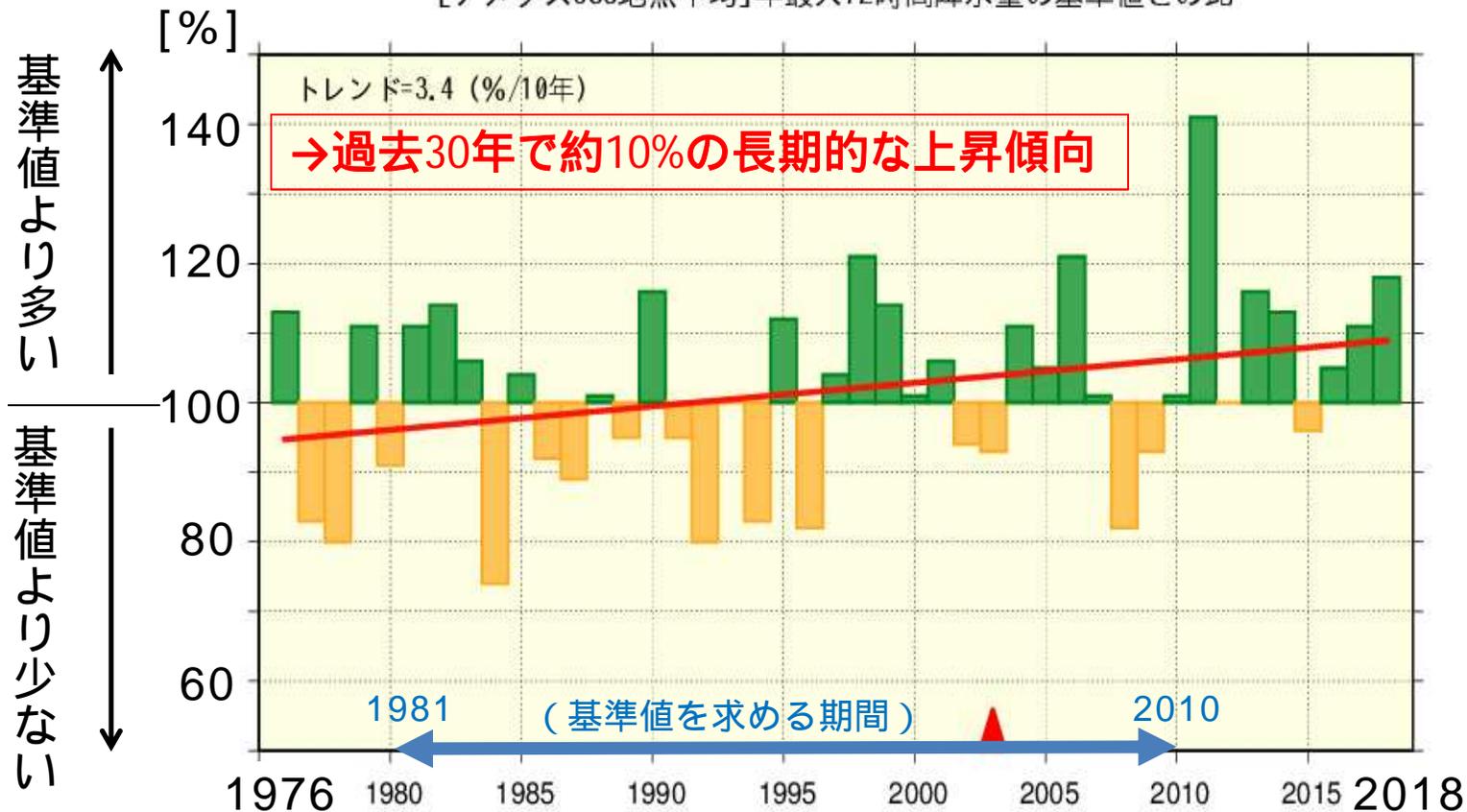
上層の寒帯前線ジェット気流が大きく蛇行して持続

- 長期的には、極端な大雨の強さが増大する傾向
- 地球温暖化に伴う大気中の水蒸気量の長期的な増加傾向

地球温暖化の寄与

- 長期的には極端な大雨の強さが増大する傾向がみられている。
- 今回の大雨にも、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与があったと考えられる。

[アメダス685地点平均]年最大72時間降水量の基準値との比



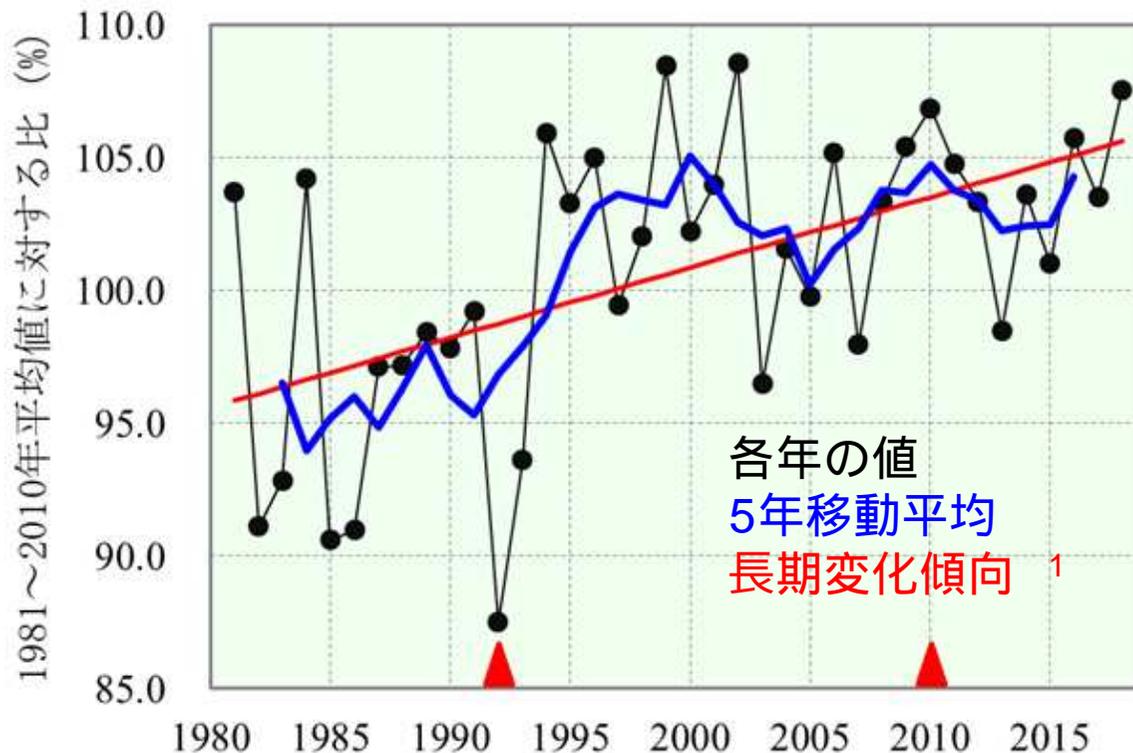
全国の年最大72時間降水量の基準値との比の経年変化（期間：1976～2018年）

棒グラフは全国のアメダス地点のうち1976～2018年の期間で観測が継続している地点（685地点）の基準値との比（%）を平均した値。2018年の値は8/1までのデータに基づく。基準値は1981～2010年の平均値。直線（赤）は長期変化傾向（信頼度水準90%で統計的に有意）。
 <備考> は観測の時間間隔を変更した年（2003年より前は1時間間隔、以後は10分間隔）。

地球温暖化の寄与

- 長期的には極端な大雨の強さが増大する傾向がみられている。
- 今回の大雨にも、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与があったと考えられる。

[13地点平均]850hPaにおける比湿の基準値との比(7月)



地球温暖化の寄与に関するより詳細な見積もりは今後の課題

日本域における7月の850hPaの月平均比湿の基準値との比の経年変化(1981~2018年)

国内13高層気象観測地点²の平年比(%)を平均した値に基づく。基準値は1981~2010年(30年)の平均値。

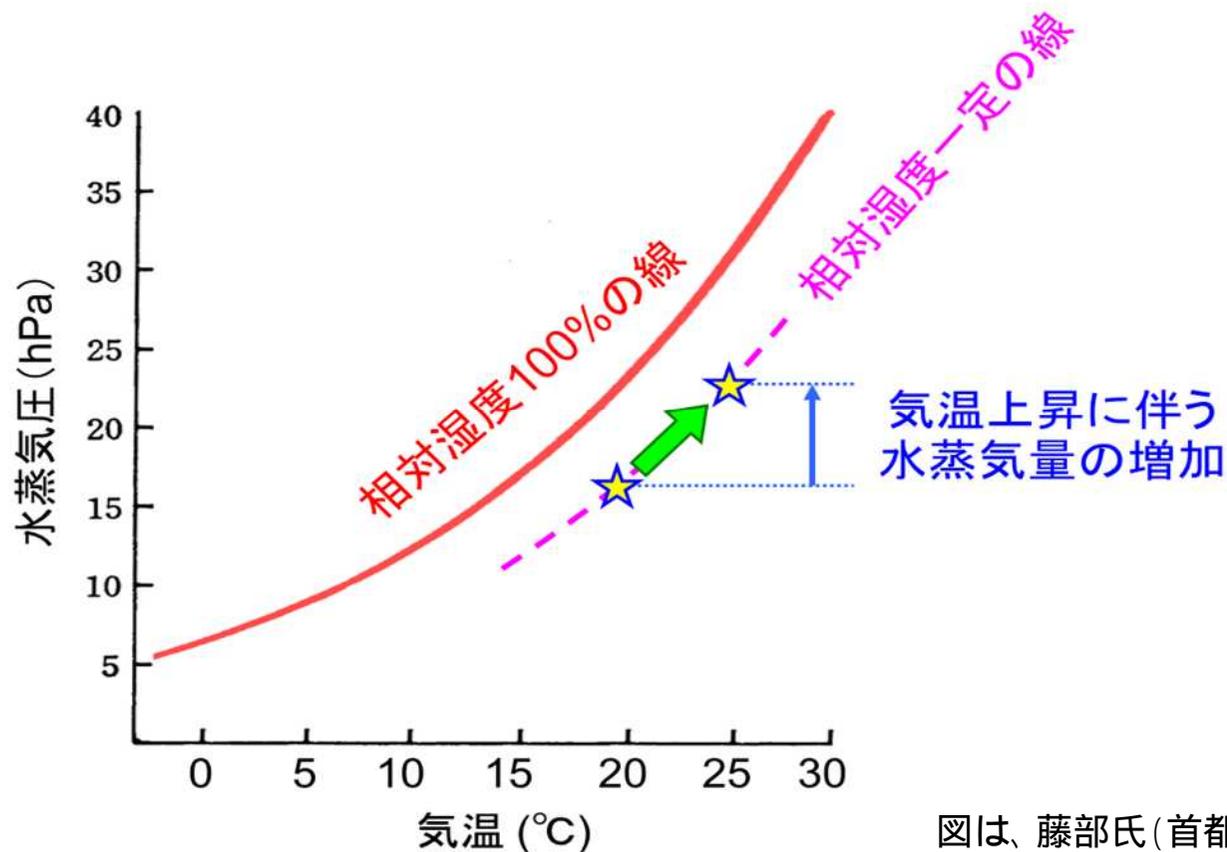
<備考> は測器の変更のあった年を示しており、両間では相対的にやや値が高めになっている可能性がある。

1: 信頼度水準99%で統計的に有意)

2: 稚内、札幌、秋田、輪島、館野、八丈島、潮岬、福岡、鹿児島、名瀬、石垣島、南大東島、父島の国内13高層観測地点

< キーワード > 気温が上がると極端な降水がより強く、 頻繁になる理由

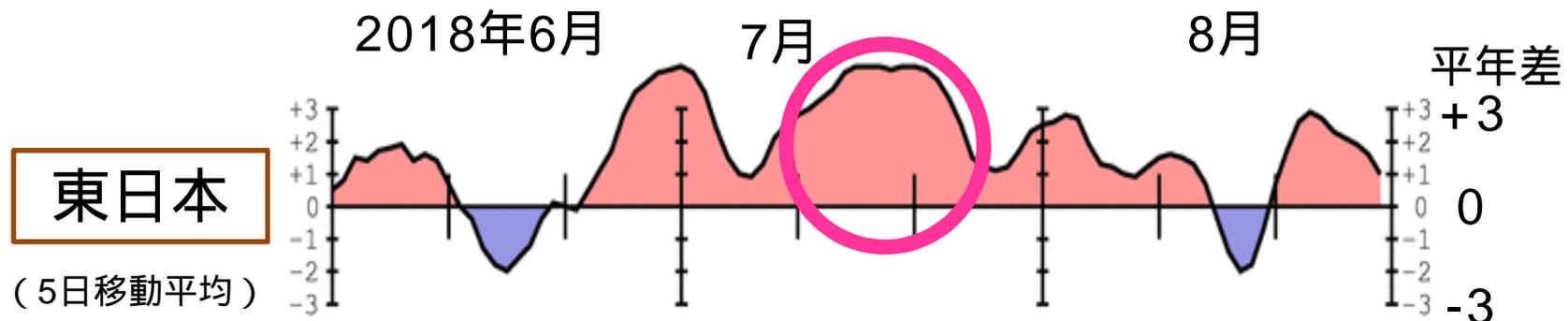
- 極端な降水は、大気中の水蒸気量と直結しています。
- 気温が1 上がると、空気が含むことのできる最大の**水蒸気量**（飽和水蒸気量）が約**7%増加**することが知られています。



地球温暖化が進んでも、相対湿度はあまり変わらないと考えられています。

目次

- はじめに
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の特徴
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の要因
 - 特に「7月中旬頃」に注目
- さいごに



東日本の7月、6~8月:高温位(1946年以降)

7月中旬頃の高温をもたらした要因

- (A) 日本付近が暖かい空気を伴った背の高い高気圧に覆われる
- (B) 強い下降気流 + 晴天の持続による強い日射に伴う昇温

- (ア) チベット高気圧が日本付近に張り出し
- (イ) 太平洋高気圧が日本付近に張り出し

上層の亜熱帯ジェット気流が持続的にかつ繰り返し大きく蛇行 (シクロードテレコネクション(シクロードパターン))

フィリピン付近の積雲対流活動が活発

- (モンスーン強化、太平洋高気圧本州付近に張り出し)
- (太平洋-日本 (PJ) パターン)

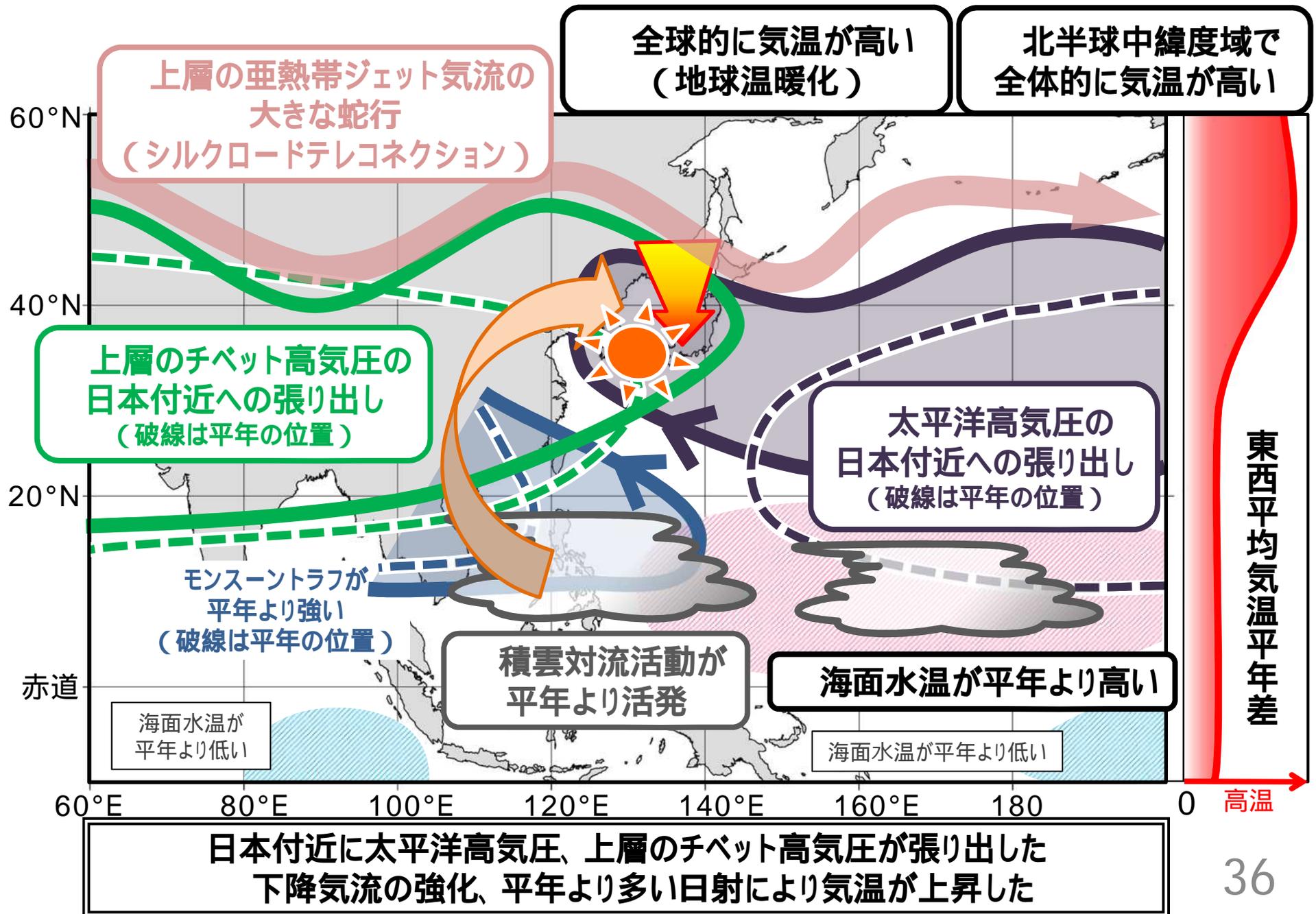
- 地球温暖化により、全球的に気温が高い。

- 特に北半球中緯度で全体的に気温が高い。

- ↑ 積雲対流活動が北半球側で活発

- ↑ 北半球側で海面水温高い

7月中旬頃の記録的な高温をもたらした大規模な大気の流れ

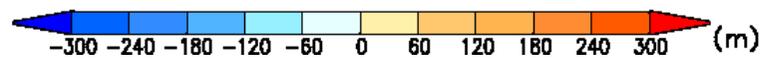
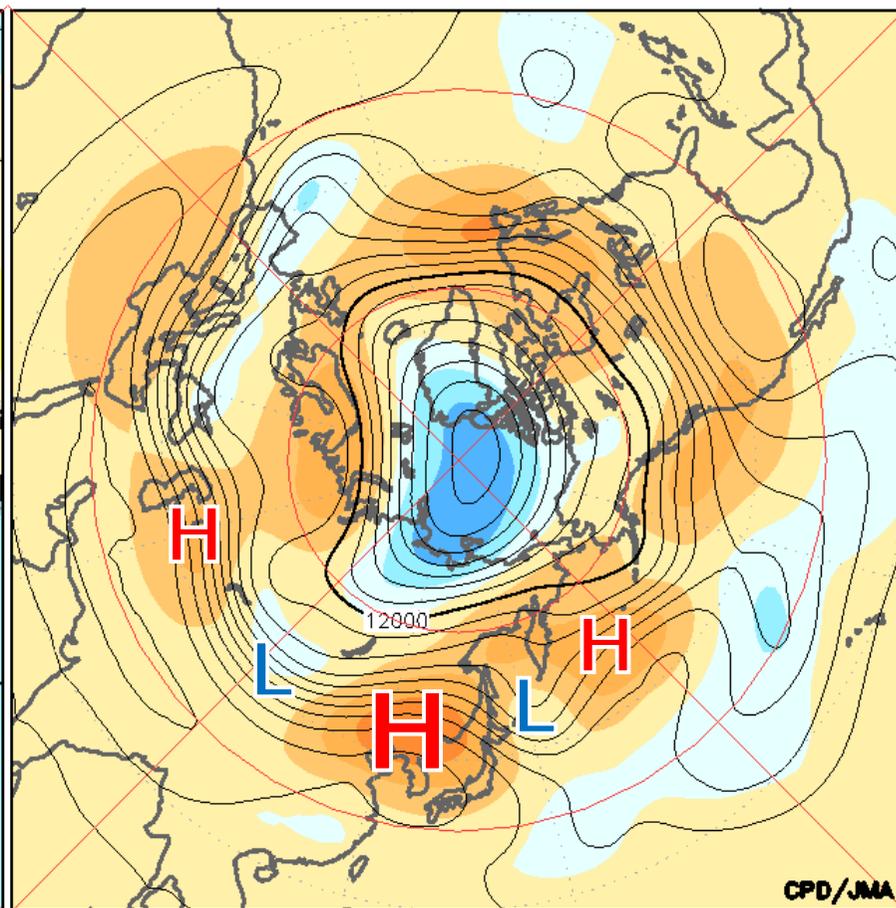
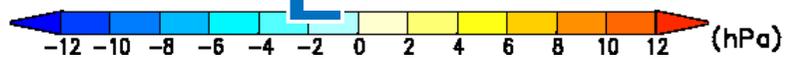
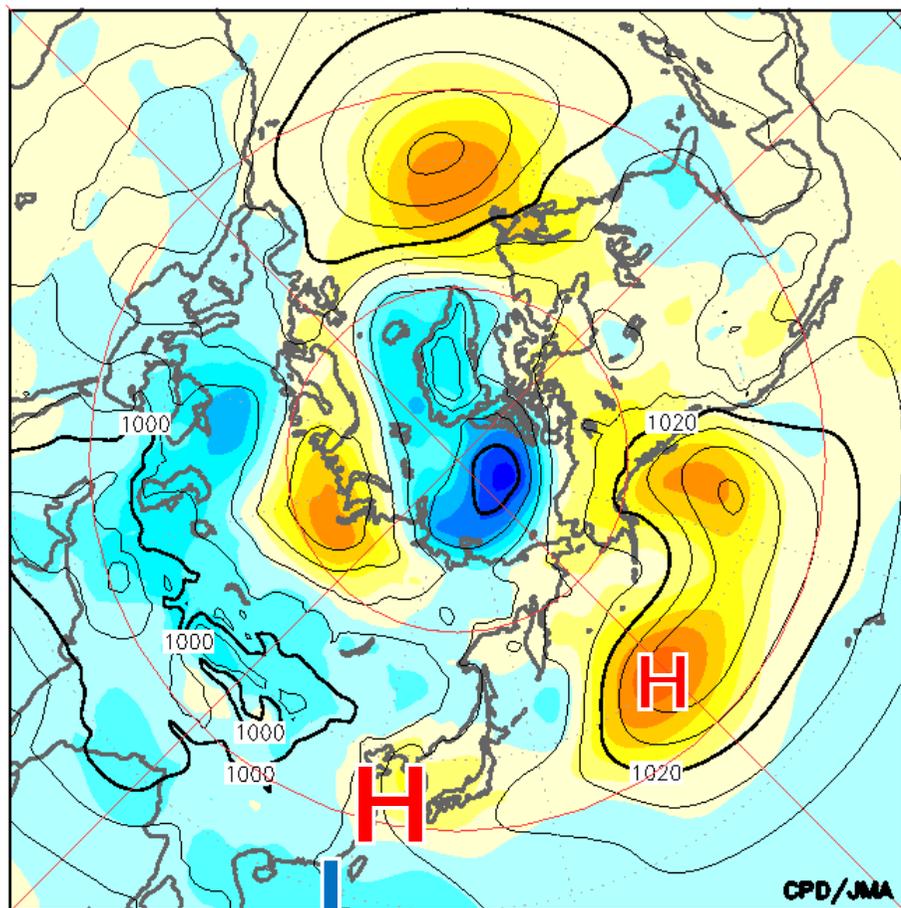


大規模な循環場の状況 (7/11~24 (14日平均))

・ JRA-55
・ 時刻はUTC

海面更正気圧と平年差 (hPa)

200hPa高度と平年差 (m)

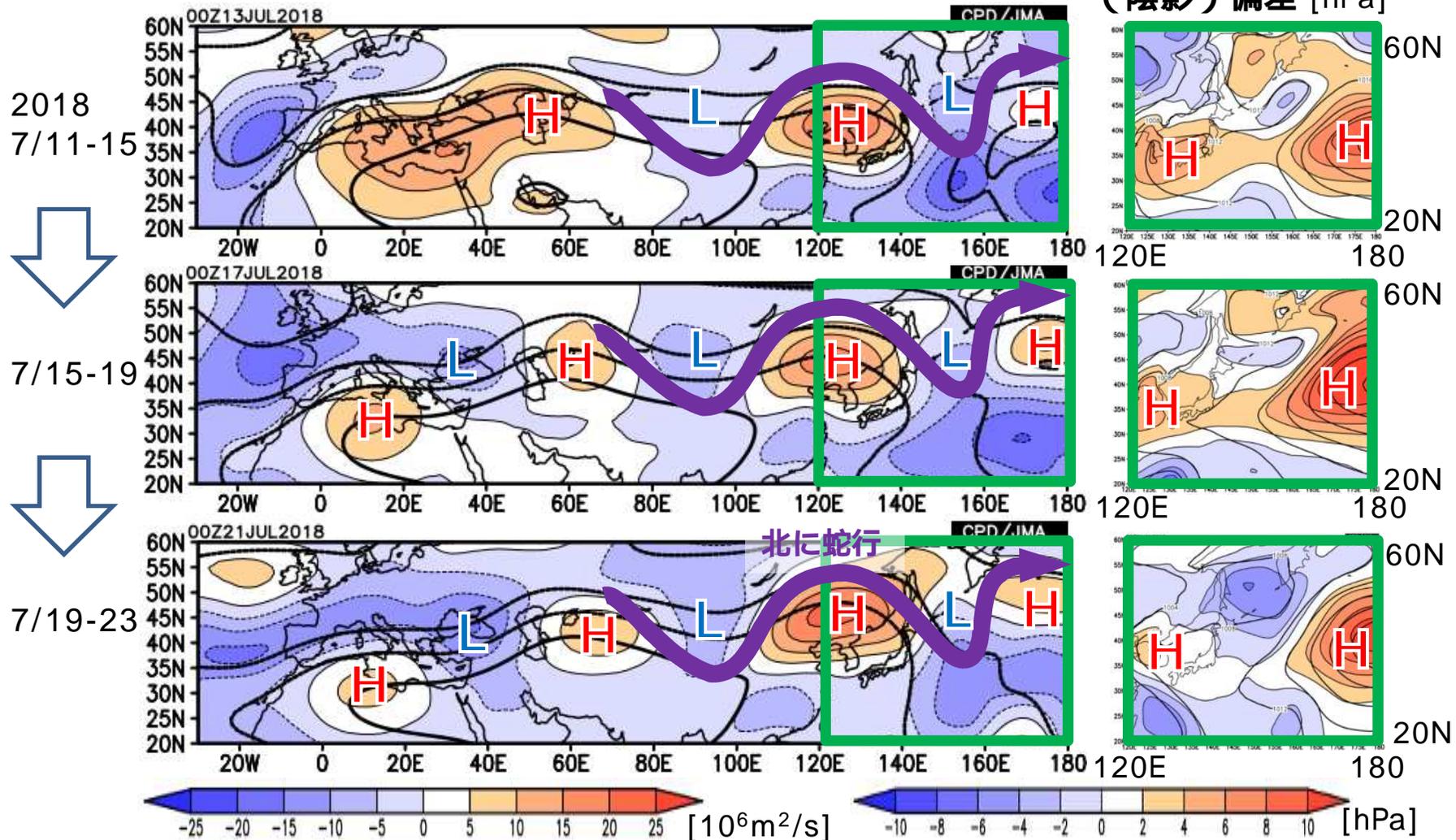


上層の亜熱帯ジェット気流の蛇行

- ユーラシア大陸上空の亜熱帯ジェット気流が蛇行。
- 亜熱帯ジェット気流の蛇行に伴って高気圧が日本付近に張り出し。

(線) 200hPa流線関数と(陰影) 偏差 [$10^6\text{m}^2/\text{s}$]

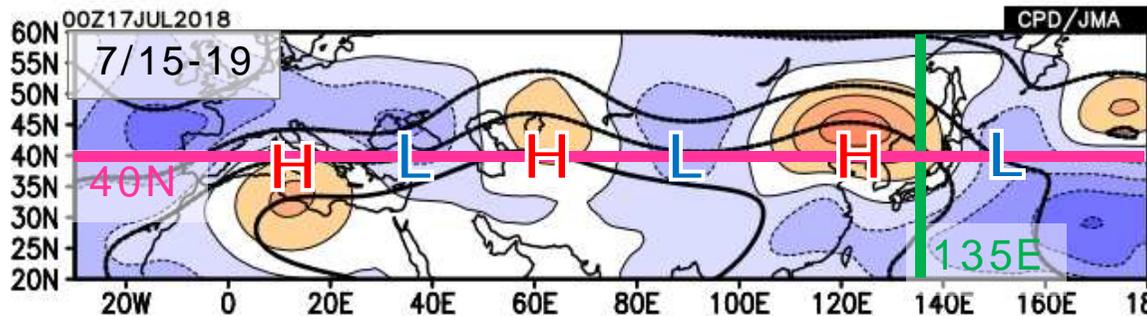
(線) 海面更正気圧と(陰影) 偏差 [hPa]



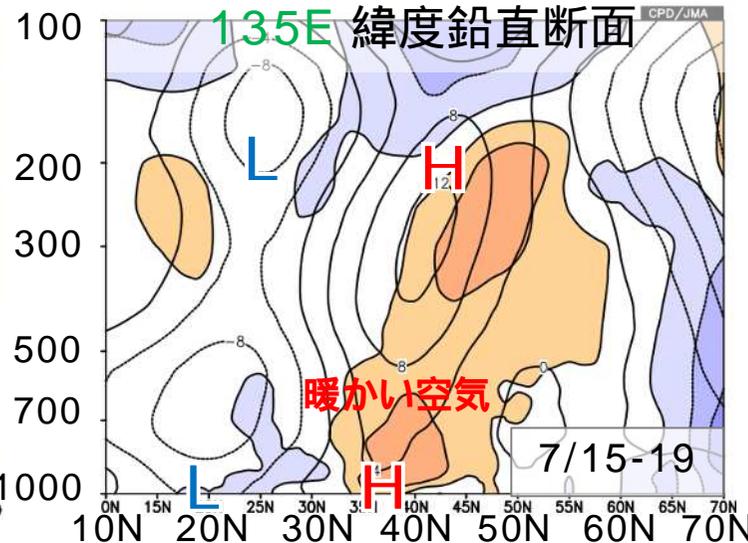
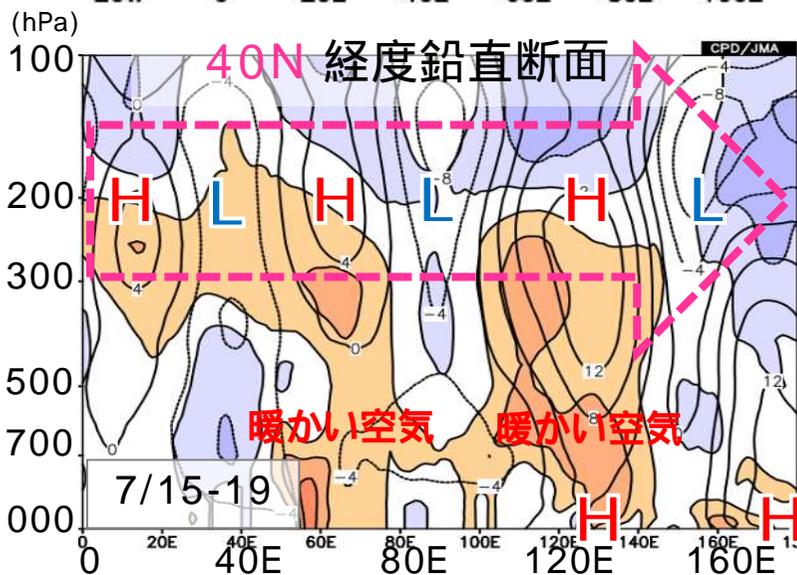
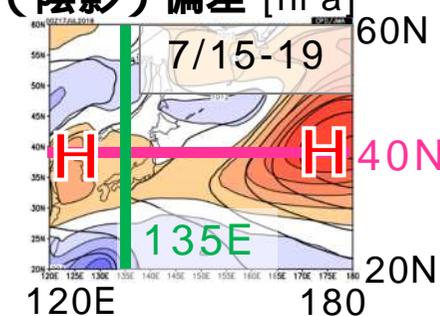
「持続的な」上空のジェット気流の蛇行 「ロスビー波」の伝播

- 基本的には「等価順圧」の構造 持続性が高い。
- 但し、日本付近では上層ほど北に傾く構造

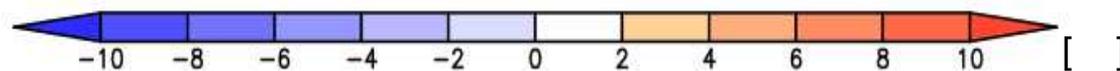
(線) 200hPa流線関数と(陰影) 偏差 [$10^6\text{m}^2/\text{s}$]



(線) 海面更正気圧と(陰影) 偏差 [hPa]



(線) 流線関数偏差 [$10^6\text{m}^2/\text{s}$]
(陰影) 気温偏差 []

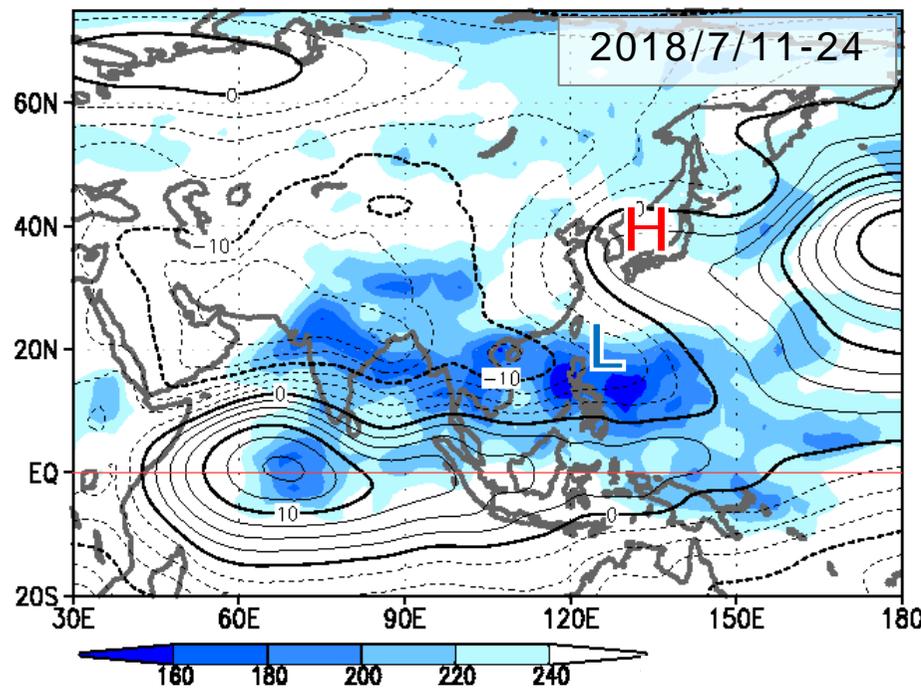


フィリピン付近の積雲対流活動の影響

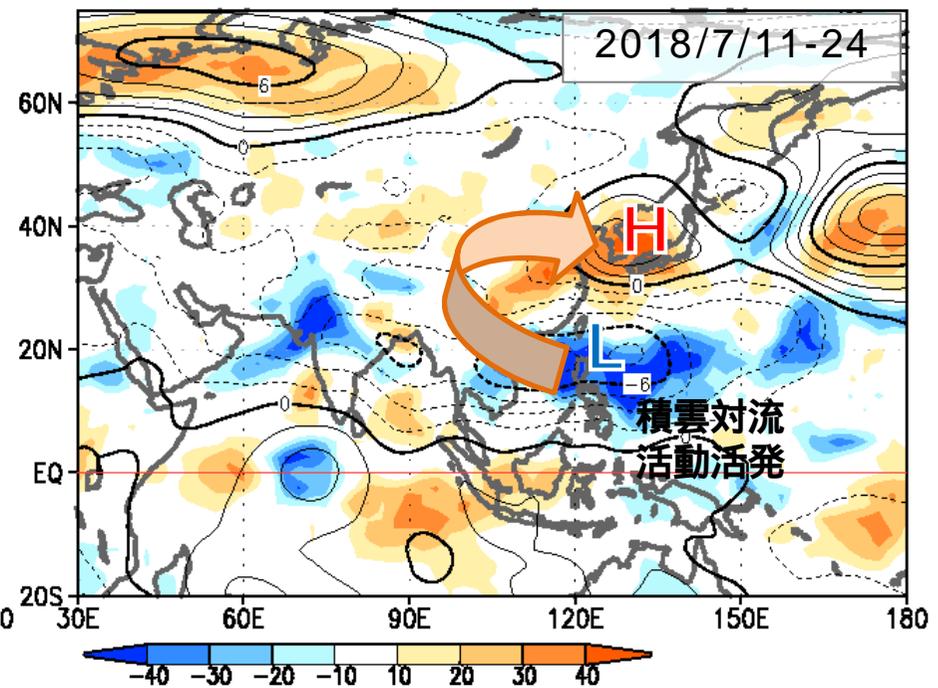
- フィリピン付近の積雲対流活動が活発、持続した。
 フィリピン付近で上昇流 日本付近で下降流
 東南アジア～フィリピン付近の大気下層の低圧部が強まる
 & 本州付近への太平洋高気圧の張り出しが強まる (PJAパターン)

(線) 850hPa流線関数 [$10^6\text{m}^2/\text{s}$]
 (陰影) OLR [W/m^2]

(線) 850hPa流線関数偏差 [$10^6\text{m}^2/\text{s}$]
 (陰影) OLR偏差 [W/m^2]



対流活発



平年より
対流活発

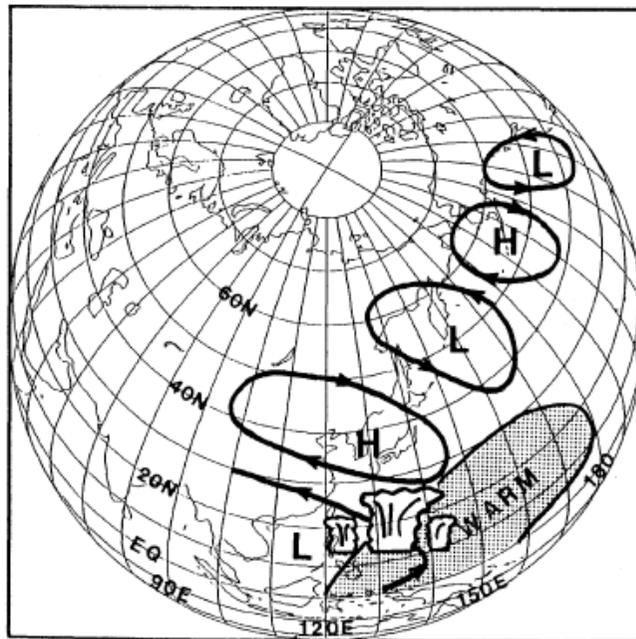
平年より
対流不活発

<キーワード> 太平洋-日本 (PJ) パターン

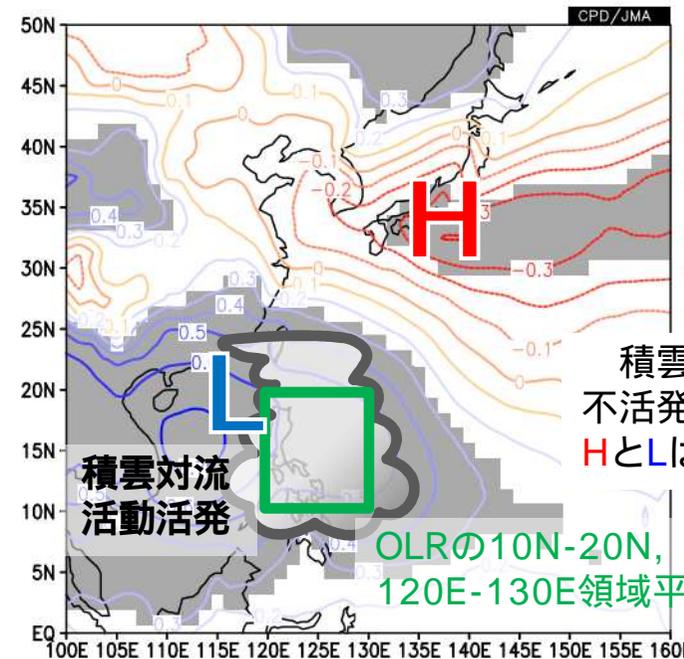
フィリピン付近の積雲対流活動が、

- **平年より活発** 大気下層では、日本の南海上で低圧部（モンスーン槽）が強まり、**本州付近に太平洋高気圧が張り出す。**
- **平年より不活発** 大気下層では、**太平洋高気圧が日本の南海上に張り出し、本州付近への張り出しが弱くなる。**

(Nitta 1986, 1987)



PJパターンの模式図
(Nitta 1987の Fig.18)



フィリピン付近の積雲対流活動と
SLPの関係(相関係数)
(8月:1979~2018年で統計)

7月中旬頃の高温をもたらした要因

- (A) 日本付近が暖かい空気を伴った背の高い高気圧に覆われる
- (B) 強い下降気流 + 晴天の持続による強い日射に伴う昇温

(ア) チベット高気圧が日本付近に張り出し

(イ) 太平洋高気圧が日本付近に張り出し

上層の亜熱帯ジェット気流が持続的にかつ繰り返し大きく蛇行 (シクロド・テレコネクション(シクロド・パターン))

フィリピン付近の積雲対流活動が活発

(モンスーン強化、太平洋高気圧本州付近に張り出し)

(太平洋-日本 (PJ) パターン)

- 地球温暖化により、全球的に気温が高い。

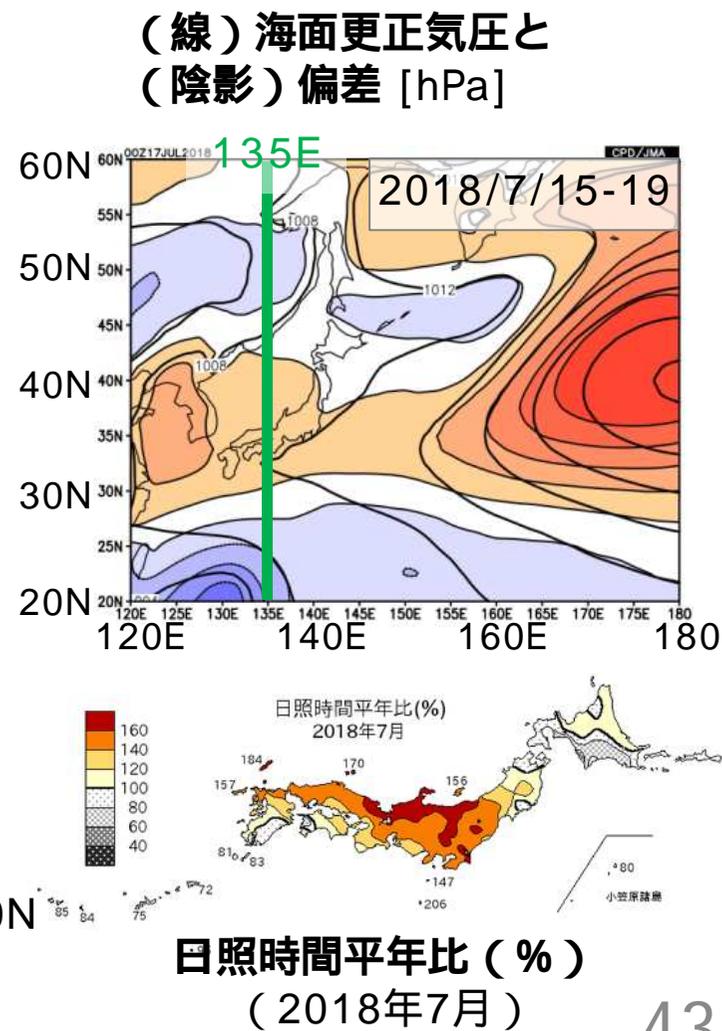
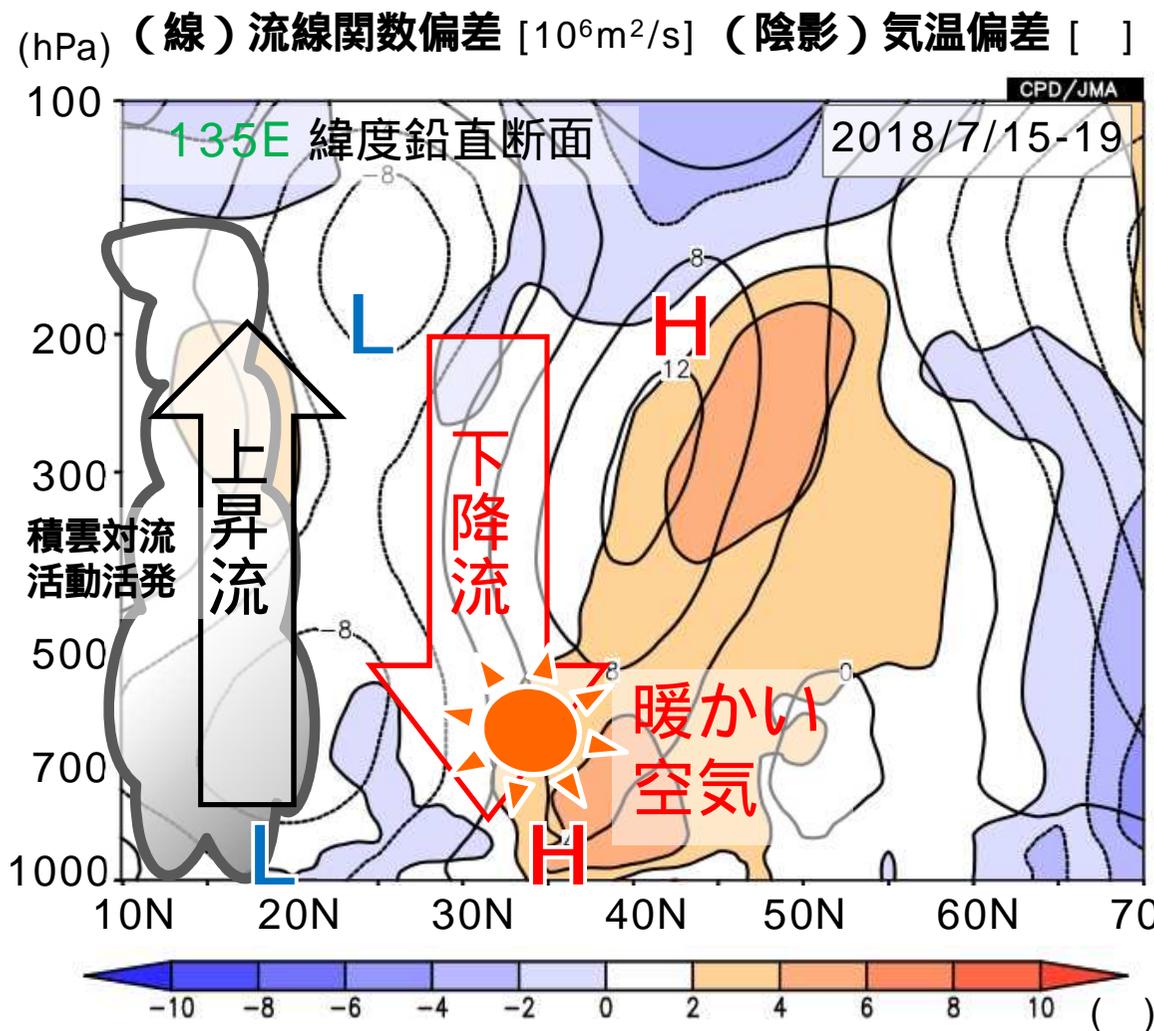
- 特に北半球中緯度で全体的に気温が高い。

↑ 積雲対流活動が北半球側で活発

↑ 北半球側で海面水温高い

亜熱帯ジェット気流の蛇行 + フィリピン付近の積雲対流活動の影響

- 日本付近が**暖かい空気**を伴った背の高い高気圧に覆われる
- 強い**下降気流** + 晴天の持続による**強い日射**に伴う**昇温**



7月中旬頃の高温をもたらした要因

- (A) 日本付近が暖かい空気を伴った背の高い高気圧に覆われる
- (B) 強い下降気流 + 晴天の持続による強い日射に伴う昇温

- (ア) チベット高気圧が日本付近に張り出し
- (イ) 太平洋高気圧が日本付近に張り出し

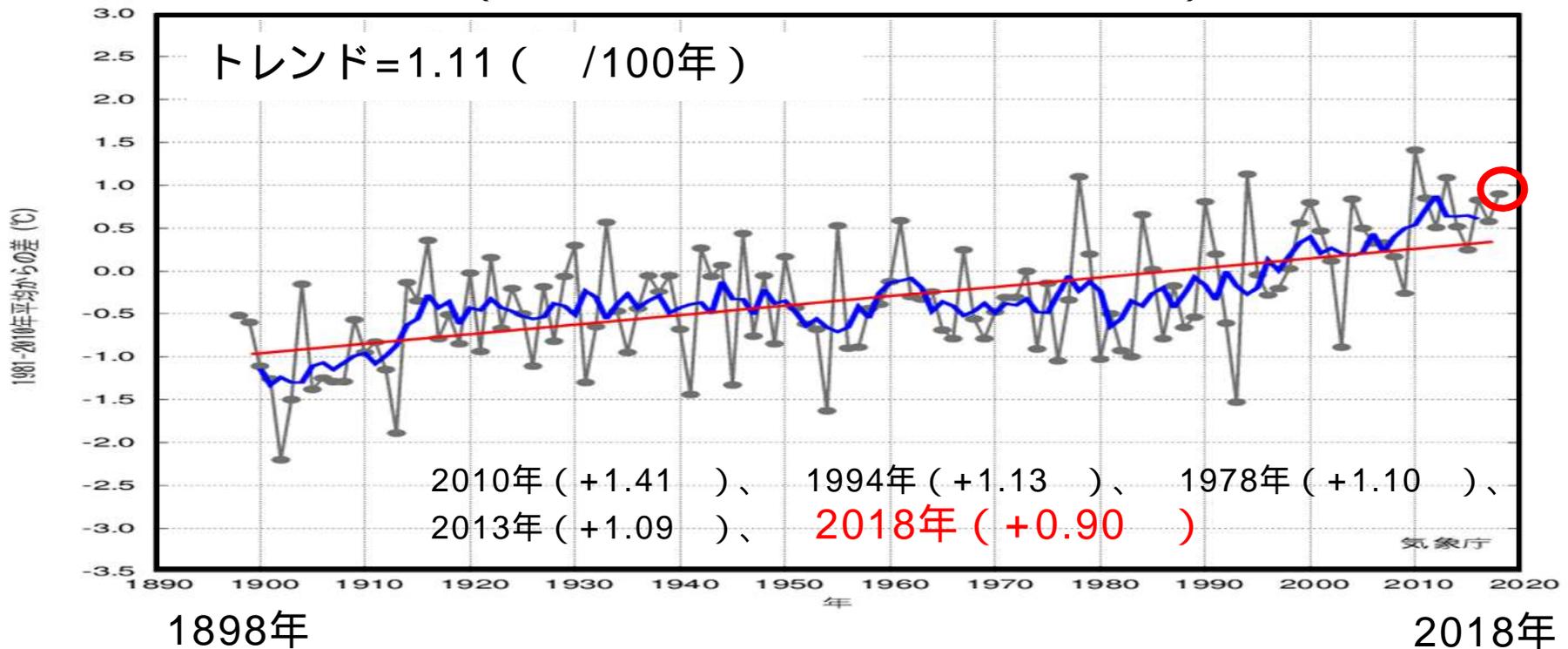
上層の亜熱帯ジェット気流が持続的にかつ繰り返し大きく蛇行 (シクロードテレコネクション(シクロードパターン))
フィリピン付近の積雲対流活動が活発
(モンスーン強化、太平洋高気圧本州付近に張り出し)
(太平洋-日本 (PJ) パターン)

- 地球温暖化により、全球的に気温が高い。
- 特に北半球中緯度で全体的に気温が高い。
 - ← 積雲対流活動が北半球側で活発
 - ← 北半球側で海面水温高い

地球温暖化の寄与

- 長期的には地球温暖化に伴う全球的な気温の上昇傾向が続いている。

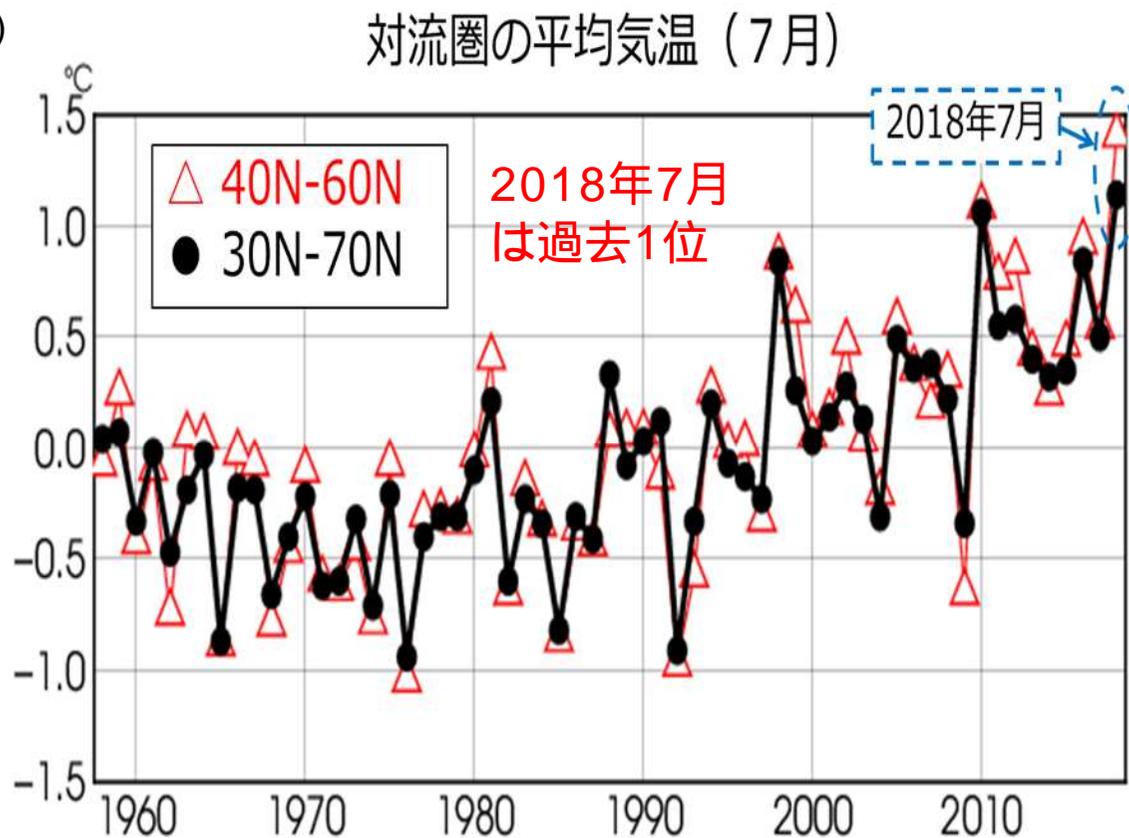
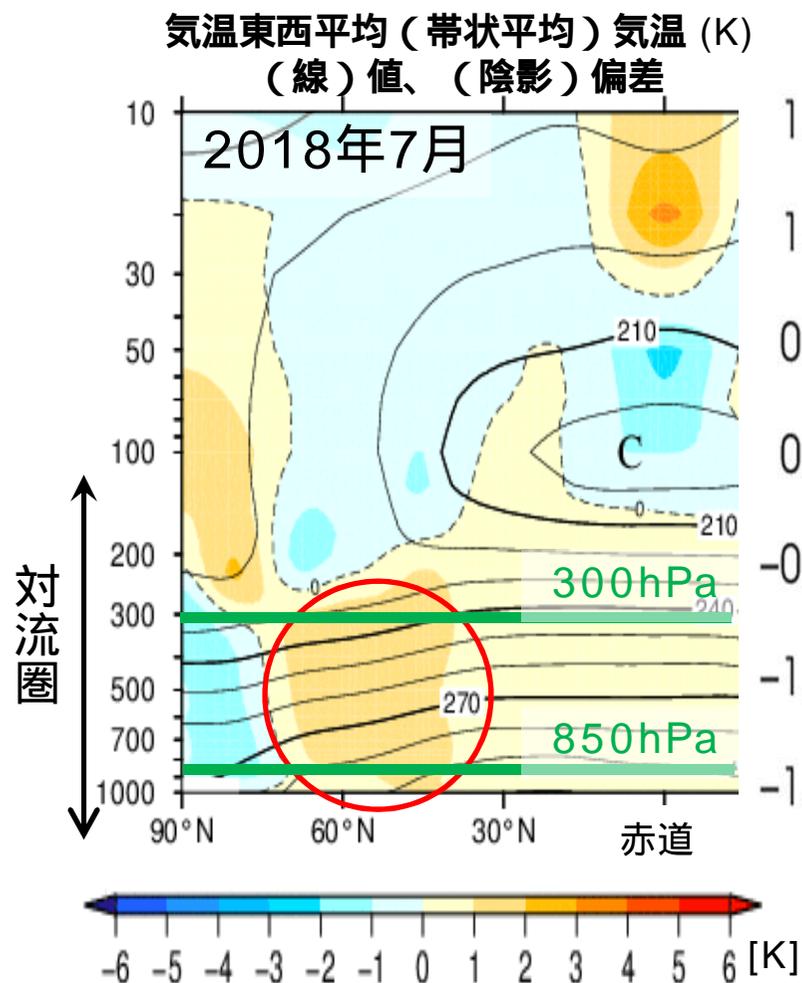
日本の夏季（6～8月）の平均気温平年差（1898～2018年）
（1981～2010年の30年平均からの差）



1898年以降観測を継続している気象観測所のうち、以下の15地点の月平均気温データに基づく。
網走，根室，寿都（すつつ），山形，石巻，伏木（高岡市），飯田，銚子，境，浜田，
彦根，宮崎，多度津，名瀬，石垣島

北半球中緯度域の対流圏の気温

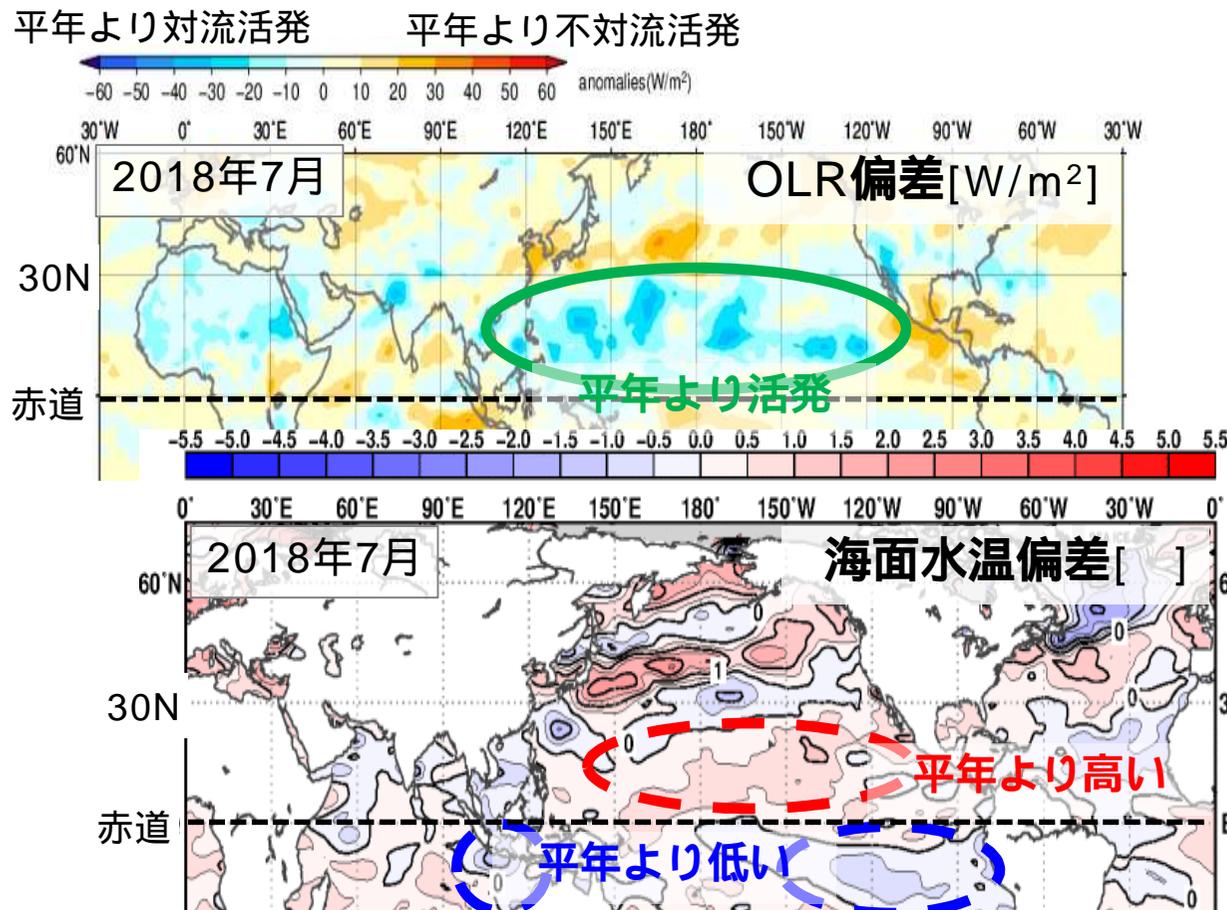
- 北半球中緯度域で全体的に対流圏の気温が著しく高かった。この傾向は今年の春から続いており、7月頃がピークだった。日本の記録的な高温における気温上昇を更に底上げした。



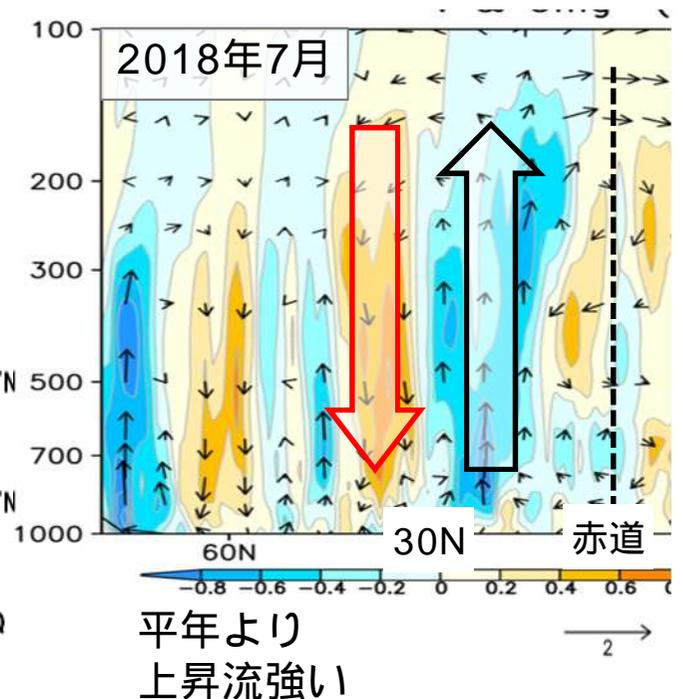
対流圏の平均気温 = 「層厚換算温度」
(2つの等圧面 (300hPa面と850hPa面)
の間の気層の平均気温で評価。

北半球中緯度域の対流圏の気温が高かった要因

- 積雲対流活動が北半球側の広い範囲で平年と比べて活発だった。
- この活発な積雲対流活動には、熱帯付近の海面水温が平年と比べて北半球側で高く、南半球側で低いことが影響した可能性がある。

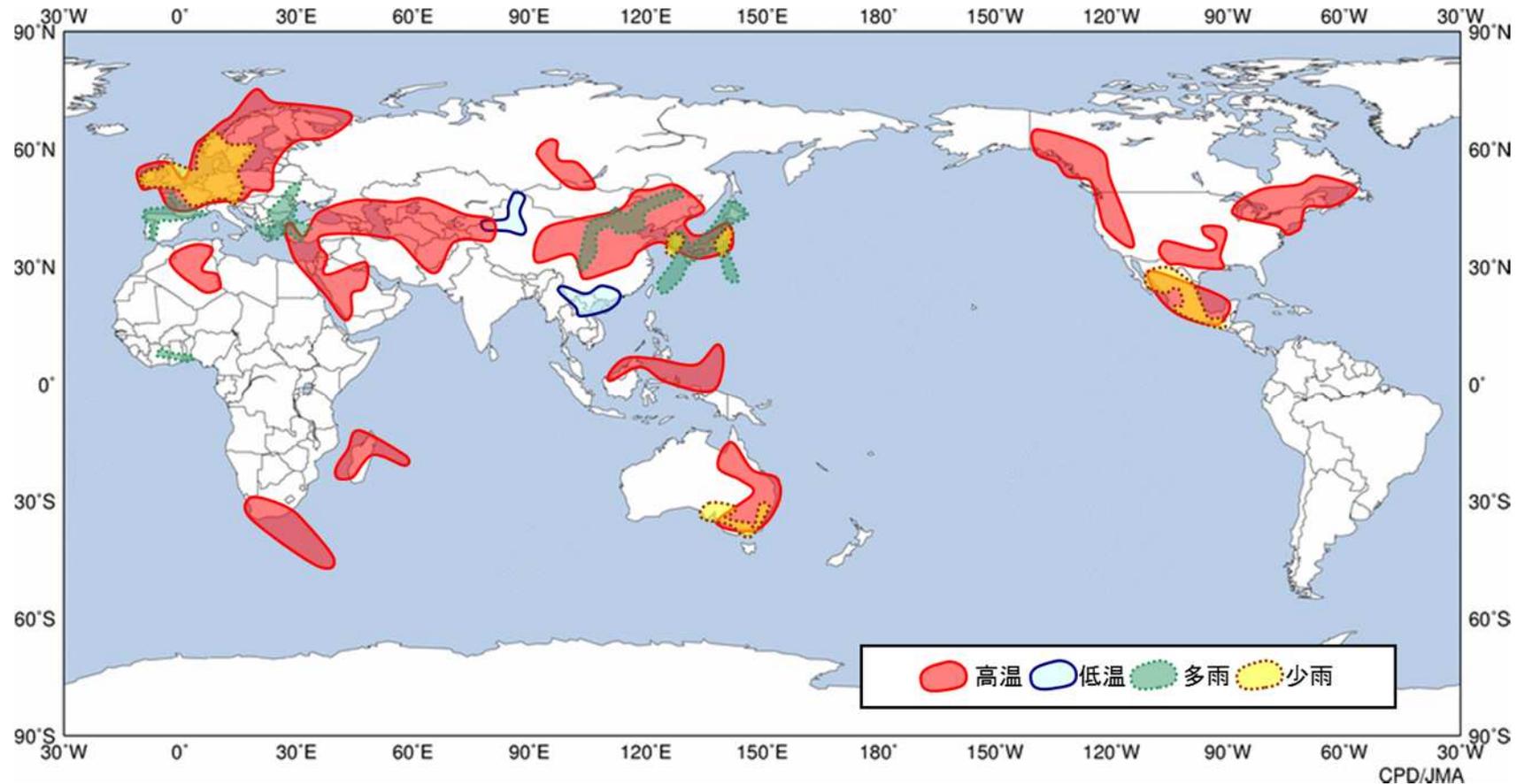


(矢印) 帯状平均南北風・鉛直風偏差
(m/s, Pa/s)
(陰影) 帯状平均鉛直風偏差(K/day)



2018年7月の世界の異常気象分布

- 2018年7月は世界各地で猛暑を含む極端な気象現象が発生した。

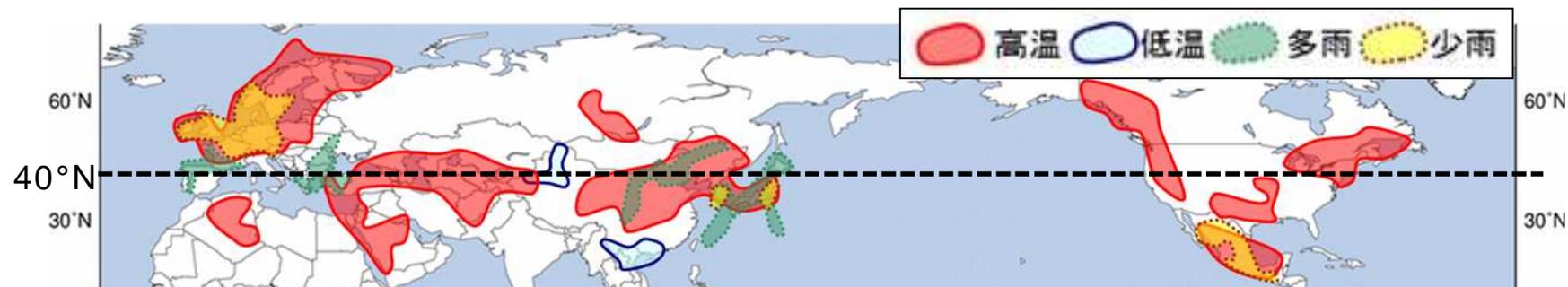
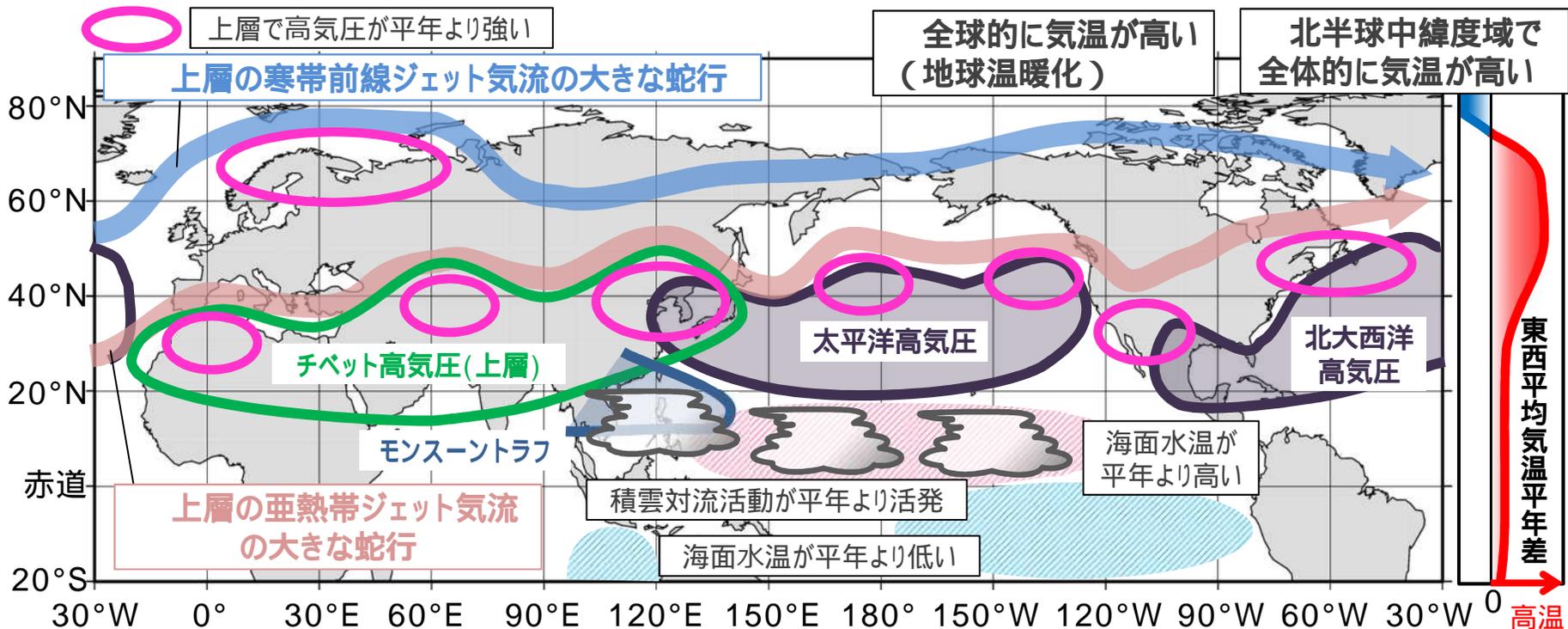


2018年7月の世界の異常気象分布

2018年7月を対象とした「全球異常気象監視速報」（毎週水曜日に発表）から、「異常高温、異常低温、異常多雨及び異常少雨」を重ね合わせて作成。

7月に北半球の各地に高温をもたらした大規模な大気の流れ

- ジェット気流の蛇行、地球温暖化の影響、北半球中緯度で対流圏の気温が全体的に顕著に高かったことの影響により、**北半球の各地でも極端な高温が発生した。**



目次

- はじめに
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の特徴
- 「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の高温の要因
- **さいごに**

本日の講演の「鍵」

- 異常気象を理解するためには、様々な時間・空間スケールの気象現象に注目する必要があります。
- 持続的な異常気象の発生には「気候システム」の揺らぎ（変動）が影響します。
- 偏西風の蛇行に関連して、以下の<キーワード>について、理解を深めていただければと思います。
偏西風の蛇行を「ロスビー波」の伝播として理解する。
「テレコネクション」：日本から離れたところの影響も。
夏季の日本の天候に影響する現象
「シルクロードテレコネクション」
(シルクロードパターン)
「太平洋-日本(PJ)パターン」

参考文献、リンク

- 平成30年8月10日気象庁報道発表資料:「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について
<https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.html>
- 同英語版 (Tokyo Climate Center (TCC) ホームページ内)
https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/press_20180822.pdf
- 季節予報研修テキスト
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kisetutext/kisetutext.html>
 - 特に「平成24年度季節予報研修テキスト: 季節予報作業指針～基礎から実践まで～」
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kisetutext/25/all.pdf>
- 気候変動監視レポート
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/index.html>
- 異常気象レポート2014
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/
- Nitta, T., 1987: Convective Activities in the Tropical Western Pacific and Their Impact on the Northern Hemisphere Summer Circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 373-390.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj1965/65/3/65_3_373/_article
- 榎本, 2005: 盛夏期における小笠原高気圧の形成メカニズム. *天気*, 52, 523-531.
https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2005/2005_07_0523.pdf
- 小坂, 2011: シルクロードパターン再考. *天気*, 58, 519-531.
https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2011/2011_06_0039.pdf