

# 気候変動に伴う日本の降積雪の長期変化

2026年1月20日  
CPSセミナー@神戸大学

川瀬宏明

気象庁気象研究所 応用気象研究部

# 自己紹介

## 川瀬 宏明 (かわせ ひろあき)

生まれ：1980年三重県松阪市

職場：気象庁 気象研究所

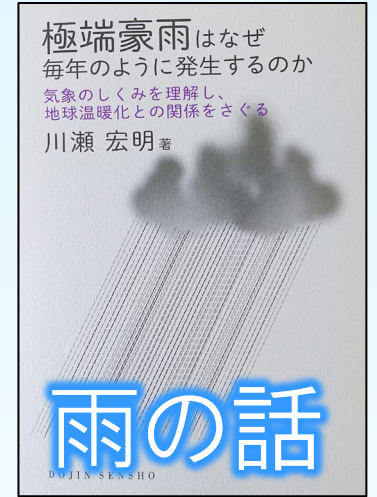
資格：気象予報士、博士（理学）

研究：地域気候モデルを用いた気候変動予測研究

略歴： 1999年～ 筑波大学 自然学類  
2003年～ 筑波大学大学院 生命環境科学研究科  
2007年～ 海洋研究開発機構 特任研究員  
2009年～ 国立環境研究所 特別研究員  
2011年～ 海洋研究開発機構 研究員  
2014年～ 気象庁気象研究所 環境・応用気象研部 研究官  
2017年～ 気象庁気象研究所 応用気象研部 主任研究官  
2025年～ 気象庁気象研究所 応用気象研究部 室長



(2019年)



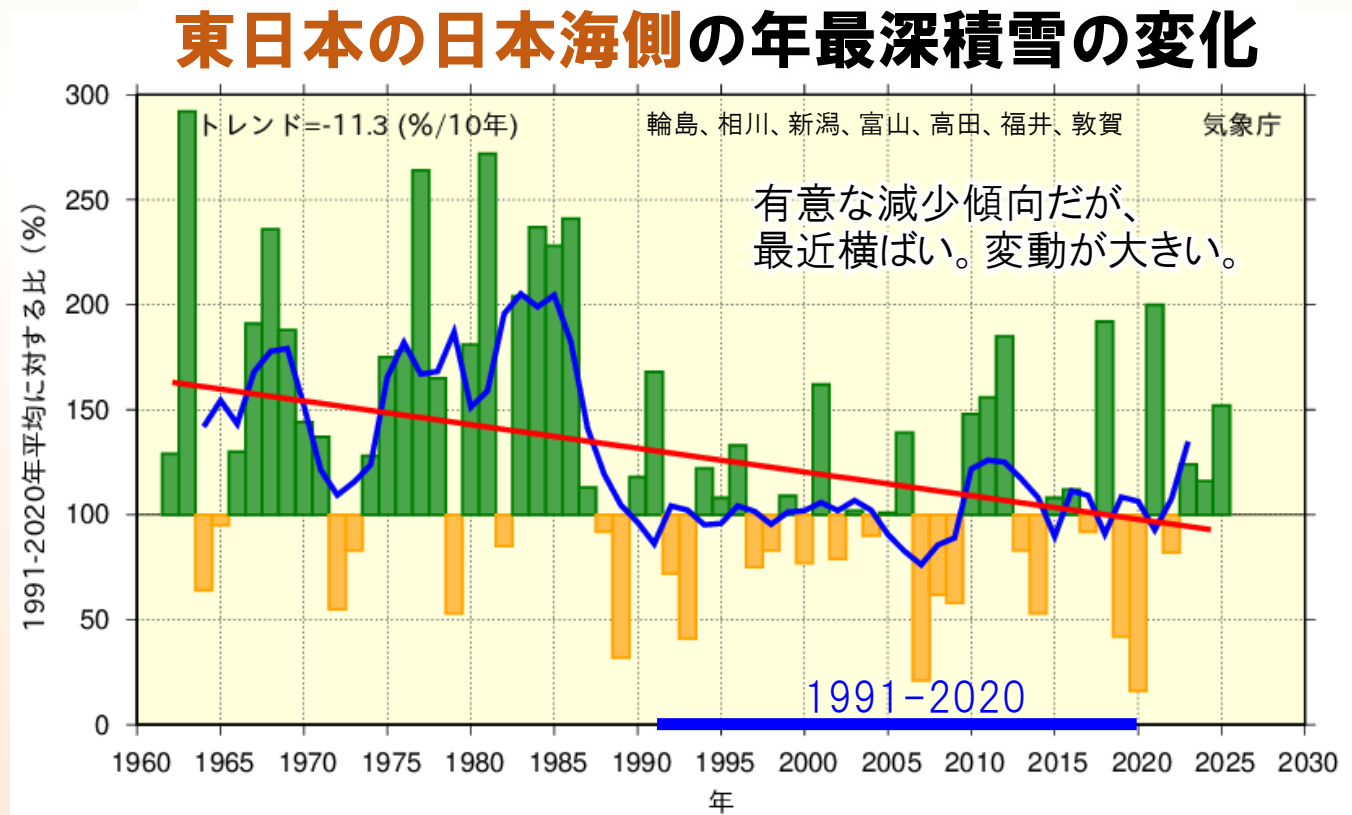
(2021年)

# 本日の内容

1. 近年の温暖化と日本の雪の変化
2. 日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) の長期変化
3. 日本の雪の将来変化
4. 近年の極端な大雪と地球温暖化の関係～イベント・アトリビューション～

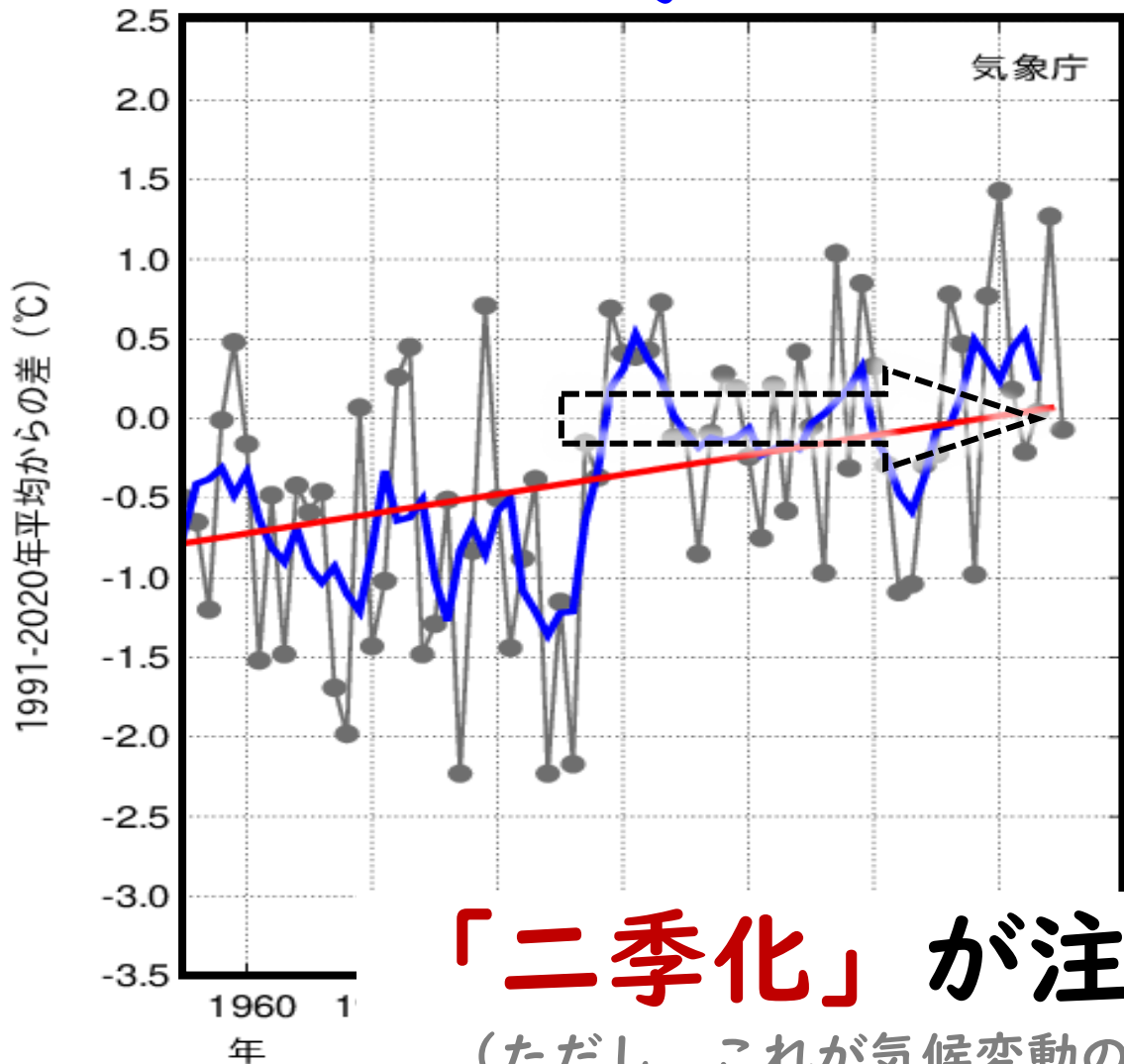
# 背景

- 地球温暖化の進行により、世界的に降雪・積雪は減少傾向  
(IPCC, 2019; 2021)
- 日本でも最深積雪は減少傾向。

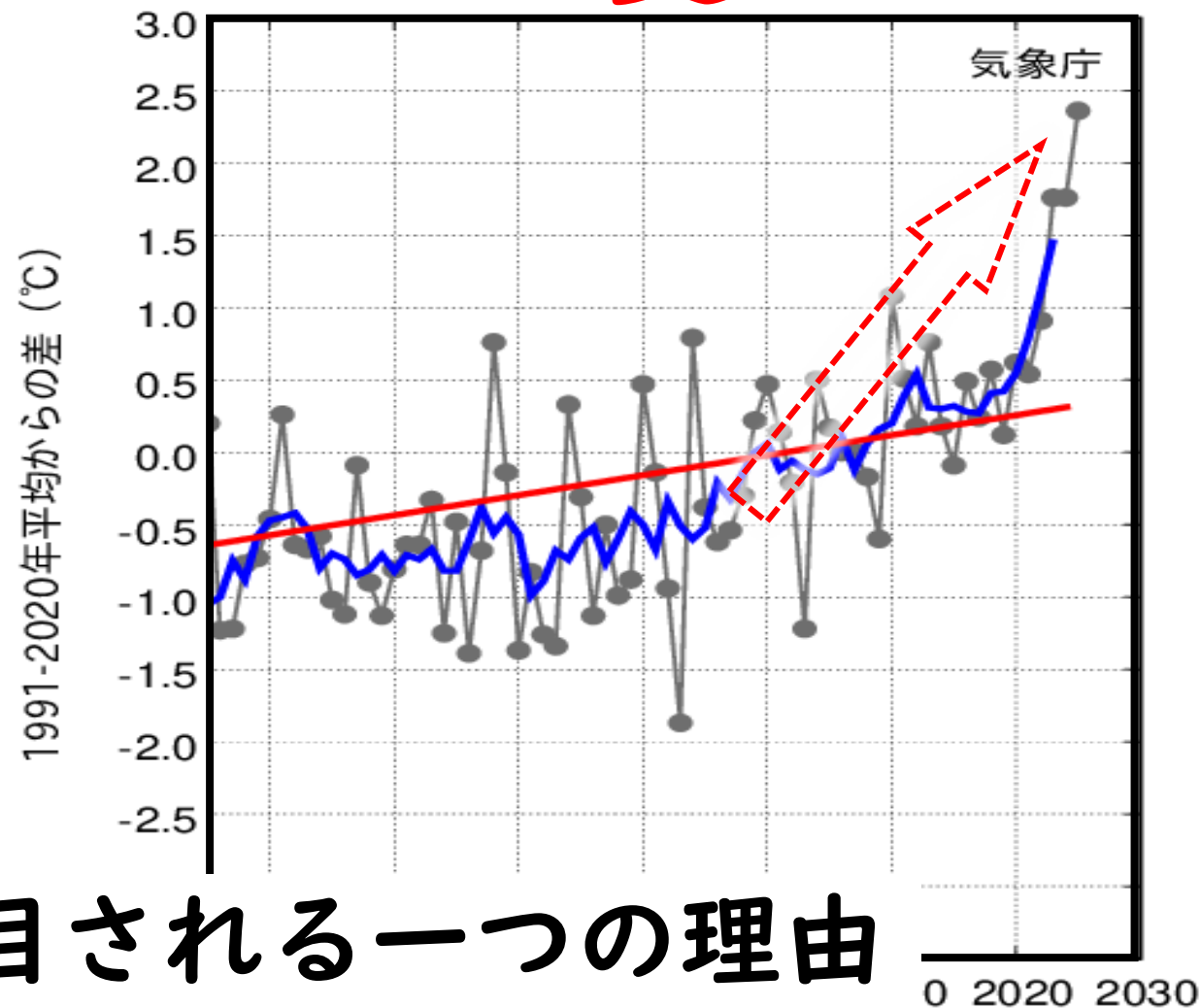


# 近年の日本の平均気温の変化

日本の **冬** の気温



日本の **夏** の気温



**「二季化」** が注目される一つの理由

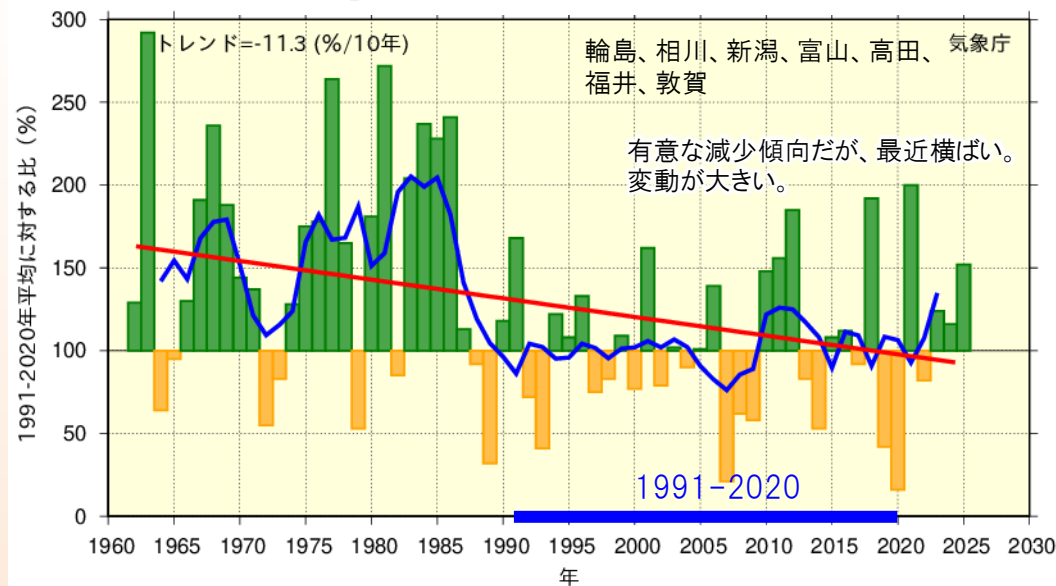
(ただし、これが気候変動のシグナルかどうかは現時点では不明)

# 背景

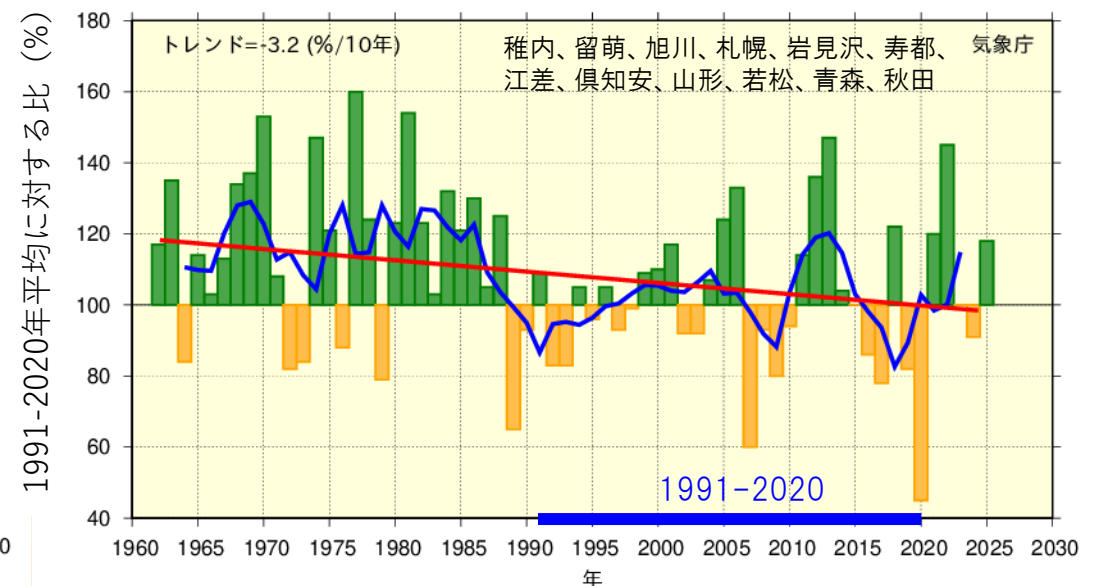
- 地球温暖化の進行により、**世界的に降雪・積雪は減少傾向**  
(IPCC, 2019; 2021)
- 日本でも最深積雪は減少傾向。ただし、長期間のモニタリングは平野の地点に限られる(気象庁)

## 日本の年最深積雪の変化

### 東日本の日本海側



### 北日本の日本海側



# 背景

- 地球温暖化の進行により、**世界的に降雪・積雪は減少傾向**  
(IPCC, 2019; 2021)
- 日本でも最深積雪は減少傾向。ただし、長期間のモニタリングは平野の地点に限られる(気象庁)
- 山岳域を含む日本の降雪・積雪変化を知るためには、**高分解能の降雪・降雪のシミュレーション**が必要
- 一方、温暖化が進行すると、**北陸の内陸部や北海道で短時間に降る大雪が増加**すると予測(Kawase et al. 2016; Sasai et al. 2019; Inatsu et al. 2021)。実際、近年、**日本海側を中心に災害を伴う大雪がたびたび発生**  
(2017/18年冬季、2021/22年冬季(札幌で3度大雪)、2025年冬季)

→地域気候モデル(気象モデル)を用いて、過去から現在、将来にかけての日本の降雪・積雪、日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)の長期変化に関する研究を実施

# 地域気候モデルを用いた全国5kmシミュレーション

Kawase et al. (2023, PEPS)

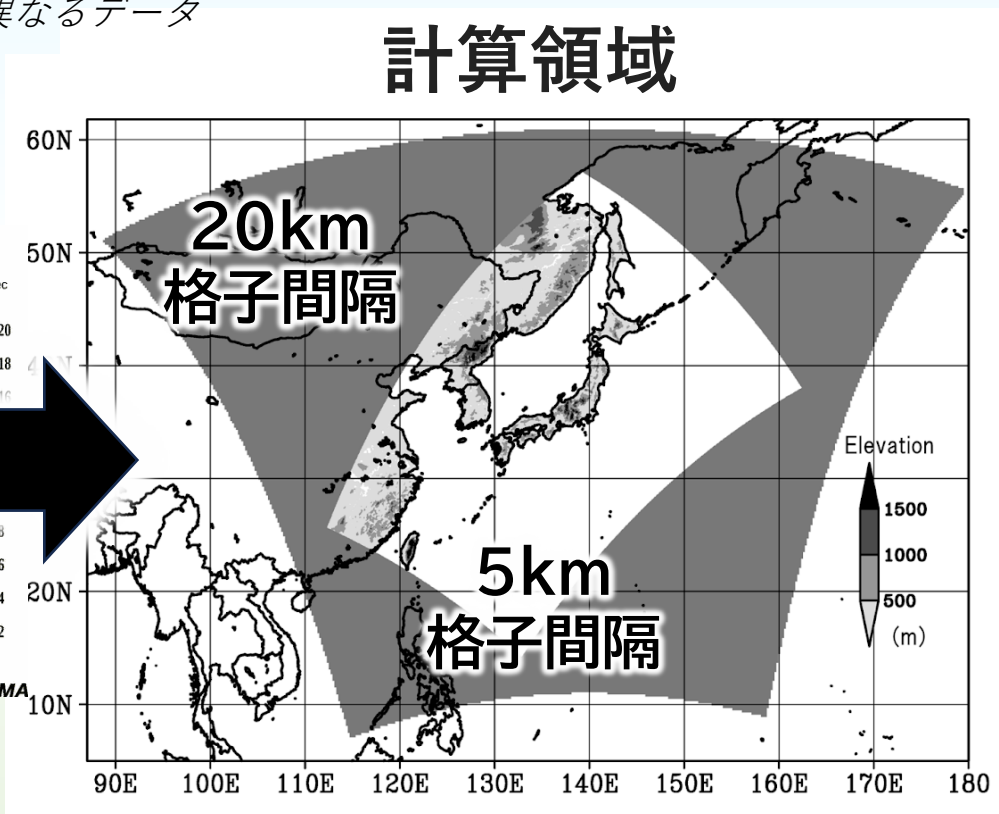
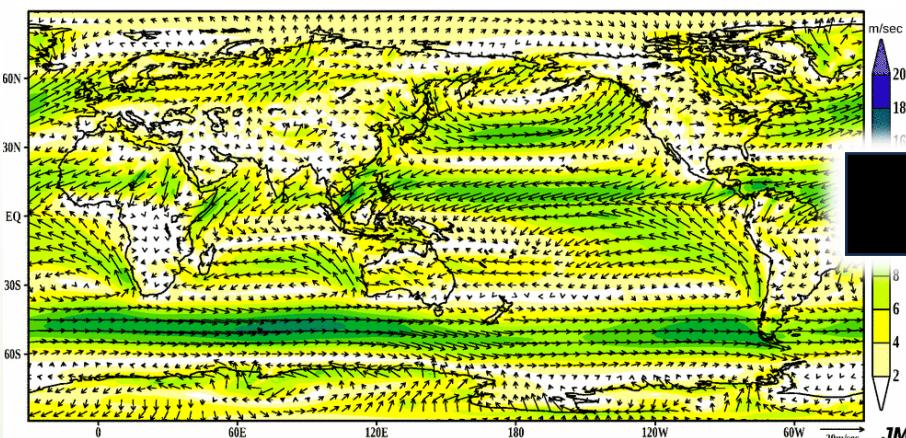
## RCDSJRA-55

Regional climate downscaling using JRA-55

(JRA-55からの5kmダウンスケーリングデータ)

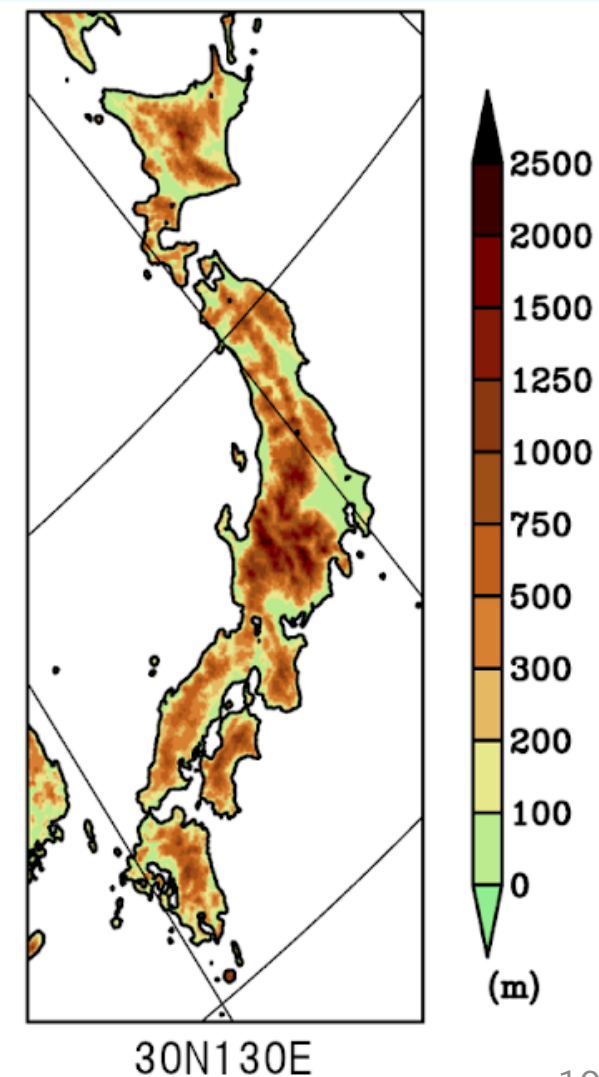
※DSJRA-55や領域再解析 (RRJ-Conv) とは異なるデータ

### 気象庁55年長期再解析 (JRA-55)



カ学ダウンスケーリング  
(日本付近を詳細に計算)

### 5km格子間隔の地形



# 地域気候モデルを用いた全国5kmシミュレーション

Kawase et al. (2023, PEPS)

## RCDSJRA-55

Regional climate downscaling using JRA-55

(JRA-55からの5kmダウンスケーリングデータ)

※DSJRA-55や領域再解析 (RRJ-Conv) とは異なるデータ

領域モデル: NHRCM (Sasaki et al. 2008)

初期値・境界値: JRA-55 (Kobayashi et al. 2015)

格子間隔: 20km → 5km (One-way 2段ネスト)

陸面過程: Improved MJ-SiB (iSiB) [積雪4層]

境界層: MYNN Level 2.5 (Nakanishi and Niino 2004)

積雲対流: KF scheme (Kain and Fritsch 1990; Nakano et al., 2012)

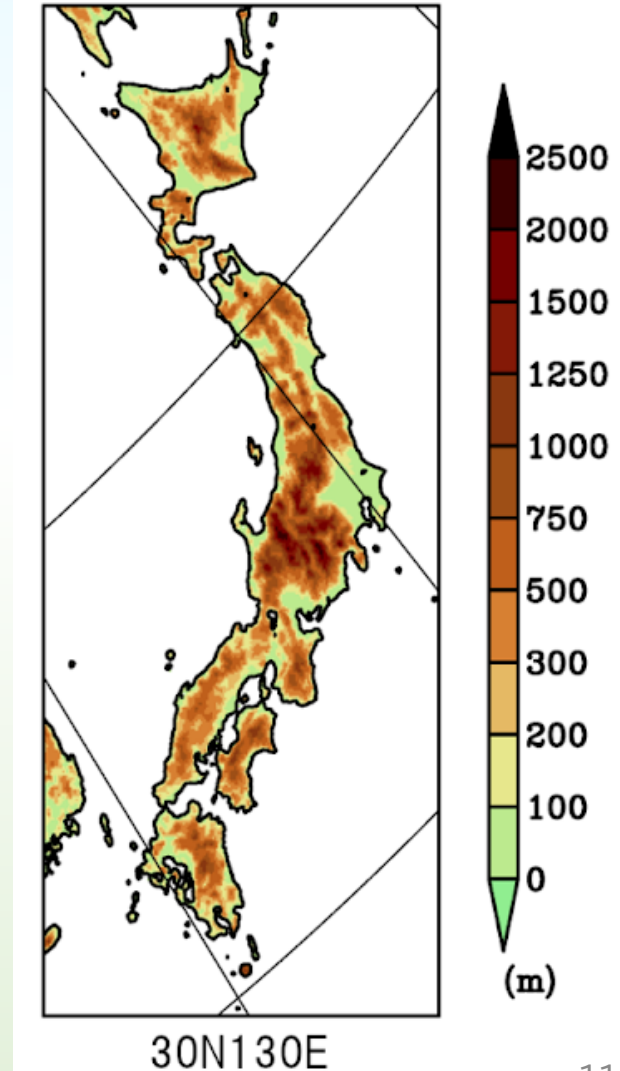
計算期間: 1958年7月～2021年8月 [-2022年8月]

積分方法: 各年7月20日 [20km] (21日 [5km]) から開始, 翌年の8月末まで計算.

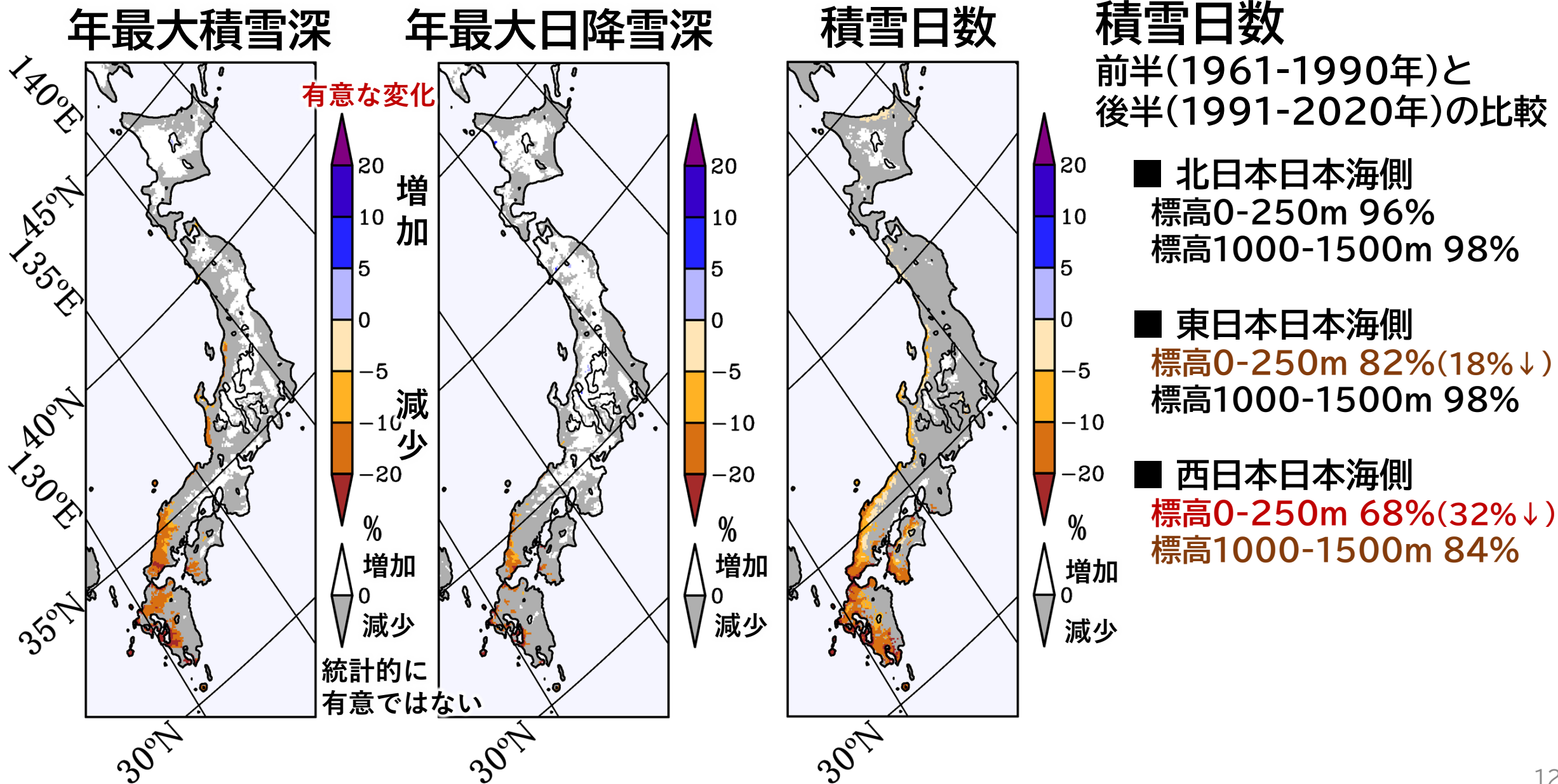
最初の8月末まではスピンアップ期間.

*Kawase et al. (2023, PEPS), Historical regional climate changes in Japan in winter as assessed by a 5-km regional climate model with a land surface process,*

## 5km格子間隔の地形

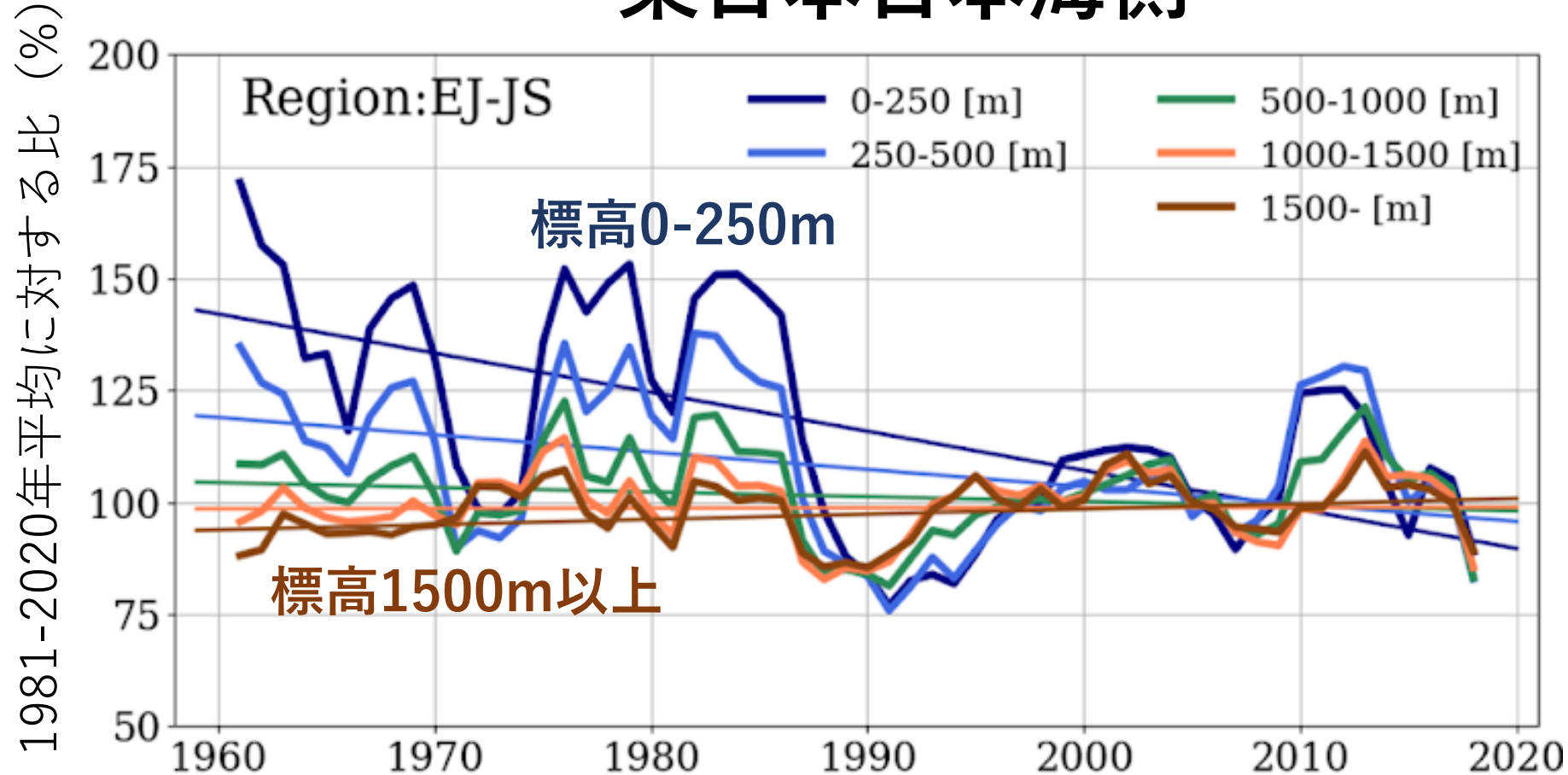


# 過去の雪の長期変化傾向 [1959~2020年]



# 年最大積雪深の変化（東日本）

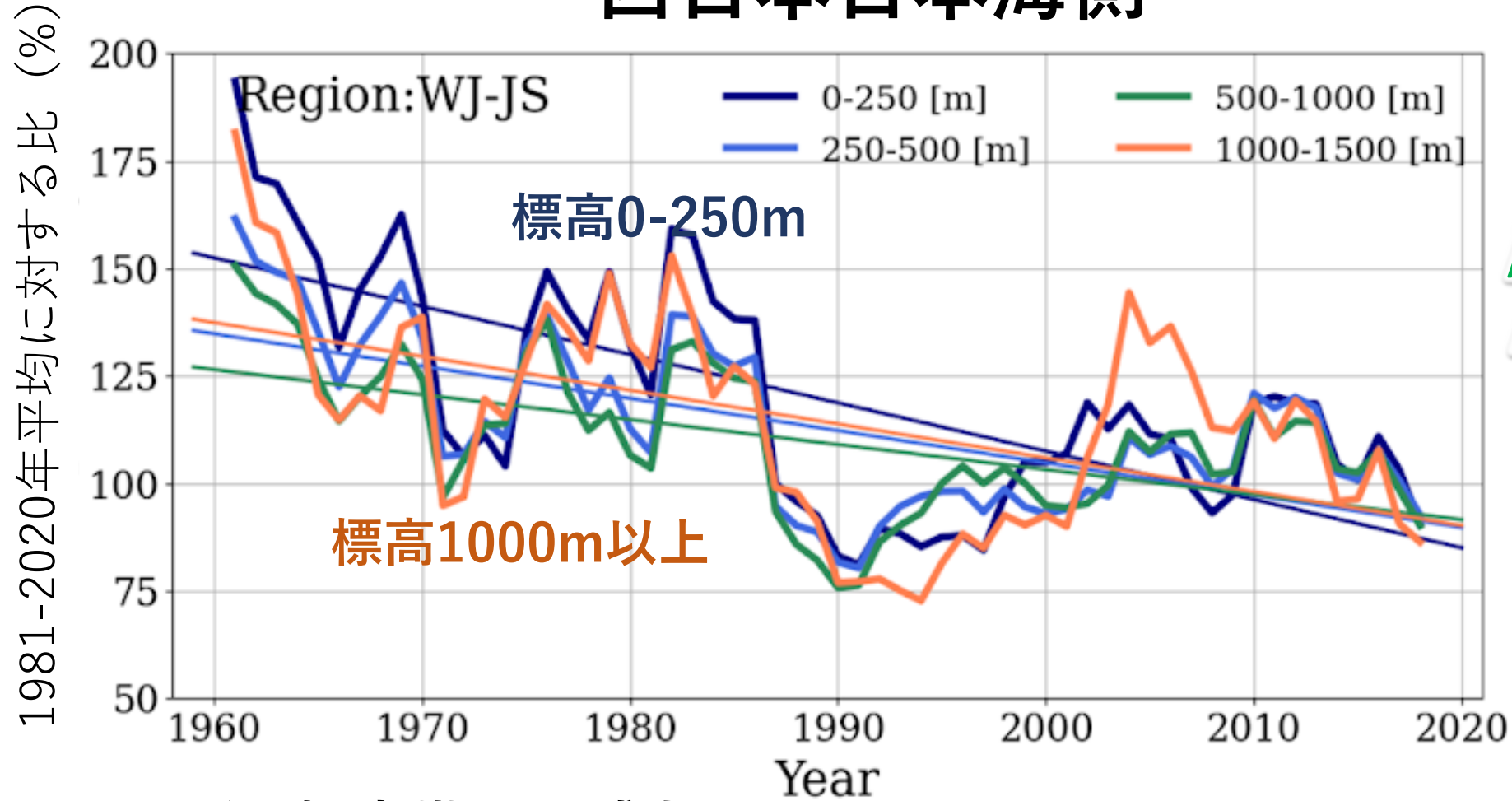
## 東日本日本海側



- 低標高域では減少傾向（気象庁の観測と同様）
- 高標高域では変化が小さいが、やや増加傾向

# 年最大積雪深の変化（西日本）

## 西日本日本海側

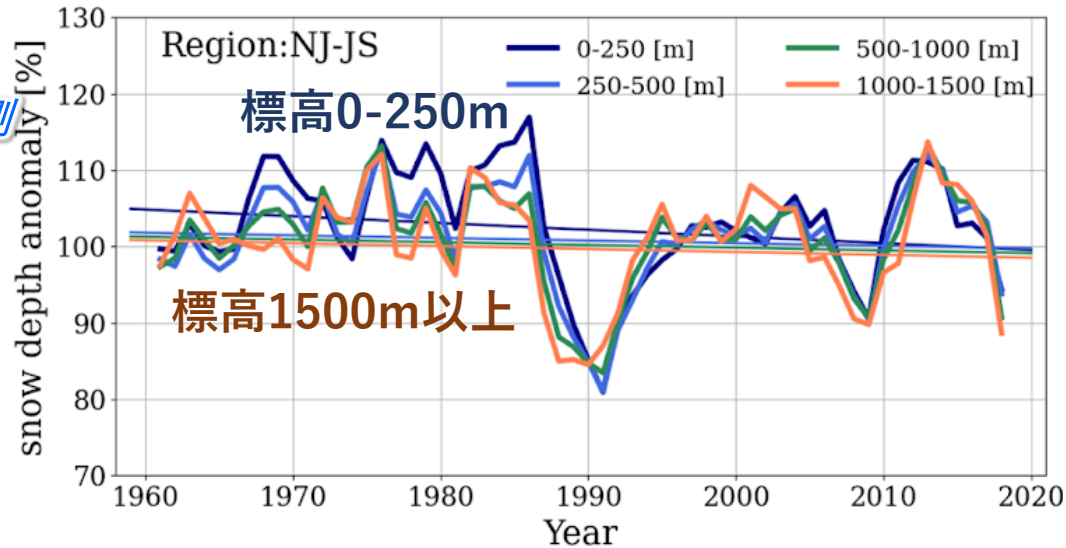


- どの標高帯でも減少

# 年最大積雪深の変化（北日本）

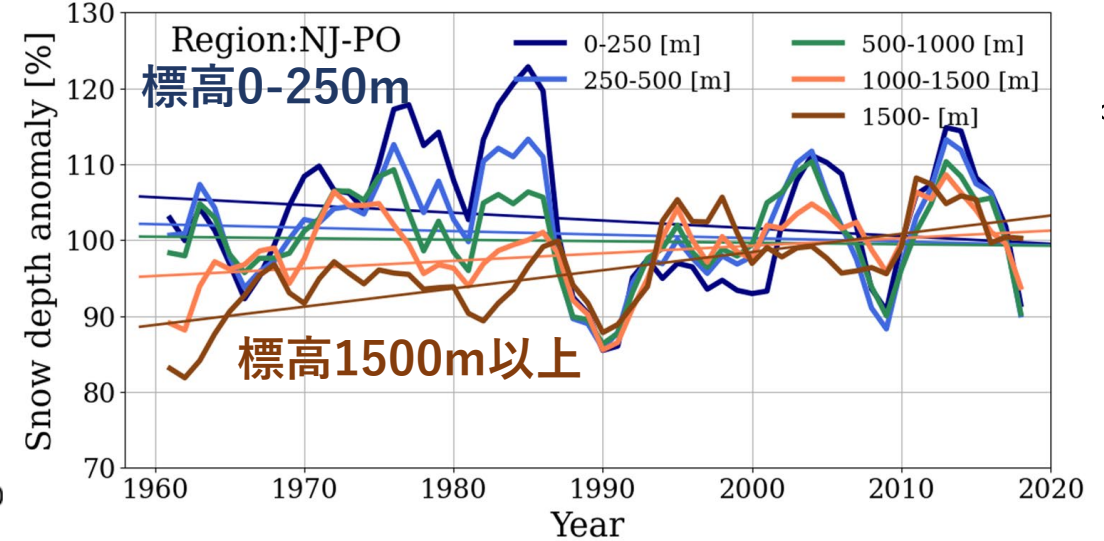


## 北日本日本海側



- 低標高でやや減少傾向
- ある程度250m以上ではほとんど変化なし。
- 年々・数年規模の変動が大きい

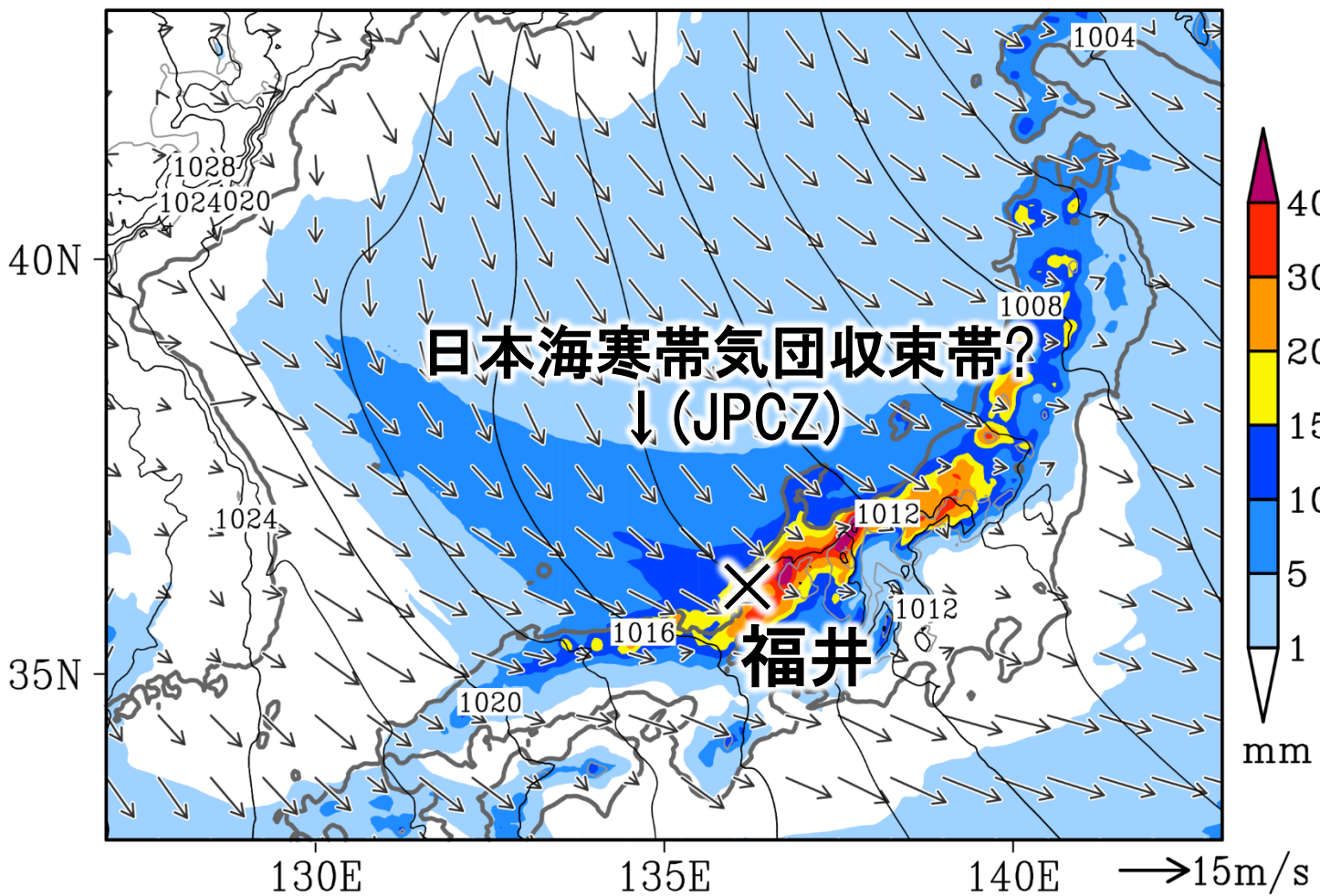
## 北日本太平洋側



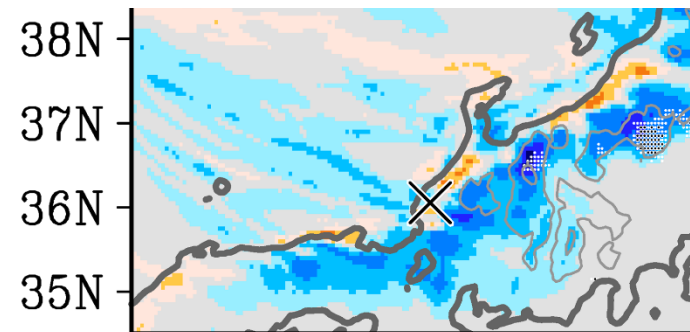
- 低標高で減少傾向
- 高標高では増加傾向
- 年々・数年規模の変動が大きい

# 福井の大雪事例(年最大日降雪)の合成図

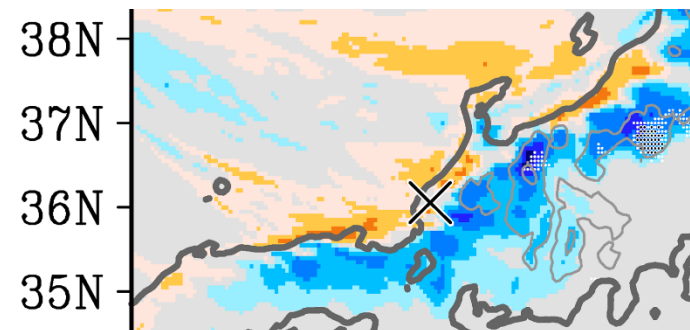
## 降水量と風、SLP



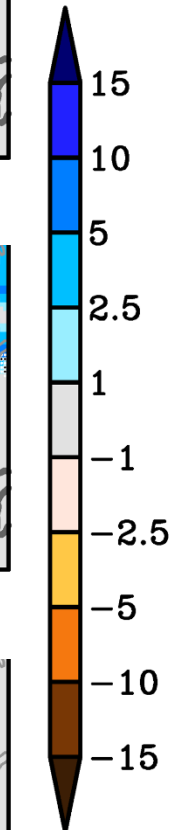
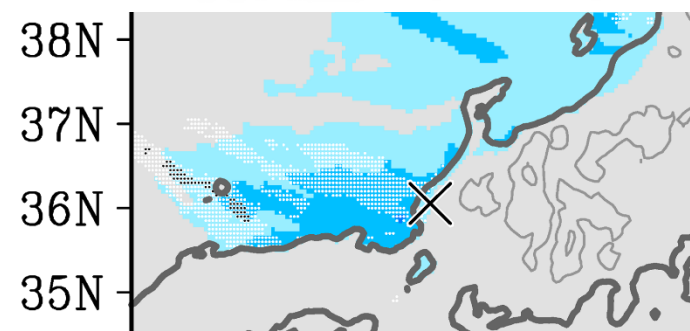
## 降水量のトレンド



## 降雪量のトレンド



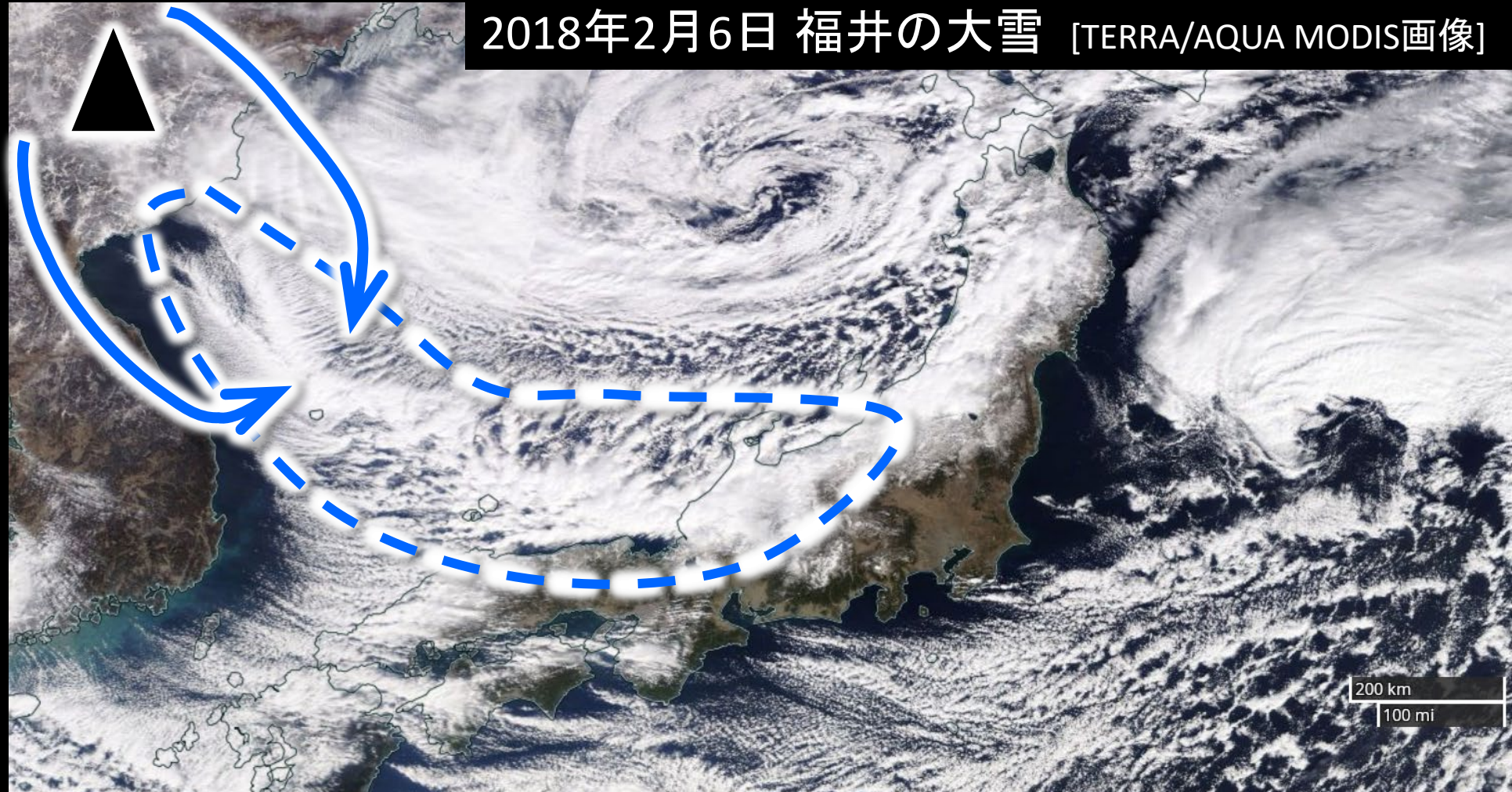
## 降雨量のトレンド



mm/50yrs

# 日本海寒帯気団収束帯

(JPCZ: Japan sea Polar air mass Convergence Zone)



朝鮮半島の高い山や海陸の影響で、一度分かれた北西風が日本海で収束し、雪雲が発達。→北陸や山陰の沿岸に大雪をもたらす

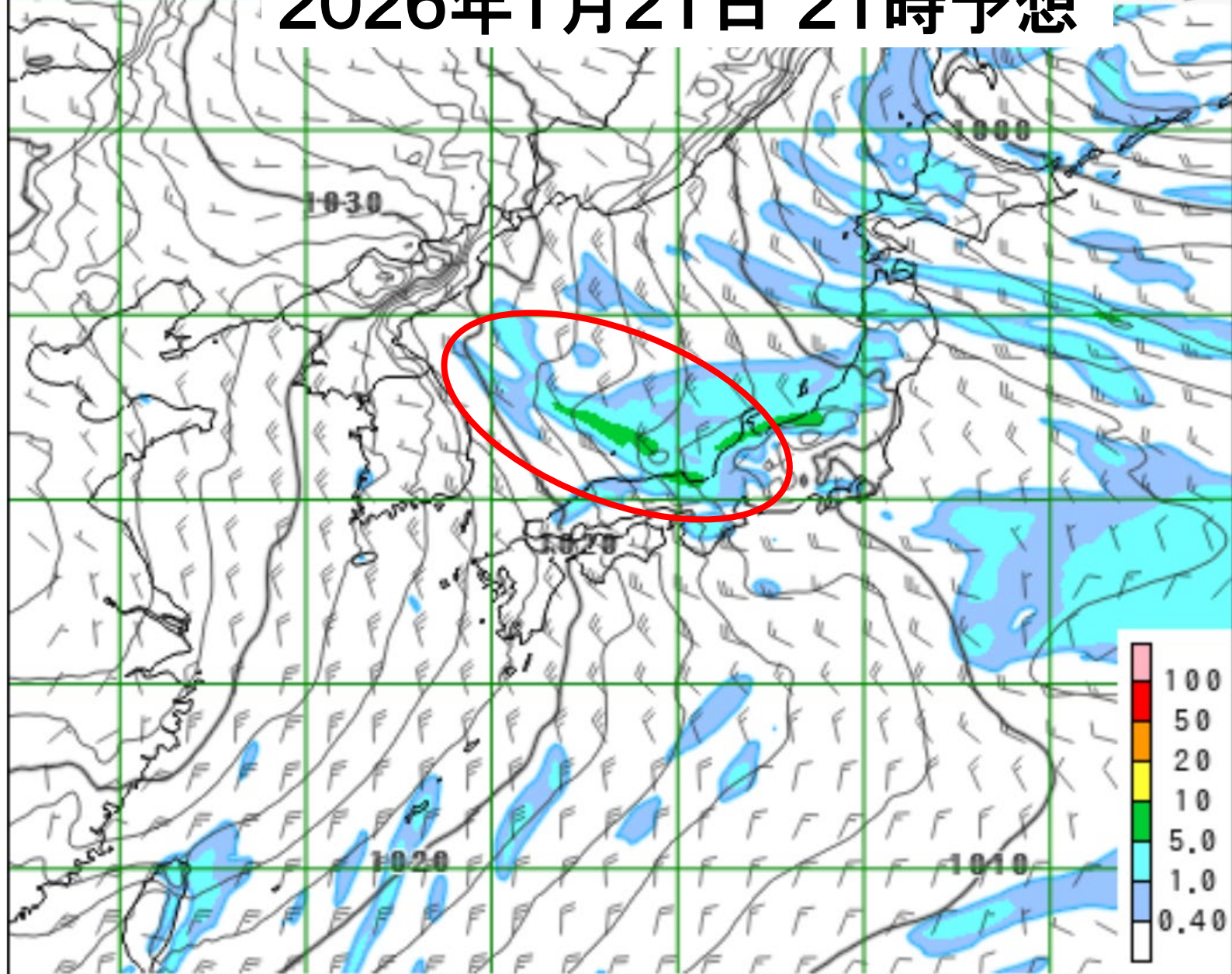
## 大雪に対する国土交通省緊急発表（令和8年1月19日）

- 1月21日（水）から25日（日）頃にかけて、日本付近は強い冬型の気圧配置が続くでしょう。北日本から西日本の日本海側を中心に山地・平地ともに大雪が5日以上続き、総降雪量がかなり多くなるおそれがあります。日本海にJPCZ（日本海寒帯気団収束帯）が停滞して雪雲が同じ地域に流れ込んだ場合は、局地的に降雪が強まるおそれがあります。
- やむを得ず自動車を運転する場合は、ドライバーの皆様には、冬用タイヤの装着、チェーンの装着方法の事前確認・携行及び早めの装着の徹底、スコップや砂等の冬用装備の携行をお願いします。また、降雪状況等により、広範囲で高速道路とそれに並行する国道等が同時に通行止めとなる場合があります。広域迂回の実施や通行ルートの見直しなどのご協力をお願いします。
- 過去の大雪の際には、大型車の立ち往生が主な原因となり、甚大な影響が生じています。運送事業者は、大雪時等輸送の安全の確保に支障を生ずるおそれがあるときは、事業用自動車に冬用タイヤが装着されていることの確認等、安全を確保するために必要な措置を講じることが必要です。なお、雪道において、必要な対応を怠る等悪質な立ち往生が発生した場合には、監査で事実関係を確認したうえで、講じた措置が不十分と判断されれば、行政処分の対象となります。適切な運行管理を行うようお願いします。一方で荷主においても、トラック事業者に対する急ぎの運送依頼を控えていただくようお願いします。
- 大雪が予想される地域では、公共交通機関においても、大規模かつ長時間にわたる遅延や運休が発生するおそれがあります。
- 最新の気象情報や交通情報等に留意し、大雪が予想される地域では、テレワークの活用などを含め不要不急の外出を控えてください。外出が必要な場合には、十分な時間的余裕を持って行動いただくようお願いします。

GSM: SURF

2026年1月21日 21時予想

21時



RR3(mm) Max:10.5 | PSEA(hPa) Min:989.1 | Wind(kt) Max:37.4  
SURF RR3,PSEA,Wind INIT=2026/01/20 00:00Z FT=36H

# 本日の内容

1. 近年の温暖化と日本の雪の変化

2. 日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) の長期変化

Kawase et al. (JC, in revision)

3. 日本の雪の将来変化

4. 近年の極端な大雪と地球温暖化の関係～イベント・アトリビューション～

# はじめに～JPCZによる大雪～

JPCZの発生要因や、内部の降雪雲の詳細構造についての研究は多いが (Nagata et al. 1986; Murakami et al. 2019; Watanabe et al. 2018, 2022; West and Streeburgh 2021; Shinoda et al. 2021)、**過去のJPCZの長期的な変化**に着目した研究は少ない。

## JPCZの将来変化

- 将来、温暖化が進むと、JPCZによる降雪の減少(降雨の増加)と、ジェット北上に伴うJPCZの北偏の可能性 (Kawano et al. 2023)
- 感度実験を行い、SSTの上昇がJPCZ に沿って発達する対流雲の形成を促進するうえで重要であることを指摘 (Sato and Inatsu, 2025)
- 津南付近の大雪事例のコンポジット解析から、温暖化に伴うJPCZの強化及び極端降雪の増加が指摘 (Kawase et al. 2016)

ここでは、

**『過去のJPCZの年々変動、長期変化傾向、JPCZがもたらす降雪や降雨の長期変化を調査するとともに、背景場の変化についても考察』**する。

# JPCZの抽出 (Shinoda et al. (2021)に準拠、一部修正)

## 【Step 1】

925hPaの発散の気候値を計算し、収束の強い領域を選定(気候値が $0.1\text{m/s} * 10^{-5}\text{s}^{-1}$ 以上の領域、沿岸部を除く;右図黒枠内)。

※Shinoda et al. (2021)は、対象期間が短かったこともあり、主観的に設定した領域で評価  
※今回、閾値を設定したことで、温暖化等で気候値の分布が変わった場合でも対応可能に。

## 【Step 2】

毎時の気圧面データから、黒枠内で12時間平均した925hPaの発散(収束)を計算( $\bar{D}$ )。

## 【Step 3】

-  $2\sigma$ 以上の強い収束を示した事例を抽出する

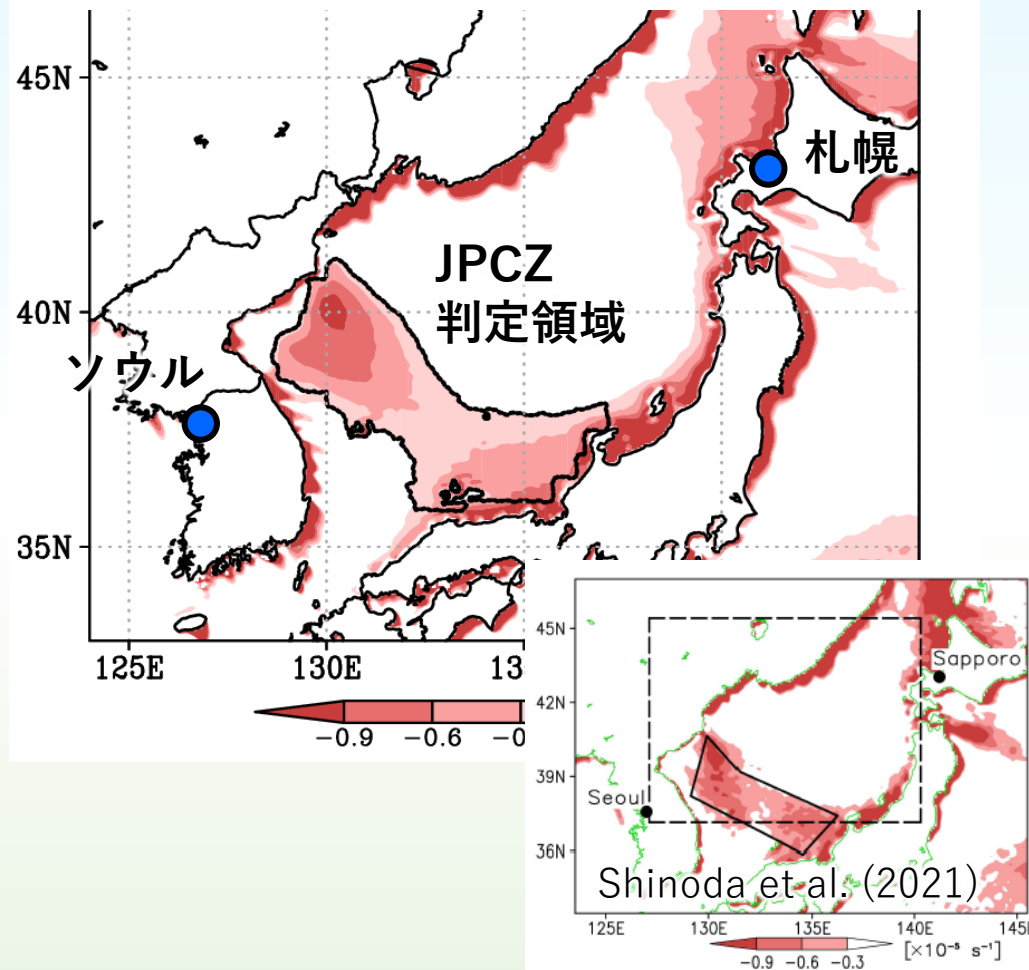
## 【Step 4】

冬季モンスーン強度(冬型の強さ)が気候値以上の事例をJPCZ事例とする(Shinoda et al. のtype 1相当)

## 追加:重複事例の排除

- 同日に複数あった場合は値の大きい時間を抽出
- 別日で12時間以内に抽出されていた場合も同様

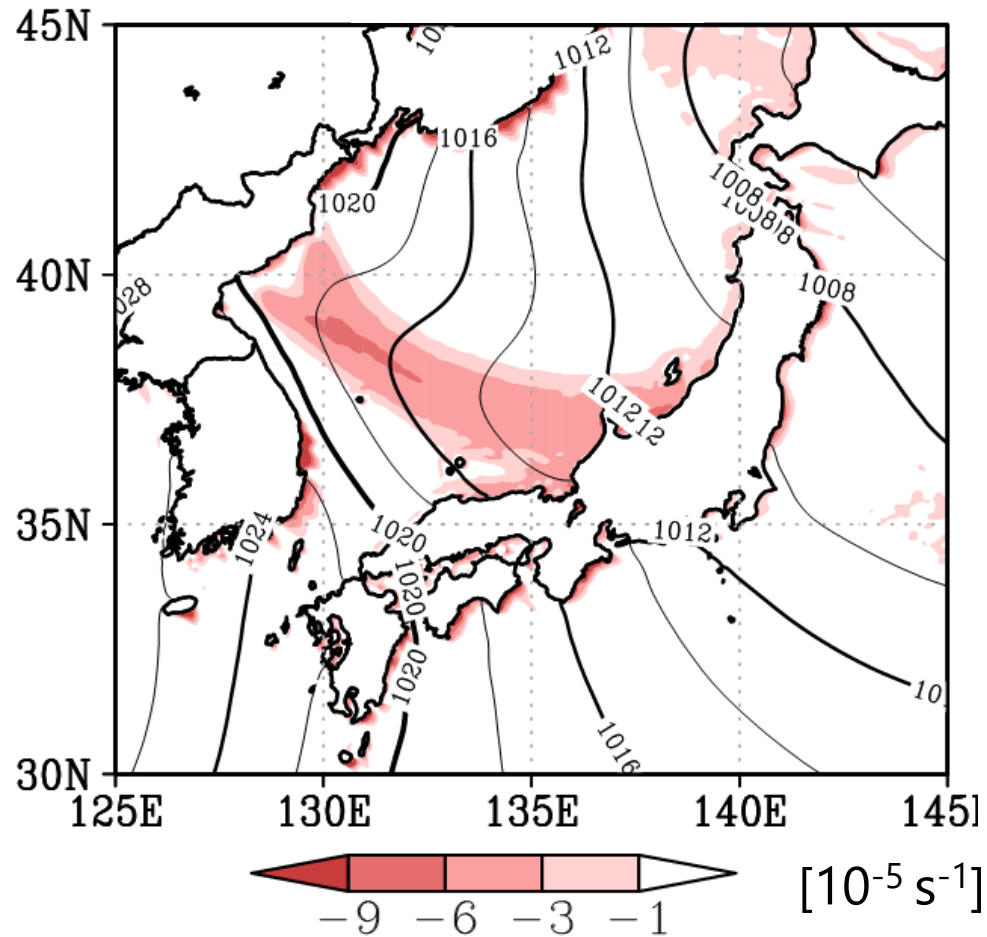
925hPaの収束/発散の気候値  
(RCDSJRA-55)



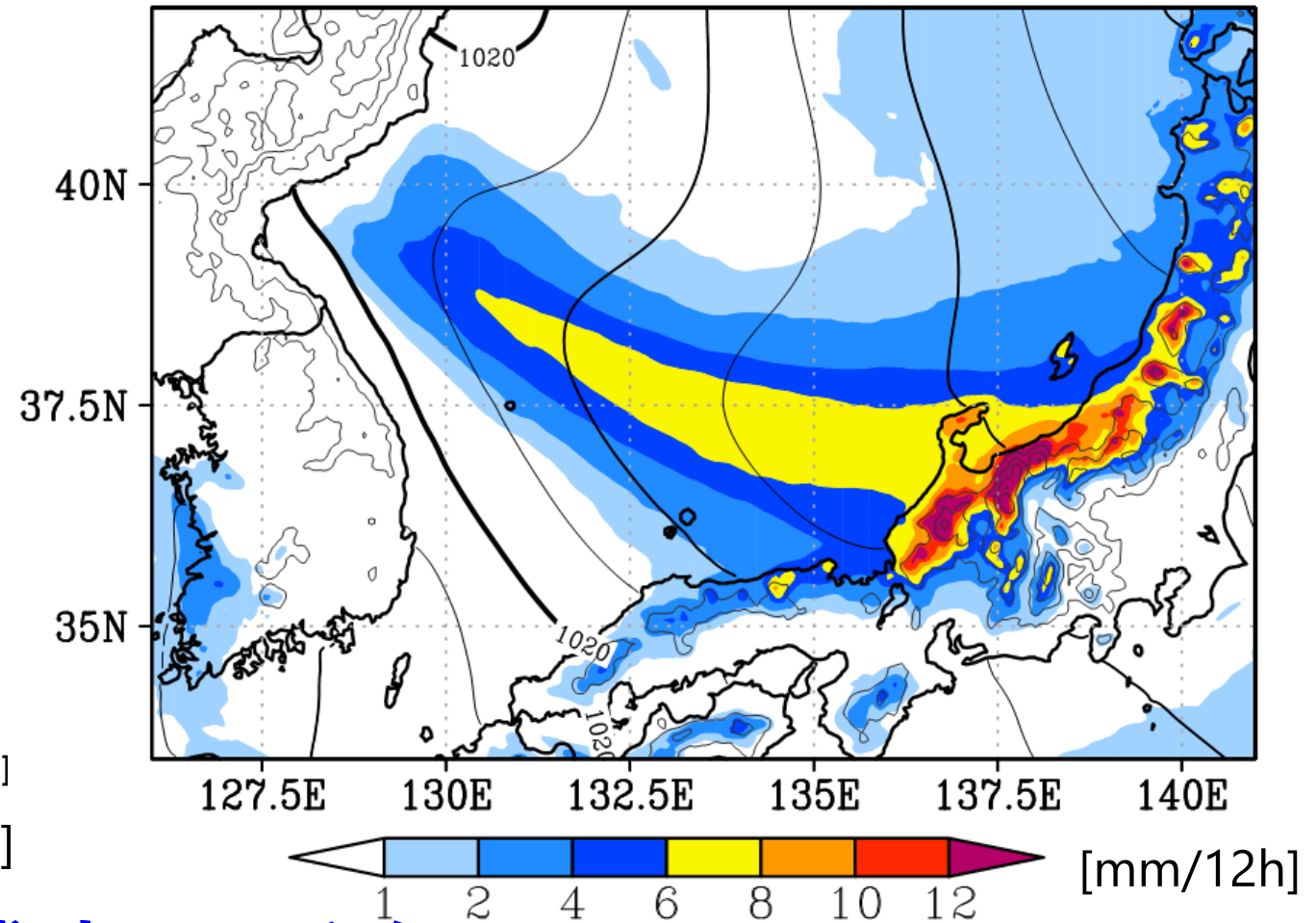
※冬季モンスーン強度は、12時間平均したSLPのソウルと札幌(青●)の差から計算(Shinoda et al. と同様)

# JPCZ事例の合成図(コンポジット)

海面更正気圧(SLP)と  
925hPaの発散 (負は収束)



SLPと降水量

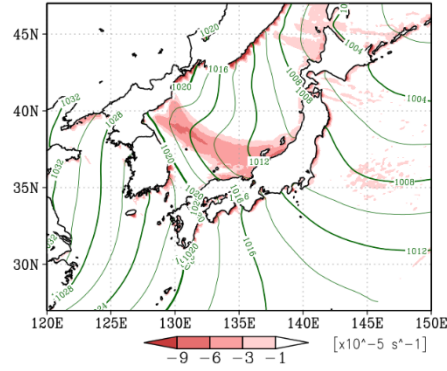


抽出に成功してそう

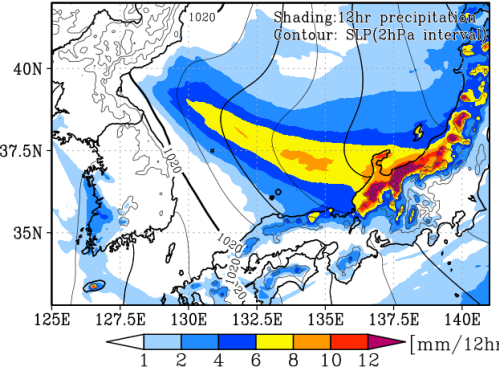
# 月別(12月~2月)のJPCZ事例のコンポジット(降水、降雪、降雨)

12月

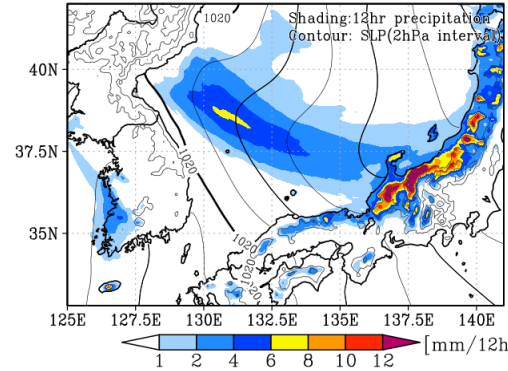
925hPa 収束



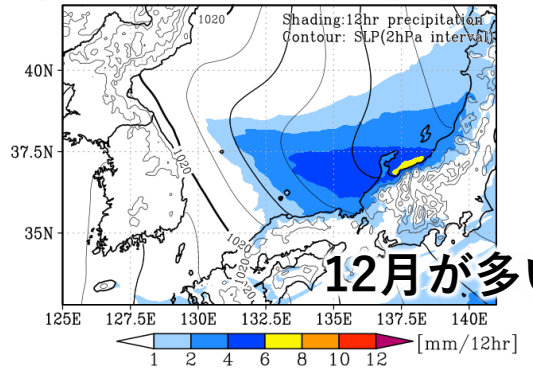
降水量



降雪量



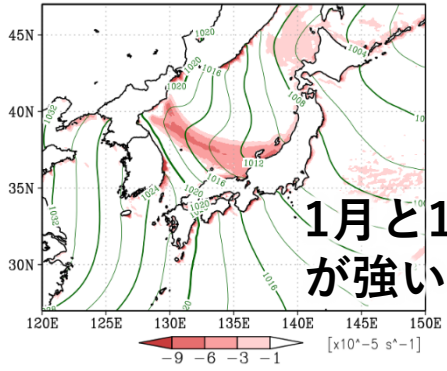
降雨量



12月が多い

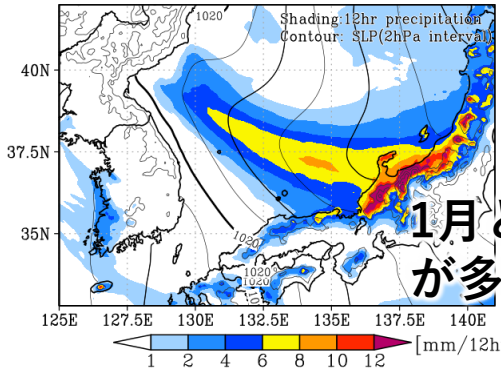
1月

925hPa convergence (Jan.)



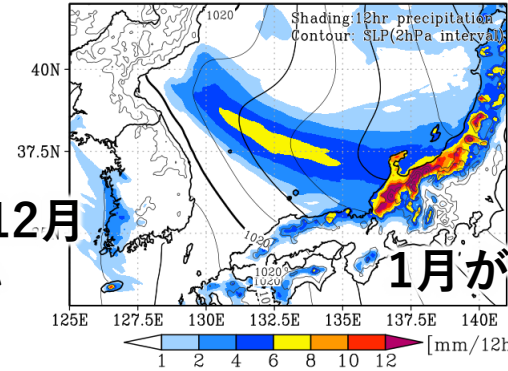
1月と12月  
が強い

Precipitation (Jan.)



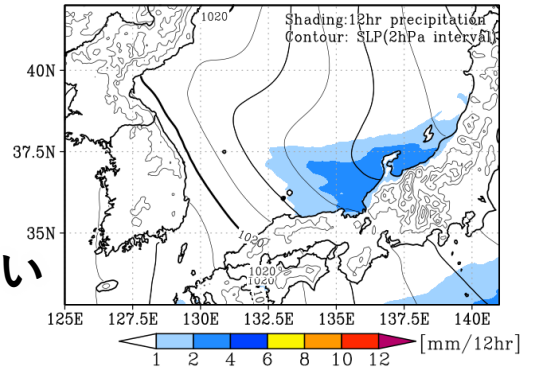
1月と12月  
が多い

Snowfall (Jan.)



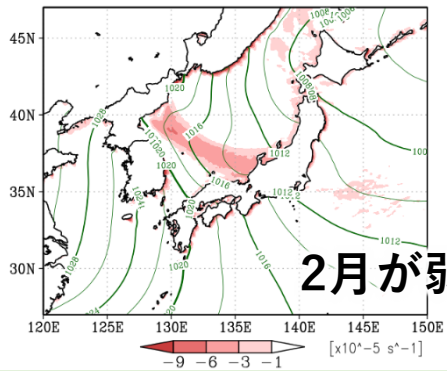
1月が多い

Rainfall (Jan.)



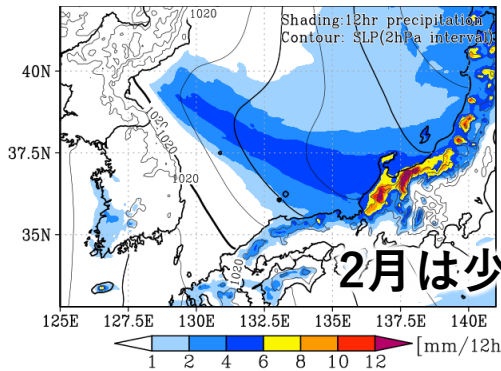
2月

925hPa convergence (Feb.)



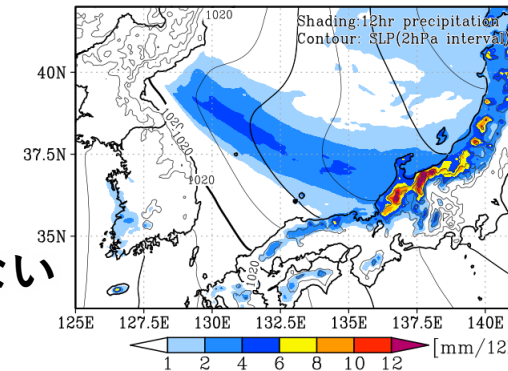
2月が弱め

Precipitation (Feb.)

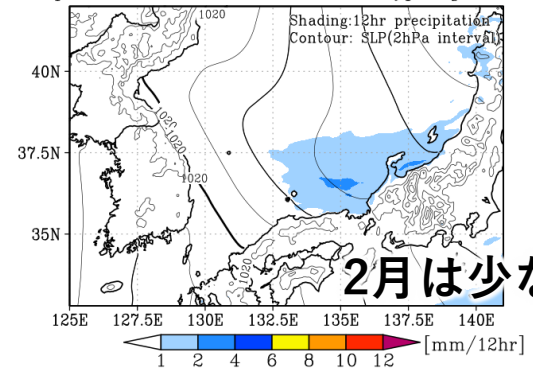


2月は少ない

Snowfall (Feb.)



Rainfall (Feb.)

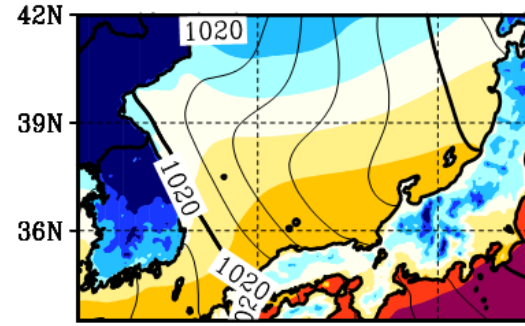


2月は少ない

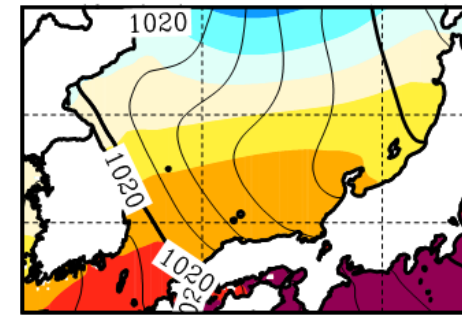
# 月別(12月~2月)のJPCZ事例のコンポジット(降水、降雪、降雨)

12月

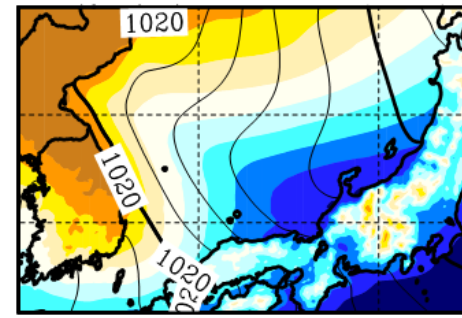
気温



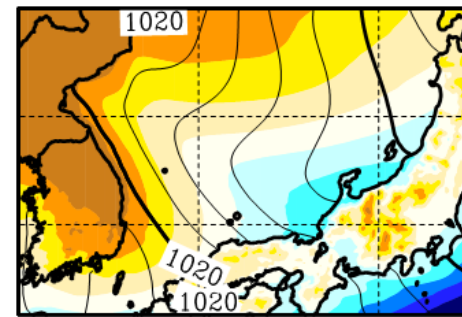
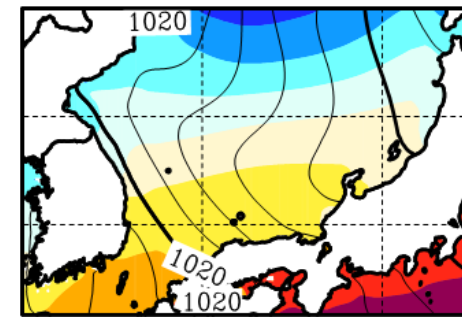
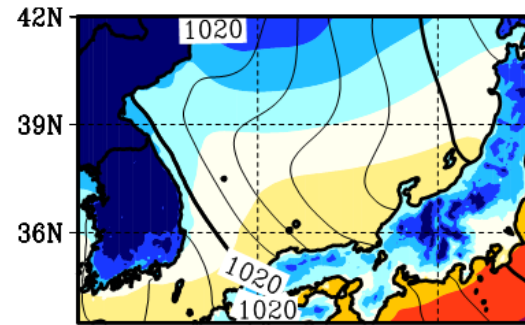
海面水温(SST)



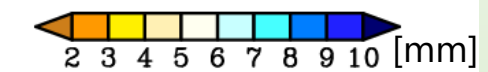
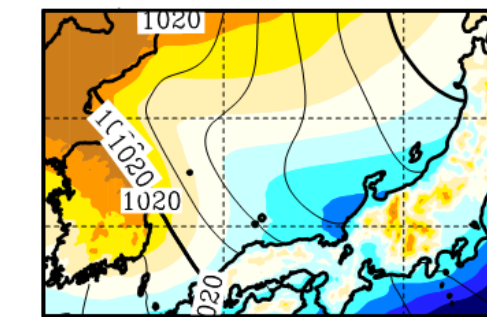
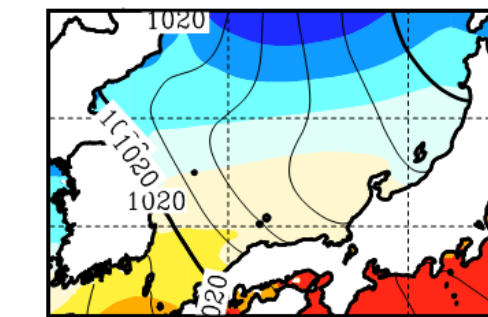
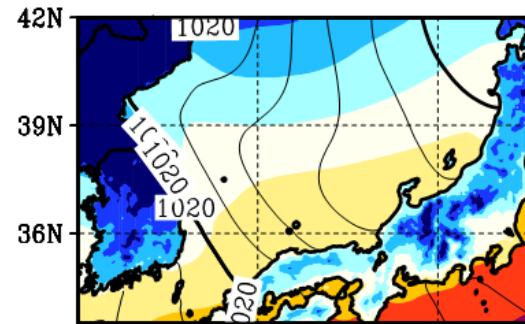
可降水量



1月

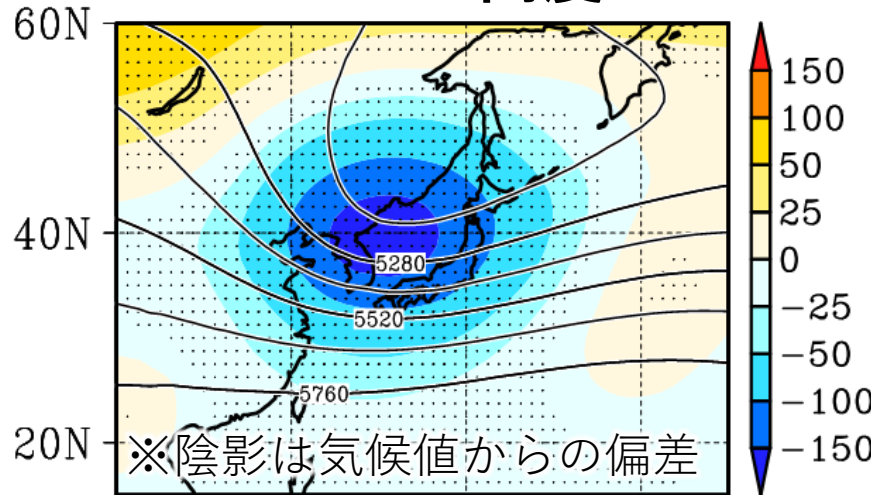


2月

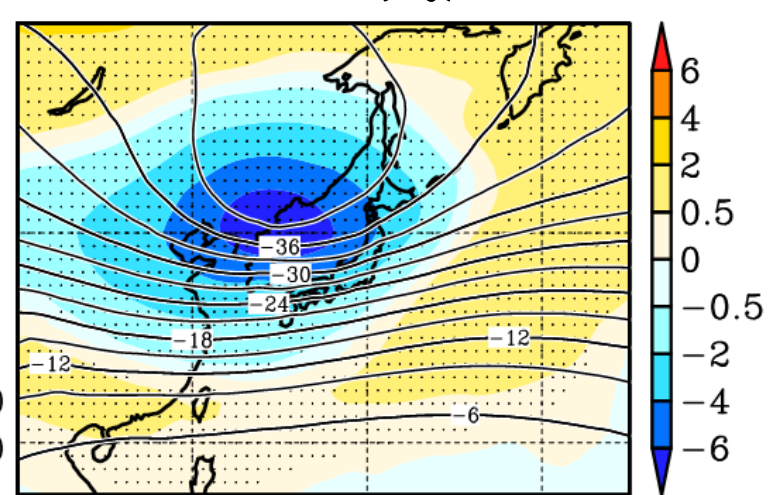


# JPCZ事例のコンポジット(上空) ※JRA-55を利用

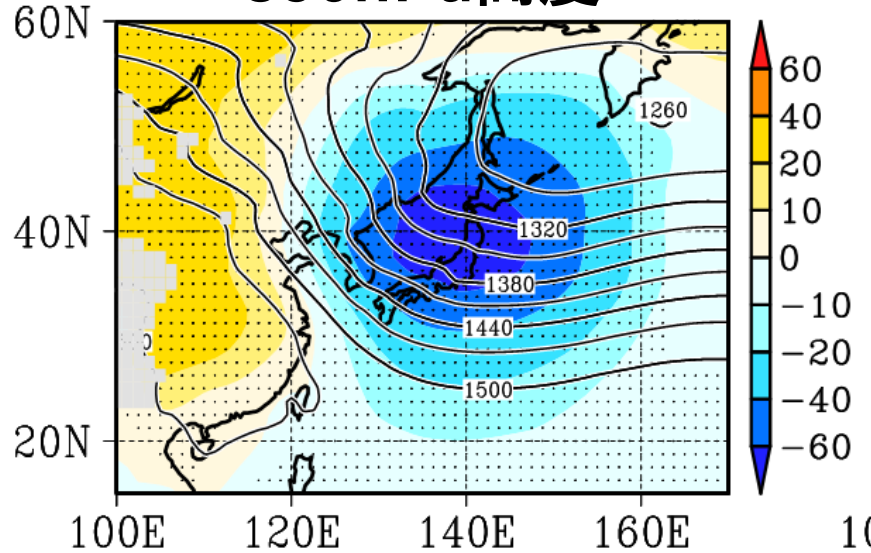
## 500hPa高度



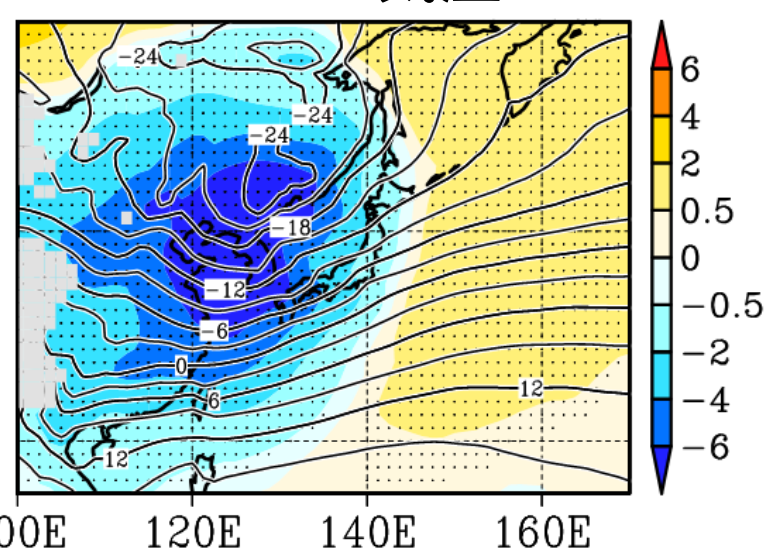
## 500hPa気温



## 850hPa高度



## 850hPa気温



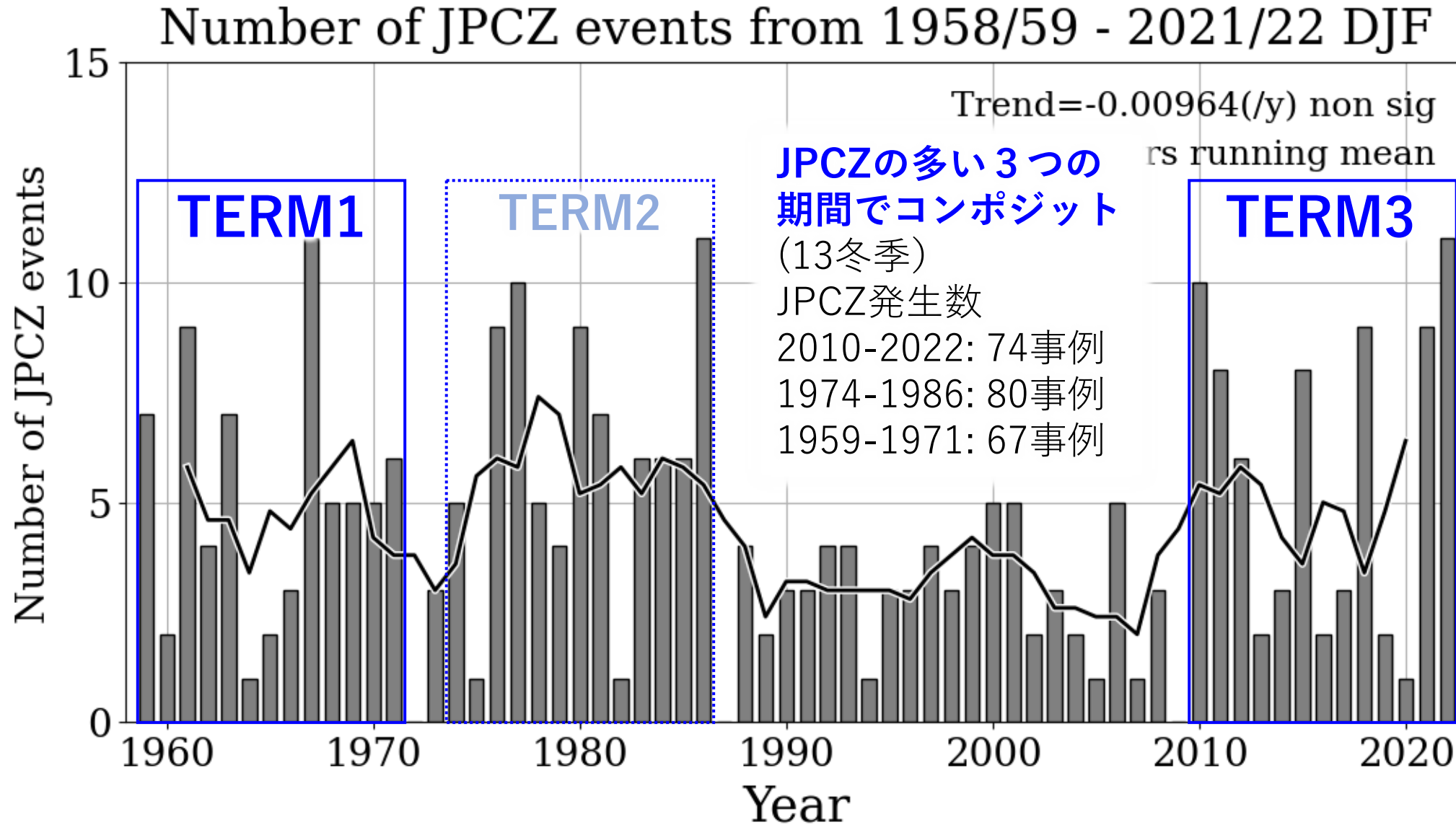
## 上層と下層の寒気と トラフ(気圧の谷)の位置

- ・北東から南西に伸びるトラフ
- ・朝鮮半島の東で負偏差が大
- ・-30度の等温線が北陸にかかる
- ・気温と高度はほぼ同じ位置で負偏差が極大

- ・高度の負偏差の中心は東北、日本全体で負の高度偏差
- ・寒気の内容は-24度以下
- ・-9度の等温線が日本海沿岸にかかる
- ・負偏差の最大は朝鮮半島から黄海で-6度以下

- ・上空ほど、負の高度偏差は西に、負の気温偏差は東に傾いている

# JPCZ(日本海寒帯気団収束帯)の発生数の年々変動



長期トレンドは見られない

- 1960年～1980年代半ばまで多い
- 1990年から2009年は少ない
- 2010年以降は再び増加傾向

## 他変数との相関

日本の冬季平均気温

**-0.48 (95%有意な相関)**

ENSO (エルニーニョ/ラニーニャ)

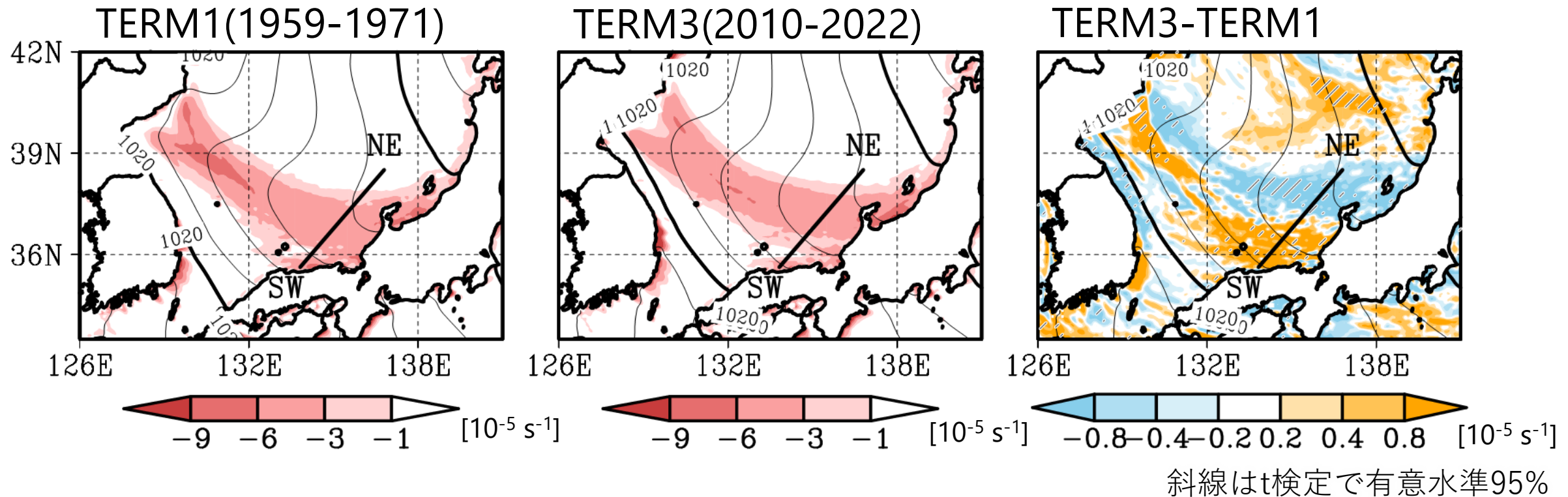
0.193 (有意でない)

PDO index (9年移動平均)

0.123 (有意でない)

# 期間別のコンポジット(SLPと収束)

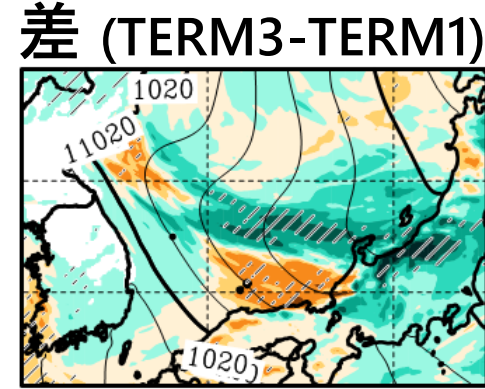
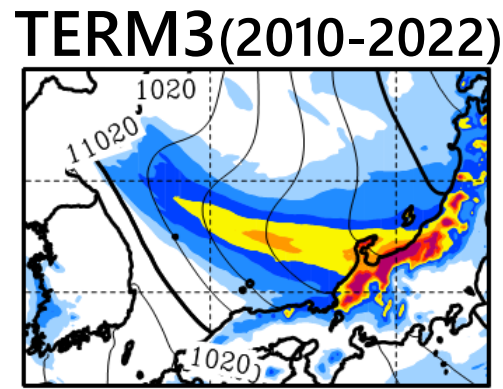
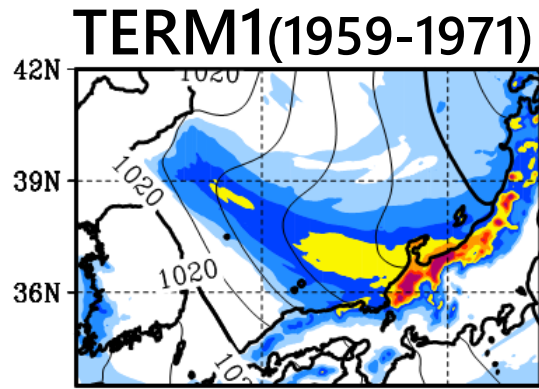
## SLPと925hPa収束



近年、新潟あたりの収束強まる → JPCZがやや北偏

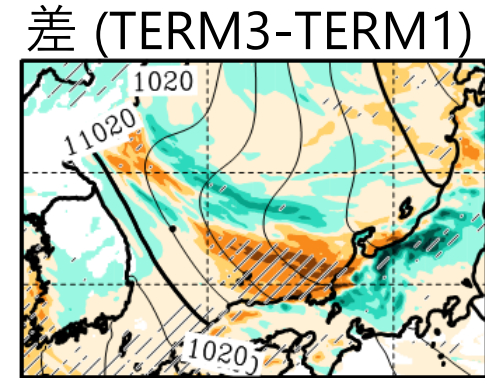
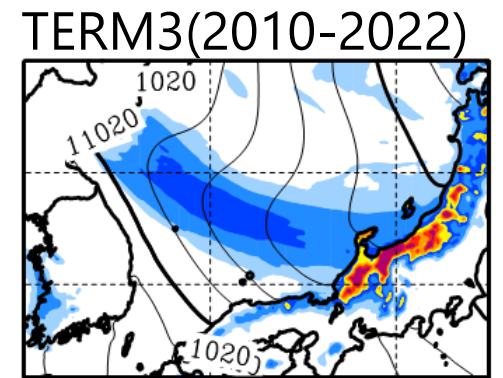
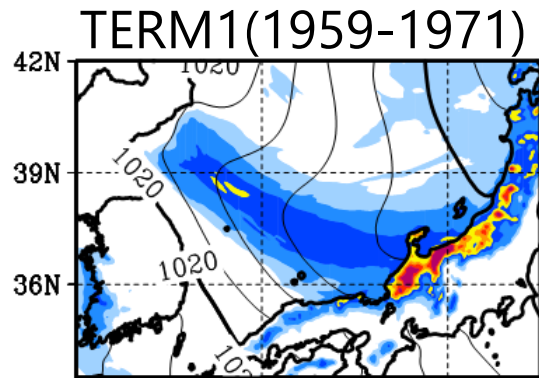
# 期間別のコンポジット(降水・降雪・降雨)

降水量



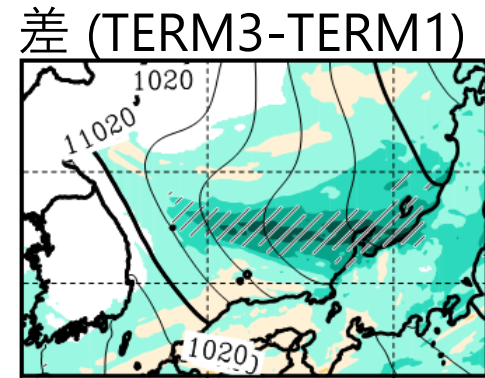
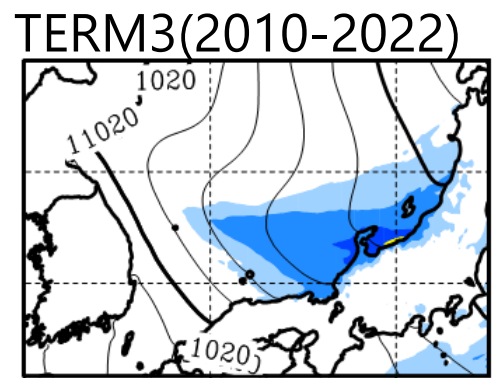
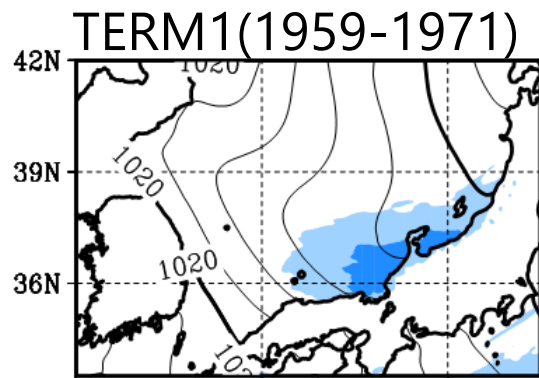
広域で増加  
JPCZの南側で減少

降雪量

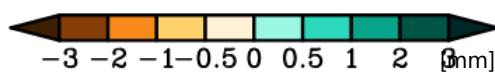


JPCZの北側と陸上で増加  
海上で減少

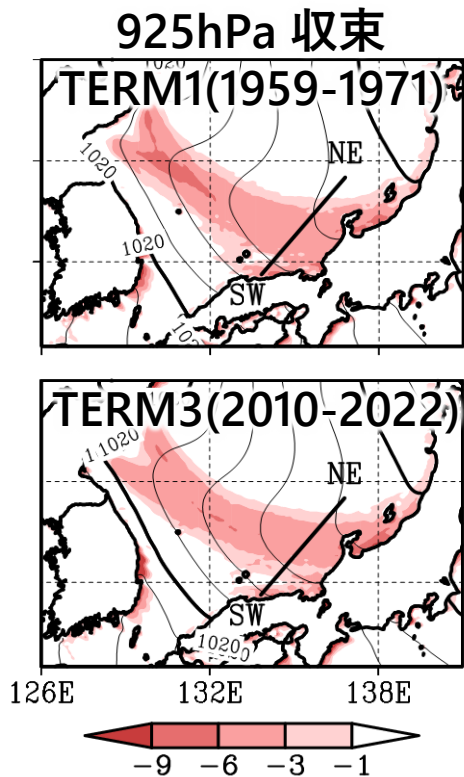
降雨量



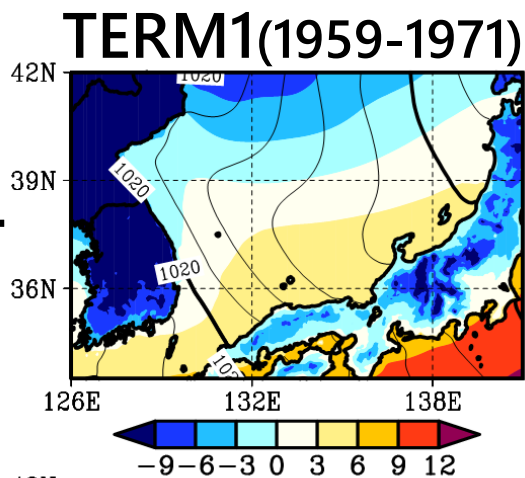
全域で増加  
特にJPCZの北側で増加



# 期間別のコンポジット(地上気温・SST・可降水量)

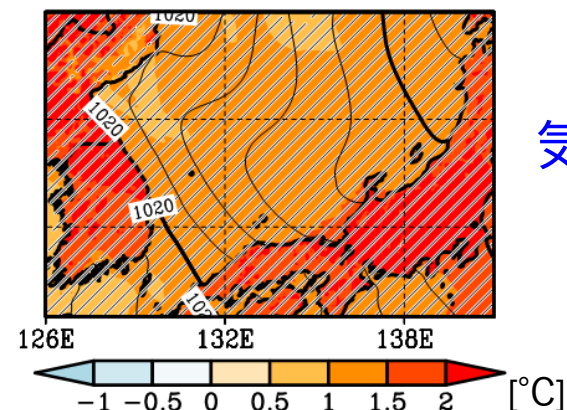


地上/海上  
気温

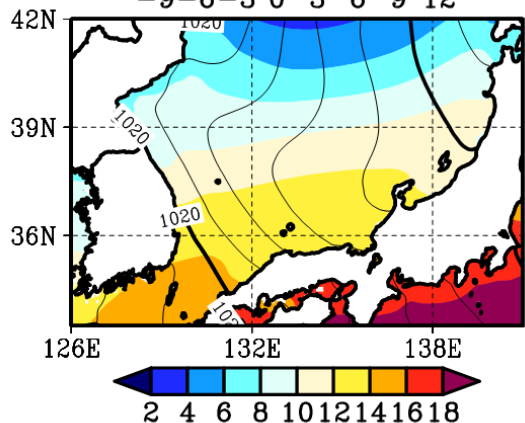


差 (TERM3-TERM1)

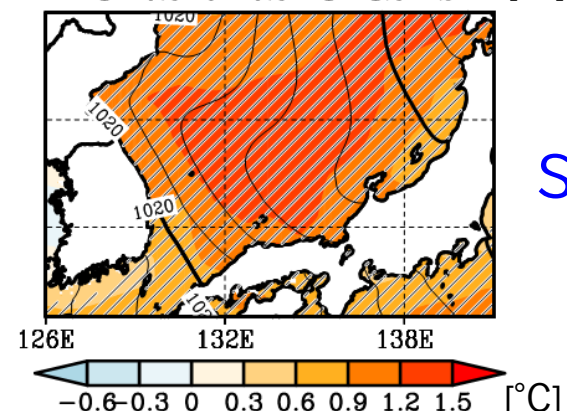
気温上昇



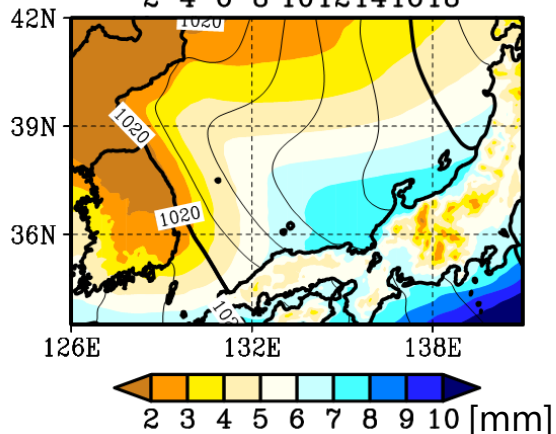
SST



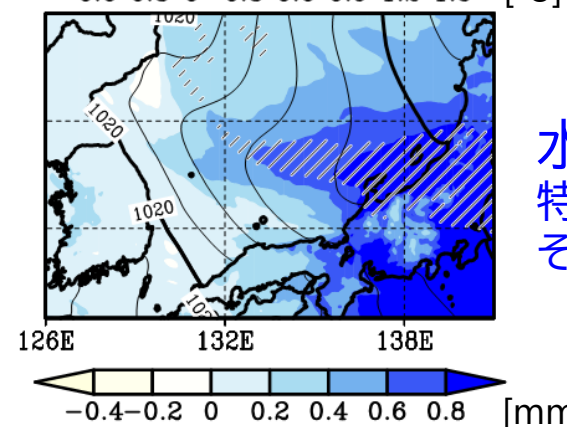
SST上昇



可降水量



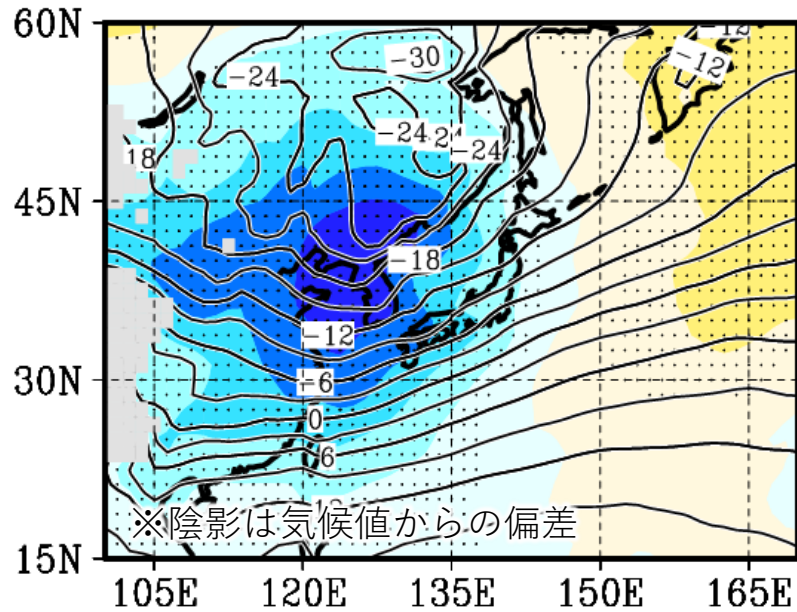
水蒸気増加  
特にJPCZ周辺と  
その北側



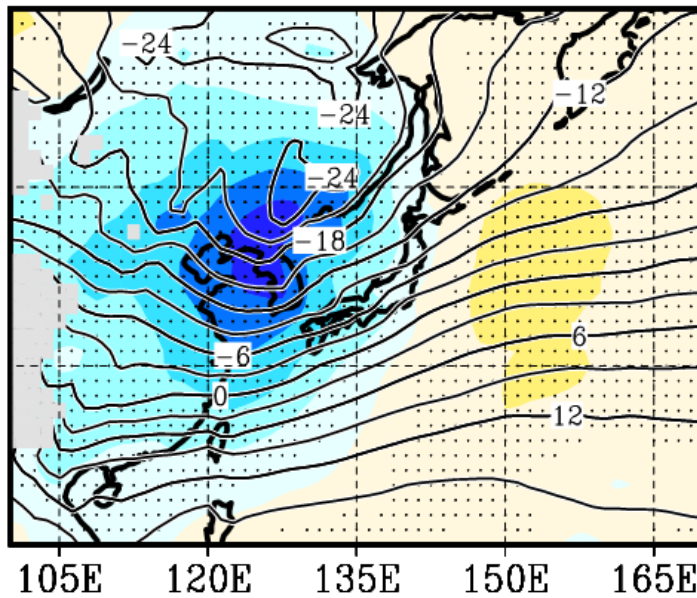
# 期間別のコンポジット(上空850hPa気温)

## 850hPa気温

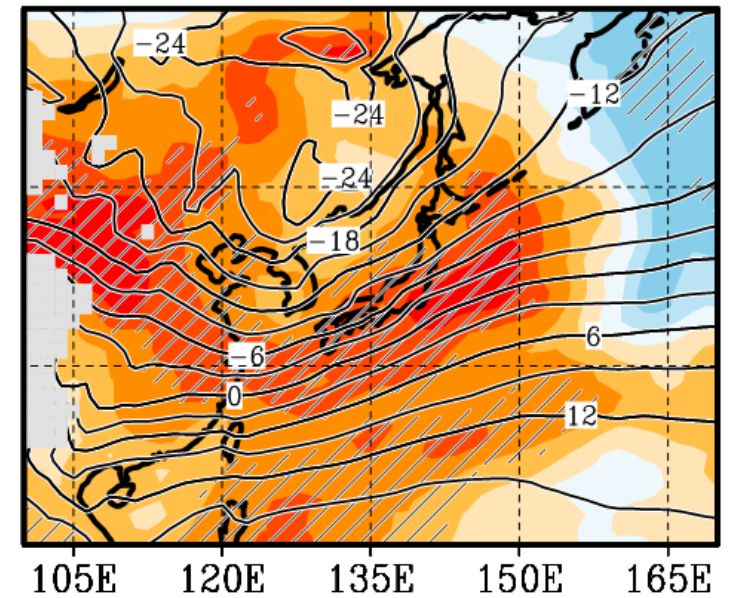
TERM1(1959-1971)



TERM3(2010-2022)



TERM3-TERM1

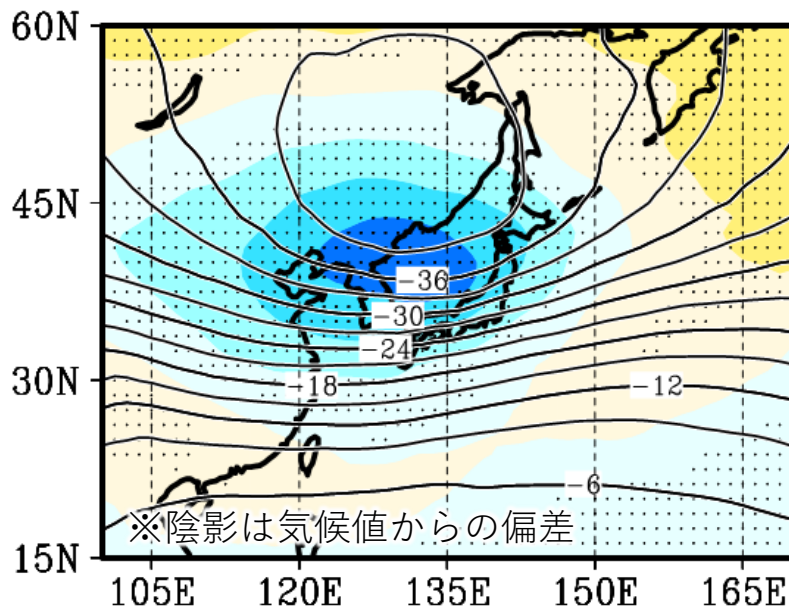


中国東部から日本にかけて広域で昇温

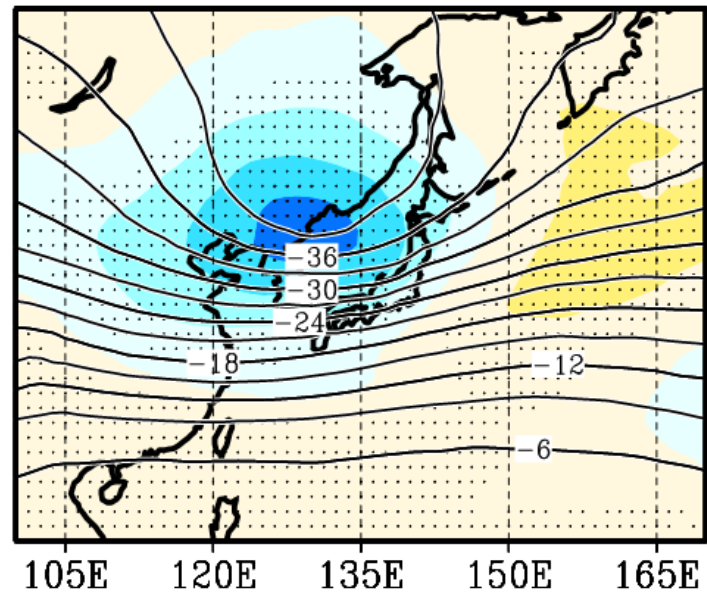
# 期間別のコンポジット(上空500hPa気温)

## 500hPa気温

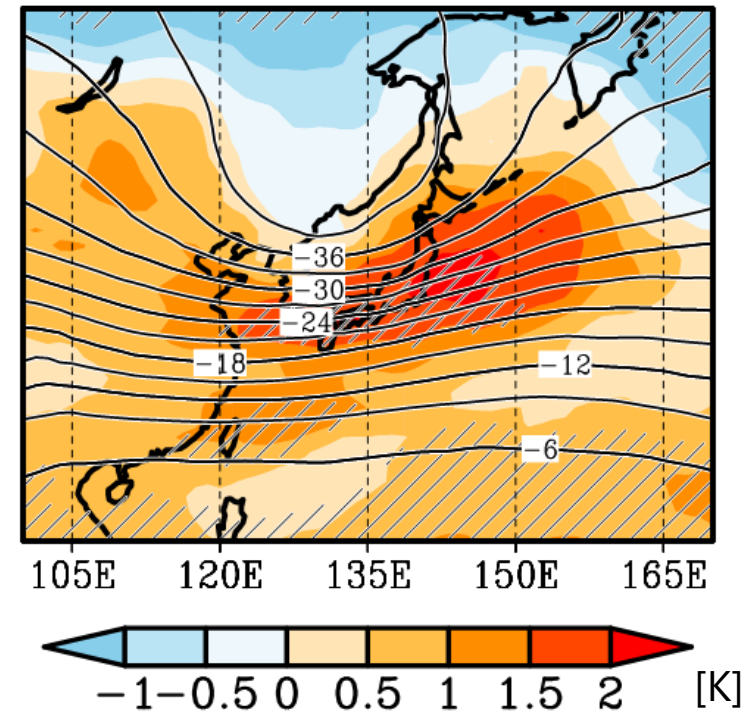
TERM1(1959-1971)



TERM3(2010-2022)



TERM3-TERM1

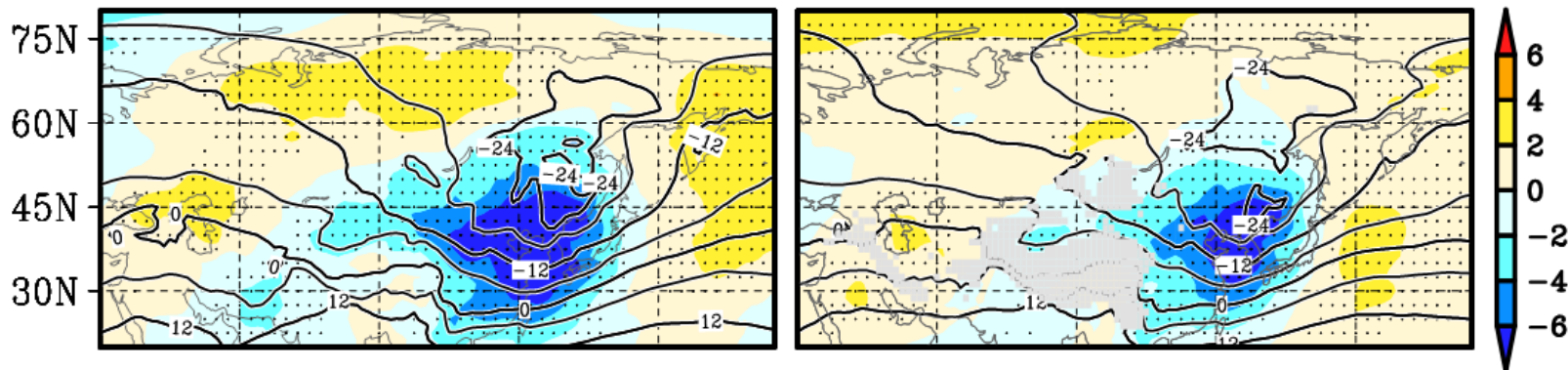


日本付近は気温上昇、大陸では低下→トラフの北上

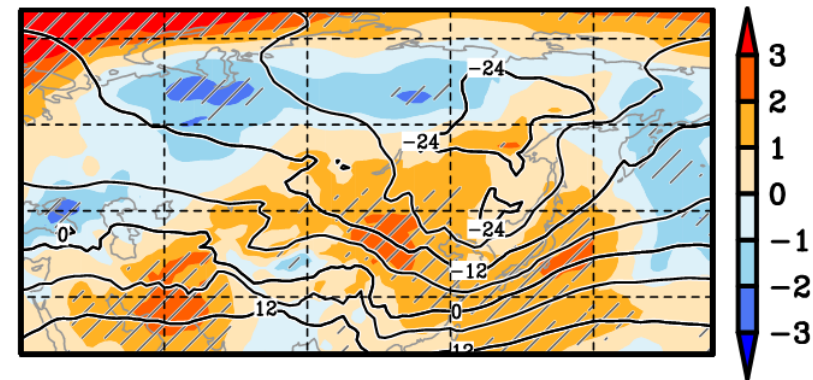
# 期間別のコンポジット(上空の気温 広域)

## 850hPa・500hPa気温 (広域)

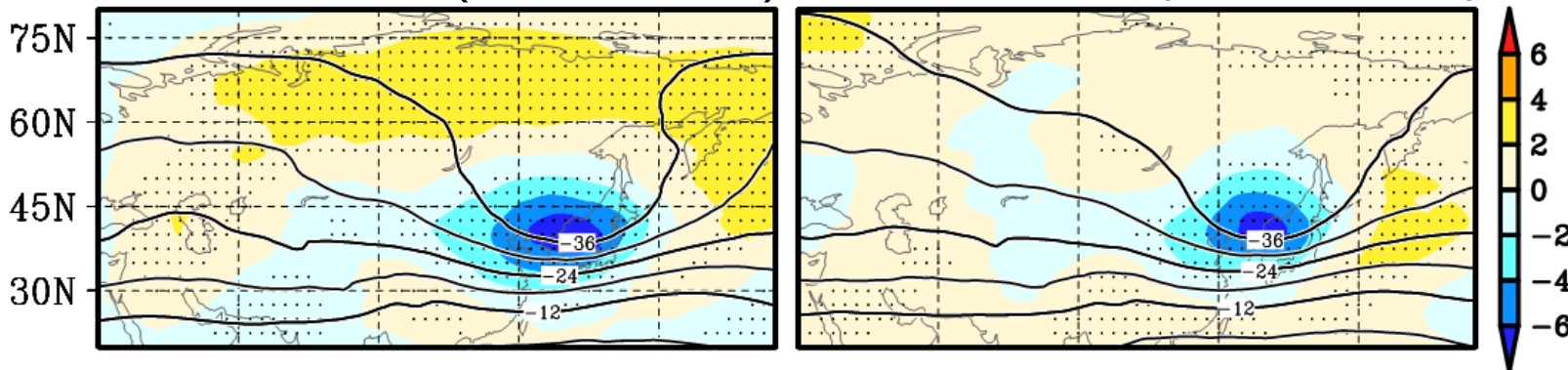
T850 TERM1(1959-1971) T850 TERM3(2010-2022)



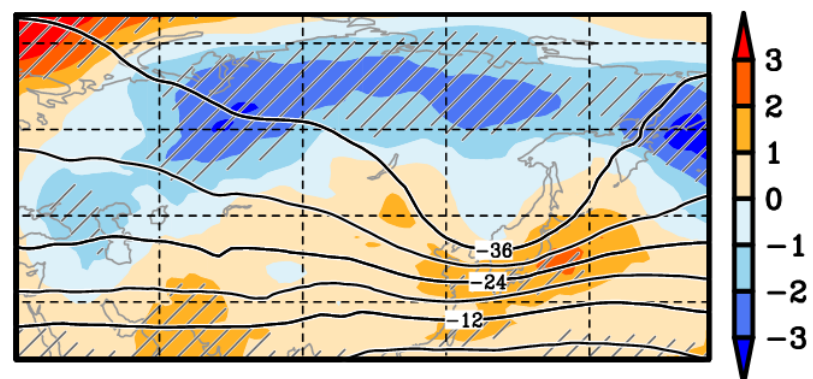
TERM3-TERM1



T500 TERM1(1959-1971) T500 TERM3(2010-2022)



TERM3-TERM1

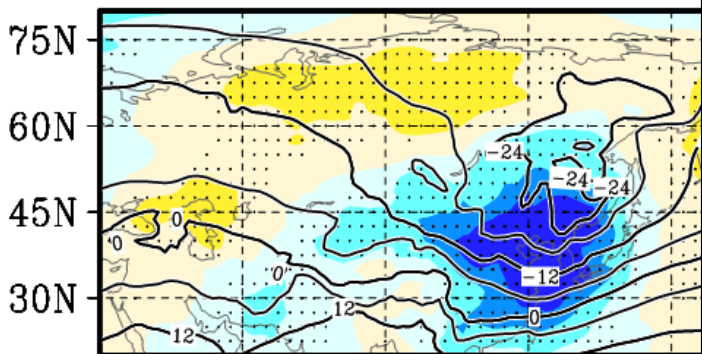


東アジアでは昇温が見られるが、大陸では気温が低下

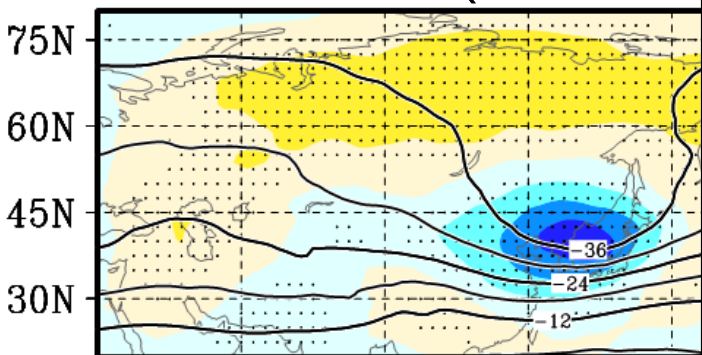
# 期間別のコンポジット(上空の気温 広域)

## 850hPa・500hPa気温 (広域)

T850 TERM1(1959-1999)

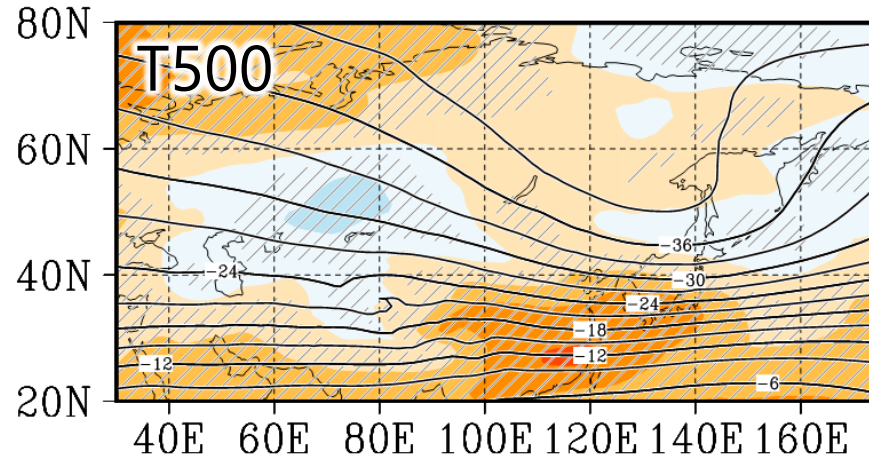
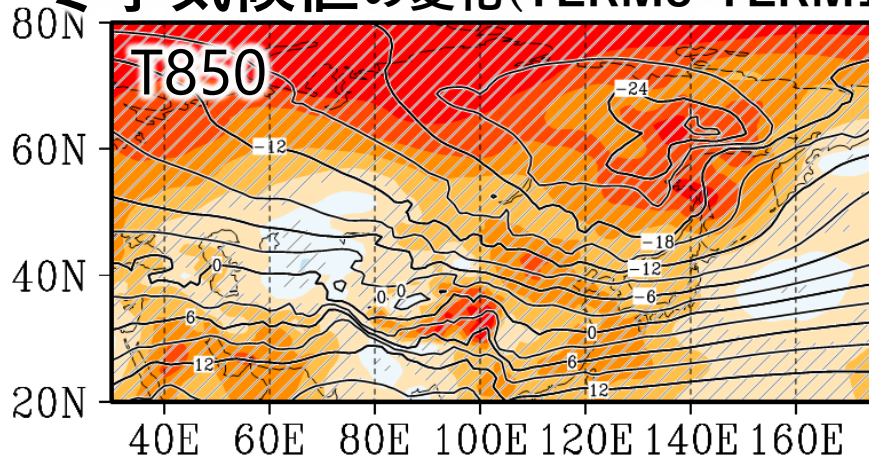


T500 TERM1(1959-1999)

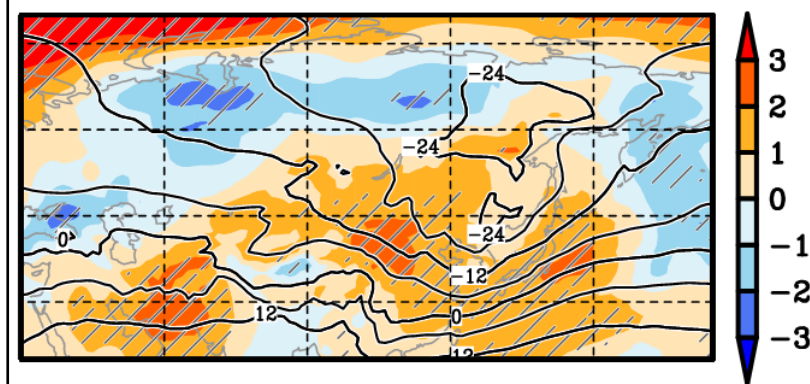


東アジアで

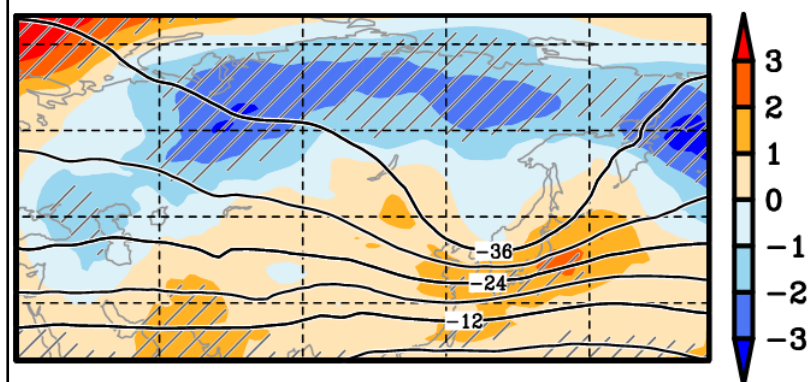
冬季気候値の変化(TERM3-TERM1)



TERM3-TERM1



TERM3-TERM1

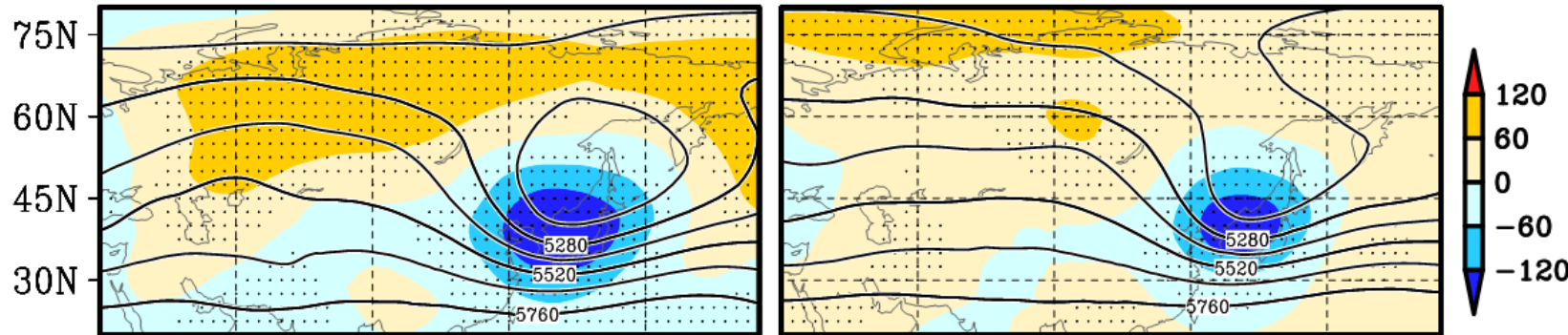


気温が低下

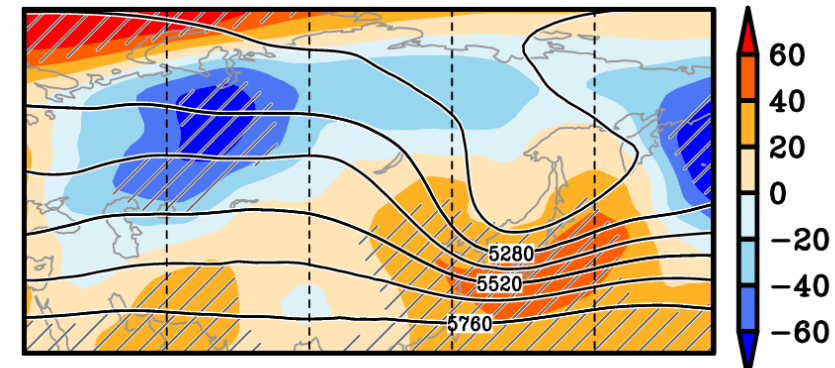
# 期間別のコンポジット(上空) TERM3とTERM1の差

## 500hPa高度・東西風 (広域)

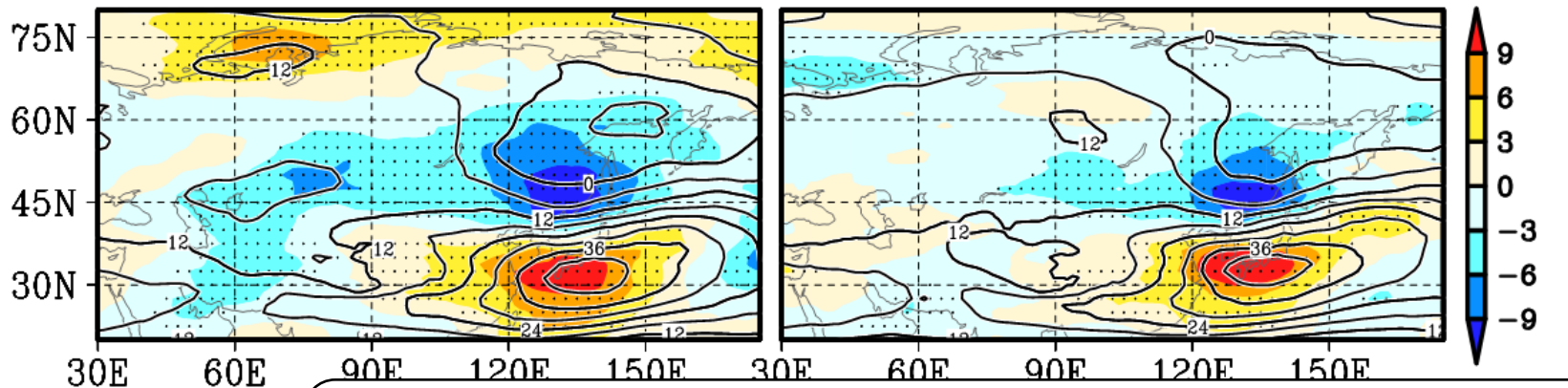
Z500 TERM1(1959-1971) Z500 TERM3(2010-2022)



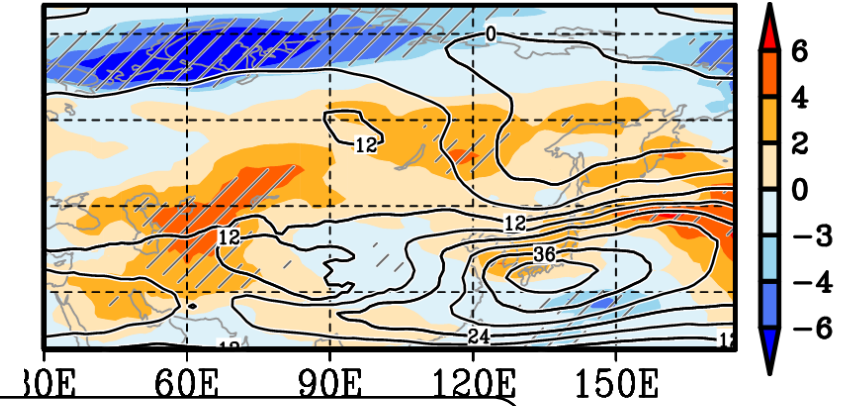
TERM3-TERM1



U500 TERM1(1959-1971) U500 TERM3(2010-2022)



TERM3-TERM1



大陸で高度場低下、日本で北上。日本付近でジェットの北上。  
日本海では西風やや強化

# まとめ1:日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)の長期変化

- JPCZの発生数に長期トレンドは見られないが、十数年規模の変動は見られる（冬季気温やAOとは負相関。ENSOやPDOとの相関は低い）
- 過去のJPCZの発生数が多い2期間でコンポジット解析を実施。近年、降水量は増加、降雪量は沿岸部で減少、山沿い・内陸部で増加。降雨量は日本海で増加。JPCZの位置はやや北偏。
- 総観場のコンポジット解析から、近年のJPCZ事例でジェットの北上や昇温の影響がみられた。JPCZの北偏に影響したとみられる。
- 13年冬季平均の変化とは必ずしも整合しない。

# 本日の内容

1. 近年の温暖化と日本の雪の変化
2. 日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) の長期変化
3. 日本の雪の将来変化
4. 近年の極端な大雪と地球温暖化の関係～イベント・アトリビューション～

# 気象庁 日本の気候変動・地球温暖化予測情報

## 地球温暖化予測情報 第9巻 (2017年)

IPCCのRCP8.5シナリオを用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測

## 地球温暖化予測情報 第8巻 (2013年)

IPCC 温室効果ガス排出シナリオA1B を用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測

## 地球温暖化予測情報 第7巻 (2008年)

IPCC 温室効果ガス排出シナリオA1B およびB1 による日本の気候変化予測

## 地球温暖化予測情報 第6巻 (2005年)

IPCCのSRES A2シナリオを用いた地域気候モデルおよび都市気候モデルによる気候予測

## 地球温暖化予測情報 第5巻 (2003年)

IPCCのSRESシナリオから、A2、B2シナリオを用いての全球大気・海洋結合モデルによる気候予測

## 地球温暖化予測情報 第4巻 (2001年)

全球大気・海洋結合モデル及び地域気候モデルによる二酸化炭素濃度が年率1%で増加する場合の気候予測

## 地球温暖化予測情報 第3巻 (1999年)

二酸化炭素濃度の増加及び硫酸エアロゾルの影響を考慮した全球大気・海洋結合モデルによる気候予測

## 地球温暖化予測情報 第2巻 (1998年)

二酸化炭素濃度が年率0.5%で増加する場合の全球大気・海洋結合モデルによる気候予測

## 地球温暖化予測情報 第1巻 (1996年)

二酸化炭素濃度が年率1%で増加する場合の全球大気・海洋結合モデルによる気候予測

# 日本の 気候変動 2025

大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書

2025年3月

文部科学省 気象庁

**2020のアップデート版  
極端現象も評価**

# 日本の 気候変動 2020

大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書

(詳細版)

2020年12月

文部科学省 気象庁

**2km・5km・20km格子の地域気  
候モデル+全球気候モデルの予測**

# 将来予測まとめ

21世紀末の日本は、20世紀末と比べ...

年平均気温が約1.4℃/約4.5℃上昇



猛暑日や熱帯夜はますます増加し、冬日は減少する。

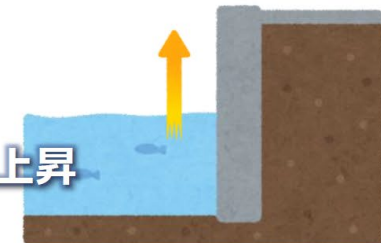
※黄色は2℃上昇シナリオ、赤色は4℃上昇シナリオによる予測

日本近海の平均海面水温が約1.13℃/約3.45℃上昇



世界平均よりも上昇幅は大きい。

沿岸の海面水位が約0.40m/約0.68m上昇



3月のオホーツク海海氷面積は約32%/約78%減少



【参考】4℃上昇シナリオでは、21世紀末までには夏季に北極海の海氷がほとんど融解すると予測されている (IPCC, 2021)。

降雪・積雪は減少

雪ではなく雨が降る。ただし大雪のリスクが低下するとは限らない。



激しい雨が増える

日降水量の年最大値は約12% (約13 mm) / 約27% (約28 mm) 増加。  
50 mm/h以上の雨の頻度は約1.8倍/約3.0倍に増加。

台風は強まる  
台風に伴う雨は増加



参考文献

日本周辺海域においても世界平均と同程度の速度で海洋酸性化が進行



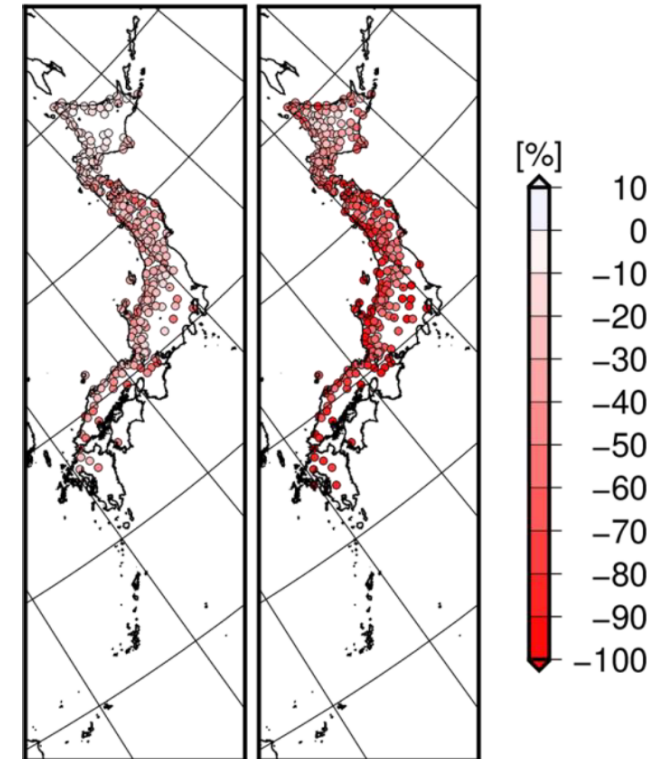
雪ではなく雨が降る。  
ただし大雪のリスクが低下するとは限らない。

# 雪【将来予測】

- **年最深積雪・年降雪量**：4℃上昇シナリオでは全国的に減少すると予測（2℃上昇シナリオでは本州以南）。
  - 平均的な降雪量が減少したとしても、本州の山間部等の一部地域では極端な大雪時の降雪量が増加する可能性がある。
- **降雪期間**：4℃上昇シナリオでは短くなると予測（始期が遅れ、終期が早まる）。

	2℃上昇シナリオによる予測 <small>パリ協定の2℃目標が達成された世界で生じ得る気候の状態</small>	4℃上昇シナリオによる予測 <small>追加的な緩和策を取らなかった世界で生じ得る気候の状態</small>
<b>年最深積雪 及び年降雪量</b>	約 - 30% (北海道の将来変化は小さく、予測が難しい。)	約 - 60%
<b>降雪期間</b>	(変化は明瞭ではない。)	短くなる (始期が遅れ、終期が早まる。)

2℃上昇シナリオによる予測      4℃上昇シナリオによる予測



20世紀末に対する21世紀末の年最深積雪の変化率

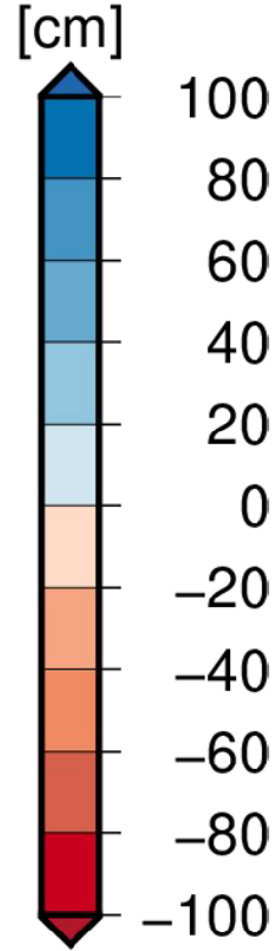
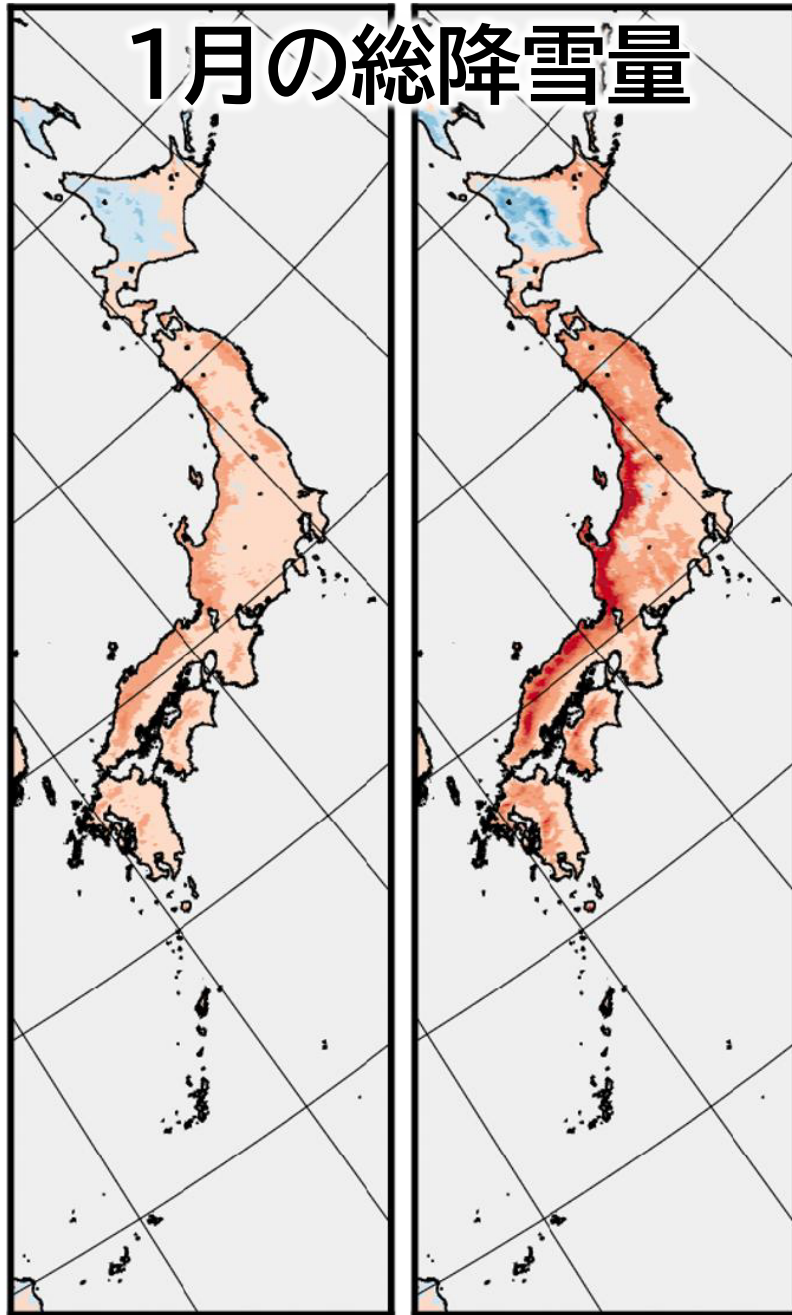


P166

RCP2.6

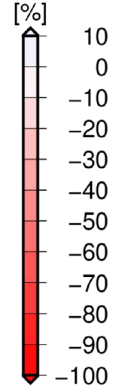
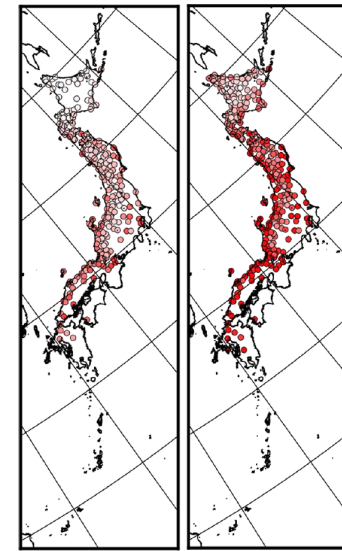
RCP8.5

# 1月の総降雪量



RCP2.6

RCP8.5



# 年降雪量

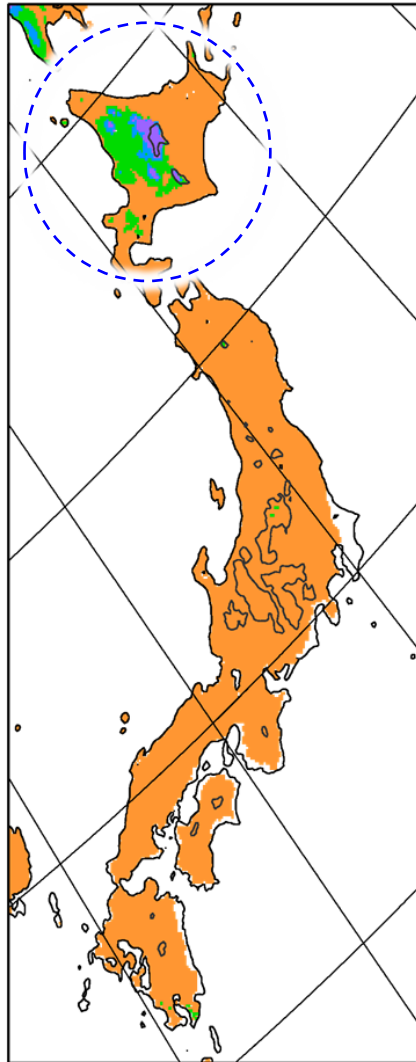
図 6.2.9 本報告書の予測による年降雪量の将来変化 (%)  
 左が 2°C 上昇シナリオ (RCP2.6)、右が 4°C 上昇シナリオ (RCP8.5) による予測結果。地点ごとにバイアス補正をした予測データを用いて、20 世紀末 (1980~1999 年平均) に対する 21 世紀末 (2076~2095 年平均) の変化率で示す。バイアス補正については、付録 A.3 や文部科学省及び気象庁 (2022b) 「②日本域気候予測データ」参照。増減が 4 メンバーで一致していない地点の変化率は、予測の不確か性が大きいいため表示していない。

図 6.2.10 本報告書の予測による 1 月の合計降雪量の将来変化 (cm)

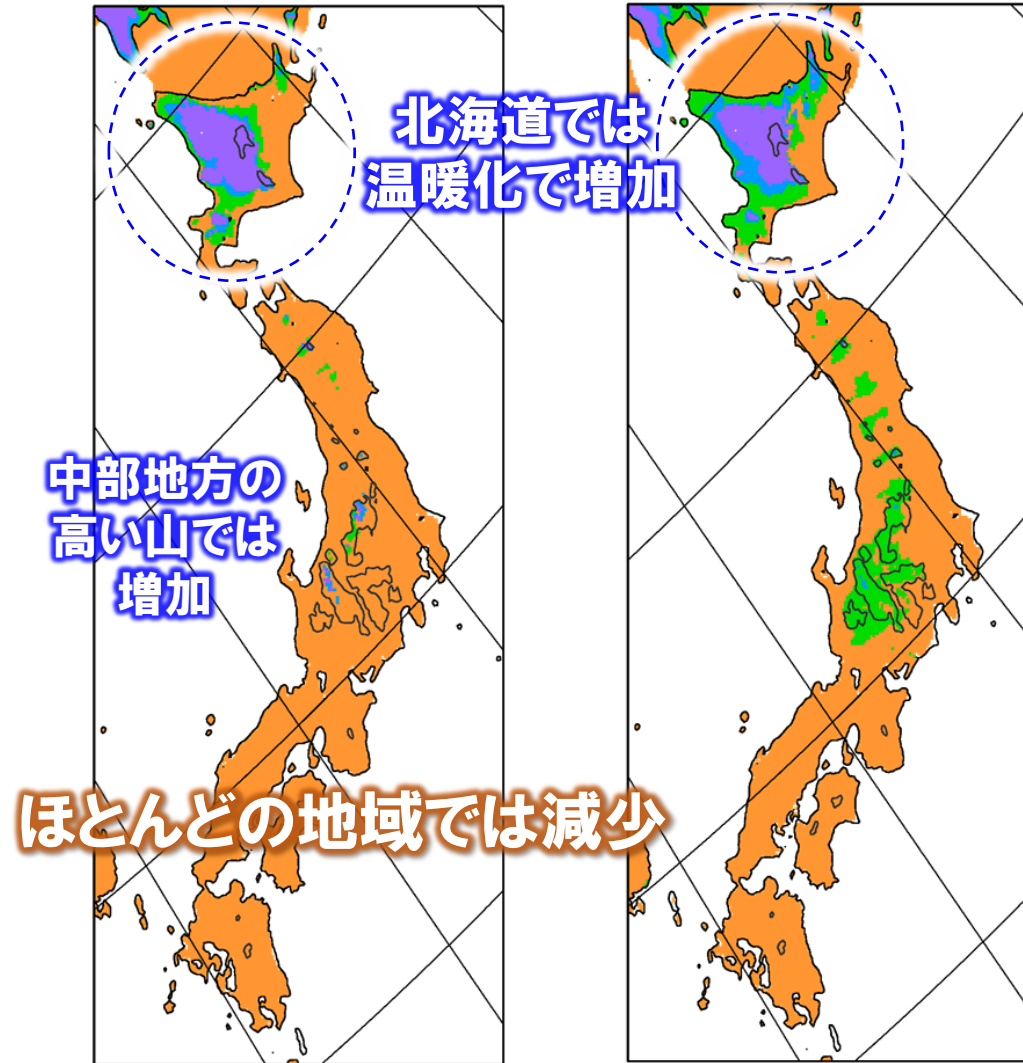
左が 2°C 上昇シナリオ (RCP2.6)、右が 4°C 上昇シナリオ (RCP8.5) による予測結果。バイアス補正をしていない予測データを用いて、20 世紀末 (1980~1999 年平均) に対する 21 世紀末 (2076~2095 年平均) の変化量で示す。バイアス補正については、付録 A.3 や文部科学省及び気象庁 (2022b) 「②日本域気候予測データ」参照。

# 将来変化傾向：月積算降雪量

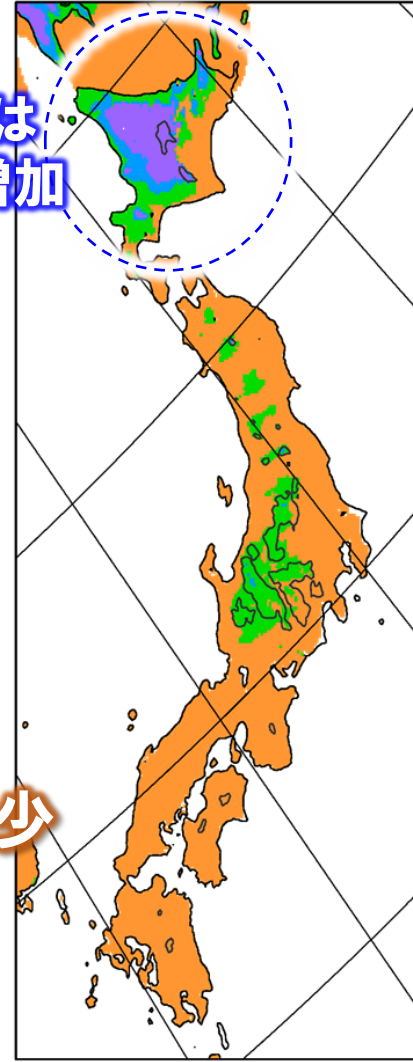
12月



1月



2月



温暖化で増加

4度シナリオで増加  
(2度シナリオよりも増加)

4度シナリオで増加  
(2度シナリオより減少)

2度シナリオで増加  
(4度シナリオでは減少)

2度シナリオで減少

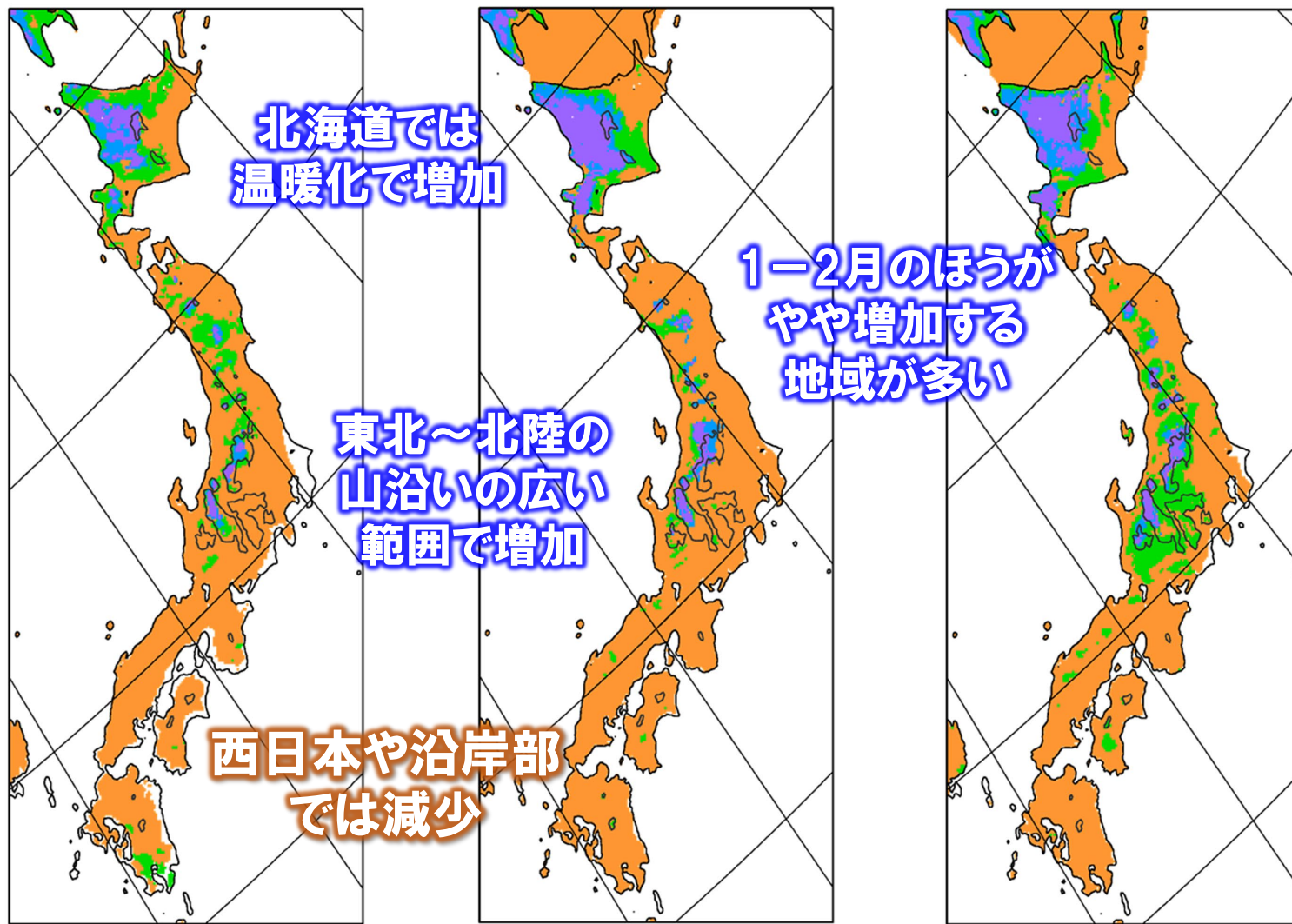
温暖化で減少

# 将来変化傾向：月最大日降雪量（どか雪）

12月

1月

2月



温暖化で増加

4度シナリオで増加  
(2度シナリオよりも増加)

4度シナリオで増加  
(2度シナリオより減少)

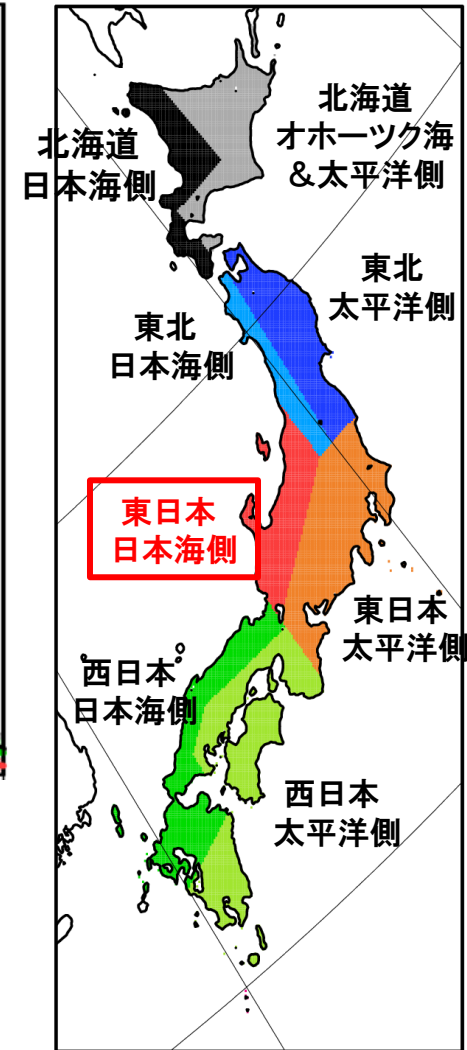
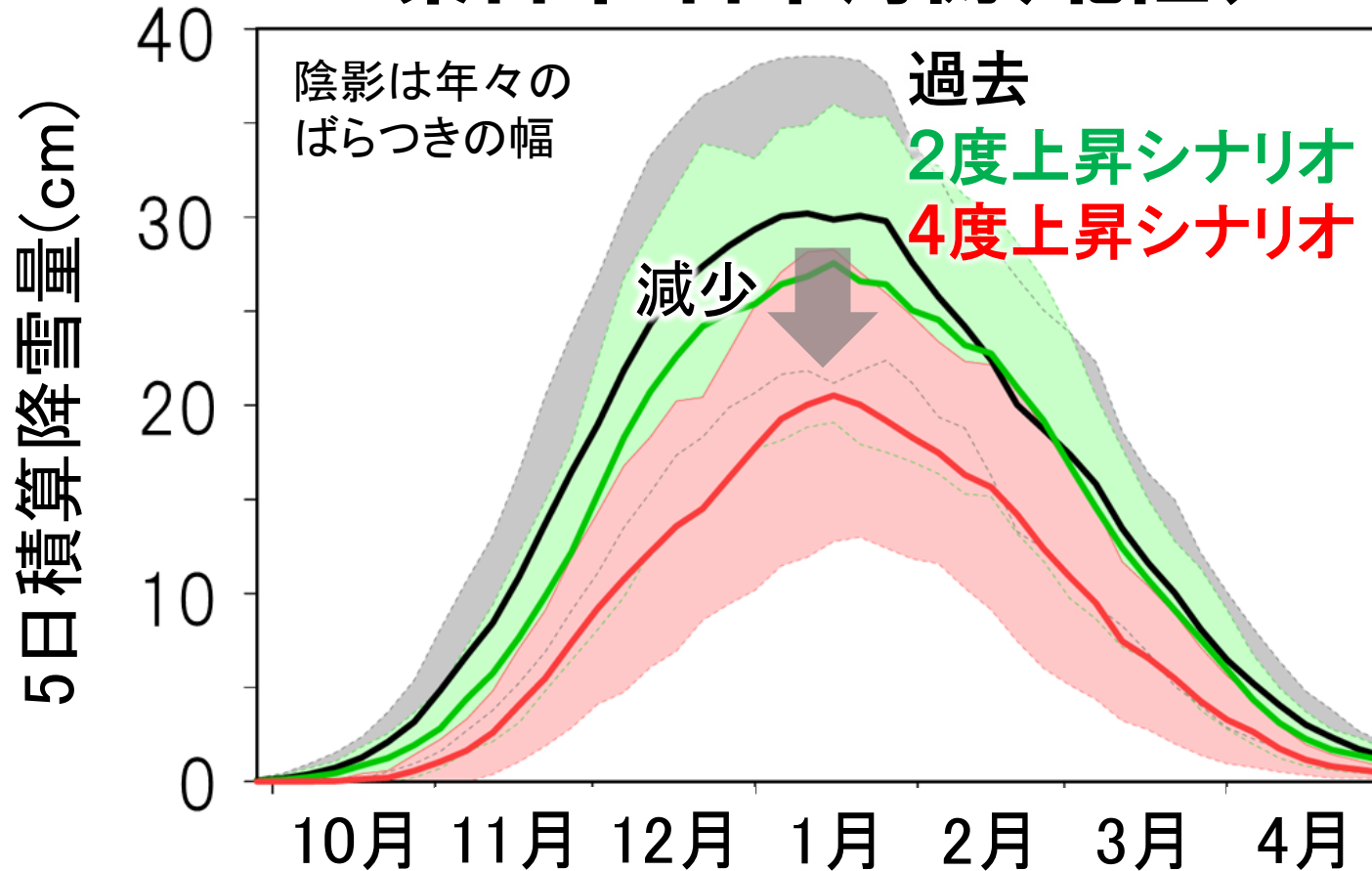
2度シナリオで増加  
(4度シナリオでは減少)

2度シナリオで減少

温暖化で減少

# 5日間積算降雪量の季節変化

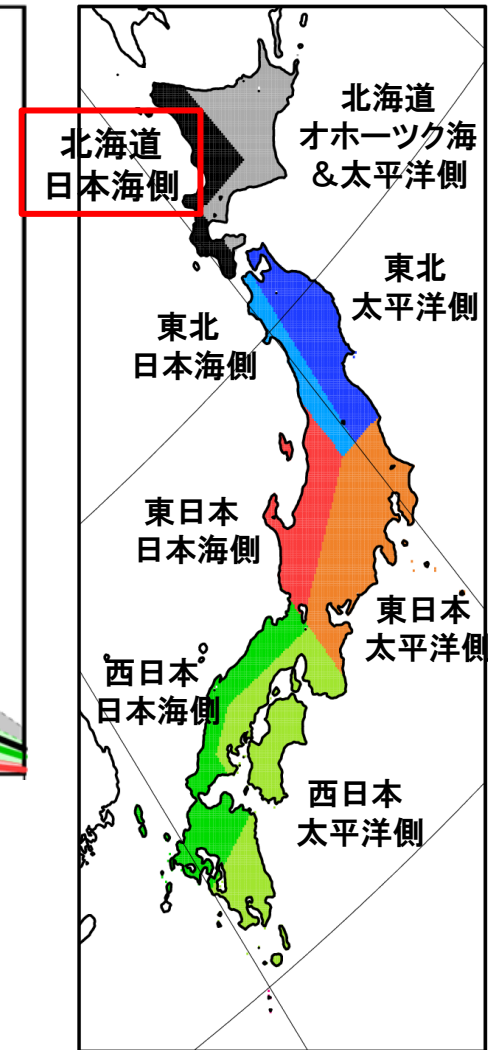
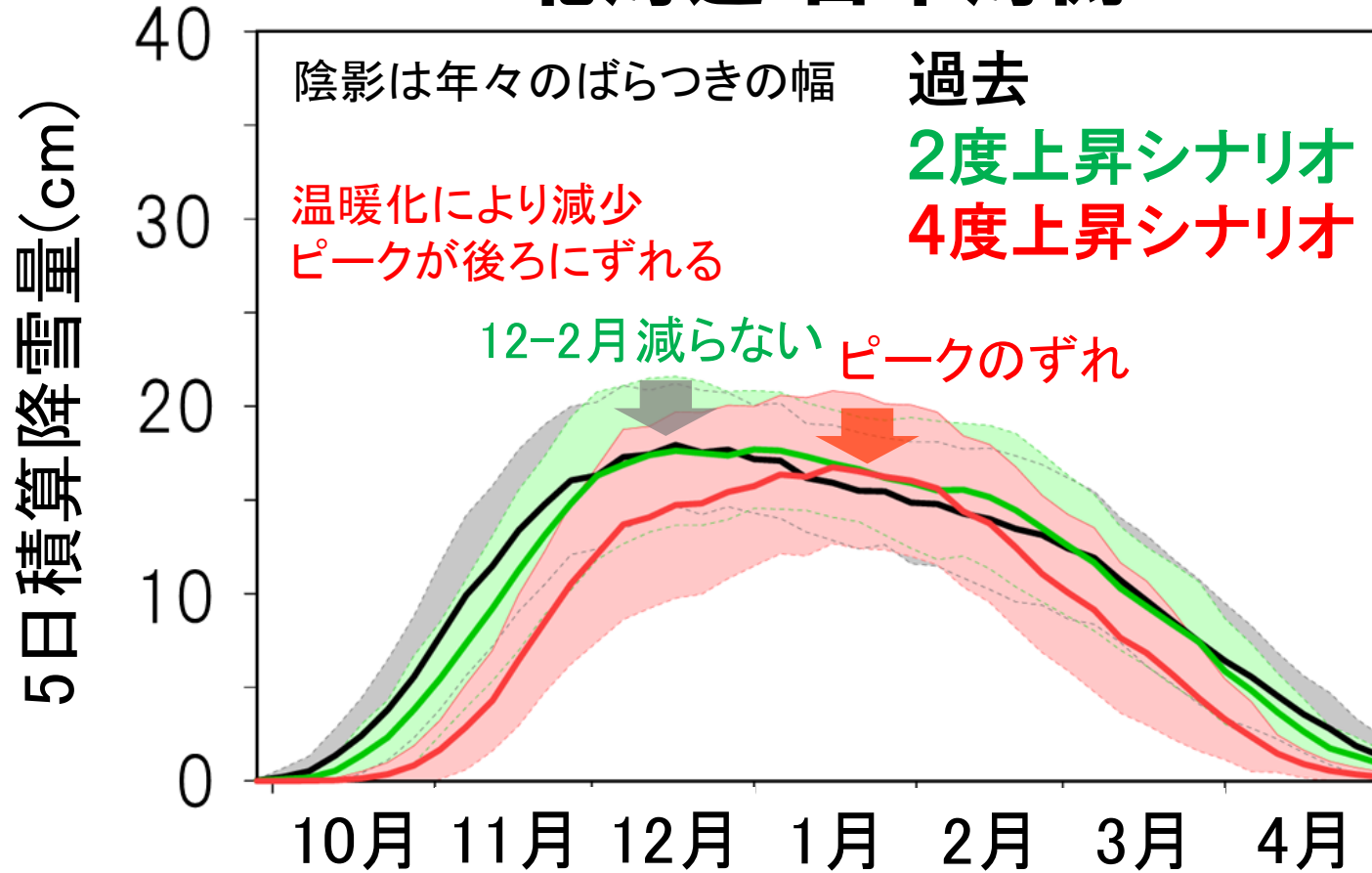
## 東日本 日本海側(北陸)



- 平均すると、どの時期も大幅に降雪量が減少  
(ただし、厳冬期に標高の高い山では降雪が増加)

# 5日間積算降雪量の季節変化

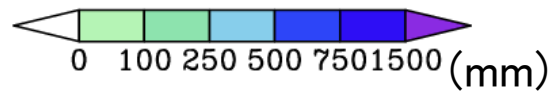
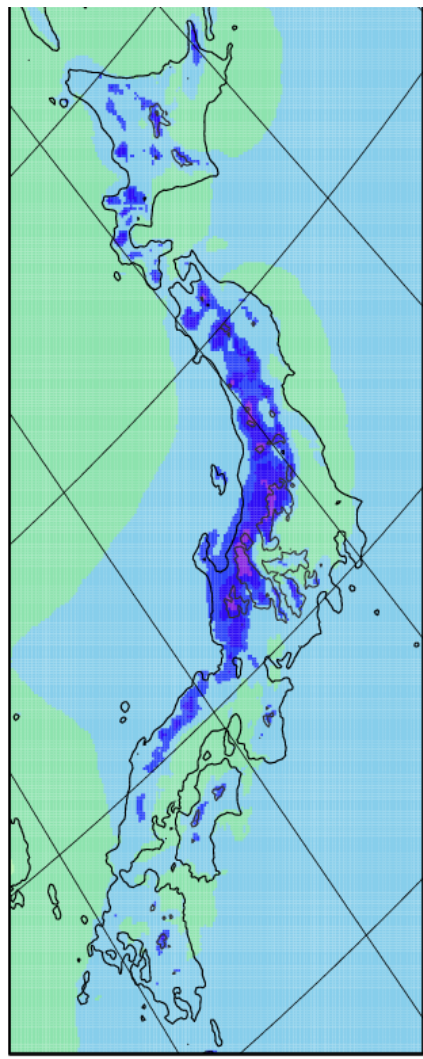
## 北海道 日本海側



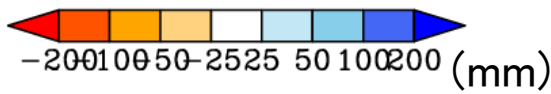
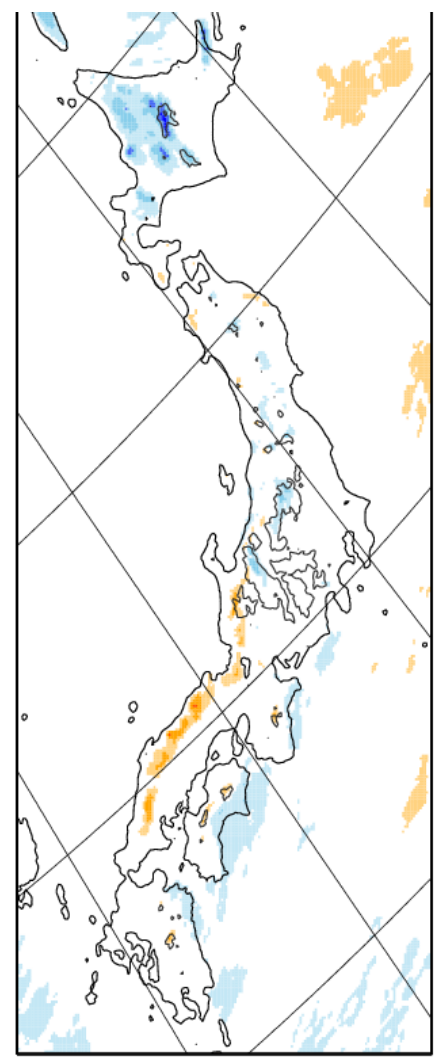
- ・北海道では東日本の日本海側と異なる傾向
- ・ピークのずれ。減少幅小さい。

# そもそも冬の降水量は？ 冬季積算降水量の変化

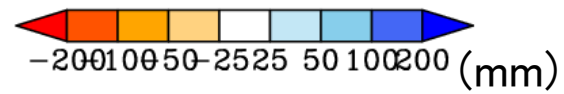
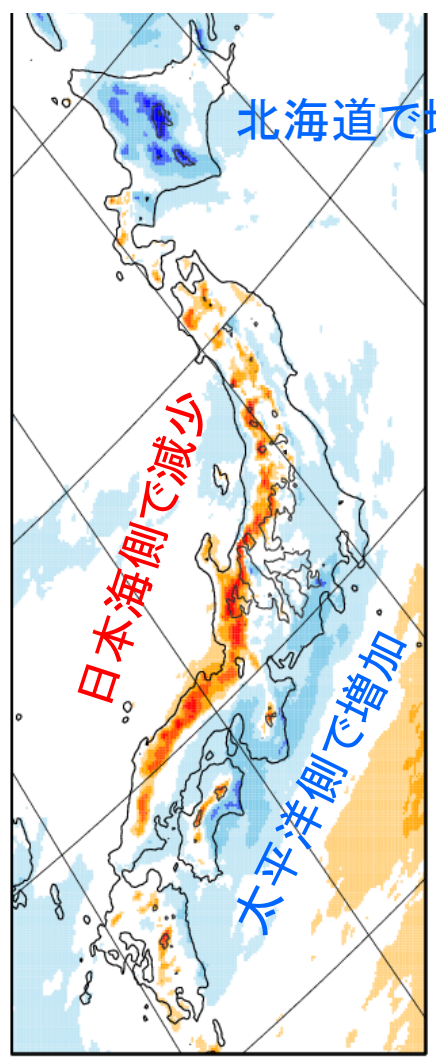
## 過去実験



## 2度上昇 (差)



## 4度上昇 (差)



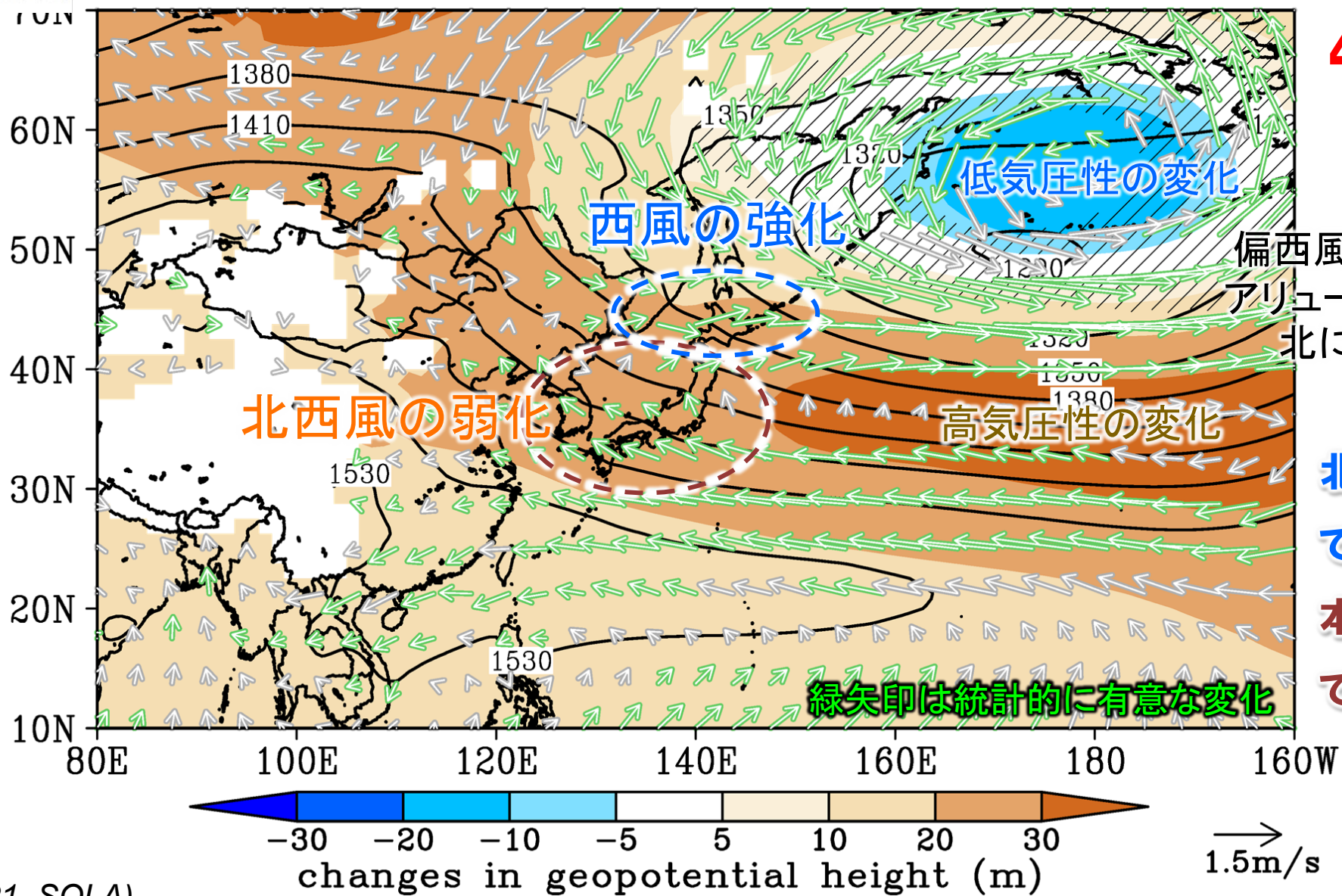
2度:RCP2.6 21世紀末  
4度:RCP8.5 21世紀末

『① 雪が降る状況(冬型・南岸低気圧)がどう変わるか』と関連。

# 大気の流れの変化(上空約1500m:850hPa)

RCP8.5の21世紀を対象としたAGCM20の計算  
(創生/統合ラン)

矢印：風の変化、(等値線：高度場(気候値)、陰影：高度(変化))



**4度上昇時  
(RCP8.5)**

偏西風の北上に伴い、  
アリューシャン低気圧が  
北に偏って、強化

**北海道：西風強化**

**で降水増加**

**本州：北西風弱化**

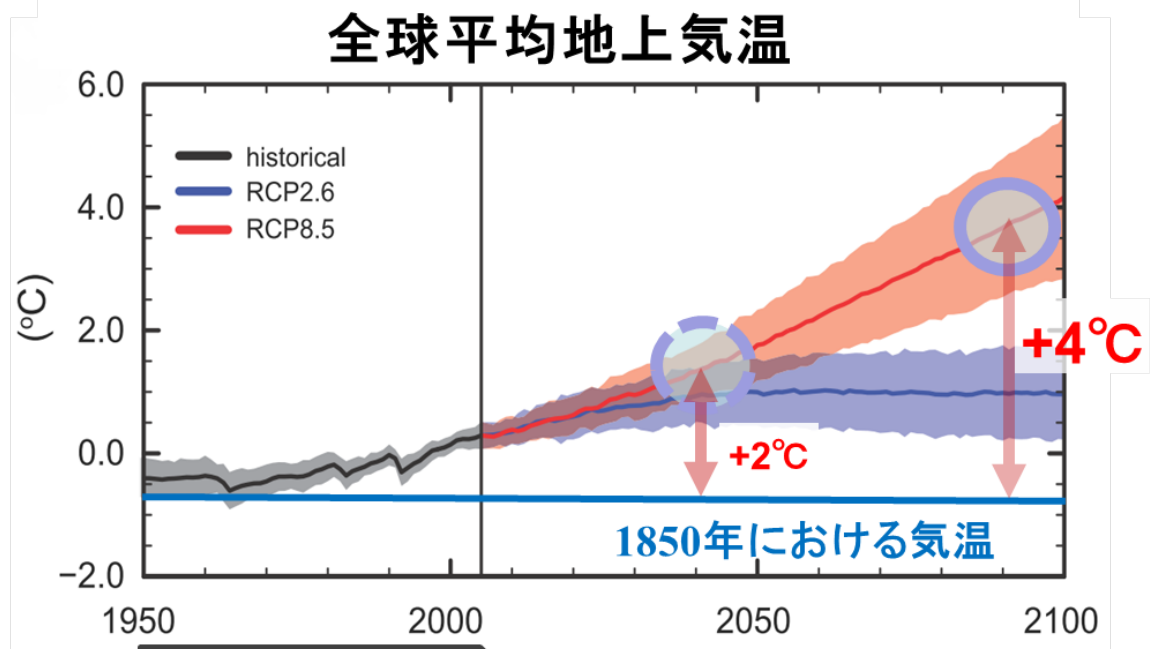
**で降水減少**

緑矢印は統計的に有意な変化

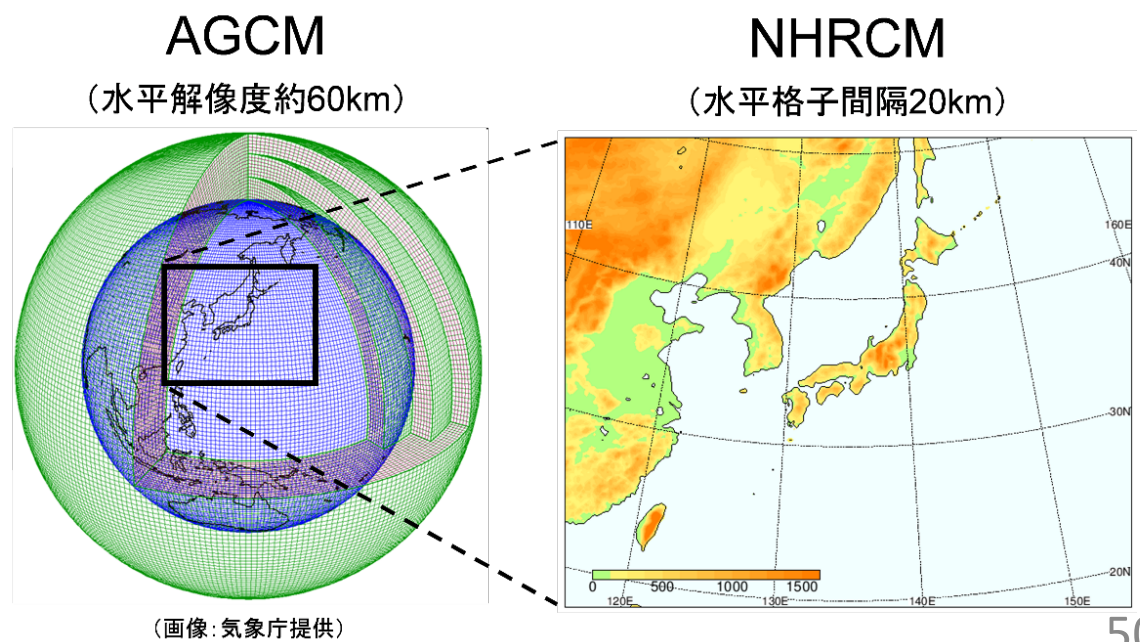
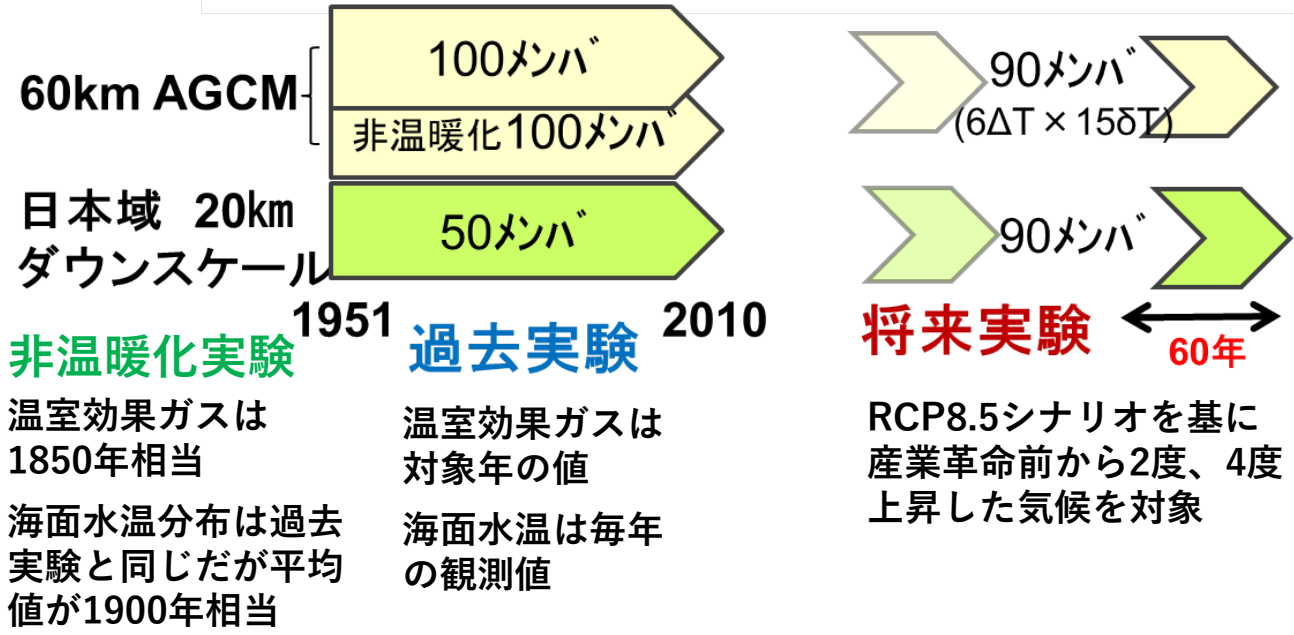
changes in geopotential height (m)

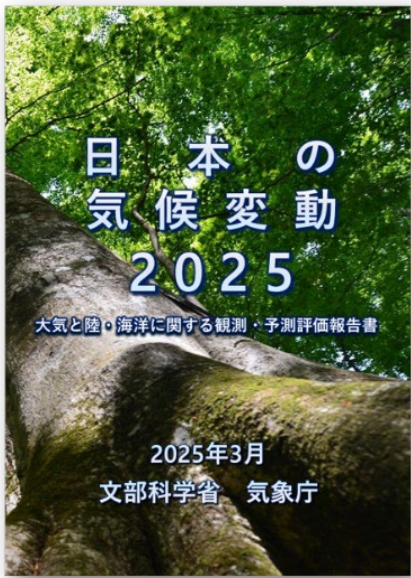
→  
1.5m/s

# 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)



- d4PDFの登場により、猛暑・豪雨・豪雪・台風等の極端気象の将来予測が飛躍的に進展 [Ishii and Mori, 2020, PEPS]
- データを全公開したことで、温暖化適応策関連に大きく貢献(ダウンロードは大変...)





P170



地球温暖化対策に  
資するアンサンブル  
気候予測データ  
ベース (d4PDF)

## 冬季総降雪量の変化

## 10年に一度の日降雪量の変化

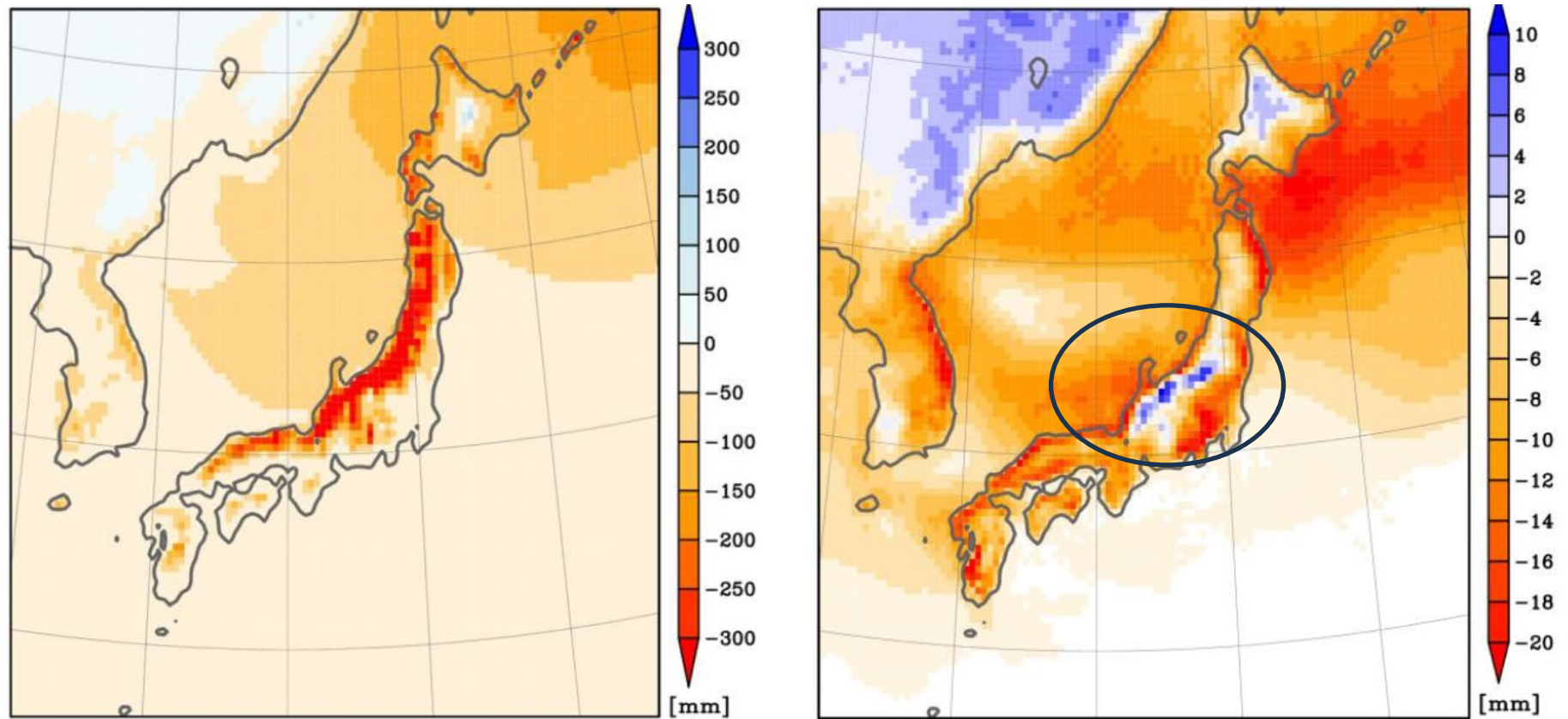
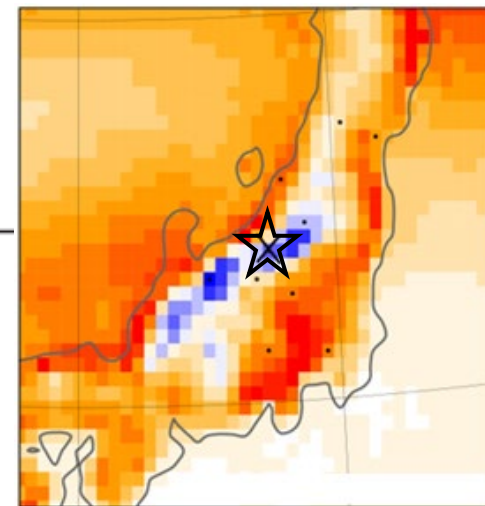
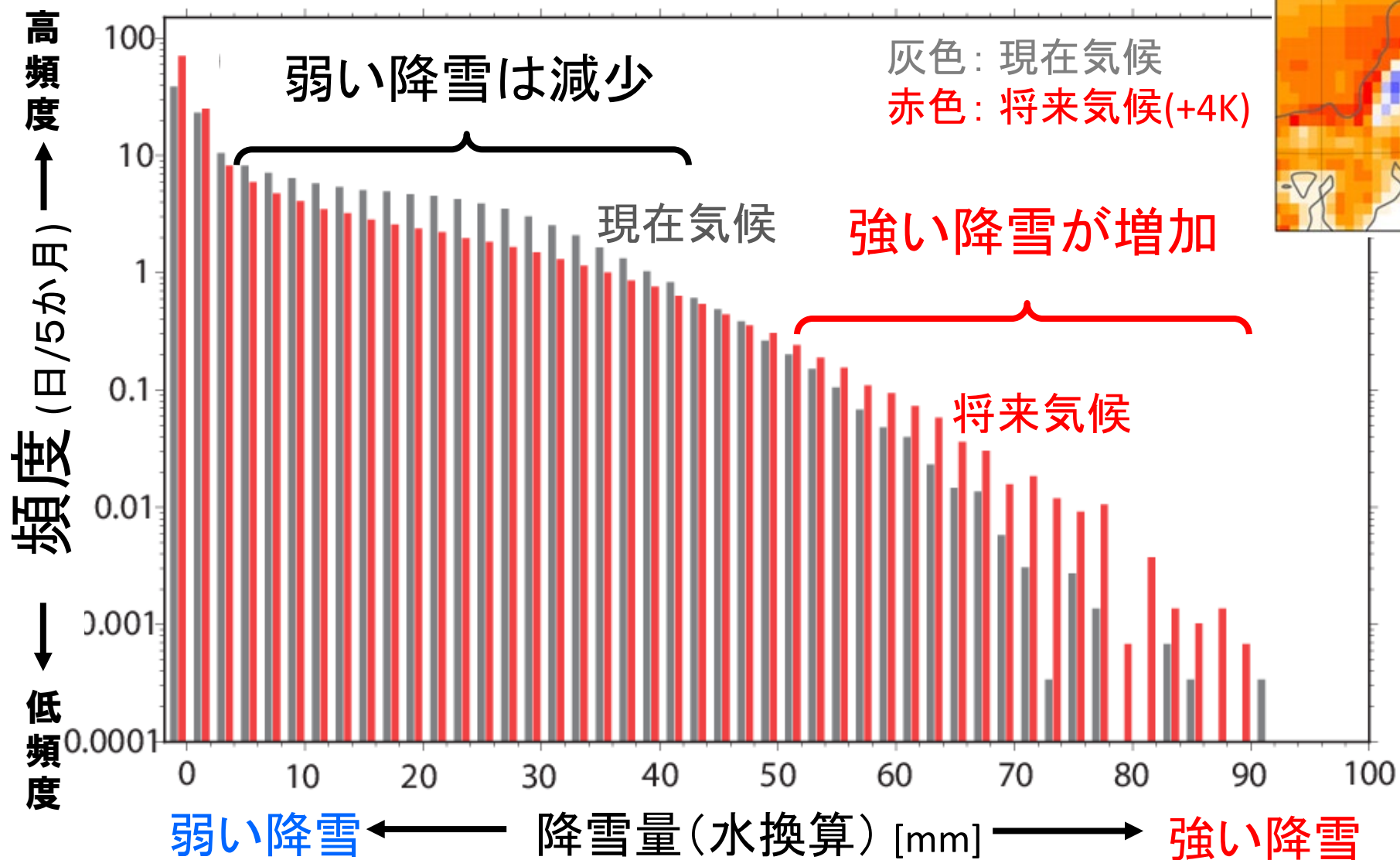


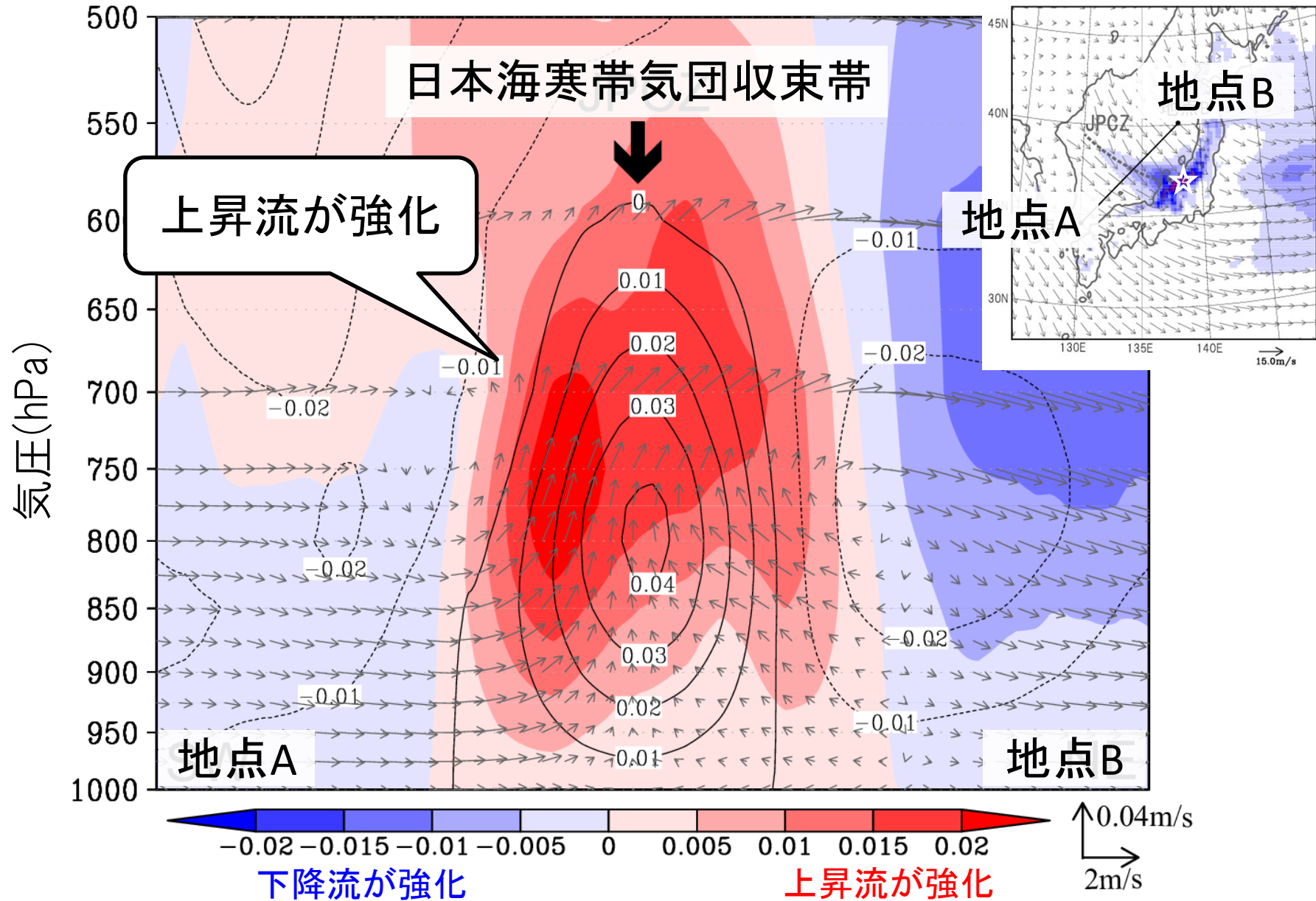
図 6.2.13 冬季 (11~翌年 3 月) の総降雪量及び 10 年当たり一回の発生頻度の大雪 (日降雪量) の将来変化 (a) が冬季の総降雪量の、(b) が 10 年当たり一回の発生頻度の大雪の将来変化。いずれも、d4PDF に基づき世界平均地表気温が 4°C 上昇した場合の変化を予測した結果で、水の量 (mm) に換算した値で示している。

(Kawase et al. (2016) より、Climatic Change (<https://www.springer.com/journal/10584>) から SNCSC の許可を得て改変・転載©Springer Nature)

# 日降雪量の頻度分布 (津南町付近)



# JPCZ周辺の上昇流の将来変化(津南大雪発生時)



# 本日の内容

1. 近年の温暖化と日本の雪の変化
2. 日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) の長期変化
3. 日本の雪の将来変化傾向
4. 近年の極端な大雪と地球温暖化の関係～イベント・アトリビューション～

# 近年の大雪

## 近年、日本海側を中心に災害を伴う大雪がたびたび発生

- 2018年1月中旬 新潟市で24時間降雪量80cm、2月上旬 福井市で積雪147cm
- 2020年12月中旬 新潟～群馬（みなかみ町藤原で48時間で199cm） ← 温暖化で増加した可能性 [Kawase et al. 2023]
- **2021/22年冬季の大雪** ← 温暖化で大雪頻度が増加した可能性 [Kawase et al. 2024]
  - ≫ 12月下旬：彦根・西日本で大雪 [日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）]
  - ≫ 1月～2月：札幌大雪 [低気圧、小低気圧、冬型] ← 温暖化で増加した可能性 [Tamura and Sato 2024]
  - ≫ 2月24日：新潟県津南町で419cm（観測史上1位）
- 2023年1月24-25日の大寒波
- **2024/25年冬季 青森県の大雪(12月-)、十勝の大雪(2月上旬)、東日本の大雪(2月)**

文部科学省・気象庁報道発表(2025年9月)  
[Hirata et al. 2025]

温暖化と高い水温の影響 56

実際に発生した現象に対する地球温暖化の寄与を評価する手法

# イベント・アトリビューション (EA)

(異常気象 [極端気象] の要因分析)

## ● 確率的に評価する確率的EA

地球温暖化が、近年の極端気象 ([主に] 猛暑、大雨) の 出現頻度  
(発生確率) をどの程度変化させたか？

(2020/10/20 気象研究所報道発表)

(2022/9/6 気象研究所報道発表)

(2023/9/19 文科省・気象研報道発表)

## ● 量的に評価する量的EA

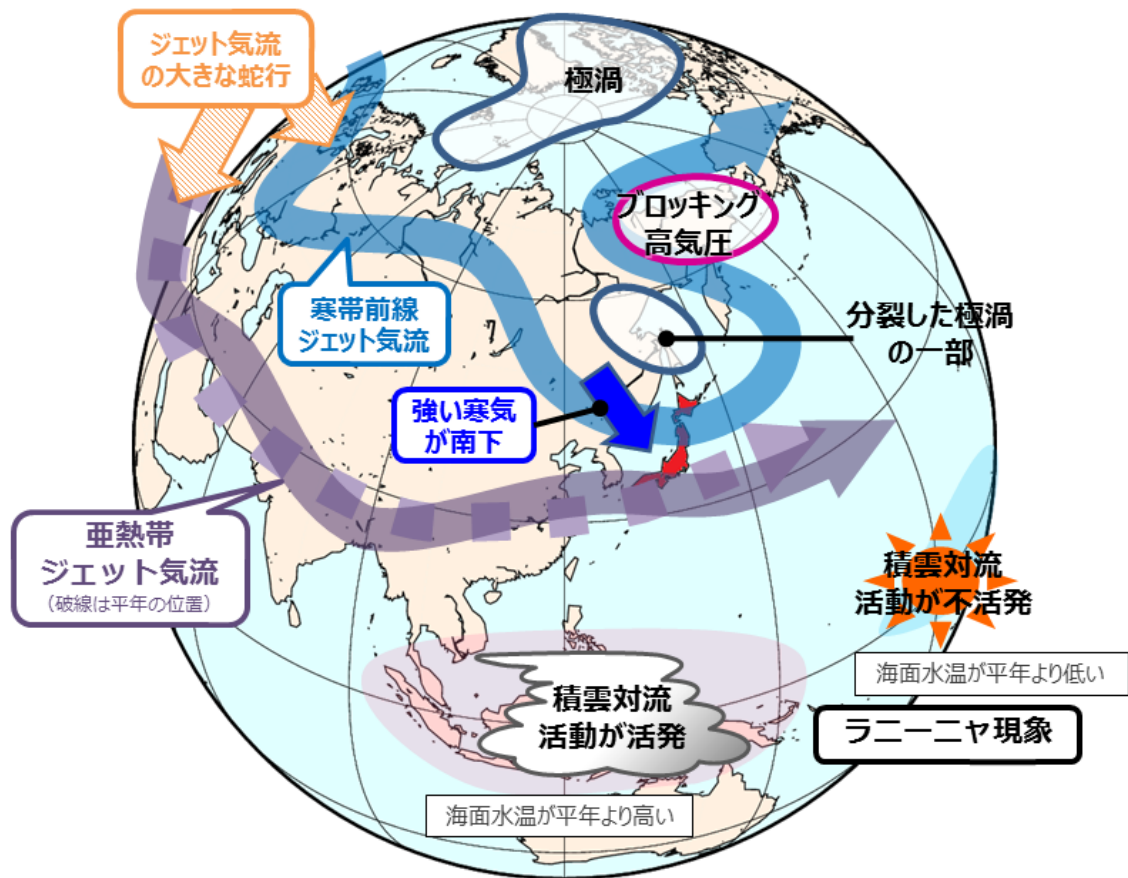
地球温暖化が、実際に発生した大雨/大雪の量(降水量)を  
どの程度変化させたか？

(2020/12/24 気象研究所報道発表)

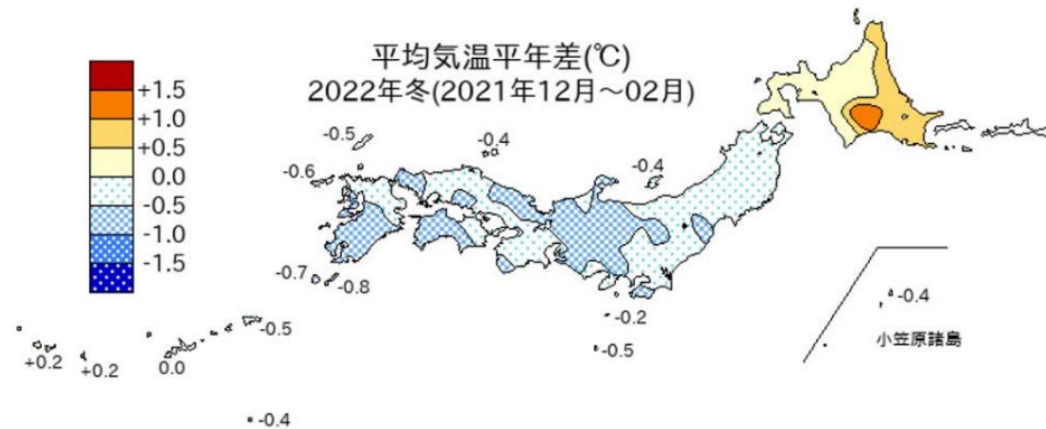
(2023/9/19 文科省・気象研報道発表)

# 大雪のイベント・アトリビューション

## 令和4年冬の平均的な大気の流れ

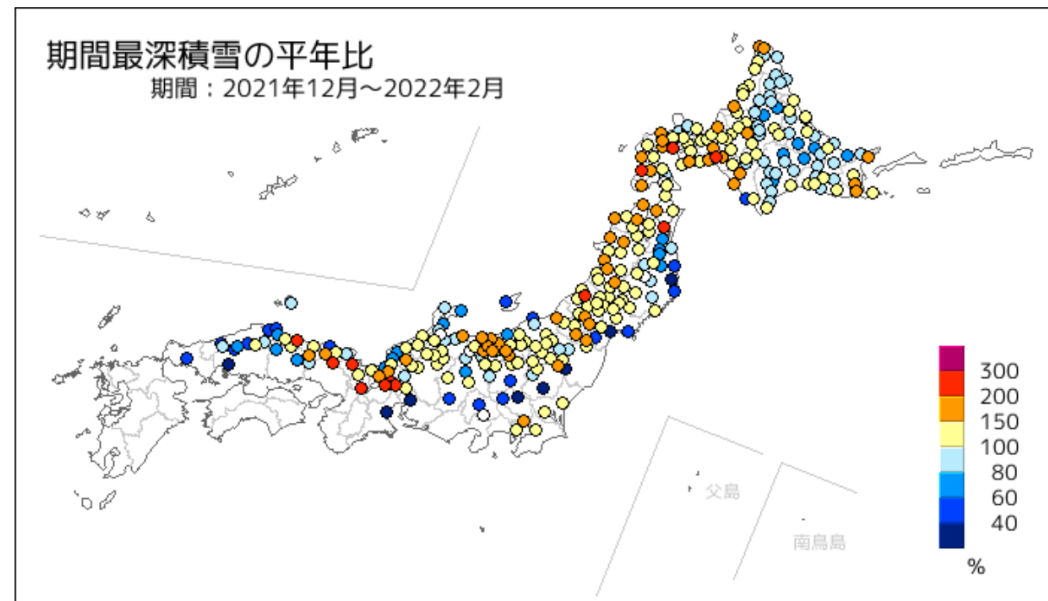


## 平均気温の平年差(°C)



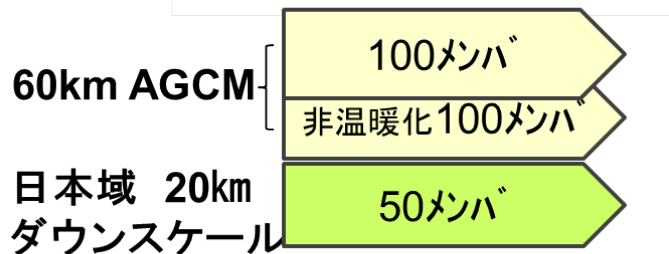
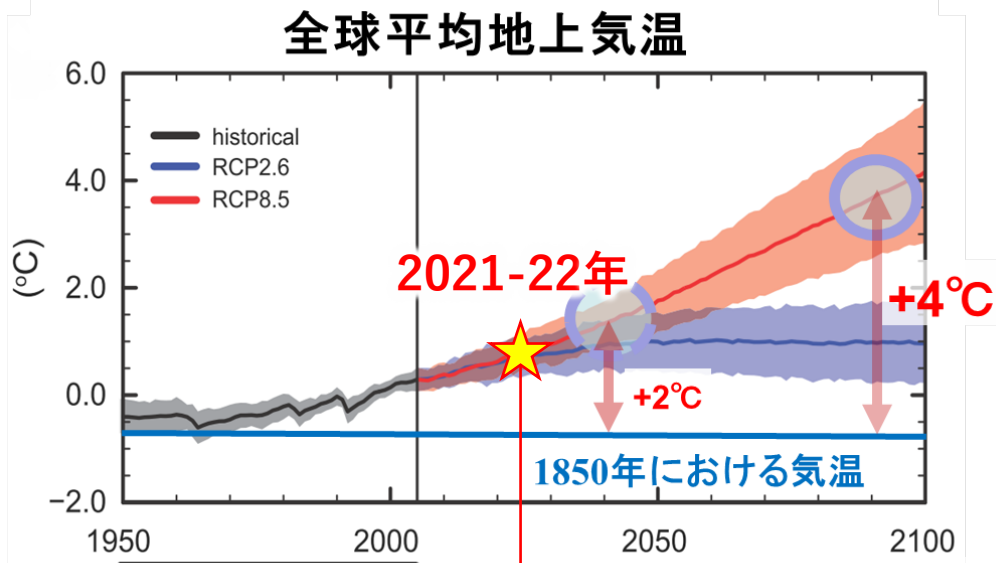
## 傾向

## 期間最深積雪の平年比



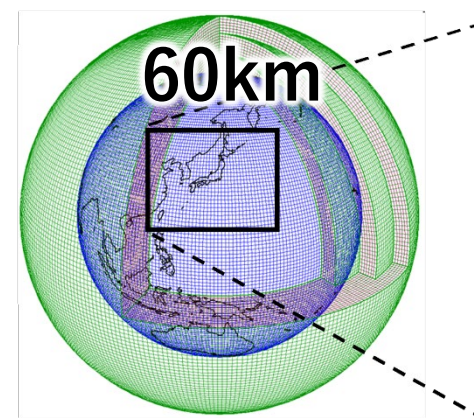
# 2021/22年冬季の大雪（確率的EA）

地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF) +  
 [Database for Policy Decision making for Future climate change]



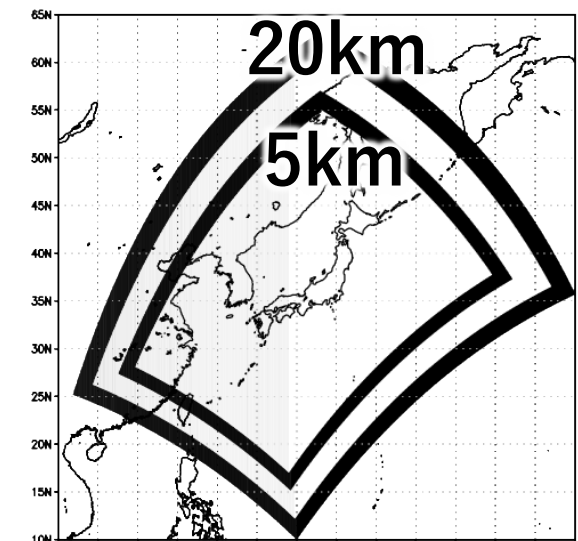
2021-22年の実験はこの年の海水温（ラニーニャ型）を与えて計算

全球モデル (MRI-AGCM60)



(画像: 気象庁提供)

領域モデル(NHRCM)



20kmは5km用に領域を変更  
 詳細は、Kawase et al. 2023, JGR

格子間隔：20km - 5km

実験：過去実験(HIST)、非温暖化実験(NonW)

アンサンブルメンバー：100

5kmの計算期間：2021年11月28日～3月8日

(対象：12月1日～2月28日)

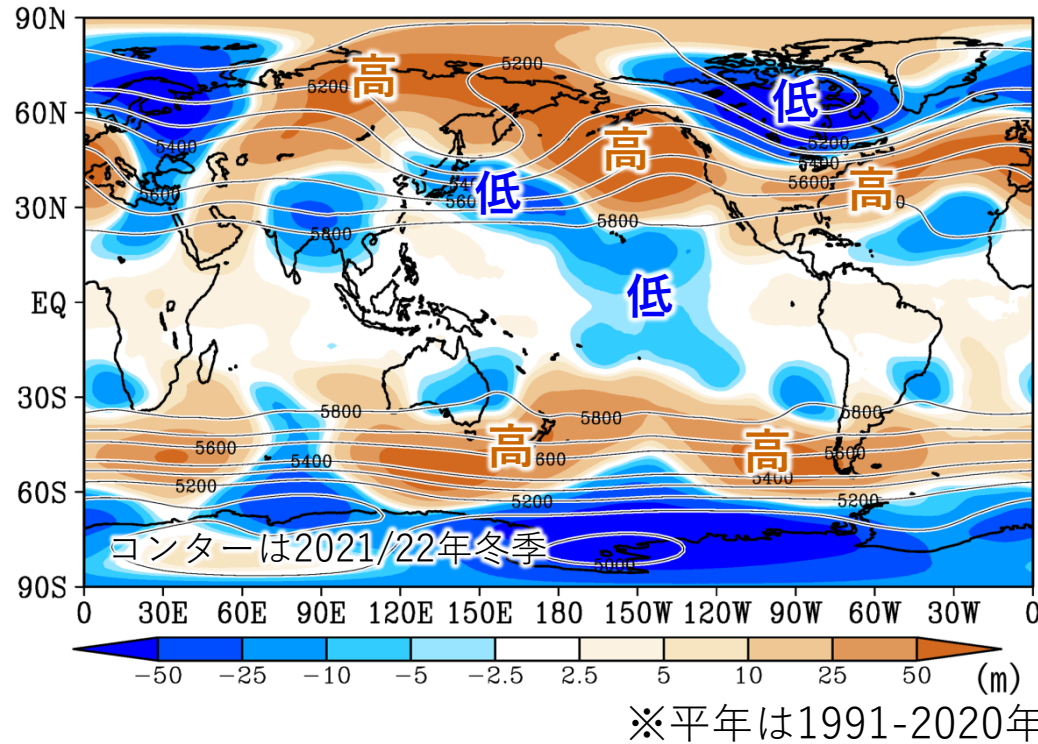
**非温暖化実験** 1951  
 温室効果ガスは1850年相当  
 海面水温分布は過去実験と同じだが平均値が1900年相当

**過去実験** 2010  
 温室効果ガスは対象年の値  
 海面水温は毎年の観測値

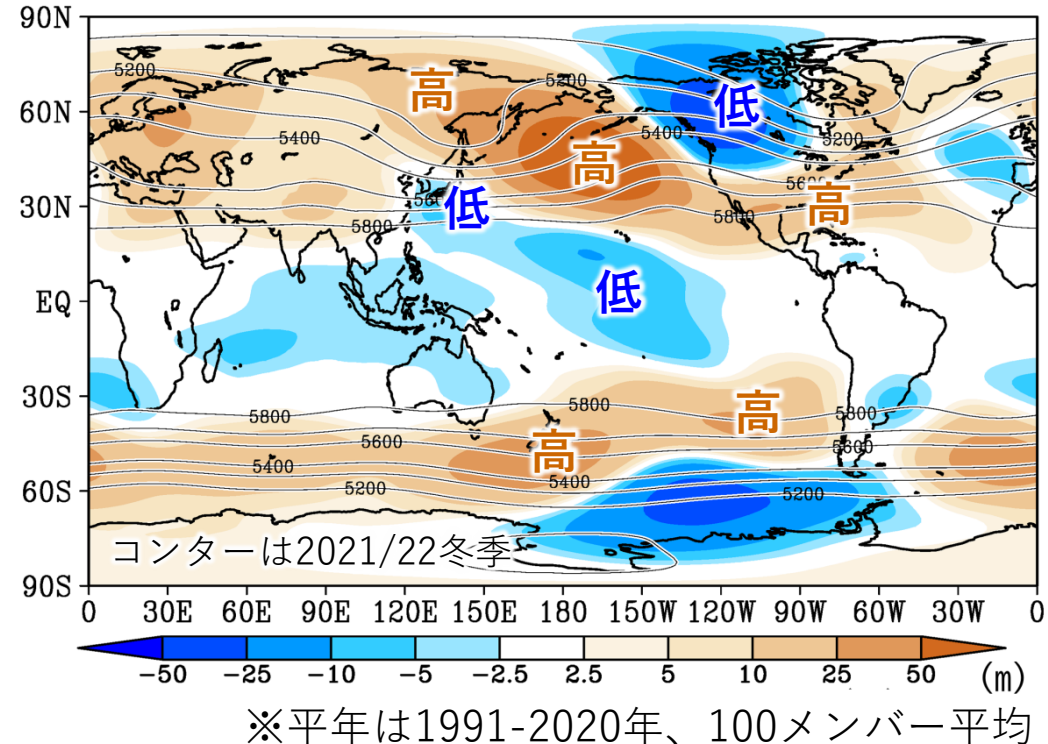
# 2021/22年の循環場(全球モデル)

## ■ 2021/22年冬季(DJF)の平年差(d4PDFとJRA-55)

### 500hPa高度 JRA-55(再解析)



### 500hPa高度 d4PDF過去実験



温暖化なしでも似たパターン

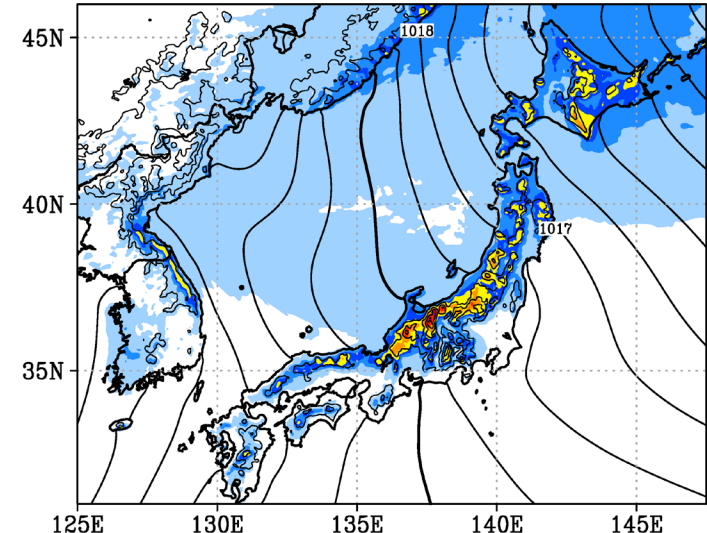
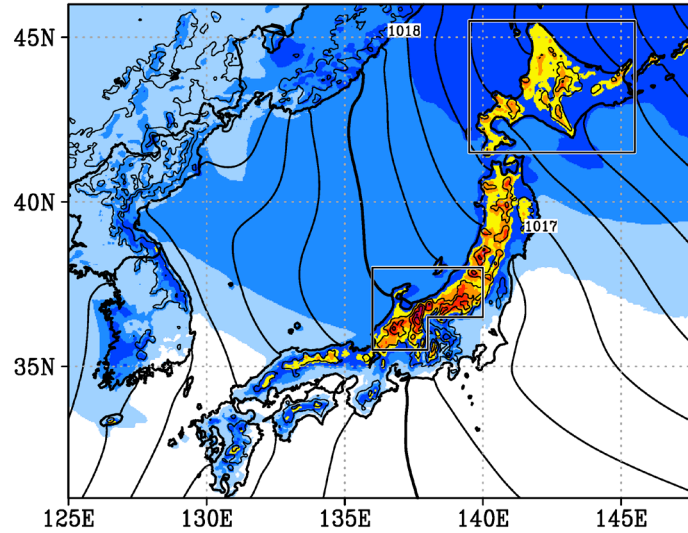
→ 2021/22年は、特に太平洋の周りでは、海水温の分布の影響を強く受けた可能性が高い(ラニーニャ現象時の典型的なパターン)

→ 温暖化前の状態で、ラニーニャが現象が発生した2021/22年冬を評価できる。

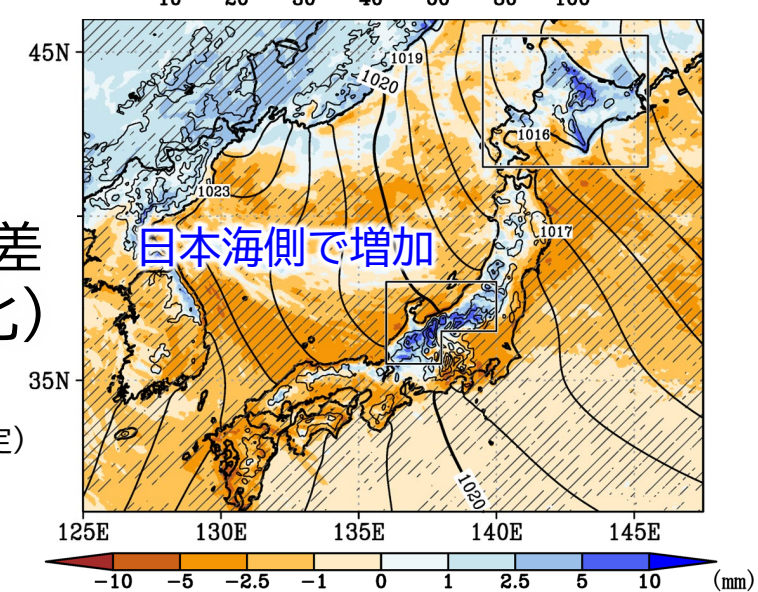
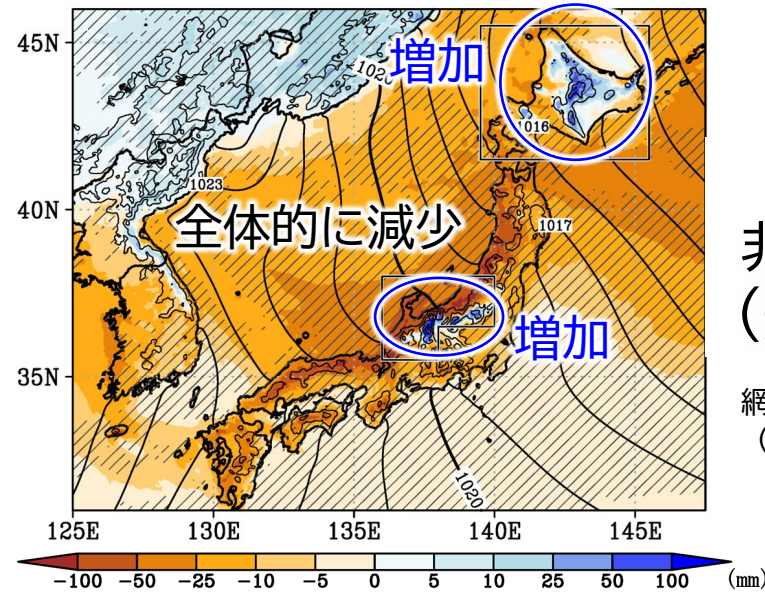
# 冬季積算降雪量・冬季最大日降雪量

冬季積算降雪量 (100メンバー平均)

冬季最大日降雪量 (100メンバー平均)



過去実験  
HIST21/22

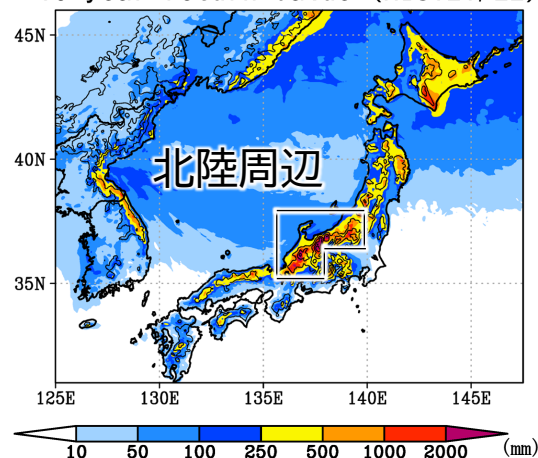


過去実験と  
非温暖化実験の差  
(過去-非温暖化)

網掛けは95%水準で有意な差  
(Mann-WhitneyのU検定で検定)

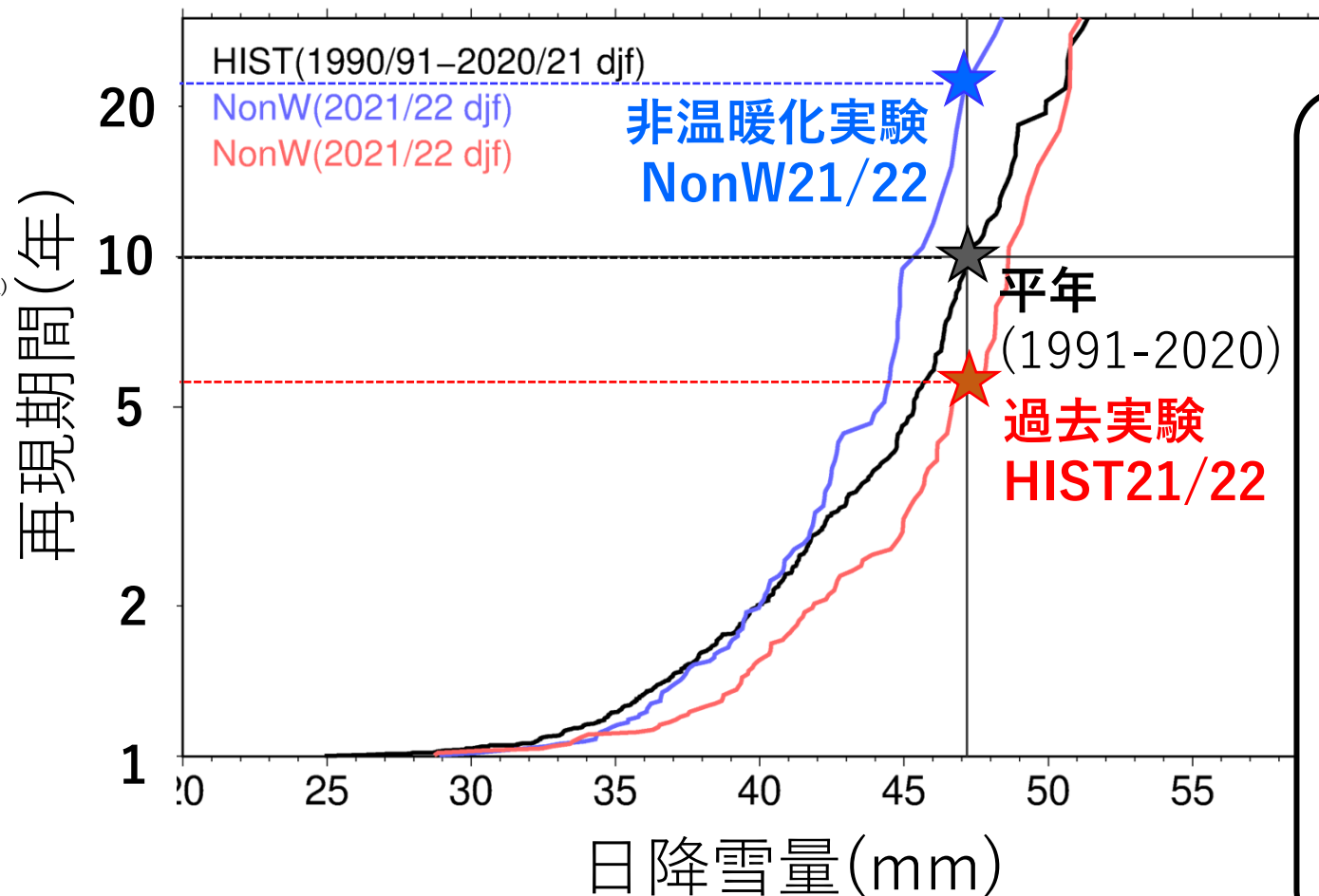
# 大雪 (冬季最大日降雪量) の変化

(f) DJF maximum daily snowfall  
10-year return value (HIST21/22)



## 冬季最大日降雪量(北陸\*)

※北陸(左図)の全格子の冬季最大日降雪量を平均した値を元に作成



全標高で平均

平年で10年に1度  
の日降雪

→ 2021/22冬季は  
5.5年に1度程度  
に増加

→ 温暖化なしでは、  
22.3年に1度  
程度

温暖化で頻度が4倍

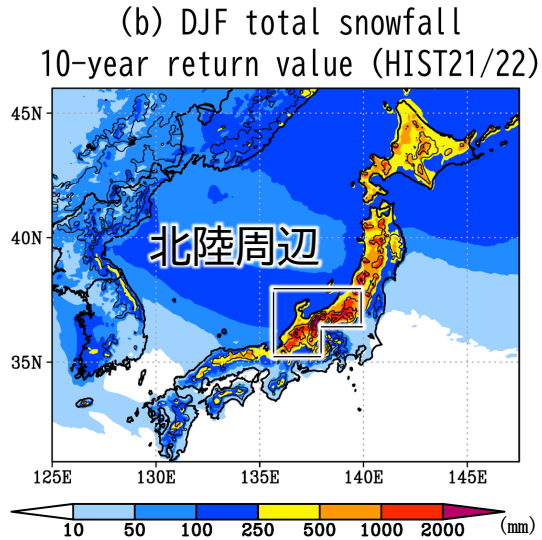
※再現期間はカンプロットのplotting position公式で算出

# 冬季積算・冬季最大日降雪量の変化 低標高

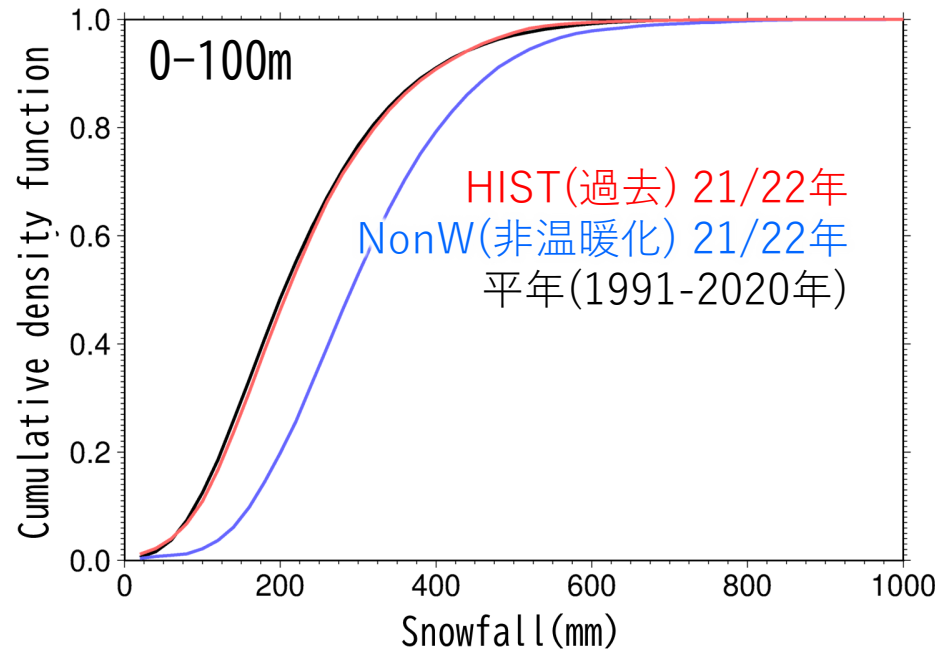
## 降雪量の累積頻度分布

### 冬季積算降雪量(低標高)

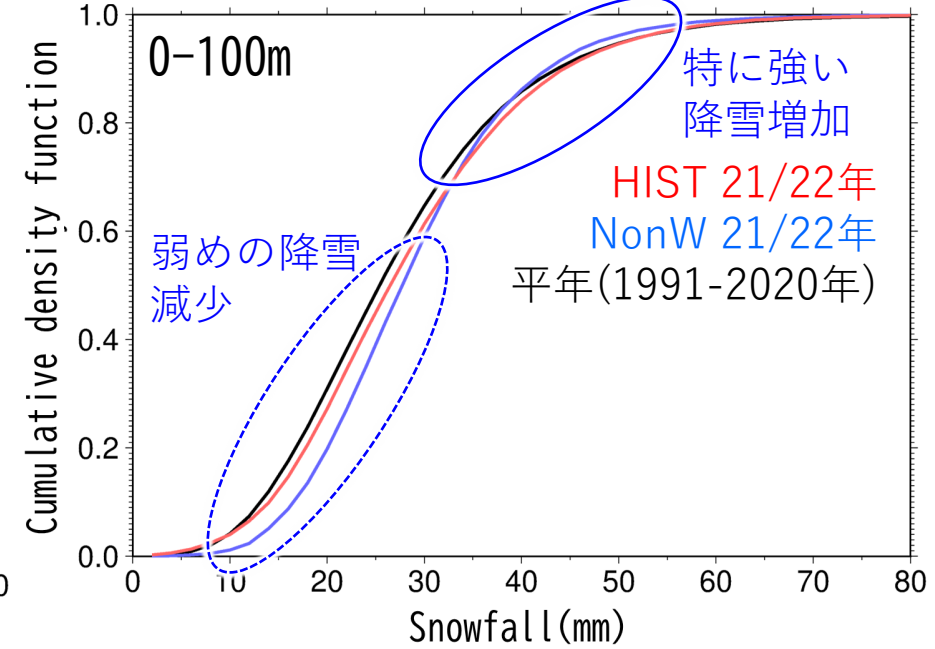
### 冬季最大日降雪量(低標高)



北陸(枠内の領域)の  
全格子点から算出



- HISTは平年とほぼ同様の分布
- 温暖化で大雪の頻度が大きく減少



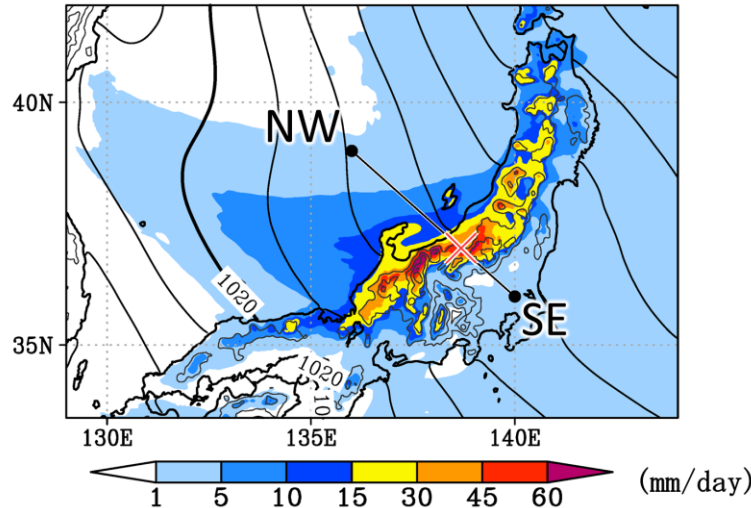
- 平年より降雪強度が増加(黒と赤)
- 温暖化で特に強い降雪の頻度が増加(青と赤)

※平年の頻度分布の計算には、  
d4PDF-5kmDDS(Kawase et al.  
2023)の結果を利用(1981-2010年)

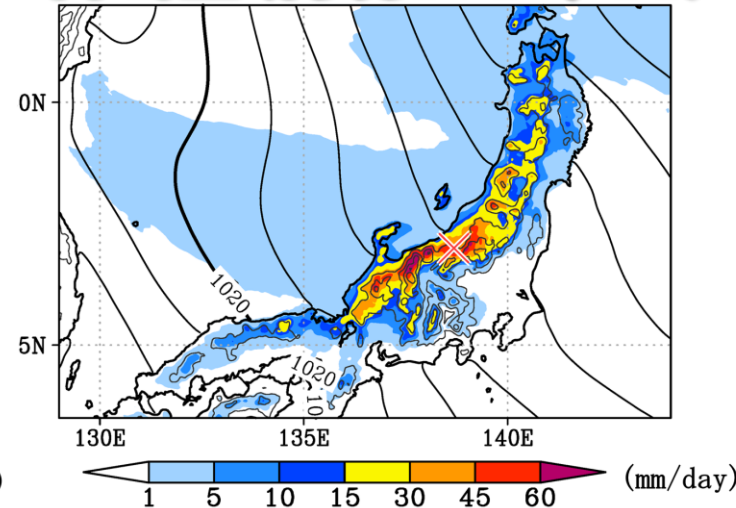
# 新潟県津南町周辺で大雪発生時のコンポジット

※各メンバーの年最大日降雪量が計算された日の合成図

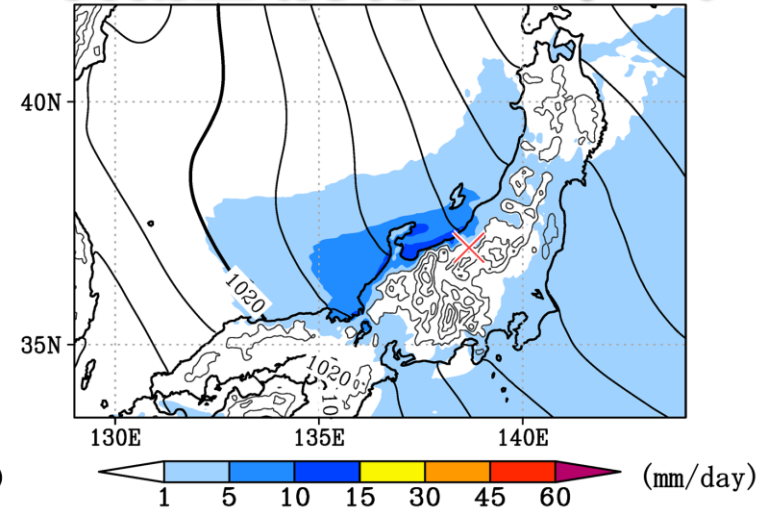
## 降水量 (再現2021/22)



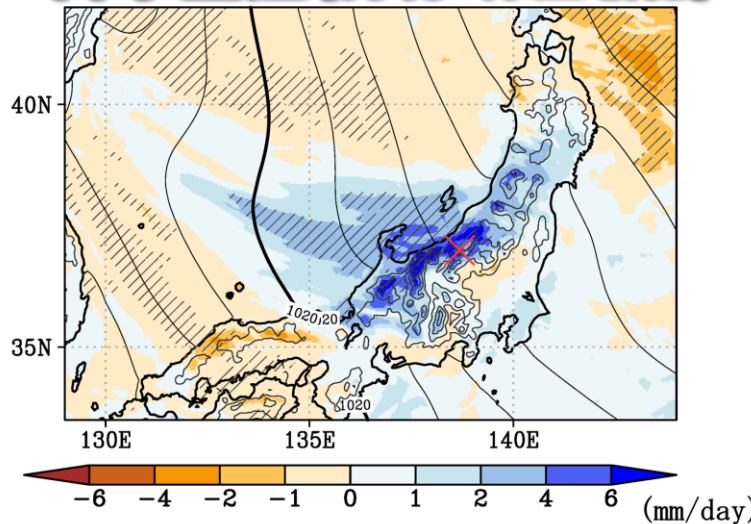
## 降雪量 (再現2021/22)



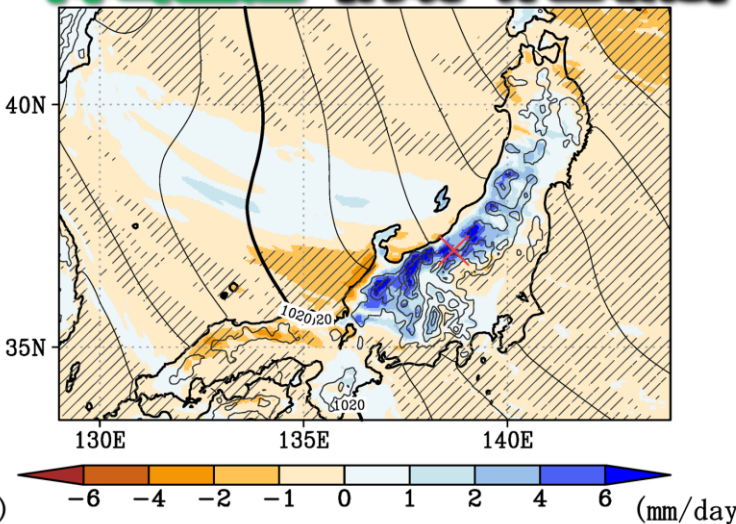
## 降雨量 (再現2021/22)



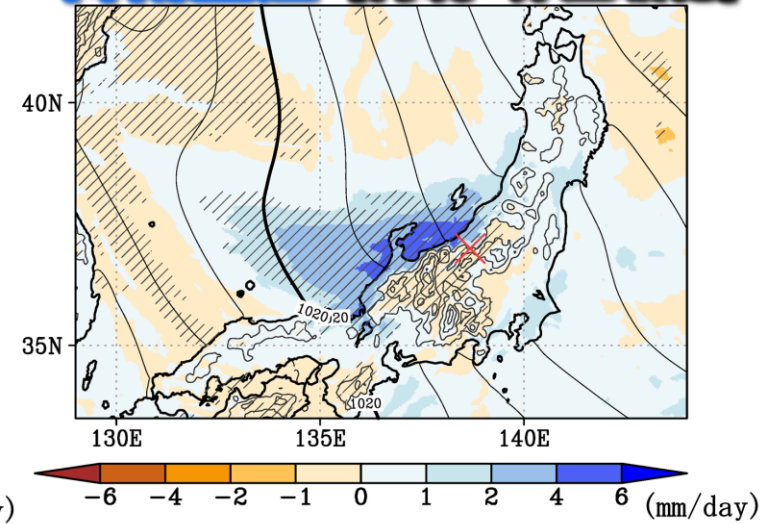
## 降水量差 [再現-非温暖化]



## 降雪量差 [再現-非温暖化]

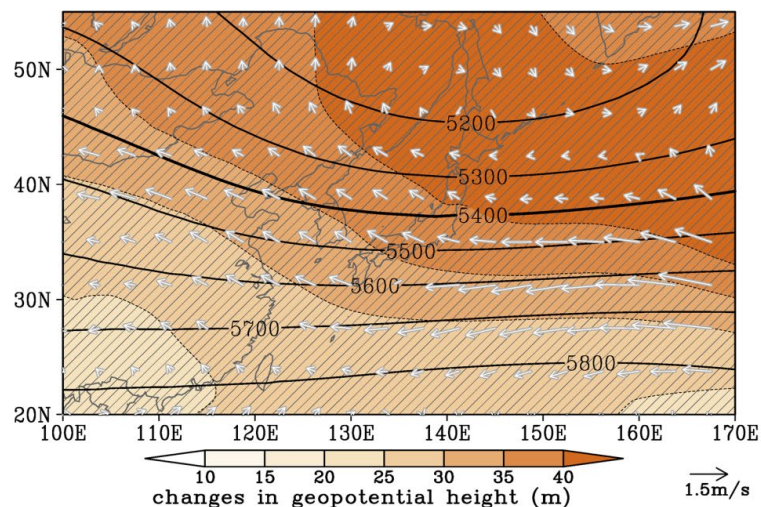


## 降雨量差 [再現-非温暖化]

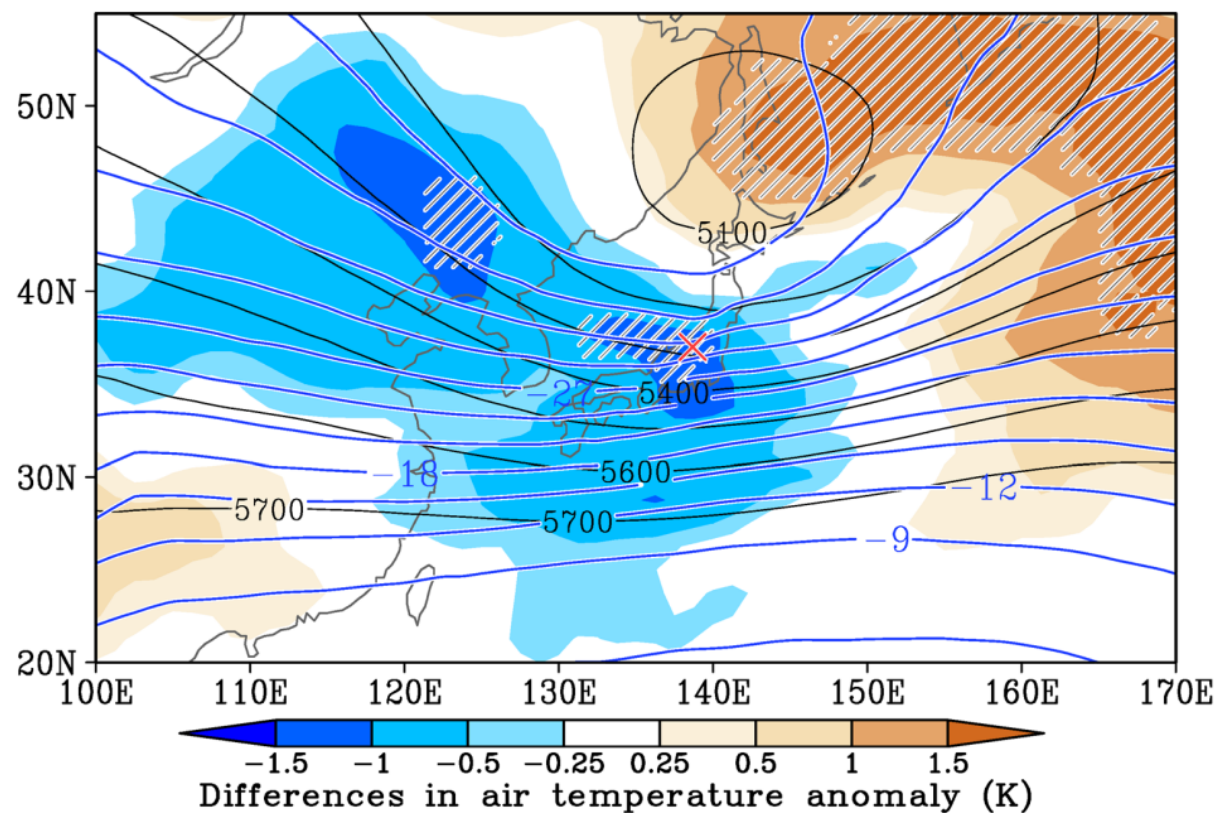


# 新潟県津南町周辺で大雪発生時のコンポジット（上空）

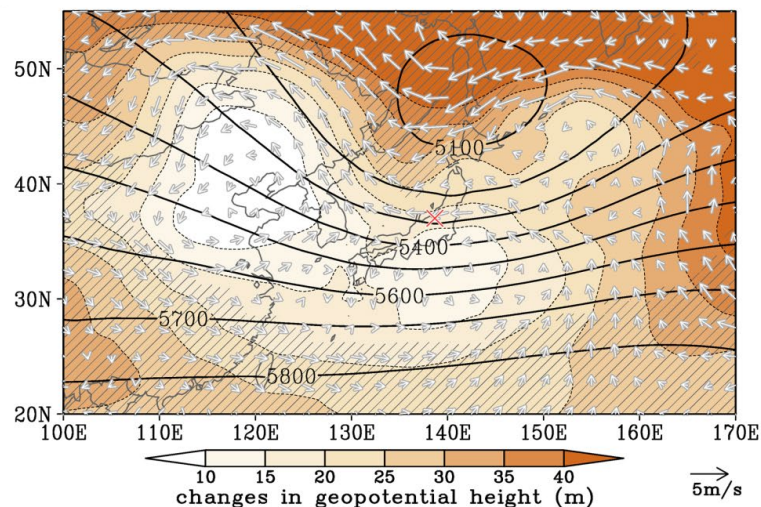
## 500hPa高度場の差（DJF平均）



## 500hPa気温場の差（津南大雪事例） 全球平均昇温量を除去



## 500hPa高度場の差（津南大雪事例）



# 日本の雪の長期変化のまとめ

## ■ 過去から現在

- 平地では年最深積雪が全国的に減少傾向（ただし、近年は横ばい）。
- 数値シミュレーションによると、東日本や北日本の山岳域の最深積雪は増加傾向。西日本では有意な減少。
- 積雪日数は全国的に減少、西日本では有意な減少。

## ■ 将来予測

- 年最深積雪は全国的に大幅に減少。北海道の山沿いの一部で増加。
- 極端な日降雪（どか雪）は北海道や本州の山沿いで増加。本州の沿岸部・平地では減少

（気温と水温の上昇により、日本海からの蒸発量の増加。雪雲（雨雲）が発達。内陸は大雪を強化。気温が0度を超える沿岸部は雨に）

# 近年発生した大雪に対する温暖化影響（大雪のEA）

## ■ 2021/22年冬季（確率的EA）

- ・温暖化により総降雪量は全国的に減少。10年に1度の大雪は北陸地方の山沿いや北海道では増加。
- ・北陸では通常10年に1度発生する大雪がこの年は約4年に1度の頻度で発生。温暖化がなかった場合は約20年に1度。温暖化によって発生確率が約5倍。

## （■ 2024/25年冬季の大雪（量的EA））

- ・日本海側を中心とした2月上旬の大雪では、7日間積算降雪量が地球温暖化によって約6%増加。十勝地方の大雪ではピーク時の降雪量が約10%増加。