5km解像度の大規模アンサンブル温暖化実験データを用いた日本の豪雪の将来予測

佐々井 崇博 (東北大)

2018/11/30 ヤマセ研究会

背景：温暖化影響下における雪

温暖化との関係；

全球ほとんどの地域で冬季は昇温傾向

→ 降雪の頻度・減

積雪面積・減（観測事実、有意）

} 人間活動の影響の可能性・大
（4.5.2、 10.5.1、10.5.3）

可能性が非常に高い

確信度が非常に高い

全球気候モデルにおける雪の諸過程は非常に簡略化されているため、積雪面積の数値の確信度は中程度にとどまる。

温暖化影響下における降雪の定性的・定量的な理解が未だ不十分である

(IPCC AR5 WG1, 2014)

強い降雪の要因と温暖化

降雪の条件
- 降水量
- 低温

温暖化によって、、、

- 暖かい空気が水蒸気量を増やし(C-C)、冬季の降水量・増
  (e.g., Frei *et al.,* 2006; Pall *et al.,* 2006; Lenderink and van Meijgaard, 2008; O'Gorman and Schneider, 2009 ; Kew *et al.,* 2011; van Haren *et al.,* 2012)
- 昇温で相変化の閾値を跨ぎ、"雪"として降る量・減
  例）北半球の雪被覆・減
  (Vaughan *et al.,* 2013; IPCC AR5, 2014)

強い降雪は・・・全体的に減る。寒冷域（山岳地帯）で増える可能性があるかも？
(de Vries *et al.,* 2014; Lute *et al.*, 2015; Kawase *et al.,* 2016)

→ データ（サンプル）数が限られており、極端現象の議論には疑問の余地あり

日本の強い降雪

「低頻度の強い降雪」

地域差が明瞭

↓

高解像度＆大規模アンサンブルデータによる将来予測の研究は殆どなし

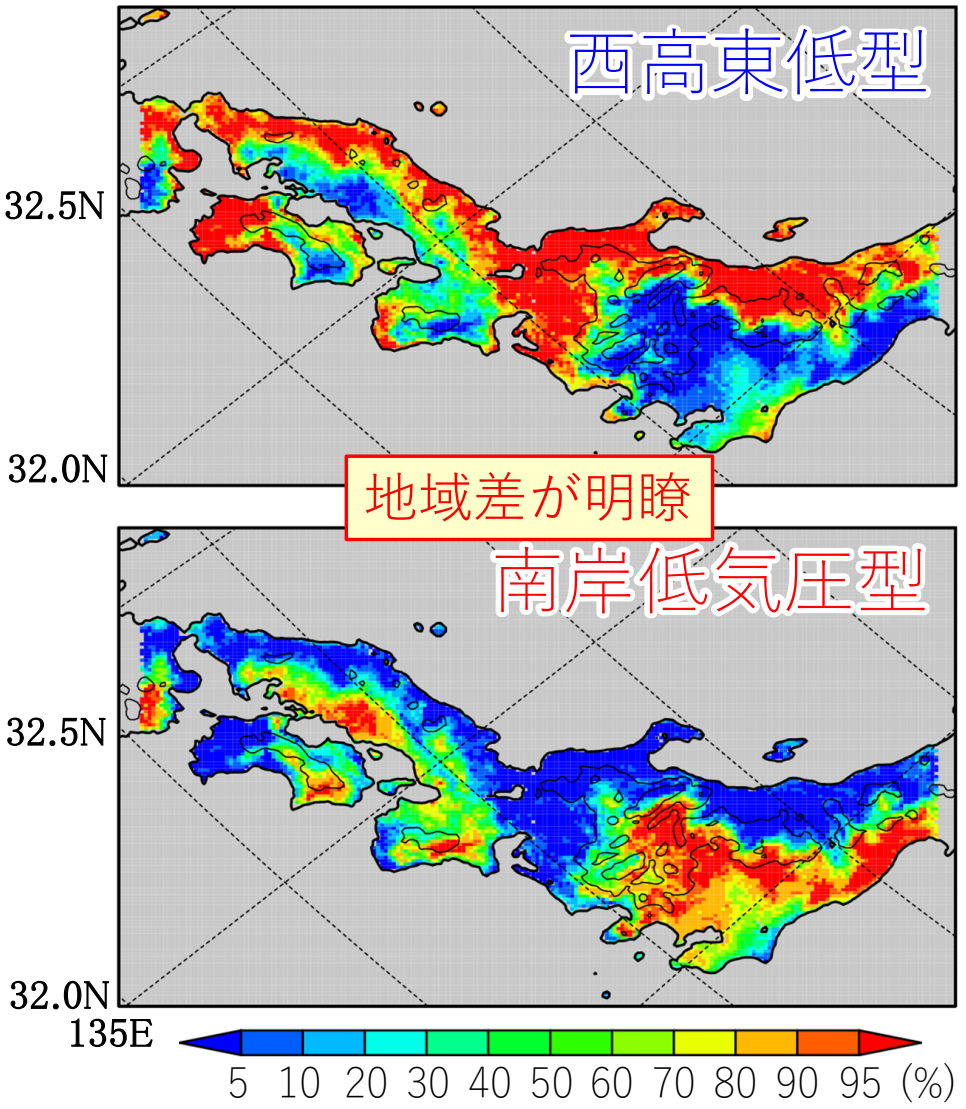
(計算資源、サンプル不足)

気象災害(雪害)を念頭に・・

温暖化で両パターンの極端に強い降雪はどうなるか？

→ 特に日本海側の豪雪地帯

→ より正確な極端現象の解析



西高東低型

- 日本海側
- 愛知県～岐阜県
- 四国西部
- 九州北部

南岸低気圧型

- 東北の太平洋側
- 関東内陸
- 甲信
- 紀伊半島東部
- 四国東部
- 瀬戸内

(Kawase *et al.*, 2018)

研究目的

5km解像度の大規模アンサンブル温暖化実験を実施して、

極端に強い降雪（豪雪）現象の将来予測

現在　vs　将来　　→ 温暖化の影響を理解

西高東低型　vs　南岸低気圧型　→ 降雪パターンによる違い

既存の降雪メカニズムを踏まえ、豪雪メカニズムを明らかにする!

社会的なアウトカム（SI-CAT）　：

「我々は将来の豪雪に備える必要があるのか？」に応えることにもつながる

モデル実験のアウトライン：d4PDF → 5kmDS

- **SST**
- **海氷分布**

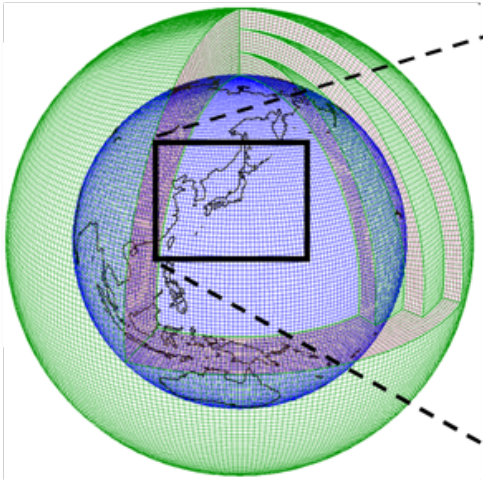
  ↑

  摂動(観測やGCMなど)
- **GHGs**

- **硫酸エアロゾル濃度**
- **火山性エアロゾル濃度**
- **オゾン濃度**

気象研究所全球大気モデル
MRI-AGCM3.2

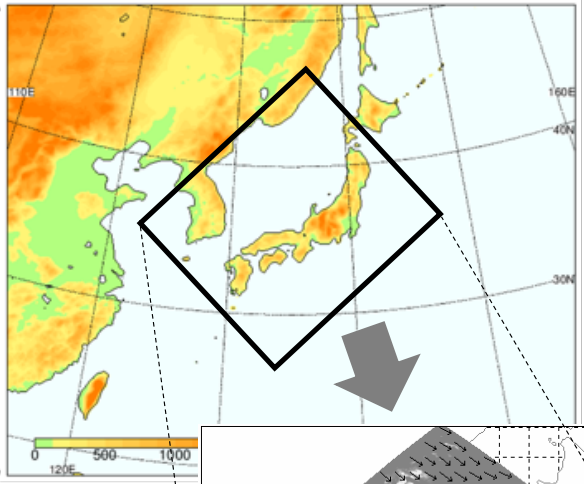
（水平解像度約60km）



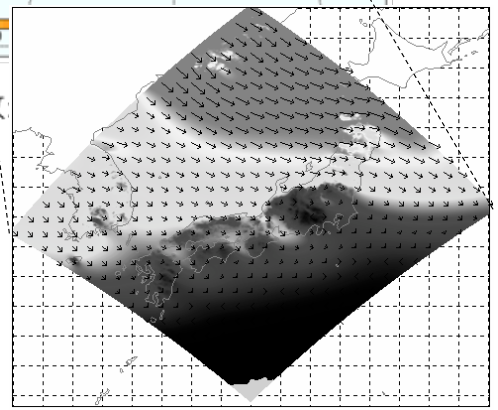
水平格子数: 640×320、鉛直層数: 64

気象研究所領域気候モデル
NHRCM

（水平格子間隔20km）

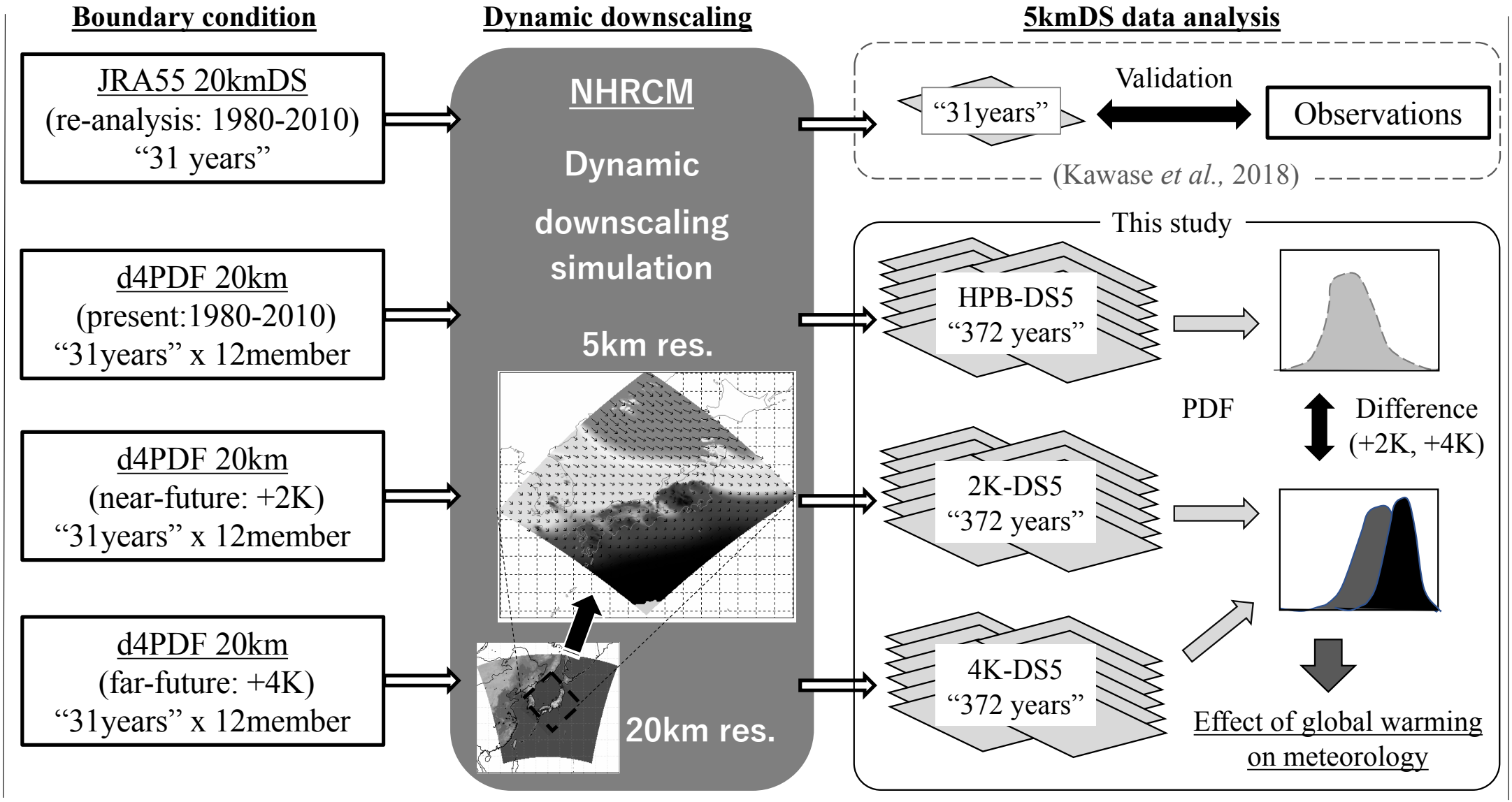


水平格子数



NHRCM： 5 kmDSへ

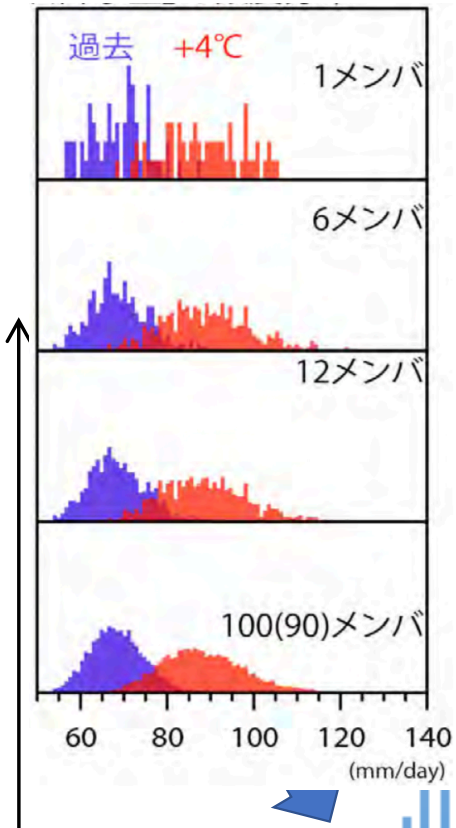
モデル実験デザイン

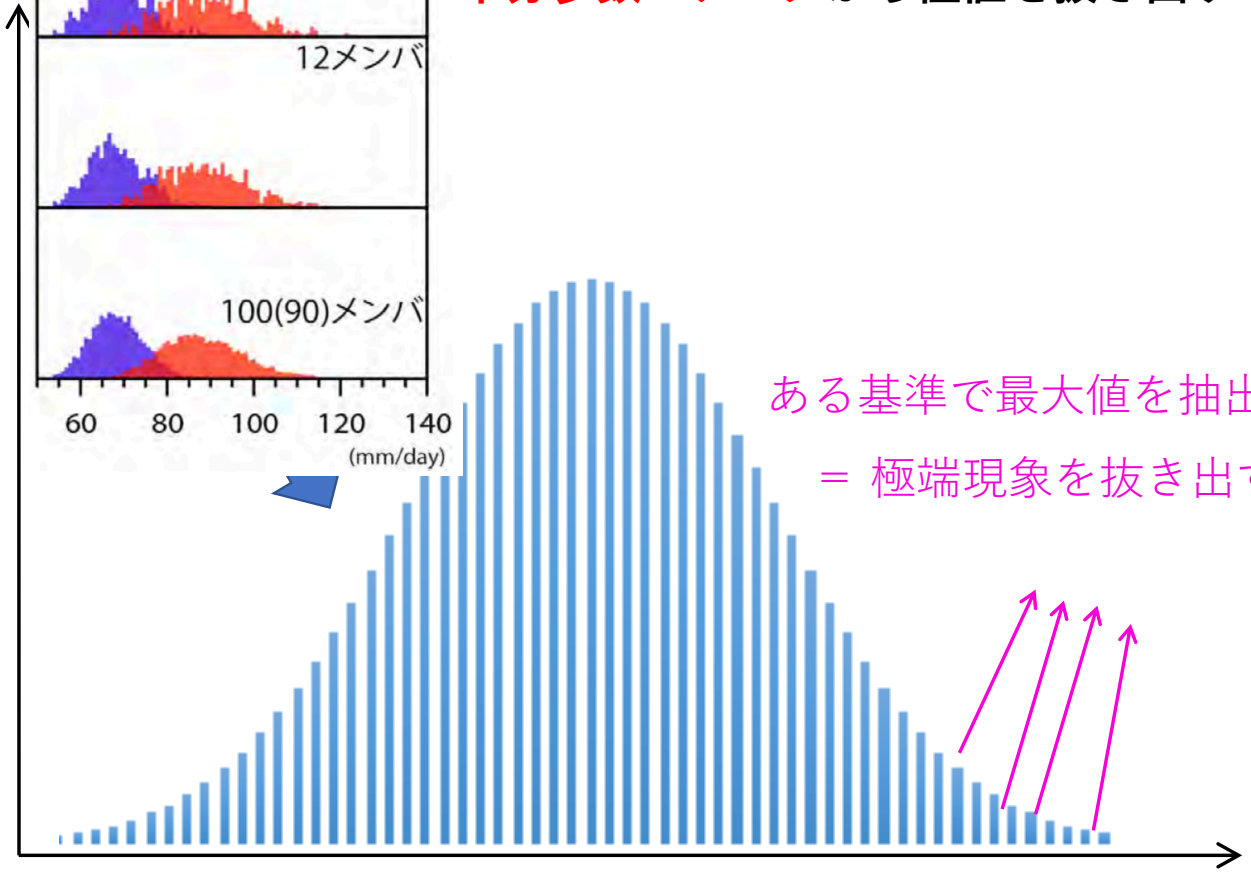

Boundary condition
Dynamic downscaling
5kmDS data analysis
JRA55 20kmDS
(re-analysis: 1980-2010)
“31 years”
d4PDF 20km
(present:1980-2010)
“31years” x 12member
d4PDF 20km
(near-future: +2K)
“31years” x 12member
d4PDF 20km
(far-future: +4K)
“31years” x 12member
NHRCM
Dynamic
downscaling
simulation
5km res.
20km res.
“31years”
Validation
Observations
(Kawase et al., 2018)
This study
HPB-DS5
“372 years”
2K-DS5
“372 years”
4K-DS5
“372 years”
PDF
Difference
(+2K, +4K)
Effect of global warming
on meteorology

極値統計解析

には、、、極端な事象が起きる頻度や強度を長期間のデータから推定

十分多数のデータから極値を抜き出すと、一般化極値分布（GEV）に収束する。

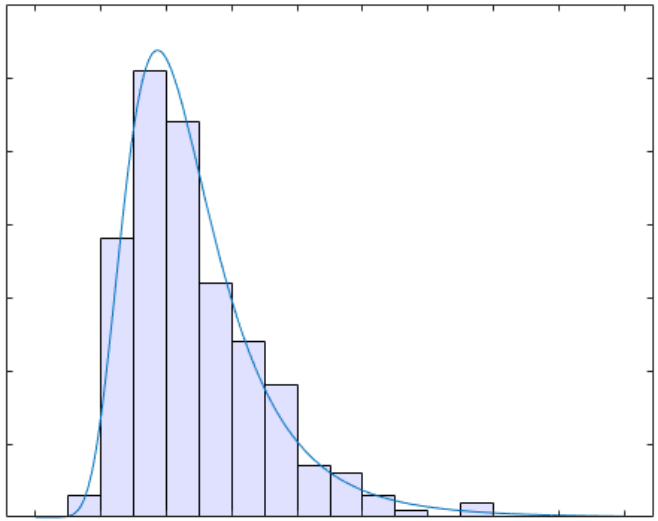




ある基準で最大値を抽出する

＝ 極端現象を抜き出す

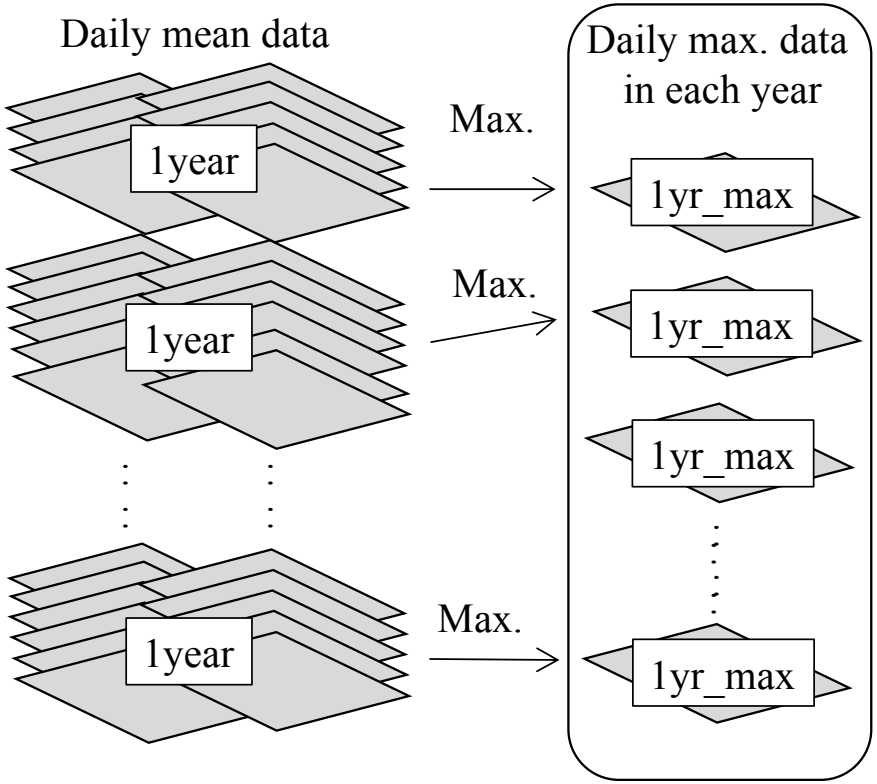
Generalized extreme value (GEV) distribution



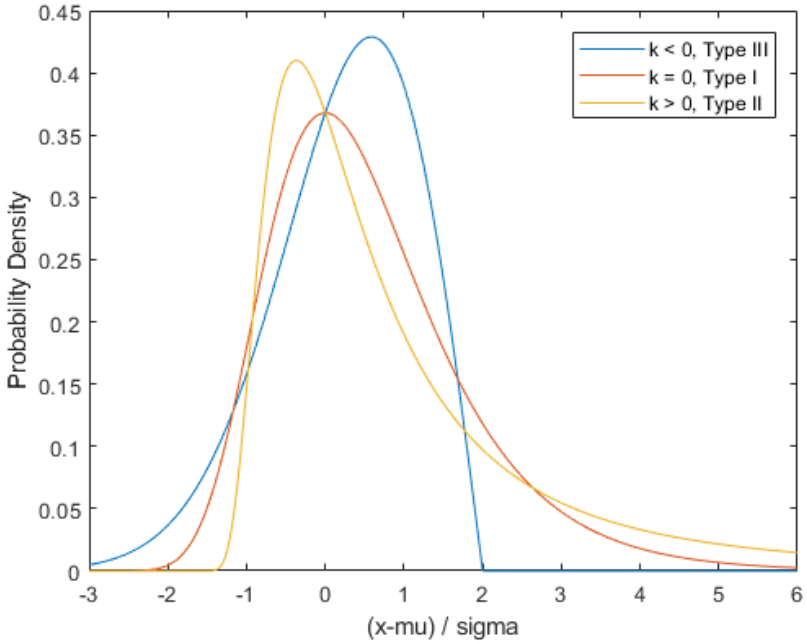
(Coles, 2001)

Generalized extreme value (GEV) distribution

気象の極端現象を抽出するには、、、



極端現象の定義：年間最大値を持つ日



Generalized extreme value (GEV) distribution

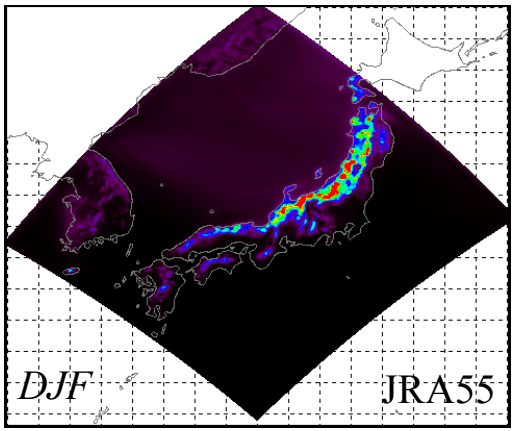
$$F(x) = \exp[\ -\{1.0 - k\ (x\text{-}b) / a\}^{1/k}\ ]$$

再現期間＝1.0 / (1.0 – F(x))

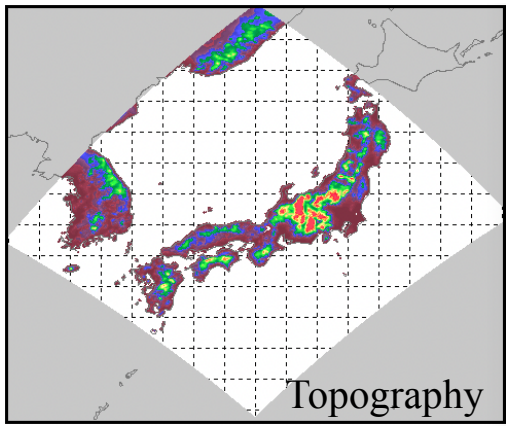
(Fujibe *et al.*, 2011)

降雪量：再現実験 vs 現在 vs 将来

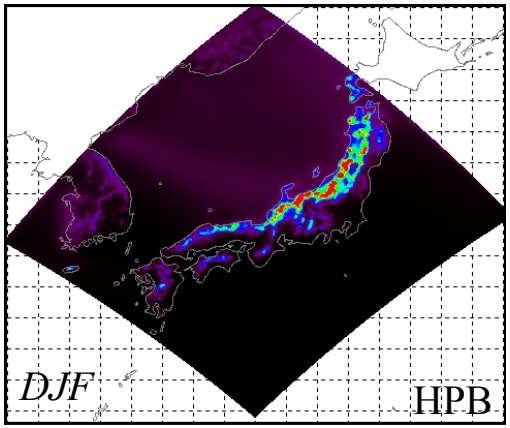
JRA55 5kmDS
[reproductive experiment]

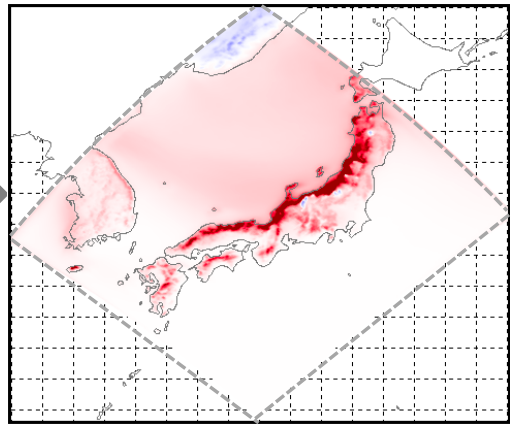


現在気候と再現実験はほぼ整合的



Evaluation





0 1500 (mm 3mon^{-1})

-100 0 100 (mm 3mon^{-1})

現在 vs 将来は？

温暖化により、

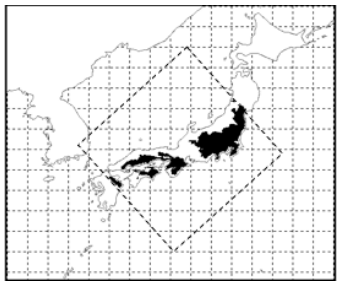
ほぼ全域で降雪・減

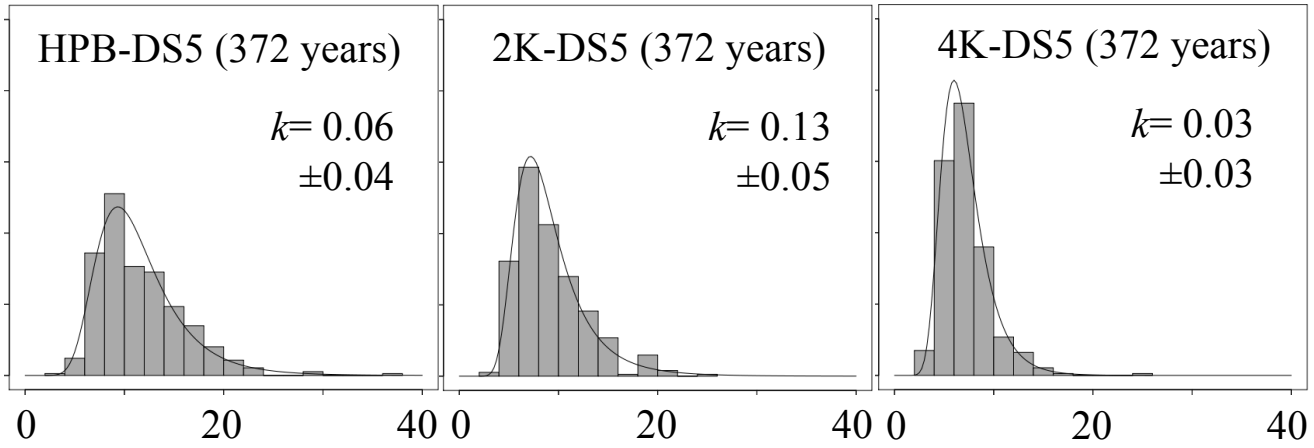
北アルプスと日光北部の高山帯・増

→ 既存研究とも整合的

典型的な２パターンエリアにおける豪雪の比較

南岸低気圧型の降雪エリア





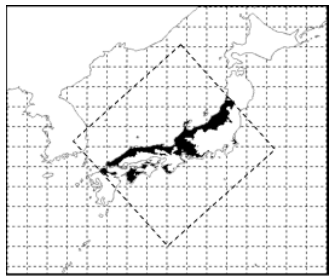
豪雪の強度・減

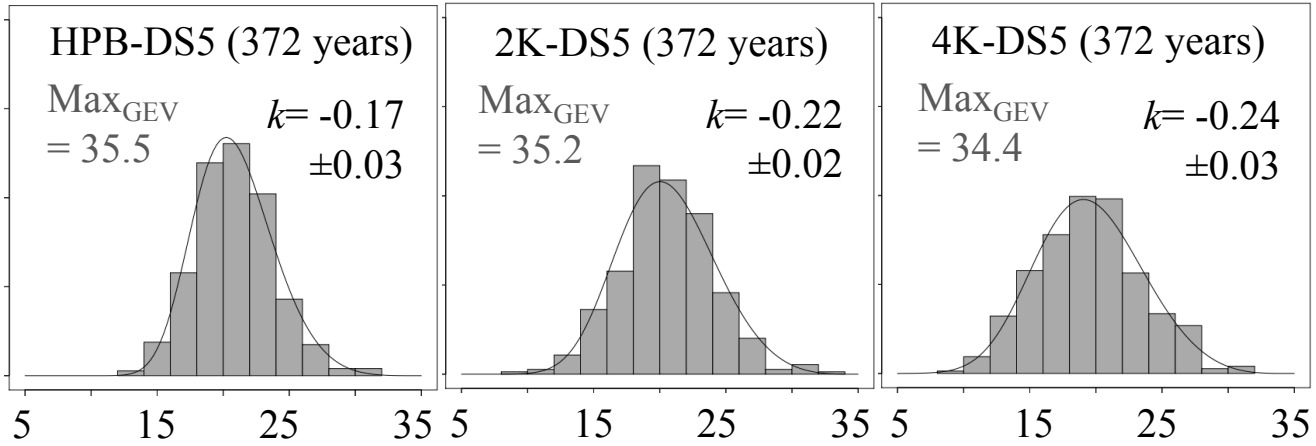
強い豪雪・大幅減

想定外の強い豪雪・あり

昇温による全球の雪減少と整合的な結果

西高東低型の降雪エリア





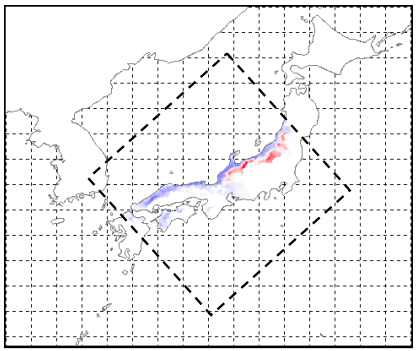
強度・やや減

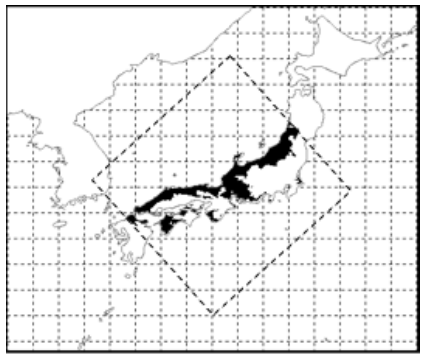
弱い豪雪・やや増

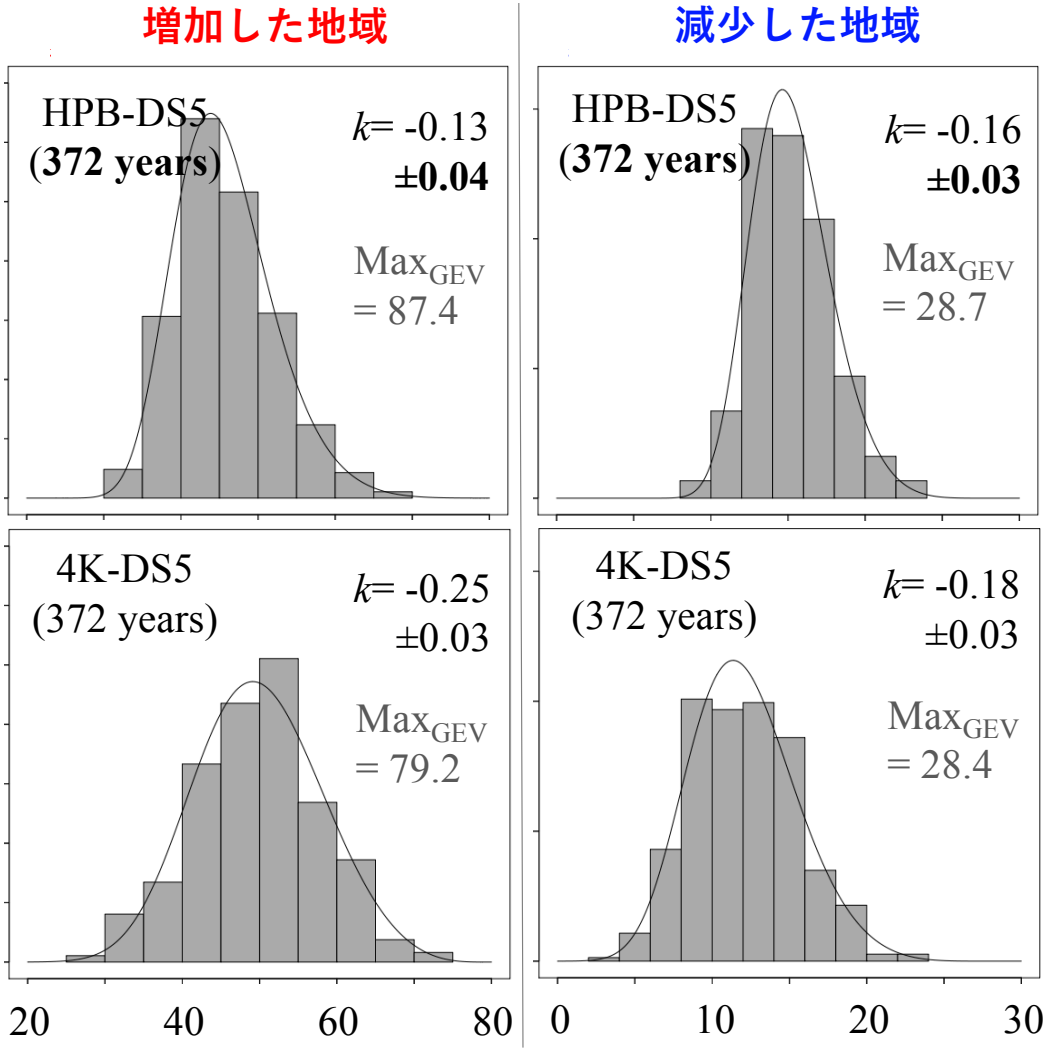
南低型と比べ、豪雪の弱化が小さい

→ なぜ？？

日本海側の豪雪エリアの確率密度分布







減少した地域

HPB vs 4K

強い豪雪・減、

弱い豪雪が増える形で広がる

→ 温暖化による降雪・減と整合的な結果

増加した地域

HPB vs 4K

弱い豪雪が増える形で極端化

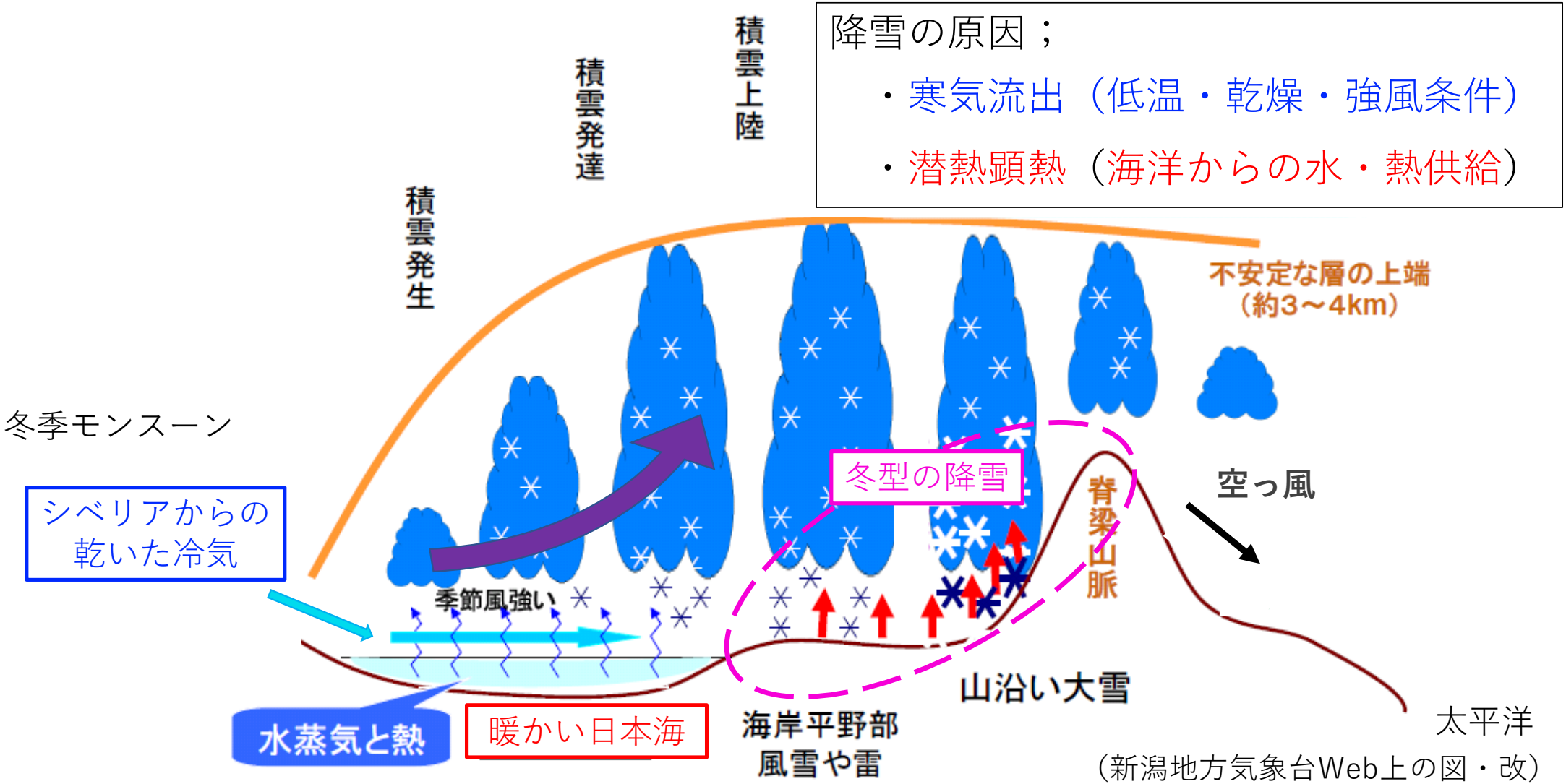
極大値は下がる

→ 既存研究と整合的だが、極値統計解析をすると、平均で見るほど増えない

西高東低の気圧配置における降雪メカニズム

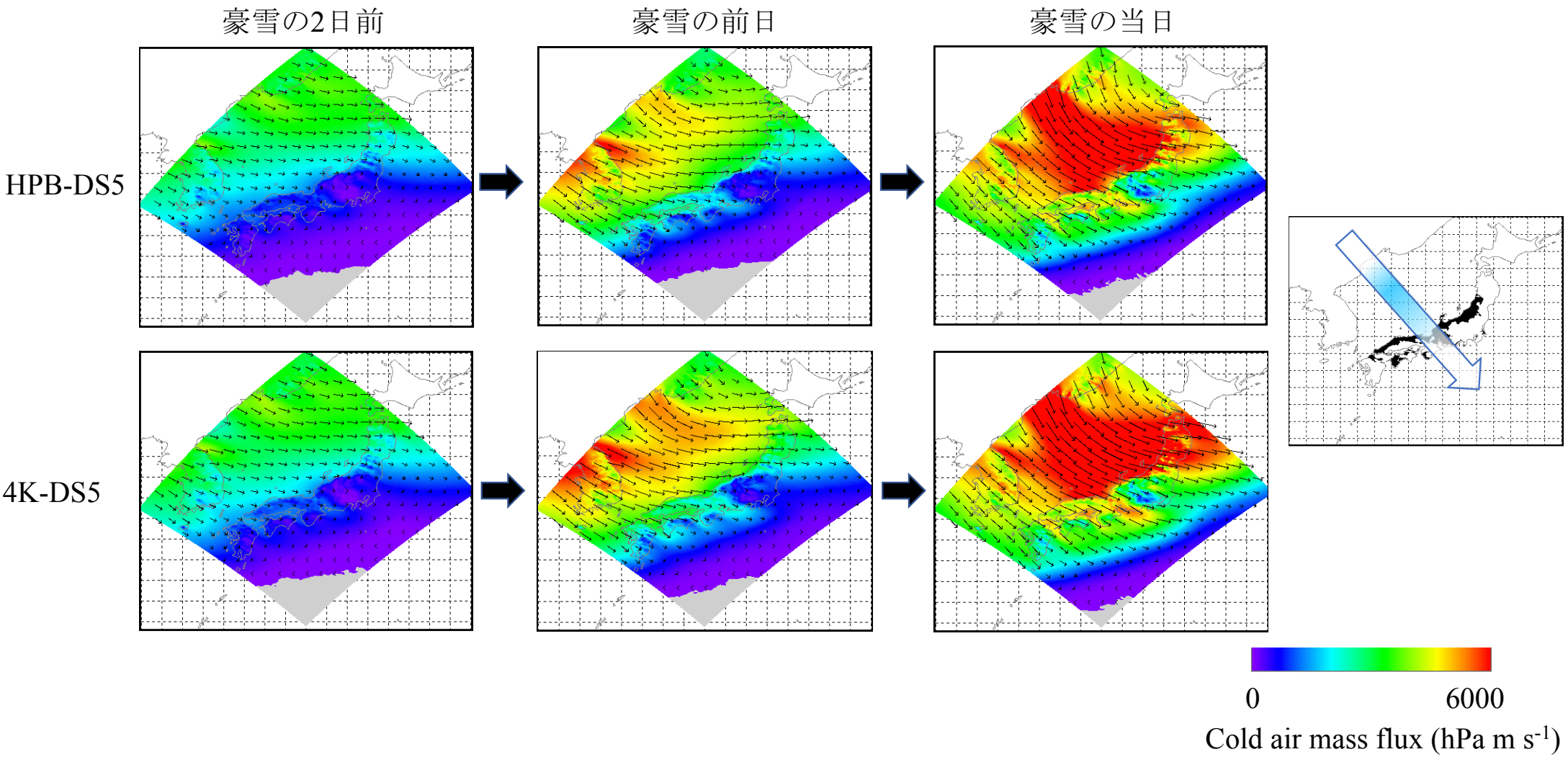
降雪の原因；

- 寒気流出（低温・乾燥・強風条件）
- 潜熱顕熱（海洋からの水・熱供給）

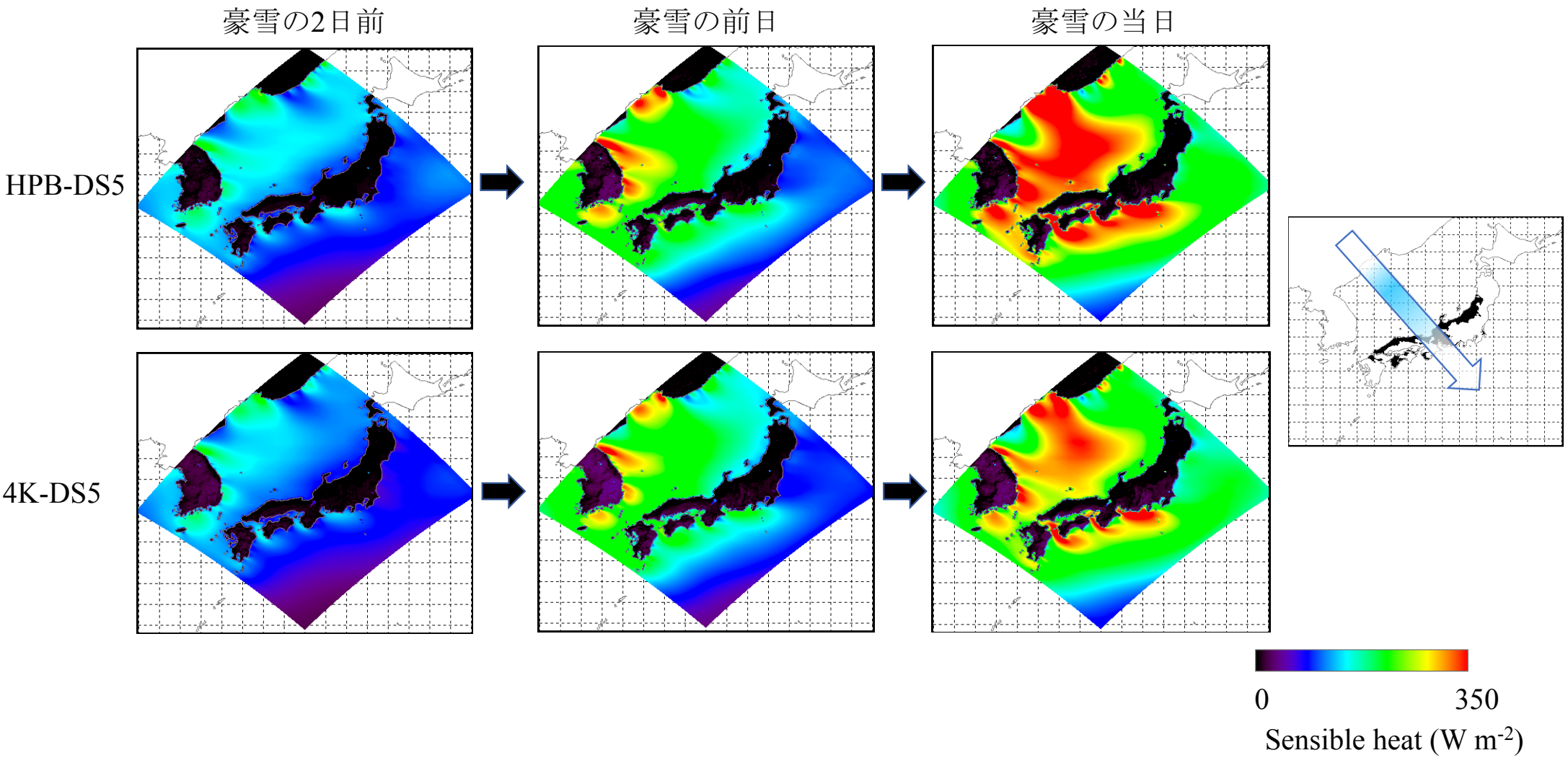


（新潟地方気象台Web上の図・改）

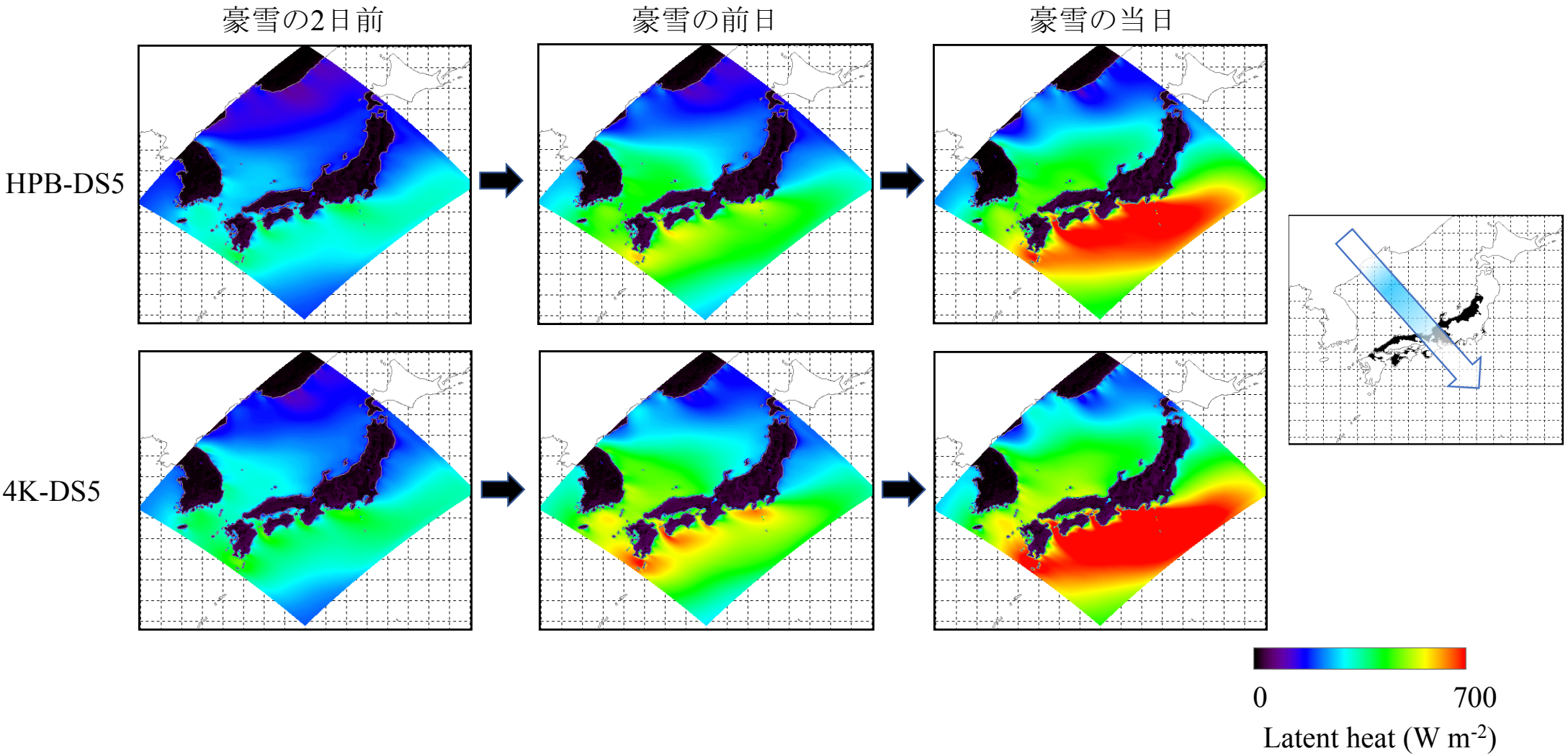
コンポジット解析 (372yrs)：豪雪日の寒気質量フラックス



コンポジット解析(372yrs)：豪雪日の顕熱フラックス



コンポジット解析(372yrs)：豪雪日の潜熱フラックス

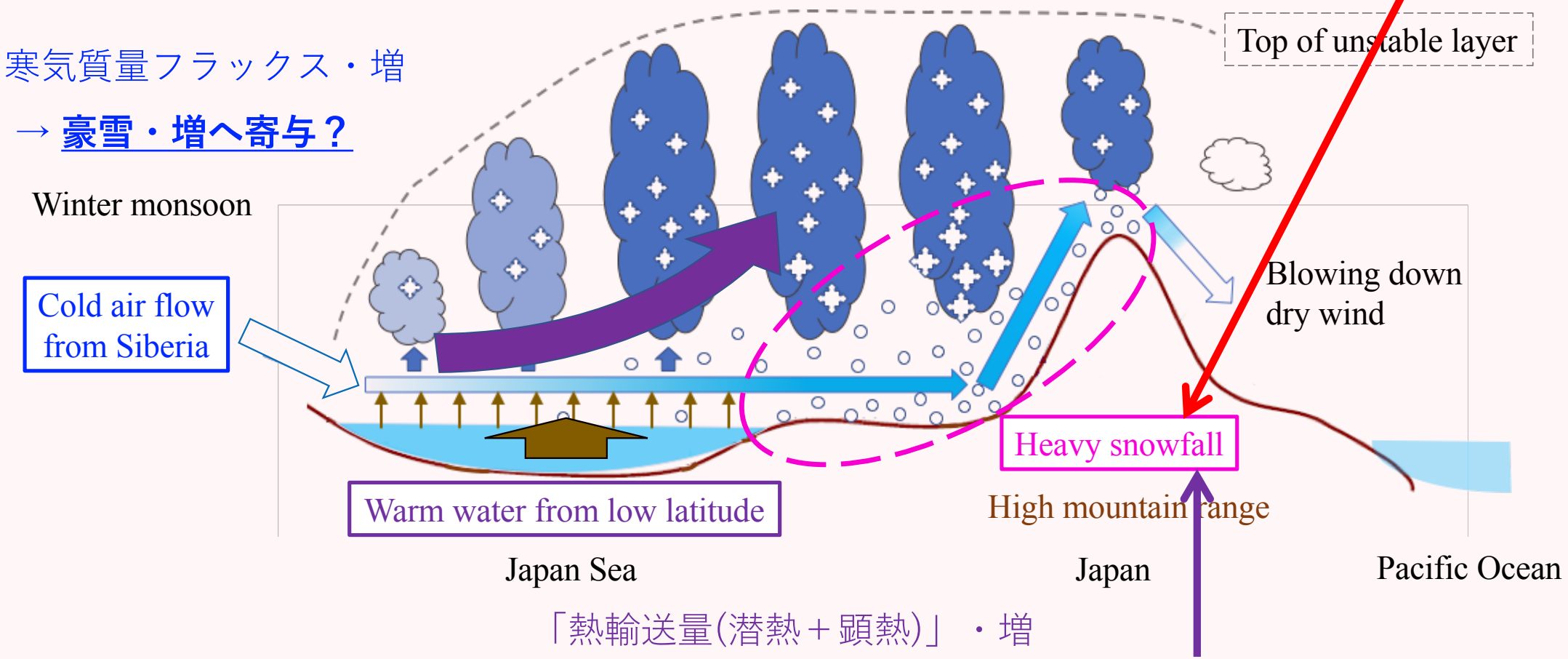


昇温場が西高東低型の豪雪に与える影響

温暖化により、全体が昇温傾向 → **豪雪・減へ寄与**

寒気質量フラックス・増

→ **豪雪・増へ寄与？**



「熱輸送量(潜熱＋顕熱)」 ・増

→ 不安定対流・強化 → 雪雲・増 → 降水量・増 → **豪雪・増へ寄与**

まとめ

5kmDSアンサンブル温暖化実験による豪雪現象の将来予測を行った。

将来の豪雪は、、、

・西高東低型の豪雪は南低型と比べてあまり弱化しない

昇温による相変化で雪は全体的に減るが、寒気流出の質量が増加することで

海洋から豊富に熱＆水供給を受けて降水活動・強 → 太平洋側ほど弱化しない

両効果が相殺して、山岳域で増える可能性がある。

今後は・・・豪雪は一定の頻度・強度で起こる

日本海側 → 寒気流出の常時モニタリングが気象災害への早期警戒に寄与

太平洋側 → 有意に減るが、想定外の強い豪雪も起こる