

令和5年度 気象研究所研究成果発表会

災害をもたらす自然現象や気候変動を理解し、命と暮らしを守る最新研究

### 3. 高解像度地域気候モデルを用いた 局所的な気候変動予測

応用気象研究部 野坂 真也

# 高解像度地域気候モデルを用いた 局地的な気候変動予測

応用気象研究部

研究官

野坂真也

# 目次

- 背景
  - 温暖化の状況と研究について
  - 地域気候モデルについて
- 日本全域の気候変動予測
  - 日本の気温や降水の将来変化の予測
- 局地的な気候変動予測
  - 積雪が減少する地域の将来変化予測
- まとめ

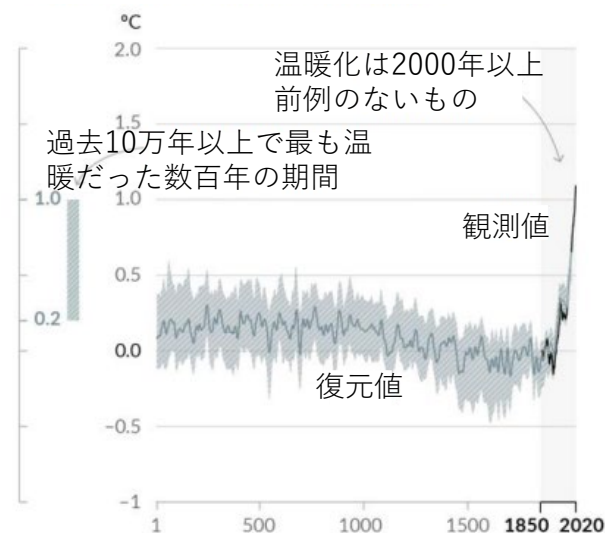
# 目次

- 背景
  - 温暖化の状況と研究について
  - 地域気候モデルについて
- 日本全域の気候変動予測
  - 日本の気温や降水の将来変化の予測
- 局地的な気候変動予測
  - 積雪が減少する地域の将来変化予測
- まとめ

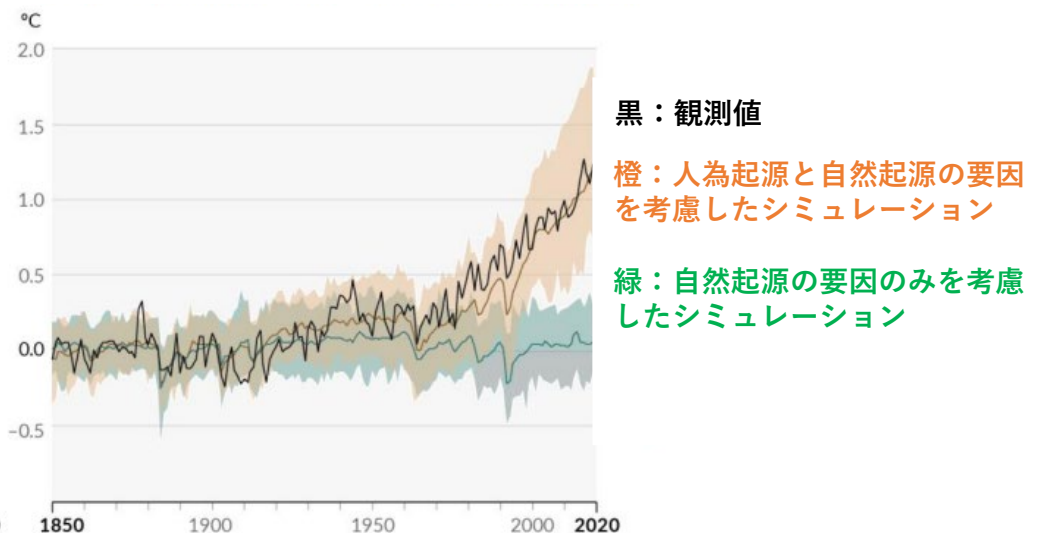
# 温暖化の状況

- 地球の気温は人間活動の影響により上昇してきている。
- 気温上昇の結果、強い降水の発生頻度増加や積雪の減少等が報告されている。
- 温暖化が続く場合に、将来どういった気候変動が生じるのかを知ることは現在における大きな関心事の一つ。

世界平均気温の変化

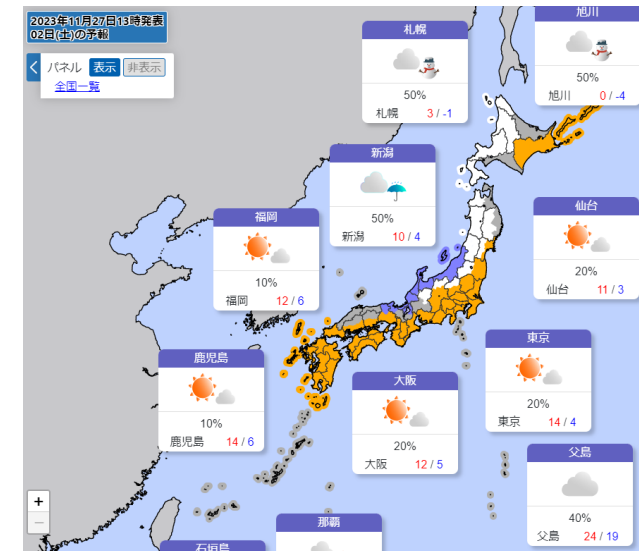


世界平均気温のシミュレーション



# 温暖化の予測

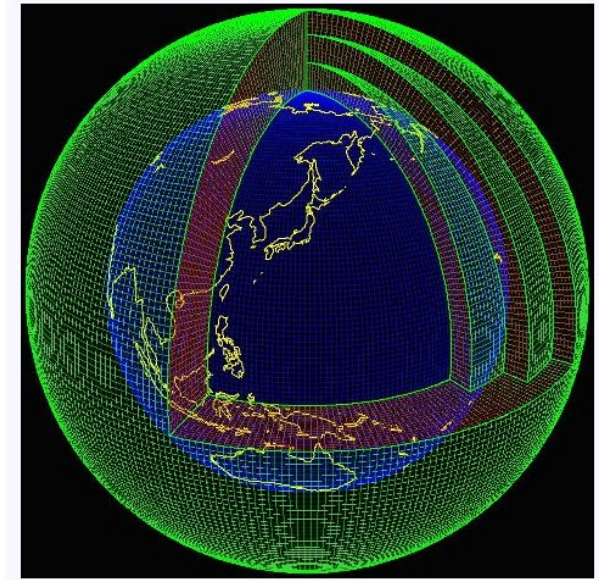
- 気候変動予測も天気予報と同様にスーパーコンピュータを用いた数値シミュレーションを行う
- 天気予報
  - 数日後の天気を予測する
  - 「12月2日の東京は晴れ」といった予報ができる
- 気候変動予測
  - 数十年先の気候状態を予測する
  - 21世紀末には今より平均気温が約X°C上昇しそう
  - 気温が上昇すると降水量が増加しそう
  - 「2100年12月2日は雨」とは予報できない



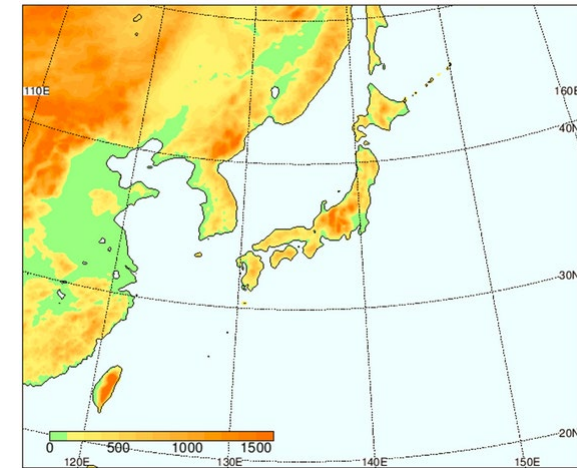
12月2日の天気予報  
(11月27日の予報)  
気象庁HPより

# 温暖化の予測

- 温暖化の予測には全球気候モデルと地域気候モデルが利用されている。
- 全球気候モデルは地球全体を対象に気候変動を予測。
- 地域気候モデルは全球気候モデルでは計算機資源の制約で対応できない高解像度で計算を実施できる。



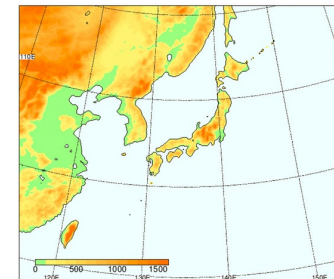
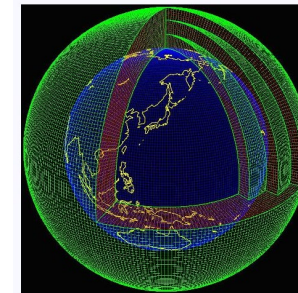
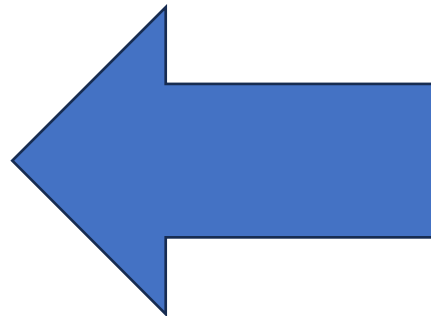
全球モデルのイメージ



領域モデルのイメージ

# 気象研究所における日本の気候変動予測

- 気象研究所では、全球気候モデルAGCMと地域気候モデルNHRCMによる力学的ダウンスケーリングシステムを開発・利用して、温暖化情報の創出に役立つ、日本の気候変動予測を行ってきた。
- その予測結果は、「地球温暖化予測情報」や「日本の気候変動2020」といった、日本の温暖化の情報をまとめた気象庁の報告書で活用されてきた。





# 地域気候モデルNHRCM

- 地域気候モデルNHRCMは気象庁で以前天気予報に利用されていた気象モデルNHMを気候変動の予測に利用できるように改良したモデル。
  - 天気予報には今の大気の状態をより正確に反映した情報「初期値」を与えることが精度に重要
  - 気候予測には長い計算の中で変化する陸面や海面の状態を適切に反映した情報「境界値」を与えることが精度に重要
- NHRCMの主な改良点
  - より精緻な陸面モデルを利用して地面状態の予測を高度化
  - 大気の境界値を計算範囲の内部にまで影響させて全球モデルとの乖離を小さくしている

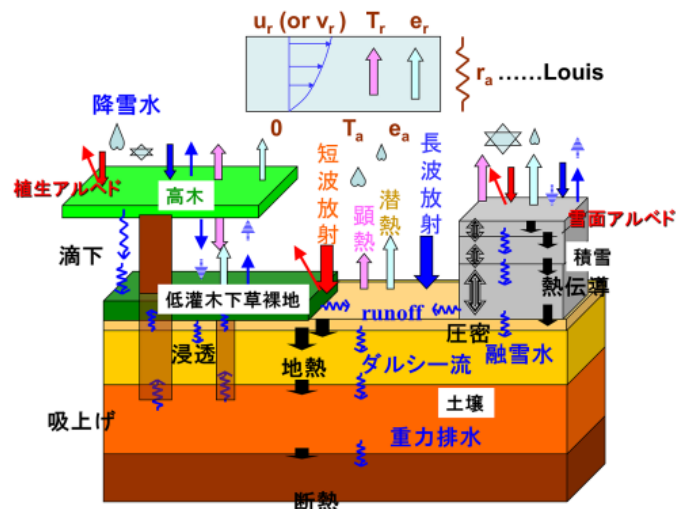
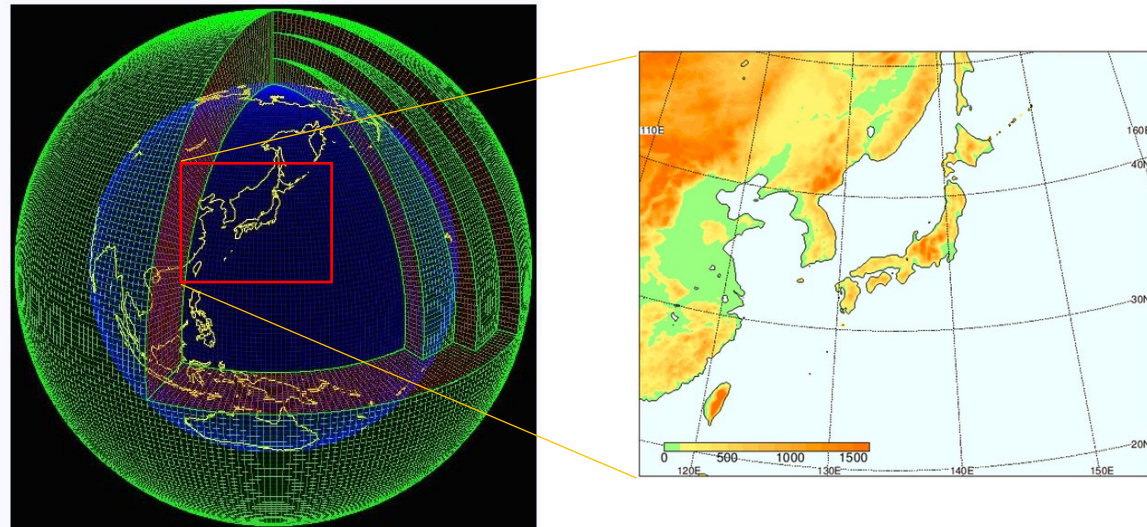
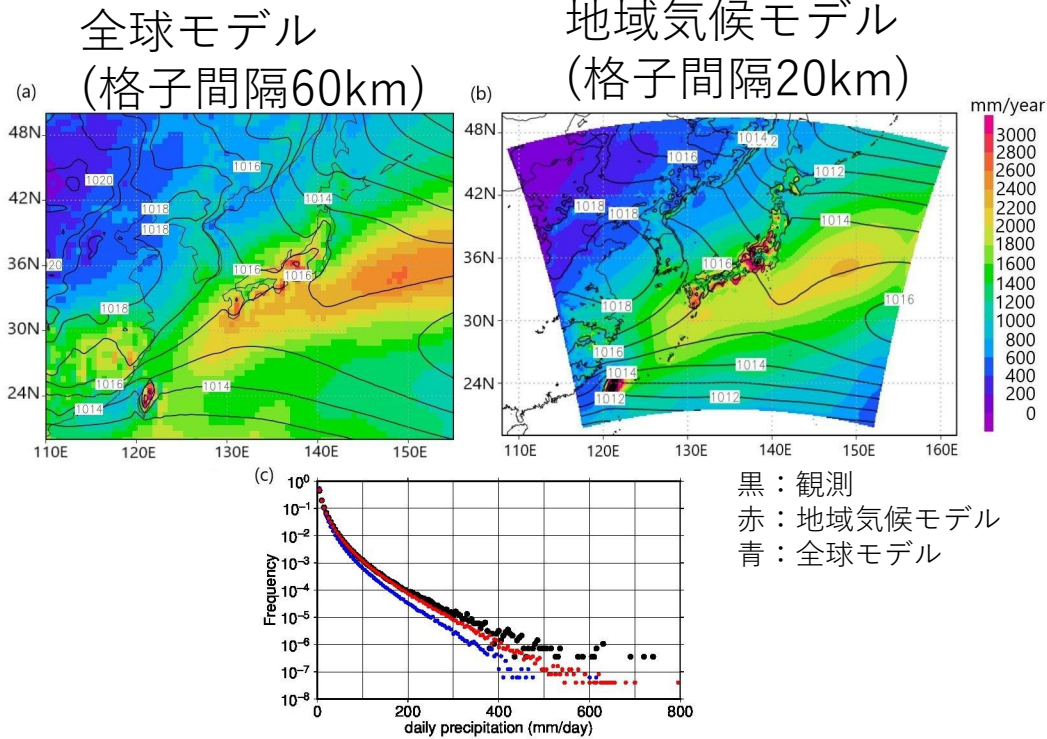


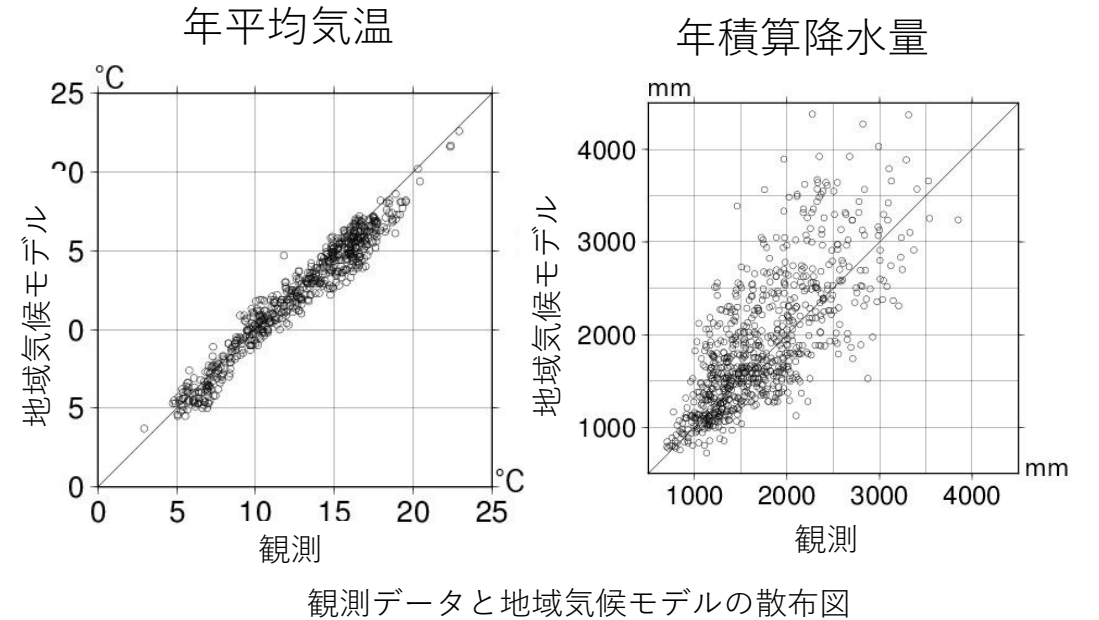
図2.1.2 MRI/JMA-SiB (MJ-SiB) の概念図。



# 地域気候モデルの再現性



(上)年平均気圧と年積算降水量 (左：全球モデル, 右：地域気候モデル)  
(下) 日降水量の頻度



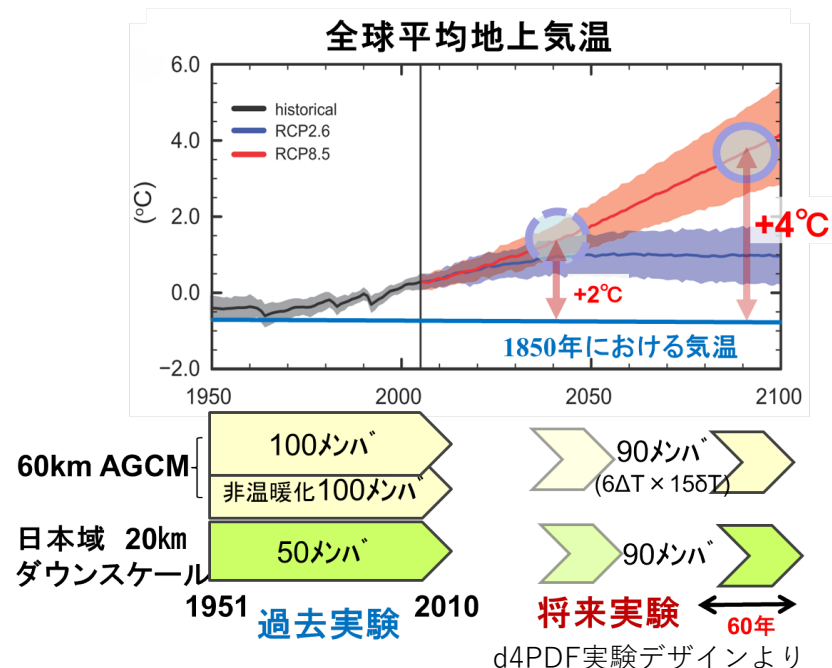
- 大まかな気圧・降水分布のパターンは全球モデルの結果をよく引継いでいる。
- 日降水量の頻度などは強い降水が再現できるようになる。
- 観測データと比較しても気温、降水をよく再現している。

# 目次

- 背景
  - 温暖化の状況と研究について
  - 地域気候モデルについて
- 日本全域の気候変動予測
  - 日本の気温や降水の将来変化の予測
- 局地的な気候変動予測
  - 積雪が減少する地域の将来変化予測
- まとめ

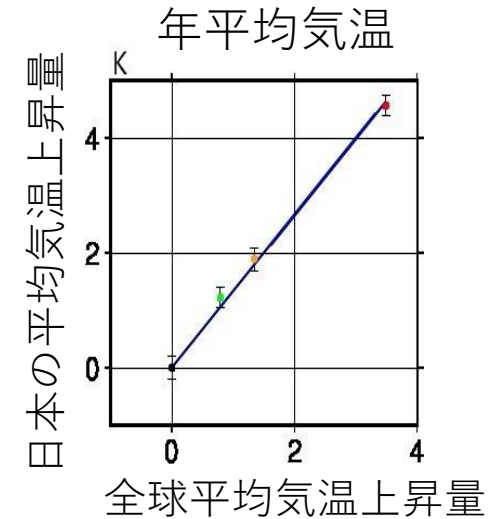
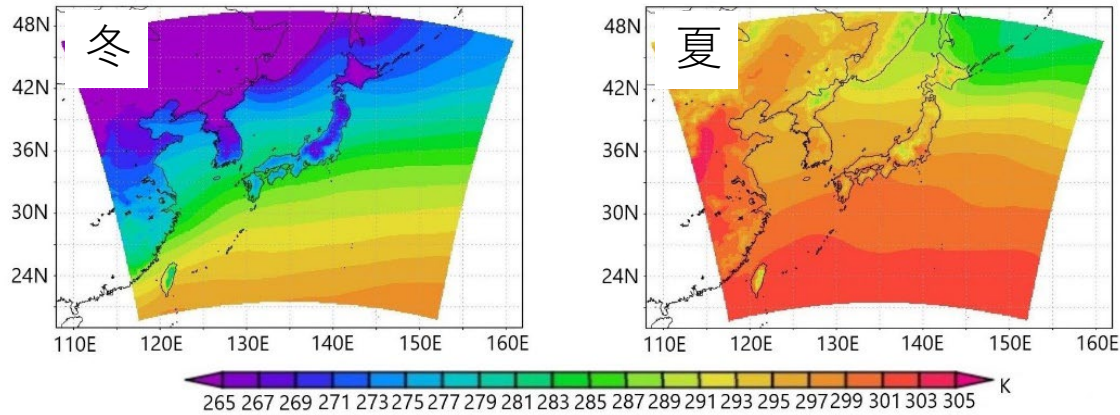
# 日本全域の温暖化予測

- 日本周辺を対象に現在の気候、産業革命以前と比べて地球全体の気温が1.5°C、2°C、4°C上昇した場合の予測を行ったデータセットが作成されている。
- このデータセットによる日本全域の温暖化予測を紹介する。



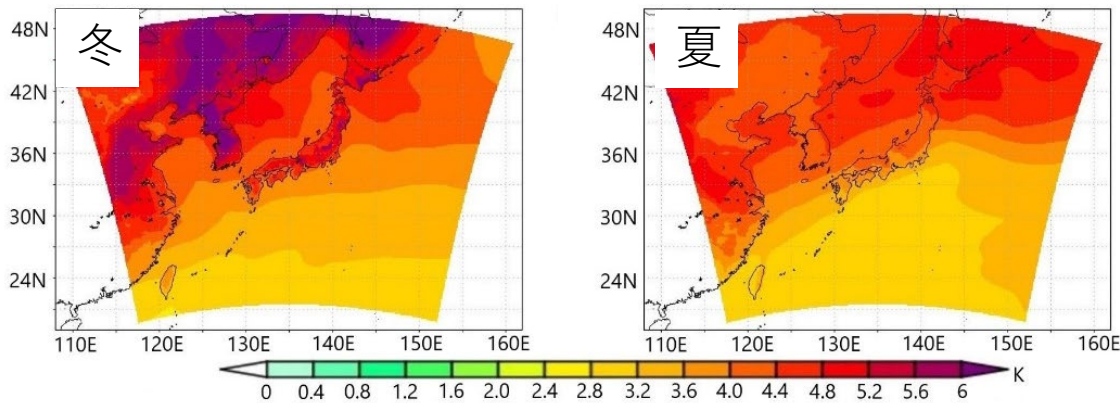
# 気温の将来変化

## 現在気候の気温の予測



地上気温上昇量の日本と全球平均の比較  
 黒：現在気候 緑：1.5K 黄：2K 赤：4K

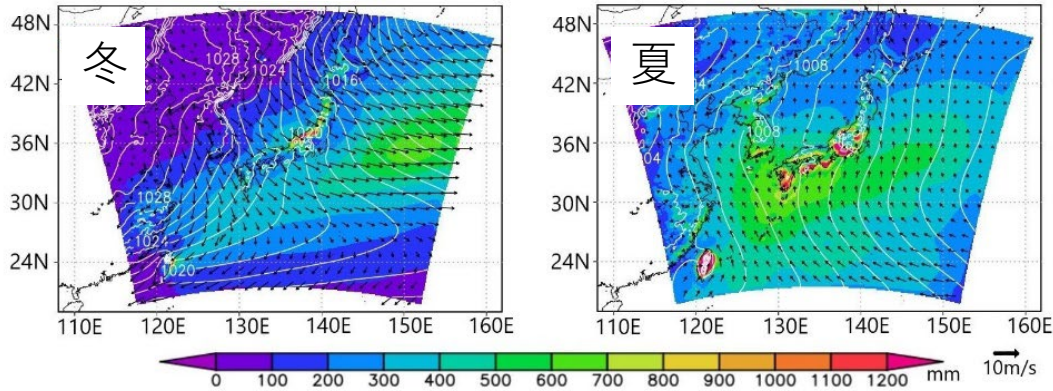
## 世界平均気温が4度昇温時の気温の変化量



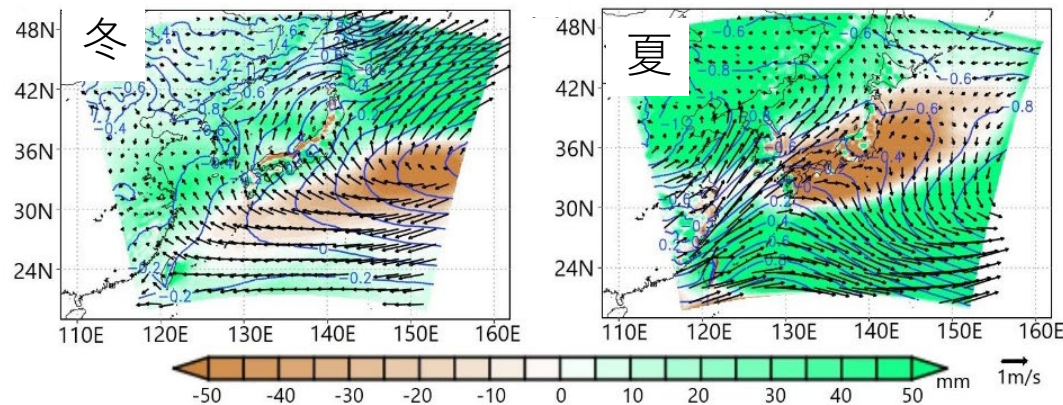
- 日本では平均気温の上昇量が、世界の平均気温上昇量よりも大きい予測となっている。
- 日本の平均気温の上昇量は世界の気温上昇量の約1.4倍。
- 夏と冬では冬の方が気温上昇量が大きい。
- 南と北では北の方が気温上昇量が大きい。
  - 積雪や海氷の減少は気温上昇を引き起こすため

# 降水量の将来変化

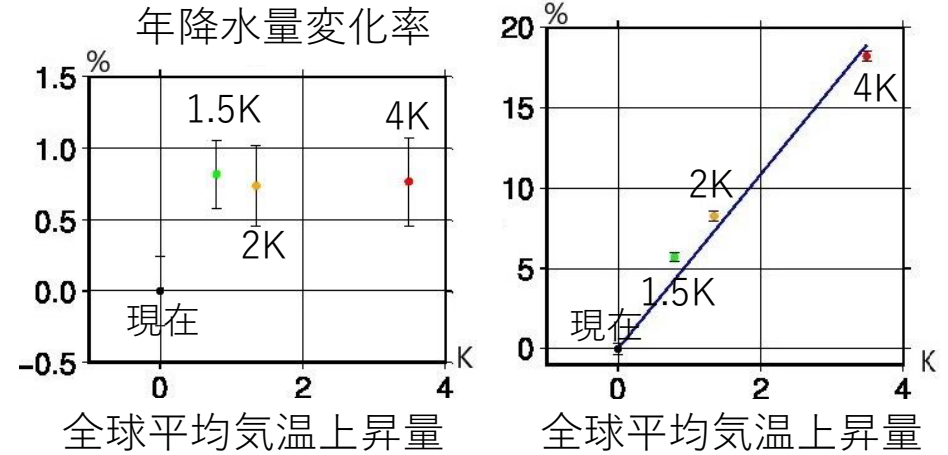
現在気候の降水量の予測



世界平均気温が4度昇温時の降水量の変化量



年最大日降水量変化率



日本の降水量変化と全球平均気温上昇との対応  
黒：現在気候 緑：1.5K 黄：2K 赤：4K

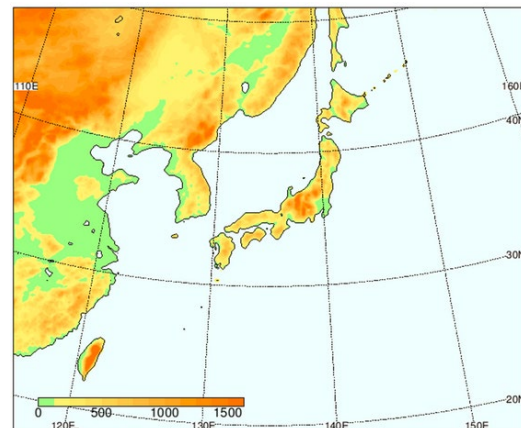
- 降水量は冬には日本海沿岸地域での減少傾向が予測され、夏には本州全体に減少傾向が予測される。
- ただし、降水量の変化は様々な全球モデルでの結果が一致していないことも多く、今後のさらなる研究が必要。
- 日本全体の年間降水量は気温上昇に対して線形な変化をしていない。
- 一方で、年最大日降水量は気温上昇量が大きくなるとより強くなるという傾向が見えており、1度当たり6~7%強くなると、予測された。

# 目次

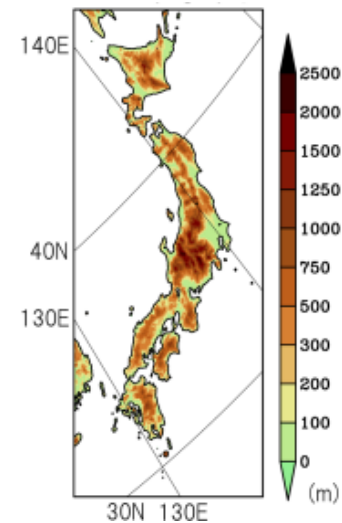
- 背景
  - 温暖化の状況と研究について
  - 地域気候モデルについて
- 日本全域の気候変動予測
  - 日本の気温や降水の将来変化の予測
- 局地的な気候変動予測
  - 積雪が減少する地域の将来変化予測
- まとめ

# 局地的な気候変動

- これまでのモデルよりもさらに水平解像度を高くして計算
  - 20km -> 2km
- このような高解像度化によって、モデルの精度向上、特に地形がより正確に表現され、地形に関係した大気現象の再現性が向上
  - 山での現象や山の風上風下の表現が可能になる
- ただし、計算に時間がかかり、出てくるデータ量も膨大になる



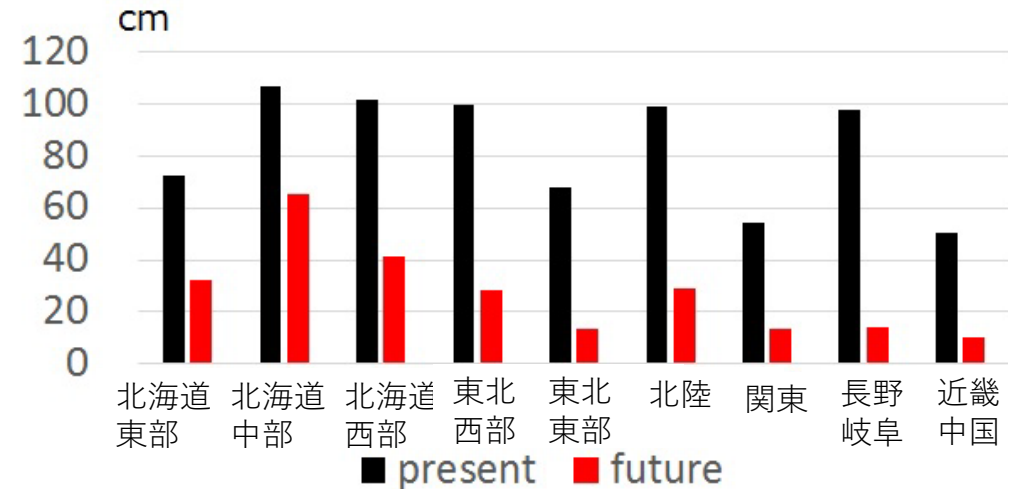
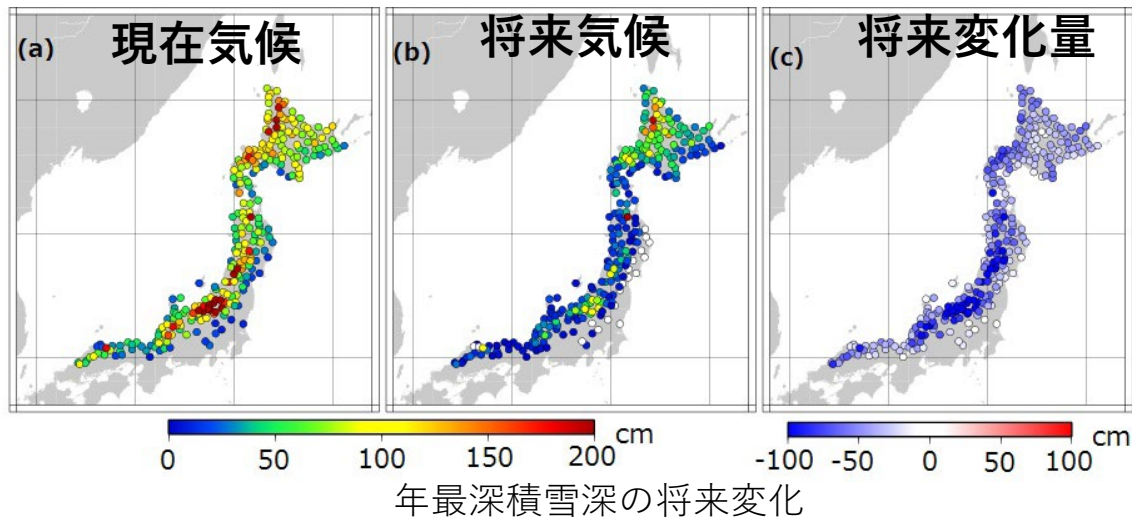
解像度20kmの地形



解像度2kmの地形



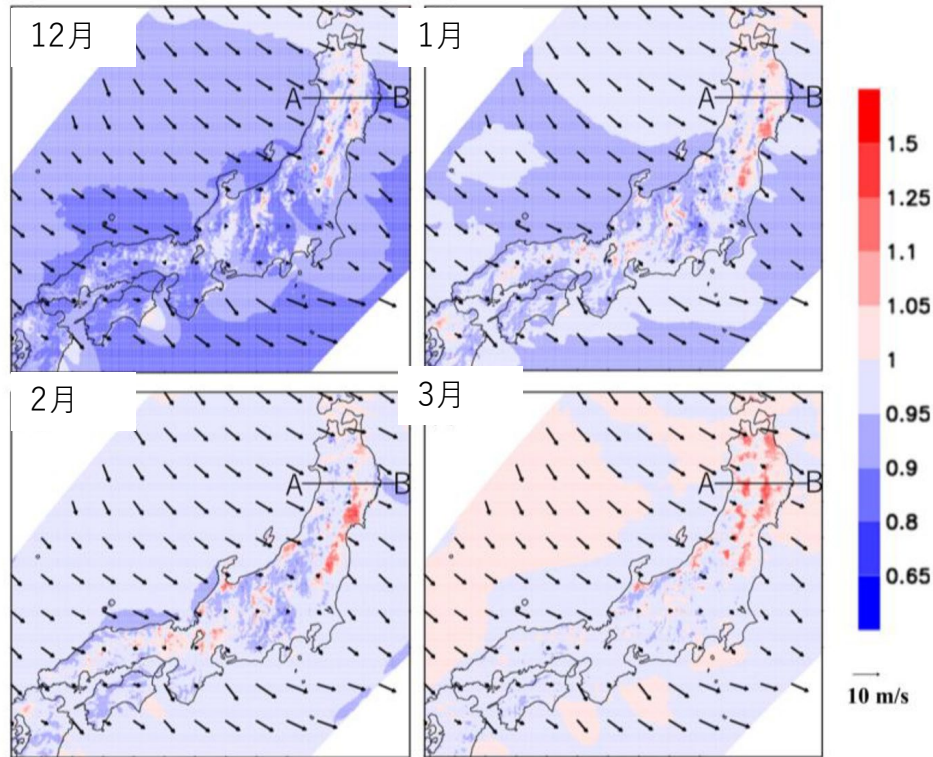
# 積雪深の将来変化



各地域における現在気候と将来気候の年最深積雪深

- 積雪深は特に温暖化と地形の影響を大きく受ける
- 将来4°C程度気温が上昇した環境下では、日本全域で積雪が減少し、特に中部地方では積雪深の減少量が大きい。

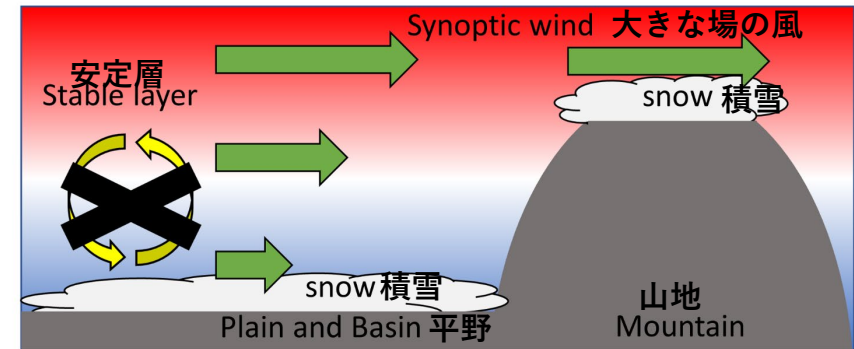
# 風の将来変化



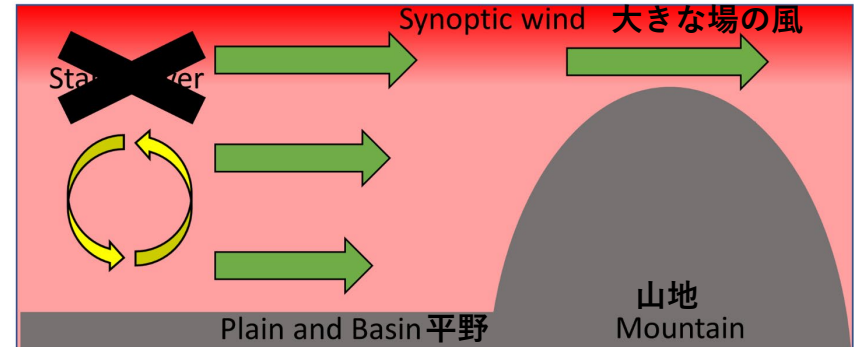
冬の風の将来変化予測

- 温暖化が進むと冬の風が弱まる予測
- 一部地域では逆に風が強まる予測
- このメカニズム（積雪の将来変化との関係）についての研究を紹介します

(a) Current climate condition



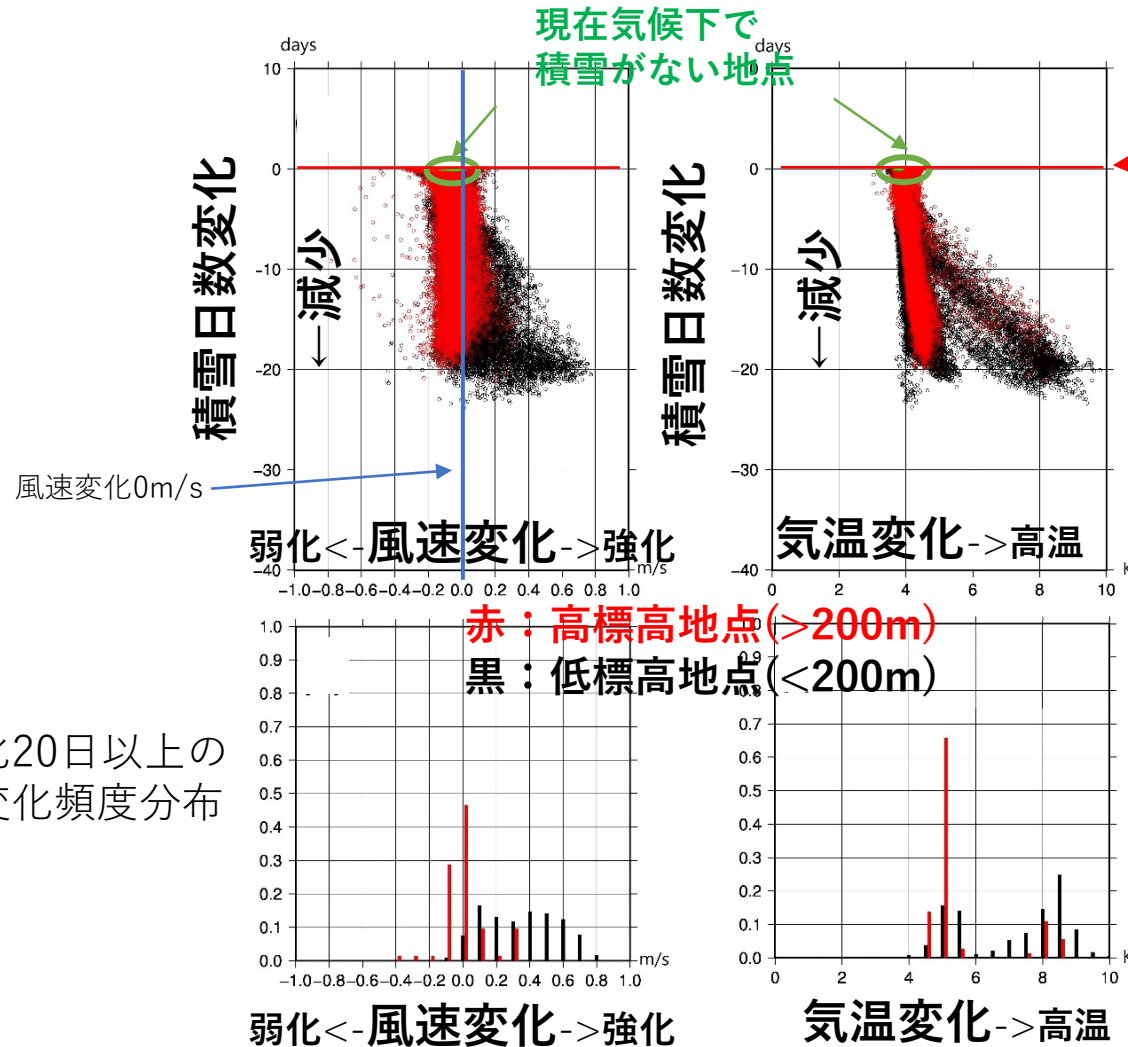
(b) Future climate condition



積雪地域の風速将来変化の模式図

(a)現在気候 (b)将来気候

# 積雪日数の変化と風、気温の変化



積雪日数変化20日以上の地点の風速変化頻度分布

- 積雪が減る地点でアイスアルベドフィードバックの効果により気温上昇量が大きい
  - もともと積雪や海氷がある地点において、積雪や海氷などがすくなくなり、地面や海面が顔を出すようになると、光を反射する割合が減ってしまい、より太陽光を吸収するようになるため、気温の上昇量が大きくなるということ
- 地点によってはさらに気温上昇大きい
- 風が強くなる地点もある
  - 何故？
  - 標高に関係がある？

# 積雪減少地点の将来変化メカニズム①

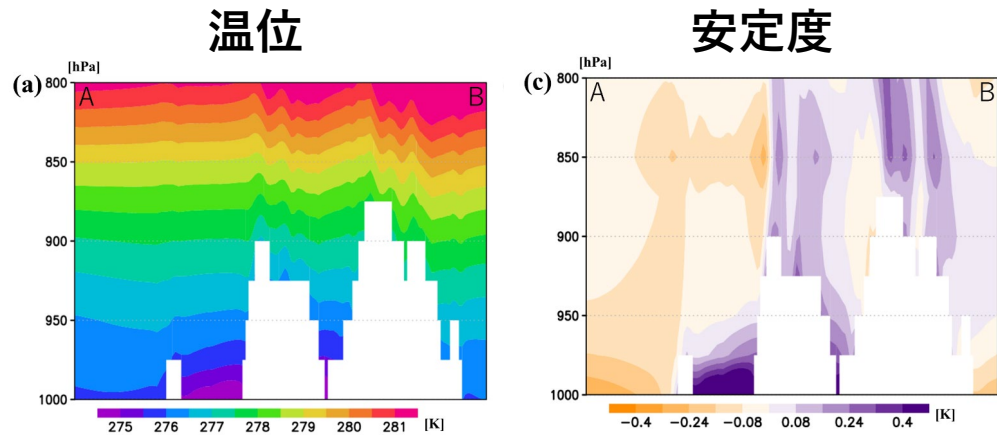
## • 温位

- ある高度の空気を地面付近まで下ろしたと仮定した時の温度
- 穏やかな天気の際には通常は高度が高いほど温位も高い値となる
- 温位が上空に行くにしたがって高くなっている場合は大気状態は安定している

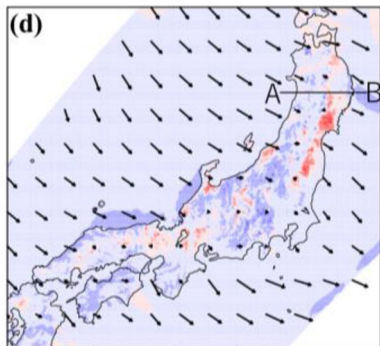
## • 安定・不安定

- ある空気の塊を少し持ち上げた時に、勝手に持ち上がっていくような状態は不安定と呼び、大気が上下に混ざりやすい。不安定な状態は雨雲を作りやすい。
- 逆に少し持ち上げてももとの戻ろうとする状態は安定と呼び、大気が上下に混ざりにくい。雨雲は作られにくい。

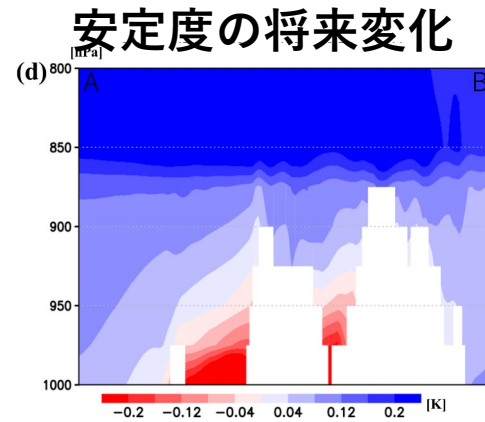
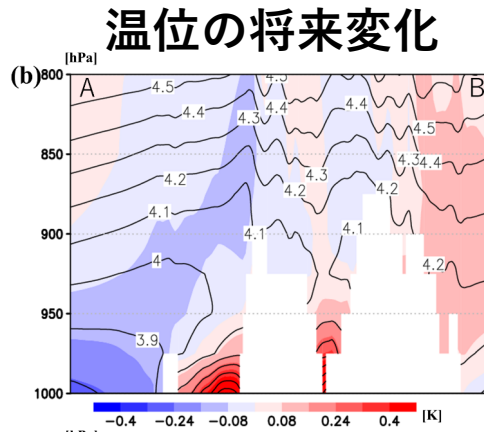
- 積雪面上では気温が下がりやすく、地上付近での温位が低くなるため、現在気候の平均的な状況では、平野部では温位が地面付近ほど低く、安定度が高い



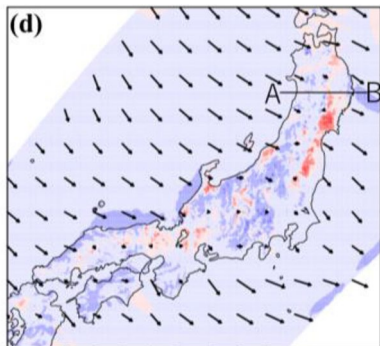
東北地方の東西断面（下の図のAB）  
現在気候における(左)温位 (右)安定度



# 積雪減少地点の将来変化メカニズム②



東北地方の東西断面  
(左)温位 (右)安定度の将来変化

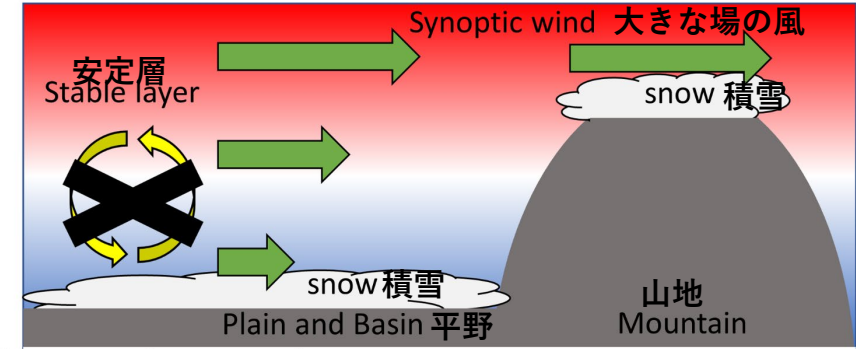


- 平野部では積雪の減少が予測される
- 積雪が減少するとアイスアルベドフィードバックにより気温上昇量が大きくなる
- 気温上昇量が大きくなると相対的に現在気候で積雪があった平野部では安定度が低くなる
- 安定度が低くなると上空との空気の交換が活発化する
- その結果、局地的に風が強まることや他の地点よりも相対的に大きい気温上昇となる
- 一方で、高標高地点ではそもそも風が強い傾向にあり、積雪があった場合でも安定度が高くないため、安定度の変化が起こらない

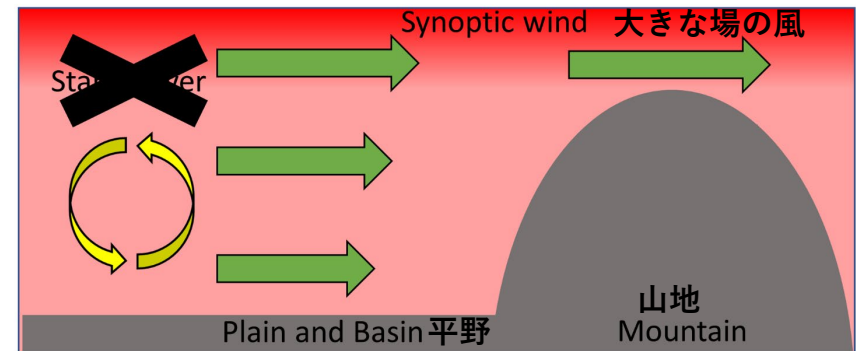
# 積雪地域の局地的な気候変動メカニズム

- 現在気候において積雪のある平野部では、積雪の存在により安定度が高い
- 将来気候下で積雪が無くなると、アルベド変化により大きく気温上昇し、安定度が低下する
- その結果上空との運動量交換が発生し局地的に風が強まる
- 山地では総観場の風により安定層が形成されにくいので安定度低下による風強化は起こりにくい
- 解像度の高いデータセットを利用することにより、局地的な現象の将来変化をとらえることができた

(a) Current climate condition



(b) Future climate condition



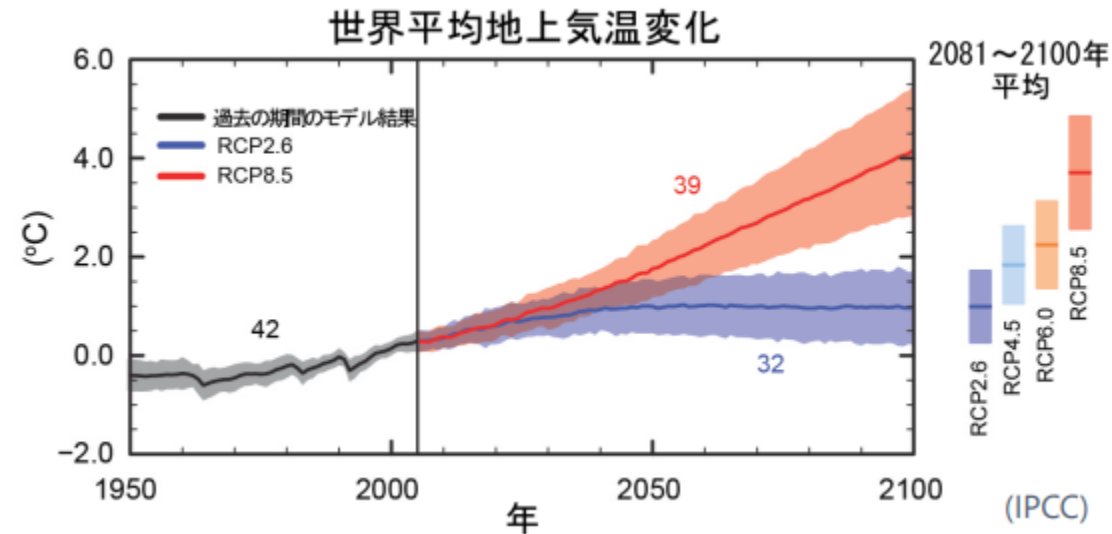
積雪地域の風速将来変化の模式図  
(a)現在気候 (b)将来気候

# まとめ

- 気象研究所では地域気候モデルNHRCMを利用して日本の気候変動について予測データセットを作成し、気象庁の出す温暖化情報に利用
- 温暖化が進むと日本では地球全体の温暖化よりも気温上昇量が大きい予測となり、強い降水は増加すると予測。
- 高解像度のモデルでは、局地的な予測も可能となり、温暖化が進み積雪が減ると、局所的に気温上昇量が大きくなり、風が強くなるといった予測された。

# まとめ

- 今日紹介した内容は主に温暖化に対する対策を怠りしかなかった場合の予測結果
- 気温上昇がどうなるのかはまだわからない
- 今後の対策次第では気温上昇量は小さくなる





ご清聴ありがとうございました