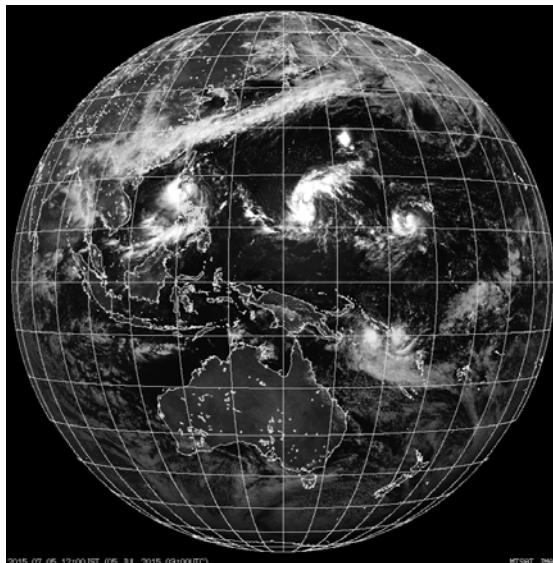
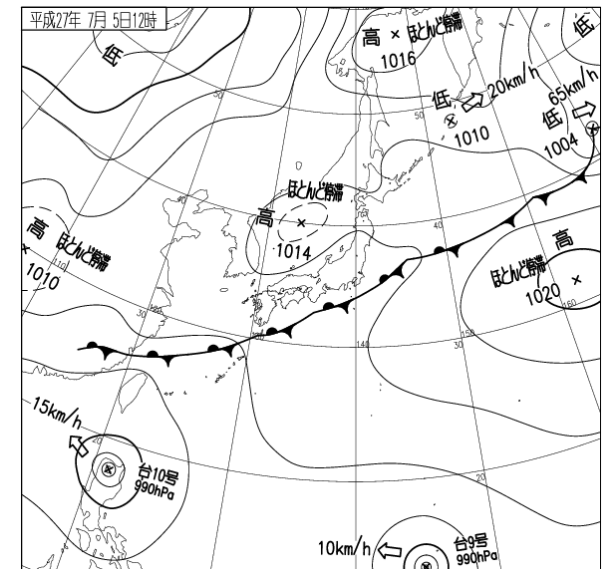


地球温暖化によるアジアの降水変化 ～日本の梅雨はどうなる？～

気象研究所 気候・環境研究部



遠藤 洋和



気象研究所における研究

2019～ 新しい5年計画(4分類・9課題)がスタート!

“課題解決型” 研究

C課題: 気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究

気候・地球環境変動の要因解明と予測に関する研究

背景

- 気候変動の緩和と適応に向けた国内外の政策検討
- 気候予測の不確実性低減や基盤となる観測・解析情報のニーズ
- 異常気象の観測に関する的確な要因究明への期待
- 季節予報などの気候情報を利した気候リスク軽減のニーズ

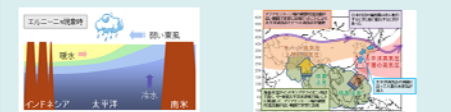
目標

- 長期観測、高精度プロセス観測、数値モデル実験のデータの解析推進による、気候システムの実態や変化要因の解明
- それらの将来予測の不確実性の評価・低減に貢献

概要

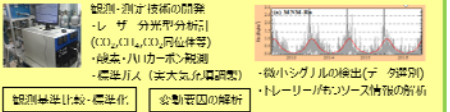
1. 異常気象の実態解明と季節予報可能性の評価

- 季節内から数十年変動の予測可能性
- 長期再解析を用いた異常気象の理解



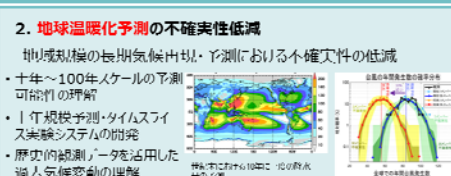
3. 大気中温室効果ガスの変動要因・炭素収支の解明

- 温室効果ガス測定の高精度化
- 温室効果ガス変動の要因解明



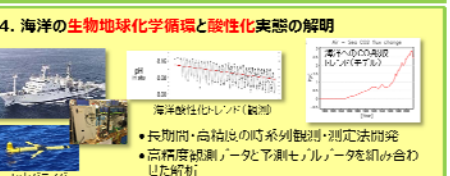
2. 地球温暖化予測の不確実性低減

- 地球規模の長期気候出現・予測における不確実性の低減
- 十年～100年スケールの予測可能性の理解
- 1ヶ月規模予報・タイムスライス実験システムの開発
- 歴史的観測データを適用した過去気候変動の理解



4. 海洋の生物地球化学循環と酸性化実態の解明

- 海洋酸性化トレンド(観測)
- 長期間・高精度の時系列観測・測定法開発
- 高精度観測データと予測モデルデータを組み合わせた解析



期待される成果

- 異常気象・季節予報
- 地域規模の温暖化予測
- 温室効果ガス観測・変動
- 生物地球化学・酸性化実態


● 精緻化・不確かさの低減

● メカニズム・要因の解明

気象庁地球環境・海洋部への業務貢献

- 気候情報業務
- 海洋気象業務
- 環境気象管理官業務

◆ 発信情報の改善・国際貢献



T課題: 台風・顕著現象の機構解明と監視予測技術の開発に関する研究



S課題: 地震と津波の監視・予測に関する研究

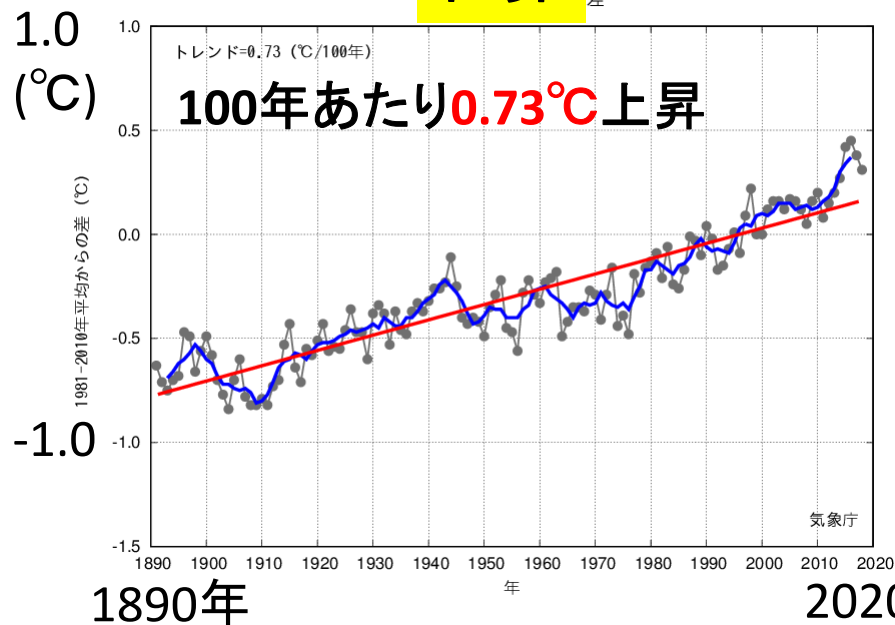


目次

1. 20世紀に観測された変化
2. 温暖化予測のこれまでの理解
3. モンスーン現象の視点で将来変化を考える
 3. 0 モンスーン的重要性
 3. 1 アジアモンスーン
 3. 2 梅雨
4. まとめ

20世紀に観測された変化： 地上気温

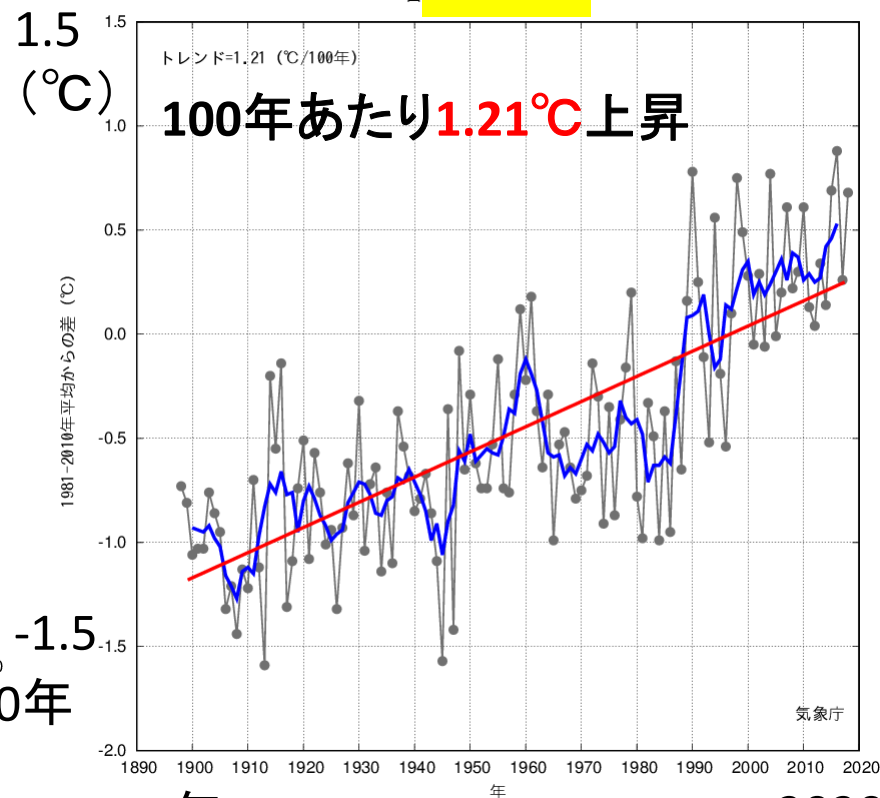
世界



基準値： 1981～2010年平均

(気象庁, 2019)

日本



1890年

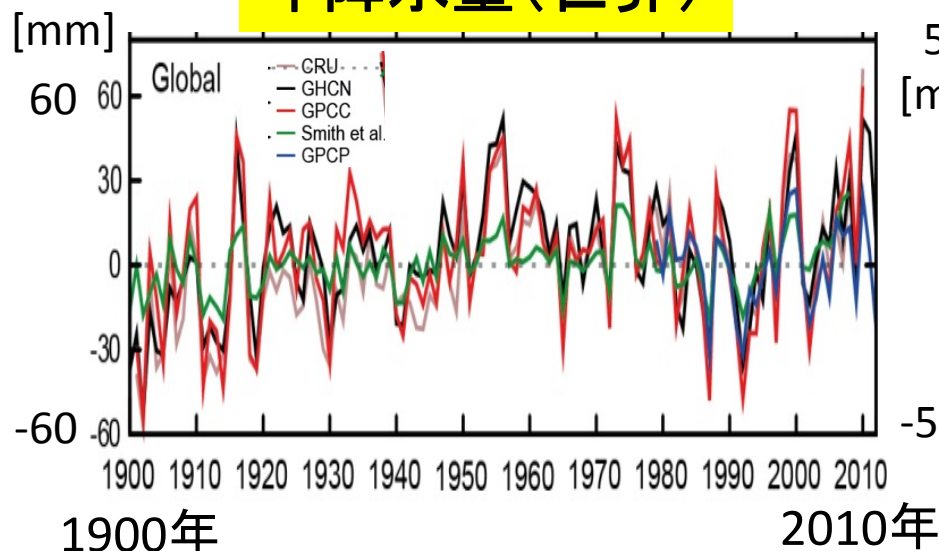
2020年

「気候システムの温暖化には疑う余地がない」

(IPCC第5次評価報告書, 2013)

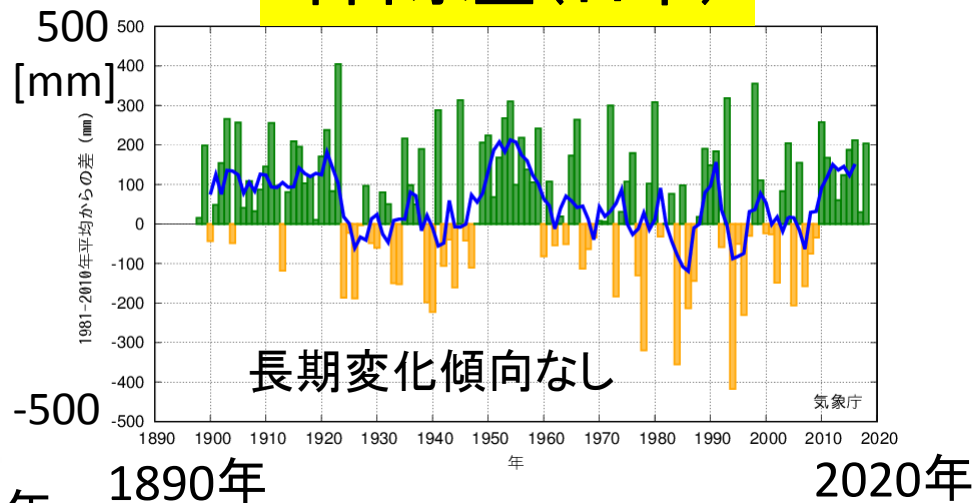
20世紀に観測された変化： 降水

年降水量(世界)



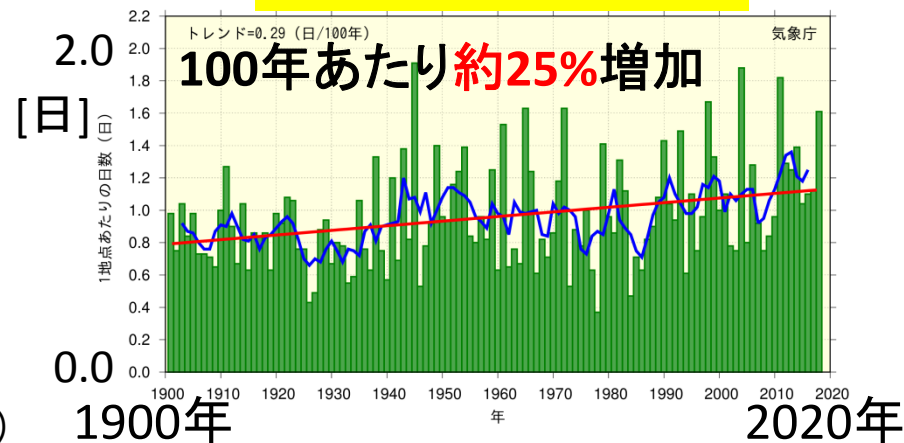
(IPCC AR5, 2013)

年降水量(日本)



大雨：日降水量100mm以上

大雨日数(日本)



(気象庁, 2019)



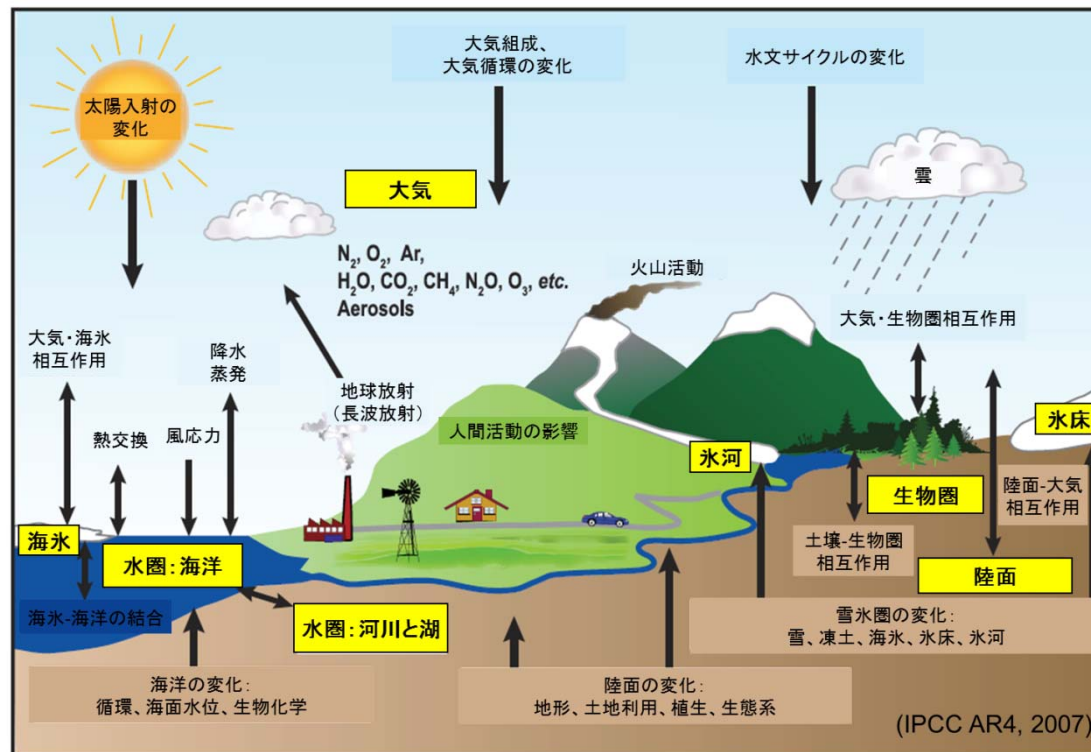
将来はどうなる？

目次

1. 20世紀に観測された変化
- 2. 温暖化予測のこれまでの理解**
3. モンスーン現象の視点で将来変化を考える
 3. 0 モンスーン的重要性
 3. 1 アジアモンスーン
 3. 2 梅雨
4. まとめ

気候モデル

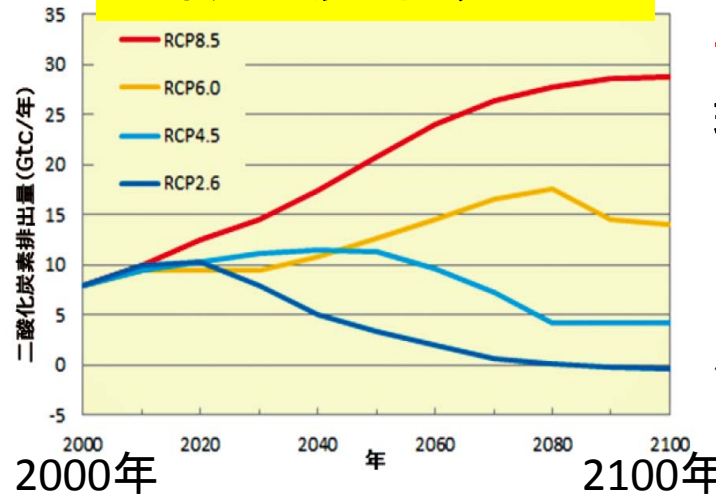
- 気候システム(大気、海洋、陸面、雪氷など)の中で起こる動きや変化を物理法則に従って数式化した計算プログラム。
- 計算プログラムの詳細部分は気候モデルごとに異なるため、予測幅が生じる。



気候システムを構成する要素と相互作用、気候を変化させる要因

21世紀の将来予測シナリオ

二酸化炭素排出量

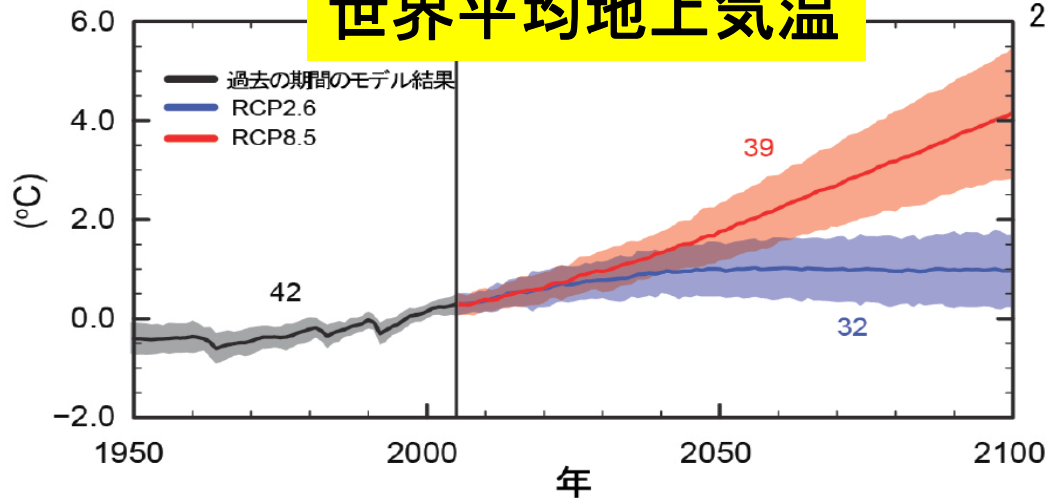


(気象庁, 2014)

高排出シナリオ (RCP8.5)
現時点を超える
削減対策を行わない場合

低排出シナリオ (RCP2.6)
削減対策を十分に行う場合

世界平均地上気温



2081~2100年
平均

21世紀末の上昇量

+3.7 (+2.6~4.8) °C

+1.0 (+0.3~1.7) °C

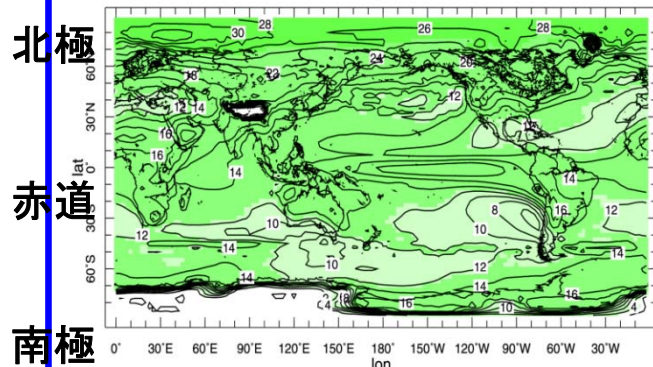
(IPCC AR5 気象庁訳, 2013)

温暖化に伴う、降水に影響する大規模変化

これまで注目されてきた

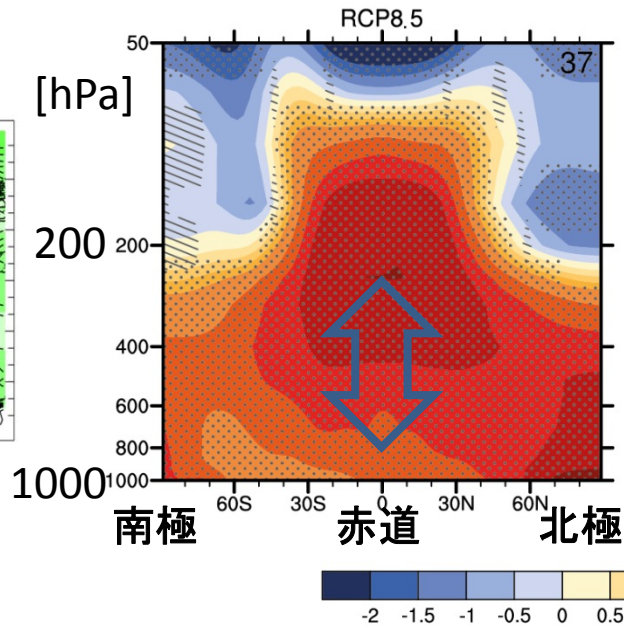
① 気温上昇による
水蒸気量増加

% change in moisture, 1000mb to 700mb



(Seager et al., 2012, JCLI)

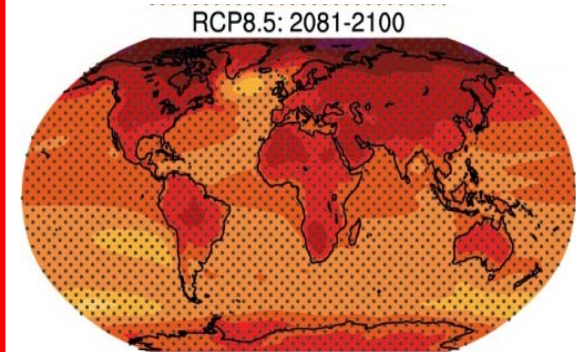
② 熱帯大気安定化



→ 平均上昇流の弱体化

本研究で注目

③ 陸上で大きな
気温上昇

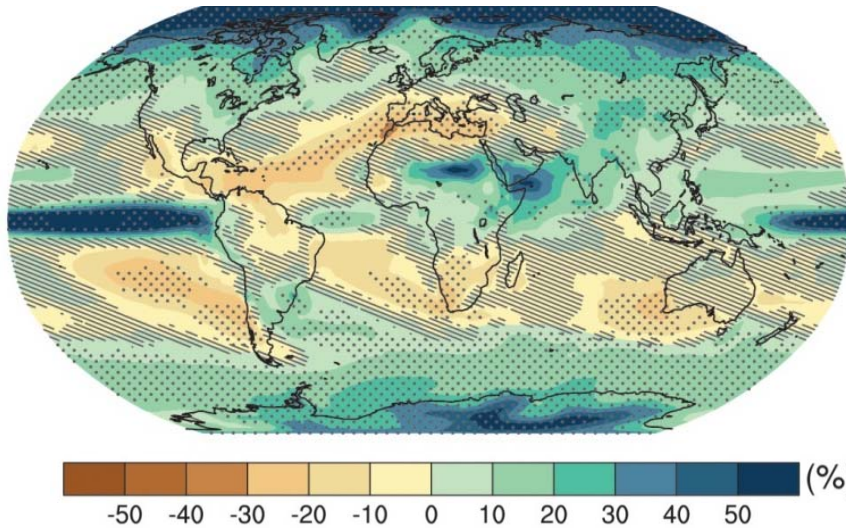


(IPCC AR5, 2013)

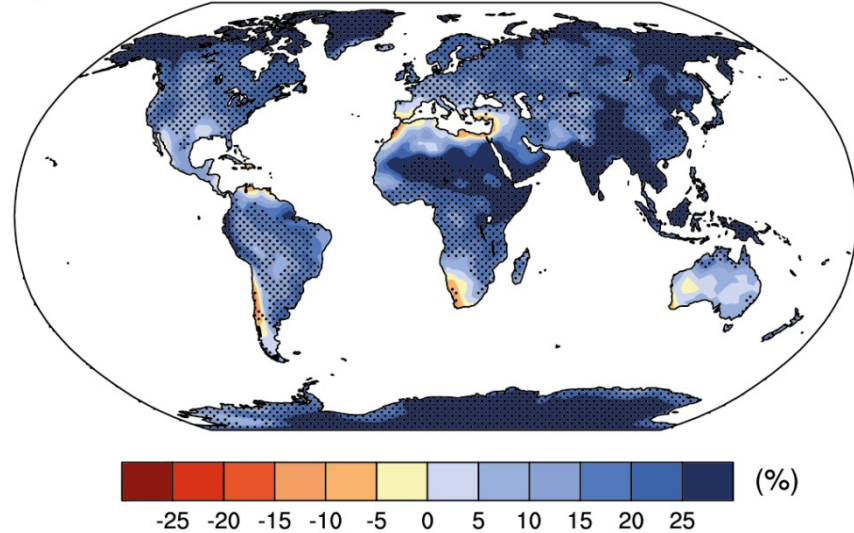
温暖化に伴う降水変化

大雨強度：年最大5日降水量

年降水量の変化
(21世紀末、高排出シナリオ)



大雨強度の変化
(21世紀末、高排出シナリオ)



(IPCC AR5, 2013)

大気中の水蒸気量増加



- 湿潤地域の湿潤化、乾燥地域の乾燥化(空間的に集中)
- 大雨強度/頻度の増加、降水日の減少(時間的に集中)

目次

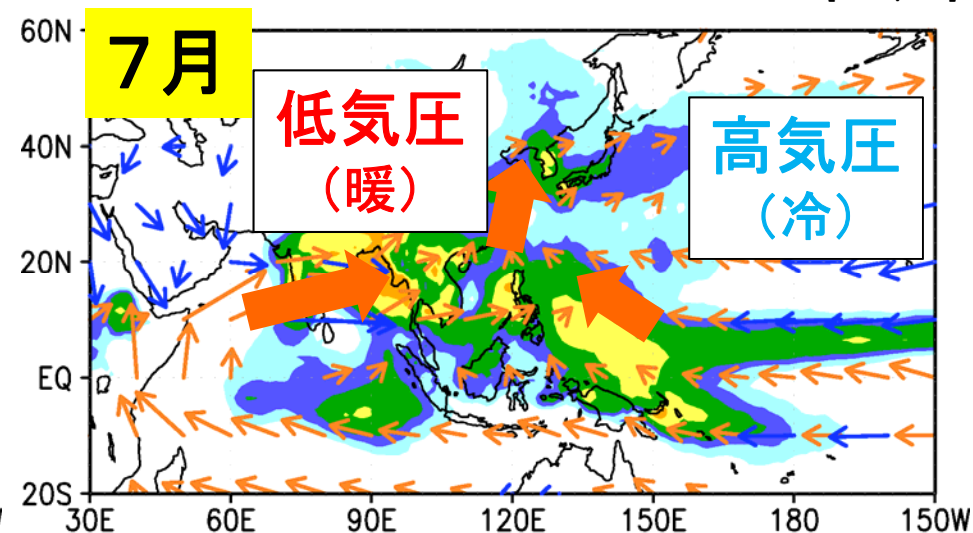
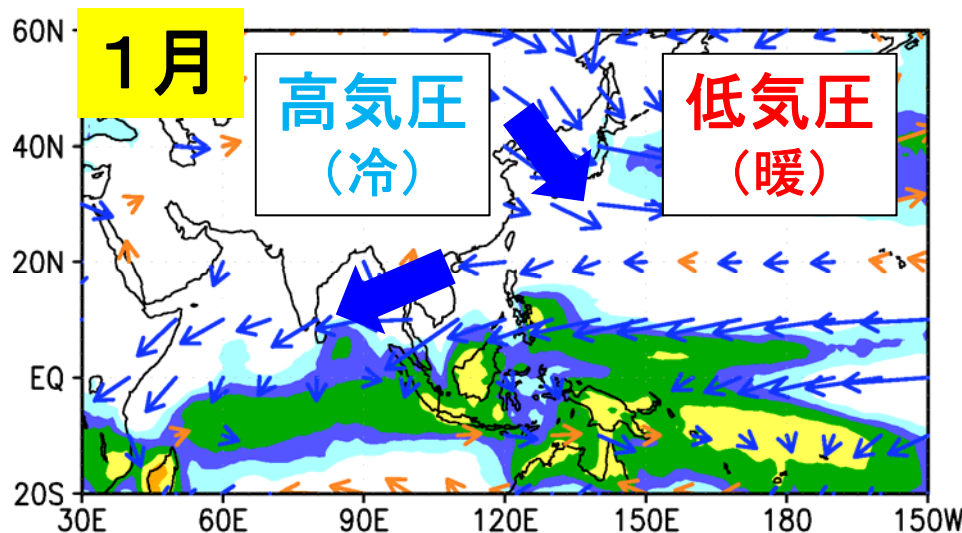
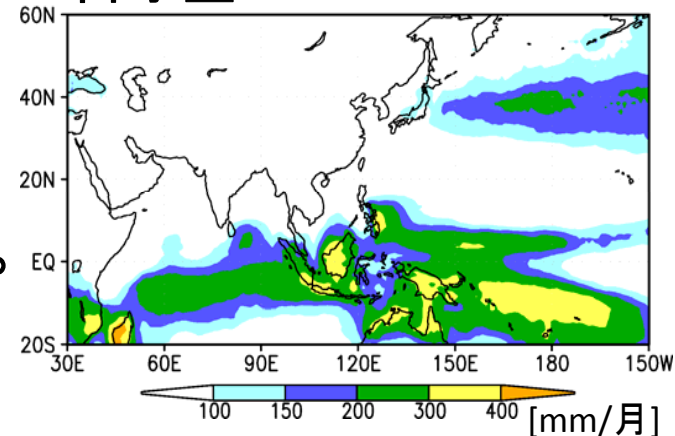
1. 20世紀に観測された変化
2. 温暖化予測のこれまでの理解
- 3. モンスーン現象の視点で将来変化を考える**
 - 3.0 モンスーンの重要性**
 - 3.1 アジアモンスーン
 - 3.2 梅雨
4. まとめ

アジア気候とモンスーン(季節風)

- **モンスーン(季節風)**: 季節的に風向が交替する風。大陸・海洋間の温度差から生じる。
- アジアの多くの国は、モンスーンの影響を受けており、**年間降水の多くが雨季に集中**。

温度差 → 気圧差 → 風 → 降水

降水量 Month=1

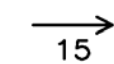


陰影: 降水量

矢印: 地表付近(850hPa)の風



[mm/月]



[m/秒]

青: 北よりの風

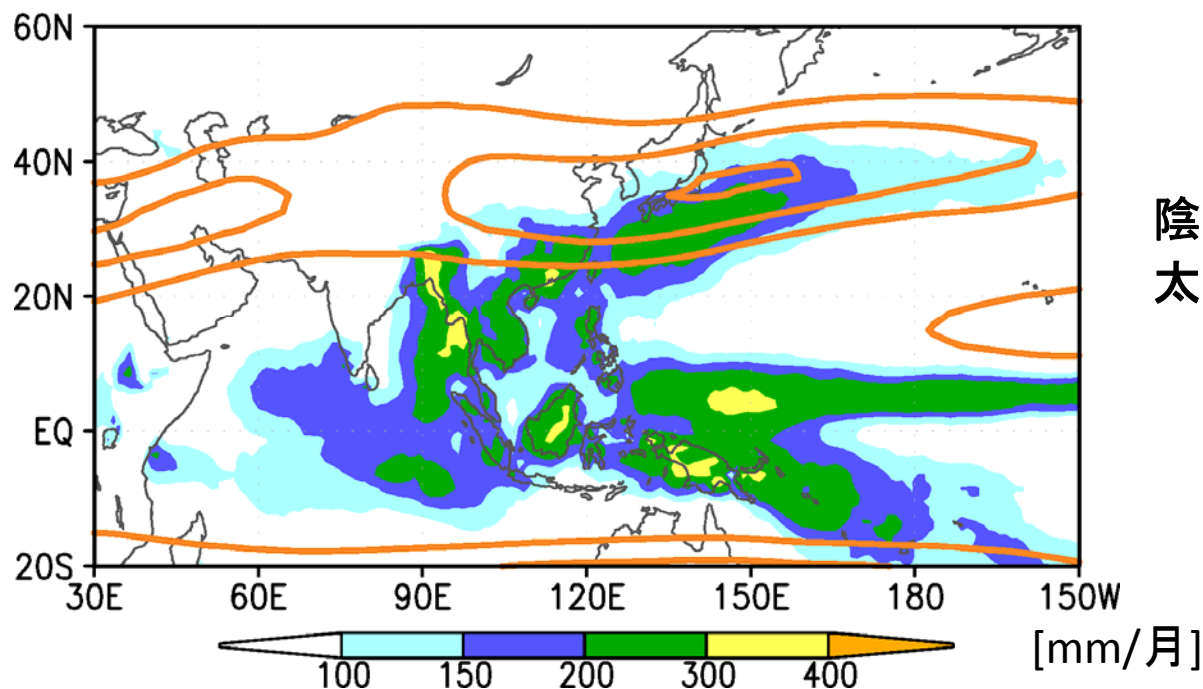
橙: 南よりの風 12

梅雨降水帯と偏西風

- 日本は中緯度に位置しながらモンスーンの影響下であり、**梅雨はアジアのモンスーンに伴う現象**として理解する必要がある。
- 梅雨降水帯は、**上空の偏西風に沿って形成**され、5月から7月にかけて**東アジアを北上**する。

熱帯で降水活発化 → 上空で高気圧発達 → 偏西風北上

Month=5



陰影: 降水量
太線: **大気上空(200hPa)**
の風速(10m/秒毎)

モンスーン現象の視点から 降水の将来変化を理解する

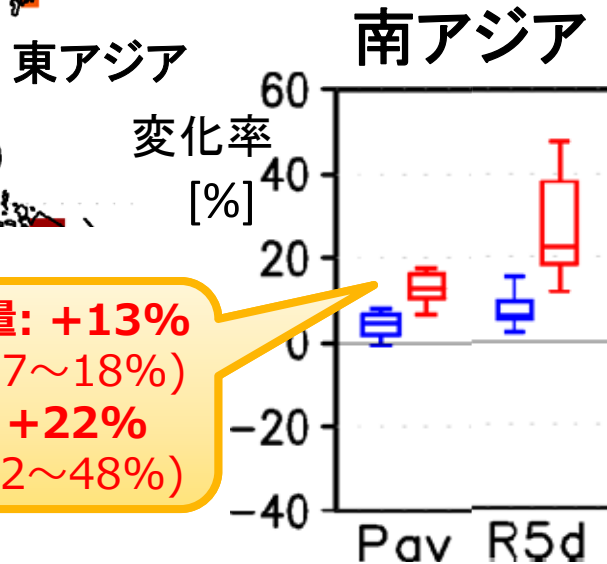
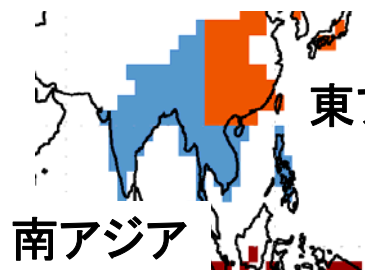
- モンスーンは**豊富な水資源**をもたらす一方で時に**水災害**をもたらす。このため、モンスーン地域では降水の将来予測は重要な課題である。
- しかしこれまで、降水の将来変化に関して、**モンスーン現象の視点**での理解が十分にされてこなかった。

目次

1. 20世紀に観測された変化
2. 温暖化予測のこれまでの理解
- 3. モンスーン現象の視点で将来変化を考える**
 3. 0 モンスーンの重要性
 - 3. 1 アジアモンスーン**
 3. 2 梅雨
4. まとめ

アジアモンスーン地域の降水の将来変化

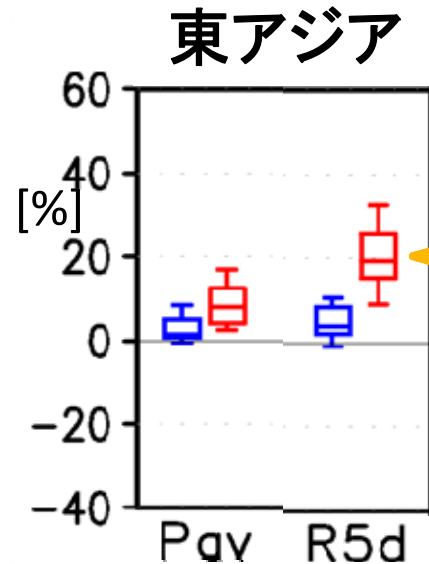
- 平均降水量は増加傾向
- 平均降水量の増加率 < 大雨強度の増加率
- 低排出シナリオ < 高排出シナリオ



平均降水量: +13%
(+7~18%)
大雨強度: +22%
(+12~48%)

平均
降水量

大雨
強度

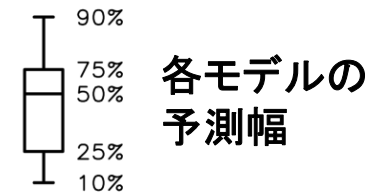


平均降水量: +8%
(+3~17%)
大雨強度: +20%
(+9~33%)

平均
降水量

大雨
強度

低排出シナリオ
高排出シナリオ



20世紀末に比した21世紀末の変化率

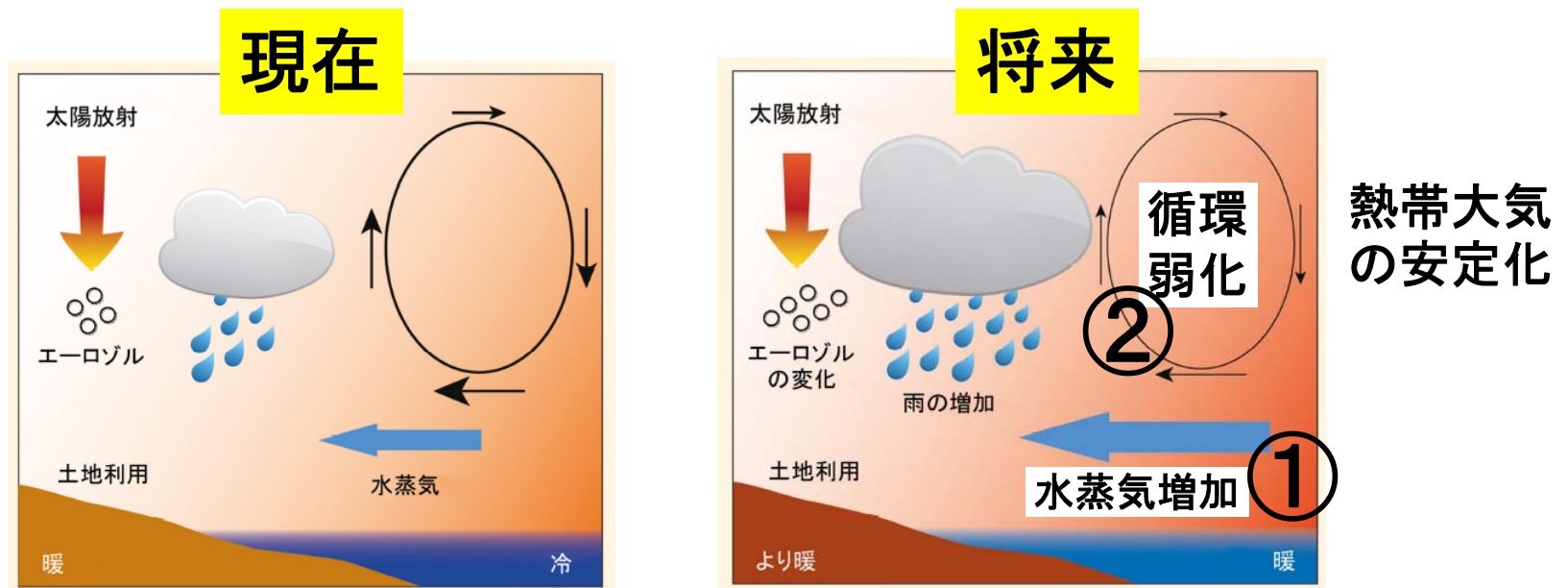
Pav: 雨季平均降水量

R5d: 雨季最大5日降水量

(Kitoh and Endo@気象研究所, 2016)

(IPCC AR5, 2013) 16

モンスーン地域の降水変化の要因



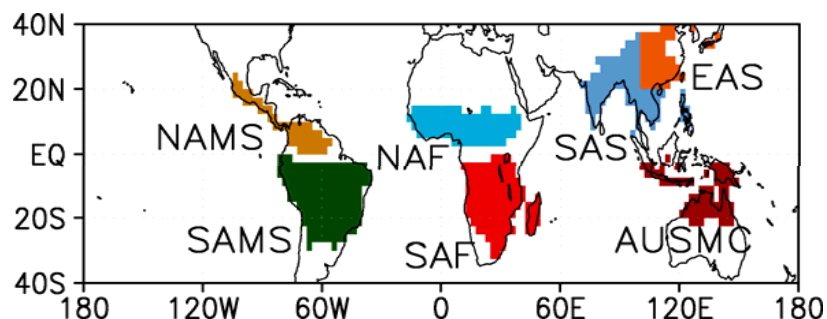
(IPCC AR5 気象庁訳, 2013)

降水量変化 ≡ 水蒸気の変化(①) + 風(上昇流)の変化(②)

- ✓ 平均降水量: 水蒸気(++) + 風(-) = 増加
- ✓ 大雨強度: 水蒸気(++) = 顕著に増加

アジアの増加率は特に大きい

モンスーン地域の区分



モンスーン地域： 雨季と乾季の降水量差が大きな地域

20世紀末に比べた21世紀末の変化率
大雨強度： 雨季最大5日降水量

将来変化率(%)

多数モデル予測の中央値(高排出シナリオ)

地域	平均降水量	大雨強度
北米	-6.5	6.7
南米	2.4	17.5
北アフリカ	3.0	13.2
南アフリカ	2.6	16.7
東アジア	7.8	19.5
南アジア	13.0	22.4
豪州 インドネシア	7.3	15.0
全体(海上含)	5.2	16.0

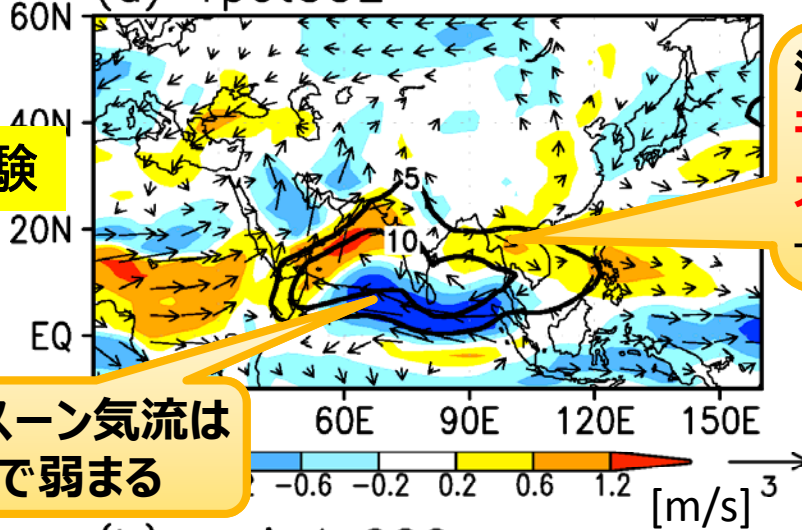
(Kitoh et al. @ 気象研究所, 2013, JGR)

(IPCC AR5, 2013)

なぜアジアでは降水量の増加率が大きいのか？

夏の地表付近の風変化

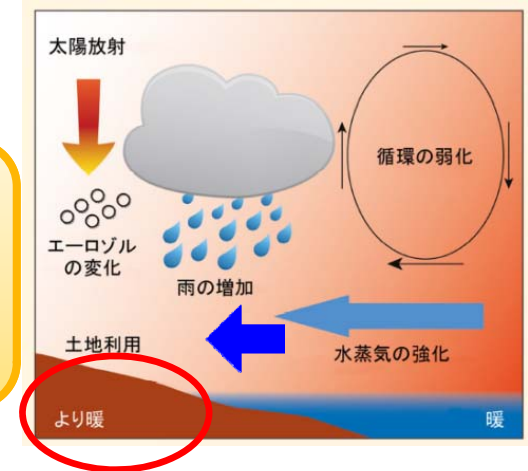
(a) 1pctCO2



温暖化実験

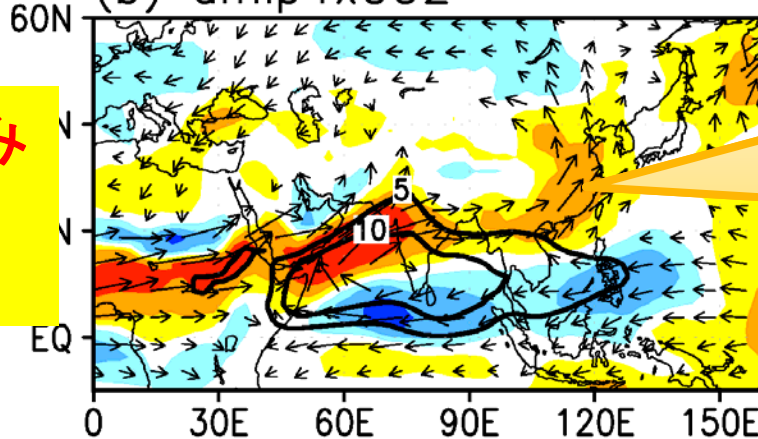
モンスーン気流は
海上で弱まる

温暖化すると、
モンスーン気流は
大陸側で強まる
→水蒸気が流入



アジアでは大陸昇温による
モンスーン強化が重要

(b) amip4xCO2



陸面のみ
昇温させ
た実験

大陸側のモンス
ーン気流強化は、
大陸・海洋間の温
度差増加が原因

太線: 現在気候の東西風速
矢印: 風の変化
陰影: 風速の変化

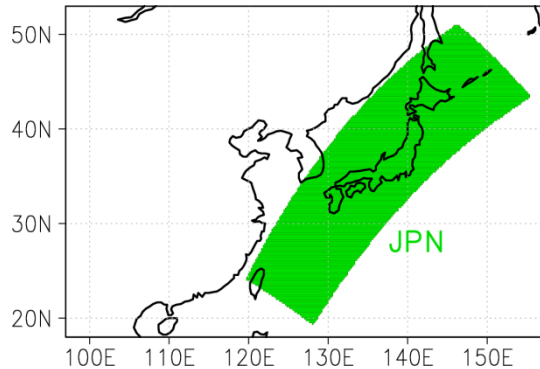
大気モデルを用いてCO₂のみ増加させた(海面水温固定)実験

目次

1. 20世紀に観測された変化
2. 温暖化予測のこれまでの理解
- 3. モンスーン現象の視点で将来変化を考える**
 3. 0 モンスーン的重要性
 3. 1 アジアモンスーン
 - 3. 2 梅雨**
4. まとめ

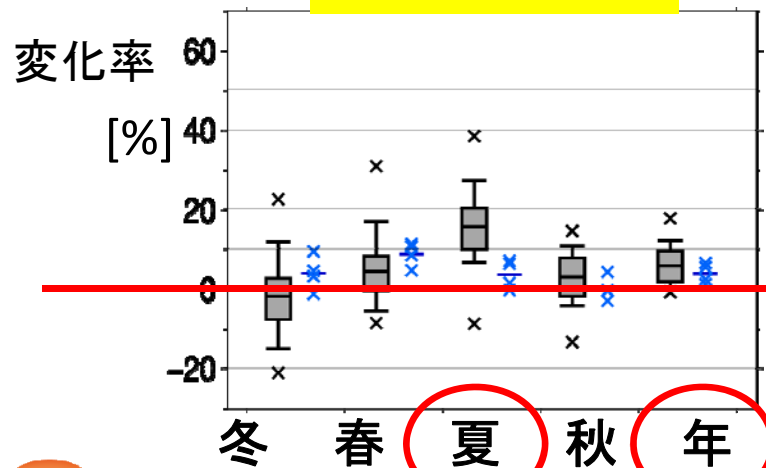
日本付近の降水の将来変化

(21世紀末、高排出シナリオ)



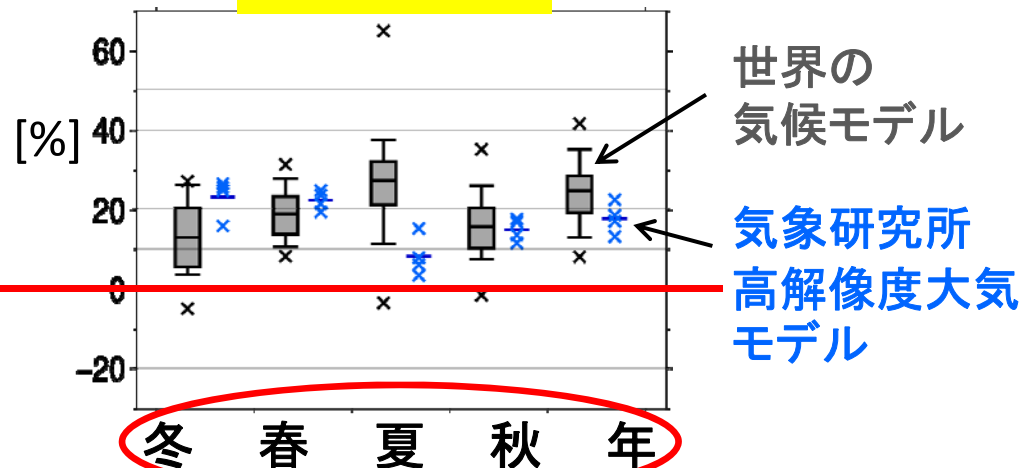
- 平均降水量: 予測幅に比べて変化が小さい。
夏および年は増加傾向。
- 大雨強度: 年間を通じて増加傾向。
平均降水量よりも大きな増加率。

平均降水量



大雨強度

大雨強度: 季節最大5日降水量



TOUGOU

Integrated Research Program
for Advancing Climate Models

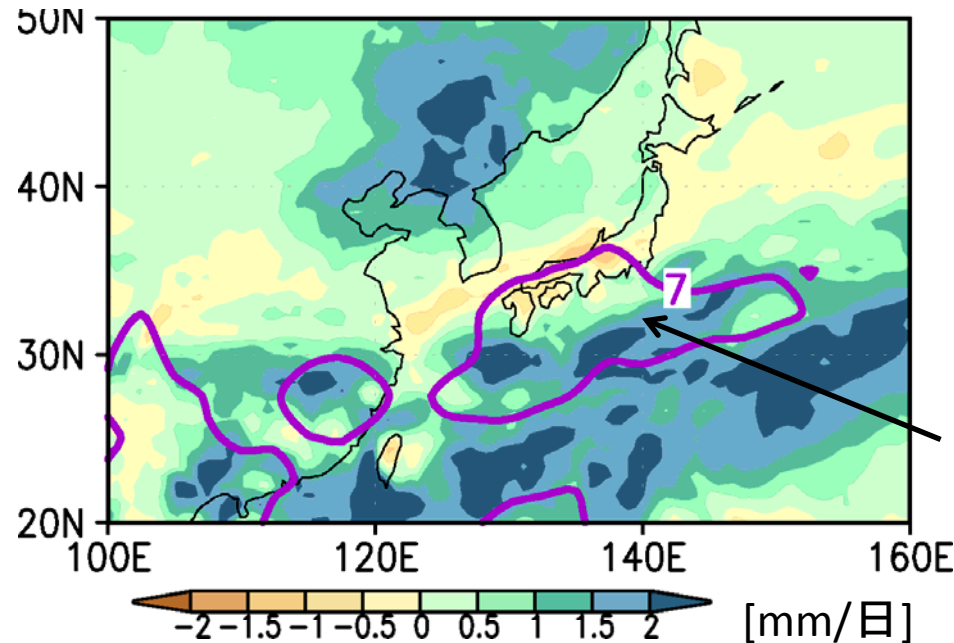
梅雨期の降水の将来変化

(21世紀末、高排出シナリオ)

- 前半(6月): 梅雨降水帯が**強まる**
現在より南へ = **北上の遅れ**
- 後半(7月): シミュレーション結果のばらつきが大きい
= 不確実性が大きく、**まだ明確なことは言えない**

気象研究所高解像度
大気モデル(60km)
によるアンサンブル予測

6月
平均降水量
変化(陰影)



現在の梅雨降水帯
(7mm/日以上)



TOUGOU

Integrated Research Program
for Advancing Climate Models

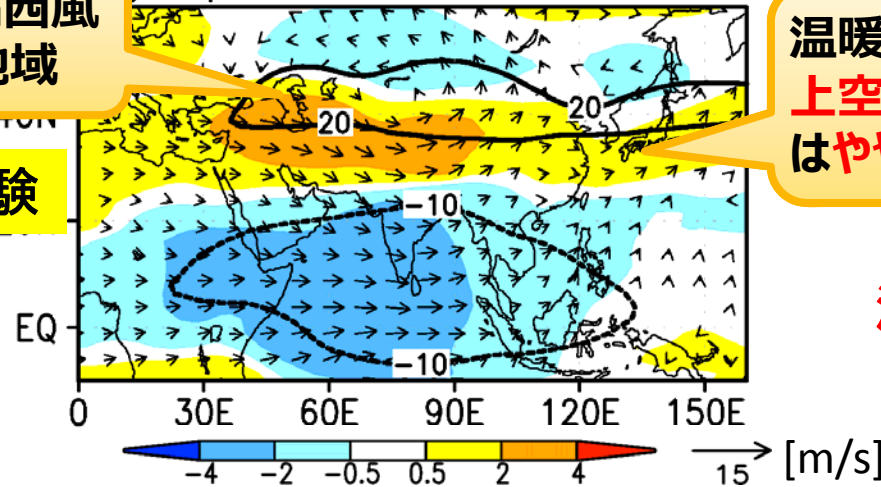
なぜ梅雨降水帯の北上が遅れるのか？

夏の上空の風変化

(a) 1pctCO2

現在、偏西風が強い地域

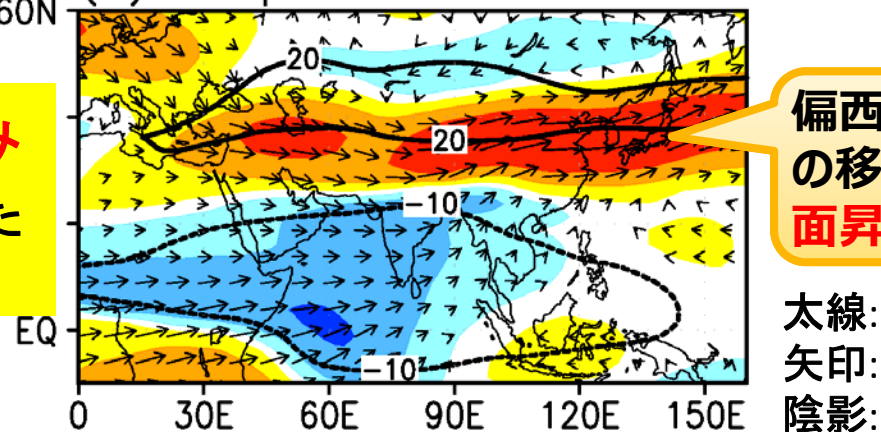
温暖化実験



温暖化すると、上空の偏西風はやや南へ

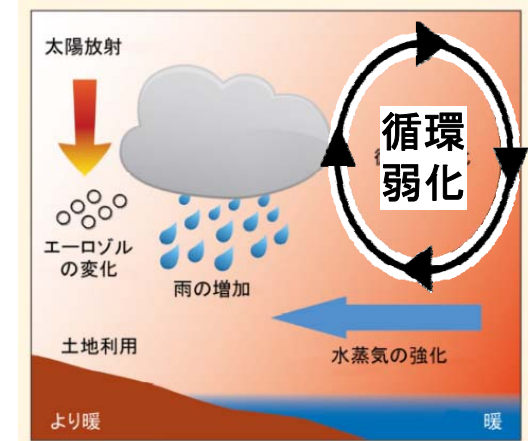
(b) amip4K

海面のみ昇温させた実験



偏西風の南への移動は、海面昇温が原因

太線: 現在気候の東西風速
矢印: 風の変化
陰影: 風速の変化



- 海面昇温 → 熱帯大気の安定化
- 平均上昇流の弱化
- 上空の高気圧の弱化
- 偏西風の北上遅れ
- 梅雨前線の北上遅れ

4. まとめ

予測される降水の将来変化



- 雨季降水量： アジアのモンスーン地域では増加傾向で、増加率は他の地域よりも大きい。

大陸昇温による、地表付近のモンスーン強化

- 梅雨： 前半(6月)は梅雨降水帯は強化し、季節的な北上がやや遅れる。

海水温上昇による、上空の偏西風の北上遅れ

- 大雨強度： 平均降水量よりも大きな割合で増加する。増加傾向は既に観測データに現れている。

今後も引き続き、日本を含むアジアの気候変動メカニズムをより良く理解し、より精度の高い将来の予測結果が得られるよう、研究を進めていく。

ご清聴ありがとうございました。



気象庁マスコット“はれるん”