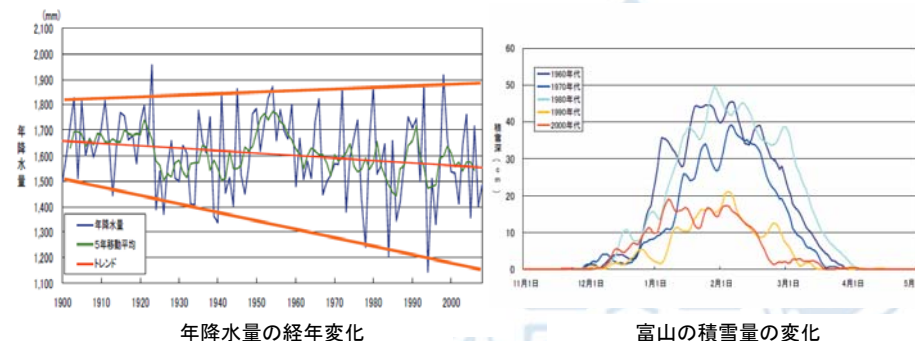


# 領域気象モデルによる 力学的ダウンスケーリングを用いた 流域降雨量の将来予測

金沢大学理工研究域 環境デザイン学系  
谷口健司

@東京大学本郷キャンパス  
2015年9月8日

## 気候変化下の日本：年降水量・積雪量の変化



100年前と現在の降水量の比較(概数) (単位: mm/年)

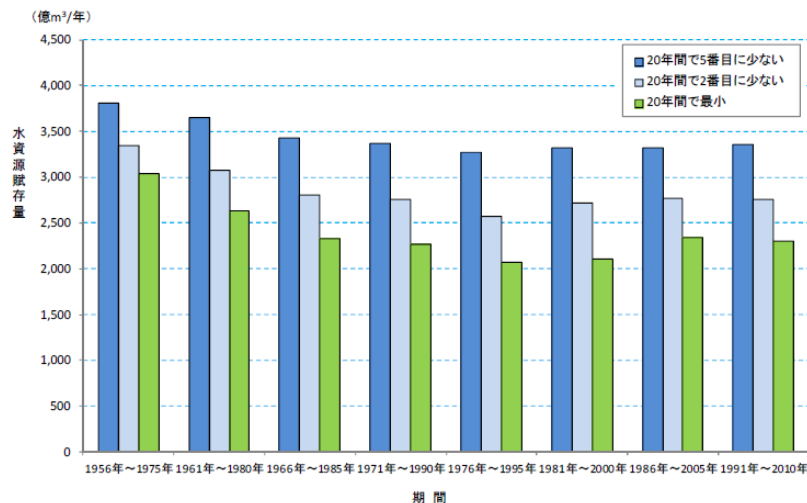
降水量 (トレンド)		変動幅		
年	約	期間	下限~上限	標準偏差
1900年	1660mm	1900~1909年	-160~+170	112.2
2008年	1550mm	1999~2008年	-200~+200	141.5

※降水量 (トレンド) は、1900年~2008年のデータに基づく回帰計算による計算値

日本の年降水量の経年変化

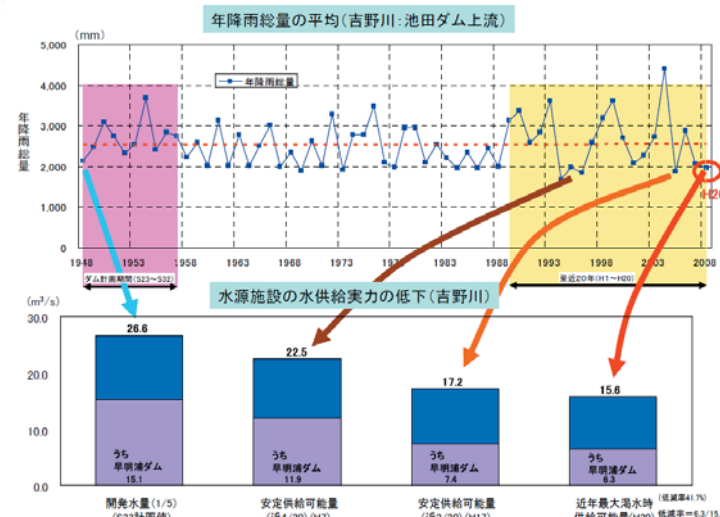
(いずれも国土交通省「日本の水資源」より)

## 気候変化下の日本：渇水度合いの変化



渇水年水資源賦存量の変化  
(国土交通省「日本の水資源」より)

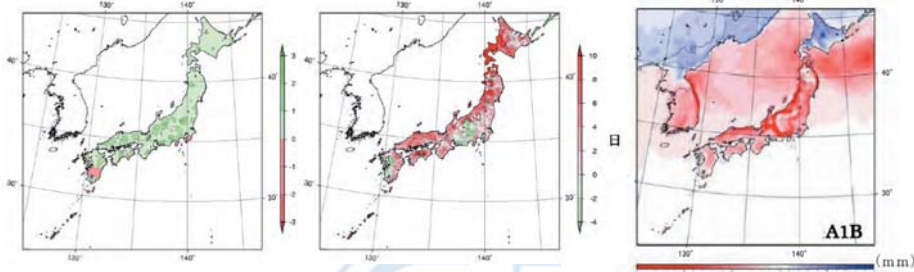
## 気候変化下の日本：水資源への影響



吉野川水系における降雨傾向と水源施設の実力低下(国土交通省「日本の水資源」より)

・計画時の供給可能量を100とした場合、H7では79、H17では49、H20では42となる。  
H20に最大60%の取水制限を20日間にわたって実施。

## 将来の気候変化下の日本：水資源への影響



日降水量100mm以上の年間日数の変化

年間無降水日数の変化

寒候期(12~3月)の降雪総量の変化(降水量換算)

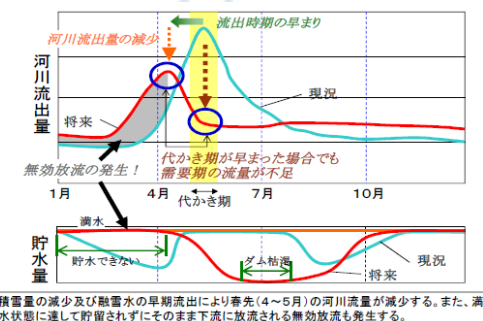
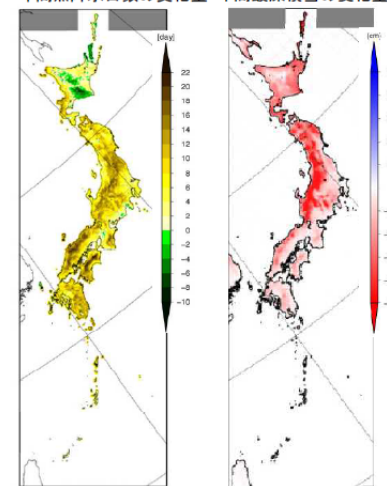
いずれも(2081~2100年平均値) - (1981~2000年平均値)  
(国土交通省「日本の水資源」より)

### 温暖化実験によると

- ① 春季には**西日本を中心に降水量が減少傾向**となる
- ② **無降雨日数増加の傾向**があり、年間降雨パターンが変化。
- ③ 降雪量について北海道を除くほとんどの地域で減少すると予測。
- ④ **降水量の変動幅拡大**も、大渇水発生の懸念。

## 将来の気候変化下の日本：水資源への影響

年間無降水日数の変化量 年間最深積雪の変化量

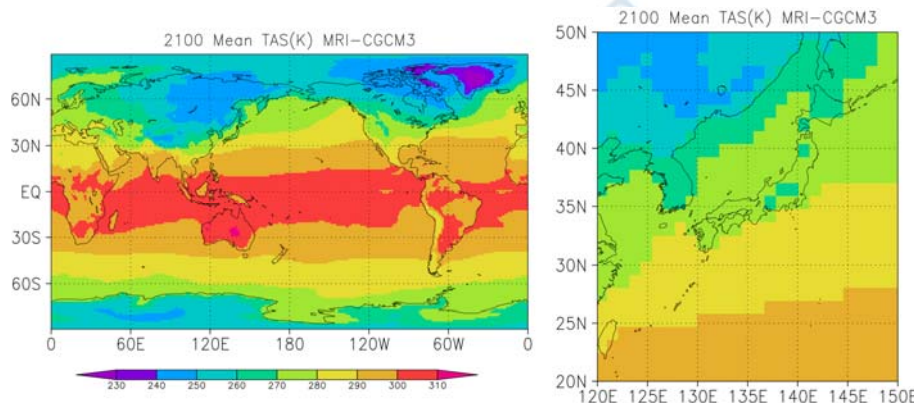


積雪量の減少及び融雪水の早期流出により春先(4~5月)の河川流量が減少する。また、満水状態に達して貯留されずにそのまま流に放流される無効放流も発生する。

(図はいずれも国土交通省「日本の水資源」より)

温暖化実験：年間最深積雪も減少  
→融雪に水資源を依存している地域においては農業への影響(農事暦の変化)が生じる可能性

## 全球気候モデルの空間解像度



気象研究所大気海洋結合モデル(MRI-CGCM3)による2100年の平均地上気温

- ・全球気候モデルの空間解像度：100km～
- ＝都道府県レベルや流域レベルでの影響評価には不十分
- 詳細化(ダウンスケーリング)が必要

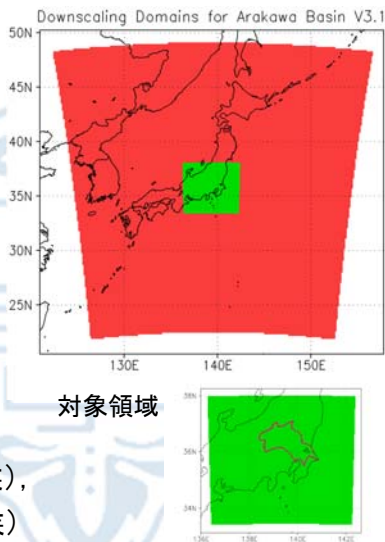
## 温暖化予測結果のダウンスケーリング

- ・ **統計的ダウンスケーリング**  
利点：計算負荷が小さい  
欠点：現在気候での統計情報を将来気候に適用することの妥当性が不明
- ・ **力学的ダウンスケーリング**  
(数値モデル等による詳細化)  
利点：普遍的な物理法則に従った情報の詳細化が可能  
欠点：計算負荷が大きい。数値モデルの不完全性を排除できない。



## 力学的ダウンスケーリング

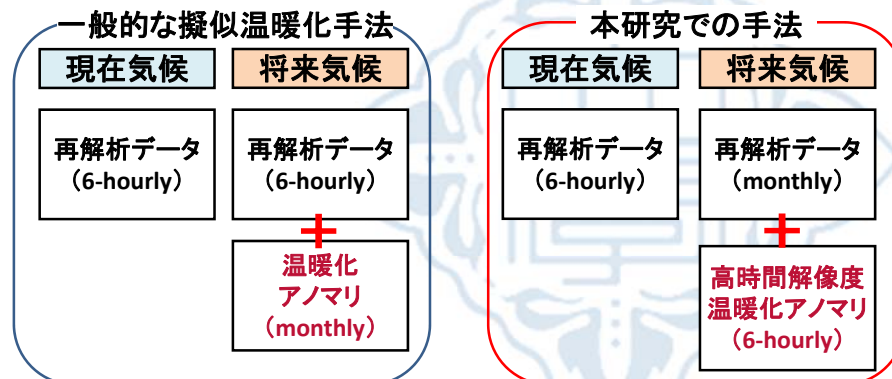
- 使用モデル: 領域気象モデル WRF V3.4
- 空間解像度(二重ネスティング)
  - 親領域: 30km × 30km
  - 子領域: 6km × 6km
- 温暖化出力: CMIP5
  - シナリオ: RCP4.5
  - 使用プロダクト: 5つの異なる温暖化予測結果を利用
- 対象期間: 2000~2010(現在気候), 2060~2070(将来気候)



※現在気候をCTL, 将来気候をプロダクト名(GFDL-CM3など)で表記する

## 擬似温暖化結果の作成

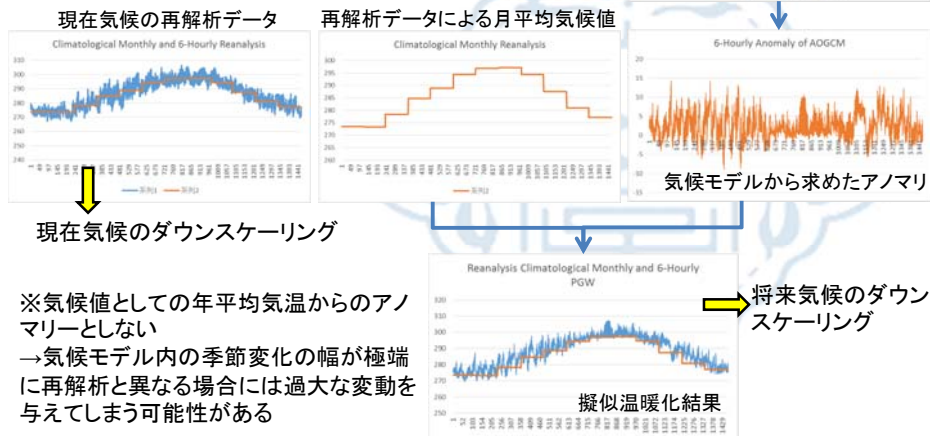
- 気候モデルにおける現在気候と将来気候の差(アノマリ)を求める
- 再解析データにアノマリを加え, 擬似温暖化結果を作成する
- 本研究では6時間ごとのアノマリを現在気候の気候値に加える



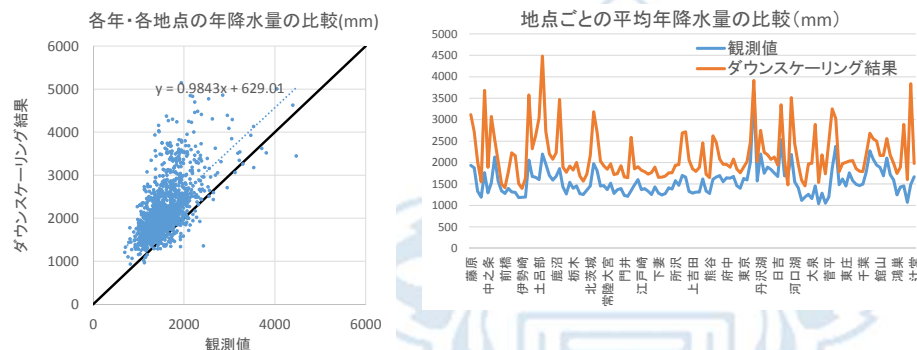
→6時間毎のアノマリを活用することで, 日周変化, 季節変化, 年々変動が擬似温暖化結果に反映されると期待される

## 擬似温暖化結果の作成

気候モデル出力から求めた6時間毎のアノマリを使用することで, 気候モデル内の日周変化, 季節変化, 年々変動が擬似温暖化結果に反映される。



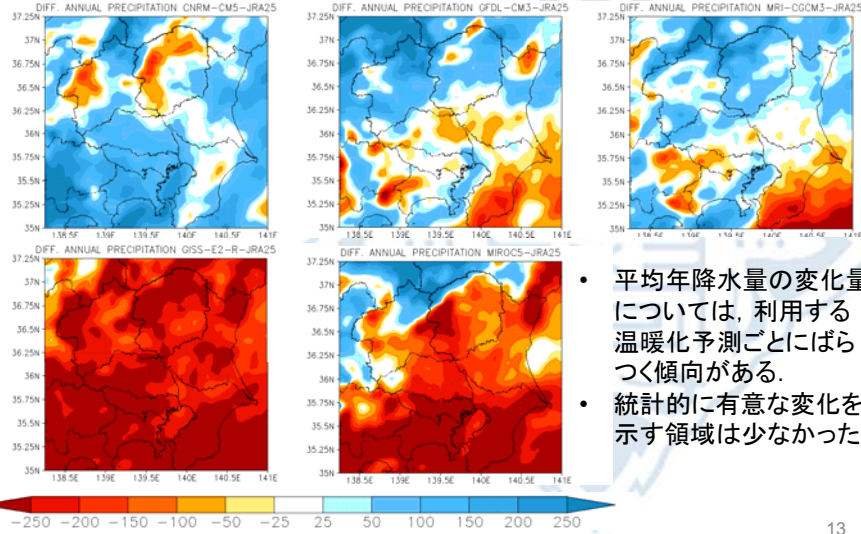
## 現在気候の再現結果の検証(関東地方)



- (左) 関東地方131地点における観測値と子領域でのダウンスケーリング結果の, 11年分の年降水量の比較. ダウンスケーリング結果においては降水量が過大評価となる傾向がある.
- (右) 地点ごとの平均年降水量の比較. 正のバイアスがみられる. 地点ごとの降水量の違い(=空間分布)は比較的再現されている(相関係数:0.71)

## 将来における年降水量の変化

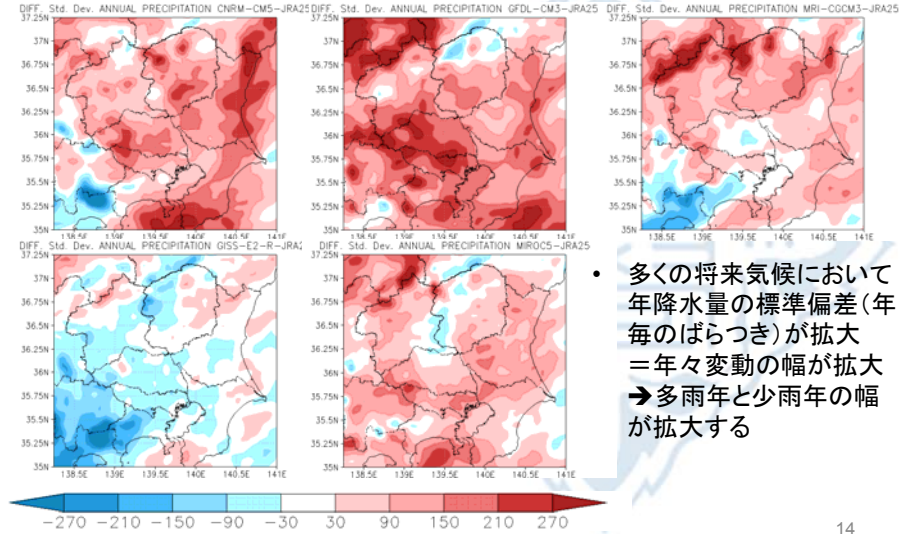
将来気候と現在気候における平均年降水量の差(mm)



- 平均年降水量の変化量については、利用する温暖化予測ごとにばらつく傾向がある。
- 統計的に有意な変化を示す領域は少なかった。

## 将来における年降水量の年々変動の変化

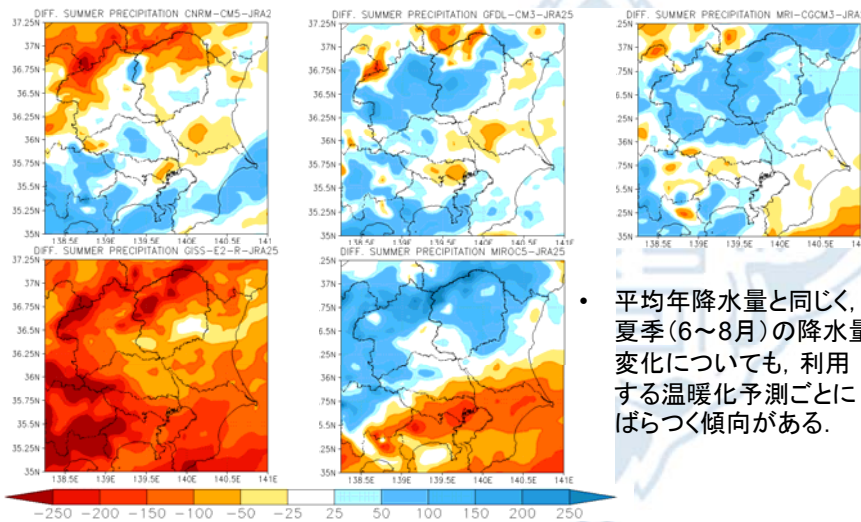
将来気候と現在気候における標準偏差の差(mm)



- 多くの将来気候において年降水量の標準偏差(年毎のばらつき)が拡大  
→年々変動の幅が拡大  
→多雨年と少雨年の幅が拡大する

## 将来における夏季降水量の変化

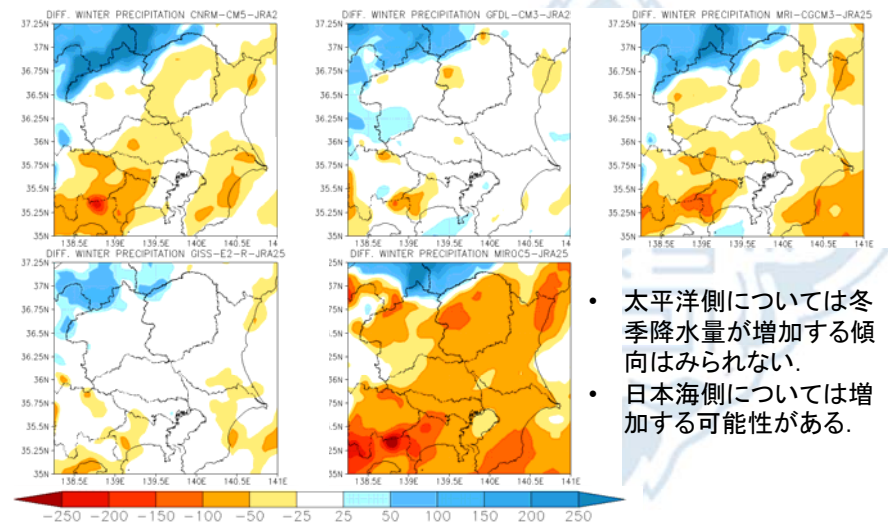
将来気候と現在気候における平均夏季降水量(6~8月)の差



- 平均年降水量と同じく、夏季(6~8月)の降水量変化についても、利用する温暖化予測ごとにばらつく傾向がある。

## 将来における冬季降水量の変化

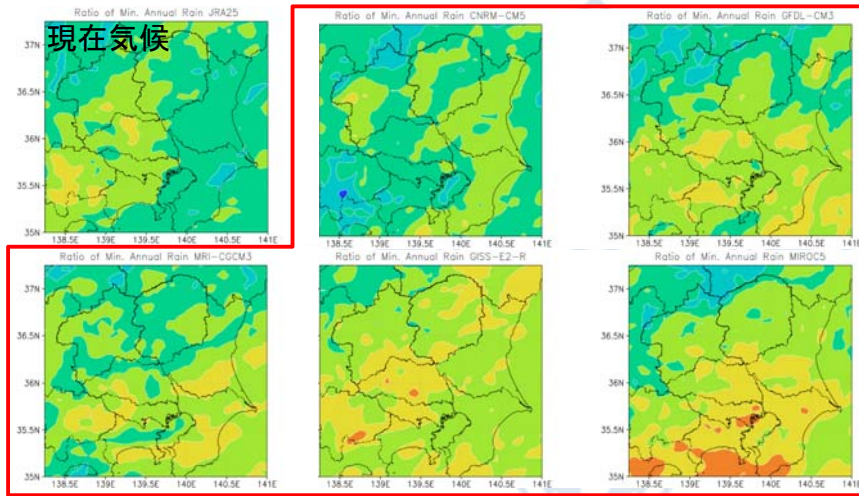
将来気候と現在気候における平均冬季降水量(12~2月)の差(mm)



- 太平洋側については冬季降水量が増加する傾向はみられない。
- 日本海側については増加する可能性がある。



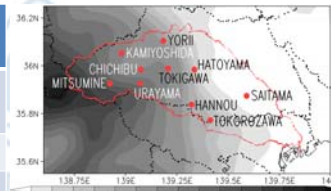
## 最小年降水量/平均年降水量の比較



複数の将来気候において年降水量の最小値が現在よりも小さくなる傾向<sup>17</sup>

## 将来における年降水量の変化(荒川流域)

	現在気候		将来気候: GFDL-CM3		将来気候: MIROC5	
	最小年降水量	平均年降水量	最小年降水量	最小年降水量	最小年降水量	最小年降水量
三峰	1814(0.78)	2339	1670(0.71)	1713(0.73)		
秩父	1374(0.75)	1827	1324(0.72)	1303(0.71)		
上吉田	1580(0.81)	1958	1527(0.78)	1502(0.77)		
浦山	1827(0.77)	2380	1619(0.68)	1745(0.73)		
寄居	1235(0.72)	1726	1230(0.71)	1151(0.67)		
ときがわ	1764(0.74)	2360	1629(0.69)	1730(0.73)		
飯能	1391(0.72)	1943	1352(0.70)	1314(0.68)		
鳩山	1278(0.69)	1850	1272(0.69)	1353(0.73)		
所沢	1405(0.73)	1933	1427(0.74)	1336(0.69)		
さいたま	1414(0.80)	1757	1298(0.74)	1180(0.67)		

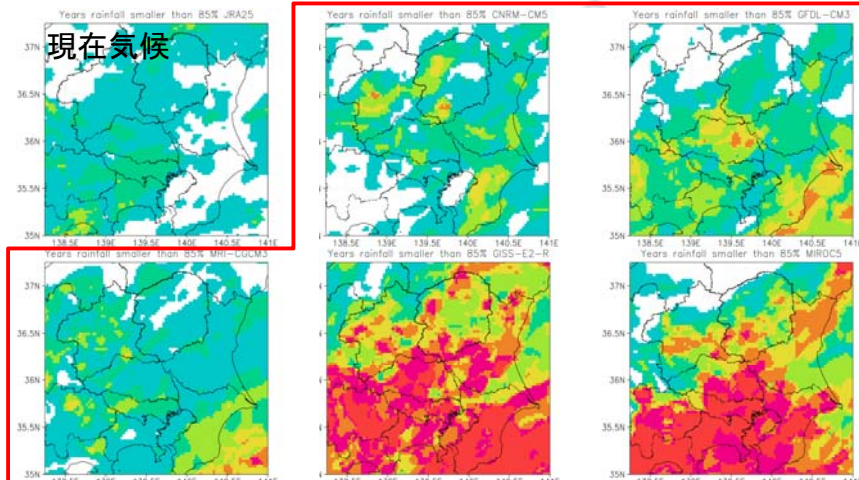


荒川流域周辺の標高と比較対象地点の分布(気象庁観測地点)

※括弧内の数字は現在気候における平均年降水量に対する比  
 ※※赤字は現在気候よりも最小年降水量が小さい地点を示す

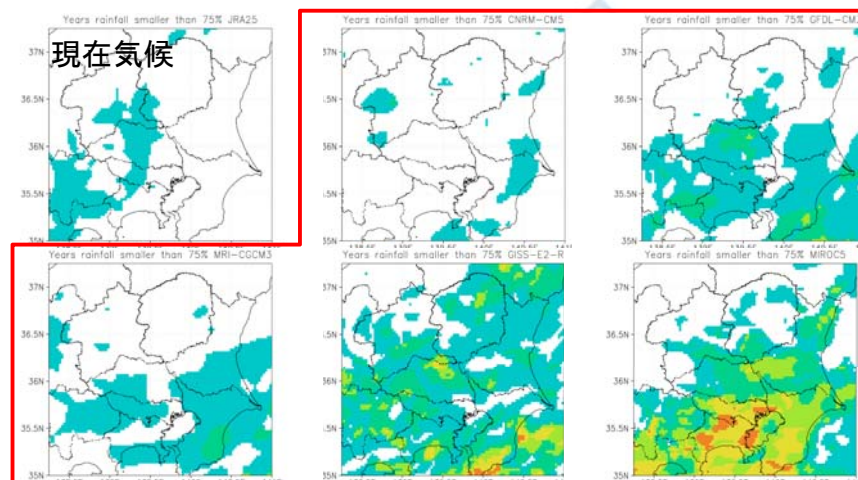
- 荒川流域内の多くの地点で将来における対象とした11年間における最小年降水量が現在気候の値を下回っている。

## 荒川流域周辺での少雨年の発生頻度



- 年降水量が現在気候の平均年降水量の85%より少ない年(回)
- 複数の将来気候で少雨年の頻度が増加。

## 荒川流域周辺での少雨年の発生頻度

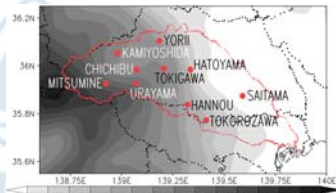


- 年降水量が現在気候の平均年降水量の75%より少ない年(回)
- 現在気候では生じないほど降水量の少ないケースが生じる。



## 将来における年降水量の変化

	現在の平均年降水量を20,25%下回る年数	
	現在気候 / GFDL-CM3 / MIROC5	
三峰	20% : 1 / 1 / 1, 25% : 0 / 1 / 1	
秩父	20% : 1 / 1 / 1, 25% : 0 / 1 / 1	
上吉田	20% : 0 / 1 / 1, 25% : 0 / 0 / 0	
浦山	20% : 1 / 1 / 2, 25% : 0 / 1 / 1	
寄居	20% : 1 / 3 / 3, 25% : 1 / 2 / 1	
ときがわ	20% : 1 / 3 / 3, 25% : 1 / 1 / 1	
飯能	20% : 1 / 1 / 5, 25% : 1 / 1 / 1	
鳩山	20% : 1 / 2 / 3, 25% : 1 / 2 / 2	
所沢	20% : 1 / 2 / 5, 25% : 1 / 1 / 3	
さいたま	20% : 0 / 2 / 3, 25% : 0 / 2 / 2	

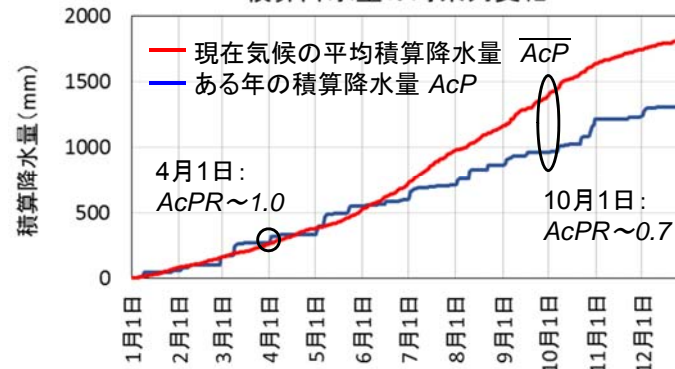


荒川流域周辺の標高と比較対象地点の分布(気象庁観測地点)

- 現在気候では平均年降水量を20%以上下回る年は対象とした11年のうち1回程度であったが、将来気候においては複数回に増える地点もみられた。
- 25%以上下回る年は0回から1~2回に増える地点がみられた。  
→現在気候では発生しない程の少雨の年が生じる可能性を示唆

## 夏季における渇水リスクの検討

積算降水量の時系列変化



- 積算降水量比:  $AcPR = AcP / \overline{AcP}$
- 夏季最小積算降水量比:  $AcPR_{min} = \min \left( \frac{AcP_i}{\overline{AcP}}, i = 1JUL, 12AUG \right)$   
(7月1日~8月31日における積算降水量比の最小値)

## 夏季における渇水リスクの検討

夏季最小積算降水量比の比較

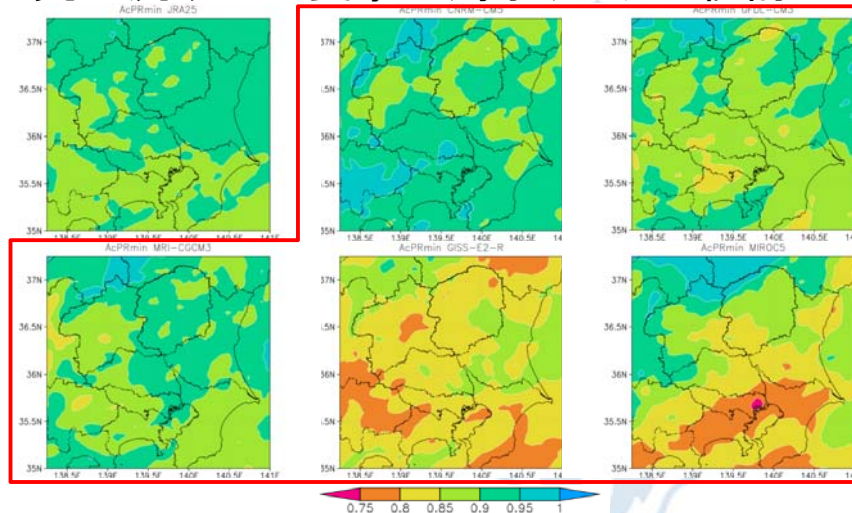
	現在気候		将来:GFDL-CM3		将来:MIROC5	
	平均	最小	平均	最小	平均	最小
三峰	0.91	0.71	0.86	0.70	1.00	0.69
秩父	0.91	0.65	0.87	0.58	0.97	0.69
上吉田	0.92	0.69	0.88	0.62	1.00	0.74
浦山	0.91	0.64	0.84	0.59	0.96	0.63
寄居	0.92	0.67	0.92	0.67	0.94	0.67
ときがわ	0.92	0.64	0.85	0.55	0.90	0.58
飯能	0.92	0.62	0.90	0.63	0.88	0.58
鳩山	0.92	0.64	0.90	0.60	0.93	0.63
所沢	0.92	0.62	0.91	0.62	0.86	0.56
さいたま	0.92	0.62	0.89	0.65	0.88	0.59

※平均:現在,将来気候の対象とした11年間における平均値

※※最小:現在,将来気候の対象とした11年間での最小値

- GFDL-CM3では上流域, MIROC5では下流域において平年に比べて4割以上降水が少ない時期が生じ得る

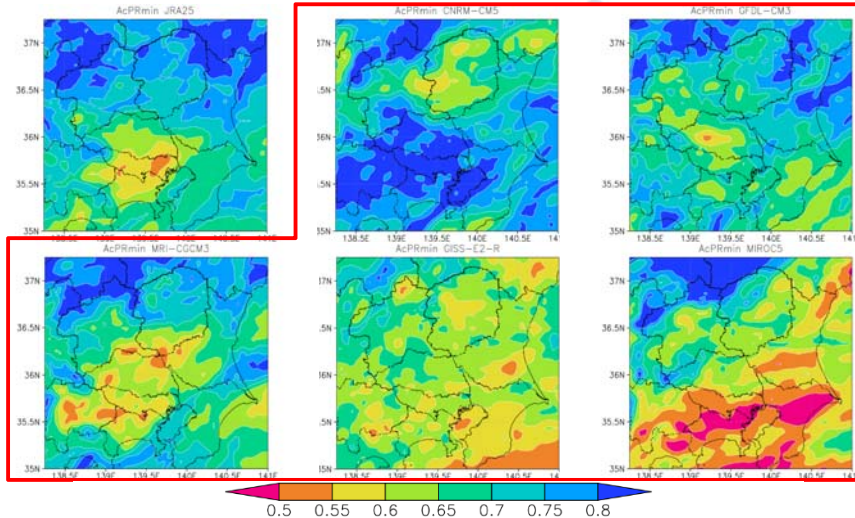
## 荒川流域での夏季の渇水リスクの検討



- 夏季最小積算降水量比( $AcPR_{min}$ )の平均値の分布
- 複数の将来気候において現在気候に比べ積算降水量の少ない時期が生じる

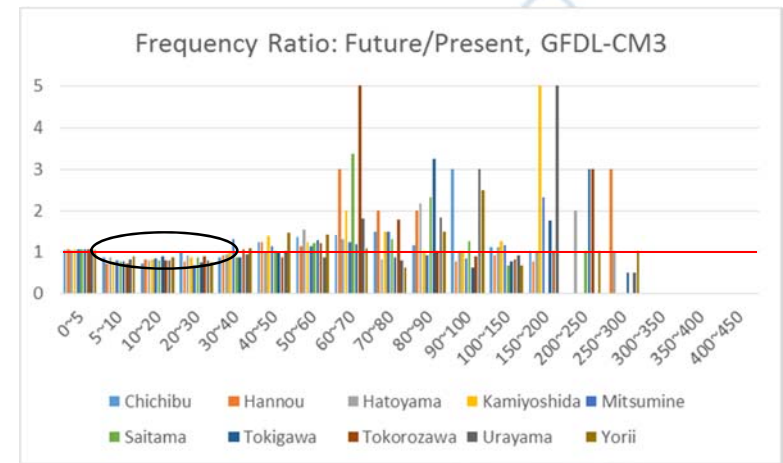


## 荒川流域での夏季の渇水リスクの検討



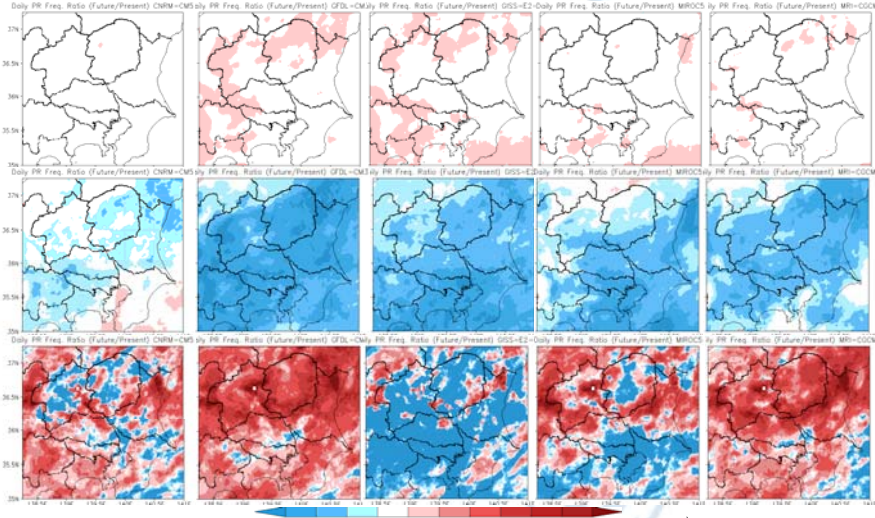
- 夏季最小積算降水量比 ( $AcPR_{min}$ ) の最小値の分布
- 著しく積算降水量の少ない時期が生じる → 土壌の乾燥、貯水量の低下

## 降水強度別頻度分布の変化(荒川流域)



- 5~50mm/dayの降水頻度が減少。
- 50mm/day以上の頻度が増加。

## 荒川流域での日降水量別発生頻度変化



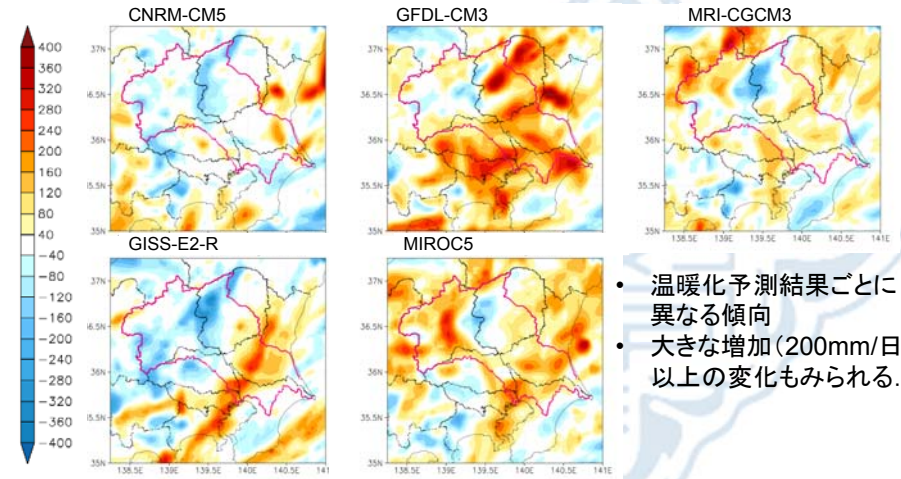
- いずれの将来気候でも5~50mm/dayの降水頻度が減少。
- 複数の将来気候で50mm/day以上の降水は増加。



治水・利水的に不利

## 最大日降水量の変化

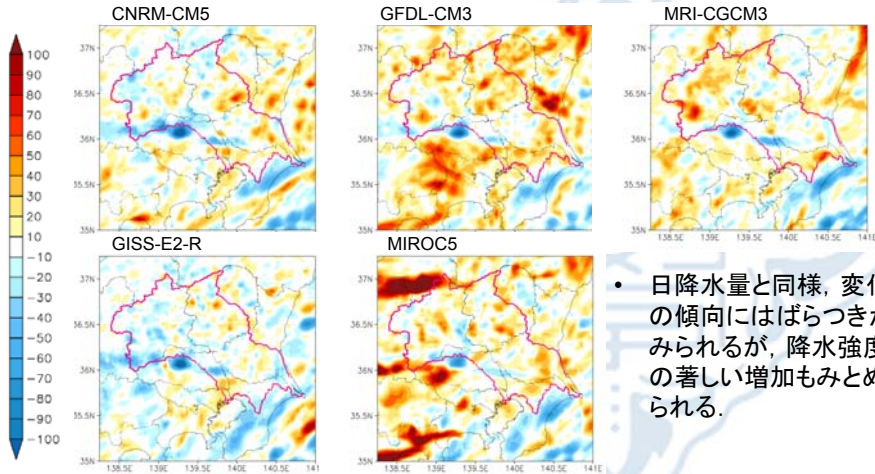
現在気候と将来気候における最大日降水量の変化量 (mm)



- 温暖化予測結果ごとに異なる傾向
- 大きな増加(200mm/日)以上の変化もみられる。

## 最大時間降水量の変化

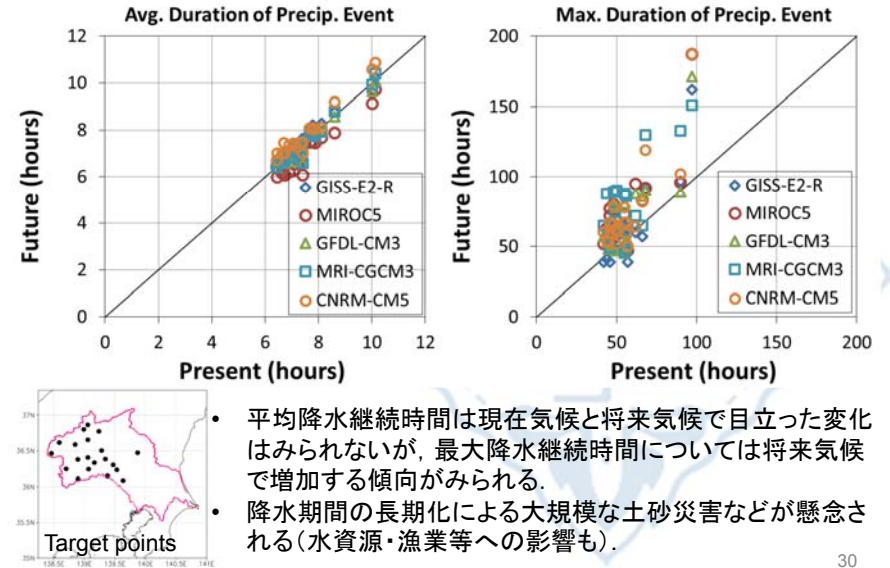
現在気候と将来気候における最大時間降水量の変化量 (mm)



- 日降水量と同様、変化の傾向にはばらつきがみられるが、降水強度の著しい増加もみとめられる。

29

## 降水継続時間の変化



- 平均降水継続時間は現在気候と将来気候で目立った変化はみられないが、最大降水継続時間については将来気候で増加する傾向がみられる。
- 降水期間の長期化による大規模な土砂災害などが懸念される(水資源・漁業等への影響も)。

30

## まとめ

- 温暖化予測に基づく擬似温暖化結果の作成と数値気象モデルによる力学的ダウンスケーリングを行った
- 関東地方においては平均年降水量に有意な変化はみられなかったが、**少雨の程度の拡大**や**少雨年の発生頻度の増加**が示唆された
- 降水特性の変化(弱い雨の減少, 大雨の増加, 最大降水継続時間の長期化)も認められ、水資源管理, 水利用への影響評価が必要である。

31