

気候変動について

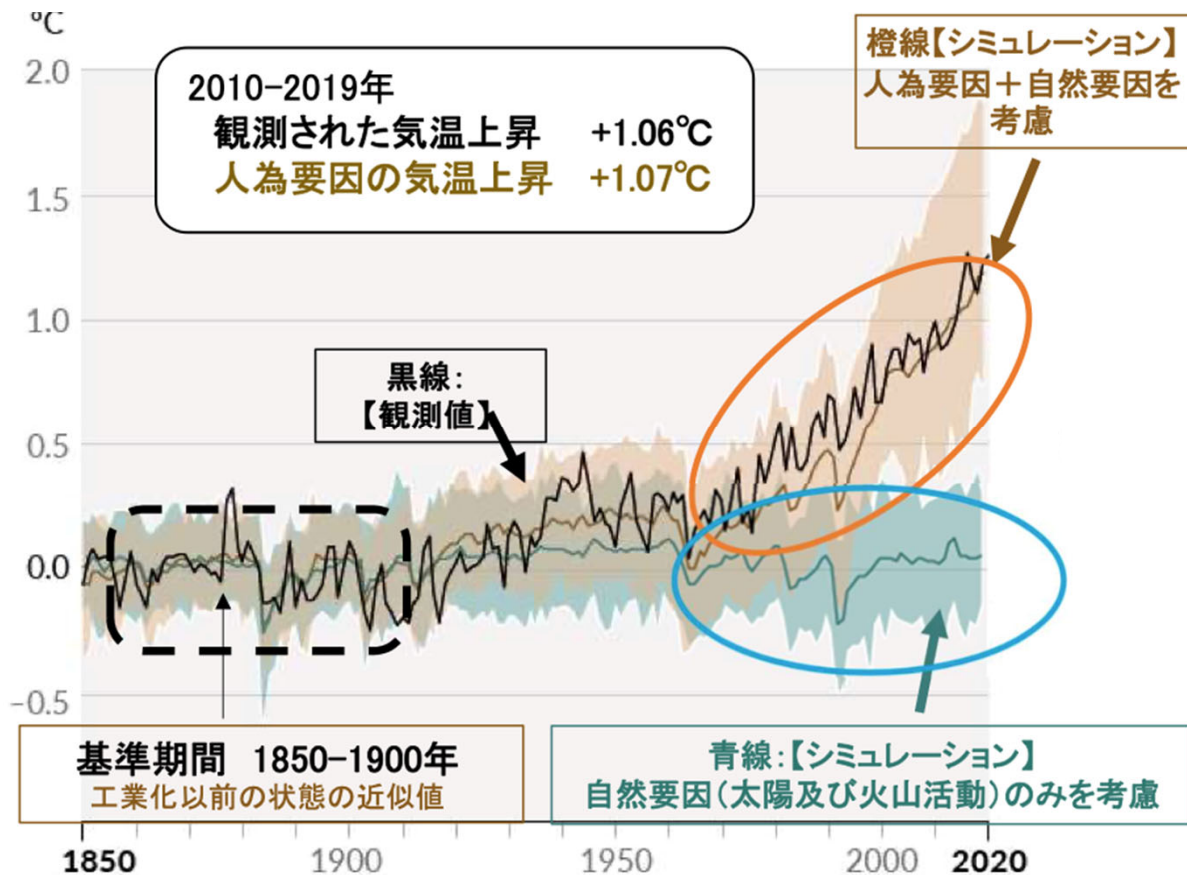
九州大学大学院工学研究院 准教授 丸谷靖幸



※画像等の無断転載禁止

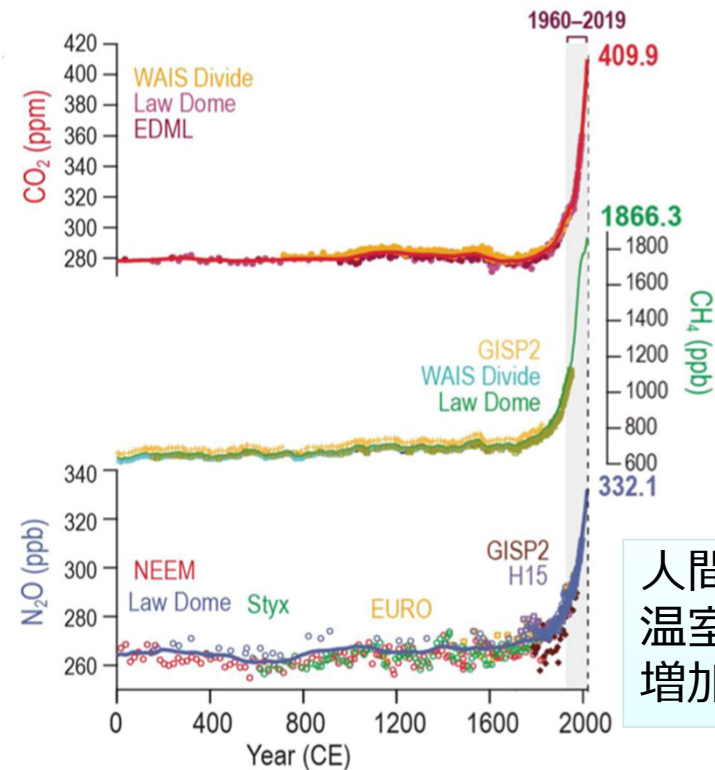
気候変動の実情（世界で見ると）

1850-1900年を基準とした世界平均気温の変化



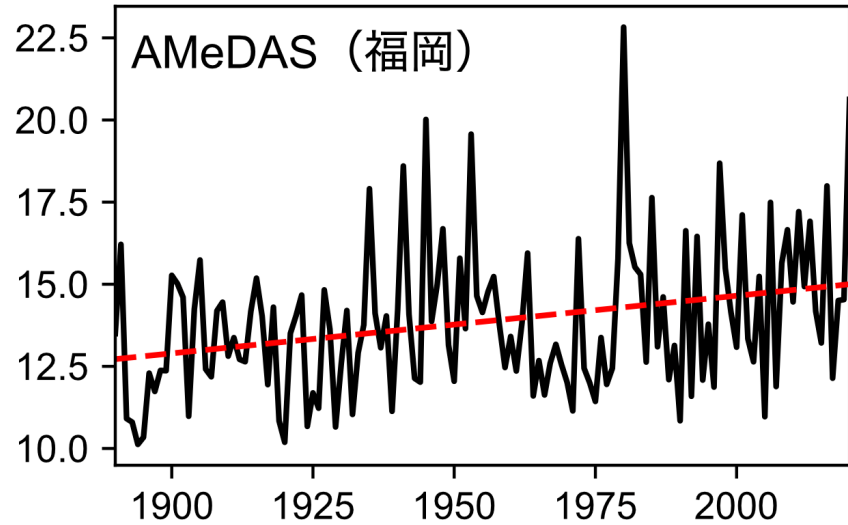
IPCC AR6 WG1 (2021)

人間の影響が大気、海洋、及び陸域を温暖化させてきたことに疑う余地がない。
大気、海洋、雪氷圏、及び生物圏において、
広範かつ急速な変化が現れている。
(IPCC AR6 WG1)

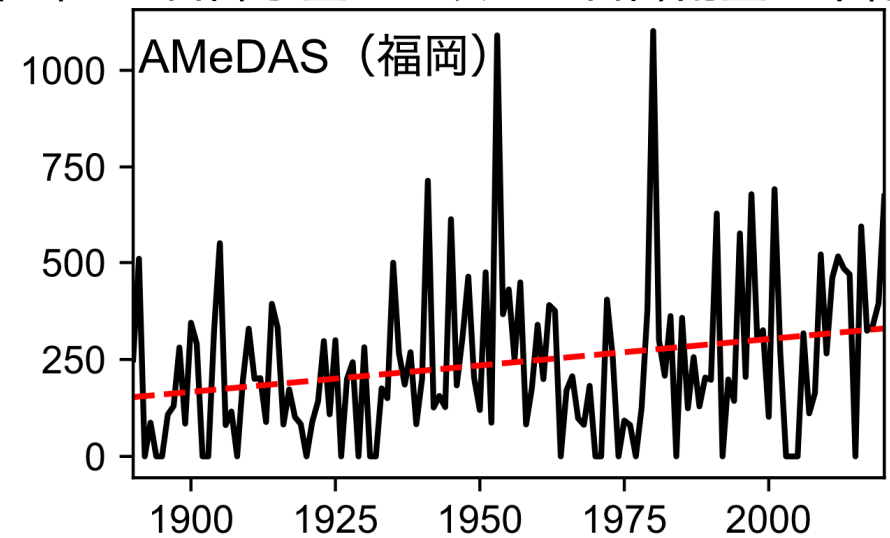


人間活動により
温室効果ガスが
増加している

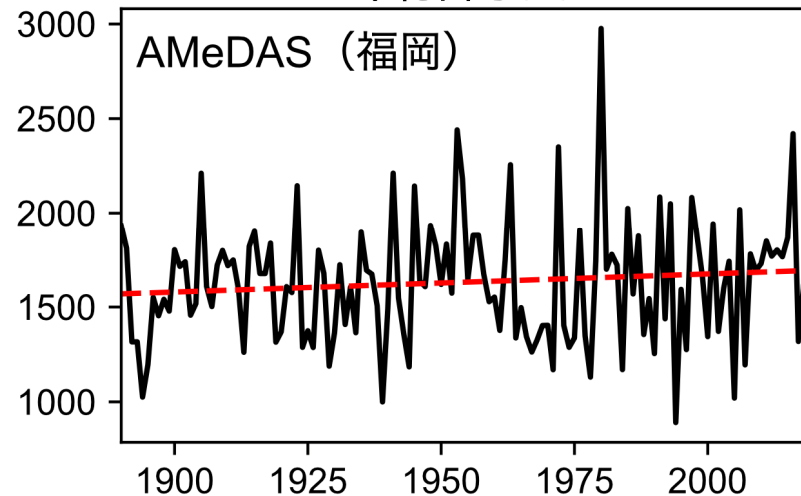
降水発生日当りの日降水量



1年当りの日降水量99%以上の日降雨量の年総降水量



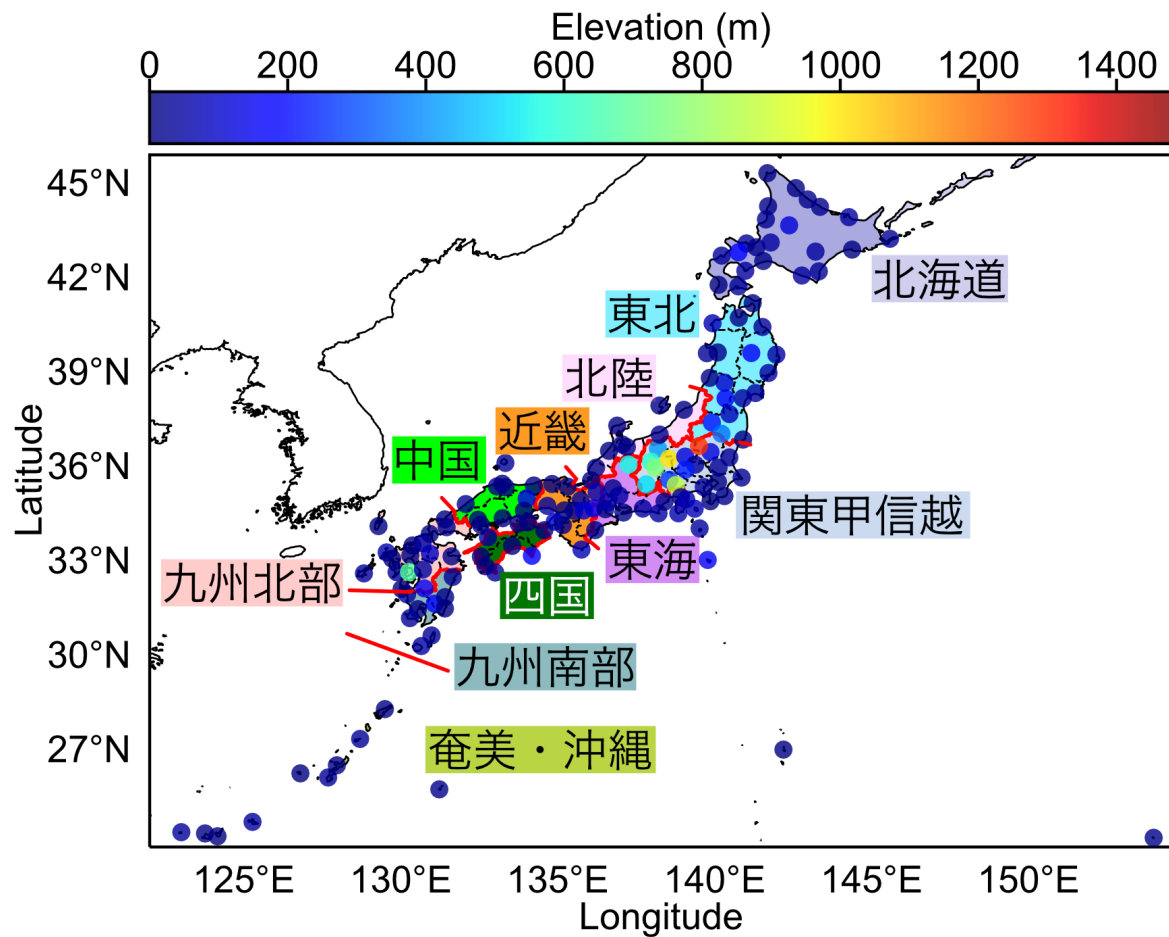
年総降水量



- 年降水量はほぼ変化なし
- 日降水量，極端な降水量の年合計は増加傾向

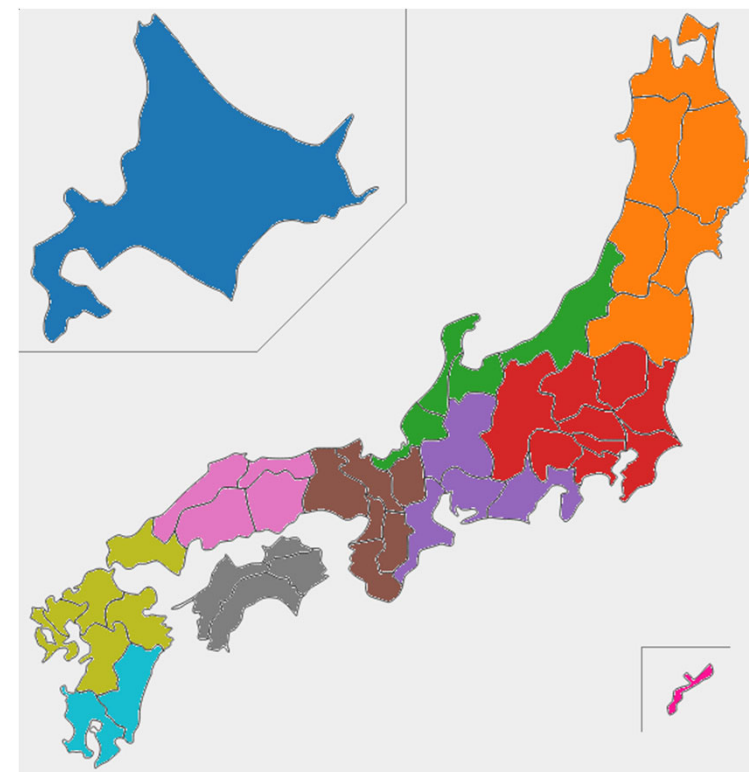
- 短時間強降雨の発生頻度の増加が顕在化している（IPCC第5次報告書）。
- 平成30年7月豪雨災害では初めて気象庁から地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与が含まれていたことが発表。
- Imada et al.(2020)は、平成29年九州北部豪雨および平成30年7月豪雨に、温暖化の影響が含まれていることを気候モデルを用いて明らかにしている。
- いつから気候変動の影響が出始めたのか？というのは実はあまり知られていない。
=>気候変動適応を考える上で、基準とする気候変動の影響が含まれていない期間の把握は重要となる。

気象庁の気象データを利用



気候区分ごとの気象官署

気象区分	北海道	東北	北陸	関東甲信越	近畿	東海	中国	四国	九州北部	九州南部	沖縄
気象官署	稚内	大船渡	輪島	長野	豊岡	高山	西郷	松山	萩	延岡	与那国島
	北見枝幸	新庄	相川	宇都宮	舞鶴	岐阜	松江	多度津	下関	阿久根	西表島
	羽幌	若松	新潟	松本	京都	名古屋	境	高松	山口	鹿児島	石垣島
	雄武	深浦	金沢	諏訪	彦根	上野	米子	宇和島	厳原	都城	宮古島
	留萌	青森	伏木	軽井沢	姫路	津	鳥取	徳島	平戸	宮崎	久米島
	旭川	むつ	富山	前橋	大阪	伊良湖	浜田	宿毛	飯塚	枕崎	那覇
	網走	八戸	高田	熊谷	洲本	浜松	津山	清水	佐世保	油津	名護
	小樽	秋田	福井	水戸	和歌山	御前崎	広島	室戸岬	佐賀	種子島	南大東（南大東島）
	札幌	盛岡	敦賀	飯田	潮岬	静岡	呉		日田	名瀬	
	岩見沢	宮古		甲府	奈良	三島	福山		大分	沖永良部	
	帯広	酒田		富士山		尾鷲	岡山		長崎		
	釧路	山形		河口湖		石廊崎			雲仙岳		
	根室	仙台		秩父		網代			熊本		
	寿都	石巻		つくば（館野）		四日市			人吉		
	室蘭	福島		銚子					牛深		
	苫小牧	白河		横浜					福江		
	浦河	小名浜		館山							
	江差			勝浦							
	函館			大島							
	倶知安			三宅島							
	紋別			八丈島							
	広尾			千葉							
				奥日光（日光）							
				父島							
				南鳥島							
				東京							



日本の気候区分

降水量のCCIの各指標

- ① **Rx1day**：年最大日降水量
- ② **Rx5day**：年最大5日降水量
- ③ **SDII**：降水発生日当たりの日平均降水量
- ④ **R10mm**：1年あたりの日降水量10mm以上の発生回数
- ⑤ **R20mm**：1年あたりの日降水量20mm以上の発生回数
- ⑥ **CDD**：1年あたりの日降水量1mm未満の連続日数の最大値
- ⑦ **CWD**：1年あたりの日降水量1mm以上の連続日数の最大値
- ⑧ **R95pTOT**：日降水量の95%値以上の日降水量の年総降水量
- ⑨ **R99pTOT**：日降水量の99%値以上の日降水量の年総降水量
- ⑩ **PRCPTOT**：年総降水量

気温のCCIの各指標

- ① **FD**：霜が降った日数。日最低気温 $< 0^{\circ}\text{C}$ の日の年間日数
- ② **SU**：夏日の日数。日最高気温 $> 25^{\circ}\text{C}$ の日の年間日数
- ③ **ID**：アイシング日数。日最高気温 $< 0^{\circ}\text{C}$ の日の年間日数
- ④ **TR**：熱帯夜の日数。日最低気温 $> 20^{\circ}\text{C}$ の日の年間日数
- ⑤ **GSL**：生育期間。日平均気温 $> 5^{\circ}\text{C}$ の日が6日以上続いた日から、日平均気温 $< 5^{\circ}\text{C}$ の日が6日以上連続するまでの日数を数える。
- ⑥ **TXx**：日最高気温の月別最大値
- ⑦ **TNx**：日最高気温の月別最小値
- ⑧ **TXn**：日最低気温の月別最小値
- ⑨ **TNn**：日最低気温の月別最小値
- ⑩ **DTR**：日間温度範囲。日最高気温と日最低気温の月平均差

- 全球において、極端な熱波や豪雨の増加を相当温位から推定。
温度、**湿度**の変化といった気候変動を相当温位によって評価できることを示した。
(Song et al., 2022)
- 潜熱を考慮しているため、対流に利用するエネルギーを評価できる。

相当温位を計算

$$\theta_e = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{\frac{Rd}{Cp}} \exp \left(\frac{Lq}{CpTd} \right)$$

θ_e : 相当温位 (K) q : 混合比 (g/kg)

T_d : 露点 (K) T : 気温 (K) P : 気圧 (hPa)

C_p : 定圧比熱 (1004 J/kg · K)

R_d : 乾燥空気の気体定数 (287.05 J/kg · K)

L : 潜熱 (水⇒水蒸気) (2.50 × 10⁶ J/kg)

相当温位について

湿った空気が断熱的に上昇し、全ての水蒸気が凝結して潜熱を放出し、その後乾燥空気として乾燥断熱元率に従って下降したときに得られる温度。

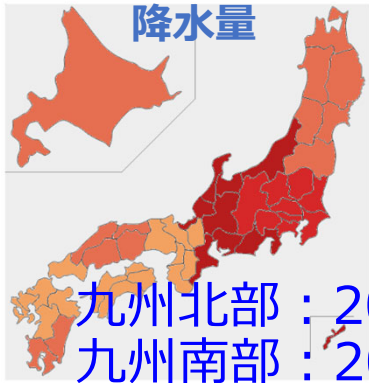
大気の安定性や対流活動を評価する際に使用。<=**気候値の変化を及ぼす要因**

同一面で比べた場合、相当温位が高いと空気が上昇しやすく、大気が不安定な状態。

結果：気候変動の顕在化時期は？

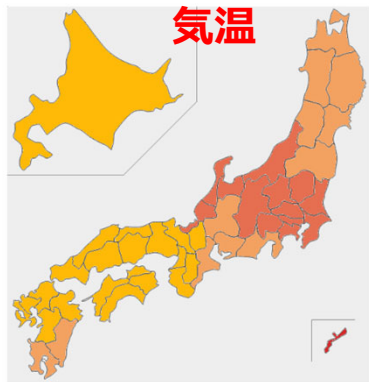
観測データ

降水量



九州北部：2011年
九州南部：2012年

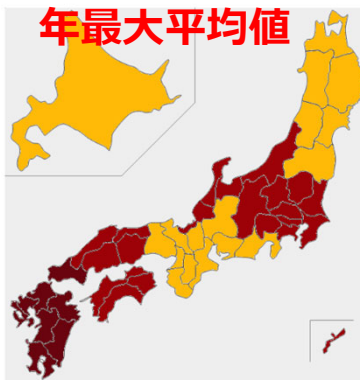
気温



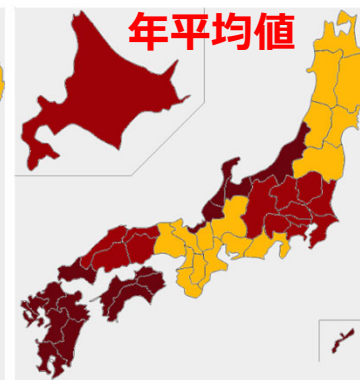
九州北部：2010年
九州南部：2011年

再解析データ（相当温位）

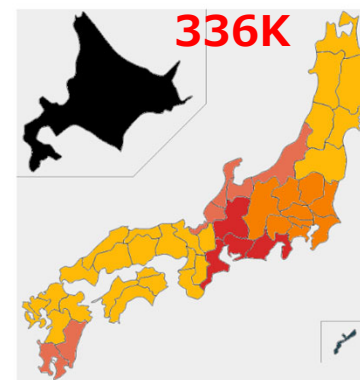
年最大平均値



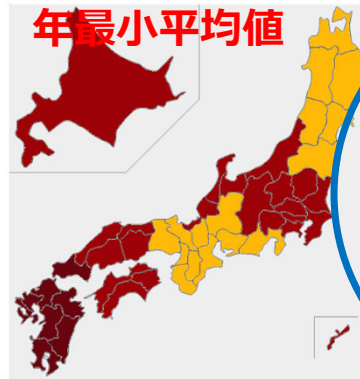
年平均値



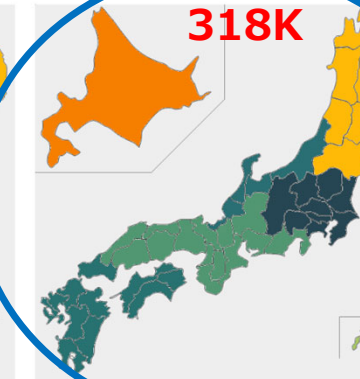
336K



年最小平均値



318K



九州：2002年

相当温位は
降水量，気温
より早く変化
が表れている



相当温位は
大気が不安定に
なり始めた時期.
そのため，先に
変化が表れた
318Kを追う

観測データ，再解析データの変化トレンド開始時期

気候変動によって災害を
引き起こす豪雨が増えている. . .
=>それって、将来どうなるの？

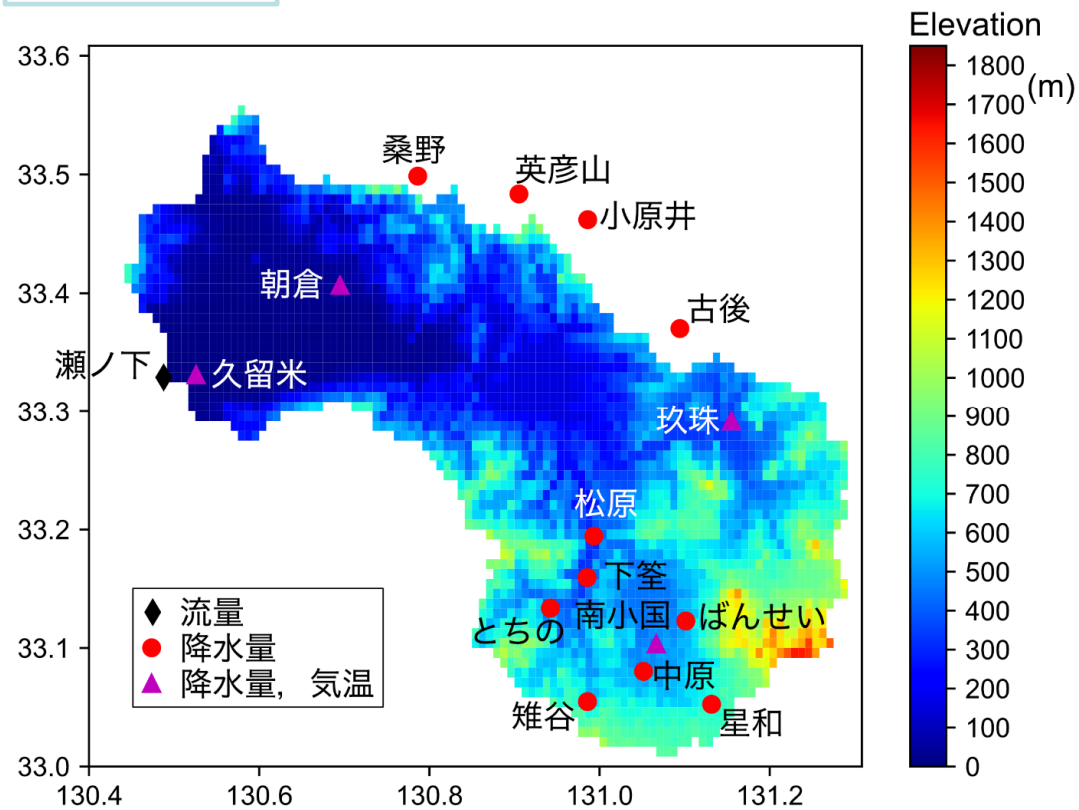


調べてみました

研究対象

筑後川流域を対象

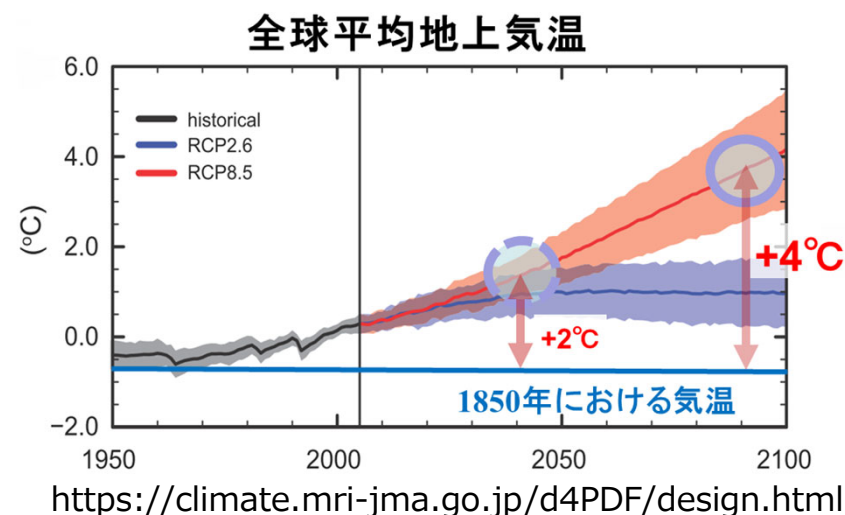
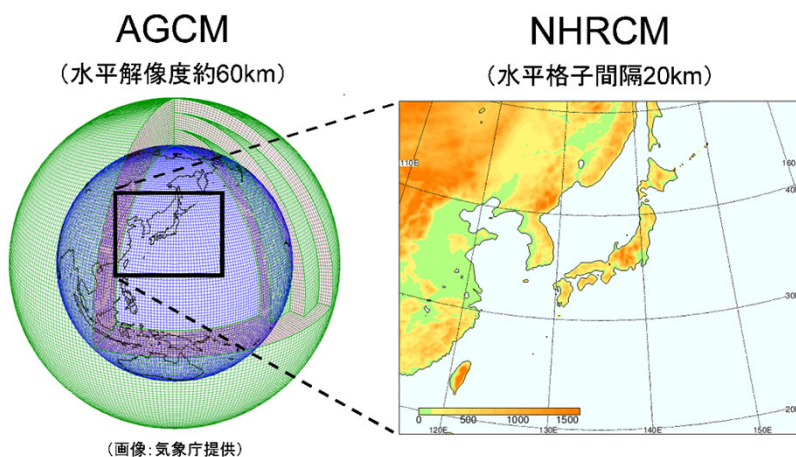
筑後川流域



使用データ

降水量：大規模アンサンブル気候予測データベースd4PDF NHRCM

- 水平解像度：20 km
- 期間
 - 現在気候（HPB）：30年（1980/9～2010/8） x 50アンサンブル：1500年
 - 将来気候：
 - 2度上昇（F2K）：60年（2030/9～2090/8） x 6SST x 9アンサンブル：3240年
 - 4度上昇（F4K）：60年（2050/9～2110/8） x 6SST x 15アンサンブル：5400年



解析項目

- 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48, 72, 168時間の年最大降水量
- 降水継続時間と最大降水量の関係
- 降水継続時間と累積降水量の関係
- 24時間降水量における90%, 95%, 99%確率降水量以上の降水発生回数
- SDII (Simple Daily Intensity Index)
- 最大日, 月, 年降水量の解析
- 月最大流量と各時間降水量の関係

使用モデル：河川流量

- 分布型降雨流出モデル：1K-DHM (Tanaka and Tachikawa, 2014)
 - 眞田ら (2023) が地下水流動 (タンクモデル) を組み込んだモデルを使用
- 降水量と気温 (蒸発散推定：Thorntwaite法に使用) を入力値
 - 氾濫やダムを考慮していない

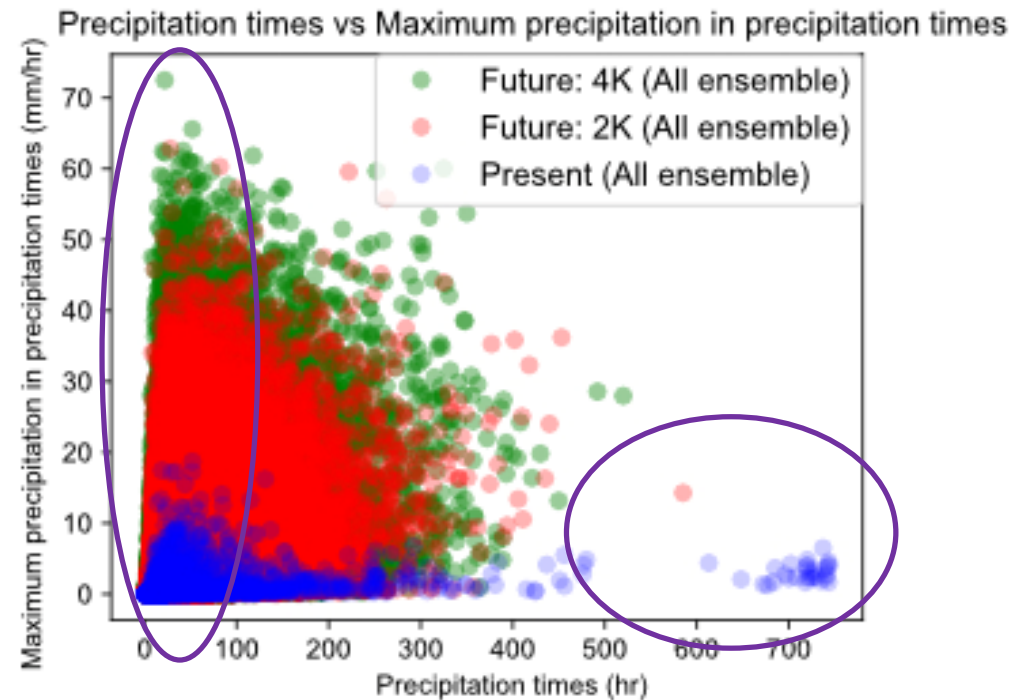
未発表

降水継続時間と最大降水量の関係

将来気候において降水継続時間が減少し、最大降水量が増加
=>特に50時間前後で最大降水量が最も増加する可能性

雨の降り方が将来的に
変化する可能性

筑後川流域



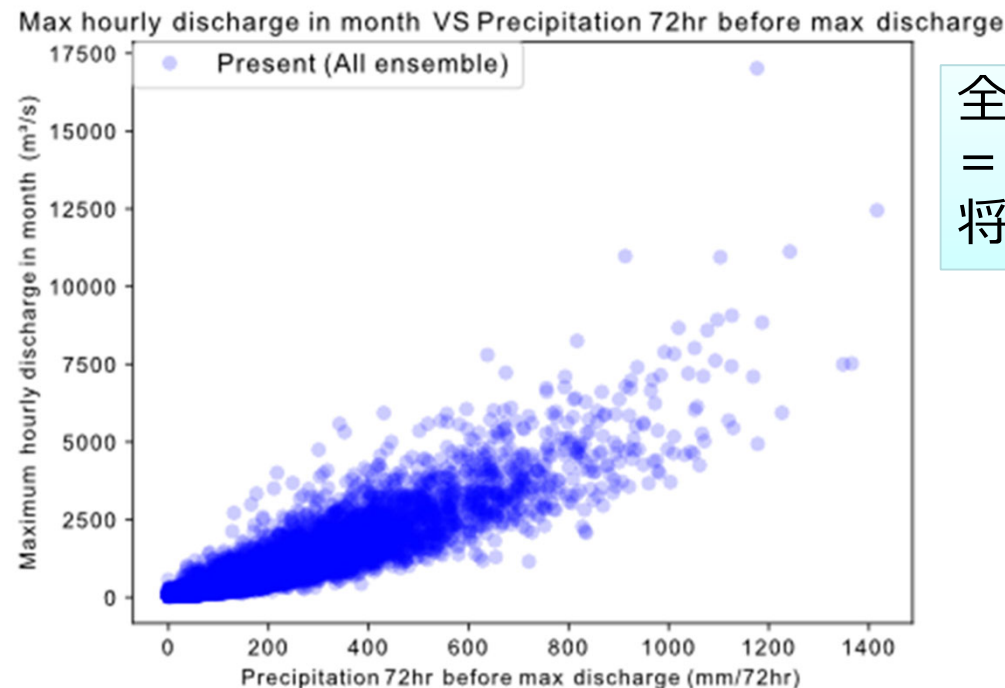
未発表

月最大流量と月最大流量発生時間からx時間前までの累積降水量の関係
※x時間：1, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48, 72, 168時間

降水量と月最大流量との関係性
=>72時間累積降水量と月最大流量に相関がある。

※参考：筑後川の計画雨量：48時間

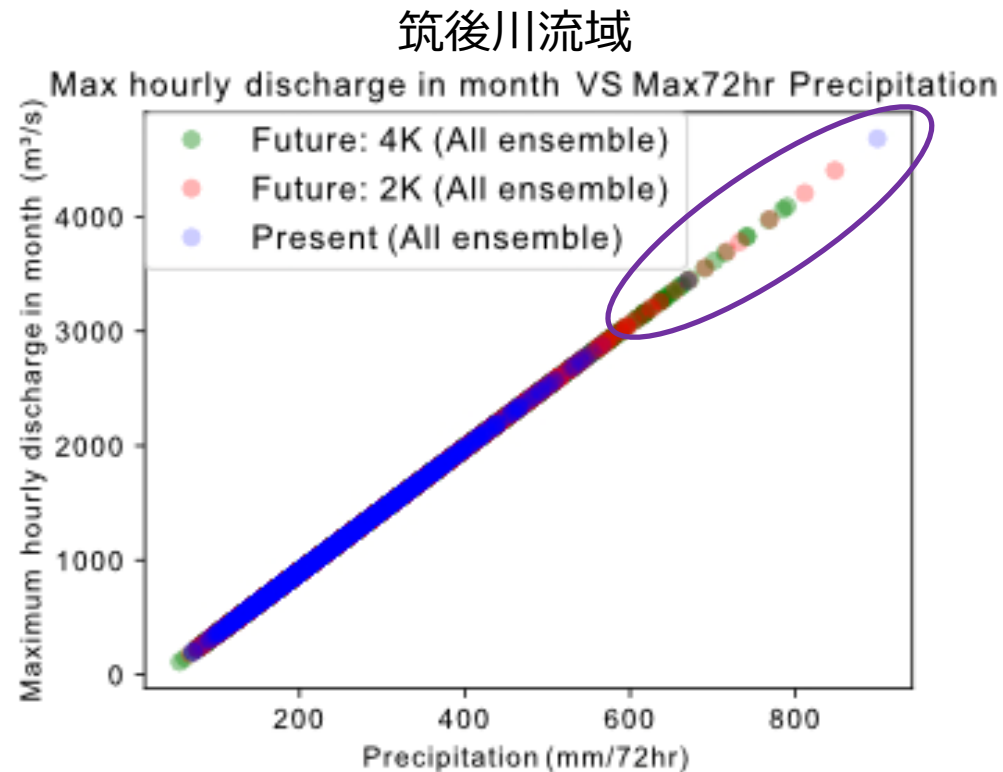
筑後川流域



全計算をするのは大変. . .
=>この関係性を利用して,
将来の流量変化を予測

未発表

流量-降水量の近似式に、それぞれ対応する時間の年最大降水量を代入して流量を推定
=>降水量の増加に伴い、流量も増加する可能性



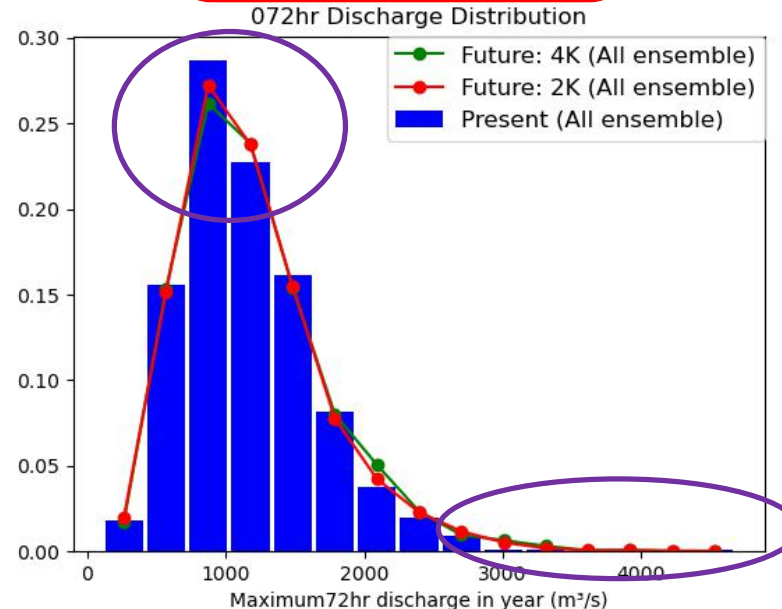
未発表

全体的に若干、中程度の流量の発生頻度が減少し、
相対的に大きい流量が増加する可能性

筑後川流域
現在気候と将来気候の月最大流量の比較

筑後川流域	平均流量 (m ³ /s)	流量の標準偏差	最大流量 (m ³ /s)
現在気候	1160.39	485.811	4682.79
将来気候(+2K)	1183.37	519.405	4404.68
将来気候(+4K)	1195.47	528.149	4090.73

※全てのアンサンブル中の
最大値，という意味に注意。
=>詳細な議論をする上では
確率分布も含めて確認する
必要がある。



ただし、平均値・標準偏差は
将来的に増加する予測結果
のため、傾向としては増加する
可能性が高い。

- 観測データから気候変動の顕在化時期を明らかにした.
 - 筑後川が位置する九州北部でも実際に気候変動の影響は表れている.
- d4PDFの現在気候と将来気候の降水を比較することで、気候変動により短時間および、長時間の降水量のいずれについても増加する可能性が示唆.
- また、降水時間については将来気候で減少する傾向
- 現在気候の降水データと流量の関係から、本研究対象流域において高出水を含む月最大流量を誘発するのは72（筑後川流域）の降水であることが示唆.

ご清聴ありがとうございました.