

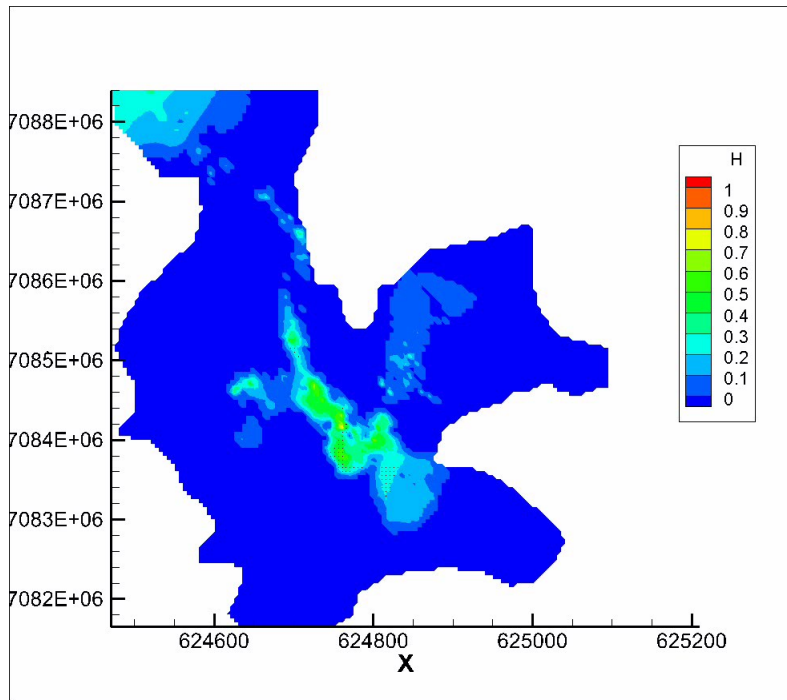
伊勢湾流域圏・木曾三川 流域における水文環境と 気候変動

大西健夫

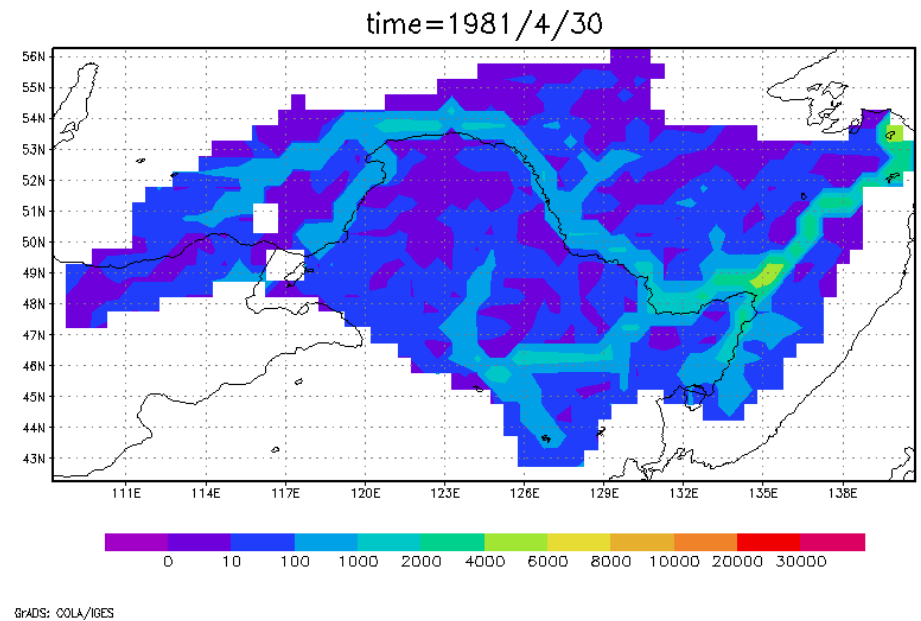
岐阜大学応用生物科学部
流域管理学研究室

水文学

マングローブ林のDICフラックス



アムール川流域からの鉄フラックス



SWATを使用したモデル研究

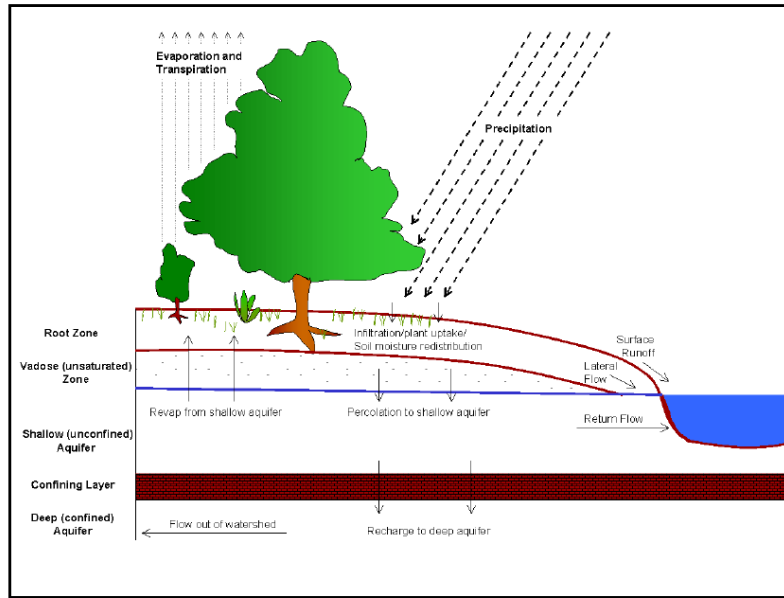
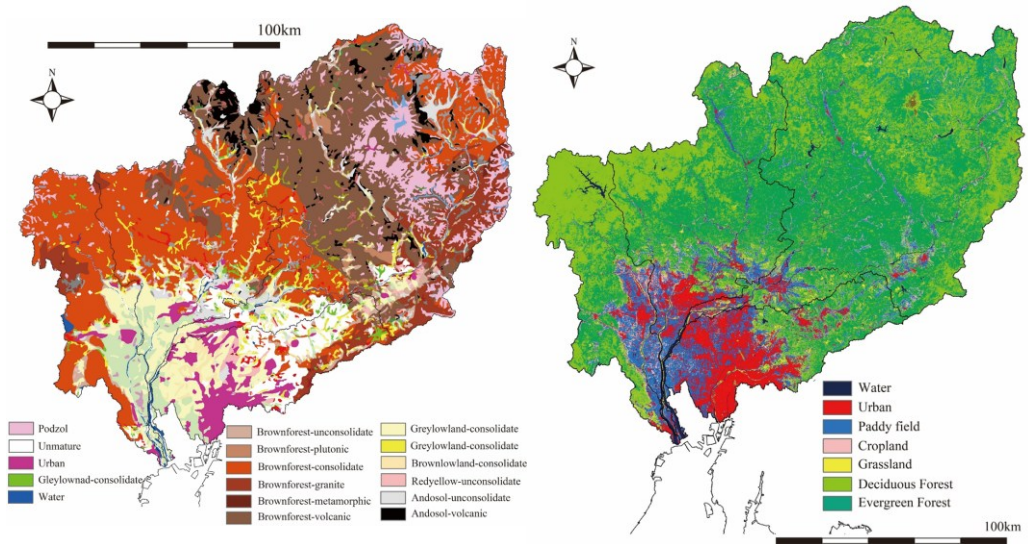


Figure 0.3: Schematic representation of the hydrologic cycle.



NITROGEN

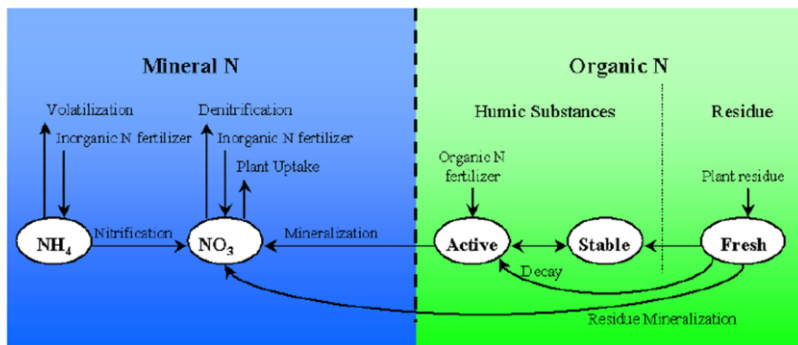
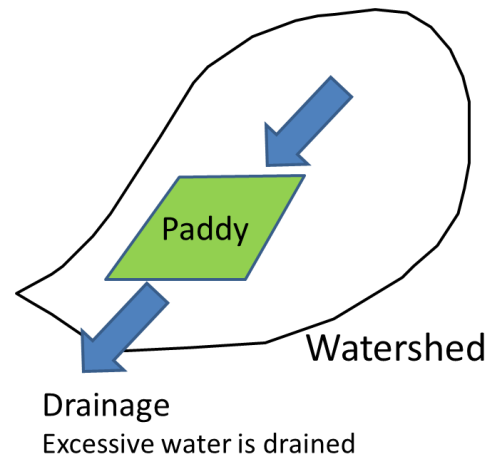


Figure 0.6: Partitioning of Nitrogen in SWAT



Type of observation stations

- ▲ Precipitation, temperature, and wind speed
- Humidity
- Solar radiation
- Discharge and chemical components

Weather stations used for climate model validation

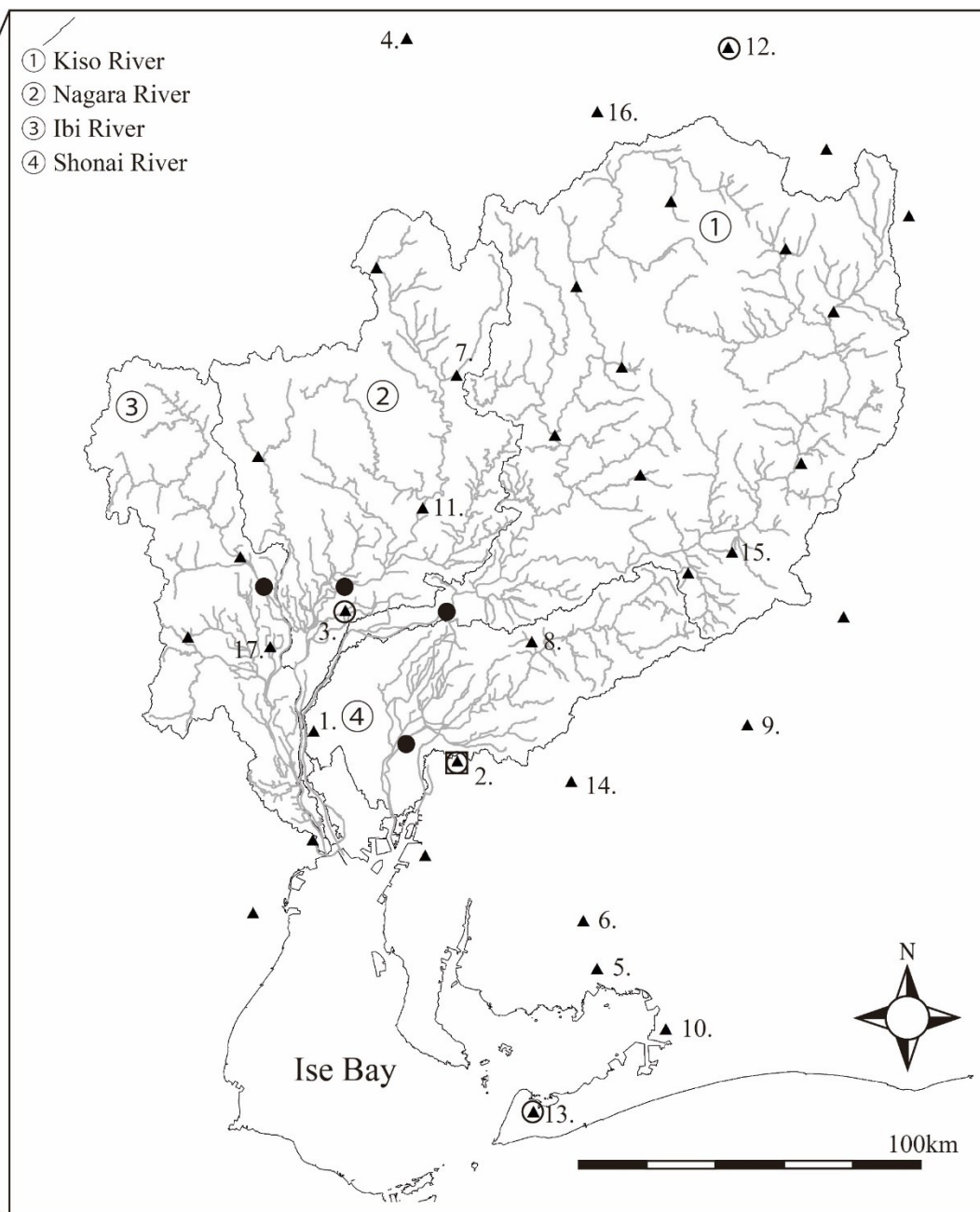
1. Aisai, 2. Nagoya, 3. Gifu, 4. Shirakawa,
5. Gamagori, 6. Okazaki, 7. Hachiman,
8. Tajimi, 9. Inabu, 10. Toyohashi, 11. Mino,
12. Takayama, 13. Irako, 14. Toyota,
15. Nakatsugawa, 16. Tochio, 17. Ogaki

D1(18km)

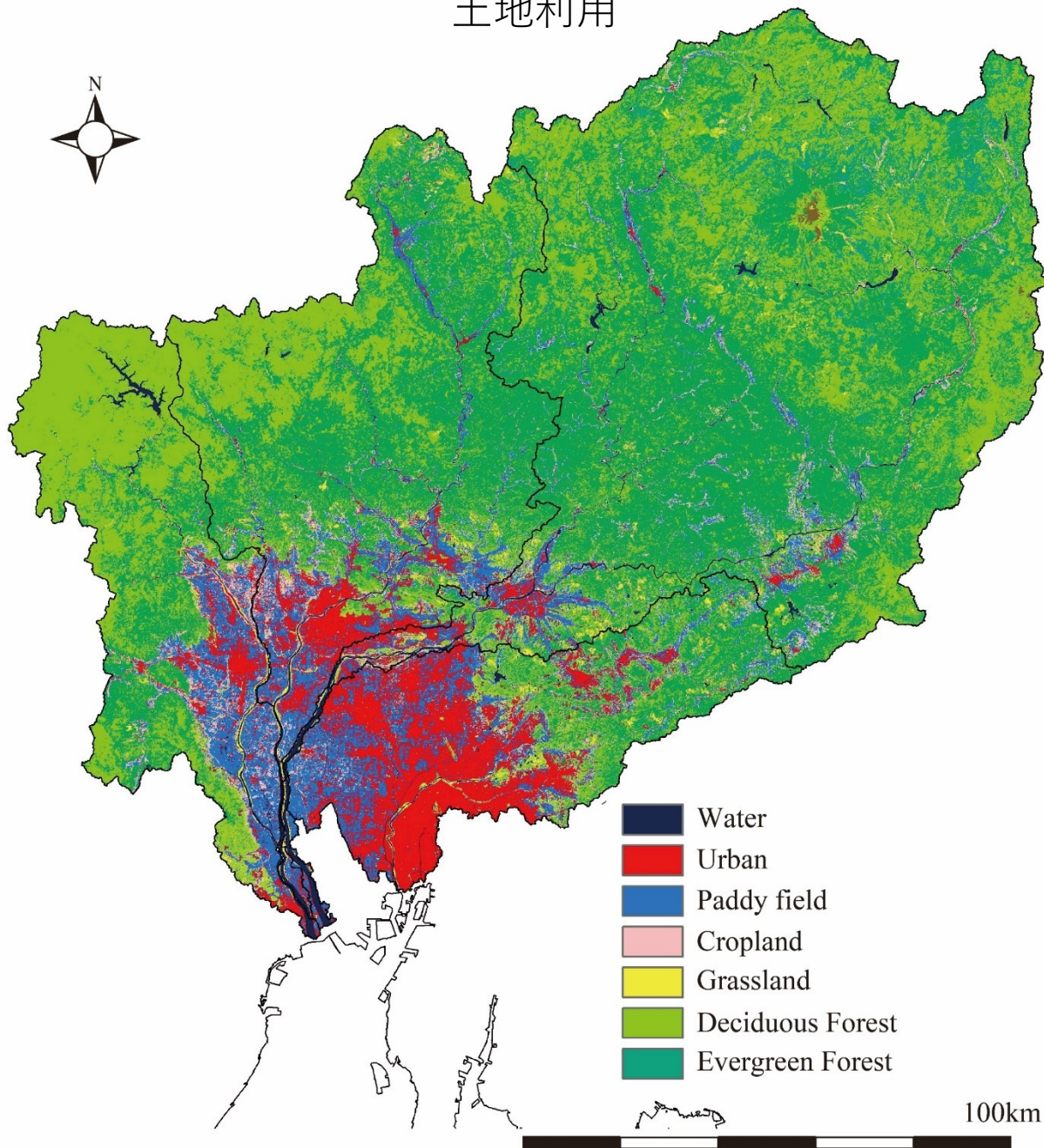
D3(2km)

D2(6km)

- ① Kiso River
- ② Nagara River
- ③ Ibi River
- ④ Shonai River

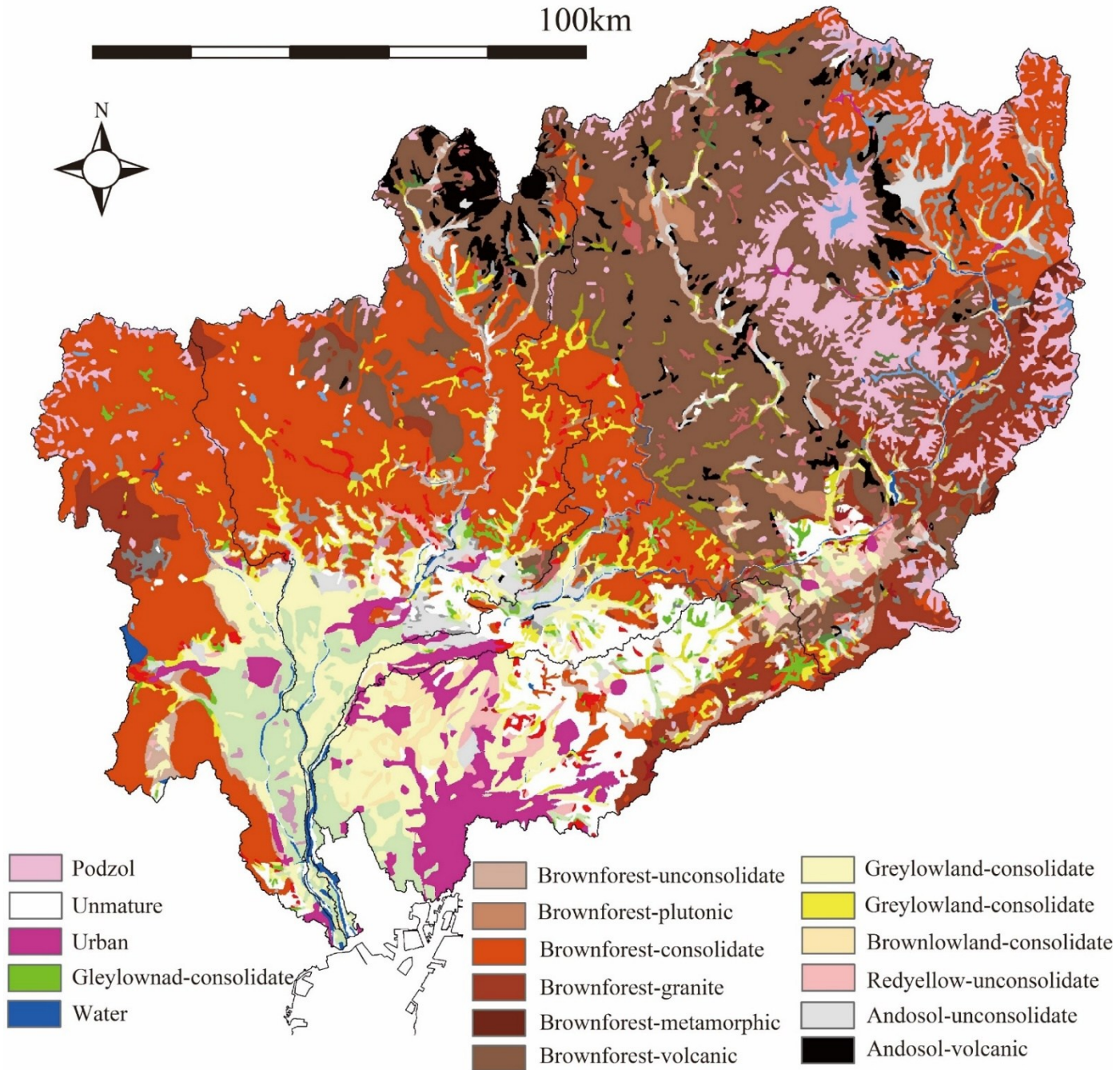


土地利用



土壤・地質

100km



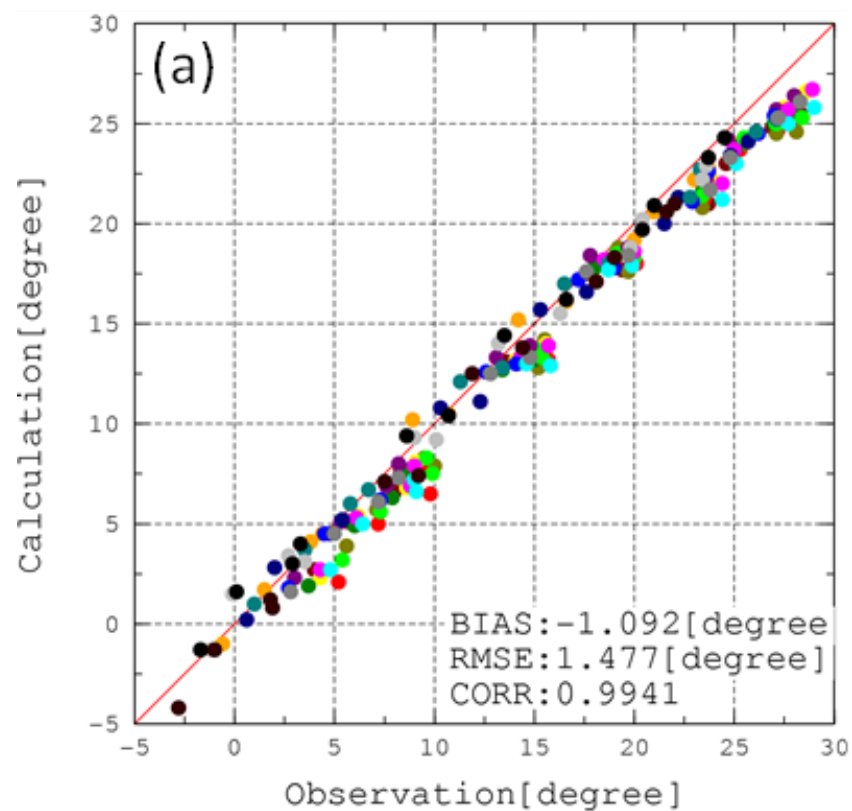
モデル・入力データの諸設定

○気候モデル

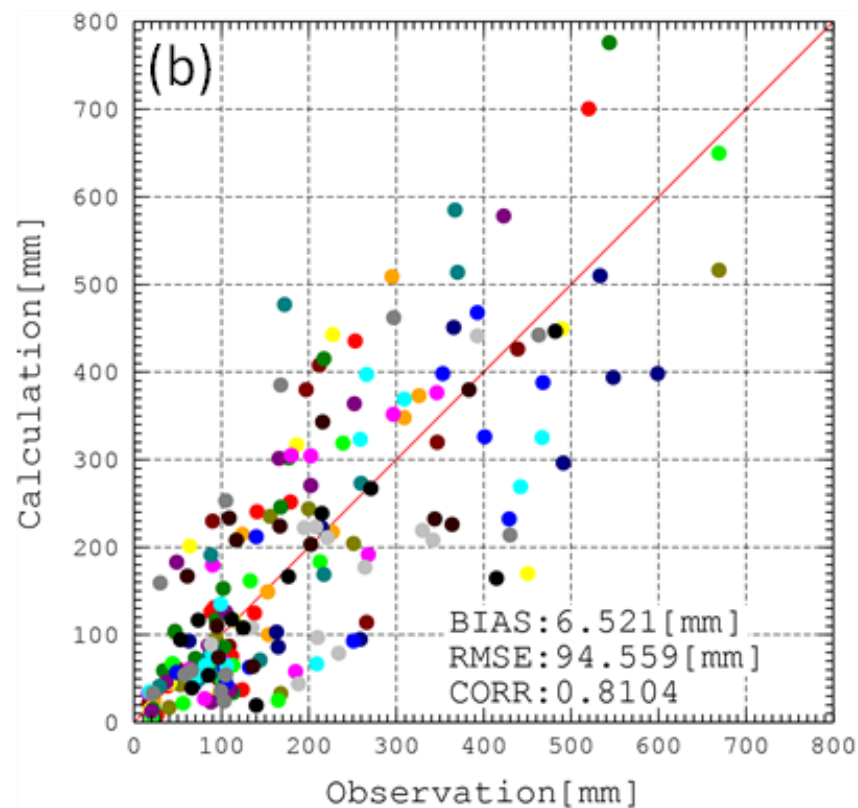
- ・ GCM (Global Circulation Model) : HadCM3
- ・ A1B Scenario, 温暖化予測手法: 疑似温暖化
- ・ RCM (Regional Climate Model) : 3段階のネステッド力学的ダウンスケーリング
- ・ 領域気候モデル: MM5 (version 3.6), 空間解像度: 2km

○陸面モデル

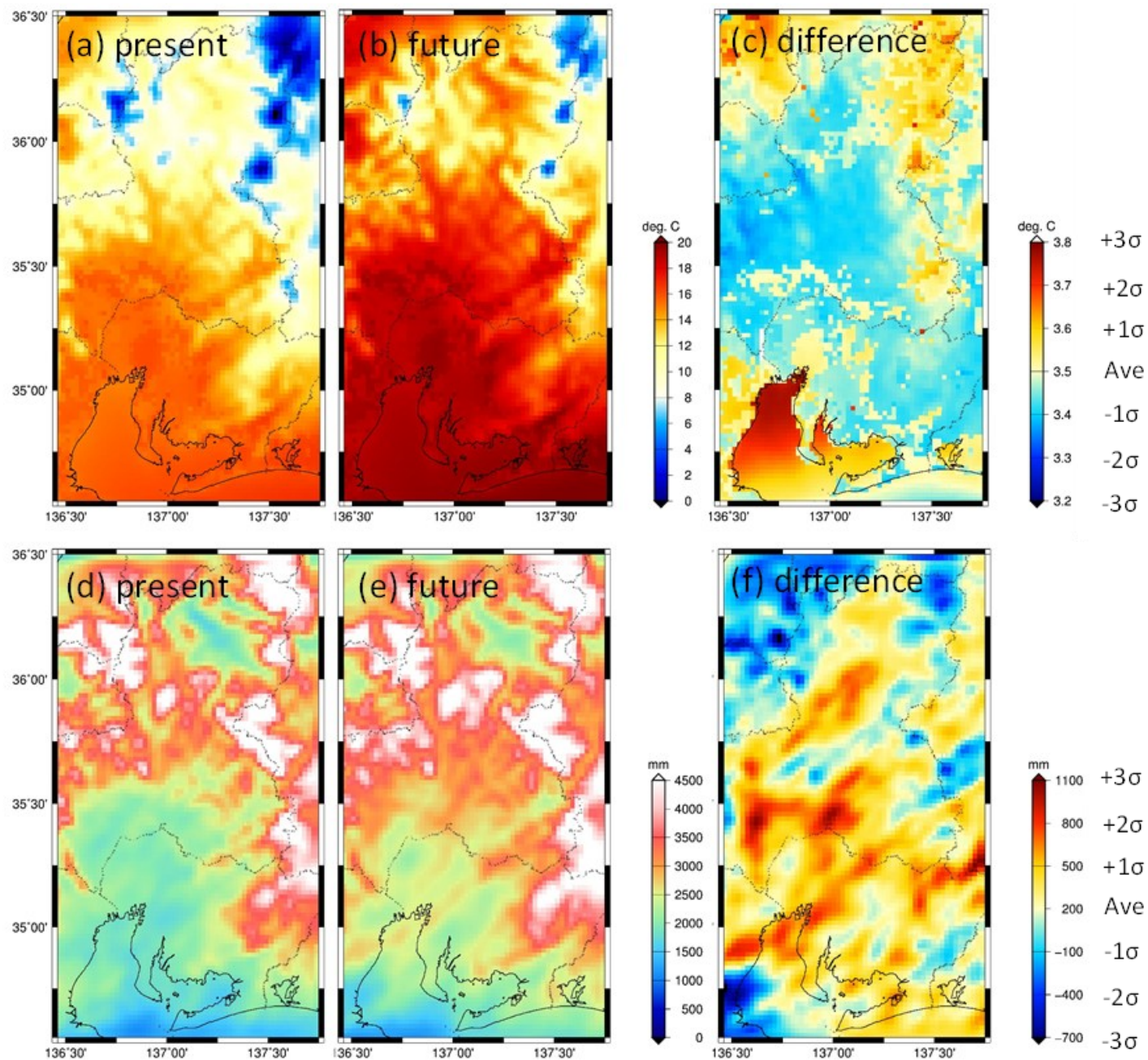
- ・ SWAT (Soil Water Assessment Tool)
- ・ コード修正項目: 頭首工からの取水、水田への湛水貯留と越流 (坂口、2014)
- ・ 施肥量 (県別・作物別施肥基準)、下水処理負荷量 (排水基準、人口)、ダム
- ・ 乾性・湿性降水物 (NO_3^- , NH_4^+ , Morino et al., 2011)
- ・ 338サブ流域、4410HRU



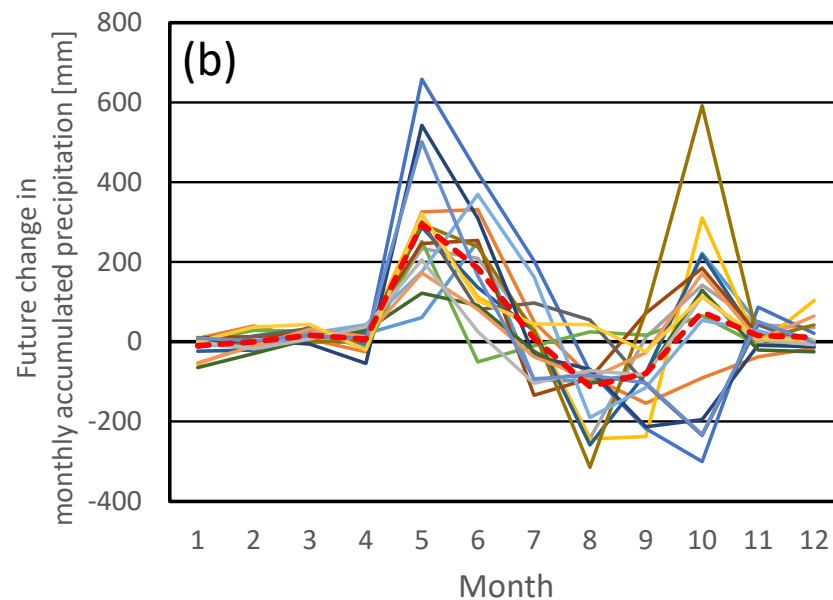
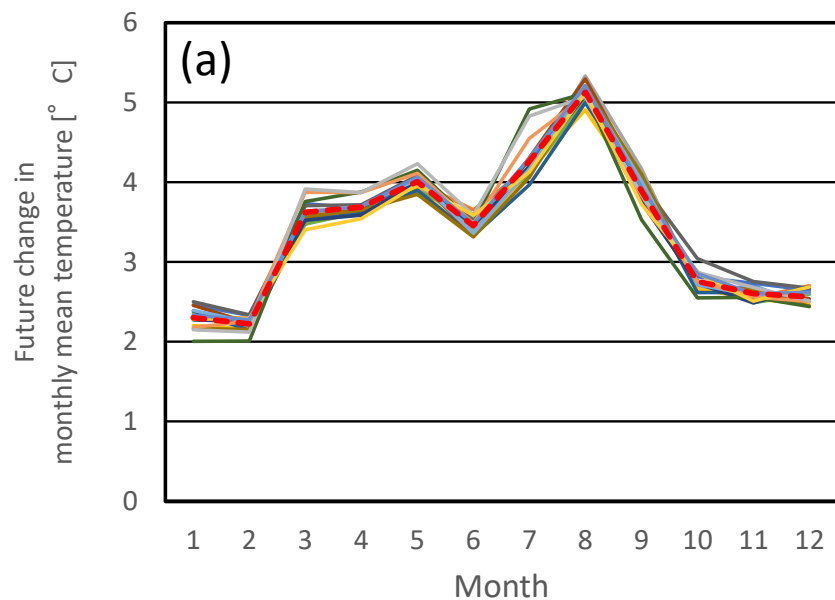
● Aisai	● Nagoya
● Gamagori	● Okazaki
● Inabu	● Toyohashi
● Irako	● Toyota



● Gifu	● Shirakawa
● Hachiman	● Tajimi
● Mino	● Takayama
● Nakatsugawa	● Tochio
● Ogaki	

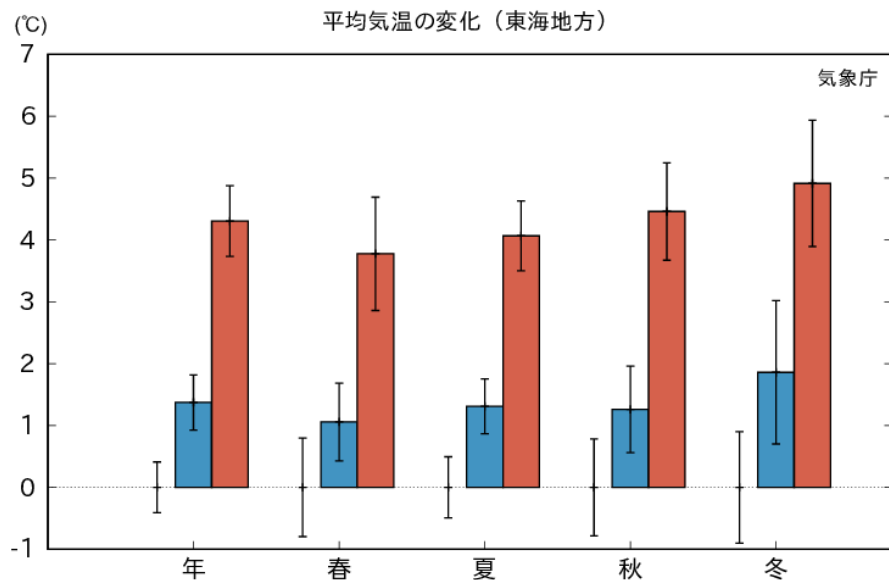


気温と降水の月別変化

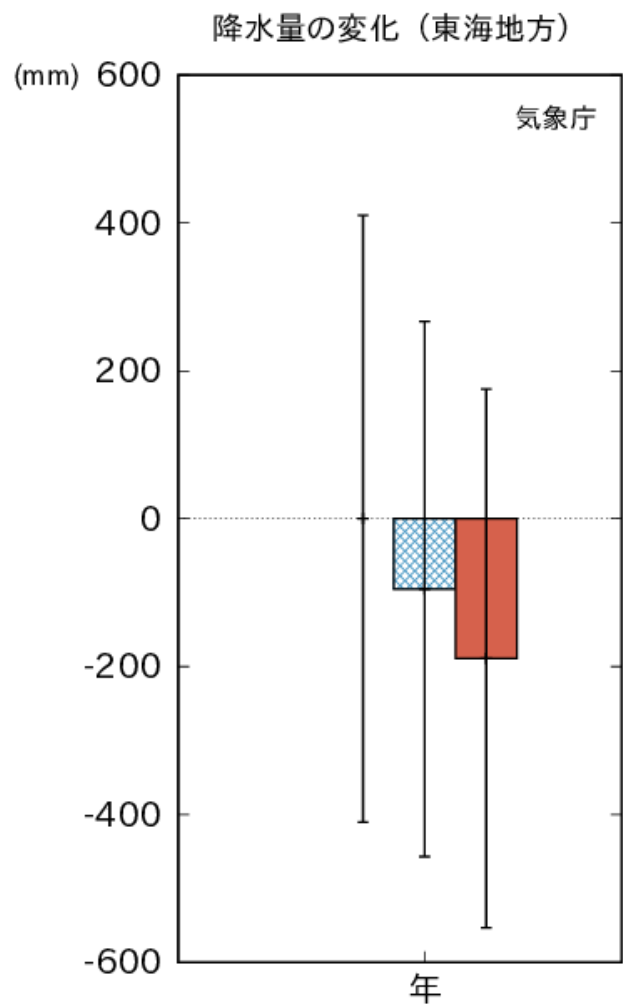


Aisai	Gamagori	Gifu	Hachiman
Inabu	Irako	Mino	Nagoya
Nakatsugawa	Ogaki	Okazaki	Shirakawa
Tajimi	Takayama	Tochio	Toyohashi
Toyota	Average		

気温・降水量の変化（気象庁）



青：RCP2.6
赤：RCP8.5



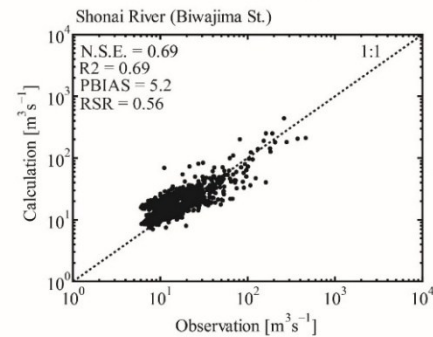
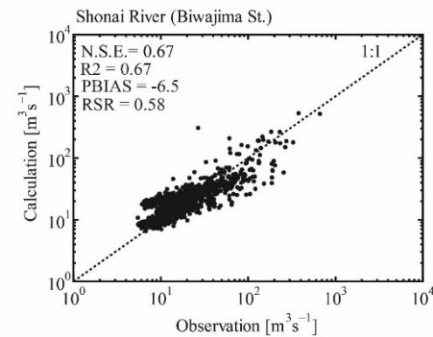
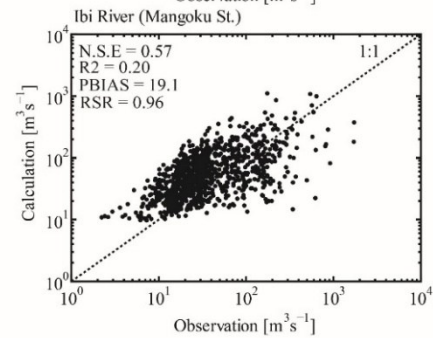
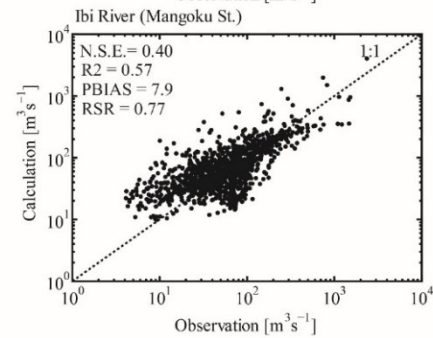
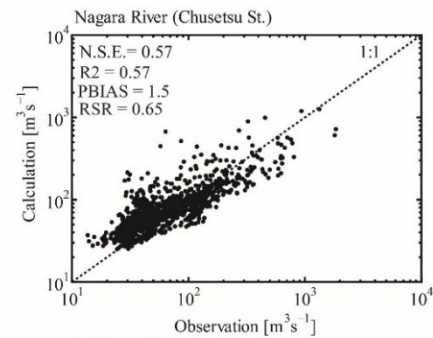
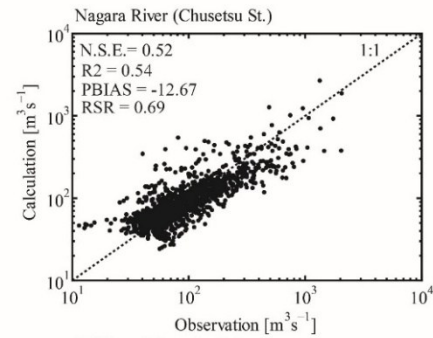
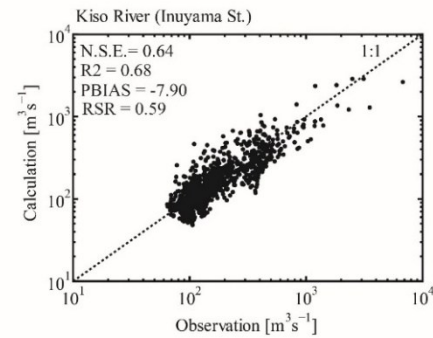
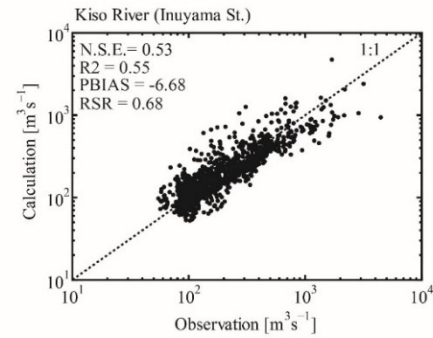
キャリブレーションパラメータの一覧

Parameter	Description	Method	Range		Calibrated values
			Min	Max	
CN2	Initial SCS curve number for moisture condition II	Relative	-0.5	1	-0.49
ALPHA_BF	Baseflow alpha factor (days)	Replace	0.01	1	0.29
GW_DELAY	Groundwater delay (days)	Replace	0	500	182.3
GWQMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm)	Replace	0	5000	0.88
ERORGN	Organic N enrichment ratio	Manual	0	5	3

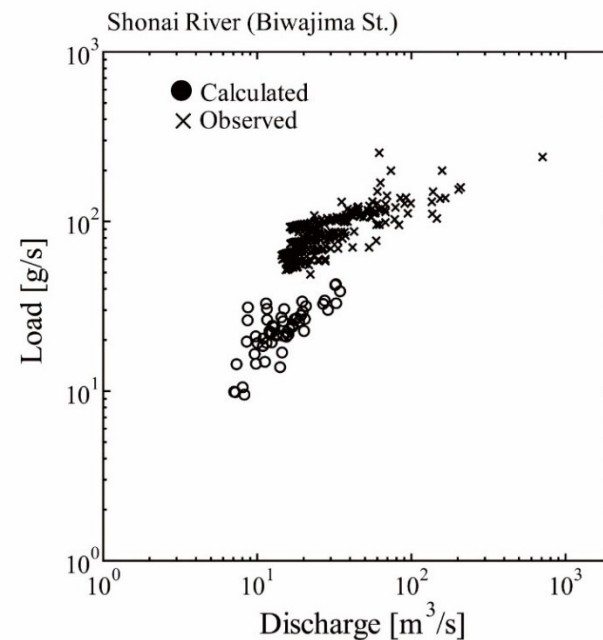
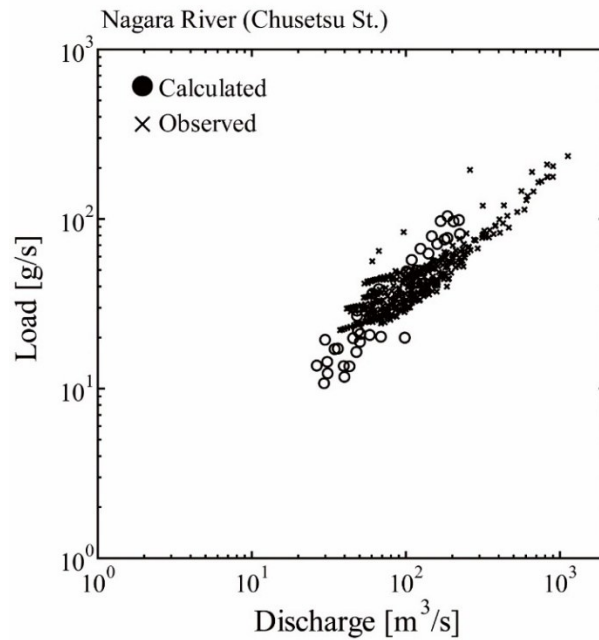
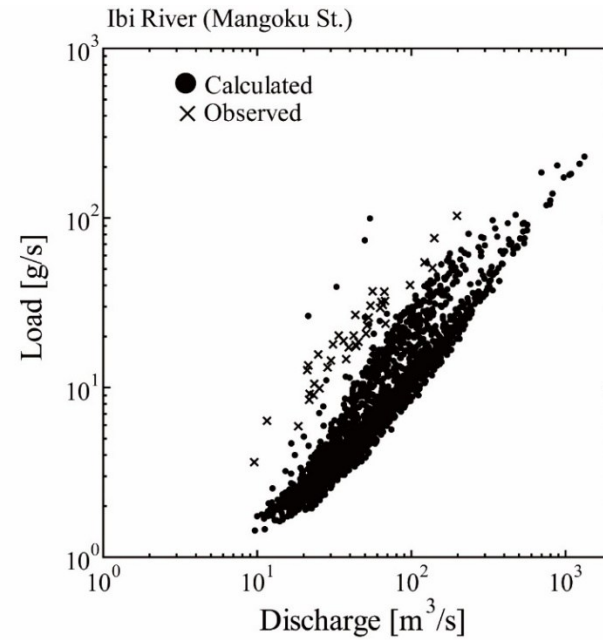
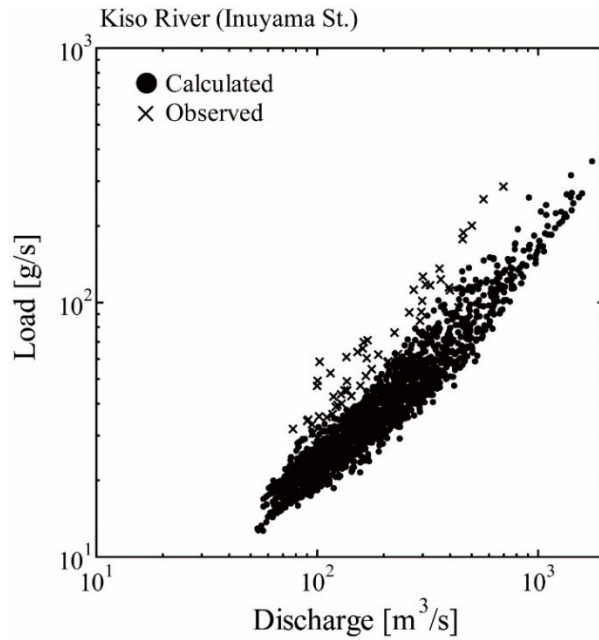
○キャリブレーション手法

- ・ラテン超格子法（SuFI-2）、試行回数2000回
- ・キャリブレーション期間：2004～2006年、バリデーション期間：2007～2009年
- ・評価関数：N.S.E, R2, PBIAS, RSR
- ・ただし、水質は試行錯誤によるキャリブレーションのみ
- ・

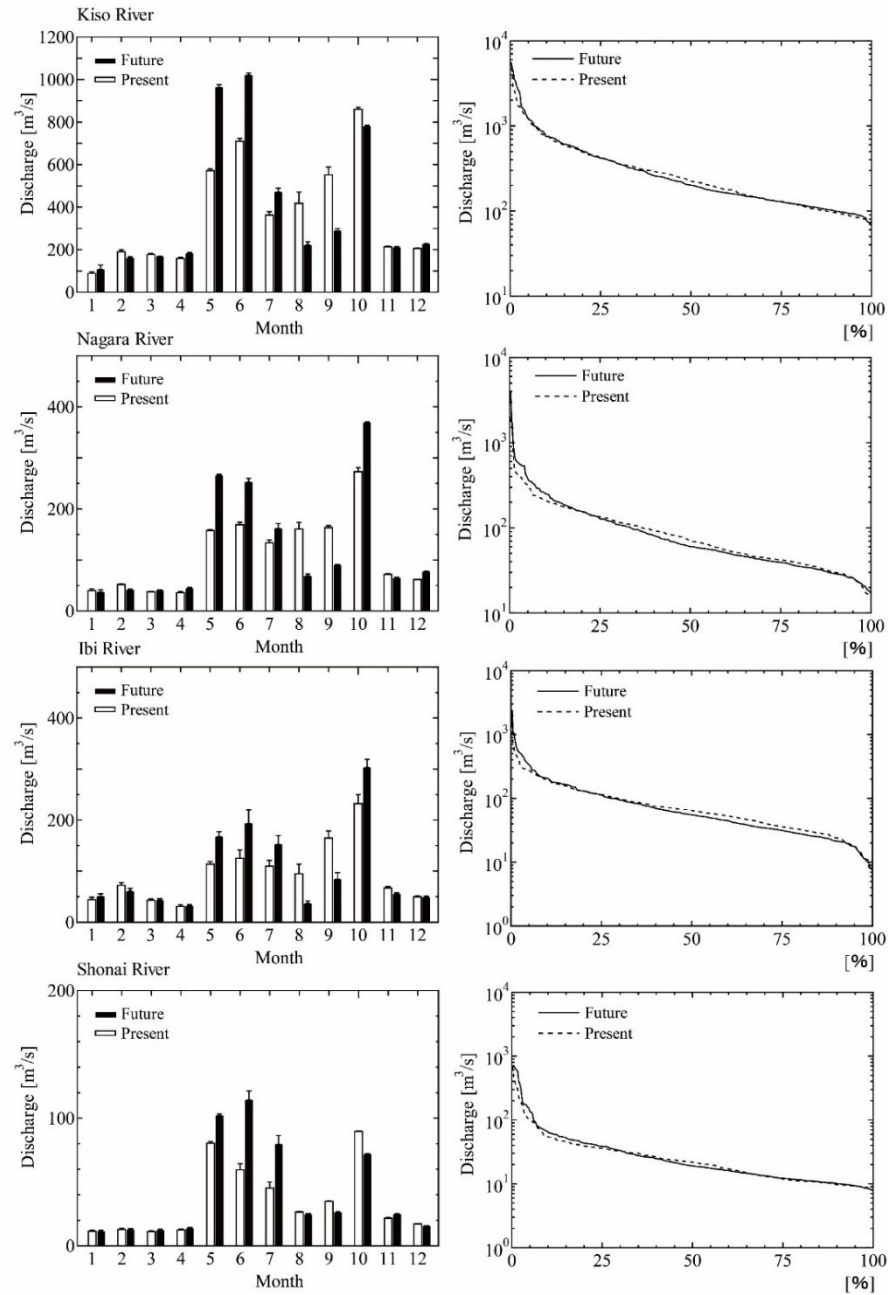
流量のキャリブレーションとバリデーション



NO₃負荷量のバリデーション

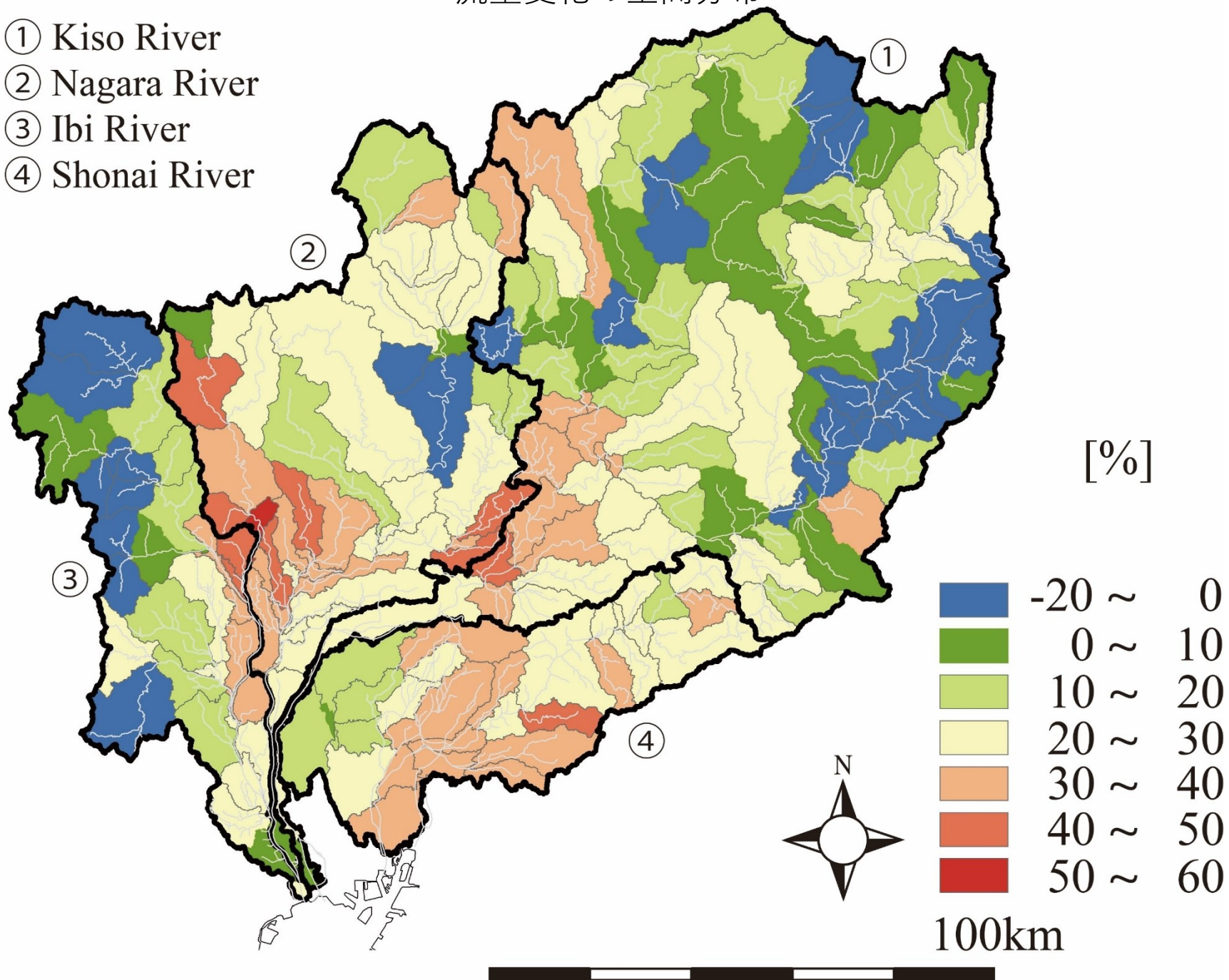


流量変化の特性（月別、流況曲線）

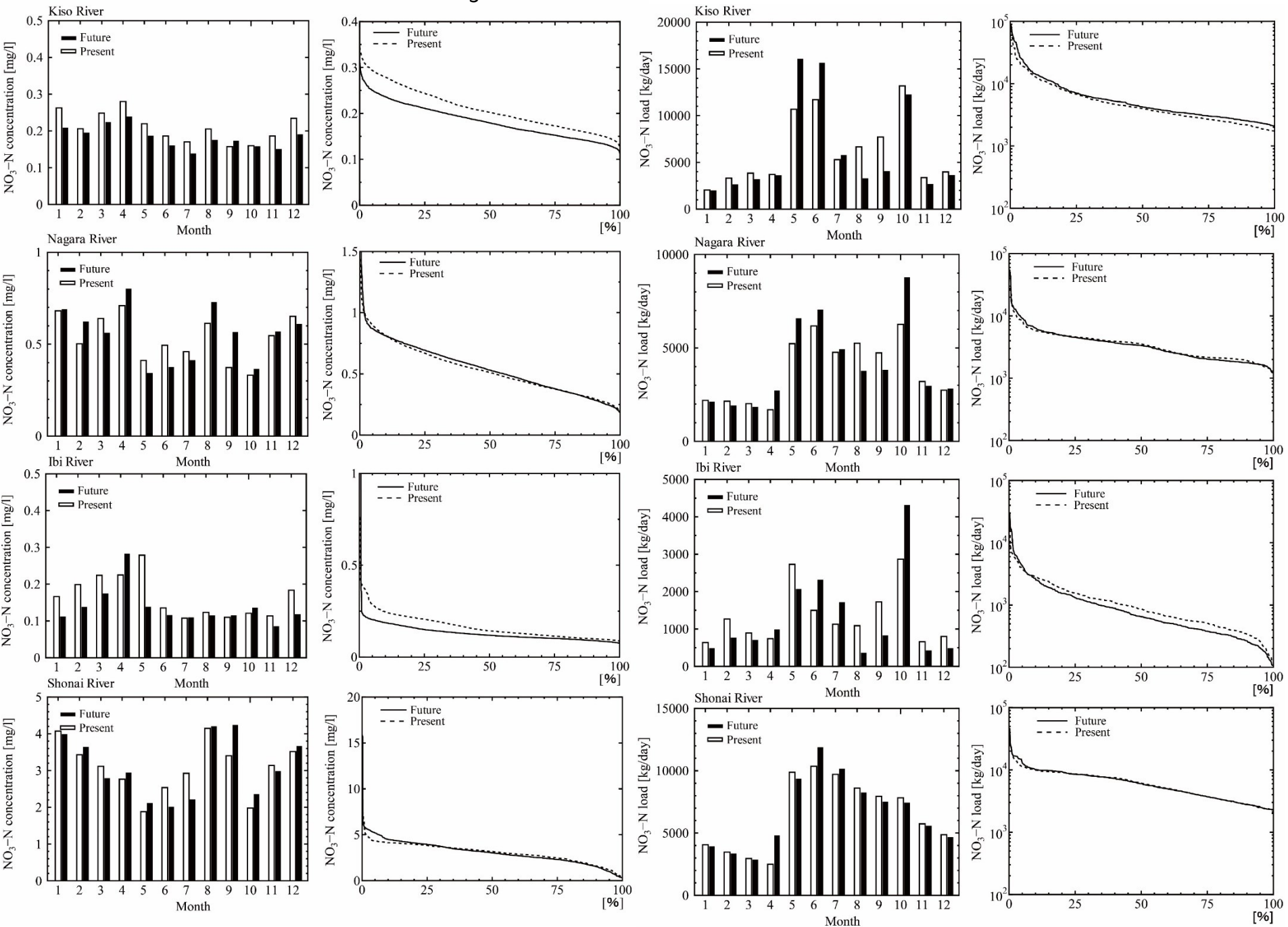


流量変化の空間分布

- ① Kiso River
- ② Nagara River
- ③ Ibi River
- ④ Shonai River

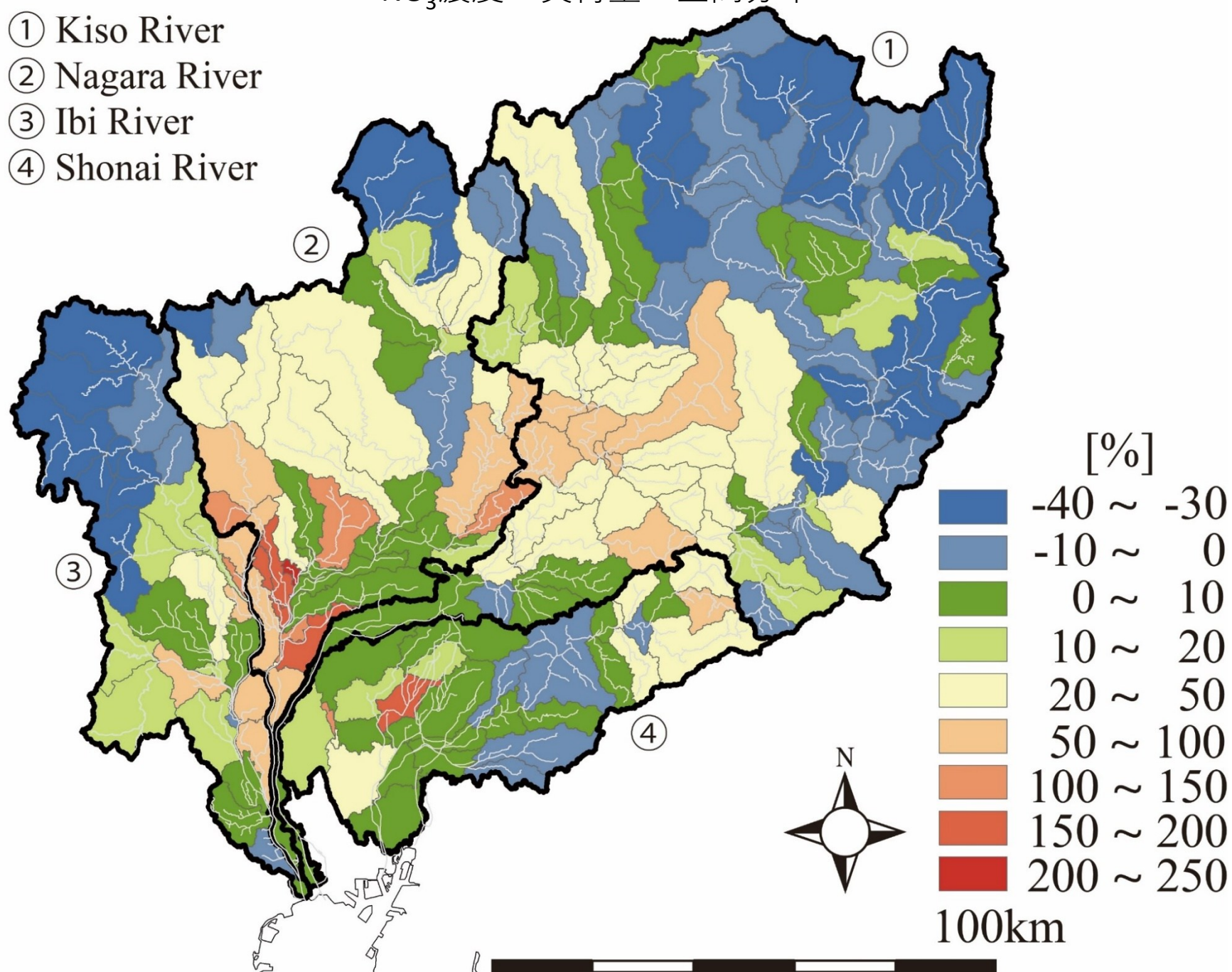


NO₃濃度・負荷量の空間分布



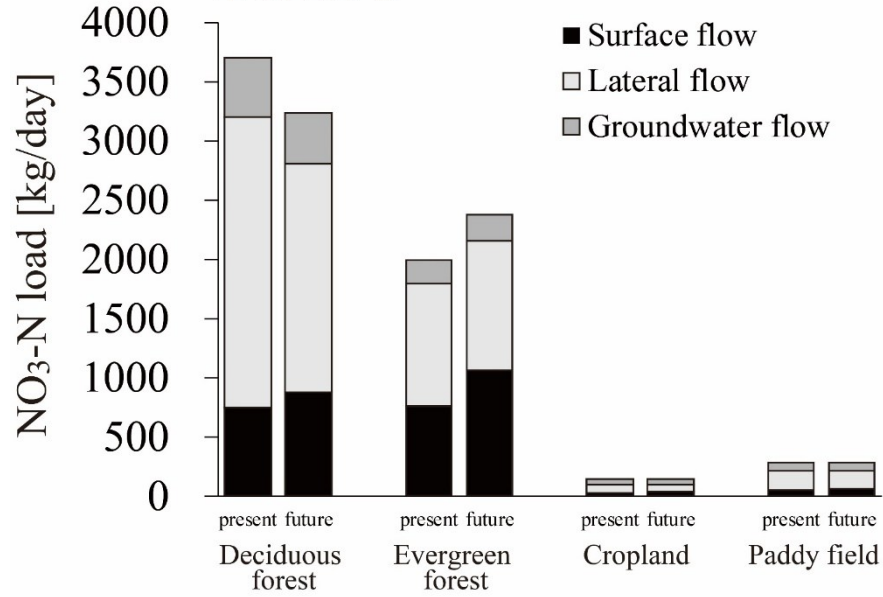
NO₃濃度・負荷量の空間分布

- ① Kiso River
- ② Nagara River
- ③ Ibi River
- ④ Shonai River

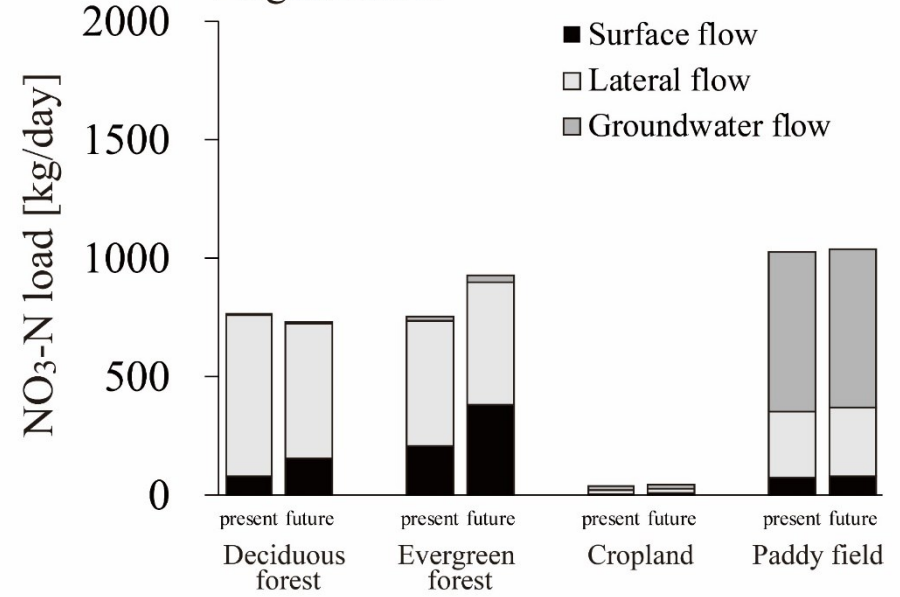


負荷量の流出成分ごとの構成比

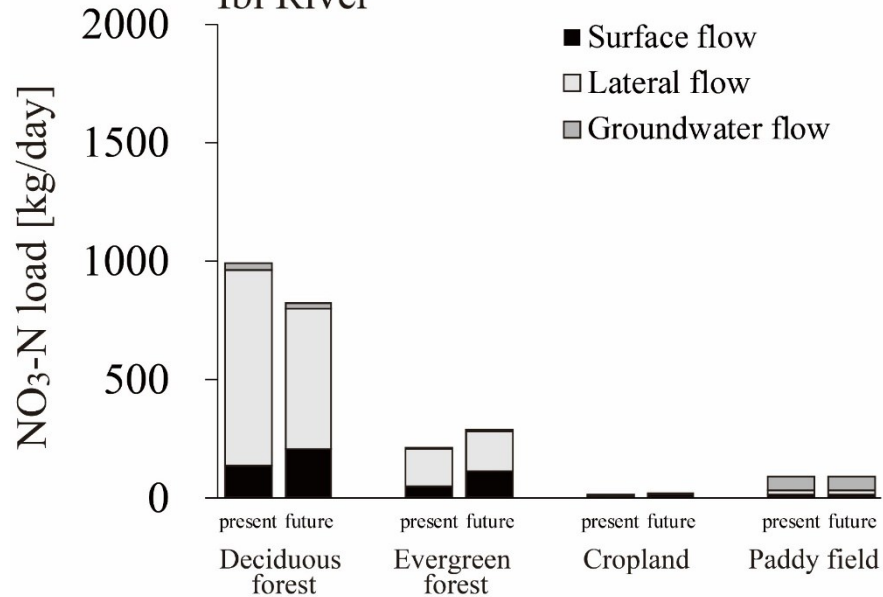
Kiso River



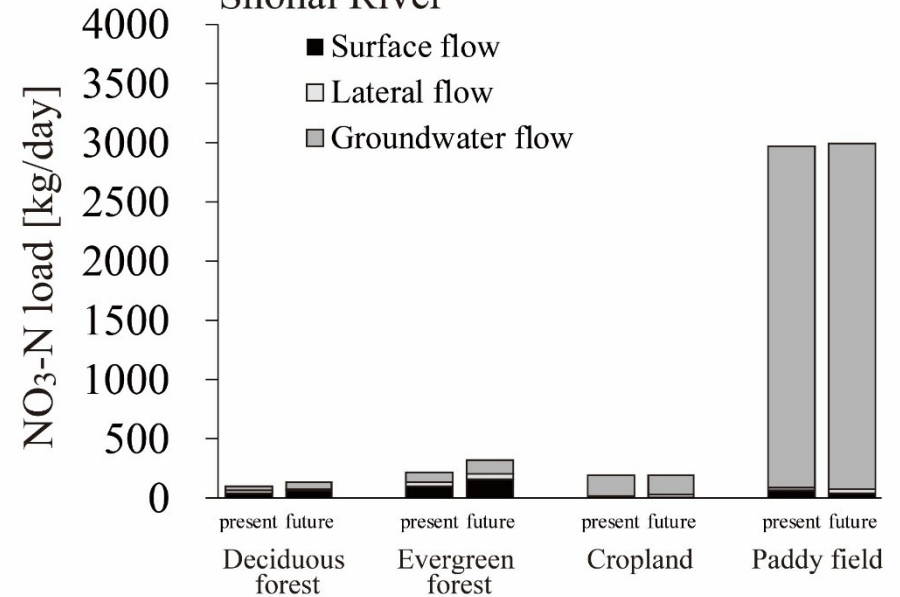
Nagara River



Ibi River



Shonai River



伊勢湾流域圏における過去2600年間の 水文環境の数値シミュレーション

○大西健夫¹, 保木井貴雄², 平松研¹

1. 岐阜大学応用生物科学部

2. 農林水産省農村振興局

背景と目的

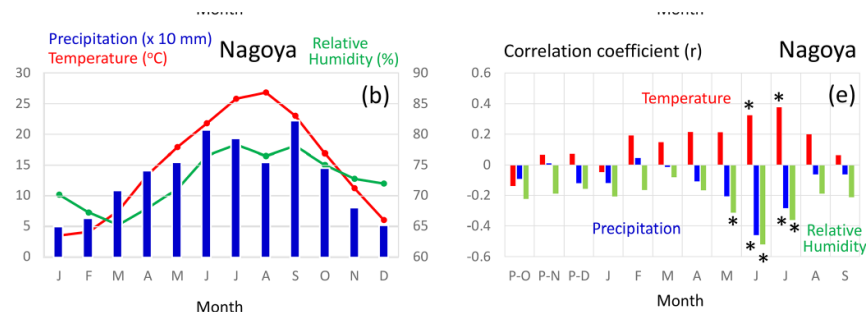
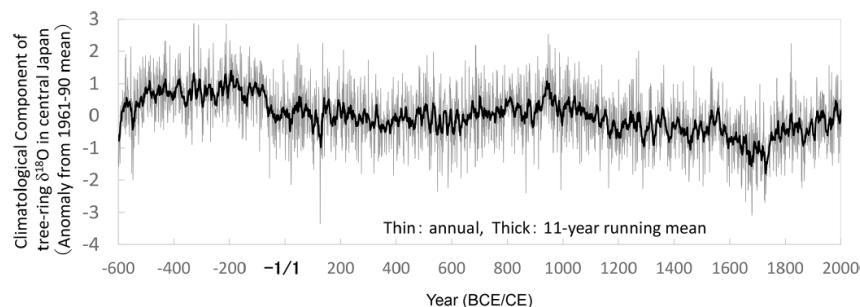
樹木年輪セルロースの $\delta^{18}\text{O}$ からの高分解能
(1年) 気候復元が可能となりつつある。

今回の発表

とりあえずシミュレーションしてみよう。

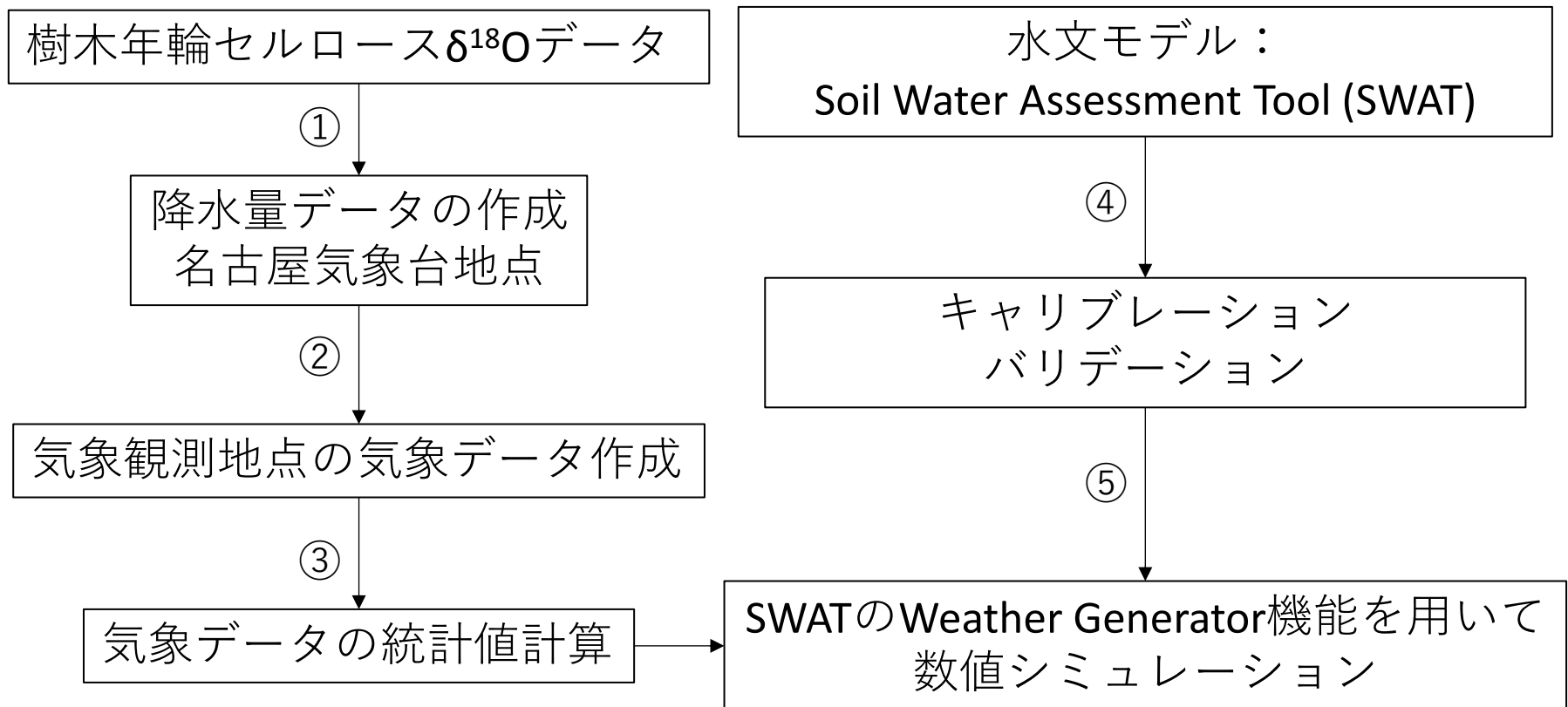
最終目標

物質動態 (栄養塩、酸化還元状態) の復元



Nakatsuka et al. (2020), Climate of the Past

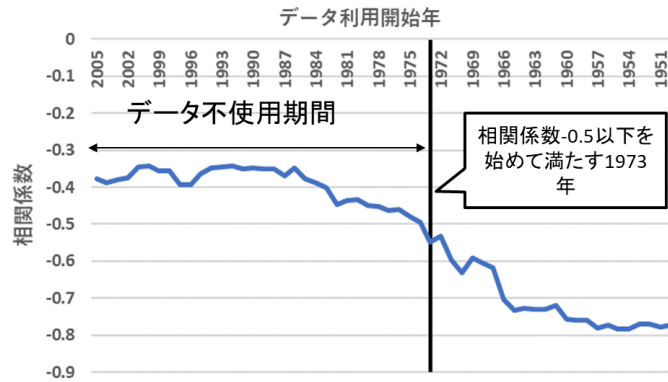
方法



以下スライド3-7で①～⑤を説明

方法：樹木年輪セルロース $\delta^{18}\text{O}$ データから名古屋気象台地点の降水量復元まで

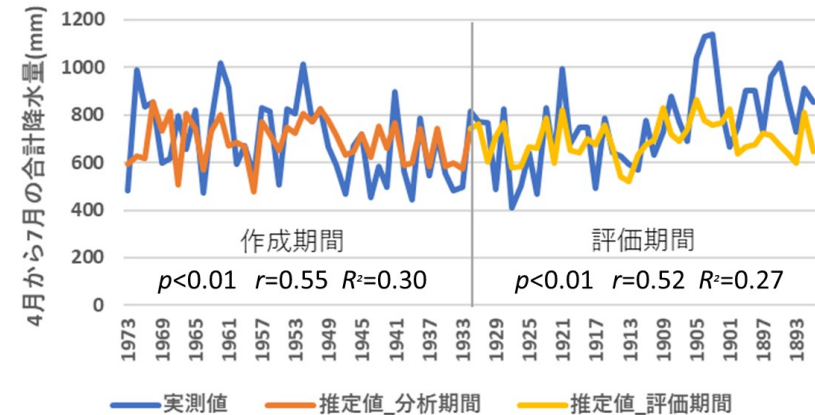
相関係数の検討



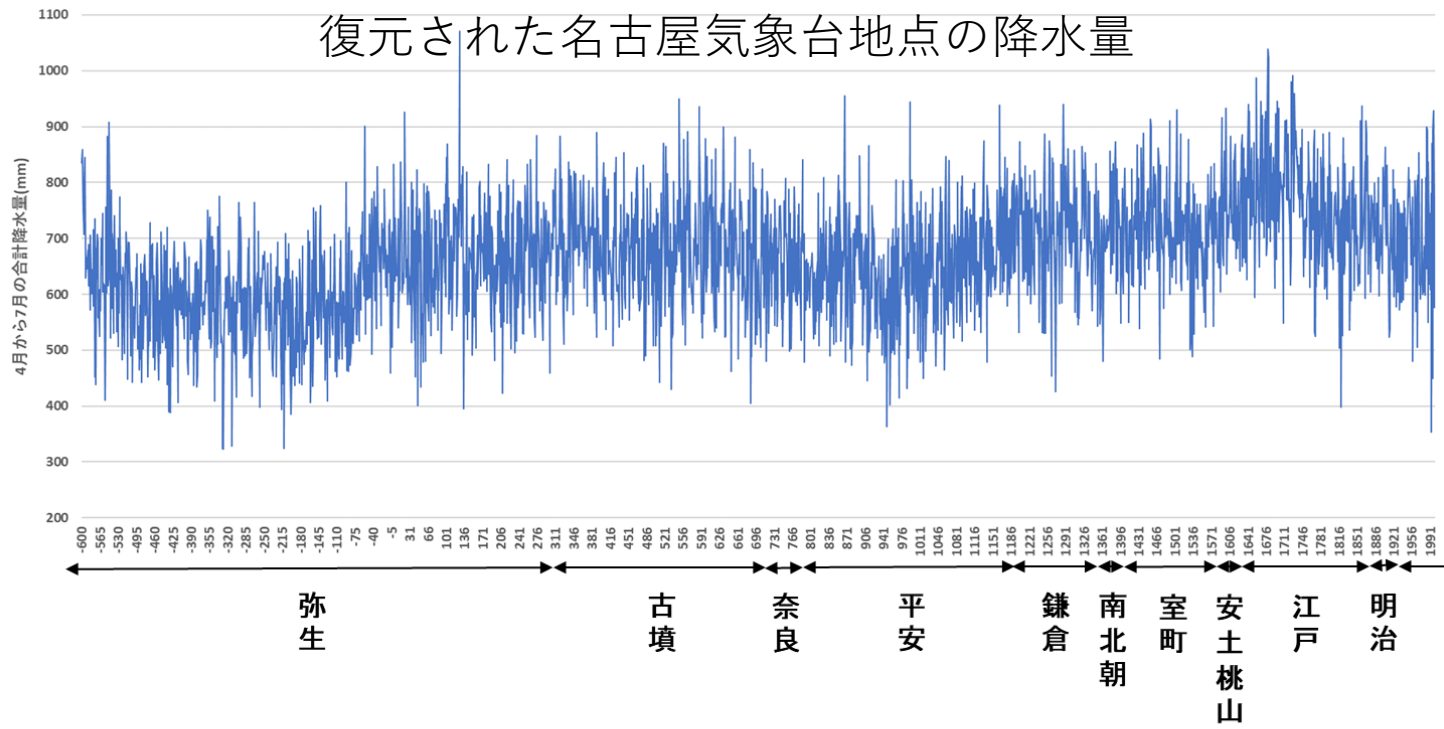
1972年以降のデータを含むと、相関係数が低下する

回帰式作成

回帰式の評価



復元された名古屋気象台地点の降水量



方法：流域内の気象台地点の気象データの復元

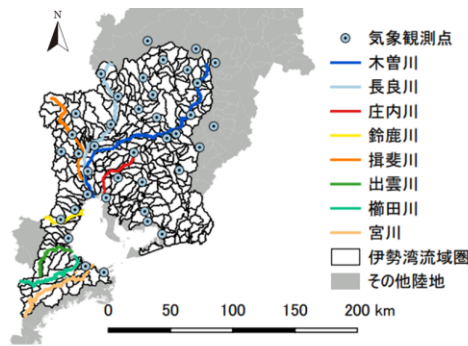


図1. 伊勢湾流域圏

気象観測点一覧				
愛西	亀山	長滝	関ヶ原	
恵那	金山	奈川	多治見	
蒲郡	木曽福島	南木曽	高山	
岐阜	木曽平沢	名古屋	樽見	
萩原	黒川	中津川	鳥羽	
揖斐川	桑名	浪合	東海	
飯田	美濃	小俣	豊橋	
稲武	宮地	大垣	豊田	
開田高原	宮ノ前	岡崎	津	
		八幡	四日市	

名古屋気象台の降水量データ

各地点（図1）の降水量データを復元。名古屋気象台と各地点間の回帰直線による（表1）。

月ごとの降水量に配分（表2）

表1 名古屋と各観測点における合計降水量(4月 - 7月)の決定係数

	決定係数		決定係数		決定係数
愛西	0.78	黒川	0.57	関ヶ原	0.72
恵那	0.70	桑名	0.83	多治見	0.80
蒲郡	0.68	美濃	0.68	高山	0.56
岐阜	0.85	宮地	0.54	樽見	0.57
萩原	0.51	宮ノ前	0.61	鳥羽	0.50
揖斐川	0.63	長滝	0.49	東海	0.79
飯田	0.58	奈川	0.58	豊橋	0.54
稲武	0.71	南木曽	0.65	豊田	0.82
開田高原	0.66	中津川	0.70	津	0.58
亀山	0.59	浪合	0.67	八幡	0.56
金山	0.68	小俣	0.52	四日市	0.75
木曽福島	0.66	大垣	0.77		
木曽平沢	0.61	岡崎	0.79		

0.80 ≤ R² 0.50 ≤ R² < 0.80

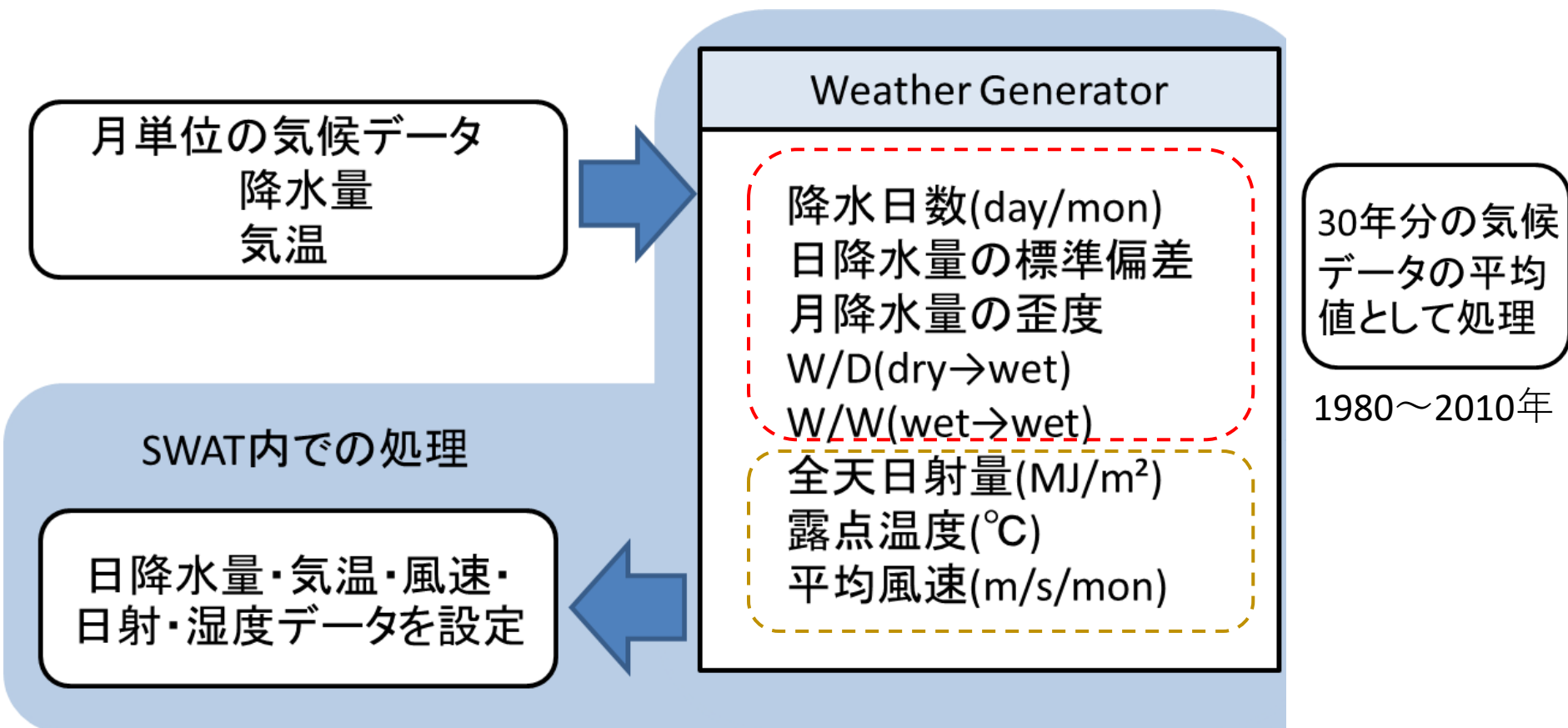
表2. 各観測点の評価期間内の各月降水割合

	名古屋	愛西	恵那	蒲郡	岐阜	萩原	揖斐川	飯田	稲武	開田高原
4月	18.01(1.16)	19.47(1.25)	16.58(1.20)	19.11(1.30)	18.36(1.34)	15.78(1.32)	18.34(1.38)	18.11(1.38)	18.58(1.25)	17.57(1.35)
5月	23.69(1.51)	23.94(1.26)	21.89(1.38)	24.79(1.62)	24.11(1.14)	21.10(1.26)	24.14(1.38)	22.80(1.37)	22.08(1.22)	23.13(1.28)
6月	29.43(1.74)	28.54(1.61)	29.13(2.11)	30.69(2.00)	28.35(1.80)	28.01(2.07)	28.68(1.89)	29.37(2.05)	29.09(1.76)	28.95(2.00)
7月	28.87(2.14)	28.05(2.23)	32.4(2.38)	25.41(2.25)	29.18(2.26)	35.12(2.34)	28.85(2.02)	29.72(2.42)	30.24(2.01)	30.35(2.37)
	亀山	金山	木曽福島	木曽平沢	黒川	桑名	美濃	宮地	宮ノ前	長滝
4月	17.72(1.39)	17.15(1.25)	17.04(1.24)	17.13(1.31)	17.06(1.21)	18.9(1.32)	17.56(1.36)	15.98(1.13)	16.66(1.19)	17.63(1.29)
5月	25.87(1.73)	21.04(1.05)	22.50(1.31)	22.11(1.25)	21.64(1.33)	24.51(1.24)	22.25(1.11)	19.93(1.12)	21.28(1.44)	21.38(1.07)
6月	30.76(1.63)	28.54(1.91)	28.44(2.07)	30.19(2.33)	28.33(1.85)	30.54(1.65)	28.29(1.90)	27.40(1.94)	27.02(1.96)	26.74(2.01)
7月	25.65(2.45)	33.27(2.11)	32.03(2.43)	30.57(2.57)	32.97(2.24)	26.05(2.4)	31.91(2.23)	36.69(2.08)	35.05(2.36)	34.24(2.14)
	奈川	南木曽	中津川	浪合	小幡	大垣	岡崎	関ヶ原	多治見	高山
4月	17.56(1.25)	16.11(1.13)	16.37(1.14)	18.89(1.30)	18.63(1.26)	18.35(1.38)	19.51(1.28)	17.88(1.23)	17.35(1.12)	17.80(1.30)
5月	22.92(1.23)	20.63(1.39)	21.99(1.50)	23.23(1.47)	27.00(1.95)	23.97(1.40)	23.79(1.50)	22.80(1.54)	23.03(1.39)	21.31(1.20)
6月	29.21(2.05)	29.89(2.37)	28.39(1.91)	29.54(2.09)	29.89(1.32)	29.01(1.86)	30.97(1.86)	29.28(1.99)	28.43(1.84)	27.68(2.11)
7月	30.31(2.46)	33.36(2.48)	33.25(2.08)	28.34(2.31)	24.49(2.34)	28.68(2.32)	25.73(2.07)	30.04(2.29)	31.19(2.17)	33.20(2.49)
	垂水	鳥羽	東海	豊橋	豊田	津	八幡	四日市		
4月	17.79(1.30)	21.63(1.39)	19.20(1.36)	21.21(1.49)	17.88(1.29)	18.47(1.34)	18.12(1.36)	18.11(1.30)		
5月	23.11(1.26)	28.54(2.02)	23.46(1.36)	25.52(1.60)	23.27(1.45)	26.04(1.56)	21.12(1.15)	24.67(1.36)		
6月	27.55(1.70)	28.57(1.23)	30.68(1.69)	29.77(1.76)	30.61(2.09)	29.30(1.46)	27.92(1.77)	31.42(1.65)		
7月	31.55(2.10)	21.26(2.33)	26.65(2.15)	23.50(2.46)	28.24(2.28)	26.19(2.16)	32.83(2.01)	25.80(2.36)		

* 単位は%であり、()内の数値は30年間の標準誤差を示している

名古屋気象台のデータを用いて
各地点の降水量を推定

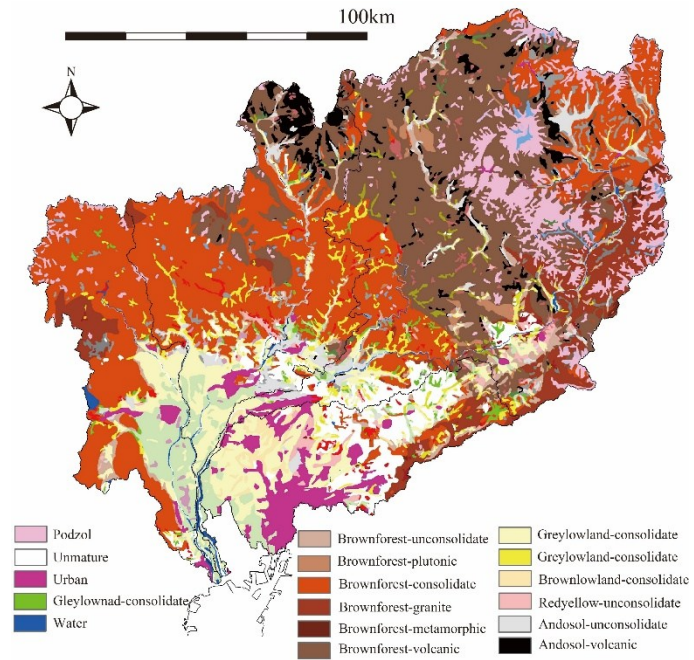
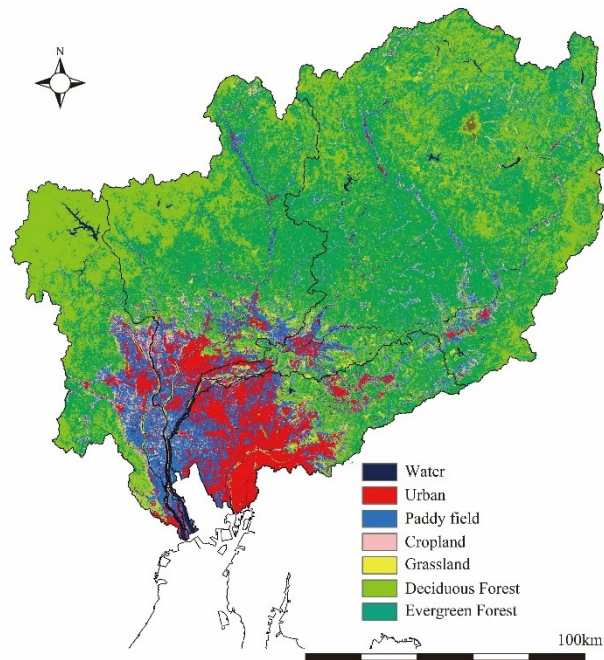
方法：SWATのWeather Generator内での処理



内の項目

全天日射量：降水・気温データからSWAT内で推定
露点温度：飽和水蒸気圧の関数として気温から推定
平均風速：1980～2010年の月別平均値

方法：水文モデルSWATの基礎入力データと出力の例

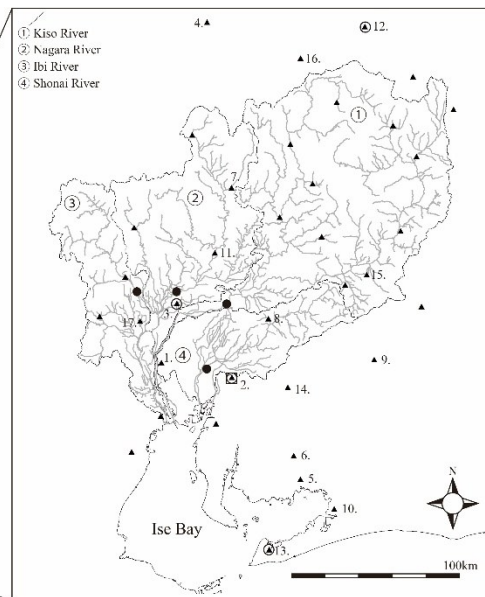


Type of observation stations

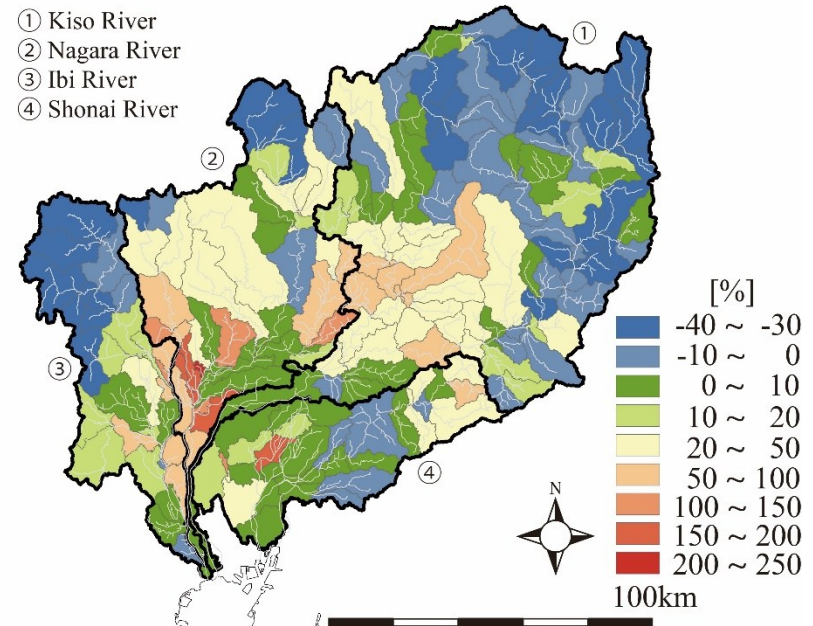
- ▲ Precipitation, temperature, and wind speed
- Humidity
- Solar radiation
- Discharge and chemical components

Weather stations used for climate model validation

1. Aisai, 2. Nagoya, 3. Gifu, 4. Shirakawa, 5. Gamagori, 6. Okazaki, 7. Hachiman, 8. Tajimi, 9. Inabu, 10. Toyohashi, 11. Mino, 12. Takayama, 13. Irako, 14. Toyota, 15. Nakatsugawa, 16. Tochio, 17. Ozaki

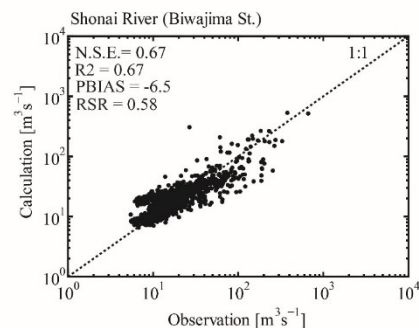
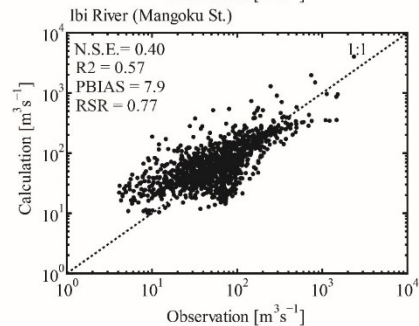
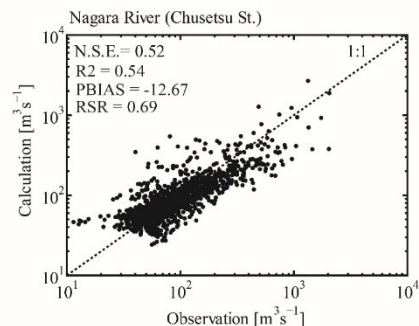
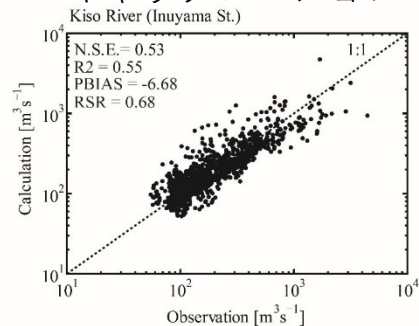


① Kiso River
② Nagara River
③ Ibi River
④ Shonai River



方法：水文モデルのキャリブレーション・バリデーション

キャリブレーション



バリデーション

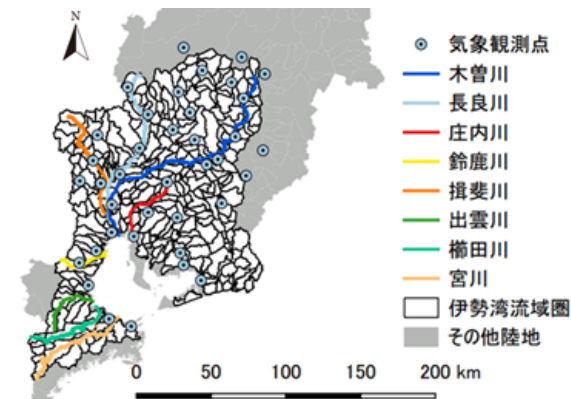
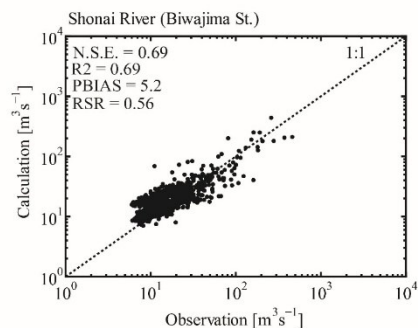
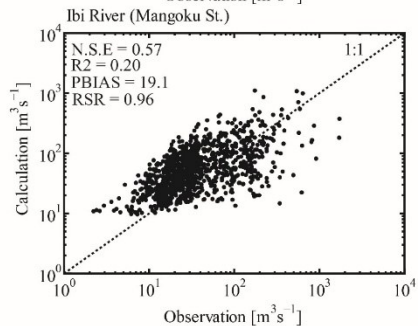
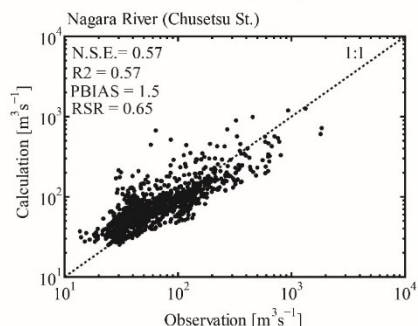
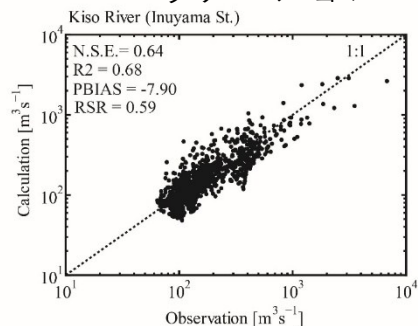


図1. 伊勢湾流域図

パラメータの一覧

Parameter	Description	Method	Range		Calibrated values
			Min	Max	
CN2	Initial SCS curve number for moisture condition II	Relative	-0.5	1	-0.49
ALPHA_BF	Baseflow alpha factor (days)	Replace	0.01	1	0.29
GW_DELAY	Groundwater delay (days)	Replace	0	500	182.3
GWQMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm)	Replace	0	5000	0.88
ERORGN	Organic N enrichment ratio	Manual	0	5	3

キャリブレーションの方法
SWAT-CUPによる2000回の試行
ラテン超格子法

結果

◀ 結果 ▶

木曽川（犬山）

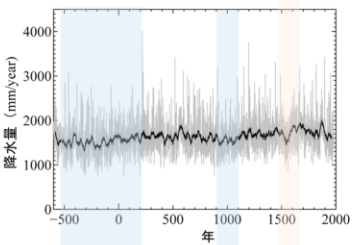
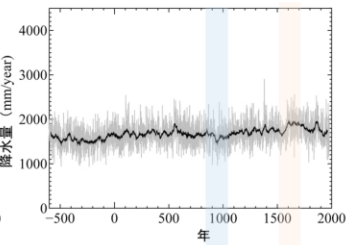
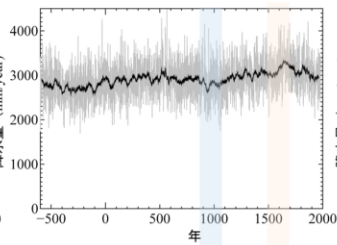
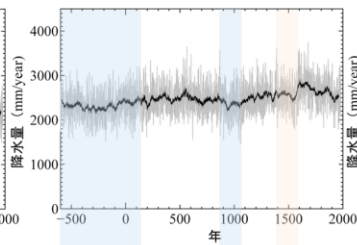
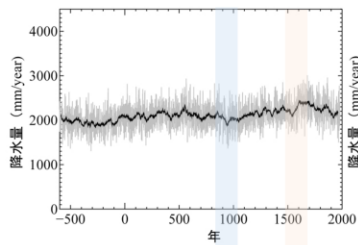
長良川（忠節）

揖斐川（万石）

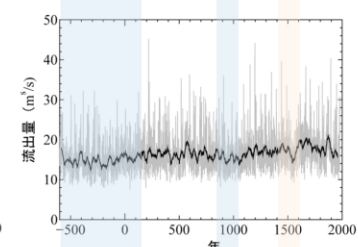
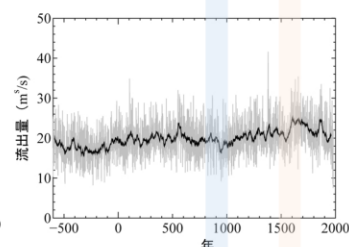
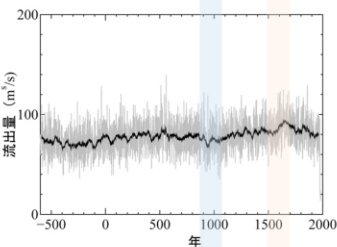
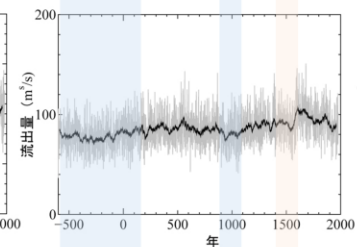
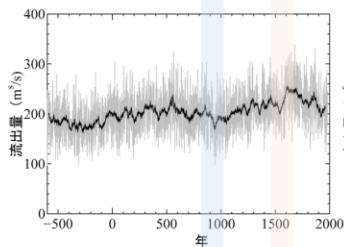
庄内川（枇杷島）

雲出川（雲出）

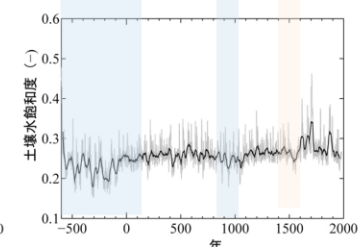
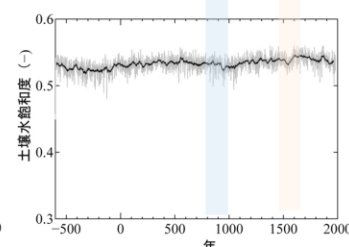
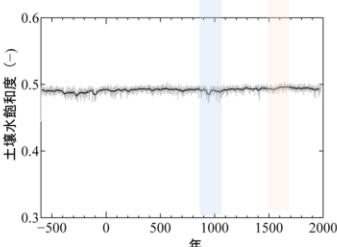
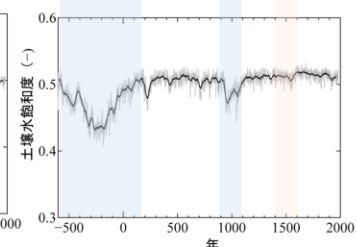
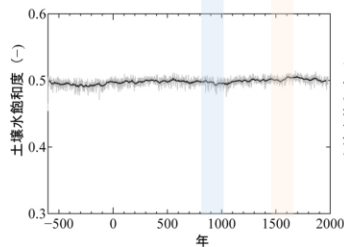
降水



流出



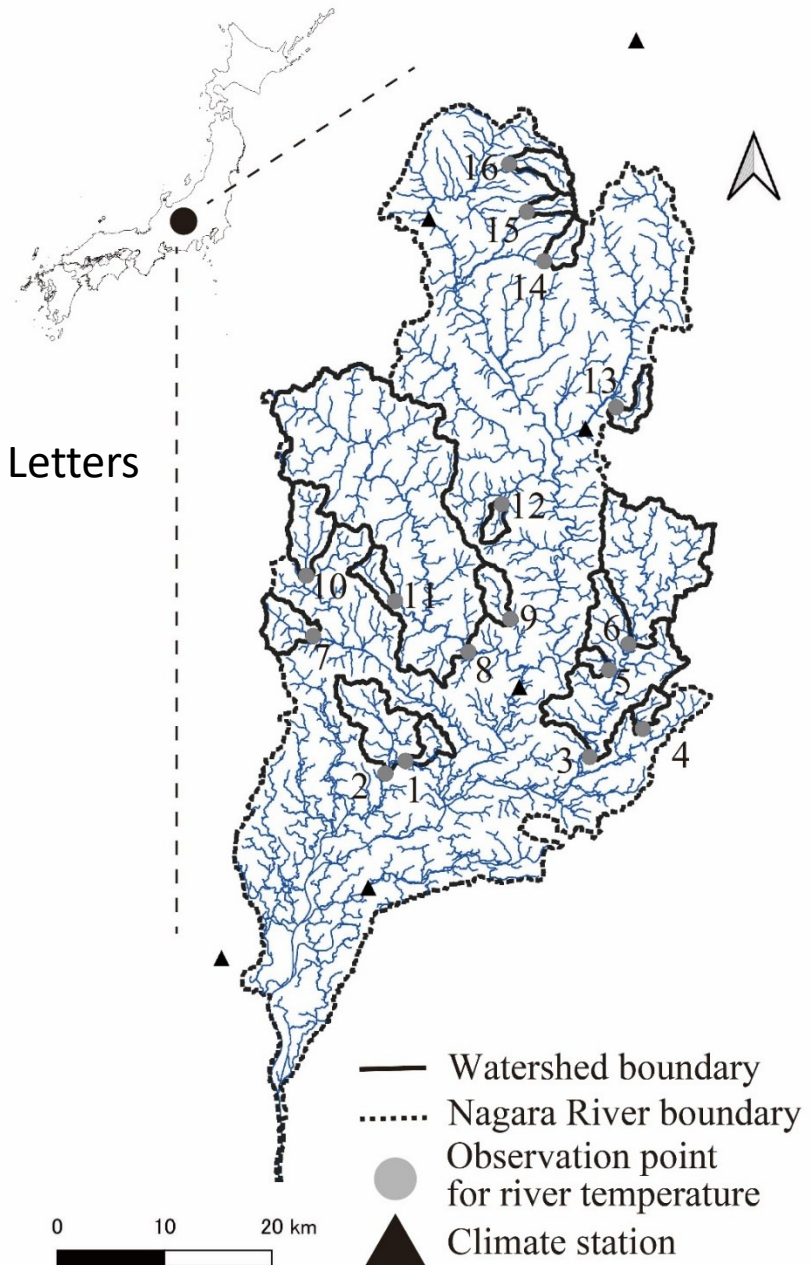
土壌水分



黒の実線：30年移動平均値
灰色の実線：年間値

長良川流域の水温 環境と将来の土地 利用変化

Mousumi et al. (2025), Hydrological Research Letters



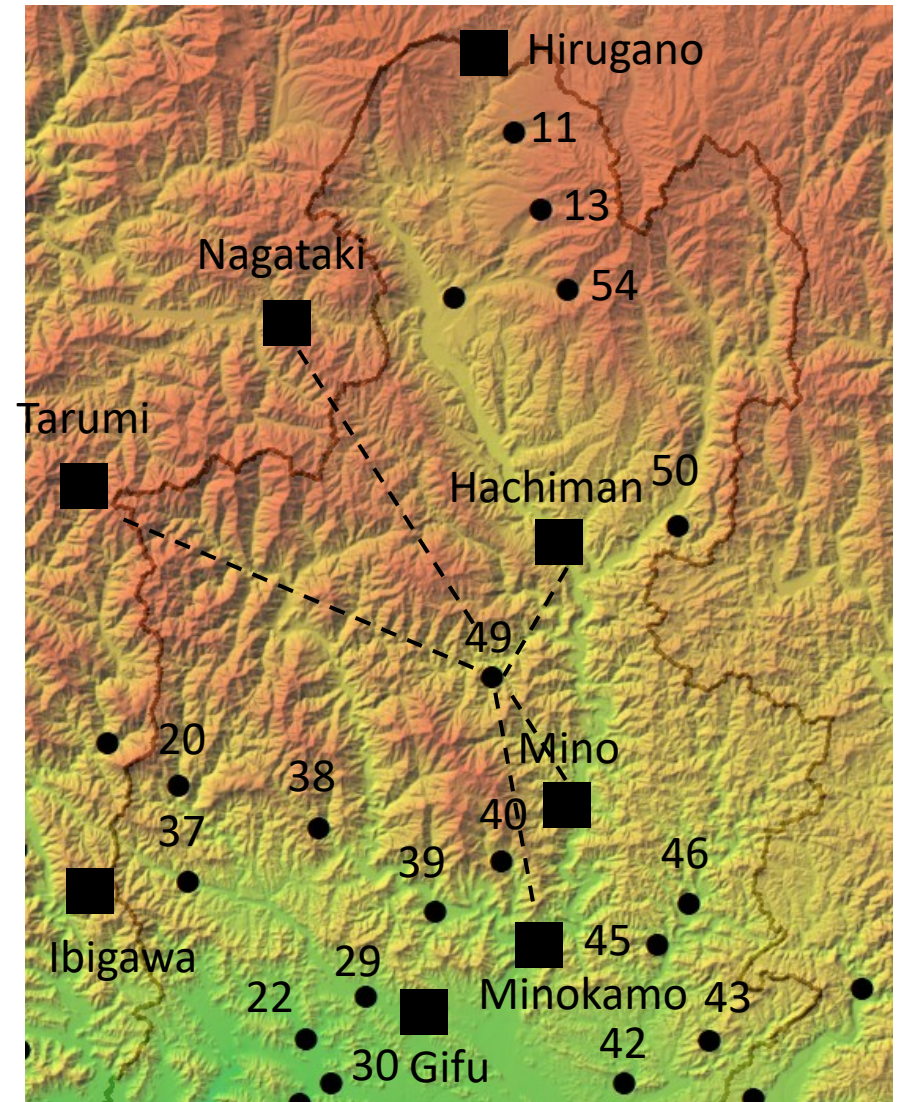
データの内挿補間

● Water temperature

■ Weather station

Air temperature at each river water observation point was estimated by inverse distance weighted interpolation using nearest 5 weather stations.

Precipitation at each river water observation point was given by the observed precipitation data at the nearest weather station.



気温と水温の変動特性

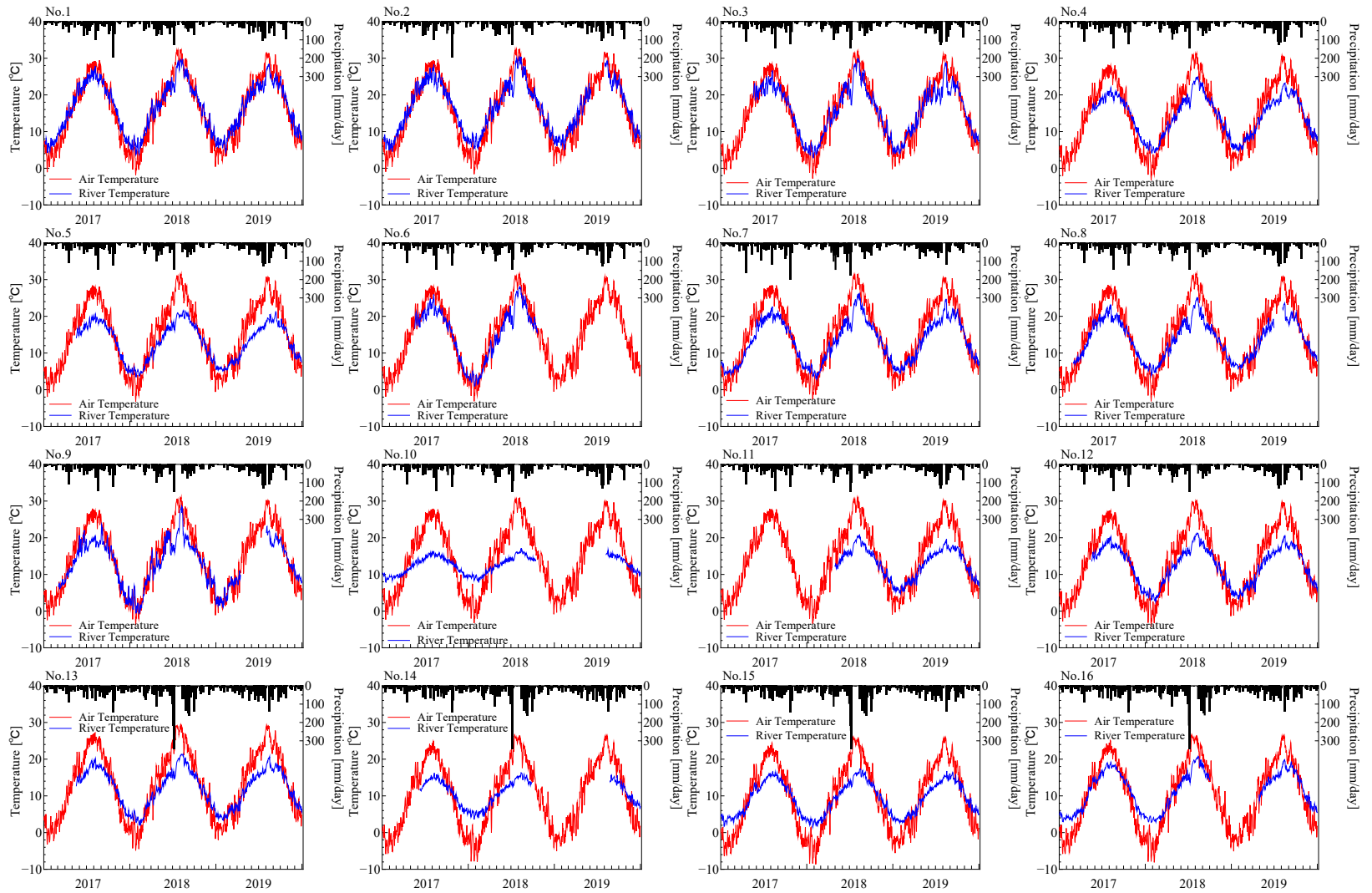
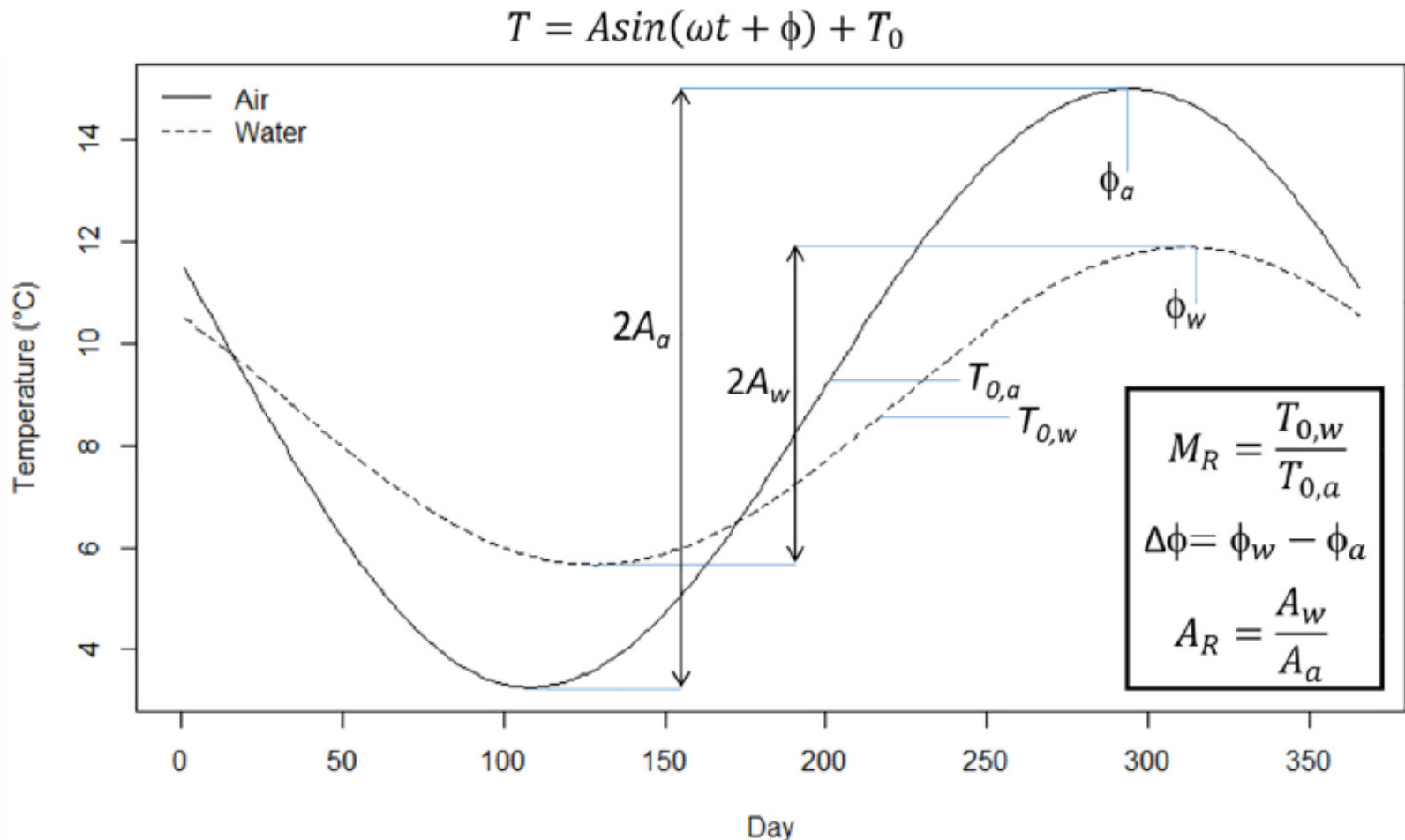


Figure S1. Daily air temperature, river water temperature, and precipitation for 16 tributaries of the Nagara River, 2017–2019

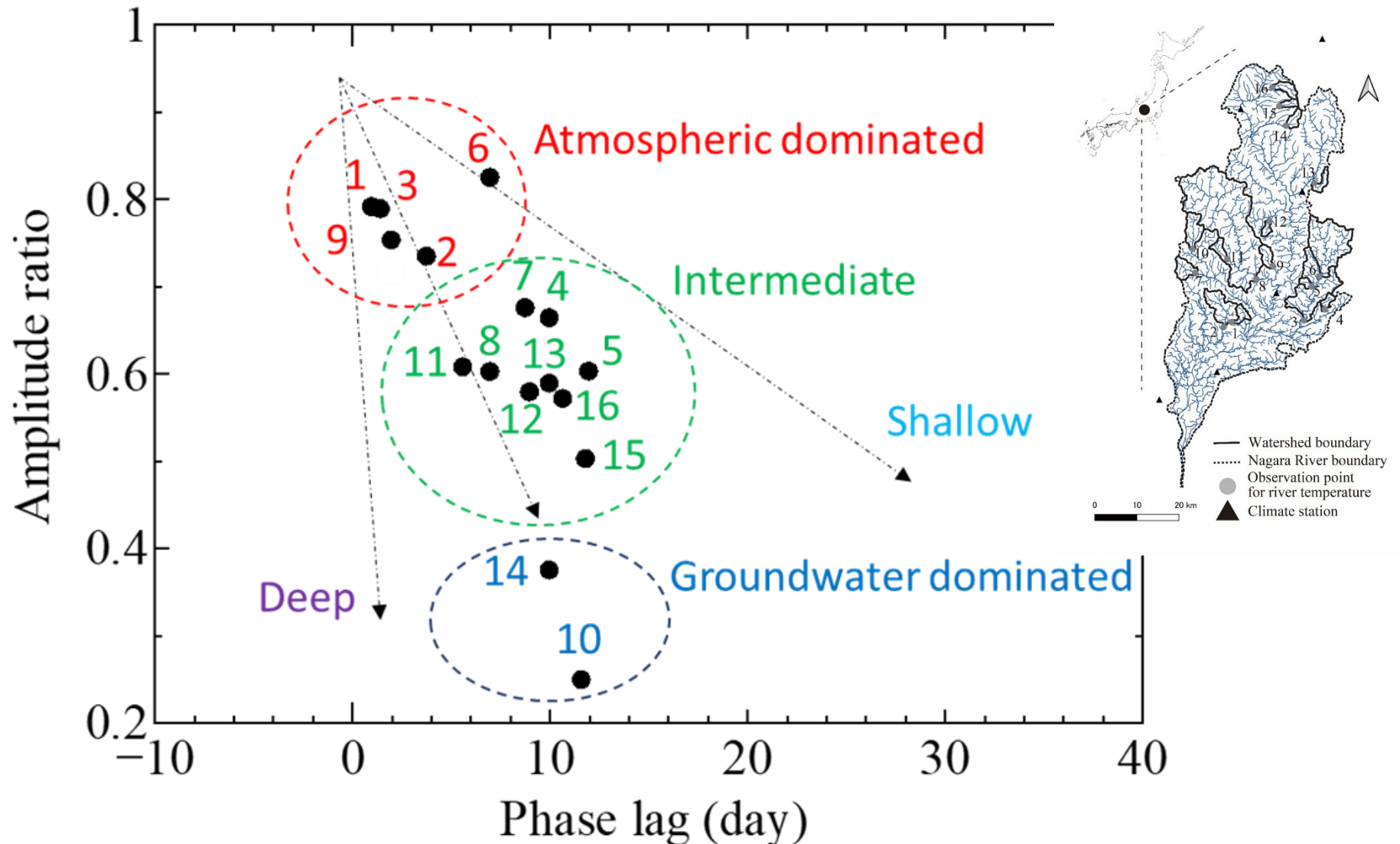
水温変動特性の簡易な分類法

Johnson (2020)



Two parameters: Phase shift, Amplitude ratio

Johnson et al. (2020)による流域の分類



降雨時・無降雨時の水温変動特性

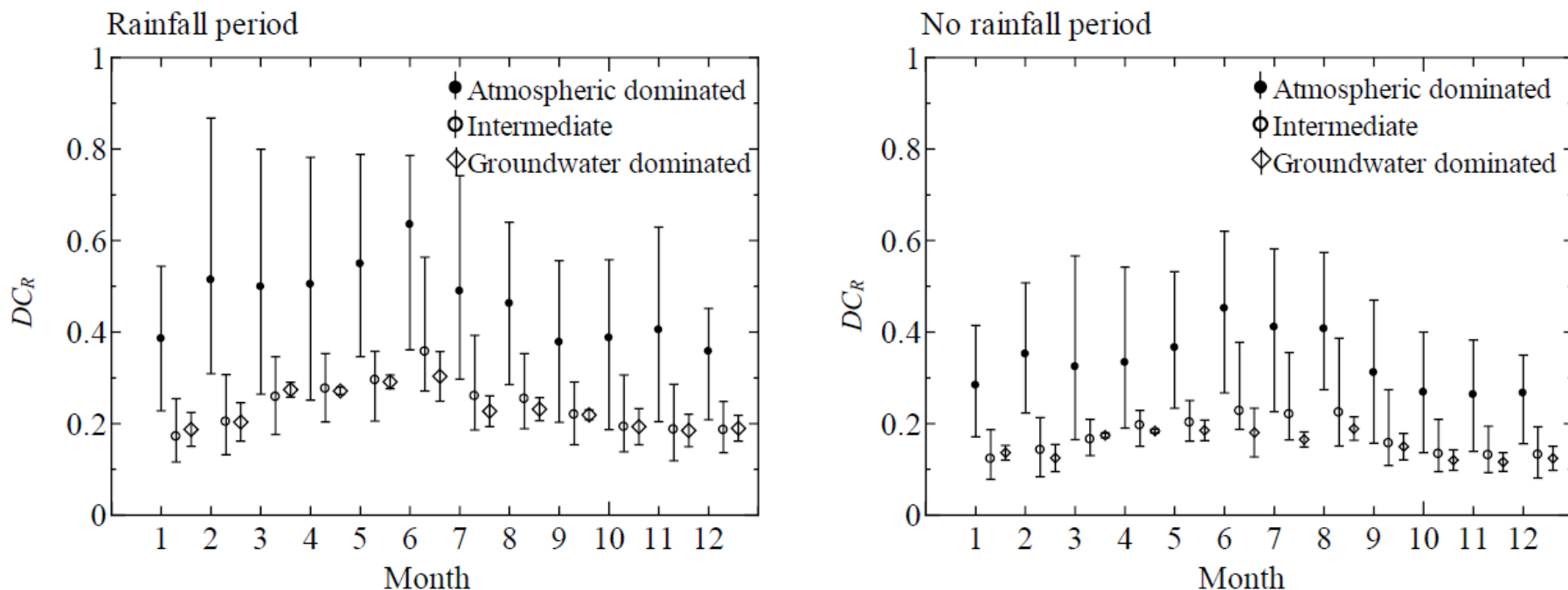


Figure 3. Seasonal trend in diurnal change of river temperature. Precipitation period (left panel) and non-precipitation period (right panel) were separately tallied. DC_R represents the diurnal change in river temperature

降雨時の水温低下・上昇幅

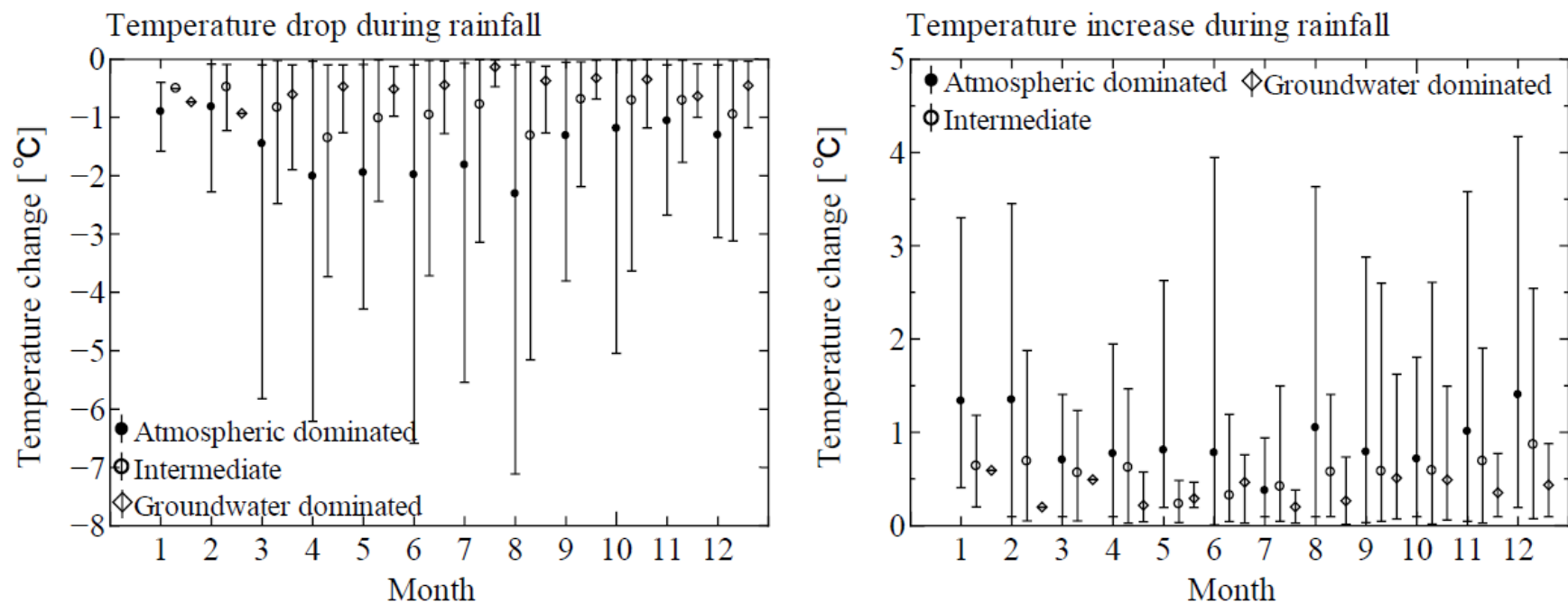
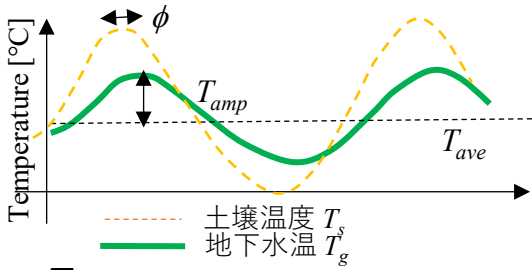


Figure 4. Monthly change of temperature drop/increase during the period of rainfall (left panel: temperature drop; right panel: temperature increase)

SWATモデルの改良－水温形成を考慮－

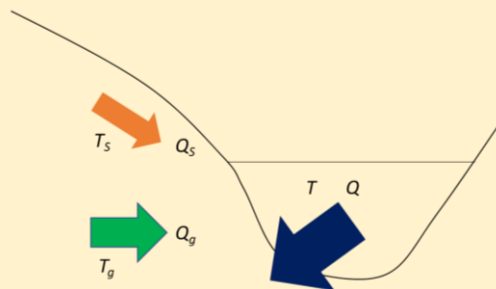
－ Modification of SWAT model －

	土壌温度	地下水温度	河川水温
改良前	$T_{soil}(z, d_n) = \ell \cdot T_{soil}(z, d_n - 1) + [1.0 - \ell] \cdot [df \cdot [\bar{T}_{Air} - T_{ssurf}] + T_{ssurf}]$	計算モジュールなし	$T_{water} = 5.0 + 0.75 \bar{T}_{av}$
改良後	$T_{soil}(z, d_n) = \ell \cdot T_{soil}(z, d_n - 1) + [1.0 - \ell] \cdot [df \cdot [\bar{T}_{Air} - T_{ssurf}] + T_{ssurf}]$ 修正なし	 T_s: 土壌温度 T_g: 地下水温度 T_{ave}: 年平均気温 T_{amp}: 深度方向の関数としての振幅 ϕ: 深度方向の関数としての遅れ	使用せず

$$Q = Q_s + Q_g$$

$$T_{water} = (T_s \cdot Q_s + T_g \cdot Q_g) / Q$$

地中水と地下水の水温モデルを組み合わせる



Q_s : 地表水、側方流
 Q_g : 地下水流
 T_{water} : 河川水温
 T_s : 土壌温度
 T_g : 地下水温度

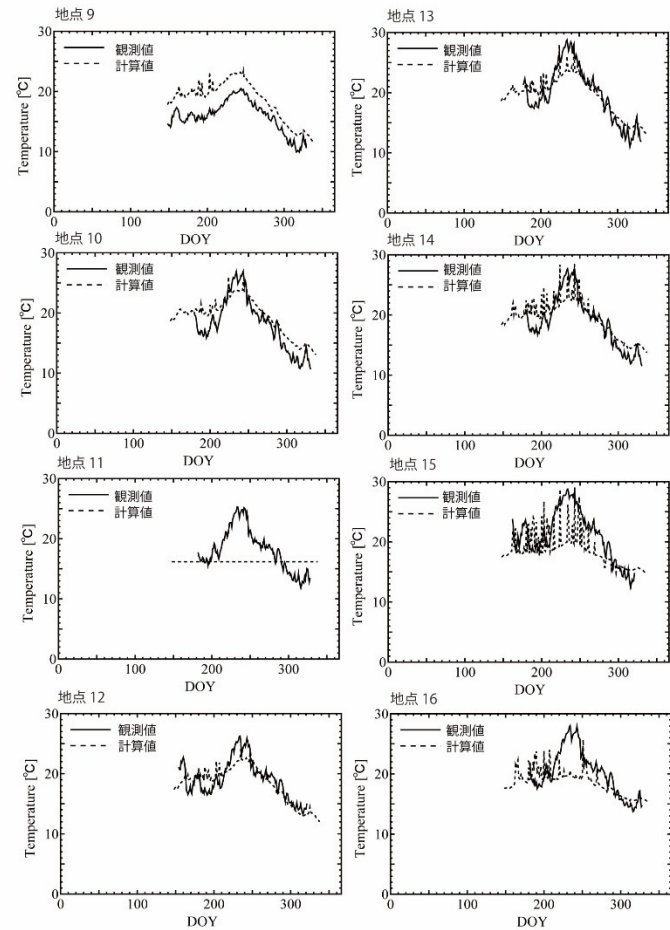
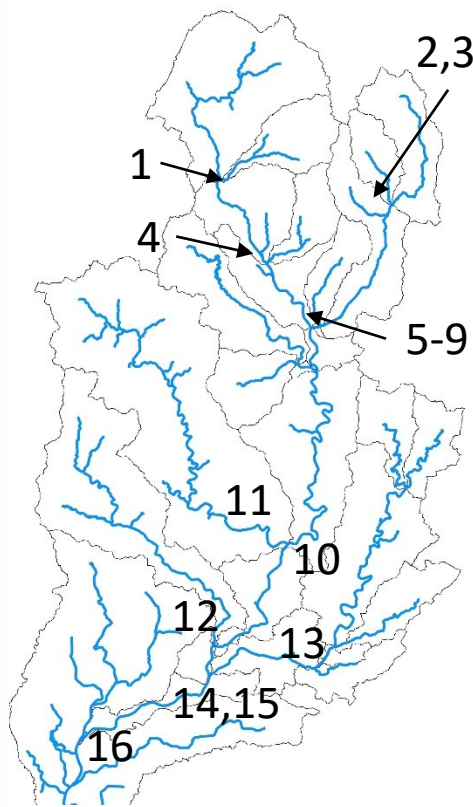
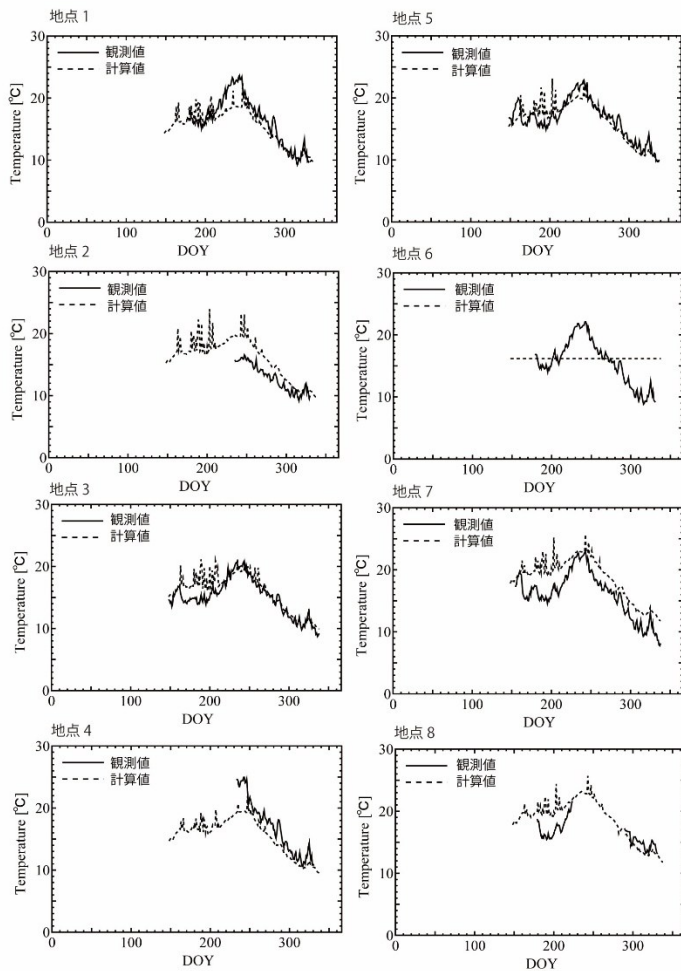
修正したモジュール

- subbasin
- simulate

新たに

- gndwat tmp
- サブルーチンを作成

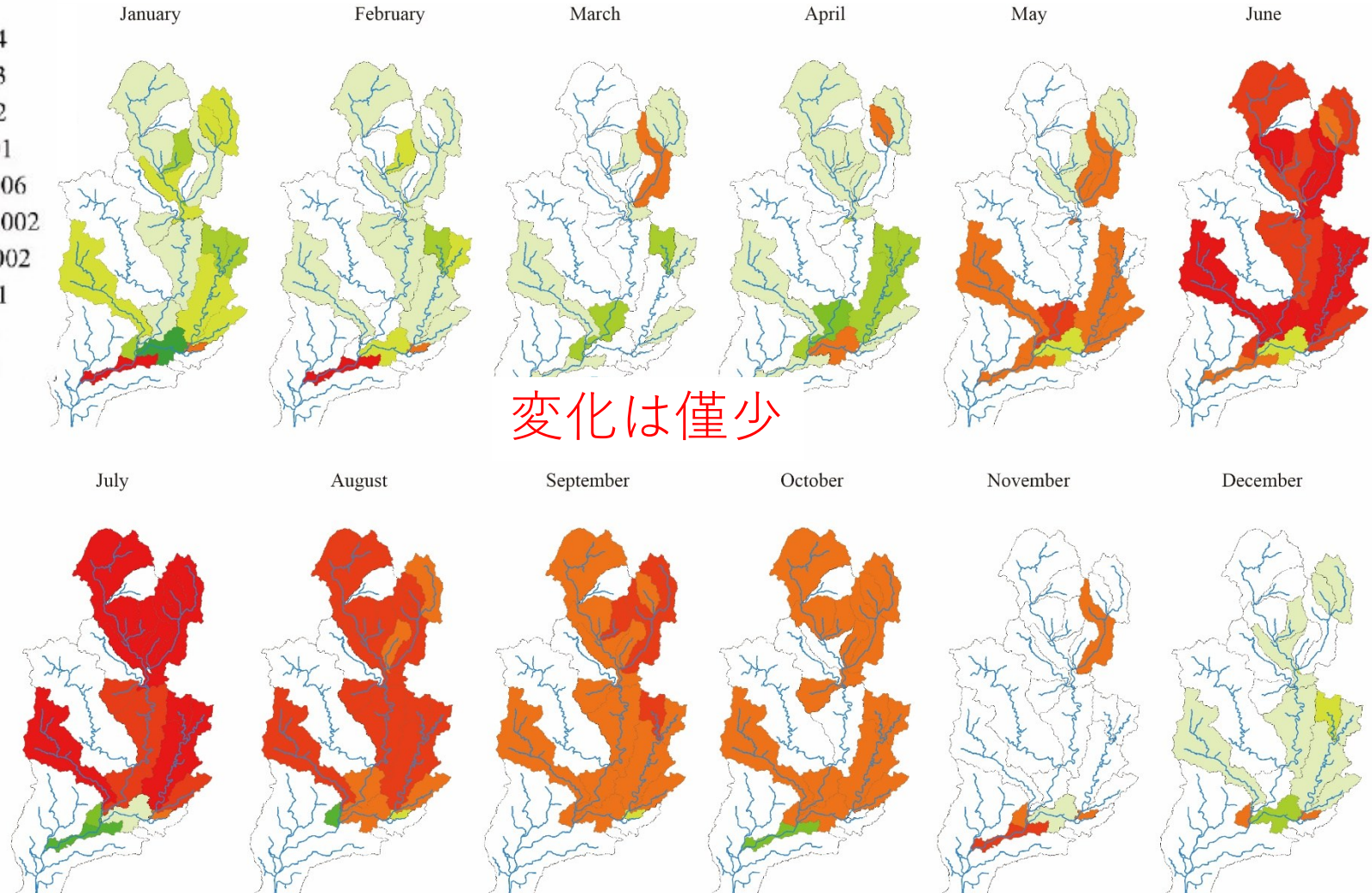
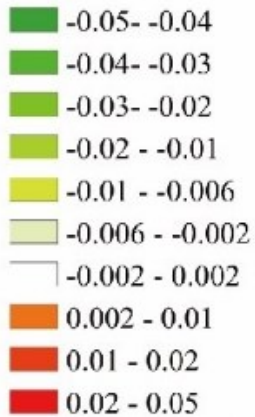
モデルの検証



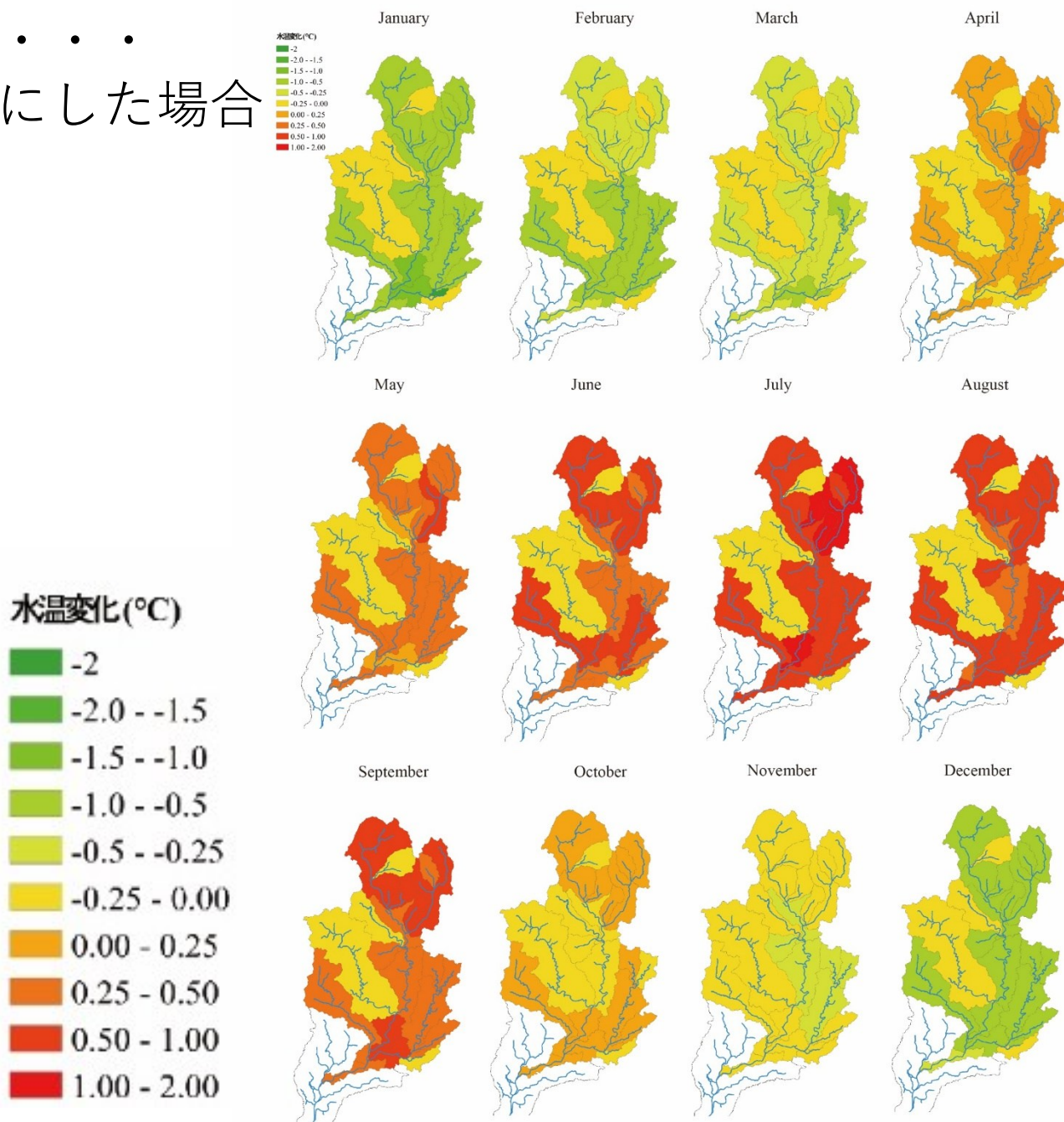
針葉樹林をすべて広葉樹林にした場合の水溫変化

現在の気象条件（2004-2013、気象庁の地上観測データ）のもとで土地利用のみ変化させたときに変化を月平均で比較

水温変化(°C)



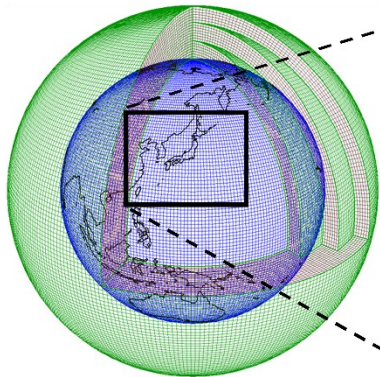
極端な例ですが・・・
人工林をすべて裸地にした場合



今後の展望：d4PDF

AGCM

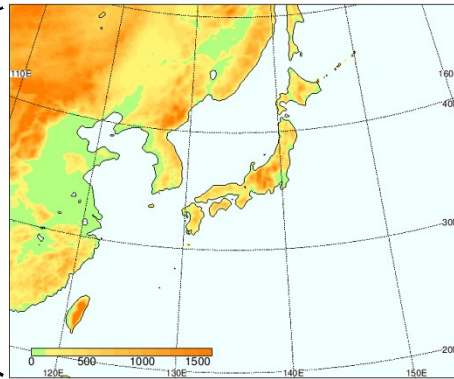
(水平解像度約60km)



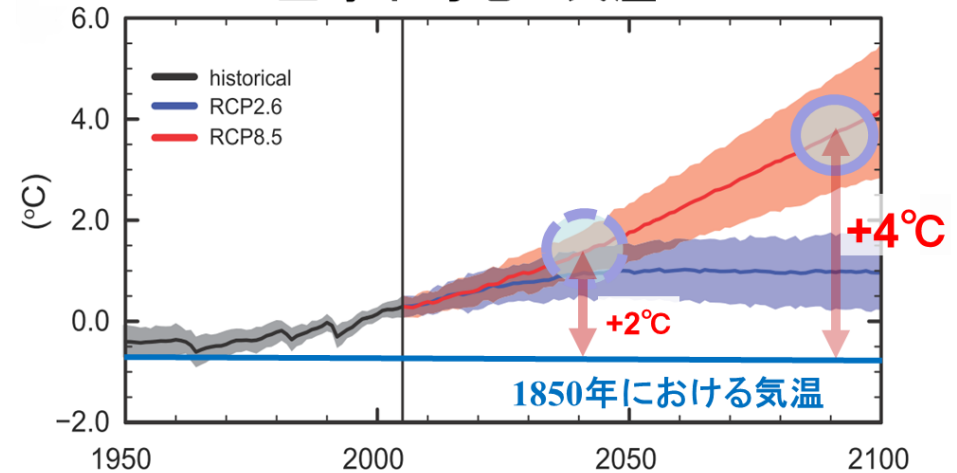
(画像: 気象庁提供)

NHRCM

(水平格子間隔20km)



全球平均地上気温



60km AGCM

100メンバ

非温暖化100メンバ

日本域 20km
ダウンスケール

50メンバ

1951

過去実験

2010

90メンバ

($6\Delta T \times 15\delta T$)

90メンバ

将来実験

60年

<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html>