

# 気候変動予測計算の仕様 ~どのような条件を変えて計算しているの？

## 用いた気候モデルの概要

本予測計算では、気象庁気象研究所が開発した全球気候モデル（GCM：Global Climate Model）<sup>13</sup>と地域気候モデル（RCM：Regional Climate Model）<sup>14</sup>を使用しました。

GCMには温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）、オゾン、エアロゾル濃度、海面水温、海氷密接度、海氷厚等を入力条件として与えました。今回使用するモデルは大気モデルであるため、海面の状態（海面水温、海氷）は、現在値については観測値、将来変化については第5期結合モデル相互比較計画（CMIP5：Coupled Model Intercomparison Project Phase 5）のモデル結果を利用しています。

より狭い範囲で高解像度の計算を行うRCMを駆動するためには、入力情報として、GHG濃度及び領域境界における気象条件等が必要です。領域境界における気象条件はGCMによる全球の計算結果から抽出しました。

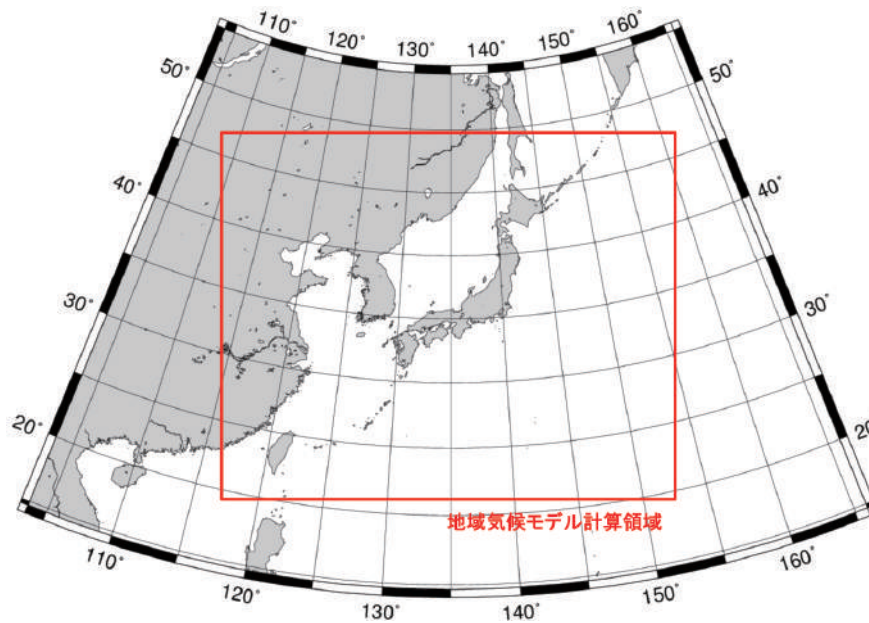
全球ではGCMの空間解像度である約60km間隔で、日本周辺ではRCMの空間解像度である20km間隔で、現在の気候の再現と将来の気候の予測を行いました。

気候変動予測モデルの主要な設定

	全球気候モデル(GCM)	地域気候モデル(RCM)
モデル名称	MRI-AGCM3.2H	MRI-NHRCM20
空間解像度	約60km	20km
計算領域	全球	日本周辺
格子数	640×320 (水平) 60層 (鉛直)	211×175 (水平) 40層 (鉛直)
積雲対流スキーム	Yoshimuraスキーム Kain-Fritschスキーム Arakawa-Schubertスキーム	Kain-Fritschスキーム
主な入力条件	温室効果ガス、オゾン、エアロゾル濃度 海面水温、海氷密接度、海氷厚	温室効果ガス、オゾン、エアロゾル濃度 GCM計算結果

13----- 詳細についてはMizuta et al.(2012); Endo et al.(2012)を参照のこと。

14----- 詳細についてはSasaki et al.(2011); Sasaki et al.(2012)を参照のこと。



## 複数ケースの予測計算

### 予測シナリオのケース設定

本予測計算では、以下に示す計21ケース（現在気候3ケース、将来気候18ケース）の計算を行いました。

予測シナリオのケース設定

番号	ケース名	期間 <sup>15</sup>	排出シナリオ	海面水温	積雲対流スキーム
1	HPA_m02	【現在実験】 1984年9月～ 2004年8月	観測値	観測値	YS
2	HPA_kf_m02				KF
3	HPA_as_m02				AS
4	HFA_rcp85_c1	【将来実験】 2080年9月～ 2100年8月	RCP8.5	SST1	YS
5	HFA_kf_rcp85_c1				KF
6	HFA_as_rcp85_c1				AS
7	HFA_rcp85_c2		SST2	YS	
8	HFA_kf_rcp85_c2			KF	
9	HFA_as_rcp85_c2			AS	
10	HFA_rcp85_c3		SST3	YS	
11	HFA_kf_rcp85_c3			KF	
12	HFA_as_rcp85_c3			AS	
13	HFA_rcp60_c1	RCP6.0	SST1	YS	
14	HFA_rcp60_c2				SST2
15	HFA_rcp60_c3				SST3
16	HFA_rcp45_c1	RCP4.5	SST1		
17	HFA_rcp45_c2				SST2
18	HFA_rcp45_c3				SST3
19	HFA_rcp26_c1	RCP2.6	SST1		
20	HFA_rcp26_c2				SST2
21	HFA_rcp26_c3				SST3

（海面水温、積雲対流スキームの略号については、20, 21 ページの解説参照）

15---- 実際の計算では、初期条件の影響を緩和するため、上記の期間に先行して準備的な計算（＝スピンアップ計算）を実施した。スピンアップ計算の期間はGCMでは約1年間、RCMでは約40日間分である。なお、開始月を9月としたのは積雪に対する初期条件の影響を緩和するためである。

温暖化予測の不確実性を定量化するため、同じ対象期間の計算を異なる条件を設定して複数行うアンサンブル実験<sup>16</sup>を実施しました。

現在実験の海面水温（SST：Sea Surface Temperature）・海水密度度・海氷厚については観測の値を用いました。将来条件の実験においては、現在気候実験で用いた観測値にモデルの将来変化を上乗せして作成した気候値に、観測と同じ年々変動を組み合わせた推定値を用いました<sup>17</sup>。

## 排出シナリオ

将来の温室効果ガス（GHG）排出シナリオによって気候は大きく変わります。この「排出シナリオ間の不確実性」を考慮するために、IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書（IPCC, 2013）で用いられた4つのRCPシナリオにもとづくCMIP5モデル実験から、将来の海面水温変化や温室効果ガス濃度などの入力条件を設定しました。（RCPシナリオの詳細は23ページ参照）

- RCP8.5（高位参照シナリオ）
- RCP6.0（高位安定化シナリオ）
- RCP4.5（中位安定化シナリオ）
- RCP2.6（低位安定化シナリオ）

なお、IPCC第5次評価報告書(AR5)統合報告書の中では「RCPシナリオ」として複数のモデル計算結果が示されていますが、本予測計算はあくまでその中の平均的な気温上昇量を想定し、その中で複数ケースの計算をした結果です。本パンフレットでは「RCP2.6は0.5～1.7℃上昇（4ページ参照）」等と表記しますが、AR5内で示されるRCP2.6シナリオの温度上昇幅をすべて評価しているわけではありませんので注意してください。

## 将来の海面水温の変化パターン

気候の変化を計算する上で、海面水温の設定は非常に重要な条件です。特に地上付近の気温などに対しては、海面水温によりほぼ傾向が決定されるほどの大きな影響があります。

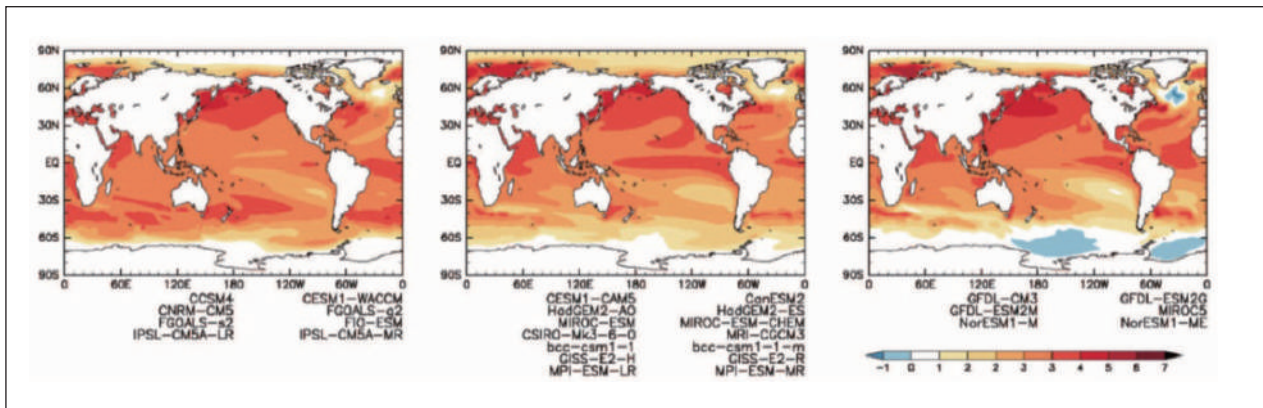
海面水温分布の変化は、熱帯やモンスーン地域の降水分布を通して東アジアの気候にも大きな影響を及ぼします。海面水温変化の分布の違いによる予測結果への影響を検討することで、予測の不確実性の一部を考慮するため、CMIP5で提供されている多数の大気海洋結合モデルを分析し、得られた海面水温変化パターンを大きく3つのパターン（SST1, SST2, SST3）に分類しました。ただし、海面水温変化量のグローバル平均は、規格化にともなって全てのパターンでほぼ同一となっています。水温変化の幅の不確実性を再現しているわけではないことに注意が必要です<sup>18</sup>。

SST1は東部熱帯太平洋での小さな昇温、南半球での大きな昇温、中緯度（40° 付近）での両半球における同程度の昇温により特徴付けられるパターン、SST2は中央から東部の熱帯太平洋で他のパターンよりも昇温が大きく、パターン分けをせずに平均した場合の特徴がより強く出ているパターン、SST3は北半球での大きな昇温、北インド洋・北大西洋での他のパターンより大きな昇温、南半球での小さな昇温と南北半球間のコントラストにより特徴付けられるパターンとなっています。

16----- 気候モデルを使ってコンピュータシミュレーションにより現在気候の再現や将来気候の予測を行うことを、気候研究分野では「実験」と呼ぶ。以降では、学術的な正確性を期すため、必要に応じて気候予測計算を指して実験と記載する。

17----- アンサンブル実験の設定に関する考え方は「文部科学省 気候変動リスク情報創生プログラム 領域テーマC：気候変動リスク情報の基盤技術開発」の成果を踏襲している。

18----- 海面水温条件の作成にあたっては、まず、現在実験と将来実験のSST変化の空間分布を作成する。次に、各モデルでの変化を熱帯（30S-30N）平均の変化量で規格化する。その空間パターンについて、全モデル平均からの偏差を計算する。その後、熱帯（30S-30N）におけるモデル間のパターン相関で定義されるノルムに基づいてクラスター分析をおこない、3グループのクラスターに分ける。このようにして計算した各クラスターでのSST将来変化分布を図に示している。詳細についてはMizuta et al. (2014)を参照のこと。



本予測計算で設定した3つの海面水温変化パターン（単位：K）  
 左：SST1、中：SST2、右：SST3

## 積雲対流パラメタリゼーション

日本周辺の気候変動予測では、降水の将来予測に関する不確実性を評価することが特に重要と考えられます。この不確実性を表現するため、全球気候モデル（GCM）の予測計算では3種類の積雲対流パラメタリゼーション（Yoshimura (YS) スキーム、Kain-Fritsch (KF) スキーム、Arakawa-Schubert (AS) スキーム<sup>19</sup>）を用いて計算を行っています。

ただし、RCMにおいては、いずれの実験でも同一の対流スキーム（Kain-Fritschスキーム）を使用しています。KFは、日本周辺での各種気象現象に対する再現性の検証を通じて、一定の妥当性が担保されており、日本付近の積雲・対流活動を良く表現するスキームとして知られています。

## ■ 積雲対流パラメタリゼーションとは

積雲（晴れた日によく発生する綿のような形をした雲）は特に熱帯で顕著に発生・発達し、水蒸気を鉛直方向に輸送する過程で、水蒸気が凝結します。凝結した水蒸気は降水として落下するか、雲水として放出されます。結果として、積雲は大気中の熱源として大きな役割を果たし、ひいては大気大循環に大きな影響を与えています。

現在のモデルでは、非常に発達した積乱雲を局地モデルで表現可能であるケースを除けば、積雲を直接表現するだけの十分な分解能を持ちません。したがって、数値予報モデルの中における便宜上の取り扱いを行い、熱や水蒸気の鉛直方向の再分配を行う仕組みを導入しています。これが「積雲対流パラメタリゼーション」と呼ばれるものです。

出所：気象庁予報部 「平成24年度数値予報研修テキスト「数値予報の基礎知識と最新の数値予報システム」」を一部改編して引用

19----- それぞれのスキームについては、YS: Yoshimura et al.(2014), KS: Kain and Fritsch (1993), AS: Randall and Pan (1993)を参照のこと。



雄大積雲：入道雲ともいわれる。大気が不安定で、でき始めてから時間が経った積雲に見られることが多い。雲底から雲頂までの高さは、高度数千メートルから時には1万メートルにも達する。



塔状積雲：大気の状態が不安定なときに、上昇気流によって塔のように垂直に立ち上る。塔状積雲が現れると雨が降りだすことが多い。

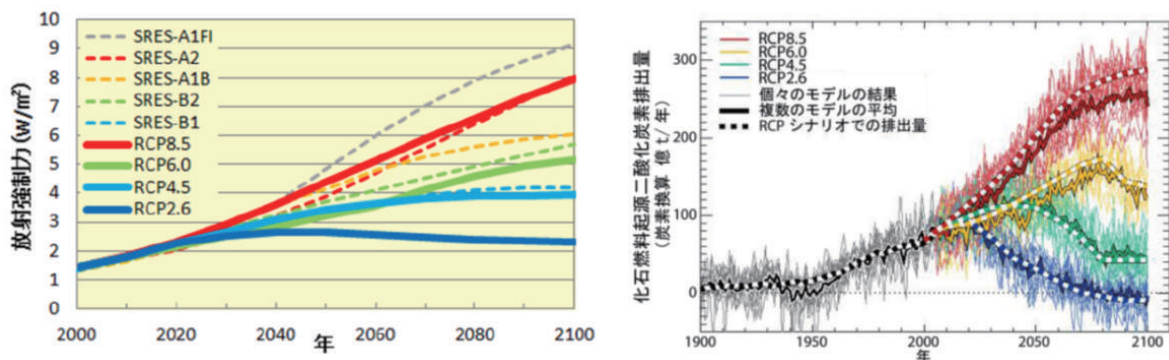
## ■ 予測のための将来シナリオの設定 (RCPシナリオ)

RCPシナリオとは、政策的な温室効果ガスの緩和（削減）策を前提として、将来の温室効果ガスが安定化する濃度レベルと、そこに至るまでの経路のうち代表的なもの（代表的濃度経路）を選び作成したシナリオのことです。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）では、第5次評価報告書（AR5）から、このシナリオ区分に基づいた気候の予測や影響評価が行われるようになりました。

従来のSRESシナリオ<sup>20</sup>に基づいた予測と違い、「目標主導型」の社会経済シナリオを複数作成して検討することが可能となります。

RCPに続く数値は、2100年における1750年に対するおおよその合計放射強制力（単位：W/m<sup>2</sup>）<sup>21</sup>を示し、その値が大きいくほど2100年における放射強制力（=温室効果ガス排出が多いシナリオである）ことを意味します。

出所：IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約を一部改編して引用



(左) RCPシナリオに基づく放射強制力（RCPシナリオで定める4つの放射強制力の経路を実線で示す。比較のためSRESシナリオに基づいて求めた放射強制力を破線で示す。）

(右) RCPシナリオに対応する化石燃料からの二酸化炭素排出量（地球システムモデルによる逆算の結果。細線：個々のモデルの結果、太線：複数のモデルの平均）

出所：文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省2013年9月27日報道発表資料をもとに作成

AR5によると、4つのRCPシナリオと、2081～2100年における世界平均気温の上昇量（1986～2005年比）の関係は以下のとおりです。その値が小さいほど、「厳しい温暖化対策を取った」シナリオである、ということもできます。

### 厳しい温暖化対策を取らなかった場合



RCP8.5: 平均3.7°C (2.6～4.8°C)

RCP6.0: 平均2.2°C (1.4～3.1°C)

RCP4.5: 平均1.8°C (1.1～2.6°C)

RCP2.6: 平均1.0°C (0.3～1.7°C)

### 厳しい温暖化対策を取った場合

なお、括弧内の幅はAR5のモデル計算結果から予測された「5～95%モデル範囲」です。これらの範囲はモデルにおける不確実性及び確信度のレベルの違いを考慮して計算されたものです。

出所：IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約

20---- SRESシナリオ：IPCC第3次評価報告書及び第4次評価報告書において用いられたシナリオで、様々な将来の社会的・経済的・技術的変化を想定し、それぞれの想定に応じた将来の温室効果ガス排出量を推計して作成されている。

21---- 放射強制力：ある因子が持つ、地球に出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力の尺度である。正の放射強制力には地表面を昇温させる傾向が、負の放射強制力には地表面を降温させる傾向がある。