

統合的気候モデル高度化研究プログラムについて

令和元年 8 月 5 日

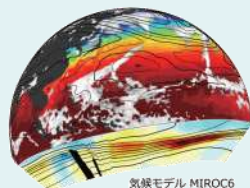
文部科学省研究開発局

環境エネルギー課

全ての気候変動対策の基盤となる気候モデルの開発（不確実性の低減）を通じ、**気候変動メカニズムを解明**するとともに、**気候変動予測情報を創出**。

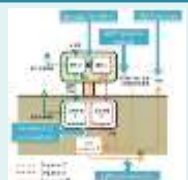
全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発

気候変動予測を可能とする「**全球気候モデル**」を構築し、他の研究・予測へと活用。



炭素循環・気候感度・ティッピング・エレメント等の解明

炭素・窒素の循環も含む「**地球システムモデル**」を構築。気候感度(*)やティッピングエレメント(**)等を解明。



統合的気候変動予測

日本周辺を中心とした「**地域気候モデル**」を構築し、適応策検討に活用できるように、高精度な予測情報を創出。



統合的ハザード予測

温暖化により激甚化が想定される高潮・洪水等のハザードの予測。



* 気候感度：大気中のCO2濃度が2倍になった時の気温上昇量。

** ティッピング・エレメント：気候変動があるレベルを超えたとき、気候システムにしばしば不可逆性を伴うような激変が生じる現象。

- 文部科学省の気候モデル研究事業で開発した、わが国独自の気候モデルは、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）において世界トップクラスの利用数であり、報告書作成に貢献。
- 創出された気候変動予測情報は、気候変動の影響評価の基盤として活用。

プログラム構造

統合的気候モデル高度化研究プログラム



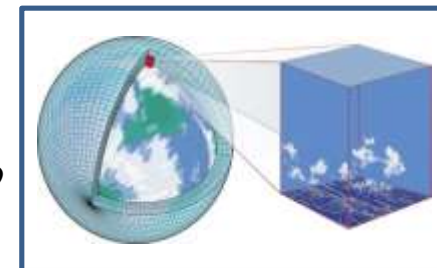
領域テーマA「全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発」

(代表：渡部雅浩(東大AORI))

東京大学を中心に、海洋研究開発機構、国立環境研究所が連携して、信頼性の高い全球規模の気候変動予測情報を生成するために、全球気候モデル(MIROC)及び全球雲解像大気モデル(NICAM)の開発を実施している。これらを通じて、気候変動メカニズムの解明や、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書(AR6)のベースとなる、第6次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)へ参加し、主導的役割を果たしている。

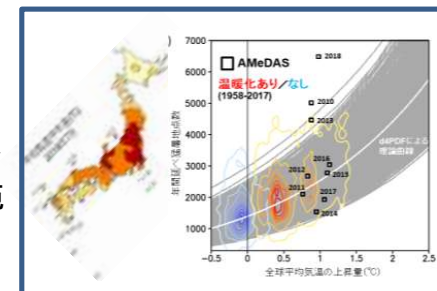
○全球気候モデルの開発

- ✓ 全球気候モデルにおける雲放射相互作用と降水プロセスの表現を改良
→雲・降水・放射の振る舞いが衛星観測データとより整合的になり、精度が高まった。
- ✓ 全球気候モデルの要素である次世代陸域サブモデル及び河川流下氾濫サブモデルを開発
→河川流下氾濫サブモデルは、世界最高の気象予報機関であるヨーロッパ中期予報センターの次期モデルへの採用も決まっており、世界的に高い評価を得ている。



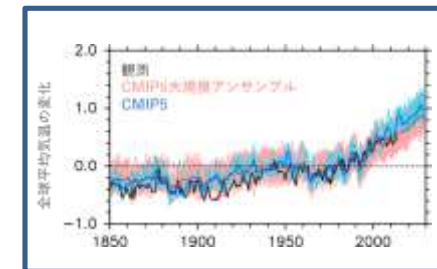
○気候変動メカニズムの解明

- ✓ 北極海氷の減少が北半球中高緯度に寒冬をもたらすプロセスを評価し、多くの気候モデルが系統的に海氷のインパクトを過小評価していることを解明
→世界初
- ✓ 領域テーマCと連携し、全球気候モデルと地域気候モデルの大規模アンサンブルシミュレーションデータを組み合わせた新しい解析手法により、工業化以降の1.5°C/2°C昇温時の日本の熱波地点数増加の定量評価推定を実施
→温暖化予測におけるビッグデータの重要性を世界に先駆けて示す研究成果



○IPCCへの貢献

- ✓ IPCC AR6の根拠となるCMIP6の中核実験を計画通り全て終了させた(2019年1月時点で41センター101モデルのうち公開されていたのは7つのみ)
→我が国の気候モデル実験成果を海外諸国が引用できる環境を構築
- ✓ 国際共同研究として、全球1.5/2°C気温上昇時の極端気象の確率評価を主導
→成果はIPCC 1.5°C特別報告書にも活用



今後も引き続き全球気候モデルの開発、創出されたシミュレーションデータの解析を通じた気候変動メカニズムの解明を進める。

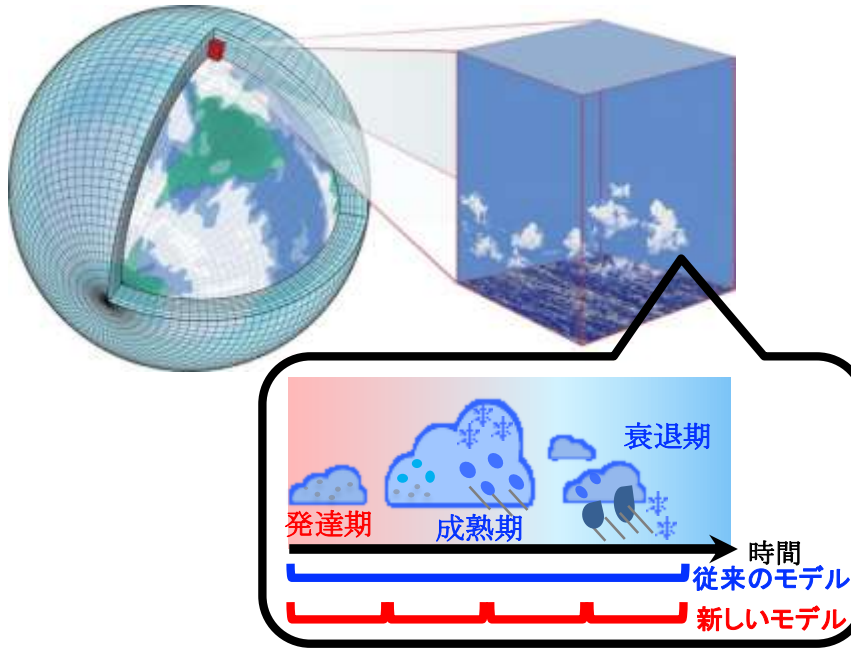
全球気候モデルの開発（領域テーマA）

予測型の降水・降雪スキーム*の開発を行い、全球気候モデルにおける雲放射相互作用と降水プロセスの表現を改良した。これにより、雲・降水・放射の振る舞いが衛星観測データとより整合的になった。また、同モデルの要素である次世代陸域サブモデル及び河川流下氾濫サブモデルを開発。河川流下氾濫サブモデルは、世界最高の気象予報機関であるヨーロッパ中期予報センターの次期モデルへの採用も決まっており、世界的に高い評価を得ている。

*マイクロな雲中の雨・雪粒子を予報することで、雲の一生を適切に表現できる計算手法。

雲・放射・降水プロセスなどの改良

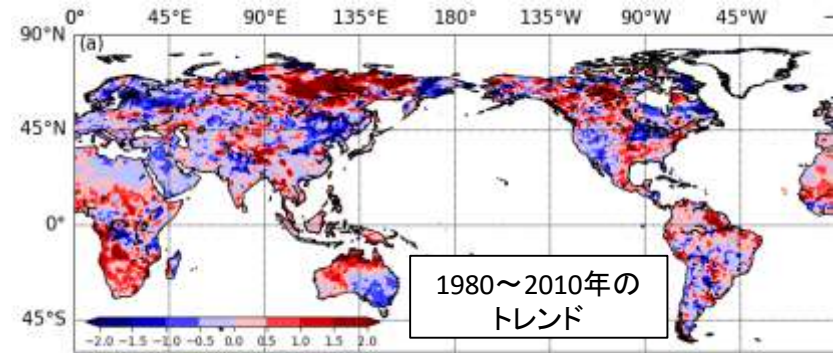
気候モデルの長年の課題：雲と降水



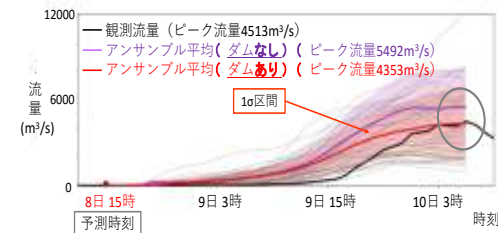
マイクロな雲中の雨・雪粒子を予報し、雲の一生を適切に表現することで、放射を通じて気候シミュレーションのマクロな特徴を改善、世界最先端レベルのモデルへ

次世代陸域サブモデル、河川氾濫サブモデルの開発

次世代陸域サブモデルで推定した過去30年間の陸水貯留量の変化



利根川流域での洪水予測の例



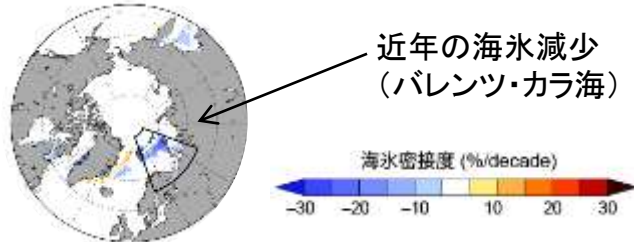
新しい河川氾濫サブモデル及び次世代陸域サブモデルの開発により、全球規模の土壌乾燥化の検出や、ダムモジュールの組み込みによる流域規模での洪水予測を可能

気候変動メカニズムの解明（領域テーマA）

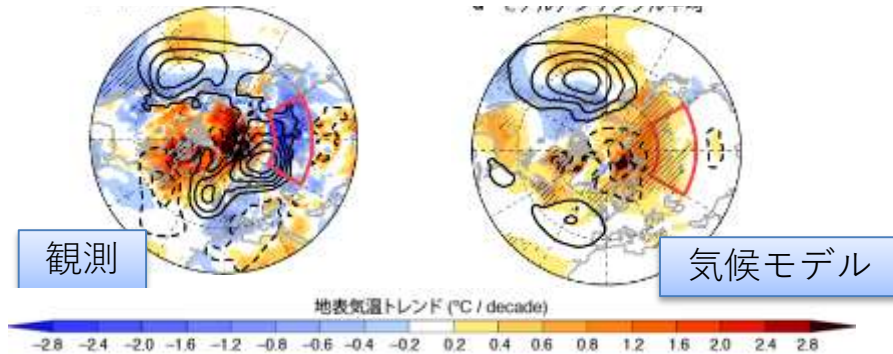
北極海氷の減少が北半球中高緯度に寒冬をもたらすプロセスを評価し、世界の気候モデルが系統的に海氷のインパクトを過小評価していることを世界で初めて明らかにした。また、領域テーマCと連携し、全球気候モデルと地域気候モデルの大規模アンサンブルシミュレーションデータを組み合わせた新しい解析手法により、国内で初めて、工業化以降の1.5°C/2°C昇温時の日本の熱波地点数増加の定量評価推定が行われた。

北極海氷減少の寒冬へのインパクト評価

観測された海氷密接度の変化率



海氷減少に伴う気温(陰影)と海面気圧(線)の変化傾向



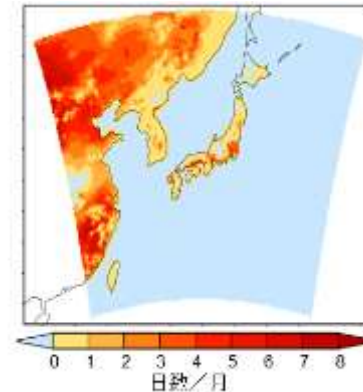
海氷減少が冬季中央ユーラシア(中緯度)の気温にもたらす影響を分析し、世界の気候モデルが海氷減少のインパクトを過小評価していることを解明

平成31年1月15日報道発表資料より

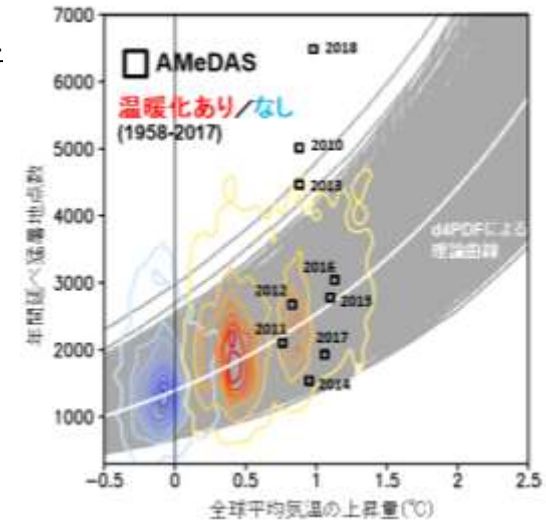
熱波増加に対する地球温暖化の寄与



温暖化による平成30年7月の猛暑日日数増加



温暖化に伴う日本の年間のべ猛暑地点数増加



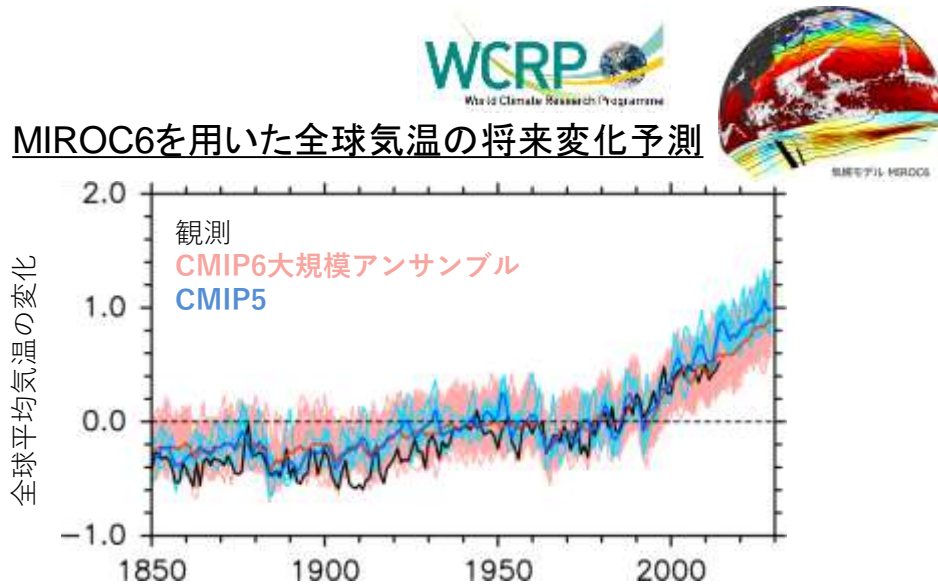
全球気候モデルと地域気候モデルの大規模アンサンブルシミュレーション(d4PDF)を組み合わせた新しい解析手法により、工業化以降の全球平均気温昇温が2°Cに抑えられたとしても、日本の猛暑日発生回数は現在の1.8倍になることを推定

令和元年5月21日報道発表資料より

IPCCへの貢献（領域テーマA）

IPCC AR6の根拠となるCMIP6の中核実験を計画通り全て終了させ、データ統合・解析システム(DIAS)を通じて、迅速に公開を開始した(2019年1月時点では101モデルのうち7つが公開)。これにより、我が国の気候モデル実験成果を海外諸国が引用できる環境を構築した。また、国際共同研究として、全球1.5/2°C気温上昇時の極端気象の確率評価を主導した。その成果はIPCCの1.5°C特別報告書に活用された。

CMIP6実験の推進(中核実験で得られた成果など)

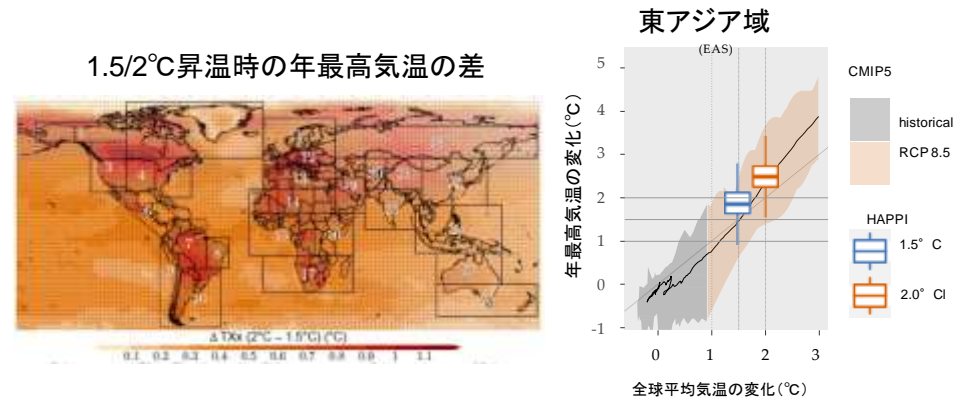


これまでのプログラムで開発された気候モデルの調整を行い、CMIP6中核実験を実施してデータを世界に先駆けて公開、気候研究における日本の存在感を提示した

CMIP5と比較すると、気候再現性が向上し、大規模アンサンブルによる不確実性評価も可能になった

IPCC 1.5°C特別報告書へ貢献する知見

HAPPI実験による1.5/2°C昇温時の極端事象の確率評価



IPCC SR1.5 chap. 3より抜粋

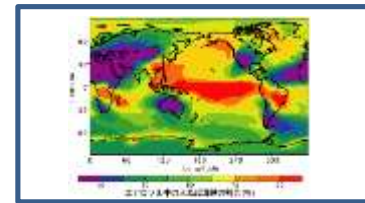
全球気温1.5°C、2°C昇温時の極端事象の確率評価のための国際共同研究HAPPIを主導。シミュレーションデータはIPCC 1.5°C特別報告書に広く活用された

領域テーマB「炭素循環・気候感度・ティッピング・エレメント等の解明」 (代表：河宮未知生(JAMSTEC))

海洋研究開発機構を中心に、電力中央研究所、高度情報科学技術研究機構、国立環境研究所が連携して、全球気候モデルに炭素循環・窒素循環や生態系変化等のプロセスを取り込んだ地球システムモデル(ESM)を用いてCMIP6実験に参加している。ESMの開発等を通じて、気候感度やティッピング・エレメント、地球システムと人間システムの相互作用等の気候変動対策に与える影響が大きい要素の解明を進めている。また、シンポジウム等の開催を通じて本プログラム全体の成果の発信を推進している。

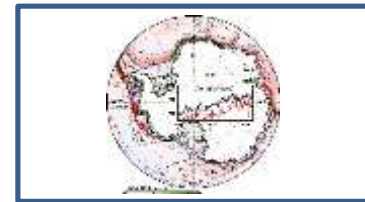
○CMIP6実験向け地球システムモデルの開発

- ✓ 窒素や鉄などの栄養分が生態系に取り込まれる過程等を取り入れ、CMIP6実験向け地球システムモデルの開発を完了し、CMIP6実験に参加
→燃料消費の際に放出される鉄分が海洋生態系にとって重要であることを示す成果が得られている。



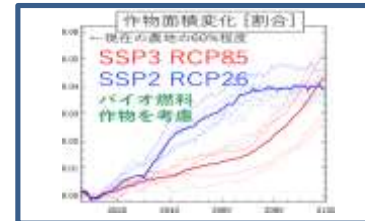
○ティッピング・エレメント

- ✓ 世界に先駆けて、全球気候と海面上昇に強い影響を与えうる、海洋上の南極氷床融解に着目した南極氷床末端の棚氷要素のモデリングを、南極海全域を対象に開発中
→南極海全域を対象にして氷床／棚氷を介したティッピング・エレメントを表現できる気候モデルは存在しない中、この開発により、南極棚氷の急激な融解が生じるタイミング、海面上昇評価等、将来予測に関する研究の進展が期待。



○地球—人間システム相互作用

- ✓ 自然環境と人間活動の相互作用を考慮した水資源・作物・土地利用モデルを開発
→気候変動と陸面過程に影響する灌漑などの人間活動との相互作用の分析が可能となり、渇水リスクの将来変化の解析を進めている。



○データ統合・解析システム(DIAS)と連携した予測データの配信

- ✓ CMIP6実験データや本プログラムで創出された予測情報などを、DIASを通じて国際信システムに提供
→国内外の研究者に展開するなど、気候変動に係る研究基盤の強化を推進

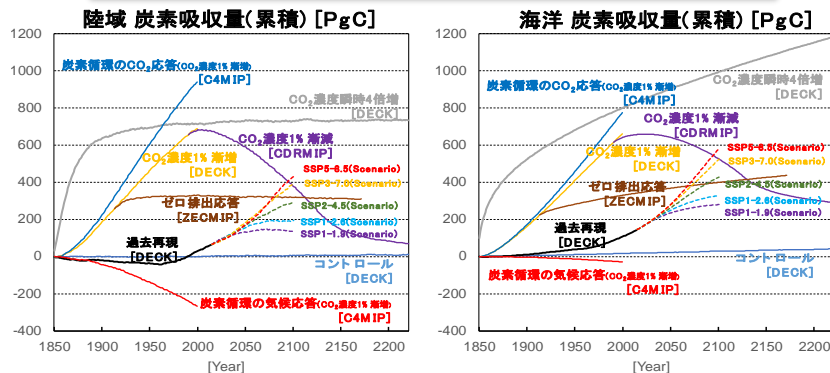


今後は、ティッピング・エレメント等の更なる解明を進め、気候変動と労働生産性等の相互作用をモデルに取り込むなど、地球—人間システム相互作用に関するモデル開発を行う。

CMIP6実験向け地球システムモデルの開発（領域テーマB）

窒素や鉄などの栄養分が生態系に取り込まれる過程等を取り入れた地球システムモデルの開発を完了し、CMIP6実験を進めている。本モデルは、河川やダストによる栄養塩輸送の効果などを取り込んだ点が海外研究機関のモデルと比較し特徴的であり、人間活動を含む陸域物質循環の海洋生態系への影響評価などが可能になっている。これまでに、燃料消費の際に放出される鉄分が海洋生態系にとって重要であることを示す成果などが得られている。

地球システムモデルを用いたCMIP6実験の一部

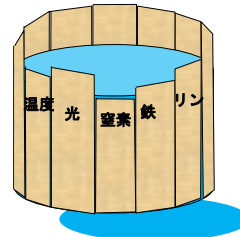


地球システムモデルによるCMIP6実験の一部結果(炭素循環)。CMIP6では最新将来シナリオ(図点線)を用いた将来予測や、気候安定化に至るまでの地球システムの振る舞いを調べる実験(CDRMIP:紫線やZECMIP:茶線)*といった新規実験を実施。
*CDRMIPとZECMIPは、それぞれ大気中のCO₂除去、人為CO₂排出の停止に伴って生じる地球環境の応答を調べる実験。

CMIP6実験向け地球システムモデルの開発完了

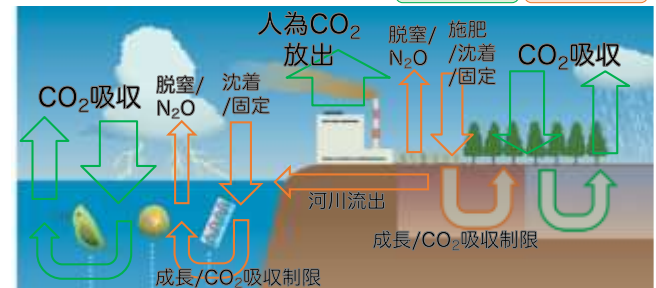
- 窒素が生態系に取り込まれる過程を考慮する／しないが、陸域(森林等)のCO₂吸収量などの変化を通じて炭素循環を変えるため、新たに地球システムモデルに窒素循環を導入
- 河川やダストによる栄養塩輸送を導入し、陸域からの物質輸送が海洋生態系に与える効果も導入 等

窒素循環導入の必要性

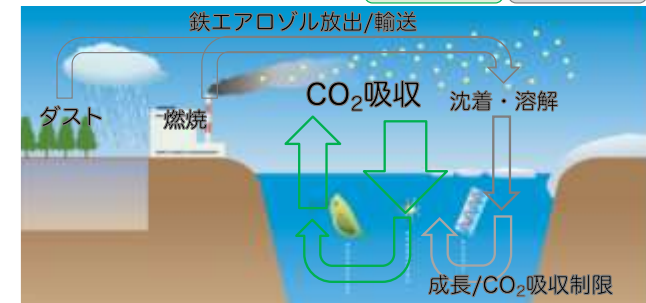


生物の生産(CO₂吸収)は、最小のものによって制限される

→ CO₂濃度の増加により、制限要因がCO₂濃度から土壌中の窒素量にシフト

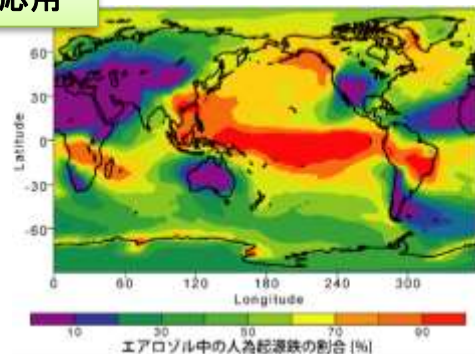


炭素循環 鉄循環



コンポーネントモデルの開発・応用

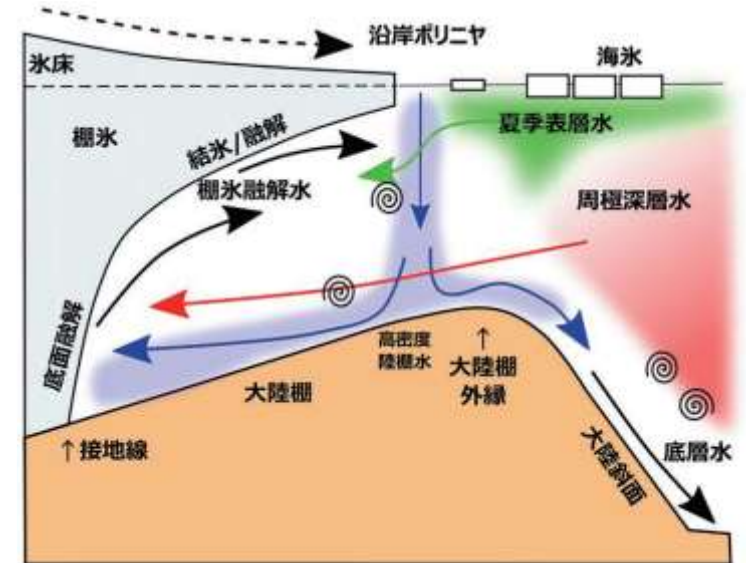
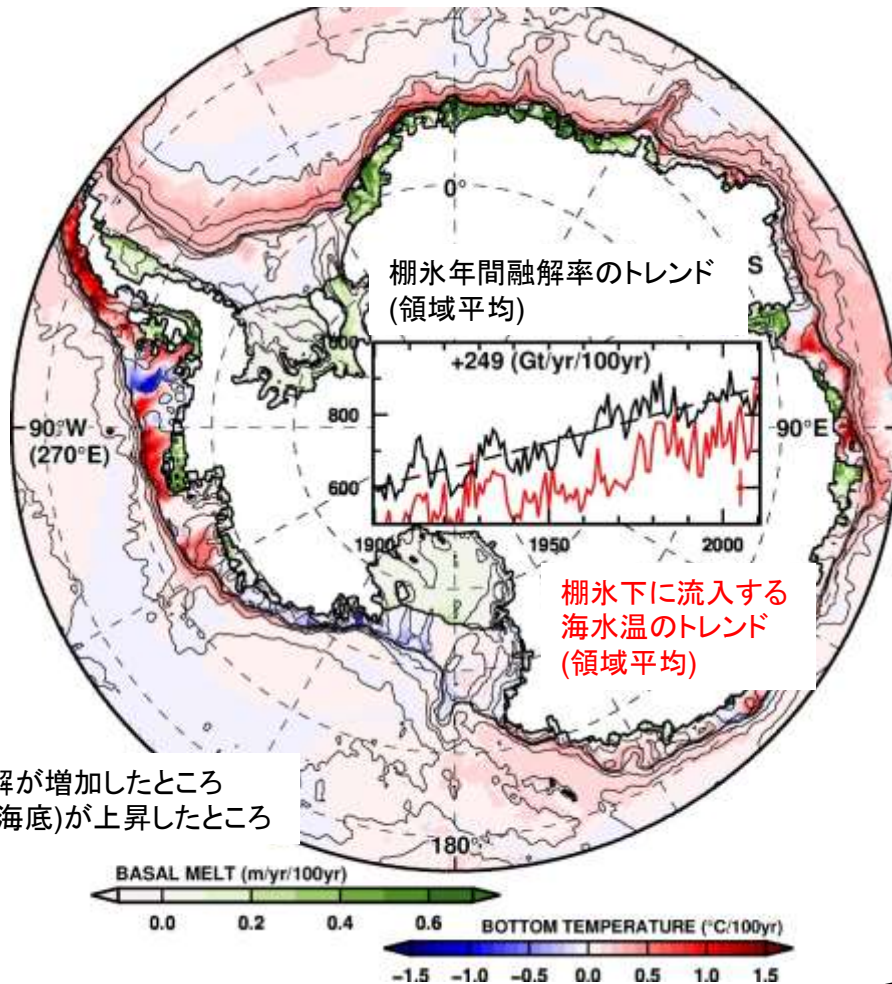
ダストによる輸送過程の改良などにより、燃料消費の際に放出される鉄分が海洋生態系にとって重要であることを示す成果が得られた(Ito et al., Science Advances, 2019)。



ティッピング・エレメント（領域テーマB）

世界に先駆けて、全球気候と海面上昇に強い影響を与えうる、海洋上の南極氷床融解に着目した南極氷床末端の棚氷要素のモデリングを、南極海全域を対象に開発している。南極海全域を対象にして氷床／棚氷を介したティッピング・エレメントを表現できる気候モデルは存在しないため、この開発により、南極棚氷の急激な融解が生じるタイミング、海面上昇評価等、将来予測に関する研究の進展が期待される。

棚氷要素を含む海水海洋モデルによる20世紀実験



棚氷融解の将来予測(シナリオ実験を用いて)

※2019年度実施予定

RCP8.5

RCP6.0

RCP4.5

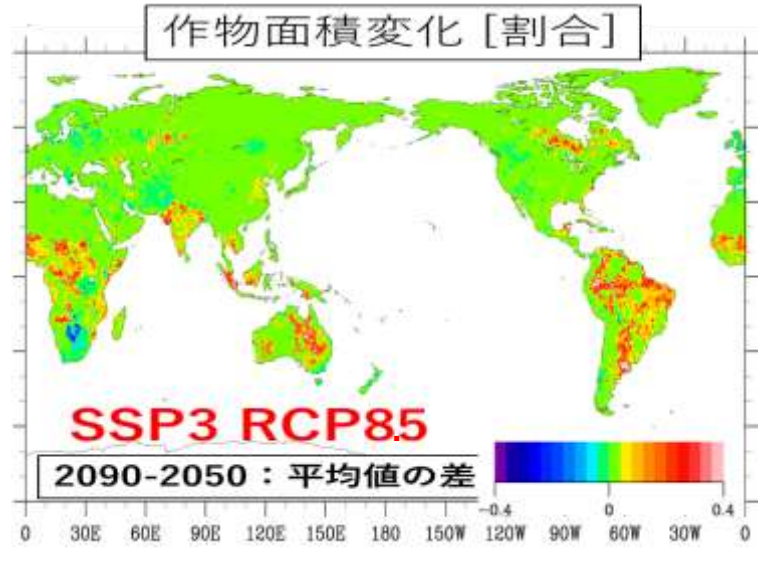
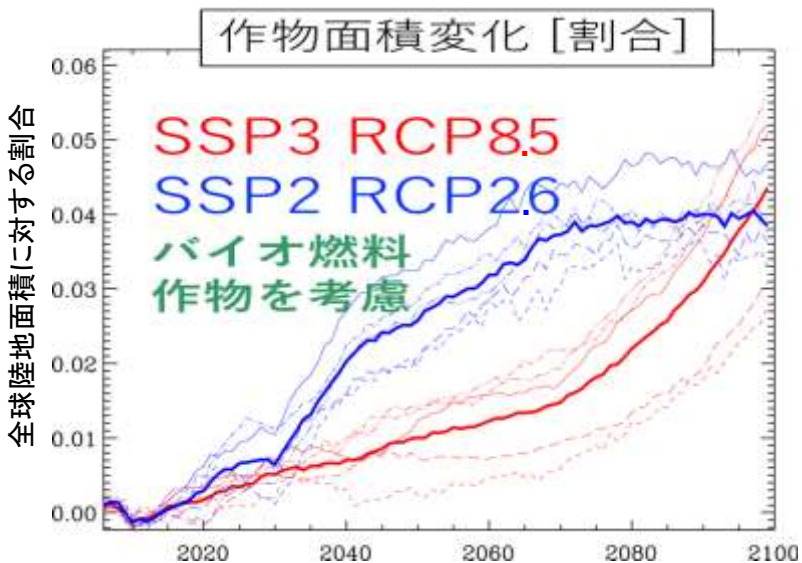
RCP2.6

暖かい水塊の流入はどう変化するのか？

氷床融解
海面上昇
深層水形成停止

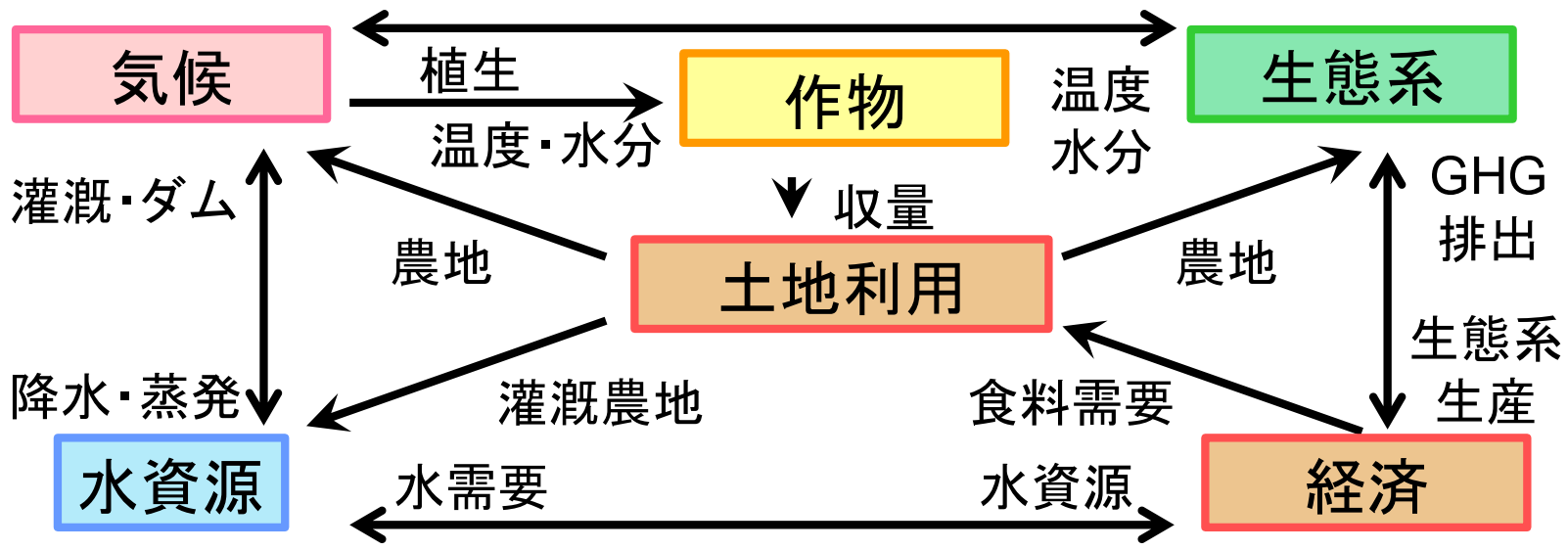
地球—人間システム相互作用（領域テーマB）

自然環境と人間活動の相互作用を考慮した水資源・作物・土地利用モデルを開発し、気候変動と陸面過程に影響する灌漑などの人間活動との相互作用の分析が可能となり、渇水リスクの将来変化の解析を進めている。



SSP3, RCP8.5
= 分断 + 温暖化
作物収量低下
食料農地拡大

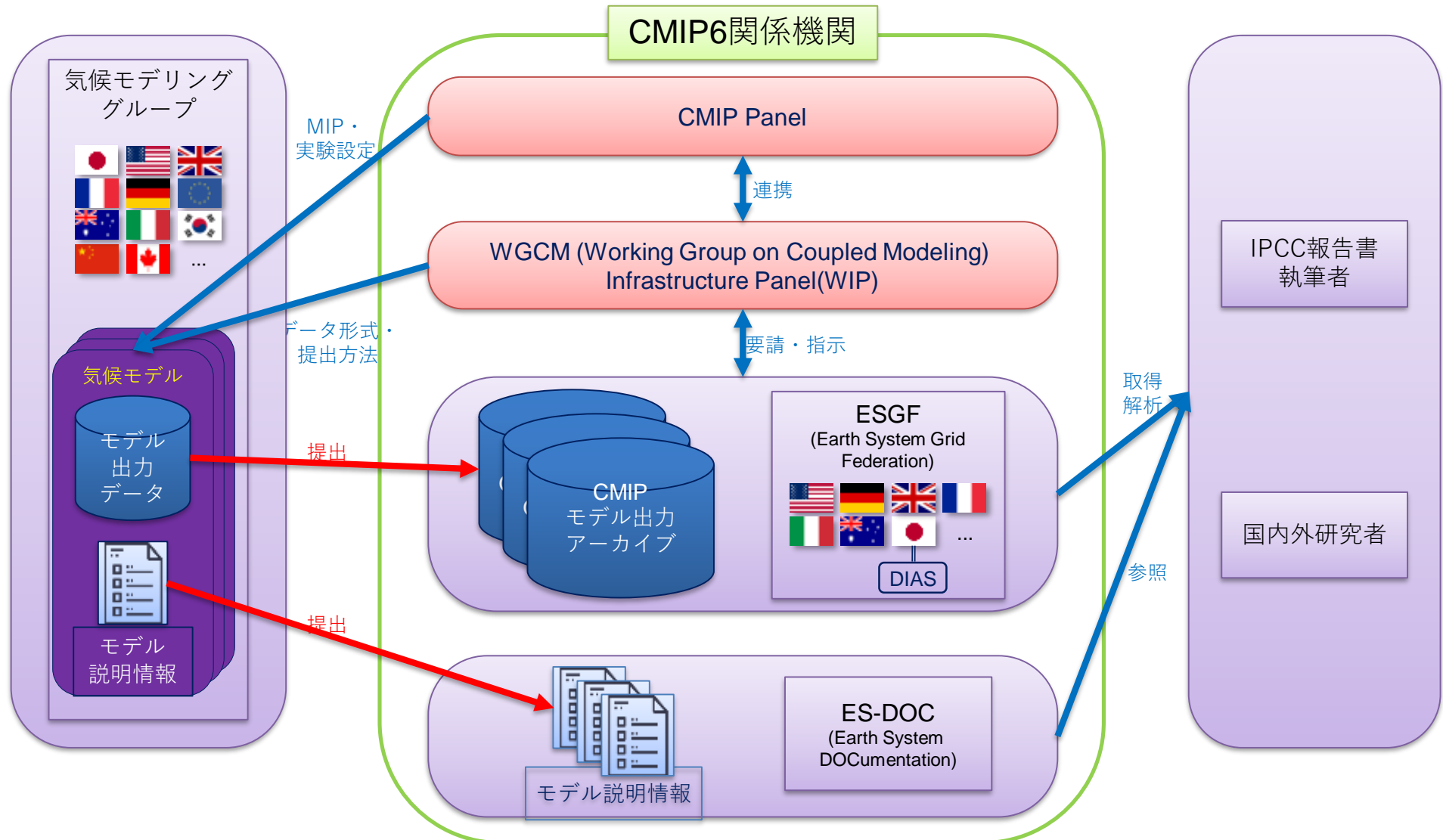
SSP2, RCP2.6
中庸 + 低炭素
温暖化対策
バイオ農地拡大



地球システム
(気候 + 生態系)
+ 人間活動
(作物 + 経済)
モデル結合により
相互作用を考慮

データ統合・解析システム（DIAS）と連携した予測データの配信（領域テーマB）

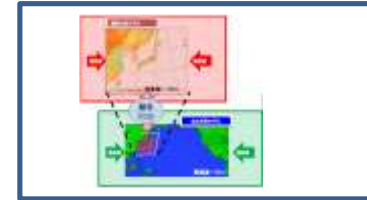
CMIP6実験データや本プログラムで創出された予測情報などを、DIASを通じて国際配信システムに提供し、国内外の研究者に展開するなど、気候変動に係る研究基盤の強化を推進している。



気象業務支援センターを中心に、名古屋大学が連携して、地域気候モデルを開発し、日本付近の詳細な気候予測データを創出するとともに、日本付近の気候変動メカニズム研究を進めている。また、国際貢献として、テーマDと連携して、東南アジア諸国との共同研究や、同地域における温暖化予測支援等を実施している。

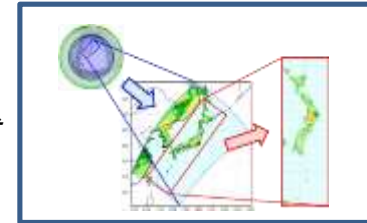
○地域気候モデルの開発

- ✓ 新たに大気・海洋相互作用を取り込んだ地域気候モデルの基本部分を開発
→海面水温分布の高解像度化とも相まって日本域の降水量や台風の再現性が上がる事が示されており、予測の不確実性の低減が期待される。



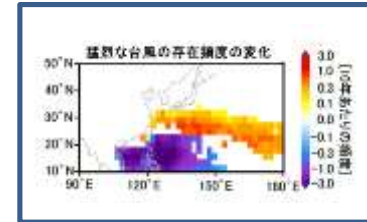
○日本付近の詳細な気候予測データの創出

- ✓ RCP2.6シナリオによる5km/2kmメッシュの詳細な予測データセットを創出し、各分野の影響評価等への活用に向けて、モデルの現在気候再現性評価等を実施中
→2kmメッシュの予測データ創出は世界的に見ても先駆けた試み。気候予測データは、文部科学省・気象庁が今後作成予定の気候変動レポート2020(仮称)において活用される見込み。



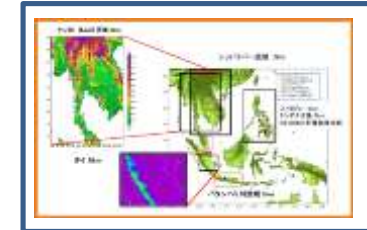
○台風・大雨のシミュレーション

- ✓ 大規模アンサンブルシミュレーションデータの解析により、温暖化が最悪のシナリオで進行した場合の21世紀末には、日本付近で猛烈な台風の出現頻度が増加する可能性が高いことを見出した。また温暖化がもたらす日本付近の強雨の増加の地域特性も示された。
→防災(洪水)や水資源管理など適応策を検討する上で重要な知見が得られている。治水対策への利活用が期待されている。



○東南アジア等への展開と国際貢献

- ✓ テーマDと連携して、東南アジア諸国との共同研究等を通じて、東南アジア等における気候変動予測シナリオを作成。また、東南アジア諸国の気候研究者を招聘するなどのキャパシティビルディングを実施するなどの国際貢献を進めている。
→トレーニングコースなどにより、東南アジア各国の温暖化対策へ使う道もでき始めている

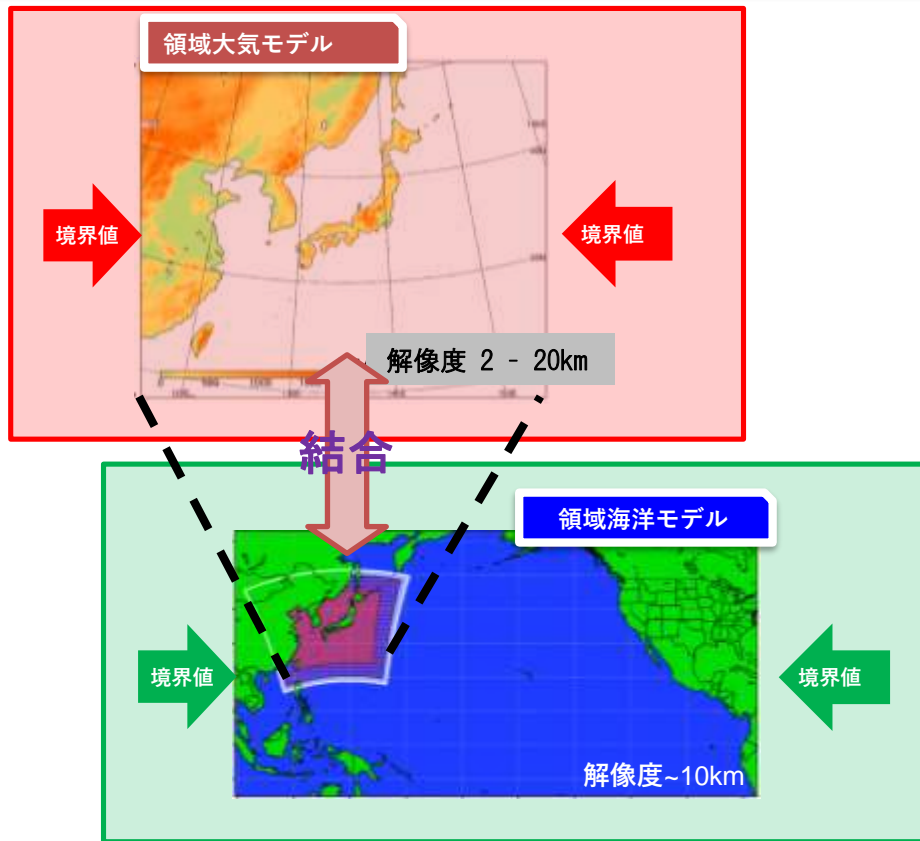


今後は、大気海洋結合作用を考慮した地域気候モデルの開発や台風シミュレーションにより温暖化気候による台風経路等の分析を進めるとともに、東南アジア等へのキャパシティビルディングを継続して進める。

領域気候モデルの開発（領域テーマC）

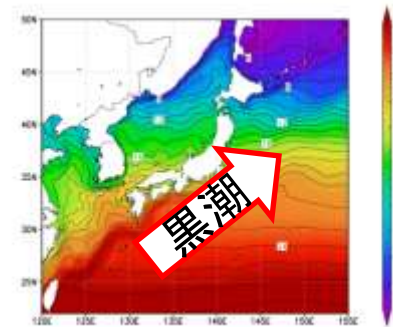
新たに領域大気モデルに領域海洋モデルを結合することで、大気・海洋相互作用の効果を取り込んでいる。その結果として、海面水温分布の高解像度化とも相まって、日本域の降水量や台風の再現性が上がることを示されており、このモデルを用いることにより予測の不確実性の低減が期待される。大気と海洋の結合による黒潮変動にもたらす影響も確認され、海洋の再現性を高めるための示唆を得ている。

大気海洋相互作用を取り込んだ領域気候モデルに向けて



高精度統合型モデルの概念図

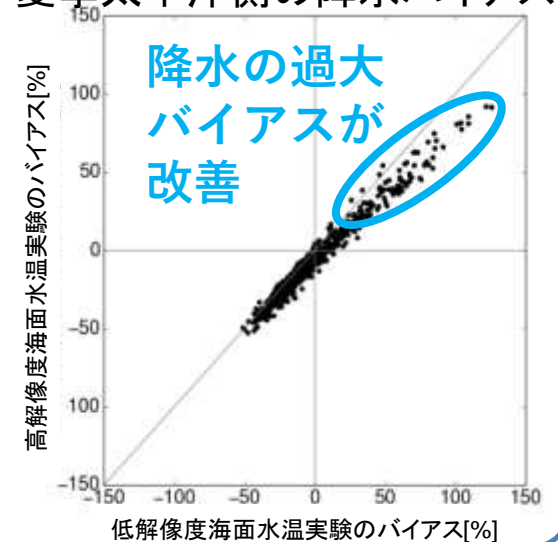
大気海洋結合により期待される改善効果例



結合モデルに用いる高解像度海洋モデルでは、黒潮など日本周辺の詳細な海洋の構造が表現できる

夏季太平洋側の降水バイアス

解像度の異なるモデルによって計算された海水温を用いたダウンスケーリング実験で、高解像度海水温を用いることで、夏季の太平洋側の降水バイアスが改善



日本付近の詳細な気候予測データの創出（領域テーマC）

RCP2.6シナリオによる5km/2kmメッシュの詳細な予測データセットを作成するとともに、各分野の影響評価等への活用に向けて、モデルの現在気候再現性評価等を進めている。2kmメッシュの予測データ創出は世界的に見ても先駆けた試みである。気候予測データは、文部科学省・気象庁が今後作成予定の気候変動レポート2020(仮称)において活用される見込みである。

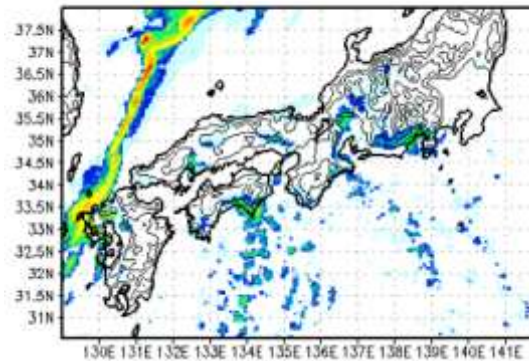
RCP2.6 気候予測データ創出

5km格子

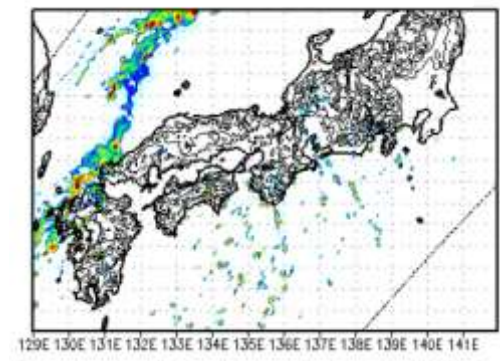
2km格子

高解像度実験 過去/21世紀末(RCP2.6)

5km格子



2km格子

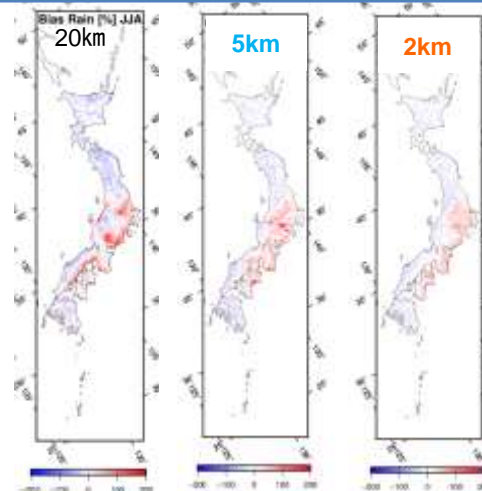


再現性の確認

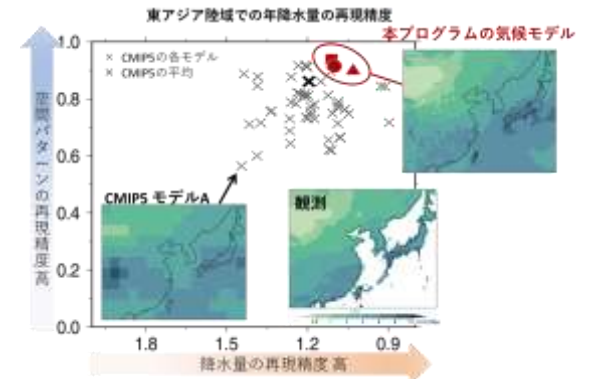
気候予測データセットの利活用を推進するためには、気候モデルの再現性の向上に加えて、他の気候モデルとの比較を通じたモデルの特性に関する情報を提示することが必要。

例：降水量

モデルの高解像度化によるバイアスの低減（陰影が薄いほどバイアスが小さい）



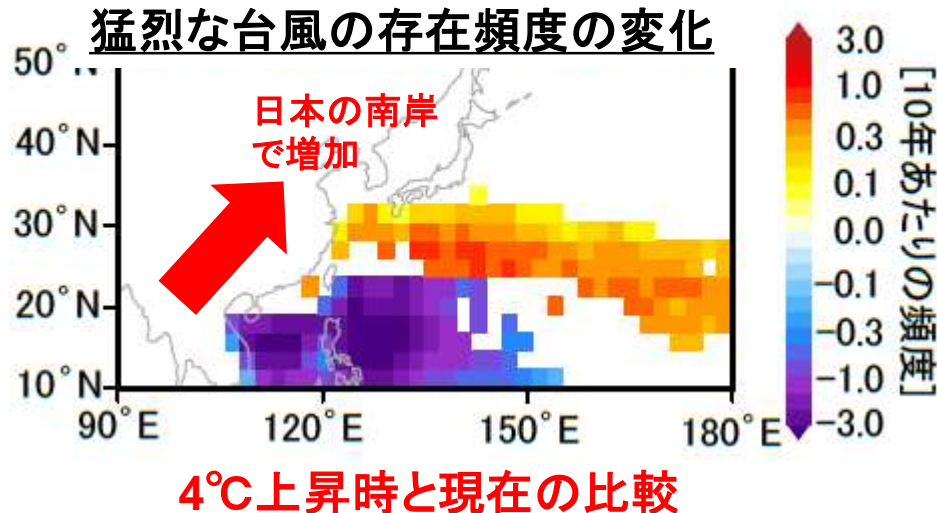
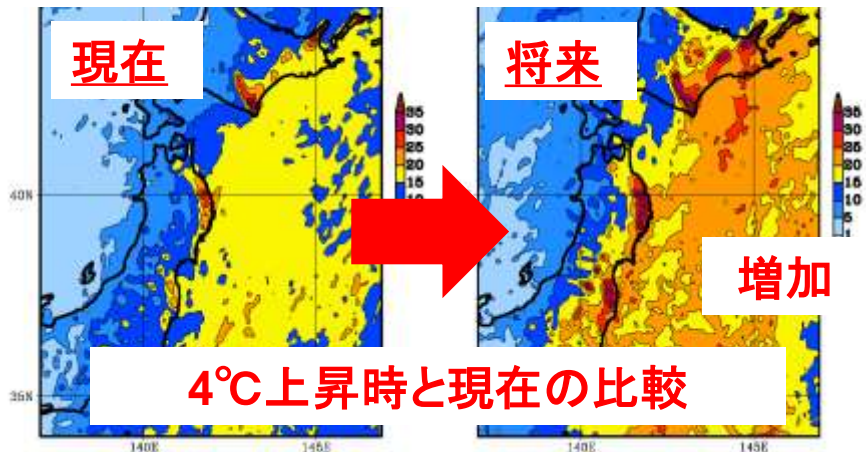
CMIP5参加モデルとの比較



台風・大雨のシミュレーション（領域テーマC）

大規模アンサンブルシミュレーションデータの解析により、温暖化が最悪のシナリオで進行した場合の21世紀末には、日本付近で猛烈な台風の出現頻度が増加する可能性が高いことを見出した。また、工業化以前と比べた現在の強雨の増加率は地域ごとに差が生じることも示した。これらは、防災や水資源管理などの適応策を検討する上で重要な知見である。

太平洋岸を北上する台風による平均1時間最大雨量

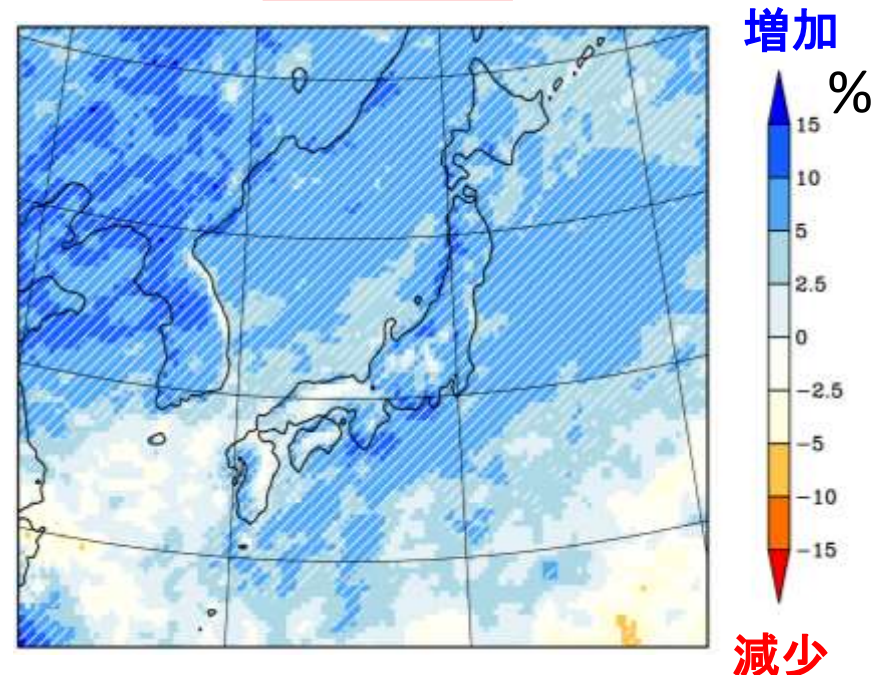


現在の大雨頻度の増加率の評価

現在と工業化以前の比較

7月最大日降水量の増加

→ 地域差がある

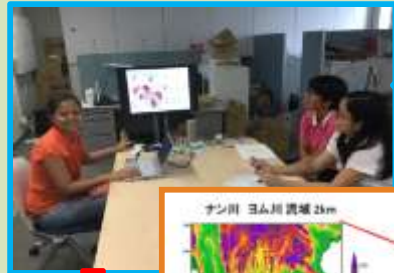


青色の場所では温暖化によって増加したとみられる
(白斜線の場合は統計的に有意な変化)

東南アジア等への展開と国際貢献（領域テーマC）

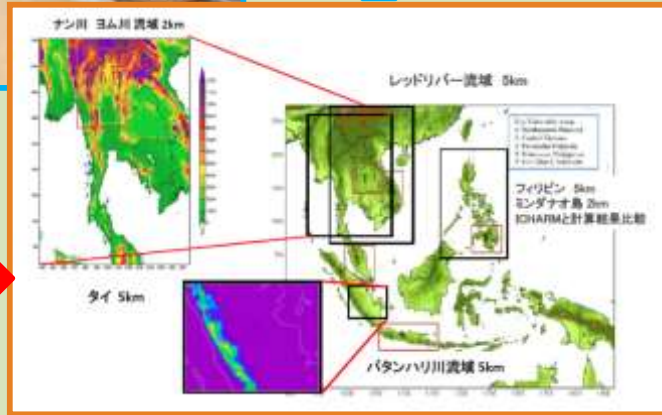
東南アジア諸国との共同研究等を通じて、東南アジア等における気候変動予測シナリオを作成している。また、東南アジア諸国の気候研究者を招聘するなどのキャパシティビルディングを実施するなどの国際貢献を進めている。トレーニングコースなどにより、東南アジア各国の温暖化対策へ使う道もでき始めている。

温暖化に対し脆弱な地域における気候変動予測



研究者招聘と
計算実施指導

計算
結果
集積



河川流量変動予測(D)
ベトナム(紅河・ソンコイ川)
インドネシア(バタンハリ川)

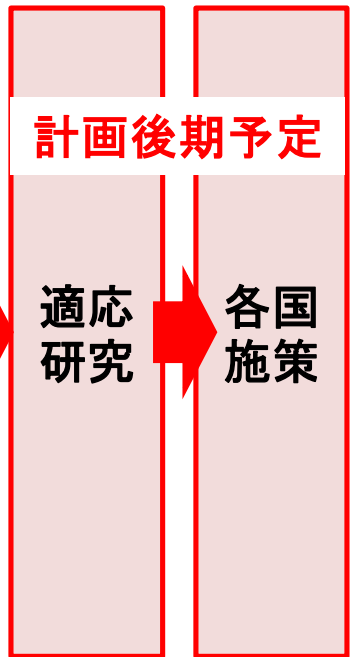
活用

タイでの
ワーク
ショップ

トレーニングコース

研究会

現地の水文研究者との協働
(C/D連携)



国際的なダウンスケーリング
実験プロジェクト



第1作業部会
第6次報告書

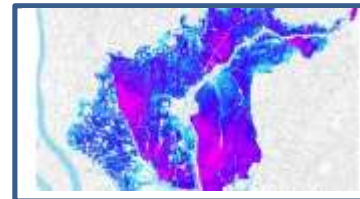


カントリーレポート

京都大学を中心に、名古屋工業大学、北海道大学、農業・食品産業技術総合研究機構及び土木研究所が連携して、台風、高潮等などによるハザードの将来変化や社会影響の分析を行い、適応策に必要なハザード予測情報を創出している。また、領域テーマCと共同して、アジア諸国等との連携研究を通じて、ハザード予測技術を海外に展開するなどの国際貢献をしている。

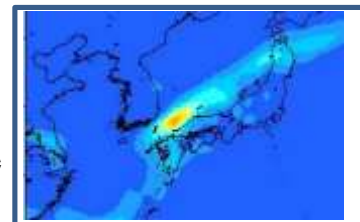
○ハザードモデルの開発・予測

- ✓ 日本全国の主要109水系を対象に、ダム貯水池による流水制御を考慮した洪水流出予測モデルの開発、三大都市圏を対象として内水氾濫と外水氾濫の両者を考慮した氾濫モデルの開発を実施中
→ アンサンブル数を飛躍的に増加させることで、極端ハザードについて確率評価が可能となっている点、また評価対象が全国展開しつつある点に大きな進捗



○過去ハザードのメカニズム解明

- ✓ 台風に加えて、豪雨や爆弾低気圧等も対象に、過去ハザードの発生要因分析、疑似温暖化実験を進めている。例えば、2016年夏に北日本に被害をもたらした連続台風を対象に、実際の気象場に温暖化した際に予測される差分を嵩上げた疑似温暖化実験を行い、被害の性質がどう変わるかとの視点から、強風の変化などを示した。
→ 身近な生活空間での危険度を把握し、風水害への備えを進める上で重要であり、国土強靱化政策等へ反映が可能



○社会課題解決への貢献

- ✓ 梅雨豪雨の将来変化予測等の研究成果が、国土交通省社会資本整備審議会河川分科会「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会」、国土交通省「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」の検討において活用されている。加えて、本テーマにより極端河川流量の確率分布の将来変化が我が国で初めて示され、その成果が上記国土交通省の検討会等につながっている。
→ 防災や水資源管理などの適応策を検討する上で重要な知見が得られている。



○東南アジア諸国への展開と国際貢献

- ✓ 領域テーマCにおいて作成される東南アジア諸国の詳細な予測データを活用し、タイ、ベトナム、インドネシア、フィリピン等の研究者との共同により、気候変動に伴うハザードの変化を評価。太平洋島嶼国への予測の展開
→ 気候変動に伴って、ベトナムのレッドリバーでの大幅な流量増加、太平洋島嶼国での高潮リスク増加等、適応策検討に有用な知見が創出



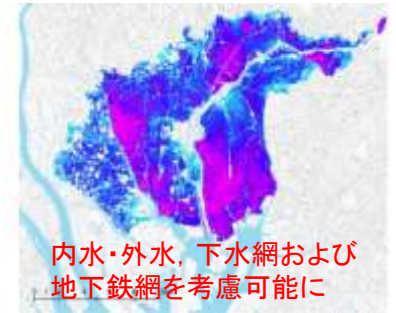
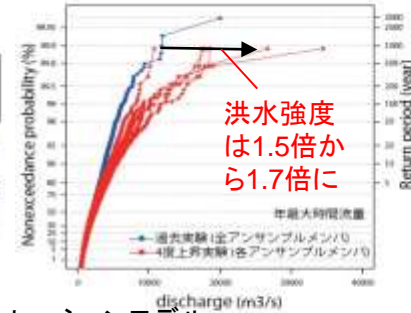
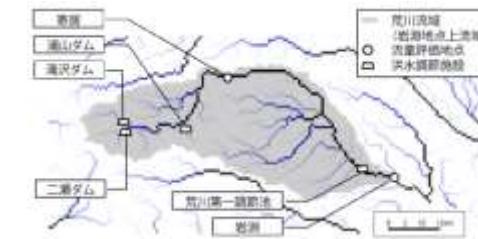
ハザードモデルの開発・予測（領域テーマD）

日本全国の主要109水系の河川を対象に、ダム貯水池による流水制御を考慮した洪水流出予測モデルの開発を進めている。また、三大都市圏を対象として内水氾濫と外水氾濫の両者を考慮した氾濫モデルの開発を進めている。アンサンブル数を飛躍的に増加させることで、極端ハザードについて確率評価が可能となっている点、また評価対象が全国展開しつつある点に大きな進捗がある。

河川ハザードモデルの開発・予測

大規模アンサンブルシミュレーションデータd4PDFを用いた河川流量極値の変化予測を荒川流域（東京）、庄内川流域（名古屋）、淀川（大阪）で実施した。三大都市圏の治水計画の目標流量である再現期間200年洪水強度は1.5倍から1.7倍に増加することを明らかにした。また、最大クラス（再現期間900年）の年最大流量およびそれによる洪水氾濫の広がり进行分析している。今後、洪水の確率評価を日本全国で実施するとともに、三大都市圏の内水外水の浸水予測を実施する。

流域を空間解像度1kmまで高解像度化



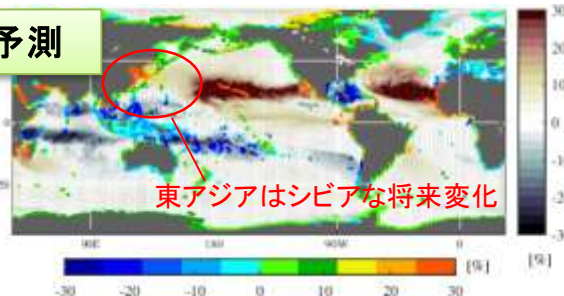
(左) 荒川流域の1km分解能洪水予測シミュレーションモデル

(右) d4PDF過去実験と4度上昇実験を用いた荒川流域の年最大時間流量の頻度分布の変化

d4PDFを用いた庄内川流域の最大クラス（再現期間900年）の浸水予測

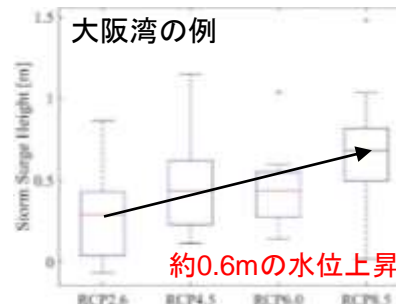
高潮・波浪ハザードモデルの開発・予測

d4PDFを用いた高潮・波浪の変化予測を全球、詳細モデルで3大湾で実施した。CMIP5の結果も活用し、可能最大台風強度から可能最大高潮水位を予測するモデル開発と予測を行った。RCP8.5の世紀末相当で海面上昇約0.8mに加えて約0.6mの高潮の水位上昇が新たに予測された。高解像度波浪モデルより、波高は最大10%減少、最大は数m増加する予測が得られた。今後、力学・統計モデルによる評価を日本全国で、三大都市圏では浸水予測を実施する予定である。

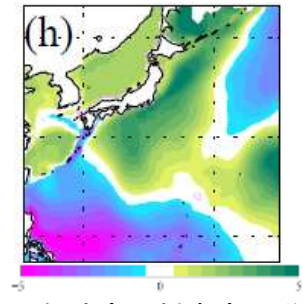


d4PDFによる1/100年確率の高潮（海岸線コンター）と海上風速（コンター）の将来変化: 単位%

大阪湾の例



3大湾の可能最大高潮の予測モデル開発とその予測結果

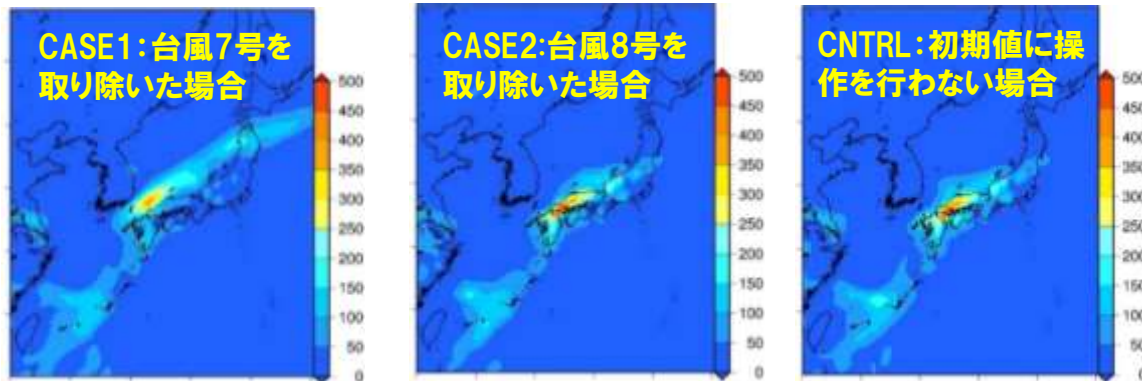


1/10年波高の将来変化: 単位 m (MRI-AGCM+波浪モデル)

過去ハザードのメカニズム解明（領域テーマD）

台風に加えて、豪雨や爆弾低気圧等も対象に、過去ハザードの発生要因分析を進めている。例えば、2016年夏に北日本に被害をもたらした連続台風を対象に、実際の気象場に温暖化した際に予測される差分を嵩上げた疑似温暖化実験を行い、被害の性質がどう変わるかとの視点から、強風の変化などを示した。こうした成果は、身近な生活空間での危険度を把握し、風水害への備えを進める上で重要であり、国土強靱化政策等への反映が可能となりつつある。

過去ハザード解析 平成30年7月豪雨に対する台風7号・8号の影響

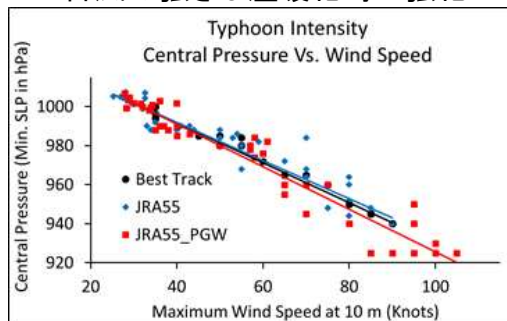


台風7号を取り除いた初期値で実験したところ、豪雨のピークは350mm程度まで弱まり、かつ、そのピークは日本海上へと移った。台風7号が、オホーツク海高気圧を強め、梅雨前線を強化する役割を果たしていた。一方で、台風8号は豪雨の形成に殆ど影響していなかった。

過去ハザード解析・疑似温暖化実験

疑似温暖化実験：過去の台風の周囲条件が仮に温暖化した気候の場合、その台風は温暖化条件でどう変化するか？の想定実験

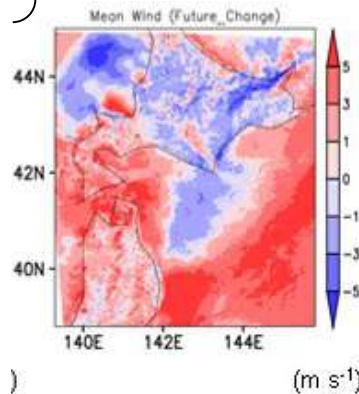
台風の強さは温暖化時に強化



赤：疑似温暖化 青：再現実験

2016年8月の台風を対象にした北日本での台風影響

温暖化時の風速変化
 (赤：強化 青：弱化)



道県別の雨量変化：温暖化時に雨量増加

赤：疑似温暖化 青：再現実験 黒：実測値



温暖化条件で、

- 最盛期の台風強度は強まる
- 風速は、東北地方では強化傾向、北海道では弱体化傾向
- 雨量は増加

社会課題解決への貢献（領域テーマD）

本テーマにおける梅雨豪雨の将来変化予測等の成果は、社会資本整備審議会河川分科会「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会」の検討において活用されている。加えて、本テーマにより極端河川流量の確率分布の将来変化が我が国で初めて示され、その成果が上記国土交通省の検討会等につながっている。また、関西国際空港「台風21号越波等検証委員会」等において、台風コース・中心気圧の情報や高潮・波浪ハザードモデルによる知見が活用されている。

■ 国土交通省社会資本整備審議会河川分科会「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会」、国土交通省「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」において、気候変動による「前線」の変化に関する分析に活用 ★本テーマの研究成果

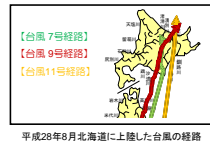
顕在化している気候変動の影響と今後の予測(現象の変化)

既に発生していること

今後、予測されること

台風

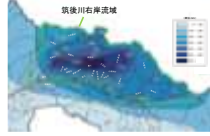
- ◆ 平成28年8月に、統計開始以来初めて、北海道へ3つの台風が上陸
- ◆ 平成25年11月に、中心気圧895hPa、最大瞬間風速90m/sのスーパー台風により、フィリピンで甚大な被害が発生



- ◆ 日本の南海上において、**猛烈な台風の出現頻度が増加**
- ◆ 台風の通過経路が**北上する**
- ◆ 台風が**大型化する**

局所豪雨

- ◆ 時間雨量50mmを超える短時間強雨の発生件数が約30年前の約1.4倍に増加
- ◆ 平成29年7月九州北部豪雨では、朝倉市から日田市北部において観測史上最大の雨量を記録



- ◆ 短時間豪雨の**発生回数と降水量がともに増加**

前線

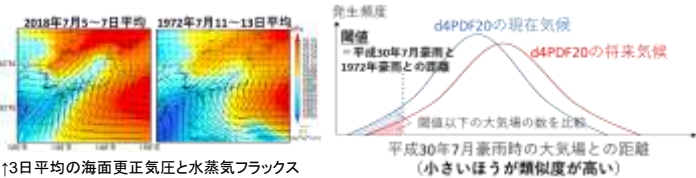
- ◆ 平成30年7月豪雨では、梅雨前線が停滞し、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨が発生
- ◆ 特に長時間の降水量について多くの観測地点で観測史上1位を更新



- ◆ 停滞する大気のパターンは、増加する兆候は見られない
- ◆ 流入水蒸気量の増加により、**総降雨量が増加**

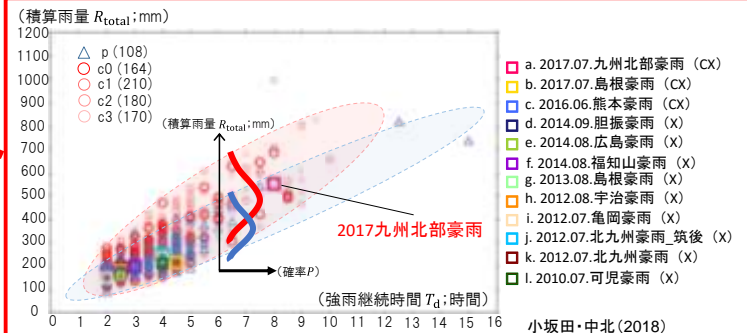
西日本豪雨発生時の大気場パターンの将来変化

- 西日本豪雨の大気場と類似度が高い(=距離が小さい)大気場の数を将来と現在で比較
- 西日本豪雨と同様に広域豪雨だった1972年豪雨の大気場との距離を閾値として閾値以下の大気場の数を比較



- 海面更正気圧のみの場合
将来：420回/5400年 = **約12.9年に1回**
現在：381回/3000年 = **約7.9年に1回**
- 海面更正気圧と水蒸気フラックスの場合
将来：35回/5400年 = **約154.3年に1回**
現在：107回/3000年 = **約28年に1回**

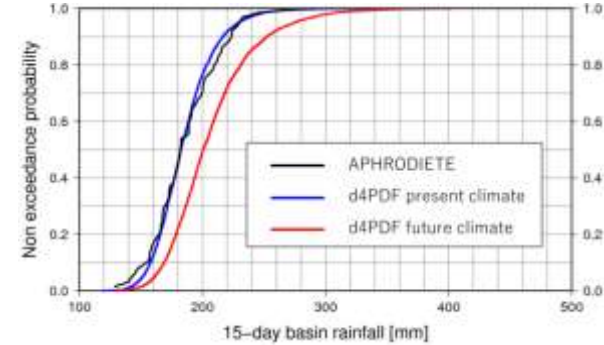
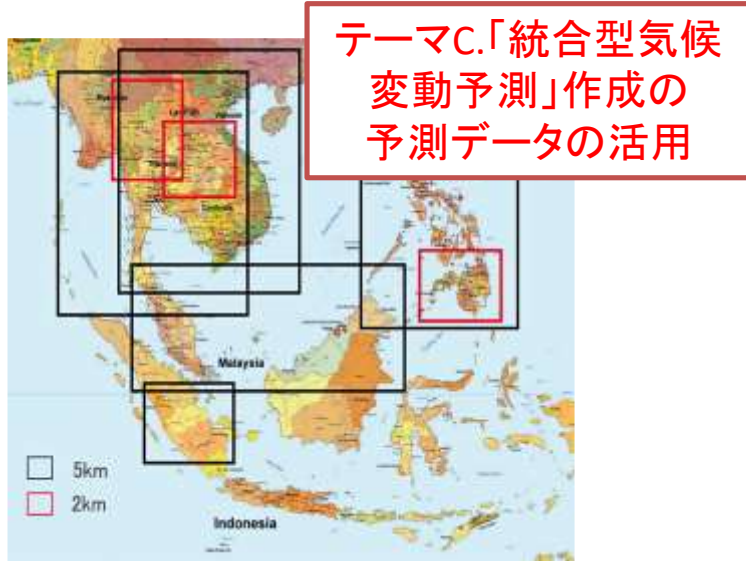
すなわち、西日本豪雨発生時の大気場は**将来では増加しない**傾向である。再現期間については、用いる指標などを今後より精査する必要がある。



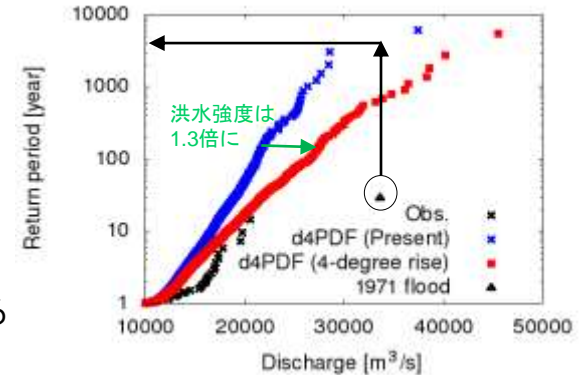
国土交通省社会資本整備審議会河川分科会
「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会」資料
「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」資料

東南アジア諸国への展開と国際貢献（領域テーマD）

領域テーマCにおいて作成される東南アジア諸国の詳細な予測データを活用し、タイ、ベトナム、インドネシア、フィリピン等の研究者との共同により、気候変動に伴うハザードの変化を評価している。気候変動に伴って、ベトナムのレッドリバーでの大幅な流量増加、太平洋島嶼国での高潮リスク増加等、適応策検討に有用な知見が創出されている。

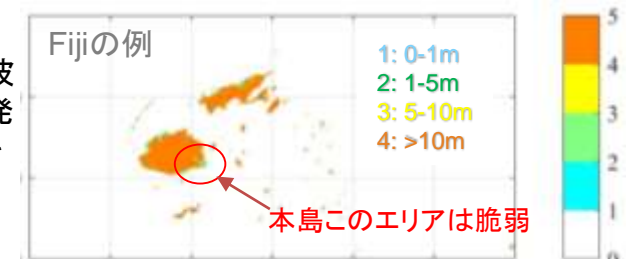


(左上、右上)大規模アンサンブルシミュレーションデータd4PDFをレッドリバー流域の年最大15日間雨量の頻度分布の将来変化予測。観測データと過去実験はよく一致し、4度上昇実験の降水量は増大する。
 (右)d4PDFを用いた年最大流量の頻度分布の将来変化。4度上昇実験では過去実験の1.3倍程度の増加となる。既往最大の1971年洪水は、再現期間が1000年を超える大洪水



- **インドシナ半島全域**を対象とする河川流量シミュレーションモデルの開発とハザード評価
- **チャオプラヤ川流域(タイ)**を対象とする水害ハザード評価(チュラロンコン大学)
- **バタンハリ川流域(インドネシア)**を対象とする水害ハザード評価(LIPI)
- **レッドリバー流域(ベトナム)**を対象とする水害ハザード評価(トイロイ大学)
- **太平洋島嶼国**の高潮・高波の長期ハザード変化予測 等

太平洋島嶼国の沿岸部の高潮・高波等に対する脆弱性評価モデルを開発し、カテゴリ毎の浸水脆弱性マップを作成



参考資料

世界経済フォーラム調べによる「影響が大きいグローバルリスク」(2019年1月)

➤ 「気候変動の緩和と適応の失敗」、「異常気象」、「自然災害」といった、気候変動の影響が懸念される環境関連のリスクが上位に。

	2015	2016	2017	2018	2019
1st	水危機	気候変動の緩和や適応への失敗	大量破壊兵器	大量破壊兵器	大量破壊兵器
2nd	感染症疾患の迅速かつ広範囲にわたる蔓延	大量破壊兵器	異常気象	異常気象	気候変動の緩和や適応への失敗
3rd	大量破壊兵器	水危機	水危機	自然災害	異常気象
4th	地域的影響を伴う国家間紛争	大規模な非自発的移住	巨大自然災害	気候変動の緩和や適応への失敗	水危機
5th	気候変動の緩和や適応への失敗	エネルギー価格の変動	気候変動の緩和や適応への失敗	水危機	自然災害

(出典) 世界経済フォーラム「第14回グローバルリスク報告書」(MARSH BROKER JAPAN, Inc) より文部科学省作成

「パリ協定」の発効

○世界共通の長期目標として、**2℃目標**（と1.5℃努力目標）に言及し、すべての国が当該目標を目指して温室効果ガスの削減に取り組むことなどに合意した、国際的な枠組み。2018年のCOP24において、パリ協定の実施指針が採択され、制度設計段階から実施段階へ。

● COP21（2015年11月30日～12月1日、於：フランス・パリ）において、「パリ協定」(Paris Agreement)が採択。

✓ 「京都議定書」に代わる、**2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組み**。

✓ 歴史上はじめて、**すべての国が参加する公平な合意**。

● 安倍総理が首脳会合に出席。

✓ **2020年に現状の1.3倍の約1.3兆円の途上国向け資金支援**を発表。

✓ 2020年に1000億ドルという目標の達成に貢献し、合意に向けた交渉を後押し。



● パリ協定には、以下の要素が盛り込まれた。

✓ 世界共通の**長期目標として2℃目標の設定**。1.5℃に抑える努力を追求することに言及。

✓ 主要排出国を含む**すべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新**。

✓ **すべての国が共通かつ柔軟な方法で実施状況を報告し、レビューを受けること**。

✓ **適応の長期目標の設定**、各国の**適応計画プロセスや行動の実施**、**適応報告書の提出と定期的更新**。

✓ **イノベーションの重要性**の位置付け。

✓ 5年ごとに**世界全体の実施状況を確認する仕組み**(グローバル・ストックテイク)。

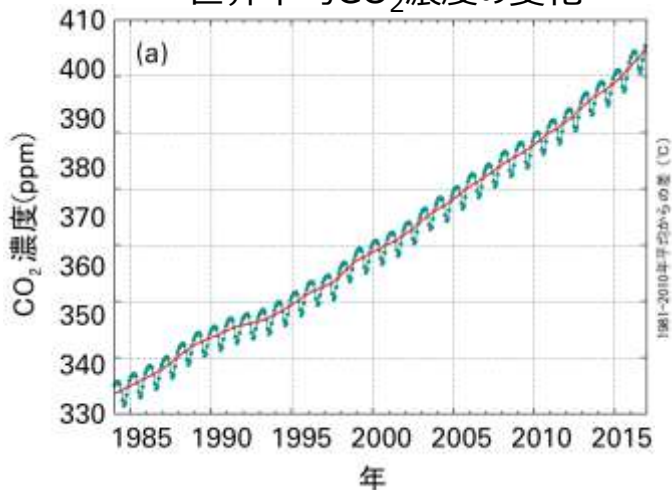
✓ 先進国が資金の提供を継続するだけでなく、**途上国も自主的に資金を提供**。

✓ 我が国提案の二国間クレジット制度(JCM)も含めた**市場メカニズムの活用**を位置付け。

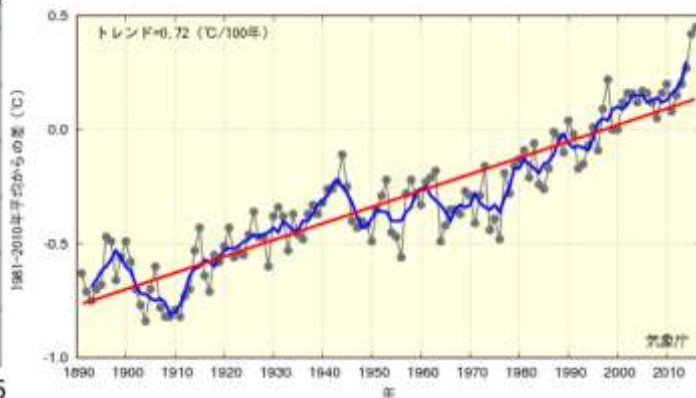
気候変動の実態と影響

- 二酸化炭素の濃度は年々増加。気温も年々上昇。大雨などの極端現象も増加傾向にある。
- 地球温暖化による気候変動の影響が各地の様々な分野で顕在化しつつある。

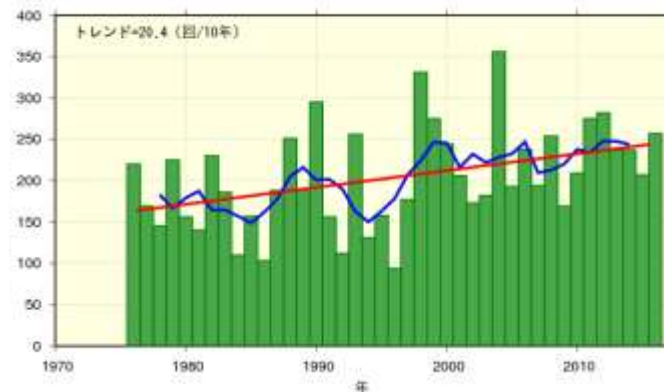
世界平均CO₂濃度の変化



世界の年平均気温の変化



日本の大雨 (1時間雨量50mm以上) 発生回数の変化



強い日射と高温による、ぶどうの着色不良、りんごの日焼け



高温条件下で発病する
イネ紋枯病の被害



健全株 発病株

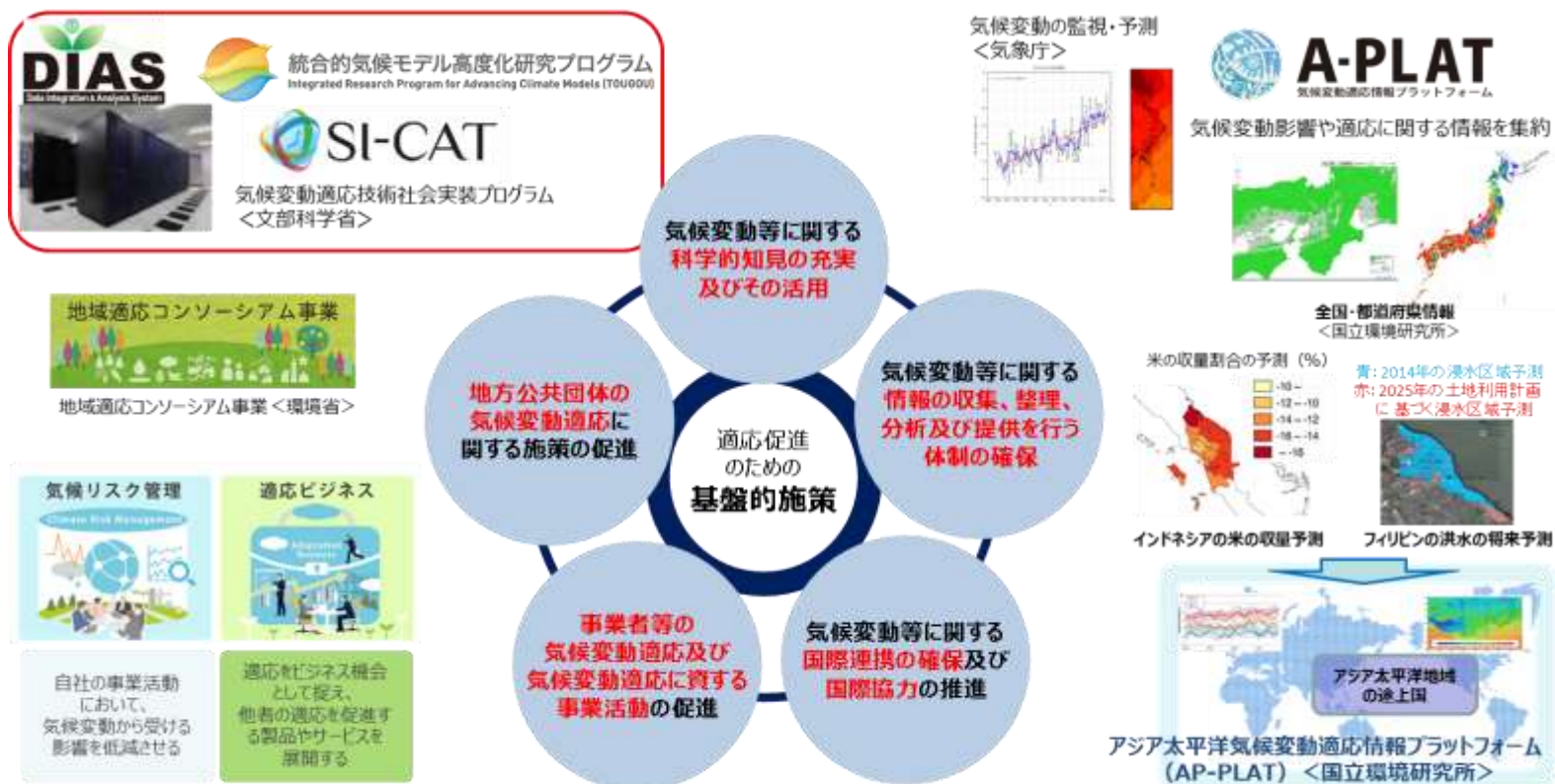
ライチョウ個体数減少予測



気候変動適応法と気候変動適応計画

- 「気候変動適応法」が2018年6月に成立、12月施行。
- 「適応法」では、地域での適応の強化、情報基盤の整備などが柱。
- ◆ **国の責務**：気候変動等に関する科学的知見の充実及びその活用、情報の収集・提供の体制確保等。
- ◆ **地方公共団体の責務**：地域気候変動適応計画の策定、適応に関する施策の推進等の努力目標。
- **気候変動影響評価**をおおむね5年ごとに行い、その結果等を勘案して計画を改定。
- 国は各分野の適応を推進する「気候変動適応計画」を2018年11月閣議決定。

【気候変動適応計画（基盤的施策）】



気候変動に関する懇談会（文部科学省研究開発局長・気象庁長官の共催）

- 気候変動に関する研究開発を実施する文部科学省と、定常的に気候変動に関する業務を実施する気象庁がより一層連携を深め、**気候変動に関する科学的知見の充実により、国内各地域における適応策の取り組み等を支援**するため、気候変動に関する懇談会を2018年6月より開催。
- 文部科学省及び気象庁は懇談会の助言を受けて、気候変動の影響評価・適応計画検討に資するために、気候予測データを整備し、**気候変動の実態と見通しの評価レポートを作成**し、2020年に政府として策定予定の影響評価報告書に反映。

気候変動に関する科学的知見の充実

気候変動に関する懇談会

（委員11名、会長：花輪 公雄 東北大名誉教授）

- ◆ 気候変動の実態と見通しに関する評価・分析
- ◆ 有効な情報提供・利活用に関する検討

気象庁

- ✓ 気候の観測・監視・予測
- ✓ 地方自治体等への情報提供、普及啓発

文部科学省

- ✓ JAXAによる衛星観測（いぶき2号等）やJAMSTECによる海洋観測
- ✓ 気候モデルの開発、気候変動メカニズムの解明、気候予測データの創出
- ✓ 地方自治体等の適応策策定への支援
- ✓ 地球環境ビッグデータを国内外へ発信する情報基盤（データ統合・解析システム）

今後の取組の方向性

気候変動の実態と見通しに関する見解

国民の行動や政策判断を行う裏づけとなるような見解をわかりやすい形で提供（直近では、気候変動評価レポート2020）

気候予測データセット及びその解説書

利用者のニーズに適した気候予測データセット及びその解説書を整備（直近では2022を目途）

気候予測データ、気候変動の実態と見通しの提供

気候変動の影響評価

適応法に基づき、おおむね5年ごとに気候変動の影響評価を実施。適応計画の見直しに活用。

気候変動適応策までの流れ

- 気候変動の実態の把握→気候モデルの開発と将来予測→各分野での影響評価・適応策検討。文部科学省は、気候変動適応計画に基づき、**気候変動等に関する科学的知見の充実等**の貢献。

気候変動研究

- 気候変動の実態の把握（観測）



宇宙からの観測



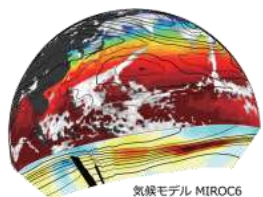
海洋観測



極域観測

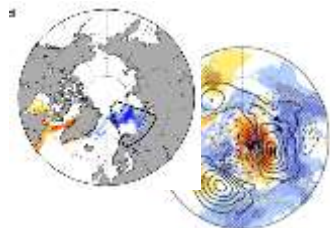
など

- 気候モデル開発、気候変動メカニズム解明、気候予測データ創出

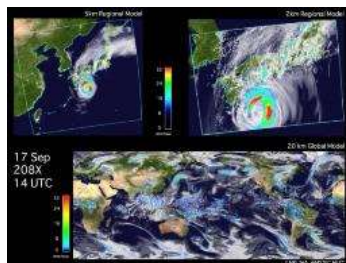


気候モデル MIROC6

気候モデルの開発



気候変動メカニズム解明（例：減りゆく海氷と大気の相互作用）



温暖化した世界及び日本周辺の予測

など

気候
予測
データ
提供

ニーズ

影響評価・適応策

例：水災害・水資源



都市浸水シミュレーション



ハザードマップ

タイムライン

など

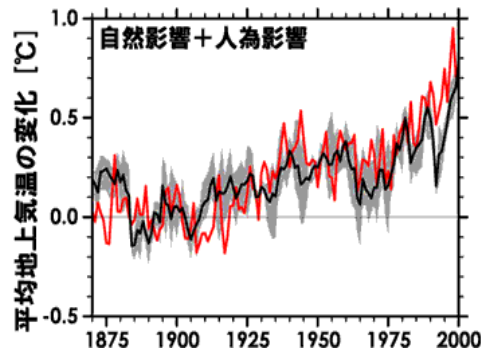
文部科学省における気候変動予測研究の変遷

【平成14年度～平成18年度】

人・自然・地球
共生プロジェクト

地球シミュレータによるモデル
開発と実験の初挑戦

ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料、防災の5分野において実施された新世紀重点研究創生プラン(RR2002)のうちの環境分野として、温暖化予測「日本モデル」ミッション及び水循環変動予測ミッションを実施、IPCC AR4へ貢献

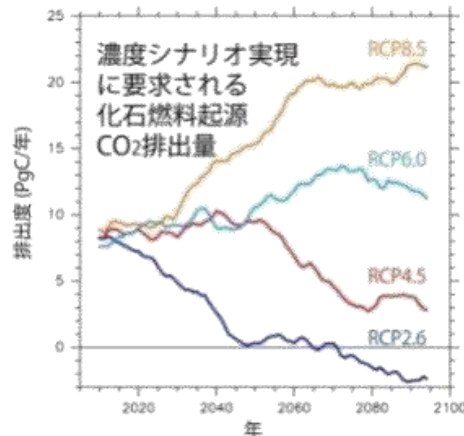


【平成19年度～平成23年度】

21世紀気候変動予測
革新プログラム

社会の必要に応える気候変動
予測の試み

「人・自然・地球共生プロジェクト」の成果を温暖化予測分野に重点化した形で発展的に継承し、高い精度・解像度を持つ温暖化予測情報を創出して政策検討、対策立案の場へ提供するため、研究開発を実施、IPCC AR5へ貢献

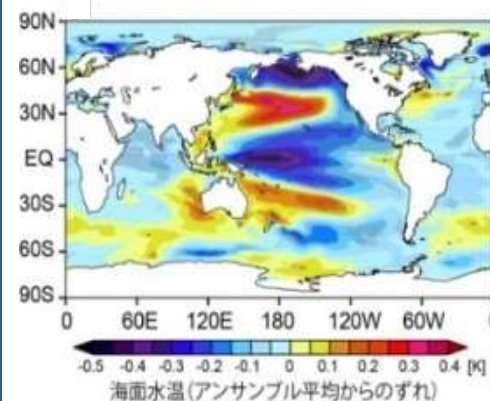


【平成24年度～平成28年度】

気候変動リスク情報
創生プログラム

気候モデルを活用した
リスク情報創出

革新プログラムによる気候変動予測研究の成果を受け、国際的枠組における気候変動対策の妥当な目標値設定等に資するよう、気候変動に関する予測・影響評価技術を高度化、気候変動リスクの基盤的情報創出のための研究開発を実施



【平成29年度～令和3年度】

統合的気候モデル高度化
研究プログラム

成果統合・高度化による
次世代研究

創生プログラムで成果を上げた独自の気候変動研究体制について、研究に対して統合的に取り組むよう設計段階で組み込みつつ、気候モデルの高度化という基盤の強化から気候変動予測研究を発展させながら、国内の気候変動対策への貢献と我が国のプレゼンス向上に挑戦、さらにIPCCAR6に対する貢献を目指す