

気候変動研究の今後の方向性について

令和3年6月29日

気候変動研究に関する検討会

目次

- 1 文部科学省における気候変動研究の変遷
- 2 統合的気候モデル高度化研究プログラム
- 3 気候変動適応策における気候変動研究の役割
- 4 気候変動を巡る国内外の主な動向等
 - ・国、地方自治体等における気候変動適応策への貢献
 - ・脱炭素社会に向けた取組への貢献
 - ・データ利活用
 - ・諸外国・国際機関の研究動向
- 5 検討会での主なご意見
- 6 関係省庁・民間企業からのニーズ
- 7 これまでの成果と新たな課題と主なニーズ
- 8 今後の気候変動研究の方向性

1. 文部科学省における気候変動研究の変遷

文部科学省では、これまで長年にわたり、気候変動研究に取り組み、気候モデルの開発等を通じて、気候変動メカニズムの解明、気候予測データの創出により、気候変動適応策や気候変動に関する政府間パネル（IPCC）等に貢献。

【平成14年度～平成18年度】

【平成19年度～平成23年度】

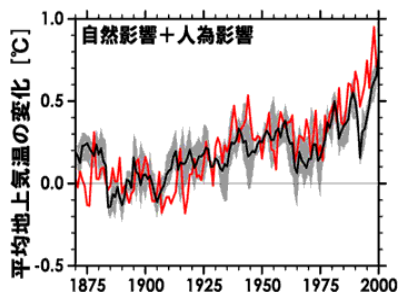
【平成24年度～平成28年度】

【平成29年度～令和3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

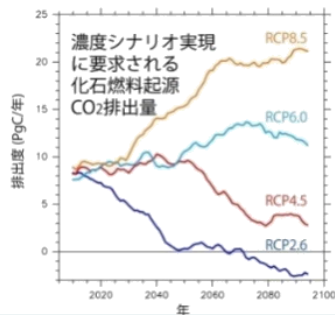
ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料、防災の5分野において実施された新世紀重点研究創生プラン（RR2002）のうちの環境分野として、温暖化予測「日本モデル」ミッション及び水循環変動予測ミッションを実施、IPCC AR4へ貢献



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

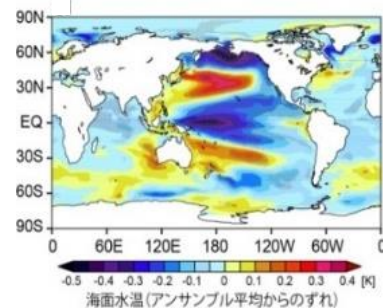
「人・自然・地球共生プロジェクト」の成果を温暖化予測分野に重点化した形で発展的に継承し、高い精度・解像度を持つ温暖化予測情報を創出して政策検討、対策立案の場へ提供するための研究開発を実施、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）※1 AR5へ貢献



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

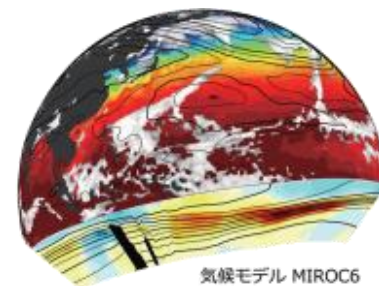
「21世紀気候変動予測革新プログラム」による気候変動予測研究の成果を受け、国際的枠組における気候変動対策の妥当な目標値設定等に資するよう、気候変動に関する予測・影響評価技術を高度化、気候変動リスクの基盤的情報創出のための研究開発を実施



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

「気候変動リスク情報創生プログラム」で成果を上げた独自の気候変動研究体制について、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ることで、国内の気候変動対策への貢献。



※1 国連気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change）の略。人為起源による気候変動、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画と世界気象機関により設立された組織

2. 統合的気候モデル高度化研究プログラム

全ての気候変動対策の基盤となる気候モデルの高度化（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。



※ 2 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。

※ 3 ティッピング・エレメント：ティッピングポイントの影響を受けやすい地球システムの構成要素。

ティッピングポイント：（相対的に）急激もしくは不可逆的なシステムの変化を引き起こす閾値。

- 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、関連研究での被引用数が世界トップクラスで、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書作成に貢献。
- 創出された気候変動予測情報は、気候変動の影響評価や適応策のエビデンスとして活用。

- 平成28年にパリ協定※4が発効。平成30年に気候変動適応法※5が施行。
 - ※4 世界平均気温の上昇を工業化以前と比較して2度より十分低く抑え、さらに1.5度未満に抑える努力を追求
 - ※5 気候変動適応：気候変動によって生じる新たな被害、大きな災害に備えるための対策
- 文部科学省及び気象庁は、平成30年から、気候変動に関する有識者会議「気候変動に関する懇談会」を設置。
- 令和2年12月に、最新の気候変動予測等の科学的知見をとりまとめた「日本の気候変動2020」を公表。

21世紀末の日本は、20世紀末と比べ...

年平均気温が約1.4°C/約4.5°C上昇



猛暑日や熱帯夜はますます増加し、冬日は減少する。

海面水温が約1.14°C/約3.58°C上昇



温まりやすい陸地に近いことや暖流の影響で、予測される上昇量は世界平均よりも大きい。

※黄色は2°C上昇シナリオ (RCP2.6)、
紫色は4°C上昇シナリオ (RCP8.5) による予測

降雪・積雪は減少

降雪量は、
約30% / 約70%減少
雪ではなく雨が降る。
ただし大雪のリスクが
低下するとは限らない。



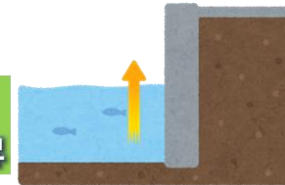
激しい雨が増える

日降水量の年最大値は
約12% (約15 mm) / 約27% (約33 mm) 増加
50 mm/h以上の雨の頻度は約1.6倍/約2.3倍に増加



強い台風の割合が増加
強度が最大となる緯度は北上
台風に伴う雨と風は強まる

沿岸の海面水位が
約0.39 m/約0.71 m上昇



3月のオホーツク海海氷面積は
約28%/約70%減少



【参考】4°C上昇シナリオ (RCP8.5) では、
21世紀半ばには夏季に北極海の海水が
完全に融解すると予測されている。

日本南方や沖縄周辺において
海洋酸性化が進行

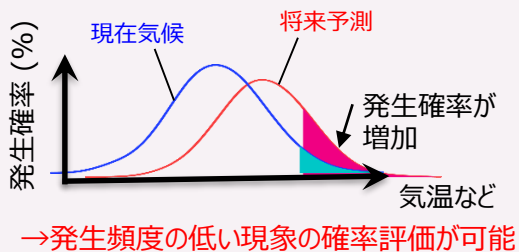
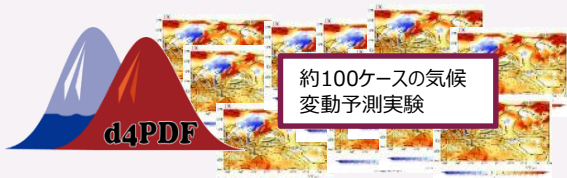


統合的気候モデル高度化研究プログラムの成果例②

気候変動予測データセットの作成による適応策への貢献

- これまで不可能とされてきた異常気象の将来変化の確率的評価が可能になった。(約100ケースの気候変動シミュレーションd4PDF)
- 国土交通省の「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言」(令和元年10月)、「気候変動を踏まえた下水道による都市浸水対策の推進について 提言」(令和2年6月)、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方」(令和2年7月)では、d4PDFを基にした将来予測を気候変動を踏まえた対策を進めることが示された。

世界に類のない大規模(約2PB)アンサンブルデータベース d4PDF

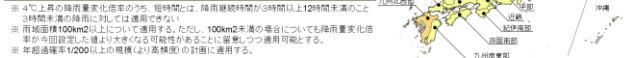


気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 改訂版【概要】 ＜気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化＞

- 降雨特性が類似している地域区分ごとに将来の降雨量変化倍率を計算し、将来の海面水温分布の幅や平均値等の評価を行った上で、降雨量変化倍率を設定。
- 2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道で1.15倍、その他(沖縄含む)地域で1.1倍、
- 4℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道・九州北西部で1.4倍、その他(沖縄含む)地域で1.2倍とする。
- 4℃上昇時には小流域・短時間降雨で影響が大きいため、別途降雨量変化倍率を設定する。

＜地域区分毎の降雨量変化倍率＞

地域区分	2℃上昇	4℃上昇	短時間
北海道北部、北海道南部	1.15	1.4	1.5
九州北西部	1.1	1.4	1.5
その他(沖縄含む)地域	1.1	1.2	1.3



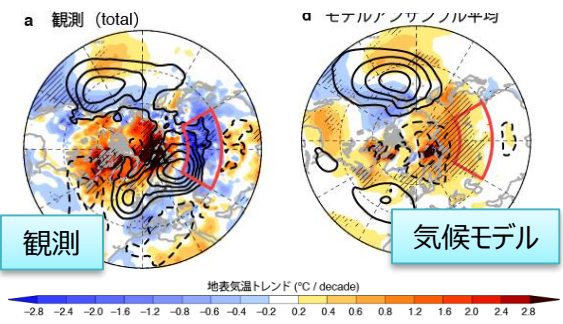
＜参考＞降雨量変化倍率をもとに算出した、流量変化倍率と洪水発生頻度の変化の一級水系における全国平均値

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
2℃上昇時	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
4℃上昇時	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

令和3年4月
国土交通省 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言【概要】より

地球温暖化による 海水減少の影響評価

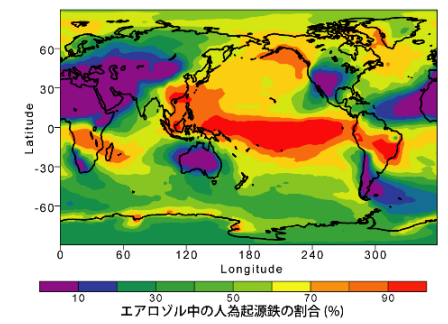
地球温暖化が、北極海の海水減少を介して、冬季ユーラシア大陸中緯度の寒冷化をもたらすことを示した。(Nature Climate Changeに掲載)



エアロゾル(鉄分)による 海洋生態系への影響把握

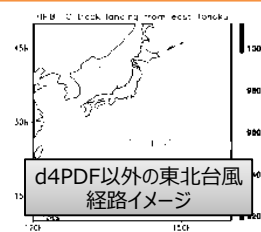
全球大気モデルを使用したシミュレーションにより、燃料消費の際に放出される鉄分は、海水に溶けやすく海洋生態系にとって重要であることを示した。(Science Advances【2019】に掲載)

燃料消費の際に放出された鉄

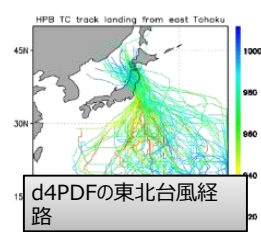


d4PDFの特徴の例

例えば、観測史上初めて東北太平洋側に上陸した平成28年台風第10号について



一般的な気候変動予測データセットではそのような台風はゼロ又は1つ程度
⇒全く検証できない



d4PDFなら東北台風は102も存在する
⇒防災の検討における確率評価に十分活用できる

統合的気候モデル高度化研究プログラムの成果例③

気候変動影響評価での活用例

気候変動適応法に基づく気候変動影響評価報告書（令和2年12月 環境省）において、気候モデルを活用した収量評価を活用。

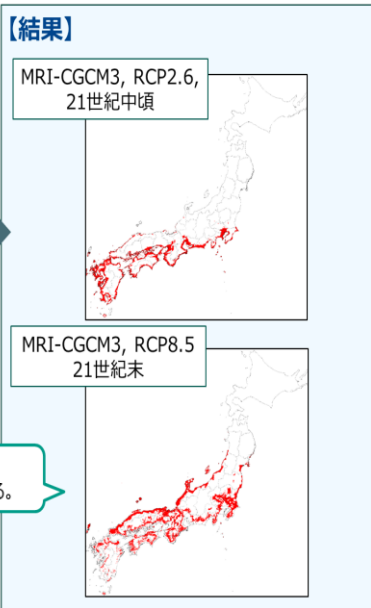
<温州ミカンの適地に関する影響評価の例>

項目	
気候シナリオ名	農環研データセット by SI-CAT
気候モデル	MRI-CGCM3 など
気候パラメータ	日平均気温、日最低気温
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	21世紀中頃、21世紀末
解像度	1×1km

※気温のみに基づく予測結果であるため、成果を活用する際は日照や土壌条件等に留意する必要がある。

21世紀中頃には日本海側に適地が現れる。
21世紀末では、現在の産地よりも内陸部や北部が適地となる。

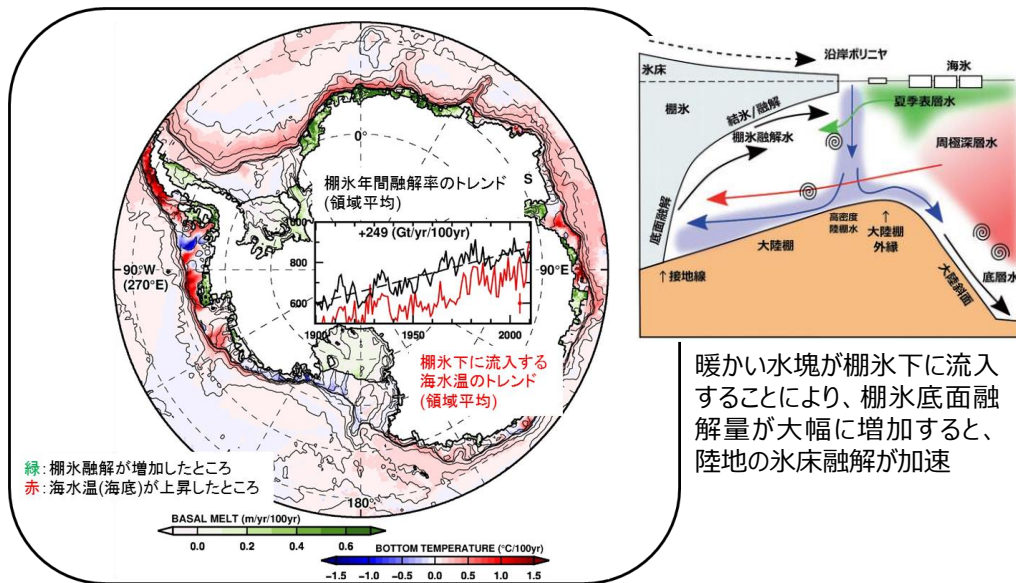
適応策へ
・より温暖な環境に耐えうる品種への変更など



ティッピング・エレメントの理解につながる南極氷床モデリングの開発（世界初）

全球気候と海面上昇に強い影響を与える、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、世界に先駆けて開発。

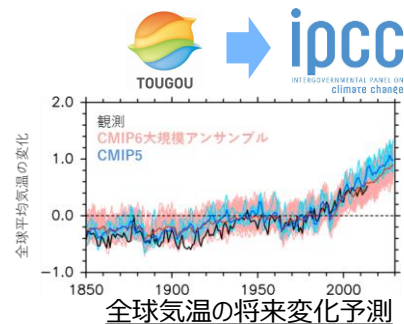
棚氷要素を含む海水海洋モデルによる20世紀実験（南極海全域を対象）



暖かい水塊が棚氷下に流入することにより、棚氷底面融解量が大幅に増加すると、陸地の氷床融解が加速

その他（科学技術外交等）

- 本プログラムで開発した我が国独自の気候モデルの利用数は世界のモデルの中でトップクラス。
- 「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」ではこれまでに日本人論文の割合が右肩上がりであり上昇。
- IPCC第6次評価報告書では、日本枠として過去最大の執筆陣45名が選出（前回は30名）された。本事業関係者が多数含まれ、現在進行中の執筆作業で日本発の成果が活用されることが見込まれる。さらに、IPCC第6次評価報告書に向けた将来予測実験を実施し、データを世界に先駆けて公開。我が国の気候モデル実験の成果を海外諸国が利用できる環境を構築。
- 外務省に全面協力し、2017年10月のG7作業部会に提出した「気候変動と脆弱性」報告書に成果が活用。



3. 気候変動適応策における気候変動研究の役割

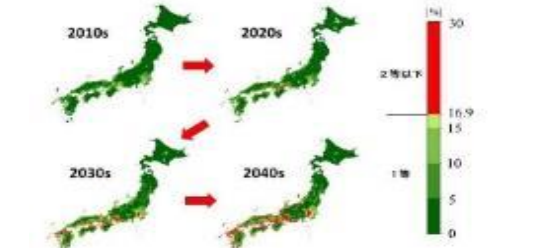
文部科学省の気候変動研究により創出された気候変動予測情報は、気候変動の影響評価や適応策のエビデンスとして活用。

気候変動影響評価

- ・気候変動影響評価報告書(環境省)
- ・各分野の影響評価研究



＜農業＞ イネ白未熟粒発生率の評価



出典 温暖化による日本のコメ(コシヒカリ)の白未熟粒発生率増加を予測 (令和元年12月17日 茨城など大学、茨城県農業総合センター)

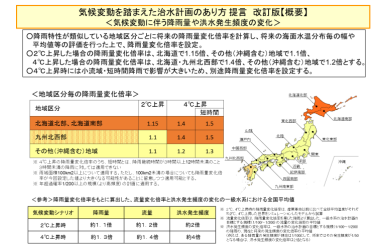
気候変動適応策

- ・農林水産分野における高温耐性品種の開発・普及



出典 農水省

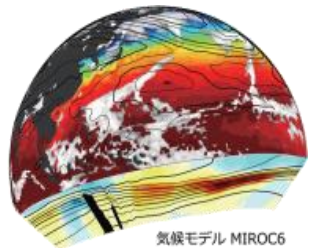
- ・国交省における気候変動を踏まえた治水計画の見直し検討



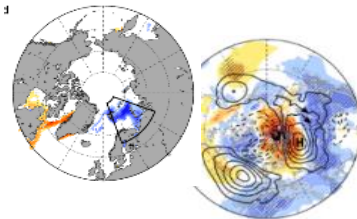
令和3年4月 国土交通省 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言【概要】より

気候変動研究

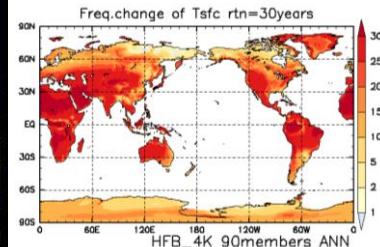
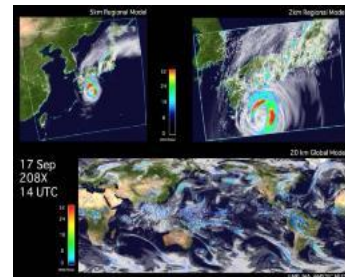
- ・気候モデル開発、気候変動メカニズム解明を通じて気候予測データ創出



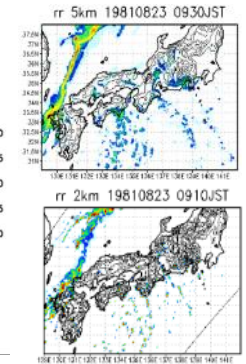
気候モデルの開発



気候変動メカニズム解明 (例：減りゆく海氷と大気の間相互作用)



温暖化した世界及び日本周辺の予測



など

4. 気候変動を巡る国内外の主な動向等①

①国、地方自治体等における気候変動適応策への貢献

- ▶ 日本各地においても猛暑、台風による激甚災害など、気候変動による極端現象が増加しており、**国、地方自治体等において気候変動適応策※⁶は待ったなしの状況**。平成30年に**気候変動適応法**が施行され、文部科学省及び気象庁では、気候変動に関する有識者会議「気候変動に関する懇談会」※⁷を開催し、**気候変動対策の科学的根拠となる日本の気候変動レポートや気候予測データセット等を整備※⁸する方針**を示した。予測データセットは、文科省研究プログラムの成果が主要要素となっている。



令和元年度台風19号による千曲川における浸水被害状況(長野県長野市)

出典：国土交通省資料「台風19号による被災状況と今後の対応について」(令和元年11月)

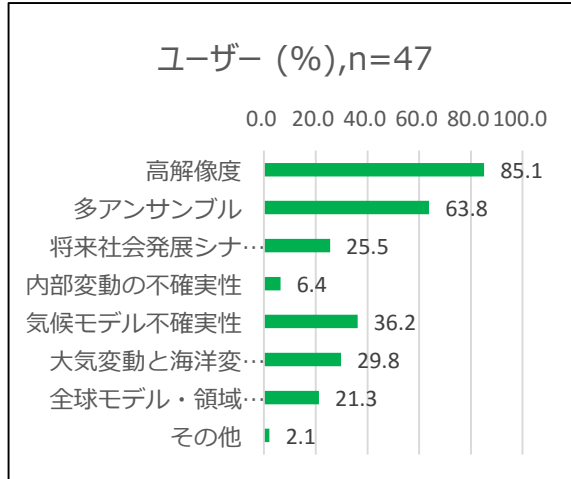
- ※⁶ 気候変動によって生じる新たな被害、大きな災害に備えるための対策
- ※⁷ 「気候変動に関する懇談会」(座長：花輪 公雄 東北大学 名誉教授)
文部科学省研究開発局長及び気象庁長官の連名で設置。文部科学省及び気象庁が取りまとめる気候変動予測等に関する科学的知見について、影響評価等に必要なデータセット等について様々な観点からご意見を聴取。
- ※⁸ 気候変動適応法第3条において、国の責務として気候変動に関する科学的知見の充実が規定。また、気候変動適応計画(平成30年 閣議決定)において、ニーズを踏まえた気候変動予測データの整備が規定。

- ▶ 予測データセットは、**気候変動適応法に基づき5年を目途に公表する気候変動影響評価等の科学的根拠**となるため、**同評価の検討開始のタイミングにあわせて、ユーザーニーズ等を踏まえて整備**することが重要。

- ▶ 国、地方自治体等において適応策の策定※⁹や民間における気候リスク評価が進みつつあるが、**予測データを活用するユーザー等からは、予測情報(海水温、海面水位、日射量、雪、風速等)の高精度化、複合災害も対象としたハザード予測などの科学的知見の充実が求められている。**

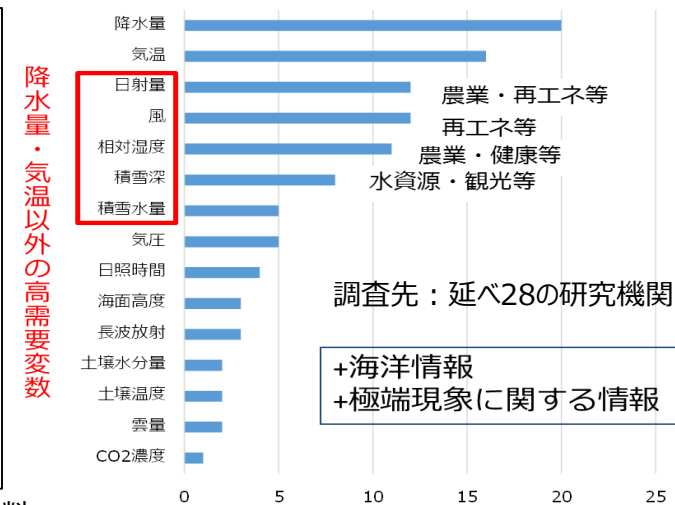
- ※⁹ 例えば、国土交通省においては、d4PDF(アンサンブル気候予測データベース)を活用し、気候変動を踏まえた治水計画や都市浸水対策等が取りまとめられている。

気候予測データセットで重視する点



出典：気候変動に関する懇談会(第3、4回)資料

ニーズ調査



調査先：延べ28の研究機関

+海洋情報
+極端現象に関する情報

気候変動を巡る国内外の主な動向等②

②脱炭素社会に向けた取組への貢献

(国内)

- **2050年のカーボンニュートラルの達成は、我が国が総力を挙げて取り組まなければならない喫緊の課題**であり、革新的環境イノベーション戦略（令和2年1月 統合イノベーション戦略推進会議決定）、グリーン成長戦略（令和3年6月）等に基づき着実に推進することが必要。
- 洋上風力などの導入が見込まれる中、再生可能エネルギーの安定的運用かつ最大限利用の観点からは、発電施設の立地選定において、風速や日射量、海水温などの観測データや予測データを踏まえた評価をすることは重要。

(国際)

- **日本の気候モデルは、IPCC第5次評価報告書において本プログラムで開発したモデルの引用数が世界一であるなど、国際的評価が高く、引き続き世界最高水準の気候モデルとして、世界をリードしていくことが重要。**
- 2022～2023年には、パリ協定に基づくグローバルストックテイク（GST）※10が予定され、その後5年毎に継続的に評価。IPCCにおいては、WG1（自然科学的根拠）の第6次評価報告書が2021年に刊行され、第7次評価報告書に向けて新たな検討が開始される予定。また、2030年目標のSDGsにおける検証、ポストSDGsに向けた検討が開始されつつある。

※10 温室効果ガス排出削減などの世界全体の進捗の確認。削減が所定の目標（右図）に沿っているかが関心の一つ。

- 気候変動対策は、世界が一体となって取り組むべき課題であり、**欧米等との国際共同研究**や我が国の先端的な技術を活用して、**国際機関、発展途上国等への国際貢献を推進していくことは引き続き重要**※11。

※11 例えば、継続的に実施されるパリ協定に基づくGSTにおいては、温度目標に対して許容される累積温室効果ガス排出量（カーボンバジェット）の高度な評価

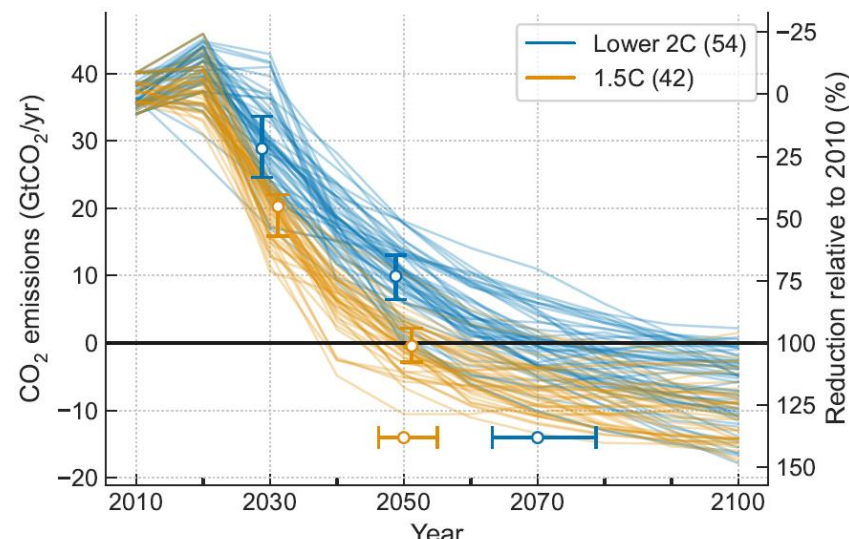


図 IPCC 1.5度特別報告書（2018年）における1.5度・2度整合（橙色・青色）排出パス。2030・50年の排出量とゼロ排出到達年の中央値と25-75%幅を丸印とエラーバーで示す。公開データを基に当検討会で作成。

気候変動を巡る国内外の主な動向等③

（気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）※12、トランジションファイナンス等への貢献）

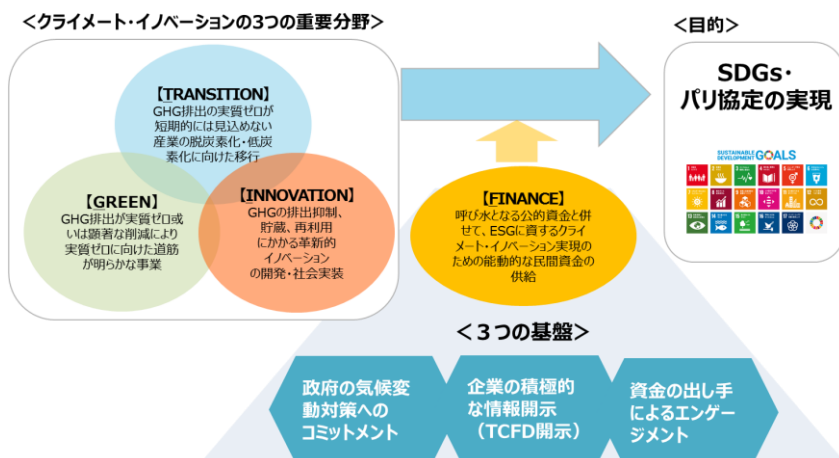
- 地球温暖化対策の推進のためには、①製造業の省エネなど着実に低炭素化を進めていく「移行」の取組（トランジション）、②再エネなど既に脱炭素化の水準にある取組（グリーン）、③人工光合成など脱炭素化に資する革新的な技術の研究開発・社会実装等の取組（革新的イノベーション）に対するファイナンスの促進が重要。
- 民間企業でもカーボンニュートラル2050年（CN2050）に向けた取組が活発化。市場の3分の1を占めるなど急拡大を続けるESG投資※13がCN2050に向けた企業の取組に注目することで、温暖化対策の駆動力となっている。プライム市場上場を目指す企業の間で、気候変動が事業活動にもたらすリスクと機会について、TCFDまたはそれと同等の枠組みに基づく情報開示が事実上必須となり、その充実を競っているのはその一環。
- ESG投資の判断基準の一つとなるTCFDやトランジション・ファイナンス※14の議論等が進んでおり、**例えば、TCFDの物理リスク評価に必要な10～30年程度先の近未来予測データや、トランジション戦略の合理性を判断するのに有効なCN2050に向けた排出シナリオ評価など、「科学的根拠」の重要性が金融界でも認識。**

※12 我が国のTCFD賛同機関数は世界最多。

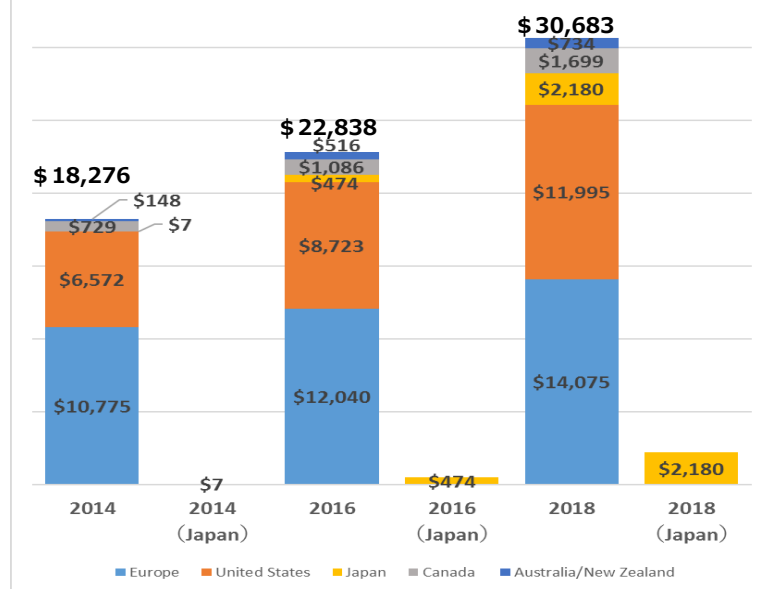
※13 従来の財務情報だけでなく、環境（Environment）・社会（Social）・ガバナンス（Governance）要素も考慮した投資

※14 炭素集約型事業や環境負荷の高い事業活動を、脱炭素型あるいは低環境負荷型に移行させるための投融資

【TGIFの同時推進による目的達成（イメージ）】



サステナブル投資額の推移（10億円ドル）



GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT REVIEW 2018、2016により作成

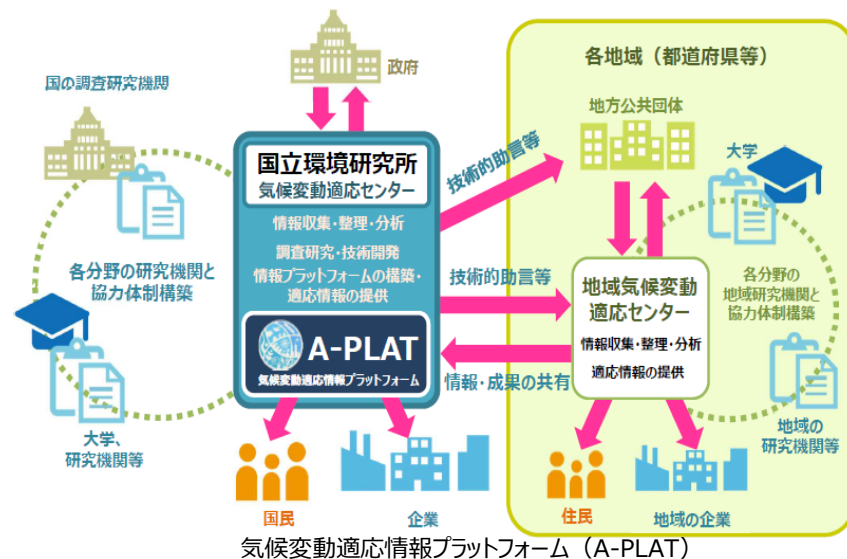
気候変動を巡る国内外の主な動向等④

③データ利活用

- 研究交流のリモート化や、研究設備・機器への遠隔からの接続、データ駆動型研究の拡大など、世界的に研究活動のDX（デジタルトランスフォーメーション）（研究DX）の流れが加速。また、DXを通じて、より付加価値の高い研究成果を創出していくことが重要。
- 気候変動対策に関する情報基盤として、予測データ等の地球環境データを蓄積・統合解析するデータ統合・解析システム（DIAS）や、気候変動適応策を支援するための気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）が整備されているところ。
- 気候変動分野においては、予測データを科学的根拠（エビデンス）として活用する例^{※15}や民間企業でのリスク評価での活用事例が出てきたが、**現在の研究成果（予測データ等は、まだまだ専門家向けのデータであり、予測精度の不足もあり、活用の範囲は限定的）**。

※15 国土交通省による気候変動を踏まえた治水対策や河川堤防や、防潮堤等のインフラ整備は50年以上先を見据えた整備事業において活用

- 防災対策や脱炭素対策等の様々な**気候変動対策において経験則による対策からデータを活用した対策へのパラダイムシフト（DX）が進んでおり、今後、更に進んでいくことが見込まれている。**



気候変動を巡る国内外の主な動向等⑤

④ 諸外国・国際機関の研究動向

(EU)

- 2020年11月に欧州グリーンディールとデジタル戦略の一環として推進するイニシアチブを欧州議会で採択。
- 複数のデジタルツインから構成される地球システムモデルを開発。自然環境や人間活動のモニタリングやシミュレーション、将来社会シナリオの検証、各種政策的意思決定への活用などを想定。
- コペルニクスプログラムなどからの各種データ、情報処理・データ解析基盤、モデル（デジタルツイン）、サービスを構成要素とする統合的な基盤の構築を目指している。

タイムライン：2023年…プラットフォームと2つのデジタルツイン初期バージョンをクラウド上に公開。

2025年まで…プラットフォーム上に4～5の実用デジタルツインを統合し、公的セクター向けのサービスを開始。

2025～30年まで…デジタルツインを完全公開。

(米国)

- 2020年9月に公表された人工知能と機械学習の科学への応用に関するレポート※16では、様々な分野への展開を視野に入れ検討され、地球・環境科学に係る「主要（グランド）チャレンジ」は以下の通り：
 - 環境リスクを予測し、変化する環境下でのレジリエンスを高める
 - 変化する環境下での地球システムの予測的理解を深める
 - 変化する環境下での水セキュリティを確保する

※16 エネルギー省（DOE）先端科学コンピューティング研究局にとっての新たな機会やチャレンジを分析することを目的として作成

(WCRP（世界気候研究計画）)

- 世界気候研究計画（WCRP）の新たな体制（2021-）では、近未来予測を含めた予測精度の高度化、モデルと観測を適切に統合したデジタルかつ動的な地球システムの開発、主要SDGsの達成に向けた道筋の探索等が示されている。



図の掲載元：WCRPホームページ (<https://www.wcrp-climate.org/wcrp-ip-la>) 13

出典 気候変動に関する検討会第2回（CRDS説明資料）より作成

5. 検討会での主なご意見①

<研究の方向性>

- ✓ 気候変動研究は、適応・緩和策等を検討する上でベースとなるものであり、着実に進めていくことが重要。科学的エビデンスは重要であり、これまでの研究の深化（予測の不確実性の低減等）を進めていくことが重要
- ✓ 出口（社会実装）を意識して、社会ニーズ、利用者のニーズ等を踏まえて研究テーマを設計していくことが重要。

<モデル・シミュレーション技術の高度化・気候変動メカニズム解明>

- ✓ 陸域モデル開発においては、灌漑など人間活動の効果を考慮しなければ、地上気温や土壌水分量などを正確に算定できない。
- ✓ ティッピング・エレメントについて、現地観測等を活用し、「具体的」予測を行う必要がある。

<予測情報>

- ✓ 土地利用変化や都市キャパシー等も含めたローカルな気候変動予測をすることが必要。河川水温・水質、湖等も考慮して窒素循環予測を行うべき。
- ✓ 30年先や自然変動を含むさらに短い時間スケールの情報に対するニーズもある。
- ✓ 自治体等における適応策検討においては高解像度データのニーズは高いが、単に高解像度化するのではなく、気候変動メカニズムなどのプロセスを理解し、モデルの高度化等を通じて精度を高めることが必要。また、イベントアトリビュション（EA）の研究の高度化も必要

<気候変動影響の経済評価>

- ✓ CN2050に向けた社会変容をどう取り込むかという点で、社会経済シナリオによる脆弱性評価についても重要。

<気候変動分野のDX化（データ利活用）>

- ✓ 適応策検討促進のためには、誰でも簡単にデータを視覚化でき、様々な分析結果を検索可能なアプリケーション、ツールがあると効果的。
- ✓ TCFD提言等に沿ったシナリオ分析に必要な気候データは開発途上。日本の適応策向け気候予測・影響評価の研究成果が、ESG投資拡大に資する企業等のリスク情報開示におけるニーズにも対応することが望ましい。

<民間における気候リスク評価>

- ✓ 気象災害を前提としたBCP（事業継続計画）と気候変動問題への対応との間をつなぐものがあるとよい。
- ✓ 事業リスクの評価や投資計画の検討等を行う上では、確率情報の方が評価しやすい。また、事業を計画する際には将来予測データに加えて、事業実施場所に過去でどのような事象が発生したのか把握することも重要なため、過去データの蓄積もお願いしたい。
- ✓ 日本の産業の投資先にはアジアも多く、安全保障の観点からも、アジア域の予測データがあるとよい。

5. 検討会での主なご意見②

<脱炭素社会への取組への貢献（TCFD、トランジションファイナンスへの貢献等）>

- ✓ CN2050の科学基盤となる地球システムモデルは、CO₂以外の温室効果ガス（GHG）の効果も考慮して**カーボンバジェットをより高度に評価するために、引き続き高度化を進める必要**がある。
- ✓ **太陽光・水力・バイオマス発電等の温暖化対策**が土地利用変化などを通じて大気循環に及ぼす影響も取り込んだ**地域の将来予測**を行うことが重要。
- ✓ 個々の排出シナリオの温暖化レベルを確率論的に評価した結果がCN2050の根拠につながる。**確率分布は気候モデル研究をはじめとする科学的知見を集約したものであり、グローバルストックテイクなどのUNFCCCの取り組みの科学基盤**となる。
- ✓ バイオマス資源の評価については、統合評価モデルとの連携が重要であるが、土地利用変化が大きなファクターであり、気候変動は支配的でないのではないか。
- ✓ **緩和に向けた移行（トランジション）をグリーンファイナンスの対象**としてどう捉えるかが、金融が直面している課題であるが、**科学的根拠が圧倒的に足りない状況**。
- ✓ サプライチェーンがグローバルに展開されている中で、**日本域だけではなく全球規模での科学的根拠**が必要。
- ✓ ESG投資では、企業の非財務的な価値を多面的に評価するが、なかでも**企業の事業継続力、防災力を定量化するうえで、予測データは特に重要**と思われ、金融関係も巻き込むことは重要。

<生物多様性への貢献>

- ✓ 自然関連財務情報開示タスクフォース（TNFD）等に貢献できる予測データを創出し、気候変動×生物多様性に貢献していくことは重要。

<SDGs>

- ✓ カーボンプライシングと貧困削減、カーボンニュートラルと産業等、**持続可能な開発と気候変動対策の相乗効果を増進させるような研究**が必要。

<ユーザーとのコミュニケーション>

- ✓ リスクコミュニケーション等においては、**気候変動リスク評価を行う企業のニーズを取り込み、人文科学との連携、受け取る側の立場やバックグラウンドの違いを意識しながら、効果的な伝え方**を考えていくことが重要。
- ✓ 不確実性の説明など、**ユーザーとのコミュニケーションを進めていく上では、研究者とは別にインタープリターの役割を担う体制を構築**していくことが必要。また、ユーザーにおいても、リテラシーを向上させることが重要。
- ✓ 文科省プログラムでは特定のモデルの高度化を行っているので、モデル不確実性の観点で表現が甘くなる傾向がある。ユーザーとのコミュニケーションにおいては、この点を意識する必要がある。

6. 関係省庁・民間企業からのニーズ①

気候変動影響評価全般（地方自治体を含む）

- ✓ 予測データの**高解像度化**（1 kmメッシュ以下）及び**大量アンサンブル実験**によるデータ
- ✓ **気温・降水以外の予測データの高精度化・充実**（生態系等の幅広い分野の影響評価に必要な予測データの充実）
- ✓ **近未来予測データ**（10年規模予測）や経時的に評価が可能な**連続データ**
- ✓ **複合災害の評価を可能とするハザード予測**
- ✓ **予測データ利活用におけるユーザの利便性の向上（例：成果のオープンデータ化）**
- ✓ 効果的な情報発信（気象の専門家はいないことを前提、インパクトのある情報提供等）

防災関連

<河川・下水道・砂防関連>

- ✓ 極端豪雨（年超過確率1/100～1/1000程度）の確率的な評価が可能となる**大量アンサンブル実験**
- ✓ 経時的に評価が可能な**連続データ（150年連続）の多アンサンブル化**
- ✓ **空間メッシュの高解像度化**（例えば2km）
- ✓ （将来的には）バイアス補正不要の降雨メッシュデータ

<海岸関連>

- ✓ **海面水位の上昇、台風・低気圧による潮位偏差及び波浪（波高、波向、周期）の長期変化量**の予測データ
- ✓ 経時的に評価が可能な**データ（例えば、施設の耐用年数に併せた評価が可能な30年後以降100年後程度先までの予測）**
- ✓ バイアス補正不要のメッシュデータ

農林水産関連

- ✓ 小流域（ため池、数千haの排水地区）を対象とするため、**予測精度の高解像度化（数kmグリッド）**
- ✓ マルチアンサンブルデータの充実化（**150年シームレス計算のアンサンブル数の増加**）
- ✓ **無降雨期間の予測データの精度検証・向上**（GCMの降雨特性として、渇水予測に必要な無降雨連続期間等の再現精度が低く、少雨が連続して降りやすい。降水の時空間的な分布の検証・精度向上）

6. 関係省庁・民間企業からのニーズ②

TCFDの観点

- ✓ 食品の例をとると、持続可能な調達（渇水・洪水による農作物の生育への影響）や災害による生産拠点の操業停止、物流寸断等に必要となる予測データ （近未来データ）
- ✓ サプライチェーンへの気候変動影響等に対応するための 全球規模での予測データ

民間企業におけるリスク評価

- ✓ 近未来予測（今世紀半ば）や時系列予測データ
- ✓ 使いやすいデータフォーマット、ツールの必要性、研究成果のデータへのアクセス&データ処理ができる計算環境も期待（高度利用者向け）
- ✓ 浸水等のハザード予測に期待。リスク量は極値評価が重要。頻度と強度の観点、かつ できるだけ高解像度。
- ✓ 拠点リスクからサプライチェーンリスクを評価するための 全球規模の予測データ
（短期）輸送路の寸断←浸水、土砂災害。電力供給遮断←強風害
（中期）原材料調達：水資源リスク（台湾のケース：干ばつ→半導体→農地）
- ✓ 国外のリスク情報（特に東南アジア、途上国）は情報が少ないが、ニーズは高い
- ✓ 物理的リスクとしての調達リスク（農作物、輸入食材等への物理的リスク評価）

金融機関におけるグリーンファイナンス

- ✓ 物理的リスク（洪水、暴風雨等の気象事象によって発生するリスク（直接的、間接的））や移行リスク（脱炭素社会への移行に伴い発生する財務上、評判上のリスク（例えば、市場リスク））に関する議論をみながら、気候変動研究の成果を活用。

7. これまでの成果と新たな課題と主なニーズ

	主な成果	主なニーズ
1 気候変動適応策	<p>【全球規模】 <u>大規模アンサンブルデータ (d4PDF)</u>を創出。(数ペタサイズ) 全球：60km、日本域：5～20km</p> <p>【日本域】 d4PDF等を活用し、<u>気温、降水量、海面水温、日射量、雪、風速</u>等の将来予測データを創出。</p> <p><課題></p>	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>河川水温、湖水温</u>等の将来予測データ 【国交省、環境省、農水省、地方自治体等】 ・<u>日射量、雪、風速、無降雨期間、海面水位上昇、潮位偏差、波浪</u>等の高精度化 【環境省、国交省、地方自治体等】 ・d4PDFの高精度化（2 km、アンサンブル数の増加等） 【国交省、環境省】 ・複合災害評価を可能とするハザード予測【環境省】 ・50、100年先ではなく、<u>10年先などの近未来予測データ</u> 【環境省、国交省、企業、地方自治体等】 <p>⇒気候変動メカニズムの解明、気候変動シミュレーション・モデルの高度化が必要。</p>
2 緩和（脱炭素）対策	<ul style="list-style-type: none"> ・2100年（21世紀末）に2℃及び4℃上昇した場合の予測データであり、<u>どのような過程を経て、2℃及び4℃に上昇した世界に変遷するか</u>の途中過程の連続データはない。 ・<u>気候変動影響評価に必要な予測精度・近未来データ等が不十分</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・CN2050の科学基盤となるCO₂排出許容量（<u>カーボンバジェット</u>）※ 評価等の高度化 ※目標値となる温室効果ガス削減量推定に必要 【IPCC、グリーン成長戦略（関係省庁）】 ・CN2050に向けた<u>脱炭素シナリオ評価</u>【IPCC、金融機関等】 ・TCFDにおける気候変動による物理リスク評価に貢献できる<u>近未来予測データ</u>【経産省、企業、金融機関等】 <p>⇒気候変動メカニズムの解明、気候変動シミュレーション・モデルの高度化が必要。</p>
3 データ利活用	<p>【防災対応】 <u>d4PDFを活用した洪水、高潮対策</u>への適応</p> <p>※特に、河川堤防や防潮堤等のインフラ整備は50年以上先を見据えた整備事業</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>連続した気候変動</u>に対応した予測データ 【環境省、国交省、企業、地方自治体等】 ・ユーザーの利便性に対応したツール等 【環境省、国交省、農水省、企業、地方自治体等】 <p>⇒不連続データを補完するためのAIを活用したデータ利活用の高度化・開発が必要</p>

8. 今後の気候変動研究の方向性

- これまでの気候変動予測研究により、**国際的に評価の高い*気候モデル等を開発**。国内においても、本事業の成果を活用し、気象庁と連携して、最新の気候変動予測等の科学的知見をまとめた「**日本の気候変動2020**」を作成公表するなど、**気候変動適応策等に貢献**。 ※IPCC評価報告書において、本プログラムで開発したモデルの引用数が世界一。
- 一方で、関係省庁や有識者より以下のニーズが示されている。
 - ・防災等の気候変動適応策は待ったなしの状況であり、**より精確かつ幅広い分野の影響評価（複合災害を含む）が可能となる高精度な予測データ**の創出
 - ・CN2050へ貢献するため、TCFDの物理リスク評価に必要な**10～30年程度先の近未来予測データ**や、トランジション戦略の合理性を判断するのに有効な**CN2050に向けた排出シナリオ評価などの「科学的根拠」**、カーボンバジェット等の評価に必要な**モデルの強化**や、社会変容を踏まえた**社会経済モデル等を活用したシナリオ評価**
 - ・予測データ利活用を拡大するため、**ユーザーフレンドリーかつ連続的なデータを創出する技術開発**や予測情報に対する効果的な説明 等
- これらのニーズに対応するためには、以下の課題が存在。
 - ・現在の最新の気候モデルにおいても、温室効果ガス増加に伴う気温の変化量等には**大きな不確実性が存在**。
 - ・本事業の成果を科学的根拠（エビデンス）として活用する例*が出てきたが、**現在の研究成果（予測データ等）は、不確実性による予測精度、近未来予測データの不足等もあり、活用の範囲は限定的**。※国土交通省による気候変動を踏まえた治水対策等において活用

これまでの成果を発展させ、気候変動対策に必要な科学的根拠を創出し、防災対策や脱炭素対策等の様々な気候変動対策において、**経験則による対策からデータを活用した対策へのパラダイムシフト（DX）を加速するため**、気候変動予測シミュレーション技術の高度化等により不確実性の低減を図り、**気候変動メカニズムの解明や、ニーズ等を踏まえた高精度な気候予測データの創出とその利活用までを想定した研究開発を強化**。

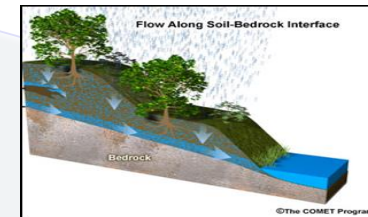
<主な技術テーマ例>

- ・ 全球規模の気候予測シミュレーション技術の高度化、気候変動メカニズムの解明
- ・ 全球規模の温室効果ガス排出量許容量の高度化
- ・ 地球システムモデル×人間活動（農業生産、エネルギー、社会経済モデル等）等によるシナリオ評価
- ・ 日本域の気候変動予測データの高精度化等
- ・ 日本域の複合災害も対象としたハザード統合予測モデルの開発
- ・ 気候変動対策のデジタルトランスフォーメーション化

今後の気候変動研究の方向性（主な研究テーマの具体例）

ハザード統合予測モデルの開発

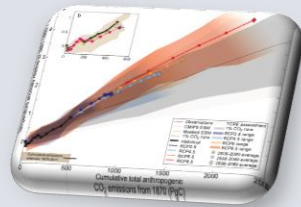
気候予測データ等も活用し、陸域を中心に、気候変動を踏まえた洪水・高潮・熱波と旱魃等の複合災害等を対象に、水循環のメカニズムの解明等により、ハザード統合予測モデルを開発。



陸域ハザード統合モデル

予測シミュレーション技術応用研究

予測シミュレーション技術を活用し、全球規模で許容される温室効果ガス排出量（カーボンバジェット）、脱炭素シナリオの評価や将来予測情報を活用した再生可能エネルギーの評価等を実施。

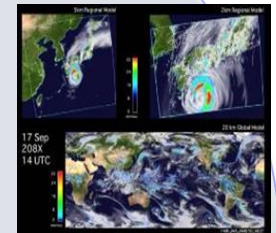


カーボンバジェット評価

一体的かつ
ユーザーを意識した
研究開発

日本域気候予測データの高精度化

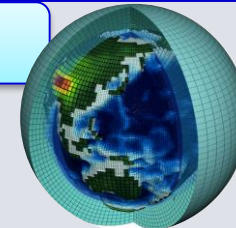
我が国における全ての気候変動対策の基盤となる日本域の気候予測データについて、ニーズ等を踏まえ高精度化や、大規模アンサンブルデータの高度化等を実施。



領域予測データの例

全球規模の気候変動予測シミュレーション技術の高度化

気候変動予測を可能とする「全球気候モデル」を核として、衛星データとの融合や、炭素循環をはじめとする物質循環、それに関わる生態系モデルを結合したシミュレーション技術の高度化を実施。



気候モデルの高度化

気候変動対策のデジタルトランスフォーメーション化

ユーザーニーズを踏まえ、更なるデータ利活用（データを活用した気候変動対策等）を強化するため、ユーザーと連携し、ユーザーフレンドリーかつ、AIも活用した時系列データ等を創出する技術開発。

*ユーザーとのコミュニケーションにおいては、受け取る側の立場やバックグラウンドの違いを意識しながら、効果的な伝え方（モデルの不確実性も含め）をしていくことが重要。あわせて、本プログラムで開発したデータについては原則オープン化。

主な課題例① 全球規模の気候予測シミュレーション技術の高度化

<方向性>

- ✓ 国際的評価が高く、引き続き世界最高水準の気候モデルとして、世界をリードしていく。
- ✓ これまでの研究の深化（予測の不確実性の低減等）を進め、気候変動メカニズム（ティッピング・エレメント現象等）の解明を進める。
- ✓ 国際共同研究等を通じて、IPCC等への国際貢献を引き続き実施。

<研究内容>

①気候予測シミュレーション技術の高度化【主な課題例②、③、④との連携】

気候モデルと衛星等の観測データの融合研究などにより、不確実性の低減を図り、大気・海洋・陸域における物理現象を中心に扱う全球規模の気候予測シミュレーション技術の高度化を行い、気温、降水、海面水位等の将来予測の精度向上を図る。また、上記全球規模の気候モデルを核とし、気候変動に影響を与える炭素循環をはじめとする物質循環、それに関わる生態系モデルを結合した地球システムモデルの高度化を実施。

②気候変動メカニズムの解明

地球システムモデルの高度化等を通じて、大気・海洋循環の変化、雲のフィードバック（雲の変化が温暖化を増幅するか抑制するか）、エアロゾル、氷床の動的過程などが気候変動に与えるメカニズムの解明を行う。また、アマゾン域の渇水、永久凍土からのメタン放出等のティッピング・エレメント現象を解明する。

③国際共同研究の実施

全球規模の気候モデル研究に関して、WCRP（世界気候研究計画）等の国際プログラムや欧米等との共同研究も実施。

<見込まれる成果>

- ✓ 全球規模の高精度な将来予測データの創出
- ✓ 気候変動メカニズムの解明等による最先端の科学的知見の創出
- ✓ グローバルストックテイク（GST）、IPCC等への貢献 等

主な課題例② 予測シミュレーション技術応用研究

<方向性>

- ✓ CN2050に向けて、より高度なカーボンバジェット評価のためには、CO₂以外のGHGの効果も考慮し、CN2050の科学基盤となるモデルを高度化し、排出シナリオ評価等も実施。
- ✓ 緩和に向けた移行（トランジション）、TCFDにおける物理リスク評価やTNFD等に貢献できるデータの創出
- ✓ CN2050に向けた社会変容をどう取り込むかという点で、社会経済シナリオによる脆弱性評価を考慮。
- ✓ カーボンプライシングと貧困削減、カーボンニュートラルと産業等、持続可能な開発と気候変動対策の相乗効果を増進させるような研究も重要

<研究内容>

① 温室効果ガス排出許容量の評価の高度化（主な課題①、③、④との連携）

予測シミュレーション技術等を活用し、2030年頃をマイルストーンとした温暖化予測（炭素循環10年規模予測）や全球規模で許容される温室効果ガス排出量（カーボンバジェット）や排出シナリオの評価について、CO₂以外のメタンやSLCF（短寿命気候強制因子等）も対象に、気候科学における最新知見（海面による吸収、土壌からの放出などの自然起因による変動等）を踏まえた評価を実施。

② 予測シミュレーション技術×人間活動（農業生産、エネルギー、社会経済モデル等）（主な課題例①、④との連携）

予測シミュレーション技術×人間活動（緩和対策）又は社会経済モデルによりシナリオを作成し、例えば、CN2050が実現した社会と地球温暖化が進行した状態における水資源（灌漑効果等）や労働生産性等を比較。また、農業活動（土地改良、畜産等）も考慮した温室効果ガスの削減効果等も評価。さらに、気候変動を踏まえた日射、風速、海流等の予測情報を踏まえた再生可能エネルギー（洋上風力等）の最適化評価を実施。

③ 地球システムリスク研究（主な課題例①との連携）

氷期－間氷期サイクルにおけるCO₂変動等の古気候を分析し、直接的な影響（大気汚染、海洋酸性化、窒素負荷など）を考慮することで、地球環境がある程度正常に作動できる範囲の定量化を試みる。

<見込まれる成果>

- ✓ CN2050への貢献（CO₂の削減効果検証、TCFD、トランジションファイナンス等への貢献）
- ✓ IPCC、グローバルストックテイクやSDGsへの貢献

主な課題例③ 日本域気候予測データの高精度化

<方向性>

- ✓ 極端豪雨の評価が可能となる大量アンサンブル実験（数千年程度）の高精度化
- ✓ 新たな予測要素、予測データの高解像度化及び近未来予測を実施。
- ✓ TCFDにおける物理リスク評価やTNFD等に貢献できるデータの創出
- ✓ AI等を活用した連続データを創出する技術開発等を行い、データ利活用を推進。

<研究内容>

①気候変動予測情報の高精度化（主な課題例①との連携）

気候モデルについて、大気海洋相互作用や高精度の陸面過程を考慮した大気海洋結合モデルを開発。このモデルを活用し、気候変動に関する懇談会で示された、我が国における全ての気候変動対策の基盤となる気候予測データセットを整備するため、ユーザーニーズ等を踏まえ、高精度な気候予測データ（気温、降水量、日射、風速、降雪、河川水温、海面水温、海洋酸性度等）を創出。また、様々な時空間スケールの豪雨や台風などの将来事象を含む将来変化について確信度を高めるとともに、10年規模の近未来予測データを創出。

②大規模アンサンブルデータの高度化（主な課題例①との連携）

極端事象の予測を可能とする地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースを高度化し、数百年に一度といった極端気温、豪雨等の事象を予測。

③気候変動対策のデジタルトランスフォーメーション化（主な課題①、②、④との連携）

多様なユーザーニーズに対応する予測データ（AI等を活用した連続データ等）を提供できるツールを開発し、DIAS等とも連携し、効果的にコミュニケーションをできる体制（例：インタープリターの活用）を通じて、気候変動分野のDX（予測データを利活用した気候変動対策）を推進。

<見込まれる成果>

- ✓ 気候変動適応法に基づく気候変動影響評価や適応策への貢献
- ✓ CN2050への貢献（TCFD等への貢献）
- ✓ 気候変動分野のDX化への貢献（国、地方公共団体、企業等における予測データを活用した気候変動対策の拡大）

主な課題例④ ハザード統合予測モデルの開発

<方向性>

- ✓ 陸域ハザードモデル開発においては、灌漑など人間活動の効果を考慮。
- ✓ 複合的なハザード予測にも対応した予測データを創出。また、これらデータは、民間企業等におけるニーズ等を踏まえて整備。
- ✓ 東南アジア諸国等におけるハザード予測により国際貢献。

<研究内容>

①ハザード統合予測モデルの開発（主な課題①、③との連携）

気候予測データ等も活用し、陸域を構成する河川、植生、土壌、地下水、人間活動等の陸域での重要な要素を組み合わせ、主要な水文過程（蒸発散、融雪、遮断、浸透、表面流など）をモデリングし、IPCCにおいて強調されている洪水・高潮・熱波と旱魃等の複合災害も対象とした、気候変動に伴うハザード統合予測モデルを開発する。また、台風、線状降水帯などの極端気象現象の気候変動を踏まえた将来変化を踏まえた予測も実施。

②ハザードメカニズム解明（主な課題①、③との連携）

上記ハザード予測モデルの開発等を通じて、気候変動を踏まえた高潮や波浪の遡上のメカニズム、降雨パターンによる河川の流出メカニズム等のハザードメカニズムを解明。

③東南アジア諸国への展開と国際貢献（主な課題①、③との連携）

東南アジア諸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る東南アジア諸国の詳細な予測データを活用し、東南アジア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

<見込まれる成果>

- ✓ 水災害を中心に気候変動を踏まえたハザード予測データを創出し、防災対策等に貢献
- ✓ 民間企業における気候リスク評価等に貢献
- ✓ 東南アジア諸国への国際貢献

気候変動研究に関する検討会

構成員（五十音順、◎：主査、○：主査代理）

- 秋元 圭吾 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 地球環境産業技術研究所
システム研究グループ グループリーダー・主席研究員
- ◎ 江守 正多 国立研究開発法人国立環境研究所 地球環境研究センター 副研究センター長
沖 大幹 国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 教授
嶋田 知英 埼玉県 環境科学国際センター 研究企画室長
高村 ゆかり 国立大学法人東京大学 未来ビジョン研究センター 教授
竹ヶ原 啓介 株式会社日本政策投資銀行 設備投資研究所 エグゼクティブフェロー
筒井 純一 一般財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 研究参事
- 本郷 尚 株式会社三井物産戦略研究所 国際情報部 シニア研究フェロー

開催実績

- 第1回 令和3年4月 7日
第2回 令和3年5月21日
第3回 令和3年6月18日
第4回 令和3年6月29日