

気候変動予測及び影響評価の連携に 係る課題及び今後の取組み方

平成 31 年 3 月

気候変動予測及び影響評価の連携推進に向けた検討チーム

気候変動予測及び影響評価の連携推進に向けた検討チーム 委員

座長・幹事以下五十音順

- | | | |
|----|-------|--|
| 座長 | 高薮 出 | 気象庁気象研究所 研究総務官 |
| 幹事 | 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 副センター長 |
| 幹事 | 高橋 潔 | 国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 広域影響・対策モデル研究室 室長 |
| 委員 | 石川 洋一 | 国立研究開発法人海洋研究開発機構 気候変動適応技術開発プロジェクトチーム プロジェクト長 |
| 委員 | 塩竈 秀夫 | 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 気候モデリング・解析研究室 主任研究員 |
| 委員 | 中北 英一 | 国立大学法人京都大学 防災研究所 教授 |
| 委員 | 西森 基貴 | 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域 影響予測ユニット ユニット長 |
| 委員 | 橋爪 真弘 | 国立大学法人長崎大学 熱帯医学研究所 教授 |
| 委員 | 松井 哲哉 | 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 国際連携・気候変動研究拠点 気候変動研究室 室長 |
| 委員 | 山野 博哉 | 国立研究開発法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター センター長 |
| 委員 | 渡部 雅浩 | 国立大学法人東京大学 大気海洋研究所 教授 |

(平成31年3月現在)

目次

第1章	はじめに.....	1
1.1	検討チームの設置背景.....	1
1.2	検討の進め方（平成29年度～30年度）.....	1
第2章	気候変動予測及び影響評価の連携推進における課題及び今後の取組みについて...2	
2.1	第2章の構成について.....	2
2.2	気候変動予測及び影響評価の連携推進における課題及び今後の取組み.....3	
(0)	気候シナリオについて.....	3
(1)	シナリオの統合化.....	5
(2)	気候モデルの選択に係るガイドラインの整備.....	7
(3)	気候モデルデータ共有インフラの必要性.....	9
(4)	予測計算及び影響評価のアウトプットの待機時間の長さ.....	10
(5)	シナリオ整備へのユーザーニーズの反映.....	11
(6)	その他.....	13
第3章	まとめ.....	15

第1章 はじめに

1.1 検討チームの設置背景

「気候変動の影響への適応計画（平成27年11月27日閣議決定）」に基づき、中央環境審議会の気候変動影響評価等小委員会は、平成29年3月に「気候変動適応策を推進するための科学的知見と気候リスク情報に関する取組の方針」の中間とりまとめを行った。その中では、関係府省庁や関係研究機関が連携・協力し、気候変動予測及びその影響評価の内容について体系的に整理し、予測計算における条件設定（予測の対象期間、温室効果ガス排出シナリオ、気候モデル等に関する諸条件）、出力データの仕様等、気候変動予測及び影響評価の連携について具体的な検討を進めることが適当であるとしている。

影響予測研究の成果を横並びで評価し、その結果を国民に対して分かり易く情報提供していくという観点を踏まえると、関係府省庁や関係研究機関の協力・連携体制のもと具体的な研究体制や計画等について、相互にニーズを出し合い、調整を進めていくことが有用である。そこで、地球観測連携拠点（温暖化分野）のもとに本検討チームが設置され、気候変動予測研究及び影響評価研究の連携における現状の把握及び課題の抽出、ならびに我が国の気候変動適応政策の支援を視野に入れた気候変動予測及び影響評価の連携推進の在り方に関する議論が行われた。

1.2 検討の進め方（平成29年度～30年度）

会合は平成29年9月、12月および平成30年7月、11月の年2回、計4回、東京都内において開催（事務局：地球温暖化観測推進事務局）された。平成29年度は主要な論点を「気候変動予測及び影響評価研究の連携における課題の洗い出しと整理」、「その課題に対するアクション案」、「気候変動予測研究におけるモデルおよび条件設定の最新情報の共有」の3点として、委員事前アンケートを行った上で、会合において議論した。平成30年度は前年度に挙げられた課題に係る議論を深めるとともに、関連分野の専門家らと交えてのワークショップを開催し、検討チームで挙げられた課題を共有した上で、今後の取組み方等についての議論を行い、その結果は検討チームにおいて共有された。2年間の検討結果は以下の通りである。

なお、本書で整理した課題や今後の取組は本検討チームからの一提案であり、気候変動予測やその影響評価の関係者への参考情報として、今後の気候変動予測及び影響評価の連携推進への一助となることを目的としている。

第2章 気候変動予測及び影響評価の連携推進における課題及び今後の取組みについて

2.1 第2章の構成について

平成 29 年度に検討チームにおいて挙げられた5つの課題（1. シナリオの統合化、2. 気候モデルの選択に係るガイドラインの整備、3. 気候モデル共有インフラの必要性、4. 予測計算及び影響評価のアウトプットの待機時間の長さ、5. シナリオ整備へのユーザーニーズの反映）について、前述のワークショップにおける議論の内容も踏まえて課題の整理を進めた。その中で、「気候シナリオ」の定義や機能に関する議論及び整理の必要性が認識され、今回新たに「0. 気候シナリオについて」という内容を加えた上でとりまとめを行った。図1はそれらの課題の相互関係を示すもので、各課題の詳細について次ページ以降に記載した。

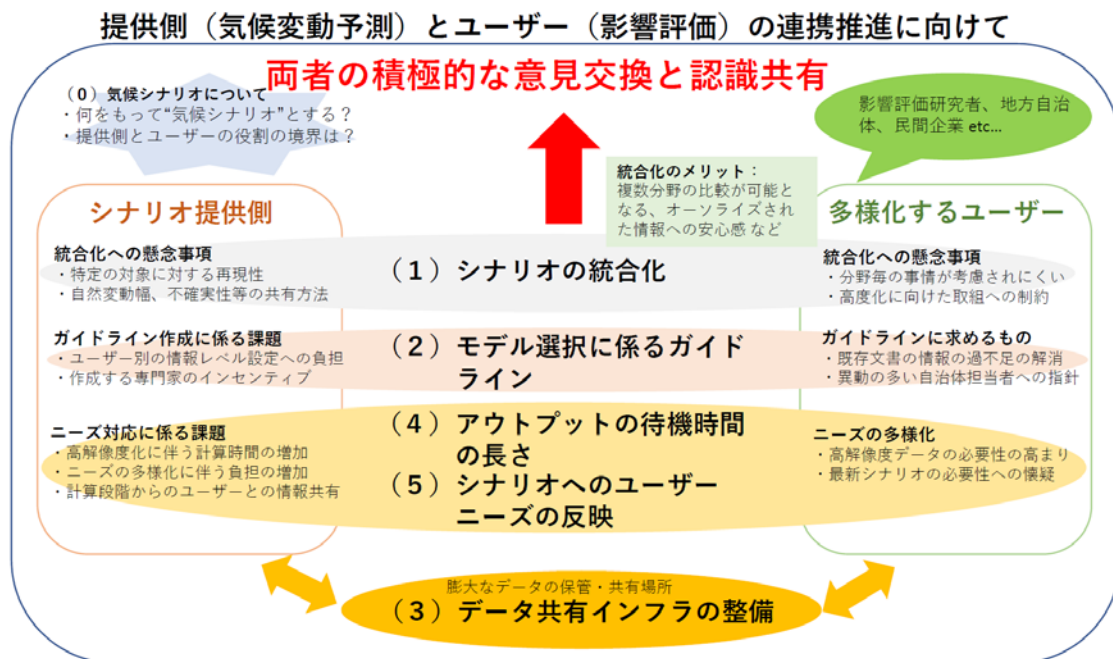


図1. 気候変動予測及び影響評価の連携における課題の模式図

2.2 気候変動予測及び影響評価の連携推進における課題及び今後の取組み

各課題の「現状と課題」については課題の性質ごとに a. b. c. . . . と整理を行い、各課題の「今後の取組み」に各課題との対応関係を示した。なお、課題との紐づけが困難なものについては対応を記載していない点にご留意いただきたい。

(0) 気候シナリオについて

(0)-1 現状と課題

a. 「気候シナリオ」のイメージ（定義・機能等）が気候予測研究者側と影響評価研究者側で異なっている。また、影響評価研究者内でも分野や個人によって異なっている場合もある。このため、気候シナリオのイメージのギャップを認識し、すり合わせる必要がある。現状では、気候シナリオの開発と応用の一連の取組みのうち、どこまでが気候予測研究者の仕事でどこからが影響評価研究者の仕事となるかが曖昧である。

b. 数値情報のみではなく、例えば、ある特定の地域における 50 年後の気候について一般市民に向けてとりまとめた定性的なレポート等も、それがあつる種の気候シナリオと呼ばれる場合もある。地方自治体等では、数ページにまとめられた気候予測情報のサマリーシートが気候シナリオと呼ばれている可能性もある。

c. 気候予測・ダウンスケール・影響評価の研究者の情報交換の場が設けられるようになり、上手く情報共有が為される事も増えたが、伝言ゲームのような状態となり、必要な情報が正しく伝達されない場合も多々あるように思われる。データ提供側が意図していない使われ方をされている場合が見受けられるなど、現状における連携は不十分である。気候予測研究者、影響評価研究者だけでなく、市町村レベルまでを含めた連携についても早急に体制を検討する必要がある。

(0)-2 今後の取組み

- ・ 気候予測研究側のイメージする気候シナリオとは、性能（観測された気候の再現性、予測信頼性等）に関する評価を経て提供される気候予測情報であり、その後ユーザー¹（影響評価研究者、地方自治体担当者、コンサル等）側の用途に応じて加工して使用してもらうことが自由である。一方で、影響評価研究側のイメージする気候シナリオとは、専門性を有する気候予測研究者側でバイアス補正等の加工まで施された完成品のことである場合が多い。どこまでを気候予測研究者の責任範囲とするかは、議論を継続するべ

¹ 以下、特段のことわりがない場合には影響評価研究者、地方自治体担当者、コンサルタント業者等、気候シナリオのあらゆる利用者を指すものとする。

きである。また、気象庁の地球温暖化予測情報を地方自治体単位向けの情報に読み解くような作業の担い手については、気象庁、関係府省庁及び気候予測側のコミュニティとするか、あるいは影響評価側のコミュニティとするか、丁寧な議論を進めるべき。(a)

- ・ 気候シナリオは、レポート（冊子体）とデータ、そしてデータの使用方法を示すガイダンス文書を1セットとして提供されることが望ましい（例：気象庁地球温暖化予測情報第9巻）。統合シナリオと表現する場合には、ある場所でオーソライズされたものではあるものの、複数の方法に基づく将来予測情報を含んだ一つのパッケージであるとするのが自然であると考えられる。ダウンスケールを進める予定がある場合などは、その予定に関する情報を示したうえ、生データの保管場所、ダウンスケーリングの手順、といった内容を含めることが理想的である。(a)
- ・ 気候シナリオと呼ぶものが多岐にわたるデータ群のセットであるとするならば、それらを単一の呼称で呼ばず、公開データセット、1次データ等、“一連の気候シナリオのどの段階のものか”がわかるように、別々の名称で扱うことで混乱を防ぐことが可能になるかもしれない。(a, b)
- ・ 英国ではUKCIPが気候予測の専門家をスタッフに備え、中間的役割を担っていると思われる。様々な機関が実施している気候予測について、現状では国内で地域の気候予測のサマリーを提供している機関等は存在しないものの、それらの提供・解説の必要性が今後高まるものと思われる。その役割を誰が担うのかという議論を含め、今後の在り方を検討すべきである。なお、気象庁の地球温暖化予測情報については、各地の気象台が地域の気候予測のサマリーを提供・解説している。(b, c)
- ・ 正確な情報が伝わらない（伝言ゲームのようになる）という点について、1ヶ所に情報が整理されたポータルサイトのようなものがあると良い。当該ポータルには、データ本体に加えてデータの使い方に係る情報も加えられるべきである。想定されるユーザーには地方自治体や政策決定者も含まれるため、科学的情報を包括する情報ポータルであることが望まれる。地域適応コンソーシアム事業の広域協議会のような場において情報伝達がなされることが望ましいが、その場を継続的に維持・運用のできる人材の育成・教育にも注力するべきである。(c)
- ・ 従来の影響評価研究における“気候シナリオ”は研究の高度化に主眼を置いて議論が進められてきたものの、今般の気候変動適応法の下での影響評価における“気候シナリオ”は、法に基づく気候変動適応計画ならびに地域気候変動適応計画に資するための議論が必要になる。両者が区別されるべきことに留意する必要がある。

(1) シナリオ²の統合化

(1)-1 現状と課題

<シナリオの統合化のメリット>

a. オーソライズされた情報としてユーザーが安心感を持って使用できる点や、政府が適応計画改訂に際して影響評価を取り纏める際に複数分野の影響評価が比較可能となり、温暖化分野に新規参入するユーザーにも使い易い点等が挙げられる。英国のように統合的なナショナルシナリオ (UKCP09/UKCP18)³を設定し、一斉に影響評価を行うやり方が適切かどうかの検討が必要である。例えば、生物分野では、異なる自然環境での影響比較を行うこともあるものの、用いているシナリオが違っていると比較が困難であるため、統合シナリオの設定が望まれている。

<シナリオの統合化のデメリット>

b. 高解像度の気候モデル出力値を影響評価に用いている場合、シナリオの統合化によって高解像度の気候モデルが使えなくなれば、影響評価の出力がスペックダウンする可能性がある。このように、シナリオの統合化が足かせとなり、影響評価研究の高度化に向けた取組が制約を受けたり、分野毎の事情が考慮されにくくなることが懸念される。

c. 海洋のデータセットは選べる程のバリエーションが無く、気象のデータセットと比較して遅れているのが現状である。シナリオの条件等を海洋に合わせていると気候シナリオには最新の研究成果が取り込めなくなる恐れがある。シナリオの統合化を検討する際には、モデルの再現性を含めて、どのような現象のどのような軸を基準に選択するか、ニーズとシーズのマッチングが必要である。

d. 自然変動の幅だけでなく気候モデルが異なれば結果も異なるという点や、気候モデルの不確実性という点についての、ユーザーとの情報共有方法に係る詰めが必要である。近未来については、自然変動と比較して温暖化のシグナルは小さく、気候変動の影響を受ける側としては、例えば、2050年では自然変動が依然として重要であることになる。気候シナリオに基づいた議論⁴は、地方自治体などのユーザーの求めている情報よりも、より高度な話となっている可能性がある。自然変動による影響の重要性に関するメッセージの伝達が必要になる。

² 以下、特段のことわりが無い場合の「シナリオ」は「気候シナリオ」を指す。なお、ここでの「シナリオ」とは影響評価に利用される気候予測に関する情報全般を指す。

³ 英国は統一シナリオ UKCP09 (UK Climate Projections 2009) を使って影響評価を行っている。今後は UKCP18 を用いた影響評価が行われる予定。

⁴ 例：降水量が増える可能性が高くなるのか、低くなるのか。

(1)-2 今後の取組み

- ・ 統合化を進める際には、対象が影響評価研究者なのか、一般国民を含めたユーザーなのか、或いはその他なのかを区別した上での議論を行う。定量的な影響評価の入力データとしてではなく、国民・民間企業・地方自治体等向けに、定期的に更新し、提示する統合シナリオも必要となる。(a)
- ・ 英国の統合シナリオ UKCP09/UKCP18 に関する資料のレビュー（気候モデル、温室効果ガス排出シナリオ、ダウンスケール手法等）を行う。その際には、成功事例や失敗事例も含め、英国での決定過程のエッセンスを共有すると良い。日本同様、複数のプロジェクトが違うタイムラインで進行していた場合には、それらの束ね方も参考となる。(a)
- ・ 既存の気候予測研究プロジェクト等の取組の現状をマッピング⁵し、それらのシナリオをファミリーとして捉える考え方や、d4PDF⁶等の大規模実験まで含めたものを統合シナリオとする選択肢もある。(a, c)
- ・ 気象庁地球温暖化予測情報第9巻が統合シナリオに近いかもしれない。しかしながらモデルの不確実性は表現されていないため、この第9巻をベースに不確実性の表現について議論を進めることも一つの方策である。また、一つのモデルを主として使用しつつも、対照モデルとの比較を奨励することで、不確実性の存在を常にユーザーに注意喚起することも可能である。モデル間及びモデル内部の不確実性、スキームの違いによる不確実性がすべて考慮されるべきである。UKCP は単一モデルでありながら、モデル不確実性の PDF（確率密度関数）を提供している。また、UKCP18 では英国気象局の HadGEM を中心としながらも、CMIP5 参加の世界の主要 13 モデルの結果も用いることで結果に幅を持たせている。同様の PDF が提供できない場合は、単一モデルによるシナリオ提供は避けるべきかもしれない。(d)
- ・ モデルの不確実性を共有するための有効な方法の一つとしてストーリーラインアプローチが考えられる。ストーリーラインアプローチでは、複数のモデル出力を選択するのではなく、複数のモデル出力の解析、ならびに科学的なメカニズムの理解をふまえた専門家判断を経て、複数のストーリーライン（将来気候変化の叙述的な描出）を提示する考え方を指す⁷。ストーリーラインアプローチの一つのメリットは、例えば、将来的に

⁵ 気候予測の不確実性幅の中のどこに位置しているかの特定・提示

⁶ 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；高解像度全球大気モデル（気象研究所 MRI-AGCM3.2）および高解像度領域大気モデル（気象研究所 NHRCM）を用いて、過去にない多数のアンサンブル実験を実施し、極端現象の再現と変化について議論が可能なデータセット。

⁷例：ある地域において夏が猛暑となる日が増えるパターンの将来予測と、逆に冷夏となる気圧配置が増えるパターンの将来予測が出た場合に、どちらか一方を選択するのではなく両方の予測の影響評価を実施

CMIP 気候モデルの相互比較実験が開始したときにもストーリーラインを保持したまま、それぞれに対応するシナリオを作り直す作業をしていくことで、それまでのコミュニケーションが維持される点である。このことは数年ごとに改訂される CMIP 実験への対応の上でも有効になると考えられる。シナリオ選択時に気候予測研究者とユーザーとが意見を交わすことができる点にも意義がある。ストーリーラインアプローチの考え方の有用性が我が国において理解された場合には、まず、既存の将来予測情報のストーリーライン中での位置づけを調査することから始め、次の段階として、それぞれのストーリーラインに対応する新たな影響評価の実施手順について検討、実施していくことが現実的である。(d)

- ・ 複数の気候モデルがあれば複数の結果が現れること、領域気候モデル (RCM) を用いた力学的ダウンスケーリングもあれば統計的ダウンスケーリングもあることなど、少しずつ異なるこれらの部分に係るユーザーへの説明方法の検討が重要である。2030 年に予定されている第 4 次影響評価を見据えた際には、地方自治体を含む多様なユーザーとのモデル不確実性の共有方法について、研究者が積極的に検討を進めるべきである。(d)

(2) 気候モデルの選択に係るガイドラインの整備

(2)-1 現状と課題

a. 気候モデルに与える条件は RCP⁸として整理されているものの、世界中に気候モデルが多数あるため、気候モデル選択に係るガイドラインが必要とされる。2020 年の第 2 次影響評価、さらにはその次を見据えると、どの気候モデルによって計算された結果が、それぞれの分野・項目に対して最適なのか、何らかのガイドラインの作成が必要である。例えば IPCC TGICA⁹では、DDC (Data Distribution Centre) を介して将来予測データやガイダンス文書等を提供している。そのうち Fact Sheet は、政策決定者やエンドユーザー及び研究者を対象とした各種気候シナリオやダウンスケールに関するガイダンス文書に相当する。DDC では IPCC 報告書に使用されたデータ (報告書時点データのスナップショット及び過去データ) が置かれている点に意義付けが為されている。

b. 地方自治体の研究機関等では人事異動の度、気候シナリオに関する情報を、新しい担当者にインプットする必要があり、それが研究者にとっての負担となっている。文科省創生プログラムで作成したデータ利用に係るガイダンス冊子¹⁰は、ユーザー (影響評

⁸ Representative Concentration Pathways (代表的濃度経路) の略称。

⁹ IPCC TGICA (The Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis (TGICA))

¹⁰ 「影響評価のための気候モデルデータの利用」(2015) (pp107)

価研究者やコンサル等)の情報源として重宝された実績がある。一方で、文科省 RECCA と環境省 S-8 で作成したガイダンス文書¹¹に対しては、地方自治体には難解であり、また専門家には情報が不十分であるとの意見が挙げられている。地方自治体関係者を含む影響評価に携わる多様な方々には、一次データを扱うことが技術的に困難、あるいはアクセスもできない場合がある。そのようなユーザーを視野に入れたガイダンス文書作りや資質向上に資する人材育成の取組も必要になる。

c. ガイダンス文書作成は日本においては研究者の実績となりにくいいため、文書の作成が評価される仕組みを採用するなどの、研究者のインセンティブ作りが課題である。

(2)-2 今後の取組み

- ・ IPCC TGICA が作成する各種文書がガイドラインの参考となる。これらの国際的文書のうち、重要なものについては要点の和文整理を行うことが有用である。(a)
- ・ ガイダンス文書の作成は、ユーザー（地方自治体担当者含む）へのインプットに係る気候予測研究者の負担軽減に寄与する。それらのガイダンス文書には、解像度やアンサンブル情報、将来予測の不確実性に関する情報を記載するべきである。また、どの程度の時空間解像度のモデルを使用するべきかを、解析するターゲット毎に示した文書も有用である。さらに、事象ごとの再現性のパフォーマンス情報¹²が含まれると良い。ただし、現在の観測とモデルの再現性の結果が将来予測のパフォーマンス性に必ずしも反映されない点に留意すべきである。気候モデル出力で日本付近の気象現象を徹底的に解明するプロジェクトがより一層推進されると良い（日本版 S-5-2¹³のイメージ）。(b, (1)c, d)
- ・ 説明の方法として、まずは、例えば単純に全期間プラス1℃、プラス2℃、となったらどのような影響が出るのかを説明していくことが初歩的な説明として理解しやすいものと思われる。初めて気候モデルを扱うユーザーに対してはそのような説明から始めることを意識すると良い。地域気候変動適応センターへの助言等を検討する際には、文科省 RECCA や文科省 SI-CAT での実績を活かすことができると良い。(b)
- ・ サイエンスコミュニケーター等の専門職の養成と、その組織化も一つの方策かもしれない。(c)

¹¹ 「気候変動適応策のデザイン」(2015) (pp118)

¹² 例：黒潮の再現性では MIROC が優れている。

¹³ 環境省地球環境研究総合推進費戦略研究開発プロジェクト S-5 (<http://www-iam.nies.go.jp/s5/index.html>) テーマ2「マルチ気候モデルにおける諸現象の再現性比較とその将来変化に関する研究」(テーマリーダー：東京大学海洋気象研究所 高菽縁教授)

- ・ ガイダンス文書を一度作成して終わりではなく、気候シナリオに係る情報源の一覧をオンライン上で環境省が統括管理することが望ましい。例えば、World Clim¹⁴と呼ばれる気候シナリオデータを利用している影響評価研究者も多いものの、気候予測研究者間では認知度が低い。統括管理の場を設け、最新知見を集積させる仕組みが有用である。

(3) 気候モデルデータ共有インフラの必要性

(3)-1 現状と課題

a. 膨大な気候モデルデータをどこに置いてどのようにハンドリングするかは非常に重要でありながら、データはあまりにも巨大であり、サーバー経由のデータ共有が困難である。そのため、国がデータの共有スペースを設置することが必要とされる。

b. 高解像度かつバイアス補正が為された気候モデル出力等を共有するインフラを構築することは、コンピュータ科学の分野のため、大規模プロジェクト化が為されないと実施が困難である。さらに、それらの計算結果を無償共有することが評価される仕組みが必要である。

(3)-2 今後の取組み

- ・ データ共有インフラ構築の際には、DIAS（データ統合・解析システム）を中心とした整理が為されることが有用かつ効率的かもしれない。文科省 SI-CAT ではデータセット検索ツール（d4PDF から条件に適合したデータセットを検索）を作成中である。DIAS で作成された検索ツールとの連携も予定されている。しかしながら、DIAS のみに頼るのではなく、データセンターの役割を担う機関の設置を検討できると良い¹⁵。データ解析機能の開発に関しては、国際的な動向¹⁶が参考となる。(a, b)
- ・ データ共有インフラの機能としては、①バイアス補正済みデータが配信されている（補正プロセスのトレースが可能な状態が理想的）②小規模クラウドの連合体のように機動性がある③ワンクリックで落とせるデータが格納されていること等が意識される必要がある。また、“Excel で読めるデータが必要”といったニーズや、GIS でレイヤーを重ねることが容易になる、国土数値情報の3次メッシュの地図投影への焼き直し等の、データ形式に係るニーズへの対応方法も検討を進めると良い。その際には、情報系の研究者にこのようなシステム構築作業へ積極的に取組んでもらうための仕組みを構築すべき。(a, b)

¹⁴ World Clim-Global Climate Data (<http://www.worldclim.org/>)

¹⁵ 例：国立環境研究所内へのデータセンター機能の付与

¹⁶ 例：Earth System Model Evaluation の ESMValTool

- ・ データを地域気候変動適応センターへインプットする必要がある際には、ある程度気候予測研究者側においてコントロールした情報を提供することで、地方自治体等においてデータを参照する際の混乱を防ぐことができるのではないか。

(4) 予測計算及び影響評価のアウトプットの待機時間の長さ

(4)-1 現状と課題

a. IPCC では WG1（科学的知見）と WG2（影響・適応・脆弱性）、WG3（緩和）の間の連携が求められているが、発行期日に最大 6 か月しか差がないため、同じデータソースで解析がなされないのが実情であり、課題である。ガイダンス文書等を通じた、気候シナリオの世代交代への丁寧な対応（メンテナンス）が求められている。「気候予測、影響評価、適応」が一体となった研究プロジェクトの実施ステップは、①気候予測計算とそのダウンスケーリング②その結果を用いた影響評価③その影響評価結果に基づいた適応策の検討の 3 段階となる。3 年ないし 5 年のプロジェクトでこれらを完結させることはスケジュール的に厳しいため、プロジェクト成果の評価方法や予算配分の見直しが望まれる。

b. 気候シナリオでの計算が多アンサンブル化されると共に、気候シナリオが高解像度化され、影響評価研究者が予測計算のアウトプットを待つ時間¹⁷も長くなってきている。データ出力のハードディスクの容量制限がネックとなり、複数計算を同時進行できないことも深刻な課題である。

c. 既成データセットが影響評価研究において十分に事足りている場合には、最新シナリオが研究結果へどこまで劇的な変化を与え得るのかを把握できていない。

(4)-2 今後の取組み

- ・ 気候予測研究者は、研究プロジェクト開始前より、計算方法について影響評価研究者と予め議論の場を持つことが有用である。影響評価研究者が気候モデルのデータセット検証やバイアス補正に参画する等、計算段階からの協働を進めることにより、影響評価研究者の意見を反映した気候シナリオの設計が可能となる。(a)
- ・ バイアス補正などによりユーザーの納得するデータへ収束させるまでの時間プロセスを予め両者で共有することが重要である。例えば、バイアス補正前のモデルアウトプットの段階のもので一度フィックスさせた後、ユーザー次第で幾つかのオプションが用意される場合があっても良い。ただし、インタラクティブにバイアス補正に参画できる

¹⁷ 例：5 年間のプロジェクトでは 2～3 年目に気候変動予測の成果が上がることが多い。

段階のユーザーから、補正済のデータが与えられて初めて安心して使用できるユーザーまで、多様なレベルのユーザーが存在することに留意すべきである。(a, b)

- ・ 気候モデルの実験データは公開前段階でも影響評価研究者への提供が可能な場合もある。データ提供時期の目安等をタイムラインで示すことも有用である。日頃から両者のコミュニケーションを充実させることが重要である。(a, b)
- ・ 待機時間の長さを徹底的になくす手法として、影響評価のオフラインモデルを気象予測ないし力学的ダウンスケーリングモデルと計算機上でオンラインに動かすことが考えられる。これには両者の密接な協働を要する。(b)

(5) シナリオ整備へのユーザーニーズの反映

(5)-1 現状と課題

a. 既存研究ではインパクトが大きく出る極端な将来予測¹⁸が多かったものの、緩和が成功した場合(2°C目標が実現した場合)に対応した、RCP2.6シナリオでの気候モデルによる将来予測を必要とするユーザーも増加している。また、地方自治体等では、1 kmメッシュ以下のデータ(地方自治体単位の精緻な予測のため)、信頼度・不確実性に関する情報、21世紀末ではない近未来の気候予測情報等へのニーズが高まっている。地方自治体における地域気候変動適応計画の策定のためには、10年前後の予測が重要とされる。

b. 分野もしくはどのような事象に適応するかにより、対象とされるシナリオは異なっている¹⁹。例えば、長期的視点かつ比較的短期の整備が可能な河川・水資源分野と異なり、農業分野では毎年生産・消費されている物に関わるため、将来の極端な悪影響の予測結果が現時点における風評被害に繋がりがかねない。そのため、農業分野ではRCP4.5等の中庸なシナリオが求められる傾向にある。陸域と海域の気候シナリオは独立でダウンスケールが為されているものの、栄養塩の流出や塩水遡上の予測のために、両者がリンケージしたデータが現場では必要とされてきている。土地利用モデル等の社会経済に関する情報も併せて検討する必要がある。

c. ユーザーのニーズに応じたシナリオの作成作業は、気候予測研究者が自身の成果として論文化しにくいいため、作業が後回しにされがちである。気候予測研究者とユーザーとの直接的なコミュニケーションが為されることが望ましいが、そのために研究者が

¹⁸ RCP8.5シナリオを使用した気候モデルによる予測等

¹⁹ 「影響評価のための気候モデルデータの利用」(2015)P49 表 4-3-1、図 4-3-1 参照)

割くことのできる時間は限られているため、両者のコミュニケーションの仕組み作りが重要な課題である。

(5)-2 今後の取組み

- ・ RCP2.6 シナリオに対応した計算については文科省 TOUGOU²⁰でも計算が開始されている。平成 25 年には、文部科学省・気象庁・環境省共同で全 RCP シナリオによるアンサンブル計算が実施されている。(a)
- ・ 空間解像度に係るニーズを挙げる場合には、力学的ダウンスケーリングは空間解像度に関りコストに膨大な差²¹が発生することに留意すべきである。1 km メッシュ以下の高精度データの提供については、技術的課題の解決に向けた取組を進めるべきである。その際には、2 km メッシュデータを 1 km メッシュデータへ補正することが現実的と思われるものの、時空間ともに高解像度データが必要であるというユーザーの声を気候予測研究者側が受け、対話により解決することが重要である。時空間解像度については、ユーザーの必要としているデータの時空間スケール²²がマッピングされると、ユーザーのニーズが満たされる計算が可能になるとと思われる。(a, c)
- ・ 海洋モデルと大気モデルとを結合することが重要であり、気象庁では全球モデルから近海 2 km 沿岸モデルへのダウンスケールを実施している。陸域と海域の気候シナリオのリンケージについても技術開発を継続できると良い。海面上昇に関するニーズの高まりに対応するため、海洋モデルの高度化にも引き続き取り組むべき。(b)
- ・ CMIP6 の ScenarioMIP では幅広い温室効果ガス排出シナリオに対する GCM 実験が行われる予定である。力学的ダウンスケールには膨大な資源を必要とするため、実験開始前にユーザーとの間で、実験デザインに関する十分なコミュニケーションを取っておく必要がある(特に CORDEX や HiResMIP)。CMIP7 に向けた研究活動は施策へ直ぐに結びつく段階ではないが、影響評価側からの声が反映可能なデザインにて、計画的に進めていく必要がある。(b, c)
- ・ ユーザー側が気候シナリオへニーズを反映させたい場合には、シナリオ作成へ主体的に参加することが望ましい。また、その際には気温、降水量等以外にもできるだけ具体的な指標(日射、風向・風速、湿度、雲量など)を挙げることで、研究プログラムの取

²⁰ 統合的気候モデル高度化研究プログラム (<http://www.jamstec.go.jp/tougou/>)

²¹ 例：1 km 解像度と 2 km 解像度で約 10 倍の計算コスト差

²² 例えば農業分野では、年平均気温が良いから 1 km グリッド以下の高解像度が必要(例：かんきつ類栽培適地)あるいは、時別値が必要だがポイントであれば良い(例：イネ高温不稔)等の例が挙げられる。

組の根拠になり得る。時空間解像度のトレードオフや、気候予測研究者側が、どこまでのデータに対して責任を持てるかということも含めた議論が為されるべきである。スムーズなデータの受け渡しが可能となる仕掛けについて、気候予測研究者側とユーザー側との両者のコミュニティの連携の場が設けられることが望まれる。両者の仲介をする人材（Translator）の育成も重要である。（c, (0)a）

- ・ 2050年よりも前に起こり得る極端現象へのニーズが地方自治体などでは高まっている。d4PDFの現在気候アンサンブルをどのように活用するかを検討が重要である。10年先までの情報が一番重要であるということになった場合には、モデル情報に過去の観測データを外挿する形でシナリオを作成する方が、信頼性が高まる可能性もある。このためのデータレスキュー（過去のデータのデジタル化等による収集）等は重要である。2025年の影響評価を見据えた近未来の影響評価の方法について、あらためて検討を進めるべきである。

(6) その他

- ・ 精緻なダウンスケーリングにより気候シナリオが高解像度化される中では、観測データの重要性も高まる。高解像度の観測データの掘り起こしとデジタル化を進める必要がある。
- ・ 地方自治体における影響評価や適応の持続可能な発展のためには、関係府省庁の連携も含めて、財政的な支援を検討する必要がある。各省庁独自のプログラムについては、その継続性が保証されるべきである。計算及びデータセット提供の重要性が関係府省庁間にて認識され、必要に応じて十分な側面援護が行われることに期待したい。
- ・ 積極的な情報共有・意見交換などを通じソフト面での連携体制を強化する一方、データを含めてワンストップショップとすることをハード面で目指すのであれば、どのような仕様を持ったものが必要とされるのかを大きく議論する必要がある。そのようなワンストップのポータルを継続する仕組みを支えるためには、専門家だけでなく多様なユーザーを含めた議論の場を、定期的に間口を広げた状態で設定することが求められる。
- ・ 気候予測および影響評価に係る基礎的事項および重要事項についてFAQのような形で提供することができれば、多方面にて活用される可能性がある。
- ・ 気候モデルの高度化に対応して影響評価の入力条件の作り方も進展させていく必要が

あるものの、バイアス補正前の時点でデータも一度ユーザーへ提示しておくなど、多くのプロセスを含むこと自体がタイムラグを減らす手段にもなり得るという認識を伝えておくべきであると思われる。ただし、全分野がその潮流に乗ることができるわけでは無いため、研究者を対象とした場合と政策決定者を対象とした場合とで情報が異なってくる。新しい気候シナリオが完成した際には、前の気候シナリオとの関係性を整理した上で提示されるべきである。

第3章 まとめ

近年、温暖化予測の情報提供の側に求められているのは、何が起こりそうなのか、だけではなく、何故そうなるのか（要因解析）、またそれがどの程度生じるのか（予測の信頼性）である。それだけ、この分野の研究が熟してきたともいえるが、気象学者に求められるものは増えてきている。

本検討会では、議論を始めるにあたって気候変動予測のデータユーザーとして一般市民や市町村のようなエンドユーザーではなく、各分野で影響評価を行う研究者を主たるターゲットと考えた。それは、専門家集団である影響評価研究者とエンドユーザーとでは付き合い方が基本的に異なり、後者を対象とする場合、社会学的要素が大きくなり物事がより複雑になることを見越したうえでのことであった。

2年間の検討会における議論で我々が学んだことは、気候変動適応計画策定という国民にとって重要な施策の根拠となる気候変動シナリオには、様々な意味で“手入れ”が必要ということである。そのためにも、ユーザーとの真摯な情報交換はこれまで行われてきたように予測計算の結果が上がってきてからでは遅く、データ提供にまつわる諸々のハード・ソフトの整備もこれまで見落とされがちであったが必要となる。力学的・統計的の別を問わず、様々なダウンスケーリングデータを、その特性を生かしつつも芯のあるしっかりとした気候変動シナリオとして作り上げるには、データ提供者とユーザーの協働が必要である。

気候変動予測及び影響評価に関する情報は“社会実装”を考えるとエンドユーザーまでにたどり着く必要があることから、本報告書で議論が尽くされたとは言えない。この先のエンドユーザーを含めた議論においては人文社会科学者の参画も必要であり、新たなトランスレーターの議論も必要になる。したがって、本書を参考にしつつ、地方自治体等を含む多様なエンドユーザーとの連携の在り方について、関係省庁・機関を含めた議論が早急になされることを期待する。

気候変動予測及び影響評価の連携の具体的な進め方や、予測・影響評価結果への対策策定は、国家的事業として関係各省庁や関係研究機関の協力により効果的に検討・実現されるものである。本報告書が省庁・研究機関間の懸け橋の一助になることを願うものである。