

2015 年 11 月 5 日

各国 INDC をふまえた将来の温室効果ガス排出想定での影響リスク評価

本レポートの分析の目的

- COP21・パリ合意に向け各国から INDC（2030 年までの排出削減自主目標）が提出されている。COP16 カンクン合意におけるいわゆる「2℃目標」との関連で従来検討されてきた排出経路と INDC には乖離があるとの評価があるが、どうなのだろうか？本レポートでは、2030 年での各国 INDC 達成を前提とし、それ以降についていくつかの排出経路の延長を想定した場合の、「セクタ別影響リスク」を評価して提示する。
- なお、INDC 達成により得られる排出量と 2℃目標に整合的な排出量を比較する分析、あるいは INDC 達成を前提としてさらにその後には何かの延長を仮定したうえでの全球平均気温予測と 2℃目標に整合的な気温上昇経路を比較する分析は、諸機関により既に行われているが、セクタ別影響リスクの観点で比較する分析は、2015 年 11 月 1 日時点では公表されていない。

キーメッセージ

1. 各国提出の INDC の通りに 2030 年までの排出削減が行われ、さらに 2030 年時点と同程度の強度（同炭素価格）の緩和努力が 21 世紀末まで継続された場合（INDCcont）、2080 年代までに全球平均気温が工業化前比で約 3℃上昇（複数 GCM（気候モデル）平均）すると予測された。緩和策が行われないケース（Ref）での同期間の昇温が約 3.5℃、2℃目標に整合的な排出経路（INDC2deg）での昇温が 2℃弱であることから、INDC2deg の実現により遂げられる Ref からの気温上昇抑制量（約 1.5℃）の 1/3 程度が INDCcont で期待できる。同様に、セクタ別影響指標の変化も、Ref・INDCcont に比べて、INDC2deg で小さくなる場合が多い。
2. 2℃目標達成に整合的な緩和策を想定（INDC2deg）しても、各セクタとも影響リスクはゼロにはならない。適応によるリスク軽減の検討が重要になる。
3. 大規模事象（グリーンランド氷床の融解など）は長期の安定化目標並びにそれに整合的な排出経路の検討に重要であるため、大規模事象の生起メカニズムとその影響に関する理解をさらに深める必要がある。

ICA-RUS プロジェクトとは

- COP16 カンクン合意におけるいわゆる「2℃目標」への合意が既にあることから、政策的側面からは、気候変化の長期目標は現在の重要論点ではないかもしれない。しかしながら、我々は繰り返し「2℃で本当に良いのか、なぜ良いのか」と問い直しをすることが必要である。これは同目標の透明性、重要性、関連性を確実に維持していくために必要なことである。また、社会インフラ建設のような長寿命の適応策もあることから、短

中期的な適応の検討のためにも必要なことである。

- 私たちは本論点について、ICA-RUS と呼ぶ分野横断的研究プロジェクトの中で、リスク管理の観点から取り組んできた。気候リスク評価、エネルギー経済モデリング、エネルギー・水・生態系相互作用、科学技術社会論からの知見を統合的に活用し、本件を論じている。

ICA-RUS レポート 2015¹で評価した 6 つの人類の「選択肢」

- 2015 年 9 月公表の ICA-RUS レポート 2015 において、全球気温上昇を、(i)約 50%または約 80%の確率で、工業化前比(ii)1.5℃、2.0℃、2.5℃以下に抑制する排出削減目標を掲げる、6 つの人類の「選択肢」を想定した。
- 各選択肢について、洪水、水資源、農業、人間健康、生態系といった様々なセクタにおいて生ずる影響について予測を行った。影響予測にあたっては、気候予測、GHG 排出量、社会経済発展に関する不確実性を考慮し、それを不確実性幅として示した（影響予測）。
- 同時に、各選択肢に対して、緩和オプションの組み合わせとその費用について、複数のエネルギー経済モデルを用いて推計した（対策分析）。
- 各選択肢について、影響予測と対策分析の結果をとりまとめ、「戦略」として示した。
- ICA-RUS レポート 2015 は以下の URL で入手可能である。レポートでは、評価結果だけでなく、その評価手法・手順についても説明している。
 - <http://www.nies.go.jp/ica-rus/report/version1/index.html>

各国 INDC に基づく人類の「選択肢」の追加分析

- ICA-RUS レポート 2015 と同様の評価手法・手順を用いて、以下の 3 つの「選択肢」について、セクタ別影響リスクの追加分析を実施した。なお、追加した 3 つの「選択肢」は、国立環境研究所 AIM チームによる緩和分析²で用いられた想定と整合的である。
 - **Ref: 気候政策無し**
 - **INDCcont: 2020 年にコペンハーゲン合意を達成、2030 年に INDC 目標を達成。その後 21 世紀にわたり 2030 年時点と同じ炭素価格を維持。**
 - **INDC2deg: 2020 年にコペンハーゲン合意を達成、2030 年に INDC 目標を達成。その後に 50%の確率で 2℃目標を達成する排出政策を実施。**
- 図 1 は、3 つの「選択肢」について、DICE 改良モデルを用いて推計した、GHG（京都 6 ガス）排出経路（左）および総放射強制力（右）である。参考情報として、IPCC-AR5

¹ ICA-RUS では、2015 年 3 月に「地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第 1 版」の「詳細版」を、2015 年 9 月に「概要版」を公表した。うち、「概要版」を ICA-RUS レポート 2015 と呼んでいる。

² http://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/indcs/indcs_j.html

で気候・影響予測に用いられた4つの代表的濃度経路（RCP）も表示した。なお、ICA-RUS レポート 2015 での分析と今回の INDC 追加分析では、バージョンの異なる DICE 改良モデルを用いている。

- 図1によれば、**Ref**に比べ、**INDCcont**および**INDC2deg**では、2030年時点でのGHG排出量が約20%減となる。しかし、これは2℃目標を満たす可能性が高いRCP26に比べると、12.8GtCO₂eq大きい。2℃目標を満たすには、2030年以降にRCP26よりもさらに大きな排出削減が必要となる。**INDCcont**と**INDC2deg**の間のギャップは、2030年時点でINDC目標が完遂されたとしても2030年以降の努力の拡大無くしては2℃目標を達成しえないことを伝えている。なお、**INDC2deg**の放射強制力経路はRCP26と概ね一致する。

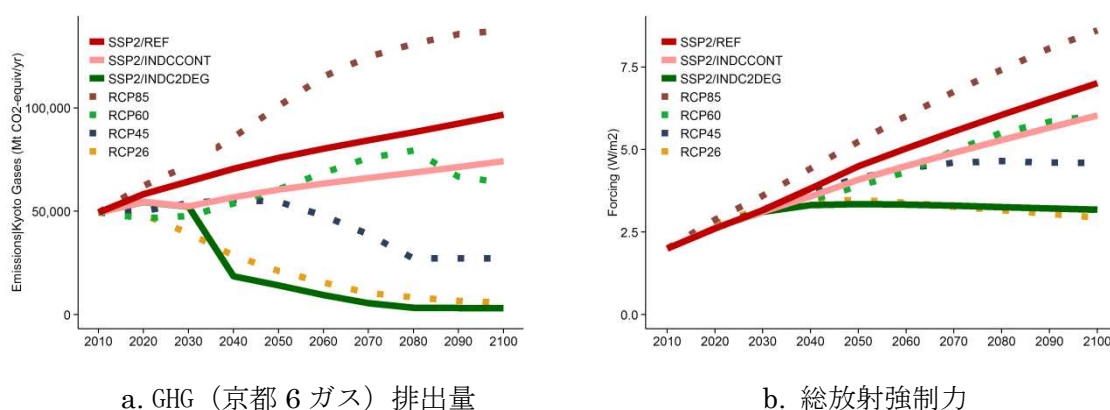


図1 3つの「選択肢」での(a)GHG排出量と(b)総放射強制力

セクタ別リスク分析の結果

- 表1は、各「選択肢」(**Ref**、**INDCcont**、**INDC2deg**)での気候ならびに各セクタ影響指標の、現状（1981～2000年）から2050年代（左）・2080年代（右）への変化量または変化率を示している。社会経済想定（人口・GDPの変化）にはSSP2（中庸）シナリオを用いた。O：OECD、A：アジア、R：旧ソ連・東欧、L：ラテンアメリカ、M：中東・アフリカ、並びにW：世界平均³を示す。図中の縦棒（5地域：水色；世界：肌色）はGCMの不確実性幅を、中央の点（5地域：赤；世界：緑）は推計値の平均を示している。（評価されたセクタ別影響指標の一部を掲載。付録に全指標の結果を収録。）
- 気温変化
 - 全球平均気温で見た場合、**Ref**に比べ**INDCcont**では2080年代までの昇温を約0.5℃小さく抑えることが期待できる。これは**Ref**から**INDC2deg**の間の気温差1.5℃の約1/3に相当する。地域別陸域平均気温変化についても同様の昇温抑制効

³ 便宜上、本レポートでは、陸域・海域両方を含めた地球全体の平均を「全球平均」、陸域のみ（海洋系の影響指標については海域のみ）の平均を「世界平均」と呼び分けている。

果が見て取れる。

- GCM の違いによる不確実性の幅は、**Ref**～**INDC2deg** の気温差に比べ無視できない大きさを持つ。しかし、たとえ不確実性幅の下限值（縦棒の底値）を取ったとしても、**INDCcont** で工業化前比の全球平均気温変化が 2℃以下になることは無さそうである。一方、**INDC2deg** の場合、不確実性幅の上限値の場合でも、2℃は超えてしまうが 2.5℃弱の昇温に抑制することはできる。

- セクタ別影響指標

- コメ生産性：現状比でみると生産性は、OECD を除く全地域において、基本的に増加する。これは（「選択肢」間で共通の）21 世紀中の技術進歩の想定に由来するものである。この基調的な生産性増加傾向に対して気候変化は追加的に影響を及ぼす。現在の気候条件、将来の気候変化ともに地域差があるため、地域別に見た場合の「選択肢」間での生産性の違いは一貫していない。例えばラテンアメリカ（L）では **Ref** に比べて **INDCcont**・**INDC2deg** で高めの生産性が見積もられたが、中東・アフリカ（M）では **Ref** より **INDC2deg** の生産性増加がやや小さい。世界平均（W）を見た場合には、**INDC2deg**・**INDCcont** に比べて **Ref** でやや小さな生産性増加となっている。なお、GCM の違いによる不確実性幅が、**INDCcont** に比べて **INDC2deg** で小さい。
- 野外火災による炭素放出：野外火災による炭素放出は、気温・降水に影響を受ける発火確率の変化と、可燃物の蓄積量に左右される。地域別に見ても世界平均(W)で見ても、**Ref** で野外火災による炭素放出量の増加が最も大きく、**INDC2deg** で小さい。気温変化と同様に、**INDCcont** での **Ref** からのリスク軽減は、**INDC2deg** での **Ref** からのリスク軽減の 1/3 程度である。
- 熱ストレス超過死亡数：社会経済想定（人口変化）と気温上昇に伴う熱ストレス超過死亡確率の増加により、世界的に増加する。気温上昇が最大となる **Ref** で超過死亡増加が最大で、**INDC2deg** で最小となる。**INDCcont** では **Ref** と **INDC2deg** の中間程度の死亡数増加が見積もられた。
- グリーンランド氷床融解のティッピングポイントの超過：IPCC AR5 によれば、グリーンランド氷床が不安定化する閾値（ティッピングポイント）は、全球平均気温上昇が工業化以前から 1℃～ 4℃の間とされており、しかも氷床形状変化の効果を考慮した最新の研究は低めの値を支持している。例えば、仮にこれが 1.0℃であるとする、どの「選択肢」をとっても閾値を超えることを避けられないが、仮に 2.0℃あるいは 3.0℃であるとする、閾値を超える可能性に「選択肢」間で違いが生じる。この問題は、閾値の不確実性や閾値を超えることの意味（たとえば氷床の完全な融解までに数千年かかることの対策の観点からの含意）をどう捉えるかを含めて、さらに深い議論を必要とする。

表1 各「選択肢」(Ref、INDCcont、INDC2deg)での気候ならびにセクタ別影響指標



- 図 2 は、2080 年代までのセクタ別影響指標を地域ごとに示している。作物生産性など例外はあるが、概ねどの指標についても、大きい方から **Ref**、**INDCcont**、**INDC2deg** となる。全般的に、**Ref** と **INDCcont** の差は **INDCcont** と **INDC2deg** の差に比べ小さい。
- 世界平均(W)との対比で地域別の評価結果を見ていくと、OECD(O)では、作物生産性変化、洪水暴露 GDP・人口、熱ストレス死亡人口増加が小さい。アジア(A)では、洪水暴露 GDP の増加が大きい。旧ソ連・東欧(R)では、水ストレス人口、洪水暴露 GDP・人口、熱ストレス死亡人口増加が小さい。一方で野外火災の増加率は大きい。ラテンアメリカ(L)では、陸域生態系関連の指標の増加が小さく、土壌炭素プールについては減少傾向がみられる。中東・アフリカ(M)では、植生純一次生産、植生バイオマス、土壌炭素プールの増加が小さく、植生バイオマス、土壌炭素プールについては減少傾向がみられる。一方、作物生産性、土壌流出、洪水暴露人口をはじめとするその他指標の増加率は大きい。

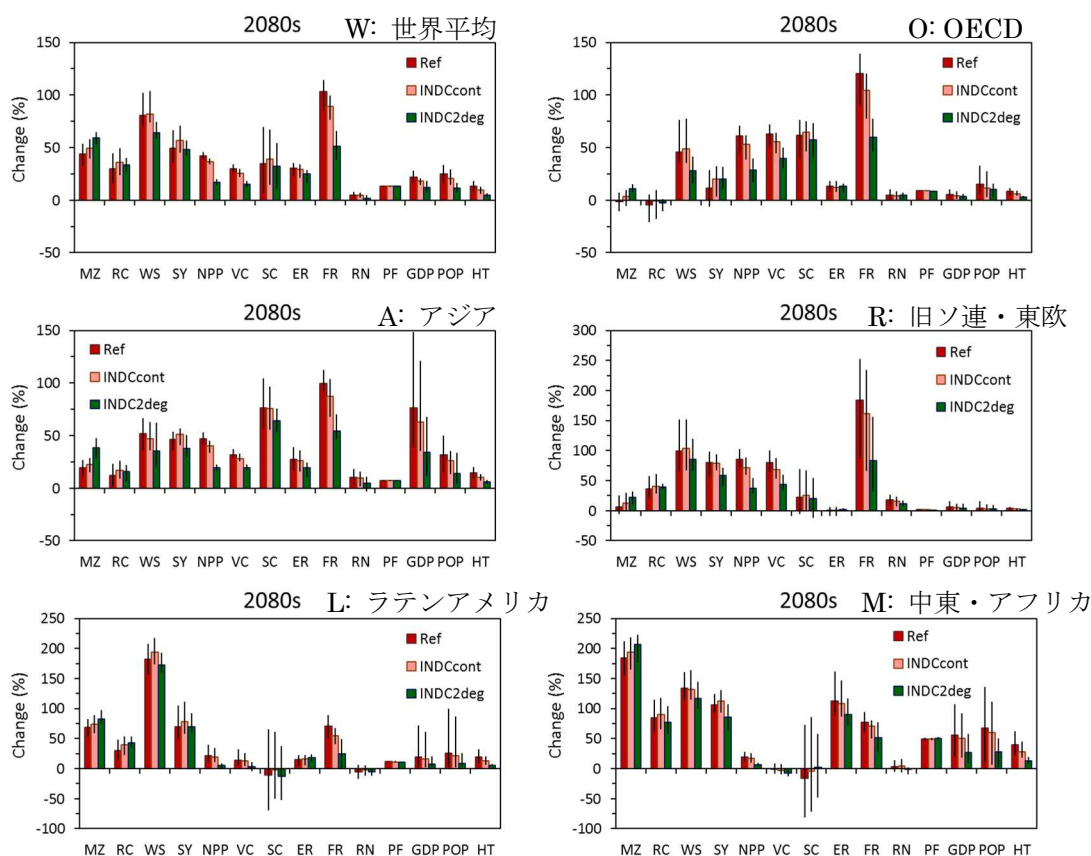


図 2 2080 年代までのセクタ別影響指標 (すべて現在からの変化率 (%)) ; MZ=トウモロコシ生産性、RC=コメ生産性、SY=ダイズ生産性、WS=春コムギ生産性、NPP=植生純一次生産、VC=植生バイオマス、SC=土壌炭素プール、ER=土壌流出、FR=野外火災、RN=流出量、PF=水ストレス人口、GDP=洪水暴露 GDP、POP=洪水暴露人口、HT=熱ストレス超過死亡数；要素間で値の大きさの違いが大きいため、SC (土壌炭素) を 10 倍、PF (水ストレス人口) を 0.1 倍、HT (熱ストレス死亡)・POP (洪水暴露人口) を 0.01 倍、GDP (洪水暴露 GDP) を 0.001 倍とするスケール調整を行った)

留意点・今後の課題

- **評価対象セクタ・指標の網羅性**：本分析で扱ったセクタ・指標は、どれも目標検討に際して見落とすべきでない事項だが、広範にわたるリスクを網羅できていない。ICA-RUSでは、IPCC 報告書等の既存文献をもとに広くリスク項目を抽出し、その相互関係を図示する試み（リスクインベントリ研究）を実施しており、網羅性の確保のためにその活用を計画している。[参照：第1版詳細版 P.3-83]
- **適応策**：本分析では基本的に適応策を考慮せずにリスク分析を行っている。ICA-RUSでは、まず適応の無い想定でのリスクを把握し、次にリスクを受容可能な水準に抑えるための適応について別途検討する手順を採用している。適応の検討は今後の課題として残されている。[参照：第1版詳細版 P.2-1～P.2-3]
- **気候の内部変動**：表1、図2では、特定の年代を取り上げ、10年平均でリスク評価結果を示した。リスク評価にあたっては5つのGCM出力を用いたが、各GCM出力の気候の内部変動（放射強制力によらない自然変動）の影響が10年平均しても残る場合があることには注意が必要である。各GCM出力の内部変動の影響指標での現れ方については、第1版詳細版4章の各影響指標の時系列分析のグラフからその傾向を知ることが出来る。[参照：第1版詳細版 P.4-8～P.4-52]
- **影響の空間分布**：ICA-RUS レポート 2015 では、気候予測不確実性への注目、緩和政策分析との比較の観点を重視し、世界を非常に粗く5地域に分割し、各地域の平均的な影響リスクを描いた。本 INDC 分析においても同レポートの手法を踏襲したことから、5地域分割での分析となっている。一方、図3に例を示すように、各地域内でも国間で影響量に差がある。地域内の国間の公平性・影響差についての検討は今後の課題として残されている。
- **緩和政策の分析**：本 INDC 分析では地域別の緩和政策の分析（緩和費用、エネルギーミックス等の分析）は行っていない。ただし、共通したシナリオ設定での1モデル（AIMモデル）を用いた分析は別途、国立環境研究所の研究チームにより実施・公表されている。[参照：http://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/indcs/indcs_j.html]

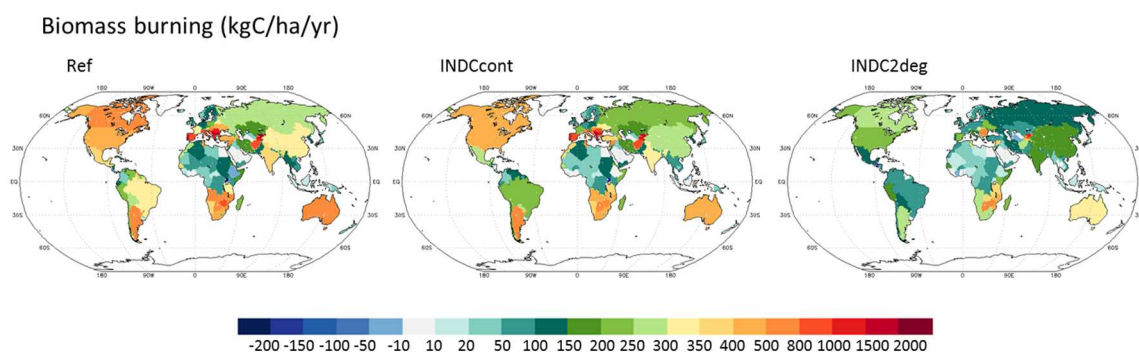


図3 野外火災による炭素放出の変化量（国別）

ICA-RUS プロジェクトならびに本レポートに関する問い合わせ先

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 気候変動リスク評価研究室

Email: s10-info@nies.go.jp

付録:

各「選択肢」(Ref、INDCcont、INDC2deg)での気候ならびにセクタ別影響指標

O: OECD、A: アジア、R: 旧ソ連・東欧、L: ラテンアメリカ、M: 中東・アフリカ、並びに W: 世界平均

