

気候変動—未来選択に向けて

「環境情報科学」編集委員

立入 郁

1. 特集の背景とねらい

本特集は、43巻3号の特集「IPCC 第5次評価報告書—新たな知見とその意味」に続き、今年度二度目となる気候変動関係の特集である。特集の目的は、どのような将来を選ぶのかを考える材料を提供することである。

こう書くと、読者の中には、2012年10月のカンクン合意ですでに2℃目標¹⁾で合意されているのだから、気候安定化目標については議論が終わっているのではないか、と思う方もいるかもしれない。しかし、筆者は、目標に関して議論する時期は過ぎたとは考えていない。そのように考えることは一種の思考停止であり、気候感度やティッピングエレメント²⁾、あるいは温室効果ガス(GHG)削減の難しさについて知見・経験が蓄積されるに従って、過去に設定した目標の意義が小さくなった場合には、当然目標は見直されてしかるべきである。筆者の感覚では、2℃目標達成はいくつかの難しい条件³⁾あるいは幸運⁴⁾がかみあわないと達成できない数字であると考えており、達成できるかもしれないが、場合によっては目標の変更を検討せざるを得ない場合もあると考えている。いかに現在の目標を実現させるかを考えることが重要であることはもちろんであるが、本当に2℃目標は妥当なのか、を考え続けることは、少なくとも研究者としては重要なことだと考えている。

国際政治の場で、2℃目標がはじめて表舞台に出たのは、筆者の理解では2009年7月のラクイラ・サミットである⁵⁾。ここで、「工業化以前の水準からの世界全体の平均気温が2℃を越えないようにすべきとする広範な科学的見地を認識」していることが確認された⁶⁾。同じ表現は、直後の主要経済国フォーラムの首脳宣言にも盛り込まれている⁷⁾。この「認識している」とい

う表現が、2009年12月のコペンハーゲン合意では、「IPCC 報告書等の科学的知見に基づき、産業化以前からの気温上昇を2℃以内に抑えるため、地球全体の排出量の大幅削減の必要性に合意」となり、翌年のカンクン合意では、「工業化以前に比べ気温上昇を2℃以内に収める観点からの大幅な削減の必要性を認識」し、「2050年の世界規模の大幅排出削減及び早期のピークアウトに合意」となっている⁸⁾。カンクン合意では定期的なレビューの実施も合わせて合意されているものの、これは島嶼国による1.5℃目標への留意の希望を取り入れたもので、2℃目標を緩めることを意図したものである⁹⁾。

多大な困難を乗り越えてこのような合意が形成されたことには敬意を表すが、この時、具体的にどのように実現するかをどれぐらい検討したかについては疑問が残る。実現するために何が必要かを具体的に分析する前に目標だけを設定することは、他のリスクの考慮を軽視する危険につながるのではないだろうか。こうしたリスクには、たとえば(国家間あるいは国内の)経済格差の拡大や拙速な原子力発電所の再稼働・新設などが考えられる。もちろん、不確実性が大きいことを理由に目標設定を遅らせてはならないが、不確実性の範囲のうち悲観的な方に合わせて目標を設定しながらも、思考停止せずに考え続け、リスクを含めた総合的な知見を積み重ねておくことは、今後も必要なのではないだろうか。

2. 特集の構成・内容と若干の補足

そのため、本特集は、重要と思われる分野について、気候安定化目標を考えるにあたって参考になるような情報をまとめることを目標として企画した。以下、本特集の構成を概観する。

構成の概観は図1に示すようなものである。最初の2つの原稿をイントロダクションとし、次の4原稿は影響（適応含む）を扱っている。それに続く3原稿は経済的・技術的な緩和手法を扱っており、最後の原稿では、意見の異なる者同士の相互理解に向けて考慮に入れるべき視点について試論していただいた。

2.1 問題点の整理

導入部の一つめは、低炭素社会戦略センターの田中氏による、統合報告書の内容の紹介である。統合報告書（2014年10月採択）は各作業部会の評価報告書をまとめて、全体としてまとまりのあるメッセージとするものであり、田中氏はこれにReview Editor（査読編集者）として参加している。原稿では、統合報告書の4つのトピック、Ⅰ気候システムの観測された変化およびその要因、Ⅱ将来の気候変化、リスクおよび影響、Ⅲ適応、緩和および持続可能な開発に向けた将来経路、Ⅳ適応策および緩和策、が順に紹介されている。またIPCCの「人類の発展」、「GHG排出」、「気候の変化」、「自然・社会の変化」の4つを結びつけて理解し伝えようという意図についても強調されている。

筆者としては統合報告書のSPM3.4後半にある、「低位安定も高位安定も困難さが大きく異なるわけではなく、そのタイムスケールが異なる」という言葉を、迅速な行動を促したとくに重要なメッセージとして挙げておきたい。

続いて、滋賀県立大学・松本氏による、排出量と気

温上昇の関係についての解説である。すでに43巻3号特集（羽島，2014）でも触れられているように、WG1-AR5で積算炭素排出量が気温上昇を左右することが示されており、炭素排出量と気温上昇は極端なシナリオを除けば、単純な関係で結びつけられる（不確実性が大きい問題は残る）。原稿中の表1は、排出量と気温上昇をより詳しく（気候モデルよりも多くの実験により不確実性の幅が示されている）結びつける重要なものである〔前回の特集でも同じ表を出典とする表が示されている（秋元，2014）〕。ここでやっかいなのは不確実性の問題である。たとえば、産業革命後の温度上昇が2℃を越える確率を50%以下に抑えたいと考えて2100年のCO₂換算濃度を500ppmとし、530ppmをいったん超えることを許容するとした場合、2011～2100年の累積CO₂排出量は990～1550 GtCO₂となり、1.6倍程度の大きな不確実性が残るのである。原稿ではこのほか、途上国の協力の有無や重要技術の使用の可否の影響についての研究にも触れられている。

2.2 影響と適応

次の3つの原稿では、災害、農業、健康の各分野への影響をまとめていただいた。これらの中で、さまざまなシナリオが影響評価に使われている。これらのシナリオの中には過去の報告書向けに作られたものも含まれており、読者の混乱を招く恐れがあるので、若干の補足をしておこう。図2は、WG1-AR5の図であり、RCPやSRESを含むシナリオがわかりやすくまとめられている¹⁰⁾。このような、SRESとRCPあるいはIS92aの関係のある程度頭に入れてから、影響評価の原稿を読むほうが理解しやすいだろう。

さて、京都大学・森氏らによる災害についての解説では、海水温上昇による台風の強大化や、海水面の上昇に伴う高潮災害の強化について述べられている。気温が上がれば大気中の水蒸気量が増えるという関係は明確であるが、将来の昇温と温暖化時の台風特性や雨量の関係や、シナリオごとの被害の違いについては、現段階ではあまり研究が蓄積されていないことが述べられている。筆者による若干の補足が許されるならば、その数少ない例外は、WG1-AR5（表11.2）でも引用さ

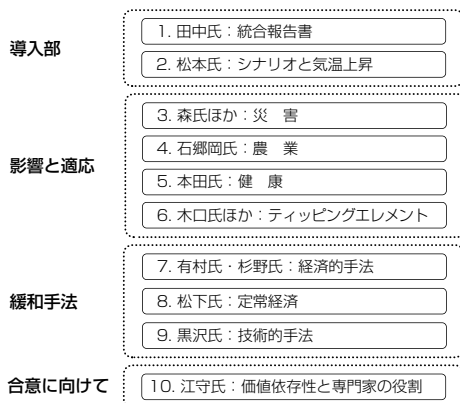


図1 本特集の構成

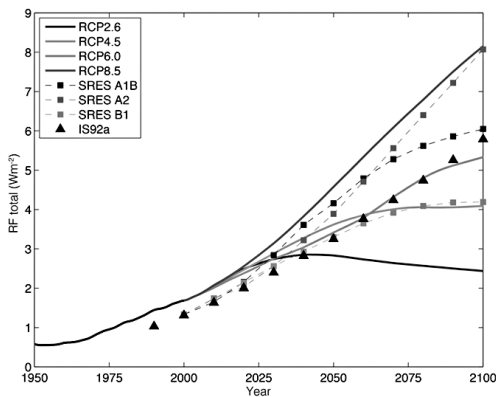


図2 本特集の影響評価で使われているシナリオ

出典) IPCC WG1-AR5 Fig. 1-15 (Cubasch *et al.*, 2013) 1950~2100年の人為放射強制力 (W/m²)。産業革命前 (1765年頃) との比較。過去の報告書で使われたシナリオとRCPの比較。排出量に関する仮定の変化により、IS92, SRES, RCPの2000年時点の放射強制力にはズレがある。

れた Villarini and Vecchi (2012・2013) による北大西洋のサイクロンの解析である。Villarini and Vecchi (2012) は、CMIP5 モデルを解析し RCP2.6, 4.5, 8.5 についての21世紀中のサイクロンの数の変化を調べたものである。これによれば、シナリオ間の差は小さく、また21世紀前半はサイクロンの増加トレンド(2個/世紀)が見られ、増加することは90%水準で有意であったのに対し、後半ではトレンドの符号の不確実性が大きく、増加についての統計的有意性は失われた。一方、同じ著者によるサイクロンの強度に注目した研究 (Villarini and Vecchi, 2013) では、RCP2.6, 4.5, 8.5すべてで21世紀末にはサイクロンの強度が高まること、そしてそれは放射強制力が大きくなるシナリオでより顕著であることが示されている。

続いて、農業環境技術研究所の石郷岡氏による、国内農業への影響の解説である。まず筆者が認識を新たにしたのは、全国規模のアンケート調査により、果樹では全県、野菜・花きや水稲でもほとんどの都道府県で温暖化の影響が実感されている、という結果である。さらに収穫量に注目が集まりがちの中、質への影響も無視できない点が指摘されている。適応策としては、栽培時期をずらす、類似の別品種の導入などの必要性が指摘されている。21世紀末までの1等米比率の予測低下量は、SRES A1Bシナリオで39%、同A2で44%と推計され、排出シナリオや気候モデルにより差は見

られたが、すべてのシナリオにおいて品質の低下が予測された。日本以外についての研究例を補足するならば、WG2-AR5では、食糧安全保障についてまとめた7章 (Porter *et al.*, 2014) (図7.4あるいはBox 7-1)で、トウモロコシ (maize)、コムギ、コメにも注目して気温変化の影響が示されている。それによれば、温帯では5℃上昇まで生産量が微減傾向であり、適応によってカバー可能であるが、熱帯では、コメについては温帯と同様であるものの、トウモロコシとコムギは減少傾向が顕著であり、適応後もその影響が残る。一方、Rosenzweig *et al.* (2013) では、上述の3つの作物について、4つのRCPで比較すると、2050年まではあまり差が大きくないが、2090年ではRCP8.5で影響がとくに大きいことが示されている。

それに続くのは、筑波大学・本田氏による健康影響の解説である。健康被害の推計の難しさ(社会的要因の寄与の考慮と、とくに重要となる途上国のデータのクオリティ確保の難しさがその理由)と闘いながら編集されたWHOの報告書の中の、重要な部分がまとめられている。それによれば、先進国の被害は熱関連に集中するのに対し、途上国では低栄養、マラリア、下痢性疾患によって多くの死亡者が出るとされている。SRES A1Bシナリオについての熱関連死亡者数の推定では、2030年では6万4000人(適応なしの場合)または2万8000人(50%適応時)とされた。

影響についての最後の原稿は、東京大学・木口氏らによるティッピングエレメントの原稿である。原稿ではLenton *et al.* (2008) あるいはWG1-AR5のリスト (Table 12.4) に沿っておもなティッピングエレメントについての説明がなされている。Lenton *et al.* (2008) によれば、クリティカルな変化を起こすと考えられる全球平均気温の上昇レベルは、北極海の夏の海水については0.5~2℃ (1980~1999年の平均からの変化)、グリーンランドの氷床については1~2℃ (同) とされていて、このほかのものについては3℃以上もしくは不明とされているために、この2つのティッピングエレメントが、安定化目標を考える際に重要になる。このうち、北極海の海水については、いくつかの研究ではす

でティッピングポイントを超えているとされ [WG1-AR5 12.5.5.7節 (Collins *et al.*, (2013)], 楽観的な見方としても木口氏らの指摘のように今世紀中にはティッピングポイントを超えることが予想される。一方、グリーンランド氷床について、原稿で引用されている中で最も悲観的なティッピングポイントの推定例 (Robinson *et al.*, 2012) は産業革命以降の全球平均気温上昇 0.8~3.2℃ (最適推定値 1.6℃) というものであり、われわれはすでに信頼幅の下限 (0.8℃) に達している。Robinson *et al.* (2012) のモデルを用いた研究では氷床は閾値に達すればいっきに融解が進むことが示されており、もしそれが本当に起こり、海面上昇を引き起こせば、非常に大きな被害を引き起こすだろう。一方、サヘル・サハラと西アフリカのモンスーンについては、湿潤化に伴う carrying capacity の増加が起こるとされ、むしろ好影響をもたらすティッピングエレメントの稀な例 (Lenton *et al.*, 2008) との見方もある。また、原稿中で統合評価モデル (IAM) を用いた経済的影響の解析例について示されていることも重要である。

2.3 緩和の方法

これに続く3編は緩和技術についてのものであり、最初の2つは経済的手法、3つめは技術的手法である。経済的手法の最初のもは、早稲田大学・有村氏と山形大学・杉野氏による既存の経済的手法の解説である。効率的に GHG 排出量削減を行うには、限界削減費用を世界で統一することが有効であり、このためには単一の炭素価格の設定が重要であることがまず指摘されている。そして、そのための方策として、炭素税と排出量取引が挙げられている。炭素税の利点として前もって費用が見積もられる点などが挙げられる一方で、導入していない国・地域との不公平の問題とその解決方法にも触れられている。排出量取引については、不公平の問題に加えて排出枠の配分方法の問題があることが指摘されている。また、国ごとのクレジットのやり取りによって先進国の技術が途上国に適用されることを促すしくみとして、さまざまなクレジット取引制度の紹介もなされており、その一つとして REDD+ が削減量の大きさへの期待とその管理上の難しさの指

摘とともに挙げられている。なお、原稿では紙幅の都合で省略されているが、森林総合研究所 (2012) によれば、REDD (Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation) とは、COP11 (UNFCCC) で提案された、発展途上国における森林減少 (deforestation) および森林劣化 (forest degradation) に起因する GHG 排出の削減であり、「プラス」の部分は後に COP13 (同) で含めることになった、森林保全、持続可能な森林経営および森林炭素蓄積の強化のための取り組みを指す。このように、REDD+ は森林面積の減少だけでなく、森林劣化を抑制することも含むことは重要である¹¹⁾。これは単に炭素蓄積だけでなく、より広い意味合いを持っている。すなわち、(1) 森林を保護することが地域住民の生活にとって大切である、という視点も含む点 (これは、とくに先住民が森林からさまざまな林産物を採取して生活しているという現実に依拠しており、REDD+ 推進にあたっては住民との合意形成も不可欠となる)、(2) 生物多様性の保全 (これには、とくに先進国が関心を持つ遺伝子資源の確保や絶滅危惧種の保護のほかにも、先住民の生活にとって欠かせない資源という意味もある)。

続いて、地球環境戦略研究機関 (京都大学名誉教授)・松下氏による定常経済についての解説である。2014年のブループラネット賞受賞者であるハーマン・デイリーが提唱する定常経済は「一定の人口と一定の人工物のストックを、可能な限り低いレベルでのスループットで維持するもの」(デイリー, 2014) であり、最近とくに注目される考え方である。原稿では、定常経済とは何か、が多角的に述べられている。また、GDPが富の指標としては適切ではないことが説明されている。今すぐGDPを指標とすることを放棄することは難しいかもしれないが、目指すべき方向として、意識すべきものであると思う。また、いきなり定常経済を実現することは難しいことを踏まえて、まずわれわれが目指すべきものとしてローカーボン成長が、ドイツの事例を挙げて紹介されている。

デイリーの著作 (2005・2014) には大変重要かつ興味深い指摘・提案が多数なされているが、原稿を補足す

る意味で、定常経済への移行のための政策を挙げると、①基本的な資源に対して「キャップ・アンド・トレード」のしくみを設ける、②環境税を改革する、③最低所得と最高所得の所得格差の幅を制限する、④パートタイムや個人の仕事の選択肢を増やす、⑤国際貿易を規制し、自由貿易、自由な資本の移動性、グローバル化を制限する、⑥WTO・世界銀行・IMFを国際清算同盟のような組織にする、⑦民間銀行の預金準備率を100%に引き上げる、⑧希少価値を正しく評価する、⑨自然増+社会増をゼロにして人口を安定化する、⑩国民勘定を改革し費用勘定と便益勘定に分ける、である（デイリー、2014）¹²⁾。簡単ではないだろうが、持続可能性からの理論的要請として、心に留めておくべきだろう。

エネルギー総合工学研究所・黒沢氏による原稿は、バイオエネルギー CCS とジオエンジニアリングを扱っている。今世紀中に気候を安定化させるためには、今世紀の終盤にはほぼゼロエミッションとすることが要求されるが、さらに場合によっては排出量を負にすることが求められる。そして、そのためには、大規模植林による陸域炭素量の増加、そして、バイオエネルギーと CCS を組み合わせる「バイオエネルギー CCS (BECCS)」や空気中 CO₂ の直接回収などの「ネガティブエミッション技術」が必要となる。さらに、バイオマスのエネルギー転換技術には熱化学的変換（発電、燃焼、ガス化、熱分解、直接液化）と生物化学的変換（発酵）があり、このうち CO₂ 回収率が高いのは発電と燃焼であることが指摘されている。また、アメリカ・イリノイ州の BECCS プロジェクトが紹介されている。原稿の後半では、ジオエンジニアリング（気候工学）についてまとめられている。多くは太陽放射管理（直接的または間接的に太陽放射の反射を増やす手法）であるが、他方、大気中から温室効果物質を減らす方法もあり、そのほとんどは CO₂ を直接的または間接的に除去するものである（この中には CCS が含まれる）。また、全球気候モデルを用いたジオエンジニアリング比較プロジェクトにも触れられているほか、各 WG の AR5 での取り扱いが紹介されている。最後に、ジオエンジニアリングの問題点に触れ、「現時点では、地球環

境研究を行っているコミュニティの中でも、気候工学オプションの実施を積極的に行うべきであるという意見の一致は見られない。評価の視点として、科学的な環境リスク、倫理問題、ガバナンス、社会的受容可能性の問題を解決する必要がある。」と結ばれている。

2.4 合意に向けて

最後に、国立環境研究所・江守氏に、合意形成に向けての視点の提起をしていただいた。原稿では、多様な価値観の存在を認識することの重要性と、専門家の役割について論じられている。多様な価値観の存在については、社会心理学的観点、政治学的観点、倫理的観点からの例が示されている。そしてこれを前提に、専門家の役割が Pielke の四分類 [純粹科学者、質問への解答者、特定政策の推進（唱導）者、公正な仲介者] に沿って論じられている。気候安定化目標の設定のような価値判断を含む問題については、公正な仲介者となるか、さもなければ責任ある唱導者となるよう心掛けるべきであり、聞き手は責任ある唱導者と無責任な唱導者を区別するよう注意することを求められるとされている。責任ある唱導者となるためには、自分は客観的であるということを疑う必要がある。価値判断を伴うような問題に対して、真に客観的な視点は存在せず、誰しも主観的な見方を交えつつ論じざるを得ないのだから、それに自覚的になるべきだ、という指摘である。ここで、「あたかも客観的な事実命題であるかのように特定政策を唱導しておきながら、その裏に自分の価値判断をこっそり忍び込ませているような態度」（無責任な唱導者、あるいは Stealth Issue Advocate）の例として福島第一原発事故関連の学者の発言が挙げられているが、ある温暖化関連のシンポジウムではマスコミ関係者から「IPCC はどう見ても 2℃ 目標が妥当だと主張しているように見える」という発言があったように、IPCC もまた、この危険に瀕していることを自覚すべきであろう。最後に、「個々の専門家が自身の内省によって見出す内的な倫理観」への期待が述べられているが、これを持ち合わせない人の強弁による妨害を避けながら、これを持ち合わせる人を増やしていくことはそう簡単なことではないだ

ろうが、筆者もこうした人びとが多くなることが、社会全体での意思決定（あるいはそこへ至る議論）をよいものにするために重要だと考える。

3. おわりに

筆者の考えでは、気候安定化目標をどう設定するか、においては、ティッピングポイントの重要性が大きい。その理由は、連続的に被害が高まる場合よりもある閾値を超えると急激に状況が悪化すると言われたほうが、その手前に目標を置こうという動機づけになることが一つであろうが、もう一つ、他と比べて比較的定量的な情報がすでに得られていることも挙げられるだろう。北極海の海水のティッピングポイントを考えればすぐにでも気温上昇は止められなければならないし、グリーンランド氷床においても猶予はあまりない。これらから、気候システム側からの視点のみで見れば気候安定化目標を2℃（あるいは島嶼国が主張している1.5℃）に設定するのは妥当である。一方、目標を達成するためのコストを正しく見積もるため、松本氏や木口氏らの原稿中で紹介されているようなIAMを用いた経済的評価などをさらに進め、気候変動を受け入れる（適応する）コストと、気候変動を止める（緩和する）コストを総合的に評価することが必要であろう。2℃目標達成を念頭に置いたRCP2.6シナリオを作成したvan Vuuren *et al.* (2007) は、目標達成は技術的には可能であるが、最初の20年で排出を減少に転じさせる必要があるとしており、GHG削減費用をGDPの1.1%と見積もっている。目標達成時の世界像をさらに詳細に描いていく必要があるとともに、その過程で、現在大きく残っている不確実性も低減していく必要がある（モデルの違いによる結果の違いとその理由の分析も当然必要である）。

さて、前回（43巻3号）に引き続き、今回も紙面の許す限り分野にとらわれない総合的視野で温暖化問題を考えることを意識して特集を編んだが、編集担当者として若干の心残りがあるとすれば、自然科学（気象学、生態学など）、社会科学（経済学など）とその応用（工学、農学）を内容に含められたものの、人文科

学を含められなかったことであろうか。

昨今、気候変動が人類的な問題になるに従い、人文科学者にもさまざまなインスピレーションを与えていることは確かである。たとえば、Barnes *et al.* (2013) は、人類学から気候変動科学への貢献として、①気候変動に対する知識・解釈・反応の文化的・政治的背景への注目、②近年の気候に関する議論の背景にある歴史的経緯への自覚を促す、③包括的な人間—環境系への理解、の3点を挙げている。

哲学の貢献の例としては、東洋大学「エコ・フィロソフィ」学際研究イニシアティブ¹³⁾の活動を挙げることができるだろう。また、松下氏の原稿にあるように、ミル、スミス、ケインズなどの経済学の基礎を作った人たちが、人間と自然について深く考察を行ったうえで、経済はいずれ定常化すると考えていたことは非常に象徴的である。人間・自然についての深い考察を省略し、人間を利潤をめざし、財を増やして効用を増やす主体として位置づけることにより、高度に数学的扱いができるようになったのかもしれないが、それによって失ったものもまた非常に大きいのではないかと。

気候変動の問題は、人間がどうあるのか、の問題である以上、人類学、哲学を含む人文科学に期待される役割も大きいはずであり、今後のさらなる貢献が期待される。専門分野の壁や既得権益、個人レベルの人生経験などから解放され、もう一度原点に戻り、無垢な目で人間と自然について深く考察し直すことを、気候変動の問題はわれわれに突きつけている。

謝辞：前回（43巻3号）、今回と2回にわたった気候変動関係の2つの特集をまとめるにあたり、環境省の温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究（S8）、同地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究（S10）、文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラムの参加研究者から多くの執筆をいただいた。各プロジェクトのリーダー級の理解があつて可能になったことであろうから、執筆者の皆さんに感謝するとともに、リーダーの方々にも（直々にご執筆いただいているリーダーも多いが）感謝したい。また、編集担当から原稿をお願いするにあたり、気候変動リスク情報創生プログラムで主催されている活動である「シナリオイニシアティブ」¹⁴⁾で得た人脈を活用させていただいた。この活動の主催者にも感謝の意を表す。

補注

¹⁾ 産業革命以降の全球平均気温上昇を2℃以下に抑える、という目標。

- 2) ティッピングエレメントとは、気候変動がある閾値を超えた際に大規模な変化（しばしば不可逆性を伴う）を起こす事象であり、この時の閾値をティッピングポイントと呼ぶ。
- 3) たとえば、世界中のすべての国々が、目先の国益を捨て、同じ目標の達成のために協力すること。産業界が、既得権益にとらわれずにドラスティックな構造変化を受け入れること。これらの点について、筆者はあまり楽観的ではない（もちろん希望は捨てていないが）。
- 4) たとえば、気候感度が、現在の推定幅の中間値を大きく上回らないこと。気候—炭素循環フィードバックについても同様。
- 5) 2007年に出されたIPCCの第4次評価報告書が大きな影響を与えたことは自明であろう。一方、茅 <http://www.rite.or.jp/news/events/pdf/Kaya_ALPSII_2013.pdf> は2°C目標決定の経緯の説明を1996年のEU閣僚理事会から始めている。
- 6) <http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/italy09/ss_kk.html>
- 7) <http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/italy09/pdfs/sengen_fo.pdf>
- 8) <<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0613-02/ref01.pdf>>
- 9) 「とのことである」というのは議論の流れについての私信を根拠にしているためである。また、私見では、緩めることを意図したものでなくとも、結果としてこの定期的レビューの項の存在が目標を緩める可能性を残していることも事実であると思う。
- 10) ちなみに、この図では2100年時点の放射強制力を示すはずのRCPの後に続く数字と、図示された放射強制力は一致しない（たとえば、RCP6.0では5.1W/m²ほど）。これはなぜかといえば、今回報告書は放射強制力を有効放射強制力（effective radiative forcing, ERF）として評価しており、外力ともフィードバックとも取れる地球システムの非常に速い反応を、外力として扱っているからである。具体的には、ERFはエアロゾルの間接効果（雲を増加させ反射率が増す、など）が起こった後の放射強制力を示しており、これを含めなければRCP6.0の2100年時点での放射強制力は6.0W/m²となる。
- 11) このバラグラフの残りの部分は、本誌編集長でもある杉村乾・長崎大学教授によるコメントをもとにしている。
- 12) 筆者の一存で一部表記を簡潔にしている。
- 13) <<http://www.toyo.ac.jp/site/tieph/>> サステナビリティ学連携研究機構（IR3S 東京大学）（2005～2010）に参画し、サステナビリティ学の確立に際し、その思想的基盤を受け持ったのち、社団法人サステナビリティ・サイエンス・コンソーシアムに有力メンバーとして参加し、エコ・フィロソフィを展開している。
- 14) <<https://tembin.jreap.org/wiki/>>

引用文献

秋元圭吾 (2014) IPCC 第5次評価報告書における緩和の排出経路と各種対策・政策の評価. *環境情報科学*, **43** (3), 42～48.

Barnes, J., Dove, M., Lahsen, M., Mathews, A., McElwee, P., McIntosh, R., Moore, F., O'Reilly, J., Orlove, B., Puri, R., Weise, H., and Yager, K. (2013) Contribution of anthropology to the study of climate change. *Nature Clim. Change*, **3**, 541-544. doi:10.1038/nclimate1775

Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., J.-L. Dufresne, T. F., Friedlingstein, P., X. Gao, W. G., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A., and Wehner, M. (2013)

Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F. *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M. C., Frame, D., Mahowald, N. and Winther, J.-G. (2013) Introduction. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F. *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ハーマン・E・デイリー (2005) 持続可能な発展の経済学 (訳: 新田 功ほか). みすず書房, 334p.

ハーマン・E・デイリー (2014) 「定常経済」は可能だ! (聞き手: 枝廣淳子). 岩波ブックレット 914, 63p. 岩波書店

羽島知洋 (2014) 気候変動 (WG1) 炭素循環および累積炭素排出量に対する気候の過渡的応答. *環境情報科学*, **43** (3), 14～20.

Lenton T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., and Schellnhuber, H. J. (2008) Tipping elements in the Earth's climate system. *PNAS*, Vol.105, 1786-1793.

Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A., Cochrane, K., Howden, M., Iqbal, M. M., Lobell, D., and Travasso, M. I. (2014) Food security and food production systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B. *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.

Robinson, A., Calov, R., and Ganopolski, A. (2012) Multistability and critical thresholds of the Greenland ice sheet. *Nature Clim. Change*, **2**, 429-432.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Muller, C., Arneth, A., Boote, K., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N. I., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., and Jones, J. W. (2013) Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *PNAS*, **111**, 9, 3268-3273.

森林総合研究所 (2012) REDD-plus How to measure and monitor forest carbon.

van Vuuren, D., M. den Elzen, P. Lucas, B. Eickhout, B. Strengers, B. van Ruijven, S. Wonink, and R. van Houdt (2007) Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change*, **81** (2), 119-159.

Villarini, G., and Vecchi, G. A. (2012) 21st century projections of North Atlantic tropical storms from CMIP5 models. *Nature Clim. Change*. doi: 10.1038/NCLIMATE1530.

Villarini, G., and Vecchi, G. A. (2013) Projected increases in North Atlantic tropical cyclone intensity from CMIP5 models. *J. Clim.*, **26**, 3231-3240.