特集総括

1.5℃と2℃—気候変動「パリ協定」目標の意味と実現への道筋

1.5℃ and 2℃ : Implication of the Targets in the Paris Agreement on Climate Change and the Pathways to Achieve them

「環境情報科学」編集委員会

立入　郁・高橋　潔・伊藤　泰志・高山　範理・杉村　乾
（ゲストエディター）

Kaoru TACHIIRI, Kiyoshi TAKAHASHI, Yasushi ITOH, Norimasa TAKAYAMA and Ken SUGIMURA

1. 特集の背景とねらい

2015年12月12日に第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において採択された「パリ協定」では，「産業革命前からの世界の平均気温上昇を2℃より十分低く保つとともに，1.5℃に抑える努力を追求すること」を主たる目標とし，この実現のために，温室効果ガス排出をできる限り早く減少に転じさせて今世紀後半には人為的な排出と吸収とをバランスさせること，2023年から5年ごとに長期目標の達成状況をチェックする会合を開くこと，適応に関する行動強化の協力を進めること，などが盛り込まれている。

同協定はその後，翌2016年10月5日時点で55ヵ国以上が批准し，批准国の温室効果ガス排出量の総和の世界全体の排出量に占める比率が55％を超えたことで発効要件を満たし，30日後の同年11月4日に発効した。わが国も，少し遅れたものの11月8日にこれを批准した。2℃目標への合意自体画期的なことだが，さらに島嶼国の要求で「1.5℃に抑える努力の追求」が含まれたことは特記すべきであろう。

パリ協定での1.5℃目標への言及は掛け声のみに終わらず，その後のIPCCの1.5℃特別報告書（SR1.5）発行決定につながり，現在（本稿執筆時点）一次草稿の査読が行われている。

その後，政権交代に伴う米国の離脱宣言があった。ただし，当初から同国大統領選の影響は想定されており，「最初の3年は離脱不可能であり，その後手続きに1年ぐらいかかる」ことが盛り込まれている[1]そうだから，実際の脱退は早くても次の大統領選の前後となるようである。はたして，4年後，米国民はいかにこの4年を総括し，どのような人物をリーダーに選ぶのか，注目される。また，米国においても，自治体・企業体単位では，パリ協定への支持を表明するものも多く[2]，また米国を追随して離脱しようという国も今のところないため，パリ協定自体の存続が危ぶまれる事態には至っていない。

一方，日本国内では，本特集の編集担当の一人である高橋の呼びかけにより2016年9月5日に「『1.5℃に抑える努力の追求（パリ協定）』研究者集会」[3]が行われるなどの動きがあった（同編集主担当の立入も参加・発表）。本特集の執筆者の多くは同集会の発表者である。この集会が，本特集の提案を一気に具体化したと言ってよい。

パリ協定に呼応する動きは今年（2017年）に入っても続いており，たとえば，国内では8月7日の海洋研究開発機構の一般向け講演会[4]，国際的には国際二酸化炭素会議（ICDC: International Carbon Dioxide Conference）での言及[5]などを挙げることができる。

どれぐらい知られているかわからないが，実は，（加藤氏の原稿にもあるように）世界全体のCO_2排出量の増加は，2013～2015年の3年間に注目すれば，その前の期間に比べてかなり鈍化している（図1参照）。これは，米国の伸びがかなり前から止まっていることに加え，中国もほぼ一定に推移していることが寄与しているが，その他多くの国ぐにでもその排出量が鈍化している（日本についても2004年がピークであり，それ以降はそれを超える排出はない）。ただし，ICDC会議において，炭素の動きをモニタリングして

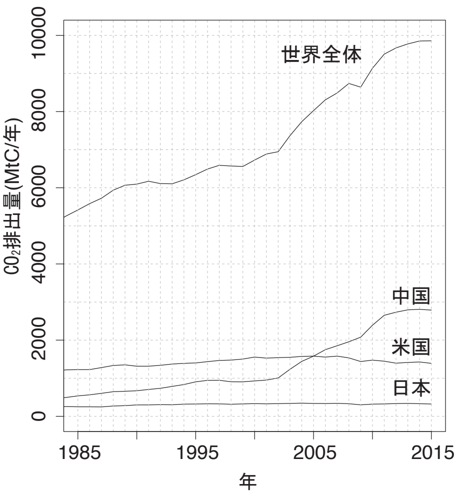

図１ 1985〜2015年の世界全体，中国，米国，日本の化石燃料の消費とセメント生産による CO_2 排出量の推移
注）Boden *et al.*（2016）[15] より作成

いるGlobal Carbon Project（GCP）のリーダーであるLe Quéré氏は「CO_2排出はピークアウトしたと思うか」と問われ，「いや，まだ楽観視できない。小休止ののちにまた伸びだすかもしれないので注視が必要だと思う」と答えていた。

CO_2排出がピークを迎えたか（あるいは迎えつつあるか）否かはきわめて重要であり，もし減少に転じるとすれば大変喜ばしいことであるが，早期のピークアウトは目標達成の最初の必要条件に過ぎず，これを達成したとしても，1.5℃や2℃といった目標の達成にはその後急速な排出量減少が必要である。各国が持ち寄った約束草案の合計では削減幅が足りない（実際の気候システムが持つ気候感度にもよるが，約3℃の上昇があると言われている[6)]）と見込まれていて，さらに野心的な排出量削減が求められているのである。この点について，2018年の促進的対話，2023年以降5年おきにある検証会合（グローバルストックテイク）において，どのような議論がなされるか，注目したい。

前述のようにパリ協定には適応に関する条項も盛り込まれているので，適応についても触れておく。2015年11月に閣議決定された「気候変動の影響への適応計画」[7)] では，工学的・生態学的手法，土地利用，社会的・制度的手法等のさまざまな手法を適切に組み合わせて社会システムや自然システムの強靭性を確保し，弾力性のあるしなやかな強さ（強靭さ）によって，致命傷を受けることなく，被害を最小化あるいは回避し，迅速に回復する社会，経済および環境システムの構築が目指されている。

基本方針としては，政府施策への適応の組み込み，科学的知見の充実，気候リスク情報等の共有と提供を通じた理解と協力の促進，地域での適応の推進，国際協力・貢献の推進を挙げたうえで，部門ごとに具体的な施策が挙げられている。このうち，4つめの「地域での適応の推進」にのっとり，多くの自治体で適応策が（緩和策とともに[8)]）定められている。

さて，以上の背景の下，本特集は編まれた。IPCC第五次評価報告書（AR5）以降，気候変動関連としては43巻3号，44巻1号に続く3つめの特集となる。本特集の目的は，パリ協定で言及された1.5℃あるいは2℃目標について，いかに目標合意がなされたかを見たのち，環境影響と経済影響について現時点の情報を整理し，達成への道筋やそのために必要なことに関する議論に貢献することである。次章では，特集中の各原稿を，若干の補足も交えつつ振り返る。

2. 特集の内容

本特集には，11の原稿が含まれるが，これらは大きく，背景，環境影響，排出量と経済，考慮すべき新機軸に分けることができる（図2参照）。以下，それらについて，個々の原稿の内容を振り返る。

2.1 背　景

まず最初は，地球環境戦略研究機関（IGES）の甲斐沼氏らによるフレーミングである。ここでは，パリ協定や1.5℃ /2℃目標実現に係る論点が広く指摘されており，以下の多様な原稿を読むにあたって道標的役割を果たしてくれる。合わせて，現在作成が進められており，将来の交渉の行方に大きな影響を与えると考えられるSR1.5の骨子や，将来シナリオ分析時に基本となる共有社会経済シナリオについても説明がなされている。

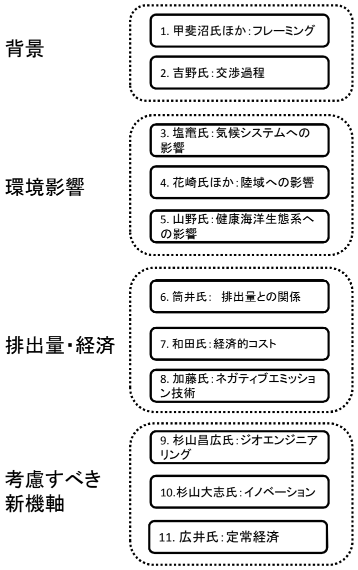

図2　本特集の構成

次に，同じくIGESの吉野氏による交渉過程についての原稿では，1992年に採択された国連気候変動枠組条約の成立以降，パリ協定の合意に至るまでの過程が詳しく示されている。やや長めの原稿であるが，交渉が進展していく様子に引き込まれ，一気に読むことができる。実は，この協定の成立には少なからず驚いたものである。その理由は，産油国や途上国などが自国の利益を優先することで，成立が難しいのではないかと考えていたからだ。しかし，吉野氏の原稿から，欧州諸国など協定成立をめざす国ぐにが，周到に成果を積み重ね，パリ協定成立の準備を着々と進めていた様子がわかり，パリで成立しなくとも，その後すぐに成立していただろう，と思わせる。

ところで，これら2つの原稿では，ガードレールとディフェンスライン（防護水準，防衛ライン）という言葉が出てくる。崖に作られた道路になぞらえれば，後者は道路の端で，これを超えれば奈落の底に落ちるというライン（防衛戦で言えば，ここを突破されれば一気に戦況が不利になるため，全力で死守すべきライン）であり，前者は安全のためにマージンを取って設けられた自主規制ライン（道路で言えばまさに「ガードレール」）ということになる。当初2℃はガードレールとされていたのに対し，今は2℃がディフェンスラインになっており，ガードレールとして「2℃より十分低い」あるいは「1.5℃」が位置づけられているようである。ただし，今後，SR1.5の内容，あるいはそれを踏まえた国際交渉において（とくに島嶼国の主張次第で），ディフェンスラインをより低く設定する（1.5℃など）方向に進むのかもしれない。

2.2　環境影響

環境影響を評価するにあたって，まずは物理気候システムへの影響を見ていく必要があろう。国立環境研究所の塩竈氏による原稿では，気候モデルコミュニティでは今までは最も低くても2℃目標に相当する排出シナリオ（RCP2.6）が用いられてきており，1.5℃目標に相当するシナリオでの実験がなかったことから，これについては新しい実験の必要性を指摘している。原稿では，塩竈氏自身が深く関わっている1.5℃上昇に関する国際モデル比較プロジェクト向けに行われた最新の実験結果から，1.5℃と2℃の，「暑い夜」の頻度の大きな違いが示されている。また，このほか，1.5℃上昇時の気候システムの応答を評価する手法として，①実験者が独自に用意する簡易シナリオの使用，②既存実験の1.5℃ /2℃上昇時点のデータの利用，③パターンスケーリングが挙げられ，それぞれの長所・短所がまとめられている。

次に，同じく国立環境研究所の花崎氏らによる陸域についての原稿では，1.5℃の昇温の影響について，水循環，生態系，統合的な評価の各観点から，現時点の情報に基づいた評価が示されている。水循環については，世界の代表的河川の水量において，1.5℃上昇時と2℃上昇時には有意な差があることが報告されている。この違いは主に降水量変化によるものであるが，降水量変化は地域差が大きいことに留意すべきである。実際，米国の8地域を比較した研究例では，降水量に有意な差はなかったとされている一方，地中海沿岸では違いが顕著であることが示されている。生態系については，長期的な温度上昇に対する感度のほか，極端現象（干ばつ・洪水など）の頻度の増加，局所的に気温上昇が大きくなる（極域や高山など）場合の危

険性が挙げられている。統合的評価としては，IPCCの「5つの懸念の理由（RFCs: Reasons for Concern）」による評価などについて解説されている。最後に，国際研究コミュニティが取り組んでいる活動として，影響評価に関するモデル比較プロジェクトが紹介されている。

同じく国立環境研究所の山野氏による海洋生態系についての原稿では，まず，産業革命前からの全球平均海面水温の上昇幅として0.83℃という値が挙げられている。AR5では1850〜1900年から2003〜2012年までの全球平均気温上昇が0.78℃とされていた（Hartmann *et al*., 2013）から，多少の期間の違いはあろうがそれに匹敵する上昇幅である。海についてはもう少し小さくなりそうでもあるが，意外と大きいことに驚く。海洋生態系に与える影響の1.5℃と2℃の気温上昇の違いはサンゴにおいて最も顕著であり，その違いはサンゴの存亡に影響しかねないほどだという。また，日本近海においては，親潮域やオホーツク海において1.5℃と2℃の気温上昇による潜在的最大漁獲量の違いが顕著であることが示されている。温暖化時は水温上昇とともに，大気CO_2濃度上昇に起因する海洋酸性化の影響など，それ以外の要因の影響も合わせて考える必要がある。沿岸の生物は陸域からの淡水，栄養塩や土砂流入の影響も大きく，陸域からの流入には土地利用などの人間活動と降水量が関わっており，気候変動がもたらす降水量変化も考慮する必要があることも指摘されている。

2.3 排出量と経済

目標の違いによる経済影響を考える際，気温目標に整合的な排出量の推計と，その排出量を目指した場合に生ずる経済影響の推計に問題を分けることが可能であろう。前者については，気温上昇と累積炭素排出量がほぼ比例する（その比例定数を累積炭素排出に対する過渡応答(TCRE: Transient Climate Response to Cumulative Carbon Emissions)）という，IPCC AR5の図（和田氏の原稿の図2）をもとに議論されることが多い。

電力中央研究所の筒井氏の原稿では，AR5に示されたTCREの幅について，CO_2のみの場合とCO_2以外の温室効果ガス（GHG）を考慮した場合との評価手法の違いによる不整合性を問題視し，自ら開発した簡易気候モデルを用いて，両者の整合性を取ろうと試みている。TCREの不確実性の検証は，温度目標を決めた場合に排出できる炭素量（Carbon budgetと呼ばれる）の推定に直結するものであり，AR5での（たとえば2℃目標についての）狭すぎるともみえるCarbon budgetのレンジを上書きする結果は，非常に重要である。ただし，筒井氏自身も指摘しているように，シナリオ依存性の検討がなされていないこと，炭素循環の不確実性をも気候感度の違いに背負わせていることなど，現時点での手法の問題点にも注意が必要である。

次に，地球環境産業技術研究機構の和田氏による経済影響についての原稿である。まず，気温目標の解釈として，1.5℃目標の場合，1.5℃を一度も超えることなく安定化する場合と，いったん超えることを許容し，その後オーバーシュートさせて目標達成する場合とではかなり社会経済影響が変わってくることが指摘されている。また，これらはもちろん，気候システムの不確実性（気候感度など）によっても困難さが変わってくるが，1.5℃目標を採った場合には2℃目標と比べて炭素価格，累計緩和コストとも2〜5倍となることが示されている。温度目標の違いによる影響については「GHG排出を大幅に減らし，世紀後半には排出量より吸収量が大きくなるよう技術や社会システムを大きく変革していかなければならないことは共通している。異なるのはその変革のスピードで，1.5℃シナリオの場合，より早いペースで排出削減を進める必要があり，電力，産業，運輸，民生の各部門において低炭素技術を短期間で大規模に普及させる必要がある」と指摘している。単にコストがかかるだけでなく，早い動き出しが必要となることが強調されており，中でもCCS[9)]の普及が進むかどうかが一つの大きなカギになることがモデル比較プロジェクトの成果として示されている[10)]。

エネルギー総合工学研究所の加藤氏の原稿は，負の排出を可能にする「ネガティブエミッション技術」についての解説である。ここでは，ネガティブエミッシ

ョン技術の例として，大規模植林，発電セクターでのBECCS（Bio-Energy with Carbon Capture and Storage，バイオマスを利用した発電CCS），燃料転換セクターでのBECCS（バイオ燃料製造時におけるCCS），農地の管理による土壌炭素蓄積，陸上および海洋での風化促進，海洋肥沃化，大気中CO_2直接回収と隔離の組み合わせなどを挙げたうえで，発電および燃料転換セクターにおけるBECCSを，CO_2除去の規模および技術開発状況，エネルギー利用といった観点から期待される技術として詳しく解説している。BECCSをサプライチェーン[11]にわたり評価すると，バイオマス栽培において土地利用変化影響の少ない土地を利用しない限り，発電システムのライフタイムにおいてBECCSシステムがネガティブエミッション技術とならない可能性もあることが示されており[12]，また，BECCS土地利用の持続可能性の検討のため，食料向け農地との競合も考えに入れるべきとされている。

また，将来のBECCS導入予測量はモデルによる不確実性が大きいが，その一因としてBECCSについての仮定が異なることが挙げられている。さらに，大気中CO_2直接回収など，BECCS以外のネガティブエミッション技術の動向についても簡単に紹介されている。

2.4 考慮すべき新機軸

1.5℃あるいは2℃より十分低く，という目標は簡単ではなく，その達成にあたってはおそらく，大きな技術・社会システム上のブレークスルーが必要であろう。ここでは，それに関係する3つの原稿を集めた。

一つ目は，東京大学・政策ビジョン研究センターの杉山昌広氏による，ジオエンジニアリングについての原稿である。ジオエンジニアリングには二酸化炭素除去（CDR：Carbon Dioxide Removal）と太陽放射管理（SRM：Solar Radiation Management）が含まれるが，ここではとくに後者について詳しく解説されている。SRMには成層圏エアロゾル注入，雲の白色化，地表面のアルベド増加，宇宙におけるアプローチ（太陽光反射シールドの設置など）があり，このうち最も研究されているのは成層圏エアロゾル注入である（雲の白色化も有望と思われている）。原稿では，成層圏エアロゾル注入について，気候モデルを用いたモデル比較実験の紹介とともに，実施コストについて1兆円のオーダーという見積もりが紹介され，緩和コストに比べれば非常に小さいとされる。また，副作用や停止時のショックを和らげるための量的・時間的に限定的な導入の可能性が示されている。

続いての原稿はキヤノングローバル戦略研究所の杉山大志氏による，イノベーションと経済活動の関係についての解説である。これまで，地球温暖化対策に向けたイノベーションのためには政府の積極的な介入が重要とされてきたが，温暖化対策技術のイノベーションを起こすためには，科学技術全般のイノベーションが重要であり，後者は経済成長との好循環において実現される。ゆえに，温暖化対策は，経済成長と調和する形で実施することが，長期的に重要である，という指摘である。新たな視点からの有益な指摘であり，経済活動を活発化させることでGHG排出が増える分と，これによりイノベーションが起こることでGHG排出が減る分とどちらが多いのか，という定量的考察が可能になれば，（温暖化抑制の観点から）最適の経済成長率を求めることができるのかもしれない。

最後の原稿は京都大学・こころの未来研究センターの広井氏による定常経済に関する原稿である。ここでは，経済成長が人間の幸福につながるのか，という問いがなされており，ある程度までは幸福度とGDPに相関があるが，ある点を過ぎると他の要素が卓越してくるという，われわれの感覚とも合致する結果がデータとして示されている[13]。また，福祉と環境は相関関係を持ち，これらが両立した際には経済成長の必要性が小さくなり，「持続可能な福祉社会」が実現しうるという，重要な指摘がなされている。

おわりに

本特集の各論文でも述べられているように，産業革命以降の気温上昇を2℃ではなく1.5℃以下まで抑制することで回避できる温暖化の悪影響と，一方で1.5℃まで気候変化を抑制するために追加的に必要な

努力や費用，そのいずれが大きいのかについては，パリ協定への合意以降，世界各国の研究チームが精力的に関連の成果を公表しつつあるが，その見解には大きな幅がある。本特集で塩竈氏が指摘する「暑い夜」の頻度や山野氏が指摘するサンゴへの影響のように，2℃と1.5℃の間で明確に影響量に違いが見込まれるものもあれば，必ずしも明確な違いが見いだせない分野があるとの報告もある。たとえば，2015年9月25日に公表された，環境省環境研究総合推進費プロジェクト「S10」の中間報告（地球規模の気候リスクに対する人類の選択肢第1版[14)]）では，「ティッピング要素」の検討がより進むと影響の差がより明確に現れる可能性を指摘しつつも，影響に関しては多くの部門で1.5℃，2℃，2.5℃目標の差が気候予測の不確実性より小さいとの見立てを示した。

いずれにせよ，各部門での影響量の測り方やその総合評価の方法の提案も含め，1年先の2018年後半にはSR1.5において，最新知見の調査に基づく専門家評価の結果が明らかになる。その評価結果を踏まえ，各国政府は気候目標や対策のあり方についてさらに議論を進めることになる。また，さらなる研究が求められる事項もより明確に示されていくことになろう。

経済的影響については，和田氏の原稿から，1.5℃でも2℃でも技術や社会システムを大きく変革していかなければならないことは共通しており，異なるのはその変革のスピードで，1.5℃シナリオの場合，より早いペースで排出削減を進める必要がある。これは逆に言えば，いずれにせよ実現しなければならないことを早期に着手さえできれば，1.5℃シナリオも達成可能である，ということなのかもしれない。

いずれにしても，求められるのは大きな不確実性下の意志決定であり，やや悲観的な考えで対策を進めつつ，状況を見ながら対策の強弱を制御していることが必要となりそうだが，多分に科学だけでは答えの出ない価値判断を伴うものになりそうである。研究者以外も含めて，広く情報を知ってもらい，総体としてよりよい（あとで困らない）意思決定を行っていく必要がある。

最後の広井氏の原稿では，幸福，という問題が提起された。実際，これを無視すれば温暖化目標の達成は難しくないだろう。重要なのは，人類全体の幸福量を向上させつつ（またその偏在を回避しつつ），温暖化を抑制することである。こうした考え方は，持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）の趣旨とも合致するだろう。SDGsでは，17ある目標のうち13番目として「気候変動に対する具体的な行動」が挙げられているが，言ってみれば17のうちの一つに過ぎないのである。ほかに，たとえば貧困・不平等の撲滅などの重要な目標が含まれており，気候変動対策はその中の一つとして，他との連関の中で進められていくと考えられる。また，これらの目標達成のため，安心して中長期的に対策に集中するためには，対立の回避が重要となるだろう。筆者らは，パリ協定の最大の功績は，一つの具体的目標について世界が利害関係を超えて合意できることを示したことにあるのではないかと思う。その意味からも，批准後に離脱した米国の今後の行動が持つ意味は大きいと言えるだろう。

補　注

1) 亀山康子「パリ協定　アメリカ離脱の波紋」（視点・論点）NHK解説アーカイブス2017.6.9付，<http://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/400/272922.html>（2017.9.4アクセス）

2) カリフォルニア州知事とブルームバーグ創業者（元ニューヨーク市長）により，パリ協定を支持する“America's pledge”が2017年7月12日に設立された。現在，9つの州，227の市・郡，1650の企業・投資家が参加している。<https://www.bloomberg.org/program/environment/americas-pledge/>（2017.9.1アクセス）

3) https://www.nies.go.jp/ica-rus/15workshop/index.html（2017.9.22アクセス）

4) 第14回 地球環境シリーズ講演会「気候モデルは温暖化対策にどう貢献するか～パリ協定の実現に向けて」<http://www.jamstec.go.jp/j/pr/event/earth-env2017/>（2017.9.1アクセス）

5) いくつかの個別発表で触れられたのに加え，“Grand Challenge-Carbon Cycle Research in Support of the Paris Agreement”セッションが設けられた。　<https://www.conftool.com/icdc10/index.php?page=browseSessions&form_session=9&presentations=hide>（2017.9.1アクセス）

6) 条件なしの草案に基づいた試算．杉山昌広氏の原稿を参照．

7) <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/siryo1.pdf>（2017.9.5アクセス）

8) 自治体における温暖化対策は緩和策が先行していた。これは

1998年制定の「地球温暖化対策の推進に関する法律」によるところが大きい。

9) 二酸化炭素回収貯留（Carbon dioxide Capture and Storage）

10) 原稿では「1.5℃を目指す場合には今世紀中頃（2045～2060年頃），2℃の場合でも今世紀後半にはCO_2排出を実質的にマイナスにしなければならない。」という指摘もされている。該当部分の引用文献から，CO_2排出を実質的にマイナスにしなければならない理由は気温をオーバーシュートさせることにもあると考えられる。気温をオーバーシュートさせないシナリオの場合には必ずしもCO_2排出をマイナスとしなくてもよいが，その場合は世紀後半の負の排出に釣り合うようなより迅速かつ急激なCO_2排出量減少が求められ，社会経済的困難性においてはむしろそちらの方が大きいとも考えられる。

11) 耕作，収穫，処理，輸送，バイオマス変換，CO_2固定を含む（Fajardy and Mac Dowell, 2017）。

12) 直接的効果（初期の植物燃焼や根・葉の分解，木炭への変換，商品化の際に出る排出）と間接的効果（土地の転換<農地・牧草地→バイオマス生産>による効果）がある（Fajardy and Mac Dowell, 2017）が，直接的効果の小ささから，限界耕作地（marginal land）の利用が最も効率的なようである。

13) IGESのSilva Herran研究員の試算では，各国のGDPを2020年水準で固定すると，緩和策を講じない成り行きシナリオだと産業革命前から2100年までの気温上昇は4℃となるところ，2.4℃上昇におさまるという結果が得られた。ただし，この計算では簡単のため先進国・途上国によらずGDPを一律固定している。実際には，途上国のGDPは少なくともある水準までは向上を阻まれるべきでない。

14) <http://www.nies.go.jp/ica-rus/report/version1/index.html>（2017.9.1アクセス）

15) <http://cdiac.ornl.gov/GCP/ の National_Carbon_Emissions_2016_v1.0.xlsx>（Territorial Emissions CDIAC ワークシート）を使用。

引用文献

Boden, T.A., G. Marland and R.J. Andres（2016）Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO_2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001_V2016

Fajardy, M. and N. Mac Dowell（2017）Can BECCS deliver sustainable and resource efficient negative emissions? *Energy and Environmental Science*, No. 10, 1389-1426.

Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J., Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild and P.M. Zhai（2013）Observations: Atmosphere and Surface. 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., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.