

2015年3月6日 全11頁

地球温暖化対策の経済効率的なシナリオ

CO₂削減の鍵を握る CCS と森林吸収

環境調査部 主任研究員 大澤秀一

[要約]

- 地球温暖化の進行が自然災害などの大きな経済損失に結び付いていると考えられている。現政策のまま地球温暖化が進んだ場合、世界平均地上気温が約2℃上昇することが予測される2050年頃の経済損失（割引前）は272～4,516十億ドルと推計される。将来損失額には大きな幅があるが、この範囲よりも大きくなる可能性が高い上、この規模の経済損失が毎年繰り返し発生すれば、社会経済に大きな影響を与えることになるであろう。
- 地球温暖化を抑制して経済損失を未然に防ぐ根本的な解決策は温室効果ガス（GHG）排出削減策である。2℃目標を実現するために早期から経済効率的シナリオを実行すれば、世界経済に大きな影響を与えないことが示されている。経済損失の増加傾向と規模拡大を考慮すれば、現政策のまま自然災害と経済損失を受け入れるよりも、安定した社会経済を目指して温暖化対策に取り組むことの方が賢明な選択と考えられる。
- 2℃目標のためのシナリオの実現には課題も多い。限界削減費用の低い排出削減を進めるだけでは目標達成は難しいと考えられており、より大きな削減ポテンシャルを持つ二酸化炭素回収貯留技術（CCS）や大規模植林などの二酸化炭素除去技術（CDR）の利用が不可欠であることが示されている。これら CDR を含めた排出削減技術の利用が経済的価値を生むような市場ベースの仕組みが必要と考えられる。2015 年末には、京都議定書に続く将来枠組みを決めるための国連気候変動枠組条約（UNFCCC）締約国会議（COP21）の開催が予定されている。新たな枠組みの実効性を確保するためにも具体的な解決策等が盛り込まれることに期待したい。

1. 地球温暖化による経済損失

1-1. 自然災害による経済損失

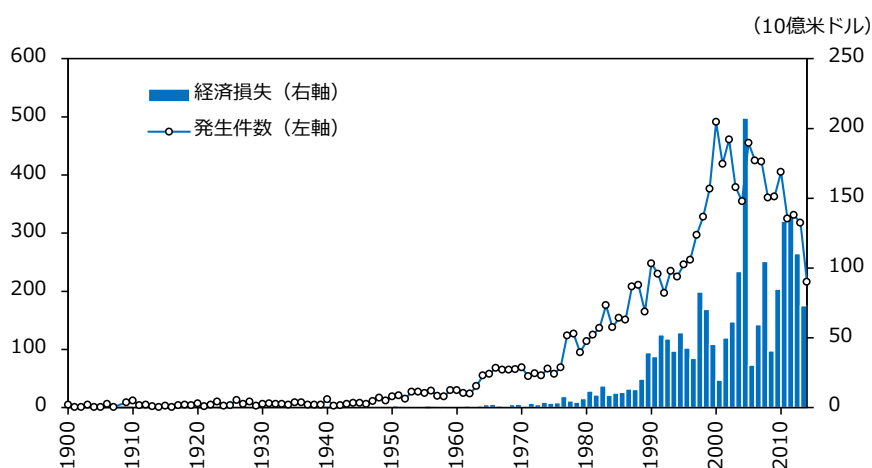
大気中の温室効果ガス（Greenhouse Gas: GHG）濃度が上昇して地球温暖化が進み、気候システムの変動が大きくなると、大気中の諸現象が極端化するとみられている。そして、熱波、洪水、地滑り、台風、野火、干ばつなどの極端現象が人の居住地や社会経済活動が行われている場所で発生すれば災害につながる。個々の自然災害と地球温暖化の因果関係や寄与度を証明す

ることは難しいが、経済損失の増加傾向に温暖化の影響は排除できないことが報告されている¹。

災害疫学研究所（ベルギー）のデータベース（EM-DAT）²によると、大規模な自然災害（10人以上の死亡者、100人以上の被災者、非常事態の宣言、国際援助の要請という基準を少なくとも一つ満たす災害）の発生件数と経済損失は20世紀半ば以降、顕著に増加しているという。図表1に示す自然災害は、気候学的災害、気象学的災害、水文学的災害、生物学的災害で、地震や火山などの地球物理的災害と原発事故や飛行機事故のような技術的災害は含まれていない。発生件数は幸いにも2000年頃をピークに減少傾向にあるが、経済損失には増加傾向が見られ、GDPに与えるインパクトも小さくない。経済損失の増加要因としては、都市化による資産集中や社会経済活動の高度化で資産蓄積が進んでいることなどが挙げられている。また、局所的な災害が企業のグローバル化したサプライチェーンを分断し、各地の経済活動に連鎖的に波及してしまうことも要因の一つと考えられている。

2005年は世界最大の経済損失が計上された年である。米国南西部を襲ったハリケーン・カトリナなどによる経済損失は約159十億米ドルで、米国の名目GDPに占める比率³は約0.93%に及んだ。この年の世界全体の経済損失は約207十億米ドルで世界名目GDPに占める比率は約0.44%となった。日本においては、2004年に観測史上最多となる10個の台風が日本列島に上陸したことなどから、これまでで最大の約17十億米ドルの経済損失を被り、名目GDPに占める比率は約0.37%に及んだ。直近10年間（2004～2013年）の世界の平均経済損失は約100十億米ドル、名目GDPに占める平均比率は約0.17%である。

図表1 世界の自然災害の発生件数と経済損失（1900～2014年）



（出所）D. Guha-Sapir, R. Below, Ph. Hoyois - EM-DAT: International Disaster Database - www.emdat.be - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium. から大和総研作成

¹ [IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change \[Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley \(eds.\)\]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.](#)

² [“Centre for Research on the Epidemiology of Disasters \(CRED\)”](#) CRED ウェブサイト

³ United Nations, National Accounts Main Aggregates Database

上記の経済損失は災害発生年内の物的資産や農作物、家畜の被害額を推計したものであり、複数年にまたがる被害や人的資産は含まれないことを考慮すると、下限値が推計されていることになる。また、各国で個別に報告されているものの、EM-DAT の基準に満たない規模の自然災害を含めると、実際の経済損失は少なく見積もっても 50%大きくなることが報告されている⁴。また、温暖化による経済損失には、自然災害という顕著な形をとらないものもある。農業の生産性の低下や海洋・沿岸の生態系の変化による漁獲量減少、都市住民や屋外労働者の健康障害など、幅広い分野や地域において社会経済活動を低下させ経済損失を出していると考えられる。

このまま地球温暖化が進んだ場合、自然災害を含めたこれらの経済損失が世界経済に与える将来影響について、いくつかの推定値が公表されている。ただし、数多くの不確かな仮定に依存する上、多くの推計でティッピングポイント⁵など自然科学的に考慮すべき多くの要因が考慮されていないなど、確実な推計を導出することは困難であるとされている。しかし、このような限界を踏まえた上で、現在から約 2°C（産業革命前からだと約 3°C）気温が上昇すると、世界の年間収入は 0.2~2.0%（平均値 1.1%、標準偏差 0.9）減少すると推計されている⁶。現在の状況で地球温暖化が進んだ場合、約 2°C 上昇することが予測される 2050 年頃の経済損失（割引前）は 272~4,516 十億ドルと推計される⁷。将来損失額の幅は非常に大きい、これまで最大だった 2005 年の経済損失を上回る規模の災害が毎年繰り返されることに相当すると考えられる。

1-2. 2°C 目標の進捗状況

国際社会は国際条約を結んで地球温暖化の防止に取り組んでいる。国連気候変動枠組条約（UNFCCC）締約国（195 か国および欧州連合）は、気候システムが危険な影響を及ぼさない目安として、産業革命以前からの世界平均地上気温の上昇を 2°C 以下にすること（以下、2°C 目標）で合意している。気温上昇は主に大気中の GHG 濃度などに影響されるため、世界全体の人為起源の GHG 排出を削減することが効果的な温暖化対策とされている。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の最新の報告書には、現在から 2100 年までの排出削減技術や排出主体の多様な選択肢に対応した、約 1,200 の GHG 濃度パスシナリオがまとめられている（図表 2）。2°C 目標を達成するシナリオは GHG 濃度が 450ppmCO₂eq（百万分率二酸化炭素等価換算濃度）が中心となり、代表的濃度パスシナリオとして整理された RCP2.6 が相当する。これに対し、現政策に追加的な努力をしないシナリオは各シナリオのベースラインとして、1,000ppmCO₂eq 以上の高い GHG 濃度が想定されており、今世紀末には 4°C 超、気温が上昇してし

⁴ [UNISDR \(2013\) From Shared Risk to Shared Value -The Business Case for Disaster Risk Reduction. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction \(UNISDR\).](#)

⁵ 少しずつの気候変動が不可逆性を伴うような大規模な変化に変わってしまう転換点のこと。例えば、海洋深層大循環の停止や大陸氷床の不安定化などにおけるティッピングポイントが研究されている。

⁶ 環境省訳「[気候変動 2014：影響、適応及び脆弱性 気候変動に関する政府間パネル第 5 次評価報告書第 2 作業部会報告書 政策決定者向け要約](#)」（2014 年 10 月 31 日版）。

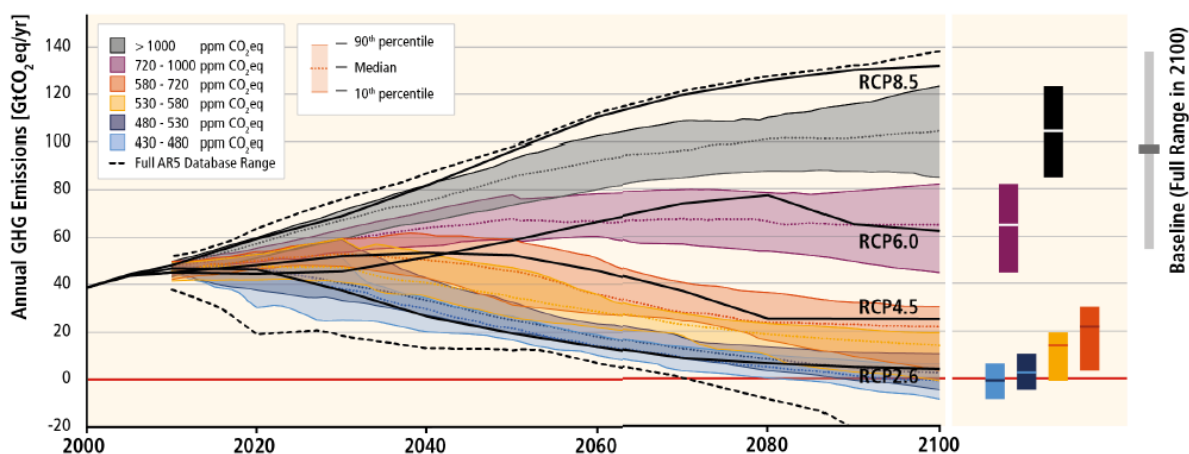
⁷ IPCC がまとめた世界の消費成長率見通し 1.6~3%を用いた推計値（脚注 6 の資料による）。

まうと予測されている（図表2、 $>1,000\text{ppmCO}_2\text{eq}$ で囲まれた範囲と RCP8.5）。

2°C目標のシナリオのほとんどは、GHG 排出量は 2020 年頃にピークアウトし、2050 年までに現在の排出量の半分程度まで低減した後、2100 年までにはゼロあるいは負の排出量で推移することを想定している。ところが現実には、各国（主要排出国の一部）が提示している 2020 年における目標排出量をすべて達成しても、2°C目標達成のための年間排出量を上回る可能性があり、ギガ（10 億）トン級のかい離（ギガトン・ギャップ）が生じることも懸念されている。各国の目標年間排出量が過多なのか、あるいは 2°C目標がすでにおぼつかないものなのかは議論の余地があるが、いずれにしろ国際社会による排出削減対策等が遅れていることは否めない状況にある。

対策が遅れている背景には、UNFCCC や京都議定書の実効性が薄いことや、各国が経済成長に影響を与えることを懸念して本格的な排出削減に取り組めない事情などがあると思われる。しかし、このまま追加的な温暖化対策を取らなければ、我々の日常生活や社会経済活動の広い範囲が不可逆的で非常に厳しい状況に陥る可能性があることが予測されているため、いずれは手を打たなければならない重要な問題と考えられる。今世紀に入り、世界各地で地球温暖化によると思われる大規模な自然災害が発生して大きな経済損失が生じていることは、厳しい状況がすでに顕在化しているものとみることができる。

図表2 IPCC 第5次評価報告書で検討されたすべての GHG 排出経路（2000～2100年）



(出所) IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

2. 経済効率的な地球温暖化対策

2-1. 経済効率的なシナリオ

国際社会は社会経済活動を維持しながら、予想される自然災害による経済損失をできるだけ低減するため、経済効率的で効果的な排出削減策を講じる必要がある。IPCC は、科学的、技術的、社会経済学的観点から、温暖化の排出削減策に関する研究成果を整理し、幅広い安定化濃度を想定した数多くのシナリオ分析に基づくトップダウンアプローチや、セクター別の GHG 排出削減の技術的なポテンシャル評価に基づくボトムアップアプローチなどから、排出削減策の経済影響や技術政策の方向性をまとめている。

図表 3 は経済効率的なシナリオを進めた場合の経済的な影響について、IPCC がまとめたものである。目標とする 2100 年の GHG 安定化濃度が低いほど、低炭素エネルギーの導入拡大や化石燃料の消費抑制などにより削減量を多くすることが求められ、ベースラインと比較した各年における消費損失率は大きくなる。最も低い安定化濃度 450 ppmCO₂eq (2°C 目標) でみると、2030 年までの消費に与える損失率は 1.7% (中央値)、2050 年までには 3.4%、2100 年までに 4.8% になると推計されている。これらの消費損失率を消費成長率 (ベースラインの前提条件である 1.6~3%) に与える減少ポイントに換算すると、2030 年および 2050 年までは年率 0.09% ポイント、2100 年までは年率 0.06% ポイントになることが示されている。例えば、ベースラインの消費成長率が 2% で、経済効率的シナリオによる減少ポイントが 0.06% ポイントならば、消費成長率は 1.94% となる。これらは技術の利用可能性や、世界で統一された炭素価格などの制度的な課題がすべて克服され、すべての国が排出削減にすみやかに取り組む理想的な条件の下での推計ではあるものの、排出削減策の経済効率的なシナリオが採用されれば消費成長 (経済成

図表 3 経済効率的シナリオにおける費用

2100年の安定化濃度 (ppm CO ₂ eq)	費用効率的シナリオにおける消費損失						技術制限シナリオにおける排出削減費用の増分			
	ベースライン比の消費損失率 (%)			消費成長率の減少ポイント (%ポイント)			排出削減費用 (2015~2100) の増加率 (%)			
	2030	2050	2100	2010-2030	2010-2050	2010-2100	CCS 無し	原子力 段階的廃止	太陽光/風力 制限	バイオエネルギー 制限
450 (430 - 480) (2°C目標)	1.7 (1.0 - 3.7) [N: 14]	3.4 (2.1 - 6.2)	4.8 (2.9 - 11.4)	0.09 (0.06-0.2)	0.09 (0.06-0.17)	0.06 (0.04-0.14)	138 (29 - 297) [N: 4]	7 (4 - 18) [N: 8]	6 (2 - 29) [N: 8]	64 (44 - 78) [N: 8]
500 (480 - 530)	1.7 (0.6 - 2.1) [N: 32]	2.7 (1.5 - 4.2)	4.7 (2.4 - 10.6)	0.09 (0.03-0.12)	0.07 (0.04-0.12)	0.06 (0.03-0.13)	N/A	N/A	N/A	N/A
550 (530 - 580)	0.6 (0.2 - 1.3) [N: 46]	1.7 (1.2 - 3.3)	3.8 (1.2 - 7.3)	0.03 (0.01-0.08)	0.05 (0.03-0.08)	0.04 (0.01-0.09)	39 (18 - 78) [N: 11]	13 (2 - 23) [N: 10]	8 (5 - 15) [N: 10]	18 (4 - 66) [N: 12]
580 - 650	0.3 (0 - 0.9) [N: 16]	1.3 (0.5 - 2.0)	2.3 (1.2 - 4.4)	0.02 (0-0.04)	0.03 (0.01-0.05)	0.03 (0.01-0.05)	N/A	N/A	N/A	N/A

(注) 括弧内の数値は検討されたシナリオにおける最小値と最大値。[N]は検討されたシナリオの数。「原子力段階的廃止」は、新設も既設の更新もないこと。「太陽光/風力制限」は、総発電量の上限を 20% に制限すること。「バイオエネルギー制限」は、最大年間利用量を 100EJ (エクサ・ジュール) に制限すること。枠線は大和総研加筆。

(出所) IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. から大和総研作成

長) に大きな影響は与えないことを示している。ただし、経済効率的なシナリオを実現する上では、費用効率の高い排出削減策や、大量に CO₂ を除去できる技術などを優先して導入することが求められる。

2-2. 期待される二酸化炭素除去技術

排出削減策の技術的なポテンシャル評価を整理した IPCC の報告によると、2050 年までにエネルギー利用技術の効率が大幅に向上することと、1 次エネルギーに占める低炭素エネルギー（再生可能エネルギー、原子力、二酸化炭素回収・貯留）の割合がおよそ 6 割、すなわち現在の 4 倍程度の規模まで導入することで 2°C 目標に到達できると提示されている。

排出削減策は各国・地域の特性を反映したものとなるため、それぞれの排出主体が利用する技術の種類や限界削減費用（GHG の排出量を追加的に 1t 削減するために必要な費用）は異なるが、必要な削減量を最小の費用で達成するための最適な組み合わせがシナリオに織り込まれることになる。IPCC が示す事例では、日本は省エネが進んでいるため、設備更新や各種高効率機器の利用促進等よりも、低い費用で実施できる廃棄物利用等の促進やエコカーの大規模導入等が効率的な排出削減策の中心となるシナリオが例示されている。また、米国では天然ガスへの燃料転換や鉄鋼・化学等の産業プロセスへの省エネ施設の導入、風力発電の普及などに優先的に取り組むことが効率的な削減技術の組み合わせになるとしている事例が見られる。

このような排出削減策の技術的なポテンシャル評価をすべての国と地域で行い、ベースラインと 450 ppm CO₂eq (2°C 目標) シナリオのそれぞれで、各セクター（輸送、建築、産業、電力、農林業・土地利用、CO₂ 以外の GHG）の排出量見通しをまとめたものが図表 4 である。検討されたシナリオ数は図表下部に示されている。

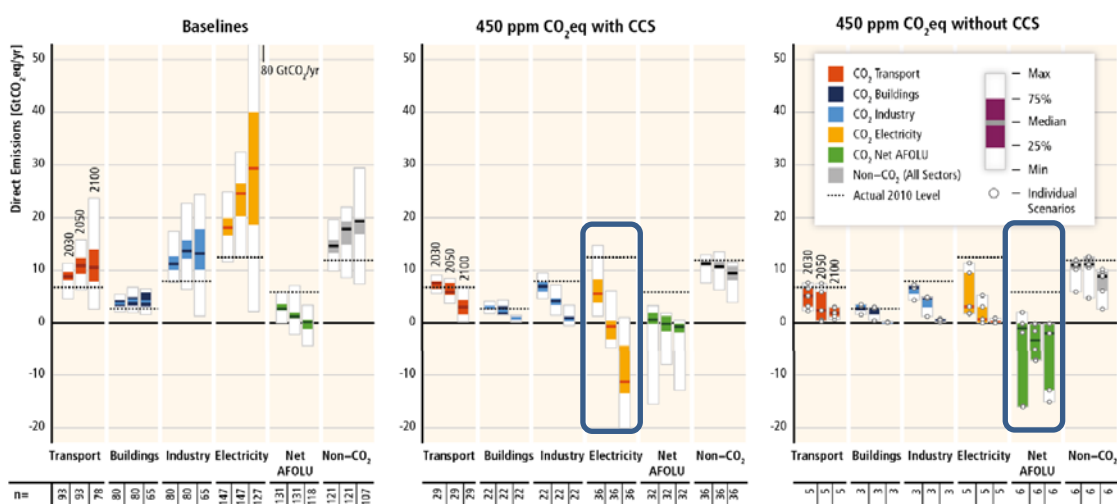
ベースラインシナリオ（図表 4、左）では、追加的な排出削減努力をしないため、農林業・土地利用（Agriculture, Forestry and Other Land Use: AFOLU）セクター以外のセクターで排出量（中央値）が増加することになる。特に電力セクターの増加が著しいことが特徴である。AFOLU セクターの正味排出量の減少は、土砂災害の防止や国土保全を目的とした植林政策などが今後も維持され、CO₂ の削減に寄与する森林が拡大することを想定したものである。

これに対し、排出削減努力を行うシナリオでは、[二酸化炭素回収貯留技術](#)（Carbon Capture and Storage: CCS）が利用可能な場合（図表 4、中）と、利用できない場合（図表 4、右）とに分けて整理されている。CCS が利用できない場合には、2100 年でも電力セクターが排出主体となっている点が注目される。経済効率的な排出削減策として、火力発電の天然ガスへの燃料転換や省エネ機器の導入などが主要なものとして論じられることが多いが、2°C 目標を実現するためには、大量の CO₂ が除去できる CCS などの効果的な排出削減策が不可欠なものであることがわかる。今後も、石炭などの化石燃料の消費は続くため、火力発電から排出される CO₂ を大量に除去することのできる CCS が重要な役割を果たすことになるといえよう。CCS が利用できない場合には、大きな削減ポテンシャルを持つ森林の創出を条件とする AFOLU セクターの正味排出量の減少に

依存することになる。CCSや大規模植林などは二酸化炭素除去技術(Carbon Dioxide Removal: CDR)と呼ばれ、注目されている。

IPCC では、低炭素エネルギーの技術制約が削減費用に及ぼす影響も推計しており、CCS が利用できない場合の影響は、累積削減費用（2015～2100年）が138%増加するとされている（図表3）。費用の大幅な増加要因は、発電セクターの電力供給量とGHG排出量制限を両立させるために、CCSよりも限界削減費用が高い洋上風力発電や太陽光発電などを補完利用しなければならないからである。2℃目標の安定化濃度はもとより他の安定化濃度（550 ppmCO₂eq）の経済効率的なシナリオにおいても、大量のCO₂を除去できるCCSや大規模植林などの利用可能性を高めることが重要課題であると考えられている。

図表4 ベースラインおよび450ppmCO₂eqシナリオにおけるセクター別GHG排出量



(注) nは、シナリオの数。

(出所) IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 枠線は大和総研加筆。

3. CDR の動向

3-1. CCS の動向

CCS は、CO₂ を分離・回収し、地中などに長期間、貯留する技術である。CCS そのものは外部不経済を内部化する技術であり収益を生まないため、火力発電や製鉄プロセスで事業化された例はまだないが、削減ポテンシャルは世界全体で約 2,000~10,000 GtCO₂ と推定されている⁸。

CCS の魅力は削減ポテンシャルが大きいことであり、図表 4 で見たように、CCS を利用した 2°C 目標のシナリオでは、2050 年発電のセクターの排出量は 2010 年の実測値（約 12 GtCO₂eq）をほぼ相殺できるゼロ付近にまで削減される。また、2100 年には BECCS（Bioenergy with CCS）などの本格導入によって 10 GtCO₂eq 規模の大きな負の排出（吸収）を実現できるとされている。BECCS はバイオマス発電に CCS に組み合わせることにより、マイナス・エミッションが実現できる技術として期待されている。仮に CCS の限界削減費用を現時点の約 100 米ドル/t⁹とすれば、年間 10GtCO₂eq の削減総費用は約 1 兆米ドル/年になる。

今後、技術革新が進めば費用の大幅な低減が見込まれるため、製鉄やセメント、化学プロセスなどの産業セクターにおいても CCS が導入される可能性が高まるとみられている。発電セクターや産業セクターで CCS の利用可能性を高めるには、費用の多くの部分を占めている分離・回収の技術革新を進める必要があるとされている。また、CCS を導入することで経済インセンティブが得られる仕組みの構築や、発電所等に対して CCS の将来適用を前提とする（CCS Ready¹⁰）規制の整備、具体的な貯留地点と貯留ポテンシャルの把握、社会受容性の確保などが課題として挙げられる。

図表 5 CCS の大規模統合プロジェクトの進捗状況（2014 年 2 月時点）

	確認段階	評価段階	決定段階	建設段階	稼働段階	合計
米国	0	4	6	2	7	19
ヨーロッパ	1	4	4	0	2	11
中国	6	2	4	0	0	12
カナダ	0	1	1	4	1	7
豪州	0	3	0	1	0	4
中東	0	1	0	2	0	3
その他アジア	1	1	0	0	0	2
南アメリカ	0	0	0	0	1	1
アフリカ	0	0	0	0	1	1
合計	8	16	15	9	12	60

（出所）Global CCS Institute, “The Global Status of CCS: February 2014” (2014)から大和総研作成

⁸ IPCC, 2005: IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp.

⁹ Global CCS Institute 2013, *The Global Status of CCS: 2013*, Melbourne, Australia.

¹⁰ CCS 設備を追加できる状態にあることをいう。CCS の実施が法制化あるいは経済インセンティブが付与された場合に、事業者は資産の不良化や機会損失を防ぐことができる。

現在、世界では 60 件の大規模統合プロジェクト（CO₂削減量 40 万 t 以上／年）が存在し、12 件が米欧などで実際に稼働しており、貯留技術や地下深く圧入した CO₂ の挙動などについて検証されている（図表 5）。プロジェクトの多くは、油田の油層内に炭酸ガス（溶媒）を圧入して残存油を三次回収する石油増進回収（Enhanced Oil Recovery: EOR）を行うことで費用を低減している。CO₂ の貯留分に対する炭素税の免除額によって費用を低減する仕組みもあるが、これを採用しているプロジェクトは 1 件しかないのが現状である。

日本においてはまだ大規模統合プロジェクトは実施されていないが、要素技術を持つ事業者が海外の大規模統合プロジェクトに参加している。また、2015 年度までに苫小牧地点（北海道）で CCS 施設を建設し、2016 年度からは製油所から排出される CO₂ を毎年 10 万 t 以上、港湾区域の海底下に貯留するプロジェクトが進んでいる¹¹。鉄鋼業界においても、CO₂ 排出の抑制と CO₂ の分離・回収を組み合わせ、CO₂ 排出量を約 30%削減する技術を開発中で、2030 年頃までに技術を確立し、2050 年までの実用化・普及を目指している¹²。

3-2. 森林吸収源の動向

CCS が利用できない場合の 2℃目標のシナリオでは、大きな削減（吸収）ポテンシャルを持つ森林吸収源の維持・拡大が AFOLU セクターからの正味 GHG 排出量を大きく変化させることになる。もとより CCS と森林吸収が並行して進められれば、CO₂ を除去できる量がそれだけ多くなることは言うまでもない。

世界の森林は、農地への転用などによって減少しており、20 世紀半ば以降は特に途上国において大規模な森林面積の減少が続いている。国連食糧農業機関統計データベース（FAOSTAT）によると、森林減少が激しい地域は、紙パルプやアブラヤシ畑への転用が続くインドネシアを含む南アジア・東南アジア地域、森林の回復能力を超えた焼畑農業や薪炭材としての伐採が進んでいるコンゴ川流域を中心とする熱帯アフリカ地域、アマゾン流域をサトウキビ農園や牧場等へ転用しているブラジルなどの中南米地域などである。森林減少は、森林の CO₂ 吸収量を低下させるだけでなく、それまで樹木等に蓄えられていた炭素が燃焼や分解により大気に放出されるので、CO₂ 濃度を上昇させることになる。このような森林減少に伴う CO₂ 排出量の研究によると、年間約 5.4GtCO₂（2005 年）の排出とされている（図表 6）。

本来、CO₂ の吸収源である森林の減少を防止し、さらに荒廃地等に植林することで森林面積を維持・拡大することができれば、CO₂ 排出源を吸収源に転換できる可能性がある。IPCC の報告によれば、約 100 米ドル／tCO₂eq までの削減費用に相当する対策を行えば、2030 年前後には 7.18 ～10.6 GtCO₂eq／年の排出削減が可能で、発電セクターの CO₂ 排出量（2010 年）に相当するインパクトがあるとされている。このうち、およそ 3 分の 1 は 20 米ドル／tCO₂eq 以下の削減費用で

¹¹ 「[苫小牧地点における CCS 大規模実証試験（経済産業省よりの委託事業）](#)」、日本 CCS 調査株式会社ウェブサイト

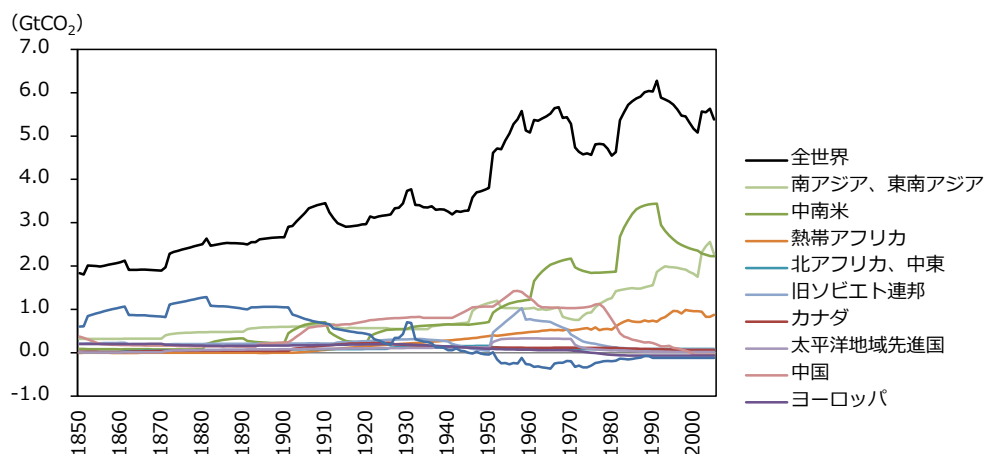
¹² 「[革新的製鉄プロセス技術開発（COURSE50）](#)」一般社団法人日本鉄鋼連盟ウェブサイト

実現可能とされている。年間 10GtCO₂eq 規模の吸収量に相当する植林等の平均限界削減費用を仮に約 40 米ドル/t とすれば、総費用は約 400 十億米ドル/年と見積もられる。

日本を含む先進国では、大規模植林が必要な荒廃地などが少ないため、持続可能な森林経営¹³などが施策の中心になる。そのため、大規模植林は森林減少が著しい途上国を中心に進められている。途上国としては土地利用が制限されることになるが、先進国が費用負担や対策技術などを供与する仕組みをつくることで、持続可能な吸収源の維持・拡大が進められようとしている。京都議定書に基づく資金スキームでは植林活動などで発行された排出権が炭素市場で流通しているが、より多様な森林活動を加えるために、2020 年の開始を目指して新たな制度の導入が議論されている。途上国が森林減少・劣化に由来する排出の削減に加え、森林保全、持続可能な森林経営および森林炭素蓄積の増加に関する取り組み (REDD+¹⁴) を実施した場合に、土地利用を代替する機会費用や森林経営などに必要なコストを調達できるよう、排出権などの経済的なインセンティブを付与して双方にメリットが生じる仕組みである。

農林業・土地利用分野のこうした排出削減策のもう一つの特徴は、生物多様性や水資源保全、土壌浸食の低減などの適応策として広い範囲に相乗便益をもたらすことである。REDD+は生物多様性条約における重要な政策目標の一つである、生態系サービスへの支払い (Payment for Ecosystem Services: PES、人間が生態系から得ることができる便益を確保するための資金調達仕組み)¹⁵の主要なものの一つになると注目されている。

図表 6 森林減少に伴う土地利用の変化から排出される CO₂ (1850~2005 年)



(出所) Houghton, R. A. 2008. *Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850-2005*. In *TRENDS: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U. S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U. S. A.* から大和総研作成

¹³ 森林生態系の健全性を維持し、その活力を利用して、CO₂ 吸収・蓄積や水源涵養、土壌保全などの人類の多様なニーズに永続的に対応できるように森林を保全すること。

¹⁴ Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries.

¹⁵ 公益財団法人 地球環境戦略研究機関 (IGES) 「[TEEB 地方行政担当者向け報告書](#)」(2010 年、IGES 仮訳)

4. まとめ

国際社会が本格的な排出削減対策を先送りしている理由の一つとして、経済成長への影響を懸念していることが挙げられるが、2°C目標を実現するために早期から経済効率的なシナリオを実行すれば、世界経済に大きな影響を与えないことが示唆されている。自然災害による経済損失の増加傾向とその規模を考えれば、現政策のままで自然災害と経済損失を受け入れるよりも、2050年や2100年までに想定される0.06~0.09%ポイント程度の消費損失を受け入れて、安定した経済社会を目指して温暖化対策に取り組むことの方が賢明な選択であると考えられる。

ただし、2°C目標のための経済効率的シナリオを実現していくために、解決すべき課題は多い。エネルギー利用効率の向上や、限界削減費用の低い廃棄物の利用促進や火力発電の燃料転換等を進めていくことは当然だが、それだけでは目標とするGHG削減量を達成することは難しいと考えられている。ギガトン級のGHGを効果的に削減するには、より大きな削減ポテンシャルを持つCCSや大規模植林などのCDRの利用が不可欠であることが示されている。削減目標を効率的かつ効果的に達成するためには、これらCDRを含めた排出削減技術の利用が経済的価値を生むような仕組みが必要と考えられる。炭素税や排出量取引などを通して炭素に適正な価格付けが行われ、排出主体などの経済活動から排出削減費用が支払われる仕組みである。先進国と途上国の国際協調を促すには世界全体に適用される市場ベースの国際政策も必要となってくる。2015年末には、京都議定書に続く将来枠組みを決めるためのUNFCCC締約国会議(COP21)の開催が予定されている。新たな枠組みの実効性を確保するためにも具体的な解決策等が盛り込まれることに期待したい。