

技術要約

注意

この資料は、IPCC第4次評価報告書第3作業部会報告書技術要約 (Technical Summary) を、経済産業省が翻訳したものである。この翻訳は、IPCCホームページに掲載されている報告書：
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-ts.pdf>
をもとにしている。

国連機関であるIPCCは、6つの国連公用語のみで報告書を発行する。

そのため、IPCC報告書「気候変動2007－気候変動の緩和」技術要約の翻訳である本書は、IPCCの公式訳ではない。本書は、原文の表現を最も正確に表すために経済産業省が作成したものである。

As a UN body the IPCC publishes reports only in the six official UN languages.

This translation of Technical Summary of the IPCC Report "Climate Change 2007 - Mitigation of climate change" is therefore not an official translate by the IPCC.

It has been provided by the Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan with the aim of reflecting in the most accurate way the language used in the original text.

執筆者：

Terry Barker (UK), Igor Bashmakov (Russia), Lenny Bernstein (USA), Jean E. Bogner (USA), Peter Bosch (The Netherlands), Rutu Dave (The Netherlands), Ogunlade Davidson (Sierra Leone), Brian S. Fisher (Australia), Sujata Gupta (India), Kirsten Halsnas (Denmark), BertJan Heij (The Netherlands), Suzana Kahn Ribeiro (Brazil), Shigeki Kobayashi (Japan), Mark D. Levine (USA), Daniel L. Martino (Uruguay), Omar Masera (Mexico), Bert Metz (The Netherlands), Leo Meyer (The Netherlands), Gert-Jan Nabuurs (The Netherlands), Adil Najam (Pakistan), Nebojsa Nakicenovic (Austria/Montenegro), Hans-Holger Rogner (Germany), Joyashree Roy (India), Jayant Sathaye (USA), Robert Schock (USA), Priyadarshi Shukla (India), Ralph E. H. Sims (New Zealand), Pete Smith (UK), Dennis A. Tirpak (USA), Diana Urge-Vorsatz (Hungary), Dadi Zhou (PR China)

査読編集者：

Mukiri wa Githendu (Kenya)

本技術要約の引用時の表記方法：

Barker T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bogner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnæs, G.J. Heij, S. Kahn Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Masera, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakicenovic, H. -H. Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz, D. Zhou, 2007: Technical Summary. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

目次

1 はじめに	3
2 枠組み	9
3 長期的な視点からみた緩和	13
4 エネルギー供給	19
5 運輸とインフラ	24
6 住宅用および商業用建築	29
7 産業	34
8 農業	39
9 森林・林業	43
10 廃棄物管理	47
11 部門横断的視点からみた緩和	52
12 持続可能な開発と緩和	57
13 政策、手段、協力協定	63
14 知識上のギャップ	68

1 はじめに

本報告書の構成、理論的根拠、部門横断的テーマの役割および枠組み論

本報告書、すなわち「技術要約」の主目的は、気候変動に対する緩和オプションを評価することにある。気候変動はいくつかの側面で開発の問題と関連している。本報告書では、そうした関連を詳細に検討して、気候変動と持続可能な開発がどの側面において相助の関係にあるのかを明らかにする。

地域が異なれば、それに応じて経済開発のニーズや資源の賦存状況も、緩和と適応の能力も異なる。それに対し、気候変動問題に対する万能の標準アプローチというものは存在しない。そこで解決策を地域的に差別化——主に社会経済的状況の相違、副次的に地理的な相違を反映させて——する必要がある。本報告書は主として世界規模で論じられるが、科学のおよび技術的所見の評価を様々な地域の特徴を踏まえたものとするにも努めている。

緩和オプションが経済部門ごとに著しく異なることを踏まえて、中短期の緩和オプションに関する資料を経済部門単位で取りまとめることにした。そこで本報告書では、第3次評価報告書で行われたのとは反対に、個別部門のすべての緩和オプションに関する包括的な論考をユーザーに提供するため、部門ごとの緩和オプションに関連するすべての側面——たとえば技術、コスト、政策など——がまとめて論じられている。

本報告書は、大きくは次の4つのパートから構成される。まずパートA(第1章と第2章)では、この導入部分「はじめに」に続いて、気候変動の緩和をその他の政策および意思決定との関連で捉えるための枠組みが論じられる。また、このパートでは、重要な概念(たとえばリスクと不確実性、緩和と適応の関係、分配と衡平性の視点および地域的統合)が紹介されるほか、本報告書で使用される重要な用語が定義される。パートB(第3章)では、それぞれに異なる安定化目標をもつ諸緩和シナリオの検討を通じて、長期安定化目標、その達成方法およびそれに伴うコストが評価される。また、安定化(国連気候変動枠組条約(UNFCCC)第2条)に関する意思決定に照らして、適応、緩和および気候変動被害の回避の間の関係も論じられる。パートC(第4～10章)では、温室効果ガスを排出する諸部門、それらの部門の中短期の緩和オプションとコスト、緩和達成のための政策、達成への障壁、緩和と温室効果ガス排出に影響を及ぼす適応その他の政策との関係などが詳細に論じられる。パートD(第11～13章)では、部門横断的な側面、持続可能な開発、国内のおよび国際的な側面の評価が示される。まず第11章では、緩和ポテンシャルの合計値、マクロ経済的影響、技術開発および移転、他の政策とのシナジーおよびトレードオフ、国をまたがる影響(スピルオーバー効果)などが論じられる。第12章では、気候緩和と持続可能な開発の関連が論じられる。第13章では、国内気候政策および様々な形の国際協力が評価される。さらに、今回の「技術要約」には、知識のギャップを論じる第14章が追加されている。

過去、現在および将来——排出の傾向

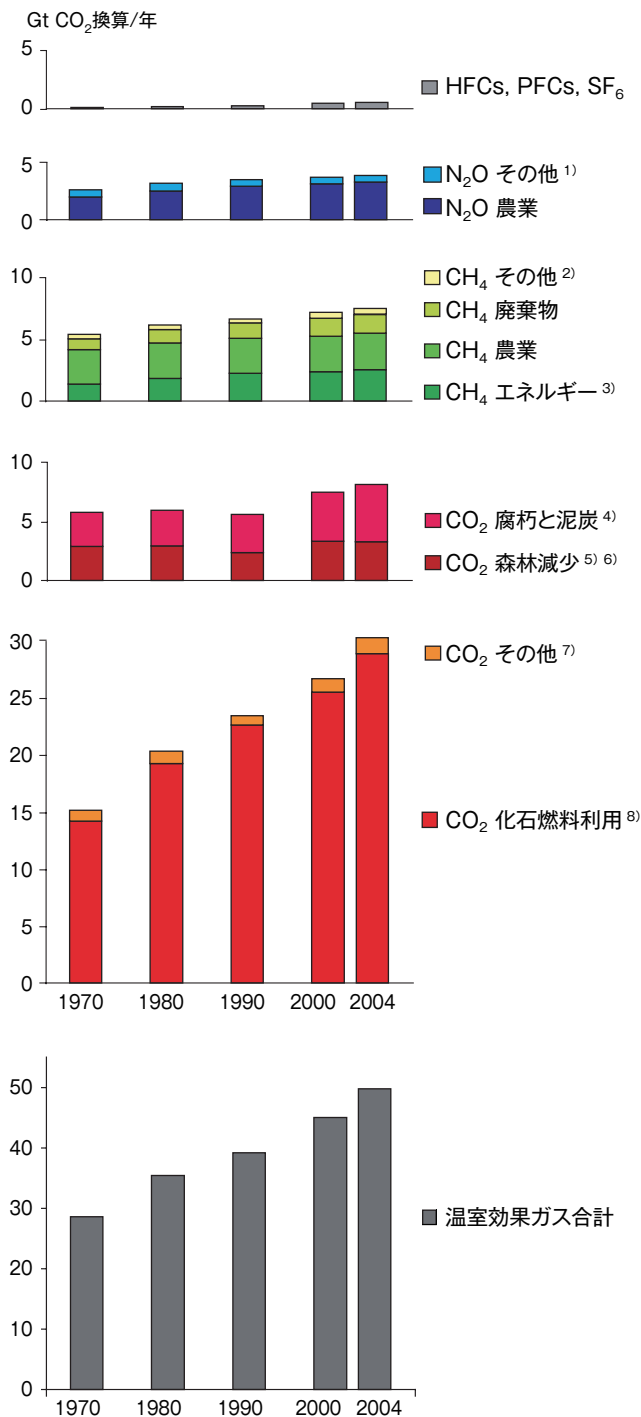
1970年から2004年までの期間に京都議定書対象ガスの排出量は約70%増加し(二酸化炭素換算量で1990年の287億トンから2004年の490億トンへと1990年比で24%増加)、中でも二酸化炭素の増加率が最大で約80%であった(図TS.1を参照)。その二酸化炭素排出量の最大の増加の要因は発電と陸上輸送だった。メタン(CH₄)の排出量は1970年から約40%増加したが、増加の85%は化石燃料の燃焼と利用から生じた。ただし、メタンの最大の排出源は農業である。一酸化二窒素(N₂O)の排出量は約50%増加したが、これは主として肥料使用量の増加と農業の発展による。産業からの一酸化二窒素の排出量は、この期間中減少した(見解一致度:高、証拠量:多)[1.3]。

モントリオール議定書規制対象のODS(オゾン層破壊物質)に該当するガス(温室効果ガスでもある)(CFCs、HCFCs)は、ごく少量(1970年)から1990年には二酸化炭素換算で約75億トン(全温室効果ガス排出量の約20%、図TS.1には示されていない)まで増加したが、その後減少に転じて2004年には二酸化炭素換算15億トン程度となり、今後も途上国で実施されるCFCsの段階的使用停止のためさらに減少すると予測される。京都議定書の規制対象であるフロン類(HFCs、PHCsおよびSF₆)の排出量は、1990年代を通じて急増した(特にHFCs)。それは、これらのガスがODSの代替物質として大量に用いられたためであり、2004年の排出量は二酸化炭素換算約5億トン(100年GWP換算で温室効果ガス総排出量の約1.1%)と推計された(見解一致度:高、証拠量:多)[1.3]。

二酸化炭素の大気中濃度は、2005年には工業化前レベルから約100ppm増加して379ppmに達した。2000～2005年の期間の平均年増加率は1990年代より高かった。すべての長寿命温室効果ガスを合わせた二酸化炭素換算濃度は今や約455ppmに達している。これにエアロゾル、その他の大気汚染物質および土地利用変化の影響も組み入れるならば、二酸化炭素換算濃度は311～435ppmとなる(見解一致度:高、証拠量:多)。

人為起源のエアロゾル排出量の推計には依然としてかなりの不確実性があるが、世界の硫黄系エアロゾル排出量の推計値は、1990年の7500±1000万トンの範囲から2000年の5500～6200万トンへと低下しているようである。ただし、非硫黄系エアロゾルに関するデータはわずかしかなく、しかもぎわめて憶測的である(見解一致度:中、証拠量:中)。

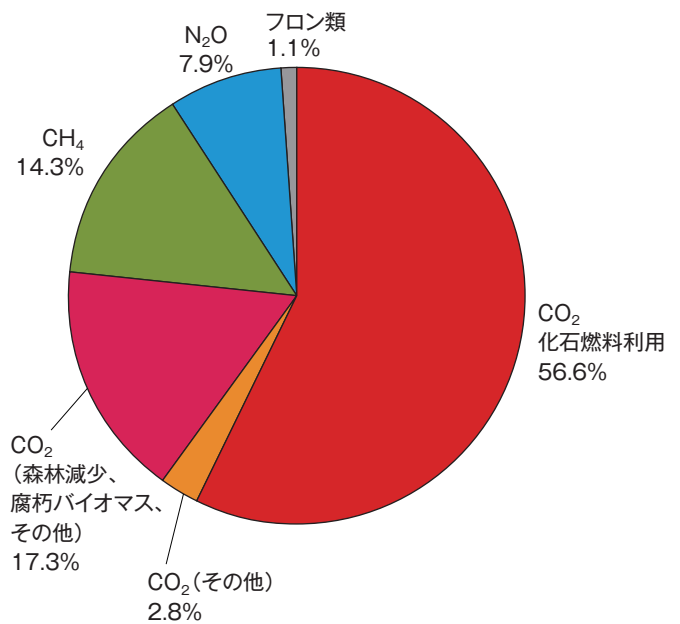
2004年の世界の温室効果ガス排出量の部門別内訳は、エネルギー供給が26%、産業が19%、土地利用変化および森林が合わせて17%、農業が14%、運輸が13%、民生、業務およびサービス部門が合わせて8%、廃棄物が3%だった(図TS.2を参照)。ただし、不確実性が伴うため、これらの数値はあくまでも目安の値とみるべきである。不確実性は、とりわけメタンと一酸化二窒素の排出量に関して(誤差幅は30～50%ほどと見積もられる)およびより大きな誤差幅をもって農業と森林からの排出量に関して存在する(見解一致度:高、証拠量:中)[1.3]。



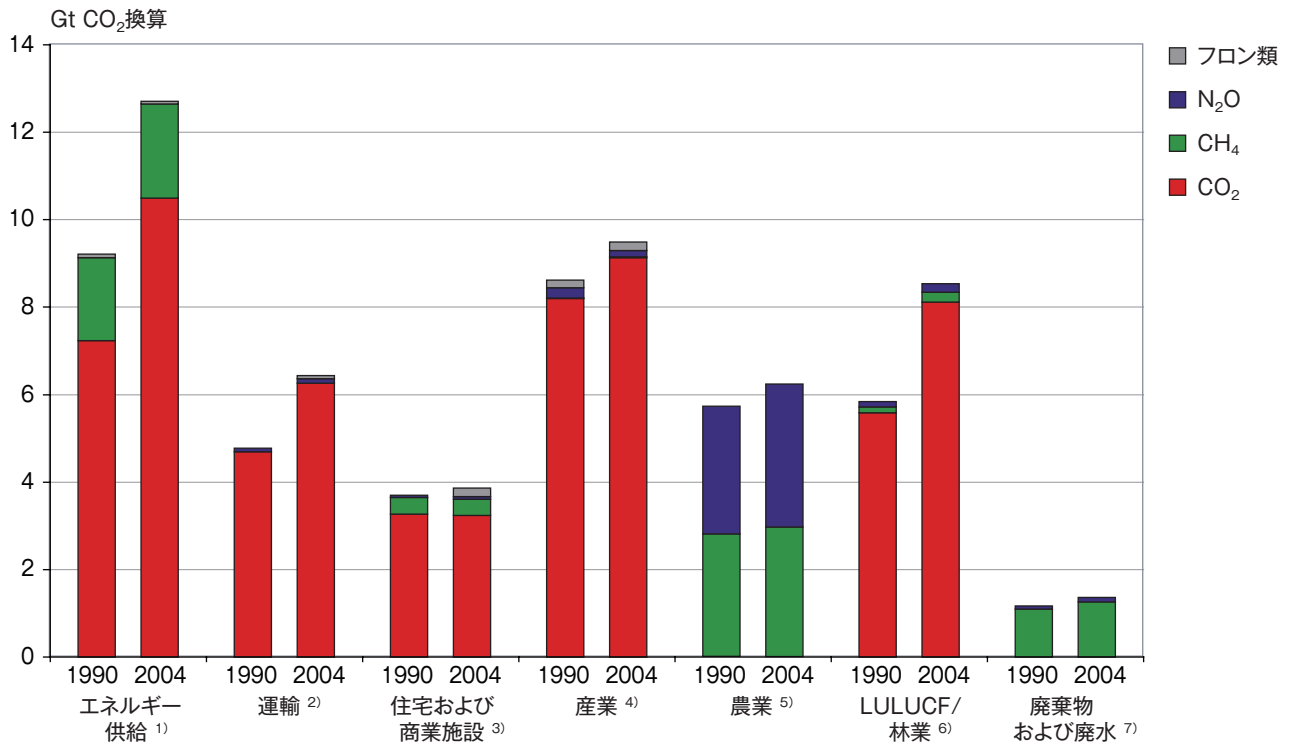
図TS.1a: 世界の人為起源の温室効果ガス排出量、1970-2004年、1996年のIPCC第2次評価報告書(SAR)の100年基準地球温暖化係数(GWPs)を用いて、二酸化炭素換算の排出量を計算(参照UNFCCC報告ガイドライン)。ガスは、UNFCCC報告ガイドラインの報告対象。グラフ中の不確実性は、メタン、一酸化二窒素の場合に大きく(30-50%の規模)、農業および林業からの二酸化炭素の不確実性はさらに大きい[図1.1a]。

注:

- 1) その他の一酸化二窒素には、工業プロセス、森林減少/サバンナ焼却、廃水、廃棄物焼却からのものを含む。
- 2) その他のメタンは、工業プロセスやサバンナ焼却によるものを指す。
- 3) バイオエネルギーの生産と利用による排出量も含む。
- 4) 伐採や森林減少後に残る地上バイオマスの腐朽(分解)からの二酸化炭素排出量及び泥炭火災や水抜き後のPEAT土の腐朽による二酸化炭素排出量。
- 5) 従来型のバイオマスの利用は全体の10%。90%は持続可能なバイオマス生産と仮定する。燃焼後、炭として残ることが想定されるバイオマス中の炭素量を10%として修正。
- 6) 1997-2002年における大規模森林および低灌木地帯のバイオマス燃料の平均値。
- 7) セメント生産と天然ガスのフレア。
- 8) 化石燃料の利用には、原料からの排出量も含む。



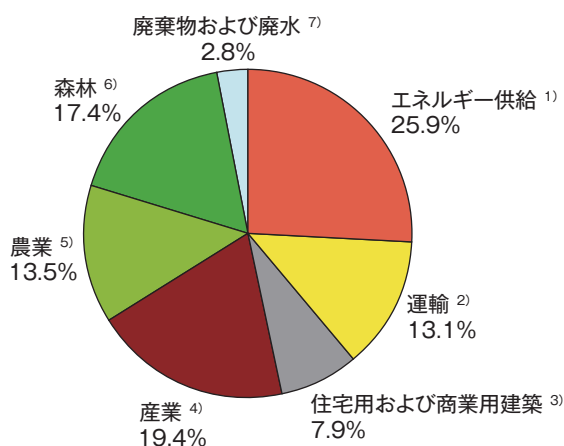
図TS.1b: 2004年の世界の人為的温室効果ガス排出量 [図1.1b]



図TS.2a: 1990年と2004年の部門別温室効果ガス排出量。二酸化炭素換算排出量計算には、1996年のIPCC第2次評価報告書(SAR)の100年基準地球温暖化係数を用いた。グラフ中の不確実性は、メタンと一酸化二窒素において大きい(30-50%規模)。農業及び林業の二酸化炭素排出量の不確実性はさらに大きい。大規模なバイオマスの燃焼では、1997-2002年の平均的な活動データとして、地球規模火災排出量データベースの人工衛星によるデータを用いた。泥炭(火災と腐朽)の排出量はWL/Delft水力学の最近のデータに基づく[図1.3a]。

図TS.2aと2bの注:

- 1) 製鉄所、コークス炉など、産業部門に含まれるものを除く。
- 2) 国際輸送(バンカー油)を含み、漁業は含まない。道路交通以外の農業および林業の車両および機械は除く。
- 3) 従来型のバイオマスの利用を含む。第6章の排出量も最終用途での配分に基づき報告される(集中型電源による排出量に占める当該部門のシェアを含む)。これは、電力消費量の低下によるこの部門の緩和の実績を全て当該部門の緩和部門のクレジットとするためである。
- 4) 製鉄所、コークスオープンなどを含む。第7章に報告する排出量も最終用途における配分に基づき報告される(集中型電源による排出量に占める当該部門のシェアを含む)。これにより、電力消費量の低下による当該部門の緩和実績は、全て当該部門のクレジットとなる。
- 5) 農業廃棄物の燃焼、サバンナの燃焼(二酸化炭素以外の排出量)、農耕用土壌からの二酸化炭素排出量、そして/または除去量は、このデータベースの推計に含まない。
- 6) データには、森林減少による二酸化炭素排出量、伐採および森林減少後に残る地上バイオマスの腐朽(分解)による二酸化炭素排出量、泥炭火災および排水された泥炭土の腐朽による二酸化炭素排出量を含む。第9章では、森林減少による排出量のみを含む。
- 7) 埋立地メタン、廃水メタンと一酸化二窒素、廃棄物焼却処分(化石燃料のみ)による二酸化炭素排出量を含む。



図TS.2b: 2004年の部門別温室効果ガス排出量 [図1.3b]

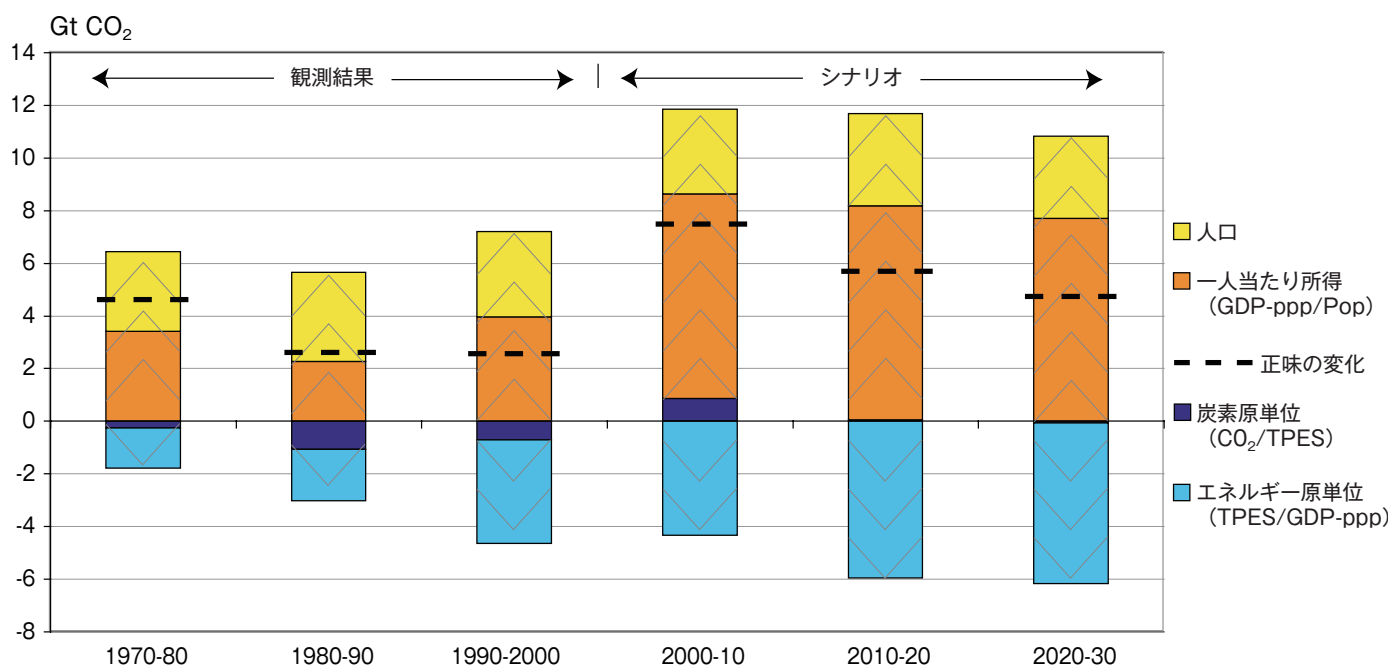
図TS.3は、人口、購買力平価で測った1人当たり所得 (GDP_{ppp}/cap^1)、エネルギー原単位(一次エネルギー総供給/ GDP_{ppp})、炭素原単位(二酸化炭素/一次エネルギー総供給)の各要因の変化が、エネルギー起源の二酸化炭素排出量の変化にどれだけ寄与しているかを示すものである。これらの要因の中にはエネルギー起源の二酸化炭素排出量を増加させているもの(ゼロラインより上の棒)と、減少させているもの(ゼロラインより下の棒)がある。10年当たり排出量の正味の変化は、黒の太い点線で示されている。図TS.3によれば、人口および1人当たりGDP(したがってまた1人当たりエネルギー消費量)の増加の幅は、これまでエネルギー原単位の減少の幅を上回っており、将来もまた引き続き上回ると予測される。そして、そのことにより、 GDP_{ppp} (購買力平価で測ったGDP)当たりの二酸化炭素排出量が1970年代初期より40%も減少し、しかもその減少率はエネルギー原単位(一次エネルギー総供給/ GDP_{ppp})や炭素原単位(二酸化炭素/一次エネルギー総供給)の減少率より大きいという事実が覆い隠されている。炭素原単位は、1980年代半ばから2000年までの間は減少して二酸化炭素排出量の増加に対する相殺効果を発揮していたが、それ以降は増加に転じており、2010年以降は相殺効果はないと予測される(見解一致度：高、証拠量：多)[1.3]。

2004年に、世界人口の20%が居住する附属書I国は世界の温室効果ガス排出量の46%を占めた。対照的に世界人口の80%を占める非附属書I国が世界の温室効果ガス排出量に占めた割合は54%にすぎなかった。1人当たり温室効果ガス排出量が最も大きい地域(北アメリカ)と最も小さい地域(非附属書I—南アジア)とはさらに顕著な対照をなす(図TS.4aを参照)。すなわち、世界人口の5%(北アメリカ)が世界の排出

量の19.4%も排出しているのに対し、世界人口の30.3%(非附属書I—南アジア)が13.1%しか排出していない。しかし GDP_{ppp} 当たり温室効果ガス排出量を基準にした場合は様相が異なる(図TS.4bを参照)。すなわち、世界総生産の57%を占める附属書I国のGDPの温室効果ガス排出原単位は GDP_{ppp} (米ドル)当たり二酸化炭素換算0.68kgと低かった(非附属書I国の排出原単位は GDP_{ppp} (米ドル)当たり二酸化炭素換算1.06kg)(見解一致度：高、証拠量：多)[1.3]。

温室効果ガス排出の主な要因である世界のエネルギー消費と供給は、とりわけ途上国による工業化の推進に伴って引き続き増加すると予測される。各国のエネルギー政策にこのまま変更がないとすれば、2025~30年の時間枠において世界経済の発展のために供給されるエネルギーミックスは基本的に従来と変わりなく、エネルギーの80%以上が化石燃料に基づいて供給されるのに伴って温室効果ガス排出量も増加するだろう。その結果、2030年のエネルギー起源の二酸化炭素排出量は2000年比で40~110%増加し、この増加分の3分の2ないし4分の3が非附属書I国からもたらされると予測される。ただし、1人当たり排出量では先進国のほうが依然として著しく高く、附属書I国の9.6~15.1トンに対して非附属書I国では2.8~5.1トンと予測される(見解一致度：高、証拠量：多)[1.3]。

2030年に関しては、すべての予測において、温室効果ガス(京都議定書の対象となる全ての温室効果ガス)排出量は2000年比で25~90%増加すると見込んでいる。とりわけ、新しい予測のほうが初期の予測より大幅な増加を見込んでいる(見解一致度：高、証拠量：多)。



図TS.3: 過去30年及び将来30年における、世界のエネルギー起源の二酸化炭素排出量の変化の内訳 [図1.6]

1 本報告書では例示的目的のみのために GDP_{ppp} の尺度が使用されている。

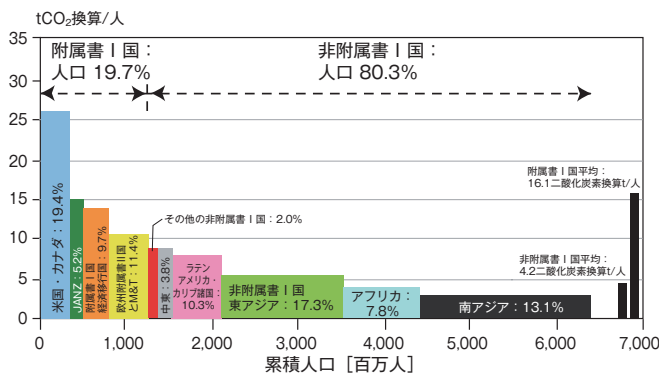
2100年の温室効果ガス排出量に関しては、SRES²の予測の範囲(2000年比で-40%~+250%)は依然として妥当である。その後の予測では新しい予測ほど数値が高く、2000年比で+90~+250%の範囲にある(図TS.5を参照)。実施のために現在検討されている気候政策の基礎をなすシナリオもまた、世界の温室効果ガス排出量の増加が今後数十年間にわたって続くことを見込んでいる。

途上国(特にブラジル、中国、インド、メキシコなど)によって気候変動対策以外の理由で行われた努力の結果、過去30年間における途上国全体の排出量の年々の増加幅は二酸化炭素換算で約5億トンずつ減少した。この量は全附属書I国が京都議定書により要求されている削減量より大きい。途上国のこれらの努力の多くは、経済開発と貧困軽減、エネルギー安全保障および地域的な環境保護によって動機づけられたものである。このことから、最も有望な政策アプローチは、気候保護と開発との自然な相乗効果を十分に利用して、この両方を同時に推進することであると考えられる(見解一致度:高、証拠量:中)[1.3]。

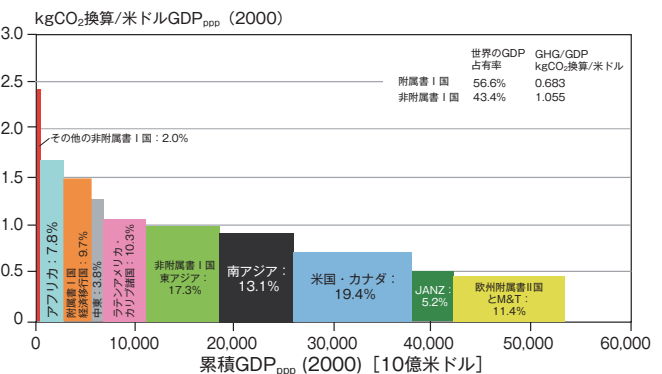
国際的な対応

国連気候変動枠組条約(UNFCCC)は、気候変動への国際的対応を推進する主要な手段である。同条約は1994年3月に発効した後、国連全加盟国194カ国中の189カ国による批准という、ほぼ普遍的な批准を受けた(2006年12月)。2005年には、条約の実施強化のため、「気候変動に対応するための長期的協力の行動に関する対話」(Dialogue on Long-Term Cooperation Action to Address Climate Change)がCMP1³により設置された。対話は、条約の実施強化を促進するため、オープンで拘束力のない意見と情報の交換の形をとって行われる。

条約への最初の追加議定書である京都議定書は1997年に採択され、2005年2月に発効した。2007年2月現在で世界の168カ国と欧州経済共同体がこれを批准済みである。京都議定書第3条1項に基づき、附属書I国は、附属書I国全体の温室効果ガス排出量を1990年レベルから少なくとも5%削減することに合意した。京都議定書の発効は、気候システムへ



図TS.4a: 各諸国グループの人口当たりの温室効果ガス排出量。2004年の地域別分布図(土地利用からのものも含む、京都議定書規定の全てのガスが対象)。棒グラフ中の数字は世界の温室効果ガス排出量に占める各地域の割合 [図1.4a]。



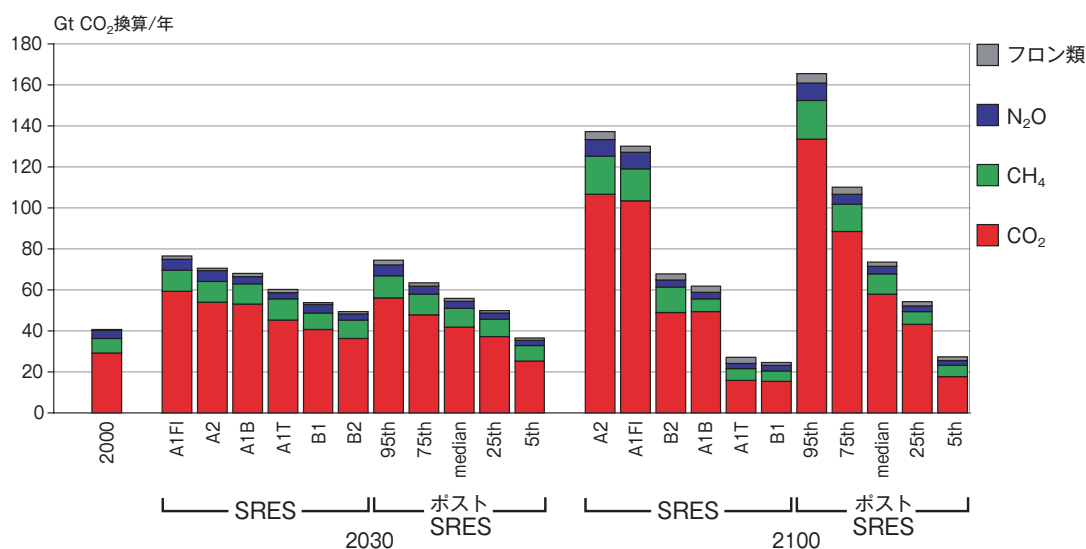
図TS.4b: 2004年の地域別温室効果ガス排出量の分布、諸国グループのGDP_{ppp}に対するGDP_{ppp}米ドル当たりの数値(土地利用からのものも含め、京都議定書規定の全てのガスが対象)。棒グラフ中の%は世界の温室効果ガス排出量に占める各地域の割合 [図1.4b]。

注: 各国はUNFCCCおよび京都議定書の分類に基づきグループ化される。このため、それ以後にEUに加盟した各国は、EIT附属書Iに分類される。2004年で全ての国のデータが完全にそろっているわけではない。各地域の内訳は:

- ・ **EIT附属書I:** ベラルーシ、ブルガリア、クロアチア、チェコ、エストニア、ハンガリー、ラトビア、リトアニア、ポーランド、ルーマニア、ロシア、スロバキア、スロベニア、ウクライナ
- ・ **欧州附属書II & M&T:** オーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイスランド、アイルランド、イタリア、リヒテンシュタイン、ルクセンブルグ、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、スイス、英国、モナコ、トルコ
- ・ **JANZ:** 日本、オーストラリア、ニュージーランド
- ・ **中東:** バーレーン、イラン、イスラエル、ヨルダン、クウェート、レバノン、オマーン、カタール、サウジアラビア、シリア、アラブ首長国連邦、イエメン
- ・ **ラテンアメリカ・カリブ諸国:** アンティグアバービューダ、アルゼンチン、バハマ、バルバドス、ベリーズ、ボリビア、ブラジル、チリ、コロンビア、コスタリカ、キューバ、ドミニク、ドミニカ共和国、エクアドル、エルサルバドル、グレナダ、グアテマラ、ギアナ、ハイチ、ホンジュラス、ジャマイカ、メキシコ、ニカラグア、パナマ、パラグアイ、ペルー、セントルシア、セントキットネビスアンギヤ、セントビンセントグレナディン、スリナム、トリニダードトバゴ、ウルグアイ、ベネズエラ
- ・ **非附属書I東アジア:** カンボジア、中国、北朝鮮(DPR)、ラオス(PDR)、モンゴル、韓国、ベトナム
- ・ **南アジア:** アフガニスタン、バングラディシュ、ブータン、コモロ、クック諸島、フィジー、インド、インドネシア、キリバチ、マレーシア、モーリシャス、マーシャル諸島、ミクロネシア、ミャンマー、ナウル、ニウエ、ネパール、パキスタン、パラオ、パプア・ニューギニア、フィリピン、シンガポール、ソロモン諸島、スリランカ、タイ、東チモール、トンガ、ツバル、バヌアツ
- ・ **北米:** カナダ、米国
- ・ **他の非附属書I国:** アルバニア、アルメニア、アゼルバイジャン、ボスニア・ヘルツェゴビナ、キプロス、グルジア、カザフスタン、キルギスタン、マルタ、モルドバ、サンマリノ、セルビア、タジキスタン、トルクメニスタン、ウズベキスタン、マケドニア
- ・ **アフリカ:** アルジェリア、アンゴラ、ベニン、ボツワナ、ブルキナファソ、ブルンジ、カメルーン、カーボ・ヴェルデ、中央アフリカ、チャド、コンゴ、コンゴ民主共和国、コートジボワール、ジブチ、エジプト、赤道ギニア、エリトリア、エチオピア、ガボン、ガンビア、ガーナ、ギニア、ギニアビサウ、ケニア、レソト、リベリア、リビア、マダガスカル、マラウイ、マリ、モーリタニア、モーリシャス、モロッコ、モザンビーク、ナミビア、ニジェール、ナイジェリア、ルワンダ、サントメプリンシペ、セネガル、セイシェル、シエラレオーネ、南アフリカ、スーダン、スワジランド、トーゴ、ウガンダ、タンザニア、ザンビア、ジンバブエ

2 ここでSRESとは、IPCCの「排出シナリオに関する特別報告」(Special Report on Emission Scenarios, SRES)に記載された諸シナリオを指している(IPCC, 2000b)。そのうち、A1群のシナリオは、高度経済成長、低い人口成長および効率的な新技術の迅速な導入を伴う将来を描いている。B1シナリオは、今世紀半ばにピークに達した後減少に転じる同じ世界人口のもとで、経済構造の急速な変化を伴う収束的な世界を描いている。B2シナリオは、「経済、社会及び環境の持続可能性のための、地域の問題解決に重点が置かれる」世界を描いている。同シナリオは、中程度の人口成長、中程度の経済発展およびA1Bシナリオより遅いものより多様な技術変化を特徴としている。

3 条約締結国会議(Conference of the Parties, COP)は、条約の最高機関であると同時に京都議定書締結国会合の役割も果たす。CMP1は、京都議定書締結国会合の役割を果たす条約締結国会議の第1回会合である。



図TS.5: IPCC SRESおよびSRES以後の文献に示された2000年の世界の温室効果ガス排出量及び2030年および2100年で予想されるベースラインの排出量。数字はSRESシナリオにおける6つの排出シナリオ実例を示す。また第3章で扱われたSRES以後のシナリオにおける排出量の度数分布も示す(5位、25位、中央値、75位、95位の百分位数)。フロン類はHFCs、PFCs、SF₆を含めた[図1.7]。

の危険な人為的な干渉の回避というUNFCCCの究極目標に向かってのささやかながらも最初のステップであることに間違いはない。とはいえ、たとえすべての締約国が京都議定書を完全に実施したとしても、世界全体の温室効果ガス排出傾向を逆転させるにはほど遠い。京都議定書の強みは、排出量取引などの市場メカニズムに関する規定および制度構造にある。しかし、京都議定書には、一部の排出国が批准していないという弱みもある。CMP1により、京都議定書の下付属書I国の2013年以降の約束に関するアドホックワーキンググループ(Ad Hoc Working Group, AWP)が新設された。また、CMP2において、京都議定書第9条に基づく第2回の議定書見直しを2008年に行うことが合意された。

温室効果ガス排出削減の新技术を開発・実施するための自発的な国際イニシアチブも活動している。その主なものとして、「炭素隔離リーダーシップフォーラム」(Carbon sequestration Leadership Forum) (二酸化炭素の捕捉と貯留の促進を目的とする)、「水素パートナーシップ」(Hydrogen Partnership)、「メタン・トゥー・マーケット・パートナーシップ」(Methan to Markets Partnership)、「クリーン開発と気候のためのアジア太平洋パートナーシップ」(Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate) (2005年) (加盟国はオーストラリア、米国、日本、中国、インド、韓国(【訳注】2007年10月にカナダが参加した))などが挙げられる。気候変動はまた、2005年にスコットランドのグレンイーグルズで開かれたG8首脳会議以来、先進8カ国にとって年々重要度を増すイシューとなっている。グレンイーグルズ会議で採択された行動計画は、国際エネルギー機関(IEA)、世界銀行および「再生可能エネルギー・エネルギー効率化パートナーシップ」(Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership)に対し、この関連での先進8カ国の努力を支援する任務を与えた。さらに、グレンイーグルズサミットは、世界の大排出国の間の「クリーンエネルギー、気候変動および持続可能な開発に関する対話」(Clean Energy, Climate Change and Sustainable Development Dialogue)のプロセスを創設した。IEAと世界銀行に、この対話プロセスへのアドバイザーの役割が与えられた[1.4]。

条約第2条と緩和

UNFCCC第2条は、気候変動への危険な人為的な干渉を防止すること、したがってまた大気中の温室効果ガス濃度を適切な時間枠内にその目的に適うレベルに安定化させることを要求している。第2条の中で、危険な人為起源の気候変動(のリスク)の判定基準に関連して、食糧の安全保障、生態系の保護および持続可能な経済開発が挙げられている。このことは、第2条の施行に当たっては、数多くの複雑な問題に取り組む必要があることを意味している。

どのレベルの気候変動が危険なのか

第2条に関連してなされる意思決定は、政策目標として設定すべき気候変動のレベルを決定づけるほか、排出削減経路の決定に対しても、必要な適応の規模の決定に対しても根本的な影響を与える。安定化レベルの選択に当たっては、気候変動のリスク(すなわち、漸進的な気候変動と極端な現象のリスク、気候の不可逆的な変化のリスク—ここには食糧の安全保障、生態系および持続可能な開発にとってのリスクが含まれる)と、対応措置により経済の持続可能性が脅かされるリスクとを比較考量する必要がある。「危険な干渉」に関する判断は必然的に社会的および政治的な判断であるが、受容可能と判断されたリスクのレベルによっては、安定化達成のために大幅な排出削減が不可避となる。しかも、安定化レベルが低ければ低いほど、そうした大幅な排出削減はより早期に達成されなければならない(見解一致度：高、証拠量：多)[1.2]。

持続可能な開発

予測される人為起源の気候変動は持続可能な開発に悪影響を与える可能性が高い。しかも、悪影響は、温室効果ガスの濃度が高まるにつれて増加する傾向がある(第4次評価報告書第2作業部会報告書第19章)。そこで、適切に設計された気候変動対応措置を持続可能な開発の本質的部分として組み入れて、両者を相助的に機能させるようにすることが有効と考えられる。すなわち、一方において、緩和措置は、気候変動を抑制することを通じて自然資本(生態系のほか、経済活動の

供給源および吸収源としての環境を含む)を保護又は増進し、人間システムへの被害を防止又は回避し、かつ、それによって社会経済開発に必要な資本(緩和および適応の能力を含む)の全体的生産性の向上に貢献することができる。他方において、持続可能な開発の経路は、気候変動への脆弱性を低減し、温室効果ガス排出量を削減することができる(見解一致度:中、証拠量:多)[1.2]。

分配の問題

気候変動は、現在の排出と将来の影響および脆弱性のきわめて不均等な分配を生じさせる傾向がある。そこで、緩和又は適応のコストの分配、将来の排出権の分配、制度的・手続的における公正さの保障などに当って、衡平性を高める余地がある。先進国は過去および現在の温室効果ガス排出源の太宗を占めると同時に、対応措置をとるための技術的および財政的能力を有するため、条約は、気候変動の緩和のための最初のステップにおいて最も重い義務を先進国に負わせている。このことは、「共通だが差異ある責任」の原則としてうたわれている(見解一致度:高、証拠量:多)[1.2]。

開始の時期

今すぐ緩和措置を開始したとしても、気候システムと社会経済システムの両方に慣性が存在するため、その措置の効果としてははっきりした気候変動の回避が達成されるのは数十年後でしかない。気候システムと社会経済システムの両方の慣性を考えれば、中長期的な便益の獲得と炭素集約的な技術の固定化の回避のために、緩和措置は早期に開始する必要がある(見解一致度:高、証拠量:多)[1.2]。

緩和と適応

緩和と適応は、気候変動に対する政策対応の2つのあり方であり、両者の関係は相互に補完的、相互に置換可能又は相互に独立のいずれでもありうる。ただし、適応措置は、気候システムの慣性のため、とられる緩和措置の規模にかかわらず何としても必要である。向こう約20年間の時間枠内では、最も積極的な気候政策でさえ、すでに気候システムに「仕込まれている」温暖化を回避するためにできることはほとんどない。気候変動の回避の便益が発生するのはその後でしかない。しかし、それより長い、今から2、30年後以降にわたる時間枠では、緩和投資は気候変動の被害の回避に役立つ大きなポテンシャルをもち、そのポテンシャルは現在予見できるどの適応オプションのポテンシャルより大きい(見解一致度:中、証拠量:中)[1.2]。

リスクと不確実性

知識の不確実性は、気候変動の影響のリスクおよび重大度の評価や、リスク低減に必要な緩和措置のレベル(およびそのコスト)の評価に影響を与える点で、第2条の施行に当たって重要な要因である。不確実性の残る状況下では、第2条の施行に関する意思決定は、リスク管理原則を取り入れることにより改善されるだろう。予防的・先見的なリスク管理のアプローチを用いれば、最悪ケースの結果が実現する(わずかな)可能性さえ考慮に入れつつ、気候変動被害の回避のコストと便益に基づいて、適応措置と予防的緩和措置を組み入れるこ

とができる(見解一致度:中、証拠量:中)[1.2]。

2 枠組み

気候変動の緩和と持続可能な開発

気候変動と開発には相互的な関係がある。すなわち、一方において、気候変動への脆弱性は、開発のパターンと所得のレベルによって形作られ、強く影響される。気候政策には無関係にみえる技術、投資、通商、貧困、地域住民の権利、社会政策又は統治に関する決定であっても、排出、必要な緩和の度合い、気候政策の実施のコストと便益などに対して強い影響を与える可能性がある[2.2.3]。

他方において、気候変動自体も適応・緩和政策も、開発の持続可能性を高めることができるという点で開発に対して重要な好影響を与えることができる。このことは、気候変動政策は(1)それ自体として(「気候第一に」)考えることも、(2)持続可能な開発政策の有機的な一部として(「開発第一に」)考えることもできるという考えにつながる。議論を環境だけの問題でなくそれも含んだ持続可能な開発の問題として構成することにより、排出の駆動要因が、その基底をなす開発経路と関連していることを踏まえつつ、諸国のニーズによりよく対応することができるだろう[2.2.3]。

開発の経路は、経済的および社会的な作用の結果として形成されていくが、それらの作用は政策、民間部門のイニシアチブ、さらには消費者の好みや選択の影響を受ける。そうした影響を与える政策としては、自然保護、法的枠組み、財産権、法の支配、税および規制、生産、食料の安全保障および安全、消費パターン、人材および制度上の能力形成の努力、研究開発、金融制度、技術移転、エネルギー効率、エネルギーオプションなどに関連した数多くの政策が挙げられる。これらの政策は、通常は一般的な開発政策パッケージの一環として策定・実施されるのではなく、むしろ大気汚染基準、食糧安全保障、健康問題、温室効果ガス排出削減、特定グループによる所得創出、グリーン技術のための産業育成などの特定の個別政策目標に焦点が当てられている。しかし、これらの政策は持続可能性、温室効果ガスの緩和、適応の実施結果に対しても重大な影響を与える可能性がある。気候変動の緩和と開発との強い関連性は、先進国と途上国の双方で見受けられる。これらの問題は、主に第12章、および第4～11章の一部において詳細に論じられる[2.2.5; 2.2.7]。

最近の文献により、持続可能な開発と気候変動への対応措置との相互作用を特定し、特徴付け、分析するための方法論的アプローチが特定されてきている。一部の文献では、持続可能な開発を、社会的、人間的、環境的および経済的要因を同時に総合評価するための枠組みとして扱うことができると指摘している。これらの諸要因を利用する方法の1つとして、持続可能な開発に対する政策の影響を、経済的、環境的、人間的および社会的指標——定量的と定性的の両方の測定基準

を含む——を用いて評価することが挙げられる(見解一致度：高、証拠量：少)[2.2.4]。

意思決定、リスクおよび不確実性

緩和政策は、気候変動の影響のリスクに対する懸念に応えるべく策定される。しかし、そうした懸念に応えられる適切な対応措置を決定するためには、不確実性を処理する必要がある。リスクという語が、信頼性の高い完全なデータで裏付けられた確立した理論によって事象の生起確率とその結果を確かめることができる場合に用いられるのに対し、不確実性という語は、必要なデータが断片的又は入手不能である場合に用いられる。不確実性の原因には、不十分な又は矛盾した証拠や人間行動を含む。気候変動の緩和に関連した不確実性の主要部分は、不確実性の人的要因、とりわけ調整および戦略的行動の問題によるものである(見解一致度：高、証拠量：多)[2.3.3; 2.3.4]。

意思決定支援分析は、とりわけ、だれもが同意できるような最適の政策がない場合に政策決定者の助けになる。その関連で、気候変動問題の情報内容を多数の政策決定者の認識範囲内に保つことを助けるために、また数多くの関係者の間の情報に基づく効果的な対話を支えるために利用できる分析アプローチが数多くあり、それぞれに長所と短所を備えている。ただし、意思決定支援分析の枠組みへの重要なインプットである数多くの変数——とりわけ、市場価値のない自然システムおよび人間の健康に対する影響——を把握、測定および数量化するにはかなりの困難がある。したがって、すべてのア

プローチは現実を単純化したものである(見解一致度：高、証拠量：多)[2.3.7]。

異なった価値体系を背景にもつ数多くの政策決定者が1つの意思決定に関与する場合、かれらが依拠する分析支援作業の根拠となった価値判断ができるだけ明確になっていることが望ましい。しかし、そのような明確化の達成は、分析が高度の不確実性およびリスクを伴う選択の解明を目指している場合には、とりわけ困難かつ微妙になる(見解一致度：中、証拠量：中)[2.3.2; 2.3.7]。

統合的な評価であれば、地球物理学的な気候変動、気候変動の予測、適応ポテンシャル、排出削減のコスト、気候変動による被害の回避による便益などの間の関係を政策決定者に伝えることができる。統合的な評価は、不完全又は不正確なデータを処理するための枠組みをもっている。

本報告書では、不確実性の表現に当たって表TS.1に掲げる用語を用い、本報告書のそれぞれの記述について、関連分野の諸文献に照らしてその記述に関する専門家の見解の一致の相対的度合いの高低(縦列)(【訳注】原文の“rows”と“columns”は逆)およびその記述の結論を支持する科学的/技術的証拠の量の多寡(横列)を示している⁴。この報告書では、人間による選択が関わっているだけに、不確実性を表すための「可能性」(likelihood)や「確信度」(confidence)のアプローチは用いていない。それは、このどちらのアプローチも緩和に伴う不確実性の特徴を十分に表現できないからである(見解一致度：高、証拠量：多)[2.4]。

表TS.1: 不確実性の質的定義 [表2.2]

↑ 見解一致度 (特定の結論について)	見解一致度：高、 証拠量：少	見解一致度：高、 証拠量：中	見解一致度：高、 証拠量：多
	見解一致度：中、 証拠量：少	見解一致度：中、 証拠量：中	見解一致度：中、 証拠量：多
	見解一致度：低、 証拠量：少	見解一致度：低、 証拠量：中	見解一致度：低、 証拠量：多
		→ 証拠量(独立した情報源の数と質)	

注：この表は不確実性の二つの異なる側面に基づく、すなわち証拠⁵の多さと意見の一致度である。特定の技術に関して入手可能な証拠は、第三者の情報源の数と質を調べる形で評価された。意見の一致度は、特定の分野においてその結果となる確率を客観的に表現する。

4 IPCCの規定に基づき、ピア・レビューを受けた文献およびピア・レビューを経ないもので、同等の質をもつと見なされるものが用いられている。

5 本報告書でいう「証拠」とは、意見や主張が真実であり根拠があることを示す情報や兆候を指す。用語集を参照。

コストと便益の考え——私的・社会的コストの捉え方およびその他の意思決定枠組みとの関係を含む

緩和オプションのポテンシャルには様々に異なった定義があるため、どの意味のポテンシャルを論じているのかを明示することが重要である。この「ポテンシャル」という尺度は、特定の緩和オプションによって所与の炭素1トン当たりコストで所与の期間内に達成できるベースラインケース比又は参照ケース比の温室効果ガス排出削減の度合いを表すのに用いられる。ポテンシャルは通常、ベースライン排出量と比べて回避される炭素換算又は二酸化炭素換算の百万トン単位の温室効果ガス排出量で表される[2.4.3]。

市場ポテンシャルは、私的コストと私的割引率⁶に基づく緩和ポテンシャルであり、現行の政策措置を含め、予想される市場状況の下で生じることが期待されるものの、実際のポテンシャルの実現は障壁により限定されることに注意する。

経済的ポテンシャルは、社会的コストおよび便益、さらには社会的な割引率⁷を考慮して得られる温室効果ガスの緩和ポテンシャルであり、政策措置により市場効率が改善され障壁が排除されることを仮定する。しかし、現在のボトムアップ型およびトップダウン型の経済的ポテンシャルの分析では、生活様式の見直し、および、地域の大気汚染などの外部性を含めることについて限界がある。

技術的ポテンシャルは、実証済みの技術又は実践活動の実施によって達成可能な温室効果ガス削減の量である。ここではコストに対する言及はなく、「実際的な制約」への言及があるだけである。ただし、暗黙の経済的要因が考慮に入れているケースもある(見解一致度：高、証拠量：多)[2.4.3]。

市場ポテンシャルの研究は、政策決定者に、現行の政策ならびに障壁で得られる緩和ポテンシャルの情報を提供するため用いることができるが、経済的ポテンシャルの研究は、適切な新規のそして追加的な政策を導入して障壁を排除し、社会的コストおよび便益を組み入れる場合、どれだけのポテンシャルが実現されるかを示す。このため経済的ポテンシャルは、市場ポテンシャルよりも大きいのが通常である。

緩和ポテンシャルは、異なるタイプの手法を用いて推計される。広範には「ボトムアップ」と「トップダウン」手法という二つの手法があり、主に経済的ポテンシャルの評価に用いられてきた。

- **ボトムアップの研究**は、特定の技術および規制に重点をおく緩和オプションの評価を基礎とする。通常、マクロ経済に変化はないと想定する部門別の研究である。部門別の推計値は、TARの場合と同様に集約され、この評価における世界規模の緩和ポテンシャルの推計値を示す。
- **トップダウンの研究**は、経済全体における緩和オプションのポテンシャルを評価する。これらの研究は世界規模で一

貫性のある枠組みと、緩和オプションについて集積された情報とを用い、マクロ経済や市場からのフィードバックを集約する。

特にボトムアップの研究は、たとえばエネルギー高効率化オプションなど部門レベルでの特定の政策オプションを評価する場合に有効であり、トップダウンの研究は、炭素税や安定化政策など部門横断的であり、経済全体を対象とする気候変動政策を評価する場合に有効である。ボトムアップやトップダウンのモデルは、TAR以降、トップダウンモデルが技術的な緩和オプション(第11章を参照)を多く取り入れる一方で、ボトムアップモデルがマクロ経済や市場のフィードバックを多く取り入れ、さらにはモデル構造の中にバリエーションを取り入れてきたことから、類似性が大きくなった。

緩和と適応の関係—能力と政策

気候変動の緩和と適応は互いに共通する要素を含んでいる。それらは、気候変動への対応に当たって相互に補完的、代替的、独立又は競争的になりうるが、きわめて異なった特性と時間枠をもっている[2.5]。

適応と緩和のどちらも社会の能力を必要とするが、これらは社会および経済的な発展と密に関連している。気候変動への対応は、気候リスクに曝される度合い、社会のもつ自然資本および人工資本、人的資本、制度、所得などに依存する。これらの諸要因は全体としてその社会の適応と緩和の能力を決定づける。開発を推進する政策と適応および緩和の能力を高める政策は、多くの共通要素をもちうるが、必ずしもそうではない。自然システムと社会経済システムの間には相乗効果を生じさせる政策を選ぶこともできるが、時には困難なトレードオフを余儀なくされることもある。気候変動の緩和と適応を実施するための個々のステークホルダーと社会全体の能力を決定する主要な要因としては、資源、市場、資金、情報へのアクセス、ガバナンスの諸問題などが挙げられる(見解一致度：中、証拠量：少)[2.5.2]。

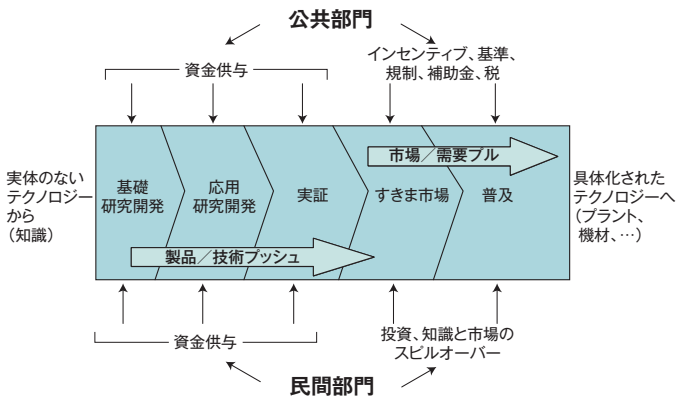
分配と衡平性の問題

気候変動に関する意思決定は、地方レベル、国レベル、地域間および世代間の衡平性に大きな影響を与え、異なった衡平性のアプローチの使用は、政策提案に対しても気候政策のコストと便益の分配に対しても重大な影響を与える[2.6]。

気候変動政策の衡平性の評価に当たって、社会的正義への異なったアプローチを適用することができる。第3次評価報告書(TAR)が示唆しているように、ステークホルダーごとに特定の異なった衡平性原則への強い主観的選好があることを考えれば、いくつかの異なった衡平性原則を組み合わせる用いる実際のアプローチを求めるほうがより効果的である。衡平性アプローチには、伝統的な経済的アプローチから権利ベ-

6 私的コストと割引率は個々の消費者や企業からの観点を反映している。詳細は用語集を参照。

7 社会的コストと割引率は社会からの観点を反映している。社会的割引率は個人投資家が用いているものよりも低い。詳細は用語集を参照。



図TS.6: 技術開発のサイクルとその主な原動力 [図2.3]

注：ここに示す、様式化された技術のライフサイクルの各段階においては、重要なオーバーラップやフィードバックが存在する。このため、この図は、発明に関する「線形」モデルを示すわけではない。特にそれぞれ異なる緩和オプションおよび適応オプションを論じる際は、「技術」用語上、詳しく細かく区別する必要がある。

そのアプローチまで様々なものがある。そのうち、経済的アプローチは、様々なグループおよび社会全般にとっての福祉の損失と利益を評価するものである。それに対し、権利ベースのアプローチは、権利——たとえば、緩和のコストや緩和能力にかかわりなくすべての国に認められた1人当たり又はGDP当たり排出量に関する権利——に焦点を合わせるものである。また、文献の中には、能力アプローチも見受けられる。このアプローチは、機会と自由——それは、気候政策に関して言えば、緩和し、適応し、又は気候変動に対する脆弱性を解消する能力と解釈できる——に重きを置くアプローチである (見解一致度：中、証拠量：中) [2.6.3]。

技術の研究、開発、導入、普及および移転

気候変動問題への対応の速度およびコストは、排出量を削減できる技術のコスト、パフォーマンスおよび利用可能性に決定的に依存する。もちろん、国富や人口の成長のようなその他の諸要因の動向もまた、きわめて重要である [2.7]。

技術は、気候変動問題の規模とその解決のコストに同時に影響を与える。技術とは、人間がサービスの生産と資源の転換のために利用できるノウハウ、経験および機器を含む広範な一連の能力と手段である。温室効果ガスの排出の削減に当たって技術が果たす主な役割は、温室効果ガスの排出を制限するための社会的コストを抑制することである。多くの研究は、現在利用されている排出削減技術の改善と先進的な排出削減技術の開発・導入に重要な経済的価値があることを指摘している (見解一致度：高、証拠量：多) [2.7.1]。

大幅な排出削減の必要性、国ごとの状況の大きなばらつきおよび個々のオプションのパフォーマンスの不確実性を考えると、広範な技術ポートフォリオこそUNFCCCの目的の達成および気候変動のリスクの管理に重要な役割を果たすと期待できる。気候政策は技術変化の唯一の決定因ではない。それどころか、将来シナリオの検討 (第3章を参照) の結果、気候政策が不在の場合でも、技術の総合変化率は、気候政策の影

響がある場合より大きいのか、同程度となりうることが示されている (見解一致度：高、証拠量：多) [2.7.1]。

技術変化は、気候変動特有の長期の時間枠にわたるものに特に重要である。技術革新から広範な普及までのタイムラグに関しても、長寿命のエネルギー資本ストックとインフラに特徴的な資本回転率に関しても10年や100年というタイムスケールが一般的である。

技術変化の全プロセスを段階分けするために様々なパラダイムが用いられている。その一つは、技術変化を大まかに2つの部分プロセス、すなわち、(1) 新技術を発想、創造および開発するか、又は既存技術を改善するプロセス——いわば「技術フロンティア」を開拓するプロセスと (2) そうした技術の普及又は導入のプロセス、から成る複合プロセスとに分けて考えるものである。技術に関する知見も、気候変動への対応に当たっての技術の役割に関する知見も日々改善されている。しかし、技術が創造され、開発され、導入され、最終的に次の技術によって置換されるまでのプロセスは複雑であり (図TS.6を参照)、とうてい簡単に要約できるものではない。技術の開発と導入には、次の2つの公共財問題がある。1つは、研究開発のレベルは、民間の意思決定者が民間投資の全価値は捕捉できないため、常に次善のものに留まることであり、もう1つは、典型的な環境外部性の問題が存在すること、すなわち、民間市場は気候変動のコストの全部は反映していないことである (見解一致度：高、証拠量：多) [2.7.2]。

技術変化には、次の3つの重要な源がある。すなわち、研究開発、学習、スピルオーバーである。

- 研究開発は、企業、政府又はその他の主体が新技術又は技術改善に具現化できる新しい知識を獲得するために資源を費やす広範な一連の活動から成る。
- 学習は、技術進歩の複合的な根源——研究開発やスピルオーバーによる、またその他の諸要因の規模の経済による重要な寄与も含むことが多い——からの総合的な所産である。
- スピルオーバーとは、革新を生み出した個人、企業、産業、その他の主体から別の個人、企業、産業、その他の主体への、又は革新を生み出した技術から別の技術への革新の知識又は革新による経済的利益の移転をいう。

経験的および理論的証拠は、全体として、上述の研究開発、学習、スピルオーバーの3つの源の全部が技術進歩に重要な役割を果たしていることを強く示唆しており、いずれか1つの源が他の源より概して重要であるとの考えを正当化する説得力ある理由は存在しない。他部門からのスピルオーバーがエネルギー部門の技術革新に重大な影響を与えていることを考えると、健全で広範な技術基盤は、明らかに気候変動又はエネルギーに関連する研究と同等に、気候変動対策のための技術開発において重要となりうる。実際に役立つ技術と役に立たずに終わる技術を事前に知ることは不可能なため、研究の広範なポートフォリオが必要である。技術変化の源は、より一般的な推進要因である「供給プッシュ」(たとえば研究開発を通じて) 又は「需要プル」(たとえば学習を通じて) の中に包摂されることが多い。「供給プッシュ」と「需要プル」は、相

互に代替的であるだけでなく、高度に補完的でもありうる(見解一致度：高、証拠量：多)[2.7.2]。

技術移転に関しては、「技術移転に係る方法論的・技術的問題に関するIPCC特別報告書」(IPCC Special Report on Methodological and Technological Issues of Technology Transfer) (2000)の主な結論、すなわち技術受入国において適切な受入環境を整備する必要があるという結論は、依然として妥当である(見解一致度：高、証拠量：多)[2.7.3]。

地域の取扱い

気候変動に関する研究では、対象とする問題の性格や方法論的アプローチの違いに応じて様々に異なった地域の定義が用いられている。しかし、このように地域の表現の仕方が多数ありうることは、特定の地域および規模について行われた様々なタイプの研究の間の情報の比較可能性および移転を妨げる。そこで、本報告書では概して、地域的情報の分析とその結論の表現に当たって実際的な方法を選択している[2.8]。

3 長期的な視点からみた緩和

ベースラインシナリオの駆動要因

現在の人口予測は、世界の多くの部分で出生率が急減していることを示す新しいデータに基づいているため、IPCCの「排出シナリオに関する特別報告書」(Special Report on Emission Scenarios, SRES)で用いられた人口予測より概して低くなっている。これまでのところ、諸文献に含まれた新しい排出シナリオのうちこれらの新しい人口予測を組み入れたものは多くない。しかし、新しい人口予測を取り入れた研究も、多かれ少なかれSRESと似通った総排出量を結論として出している。それは、経済成長などのその他の駆動要因の変化による相殺効果のためである(見解一致度：高、証拠量：多)[3.2.1]。

経済成長の見通しは大きくは変わっていない。発表されているGDP値には重複しているものがかなりあり、新しい諸シナリオのGDP中央値はSRES前のシナリオ文献の中央値と比べてわずかに(約7%)減少している。データは、GDP予測値の分布について目につくほどの変化を示していない。アフリカ、南米および中東に関する経済成長の予測値は、SRESシナリオのそれより低い(見解一致度：高、証拠量：多)[3.2.1]。

ベースラインシナリオ排出量(全ガスおよび全部門)

ポストSRESの諸文献中のベースラインシナリオ間に見られる2100年のエネルギー起源の二酸化炭素排出量と産業二酸化炭素排出量の予測結果のばらつき幅は、170~1,350億トン(炭素換算46~368億トン)⁸ときわめて大きく、SRESシナリオの幅とほぼ同じである(図TS.7)。人口およびGDPの予測値が若干低下したにもかかわらず排出量が減少していない事実

には、異なった理由が寄与している可能性がある。その他の要因がすべて同じであると仮定すれば、低い人口予測値は低い排出量をもたらす。しかし、低い人口予測値を使ったこれまでのシナリオにおいては、排出のその他の駆動要因が人口要因の影響を部分的に相殺している。低い人口予測値を組み入れた研究はわずかしか存在しないが、こうした研究においては、低い人口は高い経済成長率や、より炭素集約的なエネルギーシステムへのシフト、たとえば石油およびガス価格の高騰による石炭へのシフト、によって相殺されている。大部分のシナリオは今世紀の大半を通じての排出量の増加を示している。しかし、今世紀中に排出量の増加が頭打ちとなり減少に転じるとするベースライン(参照)シナリオも少数ながら新しい文献と古い文献の両方に存在する(見解一致度：高、証拠量：多)[3.2.2]。

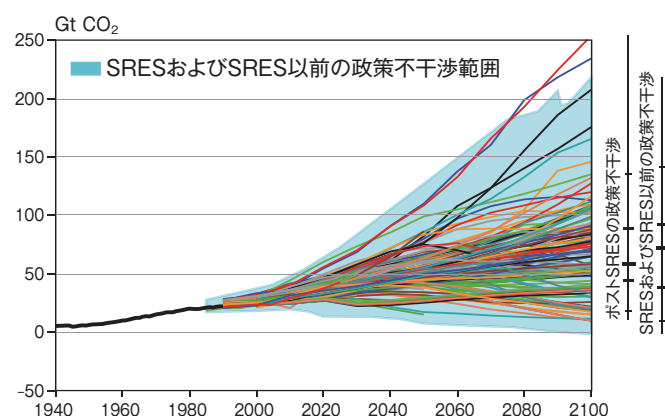
土地関連の二酸化炭素以外の温室効果ガスの排出量のベースラインは、耕地需要の増加に伴って増加するが、その速度はエネルギー起源の排出量に比べて低いと予測されている。土地利用変化(ほとんどは森林減少)からの二酸化炭素排出に関する限り、ポストSRESのシナリオもSRESシナリオと似通った傾向、すなわち、ゆっくりとした排出量減少——おそらくは今世紀末に正味排出量ゼロに達する——を示している。

二酸化炭素以外の温室効果ガスの排出量(大部分は農業からは増加するが、その速度は二酸化炭素排出量より若干低いと予測される。これは、メタンおよび一酸化二窒素の最も重要な排出源が農業活動であり、その農業の成長率がエネルギー利用の成長率に比べて低いことによる。最近の文献の排出量の予測はSRESと似通っている。すなわち、二酸化炭素以外の温室効果ガスの排出に関して、最近のベースラインシナリオは、農業からのメタンおよび一酸化二窒素の排出量は今世紀末まで増加を続けると予測し、一部のベースラインに至ってはおそらく倍増するとしている。また、排出量の減少が予測されるフッ素化物も一部あるが、多くのフッ素化物の排出量は大幅に増加すると予測されている。これは、フッ素化物を排出する産業の急成長と、オゾン層破壊物質(ODSs)のHFCsによる置換のためである(見解一致度：高、証拠量：中)[3.2.2]。

SRES以降、エアロゾル前駆物質である二酸化硫黄(SO₂)および窒素酸化物(NO_x)の排出の予測に目につく変化があった。すなわち、最近の文献では、二酸化硫黄および窒素酸化物の短期的な増勢が鈍ったため、この両者の長期予測値の範囲がSRESで発表されたものより低くなっていることである。窒素酸化物の長期予測値の幅はSRESに比べてかなり大きい。また、最近のシナリオは、SRESシナリオと比べて、硫黄排出量がより早期に、しかもより低いレベルでピークに達すると予測している。さらに、少数の新しいシナリオは、初めて黒色炭素や有機体炭素の排出経路を考慮に入れている(見解一致度：高、証拠量：中)[3.2.2]。

一般的に言って、SRESと新しい文献中の諸シナリオとの比較の結果は、主な駆動要因および排出量の範囲は大きくは変わっていないことを示している。

8 これは完全な分布の中の5パーセンタイルと95パーセンタイルに当たる。



図TS.7: 文献におけるSRES及びSRES以前のエネルギー起源の産業部門の二酸化炭素排出量シナリオとSRES以後のシナリオとの比較 [図3.8]

注: 右記の垂直線はシナリオの最小値から最大値の範囲の分布および2100年までの分布の5位、25位、50位、75位、95位の百分位数を示す。

GDPの指標

長期シナリオにおいては、経済成長は国内総生産(GDP)又は国民総生産(GNP)の成長の形で報告されるのがふつうである。また、経済活動の実質規模の経時比較と国家間比較を意味あるものにするため、GDPは基準年の価格水準による実質GDPとして報告される。

換算係数(為替レート(MER)又は購買力平価(PPP))の選択は行われる分析のタイプに応じて決められる。しかし、排出量(又はエネルギーのようなその他の物理量)の計算に当っては、MERに基づくGDP表示とPPPに基づくGDP表示の間の選択は問題にならない。それは、GDPの数値が変わるのに応じて排出原単位も(それを打ち消す方向に)変わるからである。したがって、同じ指標のセットが一貫して用いられさえすれば、指標の選択は最終的な排出レベルに目立った影響を与えないだろう。諸文献中のいくつかの新しい研究は換算率の選択自体は長期の排出予測値に目立った影響を与えないことを認めている。SRESの場合でも、4つのシナリオ群の中で経済活動がMERで測定されたかPPPで測定されたかにかかわらず排出軌道は同じだった。

しかし、PPPに基づく予測を用いた場合とMERに基づく予測を用いた場合の排出レベルに違いを認めている研究もある。そのような結果は、とりわけ収束の仮定に決定的に依存して生じる。短期シナリオ(2030年までを対象期間とする)の一部ではボトムアップアプローチがとられており、そこでは生産性の向上および投資/貯蓄の意思決定に関する仮定がモデルにおける成長の主な駆動要因となっている。それに対し、長期シナリオモデルではトップダウンアプローチのほうがより普通に用いられており、そこでは実際の成長率が長期成長ポテンシャルに関する収束その他の仮定に基づいて直接的に規定されている。異なった結果はまた、MERに基づく計算からPPPに基づく計算に転換する際、エネルギー効率改善の指標を調整するに当たっての不一貫性によって生じることもある。

PPPに基づく少数の新しい研究からの証拠は、指標が一貫して用いられている限り、GDPの指標(MER又はPPP)の選択は予測排出量に目立った影響を与えないことを示している。たとえ違いがあったとしても、それは他のパラメータ(たとえば技術の変化)に関する仮定によって生じる不確実性に比べれば小さい。ただし、モデリングを行う研究者は換算係数の説明に当って透明性を確保する必要があるうえ、外生的要因に関する仮定をおこなう際にも注意する必要があることが、議論によって明らかに示されている(見解一致度:高、証拠量:多)[3.2.1]。

安定化シナリオ

諸文献の中で共通に用いられている目標は、大気中の二酸化炭素濃度の安定化である。複数のガスを研究対象にする場合の有用な代替策は、温室効果ガスの濃度目標を二酸化炭素換算濃度によって表すか、又は放射強制力によって表し、異なったガスの濃度をそれぞれの放射特性によって測ることである。もう1つのオプションは、地上平均温度を安定化させる又は目標にすることである。放射強制力目標が温度目標に勝る点は、放射強制力の計算が気候感度によって左右されないことである。逆にその弱点は、それぞれの放射強制力レベルについて広範な幅の温度影響がありうることである。それに対し、温度目標には、より直接的に気候変動の影響に関連するという重要な利点がある。もう1つのアプローチは、様々な安定化目標又は放射強制力目標を見渡して、工業化前時代以来の世界平均温度の特定の上昇値を超過するリスク又は確率を計算することである。

発表されている諸研究において、2100年までの温室効果ガスの二酸化炭素換算濃度(又は放射強制力)と二酸化炭素だけの大気中濃度の間には明確で強い相関関係がある。これは、二酸化炭素が放射強制力に対する最も重要な寄与要因だからである。この関係に基づき、様々な安定化シナリオ(複数ガス対象と二酸化炭素だけを対象の両方)の比較と評価に役立てるため、諸シナリオを目標の厳しさの異なるカテゴリーにグループ分けして次の表に示した(表TS.2)。

基本的にどの濃度目標又は放射強制力目標の下でも、海洋システムおよび陸地システムの除去能力が飽和することを考えて、排出量をごく低いレベルに引き下げるのが要求される。安定化目標を高いレベルに設定すればこの究極的な結果の発生の時期を2100年の先までずらすことができるのは確かである。しかし、所与の安定化目標を達成するためには、排出量は究極的に現在のレベルを大きく下回って削減しなければならない。安定化カテゴリーIおよびIIの達成のためには、それらに属する多くのシナリオにおいて今世紀末近くに正味排出量がマイナスになる必要がある(図TS.8)(見解一致度:高、証拠量:多)[3.3.5]。

排出削減のタイミングは安定化目標の厳しさに応じて異なる。厳しい目標の下では、二酸化炭素排出量が早期にピークに達することが要求される(図TS.8を参照)。最も厳しい安定化シナリオカテゴリー(I)に属するシナリオの大部分で

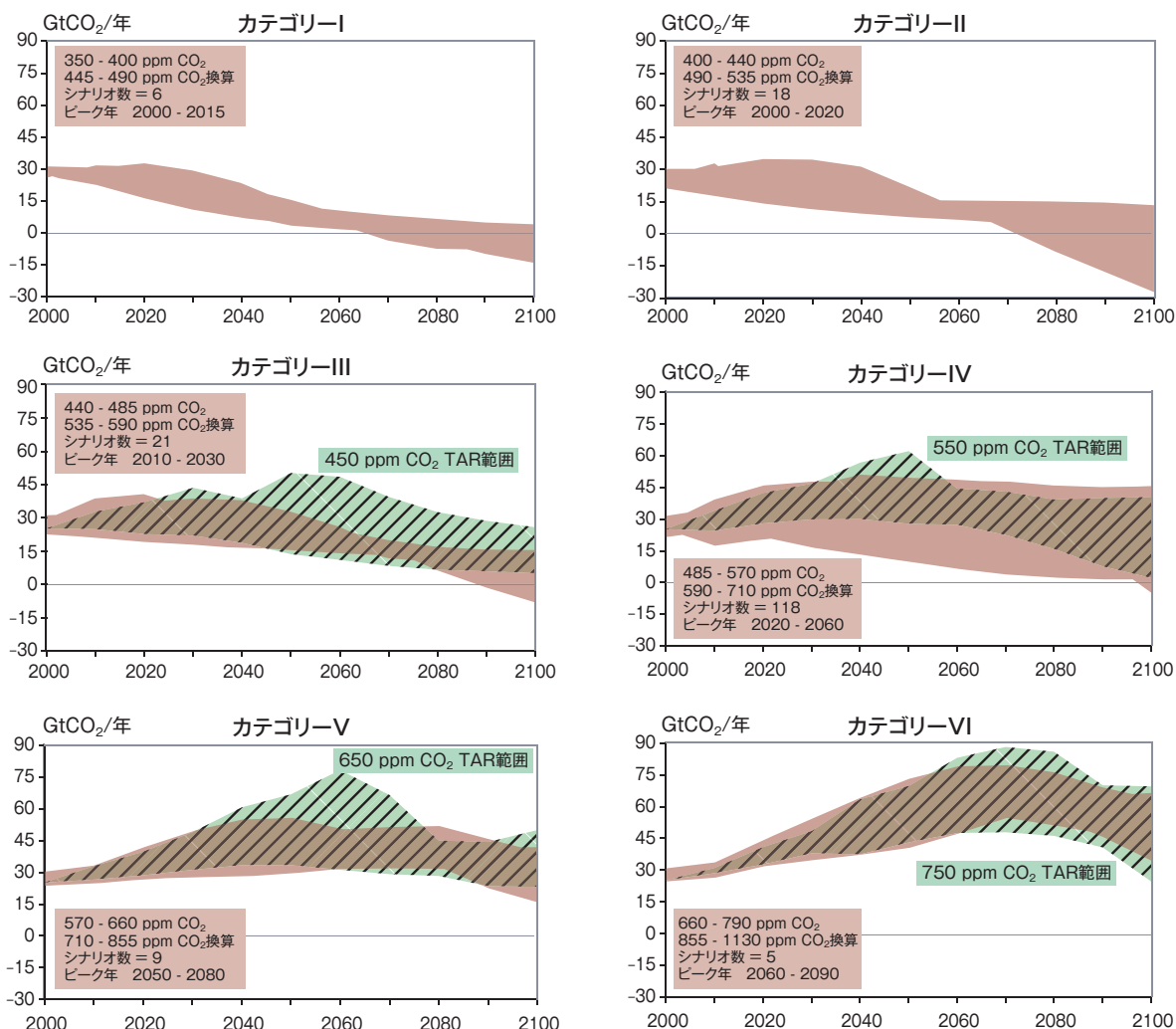
表TS.2: 各安定化目標および代替計測法に基づく最近(第3次評価報告書後)の安定化シナリオの分類[表3.5]

カテゴリー	追加的放射強制力 (W/m ²)	二酸化炭素濃度 (ppm)	二酸化炭素換算濃度 (ppm)	気候感度の“最良の推定値”を用いた平衡時の世界平均気温の工業化以降からの上昇 ^{a), b)} (°C)	二酸化炭素の排出量がピークを迎える年度 ^{c)}	2050年における世界の二酸化炭素排出量の変化 (2000年比 %) ^{c)}	評価したシナリオの数
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85 ~ -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60 ~ -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30 ~ +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10 ~ +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25 ~ +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 ~ +140	5
総計							177

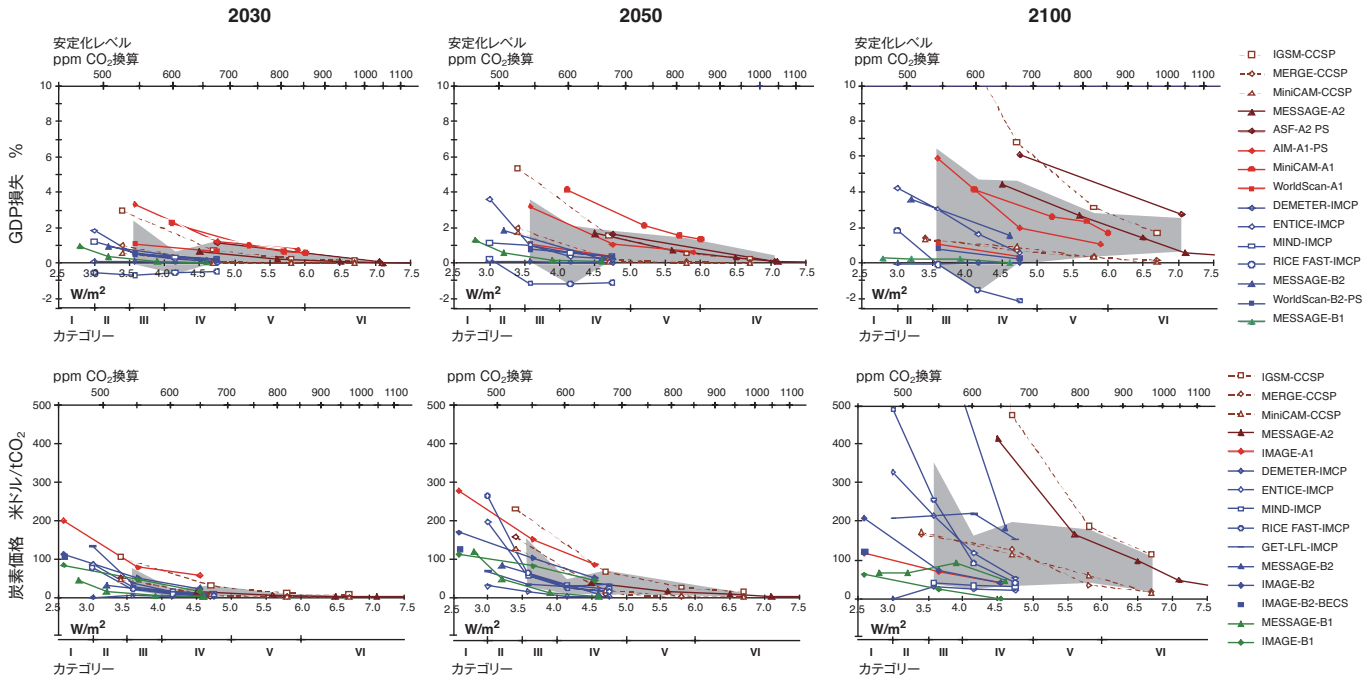
注:

- a) 平衡状態の世界平均気温は、気候システムのイナーシア(慣性)により、2100年で予想される世界平均気温とは異なることに留意。
- b) 単純な関係式である $T_{eq} = T_2 \times CO_2 \times \ln([CO_2]/278)/\ln(2)$ および $\Delta Q = 5.35 \times \ln([CO_2]/278)$ を用いた。フィードバックの非線形性(例、氷域や炭素循環など)により有効な気候感度の時間依存性が生じる可能性があり、温暖化レベルが大きき場合には不確実性も増す可能性がある。気候感度の最良の推計値(3°C)は、最も可能性が高い数値、すなわち第1作業部会による気候感度の評価および第4次評価報告書第1作業部会報告書のBox10.2、図2における追加考察と合致する、確率密度関数の最頻値を指す。
- c) 第3次評価報告書(TAR)後のシナリオ分布における15位及び85位の百分位数に対応する範囲、二酸化炭素排出量のみを示しており、複数ガスシナリオは、二酸化炭素のみのシナリオと比較される。

分類の扱いは慎重さが必要なことに留意。各カテゴリーには上限から下限まで、多様な研究が含まれる。各研究の分類は報告された目標値に基づく(このため、モデル上の不確実性が含まれる。さらに異なる安定化計測手法の関係づけに用いた関係式にも不確実性が起こりうる(図3.16参照)。



図TS.8: 安定化目標の各カテゴリーにおける緩和シナリオの排出量動向(各パネル内のボックスに定義するカテゴリーIからIV)。薄茶の範囲はポストTARに作成された最近の緩和シナリオにおける二酸化炭素排出量を示す。緑の斜線入りの範囲は80以上のTAR安定化シナリオの範囲を示す(Morita, et. al. 2000)。カテゴリーIとIIのシナリオは、TARでの最も低い安定化シナリオ以下のものを研究。モデルにより対象となる部門や産業が異なることから、基準年の排出量は、モデルにより異なる可能性がある。低いレベルでの安定化を達成するため、シナリオの中には、炭素回収貯留を使ったバイオマス生産技術を用い、大気中の二酸化炭素除去(マイナスの排出量)を展開するものもある[図3.17]。



図TS.9: 緩和コストと長期安定化レベルの関係(工業化前と比較した放射強制力、 W/m^2 および二酸化炭素換算濃度) [図3.25]

注: 各図は、GDPの損失率(上段)及び炭素価格(下段)で計算されるコストを示す。左の図は2030年、中の図は2050年、右の図は2100年のもの。着色した線は、各研究の結果を示し、極めて高いコストから極めて低いコスト推計値までのコストダイナミクスを示す。相似するベースライン想定値を持つモデルで得られるシナリオは同じ色で示した。灰色の範囲は、TARおよびポストTARのシナリオの80位百分位数を示す。実線は、全ての放射活性ガスを考慮したシナリオを示す。破断線は、京都議定書で規定されている6つのガスについて目標を定義した複数ガスシナリオを示す(他の複数ガスシナリオは、放射活性を持つ全てのガスを考察する。)図3.16に示す放射性強制力目標および二酸化炭素濃度の関係に基づき、追加された二酸化炭素安定化シナリオである。

は、排出量は2015年前にピークに達して減少に転じ、2050年までに現在の排出量の50%以下まで減少することが要求されている。カテゴリーIIIのシナリオの場合、世界の排出量は概して2010~2030年頃ピークに達して減少に転じ、平均して2040年頃に2000年のレベルになる。カテゴリーIVのシナリオの場合は、中位の排出量は2040年頃ピークに達する(図TS.9)(見解一致度:高、証拠量:多)。

安定化のコストは、安定化の目標とレベル、ベースライン、用いる技術のポートフォリオ、および技術変化の速度に応じて決まる。世界の緩和コスト⁹は、安定化のレベルが低いほど、また、ベースライン排出量が高いほど増加する。二酸化炭素換算濃度650ppmでの複数ガスの安定化(カテゴリーIV)のための2050年におけるコストは、同年のGDPにおける-1~2%¹⁰の損失に相応する。二酸化炭素換算濃度550ppmでの安定化(カテゴリーIII)となると、このコストは若干のマイナスから4%までの幅のGDP損失¹¹である。また、安定化レベルが二酸化炭素換算445~535ppmの場合、コストは5.5%以下のGDP損失であるが、研究の数はわずかであり、しかもそれらの研究は概して低いベースラインを用いている。

複数ガスアプローチおよび炭素吸収源の組み入れは、二酸化炭素だけの排出抑制に比べて概してコストをかなり減少させる。安定化の世界平均コストは不確かである。それは、モデルごとにベースラインの仮定や緩和オプションに大幅なばらつきがあり、それがコストに重大な影響を与えるからである。一部の国、一部の部門又は一部の短期間におけるコストが、世界の平均又は長期間の平均からかなり大きくかけ離れることがありうる(見解一致度:高、証拠量:多)[3.3.5]。

最近の安定化研究は、土地利用緩和オプション(非二酸化炭素と二酸化炭素の両方)が、2100年の安定化目標の達成のための費用対効果が高く柔軟な排出抑制に役立つことを見いだしている。一部のシナリオでは、商業用バイオマスエネルギー(固体および液体燃料)の使用増加が安定化に有効であるとされ、それは、とりわけバイオマスエネルギーを二酸化炭素回収貯留と組み合わせる用いる正味マイナス排出戦略に基づき、今世紀中の累積削減量の5~30%に寄与するうえ、今世紀中の一次エネルギー全体の10~25%を供給する可能性があると考えられている。

9 本報告書で評価された緩和ポートフォリオおよびマクロ経済コストの研究は、世界最小コストアプローチに基づき、最適の緩和ポートフォリオで、地域への排出権の配分なしに行われた。もし地域が除外されるか、又は最適でないポートフォリオが選ばれるならば、世界的コストは増加するだろう。所与の安定化レベルのための緩和ポートフォリオおよびそのコストの変化は、仮定-たとえば、ベースライン(低いベースラインはコストを引き下げる)、GHGおよび緩和オプション(対象ガスおよび緩和オプションが多いほどコストは低くなる)、緩和オプションのコスト曲線および技術変化の速度に関する仮定-の違いによって生じる。

10 分析されたデータの中央値および第10~90パーセンタイルのレンジが与えられている。

11 2050年の4%のGDPロス、GDPの年成長率約0.1パーセンテージポイントの減少に相当する。

ベースラインの選択は、安定化の性格とコストを決定するうえできわめて重要である。安定化の決定に対するこの影響は、概してベースラインシナリオの中で技術変化に関してなされる異なった仮定から来る。

技術の役割

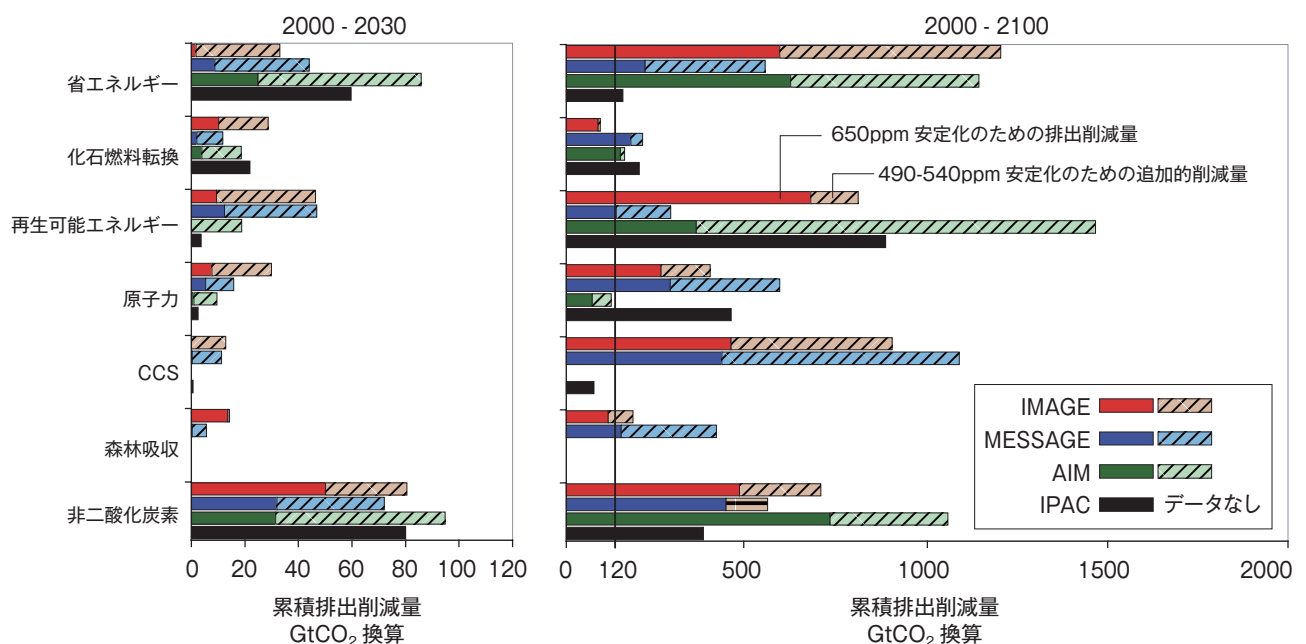
ほとんどすべてのシナリオは、GDPの排出集約度と経済構造を今日と同じに「保つ」ことを目指す仮定的ケースに比べての相対的な排出削減を可能にする技術的および構造的変化が今世紀中に起こると仮定している(第2章, 2.9.1.3を参照)。

ベースラインシナリオでさえ、顕著な技術変化と新しい先進的な技術の普及を仮定しているのがふつうであるが、緩和シナリオでは、それに加えて様々な政策および措置を通じて「誘導」された追加的な技術変化も含んでいる。長期安定化シナリオは、安定化目標とコスト削減目標の両方の達成のために、技術改善、先進技術、実地訓練および内生的な技術変化が重要であることを強調している。従来の大部分の文献では技術改善および先進技術の利用が概して外生的にシナリオに取り入れられているのに対し、新しい文献では学習効果と内生的な技術変化が最初を取り入れている。そうした新しいシナリオは、技術の早期導入が学習の便益とコスト削減をもたらすと仮定したモデルを通じて、早期の行動が高い便益を生むことを示している(見解一致度：高、証拠量：多)[3.4.]。

シナリオカテゴリーが異なると、緩和措置の寄与も異なつて捉えられている。しかし、すべての安定化シナリオは、全排出削減量の60～80%がエネルギー部門と産業部門から生じる点では一致している。残余の30～40%に非二酸化炭素ガスと土地利用が寄与している(具体的な例は図TS.10を参照)。より厳しい安定化レベルを目標に掲げる新しい研究は、より広範な技術ポートフォリオが必要なことを示唆している。そうした技術ポートフォリオには、原子力、二酸化炭素回収貯留(CCS)、「炭素回収・地下貯留を伴うバイオエネルギー」(BECS)などが含まれるだろう(見解一致度：高、証拠量：多)[3.3.5]。

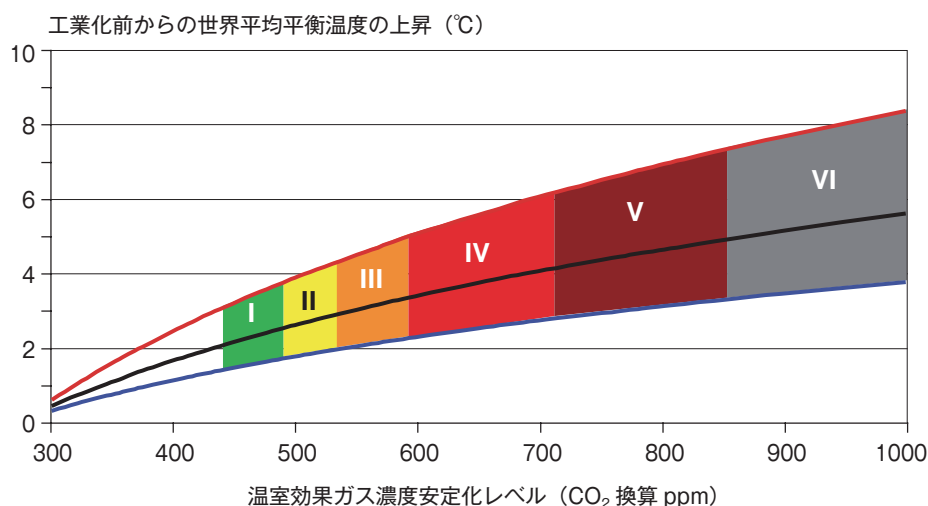
気候変動の影響に照らしての緩和と適応および不確実性下の意思決定

重大な脆弱性に関する懸念とどのレベルの気候変動が危険かの考えは、長期の気候変動目標、したがってまた緩和経路に関する意思決定に影響を与える。重大な脆弱性は様々な人間システムおよび自然システムにまたがって様々なレベルの温度変化において存在する。より厳しい安定化シナリオは、より厳しい気候目標の達成をもたらすうえ、気候変動に関連した重大な脆弱性が発現するリスクを低める。気候の感受性の「最良推定値」¹²を用いて推計すると、最も厳しいシナリオ(二酸化炭素換算濃度445～490ppmでの安定化)は、平衡



図TS.10: 2000-2030年(左側のパネル)および2000-2100年(右側のパネル)における代替緩和措置による排出削減量累計。この図は、低レベル(二酸化炭素換算で490-540ppm)、中レベル(二酸化炭素換算で650ppm)での安定化を目指す4つのモデル(AIM、IMAGE、IPAC、MESSAGE)によるシナリオを示す。濃い色の棒グラフは、二酸化炭素換算で650ppmを目標とする削減量を表し、薄い色の棒グラフは、二酸化炭素換算で490-540ppmの目標達成に必要な追加削減量を示す。一部のモデルでは森林による吸収(AIMとIPAC)またはCCS(AIM)による緩和を考察していないことに留意。またエネルギー供給量の合計に占める低炭素オプションの割合は、ベースラインでの割合で決まることにも留意。CCSにはバイオマスの炭素回収貯留、森林吸収には森林減少を含む[図3.23]。

12 平衡状態における気候感度は、維持されている放射強制力に対する気候システムの反応を測定するものである。これは予測ではなく、二酸化炭素濃度が倍になった場合の世界の平均地上気温の上昇と定義される[AR4 WGI SPM]。



図TS.11: 図TS.8に示された安定化シナリオのカテゴリー（着色された帯）と工業化前と比較した地上平衡気温の変化との関係 [図3.38]

注: まん中の線(黒)は、気候感度3°Cの「最良の推計値」、上の線(赤)は、気候感度4.5°Cで可能性範囲の上限、下の線(青)は、気候感度2°Cでの可能性範囲の加減。着色された範囲は、表TS.2に示す安定化シナリオカテゴリーIからIVまでに対応する大気中温室効果ガスの安定化濃度域を示す。

状態で世界平均温度の上昇を工業化前レベルから2～2.4°C以内に抑えることができる。そのためには、排出量が今後10年以内にピークに達して減少に転じ、2050年までに現在のレベルの約50%になることを要する。それに対し、二酸化炭素換算濃度535～590ppmで安定化するシナリオは平均温度の上昇を工業化前レベルから2.8～3.2°C以内に抑えることができ、また二酸化炭素換算濃度590～710ppmで安定化するシナリオは3.2～4°C以内に抑えることができる。そのためには、排出量がそれぞれ今後25年以内と55年以内にピークに達して減少に転じることが必要である(図TS.11を参照)[3.3, 3.5]。

気候の感受性が高いリスクは、重大な脆弱性の閾値の超過が生じる確率を引き上げる。たとえ一時的にでも濃度上限の超過を生じさせるような排出シナリオは、今世紀を通じての気候変動の率を高めると同時に、重大な脆弱性の閾値の超過を生じさせる可能性がある。炭素サイクルおよび気候フィードバックの影響を考察する研究の結果を考え合わせると、上掲の温度の範囲は過小評価かもしれない。より高い気候感度の下で同じ濃度安定化レベルを達成するためには、より早期の厳しい緩和対策が必要である。

緩和の適切なレベルに関する意思決定は、緩和と適応への投資、気候変動対策の決定の実施による共通便益、気候変動による被害などを検討する反復的なリスク管理のプロセスであり、持続性、衡平性や開発経路の意思決定とも絡み合う。意思決定のために利用可能なツールの1つとしての費用便益分析は、気候変動の被害を(炭素の社会的コスト(SCC)又は現在価値に割引した損害として)金銭的な価値に数量化することを図るものである。非市場的損害の数量化に伴う大きな不

確実性と困難のため、確信をもってSCCを推計することは依然として困難である。推計結果は、確実には分かっている多数の規範的および経験的な仮定に依存する。緩和に関する費用および便益の総合的な諸分析からの限定的かつ早期の分析結果は、それらが概ね同程度の規模であると示唆しているが、便益が費用を上回る排出経路や安定化レベルを未だに明確に確定できていない。様々な緩和経路に関する経済コストと便益の統合的な分析によると、経済的に最適である緩和のタイミングとレベルは、仮定される気候変動のコスト曲線の不確定の形状と特徴に依存することを示している。

この依存関係を説明すると、

- もし、気候変動による被害のコストカーブがゆっくりと一定に上昇し、将来の予測がより明らかであるならば(時宜を得た適応対策が実施できるポテンシャルが高まる)、より遅い時期の、より軽易な緩和策が経済的に正当化される。
- 他方、もし被害のコストカーブが急激に増加し、または、直線的でない場合(例えば、脆弱性の閾値が存在する場合や、可能性は低い破壊的な被害が考えられる場合など)は、より早い時期の、より厳格な緩和策が経済的に正当化される(見解一致度: 高、証拠量: 多)。[3.6.1]

短期と長期の関連

いかなる温室効果ガス安定化目標に関しても、長期安定化目標の範囲内に一貫した排出経路を維持するように緩和の機会に関する短期の決定を行うことができる。経済全体を範囲とした長期安定化目標のモデリングからの情報が、短期の緩和措置の選択の役に立つ。放射強制力3～5W/m²の範囲内の安定化目標をもつシナリオ(カテゴリーIIからIIIまで)を使って

行われた短期および長期のモデリングの結果を編集したものによれば、2030年において、炭素価格が二酸化炭素換算1トン当たり20米ドル以下の場合には、すべての温室効果ガス込みで二酸化炭素換算で年約90～180億トンの排出削減が期待できることが明らかである。また、炭素価格が二酸化炭素換算1トン当たり50米ドル以下の場合の排出削減の範囲は二酸化炭素換算で年140～230億トンであり、炭素価格二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル以下の場合には二酸化炭素換算で年170～260億トンである（見解一致度：高、証拠量：多）。

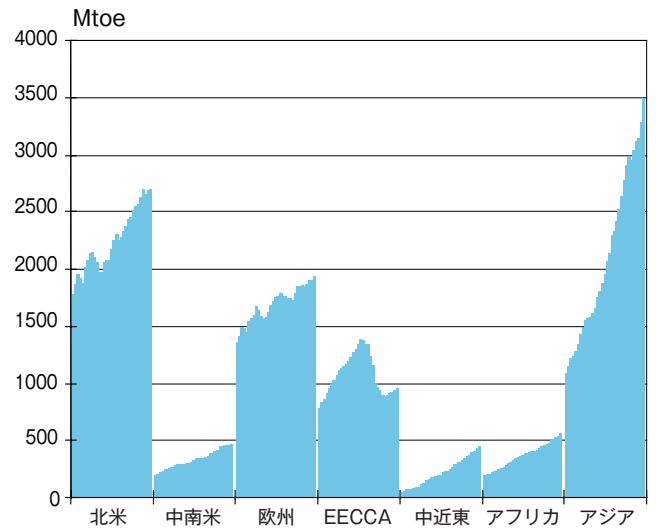
報告されている限界コストに関して次の3つの重要な点に注目する必要がある。第一に、これらの緩和シナリオは「何を」および「どこで」削減するのかに関して完全に柔軟であると仮定している。すなわち、温室効果ガスの種類間の置換は完全に自由であり、またモデルが分析を始めるや否や削減は世界のどこでも起こりうる。第二に、これらのレベルの緩和を達成する限界コストは2030年以降は増加する。第三に、経済部門のレベルでは、すべての温室効果ガスの排出削減ポテンシャルは、モデルのシナリオが異なるごとに著しく異なる（見解一致度：高、証拠量：多）[3.6.2]。

リスク管理すなわち「ヘッジング」のアプローチは、長期目標が不在の場合や、緩和のコスト、適応の有効性および気候変動の悪影響に関する不確実性が大きい場合に、政策決定者が緩和の決定を推進することを支援する。望ましいヘッジング戦略の規模と時期は——たとえば、地球物理システムおよびその他の重大な脆弱性の突然の変化に関連して——保護の対象、生起確率および社会のリスクに対する態度に応じて決まる。そうした長期の気候目標に関連した政策決定の視点から緩和の便益を評価する統合的な評価アプローチは多々存在する。また、新しい情報の入手により、学習および途中段階での修正の機会は十分に生じるだろう。しかし、短期的な措置は、長期の世界平均温度や、これに対応して気候変動による影響をどの程度回避できるかについて、かなりの部分を決定づける。排出削減を遅らせることは、より排出集約度の高いインフラおよび開発経路に固定化する投資に結びつく。このことは低い濃度安定化目標の達成機会を大きく制約し、より厳しい気候変動の影響を受けるリスクを増加させる。そのため、短期の意思決定の分析を、長期の気候変動の結果を検討する分析から切り離すべきではない（見解一致度：高、証拠量：多）[3.6; 3.5.2]。

4 エネルギー供給

エネルギー部門の現状と2030年までの発展

世界のエネルギー需要は増大を続けているが、地域的な格差がある。1990年から2004年までの世界の一次エネルギー消費の年間平均伸び率は1.4%であった。東欧、コーカサス、中央アジアの経済変化に因りこの数値はその前の20年間より低い。この地域のエネルギー消費は現在再び増加傾向にある（図TS.12）（見解一致度：高、証拠量：多）[4.2.1]。

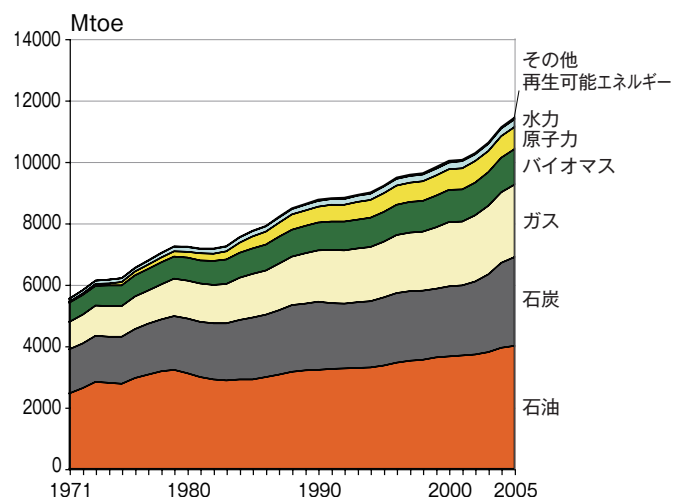


図TS.12: 1971-2003年での年間の一次エネルギー消費量、これには従来型のバイオマスを含む [図4.2]

注: EECCA=東欧、コーカサス、中央アジア諸国
1000Mtoe = 42EJ

多くの途上国で一人当たりエネルギー消費の急速な伸びが見られる。アフリカは一人当たり消費量が最低の地域である。石油とガスの価格の上昇は最貧国のエネルギーへのアクセス、衡平さ、持続可能な開発を危うくし、電力、近代的な調理・暖房燃料、輸送へのアクセスの改善を伴う貧困削減目標の達成を妨げる（見解一致度：高、証拠量：多）[4.2.4]。

過去30年間に化石燃料の全体的な消費は徐々に増加した。原子力エネルギー消費は、1980年代よりも鈍化したものの、増加を続けた。水力・地熱エネルギーは比較的横ばいである。1970年から2004年までに化石燃料のシェアは86%から81%に低下した。風力と太陽熱は最も急増しているが、もともと非常に少なかった（図TS.13）（見解一致度：高、証拠量：多）[4.2]。



図TS.13: 燃料別世界の一次エネルギー消費量 [図4.5]

大半のビジネスアズユージュアル (BAU) シナリオでは、世界人口とGDPの伸びが継続し(世界人口に関しては予測の対象となった前の数十年間より伸び率は低下する)、それによってエネルギー需要が大幅に増大する。アジアのエネルギー需要は高い上昇率が続き(1990年から2004年までに年間3.2%)、主に化石燃料で賄われると予測される(見解一致度：高、証拠量：多)[4.2]。

世界レベルでの化石燃料の絶対的な欠乏は気候変動の緩和を検討する際の重要な要素ではない。在来型石油生産はいつかはピークに達するが、正確にはいつピークに達し、どのような反響があるのかは定かではない。在来型天然ガスのエネルギーは在来型石油よりも豊富だが、石油と同様、世界全体に平等に分配されているわけではない。将来的には、消費国に供給される石油とガスの安全保障の不足が、石炭、原子力および／又は再生可能エネルギーへのシフトを推進する可能性がある。また、固体燃料よりも効率のよい便利なエネルギー担体(電力、固体ではなく液体と気体の燃料)に向かう傾向もある(見解一致度：高、証拠量：多)[4.3.1]。

世界のすべての地域で、第3次評価報告書(TAR)以来、インフラへの投資削減、世界需要の増大、主要地域の政治的不安定および紛争・テロ、異常気象の脅威と相まって供給の安全保障がさらに重要視されてきた。途上国での新しいエネルギーインフラ投資、先進国での設備更新は、こういった選択や能力向上がない場合よりも温室効果ガス排出を削減するエネルギーミックス選択の共同便益の機会をもたらす(見解一致度：高、証拠量：多)[4.2.4; 4.1]。

経済的コストを抑え、エネルギー安全保障を確保し、輸入エネルギー源への依存度を低下させ、付随する温室効果ガス排出およびその他の汚染物質を最小に抑えながら、増大し続ける需要に対して信頼できるエネルギーサービスをどのように最適に満たすかということが、多くの政府にとって難題になった。世界の地域で将来どのエネルギー供給システムが選択されるかは、それぞれの地域の発展、既存のインフラ、利用可能なエネルギー資源の地域的比較コストに左右される(見解一致度：高、証拠量：多)[4.1]。

化石燃料が高価格を続ければ、オイルサンド、オイルシェール、液化石炭(CTL)、液化ガス(GTL)などの形態の他の炭化水素資源が商業的に利用可能になるまで需要は一時的に減少するかもしれない。そうすると、炭素原単位が増大するため、二酸化炭素の固定と貯留(CCS)が適用されないと、排出はさらに増加する。エネルギー安全保障に対する懸念の増大と最近見られるガス価格の上昇のため、より効率の高い石炭ベースの新しい発電所への関心が増大している。将来の温室効果ガス排出に関する重要な問題は、どのくらい迅速に新しい石炭発電所にCCS技術が装備されるかということである。この技術は電力コストを増大させる。電力コストは、「回収設備を取り付ける準備のできた」発電所を建設する方が発電所の改修やCCSを組み込んだ新しい発電所の建設よりもコスト効率が良いかどうかという経済的・技術的仮定に左右される。価格変動は投資家にとって阻害要因であり、化石燃料の価格が

高い状態が続くと、原子力および／又は再生可能エネルギーが増えるきっかけになるかもしれない。安全性、兵器の拡散、廃棄物への懸念はいまだに原子力発電の制約となっている。水素発生源と石炭やガスからの水素生産に関するCCSの取組みの成功次第で、水素もいずれは炭素排出の低いエネルギー担体として貢献するかもしれない。再生可能エネルギーは分散して使用されなければならないか、都市や産業の集約的なエネルギー需要を満たすために集中されなければならないかのいずれかである。化石燃料源とは異なり、再生可能エネルギー源は広く分散し、開拓面積でみた地域ごとのエネルギー収益は低い(見解一致度：中、証拠量：中)[4.3]。

エネルギー需要が現在の軌道を辿って現在の増加率で増加を続けるとするならば、2030年までにインフラの改善と変換技術に総額20兆(20×10¹²)米ドル(2005年の貨幣価値)を超える累積投資が必要となるであろう。比較として、世界のエネルギー産業による資本投資総額は現在年間3,000億米ドル(300×10⁹)である(見解一致度：中、証拠量：中)[4.1]。

世界と地域の排出動向

東欧諸国、コーカサス、中央アジア(1990年以降は排出が減少したが、現在は再度上昇している)とヨーロッパ(現在は横ばい)を除き、炭素の排出は上昇を続けてきた。2030年までビジネスアズユージュアル(BAU)排出は大幅に増加する。効果的な政策措置がとられなければ化石燃料の燃焼からの二酸化炭素の排出は2030年までに2000年の年間250億トン(炭素換算66億トン)から370～530億トン(炭素換算100～140億トン)へと最低40%を超える率で増加すると予測されている[4.2.3]。

2004年には、発電と熱供給による排出だけでメタンからの排出の二酸化炭素換算22億トンを含めて、二酸化炭素換算127億トンであった(排出全体の26%)。世界エネルギー展望2006年ベースラインによると、2030年には、この排出は二酸化炭素換算177億トン増加している。(見解一致度：高、証拠量：多)[4.2.2]。

発電部門の緩和の技術と実践、オプション、ポテンシャル、コストの説明と評価

電力部門には幅広い技術を利用した多大な緩和ポテンシャルがある(表TS.3)。本書で報告する各技術の緩和に関する経済的ポテンシャルは、普及率、社会の受容、能力強化、商業化の実際の制約を考慮した、全力を尽くしたさまざまな技術の現実的な導入予測に基づいている。オプション間の競合および最終用途でのエネルギー効率化と効率改善の影響は含まれていない[4.4]。

燃料転換と発電所の効率改善、原子力、再生可能エネルギーシステムを含む幅広いエネルギー供給の緩和オプションの利用が可能であり、炭素価格が二酸化炭素1トン当たり20米ドル未満ではこの緩和オプションはコスト効率がよい。炭素価格がこれを超えると、二酸化炭素の固定と貯留(CCS)のコス

表TS.3: 特定の発電緩和技術により2030年までに実現される温室効果ガス排出削減ポテンシャル (IEA世界エネルギー展望(2004年)の参照ベースラインとの比較)。各コスト範囲におけるポテンシャルのシェアを考慮せずに採用されたものとする。(二酸化炭素換算1トン当たりの2006年米ドル) [表4.19]

	地域グループ	緩和ポテンシャル; 2030年の削減 排出量計 (Gt CO ₂ 換算)	特定の炭素価格範囲における緩和ポテンシャル(%) (米ドル/tCO ₂ 換算 正味削減分)				
			<0	0-20	20-50	50-100	>100
燃料転換 および 発電効率	OECD ^a	0.39		100			
	EIT ^b	0.04		100			
	非OECD	0.64		100			
	世界	1.07					
原子力	OECD	0.93	50	50			
	EIT	0.23	50	50			
	非OECD	0.72	50	50			
	世界	1.88					
水力	OECD	0.39	85	15			
	EIT	0.00					
	非OECD	0.48	25	35	40		
	世界	0.87					
風力	OECD	0.45	35	40	25		
	EIT	0.06	35	45	20		
	非OECD	0.42	35	50	15		
	世界	0.93					
バイオエネルギー	OECD	0.20	20	25	40	15	
	EIT	0.07	20	25	40	15	
	非OECD	0.95	20	30	45	5	
	世界	1.22					
地熱	OECD	0.09	35	40	25		
	EIT	0.03	35	45	20		
	非OECD	0.31	35	50	15		
	世界	0.43					
太陽光発電 および 太陽光集光発電	OECD	0.03				20	80
	EIT	0.01				20	80
	非OECD	0.21				25	75
	世界	0.25					
CCS + 石炭	OECD	0.28			100		
	EIT	0.01			100		
	非OECD	0.20			100		
	世界	0.49					
CCS + ガス	OECD	0.09				100	
	EIT	0.04			30	70	
	非OECD	0.19				100	
	世界	0.32					

注:

^{a)} 経済開発協力機構

^{b)} 経済移行国

ト効率がよくなる。まだ開発中の他のオプションである新型原子力、新型再生可能エネルギー、第二世代バイオ燃料、長期的には水素をエネルギー担体として利用する可能性が含まれる(見解一致度:高、証拠量:多)[4.3, 4.4]。

表TS.3の推定値は、実際の供給ミックスを考慮していない個々のオプションの緩和ポテンシャルであるため、合算することはできない。したがって、二重計算を回避するため、さらに供給ミックスが分析された。この分析では、次のような条件で、火力発電容量が徐々に置き換えられ、需要を満たす

ために発電所が新設されると仮定された:

- 1) 石炭からガスへの燃料転換が石炭発電所の20%で起きると仮定された。これはガスが最も廉価なオプションだからである。
- 2) 電力需要の増大に対処するための2030年までの既存の化石燃料発電所の更新と発電所の新設は、効率の高い化石燃料の発電所、再生可能エネルギー、原子力、CCSを伴う石炭・ガス燃料発電所で実施される。これには発電所や残置資産の早期廃止は仮定されていない。
- 3) 低炭素またはゼロ炭素の技術は2030年の発電に占める推

表TS.4: 2010年から2030年の電力需要増の予測、この需要増を新しい高効率代替発電所で満たす場合、およびその結果として得られる緩和ポテンシャルで、2004年世界エネルギー展望のベースラインを上回るもの [表4.20]

	2030年の発電所における発電効率 (IEA 2004aに基づく) ^a (%)	2010年の発電燃料混合比 (TWh)	2030年までの新規追加発電所による発電量 (TWh)	2010年での既存の旧式発電所を代替する新設発電所による2030年の発電量 (TWh)	多用な炭素価格において CCSを含む2030年までに建設される新規および代替発電所全体に占める発電量のシェア (米ドル/tCO ₂ 換算) ^b			燃料転換やCCSおよび一部既存化石燃料発電所を風力、太陽光、地熱、水力、原子力、バイオマス等低炭素オプションに置換した場合の全体の排出回避量 (Gt CO ₂ 換算)					
					<20 米ドル/TWh	<50 米ドル/TWh	<100 米ドル/TWh	<20 米ドル/t	<50 米ドル/t	<100 米ドル/t			
OECD		11,302	2942	4521	7463			1.58	2.58	2.66			
石炭	41	4079	657	1632	899	121	0						
石油	40	472	-163	189	13	2	0						
ガス	48	2374	1771	950	1793	637	458						
原子力	33	2462	-325	985	2084	2084	1777						
水力	100	1402	127	561	1295	1295	1111						
バイオマス	28	237	168	95	263	499	509						
他の再生可能エネルギー	63	276	707	110	1116	1544	1526						
CCS					0	1282	2082						
経済移行国(EIT)		1746	722	698	1420						0.32	0.42	0.49
石炭	32	381	13	152	72	46	29						
石油	29	69	-8	28	11	7	4						
ガス	39	652	672	261	537	357	240						
原子力	33	292	-20	117	442	442	442						
水力	100	338	35	135	170	170	170						
バイオマス	48	4	7	2	47	109	121						
他の再生可能エネルギー	36	10	23	4	142	167	191						
CCS					0	123	222						

注:

- ^{a)} 右記の式で計算される効率を意味する: WEO2004(IEA, 2004b) = 電力アウトプット (EJ)/電力インプット推計 (EJ)。第11章、付録1参照。
- ^{b)} 炭素価格が高い場合、石炭、石油、ガスによる発電から低炭素、非炭素オプションへの切り替えが進む。原子力や水力は、二酸化炭素換算1トン当たり20米ドル以下でも多くの地域でコスト競争力を持つことから(第4章、表4.4.4)、全体に占める割合は一定のままである。
- ^{c)} マイナスのデータは、分析の対象となった発電方式の低下を示す。

定最大シェアに比例して使用される。この最大シェアは、資源の利用可能性、相対的コストおよび電力網の間欠性の問題と関連する供給の変動を考慮し、文献に基づいて決定され、炭素コストレベルに応じて差異化された。

火力発電所熱効率の改善、燃料転換、並びに増大する受容を満たすための原子力、再生可能エネルギー、燃料転換およびCCSの実施の結果もたらされる2030年までのエネルギー需要の経済的緩和ポテンシャルは、コストが二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル未満では二酸化炭素換算で約72億トンである。コストが二酸化炭素換算1トン当たり20米ドル未満では、削減ポテンシャルは二酸化炭素換算で39億トンと推定され(表TS.4を参照)、発電に占める再生可能エネルギーのシェアは2010年の20%から2030年には約30%に増加しうる。炭素価格が二酸化炭素換算1トン当たり50米ドル未満の場合には、発電に占めるシェアは35%にまで増加しうる。2030年の原子力エネルギーのシェアは炭素価格が二酸化炭素換算1トン当たり50米ドル未満の場合には約18%であり、炭

素価格がこれより高くなっても、他の技術に競争力があるため大きな変化はないであろう。

経済的ポテンシャルの評価では低炭素又はゼロ炭素の技術の最大のシェアを達成することが仮定されているため、その推定値は文献に見られる幅広い数値の中の最も高い数値になっている。たとえば、達成されるシェアが推定シェアの70%だけだとすると、炭素価格が二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル未満の場合に緩和ポテンシャルはほぼ半分になる。最終用途部門の電力需要が節約されれば電力部門の緩和措置の必要性が減る。第11章の建設部門と産業部門の緩和の影響と付き合わせると、結果は、需給のバランスが取れた後、エネルギー供給部門の緩和ポテンシャルは本書で報告される単独の数値よりも低くなる(見解一致度:中、証拠量:少)[4.4]。

緩和オプションと脆弱性および適応の相互作用

多くのエネルギー・システムはそれ自体気候変動に対して脆

弱である。化石燃料ベースのオフショアおよび沿岸の石油とガスの採掘システムは異常気象に対して脆弱である。在来型の発電所および原子力発電所の冷却は、河川の水が温かくなれば問題になってくる。再生可能エネルギー資源もまた気候変動に悪影響を受ける可能性がある(太陽システムは雲量の変化に影響を受ける；水力発電は河川の流量、氷河、融雪の影響を受ける；風力は風速の変化の影響を受ける；エネルギー作物の収穫は早魃と温度の上昇によって減少するなど)。空調と揚水などの気候変動への一部の適応措置はエネルギーを使用し、二酸化炭素排出の増加に貢献し、そのためさらに緩和が必要となる(見解一致度：高、証拠量：少)[4.5.5]。

気候政策、ポテンシャル、障害、機会の効果と経験および実施に伴う問題

長期的に有意な影響を及ぼすには短期的措置を直ちに取る必要があることが明らかになり、単独で世界的なエネルギー供給システムの大規模移行を可能にする手段はないため、あらゆる政策手段を適用する必要性も明らかになった。大規模なエネルギー変換技術の耐用年数は数十年間であり、したがって年間回転率はわずか1～3%である。すなわち、現在下す政策決定は炭素排出技術の導入率に数十年間影響を及ぼすことになる。政策決定は、とりわけ急速に発展する世界で、開発経路に深い影響を及ぼす[4.1]。

これまで経済手段と規制手段が利用されてきた。低炭素エネルギー供給システムの普及拡大を促進するアプローチには化石燃料補助金の削減と、市場の創設に政府が積極的に関わることにより特定の技術の先駆者に刺激を与えることが含まれる(デンマークの風力エネルギーや日本のソーラーPVなど)。化石燃料補助金の削減は、既得権の抵抗に合い困難であった。再生可能エネルギー・プロジェクトの支援に関しては、これまでは割当枠総量に基づくグリーン証書取引システムよりも固定価格制度の方が効果的であった。しかし、電力ミックスに占める再生可能エネルギーのシェアの拡大に伴い、この価格の調整が問題になってきた。取引可能排出権システムと京都の柔軟性メカニズムの使用は排出削減に多大な貢献をすると見込まれている(見解一致度：中、証拠量：中)[4.5]。

気候以外の総合的政策と緩和政策の共同便益

エネルギー供給部門の温室効果ガス緩和の共同便益は相当なものになる可能性がある。コスト効率の高いエネルギー効率措置を適用すると、エネルギーコストの低下により消費者は直ちに経済的便益を受ける。一般に局地的規模では、エネルギー供給安全保障、技術的革新、大気汚染の軽減、雇用の点で緩和がもたらす他の共同便益も起きる。特にこのことは再生可能エネルギーの場合にあてはまり、再生可能エネルギーは輸入依存度を軽減し、多くの場合輸送のロスとコストを最小化することができる。再生可能エネルギーにより供給される電力、輸送燃料、熱は価格変動が小さい傾向があるが、多くの場合コストは高い。再生可能エネルギー技術は在来型の技術よりもエネルギー出力単位当たりの労働集約度が高くな

る可能性があるため、結果として雇用が増加する。しかし、新しいエネルギーシステムのインフラは投資コストが高いため、このことが実施の主な障害となる可能性がある。

高い経済成長率を経験し続けている途上国は、エネルギーサービスの大幅増加を必要とするようになるが、現在は主に化石燃料で賄われている。近代的なエネルギーサービスへのアクセス増大は複数の便益をもたらす可能性がある。このようなサービスの利用は、特に広い都市地域で大気の問題の軽減に役立つかもしれないが、温室効果ガス排出減少も実現する。増大する消費需要を満たすために途上国では2030年までに推定2,400GWの発電所と関連するインフラを建設する必要があり、約5兆(5×10¹²)米ドルの投資が必要とされる。このような多額の投資は、それが的を射たものであれば、持続可能な開発の機会をもたらす。開発政策と温室効果ガス緩和目標との統合により、上記の利益がもたらされ、雇用、貧困、衡平に関係する開発目標に貢献する。考えられる政策を分析する場合には共同便益を考慮すべきである。しかし、この場合にも、大気汚染の軽減やエネルギー安全保障の目標を追及する特定の状況では、エネルギー消費が増え、これに関連して温室効果ガスの排出が増える場合があることに留意すべきである。

自由な市場を發展させる自由化・民営化政策は、競争を進めて消費者物価を下げることを目指しているが、この点に関して常に成功してきたわけではなく、しばしば、資本投資が不足したり、環境への影響の考慮が不十分といった結果になる(見解一致度：高、証拠量：多)[4.2.4；4.5.2；4.5.3；4.5.4]。

技術の研究、開発、普及、移転

エネルギー技術研究開発の投資は、石油危機の結果1970年代末に達成されたレベルから全体的に減少してきた。1980年代から2002年代の間にエネルギー関連研究開発の公共投資は実質ベースで50%減少した。現在はもたぬおしてきているが、いまだ、温室効果ガスの排出を削減し増大するエネルギー需要を満たす技術の開発には不十分かもしれない。早急な低炭素エネルギー技術の配備のために、より多くの公共・民間投資が必要となる。改良型のエネルギー転換技術、エネルギー輸送・貯蔵方法、負荷管理、コージェネレーション、コミュニティベースのサービスを開発しなければならないであろう(見解一致度：高、証拠量：少)[4.5.6]。

長期的展望

IEAと世界エネルギー会議による展望は、両方とも、人口増加と経済成長のさまざまなシナリオおよび技術開発の度合いに応じて、一次エネルギー需要が2050年までに今日より40%から150%増加すると予測している。電力消費は110%から260%増加すると見込まれている。いずれの機関も、ビジネスアズユージュアル・シナリオは持続可能ではないことを認めている。意思決定が優れたものであり、公共部門と民間部門の協力があっても、必要な移行には時間がかかり、ス

ターゲットが早ければ早いほどコストは低くなるということは広く受け入れられた見解である(見解一致度：高、証拠量：多)[4.2.3]。

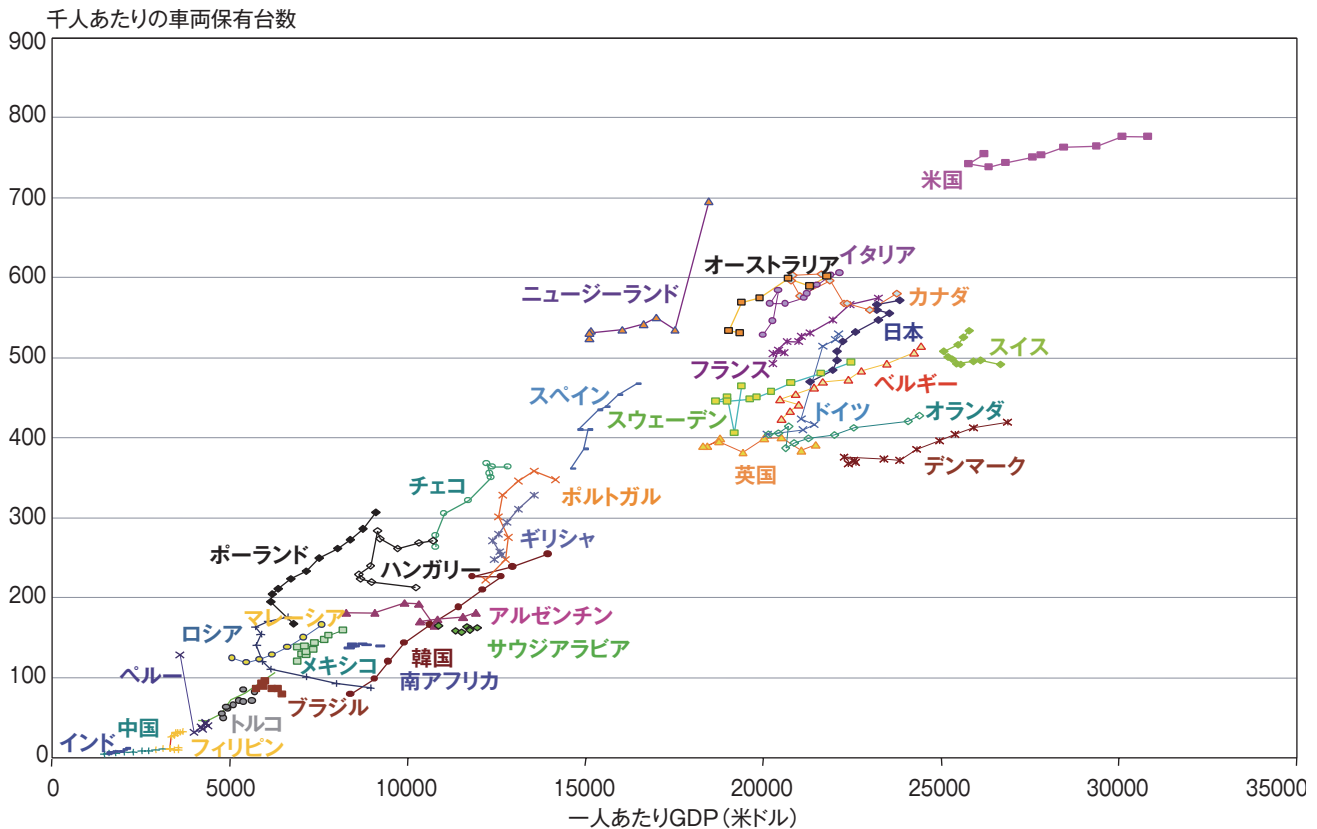
に上昇し(1年当たり3~5%)、2002年の31%から2025年まで世界輸送エネルギー消費の43%まで増加すると予測される[5.2.1, 5.2.2]。

5 運輸とインフラ

部門の状況および進展

輸送活動は、経済成長に伴って世界中で増加している。これは、グローバル化により貿易量が増加し、個人所得が増加し、自動車による移動手段への需要が増幅している多くの発展途上の地域においてとりわけ顕著である。現在の輸送活動は主に、石油燃料を動力源とした内燃機関で駆動されている(2004年では世界の運輸部門におけるエネルギー消費量(83EJ)の95%)。結果として、石油消費量は輸送活動の増加に伴って増加している。2004年では、運輸部門でのエネルギー消費は全世界のエネルギー消費の26%を占めた。先進国では、運輸部門でのエネルギー消費は1年当たり1%強で増加し続けており、旅客輸送は現在、運輸部門のエネルギー消費の60~75%を消費している。発展途上国では、運輸部門のエネルギー消費は急速

輸送活動は、これからの数十年間にわたり確実に増加することが予想される。現在のエネルギー消費パターンを大きく変えなければ、世界輸送エネルギー消費が1年当たり2%の伸び率で継続した増加となり、それに伴って、2030年までに、2002年水準のおよそ80%以上のエネルギー消費と炭素排出量となることが予想される[5.2.2]。先進国では、自動車の保有台数は、人口10人当たり5~8台に近づいている(図TS.14)。発展途上国では、自動車保有台数はかなり少なく、非動力系の交通手段が重要な役割を担っており、二輪自動車や三輪自動車や公共交通機関への依存も大きい。しかし、発展途上国における輸送のモータリゼーションは、数十年後には急速に増加することが予想される。所得が増加し、移動者の時間の価値が高まるにつれて、移動者はより速い輸送手段を選択することが予想され、非動力系的手段から自動車、航空および高速鉄道へと移行することになる。速度の増加は、一般的にエネルギー強度の増加、また温室効果ガス排出量の増加につながってきた。



図TS.14: 国別の車の保有台数と一人当たりの所得の時系列変化 [図5.2]
注: 1900-2002年のデータ、ただし各国のデータの利用可能性によりそれぞれ異なる年のデータを図示。

温室効果ガスとは別に、輸送の車社会化は、世界中の大都市で渋滞と大気汚染問題を引き起こしている（見解一致度：高、証拠量：多）[5.2.1; 5.2.2; 5.5.4]。

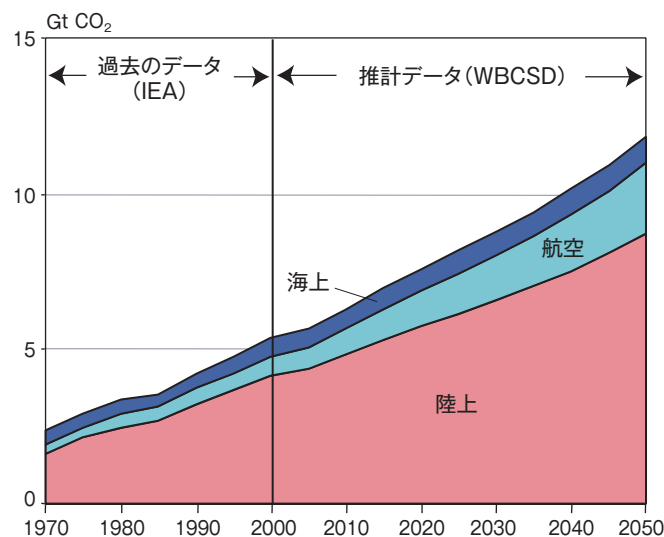
排出量動向

2004年では、エネルギー起源の温室効果ガス総排出量に対する運輸部門の寄与はおよそ23%となり、二酸化炭素と一酸化二窒素の排出量が二酸化炭素換算で約63～64億トンに達している。運輸部門の二酸化炭素排出量（2004年では62億トン）は、1990年以降およそ27%増加し、その増加率は最終消費部門の中で最高であった。道路輸送は現在、輸送からの二酸化炭素総排出量の74%を占めている。非OECD国のシェアは現在36%であり、現在の傾向が継続すれば、2030年までに46%にまで急速に増加するであろう（見解一致度：高、証拠量：中）[5.2.2]。

運輸部門は、燃料燃焼からの少量のメタンと一酸化二窒素排出および自動車のエアコンからのフロン類排出にも関与している。メタン排出量は運輸からの温室効果ガス総排出量の0.1～0.3%であり、一酸化二窒素排出量は2.0～2.8%である（すべての数字は米国、日本およびEUのデータのみに基づく）。2003年における全世界のフロン類（CFC-12 + HFC-134a + HCFC-22）排出量は、運輸からの二酸化炭素総排出量の4.9%である（見解一致度：中、証拠量：少）[5.2.1]。

世界の航空部門による二酸化炭素排出量の推計値では、1990年の年3億3000万トンから2000年の年4億8000万トンまで、約1.5倍の増加を示し、人為起源の二酸化炭素総排出量の約2%を占めた。航空部門からの二酸化炭素排出量は、着実に増加し続けることが予測される。追加的な措置がなければ、年間1～2%程度と予測される航空機の燃料効率の向上は、およそ年間5%の交通需要の増加に打ち消され、年間3～4%の排出量の増加が予測される（見解一致度：高、証拠量：中）。さらに、航空部門の全体的な気候への影響は、二酸化炭素単独の影響よりはるかに大きい。二酸化炭素を排出すると同時に、航空機は窒素酸化物（NO_x）を排出するが、この窒素酸化物は、巡航高度で排出される場合、温室効果ガスオゾン形成の際に特に効果的となり、気候変動に影響を与える。航空機は、巻雲の形成を促進させるとされている飛行機雲の形成の原因となり、これが地球温暖化にさらに影響を与える。このような影響は、巻雲の形成促進という潜在的影響を考慮しない場合でも、航空機の二酸化炭素単独よりも約2～4倍大きくなると予想される。航空部門における将来の緩和政策の環境面での有効性は、これらの非二酸化炭素の影響に取り組む度合いに左右されるであろう（見解一致度：高、証拠量：中）[5.2.1; 5.2.2]。

上記で議論した見通しのすべてにおいて、予想される輸送活動の増加を支えるために十二分な世界の石油供給量が存在することが仮定されている。しかし、現在は、従来型の石油の生産において、世界がピークに近づいていて、代替エネルギー源への大きく急速な移行を必要とするかどうかといった議論が進行中である。オイルサンドやオイルシェール、石炭



図TS.15: 運輸部門の二酸化炭素排出量、過去および推計 [図5.4]

液化、バイオ燃料、電力および水素などを含め、代替エネルギー源には不足しない。これらの代替エネルギーの中で、非従来型の化石燃料資源が、既存の輸送インフラと最も適応性があり最も安い燃料を製造できる。残念なことに、これらの化石燃料を運輸部門のエネルギー源として利用することは、上流の炭素排出量を増やすことになり、また大気中に放出される炭素量を大きく増加することになる[5.2.2; 5.3]。

緩和技術と実践活動、オプション、ポテンシャルおよびコストに関する説明と評価

単一の化石燃料への顕著な依存性により、また既存の技術でもって運輸部門の車両からの炭素排出を回収することが実行不可能なことより、運輸は他のエネルギー消費部門と区別される。大気汚染、交通渋滞およびエネルギー安全（石油輸入）問題と併せて、温室効果ガス排出量削減を考えることも重要である。そのため、解決策は、単に温室効果ガスだけではなく、全体としての輸送問題を最適にすることを目的にしなければならない[5.5.4]。

第3次評価報告書（TAR）以降、緩和技術に大きな進展があり、世界中で水素燃料電池自動車の研究、開発、実証のための多数のプログラムが立ち上げられた。加えて、従来の技術を改良するための数多くの機会がなお存在する。バイオ燃料は特定の市場には引き続き重要であり、今後もっと大きな可能性がある。非二酸化炭素排出量に関して、地球温暖化係数（GWP）の低い冷却剤に基づいた自動車のエアコン装置が開発されている[5.3]。

道路交通：燃費向上技術および代替燃料

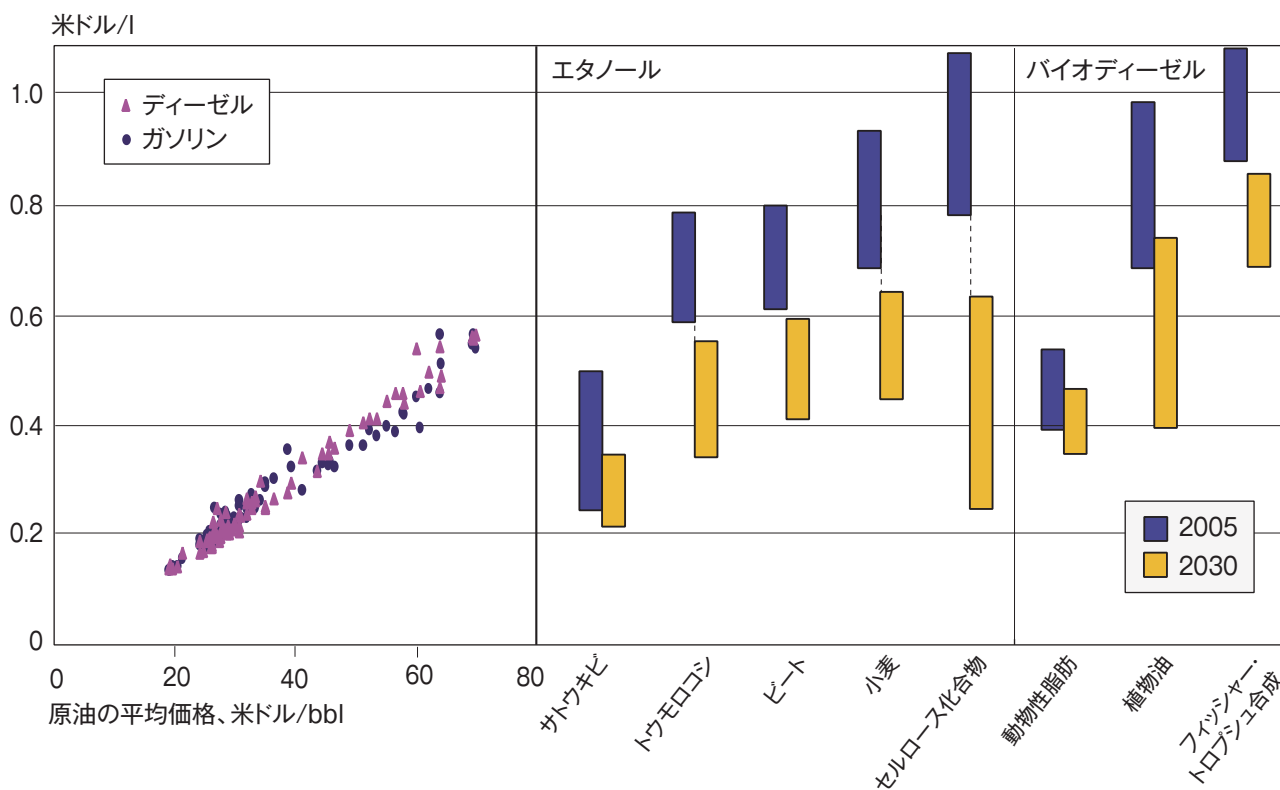
TAR以降、よりクリーンな直接噴射ターボチャージャ (TDI) ディーゼルの市場成功、および多数の漸進的な燃費向上技術の継続した市場への浸透を受けて、道路車両のエネルギー効率が向上している。つまり、ハイブリッド車の市場への浸透率は現在、小さいが、それは重要な役割を果たしている。ハイブリッド車やTDIディーゼルエンジンにはさらに技術の進歩が予想される。上記の技術と他の技術の組み合わせには、材料代替、空力抵抗、転がり抵抗、エンジン摩擦およびポンプ損失の低減などがあり、2030年まで「新型」乗用車の燃費をおよそ2倍にする可能性がある。これにより、走行距離当たりの炭素排出量がざっと半分になる（これは新車に対してだけであり、全車両の平均ではないことに注意すること）（見解一致度：中、証拠量：中）[5.3.1]。

バイオ燃料は輸送における石油の消費の多くの部分——全てではないが——を代替する可能性がある。最近のIEAの報告書の推計によれば、バイオ燃料のシェアは、二酸化炭素換算1トン当たり25米ドルのコストにおいて、2030年までにシェア10%にまで増加する可能性があり、この中にはセルロース系のバイオマスによるバイオ燃料が少し含まれる。このポテンシャルは生産効率、酵素によるセルロースの転換などの先進的な技術の開発、コスト、土地の利用における競争などに強く依存する。現在のところ、エタノールによる二酸化炭素削減のパフォーマンスやコストは、労働力の安価な国におけるサトウキビからの生産を除けば、芳しくない（図TS.16）（見解一致度：中、証拠量：中）[5.3.1]

水素自動車の経済的および市場ポテンシャルはいまだ不確実である。効率は高いが(90%以上)航続距離が短く、バッテリー寿命が短い電気自動車の市場への浸透は限定的である。この二つのオプションでは、二酸化炭素排出量は、水素と電気の生産プロセスによって決定される。水素が、CCS技術と組み合わせた石炭またはガス（現在、最も安い方法）、あるいはバイオマス、太陽光、原子力、または風力エネルギーから生産される場合、well-to-wheel（一次エネルギーの採掘から車両走行による消費まで）の炭素排出は、ほとんどゼロとなる。さらに燃料電池、水素貯蔵、低-またはゼロ炭素排出の水素または電力生産、およびバッテリーにおいて、さらなる技術的進歩および/またはコスト削減が必要となる（見解一致度：高、証拠量：中）[5.3.1]。

乗用車に適用されるエネルギー効率改善オプションの2030年における総緩和ポテンシャルは、二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル以下のコストで二酸化炭素換算でおよそ7~8億トンとなるだろう。貨物車については同様な推定をするだけの十分なデータがない。上述したように、現在および先進バイオ燃料の使用は、二酸化炭素換算1トン当たり25米ドル以下のコストで2030年にはさらに二酸化炭素換算6~15億トンの追加削減ポテンシャルを与えることになる（見解一致度：低、証拠量：少）[5.4.2]。

燃費向上技術の使用による二酸化炭素排出量の将来の削減に対するポテンシャルの重大な脅威は、この技術が全体的な燃費の向上と炭素排出の削減ではなく、自動車のパワーとサ



図TS.16: 現在および将来のバイオ燃料生産コストと一定範囲の原油価格におけるガソリンおよびディーゼルの精製所出し (FOB) 価格の比較 [図5.9]。

注：価格には税金を含まない。

イズを増やすために使用されうるということである。過去20年間にわたり達成した温室効果ガス緩和削減に対するポテンシャルの多くが、パワーとサイズを求める市場の嗜好によって使い果たされてきた。この傾向が継続すれば、上述した最先端技術の温室効果ガス削減ポテンシャルは大きく減少してしまう(見解一致度:高、証拠量:多)[5.2; 5.3]。

航空交通

民間航空の燃料効率、航空交通の技術、運行および管理を含む様々な手段を通して向上させることができる。技術開発により、2015年までに1997年の水準より燃料効率で20%向上させ、2050年までに40~50%向上させる可能性がある。民間航空が毎年およそ5%で成長を続けるとすると、上述の向上分では、増加を続ける世界中の航空旅客からの炭素排出量を現状に維持できる可能性はない。航空機産業の要求の厳しい仕様に適合するようにバイオ燃料を開発できる場合、バイオ燃料の導入は、航空機の炭素排出量の一部を緩和する可能性はあるが、その製造コストと生産工程からの排出量の双方とも、現時点では不確実である(見解一致度:中、証拠量:中)[5.3.3]。

航空機の運行は、空港での地上走行時間を最小にし、最適な巡航高度(cruise altitude)で飛行し、最短距離の大圏航路を飛行し、さらに空港周辺の空中待機と旋回を最小にすることで、エネルギー消費を最適化することができる(最小の二酸化炭素排出量)。こうした方策による温室効果ガス削減ポテンシャルは、6~12%と推定されている。ごく最近、研究者らが、航空機運行全体の気候影響を最小にする可能性に取り組み始めており、これには、オゾンの影響、飛行機雲、および窒素酸化物排出が含まれている。航空機に対する2030年の緩和ポテンシャルは、二酸化炭素1トン当たり100米ドル以下のコストで年2億8,000万トンである(見解一致度:中、証拠量:中)[5.4.2]。

海上輸送

TAR以降、国際海事機関(IMO)の評価により、技術的措置を組み合わせて、船体やプロペラ設計および保守などの最新の知識を適用することで、旧型船で4~20%、新型船で5~30%まで排出量を削減できることが分かった。しかし、エンジンの寿命が長いこと、既存の船への措置を大規模に実施したとしても数十年の歳月を必要とする。経路計画と減速等による運行上の措置における短期のポテンシャルは、1~40%の範囲であった。研究では、すべての措置が実施された際の世界中の船舶の最大排出削減量は、2010年までに約18%、2020年までに28%となると推定した。既存データからは、削減ポテンシャルの絶対量を推定することはできないが、削減ポテンシャルは、同期間における船舶活動の増加を相殺するのに十分ではないと予想される(見解一致度:中、証拠量:中)[5.3.4]。

鉄道輸送

鉄道輸送に伴う温室効果ガス排出量を緩和する主な方策は、空気力学の向上、車両重量の低減、回生式ブレーキと車載エネルギー貯蔵の導入、および、当然のことながら、発電からの温室効果ガス排出量の削減である。全体の削減ポテンシャルとコストに関する利用可能な推定はない[5.3.2]。

輸送手段の転換および公共輸送

公共輸送システムとその関連インフラの提供および非動力系の交通手段の推進は、温室効果ガス削減に貢献する。しかし、輸送をどの程度低エネルギー消費の手段に移行できるかは地域条件により決定される。さらに、平均乗車人員と輸送手段への一次エネルギー供給源も緩和ポテンシャルを左右する[5.3.1]。

都市交通におけるエネルギー需要は、それが構築された場所における都市の密度と空間構造、ならびに輸送インフラの場所、範囲および種類に強く影響を受ける。公共輸送の拡大において、大型のバス、路面電車や地下鉄または郊外電車がますます利用されている。高速バス輸送システム(BRT)は、比較的資本と運行費が低くすむが、南米の成功例と同様、発展途上国でうまく実施されうるかどうかは不確定である。旅客輸送におけるバスのシェアが5~10%まで増加するならば、二酸化炭素排出量は、二酸化炭素換算1トン当たり60~70米ドルのコストで4~9%まで低下できるだろう[5.3.1]。

欧州では乗用車による移動の30%以上は3キロメートル圏内の距離であり、50%は5キロメートル圏内の距離である。その数値は他の大陸では異なりうるが、自動車から非動力系の交通手段(徒歩や自転車)への転換、または非動力系の交通手段からの転換による自動車輸送の増加を防止することで削減の可能性がある。緩和ポテンシャルは、地域の条件に大きく左右されるが、大気環境、交通渋滞、および道路の安全性の観点から大きな相乗的共同便益がある(見解一致度:高、証拠量:多)[5.3.1]。

運輸部門における総体的緩和ポテンシャル

二酸化炭素削減に対する総ポテンシャルとコストは、貨物車両、鉄道輸送、船舶およびモーダルシフト/公共交通の推進に関するデータが不足しているため一部分しか推定できない。乗用車と航空機の改善効率および従来の化石燃料をバイオ燃料に変換することで、二酸化炭素換算1トン当たり100米ドルまでの炭素価格に対する経済的ポテンシャルの総計は、約16億~25億5,000万トンであると推定される(見解一致度:高、証拠量:中)[5.4.2]。

気候政策、ポテンシャル、障壁および機会の有効性と経験／実施の問題

陸上輸送に関する政策と措置

公共交通の利用、徒歩、自転車および二酸化炭素排出量に及ぼす高人口密度のプラス効果があると考え、運輸部門では優れた総合空間計画が重要な政策要素である。いくつかの国で大都市における好例がある。交通需要管理(TDM)は、精力的に実施、支援された場合、自家用車利用の削減に有効である。情報提供およびコミュニケーション戦略や教育手法の使用などのソフト面での措置により、人間の行動に変化を促し、オーストラリアの都市では、乗用車の使用を14%、ドイツの都市では12%、スウェーデンの都市では13%までの削減につながった(見解一致度：中、証拠量：中)[5.5.1]。

燃費基準または二酸化炭素基準は、温室効果ガス排出量を削減するために有効であったが、輸送の増加により、その影響が打ち消されてきた。大部分の先進工業国と一部の発展途上国では、新型乗用車の燃費基準を設定している。基準の形式と厳格さは、一様な規制としての企業の平均基準、車両重量または大きさ別のクラス別基準、さらに自主的な業界全体の基準まで様々である。燃費基準は、自動車の燃費を高め、実路の車両平均燃費を高め、さらに燃料使用量と炭素排出量を削減する上で、その厳格性に左右されるが、広く有効とされてきた。一部の国々では、経済効率から安全性にわたる様々な理由により、燃費基準が自動車産業の一部によって強く反対されている。補助金と消費者情報が組み合わされた場合に、基準の総合的な有効性を大きく強化することができる(見解一致度：高、証拠量：多)[5.5.1]。

自動車購入、登録、使用および燃料への課税、ならびに道路および駐車料金の政策は、自動車におけるエネルギー消費と温室効果ガス排出量の重要な決定要因である。それらは、一般歳入を引き上げ、自動車使用の外部コストを部分的に内部化させ、あるいは公道の渋滞を制御するために、様々な国で採用されている。燃料税または二酸化炭素税の効果が限定的である重要な理由は、価格弾性率が需要の所得弾性率より実質的に小さい傾向にあるからである。長期的に見た場合、需要の所得弾性率は、総輸送需要の価格弾性率より1.5～3倍高い。燃費が高い車に対する購入費の割り戻しと登録税の減税は有効であることが示されている。道路および駐車料金政策は、いくつかの都市で適用され、旅客自動車交通に顕著な効果をあげている(見解一致度：高、証拠量：多)[5.5.1]。

多くの政府は、各国の排出量低減政策のためにバイオ燃料を推進する政策を導入したか、あるいは実施しようとしている。二酸化炭素緩和に対するバイオ燃料の利点は、主にwell-to-tank(一次エネルギーの採掘から燃料を製造し、燃料タンクに充填されるまで)部分から生じるため、バイオ燃料の補助金は、well-to-wheel 全体の二酸化炭素効率と関連づけられ、より有効な気候対策となる。そのため、混合燃料の優遇税率、助成金および割当は、燃料毎のwell-to-wheelサイクル全体にわたる正味の二酸化炭素排出削減量に応じて算定すべきである。持続可能な開発(例えば、生物多様性への影響)

に及ぼすバイオ燃料生産のマイナス効果を回避するため、追加的な条件をバイオ燃料のインセンティブと結びつけることができる。

航空および海上輸送のための政策と措置

バンカー燃料の燃焼から生じる航空および海上輸送の排出量を削減するため、新たな政策枠組みを生み出す必要がある。ICAO(国際民間航空機関)とIMO(国際海事機関)の双方は、温室効果ガス排出量を制限するためのオプションを研究した。しかし、双方とも、いまだに政策を実施するための適切な枠組みを立案することができないでいる。しかし、ICAOは、自主的な枠組による公開の国際排出量取引システムの問題、もしくは、国際航空の既存排出量取引システムへの組み入れを承認した。

航空部門では、燃料または排出への課金と排出量取引の双方において、排出量を大きく削減するポテンシャルがある。地理的範囲(対象となる経路や運行者)、航空部門に配分される割当量、および非二酸化炭素の気候への影響を対象とするかは、航空部門からの気候への影響を低減させるための排出量取引の有効性を決定する際に主要な設計要素となる。排出への課金または取引は、燃料費の上昇につながり、エンジンの効率にプラスの影響を与える[5.5.2]。

船舶部門の現在の政策イニシアチブは大部分が自主計画に基づいており、船舶の燃料効率指標が用いられている。環境影響でクラス別された港湾使用料が数箇所で使用されている。船舶からの排出量に影響する他の政策は、国際排出量取引の枠組に国際船舶を含めること、燃料税、および規制手段である(見解一致度：高、証拠量：中)[5.5.2]。

温室効果ガスの排出量に影響する統合的な非気候政策および温室効果ガス緩和政策の共同便益

交通計画と政策は、近年、持続可能な開発の側面に重点を置いている。これには、石油輸入の削減、大気環境改善、騒音低下、安全向上、渋滞低減および交通施設へのアクセス改善などが含まれている。このような政策は、温室効果ガス排出削減と重要な相乗効果をもつ(見解一致度：高、証拠量：中)[5.5.4; 5.5.5]。

6 住宅用および商業用建築

部門の状況および排出動向

2004年では、建築部門(電力使用からの排出量を除く)からの直接排出量は、二酸化炭素換算約50億トン(二酸化炭素が年30億トン、一酸化二窒素が二酸化炭素換算で年1億トン、メタンが二酸化炭素換算で年4億トン、および含ハロゲン炭素化合物が二酸化炭素換算で年15億トン)である。最後の数字には、モントリオール議定書で特定されたフロン類が含まれ、二酸化炭素換算でおよそ年1~2億トンのHFCである。建築部門の緩和には節電を目的とした多くの手法が含まれているため、緩和ポテンシャルは、一般に節電の手法も含めて計算される。比較のため、建築部門からの排出量は、電力使用による排出量も含めて表示される。電力使用からの排出量を含めた場合、建築部門からのエネルギー関連二酸化炭素は、年86億トン、あるいは2004年における全体合計の33%であった。温室効果ガスの総排出量は、電力使用の排出量を含め、二酸化炭素換算で年106億トンと推定される(見解一致度：高、証拠量：中)[6.2]。

建築におけるエネルギー消費による将来の炭素発生量

建築部門に関して、文献では様々なベースラインを使用している。そのため、本章では建築部門のベースラインは、およそSRES B2とA1B²の間、即ち2030年には二酸化炭素換算143億トン(電力排出量を含む)の排出量推定になるシナリオと定義した。SRES B2およびA1Bシナリオに相当する排出量は、二酸化炭素換算でそれぞれ114億トンおよび156億トンである。SRES B2シナリオ(図TS.17)では、比較的低い経済成長の仮定に基づいており、北米および附属書-Iに記載されない東アジアが、排出量増加の最も大きな割合を占める。急速な経済成長を示すSRES A1Bシナリオでは、二酸化炭素排出量のすべての増加は、発展途上国で発生する。すなわち、アジア、中東と北アフリカ、ラテンアメリカ、およびサハラ

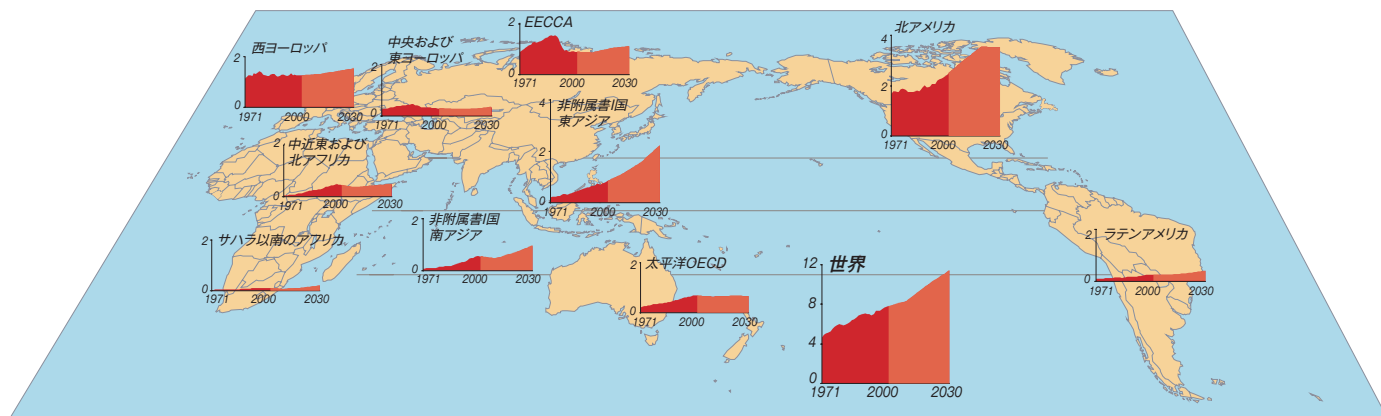
以南のアフリカにおいて、この順で発生する。総体的に、年間の二酸化炭素排出量の平均増加率は、2004~2030年で、B2シナリオで1.5%、A1Bシナリオで2.4%である(見解一致度：高、証拠量：中)[6.2, 6.3]。

緩和技術および実行

建築物から温室効果ガスを削減する措置は、3つのカテゴリーに分類される：(1)建築物のエネルギー消費¹³と材料生産エネルギーを削減すること、(2)再生可能エネルギーに多くを依存した低炭素燃料に切り替えること、あるいは(3)二酸化炭素以外の温室効果ガスの排出量を抑制すること。熱的外皮の性能向上¹⁴、改善された設計法や建物運用、より効率の高い設備、およびエネルギーサービスに対する需要の削減などの既にある多くの技術を用いて建築物エネルギー消費を削減することが可能である。暖房と冷房の相対的な重要度は気候に左右されるため、地域的に異なり、またパッシブデザイン技術の有効性も気候に左右され、高温多湿と高温乾燥地域の間でも大きな違いが出てくる。居住者の行動は、機器の不必要な運転の回避や暖・冷房時の一定ではない適応性を考慮した温度設定を含めて、建築物エネルギー消費を削減するために重要な要素である(見解一致度：高、証拠量：多)[6.4]。

建築部門の緩和ポテンシャル

建築におけるエネルギー消費による二酸化炭素排出量については、予想された排出量に比して大幅な削減を、これからの数年で達成することができる。エネルギー効率向上のための多様な技術、実践、システムにおける豊富な経験、ならびに建築物のエネルギー効率向上を促進する政策とプログラムの同様に豊富な経験に基づけば、この見方に大きな信頼度を与える。節約の大部分は、ライフサイクルコストを削減する方法で達成でき、そのため正味のマイナスのコスト(一般的に、投資はより高いが、運転費はより安くなる)で二酸化炭素排出量は削減される(見解一致度：高、証拠量：多)[6.4; 6.5]。



図TS.17: 1971-2030年の建築物からの二酸化炭素排出量(10億トン)、電力利用による排出量も含む[図6.2]。

注：濃い赤—過去の排出量；薄い赤—SRES B2シナリオで予測される量。EECCA=東欧、コーカサス、中央アジア諸国

13 これは、電気を含め、建築物において使用される全てのエネルギーの形態を含む。

14 熱的外皮とは、室内と外部との間で生ずる熱や空気・水分の移動のバリアーとしての建物周壁のことを意味する。

表TS.5: 2020年^{a)}での既存建築物におけるGHG排出削減ポテンシャル [表6.2]

経済地域	レビューされた各地域の国名と諸国グループ	建築物の国内ベースライン比で示したポテンシャル ^{b)}	最大のポテンシャルのための措置	もっとも安価な緩和オプションを提供する措置
先進国	米国、EU-15、カナダ、ギリシャ、オーストラリア、韓国、英国、ドイツ、日本	技術的： 21%-54% ^{c)} 経済的 (<米ドル 0/tCO ₂ 換算)： 12%-25% ^{d)} 市場： 15%-37%	1. 外部の改修、断熱、特に窓および壁を含む 2. 空間暖房システム 3. 高効率照明、特にコンパクト蛍光灯 (CFL) と効率的な安定器への切替え	1. 高効率TVや周辺機器 (オンモードとスタンバイ双方) 冷蔵庫および冷凍庫、換気設備と空調などの電気機器 2. 温水設備 3. 最良の照明
経済移行国	ハンガリー、ロシア、ポーランド、クロアチア、グループとして：リトアニア、エストニア、スロバキア、スロベニア、ハンガリー、マルタ、キプロス、ポーランド、チェコ	技術的： 26%-47% ^{e)} 経済的 (<米ドル 0/tCO ₂ 換算)： 13%-37% ^{f)} 市場： 14%	1. ブレ、ポスト断熱および建築構要素の置換え、特に窓 2. 高効率な照明、特にCFLへの転換 3. 冷蔵庫や温水器など高効率な電気機器	1. 効率的な照明とその制御 2. 温水器および空間暖房制御システム 3. 建築物の構成要素の改修 特に窓
開発途上国	ミャンマー、インド、インドネシア、アルゼンチン、ブラジル、中国、エクアドル、タイ、パキスタン、南アフリカ	技術的： 18%-41% 経済的 (<米ドル 0/tCO ₂ 換算)： 13%-52% ^{g)} 市場： 23%	1. 高効率照明、特にCFLへの切替え、照明の改修および石油ランプ 2. さまざまなタイプの調理用ストーブの改良、特にバイオマスストーブLPGおよび石油ストーブ 3. 空調機器および冷蔵庫など効率的な電気機器	1. 照明の改善、特にCFLへの転換、照明の改修、高効率石油ランプ 2. さまざまなタイプの調理用ストーブの改良、特にバイオマス利用のもの、さらに石油ストーブ 3. 冷蔵庫および空調機器など高効率な電気機器

注:

- ^{a)} 目標年が2010年であるEU-15、ギリシャ、カナダ、インド、ロシア、目標年が2030年であるハンガリー、エクアドル、南アフリカを除く
- ^{b)} 先進国において市場ポテンシャルが経済的ポテンシャルより大きいのは一つのタイプのポテンシャルに注目する研究の数が少ないことで説明がつく。一部の研究の情報では、より大きな経済的ポテンシャルが見逃されている可能性が高い。
- ^{c)} どちらも2010年のもの、もし将来のベースラインに比較したポテンシャルを、次の式 [2020年のポテンシャル = 1 - (1 - 2010年のポテンシャル)^{20/10}] を用いて外挿法で求める場合 (開始年を2000年と仮定)、その範囲は38-79%である。
- ^{d)} どちらも2010年のもの、外挿法を用いるなら、その範囲は22-44%である。
- ^{e)} 最後の数字は2010年のもの、外挿法を用いるなら2020年では72%となる。
- ^{f)} 最初の数字は2010年のもの、外挿法を用いるなら2020年では24%となる。
- ^{g)} 最後の数字は2030年のもの、途中のポテンシャルを求めるため、外挿法を用いるなら、2020年では38%となる。

これらの結論は、80件の研究の調査(表TS.5)によって裏付けられている。その調査によれば、効率の高い照明器具の使用が、費用対効果並びに削減ポテンシャルの点で、殆どの国で建築における二酸化炭素排出量を削減するための最も有望な手法の一つであることが示されている。平均的なコストが二酸化炭素換算1トン当たりマイナス160米ドル(すなわち、純利益で)でライフサイクルコストの最も安い照明システムを世界的に採用することで、2020年までにおよそ7億6,000万トンの二酸化炭素排出量を削減することができる。節約量の規模からみて、寒冷気候における断熱材の普及と地域暖房システムの改良および温暖気候における冷房と換気に関連する効率向上技術が、発展途上国の調理用レンジとともに、ほぼすべての研究レポートの第一番目に挙げられている。節減ポテンシャルの点でランクの高い他の方法は、太陽熱給湯、高効率器具、ならびにエネルギー管理システムである。

費用対効果に関して言えば、効率の良い調理用レンジが発展途上国においては照明器具に次いで二番目に位置付けられており、その一方で、先進工業国において二番目に位置付け

られる手法は、気候や地理的条件によって異なる。市場経済移行国(一般的に寒冷気候にある)を調査したほぼすべての研究は、暖房に関連した手法が最も費用対効果が高いことを示しており、これには、壁、屋根、窓、および床の断熱、ならびに地域暖房における暖房制御の改良が含まれる。先進国では、器具に関連した手法が一般的に最も費用対効果の高いものとみなされており、温暖気候では冷房関連機器のグレードアップが高い順位となっている。エアコンの買い替えによる節約は、他の効率向上の手段より高価であるが、さらに高価なピーク電力を抑えることができるので、なおも費用対効果が高い。

個々の新築建築物では、一般的に余分なコストはほとんど、または全くかけないで、既設の建物と比べ75%またはそれ以上のエネルギー節約が達成可能である。このような節約の実現には、建築家、エンジニア、請負人およびクライアントが全て関与した形での統合した設計プロセスが必要であり、その中でエネルギー需要を建築的な手法で削減することを十分に考慮する必要がある [6.4.1]。

表TS.6: コストに対する2020年での世界の二酸化炭素緩和ポテンシャル予測[表6.3]

世界の地域	2020年の ベースライン 排出量	2020年のコストカテゴリーによるCO ₂ ベースライン比 CO ₂ 緩和ポテンシャル (コストは米ドル/tCO ₂ 換算)				2020年のコストカテゴリーによる CO ₂ 緩和ポテンシャル絶対値、GtCO ₂ 換算 (コストは米ドル/tCO ₂ 換算)			
	GtCO ₂ 換算	<0	0-20	20-100	<100	<0	0-20	20-100	<100
世界合計	11.1	29%	3%	4%	36%	3.2	0.35	0.45	4.0
OECD (経済移行国を除く)	4.8	27%	3%	2%	32%	1.3	0.10	0.10	1.6
経済移行国	1.3	29%	12%	23%	64%	0.4	0.15	0.30	0.85
非OECD	5.0	30%	2%	1%	32%	1.5	0.10	0.05	1.6

注：コストと地域の間数としての世界規模の累積ポテンシャルは、コスト間数としてのポテンシャルについて詳しく報告した17の研究論文に基づく。

発展途上国の建築における温室効果ガス緩和に取り組むことは特に重要である。調理用レンジは、より効率的に燃焼させ、粒子を完全に燃やすことができる。その結果温室効果ガス排出量を削減しながら、室内空気を改善し居住者に便益をもたらす。改良された温室効果ガス発生が少ない地域資源を利用することもできるようになった。都市部および徐々にではあるが農村部では、温室効果ガス排出量を削減するために先進工業国で使用されているあらゆる最新技術が要求されている[6.4.3]。

非住宅建築物における省エネには、非住宅建築物の欠陥を継続して監視し、診断し、伝えるための制御と情報技術の適用(「インテリジェント制御」)、ならびに換気、冷房および除湿の要求度を低減するための体系的アプローチが含まれる。最新式の窓、パッシブソーラーデザイン、建築物とダクトの気密化技術、高効率エネルギー機器、および待機電力や空運転時電力の抑制、ならびに半導体照明は、住宅および非住宅建築の双方で重要である(見解一致度：高、証拠量：多)[6.5]。

居住者行動、文化、消費者選択、そして技術の使用は、建築におけるエネルギー消費の主要な決定要因であり、二酸化炭素排出量を決定する際に基本的な役割を果たす。しかし、非技術的オプションによる削減ポテンシャルの評価は行なわれておらず、またこれらの政策の潜在的影響力を理解することも難しい(見解一致度：高、証拠量：中)。

最良の実践活動と回収方法を世界規模で適用することにより、建築部門におけるフロン類の直接排出量を大きく削減することができ、その緩和ポテンシャルは、2015年ですべてのフロン類に対して二酸化炭素換算7億トンとなる。ハロゲン化炭化水素冷却剤の削減方法は主に、エアコンと冷却機器からの漏洩の回避(例えば、通常運転時、保守、廃棄時)、および新規機器におけるハロゲン化炭化水素の使用削減である。この可能性が実現できるかどうかを決定する主要要因は、排出量削減を達成するための手法を講じることに伴うコストである。これらは、純利益から二酸化炭素換算1トン当たり300米ドルまで著しく変動する(見解一致度：高、証拠量：多)[6.5]。

建築部門の緩和ポテンシャル

住宅と商業部門においては、2020年までに、予測されるベースライン排出量のおよそ30%を世界ベースで削減できる費用対効果の高いポテンシャルがある(表TS.6)。少なくともベースライン排出量の追加3%は、二酸化炭素換算1トン当たり20米ドルまでのコストで達成することができ、さらに二酸化炭素換算1トン当たり100米ドルまでのコストを考慮する場合、更に4%を達成することができる。しかし、低コストで様々な緩和手法が採用できるため、高コストのポテンシャルについては十分検討されていないので、この数字は過小評価した値である。建築物に対する全世界のベースライン排出量予測を用いると¹⁵、2020年における削減量予測値は、二酸化炭素換算1トン当たりのコストがゼロ、20米ドル、および100米ドルで、二酸化炭素換算でおよそ32、36、および40億トンである(見解一致度：高、証拠量：多)[6.5]。

実際のポテンシャルはもっと高くなると推定される。なぜならば、最終用途段階における効率をこの研究では全く考慮していないからである。例えば、最先端のインテグレートされた効率の高い建築で見られるように、技術的ではないオプションやそのオプションの付随的効果は無視している。しかし、市場ポテンシャルは、経済的ポテンシャルよりかなり小さい。

2030年の予測のためには情報が不足しているので、他の部門と比較が出来るように、2030年までの経済的ポテンシャルについては、2020年の知見を用いて外挿した。その推定値を表TS.7に示す。2030年におけるポテンシャルの外挿結果から、全世界で二酸化炭素換算1トン当たり、0米ドル以下、20米ドル以下および100米ドル以下のコストに対してそれぞれ二酸化炭素換算で約45、50、および年56億トンが削減されることがわかる。これは、予測ベースライン排出量の30、35、および40%に相当する。2030年の予測に利用できる研究がきわめて限定されるため、これらの数値は、2020年よりも確実性は大幅に低い(見解一致度：中、証拠量：少)。

二酸化炭素換算1トン当たりのコスト25ドルまでのコストで建築分野におけるオプションの採用を仮定すると、2050年には二酸化炭素換算で約77億トンの削減の可能性が推定される。

15 ベースライン二酸化炭素排出量予測値は、全世界のポテンシャルを求めるため17件の研究例に基づいて二酸化炭素算定された(研究例にベースラインが含まれない場合、別の国の削減報告にある予測値を使用した)。

表TS.7: 2020年の数値の外挿法計算に基づくコスト関数としての世界規模の二酸化炭素緩和ポテンシャルの2030年での予測値、単位は二酸化炭素10億トン[表6.4]

緩和オプション	地域	2030年のベースライン予測値	ポテンシャルコスト 100米ドル/tCO ₂ 換算以下		異なるコストカテゴリーにおけるポテンシャル		
			低	高	<0 米ドル/tCO ₂	0-20 米ドル/tCO ₂	20-100 米ドル/tCO ₂
					<0 米ドル/tC	0-73 米ドル/tC	73-367 米ドル/tC
電力節減 ^{a)}	OECD	3.4	0.75	0.95	0.85	0.0	0.0
	EIT	0.40	0.15	0.20	0.20	0.0	0.0
	非OECD/EIT	4.5	1.7	2.4	1.9	0.1	0.1
燃料節減	OECD	2.0	1.0	1.2	0.85	0.2	0.1
	EIT	1.0	0.55	0.85	0.20	0.2	0.3
	非OECD/EIT	3.0	0.70	0.80	0.65	0.1	0.0
合計	OECD	5.4	1.8	2.2	1.7	0.2	0.1
	EIT	1.4	0.70	1.1	0.40	0.2	0.3
	非OECD/EIT	7.5	2.4	3.2	2.5	0.1	0.0
	世界全体	14.3	4.8	6.4	4.5	0.5	0.7

注:

^{a)} 表TS.8と第11章の表11.3における電力節減によるポテンシャルの絶対値は、異なるベースラインを用いているため数値は一致しないが、ベースラインの%としてのポテンシャルの推計値は、どちらの場合も同じ数値となる。また表11.3では、エネルギー供給部門ですでに計算に入れられている排出削減量の割合を除いているが、表TS.7ではこのポテンシャルを分離していない。

緩和オプションと脆弱性並びに適応性との相互作用

世界が温暖化すると、温暖な気候では暖房に対するエネルギー消費が減少し(たとえば、ヨーロッパ、アジアと北米の一部)、大部分の地域では冷房のエネルギーが増加する。数例の研究によれば、温帯な気候の国々では、冷房用電力消費の上昇が暖房用電力の減少を上回り、南ヨーロッパでは、夏季のピーク電力量が著しく上昇することが示されている。特定の国では世代構成にもよるが、最終的エネルギーの全体的需要は低下する場合でも、二酸化炭素排出量に及ぼす温暖化の正味の影響は増加する可能性がある。このことによって正のフィードバックループが発生する。すなわち、機械的冷房が増えれば温室効果ガスが多く排出され、それによって温暖化が更に進む(見解一致度:中、証拠量:中)。

建築部門における投資は、緩和と適応を同時に考慮することにより、全体的な温暖化対策コストを削減することができる。こうした相乗効果の最も重要なもののひとつは、以下のような手法によって、冷房の必要性を削減させ、或いはエネルギー消費を削減させる上で重要である。すなわち、統合された建築設計の適用、パッシブソーラー建築、暖房や冷房用の高効率ヒートポンプ、アダプティブ窓、排熱の少ない高効率器具、特定の気候に最適化された断熱改修や防風改修である。都市における緑地帯やクールルーフの拡大を含む適切な都市計画は、ヒートアイランド現象を緩和する有効な方法であることが証明されており、それにより、冷房の必要性および都市火災の可能性を減少させる。外気温が高い時に居住者が高い室内温度を快適として受け入れるようなアダプティブ空調が今日では設計において考慮されている(見解一致度:高、証拠量:中)[6.9]。

建築物のエネルギー消費から二酸化炭素排出量を削減するための政策の有効性と経験

2020年までこのような排出量削減を実現するためには、強力な政策の迅速な設計、実施、および強制が必要である。その政策は、建築物と機器のエネルギー効率向上、再生可能エネルギー(費用対効果の高い)利用、および新築建築物の最先端設計技術を推進させる(見解一致度:高、証拠量:多)[6.5]。

しかし、ネガティブコストや低コストの緩和ポテンシャルを達成するためには、克服しなければならない障壁がある。これらの障壁には、隠れたコスト、インセンティブと利益との不一致(例えば、テナントと借家人)、資金へのアクセスの限界、燃料費の補助、ならびに産業や設計プロセスの細分化が含まれる。これらの障壁は、住宅および商業部門では特に強力かつ多様である。従って、それらの克服は、効果的な実行を伴う各種の政策手段を通じてのみ可能となる(見解一致度:高、証拠量:中)。

建築物における温室効果ガス排出量の削減に成功している多くの国々では、広範な政策が示されている。表TS.8に建築物の温室効果ガス緩和のために採用した主要な政策ツールを示し、具体的な最良の実践活動を参考にしながら、政策手段の有効性に従ってそれらを比較する。レビューした大部分の手法は、エネルギーと二酸化炭素の大幅な節約を達成する上で効果があった。およそ30ヶ国から60の政策評価において、建築基準法、機器規格および税額控除政策が二酸化炭素排出量を最も効果的に削減した。機器規格、エネルギー効率義務および割当分ならびにデマンドサイド管理プログラム、さらに義務的表示は、最も費用対効果の高い政策ツールの中に入ることが分かった。補助金およびエネルギー税または炭素税は、最も費用対効果の低い手段である。最終的に、情報発信

表TS.8: 建築部門におけるベストプラクティスを用いた温室効果ガス排出量の緩和のためのいくつかの政策手法の影響と効果 [表6.6]

政策手法	排出削減効果 ^a	費用効果性 ^b	成功のための特別な条件、主な利点、限界、共同便益
機器の製品基準	高	高	成功の要素：基準の定期的な更新、第三者による管理、情報、コミュニケーション、教育
建築法	高	中	目標以上の改善を図るインセンティブは無い。施行して初めて有効
調達規制を含めた公的な指導プログラム	高	高/中	新しい技術や手法を実証する場合に効果的に活用できる。強制力のあるプログラムのほうが自主的なものよりも高いポテンシャルを有する可能性がある。成功する要素：野心的なエネルギー効率ラベルと試験
エネルギー効率義務と割当	高	高	継続的な改善が必要：新しいエネルギー効率化措置、市場の転換を目的とする短期のインセンティブ、その他
需要管理プログラム	高	高	住宅部門より商業部門のほうが費用対効果が高い傾向
省エネルギー実績による契約/ESCO支援 ^c	高	中	利点：公的部門の歳入や市場への介入を必要とせず、競争力改善に共同便益がある
エネルギー効率認定スキーム	中	中	長期の実施経験が無い。取引コストが高い可能性。組織構造を必要とする。既存の政策とかなりの相互作用がある。雇用面では有益。
京都議定書柔軟性メカニズム ^d	低	低	これまでのところ、建築部門でのCDMおよびJIプロジェクトは限定的
税金 (CO ₂ または燃料税)	低	低	効果は、価格の弾力性に依存。歳入分を更なる効率改善目標に限定することが可能。他のツールと組み合わせると効果が増大する。
税控除/削減	高	高	適正な構造であれば、高効率の機器導入や新規のビルの建築を推進する可能性
資本投資への助成金、補助金 融資付助成金	高	低	低所得世帯にはプラスだが、ただ乗りの危険性あり。先行投資を促進する可能性あり。
ラベリングおよび証明書発行 プログラム	中/高	高	強制力のあるプログラムのほうが自主的なものより効果大。他の手法や定期的な見直しとの組み合わせで、効果が高まる可能性。
自主協定および交渉による協定	中/高	中	規制の施行が難しい場合には有効。資金面でのインセンティブ、規制導入の脅威と組み合わせると効果的。
教育、情報プログラム	低/中	高	商業ビルより住宅に適する。成功の条件：他の措置との組み合わせで効果が増大する。
強制力のある監査およびエネルギー管理要求	高、しかし流動的	中	資金面でのインセンティブなどの他の措置との組み合わせで効果が増大する。
詳細な広報および情報公開 プログラム	中	中	成功の条件：他の措置との組み合わせ、定期的に評価

注:

^{a)} 実施の容易さ、施行の可能性と簡便性、多くの場所での適用可能性、その他、実現される節減の全体規模を拡大させる要素を含む。^{b)} 費用対効果は、回避される炭素排出回避単位ごとの社会コストに関係する。^{c)} エネルギーサービス会社。^{d)} 共同実施、クリーン開発メカニズム、国際排出量取引(グリーンな投資スキームを含む)。

プログラムは、費用対効果も高く、特に殆どの他の政策措置と一緒に進められる場合に高い(見解一致度：中、証拠量：中)[6.8]。

フッ化物を含有する冷却剤の漏洩を減らす、または冷却剤の使用の禁止を目的とする政策と措置は、将来の数年間で実質的にフロン類の排出量を削減することになる(見解一致度：高、証拠量：中)[6.8.4]。

これまで政策が十分に効果を発揮されなかった理由は、い

くつかの要因による。(i)実施プロセスが緩慢；(ii)建築基準法(大きな財政的負担なしで二酸化炭素ニュートラルの建設がすでに可能であるという事実がありながら、多くの政策要求は一般的な慣習に引きずられることが多い)および機器規格とラベリングの定期的な更新の不履行；(iii)不適切な資金配分、および(iv)不十分な実行。発展途上国および市場経済移行国では、既存のエネルギー効率政策の実施は、実施のためのメカニズムが貧弱であったり、無いために具体的にははかどっていない。別の課題としては、建築物の寿命が長いので、既存建築物の断熱回収を実施して温室効果ガス削減対策を推進

することが必要である(見解一致度：高、証拠量：多)[6.8]。

共同便益と持続可能な開発との関連性

建築物のエネルギー効率向上および再生可能エネルギー利用は、持続可能な開発と温室効果ガス削減との相乗効果がある。発展途上国における典型的な例は、安全で効率の良い調理用レンジへの交換であり、これにより温室効果ガス排出量を削減する一方で、室内の空気汚染を減少させ死亡率と罹患率を大きく低下させる。安全で効率の良い調理用レンジは、伝統的レンジのための燃料を集めている女性や児童の仕事量を軽減することにもなり、また不足している天然資源の需要を減らすことにもなる。屋外の大気汚染の低減は、もう一つの重要な付随的効果である。

一般的に、先進国および発展途上国において、建築物のエネルギー効率向上、並びにローカルに利用できる再生可能エネルギーのクリーンで効果的な使用は、下記のような結果をもたらす：

- 効率の向上は、新規供給源の導入に比べコストがかからないためエネルギー関連投資の実質的な節約になる。
- 従って、インフラ投資などの他の目的のために資金が利用可能である。
- システムの信頼性とエネルギーセキュリティを向上させる。
- エネルギーサービスへのアクセスを高める。
- エネルギー不足を緩和させる。
- 地域環境の質が改善される。
- 新規事業の創出により、またエネルギーコストで節約した資金を別の用途に使用するといった相乗効果を通して、雇用にはプラスの効果が働く。

適切に設計されたエネルギー効率の高い建築物は、居住者の生産性と健康性を高めることが多いという証拠が増えている(見解一致度：高、証拠量：中)[6.9]。

発展途上国および市場経済移行国において建築物と機器のエネルギー効率を高めるため、開発と政策の実施に対する先進工業国からの支援を行えば、実質的に二酸化炭素排出量の増加を抑制し、国民の福祉の向上に貢献することになる。建築におけるエネルギー効率向上や再生可能エネルギーの積極的利用を通しての持続可能な開発に向けた国際援助または他の官民資金は、多数の開発目的を達成することができ、結果として長期間にわたり効果を発揮する。先進国から発展途上国への知識、専門技術、およびノウハウの移転により、PV(太陽光)の採用を推進することができる。これには、太陽光発電LED(発光ダイオード)による照明、高断熱建築材料、効率的器具と照明、統合的設計、建築物エネルギー管理システム、および太陽熱冷房などが含まれる。しかし、そのための設備投資がかなり必要であろう[6.8.3]。

技術研究、開発、展開、普及および移転

実践的で費用対効果の高い技術や実際に利用可能なものは今日では、数多くあるが、以下のような分野において研究開発が必要である。すなわち、高性能制御システム¹⁶、最先端の窓ガラス、断熱パネルの新材料、パンプやその他の再生可能エネルギー資源を利用できる各種のシステム、蓄熱を高める相変化材料、高性能な地中熱利用の暖冷房ヒートポンプ、廃熱を利用する器具やその他の機器、新規の冷却技術、および暖房、冷房、電気を建築物に供給するコミュニティレベルのネットワークの使用などの分野である。これらの技術とシステムの実証、および専門家の訓練は、これらの新技術を市場に売り出すために必要なステップである。[6.8.3]

長期展望

建築物の長期の温室効果ガス削減は、建築ストックの回転率が遅いため、早急に開始する必要がある。長期における新築建築物の大規模な削減を達成するため、建築物の統合設計と稼働に対する新規アプローチを指導し、普及し、またできる限り早く、大規模に行なう必要がある。そのような訓練の機会は今現在、建築産業における大多数の専門技術者には設けられていない。建築では啓発活動など技術的ではない面で重要な役割があるため、温室効果ガス削減に向けて必要なことは、基本的価値の中に気候の保全や持続可能な開発が含まれる社会への移行であり、そのことが、環境フットプリントの小さな建物の構築や利用に対する社会的な圧力につながっていく(見解一致度：高、証拠量：中)[6.4.1; 6.8.1]。

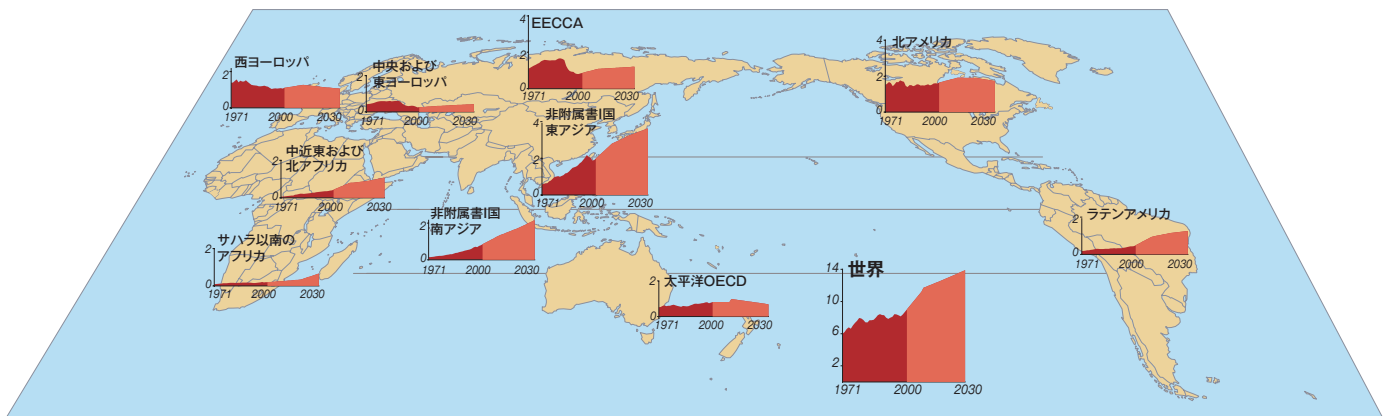
7 産業

部門の状況、開発動向および推測される結果

エネルギー集約型産業、鉄鋼、非鉄金属、化学物質と化学肥料、石油精錬、セメント、およびパルプと紙は、大部分の国々でエネルギー消費のおよそ85%を占めている。他の部門のエネルギー消費が急速に増加するため、世界の一次エネルギー消費における産業部門のシェアは、1971年の40%から2004年の37%まで低下した[7.1.3]。

現在、エネルギー集約型産業の多くは発展途上国に拠点を置いている。全体的に、発展途上国は、2003年で世界の鋼鉄生産の42%、世界の窒素系化学肥料生産の57%、世界のセメント製造の78%、および世界のアルミニウム生産の約50%を占めている。2004年では、発展途上国は、産業による最終エネルギー消費の46%を占め、先進国では43%、移行経済では11%となっている。発展途上国における多くの施設(アルミニウム、セメントおよび化学肥料産業に関して)は新しく、エネルギー消費の少ない最新技術を取り入れている。しかし、

16 非住宅建築物においては、設計とそれに続く運用においてすべてのエネルギー供給機能の統合を可能とするような最先端の制御システムを構築する必要がある。



図TS.18: 1971-2030年、産業部門エネルギー関連二酸化炭素排出量(二酸化炭素換算10億トン)電力利用分も含む。[表7.1, 7.2]

注: 濃い赤—過去の排出量、薄い赤—SRES B2シナリオに基づく排出量。データ引用文献はPrice et. al. (2006)。
EECCA=東欧、コーカサス、中央アジア諸国

先進工業国では、古く、非効率な施設が多く残っている。このことにより、エネルギー効率を改善し、排出量の削減を達成するために、発展途上国において莫大な投資需要が生じている。20世紀中に見られたエネルギー集約型産業の強力な成長は、人口およびGDPの上昇に伴って継続することが予想される[7.1.2; 7.1.3]。

こうしたエネルギー集約型産業では世界的に大規模生産がほとんどであるが、多くの発展途上国では中小企業(SME)が大きな割合を占めている。規制と国際競争は、環境にやさしい技術の使用に向けて大産業企業を動かしているが、SMEは、必要な制御機器を設置する経済的または技術的な能力をもっておらず、あるいは改革が遅い。このようなSMEの限界は、温室効果ガス排出量を緩和する努力における特別な課題を生み出している(見解一致度: 高、証拠量: 多)[7.1.1]。

排出動向(世界と地域)

産業からの直接の温室効果ガス排出量は現在、二酸化炭素換算約72億トンである。本章で考察した緩和オプションには、産業における電力消費を削減することを目的とした措置が含まれるため、電力消費からの排出量を含めた比較は重要である。産業部門温室効果ガス総排出量は、2004年で二酸化炭素換算で約120億トンである。これは、2004年では世界全体のおよそ25%である。産業部門からの二酸化炭素排出量(電力消費を含む)は、1971年の60億トンから2004年の99億トンまで増加した。2004年では、先進国は、エネルギー起源の二酸化炭素総排出量の35%、発展途上国が53%、移行経済国は11%を占めている(図TS.18を参照)。産業では化石燃料または非化石燃料のエネルギー消費以外の利用によっても二酸化炭素を排出するが、2000年には、二酸化炭素換算で総計17億トンになると推計される(見解一致度: 高、証

拠量: 多)[7.1.3]。

製造過程では、他の温室効果ガスも排出され、これにはHCFC-22の製造過程から生じるHFC-23; アルミニウム溶融と半導体加工から生じるPFC、フラットパネルスクリーン(液晶ディスプレイ)と半導体の使用から生じるSF₆、マグネシウムダイカスト、電子機器、アルミニウム溶解、およびその他、化学産業源から生じるメタンと一酸化二窒素ならびに食品産業の廃棄物流などがある。これらの起源からの総排出量は、2000年で二酸化炭素換算約4億トンであった(見解一致度: 中、証拠量: 中)[7.1.3]。

SRES-B2²シナリオにおける排出量予測によると、2030年の産業二酸化炭素排出量は、およそ140億トンと見込まれている(電力消費を含む)(図TS.18を参照)。産業部門の二酸

表TS.9: 産業部門の二酸化炭素以外の温室効果ガス予測排出量。二酸化炭素換算百万トン/年[表7.3]

地域	1990	2000	2010	2030
太平洋OECD	38	53	47	49
北アメリカ	147	117	96	147
西ヨーロッパ	159	96	92	109
中央および東ヨーロッパ	31	21	22	27
EECCA	37	20	21	26
アジア途上国	34	91	118	230
ラテンアメリカ	17	18	21	38
サハラ以南のアフリカ	6	10	11	21
中近東および北アフリカ	2	3	10	20
世界合計	470	428	438	668

注:
工業用プロセスで使用される冷蔵機器の排出量を含む。
他の全ての冷蔵機器およびエアコン用途からの排出量は除外する。
EECCA=東欧、コーカサス、中央アジア諸国

表TS.10: GHG排出量を削減する産業技術の例 (全てではない)。斜字の技術は、実証段階または開発段階 [表7.5]

部門	エネルギー効率	燃料転換	電力回収	再生可能エネルギー	原材料の変更	製品の変更	物質の効率	非CO ₂ GHG	CO ₂ 回収・貯留
全部門	ベンチマーク方式、エネルギー管理システム、高効率な動力システム、ボイラー、炉、照明、暖房/換気/エアコン、プロセス統合	石炭から天然ガスおよび石油に転換	コージェネレーション	バイオマス、バイオガス、PV、風力タービン、水力	インプットのリサイクル				酸素燃料燃焼、排煙からのCO ₂ 分離
鉄鋼	精錬、実寸法近似の鑄造、スクラップ予熱、コークス乾式消火	天然ガス、石油またはプラスチックをBFに注入	炉頂ガス圧力回収、副生ガスコンバインドサイクル	炭	スクラップ	高強度鋼	高強度鋼のリサイクルプロセスでの損失削減	データなし	水素還元、高炉での酸素使用
非鉄金属	不活性陽極、高効率電池の設計				スクラップ		薄膜およびコーティングのリサイクル	PFC/SF ₆ の管理	
化学品	膜分離、反応性蒸留	天然ガス	プレアプロド・ガスタービン、圧力回収タービン、水素回収		プラスチックのリサイクル、バイオ原材料	直鎖低密度ポリエチレン、高機能プラスチック	薄膜およびコーティングのリサイクル、プロセスでの損失削減	N ₂ O、PFCs、CFCs、HFCsの管理	アンモニア、酸化エチレンプロセスからのCO ₂ 貯留
石油精製	膜分離、精製所ガス	天然ガス	圧力回収タービン、水素回収	バイオ燃料	バイオ原材料		(運輸面での削減は含まない)	N ₂ O/CH ₄ の制御技術	水素精製からのもの
セメント	プレカルシウム化キルン、ローラーミル、流動床キルン	廃棄燃料、バイオガス、バイオマス	ガスタービンによる乾燥、電力回収	バイオマス燃料、バイオガス	スラッグ、ポゾラン	混合セメントジオ・ポリマー		データなし	キルンでの酸素燃料燃焼
ガラス	カレット予熱、酸素燃料炉	天然ガス	エアボトムサイクル	データなし	カレットの利用増	高強度で薄い容器	リサイクル	データなし	酸素燃料燃焼
紙パルプ	高効率パルプ化、高効率乾燥、シュール・プレス、コンテナベルト乾燥	バイオマス、埋立地ガス	黒液ガス化コンバインドサイクル	バイオマス燃料 (樹皮、黒液)	リサイクル、非木質繊維	繊維方向性、より薄い紙	切断やプロセスでの損失削減	データなし	石灰キルンでの酸素燃料燃焼
食品	高効率乾燥、膜	バイオガス、天然ガス	嫌気性消化、ガス化	バイオマス、副産物、太陽光による乾燥			プロセスでの損失削減、閉鎖系での水利用		

化炭素排出量の平均成長率の最高値は、発展途上国のものであると予想される。これらのシナリオでは、中央ヨーロッパと東ヨーロッパ、コーカサスと中央アジア、およびアジアの発展途上国の経済成長は、2000～2030年の期間に減速することが予想される。B2シナリオでは、2010年以後に二酸化炭素排出量は、太平洋OECD、北米、および西ヨーロッパ地域で減少することが予想される。産業部門からの非二酸化炭素の温室効果ガス排出量は、追加的な抑制策が取られない場合、世界全体で2030年までに1.4倍となり、1990年の二酸化炭素換算4億7,000万トン(炭素換算1億3,000万トン)から2030年の二酸化炭素換算6億7,000万トン(炭素換算1億8,000万トン)まで増加することが予測されている。緩和努力により、1990～2000年の非二酸化炭素温室効果ガス排出量は減少しており、追加的な抑制に関する多くのプログラムが進行中である(表TS.9を参照)(見解一致度：高、証拠量：中)[7.1.3]。

緩和技術と実践、オプションとポテンシャル、コストおよび持続可能性に関する説明と評価

歴史的に、産業部門、特にエネルギー集約型産業では、エネルギー効率と特別な緩和技術の採用により、エネルギー原単位と排出原単位の改善を達成してきた。アルミニウム産業では、1990～2004年にPFC排出原単位で70%以上を改善し、またアンモニア産業は、2004年に設計されたプラントでは1960年に設計されたプラントと比べエネルギー原単位で50%改善したと報告した。アンモニア生産を継続して近代化することにより、エネルギー効率の更なる改善となる。精製部門におけるエネルギー原単位の改善も報告されている[7.4.2, 7.4.3, 7.4.4]。

SMEの技術力と経済力の低さは、環境に優しい技術の普及に対する課題を提起しているが、一部の革新的研究開発はSMEでも行なわれている。

産業部門からの温室効果ガス排出量を削減するポテンシャルをもつ広範囲な措置と技術が存在する。これらの技術は、エネルギー効率、燃料転換、電力回収、再生可能エネルギー、供給原料の変更、製品の変更および原料の効率利用に分類できる(表TS.10)。それぞれのカテゴリ内で、いくつかの技術、効率的な電気モーターの使用などは、すべての産業にわたり広く適用可能である一方、その他の技術、溶鉱炉の頂圧回収などは、工程固有のものである。

2030年に至る期間の後期までには、さらなるエネルギー効率改善と炭素回収・貯蔵¹⁷の適用および非温室効果ガス工程技術により多くの追加的なポテンシャルが生じるだろう。現在、研究開発段階にあるこのような新技術の例には、アルミニウム製造用の不活性電極および金属生産用の水素がある(見解一致度：高、証拠量：多)[7.2, 7.3, 7.4]。

2030年における緩和ポテンシャルおよびコストは、エネルギー集約型産業の産業別の評価とその他の産業の全体的な評価により推定されている。このアプローチにより以下のような緩和ポテンシャルが得られた。すなわち、B2シナリオによると、二酸化炭素1トン当たり20米ドル以下(炭素換算1トン当たり74米ドル)のコストで二酸化炭素換算約11億トン、二酸化炭素1トン当たり50米ドル以下(炭素換算1トン当たり180米ドル)のコストで二酸化炭素換算約35億トン、および二酸化炭素1トン当たり100米ドル以下(炭素換算1トン当たり370米ドル以下)のコストで二酸化炭素換算で年約40億トン(炭素換算で年6～14億トン)である。最大の緩和ポテンシャルは、鋼鉄、セメント、およびパルプと紙、ならびに非二酸化炭素ガスの抑制にあり、またそのポテンシャルの多くは、米ドル50/t二酸化炭素換算以下(炭素換算1トン当たり180米ドル以下)で実現可能である。炭素回収・貯蔵(CCS)技術は、よりコストが高いが、大きな追加ポテンシャルを与える。

最近完了した9グループの技術に関する世界的研究から、産業部門の緩和ポテンシャルが、二酸化炭素換算1トン当たり25米ドル以下(炭素換算1トン当たり92米ドル以下)(2004年のドル)のコストで2030年には、二酸化炭素換算で年25～30億トン(炭素換算で年6.8～8.2億トン)となることが示された。緩和ポテンシャルの推定は、先の評価で見られた範囲内ではあるが、緩和コストは、非常に低く推定されている(見解一致度：中、証拠量：中)[7.5]。

緩和オプションと脆弱性や適応性との相互作用

産業部門における適応と緩和との関連性は少ない。多くの緩和オプション(例えば、エネルギー効率、熱と電力回収、リサイクリング)は、気候変動に脆弱ではないため、適応との関連性を有していない。燃料または供給原料の転換(例えば、バイオマスやその他の再生可能資源への切替え)のように、気候変動に脆弱なものもある[7.8]。

気候政策、ポテンシャル、障壁および機会の有効性と経験/実施の問題

利用可能な緩和オプションを完全に実現することは、先進工業国または発展途上国のいずれにおいても、できることではない。世界の多くの地域では、市場や政府の規制のいずれにおいても、温室効果ガスの緩和を要求されていない。このような地域では、他の要素により、その投資に対して見返りが得られるような場合にのみ、企業は温室効果ガス緩和に投資することになる。この見返りとは、エネルギー効率による経済的利益などの経済的なものもあり、または、持続可能な開発に向けた取組など、より大きな企業目標を達成する観点からのものもある。上記に概略を示したような経済的ポテンシャルは、政策と規制が実施されている場合にだけ実現される。この観点に関連して、上述したように、エネルギー集約型産業の多くは発展途上国に拠点を置いている。資本回転

17 二酸化炭素回収・貯蔵に関するIPCC特別報告を参照。

率の低さや、必要な資金および技術的な資源の不足、利用可能なオプションに関する情報入手、吸収における企業、特に中小企業の能力の限界は、多くの産業にとって緩和オプションを実施するための障壁となる(見解一致度:高、証拠量:多)[7.9.1]。

エネルギー消費および温室効果ガス排出量の削減のための産業と政府間の自主的協定が1990年代初期以降活用されている。現実的な目標を設定し、十分な政府の支援(たいていは大きな環境政策パッケージの一部として、かつ目標が達成できない場合により強い規制やエネルギー/温室効果ガス税がありうるという現実的な脅威とともに)が織り込まれたよく設計された協定があればビジネスアズユージュアル(BAU)の場合よりも省エネや排出削減量は大きくなる。いくつかの例、特に伝統的に政府と産業間に密接な協力関係がある国々において、最善の利用可能な技術の適用が加速化され、ベースラインと比べて排出量の削減につながった。しかし、自主的協定の多くは、ビジネスアズユージュアルを超えた大きな排出量削減は達成していない。企業、地方政府、NGOおよび市民グループは、政府機関とは独立して、多様な自主的行動を採用しており、これらは温室効果ガス排出量を制限し、改革的な政策を促進し、さらに新技術の展開を推進する可能性がある。しかし、一般的にはそれらだけでは限定された影響力しかもたない。

費用対効果の高い、低温室効果ガス排出の技術の採用に対する障壁(例えば、情報の不足、基準の欠如、および、最新技術の初期購入のための十分な財源が入手できないこと)を減らす政策は有効となりうる。先進国、発展途上国を含む多くの国々において、産業における省エネを推進するための財政計画がある。世界エネルギー会議の調査によると、28ヶ国において、産業部門のエネルギー効率プロジェクトに対してある種の助成金または補助金を提供している。財政措置が産業の省エネを促進するために使用されることも多い。しかし、資金面でのインセンティブの欠点は、インセンティブがない場合でも投資を行なう投資家にもこうした措置が頻繁に利用されることである。費用対効果を改善するための可能な解決策は、特定の目標グループおよび/または技術に計画を制限すること(選択された機器、革新的技術だけ)、または費用対効果を測る直接的な基準を使用することである[7.9.3]。

いくつかの国、地域または部門において二酸化炭素排出量取引のシステムが存在し、または開発中である。これらの取引システムをさらに改良するにあたり、一部の重要な側面において、産業部門の参加者は、電気部門とは大きく異なる状況に直面していることを示唆する証拠が参考になるかもしれない。例えば、産業部門における炭素価格への反応は鈍い傾向にある。これは、技術ポートフォリオが非常に限られていること、および短期の燃料転換の可能性がないことが理由であり、予測可能な配分メカニズムおよび安定な価格シグナルは産業部門にとってより重要な問題となっている[7.9.4]。

第三次評価報告書(TAR)に述べられているように、すべての規模の産業部門の企業は、政府の政策と消費者の嗜好の変化に脆弱である。これが、安定的な政策体制が産業部門にとってきわめて重要となる理由である(見解一致度:高、証拠量:多)[7.9]。

温室効果ガス排出量に影響を与える統合的な非気候政策

エネルギー安全保障、環境保護および経済発展の均衡を保つことを目的とした政策では、緩和に及ぼすプラスまたはマイナス影響がある。エネルギー効率、非物質化、および再生可能物質の使用に焦点を置く持続可能な開発政策は、温室効果ガス緩和の目的を支援する。廃棄物管理政策は、製品の再利用を通してエネルギー消費を削減することにより、産業部門の温室効果ガス排出量を削減する。大気汚染削減措置は、低炭素燃料に移行することで達成される場合には、温室効果ガス排出量削減と相乗効果をもつが、多くの場合に追加的なエネルギーを必要とするため、必ずしも温室効果ガス排出量を削減するわけではない。

上記で考察した緩和オプションの実施に加えて、持続可能な開発を達成するには、将来の緩和の必要性を最小にする産業開発経路が必要である(見解一致度:高、証拠量:中)。大企業は、中小企業(SME)に比べ、環境と社会的配慮を営業活動に繰り込む上で、より多くの資源、および通常より多くのインセンティブを持っているが、多くの国においてSMEは雇用と製造能力の大部分を提供している。SME開発戦略を広範囲な国家開発戦略に統合することは、持続可能な開発目標と一致している。エネルギー集約型産業は現在、人的資本開発、健康と安全、社会集団開発などに向けて数多くの措置に注力しており、それは企業の社会的責任の目標と一致している(見解一致度:高、証拠量:多)[7.7; 7.8]。

温室効果ガス緩和政策の共同便益

産業部門の温室効果ガス緩和の共同便益には下記のことが含まれる:大気汚染、および廃棄物の削減(これらは見返りとして、環境法令遵守および廃棄物処理のためのコストを削減する)、生産と製品の質の向上、保守と運転コストの低減、作業環境の改善、および責任の軽減、公衆イメージや労働者のモラルの向上などのその他の利益、ならびに投資消費の遅延または削減がある。エネルギー消費の削減は、特に大気汚染規制が存在しないところでは、大気汚染による健康への影響を低下させるために間接的に貢献する(見解一致度:高、証拠量:多)[7.10]。

技術研究、開発、展開、普及および移転

商業的に利用可能な産業技術は、温室効果ガス排出量を削減するためにきわめて大きなポテンシャルを与える。しかし、この技術を適用しても、多くの産業工程において、いまだ熱力学的な理想よりも大きなエネルギーを必要とすることから、エネルギー効率改善と温室効果ガス緩和ポテンシャルには大

きな追加ポテンシャルがあることが示唆される。加えて、一部の産業工程は、熱や電力消費とは関係なく温室効果ガスを排出する。一部の工程ではこれらの排出を除去する商業技術は現在存在しない。例えば、アルミニウム製造において工程からの排出を除去する不活性電極の開発や、鉄と非鉄金属鉱石を減らす水素の使用などである。これらの新技術は、コスト競争力、安全性、および規制的な要求、ならびに顧客の支持を含む、多数の他の基準にも適合しなければならない。産業部門の技術研究、開発、展開および普及は、政府と企業の両者が理想的な相補的役割を担うことで実施される。温室効果ガス排出の緩和を主目的とする技術には固有の大きな経済的リスクがあるため、十分な水準の研究開発を推進するために政府のプログラムが必要となる可能性が高い。技術の基本的な障壁を確認し、これらの障壁を克服する解決策を見つけることが政府にとって妥当なことであるが、企業は、リスクを負い、また商業化による報酬を獲得するべきである。

加えて、政府の情報、エネルギー監査、報告書、およびベンチマーク(基準)プログラムが、技術移転と普及を促進する。民間部門の技術開発と普及を決定する重要要素は、競争上の優位、顧客の支持、国別の特性、知的財産権の保護、および規制枠組みである(見解一致度：中、証拠量：中)[7.11]。

長期的展望

多くの技術は、産業部門の温室効果ガス排出量を緩和するための長期的なポテンシャルを提供するが、3つの分野に関心が集まっている。生物学的処理、水素の利用、およびナノテクノロジーである。

産業部門の複雑性を考えると、低い温室効果ガス排出量の達成は、多くの部門横断的な変遷と個々の部門の変遷の総計である。少なくとも一部の産業部門において資本回転率が遅いため、‘技術の固定化’による不活化が発生する可能性がある。改修による機会はあるが、技術の基本的な変化は、固定資本の導入、または切替え時のみ発生する(見解一致度：高、証拠量：多)[7.12]。

8 農業

部門の状況、生産と消費の将来動向、および推測される結果

技術開発により、1人当たりの耕地面積は一貫して低下しているにもかかわらず、土地単位当たりの農業生産高は顕著に増加し、1人当たりの入手可能な食料は増加している(見解一致度：高、証拠量：多)。しかし、こうした進展は世界各地で不均衡であり、一部の国では農村貧困や栄養不良が残っている。食事における動物性食品の割合は、発展途上国では次第に増加しているが、先進国では一定のままである(見解一致度：高、証拠量：多)。

食料と繊維の生産は、人口の多い地域における需要の急激な増加を上回っているため、地域的な例外はあるが、1人当たりが1日平均で摂取できるカロリーが増加している。しかし、この増加により、環境への圧力の増加および天然資源の漸減が起きており、また、食料安全保障および貧困国に広がっている児童の栄養不良の問題は、いまだ解決されていない(見解一致度：高、証拠量：多)。

世界の耕地の絶対面積は、約14億haに成長し、1960年代以降、全体として8%の増加である(先進国では5%の減少、発展途上国では22%の増加)。この傾向は、将来的に継続することが予想され、ラテンアメリカとサハラ以南のアフリカの大部分で、1997～2020年に追加の5億haが農地に変換されることが予測される(見解一致度：中、証拠量：少)。

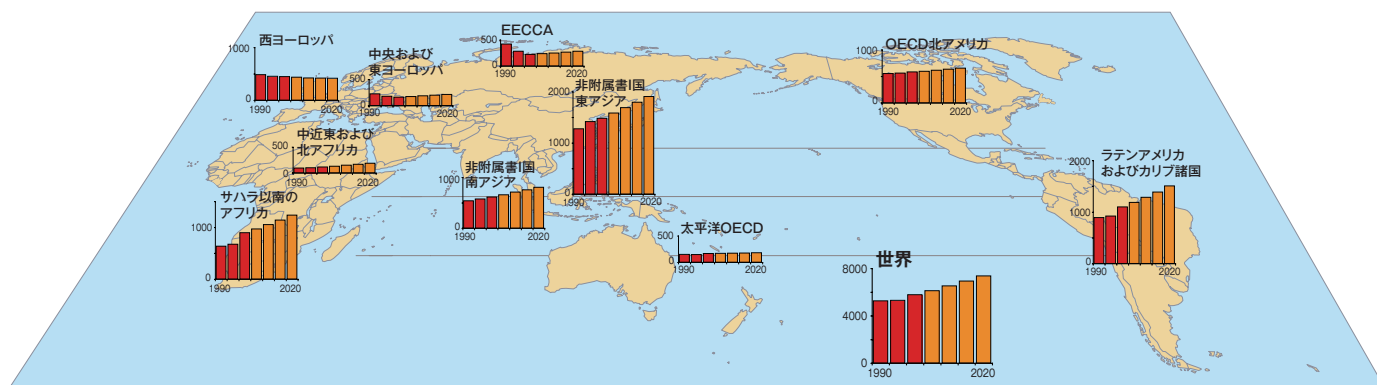
一部の発展途上国では経済成長とライフスタイルの変化により、食用肉と日用品の需要に増加が生じている。1967～1997年において、発展途上国の食用肉の需要は、年間1人当たりで11kgから24kgまで増加し、その期間の末期には、年間5%以上の成長率に達した。世界的な食用肉の需要のさらなる増加(2020年まで約60%)が予測され、その大部分が南アジアと北東アジア、およびサハラ以南のアフリカなどの発展途上地域における増加である(見解一致度：中、証拠量：多)[8.2]。

排出動向

2005年において、農業部門では二酸化炭素換算で年51～61億トン(世界の人為起源の温室効果ガス総排出量の10～20%)の排出量と推定されている。このうちメタンは二酸化炭素換算で年33億トン、一酸化二窒素は二酸化炭素換算で年28億トンとなっている。2005年の世界の人為起源の排出量のうち、農業は一酸化二窒素の約60%、メタンの約50%を占める(見解一致度：中、証拠量：中)。大気と農業用地との年間二酸化炭素交換が大きいにもかかわらず、収支はほぼ均衡していると推定され、二酸化炭素排出量はわずかに二酸化炭素換算で年0.4億トン程度である(電気と燃料消費からの排出量は、それぞれ建築および運輸部門でカバーされている)(見解一致度：低、証拠量：少)[8.3]。

農業における温室効果ガス排出量の動向は、世界の変化に対応している。すなわち、食事の変化と人口増加により食料需要が増加するにつれて、温室効果ガス排出量の増加が予測される。将来の気候変動は、最終的に、土壌の炭素を多く放出させる可能性がある(気候変動は、高生産性を通して土壌炭素投入量も増加させるため、影響は不確実ではあるが)。開発中の技術により、食料生産単位当たりの排出量削減を可能とするかもしれないが、絶対的排出量は、増加する可能性が高い(見解一致度：中、証拠量：中)。

追加的な政策がなければ、農業の一酸化二窒素とメタン排出量は、2030年までに、それぞれ35～60%および～60%まで増加することが予想される。これは、1990～2005年に観察された非二酸化炭素の温室効果ガスの14%増加よりも急激な増加となる(見解一致度：中、証拠量：少)[8.3.2]。



図TS.19: 世界10地域における農業部門における一酸化二窒素およびメタン排出量の実績と予測、1990-2020年 [図8.2]

注: EECCA=東欧、コーカサス、中央アジア諸国

排出量の大きさと異なる排出源の相対的な重要性の双方とも、世界中で大きく変動する(図TS.19)。2005年では、大部分が非附属書I国からなる5つの地域グループが、農業部門からの総排出量の74%を占めた [8.3]。

緩和技術、実施、オプション、ポテンシャルおよびコスト

すべてのガスを考慮すると、2030年までの農業部門からの排出緩和の経済的ポテンシャルは、SRES B2シナリオにおけるベースラインに対して、二酸化炭素1トン当たり20、50および100米ドルまでの炭素価格を仮定した場合、二酸化炭素換算でそれぞれ年間約16億トン、27億トンおよび43億トンと予想される(表TS.11参照)(見解一致度: 中、証拠量: 少) [8.4.3]。

農業管理方法の改良は、正味の温室効果ガス排出削減につながりうるとともに、1つ以上の温室効果ガスに影響を与えることが多い。これらの実践活動の有効性は、気候、土壌の種類、および農場システムに左右される(見解一致度: 高、証拠量: 多)。

総緩和量の約90%は、吸収源の拡大(土壌炭素滞留)から生じ、約10%は排出削減から生じる(見解一致度: 中、証拠量: 中)。

表TS.11: SRES B2をベースラインとし、異なる炭素価格を仮定した2030年までの世界の農業部門における温室効果ガス緩和の経済的ポテンシャルの推計値(二酸化炭素換算百万トン/年)[表8.7]

	炭素価格(米ドル/tCO ₂ 換算)		
	20まで	50まで	100まで
OECD	330 (60-470)	540 (300-780)	870 (460-1280)
EIT	160 (30-240)	270 (150-390)	440 (230-640)
非OECD/EIT	1140 (210-1660)	1880 (1040-2740)	3050 (1610-4480)

注: 括弧内の数字は、平均推計値の標準偏差、エネルギー効率化を除いたバイオエネルギーによる化石燃料オフセットを示す

中)。農業の最も有望な緩和オプション(2030年までの可能性に関して、二酸化炭素換算1トン当たり100米ドルまでの炭素価格に対して二酸化炭素換算で年間百万トンで示した)は、以下の事項である(図TS.20も参照のこと):

- 有機耕土の回復(1260)、
- 改良された耕地管理(耕種学、養分管理、耕作/残渣管理を含む)、水管理(灌漑および排水を含む)および減反/アグロフォレストリー:(1110)、
- 改良された放牧場管理(放牧強度、生産性の増加、養分管理、火災管理および種の導入を含む):(810)、
- 荒廃地の回復(侵食抑制、有機改良および養分改良):(690)。

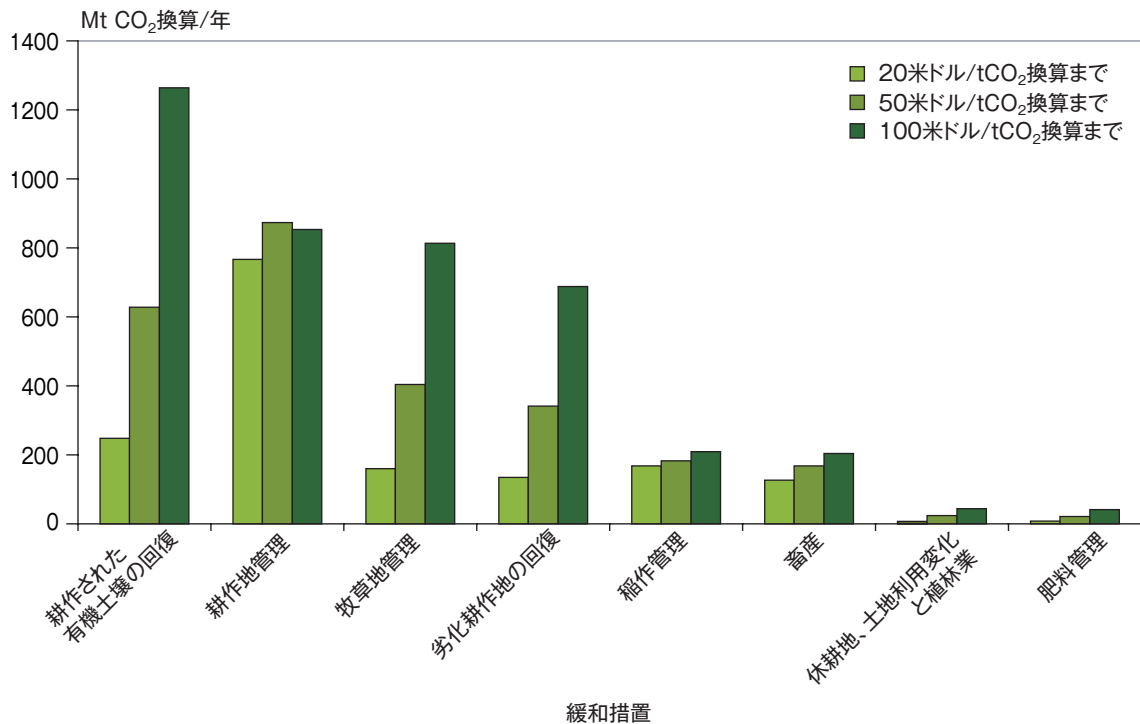
比較的小さいが、なお実質的な緩和ポテンシャルが与えられるもの:

- 稲作管理(210)および
- 家畜類管理(改良した飼料実施、食餌添加剤、育種とその他の構造変化)、および改良された肥料管理(貯蔵と取扱いの改良および嫌気性消化):(260)(見解一致度: 中、証拠量: 少)。

加えて、2030年まで二酸化炭素換算で年7億7,000万トンが農業部門のエネルギー効率改善によって生じる。しかし、この削減量の大部分は、建築と運輸の緩和ポテンシャルに含まれている [8.1; 8.4]。

炭素価格が低い時には、現在の実践活動と最も類似する低コストの措置が優先される(例えば、耕作地管理オプション)が、炭素価格が高い時には、面積当たりの緩和ポテンシャルの高い高価な措置が優先される(例えば、有機/泥炭土壌の耕地回復: 図TS.20)(見解一致度: 中、証拠量: 少) [8.4.3]。

温室効果ガス排出量は、化石燃料を農業供給原料(例えば、作物残渣、糞、エネルギー作物)からのエネルギー生産で代用することで削減することもでき、これはエネルギー最終用途部門(特にエネルギー供給と運輸)でカウントされる。将来の農業バイオマス供給の正確な推定はないが、その数字は2025年の年22EJから2050年の年400EJ以上までの範囲である。しかし、バイオエネルギーの使用による農業部門の緩和ポテ



図TS.20: SRES B2をベースラインとし、一年の範囲の炭素価格における2030年の温室効果ガスの農業部門での緩和ポテンシャル [図8.9]

注: B2シナリオを示したが、他の全てのSRESシナリオにおいてもパターンは相似する。建築部門およびエネルギー部門には、エネルギー効率化措置(二酸化炭素換算7億7千万トン)が含まれる。

ンシャルに対する貢献は、燃料の相対的価格および需要と供給のバランスに依存する。そのような推定の仮定を含めた、トップダウン評価では、農業から供給されるバイオマスエネルギーの経済的緩和ポテンシャルは、二酸化炭素換算1トン当たり20米ドルまでの炭素価格で二酸化炭素換算で年0.7億～12億6,000万トン、および二酸化炭素換1トン当たり50米ドルまでの炭素価格で二酸化炭素換算で年560～23億2,000万トンと推定している。二酸化炭素換算1トン当たり100米ドルまでの炭素価格においてはトップダウンモデルからの追加ポテンシャルに対する推定はないが、二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル以上の価格におけるポテンシャルの推定は、二酸化炭素換算で年27億2,000万トンである。これらのポテンシャルは、他の農業部門の緩和措置を合わせたすべてのポテンシャルの5～80% (二酸化炭素換算1トン当たり20米ドルまで) および20～90% (二酸化炭素換算1トン当たり50米ドルまで) となる。農産物と残渣が唯一の供給原料をつくるレベル以上になると、バイオエネルギーは、利用可能な土地、水および他の資源に対する他の土地利用と競合する。バイオエネルギーとエネルギー効率改善による緩和ポテンシャルは、表TS.11または図TS.20には含めていないが、そのポテンシャルは、主に運輸と建築の消費部門でそれぞれカウントされているからである(見解一致度: 中、証拠量: 中) [8.4.4]。

農業部門の緩和ポテンシャルの推定は、第2次評価報告書(SAR)および第3次評価報告書(TAR)で示された範囲の下端に近い。これは主に、異なる時間尺度で考慮されたためである(本稿の2030年に対してTARでは2050年)。中期的には、緩和ポテンシャルの多くは、大気からの二酸化炭素除去およびその土壤炭素への変換に由来するが、この過程の大きさは、

土壤炭素が最大のレベルに近づくとつれて低下してしまう。また長期的な緩和では、エネルギー消費からの一酸化二窒素、メタン、および二酸化炭素の排出削減量に次第に依存するようになり、その利益は無限に続く(見解一致度: 高、証拠量: 多) [8.4.3]。

緩和オプションと脆弱性や適応性との相互作用

温室効果ガスを緩和する農業行動は、(a) 脆弱性を低減し(例えば、土壤炭素滞留が干ばつの影響を低下させる場合)、または(b) 脆弱性を高める(例えば、バイオマスエネルギーの大きな依存性によりエネルギー供給が異常気候に敏感となる場合)ことになる。農業部門における緩和および/または適応を推進する政策では、これらの相互作用を考慮することが必要である(見解一致度: 中、証拠量: 少)。同様に、適応主導の行動は、(a) 緩和を促進する(例えば、水の収容力を改善するために田畑に戻した残渣が炭素も滞留する)または(b) 緩和を妨げる(例えば、崩壊した田畑を回復するために窒素系化学肥料を使用することが、一酸化二窒素排出量を増やすことにつながる)のいずれかになる。適応力を高め、脆弱性を低減させ、さらに干ばつ影響を低下させることを同時に行う戦略は、対立する影響を持つ戦略よりも適応における障壁が低い可能性が高い。例えば、土壤有機物を増加させる方法は、栄養度を高めると同時に干ばつによる影響を低減させ、適応力を向上させ、気候変動への農業の脆弱性を少なくさせる一方で、炭素も滞留させる(見解一致度: 中、証拠量: 中) [8.5]。

気候政策の有効性：機会、障壁および実施問題

農業部門における温室効果ガス緩和の実践活動の実際のレベルは、上記で報告した措置においては、経済的ポテンシャル以下である(見解一致度：中、証拠量：少)。実施に進展がほとんどないのは、実施のコストとその他の障壁のためであり、それには農業用地への圧力、農産物への需要、水への需要の競合、ならびに多様な社会的、制度的および教育的障壁などが含まれる(見解一致度：中、証拠量：少)。ヨーロッパの農耕地における土壌炭素滞留は、例えば、大きな経済的ポテンシャルがあるにもかかわらず、2010年までで無視できるほど小さい可能性が高い。これらの障壁の多くは、政策的もしくは経済的インセンティブが与えられなければ克服されなまいだろう(見解一致度：中、証拠量：少)[8.6]。

温室効果ガスの排出量に影響を与える統合措置と非気候措置

緩和の実践活動の採用は、しばしば気候変動と直接関連しない目標が原動となっている。このことは、異なる地域における緩和対応の多様性につながり、また将来の世界の緩和ポテンシャルを推定する際の不確実性の原因ともなる。排出量を削減する最も有効な政策は、他の社会的目標も達成するような政策である。水の管理やアグロフォレストリーなど、貧困と戦うために講じられたいくつかの農村開発政策は緩和との相乗効果をもつ(見解一致度：中、証拠量：少)。例えば、薪を生産するため、または気候変動に対する農場収入を補てんするために講じられたアグロフォレストリーは、炭素滞留も増加させる。多くの地域で、農業部門の緩和オプションは、マクロ経済的農業、および環境政策を含め、多くは非気候政策により影響を受けている。このような政策は、国連条約に基づいていることもあるが(例えば、生物多様性および砂漠化)、国家または地域問題によって動かされることが多い。最も有益な非気候政策の中には、農業における土壌、水およびその他の資源の持続可能な使用を促進するものである。これらは土壌の炭素貯蔵を増やし、資源の消費(エネルギー、化学肥料)や廃棄物を最小にするために役立つためである(見解一致度：高、証拠量：中)[8.7]。

温室効果ガス緩和政策の共同便益

一部の農業の実践活動は、‘互いに利益がある’結果を生み出しているが、大部分はトレードオフである。農業生態系は、本質的に複雑である。農業実施の共同便益とトレードオフが場所ごとに変動するのは、気候、土壌、または採択される実施方法が異なるためである(見解一致度：高、証拠量：中)。

バイオエネルギーの生産では、例えば、供給原料が作物残渣の場合、土壌に戻される炭素が減るにつれて土壌の有機物質が失われるため、土壌の品質が低下する。また逆に、供給原料が密集して根付いた多年草作物の場合、土壌の有機物質が補給されるため、土壌の品質が改善される。

多くの農業緩和活動では、持続可能性の目標に相乗効果を示している。化学肥料の有効利用を推進し、土壌の炭素を維持し、さらに農業生産を持続する緩和措置は、持続可能な開発と最も大きな相乗効果をもつ可能性が高い(見解一致度：高、証拠量：中)。

例えば、土壌の炭素を増やすことは、食料安全保障と経済的利益を向上させることにもなる。その他の緩和オプションが持続可能な開発に与える影響はより確実性が低い。例えば、一部の有機質資材の使用により炭素滞留は改善するが、水質への影響は資材によって異なる。共同便益は、効率の改善、コストの削減および環境上の共同便益から生じることが多い。トレードオフは、土地の競合、農業生産性の低下および環境ストレスと関連する(見解一致度：中、証拠量：少)[8.4.5]。

技術研究、開発、展開、普及および移転

農業部門における緩和戦略の多くは既存の技術を採用している。例えば、生産単位当りの排出量削減は、作物収穫量と家畜生産性の増加で達成されている。このような生産性の増加は、広範囲な実践活動により実現される——よりよい管理、遺伝子改良作物、改良品種、化学肥料の奨励システム、精密農業、改良家畜育種、改良家畜栄養、食餌添加物や成長促進剤、改良家畜繁殖、バイオエネルギー供給原料、嫌気性堆肥消化、およびメタン回収システム——これらのすべては既存技術である(見解一致度：高、証拠量：多)。一部の戦略は、既存技術の新たな使用方法を含む。例えば、油脂は多年にわたり動物飼料に使用され、食餌性エネルギー含量を高めているが、メタン抑制剤としてのその役割と実現可能性は、まだ新しく、十分に明らかではない。一部の技術では、研究開発が必要とされている[8.9]。

長期展望

世界の食料需要は、2050年までに2倍となり、生産活動の集約化につながる(例えば、窒素化学肥料の使用を増加する)。加えて、家畜製品の消費の増加が予測されており、これにより家畜数が増える場合、メタンや一酸化二窒素の排出量が増加し、その結果、2030年以後でベースラインの排出量が増加することになる(見解一致度：高、証拠量：中)。農業部門における緩和措置は、ベースラインと比較して、製品単位当りの温室効果ガス排出量を削減するために役立つ。しかし、2030年までの緩和ポテンシャルのわずか約10%しか、メタンと一酸化二窒素に関連しない。家畜システムと化学肥料適用に対する新規の緩和の実践活動の展開が、2030年以後の農業からの排出量増加を防止するうえで必須である。

長期緩和ポテンシャルの予測は、他の不確実性によっても妨げられる。例えば、気候変動の影響は不明確である。すなわち、気候変動により、土壌の炭素滞留率を低下させ、あるいは土壌炭素を放出させる可能性さえあるが、この影響は不確実であり、植物生産が高まることで土壌の炭素投入量が増加するという可能性もある。一部の研究から示唆されていることは、技術改良により、農耕地と牧草地の土壌炭素貯蔵に

表TS.12: 森林面積推計値、森林面積の正味の変化(マイナスの数字は森林減少を示す)、生息バイオマス中の炭素貯留量あるいは拡大中の貯留量、1990年、2000年、2005年[表9.1]

地域	森林面積 (百万ha)	年間の変化 (百万ha/年)		生息するバイオマス中の炭素貯留量 (MtCO ₂)			拡大中のストック 2005年
	2005	1990-2000	2000-2005	1990	2000	2005	(百万m ³)
アフリカ	635.412	-4.4	-4.0	241267	228067	222933	64957
アジア	571.577	-0.8	1.0	150700	130533	119533	47111
ヨーロッパ ^{a)}	1001.394	0.9	0.7	154000	158033	160967	107264
北および 中央アメリカ	705.849	-0.3	-0.3	150333	153633	155467	78582
オセアニア	206.254	-0.4	-0.4	42533	41800	41800	7361
南アメリカ	831.540	-3.8	-4.3	358233	345400	335500	128944
世界計	3952.026	-8.9	-7.3	1097067	1057467	1036200	434219

注:

^{a)} ロシア連邦全体を含む

及ばず気候変動のマイナス影響を相殺する可能性があり、将来の温室効果ガス緩和において技術の改良は主要な要素になっている。このような技術は、例えば、生産を高め、それにより土壌への炭素復帰を増加させ、新たな耕作地の需要を減らす可能性がある(見解一致度：高、証拠量：中)[8.10]。

9 森林・林業

第3次評価報告書(TAR)以降、地域規模から世界規模にいたるまで新たな緩和推定が可能となっている。主要な経済的評価と世界的評価が利用可能となっている。緩和と適応オプションの統合および持続可能な開発への関連づけを扱った初期の研究がある。低コストの緩和オプションとして、また大きなプラスの副次作用をもつとされている森林減少からの排出量削減に注目が高まっている。気候変動の影響は森林の削減ポテンシャルにも制約を与えているとの証拠がいくつかある。

部門の状況、生産と消費を含めた開発動向、および推測される結果

世界の森林被覆は、39億5200万ha(ヘクタール)(表TS.12)であり、これは世界の土地面積の約30%である。炭素サイクルにおいて大きく関連している事象は、2000~2005年において年1,290万haの率でグロスでの森林減少が起きていることであり、これは主に森林から農地への変換による結果であるが、また伐採等のための入植とインフラの拡大のためでもある。1990年代は、グロスでの森林減少はわずかに高く、年1,310万haであった。植林、景観回復および森林の自然拡大のため、2000~2005年の森林の純損失は年730万ha

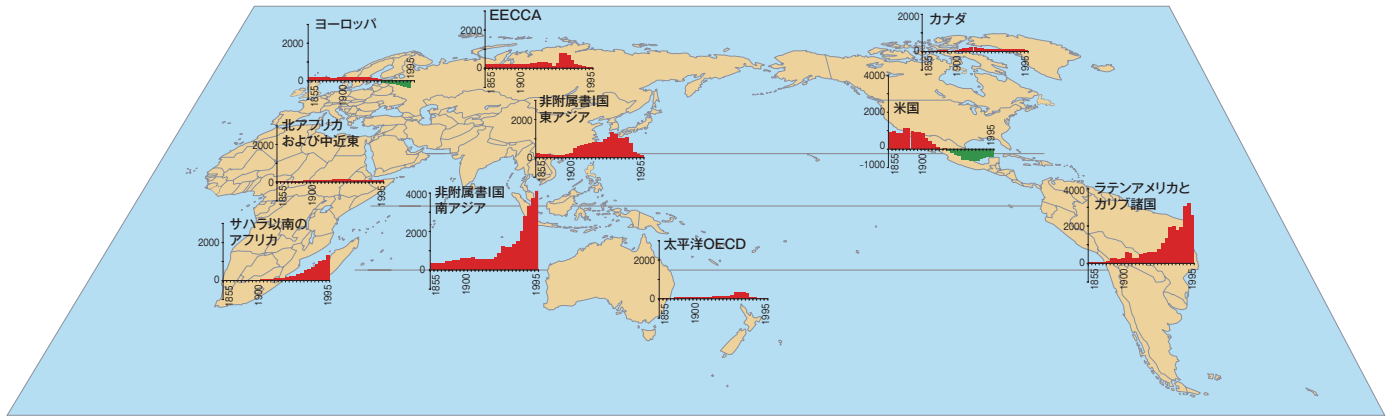
であり、南米、アフリカおよび東南アジアで最大であった。この純損失は、1990年代の年890万haより少なかった(見解一致度：中、証拠量：中)[9.2.1]。

排出源および吸収源；動向

世界規模では、20世紀の最後の10年間において、熱帯における森林減少および温帯と亜寒帯の一部における森林の再成長が、二酸化炭素排出と除去においてそれぞれ主要因であった(表TS.12、図TS.21)。1990年代の森林減少からの排出量は、年58億トンと推定される。

しかし、熱帯の森林減少による炭素損失が、亜寒帯と温帯における森林面積の拡大や木質バイオマスの蓄積によってどの程度まで相殺されるかについて、実際の地上観測とトップダウンモデルによる推定との間に不一致が生じている。大気輸送モデルの逆解法に基づいているトップダウンモデルは、1990年代の地球上の純炭素吸収量、つまり北半球地方の吸収源と熱帯の発生源のバランスは、約95億トンであると推定している。新たな推定では、1980年代から1990年代にかけて地球上の炭素吸収源が増加したという点で以前の見解と一致しているが、新たな吸収源の推定とその増加率において、以前の報告より小さくなる可能性がある。大気輸送モデルの逆解法から生じる残留吸収源の推定は、地上観測に基づく世界の吸収源のいずれの推定よりはるかに大きい。

地表面の変化が気候システムに及ぼす影響の複雑性に関して理解が深まったことから、森林・林業部門における気候変動の緩和の政策を策定する際には、表面アルベド、顕熱と潜熱の流動、蒸発、およびその他の要素を考慮する重要性が示された。地表面の変化が気候に与える影響を十分に考慮するため、また、生物圏の炭素貯留を管理するため、複雑なモデ



図TS.21: 地域別森林炭素収支実績 (MtCO₂)、1855-2000年 [図9.2]

注: 緑=吸収量、EECCA=東欧、コーカサス、中央アジア諸国、データは、5年間の平均値。年は各期間の開始年。

リングツールが必要であるが、まだ利用可能ではない。予測されている気候変動が森林における純炭素バランスに及ぼす影響は不確実のままである [9.3; 9.4]。

現在の生物圏の機能さえ不確実であるため、世界の森林・林業部門の炭素バランスを予測することはきわめて不確実である。一般的に、広く受け入れられている研究が不足しており、したがってベースラインがない。非OECD諸国の開発動向、すなわち森林減少率は不確実である。OECD諸国および移行経済国では、管理動向の展開、木材市場、および気候変動の影響は不確実なままである。第3章で報告したような長期モデルでは、2030年の土地利用変化と森林からのベースライン二酸化炭素排出量は、2000年と同一か、またはわずかに少ないことが示されている (見解一致度: 中、証拠量: 中) [9.3; 9.4]。

緩和技術と実践活動、オプションとポテンシャル、コスト、および持続可能性に関する説明と評価

世界規模の炭素動態の特徴は、長期間におけるヘクタール当りの小さな比率での炭素の吸収が、かく乱や収穫時における短期間の急速で大量な炭素放出により遮断されるということである。森林の個々の林分は、排出源または吸収源となるが、森林の炭素バランスは、すべての林分の純バランスの総計で決められる。

森林部門における発生源による排出量削減および/または吸収源による除去量増加に利用可能なオプションは、4つの一般カテゴリーに分類される:

- 森林面積を維持するか、または増やす;
- 林分レベルの炭素密度を維持するか、または増やす;
- 景観レベルの炭素密度を維持するか、または増やす; および

- 木材製品の森林外での炭素貯留を増やし、製品と燃料の代替を高める。

各々の緩和活動は、行動、炭素削減における利益およびコストという特徴的な時間系列をもつ (図TS.22)。ベースラインと比べ、最大の短期利益は、常に排出量の回避を目的とした緩和活動を通して達成される (例えば、森林減少または劣化の低減、火災予防、火入れなど)。

緩和活動	影響のタイプ	影響のタイミング	コストのタイミング
1A 森林面積の増加 (例 新規森林)	↑	遅延	遅延
1B 森林面積の増加 (例 森林伐採の防止、LUC)	↓	遅延	遅延
2A 林分レベルでの炭素密度の増加 (例 集中管理、肥沃化)	↑	遅延	遅延
2B 林分レベルでの炭素密度の維持 (例 劣化防止)	↓	遅延	遅延
3A 景観レベルでの炭素密度増加 (例 SFM、農業他)	↑	遅延	遅延
3B 景観レベルでの炭素密度維持 (例 障害抑制)	↓	遅延	遅延
4A 森林外の製品中炭素の増加 (1B、2Bおよび3Bの対処も必要)	↑	遅延	遅延
4B バイオエネルギーと代替の増加 (1B、2Bおよび3Bの対処も必要)	↓	遅延	遅延

凡例

影響のタイプ	タイミング (時間による炭素の変化)	コストのタイミング (時間による支払い)
シンクの増強 ↑	遅効性	遅延 (型)
ソースの削減 ↓	速効性	先行 (型)
	持続性あるいは反復性	持続 (型)

図TS.22: 森林・林業部門で利用可能なオプション、炭素貯留量に与える効果の形、タイミング、コストのタイミング [図9.4]

林分レベルおよび景観レベルの炭素密度の増加を目的としたすべての森林管理活動は、技術的に実現可能な共通の実践活動であるが、実施すべき程度と面積は著しく増加しうる。経済的判断が一般的に主要な制約である。その理由は、林分においては追加的な炭素の保有により収穫からの収入が遅れるからである。

長期的には、森林炭素貯留の維持、または増加を目的とした持続可能な森林管理戦略が、森林から木材、木質繊維またはエネルギーなどの毎年の収穫物を生み出しながら、最大の持続的な緩和便益を生み出すだろう。

地域的モデリング評価

ボトムアップの地域研究から、森林の緩和オプションは経済的ポテンシャルをもち(二酸化炭素換算1トン当たり100米ドルまでのコストで)、バイオエネルギーを除き、2030年には年13~42億トン(平均年27億トン)となることが示されている。地域間で差はあるが、うち約50%(年平均16億トン)は二酸化炭素換算1トン当たり20米ドル以下のコストで達成できる。森林減少や劣化の低減、植林、森林管理、アグロフォレストリーおよびバイオエネルギーを合わせた効果は、現在から2030年およびそれ以降にかけて上昇する可能性がある。この解析は、緩和活動の段階的な実施が現在から開始されることを仮定している(見解一致度：中、証拠量：中)[9.4.4]。

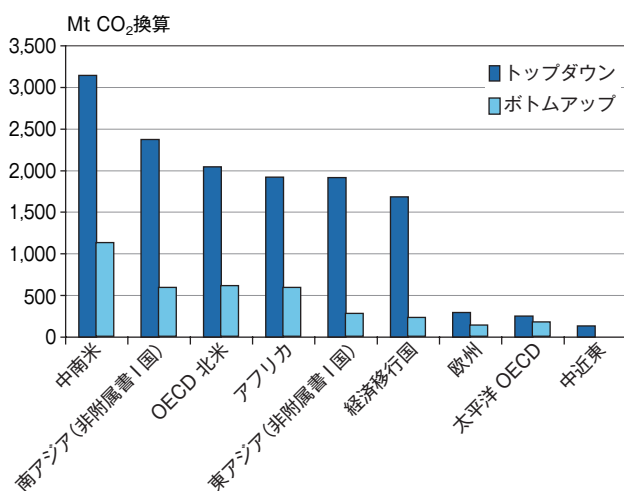
世界のトップダウンモデルは、二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル以下または同等の炭素価格で2030年には二酸化炭素換算で年138億トンの緩和ポテンシャルを予想している。地域予想の総計は、同一年に対してこの値の22%である。地域研究では、より詳細なデータを用い、より広範囲の緩和オプションを検討する傾向にあり、したがって、簡素化、集約化した世界モデルより、地域環境や制約をより正確に反映している。しかし、地域研究は、モデル構造、対象範囲、解析アプローチおよび仮定にばらつきがある(ベースライン仮定を

含む)。世界的、および、地域的評価から推定される緩和ポテンシャルのギャップを狭めるために更なる研究が必要である(見解一致度：中、証拠量：中)[9.4.3]。

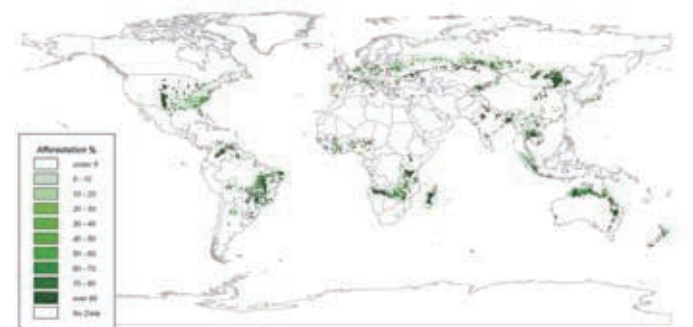
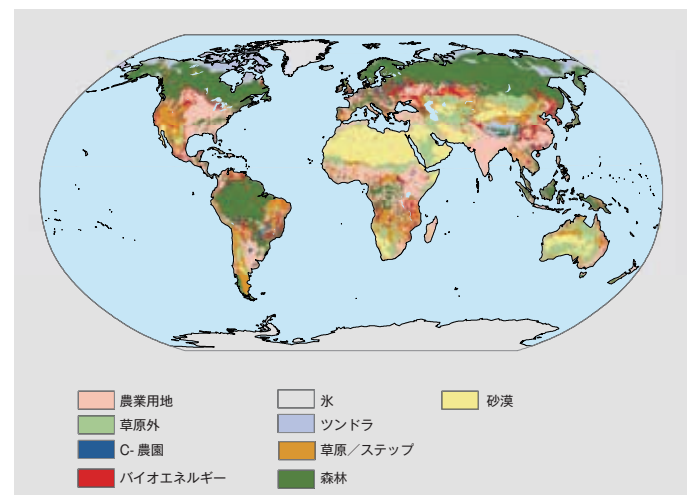
従って、この段階における森林・林業部門の経済的緩和ポテンシャルに関する最善の推定は、二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル以下のコストで、2030年には二酸化炭素換算で年27~138億トンの範囲、二酸化炭素換算1トン当たり20米ドル以下のコストで、二酸化炭素換算で年16~50億トンの範囲という以上に確実にすることはない。二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル以下のコストにおける削減ポテンシャルのおよそ65%は熱帯地域にあり、また、およそ50%は森林減少からの排出を削減することで達成されうる(見解一致度：低、証拠量：中)。

林業は、林業残材によりバイオエネルギーの供給にも貢献する。しかし、バイオエネルギーのポテンシャルは、電力供給、運輸(バイオ燃料)、産業および建築部門でカウントされている(概観に関しては第11章を参照)。森林からのバイオマス供給ポテンシャルに関するボトムアップ研究に基づき、またそのすべてが使用されると仮定して(これは、他の発生源と比べて、森林バイオマスのコストに完全に依存する)、二酸化炭素換算で年4億トン程度の貢献が森林から発生することになる。

世界のトップダウンモデルは、世界のどの場所にどの炭素緩和オプションを割当てるのが最適かについての洞察を提供しはじめている(図TS.24)。



図TS.23: トップダウンの世界モデルと地域モデル研究結果に基づく森林・林業部門の2030年における経済的緩和ポテンシャル結果の比較、ただし、二酸化炭素換算トン当たり100米ドル以下のもの[図9.13]。



図TS.24: 二つの世界規模トップダウンモデルが示す新規植林活動の割り当て、上は2100年の世界のバイオエネルギー農園および炭素農園の場所、下は2100年でのグリッドセル新規植林の場合[図9.11]

緩和オプションと脆弱性や適応との相互作用

森林の緩和活動は、気候変動への適応、生物多様性の維持および持続可能な開発の推進と適合できるように設計することが可能である。環境的、社会的共同便益およびコストを炭素削減における利益と比べることは、トレードオフと相乗効果を強調することになり、持続可能な開発を促進するために役立つ。

森林における緩和と気候変動との相互作用に関する文献は、未成熟である。森林は気候変動によって影響を受け、その緩和ポテンシャルが減少する可能性がある。適応オプションの主要な管理は、できる限り多く森林の付随的ストレスを低下させることである。広範囲に分散させた、生息可能な個体種の数を維持することは、局地的な破局的事象により種の絶滅を起す確率を最小限にする。保護地域または自然保護区の形成は、適応と同様に緩和の一例である。保護地域(回廊とともに)は、生物多様性の転換を導き、それによって気候変動の脆弱性を低減させる。

森林の緩和プロジェクトは、他の部門へ適応の共同便益を提供する。例としては、天水依存型の作物収入の干ばつに対する脆弱性を低減させるアグロフォレストリーや、沿岸集落の脆弱性を低減させるマングローブ、および砂漠化を遅くする防風林がある(見解一致度：中、証拠量：中)[9.5]。

気候政策、ポテンシャル、障壁および機会に関する有効性と経験/実施の問題

森林は、低コストの世界の緩和ポートフォリオにきわめて重要な貢献をし、さらに適応と持続可能な開発に相乗効果を与える。本報告書の第9章では、この緩和ポテンシャルを達成するための一連のオプションと政策を特定している。しかし、この削減機会はこれまで利用されてこなかった。その理由は、現在の制度上の状況、森林管理者に対するインセンティブの不足および既存の規制の執行の欠如のためである。より良い政策手段がなければ、このポテンシャルのわずかな部分しか実現できない可能性が高い。

緩和ポテンシャルの実現化には、制度上の能力、投下資本、技術、研究開発および移転、ならびに適切な(国際的)政策とインセンティブが必要である。多くの地域では、それらができないことが、森林の緩和活動の実施の障壁となっている。しかし、注目すべき例外には、森林減少率の低下、および植林プログラムの実施における地域の成功などがある(見解一致度：高、証拠量：多)。

森林部門の緩和政策を導くための複数の地域固有の戦略が必要である。最適な選択は、森林の現状、森林変化の主要因、およびそれぞれの地域内で予想される将来の森林の動態に依存する。緩和プロジェクトを推進し、最適に調和した措置を設計するためにすべての利害関係者と政策立案者の参加が必要である。この観点から森林部門の緩和を土地利用計画に統合することが重要である。

熱帯の森林減少を遅らせる既存の政策のほとんどは、規制や制度上の能力不足、または利益上のインセンティブの補償がないため、わずかな影響しかもたない。規制の着実な執行に加え、十分に構築された炭素市場またはその他の環境サービスへの報酬の仕組みは、森林面積を維持するための資金面でのプラスのインセンティブを与えることにより、森林減少を減少させる上での障壁を克服するために役立つ。

市場ベースの、ならびに非市場ベースのアプローチにより、2013年以降の活動を実行可能にするためのいくつかの提案がなされている。例えば、森林減少からの排出を自主的に削減する特別資金によるものがある。助成金や税額控除などの政策措置は、先進国と発展途上国の双方において、新規植林・再植林を奨励するために成功裏に使用されている。しかし、大規模植林地の構築により生じうるマイナスの環境上、社会上の影響を回避するために注意を払うべきである。

クリーン開発メカニズム(CDM)による新規植林・再植林には比較的低コストの、多くのプラスの副作用のポテンシャルがあるにもかかわらず、多くの障壁のため、あまり多くのプロジェクトは実施されていない。この障壁には、新規植林・再植林 CDMプロジェクト活動を管理する規制に関する合意の遅れやその複雑性がある。森林の緩和プロジェクトをより大規模に活性化させるための要件には、将来の約束に対する確実性、能率的で簡素化した規則、および取引コストの削減が必要である。プロジェクト評価の標準化は、潜在的購入者、投資家およびプロジェクト参加者の間の不確実性を克服するために重要な役割を果たす(見解一致度：高、証拠量：中)[9.6]。

森林と持続可能な開発

本章の評価において、緩和利益とコストの大きさに関して依然としてある不確実性が特定されたが、緩和活動の実施に必要なとされる技術と知識が現在、存在する。森林は、世界の緩和ポートフォリオに重要で持続した貢献をしようと同時に、広範囲な社会、経済および生態系の目標を満たしうる。幅広い土地管理計画の一要素として森林緩和オプションを考慮することで重要な共同便益を獲得することができる。

植林地は、例えば、雇用、経済成長、輸出、再生可能エネルギーの供給および貧困緩和に積極的に貢献する。一部の例では、植林地は、牧草地の損失、伝統的生計手段の損失など、マイナスの社会影響をもたらすこともある。アグロフォレストリーは、広範囲な経済、社会および環境利益を生み出す。これは恐らく、大規模な植林より広いと思われる。付随的利益は、世界的ではなく、地域的となる傾向があるため、それらの利益を特定および計上することで、緩和措置のコストを削減するか、または部分的に補償することができる(見解一致度：高、証拠量：中)[9.7]。

技術研究、開発、展開、普及および移転

技術の展開、普及および移転には、森林管理システムの改良、森林施業技術およびバイオエネルギーを含めた加工技術などがあり、これらは、異なる緩和オプションの経済的、社会的実現可能性を向上する上で重要である。政府は、特定の目的にたいする財政的、技術的支援を与え、コミュニティ、組織およびNGOの参加を推進する上で重大な役割を果たす(見解一致度：高、証拠量：多)[9.8]。

長期的展望

炭素サイクルの不確実性、気候変動が森林に及ぼす影響とその多くの動態的フィードバックの不確実性、排出一吸収プロセスのタイムラグ、ならびに将来の社会経済的経路の不確実性(例えば、森林減少がこれからの数十年間で実質的にどの程度減少させることができるか)は、森林の将来の炭素バランス予測において大きな変動の原因となる。

地域によって、正味のバランスは異なるものの、全体的に、長期において、緩和活動は炭素吸収源の増加に役立つ。亜寒帯の一次林は、小さな排出源または吸収源のいずれかとなるが、これは成長の促進と土壌有機物質の損失、および火災の増加による排出を合わせた正味の影響に左右される。温帯林は、恐らく純炭素吸収源でありつづけ、気候変動によっても森林成長が高まるだろう。熱帯地域では、人間による土地利用の変化が数十年間、森林の動態の動因となり続けることが予想される。2040年以後、森林劣化と森林減少の低減を目的とした政策の有効性にも左右されるが、熱帯林は、気候変動の影響次第で、純吸収源となりうる。同様に中長期では、商業バイオエネルギーがますます重要となってくることが予想される。

森林に関わる気候変動の緩和に対する最適な地域戦略の展開は、トレードオフ(相乗効果と競合)に関する複雑な解析を必要とする。その中には、森林とその他の土地使用、炭素貯留のための森林保全と、その他の環境サービス(生物多様性や流域保全および炭素を含有する木質繊維、木材およびバイオエネルギー資源を社会に提供するための持続可能な森林伐採など)とのトレードオフがある。さらに貯蔵を最大にすることを目的とした長寿命の製品やリサイクルと、バイオエネルギーへの利用など、伐採後の木材製品の利用戦略の間のトレードオフがある[9.9]。

10 廃棄物管理

部門の状況、動向、および推測される結果

廃棄物の発生は、人口、豊かさおよび都市化と関連する。世界の使用済み廃棄物の発生量は、現在年9億～13億トンと推定される。最近の数年間で、発生量は増加し続けており、特に急激な人口増加、経済成長および都市化が進む発展途上国において顕著である。高度な先進国において現在目標となっているのは、GDPなどの経済的な駆動力と廃棄物の発生を切り離すことである——最近の動向から、使用済み廃棄物の1人当たりの発生量は、リサイクル、再使用、廃棄物最小化、およびその他のイニシアチブの結果として頂点に達しつつあることが示唆されている(見解一致度：中、証拠量：中)[10.1, 10.2]。

使用済み廃棄物が世界の温室効果ガス排出量に占める比率は小さい(5%以下)が、埋立地のメタンは現在のメタン排出量の50%以上を占める。次に大きな排出源は、廃水のメタンと一酸化二窒素である。さらに、少量の二酸化炭素が、化石炭素を含有する廃棄物の焼却から発生する。一般的に、廃棄物部門における直接排出量、間接排出量、および緩和ポテンシャルの定量化に関しては大きな不確実性がある。この不確実性は、国家レベルでの一貫した、協調的なデータの収集および解析によって削減されうるものである。現在、廃棄物輸送からの温室効果ガス排出量の定量化についても、また使用済み廃棄物からのフロン類の年間排出量についても、インベントリーの方法が存在しない(見解一致度：高、証拠量：多)[10.3]。

ここで強調すべき重要なことは、使用済み廃棄物は、重要な再生可能エネルギー資源になるということである。これは、熱プロセス(焼却や産業における混合燃焼)、埋立地ガスの利用、および嫌気性消化バイオガスの利用により可能となる。廃棄物は、多くのバイオマス資源と比べ経済的利点をもっている。それは公費によって定期的な収集が行われているからである。廃棄物のエネルギーは、熱プロセスを用いて最も効率的に利用できる。すなわち、燃焼中に、バイオマス(紙製品、木材、天然繊維、食料)と化石炭素(プラスチック、合成繊維)の双方からエネルギーが直接得られる。9GJ/tの平均発熱量を仮定すると、世界中の廃棄物には、8EJ以上の利用可能なエネルギーが含有されており、2030年には13EJ(一次エネルギー需要のおよそ2%)まで増加する可能性がある(見解一致度：中、証拠量：中)[10.1]。現在、年1億3,000万トン以上の廃棄物が世界中で燃やされているが、これは年1EJ以上に相当する。再生可能エネルギー源としての埋立地のメタン回収は、30年以上前に商業化されており、現在の回収エネルギー量は年0.2EJ以上となっている。熱プロセスとともに、埋立地ガスと嫌気性消化ガスは、地域における重要な補助エネルギー源となりうるものである(見解一致度：高、証拠量：多)[10.1, 10.3]。

埋立地ガスの回収と補完的な措置(リサイクルの増加および代替技術の実施による埋立の減少)のため、先進国における埋立地メタンの排出量は、ほとんど安定化してきている。また、埋立と比較して温室効果ガス排出量を回避または削減する、成熟した大規模な廃棄物管理の技術の選択肢として、廃棄物のエネルギー利用を伴った焼却、および堆肥化またはMBT(機械的生物学的処理)などの生物学的処理がある。しかし、発展途上国では、より制御された(嫌氣的な)埋立が実施されるにつれて、埋立地メタンの排出量が増加している。これは特に、急激に都市化している地域で顕著である。そこでは、病原菌媒介生物、毒物臭、発火、および大気、水、土壌への汚染物質の排出を削減するため、オープンダンピングより工学的手法による埋立が環境に適した廃棄物処分の戦略となっている。逆説的なことに、(燃焼と好気性分解による)二酸化炭素の好氣的生成が、メタンの嫌氣的生成に移行することで、温室効果ガス排出量は増えてしまう。これは、1950～1970年の期間に多くの先進国で起こった衛生的な埋立への移行と概ね同様である。メタン排出量の増加は、工学的手法によるガス回収の導入を加速することで緩和できる。これは、CDMやJIなどの京都メカニズムで援助される。2006年10月後半時点で、埋立地ガスの回収プロジェクトは、CDMの下での平均年間CERの12%を占めている。加えて、リサイクルや堆肥化などの代替的な廃棄物管理の戦略も、発展途上国で実施することができる。堆肥化は、工学的手法による埋立より手頃で持続可能な代替技術となりうるものであり、特に労働集約的、低技術の戦略が生分解廃棄物に適用されている埋立に対して代替技術となりうる(見解一致度:高、証拠量:中)[10.3]。

リサイクル、再使用および廃棄物最小化のイニシアチブは、官民ともに、処分を必要とする廃棄物量を減少させることで温室効果ガス排出量を間接的に削減している。規制、政策、市場、経済的優先度、および地域的制約にもよるが、先進国では、資源を保護し、化石燃料の使用を相殺し、温室効果ガスの発生を回避するため、ますます高い率のリサイクルを実施している。ベースラインや定義がさまざまであるため、世界のリサイクル率を定量化することは、現時点では不可能である。しかし、地域によっては50%以上の削減が達成されている。リサイクルは、追加的削減を達成するために多くの国で実際に拡大されうる。発展途上国では、スカベンジングや非公式のリサイクルが一般的に行われている。様々な経路と小規模なリサイクルを通して、非集中的な廃棄物管理で生計を立てている人々は、より集中的な解決策を必要とするような廃棄物の多くを減らすことができる。研究によれば、低技術のリサイクル活動はまた、独創的な小規模金融やその他の小規模な投資を通して大きな雇用を生み出すことができるとされる。課題は、管理されていない廃棄物の投棄場におけるスカベンジャーが、現在より安全で健康的な作業条件を与えられるようにすることである(見解一致度:中、証拠量:中)[10.3]。

廃水に関しては、世界人口の約60%しか、衛生設備(下水処理)を利用していない。廃水処理に関しては、先進国では人口のほぼ90%が、発展途上国では人口の30%以下しか改良された公衆衛生(下水処理、浄化槽、便所)を享受していない。温室効果ガス排出量に加えて、改良された公衆衛生と廃水管理は、広範囲な健康と環境の共同便益を与える(見解一致度:高、証拠量:多)[10.2, 10.3]。

発展途上国における廃棄物と廃水管理に関して、持続可能な開発への2つの主要な制約は、資金の不足とある特定の状況に対する適切で真に持続可能な技術の選択である。多くの発展途上国では、廃棄物と廃水の回収、輸送、リサイクル、処理、および残渣の管理を実施することは、重要でコストのかかる課題である。しかし、持続可能な廃棄物と廃水のインフラの実施により複数の共同便益が得られ、公衆衛生の改善、水資源の保護、および大気、地表水、地下水、土壌、沿岸帯への未処理物の排出の削減を通してミレニアム開発目標の実施を支援することになる(見解一致度:高、証拠量:多)[10.4]。

排出動向

廃棄物部門の2005年の排出量は合計で二酸化炭素換算でおよそ13億トンであり、附属書I国および経済移行国では全体の温室効果ガス排出量の約2～3%、非附属書I国では4～5%を占める(表TS.13を参照)。2005～2020年の期間におけるビジネスアズユージュアルの予測では、埋立地メタンの排出量が、今後も廃棄物部門全体の排出量の55～60%を占め、最大の発生源を維持するであろうことが示されている。埋立地メタンの排出量は、多くの先進国では安定化し、減少しているが、これは埋立地ガスの回収を増加させたことに加え、リサイクル、廃棄物最小化、熱利用、生物廃棄物の管理戦略を通して、廃棄物を埋立地から他の処理方法へと向かわせた結果である。しかし、発展途上国では、埋立地メタンの排出量は増加している。これは、都市人口の増加、経済開発の増加から生じた都市廃棄物の莫大な量のため、またある程度、野焼きやオープンダンピングが工学的手法による埋立に置きかわったためである。追加的な措置がなければ、2005～2020年の埋立地メタンの排出量は50%増加することが予測されている。これは主に、非附属書I国からのものである。発展途上国における廃水からのメタンと一酸化二窒素の排出量も都市化と人口の増加から急速に上昇している。さらに、表TS.13における廃水からの排出量は、下水だけに基づいており、すべての発展途上国についてデータがあるわけではないため、この排出量は過小に見積もられている(見解一致度:高、証拠量:中)[10.1, 10.2, 10.3, 10.4]。

表TS.13: 1996年および2006年インベントリガイドライン、外挿計算、BAU予測に基づく廃棄物起源温室効果ガス排出量の動向(二酸化炭素換算百万トン、端数処理) [表10.3]

排出源	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	注
埋立地 メタン	550	585	590	635	700	795	910	1996/2006ガイドラインを用いた平均値
廃水 ^{a)} メタン	450	490	520	590	600	630	670	1996ガイドライン
廃水 ^{a)} 一酸化二窒素	80	90	90	100	100	100	100	1996ガイドライン
焼却 二酸化炭素	40	40	50	50	50	60	60	2006ガイドライン
合計	1120	1205	1250	1375	1450	1585	1740	

注:

^{a)} 廃水からの排出量は過小評価されている。本文参照。

緩和技術とその実施、オプションとポテンシャル、コストおよび持続可能性に関する説明と評価

既存の廃棄物管理技術は、この部門からの温室効果ガス排出量を効果的に緩和できる——成熟した、低技術から高技術に至る環境に有効な戦略が、排出量を緩和するために広範囲にわたって商業的に利用可能であり、公衆衛生、土壌保全、汚染防止、および地域のエネルギー供給の改善において共同便益を与える。総合的に、これらの技術は温室効果ガス排出量を直接削減でき(埋立地メタンの回収と利用、改良された埋立地の運転、工学的手法による廃水の管理、嫌気性消化バイオガスの利用を通して)、あるいは温室効果ガス発生を大きく回避できる(制御された有機廃棄物の堆肥化、最先端の焼却、衛生施設の普及率の拡大を通して)。加えて、廃棄物最小化、リサイクル、および再使用は、原材料の節約、エネルギーと資源の利用効率の改善、および化石燃料の回避を通して、温室効果ガス排出量を間接的に削減することから、重要な可能性があるとともにその可能性が高まっている。発展途上国では、適切な水準の技術を用いて環境に責任のある廃棄物管理を行うことで、持続可能な開発が推進され、公衆衛生が改善されることになる(見解一致度: 高、証拠量: 多)[10.4]。

廃棄物管理に関わる決定は、温室効果ガスの緩和を定量化することなしに、地域的に行なわれることが多いため、世界の温室効果ガス排出量を削減するうえでの廃棄物部門の重要性は過小評価されてきた(見解一致度: 高、証拠量: 中)[10.1; 10.4]。柔軟な戦略と資金面でのインセンティブは、温室効果ガス緩和の目標を達成するうえでの廃棄物管理のオプションを拡大できる——統合的廃棄物管理の文脈において、地域における技術の決定は、多くの競合する変数の関数によってなされる。すなわち、廃棄物の量と特性、コストと財政の問題、規制上の制約、および利用可能な土地面積や収集/輸送の考慮を含めたインフラの必要条件などの変数である。ライフサイクルアセスメント(LCA)は意思決定支援ツールとなりうる(見解一致度: 高、証拠量: 多)[10.4]。

埋立地メタンの排出量は、垂直井戸および/または水平収集管からなる工学的手法によるガスの抽出と回収のシステムを通して直接削減することができる。加えて、埋立地ガスは、産業または商業プロセスにおける熱や、施設内での発電のた

めの、あるいは合成天然ガス燃料の原料としての化石燃料の使用を相殺する。埋立地メタンの商業的な回収は、1975年以降本格的に始まっており、2003年の記録では1,150プラントで二酸化炭素換算で年1億500万トンに相当する量が回収され利用された——利用することなくガスを燃やすプロジェクトも多くあるため、合計の回収量は、少なくともこの数字の2倍となる可能性が高い(見解一致度: 高、証拠量: 中)[10.1; 10.4]。1980年代初期から2003年までの経年データを用いた線形回帰では、埋立地メタンの利用は1年当たりおよそ5%の成長率を示している。埋立地ガスの回収に加えて、埋立地「バイオカバー (biocovers)」のさらなる開発と実施は、排出量を緩和するうえで、低コストな生物学的戦略を追加的に与えることになる。なぜなら、埋立地メタン(およびNMVOC(非メタン揮発性有機化合物))の排出量は、埋立地覆土の好気性微生物による酸化でも減少するためである(見解一致度: 高、証拠量: 多)[10.4]。

廃棄物の熱利用を目的とした焼却と産業における混合燃焼は、世界中の600以上のプラントで大きな再生可能エネルギーの利益と化石燃料の相殺をもたらしている一方、埋立と比べ、わずかな温室効果ガス排出量しかもたっていない。高度な排ガス制御を備えた熱プロセスは確立した技術であるが、埋立地ガスの回収を備える制御された埋立よりはコストがかかる(見解一致度: 高、証拠量: 中)[10.4]。

制御された生物学的プロセスは、できれば発生源で分別された廃棄物に対して用いることで、重要な温室効果ガス緩和戦略を提供することができる。廃棄物の好氣的堆肥化は温室効果ガス発生を回避することから、独立したプロセスとしても、また機械的生物学的処理の一部としても、多くの先進国や発展途上国において適切な戦略である。多くの発展途上国、とりわけ中国やインドでは、小規模な低技術の嫌気性消化が何十年も行われてきた。高技術の焼却や堆肥化プラントは、数多くの発展途上国において持続可能でないことが証明されていることから、持続可能な廃棄物管理の解決策を提供するには、低技術の堆肥化または嫌気性消化が適当である(見解一致度: 高、証拠量: 中)[10.4]。

2030年では、埋立廃棄物からのメタン排出量の経済的削減ポテンシャルは、二酸化炭素換算1トン当たり20米ドル以下

表TS.14: 2030年の異なるコストカテゴリーにおける地域別埋立地メタン排出量の経済的緩和ポテンシャルの範囲、注を参照[表10.5]

地域	2030年の予想排出量 (MtCO ₂ 換算)	経済的緩和ポテンシャル合計 コストは<100米ドル/tCO ₂ 換算 (MtCO ₂ 換算)	異なるコストカテゴリーにおける 経済的緩和ポテンシャル (MtCO ₂ 換算) (米ドル/tCO ₂ 換算)			
			<0	0-20	20-50	50-100
OECD	360	100-200	100-120	20-100	0-7	1
EIT	180	100	30-60	20-80	5	1-10
非OECD	960	200-700	200-300	30-100	0-200	0-70
世界全体	1500	400-1000	300-500	70-300	5-200	10-70

注:

1) 廃水の緩和ポテンシャルおよびコストは入手できていない。

2) 各地域の数値は、推計での不確実性を反映させるため、端数処理をしており、必ずしも世界合計と一致しない。

3) 埋立地における炭素固定は、考慮されていない。

4) 埋立地処分を制限する措置のタイミングは、2030年の年間緩和ポテンシャルに影響する。上限では、埋立地処分が今後世界の廃棄物発生量の15%で制限されると仮定する。下限では、埋立地処分の量を削減する措置の実施について、より現実的なタイミングを反映している。

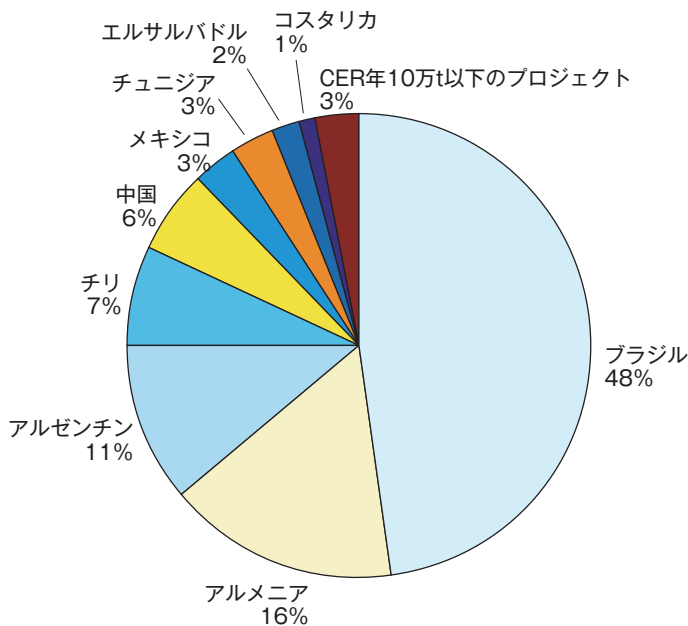
のコストの場合、二酸化炭素換算4億～8億トンの範囲であった。このうち、二酸化炭素換算で年3億～5億トンは、マイナスコストである(表TS.14)。長期では、エネルギー価格が上昇し続ければ、先進国、発展途上国ともに、エネルギーと物質の回収に関連した廃棄物管理の戦略において、さらに重大な変化があるだろう。熱プロセスは埋立より単価が高いが、エネルギー価格が上昇するにつれてますます実現可能となる。埋立地は何十年間もメタンを発生し続けるため、熱プロセスおよび生物学的プロセスとともに、増加した埋立地ガスの回収を短期間で補完する(見解一致度:高、証拠量:少)[10.4]。

廃水に関しては、発展途上国において改良された衛生施設の水準を高めることが、温室効果ガスの緩和、公衆衛生の改善、水資源の保護、水や土壌への未処理物の排出の削減などの複合的な利益を与える。歴史的に、先進国における都市の衛生施設は、集中的な下水設備と廃水処理プラントに重点を置いてきたが、人口密度の低い農村部では高価すぎ、急激に成長しつつある人口密度の高い都市近郊では実施することが現実的とは言えない。低コストの技術を、コミュニティの支持、参加、および管理のための大変な努力と合わせることで、衛生施設の普及率はうまく拡大することができる。廃水は、水が不足している国々では二次的な水資源でもあり、水の再利用とリサイクルは、追加的な水の供給によって多くの発展途上国と先進国を支援することが可能である。これらの措置は、栄養負荷を低下させ、温室効果ガス排出量を比較的低下させることから、小規模な廃水処理プラントを後押しすることにもなる。廃水に関する世界的なまたは地域的な緩和コストと緩和ポテンシャルの見積りは現在のところない(見解一致度:高、証拠量:少)[10.4]。

気候政策の有効性と経験、ポテンシャル、障壁および機会／実施上の問題

埋立地メタンがこの部門の主な温室効果ガスであることから、主要な戦略は、埋立地メタンの回収を奨励し義務付ける基準の実施である。先進国では、以下の結果として埋立地メタンの回収が増加している。すなわち、埋立地メタンの回収を求める直接規制、温室効果ガス排出量取引を含む自主的な措置、再生可能エネルギーまたはグリーン電力のための資金面でのインセンティブ(例えば、税額控除)である。発展途上国では、埋立地メタンの回収は、これからの20年間で増加することが予想される。これは制御された埋立が主要な廃棄物処分の戦略として順次導入されるためである。JIとCDMは、先進工業国からの外部投資に対して有用なメカニズムであることがすでに証明されており、特に資金不足が主な障壁となっている埋立地ガス回収プロジェクトにとって有用である。利益は2重である。すなわち、埋立地メタンによるエネルギー上の利益を伴った温室効果ガス排出量の削減と、埋立地の設計および運転の改善である。現在(2006年10月後半)、CDMの下で実施されている33の埋立地ガス回収プロジェクトの年平均CERは、全体の約12%に相当する。これらのプロジェクトの大部分(図TS.25)は、LAC地域(埋立地ガスCERの72%)にあり、ブラジルが支配的である(9プロジェクト; CERの48%)(見解一致度:高、証拠量:中)[10.4]。

EUでは、既存施設での埋立地ガス回収が義務化されており、また、埋立地指令(1999/31/EC)によって有機廃棄物の埋立が段階的に停止されている。この指令では、毎年埋め立てられている生分解性有機廃棄物を、2016年までに1995年比で65%削減することが求められている。結果として、使用済み廃棄物は、焼却および機械的・生物学的処理(MBT)に向けられるようになっており、リサイクル可能なものを回収し、有機炭素の含有量を低下させてから埋め立てられるようになってきている。2002年に、EUの廃棄物熱利用プラントは、およそ4,000万GJの電気エネルギーおよび1億1,000万GJの熱エネルギーを生み出した。一方、1990～2002年の間に、EUの埋



図TS.25: 2006年10月後半までに登録されたプロジェクトの年間平均CERsに基づく埋立地ガスCDMプロジェクトの分布[図10.9]

注: 二酸化炭素換算で合計9100万トンのCERsのうち埋立地メタン分は年1100万トン。年10万CERs以下のプロジェクトは、イスラエル、ポリビア、バングラディシュ、マレーシアに分布。

立地メタンの排出量は、埋立地指令と関連する各国の法令によってほぼ30%まで減少した(見解一致度:高、証拠量:多)[10.4, 10.5]。

温室効果ガスの排出に影響を与えている統合政策と非気候政策: 廃棄物政策と規制の共同便益としての温室効果ガスの緩和; 持続可能な開発の役割

広範な環境目標に対処して、廃棄物からのエネルギー回収を奨励し、一次資源の使用を削減し、廃棄物の最終処分に対する選択を制約し、廃棄物のリサイクルと再使用を推進し、および廃棄物の最小化を奨励する廃棄物部門では、温室効果ガスの緩和は、多くの場合それ自身が主要な目的ではないが、廃棄物部門における政策と措置の共同便益そのものである。廃棄物最小化、再使用およびリサイクルを推進する政策と措置は、廃棄物の温室効果ガス排出量を間接的に削減する。これらには、拡大生産者責任(EPR)、有料化、および埋立税が含まれる。その他の措置には、有料化や埋立税システムと同時に行われるべき、リサイクル可能なものの分別収集およびその効率的な収集がある。一部のアジア諸国では、新しい開発戦略として「循環経済」または「循環型社会」を奨励している。その中心概念は、物質の循環(閉鎖)フローと複数の段階における物質とエネルギーの使用である。限られたデータ、ベースラインの違い、およびその他の地域的条件のため、温室効果ガス排出量の削減に対するこれらの戦略の有効性を世界レベルで定量化することは現在のところ不可能である(見解一致度:中、証拠量:中)[10.5]。

多くの国で、廃棄物および廃水の管理政策は、大気、水、

および土壌の質ならびに再生可能エネルギーのイニシアチブに関連する環境政策や規制と密接に統合されている。再生可能エネルギープログラムには、再生可能資源からの電力生産に関する要求事項、小規模な再生可能エネルギー電力提供者から電力の買い取り義務、再生可能エネルギーの税額控除、および消費者が再生可能エネルギー電力供給者の選択を可能とするグリーン電力イニシアチブがある。一般的に、再生可能エネルギーを通じた電力容量の分散化は、埋立地メタンからの発電および熱プロセスによる発電に対し強力なインセンティブを与えることができる(見解一致度:高、証拠量:多)[10.5]。

廃棄物部門における政策手段は、主に規制から構成されるが、多くの国で経済的措置も見られ、特定の廃棄物管理技術やリサイクル、廃棄物最小化を奨励している。これらには、廃棄物熱利用の促進を目的とした、焼却施設に対する助成、税額控除が含まれる。熱プロセスは、使用済み廃棄物のエネルギーを最も有効に利用できるが、副次的に発生する大気汚染物質の排出量を制限する排出制御を含めなければならない。焼却施設建設に対する助成は、数ヶ国で実施されており、通常エネルギー効率の基準と組み合わせられたものとなっている。廃棄物焼却施設による発電や、エネルギー回収を伴った最終処分に対する税額控除も採用されている(見解一致度:高、証拠量:多)[10.5]。

有効で持続可能な廃棄物と廃水の収集、輸送、リサイクル、処理、および処分に関する共同便益には、温室効果ガスの緩和、公衆衛生の改善、水資源の保護、大気、土壌、地表水、および地下水への未処理汚染物質の排出の削減などがある。発展途上国には放棄された廃棄物や廃水の処理プラントが数多くある。強調しなければならないことは、持続可能な開発の主要な側面は、特定の地域のインフラの中で持続できるような適切な技術の選択を行うことだということである(見解一致度:高、証拠量:中)[10.5]。

技術研究、開発、および普及

一般的に、廃棄物部門の特徴は、すでに成熟した技術があることであり、これらを発展途上国でさらに普及することが必要だということである。開発中の進展には以下のようなものがある:

- 埋立: 長期のガス回収効率を高めるために埋立地開発の初期段階で最適なガス回収システムを実施すること。プロセス制御を大きくし、廃棄物の分解時間を短くするために、埋立地生分解(バイオリクター)の最適化。メタンとNMVOCの排出量を最小にするため、これらの微生物酸化を最適化する埋立地「バイオカバー」の建設。
- 生物学的プロセス: 発展途上国における、発生源で分別した生分解廃棄物に対する低技術かつ手頃で持続可能な堆肥化と嫌気性消化の戦略。
- 熱プロセス: 現在の焼却(10~20%の発電効率)より熱効率を高くできる最新の廃棄物熱利用技術。化石燃料の相殺を目的として、様々な廃棄物を用いた産業における混合燃焼の実施の増加。発生源で分別した廃棄物のガス化、熱

分解と、その燃料の生産のために改良された低コストの分別技術の組み合わせ。

- リサイクル、再使用、廃棄物最小化、前処理(改良された機械的・生物学的処理プロセス)：リサイクルの技術とプロセスの改良における改革は、一次資源の使用を低下させ、エネルギーを保護し、化石燃料を相殺する。発展途上国では、革新的であるが、低技術のリサイクル解決策の開発。
- 廃水：家庭および小さなコミュニティレベルにおける新規で低技術の改良された衛生施設の環境設計で、先進国と発展途上国の双方において、効率的な小規模の廃水処理と水資源の保護を持続的に実施できるもの(見解一致度：高、証拠量：少)[10.5; 10.6]。

長期展望、システム移行

廃棄物部門から将来の温室効果ガス排出量を最小にするためには、統合された持続可能な管理戦略に関する広範囲な地域のオプションを保持しておくことが重要である。さらに、リサイクル、再使用、および廃棄物最小化を通じた廃棄物発生初期段階における削減は、原材料とエネルギーの保全に大きな利益をもたらす。長期的に見ると、埋立地は何十年もメタンを発生し続けるため、多くの国が焼却、産業における混合燃焼、機械的・生物学的処理、大規模堆肥化、嫌気性消化などの埋立をしない技術に移行しても、既存の埋立地における埋立地ガス回収は必要となる。加えて、「バックアップ」としての埋立地は、都市廃棄物の計画における重要な要素として継続するだろう。発展途上国では、改良された廃棄物や廃水の管理に対する投資は、公衆衛生、環境保護、およびインフラ開発における重要な共同便益を与える。

11 部門横断的視点からみた緩和

部門横断的な緩和オプション

第4章～第10章で述べた技術、行動および政策オプションの多くは特定の部門に関するものであるが、一部の技術と政策は多くの部門にも及ぶものである。例えば、バイオマスの使用および高炭素燃料からガスへの切替えは、エネルギー供給、運輸、産業および建築部門に影響を与える。共通の技術のポテンシャルとは別に、これらの例では、資金や研究開発支援などの資源に対する競合の可能性も強調する[11.2.1]。

部門別の緩和ポテンシャルのボトムアップ構成は、部門、時系列的な、および地域間および市場の間の相互作用と波及効果によって複雑となる。産業および建築部門の節電により電力部門で必要とされる供給能力の減少が生じる場合などにおける二重計算の可能性を排除するために一連の公式な手法が使用されている。この方法で部門ポテンシャルを統合するには、第4章～第10章の部門評価を要約する必要がある。結果の不確実性は、部門毎の算定方法、部門間の対象範囲の差異(例えば、運輸部門)および集計自体に関する整合性の問題によって影響を受けるが、その中では、主要な直接部門の相

互作用だけが考慮されている[11.3.1]。

トップダウンの推計は安定化シナリオ、すなわち、大気中の温室効果ガス濃度の長期的な安定化に向けたものとして導き出される[3.6]。

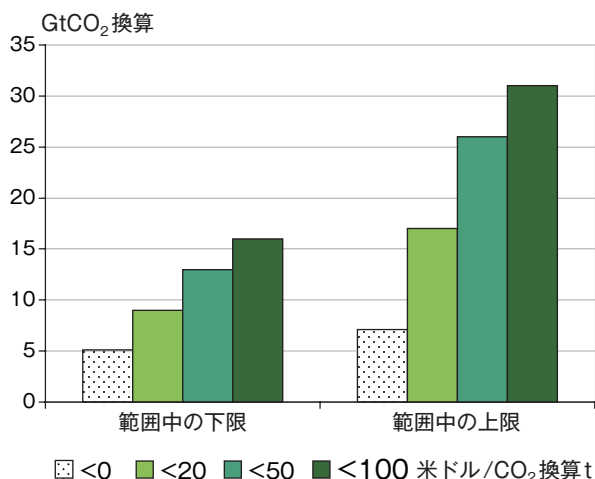
図TS.26Aおよび表TS.15は、ボトムアップの評価により多くの部門で損失のない(no-regret)オプションの機会が強調されることを示している。すべての部門をボトムアップで推定した場合のポテンシャルは、マイナスコスト、すなわち、純利益で、2030年までに二酸化炭素換算約60億トンとなる。no-regretオプションの大部分は建築部門にある。ボトムアップの低コストオプションの合計(no-regret および二酸化炭素換算1トン当たり20米ドル以下のコストで達成できる他のオプション)は、二酸化炭素換算でおよそ130億トンである(範囲は以下で考察する)。二酸化炭素換算1トン当たり50米ドル以下および100米ドル以下の追加コストにより、それぞれ二酸化炭素換算およそ60億トンおよび40億トンの追加ボトムアップポテンシャルがある(見解一致度：中、証拠量：中)[11.3.1]。

上述に加えて、これらの推定にはいくつかの留意事項がある。第一に、ボトムアップ型の推計では、主に熱電併給や、運輸部門の一部、行動様式の変化などの非技術オプション等、一連の削減オプションが、現在入手できる文献では信頼性のある評価ができないという理由で除外されている。そのため、ボトムアップのポテンシャルは10～15%程度過小評価されていると推定される。第二に、各章において、エネルギー価格、割引率、農業および森林オプションの地域的結果の拡大に関連した、定量化されていない多くの主要な感度を特定している。第三に、経済移行国の多く、及びOECD国でも経済移行国でもない地域の大部分に関する推定が欠如している[11.3.1]。

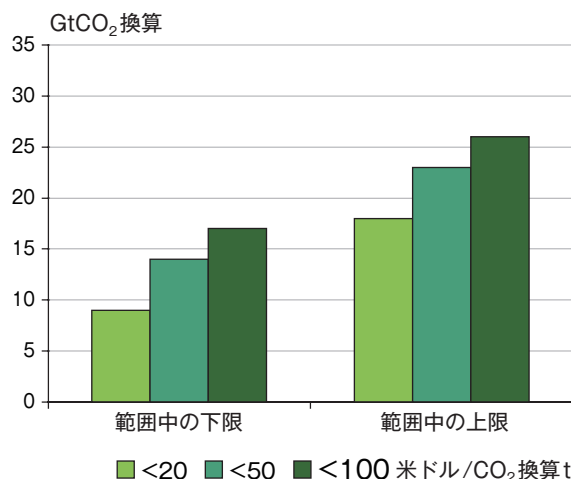
二酸化炭素換算1トン当たり20米ドル以下の炭素価格におけるポテンシャルの推定は、二酸化炭素換算1トン当たり27米ドル以下の炭素価格で評価した第3次評価報告書(TAR)のボトムアップ推定より低い。これは最新の文献がよりよい情報をもたらしたためである(見解一致度：高、証拠量：多)。

図TS.15および表TS.16は、第3章で報告されているように、ボトムアップによるポテンシャルの総計が、トップダウンモデルから得られた2030年時点の結果と整合的であることを示している。

部門レベルでは、ボトムアップとトップダウンとにより大きな差があり、これはトップダウンモデルの部門定義がボトムアップ評価の定義とは異なることが多いためである(表TS.17)。トップダウンとボトムアップ評価間で仮定されたベースラインにわずかな差異はあるが、その結果は、2030年までの全体的経済緩和ポテンシャルについて確かな推定を与える上で十分に近似したものである。二酸化炭素換算1トン当たり100米ドル以下の炭素価格における緩和ポテンシャルは、2030年のベースライン排出量の約25～50%である(見



図TS.26A: ボトムアップ研究により推計された2030年の世界の経済的緩和ポテンシャル。データは表TS.15のもの [図11.3]



図TS.26B: トップダウン研究により推計された2030年の世界の経済的緩和ポテンシャル。データは表TS.16のもの [図11.3]

解一緻度：高、証拠量：多。

表TS.17は、排出源分析¹⁸では、長期的な緩和ポテンシャルの大部分がエネルギー供給部門からのものであることを示している。しかし、図TS.27の結果で使用したように、最終用途部門分析では、最大のポテンシャルは建築および農業部

門に存在する。農業および森林では、トップダウン推定は、ボトムアップ研究の推定より低い。この原因は、これらの部門が一般的に、トップダウンモデルでは十分に捕捉されていないためである。トップダウンモデルからのエネルギー供給と産業部門の推定は一般的に、ボトムアップ評価の推定より高い(見解一緻度：高、証拠量：中) [11.3.1]。

表TS.15: ボトムアップ研究により推計された2030年の世界の経済的緩和ポテンシャル [11.3]

炭素価格 (米ドル/tCO ₂ 換算)	経済的ポテンシャル (GtCO ₂ 換算/年)	SRES A1Bと比較した削減量 (680億t CO ₂ 換算/年) (%)	SRES B2と比較した削減量 (490億t CO ₂ 換算/年) (%)
0	5-7	7-10	10-14
20	9-17	14-25	19-35
50	13-26	20-38	27-52
100	16-31	23-46	32-63

表TS.16: トップダウン研究により推計された2030年の世界の経済的緩和ポテンシャル [11.3]

炭素価格 (米ドル/tCO ₂ 換算)	経済的ポテンシャル (GtCO ₂ 換算/年)	SRES A1Bと比較した削減量 (680億t CO ₂ 換算/年) (%)	SRES B2と比較した削減量 (490億t CO ₂ 換算/年) (%)
20	9-18	13-27	18-37
50	14-23	21-34	29-47
100	17-26	25-38	35-53

18 排出量解析時点の電気使用からの排出量は、エネルギー供給部門に割当てられている。最終使用部門解析では電気からの排出量は、それぞれの最終使用部門に割当てられている(特に、産業と建築との関連性)。

表TS.17: 2030年までの部門別緩和の経済的ポテンシャル：ボトムアップ(表11.3)とトップダウン(セクション3.6)との比較[表11.5]

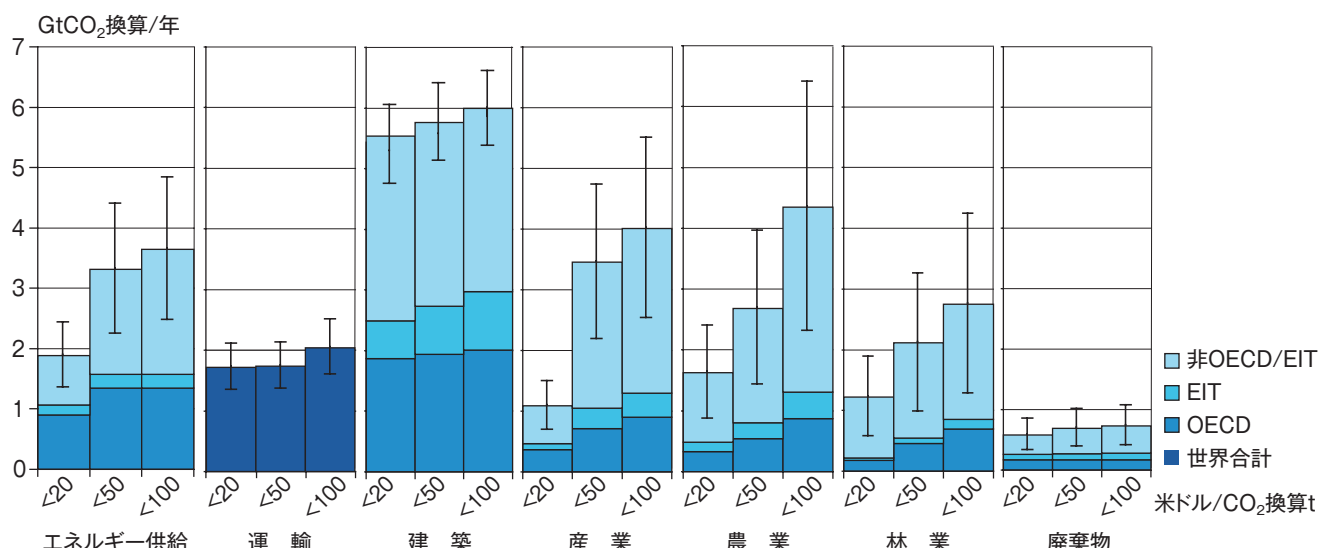
報告書 本文の章	部門	2030年の部門別(ボトムアップ)ポテンシャル (Gt CO ₂ 換算/年)				2030年の経済全体モデル(トップ ダウンモデル)による緩和の スナップショット (Gt CO ₂ 換算/年)	
		最終用途割当 (最終用途部門での電力節減割当)		排出箇所の割当分布 (エネルギー供給部門に割当てられた最終用途電力削減による排出削減量)		低	高
		炭素価格 < 20米ドル/CO ₂ 換算t					
		低	高	低	高	低	高
4	エネルギー供給 転換	1.2	2.4	4.4	6.4	3.9	9.7
5	運輸	1.3	2.1	1.3	2.1	0.1	1.6
6	建築	4.9	6.1	1.9	2.3	0.3	1.1
7	産業	0.7	1.5	0.5	1.3	1.2	3.2
8	農業	0.3	2.4	0.3	2.4	0.6	1.2
9	林業	0.6	1.9	0.6	1.9	0.2	0.8
10	廃棄物	0.3	0.8	0.3	0.8	0.7	0.9
11	合計	9.3	17.1	9.1	17.9	8.7	17.9
炭素価格 < 50米ドル/CO ₂ 換算t							
4	エネルギー供給 転換	2.2	4.2	5.6	8.4	6.7	12.4
5	運輸	1.5	2.3	1.5	2.3	0.5	1.9
6	建築	4.9	6.1	1.9	2.3	0.4	1.3
7	産業	2.2	4.7	1.6	4.5	2.2	4.3
8	農業	1.4	3.9	1.4	3.9	0.8	1.4
9	林業	1.0	3.2	1.0	3.2	0.2	0.8
10	廃棄物	0.4	1.0	0.4	1.0	0.8	1.0
11	合計	13.3	25.7	13.2	25.8	13.7	22.6
炭素価格 < 100米ドル/CO ₂ 換算t							
4	エネルギー供給 転換	2.4	4.7	6.3	9.3	8.7	14.5
5	運輸	1.6	2.5	1.6	2.5	0.8	2.5
6	建築	5.4	6.7	2.3	2.9	0.6	1.5
7	産業	2.5	5.5	1.7	4.7	3.0	5.0
8	農業	2.3	6.4	2.3	6.4	0.9	1.5
9	林業	1.3	4.2	1.3	4.2	0.2	0.8
10	廃棄物	0.4	1.0	0.4	1.0	0.9	1.1
11	合計	15.8	31.1	15.8	31.1	16.8	26.2

資料：表3.16、表3.17、表11.3
表3.16、表3.17、表11.3の注、附属書11.1を参照。

バイオエネルギーオプションは、2030年までに多くの部門で重要であり、その後も大きな成長ポテンシャルがあるが、供給-需要バランスに関する完全な統合研究は入手可能ではない。このような貢献に対する主要な前提条件は、農業における実践活動と均衡させたバイオマスの生産能力(エネルギー作物)の開発、輸送能力、市場ならびに第二世代バイオ燃料生産の商業化である。持続可能なバイオマス生産と利用は、土地と食料、水資源、生物多様性および社会経済的影響との競合

に関連する問題が障害を生じないことを確実にしうる(見解一致度：高、証拠量：少)[11.3.1.4]。

部門別の第4章～第10章で述べた緩和オプションとは別に、増強した温室効果ガスに対する地球工学的解決策が提案されている。しかし、大気から直接二酸化炭素を除去するオプション、例えば、大洋の鉄の肥沃化による、または太陽光を遮断することは、依然としてかなり推論的であり、未知の副作用



図TS.27: ボトムアップ研究による2030年の世界の緩和における部門別の経済的ポテンシャルの推計値。各部門の評価で仮定されたそれぞれのベースラインと比較した値であり、炭素価格に応じて地域別に示した。この図の説明の詳細はセクション11.3に示す。

注:

1. 各部門の評価における世界の経済的ポテンシャルの範囲を縦線で示す。この範囲は、排出量の最終用途への割合に基づくものである。すなわち、電力利用による排出量は、エネルギー供給部門ではなく、最終用途部門に算入される。
2. ポテンシャルの推計値は、論文が入手可能かどうか、特に高額な炭素価格での研究があるかどうかにより制約を受ける。
3. 部門それぞれ異なるベースラインを用いた。産業部門は、SRES B2をベースラインとして、エネルギー供給および運輸部門はWEO2004をベースライン、建築部門は、SRES B2とA1Bの間をベースラインとして、廃棄物部門は、SRES A1Bの主原動力を用いて、廃棄物部門独自のベースラインを作成、農業、林業部門は、主にB2を原動力とするベースラインを用いる。
4. 運輸部門においては世界規模の合計のみを示す。これは国際航空輸送が含まれるためである[5.4]
5. 除外されるカテゴリーは、建築部門および運輸部門の二酸化炭素排出量、物質効率オプションの一部、エネルギー供給部門の熱の生産とコジェネ、重量車両、海上輸送および乗客乗降率の大きい旅客輸送、建築物の高コストオプションの大半、廃水処理、炭鉱およびガスパイプラインからの排出削減、エネルギー供給および運輸部門のフロン類である。これらのカテゴリーの排出量が加わらないことにより全体の排出量は過小評価されるが、その範囲は10-15%である。

というリスクをもつ可能性がある。太陽光の遮断は、予測される大気中の二酸化炭素濃度の上昇には影響しないが、これに伴う温暖化を低減または除去しうる。二酸化炭素濃度と世界の気温との関連を分断することは、例えば、農業と森林の生産性を高める上で有益な結果をもたらしうるが(二酸化炭素による肥沃化が有効である限り)、大洋の酸性化などの他の影響を緩和または対処することにはならない。これらのオプションに関する詳細なコスト推定は公表されておらず、また実施のための明確な制度上の枠組みもない(見解一致度:中、証拠量:少)[11.2.2]。

部門横断的緩和コストおよびマクロ経済的成本

京都議定書を実施するコストは、米国が京都議定書を批准しなかったため、TARの推計よりかなり少なく推計されている。京都柔軟性メカニズムの完全な活用により、附属書B国(米国を除く)のGDPの0.05%以下と推定される(TARでは附属書B国のGDPの0.1~1.1%)。柔軟性メカニズムがなければ、コストは現在0.1%以下(TARでは0.2~2%)と推定される(見解一致度:高、証拠量:多)[11.4]。

2013年以後の緩和モデリング研究では、2030年までの二酸化炭素緩和の世界的な影響、必要とされる炭素価格およびそれらがGDPまたはGNPに与える影響に関連づけて評価さ

れている(2030年以後の長期安定化の影響に関しては第3章を参照)。カテゴリーIV¹⁹(二酸化炭素換算でおよそ650ppmでの安定化)の経路では、ベースラインの20%以下の二酸化炭素緩和、および、二酸化炭素1トン当たり25米ドルまでの炭素価格が想定されるが、研究では、このシナリオでは世界のGDPは最悪で2030年のベースラインからおよそ0.7%の低下となり、これは、第3章で示されたシナリオ群の、中央値0.2%、10~90パーセントイル範囲-0.6~1.2%という値と一致する。

より厳しいカテゴリーIII(二酸化炭素換算でおよそ550ppmでの安定化)の経路では、40%以下の二酸化炭素緩和および二酸化炭素1トン当たり50米ドルまでの炭素価格となるが、このシナリオにおける影響はさらに不確実であり、大部分の研究から、コストは全世界生産の1%以下を示唆しており、第3章のシナリオ群の、中央値は0.6%、10~90パーセントイル範囲は0~2.5%に一致する。繰り返すが、これらの推定は、アプローチと仮定に強く左右される。目標を達成するために高い二酸化炭素削減を要求するベースラインのいくつかの研究では、より高い炭素価格を要求し、大部分は高いGDPコストを報告している。カテゴリーIとIIにおいては研究(二酸化炭素換算で445~535ppmでの安定化)では、コストは3%以下のGDP損失であるが、研究の数が比較的少なく、一般的に低いベースラインを使用している。ここで評価した研

19 カテゴリーIIIおよびIV経路の定義に関しては第3章を参照。

究は、第3章で報告した一連の研究と比較して低めであるが、その主な原因は、政策、特に非常に厳しい緩和シナリオにより技術的改革が強化されるとしている研究が大部分を占めていることである(見解一致度：高、証拠量：中)[11.4]。

すべてのアプローチから、単一部門または技術では、緩和課題にうまく対処できないことが示唆され、様々な基準に基づいて多様化されたポートフォリオが必要であることを示している。トップダウン評価は、炭素価格が二酸化炭素換算でおよそ1トン当たり20～50米ドル(炭素換算1トン当たり73～183米ドル)になれば、大規模な燃料転換を推進するため、および、技術の成熟に伴ってCCS(二酸化炭素回収・貯留)や低炭素電源が経済的となるために十分であることを示している点で、ボトムアップ結果と一致する。この程度のインセンティブは、森林減少を回避する際にも重要な役割を果たす。様々な短期、長期モデルにおいて、異なる推定が導かれるが、その変動は、炭素税または許可からの歳入の用途、技術変化の扱い、国際的に取引される製品間の代替性の程度、および製品や地域市場の解離に関するアプローチと仮定によって大部分は説明できる(見解一致度：高、証拠量：多)[11.4, 11.5, 11.6]。

炭素価格とそれに対応する排出量削減の動向により、大気中の温室効果ガス濃度安定化レベルが決まる。モデルから、炭素価格が予測可能な範囲で、徐々に増加し、2020～2030年までに二酸化炭素換算1トン当たり20～50米ドルに達するのはカテゴリーⅢの安定化(二酸化炭素換算で550ppm)と一致することが示唆される。カテゴリーⅣ(二酸化炭素換算で650ppm)では、そのような価格レベルは2030年以後に到達することになる。二酸化炭素換算で450～550ppmレベルの安定化では、二酸化炭素換算1トン当たり100米ドルまでの炭素価格が、2030年頃までに達成される必要がある(見解一致度：中、証拠量：中)[11.4, 11.5, 11.6]。

すべての場合で、低安定化レベルに向かう短期的経路、特にカテゴリーⅢとそれ以下のシナリオでは、エネルギー効率、低炭素エネルギー供給、その他の緩和行動およびきわめて長期の炭素集中的資本への投資の回避に関する数多くの追加措置を必要とするだろう。不確実性の下で行なう意思決定に関する研究では、特に長期のインフラとその他の資本ストックに対する強力な初期の行動の必要性を強調している。エネルギー部門のインフラ(発電所を含む)だけで、2030年までに最低20兆米ドルの投資を必要とすると推定され、安定化オプションは、この投資の特徴と炭素集約度によって強い抑制を受ける。より低い炭素シナリオの初期の推定では、投資の大きな方向転換を示し、無視できる範囲から5%以下までの純追加投資が必要となる(見解一致度：高、証拠量：多)[11.6]。

政府行動のポートフォリオ分析に関して、一般的見解によれば、衡平とみなす方法(例えば、等しい割合の削減)で部門間の排出削減のバランスを保とうとするオプションのポートフォリオは、費用対効果で最初に導かれるアプローチよりコストがかかる可能性が高い。低炭素技術を含む部門間のエネルギーオプションのポートフォリオは、リスクとコストを低下させるだろう。これは、多様化による通常の利益に加えて、化石燃料価格が代替燃料価格と比べ不安定であることが予想されるからである。二つ目の一般的見解は、気候変動による損害と技術改革による利益という2つの市場での失敗を是正するオプションが合わさる場合、コストは低下することである。例えば、排出権の競売からの歳入をエネルギー効率と低炭素の技術革新を支援するために再利用することがある(見解一致度：高、証拠量：中)[11.4]。

部門横断的な技術変化

TAR以降の主要な進展として、内生的な技術変化が多くのトップダウンモデルにおいて採用されている。異なるアプローチを用いたモデリング研究から、内生的な技術変化は、TARの時点で使用したモデル(技術変化がベースラインに含まれると仮定され、緩和政策と行動に大きく依存しない)の大部分と比較して、炭素価格、およびGDPコストの実質的な低下となることが示唆されている。技術変化の誘発を考慮しない研究では、炭素価格が2030年までに二酸化炭素換算1トン当たり20～80米ドルまで、2050年までに二酸化炭素換算1トン当たり30～155米ドルまで上昇し、これは2100年までの二酸化炭素換算550ppmでの安定化と一致している。いくつかの安定化レベルにおいて、TAR以降の技術変化の誘発を考慮した研究によりこれらの価格は2030年までに二酸化炭素換算1トン当たり5～65米ドル、2050年までに二酸化炭素換算1トン当たり15～130米ドルと低くなっている。コストの削減における程度は、気候変動の緩和のための研究開発費用に対する見返りや、部門と地域間の波及効果、他の研究開発におけるクラウドディングアウト、学習理論を仮定したモデルにおける学習率によって大きく左右される(見解一致度：高、証拠量：多)[11.5]。

炭素回収と貯留、先進再生可能エネルギー、先進原子力および水素などの大きな技術移行は、学習理論による学習の蓄積および市場拡大などによる長期の移行を必要とする。そのため最終用途部門における効率の改善は、短期間においてより重要な機会を与える。このことは、2030年のポテンシャルにおいて建築と産業部門で比較的シェアが高いことにより明らかにされている(表TS.17)。他のオプションと部門は、今世紀後半でさらに重要な役割を果たすことになる。(第3章を参照)(見解一致度：高、証拠量：多)[11.6]。

附属書I国の緩和が非附属書I国に及ぼす波及効果

部門横断的な視点からみた緩和の波及効果は、他の国々の部門に及ぼす一国または国家間グループの緩和政策と措置の影響である。波及効果の1つの側面は、カーボン・リーケー

ジである。すなわち、国内措置を講じている国々における排出量を削減することにより、これらの国の外部における二酸化炭素排出量が増加することである。カーボン・リーケージの簡単な指標では、世界的排出量のパターンと大きさの変化を含む、影響の複雑性と範囲を網羅していない。モデリング研究では、規模の経済、エネルギー集約型産業の行動、貿易の弾力性、およびその他の要因に関する仮定により、カーボン・リーケージの広範囲な結果を提供している。TARと同様に、京都議定書の実施によるカーボン・リーケージの推定は一般的に、2010年までに5～20%の範囲である。EU排出量取引制度の下で税額控除をもつエネルギー集約型産業に関する実証的研究では、輸送コスト、地域市場の条件、製品の多様性および不完全な情報が地域生産に有利であることを強調し、カーボン・リーケージが重大となる可能性は少ないと結論付けている(見解一致度：中、証拠量：中)[11.7]。

既存の緩和行動が競争力に与える影響についての研究が行われている。実証的な証拠は、京都議定書の実施を行う国における競争力の低下は重大ではないことを示しており、これはTARの見解と一致する。附属書I国における技術開発からもたらされる途上国への技術移転の潜在的な便益効果は、エネルギー集約型産業において大きいかもしれないが、いまだ信頼性のある形で数量化されていない(見解一致度：中、証拠量：低)[11.7]。

1つの地域の緩和行動からの波及効果が他の地域に影響を及ぼす最も重要な状況の1つは、おそらく、世界の化石燃料価格に及ぼす影響によるものである。ある地域が緩和政策の結果として化石燃料需要を減少させる場合、その商品の世界需要が減少するため、価格の下降圧力がかかる。化石燃料製造者の反応次第で、石油、ガスまたは石炭の価格は下落し、製造者による収入の損失となり、消費者に対する輸入コストの低下となる。TARと同様に、評価されているほぼすべてのモデリング研究から、緩和措置を講じている大部分の附属書I国より石油生産国の方が顕著で有害な影響を受けることが示されている。石油価格保護戦略は、石油生産国における収入損失を制限することになる(見解一致度：高、証拠量：少)[11.7]。

緩和の共同便益

数多くの最近の研究において、炭素緩和戦略が人間の健康において重要な利益となることを証明しているが、これは主に、これらの戦略によって他の大気中の排出、例えば、SO₂、NO_xおよび粒子状物質も削減するためである。これは、アジアや南米諸国で毎年、何万という人、またヨーロッパで数千という人の早死を防止することになると予測される。しかし、死亡リスクの貨幣価値化には、依然として議論があり、そのため文献上では広い範囲の利益推定が見られる。しかし、すべての研究において、貨幣化された健康利益は緩和コストの実質的な部分を相殺する可能性があるということには一致している(見解一致度：高、証拠量：多)[11.8]。

加えて、大気汚染物質の排出の回避による利益は、農業生産および自然生態系に対する酸性雨の影響の関点から推定されている。このような短期の利益は、損失を伴わない温室効果ガス排出削減政策の基礎を与え、人為起源の気候変動の影響が現在の推計より少なかった場合でも、実質的な利点が生じる。人間の健康と農業の生産性以外の共同便益に含まれるもの(例えば、エネルギー安全保障と雇用の改善)は、さらにコスト節約効果を高めることになる(見解一致度：高、証拠量：少)[11.8]。

多くの新たな文献が指摘していることは、一つの措置と政策により同時に気候変動と大気汚染に対処することで、大気汚染制御のコストを大きく削減する可能性があるということである。これらの汚染物質およびトレードオフが存在する過程に対処するためには、統合的なアプローチが必要である。これは、例えば、自動車や硝酸プラントのNO_x制御によって一酸化二窒素排出量を増加させるような場合、またはエネルギー効率のよいディーゼル車の使用を高めることでガソリン車と比してより多くの微粒子物質を排出する場合などがある(見解一致度：高、証拠量：多)[11.8]。

適応および緩和

適応と緩和を支える複数の政策オプションの間には相乗効果またはトレードオフがある。相乗効果ポテンシャルは、バイオエネルギーオプション、土地利用管理、およびその他の土地管理アプローチにおいて高い。緩和と適応の相乗効果は、農村開発、特に最貧国において、独特の貢献を与える。すなわち、持続可能な天然資源管理に重点を置く多くの行動は、重要な適応利益を与えると同時に緩和利益も与え、その大部分は炭素滞留の形で行われる。しかし、その他の例では、エネルギー用の作物の増加が食糧供給や森林被覆に影響を与え、それにより、気候変動の影響に対して脆弱性を高める場合など、トレードオフもある(見解一致度：中、証拠量：少)[11.9]。

12 持続可能な開発と緩和

持続可能な開発と気候変動の緩和の関係

「持続可能な開発」の概念は、「環境と開発に関する世界委員会(WCED)」で採択され、持続可能な開発には、経済・社会・環境的なプロセスへの総合的かつ統合的なアプローチが必要であると合意されている。しかしながらこれまで、持続可能な開発について語る際には、主に環境面と経済面に焦点が当てられてきた。社会・政治・文化的な要因の重要性の認識が現在やっと深まりつつある。気候変動問題への対処を含め、持続可能な開発の道筋を明確にするには、統合が不可欠である[12.1]。

まだ初期の段階ではあるが、マクロレベルおよび部門レベルで開発の持続可能性を測定し、管理するために指標を使用することが増えている。これは、管理と戦略の決定に関する説明責任がますます重要視されていることも理由の1つである。部門レベルでは、持続可能な開発に向けた進展に関する産業や政府による測定と報告がはじめられており、とりわけ、グリーン認証、モニタリングツールまたは排出量登録簿(レジストリ)が使用されている。しかしながら、これらの指標の評価から、気候変動に関する進展を測定するためのマクロ指標がほとんどないことが分かっている(見解一致度:高、証拠量:多)[12.1.3]。

気候変動は、現在実施されている気候固有の政策(「climate first approach(気候を第一に考えたアプローチ)」)によってのみならず、選択された開発と当該政策の結果として生ずる開発の道筋(「development first approach(開発を第一に考えたアプローチ)」——第3次評価報告書(TAR)以後に発表されたグローバルシナリオの分析によって強化された点——の組み合わせによっても影響を受ける。このように、開発経路の変更によって開発をより持続可能にすることは、気候問題の目標に大きく寄与し得る。しかし、開発経路の変更は、地図に印された経路を選ぶのではなく、むしろ地図に載っていない、変化している地形から方向を探ることであると述べておく必要がある(見解一致度:高、証拠量:多)[12.1.1]。

さらに、持続可能な開発は、気候変動による影響に対するすべての諸国、とりわけ途上国の脆弱性を軽減するであろうと主張されてきた。環境問題としてではなく、開発問題として論争をとらえると同時に、根底にある開発経路に密接に関連している排出増の原因に対処することが、すべての諸国、とりわけ途上国の当面の目標と気候変動に対する途上国固有の脆弱性への対処を向上させるであろう[12.1.2]。

開発をより持続可能にする

持続可能な開発と気候変動の緩和に関する政策決定は、もはや政府の権限の範囲だけに留まらない。文献は、政府、民間部門、非政府関係者および市民社会からなる様々なレベルの貢献を取り込んだ、より包括的な統治の概念への移行を認めている。気候変動問題が、適切な実施レベルで立案の視点の一部として主流化されればされるほど、また、すべての関係当事者が有意義な方法で政策決定に関与すればするほど、より望ましい目標を達成できるようになるだろう(見解一致度:高、証拠量:中)[12.2.1]。

政府について言えば、政治理論は実質的に、国の政策スタイルまたは政治風土の存在を特定し、明らかにしている。この研究の基礎をなす想定は、特異的な問題のいかなる独自性または固有の特徴にもかかわらず、個々の諸国は、自国固有の方法——「物事を実行するためのその国独自のやり方」——で問題を処理する傾向があるということである。さらに、政策手段の選択は、政府がその手段を行使する制度的能力によって影響を受ける。これは、持続可能な開発と気候変動の

緩和に関する望ましい政策決定の組み合わせとその効果が国家の特性に大きく左右されることを意味する(見解一致度:高、証拠量:多)。しかしながら、特有の国民性をもつ諸国において、どの種の政策が最善の機能を果たすかについての我々の理解はまだ漠然としていると述べておかねばならない[12.2.3]。

民間部門は、生態学的管理および持続可能性の管理における中心的な役割を果たしている。過去25年の間に、企業レベルまたは産業レベルのいずれかで持続可能性の問題に対処すべく対策を講じている会社の数が漸進的に増加してきた。これまでも進展はみられたが、民間部門は、意識が向上すれば、将来、開発をよりいっそう持続可能にするためにさらに大きな役割を果たせる能力を有している(見解一致度:中、証拠量:中)[12.2.3]。

市民団体は、持続可能な開発の主たる要求者であり、持続可能な開発政策の実行における重要な行動者である。持続可能な開発プロジェクト自体の実行とは別に、彼らは意識改革、主張、運動を通して政策改革を推進できる。彼らはまた、政策の刷新・監視・調査の領域内も含め、格差を埋め、政策サービスを提供することで、政治行動を引っ張ることができる。相互作用は、連携(パートナーシップ)の形態をとることも、ステークホルダーの対話の形態を通しての場合もあり、これは、市民団体にとって、政府と産業の両方への圧力を増大するレバー(てこ)となる(見解一致度:高、証拠量:中)[12.2.3]。

慎重に討議を重ねた上での官民パートナーシップは、投資家、地方政府、市民団体が新しい技術の実施のため進んで協力する意志がある際に最も効果的に機能し、地方で採り入れられる技術について討議する場を創り出す(見解一致度:高、証拠量:中)[12.2.3]。

開発の選択が与える気候変動の緩和への影響

不均質で多様な世界において、異なった地域的な条件と優先事項を理解することは、持続可能な開発戦略内に気候変動政策を主流化するために不可欠である。地域固有および国家固有のケーススタディは、異なった開発経路と政策が、持続可能性と気候変動の目的を達成する能力に応じて、顕著な排出削減を達成できることを実証している[12.3]。

先進工業国においては、気候変動は、依然として特有の気候変動政策によって対処される別個の環境問題とみなされているのが主流である。気候変動全般、そして、とりわけ先進工業国における気候変動の緩和に対する開発経路の影響に関し、社会内の基本的かつ幅広い論議はまだ真剣には始まっていない。このグループ内の諸国にとっての優先的な緩和領域は、おそらく、エネルギー効率、再生可能エネルギー、CCS(炭素捕捉・貯蔵)などであろう。しかしながら、低排出のための経路はエネルギーの選択だけではない。一部の地域では、土地利用開発、特にインフラ拡張が将来の温室効果ガス排出量を決定づける重要な可変要素として特定されている

[12.2.1; 12.3.1]。

単一グループとしての経済移行諸国はすでに存在しない。それでも、中央ヨーロッパ、東ヨーロッパ、独立国家共同体は、社会経済開発、気候変動の緩和および持続可能な開発にいくつかの共通する特徴を実際に共有している。このグループにとっては、経済成長と排出増大を切り離す措置が特に重要であろう[12.2.1; 12.3.1]。

一部の主要開発途上国は、急速な工業化の段階にあることから、先進工業社会や他の途上国よりも急速に自国の排出量が増大すると予想されている。これらの諸国にとり、気候変動の緩和と持続可能な開発政策は互いに補完可能である。追加的な財政的・技術的なリソースは、低炭素での開発経路を遂行するこれら諸国の能力を高めることになろう[12.2.1; 12.3.1]。

その他の大半の途上国については、適応能力と緩和能力が低く、開発援助が気候変動に対するこれらの諸国の脆弱性の軽減を支援できる。開発援助はまた、排出増の低減を助けるとともに、エネルギーの安全保障と入手の問題に対処する。CDMはこうした進展のための財源を提供する。OPEC諸国は、化石燃料の需要を減らす開発経路からマイナスの影響を受けると考えられる点で特異的である。これらの諸国にとっては経済の多様化が優先事項である[12.2.1; 12.3.1]。

部門レベルでの開発経路の変更がどのように排出量を低下するか(低下できるか)について本章で再考したケーススタディからいくつかの一般的な結論が導きだされる(見解一致度：高、証拠量：中)[12.2.4]。

- 温室効果ガス排出量は経済成長の影響を受けるが、厳密に(経済成長と)関連しているわけではない。政策の選択によって差異が生ずる。
- 有効生産量が、同じ投入量で可能な最大生産量よりもはるかに低い部門——すなわち、その部門の生産フロンティアとかけ離れている部門——には、「win-win-win(すべてに有利な)」政策を採用する機会がある。つまり、リソースを解放し、成長を促し、その他の持続可能な開発目標を達成すると同時に、ベースラインに比較して温室効果ガス排出量も低減する政策である。
- 生産量が、入手可能な所定の最適な投入量に近い部門——すなわち、その部門の生産フロンティアに近い部門——もまた、その他の持続可能な開発目標を達成することで、排出量を低減する機会がある。しかしながら、生産フロンティアに近づけば近づくほど、取引量がより多くなるとみられる。
- 真の効果をもたらすために重要な問題は、遅滞なく一定の時点で「好ましい」選択をすることのみならず、当初の政策が長期間(時には数十年間)持続することである。
- 排出量に影響を及ぼすには、1つの政策決定だけでなく、一連の決定が必要なことが多い。これは、いくつかの部門における政策間の、そして多様な規模での調整の問題を提起している。

主流化には、途上国と先進国の両方において、非気候関連の政策、プログラムおよび／または個人的な行動に気候変動の緩和を考慮することが必要である。しかしながら、気候変動を既存の政治課題に単に抱き合わせるだけでは成功しそうにない。主流化の実現が容易か、難しいかは、緩和の技術・実践と根底にある開発経路の両方にかかっている。その他の開発の恩恵と気候の恩恵との比較が、主流化のための開発部門を選択する重要な根拠となるだろう。例えば、財務政策、多国籍開発銀行の貸出、保険業務、電力市場、石油輸入の安全保障、森林保全など、気候変動と関連がなさそうにみえる問題についての決定が、排出量、必要な緩和の度合い、および結果として生ずるコストと便益に多大な影響を及ぼすことがある。しかし、途上国の農村地域でのバイオマス(生物資源)での調理からLPG(液化石油ガス)への転換などの一部のケースでは、発展の恩恵と比べて排出増がわずかであるため、気候変動への配慮を無視した方が良い場合もある(表TS.18を参照)(見解一致度：高、証拠量：中)[12.2.4]。

一般論では、緩和と持続可能な開発の関連性についての本章内の質的な所見への合意度は高い。つまり、これら2つは関連していて、相乗効果とトレードオフを確認できる。しかしながら、この関連性についての文献——より具体的には、相乗効果を確保し、トレードオフを避けるためにこの関連性をどのように対策に採り入れられるかについての文献——はまだ少ない。異なった関係者の役割の分析など、関連する非気候政策に気候変動を考慮するためのすぐれた実践の指針についても、前記と同じことが言える。より狭義に着想した温室効果ガスの排出シナリオまたは気候変動を軽視したシナリオの域を超えて、国や地域が実行可能な開発経路を策定することが、関連性の新たな分析のための状況を提供できるが、それには新たな方法論的手段が必要となるだろう(見解一致度：高、証拠量：少)[12.2.4]。

持続可能な開発の道筋(trajectories)に対する緩和の選択による影響

持続可能な開発の他の側面と対立することなく、あるいはそれどころか、持続可能な開発に便益をもたらすような方法で緩和オプションを選択し、実行する可能性、またはトレードオフが不可欠な場合には、合理的な選択ができる可能性についての理解が高まっている。気候変動の緩和の主要なオプションが持続可能な開発に与える影響の概要を表TS.19に示している[12.3]。

表TS.18: 気候変動を開発の選択において主流化する—その実例 [表12.3]

部門	気候以外の政策手法および行動で、主流化の候補	一次意思決定者と実施者	非気候政策の対象となりうる部門別世界温室効果ガス排出量 (世界の温室効果ガス排出量に占める%) ^{a, d}		コメント
マクロ経済	気候以外の税金/助成金そして/または他の財政、規制政策で持続可能な開発を推進するもの	国家 (政府のあらゆるレベル)	100	世界の温室効果ガス排出量総計	経済、規制、インフラ面の非気候政策を組み合わせるなら、世界全体の排出量に対処できる可能性がある。
林業	森林保全および持続可能な管理手法	国家 (政府のあらゆるレベル)、市民社会 (NGOs)	7	森林減少による温室効果ガス排出量	森林減少を防止する法規制、森林管理の改善、別な生活の糧の提供により、温室効果ガス排出量を削減し、他の環境面の便益にも影響をおよぼす
電力	費用対効果の高い再生可能エネルギー、需要側管理プログラム、送電および配電での損失削減	国家 (規制委員会)、市場 (ユーティリティ企業)、市民社会 (NGOs、消費者団体)	20 ^b	電力部門のCO ₂ 排出量 (自動車製造業を除く)	温室効果ガス集約型発電の割合上昇は世界的な懸念。非気候政策で対処可能。
石油の輸入	輸入および国産の燃料資源比を多様化し、経済のエネルギー集約度を削減して、エネルギー安全保障を強化する	国家および市場 (化石燃料産業)	20 ^b	世界の原油生産および製品の輸入に伴うCO ₂ 排出量	石油の安全保障の懸念に対処するエネルギー源の多角化により温室効果ガス排出の抑制に資する
途上国地方部のエネルギー	地方部における、調理目的でのLPG、灯油、電力の利用を推進	国家および市場 (電力会社、石油会社)、市民社会 (NGOs)	<2 ^c	バイオマス燃料利用による温室効果ガス排出量、エアロゾルは含まない	地方部の調理用バイオマス利用は、屋内空気汚染による健康被害や温暖化を進めるエアロゾルを放出する。途上国の地方の、調理用バイオマスをLPGに転換すれば、排出量は7億tCO ₂ 換算となり、2004年の世界のGHG排出量と比して中程度の量。
建築部門および運輸部門の保険	保険料率の差異化、債務保証の除外項目、グリーンな製品の保険条件改善	国家および市場 (保険会社)	20	運輸、建築部門の温室効果ガス排出量	気候変動による損害拡大は、保険会社の懸念材料。保険業界は、上記のタイプの対策導入で対処可能
国際金融	各国および各部門の戦略、排出量を削減するプロジェクト融資	国家 (国際金融機関) および市場 (商業銀行)	25 ^b	途上国 (非附属書I国) からのCO ₂ 排出量	国際金融機関は、途上国のGHG集約型プロジェクトで将来確実に排出回避するプロジェクトに融資を行う方法を採用可能。

注:

- a) 特に断らない場合は、第1章のデータ
- b) 化石燃料の燃焼による二酸化炭素排出量のみ、IEA (2006年)
- c) 二酸化炭素排出量のみ、執筆者の推計値、本文を参照
- d) 排出量は2004年における当該部門の相対的な重要性を示す。部門別の排出量は相互に排他的ではなく、重複の可能性があるので、合計すれば、マクロ経済の列に記載されている世界の総排出量を超える。

表TS.19: 部門別統合オプションと持続可能な開発(経済的、地域環境、社会的)への配慮: シナジーとトレードオフ[表12.4]

部門と緩和オプション	持続可能な開発とのシナジーの可能性および実施のための条件	持続可能性とトレードオフとなる可能性
エネルギー供給と利用: 第4-7章		
全部門(建築、運輸、産業、エネルギー供給)でのエネルギー効率改善(第4-7章)	<ul style="list-style-type: none"> - ほぼいつでも費用効果がある、地方の汚染物質排出量を削減または排除し、このため健康にも(【訳注】プラスの)影響がある、屋内の快適さを改善、屋内騒音レベルを低減、ビジネスや雇用の機会をつくり、エネルギー安全保障を改善する。 - 政府と産業界のプログラムは、情報の欠如やプリンシパル-エージェント問題の克服に役立つ。 - 政府および産業界のあらゆるレベルで実施できる。 - 低所得世帯のエネルギー需要に十分配慮し、緩和オプションの実施プロセスや影響結果が、それ自体、あるいは結果として、性差別にならないようにすることが重要。 	<ul style="list-style-type: none"> - 途上国農村地域におけるバイオマス調理器具の熱効率改善が、屋内の大気汚染および健康にどう影響するかは不確実である。
運輸および建築部門の燃料転換(第5章と第6章)	<ul style="list-style-type: none"> - CO₂の削減コストは、健康上の利益増大により相殺される可能性。 - 公共交通および動力を使わない交通を促進する場合、相当な社会的便益が、一貫しておきる可能性。 - 途上国において、調理用および屋内暖房用の燃料を固形燃料から現代的な燃料に転換するなら、屋内の大気汚染を軽減し、女性の自由時間を増やす可能性がある。 - 中央政府と地方政府が協調して二酸化炭素削減計画を制度化することは、持続可能な輸送システムの共通戦略策定にとり重要。 	<ul style="list-style-type: none"> - ディーゼルエンジンの方がガソリンエンジンよりも燃料効率が良く、このため二酸化炭素排出量も低い。ただし微粒子の排出量が多くなる。 - 他の措置(CNG(圧縮天然ガス)バス、ディーゼル・電気ハイブリッド・バス、タクシーの更新)は、それほど気候便益がない可能性。
化石燃料の輸入から、国内代替エネルギー資源に切り替え。(DAES)(第4章)	<ul style="list-style-type: none"> - 費用効果性確保が重要。 - 地方の大気汚染物質排出量を削減。 - 新しく地場産業をおこせる(例、ブラジルのエタノールプログラム)。これにより雇用も生まれる。 	<ul style="list-style-type: none"> - 貿易収支の改善は、投資に必要な資本増加とトレードオフの関係にある。 - 化石燃料輸出国は、輸出の減少に直面する可能性がある。 - 水力発電所は、住民の移転を伴い、水系や生物多様性に環境被害をもたらす可能性がある。
国内の化石燃料に代わり代替エネルギーを輸入(IAES)(第4章)	<ul style="list-style-type: none"> - ほとんどの場合、現地の汚染物質排出量が削減される。 - DAESよりも早く実施できる可能性がある。 - IAESの費用効果を確認することが重要。 - エネルギー輸出国の経済社会は利益を得る。 	<ul style="list-style-type: none"> - エネルギー安全保障を弱める可能性がある。 - 貿易収支は悪化する可能性があるが、資本の必要性は減る可能性がある。
林業部門: 第9章		
新規植林	<ul style="list-style-type: none"> - 無駄な土地を減らし、土壌劣化を防止し、水流の管理を可能にする。 - 植林および伐採時の土壌の掘り起こしを最小限に抑えるなら、土壌炭素貯留量を保持できる。 - 農林園として実施可能であり、食料の生産量を増加できる。 - 農村部での雇用を生み、農村部産業を興せる。 - 所有権の明確化は、森林プログラムの実施を早める。 	<ul style="list-style-type: none"> - 希少な土地の利用をめぐる、農地用途と競合し、食料安全保障を弱体化すると同時に、食料品のコストは高くなる。 - 単一生物類の農園は、生物多様性を減少させる可能性があり、疾病に対する脆弱性が増す可能性がある。 - 洪水氾濫原や湿原の転換は生態系機能を損なう可能性がある。
森林減少の回避	<ul style="list-style-type: none"> - 生物多様性維持、水・土壌管理の便益、地方の降雨パターン保持。 - 森林火災による現地の霞や大気汚染を削減する。 - 適切に管理するなら、エコ・ツーリズムや、持続可能な伐採による木材の販売で、歳入を得る可能性がある。 - 実施の成功には、土地管理に現地の住民の参加を得、そして/または住民に別な生活の糧を提供し、移住者による森林地への侵入を防止するため、法律を施行する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> - 森林の開発において、特定の利害関係者(土地所有者、移民労働者)の経済的な福利を損なう結果となる可能性がある。 - 木材の供給削減により、木材の輸出が削減され、GHG集約的な建材の利用が増える可能性がある。 - 別な場所での森林減少を招き、その結果、持続可能性にも影響する可能性がある。
森林管理	<ul style="list-style-type: none"> - 新規植林の項参照。 	<ul style="list-style-type: none"> - 肥料の利用増加は一酸化二窒素の生産量や窒素の流出を増やす可能性があり、地方の(地下)水の質を劣化させる。 - 火災防止や害虫の駆除は、短期的な利益を与えるが、適正に管理しなければ、将来の火災時に燃える材料を増やしてしまう。

表TS.19 続き

部門と緩和オプション	持続可能な開発とのシナジーの可能性および実施のための条件	持続可能性とトレードオフとなる可能性
バイオエネルギー（第8章、第9章）		
バイオエネルギーの生産	<ul style="list-style-type: none"> - 作物の残滓（貝殻、わら、バグASSE、そして/または間伐材）を使う場合にはプラスである可能性が高い - 農村部での雇用を生む - バイオエネルギー専用の作物/樹木を植え付ける場合には、食料生産との競争を避けるため、適当な農地や労働力が利用可能なことを確認する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> - 生物多様性の喪失、水資源をめぐる競争、肥料や農薬の利用増加など、持続可能でない形で行われるなら、マイナスの環境影響をよぶ。 - (地方独自の) 食料安全保障や食料品の値上がりといった問題がおきる可能性。
農業部門：第8章		
耕作地管理 (栄養素、耕地、残滓、農林園、水、米、休耕の管理)	<ul style="list-style-type: none"> - 栄養素の管理改善は、地下水の質を改善し、耕作地生態系の環境面の健康を高める。 	<ul style="list-style-type: none"> - 水政策の変更は、権益同士の争いをよび、社会の結びつきを脅かす可能性がある。 - 水の過剰利用をまねく可能性がある。
放牧地管理	<ul style="list-style-type: none"> - 家畜生産性を高め、砂漠化を緩和し、貧困層に社会的な安定をもたらす - 自由な放牧を禁止するため、法律の制定・施行が必要 	
家畜管理	<ul style="list-style-type: none"> - 伝統的な米作と家畜の管理を組み合わせるなら、半乾燥地帯や乾燥地帯でも収入を増やすことができる 	
廃棄物管理部門：第10章		
メタンガス回収のため、埋立地ガスを回収し、衛生的な埋立地を作る	<ul style="list-style-type: none"> - 無法な投棄や廃棄物の野火をなくし、作業員および住民の健康と安全を改善できる。 - 埋立地を利用して、現地にエネルギー上の利益を提供、都市インフラに、娯楽や他の社会的な目的のための公共スペースを提供する。 	<ul style="list-style-type: none"> - 持続可能でない形で行われるなら、鉛の土壌浸出や地下水汚染の原因となる可能性があり、健康に悪影響を与える可能性がある。
廃棄物および廃水の生物処理プロセス（コンポスト化、嫌気性消化、好気性および嫌気性の排水処理プロセス）	<ul style="list-style-type: none"> - 発生源で分離した有機廃棄物または収集された廃水を用いて適正に実施されるなら、病原菌を排除し、利用可能な土壌の改良を生む可能性がある。 - 雇用を生む可能性がある。 - 嫌気プロセスは、メタンの回収と利用によるエネルギー上の便益を提供する可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> - 適正な管理やモニタリングが行われない場合、悪臭や水汚染の原因となる
焼却、その他の熱処理プロセス	<ul style="list-style-type: none"> - 廃棄物から最大のエネルギー便益を得る。 	<ul style="list-style-type: none"> - 管理された埋立処理やコンポスト化と比べて費用がかかる。 - 途上国では、技術インフラがない限り、持続可能でない。 - 重金属や他の大気有害物質の排出を防ぐため、大気汚染の管理や排出源での分離に追加投資が必要
リサイクル、再利用、廃棄物を最小限に抑制	<ul style="list-style-type: none"> - 現地雇用を生むと同時に、リサイクル製品の原料やエネルギーを削減する。 - NGOの努力や、リサイクル産業への民間資本の投資、環境規制の施行、コミュニティの生活から廃棄物処理や処分活動を分離するような都市計画は、有用。 	<ul style="list-style-type: none"> - ごみ処理を管理しない場合、ごみ収集で生活するものに、深刻な健康上、安全上の問題を引き起こす。 - 地方レベルのリサイクル産業発展には資本が必要。

注: この表に含まれる事項は第4章から第11章の内容から引用されている。新たな事項の紹介にあたっては、続く文章においてリファレンスが付されており、各部門の削減オプションにおける持続可能な発展の帰結が表現されている。

緩和オプションが持続可能な開発にもたらす便益は部門内でまたは各地域で異なる(見解一致度：高、証拠量：多)

- 一般的に、エネルギー、水または土地であれ、資源の使用によって生産性を向上する緩和オプションは、持続可能な開発の3つの局面のすべてに肯定的な便益をもたらす。他の範疇の緩和オプションの影響はより不確かであり、そのオプションが実行されることにより広範な社会経済的な状況に左右される。
- エネルギー効率などの気候関連政策は、経済的な利益をもたらすことが多く、エネルギー安全保障を向上し、汚染物質の局地的な排出量を低減する。現地住民の強制移転の回避、雇用創出、人間居住計画の合理化など、持続可能な開発のその他の便益を実現するために、多くのエネルギー供給緩和オプションの策定も可能である。
- 森林破壊を抑えることは、生物多様性、土壌、水質保護の多大な恩恵をもたらすが、一部のステークホルダーにとっては経済的福祉の損失を生ずることがある。適切に計画された植林とバイオエネルギー・プランテーションは、荒廃地の再生につながり、水の流出を管理し、土壌炭素を保持し、農村部の経済に利益をもたらすが、農業用地と競合することがあり、生物多様性にとってはマイナスになることがある。
- 大半の部門、とりわけ、廃棄物管理、運輸および建築の部門には、特にエネルギー消費と汚染を減らすことによる緩和策を通じ、持続可能な開発を強化する多大な可能性がある[12.3]。

13 政策、手段、協力協定

はじめに

本章は、国内政策手段とその実施——民間部門、地方政府および非政府組織のイニシアチブならびに国際協力協定——について論じている。実施可能な場合は常に、評価を可能にする4つの主要な基準——環境的有効性、費用対効果、分配面の考慮、制度的な実行可能性——に照らして国内政策と国際協力を論じている。競争力への影響や行政コストなど、同様に積極的に考慮可能と思われる多数のその他の基準もある。これらの基準は、複数の手段の中から事前選択する際および手段の成果を事後評価する際に政府が使用できる[13.1]。

国内政策手段および同手段の実行と相互作用

文献が依然として示しているのが、温室効果ガス排出量を制限または削減するために、政府が様々な国内の政策と措置を利用できる点である。それらの手段には次が含まれる：規則と標準、税金と賦課金、取引可能な排出権、自主協定、段階的に廃止する補助金・資金面でのインセンティブの提供、研究開発、情報手段。貿易、外国直接投資、社会開発目標に影響を及ぼすものなどの他の政策もまた温室効果ガス排出に影響を及ぼす。一般的に、気候変動政策は、他の政府の政策と統合された場合に、先進国と途上国両方における持続可能な開発に貢献できる(第12章を参照)[13.1]。

全部門とすべてのガスに及ぶ排出削減は、国家特有の状況に合わせて修正した一連の政策を必要とする。文献が所定の手段の利点と不利点を特定している一方で、上記の基準は、政策の選択と評価のために政策決定者によって幅広く使用されている。

すべての手段の設計は、優れていたり、お粗末だったり、厳密であったり、手緩かったり、または、政治的に魅力的であったり、そうでなかったりする場合がある。これらの手段は、時間の経過とともに調整され、監視や強制といった有効なシステムで補完される必要がある。さらに、各手段は、社会の他の部門内の既存の手段や規則と互いに影響しあうことがある(見解一致度：高、証拠量：多)[13.1]。

異なった手段が上記の基準をどの程度満たしているかを評価するための多大な情報を文献が提供している(表TS.20を参照)[13.2]。文献が示唆している最も顕著な事項は次のとおりである。

- 一般的に、規制措置と規制基準は環境面への確実性を提供している。これらは、情報不足や他の障壁があるために、企業や消費者が価格シグナルに対応するのを妨げられている場合に有効であろう。通常、規制基準は、汚染を軽減するための新技術を開発する動機を汚染者に与えるものではないが、規制基準によって技術革新が促進されるケースが多少ある。基準は建築部門では一般的な慣行であり、強力な革新策となる。温室効果ガスの削減のためだけに採用された規制基準は数少ないが、基準は相互的な恩恵として温室効果ガスを削減してきた(見解一致度：高、証拠量：多)[13.2]。
- 税金と課徴金(炭素またはすべての温室効果ガスに適用される可能性がある)は、これらが汚染防止の限界コストに関してある程度の保証を提供するために、費用効果の高さが評価されている。これらは特定の排出水準を保証することはできないが、税金は、概念的には、環境的な効果をもたらすように考案することができる。税金は、政治的に実施・調整するのは困難なことがある。規則と同様に、環境面への税の効果はその厳密性にかかっている。ほぼすべての他の政策手段の場合と同様に、予想に反する影響を防ぐために十分注意しなければならない(見解一致度：高、証拠量：多)[13.2]。

表TS.20: 各国の環境政策手法と評価基準 [表 13.1]

手法	基準			
	環境効果	費用効果性	分配要件	組織上の実施可能性
規制と基準	排出レベルを直接規定するが、例外もある。 猶予や遵守に依存する	設計に依存する；画一的な適用は、遵守コストを押し上げる可能性がある	公平な競争の場に依存する；小規模／新規参入者に不利な可能性	技術能力に依存する；市場機能が弱体な国の規制担当者には好まれる
税金と料金	行動の変化をもたらすレベルの税金を課すことができるかどうか依存	広範な適用が望ましい；組織が弱体な場合は管理コストが高くなる	逆進的；歳入の循環で改善できる可能性	政治的に歓迎されない場合が多い；制度が十分に発達しなければ施行は困難
取引可能な排出権	排出量ギャップ、参加、遵守に依存する	参加が限定的で少数の部門の場合は、費用対効果が低くなる	認可の初期割当に依存；小規模排出者には困難となる可能性	十分に機能する市場とそれを補完する制度が必要
自主協定	明確な目的、ベースライン、シナリオ、第三者の参画による設計とレビューおよびモニタリング条項の設計を含むプログラム設計に依存する	柔軟性、政府インセンティブ、報奨、罰金の制度により異なる	参加者だけが恩恵を受ける	政治的に歓迎されない場合が多い；相当数の行政管理スタッフが必要
助成金とその他のインセンティブ	プログラムの設計に依存；規制／基準ほどの明確さは無い	プログラムの設計、レベルにより異なる；市場をゆがめる可能性	特定の参加者のみが利益を得る。しかも必要の無いものが利益を得る可能性	利益を得るものには人気；既得権者の抵抗にあう可能性 段階的な解消が困難な可能性
研究開発	技術開発に際し、一貫した資金供与と普及政策に依存する 長期的に大きな便益となる可能性がある	プログラム設計とリスクの程度により異なる	当初は特定の参加者のみが利益を得る可能性 資金の配分を誤りがち	多くの異なる意思決定が必要；研究能力や長期的な資金供与に依存する

注：評価は、各手法の理論的完全性よりも、それがベストプラクティスを代表するものであるとの想定で決められた。この想定は、主に先進国での経験や文献に基づくものであり、これは、他の諸国では、各手法の効果性に関するピア・レビューされた論文が限定されているためである。
特定の国や部門、状況、特に開発途上国や経済移行国での適用可能性は大きく異なる可能性がある。環境面での効果や費用対効果は、各地の状況に合わせて、戦略的に組み合わせることで、増大する可能性がある。

- **取引可能な排出権**は、従来の汚染物質および温室効果ガスを部門、国家および国際レベルで規制する経済的手段としてますます人気が高まっている。許可された排出量が、炭素価格とこの手段の環境的效果を決定し、その一方で排出枠の分配は競争力に影響を及ぼす。経験から見て、金融面の規定が一時的な多大な柔軟性を提供でき、また、排出権制度を実施するのであれば、遵守規定を注意深く考案しなければならない（見解一致度：高、証拠量：多）。取引制度による排出削減価格の不透明感が、削減目標達成の総コストを事前に見積るのを困難にしている。[13.2]。
- **産業と政府間の自主協定と情報キャンペーン**は、政治的に魅力的であり、ステークホルダー間の意識を高め、多くの国内政策の展開を担ってきた。大半の自主協定は、通常業務で達成できる量を超えるほどの多大な排出削減を実現していない。しかしながら、最近のいくつかの協定は、利用可能な最善の技術の採用を促進しており、とりわけ、政府と産業との間の密接な連携がある諸国においては、ベースラインと比較し、無視できない程度の排出削減をもたらした（見解一致度：高、証拠量：多）。成功の要因は、明確な目標、ベースライン・シナリオ、設計とレビューへの第三者の参加、モニタリングに関する正式な規定などである [13.2]。
- **自主的な活動**：企業、下位国家 (sub-national) の政府、NGO、市民団体は、政府当局から独立した様々な自主的な活動を行っている。こうした活動は、温室効果ガス排出量を制限し、革新的な政策を刺激し、かつ、新しい技術の開発を推進すると思われる。しかし、これらの活動だけでは、国家レベルまたは地域レベルでの影響は限られている [13.2]。
- **資金面でのインセンティブ**（補助金と税額控除）は、新しい、低温室効果ガス排出技術の普及を推進するために政府によってしばしば採用されている。こうしたプログラムの経済的コストは他の施策よりも高くなることが多いが、これらは、新技術を浸透させる障壁を克服するために非常に重要なことが多い（見解一致度：高、証拠量：多）。他の政策と同様に、こうしたインセンティブプログラムは、予想に

反する市場への影響を避けるために入念な策定が必要である。化石燃料の使用と農業への直接的、間接的な補助金は多くの諸国で依然として広く利用されているが、石炭への補助金は、多くのOECD諸国と一部の途上国では過去10年の間に減少してきた(第2章、第7章、第11章も参照)[13.2]。

- **研究開発への政府支援**は特殊なタイプのインセンティブで、低温室効果ガス排出技術を短期的に可能にする重要な手段になりうる。しかしながら、多くのエネルギー研究プログラムへの政府の資金援助は、1970年代のオイルショック後に下降し、UNFCCCが批准された後も依然として変わっていない。研究開発への多大な追加投資および研究開発のための政策は、大気中の温室効果ガスの安定化を実現するための技術の商業化の準備態勢(第3章を参照)、および、その技術の配備と普及を促進するための経済的手段、規制手段を確保する必要がある(見解一致度：高、証拠量：多)[13.2.1]。
- **情報手段**——公開要件と呼ばれることがある——は、十分な情報を得た上での消費者の選択を可能にすることで、環境面の質に影響を及ぼすことができる。情報の提供が排出削減を達成できるとの証拠は非常に限られてはいるが、他の政策の効果を高めることはできる(見解一致度：高、証拠量：多)[13.2]。

環境的に有効な手段と経済効率の高い手段を組み合わせるには、対処すべき環境問題、他の政策分野との関連性、組み合わせる異なった手段間の相互作用について十分理解していることが必要である。実際、気候関連政策が完全に切り離して採用されることはまれである。それは、この政策が、環境・林業・農業・廃棄物管理・運輸・エネルギーに関連する他の国内政策と重複しているためであり、また、多くのケースで、1つ以上の手段を必要とするためである(見解一致度：高、証拠量：多)[13.2]。

下位国家(sub-national)の政府、企業、非政府組織(NGO)の取り組み

圧倒的多数の文献が、国内を基盤とした政府の手段を再考しているが、企業、下位国家(sub-national)の政府、NGO、市民団体もまた、温室効果ガスの排出量を低減するために重要な役割を果たすことができ、政府当局から独立して、様々な対策を採り入れている。企業の活動は、自主的な取り組みから排出目標にまで、また一部のケースでは企業内部の取引制度にまで及ぶ。企業が独自に活動する理由は、政府の対策に影響を及ぼしたい、または政府の対策を先制したい、金銭的価値を創出したい、企業とその製品を区別したい、などである。地域・国家・州(県)・地方の政府による活動には、更新可能なポートフォリオ標準、エネルギー効率プログラム、排出登録制度、部門間のキャップ・アンド・トレード機構などが含まれる。こうした活動は、国内政策に影響を及ぼし、ステークホルダーの懸念に対処し、新規産業を刺激するため、または環境保全上の相互的な利益をもたらすために実施されている。NGOらは、市民の権利の主張、訴訟、ステークホルダー間の対話を通して、排出削減プログラムを推進している。上記の活動の多くは、温室効果ガス排出量を制限し、革新的

な政策を誘発し、新しい技術の配備を奨励し、新しい手段の実験を促すだろうが、一般的に単独での影響は限られる。大幅な排出削減を達成するには、こうした行動が国内政策の変更につながるものでなければならない(見解一致度：高、証拠量：多)[13.4]。

国際協定(気候変動協定およびその他の協定)

UNFCCCとその京都議定書は、長期的な世界の環境問題を解決するための一手段として重要な先例となったが、気候変動と戦うための国際的な対応戦略の実施に向けた最初の一步にすぎない。京都議定書の最も顕著な成果は、一連の国家政策の誘発、炭素市場の創設、制度的な仕組みの確立である。参加国に対する同議定書の影響はまだ明らかになっていない。特にCDMは、プロジェクトの巨大なパイプラインとなり、多大な財源を動かしてきたが、ベースラインと追加性(additionality)の決定に関する方法論的課題に直面している。京都議定書はまた、排出権取引制度の展開も促進したが、全世界的な制度はまだ実施されていない。現在、京都議定書は控えめな排出限度によって制約されており、大気中濃度への影響は限られるだろう。第一約束期間後にさらなる削減を実現するための措置を実行し、全世界の排出量のより多くの部分に対処する政策手段を実施するならば、さらに効果的になるはずである(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

UNFCCCおよびその京都議定書の範囲内と範囲外の両方によって、排出削減を達成するための多数の選択肢が文献内に特定されている——例えば、排出目標の形態と厳密さの変更；部門間および下位国家(sub-national)の政府間の合意範囲の拡大；共通の政策の策定と採用；国際的な研究開発・実証(RD&D)技術プログラムの強化；開発を重視した活動の実行；資金調達手段の拡大(見解一致度：高、証拠量：多)。国際的な研究開発協力や協定の範囲内でのキャップ・アンド・トレードプログラムなど、多様な要素の統合が可能だが、異なった諸国が実施した取り組みを比較するのは複雑で多大なりソースを必要とする(見解一致度：中、証拠量：中)[13.3]。

成功裡の協定は環境的に有効で、費用効果が高く、分配の配慮と衡平性を採り入れたものでなければならず、かつ、制度的に実行可能でなければならないことが、文献で広く合意されている(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

将来的な国際協定のための可能な構造と内容に関する新しい文献が数多く入手できる。これまでのIPCC報告書で述べたように、気候変動は世界共通の問題であるため、そのアプローチが世界全体の排出量の大部分を対象にしていなければ、より高額のコストを要するか、または環境的効果が低くなる(見解一致度：高、証拠量：多)(第3章を参照)[13.3]。

文献が示す将来の協定のための大半の提案は、目標・具体的な活動・タイムテーブル・参加・制度的な取り決め・報告・遵守規定を論じている。その他の要素は、インセンティブ、非参加および非遵守の罰則に対処している(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

目標

明確な目標の詳細な設定は、いかなる気候協定にとっても重要な要素である。これらは短期的な方向性についての共通のビジョンを提供できるとともに、企業から求められているより長期的な確実性も提供する。目標の設定はまた、コミットメントと制度の構築を支援し、活動を促進する誘因となり、実施した措置の成功を判断する基準の確立を助ける(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

長期的な高い目標を選択することは、短期的な活動の必要性に多大な影響を及ぼし、そのため、国際的なレジームの設計も必要になる。削減コストは目標および地域によって異なり、地域間の排出枠の割当と参加レベルに左右される(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

国際的なレジームの設計のための選択肢には、短期・中期・長期的な目標を採り入れることができる。1つの選択肢は、長期的な温室効果ガス濃度の目標または気温安定化目標を設定することである。こうした目標は、回避すべき物理的影響に基づくか、または概念的には、回避すべき金銭的および非金銭的な損害を基準とすることが可能であろう。具体的な二酸化炭素濃度または気温の水準への合意に代わるものとしては、技術研究開発や普及目標——例えば「2060年までにエネルギー部門からの炭素排出をなくす」——など、具体的な長期的な行動への合意がある。こうした目標の利点は、具体的な行動と結びつく可能性があることである(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

もう1つの選択肢は、世界的な排出に対するより短期的な目標として定義されている「ヘッジング戦略(hedging strategy)」の採用であろう。これを基にして、様々な望ましい長期的な目標を達成することも可能である。短期的な目標を達成したならば、新たな知見と低下した不確実性の水準に照らして、次のステップを決定することができる(見解一致度：中、証拠量：中)[13.3]。

参加

国際的な協定への国家の参加は2、3から多数の協定に及ぶことがある。参加国が実行すべき行動は、いつ実施するか、そして、誰がどんな行動を実行するかの両方に違いを付けることができる。同じ「Tier(段階)」に入る国家は、同じ(または、

ほぼ類似した)タイプのコミットメントが与えられるだろう。各国家を各Tierにどのように割り当てるかの決定は、正式化した数量的基準もしくは質的基準を基にするか、または「臨機応変(ad hoc)」に決定できる。各国家は、主権の原則に基づいて、自国が一員となるTierを選ぶことができる(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

協定への参加は固定的な場合もあるが、時間とともに変化する場合もある。後者の場合、国家は、あるTierのコミットメントを「卒業」し、次のTierに移ることができる。卒業は、排出量、累積排出量、1人当たりGDP、気温情報への相対的寄与率、または人間開発指数のような他の開発基準など、その協定で事前に定義されている一定のパラメータ(またはパラメータの組み合わせ)の数量的閾値の通過と結びつけることができる(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

国際的な協定を有効にするには、大量排出国のみを参加させる必要があると主張する者もいるが、それは15大国(EU25カ国を1国として)が世界の温室効果ガス排出量の80%を排出しているためである。しかし、歴史的な責任を有する諸国がまず行動すべきと主張する者もいる。また、一方では、気候変動の世界的な解決策として技術開発が非常に重要な要因であり、協定は、附属書I国における技術開発に特に焦点を当てる必要があると考える者もある——それによって、非附属書I国における一部またはすべての排出のリーケージ(プロジェクト境界の外側でプロジェクトに伴って生ずる排出量の増加)を相殺できるだろう。その他、気候レジームは緩和だけにとどまらず、適応も含まれ、非常に多様な諸国が気候に脆弱であるため、各国がいずれかの協定に参加すべきであると提言する者もいる(見解一致度：高、証拠量：多)[13.3]。

レジームの厳密さ：連携目標、参加、時期

衡平性についての大半の解釈に基づく、先進諸国がまとまって、2020年までにその排出量を大幅に削減し(1990年水準よりも10%から40%減)、さらに2050年までには水準を低度から中度の安定化レベル(二酸化炭素換算で450–550ppm)へと引き下げる必要があるだろう(1990年水準よりも40%から95%減)(第3章を参照)。こうした安定化レベルのために検討された大半のレジーム設計によると、今後20年から30年以内に、途上国の排出量を予想された自国のベースライン排出量よりも低下させる必要がある(見解一致度：高、証拠量：多)。大半の諸国にとり、長期的な意欲的な水準を選択することが、排出削減レジームの設計よりも重要になるだろう[13.3]。

全世界的な総コストは、ベースライン・シナリオ、限界削減コストの見積り、仮定された濃度の安定化レベル(第3章と第11章も参照)、参加のレベル(連携の規模)と度合い(排出枠をどのように、いつ割り当てるか)に大きく左右される。例えば、いくつかの大量排出地域が削減に直ちに参加せずに、目標がそのまま維持されれば、参加地域の世界的なコストはさらに高くなる(第3章も参照)。地域的な削減コストは、地域への排出枠の割当、とりわけ割当の時期に左右される。しかしながら、地域的なコストを判断するためには、安定化レベルとベースラインの仮定がより重要である[11.4; 13.3]。

コミットメント、タイムテーブル、行動

かなり多くの新しい文献が、異なったグループによる引き受けが可能と思われるコミットメントのための一連の多様なオプションを特定し、評価している。最も頻繁に評価されているコミットメントのタイプは、京都議定書に記載されている附属書I国に対する拘束力のある絶対的な排出削減量（キャップ）である。文献のおおまかな結論は、こうしたレジームは、参加国の将来の排出水準についての確実性を提供するという点である（キャップを守ったと仮定して）。多くの執筆者が、排出権取引および／またはプロジェクト基盤の仕組みを通して、多数の温室効果ガスと各部門や多数の諸国を取り込んだ、多様な「柔軟な」アプローチを利用して、キャップ（上限）を守ることを提案している（見解一致度：高、証拠量：多）[13.3]。

様々な執筆者が、将来的にはすべての諸国に絶対的なキャップを適用することを提案している一方で、多くが、こうした厳密な方法は経済成長を不当に制限するとの懸念を提起している。全員の一致をみるアプローチはまだ出現していないが、文献は「動的な目標（dynamic targets）」（時間の経過とともに義務が変動する場合）および価格制限（遵守コストの上限を所定の水準に設定——コストを制限しつつ、環境目標を凌ぐことにつながるだろう）を含め、この問題に対処するための複数の代替案を提示している。これらのオプションは、遵守により柔軟性をもたせながら、国際的な排出権取引の利点の維持を目指している（見解一致度：高、証拠量：多）。しかし、排出水準を達成する際にコストと確実性の間のトレードオフが生ずる[13.3]。

市場メカニズム

国際市場を基盤としたアプローチは、それらが広範な諸国と部門を取り込んだ場合に、気候変動への費用効果の高い対処手段となる。国内の排出権取引が整備されているのはまだわずか2、3にすぎない。こうした制度の設立のために最大の努力を払ってきたEU ETSは、11,500を超えるプラントに排出枠を割り当て、その売買を認めている（見解一致度：高、証拠量：多）[13.2]。

クリーン開発メカニズム（CDM）が急速に展開している。政府、多国間組織、民間企業が、主としてCDMを通じた炭素削減プロジェクトのための炭素基金にはぼ60億ドルを蓄積している。CDMプロジェクトを通じた途上国への資金の流れは、年間数十億ドルを超える水準に達している。これは、エネルギー重視の開発支援の流れである「地球環境ファシリティー」からの流れよりも多額であるが、すべての外国直接投資（FDI）の流れよりも少なくとも1桁少ない。そのため、現在、技術移転におけるCDMの役割は限定されている（見解一致度：高、証拠量：多）[13.3]。

多くの者が、気候変動協定を成功させる重要な要素は、それなしには大規模な排出削減の達成が困難な技術開発と技術移転を促進する能力であると強く主張した。途上国への技術移転は主に投資にかかっている。投資と技術の採り入れと国際的な技術協定を可能にする状況を生み出すことが重要であ

る。技術移転のための1つの仕組みは、気候変動を緩和し、これに適應するための増分コストをカバーする投資を動員する革新的な方法の確立である。国際的な技術協定は知識基盤を強化できるであろう（見解一致度：高、証拠量：多）[13.3]。

多数の研究者が、部門別の取り組みがポスト京都協定の適切な枠組みを準備できると提案した。こうした方式に基づいて、特に重要な、政治的に見て対処がより容易な、そして他の部門との競争から一様にまたは比較的孤立している特定の部門または産業から着手し、具体的な目標を定めることができるだろう。部門別の協定は、政策によりいっそうの柔軟性を提供することができ、各国間の部門内の取り組みの比較を容易にするだろう。しかし、単一部門内の取引は、全部門間の取引よりも本質的に高コストとなるために、費用効果は低くなるとみられる（見解一致度：高、証拠量：多）[13.3]。

政策の調整／統一

調整された政策と措置は、国際的に合意された排出削減目標の代替策または補完策になりうるだろう。この目標を達成するための多数の政策が文献内で論議されてきた。それらは、税金（炭素税またはエネルギー税など）；貿易調整／自由化；研究開発；部門別政策；外国直接投資を変更する政策などである。ある提案によれば、すべての参加国——先進工業国および途上国も同様に——が共通の率で国内の炭素使用に課税することで、高い費用効果を達成できるだろう。諸国間の炭素価格の統一は経済的効率が高い一方で、税の歪みがある現状では政治的に実施不可能であろうと言及する者もいる（見解一致度：高、証拠量：多）[13.3]。

非気候政策および持続可能な開発との関連

国家レベルおよび準国家レベルで講じられた政策・措置と民間部門が実施した行動の間、そして、気候変動の緩和・適応策と他の領域内の政策との間には多大な相互作用がある。温室効果ガス排出量に重大な影響を及ぼす多数の非気候の国内政策がある（第12章を参照）（見解一致度：高、証拠量：多）。将来の国際協定に関する新しい研究は、気候政策・非気候政策と持続可能な開発との間の相互の関連性の理解、そして既存の技術と政策手段の採用をどのように迅速化するかに焦点を当てることができるだろう[13.3]。

上に述べたように、国際的な気候変動協定に向けた様々なアプローチが、「はじめに」に示した基準に対してどのように対処しているかの概要を表TS.21に示している。将来の国際協定は、これらの基準を満たしていれば、より強力な支持を得られるであろう（見解一致度：高、証拠量：多）[13.3]。

表TS.21: 気候変動に関する国際協定の評価^{a)} [表 13.3]

手法	環境効果	費用効果	配分上の配慮	組織的な実現可能性
国別排出量目標および国際排出量取引 (オフセットを含む)	参加率や遵守率による	参加が限定的で、ガスの種類や対象となる部門が削減される場合には低下	初期の割当により異なる	目録策定能力および遵守に依存。欠陥がある場合は体制の安定性を弱める。
部門別協定	全ての部門が協定に好意的とは限らず、全体の効果は限定的。協定が拘束力のあるものかどうかで効果は異なる	部門横断の取引がない場合、全体コストが増大、ただし個別の部門によっては、費用効果が高い可能性もある。各部門内の競争面の懸念は軽減。	参加率により異なる。世界レベルで公平に取り扱うなら各部門における競争力面の懸念は軽減	多くの独立した意思決定が必要、また技術能力も必要。協定を管理するには、各部門において国境を越える組織設立が必要となる可能性。
政策措置の協調	個別の措置の方が効果的である可能性がある。排出レベルは不確実。遵守率で、成功するかどうかが決まる。	政策設計により異なる	協調の度合いは、各国の柔軟性で限定される可能性がある。ただし平衡性は高まる可能性がある。	参加する国の数により異なる (地球規模より少数の国のグループの方が容易)
技術開発・展開における協力 ^{b)}	資金、技術開発の時期、普及政策により異なる。	研究開発のリスクの程度により異なる。協力は、個々の国のリスクを軽減する。	知的財産権への配慮で、協力による便益が相殺される可能性	多くの異なる意思決定が必要。研究能力や長期にわたる資金供与に依存する。
開発重視の行動	各国の政策やシナジーを生む設計かどうかにより異なる。	他の開発目標とのシナジーの程度に依存	開発政策の配分効果により異なる	国内政策における持続可能な開発の優先度、各国国内組織の目標により異なる。
資金メカニズム	資金調達に依存する。	国やプロジェクトのタイプに依存	プロジェクトや国の選択基準に依存	各国の国内組織に依存する
キャパシティビルディング	時間経過により異なり、また必要な絶対量に依存。	プログラムの設計に依存	受益者グループの選択により異なる	国および組織の枠組に依存

^{a)} この表は、世界の環境上の目的の達成に関連してではなく、内的な目的を達成するためのキャパシティに基づいて検討されている。もしこうした目的が達成される場合は、各手段の組み合わせが採択される。全てのアプローチが文献において等しい評価を得ている訳ではなく、マトリックスにおける各々の要素の根拠は異なる。

14 知識上のギャップ

知識上のギャップは、気候変動の緩和の2つの局面に当てはまる。

- 追加のデータ収集、モデリングおよび分析によって知識上のギャップを縮小することができ、その結果深まった知見と実証的な経験が気候変動の緩和策と政策の意思決定を支援できる場合。このギャップは本報告書における不確実性の記述の部分にある程度反映されている。
- 研究開発が緩和技術を改善可能であり、かつ／またはそのコストを軽減可能な場合。この重要な局面は、本セクションでは取り上げていないが、関連する各章で取り上げている。

排出データセットと予測

本報告書を裏付ける多種多様なデータソースとデータベースにもかかわらず、部門別および特定のプロセス別の正確かつ信頼できる排出データにはまだギャップ(欠落部分)がある。これは特に、非二酸化炭素の温室効果ガス、有機炭素、黒色炭素、および森林破壊、バイオマスの腐朽、泥炭火災などの様々な発生源からの二酸化炭素について当てはまる。将来の温室効果ガス排出シナリオの基礎となる方法論において、非二酸化炭素の温室効果ガスの一貫した扱いが欠けていることが多い[第1章、第3章]。

気候変動と他の政策との関係

本報告書で新たに採用した重要な点は、(持続可能な)開発政策が温室効果ガスの排出水準に与える影響とその逆の影響など、気候変動の緩和の評価とより広範な開発の選択との間の統合的なアプローチである。

しかしながら、持続可能な開発と気候変動の相互依存性と相互作用および開発面に関連する緩和・適応関係の相互依存

性と相互作用の規模と方向性、ならびにこれら両方の衡平性の意味合いに関する実証的証拠がまだ不足している。緩和と持続可能な開発との間の関係、そしてより具体的には、国家、市場および市民社会の役割を考慮した上で、どのように相乗効果を獲得し、トレードオフを最小化するかについての文献はまだ少ない。気候変動と、政治的に実行可能な、経済的に魅力的な、環境に有利な結果をもたらす国・地方の政策（エネルギー安全保障、水、保健、大気汚染、林業、農業など）との関連を研究する新たなリサーチが求められている。国家や地域が実行でき、気候保護と開発問題の間を関連付けられると思われる潜在的な開発経路を詳細に計画することも有益であろう。マクロ（巨視的な見方）の採用——進歩を追跡できる持続可能な開発の指標——は、こうした分析を助けるだろう[第2章、第12章、第13章]。

コストおよびポテンシャルの研究

緩和のポテンシャルとコストについて入手できる研究は、方法論の扱いが異なり、すべての部門、温室効果ガスまたは諸国を網羅しているわけではない。例えば、ベースラインについて、およびポテンシャルとコストの定義についてなどの想定が異なっているために、これらの比較可能性は制限されていることが多い。さらに、緩和のコスト・ポテンシャル、経済移行国に属する諸国および大半の途上地域のための緩和手段に関する研究の数は、先進国と一部の（主要な）途上国についての方がより少ない。

本報告書は、部門別の分析からのボトムアップのデータと統合モデルからのコストとポテンシャルのトップダウンのデータを基にして、コストとポテンシャルの研究を比較している。部門レベルでの一致がまだ限定されているのは、特に、ボトムアップの研究に関するデータの不足と不完全性、および部門の定義とベースラインの想定が異なっているためである[第3章から第10章]。

もう1つの重要なギャップは、スピルオーバー効果（国内または部門別の緩和措置が他の諸国や部門に与える影響）に関する知見である。調査は、広範な影響（京都議定書の実施によるリーケージの影響²⁰は、2010年までに5%から20%の間）を指摘しているが、実証的な根拠に欠けている。そのため、より多くの実証的研究が有用であろう[第11章]。

将来的な緩和のポテンシャルとコストについての理解は、研究開発・実証が技術性能の特性に与えると予想される影響に左右されるだけでなく、緩和研究にあまり考慮されていない「技術学習(technology learning)」および技術の普及と移転に与えると予想される影響に左右される。技術の変化が緩和コストに与える影響についての研究の大半は、実証的な根拠に乏しく、矛盾していることが多い。

緩和ポテンシャルの実行は他の活動と競合することがある。例えば、バイオマスの将来性は多大であるが、食糧生産、林業または自然保護とのトレードオフが生ずるだろう。バイオマスのもつ将来性を今後どの程度活用できるかはまだよく分かっていない。

一般論として、気候緩和技術の採用率が、国および地域の気候政策・非気候政策、市場メカニズム（投資や変化している消費者の好み）、人間の行動と技術の進化、生産システムの変化、貿易・金融、制度的取り決めにどのように関連するかについて理解を深めることが引き続き必要である。

20 炭素リーケージとは漏出の一面であり、国内措置を講じている国の外部での二酸化炭素排出量の増分をそれらの諸国内の排出削減量で割ったものである。