

平成 26 年 4 月 11 日

RITE システム研究グループ

IPCC 最新報告および国際的な最新のシナリオ分析動向を踏まえた 長期の温室効果ガス排出削減パスと中期の排出削減分担の分析

【要旨】

本研究では、最新の IPCC 報告や最新のデータを踏まえつつ、長期の世界の温室効果ガス排出削減パスの可能性について、モデルを用いた分析・評価を行った。また、その長期の世界排出パスのうち、2030 年について国際衡平性の視点からの分析も行った。国内においてはとりわけ原子力発電の見通しが不透明であり、原子力発電シナリオの違いによる経済的な影響についても同時に分析・評価を行った。これらの分析によって、COP19 で各国に提出が要請され、今後議論が活発化すると見られる 2020 年以降（2030 年）の排出削減目標への示唆を得た。

- 2007 年出版の IPCC 第 4 次評価報告書 (AR4) では、最も低いレベルのシナリオとして 450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオも取り上げられ、多くのシナリオの中で整理された。450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオは、温室効果ガス (GHG) 濃度が 450 ppm CO₂-eq の状態が持続し、気温上昇が平衡状態に達したときの気温が、産業革命以前比 2℃以内に収まる可能性があると考えられた。このシナリオを基に、その後の気候変動国際交渉において、いわゆる 2℃目標が取り上げられることとなり、また、G8 などにおいては、世界排出量を 2050 年までに半減するという目標が取り上げられてきた。
- しかしながら、450 ppm CO₂-eq 安定化（≡そのとき平衡気温で産業革命以前比 2℃以内）シナリオは、中国等の途上国を中心とした GHG 排出増に伴った世界排出量の増大により、仮に実現しようとするれば、2030 年までに潜在的に増大傾向が続く世界排出量を、2010 年比で 50%以上も削減しなければならず、このシナリオの実現はまず不可能といえることができる。
- 温暖化緩和シナリオ分析の専門家の間では、あまり明確に語られることもないままにも、450 ppm CO₂-eq 安定化はまず不可能であるため、AR4 で示された 450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオではなく、産業革命以前比 2℃安定化シナリオ（濃度変化と気温変化との間には時間遅れがあるため、濃度のオーバーシュートを認めれば、2℃を超えない排出パスを見いだせる）が分析の検討対象に移ってきていた。この場合、450 ppm CO₂-eq 安定化は緩やかな目標となるものの、それでも、近年の世界排出量の増大によってこの達成はかなり困難と見られる。すなわち、この目標実現のためには、現状から世界排出量をほとんど増大させることがないまま、低減に転じていかなければならず、現実感を持ってみるとまず不可能と考えられる（2030 年には世界の GHG 排出量を 2010 年比で約 10%削減することが必要で、途上国の潜在的な排出増大を考えるとまず不可能と考えられる）。このとき 2050 年の限界削減費用も相当高いもの

となる。

- そのため、2℃目標は維持しつつも、2100年に2℃としつつ、それまでは少し2℃を超えることも許容し、2050年もしくは2100年以降の技術革新をめざし研究開発を充実させ、そこで大幅に排出削減を行っていくオーバーシュートシナリオを目指すか、もしくは、もっと現実的に2.5℃程度の安定化（1986-2005年比で1.8℃程度の上昇での安定化）を目指すかなど、より柔軟な対応を行う必要性に迫られているのが現状である。「2℃目標」が定着していて国際的に修正が容易でないならば、「産業革命以前比2℃安定化」目標を、「現状比2℃以内」目標にすることも一案と考えられる。
- IPCC WG2の最新の報告書（第5次評価報告書（AR5））では、1986-2005年比で2℃上昇（産業革命以前比では2.7℃程度の上昇）を超える場合のリスクを強調しており、それとの整合性からもこのような長期目標の変更は十分許容の範囲内であるし、IPCC AR5におけるこれまで以上の警告的な指摘を踏まえても、むしろ合致した目標と考えられる。いたずらに「産業革命以前比2℃」（現状比1.3℃上昇程度）目標に拘れば、短中期で実現不可能な削減の各国割り当てを議論し続け、無駄な時間を浪費することになり兼ねないと考えられる。IPCC AR5やここで示したような最新の排出シナリオ分析の結果を踏まえて、再検討を行うのが望ましい。
- 2050年に必要となる世界のGHG排出削減は2010年比で2℃安定化目標の▲42%に対して、2℃オーバーシュートシナリオでは▲30%程度、2.5℃目標では▲20%程度（2℃安定化目標でも気候感度が2.5℃であれば同様）となり、かなり緩和される。世界排出量を1990年もしくは2005年比で半減というこれまでに主に議論されてきた目標から、世界排出量を現状比（2010年比）で2～3割削減といった目標への変更を検討すべきである。
- EUは2030年目標として1990年比▲40%目標を検討中であるが、これは2℃安定化目標、世界排出量が2050年に半減、そしてこれに基づいて先進国は2050年に▲80%を前提として、掲げてきた目標である。しかし、上記で指摘したように、2℃安定化目標が相当困難であり、2℃オーバーシュートシナリオや2.5℃目標などを検討すべき段階である（なお、2.5℃目標の排出パスであっても、気候感度が想定3℃よりも実際には低く2.5℃程度ということになれば、実際には2℃は達成可能でもある）。また、IPCC WG2のAR5は現状比2℃を上回る上昇の危険性の強調が多く（産業革命以前比では2.7℃相当）、IPCC報告書の警鐘的な指摘を踏まえても、産業革命以前比2.5℃はそれに十分収まるものである。そうしたときに、日本は必ずしもEUの▲40%目標をターゲットに日本の目標を策定する合理性はないと考えられ、より合理的な目標を志向すべきである。また、日本の2050年80%削減目標もむしろ有効な現実感の伴った排出削減対策を阻害しかねない場合もあるため、目標の再検討も含め、柔軟性を持って考えるべきである。
- 費用効率的な排出削減は大変重要であり、この点からも基本的には国内対策としては限界削減費用が世界で均等化するような対策を目指すべきである。一方で、衡平性の指標は様々な考えられ、世界すべての国による削減努力を考えると、GDP比費用均等化を中心に（一人当たり排出量均等化にも）目を配る必要がある。このとき2030年の日本が負うこととなる限界削減費用は、2.5℃安定化目標の場合、GDP比費用均等化では140 \$/tCO₂程度、一人当たり排出量均等化では180\$/tCO₂程度と推計された（2℃オーバーシュートシナリオの場合は2030

年頃までは許容排出量が 2.5℃安定化目標よりも若干大きいため、もう少し低い CO₂ 限界削減費用になると考えられる)。限界削減費用均等化のときの限界削減費用は 25\$/tCO₂ 程度であるため、できる限りこれに近い対応を日本も取りつつ、他の衡平性指標との差については、国際貢献を基本としつつ、できる範囲で国内対策の深堀を行うことが望ましいと考えられる。

- なお、国内対策の深堀は、経済的な影響を考えると、やはり原子力が主にならざるを得ないと考えられる。例えば、2.0℃安定化目標の場合で限界削減費用が世界で均等化のケースにおいても、原子力が 2030 年にゼロの場合は GDP 損失は 1.3%程度（年 8.4 兆円程度）と相当大きなものになってしまう。更には GDP 比費用均等化の場合、限界削減費用がより高い対策まで実施する必要があるが、原子力代替として比較的安価な石炭発電の利用も難しくなるため、GDP 損失は 3.3%程度（年 21.4 兆円程度）にも及ぶと推計される。また、CCS も比較的安価な CO₂ 削減策としては重要と考えられる。
- 世界排出量増大なども手伝って IPCC AR4 ベースの考え方の 2℃目標は現実性が全く無くなっている。IPCC AR4 以降、2℃目標の考え方も様々であり、最新の国際的な分析でも示されてきた。また本研究でもそれを示した。更には 2.5℃目標の方が最新の気候変動影響被害の見通しを含めてもむしろ整合性があると考えられることなど、最新の科学を正しく理解することが重要である。そして 2030 年の中期の目標にはかなり柔軟性があるという認識がまず極めて重要である。2030 年の世界排出許容量のようなものが一意に存在するかのような誤った理解をし、その割り当てをすべきという考え方をとった不毛な議論は生産的ではなく行うべきではない。現実を踏まえ、かつ IPCC を含めた最新の科学を正しく理解し、ここで示したような科学的・定量的な分析をベースにし、中期のプレッジおよびそのレビュー（長期目標の排出パスと大きくずれていないか、国際衡平性の視点でどうか等のおおよその評価）を検討していくべきである。

要約表 1 本研究で検討を行った長期の世界排出削減シナリオとその分析・評価

	産業革命以前比の全 球平均気温上昇 (括弧内は 1986 ～2005 年比)		等価 CO ₂ 濃度			2030 年 GHG 排出 (2010 年比)	2050 年 GHG 排 出 (2010 年 比)	CO ₂ 限界削減費 用	
	2100	2300	2100	2300	ピーク時			2030	2050
450 ppm CO ₂ -eq 安 定化シナリオ	1.7℃ (1.0℃)	1.8℃ (1.1℃)	450 ppm	450 ppm	450 ppm	▲55%	▲71%	1690 \$/tCO ₂	2794 \$/tCO ₂
2.0℃安定化_気候 感度 3.0℃	1.9℃ (1.2℃)	1.9℃ (1.2℃)	500 ppm	460 ppm	505 ppm (2055 年)	▲10%	▲42%	49 \$/tCO ₂	318 \$/tCO ₂
2.0℃安定化_気候 感度 3.0℃ (オーバ ーシュート)	2.0℃ (1.3℃)	1.8℃ (1.1℃)	500 ppm	445 ppm	530 ppm (2055 年)	+8%	▲31%	19 \$/tCO ₂	171 \$/tCO ₂
2.0℃安定化_気候 感度 2.5℃	1.9℃ (1.2℃)	2.0℃ (1.3℃)	540 ppm	520 ppm	540 ppm (2125 年)	+2%	▲19%	31 \$/tCO ₂	66 \$/tCO ₂
2.5℃安定化_気候 感度 3.0℃	2.3℃ (1.6℃)	2.5℃ (1.8℃)	550 ppm	535 ppm	550 ppm (2125 年)	+2%	▲19%	31 \$/tCO ₂	66 \$/tCO ₂
2.5℃安定化_気候 感度 2.5℃	2.2℃ (1.5℃)	2.5℃ (1.8℃)	605 ppm	615 ppm	620 ppm (2220 年)	+22%	+9%	9 \$/tCO ₂	25 \$/tCO ₂

要約表 2 2.5℃安定化シナリオ（気候感度 3.0℃）時の 2030 年における主要国の排出枠、CO₂ 限界削減費用、GDP 比費用

	ベースライン排 出量 (エネ起 CO ₂) [05 年比%]	排出枠 (エネ起 CO ₂ +植林固定) [05 年比%]			CO ₂ 限界削減費用 [\$/tCO ₂ in US 2000 price]		
		限界削減 費用均等 化	GDP 比費 用均等化	一人当 り排出量 均等化	限界削減 費用均等 化	GDP 比費 用均等化	一人当 り排出量 均等化
米国	+14	▲9	▲24	▲25	27	49	56
EU-27	+21	▲15	▲29	▲25	27	42	37
日本	+0	▲4	▲25	▲33	27	143	180
ロシア	+18	▲65	+17	▲29	27	2	23
中国	+166	+90	+75	+39	27	33	47
インド	+245	+145	+150	+180	27	25	16

注) 日本の原子力発電は IEA WEO2012 の 450 シナリオに従うとした場合の試算値

【問い合わせ先】

徳重功子、佐野史典、本間隆嗣、秋元圭吾

Tel: 0774-75-2304、E-mail: sysinfo@rite.or.jp

目 次

1. はじめに.....	6
2. マクロフレームの想定.....	7
3. 長期の CO ₂ 排出削減シナリオの作成.....	9
3.1 分析のために想定した気温上昇シナリオ.....	9
3.2 大気中温室効果ガス濃度および排出パス.....	10
(1) 大気中温室効果ガス濃度パス.....	10
(2) 温室効果ガス排出パス.....	11
3.3 長期の排出削減パス実現のための対策コスト分析.....	14
3.4 Representative Concentration Pathways (RCPs) との比較.....	15
3.5 2℃目標の議論.....	17
3.6 IPCC 第2作業部会第5次評価報告書等の最近の国際的議論.....	21
4. 世界エネルギー需給モデルによる中期のシナリオ分析.....	25
4.1 分析シナリオの想定—原子力・再エネシナリオ—.....	25
4.2 中期のエネルギー・温暖化対策の分析・評価.....	27
4.3 2030年の国際衡平性の視点からの分析・評価.....	35
(1) GDP 比費用均等化.....	36
(2) 一人当たり排出量均等化.....	38
(3) 主要国の比較.....	40
4.4 中期のシナリオ分析のまとめ.....	42
5. 世界エネルギー経済モデルによるシナリオ分析.....	44
5.1 限界削減費用均等化時の2℃安定化シナリオの経済影響分析.....	44
(1) 付加価値変化・産業構造・産業リーケージ.....	44
(2) 可処分所得・失業率・家計消費.....	45
5.2 GDP 比費用均等化シナリオの経済影響分析.....	48
(1) 付加価値変化・産業構造.....	49
(2) 可処分所得・失業率・家計消費.....	50
6. 世界および日本の地球温暖化・エネルギー政策の評価.....	54
付録 A：世界エネルギー技術評価モデル DNE21+ の概要.....	57
付録 B：世界エネルギー・経済モデル DEARS の概要.....	65

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災それに伴う福島第一原発の事故により、わが国の電力供給は危機的な状況が続いている。

2012年12月に誕生した安倍政権は、2013年1月25日の第3回日本経済再生本部において、安倍首相指示として、「経済産業大臣は、前政権のエネルギー・環境戦略をゼロベースで見直し、エネルギーの安定供給、エネルギーコスト低減の観点も含め、責任あるエネルギー政策を構築すること」とした。また、温暖化対策については、「環境大臣と関係大臣が協力して、11月の地球温暖化対策の会議（COP19）までに、25%削減目標をゼロベースで見直すとともに、技術で世界に貢献していく、攻めの地球温暖化外交戦略を組み立てる」とした。

この指示に従って、2013年3月から、総合資源エネルギー調査会総合部会（同7月から基本政策分科会に改組）において、新たなエネルギー基本計画策定を目指した議論が行われ、12月に同審議会は「エネルギー基本計画に対する意見」をとりまとめた。その意見では、エネルギーのあり方として3E+S（エネルギー安定供給・安全保障、経済性、環境負荷、安全性）を強調し、また国際的な視点の重要性を指摘するなど、適切な方向性が打ち出されたとと言える。また特に原発事故以降注目される原子力発電の位置づけについては、原発依存度は可能な限り低減させる、としつつも、「安全性の確保を大前提に引き続き活用していく、エネルギー需給構造の安定性を支える基盤となる重要なベース電源」とした。しかしながら、現状での不確実性の大きななどから、これまでのエネルギー基本計画と異なり、具体的なエネルギーのミックスの姿は提示されなかった。早期のエネルギー基本計画の閣議決定とともに、今後、具体的なエネルギーのミックスを策定し、長期での対応が必要なエネルギーの予見性を高めることが重要と考えられる。

一方、気候変動枠組に関する国際交渉の状況については、2011年11月末から12月初めにかけて南アフリカ・ダーバンで開催された国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第17回締約国会合（COP17）において、将来の枠組みに関し、法的文書を作成するための新しいプロセスである「ダーバン・プラットフォーム特別作業部会」を立ち上げ、2020年から発効・実施に移すとの道筋が合意された。また、ドーハの第18回締約国会議（COP18）では、それに向けた議論のスケジュールの概略が合意された。そして、2013年11月のワルシャワにおける第19回締約国会議（COP19）では、「強化された行動のためのダーバン・プラットフォーム特別作業部会（ADP）」で、2020年以降の枠組みについて、2015年第1四半期までに約束草案を示すことを招請するとされた。長期的に効果の高い温暖化対応に向けて、より一層重要なプロセスに入る。

一方、気候変動政府間パネル（IPCC）では、第5次評価報告書の作成作業が大詰めとなっている。第1作業部会（気候変動の科学）の報告書は2013年9月に承認・承諾され、第2作業部会（気候変動影響・適応）も2014年3月に承認・承諾された。そして、第3作業部会（緩和）は2014年4月に承認・承諾される見込みとなっている。前回の2007年の第4次評価報告書は、その後の国際交渉や国内対策の排出削減目標に大きな影響を与えた。第4次評価報告書以降の新たに蓄積された科学的知見は今後の国際交渉や国内対策進展にとって重要な情報となるものと考えられ、そして「ダーバン・プラットフォーム」においても重要な位置づけとなるものと見られる。

このような中、国内では、中央環境審議会地球環境部会と産業構造審議会環境部会（2013年7

月～産業技術環境分科会）地球環境小委員会の合同会合において議論がなされたものの、2020年の25%削減目標に替わる排出削減については、審議会では議題に上げられず、2013年11月15日の地球温暖化対策推進本部において、環境省からの提案としての2005年比3.8%減（ただし原発による排出削減効果を除いた数字）を本部員が確認したという形で数値見直しがなされ、環境大臣からCOP19で報告がなされた。今後、エネルギーミックスの策定とともに、この目標の見直しもなされると見られる。

現時点の気候変動の国際交渉からすると、新たな国際的な気候変動の枠組みは、京都議定書のようなトップダウン的で強制力を有する枠組みから、ボトムアップ的でプレッジ&レビュー的な色彩の強い枠組みの方向性になりつつある。そのような中、欧州委員会は2014年1月に2030年のEUの排出削減目標として1990年比40%減の提案を行った。しかし、EUの目標は、全球平均気温が産業革命以前比で2℃を超えないことを目標におき、そのために世界排出量を2050年までに1990年比で半減、そのとき、EUを含む先進国は2050年までに8割削減すべきという文脈から2020年や2030年目標が基本的に構築されている。そしてこれは2007年のIPCC第4次評価報告書（AR4）を基にした論理展開であった。しかしながら、長期の排出削減パスをめぐる分析は、IPCC AR4以降、国際モデル比較プロジェクト等において数多く実施されてきているなど、新しい知見も蓄積してきている。そのような知見も踏まえつつ、2020年以降（2030年）の目標を検討する必要性があり、そしてその際に、国際衡平性の視点、実現可能性の視点などから、今後、日本がプレッジすべき排出削減目標のレベル等に関する検討が重要と考えられる。

エネルギー・地球温暖化問題は、経済、社会の様々な分野と関連し、また、全球規模での問題である。そのため複雑であり、総合的かつ深い理解の下で、意思決定を行っていくことが重要である。そこで、本研究では、上記で述べたような国レベル、世界レベルでの温暖化対策・エネルギー政策の議論を踏まえつつ、それらについて今後、重要となるであろう議論に資することを目的に、学術的な視点に立って、温暖化対策、エネルギー政策に関連した定量的な分析を実施し、その知見の整理を行った。

2. マクロフレームの想定

本分析・評価にあたって、モデル分析におけるベースライン（特段の温暖化排出抑制を考慮しないケース）のマクロフレームについて以下のような想定を行った。

世界全体の2050年までの人口、経済成長率（実質）は、表2-1のように、人口は2030年に83.1億人、2050年に91.4億人、2010-30年のGDP成長率は年2.9%、2030-50年は年2.2%と想定した。

また、日本における経済成長率（実質）は、日本再興戦略の目標値にあわせ、表2-2のように想定した。また、発電電力量については、2010年～2030年のGDP弾性値を0.8として基準の電力需要を表2-2のように想定した（2000～2010年のGDP弾性値は1.0）。ここでは、過去との整合性が比較的高い想定をおいたが、基準の電力需要の見通しについては、引き続き検討を行っていく必要があると考えられる。

表 2-1 ベースラインにおける世界の人口、GDP、発電電力量の想定

	2005 年	2010 年	2020 年	2030 年	2050 年
人口 [億人]	65.1	69.2	76.8	83.1	91.4
実質 GDP [trillion US\$/yr in 2000 price]	36.9	41.4	56.2	74.3	115.1
発電電力量 [TWh/yr]	18251	21437	27464	34620	50105
	2000-2005 年	2005-2010 年	2010-2020 年	2020-2030 年	2030-2050 年
人口成長率 [%/yr]	1.2	1.2	1.0	0.8	0.5
GDP 成長率 [%/yr]	2.7	2.3	3.1	2.8	2.2
発電電力量成長率 [%/yr]	3.4	3.2	2.5	2.3	1.8

表 2-2 ベースラインにおける日本の人口、GDP、発電電力量の想定

	2005 年	2010 年	2020 年	2030 年
人口 [億人]	1.27	1.27	1.24	1.18
実質 GDP [billion US\$/yr in 2000 price]	4980	5065	6022	6509
発電電力量 [TWh/yr]	1090	1109	1290	1370
	2000-2005 年	2005-2010 年	2010-2020 年	2020-2030 年
人口成長率 [%/yr]	0.2	0.1	-0.3	-0.5
GDP 成長率 [%/yr]	1.3	0.3	1.7	0.8
発電電力量成長率 [%/yr]	0.8	0.3	1.5	0.6

注) 技術評価モデル DNE21+モデルにおいては、発電電力量はモデルによる最適化計算によって内生的に決定される。ここでは CO₂ 排出制約がないとしたベースラインの見通しを示しているが、CO₂ 排出制約によって変動するし、ベースラインであっても原子力発電のシナリオに依って若干変動する。また、経済モデル DEARS においては、モデルによる最適化計算によって GDP は内生的に決定される。ここで示す GDP は CO₂ 排出制約がないとしたベースラインの見通しである。

3. 長期の CO₂ 排出削減シナリオの作成

本章では、分析のために作成した長期の CO₂ 排出削減シナリオについて述べる。第 3.1 節に示すように、複数の気温上昇シナリオを作成し、それぞれに整合的な温室効果ガス濃度および排出パスを導いた。また、2050 年までについては、DNE21+モデルによる対策コスト（CO₂ 限界削減費用）の分析をそれぞれの排出パスについて行った。更には、IPCC の要請によって国際研究コミュニティが選定した代表濃度パス（RCP: Representative Concentration Pathway）シナリオ¹⁾との比較、2℃目標の議論、IPCC WG2 AR5²⁾の議論について整理した。なお、気候変動量の評価には、RCP シナリオの策定でも用いられた MAGICC バージョン 6^{3),4)}を用いた。

3.1 分析のために想定した気温上昇シナリオ

最近の国際的な政策動向や国際的なシナリオ分析動向を踏まえつつ、排出削減シナリオによる差異を評価するため、本研究では、図 3-1 に示すような 6 種類の気温上昇シナリオを想定した。まず、大気中の GHG 濃度を 450 ppm CO₂-eq に安定化させるシナリオを想定した。これは、IPCC 第 4 次評価報告書（AR4）⁵⁾で整理された濃度安定化パスのカテゴリーI に相当するものだが（後述の第 3.5 節でより詳細に記述）、ただし、ここでの評価は 2007 年の AR4 以降の GHG 排出量動向を踏まえた分析と言える。450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオは、2300 年時点で 1.8℃程度であるが、温室効果ガス濃度は安定化しているものの（後述の図 3-3 を参照）、2300 年時点でもまだ気温は上昇傾向にあり、2300 年以降も気温上昇が緩やかに続き、平衡状態においては 2℃上昇に近くなると推察される。

続いて、全球平均気温を安定化させるシナリオとして、産業革命以前比で 2.5℃以内の上昇で安定化させるシナリオと、同じく 2.0℃以内の上昇で安定化の 2 種類を想定した。

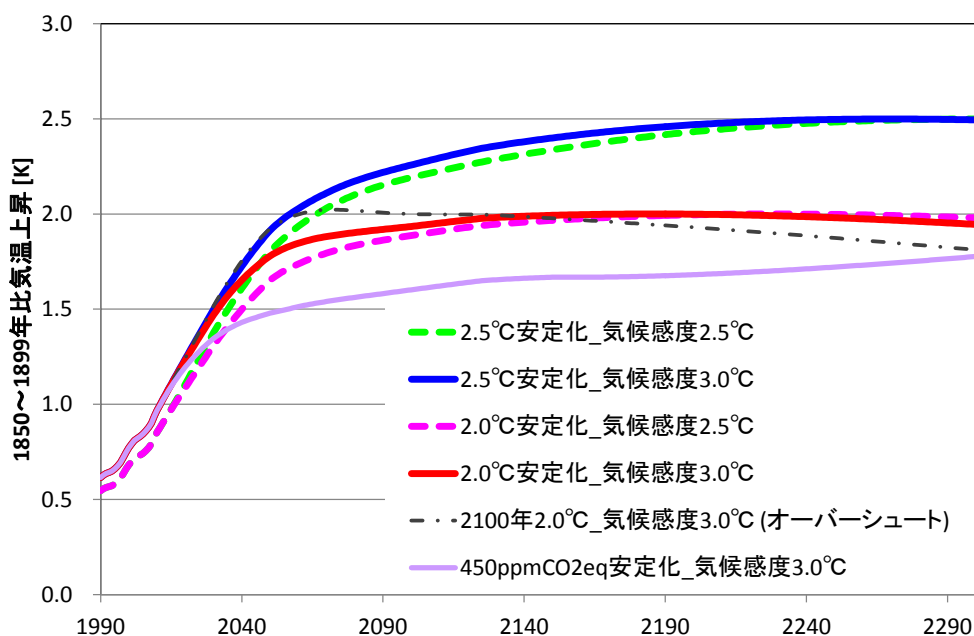


図 3-1 分析を行った気温上昇推移のシナリオ

なお、大気中温室効果ガス濃度と気温上昇との関係は不確実性が大きい。IPCC の第 3 次評価報告書までは、平衡気候感度（ある GHG 濃度で安定化したとき、時間遅れをもって最終的に到達すると推計される全球平均気温）は 1.5～4.5℃の範囲の可能性が高く、最良推定値は 2.5℃としていた。しかし、2007 年の第 4 次評価報告書においては、平衡気候感度は 2.0～4.5℃の範囲の可能性が高く、最良推定値は 3.0℃と少し上方に修正された⁶⁾。そして、2013 年 9 月に発表された第 5 次評価報告書（第 1 作業部会）⁷⁾では平衡気候感度は 1.5～4.5℃の範囲の可能性が高いと以前の評価に再び戻した形となった。一方、最良推定値については、提示することができないとした。（図 3-2 参照）

このような状況の中、本研究では、平衡気候感度として 2.5℃と 3.0℃の 2 種類のケースを想定し、その組み合わせによって 4 種類の気温安定化シナリオを想定した（図 3-1）。一方、近年の途上国を中心とした GHG 排出量の増大傾向を踏まえると、濃度のオーバーシュートのみならず、気温のオーバーシュートシナリオ（濃度の強いオーバーシュートシナリオ）も国際的な分析においても見られるようになってきている。そこで、2100 年までに気温上昇は一旦 2.0℃を超えるものの、それ以降は気温上昇が低下し、2100 年時点では 2.0℃となる気温のオーバーシュートシナリオについても想定し、気候感度は 3.0℃として分析を行った。なお、本分析では、2100 年時点で 2.0℃に戻るように気温上昇のパスを設定し、かつ、排出経路がなだらかに変化し、また一旦排出が減少した後再び上昇することがない条件の下でパスを設定した。仮に 2200 年時点で 2.0℃に戻るようなパスなどを考えれば、ここで想定したオーバーシュートシナリオよりも強いオーバーシュートによって、長期的に 2℃にするとしても、短中期ではより大きな排出が許容されるような排出パスを描くことも可能である。

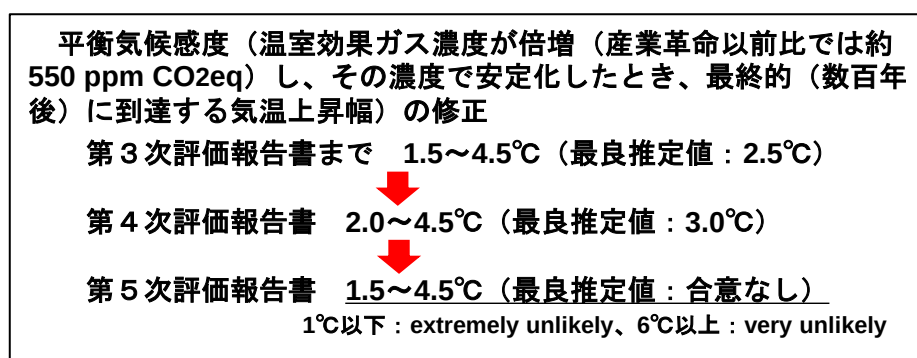


図 3-2 IPCC における平衡気候感度の評価の変遷

3.2 大気中温室効果ガス濃度および排出パス

(1) 大気中温室効果ガス濃度パス

図 3-3 は、図 3-1 で想定した気温上昇推移と整合的な大気中温室効果ガス濃度の推移を示している。

2.0℃安定化_気候感度 3.0℃シナリオにおいては、2100 年の濃度はほぼ 500 ppm であり、2300 年では 460 ppm の水準である。2℃安定化目標≒450 ppm CO₂-eq 安定化の認識が高いが、2℃安定化であっても、気候感度が 3.0℃の場合、2100 年までは 500 ppm 程度まで上昇が許容可能で、2300 年以降の超長期的には 450 ppm 程度の水準が必要というのが分析結果からの示唆である。すなわち、このシナリオでは、気温はオーバーシュートせず安定化のシナリオだが、温室効果ガス濃度はオーバーシュートが可能である。

2.0℃安定化_気候感度 2.5℃シナリオにおける温室効果ガス濃度の推移は、2100 年におよそ 550 ppm で、その後緩やかに低下させていく必要があり、2300 年では 520 ppm 程度の水準である。2.5℃安定化_気候感度 3.0℃シナリオでは、2.0℃安定化_気候感度 2.5℃シナリオと比較的似通ったレベルと評価される。

2.5℃安定化_気候感度 2.5℃シナリオでは、2300 年までの間は概ね 620 ppm の水準で温室効果ガス濃度は安定化することが求められる。

一方、2100 年 2.0℃_気候感度 3.0℃（気温のオーバーシュート）シナリオにおいては、2050 年頃までは 2.5℃安定化_気候感度 3.0℃シナリオ、2.0℃安定化_気候感度 2.5℃シナリオとほぼ同じ水準であるが、その後 2100 年に向けて濃度を低下させ、2100 年における温室効果ガス濃度は 2.0℃安定化_気候感度 3.0℃シナリオと同様に 500 ppm に、その後は、2.0℃安定化_気候感度 3.0℃シナリオよりも更に若干低い濃度レベルとしていくシナリオで、2300 年の濃度は 445 ppm 程度である。ピーク時の温室効果ガス濃度は 2055 年に 530 ppm となる。

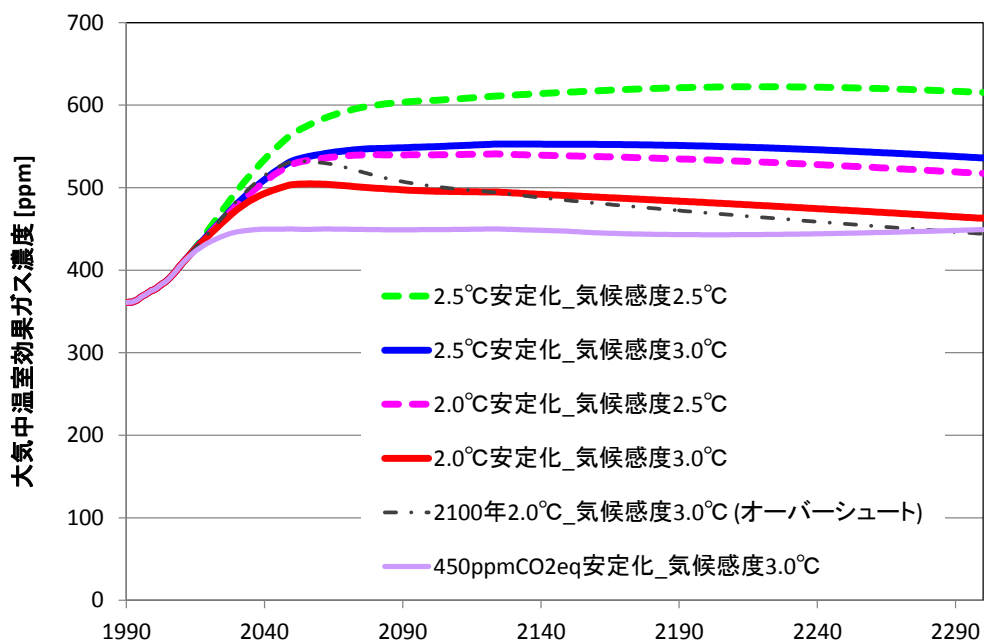


図 3-3 大気中温室効果ガス濃度推移

(2) 温室効果ガス排出パス

図 3-4、図 3-5 は、GHG (CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs、SF₆ の CO₂ 換算の合計) および CO₂

排出量の推移を示している。

450 ppm CO₂-eq.安定化シナリオでは、IPCC AR4 のカテゴリーI に相当するシナリオであり、AR4 以降の国際的な議論における 2°C 目標において暗に想定されてきたシナリオと考えられるが、2050 年の世界 GHG 排出量は、2010 年比で 71%削減（2000 年比では 63%減、1990 年比では 62%減）、2030 年においても 55%もの世界排出量の削減が求められ、全く実現不可能と言える。

2.0°C安定化_気候感度 3.0°Cシナリオにおいては、2050 年には 2010 年比▲42%（2000 年比では▲28%、1990 年比では▲25%）、2100 年 2.0°C_気候感度 3.0°C（気温のオーバーシュート）シナリオでは▲31%（2000 年比では▲14%、1990 年比では▲10%）の水準が求められる。2100 年 2.0°C_気候感度 3.0°C（気温のオーバーシュート）シナリオは気温を 2100 年 2.0°Cに向けて低下させるため、21 世紀後半で大幅排出削減する必要がある、2060 年以降は 2.0°C安定化_気候感度 3.0°Cシナリオよりも排出を抑制している。

前節の大気中温室効果ガス濃度で述べたように、2.0°C安定化_気候感度 2.5°Cシナリオと 2.5°C安定化_気候感度 3.0°Cシナリオとの排出量は似通った水準となっており、共に 2050 年の GHG 排出量は 2010 年比▲19%（2000 年比では+2%、1990 年比では+6%）の水準となる。

2050 年における排出量は、CO₂ 排出量でみると、2.5°C安定化_気候感度 2.5°Cシナリオ：2010 年比+10%、2.5°C安定化_気候感度 3.0°Cシナリオおよび 2.0°C安定化_気候感度 2.5°Cシナリオ：2010 年比▲24%、2.0°C安定化_気候感度 3.0°Cシナリオ：2010 年比▲52%、2100 年 2.0°C_気候感度 3.0°C（オーバーシュート）シナリオ：2010 年比▲39%の水準である（数値はいずれも 2010 年の CO₂ 排出量比）。

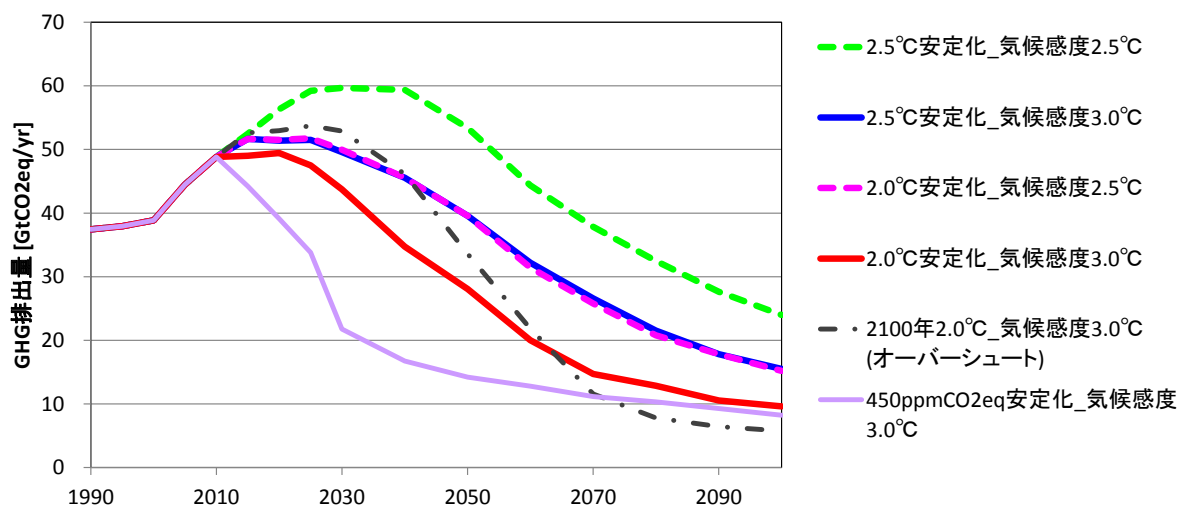


図 3-4 GHG 排出量推移

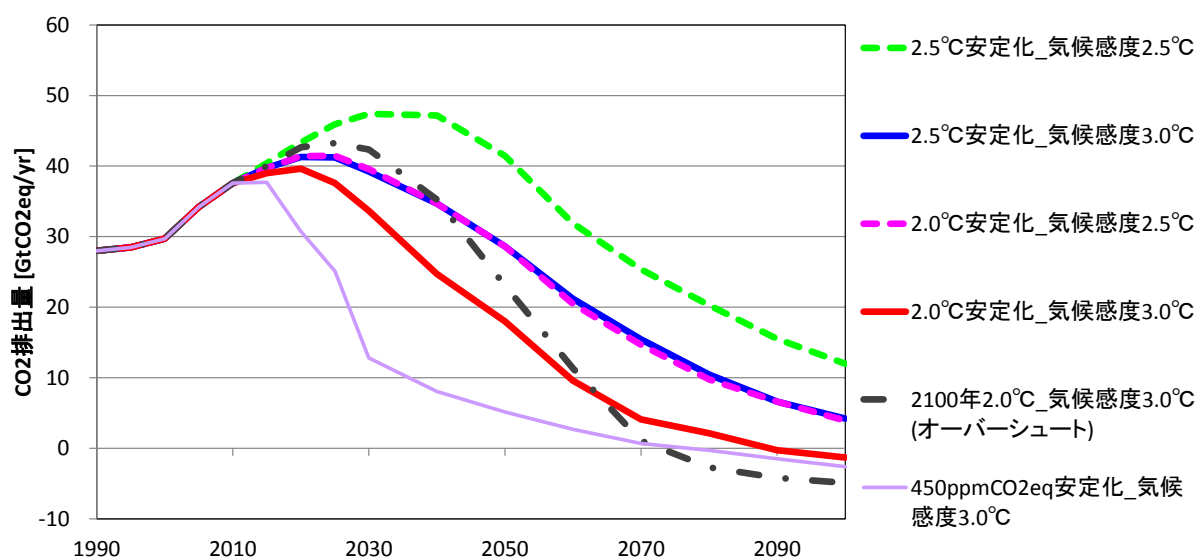


図 3-5 CO₂ 排出量推移（産業プロセス、土地利用変化による CO₂ も含む）

表 3-1 に本研究で分析を行った排出シナリオの概要をまとめた。

450 ppm CO₂-eq 安定化_気候感度 3.0°Cシナリオは、IPCC 第 4 次評価報告書（AR4）⁵⁾の Kategorii-I として整理された産業革命以前比 2°C安定化目標に最も近いシナリオと考えられる（詳細は後述の 3.4 節参照）。上記でも指摘してきたようにこのシナリオの実現はまず不可能と考えられる。そのため、2007 年の IPCC AR4 以降、2°C目標は、明確化された議論がほとんどないまま、暗に、2.0°C安定化_気候感度 3.0°Cシナリオのような形に置き換えられてきているように思われる。これは GHG 濃度のオーバーシュートシナリオとなっており、濃度安定化シナリオとは若干異なるものである。しかし、このシナリオも 2030 年までに求められる世界排出量の削減レベルを考えるとほぼ実現は不可能と考えられる。

よって、現実を見据えた世界の温暖化対策そして国際交渉の議論でも、今後、表 3-1 中の 2.0°C 安定化_気候感度 3.0°C（気温のオーバーシュート）以下のシナリオを中心において検討を行う時期にきている。2.0°C安定化_気候感度 3.0°C（気温のオーバーシュート）シナリオ、2.5°C安定化_気候感度 3.0°Cシナリオ（現状比 2°C以内にはなる。また、気候感度が結果として 2.0°Cだった場合には産業革命以前比で 2°C以内も期待できるもの）は、これでも相当大変な努力が必要であるが、例えば 2050 年の世界排出量は 2010 年比で 2～3 割減と、世界排出量半減に比べると緩やかになり、また、2030 年における排出許容量も少し大きくとれ、今後の 2030 年の各国のプレッジとそのレビュー作業が解のないような不毛な排出割り当ての議論にならなくて済むことが期待できる。

なお、本研究で検討、議論してきたのは、産業革命以前比 4°Cや 6°C上昇といった極めて大きな気温上昇をもたらすようなシナリオではなく、2～2.5°Cのような 0.5°C程度の範囲に収まるシナリオの選択である。気候変動影響被害の文脈では、2°Cか 4°Cかといったシナリオの違いが論じられ、4°C上昇は大変危険であり、2°Cを目指すべきといった 2 元的な議論が展開されることが多い。し

かし、これまでに示してきたように、温室効果ガス排出削減シナリオ、削減において求められる努力からみると、0.5℃程度の目標の違いや、目標の考え方を少し柔軟にするだけでも、対策の容易さ、困難さが劇的に変わってくることに留意されたい。

表 3-1 本研究で分析を行ったシナリオの概要

	全休平均気温 上昇(産業革命以前比)			等価 CO ₂ 濃度			2030 年 CO ₂ 排出 (2010 年比)		2050 年 CO ₂ 排出 (2010 年比)	
	2100	2300	ピーク時	2100	2300	ピーク時	GHG	CO ₂	GHG	CO ₂
450 ppm CO ₂ -eq 安定化_気候感度 3.0℃	1.7℃	1.8℃	2300 年以降も緩やかに上昇 ≈2℃	450 ppm	450 ppm	450 ppm	▲55%	▲66%	▲71% [-63%] <-62%>	▲86%
2.0℃安定化_気候感度 3.0℃	1.9℃	1.9℃	2110～2290 年頃： 2.0℃	500 ppm	460 ppm	505 ppm (2055 年)	▲10%	▲10%	▲42% [-28%] <-25%>	▲52%
2.0℃安定化_気候感度 3.0℃（オーバーシュート）	2.0℃	1.8℃	2070 年頃： >2℃	500 ppm	445 ppm	530 ppm (2055 年)	+8%	+13%	▲31% [-14%] <-10%>	▲39%
2.0℃安定化_気候感度 2.5℃	1.9℃	2.0℃	2.0℃	540 ppm	520 ppm	540 ppm (2125 年)	+2%	+5%	▲19% [+2%] <+6%>	▲24%
2.5℃安定化_気候感度 3.0℃	2.3℃	2.5℃	2.5℃	550 ppm	535 ppm	550 ppm (2125 年)	+2%	+4%	▲19% [+2%] <+6%>	▲24%
2.5℃安定化_気候感度 2.5℃	2.2℃	2.5℃	2.5℃	605 ppm	615 ppm	620 ppm (2220 年)	+22%	+26%	+9% [+37%] <+43%>	+10%

注) 2050 年の GHG 排出の欄における[]内および<>の数字はそれぞれ 2000 年および 1990 年比の排出量

3.3 長期の排出削減パス実現のための対策コスト分析

図 3-4 に示したエネルギー起源 CO₂ 排出量について、2050 年までの対策コスト（CO₂ 限界削減費用）を DNE21+モデルによって評価を行った。結果を図 3-5 に示す。なお、各国・各部門の CO₂ 限界削減費用は均等化することを前提とした。また、日本の原子力発電の見通しは、IEA WEO2012 の 450 シナリオ⁸⁾に基づいて想定した（2035 年までのシナリオであり、それ以降は 2035 年の発電電力量固定として延長した）。

最も排出削減レベルが緩やかな 2.5℃安定化_気候感度 2.5℃シナリオでは、2030 年の CO₂ 限界削減費用は 9\$/tCO₂、2050 年では 25\$/tCO₂ と評価された。2.0℃安定化_気候感度 3.0℃シナリオでは、2030 年の CO₂ 限界削減費用は 49\$/tCO₂、2050 年では 318\$/tCO₂ と評価された。

2100 年 2.0℃_気候感度 3.0℃（オーバーシュート）シナリオにおいては、2030 年では 2.5℃安定化_気候感度 3.0℃シナリオや 2.0℃安定化_気候感度 2.5℃シナリオの 30\$/tCO₂ より若干低い水準

で 20\$/tCO₂ であるが、2040 年以降急激な排出削減のために CO₂ 限界削減費用が上昇し、2050 年では 170\$/tCO₂ と評価されている。

一方、450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオは、図 3-5 の縦軸のレンジ外となっているが、2030 年に 1690 \$/tCO₂、2050 年では 2794 \$/tCO₂ と評価され、技術的な解は見出されるものの、あまりに高い限界削減費用であり、実際には実現不可能と言える。

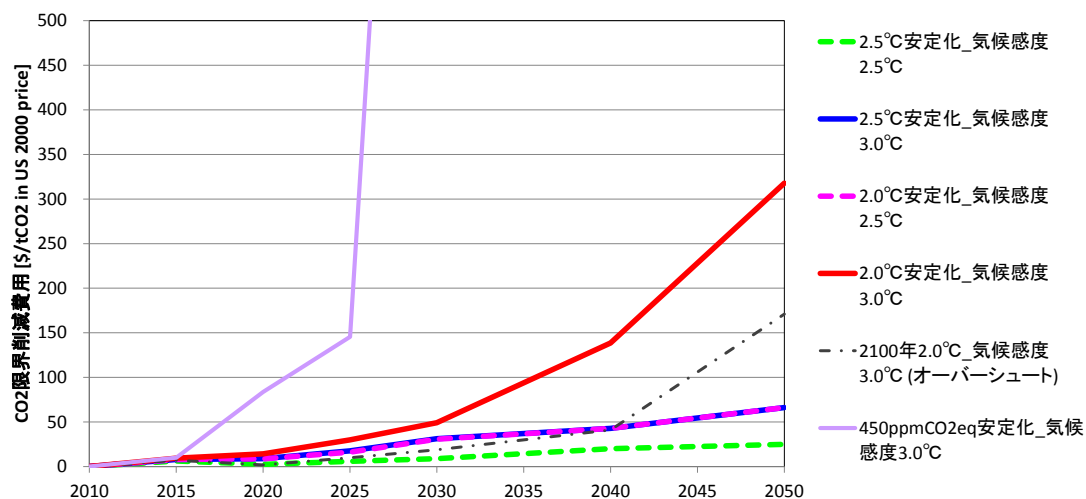


図 3-5 CO₂ 限界削減費用

3.4 Representative Concentration Pathways (RCPs)との比較

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）では、第 5 次評価報告書策定に向けた検討において、報告されている温室効果ガス排出の将来見通しを幅広くカバーしつつ、その代表的な排出パスとして、4 つの濃度パスを選定している（Representative Concentration Pathways (RCPs)と呼ばれている）¹⁾。4 つのパスは、2100 年時点の放射強制力の大きさに区別されており、8.5、6.0、4.5、2.6 W/m² となっている（それぞれ、RCP8.5、RCP6.0、RCP4.5、RCP3PD(2.6)と呼ばれる）。

本研究で想定したシナリオと RCP シナリオとの比較として、図 3-6～図 3-8 に全球平均気温上昇、GHG 排出パス、CO₂ 排出パスの比較を整理している。先に述べたように、気候変動量評価には、MAGICC バージョン 6^{3),4)}を用いた。RCP シナリオにおいては、気候感度は 3.0°Cとしている。全球平均気温上昇については、本研究で想定したシナリオは RCP4.5～RCP3PD(2.6)の間に位置する水準にある。GHG 排出パス、CO₂ 排出パスについても概ね同様であるが、気候感度 2.5°Cを想定した 2.5°C安定化_気候感度 2.5°Cシナリオは、特に 21 世紀前半において RCP4.5 より排出量が高位となっている。また、2100 年 2.0°C_気候感度 3.0°C（オーバーシュート）シナリオは 21 世紀の後半で大幅な排出削減を行うシナリオで、GHG では 2070 年以降は RCP3PD(2.6)とほぼ同じ水準であるが、CO₂ 排出量でみると、より排出削減を深堀している。これは、CO₂ 以外の GHG での排出削減の見通しの違いに起因する（RCP3PD(2.6)は、オランダ環境研が策定したシナリオであるが、このシナリオでは、国際的に収集されている多くのシナリオと比較しても、メタン排出量をかなり大きく削減するシナリオとなっている。しかし RITE の見通しは、メタンを含め CO₂ 以外の GHG

での排出は RCP3PD(2.6)シナリオほど大きく排出削減できないと推計している。)

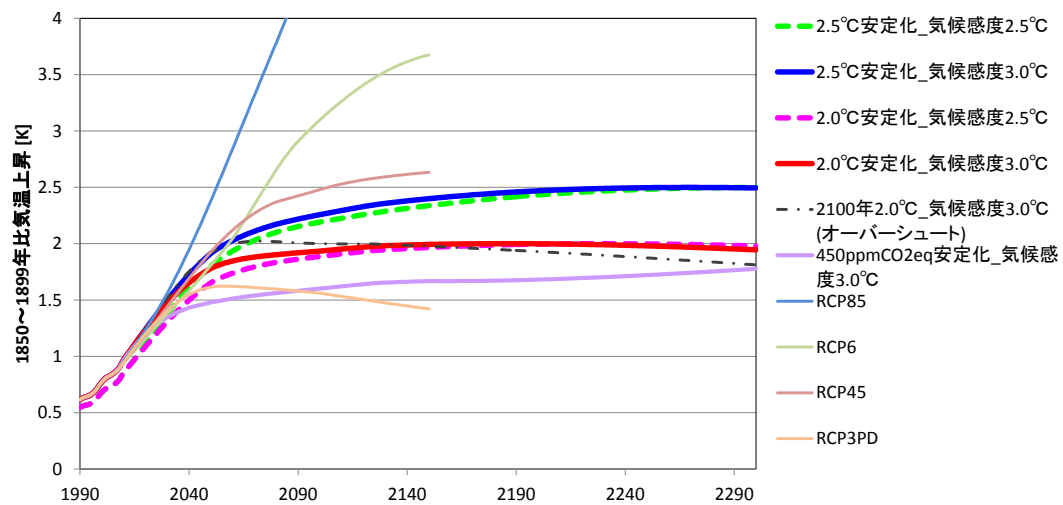


図 3-6 RCP との比較—全球平均気温推移—

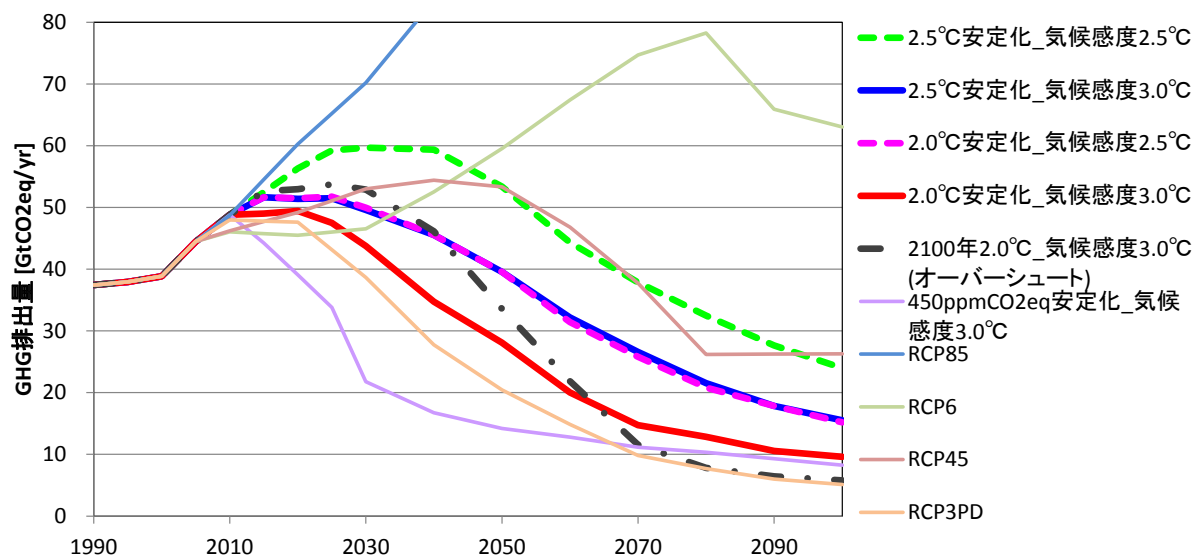


図 3-7 RCP との比較—GHG 排出パス—

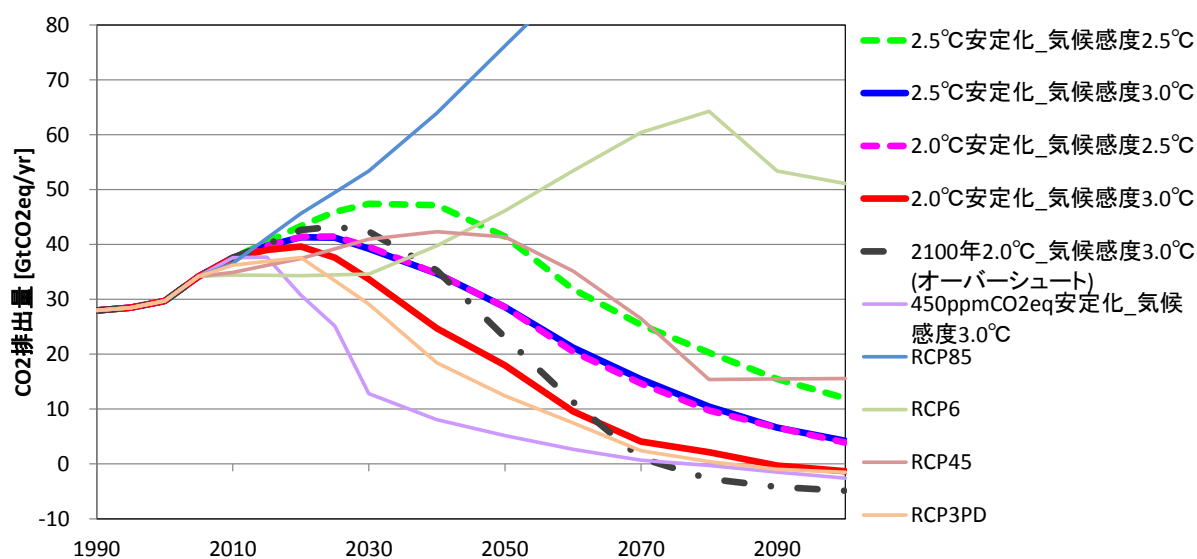


図 3-8 RCP との比較—CO₂ 排出パス（産業プロセス、土地利用変化による CO₂ も含む）—

3.5 2℃目標の議論

2007 年に出版された IPCC 第 4 次評価報告書（AR4）では、表 3-2 のような 6 つのカテゴリーによって排出シナリオが整理された。その後、UNFCCC 等の気候変動の国際交渉において、このうちのカテゴリー I のシナリオ（GHG 濃度をおおよそ 450 ppm CO₂-eq に安定化）をベースにされつつ、産業革命以前比で 2℃を超えない（平衡時の全球平均気温が 2℃を超えない）とする目標が認識されることとなった。しかし、IPCC はいずれのレベルを目標とするのが良いかは一切言っていないこと、また、2℃目標に相当するカテゴリー I に分類されたシナリオは AR4 ではわずか 6 つのシナリオしか評価されていなかったにも関わらず、国際的に認識される目標となった。

本研究で分析を行った 450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオは、このカテゴリー I に相当するシナリオとなっており、2050 年の 2000 年比の排出削減レベルは▲64%（2010 年比では▲71%）であり（表 3-1）、表 3-2 で示されている範囲（▲85～▲50%）に入っている。

表 3-2 IPCC AR4 において整理がなされたシナリオカテゴリーと 2℃目標 (IPCC AR4⁵⁾より加工)

世界排出量2050年半減目標

平衡気温
(濃度が安定化したとき、時間遅れを持って最終的に達すると推計される気温)

約450 ppm CO₂-eq安定化 2℃目標

Category	Radiative forcing (W/m ²)	CO ₂ concentration ^{a)} (ppm)	CO ₂ -eq concentration ^{c)} (ppm)	Global mean temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity ^{b), c)} (°C)	Peaking year for CO ₂ emissions ^{d)}	Change in global CO ₂ emissions in 2050 (% of 2000 emissions) ^{d)}	No. of assessed scenarios
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85 to -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60 to -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30 to +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10 to +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25 to +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 to +140	5
Total							177

AR4 では評価されたシナリオの大部分が大気中温室効果ガス濃度の安定化シナリオであった一方で、AR4 出版以降、気候変動緩和策に関する国際的なシナリオ分析においては、濃度が一次的に目標レベルを上回るような濃度のオーバーシュートシナリオが多く検討されることとなった。更には全球平均気温が一次的に目標レベルを上回るような気温のオーバーシュートシナリオも検討されてきた。これは、世界排出量は 2000 年以降、上昇のペースをむしろ高めてきており (図 3-9)、大気中 CO₂ 濃度は既に 400 ppm を超えた。もはや 2℃目標のような厳しいレベルの排出削減を行おうとする場合、オーバーシュート無しでそのパスを描くことが困難になっていること、そして、2℃目標に相当するシナリオ分析が多くのモデルによって豊富に行われたことが要因として挙げられる。例えば、先に示した本研究で検討を行った 2.0℃安定化_気候感度 3.0℃シナリオでは、世界の GHG 排出は 2020 年頃まで、現状以上にほとんど増大させることなく抑制し、その後、大きく削減を行っていく必要性が示されており、この排出パスの実現は極めて困難と考えられる。

また、図 3-10 は RCP のシナリオを示したものであるが、最も低いレベルのシナリオ RCP3PD (2.6) は、気温のオーバーシュートシナリオとなっていることがわかる。

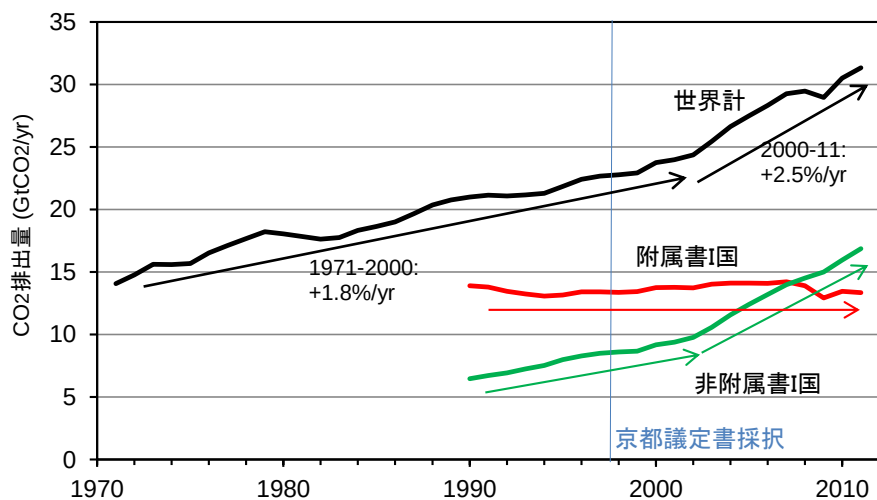


図 3-9 世界の CO₂ 排出量の推移 (IEA, 2013⁹⁾)

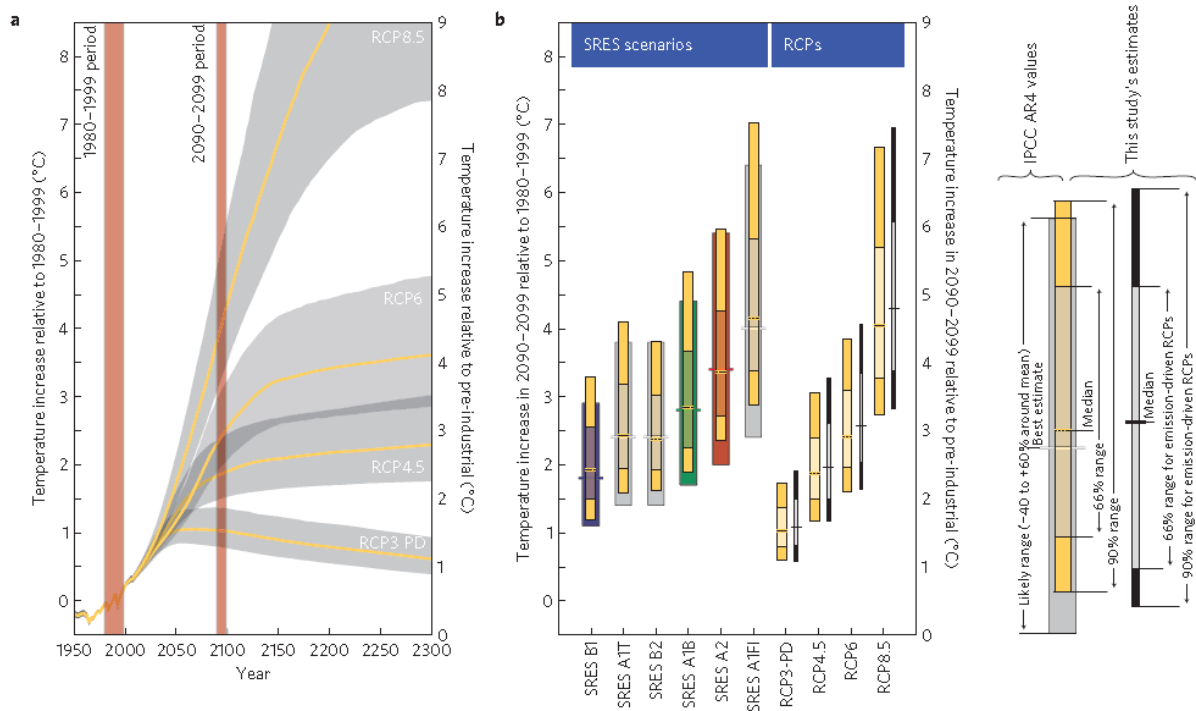


図 3-10 2℃目標達成の確率（中央値 v.s. 66%確率）(Rogelj et al., 2012¹⁰)

このような中、今後の 2℃目標をめぐる議論は、表 3-3 のように広がってくる可能性がある。AR4 を基にした 2℃目標は表 3-2 で見られたように平衡状態における全球平均気温上昇が、平衡気候感度が最良推定値 (3℃) のときに産業革命以前比で 2℃を超えないというものであった。このとき、濃度が安定化しても気温は時間遅れを持って上昇するため、2100 年の気温上昇は 1.7℃前後に抑えておく必要がある。しかし、これを実現するパスは極めて厳しい状況にある。そこで、今後の議論として考えられる方向としては、オーバーシュートシナリオが多く評価される状況の中で、平衡気温で 2℃を上回らないとするのではなく、例えば 2100 年時点で 2℃を上回らないと

するものである。2100 年以前は一時的に超えても良いとするもので、その後緩やかに気温を下げていくものである。これは、本研究で分析を行った 2100 年 2.0℃_気候感度 3.0℃（オーバーシュート）シナリオに相当する。

一方、2℃目標が国際的に認知されるきっかけとなったのが、表 3-2 で示した IPCC AR4 の表であることからすると、気候感度が最良推定値（中央値等）をベースとしたものと考えられるものの、「2℃を超えない」というのが曖昧なため、より安全サイドで気候感度の確率密度分布が 66%（likely）で超えないとの定義を適用しようとする動きも見られる。これは、図 3-10 で示した RCP3PD (2.6) のパスの評価と近いものである。RCP3PD は、気温のピーク時に likely の上限となる気温上昇は産業革命以前比で約 1.9℃となっている。この場合、450 ppm CO₂eq. 安定化シナリオ（平衡気候感度が最良推定値（3℃）のとき、平衡気温として産業革命以前比で 2℃を超えない）の排出パスと比較して、2050 年までの期間では若干は排出許容量が増すものの、2050 年以降は逆により大きな排出削減が求められる。本研究ではこのシナリオの評価を行わなかったが、このシナリオもかなり実現性が乏しいものと言わざるを得ない。

もちろん、色々な可能性を検討してもやはり産業革命以前比 2℃は困難であるという根拠を基に、産業革命以前比 2.5℃や現状比 2℃といったより緩やかな目標を志向する動きも強まる可能性はある。国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第 2 条では「温室効果ガスの濃度を危険でない水準で安定化」としかしておらず、「濃度を（・・・）安定化」とはいつまでに安定化なのかという濃度のオーバーシュートの可能性の議論の余地とともに、「危険でない水準」とはいかなるレベルなのかの議論の余地など、様々な解釈が可能である。危険な気候変動を避けなければならないことは確かであるが、最新の科学に基づきつつ、柔軟性を持った対応が必要である。

表 3-3 2℃目標の議論の行方

気温目標レベルを超えない確率	気温目標の時点	
	安定化（気温目標をずっと超えない）	2100 年時点で、気温目標を超えない（2100 年以前は一時的に超えても良い）
中央値（50%確率）等で考える	これまでの 2℃目標の議論（IPCC AR4 統合報告書 Table SPM6）。短期で大きな削減が求められ、現状を踏まえるとほとんど実現不可能	排出許容量が増し、達成の容易さは少し増す
Likely（66%確率）で考える	実現はまず不可能	オーバーシュートシナリオが増す中、2℃は前提のままである場合、これに議論がシフトする可能性も。このとき 2050 年頃までの排出許容量はわずかながら増大し容易になる一方で、2050 年以降はより厳しい排出削減が必要になる。

3.6 IPCC 第2作業部会第5次評価報告書等の最近の国際的議論

IPCC 第2作業部会(WG2)は、気候変動に伴う影響被害、適応策に関する科学的知見の集約を行ってきている。WG2は、2014年3月30日に第5次評価報告書(AR5)の政策決定者向け要約(SPM)²⁾を承認し、公表した。

全球平均気温上昇レベルに応じた気候変動影響の見通しについてもまとめられている。なお、注意が必要な点として、WG2報告書では、気温上昇の数値が現状比(1986-2005年比)でその多くがまとめられている点がある。いわゆる2℃目標は産業革命以前比であり、1986-2005年比とは0.7℃程度の差異があり、1986-2005年比2℃上昇は、産業革命以前比では2.7℃程度に相当する。これまでに見てきた分析でもわかるように、排出削減対策の点からは、0.5℃の違いでも極めて大きな違いがあるのだが、この違いに注意を払わないことが多く、それによって誤った理解で伝わることもあるので注意が必要である。

IPCC AR5では、主要なリスクとして、Reasons for Concern(RFCs)として、下記のような整理が行われ、図3-11のような図示化がなされている(ただし、AR5担当執筆者によるエキスパートジャッジメントによって図示化されたもの)。気温上昇とともに気候変動リスクが増していくことが指摘されているものの、産業革命以前比2℃に明確な閾値を示すものは必ずしも見受けられない。

(1) Unique and threatened systems:

約1℃上昇(産業革命以前比では1.7℃程度): 大きな被害のリスクあり

約2℃上昇(産業革命以前比では2.7℃程度): とりわけ北極海の氷やサンゴ礁において適応能力が制約を受け多くの種やシステムが大変高いリスクに晒される。

(2) Extreme weather events:

現状(0℃上昇、産業革命以前比では0.7℃程度): 熱波、極端な洪水、サンゴの白化等は既に見られる

約1℃上昇(産業革命以前比では1.7℃程度): より高まる

更に高い気温上昇: 極端な暑さなどの極端事象のいくつかのリスクは更に高まる

(3) Distribution of impacts:

約2℃上昇(産業革命以前比では2.7℃程度): 地域によっては穀物生産や淡水資源の減少が予測され、地域差を伴ってリスクが増大する

(4) Global aggregate impacts:

1~2℃上昇(産業革命以前比では1.7~2.7℃程度): 地球の生物多様性と世界経済の双方に影響するリスクが相応に生じる

3℃を超える上昇(産業革命以前比では3.7℃程度): 生物多様性に関する損失のリスクが高まる

(5) Large-scale singular evenets:

0~1℃上昇(産業革命以前比では0.7~1.7℃程度): 温かい海におけるサンゴ礁と北極海のエコシステム双方に警告的な事象が既に見られているため、相応のリスクがある。

1~2℃上昇(産業革命以前比では1.7~2.7℃程度): リスクは不均衡的に増大

3℃を超える上昇(産業革命以前比では3.7℃程度): 氷床の損失による大規模で非可逆な海面上昇の可能性

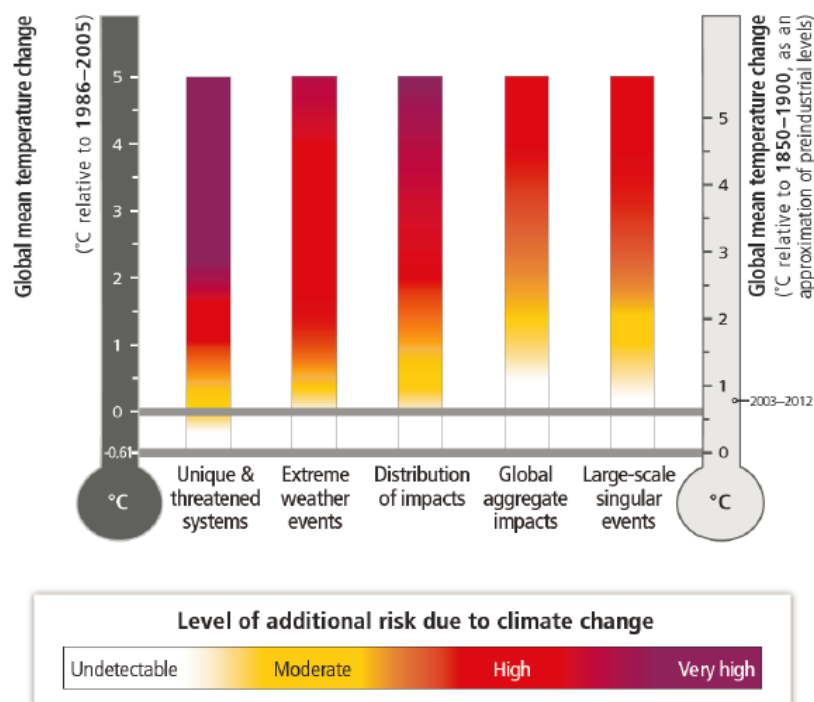


図 3-11 IPCC AR5 において評価された全球平均気温レベルによる気候変動リスク（IPCC WG2 AR5, 2014²⁾）

なお、AR5 では、追加的に 2℃上昇した場合（AR5 における記述の文脈からは「現状から追加的に 2℃上昇」と読める）、気候変動による影響被害は所得の 0.2～2.0%としている（ただしこれよりも大きな損失の可能もあると指摘されている）。このように、最新の知見からは、不確実性は大きいながらも、現状比 2℃上昇（産業革命以前比 2.5～2.8℃程度。なお、この数字の幅は「現状」を具体的に何年とするのか、また「産業革命以前」を具体的に何年とするのかなどによって生じるものである）で 0.2～2.0%程度の損失と考えられる。実際には、今から排出をゼロにしても更に時間遅れをもって気温が上昇するため、回避可能な経済損失は 0.2～2.0%よりも更に小さいことになる。

一方、費用便益的な視点から望ましい排出削減レベルを考える場合、緩和費用についても見ておく必要がある。本研究でのモデル分析は 2030 年まで（技術モデル分析では 2050 年まで）しか行っていないため、これを直接利用することはできない。そこで参考までに、IPCC WG3 でもこれまでに頻繁に引用されている国際モデル比較プロジェクトである Energy Modeling Forum の分析結果を示しておく（図 3-12）。これを見ると、450 ppm CO₂-eq の場合（産業革命以前比で 2.0℃を超えないことが期待できる）、すべての想定した技術が利用可能という理想的な条件の下でも、GDP 比で 1～2.5%程度の損失が示されており、モデルによっては 7%を超える損失が推計されている。また、例えば CCS が利用できない場合には、2.5～8%程度の損失が推計されている。産業革命以前比 2℃上昇時の損害額は、現状比 2℃上昇した場合（産業革命以前比では 2.5～2.8℃相当の上昇）の損害額よりも小さくなることも併せて考えると、産業革命以前比 2℃に抑制するための

対策費は、その対策によって低減できる損害額よりも相当に大きい可能性が、IPCC の最新の報告書や、国際的な分析から指摘できる。すなわち、450 ppm CO₂-eq 安定化や産業革命以前比 2.0℃安定化は、費用と便益に関する最新の分析から判断すると、過剰に過ぎる対策の可能性が高いと考えられる。

このように、これら費用便益的な分析結果からも、産業革命以前比 2℃目標は必ずしも科学的に論拠の大きな目標とは言えず、2.5℃（現状比 2℃上昇程度）目標もしくはこれよりも更に少し大きな気温上昇目標の方がむしろ科学的論拠は大きいと考えられる。

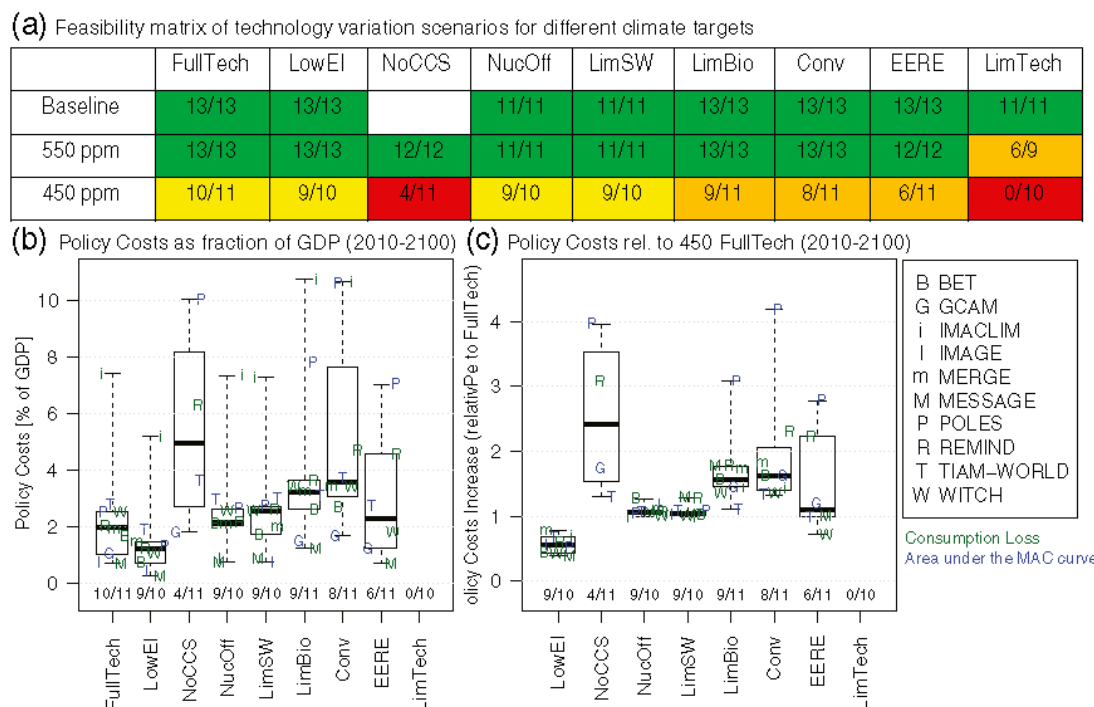


図 3-12 技術利用制約による緩和策コストの変化－EMF27 の分析－（出典：V. Krey et al., 2013¹¹⁾）

参考文献（第 3 章）

- 1) D. van Vuuren et al., The representative concentration pathways: an overview, Climatic Change (2011)
- 2) IPCC, Summary for Policymakers of Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability <http://www.ipcc-wg2.gov/AR5/> (2014)
- 3) Meinshausen M, Raper SCB, Wigley TML, Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, MAGICC6: Part I – model description and calibration, Atmos Chem Phys 11:1417-1456 (2011)
- 4) Meinshausen M, Raper SCB, Wigley TML, Emulating IPCC AR4 atmosphere-ocean and carbon cycle models for projecting global-mean, hemispheric and land/ocean temperatures: MAGICC 6.0 – Supplementary material – (2007)
- 5) IPCC, Climate Change 2007 – Mitigation, Cambridge University Press, New York (2007)
- 6) IPCC, Climate Change 2007 – The Physical Science Basis, Cambridge University Press, New York (2007)

- 7) IPCC, Summary for Policymakers of Climate Change 2013: The Physical Science Basis <http://www.climatechange2013.org/spm> (2013)
- 8) IEA, World Energy Outlook 2012 (2012)
- 9) IEA, CO₂ Emissions from Fossil Fuel Combustion (2013)
- 10) Rogelj et al., Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates, *Nature Climate Change*, 2, 248–253 (2012)
- 11) V. Krey, G. Luderer, L. Clarke, E. Kriegler, Getting from here to the there—energy technology transformation pathways in the EMF27 scenarios, *Climatic Change* (2013)

4. 世界エネルギー需給モデルによる中期のシナリオ分析

本章では、第3章で想定した長期のシナリオについて、2030年までのエネルギー起源CO₂、および植林によるCO₂固定（エネルギー起源CO₂+植林固定と記載）に焦点を当て、日本における中期の排出削減およびその具体的な対策の分析を行った。ここでは、第3章で扱った長期シナリオのうち、気候感度を3.0℃と想定した、2.5℃安定化および2.0℃安定化シナリオ（第3章の図3-4参照）の2種類のシナリオについて、具体的に分析・評価を行った。なお、ここでは2.0℃オーバーシュートシナリオは、2030年までについては2.5℃安定化シナリオと排出パスに大きな差異はないので2.5℃安定化シナリオの結果を参照することで概ねの状況を把握できる。

第4.1節で説明するように、原子力発電、再生可能エネルギーについては、複数のシナリオを想定し、その影響について分析を行い、その結果を第4.2節に示した。また、第4.3節では、2030年における各国の排出削減分担について、CO₂限界削減費用均等化を中心としつつ、国際衡平性の視点からGDP比対策費用均等化、一人当たり排出量均等化についても検討を行った。

4.1 分析シナリオの想定—原子力・再エネシナリオ—

2014年3月末現在、日本国内の全ての原子力発電所は停止している。一方、再稼働に向けて原子力規制委員会における新規制基準適合性に係る審査を受けている原子力発電所は、2014年2月5日時点では16基（1556万kW）であった¹⁾。このような状況を鑑み、審査中の16基が無事審査を終了し、2015年には全て稼働する（稼働率は80%と想定）シナリオを、原子力20%aシナリオとして想定した。また、仮に審査が遅延し2015年までには再稼働がゼロとなり、2020年時点でようやく16基稼働となるシナリオを原子力20%bシナリオとして想定した。いずれのシナリオも、16基が稼働した後、他の原子力発電所も利用して2030年には原子力20%相当になると想定している。更には、このまま原子力の利用が行われない原子力0%シナリオ、また、IEA WEO 2012²⁾の450シナリオにおける原子力シナリオ（2030年に268 TWh/yr）を原子力WEOシナリオ、として想定した。

再生可能エネルギーについては、導入量等に直接的な制約を課さず、モデルによる最適化計算によって導入量を決定する（再エネ最適化シナリオと呼ぶ。）こととした。一方、エネルギー・環境会議の選択肢³⁾において2030年の再生可能エネルギーの総発電電力量に占める比率が25～35%程度と現行エネルギー基本計画（2010年6月閣議決定）の約20%と比べて大幅に大きなものが想定されていたことから、表4-1に示すような再エネの導入量に下限値を課すシナリオ（再エネ拡大シナリオ）も想定した。

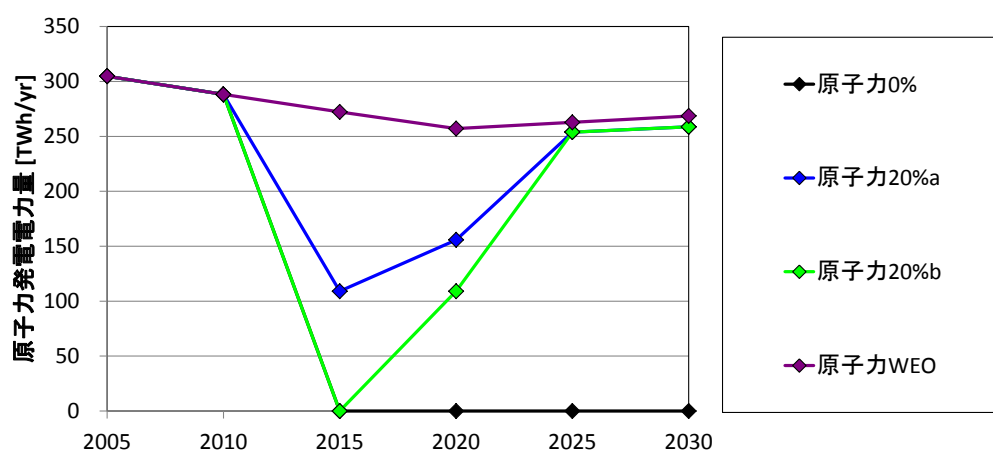


図 4-1 日本の原子力発電シナリオ

表 4-1 再エネ拡大シナリオ（日本）の想定（モデル計算においては表中の数値を下限值として用いる）

	2010 年	2020 年	2030 年
バイオマス発電	14TWh/yr	25 TWh/yr	35 TWh/yr
水力・地熱発電	85TWh/yr	88 TWh/yr	101 TWh/yr
風力発電	4TWh/yr	22 TWh/yr	96 TWh/yr
太陽光発電	4TWh/yr	38 TWh/yr	72 TWh/yr

以上のシナリオについて、世界エネルギー・温暖化対策技術評価モデル DNE21+と世界エネルギー経済モデル DEARS を用いて分析評価を行った。表 4-2 は、本章および第 5 章で分析・評価を行った項目について整理している。

表 4-2 分析・評価を行った項目

項目	分析に用いたモデル等	記載章
(1) CO ₂ 排出量・CO ₂ 限界削減費用	DNE21+	第 4 章 (本章)
(2) 電源構成		
(3) エネルギーシステムコスト、電力価格		
(4) 化石燃料輸入量、輸入額		
(5) 付加価値変化・産業構造・産業リーケージ	DEARS (失業率は 2 次的に推計)	第 5 章
(6) 可処分所得・失業率・家計消費		

4.2 中期のエネルギー・温暖化対策の分析・評価

本節では、第3章で作成した2.5℃安定化_気候感度3.0℃シナリオと2.0℃安定化_気候感度3.0℃シナリオ（本節では、2.5℃安定化シナリオ、2.0℃安定化シナリオと呼ぶ）について、2030年までの日本のエネルギー・温暖化対策について分析した結果について述べる。各国の排出削減分担は、CO₂ 限界削減費用均等化に基づいて決定されたとした。原子力発電については、図4-1に示した4つのシナリオを検討した。再生可能エネルギーについては、再エネ最適化シナリオとした。

図4-2は、CO₂ 限界削減費用を示している。各国の限界削減費用が均等化するとした場合、2.5℃安定化は2020年：10\$/tCO₂、2030年：27\$/tCO₂程度、2.0℃安定化は2020年：15\$/tCO₂、2030年：42\$/tCO₂程度、で達成できると評価されている（日本の原子力発電シナリオによって若干異なるものの、その範囲は1\$/tCO₂未満である）。なお、本節では2030年までを評価対象としてモデル計算を行ったため、第3章での2050年までを評価対象としたモデル計算（図3-5）とは若干の差異が生じている。

図4-3は、ベースライン（特段のCO₂排出抑制を考慮せず、全ての時点にわたって0\$/tCO₂）における日本のエネルギー起源CO₂排出量を示している。原子力0%シナリオでは、排出量のピークは2025年であり、2030年の排出量は1400MtCO₂/yr（2005年エネ起CO₂比+16%）と算定されている。原子力が利用可能なその他のシナリオにおいては、2030年の排出量は1248～1235MtCO₂/yrであり、2005年エネ起CO₂比で概ね+3%程度の水準である。

図4-4は、原子力0%シナリオと原子力WEOシナリオについて、ベースライン、2.5℃安定化シナリオ、2.0℃安定化シナリオそれぞれについて、日本のエネルギー起源CO₂+植林固定を示している。まず、2.5℃安定化シナリオにおいては、原子力が利用できない原子力0%シナリオの2030年CO₂排出量は1300MtCO₂/yrであり、ベースラインから100MtCO₂/yr削減されるものの、2005年のエネルギー起源CO₂排出量と比べて+7%と2005年を上回る排出量である。原子力WEOシナリオでは、2030年の排出量は1183MtCO₂/yrと算定され、2005年エネルギー起源CO₂排出量比で概ね▲4%の水準である。2.0℃安定化シナリオにおいては、原子力0%シナリオでの2030年排出量は1230MtCO₂/yrであり、2005年エネルギー起源CO₂排出量比+1%と、やはり2005年の実績を上回る水準の排出と評価されている。原子力WEOシナリオにおいては、2030年排出量は2005年エネルギー起源CO₂排出量比で▲8%の水準である。

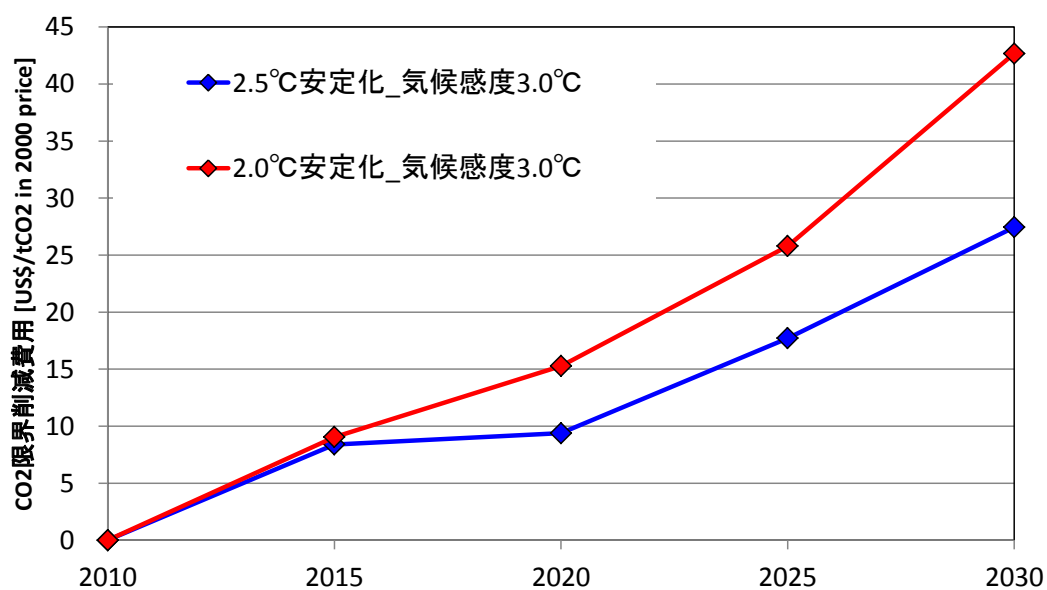


図 4-2 CO₂ 限界削減費用

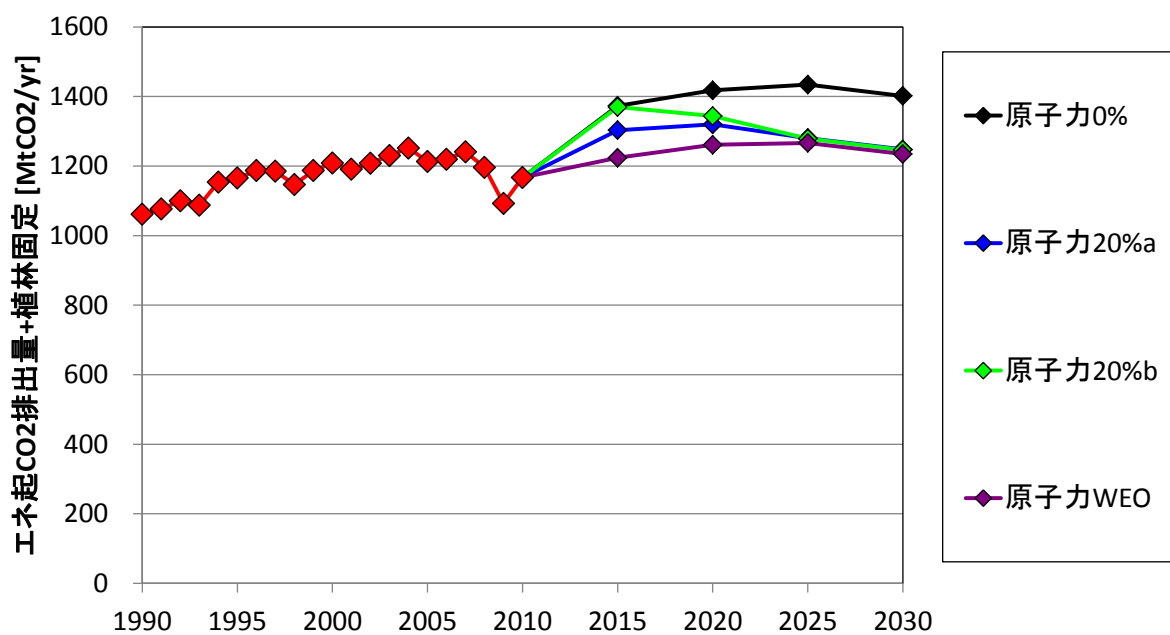


図 4-3 ベースラインにおける日本のエネルギー起源 CO₂ 排出量（1990 年～2010 年は実績値⁴⁾）

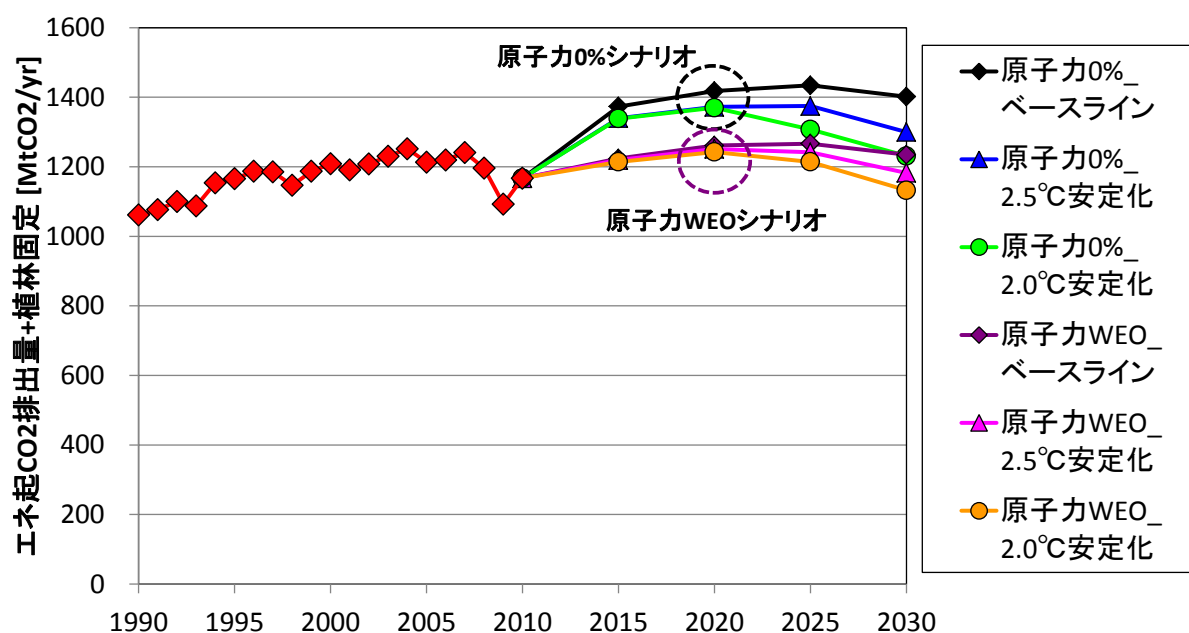


図 4-4 原子力 0%シナリオ、原子力 WEO シナリオの下でのベースラインおよび気温安定化シナリオにおける日本のエネルギー起源 CO₂+植林固定（1990 年～2010 年は実績値⁴⁾）

次に、それぞれのシナリオにおける日本の電源構成について述べる。図 4-5、図 4-6 は、2020 年、2030 年それぞれについて各シナリオの下での日本の電源構成を示している。まず、2020 年においては、CO₂ 限界削減費用が 10～15\$/tCO₂ 程度と比較的安価なこともあり、ベースラインと安定化シナリオ間の差はさほど小さくなく、風力発電の導入が若干進んでいる程度である。

2030 年においては、2.5°C 安定化シナリオでは、ベースラインに比べて 2020 年と同様に風力発電の導入が進む他、原子力 0%シナリオでは石炭火力発電に CCS が導入されている。2.0°C 安定化シナリオにおいては、風力発電が更に拡大される他、石炭火力発電への CCS の導入が原子力 0%シナリオ以外のシナリオにおいてもみられる。なお、太陽光発電については、現状の伸びを参考に、ベースラインにおいても 10TWh/yr の下限値を想定しているが、2.0°C 安定化シナリオにおいても更なる導入は進んでいない。再エネによる発電電力量はモデルの最適化計算によって導いたが、150TWh/yr（原子力 WEO シナリオ）～224TWh/yr（原子力 0%シナリオ）であり、総発電電力量に占める割合は 11%（原子力 WEO シナリオ）～17%（原子力 0%シナリオ）であった。特に太陽光発電については、2.0°C 安定化シナリオの下での日本の排出削減レベル（CO₂ 限界削減費用 42\$/tCO₂）では費用効率性に劣るという結果である。

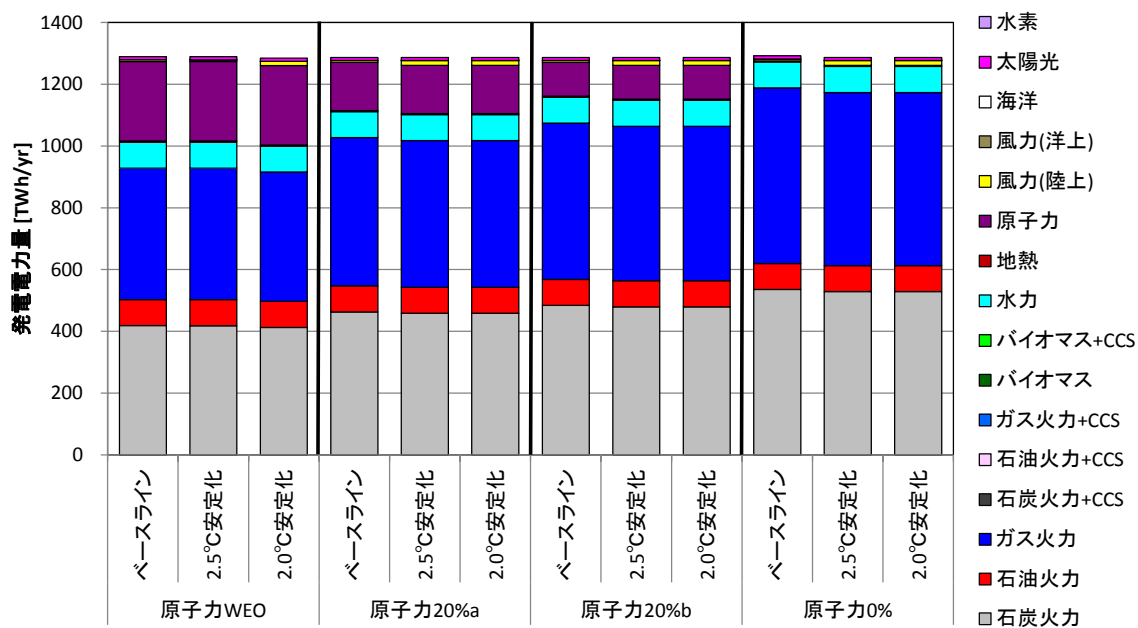


図 4-5 2020 年における日本の電源構成

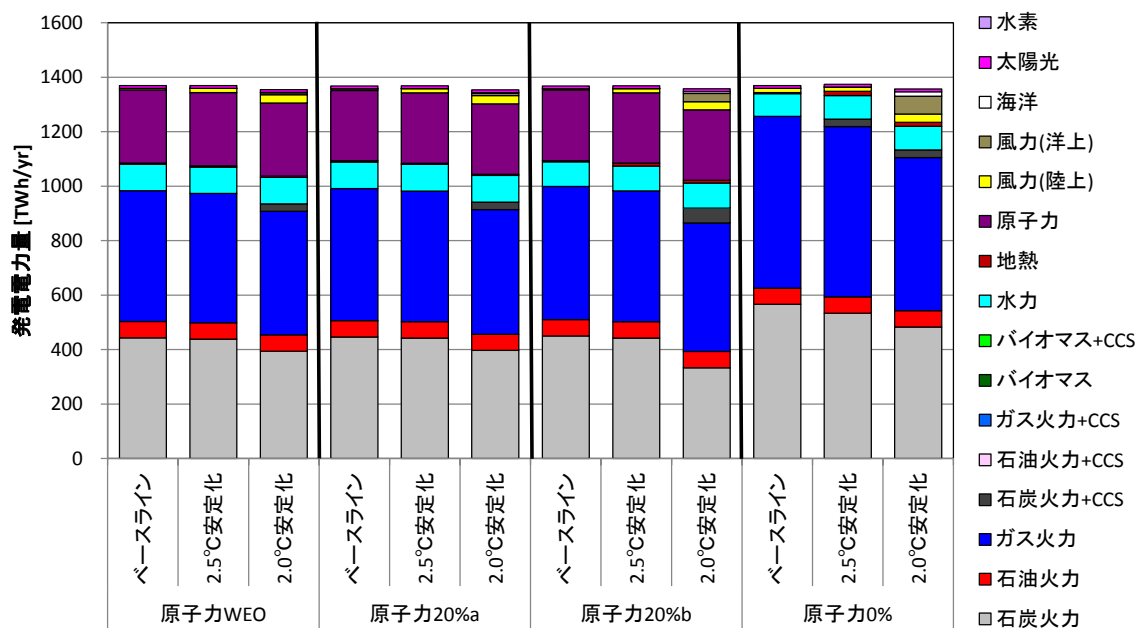


図 4-6 2030 年における日本の電源構成

図 4-7、図 4-8 は、ベースライン、2.5°C安定化、2.0°C安定化について、原子力 WEO シナリオのベースラインを基準とし、GDP 比のエネルギーシステムコストの増分を 2020 年、2030 年について示している。原子力発電が利用できない原子力 0%シナリオでは、原子力 WEO シナリオに比べてエネルギーシステムコストが増加することがわかる。2030 年における増加分は、GDP 比で概ね 0.18% (11 billion US\$/yr, 1.1 兆円) の水準である。なお、図 4-6 に示しているように、原子力 0%シナリオではベースラインにおいて原子力とコスト差が小さい石炭火力発電利用が増大して

いるため、この程度の差で収まっているとも言える。2.5℃安定化、2.0℃安定化においても、CO₂ 限界削減費用がそれほど高い水準ではないため、原子力 0%シナリオにおける石炭火力発電利用は他シナリオに比べて多く、エネルギーシステムコストの上昇は抑制されていると言える。なお、原子力を利用するそれぞれのシナリオにおいても、排出削減のためのエネルギーシステムコストの増加は限定的であり、2.0℃安定化シナリオのエネルギーシステムコストでも原子力 0%シナリオのベースラインにおけるエネルギーシステムコストと比べ、低い水準であると評価されている。

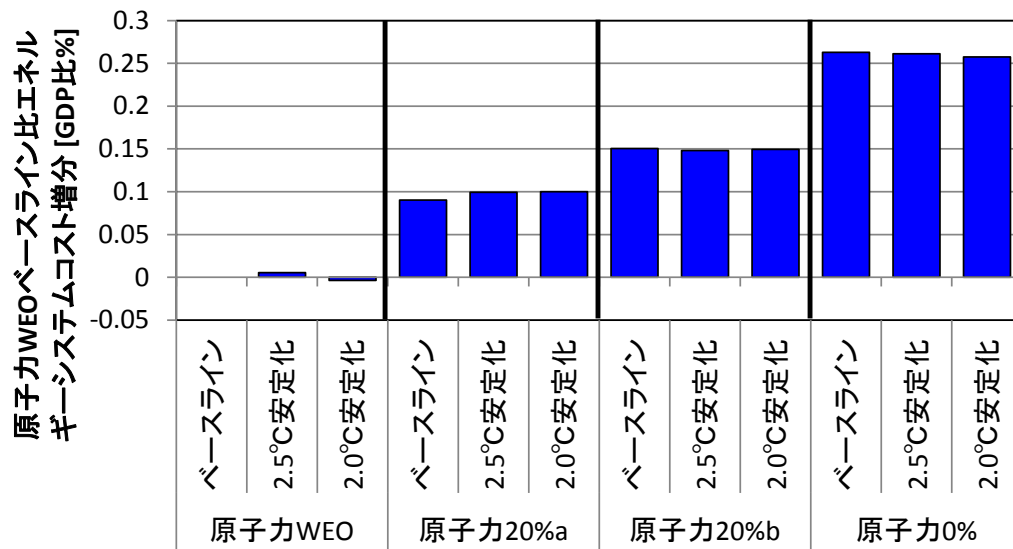


図 4-7 原子力 WEO ベースライン比 GDP 当たりエネルギーシステムコスト増分（2020 年）

注）モデルは複数時点を動的に解いているため、2020 年断面だけで見ると変動が見られる。

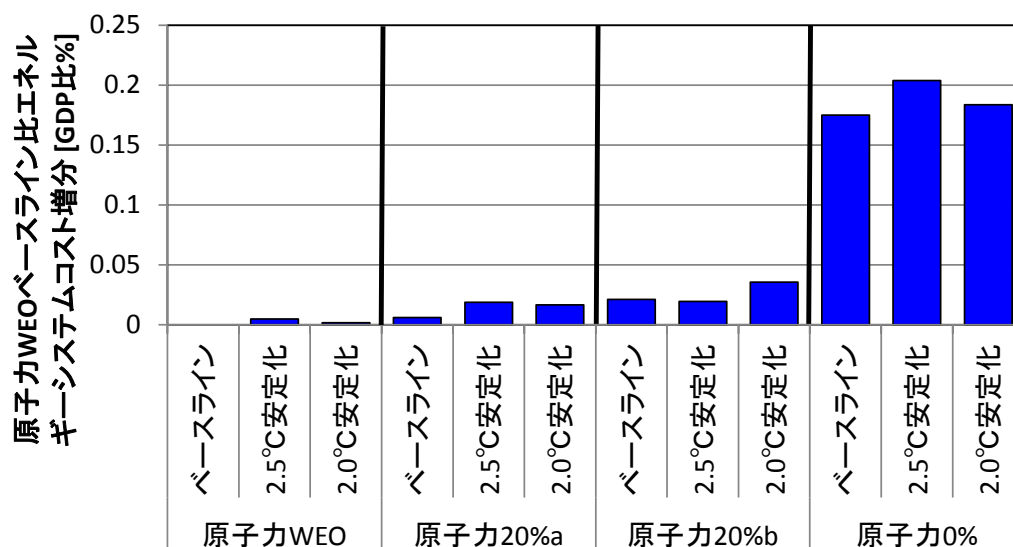


図 4-8 原子力 WEO ベースライン比 GDP 当たりエネルギーシステムコスト増分（2030 年）

注）モデルは複数時点を動的に解いているため、2030 年断面だけで見ると変動が見られる。

次に、電力価格の変化を示す。ここで算定した電力価格は、基準の電力需要から 1kWh 上昇する時の限界的な価格上昇分に相当している。

図 4-9、図 4-10 は、原子力 WEO シナリオにおけるベースラインでの電力価格を基準とし、各原子力シナリオにおける電力価格の上昇を 2020 年、2030 年についてそれぞれ示している。ベースラインにおいては、原子力の利用が多いシナリオの方が電力価格は安い傾向にあり、原子力 0% シナリオでは原子力 WEO シナリオに比べ、2020 年:2.9cent/kWh (2.9 円/kWh)、2030 年:1.7cent/kWh (1.7 円/kWh) の上昇となっている。また、原子力 20%b シナリオも 2020 年の電力価格が高いが、これは 2015 年に一度原子力が停止し、その後 2030 年に向けて増加するといった電源構成が時系列で大きく変動するシナリオの下で、当該時点においては古くて効率の低いガス火力の利用が増えていることに等起因する。排出削減シナリオの下では、更に電力価格は上昇し、原子力 0% シナリオにおいては、2020 年では更に 1.1cent/kWh (1.1 円/kWh)、2030 年では更に 0.5cent/kWh (0.5 円/kWh) 以上の増加となっている。

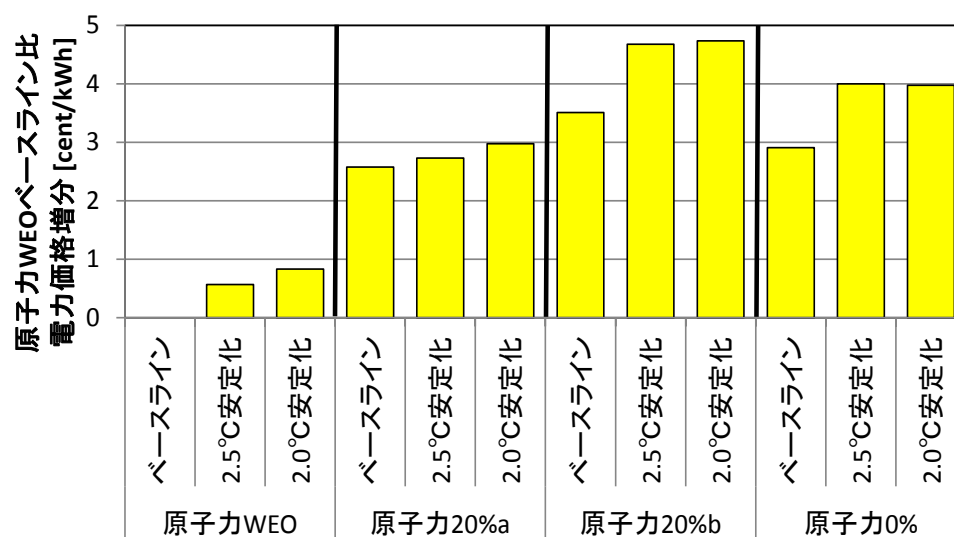


図 4-9 原子力 WEO ベースライン比電力限界価格増分 (2020 年)

注) モデルは複数時点を動的に解いているため、2020 年断面だけで見ると変動が見られる。

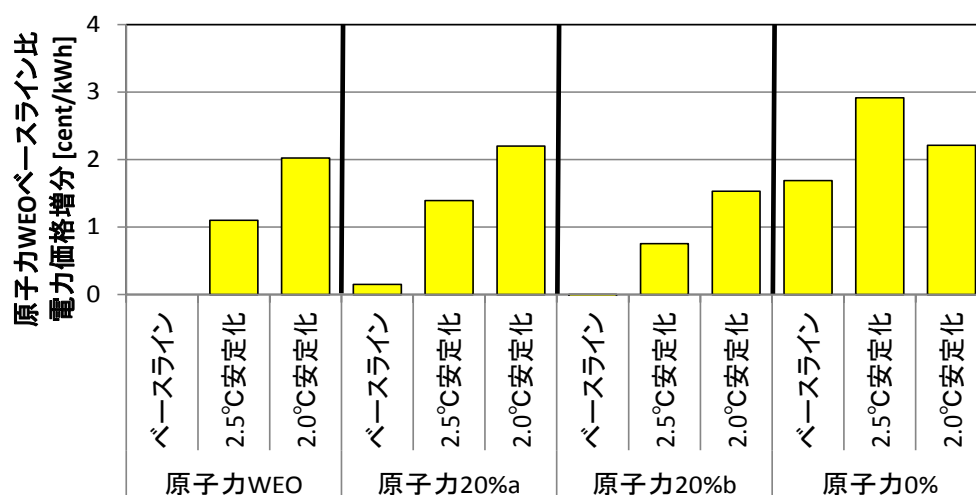


図 4-10 原子力 WEO ベースライン比電力限界価格増分（2030 年）

注）モデルは複数時点を動的に解いているため、2030 年断面だけで見ると変動が見られる。

原子力発電の再稼働が滞っており、化石燃料の輸入額の増加が主要因の一つともなっており、2013 年の貿易赤字は 1 1. 5 兆円にも上り、アベノミクスの効力を削いでいる。資源の乏しい日本がこのような状況が続けられるわけではなく、日本の経済は危機的な状況に陥る可能性がある。ここでは、上記で分析したシナリオにおいて、2020 年、2030 年について、化石エネルギーの輸入量、購入額がどのように予想されるのかを整理した。

発電用化石エネルギー輸入量について、2020 年、2030 年におけるの総量を図 4-11、図 4-12 にそれぞれ示す。ベースラインにおいては、原子力 0%シナリオでは 2020 年、2030 年ともに 200Mtoe/yr を超える輸入量になると評価された。これは、東日本大震災の前の 2010 年の総化石エネルギー輸入量(427Mtoe/yr⁵⁾)の 47%、石炭及び LNG の総輸入量(198Mtoe/yr⁵⁾)を若干上回る水準である。原子力発電利用を行うシナリオでは化石燃料の輸入量は抑制され、原子力 WEO シナリオでは 2020 年：162Mtoe/yr、2030 年：166Mtoe/yr と原子力 0%シナリオに比べて 2 割強の削減となっている。2.0°C安定化においては、原子力 0%シナリオでの輸入量は 2020 年：198Mtoe/yr、2030 年：184Mtoe/yr とベースラインに比べて若干削減されるが、原子力発電が利用できるシナリオのベースラインに比べて未だ多い。原子力利用を行うシナリオでは、2020 年では 180Mtoe/yr(原子力 20%b シナリオ)～158Mtoe/yr(原子力 WEO シナリオ)、2030 年では 150Mtoe/yr 程度と評価された。

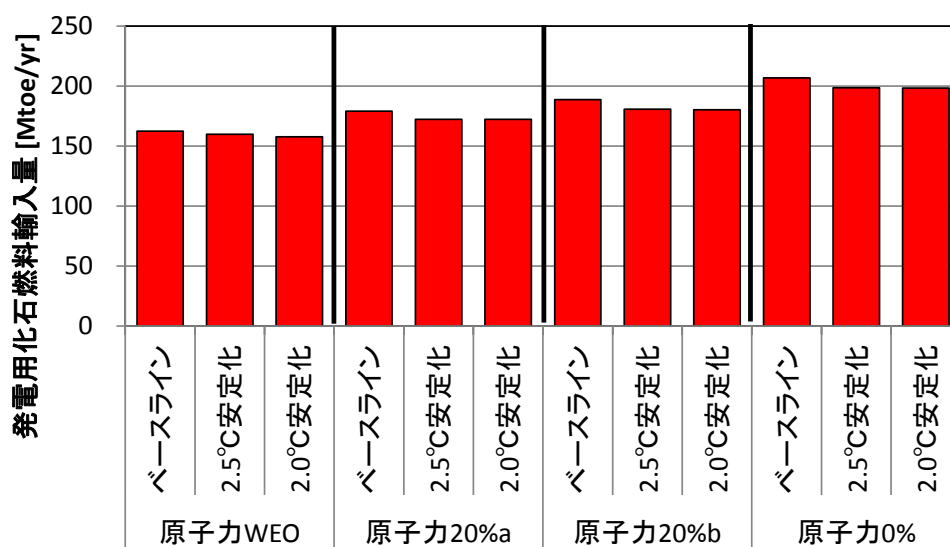


図 4-11 発電用化石燃料輸入量（2020 年）

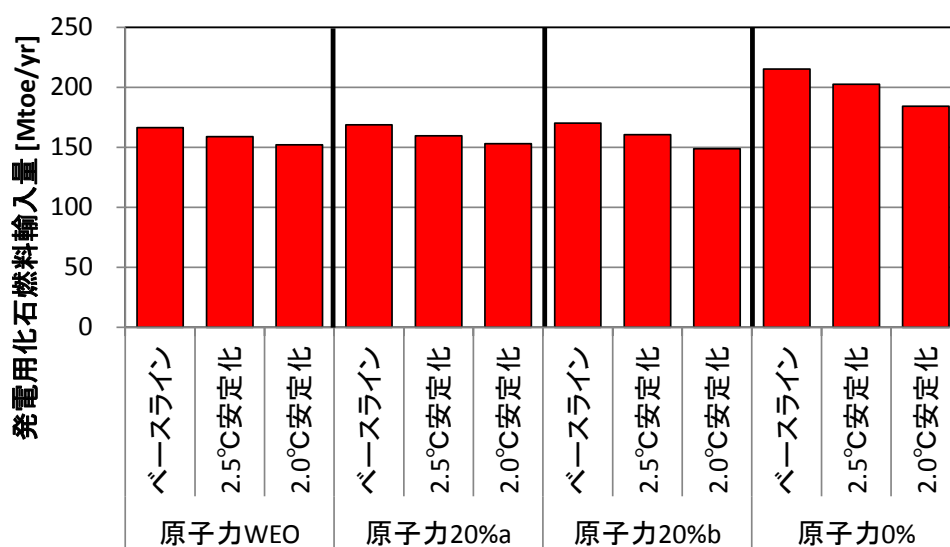


図 4-12 発電用化石燃料輸入量（2030 年）

図 4-13、図 4-14 は、原子力 WEO ベースラインを基準として、発電用化石燃料輸入額の増分を 2020 年、2030 年について示している。原子力が利用できない分、火力発電に依存する原子力 0% シナリオでは、ベースラインにおいて 2020 年では 13billion US\$/yr（年間 1.3 兆円）、2030 年では 15billion US\$/yr（年間 1.5 兆円）の増加と評価されている。

2.5°C安定化、2.0°C安定化においては、風力発電の導入等により発電用化石燃料の利用が抑制されることから、それぞれの原子力シナリオにおいてベースラインよりも化石燃料輸入額は減少する。但し、特に原子力 0%シナリオにおいては火力発電への依存が大きく、原子力 WEO シナリオのベースラインに比べ、2.5°C安定化では 2020 年、2030 年ともに約 11billion US\$/yr（年間 1.1 兆円）、2.0°C安定化では 2020 年 11billion US\$/yr（年間 1.1 兆円）、2030 年 5billion US\$/yr（年間 0.5 兆円）の増加となっている。

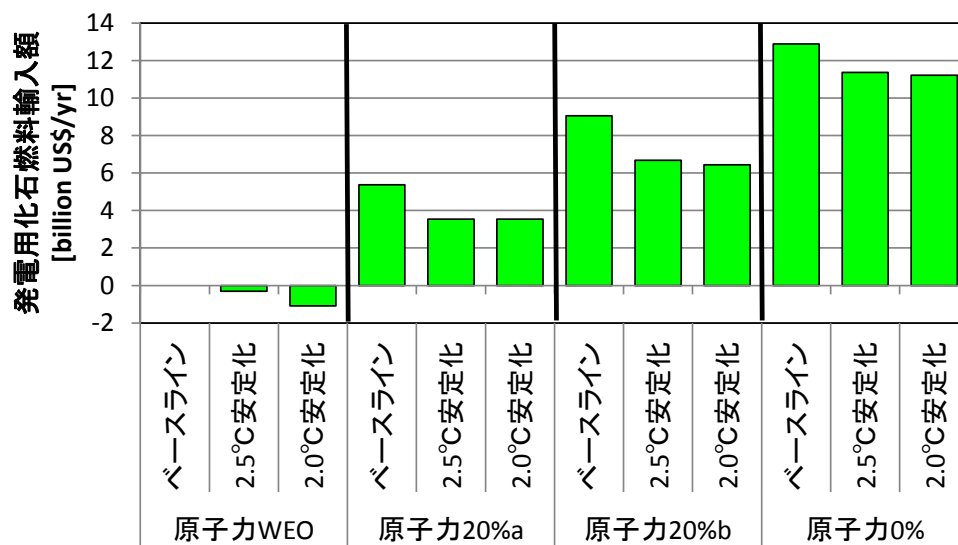


図 4-13 原子力 WEO ベースライン比発電用化石燃料輸入額増加（2020 年）

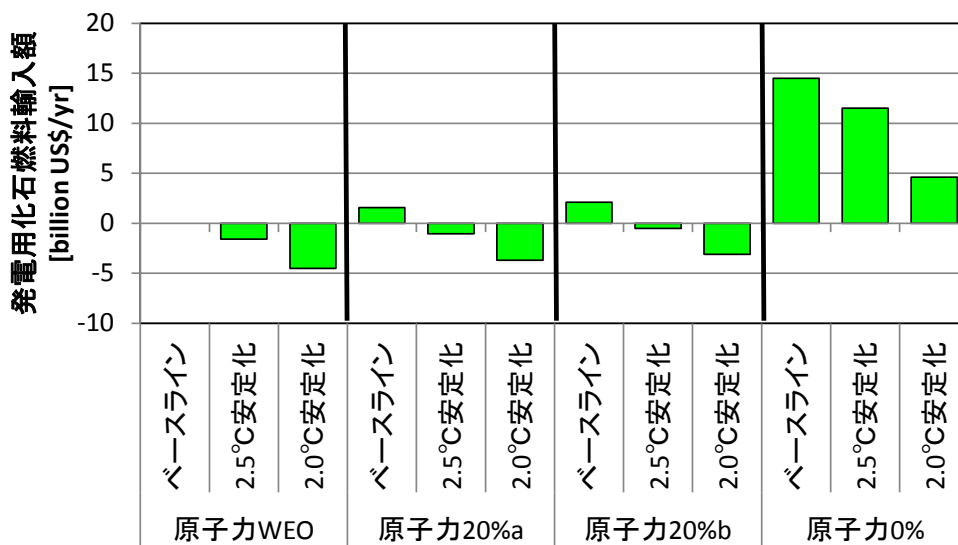


図 4-14 原子力 WEO ベースライン比発電用化石燃料輸入額増加（2030 年）

4.3 2030 年の国際衡平性の視点からの分析・評価

前節では、世界の CO₂ 限界削減費用均等化に基づいて日本の排出削減分を決定し、その下で中期のエネルギー・温暖化対策の分析を行った。図 4-15 は、各国の 2030 年における CO₂ 限界削減費用曲線推計を示したものである。長期シナリオとして、たとえば 2.5°C 安定化を考える場合には、2030 年の限界削減費用が 27\$/tCO₂ 程度と推計されるので（図 4-2）、各国の限界費用曲線との交点まで、すべての国が排出削減を行うと、世界で最も費用効率的に排出削減ができることとなる。しかし、図 4-15 で見られるように、日本は省エネルギーが進展している等のため、限界削減費用曲線が他国よりも急峻で、限界削減費用が 27\$/tCO₂ までの対策を実施しても、排出削減率は 2005

年比で▲4%程度に留まる。逆に他国と同じ削減率の排出削減を実現しようとすれば、大きな費用が必要となることがわかる。費用効率的な排出削減の面から、国内対策としては基本的には CO₂ 限界削減費用均等化に基づいた対策に沿うことが重要である。

しかし、日本がその経済的な地位などから、国際社会に貢献する寄与分は別途検討する必要がある。このため、排出削減分担における国際衡平性に関する分析を行った。国際衡平性に関する一意の指標は存在せず、様々な議論が有り得るが、ここでは GDP 比費用均等化と一人当たり排出量均等化を取り上げて分析を行った。なお、実際にはこのような指標での分担とする場合であっても、それを国内対策のみで実施するというものではなく、費用効率的な排出削減という点から、世界の CO₂ 限界削減費用が均等化した対策を目指しつつ、その分担に相応する分を様々な国際貢献を織り交ぜて対応していくべきである。

なお、本節の分析では原子力発電シナリオは、原子力 WEO シナリオとした。

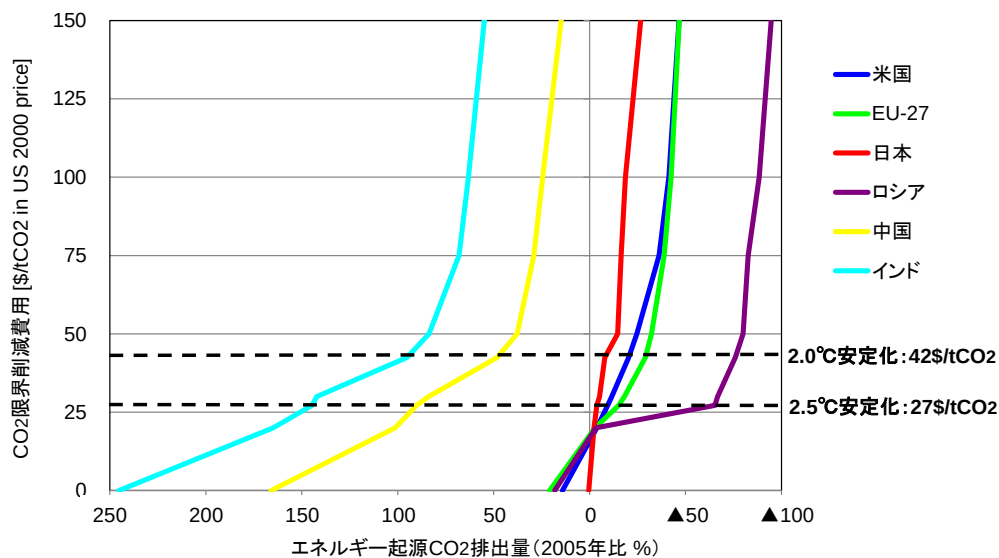


図 4-15 各国の 2030 年における CO₂ 限界削減費用曲線

注) 日本の原子力発電は IEA WEO2012 の 450 シナリオに従うとした場合の試算値

(1) GDP 比費用均等化

2030 年の排出削減分担について、2030 年時点の GDP に対する費用（エネルギーシステムコスト増分）を均等化させることとして、日本の排出枠、CO₂ 限界削減費用、GDP 比費用を算定した。GDP 比費用均等化は、対策費用の負担能力に応じて削減を求めるものと言える。なお、分析においては各国とも国内対策で排出削減を行うことを想定した。表 4-3 に結果を示す。

2.5°C 安定化においては、日本の排出枠は 916MtCO₂/yr と算定された。これは、2005 年エネルギー起源 CO₂ 比で ▲25% に相当する。この目標を真水で達成するとすればその際の CO₂ 限界削減費用は 143\$/tCO₂、GDP 比費用は 0.24% と算定された。CO₂ 限界削減費用均等化時の排出枠は 1183MtCO₂/yr（2005 年エネ起 CO₂ 比 ▲3%）と比較して、大きく排出削減を進めることが必要になる。

2.0°C 安定化においては、日本の排出枠は 731MtCO₂/yr と算定された。これは、2005 年エネルギー

一起源 CO₂ 比で▲41%に相当し、更に大きく排出削減を進めることとなる。この目標を真水で達成するとすれば、CO₂ 限界削減費用は 403\$/tCO₂、GDP 比費用は 0.6%と評価された。

表 4-3 GDP 比費用均等化時の排出枠、CO₂ 限界削減費用、GDP 比費用（2030 年）

	排出枠（エネ起 CO ₂ +植林固定）		CO ₂ 限界削減費用 [\$/tCO ₂ in US 2000 price]	GDP 比費用 [%]
	[MtCO ₂ /yr]	[05 年比%]		
2.5℃安定化	916	▲25%	143	0.24
2.0℃安定化	731	▲41%	403	0.60

図 4-16 は、GDP 比費用均等化時の 2030 年における日本の電源構成を示している。2.5℃安定化時には、石炭火力からガス火力への代替、石炭火力への CCS の導入、バイオマス発電や風力発電（洋上含む）の拡大といった対策がとられることが見てとれる。再生可能エネルギー全体では、約 270TWh/yr の発電電力量であり、総発電電力量に占める割合は 21%となっている。更に排出削減の厳しい 2.0℃安定化時には、石炭火力+CCS を更に排出原単位に優れる石油火力+CCS、ガス火力+CCS で代替するといった対策が取られ、火力発電は極端にガスに依存する構成が CO₂ 排出削減のことだけを考えると費用効率的とされている。なお、これは CCS の CO₂ 回収率を 90%としていること、CCS による CO₂ 貯留量には拡大制約を設けており、2030 年に貯留可能な CO₂ の量が限られていることに大きく依存する部分があることに注意されたい(例えば、2030 年時点により CCS が可能とすれば、費用面で優れている石炭火力+CCS も採用される。)。CO₂ 限界削減費用が約 400\$/tCO₂ と非常に高いことから、太陽光発電を大規模に普及拡大させる結果である。再生可能エネルギー全体では 435TWh/yr の発電電力量であり、総発電電力量に占める割合は 34%にも達している。

この時の電力限界価格の増分は、原子力 WEO シナリオのベースライン比で、2.5℃安定化：6.2cent/kWh（6.2 円/kWh）、2.0℃安定化：11.9cent/kWh（11.9 円/kWh）であり、前節の限界削減費用均等化時と比較して、大幅な電力価格の上昇は免れないこととなる。これはこの高い限界削減費用の下では、図 4-16 で見られるように、比較的安価な石炭利用がなされないため、原子力の代替オプションが高い電源に限定されてしまうためである。

発電用化石燃料の輸入量については、図 4-16 のように大きく電源構成を変えることにより、2.5℃安定化では 119Mtoe/yr、2.0℃安定化では 81Mtoe/yr となり、図 4-6 に示した限界削減費用均等化時の原子力 WEO シナリオ（2.5℃安定化：159Mtoe/yr、2.0℃安定化：152Mtoe/yr）と比べて大きく削減される。但し、輸入額については、2.5℃安定化ではベースラインに比べて 2billion US\$/yr の増加となった。これは、価格の安い石炭から価格の高いガスに大きく転換したことに起因する。2.0℃安定化については、更にガス依存が強まっているが、総量が大きく削減されているため、11billion US\$/yr の抑制となっており、限界削減費用均等化時(図 4-12)に比べて更に 6billion US\$/yr 抑制されている。

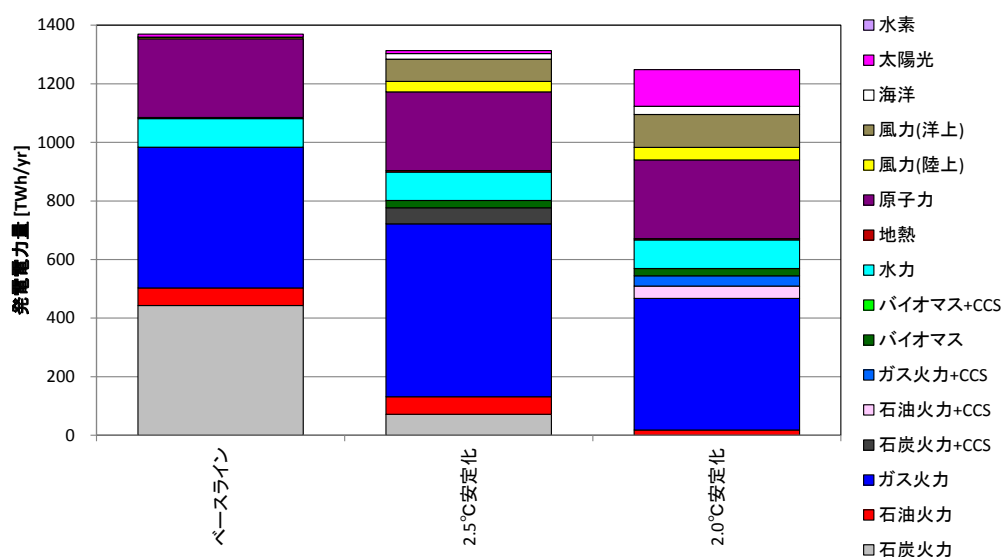


図 4-16 ベースラインと GDP 比費用均等化時の日本の電源構成（2030 年）

(2) 一人当たり排出量均等化

一人当たり排出量均等化については、均等化する時点や、何年を基準に均等化を考えるかなどが各国の排出割り当てに大きな影響を及ぼす。これらについて大きな仮定を置くことが必要である。また、一人当たり排出量均等化は一見衡平な割り当てのように見えるものの、この仮定次第で大きく排出割り当てが変わり得るが、これを論理的に決定することが困難である。また、一人当たり排出量均等化は、気候、国土の大きさ、人口密度などの不可避的な地理的文明的な状況を無視したものにもなることに注意が必要である。

本節では、以下のような仮定をおいて一人当たり排出量均等化基準から 2030 年の日本の排出枠を導いた。

- ・均等化に向けた基準年：2010 年
- ・均等化年：2050 年（2050 年排出量と世界全体の 2050 年人口から一人当たり排出量が決定される。）
- ・一人当たり排出量が 2010 年から 2050 年にかけて線形で収斂すると仮定する。但し、その場合 2030 年の世界全体の排出許容量に合致しないため、合致するように各国・各地域比例的に排出量を調整する。

表 4-4 は、算定された一人当たり排出量均等化時の排出枠と、真水で排出削減を達成した場合の CO₂ 限界削減費用、GDP 比費用を示している。2.5°C 安定化では、排出枠は 828MtCO₂/yr（2005 年エネ起 CO₂ 比▲33%）と算定され、前節の GDP 比費用均等化よりも排出削減が必要となる結果であった。CO₂ 限界削減費用については、再エネ最適化シナリオでは 180\$/tCO₂、再エネ拡大シナリオでは 185\$/tCO₂ と算定された。GDP 比費用については、再エネ最適化シナリオで 0.40%、再エネ拡大シナリオで 0.39% と評価された。なお、2030 年単時点で見ると再エネ拡大シナリオの方が若干安いという結果であったが、他の時点では費用の高い再エネの拡大を制約として課す再エネ拡大シナリオの方が GDP 比費用は高い結果であった。

2.0℃安定化では、排出枠は 746MtCO₂/yr（2005 年エネ起 CO₂ 比▲39%）であり、CO₂ 限界削減費用は再エネ最適化シナリオで 296\$/tCO₂、再エネ拡大シナリオで 307\$/tCO₂ であった。GDP 比費用については、再エネ最適化シナリオで 0.56%、再エネ拡大シナリオで 0.57%と評価された。

表 4-4 一人当たり排出量均等化時の排出枠、CO₂ 限界削減費用、GDP 比費用（2030 年）

	排出枠（エネ起 CO ₂ +植林固定）		CO ₂ 限界削減費用 [\$/tCO ₂ in US 2000 price]	GDP 比費用 [%]
	[MtCO ₂ /yr]	[05 年比%]		
2.5℃安定化	828	▲33%	180 (185)	0.40 (0.39)
2.0℃安定化	746	▲39%	296 (307)	0.56 (0.57)

注：括弧内の数値は、再エネ拡大シナリオの場合の結果。

図 4-17 は、一人当たり排出量均等化時の 2030 年における日本の電源構成を示している。排出枠は、表 4-3 に示した GDP 比費用均等化時の 2.5℃安定化～2.0℃安定化の間に位置する水準であるが、石炭火力の利用は難しい状況となっている。2.5℃安定化と 2.0℃安定化の間に大きな差異は無く、2.5℃安定化から 2.0℃安定化への追加的な排出削減は、発電部門以外によるところが大きいことが伺える。再生可能エネルギーについては、全体で 390TWh/yr～400TWh/yr のオーダーであり、総発電電力量に占める割合は 30%程度と非常に大きい。

図 4-17 からわかるように、一人当たり排出量均等化時の排出枠においては、原子力発電電力量を固定としていること、先に述べたように CCS の貯留量も限られること、といった理由から、再エネ最適化シナリオでも再エネ拡大シナリオで想定している下限値以上の再エネの導入を行うこととなり、表 4-4 に示したように CO₂ 限界削減費用や GDP 比費用において両シナリオ間の差異は大きくない。但し、排出削減レベルが比較的緩やかな場合には、費用の高い再エネを拡大する再エネ拡大シナリオの方が GDP 比費用は高くなる。図 4-18 には再エネ最適化シナリオにおけるベースラインの排出量からの削減と GDP 比対策費用の相関を示しているが、削減量が 250MtCO₂/yr 程度より小さい場合（CO₂ 限界削減費用で 100\$/tCO₂ 以下の水準）、再エネ最適化シナリオの方が安価な費用で排出削減を達成できていることがわかる。

電力限界価格の増分については、前節の GDP 比費用均等化と同様に大幅な上昇となり、2.5℃安定化では原子力 WEO シナリオベースライン比で約 7cent/kWh（7 円/kWh）、2.0℃安定化では原子力 WEO シナリオベースライン比で約 10cent/kWh（10 円/kWh）と評価された。

発電用化石燃料の輸入量については、GDP 比費用均等化と同様に電源構成を大きく変えることにより、2.5℃安定化、2.0℃安定化共に約 96Mtoe/yr まで抑制される。その際の輸入額は原子力 WEO シナリオのベースライン比で-1billion US\$/yr であり、ガス依存度が強まることから限界削減費用均等化時の 2.5℃安定化（-2billion US\$/yr、図 4-12）とほぼ同じ水準に留まる。

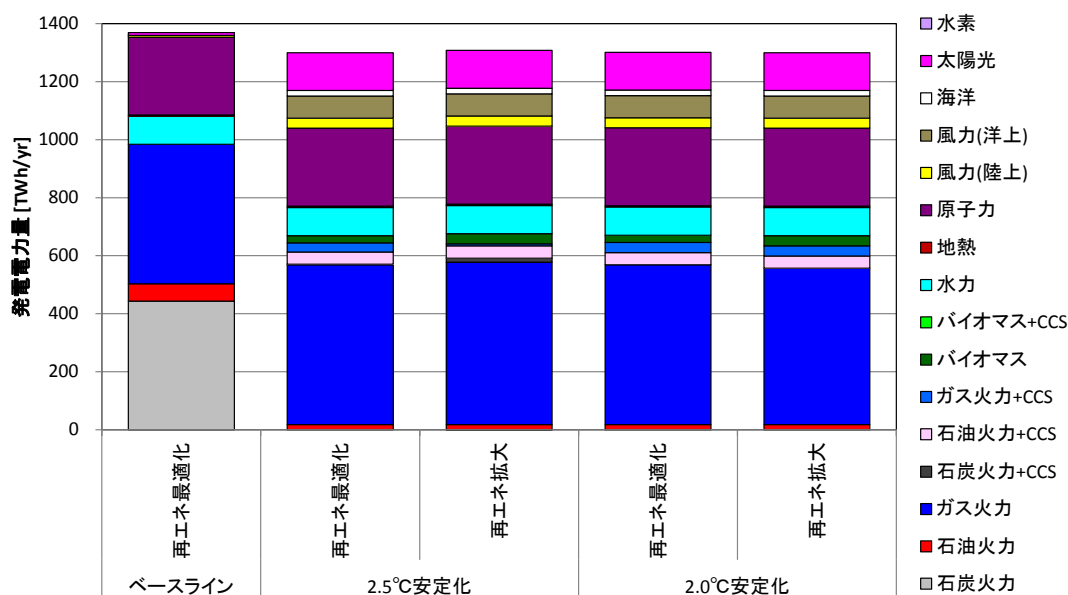


図 4-17 ベースラインと一人当たり排出量均等化時の日本の電源構成 (2030 年)

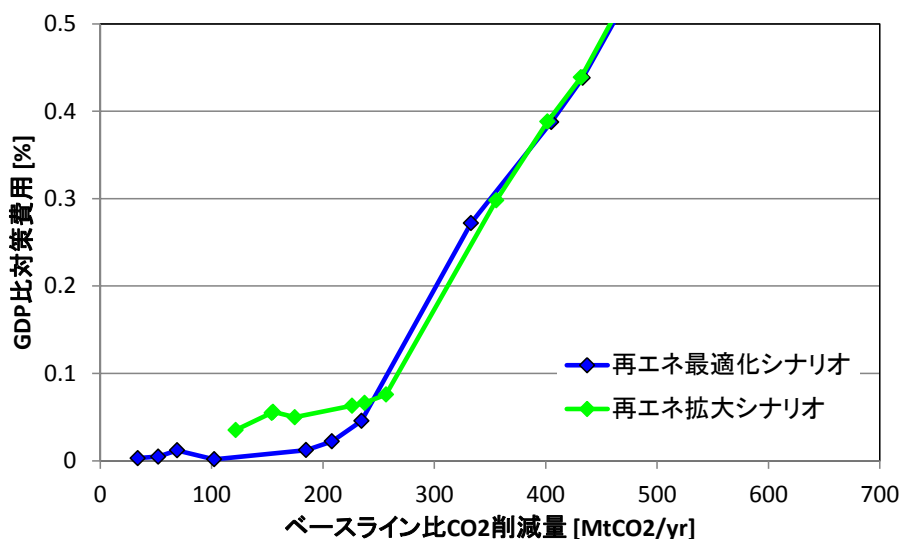


図 4-18 再エネ最適化シナリオベースライン比 CO₂ 削減量と GDP 比対策費用の相関 (2030 年)

(3) 主要国の比較

前節までは、国際衡平性に関する指標として、GDP 比費用均等化と一人当たり排出量均等化を取り上げ、日本の状況について分析を行った。本節では、日本以外の主要国もあわせて、それぞれの指標の下での排出枠やその際の費用について整理を行う。なお、前節と同様に、各国は排出削減を国内対策のみで行うとした場合について示す。

表 4-5、表 4-6 は、2.5℃安定化時、2.0℃安定化時の主要国における排出枠、CO₂ 限界削減費用、GDP 比費用を示している。日本と、先進国である米国、EU-27 においては、限界削減費用均等化の下での排出枠が他の指標に比べて最も緩やかであり、CO₂ 限界削減費用や GDP 比費用の面でも相対的に負担は小さい。世界全体で最も費用効率的に排出削減を行う場合、その他の途上国にお

いてより安価な排出削減ポテンシャルがあるためと言える。なお、GDP 比費用均等化、一人当たり排出量均等化については、米欧の CO₂ 限界削減費用は概ね同じ水準にあるものの、日本は欧米と比べて突出して高い CO₂ 限界削減費用となる結果であり、産業のリーケージの影響が懸念される。なお、一人当たり排出量均等化は、人口増加が予想される米国では割り当てが大きくなりやすく、人口低減が予想される日本では割り当てが小さくなりやすい傾向が見ることができる。いずれにしても、先に述べたように、国内対策のみで実施するというものではなく、その分担に相応する分を様々な国際貢献を織り交ぜて対応していくべきである。

中国については、一人当たり排出量均等化の下での排出枠が他の指標に比べて最も厳しく、2005 年からの排出増は認められるものの、大きな排出削減が必要となる。これは、一人当たり排出量均等化の起点とした 2010 年における中国の一人当たり排出量は 5.6tCO₂/capita と既に世界平均に比べて大きいこと（フランスと同レベル）、人口は 2035 年にピークアウトする想定であり、2030 年にかけて大きく増加しないと見込んでいること（2010 年：13.7 億人、2030 年：14.8 億人）、に依る所が大きい。なお、2.0℃安定化においては、CO₂ 限界削減費用は米欧よりも高く、GDP 比費用も 1.28%と非常に高い水準となっている。

ロシアとインドについては、限界削減費用均等化の下での排出枠が他の指標に比べて最も厳しく、排出削減を大きく進める結果である。その結果、GDP 比費用は大きくなっており、特に 2.0℃安定化時のロシアの GDP 比対策費用は 4.67%と非常に大きい。また、一人当たり排出量均等化についても、2.0℃安定化時の GDP 比費用は、ロシアは 3.61%、インドは 1.41%と先進国である日米欧に比べて非常に高い水準にあり、現実には先進国からの協力なしには成立しないレベルの排出枠であると言える。

表 4-5 2.5℃安定化時の主要国の排出枠、CO₂ 限界削減費用、GDP 比費用（2030 年）

	ベースライン排出量（エネルギー CO ₂ ）[05 年比%]	排出枠（エネルギー CO ₂ +植林固定）[05 年比%]			CO ₂ 限界削減費用 [\$ / tCO ₂ in US 2000 price]			GDP 比費用 [%]		
		限界削減費用均等化	GDP 比費用均等化	一人当たり排出量均等化	限界削減費用均等化	GDP 比費用均等化	一人当たり排出量均等化	限界削減費用均等化	GDP 比費用均等化	一人当たり排出量均等化
米国	+14	▲9	▲24	▲25	27	49	56	0.08	0.24	0.26
EU-27	+21	▲15	▲29	▲25	27	42	37	0.11	0.24	0.22
日本	+0	▲4	▲25	▲33	27	143	180	0.00	0.24	0.40
ロシア	+18	▲65	+17	▲29	27	2	23	2.69	0.24	3.30
中国	+166	+90	+75	+39	27	33	47	-0.01	0.24	0.80
インド	+245	+145	+150	+180	27	25	16	0.27	0.24	-0.19

表 4-6 2.0℃安定化時の主要国の排出枠、CO₂ 限界削減費用、GDP 比費用（2030 年）

	ベースライン排出	排出枠（エネルギー CO ₂ +植林固定）[05 年比%]	CO ₂ 限界削減費用 [\$ / tCO ₂ in US 2000 price]	GDP 比費用 [%]
--	----------	--	---	-------------

	量 (エネ 起 CO ₂) [05 年 比%]	限界削 減費用 均等化	GDP 比費用 均等化	一人当 たり排 出量均 等化	限界削 減費用 均等化	GDP 比費用 均等化	一人当 たり排 出量均 等化	限界削 減費用 均等化	GDP 比費用 均等化	一人当 たり排 出量均 等化
米国	+14	▲20	▲41	▲30	42	101	59	0.19	0.60	0.33
EU-27	+21	▲29	▲46	▲33	42	138	60	0.24	0.60	0.33
日本	+0	▲8	▲41	▲39	42	403	296	0.00	0.60	0.56
ロシア	+18	▲76	+14	▲34	42	4	23	4.67	0.60	3.61
中国	+166	+48	+55	+20	42	40	114	0.71	0.60	1.28
インド	+245	+95	+131	+100	42	33	38	1.50	0.60	1.41

4.4 中期のシナリオ分析のまとめ

本章では、第3章で想定した長期のシナリオについて、2030年までのエネルギー起源 CO₂ 排出パスに焦点を当てた分析を DNE21+モデルを用いて行った。世界全体で最も費用効率的に排出削減を行う CO₂ 限界削減費用均等化の下では、2030年における日本の CO₂ 排出削減目標は産業革命以前比 2℃安定化シナリオの下でも、エネ起 CO₂ で 2005 年比 ▲8% 程度 (CO₂ 限界削減費用 42\$/tCO₂ 程度)、産業革命以前比 2.5℃安定化シナリオの下では ▲4% 程度 (CO₂ 限界削減費用 27\$/tCO₂ 程度) と評価される。このとき、日本のエネルギーシステムコスト等への影響は、この長期の排出削減目標の違いよりも原子力発電の利用の程度による影響の方が大きいと評価された。

一方、国際衡平性の視点から、GDP 比費用均等化、一人当たり排出量均等化の2種類の指標を取り上げ、排出削減分担、およびその際の電源構成やエネルギーシステムコスト等の状況について分析・評価を行った。GDP 比費用均等化の場合、2030 年における日本の CO₂ 排出削減目標は 2005 年比エネ起 CO₂ 比で 2.5℃安定化シナリオの下では ▲25%、2℃安定化シナリオの下では ▲41% と算定され (仮に真水で (国内対策のみで) 対策を行うとすると、CO₂ 限界削減費用は 2.5℃安定化シナリオでは 143\$/tCO₂、2℃安定化シナリオでは 403\$/tCO₂)、仮にこれを国内対策として実行しようとするれば、CO₂ 限界削減費用均等化時と比べて劇的に困難な対策が必要なり、エネルギーシステムコスト増分や電力価格の上昇 (最高でベースライン比 +12cent/kWh 程度) はかなり大きなものとなる。一方、発電部門の化石燃料輸入量については、需要部門の省エネによる発電電力量の抑制の他、大規模な再生可能エネルギーの導入によって CO₂ 限界削減費用時と比べて抑制されるものの、価格の高いガスに大きく依存することから化石燃料輸入額は CO₂ 限界削減費用時と比べて逆に上昇するケースもみられた。

第3章で議論したように、2℃安定化シナリオは非現実的になっており、2.5℃安定化シナリオ (短中期的には 2100 年 2℃ (オーバーシュート) シナリオもほぼ同等) などの下で検討すべき状況にある。この場合、日本の 2030 年の排出削減レベルは、2005 年比で ▲4~▲25% 程度 (ただしエネ起 CO₂ を基準とした削減率であり、▲4% は国内対策のみ、▲25% の場合は国内対策分 (最低限 ▲4%) に加え、様々な海外貢献分も含んだ場合) が、世界の長期の排出削減パスから求められると考えられる。ただし、これは原子力発電が IEA WEO シナリオ相当 (2030 年に 20% 強) の場

合であり、仮にこれが実現できないならば、より緩やかな排出削減目標レベルとなる可能性が高い。

参考文献（第4章）

- 1) 原子力規制委員会 <http://www.nsr.go.jp/>（2014年2月5日アクセス）
- 2) IEA, World Energy Outlook 2012 (2012).
- 3) 日本政府 エネルギー・環境会議、「エネルギー・環境に関する選択肢」
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20120629/20120629_1.pdf (2012)
- 4) IEA, CO₂ Emissions from Fossil Fuel Combustion (2013 Edition).
- 5) IEA, Energy Balances of OECD Countries (2013 Edition)

5. 世界エネルギー経済モデルによるシナリオ分析

本章では、世界エネルギー経済モデル DEARS による分析を実施した。第4章の2℃安定化シナリオ（平衡気候感度は3.0℃を想定、限界削減費用均等化）のもとで、2020年と2030年の原子力シナリオによる経済影響を分析した。また、基準となる参照ケースとして、原子力 WEO シナリオ・ベースライン（温暖化対策無し）を用いた。次に、DNE21+モデルによって推計した GDP 比費用均等化シナリオの限界削減費用のもとでの、2020年と2030年の原子力シナリオによる経済影響を分析した。

5.1 限界削減費用均等化時の2℃安定化シナリオの経済影響分析

(1) 付加価値変化・産業構造

本節では産業分野に関連した指標への影響をまとめた。第4章で示したように、比較的安価な原発をどの程度利用可能とするかによって、電力価格は異なる。原発の利用可能量とCO₂の削減目標によって電気料金は変化し、それらは家計部門における電気代の負担増のみならず、産業部門など経済全体に波及的な影響が及ぶ。

図5-1には、2℃安定化シナリオにおける GDP 変化（参照ケース比）を示した。CO₂排出抑制を想定した2℃安定化シナリオでは、原発の動向によって若干の差異が見られるものの、2020、2030年の限界削減費用は小さいために、その差異は小さい。

2030年の原子力20%a、20%b、WEOシナリオではGDPロスは0.7%程度（年4.5～4.6兆円程度）である一方、原子力0%シナリオでは1.3%減程度（年8.4兆円程度）である。2℃安定化シナリオ・限界削減費用均等化ケースで限界削減費用が100\$/tCO₂を超えて大きくなるのは2040年以降であるものの、原子力0%シナリオでは2030年で原子力WEOシナリオと比べて4兆円程度GDPロスが大きい。安価な原子力発電を使用せず化石燃料発電や再生可能エネルギー発電を増加させるために電力価格が相対的に高い原子力0%シナリオでは、エネルギー多消費産業を中心に、付加価値の減少が若干大きくなる。2020年では、原子力WEOシナリオの原子力比率が相対的に大きいため、原子力WEOシナリオのGDP変化が最も小さくなる。

図5-2と図5-3には、2020年と2030年の部門別付加価値額変化をそれぞれ示した。産業部門別の影響は、各産業のエネルギー原単位や波及効果の状況によって異なる。エネルギー多消費産業の付加価値額の損失は大きく、エネルギー原単位（付加価値当たりのエネルギー消費量）が比較的小さい組立産業である機械産業などは小さい。また、さらにエネルギー原単位が小さいサービス産業は、利得となる場合がみられる。しかし、電力価格の高い原子力0%シナリオでは、2030年にはサービス産業の付加価値額も損失となると推計された。

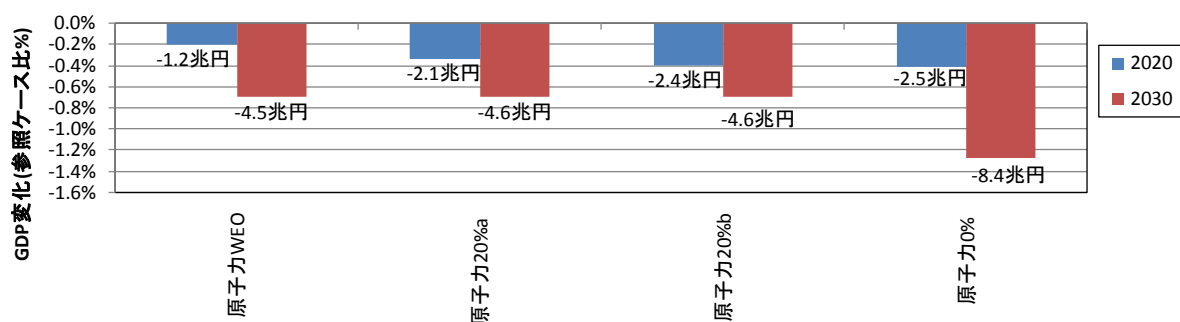


図 5-1 2℃安定化シナリオにおける GDP の変化

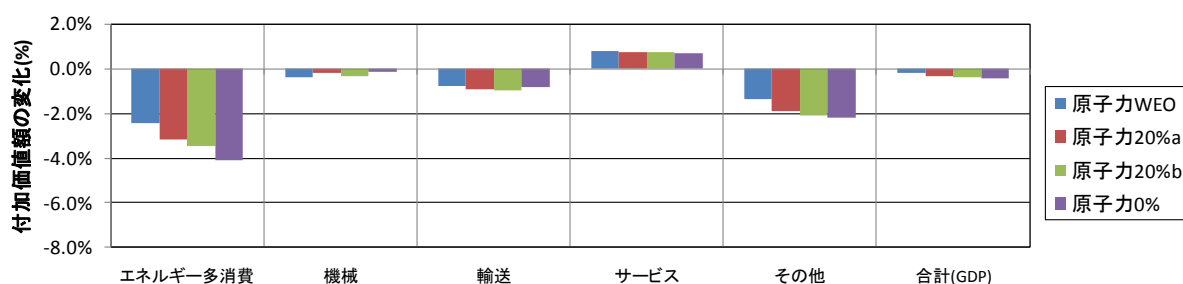


図 5-2 2℃安定化シナリオにおける部門別付加価値額の変化（2020 年）

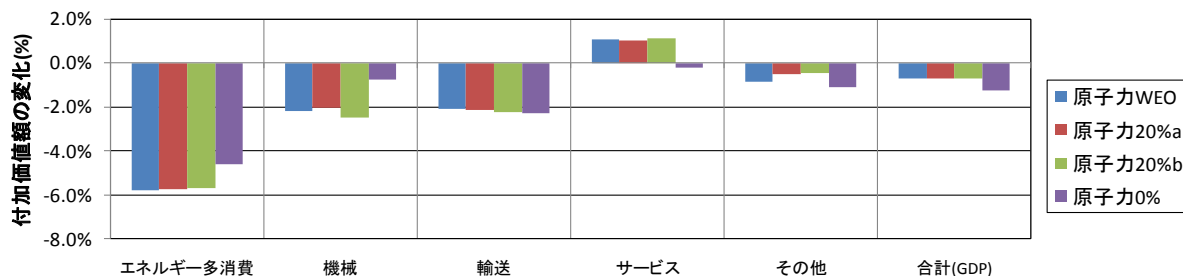


図 5-3 2℃安定化シナリオにおける部門別付加価値額の変化（2030 年）

注）エネルギー多消費産業について、原子力 0%シナリオでは、2030 年では落ち込み額が若干小さくなっており、代わりにサービス産業の付加価値額が他シナリオよりも大きく減少している。一方、図 5-2 で見られるように、2020 年では他の原子力シナリオに比べ相対的に大きい。これは、モデルは動学的に解いていること、また、他産業との相互関係等の複合的な影響を受けているためである。

(2) 可処分所得・失業率・家計消費

本節では、家計に関係の深い指標として、可処分所得と失業率、家計消費への影響について整理した。

a) 可処分所得

可処分所得は、労働賃金や配当などの所得の合計から、所得税や社会保険料などを差し引いた

所得であり、購買力に大きな影響をもたらすとされている。図 5-4 と図 5-5 には、2℃安定化シナリオにおける 2020 年と 2030 年の可処分所得の変化をそれぞれ示した。2020 年においては、0.3%~0.5%程度の低減に収まっている。前述の GDP と同様に、原発比率が相対的に高い原発 WEO シナリオでは低減の度合いが若干小さい。2030 年には、原発の動向が、可処分所得により影響を及ぼす。原子力 0%シナリオでは 1.6%程度の可処分所得の減少となる。一方、その他の 3 シナリオは 0.9%程度と同レベルの可処分所得の減少となる。

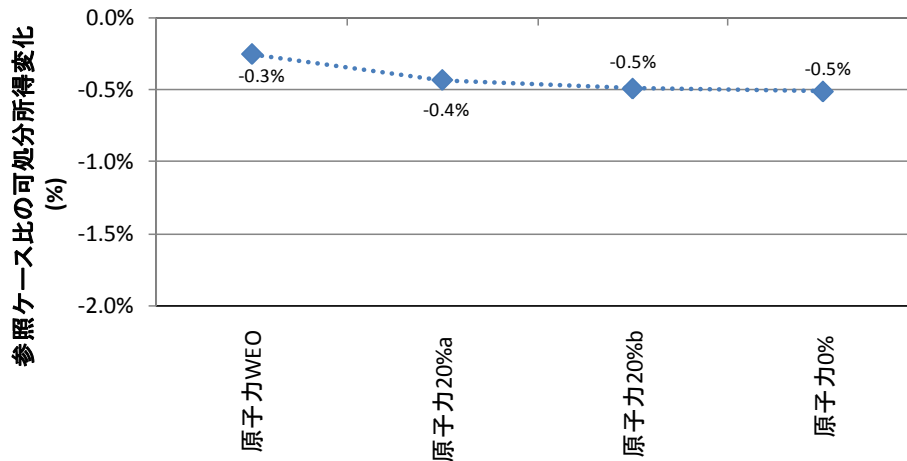


図 5-4 2℃安定化シナリオにおける 2020 年の可処分所得の変化

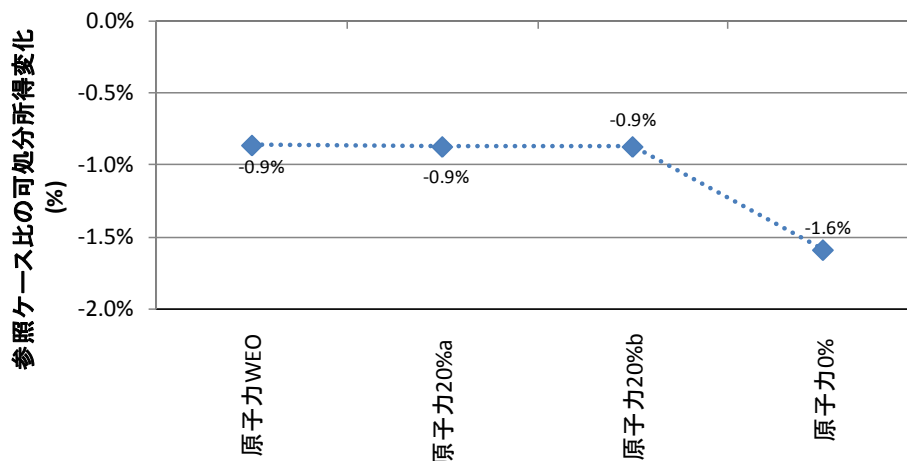


図 5-5 2℃安定化シナリオにおける 2030 年の可処分所得の変化

b)失業率

DEARS モデルは完全雇用を想定しており、モデルで内生的に失業率を算定することはできない。しかし、失業率は重要な指標であるため、ここでは簡便な方法（付録 B 参照）で失業率を概算した（図 5-6、5-7）。2030 年原発 0%シナリオにおいては、概ね+0.4%程度と推計された。ここでは、2℃安定化シナリオという厳しいシナリオを想定したもの、一方、世界全体で限界削減費用均等化を想定したため、この程度で留まるものの、次節で示す GDP 比削減費用均等化のケースではより大きな失業率が推計される。

なお、参考までに図 5-8 に日本における失業率の過去の推移を示した。1980 年代から 1990 年代前半と、2000 年代前半の失業率との差は、2%程度である。

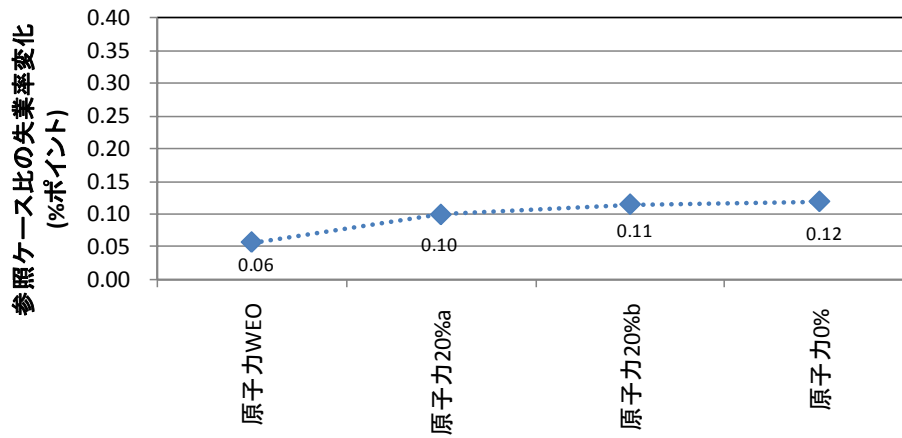


図 5-6 2℃安定化シナリオにおける 2020 年の失業率の変化

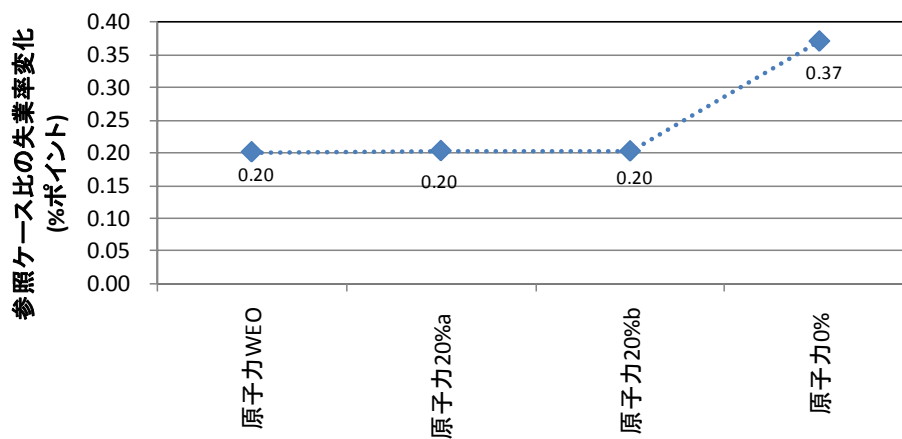


図 5-7 2℃安定化シナリオにおける 2030 年の失業率の変化

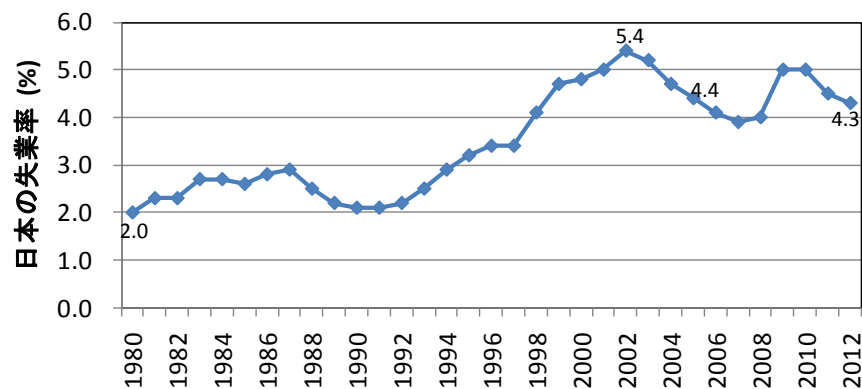


図 5-8 日本における失業率の推移（出典：WDI2013）

c)家計消費

ここでは、家計消費がどのように変化するか、どの費目の消費の変化が大きいのかについて評価を行った。2℃安定化シナリオにおいて、2020 年では 0.1%程度の家計消費の変化であり、大きな変化は見られないと推計された。一方、2030 年では、原発比率が比較的高い参照ケース（原子力 WEO シナリオ・ベースライン）に比べて、住居関連費や衣料費や自動車関連費などがやや減少すると見られ、2030 年で 0.6~1.4%程度の家計消費の低減となる。原発の動向は、産業部門に影響を与え、可処分所得を変化させ、また、電気代の支出増によって、両者が複合的に影響し、他の消費を抑制する。

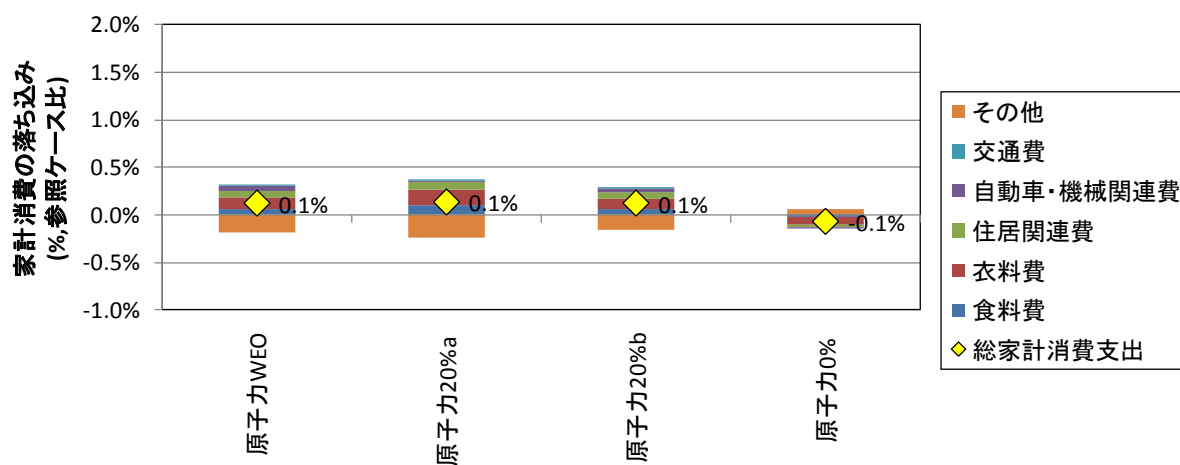


図 5-9 2℃安定化シナリオにおける 2020 年の家計消費の落ち込み

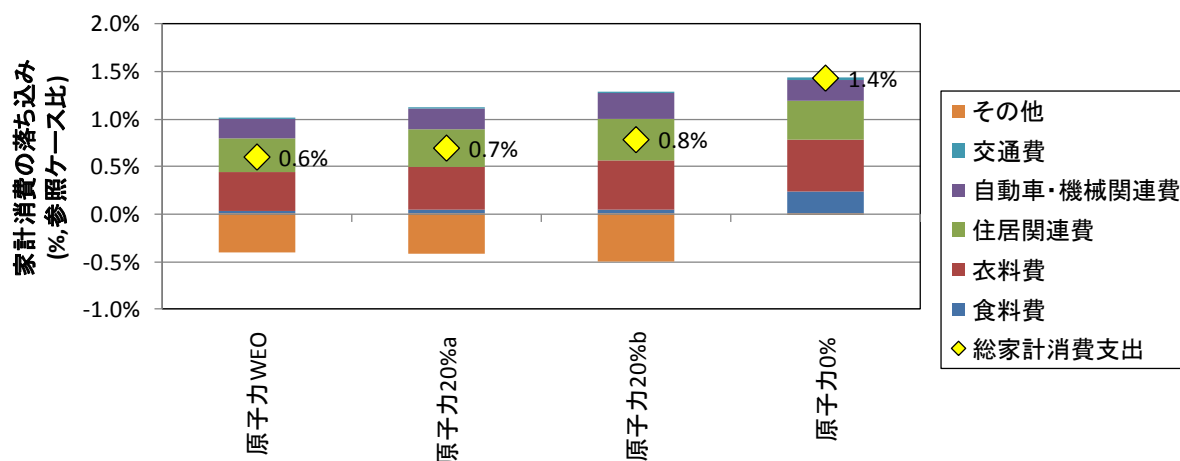


図 5-10 2℃安定化シナリオにおける 2030 年の家計消費の落ち込み

5.2 GDP 比費用均等化シナリオの経済影響分析

本節では、第 4.3(1)の GDP 比費用均等化シナリオにおける限界削減費用のもとでの、2020 年と

2030 年の原子力シナリオによる経済影響を分析した。原子力シナリオとして、原子力 WEO と原子力 0% の 2 種類と、排出削減目標として 2.5℃および 2.0℃目標安定化シナリオの 2 種類の組み合わせによる計 4 シナリオについて分析を行った。エネルギー経済モデル DEARS への入力条件として、DNE21+モデルから得られた日本の電源構成比率と限界削減費用（表 5-1）を与えた。

表 5-1 前提条件とした限界削減費用（DNE21+による GDP 比費用均等化ケースの分析結果）

		2020	2030
原子力 WEO	2.5℃安定化	49	143
	2.0℃安定化	138	403
原子力 0%	2.5℃安定化	45	131
	2.0℃安定化	101	295

注) 原子力 0%では、原子力 WEO ケースよりも、GDP 比費用が高くなる分、GDP 比費用均等化で割り当てると排出削減の深堀がされないため、限界費用としてみると低くなっている。

(1) 付加価値変化・産業構造

GDP 比費用均等化の下では、2℃安定化シナリオにおいて、日本が必要となる限界削減費用が高くなるため、原子力発電の動向が GDP に与える影響は大変大きくなる。原子力 0%・2℃安定化シナリオにおいて、2020 年に約+2.0%（年間 12.3 兆円程度）であり、2030 年には+3.3%（年間 21.4 兆円程度）の GDP ロスとなり、厳しい削減目標であることが示される。

一方、原子力比率の高い原子力 WEO・2℃安定化シナリオでは、原子力 0%シナリオよりも限界削減費用が高いものの、2030 年に+2.7%の GDP ロス（年間 17.9 兆円程度）となり、経済影響が緩和される。

また、限界削減目標が相対的に低い 2.5℃安定化シナリオにおいても同様の傾向がみられ、原子力 WEO・2.5℃安定化シナリオでは 2030 年に 1.3%程度（年間 8.9 兆円程度）の GDP ロスとなり、これでも大きな GDP ロスが推計されるものの、ただし 2℃安定化シナリオと比較すれば経済影響は大幅に緩和される。

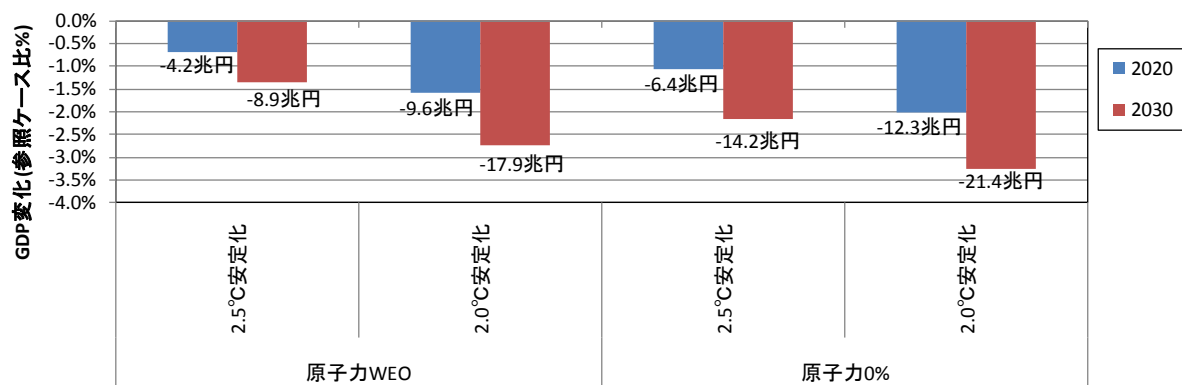


図 5-11 2020 年と 2030 年の原子力シナリオ・安定化シナリオ別の GDP の変化

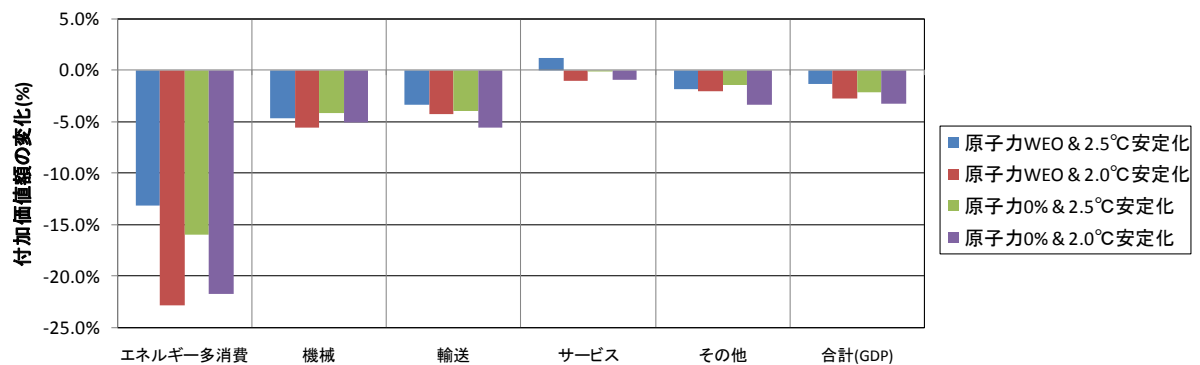


図 5-12 部門別付加価値額の変化 (2030 年)

(2) 可処分所得・失業率・家計消費

a) 可処分所得

原子力 0%・2℃安定化シナリオにおける可処分所得は、2020 年に 2.5%程度の低減であり、2030 年には 4.1%程度の低減と推計された（図 5-13、5-14）。一方、原子力比率の高い原子力 WEO・2℃安定化シナリオでは、2030 年に 3.4%程度の可処分所得の低減となる。原子力比率が高く緩やかな削減目標である、原子力 WEO・2.5℃安定化シナリオでは、2030 年に 1.7%程度の可処分所得の低減にとどまる。

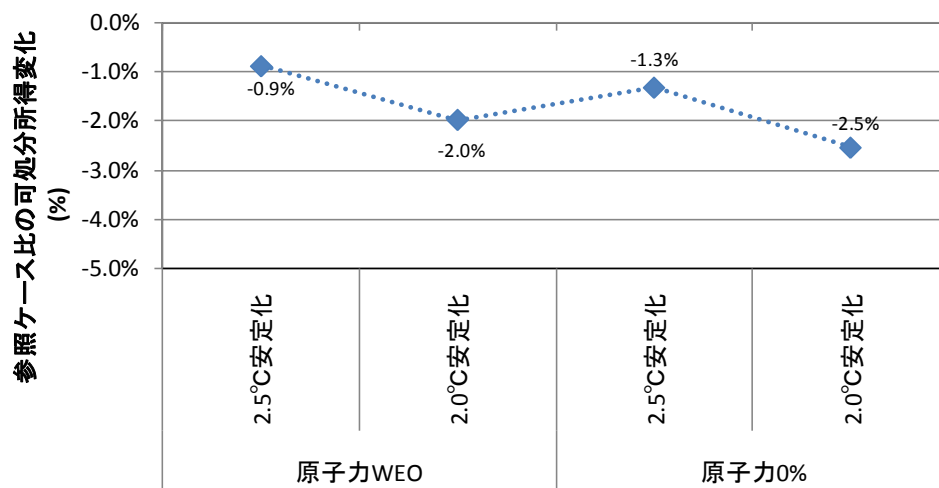


図 5-13 2020 年の原子力シナリオ・安定化シナリオ別の可処分所得の変化

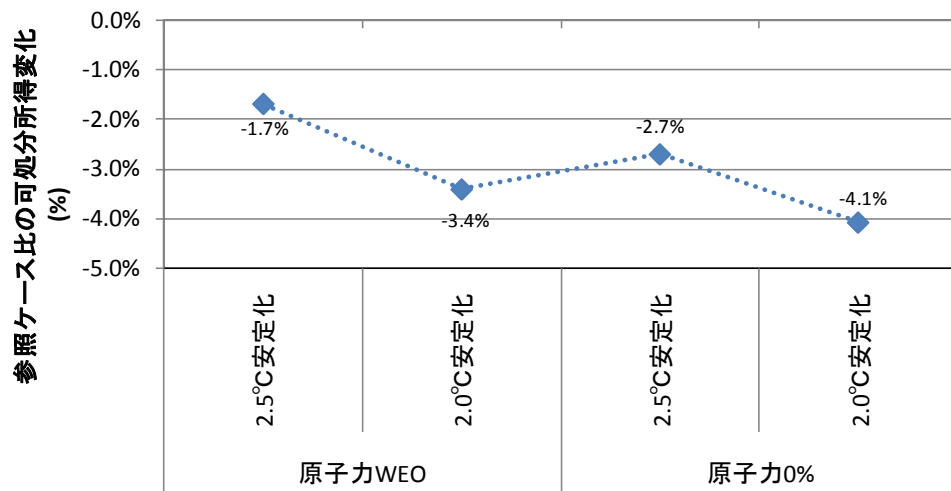


図 5-14 2030 年の原子力シナリオ・安定化シナリオ別の可処分所得の変化

b)失業率

図 5-15、5-16 で見られるように、原子力 0%・2°C安定化シナリオにおいて、2020 年に約+0.6%であり、2030 年には+1.0%の失業率の増加となる。一方、原子力 WEO・2°C安定化シナリオでは、原子力 0%よりも限界削減費用が高いものの、2030 年に+0.8%ポイントの失業率増加ととどまる。原子力 WEO・2.5°C安定化シナリオでは、2030 年に+0.4 程度の失業率の増加となり、他のシナリオと比較では大幅な緩和が見込まれる。

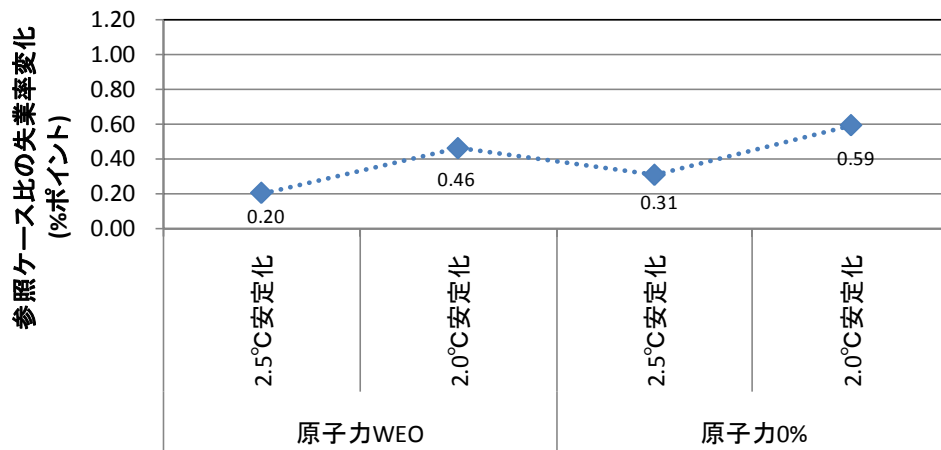


図 5-15 2020 年の原子力シナリオ・安定化シナリオ別の失業率の変化

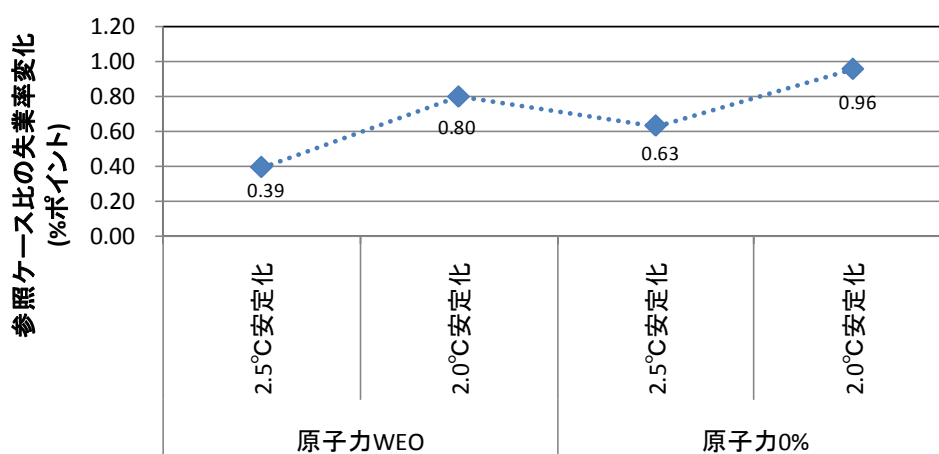


図 5-16 2030 年の原子力シナリオ・安定化シナリオ別の失業率の変化

c)家計消費

図 5-17、5-18 で示すように、2°C安定化シナリオでは、家計消費の落ち込みが相対的に大きい。また、原子力の動向が与える影響もみられる。原子力 0%・2.0°C安定化シナリオでは、2030 年の家計消費の落ち込みが 4.0%と推計され、家計への大きな影響が推計される。費目別にみると、衣料費や自動車・機械関連費の落ち込みが大きい。一方、2.5°C安定化シナリオでは、2°C安定化シナリオに比べ、家計消費の落ち込みは相対的に小さい。原子力の動向も影響を与え、原発比率が高い原子力 WEO・2.5°C安定化シナリオでは家計消費の落ち込みの度合いは相対的に小さく、2030 年に 1.5%程度となり、家計消費への影響は大幅に緩和される。

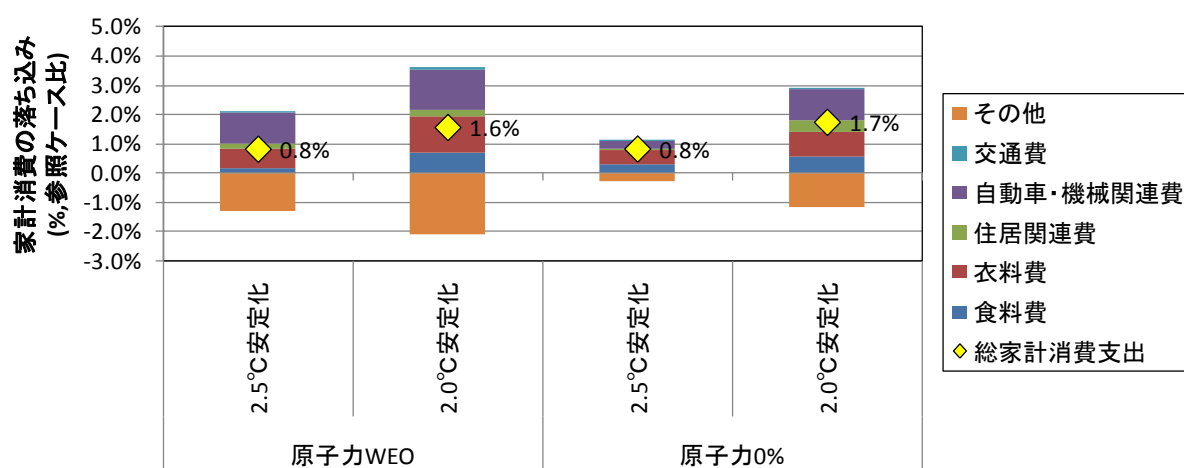


図 5-17 2020 年の原子力シナリオ・安定化シナリオ別の家計消費の落ち込み

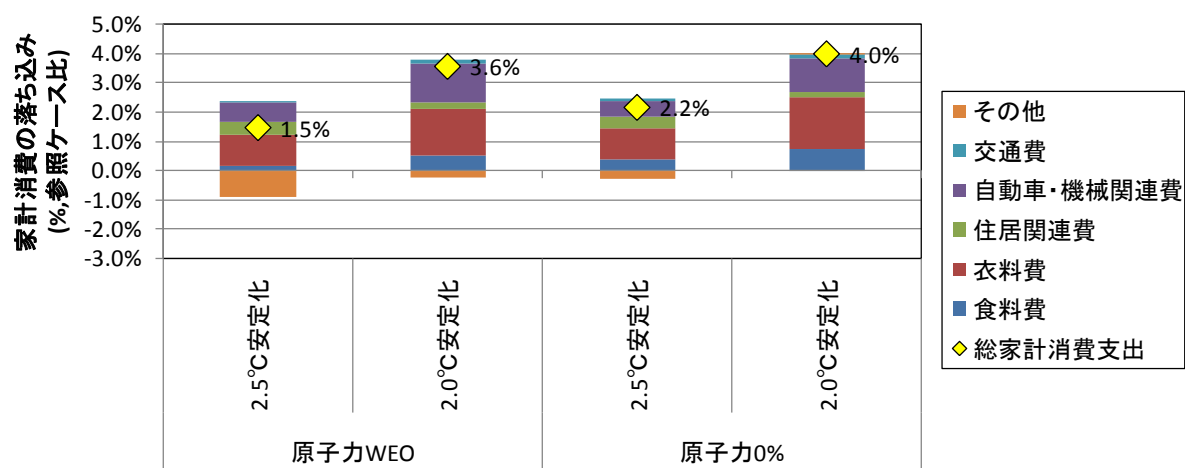


図 5-18 2030 年の原子力シナリオ・安定化シナリオ別の家計消費の落ち込み

6. 世界および日本の地球温暖化・エネルギー政策の評価

第1章で記述したように、UNFCCCのADPにおいて、2020年以降の枠組みについて2015年第1四半期までに各国が自国の排出削減目標について約束草案を示すことを招請するとされている。また、IPCCの第5次のWG1報告が昨年9月、WG2報告が本年3月末に公表され、またWG3報告が本年4月に、そして統合報告書が本年10月に公表される予定となっている。また、新たなエネルギー基本計画が間もなく閣議決定され、その後、具体的なエネルギーミックスの検討も進められると見られる状況にある。このように、日本のエネルギー・温暖化政策は極めて重要な時期にある。

本研究でここまでに実施してきた様々な分析、評価を基にすると、世界および日本の地球温暖化・エネルギー政策に対して、以下のような示唆がまとめられる。

- 2007年出版のIPCC第4次評価報告書(AR4)では、最も低いレベルのシナリオとして450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオも取り上げられ、多くのシナリオの中で整理された。450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオは、温室効果ガス(GHG)濃度が450 ppm CO₂-eqの状態が持続し、気温上昇が平衡状態に達したときの気温が、産業革命以前比2℃以内に収まる可能性があると考えられた。このシナリオを基に、その後の気候変動国際交渉において、いわゆる2℃目標が取り上げられることとなり、また、G8などにおいては、世界排出量を2050年までに半減するという目標が取り上げられてきた。
- しかしながら、450 ppm CO₂-eq 安定化(≡そのとき平衡気温で産業革命以前比2℃以内)シナリオは、中国等の途上国を中心としたGHG排出増に伴った世界排出量の増大により、仮に実現しようとするれば、2030年までに潜在的に増大傾向が続く世界排出量を、2010年比で40%以上も削減しなければならず、このシナリオの実現はまず不可能といえることができる。
- 温暖化緩和シナリオ分析の専門家の間では、あまり明確に語られることもないままにも、450 ppm CO₂-eq 安定化はまず不可能であるため、AR4で示された450 ppm CO₂-eq 安定化シナリオではなく、産業革命以前比2℃安定化シナリオ(濃度変化と気温変化との間には時間遅れがあるため、濃度のオーバーシュートを認めれば、2℃を超えない排出パスを見いだせる)が分析の検討対象に移ってきていた。この場合、450 ppm CO₂-eq 安定化は緩やかな目標となるものの、それでも、近年の世界排出量の増大によってこの達成はかなり困難と見られる。すなわち、この目標実現のためには、現状から世界排出量をほとんど増大させることがないまま、低減に転じていかなければならず、現実感を持ってみるとまず不可能と考えられる(2030年には世界のGHG排出量を2010年比で約10%削減することが必要で、途上国の潜在的な排出増大を考えるとまず不可能と考えられる)。また、このとき2050年の限界削減費用も相当高いものとなる。
- そのため、2℃目標は維持しつつも、2100年に2℃としつつ、それまでは少し2℃を超えることも許容し、2050年もしくは2100年以降の技術革新をめざし研究開発を充実させ、そこで大幅に排出削減を行っていくオーバーシュートシナリオを目指すか、もしくは、もっと現実的に2.5℃程度の安定化(1986-2005年比で1.8℃程度の上昇での安定化)を目指すかなど、より

柔軟な対応を行う必要性に迫られているのが現状である。「2℃目標」が定着していて国際的に修正が容易でないならば、「産業革命以前比 2℃安定化」目標を、「現状比 2℃以内」目標にすることも一案と考えられる。

- IPCC WG2 の最新の報告書（第 5 次評価報告書（AR5））では、1986-2005 年比で 2℃上昇（産業革命以前比では 2.7℃程度の上昇）を超える場合のリスクを強調しており、それとの整合性からもこのような長期目標の変更は十分許容の範囲内であるし、IPCC AR5 におけるこれまでに以上の警告的な指摘を踏まえても、むしろ合致した目標と考えられる。いたずらに「産業革命以前比 2℃」（現状比 1.3℃上昇程度）目標に拘れば、短中期で実現不可能な削減の各国割り当てを議論し続け、無駄な時間を浪費することになり兼ねないと考えられる。IPCC AR5 やここで示したような最新の排出シナリオ分析の結果を踏まえて、再検討を行うのが望ましい。
- 2050 年に必要となる世界の GHG 排出削減は 2010 年比で 2℃安定化目標の▲42%に対して、2℃オーバーシュートシナリオでは▲30%程度、2.5℃目標では▲20%程度（2℃安定化目標でも気候感度が 2.5℃であれば同様）となり、かなり緩和される。世界排出量を 1990 年もしくは 2005 年比で半減というこれまでに主に議論されてきた目標から、世界排出量を現状比（2010 年比）で 2～3 割削減といった目標への変更を検討すべきである。
- EU は 2030 年目標として 1990 年比▲40%目標を検討中であるが、これは 2℃安定化目標、世界排出量が 2050 年に半減、そしてこれに基づいて先進国は 2050 年に▲80%を前提として、掲げてきた目標である。しかし、上記で指摘したように、2℃安定化目標が相当困難であり、2℃オーバーシュートシナリオや 2.5℃目標などを検討すべき段階である（なお、2.5℃目標の排出パスであっても、気候感度が想定 3℃よりも実際には低く 2.5℃程度ということになれば、実際には 2℃は達成可能でもある）。また、IPCC WG2 の AR5 は現状比 2℃を上回る上昇の危険性の強調が多く（産業革命以前比では 2.7℃相当）、IPCC 報告書の警鐘的な指摘を踏まえても、産業革命以前比 2.5℃はそれに十分収まるものである。そうしたときに、日本は必ずしも EU の▲40%目標をターゲットに日本の目標を策定する合理性はないと考えられ、より合理的な目標を志向すべきである。また、日本の 2050 年 80%削減目標もむしろ有効な現実感の伴った排出削減対策を阻害しかねない場合もあるため、目標の再検討も含め、柔軟性を持って考えるべきである。
- 費用効率的な排出削減は大変重要であり、この点からも基本的には国内対策としては限界削減費用が世界で均等化するような対策を目指すべきである。一方で、衡平性の指標は様々考えられ、世界すべての国による削減努力を考えると、GDP 比費用均等化を中心に（一人当たり排出量均等化にも）目を配る必要がある。このとき 2030 年の日本が負うこととなる限界削減費用は、2.5℃安定化目標の場合、GDP 比費用均等化では 140 \$/tCO₂ 程度、一人当たり排出量均等化では 180\$/tCO₂ 程度と推計された（2℃オーバーシュートシナリオの場合は 2030 年頃までは許容排出量が 2.5℃安定化目標よりも若干大きいため、もう少し低い CO₂ 限界削減費用になると考えられる）。限界削減費用均等化のときの限界削減費用は 25\$/tCO₂ 程度であるため、できる限りこれに近い対応を日本も取りつつ、他の衡平性指標との差については、国際貢献を基本としつつ、できる範囲で国内対策の深堀を行うことが望ましいと考えられる。
- なお、国内対策の深堀は、経済的な影響を考えると、やはり原子力が主にならざるを得ない

と考えられる。例えば、2.0℃安定化目標の場合で限界削減費用が世界で均等化のケースにおいても、原子力が2030年にゼロの場合はGDP損失は1.3%程度（年8.4兆円程度）と相当大きなものになってしまう。更にはGDP比費用均等化の場合、限界削減費用がより高い対策まで実施する必要があるが、原子力代替として比較的安価な石炭発電の利用も難しくなるため、GDP損失は3.3%程度（年21.4兆円程度）にも及ぶと推計される。また、CCSも比較的安価なCO₂削減策としては重要と考えられる。

- 世界排出量増大の実績、現実を踏まえ、かつIPCCを含めた最新の科学に基づいて、ここで示したような科学的・定量的な分析をベースにし、早急に、気候変動の長期目標の見直しを行って、それを参照しながら、2030年の中期目標のプレッジおよびそのレビューを検討していくべきである。これこそが、着実に最も効果的に温暖化抑制を図る方策である。
- いずれにしても、世界全体での長期排出削減目標、各国間の排出削減目標、そして、具体的な対策のミックスすべてにおいて、時間軸を考えながらバランス感を持った対応が極めて重要である。温暖化対応を軽視しては決してならず、一方で、経済への影響を軽視しても決してならず、また、エネルギー安全保障、安定供給にも常に配慮した対応が必要である。

付録 A：世界エネルギー技術評価モデル DNE21+の概要

DNE21+モデルでは、各種セクターの生産活動量（粗鋼生産、セメント生産量など）や活動量（運輸部門の輸送量など）、その他部門の最終エネルギー需要量、及び各種技術の技術特性・設備コストなどを所与とした上で、世界全体のコストが最も安価になる整合的なエネルギー・システム（エネルギーフロー、エネルギー関連設備容量など）を導出できる。

主な特徴としては、1）2050年までの長期的な分析が可能、2）世界全体を対象としつつ詳細な地域分割により地域的な差異を分析可能、3）200～300程度の具体的な温暖化対策をモデル化しており、具体的な排出削減対策までを詳細に評価可能、などが挙げられる。

エネルギー起源のCO₂のみを評価対象としている。

1. モデル構造

- 評価対象期間における世界全体のエネルギー・システム総コストを最小化する（最適化型モデル（線形計画モデル）。エネルギー供給部門からエネルギー消費部門まで、エネルギー輸出入、時点間の設備推移までも含めてハードリンクしており、完全に整合的なシステムを算定する。）。
- 最適化代表時点は 2005, 2010, 2015, 2020, 2025, 2030, 2040, 2050 年の 8 時点（2005 年は 2003～2007 年、2010 年は 2008～2012 年、2015 年は 2013～2017 年、・・・をそれぞれ代表している。2005 年は実績値でキャリブレーションを行っている。）
- 世界全体を 54 地域に地域分割
- エネルギー供給技術（各種発電技術、石油精製、石炭ガス化技術など）、二酸化炭素分離・回収、貯留・隔離については、各技術のコストやエネルギー効率などを明示的にモデル化（ボトムアップ的）。
- エネルギー需要技術については、
 - ・ エネルギー多消費産業のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、アルミ、化学の一部（石油化学のうちエチレン・プロピレン製造、アンモニア製造）、運輸（自動車）、民生の一部については、各技術のコストやエネルギー効率などを明示的にモデル化（ボトムアップ的）。これらの部門の活動量（産業部門は生産量、自動車は輸送需要、民生の一部は機器の利用時間）は外生的に想定し、モデル計算においては固定とする。一方、技術選択は、モデルで内生的に決定され、エネルギー消費量などが導出される。
 - ・ それ以外の部門については、地域によって技術特性が様々であったり、将来の技術が多様であると予想されるなど、個別技術の積み上げを行うことが必ずしも的確な評価につながらないと考えて、個別技術としては想定せず、最終エネルギー需要を産業、運輸、民生部門別にマクロ的に 4 種に区分（固体燃料需要、液体燃料需要（ガソリン需要、軽質油需要、重質油需要）、気体燃料需要、電力需要）してモデル化（トップダウン的）し、全部門にわたる評価を実施。
 - ・ 省エネルギー効果は、長期価格弾性値を用いて評価。

- 各設備については、設備のヴィンテージ（過去の何年にいくらの容量の設備が導入されたか）を考慮しているため、時点によって代替のための費用効率性が異なることが明示的に考慮され、それが費用効率的な技術選択に反映される。設備寿命を残して新たな設備の建設も、当然、高い費用と算出されるが、モデル上、考慮できる。
- 分割地域間のエネルギー（石炭、石油、天然ガス、合成油、エタノール、電力、水素）および CO₂ の輸送をモデル化。
- 8種の一次エネルギーを考慮（石炭、石油（在来型、非在来型）、天然ガス（在来型、非在来型）、水力・地熱、原子力、風力、太陽光、バイオマス）。
- 電力需要については、電力負荷変動に合わせた供給となるように、年負荷持続曲線を基に、電力負荷の大きさによって4時間帯に区分し、それぞれ需給バランスがとれるようにモデル化。これによって、ベース電源、ピーク対応電源など、それぞれの発電技術の特性にあった評価を可能としている。
- 各種エネルギー変換過程（各種発電、石炭ガス化・液化、天然ガス改質、バイオマス液化など）、二酸化炭素分離・回収、貯留・隔離（CCS）などをモデル化。（ただし、CCS については、2009 年の中期目標検討委員会での検討と同様、2020 年の各国削減ポテンシャルの検討からは除外し、2020 年以降のみの期間について利用可能として評価を行った。）

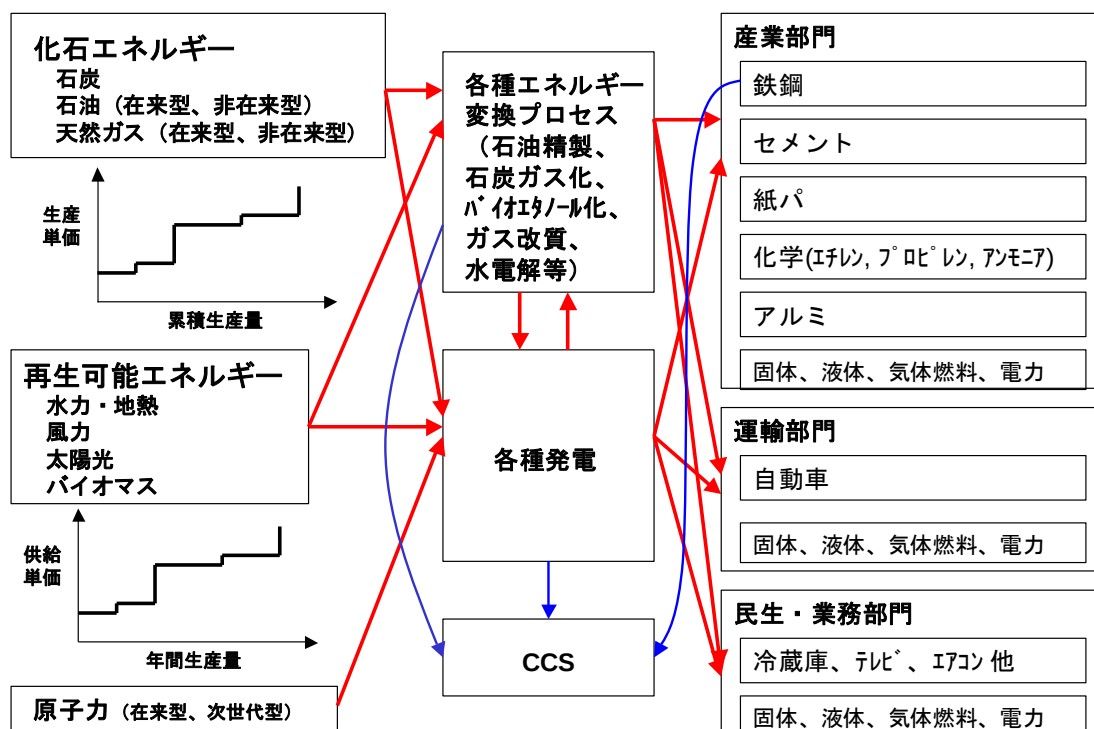


図 A-1 DNE21+におけるエネルギーフローの全体概要

表 A-1 DNE21+において考慮している具体的な対策技術

部門	技術
発電部門	石炭火力{低効率(亜臨界)、中効率(超臨界)、高効率(超超臨界～IGCC/IGFC)、燃焼前CCS付IGCC)、石油火力{低効率(ディーゼル発電等)、中効率(亜臨界)、高効率(超臨界)、CHP)、合成油火力{中効率、高効率)、天然ガス火力{低効率(蒸気タービン)、中効率(通常型NGCC)、高効率(高温型NGCC)、CHP、酸素燃焼発電)、バイオマス火力{低効率、高効率)、原子力発電(在来型、次世代(第IV世代等))、水力・地熱発電、風力発電、太陽光発電、風力・太陽光発電用蓄電システム、水素発電、送電(在来型、超伝導高効率)、CCS(燃焼後回収。石炭火力、石油火力、合成油火力、天然ガス火力、バイオマス火力に適用可)}
産業部門	
鉄鋼	高炉転炉法{低効率(小規模)、中効率(大規模)、高効率(大規模。CDQ、TRT、副生ガス効率回収設備を標準装備)、次世代(高効率設備に加え、SCOPE21等の次世代コークス炉を採用、廃プラ・廃タイヤ利用も考慮)、水素還元製鉄)、COG回収{低効率・中効率高炉転炉法に後付可)、LDG回収、CDQ、TRT{中効率高炉転炉法に後付可)、直接還元法{天然ガスベース(中効率、高効率)、ガス化水素ベース)、スクラップベース電炉法{低効率(小規模)、中効率(三相交流アーク炉)、高効率(直流式水冷炉壁アーク炉。原料予熱装置等も標準装備))、CCS{高炉転炉法に適用可)}
セメント	小規模設備：湿式ロータリーキルン、乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン{原料予熱装置としてサスペンション・プレヒータ(SP)を装備。一部仮燃炉(NSP)を装備)、新型流動床シャフト炉{SP/NSP及び高効率クリンカクーラを装備} 大規模設備(小規模設備より高効率)：湿式ロータリーキルン、乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン、SP/NSP乾式ロータリーキルン(BAT){高効率クリンカクーラに加え、SPの5、6段化もしくは高効率廃熱回収装置等を装備}
紙パ	化学パルプ製造工程{低効率、中効率、高効率、次世代)、古紙再生工程{低効率、中効率、高効率)、抄紙工程{低効率、中効率、高効率、次世代)、黒液回収・利用{低効率、高効率)、製紙スラッジボイラ、蒸気タービン発電システム
アルミ	ゼーターベルグ式アルミ製錬、ブリベーク式アルミ製錬
化学	エチレン・プロピレン：ナフサ分解{低効率、中効率、高効率、次世代)、その他生産(エタンクラッカー等。低効率、中効率、高効率) アンモニア：石炭ベース{低効率、中効率、高効率)、石油ベース{低効率、中効率、高効率)、天然ガスベース{低効率、中効率、高効率}
運輸	小型乗用車、大型乗用車、バス、小型トラック、大型トラックに区分。 内燃機関利用{従来型内燃機関自動車(低効率、高効率)、ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド自動車。内燃機関はガソリンエンジン及びディーゼルエンジンの二種を考慮)、電気自動車、燃料電池自動車、代替燃料{バイオエタノール、バイオディーゼル、CNG。バイオエタノールはガソリン、バイオディーゼルはディーゼルへの混合利用を考慮}
民生	冷蔵庫{低効率、中効率、高効率)、照明{小型白熱灯、小型蛍光灯、小型次世代(LED等)、中型中効率蛍光灯、中型高効率蛍光灯、中型次世代(LED、有機EL等)、大型中効率HID(高輝度放電灯)、大型高効率HID、大型次世代(LED等))、テレビ{小型低効率、小型高効率、大型低効率、大型高効率、大型次世代(液晶、プラズマ、リアプロ、有機EL等で高効率なもの)、エアコン{低効率、中効率、高効率)、ガス調理器{低効率、中効率、高効率}

○ エネルギー・システム総コストは以下の費用の総和となる。

a) 各種積み上げ技術の費用

[設備費] / [投資回収年数] + [運転・メンテナンス費] + [年間燃料費]

注) [運転・メンテナンス費] は設備費に対するある係数として、

[年経費率] $\equiv$ 1 / [投資回収年数] + [対設備費の運転・メンテナンス費の比率]
とし [年経費率] を各技術において想定している。

b) トップダウン部分の費用 (消費効用の損失)

技術積み上げの対象外となっているその他諸々のエネルギー消費については、最終エネルギー価格と省エネルギー量の関係を長期価格弾性値で表現。積分値が消費効用の損失と定義でき、それをトップダウン部分の削減費用としている。

○ 設備費が高くても、省エネ効果が高く、年間燃料費が、([設備費] / [投資回収年数] + [運転・メンテナンス費]) の増分を上回って節約可能であれば、限界削減費用 0\$/tCO₂ のケースでモデル上、技術選択がなされることになる。すなわち、純費用とならない対策は、排出削減を想定したケース以前にモデルの最適化計算によって選択される。

2. モデルの主要な前提条件

モデルは多くの前提条件の下で構築されているが、下記に主要な前提条件について記載する。

2.1. 人口・GDP の想定

人口、潜在的 GDP（ベースラインの GDP）は以下のように想定している。人口、GDP の想定に基づき、各種部門の生産量、サービス量等の想定を行っている。2013 年度において、直近の経済動向も踏まえて推定を行ったものである。

(1) 日本

人口：2010 年 1.27 億人、2020 年 1.24 億人、2030 年 1.18 億人、2050 年 1.02 億人

GDP：2010 年 5.1 Trillion US\$、2010-20 年 1.7%/年、2020-30 年 0.8%/年、2030-50 年 0.1%/年

(2) 世界

人口：2010 年 69.2 億人、2020 年 76.8 億人、2030 年 83.1 億人、2050 年 91.4 億人

GDP：2010 年 41.4 Trillion US\$、2010-20 年 3.1%/年、2020-30 年 2.8%/年、2030-50 年 2.2%/年

2.2 燃料価格の想定

化石燃料価格は、世界の化石燃料の累積的な消費量によって、モデル内部で内生的に決定される。ただし、ベースライン（CO₂ 排出抑制無し）の価格は概ね次のように調整している。なお、化石燃料価格は内生化的に決定されるものの、今回の分析では世界全体での累積的な消費量はケースによって大きな差までにはならず、結果としてケースによる化石燃料価格価格差は小さい。ただし、現実社会では投機等によって価格変動が大きくなる可能性があることにも留意しておく必要はある。

(1) 石油： 2010 年 60 US\$/bbl、2020 年 100 US\$/bbl、2030 年 114 US\$/bbl、2050 年 130 US\$/bbl

(2) 天然ガス： 2010 年 7.2 US\$/MBtu、2020 年 11.3 US\$/MBtu、2030 年 14.5 US\$/MBtu、2050 年 16.5 US\$/MBtu

(3) 石炭： 2010 年 65 US\$/t、2020 年 96 US\$/t、2030 年 100 US\$/t、2050 年 113 US\$/t

米国については、シェールガスによる近年の低価格なガス価格を考慮し、2010 年 3.1 US\$/MBtu、2020 年 3.6 US\$/MBtu、2030 年 4.0 US\$/MBtu、2050 年 4.2 US\$/MBtu と調整している。

なお、エネルギー・環境会議「コスト等検証委員会」では、化石燃料価格は、IEA World Energy Outlook (WEO) 2010 の現行政策シナリオおよび新政策シナリオの価格を基に、以下のような想定を行い、電源別発電コストの推計が行われた。（第 2 回委員会資料、2011 年 10 月 18 日）。

(1) 石油： 2020 年 99～110 US\$/bbl、2030 年 110～130 US\$/bbl、2070 年 138.4～169.3 US\$/bbl

(2) 天然ガス： 2020 年 13.4～13.9 US\$/MBtu、2030 年 14.9～15.9 US\$/MBtu、2070 年 18.0～19.6 US\$/MBtu

(3) 石炭： 2020 年 101.7～105.8 US\$/t、2030 年 105.6～112.5 US\$/t、2070 年 110.5～1222.0 US\$/t
これは、DNE21+モデルで想定している価格と概ね似通った想定となっている。

また、原子力発電におけるウラン燃料価格（フロントエンド）は、2010 年の 10 \$/MWh から 2050 年に 15 \$/MWh に上昇すると想定している。

2.3 2010 年における各種の想定

太陽光、風力の導入については、FIT などの制度により費用対効果と大きく異なって導入が進んできている。モデルの分析においては、費用対効果の順に技術が導入されると評価されるため、太陽光や風力は導入されていないという結果となり、実績に反することとなる。そこで、今回の分析では、太陽光と風力については、導入実績量でモデル上制約をおいた上で分析した。よって、これらの限界費用は、モデルの評価結果の外にあることとなる。

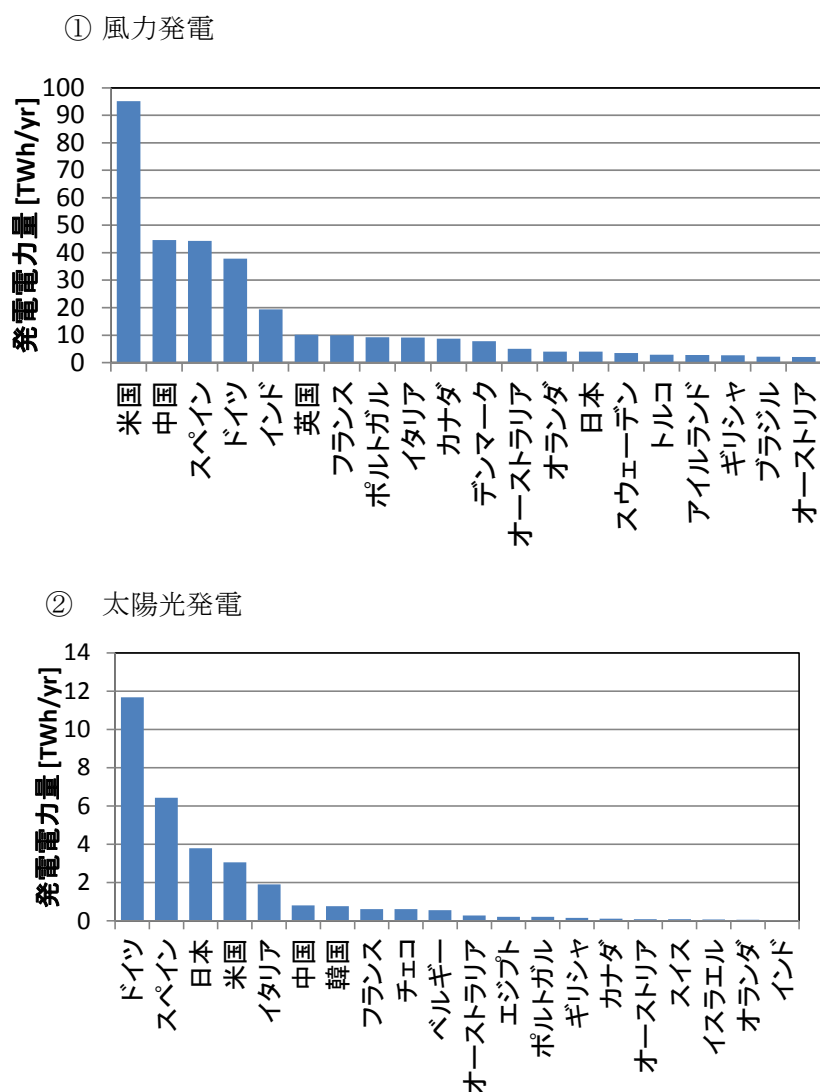


図 A-2 2010 年における風力発電、太陽光発電実績

出典：IEA, Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries, 2013

また、各部門の活動量(各種産業の生産量、旅客/貨物輸送サービス量等)についても、最新の実績値を収集し、2010 年の活動量の想定に反映した。

2.4 投資判断における割引率の想定

設備投資における投資判断の割引率（ $= 1 / [\text{投資回収年数}]$ ）は表 A-2 のように想定した。なお、ここで想定する割引率は、投資リスク判断等も含んだ主観的な投資判断の割引率である（投資において現実社会で観測される割引率に近いものを想定している）。

表 A-2 投資判断における割引率の想定

	投資判断における割引率	
	上限	下限
発電部門	8%	20%
その他エネ転部門	15%	25%
産業部門（エネルギー多消費産業）	15%	25%
運輸部門	30%	45%
民生部門	30%	55%

一人当たり GDP に応じて上記範囲内で地域別に想定した。日本は上限値になる。

2.5 発電設備費と発電効率の想定

各種発電設備の設備費と発電効率は表 A-3 のような想定を行った。ただし、国・地域によって建設費に差異が認められることから、ロケーションファクターを乗じている。

なお、対設備費の運転・メンテナンス費は 5%/年とした。ただし、原子力発電についてはバックエンド費用込みで 8%/年とした（稼働率 80%時で約 36 \$/MWh（2007 年価格）相当）。

表 A-3 発電設備の設備費と発電効率の想定

		2000年価格 設備費(\$/kW)	2007年価格 設備費(\$/kW)	発電効率 (LHV%)
石炭発電	低効率 (在来型 (亜臨界)、現在の途上国での利用)	1000	1250	22.0-27.0
	中効率 (主に現在の先進国での利用 (超臨界) ~ 将来、複合発電化 (IGCC) を含む)	1500	1875	36.0-45.0
	高効率 (現在先進国で利用 ~ 将来、複合発電化 (IGCC、IGFC))	1700	2125	42.0-55.0
石油発電	低効率 (ディーゼル発電等)	250	313	22.0-27.0
	中効率 (亜臨界)	650	813	37.0-45.0
	高効率 (超臨界)	1100	1375	50.0-60.0
	CHP	700	875	37.0-47.0*
天然ガス発電	低効率 (蒸気タービン)	300	375	26.0-32.0
	中効率 (複合発電)	650	813	38.0-47.0
	高効率 (高温型複合発電)	1100	1375	52.0-62.0
	CHP	700	875	38.0-48.0*
バイオマス発電	低効率 (蒸気タービン)	1200-900	1500-1125	18.0-28.0
	高効率 (複合発電)	2200-1600	2750-2000	36.0-46.0
原子力発電	在来型	2500	3125	
	先進型	2300	2875	
CO ₂ 回収付 IGCC/IGFC		2800-2050	3500-2563	33.0-51.0
天然ガス酸素燃焼発電		1900-1400	2375-1750	40.7-50.7
水素発電 (FC/GT)		1100	1375	52.0-64.5
電力貯蔵 (揚水発電等)		1000	1250	

注 1) 発電効率は表中に示す範囲において時点の経過と共に向上するように想定している。

* 排熱回収効率はエネルギー需給バランスを考慮して想定することとし、地域によって 5~20%の範囲で想定している。

注 2) 原子力発電の先進型は、2025 年以降利用可能としている。

2.6 風力・太陽光発電に関する想定

- 風力、太陽光は 2030 年までは年率 1.0%、3.5%にてコスト低減するものと想定。その後低減率は鈍化し、2040 年までは年率 0.8%、2.5%、2050 年までは年率 0.5%、1.5%でコスト低減するものと想定。2000 年における風力の発電単価 56~118 \$/MWh、太陽光 209~720 \$/MWh が (風速や日射条件などによって差異がある)、2050 年にはそれぞれ 37~78 \$/MWh、50~172 \$/MWh の発電単価で利用できるようになるものと想定した。
- 風力発電については必ずしも電力需要の瞬時ピークと発電ピークとを一致させることはできないので、瞬時ピークで期待できる出力は最大出力の 30%とした。また、太陽光発電については発電可能な時間帯が限られるので、瞬時ピーク及びピーク時のみに電力供給が可能とした。
- 風力、太陽光発電の kW 価値は、設備容量の 10%と想定した。
- 風力発電と太陽光発電は、電力系統の安定性の面から、それぞれ総系統電力量の 10~15%を最大利用可能量と想定した (2030 年まで 10%、その後 2050 年に 15%まで拡大)。なお、この想定は、系統が他国と連系していない日本においてはかなり楽観的な想定と考えられるが、DNE21+モデルは、各国間の排出削減コストの比較等を行う世界モデルであるため、あまり特殊な事情によって、恣意的な想定によって特定の国のコストが高くなったり、低くなったりすることを避けるために、世界各国・各地域共通でこの想定を用いることとしている。なお、蓄電池の付加により、供給上限を更に 20%拡大できるものと想定した (計 30~35%まで)。また、蓄電池を付加した風力発電については、瞬時ピークで期待できる出力を最大出力の 60%

とした。太陽光発電についても蓄電池を付加した場合は瞬時ピーク及びピークに加えて中間時間帯にも電力供給が可能とした。なお、系統を介さず、水素製造のため水電解に利用する分には供給上限を課していない（当然ながら資源供給制約は別途存在する）。

- 風力発電の最大導入可能量は、RITE 独自に世界の風況 GIS データ等を用いて 850 万 kW と想定している。

参考文献

- K. Akimoto, T. Homma, F. Sano, M. Nagashima, K. Tokushige, T. Tomoda, Assessment of the emission reduction target of halving CO₂ emissions by 2050: macro-factors analysis and model analysis under newly developed socio-economic scenarios, *Energy Strategy Reviews*, 2, 246-256, 2014.
- K. Akimoto, F. Sano, T. Homma, K. Wada, M. Nagashima, J. Oda, Comparison of marginal abatement cost curves for 2020 and 2030: longer perspectives for effective global GHG emission reductions, *Sustainability Science*, 7(2), 157-168, 2012.
- K. Akimoto, F. Sano, T. Homma, J. Oda, M. Nagashima, M. Kii, Estimates of GHG emission reduction potential by country, sector, and cost, *Energy Policy*, 38(7), 3384-3393, 2010.
- RITE、「脱地球温暖化と持続的発展可能な経済社会実現のための対応戦略の研究」平成 22 年度成果報告書、2011

付録 B：世界エネルギー・経済モデル DEARS の概要

DEARS (Dynamic Energy-economy Analysis model with multi-Regions and multi-Sectors) モデルは、国際産業連関を扱った静学的な多地域多部門一般均衡モデルである GTAP (Global Trade Analysis Project) モデル及びそのデータベースに基づきつつも、複数時点を同時最適化する非線形計画モデルである。モデルでは、割引後の全期間・全地域の消費効用の総和が最大となるように、各地域における産業別生産額の配分と、それら生産活動および家計消費活動に必要なエネルギーのコスト効率的な供給構造を整合的に計算する構造になっている。本モデルでは、一次エネルギー財 8 種類（石炭、原油、天然ガス、バイオマス、原子力、風力、太陽光、水力）と二次エネルギー財 4 種（固体燃料、液体燃料、気体燃料、電力）を対象にした簡易的なエネルギーシステムモジュールをもっている。中期の温暖化対策によるエネルギーシステム及び産業構造の変化を分析することに適しており、地域別・産業別の発展的分析・評価も可能である。図 B-1 にモデルの入力及び出力項目を示す。各期・各地域におけるエネルギー・経済の活動は、産業連関モデルをベースとする多部門経済モジュールと、エネルギーフローを記述したボトムアップエネルギーシステムモジュールとがハードリンクされているのが特徴である。本モデルは、世界 18 地域・18 非エネルギー産業部門を対象としている。図 B-2 にはモデルが対象とする世界 18 地域区分を示す。表 B-1 にはモデルが対象とする 18 非エネルギー産業分類を示す。

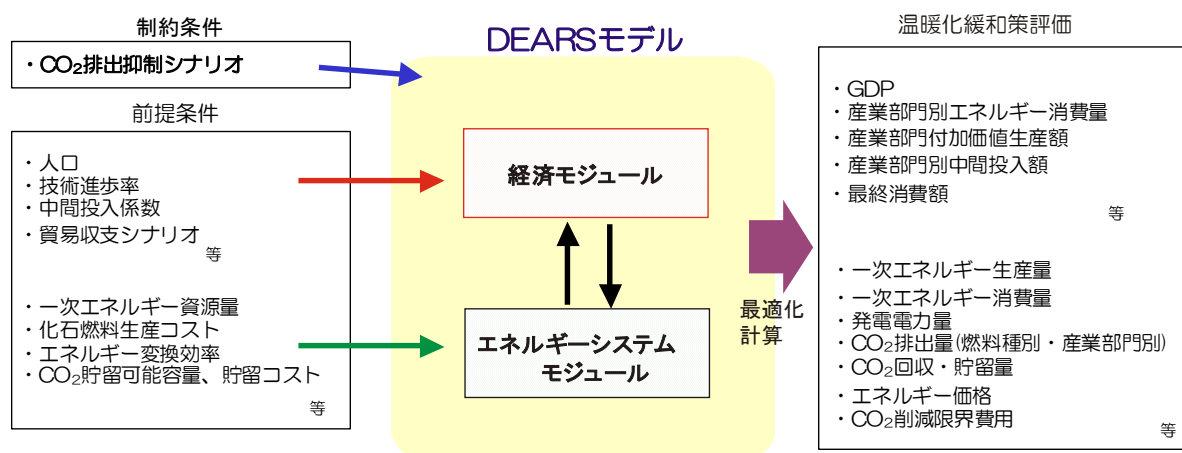


図 B-1 DEARS モデルの入出力項目

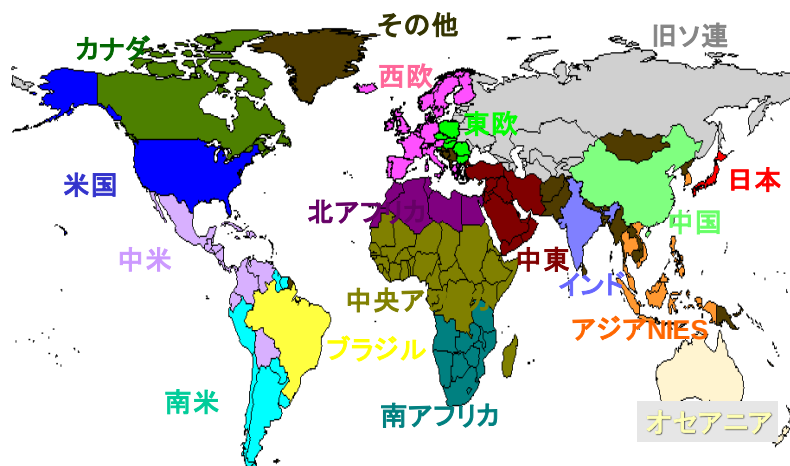


図 B-2 DEARS モデル構築における世界 18 地域分割

表 B-1 DEARS モデル構築における産業分類

供給側の産業分類	DEARS における分類
エネルギー多消費産業	鉄鋼
	化学
	非鉄
	非金属
	紙パ
自動車・機械産業	輸送機械
	その他機械
輸送産業	陸海運
	空運
サービス産業	ビジネスサービス
	社会サービス
その他産業	鉱業
	食品
	繊維
	木材
	その他製造
	農林水産業
	建設

モデルで使用している経済データは、GTAP5(1997 年基準年)に基づき、エネルギー統計に関しては IEA 統計に基づく。DEARS モデルでは、人口シナリオに関しては外生変数として扱っており、DNE21+モデル同様に 2008 年版国連中位推計を利用している(付録 A.2.1 節参照)。GDP や CO₂ 排出量に関しては消費効用最大化問題の中でモデル内生的に決定されるが、これらが DNE21+モデルの前提条件(付録 A.2.1 節参照)と概ね調和するように技術進歩率等の各種パラメータを調整している。各国のマクロ経済は人口、資本、エネルギーから成るコブダグラス生産関数に基づき、人口以外は内生的にモデルで決定される。各産業の生産構造は基本的にレオンチェフ型生産関数から成り、この生産関数に用いられる中間投入係数は将来産業構造をもとに時点別に外生的に想

定している。エネルギー関連のパラメータに関しては DNE21 モデルや DNE21+モデルの想定をベースに想定している。

失業率の推計に関して、DEARS モデルは、完全雇用を前提とした一般均衡型経済モデルであり、直接的には失業率を推計することはできない。そこで、2030 年削減ケースにおける参照ケースからの失業率変化を推定するために、実質 GDP 成長率と失業率変化の安定的な関係を表した「オークンの法則」を利用した。オークンの法則は(B.1)式で表される。

$$\text{実質 GDP 成長率} = \text{潜在 GDP 成長率} - \text{オークン係数} \times \text{失業率変化} \quad (\text{B.1})$$

(B.1)式より、削減ケースにおける失業率変化を推定するためには、2005-2020 年の実質 GDP 成長率とオークン係数、潜在 GDP 成長率を設定しなければならない。各シナリオの実質 GDP 成長率は、DEARS モデルから内生的に推計される。各シナリオのオークン係数は、小峰(2009)による 1990-2008 年の日本のオークン係数 3.45 を利用した。各シナリオの潜在 GDP 成長率は、参照ケースの実質 GDP 成長率であると仮定した。また、(B.1)式は基準からの失業率変化を表しており、2030 年の失業率を想定するためにはベースラインの失業率の想定が必要である。本稿では、2005 年以降失業率が一定である(4.4%)と想定した。

参考文献

T. Homma, K. Akimoto, Analysis of Japan's energy and environment strategy after the Fukushima nuclear plant accident, Energy Policy, 62, 1216-1225, 2013.

小峰隆夫、経済教室、日本経済新聞 2009 年 2 月 11 日朝刊、page.23