



IGES ポリシーレポート

2018年8月

要素分解分析に基づく日本の2030年 CO₂削減目標に関する一考察

栗山昭久・田村堅太郎

要素分解分析に基づく日本の 2030 年
CO₂ 削減目標に関する一考察

栗山昭久

田村堅太郎

公益財団法人 地球環境戦略研究機関

要素分解分析に基づく日本の 2030 年 CO₂ 削減目標に関する一考察

栗山昭久、田村堅太郎

公益財団法人地球環境戦略研究機関(IGES)

〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口 2108-11

Tel: 046-855-3700 (代表), 046-826-9605 (担当者直通)

Fax: 046-855-3709

E-mail: iges@iges.or.jp URL: www.iges.or.jp

Copyright ©2018 Institute for Global Environmental Strategies. All rights reserved.

ISBN: 978-4-88788-219-5

The photo in the cover page is taken by Paul Skorupskas on Unsplash

IGES は、アジア太平洋地域を主対象とした持続可能な開発の実現を目指し、実践的かつ革新的な政策研究を行う国際研究機関です。

この出版物の内容は、執筆者の見解であり、IGES としての見解を述べたものではありません。

要旨

<概要>

CO₂排出量は、経済規模、産業構造といった「社会的前提要素」¹と、気候変動政策の対象となるエネルギー効率、エネルギーの供給構成などの「対策対象要素」によって左右される(図 a 参照)。本稿は、日本の国別緩和目標(NDC 1)に記載される 2030 年 GHG 削減目標(以下、NDC 目標)におけるエネルギー起源 CO₂ 排出量(以下、CO₂ 排出量)に着目し、社会的前提要素(実質 GDP)及び対策対象要素(実質 GDP 当たりの最終エネルギー消費量、最終エネルギー消費当たりの CO₂ 排出量)がどのような水準であるのか考察²することを目的に、各要素について、既往の統計や研究等による推定結果と比較した。さらに、個々の要素の変化に対し CO₂ 排出量がどのように変化するか、定量分析(感度分析)及び LMDI 法(Logarithmic Mean Divisia Index)を用いた CO₂ 排出量の要素分解分析を行った。

本分析の結果から得られた特筆すべき事項として、社会的前提要素のうち、NDC 目標が前提とする実質 GDP が既往のどの予測よりも大きく設定されていることが明らかとなった。これらの CO₂ 増加に寄与する社会的前提要素が通常の想定より大きく設定された場合、NDC 目標を達成するためには、CO₂ 削減側の原発比率及び気候変動緩和策を大幅に高める必要がある。

反対に、GDP 成長率をこれまでの成長率を考慮した民間予測の平均値とすれば、原子力発電量の割合が 15%の場合、特に追加対策をとらずとも日本の NDC のうち、エネルギー起源 CO₂ の排出削減目標は達成できる水準である。仮に原子力発電量の割合が 0%であっても、中位対策をとれば達成可能な水準であると言える。

以上の結果より、GDP 成長率に対して、民間シンクタンク・研究機関の見通しを前提に計算すると、日本の 2030 年のエネルギー起源 CO₂ 排出削減目標は容易に達成できるため、NDC 目標を引き上げることは可能であることが示された。

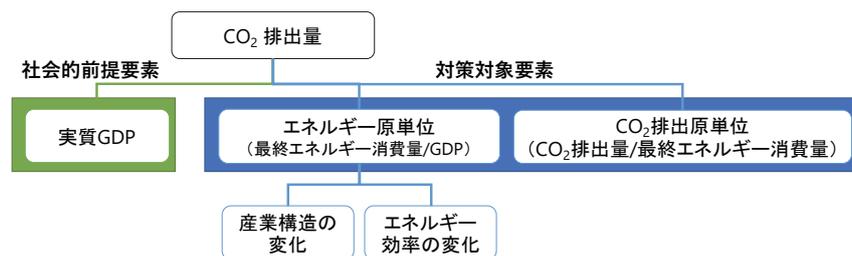


図 a 本稿が着目した CO₂ 排出量に増減を与える主要要素

¹ 国の GHG 排出量は、さまざまな変数によって規定できるが、一次近似的として温暖化関連政策を内部変数とした場合、人口や経済成長は外部変数(前提要素)と考えることができる。もちろん、より詳細には、温暖化関連政策がたとえば経済成長に及ぼす二次的な影響を考えることもできる。

² GHG 排出量の約 9 割を占める。

＜個別論点＞

各要素の変化率比較分析

「社会的前提要素」と「対策対象要素」について、日本が発展途上にあつた期間を含む1960年から2015年までの半世紀を超える過去の推移を、既往のデータを用いて比較した。

将来推計値データについては、NDC目標が前提とする各要素の値³を、2030年時点の社会的前提要素と対策対象要素を扱う研究機関の分析結果と比較した。また、2015年から2030年までの平均変化率を過去データの変化率と比較した。その結果、社会的前提要素の主要部分であるGDP成長率想定と、対策対象要素の2つの要素である経済のエネルギー効率向上要素と、低炭素エネルギーへのシフトを表す要素に関して、以下の事項が明らかとなった。

まず、社会的前提要素の主要部分としてGDPに着目すると、NDC目標の前提とするGDP成長率は2030年まで一律1.7%の実質GDPの成長率を想定しており、民間シンクタンク・研究機関の想定する値よりも大きく上回る水準であることが明らかとなった。各機関のGDP成長率をもとに、生産年齢人口当たりGDPを計算し、過去25年間の実績値と比較すると、ほとんど達成されたことのない水準であることが明らかとなった。2030年までに生産年齢人口が減少する中で、この生産年齢人口当たりGDPの水準を達成することは、この値を毎年2.5%改善するという、好景気と言われる2012年以降の経済成長(平均で約1.3%)をはるかに上回る経済成長を15年間に渡り継続することを意味している。

一方で、対策対象要素のうちの経済のエネルギー効率向上要素を表現する「GDP当たりの最終エネルギー消費量」(以下、エネルギー原単位)に関しては、NDC目標を設定する値は、エネルギー・経済モデルの分析結果と照らし合わせると、低位対策(現行で既に取り組み、あるいは、想定されている対策・施策の継続)で達成することが出来る可能性がある水準である。また、中位対策(将来の低炭素社会の構築などを見据え、合理的な誘導策や義務づけ等を行うことにより重要な低炭素技術・製品の導入を促進する対策・施策の導入)を講じることで十分に達成できる水準であることが確認された⁴。特に、高効率照明、高効率動力、断熱性の向上、高効率給湯、住宅エネルギー管理システム(HEMS)、ビルエネルギー管理システム(BEMS)といった対策は、社会的な便益を考慮した長期的な観点(ただし、各対策技術の寿命以内)に立てば、負の削減費用(すなわち、対策を行うことで便益が得られる)となっており、低位の対策でも促進される取り組みである。過去の実績との比較では、オイルショック時や東日本大震災以降の期間といった過去に何度か達成されてきた改善ペースを継続することで、NDC目標が想定する国全体のエネルギー原単位を達成できることが明らかとなった。

二つ目の対策対象要素の低炭素エネルギーへのシフトを表す要素を表現する「最終エネルギー消費当たりのCO₂排出量」(以下、CO₂排出原単位)に関しては、NDC目標の想定する値は、エネルギー・経済モデルの分析結果と照らし合わせると、総発電電力量に占める原子力発電電力量の割合が15%以上で十分に達成できる水準であることが明らかとなった。また、原子力発電電力量の割合が0%となった場合も、再生可能エネルギーの割合を高めることで、達成しうる値であると示唆される。具体的には、2030年目標が前提とする再生可能エネルギーの発電電力量に対する割合は

³ NDC 1の2030年緩和目標は、GDP年平均成長率として1.7%を前提条件にしている。これは、内閣府「中長期の経済財政に関する試算」(2015年2月)に示される2013~22年度の実質経済成長率の平均値である1.7%が2030年まで維持されるという想定に基づく。

⁴ 詳細は本文の表2を参照。

22-24%であり、低位対策を講じた場合と同程度である。中位対策または高位対策(初期投資が大きくとも社会的効用を勘案すれば導入すべき低炭素技術・製品等を後押しする大胆な施策の導入)を講じた場合、再生可能エネルギーの割合を少なくとも30%以上に高められることがエネルギー経済モデルの結果で示されている。ただし、過去の実績では、電源構成が変化しつつもCO₂排出原単位1990年から2010年までほぼ一定であることからその改善は容易ではないことが読み取れる。加えて、2011年の東日本大震災後に原子力発電所が停止し、代替電源としてガス火力、石炭火力の利用が増加したことにより、排出原単位が大幅に悪化するという厳しい状況が続いている。CO₂排出原単位の大規模な改善には、既存電力システムや電力利用の在り方など様々な課題を解決していく必要があることが示唆される。

2030年CO₂排出量の感度分析(GDP想定、対策の強度及び原子力発電利用割合を対象)

社会的前提要素について、実質GDP成長率がNDC目標と同等の条件の下で、NDC目標と同程度の原子力発電所の割合である原発20%(中位対策)の場合は、エネルギー利用に対して中位対策以上の施策を講じることで、NDC目標が定める2013年比25%削減(エネルギー起源CO₂)の削減率を高める余地がある。反対に、原子力発電が0%の場合は、NDC目標と同程度のGDPを用いた条件の下では、NDC目標の達成は高位対策を講じても容易ではないことが明らかとなった(表a)。

一方で、社会的前提要素として、GDP成長率を民間シンクタンク・研究機関による予測の中間値である1%(以下、民間予測平均GDP)に設定し、NDC目標と同程度の対策対象要素のレベルが達成された場合、2030年のCO₂排出量は、NDC目標が想定するCO₂排出量よりも約1億トン少なく、GHG排出量が2013年比32%削減となることが示された。さらに、民間予測平均GDPの場合、原子力発電が0%の条件でも、中位対策以上の施策を講じることで、NDC目標と同等あるいはそれ以上のCO₂削減達成可能性が示唆された(表a)。

表 a 2030年CO₂排出量算定値と各要素想定値まとめ

GDP成長率	対策強度	原発比率	CO ₂ 削減率 2013年比	GHG削減率 2013年比
NDC想定(1.7%)	NDC想定	NDC想定 (20-22%)	25%	26%
NDC想定(1.7%)	中位対策	20%	30%-35%	30%-35%
NDC想定(1.7%)	高位対策	15%	22%-41%	23%-40%
NDC想定(1.7%)	中位対策	15%	21%-30%	23%-30%
NDC想定(1.7%)	高位対策	0%	15%-32%	18%-32%
研究機関平均(1.0%)	NDC想定	NDC想定 (20-22%)	32%	32%
研究機関平均(1.0%)	低位対策	15%	14%-27%	16%-28%
研究機関平均(1.0%)	中位対策	15%	29%-37%	30%-37%
研究機関平均(1.0%)	中位対策	0%	26%-32%	27%-32%

■で示される結果は、削減率の全範囲がNDC目標を上回る

社会的前提要素及び対策対象要素によるCO₂排出量への影響度分析

1960年から2013年まで長期にわたり、エネルギー原単位の改善がCO₂排出量の削減要因として、主要な役割を果たしてきたことが明らかとなった。また、エネルギー原単位の改善には、エネルギー効率の向上と産業構造の変化による要因が考えられるが、1960年から2015年までの傾向では

エネルギー効率向上によるCO₂削減効果が産業構造の変化によるものよりも大きかったことが判明した。また、2007年以降に産業構造の変化がCO₂排出量減少の主要因となりつつある。本稿では、産業構造について、エネルギー基本計画などの政府想定に基づいた分析結果にとどまったが、今後、これらの想定に対する妥当性の検証や分析が行われることが望ましい。

2013年から2015年の期間は、GDPが平均1.2%成長(その結果、生産年齢人口あたりGDPが年平均2.5%成長)することによって、年間24MtCO₂分のCO₂排出量を増加させる影響がある中で、エネルギー原単位、排出原単位がそれぞれ2.1%、0.7%改善することによって、年間32MtCO₂、22MtCO₂のCO₂排出量を削減する影響を与えたという「経済成長とCO₂排出量のデカップリング」が観測された。2030年CO₂排出量に関する感度分析に用いた代表的なケースに対してもCO₂排出量に対する社会的前提要素と対策対象要素による影響度分析を行ったところ、NDC目標を達成するにあたり、生産年齢人口あたりGDPが年平均2.4%成長(毎年26MtCO₂排出量増加相当)するなかで、エネルギー原単位を2.1%改善(毎年23MtCO₂排出量削減相当)、排出原単位を1.3%改善(毎年10MtCO₂排出量削減相当)するデカップリングの状態を継続していく必要性が明らかになった。

目次

要旨.....	1
目次.....	5
図目次.....	6
表目次.....	6
1. はじめに.....	7
2. NDC 目標の概要と既往研究のレビュー	8
3. 分析手法およびデータ	10
3.1 分析手法.....	10
3.2 データ	12
3.2.1 CO ₂ 排出量の要素別変化率比較分析及び 2030 年 CO ₂ 排出量感度分析に用いたデータ	12
3.2.2 CO ₂ 排出量の要素分解分析(LMDI 分析)に用いたデータ.....	15
4. 分析の結果.....	15
4.1 CO ₂ 排出量の要素別変化率比較分析	15
4.1.1 GDP	15
4.1.2 エネルギー原単位(エネルギー需要側の取り組み)	17
4.1.3 CO ₂ 排出原単位(エネルギー供給側の取り組み)	20
4.2 2030 年のエネルギー起源 CO ₂ 排出量感度分析	23
4.3 1960 年から 2030 年の CO ₂ 排出量に対する LMDI 分析結果.....	24
5. 結論.....	26
付録 1 NDC 目標を分析するエネルギー・経済モデルによるシナリオ一覧	29
付録 2 LMDI(Logarithmic Mean Divisia Index)分析手法詳細	32
謝辞.....	33
参考文献.....	33

図目次

図 1 日本のエネルギー起源 CO ₂ 排出量の 1990 年からの推移と 2030 年及び 2050 年 GHG 削減目標.....	8
図 2 本稿における分析の枠組み.....	10
図 3 2030 年 CO ₂ 排出量のケース分析の概要.....	11
図 4 実質 GDP 推移および 2030 年・2050 年想定値.....	15
図 5 生産年齢人口及び総人口推移.....	16
図 6 生産年齢人口当たり実質 GDP 推移および 2030 年・2050 年想定値.....	17
図 7 エネルギー原単位の改善推移とエネルギー・経済モデルが算出する 2030 年値、2050 年値.....	18
図 8 製造業における付加価値割合.....	19
図 9 エネルギー消費当たりの CO ₂ 排出原単位推移.....	21
図 10 非電力部門の最終エネルギー消費量及び発電電力量の総量と割合.....	21
図 11 日本の火力発電の加重平均熱効率の推移.....	22
図 12 対策強度別・原子力発電割合別の感度分析結果.....	24
図 13 過去と 2030 年の要素分解分析の結果.....	26

表目次

表 1 2030 年および 2050 年までの GDP 成長率予測.....	14
表 2 業種部門別削減対策一覧.....	20
表 3 選択した期間の特徴.....	24

1. はじめに

2015年12月に第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)において採択されたパリ協定は、「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べ2°Cより十分低く、さらには1.5°Cに抑える努力を追求する」という長期気温目標(以下、2°C目標)を掲げている。特に、パリ協定4条1項では、世界全体のGHG排出量を今世紀後半までにネットゼロにすることが目的化されている。しかし、現在の各国の国別目標(NDC)に記載される2030年温室効果ガス(GHG)削減目標(以下、NDC目標)の削減レベルでは、この長期目標を達成するためには不十分である(UNEP, 2017)。そのため、パリ協定は中期目標に関して、各国にNDCの5年毎の策定・提出・通報及び削減目標・行動の進捗・実施状況の2年毎の報告を求めている。2°C目標に関して、長期低排出発展戦略の策定・提出を求め、2°C目標達成に向けた進捗状況を5年毎に確認することで、各国の目標・行動を継続的かつ段階的に強化する仕組みを採用しており(UNFCCC, 2015)、これらを野心度引き上げプロセスと呼ぶ(Tamura, Suzuki and Yoshino, 2016)。その一環として、日本を含め2030年を目標年とする約束草案(INDC)を提出している国々は、2020年までにNDCを提出・更新することがCOP決定で求められている。すでに168カ国⁵が2025年または2030年までの削減目標を示したNDCを提出しており(UNFCCC, 2018)、そのうち3カ国が削減目標を引き上げ、6カ国が行動計画や導入政策の更新をおこなっている(Ge and Levin, 2018)。

日本は2030年度のGHG排出量を、森林吸収源による吸収量を含めて、2013年度比で26%削減するという内容のNDCをUNFCCCに登録している⁶。また、地球温暖化対策計画の中で、GHG削減に関する長期的ゴールとして2050年までに80%削減を掲げている(首相官邸, 2016)。しかし、日本は、2018年3月末時点で、長期低排出発展戦略を策定しておらず、2020年のNDC提出・更新についても方針を明らかにしていない。

GHG排出量の9割を占めるエネルギー起源CO₂排出量(以下、CO₂排出量)は、人口、経済成長、産業構造という社会的前提要素と、気候変動政策の対象となるエネルギー効率、エネルギーの供給構成などの対策対象要素によって左右される。本稿は、NDC目標を計画する際に設定された、社会的前提要素(実質GDP)及び対策対象要素(GDP当たりの最終エネルギー消費量、最終エネルギー消費当たりのCO₂排出量)がどのような水準であるのかを考察することを目的に、各要素について既往の統計や研究等による推定結果と比較した。第一に、NDC目標を達成するために必要となる実質GDP及び対策の強度の実現可能性を考察し、2050年削減目標との整合性についても論じるために、社会的前提要素と対策対象要素の変化率に対して比較分析を行った。具体的には、1960年から2015年までの期間をCO₂排出量の増加・減少傾向の大小をもとに、要素毎の年変化率の幾何平均(以下、年平均)と、エネルギー・経済モデルが想定する2030年・2050年の値を達成するために2016年からの年平均をそれぞれ比較した。第二に、NDC目標の引き上げ可能性を考察するために、実質GDP、対策の強度及び総発電電力量に対する原子力発電の発電割合別に、25のケースを設定し、2030年CO₂排出量の感度分析を行った。第三に、各要素を改善する重要性を考察することを目的に、1960年からの過去のデータおよび感度分析を行った25つのケースのうち代表的な3つのケースに対して、要素分解分析の一つであるLMDI法を適用し、各要素の変化がどの程度CO₂排出量の変化に影響を与えたか分析を行った。

本稿の構成として、2節ではNDC目標の概要と既往研究のレビューを行う。3節では、本稿で用い

⁵ 168カ国に加えてEU諸国がEUとして別途NDCを提出している。

⁶ 日本の削減は年度ベースであるが、本稿で用いるデータとの整合性をとるために、暦年ベースで議論する。

た、社会的前提要素及び対策対象要素別の変化率比較分析、各要素による2030年のエネルギー起源CO₂排出量に対する感度分析、要素分解分析としてのLMDI法に関する分析手法を説明する。4節では、分析結果の考察を行い、5節で本稿の分析に基づく政策的示唆を記す。

2. NDC 目標の概要と既往研究のレビュー

本稿はGHG排出量の約9割を占めるエネルギー起源CO₂排出量に着目した。1960年から2014年までのエネルギーCO₂排出量の実績値と2030年及び2050年のCO₂削減目標値を図1に記す。日本の過去のCO₂排出量は1960年から1973年の第一次オイルショックにかけて年平均が10%のペースで増加した。その後1974年から、第二次オイルショック(1978年)を経て、1986年にかけては、年平均0.3%のペースでCO₂排出量が減少した。

原油価格下落による逆オイルショック(詳細は、4.1.3を参照)が発生した1986年から1990年のいわゆるバブル経済期⁷においては、再びCO₂排出量が年平均3%のペースで増加した。1991年から2007年までは増減を繰り返すものの、年平均1%のペースでCO₂排出量が増加している。2008年、2009年は年平均6%のペースで減少したが、これは世界金融危機の影響と考えられる。2010年から2013年の間、年平均4%のペースで増加した後、2014年から2016年までは年平均3%のペースで減少した。

このように、日本のCO₂排出量は過去において増減してきた。しかし、過去のCO₂排出量の増減がどのような歴史的事項で変化してきたかを理解し、NDC目標への示唆を得るためには、CO₂排出量単独で議論することだけでは不十分である。そのため、CO₂排出量に影響を与えるとされる社会的前提要素及び対策対象要素ごとに分けて論じることが望ましい。

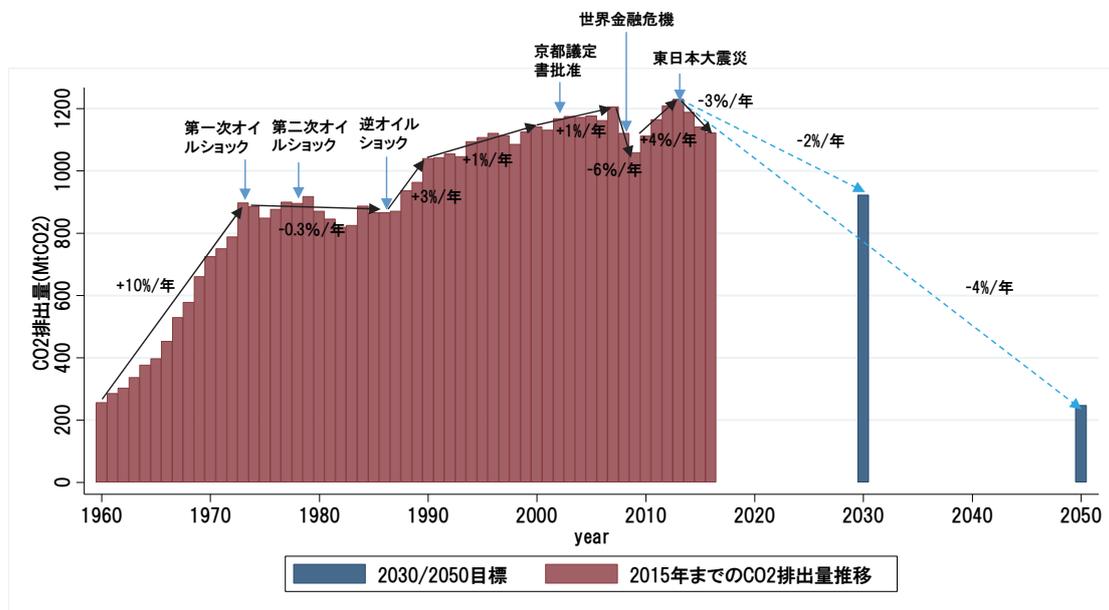


図1 日本のエネルギー起源CO₂排出量の1960年からの推移と2030年及び2050年GHG削減目標

出典: IEA(2016)、首相官邸(2015)及び首相官邸(2016)より筆者作成

⁷ 正確には、1986年12月から1991年2月(内閣府, 2018)。

将来のCO₂排出量に関して、日本政府はNDC目標として、GHG排出量の2013年度比26%削減を掲げている。その中で、エネルギー起源のCO₂排出量は2013年比25%削減と想定されていることから(首相官邸, 2015)、目標達成には2013年から年平均1.7%のペースでCO₂排出量を削減する必要がある。また、地球温暖化対策計画において、基準年は定められていないものの、2050年に80%のGHG排出量の削減を目指す方針が掲げられている。仮にエネルギー起源CO₂排出量に対しても2013年比80%削減することを想定すると、2050年時点でのエネルギー起源CO₂排出量は約2.4億トンと計算される。この場合、2013年を起点とすると、年平均4%のペースでCO₂排出量を削減する必要がある。

NDC目標に対しては、経団連が「わが国が1970年代の石油危機から現在までに達成したエネルギー効率向上と同程度の改善を追加的に実現することを求める極めて野心的な目標である」との評価をおこなっている(経団連, 2017)。各国のNDC目標を毎年分析しているClimate Action Trackerも現在までに導入されている政策のみではNDC目標の達成は難しいとしている(Climate Analytics, Ecofys and NewClimate Institute, 2017)。

エネルギー・経済モデルを使ったNDC目標の分析では、NDCが想定するエネルギーミックスで2013年比26%削減を達成するには、2030年において187ドル/tCO₂(約2万円/tCO₂)の炭素価格(限界削減費用)が必要とされる(RITE and NIES, 2015)。さらに、最新の研究としては、Oshiro, Kainuma, & Masui (2017)が、160ドル/tCO₂(約1万8,000円)の限界削減費用を設定することでエネルギー効率の向上が促され、原子力発電所が今後順次廃止されてもNDC目標の達成が可能としている。他方、NDC目標達成の限界削減費用は380ドル/tCO₂(約4万2,000円/tCO₂)に達するとの研究もある(RITE, 2015)。ただし、一般的に限界削減費用とは対策費用が最も高い特定の対策の費用を指したものであり、減税や補助金、省エネ基準などのポリシーミックスを合わせることで、限界削減費用よりも安価な炭素価格によって任意の削減目標の達成は可能であることが指摘されている(猿山, 2010; 環境省, 2017b)。例えば、補助金などの仕組みを活用し、買い手が得になるような仕組みを作ることで、低い炭素税でも省エネの機器を促すことが可能となる。また、規制を強めることで、技術革新が促され、生産性や競争力が強まるという「ポーター仮説」による主張や、新たな技術の導入が想定される年数よりも前倒しで導入される可能性が指摘されている(猿山, 2010)。加えて、限界削減費用もエネルギー・経済モデルは前提条件(投資回収年数や将来技術が普及するタイミング等)が異なるため、単純な比較はできない(NIES, 2012)ことが指摘されている。さらに、多くのエネルギー・排出削減策が費用効率性ではなく、その他の政治的動機によって実施されていることも指摘されており(Trutnevyte, 2016)、炭素価格や限界削減費用だけで対策を議論することに課題がある。

既往研究の多くは、日本のNDC目標達成のために、日本全体でどの程度の対策が必要であるかという分析がなされているが、社会的前提要素及び対策対象要素別にみて、各値の現状と必要とされる対策強度に関する分析はほとんど見られない⁸。さらに時間軸の観点からは、日本のエネルギー効率の向上が大きく進んだとされる第一次オイルショックを含む1960年から2015年までの長期的な時系列データと、複数のエネルギー・経済モデルの将来見通しを組み合わせ、NDC目標達成の努力度を分析した研究も数少ない⁹。また、日本政府もNDC目標達成のための政策や取り組み毎の

⁸ 欧州諸国については、Spencer et al., (2016)がCO₂排出量の主要要素別にどの程度改善が進んでいるかの分析を行っている。

⁹ 例えば、Kawase et al., (2006)は、環境省が2001年に作成した4つのシナリオおよび経産省が2004年に検討した2004年のシナリオについて要素別に分析を行っているが、CO₂排出量実績値として2000年までのデータに限られている。Kuramochi et al., (2017)はエネルギー・経済分析モデルの結果に対して、茅恒等式とは別に、発電技術とエネルギー需要削減技術に焦点を当てた独自の排出量の分解式を用いて、NDC目標の達成努力度を分析している。さらに、過去のCO₂排出量の増減分析についても、政府

想定削減量を隔年報告書(Biennial Report)に記載し、定期的に更新している(GOJ, 2017)ものの、NDC 目標達成の対策の強度に関しては論じていない。

3. 分析手法およびデータ

3.1 分析手法

本分析の枠組みとして、Yi, Xu and Fan (2016)に倣い、要素分解分析を将来のCO₂排出量推計値にも適用する(図2)。本分析では、1960年からの2015年までのCO₂排出量実績値(以下、過去データ)及びNDC目標やエネルギー・経済モデルが示す2030年値及び2050年値(以下、将来データ)に着目した。これらのデータを茅恒等式に準じて要素別に分解し、過去から将来にかけて時系列トレンド(傾向)を比較した。次に、将来データに対して各要素の前提によって2030年のCO₂排出量がどのように変化するか考察するために、各要素による2030年CO₂排出量に対する感度分析を行った。最後に、過去データ及び将来データに対して、LMDI分析を適用し、各要素が2030年のCO₂排出量に与える影響を定量化した。また、LMDI分析によって、エネルギー原単位の変化を経済構造の変化とエネルギー効率向上の変化による影響に分けた。

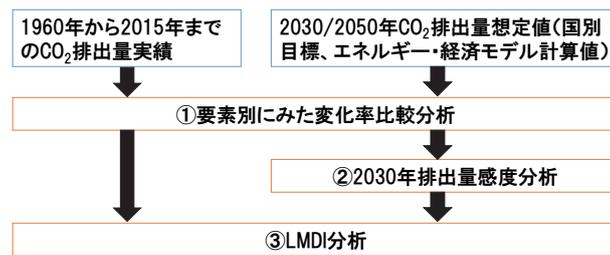


図2 本稿における分析の枠組み

出典:筆者作成

① CO₂排出量の要素別にみた変化率比較分析

式(1)のとおり、茅恒等式を用いて、CO₂排出量を実質GDP、エネルギー原単位(GDP当たりのエネルギー利用量)、排出原単位(エネルギー利用量当たりのCO₂排出量)の3つの項目で要素分解分析を行った。

$$CO_2 = GDP \cdot \frac{TFC}{GDP} \cdot \frac{CO_2}{TFC} = GDP \cdot EI \cdot CI \quad \text{式(1)}$$

ここで、GDPは実質GDP(2010年基準)、TFCは最終エネルギー消費量、CO₂はエネルギー起源CO₂排出量(直接排出量+間接排出量)を表す。EIはエネルギー原単位、CIは排出原単位を表す。

エネルギー利用量に用いる値は、一次エネルギー供給量と最終エネルギー消費量のいずれかを用

統計資料では、1990年あるいは2005年からの時系列データに対する分析は公表されている(環境省, 2017a; 資源エネルギー庁, 2017)が、第一次、第二次オイルショックの期間を含む長期時系列データを用いた分析はなされていない。

いることが一般的であるが、本稿では最終エネルギー消費量を用いる。一次エネルギー供給量の変化は需要側のエネルギー利用量の変化に加えて発電部門の燃料転換の効果や発電所の効率改善といった効果が含まれる一方で、最終エネルギー消費量は需要側のエネルギー利用量に焦点をあてた分析をすることができる。近年では、再生可能エネルギーの導入が増える中で、燃料転換の効果も CO₂ 削減のために重要となっているが、最終エネルギー消費量を用いると、エネルギー効率向上の効果を捉えることはできない。そのため、本稿では、燃料転換の効果は排出原単位の変化で考察した。

また、エネルギー利用量に最終エネルギー消費量を用いる場合、エネルギー原単位は、国全体の需要側のエネルギー効率向上を図る指標として解釈できるが(Li et al., 2013; Wang, 2013; Filipović, Verbič and Radovanović, 2015)、各部門におけるエネルギー効率向上による効果と産業構造の変化といった経済活動によっても変化する指標(Karimu et al., 2017)でもある。そのため、後述する③での要素分解分析では、エネルギー原単位の変化をエネルギー効率向上と産業構造の変化に分けて考察した。

排出原単位は、エネルギー利用量における化石燃料の利用量を表す指標であり、本稿ではエネルギー起源 CO₂ 排出量を最終エネルギー消費量で割って求めた。すなわち、排出原単位はエネルギーの供給側の取り組みを示す指標として解釈することができる。例えば再生可能エネルギーや原子力発電といった発電時に CO₂ を排出しない電源による発電割合が増えると排出原単位が低下し、火力発電による発電割合が増加すると排出原単位は増加する。

② 2030 年 CO₂ 排出量の感度分析(GDP 想定、対策の強度及び原子力発電利用割合を対象)

社会的前提要素と対策対象要素の変化に対する 2030 年 CO₂ 排出量の感度分析として、社会的前提要素に対して 2 条件、対策対象要素に対して 12 条件を想定して、24 のケースを作成した(図 3)。またこれに加え、社会的前提だけを変更し、対策対象要素を NDC 目標と同様の値を用いたケースを 1 つ作成した。以上より、合計 25 のケースを用いて NDC 目標の定量分析を行った。



図 3 2030 年 CO₂ 排出量のケース分析の概要

出典:筆者作成

社会的前提要素について、NDC 目標と同レベルの GDP と、研究機関・シンクタンクによる予測値の中間値をとった GDP の 2 条件を用いた。対策対象要素について、緩和策と対策強度と原子力発電割合の条件を設定した。対策の強度は、エネルギー効率向上の度合い及び再生可能エネルギーの利用割合を規定するものであり、2030 年のエネルギー原単位の算出に際して、最終エネルギー消費量は、NDC 目標の基となる長期エネルギー需給見通し(経済産業省, 2015)が示す想定値および国立環境研究所およびエネルギー経済研究所のエネルギー・経済モデルにおける複数の対策強度のうち、低位対策(現行で既に取り組み、あるいは、想定されている対策・施策の継続)、中位対策(将来の低炭素社会の構築等を見据え、合理的な誘導策や義務づけ等を行うことにより重要な低炭素技術・製品等の導入を促進する対策・施策の導入)、高位対策(初期投資が大きくとも社会的効

用を勘案すれば導入すべき低炭素技術・製品等を後押しする大胆な施策の導入)を想定した試算結果である3つの条件を用いた。また、原子力発電の発電割合として、0%、15%、20%、25%の4つの条件を用いた。各要素の想定値に応じた2030年のCO₂排出量を式(2)によって算定した。これらの条件を設定する際に、エネルギー・経済モデルの出力結果のうち、該当するものの最大値と最小値の両者を用いて感度分析を行うためのケースを設定した。

$$CO2_{j,2030} = GDP_{j,2030} \cdot EI_{j,2030} \cdot CI_{j,2030} \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $GDP_{j,2030}$ はケース j における 2030 年の実質 GDP、 $EI_{j,2030}$ はケース j における 2030 年のエネルギー原単位、 $CI_{j,2030}$ はケース j における 2030 年のエネルギー原単位を示す。

さらに、エネルギー起源 CO₂ 排出量以外の GHG 排出量の削減量については、NDC 目標と同レベルの削減量を得られると仮定して、2030 年の GHG 排出量を式(3)によって、算出した。

$$GHG_{j,2030} = CO2_{j,2030} + OtherCO2_{2030} + CH4_{2030} + N2O_{2030} + 4HFCs_{2030} - Abs_{2030} \quad \text{式(3)}$$

$GHG_{j,2030}$ ケース j における 2030 年の GHG 排出量、 $OtherCO2_{2030}$ は 2030 年の非エネルギー起源 CO₂ 排出量、 $CH4_{2030}$ は 2030 年のメタン排出量(CO₂ 換算)、 $N2O_{2030}$ は 2030 年の一酸化二窒素排出量(CO₂ 換算)、 $4HFCs_{2030}$ は 2030 年の HFC 等 4 ガス排出量(CO₂ 換算)、 Abs_{2030} は 2030 年の吸収源活動による吸収量(CO₂ 換算)を示す。

③ CO₂ 排出量の要素分解分析(LMDI 分析)

1960 年から 2015 年までの過去の実績値と 2030 年の CO₂ 排出量の感度分析をするために作成した 25 のケースの中から選択した 2 つのケースに対して、各要素が CO₂ 排出量にどの程度の影響を与えているか考察を行った。影響度の分析には、LMDI 手法を用いる。LMDI 分析は CO₂ 排出量の変化量を残差なく要素ごとの変化量に分解することが可能であり、分析結果が分かり易く得られる手法とされる。LMDI 手法の詳細を付録 2 に示す。CO₂ 排出量の変化への影響度を分析する項目は、要素分析と同様に、(i) 実質 GDP、(ii) エネルギー原単位、(iii) 単位 GDP 当たりの排出原単位とした。過去のエネルギー原単位の変化については、エネルギー効率の向上による変化と産業構造による変化に分けて計算する。一方で、将来(2015 年から 2030 年までの期間)のエネルギー原単位の変化については、データの制約上、エネルギー原単位の変化のみを分析対象とする。LMDI 分析を行う際には、各要素の値に大きな変化が起きた期間を選定し(詳細は、後述する表 3 を参照)、結果を年間あたりの削減量で比較した。

3.2 データ

3.2.1 CO₂ 排出量の要素別変化率比較分析及び 2030 年 CO₂ 排出量感度分析に用いたデータ

過去と将来の人口推移は、国立社会保障・人口問題研究所が公表する「人口統計資料集」(IPSS, 2017a)および「日本の将来人口推計」(IPSS, 2017b)を引用する。なお、2030 年および 2050 年時

点の人口について、出生率と死亡率に応じた複数の人口予測がなされているが、本分析では中位出生率・中位死亡率のデータを利用した。

過去の GDP 推移については、長期にわたる実質 GDP データが収録されている世界銀行データベースを引用した。NDC 目標が前提とする GDP 年平均成長率は 1.7%である。これは、内閣府「中長期の経済財政に関する試算」(2015 年 2 月)に示される 2013~22 年度の実質経済成長年率(想定値を含む)の平均値である 1.7%が 2030 年まで維持されるという想定に基づくとされる(エネ庁, 2015)。

将来の GDP については、NDC 目標が前提とする実質 GDP 成長率がどのような水準であるかを理解するために、民間シンクタンク・研究機関が公表する日本の 2030 年までの GDP 成長率予測を比較した(表 1)。対象とした文献は電力中央研究所(浜淵, 2015)、みずほ総合研究所(MIZUHO, 2017)、三菱総合研究所(MRI, 2015)、三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング(MURC, 2017)、日本エネルギー経済研究所(IEEJ, 2017a)、国際エネルギー機関(IEA, 2017c)及び統合評価モデルコンソーシアムが中心となって作成した、共有社会経済パス(Riahi *et al.*, 2017)である。2050 年時点での GDP 想定値は、政府想定値、民間シンクタンク・研究機関の算定値が存在しないことから、環境省(2012b)の想定値を採用した。

最終エネルギー消費量、エネルギー起源 CO₂ 排出量の過去のデータは、国際エネルギー機関(IEA)が公表する「World Energy Balance」(IEA, 2017b)と「CO₂ emissions from fuel combustion」(IEA, 2017a)のデータをそれぞれ用いた。

要素分析に用いたすべての NDC 目標の値については、約束草案策定の基となった長期エネルギー需給見通し関連資料(エネ庁, 2015)を採用した。また、参考値として、IEA 世界エネルギー展望(IEA, 2017c)において、日本の約束草案に記載される政策を勘案して IEA が独自に推計した、NDC 目標を達成した場合の最終エネルギー消費量が算出されているため、その NDC 目標と併せて示した。

2030 年および 2050 年の対策の強度によって取りうる値として、NDC 目標とは別に、査読や第三者によるレビューが行われているエネルギー・経済モデルを用いた研究の中から、本研究に必要なデータが公開されている環境省(2012a)、Kainuma, et.al., (2015)、IEEJ (2013)、環境省(2012b)、Oshiro, et.al (2017)、IEEJ (2017a) のデータを比較した。引用する各モデルにおける最終エネルギー消費量とその算定条件、CO₂ 排出量と原発比率の詳細を付録 1 に示す。なお、本稿で参照したエネルギー・経済モデルでは、対策の強度によって、再生可能エネルギーの発電電力量が定められる。低位対策、中位対策、高位対策における再生可能エネルギーの割合は、それぞれ、21-22%、29%-31%、25%-73%である(付録 1)。

表 1 2030年および2050年までのGDP成長率予測

文献代表者または機関名	主要機関が予測・想定する実質GDP成長率
2030年シンクタンク推計値	
NDC 目標	2030年まで年率 1.7%
浜渦 (2015)	2030年まで年率 1.0%(標準ケース)
MIZUHO (2017)	2016~2020:年率 1.1~1.2%、2021~2025:年率 0.8~1.1%、2026~2030:年率 0.9~1%
MRI (2015)	2016~2020:年率 1.3%、2021~2025:年率 0.9%、2026~2030:年率 0.8%
MURC (2017)	2016~2020:年率 1.0%、2021~2025:年率 0.7%、2026~2030:年率 0.5%
Oshrio et.al (2017)	2030年まで年率 1.6%
IEEJ (2017a)	2030年まで年率 1%
IEA (2017)	2030年まで年率 0.7%
SSP(Riahi et al., 2017) (SSP2:中道シナリオ)	IIASA 2011~2020:年率 0.11%、2020~2030:年率 0.62% OECD 2011~2020:年率 1.03%、2020~2030:年率 0.98%
本稿でレビューしたエネルギー・経済モデルの想定値	
成長シナリオ(環境省 (2012a)及び IEEJ (2013))	2011~2020:年率 1.8%、2020~2030:年率 1.2%
慎重シナリオ(環境省 (2012a)及び IEEJ (2013))	2011~2020:年率 1.1%、2020~2030:年率 0.8%
新慎重シナリオ(環境省 (2012a)及び IEEJ (2013))	2011~2020:年率 0.2%、2020~2030:年率 0.4%
Oshiro, et.al (2017)	2030年まで年率 1.6%
2050年	
環境省(2012b)ビジョン A	2015年~2050年:年率 1.0%
環境省(2012b)R&D	2015年~2050年:年率 0.9%
環境省(2012b)MIJ	2015年~2050年:年率 1.1%
環境省(2012b)SB	2015年~2050年:年率 0.8%
環境省(2012b)RI	2015年~2050年:年率 0.4%
環境省(2012b)Share	2015年~2050年:年率-0.6%
RITE (2016)	2015年~2020年:年率 1.4%、2021年~2030年:年率 1.9%、2031年~2050年:年率 0.1%
Kainuma et al., (2015b)	2015年~2050年:年率 1%

注:2050年シナリオの概要は以下の通り。

ビジョン A:経済成長を重視した効率的な都市型の社会

R&D:ものづくりの技術開発(R&D)社会。R&Dで世界の知恵の中心地となり、低炭素技術で世界を牽引する社会。技術開発力を活かして海外の売上げにより成長し、世界トップレベルの技術力を維持するため、世界最先端施設の整備や変革者の発見と育成を行い、激しい競争に打ち勝っていくことが要求される社会が想定されている。

MIJ:メイドインジャパン(Made-in Japan)社会。世界を相手にする低炭素技術を中心とした製品や、海外の中・高所得層向けのメイドインジャパンプランドの高付加価値製品を製造・販売する。イノベーションが起こりにくく、国際競争力の維持のために生産に従事する労働者の給与が抑制され、為替変動にも大きな影響を受ける社会が想定されている。

SB:サービスブランド(Service and Brand)社会。日本が伝統的に育んできた丁寧なサービス精神を生かして、海外又は来訪した外国人の消費により成長する第三次産業中心の社会。すなわち、海外顧客向けの高品質なサービスが追求され、国内の富裕層のみがそのサービスを利用できる社会が想定されている。

RI:資源自立(Resource Independent)社会。世界のナショナリズム化に備えて、エネルギーや資源、食料などを可能な限り国内でまかなうことを志向する社会。すなわち、資源自立を維持するため、経済的に高いエネルギーや資源を使用している社会が想定されている。

Share: 分かち合い社会。新たな価値観の下で必要なモノとサービスを国内調達して、無理なく暮らせるお互い様社会で、時間的な余裕のある生活を重視する。経済的には脆弱で、個人よりもコミュニティが優先される社会。集団行動やモノの共有が日常となることが想定されている。

3.2.2 CO₂ 排出量の要素分解分析(LMDI 分析)に用いたデータ

上記の③で扱う CO₂ 排出量の要素分解分析(LMDI 分析)では、①と②の分析で用いたデータに加えて、LMDI 分析における産業別の付加価値割合のデータとして、World Bank (2017)及び平田 (1998)のデータを利用した。製造業における付加価値データ割合は、UNIDO (2017)及び内閣府 (1998)を参照した。産業別最終エネルギー消費量、エネルギー起源 CO₂ 排出量に関する過去のデータは、要素分析と同様に、IEA (2017b)と IEA (2017a)のデータを用いた。

4. 分析の結果

4.1 CO₂ 排出量の要素別変化率比較分析

4.1.1 GDP

図 4 は、実質 GDP 推移および 2030 年・2050 年想定値を示す。1964 年までの東京オリンピック景気の際には、実質 GDP は年平均 10.3%の成長、その後のいざなぎ景気を含む 1965 年から 1972 年の期間は年平均 8.0%の成長であった。1973 年の第一オイルショックと 1978 年の第二次オイルショックを含む 1973 年から 1984 年の間は年平均 3.9%の成長であった。1985 年のプラザ合意の翌年末から始まったバブル経済(1986 年から 1991 年)では、年平均 4.9%の改善となった。また、いざなぎ景気を含む 2002 年から 2007 年の期間では年平均 1.4%の成長となり、第 2 次安倍内閣が経済政策(アベノミクス)を講じた 2012 年から 2015 年の期間では年平均 1.3%の成長であった。

NDC 目標が前提とする 2015 年から 2030 年にかけての実質 GDP の成長率の想定は年平均 1.7%である。この成長率は、1991 年のバブル経済崩壊以降、4 半世紀にわたって達成されたことのない水準である。実際に、民間シンクタンク・研究機関の想定では、2016 年から 2030 年の間に年平均 1.0%程度の実質 GDP 成長率を見通している。

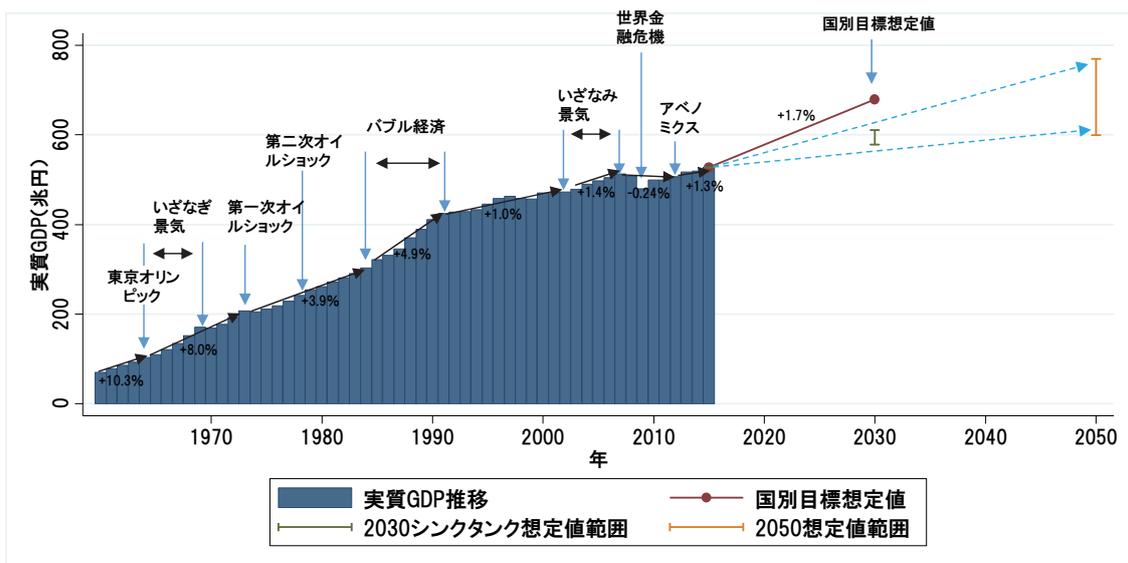
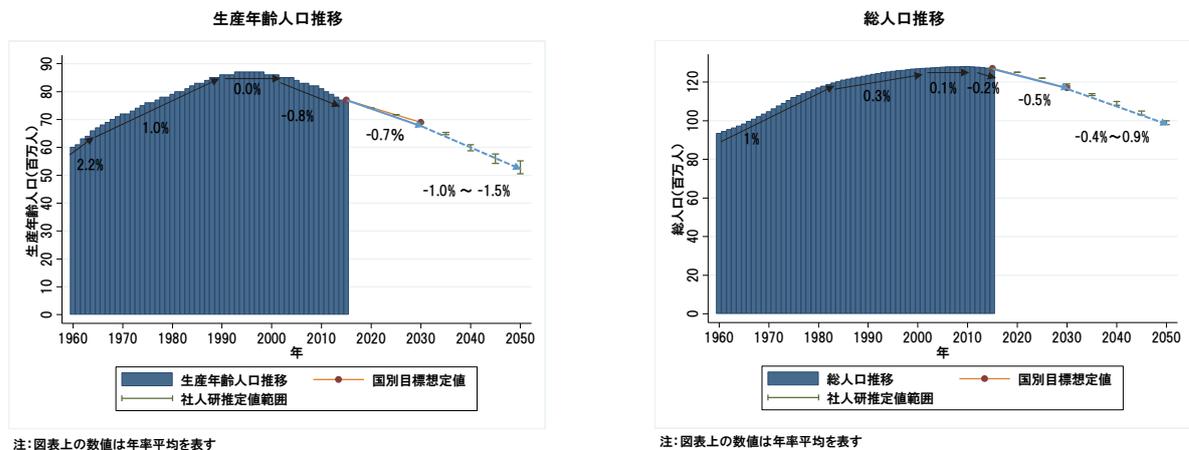


図 4 実質 GDP 推移および 2030 年・2050 年想定値

出典:筆者作成 注:グラフ内の数値は矢印で示した期間の変化率の幾何平均を示す。

また、NDC 目標が前提とする GDP 想定値の妥当性を検討するために、労働生産性の一つの指標である生産年齢人口当たり実質 GDP 推移に着目した。図 5 は生産年齢人口と総人口の推移を示す。生産年齢人口は総人口推移と比較して早期にピークを迎え、ピーク後の人口減少ペースも速いことが示されている。1960 年から 1965 年にかけて、生産年齢人口は年平均 2.2%の割合で増加していたが、1966 年から 1990 年の期間には年平均 1.0%の成長に減少し、1991 年から 2000 年の十年間に変化率がゼロとなり生産年齢人口の成長にピークを迎えた。その後 2001 年から 2015 年までは、年平均-0.8%のペースで減少した。2015 年から 2030 年にかけて毎年生産年齢人口は年平均-0.7%のペースで減少すると推定され、2030 年から 2050 年にかけては年平均-1.0%から-1.5%ペースで減少すると予想される。



注：図表上の数値は年平均を表す

注：図表上の数値は年平均を表す

図 5 生産年齢人口及び総人口推移

出典：IPSS (2017a) 及び IPSS (2017b)を基に筆者作成 注：グラフ内の数値は矢印で示した期間の変化率の幾何平均を示す。

図 6 は、生産年齢人口当たり実質 GDP 推移および 2030 年・2050 年想定値を示す。1964 年までの東京オリンピック景気の際には生産年齢人口当たりの実質 GDP は年平均 7.9%の改善、その後のいざなぎ景気を含む 1965 年から 1972 年の期間は年平均 6.5%の改善であった。1973 年の第一オイルショックと 1978 年の第二次オイルショックを含む 1973 年から 1984 年の間は年平均 2.9%の改善であった。1985 年のプラザ合意の翌年末から始まったバブル経済(1986 年から 1991 年)では、年平均 4.2%の改善となった。また、いざなぎ景気を含む 2002 年から 2007 年の期間では年平均 2.0%の改善となり、第 2 次安倍内閣が経済政策(アベノミクス)を講じた 2012 年から 2015 年の期間では年平均 2.4%の改善であった。

NDC 目標が前提とする GDP 想定値をもとに、2015 年から 2030 年にかけての生産年齢人口当たり実質 GDP を計算すると年平均 2.5%の改善となる。この改善率を達成するためには、2012 年から好景気がいつまで続くかといった経済景気の見通しや、情報通信技術革新によって、今後の労働生産性の改善率を予想することは困難である。しかし、経済景気については、いざなぎ景気が 52 ヶ月、バブル景気が 51 ヶ月、いざなぎ景気が 57 ヶ月であったことを考慮すると、2012 年以降の生産年齢人口当たり実質 GDP の改善率を 2030 年まで維持することが現実的であるか、実質 GDP 成長率の想定を踏まえて慎重な検証が必要であると考えられる。

なお、本稿でレビューした 2050 年時点の CO₂ 排出量を分析したエネルギー・経済モデルが想定する実質 GDP 成長率は、単純に 2010 年からの経済成長率を 2050 年まで一定として試算している

ことから、図 6 で示される 2050 時点の生産人口年齢あたり実質 GDP も、過大となる傾向にある。

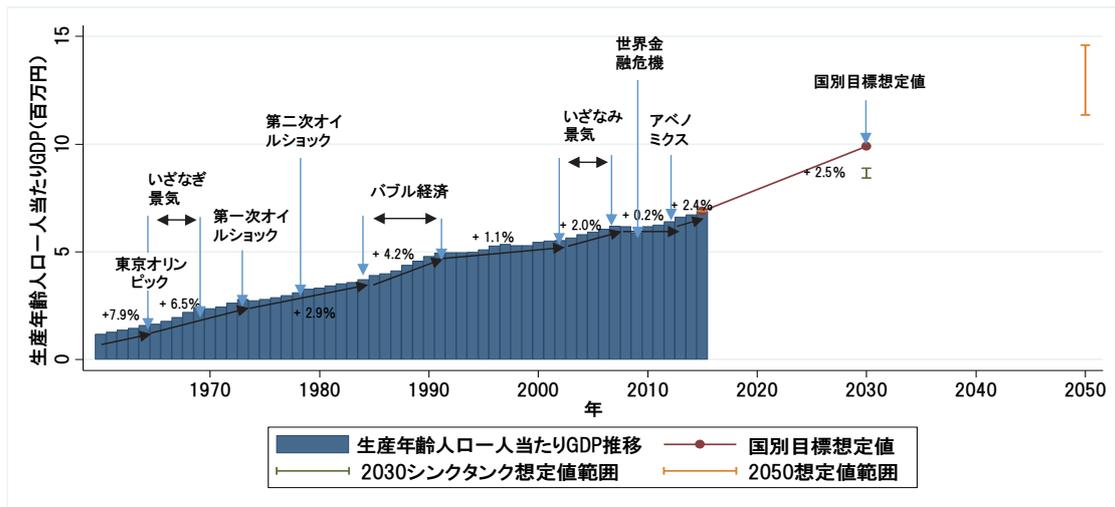


図 6 生産年齢人口あたり実質 GDP 推移および 2030 年・2050 年想定値

出典：筆者作成

注：グラフ内の数値は矢印で示した期間の変化率の幾何平均を示す。

4.1.2 エネルギー原単位(エネルギー需要側の取り組み)

1960 年からの 2015 年までのエネルギー原単位の推移を図 7 に示した。第一次オイルショックが起きた 1972 年までのエネルギー原単位は年平均 2.6%のペースで増加していたが、その後、1973 年から 1978 年の第二次オイルショックまで年率 1.6%のペースでの減少に転じた。背景として、政府が石油の安定供給を促すために「石油需給適正化法(1973 年)」を制定し、企業などに対し、一時的に石油製品の使用上限を設けるなど、緊急避難的な需要抑制策が導入されたことがある。この政策は石油の安定供給を主目的としたものであり、必ずしもエネルギー効率向上を意図したものではなかったが、化石燃料の高騰を受けて一部の需要家に対して、石油需給適正化法を契機に自主的にエネルギーの効率性を高める取り組みを促したと指摘されている(藤波, 2014)。特に、鉄鋼業界では、連続鋳造や廃熱回収などのエネルギー効率向上技術がオイルショックを契機として導入されるようになったと指摘されている(藤波, 2014)。

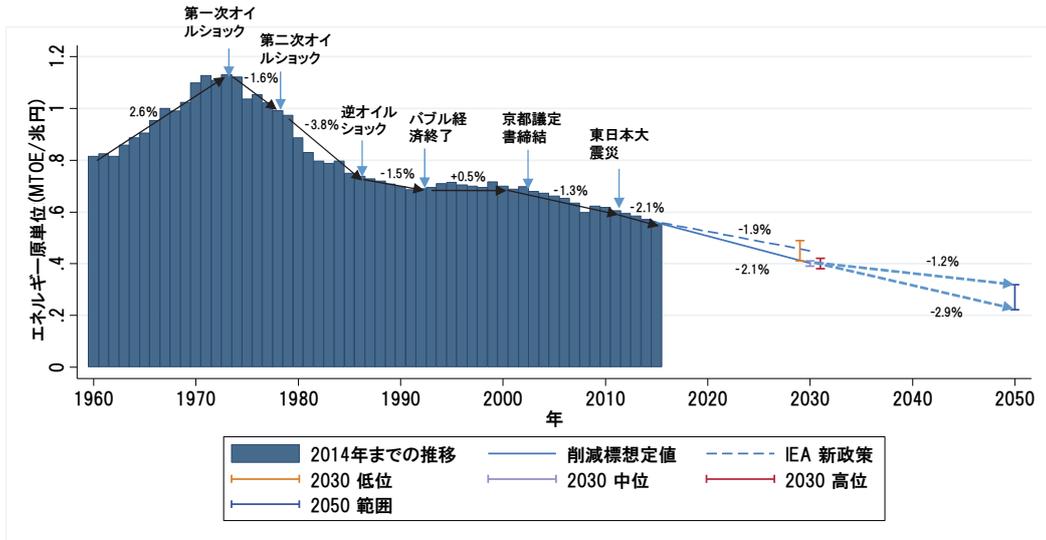


図 7 エネルギー原単位の改善推移とエネルギー・経済モデルが算出する2030年値、2050年値

出典：筆者作成

注：グラフ内の数値は矢印で示した期間の変化率の幾何平均を示す。

IEA 新政策：NDC に記載される削減目標や対策が実行される(IEA 独自試算)

低位対策：現行で既に取り組み、あるいは、想定されている対策・施策の継続

中位対策：将来の低炭素社会の構築等を見据え、合理的な誘導策や義務づけ等を行うことにより重要な低炭素技術・製品等の導入を促進する対策・施策の導入

高位対策：初期投資が大きくとも社会的効用を勘案すれば導入すべき低炭素技術・製品等を後押しする大胆な施策の導入

1978年の第二次オイルショックからは、エネルギー原単位の変化は年平均-3.8%となり、改善のペースが高まった。背景として、石油の安定供給に配慮する供給サイドに向けた政策だけでなく、エネルギー効率向上や産業構造転換など需要サイドでの取り組みを促すべく「エネルギー使用の合理化に関する法律(省エネ法、1979年)」が制定されたことがある。さらに、政府は主として製造業で生じた余剰人員や過剰設備の調整を促すことを目的に、「特定不況業種離職者臨時措置法(1977年)」、「特定不況産業安定臨時措置法(1978年)」を制定した。このような施策の導入と第2次オイルショックによる燃料価格の上昇などによって、国際競争力が低下した素材産業(鉄鋼、窯業土石)における設備の廃棄や合理化進み、その受け皿として金属加工や機械が伸長するという産業構造の転換が図られ、エネルギー原単位が改善した(藤波, 2014)。実際に図8に示される製造業における付加価値割合を見ると1978年ころから製造業に占める鉄鋼・セメント業における付加価値の減少傾向が始まっていた。(産業構造の変化によるCO₂排出量の増減に関する詳細な分析は、4.3を参照。)

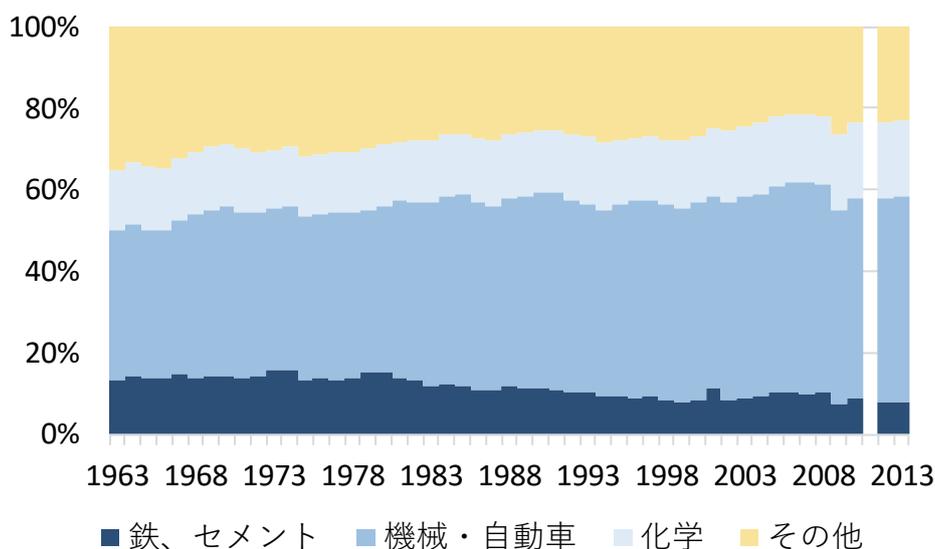


図 8 製造業における付加価値割合

出典: World Bank (2017), UNIDO (2017), 平田 (1998), 内閣府 (1998)をもとに筆者作成

注: 2011 年のデータは欠損しているため、グラフ上に表示していない。

しかし、1986 年からバブル経済が終了する 1991 年にかけてのエネルギー原単位の向上ペースは年平均 1.5%とオイルショック期のペースと比較して鈍化した。これには、1985 年 10 月にサウジアラビアが、それまで担っていた原油価格の需給調整役を放棄し、原油の増産に乗り出したことで、原油需給の大幅な緩和を誘発し、原油価格が大きく下落する「逆オイルショック」が起きたことが背景にある(資源エネルギー庁, 2007)。

バブル経済終了後の 1992 年から 2000 年までは、エネルギー原単位は改善されず、むしろ年平均+0.5%の上昇ペースとなった。

2000 年から東日本大震災が起こる 2011 年までの間のエネルギー原単位の変化率が年平均-1.3%と改善し、前期間と比較して、改善のペースが上昇した。これは、1999 年に省エネ法が改正されトップランナー制度が導入されたことによる貢献(藤波, 2014; IEEJ, 2017b)や、2002 年に日本が京都議定書を締結しエネルギーの効率化に関する意識が高まったことが背景にあると考えられる。なお、2008 年には一時的にエネルギー原単位が減少しているが、これは 2008 年からはじまった世界金融危機の影響で製造業の生産活動が一時的に停滞したことが影響したと考えられる。

2011 年から 2015 年にかけて、エネルギー原単位の変化率が年平均-2.1%と改善し、前期の改善ペースをさらに上回っている。背景として、東日本大震災で発生した電力需給がひっ迫した状況から節電に対する意識が高まり、エネルギー効率の向上を促進する取り組みが進んだことが要因の一つとして挙げられている(Wakiyama and Kuramochi, 2017)。

NDC 目標が想定する前提に基づくと、2030 年のエネルギー原単位は、0.40 megatonne of oil equivalent (Mtoe) / 兆円となり年平均-2.1%で改善するペースと計算される。これを上記のエネルギー・経済モデルの結果と比較すると、NDC 目標が想定する 2030 年のエネルギー原単位は、エネルギー・経済モデルにおける低位の対策を講じた場合に達成されるエネルギー原単位の最下値付近を示している。なお、IEA の新政策シナリオによる試算では、2030 年のエネルギー原単位は年平均-1.9%で改善され、エネルギー・経済モデルにおける低位の対策を講じた場合に達成されるエネルギー原単位の間接値付近を示している。中位の対策を講じた場合は、NDC 目標が想定するエネ

ルギー原単位よりも改善される。

これらの結果から、NDC 目標が想定するエネルギー原単位は「現行で既に取り組み、あるいは、想定されている対策・施策を継続することを想定したケース」(環境省, 2012a)、または「現在の技術水準が今後も継続する」(IEEJ, 2013)想定で達成できる可能性があるとともに、「将来の低炭素社会の構築等を見据え、合理的な誘導策や義務づけ等を行うことにより重要な低炭素技術・製品等の導入を促進することを想定したケース」(環境省, 2012a)であれば、十分に達成可能である範囲内であることが明らかとなった。また、エネルギー原単位の改善のペースとしては、過去15年間の傾向の延長上にあり、2002年以降のエネルギー原単位の改善のペースが継続されれば、NDC 目標の想定値を達成できることが示唆される。

環境省(2012a)、IEEJ(2017a)の記述をもとに、具体的な対策を部門別及び削減費用の正負別に表2に示す。低位、中位、高位といった対策の強度によって、これらの技術が普及される量が決まる。なお、削減費用計算は「社会的な回収年数」、すなわち、政策による後押しなどによって長期の回収年を前提に投資が行われる場合の年数¹⁰に基づく。産業部門、業務部門において、高効率照明や動力は、削減費用がマイナスの対策、すなわち、各主体が長期の視点に立てば、特段の政策的支援がなくとも対策が進むものと考えられる。また、家庭部門における対策など、削減費用がプラスでも、生活の質(Quality of Life)が向上する対策もあるため、緩和策とは別の観点から促進される(環境省, 2012a)。

表2 業種部門別削減対策一覧

部門	削減費用	対策一覧
産業部門	マイナス	業種横断的対策(高効率産業用照明、高効率産業用モータなど)
	プラス	エネ多消費産業固有技術(鉄鋼業:次世代コークス炉の導入や、廃プラスチックの有効活用、窯業:革新的セメント製造プロセスや、ガラス溶融プロセスの導入、紙:高効率古紙パルプ製造技術の導入、廃材の利用、化学工業:ナフサ接触分解技術の導入、バイオマスコンビナート、石油精製業:廃熱回収最大化技術、水素利用最適化技術)
業務部門	マイナス	照明照度低減、高効率空調、高効率動力、建物断熱性向上、BEMS、高効率給湯、高効率照明、
家庭部門	マイナス	高効率家電、HEMS、住宅太陽光発電、高効率照明
	プラス	高効率空調、高効率給湯、建物断熱性能向上
運輸部門	マイナス	貨物車単体対策、乗用車単体対策(ハイブリッド、EV、PHEVなどの導入)

注:乗用車単体対策は、中位・高位対策では削減費用がマイナスとなるが、低位対策においてはプラスとなる。

なお、2050年における日本のエネルギー原単位の値は、0.22から0.32(Mtoe/兆円)とNDC 目標が想定するエネルギー原単位の約半分にすることが予測される。仮に、2030年のエネルギー原単位がNDC 目標の想定値であるとする、2030年から2050年にかけて年平均-1.2%から-2.9%の改善を継続する必要があることから、長期的なエネルギー効率向上を念頭に置いた取り組みの必要性が示唆された。

4.1.3 CO₂ 排出原単位(エネルギー供給側の取り組み)

1960年からの2015年までのCO₂原単位の推移及び電力・非電力部門の排出原単位の1960年比の推移を図9に示す。

¹⁰ 環境省(2012a)によると、「エネルギー消費に関連する部門において、投資回収年数を約3年と短く設定すると、利益が得られる限られた対策にしか投資がされず、省エネ対策が十分に導入されない。そこで、省エネ投資や炭素の価格付けなどの政策により省エネ対策が十分に導入される場合を考慮し、全部門において十分な投資回収期間(各対策技術の寿命の5~7割に相当する投資回収年)となるように社会的な回収年数を設定した。」とされる。

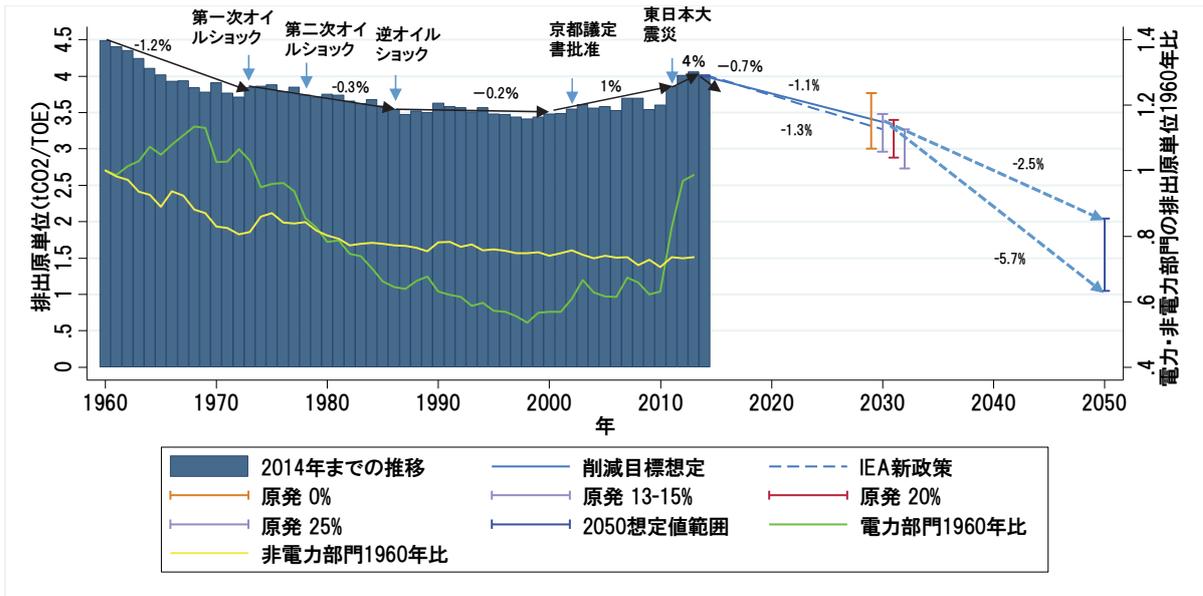


図 9 エネルギー消費当たりの CO₂ 排出原単位推移及び電力・非電力部門の排出原単位の 1960 年比

出典：筆者作成

注：グラフ内の数値は矢印で示した期間の変化率の幾何平均を示す。

CO₂ 排出原単位は 1960 年から第一オイルショックが発生した 1973 年にかけて、年平均-1.2%のペースで低下した。これは、図 10 に示されるように、非電力部門において石炭から石油へのシフトが急激に進んだ結果、全最終エネルギー消費量に対する石油の消費量の割合が増えたため、非電力部門の排出原単位が下がったことが主因である。

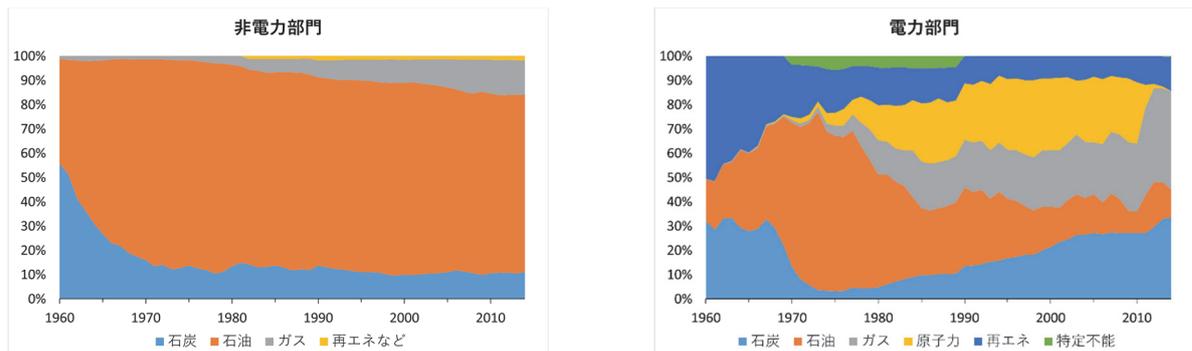


図 10 非電力部門の最終エネルギー消費量及び電力部門における発電電力量割合

出典：OECD (2017)をもとに筆者作成

1973 年から逆オイルショックが発生した 1986 年までは、電力部門において、原子力と天然ガスの利用が進み、年平均-0.3%のペースで排出原単位が低下した。これらのエネルギーミックスの変化の背景には、第 1 次オイルショック直後に石油の使用量を減らすことに目的に、電源三法(1974 年)が制定され、原子力、ガス火力による発電電力量割合を、官民一体となって増加させてきたことがある。

1986年から2000年にかけては、年平均-0.2%のペースで排出原単位が改善された。この期間において、排出原単位が改善した要因と、悪化した要因の両者が挙げられるが、総じて、改善した要因の影響度が大きかったと考えられる。排出原単位が改善された要因として、第一に、非電力部門においてガス利用割合の増加したことが挙げられる(図10)。第二に、電力部門においても、天然ガス・原子力発電の利用が増えたことに加え、図11に示されるように、火力発電の熱効率が年平均で0.4%改善したためと考えられる。排出原単位が悪化した要因は、すべての電源の中で最も排出係数が高い石炭火力発電の電源別発電電力量に占める割合が増加したことにある(図10)。

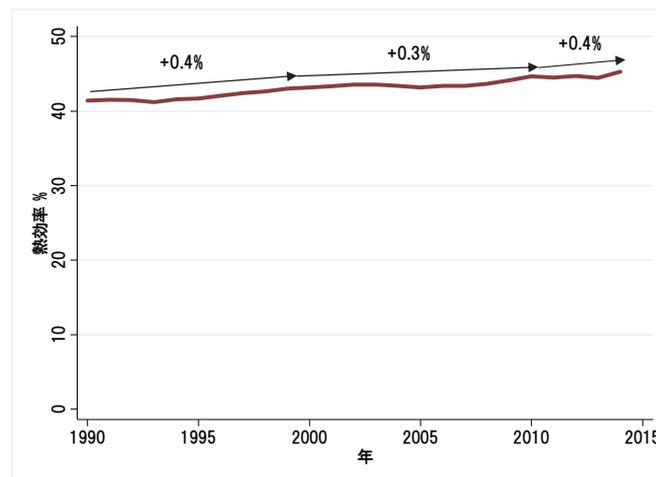


図11 日本の火力発電の加重平均熱効率の推移
出典:IEA (2017b)をもとに筆者作成

注:熱効率は、石炭、ガス、石油火力の熱効率を加重平均した熱効率。自家発電設備は対象外。

2000年から2011年にかけては、年平均1%のペースで排出原単位が増加した。この期間においても、排出原単位を改善・悪化した両者の要因が挙げられるが、この期間は、悪化した要因の影響度が大きかったと考えられる。改善した要因として、図11に示される通り、同期間に、火力発電の効率も年平均で0.3%改善された。悪化した要因として、原子力発電及び石油火力発電による電力供給割合が下がり、石炭火力発電の発電電力量割合が増加した。

2011年から2013年は、排出原単位がさらに悪化し、年平均4%のペースでの増加となった。東日本大震災以降、多くの原子力発電所が稼働停止したことによって、電力部門の排出原単位が悪化した影響が大きい。しかし、2013年から2015年にかけては排出原単位が年率-0.7%のペースで減少した。

1990年以降は、非電力部門における排出原単位に大きな変化がない中で、電力部門のCO₂排出原単位の変化が国全体の排出原単位の変化に影響を与えている(図9)。従って、近年では、電力部門における排出原単位を下げることで、国全体の排出原単位を下げることに大きく寄与していることが分かる。

2030年の目標達成には、最終エネルギー消費量当たりのCO₂排出原単位を2.9tCO₂/TOEまで下げるために、震災以降、上昇傾向にある排出原単位を減少に転じさせ、年平均-1.1%のペースで改善する必要がある。2015年時点で、電源構成に占める火力発電の割合が約8割となる中で、その達成は容易ではない。しかし、図9に示すエネルギー・経済モデルの結果では、原子力発電の割

合が0%の条件において取りうる排出原単位の範囲内に収まることから、2.9tCO₂/TOE という値は対策の強度によっては、達成可能であることが示されている。さらに、原子力発電の割合が15%以上の場合には、さらなる排出原単位改善の可能性がある。なお、2030年目標が前提とする再生可能エネルギーの全発電電力量に対する割合は、低位対策を講じた場合と同程度の22%である。中位対策または高位対策を講じた場合、それぞれ、29%–31%、25%–35%となることがエネルギー経済モデルの結果で示されている。原発比率別、対策強度別の分析は、4.2節の2030年CO₂排出量の感度分析を参照されたい。

2050年80%削減に向けた排出経路との整合性については、排出原単位を1.05から2.04tCO₂/TOEの範囲内に下げることが示されている。仮に、2030年の排出原単位がNDC目標の想定値であるとする、2030年から2050年にかけて年平均–2.5%から–5.7%の改善を継続する必要があることから、2030年から2050年までの間に、2030年までの取り組み以上の排出原単位の改善が必要である。特に、国全体のCO₂排出原単位の変化に顕著な影響を与える電力部門の排出原単位を改善するために、当該部門の抜本的な改善が必須と考えられる。

4.2 2030年の排出量感度分析

2030年の排出量の感度分析の結果を図12に示す。図12aは、NDC目標と同レベルのGDP(以下、2030年目標想定GDP)を用いたケース、図12bは、民間シンクタンク・研究機関の予測値の中間値のGDP(以下、民間予測平均GDP)を採用したケースにおけるCO₂削減率を示す。なお、民間予測平均GDPの値は本稿でレビューした2030年CO₂排出量を分析するエネルギー・経済モデルが想定するGDP想定値の範囲内である(詳細は表1を参照)。

図12aの2030年目標想定GDPの条件の下では、NDC目標と同程度の原子力発電所の割合である原発25%あるいは20%の場合は、中位対策以上の施策を講じることで、2013年比25%削減(エネルギー起源CO₂)のNDC目標を高める余地がある。また、NDC目標が想定する原子力発電の割合が達成できず、全電源に占める原子力発電の割合が15%となった場合も、NDC目標が想定するGHG削減目標よりも改善できる可能性が示された。原子力発電が0%の場合は、NDC目標と同程度のGDPを用いた条件の下では、NDC目標の達成は中位対策を講じても難しいが、高位対策(初期投資が大きくとも社会的効用を勘案すれば導入すべき低炭素技術・製品等を後押しする大胆な施策の導入)を講じれば、NDC目標が想定する排出原単位と同程度のレベルまで改善できる可能性が示唆された。

一方で、図12bの民間予測平均GDPの条件の下では、NDCが想定する同レベルの対策対象要素を想定すると、2030年時点のCO₂排出量が2013年比32%削減(840MtCO₂)、GHG排出量も2013年比32%削減(955MtCO₂)と計算された。すなわち、GDP成長率の想定値を民間シンクタンク・研究機関による予測値の中間値に設定することでGHG排出量がNDC目標である1,042MtCO₂から約1億トン下がる計算となる。また、原子力発電が0%の条件でも民間予測平均GDPケースであれば、中位対策以上の施策を講じることで、NDC目標と同等あるいはそれ以上のCO₂削減達成可能性が示唆される。従って、社会的前提要素が、民間シンクタンク・研究機関の前提に倣って下方修正された場合、NDC目標は中位対策によって、十分に達成可能であり、削減目標の引き上げも可能であることが示唆される。

a. GHG削減率(2030年目標想定GDP)

b. GHG削減率(民間予測平均GDP)

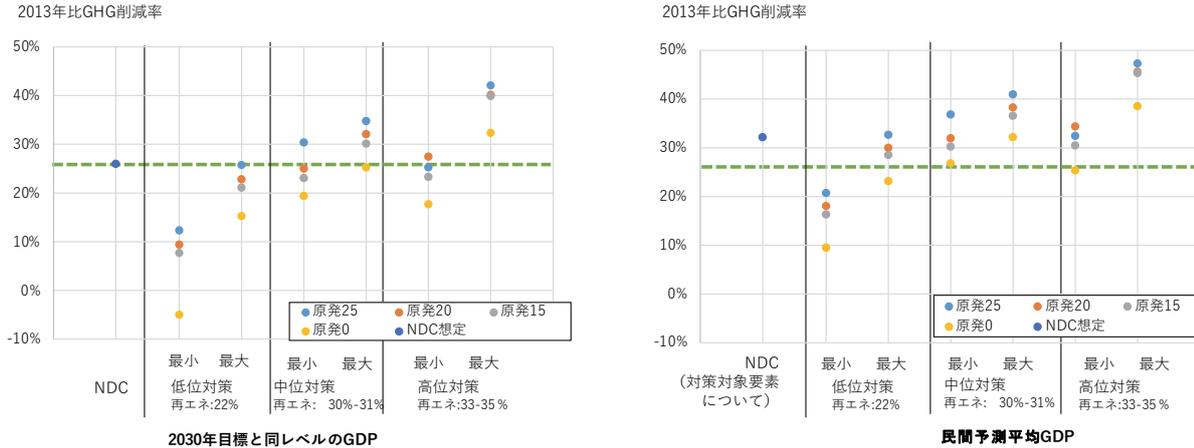


図 12 対策強度別・原子力発電割合別の感度分析結果

出典:筆者作成

注:緑点線はNDC目標が示す2013年CO₂削減率を示す

4.3 1960年から2030年のCO₂排出量に対するLMDI分析結果

社会的前提要素と対策対象要素の各変化が日本のCO₂排出量に対して与えた1年間あたりの影響度についてLMDI手法を用いて分析した。1960年から2015年までの過去55年間およびNDC目標の基準年(2013年)から目標年(2030年)までの18年間を対象期間とする。過去55年間については、4.1の分析の結果をもとに、CO₂排出量の増加・減少傾向の大小をもとに期間を分割した¹¹(表3)。また、2013年から2030年の期間に関しては、2030年目標が前提とする条件を設定したNDC目標ケースに加え、4.2で設定したケースのうち、特徴的な民間予測平均GDPベースケース(対策対象要素はNDC目標と同等)および民間予測平均GDP・原発0%・高位対策ケースについて分析した。これにより、社会的前提要素と対策対象要素の変化による2030年のCO₂排出量への影響度を考察することができる。

表 3 選択した期間の特徴

期間	各期間の特徴
1960年から1973年	高度経済成長(オリンピック景気、いざなぎ景気)
1973年から1986年	第一次・第二次オイルショックによるエネルギー効率向上行動の促進
1986年から1991年	逆オイルショック以降のエネルギー効率向上行動の停滞・バブル経済
1991年から2000年	バブル経済以降の経済の停滞
2000年から2007年	いざなぎ景気、日本の京都議定書の批准
2007年から2010年	世界金融危機
2010年から2013年	東日本大震災後のエネルギー効率向上行動の促進、多くの原子力発電所の稼働停止
2013年から2015年	エネルギー原単位と排出原単位と低下

図13に各要素の変化がCO₂排出量の変化にどの程度の影響を与えたのかを分析するLMDI分析の結果を示す。1960年から1973年までの期間では、実質GDP、経済構造の変化、エネルギー原単位、排出原単位の4要素すべてがCO₂排出量の増加要因となっていた。1973年から1986年までの期間では、エネルギー効率の向上によって毎年15MtCO₂のCO₂排出量減少に影響してい

¹¹ 2000年については、CO₂排出量の傾向に大きな変化はないが、エネルギー原単位と炭素原単位の傾向に大きな変化がみられることから2000年を境に期間を分割した。

たことがわかる。加えて、鉄鋼業やセメント業の余剰生産の改善やサービス業による付加価値生産割合の増加によって、毎年 8 MtCO₂ の CO₂ 排出量減少をもたらした。これは、前述の通り、第一次・第二次のオイルショックによって大きく変化したエネルギー利用や産業構造の変化が、CO₂ 排出量にも強い影響を与えていることが明らかとなった。

逆オイルショックによる影響を含む 1986 年から 1992 年までの期間は、産業構造の変化による CO₂ 削減量が落ち着く中で、エネルギー効率向上による CO₂ 削減への影響が継続した。一方で、バブル経済に伴う実質 GDP による CO₂ 排出量の増加が顕著である。

バブル経済終了後の 1992 年から 2000 年までの期間は、他の期間と比較して実質 GDP、エネルギー効率向上による CO₂ 排出量への影響度が小さい。特に、エネルギー効率向上による CO₂ 排出量への影響度は正の値を示している。すなわち、エネルギー効率が悪化したことになる。

日本の京都議定書の締結年を含む 2000 年から 2007 年までの期間は、再びエネルギー効率向上による CO₂ 排出削減の効果が現れ始める。しかし、いざなぎ景気による実質 GDP の増加や原子力発電所の稼働率低下による排出原単位の悪化によって、CO₂ 排出量は増加した。

世界金融危機の影響を含む 2007 年から 2010 年までの間は、実質 GDP、CO₂ 排出原単位の低下及び産業構造の変化によって、CO₂ 排出量に対して、それぞれ 9MtCO₂、6MtCO₂ の CO₂ 排出量減少要因となった。またエネルギー効率向上によっても、毎年 5MtCO₂ の削減要因となった。

2010 年から 2013 年までの期間は、東日本大震災後のエネルギー効率向上に対する機運が高まり、エネルギー効率向上によって、毎年 11MtCO₂ の削減要因となった。また、産業構造の変化によっても毎年 8MtCO₂ の削減要因となった。一方で、多くの原子力発電所の稼働停止やアベノミクスの経済政策による生産年齢人口あたりの実質 GDP 増加によって CO₂ 排出量は増加した。

2013 年から 2015 年の期間は、データの制約上、エネルギー原単位をエネルギー効率の変化と産業構造の変化に分けずに分析した。2010 年から 2013 年までの期間とは反対に、排出原単位が改善され、毎年 22MtCO₂ の削減の要因となった。さらに、エネルギー原単位の改善が毎年 32MtCO₂ の削減をもたらしており、最大の削減要因となった。一方で、実質 GDP の増加による CO₂ 排出量の増加は 9MtCO₂ と 2010 年から 2013 年までの同程度の水準である。このように、2013 年から 2015 年の期間は、実質 GDP 成長が排出量を増加させる影響を与えるが、CO₂ 排出原単位、エネルギー原単位、生産年齢人口の減少による CO₂ 排出量の削減の効果が上回る。結果として、総 CO₂ 排出量の減少をもたらすという CO₂ 排出量と経済成長のデカップリングの傾向が現れ始めている。

2030 年時点の CO₂ 排出量についてみると、三つのケースに共通して、2013 年から 2015 年の期間にみられたデカップリングを継続させる必要がある。特に、エネルギー原単位(エネルギー効率の変化+産業構造の変化)による CO₂ 削減への貢献が最も大きいものの、経済構造の変化を含めると過去の 7 期間中、3 つの期間において達成してきた改善ペースと同程度である。NDC 目標は、2015 年に策定された長期エネルギー見通し(経済産業省, 2015)に基づいているが、本見通しにおいては、産業構造の大幅な変化が想定されていない(エネ庁, 2015)。しかし、2007 年から 2013 年までの傾向を見ると、経済構造の変化による CO₂ 排出量の減少効果がエネルギー効率改善による CO₂ 排出量の削減効果と同程度の水準になっている。従って、産業構造の変化の可能性やそれによる CO₂ 排出量への影響についても検証されることが望ましい。一方で、排出原単位については、過去には改善と悪化を繰り返す中で、2030 年までに確実に改善を継続する必要性が示された。

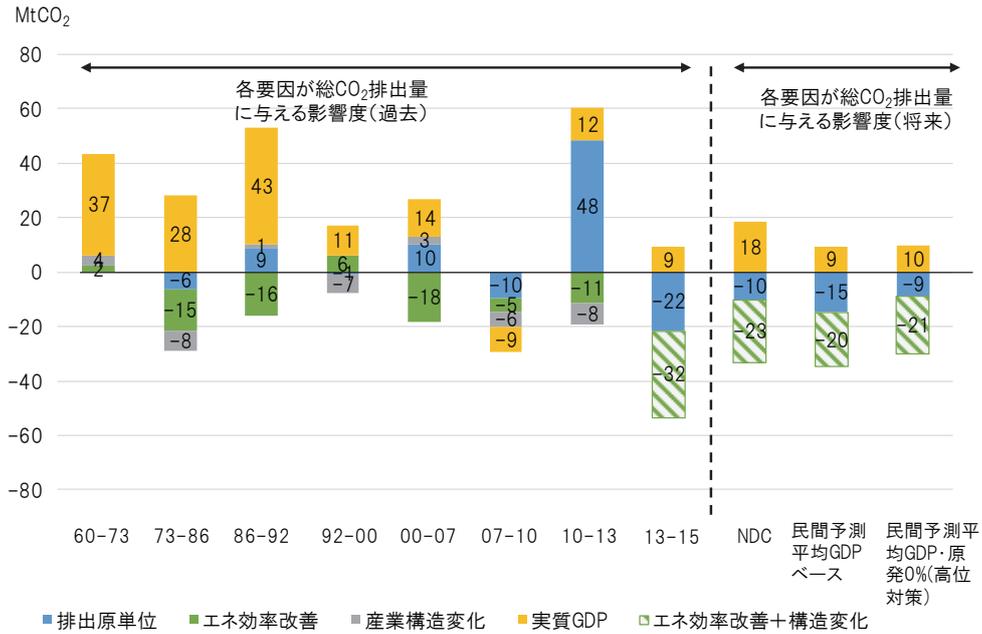


図 13 過去と2030年の要素分解分析の結果

出典:筆者作成

5. 結論

本稿はNDC目標を計画する際に設定された、CO₂増加に大きく影響を与える社会的前提要素(実質GDP)及び対策対象要素(エネルギー原単位及び排出原単位)がどのような水準であるのか考察することを目的に、各要素について既往の統計や研究等による推定結果と比較した。さらに、個々の要因の変化に対しCO₂排出量がどのように変化するか定量分析(感度分析)及びLMDI法を用いたCO₂排出量の要素分解分析を行った。

第一に、要素別にみた変化率の比較分析から得られた結論は以下の通り。NDC目標において政府が想定する実質GDP成長率を過去25年間の実績値と比較すると、ほとんど達成されたことのない高水準であり、民間シンクタンク・研究機関の予測値を大きく上回ることが明らかになった。さらに、労働生産性の一つの指標である生産年齢人口当たりの実質GDPの傾向は、毎年2.5%改善するという、近年の好景気で達成してきた水準よりも同等以上の改善ペースを15年間にわたり継続させることを意味しており、その実現可能性について慎重な検証が求められる。

エネルギー原単位について、NDC目標が想定するエネルギー原単位をエネルギー・経済モデルの分析結果と比較したところ、低位対策(現行で既に取り組みされている、あるいは、想定されている対策・施策)を継続することで達成できる水準であることが明らかとなった。また、中位対策(将来の低炭素社会の構築などを見据え、合理的な誘導策や義務づけ等を行うことにより重要な低炭素技術・製品の導入を促進する対策・施策の導入)を講じることで十分に達成できる水準であることが確認された。特に、高効率照明、高効率動力、断熱性の向上、高効率給湯、住宅エネルギー管理システム(HEMS)、ビルエネルギー管理システム(BEMS)といった対策は、社会的な便益を考慮した長期的な観点(ただし、各対策技術の寿命以内)に立てば、負の削減費用(すなわち、対策を行うことで便

益が得られる)となっており、低位の対策でも促進される取り組みである。過去の実績との比較では、オイルショック時や東日本大震災以降の期間といった過去に何度か達成されてきた改善ペースを継続することで、NDC 目標が想定する国全体のエネルギー原単位を達成できることが明らかとなった。

CO₂ 排出原単位について、2030 年目標の前提条件をエネルギー・経済モデルによる 2030 年時点の原子力発電割合別の出力結果と比較したところ、原子力発電の割合が 15%以上で十分に達成できる水準であることが明らかとなった。原子力発電の割合が 0%となった場合も、再生可能エネルギーの割合を高めることで、達成しうる値であると示唆される。具体的には、2030 年目標が前提とする再生可能エネルギーの全発電電力量に対する割合は、低位対策を講じた場合と同程度である。中位対策または高位対策を講じた場合、少なくとも 25%以上となることがエネルギー経済モデルの結果で示されている。ただし、過去の実績では、電源構成が変化しつつも CO₂ 排出原単位は 1990 年から 2010 年までほぼ一定であることからその改善は容易ではないことが伺える。加えて、2011 年の東日本大震災後に原子力発電所が停止し、代替電源としてガス火力、石炭火力の利用が増加したことにより、排出原単位が大幅に悪化するという厳しい状況が続いている。さらには、1,800 万 kW の石炭火力発電および 2,900 万 kW のガス火力発電の新設・増設計画があり、更なる CO₂ 排出原単位の悪化が懸念される(栗山・田村, 2016)。

第二に、2030 年の CO₂ 排出量感度分析から得られた結論は下記の通り。CO₂ 増加に寄与する社会的前提要素が通常の想定より大きく設定された場合、NDC 目標を達成するためには、CO₂ 削減側の原発比率及び温暖化対策を大幅に高める必要がある。反対に、GDP 成長率をこれまでの成長率を考慮した民間予測の平均値とすれば、原子力発電量の割合が 15%となれば、特に追加対策をとらずともエネルギー起源 CO₂ の NDC 目標は達成できる水準である。仮に原子力発電量の割合が 0%であっても、中位対策をとれば達成可能な水準であると言える。これらの結果は、先行研究である Kuramochi, et al. (2017)とおよそ一致している。

以上の結果より、GDP 成長率に対して、民間シンクタンク・研究機関の見通しを前提に計算すると、日本の 2030 年のエネルギー起源 CO₂ 排出削減目標は容易に達成できるため、NDC 目標を引き上げることは可能であることが示された。

第三に、LMDI 分析によって得られた結論は下記の通り。1960 年からの傾向ではエネルギー原単位改善には、エネルギー効率向上による CO₂ 削減効果が産業構造の変化によるものよりも大きかった。また、2013 年から 2015 年の期間は、実質 GDP が成長する中で、エネルギー原単位、排出原単位の改善によって、CO₂ 排出量が減少するという経済成長と CO₂ 排出量のデカップリングの現象が観測された。すなわち、NDC 目標を達成するにあたり、実質 GDP が年平均 1.7%成長(毎年 18MtCO₂ 排出量増加相当)するなかで、エネルギー原単位を 2.1%改善(毎年 23MtCO₂ 排出量削減相当)、排出原単位を 1.3%改善(毎年 10MtCO₂ 排出量削減相当)するデカップリングの状態を継続していく必要がある。

本分析の限界として以下の事項が挙げられる。第一に、GDP、エネルギー原単位、排出原単位の変化率比較分析を行うにあたり、データ利用の制約上国レベルの値の分析に留まった。特に、エネルギー原単位については、産業部門、業務部門、家庭部門といった部門別、さらには、産業部門の中でも業種別に変化率の分析を行うことで、各部門におけるエネルギー効率向上に関する考察が深まる。第二に、LMDI 分析で示された通り、2007 年以降に産業構造の変化が CO₂ 排出量減少の主要因となりつつある。しかし、本分析では、産業構造について、エネルギー基本計画などの政府想定に基づいた分析結果の比較にとどまった。仮に、業務部門が NDC 目標の想定よりも大きな割合を占める場合は、目標のさらなる引き上げが可能となりうるが、本分析では詳細に扱うことができなかった。第三に、排出原単位については、最近の再生可能エネルギー導入量の飛躍的な増加の影響や、近

年多くなされている大幅なCO₂削減を可能とするエネルギーシステムに関する研究の結果を反映する必要がある。

本研究から得られた日本の2030年目標に対する示唆として、2013年から2015年の期間は、実質GDPが成長する中で、エネルギー原単位、排出原単位の改善によって、CO₂排出量が減少するという「経済成長とCO₂排出量のデカップリング」が起きている。しかし、NDC目標を達成するためには、これまでに大きな改善がみられなかった電力部門の脱炭素化を含む排出原単位の改善を確実にすすめることが必須であり、パリ協定の下での野心引き上げメカニズムなどの機会を利用して、中位以上の対策を講じることが必要となる。また、GDPなどの経済の前提は、世界情勢や国内の重大出来事などによって大きく変わることから、その設定値の妥当性について慎重に検証することが重要である。

また、パリ協定における野心引き上げプロセスにおいて、各国の取り組みを効果的に考察するために必要となる取り組みに向けた示唆が得られた。第一に、CO₂排出量は経済活動、人口といった社会的前提要素とエネルギー技術といった対策対象要素によって左右されるため、個別の要素に細分化して議論することの有用性を示した。第二に、個別の要素の中でも、エネルギー原単位の変化は、産業部門、業務部門、家庭部門といった様々な部門における変化に影響を受けることに加えて、部門の中でも業種ごとにエネルギー利用の在り方が異なることから、少なくともOECD(2017)やUNIDO(2017)といった国際機関が作成するエネルギーや経済に関するデータベースにおいて利用可能な主要業種別に細分化して分析することが有益と考えられる。ただし、これらのデータは部門を細分化すればするほど、その作業が複雑化し、また、収集したデータを用いて国際比較するなど多様な目的で利用されることが望まれるため、OECD(2017b)やEC(2008)などの既存の取り組みをベースに主要な指標のデータ構築について世界共通のガイドラインや様式の利用が進められることが望ましい。加えて、エネルギー・経済モデルによる将来シナリオの推計値についても、要素別に利用可能になっていないことが多いため、それらのデータが開示されると、エネルギー・経済モデルを用いた、今まで以上に開かれた議論が可能になると考えられる。

付録 1 NDC 目標を分析するエネルギー・経済モデルによるシナリオ一覧

環境省(2012a)成長低位	実質 GDP 成長率: 1.8%/年(-2020)、1.2%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定: 現行で既に取り組み、あるいは、想定されている対策・施策が継続した場合に達成される値。2010 年比 10%削減。対策低位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:0%、15%、20%、25%、35%(参考) 再エネ比率:21%
環境省(2012a)成長中位	実質 GDP 成長率: 1.8%/年(-2020)、1.2%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定: 将来の低炭素社会の構築等を見据え、合理的な誘導策や義務づけ等を行うことにより重要な低炭素技術・製品等の導入を促進された場合に達成される値。2010 年比 14%削減。対策中位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:0%、15%、20%、25%、35%(参考) 再エネ比率:29%
環境省(2012a)成長高位	実質 GDP 成長率: 1.8%/年(-2020)、1.2%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定: 将来の低炭素社会の構築、資源・エネルギーの高騰等を見据え、初期投資が大きくとも社会的効用を勘案すれば導入すべき低炭素技術・製品等について、導入可能な最大限の対策を見込み、それを後押しする大胆な施策が導入された場合に達成される値。2010 年比 18%削減。対策高位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:0%、15%、20%、25%、35%(参考) 再エネ比率:25%
環境省(2012a)慎重低位	実質 GDP 成長率: 1.1%/年(-2020)、0.8%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定: 現行で既に取り組み、あるいは、想定されている対策・施策が継続した場合に達成される値。2010 年比 15%削減。対策低位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:0%、15%、20%、25%、35%(参考) 再エネ比率:22%
環境省(2012a)慎重中位	実質 GDP 成長率: 1.1%/年(-2020)、0.8%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定: 将来の低炭素社会の構築等を見据え、合理的な誘導策や義務づけ等を行うことにより重要な低炭素技術・製品等の導入を促進された場合に達成される値。2010 年比 20%削減。対策中位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:0%、15%、20%、25%、35%(参考) 再エネ比率:31%
環境省(2012a)慎重高位	実質 GDP 成長率: 1.1%/年(-2020)、0.8%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定: 将来の低炭素社会の構築、資源・エネルギーの高騰等を見据え、初期投資が大きくとも社会的効用を勘案すれば導入すべき低炭素技術・製品等について、導入可能な最大限の対策を見込み、それを後押しする大胆な施策が導入された場合に達成される値。2010 年比 23%削減。対策高位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:0%、15%、20%、25%、35%(参考) 再エネ比率:33%
IEEJ (2013)成長シナリオ現状固定	実質 GDP 成長率: 1.8%/年(-2020)、1.2%年(2020-2030) 再エネ比率:33%
	最終エネルギー消費量に関する想定: 現在の技術水準が今後も継続した場合に達成される値。2010 年比 2%増加。対策低位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:27.8% 再エネ比率:記載なし
IEEJ (2013)成長シナリオ最大導入ケース	実質 GDP 成長率: 1.8%/年(-2020)、1.2%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定: 先端技術の導入が最大限進んだ場合に達成される値。2010 年比 12%削減。対策高位と分類。

	発電電力量に対する原発比率:15%、20%、25% 再エネ比率:25%、30%
IEEJ (2013)慎重シナリオ現状固定	実質 GDP 成長率: 1.1%/年(-2020)、0.8%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定:現在の技術水準が今後も継続した場合に達成される値。2010年比5%削減。対策低位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:27.8% 再エネ比率:記載なし
IEEJ (2013)慎重シナリオ最大導入	実質 GDP 成長率: 1.1%/年(-2020)、0.8%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定:先端技術の導入が最大限進んだ場合に達成される値。2010年比19%削減。対策低高位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:0%、15%、20%、25% 再エネ比率:25%、30%、35%
IEEJ (2013)新慎重シナリオ現状固定	実質 GDP 成長率: 0.2%/年(-2020)、0.4%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定:現在の技術水準が今後も継続した場合に達成される値。2010年比15%削減。対策低位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:27.8% 再エネ比率:記載なし
IEEJ (2013)新慎重シナリオ最大導入	実質 GDP 成長率: 0.2%/年(-2020)、0.4%年(2020-2030)
	最終エネルギー消費量に関する想定:先端技術の導入が最大限進んだ場合に達成される値。2010年比28%削減。対策高位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:15%、20%、25% 再エネ比率:25%、30%
Oshiro et al., (2017) ゼロ原子力	実質 GDP 成長率(平均):1.6%/年
	最終エネルギー消費量に関する想定:炭素価格が454USドル/tCO ₂ 、2010年比12%削減。対策高位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:0% 再エネ比率:73%
Oshiro et al., (2017) 低原子力	実質 GDP 成長率(平均):1.6%/年
	最終エネルギー消費量に関する想定:炭素価格が219USドル/tCO ₂ 、2010年比10%削減。対策高位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:13% 再エネ比率:64%
Oshiro et al., (2017) NDC	実質 GDP 成長率(平均):1.6%/年
	最終エネルギー消費量に関する想定:炭素価格が165USドル/tCO ₂ 、2010年比10%削減。対策中位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:24% 再エネ比率:61%
Oshiro et al., (2017) 80%削減	実質 GDP 成長率(平均):1.6%/年
	最終エネルギー消費量に関する想定:炭素価格が260USドル/tCO ₂ 、2010年比11%削減。対策低位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:24% 再エネ比率:58%
IEEJ (2017a)技術進展シナリオ	実質 GDP 成長率(平均):1.0%/年
	最終エネルギー消費量に関する想定:エネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化に資するエネルギー・環境政策等が強力に実施され、それが最大限奏功した場合の達成値。2010年比14%削減。対策高位と分類。
	発電電力量に対する原発比率:20% 再エネ比率:43%

2050年目標参照モデル

Kainuma et al., (2015b)	実質 GDP 成長率: 1%年(-2050) AIM-End use モデルに技術を採用。
RITE (2016)	エネルギー供給(発電部門等)、CO ₂ 回収貯留技術を、ボトムアップ的に(個別技術を積み上げて)モデル化。 エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化。 300程度の技術を具体的にモデル化。モデル前提条件において、各種技術の特性について将来の性能向上、コスト低減も想定している。 それ以外はトップダウン的モデル化(長期価格弾性値を用いて省エネ効果

	を推定)
環境省(2012b) ビジョン A	実質 GDP 成長率: 1.7%年(-2050) 80% 削減という目標は、エネルギー需要・供給のあらゆる部門で限りなくゼロミッションを目指して初めて到達可能であるとの観点から、技術的可能性に重点を置く。したがって、明らかに非合理的と判断される技術は考慮していないものの、想定した各技術の 2050 年時点でのコストを推計することは困難であることから、コストを勘案せずに排出削減効果を算定する。
環境省(2012b) R&D	実質 GDP 成長率: 1.6%年(-2050) 同上
環境省(2012b) MIJ	実質 GDP 成長率: 1.8%年(-2050) 同上
環境省(2012b) SB	実質 GDP 成長率: 1.4%年(-2050) 同上
環境省(2012b) RI	実質 GDP 成長率: 1.1%年(-2050) 同上
環境省(2012b) Share	実質 GDP 成長率: 0.1%年(-2050) 同上

付録2 LMDI(Logarithmic Mean Divisia Index)分析手法詳細

LMDIの手法を式(1)に示す。

$$G_t = \sum_k \frac{G_{k,t}}{E_{k,t}} \cdot \frac{E_{k,t}}{Q_{k,t}} \cdot \frac{Q_{k,t}}{Q_t} \cdot Q_t = \sum_k G_{c_{kt}} \cdot G_{e_{kt}} \cdot G_{s_{kt}} \cdot G_{y_{kt}} \quad (1)$$

G_t は年 t のCO₂排出量を示す。 E_{kt} は、年 t 、セクター k における最終エネルギー消費量、 Q_{kt} は、年 t 、セクター k における付加価値額、 Q_t は日本全体のGDPを表す。 $G_{c_{kt}}$ は年 t 、セクター k のエネルギー利用あたりの排出原単位、 $G_{e_{kt}}$ は年 t 、セクター k の実質GDPあたりのエネルギー原単位、 $G_{s_{kt}}$ はセクター k 、年 t の実質GDPの全部門に対する割合、 $G_{y_{kt}}$ は年 t の実質GDPを表す。式(1)の微分値は、式(2)で表すことができる。

$$\dot{G}_t = \sum_k \dot{G}_{c_{kt}} \cdot G_{e_{kt}} \cdot G_{s_{kt}} \cdot G_{y_{kt}} + \sum_k G_{c_{kt}} \cdot \dot{G}_{e_{kt}} \cdot G_{s_{kt}} \cdot G_{y_{kt}} + \sum_k G_{c_{kt}} \cdot G_{e_{kt}} \cdot \dot{G}_{s_{kt}} \cdot G_{y_{kt}} + \sum_k G_{c_{kt}} \cdot G_{e_{kt}} \cdot G_{s_{kt}} \cdot \dot{G}_{y_{kt}} \quad (2)$$

ここで、 $w_{kt} = G_{c_{kt}} \cdot G_{e_{kt}} \cdot G_{s_{kt}} \cdot G_{y_{kt}}$ とおくと、式(2)をもとに、時間 t から時間 0 のCO₂排出量の変化に対する各項目の影響度を式(3)の通りに表すことができる。各項の大きさがCO₂排出量増減の変化分となる。

$$\Delta G_t = \sum_k \frac{w_{kt} - w_{k0}}{\ln w_{kt} - \ln w_{k0}} * \ln \left(\frac{G_{c_{kt}}}{G_{c_{k0}}} \right) + \sum_k \frac{w_{kt} - w_{k0}}{\ln w_{kt} - \ln w_{k0}} * \ln \left(\frac{G_{e_{kt}}}{G_{e_{k0}}} \right) + \sum_k \frac{w_{kt} - w_{k0}}{\ln w_{kt} - \ln w_{k0}} * \ln \left(\frac{G_{s_{kt}}}{G_{s_{k0}}} \right) + \sum_k \frac{w_{kt} - w_{k0}}{\ln w_{kt} - \ln w_{k0}} * \ln \left(\frac{G_{y_{kt}}}{G_{y_{k0}}} \right) \quad (3)$$

謝辞

本稿のレビュー及び有用な情報提供を頂きました NewClimate Institute 倉持壮氏、IGES 上席研究員松尾直樹氏、元 IGES プリンシパルフELLOW 田中聡氏、元 IGES 事務局長大村卓氏、IGES プログラムディレクター水野勇史氏、IGES プリンシパルコーディネーター小嶋公史氏、IGES シニアフェロー松下和夫氏に心より感謝申し上げます。

本稿は「平成 27 年度環境研究総合推進費(E-1501 気候変動対策の進捗評価を目的とした指標開発に関する研究)」の成果の一部に基づくものです。

参考文献

- Climate Analytics, Ecofys and NewClimate Institute (2017) *Climate Action Tracker –Japan–*. Available at: <http://climateactiontracker.org/countries/japan/2017.html> (Accessed: 20 December 2017).
- EC (2008) *NACE Rev. 2–Statistical classification of economic activities in the European Community–*. Luxembourg. Available at: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF>.
- Filipović, S., Verbič, M. and Radovanović, M. (2015) ‘Determinants of energy intensity in the European Union: A panel data analysis’, *Energy*, 92, pp. 547–555. doi: 10.1016/j.energy.2015.07.011.
- Ge, M. and Levin, K. (2018) *What’s Changing As Countries Turn INDCs into NDCs? 5 Early Insights, insider*. Available at: <http://www.wri.org/blog/2018/04/insider-whats-changing-countries-turn-indcs-ndcs-5-early-insights> (Accessed: 28 April 2018).
- GOJ (2017) *Japan’s Third Biennial Report under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Tokyo. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/7654123_Japan-BR3-2-Japan_BR3_rev.pdf.
- IEA (2016) *Detailed CO2 estimates (Edition 2016)*. Paris. Available at: <http://dx.doi.org/10.1787/bf110e96-en>.
- IEA (2017a) ‘CO2 Emissions from fuel Combustion’, *IEA Statistics*.
- IEA (2017b) *IEA World Energy Statistics and Balances*. Paris.
- IEA (2017c) *World Energy Outlook 2017*. Paris.
- IEEJ (2013) *平成24年度エネルギー環境総合戦略調査*. 東京.
- IEEJ (2017a) *IEEJアウトルック2018*. 東京.
- IEEJ (2017b) *平成28年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業(エネルギーミックスにおける省エネルギー施策の評価・効果分析等に係る調査)*. 東京. Available at: http://www.meti.go.jp/eti_lib/report/H28FY/000821.pdf.
- IPSS (2017a) *人口統計資料集*. 東京.
- IPSS (2017b) *日本の将来推計人口(平成29年推計)*. 東京.
- Kainuma, M. *et al.* (2015a) *Pathway to deep decarbonization*.
- Kainuma, M. *et al.* (2015b) *Pathways to deep decarbonization in Japan*.
- Karimu, A. *et al.* (2017) ‘Energy intensity and convergence in Swedish industry: A combined econometric and decomposition analysis’, *Energy Economics*, 62, pp. 347–356. doi: 10.1016/j.eneco.2016.07.017.
- Kawase, R., Matsuoka, Y. and Fujino, J. (2006) ‘Decomposition analysis of CO2 emission in long-

- term climate stabilization scenarios', *Energy Policy*, 34(15), pp. 2113–2122. doi: 10.1016/j.enpol.2005.02.005.
- Kuramochi, T., Wakiyama, T. and Kuriyama, A. (2017) 'Assessment of national greenhouse gas mitigation targets for 2030 through meta-analysis of bottom-up energy and emission scenarios: A case of Japan', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.093.
- Li, Y. *et al.* (2013) 'How to reduce energy intensity in China: A regional comparison perspective', *Energy Policy*, 61, pp. 513–522. doi: 10.1016/j.enpol.2013.06.007.
- MIZUHO (2017) *内外経済の中期見通し-2020年代、日本最後の改革機会 ~人口減少下でも1%成長を維持する4課題~*. 東京.
- MRI (2015) *内外経済の中長期展望2015-2030年度*. 東京.
- MURC (2017) *日本経済の中期見通し(2016-2030年度)*. 東京.
- NIES (2012) *2013年以降の対策・施策に関する検討小委員会における議論を踏まえたエネルギー消費量・温室効果ガス排出量等の見通し*. つくば.
- OECD (2017a) *Extended world energy balances*. Paris.
- OECD (2017b) *STAN SStructural ANalysis Database*. Available at: <http://www.oecd.org/sti/ind/stanstructuralanalysisdatabase.htm> (Accessed: 31 May 2018).
- Oshiro, K., Kainuma, M. and Masui, T. (2017) 'Implications of Japan's 2030 target for long-term low emission pathways', *Energy Policy*, 110, pp. 581–587. doi: 10.1016/j.enpol.2017.09.003.
- Riahi, K. *et al.* (2017) 'The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview', *Global Environmental Change*, 42, pp. 153–168. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.
- RITE (2016) *2°C目標と我が国の2050年排出削減目標との関係*. 木津川.
- Spencer, T. *et al.* (2016) *State of the Low-Carbon Energy Union: Assessing the EU's progress towards its 2030 and 2050 climate objectives*. study n08/2016. Paris, France.
- Tamura, K., Suzuki, M. and Yoshino, M. (2016) *Empowering the Ratchet-up Mechanism under the Paris Agreement*. WP1605. Hayama. Available at: <https://pub.iges.or.jp/pub/WP1605> (Accessed: 21 January 2018).
- Trutnevyte, E. (2016) 'Does cost optimization approximate the real-world energy transition?', *Energy*, 106, pp. 182–193. doi: 10.1016/j.energy.2016.03.038.
- UNEP (2017) *The Emission Gap Report 2017*. Nairobi. Available at: <https://environmentlive.unep.org/theme/index/13#egr>.
- UNFCCC (2015) *Paris Agreement, Conference of the Parties on its twenty-first session*. doi: FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1.
- UNFCCC (2018) *NDC registry*. Available at: <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/Pages/All.aspx> (Accessed: 10 April 2018).
- UNIDO (2017) *INDSTAT2 2017*. Vienna.
- Wakiyama, T. and Kuramochi, T. (2017) 'Scenario analysis of energy saving and CO₂ emissions reduction potentials to ratchet up Japanese mitigation target in 2030 in the residential sector', *Energy Policy*, 103, pp. 1–15. doi: 10.1016/j.enpol.2016.12.059.
- Wang, C. (2013) 'Changing energy intensity of economies in the world and its decomposition', *Energy Economics*, 40, pp. 637–644. doi: 10.1016/j.eneco.2013.08.014.
- World Bank (2017) *World Bank Open Data*. Washington, D.C. Available at: <http://data.worldbank.org/>.
- Yi, B.-W., Xu, J.-H. and Fan, Y. (2016) 'Determining factors and diverse scenarios of CO₂ emissions intensity reduction to achieve the 40–45% target by 2020 in China – a historical and prospective analysis for the period 2005–2020', *Journal of Cleaner Production*, 122, pp. 87–101. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.01.112.
- エネ庁 (2015) *長期エネルギー需給見通し 関連資料*. 東京.
- 内閣府 (1998) *1998年度国民経済計算 (1990基準・68SNA)*. 東京. Available at:

http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/h10/12annual_report_j.html.

内閣府 (2018) 景気基準日付. 東京.

平田、純一 (1998) ‘戦後日本の産業構造変化 データによる確認’, 立命館経済学, 47(5), pp. 761–784.

栗山昭久 and 田村堅太郎 (2016) 電力部門における温暖化対策の現状と課題: 石炭火力及びガス火力発電に対するポリシーミックスの実効性に関する考察. WP1509. 東京.

浜潟純大 (2015) 2030年までのマクロ経済・産業-エネルギー需給展望に向けた日本経済の成長力の見方-構造展望. 研究報告:Y14017. 東京.

猿山純夫 (2010) CO2削減の「負担」とは. 東京. Available at:
https://www.jcer.or.jp/environment/pdf/col100401_01.pdf.

環境省 (2012a) 2013年以降の対策・施策に関する報告書. 東京.

環境省 (2012b) マクロフレームWGとりまとめ. 東京.

環境省 (2017a) 2015年度(平成27年度)の温室効果ガス排出量(確報値)について. 東京. Available at: <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/results/h27.html>.

環境省 (2017b) カーボンプライシングに関する意見交換会議事概要. 東京. Available at:
<https://www.env.go.jp/press/y0618-12/ref01.pdf>.

経団連 (2017) 今後の地球温暖化対策に関する提言. 東京.

経済産業省 (2015) 長期エネルギー需給見通し. 東京. Available at:
http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf.

藤波匠 (2014) ‘オイルショックの教訓を生かし、節電をわが国の成長のバネに-産業構造の転換と民生部門の節電投資が鍵-’, JRIレビュー, 9(19), pp. 14–34.

資源エネルギー庁 (2007) 平成18年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2007). 東京. Available at: <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2007pdf/>.

資源エネルギー庁 (2017) 平成27年度(2015年度)におけるエネルギー需給実績(確報). 東京. Available at: http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/stte_022.pdf.

首相官邸 (2015) 日本の約束草案. 東京. Available at:
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/27581.pdf>.

首相官邸 (2016) 地球温暖化対策計画. 東京.



IGES Institute for Global
Environmental Strategies

〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口 2108-11
Tel: 046-855-3700 Fax: 046-855-3709
Tel: +81-46-855-3720 Fax: +81-46-855-3702
E-mail: iges@iges.or.jp URL: www.iges.or.jp