

世界の2050年における温室効果ガス排出削減 目標達成の可能性に関する考察

河瀬 玲奈^{1*}・松岡 譲¹

¹京都大学工学研究科都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂Cクラスター)

* E-mail: rkawase@atthehost2.env.kyoto-u.ac.jp

本研究は、世界のGHG排出量半減達成の可能性を検討するために、世界を35地域に区分し、その地域ごとの削減目標達成のフィージビリティを推計した。具体的には、エネルギー集約度 (EI)、炭素集約度 (CI) に対し、過去のトレンドや既往の将来シナリオの変化率を用いて将来変化の幅を求め、これを予想される経済成長率と組み合わせることによってGHG排出量を推計し、この結果をいくつかの排出割当スキームから要請される国別削減目標と比較した。その結果、これまで想定されてきた将来シナリオのうち比較的速いEIとCIの改善速度 (上側5%タイル値) と低経済成長の組み合わせの時にのみ、世界半減目標が達成できたが、高経済成長の場合は、1990年比削減率は32.5%に留まり目標には及ばないことが分かった。

Key Words :GHG emission, reduction target, energy intensity, carbon intensity, GDP growth rate

1. 背景

気温上昇を産業化革命前に比べ2°C以下に抑えるために必要となる世界の温室効果ガス (GHG) 排出量の削減については、排出量の時系列パス、ガスの成分構成、及び、目標遵守の確立などの議論が必要である。しかしながら、本論文では、G8サミットにおけるGHG排出量を2050年に現状比で半減することの検討合意など、現在世界で論じられている世界のGHG排出量削減に関する議論¹⁾を踏まえ、世界でGHG排出量を2050年までに1990年比50%削減することを所与の目標とする。

これまでに、先進諸国を中心として、2009年12月のCOP15におけるコペンハーゲン合意に基づき2020年までの自主削減目標²⁾が設定されたが、その後の目標についてはほとんど言及されていない。2050年以降を対象とした世界各国のGHGの削減目標については、様々な排出割当スキームが提案されているが^{3,4)}、それらの是非、及び、実現可能性については甲論乙駁の状態である。温暖化抑制対策には長期間を要することから、各国ごとに目標を早期に設定し、それに向けた対策を講じていく必要がある。

一方で、エネルギー効率改善、エネルギーミックスの変化などにより、エネルギー集約度、炭素集約度は過去数十年において変化してきた。炭素集約度については、特に途上国ではエネルギー利用の急激な増加に伴い安価

な石炭を利用することで悪化がみられる地域もあるが、エネルギー集約度については、おおむね改善されてきた⁵⁾。世界的にGHG排出量の削減が求められる背景から、今後もエネルギーの効率改善や、再生可能エネルギーへの転換の努力は継続して行われるとともに、炭素回収・貯留 (CCS) といった技術の導入も考慮される可能性が高く、GHG排出量削減に寄与すると考えられる。

これまでに、世界にGHG排出量半減の制約を課した場合の各地域の割り当てや、それを達成するためのエネルギー供給や経済影響などの検討を行った研究⁶⁾が行われてきた。しかし、世界のGHG排出量半減を制約として、排出割り当てを国レベルの詳細な地域分類にて行い、その削減目標のフィージビリティの検討を行った研究はない。

世界のGHG排出量削減目標の達成可能性を検討するためには、各国・地域における削減目標達成の可能性について検討する必要がある。GHG排出量の大部分を占めるのは、エネルギー燃焼起源のものであり⁷⁾、それらの挙動は経済活動に密接に結び付いている。したがって、GHG排出量の将来推計を行うには、経済活動、エネルギー効率改善、エネルギー供給の構成とGHG排出量との関係を明示的に表し、これらの変化がGHG排出量に与える影響を検討する必要がある。

2. 目的と現状の整理

(1) 研究の目的

本研究では、世界のGHG排出量半減の目標達成の可能性を検討するために、世界を35の国・地域に区分し、その地域ごとの削減目標達成のフィージビリティを検討した。具体的には、GHG排出量に関わる要因を経済活動（GDP）、エネルギー集約度（EI）、炭素集約度（CI）で代表させ、将来のこれらの要因の将来変化の見通しについて、過去のトレンド（1980～2005年）や既往の研究で提唱されている将来シナリオの改善速度の幅の中で比較的上側下側の値を組み合わせて排出シナリオを設定した。これに基づきGHG排出量を算出し、GHG排出量削減の将来見通しの推計を行った。さらに、これを排出割当スキームにより、世界半減目標から算出された地域ごとの削減目標と比較し、2050年の世界のGHG排出量半減目標のフィージビリティを考察した。なお、本論文では、世界全体での許容排出量を国・地域に割り当てる方法を「排出割当スキーム」と称することとする。

(2) 基準年（2005年）のGHG排出量

本研究では基準年を2005年とする。2005年の世界のGHG排出量については、EDGAR dataset ver4.1⁹を用い整備した。世界のGHG排出量をガス種別、排出源別に図-1に示す（以下、HFC、PFC、SF6を合わせてFガスと記す）。ガス種別にみるとCO₂の割合が最も大きく75.5%で、排出源別ではエネルギー起源（64.8%）の割合が最も大きくなる。

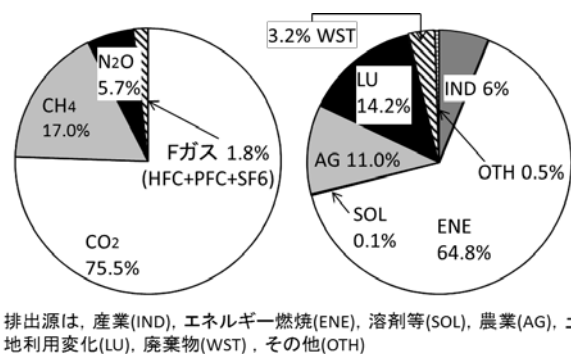


図-1 世界のGHG排出量の内訳（左：ガス種別、右：排出源別）

(3) 人口及び経済シナリオの設定

人口は、国連の将来推計のうち中位のもの⁹を用いた。経済成長はGDPで表し、世界全体の2005～2050年の成長率について3.57%/年を想定する高経済成長シナリオ（SLCS）と、2.24%/年を想定する低経済成長シナリオ（SSTAG）の2つシナリオ¹⁰を用いた。このGDP成長率は、既往の研究¹¹⁾¹⁴⁾の幅のうち、上側20%タイル値と下

側13%タイル値である。これ以降の排出削減目標の算定とGHG排出量の推計には、この人口とGDPを用いた。

(4) 排出削減目標

排出割当スキームとして、下記 a)～c)の3つを用いた。表-1 に世界35地域区分とともに、2050年における各排出割当スキームの削減目標を示す。

表-1 世界35地域区分と2050年の排出削減目標

地域コード	国・地域名	排出削減目標(2005年比、%)*			
		pCAP	pGDP		pCUM**
			SLCS	SSTAG	
JPN	日本	84	43	21	70
CHN	中国	66	60	57	53
IDN	インドネシア	60	84	85	56
IND	インド	-60	35	50	7
KOR	韓国	82	65	40	68
MYS	マレーシア	70	62	61	64
TWN	台湾	85	48	33	71
THA	タイ	64	56	68	56
VNM	ベトナム	4	56	71	37
SGP	シンガポール	71	11	-36	59
PHL	フィリピン	-89	41	39	11
XEA	その他東アジア	52	84	93	45
XSA	その他南アジア	-127	-2	51	6
XSE	その他東南アジア	72	91	96	74
MEX	メキシコ	54	24	33	55
BRA	ブラジル	83	78	80	73
ARG	アルゼンチン	71	35	33	59
XLM	その他中南米	49	38	55	53
USA	USA	88	58	44	73
CAN	カナダ	88	64	55	72
XE15	初期EU所屬国	79	47	33	66
XE10	その他EU所屬国	81	69	73	64
XEWI	その他西欧付属書I国	78	13	-21	67
XEEI	その他東欧付属書I国	83	89	93	63
XE2	その他東欧	77	76	85	60
XENI	その他ヨーロッパ	66	68	81	56
RUS	ロシア	90	89	93	72
XCS	中央アジア	71	82	90	59
TUR	トルコ	47	36	41	50
XME	中東諸国	55	43	53	58
ZAF	南アフリカ	79	70	77	68
XAF	その他アフリカ	-9	53	76	40
AUS	オーストラリア	90	70	62	74
NZL	ニュージーランド	86	64	61	72
XOC	その他オセアニア	-20	-1	38	22

* マイナスは2005年比で増加が許容されることを意味する。

** pCUMについては、SLCSの場合の結果のみを示しているが、SSTAGであっても、±1%程度の差であった。

a) 一人あたり等排出量（pCAP）

2050年に世界全地域で一人あたり排出量を等しくする。人口に比例して排出量が割り当てられることになり、世界に占める人口のシェアが大きな国ほど多くの排出が許容される。

b) GDPあたり等排出量（pGDP）

2050年に世界全地域でGDPあたり排出量を等しくする。世界に占めるGDPのシェアが大きな国ほど、多くの排出量が割り当てられる。

c) 一人あたり累積排出量均等化 (pCUM)

1990年以降の国・地域別GHG累積排出量を2050年までの毎年、その年の人口で除した数値で評価し、一人あたり累積排出量を算出する。非現実的な急激なGHG排出量の削減を行うことなく2050年にこれを均一化することは不可能であり、1) 一人あたり累積排出量が大きい国・地域ほど削減率が大きくなるように削減を行う、2) 一人あたり累積排出量の変化率が前年比0.5倍以下にならないこと、3) GHG/GDPの変化速度はできるだけ小さくすること、を条件に2050年の一人あたり累積排出量をでき得る限り収束させるよう排出量の推計を行う。3番目の条件により、GDPの異なるSLCSとSSTAGでは、2050年の削減目標が異なるが、その差は±1%の範囲内に収まり微小である。

3. 地域別の温室効果ガス排出量の見通し

(1) 温室効果ガス (GHG) 排出量の要因

将来のGHG排出量の推計方法について説明する。GHGとして、京都6ガス (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) を対象とする。排出源は、産業(IND)、エネルギー燃焼(ENE)、溶剤等(SOL)、農業(AG)、土地利用変化(LU)、廃棄物(WST)、その他(OTH)に分類した。

GHG排出量 C は、エネルギー燃焼起源 C_E とそれ以外の排出源由来の排出量 C_B に分け推計をした(式(1))。サフィックス r は地域を、 t は年を表す。

$$C_{r,t} = C_{Er,t} + C_{Br,t} \quad (1)$$

C : GHG 排出量

C_E : エネルギー燃焼起源 GHG 排出量

C_B : エネルギー燃焼起源以外の GHG 排出量

エネルギー燃焼起源排出量は、エネルギー集約度 (EI, 一次エネルギー投入量/GDP) と炭素集約度 (CI, GHG 排出量/一次エネルギー投入量)、及び、GDPの要素に分解する(式(2))。

$$C_{Er,t} = \frac{C_{Er,t}}{E_{r,t}} \cdot \frac{E_{r,t}}{A_{r,t}} \cdot A_{r,t} = CI_{r,t} \cdot EI_{r,t} \cdot A_{r,t} \quad (2)$$

E : 一次エネルギー投入量

A : 経済活動量 (GDP)

表-2 将来シナリオの文献と採用した期間

文献	発行年	期間	シナリオの数
アジア低炭素プロジェクト報告書 ¹⁵⁾	2011	2005-2050	2
Special Report on Emissions Scenarios ¹⁶⁾	2000	2010-2050	30*
World Energy Outlook 2011 ¹⁷⁾	2011	2009-2035	3
アジア/世界エネルギーアウトLOOK 2011 ¹⁸⁾	2011	2009-2035	4
Energy [R]evolution 2010 ¹⁹⁾	2010	2007-2050	3

* モデル×シナリオにてカウントしている

表-3 GHG 排出量推計に関連する項目の一覧

国・地域	2005年のEI, CIの値 (世界平均=1)		AG+LU の シェア ⁴⁾ (%)	設定した改善速度(%/年)					
				過去のトレンド に基づく想定値		将来シナリオ の上側5%タイ ル値		GDP成長率 (2005-2050)	
	EI ^(6),12)	CI ^(4),12)		EI ^(6),12)	CI ^(4),12)	EI	CI	SLCS	STAC
Annex I	0.73	0.93	9.3	1.89	0.53	3.85	6.31	2.03	1.24
JPN	0.35	0.87	3.1	0.63	0.49	1.98	3.87	0.86	0.31
USA	0.72	0.95	6.4	1.92	0.29	2.54	4.56	2.01	1.40
CAN	1.07	0.80	15.2	1.46	0.37	2.08	4.89	2.56	1.79
AUS	0.83	1.34	29.6	1.13	0.00	2.06	6.19	3.09	2.32
NZL	0.95	0.77	49.3	0.00	0.00	2.06	6.47	3.35	2.21
XE10	1.67	1.03	8.4	2.17	3.54	4.23	4.69	3.61	1.99
XE15	0.58	0.80	9.2	1.19	1.17	2.02	3.70	1.92	1.15
XE2	2.94	0.97	10.7	2.73	0.69	4.23	3.98	4.48	2.11
XEEI	6.43	0.93	10.1	4.23	0.00	4.23	4.57	4.30	1.75
XEWI	0.44	0.59	6.9	0.23	0.71	2.02	5.34	1.90	1.35
RUS	6.30	1.14	13.1	4.23	0.00	4.23	5.07	4.52	2.15
TUR	0.79	1.10	13.1	0.63	0.00	2.34	2.34	4.21	2.67
nAnnex I	1.85	1.09	36.3	0.41	0.44	4.18	4.75	5.73	3.95
CHN	2.65	1.27	12.0	4.39	0.00	4.47	4.78	5.98	4.77
IDN	2.78	0.87	66.7	0.59	0.35	3.52	2.78	5.42	4.01
IND	2.72	0.92	27.8	1.87	0.00	4.16	1.27	6.89	4.95
KOR	0.98	0.86	3.4	0.33	1.33	3.53	5.01	3.06	2.09
MYS	1.77	1.09	30.0	0.00	0.59	3.52	2.02	4.96	3.69
THA	1.80	1.22	20.5	0.34	0.54	3.52	3.43	5.37	3.28
VNM	3.83	0.80	35.9	2.62	0.00	3.86	2.17	6.95	4.55
XEA	5.50	1.74	14.7	1.76	0.00	3.70	1.42	6.10	3.05
XSA	2.09	0.70	46.4	0.43	0.00	3.54	1.42	7.70	4.60
XSE	3.00	0.66	86.9	0.69	1.52	3.53	2.04	7.00	3.95
PHL	1.36	0.94	26.3	0.47	0.00	3.52	2.22	5.18	3.95
SGP	0.52	0.84	0.1	1.63	0.50	3.53	3.51	2.92	2.22
TWN	0.85	0.97	1.2	1.24	0.03	3.53	3.62	2.90	2.15
XOC	0.57	0.91	68.8	2.01	0.90	3.54	1.42	6.28	3.75
ARG	0.67	0.97	47.1	0.00	0.63	2.65	4.54	4.43	3.16
BRA	0.91	0.92	76.6	0.00	0.12	2.63	4.23	4.61	3.06
MEX	0.87	1.01	20.8	0.20	0.12	2.64	2.74	4.49	2.85
XAF	2.40	0.97	67.0	0.35	0.54	2.71	1.60	7.87	4.92
XCS	6.77	1.28	24.6	4.23	0.00	4.44	3.14	6.49	3.71
XENI	2.58	1.46	12.3	0.00	11.04	4.23	1.95	5.54	2.99
XML	0.97	0.96	49.3	0.55	0.46	2.63	2.28	5.35	3.24
XME	2.04	1.08	4.5	0.00	3.23	2.71	1.75	5.50	3.67
ZAF	2.48	1.23	21.5	0.00	0.55	2.75	2.49	5.20	3.22
Asia	2.16	1.11	25.0	2.50	0.00	3.96	4.86	5.75	4.23
World	1.00	1.00	25.2	1.08	0.39	3.99	3.04	3.57	2.24

*nAnnex I=non Annex I, Asia=Asia excluding Japan

(2) エネルギー集約度 (EI), 炭素集約度 (CI) の改善速度

将来のEIやCIの改善速度は、今後の技術的な取り組みや経済発展と複雑に依存しており、一意的に定めることは困難である。本研究では、GHG排出量の関連要因に対し、既存の情報を組み合わせた場合の各地域の削減目標達成のフィージビリティを検討することが目的である

ことから、過去のトレンド、及び、既往の研究を参照して想定し得るEIやCIの改善速度の範囲の中で、比較的緩やかな改善速度、速い改善速度の2つを選択した。緩やかな改善速度としては過去のトレンドに基づく想定値、速い改善速度としては将来シナリオの上側5%タイル値を使用した。

過去のトレンドの想定値は、1980～2005年の期間の改善速度を参考に設定した。ただし、ロシア(RUS)、中央アジア(XCS)、その他東欧付属書I国(XEED)は、1995～2005年の期間の変化率を用いた。過去に改善がなかった場合は、2005年のEI、CIの値が将来も続くと仮定し

た。

将来シナリオの上側5%タイル値としては、表-2に示すこれまでに提唱されているシナリオを取り挙げ、これらシナリオのEI、CIの改善速度のうち上側5%タイル値を使用した。表-2に、採用したシナリオを記載する文献とそれらのシナリオから採用した期間を示した。

表-3に、基準年におけるEIとCI、農業と土地利用変化起源のGHG排出量（AG+LU）が全排出量に占めるシェア、将来推計のために設定したEIとCIの改善速度、GDP成長率を一覧した。

表-4 本研究で採用した自主削減目標

国・地域	基準	対象	削減率(%)
日本	1990	GHG	25
中国	2005	CO ₂ /GDP	45
インドネシア	2020年BaU	CO ₂	41
インド	2005	CO ₂ /GDP	25
韓国	2005	GHG	4
マレーシア	2005	CO ₂ /GDP	40
台湾	2008	ENE起源CO ₂	0
シンガポール	2020年BaU	GHG	16
メキシコ	2020年BaU	GHG	30
ブラジル	2020年BaU	GHG	39
USA	2005	GHG	17
カナダ	2005	GHG	17
EU27か国	1990	GHG	30
その他西欧付属書I国	1990	GHG	30
その他東欧付属書I国	1990	GHG	18
ロシア	1990	GHG	25
オーストラリア	2000	GHG	25
ニュージーランド	1990	GHG	20

表-5 削減シナリオ一覧

削減シナリオ名	GHG排出量の設定
TRN	EI, CIともに過去のトレンドでの改善速度を想定。
PLG	2020年に自主削減目標を有する国は、2020年にその目標を達成した後、EIとCIを過去の変化速度で変化させる。自主削減目標を有さない国は、基準年からTRNシナリオと同じ改善速度。
PLG+	2020年に自主削減目標を有する国は、2020年にその目標を達成した後も、それまでのEIとCIの改善速度を継続。自主削減目標を有さない国については、TRNシナリオと同一の改善速度。
RED	EI, CIともに既往の将来シナリオの上側5%タイル値での改善速度を想定。

表-6 削減シナリオ別、排出源別のGHG排出量の排出シナリオの設定

期間	排出源	削減シナリオ名					
		TRN	PLG		PLG+		RED
			自主削減目標無し	自主削減目標有り	自主削減目標無し	自主削減目標有り	
2005 ～ 2012	エネルギー燃焼	EI, CI ともに1980～2005年の改善速度を継続					
	産業、溶剤等、その他	エネルギー起源と同じ改善速度を仮定					
	Fガス	2005年の排出量を継続					
	農業						
	土地利用変化						
2013 ～ 2020	エネルギー燃焼	EI,CIともに1980～2005年の改善速度を継続	GHG/GDPの変化速度を一定としながら自主削減目標を満たすように変化	EI, CI ともに1980～2005年の改善速度を継続	GHG/GDPの変化速度を一定としながら自主削減目標を満たすように変化	EI,CIともに既往の将来シナリオの上側5%タイル値で変化	
	産業、溶剤等、その他	エネルギー起源と同じ改善速度を仮定					
	Fガス	2005年の排出量を継続		2005年の排出量を継続			
	農業			2050年に排出量が0となるように線形補間		2050年に排出量が0となるように線形補間	
	土地利用変化						
2021 ～ 2050	エネルギー燃焼	EI, CI ともに1980～2005年の改善速度を継続			EI, CIともに2013-2020の間の改善速度を継続	EI,CIともに既往の将来シナリオの上側5%タイル値で変化	
	産業、溶剤等、その他	エネルギー起源と同じ改善速度を仮定					
	Fガス	2005年の排出量を継続		2005年の排出量を継続			
	農業			2020年の排出量を継続			
	土地利用変化						

(3) 温室効果ガス排出見通しの削減シナリオの設定

GHG排出量の推計は、2005年を基準年とし2050年まで行った。将来推計にあたっては、自主削減目標（Pledge）、エネルギー集約度（EI）及び炭素集約度（CI）変化速度の大小を組み合わせ、4つのシナリオ、Transfer（TRN）、Pledge（PLG）、Pledge forever（PLG+）、Reduction（RED）を設定した。自主削減目標には、国際協力などの条件により目標に幅があるが²⁰²⁰、本研究では削減目標のうち最大のものをういた。表-4に本研究で用いた自主削減目標を、表-5に各削減シナリオの特徴を一覧した。

推計期間は、3つの期間（2005～2012年、2013～2020年、2021～2050年）に分類した。2005～2012年は、各削減シナリオとも共通とし、2013年以降、削減シナリオ、及び、排出源別に異なった排出シナリオを設定した。

エネルギー燃焼起源は、3章(1)節に記載した方法にて推計する。産業（F ガス除く）、溶剤等、及び、その他起源は、図-1 に示されるように GHG 排出量に占めるシェアが小さいこと、排出削減が行われる場合には、全排出源にて行われると考えられること、の2つの理由から、エネルギー燃焼起源と同じ変化速度を想定した。廃棄物起源については、いずれの期間もいずれのシナリオにおいても、2005年の一人あたり廃棄物起源 GHG 排出量に人口を乗じて算出した。なお、CO₂、CH₄、N₂O は、排出源別に同じ設定を用いた。農業・土地利用変化については、基準年の排出量の値で固定する場合と2050年に0にする場合を、これら排出源からの排出量に対する最大値、最小値とみなし設定した。そのため、農業・土地利用変化起源の排出量が大きな国については、削減量が過大評価となる可能性がある。表-6 に各削減シナリオ別、排出源別の排出量の設定を示した。

4. 結果と考察

(1) 世界GHG排出量半減目標の達成可能性について

各削減シナリオ下での2050年における世界のGHG排出量の推計値を表-7に一覧する。

表-7 2050年の世界のGHG排出量推計値

削減 シナリオ	経済シナリオ			
	SLCS		SSTAG	
	GHG排出量 GtCO ₂ eq	1990年比 削減率(%)	GHG排出量 GtCO ₂ eq	1990年比 削減率(%)
1990	38.9	0.0	38.9	0.0
2005	46.1	-18.5	46.1	-18.5
TRN	114.6	-194.6	60.3	-55.0
PLG	105.2	-170.3	54.3	-39.6
PLG+	99.9	-156.7	51.6	-32.5
RED	26.3	32.5	12.7	67.2

世界のGHG排出量は、REDシナリオ以外ですべて1990年に比べ増加する。REDシナリオでは、経済成長率が高いSLCSの時、1990年比削減率が32.5%となり、世界半減目標を達成できないが、経済成長率が低いSSTAGの時、67.2%となり、目標を達成した。

REDシナリオは、EIやCIの改善速度にこれまで提唱されている変化速度のうち、上側5%タイル値にあたる高改善度を想定したものであり、既往の研究の範囲内である。ただ、このシナリオでは、農業・土地利用変化起源の排出量（2005年に25.2%）が2050年に0%としており、その点では楽観的である。

PLG+シナリオでは、現在、温暖化抑制に関心の高い自主削減目標を有する地域はEIやCIの改善を継続し、その他の地域においては過去の改善速度を想定したが、2050年にはSLCSで1990年比削減率が-156.7%（つまり、156.7%の増加）、及び、SSTAGで-32.5%の削減率となり、目標には遠く及ばない。PLGシナリオとPLG+シナリオでは、自主削減目標を有さない地域は過去に行ってきた以上の削減努力を行っていないが、世界半減目標達成のためには、自主削減目標を有する地域のみでの削減努力では不十分であり、自主削減目標を有さない地域の削減努力も不可欠であることが示された。

表-7において、REDシナリオの場合、SSTAGでは世界半減目標が達成され、SLCSでは目標達成されないことが示された。しかし、国・地域別にみると、SLCSであっても国別の削減目標を達成できる地域もある。そこで、各排出割当スキームにおいて、削減目標を達成できる地域はいくつあり、それらの地域では削減目標以上にどれだけの削減ポテンシャルがあるのか（＝余剰削減量）、目標未達成の地域では削減目標と削減量推計値の乖離はどの程度なのか（追加削減量）、について考察を行う。表-8に関連する数値を一覧した。

表-8 2050年の目標達成地域の余剰削減量と目標未達成地域で要する追加削減量（REDシナリオの場合）

項目	2050年の各項目の値		
	pCAP	pGDP	pCUM
SLCS			
目標を達成した地域数	14	17	20
目標達成地域の削減量(GtCO ₂ eq)	4.8	14.6	18.3
目標達成地域の削減率(1990年比、%)	63.7	67.4	70.1
目標達成地域の余剰削減量(GtCO ₂ eq)	0.8	4.9	3.4
目標未達成地域で要する追加削減量(GtCO ₂ eq)	7.9	11.9	10.4
SSTAG			
目標を達成した地域数	26	22	32
目標達成地域の削減量(GtCO ₂ eq)	16.6	17.9	26.3
目標達成地域の削減率(1990年比、%)	64.1	75.5	70.1
目標達成地域の余剰削減量(GtCO ₂ eq)	7.4	9.6	7.0
目標未達成地域で要する追加削減量(GtCO ₂ eq)	1.0	3.0	0.5

各排出割当スキームごとに地域数は異なるが、SLCSにおいても、35地域中14~20地域では削減目標を達成している。REDシナリオにおける削減見通しでは、削減目標以上の削減が見込まれ、例えばpGDPスキームの場合、4.9GtCO₂eq が余剰削減量となる。一方で、目標未達成地域においては、REDシナリオの削減見通しからさらに、11.9 GtCO₂eq の削減が必要となる。しかし、仮に、排出権取引などにより余剰削減量の 4.9GtCO₂eq を目標未達成地域の削減量として計上できたとしても、目標には達しない。削減目標を達成するためには、目標未達成地域では、REDシナリオで想定されている以上のEIやCIの改善努力が必要となる。

SSTAGシナリオでは、目標達成可能な地域数はSLCSシナリオの場合より増加するものの、pCAPでは9つの地域で目標が達成できていない。しかし、目標達成地域の削減率が64.1~75.5%と非常に大きく、すべての排出割当スキームにおいて、余剰削減量が目標未達成地域に必要な追加の削減量を超えており、余剰削減量を目標未達成地域の削減量に計上できた場合、世界全体での半減目標を達成できる。その場合、排出権取引量は、0.5~3.0 GtCO₂eq の範囲となる。世界半減目標達成のためには、排出権取引などの京都メカニズムが重要になることも考えられる。

(2) 地域ごとの削減目標達成の可能性について

図-2に、GDPにSLCSを用いた場合の、各削減シナリオにおける地域ごとの削減率を示す。排出量削減率は削減シナリオにより幅が生じるが、図には4つの削減シナリオの範囲を横線で、各削減シナリオの値をヒゲで示している。また、同図中に、排出割当スキーム別の目標削減率も記している。なお、図-2では、上から削減シナリオにおける削減率の最大値が大きい地域順となっている。

削減シナリオのうち最も削減率が大きいのは、REDシナリオ、もしくは、PLG+シナリオである。そのどちらの削減率が大きいかは、2020年の自主削減目標による。PLG+シナリオでは、2013~2020年の期間の削減速度を2021年以降も継続して行うため、2020年の自主削減目標が厳しく、GHG排出量の削減速度が速い地域、例えば、日本(JPN)、ブラジル(BRA)、初期EU所属国(XE15)、その他西欧付属書1国(XEWI)、南アフリカ(ZAF)などでは、PLG+シナリオの方が削減率が大きくなる。ただし、削減率が最も小さくなるのは、TRNシナリオであることが多く、日本(JPN)、アメリカ(USA)、ヨーロッパの諸地域(XE15, XE10, XEEI, XENI)を除き、TRNシナリオでは対2005年比で増加する。

削減率推計値が小さな地域は、アジア諸国(XSA, IND, XEA, PHL)とその他アフリカ(XAF)、中東諸国(XME)、ト

ルコ(TUR)であり、表-3から、GDP成長率が他の地域と比較して大きいこと、CIの改善速度が1%/年~2%/年前半と比較的小さいことが特徴として挙げられる。ベトナムより下の地域では、削減率推計値が最も大きな削減シナリオにおいても、削減率がマイナス(=2005年比で排出量が増加)となっている。

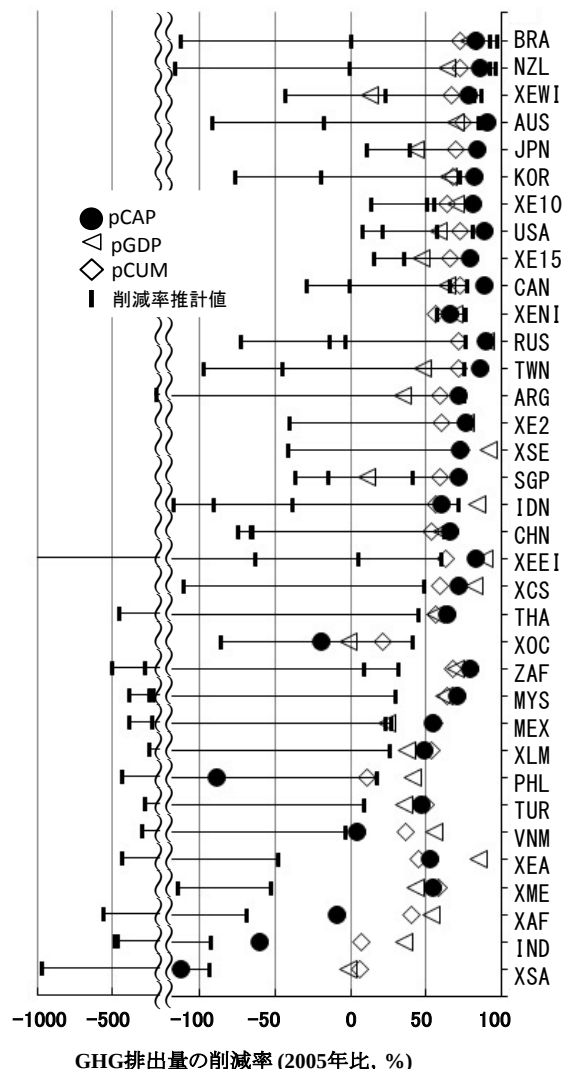


図-2 2050年の地域別GHG排出量の削減率(2005年比)

一方で、削減率推計値が大きな国は、先進国とブラジル(BRA)である。これら削減率推計値が大きな国は、削減目標も大きい傾向がある。先進国の特徴としては、表-3より、CIの改善速度が4%/年前後と大きな地域が多く、また先進国であることから、SLCSであっても、GDPの伸びが小さいことが挙げられる。ブラジル(BRA)の特徴としては、GHG排出量に占める農業・土地利用変化起源のシェア(AG+LUのシェア)が77%と大きいことが挙げられる。アルゼンチン(ARG)、その他東南アジア(XSE)、インドネシア(IDN)なども、農業・土地利用変化起源のシェアがそれぞれ47%、87%、67%と大きく、

途上国の中では相対的に削減率推計値が大きい。

図-2の南アフリカ(ZAF)以下の地域では、フィリピン(PHL)、その他南アジア(XSA)、メキシコ(MEX)において、いずれかの排出割当スキームで削減目標を達成している以外は、削減目標が達成できていない。削減率推計値のうち削減率が最大のものと削減目標を比べて、30%程度以上の開きがある地域が多い。

(3) 経済シナリオの相違による影響

2つの経済シナリオSLCSとSSTAGの相違が削減目標の達成にどのように影響しているのかについて検討する。

図-3に、SLCSとSSTAGによるREDシナリオにおける削減率と、pCAPによる削減目標の関係を示す。REDシナリオの削減率については、主要な国のSLCSとSSTAGのプロットを直線で結んでいる。

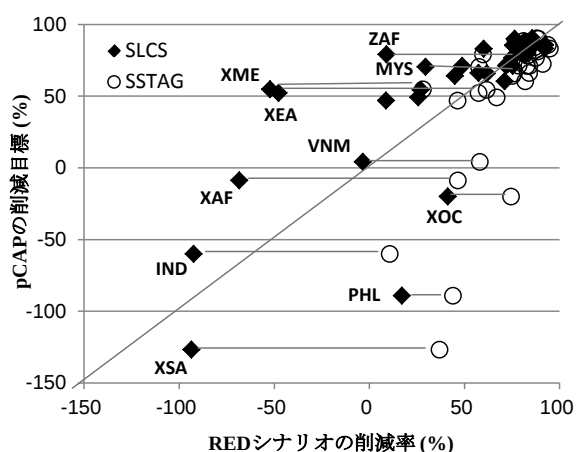


図-3 2050年の削減目標と削減率推計値（2005年比、%）

図-3の斜めの直線は削減率と目標が一致する線（45°線）であり、この線の右下に位置する地域は、削減率推計値が削減目標の範囲に入っている地域である。SSTAGの場合、その他アフリカ(XAF)及びアジアのいくつかの地域(VNM, XOC, IND, PHL, XSA)である。しかるにSLCSの場合、これらの地域は、南アフリカ(ZAF)、中東諸国(XME)、その他東アジア(XEA)、マレーシア(MYS)も含め左側に大きく移動した位置に存在し、45°線の上側に入ってしまう。その他オセアニア(XOC)、フィリピン(PHL)、その他南アジア(XSA)では、SLCSの場合でも45°線の右下に位置し、目標達成域に入っているが、その他の途上国の多くは、SLCSの場合は削減率が小さくなり、削減目標達成のためには、いっそうの努力が必要となる。例えば、インド(IND)の場合、pCAPの削減目標は-60%（60%の増加が許容される）であるのに対し、SSTAGのREDシナリオの削減率は11%であり、目標達成が可能である。しかし、高経済成長のSLCSでは、-92%の削減、つまり増加となり、

目標が達成不可能となる。

図-3の右上に位置している地域は、削減目標と削減率推計値がいずれも高い地域である。これらの地域は、経済成長の想定により削減率推計値が大きくなる変化しない。すなわち、経済成長率の想定により、目標達成の可否に大きな影響を受けるのは、アジア地域を中心とする途上国であることが分かる。

4. まとめ

本研究では、世界のGHG排出量半減達成の可能性を検討するために、地域ごとの削減目標達成のフィージビリティを、エネルギー集約度(EI)、炭素集約度(CI)に対し、過去のトレンドやこれまでに提唱されている将来シナリオの変化速度を用いて、GHG排出量を推計し、これを3つの排出割当スキームの削減目標と比較した。

得られた知見を以下にまとめる。

- EIやCIの改善速度に既往の研究の上側5%タイル値を想定したREDシナリオでは、SLCSシナリオ（高経済成長）では世界半減目標は達成できないが、SSTAG（低経済成長）では達成可能である。
- 削減率推計値が大きい地域は、先進国、もしくは、農業と土地利用変化起源のGHG排出量に占めるシェアが大きな途上国である。先進国では、GDP成長率が小さいことと、CIの改善速度が比較的大きく見積もられていることがその要因の1つである。
- 削減率推計値が小さな地域は、アジア地域を中心とする途上国である。GDP成長率が大きく、またCIの改善速度が相対的に小さなことが要因である。
- 経済成長率の高低が削減目標達成の可否に大きな影響を及ぼすのは途上国が多く、大きな経済成長率を想定する場合、これまでに想定されているCIやEIの改善速度を一層速める工夫が必要となる。

今後の課題としては、特に、農業と土地利用変化起源の排出量など、排出源別の排出シナリオの詳細な検討が挙げられる。

本研究では、過去のトレンドや具体的な技術を積み上げてGHG削減を検討した文献をもとに、将来のEIやCIの改善速度を想定したが、それでも上側5%タイル値の想定値では削減目標を達成できない地域が存在した。今後は、これまで以上にEIとCIの改善を加速するための検討が必要である。しかし、CIやEIの改善には技術的、また、2050年までという期間的にも限界もある。本研究では、削減目標を自国の削減努力のみにて達成する場合の

フィージビリティを検討したが、目標を達成できる地域における余剰削減量を、目標未達成地域での削減量とみなすことにより、世界全体で半減目標が達成可能となることも示した。地域ごとの削減目標を達成するためには、技術的な検討のみならず、京都メカニズムの導入などを検討する必要もある。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費 S-6-1、及び、A-1103による研究成果の一部である。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Kainuma M. and Ehara T. and Matusoka Y. : How to approach Asia Low Carbon Societies, *Global Environmental Research*, Vol 17, No.1, 2013.投稿中
- 2) UNFCCC: Copenhagen Accord Appendix I and Appendix II, 2010.
- 3) Gilbert A., Reece G., Moltmann S., and Gardiner A. : Developing an EU carbon budget final report, ECOFYS, 2007.
- 4) 西本裕美, 松岡 譲, 脇岡靖明: 京都議定書以降の気候変動対策における目標設定及び削減義務の分担に関する定量的評価, 環境経済・政策学会 2005 年大会 報告要旨集, A-3-5, CD-ROM, 2005.
- 5) IPCC : Climate Change 2001 Mitigation, pp.123-136, Cambridge University Press, 2001.
- 6) 藤森真一郎, 増井利彦, 松岡 譲: 世界温室効果ガス排出量の半減シナリオとその含意, 環境システム論文集, 39 巻, II_243-II254, 2011.
- 7) den Elzen M.G.J., Lucas P. : FAIR 2.0 – A decision-support tool to assess the environmental and economic consequences of future climate regimes, RIVM report 550015001/2003, 2003.
- 8) European Commission: Emission Database for Global Atmospheric Research(EDGAR) dataset ver4.1, 2010.
- 9) United Nations: World Population Prospects 2010, 2011.
- 10) Kawase R., and Matusoka Y. : Reduction targets by three burden share schemes for global 50% reduction towards 2050, *Climate Policy*, 投稿中.
- 11) Fouré J., Benassy-Quere A. and Fontage L.: The world economy in 2050: a tentative picture, CEPII Working paper 2010-27, 2010.
- 12) Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) : Country-level Population and Downscaled Projections based on the B2 Scenario, 1990-2100, 2002.
- 13) International Institute for Applied System Analysis (IIASA): GGI Scenario Database Ver 2.0, 2009.
- 14) Netherlands Environmental Assessment Agency : Downscaling drivers of global environmental change-Enabling use of global SRES scenarios at the national and grid levels, 2006.
- 15) 国立環境研究所: 平成 23 年度環境研究総合推進費 (アジアを対象とした低炭素社会実現のためのシナリオ開発) による研究委託業務, 委託業務報告書, H24 年 3 月.
- 16) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, 2000.
- 17) International Energy Agency (IEA) : World Energy Outlook 2011, 2011.
- 18) 日本エネルギー経済研究所: アジア/世界エネルギーアウトLOOK 2011, 2011.
- 19) GreenPeace : Energy [R]evolution 2010, 2010.
- 20) 日本科学者会議: 中長期気候目標に関する見解 (要約版), 2011.
- 21) Climate Action Tracker : Are countries on track for 2°C or 1.5°C goals?, 2010.

(2012. 04.20 受付)

(2012. 07.12 受理)

Analysis of Feasibility for Achieving Global GHG Emission Reduction Target in 2050

Reina KAWASE¹ and Yuzuru MATSUOKA¹

¹Dept. of Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

To mitigate global warming, it is required to reduce global GHG emission 50% by 2050 relative to 1990 emission level. This research analyzed a feasibility of the GHG emission reduction. To achieve this objective, GHG emission was projected by assuming that improvement rates of Energy Intensity(EI) and Carbon Intensity(CI) were same as the change rates of past trend or future scenarios in past studies. And these emissions were compared with GHG emission reduction target by three burden sharing schemes such as Contraction &Convergence, Intensity and Burden by contribution.

The results shows that in RED scenario (change rates of EI and CI are upper 5 percentile of change rates of past studies), GHG emission in 2050 has 67.2% reduction compared to 1990 level and achieves the global half reduction target under SSTAG scenario which has a low GDP growth rate. In SLCS scenario which has a high GDP growth rate, reduction potential of GHG emission is 32.5% compared to 1990 level, which can't achieve the target.