

## 2030 年及びそれ以降の国際枠組みの検討

地球環境産業技術研究機構 山口光恒

### 目次

1、パリ協定の内容	p.3
2、2030 年に向けてのプレッジと長期目標のギャップ	p.3
3、プレッジの内容	p.5
4、プレッジの履行可能性	p.8
4-1 Nature 誌のコメント	p.8
4-2 アメリカの状況分析	p.9
4-3 プレッジの信頼性からの分析（特に途上国について）	p.9
4-4 コスト面からの分析	p.9
5、先進国プレッジ不履行の場合の対応（短期の観点から）	p.11
5-1 Global Stocktake と促進的対話	p.11
5-2 Equity（衡平性）を基準にした評価	p.12
5-2-1 文献からみた Effort sharing（Burden sharing）	p.12
5-2-2 Effort sharing の問題点と対応	p.15
5-3 削減コストから見たプレッジの評価	p.17
5-3-1 Aldy と Pizer の論文	p.17
5-3-2 Aldy, Pizer & Akimoto の論文	p.19
5-3-3 モデルによるコストの相違	p.19
5-3-4 BAU に敏感なコスト	p.21
5-4 先進国プレッジ不履行の場合の対応（短期の観点から）	p.22
5-4-1 多様な指標による評価	p.22
5-4-2 プレッジ内容の透明化	p.23
5-4-3 プレッジの実現可能性に関する自国による見直し	p.23
5-4-4 2℃目標との整合性の自国による検証	p.24
6、長期対策としての 2℃目標と政策指針としての CO2 ゼロ排出	p.25
6-1 2℃目標と大量のマイナス排出（MNEs）の可能性	p.25
6-1-1 MNEs の仮定の上に成り立つ 2℃目標	p.25
6-1-2 MNEs の実現可能性	p.27
6-2 エネルギー需要大幅減の可能性	p.29

6-3	2°C目標の再考	p.30
6-3-1	2°C目標の変遷	p.30
6-3-2	内容を変えた 2°C目標	p.31
6-3-3	2°C目標の変更	p.32
6-3-4	2°C目標の放棄	p.32
6-4	長期 net ゼロ CO2 エミッションに向けて（提案）	p.32
6-4-1	新たな目標「MNEs なしの長期 net ゼロ CO2 エミッション」	p.33
6-4-2	Net zero CO2 排出実現とその技術	p.34
7、	気温上昇はどこまで許容可能か	p.36
	参考文献	p.39

## 1、パリ協定の内容

2015年12月12日パリ協定は合意に達し、翌年11月4日には55か国(GHG総排出量の55%)の批准を得て発効した。気候変動枠組み条約(以下UNFCCC)が2年弱、京都議定書が7年強を要したのに対して1年以内の発効というのは極めて異例のことである<sup>1</sup>。パリ協定には資金や技術等途上国の関心事項、それに適応も含まれているが、本稿に最も関係する内容は次の通りである。

- ・気候変動のリスクを大幅に減少させるため、気温上昇を工業化から2°Cを十分下回る水準(以下2°C目標)で抑制すること。出来れば1.5°C以下を目指すべきこと(第2条1(a))
- ・本協定は「共通だが差異ある責任及びそれぞれの能力に応じて」(以下CBDR)との原則を反映させるべく実施すること(第2条2)
- ・加盟国は2°C目標達成に向けて自主的にプレッジ(INDC)を提出すること(第3条)
- ・5年ごとに2°Cを十分に下回る水準(長期目標、以下2°C目標)達成に向けて対策の進捗状況をチェックすること(Global Stocktake、第14条1)。2023年に開始し、以降5年ごとに実施(14条2)
- ・加盟国は人為的な温室効果ガス(GHG)の排出と吸収を今世紀後半にバランスさせるため、可及的速やかに世界の排出量の早期の頭打ちを目指すこと(第4条1)

内容は上記の通りであるが、パリ協定の本質は法的拘束力のない加盟国の(2030年に向けての)プレッジというボトムアップと、2°C目標(可能ならば1.5°Cを目指す)というトップダウンの組み合わせからなっているという点である。しかしこの両者の間には大変大きなギャップがあり、この点がパリ協定が長期的に存続するかどうかの鍵を握っていると筆者は考えている。この点を先ず取り上げる。

## 2、2030年に向けてのプレッジ<sup>2</sup>と長期目標のギャップ

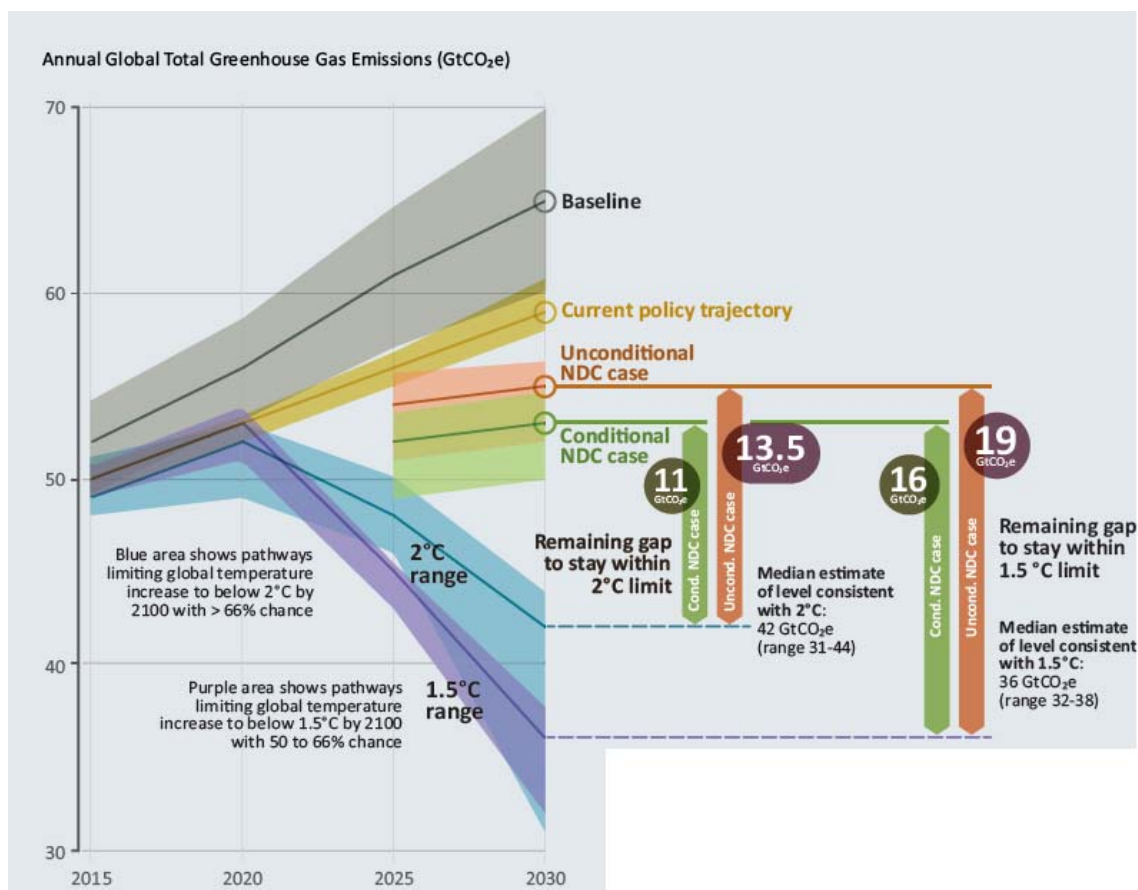
筆者が知る限りでは全ての研究で、仮に2030年にプレッジが遵守されても2°C目標には届かないとの結果を得ている(例えばUNFCCC(2015), Rogelj et al.(2016), UNEP(2017)等多数)。このうち最も新しいUNEP(2017)では2°C目標とのギャップは2030年時点で11Gt~13.5Gt(いずれもCO<sub>2</sub>換算)で、

<sup>1</sup> この背景としてアメリカのトランプ大統領の登場があったと思われるが、この点の分析はここでの関心事項ではないので省略する。

<sup>2</sup> プレッジとは俗称で正式にはIntended Nationally Determined Contribution(INDC、ただしパリ協定発効時点でIntendedが外れNDC)であるが、本稿では原則としてプレッジと呼ぶこととする。また、例えばアメリカは2025年を目標年としているが、多くの国が2030年を目標年としているので本稿では特に断らない限りアメリカ分も含めて2030年目標という呼び方をする。

気温上昇は 3.0～3.2℃と試算されている。

(図 1)、2℃及び 1.5℃目標とプレッジのギャップ



出典：UNEP (2017) Fig. ES.2。各国のプレッジ (図では NDC) の中には無条件での削減等を規定したもの、例えば先進国の資金支援を条件に削減量や割合を上乗せするとの 2 重構造のプレッジがある。図 1 の 2030 年の排出量のうち Unconditional NDC case とあるのはこうした条件が無くても削減を約束している排出量を指し、Conditional NDC case は条件が満たされた場合の排出量を表す。2℃目標を最小費用で満たす排出経路では 2030 年の排出量 (青の点線) は 42GtCO<sub>2</sub>e (中央値) なので、プレッジと 2℃目標の 2030 年時点でのギャップは無条件プレッジでは 13.5Gt、条件が満たされる場合のそれは 11Gt (いずれも CO<sub>2</sub> 換算) となる。なお UNEP では 1.5℃目標とのギャップも試算しているが、本稿では 1.5℃目標はこのギャップが大きすぎるので取り上げない。

UNEP (2017) では 2018 年に UNFCCC で予定されている Facilitative Dialogue (促進的対話<sup>3</sup>) とその結果としての 2020 年のプレッジの見直しが 2030 年のギャップを埋める最後の機会としている (xv 頁)。

学術誌に掲載された論文 (Rogelj et al. 2016) では各国のプレッジを前提に 2100 年の気温上昇を推定しているが、ここでは気温上昇が一定値を超える確率が 50%、66%、90%を超えない場合の気温上昇という形で表している (表 1)。

<sup>3</sup> スケジュールとしては 2018 年 4 月末からの SBSTA (UNFCCC の下の機関) 会合に加え、現時点では 8 月のバンコクでの会合、それに COP24 と今後 3 回の会合が予定されている。

(表 1) プレッジと気温上昇の関係

シナリオ	2100 年の気温上昇（確率での表示）		
	50%	66%	90%
成り行き	4.1 (3.5-4.5)	4.5 (3.9-5.1)	5.6 (4.8-6.3)
現行政策	3.2 (3.1-3.4)	3.6 (3.4-3.7)	4.4 (4.2-4.6)
プレッジ（無条件）	2.9 (2.6-3.1)	3.2 (2.9-3.4)	3.9 (3.5-4.2)
プレッジ（条件付き）	2.7 (2.5-2.9)	3.0 (2.7-3.1)	3.7 (3.3-3.9)

出典：Rogelj et al. (2016)の表を一部簡略化。シナリオは4つで上から成り行き、現在の政策継続、プレッジ（無条件）、プレッジ（条件が満たされた場合）。右の3つの列は各シナリオに対応する工業化以降2100年時点の気温上昇を中央値とその幅で示す。例えば無条件のプレッジ（下から2段目）が履行されると2.9℃以下に止まる確率が50%以上、3.2℃以下に止まる確率は66%以上、3.9℃以下に止まる確率は90%以上であることを示す。また、プレッジの条件が全て満たされる場合には3.0℃以下で留まる確率が66%以上である（中央値）。

上記から例えプレッジの条件が全て満たされたとしても3℃以下に留まる確率は66%以上にとどまり、3℃でも100%ではない（中央値ではなく10-90%の範囲での気温上昇をとった場合には2.7℃-3.1℃）。要はプレッジが完全履行されても2℃目標の達成は困難と言うことである（この点の詳細は後述する）。

### 3、プレッジの内容

以下主要国のプレッジの内容について述べる前にプレッジの性格について明確にしておく。各国が提出したプレッジをレビューすることは法的拘束力があるが、加盟国によるプレッジの履行はそうではない点である（Winkler et al. 2017）。つまり各国のプレッジがその通り履行されるかどうかは各国の判断による。この点京都議定書とは全く異なっている。

さて、プレッジの内容であるが、既述の通り各国のプレッジの内容は先進国からの資金支援を条件にするもの、削減も絶対量や効率目標或いは成り行き（BAU）比であったりと、まちまちである。このためプレッジによる2030年排出量には大きな不確実性を伴うことになる。ここではプレッジの内容をやや詳細に検討してみる。主要国を対象に作成した表1を参照願う（この表は字が小さくて見にくいので別途拡大版（Excel file）を用意した。詳細はそちらを参照願う）。

(表 2) 主要国のプレッジの内容

国名	提出日	頁数	GHG 排出量 (UNFCCC 基準) (Mt, 2015, LULUCF 除く)	プレッジの内容				透明性	
				絶対値目標	相対的目標	UNFCCC 第2条への 言及	2050年80%削減への 言及	目標達成の政策	目標達成コスト
先進国 (Annex I)									
USA	2015.03.31	5	6,587	2025年に05年比26-28%削減		◎	○	政策列挙、ただし削減効果無し。国際Credit無し	記載なし
EU	2015.03.06	5	4,308	2030年に90年比40%減		◎	○	政策およびその効果の記述無し、国際Credit無し	記載なし
ロシア	2015.04.01	3	2,651	2030年に90年比25-30%減、但し2020年までに90年比25%減		◎	×	エネルギー効率、再エネ比率向上など(抽象的)	記載なし
日本	2015.07.17	17	1,323	2030年に13年比26%減		◎	○	電源構成、ガス別・セクター別技術積み上げによる削減目標明示、原則国内	記載なし
カナダ	2015.05.15	4	722	2030年に05年比30%減		×	×	発電、運輸での規制、CCS等Credit一部使用	記載なし
オーストラリア	2015.08.11	3	533	2030年に05年比26-28%減		◎ Article 2言及無し	×	再エネ目標、エネルギー効率目標、Credit購入ファンド	記載なし
トルコ	2015.09.30	5	475		2030年にBAU比21%減	◎	×	エネルギー効率、再エネ比率向上等	記載なし
ウクライナ	2015.09.30	5	323	2030年に90年比40%減		×	×	国内対策のみ、しかしCreditの活用も視野に	記載あるも抽象的
ペラルーン	2015.09.25	8	90	2030年に90年比28%減		◎	×	記載あり	記載なし
ニュージーランド	2015.07.07	7	80	2030年に05年比30%減		×	2050年に90年比50%にする	2025年までに電源を再エネで90%にする	記載なし
ノルウェー	2015.03.27	6	54	2030年に90年比40%減		◎	×	エネルギー効率、再エネ比率向上等	記載なし
スイス	2015.02.27	5	48	2030年に90年比50%減		◎	2050年に90年比70-85%減・条件付	CO2 Act 一部Credit使用	記載無し
途上国 (Non Annex I)									
中国	2015.06.30	14 (中国語) 20 (英語版)	11,896 (2012)		GDPあたり排出量を05年比60-65%低減。2030年頃CO2排出量をPeak out、1次エネルギーの非化石燃料割合を05年比20%	○		エネルギー、産業、運輸、建物などセクター別に列挙。またETSも。ただし具体的内容は乏しい	記載なし
インド	2015.10.01	38	2101 (2010)		GDPあたり排出量を2030年までに05年比33-35%減	×		SDGとのバランス重要。Clean energy、省エネ等多岐に亘る詳細な説明。数値無し	2030年までの累計で緩和が\$834b、農業での適応が\$206b等
ブラジル	2015.09.28	10	985 (2012)	2025年に05年比37%減、先進国からの支援を前提とはせず。これ以上の削減には支援必要		◎		2°Cとの整合性を重視、Sustainable biofuelを2030年までに18%に、不法森林伐採撲滅、再エネを2030年までに45%等。全体に学術的(国の審判割合等)且つまじめな内容	記載なし
韓国	2015.06.30	4	688 (2012)		2030年にBAU比37%減(2030年BAUは650.6Mt)	◎	reduce GHG emissions gas by 40-70% from 2010 levels by 2050	セクター別政策あり、一部国際Credit使用	記載なし
メキシコ	2015.03.30	8	638 (2013)		2030年にBAU比GHG25%減、国際共通炭素税や技術支援があれば40%減	◎		緩和と適応の2本立て、一部資金と技術支援を前提	記載なし
インドネシア	2015.09.24	11	554 (2000)		2030年にBAU比29%減、LULUCFからの排出が6割以上	◎ Article 2言及無し		森林保護、土地利用対策が中心、他に再エネ等	記載なし
南アフリカ	2015.09.25	11	380 (1994)	BAUからpeak, plateau and decline (ppd)に変える。ppdは2025と2030年、数値は398Mtと614Mt CO2eqの間(ppdへの移行は炭素予算の影響)		◎		炭素税その他全体にかなりまじめな内容	再エネで年\$3b、発電で2010年以降\$349b、Hybrid車で2030年までに\$488bなど
アルゼンチン	2015.10.01	9	339 (2012)		2030年にBAU比15%減、金融技術支援で30%減	×		記載なし	記載なし
タイ	2015.10.01	7	306 (2011)		2030年にBAU比20%減、BAU予測数値あり	○		記載あるが抽象的	記載なし
カザフスタン	2015.09.28	4	301	2030年に90年比15-25%減		◎		25%減は技術移転等を前提	記載なし
ベトナム	2015.09.30	11	266 (2010)		2030年にBAU比8%減	◎ Article 2言及無し		記載あり	記載なし
ナイジェリア	2015.11.28	23	212 (2000)		2030年にBAU比20%減、条件が満たされれば45%減	◎ 1.5°Cとの整合性		2030年までにエネルギー効率、再エネ比率向上、フレアガス排出停止	記載なし
モロッコ	2015.06.05	15	96 (2012)		2030年にBAU比13%減	×		記載あり	記載なし
エチオピア	2015.06.10	13	95 (2013)		2030年にBAU比64%減	×		記載あり	記載なし
セルビア	2015.06.30	3	66 (1998)	2030年に90年比9.8%		×		記載なし	記載なし
ケニア	2015.07.24	7	50 (2010)		2030年にBAU比30%減	◎		記載あり	記載なし
シンガポール	2015.07.03	7	48 (2012)		GDPあたり排出量を2030年までに05年比36%減、2030年頃にpeak out	○		原則国内対策とあるが、国内対策の内容の具体策無し	記載なし
モルドバ	2015.09.25	30	13 (2013)	2030年に90年比64-67%減、技術移転等があれば78%減		◎ Article 2言及無し		記載あるが抽象的	記載なし
アルベニア	2015.09.24	3	8 (2009)		2016-2030年にBAU比11.5%減	○		対象はEnergyと産業のみ	記載なし
Note:				途上国で絶対値目標を提出したのは南ア、ブラジルなど		◎は2°C目標との整合性を表す ○はArticle 2の言及のみ	この欄は先進国が対象	一般的に途上国はAdaptationの記述と他国からの資金及び技術援助を期待する記述が多い。	

出典：各国のプレッジ (INDC) を基に筆者作成

まずプレッジの頁数であるが、日本は本文 5 頁であるが、参考資料を含めると 17 頁とアメリカ、EU の 5 頁を大きく上回っている。頁数が多いということ

はそれだけ情報量が豊富と言うことである。事実日本のそれには温室効果ガス別、業種別削減量や電源構成まで書き込みがある。日本以外で頁数が多いのは中国（20 頁）、インド（30 頁）等であるが、このほかブラジル（10 頁）のそれは目標達成の政策等も明確で全体として学術的且つまじめな内容で、一読の価値がある。

絶対値目標（表 2 の左から 5 列目参照）でプレッジしているのは圧倒的に先進国であるが、途上国のうち南アフリカ、ブラジルは絶対値である点注目に値する。それ以外は相対的目標で、中国、インド等は GDP あたり排出量、韓国、メキシコ、インドネシア等は BAU 比削減率である。

右から 4 列目は各国のプレッジが UNFCCC 第 2 条（気候変動対策の究極目標）に言及しているか否か（○で示す）、そのうちでも特にパリ協定にある 2°C 目標との整合性への言及があるかどうか（◎で示す）を一覧にしたものである。これで見ると多くの国が自国のプレッジは 2°C 目標と整合的と主張していることが分かるが、上述の通り実際には全ての国がプレッジを履行しても 2°C 目標は達成できない。この辺りの矛盾点については 2°C 目標の問題点として後述する。その右は 2°C 目標達成の為に「先進国」は 2050 年に 80%削減が必要と一般に言われているが（IPCC 第 4 次報告書第三作業部会報告、776 頁）その点への言及の有無を示している。従って途上国にはこの欄は当てはまらない。右から 2 列目の目標達成のための政策はプレッジの透明性を図る指標の一つであるが、これは表にあるとおり精粗様々である。インドのように SDG（持続可能な経済発展目標）との整合性を重視するものや、インドネシアのように森林保護を中心とするものなど多岐に亘っている。一般的に途上国は先進国からの支援を条件としているところが多い。もう一つ興味深いのはどこの国も炭素税或いは排出権取引と言った経済的手法のみで目標を達成しようという国は無いことである。IPCC 報告書などで対策コストが示される場合これらは全て世界共通統一炭素税を前提としたものである。モデルではこれ以外の計算が困難とは言え、この計算が如何に非現実的かはプレッジ内容を一見しただけで明らかである。

再右欄は目標達成に要するコストである。プレッジには原則としてこの点の記述がないが、インドと南アに具体的数値が掲げられている点が目立っている。とはいえどの国についても GHG を追加的に 1 トン減らすコスト（限界削減費用）の試算は出ていない。

各国のプレッジについてやや詳しく見てきたが、ここから分かるとおりプレッジの内容は極めて多様であるのに加えて、上述の通りすべての国がプレッジを履行した場合の 2030 年の GHG 排出量は不明である（UNEP などプレッジの 2030 年排出量の試算は GDP 等につき一定の仮定に基づくものである）。こ

の点についてのより詳細な分析については Rogelj et al (2016)<sup>4</sup>を参照願う。

#### 4、プレッジの履行可能性

上記の通り現行のプレッジでは 2°C 目標への軌道に乗っていない。こうした状況の中で 2023 年の第 1 回 Stocktake（プレッジのレビュー）を待たずに今後 COP の場でプレッジを更に意欲的にする圧力が増すことは必須と思われる。しかしそもそもプレッジ自体が履行されるかどうかについても大きな疑問がある。

この点に関しこれまでに専門誌に掲載された論文やコスト面からの研究を基に考察してみる。結論から言うと主要先進国が軒並み履行不能になる可能性が大きいということである。

##### 4-1 Nature 誌のコメント

昨年 8 月 3 日の Nature 誌に *Prove Paris was more than paper promises* と題するコメントが掲載された (Victor et al. 2017)。これは日米 EU の学者の共同執筆論文で実は筆者もその一員である。ここでは 2030 年の日米 EU3 極の削減プレッジ（アメリカは 2025 年）と、その実現に向けた政策とのギャップの大きさを示した上で各国の状況を概観している。それによればアメリカ（2025 年に 2005 年比 26-28%削減）はオバマ政権下で発電部門でのクリーンパワープラン（CPP）の実施、再生可能エネルギー（再エネ）への転換、メタン排出規制などを進めてきたが、最大でも 23%削減にしかならない。これに加えてトランプ大統領の政策転換（CPP の取り消し等）によりプレッジとのギャップが拡大している。日本は目標達成コストが高く、達成のためには鉄鋼のような国際競争力に曝される設備の早期除去（償却前の *early retirement*）を強いられる可能性がある上、現状から見て原子力の比率が目標の 20-22%に届きそうにない。EU は EUETS 対象部門こそ年々 Cap（排出上限値）を下げ、何とか目標には届く見通しである。しかし排出全体の 5 割以上を占める非 EU ETS 部門（具体的に運輸、建物、農業等の分野）については、自動車燃費などは EU 共通基準を強化することで目標達成は可能かも知れないが、例えば建物については既存物件まで EU 統一基準を押しつけることは事実不可能である。原則として非 EU ETS 部門の政策の履行は加盟国に任されている。これに加えて Brexit 問題もあり EU も 40%削減目標の達成は危うい状況と分析している。

---

<sup>4</sup> この論文の筆頭執筆者である Joeri Rogelj はオーストリアの国際応用システム分析研究所-IIASA-所属の研究者で統合モデルを駆使して学術雑誌に数多くの論文を執筆しており、現在この分野で最も活躍をしている一人。読み方はユーリ・ロゲル



## 4-2 アメリカの状況分析

2016 年にアメリカのプレッジ履行に関する興味深い論文が発表された (Greenblatt and Wei, 2016)。ここではアメリカの政策を A、既に法律或いは規制となっているもの (CPP や代替フロン段階的廃止等)、B、提案中の法案・規制・条例案 (カリフォルニア州の 2030 年 GHG 削減目標、建物・機器の基準、トラックの燃費規制等)、C、そこまでには至らない削減策 (例えば CPP の更なる強化等) に分類してその削減効果を試算した結果、最大の削減量は規制導入可能性の最も低いカテゴリー C に分類される政策であること、A の政策の効果は必要削減量の 25% に過ぎないことを突き止め、アメリカのプレッジの履行を困難と判断している。その後トランプ大統領が A に分類される CPP を廃止したのでアメリカの履行可能性は更に低いものとなる。

## 4-3 プレッジの信頼性からの分析（特に途上国について）

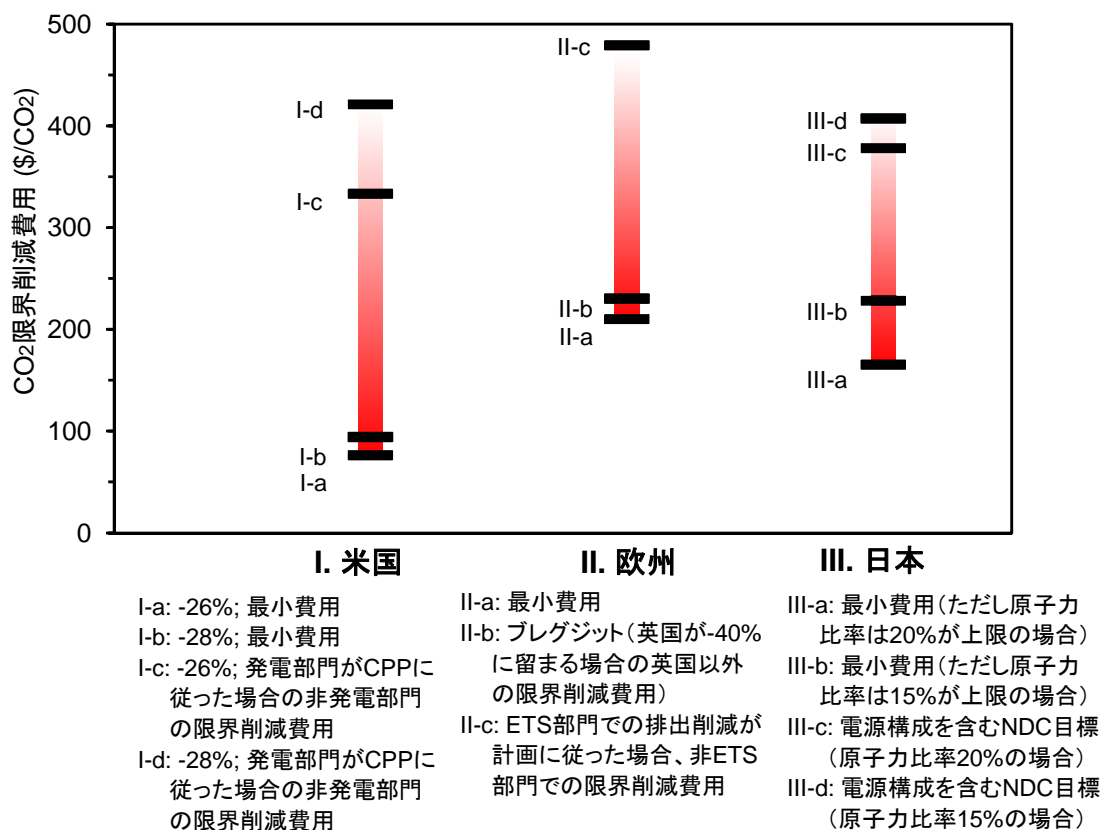
既述の通り各国のプレッジの内容は千差万別だが、そもそもプレッジは信頼できるものか。Nemet et al. (2016) はこの点に焦点をあてている。論文では目標の決め方 (絶対量、効率目標、BAU 比、付帯条件の有無等)、透明性、分配面での配慮 (政治経済学の観点)、およびプレッジの強固さ (プレッジ履行のための政策の明記など) の 4 つの切り口でインド、メキシコ、ナイジェリア、ベトナムという発展段階と地域が異なる 4 つの途上国のプレッジの履行可能性 (credibility) を検証している。この 4 カ国は高い成長が見込まれ、従ってプレッジの履行が特に困難と考えられる国である。結論は暫定的ではあるものの、「INDC の削減目標 (Target) の Credibility には懐疑的にならざるを得ない十分な根拠がある<sup>5)</sup>」と結論づけている。他の文献では先進国が目標を達成できない可能性を述べているのに対して、この論文は途上国の一部でも履行はおぼつかないとしている点に特徴がある。但し中国やインドはコスト面から履行は容易と考えられることは後述の通りである。

## 4-4 コスト面からの分析

ここで観点を変えてプレッジの履行可能性をコスト面から見てみる。図 2 を参照願う。

(図 2) 日米 EU のプレッジ履行限界削減費用 (MAC)  
最小費用と制約条件付きの比較

<sup>5)</sup> Our analysis suggests there is good reason to be skeptical about the credibility of the targets included in the INDCs (55 頁) .



出典：茅・山口・秋元（2017）第4章（目標年は日本とEUは2030年、アメリカは2025年）

これは RITE の DNE21+モデルの計算結果である。日米 EU のプレッジ達成の限界削減コスト (MAC) を最小コストケースと各種制約条件付きケースで比較したものである。細かい点を省略して説明すると、各国とも a と b は基本的に最小コスト (炭素税) での目標達成を指し、c および d は採用予定の (効率的ではない) 政策を前提とした目標達成限界削減費用である。まず日本について説明すると IIIa と IIIb は社会的制約から原子力発電割合の大幅増は見込めないため、それぞれ原子力の発電割合を 20%、15%とおき、それを前提とした上での最小費用での目標達成の MAC である<sup>6</sup>。これに対して IIIc と III d は原子力をそれぞれ 20%、15%とするという意味ではかわらないが、これ以外は日本政府がプレッジで公表した電源構成を不変とした場合の MAC である。アメリカについても簡単に説明すると Ia および Ib は 26 および 28%削減の場合<sup>7</sup>の最小費用での MAC、Ic および Id は CPP を実施した場合の MAC である。アメ

<sup>6</sup> この意味で日本の最小費用ケースの MAC はモデル計算上の最小費用ケースのそれよりも高くなっている。

<sup>7</sup> アメリカのプレッジは 2025 年に 2005 年比 26-28%削減となっている。アメリカは現時点ではパリ協定から離脱していないのでこのプレッジはそのままである。

リカで最小費用で目標達成する場合には CPP の規制以上に発電部門で削減する方が効率的であるにも拘わらず、この分野からの削減を少なくして他の（もっとコストの高い）分野で削減することからこうした結果になる。EU については特に非 EUETS 部門の対策が非効率なことから同じことが言える。ここで言いたいことは日米 EU ともプレッジの履行に伴う MAC（炭素価格に相当）は実際のモデル計算よりも遙かに高く \$300-500 の間で、これでは政治的に履行不能な水準であろう。

これに対して主要途上国のプレッジは RITE のモデル計算によると中国、インド共にゼロとなっている。つまり特段の対策をとらなくても目標を達成できる。これは RITE モデルの計算であるが、日 (RITE)、米 (GCAM および MERGE)、EU (WITCH) の 4 つのモデルでコストを比較した論文もあるがここでも同様のことが言える。(Aldy et al. 2016)。この論文では例えば中国の MAC は \$1-33、インドのそれは 0-\$19 であるのに対してアメリカは \$40-109、EU は \$45-177、日本は \$43-283 と試算されている。勿論モデルによる差はあるものの、一般的にはプレッジ履行 MAC は先進国が高く途上国の方が低いと言える。これに加えて先進国ではエネルギー安全保障や当事者間の利害調整などから非効率な対策を模索せざるを得ず、こうしたことから筆者は主要先進国のプレッジの履行はきわめて困難と考えている<sup>8</sup>。これに対して途上国のプレッジの Credibility は既述の Nemet et al. (2016)にあるとおり高くはない。しかしこのうち特に中国やインド、それに南アのような主要国の MAC が低く、RITE の計算ではほぼ BAU に近い (MAC はほぼゼロ) なかでこうした国がプレッジを達成する可能性は主要先進国よりも高い点に留意が必要である。

## 5、先進国プレッジ不履行の場合の対応（短期の観点から）

### 5-1 Global Stocktake と促進的対話

パリ協定では各国のプレッジの進捗状況（目標達成の見込みや政策導入の状況など）を 2023 年以降 5 年ごとに実施することになっているが (Global Stocktake)、2018 年にその前段階として「促進的対話 (COP23 でタラノア対話と呼ばれることとなった)」が進行中である。ここでは削減に向けての国内の取り組みに加えて、各国のプレッジの合計と長期目標 (2°C/1.5°Cあるいはそのための GHG 排出ゼロ目標) との関連や、各国のプレッジの内容も取り上げら

<sup>8</sup> COP23 がドイツで開催中の 2017 年 11 月 11 日付け The Economist 誌に 2020 年までに 90 年比 40% 削減を唱えるドイツが 32%に留まるとの記事があった(47 頁)。このほかイギリスでも第 5 次炭素予算 (2028-2032 年の年平均削減率を 90 年比 57%とする) に関し、2030 年の BAU とのギャップは 247 MtCO<sub>2</sub>e もあるが、このうち現行政策で 1/3 は埋められるが、残り 2/3 の削減には新たな政策の導入が必要とする文書 (CCC 2017) とこれに対する政府の回答文書 (UK Government 2017) があるが、いずれの文書からも 2030 年目標達成はきわめて困難であることが容易に想像できる。

れる可能性、つまり正式な **Global Stocktake** の前に事実上の **Stocktake** が動き出す可能性がある。各国のプレッジの集計は 2°C 目標達成の軌道から外れていること、主要先進国を中心にプレッジの履行自体が不明確な中で、特に先進国のプレッジの更なる引き上げを巡る先進国と途上国のせめぎ合いが起る可能性は十分ある<sup>9</sup>。ここでの中心はプレッジの評価であろう。評価に関し文献では大別して二つの考え方がある。

## 5-2 Equity（衡平性）を基準にした評価

### 5-2-1 文献からみた Effort sharing（Burden sharing）

パリ協定では衡平性（&/or 共通だが差異ある責任）という文言が随所に明記されている。最も重要なのは 2°C 目標を定めた第 2 条、2100 年までにネット GHG 排出をゼロにすることを定めた第 4 条、それに **Global Stocktake** の手法を記した第 14 条である<sup>10</sup>。この **Equity** に重点を置いて各国のあるべき排出量を計算し、それとの対比で各国のプレッジを評価しようとの試みがいくつかあるので以下そのうち 3 つの文献のエッセンスを紹介・検討する。なお、**Equity** に基づく **Effort-sharing** に関する文献は以前から多数あり、2014 年以前の文献サーベイは IPCC（2014）第 4 章（317-321 頁）を参照。ここで提示された考え方はそれ以降の文献でも継承されている。

まずパリ合意前の論文の例として、衡平性及び共通だが差異ある責任を中心とした各国の排出許容量配分（**effort sharing** 或いは **burden sharing**）に関する 40 以上の文献をサーベイした Hohne 他共同執筆論文（Hohne et al. 2014）から始める。ここでは **effort sharing** の配分基準を **Responsibility**（過去の排出量）、**Equality**（一人あたり排出量）、**Capability**（支払い能力）の 3 つの基準（これを **equity** の原則としている）を基本とし、これらを組み合わせた **Equal cumulative per capita emissions**（一人あたり累計排出量）および **responsibility, capacity and need**（過去の排出量、支払い能力、必要性）の 2 つ、更に **staged approach**（上記を段階的に組み合わせたもの）の 6 つとしこれに基づきこれまでの多数の文献に基づき地域ごと、濃度安定化の程度ごとの許容排出量（削減割合）を示している。上記 6 つの考え方で例えば 450ppm CO<sub>2</sub>e（2°C 目標と統合的な濃度目標）を目指した先進国（1990 年時点での OECD 加盟国）と途上国の 2030 年の許容排出量を計算した結果をまとめると先進国

<sup>9</sup> 2018 年時点ではこうした議論よりもアメリカの不参加で穴の空いた先進国からの資金支援も緊急な議題になるのではないかとと思われるが、資金面はここでは取り上げない。

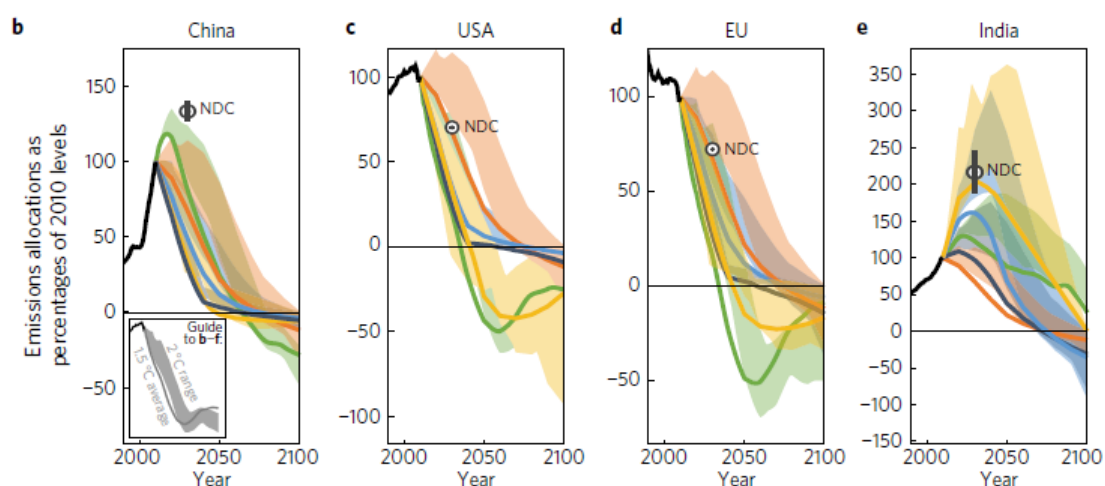
<sup>10</sup> 例えば第 2 条には *This Agreement will be implemented to reflect equity and the principle of common but differentiated responsibilities and respective capabilities*、第 4 条では *to undertake rapid reduction thereafter, on the basis of equity, and in the context of sustainable development*、第 14 条には *in the light of equity and the best available science* とある。

は 37-75%削減<sup>11</sup>、途上国のうち中国や韓国を含むアジアは+7-33%減となる。もちろん各配分原理によって各地域の配分量は大きく異なる。以上は主として **Equity** に焦点を当てた 2014 年以前の論文による先進国・途上国（加えてそれぞれの地域別）の論文のまとめである。パリ合意を受けてやはり **Equity** に焦点を当てた研究がいくつかあるのでこのうち 2 つばかり紹介する。

まず du Pont 他 **Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals** と題する論文 (du Pond et al. 2016) で、ここではパリで合意された 2°C 目標を 66%以上の確率で達成する最小費用排出経路（2100 年にはネットゼロエミッションとなる）を描き、これを IPCC 第 5 次報告書の 5 つの **Equity** のカテゴリー<sup>12</sup>を参考に定義した 5 つの判断基準で各国に割り振り、これを実際の各国のプレッジと比較したものである（1.5°Cについても同様の試みを行っているが、ここでは省略）。

5 つの判断基準とは **Capability**（一人あたり GDP が大きい国の削減率を高くする）、**Equal per capita**（一人あたり排出量均等に向け収斂）、**Greenhouse development rights**（一人あたり GDP および一人あたり累計排出量が高い国の削減率を高くする）、**Equal cumulative per capita**（一人あたり累計排出量均等化）、**Constant emissions ratio**（現在の排出割合で配分し徐々に何らかの **Equity** 原則に収斂させていく考え方）の 5 つで、基本的には上述の Hohne et al. と似通っている。結果は図 3 の通りである。

(図 3) 5 つの基準に応じた主要国の 2100 年にかけての排出割合(2010 年比)



出典：du Pond et al. 2016 の Fig.1 の一部を抜粋したもの。黒（2010 年まで）は実績、濃いグレーは

<sup>11</sup> 効率基準では 32-60%と先進国の削減率が減少する。

<sup>12</sup> 論文では IPCC の category として **Capacity, Equality, Responsibility-capacity-need, Equal cumulative per capita, Staged approach** の 5 つを挙げているが、IPCC 第 5 次報告では **Responsibility, Capacity, Equality, Right to sustainable development** の 4 つである（第 4 章）。**Staged Approach** は先ず現状で配分し徐々に何らかの **Equity Principle** に近づける考え方でごく簡単に紹介されている。

Capability、青は Equal per capita、緑は Greenhouse development rights、オレンジは Equal cumulative per capita、赤は Constant emissions ratio。各国の黒丸の NDC とあるのは当該国のプレッジを基に論文執筆者が計算した 2030 年時点での排出量の 2010 年排出量との増減率を示す。但し土地利用は除く。

図 3 にはあまりに多くの情報が含まれていてわかりにくいですが、ここで重要なことはここに含まれている 4 カ国のプレッジ (黒丸で NDC と記されている) の位置 (例えば中国の場合は 2010 年比 130-140%の間、インドでは 210-220%の間) と 5 つの Equity 基準に基づく排出量との乖離で、これが大きければ大きいほど (この基準で見た場合) プレッジが意欲的でないことを示している。つまり中国は 5 つの Equity 基準での配分と比べてプレッジした排出量が多い (意欲的ではない) ことを示している。また同論文の別の表では 5 つの基準の平均値として 2050 年の削減率 (2010 年比) やネットゼロ排出になる年が出ているが、それによるとアメリカ、EU、中国、インド及び世界全体の 2050 年のあるべき排出削減率はそれぞれ 89%、86%、70%、+40%、47%で、ネットゼロ排出になる年は 2067 年、2068 年、2075 年、2087 年、2082 年となる (2°C 目標の場合)。この基準で計算すると 2°C 目標達成にはアメリカと EU では 2050 年 8 割減では不足、中国についても 7 割減が必要となる。なお、この箇所では日本についての記述がないが、論文のあとの方で日本のプレッジはアメリカ、EU ほど意欲的ではないが、全く意欲的ではない中国やロシアのそれより良いと評価されている。

Equity に焦点を当てたもう一つの文献は Climate Action Tracker という組織が出すレポートである (CAT 2017)。これは Ecofys など 3 つの機関が共同で出しているもので査読を受けた学術文献ではないが一般に CAT レポートして良くマスコミなどに引用される文書である。この文書には Climate analytics equity methodology と題する方法論の文書が付帯しているので、以下この両者を併せた内容を記す。

ここでも一定目標 (例えば 2°C 目標) 達成の世界の排出量を計算した上で、Equity の原則からそれを各国に許容排出量として割り振り、それと実際のプレッジを比較して十分さ加減を表示するという意味で上述の論文 (du Pont et al. 2016) と基本線は同一である<sup>13</sup>。

先ず歴史的責任 (historic responsibility) として一人あたり累計排出量、削減能力 (capacity to mitigate) として一人あたり GDP (購買力平価換算) と発展段階指数 (human development index)、削減可能性 (potential to mitigate) としてエネルギー効率、一人あたり排出量、炭素強度 (炭素/エネルギー) を求めこれに重み付けを行って国ごとの指数を得る。その上で地球全体の気温上昇目標に応じた排出量と成り行きとの差 (必要削減量) を国・地域ごとの

<sup>13</sup> 実際 du Pont et al. (2016)はこの論文の参考文献の一つに挙げられている。

指数を用いて国に割り振り、それと当該国のプレッジを比較することで、プレッジの意欲度を評価するというもの。評価は、①2°C目標には全く届かない (*critically insufficient*)、②2°C目標に届かない (*highly insufficient*)、③公平性から見て最低の義務は果たしているがすべての国がこの状況だと 3°Cまで上昇する (*insufficient*)、④2°C目標と整合的、⑤1.5°C目標と整合的、⑥公平性の基準よりも意欲的、の 6 段階評価を実施している。主要国では①にアメリカ等、②に日中韓等、③に EU、ブラジル等、④はインド等、⑤はモロッコのみ、⑥は該当無しである。これから分かるとおり主要国のプレッジはインド以外は 2°C目標達成のための公平な削減率に達していないとしている。なお、この文献では多数の国のプレッジを一定の指数で 6 段階に分けて評価しているが、指数策定に際する公平性の各原則の重み付けの具体的方法とその結果としての評点が公表されていないので、例えば何故日本のプレッジが **Highly insufficient** なのかを知ることが出来ないという意味で透明性に欠けるものとなっている。

#### 5-2-2 Effort sharing の問題点と対応

以上 *Equity* の観点から各国のプレッジを評価する文献を見てきた。このうち最初の Hohne et al. (2014) は主として先進国と途上国の排出量配分問題で、国名を明記して評価しているのは du Pont et al. (2016) と CAT (2017) なのでこの 2 つの文献から気づきの点を挙げておく。まず気づくのは中国の扱いで、中国は急速な経済成長と排出増加によって一人あたり排出量（年間および累計）では先進国と同様、或いはそれ以上の段階に達しており、さらに一人あたり GDP も急速に先進国の水準に迫いつつつある状況で、こうしたことから中国のプレッジは二つの文献共に全く意欲的でないと評価を下している点である。このことは少なくとも *Equity*（公平性）の観点からは中国は目標達成の可能性が高いと見られていることを示している。これに対してアメリカのプレッジは du Pont et al. (2016) では意欲的をされているが、CAT (2017) では最も低い評価である *Critically insufficient* となっている。EU は両文献とも総じて高い評価を得ているが、日本については前者ではアメリカ・EU ほど意欲的ではないとされ、後者でも中国と並んで **Highly insufficient** とされている。既述の通り両文献とも何を以て *Equity* の判断を行うかは明記されているものの具体的計算式は不明である。しかし主要先進国を中心にプレッジ目標未達という状況になった場合、日本だけが公平性の観点からも意欲的でないと烙印を押されたままにしておくことは好ましくない。日本としても公平性の原則から見た自国のプレッジの意欲度を日本の方法論で検証しておくべきと考える。また、今後 *Global Stocktake*（場合によってはその前の促進的対話）で各国のプレッジの意欲度が何らかの形で取り上げられることは間違いがないが、その際は意欲度

を測る方式自体を透明性の高いものにしていく必要がある点指摘しておく。

それとは別に、上記の **Equity** に基づく各国への **Effort Sharing** の考え方には根本的な欠陥がある。既述の通りパリ協定 2 条、4 条、14 条等重要条項に **equity** を配慮することが明記されているので、如何なる場合でもこの点を無視することはパリ合意の破綻につながり適切ではない。しかしこれまでの文献から明らかなように、2°C（場合によっては 1.5°C）を達成する **Global** な排出シナリオを描きそれに基づく特定年（例えば 2030 年、2050 年）の排出量を衡平性の原則で加盟国に割り振るという考え方（いわばべき論の考え方）自体が、そもそもパリ協定と矛盾するものである。周知の通りパリ協定は法的拘束力のないプレッジ（ボトムアップ）とトップダウンの 2°C 目標からなっている。2°C は一応目標には掲げるがそれに向けて各国が出来る範囲から始めると言うことでほぼ全世界の国が加盟している（アメリカも脱退が有効にならない限り加盟国である）。仮に衡平性を盾に加盟国にプレッジ引き上げの圧力をかければ「全ての国の参加」、或いは「主要排出国の参加」の原則が崩れることになるだろう。とはいえ全ての国が何らかの意味で衡平性（他国が自国と同等の努力をしているかどうか）を求めていることも事実である。こうした意味から **Equity** を基準にした **Effort sharing** の考え方はそのための一つの要素であることは認めなければならない。

**Equity** を基準とした配分にもう一つ欠けているのは削減コストの概念である。仮に配分が正しいとしてもその結果として例えば **GDP** あたりコストに大きな差があれば加盟国は承知しないであろう。さらに加盟国の炭素価格（限界削減費用－**MAC**）に大幅な差があれば国際競争力に直接影響し、これも特に **MAC** の高い国には受け入れ不可能であろう。これに対して国境税調整で対処するという考え方があるが、実務上の困難性（産品含有の炭素をどのように測るか）、**GATT/WTO** による自由貿易との衝突の両面からこれは困難であろう<sup>14</sup>。こうした観点からも **Equity** 基準の配分は一つの要素としての位置づけに止まる。

**Equity** 基準のもう一つの問題点は土地利用（変化）・植林（**LULUCF**）及び **negative emissions** 手段としての **Bio-energy carbon capture and storage (BECCS)** の扱いである（詳細については 6 章 1 節参照）。**LULUCF** は往々対象外であったり、対象にしても別扱いとなっていたりする。この理由は排出（或いは吸収）量が正確に把握できていないことである。また、**BECCS** による吸収分をどのように配分するかという問題が手つかずで残っている。この点に関する論文（**Peters and Geden 2017**）はあるが、却って配分問題の難しさ

---

<sup>14</sup> 仮に **GATT/WTO** でこれを認めるとした場合、気候変動以外の他の重要事項を縦に同様の動きが続き、**GATT/WTO** 体制が崩壊に向けて動き出すリスクが高い。



を浮き彫りにするものとなっている<sup>15</sup>。

### 5-3 削減コストから見たプレッジの評価

上記の通り **Equity** に基づく **Effort Sharing** の大きな欠点は削減コストの概念が抜け落ちている点である。本節ではコストの観点から **Effort sharing** を検討する。なお以下では **GDP** あたり削減費用をコスト、限界削減費用を炭素価格と呼ぶ。

#### 5-3-1 Aldy と Pizer の論文（2016 年）

Harvard の Aldy と Duke の Pizer による論文（Aldy and Pizer 2016）はこの面での考え方を示すという意味で嚆矢となる論文である。この論文のタイトルは国の努力の計測の代替案とあり、**Equity** の側面からの **Effort Sharing** に対する代替案を意識したものと思う。各国のプレッジの内容が多様で所謂 **apple-to-apple** の比較（全く同質なもの同士の比較）が不可能な中で、これを比較するには経済学のツールが必要とし、従来へのべき論との相違を強調している。こうした観点からここでは国の削減努力を比較する判断基準検討の際の原則として

- ・ 包括性（**comprehensive** 国の削減努力の全てをカバーすること）
- ・ 計測可能性（**measurable** 例えば排出量、炭素価格、脱炭素技術等で透明性を確保）
- ・ 再現可能性（**replicable** この為には第三者の評価を可能とする透明な手法が必要）
- ・ 普遍性（**universal** 出来るだけ多くの国に当てはまること）

の 4 点を提示している。

次いで削減努力計測の指標（**metrics**）として

- ① 排出量（絶対量、原単位、BAU との乖離）
- ② 価格（炭素及びエネルギー価格）
- ③ コスト（GDP 或いは消費との対比）

をとっている。その上でこの内容を詳細に検討しているが先ず①の排出量に関しては基準年比較、BAU 対比、原単位目標についてそれぞれの問題点を指摘している。例えば基準年対比の排出量は計測可能だが必ずしも削減努力の全てを反映している訳ではない、BAU 対比は BAU に恣意的な要素が混在する、等である。②の価格指標はどうか。価格指標には炭素価格、燃料価格、電力料金などがあるが、近年わが国で炭素価格に焦点が当たっている点に焦点

<sup>15</sup> 論文では例えばカメルーンで収集したバイオマスをイギリスに輸出しここで燃料として使用してそこからの CO<sub>2</sub> を補足し、これをノルウェーで地中処分をする場合の扱いなどの例が挙げられている。現在 BECCS は Global なスケールで語られているが、これを国別に配分した途端に国による土地利用面積の相違などで直ちに色々な問題が生じることは容易に想像できる。

を当てる。ここでは炭素価格は当該国の限界削減費用に相当するので正に削減努力を反映している筈としつつ、実際には特定部門に対象を絞っていたり、効率基準や直接規制を反映できない点を挙げている。さらには需要の価格弾力性が低く削減機会が限られている国には炭素価格を高くしても効果のない場合もある。この代替手段として **implicit** な炭素価格を用いる手もあるが、これにはモデルによる計算が必要で直接観察できないという欠点もある。更にこの場合、非効率な政策を採用すればするほど炭素価格が高くなるという矛盾を生じてしまうとしてドイツの再エネの FIT の例(炭素価格にすると風力\$62、太陽光\$547、いずれも t/CO2) を挙げ、ドイツについては全体の半分が EUETS 対象で EUETS の炭素価格は 8 ユーロなので国内で複数の炭素価格が併存することとなり、この場合にはこれを平均した数値が必要としている。

次に③の削減コストはどうか。この指標は包括的で、GDP あるいは一人あたり GDP で測れば国による比較は可能である。また削減コストは対策の重要な要素でもある。各国が公平な削減コストを負担するという考え方は納得のいくものである。問題はこれは経済活動からは観察されずモデルにより導出されるのでモデルにより結果に違いがあり、再現可能性の面で問題があることである。また実際には全ての国についてこうした計算が出来るモデルはほとんど無い点も指摘されている。

(表 3) プレッジ評価の原則と評価基準の評価

評価基準	原則			
	包括的	計測可能性	再現可能性	普遍性
排出量	他の要素も関係している為、努力の評価としては不十分	あり	あり。エネルギー起源 CO2のデータが入手可能	エネルギー起源 CO2のデータは全ての国に存在;温室効果ガスについては要追加調査
原単位	絶対排出経路よりは経済傾向考慮、但し一定の傾向なし	あり	あり;エネルギー起源 CO2のデータが入手可能	エネルギー起源 CO2/GDP は可能;GHG/GDPは要追加調査
BAUとの乖離	最も包括的な政策	挑戦的 - モデルが必要。BAUの推定に恣意的要素あり	多様な結果を出す多様な仮定で設定された各モデルが必要。BAUの計算が恣意的	なし;10カ国以に作業可能なモデルはほとんどなし
炭素価格	トン当たり削減努力把握。絶対量の言及なし	明示的にあり;暗示的には詳細分析が必要	明確な価格があれば可能。暗示的な価格の場合は仮定に基づく分析必要	なし;明確な炭素価格はほとんど無いので暗示的なそれを求めるモデルが必要
エネルギー価格及び税	非エネルギー起源排出には不十分;直接規制は反映されず	あり。但しどう集計するか課題	あり	あり;但し現状より詳細データが必要
削減コスト	努力を測る最善の指標だが、ベンチマークが必要	挑戦的 - モデル毎に異なる仮定をするので結果は異なる	多種モデルにより仮定も様々	なし;10カ国以上の国に関し包括的な評価可能なモデルは殆どない

出典：Aldy and Pizer (2016)の Table 5 を日本語にしたもの

表 3 は大別して 3 つの削減努力(縦列の排出量等、価格、削減コスト)の指標を包括性、計測可能性など 4 つの原則(横列)に当てはめた結果であるが、ここから明らかなどおりこの全てを満たす指標はなく、帯に短し襷に長しである。実際に各国の努力を比較する際には専門家による調査が必要で、その際考慮すべき点として削減努力の究極目標<sup>16</sup>、共通だが差異ある責任、国固有の事情を考慮することの必要性を述べ、最後に特定の指標、ベンチマーク、統合的な評価メカニズムの策定の困難さに触れて、更なる研究の必要性を強調している。

### 5-3-2 Aldy, Pizer and Akimoto の論文

上記はパリ協定直前の論文であるが、パリ協定合意後プレッジ・アンド・レビューの方式が採択されたのを受け、この二人の著者に RITE の秋元主席研究員が加わって国の削減努力を評価する際の枠組みを提案し、事前・事後評価の雛形を提示する論文が出た (Aldy, Pizer and Akimoto 2017)。ここでは前述の Aldy & Pizer の論文に準拠しつつ RITE のモデル (DNE21+) を用いてアメリカ、EU、中国、ロシアのプレッジの削減努力を暫定的であるが検証している。そこから一部を抜粋したのが下記の表である。但しここには日本の数値はない。ここで際立っているのが中国 (及びロシア) で、限界削減費用、GDP あたりコストともほぼゼロとなっている点で、この意味は中国 (及びロシア) は特段の対策をとらなくても目標達成が可能と言うことである。

(表 4) 主要国のプレッジの指標のうちコスト関連のみ抽出したもの

プレッジ	アメリカ	EU	中国	ロシア
	2025年までに05年 比26-28%減	2030年までに90年 比40%減	05年比排出量/GDPを 60-65%減 2030年までにピーク	2030年までに90年比 25-30%減
限界削減費用 プレッジ最終年 [US\$tCO <sub>2</sub> ]	64	166	0	3
GDP当たり削減コスト プレッジ最終年(%)	0.39	0.82	~0	~0

出典、Aldy, Pizer and Akimoto (2017)の Table 2 からコスト関連数値の一部を Pick up したもの

### 5-3-3 モデルによるコストの相違

上記は RITE のモデル (DNE21+) のみを使って計算したものであるが、7ヶ月後に (RITE モデルに加えて) アメリカと欧州の 3 つのモデルの参加を得て行われた分析結果が発表された (Aldy et al, 2016)。ここではアメリカ、EU、中国、日本、インド、アフリカ、ロシアのプレッジについて、モデルを用いて

<sup>16</sup> 論文では 2℃目標と共に炭素排出の社会的費用 (外部性) との整合性に触れている点は興味深い。この背景として果たして 2℃目標が適切かとの疑問があるからである。

BAU からの削減量、年間 GHG 削減率、炭素価格（限界削減費用）、エネルギー価格、GDP あたり削減コストの経済指標から見た比較を行っている<sup>17</sup>。このうち炭素価格と GDP あたり削減コストをピックアップしたのが表 5 である。ここから分かることはモデルによる差が大きいことである。

（表 5）4 つのモデルによる炭素価格と GDP あたり削減コストの比較

	炭素価格 \$ (限界削減費用)	削減費用 GDP 当たり (%)
日本	43~283	0.13~0.47
アメリカ	40~109	0.28~0.84
EU	45~177	0.31~0.59
中国	1~33	-0.20~1.60

出典：Aldy et al, 2016 の Table 1 の一部を抽出したもの。アメリカとそれ以外の国でプレッジの最終年にずれがあるので表の数値は一つのモデルを除いて 2025 年と 2030 年の値の平均値を表す。また、アメリカについてはプレッジの中間値（2025 年に 2005 年比 27%削減）を採用。数字の幅はモデルによる差

例えば日本の限界削減費用は\$43~283 と 6.6 倍の開きがある。このうち\$43 はアメリカの MERGE モデル、\$283 は RITE DNE21+モデルによるものである。モデルでは基本的に削減目標を最小費用で達成する（換言すれば全ての主体の限界削減コストが均等化する）ことを条件として計算している。しかし日本については福島原子力事故以降仮に原子力発電の削減コストが安くてもその割合を無制限に高めることは非現実的である。こうした状況を熟知している RITE モデルは原子力について 20%の上限値を定めた上で計算している。この場合 CO2 削減コストが原子力発電によるそれよりも高い技術がその差を埋めるべく動員される。こうした点からここは RITE モデルが際立って高く表示されている（但しこうした事情は他国にもあるので単純な比較は難しい。なお、日本については 3 つのモデルしか計算結果がないが、それらは\$43、91、283 となっている）。モデルの特徴としてアメリカの MERGE モデルは先進国（日米 EU）については限界削減費用がかなり低く出ている。もう 1 点、中国の GDP あたり削減コスト（GDP 比）を 4 つのモデルで見ると-0.20%、0.04%、0.72%、1.60%と最後のモデル（イタリアの WITCH）が桁違いに高くなっている。

上記の通り Equity とは別の観点から各国の努力を図る指標としての限界削減費用（炭素価格）、GDP あたり削減コスト共にモデルの使用が必要だが、結果はモデルによりかなりばらつきがありこのあたりをどのように考えるかはプレッジの Stocktake の際大きな問題となると思う。それとは別にコストの観点からは一般的に先進国のプレッジの方が途上国（特に中国）よりは意欲的と言

<sup>17</sup> この論文は指標の多さ、4 つのモデルの参加という点から多方面に引用されたという意味で影響力のあるものである。

える。

#### 5-3-4 BAUに敏感なコスト

上記のうち GDP 比の削減コスト割合の計算方法であるが、モデルで BAU 排出量を推測し、ここからプレッジの水準まで排出を減らす費用を同じくモデルで予測した(或いは別途公表されている)将来の GDP と対比させたものである。この意味で BAU 排出量見込みは削減コスト (GDP あたりコストおよび限界削減費用) に大きく影響する。従来どちらかという *Equity* の観点から各国のプレッジのあるべき姿を追求してきたオランダ政府の環境評価庁 (PBL) の研究者達がプレッジのコスト (GDP 比) を分析している論文がある (Hof et al. 2017) ので、これとすぐ上で述べた論文 (Aldy et al. 2016) を対比させつつ BAU 推測の重要性について述べる (表 6)。オランダの論文ではプレッジの国・地域別コストと 2°C 或いは 1.5°C との関連を取り上げているが、モデルによる差という意味で日米 EU 中のプレッジ達成のコスト (対 GDP 比) のみを取り上げる<sup>18</sup>。この論文で顕著なのが日本のプレッジの BAU 比削減率と GDP あたり削減コストの低さである。前者は日本が 8.8% と中国とほぼ同率であるがアメリカと EU は 27-28% 台と大きい。後者は日本のそれは 0.01% と中国の 0.04 よりも低く、アメリカ、EU の 0.19%、0.16% よりも大幅に低い。

(表 6) プレッジの BAU からの削減率と削減コスト (文献による差異)

	Hof et al.の数值				Aldy et al.の数值	
	BAU排出量	プレッジ排出量	BAUからの削減率	削減コスト	BAUからの削減率	削減コスト
	2030年	2030年	(%)	GDP比(%)	(%)	GDP比(%)
日本	1,143	1,042	8.8	0.01	17-20	0.13-0.47
アメリカ	6,885	5,005	27.3	0.19	21-41	0.28-0.84
EU	4,960	3,532	28.8	0.16	25-33	0.31-0.59
中国	16,282	14,909	8.4	0.04	4-20	0.28-0.84

出典：Hof et al.(2017)の Supplementary Material および Aldy et al.(2016)から筆者作成。なお、Hof et al.ではアメリカのプレッジは 2030 年の推定値を用いているが、それは 2025 年までのプレッジとアメリカが目指している 2050 年 83%削減 (プレッジには 80%以上との記載がある) を直線で結んで 2030 年の数値を出したもので 2030 年には 36-38%減と高めにしている点(即ち BAU からの減少率および削減コストも高めに出来るということ)に留意が必要である。また、Aldy et al.のプレッジは各地域とも 2025 年-2030 年の平均値であり Hof et al.よりも小さめに出来る点にも注意が必要である。

表から分かるとおり BAU からの削減率を見ると Hof et al.は日本以外はすべて Aldy et al.の範囲に収まっているが日本だけが突出して低くなっている (前者が 8.8% に対して後者は 17-20%)、GDP 比削減コストは 4 つの国・地域で Hof et al.の数値が Aldy et al.のそれよりも低くなっているがその程度は日本が最

<sup>18</sup> オランダの文献では BAU を SSP1 (持続可能な態様で発展し不平等が解消に向かう社会)、SSP3 (人口増が急で社会の不平等が進み技術進展も遅い社会)、および SSP2 (この中間のシナリオ) の 3 つに分けているが、本稿ではこのうち中庸な SSP2 の数値を用いる。

も低くなっている。この原因を調べてみると、日本の BAU が極めて低く計算されていることが分かる。具体的に Hof et al. では日本の 2030 年 BAU は 1143 MtCO<sub>2e</sub> と RITE の試算の 1340 NtCO<sub>2e</sub> に比べて 15% も低くなっている。BAU の計算根拠は公開されていないので方法論は不明であるが、これだけ BAU が低ければ当然プレッジの BAU からの削減率も GDP 比コストもそれだけ低く出る道理である。BAU からのプレッジの乖離の率とそのためのコストは理屈としては各国の削減努力を示すのに適切な指標ではあるが、実際には BAU は計測不能でモデルによって大きな相違が出るという弱点を有している。

なお、Negative emissions の扱いについても疑問が残る。2030 年プレッジではほぼ影響がないが、この後世界が 2°C 目標を堅持するとなると大量の negative emissions が必須である（後述）。モデル上はこれに対するコストを考慮することで計算は可能であるが、この場合各モデルのコスト試算が正確かどうか（種の多様性や食料安全保障との Trade-off をどのように組み込んでいるかを含む）が大きな問題であると同時に、おそらくモデルごとの差異がかなり大きくなるのではないかと予想される。この意味で negative emissions への対応の困難さという点では Equity ベースの effort sharing と同様の問題を有している点付言する。

#### 5-4 先進国プレッジ不履行の場合の対応（短期の観点から）

##### 5-4-1 多様な指標による評価

Global Stocktake で先進国（途上国の場合も当然ある）の不履行が見込まれる際に、単にプレッジ履行の有無だけで不履行（見込みを含む、以下同様）国を責め履行を迫ると言うことでは問題の解決にならないことは明らかである。そもそもプレッジ自体が法的拘束力を有しない中で、こういうやり方では不履行国はパリ協定から脱退するであろうからである。履行不履行の判断基準の前に、そもそもプレッジが衡平性の原則に照らして適切であったか、そして各国の努力が同等であったかを精査する必要がある。前者は本稿で述べた Equity に基づく Top Down の考え方であるが、そもそも各国がこの原則を承認してプレッジを決定したわけではないこと（多くの国のプレッジはパリ協定合意前に決められていた）、また、Equity の量り方も一通りではないので各国のあるべき排出許容量が一律に得られるものではないこと、そして何よりも経済的観点（コスト）が抜け落ちている点が各国のプレッジが適切だったかどうかの判定を不能としている。後者の削減努力の程度の比較であるが、単に基準年からの削減率の比較のような観察可能な数値で比較することは全く不適切である。かといって削減努力の大きな要素であるコストの比較にはモデルが不可避で BAU の推定自体にばらつきがあることの結果として BAU からの削減率、(シ

ャドー）炭素価格はそれぞれのモデルで異なっているなど、この考え方で単純な解は得られない。このように考えてくると当然のことながら一つの指標で各国のプレッジおよび履行状況を比較することは出来ないという結論にたどり着く<sup>19</sup>。Global Stocktake で大切なことはすべての国が参加するパリ協定を存続させることを第 1 として、各国の評価はこれまで述べてきた **Equity** あるいは努力の衡平性の主要指標を一覧表にした上で、自ずと明らかになる改善点について当該国に改善を要請することから始めるのが最初のステップではないかと思う。

#### 5-4-2 プレッジ内容の透明化

しかしその前に本稿 3、プレッジの内容で述べたとおり現在のプレッジはその内容がばらばらで目標との整合性が極めて不十分である（この点の詳細な分析は Pauw et al. 2017 参照）。2023 年の Stocktake の前に先ず行うべきは、プレッジの内容の透明化である（当面は G20 参加国から始める）。例えばメキシコやインドネシアのように BAU 比での削減を目標としている国に対しては目標年（に向けて）の BAU とその根拠の明示（韓国は BAU の数値を明記している）、また中国やインドのように効率改善目標の場合には目標年（に向けて）の GDP と GHG 排出量の明示を求めること、以上は途上国についてであるが、途上国・先進国を問わず目標とその達成のための政策的裏付け（目標達成に必要な削減量とそれをどの政策でどの程度ずつ削減するのかのおよその内訳）の明示を求めることは必須であろう。日本のプレッジはこの面で他国の参考になる内容である。こうした基礎データがそろえば専門家集団がその根拠を精査することでかなりの程度客観的な評価が可能となる。また、こうした作業を経て初めて各国のプレッジのコストをある程度の幅で推測することが可能である。専門家集団がこうした試算を行って対象国に示し、対象国は（自国の事情を熟知しているので）こうした観点から必要に応じて反論し、こうした過程を通して内容が煮詰まっていく。特に国際競争に直結する炭素価格がこうしたプロセスで見えてくることはレビューの対象となる国にとってもプラスとなるだろう。

#### 5-4-3 プレッジの実現可能性に関する自国による見直し

これと平行して有益だと思われるのは、こうした作業を通して各国に自国のプレッジが本当に実現可能かどうかの見直しを求めることである（本稿では資金問題は対象としてはいないが、先進国からの毎年 1000 億ドルの資金拠出の実現可能性も再度確認すべきである<sup>20</sup>）。ここで問題になるのがパリ協定第 4 条 11 項の文言で、ここには加盟国はいつでもプレッジを変える（adjust）ことが

<sup>19</sup> 本稿では深入りしないが途上国のプレッジのうち 99 カ国のそれが金融支援を何らかの形で条件にしていること（Pauw et al 2017）からみて資金援助問題は避けて通れないと思う。

<sup>20</sup> この財源としては国際金融取引税、排出権取引オークションからの収入の一部、国際海運・航空への炭素税あるいはこのセクターの排出権購入や民間資金が混在しており、実現はきわめて困難と思われる。

出来るが、その際には協定に定めるガイドに従いその「意欲度を高める観点」からとされている<sup>21</sup>。各国が自国のプレッジを透明化する中で更にそれを意欲的に改訂するのは歓迎であるが、下方修正することがここで認められるかどうかは不透明である。筆者の記憶ではトランプ大統領がパリ協定からの離脱を検討中に EU の高官が場合によってはアメリカのプレッジ引き下げを認めるような発言をしたと海外の有力紙で伝えられたからである。現在のプレッジは他国との比較とか見栄えで決めた要素が無いとは言えず、こうした場合自国プレッジの透明性を高めれば高めるほど実現が困難と言うことが明白になるケースが相次ぐ可能性がある。この場合引き下げを一切認めないとの硬直的態度に出れば当該国を協定の外に追いやる結果となり、パリ協定の存続自体がリスクに曝される可能性がある。

#### 5-4-4 2°C目標との整合性の自国による検証

プレッジ見直しとの関連でもう 1 点重要な点がある。プレッジと 2°C（或いは 1.5°C）目標との整合性である。パリ協定第 3 条ではこの目標を達成する観点からプレッジを提出することになっており、現に日本を含む多くの先進国に加えて中国、ブラジル、韓国、インドネシア等かなりの途上国も自国のプレッジと 2°C 目標との整合性を主張している（6 頁表 2 参照）。これだけでは単なる決意表明と変わらないので、なぜ自国のプレッジが 2°C 目標と整合的なのかの説明を要請してはどうか。もしこれが困難と言うことであれば 2°C 目標との整合性は単なるリップサービスに過ぎなかったことになる。

ここで忘れてはならないのは政策決定に際しての政治家の行動パターンである。国内政治を見ても、残念ながら政治家は完全に自国民のプラスだけを考慮して行動するのではない。自らを支えている選挙民の意向を常に意識し、票をちらつかせるロビー団体には弱い。また彼らは国民（或いは選挙区の住民）の歓心を得るため格好の良いことを誓約し勝ちであるが、いざ実行となると強いロビー団体に押されて行動力が鈍る。即ち **Talk** は威勢がよいが、**Action** がそれに伴わない。これが国際問題になるとますますこの傾向が強まる。他国の削減率に見劣りをしないことが絶対要件の一つとなって自国のプレッジを決めるということがないかどうか、特に **Talk** と **Action** の間に時間的な開きがあるときにはこうなりがちである。これに加えて気候変動問題のように現世代の負担で将来世代の損害を最小限にする類の案件は喫緊の課題（財政赤字、雇用、高齢化、医療・年金など、また世界レベルでは貧困、伝染病対策、難民問題、水不足など）に比べ優先順位が低位に置かれ勝ちである。幸い気候変動については

<sup>21</sup> A Party may at any time adjust its existing nationally determined contribution with a view to enhancing its level of ambition with guidance adopted by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Agreement. パリ協定 4 条 11 項



毎年の COP 開催もあって国際的な関心が高いが、かといって他の問題を押しつけてこれに集中しようという政治家は少ないと考えるのが常識だろう。パリ協定はこうした政治家による意志決定であるが今のところ Talk の段階である。これを実行に移すに際して「べき」論で押し切れれば必ず破綻する。こうした現実を念頭に置きつつ、折角手にした全員参加の枠組みの維持を優先することが長期的な実効性の観点から得策と考える。

## 6、長期対策としての 2°C 目標と政策指針としての CO2 ゼロ排出

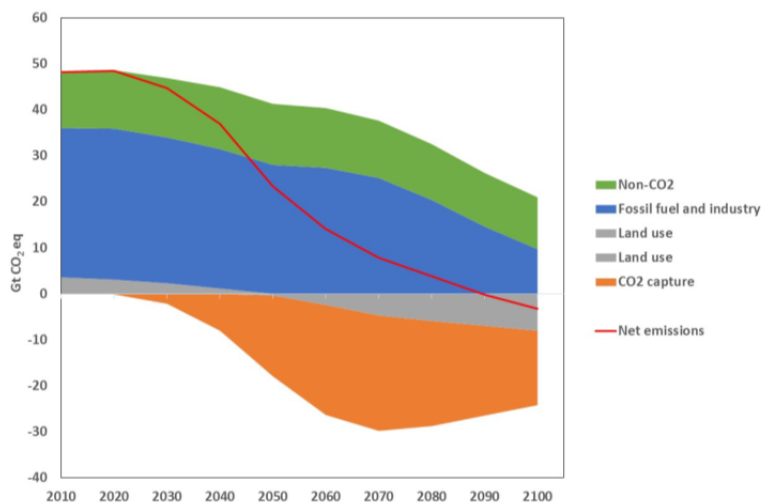
以上は 2030 年を目指したボトムアップのプレッジ体制維持の為の方策であるが、パリ協定の気温上昇を 2°C 以下（可能であれば 1.5°C）に抑えるとの長期目標についてはどうか。これまでの分析から各国のプレッジでは 2°C 目標を達成できず、かといって 2°C 目標と整合的な水準までプレッジを引き上げることも困難である。しかしたとえプレッジの上方修正が可能で 2°C 目標達成の排出シナリオと整合的となった場合でも、このシナリオは極めて非現実的な仮定に立脚している。この仮定とは大量のマイナス排出（massive negative emissions, MNEs）であり、この仮定が崩れれば 2°C 目標は達成できない。つまり 2°C 目標は MNEs 次第であるのでまずは MNEs の実現可能性を検証する。

### 6-1 2°C 目標と大量のマイナス排出（MNEs）の可能性

#### 6-1-1 MNEs の仮定の上に成り立つ 2°C 目標

図 4 を参照願う。これは IPCC 第 5 次報告のデータベースから 2°C 目標を 65% の確率で満たすシナリオを集計した結果である。この図のオレンジ部分は CO2 吸収分でその大部分は BECCS である。BECCS とはバイオエネルギーを用い、その際排出される CO2 を補足して地中に埋める手法である。植物の成長過程で吸収した CO2 を大気中に放出するとゼロエミッションだが、これを地中に埋めることで NEs となる。ねずみ色は土地利用で、こちらは 2100 年に向けて徐々に positive emissions（森林伐採）から NEs（植林・再植林、AF/RF）に変わっている。図からモデル上では 2100 年になっても CO2 とそれ以外の GHG の排出が 20Gt 弱ほど残るが BECCS と AR/RF でこれを上回る吸収（NEs）を行い、結果としてネットではマイナス排出となっていることが分かる。

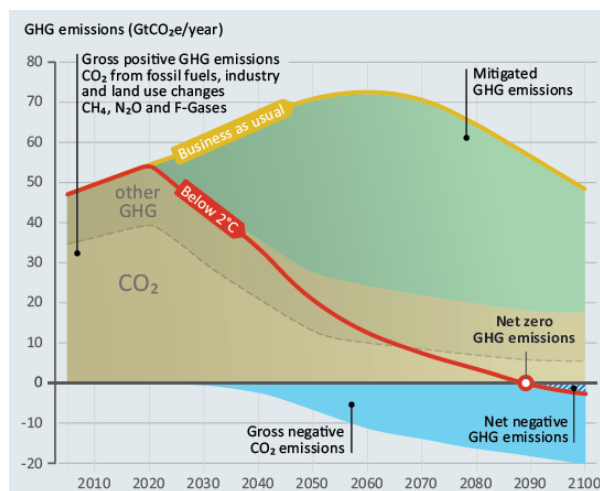
（図 4）2°C 達成のシナリオの例示



出典: IPCC/WG3 共同議長である Jim Skea 教授が 2017 年 11 月 14 日に東京で開催された IPCC シンポジウムでの基調講演で示したパワーポイントから図のみを抽出したもの。このデータソースは IPCC 第 5 次報告のデータベースである。

同様の図は他にもある。図 5 は UNEP (2017) からとったものである。

(図 5) 2°C 目標達成と negative emissions



出典: UNEP (2017) から図の一部を抜粋したもの

ここでは 2°C を 66% の確率で達成する為の 2100 年に向けての GHG 排出経路である。BAU 排出量が最上段の黄色の曲線、これに対して各種削減努力で薄緑の面積分を削減し、残りの排出量のうち濃いオード色が CO2 以外の GHG (メタンなど)、薄いオード色が CO2 排出量である。この場合 2100 年に CO2 で 5Gt、その他 GHG で 13Gt 程度の排出量が残る。つまりどんなに削減に努めても技術的・経済的にこの辺りが限界と考えている訳である。内訳は示されていないが、CO2 については船舶や航空機からの排出、或いは鉄鋼・セメント・化学など産業部門の一部からの排出は最後まで残ると思われる。このままでは到

底 2°C 目標は達成できないので 2100 年には 20Gt、21 世紀累計では 670Gt という膨大な negative emission を実施し、これを差し引いた net の排出量が赤の線で 2090 年頃から net でもマイナスにし、これで漸く 2°C 目標に達するという訳である。

上記から 2°C 目標達成のシナリオの大部分は MNEs の前提の上に成り立っていることが分かる<sup>22</sup>。果たしてこれは可能だろうか。

### 6-1-2 MNEs の実現可能性

この点についてはいくつかの文献があるが、ここでは世界の専門家 40 名ほどが共同執筆した論文を取り上げる (Smith et al. 2015)。ここでは negative emissions technologies (NETs) として BECCS、植林・再植林 (AF/RF)、DAC、それに鉱石化 (EW、enhanced weathering of minerals) の 4 種を対象に実現可能性を検証している。このうち DAC と EW は研究が初期段階であること、コスト、必要とするエネルギー量、吸収可能量などの諸点からひとまず措き、本稿ではこの論文のうち BECCS と AF に焦点を当てる。先ず BECCS であるが、2°C 目標達成に必要な BECCS の 2100 年の吸収量は 3 つの文献から中央値として 3.3GtC としている（この論文では CO<sub>2</sub> ではなく C で統一しているのではばらくは C を単位とする。ただしこれを CO<sub>2</sub> 換算すると 12Gt で、図 4 及び 5 よりも小さい—すなわちこの論文の BECCS の量は控えめという点に留意が必要）。これだけの炭素を吸収するのに必要な植物の生育にどのくらい土地が必要か。もちろん材料の種類にもよるが、エネルギーに適した成長の早い柳やポプラなどは 1 ヘクタールあたり年間 4.7-8.6t の炭素を吸収する。これを基に計算すると 3.3GtC の炭素吸収に必要な土地面積は 2100 年に 3.8~7 億 ha となる。次に AR/RF であるが、同じく 2°C 目標を前提にすると、吸収量は 2100 年に中央値が 1.1GtC（最大で 3.3GtC）となり、こちらは ha あたりの吸収量を中央値の 3.4tC とすると、1.1-3.3GtC を吸収するのに必要な土地面積は 3.2~9.7 億 ha となる<sup>24</sup>。ここで論文は 2000 年の世界の農地は約 49.6 億 ha、うち耕作（および耕作可能）地は約 15.2ha（約 3 割）なので、2°C 目標達成に必要な BECCS の面積<sup>25</sup>（3.8-7 億 ha）は農地の 7-14%<sup>26</sup>、耕作（可能）地の 25-46%、AR/RF では農地の 6-20%、耕作（可能）地の 21-64%で、これは耕作

<sup>22</sup> Smith et al.によれば 2°C を 66% の確率で達成する IPCC データベースのシナリオ 116 のうち 101 のシナリオが BECCS 等の negative emissions technologies を含んでいる。

<sup>23</sup> NE の手法としては BECCS、AR/RF の他に CO<sub>2</sub> を化学的手法で補足して地中に貯留する DAC (Direct Air Capture) や CO<sub>2</sub> を化学反応で岩石に結合させる鉱石化 (Mineral Carbonization) 等がある。大気中に SO<sub>2</sub> を散布して太陽光を一部遮断することで気温上昇を抑える SRM (Solar Radiation Management) という手法もあるが、これは吸収手法ではないのでここでは触れない。

<sup>24</sup> 参考までにインドの面積は 3.3 億 ha、アメリカ或いは中国の面積は 10 億 ha 弱である。

<sup>25</sup> 念のためであるが、BECCS だけで 2°C 目標を達成するという話ではなく、他のあらゆる技術を用いて削減を行い、それでも不足の場合に BECCS により 2°C 目標を達成するという意味である。

<sup>26</sup> 論文では 7-25% になっているがこれでは計算が合わない。単純ミスと想う。

放棄地や限界的な土地の面積の 2-4 倍で、無制限に BECCS や AR を利用することは食糧生産や種の多様性に悪影響を与えるので自ずから限界があるとしている。もし図 4 や 5 のように BECCS が更に大きければ状況は更に厳しくなる<sup>27</sup>。

Smith et al. (2015) ではこれ以外に必要とする水の量やエネルギーなど合計 6 つの要素を検討し、結論として NETs 無しに 2°C 目標を達成する可能性はますます低くなりつつあるが、NETs には 6 つの要素以外に住民の受容可能性など各種の制約があり、NETs 大量導入以前にこうした諸点を十分詰めておく必要性を強調すると共に、現状では NETs は実用化していないので、まずは GHG 排出削減に努めるべきだと結んでいる。

たまたま筆者は 2017 年 10 月に欧州の専門家と面談を重ねたが、このうち数人から BECCS と AR/RF に頼る 2°C 目標シナリオに欧州でも疑問の声が上がっているとの話を聞いた。その代案として DAC を挙げる人が複数いたが、これはそもそも大気中の CO<sub>2</sub> 分子が 400ppm（百万分の 4 百）しかないので、これを大気中から補足するには大変な非効率性を伴い、Smith et al. (2015) も指摘しているとおりにコストが極めて高いと考えるのが自然である。NEs についてあと 3 点文献を挙げておく。

マンチェスター大学の Anderson とオスロの研究機関 CICERO の Peters による論文 (Anderson and Peters 2016) によれば、モデル上 NEs の最大のものは BECCS であるが、大規模な実証プラントは世界で一つしかない<sup>28</sup>上に、バイオ燃料栽培の膨大な土地面積や食糧・種の多様性との相反関係等からこれに頼ることは一種の賭けなのでこれを前提とはしない政策を考えるべきとしている。

イギリスの University of East Anglia 大学の研究者による文献 (Williamson 2016) では、IPCC 第 5 次報告書で 2°C 目標が MNEs、就中 BECCS を前提にしつつ、そのエコシステムと種の多様性への影響をほとんど論じていない点を批判し（この点は筆者も同意見である）、今後は IPCC に限らず政府や各種研究機関はこの点に関する国際共同研究を行うべきと提言している。その上で、2°C 達成には今世紀中の累計で 600GtCO<sub>2</sub> の NEs が必要で、もし BECCS で対処しようとするならばそのために 4.3-5.8 億 ha の土地が必要で、これは世界の耕地面積の 1/3、換言するとアメリカの半分の土地を必要とする<sup>29</sup>。農業生産性によ

<sup>27</sup> 実はこれ以外に CCS の場所が確保できるかどうかとの問題がある。例えば 3.3GtC（約 12GtCO<sub>2</sub>）の CO<sub>2</sub> を貯留するには 1 カ所あたり年間 100 万トンとして 12000 カ所必要であるが、これが可能かという問題である。

<sup>28</sup> ここには明記がないがこれは具体的にはイリノイ州のエタノールプラントのことと思う (Kemper 2015) 参照

<sup>29</sup> 上に挙げた Smith et al. 2015 では 3.8~7 億 ha の土地が必要とありこれはアメリカの面積の 40-70% なのでほぼ整合的

ほどの改善がない限り食糧との競合が顕在化すると共に、種の多様性にも悪影響を与える。ここで目新しい点は、悪影響の程度は気温上昇が 2.8°C に達したと同じくらいのインパクトがあるとしている点、及び BECCS を実施するには少なくとも初期には土地の整地、掘り返し、農薬使用の増加によってむしろ排出が増える点を勘案すると 2°C と整合的なシナリオでは 2100 年までに BECCS では累計 391Gt（悲観的なケースでは 135Gt）しか吸収できないとしている点である。

次の文献（Newbold et al. 2015）は珍しく生態系の研究者 40 名強連名の論文で、2°C 整合シナリオ（RCP2.6）から 4°C を超えるシナリオ（RCP8.5）の 4 種のシナリオに関して種の多様性への影響を中心に評価したもので、結論として 2°C 整合シナリオは 2 番目に悪影響があるものとしている。但しここには気候変動による悪影響は含まれていないので、本来はこれを総合的に評価すべきことは指摘されている。

ここで取り上げた論文は数多い論文の一部であり、必要とする土地面積は生産性によっても大きく異なるので確定的な結論を出すのは早計である。また、モデルの専門家は GPS（全地球測位システム）による衛星写真によって土地利用の状況を調査の上でこれを削減コストに置き直してモデルを解くので、モデル上は BECCS は可能と言うことになる（但しどこまで BECCS を組み込むかは BECCS 限界削減費用によって決まる）。しかしモデル上での計算がそのまま適用されるとの保証はないし、モデラーもこの点は十分に承知をしていると思う。さらにモデルでは種の多様性への影響は考慮していない。逆に、筆者は寡聞にしてモデル計算以外で数百億トン単位での NEs を可能とする説得力のある文献は見えていない<sup>30</sup>。こうしたこと、それに種の多様性との Trade-off や住民の反対を含む社会経済的要因を加味すると、ほとんどの専門家は MNEs は実現困難と考えていると思うし、こうした状況の中でこれほど多量の BECCS を前提にして目標を組むのは上記の論文ではないが一種の賭けではないかと思う。

## 6-2 エネルギー需要大幅減の可能性

これまで検討してこなかったが 2°C が可能となる可能性を唯一残しているのが社会・経済活動の抜本的変革によるエネルギー需要の大幅減である。近年の

<sup>30</sup> Schellnhuber, Rahmstorf and Winkelmann (2016) は MNEs が無くとも 2°C 或いは 1.5°C 目標が可能としている。ここでは必要性（2°C 以上の気温上昇は避けねばならない）、単純さ（2°C は単純で分かりやすい）、それに実現可能性（2°C 達成のコストは moderate である）を挙げ、MNEs がなくても再エネ導入とエネルギー効率向上の技術で脱化石燃料産業構造が可能で、足りないのは政治的意志であるという内容であるが、その主張の根拠は示されておらず信頼性に欠けるものである。なお、NE については Fuss et al. (2016) がバランスのとれた記述をしているが、ここでは更なる R&D を主張しており、Larkin et al. (2017) は NETs を前提としたモデル研究は公平性や社会的制約を考慮しておらず、これを考慮すると 2°C 目標は不可能となるとしている。

AI（人工知能）や IoT（物のインターネット結合）の進化には著しいものがある。この進歩が我々の思考方式や価値観、さらには生活態度に影響を与え始めている。最もわかりやすい例が自動車の所有と便益の分離である。既に日本では大都市の若者の車離れが顕著で、特に都心のマンションではあちこちに駐車場の空きがあり、必要なときにレンタカーを借りるという生活様式が浸透しつつある。所謂シェアリング・エコノミー社会の出現である。近い将来車の自動運転が実用化されれば車を所有するメリットはほとんど無くなる<sup>31</sup>。これに伴い自家用車の絶対量が急減すれば運輸部門の CO2 排出も急減し、鉄の生産量も減少するというものである。このほか電気製品も所有ではなく、その機能を必要とする観点から現在想像しているものと異なる形態となることも言われている。確かにこれは考えられる変化で我々の思考のスピードを超えて社会が急激に変化することはあり得る。この結果はエネルギー需要の大幅減となる。ここで重要なことは人々の好みや生活様式の変化、あるいは経済性の追求の結果このような変化が起きるというもので、必ずしも温暖化対策の結果ではないという点である。こうした状況は勿論歓迎するところであるが、果たしてこれで途上国も含めて CO2 排出がどの程度減少するのかの予測は難しい。この結果が MNEs を不要にするほどの CO2 減少に結びつくかどうかは誰にも予測できない。とするとこうした見通しに立って 2°C 目標を堅持するという戦略はとれない。なお、2018 年 6 月にこの点に関する興味のある論文が発表されている (Grubler et al. 2018)。

上記から MNEs を前提とした 2100 年までの 2°C 目標達成は、不可能とは言えないにしてもきわめて困難と言わざるを得ない。ではどうするか。

### 6-3 2°C 目標の再考

この場合パリ協定延命の選択肢は大別して 2 つである。一つは 2°C 目標を掲げつつその実態を変更すること、もう一つは 2°C 目標を変更することである。この点を論じる前に実は 2°C 目標の中身は変遷を遂げている点について述べる。

#### 6-3-1 2°C 目標の変遷

そもそも 2°C 目標は 1996 年に EU が最初に提唱したものであるが、この根拠は UNFCCC 第 2 条（気候変動対策の究極目標）にある「危険でない水準での GHG 濃度安定化」から来ていることは周知の事実である。しかし濃度と気温上昇の関係（気候感度）には大きな不確実性があるので条約第 2 条の「濃度目標」が「気温上昇限度目標」に変質し、最終的にパリ協定で 2°C 目標が正式に合意され、これを 2100 年までに実現すべく今世紀後半に GHG の排出と吸

<sup>31</sup> 実際自家用車のアメリカでの年間稼働率は 5% という記事が 2017 年 4 月 8 日付けの The Economist にある (How not to create traffic jams, pollution and urban sprawl)。

収量をバランスさせる（net zero GHG emissions）ことが規定された。ではなぜ 2°Cなのか。EU の 2°C目標の根拠になったと見られるのは 1995 年のドイツ政府の「気候変動に関する諮問委員会（WBGU）」の報告書であるが、ここでは最後の間氷期以来人類が経験したことの無い気温にさらに 0.5°Cを上乗せし、これを超えることは生態系に顕著な影響が出るとしていた。これを工業化以降の気温上昇に換算するとおよそ 2°Cの上昇にあたるのでこれを超えないことを目標にしようと言うことである。筆者の知る限り IPCC では 2°Cが「危険」の閾値かどうかについては一度も言及したことはないが、マスメディアでは多くの科学者は 2°Cを超えると unsafe という点で一致しているとの表現をしているのが散見される（例えば 2017 年 12 月 16 日付け The Economist の記事）。仮にこれが正しければ 2°Cは絶対に超えてはならない水準である。しかしその後も世界の GHG 排出は増加を続け、例えば 2014 年の IPCC 第 5 次報告では 2°C 目標は「66%以上の確率で 2°Cを超えない目標」に変質した<sup>32</sup>。さらにこれを実現するシナリオの多くは 2100 年までに 2°C目標を一時的に超過(overshoot)するシナリオである。もし 2°Cを超えることが「危険」であればこうしたことはあってはならない筈である。これは 2°C目標の変質以外の何物でもない。

これに関してもう 1 点重要な問題がある。IPCC 第 5 次報告で初めて炭素予算(carbon budget)という概念が導入された。これは累積 CO<sub>2</sub> (GHG ではない点に注意) の排出と気温上昇がほぼ比例するとの知見である。これに基づいて 66%以上の確率で 2°C以内に留まるには(1861-1880 年以降の)累計 CO<sub>2</sub> 排出量が 2900 GtCO<sub>2</sub> 以下に留まる必要があるが、2011 年までに既に 1900 GtCO<sub>2</sub> を排出済みであるので残りの炭素予算は 1000 GtCO<sub>2</sub> しかないことが明らかにされた(IPCC/AR5/Synthesis 10 頁)<sup>33</sup>。2010 年の CO<sub>2</sub> 排出量は 37 GtCO<sub>2</sub> なのでこのままだと残りが 27 年しかもたないとの衝撃的な数字である。しかしこの年数は NE を想定しておらず、図 4 (26 頁) の通り大量の NE を実施すればするほど gross の CO<sub>2</sub> 排出は増加する。つまり NE は 2°C目標の延命に使われているのである。以上の通り同じ 2°C目標でも最初のそれと現在のその内容は別物といって良いくらいの変遷を遂げているのである。

### 6-3-2 内容を変えた 2°C目標

ドイツの Oliver Geden はその論文(Geden 2013)で表面上 2°C目標を維持しながら実質的にそれを薄める方法として、確率を変えること(例えば 2°C以下に留まる確率を 66%以上から 50%以上に引き下げること、実際 1.5°C目標に

<sup>32</sup> AR4 (IPCC 第 4 次報告書) での 2°Cという場合、気候感度を best estimate (Median) の 3°Cとしているので厳密に言えばこれはほぼ 50%の達成確率であるが、当時こうした達成確率という概念はごく一部の専門家以外にはなく、IPCC 報告書にもそうした記載がないので、一般には 100%の達成確率と受け取られていたというのが筆者の理解である。

<sup>33</sup> 厳密に言えば気候感度次第でこの数値は大きく変わるがここではこうした詳細は問わない。

については 66%以上とすることは不可能に近いので多くの計算が 50%以上でなされている)、BECCS 等で MNEs を想定すること（これで炭素予算を増やす。見かけ上 2°Cを維持するためなので実現可能性については見て見ぬふりをする）、overshoot scenario を認めること（目標年である 2100 年以前に一時的に気温が 2°Cを超えることを容認すること、これにより炭素予算が増える）を挙げている。このうち MNEs の実現可能性が極めて低いことは既述の通りであるが、最後の overshoot についてはどの程度まで気温の overshoot を許容するのか、また、どの程度の期間これを許容するのかに関して歯止めが無くなるとの意識から別の論文（Geden and Loschel 2017）で overshoot の気温と期間について加盟国で合意が必要であると述べている。この歯止めが無くなれば 2°C目標は全く意味を失うと共に、そもそも 2°C目標とは一体何だったのかという問題が生じるからである。

### 6-3-3 2°C目標の変更

次は 2°C目標自体の変更である。Geden (2013) はこれを 2 つに分けている。第 1 は文字通り 2°Cの代わりに例えば 3°Cとする考え方である。既述の通りプレッジが履行されても 2100 年の気温上昇は 3.0 を超えることが見込まれる。こうしたことを考えると例えば 3°Cに引き上げるというのが実現可能性からは妥当のように思われるが、これに伴う気候損害の増加と 2°C以内にとどめるコストとの比較もあるのでこの妥当性は本稿では問わない。要は 2°C以外の何らかの目標に差し替えると言うことである。Geden はこれには政治的抵抗が大きくなり一体 2°C目標は何だったのかとの批判を浴びるので、目先を変えて濃度（例えば 550ppmCO<sub>2</sub>e）を目標とする手もあるとしている。IPCC 第 5 次報告統合報告書 Table SPM.1 によると、この場合 3°C以下にとどまる確率が 66%以上となる。

### 6-3-4 2°C目標の放棄

もう一つは気温安定化目標の放棄である。しかしこの場合にはこれに変わる目標が必要として、例えば気候中立（net zero emission）或いは炭素予算があり得るとしているが、後者は気候感度によって変わるので不適當としている。

別の方策として 2°Cを表面上掲げつつこれを有名無実化する方法である。Geden (2013)は例として 1970 年の先進国から途上国への ODA の GDP 比を 0.7%以上とする合意を挙げている。現在主要先進国でこれを満たしている国は無い。つまり Target はあるがこれが形骸化し、誰も本気で遵守を目指さない目標ということである。2°C目標見直しを正面から論じた数少ない識者の考えは上記の通りである。

## 6-4 長期 net ゼロ CO<sub>2</sub> エミッションに向けて（提案）



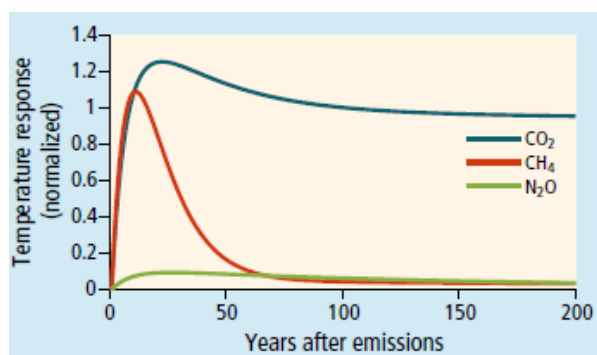
パリ協定の2°C目標はMNEsの見通しが見つからない中で実現可能性が限りなくゼロに近いものであるが、かといって協定は2016年に発効したばかりであり、現時点で2°C目標の変更或いは中身を変える提案をしてもこれは現実味を持たないと思う。今後の排出量の推移を注視すると共に、特に2021年4月～2022年4月の間に出版予定のIPCC第6次報告書（3つの作業グループ及び統合報告書）がこの点をどのように記述するかに注目したい<sup>34</sup>。

#### 6-4-1 新たな目標—「MNEsなしの長期 net ゼロ CO2 エミッション」

これまでの議論から明らかなおりと、気候変動問題は特にパリ協定以後2°Cを中心とした気温上昇限度目標（気温目標）を軸として進んできた。しかしこれには大きな弱点がある。これは国をはじめ企業や個人などの排出主体の行動基準とはならないのである。先ず国であるが、2°C目標達成に向けてトップダウンでGlobalな排出量を定め、これを加盟国に割り振ることは可能だろうか。これが出来ないから各国の目標（プレッジ）は法的拘束力のないものとなっているのが現状である。百歩譲って国別割り当てが出来たととしても問題がある。第1は世界のエネルギー起源CO2排出量の4%程度を占める国際航空・海運からのCO2排出は対象とはならない。第2として地球規模でMNEsに依存して目標を達成しようという場合、これを国別にどのように割り当てるかについては何の基準もない上、バイオエネルギーの分布は地域によって大きく偏りがあることである。従ってこの点を考慮したnetでの国の目標に合意するのは正に至難の業である。この場合産業や農業など各セクターにとってもそれぞれの行動目標を決める基準が無くなる。

他方、既述の通りIPCC第5次報告書で累計CO2排出量と気温上昇がほぼ直線の関係にある点が指摘されている。この理由はCO2の大気中滞留時間の極端な長さであり、その結果としてCO2の温室効果は長期に持続する（図6）。

（図6）GHG 排出後の気温への影響の度合い



出典：IPCC 第5次報告書統合報告書 88 頁

<sup>34</sup> 実はIPCC第6次報告書のもう一つの注目点は現在気候モデル派と観察データ派の間に大きな隔たりのある気候感度の扱いである。この結果によっては2°C目標への排出経路に大きな差が生じる。

上記から CO<sub>2</sub> を追加的に 1 トン排出すれば、それに対応する分だけ気温が上昇する。つまり、気温安定化にはその水準に拘わらず最終的には CO<sub>2</sub> 排出量をゼロにする必要が広く認識されている (Rogelj et al. 2015a)。筆者の基本的問題意識は気温上昇は極力抑えるべきだということである。2100 年までに 2°C で安定化するのは無理としても気温が長期的に無制限に上昇を続けることは避けねばならない。そのための手段が CO<sub>2</sub> ゼロエミッションなのである。筆者の提案は MNEs に頼らずに長期にこれを実現することである。

パリ協定には 2°C（及び 1.5°C）と並んで 2100 年までに GHG の排出と吸収をバランスさせる目標が併記されている。つまりパリ協定も GHG net ゼロを目指しているのである。この意味で CO<sub>2</sub> ゼロエミッション目標はパリ協定と整合的であるが、パリ協定と異なり我々の提案には気温上昇限度（2°C/1.5°C）とタイムリミット（2100 年まで）がない。大量の negative emissions が無い限りこの実現可能性が限りなく低いからである。もう 1 点、パリ協定ではネット GHG ゼロ排出を目指しているが当方提案は CO<sub>2</sub> のゼロ排出を目指す点である。CO<sub>2</sub> 以外の GHG の滞留期間は短く（例えば CO<sub>2</sub> に次いで寄与度の高いメタン CH<sub>4</sub> の滞留時間は 12 年間である）大まかにいってその排出量が一定で推移すれば気温上昇への寄与はない（正確には寄与は極めて少ない）からである。勿論 CO<sub>2</sub> 以外の GHG の排出が毎年減れば気温は下がるが少なくとも排出量が増えない限り気温は上昇しないのである。こうしたことから目標としてはその他 GHG は一応除外して考えて良い。

#### 6-4-2 Net zero CO<sub>2</sub> 排出実現とその技術

これまでのほとんどの文献では CO<sub>2</sub> 排出削減技術というと再エネ、省エネ、発電部門での石炭からガスへの燃料転換、自動車の電動化、それに精々 CCS（CO<sub>2</sub> 捕捉・貯留）程度で、これ以外は BECCS、AR/RF といった NE 技術に大きく依拠する絵を描いている。しかし 26 頁の図 4、図 5 から分かるとおり 2100 年には 6-10Gt 強の CO<sub>2</sub> 排出が残る。筆者の提案は MNEs 無しでの CO<sub>2</sub> ゼロ排出なので残りの CO<sub>2</sub> を極力ゼロまで減らさねばならない。しかしすぐ後の議論から明らかなおりに Global な CO<sub>2</sub> 排出を完全にゼロとすることは技術的にきわめて困難且つあまりにもコスト高となる可能性がある。どうしても除去できない少量の CO<sub>2</sub> については BECCS 等 NE 技術に頼らざるを得ない。

この意味で筆者の提案は厳密には「MNEs に頼らない長期 NET zero CO<sub>2</sub> 排出」の実現である。なお、世界の CO<sub>2</sub> 排出の約 85% はエネルギー起源 CO<sub>2</sub> である (IPCC 2014) ので以下これに絞って論を進める。これを業種に分けると発電 40%、運輸 25%、産業 20% 程度とこれだけで約 85% を占める<sup>35</sup> ので、この順に

<sup>35</sup> IEA, World Energy Outlook 2016 の 327 頁のグラフ（2014 年実績）から推定

検討する。以下は技術に焦点を当てているが、当然ながらコストの分析も並行して進める必要がある。

発電部門は単に CO2 排出量が大いのみではなく、今後他のセクターでの電化の進展で電力需要の高い増加率が見込まれるという意味でも重要な部門である。ここでのゼロエミッション技術は再エネ、原子力、CCS 付き化石燃料であるがこのうち特に重要なのは太陽光と風力である。しかしこの両技術に共通する問題点として間欠性（intermittency）と無慣性（inertia-less）がある。前者については電力システム安定化のために大量のバッテリーを用意することが必須となるが、現時点では余りにコストが高い<sup>36</sup>。後者はやや専門的であるが、他の発電技術と異なり慣性がない。こうした電力が間欠的に大量に系統に流れ込むと最悪の場合停電となる（2016 年にオーストラリアで実際の例がある）。こうしたことを考慮すると太陽光と風力の合計発電量が一定割合を超えることは危険である。どこまでこうした再エネを増やせるかの定説はない。今後の研究課題である。因みに IEA の Energy Technology Perspectives (2017) の 2°Cシナリオでは 2060 年に太陽光、太陽熱、風力合計の割合が約 5 割となっている。この点からも原子力を考慮しても化石燃料と組み合わせた CCS は必須の技術である。

次に運輸部門はどうか。乗用車及び小型トラックについては既に電気自動車への流れが明確化している<sup>37</sup>。この場合であっても使用する電力は発電段階で CO2 free にする必要があり、この意味で上述の電力セクターのゼロエミッションが必須なのである。問題は大型トラック、それに国際航空・海運である。ここには CCS は適用不能である。また、乗用車のような電化も困難である。筆者の属する研究機関の専門家によればオイルタンカーの運航に必要なバッテリーの重量はタンカーとほぼ同じとのことである。とするとこれはバイオ燃料に切り替える必要がある。この場合の問題はコスト(特に海運の場合)と需給のアンバランスである。後者については直接の統計は見あたらないが、BP 統計<sup>38</sup>による 2016 年のバイオ燃料供給量は約 85Mtoe、これに対して需要は IPCC(2014)609 頁の運輸部門での 2009 年のトラック・海空運のエネルギー消

<sup>36</sup> Covert et al. 2016 では当時のバッテリーコストは\$325/kWh とあるが専門家によるとこれを \$100/kWh 以下にする必要があるとのこと。なお、アメリカエネルギー省の資料では目標は\$125/kWh とある (Department of Energy 2014)。この他 California Air Research Board (2016)では色々な種類のバッテリー価格の異なる研究機関による見通しをグラフにしているが、このうち最も安いものは 2030 年に \$218/kWh となっている(15 頁)。

<sup>37</sup> しかし Covert et al. (2016)によればバッテリー価格が\$325/kWh だと石油価格がバーレルあたり\$350、バッテリー価格が\$125 に下がっても石油価格が\$115 以上にならないと電気自動車は競争力がない。炭素税を入れるとしてもそう簡単には乗用車燃料がガソリンから電気には変わらないとしている。

<sup>38</sup>

<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy/biofuels-production.html>

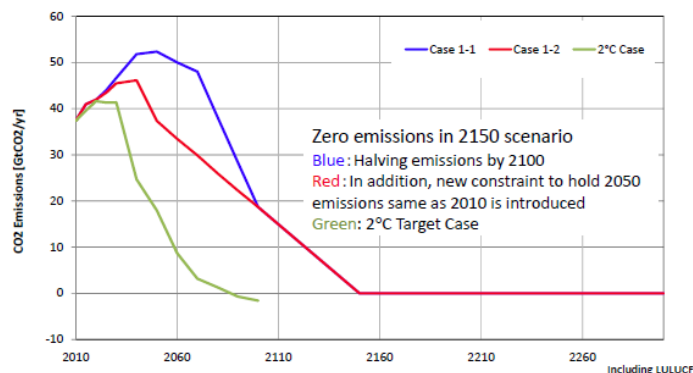
費量（42EJ）を重量換算した数値としこれと比べると、需要は供給の 10 倍以上で、この場合運輸部門のゼロエミッション実現には現状の 10 倍以上のバイオ燃料が必要で、BECCS 同様食糧生産や種の多様性との Trade-off の点から実現には相当の困難が予想される。

産業部門はどうか。例えば鉄鋼では高炉を使う限り CO<sub>2</sub> 排出は必至であるが、果たして技術革新でこうした分野からの排出をゼロに出来るのか（例えば鉄鋼については CO<sub>2</sub> フリーの電気を使った水素による直接還元や鉄鉱石の電気分解などの技術的・経済的可能性）、セメント、化学ではどうかなど研究課題が多々あり、現在筆者の研究機関で鋭意検討を始めているところである。しかし技術によってこうした分野からの CO<sub>2</sub> 排出を完全にゼロに抑えることは困難で、CO<sub>2</sub> ゼロ排出目標の達成には世界レベルである程度（大量ではない）までは BECCS による相殺を考慮せねばならないのではないかとというのが現時点での見通しである。これは果たしてどの程度か、この点も今後の研究課題である。

## 7 気温上昇はどこまで許容可能か

CO<sub>2</sub> ゼロ排出目標にも弱みがある。例えば上記の努力の結果 2100 年までに CO<sub>2</sub> 排出を相当小さくすることが出来、残った少量を BECCS で相殺することが出来れば良いが、そこまで削減が進まないか、BECCS の量が期待したほどではない場合、気温は 2°C を超えて上昇を続ける。この場合どこまでこれを許容できるかが次なる問題である。本稿ではここまで詰めることは出来ないが、考え方としては 2°C を超過することによる気候損害の増加と、気温上昇をあるレベルで抑えるための追加コスト及び種の多様性の損失等とのバランスの問題で、この完全な数値化は出来ない以上この点は価値判断の問題となる。ここではこの点を別の観点から考察する。仮に 2100 年に CO<sub>2</sub> ゼロエミッションは達成できなくても 2150 年にこれを達成できた場合気温はどの程度上昇するかである。図 7 を参照願う。

(図 7) 2150 年 CO<sub>2</sub> ゼロエミッションの排出経路

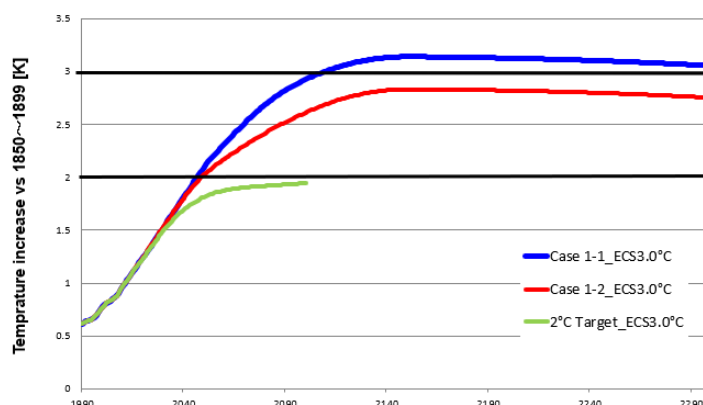


出典：RITE DNE21+にて作成 2150年ゼロエミッションの排出経路

この図は RITE DNE21+モデルを用いて 2100 年 2°C安定化（緑）と 2150 年ゼロエミッションの 2 つの排出経路を描いたものである。後者については青の線（Case 1-1）が 2100 年に 2010 年比半減を経て 2150 年にゼロエミ達成、赤の線（Case 1-2）は 2050 年に 2010 年水準、2100 年に 2010 年比半減を経て 2150 年にゼロエミ達成の排出経路である。即ち赤の方が青よりも制約条件が厳しくなっている。ここには示していないがこの場合 2150 年の CO<sub>2</sub> 以外の GHG 排出量は 10GtCO<sub>2</sub>e となる。

この場合の気温上昇を示したのが図 8 である。

（図 8）2150 年 CO<sub>2</sub> ゼロエミッション達成の場合の気温上昇



出典：RITE DNE21+にて作成、気候感度 3°C の場合（青、赤、緑の意味は図 7 に同じ）

図 8 の通り気温は 2140 年頃ピークとなりその後緩慢に下落する。図は気候感度 3°C の場合で Case 1-1 では 3°C を超えるが Case 1-2 では 3°C 以下にとどまる。図には示していないが気候感度が 2.5°C の場合には前者では最高でも 2.6°C、後者は同 2.3°C である。

各ケースについての 2100 年時点での一次エネルギー構成、電源構成、セクター別 CO<sub>2</sub> 排出量等の詳細、それに 2100 年に向けての限界削減費用も計算してあるがここではこの点には深入りせず、これまでの **negative emissions** の検討との関連で CCS 及びそのうちの BECCS について付言する。2150 年ゼロ排出の場合、CCS/BECCS について緩い制約を付して RITE モデルにより最小費用原則で計算すると、ケース 1-1（およびケース 1-2）の 2100 年の CCS は 22Gt（27Gt）、うち BECCS は 8Gt（13Gt）であるが、排出量を変えずに CCS への制約条件を強めた場合<sup>39</sup>にはケース 1-1（及びケース 1-2）では CCS が 14Gt

<sup>39</sup> この場合の制約は条件は、ケース 1-1 では 2040 年まで CCS なし、2040-2050 年は毎年 CCS ポテンシャルの 0.0025% ずつ増加、2050-2100 年は年 0.01% の増加、ケース 1-2 では 2030 年まで CCS なし、2030-2050 年は毎年 CCS ポテンシャルの 0.0025% の増加、2050-2100 年は年 0.01% の増加である（緩い

(14Gt)、うち BECCS が 6Gt (8Gt) となる。

ここでこれまでの議論 (negative emissions の限界) との関係で注意が必要なことは、これだけの CCS 制約条件を設けても 2150 年の CO<sub>2</sub> ゼロエミには 2100 年に 6-8Gt、累計では 113-180Gt の BECCS が必要という点である。仮に種の多様性等別の観点からこれ自体も困難となれば更に BECCS への制約を強化せねばならず、モデル上はこれは限界削減費用の上方修正となる。仮に 2100 年 2°C 目標が大量の BECCS に頼ると言うことから不可能という点、そして 2150 年 CO<sub>2</sub> ゼロ排出ケースが 2°C を超える点を承知で受け入れられる状況が出現した場合であっても、引き続き 6-8Gt の BECCS が可能かどうか、もしそうでない場合には削減コストが更に跳ね上がる点に合意が成立するかという問題が未解決で残ることとなる。

本稿ではパリ協定のボトムアップの趣旨を生かしつつ 2°C 目標に代替する目標として CO<sub>2</sub> ゼロエミッションを提案し、そのひとつの例として 2150 年 CO<sub>2</sub> ゼロエミを例にその feasibility を検討した。それと並んで発電、運輸、産業など主要分野での CO<sub>2</sub> ゼロに向けての技術革新の研究の必要性も強調しておく。これまでのところ多くの研究が技術というと安易に negative emissions technology に逃げ込み、真つ当な意味での技術革新の議論が少なかったからである。

本稿を終えるにあたり一言述べておきたい。それは Risk/Risk Trade-off の問題である。気温上昇は勿論 Risk の増大を伴う。他方気温安定化に向けた急激な排出削減は持続的経済成長への Risk となり、このことは国連持続的発展目標 (貧困、病気の克服等) の達成への Risk となる。あるいは気温上昇抑制のための SRM (太陽放射管理) などの地球工学的については気候変動の Risk は減少可能であるが、別の Unknown risk を伴う。つまり気候変動の Risk を緩和することは別の Risk を伴うのである。これを筆者は Risk/Risk Trade-off と呼んでいる。気候変動対策と種の多様性問題もこの一種である。従来気候変動問題は気温上昇をある限度以内に抑えることのみを究極の目的にしてきた感があるが、これでは問題は解決しない。今後はリスクの間の Trade-off の観点から問題に対処することが必要で、このため今後こうした観点からの一層の研究の必要性を強調して締め言葉としたい。

---

制約とは 2020 年まで CCS なし、2020-2030 年は毎年 CCS ポテンシャルの 0.02% 増加、2030-2100 年は年 0.04% ずつ増加である)。全てのケースについて CCS と BECCS の内訳は最小費用で解いた結果である。

## 参考文献

- Akimoto, K., Sano, F. and Tehrani, B.S. (2016), “The analyses on the economic costs for achieving the nationally determined contributions and the expected global emission pathways”, *Evolutional Institute Economic Review*, Published online 12 August 2016
- Aldy J., Pizer, W., and Akimoto, K. (2017), “Comparing emissions mitigation efforts across countries”, *Climate Policy*, **17** 501-515
- Aldy et al. (2016), “Economic tools to promote transparency and comparability in the Paris Agreement”, *Nature Climate Change* **6** 1000-1004
- Aldy, J. and Pizer, W. (2016), “Alternative Metrics for Comparing Domestic Climate Change Mitigation Efforts and the Emerging International Climate Policy Architecture”, *Review of Environmental Economics and Policy*, **10** 3-24
- Anderson, K., and Peters, G. (2016), “The trouble with negative emissions, Reliance on negative-emission concepts locks in humankind’s carbon addiction”, *Science* **354** 182-183
- California Air Research Board (2016), “Advanced Clean Transit Battery Cost for Heavy-Duty Electric Vehcles (Discussion Draft)”, August 22, 2016
- CAT (2017), “Equitable emissions reductions under the Paris Agreement”, Climate Action Tracker, 19 September, 2017
- CCC (2017), “Meeting Carbon Budgets: Closing the policy gap 2017, Report to Parliament”, Committee on Climate Change, 29 June 2017
- Covert, T., Greenstone, M. and Knittel, C.R.(2016), “Will we ever stop using fossil fuels? *Journal of Ecoomic Perspectives* **30** 117-138
- du Pond et al. (2017), “Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals”, *Nature Climate Change* **7** 38-43
- Edenhofer, O., and Kowarsch, M. (2015), “Cartography of pathways: A new model for environmental policy assessments”, *Environmental Science & Policy* **51** 56-64
- Fuss et al. (2016), “Research priorities for negative emissions”, *Environmental Research Letters*, **11** 11
- Geden, O., and Loschel, A. (2017), “Define limits for temperature overshoot targets”, *Nature Geoscience* **10** 881-882
- Geden, O. (2016), “The Paris Agreement and the inherent inconsistency of



- climate policymaking”, *WIRE’s Climate Change*, 2016, 790-797, doi: 10.1002/wcc.427
- Geden, O. (2015), “Climate advisers must maintain integrity”, *Nature* **521** 27-28
- Geden, O. (2013), “Modifying the 2°C Target”, SWP Research Paper, German Institute for International and Security Affairs, June 2013
- Greenblatt, J.B., and Wei, M. (2016), “Assessment of the climate commitments and additional mitigation policies of the United States”, *Nature Climate Change* **6** 1090-1093
- Grubler et al. (2018), “A low energy demand scenario for meeting the 1.5°C target and sustainable development goals without negative emission technologies”, *Nature Energy* **3** 515-526
- Hohne, N., den Elsen, M., and Escalante, D. (2014), “Regional GHG reduction targets based on effort sharing: a comparison of studies”, *Climate Policy* **14**, 122-147
- Hof et al. (2017), “Global and regional abatement costs of Nationally Determined Contributions (NDCs) and of enhanced action to levels well below 2 °C and 1.5 °C”, *Environmental Science & Policy* **71** 30-40
- IPCC (2014), “Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change, Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC” November 2014
- Kemper, J. (2015), “Biomass and carbon dioxide capture and storage: A review”, *International Journal of Greenhouse Gas Control* **40** 401-430
- Larkin et al. (2017), “What if negative emission technologies fail at scale? Implications of the Paris Agreement for big emitting nations”, *Climate Policy* doi.org/10.1080/14693062.2017.1346498
- Nemet et al. (2016), “Addressing policy credibility problems for low-carbon investment”, *Global Environmental Change* **42** 47-57,
- Newbold et al. (2015), “Global effects of land use on local terrestrial biodiversity” *Nature* **520** 45-50
- Pauw et al. (2017), “Beyond headline mitigation numbers: we need more transparent and comparable NDCs to achieve the Paris”, *Climatic Change* doi: 10.1007/s10584-017-2122-x
- Peters, G.P. and Geden, O. (2017), “Catalysing a political shift from low to negative carbon”, *Nature Climate Change* **7** 619-621



- Rogelj et al. (2017), “Understanding the origin of Paris Agreement emission uncertainties”, *Nature Communications* **8** 15748
- Rogelj et al. (2016), “Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C”, *Nature* **534** 631-639
- Rogelj et al. (2015a), “Zero emission targets as long-term global goals for climate protection”, *Environmental Research Letters* **10** 105007
- Rogelj et al. (2015b), “Energy system transformation for limiting end-of-century warming to below 1.5°C”, *Nature Climate Change* **5** 519-527
- Schellnhuber, H.J., Rahmstorf, S., and Winkelmann, R. (2016), “Why the right climate target was agreed in Paris”, *Nature Climate Change* **6** 649-653
- Smith et al. (2015), “Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions”, *Nature Climate Change* **6** 42-50
- UK Government (2017), “The Clean Growth Strategy, Leading the way to a low carbon future”, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 12 October 2017
- UNEP (2017), “The Emissions Gap Report 2017, A UN Environment Synthesis Report”, November 2017
- UNFCCC (2015), “Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions, Note by the secretariat”, 30 October 2015
- US DoE (2014), “EV everywhere, grand challenge – road to success”
- Victor et al. (2017), “Prove Paris was more than paper promises”, *Nature* **548** 25-27
- Williamson, P. (2016), “Scrutinize CO2 removal methods”, *Nature* **530** 153-155
- Winkler, H., Mantlana, B., and Letete, T. (2017), “Transparency of action and support in the Paris Agreement”, *Climate Policy* **17** 853-872