

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
環境システム学専攻

平成 27 年度

修士論文

主要国による気候変動対策努力の定量的評価

2016 年 2 月 25 日提出

指導教員 田崎智宏教授  
松橋啓介准教授  
中島謙一准教授

高井 悦二郎

## 目次

1. 序論
  - 1.1 研究の背景
    - 1.1.1 気候変動問題の現状
    - 1.1.2 国際的な対策の経緯
    - 1.1.3 各国の対策努力の評価の現状と必要性
  - 1.2 研究の目的と構成
2. 既存研究等における公平性概念の整理
  - 2.1 IPCC 第五次評価報告書において考慮された公平性概念
  - 2.2 その他の公平性
  - 2.3 本章のまとめ
3. 方法
  - 3.1 対象国の選定
  - 3.2 各国の GHG 排出削減による貢献度の算出
    - 3.2.1 貢献度の式
    - 3.2.2 用いたデータ
  - 3.3 各国の資金拠出による貢献度の算出
    - 3.3.1 貢献度の式
    - 3.3.2 用いたデータ
  - 3.4 各国の公平性で基準化した貢献度の算出
    - 3.4.1 基準化の式
    - 3.4.2 用いたデータ
  - 3.5 各国の GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度の算出
  - 3.6 包絡分析法(DEA)による評価
    - 3.6.1 包絡分析法(DEA)とは何か
    - 3.6.2 DEA の貢献度評価への適用
    - 3.6.3 DEA の計算方法
    - 3.6.4 用いたデータ
4. 結果
  - 4.1 各国の GHG 排出削減による貢献度の比較
    - 4.1.1 米国の異なる年次におけるベースラインの排出量データの補正結果
    - 4.1.2 ベースラインの GHG 排出量と対策後の GHG 排出量の比較

- 4.1.3 ベースラインにおける GHG 排出量の違いの考察
- 4.1.4 GHG 排出削減による貢献度の比較
- 4.2 各国の資金拠出による貢献度の算出
  - 4.2.1 拠出総額の比較
  - 4.2.2 資金拠出による貢献度の比較
  - 4.2.3 資金の国・目的別の拠出額の算出
- 4.3 公平性で基準化した貢献度の国間の比較
  - 4.3.1 公平性で基準化した GHG 排出削減による貢献度の国間の比較
    - 4.3.1.1 「能力」で基準化した GHG 排出削減による貢献度の国間の比較
    - 4.3.1.2 「平等」で基準化した GHG 排出削減による貢献度の国間の比較
    - 4.3.1.3 「責任」で基準化した GHG 排出削減による貢献度の国間の比較
  - 4.3.2 公平性で基準化した資金拠出による貢献度の国間の比較
    - 4.3.2.1 「能力」で基準化した資金拠出による貢献度の国間の比較
    - 4.3.2.2 「平等」で基準化した資金拠出による貢献度の国間の比較
    - 4.3.2.3 「責任」で基準化した資金拠出による貢献度の国間の比較
- 4.4 GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度
  - 4.4.1 GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度の国間の比較
  - 4.4.2 均一な貢献度のために必要な追加資金
- 4.5 包絡分析法(DEA)による評価
  - 4.5.1 包絡分析法(DEA)による貢献度の算出結果
  - 4.5.2 DEA で算出されたデータのターゲット値と現状値の比較
- 4.6 資金拠出額と対策後の GHG 排出削減量の相関
  - 4.6.1 拠出額
  - 4.6.2 拠出額 GDP 比
  - 4.6.3 拠出額累積 GHG 排出量比
- 5. 結論と今後の課題

## 1. 序章

### 1.1 研究の背景

#### 1.1.1 気候変動問題の現状

近年、気候変動の問題がますます深刻になっている。原因は、各国の経済活動に起因する温室効果ガス(GHG, GreenHouse Gas)の排出と言われている。気候変動対策は特定の国のみが取り組んでも根本的解決にならないことから、国際社会が協調して効果的に対策を進めることが必要とされている。過去には温室効果ガスの排出量を様々な観点から各国に割り当てるような議論もされたが、国ごとの立場や状況によって違いが大きく、先進国と途上国の間で亀裂が埋められなかった。そこで、各国が気候変動対策に前向きに協調することが評価される仕組みが望まれている。また、近年の国際社会では資金提供による気候変動対策への貢献も重要視されており、資金提供は先進国と途上国間の協調を促すツールとして位置付けられてきたという経緯がある。

1.1.2 項では、このような気候変動対策の経緯を確認し、1.1.3 項では、気候変動対策の各国の努力・貢献を評価する現状を整理する。そのうえで、本研究の目的を 1.2 節で述べる。

#### 1.1.2 国際的な対策の経緯<sup>1)</sup>

気候変動問題は 1980 年代以降、国際社会において最も大きな課題の一つとして認識されるようになってきた。国際社会はこの深刻な問題に対し、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを目的として、1992 年に気候変動枠組条約を採択し、1994 年に同条約が発効された。この中では、「共通に有しているが差異のある責任及び各国の能力」という表現で先進国・途上国の扱いを区別している。具体的には、附属書 I 国は GHG 削減目標に言及のある先進国・経済移行国、非附属書 I 国は GHG 排出削減に言及のない途上国、附属書 II 国は非附属書 I 国による条約上の義務履行のため資金協力を行う義務のある国、つまり先進国という位置づけになっている。1995 年ベルリンで開催された第 1 回気候変動枠組条約締結国会議 (COP1) では、附属書 I 国の義務が強化されることが話し合われた (ベルリンマニフェスト)。1997 年には第 3 回気候変動枠組条約締結国会議 (COP3) で京都議定書が採択され、2012 年までの気候変動対策の国際枠組みが定められた。締約国数は 192 か国・機関で、同議定書は 2005 年 2 月に発効した。この中では、附属書 I 国に対し、GHG 排出量を 1990 年比で 2008~2012 年に一定割合を削減することを義務付けた。しかしながら、非附属書 I 国には削減義務が課されなかった。第一約束期間(2008~2012 年)には、日本 -6%、米国 -7%、EU -8%という目標が設定された。しかし、第一約束期間には米国が議定書に署名はしたものの締結せず、カナダは 2012 年に脱退し、中国などの途上国は削減目標が課されなかった。このように、京都議定書による枠組みには実効性に限界があることが指摘され、全ての国が参加する新しい枠組みの構築を求める気運が高まった。2009 年のコペンハーゲン合意(COP15)では、先進国・途上国の削減目標・行動をリスト化すること等に留意した。2010 年のカンクン合意(COP16)では、各国が提出した削減目標等を国連文

書に整理した。また 2010 年に日本は京都議定書の第二約束期間（2013~2020 年）に参加しないことを表明した。2011 年のダーバン合意(COP17)では、全ての国が削減義務を持つ新たな枠組みの構築に向けた作業部会が設置された。2013 年のワルシャワ決定(COP19)では約束草案の提出時期などが決められた。約束草案とは、2015 年合意に先立ち、各国内の政策決定プロセスで決定する気候変動対策に関する目標のことである。2014 年の気候変動のためのリマ声明(COP20)では約束草案を提出する際に示す情報、2015 年合意の交渉テキストの要素案などが決められた。この枠組みに含まれる 2020 年以降の温室効果ガス排出削減目標案（約束草案）が各国から提出された。このような経緯を経て、2015 年 12 月には COP21 で全ての国が参加する国際枠組みであるパリ協定が採択された。パリ協定では、世界共通の長期目標として 2°C 目標を設定、1.5°C に抑える努力を追求することに言及している。京都議定書においては、国ごとに削減目標を決めるという方式がとられ、日本や米国などの不満の要因になった。その反省を踏まえ、パリ協定の採択にあたっては、交渉の決裂や機能不全を避けるため、各国がそれぞれ自国の目標を提出し、それを 5 年ごとに更新・提出するというプレッジアンドレビュー方式が導入された。このように、気候変動対策のアプローチは、図 1.1 に示すように削減量を割り当てるアプローチから変化してきている。

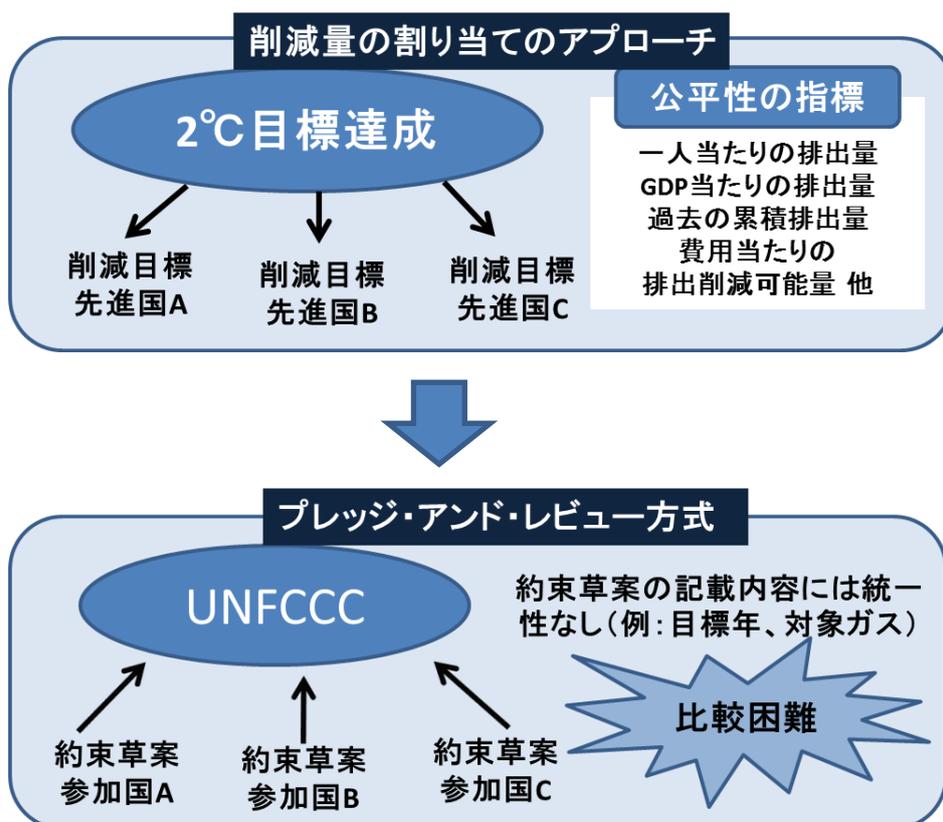


図 1.1 気候変動対策のアプローチの変化

### 1.1.3 各国の対策努力の評価の現状と必要性

先進国全体で排出できる総量を先に決め、国ごとの排出量を配分する形で検討が進むときには、公平な配分が問題となる。そのため、国ごとの排出削減努力を比較するための公平性の指標の研究が進んだ。このような先行研究としては、例えば、Höhne et al.<sup>2)</sup>は一人当たりの排出量、GDP 当たりの排出量、過去の累積排出量、費用当たりの排出削減可能量などを指標として挙げている。しかし、約束草案では、各自ができることと決めたことを持ち寄るアプローチが取られており、対象年や対象ガス、目標設定方法が異なるため、従来のような公平性の指標に基づく比較が困難となっている。むしろ、より広く気候安定化に向けた国際社会への貢献の大きさという観点から、国の約束草案を比較するための新たな視点が求められている。

国ごとの排出削減努力を比較するための評価を行う代表的な研究プロジェクトとして Climate Action Tracker<sup>3)</sup>がある。これはドイツの研究機関や NPO(Climate Analytics, Ecofys, NewClimate Institute, Potsdam Institute for Climate Impact Research)が共同して 2009 年に立ち上げた GHG 排出削減目標の評価のための研究プロジェクトである。Intergovernmental Panel On Climate Change(IPCC)<sup>4)</sup>で用いられた努力分担指標を 40 以上取り入れて研究し、第五次評価報告書(AR5)の各国の研究者の論文をもとに初めて公平性の統一的な指標を作成した。ただし、国ごとの貢献度の算出において資金拠出額は考慮に入れていない。先述のように気候変動対策目的の資金拠出は国際貢献の上で近年重要になっている状況のなかで、GHG 排出削減と資金拠出の関係を考察している研究は見当たらない。

## 1.2 研究の目的と構成

そこで本研究では、主要国の気候変動対策による国際社会への寄与の大きさを貢献度としたうえで、温室効果ガスの排出削減だけに限らず、各国が気候変動対策のために拠出している資金を定量化し、それによって削減が想定される排出量に換算して定量的に貢献度を評価することとした。排出削減と資金拠出による貢献度を国ごとに調べ、それぞれの貢献度が大きい国、小さい国の特徴を明らかにする。また、貢献度が比較的小さな国がさらなる気候変動対策を行い各国が均一な貢献度となるために追加的に必要となる気候変動対策の導入量を定量化することも行う。これにより国際社会が協調して気候変動対策に取り組むための知見を提供することを目的としている。

本論文の構成は以下のとおりである。第 2 章では、異なる国の貢献度を比較するうえで必要となる公平性の概念について説明を行う。第 3 章では、本研究で用いた分析方法を、その手順とその理由、データの情報源を示しながら説明する。第 4 章では、分析の結果を示し、考察を行う。第 5 章では、結論と今後の課題を述べる。

## 2. 既存研究における公平性概念の整理

本章では、異なる国の貢献度を比較するうえで必要となる「各国がどのような指標に基づいて努力する分量を決定すべきか」という公平性概念について説明する。

### 2.1 IPCC 第五次評価報告書において考慮された公平性概念

以下では既存研究のうち、IPCC AR5 第三作業部会による報告で取り上げられた代表的な公平性の概念を説明する。国家間の GHG 排出削減努力の分担方法に関する既存研究は数多くあるが、大部分は、次の 4 つの基準のうちの 1 つ、あるいは複数個を参照している。

- (i) 責任（累積 GHG 排出量）
- (ii) 能力（所得）
- (iii) 平等（一人当たり GHG 排出量均等）
- (iv) 費用対効果

IPCC AR5 の第 3 作業部会報告書および Höhne et al. は、上記 4 つの基準に対して、さらに 2 つ以上の基準を組み合わせた。

- (v) 責任・能力・発展権利（(i) と (ii) の組み合わせ）
- (vi) 均等な一人当たり累計 GHG 排出量（(i) と (iii) の組み合わせ）
- (vii) 段階的方法（(i) から (iii) の組み合わせ）

の 3 つを加えた計 7 つに、各基準を参照している大部分の努力分担方法は分類できるとしている。

### 2.2 その他の公平性

より広い意味で公平性（ここでは「その他の公平性」という。）を捉えて考察や検討を行っている先行研究も存在する。その他の公平性をめぐっての議論が気候変動対策に係る交渉をさらに難しくしており、異なる国の貢献度を比較するうえでも留意することが望ましい。以下では、明日香<sup>5)</sup>によるその他の公平性の視点などを説明する。

第一に、適応コストの視点である。気候変動が深刻化するにつれ、それに適応する社会変革が必要になる。そのためのコストは、GDP 比で考えると途上国のほうが大きくなる傾向にある。これらの国からは、「気候変動の責任は先進国が中心なのになぜ我々の被害が大きくなるのか」という不満がある。

第二に、GHG 排出削減のタイミング、スピードの視点である。現在、気候安定化のために途上国は早期に GHG 排出量を頭打ちさせる必要があるとされている。これは先進国が GHG を大量に排出しながら経済成長してきたのと比べ、一人当たり GDP が小さい段階で排出量を減少に転じる必要があることを意味する。

第三に、気候変動枠組条約およびパリ行動計画との整合性である。前述のような理由から、先進国が資金的あるいは技術的な援助を途上国に対して実施すべきという共通認識が存在する。実際に、そのような先進国が持つ途上国支援に関する義務は、世界のほぼすべ

ての国が採択あるいは合意した気候変動枠組条約 (UNFCCC) 4 条 3 項、同条約 4 条 4 項、COP13 でのバリ行動計画において明言されている。しかし先進国による上記の約束の実施状況にたいして、途上国は不満を持っている。このような条約にある資金移転や技術移転に関連する約束の履行に対する認識の違いが、数値目標を巡る先進国と途上国との対立の背景にある。

第四に貿易に伴う GHG 排出量の移動に起因する論点である。途上国で製品を製造する過程で GHG を排出しており、その製品が、先進国で使用されていることから、途上国に不利に働くのではないかと不満がある。

第五に副次的便益である。省エネや再生可能エネルギーなどの温暖化対策は、同時に石炭などの化石燃料消費の削減につながり、結果的に大気汚染物質である硫黄酸化物、窒素酸化物、PM2.5 などの大気汚染物質の排出削減をもたらす。温暖化対策と大気汚染対策などとの一石二鳥と考えられる副次的便益だが、先進国が途上国で GHG 排出削減を促す文脈で議論される場合、一部の途上国からは「先進国による責任の押しつけ」と反発される。

第六に「真の炭素制約」の国際比較である。GHG 排出削減数値目標の有無と、実際の削減対策の有無はイコールではない。実際、多くの途上国は排出削減義務がなくとも自主的に削減対策をとっている。また、数値目標が緩い場合は温暖化対策がなくとも目標を達成することになる。

第七に EU ETS の域外拡大・国境税調整・無償割当に関わる論点である。EU での排出量取引制度 (EU ETS) の導入後、特にセメントや鉄鋼などのエネルギー多消費で国際貿易に依存する産業間における ETS 域内と ETS 域外との公平性という問題が生じている。

### 2.3 本章のまとめ

以上の整理をふまえ、本研究では 2.1 の公平性概念に着目し、拠出額をそのまま評価するのではなく、GDP 比 (能力)、一人当たり GHG 排出量比 (平等)、累積 GHG 排出量比 (責任) で国ごとに比較することによって、貢献度の比較可能性を高めることとした。2.2 で挙げたその他の公平性については、現実の国際交渉では議論になることがあるものの、本研究内では扱いにくく定量化も難しいものが多いので参考にとどめるものとした。

### 3. 方法

#### 3.1 対象国の選定

本研究では、CO<sub>2</sub> 排出量上位の主な国と、資金拠出額の大きい国、その他特徴的な国で比較対象として挙げるべき国を分析対象と選定した。これらの国とその特徴を表 3.1 に示す。

表 3.1 分析対象国とその特徴

国	CO <sub>2</sub> 排出量 順位 <sup>6)</sup> ※	備考
日本	5	世界での排出割合 3.7%。 <sup>14)</sup>
イギリス	13	世界最大の気候資金拠出額。
ドイツ	6	EU 最大の工業国。経済・人口規模で日本にやや類似。
フランス	17	経済規模に比して GHG 排出量は少ない。
イタリア	15	EU の主要構成国。
スウェーデン	20 位以下	ノルウェーとの比較対象。
フィンランド	20 位以下	ノルウェーとの比較対象。
オランダ	20 位以下	EU の主要構成国。
その他 EU	—	EU 構成国との比較対象。
ノルウェー	20 位以下	資金拠出額 GDP 比が世界最大。
スイス	20 位以下	一人当たり GDP が上位。
カナダ	8	一人当たり排出量が上位。
米国	2	世界での排出割合 15.8%
中国	1	世界での排出割合 27.8%
ロシア	4	世界での排出割合 5.4%
韓国	7	加工貿易立国。一人当たり GHG 排出量が多め。
メキシコ	12	経済成長による GHG 排出量増が予想される。
ブラジル	14	経済成長による GHG 排出量増が予想される。
インドネシア	9	統計外で森林・泥炭破壊による GHG 排出あり。
オーストラリア	16	一人当たり排出量は上位。
南アフリカ	11	エネルギー多消費産業が盛ん。
サウジアラビア	10	世界最大の産油国。

※2011 年、化石燃料の燃焼とセメント生産による CO<sub>2</sub> 排出量

CO<sub>2</sub> 排出量上位ではほかにイランが 8 位であるが、ベースラインの推計が出ていないため、分析対象外とせざるを得なかった。また、本研究では特徴的な資金拠出をしているノルウェーに注目しており、同じ北欧国であるスウェーデン・フィンランドをノルウェーとの比較対象のために対象国とした。

中国・米国・インドの 3 か国で世界の CO<sub>2</sub> 排出量の半分以上を占めている。一人当たりの GHG 排出量が先進国の水準に近づきつつある中国と、一人当たりの GHG 排出量が多い米国、今後の人口増・経済成長により GHG 排出量急増が予想されるインドは世界の気候変動政策の上で特に重要な 3 か国といえるだろう。

このうち、インドは GDP あたりの GHG 排出量を 2030 年までに 2005 年比で 33~35% 減少させ、発電部門の 40%を非化石燃料性のものにするという約束草案を提出している。インドは約束草案より前に、2020 年までに 2005 年比で GDP あたりの GHG 排出量を 20~25%減少させるという目標を宣言していた。この場合、2030 年の GDP あたりの GHG 排出量は 41.5%減少すると予想されていた。今回のベースライン GHG 排出量はこの目標に基づいて推定されたものである エラー! 参照元が見つかりません。。今回の分析ではインドを対象としたかったものの、インドは約束草案による GHG 排出量（すなわち対策後の排出量）よりも追加対策を行わないベースラインの GHG 排出量が小さいという論理的に不整合な状況が起こったため、やむを得ず分析対象国から除外した。

南アフリカ・サウジアラビアは GHG 排出量上位国であるが、それぞれアフリカ・中東の国として唯一対象国に挙がっており、分析上、重要な意味があると考えている。

## 3.2 各国の GHG 排出削減による貢献度の算出

### 3.2.1 貢献度の式

地球温暖化への対策への貢献度として、本研究では GHG 排出削減による貢献度と資金拠出による貢献度の 2 つを扱うこととした。GHG 排出削減による貢献度  $X_{er}$  は、式(1)を用いて算出した。

$$X_{er} = \frac{Eb - Ec}{Eb} \dots(1)$$

ここで、

**Eb:** ベースライン※の温室効果ガス排出量 (t) (※約束草案がない場合の予想排出量)

**Ec:** 約束草案に基づく温室効果ガス排出量 (t)

である。つまり、ベースラインの GHG 排出量と、GHG 排出削減量（ベースラインの温室効果ガス排出量と約束草案に基づく温室効果ガス排出量の差）の比を GHG 排出削減による貢献度として定義した。

### 3.2.2 用いたデータ

次に、約束草案に記載されている GHG 排出削減に関するデータを表 3.2.1 に示す。この表は各国が気候変動枠組条約(UNFCCC)事務局へ提出している約束草案をもとに作成したものである。EU は構成国全ての合計で上記の目標を達成することを宣言している。

表 3.2.1 各国の約束草案に記載されている GHG 排出削減に関するデータ

国	基準年	対象年	対象ガス	GHG 排出削減量	備考
日本	2005	2030	GHG	25.4%	
EU	1990	2030	GHG	40%	
ノルウェー	1990	2030	GHG	40%	
スイス	1990	2030	GHG	50%	
カナダ	2005	2030	GHG	30%	
米国	2005	2025	GHG	26~28%	
中国	-	2030	CO <sub>2</sub>	-	早いうちにピークアウト
ロシア	1990	2030	GHG	25~30%	
韓国	-	2030	GHG	37%	BAU 比で
メキシコ	-	2030	GHG	22%	BAU 比で
ブラジル	2005	2030	GHG	43%	
インドネシア	-	2030	GHG	29%	BAU 比で
オーストラリア	2005	2030	GHG	26~28%	
南アフリカ	-	2025-2030	GHG	398-614Mt	
サウジアラビア	-	2030	GHG	-1.3Gt	BAU 比で

BAU:Business As Usual (ベースラインに同じ)

国によっては約束草案に他国の行動や今後の自国内の経済情勢の変化によって目標値を変更する旨を記載している国がある。例えばインドネシアは無条件で BAU 比 29%減の目標を提出しているが、先進国からの技術支援や資金援助が得られる場合は同 41%の削減目標を掲げている。後者の場合には、この削減に資金援助国の貢献度が含まれることになるため、貢献度の重複が起こることから、本研究では無条件での削減目標を採用した。緩和への対応政策や目標値の算出のプロセス、公平性や野心度の高さについて記載している国もあるが、これらは表 3.2.1 には記載していない。また、米国やロシアなどのように目標値に幅を持たせている場合がある。例えば米国は「26~28%削減を目標とするが、28%削減できるように最大限努力する」といった書き方がされている。このような場合は平均値（米国

なら 27%) を用いることとした。約束草案に記載されている内容の全体の傾向として、先進国は明確で他国と比較しやすい目標を提出しているが、途上国は条件付きが多く、独特な目標を提出していることが多かった。

なお、表 3.2.1 の全ての国で、土地利用、土地利用変化及び林業部門 (Land Use, Land Use Change and Forestry : LULUCF) からの GHG 排出削減量を含んでいる。ただし、EU のように現時点では 2030 年 GHG 排出量の算定における LULUCF の取り扱い方を決定していない国もある。

なお、約束草案については、基準年比の GHG 削減量を定めている場合と絶対量を定めている場合がある。基準年比の GHG 削減量を定めている場合は過去の GHG 排出量をもとに 2030 年の GHG 排出量を算出して、本研究での計算に用いることとした。

本研究ではベースラインの GHG 排出量として Climate Action Tracker による推計値を用いた。Climate Action Tracker では、次の 2 つの方法のうち使用可能な GHG 排出量の値を採用している。

- ① 国ごとの政策をセクター、ガス別にチェックする。必要に応じて World Energy Outlook<sup>8)</sup>などを引用する。一つの研究機関から完全な情報が得られない場合は、World Energy Outlook の energy-related emissions の CO<sub>2</sub> 排出量と United States Environmental Protection Agency<sup>9)</sup>や Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)<sup>10)</sup>の CO<sub>2</sub> 以外の GHG 排出量を組み合わせてデータを補完する。
- ② 現在実施されている政策や近く実施されることが確実な政策によって予想される排出量をボトムアップで計算する。政治的障壁 (例えば業界団体などによる抵抗) によって政策が部分的にしか実施されない可能性も考慮に入れる。平均費用は炭素価格などの影響によって市場で決定されるものとする。

このように、統一的な手順で世界の国のベースラインの GHG 排出量を推定しているため、Climate Action Tracker によるベースラインの GHG 排出量は、国ごとの評価を行うデータとしての比較可能性が比較的確保されていると考えた。

ただし韓国・メキシコ・インドネシアはベースラインの排出量を自国で推計したうえで、約束草案に記載しているため、それらのデータを用いた。これらの国では主な経済指標と政策に基づいて自国の公的機関が将来のベースライン GHG 排出量を推定している。

EUは個別の国に関して2030年のベースラインと約束草案のGHG排出量予測が示されていなかったため、EU全域での2005年のGHG排出量と2030年のベースラインと約束草案のGHG排出予測量の比を、2005年の国ごとのGHG排出量に掛けることで、2030年の国ごとのベースラインと約束草案のGHG排出予測量を算出した。EUは域内で2030年に1990年比GHG排出量40%減という目標を掲げており、実際には域内でもGHG排出削減の大きい国と小さい国の格差が表れるものと予想されるが、EU域内では排出量取引制度でGHG排出削減量の余剰・不足を相殺する仕組みがあるので、ここでは一律な比率でベースラインと約束草案のGHG排出量を算出することとした。

ところで、現実の国際社会に目を向ければ、日本などの先進国は途上国へ気候変動対策の技術協力をを行い、それによって途上国のGHG排出削減に大きく寄与している。京都議定書の枠組みのときは京都メカニズムによってその削減分が日本の削減量としてカウントされた。しかし、技術協力や人材育成などによる国際貢献のすべてがカウントされているわけではなく、これらの貢献は評価の対象外となっている。パリ協定の枠組みでは日本は約束草案の中で二国間オフセット・クレジット制度によるGHG排出削減を「温室効果ガス削減目標積み上げの基礎としていないが、日本として獲得した排出削減・吸収量を我が国の削減として適切にカウントする。」と明記している。しかし、この制度の外でも民間企業の低炭素技術による貢献はあるものと思われる。

反対に、途上国が先進国に対して不平感を感じているものとして、前述した2.2の「第四に…」のようなケースがある。つまり、途上国がGHGを排出しながら工業製品を製造し、先進国へ輸出しているケースである。このような場合、その製品の輸出国が、本来なら輸入国の分のGHG排出量を負っていることになる。

ただ、本研究内ではGHG排出削減量としてカウントされるもののみを評価対象とした。

次に、式(1)の GHG 排出削減による貢献度の算出に用いる各国のベースライン GHG 排出量  $E_b$  及び約束草案に基づく 2030 年の GHG 排出量  $E_c$  を表 3.2.2 に示す。

**表 3.2.2 国別のベースライン GHG 排出量および  
約束草案に基づく 2030 年 GHG 排出量の計算値(CO<sub>2</sub>換算量)<sup>11)</sup>**

国	ベースラインの 2030 年 GHG 排出量 $E_b$ (Mt)	約束草案に基づく 2030 年 GHG 排出量 $E_c$ (Mt)
日本	1208	1041
イギリス	765	471
ドイツ	1139	734
フランス	646	319
イタリア	655	309
スウェーデン	87	20
フィンランド	88	34
オランダ	252	128
その他 EU	2362	1203
ノルウェー	52	31
スイス	40	27
カナダ	80	52
米国	6280	5366
中国	14100	13600
ロシア	2650	2438
韓国	850	536
メキシコ	110	86
ブラジル	1299	1197
インドネシア	2881	2045
オーストラリア	670	416
南アフリカ	943	506
サウジアラビア	1290	1160

本研究中では、地球温暖化係数(GWP:Global Warming Potential)を用いて全ての GHG を二酸化炭素に換算して排出量を求めるという手法に従っている。GWP とは、二酸化炭素を基準にして、他の温室効果ガスがどれだけ温暖化する能力があるか表した数字のことである。すなわち、単位質量(例えば 1kg)の温室効果ガスが大気中に放出されたときに、一定時間内(ここでは 100 年)に地球に与える放射エネルギーの積算値(すなわち温暖化への影響)を、CO<sub>2</sub> に対する比率として見積もったものである。国連気候変動枠組条約や京都議定書第二約束期間においては、集計や統計には IPCC の第 4 次評価報告書(2007 年)による地球温暖化係数を温室効果ガスの排出量の計算に用いることとなっているため、本研究ではこの係数に従った<sup>12)</sup>。表 3.2.3 に温室効果ガス(GHG)の一覧を示す。

表 3.2.3 温室効果ガス(GHG)一覧<sup>13)</sup>

温室効果ガス	地球温暖化係数	性質	用途、排出源
二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )	1	代表的な温室効果ガス	化石燃料の燃焼など。
メタン(CH <sub>4</sub> )	23	天然ガスの主成分で、常温で気体。よく燃える。	稲作、家畜の腸内発酵、廃棄物の埋め立てなど。
一酸化二窒素(N <sub>2</sub> O)	298	数ある窒素酸化物の中で最も安定した物質。他の窒素酸化物(例えば二酸化窒素)などのような害はない。	燃料の燃焼、工業プロセスなど。
HFCs (ハイドロフルオロカーボン類)	1,430 など	塩素がなく、オゾン層を破壊しないフロン。強力な温室効果ガス。	スプレー、エアコンや冷蔵庫などの冷媒、化学物質の製造プロセスなど。
PFCs (パーフルオロカーボン類)	7,390 など	炭素とフッ素だけからなるフロン。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。
SF <sub>6</sub> (六フッ化硫黄)	22,800	硫黄とフッ素だけからなるフロンの仲間。強力な温室効果ガス。	電気の絶縁体など。
NF <sub>3</sub> (三フッ化窒素)	17,200	窒素とフッ素だけからなるフロンの仲間。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。

### 3.3 各国の資金拠出による貢献度の算出

#### 3.3.1 貢献度の式

各国の資金拠出による地球温暖化対策への貢献度は、国際社会の気候変動対策のために拠出している資金額を調べ、それによって削減できる GHG 排出削減量に換算することで評価することとした。

資金拠出による貢献度  $X_m$  は式(2)で求めた。

$$X_m = \frac{F/Ac}{Eb} \dots (2)$$

ここで、

F…年あたりの資金拠出額(\$/年)

Ac…世界全体の GHG 排出削減に掛かる平均費用(\$/t)

Eb…ベースライン GHG 排出量(t)

である。つまり、各国の資金拠出額を世界全体の GHG 排出削減に掛かる平均費用で割ることで、資金拠出によって想定される GHG 排出削減量を求め、それをベースライン GHG 排出量で割ることでその国の貢献度とした。

### 3.3.2 用いたデータ

資金拠出による貢献度算出に用いる国別の資金拠出額 F を表 3.3 に示す。

表 3.3 国別の資金拠出額

国	気候変動対策資金としての資金拠出額(ドル)
日本	3,201,000,000
イギリス	10,352,280,000
ドイツ	3,927,960,000
フランス	1,559,200,000
イタリア	427,960,000
スウェーデン	1,015,090,000
フィンランド	274,200,000
オランダ	476,070,000
その他 EU	2,003,330,000
ノルウェー	3,704,180,000
スイス	306,900,000
カナダ	860,080,000
米国	5,690,000,000
中国	15,000,000
ロシア	8,000,000
韓国	117,000,000
メキシコ	20,670,000
ブラジル	11,700,000
インドネシア	300,000
オーストラリア	685,240,000
南アフリカ	5,860,000
サウジアラビア	0

本データは Climate Funds Update<sup>16)16)</sup> というサイトから引用したものである。Climate Funds Update は、途上国が気候変動問題に対処するのをサポートするため、先進国による気候資金イニシアチブに関する情報を取り扱っているウェブサイトである。ドイツの財団である Heinrich Böll Stiftung(HBF)とイギリスのシンクタンクである Overseas Development Institute(ODI)が合同で運営して情報の公表を行っている。Climate Funds Update は、各国が気候変動基金をプレッジ(宣言)した時からその基金が実際に支払われ、

計画が実行されるときまでをチェックし、気候基金の流れを調べている。その情報は、チェックしている基金の責任者から情報提供を受けており、信頼性が高いと考えられる。このようなことから、網羅性、比較可能性、信頼性のいずれの面からも質の高いデータを公表しているサイトと判断して、分析に用いることとした。なお、表 3.3 における数値は全て 2003 年からの累積の金額である。式(2)の算出においては、資金拠出量は 2003 年から 2015 年までの 13 年で除して年あたりの金額を求めた。

気候資金の用途には以下の 4 種類がある。

- 適応…気候変動とその影響に対し、被害を軽減し利益を拡大するための自然界と人間社会の順応。影響を予見して行うものと影響が起きてから対応するものがある。
- 緩和…資源消費を減らす技術変化と代替政策。
- REDD+…森林の破壊と衰退による GHG 排出を防ぎ、森林の適切な管理と保全、炭素貯留を促進する取り組み。REDD+は緩和の性質を持つため、本研究では、資金拠出による貢献度の計算の際には緩和の資金と同じものとして扱う。
- 多目的…目的を特定せず、受け手の裁量で上記 3 つのどの目的に用いてもよい資金。

このうち、途上国への緩和への資金は純粋な対策貢献の資金というだけでなく、排出した GHG が引き起こす被害に対する補償金という見方もできるため、これを全て貢献度として勘定することには問題がある。しかしながら、資金額の多くを占める「多目的」にどれだけ緩和対策に用いられたかは不明であるため、本研究においてはこの点は捨象することとした。

また、Climate Funds Update の資金データは、Deposited（基金の口座へ移された資金）や Pledged（口頭で、もしくは署名での拠出約束）といった資金額が記載されている。世界の現状を見ると pledge したものの実際の拠出が滞るという事態が散見されるものの、本研究内では pledge した時点で貢献の意思ありとみなし計算対象に含めることとした。

ところで、本研究で扱った資金拠出は公的部門による譲渡性資金のみである。しかしながら、現実の国際社会では民間部門による貸与性資金が大きい。参考までに 2014 年の世界全体の気候変動対策の資金を確認したところ、総資金額 3910 億ドルのうち、公的部門が 1480 億ドルであり、民間部門が 2430 億ドルであった。公的部門における譲渡性資金が 140 億ドルに対し、公的・民間部門の貸与性資金や投資が 3770 億ドルと圧倒的に大きい。<sup>17)</sup> よって実際には各国の公的部門や民間部門の投資や融資による貢献が相当大きいものと推測できる。ただ、これらは返済を求める資金であり、資金提供国の対策貢献度には算入することは妥当でないと考えられる。

次に、世界全体の GHG 排出削減に掛かる平均費用  $A_c$  を算出するために用いた世界の GHG 排出削減にかかる限界削減費用曲線を図 3.3 に示す。

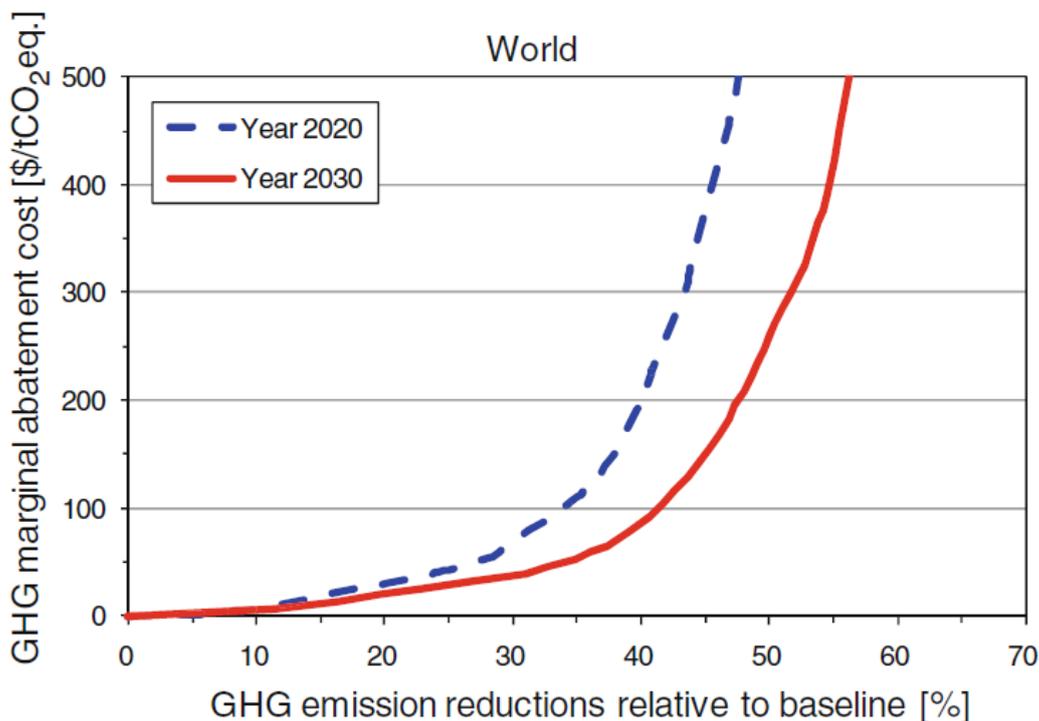


図 3.3 世界の GHG 排出削減にかかる限界削減費用曲線<sup>18)</sup>

図 3.3 は、横軸にこの論文でベースラインとした世界 GHG 排出量 64.2Gt からの排出削減割合をとり、縦軸に限界削減費用をとった限界費用曲線である。限界削減費用とは、GHG 排出量を追加的に 1 トン削減するのにかかる費用のことである。そのため、この図から世界の GHG 排出削減にかかる平均費用を計算するには、削減の開始と終了時の GHG 排出量から横軸の範囲における限界費用曲線とで縦軸=0 の直線で囲まれる面積を求め、それを GHG 排出削減量で除すればよい。

計算にあたっては、UNFCCC の約束草案統合レポートに記載されている 2030 年の約束草案とベースラインの GHG 排出量を用いた<sup>19)</sup>エラー! 参照元が見つかりません。本レポートでは、約束草案を提出している国の GHG 排出削減情報を用いて世界全体の GHG 排出量を推定している。2015 年 10 月 1 日時点では 147 か国より 119 の約束草案が提出されており (EU は 1 つの約束草案で 28 か国+EU 委員会をカバーしている)、これらの国々で 2010 年の世界全体の GHG 排出量の 86%をカバーしている。このように広い範囲の約束草案をカバーして世界全体の GHG 排出量を推定しているため、信頼性は高いと考えた。

本レポートによれば、2030 年の世界の GHG 排出量が、約束草案によると 56.7Gt、ベースラインによると 60.8Gt となっている。ベースラインとした世界 GHG 排出量は 64.2Gt なので、それぞれ $(64.2-60.8)/64.2=5.3\%$ 、 $(64.2-56.7)/64.2=11.7\%$ の削減量である。図 3.3 によると、5.3%減少の場合、限界削減費用は 3\$/t である。同様に、11.7%減少の場合、限界削減費用は 7\$/t である。5.3%と 11.7%での垂線と限界費用曲線、横軸で囲まれた面積を

ほぼ台形に近似できるとして面積を求め、削減量で割った。

$$\frac{(3+7) \times 6.4 \div 2}{6.4} = 5.0(\$/t)$$

結果として、2030年の世界のGHG排出削減にかかる平均費用は5.0(\$/t)となった。

ところで、GHG排出削減余地は国によって大きく差があるため、GHG排出削減にかかる平均費用は当然国によって差がある。しかし、資金を拠出した時点でその資金の受益者は特定できないため、本研究では全世界での平均費用を用いた。

### 3.4 各国の公平性で基準化した貢献度の算出

#### 3.4.1 基準化の式

続いて、2章で示した能力（一人あたりGDP）、平等（一人あたりGHG排出量）、責任（過去の累積GHG排出量）という3つの公平性概念に基づいて、各国の貢献度を比較可能なように基準化して比較を行った。各公平性概念で基準化した貢献度 $X_s$ を式(3)に示す。

$$X_s = \frac{\text{貢献度 } X}{\text{基準化係数}} \dots (3)$$

ここで、基準化係数は、能力を表す係数として1人あたりGDPを、平等を表す係数として1人あたりGHG排出量を、責任を表す係数として累積GHG排出量を、それぞれ用いた。

#### 3.4.2 用いたデータ

GDPのデータは、UN, National Accounts Main Aggregates Databaseのデータを用いた。このとき、各国のGDPの数値は、PPP（購買力平価）で基準化せずに、米ドルに換算した名目GDPを用いた。<sup>20)</sup>

人口データについてはUN, World Population Prospects: The 2012 Revisionの2012年人口を用いた。<sup>20)</sup>

一人あたりGHG排出量のデータ算出にあたっては、GHG排出量はWorld Resource InstituteのCAIT Historical Emissions Dataを用いた（最新の2012年の値）<sup>21)21)</sup>。

累積GHG排出量のデータも、World Resource InstituteのCAIT Historical Emissions Dataを用いた。このデータでは、1850年以降のCO<sub>2</sub>排出量のデータと1990年以降の全てのGHG排出量のデータが公表されている。しかしながら、全ての対象国でCO<sub>2</sub>排出量のデータが揃うのは1950年以降であったこと、1989年までのGHG排出量のうち大半を占めるのはCO<sub>2</sub>であることから、本研究では、表3.4.2に示す各国の1950～1989年のCO<sub>2</sub>排出量と1990年以降の全てのGHGの排出量の和を累積GHG排出量として用いることとした。イギリスは1950年前後でのCO<sub>2</sub>排出量がほぼ等しいなど、ヨーロッパをはじめとした先進国は1950年以前のGHG排出量がかなり大きい。しかし、当時は気候変動問題に関する科学的知識・問題意識がなかった時代であり、GHG排出による気候変動問題が唱え

られ始めたのは1980年代からである。過去の道義的な排出責任を求めるには厳しいと考え、本研究では1950年以前のGHG排出量は計算に含めないものとした。

公平性基準の計算に用いた一人あたりGDP、一人あたりGHG排出量、累積GHG排出量の値を表3.4.1に示す。

表 3.4.1 公平性基準として用いた数値

国	一人あたり GDP (\$,2012年)	一人あたり GHG 排出量 (t-CO <sub>2</sub> eq,2012年)	1950～2012年の 累積 GHG 排出量 (Mt-CO <sub>2</sub> )
日本	46,687	9.80	51,004
イギリス	41,051	7.27	35,395
ドイツ	43,946	9.61	56,424
フランス	42,311	5.40	23,094
イタリア	34,921	6.53	19,802
スウェーデン	57,251	4.32	3,680
フィンランド	47,366	9.26	2,687
オランダ	48,996	10.42	8,717
その他 EU	28,795	6.64	80,721
ノルウェー	101,941	7.60	1,675
スイス	83,263	5.38	2,281
カナダ	52,513	15.56	23,964
米国	51,459	16.31	277,319
中国	5,976	6.76	148,314
ロシア	14,088	12.02	96,284
韓国	24,456	12.34	13,110
メキシコ	10,039	3.90	13,767
ブラジル	11,188	2.37	11,539
インドネシア	3,507	1.82	8,980
オーストラリア	68,332	16.93	18,467
南アフリカ	7,584	8.83	15,016
サウジアラビア	24,883	17.87	9,355

表 3.4.2 に各国の累積 GHG 排出量のデータを示す。

表 3.4.2 各国の累積 GHG 排出量のデータ

国	GHG 排出量 1990-2012 (MtCO <sub>2</sub> eq)	CO <sub>2</sub> 排出量 1950-1989 (MtCO <sub>2</sub> )	累積 GHG 排出量 1950-2012 (MtCO <sub>2</sub> eq)
日本	27,274	23,730	51,004
イギリス	12,082	23,313	35,395
ドイツ	19,570	36,854	56,424
フランス	8,677	14,417	23,094
イタリア	10,038	9,764	19,802
スウェーデン	1,228	2,452	3,680
フィンランド	1,366	1,321	2,687
オランダ	4,056	4,661	8,717
その他 EU	34,671	46,050	80,721
ノルウェー	844	831	1,675
スイス	1,029	1,252	2,281
カナダ	11,833	12,131	23,964
米国	124,964	152,355	277,319
中国	111,876	36,438	148,314
ロシア	38,128	58,156	96,284
韓国	10,313	2,797	13,110
メキシコ	8,646	5,121	13,767
ブラジル	7,366	4,173	11,539
インドネシア	7,126	1,854	8,980
オーストラリア	12,666	5,801	18,467
南アフリカ	8,819	6,197	15,016
サウジアラビア	7,383	1,972	9,355

### 3.5 各国の GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度の算出

GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度  $X_{sy}$  は、式(4)で求めた。

$$X_{sy} = \frac{(E_b - E_c) + \frac{F}{A_c}}{E_b} \dots (4)$$

ここで、

$E_b$ : ベースラインの GHG 排出量 (t)

$E_c$ : 約束草案に基づく温室効果ガス排出量 (t)

$F$ : 資金拠出額(\$)

$A_c$ : 世界全体の GHG 排出削減に掛かる平均費用(\$/t)

$E_b$ : ベースライン GHG 排出量(t)

である。

つまり、約束草案とベースラインの GHG 排出量の差から GHG 排出削減量を求め、これに資金拠出額を平均費用で除した資金拠出による GHG 削減貢献量を加え、ベースラインの GHG 排出量との比をとることで、その国の GHG 排出削減と資金拠出による統合貢献度とした。

### 3.6 包絡分析法(DEA)による評価

#### 3.6.1 包絡分析法 (DEA) とは何か

包絡分析法については、例えば末吉<sup>22)</sup>が詳しい解説を行っている。ここでは、その概要を簡単に説明する。包絡分析法(Data Envelopment Analysis。以下「DEA」という。)は、複数の事業体が産出物を生産する際の効率性を測る手法である。同種の投入と産出を持つ事業体が複数ある場合、産出/投入という比率尺度の大小によってそれらの事業体の効率性を比較することがしばしば行われる。従来は、投入と産出の1インプット、1アウトプットによる評価しかできなかったが、DEAは複数のインプットとアウトプットによる評価が可能で、事業体ごとの個性を尊重したままで効率性を比較・評価できる利点がある。さらにDEAでは、効率的と考えられる事業体が形成する包絡面(効率的フロンティア)を得ることができ、非効率的と評価された事業体は各項目をどれだけ改善すればこの包絡面に到達でき、効率的になるかを求めることができる。すなわち、効率的となるための改善目標を定量的に把握することもできる。

#### 3.6.2 DEAの貢献度評価への適用

ここまで述べた分析方法では、ベースラインのGHG排出量との比を取るという考え方が基本になっているため、貢献度がベースラインのGHG排出量に大きく影響を受ける。しかし、先述のようにベースラインのGHG排出量を推定するのは難しいだけでなく、ベースラインのGHG排出量に対する相対値で貢献度を評価することになるため、ベースラインのGHG排出量が適当な水準であるかについて公平性などの観点からあらかじめ合意されている必要がある。加えて、ここまでの分析では、複数の貢献度合い(GHG排出削減による貢献と資金拠出による貢献)と複数の公平性基準(平等、能力、責任)を同時に分析できていない。本節で適用するDEAでは、公平性基準をインプットとして、貢献度合いをアウトプットとして、各国の貢献度を算出・評価するもので、上記の問題点を回避するものである。

#### 3.6.3 DEAの計算方法<sup>22)</sup>

本研究では、22か国を対象に効率性を分析する。対象国を $k$ とし、入力 $x_i$ につける重みを $v_i(i=1,2,3)$ 、出力 $y_i$ につける重みを $u_l(l=1,2)$ として、式(5)で与えられる効率性 $\theta$ を最大化させることを考える。それらの値は、次の分数計画問題を解くことによって定められる(以下の数式は末吉(2001)<sup>22)</sup>から引用している)。

$$\begin{array}{ll} \text{目的関数} & \text{Max } \theta = \frac{u_1 y_{1k} + u_2 y_{2k}}{v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} + v_3 x_{3k}} \\ \text{制約式} & \frac{u_1 y_{1k} + u_2 y_{2k}}{v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} + v_3 x_{3k}} \leq 1 \quad (k = 1 \sim 22) \quad \dots (5) \end{array}$$

$$v_1, v_2, v_3 \geq 0, \quad u_1, u_2 \geq 0$$

式(5)は、その制約式で、仮想的に考えられた総入力と総出力の比を全ての国の生産活動において、1以下に抑えるようにモデル化されている。そのうえで、 $k$  番目の国の効率値 $\theta$ を最大化するように重み $v_i$ と $u_j$ を決めている。したがって、最適な $\theta$ の値 $\theta^*$ は1である。

式(5)は、式(6)を解くことと同値である。式(6)は線形計画問題となっており、式(5)よりも解くことが容易である。

$$\begin{aligned} \text{目的関数} & \quad \text{Min } \theta \\ \text{制約式} & \quad -\sum_{j=1}^{22} (x_{ij}\lambda_j + \theta x_{ik}) \geq 0 \quad (i = 1,2,3) \\ & \quad \sum_{j=1}^{22} y_{lj}\lambda_j \geq y_{lk} \quad (l = 1,2) \\ & \quad \lambda_j \geq 0 (j = 1,2, \dots, 22), \quad \theta: \text{制約なし} \end{aligned} \quad (6)$$

しかしながら、 $\theta=1$  であってもスラックと呼ばれる入力の余剰や出力の不足が生じている場合には、効率的ではない。スラックは式(7)で与えられ、式(8)を解くことで求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{入力の余剰} & \quad d_i^x = \theta x_{ik} - \sum_{j=1}^{22} x_{ij}\lambda_j \quad (i = 1,2,3) \\ \text{出力の不足} & \quad d_l^y = \sum_{j=1}^{22} y_{lj}\lambda_j - \lambda_{lk} \quad (l = 1,2) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{目的関数} & \quad \text{Max } \sum_{i=1}^3 d_i^x + \sum_{j=1}^2 d_j^y \\ \text{制約式} & \quad \sum_{j=1}^{22} (x_{ij}\lambda_j + d_i^x) = \theta^* x_{ik} \quad (i = 1,2,3) \\ & \quad \sum_{j=1}^{22} (y_{lj}\lambda_j - d_l^y) = y_{lk} \quad (l = 1,2) \\ & \quad \lambda_j \geq 0 (j = 1,2, \dots, 22) \\ & \quad d_i^x \geq 0 (i = 1,2,3) \\ & \quad d_l^y \geq 0 (l = 1,2) \end{aligned} \quad (8)$$

本研究では、上記のDEAの計算を行うために、DEAP version2.1というソフトを用いた。分析には output-oriented の CRS (Constant returns to scale) モデルを選択し、スラックの扱いは multi-stage DEA を選択した。

### 3.6.4 用いたデータ

本研究では出力データとして GHG 排出削減量と拠出金額、入力データとして GHG 累積排出量、人口、GDP を用いた。入力データはそれぞれが「責任」・「平等」・「能力」の公平性概念に対応している。各国の各変数の値を表 3.6 に示す。

表 3.6 DEA に用いたデータ

	Output1	Output2	Input1	Input2	Input3
国	GHG 排出削減量 (100 万トン)	拠出金額 (100 万 US\$)	GHG 累積排出量 (100 万トン)	人口 (100 万人)	GDP (10 億 US\$)
日本	166	133	51,004	128	4,921
EU	778	821	230,520	506	18,510
イギリス	431	431	35,395	64	2,678
ドイツ	725	164	56,424	80	3,730
フランス	325	65	23,094	64	2,806
イタリア	282	18	19,802	60	2,149
スウェーデン	46	42	3,680	10	580
フィンランド	46	11	2,687	5	267
オランダ	132	20	8,717	17	854
ノルウェー	21	103	1,675	5	522
スイス	14	154	2,281	8	685
カナダ	27	13	23,964	35	1,839
米国	915	36	277,319	314	16,768
中国	500	237	148,314	1,377	9,181
ロシア	212	1	96,284	143	2,097
韓国	315	0	13,110	50	1,305
メキシコ	24	5	13,767	118	1,259
ブラジル	102	1	11,539	201	2,244
インドネシア	835	0	8,980	250	868
オーストラリア	134	0	13,595	23	1,531
備考	=2030 年ベ ースライン排 出量-2030 年対策後排 出量	年あたり の金額に 補正した もの。 Pledged	1950-2012 GHG 排出量 (ただし、 1989 年まで は CO <sub>2</sub> のみ)	2012 年値	2012 年値

## 4. 結果

### 4.1 各国の GHG 排出削減による貢献度の比較

#### 4.1.1 米国の異なる年次におけるベースラインの GHG 排出量データの補正結果

米国は GHG 排出削減目標として 2020 年、2025 年、2050 年の目標値を発表しているのみで、2030 年の目標値は発表していない。そこで、GHG 排出削減の貢献度を算出した結果を示す前に、これらの目標値から 2030 年の GHG 排出量を設定した結果を示す。設定にあたっては、2025 年値と 2050 年値から直線的に内挿した場合と、2025 年から 2030 年まで対策なしで推移する場合の 2 パターンを考えた。

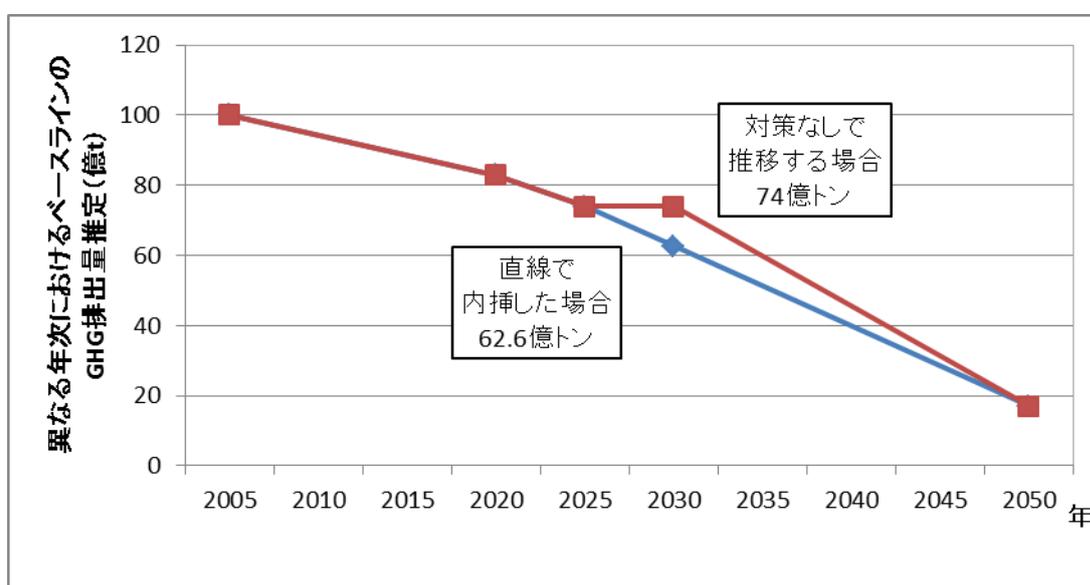
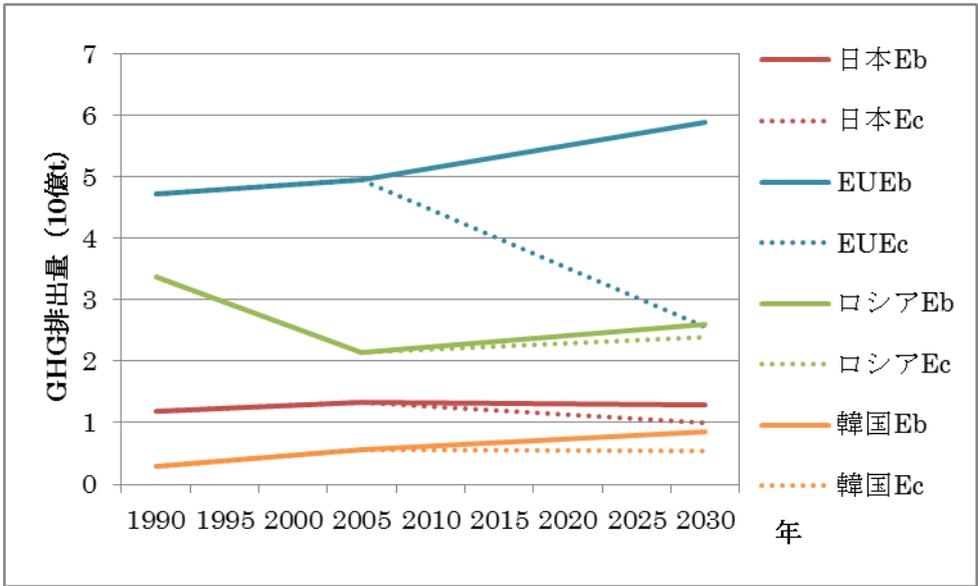


図 4.1.1 米国の異なる年次におけるベースラインの GHG 排出量推定

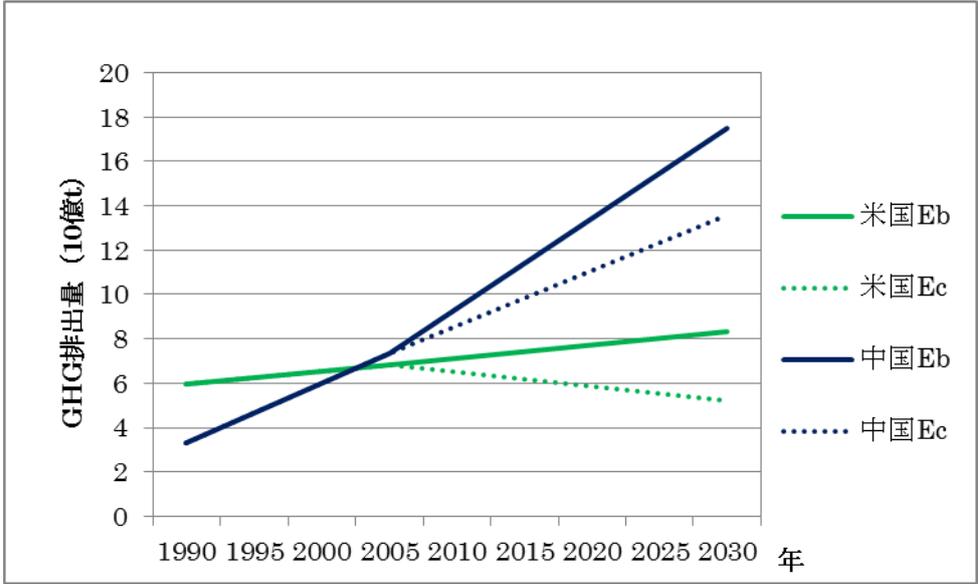
図 4.1.1 に米国の異なる年次におけるベースラインの GHG 排出量推定を示した。米国の 2030 年の GHG 排出量は直線で内挿した場合が 62.6 億トン、対策なしで推移した場合が 74 億トンとなった。以下の分析では対策なしで推移した場合の数値を用いた。なお、対策なしで推移した場合は、内挿した場合、すなわち対策が同様に進むとした場合と比べて +18%の GHG 排出量となる。

#### 4.1.2 ベースラインの GHG 排出量と対策後の GHG 排出量の比較

次に、GHG 排出量上位国(日本・EU・ロシア・韓国・米国・中国)について、各国のベースラインの GHG 排出量と対策後の(約束草案に基づく)GHG 排出量を比較した。結果を図 4.1.2 に示す。



ア) 日本・EU・ロシア・韓国



イ) 米国・中国

図 4.1.2 ベースラインによる GHG 排出量と約束草案による GHG 排出量

図 4.1.2 が示すように、日本、ロシア、韓国は約束草案による GHG 削減量とベースラインによる GHG 排出の差が小さいことがわかる。一方、EU、米国、中国はその差が大きくなっている。全体として、GHG 排出量の大きい国、今後の伸びが予想される国ほど約束草案による GHG 削減量とベースラインによる GHG 排出の差が大きい傾向があることがわかった。

#### 4.1.3 ベースラインにおける GHG 排出量の違いの考察

式(1)で表したように、本研究での貢献度はベースラインの GHG 排出量に大きく影響を受ける。しかし、ベースラインの GHG 排出量の推定には様々な仮定や前提条件があり、それによって推定幅が生じるため、ベースラインの GHG 排出量予想は研究機関・研究者によって大きな差がある。例えば、Climate Action Tracker による EU の 2005 年から 2030 年の GHG 排出量推移は 21.6%減となっている。Climate Action Tracker の推定では EU の 1990 年以降 GHG 排出量が減少傾向にあるため、その傾向が今後も続くと仮定して求めた予想である。他方、Akimoto の論文中では EU の同時期の GHG 排出量推移が 15.7%増となっている。この推定では、各国が経済的に合理的な設備投資を行った場合の GHG 排出量を推定しており、Climate Action Tracker とは推定の手法が全く異なる。

そこで本項では、GHG 排出量の大きい米国・中国・ロシア・EU の 4 か国・地域において、ベースラインの GHG 排出量がどのような幅で推定されているかを整理して確認した。整理した結果を表 4.1.3 と図 4.1.3 に示す。ここでは、Climate Action Tracker の推定データを用いた。本研究で対象とするすべての国を同一の方法で評価している機関や文献はほとんどなく、ここで用いた Climate Action Tracker の値についても同様であるが、統一的な枠組みで各国の現行の政策と基礎データに基づいて推定を行っており、現在入手可能な推計値のなかでは最も比較可能性が確保されている値である。なお、推定においては、現在整備されている法制や各国政府機関による予想、国際機関によって予想される経済成長率、人口増加率にもとづいて GHG 排出量を決定しているとのことである。

表 4.1.3 2030 年におけるベースライン GHG 排出量の違い(10 億 t)

	上限値	下限値	推定幅
米国	6.34	6.22	0.12
中国	14.4	13.8	0.6
ロシア	2.7	2.6	0.1
EU	3.68	4.31	0.63

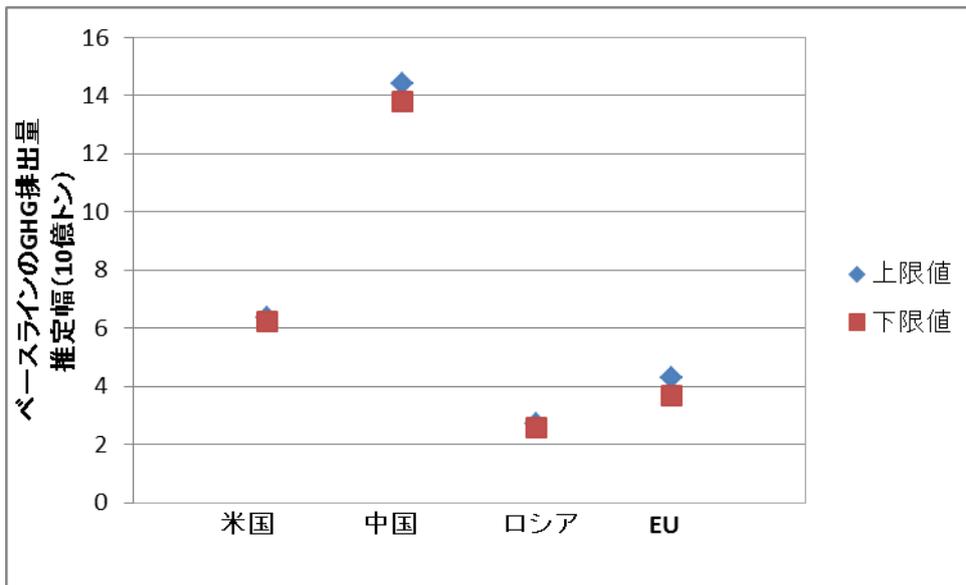


図 4.1.3 2030 年のベースライン GHG 排出量の推定幅

2030 年のベースラインにおける GHG 排出量の推定幅は、EU・中国が 6 億トンとやや大きいものの、米国・ロシアでは 1 億トン程度であった。最も推定幅の大きい EU では下限値と比べると上限値は+17%程度であった。このように大きな違いがなかったため、本研究ではベースラインの GHG 排出量を複数使って感度解析を行うということはせず、平均値式を用いることとした。

#### 4.1.4 GHG 排出削減による貢献度の比較

GHG 排出削減による貢献度を算出した結果を図 4.1.4 に示す。なお、貢献度は次式を用いている。(再掲)

$$X_{er} = \frac{Eb - Ec}{Eb} \dots(1)$$

ここで、

$X_{er}$ :GHG 排出削減による貢献度(t)

$Eb$ : ベースライン※の温室効果ガス排出量 (t) (※約束草案がない場合の予想排出量)

$Ec$ : 約束草案に基づく温室効果ガス排出量 (t)

である。

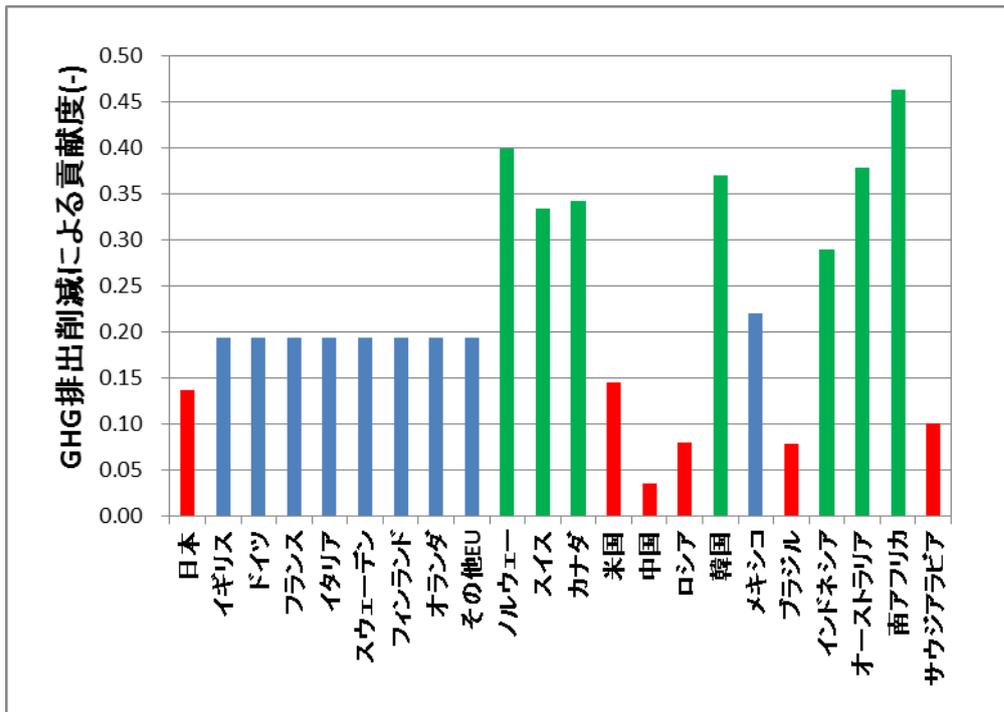


図 4.1.4 各国の GHG 排出削減による貢献度の算出まとめ

貢献度は、最高値が南アフリカであり 0.463、最低値が中国であり 0.004 となった。EU 諸国や、ノルウェー、スイスは約束草案による削減割合が大きいため、概して貢献度が高くなっている。一方、日本・米国・中国・ロシアなどは GHG 排出削減による貢献度が低かった。日本や米国はヨーロッパ諸国と比べて約束草案による GHG 排出削減量が小さかったためである。

EU は全ての国で貢献度が等しくなっている。これは、Eb と Ec を、EU 全体での 2005 年から 2030 年での変化の割合を 2005 年の個別の国の数値にかけて求めているからである。

中国はいくつかの条件を付けた複雑な約束草案を提出しており、Climate Action Tracker はこれをもとにベースライン GHG 排出量を予想している。ただし、GDP あたりの GHG 排出量の目標は予想の条件に入れていない。もし GDP あたりの GHG 排出量の目標を予想に入れるなら、約束草案による GHG 排出量は 159 億 t になり、GHG 排出削減による貢献度は 0.145 になっていた。韓国は自らの約束草案の中でベースラインの GHG 排出量を推定している(850.6Mt)が、その値は Climate Action Tracker の推定値(732Mt、中央値)に比べると大きく、それによって大きな貢献度になっている。南アフリカは経済が鉱業や重工業と深く結びついているうえ、現時点では気候変動対策政策が乏しいため、ベースラインの GHG 排出量が大きくなったことが貢献度が大きくなった要因である。対策後の GHG 排出量を平均値の 506Mt として計算したため貢献度は 0.463 となったが、実際の提出値は 398~614Mt と大きな幅がある。これを考慮して計算すると、貢献度は 0.349~0.578 となった。このように、政策がまだ不確定な部分が多く残されている。

## 4.2 各国の資金拠出による貢献度の算出

### 4.2.1 拠出総額の比較

各国の資金拠出総額を図 4.2.1 に示す。

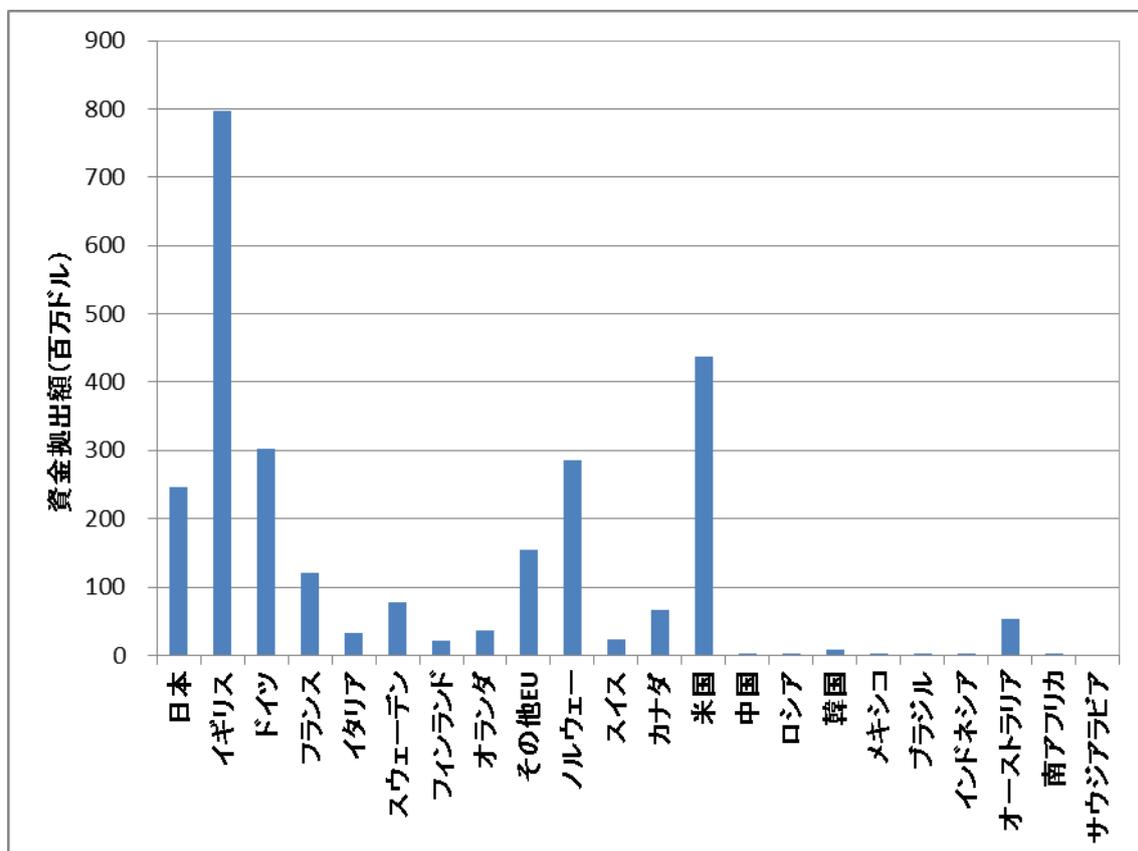


図 4.2.1 各国の気候変動対策資金の拠出総額（単年あたり）の比較

単年あたりの拠出総額を比べてみると、対象国の中で拠出総額が最も多いイギリスが 2 位の米国に 1.8 倍もの差をつけて、多くの資金拠出を行っていた。イギリスのみで EU の半分以上の資金供給を行っている。2 位の米国は 3 位のドイツの 1.45 倍だった。3～5 位はドイツ・ノルウェー・日本が僅差で並んでいる。5 位の日本は、6 位のその他 EU の 1.6 倍であった。全体として資金拠出の総額は差異が大きく、資金拠出を行っている国は日米欧にほぼ限られているのが現状である。ここでの気候変動対策資金は 2003 年以降の拠出額であり、新興国はこの時期に経済力を増している国であっても、資金拠出は消極的な姿勢が読み取れる。

#### 4.2.2 資金拠出による貢献度の比較

資金拠出による貢献度の比較を図 4.2.2 に示す。

資金拠出を基にした貢献度を次の式(3)で求めた。

$$X_m = \frac{F/Ac}{Eb} \dots (3)$$

$X_m$ …資金拠出による貢献度(-)

F…資金拠出額(\$)

Ac…世界全体の GHG 排出削減に掛かる平均費用(\$/t)

Eb…ベースライン GHG 排出量(t)

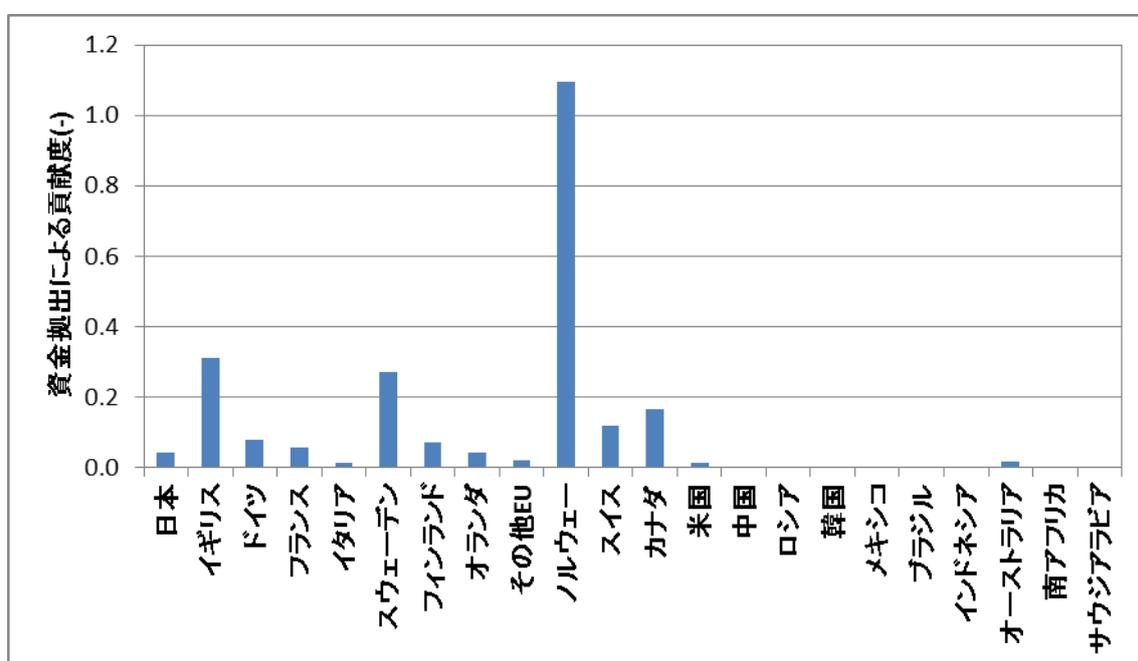


図 4.2.2 資金拠出による貢献度

式(3)より算出された資金拠出による貢献度は、1位のノルウェーが約 1.1 と突出して高くなった。ノルウェーは国の経済規模（人口・GDP・累積 GHG 排出量）に比して突出して大きな資金拠出を行っていることがわかった。2～5位はイギリス・スウェーデン・カナダ・スイスがつづいた（イギリス/スイス=2.6倍）。6位のドイツ以下は非常に小さい値であった。日本・ドイツ・フランス・その他 EU・米国などの先進国は、資金拠出の絶対額は大きいものの、ベースラインの GHG 排出量との比で算出される貢献度でみると、拠出額が多くないという結果となった。

#### 4.2.3 資金の国・目的別の拠出額の算出

資金の国・目的別拠出額を算出した。

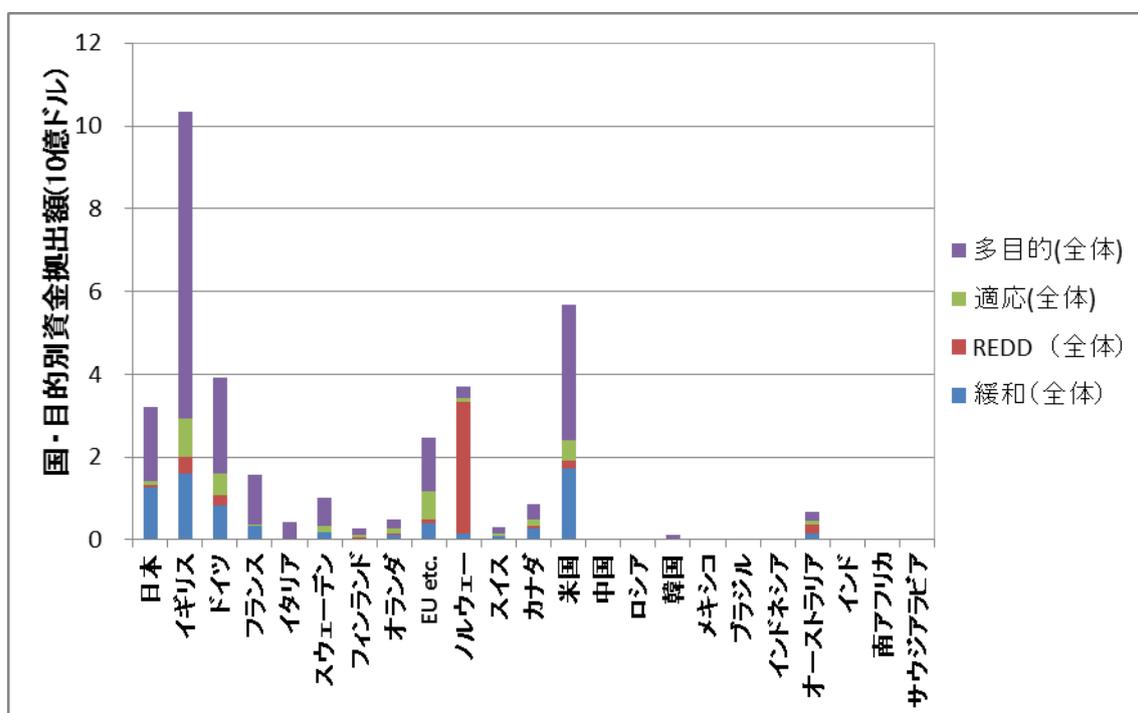


図 4.2.3 (ア) 各国の目的別資金拠出額 (適応あり)

目的別にみると多目的の資金が最も多いことがわかった。次に多いのは緩和である。適応の資金はわずかだった。

ノルウェーの資金拠出額 37 億 0400 万ドルのうち、Norway's International Climate and Forest Initiative に 16 億 0800 万ドル、Amazon Fund に 10 億ドルを拠出されており、これらはいずれも REDD の用途であった。図のように REDD の資金は世界的には少なく、ノルウェーは特徴的な資金拠出を行っていることがわかった。ノルウェーは途上国の森林減少・劣化(REDD)防止に力を入れている。2010 年 5 月、ノルウェー政府は「気候変動と森林に関するオスロ会議」を開催し、「REDD+パートナーシップ」の構築に合意している。<sup>23)23)</sup>このように、資金拠出の性質がその国の政策上の特徴に関連していることがわかった。

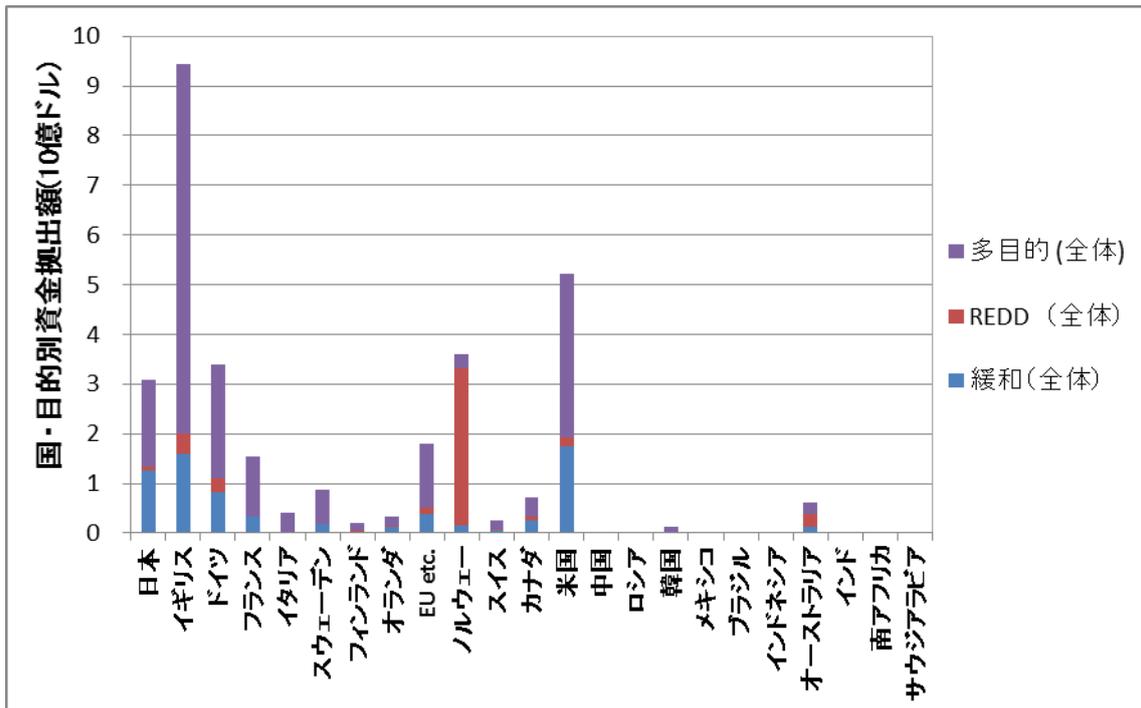


図 4.2.3 (イ) 国・目的別資金拠出額 (適応なし)

資金拠出は他国での GHG 排出削減に貢献するためのものであるとの前提に基づけば、適応の資金は本研究における貢献度として計算すべきではない。適応の資金は他国が気候変動に適応して被害を軽減することを目的とした資金だからである。そこで、適応の資金を除いた国・目的別資金拠出額を求めた。結果を図 4.2.3(イ)に示す。しかし結果は適応の資金を含むものとほとんど変わらなかった。また、多目的の資金のうち一定量は適応の目的に使われているが、適応と緩和の二重目的のような用途も多く、明確な区別ができない。よって本研究中では適応の資金の区別による貢献度変化は無視できるものとして、全ての目的の資金拠出を貢献度算出として扱うものとした。

### 4.3 公平性で基準化した貢献度の国間の比較

#### 4.3.1 公平性で基準化した GHG 排出削減による貢献度の国間の比較

##### 4.3.1.1 「能力」で基準化した GHG 排出削減による貢献度の国間の比較

「能力」で基準化した GHG 排出削減による貢献度は以下の式で求めた。

$$X_{er,c} = \frac{Eb - Ec}{Eb \times (GDP \text{ per capita})} \dots \text{式(9)}$$

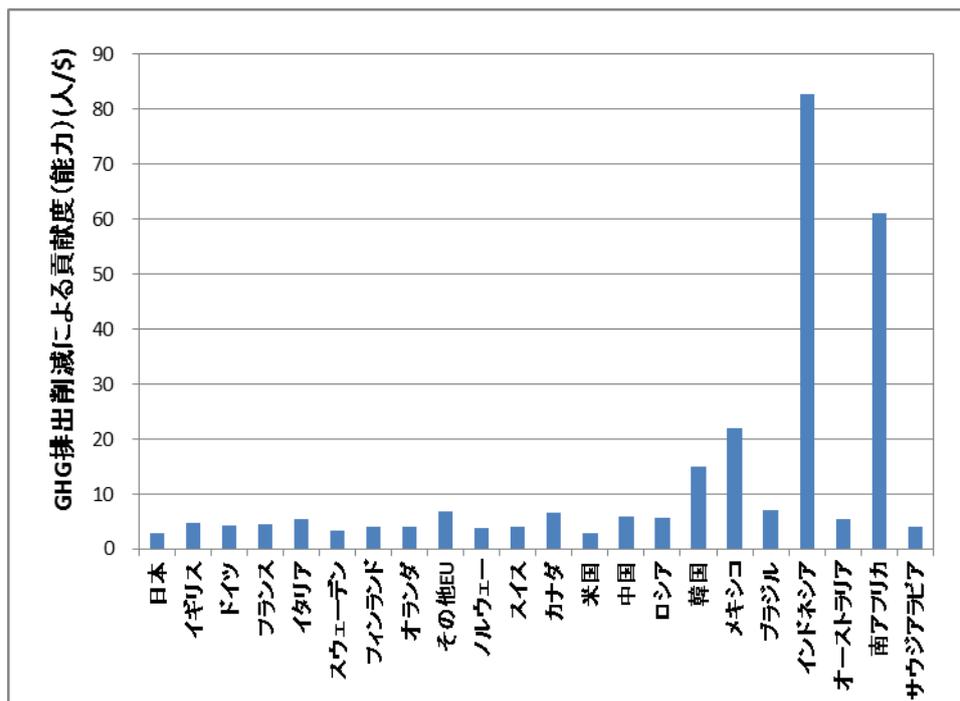


図 4.3.1 (ア) GHG 排出削減による貢献度 (能力)

図 4.3.1 (ア) に「能力」で基準化した GHG 排出削減による貢献度を示す。能力で基準化した GHG 排出削減による貢献度はインドネシア、南アフリカが非常に大きな値を示した。一人当たり GDP は中国、インドネシアなどが低いため、貢献度が大きくなった。中国は一人当たり GDP は小さいが、補正なしの貢献度が小さいため、他国と変わらないような結果になった。

#### 4.3.1.2 「平等」で基準化した GHG 排出削減による貢献度の国間の比較

「平等」で基準化した GHG 排出削減による貢献度は以下の式で求めた。

$$X_{er,c} = \frac{X_{er}}{GHG \text{ emission per capita}} \dots \text{式(10)}$$

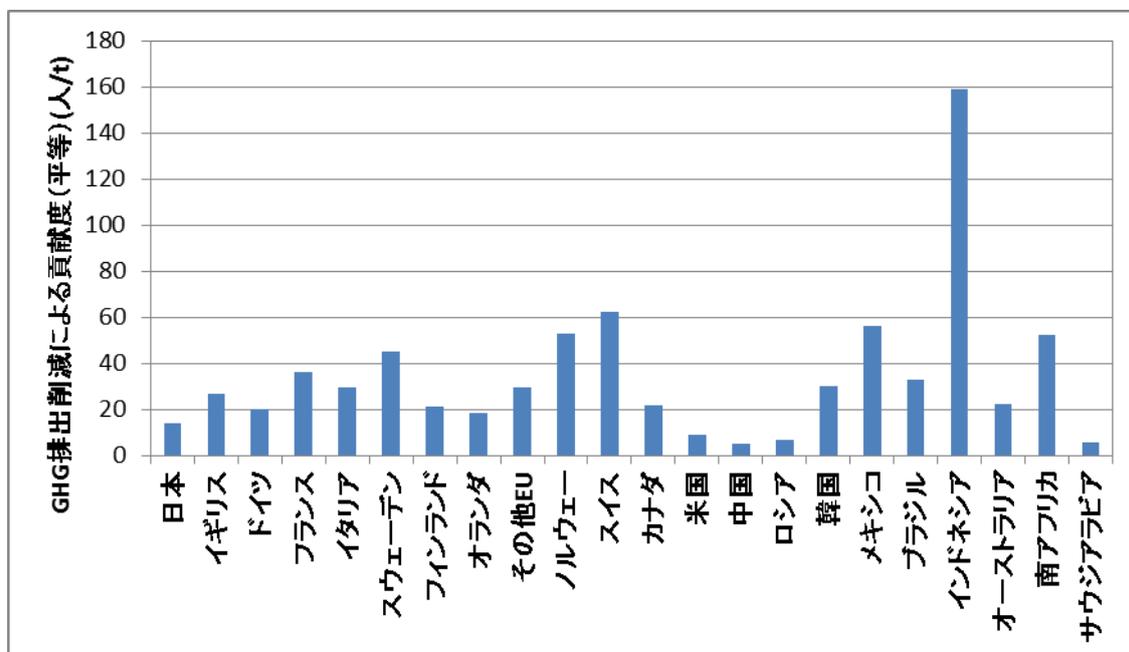


図 4.3.1 (イ) GHG 排出削減による貢献度 (平等)

図 4.3.1 (イ) に「平等」で基準化した GHG 排出削減による貢献度を示す。「平等」で基準化した GHG 排出削減による貢献度はインドネシアが大きくなった。フランス、スウェーデンは他の EU 諸国と比べて一人当たり GHG 排出量が少ないため貢献度が伸びた。米国、ロシアは一人当たり GHG 排出量が非常に大きいため極端に貢献度が小さくなっている。中国は一人当たり GHG 排出量がすでに先進国の水準に近づいており、貢献度が非常に小さくなった。インドネシアは一人当たり GHG 排出量が他国と比べ極端に低いため、貢献度が大きくなった。

#### 4.3.1.3 「責任」で基準化した GHG 排出削減による貢献度の国間の比較

「責任」で基準化した GHG 排出削減による貢献度は以下の式で求めた。

$$X_{err} = \frac{X_{er}}{\text{cumulative GHG emission}} \dots \text{式(11)}$$

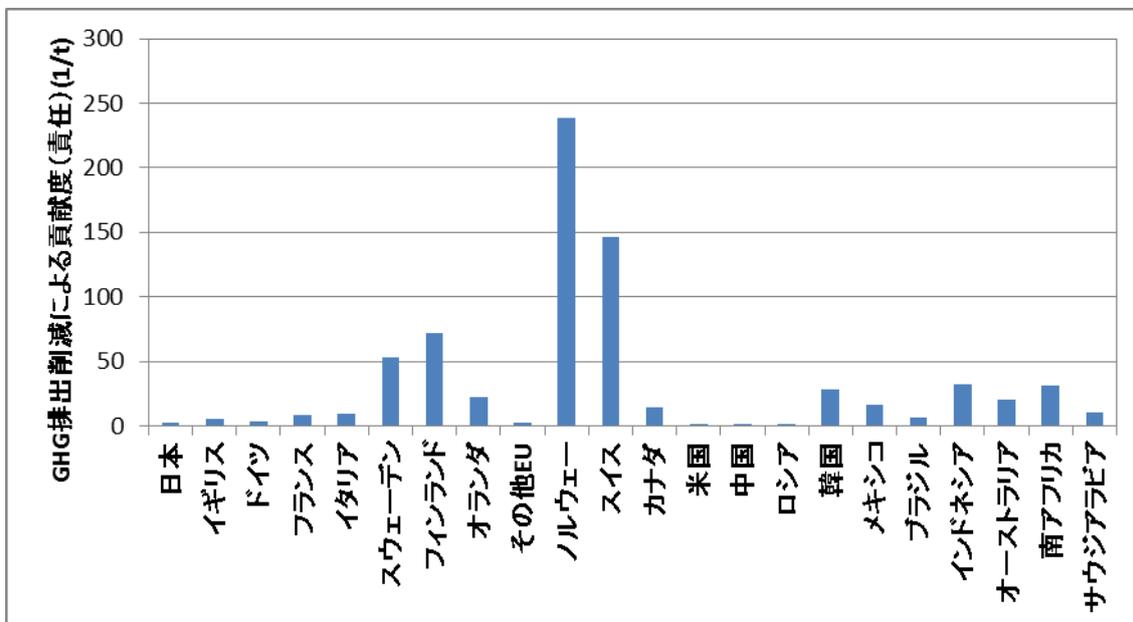


図 4.3.1 (ウ) 「責任」で基準化した GHG 排出削減による貢献度

図 4.3.1 (ウ) に「責任」で基準化した GHG 排出削減による貢献度を示す。スウェーデン、フィンランド、ノルウェー、スイスが大きな貢献度になっていることがわかる。これらの国では累積 GHG 排出量が他国と比べて小さく、大きな貢献度に結び付いた。

#### 4.3.2 公平性で基準化した資金拠出による貢献度の国間の比較

##### 4.3.2.1 「能力」で基準化した資金拠出による貢献度の国間の比較

「能力」で基準化した資金拠出による貢献度は以下の式で求めた。

$$X_{mc} = \frac{X_m}{GDP \text{ per capita}} \dots \text{式(12)}$$

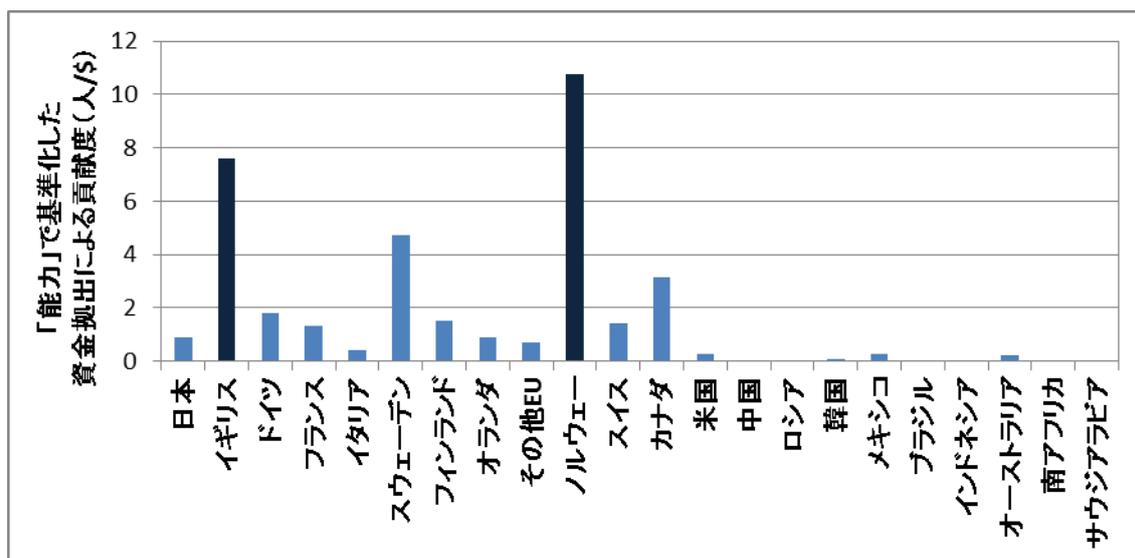


図 4.3.2 (ア) 「能力」で基準化した資金拠出による貢献度

図 4.3.2 (ア) に「能力」で基準化した資金拠出による貢献度を示す。「能力」で基準化した資金拠出による貢献度は、イギリスがノルウェーの 3 分の 2 程度の貢献度になった。ノルウェーは一人当たり GDP が最大の国なので、公平性概念で基準化する前と比べて貢献度の差は小さくなった。

#### 4.3.2.2 「平等」で基準化した資金拠出による貢献度の国間の比較

「平等」で基準化した資金拠出による貢献度は以下の式で求めた。

$$X_{me} = \frac{X_m}{GHG\ emission\ per\ capita} \dots \text{式(13)}$$

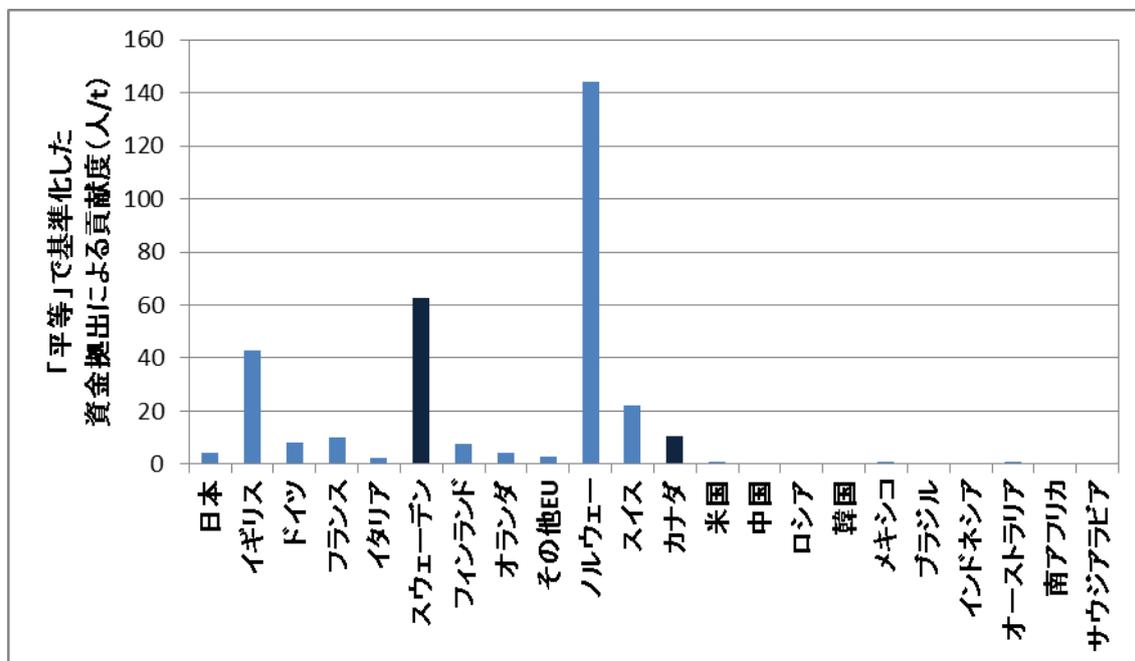


図 4.3.2 (イ) 「平等」で基準化した資金拠出による貢献度

図 4.3.2 (イ) に「平等」で基準化した資金拠出による貢献度を示す。「平等」で基準化した資金拠出による貢献度はスウェーデンがやや大きくなった。カナダはやや小さくなった。

#### 4.3.2.3 「責任」で基準化した資金拠出による貢献度の国間の比較

「責任」で基準化した資金拠出による貢献度は以下の式で求めた。

$$X_{m,r} = \frac{X_m}{\text{cumulative GHG emission}} \dots \text{式(14)}$$

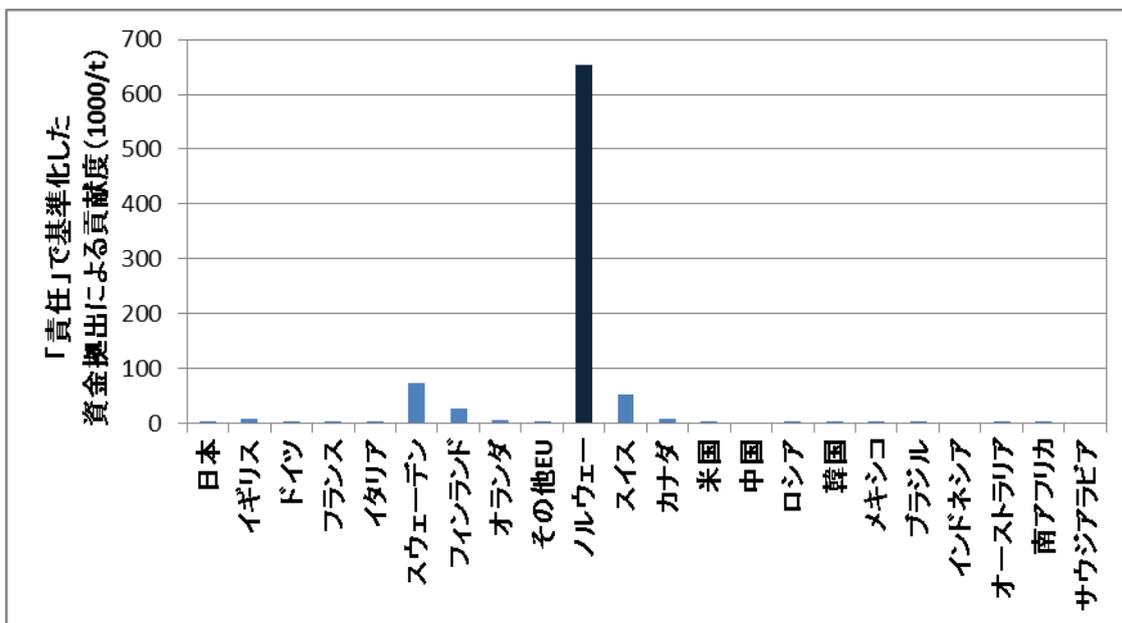


図 4.3.2 (ウ) 「責任」で基準化した資金拠出による貢献度

図 4.3.2 (ウ) に「責任」で基準化した資金拠出による貢献度を示す。「責任」で基準化した資金拠出による貢献度はノルウェーが極端に大きくなったため、他の国はほとんど貢献度が可視化されないほど小さくなった。

#### 4.4 GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度

##### 4.4.1 GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度の国間の比較

GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度を次の式(4)で求めた。

$$X_{sy} = \frac{Eb - Ec + F/Ac}{Eb} \dots (4)$$

$X_{sy}$ : GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度

$Eb$ : ベースラインの GHG 排出量 (t)

$Ec$ : 約束草案に基づく温室効果ガス排出量 (t)

$F$ : 資金拠出額(\$)

$Ac$ : 世界全体の GHG 排出削減に掛かる平均費用(\$/t)

$Eb$ : ベースライン GHG 排出量(t)

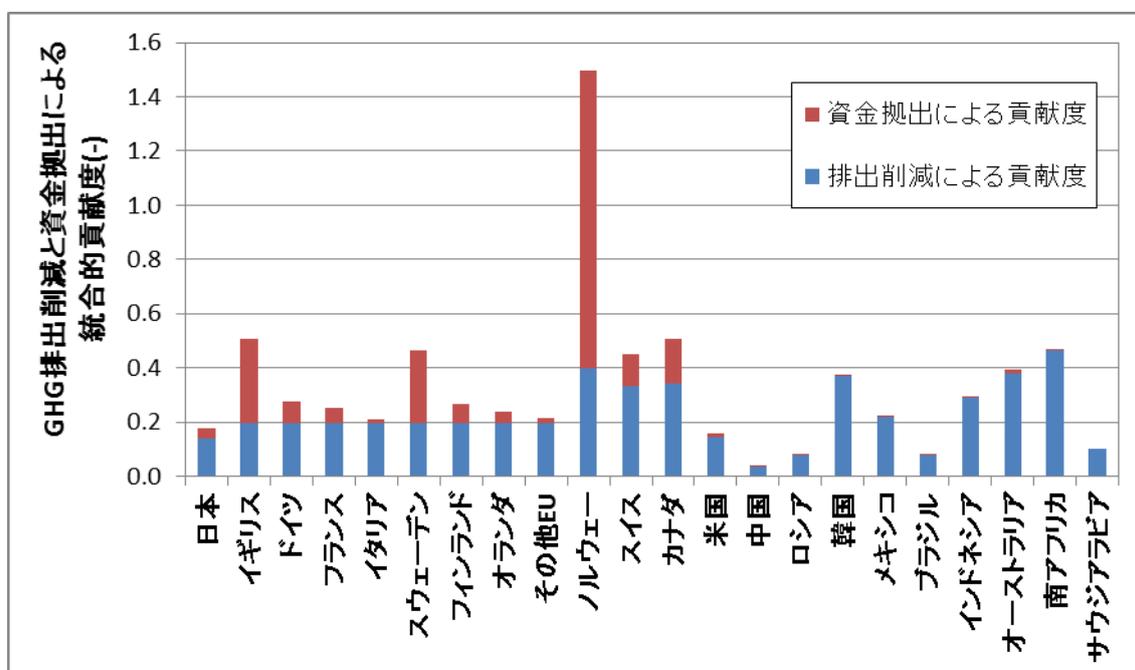


図 4.4.1 GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度

GHG 排出削減と資金拠出の統合的貢献度は図 4.4.1 のようになった。1 位のノルウェーが 2 位のカナダに 2.9 倍の差であった。3 位以下はスウェーデン、南アフリカ、スイス…と続く。GHG 排出大国である中国・ロシア・日本・米国は貢献度が低い水準であることが明らかになった。

#### 4.4.2 均一な貢献度のために必要な追加資金

均一な貢献度のために必要な追加資金を定量化し、国ごとの傾向を見た。

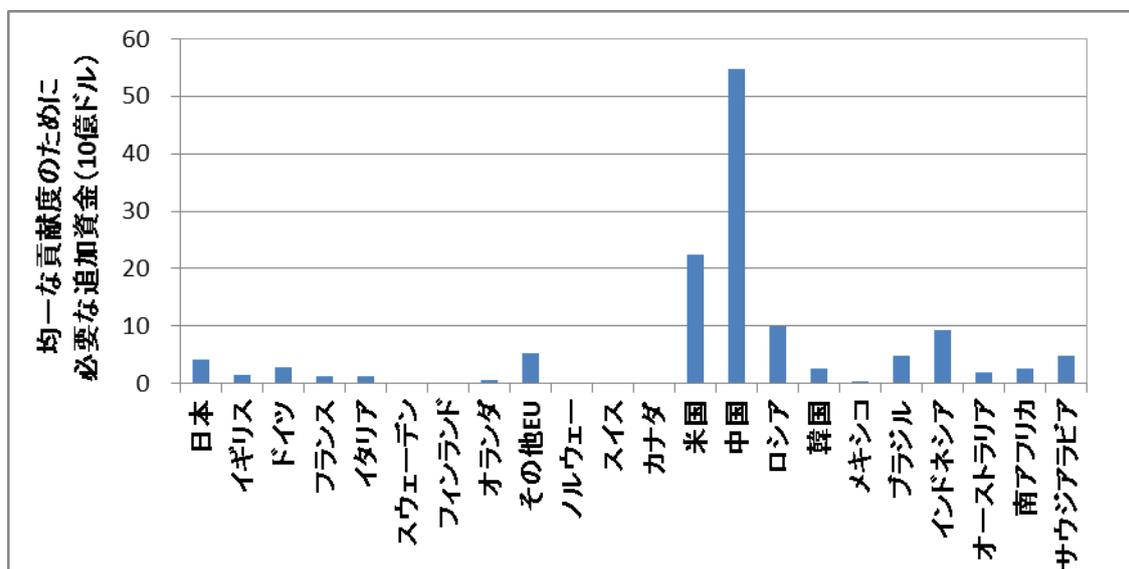


図 4.4.2 均一な貢献度のために必要な追加資金

4.4.1 で示したように貢献度のトップはノルウェーである。他の国がノルウェーと同じ貢献度になるには、どれだけの追加資金が必要かを示した。

均一な貢献度のために必要な追加資金量のトップは中国で 547 億ドル、2 位が米国で 224 億ドルであった。3 位がロシア 99.8 億ドル、4 位がインドネシア 93.4 億ドルと続く。

日本が均一な貢献度のために必要な追加資金は 41 億ドル程度になった。1 ドル=118 円 (2016 年 1 月 27 日のレート) とすれば約 4800 億円である。なお、日本は 2020 年に官民あわせて年間約 1 兆 3 千億円の気候変動関連の途上国支援を行うことを約束している。よって実際の国際社会では、均一な貢献度のために必要な追加資金を十分にクリアしていることになる (ただし、この期間にノルウェーはじめ他国が追加的に資金を出さない場合)。

参考までに、国際社会では、COP21 決定において、2025 年に先立ち 1000 億ドルを下限として新たな定量的な全体の目標を設定することを決定している<sup>24)</sup>。

## 4.5 包絡分析法(DEA)による評価

### 4.5.1 包絡分析法(DEA)による貢献度の算出結果

結果を図 4.5.1 に示す。

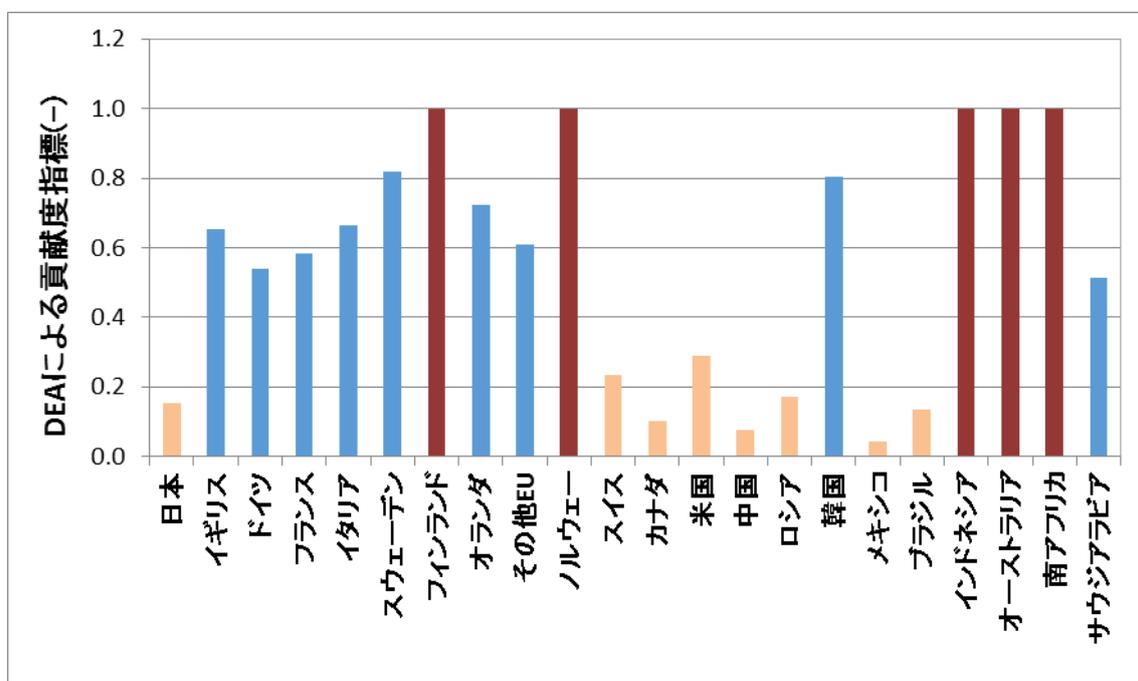


図 4.5.1 包絡分析法(DEA)による貢献度の算出結果

図 4.5.1 で色分けしたように、DEA による貢献度評価の結果を大きく 3 つのグループに分けて説明を行う。第一のグループは茶色で示したフィンランド・ノルウェー・インドネシア・オーストラリア・南アフリカであり、DEA による貢献度指標が 1 となり、これらの国々がトップランナー（効率的フロンティア）と評価された。第二のグループは、青色で示した 9 개국であり、中程度の貢献度（0.5~0.8 程度）あると評価された。主に、EU 諸国が含まれている。第三のグループは、日本・スイス・カナダ・米国・中国などの 8 개국であり、DEA による貢献度指標が 0.05~0.3 と低い国々である。先進国でみると、概して EU 諸国が DEA による貢献度指標が高く、他方、日本・スイス・カナダ・米国で低くなった。中国・ロシアも貢献度が非常に低くなった。

#### 4.5.2 DEA で算出されたデータのターゲット値と現状値の比較

包絡分析においてアウトプットデータとして用いた GHG 排出削減量と拠出金額（年あたり）について、DEA から算出されたターゲット値（貢献度指標が 1 となるのに必要な値）と現状値の比較を行った。結果を図 4.5.2 に示す。

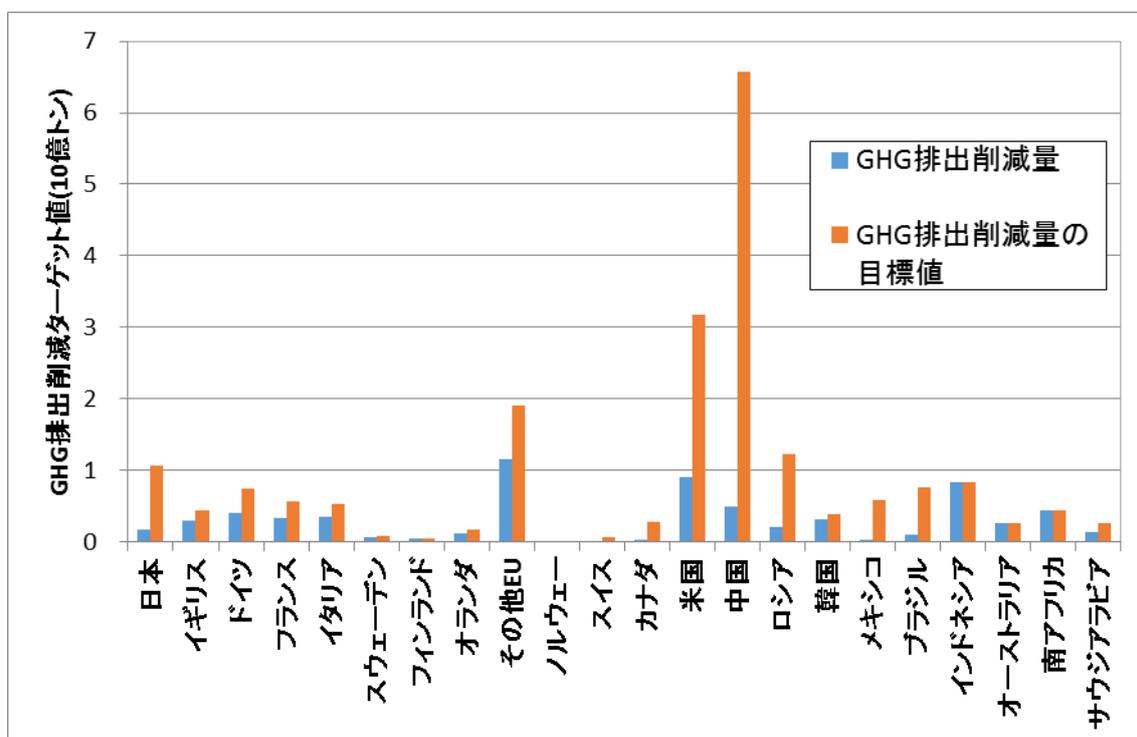


図 4.5.2 (ア) GHG 排出削減量の DEA で算出されたターゲット値と現状値

図 4.5.2 (ア) に GHG 排出削減量の DEA で算出されたターゲット値と現状値を示す。GHG 排出削減量についてターゲット値を国ごとに比べると、中国が 65 億 7200 万トンで 1 位、米国が約半分の 31 億 6900 万トンで 2 位、その他 EU が 19 億 0400 万トンで 3 位だった。そのあとは僅差でロシア 12 億 3500 万トン、日本 10 億 7500 万トン、インドネシア 8 億 3500 万トン、ブラジル 7 億 5700 万トンと続いた。中国・米国はともに累積 GHG 排出量・人口・GDP などの国の規模が非常に大きいため、それに応じた GHG 排出削減量が求められていることが明らかになった。米国・中国は排出削減量の現状値が大きく、貢献度が低いため、ターゲット値と現状値が大きく差が開くことになった。中国はターゲット値の GHG 排出削減量を実現した場合、ベースラインの GHG 排出量と比べて 47%減になる。同様に米国はターゲット値の GHG 排出削減量を実現した場合、ベースラインの GHG 排出量と比べて 50%減である。これらのターゲット値は、経済成長の方向性を再生可能エネルギーや省エネなどを基幹とした脱炭素型経済へと転換しない限り、実現が難しいターゲット値であると考えられる。日本の場合は同 89%減であり、非常に大きな追加的排出削減努

力が求められる結果となった。これは脱炭素型経済への転換を進めたとしても、実現が難しいのではないかと考えられる。

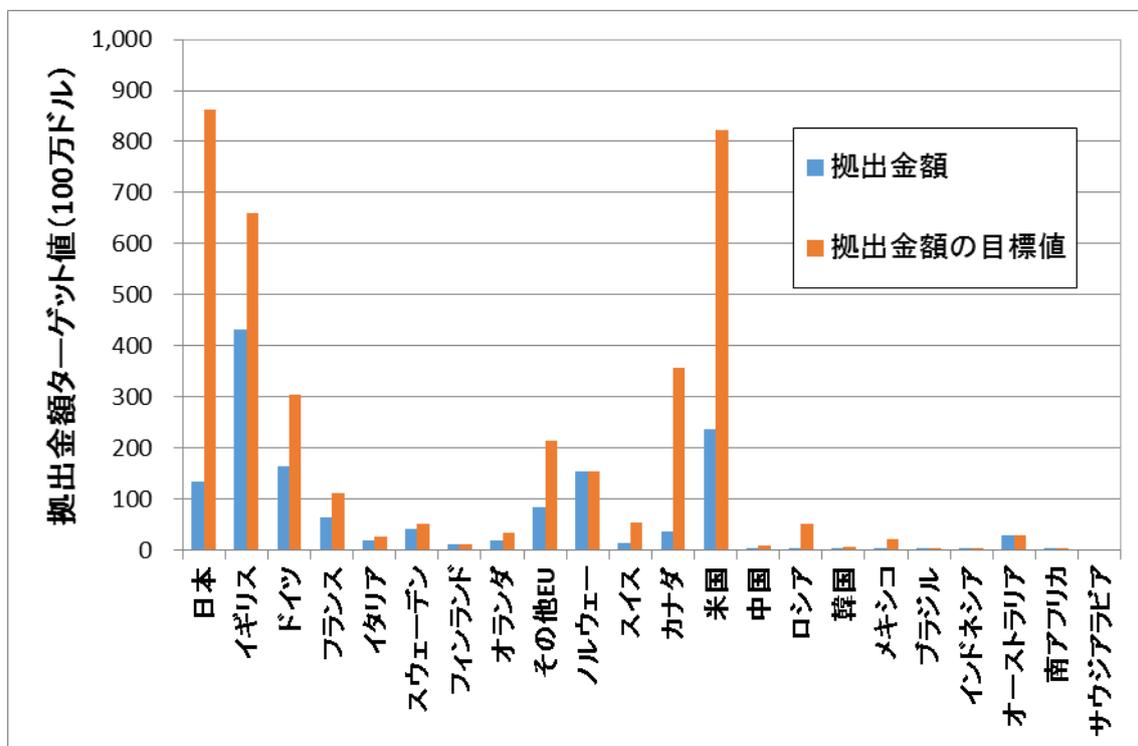


図 4.5.2 (イ) 排出金額の DEA で算出されたターゲット値と現状値

図 4.5.2 (イ) に排出金額の DEA で算出されたターゲット値と現状値を示す。日本が 8 億 6300 万ドルで 1 位、米国が 8 億 2100 万ドルで 2 位、イギリスが 6 億 5800 万ドルで 3 位であった。その後はカナダ、ドイツ、その他 EU と続く。ターゲット値と現状値の差では、日本が 7 億 3000 万ドル、米国が 5 億 8400 万ドルで特に大きいことがわかる。次に大きいのはカナダで 3 億 2000 万ドルである。日本は米国と近い水準の大きな排出金額を求められていることがわかった。4.2.3 で示したように日本は資金排出金額が 5 位である。国の規模（人口、GDP、累積 GHG 排出量）に比べると排出金額が少ないと判断されたため、このような結果になった。貢献度の小さい国はスイス・カナダ・米国・中国・ロシアなどがあるが、ターゲット値と現状値との差ではスイス・中国・ロシアなどは元の排出金額が小さいため目立たなかった。

なお、DEA においてはインプットデータについても図 4.5.4～図 4.5.6 に示すようにターゲット値が算出される。しかしながら、今回用いたインプットデータである人口、GDP、累積 GHG 排出量は、各国における温暖化対策のなかでコントロールできない、あるいは現実的ではないものであるため、今後の政策上の意味はないものである。現状を理解するうえで、あくまで参考として結果を考察する。

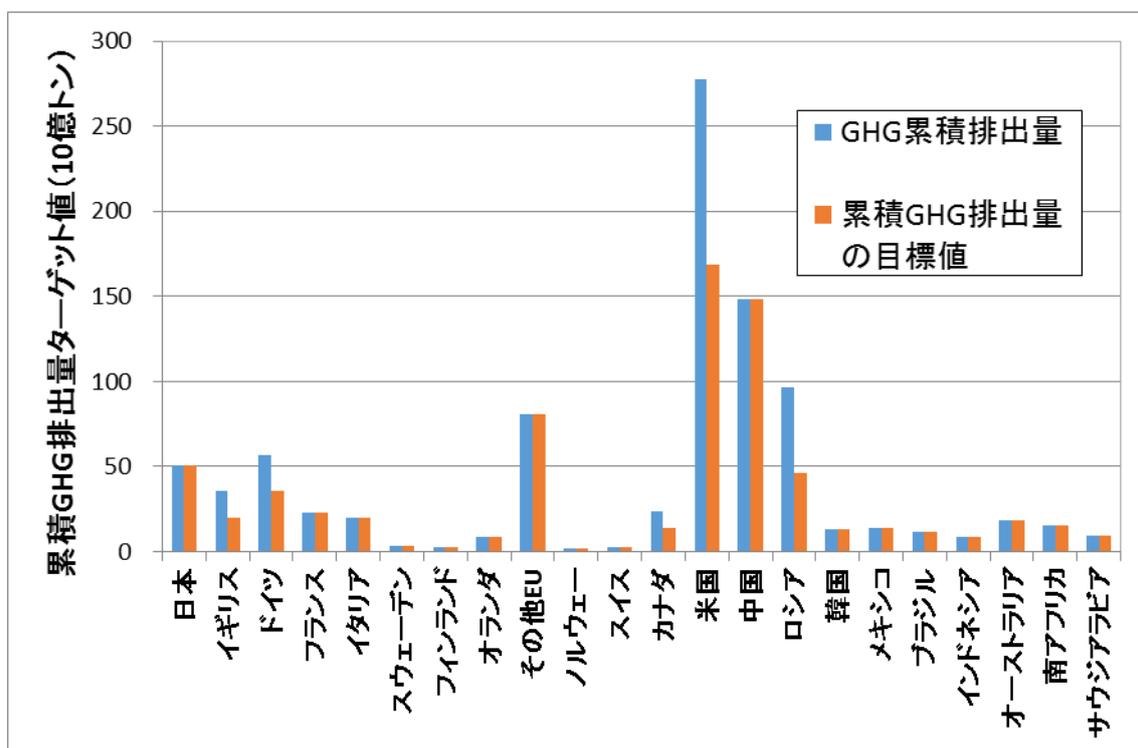


図 4.5.2 (ウ) 累積 GHG 排出量の DEA で算出されたターゲット値と現状値

図 4.5.2 (ウ) に累積 GHG 排出量の DEA で算出されたターゲット値と現状値を示す。累積 GHG 排出量のターゲット値と現状値の差は、米国が 1090 億トンとなっており、「責任」の観点からは大きな超過をしてしまっている結果となった。他にはロシア、ドイツ、イギリスなどがターゲット値を超過している。

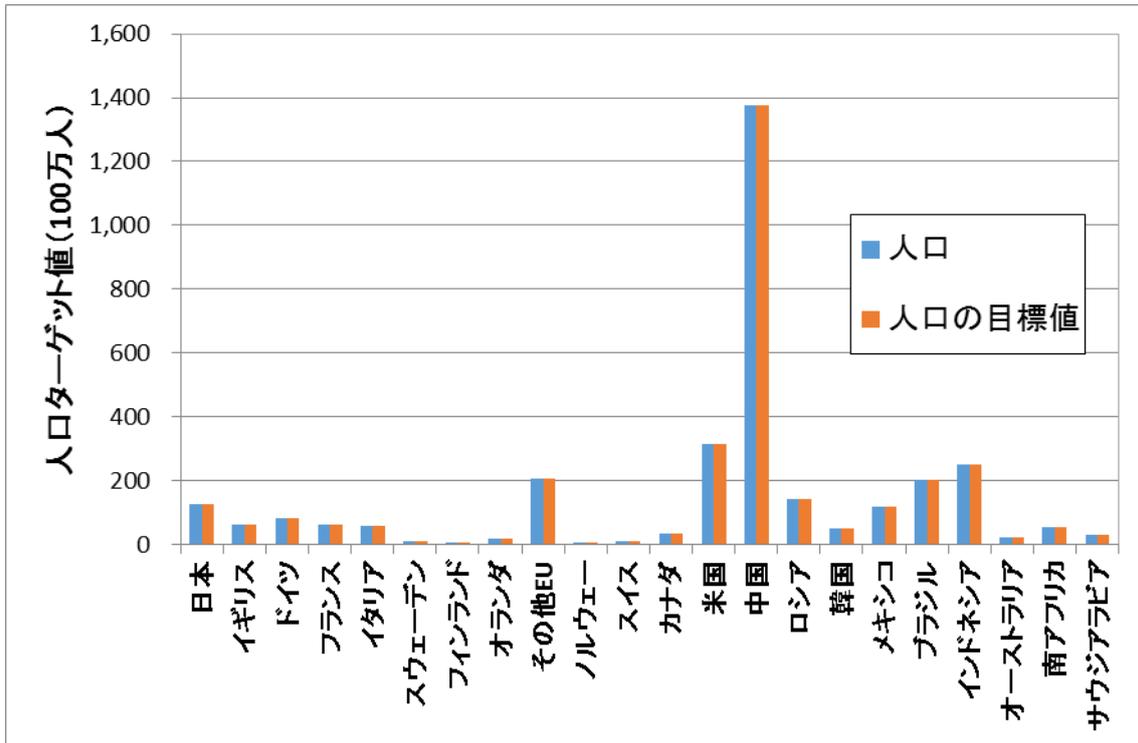


図 4.5.2 (エ) 人口の DEA で算出されたターゲット値と現状値

図 4.5.2 (エ) に人口の DEA で算出されたターゲット値と現状値を示す。人口についてはすべての国でターゲット値が現状値と同じ結果になった。「平等」の観点からは貢献度の差がないことがわかった。人口を所与のものとして他のデータを考察する必要があることがわかった。

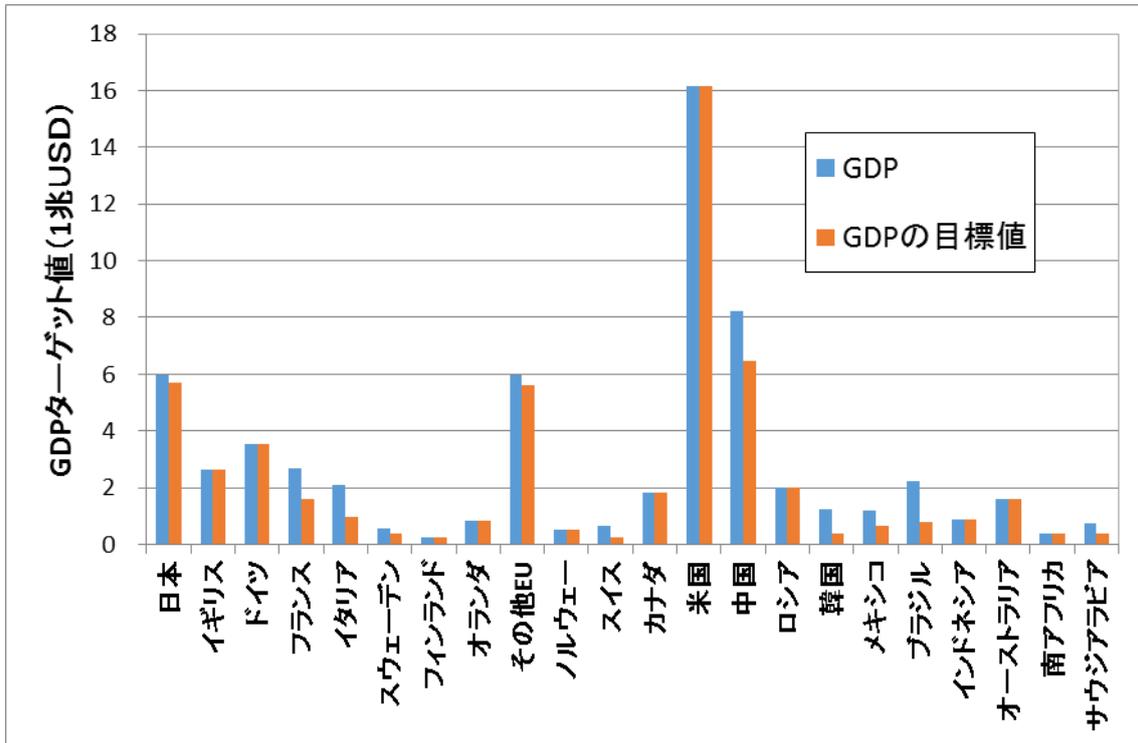


図 4.5.2 (オ) GDP の DEA で算出されたターゲット値と現状値

図 4.5.2 (オ) に GDP の DEA で算出されたターゲット値と現状値を示す。GDP のターゲット値と現状値の差については、中国・フランス・イタリア・韓国・メキシコ・ブラジルなどで現状値がターゲット値を超過している結果となった。最大の差は中国で 1 兆 7730 億ドルである。次がブラジルで 1 兆 4640 億ドルである。これらの国は「能力」の観点からは GDP が超過していることがわかった。

ターゲット値と現状値の差を表 4.5.2 にまとめた。

表 4.5.2 DEA によるターゲット値と現状値の差

国	GHG 排出削減量の差 (100 万トン)	排出金額の差 (100 万ドル)	累積 GHG 排出量の差 (100 万トン)	人口の差 (100 万人)	GDP の差 (10 億ドル)
日本	909	730	0	0	243
イギリス	155	227	15367	0	0
ドイツ	346	140	20462	0	0
ノルウェー	0	0	0	0	0
スイス	44	42	0	0	439
カナダ	245	321	10418	0	0
米国	2255	585	108958	0	0
中国	6072	8	0	0	1773
ロシア	1023	50	50307	0	0
ブラジル	655	3	0	0	1463

#### 4.6 資金拠出額と対策後の GHG 排出削減量の相関

本研究では資金拠出額が対策後の GHG 排出削減量と何らかの関係があるのではないかとこの予想に基づいて分析を行っている。この節では、資金拠出額を 3 種類の公平性概念（能力・平等・責任）に基づいて基準化し、対策後の GHG 排出削減量との関係を調べた。

##### 3.6.4 拠出額

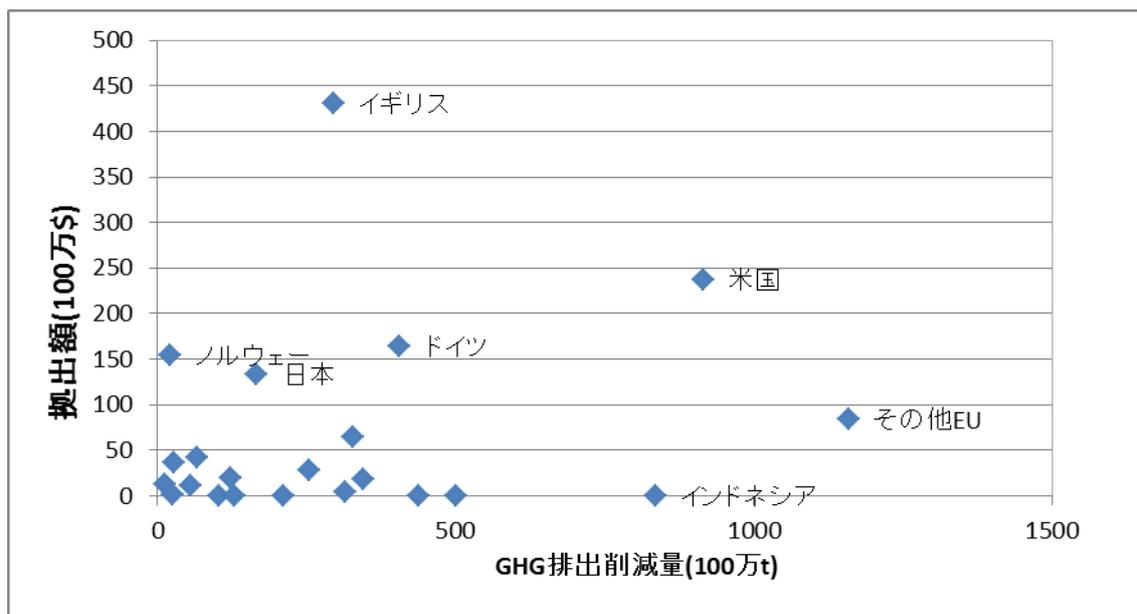


図 4.6.1 (ア) 資金拠出額と対策後の GHG 排出削減量

資金拠出額と対策後の GHG 排出削減量を図 4.6.1 (ア) に示す。GHG 排出削減量と拠出額には相関関係が小さいように見えた。GDP 規模の大きな国は、GHG 排出削減量にかかわらず拠出額は大きい傾向にあるが、中国のような例外もあった。その他 EU やインドネシアのように、GDP 規模は小さく、拠出額は小さくても、大幅な GHG 排出削減を行っている国もあった。

図 4.6.1 (ア) の左下部分の GHG 排出削減量と拠出額がともに小さい国を拡大したものを図 4.6.1 (イ) に示す。

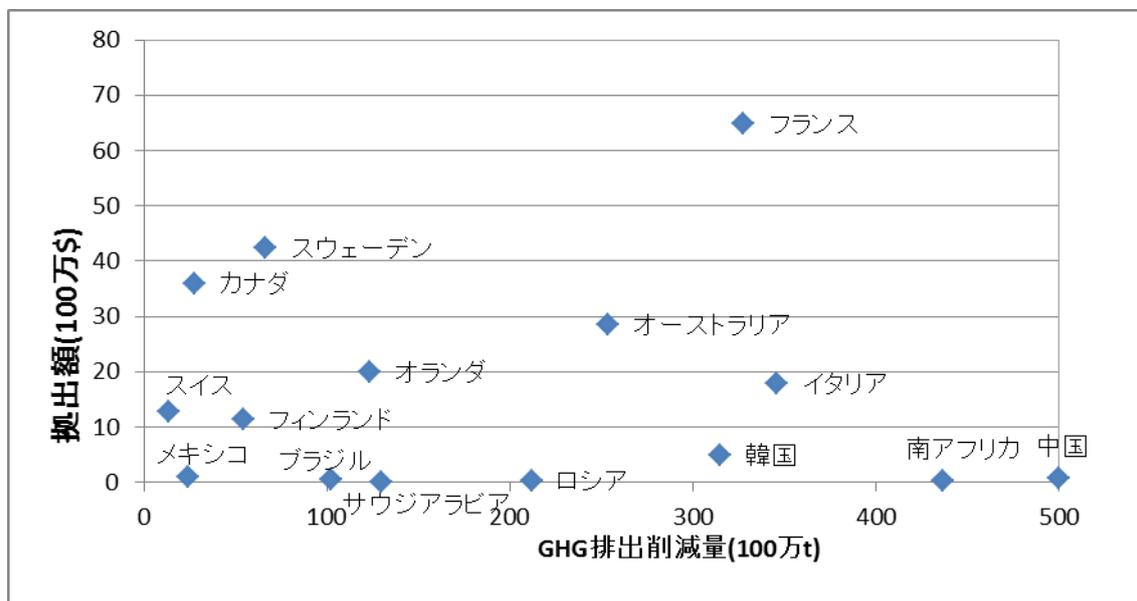


図 4.6.1 (イ) 資金拠出額と対策後の GHG 排出削減量 (拡大)

GHG 排出削減量と拠出額がともに小さい範囲に国が集中していた。拠出額が 1000 万ドル以下の国が 7 か国存在した。この範囲においても、資金拠出額と対策後の GHG 排出削減量の相関関係は小さかった。

#### 4.6.2 拠出額 GDP 比

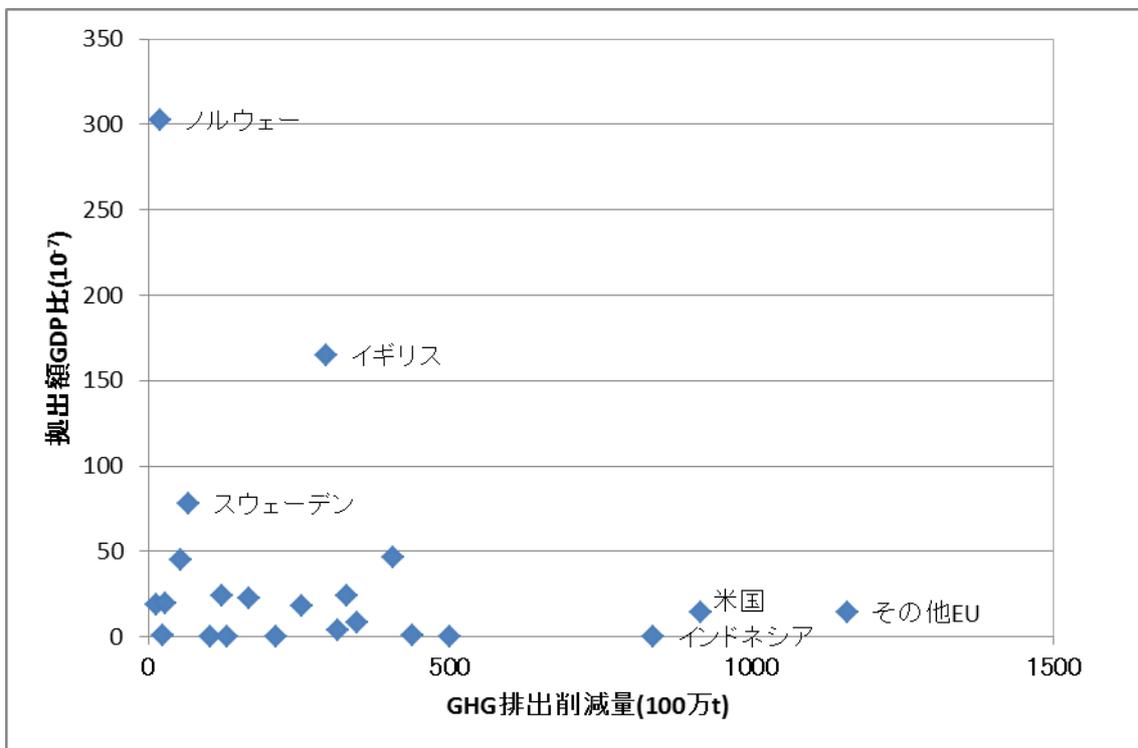


図 4.6.2 (ア) 資金拠出額 GDP 比と対策後の GHG 排出削減量

資金拠出額 GDP 比と対策後の GHG 排出削減量を図 4.6.2 (ア) に示す。「能力」の公平性概念に則って拠出額 GDP 比を縦軸にとり、GHG 排出削減量との関係を調べた。拠出額の図と異なり、拠出額 GDP 比の大きな国と GHG 排出削減量の大きな国が二極化し、資金拠出額 GDP 比と対策後の GHG 排出削減量のバランスのとれた国がなくなったように見えた。ノルウェーは大きく上に、米国は大きく下に移動しているのがわかった。

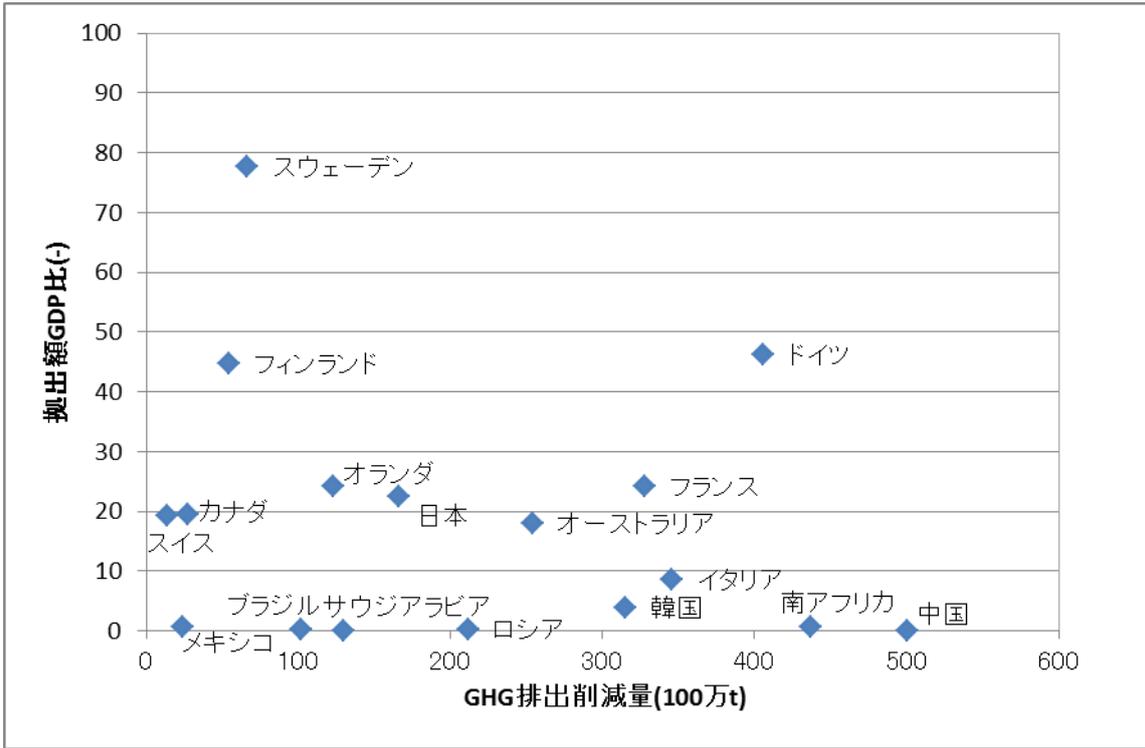


図 4.6.2 (イ) 資金拠出額 GDP 比と対策後の GHG 排出削減量 (拡大版)

図 4.6.2 (ア) の左下部分の資金拠出額 GDP 比と対策後の GHG 排出削減量がともに小さい国を拡大したものを図 4.6.2 (イ) に示す。スウェーデンとフィンランドが図の左方に位置し、図 4.6.1 (ア) のノルウェーと合わせて北欧の国が拠出額 GDP 比で大きな資金拠出を行っているという明瞭な傾向が示された。日本やドイツや米国は大きく位置を下げ、GDP の大きな国でも比例して大きな資金拠出を行っているわけではないと示された。

#### 4.6.3 拠出額累積 GHG 排出量比

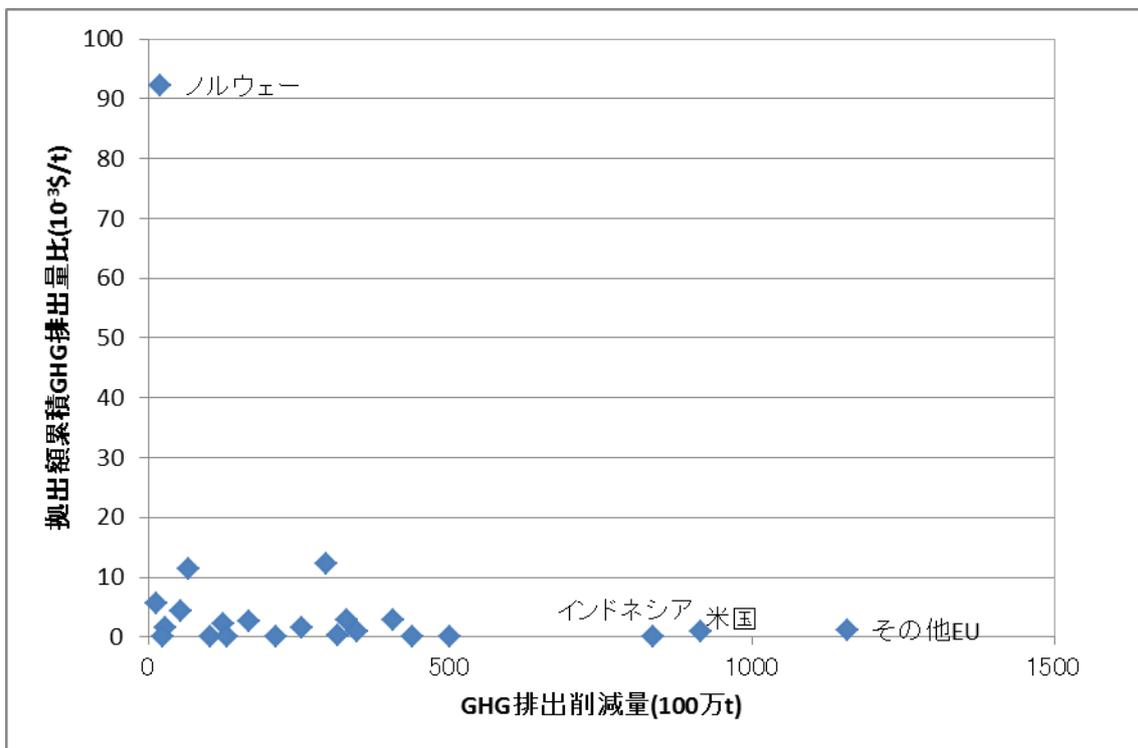


図 4.6.3 (ア) 資金拠出額累積 GHG 比と対策後の GHG 排出削減量

資金拠出額累積 GHG 比と対策後の GHG 排出削減量を図 4.6.3 (ア) に示す。ノルウェーの累積 GHG 排出量が非常に小さいため、1 か国だけ離れたところに位置している。「責任」の公平性概念によると、ノルウェーが非常に大きな資金による貢献を行っていることがわかった。

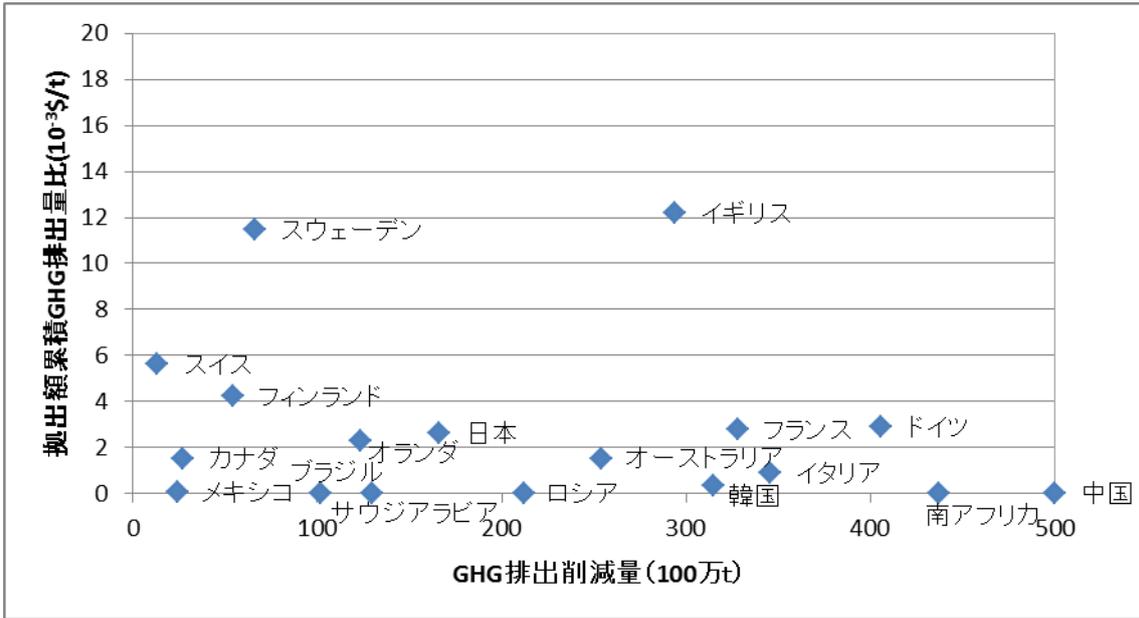


図 4.6.3 (イ) 資金拠出額累積 GHG 比と対策後の GHG 排出削減量 (拡大版)

図 4.6.3 (ア) の左下部分の資金拠出額累積 GHG 比と対策後の GHG 排出削減量がともに小さい国を拡大したものを図 4.6.3 (イ) に示す。拠出額累積 GHG 排出量比では、米国・イギリス・ドイツ・日本は大きく位置を下げた。スウェーデン・スイス・フィンランドなど北欧諸国が位置をあげている。多くの国が下方に偏って位置しており、ノルウェー・スウェーデン・イギリスなど少数の国が大きな貢献をしていることがわかった。

## 5 結論と今後の課題

本修士論文では、国際社会が協調して気候変動対策に取り組むための知見を提供することねらいとして、主要 22 か国の GHG 排出削減と資金拠出による貢献度を求め、3 つの公平性の基準を用いて貢献度の比較を行った。その結果、GHG 排出削減量の視点では、ノルウェー、スイス、カナダ、韓国、インドネシア、オーストラリア、南アフリカが貢献度の大きい国と評価された。GHG 排出削減量と資金拠出の統合的貢献度ではノルウェーが特に貢献度が大きいと評価された。DEA（包絡分析法）を用いた貢献度評価では、フィンランド、ノルウェー、インドネシア、オーストラリア、南アフリカが貢献度の大きい国と評価された。このように、GHG 排出削減や資金拠出による貢献度と、DEA による貢献度には評価の仕方によって結果に違いが生じることが確認された。GHG 排出削減による貢献度の算出ではベースラインの GHG 排出量の想定によって貢献度が大きく影響を受けるという問題があったが、DEA による貢献度ではベースラインの GHG 排出量による影響を小さく抑えられた。

排出削減と資金拠出による貢献度を国ごとに調べ、それぞれの貢献度が大きい国、小さい国の特徴を明らかにしようとした結果からは、排出大国である日本・米国・中国・ロシアはいずれの分析でも貢献度が小さいことが示された。それ以外には、GHG 排出削減量と資金拠出量に目立った特徴や傾向を見つけることはできなかった。各国がどのようなメカニズムで資金拠出額について意思決定を行っているかという点については今後さらなる研究が必要である。

各国が均一な貢献度となるために必要な追加資金を算出した結果は、1 位が中国、2 位が米国であり、この 2 国で全体の 59% を占めた。現実の国際社会では気候変動対策資金の目標を達成するために各国が協力することが言明されている。よって、今回の算出結果のような偏った国のみの資金拠出ではなく、多くの国がバランスよく資金拠出することが望まれる。また、公平性概念による基準化を行った貢献度は基準化を行う前の貢献度と大きな差がある。この分析については、先進国のほうが一人当たりの GDP や一人当たりの GHG 排出量が大きく、基準化を行うと貢献度が小さくなるだろうと予想した。しかし、経済力が高く過去から大きな GHG 排出を行ってきた先進国において基準化を行った貢献度が低くなり、逆に途上国において基準化をした貢献度の方が大きくなるという単純な傾向がみられたわけではなかった。各国が自国の状況に応じて適切な貢献を目指すことが求められる。DEA によって得られたターゲット値（貢献度がトップランナー国となった場合の値）と現状値の差は、各国の今後の気候変動対策において参考にされるべきものであるが、なかには、非現実的な GHG 排出削減量や資金拠出量を求められる国が出た。これらの追加的貢献を実現するのは難しい面もあるが、この結果を踏まえた気候変動対策努力を目指すことが期待される。

## 参考文献

- 1). 外務省,気候変動交渉と日本の取り組み,  
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000087932.pdf>(accessed 2016-2-19)
- 2). 4.6.2.1 Equity principles pertinent to burden sharing in an international climate regime,317-319, Intergovernmental Panel On Climate Change, Fifth Assessment Report,Mitigation of Climate Change ,2014
- 3). Climate Action Tracker,  
<http://www.climateactiontracker.org/>(accessed 2016-2-19)
- 4). Intergovernmental Panel On Climate Change, <http://ipcc.ch/>(accessed 2016-2-19)
- 5). 明日香壽川,東アジアにおける大気環境管理スキームの構築研究ユニット Working paper 2015-1  
2015 年パリ合意の行方 公平で野心的な温暖化対策数値目標の策定・評価に関する議論の全体像および今後の展開,2015
- 6). The World Bank,Data,Indicators,  
<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>(accessed 2016-2-19)
- 7). United Nations Framework Convention on Climate Change secretariat, INDCs as communicated by Parties ,  
<http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>(accessed 2016-2-19)
- 8). International Energy Agency, World Energy Outlook,2016
- 9). United States Environmental Protection Agency, Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: International Emissions and Projections  
<http://www3.epa.gov/climatechange/EPAactivities/economics/nonco2projections.html>(accessed 2016-2-19)
- 10). European Commission ,Joint Research Centre, The Emissions Database for Global Atmospheric Research,  
<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/>,(accessed 2016-2-19)
- 11). Climate Action Tracker, Rating countries,  
<http://climateactiontracker.org/countries.html>(accessed 2016-2-19)
- 12). Greenhouse Gas Protocol,Global Warming Potentials,  
<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/Global-Warming-Potential-Values.pdf>(accessed 2016-2-23)
- 13). 全国地球温暖化防止推進センター,すぐ使える図表集, 1-2 温室効果ガスの特徴,  
[http://www.jccca.org/chart/chart01\\_02.html](http://www.jccca.org/chart/chart01_02.html)(accessed 2016-2-19)
- 14). 全国地球温暖化防止推進センター,すぐ使える図表集, 3-1 世界の二酸化炭素排出量 (2012 年)

- [http://www.jccca.org/chart/chart03\\_01.html](http://www.jccca.org/chart/chart03_01.html)(accessed 2016-2-19)
- 15). 環境省,気候変動に関する枠組み条約,  
<http://www.env.go.jp/earth/cop3/kaigi/jouyaku.html>(accessed 2016-2-19)
  - 16). Climate Funds Update,The Data, Contributions to the funds  
<http://www.climatefundsupdate.org/data>(accessed 2016-2-19)
  - 17). Buchner, Barbara K., Chiara Trabacchi, Federico Mazza, Dario Abramskiehn and David Wang, Global Landscape of Climate Finance 2015, Climate Policy Initiative, A CPI Report, 2015.
  - 18). Akimoto, K., F. Sano, T. Homma, K. Wada, M. Nagashima, J. Oda, “Comparison of marginal abatement cost curves for 2020 and 2030:longer perspectives for effective global GHG emission reductions,” Sustainability Science, 7:157–168, 2012.
  - 19). United Nations Framework Convention on Climate Change, Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions,Note by the secretariat, Document FCCC/CP/2015/7.
  - 20). 総務省統計局,世界の統計 2015,  
<http://www.stat.go.jp/data/sekai/0116.htm>(accessed 2016-2-19)
  - 21). WRI CAIT,Historical Emissions Data,  
<http://www.wri.org/resources/data-sets/cait-historical-emissions-data-countries-us-states-unfccc>(accessed 2016-2-19)
  - 22). 末吉俊幸,DEA－経営効率分析法－,朝倉書店,2001
  - 23). 在ノルウェー日本国大使館,ノルウェーの気候変動への取組み,  
[http://www.no.emb-japan.go.jp/Japanese/Nikokukan/nikokukan\\_files/kikouhendou.pdf](http://www.no.emb-japan.go.jp/Japanese/Nikokukan/nikokukan_files/kikouhendou.pdf)(accessed 2016-2-19)
  - 24). 外務省,パリ協定の概要,  
[http://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page23\\_001436.html](http://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page23_001436.html)(accessed 2016-2-19)

## 謝辞

本論文の作成に当たり、テーマの選定や参考論文の選び方に助言を下された亀山先生には大変感謝しております。連携講座の先生方はゼミにおいて常に的確なアドバイスを下さり、心服いたしました。研究の進め方や論文の書き方について全く知識のない状態から始め、先生方のご指導で成長することが出来ました。亀山先生、森口先生、田崎先生、松橋先生、中島先生にお礼を申し上げます。

また、ゼミだけでなく、私の院生生活や就活の相談にも乗ってくださったにいあいさんや、就活においてアドバイスを下さった鈴木さん、森さん、奥村さんにもお礼を申し上げます。後輩の原田君や堀君、今後のご活躍をお祈りしています。

副査を務めていただいた吉田先生、ありがとうございました。環境システム学科の先生方、有意義な授業やご指導ありがとうございました。

参考資料 DEA 分析結果 各国の詳細データ

Result for firm(国番号)	国	Result for firm(国番号)	国
1	日本	12	カナダ
2	イギリス	13	米国
3	ドイツ	14	中国
4	フランス	15	ロシア
5	イタリア	16	韓国
6	スウェーデン	17	メキシコ
7	フィンランド	18	ブラジル
8	オランダ	19	インドネシア
9	その他 EU	20	オーストラリア
10	ノルウェー	21	南アフリカ
11	スイス	22	サウジアラビア

Results for firm: 1					
Technical efficiency = 0.154					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	166.010	909.111	0.000	1075.121
output	2	133.380	730.421	0.000	863.801
input	1	51004.000	0.000	0.000	51004.000
input	2	127.500	0.000	0.000	127.500
input	3	5952.580	0.000	-242.803	5709.777
LISTING OF PEERS:					
peer		lambda	weight		
	10	4.730			
	7	11.690			
	21	0.777			

Results for firm: 2	
---------------------	--

Technical efficiency = 0.655					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	294.240	155.101	0.000	449.341
output	2	431.350	227.375	0.000	658.725
input	1	35395.000	0.000	-15366.766	20028.234
input	2	63.700	0.000	0.000	63.700
input	3	2614.950	0.000	0.000	2614.950
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	4.218				
21	0.745				
7	0.660				

Results for firm: 3					
Technical efficiency = 0.539					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	405.440	346.207	0.000	751.647
output	2	163.670	139.759	0.000	303.429
input	1	56424.000	0.000	-20461.847	35962.153
input	2	80.400	0.000	0.000	80.400
input	3	3533.240	0.000	0.000	3533.240
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	1.144				
21	0.282				
7	11.097				

Results for firm: 4					
Technical efficiency = 0.585					

PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
output	1	327.910	233.012	0.000	560.922
output	2	64.970	46.168	0.000	111.138
input	1	23094.000	0.000	0.000	23094.000
input	2	63.500	0.000	0.000	63.500
input	3	2686.720	0.000	-1108.471	1578.249
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
7	4.211				
10	0.407				
21	0.739				

Results for firm:	5				
Technical efficiency =	0.663				
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
output	1	345.830	175.587	0.000	521.417
output	2	17.830	9.053	0.000	26.883
input	1	19802.000	0.000	0.000	19802.000
input	2	59.900	0.000	0.000	59.900
input	3	2091.760	0.000	-1139.798	951.962
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	0.001				
7	2.314				
21	0.905				

Results for firm:	6				
Technical efficiency =	0.819				
PROJECTION SUMMARY:					

variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
output	1	66.170	14.669	0.000	80.839
output	2	42.300	9.378	0.000	51.678
input	1	3680.000	0.000	0.000	3680.000
input	2	9.500	0.000	0.000	9.500
input	3	543.880	0.000	-173.332	370.548
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	0.277				
7	0.782				
21	0.074				

Results for firm: 7					
Technical efficiency = 1.000					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
output	1	54.500	0.000	0.000	54.500
output	2	11.430	0.000	0.000	11.430
input	1	2687.000	0.000	0.000	2687.000
input	2	5.400	0.000	0.000	5.400
input	3	255.780	0.000	0.000	255.780
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
7	1.000				

Results for firm: 8					
Technical efficiency = 0.722					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					

output	1	123.180	47.445	0.000	170.625
output	2	19.840	7.642	7.035	34.517
input	1	8717.000	0.000	0.000	8717.000
input	2	16.800	0.000	0.000	16.800
input	3	823.140	0.000	-2.553	820.587
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
20	0.051				
7	2.892				

Results for firm: 9					
Technical efficiency = 0.609					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	1158.720	745.373	0.000	1904.093
output	2	83.470	53.694	77.988	215.152
input	1	80721.000	0.000	0.000	80721.000
input	2	207.000	0.000	0.000	207.000
input	3	5960.530	0.000	-355.975	5604.555
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
7	18.781				
21	2.015				

Results for firm: 10					
Technical efficiency = 1.000					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	20.800	0.000	0.000	20.800
output	2	154.340	0.000	0.000	154.340
input	1	1675.000	0.000	0.000	1675.000

input	2	5.000	0.000	0.000	5.000
input	3	509.710	0.000	0.000	509.710
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	1.000				

Results for firm: 11					
Technical efficiency = 0.233					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	13.350	43.986	0.000	57.336
output	2	12.790	42.141	0.000	54.931
input	1	2281.000	0.000	0.000	2281.000
input	2	8.000	0.000	0.000	8.000
input	3	666.100	0.000	-439.186	226.914
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	0.356				
21	0.111				
19	0.002				

Results for firm: 12					
Technical efficiency = 0.101					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	27.370	244.760	0.000	272.130
output	2	35.840	320.505	0.000	356.345
input	1	23964.000	0.000	-10417.835	13546.165
input	2	34.900	0.000	0.000	34.900
input	3	1832.720	0.000	0.000	1832.720
LISTING OF PEERS:					

peer	lambda weight
7	2.662
10	2.111
21	0.190

Results for firm: 13					
Technical efficiency = 0.289					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	914.500	2254.714	0.000	3169.214
output	2	237.080	584.524	0.000	821.604
input	1	277319.000	0.000	-108957.769	168361.231
input	2	314.100	0.000	0.000	314.100
input	3	16163.200	0.000	0.000	16163.200
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda weight				
7	48.829				
10	1.358				
20	1.889				

Results for firm: 14					
Technical efficiency = 0.076					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	500.000	6072.132	0.000	6572.132
output	2	0.630	7.651	0.000	8.281
input	1	148314.000	0.000	0.000	148314.000
input	2	1377.100	0.000	0.000	1377.100
input	3	8229.450	0.000	-1772.780	6456.670
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda weight				

10	0.042
21	7.522
19	3.931

Results for firm: 15					
Technical efficiency = 0.172					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	212.000	1023.286	0.000	1235.286
output	2	0.330	1.593	48.185	50.108
input	1	96284.000	0.000	-50306.925	45977.075
input	2	143.200	0.000	0.000	143.200
input	3	2017.470	0.000	0.000	2017.470
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
21	2.286				
7	4.336				

Results for firm: 16					
Technical efficiency = 0.803					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	314.600	77.115	0.000	391.715
output	2	4.880	1.196	0.000	6.076
input	1	13110.000	0.000	0.000	13110.000
input	2	50.000	0.000	0.000	50.000
input	3	1222.810	0.000	-845.642	377.168
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	0.038				
21	0.857				

19	0.020
----	-------

Results for firm: 17					
Technical efficiency = 0.042					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	24.200	556.731	0.000	580.931
output	2	0.860	19.785	0.000	20.645
input	1	13767.000	0.000	0.000	13767.000
input	2	118.000	0.000	0.000	118.000
input	3	1184.570	0.000	-553.718	630.852
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	0.133				
21	0.710				
19	0.320				

Results for firm: 18					
Technical efficiency = 0.135					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	102.000	655.253	0.000	757.253
output	2	0.490	3.148	0.000	3.638
input	1	11538.520	0.000	0.000	11538.520
input	2	201.000	0.000	0.000	201.000
input	3	2248.820	0.000	-1462.925	785.895
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
10	0.023				
21	0.326				
19	0.735				

Results for firm: 19					
Technical efficiency = 1.000					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	835.490	0.000	0.000	835.490
output	2	0.010	0.000	0.000	0.010
input	1	8980.000	0.000	0.000	8980.000
input	2	250.000	0.000	0.000	250.000
input	3	876.720	0.000	0.000	876.720
LISTING OF PEERS:					
peer		lambda	weight		
	19		1.000		

Results for firm: 20					
Technical efficiency = 1.000					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	254.000	0.000	0.000	254.000
output	2	28.550	0.000	0.000	28.550
input	1	18467.000	0.000	0.000	18467.000
input	2	23.100	0.000	0.000	23.100
input	3	1578.460	0.000	0.000	1578.460
LISTING OF PEERS:					
peer		lambda	weight		
	20		1.000		

Results for firm: 21					
Technical efficiency = 1.000					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected

		value	movement	movement	
value					
output	1	437.000	0.000	0.000	437.000
output	2	0.240	0.000	0.000	0.240
input	1	15016.000	0.000	0.000	15016.000
input	2	52.400	0.000	0.000	52.400
input	3	397.390	0.000	0.000	397.390
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
21	1.000				

Results for firm: 22					
Technical efficiency = 0.513					
PROJECTION SUMMARY:					
variable		original	radial	slack	projected
		value	movement	movement	
value					
output	1	130.000	123.508	0.000	253.508
output	2	0.000	0.000	0.000	0.000
input	1	9355.000	0.000	0.000	9355.000
input	2	29.500	0.000	0.000	29.500
input	3	733.960	0.000	-340.319	393.641
LISTING OF PEERS:					
peer	lambda	weight			
7	0.791				
21	0.481				