

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：25201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25870642

研究課題名(和文)都市輸出による温室効果ガス削減効果の定量評価に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Quantitative Evaluation of Effectiveness of Greenhouse Gas Reduction by Integrated Infrastructure Exports

研究代表者

豊田 知世 (TOYOTA, Tomoyo)

島根県立大学・総合政策学部・講師

研究者番号：30550016

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：気候変動問題の解決のためには、アジア開発途上国の都市において、温室効果ガス(GHG)の排出量を抑えた低炭素化社会を構築することが喫緊の課題である。先進国から開発途上国への都市輸出やインフラ輸出は、GHG削減にどの程度貢献しているのだろうか。本研究では、日本の政府開発援助の事例からGHG削減効果を定量評価した。その結果、1)火力発電所建設事業においても、エネルギー効率改善に大きく貢献している。2)交通分野は道路輸送から鉄道輸送へとシフトさせるモーダルシフトのGHG削減効果は大きい。ただし、交通構造の変化と、燃料転換による排出構造を考慮してしなければ、排出量は増加する、ことなどが示された。

研究成果の概要(英文)：Is infrastructure export from developed countries to developing countries contributing to greenhouse gas (GHGs) reduction? In this study to estimate GHGs reduction effects of infrastructure projects conducted by Japan in developing countries in the past. The main results are, 1) there is large GHGs reduction effect in thermal power station, and 2) in the traffic sector, the GHGs reduction effect by shifting from road to railroad is large. Effective in developing countries increasing transport demand. However, when the country where the energy efficiency of power generation sector is bad conducts to train business, it was indicated that there is a possibility that the GHG amount of emission is rather increased. Overall infrastructure design from upstream to downstream is important.

研究分野：環境経済

キーワード：インフラ輸出 温室効果ガス削減 気候変動緩和 開発途上国

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化による気候変動問題を考えるとき、都市は最も重要なキーワードの一つである。二酸化炭素などの温室効果ガス(GHG)の70%は都市から排出されていることに加え、開発途上国の都市面積は2000年から2030年までの間に3倍になることが予測されており、そのほとんどはアジア地域で拡大する。そのため、気候変動問題の解決のためには、人口と経済成長が著しいアジアの開発途上国の都市において、できるだけGHGsの排出量を抑えた低炭素化社会を構築することが喫緊の課題となっている。

開発途上国では非常に速いスピードで都市化が進んでおり、資源エネルギーの確保や環境対策が急務である。そのため、先進国の省エネ型のシステムを導入し、都市で消費する資源エネルギーの節約を目指すとともに、環境に配慮した都市作りを進めようとする動きが強まっている。

わが国においても2010年に『新成長戦略』が作成され、環境技術においてわが国が強みを持つインフラ整備をアジア地域に展開させるとともに、アジア諸国の経済成長に伴う環境負荷を軽減し、わが国の技術・経験をアジアの持続可能な成長へ活用するために、インフラ整備支援や環境共生型都市の開発支援に官民挙げて取り組む方針が示された。この中には、国内に環境未来都市の創出をするとともに、都市全体を輸出パッケージとしてアジアの途上国都市への導入を目指すことや、インフラだけではなく管理運営もパッケージとしたパッケージ型インフラ輸出を推進し、海外展開を目指すことが含まれた。

### 2. 研究の目的

開発途上国への都市輸出やインフラ輸出は、温室効果ガス削減にどの程度貢献しているのだろうか。開発途上国の都市からの排出量の増大が懸念されている中、先進国の省エネ型の都市やインフラ設備は、低炭素社会の構築に大きく貢献することが期待されている。本研究では、GHGs削減効果を定量的に評価し、低炭素型社会を促進するための効果的な処方について検証する。

### 3. 研究の方法

都市輸出については、取り組みが計画段階の事例がほとんどであり、分析に十分なデータを整備することが出来なかった。そのため、日本の政府開発援助で実施されたインフラ事業を対象に、Business as usual (BAU)シナリオと比較し、開発援助によってどの程度GHGsが削減されたかを定量評価する。

GHGs削減量は、クリーン開発メカニズム(CDM)の方法論(例えば、輸送事業の場合は大量高速輸送プロジェクト(ACM0016)、バス高速輸送プロジェクト(AM0031)、貨物運搬における道路輸送から水路・鉄道輸送への

モーダルシフト(AM0090))などを参考に、BAU(Business As Usual)の排出量と政府開発援助による事業からの排出量の差分から推計する。

具体的な分析対象は、(1)火力発電事業(表1参照)(2)鉄道事業(表2参照)を対象とした。

表1. 発電対象事業

火力発電書		燃料	発電容量 MW
中国	湖北鄂州火力発電所	石炭	600
中国	三河火力発電所	石炭	700
中国	山西河津火力発電所	石炭	700
中国	江西九江火力発電所	石炭	700
インド	ベイスンブリッジ火力発電所	ガス	120
インド	アッサムガスタービン発電所	ガス	291
インド	コタグダムA火力発電所	石炭	240
インド	アンバラB火力発電所	石炭	1000
インド	パクレシュワール火力発電所	石炭	640
インド	シマドリ石炭火力発電所	石炭	1000
マレーシア	ポートクラン火力発電所	石炭	1000
ベトナム	フーミー火力発電所	ガス	1091
ベトナム	ファ-ライ火力発電所	石炭	600

表2. 鉄道対象事業

鉄道	運転	路線距離 km	旅客輸送量		貨物輸送量	
			百万人キロ	百万トン	百万人キロ	百万トン
インド	デリー-高速輸送システム	電化	35	2,494	---	---
インドネシア	ジャワ南線複線化	非電化	59	244	23	---
インドネシア	ジャワ北幹線鉄道複線化	非電化	51	367	-24	---
タイ	バンコク地下鉄	電化	10	315	---	---
中国	北京都市鉄道	電化	4	322	---	---
中国	朔興-黄力港鉄道	電化	154	---	9,216	---
中国	重慶モノレール	電化	8	151	---	---
中国	西安-安康鉄道	電化	42	194	739	---
中国	貴陽-婁底鉄道	電化	57	50	450	---
中国	宝鶏-中衛鉄道	電化	139	252	1,559	---
中国	神木-朔興鉄道	電化	88	---	6,267	---
中国	福建省ショウ泉鉄道	非電化	40	---	246	---
中国	衡水-商丘鉄道	非電化	191	---	12,581	---
フィリピン	メトロマニラ大都市圏交通	電化	8	247	---	---

なお、(1)の火力発電事業によるGHGs削減効果は、それぞれの国の火力発電施設のBAUエネルギー効率と、開発援助によって導入された発電施設のエネルギー効率の差分から、GHGs削減量を推計する。

一方で、(2)の鉄道事業では、鉄道インフラ設備の整備によるモーダルシフトによって削減されたGHGsを推計するものである。鉄道インフラ事業には、目的が旅客輸送であるものや貨物輸送であるもの、もしくはプロジェクト後の鉄道が電車であるもの、自動車(非電化、燃料にディーゼルを使用)であるものなどによって削減効果の推計方法が異なる。ここでは、基本的に従来の輸送手段(BAU)による排出量から、プロジェクトによる鉄道輸送から排出されるGHGsの差分を削減分として評価する。

なお、都市交通プロジェクトは、プロジェクトが行われなかった場合の代替交通手段として、プロジェクト実施前の都市交通構造に依存すると仮定し(表3)、それらの代替交通手段のエネルギー強度(MJ/pkm)と使用する燃料の排出源単位(t-CO<sub>2</sub>/MJ)を乗じることで、ベースライン排出量を推計する。

表3. ベースラインの交通構造

番号	都市名	ベースライン交通構造 (source: JICA website)	ベースライン設定
P1	デリー	自動二輪車 約 222 万台 自動四輪車 約 84 万台 その他車両 約 13.8 万台 (登録台数ベース、2000年)	自動二輪車、自動四輪車 の割合を50%、50%と仮定
P5	バンコク	バス 51%、自動車(自動車、タクシー、バン) 30.8%、バイク 5.5%、その他 12.7% (プロジェクト開通以前に使用していた交通機 構、アンカーベース)	バス、自動車、バイクの割 合を68%、35%、6%と仮定
P6	ソウル	バス 10.66 million people、乗用車 6.88 million people (乗客数ベース、1999年)	バス、自動車の割合を 40%、10%と仮定
P7	北京	バス 9.7225 million people、タクシー 938 million people、地下鉄 463 million people (乗客輸送量、1999年)	バス、タクシーの割合を 85%、15%と仮定
P9	重慶	バス 326 万人、小型バス 93 万人、タクシー 20 万人、自家用車 1 万人、その他 24 万人 (1日当たり乗客数、2009年)	バスとタクシー(乗用車)の 割合を99%、5%と仮定
P16	メトロマニア	データなし	バス 100%と仮定

また本研究では、(3) 開発途上国における GHGs 削減に対する日本の貢献分の推計を試みる。ここでは、政府開発援助では国内事業よりも低金利で開発途上国に貸し付けていることから(円借款事業)、利子の差額分を日本人の負担金額とすると仮定する。その上で、日本人の GHGs 削減貢献量を推計し、かつ日本人負担金額で除することで限界削減費用として推計する。

#### 4. 研究成果

(1) 日本の政府開発援助の事例から、GHG を排出する火力発電所建設事業においても、エネルギー効率改善に大きく貢献していることが明らかとなった(表4)。

(2) 交通分野は道路輸送から鉄道輸送へとシフトさせるモーダルシフトの GHGs 削減効果は大きい(表4)。とりわけ、石炭などの大量の貨物を長距離輸送するプロジェクトは、大きな効果が推計されたため、輸送需要が増加する途上国では有効である。

なお、表4のマイナスは、事業によってかえって GHGs が増加することを示している。そのため、交通構造の変化と、燃料転換による排出構造を考慮してしなければ、排出量は増加することが示唆された。

例えば、発電部門のエネルギー効率が悪い国において、電車建設のプロジェクトを実施した場合、交通分野の GHGs 減少分以上に、

表4. GHGs 削減効果の推計結果

火力発電	GHG削減量 トン/年	鉄道		
		GHG削減量(トン/年) 旅客	貨物	
中国	183,123	インド	36,223	---
中国	264,511	インドネシア	3,066	4,225
中国	377,569	インドネシア	346 *	---
中国	527,996	タイ	12,530	---
インド	31,432	中国	-4,989	---
インド	354,486	中国	---	1,851,523
インド	214,218	中国	-4,305	---
インド	913,137	中国	-6,793	148,486
インド	521,466	中国	-2,032	86,467
インド	249,483	中国	-8,810	313,257
マレーシア	64,954	中国	---	1,258,930
ベトナム	686,729	中国	---	55,780
ベトナム	-21,989	中国	---	2,527,367
		フィリピン	-1,164	---

発電分野での GHGs 排出量がかえって増加する可能性がある。そのため、低炭素社会の構築には、セクター別ではなく、川上から川下までの総合的なインフラデザインが重要となる。

(3) 日本の政府開発援助を利用したインフラ事業の多くは円借款事業であるため、日本の財政投融資の金利と円借款事業の金利の差額から、日本人負担金額を推計した。国内事業と比較して低い金利で貸し付けることによる負担金額を、それぞれの事業の負担金額としている。

また、日本人負担金額の割合から、それぞれの事業の GHGs 削減量を推計した。そのうえで、1 トン CO<sub>2</sub> 削減量に対する費用(限界削減費用)を推計したところ、表4の結果が得られた。なおここでは、火力発電事業のみを分析対象としている。

表5. 日本人貢献量の推計結果

火力発電	グラントエレ メント	削減貢献分 (t-CO <sub>2</sub> )	円借款 金利	財政投融資 金利	日本人負担額 (百万円/年)	削減費用 (円/t-CO <sub>2</sub> )
中国	61	111,842	2.6	3.7	242	2,168
中国	62	164,825	2.5	3.7	198	1,200
中国	62	235,275	2.5	3.7	187	796
中国	62	329,011	2.5	3.7	221	671
インド	62	19,457	2.5	6.2	285	14,644
インド	56	198,948	3.2	4.7	536	2,695
インド	61	130,834	2.6	3.7	39	297
インド	61	555,439	2.6	6.5	3,281	5,907
インド	63	330,106	2.3	4.3	1,018	3,084
インド	67	166,168	1.9	2.6	288	1,733
マレーシア	53	34,168	3.0	5.3	550	16,101
ベトナム	72	491,899	1.5	4.3	1,110	2,257
ベトナム	66	-14,428	2.1	3.7	723	-50,105

事業によって限界削減費用は異なるが、化石燃料を使用する火力発電事業においても、比較的低い金額での削減が可能であることが示唆される。なぜならば、今回推計した日本人負担金額は、GHGs 削減を目的とした事業の金額ではなく、発電を目的とした事業の負担金額である。そのため、GHGs 削減はコベネフィットとしての効果である。

2020 年以降の気候変動の新たな枠組みの中、日本は CDM に変わる経済メカニズムとして、二国間オフセット・クレジット制度の導入に向けた制度設計を行っている。新興国のインフラ需要を見越した日本のインフラ輸出や開発援助の GHGs 削減効果を定量的に評価する試みは、今後制定される日本の削減目標を達成するためにも重要である。

政府開発援助は追加性の問題から、CDM では GHGs 削減効果をドナー国の貢献として評価されてこなかった。しかし、政府開発援助のコベネフィット効果が大きいこと、ドナー国の負担金額が比較的小さいことから、低炭素化社会を目指した開発援助の積極的な活用も有効である事が示唆される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 6 件)

豊田知世「経済発展と人間活動の影響」、東西アジア連携研究会、2016年9月25日、島根県。

豊田知世、「気候変動対策の国際潮流と中国への期待」、「中国的内政、外交課題与国际秩序」国際学術検討会、上海復旦大学、2015年9月22日、上海。

Tomoyo Toyota, "Effect of infrastructure export to economy and carbon dioxide reduction", Industrial Ecology, ISIE Conference, 8<sup>th</sup> July 2015, London.

Tomoyo Toyota, "Estimation of greenhouse gas reduction through infrastructure export: Case study of Yen loan project", 2015 International business conference in Maui, The Clute institute, 6<sup>th</sup> January 2015, Maui.

豊田知世「インフラ輸出による温室効果ガス削減効果の定量評価」、環境科学会 2014年9月19日、つくば。

豊田知世「中国の気候変動対策と日本の役割：日中間の国際協力の事例」、復旦大学国際問題研究院・島根県立大学合同国際シンポジウム、2013年7月5日、島根県。

〔図書〕(計 1 件)

豊田知世、島根県立大学、「中国の気候変動対策と日本の役割：日中韓の国際協力の事例」、井上厚史著『北東アジア協力の新課題』、2014、pp.21-40。

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

豊田 知世 (TOYOTA, Tomoyo)  
島根県立大学・総合政策学部・講師  
研究者番号：25870642

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )