

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 14日現在

機関番号：32678

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21710047

研究課題名（和文）高齢社会における交通部門のCO<sub>2</sub>排出減少プロセスに関する研究研究課題名（英文）A study on process of reducing CO<sub>2</sub> emission from transportation in aging society

研究代表者

岡田 啓 (OKADA AKIRA)

東京都市大学・環境情報学部・准教授

研究者番号：40450762

研究成果の概要（和文）：

本研究では、高齢化率と交通起因のCO<sub>2</sub>排出量がどのような関係性があるのかを定量的に分析した。国際パネルデータ分析の実証分析の結果、高齢化率と一人あたりCO<sub>2</sub>排出量は二次の関係があることが判明した。そして転換点の水準は16%付近であることがわかった。日本を対象としたパネルデータ分析の結果、1000人あたり自動車保有台数の変化と高齢化率には二次の関係があることがわかった。そして、17%が転換点であることが示された。以上の事から、高齢化率の変化は、自動車保有台数に影響を与え、最終的にCO<sub>2</sub>排出に影響を及ぼすことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

This study empirically analyzes whether there is a relationship between the share of aged population and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission. The results of analysis indicate that there is a quadratic relationship between CO<sub>2</sub> emissions per capita and the share of aged population, and the turning point is around 16 percent. This study also estimates the relationship between factors of CO<sub>2</sub> emission and the share of elderly people. A quadratic relationship exists between the change in the number of passenger vehicles per 1000 persons and the share of elderly people, with the turning point being approximately 17 percent. Therefore, the demographic change is an important consideration in the change of CO<sub>2</sub> emission in transportation sector.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：環境政策

科研費の分科・細目：環境学，環境影響評価・環境政策

キーワード：CO<sub>2</sub>排出，高齢化，パネル分析

## 1. 研究開始当初の背景

温暖化による気候変動問題の社会的側面を総合的な視野から分析しているSternレビューでは、交通部門がエネルギー起源の温室

効果ガス（GHG）の14%を占めており、2050年には交通部門からのGHG排出量が倍増すると述べている。このように、交通部門は今後も引き続きGHG排出特にCO<sub>2</sub>排出が高い

増加率をもって成長すると捉えられている。

しかし、UNFCCCにある交通部門のCO<sub>2</sub>排出量データを概観すると近年、交通部門のCO<sub>2</sub>排出量が減少してきた国が出現しはじめたのを見つけることが出来る。交通部門のCO<sub>2</sub>排出量の成長が頭打ちとなり減少している国としてはドイツ、日本、ポルトガル、フランス、オーストリアが挙げられる。中でも、ドイツは1999年、日本は2001年、ポルトガルは2002年、フランスは2004年、オーストリアは2004年を頂点として以後断続的に交通部門のCO<sub>2</sub>排出量が減少している。

先に挙げた国々の共通点は、先進国である、燃費規制を行っている、人口密度がある程度高い、そして高齢化率が15%以上などがある。CO<sub>2</sub>排出量が頭打ちになった年の高齢化率を見ると、ドイツ、日本、ポルトガル、フランス、オーストリアは、それぞれ16.1%、18%、16.6%、16.5%、16.2%であった。

そこで、1960年から2005年までの高齢化率と交通部門一人当たりCO<sub>2</sub>排出量を、複数国同時に描画したところ(図1)、山型の関係、言い換えると逆U字の関係にあるように見えるグラフとなった。図1より、次のような仮説が思いつく。すなわち、高齢化と交通部門起因のCO<sub>2</sub>排出量の減少と関係があるのではないかというものである。

交通起因のCO<sub>2</sub>排出問題に関する学術研究は多数存在している。高齢者の交通に関する学術研究(特にバリアフリーや交通安全に関する学術研究)も多数存在している。しかしながら、交通のCO<sub>2</sub>排出問題と高齢者の関係に関する分析を実施している研究は多くない。

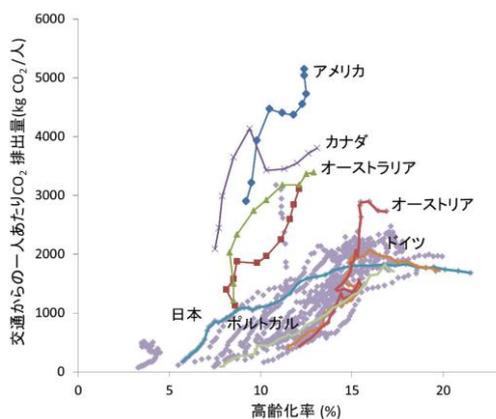


図1 交通からの一人あたりCO<sub>2</sub>排出量と高齢化率の関係(OECD/IEA 28カ国)

## 2. 研究の目的

本研究では、高齢化率と交通起因のCO<sub>2</sub>排出量はどのような関係性があるのかを定量的に把握し、今後の交通部門CO<sub>2</sub>排出削減政策に利用できる基礎情報を提供すること

を目的とする。本研究は、定性的な分析よりも、日本国内そして世界の先進国のパネルデータを用いて、定量的に高齢化率と交通部門CO<sub>2</sub>排出量の関連性について分析を行う。

具体的には次に示す3つのテーマについて研究を行い、定量的な視点から高齢化率の上昇とそれが交通部門のCO<sub>2</sub>排出量に与える影響について考察を行う。

- (1) 高齢社会と交通行動に関する既存文献のサーベイ
- (2) 高齢化率と交通部門一人当たりCO<sub>2</sub>排出量の関係に関する計量分析
- (3) CO<sub>2</sub>排出要因と高齢化率の関係に関する計量分析

## 3. 研究の方法

高齢者の交通行動については、世界各地において高齢者に対するダイアリー調査や国・自治体等が実施する交通調査など様々な調査が行われ、それら調査データに基づき分析が行われている。本研究の位置づけや高齢化の進展がCO<sub>2</sub>排出量との関係していることをモデル化するに際して、これらの既存調査・研究を整理しておくことは必要である。最初に高齢社会と交通行動に関する既存文献を整理することで(1)を実施する。

図1から伺える通り、高齢化と交通部門一人当たりCO<sub>2</sub>排出量の関係には、山型、言い換えると逆U字すなわち二次の関係がありそうであること示唆した。交通と高齢化の関係性について分析している既存の計量モデルについて整理をする。その整理に基づき、高齢化と交通部門一人当たりCO<sub>2</sub>排出量には逆U字、すなわち二次の関係にあるのか、国際パネルデータ分析にて(2)の検証を行う。

前段落のパネル分析は、交通起因のCO<sub>2</sub>排出量と高齢化率の直接的な関連性についてパネル分析を行っていることになる。他方で、CO<sub>2</sub>排出は、その排出要因を分解し分析することができる。そこで、詳細なデータが入手可能な日本を事例として交通部門のCO<sub>2</sub>排出の要因分解を行い、その分解した要因と高齢化率の関係性についてパネルデータ分析を行う。これにより、どのような高齢化率がどのCO<sub>2</sub>排出要因に影響を与えるのか、すなわち(3)について明らかにすることができる。

## 4. 研究成果

- (1) 高齢社会と交通行動に関する既存文献のサーベイ

世界において高齢化が進展している。今後も高齢化率は上昇し、2040年には世界の高齢化率が14%以上になると国連は予測している。このような高齢化率の上昇を背景として、高齢社会に関する調査や研究は、日本や欧州のみならず世界において多数実施されているものの、交通と高齢社会に関する研究

は、全体からみると大きな位置を占めていない。

交通と高齢社会に関する研究を概観すると、バリアフリーやユニバーサルデザインに関する研究、スペシャルトランスポートサービスに関する研究、高齢者と交通安全または交通安全教育に関する研究が多くを占めている。他方で、高齢者の交通行動を整理した研究やそれに基づいた高齢社会における交通政策に関する研究は、多くないのが現状である。そこで、高齢者の交通行動に関する既存調査や研究、そして高齢社会における交通政策における焦点の整理をおこなった。

高齢者の交通行動は、ダイアリー調査や国・自治体等が実施する交通調査（主にパーソントリップ調査）を通じて捉えられ、その特性を把握すべく分析が実施されている。この高齢者の交通行動に関する調査・研究は、世界においておこなわれている。それらの調査から高齢者の交通行動の共通点としては、①一日あたりのトリップ数が少なくなる、②トリップが短くなる、③自動車を使った移動での一日あたりもしくは一年あたりの移動距離が減る、④多くの移動目的は、社交、レクリエーション、個人の所用、ショッピングである、⑤自動車の利用がかつてより多くなっているがあることが挙げられる。加えて、高齢者は、自動車の保有傾向も、他の年代と異なっていることが判明した。最後に、高齢社会における交通政策に関する政策の焦点を概観した。ここでは、モビリティの確保や高齢者の安全の確保という焦点があるのと同時に、交通混雑の減少や交通起因の環境問題の減少といった交通の外部不経済への影響という論点もあることが判明した。

## (2) 高齢化率と交通部門一人当たり CO<sub>2</sub> 排出量の関係に関する計量分析

この研究においては、一人あたり CO<sub>2</sub> 排出量、高齢化率、一人あたり所得、燃料価格の関係について、国際パネルデータを用いて推計を行った。交通起因の CO<sub>2</sub> 排出量データは International Energy Agency (IEA) の統計より取得した。所得の国際データは、Penn World Table Version 7.0 より取得した。燃料価格のレベルデータの国際パネルデータが取得できなかったため、IEA が整備している Energy Prices & Taxes から無鉛ガソリン価格インデックスを取得し、燃料価格の代理変数として利用した。データは 25 カ国の 1978 年から 2008 年のアンバランスデータセットとなった。

一人あたり CO<sub>2</sub> 排出量と高齢化率の関係を調べるために、所得、高齢化率、燃料価格が CO<sub>2</sub> 排出量にどのような影響を与えるのか判別させるためのモデルを作成した。加えて、モデルは高齢化率と CO<sub>2</sub> 排出の関係が山

型を呈するのか、つまり二次の関係になるのかについても判定できるように定式化した。モデル式は次式の通りである。

$$\Delta(\text{CO}_2/\text{POP})_{it}^2 = \beta_1 \Delta(\text{GDP}/\text{POP})_{it} + \beta_2 \Delta(\text{GDP}/\text{POP})_{it}^2 + \beta_3 \Delta(\text{Elder}/\text{POP})_{it} + \beta_4 \Delta(\text{Elder}/\text{POP})_{it}^2 + \beta_5 \Delta \text{Gasprice}_{it} + \Delta \varepsilon_{it} \quad (\text{式 } 1)$$

ここで、(CO<sub>2</sub>/POP)は一人あたり CO<sub>2</sub> 排出量を、(GDP/POP)は一人あたり所得を、(Elder/POP)は高齢化率を、Gasprice は燃料価格、 $\varepsilon$  は誤差項を、 $\Delta$  は差分演算子を、 $i$  は国番号を、 $t$  は年を、そして  $\beta_1 \sim \beta_5$  はパラメータを意味している。なお、パラメータは CO<sub>2</sub> 排出と高齢化率が二次の関係にあるという仮説から  $\beta_3 > 0$ 、 $\beta_4 < 0$  を期待する。さらに、 $\beta_1 > 0$ 、 $\beta_2 < 0$ 、 $\beta_5 < 0$  を期待する。

パネルデータのモデルの推計するに際しては、系列相関と単位根という 2 つの問題が生じる可能性がある。式 1 においては、階差モデルを使うことで系列相関を除去している。さらに式 1 には単位根の問題が残っている可能性がある。そこでパネル単位根に関する検定を行ったところ、式 1 の説明変数には単位根が無いことが判明した。

式 1 を複数の手法（プール、変量効果モデル、固定効果モデル）にて推計を実施した。そのうち、プールの推計結果を表 1 に示す。表 1 から、CO<sub>2</sub> 排出と高齢化率の間には二次の関係があり、その転換点の水準は 16% 付近であることがわかる。使用した高齢化率のデータの最大値が 22% であることから、16% はデータの範囲に入っている。

表 1 推計結果

	モデル 1	モデル 2
$\Delta \text{GDP}/\text{POP}$	50.11**	76.53**
$\Delta (\text{GDP}/\text{POP})^2$		-0.51**
$\Delta \text{Elder}/\text{POP}$	122.62**	92.21*
$\Delta (\text{Elder}/\text{POP})^2$	-3.86**	-2.93*
$\Delta \text{Gasprice}$	-1.83**	-1.77**
$R^2$	0.377	0.385
転換点 GDP 高齢化率	- 15.88%	\$75,177 15.73%
国数	25	25
データ数	729	729

\*\* : 有意水準 1%

\* : 有意水準 5%

他方、CO<sub>2</sub> 排出と一人あたり GDP も、モ

デル 2 においては、二次の関係にあることが判明した。転換点の水準は 75, 000 ドルである。しかし、使用した一人あたり GDP のデータの最大値は 55, 000 ドルであった。つまり転換点はデータの最大値を超えている。このような場合、転換点の水準は誤解を与える可能性があることがわかっている。すなわち、CO<sub>2</sub> 排出と一人あたり GDP は線形の関係にあるとすることができる。この結果は多くの既存研究と一致している。

以上の分析結果より、高齢化率と CO<sub>2</sub> 排出の間に、具体的には二次の関係があることが判明した。転換点の水準は 16% 付近であることもわかった。ただし、この研究では燃費、公共交通機関の進展度合、高齢者の免許保有者数、産業構造の変化といった変数をモデルに入れていない。また、式 1 は一人あたり CO<sub>2</sub> 排出と高齢化率の直接的な関係を推計しているのであるが、高齢化がいかなる CO<sub>2</sub> の排出要因に影響を与えるのか不明であるという欠点を有している。

### (3) CO<sub>2</sub> 排出要因と高齢化率の関係に関する計量分析

前述のとおり、日本における交通部門起因の CO<sub>2</sub> 排出量は 2001 年をピークとして減少し続けている (図 2)。旅客部門は 2001 年、貨物部門は 1996 年をピークとして以後、CO<sub>2</sub> 排出が減少している。

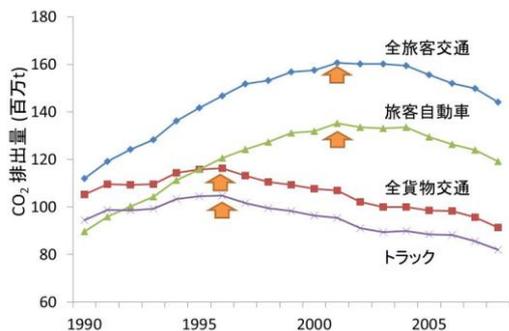


図 2 日本における交通からの CO<sub>2</sub> 排出量の推移

なぜ、日本の旅客交通、とくに旅客自動車からの CO<sub>2</sub> 排出量は 1990 年以降大きく変動したのであろうか。潜在的な CO<sub>2</sub> 減少の要因としては、燃費の改善、一台あたり走行距離の減少そして 1000 人あたりの自動車保有台数の減少があげられる。

本研究では、日本の交通部門の CO<sub>2</sub> 排出の要因を分解し、どのような要因が 1990 年以降の交通部門からの CO<sub>2</sub> 排出に影響を与えたのか検証を試みた。加えて、要因は経済的な変数 (所得、燃料価格)、人口的な変数 (高齢化率) などの変数に影響を受けたのか否かも検証した。

CO<sub>2</sub> 排出の要因を分解する方法は多数提案されているが、本稿においては茅の恒等式を用いて CO<sub>2</sub> 排出を分解している。この分解を通じて、CO<sub>2</sub> 排出に影響を与えた要因の把握を試みている。茅の恒等式を交通部門を分析できるように変形したものを次に示す。

$$(\text{CO}_2)_t = ((\text{CO}_2)_t / E_t) \cdot (E_t / L_t) \cdot (L_t / N_t) \cdot (N_t / \text{POP}_t) \cdot \text{POP}_t \quad (\text{式 2})$$

ここで、 $t$  は年、 $(\text{CO}_2)_t$  は CO<sub>2</sub> 排出量、 $E_t$  はエネルギー消費量、 $L_t$  は走行距離、 $N_t$  は自動車保有台数、 $\text{POP}_t$  は人口である。

式 2 の両辺を時間  $t$  で微分すると、CO<sub>2</sub> 排出量の増加率は、5 つの要因 (CO<sub>2</sub> 排出源単位、エネルギー効率、1 台あたりの走行距離、1000 人あたりの自動車保有台数、そして人口) の変化率の和で表すことができることがわかる。これを用いて、日本の旅客交通における CO<sub>2</sub> 排出の増加要因を分解した。分解に使用したデータは主に国土交通省から取得している。分解した結果を図 3 に示す。

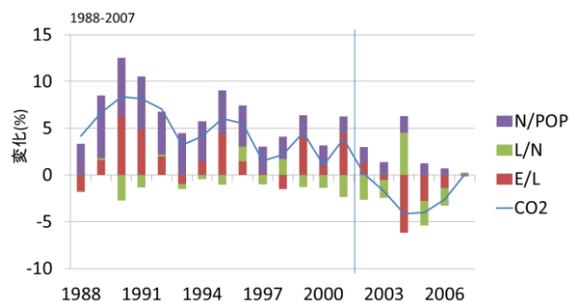


図 3 CO<sub>2</sub> 排出量の要因分解結果

分解の結果から、CO<sub>2</sub> 排出の要因は 2001 年以前と以後で大きく 2 つに分けることができることが判明した。前半 (1990 年~2001 年) においては燃費の変化と自動車保有台数の変化が CO<sub>2</sub> 排出に影響を与えていることが判明した。それら二つの要因で 1991~1996 年において 5.8% の CO<sub>2</sub> 排出増を引き起こしていた。またこの時期は燃料価格が低い時期であった。他方、2002 年以降は、燃費の改善と一台あたりの走行距離減少により CO<sub>2</sub> 排出減少を引き越していた。2002 年から 2007 年においてそれらの要因により 2.7% の CO<sub>2</sub> 減少となっている。前半と異なり、2002 年以降は燃料価格が高騰し、さらに高齢化率が 19% (2002 年) から 22% (2007 年) まで上昇した。

CO<sub>2</sub> 排出要因のデータを陸運局毎に新たに計算し、要因と高齢化率の関係についてパネルデータ分析を行った。分析に用いたモデルの 1 つを次に示す。

$$\Delta^2 \ln(N/\text{POP})_{it} = \beta_1 \Delta^2 \ln(\text{GDPI}/\text{POP})_{it} +$$

$$\begin{aligned}
& \beta_2 \Delta^2 \ln(\text{GDPI}/\text{POP})_{it}^2 + \\
& \beta_3 \Delta^2 \ln(\text{Elder}/\text{POP})_{it} + \\
& \beta_4 \Delta^2 \ln(\text{Elder}/\text{POP})_{it}^2 + \\
& \beta_5 \Delta^2 \ln \text{Gasprice}_{it} + \Delta^2 \varepsilon_{it} \quad (\text{式 } 3)
\end{aligned}$$

ここで、GDPI は運輸局内における所得を意味し、 $\Delta^2$  は二階差分演算子を意味している。パラメータの符号については式 1 の時と同様を期待する。推計結果を表 2 に示す。

表 2 から伺えるように、式 3 を推計した結果、高齢化率と 1000 人あたり自動車保有台数の間には二次の関係があることが判明した。転換点の水準は 17% であった。この転換点水準は分析に利用した高齢化率のデータの中に収まっている。高齢化率を日本の平均年齢の代理変数と見るならば、高齢化率と自動車保有台数の間に二次の関係があることは、Dargay(2007) が報告している自動車保有のライフサイクル効果を実証したことになる。他方、燃料価格のパラメータは期待した符号とは異なる結果となっている。

式 3 で示した以外の要因と高齢化率の関係は特定することはできなかった。モデルに入っていない重要な変数がある可能性がある。

表 2 推計結果

$\Delta^2 \ln(\text{GDPI}/\text{POP})$	-2.13*
$\Delta^2 \ln(\text{GDPI}/\text{POP})^2$	0.20*
$\Delta^2 \ln(\text{Elder}/\text{POP})$	5.43**
$\Delta^2 \ln(\text{Elder}/\text{POP})^2$	-0.96**
$\Delta^2 \ln \text{Gasprice}$	-0.00
$\bar{R}^2$	0.49
転換点 高齢化率	17%
データ数	141

\*\* : 有意水準 1%

\* : 有意水準 5%

#### (4) まとめと今後の展望

本研究は、高齢化率と交通起因の CO<sub>2</sub> 排出量はどのような関係性があるのかを定量的に把握することを主な目的としている。

複数の実証分析の結果、高齢化率と一人あたり CO<sub>2</sub> 排出量は二次の関係があることが判明した。また転換点の水準は 16% である。日本の 1000 人あたり自動車保有台数の変化と高齢化率には二次の関係があり、17% が転換点であることが示された。このことは高齢化率の変化は、自動車保有台数に影響を与え、最終的に CO<sub>2</sub> 排出に影響を及ぼすことを示すことができたといえる。転換点の水準は両方の分析で離れていないことは注意しておく必要があるであろう。

他方、本研究にはまだ分析する余地が残されている。第一にデータの整備である。本研究の実証分析は CO<sub>2</sub> 排出に影響を及ぼすと考え得る複数の変数（燃費水準、公共交通の発展度合、65 歳以上の免許保有者数）などを考慮していない。国際パネルデータを用意する際に困難はあるかもしれないが、それらのデータを整備することでより正確な分析ができるようになる。第二に CO<sub>2</sub> 分解方法の検討である。今回は簡便な茅の恒等式を利用した。他方で分解手法としては ASIF モデル、IPAT モデルなども存在する。それらの要因と高齢化の関係を分析することにより新たな知見を得ることができると考えられる。

#### 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 2 件)

1. Okada Akira (2012) Is an Increased Elderly Population Related to Decreased CO<sub>2</sub> Emissions from Road Transportation? *Energy Policy*. Vol. 45, pp. 286-292. (査読有り)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.033>

2. 岡田啓 (2010) 「高齢者の交通行動と自動車保有傾向に関する特徴の一考察：サーベイを中心として」『東京都市大学環境情報学部紀要』第 11 号, 47~58 ページ。(査読無し)

[学会発表] (計 2 件)

1. Okada A. (2011.6.21) Why Did CO<sub>2</sub> Emissions from Road Passenger Vehicles in Japan Decrease? A Factor and Positive Analysis, the 34th IAEE International Conference, Institutions, Stockholm, Sweden. (於: the Stockholm School of Economics)

2. Okada A. (2010.10.15) Does an Increase in the Elderly Population Cause a Decrease in CO<sub>2</sub> Emissions from Road Transportation? A Positive Analysis Using the Environmental Kuznets Curve, the 29th USAEE/IAEE North American Conference, Calgary, Alberta, Canada. (於: Hyatt Regency Hotel)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

岡田 啓 (OKADA AKIRA)

東京都市大学・環境情報学部・准教授

研究者番号: 40450762