

中国上海居住者の交通行動に伴う 二酸化炭素排出量の要因分析

氏原 岳人¹・阿部 宏史²・吉原 沙也佳³

¹正会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中3丁目1-1)
E-mail:ujihara@okayama-u.ac.jp

²正会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中3丁目1-1)
E-mail:abe1@okayama-u.ac.jp

³非会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中3丁目1-1)
E-mail:ev421249@s.okayama-u.ac.jp

世界最大のCO₂排出国であり、モータリゼーションが急速に進展しつつある中国において、交通部門でのCO₂排出量の削減は、地球温暖化解決にとって重要な課題である。そこで本研究では、急速に都市開発が進められている中国最大の経済都市、上海市を対象として、居住者の交通手段選択の実態把握と、交通行動に伴うCO₂排出量の算出・要因分析を行った。その結果、個人の交通行動に伴うCO₂排出量は、1)年齢、職業の有無、世帯人数及び世帯年収に大きく影響されていること、また、都市整備の視点からは、2)主要幹線道路の整備状況に影響を受けていること、3)居住地から地下鉄駅までの距離は200m以内ではマイナス効果が示されたものの、その周辺ではほとんど影響が見られないことなどが明らかとなった。

Key Words : CO₂ emissions , traffic behavior , Shanghai,

1. 研究の背景と目的

地球温暖化に対する抜本的な方法論が不透明の中、国連気候変動枠組条約に基づき、ポスト京都議定書のあり方について各所で議論されている。その中では、京都議定書では削減義務を負わない中国などの開発途上国の取り扱いなども焦点の1つになっている。

中国は、1990年代からの急激な経済成長に伴い環境への負荷も増大し続け、2007年にはCO₂排出量がアメリカを抜いて、世界最大の排出国となった(図-1)。また、上海市などの大都市部では、急速な都市化やモータリゼーションの進展に伴い、交通起因のCO₂排出量も増加している²⁾。また、これら自動車交通量の増加は、都市部での大気汚染や交通渋滞の慢性化などの社会問題も引き起こしている。このため、大都市部の重要な課題として「自動車交通量の抑制」が急務となっており、自動車利用を規制するための様々な政策が実施されている。例えば、北京市ではナンバープレートの数字によって自動車の交通量の規制を実施したり、上海市ではナンバープレートのオークション制度により新車の登録の規制を行っている³⁾。しかしながら、このような取り組みが「自動車交通量の抑制」に繋がっているとは言い難い。

その一方で、中国の大都市部における自動車の交通需要の増加は、国内の社会問題のみにとどまらず、地球環境全体につながる喫緊の課題となっている。したがって、急速な開発が進む中国大都市部において、交通需要の削減によるCO₂排出量の低減が必要とされている。その際、先に挙げたような自動車利用に対する地域一律の“規制策”だけでなく、個人レベルの自動車利用等の実態を把握した上で、その利用削減に向けた都市整備などを通じた“誘導策”もあわせて議論する必要がある。

そこで本研究では、急速に経済成長の進む中国の上海

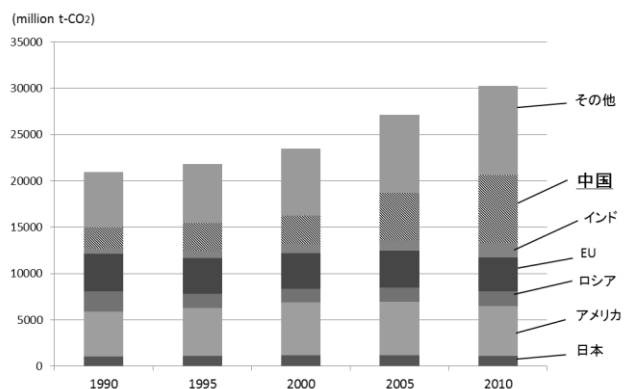


図-1 世界各国のCO₂排出量の推移
(IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion¹⁾より作成)

市を対象として、交通行動に伴う独自の住民アンケート調査を実施することで、上海市民の交通手段選択の実態を把握するとともに、個人レベルの交通行動に伴うCO₂排出傾向とその要因について定量的に明らかにする。

2. 既存研究レビューと本研究の特長

中国における都市レベルのCO₂排出量の計測やその要因に関する研究は数多く²⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾、また、CO₂排出量だけでなく、環境負荷量を土地面積に換算するEF指標を用いた研究⁸⁾も実施されている。また、交通部門に着目すると、中国全域の交通に伴うCO₂排出量⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾や、都市レベルのCO₂排出量に関する研究や調査報告³⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾による研究蓄積が進んでいる。その一方で、環境負荷の計測自体に焦点が置かれてものがほとんどであり、個人レベルの交通行動にまで踏み込んだ議論は見られない。

以上を踏まえ、本研究の特長を述べる。

- 1) 世界最大のCO₂排出国である中国で、最大の経済都市である上海市民の個人レベルのCO₂排出量に着目した研究である。
- 2) 上海を対象としたライフスタイル調査を独自に実施し、個々の交通行動に伴うCO₂排出量を個別に算出するとともに、その要因を探求している。
- 3) 個人の交通行動に伴うCO₂排出量の要因を把握するために、個人・世帯属性に加えて、道路や地下鉄などの都市整備・開発との関連性に言及している。

3. 分析の概要

(1) 分析対象地の概要¹⁶⁾¹⁷⁾

中国最大の経済都市であり、急激な都市開発と人口増加が進んでいる上海市を本研究の対象地とする。上海市の位置と詳細地図を図-2, 3, 上海市の人口の推移を図-4に示す。上海市は、1990年代から急速にモータリゼーションが進展し、都心部では渋滞が深刻化し始めた。上海市の自家用車保有台数と、人口当たりの自動車台数の推移を図-5に示す。上海での個人の自動車保有台数は、一貫して増加していることが分かる。1990年代以降、道路整備・開発も進み、1992年～1999年にかけて、市内中心部に「申」という文字型の高架道路網が建設された。この道路網は現在上海の交通輸送量の20%を分担する主要なネットワークとなっている。公共交通整備に着目すると、これまでバスと路面電車が主流な都市内の移動手段であったが、1995年に地下鉄1号線が運行開始し、その後、2000年に2号線、3号線と続き、現在まで11号線まで開通し、現在上海の都市交通の大部分を担う公共交通手



図-2 上海市の位置



図-3 上海市内地図 (出典: Google マップ¹⁸⁾)

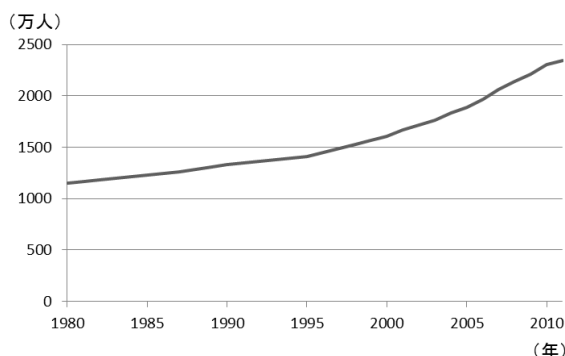


図-4 上海の人口推移 (上海統計年鑑¹⁹⁾より作成)

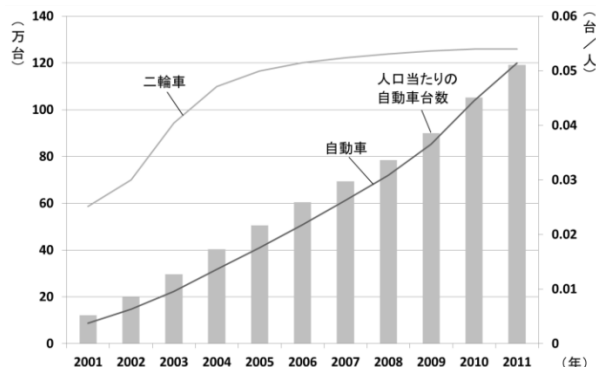


図-5 個人の自動車・二輪車の保有台数推移 (上海統計年鑑¹⁹⁾より作成)

段となった。2010年には地下鉄のキロ数がロンドンを超えて世界一となり、今後もさらに増設予定である。

(2) ライフスタイル調査の概要

中国上海市の住民を対象として独自に実施したライフスタイル調査の概要を表-1に示す。調査項目は、アンケート回答者の個人属性（職業や年収、居住形態など）や交通行動に関する項目（移動手段、目的、ガソリン購入量など）から構成されている。回収サンプル数は400サンプルである。以降の分析における居住地の中心部と郊外は表-2のように定義する。なお、WEB調査で行ったため、サンプルの高齢者の割合が顕著に少ない（60歳以上のサンプル：全400サンプル中15サンプル）。この点については、データ制約上の限界として、分析・考察する際に留意しなければならない。このライフスタイル調査結果に基づいて、個人の交通行動に伴うCO₂排出量を算出する。

4. 上海市民の交通手段選択の実態把握

ライフスタイル調査の結果に基づいて、上海市民の交通手段選択の実態を把握する。まず、目的別（通勤・通学、買い物（最寄品）、買い物（買回り品））の代表交通手段を集計し、上海での交通手段選択の全体的な傾向を捉える。続いて、性別、年齢、世帯人数、世帯年収、居住形態、居住地の属性と、目的別の代表交通手段とをクロス集計し、独立性の検定及び残差分析を行うことで、交通手段選択と、個人・世帯属性との関連性を統計的に明らかにする。

まず、目的別の代表交通手段を集計した結果を図-6に示す。その傾向を見てみると、全体的に自家用車の割合が高いが、通勤・通学は、鉄道・地下鉄の割合が最も高く、日用品や食品といった最寄品の買い物では、徒歩の割合が相対的に高くなる傾向が見られた。

次に、目的別代表交通手段と各指標とのクロス集計及

表-1 ライフスタイル調査の概要

調査方法	WEB調査
調査実施日	2012年11月
調査対象	上海市に住む20代～60代男女
調査内容	【問1】個人属性 【問2】食料・紙・エネルギー消費、交通面に関する内容
回収サンプル数	400サンプル

表-2 中心部と郊外の区分

中心部	黄浦区	徐匯区	静安区	長寧区
	普陀区	閘北区	虹口区	楊浦区
郊外	浦東新区	宝山区	閔行区	嘉定区
	金山区	松江区	青浦区	奉賢区
	崇明県			

び独立性の検定を行った結果を表-3に示す。

分析の結果、通勤・通学では、世帯年収のみで関連性が見られるのに対して、買い物の「最寄品」及び「買回り品」ともに、年齢、世帯人数、居住形態、世帯年収など様々な指標との関連性が示された。本論文では、その中でも特徴的な傾向が見られたものを抜粋して説明する。

年齢と移動目的別の代表交通手段とのクロス集計から、通勤・通学では有意な差が見られないが、買い物目的については「最寄品」及び「買回り品」ともに有意差が見られた。本論文では、「買回り品」の代表交通手段の結果を図-7に示す。40代の自動車分担率が最も高く、60代が最も低い。また、20代の地下鉄の分担率が高い一方で、40代では低くなっている。さらに、高齢になるほど

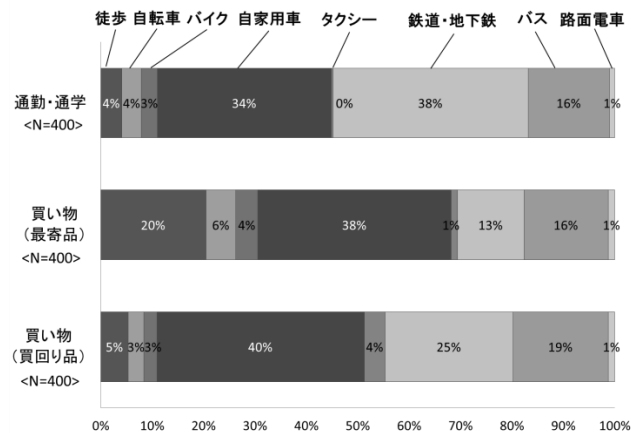
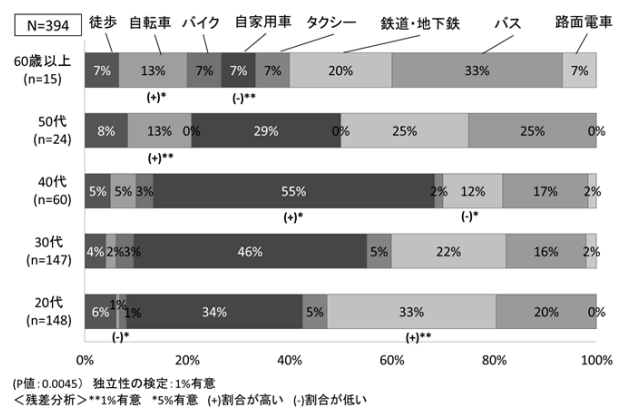


図-6 目的別の代表交通手段

表-3 目的別の代表交通手段と各指標の独立性の検定結果

	通勤・通学	買い物(最寄品)	買い物(買回り品)
性別			
年齢		**	**
職業の有無		*	*
世帯人数			**
世帯年収	**	**	**
居住形態		**	
居住地			

**1%有意 *5%有意



(P値: 0.0045) 独立性の検定: 1%有意 <残差分析> **1%有意 *5%有意 (+)割合が高い (-)割合が低い

図-7 年齢別の買い物（買回り品）での代表交通手段

自転車の割合が高くなる。

また、世帯年収と代表交通手段のクロス集計について、独立性の検定の結果、全ての目的で有意差が見られた。本論文では、世帯年収別の「通勤・通学」の結果を図-8に示す。自家用車の分担率は高所得者ほど高くなり、世帯年収が16万元以上の居住者の半数以上が自動車を利用している。その一方で、公共交通利用は、低中所得者で高くなる傾向がある。

また、その他の有意差があった指標についても、職業の有無に関しては、職業従事者が、そうでない者よりも自家用車で買い物に行く割合が高く、バスを利用する割合が低いことが明らかとなった。居住形態に関しては、一戸建ての居住者は、最寄品の買い物で地下鉄や路面電車を利用する割合が高いことが統計的に示されている。

5. CO₂排出量の算出と基礎集計結果

(1) 個人の交通行動に伴うCO₂排出量の算出

ライフスタイル調査の結果に基づき、個人の交通行動によって発生するCO₂排出量を算出する。

今回は、交通部門のCO₂排出量の中でも、私的交通である自家用車とバイクの使用によって発生するCO₂排出量を対象とする。言い換えれば、個人の意思によって消費されるエネルギー消費に伴うCO₂排出量に着目している。ライフスタイル調査結果より得られた「個人のガソリンの消費量」を元に、自家用車とガソリン式バイクによるCO₂排出量を算出した。電動バイクによる電気使用量については、特定が困難であったため、「使用距離」と「使用頻度」に基づき、電動バイクによるCO₂排出量を算出した。まず、自家用車とガソリン式バイクの使用によって発生するCO₂は、ガソリンの消費量にCO₂排出原単位²⁰を乗じて算出する。電動バイクの使用によって発生するCO₂排出量は、電動バイクの1ヶ月の使用距離

を燃費で除して電気消費量を算出し、それにCO₂排出原単位²⁰を乗じて算出する。なお、使用した電動バイクの燃費は、中国及び上海固有のデータが入手できなかったため、日本の標準的な燃費を代替的に使用している。さらに、データ上、明らかな異常値と判断されるデータについては除外している。

$$C_t = \sum_{i=1}^2 C_{ti} \quad (1)$$

C_t : 個人のCO₂排出量(t-CO₂)

$$C_{t1} = F_g \cdot r_g \quad (2)$$

C_{t1} : ガソリンの消費によって発生するCO₂排出量(t-CO₂)

F_g : ガソリンの消費量(l)

r_g : ガソリンの燃焼に伴うCO₂排出原単位(t-CO₂/l)

$$F_t = D/d_t \quad (3)$$

F_t : 電動バイクの使用による電気の消費量(kWh)

D : 電動バイクの使用距離(km)

d_t : 電動バイクの燃費平均(km/kWh)

$$C_{t2} = F_t \cdot r_w \quad (4)$$

C_{t2} : 電動バイクの使用によって発生するCO₂排出量(t-CO₂)

r_w : 電気のCO₂換算係数 (t-CO₂/kWh)

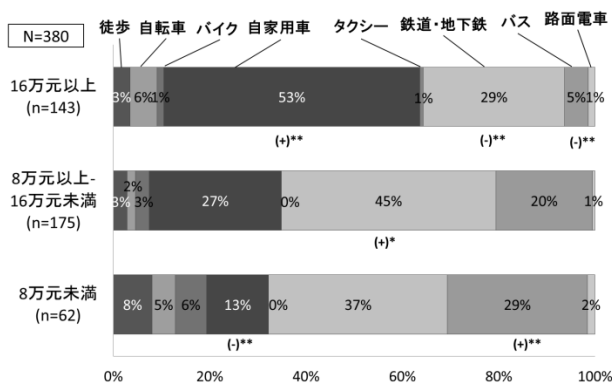
以上の式を用いて、交通行動に伴う年間CO₂排出量を算出した結果を、表4に示す。

内訳を見てみると、個人のガソリンの使用によって発生するCO₂排出量の平均値は1.69 (t-CO₂)、電動バイクの使用によって発生するCO₂排出量の平均値が0.0056 (t-CO₂)であり、大部分をガソリンの使用によるCO₂排出量が占めていることになる。また、自家用車を所有している居住者が216人なのに対し、ガソリン式バイクを所有している居住者は6人であった。すなわち、今回のガソリン用途のほとんどが自家用車であると考えられ、交通行動に伴うCO₂排出量は自家用車の利用に大きく依存していることになる。

(2) 個人属性別のCO₂排出量

表-4 CO₂排出量算出結果

サンプル数	367
CO ₂ 排出量(t-CO ₂ /年/人)	1.69



(P値:0.0000) 独立性の検定:1%有意
<残差分析> **1%有意 *5%有意 (+)割合が高い (-)割合が低い

図-8 世帯年収別の通勤・通学での代表交通手段

1節で算出したCO₂排出量の結果をもとに、個人属性、世帯人数、年収、居住特性別にCO₂排出量の平均値を算出した結果を、図-9に示す。

正規性の検定により、それぞれの指標別にCO₂排出量の分布を見た結果、正規分布ではないことが判明したため、指標ごとにノンパラメトリック検定を行った。具体的には、性別、職業の有無といった、カテゴリが2群に分けられる指標はマンホイットニーのU検定を行い、年齢や世帯人数といった3群以上のカテゴリがあるものはクラスカル・ウォリス検定を行った。

その結果、年齢では30代のCO₂排出量が最も多く、60歳以上の約3.2倍に及ぶ。また、職業従事者は非職業従事者の約4.1倍大きい。所得の大きい人ほどCO₂排出量が大きくなる傾向があるが、これは所得の大きい人ほど自家用車を保有しているためである。また、上海中心部の居住者の方が、郊外居住者と比較してCO₂排出量が多い。

6. 交通行動に伴うCO₂排出量の要因分析

上海市民の交通行動に伴うCO₂排出量が自家用車の利用に大きく依存していることが明らかとなった。このため、本章では、自宅に自家用車を所有する居住者で、かつ個人・世帯年収を把握できた212サンプルを対象に、数量化I類分析によって交通行動に伴うCO₂排出量の要因分析を行った。

説明変数として、前章でも用いた個人属性や世帯属性、居住地に加えて、公共交通・道路整備状況が与える影響を把握するため、「駅密度」、「最寄り駅までの距離」、「道路密度」の指標を加えて分析を行った。「駅密度」は、居住区内の駅の数に区面積で除して算出し、「道路密度」は居住区内の主要幹線道路の延長距離を区面積で除して算出した。また、移動目的によるCO₂排出量への影響の違いを把握するため、「目的別の代表交通手段」の指標を追加した。これらのうち「駅密度」と「道路密度」で多重共線性が見られたため、唯一の道路整備の指標である「道路密度」の方を優先し採用した。また「世帯年収」と「性別」や「年齢」などでも多重共線性が見られたが、急速な経済成長によって、所得が増加している上海の現状をふまえ、「世帯年収」を採用した。これらの説明変数を用いて数量化I類分析を行った結果を図-10に示す。

分析の結果、移動目的の「通勤・通学」の偏相関係数が最も高いことが明らかであった。つまり、通勤・通学における公共交通機関の利用有無が、交通行動に伴うCO₂排出量に最も影響を及ぼしている。また、同じ公共交通機関の利用でも、目的によってCO₂排出量の影響度合いに差異が見られ、買い物（買回り品）の影響が最も

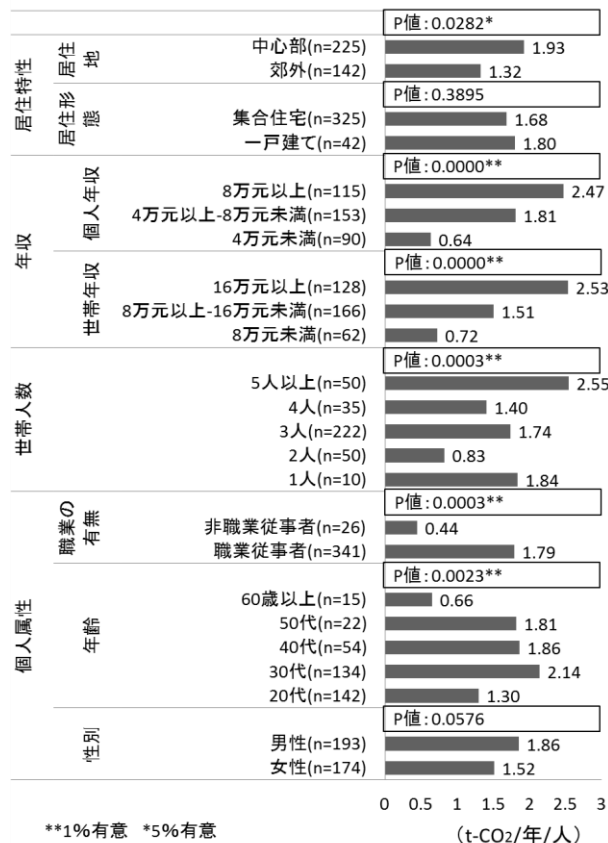


図-9 各指標のCO₂排出量

低いことが示されている。次に、偏相関係数が高い「最寄り駅までの距離」は、200m未満の居住者ではCO₂排出量にマイナスの大きな影響を与える一方で、それ以上の距離になるとほとんど影響がないことが読み取れる。「道路密度」の影響も大きく、道路密度が高くなるほどCO₂排出量が増加する傾向にある。その一方で、第5章で関連性の強かった世帯年収は、このモデルの中では強い影響を与えていない。この理由として、今回対象としているのは自家用車を所有している人のみであり、所得の差による自家用車の所有有無が影響しないためである。言い換えれば、世帯年収は、自家用車の所有自体に影響を与えているものの、自家用車の利用には大きな影響を与えていないことが示唆される。

7. 結論

本研究では、中国上海居住者の交通行動に着目し、交通手段選択の実態把握と個人レベルでのCO₂排出量の算出、その要因の分析を、独自のライフスタイル調査の結果に基づき実施した。主要な分析結果を整理する。

- 1) 移動目的によって代表交通手段選択は大きく異なり、買い物目的の「買回り品」及び「最寄品」とともに、さまざま指標（年齢、性別、居住形態など）

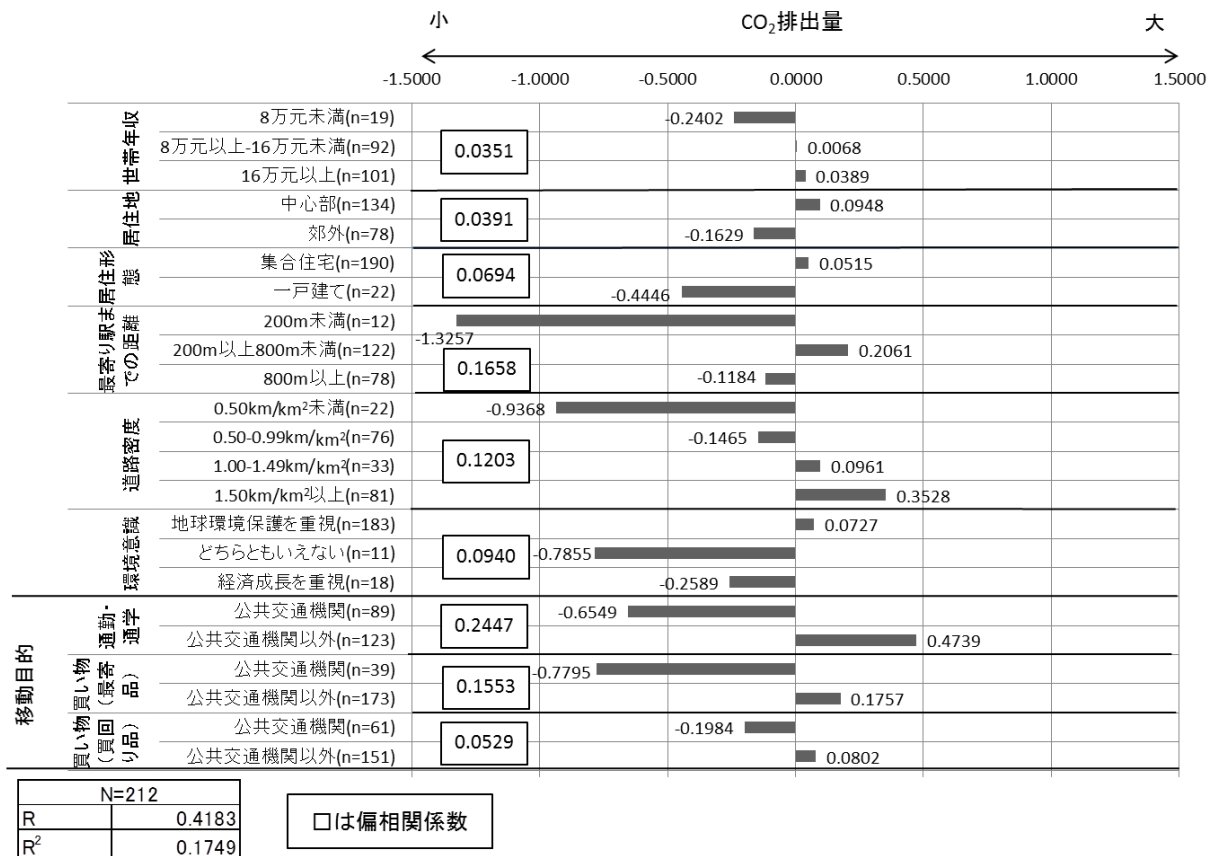


図-10 交通行動に伴うCO₂排出量の数量化I類分析による要因モデル

との関連性が示された一方で、通勤・通学は世帯年収のみで関連性が見られた。例えば、世帯年収16万元以上の居住者の約半数が通勤・通学時に自動車を利用している。

- また、個人・世帯属性とCO₂排出量との関連性については、年齢、職業の有無、世帯人数、年収などの関連性が強い。特に、世帯年収が高いほど、自動車を所有している割合が高くなるため、CO₂排出量は高い。なお、図-11に示す通り、最近20年の間で、可処分所得は10倍以上になっており、この状況が続けば、自動車利用者の増加によるCO₂排出量の増加が懸念される。
- さらに、地下鉄駅が近いことは、200m以内では、CO₂排出量へのマイナス効果が示されたものの、その周辺ではほとんど影響が見られない。一方で、道路密度の高い中心部でのCO₂排出量はプラスに影響していた。

なお、今回の検討では、交通整備状況や道路整備状況について、比較的マクロな視点から分析を実施している。今後は、より詳細に地域の状況に配慮した上で分析する必要があると考えている。

謝辞：上海に関する情報をご提供いただいた中国の同済

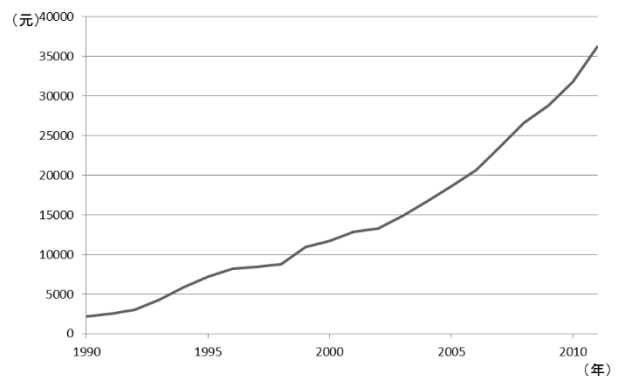


図-11 上海市民の平均可処分所得推移 (上海統計年鑑¹⁹⁾より作成)

大学の李建華教授に、深甚なる謝意を表す。

参考文献

- IEA : CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2012 Highlight, <http://www.iaea.org/publications/freepublications/publication/name,4010,en.html>, 2013.02 最終閲覧
- Wang Yansong · Ma Weichun · Tu Wei · Zhao Qian · Yu Qi : A study on carbon emissions in Shanghai 2000-2008, China, ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY, Vol.27, 151-161, 2013.
- THE WORLD BANK : Sustainable Low-Carbon City Development in China, <http://siteresources.worldbank.org/EX>

TNEWSCHINESE/Resources/3196537-1202098669693/4635541-1335945747603/low_carbon_city_full_en.pdf, 2013.07 最終閲覧

- 4) Yuhuan Ceng · Changhui Peng · Mingzhong Tian : Energy Use and CO₂ Emission Inventories in the Four Municipalities of China, *Energy Procedia* 5, 370-376, 2011.
- 5) Min Zhaoa, · Lirong Tana · Weiguo Zhangb · Minhe Jia · Yuan Liua · Lizhong Yua : Decomposing the influencing factors of industrial carbon emissions in Shanghai using the LMDI method, *Energy* 35, 2505-2510, 2010.
- 6) Shobhakar DHAKAL · 金子慎治 · 井村秀文 : 東アジアメガシティにおけるエネルギー消費による二酸化炭素排出 : 要因及びその寄与, *環境システム研究論文集*, Vol.31, 209-216, 2003.
- 7) 曲建升 · 王 琴 · 陈发虎 · 曾静静 · 张志强 · 李 燕 : 我国二氧化碳排放的区域分析, *第四纪研究*, Vol.30, NO.3, 2010.
- 8) 今西正義 · 山本祐吾 · 東海明宏 · 盛岡通 : 中国上海市における都市活動がエネルギー · 物質代謝と持続可能性に与える影響の分析, *土木学会論文集 G*, Vol.66, No.2, 65-74, 2010.
- 9) 中山裕文 · 金子慎治 · 藤倉良 · 井村秀文 : アジア諸国の経済発展にともなう交通需要と環境負荷に関する研究, *環境システム研究*, Vol.24, 529-535, 1996.
- 10) Bofeng Cai · Weishan Yang · Dong Chao · Lancui Liu · Ying Zhou · Zhansheng Zhang : Estimates of China's national and regional transport sector CO₂ emissions in 2007, *Energy Policy* 41, 474-483, 2012.
- 11) Haikun Wang · Lixin Fu · Jun Bi : CO₂ and pollutant emissions from passenger cars in China, *Energy Policy* 39, 3005-3011, 2011.
- 12) 朱松麗 : 北京、上海城市交通能耗和温室气体排放比较, *城市交通*, 第 8 卷, 第 3 期, 2010.
- 13) 联合国环境规划署—同济大学环境与可持续发展学院 : 上海市碳排放交易机制及发展战略研究报告, 2012.
- 14) 海德堡能源与环境研究所 : 中国交通 : 不同交通方式的能源消耗与排放, 2008.
- 15) 城市交通与二氧化碳排放 : 中国城市的一些特征, Australian Government, 2009.
- 16) 大阪市立大学経済研究所 : アジアの大都市 (5) 北京 · 上海, 日本評論社, 2002.
- 17) 小池滋 · 和久田康雄 : 都市交通の世界史 出現するメトロポリスとバス · 鉄道網の拡大, 悠書館, 2012.
- 18) Google マップ : <https://maps.google.co.jp/>, 2013.07 最終閲覧
- 19) 上海統計局 : 上海統計年鑑, <http://www.stats-sh.gov.cn/data/toTjnj.xhtml?y=2012>, 2013.06 最終閲覧
- 20) CFP プログラム : CO₂換算量共通原単位データベース, <http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>, 2013.01 最終閲覧

(2013. 8. 2 受付)

Factor analyses of CO₂ emissions focusing on the traffic behavior of residents in Shanghai, China

Takehito UJIHARA, Hirofumi ABE and Sayaka YOSHIHARA