

中国省別における交通部門の CO₂ 排出量の要因分析

— 自家用車保有台数の増加要因について —

A factor analysis of regional CO₂ emissions from transportation sectors in China

- Specifying increasing factors of possession of the privately-owned car -

黎明*・大西 暁生**・曹 鑫*・井村 秀文*
Ming Li*・Akio Onishi**・Xin Cao*・Hidefumi Imura*

After reform and opening-up in China, the traffic volume among regions continues increasing with the rapid growth of economy. The number of transported passengers in 2006 is 1.3 times of that in 1980, while the volume of transported logistic up to 6 times. Furthermore, the growth rate of CO₂ emissions from transportation sector in China has been rising due to increase of the private car possession. Many previous studies estimated and forecasted CO₂ emissions in China and in specific region, but different characteristics of factors of regional CO₂ emission were not fully evaluated. This study firstly analyzed the factors affecting CO₂ emission of transportation sector in China. Secondary, factors influencing possession of the privately-owned car was specified.

Keywords: China, CO₂ emission, transportation sector, privately-owned car
中国, CO₂ 排出量, 交通部門, 自家用車保有

1. 本研究の背景と目的

1978 年の改革開放以降, 中国の経済は市場経済を導入・拡大させながら, 20 年以上の長期に渡り, 実質 GDP 成長率が年平均で 9% 以上を達成する目覚ましい成長を遂げてきた。特に, 沿海部の経済開放地区において急速な成長が続き, 製造加工業やサービス業が活発化している。また, 経済成長により都市部における消費活動が喚起され, 自動車需要が高まっている。その結果として, CO₂ 排出量が急激に伸び続けている。

図-1 に示すように, 中国全体の CO₂ 排出量は 1985 年以降年々増加してきた。1995 年から 2001 年の間は一時的な減少があったものの, 2002 年には再び増加傾向に転じ, 過去最高の排出量に達した。一方, 交通部門からの CO₂ 排出量に関しては, 年々増加しつつあり, 増加率で見ても全体の CO₂ 排出量と比較して著

しい。

こうした中国の交通部門の CO₂ 排出量を対象とした既存研究の多くは, 将来を展望するものが主であった。一方, CO₂ 排出量が増加する要因を特定するような分析はさほど多くは行われてこなかった。その中でも, Chen ら²⁾の研究では, 北京市において, 住宅団地改革が進められ, 「都市で働き, 郊外で住む」というライフスタイルが確立しつつあり, より良い環境を求める富裕層が近年増えてきていると報告している。こうした背景から, 通勤距離の増加に伴い自動車の需要が拡大し, 都市の交通渋滞や大気汚染, 燃料消費の拡大などの社会的な問題が浮上したことを取り上げている。このように, 経済成長により一人当たり GDP の増加や, 都市の郊外化あるいはライフスタイルの変化などの要因が, 自動車需要の拡大に影響を与えていることを定性的に評価した。また, Wang ら³⁾は SD モデルを用い, 大連市の都市交通システムを研究した。この中で, GDP は自動車保有の増加に大きく影響していることを指摘した。中国の交通部門における CO₂ 排出量の削減について, Han⁴⁾は, SD モデルを用いて中国都市間旅客輸送による CO₂ 排出量の緩和シナリオを提示した。インフラ整備で鉄道, 道路そして水運の輸送分担率を調整するシナリオ, 自動車燃料税率を引き上げるシナリオを通して, 2020 年の CO₂ 排出量を 819Mt から最大 32% (557Mt) 削減できることを示した。

しかし, これらの研究では一部の特定の地域に焦点を当てたものが多く, 多地域間の比較や対策の汎用性が疑わしいのが課題である。また, 特定の都市の要因分析結果では, 中国全体の傾向を表すことが難しい。従って, 中国全地域を対象とした要因分析が必要である。

そのため本研究では, 中国の省別 (31 の直轄市, 省, 自治区を略して省とし, 以下, 省とのみ記す) を対象に, 交通部門の CO₂ 排出量の要因を定量的に把握し, 全体および地域ごとの傾向

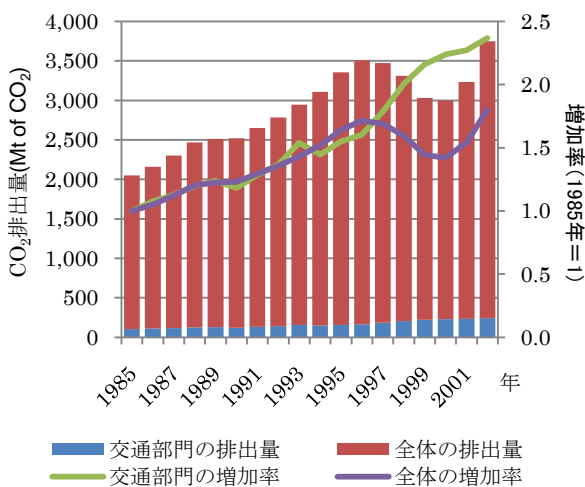


図-1 中国全体および交通部門の CO₂ 排出量
(データ出典: IEA¹⁾)

* 非会員 名古屋大学大学院環境学研究科(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

** 正会員 名古屋大学大学院環境学研究科(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

を検討する。交通部門は大きく分けて、省間交通と省内交通である。省間交通には旅客輸送と貨物輸送が含まれる。一方、省内交通には、自家用車(道路運送法においては、自動車のうち事業用自動車でないものを指すと定義されている)、オートバイ、公共交通などが含まれるが、公共交通はCO₂排出量削減に貢献するものなので、本研究では省内交通のCO₂排出要因として自家用車とオートバイのみを対象とする。また、地域間輸送機関は、鉄道、道路、水運に分けている。

2. 要因解析

本研究では、中国の31省を対象に、中国交通統計年鑑より1995年から2006年までの省別の人口、GDP、旅客輸送量、貨物輸送量、自家用車保有台数などのデータを整備して用いる。さらに、中国能源年鑑のエネルギー消費に基づいたCO₂排出量のデータを使用する。要因分析では、各要因の関係を式-1のように設定し、AWT-PDM要因分析法³⁾を用いて分析する。残差の補正には、この残差がゼロに近づくように、各要因のパラメータ調整を行った。1995年から2006年までのデータを1995-2000年と2000-2006年といった二つの期間に分けることによって、この期間内および二期間での変化を見る。

$$\text{Total CO}_2 = \text{TP} + \text{TC} + \text{PC} + \text{AC} + \gamma \quad (1)$$

$$\text{TP} = \text{POP} \times \frac{\text{PT}_{\text{total}}}{\text{POP}} \times \sum_j \left(\frac{\text{PTK}_j}{\text{PT}_j} \times \frac{\text{EC}_j}{\text{PTK}_j} \times \frac{\text{CO}_{2,j}}{\text{EC}_j} \right)$$

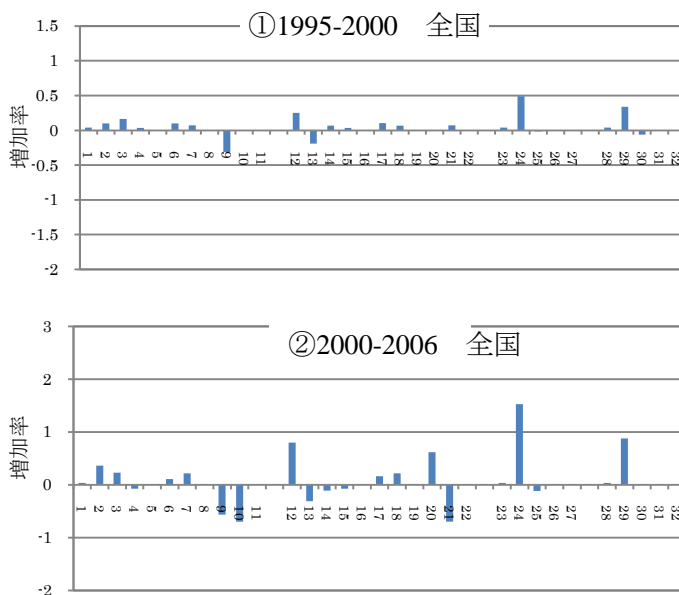
$$\text{TC} = \text{GDP} \times \frac{\text{FT}_{\text{total}}}{\text{GDP}} \times \sum_j \left(\frac{\text{FTK}_j}{\text{FT}_j} \times \frac{\text{EC}_j}{\text{FTK}_j} \times \frac{\text{CO}_{2,j}}{\text{EC}_j} \right)$$

$$\text{PC} = \text{POP} \times \frac{\text{PCAR}}{\text{POP}} \times \frac{\text{VMT}}{\text{PCAR}} \times \frac{\text{EC}}{\text{VMT}} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{EC}}$$

$$\text{AC} = \text{POP} \times \frac{\text{MOTOR}}{\text{POP}} \times \frac{\text{VMT}}{\text{MOTOR}} \times \frac{\text{EC}}{\text{VMT}} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{EC}}$$

ここで、Total CO₂ : CO₂排出量の合計 (MtCO₂)、TP : 旅客輸送部門のCO₂排出量の合計 (MtCO₂)、TC : 旅客輸送部門のCO₂排出量の合計 (MtCO₂)、PC : 自家用車のCO₂排出量の合計 (MtCO₂)、AC : オートバイのCO₂排出量の合計 (MtCO₂)、γ : 残差、POP : 人口 (万人)、PT_{total} : 全輸送機関の旅客輸送量の合計 (万人)、PT : 旅客輸送量 (万人)、PTK : 旅客輸送人キロ (万人 km)、EC : 燃料消費量 (リットル)、CO₂ : CO₂排出量 (MtCO₂)、GDP : 国内総生産 (万元)、FT_{total} : 全輸送機関の貨物輸送量の合計 (万トン)、FT : 貨物輸送量 (万トン)、FTK : 貨物輸送トンキロ (万トン km)、PCAR : 自家用車保有台数 (台)、MOTOR : オートバイ保有台数 (台)、VMT : 車両走行距離 (km)、j : 輸送機関 (鉄道、道路、水運)。

図-2に、①1995-2000年(以下、第一期間と呼ぶ)と②2000-2006年(以下、第二期間と呼ぶ)の二つ期間の要因分析の結果を示す。横軸は旅客輸送、貨物輸送、自家用車、オートバイの4部門であり、旅客輸送と貨物輸送では、輸送機関として鉄道、道路、水運に分けている。そして縦軸は、CO₂排出量の増加率を表している。増加率とはCO₂排出量において各要因がどのような影響を与えているのかを表したものである。これが正の場合はCO₂排出を増加させる要因であり、これが負の場合はCO₂排出を減少させる要因となる。第一期間では、正の要因では貨物部門の道路輸送距離と自家用車保有率が最も高く、次にオートバイ保有率である。負の要因では、旅客輸送の水運トリップ距離が主なものである。その原因として、近年水運による輸送の距離が短縮されているためであり、1995年の旅客輸送平均水運距離は93kmであったのに対し、2000年には54kmとなっている。一方、第二期間では、自家用車保有率が最も大きな正の要因で、次に旅客輸送の道路トリップ距離とオートバイの保有率である。また、旅客輸送と貨物輸送では、鉄道、水運の輸送距離と燃料効率が負の要因であり、道路は依然として正の要因として強い。特に、貨物部門ではこれが改善されているものの、旅客部門では増加している。その一因



~ 凡例 ~

1	人口	17	貨物・道路・輸送距離
2	旅客・トリップ数	18	貨物・道路・燃費
3	旅客・鉄道・トリップ距離	19	貨物・道路・排出係数
4	旅客・鉄道・燃費	20	貨物・水運・輸送距離
5	旅客・鉄道・排出係数	21	貨物・水運・燃費
6	旅客・道路・トリップ距離	22	貨物・水運・排出係数
7	旅客・道路・燃費	23	人口
8	旅客・道路・排出係数	24	自家用車保有率
9	旅客・旅客・水運・トリップ距離	25	自家用車・走行台キロ
10	旅客・水運・燃費	26	自家用車・燃費
11	旅客・水運・排出係数	27	自家用車・排出係数
12	GDP	28	人口
13	貨物・万元当たり輸送トン数	29	バイク保有率
14	貨物・鉄道・輸送距離	30	バイク・走行台キロ
15	貨物・鉄道・燃費	31	バイク・燃費
16	貨物・鉄道・排出係数	32	バイク・排出係数

図-2 全国の要因解析結果

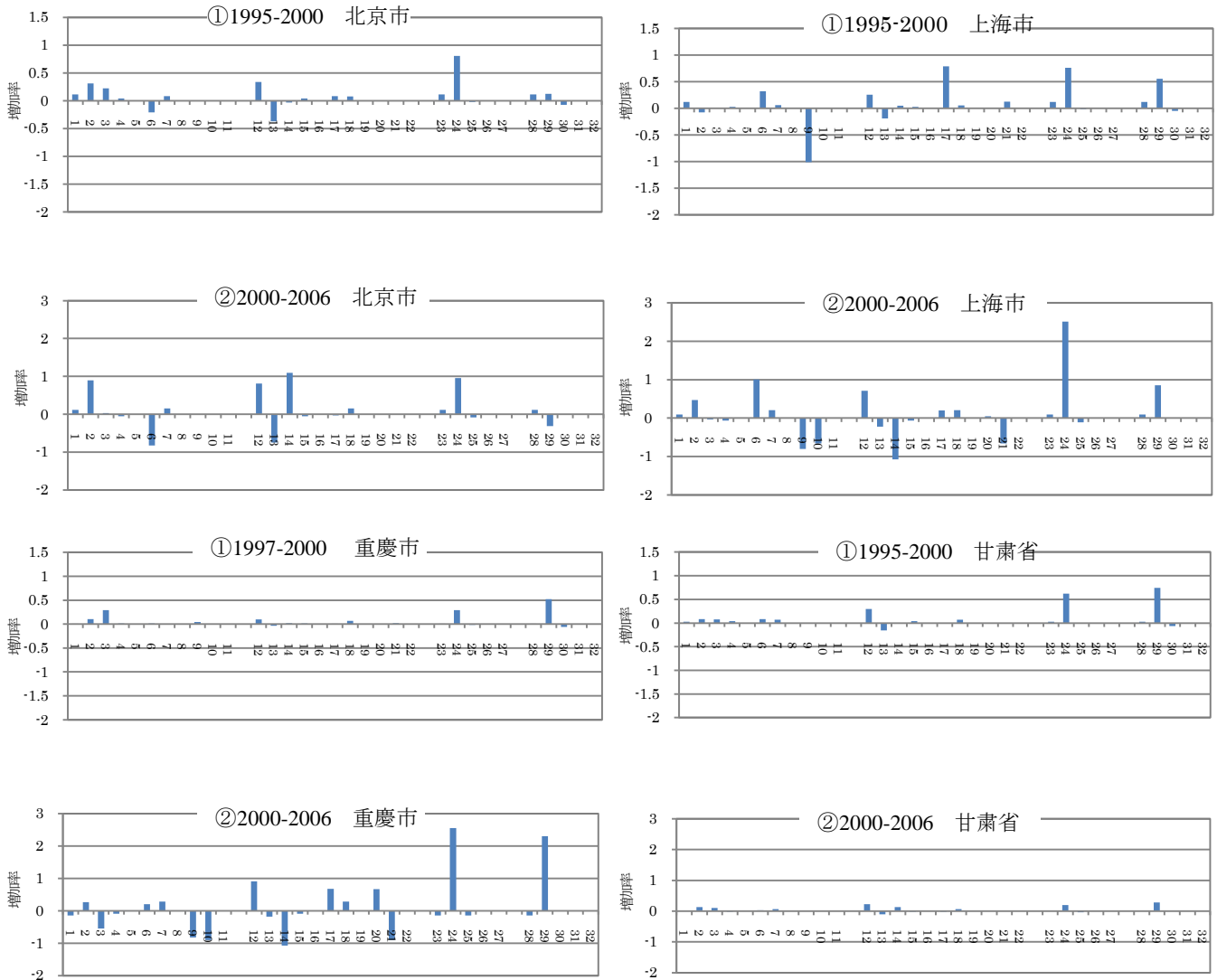


図3 一部地域の要因解析結果 (注: 横軸は図2の凡例と同様)

として、所得格差で内陸部から沿海都市への出稼ぎが増えたことが影響していると考えられる。

図3に、北京市、上海市、重慶市、貴州省の4省の要因分析の結果を示す。北京市と上海市は、経済発展が著しい地域であり、重慶市と貴州省は比較的経済発展が遅れている地域である。ほとんど全ての省において自家用車とオートバイの保有率が強い正の要因になっている。以下に、各省の特徴をまとめる。

北京市では、第一期間に比べ第二期間において、旅客輸送のトリップ数と貨物輸送の鉄道輸送距離が正の要因として大幅に伸びている。この背景には、近年の北京市の首都機能を強化するために、この市を中心とした全国鉄道網の整備および拡大プロジェクトが進められており、各地域へのアクセスが便利となったことが影響していると考えられる。

上海市は、中国で所得が最も高い地域であり、近年、自動車需要が高まりつつある。その結果、第二期間では自家用車保有率が、第一期間と比べ大きく伸びた。また、ビジネス拠点として位置づけられているため、鉄道、道路、水運のすべての輸送機関が充実

しており、とりわけ貨物輸送では水運は全機関貨物輸送量の半分を占めている。近年、水運輸送の燃料効率率が改善したことが、CO₂排出量の削減に効果を示していると考えられる。

重慶市は、1997年に内陸部に位置する唯一の直轄市となった。直轄市の融資優遇政策や経済的・政策的な優先性を受け、地域経済もますます発展している。しかし鉄道、地下鉄などの公共交通が十分に整っておらず、経済発展のスピードに追い付くことが困難なのも現状である。そのため、個人消費者が自家用車およびオートバイなどといった嗜好性の高い耐久財に未だシフトしておらず、今後のモータリゼーションの拡大に伴いこれらの需要が急激に高まることによって、CO₂排出量が増加することが懸念される。こうした変化は、第一期間と第二期間の違いにも見られるように、自家用車とオートバイの保有率の要因が大幅に増加していることに見てとれる。

貴州省は、中国国内でも所得が最も低い地域の一つである。経済発展が遅れているため、第一期間も第二期間も大きな変化が見られなかった。しかし、重慶市と同様に内陸部の殆どの地域にお

いて、公共交通整備が遅れているため、急速な経済発展とともにモータリゼーションが拡大する恐れがある。

3. 自家用車保有台数の増加要因

前章の要因分析の結果によって、自家用車保有台数の増加がCO₂排出量に大きく影響していることがわかった。そのため、ここでは自家用車保有台数がどのような要因によって増加してきたのかを分析する。

表-1 用途別保有台数とその増加率

(単位:万台)	1995年 保有台数	2006年 保有台数	2006 /1995
業務用(乗用車)	417.90	2619.57	6.27
業務用(貨物車)	585.43	986.30	1.68
自家用(乗用車)	114.15	1823.57	15.98
自家用(貨物車)	131.01	494.91	3.78

データ出所: 中国交通年鑑各巻

表-1に、中国国内における1995年と2006年の自動車の用途別保有台数とその増加率を示す。経済成長とともに自動車保有台数も年々増加していることがわかる。その中でも自家用車が自動車保有台数全体の20% (1995年) から39% (2006年) まで増加していることがわかる。また、用途別では自家用乗用車の増加率(15%以上)が非常に大きいことがわかる。

一般的に、自家用車の増加は個人所得に大きく依存しているが、ここではそれ以外の要因も含めて分析する。この自家用車保有台数の増加要因の分析にあたり、表-2に示すような経済状況や人口構成、都市のインフラ、代替交通などを要因として挙げることにした。中国の31省を対象に、項目ごとに1995年から2006年のデータを使用した。

表-2 自家用車保有台数の増加要因

分類	要因項目
経済状況	一人当たりGDP(元/人)
人口構成	15-64歳人口(%)
都市状況	都市人口密度(人/平方キロ) 都市面積の割合 ⁱ⁾ (%)
代替交通	一人当たり公共バス保有台数(台) タクシー保有台数(台)
その他	LSI ⁱⁱ⁾ (都市平均)

- i) 都市面積の割合は、行政区域名積に対する都市の面積の割合を意味する。
- ii) LSI (landscape shape index) とは、Patton(1975)⁶⁾、McGarigal and Marks(1995)⁷⁾が提唱した都市のコンパクト度を表す指標である。都市がコンパクトにならばなるほど、LSIが1に近づき、一方、都市がスプロール化すれば、LSIが1より大きくなる。本研究では、曹鑫が夜間光衛星画像データ(DMSP: Defense Meteorological Satellite Program)を用いて分析した結果を用いる。

表-3に、単回帰分析の結果を示す。被説明変数は一人あたり自家用車保有台数であり、説明変数は表-2の各要因である。この結果、すべての変数は被説明変数に対して有意な関係を示し、特に一人当たりGDPや都市面積の割合の関係が強いことがわかった。

表-4に、重回帰分析の結果を示す。ここで、図-4に示すように、都市面積の割合の要因において、上海市の傾向は他の省とは

表-3 単回帰分析の結果

単回帰分析			
変数名	R ²	係数	t
一人当たりGDP	0.499	0.012	19.19
15-64歳人口	0.272	1578.868	11.77
一人あたり公共バス保有台数	0.112	7.676	6.82
都市人口密度	0.032	0.019	3.48
タクシー保有台数	0.157	0.003	8.29
LSI(都市平均値)	0.043	27.318	3.54
都市面積の割合	0.415	2364.188	14.02

表-4 重回帰分析の結果

重回帰分析(上海あり)				
変数名	標準偏 回帰係数	t値	P値	判定
一人当たりGDP	-0.16	-1.46	0.15	-
15-64歳人口	0.23	3.18	0.00	**
一人あたり公共バス保有台数	0.12	2.30	0.02	*
都市人口密度	-0.17	-3.25	0.00	**
タクシー保有台数	0.05	0.69	0.49	-
LSI(都市平均値)	-0.03	-0.51	0.61	-
都市面積の割合	0.70	6.86	0.00	**
定数項			-284.62	
修正済決定係数			0.4713	

重回帰分析(上海なし ⁱ⁾)				
変数名	標準偏 回帰係数	t値	P値	判定
一人当たりGDP	0.28	5.04	0.00	**
15-64歳人口	0.13	3.02	0.00	**
一人あたり公共バス保有台数	0.12	3.93	0.00	**
都市人口密度	-0.09	-2.97	0.00	**
タクシー保有台数	-0.10	-2.60	0.01	**
LSI(都市平均)	-0.08	-2.61	0.01	**
都市面積の割合	0.66	13.09	0.00	**
定数項			-176.97	
修正済決定係数			0.8074	

**:.1%有意 *:.5%有意

i) 都市面積の割合において、上海市の値は他の都市に比べ大きく外れているため、上海市の値を外すことにした。

大きく異なることがわかった。その原因として、上海市は昔から中国の貿易玄関口として繁栄しており、都市化が進むにつれて都市の規模も拡大していった。ただし、人口密度が高く、密集地域も多いため、街道は比較的狭く、自動車交通にはさほど適さない。さらに、地域面積は他の省と比べて最も狭い。従って、上海市は特徴として人口密度が高く、密集地域が多い、地域全体に対して都市面積が極めて大きいことが挙げられる。すなわち、他の地域とは異なり、かなりコンパクトであると言える。

ここでは、この上海の傾向を重回帰分析に含んだ場合と除いた場合の双方を結果として示すが、本研究の主旨は、中国全体の一般的な傾向を見ることに主眼を置いており、上海市を除いた結果について考察を加える。

重回帰分析の結果から、正の要因は都市面積の割合(都市面積の拡大)、一人あたりGDP(個人所得)、15-65歳人口(労働人口)、公共バス保有台数である。また、標準偏回帰係数の結果から、自

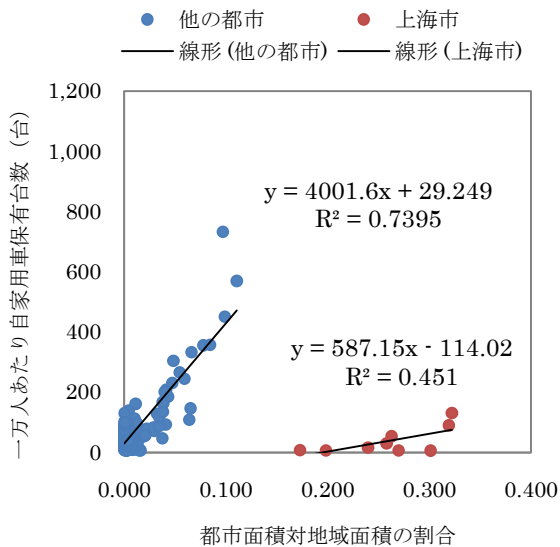


図-4 自家用車保有台数と都市面積割合の関係

家用車の増加は個人所得より都市面積の拡大が主要な要因であることを示している。中国では、近年経済成長に伴い宅地の開発やインフラの整備が進んでおり、こうした資本に対する投資が進められることによって、多くの都市では人口増加も相まりながら都市が拡大している。こうした都市の拡大に合わせ、自動車の普及とその利用が進んでいる。また近年では、中国国産車の導入により比較的安価に自動車を購入できるため、所得の低い層の間にも自動車保有が進んでいると考えられる。

今回の分析では、出来る限り多重共線性の影響を除去することに努めたが、都市人口密度、タクシー保有台数、LSIのように、単回帰分析によって正の要因であったものが、重回帰分析によって負の符号を示す結果となった。これについては、今後変数の選択をさらに厳密に行うことによって、分析の精度を高めていきたい。特に、都市のコンパクト性を表すようなLSIの推計とその応用は、今後の都市開発において重要な知見であると考えられる。そのため、こうした都市のコンパクト化と自家用車保有の関係、ひいてはCO₂排出量との関係をさらに重点的に分析していきたい。

4. まとめ

本研究では、中国各省における交通部門のCO₂排出量がどのような要因で決定されているのかを分析した。その結果、CO₂排出量の増加に最も影響を与えた要因として、自家用車の保有台数が挙げられた。さらに、これ以外の要因として、旅客輸送の道路部門のトリップ距離、バイクの保有台数が影響していることがわかった。

また本研究では、自家用車保有台数が増加した要因を分析した。この結果、正の要因として、都市面積の拡大と一人あたりGDPの増加が最も重要な要因であることがわかった。現在、中国の急速な経済成長に伴い、都市部での個人所得が急速に増加している。また近年、中国国内において国産自動車メーカーの参入が進み、自動車市場の価格競争が増し、価格自体が低下している。さらに、

自動車ローンの充実など、比較的所得者でも自動車を安易に購入できるようになった。また、中国の経済成長と内陸重視の経済政策、例えば西部大開発政策などにより、大規模な経済拠点が沿海部だけでなく、内陸部にも進出している。内陸部は比較的広大な面積を誇っている一方、都市整備が十分に進んでいない地域も多く、非合理的かつ無計画的な都市の成長を招く可能性がある。これによって、今後さらに経済成長が進むと、沿海部以上に、内陸部において自動車保有台数が増加する恐れがある。これを防ぐためには、都市の合理的かつ効率的な計画、すなわち都市計画や土地利用計画といった視点からの対策が重要であり、さらに公共交通機関の整備と普及を進めていくことが鍵となる。

今後の課題として、重回帰分析によって、多重共線性が見受けられた。そのため、自家用車保有台数の増加要因の再検討を含め、適切な変数の選択を考える必要がある。また今回は、CO₂排出量の要因分析として自家用車保有台数が正の要因として強く関係していることを示した。さらに、この自家用車保有台数の増加要因を分析した。しかしこれ以外にも、旅客輸送の道路部門のトリップ距離、バイクの保有台数がCO₂排出量の主要な要因として挙げられ、今後、これら要因についても分析を進めるつもりである。このような分析を行うことによって、CO₂排出量の増加要因を抑制することができ、さらに中国における交通部門での低炭素化が展望できると考えられる。

謝辞

本研究は平成20年度地球環境研究総合推進費（課題番号：Hc-086）、「低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究」（代表：井村秀文）によるものである。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国際エネルギー機関 (International Energy Agency, IEA) : CO₂ EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION (1971-2005).
- 2) Haiyan Chen, S. Ganesan, Beisi Jia. : Environmental challenges of post-reform housing development in Beijing, Habitat International, 29, 571-589, 2005.
- 3) Wang Jifeng, Lu Huapu, Peng Hu. : System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application, J Transpn Sys Eng & IT, volume 8, issue 3, 83-89, 2008.
- 4) Ji Han, Yoshitsugu Hayashi. (2008) : A system dynamics model of CO₂ mitigation in China's inter-city passenger transport, Transportation Research Part D, 13, 298-305.
- 5) 張 宏武 (2003) : 「中国の経済発展に伴うエネルギーと環境問題」, 溪水社, 2003.09.
- 6) Patton, D.R., 1975. A diversity index for quantifying habitat "edge". Wildlife Soc. B. 3, 171-173.
- 7) Mcgarigal, K., Marks, B.J., 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351, 122 pp., Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.