

日本の交通事故死者数の推移に関する数理的研究
—Smeed's Law を用いたマクロ傾向の分析—

公益財団法人国際東アジア研究センター
田村一軌

Working Paper Series Vol. 2013-11
2013年3月

この Working Paper の内容は著者によるものであり、必ずしも当センターの見解を反映したものではない。なお、一部といえども無断で引用、再録されてはならない。

公益財団法人 国際東アジア研究センター

日本の交通事故死者数の推移に関する数理的研究 —Smeed's Law を用いたマクロ傾向の分析—

国際東アジア研究センター

田村 一軌*

2013年3月

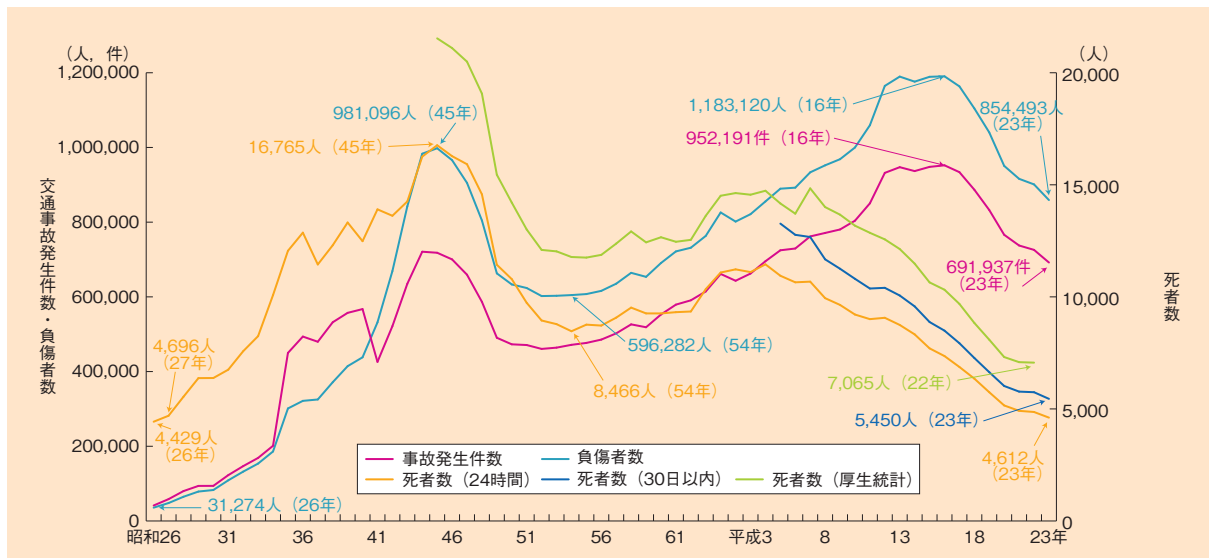
概要

その国の経済発展にとって、自動車産業の果たす役割は極めて大きい。このことは、日本を始めとするアジア諸国においても例外ではない。その一方で、増加する自動車交通は社会に様々な影響をおよぼしている。移動利便性の向上による生産性の上昇や余暇時間の増大といった正の影響だけでなく、排気ガスによる大気汚染や渋滞、あるいは交通事故といった負の影響（外部性）も見過ごすことはできない。

本稿では、日本国内における道路交通事故死者数の推移に関する数理的分析を試みる。ここでは、総人口および自動車保有台数の推移と、交通事故による死者数の推移との関連を分析するが、特に、それらの関係性についての経験則であるスミードの法則 (Smeed's Law) を当てはめることにより、日本および各都道府県の特徴を把握するとともに、今後の交通事故の動向に関する示唆を得た。

キーワード：Smeed's law, road traffic fatality, car ownership ratio

* たむら かずき，公益財団法人国際東アジア研究センター上級研究員，〒803-0014 北九州市小倉北区大手町 11-4，
E-mail:tamura@icsead.or.jp



- 注 1 警察庁資料による。
 2 昭和41年以降の件数には、物損事故を含まない。また、昭和46年までは、沖縄県を含まない。
 3 「24時間死者」とは、道路交通法第2条第1項第1号に規定する道路上において、車両等及び列車の交通によって発生した事故により24時間以内に死亡した者をいう。
 4 「30日以内死者」とは、交通事故発生から30日以内に死亡した者（24時間死者を含む。）をいう。
 5 「厚生統計の死者」は、警察庁が厚生労働省統計資料「人口動態統計」に基づき作成したものであり、当該年に死亡した者のうち原因が交通事故による者（事故発生後1年を超えて死亡した者及び後遺症により死亡した者を除く。）をいう。なお、平成6年までは、自動車事故とされた者を、平成7年以降は、陸上の交通事故とされた者から道路上の交通事故ではないと判断される者を除いた数を計上している。

(出所) 内閣府 (2012)

図1 道路交通事故による交通事故発生件数、死者数および負傷者数

1 はじめに

今日までの都市交通を考える際に、自動車交通の果たした役割は極めて大きい。日本においては、1960年代後半の高度成長期にはじまるモータリゼーションの進展によって、自家用車が他の家電製品などと一緒に各家庭に普及した。

このモータリゼーションにともない、人々は自ら自家用車を運転することによって、目的の場所に自由に移動することが可能になり、都市域の拡大や交流人口の増加による産業の発展などに大きく貢献することとなった。また同時に、自家用車の生産・販売によって自動車産業の成長を促進し、これが様々な素材や部品産業に波及することで、高度成長を支えたという側面もある。

そのような自動車の利用による直接的なメリットや、その生産や販売による経済効果だけではなく、一方では渋滞や環境問題に代表されるようないくつかの外部不経済を生み出してきたといえる。本稿ではそのような自動車による外部効果の中でも、交通事故による死者数に着目して分析するものである。

1.1 交通事故による死者数：日本の現状

図1は、日本の交通事故の発生件数、死者数および負傷者数の推移をグラフにしたものである。日本の交通事故による死者数（24時間死者数）は、1951年には年間4,429人であったものが経済成長とともに急上昇を続け、1970年には年間16,765人に達しそのピークを迎えた。その後急激に減少し、1979年には年間8,466人

と 1960 年頃の水準にまで下落したが、それを境に緩やかな増加傾向に転じた。1992 年に 1,1451 人に達した後、再び減少傾向へと一転、現在に至るまで年々日本の交通事故死者数は減少を続けている。警察庁交通局交通企画課 (2013) によれば、2012 年の交通事故死者数は 4,411 人で、1951 年の 4,429 人を下回り、それ以来およそ 60 年ぶりの低水準となった。このように日本の交通事故死者数は、高度経済成長期と、バブル経済期の 2 度のピークを持ちながら変動してきたことが分かる。

このように、日本の交通事故死者数が大きく変動した要因としては、さまざまな理由が考えられるだろう。増加要因としては、そもそも統計の母数となる人口が増加したことや、モータリゼーションにともなう自動車の普及、道路不足やそれにとともなう渋滞など自動車走行環境の悪化、走行速度の上昇、飲酒運転などモラルの低下などがある。抑制要因としては、信号や横断歩道などの整備、シートベルトやヘルメットなど安全装置の普及と義務化、ABS (Antilock Brake System) やエアバッグなど安全な自動車に関する技術開発 (ASV: Advanced Safty Vehicle など)、さらに交通安全ルールの遵守や規制など、さまざまなものが考えられる。これらの要因が複雑に影響しあって、図 1 のような推移をたどっているものと思われ、その実態解明あるいは将来予測はそれほど単純ではない。

なお、厚生労働省大臣官房統計情報部 (2012b) によれば、「平成 22 年の主な死因別の死亡率 (人口 10 万対) をみると、がん 279.7、心臓病 149.8、脳卒中 97.7、肺炎 94.1、老衰 35.9 などとなっており、次いで不慮の事故 32.2、自殺 23.4 となっているが、この不慮の事故の一部に交通事故は含まれている。現時点での最新データである厚生労働省大臣官房統計情報部 (2012a) によれば、平成 23 年度の日本の死者数約 125 万人のうち、交通事故による死者数は 6,644 人であり、全体の 0.53 % (およそ 200 人に 1 人) を占めるに過ぎず、それほど多いとはいえない (図 1 の注 5 にあるように、厚生省の人口動態にもとづく交通事故死者数と、警察庁の統計による交通事故死者数は数字が異なることに注意が必要である。しかし、図のグラフを見れば分かるように、その変動の様子は極めて似通っている) すなわち交通事故による死者は日本全体に占める比率にすれば、最近では必ずしも高くはないといえ、さらに減少する傾向にある。

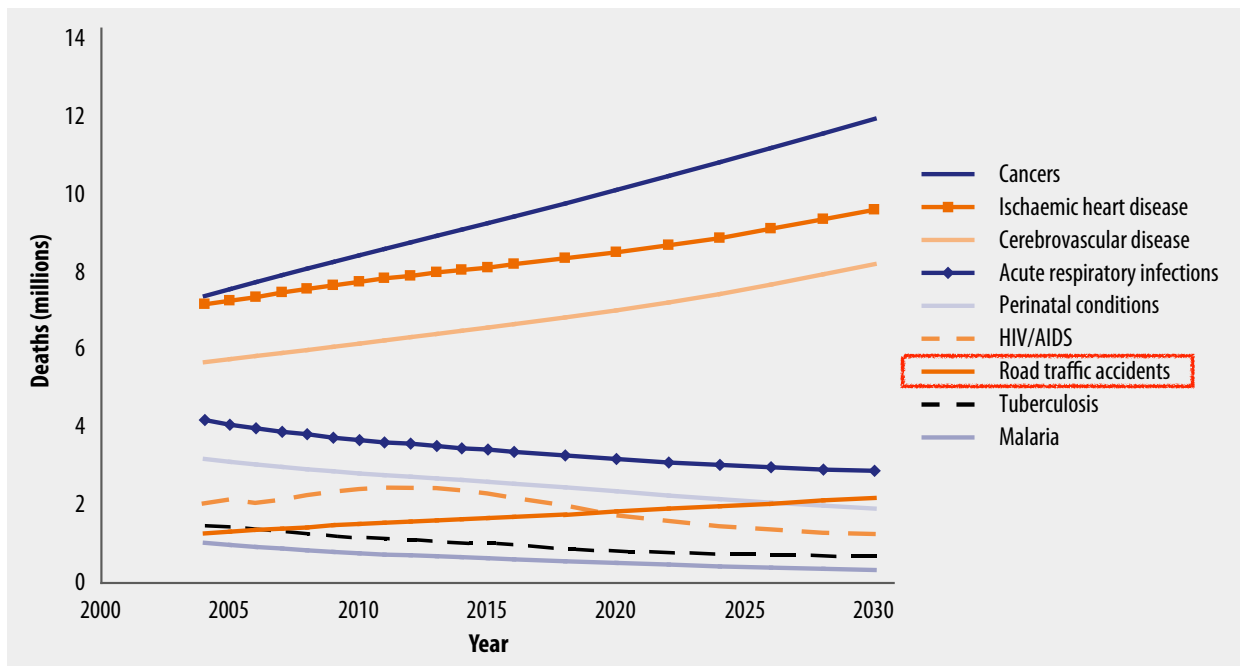
1.2 世界の交通事故死者数

それでは、世界の各国における交通事故死者数はどのように推移していて、全体の死因のうちどの程度を占めているのだろうか。

World Health Organization (2008) によれば、世界の死因のうち大きな部分を占めるのは、癌、虚血性心疾患、脳血管疾患、急性呼吸器感染症、周産期、HIV / エイズなどに続いて交通事故が挙げられている。また、周産期や HIV / エイズなどによる死者数が将来的には減少すると予想されているにもかかわらず、交通事故による死亡は、癌や虚血性心疾患、脳血管疾患とともに少なくとも今後 2030 年まで増加を続けると考えられている。2004 年には世界の死因の 2.7 % であった道路交通事故が、2030 年には、結核や HIV / エイズ、周産期における死を抜いて、全体の 4.9 % にまで増加すると予想されている (図 2)。

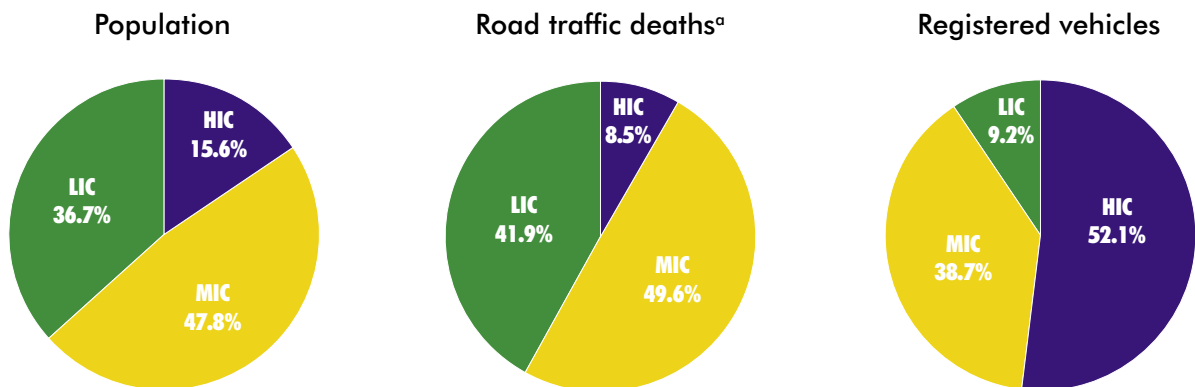
統計によって死因の分類が異なるので、単純に比較することはできないが、少なくとも日本国内の状況をそのまま世界各国に敷衍して考えることはできないことは明らかであろう。交通事故による死者は、日本では減少傾向であり、全体の 0.5 % を占めるに過ぎないが、世界で見れば交通事故死者数は増加を続け、将来的には 5 % を超えると見られている。

おそらく、日本のような先進国では、道路舗装、信号などの安全施設や規則といった自動車走行環境が比較的整備されていること、すでに自家用車はかなり普及していて飽和状態にあり、自動車普及率が横ばいあるいは減少傾向にあることなどから交通事故死者数も減少傾向にあることが予想される。その一方で、途上国ある



(出所) World Health Organization (2008)

図2 2030年までの世界の死因予想



^a 30-day definition, modelled data.
HIC = high-income countries; MIC = middle-income countries; LIC = low-income countries

(出所) World Health Organization (2009)

図3 収入グループ別の世界に占める人口・交通事故死者数・登録自動車台数の比率

いは新興国と呼ばれる国々では、現在まさにモータリゼーションの過程にあり、高度成長期の日本のような家用車の普及とそれともなう交通事故死者数の増加に直面していることが考えられる。

図3は、世界の国々をその収入によって、HIC（高収入国）・MIC（中収入国）・LIC（低収入国）の3グループに分け、それぞれについて、人口とWHOによる道路交通事故死者数の推計値、登録自動車台数を集計し円グラフにしたものである。これをみると、高収入国は登録自動車台数で見れば世界の過半数を占めるものの、人口では約15%、道路交通事故死者数にいたっては8.5%を占めるにすぎないことが分かる。低収入国は逆

に、登録自動車台数で見れば世界の1割にも満たない(9.2%)ののに、人口で36.7%、交通事故死者数で見れば世界の4割を超える(41.9%)の比率を占めている。

1.3 本稿の目的

このように、世界の交通事故死者数は、その自動車登録台数に比べると、先進国では死者数がかなり少なく、新興国に交通事故死者数が多いという、かなり偏った分布をしていることが分かる。しかしここで重要なことは、先進国もかつては現在の新興国のようなモータリゼーションと交通事故死者数の増加を経験してきているという事実である。すなわち、現在の先進国の交通事故死者数および登録自動車台数などの推移と、今後のそれらの見通しを詳しくみておくことは、新興国における今後の交通事故の動向を推し量るうえで極めて有用であると考えられる。

本稿の目的は、東アジア各国、特に日本の人口・交通事故死者数・登録自動車台数の推移から、今後のそれぞれの国での交通事故についての知見を得ることである。それによって、今後の経済発展にともなう東アジアにおける交通事故の将来について考えるきっかけにしたい。

2 Smeed's Law

2.1 Smeed's Law (スミードの法則) とは

イギリスの交通学者 Reuben Jacob Smeed (1909—1976) は、自動車の交通事故死者数に関する経験則についての論文を発表した (Smeed (1949))。これは、ある国 (地域) の自動車による交通事故死者数が、人口と登録自動車台数から推計できることを示したもので、式 (1) のように表される。

$$D = 0.0003 (np^2)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここで、 D は年間の交通事故死者数を、 n は登録自動車台数を、 p は人口をそれぞれ表している。この式は (2) のように変形した形で使われることが多い。

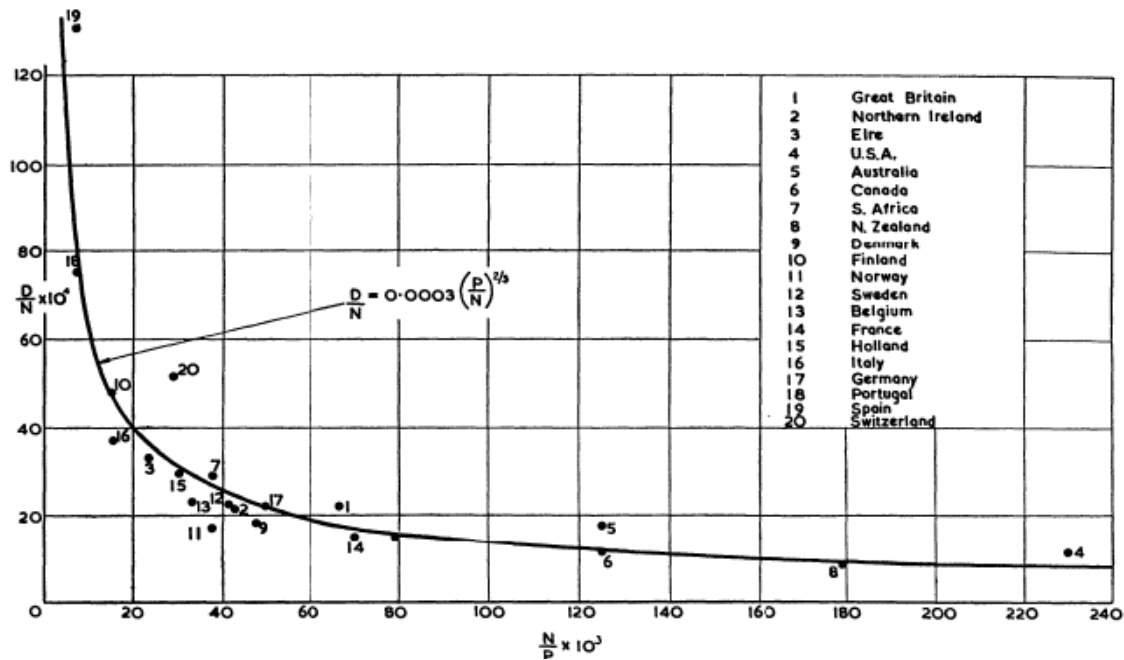
$$\frac{D}{n} = 0.0003 \left(\frac{n}{p} \right)^{-\frac{2}{3}} \quad (2)$$

すなわち、自動車台数あたりの年間交通事故死者数が、人口あたりの登録自動車台数 (自動車普及率) に反比例 ($-2/3$ 乗に比例) するという意味している。この「自動車が普及すればするほど、1台の自動車が死亡事故を起こす確率は減る」という、一見常識に反するような経験則が成り立つ、というのが、Smeed's Law (スミードの法則) なのである。

図4に、1938年における自動車1万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数の関係をグラフにしたものを示す。これは Smeed (1949) にある図で、欧米の20カ国のデータがプロットされており、Smeed's Law の曲線と併せて表示されている。

これをみると、20カ国を表す点がすべて、最も自動車台数あたりの交通事故死者数が多いスペイン (図中の点19) と最も自動車が普及しているアメリカ (図中の点4) とを結ぶこの曲線付近に配置されており、単純な式 (2) で表現される Smeed の経験則が、非常によく当てはまっているように感じられる。

このように、1938年に Smeed が法則を発表した当時のデータから、この簡単で使い勝手のよい法則が導き出された。では、現代でもこの法則は成り立つのだろうか。そのことを確かめるために、以下でこれまでに発表された、Smeed's Law に関する文献を紹介したい。



(出所) Smeed (1949)

図4 1938年における自動車1万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係

2.2 後世における再評価

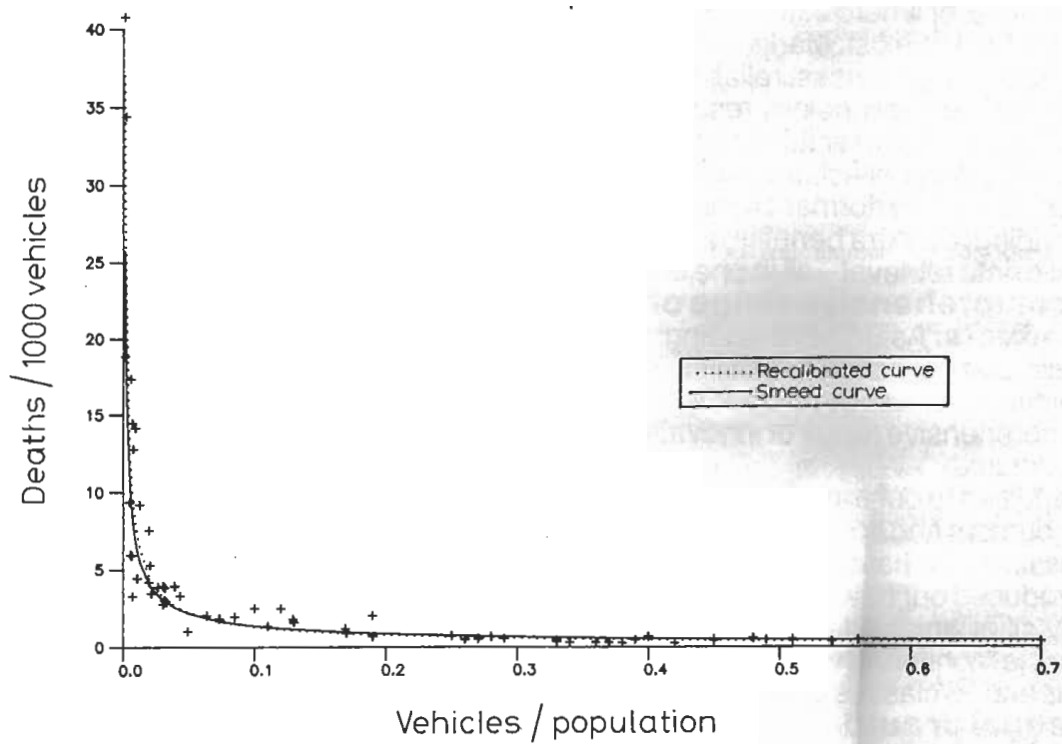
この Smeed'Law に対しては、「うわべだけの関係性 (apparent relationship)」であり、たまたま 1938 年の 20 カ国のデータに対して当てはまるようにみえるだけに過ぎない、との批判もあった。しかし、John Adams は 1987 年の、「Smeed's Law: Some Further Thoughts」と題した論文 (Adams (1987)) の中で、1978~80 年の 62 カ国のデータを用いて、Smeed の図 (図4) と同様の散布図を作成している (図5)。Adams はこの図を示しながら、「(横軸の自動車普及率の目盛りが3倍近くに増加していることを除けば、) この“apparent relationship”は、42年を経過してもなお成り立っている」と述べている。

また、Smeed'Law は異なるモータリゼーションのレベルにある異なる国における交通事故死者率を比較することはできない、との批判もあった。この批判に対しても Adams は、同じ論文の中で、「確かにこれは完璧な比較基準 (交通事故の研究においてそのような基準を見つけることは極めて困難である) ではないものの、死者率に展望 (perspective) をもたらす手助けとなるものである。」と述べ、図6を用いて説明している。

Adams によれば、例えば 1980 年のマレーシアの自動車台数あたりの交通事故死亡率はアメリカのそれのおよそ 3.5 倍高いが、それは同時に 1925 年のアメリカとほとんど同じであるという。このように、マレーシアも他の国と同じように Smeed'Law に「沿っている」と考えることができる。

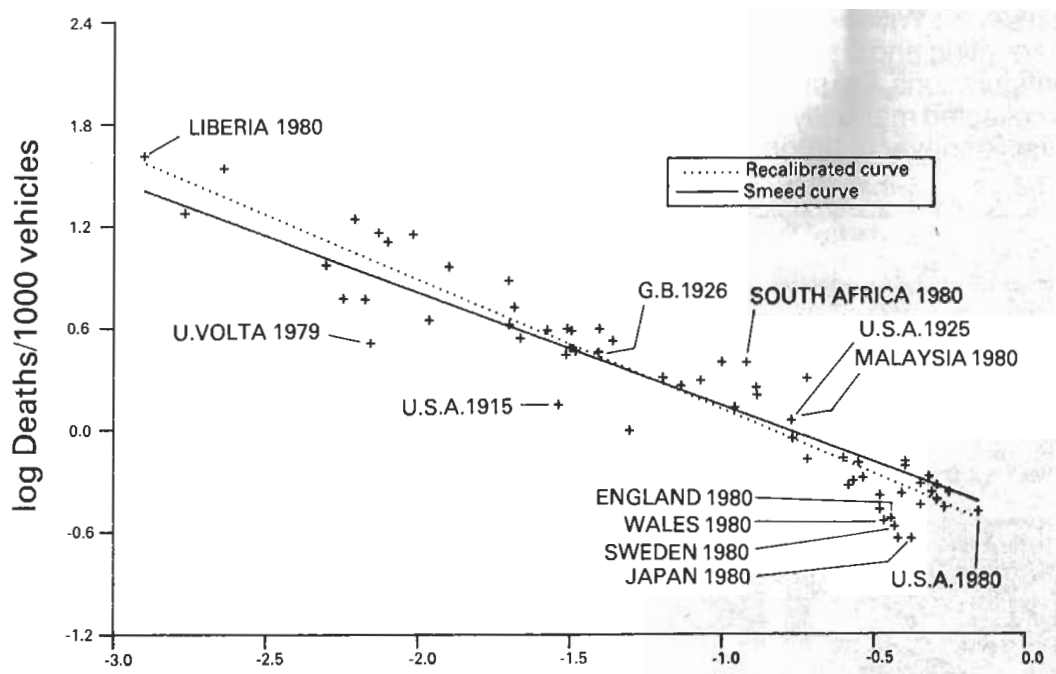
2.3 既往研究の整理

前述の Adams (1987) のほか、最近に至るまで、この Smeed's Law に関する研究が、多くの国の研究者によってなされている。



(出所) Adams (1987)

図5 1978～80年における自動車千台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係



(出所) Adams (1987)

図6 1978～80年における自動車千台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係（対数軸）

松原他 (1988) は、日本の 1955 年～85 年の 31 年間のデータと、インドの 1972～83 年の 12 年間のデータを用いて、それぞれ Smeed's Law を用いた道路交通事故死亡率の分析を行なっている。ただし、Smeed's Law を

$$\frac{D}{n} = \alpha \left(\frac{n}{p} \right)^\beta \quad (3)$$

という形に一般化し、回帰分析によってデータからこれらの係数 α および β を求めている。特に、日本のデータをいくつかの期間に分割して、それぞれの期間ごとにパラメータ推計を行っている点が興味深い。これによれば、急激なモータリゼーション進展と交通安全施設の未整備という 1970 以前の日本と 1970 年代のインドの状況が類似していること、日本における 1970 年代の交通事故死亡率の急激な減少と、1980 年代の二輪車事故の増加による死亡率減少率の低下が観察されている。

周他 (2006) は、中国の 1981～2005 年のデータを用いて、同じく式 (3) を用いた回帰分析を行なっている。これによれば、 α の値は Smeed による 0.0003 よりは幾分小さいものの、 β の値は近く、その結果として Smeed の曲線と並行するような曲線が得られており、経済成長を続ける中国においては、Smeed's Law が最近でも当てはまるようである。

Ponnaluri (2012) は、インドの 1991～2009 年の地域 (州) レベルのパネルデータを用いて、式 (3) を用いた回帰分析を行なっている。これによれば、インドの州レベルデータでは、おおむね Smeed's Law に近い推定結果が得られている。また、時系列でのパラメータの変動に比べ地域による推定結果の変動が大きいことから、Smeed's Law は時間に対しては頑健であるが、地域による特異性が観察されるとの興味深い結果が得られている。Valli (2005) は、インドの大都市圏のデータを用いて、これとほぼ同様の結論を得ている。

Al-Matawah and Jadaan (2009) および Bener et al. (2010) は、UAE、ヨルダン、カタールの 1990 年以降のデータを用いて、式 (1) とそれを一般化した式

$$D = cn^a p^b \quad (4)$$

による回帰分析結果とを比較し、当然のことながら回帰モデルによる交通事故死者数の推定の方が精度がよいと述べている。ただし、推定されたモデル式のパラメータは、オリジナルの Smeed's Law によるものと大きく異なっている。また、ヨルダンに比べ、UAE およびカタールにおける Smeed's Law のあてはまりが悪いことも報告されており、交通事故死者数と経済成長との関係性についても議論されている。

以上のように、Smeed's Law が現代でもあてはまるのか、という観点からの研究は少なくない。特に、中国・インドなどの中進国を含む発展途上国では、ナイーブな Smeed の経験則 (の一般化) が非常によくあてはまっている。

一方で、Smeed's Law に対する更なる改善を提案する研究も行われている。Koren and Borsos (2010), Borsos et al. (2012) らによる一連の研究では、最近の国際比較データを用いた分析をもとに、先進国では Smeed's Law はまったくあてはまらず、法則に従うと仮定した場合に人口と自動車台数から導出される交通事故死者数が、実際の交通事故死者数が大きく下回っている事実を示している。その上で、

$$\frac{D}{p} = a \cdot \frac{n}{p} \exp\left(-b \cdot \frac{n}{p}\right) \quad (5)$$

という一般化を提案している。これは、負のパラメータを持つ指数関数を用いることで、自動車普及率 (n/p) が大きくなれば自動車による死亡率が小さくなるという構造を表現できるという特徴がある。これによって、モデルの単純さは失われるものの、先進国などでのモデルの当てはまりの悪さの改善を狙っている。

また、Cansiz et al. (2009) では、人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: ANN) を用いることで、人口と自動車保有台数という同じデータから、より高い精度で交通事故死者数を推定できるとしている。

日本国内の地域別状況を分析したものとしては、1961～1979年までの都道府県別のデータを用いて (3) 式のパラメータを推定した斉藤・高瀬 (1980) がある。この論文では、都道府県ごとに Smeed's Law のパラメータを推定し比較することで地域特性を分析している。これによれば、東京や大阪などはモータリゼーションの進展にともなって、事故死者率が急激に減少している一方、新潟や宮崎などでは事故死者率の減少率は比較的小さいなど、興味深い結果が得られている。

3 日本における近年の交通事故死者数変化の分析

3.1 Smeed's Law の表現形式

Smeed's Law の表現形式としては、式 (1) ではなく式 (2) が使われることが多い。しかし、この式 (2) の左辺にある D/n は自動車台数あたりの事故死者数を意味するが、この指標は直感的ではなく、むしろ人口辺りの事故死者数 (交通事故死亡率: D/p) のほうが理解しやすいのではないだろうか。当然だが厚生労働省の人口動態統計では、人口 10 万人あたりの死者数が公表されているし、交通安全白書においては人口あたり・自動車台数あたり・自動車走行キロあたりの 3 つの表現方法で示しているが、その中でも人口あたりの数字を最初に提示している。

また、式 (2) は、両辺に自動車台数 n を含むが、左辺は分母に、右辺は分子に n が存在する。そのため、 p や D の値が一定であったとしても、左辺と右辺は反比例する関係にあるため、データをプロットすると $y = x^{-1}$ のグラフに沿っているように見えてしまう。

そこで本稿では、Smeed's Law の表現形式として、

$$\frac{D}{p} = 0.0003 \left(\frac{n}{p} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

という形式を用いることにする。これは自動車普及率と交通事故死亡率の関係を表す式であるといえることから、その意味を解釈することが比較的容易となるというメリットがあるだけでなく、次に示すようなプロット結果の読み取りという面からも意味がある。

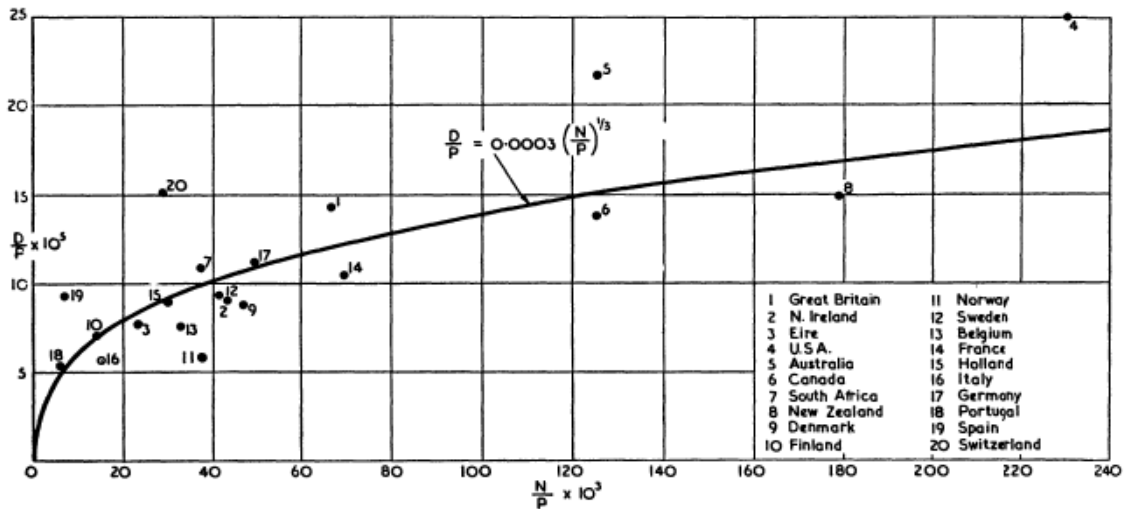
図 7 は、図 4 と同じデータを用いて式 (6) の形式でプロットしたものである。図 7 と図 4 を見比べれば、両者は同じデータで同じ法則への適合性を見ているにもかかわらず、前者の方があてはまりが良いように見えてしまわないだろうか。

蛇足ながら、式 (1)、(2) および式 (6) はすべて等価な式である。また、前述の式 (5) はこの式 (6) を一般化したものである。

なお、式 (6) のパラメータ a, b を推定する際には、式 (6) の両辺の対数をとる、

$$\log \left(\frac{D}{p} \right) = a + b \log \left(\frac{n}{p} \right) \quad (7)$$

として線形回帰分析を行うことも考えられるが、本稿では、式 (6) のまま、非線形回帰分析を行うこととする。



(出所) Smeed (1949)

図7 1938年における自動車1万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係

3.2 時系列データの分析

3.2.1 日本全体の場合

ここでは、日本全体の人口・登録自動車台数・交通事故死者数の年次推移データを用いて、Smeed's Law があてはまるか検討する。なお、ここで用いるデータは、基本的には総務省統計局ウェブサイト「日本の長期統計系列」(<http://www.stat.go.jp/data/chouki/>)を用いた。ただしこれに収録されていない古いデータや最新のデータについては、それぞれ総務省統計局・国土交通省・警察庁等の統計資料から独自に収集・整理したものである。これによって、1926（大正15）～2011（平成23）年までの86年間のデータベースを構築することができた。

図8は、構築したデータベースをもとに、図4と同じ軸を用いて作図したものである。そして、図中の実線はSmeed's Lawである式(2)を表す曲線である。これを見ると、実際のデータがSmeed's Lawに非常によくあてはまっているように見える。

ところが図9は、同じデータを用いて、図7と同じ軸を用いて作図したものである。また、図中の実線はSmeed's Lawの別の表現形式である、

これを見ると、1970年までは比較的良好にSmeed's Lawに適合しているものの、それ以降は全くあてはまりが悪くなる。Smeed's Lawでは、自動車普及率の増加にしたがって交通事故死亡率も増加することを想定しているが、実際の日本のデータでは1970年を境に、モータリゼーションが進展し自動車普及率は増加しているにもかかわらず、交通事故死亡率が減少している。このような状況をSmeed's Lawでは全く想定しておらず、対応することができない。

このSmeed's Lawの問題に対して、Koren and Borsos (2010), Borsos et al. (2012)らのように、モデル式を変形させてデータにフィットさせる方法も考えられるが、ここでは松原他(1988)の方法を適用することにする。すなわち、モデルの基本形式は変えずに、モデルへのあてはまりの悪い1970年以降のデータについては、さらにそれをいくつかの期間に分けて、それぞれの期間ごとにモデルのパラメータ推計を行う。

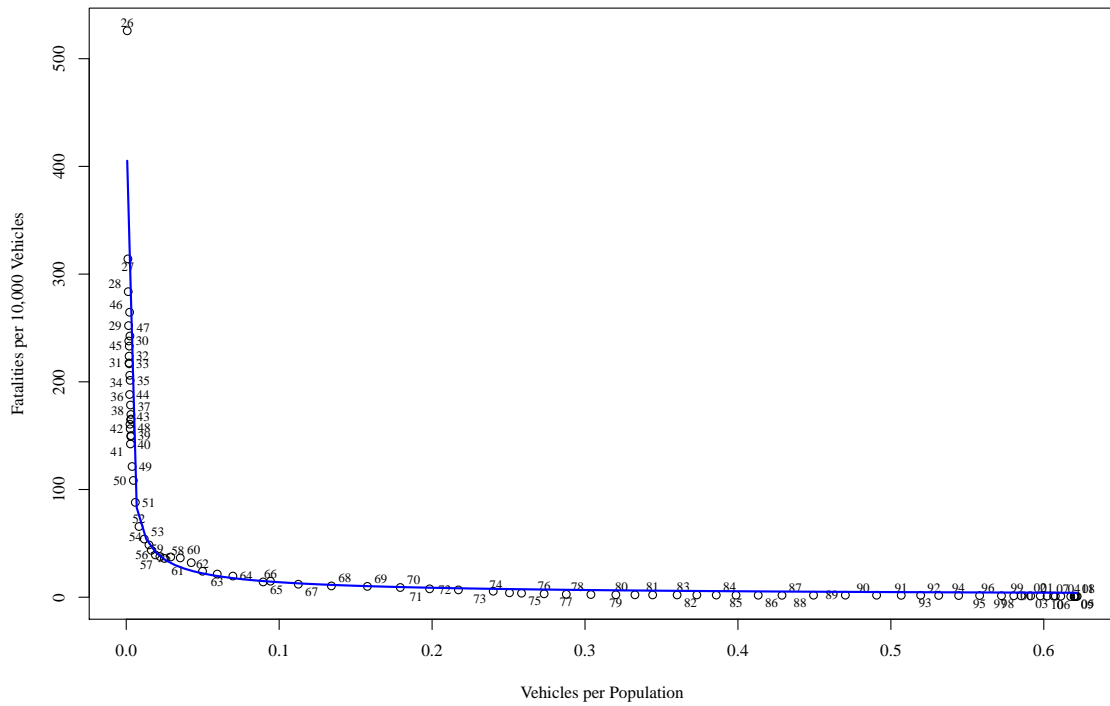


図8 日本における自動車1万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係（その1）

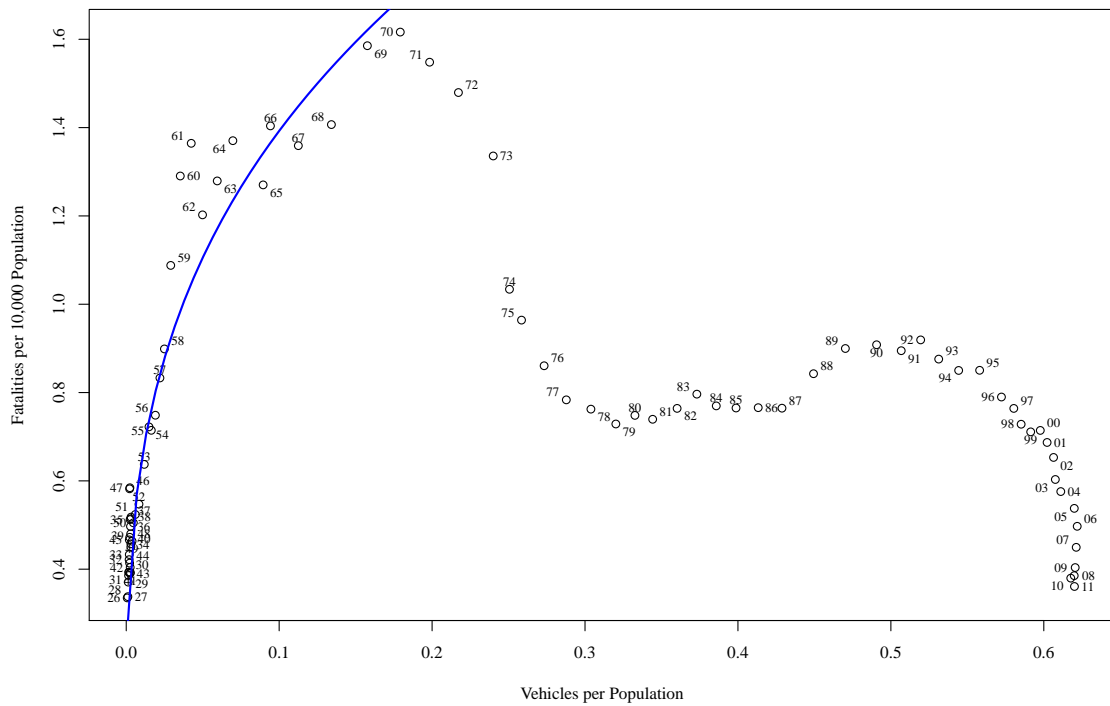


図9 日本における自動車1万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係（その2）

表 1 日本のデータによるパラメータ推計結果 (第 1 期)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
<i>a</i>	2.804	0.1115	25.1	2.41e-27
<i>b</i>	0.302	0.0111	27.2	1.07e-28

表 2 日本のデータによるパラメータ推計結果 (第 2 期)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
<i>a</i>	0.0902	0.0245	3.68	7.87e-03
<i>b</i>	-1.7916	0.1887	-9.49	3.01e-05

表 3 日本のデータによるパラメータ推計結果 (第 3 期)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
<i>a</i>	1.28	0.0798	16.04	5.62e-09
<i>b</i>	0.52	0.0720	7.23	1.69e-05

表 4 日本のデータによるパラメータ推計結果 (第 4 期)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
<i>a</i>	0.163	0.0301	5.44	2.05e-04
<i>b</i>	-2.745	0.3338	-8.22	5.01e-06

期間の区切りについても、回帰結果のあてはまりの良さなどから機械的に決定することも可能であろうが、ここでは主観的に判断し、86年間で以下の5つの期間に区別することにした。すなわち、1970年までを第1期、1970～79年を第2期、1980～92年を第3期、1993～2005年を第4期、2006年以降を第5期とした。そして、それぞれの時期ごとに非線形回帰分析によって Smeed's Law の一般形である式 (8) の2つのパラメータを推計する。

$$\frac{D}{p} = a \left(\frac{n}{p} \right)^b \quad (8)$$

推計結果は、表 1～4 の通りである。第 5 期については、有意な推計結果が得られなかったため、表を掲載していないが、第 1 期～4 期についてはいずれも統計的に有意なパラメータが推計されている。Smeed's Law におけるパラメータは、 $a = 3$ (推計においては死亡率指標を 1 万人あたりにしているため、式 (6) の 0.0003 を 1 万倍したもの)、 $b = 1/3$ であるが、第 1 期の推計結果 ($a = 2.8$, $b = 0.3$) はこれにきわめて近い結果となっている。このことから、1970 年までの日本では Smeed's Law がよくあてはまっていたものの、その後はモデルに従わなくなっていることが確認できる。

これらの推計結果を図 9 に重ねて曲線を描いたものが図 10 である。図 10 において破線で描かれているものが、新たに推計されたパラメータによる曲線群である。

これを見ると、まず、繰り返しになるが、1970 年までにおいては、今回の新たな推計と Smeed's Law によ

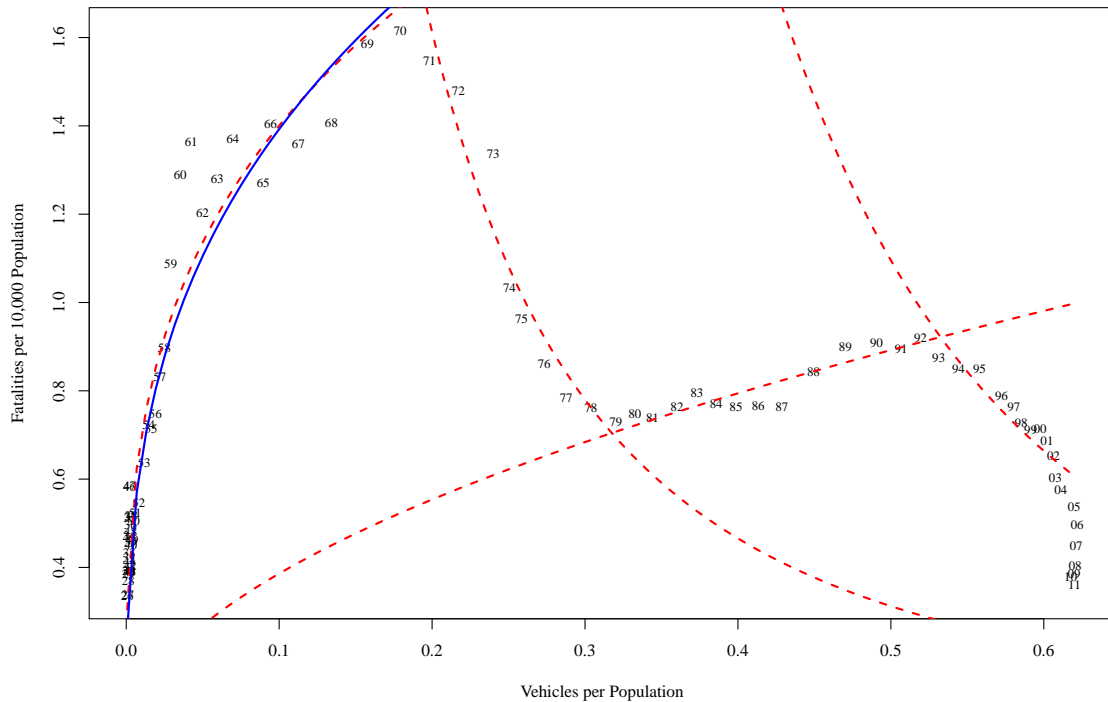


図 10 日本における自動車 1 万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係（その 3）

表 5 日本のデータを用いた Smeed's Law の一般化パラメータ推計結果のまとめ

年代	モデル式	備考	
第 1 期	~1970	$\frac{D}{p} = 2.80 \times 10^{-4} \left(\frac{n}{p}\right)^{0.30}$	Smeed's Law に極めて近い
第 2 期	1971~1979	$\frac{D}{p} = 0.09 \times 10^{-4} \left(\frac{n}{p}\right)^{-1.79}$	1971 年「第 1 次交通安全基本計画」
第 3 期	1980~1992	$\frac{D}{p} = 1.28 \times 10^{-4} \left(\frac{n}{p}\right)^{0.52}$	二輪車の増加, 1986「シートベルト・ヘルメット着用義務化」
第 4 期	1993~2005	$\frac{D}{p} = 0.16 \times 10^{-4} \left(\frac{n}{p}\right)^{-2.75}$	1992「シートベルト着用義務化(一般道)」
第 5 期	2006~	推定不能	

る曲線とが非常に近いことが分かる。そして、それ以降の第 2 期~第 4 期についても、表 1~4 の結果からも分かるように、それぞれ非常にあれはまりよく推計されている。この結果を一覧表にまとめたものが表 5 である。備考欄には、日本における交通安全政策のうち死亡者数の増減に直結する主なものを記入した。しかし、この表のように年代が区分されるのはなぜか、なぜこのように自動車普及率と交通事故死亡率が急激に変化するののかに関する考察は十分とはいえず、今後の課題として残されている。

日本の将来における交通事故死者数の予測に関する研究報告や論文もいくつか存在する。内閣府による第 9 次交通安全基本計画のための調査報告書（内閣府(2010)）では、その第 3 章「道路交通事故の長期予測」において、1970 年~2008 年までの様々なデータを用いた重回帰分析を行っている。また、自動車走行距離あたりの交通事故発生件数を予測するモデルと、事故発生件数あたりの交通事故死亡者数を予測するモデルの二段階

での予測となっていることが特徴として挙げられる。この「走行距離あたり事故件数モデル」では、若年ドライバー比率や高齢人口といった人口要因だけでなく、車両安全性の向上、飲酒運転の罰金額、VICS 対応カーナビの普及率、エコドライブの浸透、携帯電話普及率が走行距離あたりの事故件数に影響を与えていることが確認されている。また「事故件数あたりの死者数モデル」では、シートベルト着用義務化ダミー、自動車台数あたりの舗装済み道路延長、救急車数や救急センター数、新車割合などがいずれも有意に寄与していることが示されている。

また、吉田伸一(2011)は、歩行者事故死者数に関して、2001年～2009年までの都道府県別の合計値を用いた分析を行っている。ここでは、人口あたりの歩行者事故死者数が、自動車普及率と宅地面積あたりの都道府県道延長によって説明される重回帰モデルが構築されている。さらに、面積当たりの19歳以下人口や都道府県道延長当たりの救急車台数も人口あたりの歩行者事故死者数と相関を持つことが確認されている。

このように、交通事故死亡率については、人口要因や道路要因、社会経済要因、政策要因、技術要因、社会インフラ要因など、様々な要因が影響している。さらに、これらのモデル分析では考慮されない、定量化が難しい要因、たとえば交通安全教育や啓発活動、あるいは心理的要因なども交通事故死亡率に寄与していることが予想されることから、どのような要素が自動車普及率と交通事故死亡率の関係性に影響を及ぼしているのかの断定は難しい。

ただし、このように急激に変化するというのは、表5に示したようなシートベルト着用や飲酒運転の厳罰化などの政策的要因や、交通安全など関する新しい技術の普及などの要因といった、短期間で影響を及ぼす要因が強く影響している可能性が高いと考えられるが、いずれも決め手に欠けるのが現状である。その他にも、信号の設置密度や道路の舗装率など、道路延長の整備にもなって数値が上下するような指標の影響も考慮する必要があるだろう。一方で、Koren and Borsos (2010)、Borsos et al. (2012)らのように、自動車普及率が増加すれば交通事故死亡率が減少することを前提としたモデル分析の可能性も考えられるが、これが本当に成り立つかどうか検証するためには、様々な国や地域における長期時系列データの分析による知見の蓄積が求められる。

3.2.2 東京都のデータを用いた分析

さて、図3あるいは図6からも分かるように、国別に見ると先進国ほどモータリゼーションも進み、かつ交通事故による死亡率も少ないという特徴がある。このことは、国の中の地域についても同様にあてはまる傾向である。斉藤・高瀬(1980)は、日本の都道府県データを用いた分析を行い、東京や大阪といった大都市圏においては、日本の他の地域と比べて、交通事故死亡率の減少率が大きいことを示した。すなわち日本のような先進国においても、その内部においては交通事故死亡率と自動車普及率に関しては地域的な差異が存在しており、大都市圏におけるデータを分析することで、今後の日本全体の動向についての示唆が得られる可能性がある。

図11は、東京都における1910(明治43)年から2011(平成23)年までのデータを用いて、図8と同じグラフを描いたものである。データは「警視庁の統計(平成23年)」(http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/toukei/bunsho/toukei23/k_tokei23.htm)のものを使用した。

さて、両者を見比べると、縦軸である自動車台数あたりの死亡者数の最大値が日本全体と比べると大きく、横軸である自動車普及率の最大値が日本全体と比べると小さい他は、グラフの形状などはほぼ同じであることが分かる。ただし、自動車台数あたりの交通事故死者数の数値が大きいのは、自動車台数の少ない1910～12年であり、これらの3カ年を除けば、日本全体の数値とそれほど大きな違いはないように見える。また、日本全体では0.6程度であった自動車普及率の最大値が、東京に限れば0.4程度とかなり小さい点は特記に値する

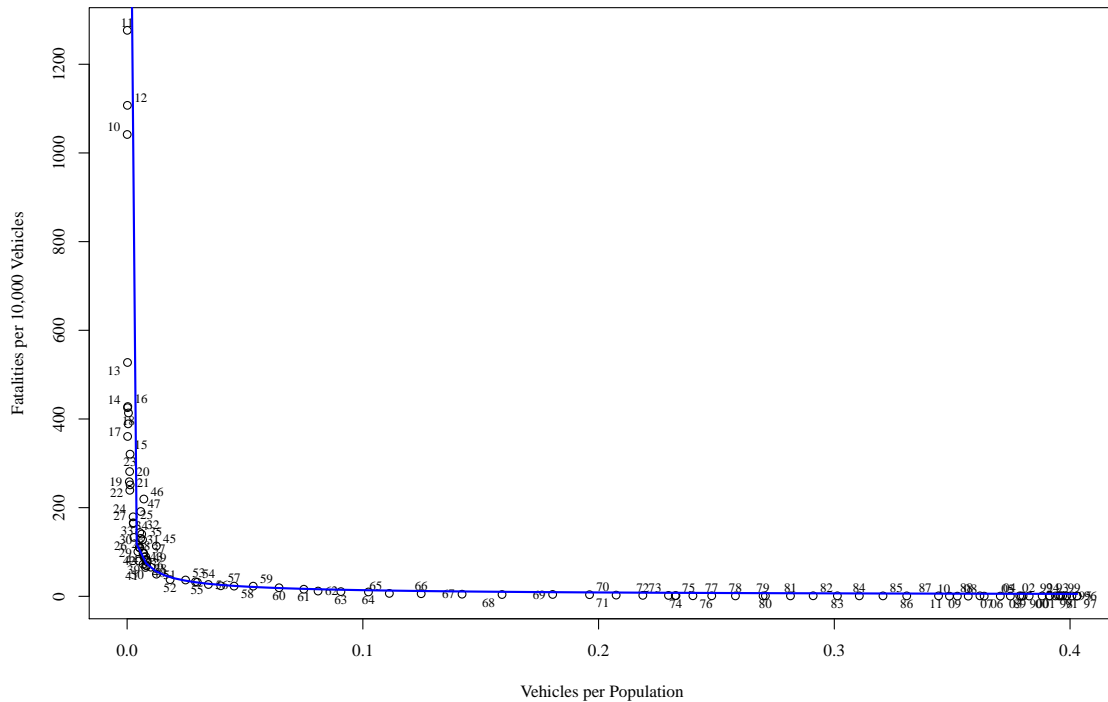


図 11 東京における自動車 1 万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係 (その 1)

表 6 東京のデータによるパラメータ推計結果 (第 I 期)

	Estimate	Std. Error	<i>t</i> value	<i>Pr</i> (> <i>t</i>)
<i>a</i>	2.955	0.4806	6.15	1.38e-07
<i>b</i>	0.306	0.0364	8.42	4.43e-11

表 7 東京のデータによるパラメータ推計結果 (第 II 期)

	Estimate	Std. Error	<i>t</i> value	<i>Pr</i> (> <i>t</i>)
<i>a</i>	0.121	0.0255	4.73	1.95e-04
<i>b</i>	-0.878	0.0978	-8.97	7.45e-08

であろう。

さて、図 9 と同様に、縦軸を人口あたりの交通事故死者数 (交通事故死亡率) に換えたグラフを図 12 に示す。これを見ると、日本全体で見たときと同じく、図中の実線で示される Smeed's Law は東京においても一定期間しか成り立っていないことが分かる。さらに、日本全体では 1970 年頃まで Smeed's Law に従っているように見えたが、東京のデータに限ると、1960 年までしか法則に従わないように見受けられる。

そこで、日本全体の場合と同様に、期間をいくつかに分けて、区切られた期間ごとに一般化された Smeed's Law (式 (8)) のパラメータを非線形最小自乗法によって推計してみよう。ここでは、1960 年までを第 I 期、1961~79 年を第 II 期、1980~92 年を第 III 期、1993~1997 年を第 IV 期、1998 年以降を第 V 期とした。

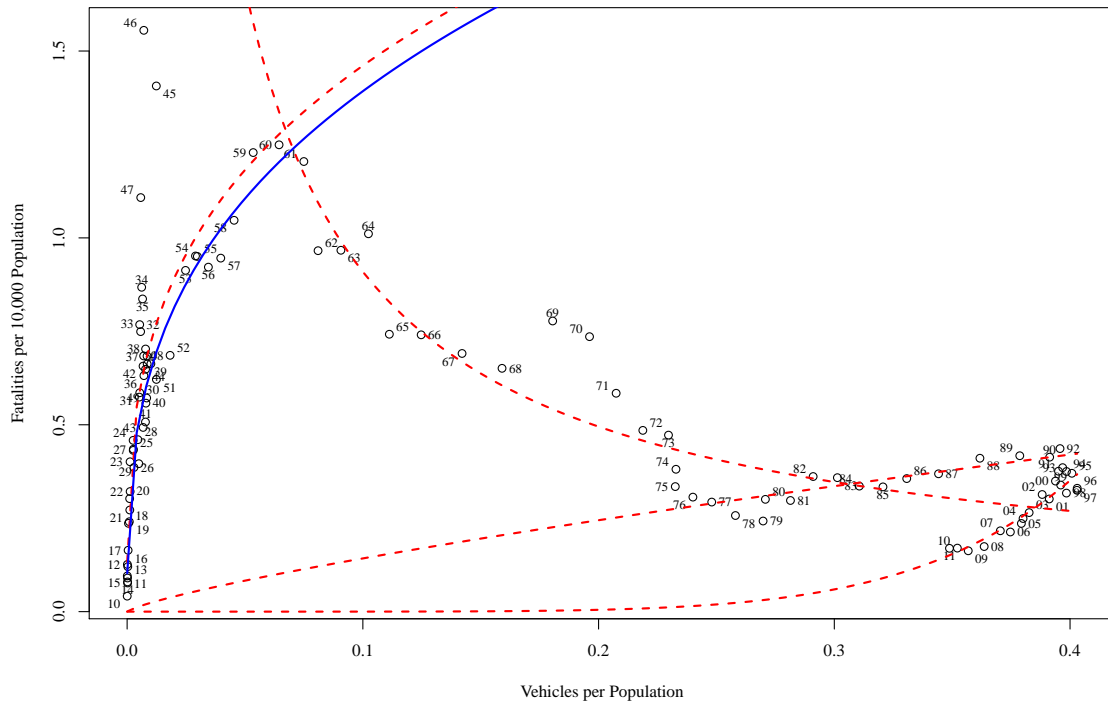


図 12 東京における自動車 1 万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係 (その 2)

表 8 東京のデータによるパラメータ推計結果 (第 III 期)

	Estimate	Std. Error	<i>t</i> value	<i>Pr</i> (> <i>t</i>)
<i>a</i>	0.859	0.123	6.99	2.29e-05
<i>b</i>	0.781	0.132	5.89	1.04e-04

表 9 東京のデータによるパラメータ推計結果 (第 V 期)

	Estimate	Std. Error	<i>t</i> value	<i>Pr</i> (> <i>t</i>)
<i>a</i>	100.21	55.537	1.8	8.89e-02
<i>b</i>	6.17	0.589	10.5	7.77e-09

表 6~9 に推計結果を示す。第 IV 期については有意な推計結果が得られなかったため、ここでは結果を省略している。さて、これらの表を見ると、結果の得られた 4 つの期間については十分な精度でパラメータが推計されていることが分かる。特に第 I 期は、Smeed's Law による数値 ($a = 3, b = 1/3$) に極めて近い値 ($a = 2.96, b = 0.31$) が得られており、終戦直後の 3 カ年 (1945~47 年) を除けば、さらに推計値は Smeed's Law に近づくことが考えられる。

また東京においては、第 V 期 (1998 年以降) に、自動車普及率と交通事故死亡率が同時に減少する傾向が顕著に見られる。この時期のモデルのパラメータ *b* の値は 6.17 であり、自動車普及率が交通事故死亡率に対して 6 乗で効くことを示している。これは東京の自動車普及率が 1 割減少すれば、交通事故死亡率が $0.9^{6.17} \approx 0.52$

表 10 東京のデータを用いた Smeed's Law の一般化パラメータ推計結果のまとめ

年代	モデル式	備考	
第 I 期	～1960	$\frac{D}{p} = 2.96 \times 10^{-4} \left(\frac{n}{p}\right)^{0.31}$	Smeed's Law に極めて近い
第 II 期	1961～1979	$\frac{D}{p} = 0.12 \times 10^{-4} \left(\frac{n}{p}\right)^{-0.88}$	1960 「総理府に交通対策本部を設置」
第 III 期	1980～1992	$\frac{D}{p} = 0.86 \times 10^{-4} \left(\frac{n}{p}\right)^{0.78}$	二輪車の増加, 1986 「シートベルト・ヘルメット 着用義務化」
第 IV 期	1993～1997	推定不能	1992 「シートベルト着用義務化 (一般道)」
第 V 期	1998～	$\frac{D}{p} = 100.21 \times 10^{-4} \left(\frac{n}{p}\right)^{6.17}$	自動車も交通事故も減少

とおおよそ半減することを意味しており、極めて興味深い結果である。

東京のデータを用いたパラメータ推計結果を表 10 にまとめる。表 5 と比較すると、例えば Smeed's Law との乖離が始まる年が日本では 1971 年なのに対して東京では 1961 年である、自動車普及率と交通事故死亡率が同時に減少傾向に転じる年が日本では 2006 年なのに対して東京では 1998 年であるなど、モータリゼーションなど自動車交通に関する事象については、東京は日本全体の 10 年先を行っている様子を読み取ることができる。すなわち、日本全体についても、今後 10 年のうちに、東京のように自動車普及率と交通事故死亡率が同時に減少する時代が到来する可能性がある。今回の分析では有意なパラメータ推計結果が得られなかったが、日本の第 5 期はその前兆であると思えることも可能であろう。

したがって、今後も東京などの大都市圏での動向を注視するとともに、東京からの遅れという観点から、地方の自動車交通環境を見ていくことも重要ではないだろうか。

3.3 都道府県別データの分析

前節では日本全体と東京都の 2 つの時系列データを用いて、日本および東京におけるモータリゼーションと交通事故死者数との関係について分析した。分析結果から、東京は日本平均よりもおよそ 10 年ほど早くモータリゼーションなどの社会現象が進行している様子が観察された。しかし、他の都道府県の動向はどうであろうか。おそらく、都道府県によってばらつきがある、つまり東京に近い地域や、東京とは異なる動向にある地域があると思われる。どのような地域が、自動車に関する社会状況において、どのような位置にいるのかを把握することは興味深いだけでなく、これからの交通政策を考えるうえで有用であろう。そこで本節では、都道府県別のデータを用いた分析を試み、地域別の動向に関する特徴を把握することを目的とする。ただしすべての都道府県について時系列データを用いた分析を行うのではなく、複数時点における 47 都道府県の横断面 (クロスセクション) データを用いた分析結果を示し、その結果を考察することとする。

なお、ここで用いる都道府県別データは、人口については総務省統計局による「人口推計」(<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/>) を、自動車保有台数については、自動車検査登録情報協会による「自動車保有数統計データ」(<http://www.airia.or.jp/number/>) を、交通事故死者数については警察庁による「交通事故発生状況」(<http://www.npa.go.jp/toukei/koutuu48/home.htm>) のデータをそれぞれ用いた。

図 13 は、2011 年のデータを用いて、都道府県別の交通事故死者率と自動車普及率との関係をプロットした結果である。また実線で示された曲線は、これらのデータに対して、式 (8) に示される一般化された Smeed's Law のパラメータを非線形最小自乗法で求めた結果である (表 11)。

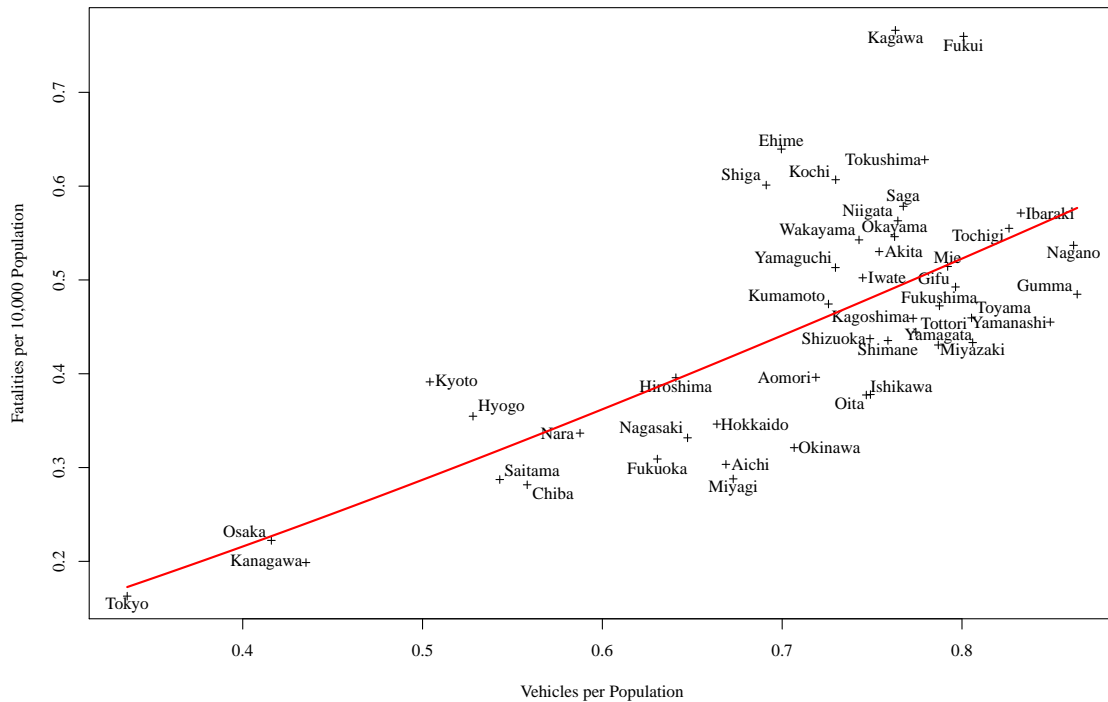


図 13 都道府県別自動車 1 万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係 (2011 年)

表 11 都道府県のデータによるパラメータ推計結果 (2011 年)

	Estimate	Std. Error	<i>t</i> value	<i>Pr</i> (> <i>t</i>)
<i>a</i>	0.695	0.054	12.88	1.07e-16
<i>b</i>	1.276	0.240	5.32	3.11e-06

これを見ると、全体的に右肩上がりになるように都道府県が散布している様子が観察できる。すなわち、全体として自動車普及率が高い都道府県ほど交通事故死亡率が高い傾向にあるといえ、これら 2 つの指標に何らかの関係性がある可能性を示唆しているといえる。図の左下にあるのは、東京、大阪、神奈川という大都市圏にある都府県であり、これらの都府県は東京のように脱モータリゼーションが進行している可能性がある。一方で、図の右上にあるのは、香川、福井、茨城、長野、栃木、群馬といった県である。これらの県においては、自動車普及率と交通事故死亡率のいずれも全国平均より高い。また、図中に示した曲線に着目すれば、曲線より上にある都道府県は、その自動車普及率から想定される交通事故死亡率よりも実際の交通事故死亡率の方が高いことを意味し、香川、福井、愛媛、滋賀、高知、徳島の各県がそれに相当する。逆に、曲線よりも下に位置する都道府県は、想定される交通事故死亡率よりも実際の方が低いことを意味し、宮城、愛知、沖縄、山梨、群馬などがこれにあてはまる。また、推計パラメータ *b* の値は 1 を超えており、これは、自動車普及率が減少すれば、それ以上に交通事故死亡率が減少することを意味している。

図 14 は、図 13 の 5 年前である 2006 年のデータを用いて、図 13 と同様に都道府県別の交通事故死者率と自動車普及率との関係をプロットした結果である。また実線で示された曲線も同様に、2006 年のデータに対して、式 (8) に示される一般化された Smeed's Law のパラメータを非線形最小自乗法で求めた結果である

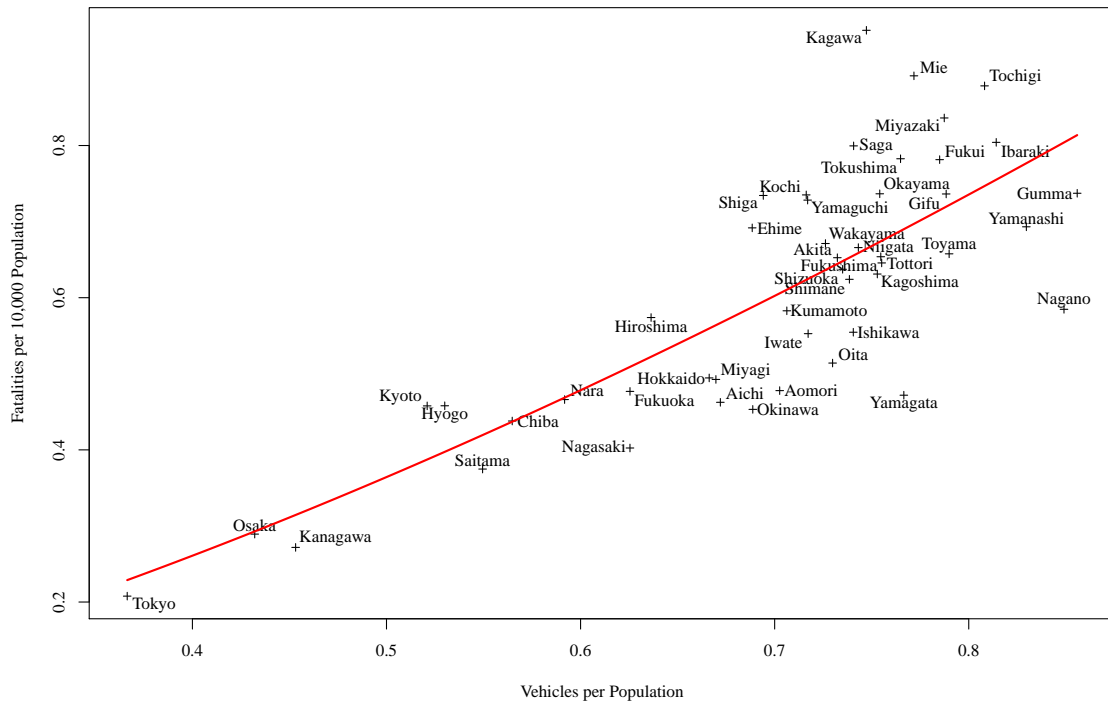


図 14 都道府県別自動車 1 万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数との関係 (2006 年)

表 12 都道府県のデータによるパラメータ推計結果 (2006 年)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	1.03	0.0717	14.32	2.26e-18
b	1.50	0.2097	7.13	6.49e-09

(表 12)。

図 14 と図 13 は、ほぼ同じ傾向を示している。つまり、全体的に都道府県が左下から右上に向けて分布している。また、東京、大阪と行った大都市圏にある都道府県ほど左下にあるという傾向も変わらない。ただし、それぞれの県に着目すれば、それぞれの位置が変化していることも確認される。さらに、軸の数値に着目すれば、東京都の自動車普及率および自動車普及率がこの 5 年間で両方とも減少していることも分かるが、これは前節において述べた通りである (図 12 などを参照のこと)。

これらの図 14 と図 13 を 1 つの図に表示したものが図 15 である。同じ都道府県を 2006 年から 2011 年へ向けた矢印で示し、2011 年の位置に県名を記入してある。また図中の実線は 2011 年の傾向を示す曲線、破線は 2006 年の傾向を示す曲線で、それぞれ 14 と図 13 の曲線と等しい。

これを見ると、2006 年から 2011 年の 5 年間で、全体的に交通事故死亡率が低下している様子が見て取れる。全都道府県の傾向を示す曲線も 2006 年 (破線) から 2011 年 (実線) へと下方にシフトしているだけでなく、すべての都道府県で矢印が下を向いている。このことは、交通事故死亡率が自動車普及率の変化と関係なく低下していることを意味しており、本稿における分析結果を解釈する上で注意しなければならない。

図を詳しく見てみると、次の 2 つの点に気がつく。1 つは自動車普及率が 2 極化する傾向にあることであ

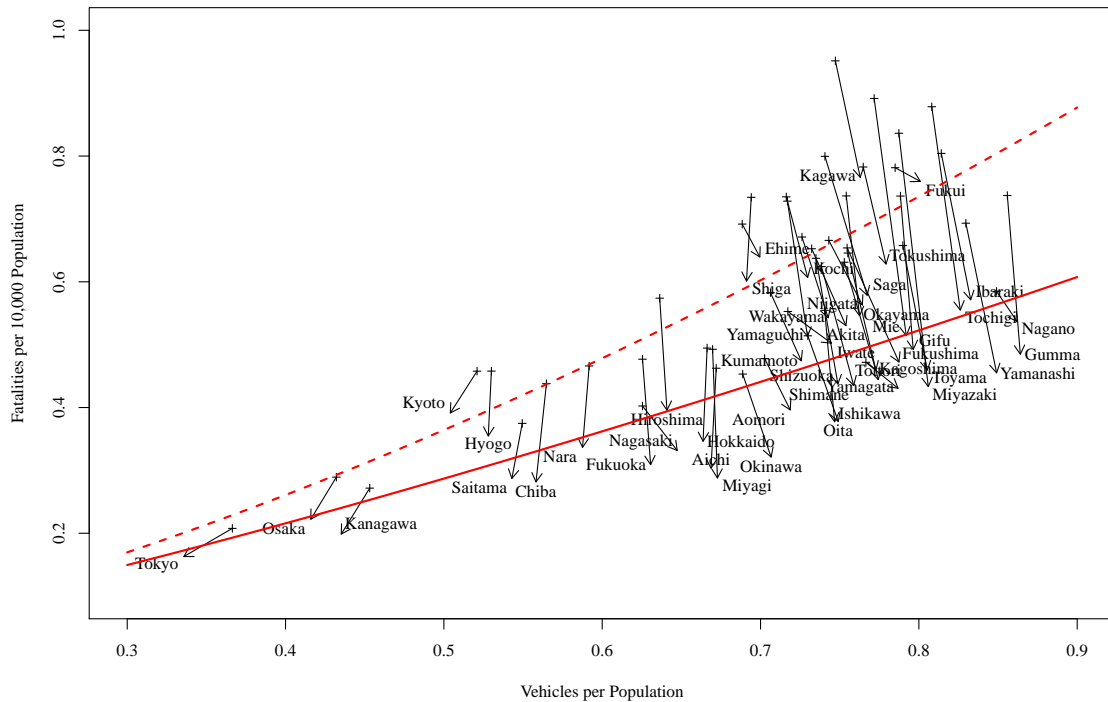


図 15 都道府県別自動車 1 万台あたりの交通事故死者数と人口あたりの自動車登録台数の変化 (2006→2011 年)

る。すなわち、東京や大阪など自動車普及率の低い都道府県ではさらに普及率が低下する傾向にあるのに対して、首都圏や関西圏以外ではさらに自動車普及率が上昇する傾向にあることである。この 2 極化がいつまで続くかは不明であるが、いずれはすべての都道府県で自動車普及率が減少するのか、それとも高い水準を維持するのかは、その地域の交通政策を考える上で極めて重要な指標であり、その動向が注目される。2 つ目は自動車普及率が高い都道府県ほど、交通事故死亡率の変動幅が大きいことである。このことは、それぞれの矢印の長さを見ても分かるし、破線と実線の 2 つの曲線の間隔が図の左側では狭く、右側では広がっていることから分かる。言い換えると、東京や大阪などでは図中の矢印の傾きが小さくなって (矢印が寝て) いる。このことは、自動車普及率が低下するほど、その低下率が上がることを意味している。すなわち、1 つめの「2 極化」と併せて考えれば、自動車普及率については当面は東京や大阪などの大都市圏と地方圏との格差が広がるが、交通事故死亡率についてはその差が減少していくであろうことが予測される。

4 おわりに

本稿では、自動車普及率と交通事故死亡率に関する経験則である Smeed's Law をもとに、最近の日本の交通事故死者数に関する数理的分析を試みた。その結果、以下のような知見を得た。

- Smeed's Law は、現在でも国によってはあてはまる。日本においても 1970 年頃まではよく当てはまっていた。
- 東アジアの国々は比較的 Smeed's Law が当てはまっているが、国の経済力 (あるいは公共交通の普及度か) によって異なる。
- 近年日本では自動車普及率も交通事故死亡率も減少傾向にあり、法則から外れる。

- 東京では近年、交通事故死亡率は自動車普及率の 6 乗に比例している（自動車が 1 割減ると事故死者はおよそ半分に）
- 都道府県比較でも自動車保有率が低いほど交通事故率が低い傾向にあるが、自動車保有率については 2 極化の傾向にある。

高度成長期に急激なモータリゼーションを経験し、現在では自動車普及率が減少しつつある日本の交通事故死者数の推移を分析することは、今現在急速にモータリゼーションが進んでいる新興国における交通政策を考える際にも有用だろう。今後はそのような観点から、交通政策と Smeed's Law との関係性について、国際的なデータを用いた議論をしたいと考えている。

参考文献

- Adams, John G. U. (1987) "Smeed's law: Some further thoughts," *Traffic Engineering and Control*, Vol. 28, No. 2, pp. 70-73.
- Al-Matawah, Jamal and Khair Jadaan (2009) "Application of Prediction Techniques to Road Safety in Developing Countries," *International Journal of Applied Science and Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 169-175.
- Bener, A., S. J. Hussain, M. A. Al-Malki, M. M. Shotar, M. F. Al-Said, and K. S. Jadaan (2010) "Road traffic fatalities in Qatar, Jordan and the UAE: estimates using regression analysis and the relationship with economic growth," *Eastern Mediterranean Health Journal*, Vol. 16, No. 3, pp. 318-323.
- Borsos, Attila, Csaba Koren, Széchenyi István Egyetem, and Nalini Ravishanker (2012) "Long-term safety trends related to vehicle ownership in 26 countries," in *Transportation Research Board 2012 Annual Meeting*.
- Cansiz, Omer F., Mustafa Calisici, and M. Melik Miroglu (2009) "Use of Artificial Neural Network to Estimate Number of Persons Fatally Injured in Motor Vehicle Accidents," in *Proceedings of the 3rd international conference on applied mathematics, simulation modelling*, pp. 136-142.
- Koren, Csaba and Attila Borsos (2010) "Is Smeed's law still valid? A world-wide analysis of the trends in fatality rates," *Journal of Society for Transportation and Traffic Studies*, Vol. 1, pp. 64-76.
- Ponnaluri, Raj V. (2012) "Modeling road traffic fatalities in India: Smeed's law, invariance and regional specificity," *IATSS Research*, Vol. 36, pp. 75-82.
- 周銭・陸化普・徐薇 (2006) 「交通事故規律及其模型」, 『交通運輸工程学報』, 第 6 卷, 第 4 号, 112-115 頁.
- Smeed, Reuben Jacob (1949) "Some statistical aspects of road safety research," *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol. 112, No. 1, pp. 1-34.
- Valli, P. Pramada (2005) "Road accident models for large metropolitan cities of India," *IATSS Research*, Vol. 29, No. 1, pp. 57-65.
- World Health Organization (2008) "The Global Burden of Disease 2004 Update."
- (2009) "Global Status Report on Road Safty."
- 警察庁交通局交通企画課 (2013) 「平成 24 年度中の交通事故死者数について」.
- 厚生労働省大臣官房統計情報部 (2012a) 「平成 23 年 (2011) 人口動態統計 (確定数) の概況」.
- (2012b) 「平成 24 年 我が国の人口動態—平成 22 年までの動向—」.
- 斉藤和夫・高瀬篤 (1980) 「交通事故死亡危険度の地域変動分析」, 『土木学会北海道支部論文報告集』, 389-394 頁.

内閣府 (2010) 「道路交通安全に関する基本政策等に係る調査報告書」.

—— (2012) 「平成 24 年版交通安全白書」.

松原範明・青島縮次郎・廣島康裕 (1988) 「SMEED FORMAT による日本とインドにおける交通事故比較分析」, 『土木学会年次学術講演会講演概要集』, 第 43 巻, 402-403 頁.

吉田伸一 (2011) 「人口、車両台数、インフラ等と歩行者事故の発生」, 『交通事故調査・分析研究発表会論文集』, 第 14 巻, 交通事故総合分析センター.