

Empirical Bayes Methodの適用による 交通安全対策の効果評価の改善

鹿野島秀行*
中村文彦** 平田恭介***

交通事故を削減するための対策が各機関により精力的に行われている。一方限られた予算内で最大限の交通事故削減効果を得ることを目標として、近年、交通安全対策の実施においても評価の観点重視する傾向が強まっている。本稿は交通安全対策の効果評価の現状、問題点、解決法を検討し、特に手法上の問題点として指摘されている「平均値への回帰(Regression to means)」現象の存在について、解決策として北米で考案された「Empirical Bayes Method」の適用を試みて、従来の評価と比較考察を行ったものである。

Improved Evaluation of Road Safety Strategies Using the Empirical Bayes Method

Hideyuki KANOSHIMA*
Fumihiko NAKAMURA** Kyosuke HIRATA***

Different organizations are vigorously formulating strategies to reduce traffic accidents. In order to reduce accidents as much as possible within the confines of limited budgets, there has been an increasing trend in recent years towards more emphasis on evaluating the strategies implemented. This report looks at the status of such evaluations, related problems and methods of resolving those problems. It experiments with the application of the Empirical Bayes Method, devised in North America as a solution to the “regression to means” phenomenon which has been identified as a particular procedural problem, and compares conventional evaluation systems.

1. はじめに

我が国の、平成10年の交通事故による死者数は9,211人で、平成8年以来3年連続の減少となった。

一方、負傷者数は990,675人で過去最悪となったほか、事故件数は803,878件となり、6年連続過去最多を記録した。このように交通事故を取り巻く状況はなお厳しい状況にあり、交通事故を削減するための対策が各機関により精力的に行われている。一方限られた予算内で最大限の交通事故削減効果を得ることを目標として、近年、交通安全対策の実施においても評価の観点重視する傾向が強まっている。

本稿ではまず交通安全対策の効果評価の現状、問題点、解決法を検討した。特に効果評価を行う上で手法上の問題点として指摘されている「平均値への回帰(Regression to means)」による分析結果のバイアスの発生について、その解決策として北米で

* 建設省土木研究所道路部交通安全研究室研究員
Research Engineer, Traffic Safety Division,
Road Dept., Public Works Research Institute,
Ministry of Construction

** 横浜国立大学工学部建設学科助教授
Associate Professor, Dept. of Civil Engineering,
Yokohama National University

*** 横浜国立大学大学院工学研究科
Graduate Student, Dept. of Civil Engineering,
Yokohama National University
原稿受理 1999年6月3日

考案された「Empirical Bayes Method」¹⁾の適用を試みて、従来の評価と比較考察を行ったものである。

2. 現状の効果評価

2-1 効果評価の概観

『交通安全事業必携 交通安全施設等整備事業に関する緊急措置法の解説と実務』²⁾には、交通安全事業効果の測定方法が記されている。まず測定方法を、箇所毎の測定を行うものと統計的方法の二つに大別している。前者は個々の事業を実施した地点または区間について、事業実施の前後の交通事故の発生状況を調査し、これを比較することによって行う方法であり、後者は区間あるいは地域の集合を対象として、交通安全事業の効果を一般的、普遍的に把握する方法である。

箇所毎の測定の場合、事業実施の前後について、連続する1年以上の期間で実施することを求めている。また事業実施後に交通事故件数が減った場合でも、事前事後の交通事故件数の差異が統計的に有意であるのかを確認することが望ましいとしている。

いずれにしても実務上では、事業実施の前後の交通事故の件数の増減を尺度として効果評価が行われている。

なおこれ以降、用語の意味と内容をより明確に対応させるために、統計的方法のことを「マクロ統計処理」と呼ぶことにする。

2-2 効果評価の実践

最近の各機関における交通安全事業の効果測定としては以下のものが挙げられる。

(1)箇所毎の測定

〔国道31号線における中央線変移規制の見直し³⁾〕

広島県警では平成8年8月に、広島県安芸郡坂町の国道31号線で、中央線変移規制・バスレーンの廃止、追越しのための右側部分はみ出し禁止・立ち入り禁止部分の指定を行った。この際、交通渋滞長、旅行時間、断面交通量といった円滑性を表す指標とともに、交通事故の発生状況の変化も測定された。Table 1は対策の事前事後1年間の事故の発生状況を単純に比較したものである。

(2)マクロ統計処理によるもの

〔日本交通管理技術協会による交通安全施設の効果に関する調査研究⁴⁾〕

警察庁所管の財団法人日本交通管理技術協会は、信号機の改良や集中制御など交通安全施設の高度化による効果についての分析結果をまとめて発表した。

Table 1 交通事故の発生状況の変化³⁾

	歩行者、二輪車	車両同士	総件数
事前	5	5	22
事後	1	1	6
増減数	-4	-4	-16

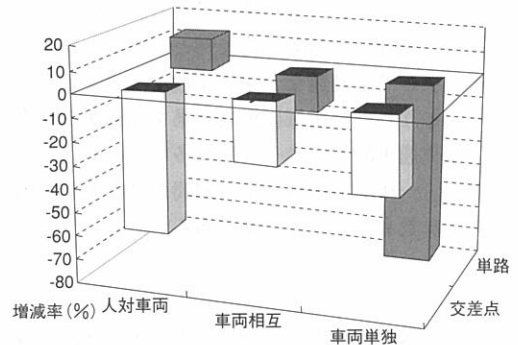


Fig.1 事故多発地点における交通安全対策による事故削減率⁵⁾

事業前後の事故件数や渋滞状況などを調べ、事業後の事故減少率は矢印信号化や歩行者感应化など事業毎に16~70%と推計している。

〔警察庁、建設省による事故多発地点における交通安全対策の効果に関する分析⁵⁾〕

警察庁と建設省は平成8年度から、事故多発地点について、交差点改良、道路照明の設置、交通規制の見直し等の事故削減策を集中的に実施する「事故多発地点緊急対策事業」を実施しており、事業箇所を対象とした事故削減効果の測定を行っている(Fig.1参照)。平成8年度に実施した対策について、対策前後の事故件数を比較し、事後減少率を25%と推計している。事前・事後期間とも最低1年分の事故データを元に推計している。

2-3 問題点

1) データの量

(1)最適事前事後期間の設定

先述した『交通安全事業必携』においては事前事後の事故件数を比較する場合には、最低でも事前期間1年、事後期間1年のデータを要請している。しかしこの論理的根拠は必ずしも明確なものではない。交通条件の変化の影響の排除やデータ取得、処理の労力の低減を考えるならば期間は短い方がよく、逆に得られる分析結果の統計的処理上での安定性を高めるためには期間は長い方がよい。最適な事前事後期間がいかほどか、という問題は実務においても必要な情報であるが、この設定方法についての論理的根拠は現状では必ずしも十分なものではない。

(2)最適サンプル数の設定

事業効果を測定する場合には単純に事故減少数あるいは事故減少率だけでなく、その減少数あるいは減少率の統計的な有意性の検討を行うことが望ましいとされている。しかし実際にこれを行うためには、十分なデータサンプル数が必要である。一方ではデータ取得、処理の労力も制約条件となることから、両者を両立させる最適なサンプル数を設定する必要がある。とりわけ箇所毎に事業効果を測定する場合、発生する交通事故件数はそれほど多いものではないことから、一律な最適事前事後期間だけでなく、最適サンプル数も考慮する必要がある。

2) データの質

(1)データ取得

一般に効果評価に用いる各種のデータ（交通事故データ、対策内容データ、道路交通状況データ等）を保有あるいは新たに取得するのは、全国に散在する現場の警察、道路管理者等である場合が多い。したがって現場担当者の数も膨大であるから、データの質にはばらつきが出るのは当然といえる。しかし箇所毎測定にしても、後々の評価結果の比較等を考慮すると、データの質をなるべく均質にする方が望ましい。

そこでマクロ統計処理を行う場合、調査実施者は調査様式を用意し、用語の定義を厳密に規定する等、現場担当者が判断に迷う可能性のある曖昧な部分を極力排除する努力をすることが多い。しかし箇所毎測定の場合には先述の「交通安全事業必携」のような文献において基本的な考え方は提示されているものの、細かい部分（例えばデータの要件、精度等）まで規定した全国統一的なデータ取得の標準的なものは現在のところ存在しないと考えられる。したがって箇所毎に測定したものの同士の比較は、現在のところあまり意味を持たない場合も少なくない。

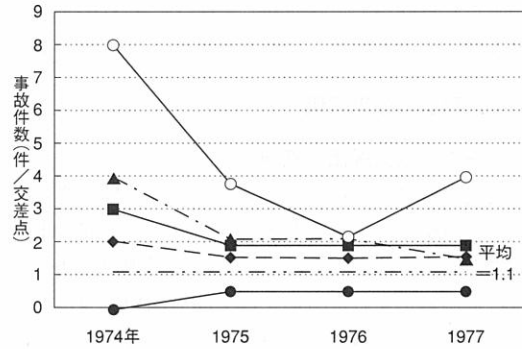
(2)プライバシー情報の取り扱い

交通事故に関するデータは事故当事者のプライバシーに関わるデータが含まれていることから、完全にオープンにするべきではないことは言うまでもない。しかし交通事故削減という目標を達成するためには、実際に発生した交通事故データを用いた調査研究は不可欠であり、プライバシー保護と調査研究のバランスを保った上でのデータ提供が求められる。

3) 分析手法の問題

(1)複数対策の効果測定手法

一般に、ある箇所には単独の対策が施される場合のほかに、複数の対策が同時にあるいは短期間の間



出典) 参考文献5)、サンフランシスコの交差点1,142箇所。

Fig.2 サンフランシスコの交差点当たり事故件数

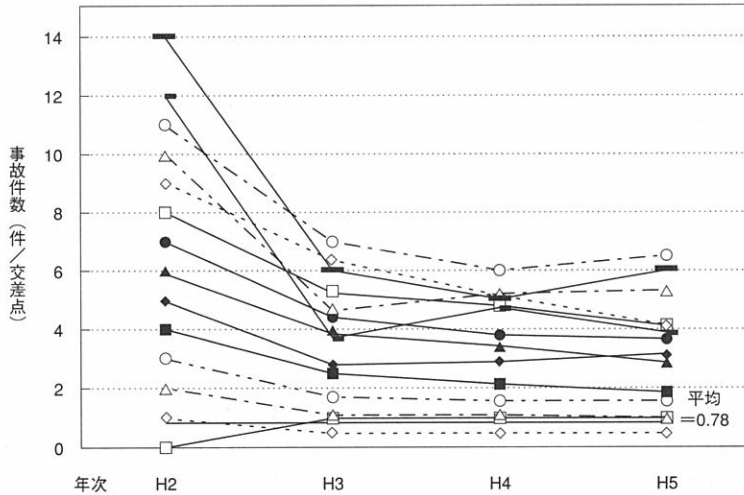
— 平均値への回帰の実例¹⁾

に連続して実施される場合もある。また同じ種類の対策を施した場合にも、その箇所でも過去に実施された対策の種類の有無や違いが関係していることも考えられる。このような場合、複数対策による相乗効果、相殺効果が発生することが予想される。しかし現在のところこれらを把握する手法として確立されたものは存在しないように思われる。

(2)「平均値への回帰(Regression to means)」によるバイアス

交通事故はしばしば稀発生事象であると言われる。これを交通事故と交通渋滞という二つの交通現象の発生を例に考えてみる。例えばある日のある時間に交通渋滞が発生した場所では、翌日の同じ時間に交通渋滞が発生することは多いと考えることは自然である。しかしある年のある月に交通事故が発生した場所が、翌年の同じ月にも交通事故が発生するかどうかは不確定と考えるのが自然である。つまり交通事故は交通渋滞に比べて発生が稀であり、したがって事前に予測することは困難である。

ところで、交通事故の発生を時系列的にみると、「平均値への回帰」という現象が見られると言われている。これは端的に言うと、ある期間の交通事故発生件数が全体のレベルに比べて少ない箇所では次の期間に事故が平均値に向かって増加し、逆に全体のレベルに比べて多い箇所では次の期間に事故が平均値に向かって減少する現象である。これは先述した交通事故が稀発生現象であることに由来している。Fig.2はErza Hauerが米国・サンフランシスコにおいて、交差点1,142箇所において発生した交通事故の時系列変化を追ったものである¹⁾。1974年に事故が0件、1件、…8件発生した交差点をグルーピングし、その交差点群の1975年以降の平均事故件数を



注) 平成2年、一交差点当たり事故件数別交差点群の以降年平均事故件数の推移。

Fig.3 北海道の交差点当たりの事故件数——平均値への回帰の実例²⁾ 「Regression to Means (対策なし)」

プロットしている。1974年の平均事故件数は1.1件であるが、事故発生件数がこれに向かって時系列的に漸近していく様子がわかる。

この現象が我が国でも成立するかどうかの検証を行った。使用した交通事故データは警察庁・建設省が整備している交通事故統合データベース、対策箇所データは建設省土木研究所が全国の道路管理者に依頼し、収集したものである。Fig.3は北海道内の直轄国道を事例に、交差点事故の推移を見たものである。対象は平成2年または3年に交通安全対策を実施しなかった交差点8,047箇所である。また対象事故は上記箇所が発生した人身事故で、平成2年：6,261件、平成3年：7,615件、平成4年：7,417件、平成5年：7,507件である。これら交差点を平成2年の一交差点当たり事故件数でグルーピングし、平成3年から5年までの時系列変化をプロットした。平成2年の平均事故発生件数は0.78件/交差点であり、これに漸近していく様子がわかる。このことから我が国の交通事故の発生にも平均値への回帰現象が存在することがわかる。

平均値への回帰とは、交通安全対策の実施の有無に関係なく、交通事故発生件数が増減することを表している。つまり交通安全対策の実施後に事故件数が減ったとしても、そこには交通安全対策による効果のほかに、平均値への回帰による、いわば「自然減」も含まれていると考えられるのである。したがって単純に対策の事前事後で事故件数を比較することは統計的には妥当ではないことになる。

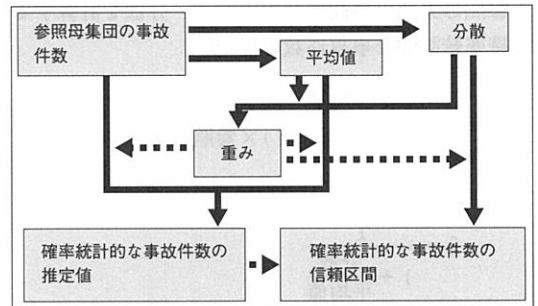


Fig.4 Sample Moment Methodの計算のフロー

事故件数	サンプル数 n (該当箇所数)
0	100
1	50
2	30
3	20

総事故件数 170件、総箇所数 200箇所
 平均値 0.85件、分散 0.03件²、 $\hat{a} = 0.96$

参照母集団の事故件数	確率統計的な事故件数の推定値	信頼区間下限 (95%)	信頼区間上限 (95%)
0	0.03	0.03	0.03
1	0.99	0.98	1.00
2	1.96	1.94	1.98
3	2.93	2.89	2.97

Fig.5 Sample Moment Methodの簡単な計算例

本稿では平均値への回帰を考慮して、統計的に妥当な交通安全対策の効果測定を行うために、海外で考案された「Empirical Bayes Method」という方法に着目し、その特徴を整理し、我が国での適用可能性を検討した。

3. Empirical Bayes Method

3-1 考え方

この方法の基本的な考え方は、ある期間の交通事故件数を推定するのに、その前の期間に実際に発生した交通事故件数（「参照母集団の事故件数」と呼ぶ）と、全体の平均事故件数を重み付けして加算するというものである。同時に信頼区間も推定することが可能である。重み付けをするプロセスで平均値への回帰によるバイアスを取り除いている。そして重み付けをする方法として、「Sample Moment法」と「多変量回帰法」の二種類がある¹⁾。

3-2 計算手順

Fig.4に計算の手順を概念的に示したものを、Fig.5に簡単な計算例を示す。

ここではSample Moment Methodの計算手順を数式を追って示す。

- ①参照母集団の事故件数の平均値、分散を計算する
- ②確率統計的な事故件数の推定

$$\hat{E} = \hat{a} \times \text{平均値} + (1 - \hat{a}) \times \text{参照母集団の事故件数}$$

ここに、

$$\hat{a} = \frac{1}{1 + \frac{\text{分散}}{\text{平均値}}}$$

- ③信頼区間の計算

$$\text{信頼区間} = \hat{E} \pm t_{\alpha}(n-1) \times \sqrt{\frac{s}{n}}$$

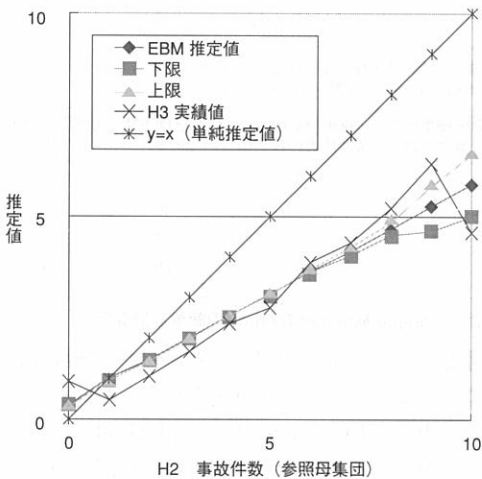


Fig.6 平成2年データから推定した平成3年推定値

ここに、

$$s = \sqrt{\frac{(1 - \hat{a}) \times \hat{E}}{n}}$$

ただし、 $t_{\alpha}(n-1)$ は自由度 $n-1$ 、有意水準 $\alpha\%$ の t 値

\hat{a} とは、平均値と参照母集団の事故件数を調整する「重み」であり、その定義から0と1の間の数値をとることになる。定性的には平均値が大きい、または分散が小さいと \hat{a} は1に近づき、平均値に寄った推定値が現れる。

3-3 適用例

Fig.6はFig.3と同様、北海道の直轄国道で、平成2年、3年に交通安全対策を実施しなかった交差点8,047箇所を対象として、平成2年の事故件数を参照母集団とした平成3年の事故件数推定値、平成3年に実際に発生した事故件数をプロットしたものである。同じグラフに「 $y = x$ 」をプロットしてあるが、これは平成3年の事故件数を平成2年の事故件数と不変として推定したもの（以降、単純推定値と呼ぶ）に相当し、事前と事後の事故件数を比較する方法（以降、単純事前事後分析と呼ぶ）の前提となるものである。

すなわち、単純な事前事後分析では、交通安全対策の事前事後では対策を実施したこと以外は何も変化しないという、暗黙の前提があり、対策を行わなければ事故件数は変化しないという前提がある。

グラフを見ると、Empirical Bayes Method推定値（以下、EBM推定値と略す）の方が、単純推定値よりも近い推定結果が得られていることがわかる。

3-4 EBMによる推定値を用いた事前事後分析

単純事前事後分析とEBM推定値を用いた事前事後分析の比較を行った。計算方法は以下のとおりである。

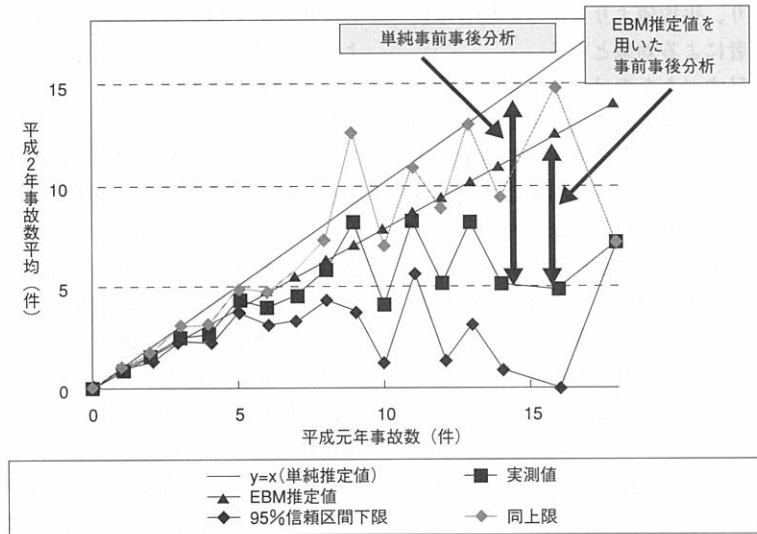
- ・単純事前事後分析

$$\text{増減率} = \frac{\text{対策後事故件数} - \text{対策前事故件数}}{\text{対策前事故件数}}$$

- ・EBM推定値を用いた事前事後分析

$$\text{増減率} = \frac{\text{対策後事故件数} - \text{EBM推定値}}{\text{EBM推定値}}$$

Fig.7は平成元年に歩道を設置した全国6,449区間を対象に、単純推定値とEBM推定値の比較を行ったものである。またこれらの値を用いた事前事後分



注1) 対策延長100m以上の地点を、100m毎に分割。端数は切捨て。
 2) 全データ数は6,449地点。全データを使用。

Fig.7 単純推定値とEBM推定値の比較（歩道設置箇所）

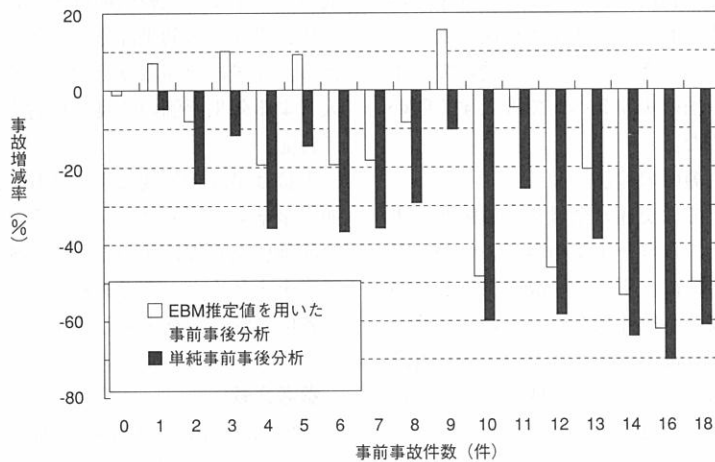


Fig.8 単純事前事後分析とEBM推定値を用いた事前事後分析の比較（歩道の設置効果）

析の違いを両矢印記号にて概念的に示した。

EBM推定値は平均値よりも大きい範囲では単純推定値よりも小さく、逆に平均値よりも小さい範囲では単純推定値よりも大きく計算される。したがって事前の事故件数がある程度まとまって発生している場所では、EBM推定値を用いた事前事後分析結果の方が単純事前事後分析の結果よりも小さく計算されることになる。

例えば、平成元年に事故が15件発生した場所において歩道を設置し、その効果を測定することを考える。単純には翌年(平成2年)も同じ場所では15件の事故が発生すると予測し、実際に10件の事故が発生したとすれば、5件の減少はすべて歩道設置の効果

と見なす。一方EBM推定では平均値への回帰が考慮され、翌年(平成2年)に同じ場所で12件の事故が発生すると予測し、実際に10件の事故が発生したとすれば、2件の減少を歩道の設置効果と見なすのである。単純推定と比較して事故削減数が3件少ないが、この分は平均値への回帰による部分である。

Fig.8は事前(平成元年)の事故件数毎の歩道設置効果を、単純事前事後分析とEBM推定値を用いた事前事後分析による事故増減率の比較を行ったものである。歩道設置による事故削減効果は前者で1.3%、後者で3.3%と見積もられる。後者は平均値への回帰を考慮した方法となっているため、効果測定をすると平均値よりも大きい場合は前者による効果>後

者による効果となり、平均値よりも小さい場合は前者による効果<後者による効果となる。

その中で特に注目すべきなのは、事前事故件数が0件であった場合で、単純事前事後分析では効果が現れないのに対し、E B M推定値を用いた事前事後分析では効果が現れている。これは事前に事故が0件であった箇所であっても、次年には平均値への回帰現象により事故が発生することがマクロ統計的には確かであり、対策を施したことによりその事故の発生を防ぐことができたと解釈できる。

このようにE B M推定値を用いた事前事後分析は統計的に妥当な効果測定を行っていることのほかに、単純事前事後分析では効果の現れないような、事前事故件数の少ない箇所における効果測定をする場合に威力を発揮する測定法ということができる。

4. E B Mの実務レベルでの適用

3章までで、現在実務的に行われている効果評価の現状、その問題点、および手法上の解決策としてのE B Mについて述べてきた。これらを受けて、本章ではE B Mを我が国の実務レベルで導入する際の課題についてまとめた。

1) 事故データ収集箇所の追加

単純事前事後分析では交通安全対策実施箇所の事前事後の事故件数をフォローするのみでよいが、E B M推定値をするためには、事前に事故の発生しない箇所についても事後の事故件数を追っていく必要がある。これは特に箇所毎の効果評価を行う際に留意すべき点であり、当該箇所以外にも観察箇所を設けなければならないことを意味する。

2) 効果評価の結果

一般には交通安全対策実施の優先度は交通事故の多発している箇所が高いが、これは当然、平均的な事故発生水準を上回っている箇所である。したがって、このような箇所で交通安全対策の効果測定を行う場合は、E B M推定値を用いた事前事後分析の方が単純事前事後分析による結果よりも小さなものとなる。実務面では対外的には効果を大きめにアピールしたいという意向があると思われ、実務面への導入においては、統計的な妥当性と両立に課題が発生するものと思われる。

5. まとめ

本稿ではまず交通安全対策の効果評価に関する現状、問題点をまとめた。そのうち、手法上の問題点と

して現在広く用いられている単純な事前事後分析による分析結果には、交通事故発生時の平均値への回帰という現象に起因するバイアスが存在していることを示した。次にそのバイアスを取り除くための解決策として考案されたE B Mによる推定値と単純推定値とを比較し、前者がより現実に近い推定値を与えていることを示した。最後にE B M推定値を用いた事前事後分析と単純事前事後分析の結果を比較検討した。その結果、事前に平均水準より多く事故が発生している場所では単純事前事後分析により計算した効果の方がE B Mにより計算した効果よりも大きく、逆に平均水準より少なく事故が発生している場所ではE B Mにより計算した効果の方が単純事前事後分析により計算した効果よりも大きいことがわかった。

公共事業の執行において事業評価の重要性が認識され始めている。その中で交通安全対策はその効果を交通事故件数や交通事故死者数の削減という、公共事業の中では比較的明確とした指標で測定できるため、以前から効果評価が実施されてきた分野といえる。今後は今回取り上げたような統計的手法の導入による効果評価の改良の検討も必要と考えられる。
〔付記〕

本稿は平成10年度に実施された、財団法人国際交通安全学会の研究プロジェクト「交通事故対策効果の評価体系整備に関わる基礎研究」の一環で行った研究をまとめたものである。ここに、研究会メンバー各位に厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) Ezra Hauer : Observational Before-After Studies in Road Safety Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety, Pergamon, 1997
- 2) 建設省道路局／警察庁交通局監修、交通安全事業研究会編集『交通安全事業必携 交通安全事業施設等整備事業に関する緊急措置法の解説と実務』ぎょうせい、pp. 363～372、1994年
- 3) 平井満「国道31号線における中央線変移規制の見直しについて」『月刊交通』pp. 59～65、1998年6月
- 4) 財団法人日本交通管理技術協会『交通安全施設の効果に関する調査研究報告書』1997年
- 5) 財団法人交通安全総合分析センター『ITARDA INFORMATION No. 19 事故多発地点』1999年