

交通事故対策事業の効果評価方法に関する実証的研究

大蔵 泉*
平田恭介** 中村文彦***

交通事故対策の効果評価で用いられている事前・事後調査にはさまざまな問題点があり、最も大きく影響するのが「平均への回帰」現象である。このバイアスを低減させるような評価理論はいくつか提案されているが、実際の場に適用されることが少ない。本研究ではこれらのうちEmpirical Bayes (EB)法に着目し、これを実際へ適用する際の課題を整理し、そのいくつかについて対応案、実務レベルに適用する際のポイントを示した。

An Empirical Study on the Evaluation Methods of the Road Safety Measures' Effects

Izumi OKURA*
Kiyosuke HIRATA** Fumihiko NAKAMURA***

The before and after study technique, which has been used for the evaluations on the effects of the road safety measures, contains several problems. The most serious one is the "Regression To Mean" effect. Although there are some evaluation theories to reduce the estimation bias, they have not been applied in practice. In this study, we examined the Empirical Bayes Method and specified the problems to be solved when it is applied in practice and proposed measures and points for some of them when they are applied on a practical level.

1. はじめに

交通事故対策は、現況解析 問題点抽出 対策案抽出 対策案の比較評価 対策案の決定・実施 対策効果の評価、といった過程を繰り返して実行され

る。「対策効果の評価」は、その結果が以後の対策案策定段階での参考資料となるので重要である。

主に用いられている対策効果の評価手法として、事前・事後調査 (Before and After Study) がある。この手法では、一般には、もし対策が施されなかったとしたら発生事故に変化はない、という仮定のもと、対策の事前と事後の事故発生の様子を直接比較する方法がよく用いられている。

このような「事前・事後調査」には問題点がある。それは、もし対策が施されなかったとしたら発生事故に変化はない、という仮定が厳密には成り立たない、ということである。その要因として、交通状況の経年変化、社会状況・気候その他の変化などいくつも考えられるが、最も問題になるのが後述の「平均への回帰」現象である。これは、事故の稀発性に

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

** 日本道路公団四国支社高松工務事務所
Japan Highway Public Corporation

*** 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
原稿受理 2000年3月31日

この論文は(株)国際交通安全学会平成11年度H161プロジェクト「事故対策効果の評価・調査法に関する実践的研究」(PL:大蔵泉)の調査研究をもとに執筆された。

よる偶然変動に起因するものであり、これを考慮しないと対策効果の過大評価につながる恐れがある。

事故の稀発性による、対策効果の評価の歪みを除去する統計的な分析理論の提案は、2 - 3に示すようにいくつか存在している。しかしながら、これらは実際の場を利用されることがきわめて少ない。そこで本研究では、これらの評価理論を実際へ適用する際の課題を明確にし、どう対応すれば歪みを低減させた対策効果の評価に結び付けられるのかを、実証的に明らかにしていくことを目的とする。

2. 既存の対策効果評価方法

2-1 既存の対策効果評価方法

交通事故対策の効果評価として行われているもののうち、主なものは交通事故の事前・事後調査である。Fig.1は、事故対策の効果評価の概念を示したものである。

真の事故対策の効果を見るためには、同一箇所において、対策が行われた場合 (With) の事後期間事故件数 (K'') と、対策が行われなかった場合 (Without) の事後期間事故件数 (K') とを比較すべきである。しかし、実際には事故対策が施されてしまうので、当然のことながら Without の K' について知ることはできない。そこでよく用いられるのが、K' を事前期間の事故件数 K で代用する、という便宜的方法である。事故対策が行われなければ、事前と事後では事故発生の様子はそう大きくは変化しない、という仮定によるものである。

2-2 問題点

上記のような通常の事前・事後調査には問題点がある。それは前述の仮定が成り立たない、ということである。この理由として、前述した周辺条件の変化などいくつか挙げられるが、大きく影響する要因として「平均への回帰 (Regression To Mean: RTM)」現象を考慮する必要がある。平均への回帰とは、事故発生の稀発性・ランダム性により、その発生事故数がある期待値 (地点毎による) のまわりに変動してゆく傾向のことである。Fig.2は、実際のデータを用いてRTM現象を示したものである。一般道において平成3年~4年の間に「交差点照明」事業が実施された地点のもので、事前2年間のデータ (地点数: 1245箇所) を用いている。初めの1年間の発生事故数ランク別に地点をまとめ、それを横軸にとり、縦軸に翌年1年間の発生事故数平均をとっている。つまり、初めの1年間にK件の事故を記録した

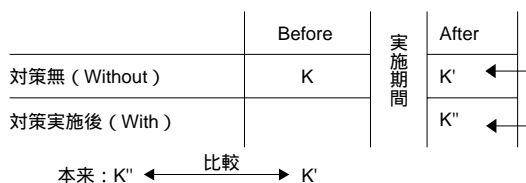


Fig.1 事故対策の効果評価の概念

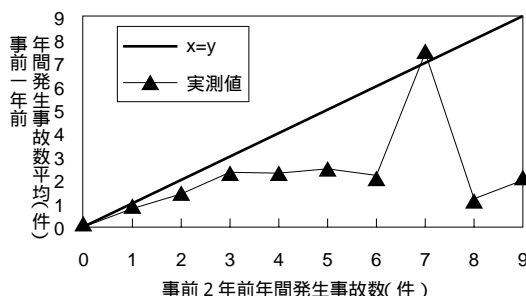


Fig.2 平均への回帰現象

地点グループの、翌年の平均発生事故数を縦軸に見ることができる。両軸とも実際に交通事故対策が施される前のデータであるため、両年の間の変化はほぼ全てRTM現象によるものとみなせる。

仮に交通量等の周辺条件に変化がなく、かつRTM現象が存在しないとすると、初めの1年間にK件の事故を記録した地点グループは、翌年も平均でK件の事故を記録する、すなわちx=yのラインに沿うような形になるはずであるが、この図から明らかであるように、実際はそのようにはならないことが知られる。

一般的には、ある年相対的に事故が多かった地点群は、翌年以降発生事故件数が減少傾向になり、逆に事故が少なかった地点群は翌年以降増加傾向になる。通常、交通事故対策は事故多発点に行われることが多いので、このRTM現象を考慮しないとその対策の効果を過大評価してしまう危険性がある。これら事故多発地点は、何も対策が行われなかったとしても事故が減少する可能性が高いからである。したがって、正しい効果評価のためには適切なK'の推定が必要なのである。

2-3 既存の研究

RTM現象に関する研究や理論の提案がいくつか存在する。例えば、類似地点での事故変化を用いて、RTM現象の大きさを算出する方法¹⁾、東京の交差点のデータを用いて、バイアスを低減できる事故データの集計期間を示したもの²⁾などがある。しかしこの分析を通じて要請された条件は、通常取得困難な類似地点のデータや、事前・事後に望まれる期間

長が各4年間という、これまで分析上対象としてきたものよりもかなり長い期間の事故データであり、実務レベルの観点から即応できる水準とは異なることから、まだ検討すべき課題があると思われる。

3. 評価理論と適用条件

3-1 Empirical Bayes法

本研究で着目した理論はEzra HauerによるEmpirical Bayes (EB)法である³⁾。この方法に対する実証的検討は、鹿野島・中村・平田による「Empirical Bayes Methodの適用による交通安全対策の効果評価の改善」⁵⁾でも紹介されている。本研究はこの研究をさらに発展させたものである。EB法の式は以下のとおりで、全対策地点(参照母集団)を発生事故数毎にランク分けし(事故数 K_n ・地点数 N_n)、各々のランクの平均事故数期待値 K_n' を推定するものである。

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

ここで、

$$\hat{a} = 1 / (1 + \text{分散} / \text{事故平均値})$$

分散の推定値 = 参照母集団の分散 - 同事故平均値

\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」である(参考文献5)参照)。

概略はFig.3のとおりである。ここで得られた K' の推定値と対策実施後の K'' とを比較するのである。

3-2 理論適用上の検討項目

EB法は、その数学・統計的な背景上、通常以下の条件が求められる。

- ・「単位延長あたりの事故率」などといった形ではなく、「事故件数」つまり整数値を用いる
- ・統計的な処理であるため、ある程度十分なサンプル数が必要である

これらの条件に加え実務の場での使用を考慮すると、主に次のようなEB法適用の際の課題が生じる。

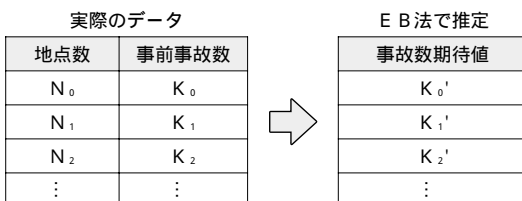


Fig.3 EB法の概略

- (1)対策地点の評価延長設定の問題(対策効果評価区間の設定)
- (2)要対策地点抽出基準とEB法の適用性
- (3)必要なサンプル数の検討
- (4)モデル式上の制限の明確化

これらはFig.4のように互いに関連している。例えば(3)と(4)とでは、サンプル数が増減することによりEB法適用性の向上・低下が生じたりする、といった関係がある。

4. EB法適用条件の検討

4-1 使用データ

本研究では、上記の課題を検討するために実際の対策データ・交通事故データを用いた。対策データは建設省地方建設局毎で取りまとめられた、平成3年前後に全国の一般道で行われた全13種の対策に関するものである。交通事故データは建設省・警察の記録によるもので、(財)交通事故総合分析センターから入手した。対象事故は全国の一般道で起きた平成元年～5年までの5年間の人身事故である。両者をリンクさせることにより、事前・事後の各期間において最大で2年を対象とした検討が可能である。

4-2 評価区間の設定

事故対策種別には、大きく分けて線的対策・点的対策の二つがある。前者は「歩道設置」や「排水性舗装」などのように、延長を伴うものである。後者は「歩道橋設置」や「交差点照明」など、延長の概念がないものである。前者については、同一対策でも場合によっては最短数メートル、最長数十キロに及ぶものがあり、このようにまちまちな区間でカウントされた事故数を用いてEB法を適用すると、推定された効果の原単位が特定されず、一般性を持た

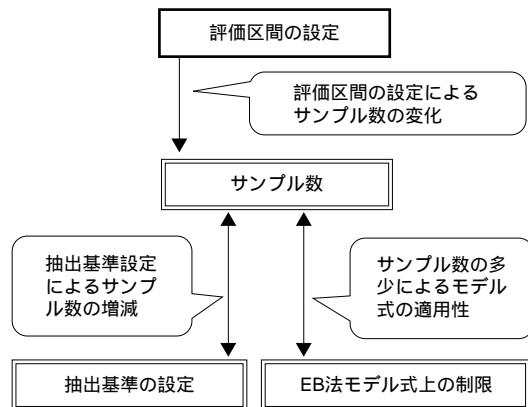


Fig.4 理論適用にあたっての課題

ないことになる。この場合、評価区間の取り方に一定の評価単位区間長 X m の導入が考えられる。ある一つの対策地点を開始点から X m ずつ区切っていき、それぞれを新たな一つの独立した対策地点とし、最後の端数部分を切り捨てる、また初めから X m 未満であった地点はそのまま別に扱う、とするものである。 X を短くすると多くのサンプル数が得られ、また事故多発部分の抽出が容易になるが、各区間での事故の偶然変動が占める部分が大きくなり、対策効果評価のバイアスの原因となる。逆に X を大きく取ると、発生事故数が適度にばらついた、後述のEB法適用条件に調和するサンプルが得られるが、事故数が平準化され多発地点の特定が難しくなるとともに、サンプル数が少なくなることになってしまうことに注意しなければならない。

次に点的対策の扱いについて考える。点的対策は1点に設置されるもので、事故データの集計単位となる評価区間（事故の増減を観測する区間）の設定が必要になる。例えば交差点関連の事業については、事故分析で通常適用される交差点の範囲（交差点中心 ± 30 m）とすることができよう。横断歩道では照明について「通常、横断歩道上又はその付近にいる人物の下半身の0.5m以上を50m手前の運転者から視認できることが必要で、有効な背景として横断歩道の向こう側35m以上の路面が明るくなっていればよい⁶⁾」とあり、これもその範囲とすることができる。しかし、その他については対策効果の影響範囲に明確な規定が無く、根拠を持った分析対象範囲設定が困難であり、便宜的に線の対策と同等の区間（線の対策の評価単位区間長 $X = 100$ m とするならば、点的対策は施工点の前後50m ずつをとる）とした方が分析の結果表現や比較の際に有利であろう。

4-3 抽出基準の設定

事故対策は、通常、ある値以上の事故発生期待値（地点毎固有のこの真の値を知ることは不可能であるため、通常は事前の発生事故数で代用されよう）を持つ地点に対して行われる。現実にはこうした抽出地点を対象とした事故対策効果の評価が行われるので、それを想定したEB法の適用性を検討する。具体的にはある年の発生事故が n 件以上（抽出基準： $n = 1, 2, \dots$ ）の地点を抽出して、前述の評価単位区間長を設定してEB法を適用し、その結果の比較を行った。サンプル数が少ないと変動が大きいことから、元のサンプル数が多い対策を取り上げて、評価単位区間長 $X = 50, 100, 200$ m として、その影

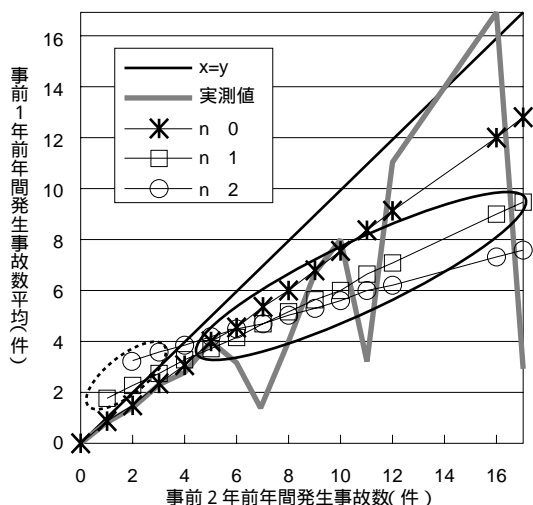


Fig.5 抽出基準設定時のEB法適用結果（「歩道等」事業）

響を検討した。また、対策の効果の影響を除くため対策実施の事前2年間の事故データを用いてEB法を適用してみた。

Fig.5は、最もサンプル数が多く得られた「歩道等」事業について、単位区間長100mで、 $n = 0$ （比較用）、 $n = 1$ 、 $n = 2$ の三通りでEB法を適用した結果を示したものである。実測値の傾向を各推定値がどれだけ適確に推定できているかを確認することがこの段階での要件である。抽出基準 n を上げていくと、EB法の期待値推定ラインが全体の事故平均値に近づくように寝た形になることが知られる。Fig.5に見られるように、抽出基準 n が小さいと、0件の事故ランク部分に大きく引っ張られて発生事故件数の大きな部分での適合性が悪くなるが、抽出基準 n を大きくすると事故件数の大きいランク部分が改善されていることが知られる（Fig.5の実線の円部分）。しかし事故件数の小さいランク部分（破線の円部分）は、逆に精度が悪化している。これは、3-1で示したEB法の式より、参照母集団の事故件数 K_n を変数とした1次推定式のため止むを得ない結果と言えよう。

Table 1は、抽出基準を設定した時の実測値と推定値とのずれ（1地点平均%）を、線の対策の「防護柵」、点的対策の「交差点改良」について示したもので、評価単位区間長は前述の三通りを採用している。網掛けのところは、抽出基準毎に、最も推定精度が良い部分を示している。

この表から知られるように、事前事故数が小さいと偶発性の事故による影響が大きいいため、EB法に

Table 1 抽出基準と評価単位区間長による比較

「防護柵」事業				
区間長	事故平均値	n 1	n 2	n 3
50m	0.28件/年	37.2%	40.1%	41.1%
100m	0.53件/年	29.8%	34.4%	38.0%
200m	1.02件/年	18.1%	13.6%	19.8%

「交差点改良」事業

区間長	事故平均値	n 1	n 2
50m	0.99件/年	16.3%	23.0%
100m	1.51件/年	13.7%	10.7%
200m	2.49件/年	25.3%	12.0%

よる推定値との差が大きく出る傾向にある。このため、事故密度が小さく長距離にわたる対策については、その評価単位区間長を長めにする（事故平均値を大きくし、偶発性の事故の影響を緩和する）べきで、逆に事故が多い区間に行われる対策については、その事故多発部分抽出を容易にする（対策の効果をより正確に表現する）ため、評価単位区間長を短めにするべきであろう。これらを事故平均値との関連で定量的に提案できることが望ましいが、本研究の範囲ではそれまでには至らなかった。

4-4 必要サンプル数

EB法では、より多くのサンプルを用いることで安定した発生事故期待値の推定を行うことができる。しかし現実には、サンプル数の制限が明らかにあることから、この制約に対する適切な対応が必要となる。実際、評価の対象となる対策箇所がほんの数地点しかない場合は、当然のことながらEB法の使用は不可能である。サンプル数がどの程度以上あれば安定した推定が行えるのかを検証する必要がある。

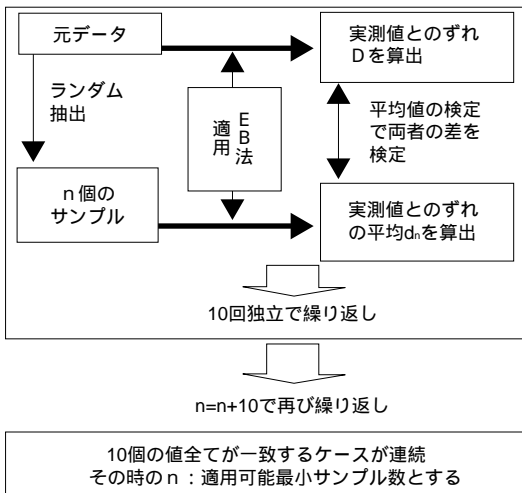


Fig.6 適用可能最小サンプル数の検証方法

これを検証するために、実際の対策・交通事故データを用いて次の手順で検討した。ある母集団の性質を、その中からランダム抽出した小サンプルで表現するために、どれだけそのサンプル数が必要であるのかを10刻みで検討する、という考えである。

着目する対策の全データを用いてEB法を適用し、期待値推定値を算出する。

その推定値と実測値との差（ずれ）を算出する。原データから5%（初期値とする）のサンプルをランダム抽出し、それぞれにEB法を適用し期待値推定値を算出する。その上で推定値と実測値との差の平均値を算出する。

を独立で10回繰り返す。

平均値の検定を用い、で算出した10個各々の平均値に対し、で算出した値との一致度合を検討する。有意水準 $\alpha = 0.05$ で行った。

サンプル数をより10だけ増やして、で同様の操作を繰り返す。

10個の値全てが、元の全データを用いて算出した値と一致するケースが連続したら、その時のサンプル数を「適用可能最小サンプル数」とした。Fig.6は、検証の概略を示したものである。

Fig.7は、こうした分析プロセスを経て、全対策について事故平均値と適用可能最小サンプル数との関係を示したものである。元データのサンプル数が多少影響するが、全体的に事故平均値に関する傾向がみられる。サンプル群の事故件数平均値が3件/年を超えるような場合は、そのサンプル数が100を超えた辺りで安定した結果が得られるものの、それ以下の事故平均値であると150~200程度のサンプルが必要であると言えよう。これは、平均事故数が大きいと全体の事故分布の変動が安定するためと考えられる。

4-5 モデル式上の条件

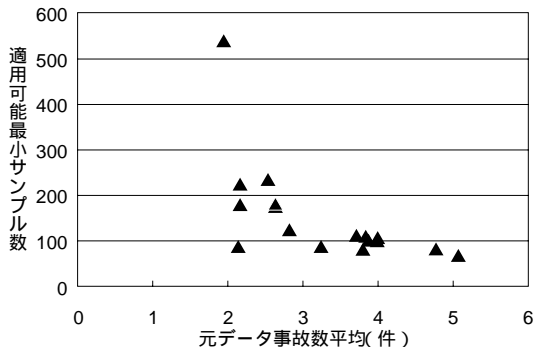


Fig.7 適用可能最小サンプル数と平均値との関係

EB法では、使用するデータの発生事故分布によっては計算が実行できない場合がある。それは、参照母集団の事故の分散がその平均値を下回る時である。3 - 1でのEB法の \hat{a} の定義式で、 \hat{a} は重みで $0 < \hat{a} < 1$ が条件であり、そのためには[分散の推定値 = 参照母集団の分散 - 同事故平均値 > 0]、すなわち[分散 > 平均値]が必要なためである。

理論上は、どんなにサンプル数が多くても、またどんなに事故数の総和が多くても、EB法が適用できない可能性がある(例えば、極端なケースとして全ての地点の発生事故数が同じ場合などには、分散がゼロになり、式が適用できない)。しかし事故発生件数はある程度広く分布しているため、そのような極端な例は実際には起こらない。では、どの事故平均値を境に計算の可・不可が分かれるのかを検証する必要がある。そこで、次の方法を用いてそのことを検討した。

いくつかの対策を取り上げて、全対策データにおいてEB法の計算実行が可・不可の割合がおおよそ半々で表れる傾向であった単位区間長 $X = 50$ 、 $100m$ とした上で、その元データ群の中から小サンプル(本研究では50とした)をランダム抽出する。(本来、事前に事故が0件であった地点は対策効果の評価に用いないこと、またサンプル数確保のため、データは事前事故が1件以上であるものを用いた。)

その小サンプルの事前1年間の発生事故数から、平均事故数・分散を算出する。
そのサンプルを元に戻す。

の操作を数多く繰り返し、このうちどれだけがEB法の計算適用が可能であったかを検証する。

検討対象の対策データは、なるべく事故平均値が異なって、かつサンプル数が多く取れるものが望ましいことから、「歩道等」「防護柵」「視線誘導標」の三つを選定した。この三つの対策は各々独立に実施されたもので、分析上重複する部分は一切ない。それぞれ単位区間長を50、100mで扱うことにしたため、6種類の元データ群になった。

Fig.8は、元データの平均値と、EB法の計算が可能であったサンプル群の割合との関連を示したものである。このように、母集団の平均事故数が大きいほど、その中から得られたサンプル群は、その数がある程度少なくても、ほとんどの場合EB法の計算適用が可能になる。

以上の結果より、事故対策の効果評価単位区間長の設定については、次に記すようにそれぞれに利点・欠点がある。

(1)延長を長く取る場合

[利点]

偶発事故の影響が小さく押さえられる。

同一地点数の場合、延長が短いものに対して事故の平均値・分散が大きくなり、EB法の計算が適用しやすい。

[欠点]

全体としてサンプル数が少なくなる。

対策効果の出やすい事故多発部分とそうでない部分が混在し、見かけ上対策効果が薄まる。

(2)延長を短く取る場合

[利点]

事故多発部分の抽出が容易になる。

サンプル数が多くなる。

[欠点]

全地点の発生事故ランクがまとまり、分散が小さくなりやすく、EB法が使用できない場合がある。

以上の点に留意して、対策効果の評価を行う際は、その対策が事故多発点に集中して行われるものなのか、歩道設置事業などのように事故の減少以外の目的も持って長距離にわたって行われるものであるのか等、その対策種別の性質に応じた適切な評価単位区間長設定を行う必要がある。

5. 実際の評価への適用

ここでは、実際にEB法により推定した期待値を用いて対策の効果量を算出し、現在行われている事前・事後調査での結果とを比較した。抽出基準は $n = 1$ 件で事前・事後1年を基本とし、データが揃う対策については事前・事後2年ずつの比較も行った。今

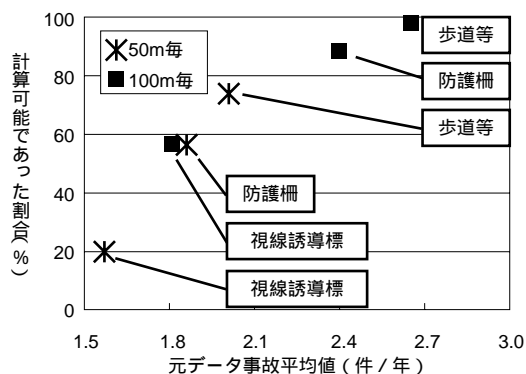


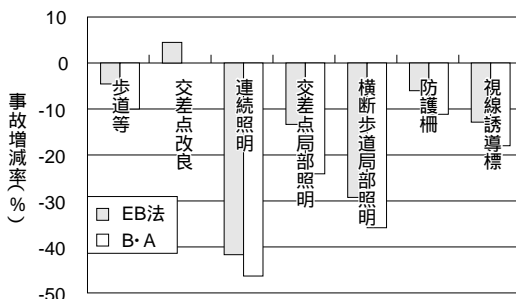
Fig.8 計算可と元データ事故平均値との関係

回検討対象とした対策については、事前事故が1件以上の地点群はRTM現象により $x = y$ を下回る傾向であったこと (Fig.2参照) また事故ランクが小さい部分はRTM現象の影響が小さいことから、Fig.5のようにEB法で推定値が $x = y$ より大きくなってしまふ部分は、便宜的に $x = y$ として修正した。Fig.9は、単位区間長を100mとし、上図は事前・事後各期間1年、下図は同2年としたものである (EB法: EB法を用いたもの、B・A: 一般的な事前・事後調査、つまり前述したように $K' = K$ として比較したもの)。1地点あたりの平均事故増減率の形で表現した。この結果から、以下のことが言えよう。

(1) EB法を用いた推定効果と、一般的な事前・事後調査での結果の比較

両者の結果を比較すると、全ての対策においてEB法を用いた方法が、対策の効果が低く推定される。今回検討対象とした対策については、事前事故1件以上の地点において、対策が行われなかったとしても翌年以降事故が減少する傾向であることは前述のとおり明らかであったため、このEB法は対策効果の過大評価を低減させるのに有用であろう。事前・事後各期間1年の場合、Fig.9の(1)より、平均への回帰効果は推定の対策効果としての増減率に10%までの範囲で上乗せしていることが分かる。つまり、

(1) 事前・事後各期間: 1年



(2) 事前・事後各期間: 2年

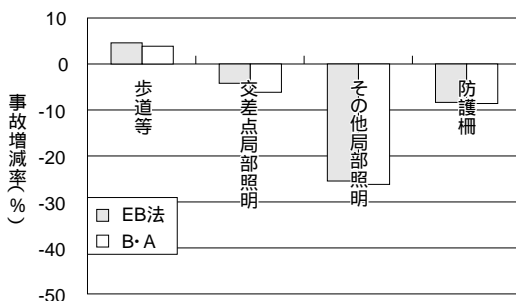


Fig.9 事前・事後調査とEB法との比較

単純事前・事後比較で1地点平均20%の事故減少が観測されたとすると、実際の対策効果は10%程度と推測されるのである。

(2) 評価期間での違い

事前・事後期間を2年ずつ取って比較すると、EB法と一般的な事前・事後調査とは、その対策効果の差が小さくなる。これは、評価期間を長く取ることによって平均への回帰効果の影響が小さくなるためである。

6. まとめ

本研究では、事故対策の効果評価に歪みを与える平均への回帰効果を考慮する上で、EB法に着目し、その実際への適用にあたってのさまざまな条件の検討を行った。その成果をまとめると次のようになる。

(1) 評価単位区間長の設定に関して

対策効果の表現の際に考慮が必要となる区間長について、扱いが簡便で一般性のある「単位区間長」を設定し、実際にEB法を適用することでその特徴、適用にあたっての留意点を示すことができた。

(2) 要対策地点抽出基準設定時

実際の事故対策は事前に事故がある程度発生していた箇所に行われることから、要対策地点抽出基準の影響を見るために、評価単位区間長 (50、100、200m) と抽出基準 (事前事故 $n = 1, 2 \dots$) を設定した時の、EB法の適用性の検討を行った。その結果、事故ランクが小さい部分ではEB法の直線推定式と実測値とのずれが大きくなること、事故ランクが大きい部分については実測値とのずれが改善される傾向にあることが示された。また、事前事故数が小さいと偶発性の事故による影響が大きいため、EB法による推定値との差が大きくなる傾向であった。これは、(1)での考察の裏付けである。このため、対策毎の性質に応じた適切な評価単位区間長の設定が必要である。

(3) EB法適用に必要なサンプル数

EB法を適用する際に、安定した推定値を得るために必要なサンプル数の検討を行った。その結果、元の母集団の性質にもよるが、100~200程度が最低限必要であろうことが推測された。サンプル群の平均事故数が大きければ安定するサンプル数も少なく適用できる傾向であった。

(4) EB法の数式的な適用条件

ある同一サンプル数において、EB法を適用できる・できないの差は母集団の発生事故平均値が大き

く影響する。(3)より、EB法適用にあたってはある程度多くのサンプルが必要である。しかし、実際にはそのように多くは揃わない場合もある。対策地点群の事前発生事故数が大きい(本研究では2.7件/年程度以上)場合には、50サンプル程度の少ないサンプル数でも適用可能であることが知られた。このことから、発生事故数が相対的に少ない対策について、評価単位区間長を導入する際はその単位区間長を長めにする(事故平均値が大きくなる)べきで、(1)の結果と同様である。今回は、事故対策は正の事故削減効果を持ち、その見かけの効果を左右する要因としてのRTM現象に分析の焦点を当てていたが、実際は事故対策実施後予期せぬ事態で負の対策効果が発生してしまう可能性もあることに留意しなければならない。今後は交通事故データの事故類型・路面状態、対策データの線形状態など、各データの細分項目も利用し、さまざまな傾向を明確にしていく必要がある。また、今回分析に用いた交通事故データは5年分であったことから、事前・事後の期間長としては最大2年での検討に留まった。多年次にわたる交通事故データ、より多くの対策データを用いることで、EB法の適用条件をさらに具体化できよう。〔謝辞〕

本研究は(財)国際交通安全学会内に設けられた自主研究H161プロジェクトの研究成果である。データ収集等に関して協力いただいた関係機関に謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) C. Abbess, D. Jarrett, C. C. Wright: Accidents at blackspots; estimating the effectiveness of remedial treatment with special reference to the regression-to-mean effect, TRAFFIC ENGINEERING & CONTROL, pp. 535 ~ 542, 1981
- 2) 三井達郎「交通事故件数の年変動分析と安全対策効果判定基準の一提案」科警研報告交通編28, pp. 50 ~ 57, 1987年
- 3) Ezra Hauer: Observational Before-After Studies In Road Safety, Pergamon, 1997
- 4) L. Mountain, M. Maher, B. Fawaz: Improved Estimates of the Safety Effects of Accident Remedial Schemes, TRAFFIC ENGINEERING & CONTROL, pp. 554 ~ 558, 1998
- 5) 鹿野島秀行、中村文彦、平田恭介「Empirical Bayes Methodの適用による交通安全対策の効果評価の改善」IATSS Review, Vol. 25, No. 1, pp. 54 ~ 60, 1999年
- 6) 栗本典彦『交通工学実務双書7 道路の付属施設』技術書院, pp. 166 ~ 167, 1986年