

交通事故および故障車による交通渋滞から生じる損失の算定についての一考察

京都大学工学部 正員 秋 山 孝 正

京都大学工学部 正員 佐 佐 木 綱

1. はじめに

都市高速道路において交通事故および車両の故障は、日常頻繁に発生している。阪神高速道路を例にとれば表-1に示すように、それぞれ昭和57年間に、約3300件、1500件の発生があり1日平均としてみても9.2件、42.7件と偶発的な交通障害として大きな問題となっている。こうした偶発的な現象は、たとえば、事故処理の必要性あるいは、安全性の低下、事後的な交通管制によるオンランプの制御等さまざまな影響をおよぼすが、なかでもこれらの原因によって交通渋滞が発生した場合に高速道路利用者におよぼす影響は多大である。つまり、事故・故障車による渋滞は自然渋滞のように恒常的に生じるわけではなく、また発生地点も限定することができないため利用者は、突然の渋滞発生によって、不必要な円滑走行の低下をこうむることになり、ひいてはこのような渋滞の頻発によって、産業・生活の動脈としての都市高速道路の機能をいちじるしく阻害することになる。このような背景から本研究では、影響の範囲をこれらの原因で発生する交通渋滞に限定し、さらに本線上を走行する利用者が受ける時間的損失を計測の基準として、交通事故、故障車がどれだけの経済的損失を社会に与えているかを計測することを目的とする。このような損失の計測を行なうことは、不注意な事故・故障車の発生者に対して多大な経済的な損失を自覚させ、また安全運転の高揚を図る一資料となるであろう。以下2では損失を算定するプロセス、3では算定に内在化している自然渋滞推定モデルについての説明を行ない、さらに4では阪神高速道路に対して損失を算定した場合の計算結果を示す。

表-1 阪神高速道路における交通事故
車両故障の発生件数(昭和57年)

	交通事故	車両故障	合 計
大阪	2 2 8 0	1 1 2 4 4	1 3 5 2 4
神戸	1 0 6 8	4 3 3 9	5 4 0 7
全域	3 3 4 8	1 5 5 8 3	1 8 9 3 1

2. 損失算定方法の概要

都市高速道路の一例として、阪神高速道路において生じる渋滞を発生原因別に見たものが表-2である。渋滞の原因も数多く分類できるが、その主なものは、自然、事故、故障車、工事の4種であることが、この表からわかる。なかでも自然渋滞の占める割合は多く、全体の7～8割である。また工事渋滞も人為的な工事を原因として発生するものの、かなり頻度が高く無視することはできない。またこれ

表-2 原因別渋滞発生数(昭和57年)

渋滞原因	件 数	%
自 然	7 3 1 6	8 0 . 5
工 事	1 1 1 3	1 2 . 2
事 故	3 7 4	4 . 1
故障車	2 7 1	3 . 0
その他	1 7	0 . 2
合計	9 0 9 1	1 0 0 . 0

れを月別にみても多少の変動は見られるが、傾向は同様であることがわかる。こうした恒常的な渋滞発生状況下においては、事故・故障車による渋滞が発生した場合、自然渋滞や工事渋滞が同時に発生していることは、十分に考えられ、事故・故障車による渋滞によって、その日に当然生じたであろう自然渋滞が隠蔽される場合や、あるいは自然渋滞中に事故・車両の故障が発生して本来の変化の様子とは異なる渋滞延伸状況の記録がなされる場合がある。したがって実際のデータに基づいて真の事故・故障車渋滞の影響を求めようとすれば、これらの複合的な部分は差し引いておかねばならない。この問題を解決するためには、何らかの方法でその日の事故・故障車渋滞が起こらなかった場合の自然渋滞延伸状況を推定する必要がある。実際自然渋滞の発生状況は、高速道路への流入交通量、ODパターン、車種構成などで異なってくると考えられる。このため、推定にはその日のデータに基づいたシミュレーションを行なうことも考えられるが、本研究にお

いては、操作性も考慮して比較的簡単な構造を持つモデルを作成することを考えた。したがって、実際にはある日に生じた渋滞発生現況を示すデータ及び、その日の交通特性に關与する計測が容易なデータをインプットとして自然渋滞の程度を推定するものである。こうした推定手順を内在化した損失算定の手順を略図に示したものが図-1である。すなわち、①事故・故障車渋滞が発生した日について、すべての地点の渋滞の状態が与えられる。②各地点の渋滞の継続時間、延伸距離などを示すデータをもとに、利用者が受ける走行時間に関する損失を実際に発生した全地点の全渋滞について求める。③さきの渋滞現況データから事故・故障車の影響を受けていないものを取りだす。④上記で得られたいくつかの地点の渋滞発生状況をもとに自然渋滞・工事渋滞のみが発生したと考えた場合の渋滞の状態を自然渋滞推定モデルによって推定する。⑤②でもとめられた事故・故障車渋滞を含む全渋滞による時間損失と、④で求められた自然渋滞・工事渋滞だけが発生したと考えた場合の時間損失との差をもって、事故・故障車の及ぼした影響分とする。⑥さらに求められた時間損失を時間評価値を用いて貨幣額に換算することによって、経済的評価とする。以上の手順からも解るように、本研究における損失算定方法においては自然渋滞推定モデルが重要な位置を占めている。このモデルはいわば、自然渋滞の発生をシミュレートするものであるが、ここでの損失算定の最終的目録が、現象をマクロにとらえ『全体としての時間損失』を計算することにあるため個々の渋滞の挙動を忠実に再現する目的は持たない。

3. 自然渋滞発生状況の推定

さきに述べたように、本研究の損失算定プロセスにおいて重要となるのは、自然渋滞の推定手順である。以下ではまず、自然渋滞の発生についての基本的な分析を行ない、さらにこれらの分析結果を利用した自然渋滞の推定手順について述べる。

3-1 渋滞発生状況の基礎的分析

自然渋滞の推定を行なうまでに実際の自然渋滞のデータ（すなわち事故・故障車渋滞が発生していない日のデータ）についていくつかの点から基礎的な分析を行なった。

1) 自然渋滞発生地点 i

自然渋滞の発生箇所には出入路、本線集約料金所、織り込み区間などがあり、個々の地点の固有な条件によって渋滞が発生している。このため自然渋滞の発生地点をいくつかに限定することができる。図-2は阪神高速道路の自然渋滞について発生地点を求めたものである。ここでは実際の渋滞発生状況から発生地点ごとの度

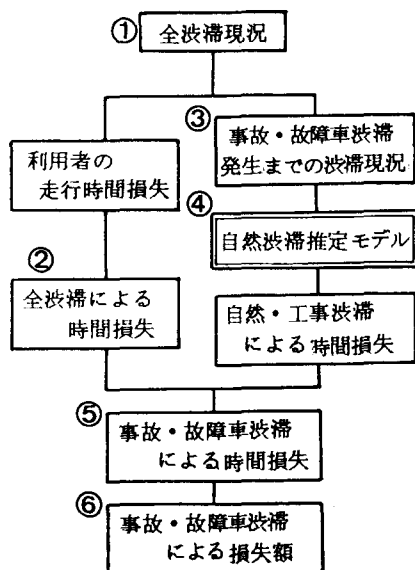


図-1 損失算定手順の概略

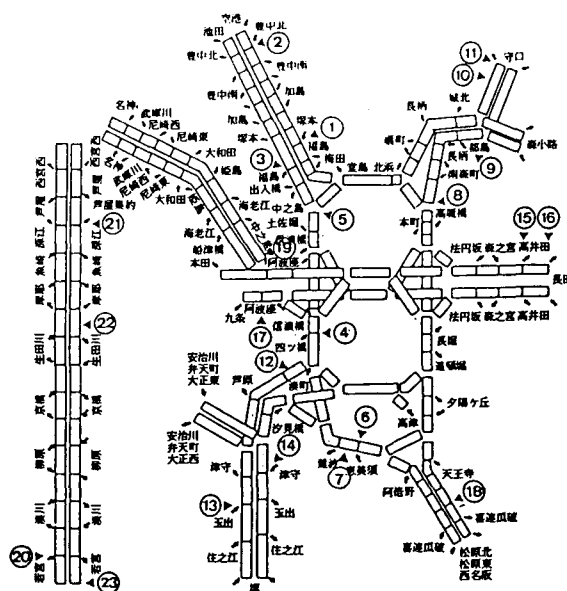


図-2 自然渋滞発生地点

数分布を求め、その頻度によって地点を抽出しており、23地点で全発生件数の約80%を占めている。この地点は後に自然渋滞の推定を行なうことを考慮して、自然渋滞・工事渋滞のみの生じた日に関して抽出を行なったが、年間の全日を対象としたものと比べて発生頻度の順位はほとんど変動がみられなかった。また他の地点の自然渋滞・工事渋滞についても考慮するため、これを地点番号24、25として取り扱った。

2) 渋滞相互関連表 $M(r_{ij})$

自然渋滞・工事渋滞の発生に対して、これを交通密度・交通量の変化として扱えると、ある地点の渋滞が他の地点の渋滞発生に関与するものと考えられる。ここでは、これを1日を単位に渋滞発生地点間の相関関係を把握を試みる。実際には、表-3に示すような $n \times n$ の行列を考え、この成分 r を『ある地点』で渋滞が発生した日に、地点 i の渋滞が発生する割合』と定義しこれを渋滞発生の起こりやすさを知るための指標とする。定義から当然解るように $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 、かつ $r_{ii} = 1$ となる。

表-3 渋滞発生地点相互関連表

地点 $i \backslash j$	1	2	...	j	...	n
1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1j}	...	r_{1n}
i	r_{i1}	r_{i2}	...	r_{ij}	...	r_{in}
n	r_{n1}	r_{n2}	...	r_{nj}	...	r_{nn}

3) 渋滞属性諸量

つぎに各発生地点における渋滞を1日を単位とした場合に、どの程度の渋滞発生量となるかをいくつかの変数で表現することを考える。本研究では以下の諸量を統計的に考慮した。

- 渋滞平均発生回数 N_i (回/日)

ある地点 i で渋滞が発生した場合、1日に同一地点で平均何回程度渋滞が発生するかを知るための値である。具体的には、全渋滞発生回数を渋滞発生日数で除してもとめられ、阪神高速道路での実績では、1.0~2.5 (回/日) といった値となっている。

- 最大渋滞長 L_i^* (km)

発生した渋滞の延伸状態を知るために簡単に計測できる指標としてこれを用いる。ここでは、渋滞地点ごとに平均値としてこの値を求めている。地点によっては、10 km前後の長さをもつものもあり多少の差異はあるが、3~4 km前後のものが多く各路線の路線延長からみても妥当な値であるといえよう。

- 渋滞継続時間 T_i (分)

各地点の渋滞継続時間は、かなりの変動がありその日の交通条件等で異なってくると考えられる。そこで、定性的ないくつかの説明変数を取りあげ、渋滞継続時間を外的基準とした数量化I類による推定を行なった。実際には、総流入量を交通条件としてとりあげたが、重相関係数の値も0.5程度で、あまり良好な推定結果であるとはいえない。これは現実の個々の地点の渋滞の継続状況は、全体ではなく、部分的な交通量の変化に依存しているからであると考えられる。

4) 時間損失の計算

渋滞が発生した場合に、これを利用者の時間的損失として表現するために、比較的単純な方法を用いることにする。つまり渋滞長の時間的な変化を仮定することで3)で述べた渋滞諸量から利用者の走行時間損失を求めようとするものである。実際には、渋滞長の変化は放物線的な変化であるとしている。この計算過程を示したものが表-4である。基本的には、時間とともに延伸して

表-4 時間損失の計算手順

1) インプット・データ

- L_i^* : 最大渋滞長 (km)
- T_i : 渋滞継続時間 (分)
- Q_i : 時間交通量 (台/時)
- α : 換算パラメータ (分/km)

2) 平均渋滞長の算出

$$\bar{L}_i = 2/3 \cdot L_i^* \quad (\text{km})$$

3) 時間損失の計算

- 一台あたり平均時間損失
 $\alpha \cdot \bar{L}_i$ (分)

(分/km) (km)

- 通過交通量

$$T_i \cdot Q_i / 60 \quad (\text{台})$$

(分) (台/分)

- 全時間損失

$$T L_i = \alpha \cdot \bar{L}_i \cdot T_i \cdot Q_i / 60$$

$$= \alpha \cdot \frac{2}{3} L_i^* \cdot T_i \cdot Q_i / 60 \quad (\text{分} \cdot \text{台})$$

いく渋滞領域内を走行した車それぞれが、平均的にどの程度の時間損失

を受けているかを基準として計算をすすめていくものである。ここで、パラメータ α は『1台の自動車渋滞領域を通過する場合の1kmの走行に対する平均損失時間(分)』を与えるものである。本研究においては実際に数ケースの渋滞についてQ-K関係をもとに概算した時間損失との比較によって、 $\alpha = 4 \text{分/km}$ という値を採用することにした。またここで、渋滞長の時間的な変化を放物線的なものと仮定することが問題となるが、これについても実際の観測データとの比較において、環状線等の交通条件の複雑な部分については、妥当性をかくが、放射線りなどの比較的出入が少ない箇所については、おおむね妥当な仮定であるといえることがわかった。たとえば、図-3は阪神高速道路大阪堺線0.5キロポスト(地点番号12)より発生した渋滞に対してでの実際の記録と放物線的な変化との関係を見た一例であるが、この例からも近似の妥当性がうかがえる。

3-2 自然渋滞の推定

以上にのべた渋滞の基礎的な分析結果をもとに事故・故障車が、発生した日の本来の自然渋滞および工事渋滞を推定するためのモデルについて説明する。このフローは図-4に示すとおりである。

①まず、推定を行なう日のある時点までの渋滞発生状況を示すデータを入力する。すなわち推定されるのはこの時点以降の状況である。②推定の過程のうち工事渋滞については、その発生が人為的であると考えられるので、この日の工事渋滞の有無については、実際の1日の全記録から判断されるものとする。つまり、現実には工事渋滞の発生記録がない場合には工事渋滞の発生量を零とするものである。③さきの①で入力したデータに基づいて、他の地点の自然渋滞の発生程度を渋滞相互関連マトリックスによってもとめる。ただし、このマトリックスの使用に際しては、休日にほとんど発生しないものもあり実際の計算過程では、休日と平日のマトリックス内の値を別個に設定している。④次に各地点における渋滞の個々の状況を再現するためにいくつかの統計的データを用いる。

ここで用いたものはさきに述べた各地点別の平均

発生回数、平均渋滞長、および日属性、総流入量などから推定した渋滞継続時間である。⑤個々の渋滞状況を加算していくことで、全渋滞量の推定値を求める。⑥さらにこのままの推定では、かなりの推定誤差を含むことになる。その最も大きな原因は、この推定過程に実際の都市高速道路での交通管制状況すなわち、ランプの閉鎖などの要因によって未然に自然渋滞が減少させられることに対する考慮がなされていないためである。そしてこのことは、実際には上記の計算過程において渋滞の発生を過大に予測する結果となる。つまり、実際には自然渋滞の発生がなかった地点についても、この計算過程では、マトリックス内の値がほとん

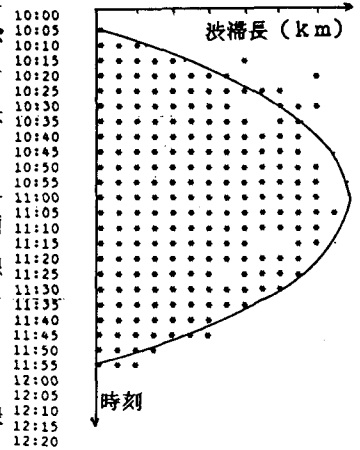


図-3 渋滞長の変化図

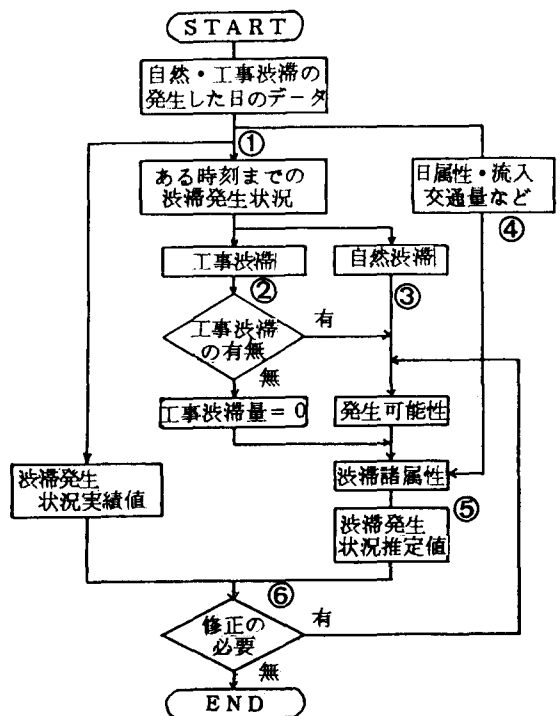


図-4 自然渋滞推定フロー

どの場合ゼロとはならないためである。そこで本研究では、推定に対してフィードバックループをもうけて計算値の修正をおこなっている。以上の推定方法の適合性を見るために実際に記録上、事故・故障車渋滞の発生していない日つまりこれらの影響を受けずに発生した自然渋滞・工事渋滞を再現することを考えて推定計算を行なった。ここで用いたデータは、昭和57年の阪神高速道路の渋滞のうち62日分である。この現況再現の結果の検討にあたっては、モデルが個々の地点の渋滞の程度を求めるプロセスを内在化しているためこれらの予測性についても検討すべきであるがさきに述べたように、本研究は、全渋滞からの事故・故障車の影響分の抽出ということを目的としているため、ここでは、全時間的損失を計上した場合の適合性について検討することにする。図-5は、1日ごとの全時間損失の実績値と推定値の相関図である。これより全渋滞量の少ない日については、修正ループを設けていることもあって比較的良好な推定がなされている。また渋滞量の多い日についてはこのような平均値的な推定では、閉塞程度の特に大きな渋滞が生じた場合などに推定が不可能となるため値がかなり過少になることがわかる。

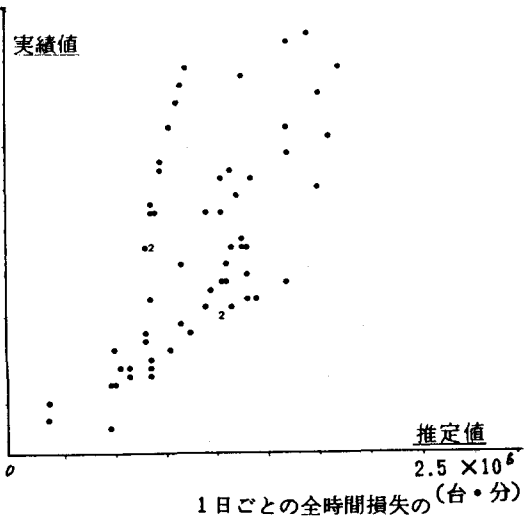


図-5 実績値・推定値の図

表-5 損失算定手順

(1) 各変数

- TTL : 全渋滞による時間損失
- STL : 自然渋滞, 工事渋滞による時間損失
- Z : 全渋滞の発生地点の集合
- Y : 自然渋滞, 工事渋滞の発生地点の集合
- TL_i : 地点 i の1日の渋滞による時間損失
- $TL S_{i,q}$: 地点 i の q 回目の渋滞による時間損失
- C : 時間評価値

(2) 算定手順

$$TTL = \sum_i TL_i = \sum_i \sum_q TL S_{i,q}$$

$$STL = \sum_i \hat{TL}_i$$

$$\text{全時間損失} \\ DTL = TTL - STL \quad (\text{台} \cdot \text{分})$$

$$\text{全損失額} \\ EV = C \cdot DTL \quad (\text{円})$$

4. 事故・故障車渋滞の算定

4-1 損失算定手順

さきに述べたように現実には発生した渋滞によって計算される時間的損失と自然渋滞の推定を行なって、その結果から自然渋滞のみの時間的損失を計算したものが得られる。つまり、前者は、さまざまな渋滞のすべてにたいして損失を考えているものであり、それに対して後者は自然渋滞・工事渋滞だけの影響分を抽出しようとしたものである。この手順を形式的に表現したものが表-5である。すなわちTTLとSTLの差をもって定義される時間損失DTLを評価の基準とするものである。さらに、実際には事故・故障車渋滞の影響の及ぶ範囲は、ある程度限定することができるため、今回の算定では次の2点に留意した。

(1) 事故・故障車渋滞が発生するまでの時間帯にすでに発生しかつ解消した渋滞については、これらの影響は受けていないものとする。すなわち、これらの時間に発生した渋滞データをその後の自然渋滞・工事渋滞推定のためのインプットデータとするということである。

(2) 事故・故障車渋滞が放射線路上で生じた場合には、同一路線については、影響をこうむるが、他の路線に対しては、影響が波及しないものとする。したがって、このような場合には、全路線について、損失を考慮する必要はなく、当該路線についてのみ算定を行なうものとする。

ここで、時間的な損失を金銭の形に直し、問題を経済的に取り扱うために時間評価値（記号：C）を用いる。これは、通常目的により異なるものである。

しかしながら簡単のためにここではすべて一律とし、昭和57年の阪神高速道路で用いられている1台あたりの時間評価値47.9円/台（平均乗車人員1.5人を仮定）を使用した。またここで実用的には、1日ごとの個々の渋滞地点の当該時間の通過交通量を計測して算定に用いる必要があるが、これについてはOD調査より与えられる渋滞時間中の交通量で代表させた。

4-2 計算結果についての考察

表-6は、昭和57年の阪神高速道路において事故・故障車による渋滞が発生したさいのデータにより、1日ごとの損失額を算出し月ごとに集計したものである。各月において渋滞発生件数に差異があるため、額にも変化がみられる。たとえば

8月はあきらかに事故・故障車渋滞の発生件数が

多く当然損失額も大きくなっている。また、2月のように、件数が少なくても損失額が大きくなっているものもあるが、これは大きな事故・故障車渋滞の発生があったことが原因となっていると思われる。全体としていづれにしても、各月数千万円程度の値が計算されている。また年間には、45億円におよぶ損失をこうむっている。これらすべてを事故・故障車の発生者の責任とすることはできないが、利用者に対して多大な不利益を与えていることがわかる。

5. あとがき

本研究は、事故・故障車渋滞の利用者に与える損失を自然渋滞・工事渋滞の推定に基づいて、算定する方法について述べ、若干のモデルの改良を行なった。さらに、阪神高速道路における昭和57年の渋滞の状況についてこの計算を実施し、事故・故障車渋滞の与える多大な損失を算定した。本研究においては、利用者の走行上の時間損失のみを計上の対象としていること、算出過程において自然渋滞の推定精度が算定額に直接的に影響をおよぼすことが問題点としてあげられる。したがって①渋滞の影響範囲をさらに広げて算定を行ない、②自然渋滞推定プロセスの一層の精緻化行なうことが今後の課題である。最後に本研究の遂行にあたって、データの収集等に御協力をいただいた阪神高速道路公団に対して感謝の意を表するとともに、資料整理、図表作成等に御協力いただいた京都大学大学院生植林俊光君、学生木村宏紀君に深く感謝する次第である。

6. 参考文献

- 1) 阪神高速道路公団, (財) 高速道路調査会, 阪神高速道路料金体系研究業務報告書 昭和57年3月
- 2) 阪神高速道路公団, (社) 交通工学研究会,
阪神高速道路の交通渋滞対策に関する調査研究報告書 昭和55年, 56年, 57年
- 3) 阪神高速道路公団, 第16回阪神高速道路起終点調査報告書 昭和56年
- 4) 佐佐木綱, 秋山孝正, 都市高速道路の事故渋滞の影響算定方法についての研究
第38回土木学会年次学術講演会概要集 昭和58年

表-6 昭和57年の推定損失額

月	件数	総時間損失 (台・時)	総損失額 (万円)
1	41	70549	20276
2	41	144250	41457
3	59	105710	30381
4	46	19238	5529
5	55	85014	24433
6	39	43200	12416
7	49	56151	16138
8	76	416524	119709
9	54	123556	35510
10	62	185339	53266
11	65	154325	44353
12	58	172232	49499
計	645	1576088	452967