

# 道路交通の安全性からみた都市道路網の 評価法に関する基礎研究

## A BASIC STUDY ON TRAFFIC SAFETY EVALUATION SYSTEM FOR URBAN ROAD NETWORK

今田 寛典\*・南宮 冢\*\*・門田 博知\*\*\*

By Hirofumi IMADA, Moon NAM GUNG and Hirokazu MONDEN

It is well recognized that traffic safety is an important evaluation item in urban road network. But few studies have dealt with traffic safety of road network. Therefore, this paper deals with safety evaluation system of urban road network and its plannings.

Firstly, in order to improve the accuracy of safety evaluation models, we decompose network into links and nodes, classify them into some groups based on multivariate analysis, and estimate safety evaluation models by groups. Secondly, the estimates by each models are sum up, and then the safety on network is made clear.

As a result of applying observed data to the safety evaluation system, reproductions of the models by groups are recognized. Finally, an example of network planning is shown, and the developed evaluation system is applied to it. From these results, we are able to evaluate the influences of road and transportation policies on road traffic safety.

*Keywords* : urban road network, data segment, traffic safety evaluation

### 1. はじめに

本研究は、交通網の一構成要素である都市の道路網を交通の安全性から評価する方法を検討するものである。

道路網は交通需要を安全、快適、迅速、経済的かつ効率的に処理し、同時に社会、経済活動を活性化、拡張させ、都市機能の円滑な営みを推進しなければならない。このため、従来より道路網に関する研究は多くなされてきている<sup>1)</sup>。これらの多くは、道路網の容量、サービスレベル、信頼性等に関するものが主であり、道路網の安全性の評価に関する研究は少ない。しかし、多くの評価項目の中で道路交通の安全性は最も重要な評価項目の1つであることは事実である。

ところで、1970年まで増加してきていた道路交通事故は、1960年代半ばからの交通安全対策への集中的な投資により1970年をピークに大きく減少してきた。しかしながら、1975年以降交通事故の減少度は小さくなり、1980年以降は増加傾向に転じている。もはや従来の安全対策のみでは交通事故を減少させることは困難で

ある。今後の道路交通安全政策は、従来の対策を実施することも重要であるが、都市計画や交通計画の中で一体的に計画されることが大切である。

### 2. 従来の研究と本研究の特徴

#### (1) 道路交通の安全性評価に関する従来の研究

欧米では、道路の安全管理手法のシステム化が研究され、実用化が計られている<sup>2)~4)</sup>。わが国でも、建設省が交通安全政策策定のシステム化に関する研究を行ってきた<sup>5)</sup>。また、斎藤<sup>6)</sup>、三谷<sup>7)</sup>らは道路の危険区間の発見に統計手法を用いることを提案している。彼らの研究は、道路をいくつかの区間に分割し、その区間で発生した事故件数や事故率を道路特性、交通特性、交通管理等で説明しようとするものである。

しかし、事故率を目的変数としたモデルの精度は、必ずしも良好なものとはいえない<sup>5),8)</sup>。これは、事故発生の偶然性がモデルの精度に大きく影響を及ぼしているためと考えられる。そこで、偶然性の影響を除くため、事故件数を集計する道路の区間の長さを調整する工夫がなされている。この長さをいかにするかによりモデルの精度が変化する。岡本<sup>9)</sup>は東名、名神高速道路という交通量の非常に多い道路を対象に、さらに、6年間という長期間に発生した事故データを用いて事故発生の偶然変動

\* 正会員 工博 広島大学助手 工学部第4類  
(〒724 東広島市鏡山一丁目4番1号)

\*\* 学生会員 工修 広島大学大学院博士課程後期(同上)

\*\*\* 正会員 工博 広島大学教授 工学部第4類(同上)

がモデルに及ぼす影響の大きいことを確率的に明らかにしている。さらに、事故を集計する区間長を決定する基準も示している。

しかし、一般道路では道路沿線状況の時間的変化が激しいため、長期間の事故データの使用が困難である、道路沿線の利用状態が多様である、計測できる要因やモデルに組み込まれる要因に限られる等により分割する区間の長さを調整することによりモデルの精度向上を期待することは困難な場合が多いと考えられる。

そこで、本研究は一般道路の安全性評価モデルの精度を向上させるため道路の類型化を行い、その類型別に評価モデルを作成することを検討する。

(2) 本研究の特徴と意義

本研究では件数を走行台キロで基準化した事故率を推定するためのモデル式を多変量解析手法を用いて導き、道路網の安全性を評価する手法を検討する。

まず、評価モデルの精度向上を目指すため、道路網をノードとリンクに分割する。

次にリンクとノードをいくつかの比較的同質なグループに分け、そのグループ別に危険性を推定する。

そして、グループ別の危険性を総合化して道路網全体の危険性を推定する。

最後に、検討した手法を仮定の道路改良計画の安全性評価に適用し、道路交通の安全性からみた都市の道路や交通計画の立案および評価手法を検討する。

このように本研究は都市道路網計画、改良等が都市の道路交通の安全性に及ぼす影響を推定する手法を確立することを目的とした基礎的な研究である。

3. 道路交通の危険性を表わす指標

(1) 事故率

単位距離を走行する1台の車が事故に遭う確率を  $p$  とする。  $m$  台がこの距離を通過すれば、  $k$  件の事故が発生する確率  $P$  は二項分布に従う。いま、  $m$  台が距離  $l$  を走行すれば、  $P$  は式 (1) で示される。

$P(k|X=k) = {}_m C_k (pl)^k (1-pl)^{m-k} \dots \dots \dots (1)$

ところで、  $p$  は未知母数であり、われわれは  $p$  を知ることができない。知ることができるのは区間距離  $l$  内で発生した事故件数  $k$  である。この  $k$  は  $m$  台が  $l$  を走行した結果発生したものであるから、事故率  $p'$  は  $k/ml$  になる

ここで、式 (1) の  $p$  を最尤法で推定すると、

$p = k/ml = p' \dots \dots \dots (2)$

となり、  $p'$  は  $p$  の最尤不偏推定量を示すことになる。

ところで、交差点での通過距離は主道路上、従道路上、主道路から従道路、従道路から主道路のように直進、右折、左折により異なるが、リンク上の通過距離に比べる

と非常に短いので、式 (1)、(2) の  $l$  を考慮せず、流入交通量で事故件数を基準化した指標が一般的である。

(2) 事故密度

事故発生件数は道路区間長により変化するので、区間長で基準化した密度で表わす場合が多い。交差点の場合には交差点の規模を表わす流入道路の合計幅員や車線数で事故件数を基準化することが考えられる。

(3) 事故率と事故密度の合成変数

事故率が高く、事故密度も高い道路は危険であることは容易に想像できる。そこで、道路の危険性を示す指標として事故率と事故密度の合成変数を用いることが考えられる。この合成変数は主成分分析、因子分析等により求めることができる。たとえば、交通の危険度、騒音、振動に対する意識の解析ではあるが、清田<sup>10)</sup>はそれらの指標を正準相関分析により合成変数にし、この合成変数を用いて道路沿線の環境評価を行っている。

しかし、事故率と事故密度の合成変数は危険性の高い道路の判定には利用できるが、事故率や事故密度を合成変数から個別に推定することは困難である。

4. 道路網の安全性評価システム

(1) 評価システムの概要

Fig. 1 は本研究で検討する評価システムの構成を示している。以下、評価システムについて概説する。

(2) 道路網データ

本研究では単路部と交差点とを別々に安全性評価を行うことにする。

a) 道路網の構成要素と解析単位

道路網をリンクとノードに分割し、これを解析単位とする。対象とする幹線道路同士が交差する交差点をノード、2ノード間に挟まれる道路区間をリンクとして道路網を分解する。

b) 道路交通政策変数の選択

交通の安全性の側面から道路網を評価する場合、道路

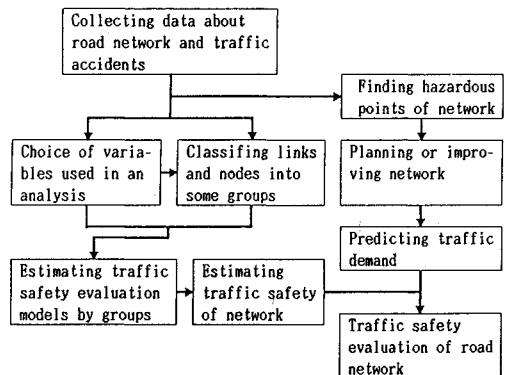


Fig. 1 Safety evaluation system of urban road network.

特性、交通特性、沿道環境等から安全性が推定されねばならない。さらに、本研究は道路網計画および改良計画を評価することも大きな目的の1つであるから、評価モデルに用いる変数は計画立案および評価時に既知か、推定可能でなければならない。

ここで、特に交通量とノードにおける錯綜機会の度合について説明する。

c) 交通量

自動車交通量に関しては、基本的には既存データを最大限に利用することを考慮し、交通情勢調査結果を用いる。

一方、歩行者交通量に関しては、歩行トリップの発生・集中量は土地利用や都心部からの距離と強い相関関係にあるので、間接的ではあるが、本研究では土地利用と都心部からの距離を用いて歩行者交通量を考慮している。

d) ノード部における交通流の錯綜機会の度合

ノードでは交通流は錯綜し、交通流線上にコンフリクトが生じる。そこで、ノードでの交通流の錯綜の度合を示す指標として衝突点を定義する。この衝突点は交通規制や交差形態によって大きく変化する。たとえば、Fig. 2は規制のない場合、信号を設置した場合、信号設置と右折規制を実施した場合の衝突点数の変化を示す。

e) 連続変数の離散型変数への変換

交通事故の解析では、定性的な変数も扱うことが多い、道路交通安全政策策定時の基準値として連続変数よりも離散型変数を用いる場合が多い、また、これらの変数は道路網の計画時明確な数値ではなく、幅をもった数値で示される場合も多い等の特徴がある。このため、本論では離散型変数を用いることを解析の基本とする。

ここで、連続変数  $x_i$  を離散型変数  $\delta_{ij}$  に変換する手順を以下に示す。ただし、分割数  $j$  はデータ数の制約により決定されるので、本論では3分割について示す。

$$\left. \begin{aligned} \delta_{i1} &= \begin{cases} 1 & (x_i \leq \bar{x}_i - aS_i) \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \\ \delta_{i2} &= \begin{cases} 1 & (\bar{x}_i - aS_i < x_i < \bar{x}_i + bS_i) \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \\ \delta_{i3} &= \begin{cases} 1 & (x_i \geq \bar{x}_i + bS_i) \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

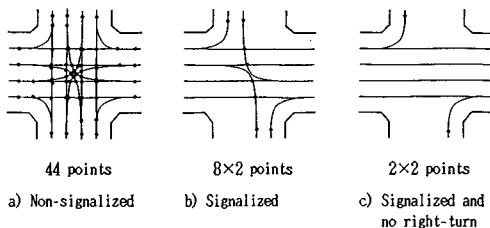


Fig. 2 An example of changes in conflict points. The marks of • indicate conflict points.

ただし、分割点の決定に際しては  $\delta_{i1}$ ,  $\delta_{i2}$ ,  $\delta_{i3}$  に反応するサンプル数に大きな偏りが生じないことに留意して標準偏差  $S_i$  に補正係数  $a$ ,  $b$  を乗じている。

しかし、この離散型変数を回帰分析に用いる場合には以下のような変換を必要とする。

$$\left. \begin{aligned} x_{i1} &= 0, & x_{i2} &= 0 & (\delta_{i1} &= 1) \\ x_{i1} &= 1, & x_{i2} &= 0 & (\delta_{i2} &= 1) \\ x_{i1} &= 0, & x_{i2} &= 1 & (\delta_{i3} &= 1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

なお、本研究では  $x_i$  と  $\delta_i$  を区別するため回帰分析で用いる場合は離散型変数をダミー変数とよぶことにする。

(3) リンクおよびノードのグループ化

リンクやノード個々の安全性から道路網全体の安全性を推定する場合、それらを比較的同質なグループに分類し、そのグループ別に安全性の評価モデルを作成することを検討する。

そこで、本研究では道路特性、交通特性、交通管理、沿道環境等の変数を用い、林の数量化理論第Ⅲ類によりリンクおよびノードのグループ化を検討する。

(4) モデルの推定とその推計誤差

a) リンクおよびノードの安全性評価モデル

事故率  $p'$  が道路特性、交通特性、交通管理、沿道環境等の物理量で示されれば、リンクやノードの事故率は回帰式 (5), (6) により推定される。

$$p'_{ig} = f_g(x_{ik}) \dots\dots\dots (5)$$

$$p'_{njh} = f_h(x_{jm}) \dots\dots\dots (6)$$

$p'_{ig}$ : グループ  $g$  に属するリンク  $i$  の事故率

$p'_{njh}$ : グループ  $h$  に属するノード  $j$  の事故率

$x_{ik}$ ,  $x_{jm}$ : 変数  $k$ ,  $m$  の物理量

ここで、回帰モデルを  $\hat{p} = f(x)$  とすれば、

- 1)  $\hat{p}$  は回帰直線のまわりで正規分布する。
- 2)  $\hat{p}$  は母平均の不偏推定量である。
- 3)  $\hat{p}$  の条件付分散は定数であるとすれば、その不偏推定量  $S^2_{p|x_1, \dots, x_r}$  は

$$S^2_{p|x_1, \dots, x_r} = \sum (p_i - \hat{p}_i)^2 / (n - r - 1) \dots\dots\dots (7)$$

であり、条件付標準偏差  $S_{p|x_1, \dots, x_r}$  は式 (8) になる。

$$S_{p|x_1, \dots, x_r} = [\sum (p_i - \hat{p}_i)^2 / (n - r - 1)]^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

このため、 $\hat{p}$  の95%信頼区間は、自由度  $n - r - 1$ 、危険度0.025の  $t$  分布を用いて推定することができる。

$$f(x) \pm (t_{0.025, n-r-1}) S_{p|x_1, \dots, x_r} \dots\dots\dots (9)$$

b) 道路網の安全性の推定と推計誤差

リンクやノード個々の安全性をもとに道路網全体の安全性を推定する。しかし、リンクとノードの危険性指標は次元が異なるので、両者の次元を揃える必要がある。そこで、 $p'_{ig}$ ,  $p'_{njh}$  からリンクとノードの事故件数  $Y_{ig}$ ,  $Y_{njh}$  を算出し、道路網全体の総事故件数  $Y$  を求める。

ここで、 $p'_{ig}$ ,  $p'_{njh}$  はそれぞれ独立で正規分布に従うと

仮定すると、道路網全体で発生する総事故件数  $Y$  の期待値と分散は次のように定義できる。

$$E(Y) = E\left(\sum_i \sum_g v_{ii} \hat{p}_{iig} + \sum_j \sum_h v_{nj} \hat{p}_{njh}\right) \dots \dots \dots (10)$$

$$\text{Var}(Y) = \text{Var}\left(\sum_i \sum_g v_{ii} \hat{p}_{iig} + \sum_j \sum_h v_{nj} \hat{p}_{njh}\right) \dots \dots \dots (11)$$

ただし、 $v_{ii}$  はリンク  $i$  の走行台キロ、 $v_{nj}$  はノード  $j$  への流入交通量を示している。ここで、式 (10)、(11) の  $\hat{p}_{iig}$ 、 $\hat{p}_{njh}$  に式 (5)、(6) を代入すれば、式 (12)、(13) が求められる。

$$E(Y) = \sum_i \sum_g v_{ii} E[f_g(x_{ik})] + \sum_j \sum_h v_{nj} E[f_h(x_{jm})] \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{Var}(Y) = \sum_i \sum_g v_{ii}^2 \text{Var}[f_g(x_{ik})] + \sum_j \sum_h v_{nj}^2 \text{Var}[f_h(x_{jm})] \dots \dots \dots (13)$$

さらに、 $Y$  の 95% 信頼区間は式 (14) のように表わされる。

$$E(Y) \pm \Phi^{-1}(0.025) \text{Var}(Y) \dots \dots \dots (14)$$

ただし、 $\text{Var}(Y)$  は式 (7) の不偏推定量により求められるので、式 (13) は式 (15) のように示される。

$$\text{Var}(Y) = \sum_i \sum_g v_{ii}^2 S_{p_{i1}, \dots, x_{ik}, g}^2 + \sum_j \sum_h v_{nj}^2 S_{p_{j1}, \dots, x_{jm}, h}^2 \dots \dots \dots (15)$$

また、精度を示す別の指標として重相関係数や RMS 誤差がある。しかし、重相関係数は事故率を求めるモデルの精度指標であり、事故件数の推計誤差を表わす指標ではない。一方、RMS 誤差は実測事故件数と推計事故件数の平均 2 乗誤差で示すことができ、グループ別に求められる。グループ別の RMS 誤差を重み付け平均した Weighted RMS 誤差 (% RMS 誤差) を求めれば、道路網全体での予測精度がわかる。

$$\text{Weighted RMS} = \sum_k \left[ \frac{\text{RMS}_k}{Y_k} \times R_k \right] \dots \dots \dots (16)$$

$\text{RMS}_k$  : グループ  $k$  の RMS 誤差

$Y_k$  : グループ  $k$  の平均実測事故件数

$R_k$  : グループ  $k$  の実測事故件数が全体の实測事故件数に占める割合 (%)

#### (5) 道路網計画および改良計画の効果推定

ここでは道路網計画案の実施による道路網の安全性の変化を 4. (4) までで説明した安全性評価システムの手順に従って算出する方法について述べる。

手順 1 道路網計画や改良計画をもとにして交通需要を予測する。

手順 2 計画をもとにノードおよびリンク別に交通量、幾何学的構造値、土地利用、混雑度等の物理量を設定し、算出する。

手順 3 道路網をリンクとノードに分解し、数量化理論第Ⅲ類を用いてリンクやノードのグループ化を行う。

手順 4 リンクやノードの安全性を式 (5)、(6) よりグループ別に算出する。

手順 5 道路網計画が道路交通の安全性に及ぼす影響を推定する。式 (10)~(16) により道路網全体の事故件数の推計とその推計値の変化を検討する。

$$\Delta = \text{現在の発生件数} - \text{計画による発生件数} \dots \dots \dots (17)$$

ただし、道路網の部分的な改良効果を推定する場合、改良部分が直接的な影響を及ぼすリンクとノードを対象にして改良前後の事故件数を比較することもできる。

さらに、対策効果  $b$  を算出することも可能である。

$$b = \Delta / c \dots \dots \dots (18)$$

ただし、 $c$  は計画の実施に要する費用である。計画の評価では、 $b$  の大きい代替案が望まれる。もちろんこの  $b$  のみで道路網計画案が評価されるべきではないが、これらの結果が道路網計画に 1 つの資料を提供することになる。

## 5. 適用事例

本研究は、道路網を交通の安全性から評価する方法を検討するものであり、その方法論の妥当性を実証データを用いて検討する。そこで、適用事例として広島市の幹線道路網を取り上げる。

ところで、道路網計画や改良計画を安全性から評価する場合には未供用の道路上の事故率や事故件数を予測する必要がある。この場合、現在の事故の状況を説明できるモデルを用いて予測を行うのが一般的である。このため、本研究の事例で得られる結果は広島市に適用できるが、他地域へ適用するモデルの一般化には問題がある。しかし、評価手法そのものは他地域へも十分適用できるものであり、他地域のデータを用いて解析を行えばよい。このため、広島市のデータを用いた適用事例を検討しても、本研究の目的は十分達せられるものと考えられる。

### (1) 解析対象道路網

幹線道路網をノードとリンクに分解した結果、120 リンク、72 ノードになった。しかし、各種のデータが揃ったリンクおよびノード数はそれぞれ 110、63 であった。

以下の解析では 110 リンクと 63 ノードを対象とする。

### (2) 道路網に関するデータ

本研究で考慮した変数とその特性値を Table 1 に示す。変数は道路交通政策を示すもの、道路網計画の策定時に推定可能なものを中心に選択している。

なお、混雑度は交通量と容量の比で示されるが、道路幅員は容量を決定する大きな要因なので、本研究では混雑度を交通量/道路幅員で示すことにする。ただし、ノードの混雑度については流入交通量をノードに流入するリンクの総車線数で基準化した値を用いている。

また、リンクとノード数が少ないので、連続変数を離

Table 1 Variables, their levels and codes.

Road type	Variables and their levels	Code	
For both links and nodes	Ratios of two-wheeled vehicles (%)	T	
	Ratios of buses (%)	B	
	Ratios of large sized trucks (%)	T <sub>R</sub>	
	Distance from CBD (km)	D	
	Land use along links	Commercial and business	L <sub>CB</sub>
		Industry	L <sub>I</sub>
		Low trip generation and attraction	L <sub>L</sub>
		Other	L <sub>O</sub>
		Center strip { With / Without	C <sub>W</sub> / C <sub>WO</sub>
	Rails of streetcars { With / Without	With	R <sub>W</sub>
Without		R <sub>WO</sub>	
For links	Traffic volume per lane for 12 hours	V <sub>L</sub>	
	Traffic volume per width for 12 hours	V <sub>W</sub>	
	Number of intersections per kilometer	I	
	Number of signals per kilometer	S	
	Number of lanes	L	
	Average width of link	W	
	Average width of a lane (m)	W <sub>L</sub>	
	Average interval between signals (m)	I <sub>S</sub>	
	For nodes	Entrance traffic volume per lane for 12 hours	E <sub>N</sub>
		Number of conflict points at an intersection	C <sub>O</sub>
Number of lanes of entrance links		N <sub>Ls</sub>	
Intersection type { 3 legs / 4 or 5 legs		3 legs	I <sub>T3</sub>
		4 or 5 legs	I <sub>T4</sub>

Table 2 Comparison of road traffic accident rates\* on links among road classifications.

Classification	Cases	Means	Standard deviations
Motorway	5	0.288	0.183
National road	29	1.812	0.502
Prefectural road	28	2.071	0.817
Major municipal road	48	1.661	0.655

\* Number/Vehicle · km for 12 hours.

散化する分割数を3とする。なお、分割点を決定する式(3)のa, bを試行錯誤的に決定した。このとき回帰分析で求められたパラメーターの符号や値が大きく変化する変数は有意な変数とならなかったことを付記しておく。

一方、事故に関しては1985, 1986年の2年間に発生した人身事故をリンク、ノード別に調査、集計した。ここで、道路の違いが事故率に及ぼす影響を調べるため、集計結果をTable 2に示す。道路は自動車専用道、国道、県道(主要地方道と一般県道の両者を指す)、主要市道の4種類に分類した結果、道路間には差があり、自動車専用道の平均事故率は他の道路に比べて約1/7~1/5である。しかし、解析対象道路網では自動車専用道のリンク数が5にすぎないので、自動車専用道のリンク間での分析は困難である。そこで、本論では自動車専用道の危険性指標は5リンクの事故率の平均値を用いることとし、評価モデルの検討は一般道を対象とした。

(3) リンクとノードの分類

数量化理論第Ⅲ類によりリンクおよびノードの分類を検討する。考慮する変数の組合せは多く存在するが、2, 3の予備的な検討をした結果、さらに、道路上を通過する交通属性は土地利用に大きく影響されるので、土地利用および交通属性に関係する変数を用いてリンクおよびノードの分類を検討する。

a) リンクの分類

Fig. 3はⅠ軸とⅡ軸の平面上にカテゴリーの重み係数をプロットしたものである。Ⅰ軸の相関係数は0.565, Ⅱ軸は0.522, Ⅲ軸は0.456, Ⅳ軸は0.430であった。Ⅲ軸とⅣ軸の相関係数が0.5以下であるため、ここではⅡ軸までの結果を解析している。

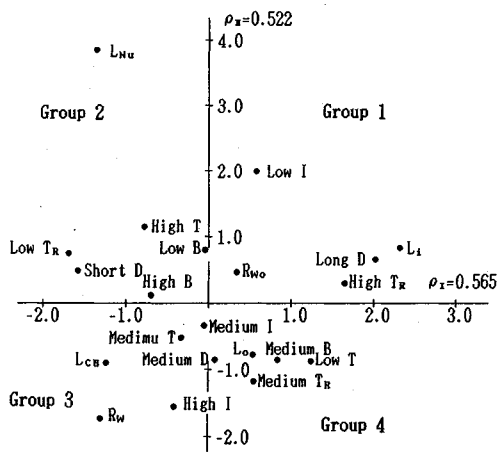
Ⅰ軸の正の方向には工業主体地域、大型貨物車混入率大、二輪車混入率小、周辺部等が位置している。負の方向には、大型貨物車混入率小、路面電車軌道、商業・業務地域、都心部、交通の発生集中が非常に少ない沿道の利用形態(以降本論では沿道活動小地域と略す)等が位置している。ここで、沿道活動小地域と都心部が近い距離に位置しているのは、広島市の都心部には道路沿線が公園化されているリンク延長が長いことに起因している。

Ⅱ軸の正の方向には沿道活動小地域、交差点密度小等、負の方向には電車軌道、交差点密度大等が位置している。

これらよりⅠ軸とⅡ軸の平面上の第1, 2, 3, 4象限に位置するリンクは、都心部から離れた地域、沿道活動小地域、商業・業務地域、その他の地域(特に住居を主体とした地域)に存在するものに分類できる。

b) ノードの分類

Fig. 4はⅠ軸とⅡ軸の平面上にカテゴリーの重み係数をプロットしたものである。Ⅰ軸の相関係数は0.656, Ⅱ軸は0.547, Ⅲ軸は0.496, Ⅳ軸は0.469である。Ⅲ

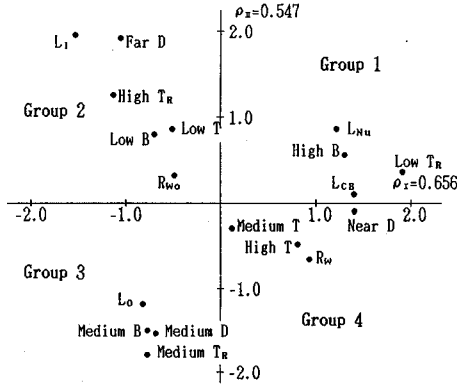


Code addresses are shown in Table 1. Fig. 3 Distribution of category weights of links.

軸とⅣ軸の相関係数がともに0.5以下であるため、リンクの場合と同様にⅡ軸までの結果を解析している。

Ⅰ軸の正の方向には都心部、商業・業務地域、大型貨物車混入率小、バス混入率大、沿道活動小地域等が位置している。一方、負の方向には工業主体地域、都市周辺部、大型貨物車混入率大等が位置している。

次に、Ⅱ軸の正の方向には工業主体地域、大型貨物車



Code addresses are shown in Table 1.  
Fig. 4 Distribution of category weights of nodes.

Table 3 Estimated safety models of links.

Variables and their Levels		Model based on stepwise	Models by only dummy variables			
			Model by all links L-5	Model of group 1 L-1	Model of group 2 L-2	Model of group 3 L-3
Ratios of large sized trucks	5.5 to 9.5% Over 9.5%		0.086 0.210			
Traffic volume per width for 12 hours	1500 to 2000 Over 2000		-0.109 -0.217		-0.464 -0.841	0.019 -0.327
Number of inter-sections per km	8 to 11 Over 11		0.201 0.097			
Number of signales per km	3.7 to 5.7 Over 5.7		0.179 -0.066			0.800 0.145
Average interval between signales	80 to 150m Over 150m			0.073 -0.583		
Number of lanes	4 or 5 Over 6	-0.092	-0.622 -0.589	-0.826 -0.490		-2.663 -2.415
Average width of link	15 to 20m Over 20m					-0.724 -0.103
Average width of a lane	3.5 to 4m Over 4m					1.225 0.793
Land use along links	Industry Low trip generation and attraction Other	-0.279 -0.757 -0.108	-0.278 -0.476 -0.085			
With center strip		-0.311	-0.361	-0.423	-0.563	-0.635
Intercept		2.244	2.504	2.868	2.181	4.248
Multiple correlation coefficient		0.455**	0.551**	0.703*	0.592*	0.763**

\* at 5%, \*\* at 1%.  
If parameters are zero, the levels are omitted from a table.  
In stepwise regression both sequential and dummy variables are used.

混入率大、CBD から離れた地域等が、負の方向には大型貨物車混入率中、バス混入率中、CBD から中間地域、その他の地域等が位置している。

これらよりⅠ軸は正の方から商業・業務地域、その他の地域、工業主体地域に分類できる。Ⅱ軸はノードが位置する都心からの距離を示しており、正の方から周辺部、都心部、中間部に分類できる。

(4) 評価モデルの推定

ダミー変数のみを用いたモデルの場合、モデルに取り込む変数は、偏相関係数とモデルのF値の有意性の双方を考慮して決定している。ただし、グループ別のモデル構築には、グループ化に使用した変数は使用しないことにする。さらに、事故率を算出する際、基本になる交通量は12時間交通量とする。

a) リンクのモデル推定

Table 3 は、連続変量とダミー変数双方を用いて stepwise により求めたモデルと連続変量もダミー変数に変換してダミー変数のみを用いたモデルの結果を示している。

重相関係数はダミー変数のみによるモデルの方が高くなっている。これは、目的変数は説明変数と線形関係が

成り立たないことを示している。たとえば、Table 3 の交差点密度のように密度が高くなると事故率は大きくなるが、密度がさらに高くなると事故率は小さくなっている。このことは他の変数にも認められる。

なお、各回帰係数の符号は常識的なものである。

また、Table 3 はリンクをグループ化し、グループ別にダミー変数のみを用いたモデルの結果も同時に示している。グループ化は数量化理論第Ⅲ類のⅠ軸とⅡ軸それぞれの得点の正負でなされている。

各モデルの重相関係数は0.59から0.77の範囲であり、グループ化しないモデルの0.55よりも大きく、推定精度は向上している。また、それぞれのモデルに取り込まれた説明変数も異なり、かつ、その係数の符号も常識的なものであり、グループ化の効果が認められる。

次に、各変数が事故率に及ぼす

影響について概説する。各変数のパラメーターの符号や大きさの順位はモデル間で大きな変化は認められない。個別に検討してみると、大型車混入率が大きくなれば、事故率も大きくなっている。逆に、混雑度が大きいリンク、車線数が多いリンク、中央帯が設置してあるリンク等の事故率は低下している。土地利用形態では商業・業務地区に比べて沿道活動小地域や工業地域の事故率はかなり小さい。また、交差点密度や信号密度が低いリンクに比べて中程度のリンクの事故率は大きい、さらに密度が大きくなると、リンクの事故率は小さくなっている。

b) ノードのモデル推定

Table 4 は、Table 3 と同様に連続変量とダミー変数の双方を用いて stepwise により求めたモデルとダミー変数のみによるモデルの結果を示している。

重相関係数は、ダミー変数のみによるモデルの精度が高くなっている。なお、各変数の回帰係数も常識的なものである。ただし、大型貨物車混入率大のダミー変数のパラメーターが負となっているが、これは、大型貨物自動車の混入率が高いノードは国道や工業を主体とした地域内に集中しており、このようなノードは比較的大きな交差点が多く、交通流線も簡略化されている場合が多いので、事故率が低くなっていると考えられる。さらに、歩行者交通量が少ないことも一因であると思われる。

Table 4 Estimated safety models of nodes.

Variables and their Levels		Model based on stepwise	Models by only dummy variables		
			Model by all nodes N-5	Model of group 1 N-1	Model of group 2 N-2
Ratios of large sized trucks	5.5 to 9.5% Over 9.5%	-0.062	0.213 -0.463		
Number of lanes	16 to 22 Over 22	0.041			
Traffic volume per lane for 12 hours	4800 to 5700 Over 5700			0.337 -0.190	
Number of conflict points	16 to 22 Over 22		0.354 0.702	0.700 1.230	0.794 1.641
Land use	Industry Low trip generation and attraction Other		-0.487 -0.439		
			-0.056		
Distance from CBD	1.5 to 2.5km Far 2.5km		-0.335 -0.328		
No right turn		-0.343			
Without rails of streetcars			-0.339		
Intercept		1.220	1.688	0.903	0.412
Multiple correlation coefficient		0.575**	0.701**	0.811*	0.863**

\* at 5%, \*\* at 1%.

If parameters are zero, the levels are omitted from a table.

In stepwise regression both sequential and dummy variables are used.

In the models of N-3 and 4 significant differences are not recognized at even significance level 5%.

土地利用形態では商業・業務地区に比べて沿道活動小地域や工業地域の事故率がかなり小さい。また、都心部から離れたノードの事故率も小さくなっている。その他混雑度が非常に大きいノードの事故率は低下し、路面電車軌道も事故率に影響を及ぼしている。

一方、ノードの衝突点数は事故率に大きな影響を及ぼしており、交差点における交通流線の簡略化は事故防止に大きな効果を示すことになる。この変数はグループ化したモデルについても同様なことが伺える。

また、Table 4 はグループ別のモデルの結果も示している。グループ化はリンクの場合と同様な方法に従っている。グループ1および2の推計精度はグループ化しないモデルの精度よりもかなり高い。しかし、グループ3および4の推計精度は非常に低く、モデルの有意性もF検定の結果、危険度5%で棄却された。そこで、グループ1および2に属するノードの評価はモデルN-1およびN-2を使用し、グループ3と4に属するノードの評価はグループ化しないモデルN-5を使用すればよいことになる。

(5) 道路網全体の危険度の推定

Table 5 は道路網上で発生した人身事故件数とその推計値の% RMS 誤差および95%信頼区間を示している。さらに、走行台キロや流入交通量と事故件数との回帰式から求められる Model-1 と 2 の結果も示している。

まず、リンクについて考察する。Model-1 の% RMS 誤差は45%であるが、グループ別のモ

Table 5 Reproductions of safety evaluation models.

Type of road	Groups and models	Observed total number	Estimated total number	%RMS error	Confidence interval at 95%
Links	L-1	1484	1488.0	40.6	1488.0±203.2
	L-2	517	536.9	30.5	536.9±90.1
	L-3	848	853.9	23.9	853.9±101.4
	L-4	1062	1057.0	21.8	1057.0±117.7
	Total	3911	3935.8	31.5	3935.8±271.2
	Model-1 <sup>1)</sup>	3911	3911.0	45.4	3911.0±339.4
Nodes	N-1	291	289.2	18.9	289.2±35.9
	N-2	123	120.9	3.2	120.9±27.6
	N-5	505	517.0	42.3	517.0±66.1
	Total	919	927.1	29.7	927.1±80.1
	Model-2 <sup>2)</sup>	919	919.0	46.8	919.0±106.2
	Motorways <sup>3)</sup>		140	136.3	52.6
Motorways <sup>4)</sup>		140	140.0	52.5	140.0±64.5
Network	Network <sup>5)</sup>	4970	4999.2	31.0	4999.2±294.5
	Network <sup>6)</sup>	4970	4970.0	45.9	4970.0±361.4

1) Based on relation between number of accidents and vehicle kilometer.

2) Based on relation between number of accidents and entrance traffic volume into an intersection.

3) Based on accident rates shown in table 2.

4) The same as 1).

5) Total of L-1 to N-5 and motorways<sup>3)</sup>.

6) Total of model-1, model-2 and motorways<sup>4)</sup>.

デルから推計した全事故件数の % RMS 誤差は 32% である。また、グループ別に推計した全事故件数の期待値は 3936 であり、Model-1 の 3911 より過大推計である。しかし、95% 信頼区間は ±271 であり、Model-1 の ±339 よりも小さい。

次に、ノードについて考察する。Model-2 の % RMS 誤差は 47% であるが、グループ別のモデルから推計した全事故件数の % RMS 誤差は 30% である。また、グループ別に推計した全事故件数の期待値は 927 であり、Model-2 の 919 よりも過大推計である。しかし、95% 信頼区間は ±80 であり、Model-2 の ±106 よりも小さい。

最後に、リンクとノードの別々に推計した件数を総合し、道路網全体での件数を推計する。グループ別のモデルから推計した件数の % RMS 誤差は 31% であり、Model-1, 2, 3 から求めた件数の 46% よりも小さい。また、グループ別のモデルから推計した件数の期待値は 4999 であり、Model-1, 2, 3 から求めた 4970 より過大推計になっている。しかし、その 95% 信頼区間 ±295 は Model-1, 2, 3 による ±361 よりも小さい。

(6) 道路計画が道路網の安全性に及ぼす影響の算出

ここでは道路計画の実施による道路網の安全性の変化を 4.(5) で説明した手順に従って算出する。

Table 6 は、仮想の道路改良計画を作成し、その計画について危険性の変化を示したものである。計画は、広島市で交通量が最も多く、事故件数も多い国道 2 号線上に高架による自動車道路を建設するものである。

なお、2 号線の自動車交通量の 50% が自動車道路に転換するものと仮定している。また、高架の自動車道路を建設するため 2 号線は 2 車線分狭くなると仮定している。

また、高架の自動車道路の事故率として Table 2 に示

されている。0.29 を用いている。これは、①広島市内には全長約 1.5 km の高架道路が供用され、約 28000 台/12 h の交通量があるが、この高架道路での事故は 2 年間の事故のデータでは 4 件であった、②また、一般には自動車道路の事故率は一般道路の約 1/15<sup>1)</sup> である、③ Table 2 の自動車道路の事故率と一般道の事故率の差は 1/15 よりも大きい、本研究の事故率は都市部の自動車道路上のものである、④さらに、両者の事故率は一桁違う等により、自動車道路の事故率 0.29 を用いても一般的な傾向を示すことはできると考えるためである。

このように本研究は、改良する道路以外の自動車交通量は変化しない、短距離の自動車道路を建設する、自動車道路の事故率は 0.29 である等の仮定を設けており、推定された危険性の変化量そのものより評価手法の適用可能性を検討することに主眼を置いている。

Table 6 によると、交通量減少のため 2 号線のリンクの混雑度はかなり緩和されるが、事故率は 1.8 から 1.9 と高くなっている。しかし、自動車道路の事故率は 0.29 と非常に小さいので、2 号線と自動車道路の双方を総合した事故率 1.81 は、Table 6 より、

$$(228+38) \div (117+132) \approx 1.1$$

に大きく低下する。さらに、事故件数は約 600 から 370 に減少している。

ノードの事故件数は、車線数の減少に伴う衝突点の減少や流入交通量の約 40% の減少等により約 170 から 100 程度に減少している。この減少度を事故率で検討すると、改良前の 10 ノードを総合した事故率

$$166 \div 1287 \approx 0.13$$

は、改良後の 4 ノードを総合した

$$106 \div 894 \approx 0.12$$

に低下している。

ここで、改良部分以外のリンクとノードは改良後も全く変化しないと仮定すれば、改良後の道路網全体の事故は改良前の約 5000 件から 4700 件程度に減少しており、約 5% の効果が現れたことになる。

このように自動車道路の計画は道路網の安全性向上に大きな効果をもたらすことを、概略的ではあるが、数量的に評価することができる。

6. 結 論

本研究は、都市の道路網を交通の安全性から評価するシステムを提案した。この評価システムの妥当性を検討するため、適用事例として広島市の幹線道路網を取り上げた。したがって、この結果を他地域へ直接的には適用できないけれども、この評価システムの方法論を他地域に適用することはできる。対象とする道路網のデータを用いて解

Table 6 An example of construction of elevated motorway over route 2 and its effects on the traffic safety. The numbers in circles are node numbers.

Link number	20	36	41	58	59	76	97	98	99	
Route 2	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
Length (km)	0.65	0.50	0.49	0.35	0.31	0.47	0.59	0.12	1.04	
Motorway	①			④			⑦		⑩	
Length (km)		1.79			1.32			1.88		
Evaluation items	Links		Motorway	Nodes		Total				
	Before	After	After	Before	After	Before	After			
Vehicle·km <sup>1</sup>	238.3	117.4	131.5	—	—	238.3	248.9			
Traffic volume <sup>2</sup>	—	—	—	1286.6	893.6	1286.6	893.6			
Estimated <sup>3</sup>	1.81	1.94	0.29	0.129	0.118	—	—			
Estimated <sup>4</sup>	431.8	227.5	37.9	165.7	105.9	597.5	371.3			

1) For 12 hours (×10<sup>3</sup>). 2) At intersections and for 12 hours(×10<sup>3</sup>).  
3) Rate of accidents (×10<sup>-3</sup>). 4) Number of accidents.



析すれば、その地域の道路網の現況や道路網計画を安全性から評価することは可能であると考えられる。

以下に本研究で得られた知見を要約する。まず、本研究で提案した評価システムの特徴についてまとめる。

(1) 従来、都市における道路交通の安全性は人口、自動車保有台数、道路延長、交通量等の統計指標で説明されていたが、道路網の構成要素個々の安全性を評価し、さらにそれらを都市全体に拡張することにより、都市の安全性を道路計画、交通計画、さらに都市計画の側面から評価することができる。

(2) リンクやノードのグループ別に道路交通の安全性を評価できるので、道路網を評価する際、どここの箇所に問題があり、どのような改良をすれば、どれだけ効果をあげることが可能かを、従来の道路網の評価項目に加えると、意志決定者に多方面からの情報を提供できる。

次に、道路網のデータを用いた実証分析によって以下のような結論が得られた。

(3) ダミー変数を用いた安全性評価モデルの推計精度が連続変数を用いたものよりも高いことを示した。さらに、リンクやノードをグループに分類し、そのグループ別にモデルを構築する有効性を示した。

(4) 推計事故率に走行台キロを乗じて求めた事故件数は、事故件数と走行台キロのモデルから求めた事故件数よりやや過大推計になるが、その95%信頼区間や% RMS 誤差は事故率から求める方が優れている。

(5) 簡単な道路計画案を作成し、本研究で提案した評価法を適用したところ、道路網の安全性を事故率や事故件数の変化で示すことができた。

しかし、今後、本研究で提案した方法をさらに有効にするためには、多くの課題を研究しなければならない。以下に主要な課題を示す。

(1) 本研究では、単純な道路政策を評価するモデルを作成したにすぎないので、今後一層モデルの構築に関する研究が必要である。たとえば、変数間の相互作用や新たな政策変数を組み込んだモデルに関する研究がある。

(2) リンクは2ノード間の道路区間としているが、リンク間の長さにかかなりの変動があるので、リンクによってはリンク沿線の土地利用形態が大きく変化している。このため、リンクを土地利用形態に合わせて小分割することも検討する必要がある。

(3) 本研究の事例ではOD交通量は変化しない、各自動車はOD間の経路を変えないと仮定しているが、土地利用や人口分布の変化を考慮した道路網計画や交通需要誘発の影響等をシステム内で考慮することが重要である。

最後に、本研究は1988年の日本交通政策研究会の研究助成を受けたこと、また、本研究の査読の方々から貴重なコメントを賜ったこと、さらに、事故、道路、交通、土地利用等に関するデータの収集にあたっては、広島県警察本部交通企画課、広島市道路計画課に多大な協力を賜ったことを記して謝意を表します。

なお、本研究のデータ整理、解析には三菱重工業(株)の木原一禎君(当時広島大学大学院生)の協力を得たものであり、彼も著者の一人であることを付記する。

#### 参考文献

- 1) 土木計画研究委員会：第18回土木計画学講習会テキスト—交通ネットワークの分析と計画，1987。
- 2) OECD：Methods for evaluating road safety measures, Paris, 1981.
- 3) Transportation Research Board：Methods for Evaluating Highway Safety Improvements, National Cooperative Highway Research 17-2 A, 1975.
- 4) Wright, C. C. and Boyle, A. J.：Road Accident Causation and Engineering Treatment：a review of some current issues, Traffic Engineering and Control, September, pp.475~479, 1987.
- 5) 建設省土木研究所：道路の安全性評価に関する研究，土木研究所資料，No.1833, 1982.
- 6) 斎藤和夫・加来照俊：統計的方法による道路の事故危険度評価に関する研究，土木学会論文報告集，Vol.284, No.4, pp.73~88, 1979.
- 7) 三谷 浩：道路における危険度評価に関する一手法，交通工学，Vol.12, No.7, pp.21~36, 1977.
- 8) 諸星一信・越 正毅：道路交通センサスデータを用いた交通事故率と道路構造との関係の解析，土木学会年次学術講演概要集第4部，pp.431~432, 1985.
- 9) 岡本 博・越 正毅・大蔵 泉・鹿島 茂：事故発生の偶然変動を考慮した道路区間の事故危険度の評価法，土木学会論文報告集，Vol.326, No.10, pp.115~127, 1982.
- 10) 清田 勝・高田 弘・樗木 武・田上 博：迷惑・危険意識からみた道路整備対象区間の抽出とその対策に関する研究，土木学会論文集，No.383/Ⅳ, pp.63~71, 1987.
- 11) 総務庁編：交通安全白書平成元年版，pp.44, 1989.  
(1990.1.10・受付)