

交通事故リスク情報を活用した “低リスク” 経路案内実証実験による効果検証

金 進英¹・岩里 泰幸²・宇野 巧³・福士 達央⁴・太田 恒平⁵・大藤 武彦¹

¹正会員 (株) 交通システム研究所 (〒532-0011 大阪市淀川区西中島 7-1-20)

E-mail: kim.jinyoung@tss-lab.com

²非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: iwasato-y92k9@mlit.go.jp

³非会員 阪神高速道路 (株) (〒530-0005 大阪市北区中之島 3-2-4)

E-mail: takumi-uno@hanshin-exp.co.jp

⁴非会員 (株) ナビタイムジャパン (〒107-0062 東京都港区南青山 3-8-38)

E-mail: tatsuo-fukushi@navitime.co.jp

⁵正会員 (株) トラフィックブレイン (〒101-0047 東京都千代田区内神田 3-2-9)

E-mail: kohei-ota@t-brain.jp

本研究は、交通事故リスク情報を活用した交通安全マネジメントの一環として、カーナビゲーションを用いた交通事故リスクの低い経路を案内することにより、広域的に道路ネットワークにおける交通事故の削減を図ることを目的とする。高速道路・一般道路を含めた交通事故データとその他の様々な関連データを整備し、一般道路を含む道路ネットワークを対象として道路通行時における交通事故リスクを算定する方法を構築する。次に、構築した交通事故リスク算定方法をもとに、カーナビゲーションの経路案内アプリケーションで内生化して、低事故リスク経路案内機能を実現し、平成 29 年 12 月から民間ナビ媒体での試験的な低事故リスク経路案内情報提供を開始した。本研究では、低事故リスク経路案内の実現に向けた検討過程と、より安全な経路への転換を促すことで道路ネットワーク全体の交通事故リスクの低減を定量的に検証して、その有効性を示す。

Key Words: road traffic accident risk assessment, low risk route guidance, car navigation system, poisson regression analysis

1. はじめに

道路上の事故の危険度とその影響を表現する交通事故リスク(以降、「事故リスク」と称する)指標には、事故発生リスクをはじめ、事故遭遇リスク、事故損失リスク、事故引き起こしリスク、期待事故影響回数と、期待事故損失額、社会的事故損失など、様々な指標が定義できる。

このような事故リスク指標を用いて、ドライバーへの働きかけや情報提供、そして道路管理者への活用などに取り組むことで、交通安全性向上への寄与が期待できる。

吉井らは、潜在的な事故発生リスクを情報として加工・提供するための具体的な研究として新たな指標として、期待事故遭遇件数や事故損失リスク等を提案した(2013)¹⁾。また、経路別に事故遭遇件数と事故損失リスクを算出して提供することで、ドライバーの経路選択

に及ぼす影響をSP調査を通じて分析した(2014)²⁾。後に、その結果を用いて10D2経路のネットワークを対象に事故リスク情報提供効果を計算したところ、ネットワーク全体で事故発生件数と社会的費用の軽減を確認し(2016)³⁾、より広域の実ネットワークにおける検証の必要性を課題として挙げた。

一方、大藤らは実際のリアルタイム事故リスク情報を生成してユーザに提供可能なシステムを構築し(2015)⁴⁾、兒玉らはそのシステムを用いて阪神高速道路を対象にリアルタイムの事故リスク情報を提供することで、交通事故リスクを避ける利用経路及び時間帯選択が支援可能なツールを開発した(2015)⁵⁾。さらに西内らは、吉井、大藤らの結果を用いて高速道路と一般道路を含めた道路網における事故リスク情報提供に向けて、交通データや事故データを一元的に分析可能なデータベースを構

築した（2016）^{6）}。

以上のような研究により、交通事故リスク情報の考え方や活用可能性が示され、交通事故リスク推定手法が提案されて、高速道路網を対象としたリアルタイム交通事故リスク情報の推定と提供が実現された。しかし、一般道路を含む道路ネットワークを対象とした交通事故リスク情報を推定してドライバーに提供するまでには至っていない。

本研究では、以上の研究成果と課題を踏まえて、交通事故リスク情報を用いた道路ネットワークの有効活用による安全性向上を図ることを目的とする。まず、一般道路を含む道路ネットワークを対象として、道路通行時における交通事故リスクを算定する方法を構築する。次に、カーナビゲーションのアプリで低事故リスク経路案内情報提供を実現し、より安全な経路への転換を促すことで道路ネットワーク全体の交通事故リスクの低減を図ることを定量的に検証して、その有効性を示す。

具体的には、全国的高速道路・一般道路を対象に、交通事故データや交通データ、道路構造データ、気象データなどを用いて交通事故リスクの推定手法を確立し、事故リスク予測モデルを株式会社ナビタイムジャパンのカーナビゲーションアプリ（NAVITIME ドライブサポーター）の経路案内システムに導入した。また、実験的にナビゲーションから提供される低事故リスク経路情報データに基づいて効果を分析することで、低事故リスク経路案内システムへの期待や今後の課題について述べる。

2. 基礎データ整備

(1) 対象ネットワークとデータ

本研究では、阪神都市圏を検討対象圏域とし、公益財団法人交通事故総合分析センター（以降、ITARDA と称する）が提供する死傷事故データを単位時空間別基礎データとして用いる。ITARDA の交通事故データは、道路交通センサスのセンサス区間に基づいて3時間単位で提供していただいた。この交通事故データをもとに、関連する道路構造データ、交通データ、気象データをマッチングして、交通事故分析基礎データとして整備する。

これらの基礎データと対象期間は次のとおりであり、原則として道路交通センサス区間を基礎単位空間とし、基礎単位時間を1時間としてデータを整備する。

- 交通事故データ：ITARDA 事故データ（2013 年～2015 年）
- 道路構造データ：平成 22 年度全国道路交通センサスの箇所別基本表
- 交通データ：平成 22 年度全国道路交通センサスの一般交通量調査結果時間帯別交通量と速度

表-1 道路種別による事故リスク予測モデルの区分

道路種別	道路幅員	
	5.5m 以上	5.5m 未満
都市間高速道路	都市間高速道路モデル	
都市高速道路	都市高速道路モデル	
一般道路	広域幹線道路モデル 地区幹線道路モデル	
生活道路		生活道路モデル

表-2 道路種別の渋滞有無判別条件値

道路種別	臨界速度	交通容量
高速自動車国道	50km/h 未満	1,250 台/h/lane
都市高速道路	40km/h 未満	1,125 台/h/lane
その他自動車専用道路	30km/h 未満	1,000 台/h/lane
その他の一般道路	15km/h 未満	注 1)

注 1) 一般道路の交通容量は道路交通センサスデータの「青時間比率」を用いて算出する。

- 気象データ：気象庁観測局降水強度データ（2013 年～2015 年）

(2) 分析対象道路の区分

本研究では、分析対象の道路を表-1 のように区分して、事故リスク予測モデルを推定する。高速道路は「都市間高速道路」と「都市高速道路」に、一般道路は「広域幹線道路」と「地区幹線道路」に分類してそれぞれのモデルを推定する。

ここで、一般道路における広域幹線道路と地区幹線道路は以下のような基準で区分する。

- 広域幹線道路：車線数 4 車線以上かつ道路部幅員が 5.5m 以上
- 地区幹線道路：車線数 3 車線以下かつ道路部幅員が 5.5m 以上

(3) 「渋滞有無」の整備

事故発生リスクに大きな影響を及ぼす渋滞発生有無の判別を行う。渋滞を判別するために、臨界速度や交通容量を設定する条件値を表-2 のように設定する。高速道路の臨界速度と交通容量は各高速道路会社が公表している交通量-速度データに基づき、自由流領域と渋滞流領域の閾値として設定する。一般道路の臨界速度は経験値としての自由流領域と渋滞流領域の速度閾値として設定し、交通容量は交通センサスデータの「青時間比率」データを用いて、次の式(1)のように算出する。

$$\begin{aligned} \text{一般道路の交通容量(台/h/lane)} \\ = 2,000 \times 0.9 \times \text{青時間比率} \end{aligned} \quad (1)$$

但し、青時間比率 ≤ 0.2 の場合は青時間比率=0.2,

表-3 事故要因の説明変数の候補群

要因	区分	説明変数
動的 要因	共通	・雨有無：雨有り，雨無し ・曜日パターン：平日，週末，休日 ・昼間/夜間 ・時間帯：06-08 時台，09-11 時台， 12-14 時台，15-17 時台，18-5 時台
	高速 道路	・入口有無 ・出口有無 ・本線料金所有無 ・曲線半径 300m 以下・以上 ・曲線半径 500m 以下・以上
静的 要因	一般 道路	・道路部 7m/車線以上・以下 ・車道 5m 以上・以下 ・車道部 5m 以上・以下 ・歩道部設置率 70%以上・以下 ・信号交差点密度 10 個/km 以上・以下 ・信号のない交差点密度 10 個/km 以上・ 以下 ・交差点密度 10 個/km 以上・以下 ・青時間比 30%以上・以下 ・青時間比 70%以上・以下 ・鉄道交差有無

青時間比率 ≥ 0.8 の場合は青時間比率=0.8,
青時間比率がブランクの場合は青時間比率=0.5

道路交通センサスデータにある，「昼間非混雑時」と「混雑時」のそれぞれの速度データと 1 時間単位の交通量とを用いて，表-2 の条件値に基づいて該当センサス区間における時間帯別渋滞発生有無を判別する．渋滞有無判別条件は以下のとおりである．

- ・ 時間交通量を pcu 単位に換算：乗用車換算係数は 1.7
- ・ 7時から 18 時の間の「昼間非混雑時」の速度が臨界速度以下の場合：該時間帯を渋滞有りと判定
- ・ 「混雑時」の速度が臨界速度以下 and 「昼間非混雑時」が臨界速度以上の場合：交通量が交通容量を上回る時間帯があれば該時間帯を含む 3 時間を渋滞有りと判定，なければ 7時から 18 時までで交通量が最大である時間帯の 3 時間を渋滞有りと判定

(4) 事故要因の説明変数

整備したデータを用いて，交通事故に影響を及ぼす可能性がある指標を交通事故の説明変数の候補群として設定する．設定した説明変数は表-3 に示すとおりである．これらの説明変数を用いて，説明変数と事故件数との相関分析を行ったものの，事故件数は大きな値ではないため，相関係数の値も極めて小さいため，相関係数の符号の正・負の関係を確認し，データに論理的な説明力があることを確認した．候補群の中で統計的に有意である説明変数については，モデルの推定結果を用いて後述する．

また，一部の説明変数には閾値がを設定しており，例えば曲線半径は 300m 以上・以下と 500m 以上・以下に区分した．このような閾値は，事故件数との相関が顕著に変化すると考えられる限界値として設定したものであるが，そのあり方や閾値の設定方法については今後の課題とする．

3. 事故発生リスク予測モデルの推定

ここでは，表-1 に示す 5 つの予測モデルのうち，都市間高速道路モデルと都市高速道路モデル，広域幹線道路モデル，地区幹線道路モデルの推定について述べる．

(1) 事故率と事故引き起こしリスク

整備した時間別区間事故データベースに基づき，曜日パターン，雨有無，交通状況（渋滞有無），時間帯で分類したカテゴリー別に，事故率および事故引き起こしリスクを算出する．事故率は，式(2)に基づき，センサス区間単位で整備した交通事故件数と交通量を使用して算出した．

$$\lambda_{ik} = \frac{N_{ik}}{Q_{ik} \times d_i} \quad (2)$$

ここで，

λ_{ik} ：カテゴリー k の状況下での区間 i の事故率（件/台キロ）

N_{ik} ：カテゴリー k の状況下での区間 i の事故発生件（件/期間）

Q_{ik} ：カテゴリー k の状況下での区間 i の交通量（台/時）

d_i ：区間 i の区間距離（km）

事故引き起こしリスクは，ある道路区間経路を 1 回走行した場合に事故を引き起こす回数，すなわち事故の当事者となる回数の期待値であり，式(3)に示す．

$$R_j = \sum_{i \in A_j} \lambda_i \times d_i \quad (3)$$

ここで，

R_j ：経路 j を 1 回走行するあたりに期待される事故引き起こし件数（件/回）

A_j ：経路 j 上の道路区間集合

(2) 交通事故発生リスク予測モデル

交通事故発生リスクは，柴崎ら（2016）⁷⁾ が提案した手法を活用して，ポアソン回帰モデルに基づいて分析を行う．道路区間上の事故という事象（ Y ）がポアソン分布に従って発生すると仮定（ $Y \sim \text{Poisson}(\mu)$ ）すると，ある（センサス）区間 i に事故 y_i が起こる確率は，式(4)のように示される．

$$P(y_i) = \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i}}{y_i!} \quad (4)$$

ここで、

μ_i : ある区間*i*の事象（事故発生）件数の期待値（件）

事故発生件数期待値 μ_i は、式(5)のように表すことができる。

$$\mu_i = \lambda_i t_i \quad (5)$$

ここで、

λ_i : ある区間*i*の事故発生リスク（件/台キロ）

t_i : ある区間*i*の走行台キロ（台キロ）

区間*i*の事故発生リスク λ_i は、式(6)に示すとおりである。

$$\lambda_i = \exp\left(a + \sum b_i x_i\right) \quad (6)$$

ここで、

x_i : ある区間*i*の事故発生要因

a : 定数項パラメータ

b_i : 変数パラメータ

(3) モデルの推定結果

ポアソン回帰モデルに基づいた道路種別別交通事故発生リスク予測モデルの推定結果を以下に示す。道路種別別に、表-3の説明変数の候補群を用いてポアソン回帰モデルを推定して、95%有意水準に達していない説明変数と、推定係数の符号が論理的に説明できない説明変数を除き、最終的に統計的、論理的に説明が可能な説明変数のみでモデルを推定して得られた結果を表-4～表-6に示す。

表-4は都市間高速道路、表-5は都市高速道路のモデル推定結果であり、表-6は、一般道路である「広域幹線道路」と「地区幹線道路」を一つに統合したモデルの推定結果である。広域道路と地区道路の違いによる事故リスク影響の違いを表現するため、「幹線4車線以上ダミー」変数を導入した。

都市間高速道路モデルの推定結果をみると（表-4）、週末（土曜日）パラメータの値は正（0.2109）となった。曜日パターンの変数は休日（日曜日を含む）を基準とした場合の平日と週末が事故リスクに及ぼす影響を推定しているため、この結果は平日や休日より週末の事故リスクが高いことを意味する。また、時間帯の変数としては、18～5時台を基準とした場合の06～08時台、09～11時台、12～14時台、15～17時台の影響を推定した。都市間高速道路モデルの場合、06～08時台の事故へ影響も正（0.3260）となり、15～17時台（0.7701）の影響が非常に

表-4 都市間高速道路モデル（n=6,420）

Coefficient	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)	sig.lv
(Intercept)	-17.3492	0.0796	-218.058	<2e-16	***
週末	0.2109	0.0825	2.556	0.0106	*
時間 06-08	0.3260	0.0811	4.022	5.8E-05	***
時間 15-17	0.7701	0.0702	10.967	<2e-16	***
半径300以下	0.1716	0.0639	2.685	0.0073	**
DID	0.4060	0.0689	5.897	3.7E-09	***
市街部	1.1312	0.2253	5.021	5.1E-07	***
渋滞有無	0.8562	0.0672	12.743	<2e-16	***
AIC	4070.8				
尤度比	0.270371(df=1)				

*** 0.001, ** 0.01, * 0.05

表-5 都市高速道路モデル（n=12,210）

Coefficient	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)	sig.lv
(Intercept)	-17.5917	0.1368	-128.642	<2e-16	***
雨有無	0.3902	0.0549	7.106	1.2E-12	***
平日	0.5984	0.0600	9.983	<2e-16	***
週末	0.4368	0.0783	5.581	2.4E-08	***
時間 06-08	0.5637	0.0637	8.854	<2e-16	***
時間 09-11	0.5655	0.0633	8.941	<2e-16	***
時間 12-14	0.2894	0.0689	4.2	2.7E-05	***
時間 15-17	0.7359	0.0616	11.953	<2e-16	***
半径300以下	0.1239	0.0409	3.027	0.0025	**
DID	0.8070	0.1217	6.633	3.3E-11	***
渋滞有無	1.0542	0.0436	24.182	<2e-16	***
AIC	10235				
尤度比	0.2339538(df=1)				

表-6 幹線道路モデル（n=116,760）

Coefficient	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)	sig.lv
(Intercept)	-15.1996	0.0214	-711.35	<2e-16	***
雨有り	0.1594	0.0123	13.01	<2e-16	***
平日	0.5291	0.0121	43.47	<2e-16	***
週末	0.4387	0.0158	27.78	<2e-16	***
時間 06-08	-0.1217	0.0112	-10.84	<2e-16	***
時間 09-11	-0.1499	0.0113	-13.25	<2e-16	***
時間 12-14	-0.1296	0.0114	-11.38	<2e-16	***
交差点密度 10個km以上	0.4175	0.0087	48.18	<2e-16	***
DID	1.0849	0.0188	57.75	<2e-16	***
市街部	0.6785	0.0246	27.56	<2e-16	***
渋滞有無	0.1990	0.0119	16.77	<2e-16	***
幹線4車線以上ダミー	-0.1599	0.0093	-17.26	<2e-16	***
AIC	130691				
尤度比	0.09312612(df=1)				

大きいことが分かる。道路構造については、曲線半径が300m以下区間の事故リスクが高く、沿道状況では、DID（0.4060）も有意であったが、市街部（1.1312）という要因が事故リスクに最も大きい影響を与えている。また、渋滞有無（0.8562）も有意な影響を及ぼしていることが分かった。

都市高速道路モデルの推定結果をみると（表-5），雨有りのパラメータが正（0.3902）になっており、雨の日の事故リスクが高いことが分かった。また、平日（0.5984）と週末（0.4368）が日曜日より影響が大きく、時間帯は、日中（6時から17時に亘って）事故リスクが高い。曲線半径が300m以下区間の影響もみられた。渋滞有無による影響は1.0542と最も大きくなった。

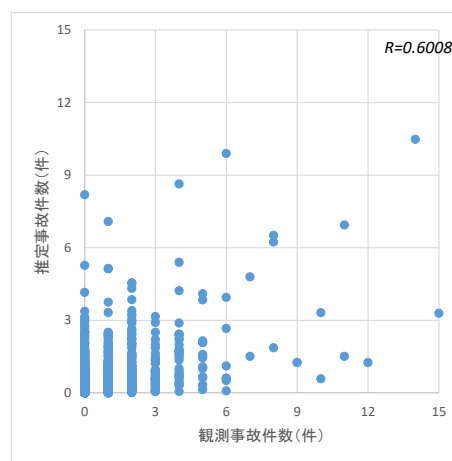
表-6の幹線道路モデルの推定結果をみると、都市高速道路ほどではないものの、雨（0.1594）による影響があり、休日よりは平日（0.5291）と週末（0.4387）の事故リスクが高いことが分かった。一方、時間帯は6時から14時に亘って係数の値が負になっており、夕方と夜間の事故リスクが高いことが分かった。その他にも、交差点密度や渋滞有無も有意な変数である。DID（1.0849）と市街部（0.6785）は最も大きな値になっており、幹線道路モデルには沿道状況が大きな影響を及ぼしていることが分かった。最後に、幹線4車線以上ダミーは負の値（-0.1599）になっており、広域幹線道路より地区幹線道路のほうが事故リスクが高いことが確認できた。

(4) 推定結果の精度検証

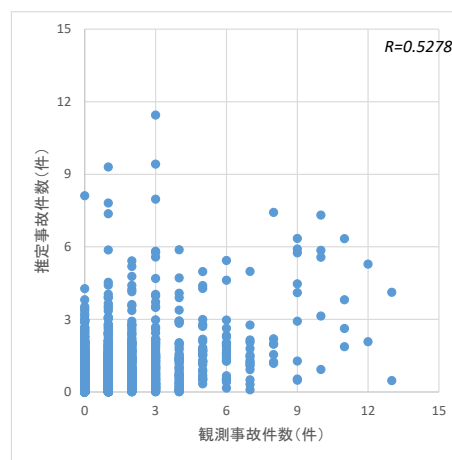
推定されたモデルの精度を検証するため、モデルから計算された推定値と観測値の事故件数を用いて、RMSE（Root Mean Square Error）と相関係数を算定した。その結果を図-1、表-7に示す。

交通事故件数の推定値（縦軸）と観測値（横軸）をプロットして図-1に示す。この図によると、全体的には正の相関がみられており、概ね推定結果は実績値を再現しているようである。しかし、観測交通事故件数が0であるのに推定値が0より大きいケースが多く、観測値より推定値のほうが大きい傾向は観測交通事故が3件までに多く見られる。その反面、事故件数が3件以上の場合も推定値より観測値のほうが大きいケースが多い傾向にある。

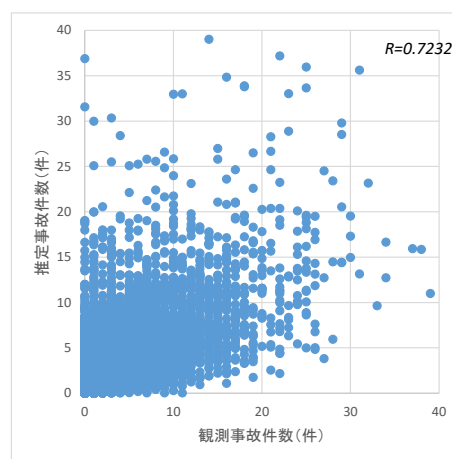
モデルごとの交通事故発生件数の推定値と観測値に基づくRMSE値と相関係数を表-7に示す。この表からは、相関係数が都市間高速道路は0.6、都市高速道路は0.5以上、そして広域・地区幹線道路の相関係数は0.7以上となっていることが確認できる。幹線道路のRMSE値は、都市間高速道路より約2倍の1.45となった。



(a) 都市間高速道路



(b) 都市高速道路



(c) 広域・地区幹線道路

図-1 モデル推定と観測の事故件数及び相関係数

表-7 推定と観測の事故件数のRMSE値と相関係数

Name of model	N	RMSE	相関係数
都市間高速道路	6,420	0.75	0.6008
都市高速道路	12,210	0.84	0.5278
広域・地区幹線道路	116,760	1.45	0.7232

(5) 生活道路の事故リスク予測手法

ここまで、表-1の「都市間高速道路」と「都市高速道路」、「広域幹線道路」、「地区幹線道路」における事故リスク推定法と精度検証について述べた。ここでは、「生活道路」のモデルについて説明する。

生活道路事故リスクの推定対象は、道路幅員が5.5m未満の一般道路とし、事故リスク予測モデルは、尾高ら(2016)⁸⁾が提案した手法に依るものとした。この愛媛県の松山都市圏で調査した生活道路事故リスク分析結果を活用して、式(7)のように生活道路の事故引き起こしリスクを定義して算定することとした。

$$\begin{aligned} & \text{生活道路の事故引き起こしリスク} \\ &= \{ \text{単路部事故リスク(件/億台キロ)} \times \text{延長} \} \\ &+ \{ \text{交差点事故リスク(件/億台)} \\ &\quad \times \text{交差点通過回数} \} \end{aligned} \quad (7)$$

以上の式から沿道状況別、単路部と交差点における事故リスクを算出した結果がそれぞれ表-8と表-9であり、これらの値を生活道路の事故リスクとして適用する。

4. 低事故リスク経路案内システム構築

(1) 事故発生リスク予測モデルの経路探索への適用

ナビゲーションシステムでの事故リスク情報生成を内生化することとして、前章で推定した事故発生リスク予測モデルを経路探索システムへ適用する。モデルを実システムに適用するために、以下のような補正を行うこととした。

a) 経路探索における交差点密度変数の実用化

推定した事故リスク予測モデルでは、交差点の影響を「交差点密度 ≥ 10 個/km」ダミーとして反映している。しかし、今回モデルを適用するナビゲーションシステムにおける経路探索のアルゴリズムの計算方法では交差点密度を適用することが困難であるため、単路部と交差点部に分解して推定する。

このため、幹線道路モデルについて、交差点密度変数なしモデルの推定値との残差に対して、リンク中の交差点数と距離による重回帰分析を行って、交差点部と単路部の事故発生リスクを推定する。

b) モデル式の簡便化

推定したモデルを経路探索に適用するに際して、ナビゲーションシステムにおける経路探索アルゴリズムの中で、計算負荷を軽減するために線形推定式に変換して適用する。

c) モデル説明変数データ整備

事故リスク予測モデルの静的説明変数データは、ナビ

表-8 生活道路沿道状況別事故リスクの設定(単路部)

沿道状況	人口密度閾値	事故リスク*
DID地区	4,000 人/Km ² 以上	142
市街地	1,000 人/Km ² 以上, 4,000 人/Km ² 未満	114
その他地域	1,000 人/Km ² 未満	114

*単位：件/億台キロ

表-9 生活道路沿道状況別事故リスクの設定(交差点)

沿道状況	人口密度閾値	事故リスク*
DID地区	4,000 人/Km ² 以上	8.1
市街地	1,000 人/Km ² 以上, 4,000 人/Km ² 未満	8.6
その他地域	1,000 人/Km ² 未満	8.6

*単位：件/億台

ゲーションネットワーク情報を活用して、次のように設定する。

- ・ 道路区分：ナビゲーションネットワーク属性をもとに、類似するモデルとナビゲーションネットワークの道路区分を対応
- ・ 曲線半径：曲線半径が300m未満ダミーに対して、ナビゲーションで活用可能な曲率に対応させて適用
- ・ 沿道状況：モデルの沿道状況区分に対して、ナビゲーションの道路区間が属するメッシュのDID地区及び人口密度データに基づいて対応

d) 渋滞情報の反映方法

経路探索システムに適用するモデルにおいては「超長時間渋滞有無」と「長時間渋滞有無」の変数をまとめて「渋滞有無」変数に代えて、新たなパラメータ値を推定する。VICSとプローブデータを使用して生成されているナビゲーション既存情報であるリンク旅行速度から「渋滞」を判別して適用する。

e) 時間分布の平準化

モデル上の時間区分が3時間と荒く、隣接時間区分境界での急激な事故リスク差を緩和するため、隣接時間区分の中央時刻同士を線形補完する。

(2) 事故リスク指標を考慮した低事故リスク経路探索手法

事故リスク情報は、経路探索アルゴリズムに反映させる。経路選択に際しては、「所要時間」と「(有料道路利用)料金」を考慮することが一般的であり、それに加えて「交通事故リスク」を反映した経路を探索することとする。

具体的には、リンク所要時間に時間価値原単位を乗じて算定する「所要時間コスト」と「(有料道路利用)料

金」に、「事故損失リスク」を追加する。事故損失リスクは、式(3)の事故引き起こしリスクに1件当り事故損失原単位を乗じて算定し、式(8)のように表される。

$$M_{it} = R_{it} \times L \quad (8)$$

ここで、

M_{it} ：時間帯 t 、リンク i の事故損失リスク（円）

R_{it} ：時間帯 t 、リンク i の事故引き起こしリスク（件）

L ：事故発生1件当たりの損失額（円/件）

なお、時間価値原単位は、「費用便益分析マニュアル」（国土交通省）における乗用車の時間価値を準用し、事故発生1件当たりの損失額は、内閣府が報告する事故損失額原単位をもとに設定する。内閣府が算定した一人当たり事故損失額原単位は、

表-10 に示すように、金銭的損失額：224 万円/人、非金銭的損失額：1,948 万円/人であり、「金銭的事故損失額＋非金銭的事故損失額」を適用する。

以上から、低リスクを考慮した交通流シミュレーションにおける経路探索手法には、次の式(9)のように事故リスクを反映させることとする。

$$C_{it} = w_T T_{it} + w_F F_{it} + w_r M_{it} \quad (9)$$

ここで、

C_{it} ：時間帯 t 、リンク i のリンクコスト（円）

T_{it} ：時間帯 t 、リンク i の所要時間貨幣換算値（円）

F_{it} ：時間帯 t 、リンク i の有料道路利用料金（円）

M_{it} ：時間帯 t 、リンク i の事故損失リスク（円）

w ：各指標の重み

5. 低事故リスク経路案内の効果検証

2017年12月20日（水）より、株式会社ナビタイムジャパンがカーナビゲーションアプリで事故リスクを考慮した“低事故リスク経路案内”情報の提供を開始した。そのうち、2018年2月7日（水）～2018年2月20日（火）の2週間でカーナビから収集した「経路検索結果」データを活用して、低事故リスク経路案内の効果を検証した。対象期間に収集した経路探索データを、

表-10 事故損失額（単位：万円）

種別	一人当たり*	1件当たり**
金銭的損失額	224	336
非金銭的損失額	1,948	2,922

*出典：「交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査」平成24年3月、内閣府政策統括官

**1件当たり被害者数：15人

表-11 に示す。2週間の経路検索件数は全国で1,208,298件、そのうち阪神都市圏に起終点を持つ件数は153,700件（約12.7%）である。検索経路の平均距離は、全国ネットワークで約60km、阪神圏ネットワークで約78kmである。10km～100kmの経路長が約5割で最も多く、1km～10kmの経路長が約2.5割を占めた。100km以上の長距離も全国で約1.5割、阪神圏で約2割を占めた。

この期間中に提供された案内経路は、事故発生リスクモデルを適用して事故損失リスクを考慮したものである。ここで、期間中に検索した低事故リスク経路案内データに対して、従前の交通事故リスクを考慮しない“所要時間と料金”のみを反映した案内経路を再現算定して両者を比較することで、低事故リスク経路案内の効果として検証することとした。

モデルを適用することによって変化した経路の件数を表-12の「モデル適用による経路変化件数」に示す。全国ネットワークの場合は1,208,298件のうち111,163件（9.2%）が、阪神圏ネットワークの場合は153,700件のうち14,602件（9.5%）の案内経路が変わった。この案内経路が変わった時の経路コストが「モデル適用有りの経路コスト」であり、経路探索1件当たりの平均コストは、全国で469.3円、阪神圏で491.9円である。これをモデル適用していない場合の経路コスト（「モデル適用無しの経路コスト」で全国484.7円、阪神圏510.5円）と比べてみると、全国ネットワークで3.2%、阪神圏ネットワークで3.6%削減されたことが確認できた。

検索された経路において、道路種別別の構成割合を、低事故リスク経路案内の適用有無で比較して表-13に示す。この表から、モデルを適用することで都市間高速と都市高速道路の利用割合が高くなり、一般道路である広域幹線道路や地区幹線道路、生活道路の利用割合は低くなっていることが分かった。

ここで、阪神圏ネットワークのみ（表-12の153,700件）を対象を対象としたモデル適用の有無別の事故損失額、高速道路料金を表-15に示す。まず、阪神圏経路探索153,700件の総距離は、モデル適用無しと有りで、それぞれ11,978,426kmと11,999,586kmになっており、モデルを適用することで0.2%増加する一方で、所要時間は0.6%、事故損失額は3.6%減少した。これは表-14でも示したように、モデルを適用した場合の高速道路の利用割合が高くなったためであると考えられる。高速道路料金（各高速道路の乗用車料金を適用した場合の料金を累積）の都市間高速道路料金が1.9%、都市高速道路料金が3.9%増加していることもその理由であると考えられる。道路利用者の総損失額は、経路探索結果値の所要時間から計算された所要時間損失額、事故損失額と高速道路料金の合計で算出することができる。モデル適用無しと有りで、それぞれ、900,954,863円と902,085,453円になって

おり、モデルを適用することで時間損失と事故損失は減少するが、高速道路料金の増加によって、総損失額はいくぶん増加するという結果となった。

最後に、モデルを適用することで、経路における利用道路の増減の変化の一部を図-2 に示す。この図によると、

都市間高速道路や都市高速道路は約 1～10%増加している道路が多く、一般道路は約 1～5%減少している道路が多いことがうかがえる。

表-11 経路検索件数

	経路検索件数	平均 距離	経路長			
			1km 未満	10km 未満	100km 未満	100km 以上
全国	1,208,298 件	59.9km	66,025 件 5.5%	316,350 件 26.2%	640,063 件 53.0%	185,860 件 15.4%
阪神圏	153,700 件	77.9km	6,882 件 4.5%	37,089 件 24.1%	78,737 件 51.2%	30,992 件 20.2%

表-12 モデル適用有無による経路変化件数と経路コスト

	モデル適用による経路変化件数	モデル適用無しの経路コスト		モデル適用有りの経路コスト	
		合計	平均	合計	平均
全国	111,163 件 (1,208,298 件) 9.2%	585,713,113 円	484.7 円	567,101,179 円 -3.2%	469.3 円
阪神圏	14,602 件 (153,700 件) 9.5%	78,463,898 円	510.5 円	75,612,394 円 -3.6%	491.9 円

表-13 道路種別の利用割合

	モデル適用	都市間高速道路	都市高速道路	広域幹線道路 (4 車線以上)	地区幹線道路 (4 車線以下)	生活道路
全国	無し	62.17%	6.58%	12.67%	17.56%	0.62%
	有り	62.97%	6.86%	12.01%	17.15%	0.61%
阪神圏	無し	59.77%	15.95%	14.71%	8.82%	0.75%
	有り	60.54%	16.27%	13.99%	8.46%	0.74%

表-14 阪神圏におけるモデル適用有無による高速道路料金と損失額

モデル適用 有無		経路探索結果値					算出値	
		距離 [km]	所要時間 [分]	事故損失額 [円]	都市間高速料金 [円]	都市高速料金 [円]	所要時間損失額 [円]	総損失額 [円]
モデル適用 無し	合計	11,978,426	12,474,649	78,463,898	292,984,145	35,510,720	493,996,100	900,954,863
	平均	78	81	511	1906	231	3,208	5,856
モデル適用 有り	合計	11,999,586	12,400,291	75,661,167	298,536,392	36,836,370	491,051,524	902,085,453
	平均	78	81	492	1942	240	3,208	5,882
	(増減率)	0.2%	-0.6%	-3.6%	1.9%	3.9%	-0.6%	0.13%

*所要時間に「費用便益分析マニュアル」平成 30 年 2 月、国土交通省における乗用車の時間価値原単位である 39.6 円/分・台を乗じて算定。



図-2 モデル適用による利用道路の増減率（阪神圏）

6. おわりに

本研究では、道路ネットワークにおける交通事故損失を削減することを目的として、交通事故及び関連する様々データを統合し、事故リスク情報が生成可能なモデルを構築した。また、カーナビ事業者による低事故リスク経路案内を実現するために、事故発生リスク情報生成を内生化して「低事故リスク経路案内」機能を実現し、当該アプリ利用者の低事故リスク経路案内検索データを用いて効果を評価した。

既存の所要時間コストと有料道路の利用コストのみで計算された経路探索の結果と、事故発生リスクによる事故損失リスクを考慮して経路探索をした結果には、約9%の経路で変化があり、事故損失リスクは約3.6%減少することが分かった。また、道路利用者の総損失額は、旅行時間損失と交通事故損失が削減されるものの、高速道路料金の増加によって、総損失額はいくぶん増加するという結果となった。これらの経路には、事故率が低い都市間高速道路や都市高速道路を利用する割合が増え、一般道路のを利用する割合が減ることから、有料道路の料金収入が増加するということが確認できた。

今回は、事故リスク予測手法としてポアソン回帰モデルを用いたが、推定精度には課題が残っている。研究の過程で負の2項分布モデルも併せて分析したが、負の2項分布では、統計的に有意に説明が可能な変数が期待するほどには採択されないこと、極めて規模の大きなカーナビゲーションシステムに採用するために、可能な限り単純化したモデルを採用したいことから、より实际的に適用可能なポアソン回帰モデルを採用した。したがって、データの特徴やネットワーク規格に応じたより望ましい予測モデルの分析手法については、今後の課題とする。

また、事故リスク生成を経路探索システムに内生化す

る際には、使用可能なデータに限りがあるため、モデルを簡略化せざるを得なかった。なかでも、より精緻な交通事故データや交差点などの道路構造データ、信号現示等のデータの活用が可能になれば、より精緻な交通事故リスク予測モデルの構築が可能となると考えられる。さらに、生活道路についても、坪田ら（2017）⁹⁾の研究のように、より詳細なデータが活用できれば、より妥当性のある経路案内システムを構築することが可能となる。

今後は、更なる交通事故リスク情報の活用が期待される。

謝辞：本研究に際しては、「阪神都市圏交通事故リスクマネジメント研究会（委員長：吉井稔雄愛媛大学教授）」で、多くのご意見とご協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 吉井稔雄，川原洋一，大石和弘，兵頭知：高速道路における交通事故発生リスク情報の提供に関する研究，交通工学研究発表会論文集，Vol.33，CD-ROM，2013.
- 2) 村上和宏，倉内慎也，吉井稔雄，大西邦晃，川原洋一，高山雄貴，兵頭知：事故リスク情報がドライバーの選択行動に与える影響に関する研究，土木計画学研究発表会，Vol. 49，CD-ROM，2014.
- 3) 吉井稔雄，倉内慎也，白柳洋俊，村上和宏：事故リスク情報提供による社会的便益に関する考察，第53回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2016.
- 4) 大藤武彦，兒玉崇，竹井賢二，小澤友記子：リアルタイム事故リスク情報推定システムの構築と活用，交通工学研究発表会論文集，Vol.35，CD-ROM，2015.
- 5) 兒玉崇，藪上大輔，大藤武彦，小澤友記子：事故リスク情報の有効活用にむけた利用経路，時間帯別選択行動支援ツールの開発，交通工学研究発表会，No35，CD-ROM，2015.
- 6) 西内裕晶，吉井稔雄，大藤武彦，小澤友記子，塩見康博：新潟市内道路網における交通事故発生リスク情報提供に向けた統合データベースの構築とその活用，第53回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2016.
- 7) 柴崎宏武，兵頭知，吉井稔雄：交通環境に着目した交通事故発生リスクの地域差に関する考察，第55回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2017.
- 8) 尾高慎二，吉井稔雄，神戸信人：生活道路における交通事故リスクに関する基礎的研究，第53回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2016.
- 9) 坪田隆宏，山本篤志，吉井稔雄，倉内慎也：ETC2.0データを活用した生活道路の交通事故リスク分析，第55回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2017.

(2019.9.9受付)

A ROUTE NAVIGATION METHODOLOGY CONSIDERING TRAFFIC ACCIDENT RISKS

~Verification of the Effects on Providing Drivers Low Accident Risk Routes~

Jinyoung KIM, Yasuyuki IWASATO, Takumi UNO, Tatsuo FUKUSHI, Kohei OTA
and Takehiko DAITO

This study aims the reducing the risk and the number of the traffic accident in the wide area network via a car navigation system with the low-risk route guidance. This is a part of traffic safety management which is utilizing the information of traffic accident risk. After database of expressway and surface road is established, the estimation method of the accident risk is investigated to implement the system guiding the low accident risk route. With this, the estimation model is developed, and the accuracy of the model is verified. The estimation model of traffic accident risk is integrated to navigation system for route guidance. This way, the navigation system can guide the low accident risk route.

Provision of the low-risk route information started from December 2017 by a private navigation company experimentally. In this paper, we report this process of the low-risk route guidance using car navigation system toward the realization and the verifying results of the effect for information provided.