

## 道路網の位相幾何学的評価尺度を導入した 交通事故リスク推計モデルの構築

### A Study on Estimating Risk Distribution of Traffic Accidents using Topological Measures of Road Networks

高松誠治\*  
堀口良太\*\*  
赤羽弘和\*\*\*

本稿では、道路網の位相幾何学的評価尺度を導入した事故リスク推計モデルについて紹介する。交差点ごとの事故の起こりやすさ（事故リスク）については、これまでも交通量や道路構造を説明変数とする回帰モデルによる推計が行われてきた。しかしそれらの多くは、主に幹線道路を対象とするものであり、生活道路や細街路まで含めて地域を網羅する研究はほとんど見られない。本研究では、道路ネットワークデータなどの一般に入手可能な空間基盤データを基に、道路の幾何的な繋がり方の分析手法であるスペースシンタックス理論を用いて、地点の事故リスクを推計するモデルを提案し、千葉県鎌ヶ谷市においてデータベース化されている詳細事故情報を用いてモデルを同定した。各地点の認知のされかたや使われ方の特性に着目し、かつ交通量データを代替することにより、簡便かつ合理的な事故リスク推計モデルを構築するものである。追突、出会い頭、右折の各事故類型別のモデルを構築し、横浜市全域をケーススタディエリアとして有効性を検証した。

キーワード 交通安全 交差点 空間特性 スペースシンタックス理論

#### 1. はじめに

どうすれば、交通事故を減らすことができるのか？ 運転者のモラルやスキル向上、車両や道路の性能向上、都市構造の転換、情報通信の活用等、さまざまな視点から対策が検討・実施されている。

交通事故は複数の要因が複合して起こるため、各施策が、どの程度の事故削減が期待できるかを定量的に示すには、個別の事故発生状況を分析して、個々の要因の除去がどのような効果をもたらすかを把握する、いわゆるミクロ分析手法がしば

しば用いられる。しかしながら、このようなアプローチは、主としてデータ入手の困難さから、地域・全国規模での対策の効果推計が難しい。

このため、より広範囲で入手できる各種の空間データを基にして、地点ごとの事故発生の蓋然性を「事故リスク」として評価し、各種対策の事故削減効果を推定するアプローチが考えられる。これについては、既往研究が幾つか報告されており、例えば、各種交通流データと交差点特性のミクロなデータを用いて事故リスクを算定し、問題要因の除去による事故削減効果を算出する手法<sup>1)</sup>

\* [正会員] スペースシンタックス・ジャパン (株) 代表取締役 (TEL:03-3294-3335, e-mail:s.takamatsu@spacesyntax-japan.com)  
\*\* [正会員] TOE (株) アイ・トランスポート・ラボ代表取締役 (TEL:03-5283-8527, e-mail:horiguchi-transportlab.jp)  
\*\*\* [正会員] 千葉工業大学工学部建築都市環境学科教授 (TEL:047-478-0444, e-mail:akahane@ce.it-chiba.ac.jp)

や、そのGISへの適用<sup>2)</sup>、高速道路の単路部の事故リスクを交通量、縦横断線形により説明する手法<sup>3)</sup>等を挙げることができる。

しかしながら、これらの方法でも、交通流データや詳細な幾何形状データがそろった幹線や高速道路への適用が中心となり、生活道路や細街路も含めた地域全体を網羅するリスク分布の推計を狙った研究は、ほとんど見られない。

本研究では、一般に入手が容易な空間データを基に、生活道路も含めた一般道での事故リスクを網羅的に推定する手法を提案する。この手法では、道路ネットワークの幾何的な繋がり方と、ドライバー等の空間認知に基づく行動とに、一定の相関性があることに着目する「スペースシンタックス理論」を活用し、道路の使われ方の特性を定量的に示すことで、事故発生の蓋然性を求める「事故リスク推計モデル」を構築する。モデルの構築にあたっては、詳細かつ網羅的な事故データが整備されている千葉県・鎌ヶ谷市をモデル地域として、重回帰分析を行っている。手法としては、改善の途上ではあるが、現時点での成果を紹介したい。

#### 2. 本検討の目的とアプローチ

本検討は、あるまとまったエリア内における交差点ごとの事故リスクについて、それぞれの交差点の空間的特徴から推計する重回帰モデルを構築することを目的としている。なお、3つの事故類型（追突、出会い頭、右折）ごとにそれぞれのモデルを構築する。

ここでは、実際に観測された事故数を被説明変数とする一方、各交差点における種々の「空間的特徴」を示す指標を説明変数とする。

交差点の「空間的特徴」については、車線数や幅員といった情報だけでなく、道路ネットワークとしての幾何的な「繋がり方」に着目する。これが、ドライバーの認知や道路の使われ方と、何らかの関係があるという仮説に基づくものである。

#### 3. 分析に用いるデータ（基本的なもの）

まず、被説明変数として用意したデータについ

て述べる。

千葉県鎌ヶ谷市、白井市、市川市においては、先進的な取り組みとして事故データベースが整備されている。これは、「市民参加型交通安全対策・評価システムの実用化に関する研究開発委員会」によって整備されたものであり、この3市役所及び原データの提供元である千葉県警察本部の理解を得て、提供されたものである。今回は、この中でも最もデータベースの整理が進んでいる鎌ヶ谷市のデータを用いることとした。対象とする交通事故のサンプルは3,346件、それらの発生地点は1,237地点であった。

次に、説明変数としての活用を検討したデータについて示す。まず、事故リスクとの因果関係が想定される要素のうち、容易に入手可能なものについて検討を行った。各変数の事故との関係の仮説、基となるデータを表-1に示す。

これらのうち、デジタル道路地図およびセンサデータを基とするデータについては、基盤の地図が細街路を含んでいないことや、未取得データがあることなど、地域を網羅しようとする今回の

表-1 説明変数の例（一部）

説明変数	主な仮説（事故リスクが高いと思われる要素）	基データ
セグメント長	セグメント長が極端に長い/短い場所。	数値地図 2,500 空間基盤データ
交差角度	直行でない交差角度を持つ交差点。	数値地図 2,500 空間基盤データ
車線数	車線数が多い道路。異なる車線数の2組の道路の交差点。	デジタル道路地図データ
道路幅員	幅員が広い道路、狭い道路。異なる幅員レベルの2組の道路の交差点。	デジタル道路地図データ
交通量	交通量の多い地点。ある条件下（時間帯等）において交通量の多い地点	道路交通センサデータ
信号の有無	信号がある交差点。信号がない交差点。	住宅地図データ、ほか
標高	標高差が大きい（急こう配の）路線にある交差点。勾配が変化する地点の交差点。	数値地図：50mメッシュ標高
土地利用	商業・業務施設等の駐車場の出入口付近。	数値地図 5,000 土地利用

目的には必ずしも適さないことが分かった。特に交通量については、主要な道路しかデータが得られないのが現状である。したがって、これを代替するような指標を得ることが必要となる。

これらの指標は、主に道路環境や管理の「状態」に関する指標であり、それぞれの道路空間が実際にどのようにドライバーに認知され、どのような使われ方をしているかという点については説明力が弱い。

そこで今回は、「空間の幾何的な繋がり方」と「人の認知や行動」との関係に着目して研究が行われている、スペースシンタックス理論とその空間指標を、説明変数として用いることを検討した。

#### 4. スペースシンタックス指標

##### 4.1 概要

スペースシンタックス理論は、ロンドン大学で発祥とする空間理論であり、「空間の繋がり」と「人の行動」との関係についての客観的な理解を、都市空間の計画や設計に活かそうとするものである<sup>4)</sup>。世界の多くの大学で研究テーマとされており、国際シンポジウムも定期的に開催されている学術理論であるとともに、英国政府によるアーバンデザインガイドブック等の出版物に取り上げられるなど、都市政策検討の手法としても注目されている<sup>5)</sup>。同理論には、建築内部空間から都市全体までを含む、幅広い分析対象があり、日本においては、1980年代より、主に建築学会、都市計画学会等で論文が発表されている。

##### 4.2 本研究への導入の意図

スペースシンタックス指標は、次の2つの観点から有効であると考えられる。

1点目は、交通量データの代替としての役割である。道路ネットワークを幾何的な繋がり方で捉えたとき、潜在的に人々の移動に「使われやすい」道路と、「あまり使われない」道路とがあることは容易に推測できる。このような特性を数学的に指標化できれば、交通量のデータのない生活道路等における、人々の移動・活動の多さのある程度、説明できるはずである。

2点目は、それぞれの道路に対するドライバー

の認知や使い方の説明という役割である。交通事故に関しては、各交差点や道路の「実際の状況」にも増して、それぞれの場所をドライバーがどのように「認知・認識」しているかが大きな問題となる。つまり「実際の状況」と「認知・認識」にギャップがある時に危険度が増すことが考えられる。例えば、交差点における各道路の優先度（主道路・従道路）を誤って認識することや、他の自動車・自転車・歩行者等の出現頻度を誤って予想すること、さらに、他の自動車の挙動の傾向（急減速等）を読み違えること等が、事故に結び付くと考えられる。ただ、現実の道路空間においてドライバーが各交差点や街路をどのように認知しているかを直接的に指標化することは極めて難しい。そこで、地図情報を基に、間接的に認知の傾向を示すことができれば、有効な説明変数となると考えられる。

##### 4.3 空間の文節単位

スペースシンタックスが扱う空間の文節単位は多々あるが、今回は、都市構造の分析手法である、セグメント・アンギュラー分析を採用する。セグメント・アンギュラー分析は、1980年ごろから研究されてきたアクシアル分析の応用・発展型として2000年ごろから研究が進められているものである<sup>6)</sup>。

セグメント・アンギュラー分析では、街路の幾何形状に応じた線分で都市空間を表したセグメント・モデルを用いた上で、接続角度を考慮して分析するものである。つまり、図-1に示すとおり、2本のセグメントが直交している場合に、これを1 stepの関係とする。45度の角度で屈曲して接続されているときに、これを0.5 step、つまり半stepの関係であるとする。同様に、例えば、27度の角度で屈曲して接続されている場合では、0.3 step

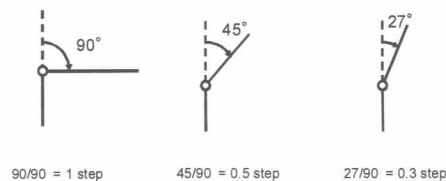


図-1 セグメントの接続角度と接続 step 数

となる。

この分析では、このようなセグメント相互の接続関係の情報を基に、グラフ理論をベースとする2種類の空間指標を用いることとする。

##### 4.4 近接性指標

1つ目の指標が近接性（グラフ理論における closeness. Integration = インテグレーションとも呼ばれる）指標である。

近接性指標は、「あるセグメント」を基準として、「対象範囲内の他の全てのセグメント」が、「どの程度の step 数」で繋がっているかを表す。つまり、この値が高いセグメントは、他の多くのセグメントに（幾何的な意味で）容易に到達することができ、値が低いセグメントは、幾度も方向転換しなければ他のセグメントにたどりつかない。

この指標では、集積しているエリアの、中心的な街路の値が高くなる傾向がある。また、都市的活動のポテンシャル（住宅、商業の集積、地価、車や人の通行量）との相関が指摘されており、この点において、交通事故リスクのモデル化における説明変数として、有効であると推測できる。

実際の解析は専用のソフトウェア<sup>註1)</sup>で行ったが、ここでは、その計算方法の考え方について説明する。例えば、図-2に示すようなセグメント（線分）とノード（交差点、端点および屈曲点）が存在するとき、各セグメントが、他のセグメント（群）とどのような接続関係となっているか、幾何形状を基に考える。

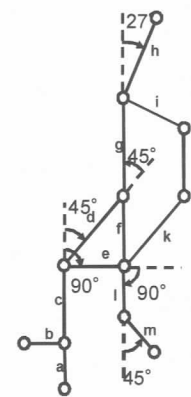


図-2 道路セグメントの接続関係の模式図

セグメント a を起点として考えると、そこから、c へ移動するには屈曲を必要としない。この状態を 0 step であるとする。一方、セグメント c から e へ移動するときのように、90度の屈折が介在するときには、これを 1 step の関係とする。また、セグメント c から d へ移動するときのように、45度の屈折が介在するときには、これを 0.5 step の関係とする。つまり、屈曲の角度に応じて、関係の遠さ、あるいは、幾何的な移動負荷のようなものを指標化していると言える。

この考えに基づいて、セグメント a と、他の全てのセグメントとの関係を計測した上で、その平均値を Mean Depth (以下、MD) とする。この MD 値の逆数を近接性指標と呼ぶ。

##### 4.5 媒介性指標

2つ目の指標が媒介性指標（グラフ理論における betweenness. choice = チョイスとも呼ばれる）である。

媒介性指標は、「あるセグメント」が、「他の任意の2セグメント間」の移動の途中経路として、どの程度頻繁に使用されるかを示す。この指標は、複数のエリアを結ぶという点で重要な街路（例えば、多くの経路が合流する区間、橋梁等）において、値が高くなる傾向がある。目的地よりも、通過点としての重要性を示す指標であるといえる。つまり、経路としての使われやすさを表し、交通事故リスク推計モデルの説明変数として有効であると推測できる。

実際の解析にあたっては、先に述べた専用のソフトウェア<sup>註1)</sup>で行ったが、ここでは、その計算方法の考え方について説明する。例えば、図-2に示すようなセグメント（線分）とノード（交差点、端点および屈曲点）が存在するとき、各セグメントから他のすべてのセグメントへ移動するときの経路について考える。

ここでも、4.3節で述べたように、屈曲の角度をベースに接続関係を step 数として捉えた上で、移動の過程における累積の step 数が最小になる経路を「最短経路」と定義する。これに基づいて、全ての組み合わせの、2セグメント間の最短経路を調べた上で、例えばセグメント g が「何回経路

として使われたか」を計測すると、17となる。同じように、セグメントjについて計測すると、この値は2となる。ここでは、この値の自然対数を取ったものを媒介性指標と呼ぶこととする。

4.6 指標算定の範囲について

前述の近接性、媒介性の算定方法の例においては、非常に小さいシステムであったため、「あるセグメント」と「他の全てのセグメント」の関係を指標化することを前提に述べたが、実際の指標算定においては、「あるセグメント」と「そこから累計 Xm 以内の、他の全てのセグメント」というように対象範囲を設定することにより、全域の近接性・媒介性だけでなく、解析範囲を絞って、広域、近隣での近接性・媒介性の指標化が可能である。つまり、このことによって、地域外の人によく使われるセグメントはどこか、地域内の人によく使われるセグメントはどこか等を類推することができる。

今回は、広域の媒介性と近接性共に高い交差点を抽出して、それらの値を基に主要交差点指標を設定した。

5. 事故リスク推計モデルの導出

5.1 基礎統計による母集団のフィルタリング

本検討で行うような、交通事故の発生件数を空間指標で説明することは、その本質上、高い統計的優位性を得ることが難しい。このような対象について、少しでも意味のある成果を得るためには、分析の母集団の選定が重要になると思われる。

ここではまず、対象地域内のノードのうち「事故リスクが非常に低いノード」を除外する。これは、事故件数が約10年間に0~1件という地点については、統計的に扱うことが妥当でないという

表-2 広域媒介性 (Rad = 5000) 指標値 14.5 以上の地点における追突事故のカバー率

	対象ノード数	媒介性 >14.5 のノード数	カバー率
全事故地点	407	302	74%
2件以上	194	177	91%
5件以上	65	64	98%

考えに依拠するものである。

この閾値の設定にふさわしい方法として、表-1で示した各変数および、前述の各種スペースシンタックス指標について利用可能性を検討した。ここでの条件としては、対象とするすべてのセグメントについて得られるデータであること、任意に閾値を決定できる連続量であること、ある閾値で区切った際に、できるだけ高いカバー率を得られること、などがあげられる。

この条件を満たすものとして、本検討では、媒介性 (Rad = 5000) 指標 (各セグメントから累積 5,000 m の範囲までを対象に算出した媒介性指標) を用いる。この値と地点ごとの事故数を重ね合わせてみると、表-2に示すとおり、2件以上事故が起きているノードの91%が、指標値 14.5 以上であるということがわかった。つまり、指標値 14.5 以下の地点は事故リスクが低く、また、そのような地点は多数存在することから、これらを一旦除いて統計分析を行うことが有効であると考えられる。

5.2 事故地点のバッファ処理

事故データより得られる事故数の分布を鳥瞰すると、互いに接近する複数のノードにおいて、分散して事故が起きていると見られる箇所がある。このような場合、個々のノードの事故件数が比較的小さくなるため、実は事故が多く発生している近傍地区の特性を見逃してしまう可能性がある。

この点に対応するため、相互に近接するノードを集計して、事故件数の空間分布を傾向としてとらえる必要がある。そこで、前節で抽出した、媒介性 (Rad = 5000) 指標 14.5 以上のノードを対象に、各ノードを中心とする半径 100 m の円 (バッファ) を描き、その範囲に入る事故の件数

表-3 追突事故リスク推計モデルの同定結果

	回帰係数値	t 値
①主要交差点指標	1.81	23.30
②信号交差点からの距離指標	-0.59	-8.32
③広域近接性	25.30	7.46
④広域媒介性の自然対数	1.04	4.91

サンプル数: 1,047  
各説明変数間の単相関係数 R は、0.30 以下

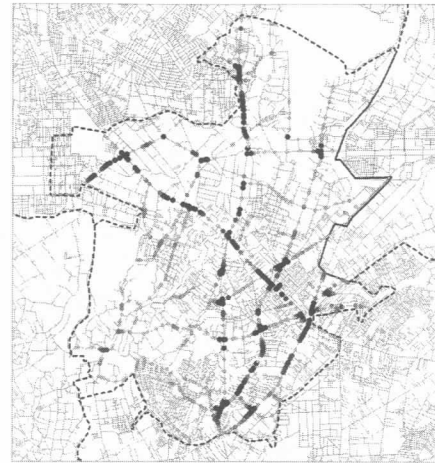


図-3 追突事故発生地点の分布 (バッファ化済)

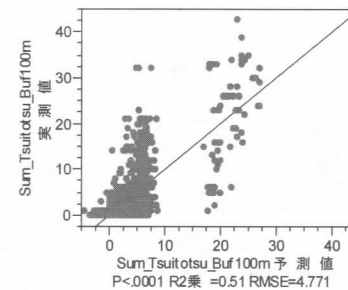


図-4 追突事故の実測値 (縦軸) と予測値 (横軸) との関係

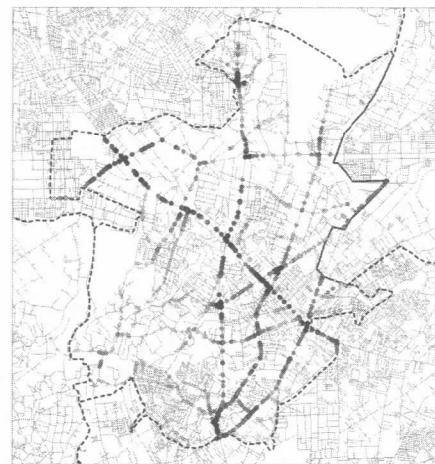


図-5 モデルによる追突事故リスクの分布

を合計したものを被説明変数とする。

5.3 事故リスク推計モデルの導出

次に、追突、出会い頭、右折の3種類の事故について、5.2項で示した被説明変数の母集団と、3章および4節で示した説明変数を用いて重回帰分析によるパラメーター推計を行った。

ここでは、追突事故に関する事故の発生状況 (図-3)、重回帰分析により採用されたパラメーター (表-3) および散布図 (図-4)、モデル指標値の分布状況 (図-5) を示す。

この重回帰モデルの決定係数は、 $R^2=0.51$  であった。散布図を見ても、統計的に説明力が高いモデルとは必ずしも言えず、道路の空間特性と事故数の相関分析は依然として困難である。しかし、実測値 (図-3) とモデル値 (図-5) を地図上で比べてみると、おおむね分布パターンを説明できていることが見て取れる。

他の2類型 (出会い頭、右折) についても同様のモデル化を行った。実測値とモデル値の地図上で分布をそれぞれ図-6~図-9に示す。

5.4 導出されたモデルに関する考察

表-4に、上記の3事故タイプの事故リスク推計モデルで採用された指標についてまとめた。いずれのモデルも「主要交差点指標」と「信号交差点からの距離指標」が採用されているが、これはある程度交通量もあり、規模が大きい交差点で、全体的に事故件数が多い傾向を反映しているといえる。

表-4 各類型モデルに採用された説明変数と考察

事故類型	採用された指標	考察
追突事故	1) 主要交差点指標, 2) 信号交差点からの距離指標, 3) 広域近接性, 4) 広域媒介性	広域での路線の重要性が大きく関係している。
出会い頭衝突事故	1) 主要交差点指標, 2) 信号交差点からの距離, 3) 広域近接性, 4) 近隣媒介性	活動の多さのポテンシャルである近接性指標との関係が確認された。また、近隣において認知度・利用頻度が高いと思われる道路で事故リスクが高くなっている。
右折時衝突事故	1) 主要交差点指標, 2) 信号交差点からの距離, 3) 広域近接性	広域での路線の重要性、及び、信号交差点の影響が大きく関係している。

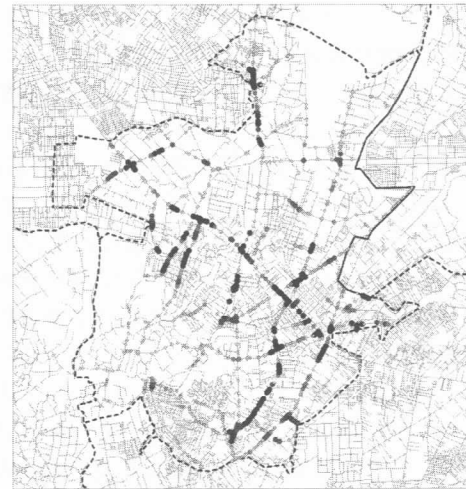


図-6 出会い頭事故発生地点の分布 (バッファ化済)

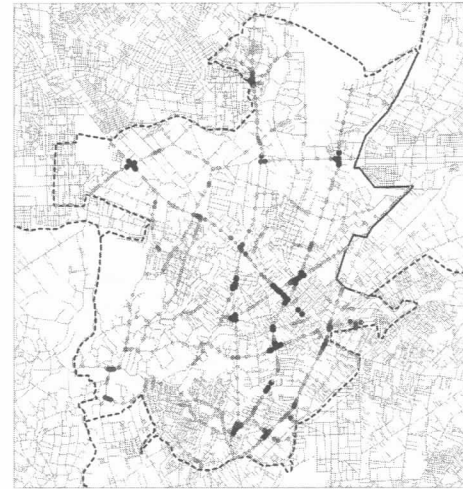


図-8 右折事故発生地点の分布 (バッファ化済)

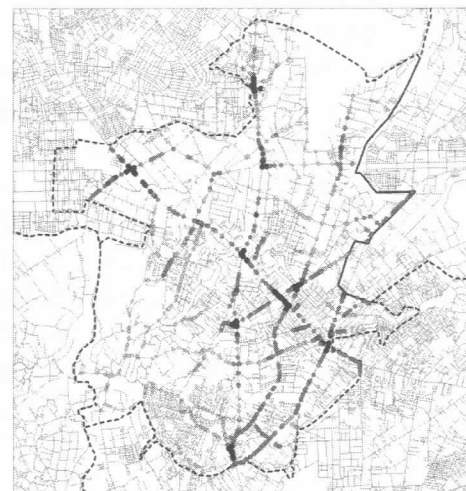


図-7 モデルによる出会い頭事故リスクの分布

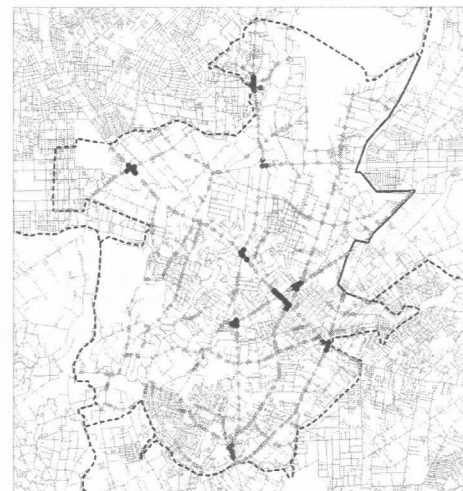


図-9 モデルによる右折頭事故リスクの分布

その他の指標を見ると、例えば出会い頭衝突事故に関しては、他のタイプには入っていない「近隣媒介性指標」が採用されていることなど、類型別の実際の事故地点の分布状況と照らし合わせても、合理性がある説明変数であると言える。

なお、今回は、説明変数の決定に際して、 $t$  値が絶対値 2.0 以上のものを選定したが、この基準を若干緩めて、多くの関連する変数を採用することも考えられる。たとえば、追突事故に関しては、商業・業務施設からの距離の指標が、説明力は弱

いものの、いくらかの有意性を示している。

## 6. 横浜市におけるケーススタディ

### 6.1 概要

最後に、構築したモデルの他地域への適用性を検証するため、横浜市全域を対象とした試算を行った。ベースマップには「数値地図 2,500 空間基盤データ・H 15 年版」を使用した。すべての細街路の交差点まで含めたノード数は 110,717 箇所である。

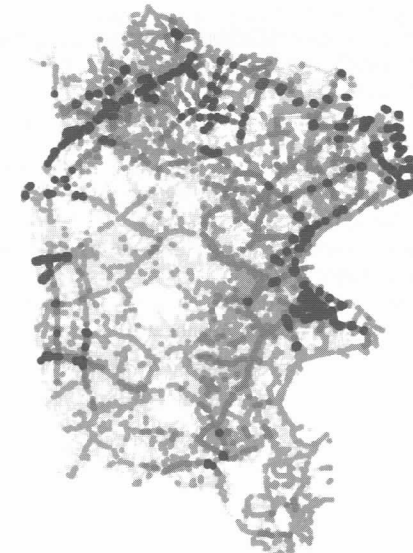


図-10 モデルによる追突事故リスクの分布



図-11 交通安全マップ (www.kotsu-anzen.jp) より (○印は加筆)

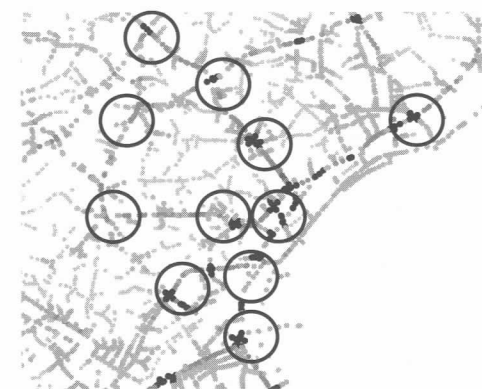


図-12 モデルによる事故多発地点の予測

## 6.2 ケーススタディ地区の事故リスク分布

まず、5.3 節で導出した事故リスク推計モデルを用いて、ケーススタディ地区における、3 類型の事故リスク分布を算出した。ここでは追突事故リスク分布を図-10 に示す。

## 6.3 事故発生状況との比較

ここでは、計算結果の妥当性を概略的に検証するため、警察庁と国土交通省によるウェブサイト「交通安全マップ」に掲載されている横浜駅周辺エリアの事故多発地点分布と、モデルによって計算された 3 事故類型のリスク値を単純に足し合わせたもの分布とを比較した。これによると、実際の事故多発地点 (図-11 上の○印で囲んだ地点) を、推計モデル (図-12) でも確認でき、このモデルによって、事故多発地点の分布傾向をおおむね説明できていると言える。

## 7. まとめと今後の課題

本検討では、交通量等のデータのない細街路も含めた、地域全体の交通事故リスク分布を概算する手法を提案し、その有効性の検証を行った。

今後は、統計分析の精緻化、高度化とともに、空間指標の組み合わせ等により説明力の高い新たな指標を見つけること、説明変数としては組み入れ難い局所的な道路・交通条件により特異的に事故が多発している地点の抽出と分析等を課題として研究を進めたいと考えている。

また、この手法は、安全運転支援システムの評価という今回の目的に限らず、各道路の使われかたの特性や、あるべき運用の姿などを議論するベースとなる汎用的なものであると考えられ、このような視点での展開も検討したい。

## 謝 辞

本研究は、平成 19 年度内閣官房による「安全運転支援システムの事故削減効果検討に関する調査研究」の一部をまとめたものである。内閣官房、千葉県警察本部、鎌ヶ谷市、市川市、白井市、ITS Japan J-Safety 効果評価分科会各位には、事故削減に向けた研究開発および研究発表へのご理解をいただき、また交通事故分析に深い知見をお持ち

の(株)トラフィックプラス南部繁樹様には多くの助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

注 記

注1) これらの指標の算定には英国ロンドン大学University College London で開発されたDEPTHMAP (Ver.7.12) を用いる。DEPTHMAP は大学等の研究機関による学術研究用には登録により無償で配布されているが、商用利用についてはSpace Syntax社が一切の使用許諾権を所有している。

参 考 文 献

1) 齊藤功次, 王印海, 高橋清, 家田仁; “事故発生過程を考慮した信号交差点における右折直進事故の事故リスク算定モデルの構築”, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, Vol.:

53 巻, pp. 476~477, 1998

- 2) 彦坂崇夫, 中村英樹; “高速道路単路部における交通状況と事故率との関連に関する統計的分析”, 交通工学研究発表会論文報告集, 第21回, pp. 173~176, 2001
- 3) コリム・マサド・デワン, 家田仁, 寺部慎太郎; “出会い頭事故及び進路変更巻き込み事故を対象にした事故リスク分析モデルの構築とその地理情報システムへの適用”, 土木計画学研究論文集, Vol. 24, pp. 751~756, 2001
- 4) Bill Hillier, Space is the machine, 1996
- 5) 高松誠治; “分析的なデザインアプローチの動向と今後”, 交通工学 42 巻増刊号, 2007. 10
- 6) Alasdair Turner ; “Angular Analysis”, 3rd International Space Syntax Symposium Atlanta, 2001

(2008年11月6日受 付)