

第63回(2019年度) 北海道開発技術研究発表会論文

交通事故リスクの空間的評価の指標と手法の開発

(国研)寒地土木研究所 寒地交通チーム ○四辻 裕文
平澤 匡介
佐藤 昌哉

道路の交通安全の質を評価できる新たな指標とその評価手法の開発が求められている。本研究では、交通安全の質を多面的に捉えたときの一つの切り口として、交通事故リスクの空間的な集積や分散の度合いに着目し、その空間的評価の指標と手法を開発して、札幌市内の国道網の評価にそれを適用した事例を示す。本研究で提案する手法を用いると、交通事故リスクが集積するエリアを抽出でき、かつ、そのエリアに対してどのような交通状態のときに交通安全対策を施せば効果的・効率的に交通事故リスクを低減できるかが評価できる。

キーワード：交通事故リスク、空間統計学、空間的自己相関、モラン散布図、交通基本図

1. はじめに

北海道の冬期道路交通サービスの安全性・信頼性の向上には、リスクマネジメントによる効果的・効率的な冬期交通事故対策が求められている。交通事故リスクマネジメントでは、交通事故リスクの評価が必要となる。交通事故リスク評価では、これまで主として交通量に基づく指標が用いられてきたが、今後は交通安全の質にも着目して安全性・信頼性の更なる向上を図っていく必要がある。道路の交通安全の質を評価する指標については、これまでも例えばヒヤリハット回数等を含む様々な指標が提案されてきた。しかし、交通安全の質を道路ネットワークの観点から評価できる指標は実務上あまり見かけない。そこで、交通安全の質を多角的に捉えたときの一つの切り口として、交通事故リスクの空間的な集積や分散の度合いに着目し、評価の指標と手法を開発したり。

具体的には、空間統計学を利用して交通事故リスクが空間的に集積・分散するエリアを見える化した。さらに、そのエリアに含まれる地域メッシュの季節別・時間帯別の交通状態別事故リスクを見える化した。これらの道具を用いて、札幌市内の国道網を対象に、地域メッシュ単位で季節別・時間帯別に交通事故リスクが集積するエリアを特定し、交通状態別にそのエリア内の交通事故リスクの評価を試みた。本研究で提案する交通安全の質の新たな指標とは、道路ネットワークを地域メッシュで区切った上で交通事故リスクのモラン散布図を用いて表現した空間的自己相関のことであり、新たな評価手法とは、交通事故リスクのモラン散布図およびメッシュ毎の交通状態別事故リスク図を用いて評価する手法を意味する。

2. 空間統計学の諸概念と分析道具

道路交通安全分野における空間統計学の応用例は、実務上まだまだあまり見られない。そこで本稿では先ず、瀬谷・堤²⁾に則って空間統計学の概容を説明する。

(1) 空間的自己相関

空間統計学とは、「座標」と「属性」からなる空間データを取り扱う統計学である。本研究では、この「座標」に相当するものとして、札幌市内の国道網を地域メッシュで区切った際の各メッシュの位置を扱い、同じく「属性」に相当するものとして、メッシュ内の国道の事故率(件/台km)を扱う。また、空間的自己相関とは、相関係数を空間的に拡張したものであり、「距離が近いほど事象の相互作用は強くなり、遠いほど弱くなる」という地理学の第一法則が地域にどれくらい当てはまっているかを評価するための空間統計学の指標である。

空間的自己相関には、大域的(グローバルな)空間的自己相関と局所的(ローカルな)空間的自己相関がある。前者は、地域全体として空間的自己相関がどの程度あるのかを示すもので、後者は、地域のどのあたりに空間的自己相関が存在するのかを示すものである。局所的空間的自己相関の値の総和は、大域的空間的自己相関の値に

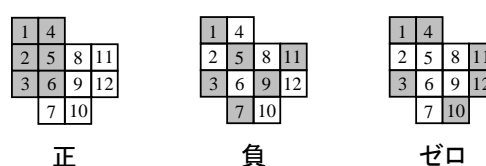


図-1 大域的空間的自己相関の概念図

比例する。図-1に概念図を示す。同図は12個のメッシュからなる地域を例示しており、各メッシュの色はリスクの有無を意味する。隣接するメッシュの属性（ここではリスクの有無）が似たような傾向、あるいは非常に異なった傾向を示すならば、空間的自己相関の値は正の符号、あるいは負の符号をもつ。地域内でメッシュ属性が完全にランダムに分布するならば、その値はゼロとなる。

(2) モラン統計量

空間的自己相関を測るための測度としてモラン統計量やギアリー統計量などがよく知られている。統計学ではベイズ統計量のように発明者の名を冠することがあり、上記もそれに倣っている。

以下、モラン統計量を定義する。図-1をN個のメッシュからなる地域に一般化し、任意のメッシュ*i* ($i = 1, \dots, N$) の属性を a_i とおく。全メッシュ属性の平均を $\bar{a} = \sum_{i=1}^N a_i / N$ とおく。このとき、グローバル・モラン統計量*I*とメッシュ*i*のローカル・モラン統計量 I_i は、それぞれ次式で表される。

$$I = \frac{N}{W_1} \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} (a_i - \bar{a})(a_j - \bar{a})}{\sum_{i=1}^N (a_i - \bar{a})^2} \quad (1)$$

$$I_i = N(a_i - \bar{a}) \frac{\sum_{j=1}^N w_{ij} (a_j - \bar{a})}{\sum_{i=1}^N (a_i - \bar{a})^2} \quad (2)$$

$I > 0$ ($I < 0$) ならば、正（負）の大域的空間的自己相関が存在することを意味する。式(1)(2)の w_{ij} は、任意のメッシュ*i*に他のメッシュ*j* ($j \neq i$) が隣接する場合に1、そうでない場合に0の値をとるダミー変数である。 $\mathbf{w} = [w_{ij}]$ は「空間重み行列」と呼ばれており、 \mathbf{w} の行*i*が任意のメッシュ番号、列*j* ($j \neq i$) が当該メッシュ周辺のメッシュの番号を表す。また、式(1)の W_1 は、 \mathbf{w} の要素の中で値が1をとる要素の総数を意味し、 $W_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}$ と定義される。

式(1)(2)より、次式が成り立つ。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N I_i}{W_1} \quad (3)$$

したがって、ローカル・モラン統計量（つまり、局所的空間的自己相関）の値の総和は、グローバル・モラン統計量（つまり、大域的空間的自己相関）の値に比例していることが分かる。

(3) モラン散布図

空間統計学では、ローカル・モラン統計量で測ったメッシュ属性の空間的な集積・分散の状況を「見える化」するための分析道具として、モラン散布図がよく知られている。モラン散布図は、次の手順で作成される。

まず、任意のメッシュのローカル・モラン統計量を「当該メッシュの属性に関する標準化測度」と「その周

辺メッシュの属性に関する標準化測度」に分解する。

次に、前者の測度の値がX軸に、後者の測度の値がY軸に対応するような座標系を設ける。測度が標準化されているので、この座標系の原点は平均水準を意味する。

最後に、座標平面上に全メッシュの空間データをプロットし、第1象限から第4象限までの象限毎にメッシュ番号を分類する。これがモラン散布図である。

上記のX軸の測度（メッシュ*i*の属性 a_i の標準化測度） m_i^X は、次式で定義される。

$$m_i^X = \frac{a_i - \bar{a}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (a_i - \bar{a})^2 / N}} \quad (4)$$

同様に、Y軸の測度（メッシュ*i*の周辺のメッシュの属性 a_j の標準化測度） m_i^Y は、次式で定義される。

$$m_i^Y = \frac{\sum_{j=1}^N w_{ij} (a_j - \bar{a})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (a_i - \bar{a})^2 / N}} \quad (5)$$

図-1に示した地域の12個のメッシュのリスク値を、さきほどはリスクの有無という0か1の整数で表したが、ここでは0から1までの実数で表すことにして、 $\mathbf{a} = [a_i] = [0.7, 0.8, 0.5, 0.6, 0.7, 0.9, 0.2, 0.1, 0.2, 0.2, 0.3, 0.2]$ と設定する。上記のモラン散布図作成の手順に従い、 \mathbf{a} に関するモラン散布図を作成すると、図-2となる。 $I > 0$ なので、

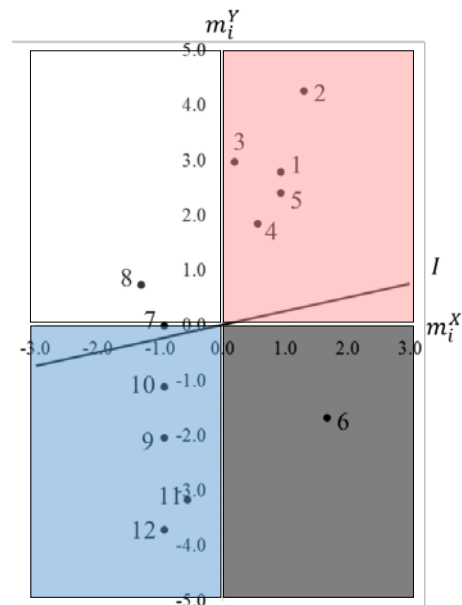


図-2 モラン散布図の例

1	4		
2	5	8	11
3	6	9	12
	7	10	

図-3 局所的空間的自己相関の「見える化」

この地域のリスク集積には正の大局的空間的自己相関が存在する。また、式(2)より $I_i = m_i^X m_i^Y$ が成立するので、モラン散布図上の点 (m_i^X, m_i^Y) と X軸と Y軸で囲まれた四角い領域の面積はその点のローカル・モラン統計値と等価である。

図-3は、図-2のモラン散布図を基に図-1の地域に対して局所的空間的自己相関の「見える化」を施したものである。図-3より、視覚的にも、この地域に正の大局的空間的自己相関が存在することが見てわかる。図-3において、「当該メッシュのリスクが高くその周辺メッシュのリスクも高いというメッシュが集積している」という意味で、メッシュ番号 1、2、3、4、5 のエリアにリスクが集積している。このエリアのいずれかのメッシュに対してリスク対策を施すことが、対策効果の空間的波及を考慮すると効果的・効率的であると評価できる。

3. 交通状態別事故リスクの空間的評価手法

前章では、リスクの内容を明示していなかったが、本章では、交通状態別事故リスクに着目した空間的評価の手法を提案する。

(1) 本手法の概要

本研究で提案する方法は、次のような特徴をもつ。交通基本図に交通事故率を割り付けて作成する「交通状態別事故リスク図」と、交通事故リスクの「モラン散布図」を用いることにより、交通事故リスクが集積するエリアを季節別・時間帯別に抽出し、そのエリアに含まれるメッシュ内の国道網に対して「季節別・時間帯別にみてもどのような交通状態のときに交通事故対策を施せば効果的・効率的に交通事故リスクを低減できるか」といった評価が行えるようにする。この評価手法を用いると、交通事故リスクマネジメントを効果的・効率的に実施することが出来ると考えられる。本研究で提案する方法は、図-4のフローに従う。

(2) 基準地域メッシュからの対象メッシュ抽出

総務省統計局の地域メッシュのうち、メッシュ内に一般国道を含んでいるメッシュを抽出する。本研究では基準地域メッシュ（3次メッシュ、1km四方）を対象とする。抽出したメッシュを「対象メッシュ」と呼ぶ。

(3) 対象メッシュ属性のデータ整理

まず、季節別・時間帯別にモラン散布図を作成するにあたり、春季（3～5月）、夏季（6～8月）、秋季（9～11月）、冬季（12～2月）、並びに、早朝（7～9時台）、昼間（10～15時台）、夕暮（16～18時台）、夜間（19～6時台）の区分を採用する。

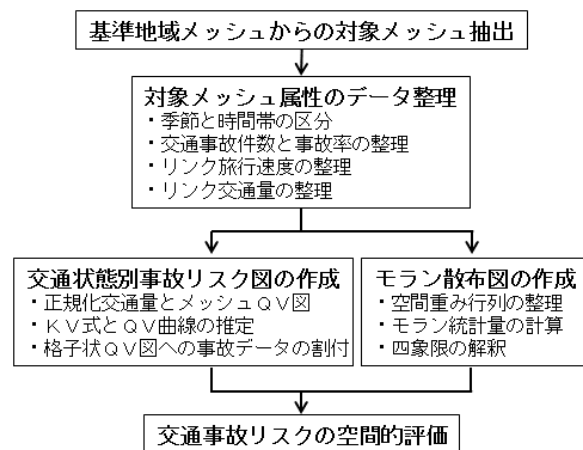


図-4 本研究で提案する空間的評価のフロー

次に、対象メッシュ内に含まれる一般国道の旅行速度データを整理する。地域におけるETC2.0の2次メッシュ DRM リンク 15分単位集計の平均旅行速度データを ETC2.0存在台数で1時間単位に加重平均する。この1時間単位の旅行速度データのマップマッチングを2次メッシュ番号と流入ノード番号と単位区間番号を参照して行い、対象メッシュ毎に区切る。そして、対象メッシュ内の国道リンクの1時間単位の旅行速度データを季節別・時間帯別に整理する。これを「対象メッシュのリンク旅行速度」と呼ぶ。

次に、対象メッシュ内に含まれる一般国道の交通量データを整理する。センサスの日単位の交通量データのマップマッチングを2次メッシュ番号と流入ノード番号と単位区間番号を参照して行い、対象メッシュ毎に区切る。そして、季節別の時間係数を用いてこの日交通量を時間交通量へと比例配分し、それを季節別に早朝・昼間・夕暮・夜間の時間帯で集計する。これを「対象メッシュのリンク交通量」と呼ぶ。

最後に、対象メッシュ内の交通事故件数と事故率（単位：件/億台km）を DRM リンク毎に季節別・時間帯別に整理する。事故率の分子はリンク毎の交通事故件数とし、分母はリンク交通量とリンク長の積とする。

(4) モラン散布図の作成

全ての対象メッシュに順番を付けてそれを行番号・列番号にもつ空間重み行列を作成する。交通事故率（あるいは交通事故件数）をメッシュ属性 a_i とし、 m_i^X と m_i^Y を計算してモラン散布図を作成する。

次に、モラン散布図における各象限の解釈を行う。一般に、交通工学では事故多発地点はブラックスポットと呼ばれ、空間統計学では集積する事故多発地点はホットスポットと呼ばれている。本研究では、これらの呼称を参考にしつつ、4つの象限を図-5に示すように名付けることにした。第1象限（または第3象限）は「ホットメッシュ」（または「クールメッシュ」）が属するクラス

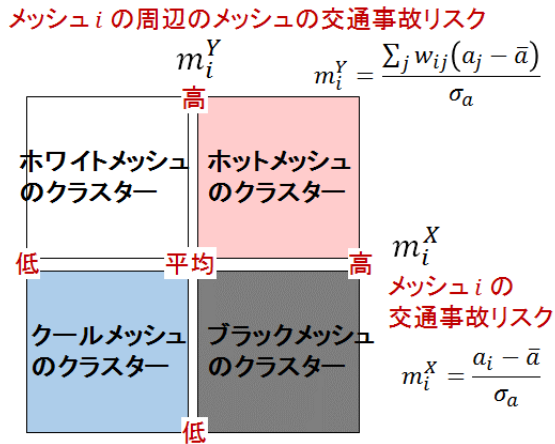


図-5 モラン散布図の各象限の解釈

表-1 交通状態別事故リスクの着色区分

	赤色	橙色	黄色
人身事故件数	4以上	2以上	1以上
人身事故率	20以上	10以上	1以上
物損事故件数	1000以上	500以上	100以上
物損事故率	5000以上	2500以上	100以上

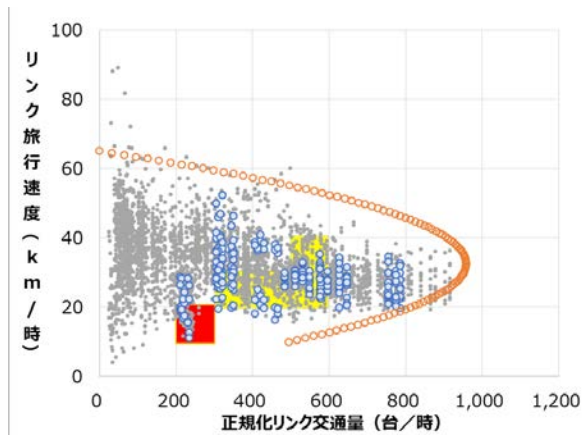


図-6 交通状態別事故リスク図の例

一であり、周辺メッシュとともに事故リスクが高い（または低い）メッシュが属する。第4象限（または第2象限）は「ブラックメッシュ」（または「ホワイトメッシュ」）が属するクラスターであり、周辺メッシュよりも事故リスクが高い（または低い）メッシュが属する。

(5) 交通状態別事故リスク図の作成

交通工学ではよく知られている交通基本図に関して、交通量*Q*と速度*V*の関係を示すのが*QV*図である。本研究では、対象メッシュのリンク旅行速度と正規化されたリンク交通量に基づき季節別・時間帯別に*QV*図を作成する。これを「メッシュ*QV*図」と呼ぶことにする。

メッシュ*QV*図の作成では、対象メッシュ内で異なる車線数を持つ国道が混在している影響を除去する必要がある。

ある。そこで、往復車線数に応じた季節別交通容量でリンク交通量を除した交通容量比を算出し、それに基本交通容量を乗ずることにより、リンク交通量の正規化を行う。ただし、冬季交通容量には冬季補正率を乗じる。

メッシュ*QV*図上に*QV*曲線を配置したあと、交通事故データを割り付けるためにメッシュ*QV*図を格子状に区切る。これを「格子状*QV*図」と呼ぶことにする。

格子状*QV*図への事故データの割り付けは、次の手順で行う。まず、図中の点群（対象メッシュ内の全リンク）のうち着目する季節・時間帯に事故が観測されたリンクを抽出する。そして、事故が観測されたリンクが属する格子について、格子内での最大の事故件数または事故率の値に応じて表-1の着色区分に従い格子を色分けする。このようにして事故データを割り付けた格子状*QV*図を「交通状態別事故リスク図」と呼ぶ。

図-6に、3次メッシュ番号64414278における冬季・昼間の人身事故率が割り付けられた交通状態別事故リスク図を例示する。この図は、JR札幌駅や地下鉄大通駅を含む札幌市内中心部のメッシュを例示している。図中の点は、「季節×時間帯×対象メッシュ内の国道数×当該国道のリンク数」の数だけ存在する。図の横軸はメッシュ内の正規化リンク交通量なので、図中に示した交通容量は、一般的な交通基本図における交通容量を意味するのではなく、メッシュ内の全ての国道の車線数を往復2車線と見做して正規化した「正規化交通容量」を意味する。図中の点群のうち青色の点は、冬季・昼間に人身事故が観測されたリンクを表す。この青色の点を含む任意の格子内で、最大の人身事故率の値をもつ点の着色区分に応じて、当該格子を着色する。例えば、図中の縦軸10~20km/時と横軸200~300台/時の格子については、格子内で冬季・昼間の人身事故率が最も大きいリンクが表-1の赤色に該当するので、当該の格子の色は赤色となる。

4. 札幌市内の国道網を対象とした評価の例

札幌市内の国道網の交通事故リスクの評価に、本研究で提案する空間的評価手法を適用した事例を示す。

(1) 前提

札幌市内に市区コードをもつ基準地域メッシュ 1,523メッシュの中から、メッシュ内に一般国道を含む 196メッシュを抽出し、これを対象メッシュとした。評価期間は、平成27~28年度の2箇年とした。対象メッシュ属性のデータ整理には、寒地土木研究所が開発した交通事故分析システムを使用した。

交通事故データについては、対象メッシュ内の一般国道の交差点部（ただし、交差点中心から半径 150m 内とする）における人身事故件数と人身事故率（単位：件/箇所）、および単路部（ただし、交差点部を除く）にお

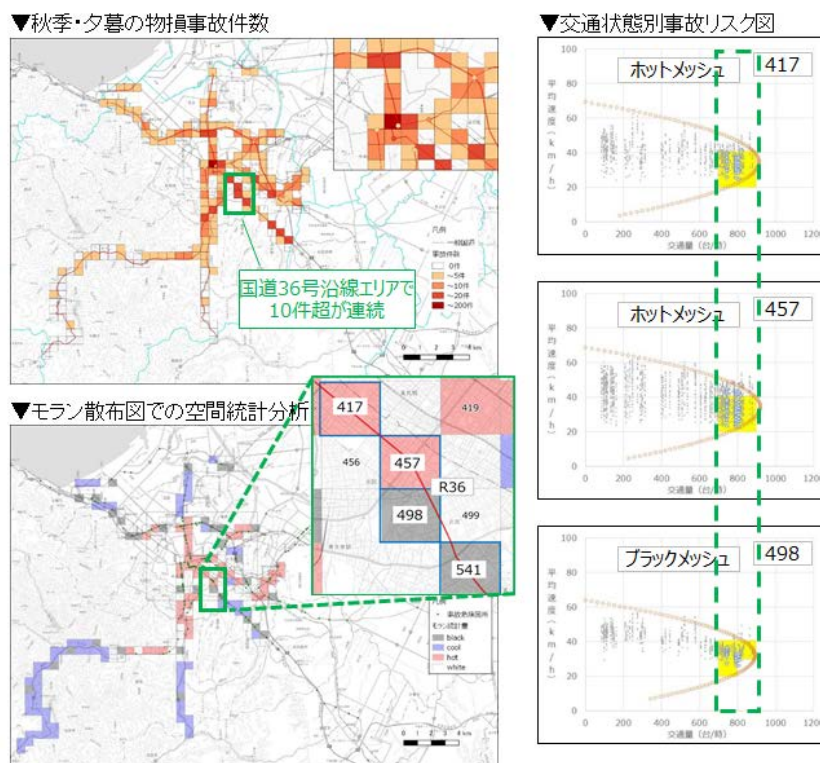


図-7 札幌市内の国道網の秋季・夕暮の物損事故件数に着目した空間的評価の例

ける人身事故件数と人身事故率（単位：件／億台 km）を季節別・時間帯別に整理した。加えて、対象メッシュ内の一般国道における物損事故件数（ただし、事故地点の住所情報に基づき近隣の国道にジオコーディング）と物損事故率（単位：件／億台 km）も同様に整理した。

旅行速度データについては、平成27～28年度のETC2.0リンク集計データ（様式2-2）を用いて対象メッシュのリンク旅行速度を整理した。

交通量データについては、評価期間の札幌市内では時間帯によって1時間当たりのETC2.0搭載車の存在台数が1台以下となる対象メッシュが多数存在したので、ETC2.0存在台数を使わなかった。その代わりに、平成27年度のセンサス日交通量データと札幌市周辺の常時観測調査基本観測地点の時間係数表を用いて平成27～28年度のリンク交通量を整理した。

(2) 秋季・夕暮の物損事故件数に着目した評価の例

図-7に、札幌市内の国道網における秋季・夕暮の物損事故件数を対象に、本研究で提案する交通事故リスクの空間的評価手法を適用した事例を示す。

秋季・夕暮の物損事故件数をメッシュ毎に独立してみた場合、評価期間中に国道36号沿線で10件を超えるメッシュが集中するエリアが存在した。モラン散布図を用いた空間統計分析の結果、図中のメッシュ番号417、457、498、541の着色が示すように、同エリアにはホットメッシュまたはブラックメッシュが集積することが判明した。

図の右側には、各メッシュの交通状態別事故リスク図を並べている。これらを見ると、メッシュ417とメッシュ457においては、正規化リンク交通量が700～800台/時と800～900台/時の交通状態で、かつ、正規化交通容量の状態では事故率が大きくなっている。しかも、この状態は、渋滞領域に属している。これら2つのメッシュはいずれもホットメッシュであったので、局所的空間的自己相関が正となる。このことは、メッシュ417あるいはメッシュ457において渋滞対策を施すことにより、一方の事故対策が他方の最大物損事故件数の低減に寄与する可能性があるということを示唆する。その一方で、メッシュ498はブラックメッシュであったので、周辺メッシュとの物損事故件数の空間的な相関性は統計的に認められない。したがって、このメッシュについては、エリアでの対策というよりも、メッシュ単体での対策を施すことが効果的・効率的であると評価できる。

6. おわりに

本稿では、交通事故リスクの空間的評価手法を開発し、札幌市内の国道網を対象に季節別・時間帯別の冬期交通事故リスク評価にそれを適用した事例を示した。

これまで概して、交通事故多発箇所といった地点毎に交通事故対策実施の是非が判断されることが多かった。

本研究で提案した方法は、交通事故対策の効果を周辺メッシュに波及させる可能性があるメッシュを抽出できるという点からみて、交通事故リスクマネジメントの効果的・効率的な実施に資すると考えられる。

今後の課題としては、ホットメッシュのエリアにおいて、あるメッシュで実施した対策の効果が実際に周辺メッシュに波及するのかを検証することが挙げられる。ホットメッシュのエリアでは、あるメッシュのリスクが高いとき周辺メッシュのリスクも高いという相関関係は統計的に認められる。しかし、当該メッシュのリスクを低減させると周辺メッシュのリスクが必ず低減するとは限らず、低減する可能性が示されるだけである。必ず低減することを示すには、当該メッシュの対策を原因とし、周辺メッシュのリスク低減を結果とした因果分析の考

方が必要になってくる。交通事故リスクの空間的な相関関係のみならずその因果関係も考慮した評価方法の検討については今後の課題にしたい。

謝辞：北海道警察本部交通部交通企画課と寒地土木研究所との共同研究に基づいて北海道警察からご提供いただいた交通事故データを本研究の分析で使用した。

参考文献

- 1) 四辻・平澤・佐藤：札幌市内の国道網を対象とした交通状態別事故リスクの空間的評価、寒地土木研究所月報、No. 794、pp. 30-39、2019.
- 2) 瀬谷・堤：空間統計学—自然科学から人文・社会科学まで、朝倉書店、第4章、pp. 22-41、2014.