

道路障害リスクと道路巡回の合理化方策

京都大学大学院 小濱 健吾^{*1}
 大阪大学大学院 貝戸 清之^{*2}
 京都大学経営管理大学院 小林 潔司^{*3}
 国土交通省近畿地方整備局 加藤 俊昌^{*4}
 財団法人道路保全技術センター 生田 紀子^{*5}

By Kengo OBAMA, Kiyoyuki KAITO, Kiyoshi KOBAYASHI, Toshiaki KATOH and Noriko IKUTA

本研究では、路上障害物（路上落下物、路面の変状・損壊、道路付帯施設の破損・損壊など）の撤去・修繕を目的として実施される道路巡回業務に対して、路上障害物の信頼水準と予算制約の関係に基づいて望ましい巡回方策を決定するための方法論を提案する。具体的には、路上障害物の発生過程のモデル化に際して、多様な路上障害物の到着率の異質性を表現するために、到着率が確率分布（ガンマ分布）するポワソンガンマ発生モデルを定式化する。つぎに、ポワソンガンマ発生モデルを用いて障害物発生数の確率分布を表現することにより、路上障害リスクの管理指標をモデル化する。その上で、所与の予算制約の下で、路上障害リスクを可能な限り小さくするような望ましい巡回方策を検討する方法論を提案する。

【キーワード】道路巡回、リスク管理指標、路上障害リスク、予算制約

1. はじめに

道路管理者は、道路を常時良好な状態に保つよう努めなければならない（道路法第42条第1項）。特に、路上落下物や路面の変状・損壊は、交通事故、車両破損事故につながるリスクを有している。このために、道路管理者は定期的に道路を巡回し、路上落下物の撤去、路面の変状を修繕することが求められる。一方で、財政縮減の中で、道路施設の維持補修においても管理業務の効率化が課題となってきている。道路管理費用の中で、道路巡回業務が占める割合は少なくなく、安全性の確保を前提としながらも、同時に効率性にも配慮した道路巡回方法を検討することが必要である。

通常、道路巡回は一定の時間間隔ごとに実施される。道路の巡回頻度を増やすほど、道路の安全性や交通流の確保に支障をきたす事象（以下、路上障害物という）の発生に迅速に対応することができ、路上障害物を長時間放置するリスク（路上障害リスク

と呼ぶ）は小さくなる。一方で、道路巡回の頻度を多くすると巡回費用の増加を招く。このように、路上障害リスクと道路の巡回費用の間にはトレードオフの関係があり、管理者は両者の関係を考慮に入れて望ましい道路巡回方策を検討することが必要である。

本研究では、所与の予算制約の下で、可能な限り路上障害リスクを小さくするような巡回方策を作成する方法論を提案する。その際、路上障害リスクの管理指標として、巡回時に発見される路上障害物数（累積放置数と呼ぶ）と、路上障害物と遭遇する交通量（遭遇交通量と呼ぶ）を取り上げる。また、道路巡回方策を構成する要因として、1回の巡回において対象とする道路区間（管理基本区間）、個々の管理基本区間における巡回頻度、及び重点的巡回を実施する区間（重点管理区間と呼ぶ）をとりあげる。しかし、これらの要因の組み合わせとして定義される巡回方策は膨大な数となり、中には現実的でないものも数多く含まれる。そこで、本研究では、道路管理者が巡回方策を複数個設定するとともに、それ

*1 工学研究科都市社会工学専攻 修士課程 075-383-3224, k.obama@psa.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

*2 工学研究科グローバル若手研究者フロンティア研究拠点 特任講師, kaito@g.a.eng.osaka-u.ac.jp

*3 経営管理講座 教授 075-383-3224, kkoba@psa.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

*4 道路部 06-6942-1141, katou-t86ne@kkr.mlit.go.jp

*5 近畿支部 06-6944-9831, ikuta-n@hozen.or.jp

らの巡回方策の中から、所与の予算制約の中で路上障害リスクが小さくなるような方策を絞り込むという現実的な方法論を開発する。

以上の問題意識の下に、本研究では所与の予算制約の下で、路上障害リスクを可能な限り小さくするような望ましい巡回方策をヒューリスティクに求める方法論を提案する。以下、2. で本研究の基本的な考え方を説明する。3. では、望ましい道路巡回方策を求める道路巡回モデルを定式化し、4. で適用事例を示す。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 従来の研究概要

道路巡回は、路上に落下している障害物の撤去や、道路施設の破損・損壊への迅速な対応等を目的として実施される。このような路上障害物が発生する過程はランダム現象であり、その発生過程を確率過程としてモデル化することが可能である。土木工学の分野においても、ランダム到着事象をポワソン過程を用いてモデル化した研究事例は数多い¹⁾。ポワソン過程は、分析対象とする事象の到着率が確定的な定数で表現されるため、数学的な取り扱いが容易であるという利点がある。しかし、路上障害物には、さまざまな種類が含まれており、そのすべてが同一の到着率に従って発生するとは限らない。さらに、ポワソン過程では、あるサイクル期間に路上障害物が発生する個数の期待値と分散が一致するという制約が存在する。特に、路上障害物の到着個数の期待値が非常に小さい値になった場合、分散も非常に小さい値となり、路上障害物が到着するという事象自体が、特異な現象になるという問題が生じる。すなわち、路上障害物の発生数の分散は、期待値よりもかなり大きいという over-dispersion の問題²⁾が発生する。このような over-dispersion の問題を解決するためには、路上障害物の到着率の異質性を認めた混合ポワソン過程を用いることが必要である。

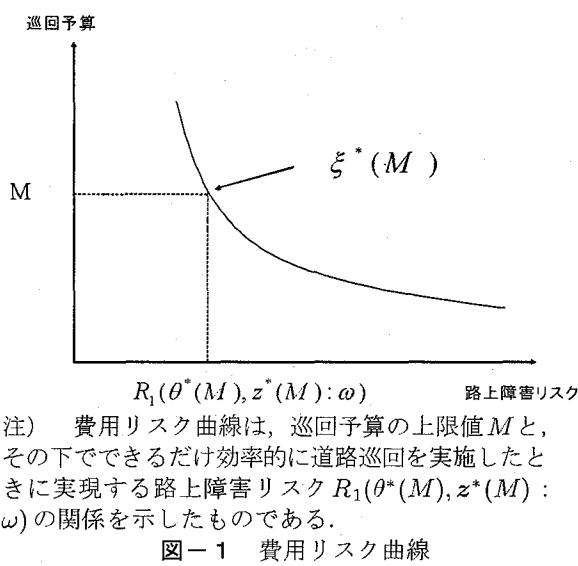
混合ポワソン過程に関する研究は、Fisher³⁾が先鞭をつけ、その後、各種の拡張が試みられた⁴⁾⁻⁵⁾。また、適用事例として、オペレーションアルリスクの評価⁶⁾や事故リスクの評価⁷⁾に用いられてきた実績がある。一般に、混合ポワソン過程モデルは、発生確

率分布と発生間隔の確率分布を合成するために、モデル構造が非常に複雑になる。しかし、本研究で採用するポワソンガンマ発生モデル²⁾は、混合ポワソン過程モデルの中で、もっとも簡単なモデル構造を有しており、モデルを解析的に表現できるという利点がある。さらに、路上障害物のリスク管理指標を容易に導出できるという利点も有している。以上の理由により、本研究ではポワソンガンマ発生モデルを用いて、路上障害物の発生過程を表現する。なお、本研究で用いるポワソンガンマ発生モデルとリスク管理指標は、貝戸らがすでに提案した⁸⁾ものであり、それ自体には新規性はない。

道路巡回頻度は、路上障害リスクと密接な関係がある。道路巡回頻度を減少すれば、巡回費用を低減できる。一方で、路上障害物が長時間放置され、交通事故の発生等の路上障害リスクを増加させる。このように巡回費用と路上障害リスクとの間には、巡回頻度を介してトレードオフの関係が存在する。そこで、本研究では、路上障害物の発生過程を混合ポワソン過程としてモデル化し、路上障害リスクを可能な限り小さくすることを目的とした道路巡回方策を検討するための方法論を提案する。筆者等の知る限り、路上障害物の実証的な計測結果に基づいて、合理的な道路巡回方策を検討した研究事例は本研究以外に見あたらない。

(2) 路上障害リスク管理指標

道路管理者は、路線もしくはいくつかの連続する道路区間を対象として道路巡回を行い、路上障害物の除去に務めている。本研究では、1回の道路巡回により一括してリスク管理を行う道路区間の集合を管理基本区間と呼ぶこととする。貝戸等は、道路管理者が路上障害リスクを管理する場合、1) 路上障害物の発生頻度と、2) 路上障害物の社会・経済的重要性という2つの視点が必要となることを指摘している⁸⁾。路上障害物の発生頻度が多い道路区間ほど、路上障害物を頻繁に除去することが必要となる。一方、交通量の多い道路区間では、わずかな路上障害物でも、それと遭遇する交通量が多い。このため、路上障害物の到着率が同一でも、交通量が多い道路区間ほど頻繁に路上障害物を除去することが必要となる。本研究においても、貝戸等が提案したように、



1) 巡回時刻において発見する路上障害物数（累積放置数）と、2) 路上障害物と遭遇する総交通量（遭遇交通量）という2種類の路上障害物のリスク管理指標⁸⁾を採用する。路上障害物は、道路網上の個別地点ごとに生起する局所的な事象である。したがって、対象とする路線や道路網を細分化し、細分化された個々の単位道路区間ごとに路上障害リスクの管理指標を定義することが必要となる。一方、道路管理者は、複数の路線や道路網を同時に管理しており、ネットワーク全体としての路上障害リスクを管理する視点が必要となる。本研究では、このような路上障害リスク管理問題の特性に配慮し、路上障害リスクを道路管理者が管理する道路網全体にわたって、可能な限り一様に一定水準以下に抑制するような道路巡回方策について検討する。以上の問題意識に基づいて、本研究では個々の単位道路区間において定義されるリスク管理指標の中から、もっとも路上障害リスクが大きいような道路区間のリスクを可能な限り小さくすることにより、結果的に道路網全体における路上障害リスクを一律に小さくするような道路巡回方策を求めるmin-max計画モデル（以下、道路巡回モデルと呼ぶ）を定式化する。

(3) 費用リスク曲線

道路巡回業務の管理指標として、路上障害リスクと巡回費用をとりあげる。これら2つの管理指標の間には、図-1に示すようにトレードオフの関係が存在する。路上障害リスクの管理指標としては、のち

に3.(3)で議論するように、累積放置数、および遭遇交通量のVaR指標を取り上げる。ここでは、累積放置数に着目し、路上障害リスクと巡回費用のトレードオフの関係を説明しよう。いま、道路網を単位道路区間に細分化しよう。その上で、道路網を連続する一連の単位道路区間で構成される管理基本区間に分割する。道路巡回は管理基本区間単位に実施される。管理基本区間ごとに巡回間隔が異なっていてもいい。道路巡回方策の代替案を ξ_j ($j = 1, \dots, J$) と表そう。道路巡回方策 ξ_j は、管理基本区間の分割案 θ_j と管理基本区間の巡回間隔を表すベクトル z_j を用いて表現できる。道路巡回方策 $\xi_j = (\theta_j, z_j)$ を採用したときに、必要となる巡回費用を $C(\theta_j, z_j)$ と表そう。道路巡回方策 ξ_j が決まれば、各単位道路区間の累積放置リスクを評価できる。各単位道路区間の累積放置リスク指標の中で、もっとも大きい値を $R_1(\theta_j, z_j; \omega)$ と表そう。ただし、 ω は管理上の信頼性を表現するパラメータ（リスク信頼水準）であり、その詳細は3.(3)で議論する。

いま、道路巡回予算の上限値 M が与えられたとしよう。道路巡回予算に制約条件が存在するために、すべての道路巡回方策が実行可能なわけではない。いま、巡回予算の上限値 M を満足するような道路巡回方策の中で、もっとも路上障害リスクを小さくするような巡回方策を $\xi^*(M) = (\theta^*(M), z^*(M))$ と表そう。さらに、道路巡回方策 $\xi^*(M)$ を採用した時に実現する累積放置リスク指標を $R_1(\theta^*(M), z^*(M); \omega)$ と表せる。図-1は、巡回予算の上限値 M のそれぞれに対して、実現する累積放置リスク指標値 $R_1(\theta^*(M), z^*(M); \omega)$ の関係を例示したものである。このように巡回予算と路上障害リスクの間にはトレードオフの関係が成立する。本研究では、図-1に示すようなトレードオフの関係を表す曲線を費用リスク曲線と呼ぶ。現実には、一定期間ごとに道路巡回を実施するため、路上障害リスクを完全にくすことは不可能である。したがって、現実的にはある一定水準の路上障害リスクを受け入れざるを得ない。路上障害リスクに関する信頼水準を決定すれば、費用リスク曲線を用いて、信頼水準を達成するために必要となる道路巡回費用を求めることができる。なお、路上障害リスクの管理指標として、遭遇交通量リスク指標を用いても、図-1と同様な費用

リスク曲線を求めることが可能である。

3. 道路巡回モデル

(1) モデル化の前提条件

本研究では、数多くのタイプの路上障害物が異なる到着率で生起し、結果として路上障害物の到着率が確率分布に従って分布すると考える。このような特性を持つ道路障害物の発生過程を、貝戸等が提案したポワソンガンマ発生モデル⁸⁾を用いて表現する。その上で、2.(2)で議論したように、1) 累積放置リスク指標、2) 遭遇交通量リスク指標という2つのリスク管理指標を定式化する。すでに述べたように、路上障害物の発生は局所的な事象である。このため、まず単位道路区間 k ($k = 1, \dots, I$) ごとに、リスク管理指標を定義しよう。路上障害物の発生が確率過程に従う場合、巡回時刻で発見される路上障害物の累積放置数は確率的に変動する。ある信頼水準の下で、路上障害物の累積放置数に関するリスク管理を行う場合、路上障害物の累積放置数の確率的変動を考慮できるような VaR (Value at Risk) 指標が必要となる。ついで、遭遇交通量リスク指標を定式化する。道路障害物が長期間路上に放置されると交通事故リスクが増加する。さらに、自動車交通量が多い道路では、累積放置時間が長くなるほど、交通事故リスクも大きくなる。当該道路区間を利用する交通量に関する情報を用いて、2つの巡回時刻の間に路上に放置された障害物と遭遇する延べ交通量を「遭遇交通量」と定義する。

路上障害物の発生過程をモデル化するために、対象とする道路網を構成する各路線を複数の単位道路区間に分割する。さらに、単位道路区間ごとに、路上障害物の発生個数に関する時系列データが利用可能であると考えよう。図-2に示すように、各単位道路区間で時間軸に沿って同一の時間間隔を経て道路巡回が実施されると考えよう。時刻 τ はカレンダー上の実時刻を表す。以下、実時刻のことを「時刻」と呼ぶ。同図の時刻 τ_A, τ_B, \dots において、道路巡回が実施されている。ある巡回時刻から次の巡回時刻までの期間をサイクルと呼ぶ。隣接する巡回時刻の間の時間間隔をサイクル長と呼ぶ。同図の例では、サイクル長は z_k である。道路巡回が実施され、路上障害物

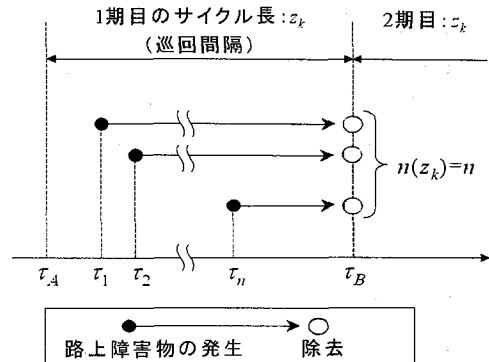


図-2 路上障害物の発生過程

が発見されれば、直ちに障害物が除去される。一方、時刻 τ_1, τ_2, \dots に路上障害物が発生している。しかし、道路管理者は、路上障害物が発生した時刻を観測することができない。時刻 τ_B で道路巡回することにより、図-2に示すように、サイクル期間 $[\tau_A, \tau_B]$ の間に発生した路上障害物の累積放置数のみを観測することができる。

(2) ポワソンガンマ発生モデル

路上障害物の発生過程を、ポワソンガンマ発生モデルを用いて表現する。その詳細は参考文献⁸⁾に譲るが、ここでは読者の便宜を図るために簡単にその内容を説明する。いま、単位道路区間 k ($k = 1, \dots, I$) における路上障害物の到着率 $\lambda_k > 0$ が、ある確率分布に従うと考えよう。到着率 λ_k を確率変数 ε_k を用いて

$$\lambda_k = \exp(\mathbf{x}_k \boldsymbol{\beta}') \varepsilon_k \quad (1)$$

と表す。ただし、 \mathbf{x}_k は単位道路区間 k の特性ベクトル、 $\boldsymbol{\beta}'$ は推計すべき未知パラメータベクトル、 ε_k は、平均 1、分散 ϕ^{-1} のガンマ確率密度関数

$$f(\varepsilon_k : \phi) = \frac{\phi^\phi}{\Gamma(\phi)} \varepsilon_k^{\phi-1} \exp(-\phi \varepsilon_k) \quad (2)$$

に従う確率変数である。この時、時間間隔 z_k の下で単位道路区間 k に n_k 個の路上障害物が発見される無条件確率は

$$P(n(z_k) = n_k) = \left(\frac{\phi}{\mu_k z_k + \phi} \right)^\phi \left(\frac{\mu_k z_k}{\mu_k z_k + \phi} \right)^{n_k} \frac{\Gamma(\phi + n_k)}{n_k! \Gamma(\phi)} \quad (3)$$

と表される。ただし、

$$\mu_k = \exp(\mathbf{x}_k \boldsymbol{\beta}') \quad (4)$$

である。確率分布モデル(3)をポワソンガンマ発生モデルと呼ぶ。さらに、 $p_k = \phi/(\mu_k z_k + \phi)$ と置けば、式(3)は、負の2項分布モデル

$$P(n_k(z_k) = n_k) = \binom{\phi + n_k - 1}{n_k} p_k^\phi (1 - p_k)^{n_k} \quad (5)$$

に帰着する。また、時間間隔 z_k を与件とした路上障害物の平均発生数 $E[n_k|z_k]$ と、分散 $Var[n_k|z_k]$ は

$$E[n_k|z_k] = \mu_k z_k \quad (6a)$$

$$Var[n_k|z_k] = \frac{\mu_k z_k (\mu_k z_k + \phi)}{\phi} \quad (6b)$$

と表される²⁾。

(3) 路上障害リスク管理指標

まず、路上障害物の発生確率に着目する。巡回間隔を z_k とした時に、巡回時刻において観測される路上障害物の累積放置数 n_k が、ある許容水準（以下、リスク管理限界と呼ぶ） \bar{U}_k 以上となる確率は

$$P(n_k(z_k) \geq \bar{U}_k) = \sum_{m=\lceil \bar{U}_k \rceil}^{\infty} P(n_k(z_k) = m) \quad (7)$$

と表せる。ただし、 $\lceil \bar{U}_k \rceil$ は \bar{U}_k を越える整数の中で最小の整数を表す。路上障害物の発生過程に不確実性があるために、巡回時刻で観察される路上障害物の累積放置数が、所与の管理限界を常に満足するとは限らない。そこで、リスク信頼水準 ω と巡回間隔 z_k を所与とした累積放置数に関する VaR 指標を

$$e_k(z_k : \omega) = \arg \max_{U_k} \left\{ U_k \middle| P(n_k(z_k) \geq U_k) \leq \omega \right\} \quad (8)$$

と定義しよう。ただし、 \arg は、式(8)の右辺を最大にする U_k を指定する記号である。また、式(8)で示されるように、リスク信頼水準 ω は負の2項分布モデルの信頼区間を表すパラメータである。以下、リスク管理指標(8)を、「(信頼水準 ω) 累積放置リスク指標」と呼ぶ。

つぎに、路上に放置された障害物と遭遇する車両数に着目する。簡単のために、路上走行車両が一定であると仮定すれば、遭遇車両数の確率分布を求める問題は、障害物が路上に放置される累積時間長の確率分布を求める問題に帰着する。ある巡回時刻を起点とする時間軸を考える。巡回時点 $t = 0$ から、次の巡回時点 $t = z_k$ までの期間の中で $n(z_k) = m$ 個の路上障害物

が時点 $0 \leq t_k^1 \leq \dots \leq t_k^m < z_k$ に発生したとしよう。この時、 m 個の障害物が路上に放置される期間長は、それぞれ $z_k - t_k^s$ ($s = 1, \dots, m$) と表される。単位区間 $[0, 1]$ において互いに独立な一様分布に従って分布する確率変数 u_s ($s = 1, \dots, m$) を定義すれば、 m 個の路上障害物の累積放置時間 $S_m(z_k) = \sum_{s=1}^m (z_k - t_k^s)$ に関する条件付確率分布関数は

$$P(S_m(z_k) = y_k | n_k(z_k) = m) = P \left(\sum_{s=1}^{n_k(z_k)} z_k (1 - u_s) \leq y_k \middle| n_k(z_k) = m \right) \quad (9)$$

と表現できる。導出過程は、参考文献⁸⁾を参照して欲しい。巡回間隔 z_k の下で、路上障害物の累積放置時間を $S(z_k) = \sum_{m=1}^{n_k(z_k)} S_m(z_k)$ と表そう。この時、累積放置時間 $S(z_k)$ の分布関数 $P(S(z_k) \leq y_k)$ は、

$$P(S(z_k) \leq y_k) = P \left(\sum_{m=1}^{n_k(z_k)} z_k u_m \leq y_k \right) \quad (10)$$

と表せる。貝戸等は、累積放置時間の確率密度関数 $h(y_k)$ は、段階的な一様関数

$$h(y_k) = \begin{cases} \lambda(0) & y_k = 0 \\ \lambda(1) & y_k \in (0, z_k] \\ \lambda(2) & y_k \in (z_k, 2z_k] \\ \vdots & \vdots \\ \lambda(l_k) & y_k \in ((l_k - 1)z_k, l_k z_k] \\ \vdots & \vdots \end{cases} \quad (11)$$

で表されることを示した⁸⁾。ただし、

$$\lambda(0) = P(n(z_k) = 0) = \left(\frac{\phi}{\mu_k z_k + \phi} \right)^\phi \quad (12a)$$

$$\lambda(1) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m z_k} P(n(z_k) = m) \quad (12b)$$

$$\lambda(2) = \lambda(1) - \frac{1}{z_k} P(n(z_k) = 1) \quad (12c)$$

$$\vdots$$

$$\lambda(l_k) = \lambda(1) - \sum_{s=1}^{l_k-1} \frac{1}{s z_k} P(n(z_k) = s) \quad (12d)$$

$$\vdots$$

である。累積放置時間の期待値（期待累積放置時間） $E[S(z_k)]$ は、

$$E[S(z_k)] = \frac{\mu_k z_k^2}{2} \quad (13)$$

となる。つぎに、遭遇交通量を、路上障害物に遭遇する自動車の期待台数により定義しよう。簡単のために、交通量の到着率を一定と仮定しよう。現実には、時間帯ごとに交通量は変動する。しかし、巡回区間ごとの時間交通量の変動に関する詳細なデータは入手不可能であり、以下では、交通量の到着率を単位道路区間 k の平均交通量 g_k と仮定し、一定値とするものとする。この時、期待累積放置時間 $E[S(z_k)]$ を用いて、遭遇交通量 $E[W(z_k)]$ は

$$E[W(z_k)] = g_k E[S(z_k)] \quad (14)$$

と表せる。また、リスク信頼水準を ω とする遭遇交通量の VaR 指標（以下、（信頼水準 ω の）遭遇交通量リスク指標と呼ぶ）は、次式であらわされる。

$$f_k(z_k : \omega) = \arg \max_{W_k} \left\{ W_k \mid P(g_k S(z_k) \geq W_k) \leq \omega \right\} \quad (15)$$

(4) 道路巡回モデルの定式化

通常、道路巡回は、ある路線（もしくは複数の路線）をいくつかの管理基本区間に分割し、各管理基本区間ごとに定期的に巡回計画を策定する。管理基本区間は、連続する複数の単位道路区間で構成される。いま、ある道路網における管理基本区間の分割案 θ_j ($j = 1, \dots, J$) $\in \Theta$ を

$$\theta_j = \{\Omega_i^j : (i = 1, \dots, I_j)\} \quad (16)$$

と定義しよう。ただし、 I_j は、分割案 j に含まれる管理基本区間の数、 Θ は分割案の集合である。また、分割案 j に含まれる管理基本区間 Ω_i^j ($i = 1, \dots, I_j$) に関して、 $\Omega_i^j \cap \Omega_{i'}^j = \emptyset$ ($i \neq i'$) が成立する。 \emptyset は空集合を表す。管理基本区間 i ($i = 1, \dots, I_j$) の巡回間隔を z_i^j と表そう。この時、巡回方策の代替案 $\xi_j \in \Xi$ を、管理基本区間の分割案 θ_j と管理基本区間の巡回頻度ベクトル $z_j = (z_1^j, \dots, z_{I_j}^j) \in Z$ を用いて $\xi_j = (\theta_j, z_j)$ と表せる。ただし、 Ξ は巡回方策の代替案集合、 Z は巡回頻度ベクトルの集合である。

a) モデル 1 の定式化

道路巡回方策を検討するにあたり、管理基本区間を構成する全ての単位道路区間にに対して、累積放置リスクを一様に低減することを目標としてとりあげよう。いま、巡回方策 ξ_j を所与としよう。この時、管

理対象とする道路網全体の路上障害物の信頼水準 ω の累積放置リスク $R_1(\theta_j, z_j : \omega)$ は、管理基本区間を構成する単位道路区間の集合の中で、リスク信頼水準 ω の累積放置リスク指標値の最大値

$$R_1(\theta_j, z_j : \omega) = \max_i \left\{ \max_k \{ e_k(z_i^j : \omega) : k \in \Omega_i^j \}, i = 1, \dots, I_j \right\} \quad (17)$$

を用いて定義される。ここで、道路区間 k の巡回頻度は、当該道路区間が含まれる管理基本区間 Ω_i^j の巡回頻度 z_i^j で表現されていることに留意して欲しい。一方、道路巡回頻度 z_j を実現するために巡回費用が発生する。いま、管理基本区間 Ω_i^j の道路巡回 1 回あたりの道路巡回費用 c_i を $c(\Omega_i^j) = \alpha x(\Omega_i^j)/x(\Omega)$ と表そう。ここに、 α は巡回費用、 $x(\Omega_i^j)$ は管理基本区間 Ω_i^j の区間延長、 $x(\Omega)$ は、道路網全体の総延長である。この時、所与の巡回方策 (θ_j, z_j) を実現するために単位期間 T 中に発生する巡回費用 $C(\theta_j, z_j)$ は、

$$C(\theta_j, z_j) = \sum_{i=1}^{I_j} c(\Omega_i^j) \frac{T}{z_i^j} \quad (18)$$

と定義できる。この時、所与の予算制約 M の下で、路上障害物の累積放置リスクをできるだけ小さくするような道路巡回方策を求めるモデル（モデル 1）は、以下のように定式化できる。

$$\min_{(\theta_j, z_j) \in \Xi} \left\{ R_1(\theta_j, z_j : \omega) \right\} \quad (19a)$$

subject to

$$C(\theta_j, z_j) \leq M \quad (19b)$$

ここに、 Ξ は実行可能な巡回方策の集合である。

b) モデル 2 の定式化

遭遇交通量に関しても、同様にリスク管理目標を定式化できる。管理基本区間 $\Omega_i^j \in \theta_j$ に含まれる単位道路区間 $k \in \Omega_i^j$ におけるリスク信頼水準 ω の期待遭遇リスク指標値は $f_k(z_i^j : \omega)$ と表せる。管理基本区間の分割案 $\theta_j = \{\Omega_i^j : (i = 1, \dots, I_j)\}$ 、および巡回頻度ベクトル $z_j = \{z_i^j : (i = 1, \dots, I_j)\}$ を所与とした時、管理対象とする道路網全体におけるリスク信頼水準 ω の遭遇交通量リスク指標 $R_2(\theta_j, z_j : \omega)$ は、所与のリスク信頼水準 ω に対して、単位道路区間の集合の中で、遭遇交通量リスク指標の最大値

$$R_2(\theta_j, z_j : \omega)$$

$$= \max_i \left\{ \max_k \{ f_k(z_i^j : \omega) : k \in \Omega_i^j \}, i = 1, \dots, I_j \right\} \quad (20)$$

で定義される。所与の予算制約 M の下で、遭遇交通量リスクをできるだけ小さくするような道路巡回モデル（モデル 2）は、次式で表される。

$$\min_{(\theta_j, z_j) \in \Xi} \{ R_2(\theta_j, z_j : \omega) \} \quad (21a)$$

subject to

$$C(\theta_j, z_j) \leq M \quad (21b)$$

(5) トレードオフ分析

路上障害リスク管理指標として、累積放置リスク指標と遭遇交通量リスク指標の双方を同時にとりあげよう。累積放置リスクと遭遇交通量リスクの抑制というリスク管理目標と、巡回費用の低減という目標の間には、トレードオフの関係が存在し、2つのリスク管理目標と巡回費用を同時に低減するような巡回方策は存在しない。そこで、複数目標の内、2つのリスク管理目標に対して重みづけた複合的な目的関数を定式化するとともに、巡回費用の低減という目標を予算制約条件として選択した道路巡回モデルを定式化する。その上で、予算の上限値をパラメータとして変化させると同時に、リスク管理目標に対する重みをシステムティックに変化させ、複数目標間のトレードオフの関係を分析する。このような道路巡回モデル（モデル 3）は、

$$\min_{(\theta_j, z_j) \in \Xi} \{ \gamma R_1(\theta_j, z_j : \omega) + (1 - \gamma) R_2(\theta_j, z_j : \omega) \} \quad (22a)$$

subject to

$$C(\theta_j, z_j) \leq M \quad (22b)$$

と定式化できる。ここで、予算上限額 M と重みパラメータ γ を所与として、モデル 3 の最適解を求めよう。モデル 3 の最適解を $\theta^*(M, \gamma : \omega), z^*(M, \gamma : \omega)$ と表す。最適解 $\theta^*(M, \gamma : \omega), z^*(M, \gamma : \omega)$ を用いて定義される累積放置リスク指標を $R_1(\theta^*(M, \gamma : \omega), z^*(M, \gamma : \omega) : \omega)$ と、遭遇交通量リスク指標を $R_2(\theta^*(M, \gamma : \omega), z^*(M, \gamma : \omega) : \omega)$ と表そう。この時、パラメータ γ の値を $0 \leq \gamma \leq 1$ の範囲で逐次変化させることにより、所与の予算額 M とリスク信頼水準 ω の下での累積放置リスクと遭遇交通量リスクの間のトレードオフの関係を分析できる。

4. 実証分析

(1) 実証分析の概要

本研究で提案したモデルを、国土交通省近畿地方整備局〇国道事務所が管理する一般国道の管理問題に適用した。同整備局では、「道路巡回実施要領（案）」⁹⁾が策定されており、巡回体制、種類、頻度、実施方法等が規定されている。現行の道路巡回体制においては、通常巡回、夜間巡回、定期巡回、異常時巡回の4種類の巡回が実施されている。このうち、本研究では、通常巡回と夜間巡回に着目する。本研究では、国道 A 号線（対象区間延長 5.0km）、B 号線（同 6.2km）、C 号線（同 3.8km）の道路巡回履歴データベースに基づいて路上障害リスクを分析する。同データベースでは、通常巡回、夜間巡回の履歴データ（2004年4月1日～2005年3月31日）が蓄積されている。道路巡回日誌には、路上障害物が発見された路線、区間および区間通過時刻が記入されている。実証分析の対象とする 3 路線は、それぞれ 38, 42, 14 区間の単位区間に構成される。1 区間当たりの延長は 100m～600m である。また、具体的な路上障害物として、落下物と路面異常を取り上げた。分析対象とする期間中（1 年間）に、これら 3 路線の一般国道で発生した路上障害物は、路上落下物が 62 件、路面異常が 73 件である。

(2) ポワソンガンマ発生モデルの推計

ポワソンガンマ発生モデル(5)において、未知パラメータは β と分散パラメータ ϕ である。ポワソンガンマ発生モデルの説明変数として、数回の試行の結果を踏まえて、最終的に区間延長と平日 24 時間自動車交通量（大型車）を採用した。すなわち、推計式は

$$\lambda_k = \exp(\beta_1 + \beta_2 x_k^2 + \beta_3 x_k^3) \varepsilon_k \quad (23)$$

と表される。ただし、 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ はパラメータ、 x_k^2 は単位道路区間 k の延長、 x_k^3 は平日 24 時間自動車交通量（大型車）を表す。 β_1 は定数項である。巡回サンプル j ($j = 1, \dots, K$) の実測値情報 $\bar{e} = \{\bar{e}^j | j = 1, \dots, K\}$ が得られた場合を考える。ただし、 $\bar{e}^j = (n_j, z_j, x_j^1, x_j^2, x_j^3)$ であり、 n_j はサンプル j の路上障害物数、 z_j は巡回頻度である。最尤推定法を用いて、ポワソンガンマ発生モデルのパラメータを推計する。こ

表-1 ポワソンガンマ発生モデルの推計結果	β_1	β_2	β_3	ϕ
最尤推定量 (t値)	-15.3 (-19.1)	4.61 (-4.75)	0.0003 (-2.98)	0.0855 (-2.14)
対数尤度		-826.1124		
尤度比		0.9274		

のため、対数尤度関数^{4),5)}を

$$\begin{aligned} & \ln\{\mathcal{L}(\boldsymbol{\beta}, \phi : \bar{\mathbf{e}})\} \\ &= \sum_{j=1}^K \left\{ \sum_{i=0}^{\bar{n}^j - 1} \ln(\phi + i) + \bar{n}^j \ln(\mu_j \bar{z}^j) \right. \\ &\quad \left. - (\bar{n}^j + \phi) \ln(\mu_j \bar{z}^j + \phi) + \phi \ln \phi - \ln \bar{n}^j! \right\} \quad (24) \end{aligned}$$

と定式化しよう。ポワソンガンマ発生モデルの推計にあたり、28,294個の通常巡回の履歴データを用いた。対数尤度関数(24)の最大化問題を解くことにより、パラメータの最尤推定量を求めた。推計結果をt値とともに表-1に示している。

ポワソンガンマ発生モデルは離散分布であり、路上障害物の発生数は整数値をとる。しかし、本適用事例のように、路上障害物の発生確率が比較的小さい道路網では、路上障害リスクをきめ細かく検討する必要がある。そこで、区間 $[n_k(z_k), n_k(z_k) + 1]$ を幅0.01の100区間に分割し、路上障害物の発生数が $\{n_k(z_k) + \delta/100\} (\delta = 0, 1, \dots, 99)$ となる確率を、

$$P\left(n_k(z_k) + \frac{\delta}{100}\right) = P(n_k(z_k)) - \frac{\delta}{100} \left\{ P(n_k(z_k)) - P(n_k(z_k) + 1) \right\} \quad (25)$$

とした。巡回間隔を z_k とした時に、巡回時刻において観測される路上障害物の累積放置数 $\{n_k(z_k) + \delta/100\}$ が、リスク管理限界 \bar{U}_k 以上となる確率は、

$$P\left(n_k(z_k) + \frac{\delta}{100} \geq \bar{U}_k\right) = P\left(n_k(z_k) + \frac{\delta}{100}\right) + \sum_{m=\lceil \bar{U}_k + 0.01 \rceil}^{\infty} P(n_k(z_k) = m) \quad (26)$$

と表される。

(3) 道路巡回方策の検討プロセス

道路巡回方策は、管理基本区間分割、巡回頻度等の組み合わせにより定義できるが、これらの組み合せの数は膨大となる。そこで、対象とする道路網の形状、巡回業務の実現可能性などの実務上の制約や、重点管理区間を設定するまでの効率性を考え、

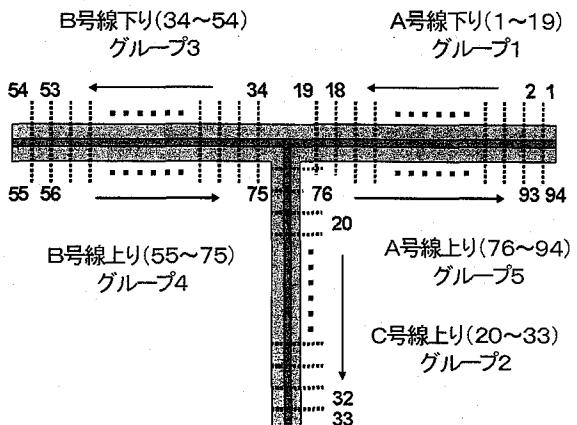


図-3 全単位道路区間(94区間)のサブグループ化

管理基本区間を構成した。当然のことながら、すべての道路巡回方策を網羅しているわけではないため、このような方法で最適巡回方策が求まる保証はない。しかし、限られた予算の中で、可能な限り路上障害リスクを抑制するような望ましい巡回方策を求ることは可能である。本研究で提案する道路巡回方策の検討プロセスは、以下の手順に整理できる。

ステップ1: 対象とする道路網を、巡回ルートが構成可能な連続する単位道路区間の集合（以下、サブグループと呼ぶ）に分割する。管理基本区間数を $I = 1$ に設定する。管理基本区間数の上限値 \bar{I} を設定する。

ステップ2: ステップ1において構成されたサブグループの中から連結するサブグループを組み合わせ、 I 個の管理基本区間を構成する。

ステップ3: I 個の管理基本区間の代替案集合に対して、道路巡回モデルを用いて望ましい巡回方策案を求める。

ステップ4: $I = \bar{I}$ の場合、ステップ5に進む。そうでない場合は、 $I = I + 1$ とし、ステップ2へ戻る。

ステップ5: 管理基本区間数を変化させた各ケースに対して、もっとも目的関数値が小さくなるような管理基本区間分割案と巡回頻度ベクトルを道路巡回方策を選択する。

ステップ6 単位道路区間の中で、リスク管理指標が特に大きい区間を重点管理区間に設定し、残りの単位道路区間の集合に対して、上述のステップ1からステップ5を適用する。

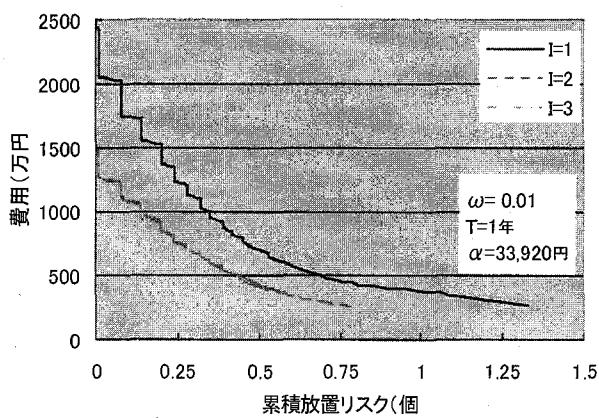


図-4 累積放置リスクに関する費用リスク曲線

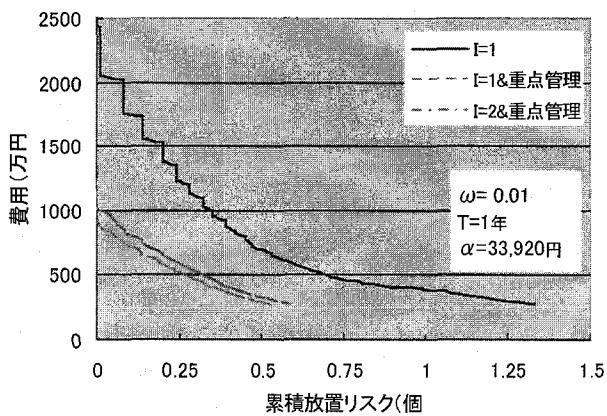


図-5 重点管理区間抽出後の費用リスク曲線

(4) 最適巡回方策モデルの分析結果

本適用事例で対象とする道路網を図-3に示している。94個の単位道路区間を国道A号線下り(サブグループ1), 同上り(サブグループ5), 国道C号線上り(サブグループ2), 国道B号線上り(サブグループ4), 同下り(サブグループ3)の合計5つのサブグループに分割した。これらのサブグループを組み合わせ、管理基本区間の分割案を作成した。管理基本区間数の上限値を $\bar{I} = 3$ に設定しよう。管理基本区間数1, 2, 3のそれぞれに対して、サブグループを網羅的に組み合わせることにより管理基本区間分割案を作成した。

実際の道路巡回の実績データに基づいて、単位距離当たりの道路巡回費用を33,920円に設定した。その上で、予算上限額と管理基本区間数を所与として、モデル1を用いて、リスク信頼水準 $\omega = 0.01$ における

路上放置リスクを最小とするような道路巡回方策を求めた。さらに、管理基本区間数を固定した上で、予算上限額を逐次変化させることにより、リスク信頼水準を $\omega = 0.01$ とした路上放置リスクに関する費用リスク曲線を求めた。その結果を、図-4に示している。図中の実線は、管理基本区間数を1に設定した場合に該当する。管理基本区間数が1の場合、すべてのサブグループに対して同一の巡回頻度を設定することになる、図中の実線で示される費用リスク曲線上の各点に対して、それぞれ最適な道路巡回頻度が対応している。例えば予算上限額を1225万円としよう。これは、本事例で対象とする道路網に充てられる概算予算の平均値を取ったものであり、現行の1日1回の巡回を実施するために必要な金額である。この時、路上放置リスク指標値は $R_1(\theta^*(1225), z^*(1225) : 0.01)$ は0.24個となるが、この点は巡回間隔を1日($z_i = 1$)に設定した場合に対応している。同図の破線は、管理基本区間数を2に設定した場合の費用リスク曲線を表している。管理基本区間数を2とした場合、可能なサブグループの組み合わせの数は15個となる。2つの管理基本区間のそれぞれにおいて、異なる道路巡回頻度を採用することができる。たとえば、管理基本区間数が1の場合と同じように、予算上限額を1225万円に設定しよう。この時、管理基本区間の分割案は $\{3,4\}\{1,2,5\}$ となり、2つの管理基本区間ににおける巡回間隔はそれぞれ0.7日、2.2日である。また、累積放置リスク指標値は0.08個となる。このように、累積放置リスクの大きい管理基本区間 $\{1,2,5\}$ の道路巡回頻度を多くすることにより、効率的な道路巡回が可能となる。その結果、同一の予算の下においても累積放置リスクを減少させることが可能である。なお、同図には、基本管理数を3に設定した場合の費用リスク曲線も描いている。しかし、管理基本区間数を増加しても、費用リスク曲線は、わずかながら下方にシフトするが、その改善効果はそれほど大きくない。管理基本区間数を増加させれば、それだけ道路巡回業務が煩雑になり、得策ではない。そこで、以下の分析では、管理基本区間数が3以上となる場合をとりあげないこととする。

つぎに、以上で求めた道路巡回方策をベンチマークとして、単位道路区間の中で特に累積放置リスクの大きい区間を重点区間として抽出し、道路巡

回の効率性を改善できるかどうかを検討しよう。いま、ベンチマークとなる時間間隔 z_k^* を与件とした路上障害物の平均発生数 $E[n_k|z_k^*]$ と、分散 $Var[n_k|z_k^*]$ が式(6a),(6b)で表されることに留意しよう。いま、道路区間 k で観測された路上障害物の平均値を $E[N_k]$ とすれば、累積放置リスクの信憑性⁸⁾ W^k を

$$W^k = \frac{E[N_k] - E[n_k|z_k^*]}{\sqrt{Var[n_k|z_k^*]}} \quad (27)$$

と定義しよう。各単位道路区間ごとに累積放置リスクの信憑性を評価した結果、管理基本区間 $\{3, 4\}$ に含まれる道路単位区間 $(45, 46)$ と $(63, 64)$ が大きい値を示した。そこで、これらを重点管理区間としてとりあげた。さらに、残りの単位道路区間の集合に対して、モデル 1 を用いて効率的な道路巡回政策を求めた。その結果を図-5 に示している。図-4 に示した費用リスク曲線と比較して、費用曲線全体が下方にシフトしている。例えば、管理基本区間数を 1 とし、重点管理区間の巡回間隔を 0.5 日に設定しよう。予算 1225 万円の下では、重点管理区間を除いた残りの管理基本区間の巡回頻度は 1.5 日となり、累積放置リスク指標値は、ほぼ 0 個に抑えることができる。ただし、重点管理区間にに関して巡回間隔を 0.5 日に設定している。さらに、予算額が 1025 万円まで減少しても、累積放置リスク指標値は、ほぼ 0 の水準に抑制できる。管理基本区間を 2 とした時には、巡回予算が 925 万円となっても、路上放置リスク指標値を、ほぼ 0 に抑制できる。その場合、重点管理区間の巡回間隔は 0.5 日であり、管理基本区間 $\{3, 4\}$ の巡回間隔は 1.5 日、 $\{1, 2, 5\}$ の巡回間隔は 2.0 日となる。累積放置リスクの抑制を管理目標として取り上げた場合、重点管理区間を設定するとともに、2 つの管理基本区間を設定し、巡回頻度を差別化することにより、道路巡回の効率化を達成できる。

つぎに、リスク管理目標として遭遇交通量リスクの抑制を取り上げよう。図-6 には、管理基本区間数を 1, 2, 3 とした場合の、遭遇交通量リスクと巡回費用の関係を表す費用リスク曲線を示している。管理基本区間数を 1 として、現行通り 1 日 1 回の巡回を行えば、巡回費用は 1225 万円であり、リスク信頼水準 $\omega = 0.01$ の遭遇交通量リスクは 13,400 台となる。同図に示すように、現行予算を確保しつつ、管理基本区間を 2 つに分割することにより、遭遇交通量リ

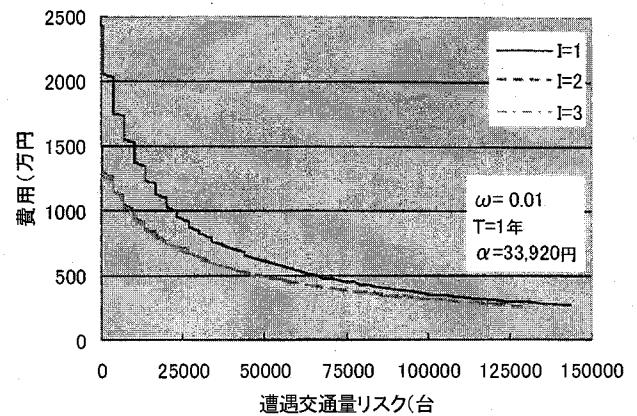


図-6 遭遇交通量リスクに関する費用リスク曲線

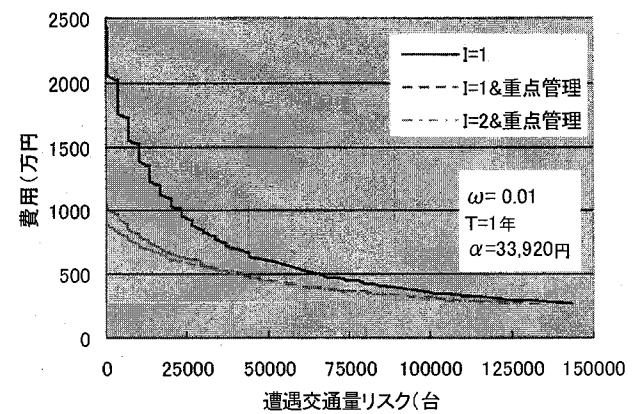


図-7 重点管理区間抽出後の費用リスク曲線

スクを 3,700 台にまで、抑制することが可能となる。そのためには、管理基本区間分割を $\{3, 4\} \{1, 2, 5\}$ とし、巡回間隔をそれぞれ、0.7 日、1.7 日と設定することが必要である。さらに、管理基本区間数を 3 個に増加させたとしても、遭遇交通量リスクは 3,700 台となり、管理基本区間数を 2 個に設定した場合に對して改善効果は見られない。したがって、管理基本区間数を 3 個以上に設定する計算ケースはとりあげない。図-7 に遭遇交通量リスクの大きい区間を重点管理区間に設定した場合の費用リスク曲線を示している。遭遇交通量リスクの抑制をリスク管理目標に設定した場合においても、単位道路区間 $(45, 46)$ と $(63, 64)$ が重点管理区間として抽出されている。重点管理区間を設定することにより、現行の予算 1225 万円が与えられた時、遭遇交通量リスクをほぼ 0 にまで減少することが可能となる。さらに、管理基本区間数が 1 の場合には巡回予算を 1075 万円まで、管

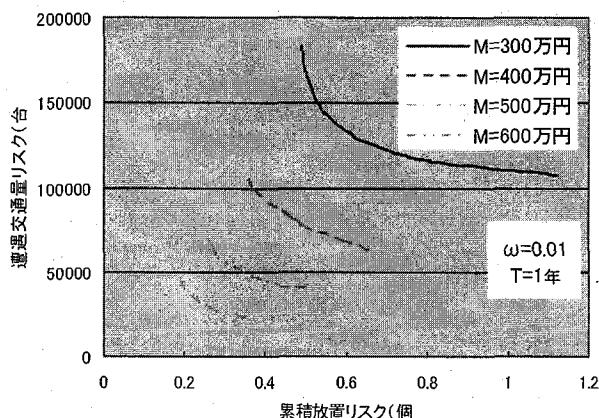


図-8 トレードオフ分析

理基本区間数が2の場合には、巡回予算を950万円まで減少させても遭遇交通量リスクをほぼ0に抑制できる。ただし、管理基本区間数が1の場合、重点管理区間では、巡回頻度は0.5日、それ以外の管理基本区間の巡回間隔は1.4日である。また、管理基本区間数が2となる場合、重点管理区間では0.5日、管理基本区間{3,4}では1.4日、区間{1,2,5}では1.9日となる。遭遇交通量リスクをリスク管理指標とする場合でも、重点管理区間を設定するとともに、2つの管理基本区間を設定することが望ましい。

通常、累積放置リスクを抑制する道路巡回政策と、遭遇交通量リスクを抑制する道路巡回政策は一致しない。例えば予算を300万円としよう。モデル1を用いて、リスク信頼水準 $\omega = 0.01$ における累積放置リスクを最小とするような道路巡回政策を実施すると、累積放置リスクは0.49個となるが、遭遇交通量リスクは183,000台となる。一方、モデル2を用いて、リスク信頼水準 $\omega = 0.01$ における遭遇交通量リスクを最小とするような道路巡回政策を実施すると、遭遇交通量リスクは107,800台となり、累積放置リスクは1.12個である。このように、累積放置リスクと遭遇交通量リスクにはトレードオフの関係が存在する。そこで、予算上限額を固定し、リスク信頼水準を $\omega = 0.01$ とし、モデル3を用いて2つのリスク管理目標のトレードオフの関係を分析した。さらに、予算上限額を変化させ、各予算におけるトレードオフの関係を分析した。その結果を、図-8に示す。図中の曲線上の各点は、モデル3におけるパラメータ γ の値を $0 \leq \gamma \leq 1$ の範囲で逐次変化させた時の目的関数を最小とするような累積放置リスク、

遭遇交通量リスクの組み合わせを示している。したがって、道路管理者は図中の任意の点を選ぶことで、予算、各リスク管理指標のトレードオフ関係を考慮した望ましい道路巡回政策を検討することができる。

本研究では、路上障害リスクと巡回費用の関係を考慮して、道路管理者が望ましい道路巡回方策を検討するための方法論を提案した。しかし、本適用事例では、固定費用に比べて変動費用が極めて小さかつたために、巡回費用として固定費用のみを用いている。変動費用の影響を無視できない場合には、変動費用を考慮する必要性が出てくるであろう。また、道路巡回業務においては路上障害物の有無だけではなく、道路の不法占有の有無や、歩道、街路樹等、道路に付属する施設・資産に起因するリスク等も同時に点検されている。道路巡回方策の決定にあたっては、路上障害リスクだけでなく、道路施設をとりまく種々のリスクを総合的に判断することが必要であることは論を待たない。しかし、本研究における実証分析を通じて、道路巡回方策を高度化することにより、さらに路上障害リスクを効率的に抑制する可能性があることを示すことができたと考える。

5. おわりに

本研究では路上落下物、路面の変状、道路付帯施設の破損、損壊等の路上障害リスク信頼水準を設定するとともに、路上障害リスクを可能な限り小さくすることを目的とした道路巡回方策を求める方法論を提案した。具体的には、路上障害物の発生過程を混合ポワソン過程モデルで表現した。路上障害リスク管理指標として、1) 累積放置リスク、2) 遭遇交通量リスクという2つの指標をとりあげた。その上で、所与の予算制約の下で、これらのリスク管理指標に基づいて望ましい道路巡回方策を決定する方法論を提案した。さらに、一般国道を対象とした適用事例により、路上障害リスクを考慮して管理基本区間を設定することにより、所与の予算制約の下で路上障害リスクを効果的に削減できることを示した。さらに、路上障害リスクの大きい区間を重点的に管理することにより、道路巡回の効率化を達成できることを実証的に明らかにした。本研究で提案した方法論は、実用性の高いものであるが、今後に以下のようない課題が残されている。第1に、本研究では、一

般国道の特定路線を対象として適用分析を実施したものである。多様な道路特性変数を考慮に入れるためには、今後幅広い路線にまたがって巡回データを収集するともに、本研究で提案した方法論を用いた適用事例を蓄積することが必要である。第2に、本研究では、巡回間隔の長短により、到着率の確率分布が影響を受けないという仮定を採用している。しかし、巡回間隔や道路特性により、道路巡回方策により路上障害物の発生リスクが影響を受ける可能性を否定できない。この種の問題に対処する方法として、道路巡回方策や道路特性を説明変数としてポワソンガンマ発生モデルの分散パラメータ ϕ を推定する方法が考えられる。最後に、リスク管理限界の決定方法に関して検討することが必要である。たとえば、瑕疵責任事故、住民や利用者からの苦情等の発生件数と路上障害リスクの関係を分析することにより、望ましいリスク信頼水準を決定するための情報を求めることが必要である。また、本研究で提案した手法は、道路施設だけでなく、他の交通施設の巡回方策の検討にも適用可能である。その場合、それぞれの交通施設の特性に応じたリスク管理限界の設定が重要な検討課題となろう。

なお、本研究の遂行にあたり、国土交通省近畿地方整備局道路管理課より多大な援助を頂いた。また、本研究の一部は文部科学省科学技術調整振興費「若手研究者の自立的研究環境整備促進」事業によって実施された。

【参考文献】

- 1) Mikosch, T.: *Non-Life Insurance Mathematics*, Springer, 2000.
- 2) Cameron, A.C. and Trivedi, P.K.: Regression-based tests for overdispersion in the Poisson model, *Journal of Econometrics*, Vol.46, pp.347-34, 1990.
- 3) Fisher, R.A.: The negative binomial distribution, *Annals of Eugenics*, Vol.11, pp.182-187, 1941.
- 4) Lawless, J.F.: Negative binomial and mixed Poisson regression, *Canadian Journal of Statistics*, Vol.15, pp.209-225, 1987.
- 5) Piegorsch, W.W.: Maximum likelihood estimation for the negative binomial dispersion parameter, *Biometrika*, Vol.46, pp.863-867, 1990.
- 6) Cruz, M.G.: *Modelling, Measuring and Hedging Operational Risk*, Wiley, 2002.
- 7) Lord, D. and Persaud, B.N.: Accident prediction models with and without trend: Application of the generalized estimating equations procedure, *Transportation Research Record*, Vol. 1717, pp.102-108, 2000.
- 8) 貝戸清之、小林潔司、加藤俊昌、生田紀子：道路施設の巡回頻度と路上障害リスク、土木学会論文集F, Vol.63, No.1, pp. 16-34, 2007.
- 9) 国土交通省近畿地方建設局：道路巡回実施要領（案），1981。

Road Hazards Risks and Rational Patrol Policy

By Kengo OBAMA, Kiyoyuki KAITO, Kiyoshi KOBAYASHI, Toshiaki KATOH and Noriko IKUTA

This paper focuses on road patrol service which is carried out to remove and repair the road hazards risks, and addresses the methodology to make a decision on the rational road patrol policy based on the trade-off relationship between its service level and budget constraint. Specifically, the road hazards generation process is formulated by Poisson Gamma model in which the population parameter, that is arrival rate, is stochastically distributed, to express the heterogeneity of arrival rate of various road hazards risks. Employing this Poisson Gamma generation model, the management indicator of road hazard risks can be modeled. Furthermore, under the budget constraint, the rational road patrol policy that can mitigate the road hazard risks is proposed and applied for an empirical study.