

トンネル照明方式決定のための高速道路上落下物の反射率分布推定

大阪大学大学院
西日本高速道路株式会社
大阪大学大学院

学生会員 ○坂口 創, 水谷 大二郎
非会員 平川 恵士
正会員 小濱 健吾, 貝戸 清之

1 はじめに

高速道路利用者の安全を確保する上で、トンネル内の落下物視認性の向上が大きな課題となっている。トンネル照明方式決定の際、落下物の反射率分布が1つの重要な指標となるが、現在使用されている反射率分布は1930年代に歩行者の衣服を対象として測定されたものであり、現在使用されている反射率分布と実データとの間に乖離が生じていると考えられる¹⁾。本研究では、トンネル照明方式決定手法の確立を最終目標とし、その基礎的研究として現在の高速道路で獲得された落下物データを用いて反射率分布を推定する。以下、2で本研究の基本的な考え方を述べ、3で実測データを用いた適用事例を通して提案手法の妥当性について考察する。

2 本研究の基本的な考え方

2.1 トンネル照明方式と落下物の反射率分布

トンネル照明方式は、落下物や先行車の視認性などの安全性、さらには経済性といった様々な要素を総合的に考慮し決定される。しかし、どのような照明方式を採用した場合でも、路面との輝度(明るさ)差が小さく、落下物が視認しづらい反射率範囲が存在する。その範囲に存在する落下物数の割合は反射率分布から読み取ることができ、また、視認しづらい範囲外の反射率を持つ落下物の割合は総視認率と呼ばれ、トンネル照明方式決定において、1つの安全基準として用いられる。総視認率は、**図1**で示すように低反射率の落下物視認率と高反射率の落下物視認率の総和で定義される。総視認率が高いほど、落下物の視認に関する安全性が向上すると考えられる。

2.2 現状の反射率分布とその問題点

現行のトンネル照明方式は、1938年の歩行者の衣服を対象としたSmithの研究²⁾で算出された反射率累積分布(以下、Smith曲線と呼ぶ)をもとに決定されている。しかし、近年、実際に調査を行ったところ、**図2**に示すように、現在の高速道路上落下物の反射率分布(青色破線)はSmith曲線(緑色実線)と大きく異なることがわかった。また、**図2**に併記したように、実務での汎用性

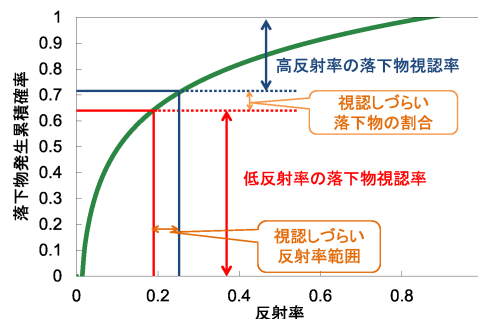


図1: 総視認率の概念

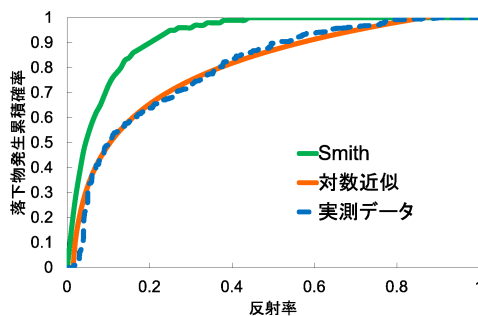


図2: 現行の反射率分布の比較

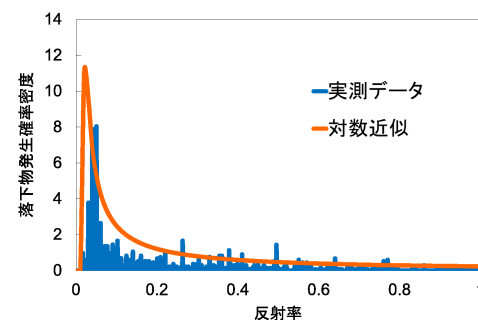


図3: 対数モデルの確率密度関数

向上のため、反射率と累積確率の関係を対数近似曲線(橙色実線)によって表現したが、**図3**に示すように、対数近似では、反射率分布の確率密度の多峰性を十分に表現できていない。そこで、本研究では、多峰性の確率密度関数を有する混合ベータモデルを落下物の反射率分布に当てはめ、パラメータおよび混合率をEMアルゴリズムを援用した推計により、この問題点の解消を図る。

Keywords : 高速道路上落下物, 反射率分布, トンネル照明, 総視認率, 混合ベータモデル, EMアルゴリズム
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 S1棟612号室 TEL : 06-6879-7622

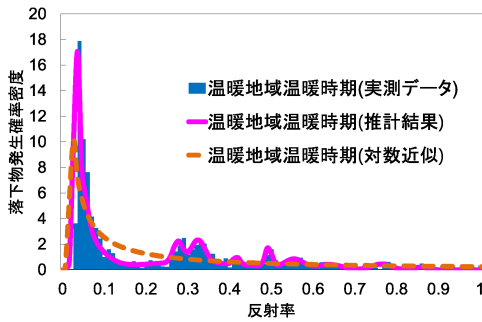


図 4: 確率密度関数の比較

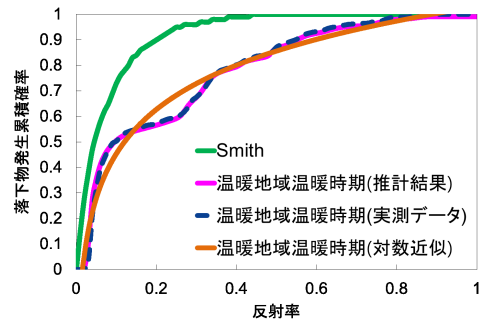


図 5: 累積分布関数の比較

表:1 照明方式 A における総視認率

	混合ベータモデル	対数近似	Smith
寒冷地域寒冷時期	90%	91%	94%
寒冷地域温暖時期	88%	90%	
温暖地域寒冷時期	91%	90%	
温暖地域温暖時期	90%	90%	

表:2 照明方式 B における総視認率

	混合ベータモデル	対数近似	Smith
寒冷地域寒冷時期	85%	75%	69%
寒冷地域温暖時期	84%	72%	
温暖地域寒冷時期	80%	73%	
温暖地域温暖時期	81%	72%	

3 適用事例

3.1 実測データにもとづく反射率分布の推計

本研究では、全国の高速道路上落下物に関するデータを用いて反射率分布の推定を行った。寒暖差による落下物特性の差異を定量的に評価するため、本研究では寒冷地域寒冷時期、寒冷地域温暖時期、温暖地域寒冷時期、温暖地域温暖時期の4つのグループに分類し、推計を行った。推計結果の1例として、温暖地域温暖時期の推計結果を示す。図4に反射率分布の確率密度関数、図5に累積分布関数を示している。図4から今回の推計結果における確率密度関数が、多峰性を表現できていることが確認できる。また、図5から今回の推計結果が、Smith曲線、対数近似曲線と比べ、実測データをより精緻に表現できていることが確認できる。

3.2 モデルの妥当性の検証と照明方式の検討

本研究では、推計結果がトンネル照明方式決定に与える意思決定過程の変化を具体的に確認するため、2種類の照明方式を比較検討した。実際のトンネルでは、視認しづらい反射率範囲とその範囲の幅は路面の条件などによって様々に変化するが、本研究では、範囲の幅を10%、各照明方式における視認しづらい反射率範囲の代表値を、現行の照明方式を想定した照明方式Aでは反射率20~30%、先行車を視認しやすいという特徴をもつ照明方式Bでは反射率5~15%と仮定した。各照明方式において3つの反射率分布を用いた場合の総視認率を表1、表2に示す。A、Bの2種類の照明方式を比較すると、Smith曲線を用いた場合は両者の総視認率に25%もの差があり、照明方式Bの採用は困難であったが、混合ベータモデルの場合は差が4~11%となり、従来、照明方式Aの総視

認率は過大評価され、一方で、照明方式Bの総視認率は過小評価されていたことがわかる。前述の通り、照明方式Bは、先行車を視認しやすいことが知られている。このような落下物以外に対する安全性や経済性を総合的に考慮することでどちらの照明方式を採用するかを検討する余地は十分にあると考えられる。

4 おわりに

本研究では、トンネル照明方式の決定手法の確立を最終目標に、その基礎的要素である落下物の反射率分布に着目した。反射率分布が混合ベータ分布に従うと仮定し、EMアルゴリズムを援用することで混合ベータモデルのパラメータを推計し、実データとの整合性の高い推計結果を獲得した。また、これらの推計結果から、基準値を用いて2種類の照明方式での総視認率を算出し、比較検討を行った。一方で、今後の課題としては、(1)落下物の反射率分布だけではなく、先行車の反射率分布も考慮すること、(2)各トンネル照明方式の設置費用や維持管理費用などの費用データを獲得し、経済性を考慮した上でトンネル照明方式を検討すること、(3)環境などの様々な要素を考慮できるモデルへの拡張や、世界的な標準モデルとして扱えるモデルへ逐次改善していくこと、などがあげられる。

参考文献

- 岡田晃夫, 加賀哲記, 伊藤勇人, 坂本正悦: トンネル照明における総視認率の検討, 照明学会誌, 90-8A, pp.495-503, 2006.
- F.C.Smith: Reflection factor and revealing power, Trans.I.E.S.(London), Vol.13, pp.196-206, 1938.