

スマートフォンとアクションカメラで計測した 自動車の上下加速度を用いた 舗装路面凹凸の評価

15T0232Z 長嶋 むつみ
指導教員：丸山 喜久

1. 研究背景と目的

我が国では高度成長期に集中して道路網が整備されたため、現在では道路構造物の老朽化が進み、修繕が必要となっている。2012年には笹子トンネル天井板落下事故が発生し、天井のコンクリート板が約130mの区間にわたって落下した。これによって、走行中の自動車が複数巻き込まれ、9人が死亡した。この事故をきっかけに、道路や橋などのインフラ施設の老朽化問題が注目されるようになった。

これらの背景から、2013年に国土交通省は総点検実施要領(案)¹⁾をとりまとめた。総点検実施要領(案)には、橋梁・道路トンネル・舗装などの点検箇所や点検方法、判断基準などが記載されている。さらに、2016年に舗装点検要領²⁾が提示された。しかし現状では舗装ストックが増え続ける一方で、舗装事業費は減少傾向にあり、舗装の適切な点検と予防保全型の管理の推進が必要である。

従来の舗装路面の点検手法は、主に検査員による目視と路面性状測定車による詳細な計測によって行われている。前者は生活道路を対象としており、コストが抑えられるものの、定量調査が困難で客観的データに基づく評価ができない。一方で後者は幹線道路を対象としており、初期費用や運用費が非常に高額であるものの、定量的で高精度な点検を行うことができる。これらのことから、生活道路でも客観的データに基づく路面性状評価を行うことが求められる。

そこで本研究では、客観的データに基づく路面性状評価を生活道路にも実現することを目的とし、スマートフォンとアクションカメラで計測した自動車の上下加速度を用いて、路面凹凸が不良である区間を抽出する数理モデルを構築した。

2. 本研究で使ったデータについて

本研究では、鹿島道路（株）の多機能路面測定車によって路面の平たん性を表す国際フネス指数（International Roughness Index: IRI）を10m間隔に計測した。IRIは値が大きいほど路面性状が悪いことを示す指標で、舗装点検要領²⁾ではIRIが8mm/m以上で損傷レベル大とし、車両の損傷につながりかねないとしている。さらに多機能路面測定車と併走した自動車には、スマートフォン（Apple・iPhone5）とアクションカメラ（GARMIN・VIRB ULTRA30）を設置して、

それぞれに内蔵されている加速度センサを用いて上下加速度を計測した。なお、この実走調査は2回にわけて行われており、2015年9月25日と10月9日に神奈川県横浜市と東京都調布市において多機能路面測定車とスマートフォンの加速度の計測、2018年7月10日に調布市においてアクションカメラの加速度の計測を実施した。そのため、それぞれの数理モデルに用いた総データ数は、スマートフォンについては3581（調布市と横浜市）、アクションカメラについては1663（調布市のみ）である。

3. 路面不良区間を抽出する数理モデルの検討

(1) ロジスティック回帰分析

スマートフォンとアクションカメラそれぞれで計測した自動車の上下加速度や車速を説明変数として、式(1)を仮定したロジスティック回帰分析³⁾を行った。

$$p = 1/[1 + \exp\{-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3)\}] \quad (1)$$

ここで、 x_1 は10 m区間の平均速度（m/s）、 x_2 は10 m区間の平均加速度振幅（m/s²）、 x_3 は10 m区間の最大加速度振幅（m/s²）を表す説明変数である。また、 b_0 は定数、 b_1 、 b_2 、 b_3 は偏回帰係数である。 p は路面不良である確率を表し、本研究では舗装点検要領²⁾に従って、10 m間隔のIRIが8mm/m以上のときと定義した。

構築したロジットモデルによる路面性状の判定結果を表-1（スマートフォン）、表-2（アクションカメラ）にまとめる。

表-1 スマートフォンの計測による判定結果
（ロジットモデル、2段階）

		判定結果	
		不良である	不良でない
IRI (mm/m)	8 以上	436	125
	8 未満	959	2061

表-2 アクションカメラの計測による判定結果
（ロジットモデル、2段階）

		判定結果	
		不良である	不良でない
IRI (mm/m)	8 以上	335	157
	8 未満	453	718

(2) 順序ロジットモデル

順序ロジットモデル⁴⁾に基づき、計測した IRI に順序をもたせて、3段階の判別を行った。舗装点検要領²⁾に従って、10m 間隔の IRI が 3mm/m 未満のものを A（路面性状が良好）、3mm/m 以上 8mm/m 未満のものを B（普通）、8mm/m 以上のものを C（不良）と分類した。

構築したロジットモデルによる路面性状の判定結果を表-3（スマートフォン）、表-4（アクションカメラ）にまとめる。順序ロジットモデルの分類結果では、路面性状が普通（B）と判定される区間が非常に多くなってしまった。そこで、B と判定された区間に関しては式(1)のロジットモデルで B1（式(1)で路面不良と判別）、B2（式(1)で路面不良でない）と判別）に別途 2 分類した。

表-3 スマートフォンの計測による判定結果
(順序ロジットモデル, 3 段階)

		判定結果			
		A 良好	B 普通		C 不良
			B0	B1	
IRI (mm/m)	3未満	145	599	132	10
	3以上8未満	144	1173	785	32
	8以上	9	116	390	46

表-4 アクションカメラの計測による判定結果
(順序ロジットモデル, 3 段階)

		判定結果			
		A 良好	B 普通		C 不良
			B0	B1	
IRI (mm/m)	3未満	0	0	24	114
	3以上8未満	0	0	320	713
	8以上	0	0	287	205

4. 分類結果の評価

前章の判定結果に基づき、適合率、再現率、特異度、F値、正確度をそれぞれ算出して比較した。なお、これらの評価指標は値が大きいほど判定精度が良いことを示している。ロジットモデルによる2段階判別に関しては、適合率とF値については、アクションカメラ（42.5%、0.5234）の方がスマートフォン（31.3%、0.446）より高かった。一方で、再現率、特異度、正確度については、スマートフォン（77.7%、68.2%、69.7%）の方がアクションカメラ（68.1%、61.3%、63.3%）より高い。このことから、判別結果において路面不良の見落としを減らしたければ、スマートフォンの加速度を利用するのが望ましい。

順序ロジットモデルの判定結果については、アクションカメラは路面性状を良好（A）と判定したもの一つもなく、3段階の判別が困難であった。一方、スマートフォンは、順序ロジットモデル（3段階）とロジットモデル（2段階）の判定結果を組み合わせることで、路面凹凸が不良でない区間を良好（A）と普通（B0）の2種類に分類することができた。

表-3の黄色セルの分類結果を正解とした場合、分類精度は49%である。図-1に調布市の柴崎駅付近における判定結果を示す。



図-1 柴崎駅付近における判定結果

5. まとめ

本研究では、スマートフォンとアクションカメラを用いて、簡易かつ客観的データに基づき路面凹凸の評価を行うことを試みた。どちらの数値モデルにおいても、判定精度についてはスマートフォンのほうが高いものが多い結果となった。ロジットモデル（2段階）における適合率はアクションカメラの方が高く、アクションカメラの加速度で路面不良と判定される場合、実際に路面不良である可能性が高い。一方で、路面不良を見落とす可能性もスマートフォンよりも高い。このことから、両者を組み合わせた判別モデルを構築することも、精度向上の一策である。

さらに、アクションカメラの利点を活かし、画像データと自動車の上下加速度を組み合わせることでより精度の高い路面性状評価を行うことを検討したいと考えている。画像情報を用いることで、路面凹凸だけでなく、ひび割れ等の別の路面性状の評価も期待できる。

参考文献

- 1) 国土交通省：総点検実施要領（案），
<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/stock.html>
2013.
- 2) 国土交通省：舗装点検要領，
http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/yobo28_10.pdf,
2018
- 3) 青木繁伸：Rによる統計解析，オーム社，2009.
- 4) 山本零：Rではじめる信用リスク分析—順序ロジットモデルを用いた格付けモデル構築—，オペレーションズ・リサーチ，Vol. 61, No. 6, pp. 365-370, 2016.