

高速道路点検履歴にもとづいたのり面健全度評価のための統計モデル

—各路線を対象としたモデル構築—

秋田大学 学生会員 ○丸山 幸希 正会員 荻野 俊寛
東日本高速道路(株) 非会員 宮越 信 非会員 荒川 大悟

1. 背景

のり面崩壊の発生には、降雨の他にのり面自体の健全度が関係していると考えられ、土構造物の定量的な健全度評価は、リスクマネジメントやアセットマネジメントの上で重要である。

高速道路では、頻度や精度ごとに数多くの点検履歴が蓄積されており¹⁾、奥園²⁾はのり面の健全度評価において点検が特に重要であることを指摘している。

本報告は点検履歴がのり面健全度の指標となるとの考えから、既報で提案した状態空間モデル³⁾を路線ごとに拡張し、秋田県内の高速道路ののり面に対し実際の点検データを当てはめた結果を報告する。

2. 点検データの概要

NEXCO 東日本秋田管理事務所では秋田自動車道および日本海東北自動車道の一部を管理しており、これらの路線は供用開始年度に応じて、秋田自動車道は、琴丘能代道路、日本海沿岸秋田小坂線、秋田外環状道路、秋田自動車道の4区間、日本海東北自動車道は日本海沿岸酒田河辺線の1区間に分割されている。本研究で対象としたのり面はこれらの路線内の盛土および切土ののり面である。点検はこれらの区間ごとに実施されている。表-1に各路線の諸元を示す。

点検データの項目のうち、のり面の健全性を表す項目はいずれもカテゴリカルデータである。このようなデータを各路線の時系列データとして比較するために、佐野ら⁴⁾の分類にしたがって、のり面の健全性に直接関係する点検項目を抽出し、そのカウントデータを点検履歴数として本研究のモデルの構築に用いた。

また、のり面の定期的な点検は日常点検、基本点検、詳細点検、臨時点検の4種類からなり、その頻度は日常点検では週に数回、基本点検では1年に1回以上、詳細点検では5~10年に1回、臨時点検は必要の都度となっている。

本研究では2004年~2020年にこれらの区間で実施された点検データのうち、点検間隔の長い詳細点検を除いた日常・基本・臨時点検の結果を用いてのり面健全度の評価を行った。図-020に各区間におけるのり面点検履歴の時系列を示す。のり面の健全度が低下すると点検履歴数は増加すると考えられる。

表-1 各路線の諸元

	琴丘能代道路	秋田外環状道路	秋田自動車道	酒田河辺線	秋田小坂線
路線長(km)	17.1	9.5	27.5	16.7	20.7
点検履歴数(回)	134	78	186	162	175
点検記録が残っている年数(年)	16	15	15	16	16
のり面数(個)	75	39	113	74	100

3. 提案する時系列モデル

状態空間モデルは対象を観測不可能な状態を表す状態方程式と、状態から観測値を表す観測方程式を分離して表すモデルである。

本研究で用いた状態空間モデルの状態方程式を式(1)、(2)に、観測方程式を式(3)に示す。

状態方程式

$$\mu[n, t] = \mu[n, t-1] + \beta_{route}[n] + \varepsilon_{route}[n] \quad (1)$$

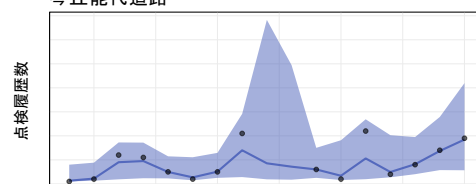
$$\varepsilon_{route}[n] \sim N(0, \sigma_{\varepsilon_{route}}[n]) \quad (2)$$

観測方程式

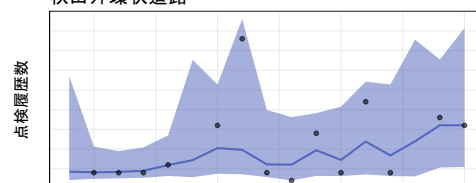
$$\log_{10}(Y[n, t]) \sim Student_t(1, \mu[n, t], \sigma_Y[n]) \quad (3)$$

ここで、 n は路線を表すインデックスであり、琴丘能代道路は $n=1$ 、秋田外環状道路は $n=2$ 、秋田自動車道は $n=3$ 、日本海沿岸

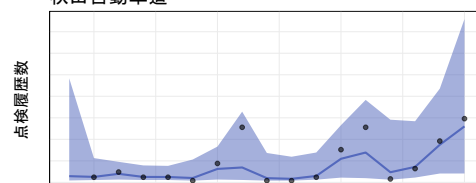
琴丘能代道路



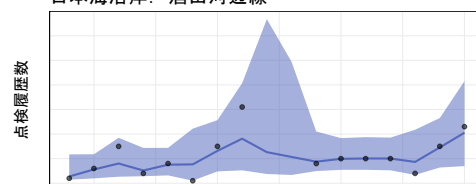
秋田外環状道路



秋田自動車道



日本海沿岸・酒田河辺線



日本海沿岸・秋田小坂線

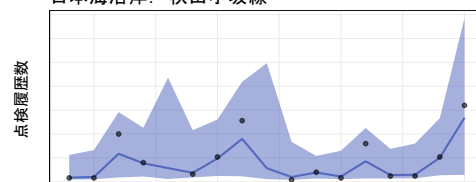


図-1 点検履歴の時系列と提案モデルによる予測

キーワード のり面健全度 点検 状態空間モデル ベイズ統計

連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 TEL 018-889-2364

酒田河辺線は $n=4$ 、日本海沿岸秋田小坂線は $n=5$ である。 t は時刻(年)であり、本研究の場合、2004 年を $t=1$ としている。 $\mu[n, t]$ は路線 n の時刻 t における健全度、 $\beta_{route}[n]$ は路線 n のトレンド項、 $\sigma_{\varepsilon route}[n, t]$ は路線 n 、時刻 t におけるトレンド項、 $Y[n, t]$ は路線 n 、時刻 t における点検履歴の数、 $\sigma_Y[n]$ は路線 n 、時刻 t における点検履歴数のばらつきを表している。

このモデルでは全期間を通した路線ごとの平均的なトレンド $\beta_{route}[n]$ が存在すると考え、年ごとの変化量はこれにトレンド項のばらつき $\varepsilon_{route}[n]$ を加えたものとする。 $\varepsilon_{route}[n]$ は標準偏差の正規分布に従うと考える。 $\beta_{route}[n]$ は全期間を通したその路線の平均的なのり面健全度 μ の変化率を表しており、健全度が低下し、点検履歴数が時間とともに増加するような場合には $\beta_{route}[n] > 0$ となり、健全度が横ばいの場合は $\beta_{route}[n] = 0$ となる。また、観測方程式(式(4))では、検履歴の観測値の常用対数 $\log_{10} Y$ は健全度 μ に観測誤差を加えたものと考え、観測誤差は自由度 1、平均 0、標準偏差 $\sigma_Y[n]$ のスチューデント t 分布に従って得られると考えた。また、点検履歴のデータは離散型であるが、モデルでは連続型の分布を使っている。これは、スチューデントの t 分布を用いることで外れ値に対応することのできるモデルにするためであり、観測方程式において対数を用いることで負の値をとることがないようにした。

このモデル式を用いて、観測値である点検履歴数 $Y[n, t]$ に最も当てはまりがよいように、各パラメータを推定した。

4. 観測値の当てはめによるパラメータ推定

パラメータの推定方法として MCMC 法（マルコフ連鎖モンテカルロ法）を用いた。本研究ではパラメータの初期値を変化させた MCMC サンプルングを 4 セット実行し、1 セットあたりのサンプル数は 11000、初期値の依存性を緩和するためのバーンイン期間は 1000 に設定した。収束の判定指標には $\hat{R}$ を用いた。 $\hat{R}$ は、同一のチェーン内での乱数の分散の平均値と異なるチェーンを含めた、すべての乱数での分散の比である。計算結果から、全てのパラメータについて $\hat{R}$ は 1.1 を下回り、収束していることが確認された。今回実行した MCMC サンプルングによって得られた代表的なパラメータの平均値、2.5%、25%、50%、75%、97.5% 分位点及び $\hat{R}$ を表-2 に、 β_{route} の密度関数を図-2 に示す。図表から、 β_{route} の値は各路線とも 0 に近い値となっているが、50% 分位点はいずれも正の値となっている。これは各路線の健全度はおおむね横ばいか、わずかに低下していることを意味しているが、のり面個別のモデルの場合と同様の傾向となった。また、 β_{route} の誤差を表す $\sigma_{\varepsilon route}$ の値は各路線で 0.25 ~ 0.43 となっており、健全度の低下傾向そのものよりもそのばらつきの方がはるかに大きいことがわかる。

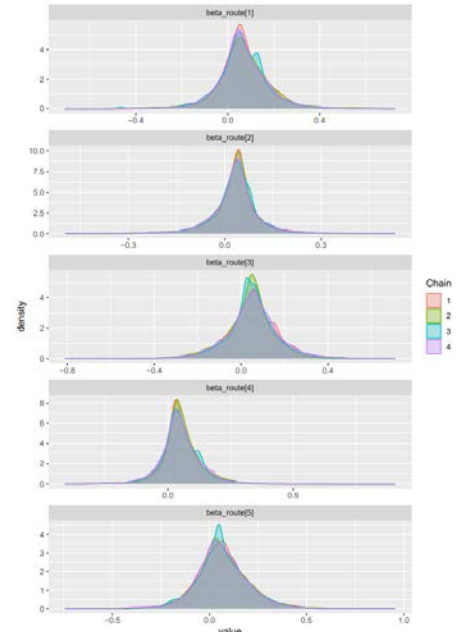


図-2 β_{route} の確率密度

5. 推定された各路線の健全度の特徴

前掲の図-1 に MCMC から推定された各路線の健全度 μ の 50% 分位点および 95% ベイズ信頼区間を示す。前述のように、 β_{route} の中央値が正の値となっていることから、ばらつきは大きいものの全体として μ はわずかに右上がりの傾向を示す。特に、最近数年間はいずれの路線も増加傾向が続いている。また、各路線において点検履歴数の観測値は急増・急減する年が見られるが、式(4)の t 分布により、 μ はこのような値にあまり影響を受けず、推移していることがわかる。路線ごとに比較すると、50% 分位点の最大値は秋田外環状道路で約 7.5 となっており、他 4 路線に比べるとやや小さいが、これは表 1 に示すように、他の路線に比べのり面数が少ないためと考えられる。のり面の数で除し、正規化すると外環状道路で最大となっているが(表-2)、ばらつきのおおきさを考慮すれば、 β_{route} の値は各路線とも 0 に近く、各路線の健全度はおおむね横ばいか、わずかに低下していること判断するのが妥当であると考えられる。

表 2 推定された代表的なパラメータの 50% 分位点

	琴丘能代 道路	秋田外環 状道路	秋田自 動車道	酒田河 辺線	秋田小 坂線
n	1	2	3	4	5
β_{route}	0.0606	0.0366	0.0513	0.0445	0.0567
$\sigma_{\varepsilon route}$	0.3747	0.2008	0.4196	0.2347	0.4940
σ_Y	0.1219	0.1785	0.2114	0.1308	0.1547
$\beta_{route}/\text{のり面数}$ ($\times 10^{-4}$)	8.075	4.536	6.010	5.670	9.385

6. 結論

高速道路ののり面点検データにもとづいて、状態空間モデルを用いて各路線の健全度を時系列として推定した。本研究から得られた知見は以下の通りである。

- ・各路線ののり面の健全度を推定する状態空間モデルを構築し、点検データをあてはめることで各路線の健全度を定量的に評価した。
- ・その結果、各路線の健全度はおおむね横ばいか、わずかに低下していることを示した。

【参考文献】 1) 長尾ら：被災のり面データに基づく東北地方の豪雨による高速道路のり面の崩壊素因の評価の試み，土木学会論文集，C-，2020. 2) 奥園誠之：切土法面の維持管理，日本地すべり学会誌，41.6，569-575，2005. 3) 鈴木ら：高速道路点検履歴にもとづいた時系列モデルによるのり面の健全度評価，土木学会東北支部技術研究発表会，2021. 4) 佐野ら：のり面の健全度評価のための高速道路点検履歴の特徴抽出，土木学会東北支部技術研究発表会，2021. 5) 小野ら：高速道路点検履歴にもとづいたのり面健全度評価のための統計モデルー各のり面を対象としたモデル構築ー，土木学会東北支部技術研究発表会，2022.