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
― 各のり面を対象としたモデル構築 ―

秋田大学　学生会員　○小野　崇寛　　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

近年，降雨の量や強度の変化によってのり面崩壊の頻度が増加している．崩壊発生には崩壊を誘発する降雨とのり面自体の健全度の二つの要因が関係していると考えられるが，健全性評価の統一的な基準は現在のところ存在していない．また，高速道路ののり面には点検履歴が蓄積されており [1]，奥園 [2]はのり面の健全性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．これらを踏まえ，本報告は点検履歴 [1]がのり面健全度の指標になり得るとの考えから，状態空間モデルを用いて時系列モデルを構築し，秋田県内の高速道路のり面に対し実際の点検データをあてはめた結果を報告する．

2. のり面および点検データの概要

NEXCO 東日本秋田管理事務所では秋田自動車道と日本海東北自動車のそれぞれ一部を管理している．本研究で対象としたのり面はその路線内において点検された履歴のある盛土のり面および切土のり面である．表-1 に各路線の諸元を示す．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 つからなり，頻度が異なる．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．対象データ数は 2430 である．

点検データは点検日時やのり面位置情報以外の大部分は非数値データからなる．このようなデータを既報 [3]にしたがい分類し，その中からのり面の健全性に直接関係するもののみを抽出し，その数を点検履歴数として解析に用いた．実際の点検データには点検履歴の数以外にも様々な情報が含まれているが，本研究ではモデル化の第一歩として点検履歴数のみによってのり面の健全度を表現する単純なモデルを構築した．図-1 に代表的な区間として日本海沿岸酒田河辺線における各のり面の点検履歴数を示す．各のり面の点検履歴数は多くの年で 0，あるいは 1 となっているが，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　各路線の諸元とデータ数

	琴丘能代道路	秋田小坂線	秋田外環状道路	秋田自動車道	酒田河辺線
路線長(km)	17.1	20.7	9.5	27.5	16.7
点検履歴数(回)	134	175	78	186	162
のり面数	75	100	39	113	74

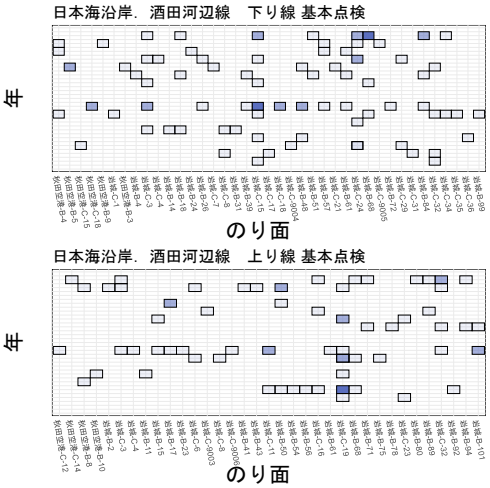

図-1 日本海沿岸酒田河辺線 点検履歴数

3. 提案する時系列モデル

本研究では既報 [4]の状態空間モデルを対象区間の全のり面に拡張した．状態方程式を式(1)～(4)に，観測方程式を式(5)に示す．

状態方程式

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

$$\beta_{slope}[n] = \beta_{route}[RouteID[n]] + \varepsilon_{\beta slope}[n] \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\beta slope}[n] \sim N(0,\ \sigma_{\varepsilon\mu}) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\mu}[n,t] \sim N(0,\ \sigma_{\varepsilon\beta slope}) \quad (4)$$

観測方程式

$$Y[n,t] \sim Poisson(\mu[n,t]) \quad (5)$$

ここに，n はのり面を表すインデックスであり，$RouteID[n]$ はのり面 n の路線インデックスである．$RouteID[n]$= 1 は琴丘能代道路，2 は秋田外環状道路，3 は秋田自動車道，4 は日本海沿岸酒田河辺線，5 は日本海沿岸秋田小坂線とする．t は時間(年)であり，本研究の場合，2004 年を t=1 としている．$Y[n,t]$は点検履歴数の観測値，$\mu[n,t]$は時点 t におけるのり面 n の健全度で，観測値から 0 付近の値が予想されるため，負の値にならないように log をとることにする．$\beta_{slope}[n]$は真の状態ののり面ごとの変化を表すトレンド，$\beta_{route}[RouteID[n]]$は全期間を通した路線ごとの変化を表すトレンド，$\varepsilon_{\mu}[n,t]$，$\varepsilon_{\beta slope}[n]$はそれぞれ真の状態，観測値，のり面ごとのトレンドの誤差を表す．また$N(0,\sigma)$，$student_t(1,0,\sigma)$，$Poisson(\lambda)$はそれぞれ平均 0，標準偏差σの正規分布，自由度 1，平均 0，標準偏差σの t 分布，および平均λのポアソン分布を表す．

状態方程式のうち式(1)はのり面の健全度が 1 時点前の状態にのり面ごとのトレンド項と誤差を加えたものであることを示している．式(2)はのり面ごとのトレンド項が路線ごとのトレンド項にのり面ごとの誤差を加えたものであることを示している．また観測方程式(式(5))はのり面の健全度を平均としたポアソン分布によって実際の点検履歴数の観測値が得られることを示している．これらのモデル式を上述の各のり面について適用し，観測された点検履歴数にもっともあてはまりがよくなるような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 4 回の

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

MCMC サンプリングを実施し，1 回あたりのサンプリング数は 10000 とした．このサンプリングの冒頭部分では初期値から推定値に向かって値が大きく変化し，推定結果に悪影響を及ぼすため冒頭 2500 回分のサンプリングはウォームアップ区間として解析から省いた．また MCMC サンプル列の自己相関を低く保つため，間引き間隔を 5 と設定した．パラメータ推定の収束は診断の指標である$\hat{R}$を用い，$\hat{R}$<1.1 で収束と判断した．パラメータの事前分布はβ_{slope}は平均 0，標準偏差 0.5，自由度 1 の t 分布とし，それ以外は無情報事前分布とした．

表-2 MCMC から得られた各パラメータの推定値

	中央値
$\beta_{route}[1]$	0.018
$\beta_{route}[2]$	-0.032
$\beta_{route}[3]$	-0.0085
$\beta_{route}[4]$	-0.0006
$\beta_{route}[5]$	0.0020
$\beta_{slope}[1]$	0.020
$\beta_{slope}[75]$	0.019
$\beta_{slope}[186]$	0.020
$\beta_{slope}[224]$	0.018
$\beta_{slope}[327]$	0.015
$\sigma_{\varepsilon\mu}$	0.115
$\sigma_{\varepsilon\beta slope}$	0.023

表 2 に MCMC によって得られた代表的なパラメータの中央値を示す．$\beta_{slope}[1]$，$\beta_{slope}[75]$，$\beta_{slope}[186]$，$\beta_{slope}[224]$，$\beta_{slope}[327]$はそれぞれ日本海沿岸酒田河辺線，秋田自動車道，秋田外環状道路，日本海沿岸秋田小坂線，琴丘能代道路の代表的なのり面である．

5. 推定された各のり面の健全度の特徴

モデルから推定された個々ののり面の健全度の特徴について考察するために，図-2 に各路線ののり面ごとのトレンドを示す．横軸にのり面 ID，縦軸にトレンドβ_{slope}をとる．（黒点は中央値を，青線は 95%信頼区間を表している）95%信頼区間をみると正負どちらの値も取りうるが，中央値はすべてののり面において正であるため，全体的なトレンドは正の傾向にあると考えられる．

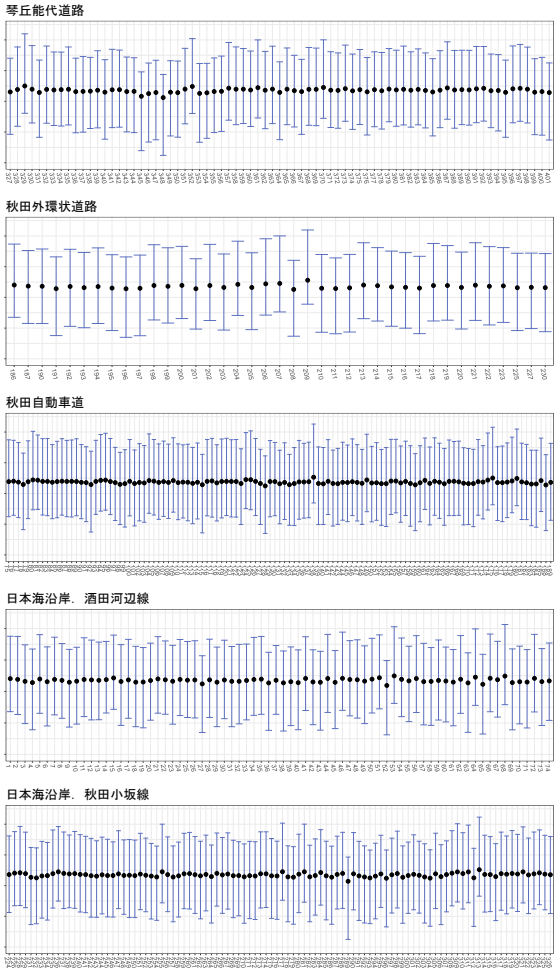

図-2 各路線の個別のり面のトレンド

また，路線ごとに各のり面のトレンドをみると大きなばらつきは見られない．表 2 より各路線のトレンドβ_{route}の値にばらつきはあるものの，いずれの路線もおおむね 0 に近く，各路線とも目立った健全度の変化は見られない．また，図-2 に示す個々ののり面のトレンドは同程度であることから，日常点検，基本点検，臨時点検の 3 つの点検データからはのり面ごとの目立ったばらつきは見られない．

代表的なのり面における 2004 年から 2020 年までののり面健全度μの変化について，横軸に時間，縦軸に年度ごとの点検頻度をとったものを図-3 に示す．（黒点は点検履歴の観測値Yを，濃い青線は状態空間モデルによって推定された点検履歴の真の状態であるμの 50%信頼区間，薄い青線は 95%信頼区間を表している）比較的大きなトレンドをとる秋田外環状道路ののり面(のり面 ID＝209)では$\mu[209,t]$はトレンドの中央値が最大値をとり，点検履歴の観測値Yが年ごとに増加傾向にあるため，著しく増加している．また，標準的なトレンドをとる日本海沿岸秋田小坂線ののり面(のり面 ID＝224)では$\mu[224,t]$は微増している．これは点検履歴の観測値Yが小さく，トレンドの中央値が 0 に近いものの，正の値をとるためである．いずれののり面もμは微増傾向にあり，のり面の健全度は横ばいか，わずかに低下していると考えられる．

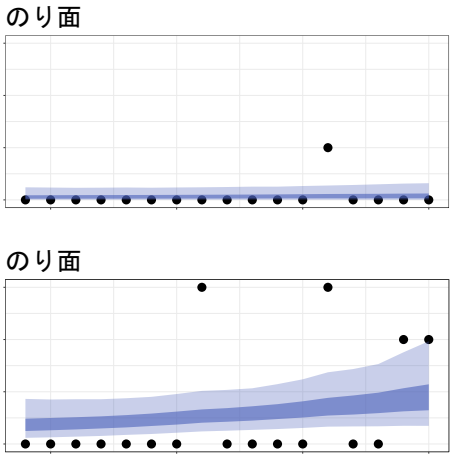

図-3 点検履歴の時系列と提案モデルによる推定

6. 結論

高速道路ののり面点検データに基づいて，状態空間モデルを用いてのり面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．

- 個々ののり面の健全度を推定する状態空間モデルを構築し，点検データを当てはめることで個々ののり面の健全度を定量的に評価した．
- その結果，いずれののり面もμは微増傾向にあり，のり面の健全度は横ばいか，わずかに低下していることが示された．

【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) 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，2020. 4) 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，2020.