

異なる点検データから推計された劣化過程間の依存性分析

大阪大学大学院	学生会員	○水谷 大二郎
大阪大学大学院	正会員	小濱 健吾
大阪大学大学院	正会員	貝戸 清之

1 はじめに

高速道路を構成する様々な施設に対して、定期的に点検が実施されている。本研究では、高速道路の施設の中でも伸縮装置に着目する。伸縮装置の劣化は利用者の快適な運転に直接影響を与えるため、伸縮装置に対して頻繁に点検・取り替えが実施されている。伸縮装置には、路上点検、路下点検の2種類の点検がなされており、それぞれ異なる点検データベースとして点検結果が保存されている。従来、これら2種類の点検データから、別個に期待寿命を算出する統計的方法論は存在した。しかし、路上、路下の2種類の点検は、点検項目は違うものの、同一の伸縮装置に対して行われているため、両点検データを同時に考慮し、1つの推計結果を算出するような方法論の開発が可能であると考えられる。そこで、本研究では、基礎的研究として、路上、路下点検データそれぞれから推計した期待寿命の相関性をコピュラ関数で表現し、路上点検データ、路下点検データの互換可能性を検証する。

2 本研究の前提条件

2.1 伸縮装置の路上・路下点検スキーム

伸縮装置に対する点検は路上点検と路下点検に分類できる。路上点検は車両の通行止めを伴う詳細な目視点検であり、一方、路下点検は橋脚天端から伸縮装置の状態を視認する定期的な目視点検である。路上点検は道路のリフレッシュ工事などの一斉通行止め期間を利用して実施される。一斉通行止めの対象となる路線は劣化がある程度進展していると考えられるが、点検対象となる伸縮装置の選定はランダムサンプリングであるとみなす。路下点検についても定期的に点検が実施されるため、伸縮装置の選定はランダムサンプリングであるとみなすことができる。また、路上点検では亀裂、剥離、磨耗、段差、たたき点検、路下点検では異常音、漏水、ボルトの欠損およびゆるみ、と路上点検、路下点検で点検項目は異なるが、同一の伸縮装置を対象とした点検であるため、点検結果間に相関性があると考えられる。

2.2 統計的劣化予測手法

社会基盤施設に対する目視点検の結果は、一般的に多段階の離散的な健全度として評価される。マルコフ劣化ハザードモデルでは、主な劣化要因を特性変数として内包させたハザード率によって、任意の健全度から次段階の健全度へ進展する劣化速度（期待寿命）を定義する。このハザード率を用いてマルコフ推移確率を算出することで期待劣化パスや健全度分布の推移を求めることが可能となる。さらに、マルコフ劣化ハザードモデルに対して、特性変数では表現しきれない要因（不可観測要因）の影響を各評価単位に対して1つのパラメータに集約し、確率変数で表現する。このパラメータを異質性パラメータと呼び、異質性の影響を考慮したマルコフ劣化ハザードモデルは混合マルコフ劣化ハザードモデル [1] として定義される。同モデルの混合ハザード率は、のハザード率と異質性パラメータの確率的コンボリューションにより表される。また、本研究では、参考文献 [1] に従い、混合マルコフ劣化ハザードモデルの推計に階層ベイズ推計を用いた。

3 コピュラ関数

本研究では、路上、路下両点検から推計された伸縮装置個々の劣化速度が有する異質性の相関性をコピュラ関数 [2] を用いて表現する。コピュラ関数は変量間の非線形な依存関係を考慮でき、線形相関では見落とされがちな依存関係を表現できる。具体的には、路上点検データ、路下点検データから別個に混合マルコフ劣化ハザードモデルを推計し、路上、路下両点検データの存在する伸縮装置に関して異質性パラメータの推計値を用いてコピュラ関数をベイズ推計の一種であるMCMC法を用いて推計した。コピュラ関数の周辺分布関数にはガンマ分布を採用した。また、これまでに多様な依存関係を表現するため、様々なコピュラ関数が提案されてきた。本研究では、変量の裾野での依存関係に着目し、クレイトンコピュラとガンベルコピュラの2種類のコピュラ関数を実データに適用する。

Keywords: アセットマネジメント, 伸縮装置, 統計的劣化予測, 相関性, コピュラ関数

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 S1棟612号室 TEL: 06-6879-7622

Email: d-mizutani@civil.eng.osaka-u.ac.jp

4 実証分析

4.1 データ諸元

実在する伸縮装置の点検データに混合マルコフ劣化ハザードモデルを適用し、推計された路上点検と路下点検での異質性パラメータの相関性をコピュラ関数を用いて表現する。本適用データでは、55 個の伸縮装置に対して路上、路下の両点検データが存在し、それらの異質性パラメータを用いてクレイトンコピュラ、ガンベルコピュラの 2 種類のコピュラを推計した。この 2 つのコピュラ関数の違いは、コピュラ関数の表す依存構造にあり、クレイトンコピュラは異質性パラメータの下限值付近、すなわち劣化の進行が比較的遅い伸縮装置での期待寿命の路上・路下依存関係を表現するのに適している。一方、ガンベルコピュラは異質性パラメータの上限値付近での依存関係を表現するのに適している。

4.2 推計結果

上述のデータセットを用いて、まず、混合マルコフ劣化ハザードモデルを階層ベイズ推計した。そして、獲得された路上、路下点検データそれぞれ 55 個の異質性パラメータの依存関係を分析するためコピュラ関数の推計をおこなった。なお、コピュラ関数の未知パラメータ推計にはベイズ推計法を用いたが、周辺分布のガンマ分布のパラメータ推計には最尤法を用いた。表 1 に 2 種類のコピュラの未知パラメータ推計値、対数尤度、AIC を示した。同表より、クレイトンコピュラに比べ、ガンベルコピュラの AIC が小さく、モデルが適用データに適していると言える。このことは、値の小さい異質性パラメータを持つ伸縮装置と比べ、大きい値の異質性パラメータを持つ、すなわち劣化速度が相対的に速い伸縮装置において、路上・路下点検結果から推計された期待寿命に相関があることを意味している。

また、図 1 には AIC の高かったガンベルコピュラで推計された未知パラメータ (1.5803) から算出される路上点検の異質性パラメータと路下点検の異質性パラメータの同時確率密度の分布を示した。同図より、路上・路下の両点検データからそれぞれ推計された異質性パラメータ間には、正の依存関係が存在することがわかる。このことは、路上・路下点検データからそれぞれ得られた期待寿命間に図 1 のような正の相関があることを示している。この図 1 の推計結果の使用方法として、例えば、路下点検データにおいてのみ豊富なサンプルが獲得された場合、路下点検データを用いて推計された異質性パラメータの条件付きの路上点検の異質性パラメータの分布を求めることができる。

表 1: 未知パラメータ推計結果及び AIC

コピュラ	クレイトン	ガンベル
パラメータ推計値	0.3068	1.5803
対数尤度	2.1060	8.4788
AIC	-2.2120	-14.9576

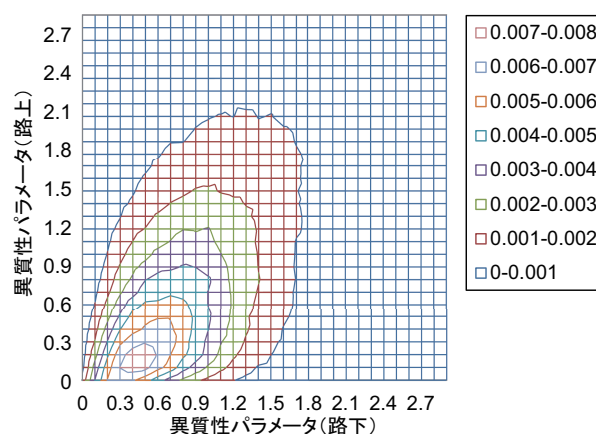


図 1: 同時確率密度 (ガンベルコピュラ)

5 おわりに

本研究では、高速道路の同一伸縮装置に対する路上・路下それぞれの点検結果から混合マルコフ劣化ハザードモデルにより推計された 2 つの期待寿命間の非線形な相関性をコピュラ関数を用いて表現した。また、異なる変数間の依存構造を持つクレイトンコピュラ、ガンベルコピュラを同一データに適用することにより、路上・路下点検データ間での期待寿命の依存性が、劣化速度の速い伸縮装置、劣化速度の遅い伸縮装置のどちらで大きいのかを 2 つのモデルの AIC の比較により、検証することが可能となった。また、今後の課題として、混合マルコフ劣化ハザードモデルとコピュラ関数を 1 つのモデルに組み込むような方法論の開発とそのモデルの推計手法の開発があげられる。この方法論の開発により、路上・路下点検データのサンプル欠損を相互に補填するような方法論が確立され、点検データの情報を最大限に引き出した劣化予測が可能となる。

参考文献

- [1] 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推定, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.4, pp.255-271, 2012.
- [2] 戸坂凡展, 吉羽要直: コピュラの金融実務での具体的な活用方法の解説, 日本銀行金融研究所, 金融研究, pp.115-162, 2008.