

観測期間の不整合を考慮したポアソン隠れマルコフモデルの推定

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○宮崎文平
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 小濱健吾, 貝戸清之
 西日本高速道路株式会社 正会員 宮田弘和

1. はじめに

社会基盤施設の劣化予測モデルの高度化に伴い、異なる二つの劣化事象の階層関係を表現したモデルが多く提案されるようになった¹⁾²⁾。一方で実社会において獲得されるデータは、二つの劣化事象の観測期間にずれが生じているケースが少なくない。そのため、既往の研究では、獲得したデータすべてを用いた推計を行うことは困難であり、データを切断し観測期間を恣意的に一致させることで推計を行ってきた。獲得データを最大限に活用するためには、観測期間の不整合を考慮した手法の構築が必要である。

本研究では、データの観測期間の不整合を考慮した階層モデルを提案する。具体的には道路舗装におけるポットホール等の局所的な損傷と、ひび割れ等の舗装全体の損傷とで構成される複合的な劣化過程をポアソン隠れマルコフモデルにより表現する。その際、観測期間の不整合を潜在変数により補い、獲得されるすべてのデータを用いて推計を行うことを可能にする階層モデルを定式化する。最後に具体的な適用事例を通して、提案したモデルの適用可能性について実証的な分析を試みる。

2. 観測期間の不整合を考慮した階層モデル

(1) 前提条件

いま、カレンダー時刻 s_0 を初期時点 $t=0$ とする、離散時間軸 $t=0,1,2,\dots,\infty$ を導入する。離散時点間の期間長を 1 に基準化する。対象とする舗装において、離散時間軸上で路面性状調査が実施される時点 $t=t_0, t_1, \dots, t_n, \dots$ と表記する。さらに、調査時点 t_n における路面性状調査により、路面健全度 $h(t_n)$ が評価される。

連続する 2 つの調査時点間の期間を $\tau_n = [t_n, t_{n+1})$ と呼び、期間長を $T_n = t_{n+1} - t_n$ と表す。路面健全度はレーディング指標 $i(i=1,\dots,I)$ で表される。 i の値が大きくなる

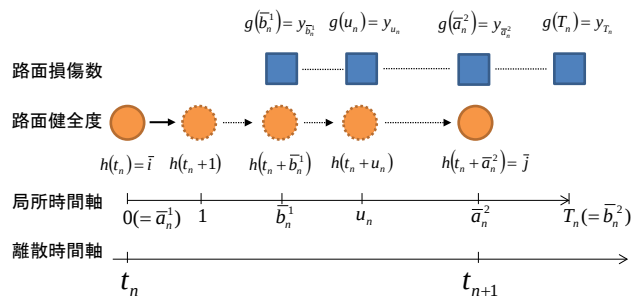


図-1 離散時間軸と局所離散時間軸

ほど路面性状が劣化している。 $h(t_n)=I$ の場合は、舗装が使用限界に到達していることを意味する。初期時点 $t=0$ において $h(0)=1$ である。さらに、各時点 $t=0,1,\dots$ において道路巡回が実施され、ポットホールの発生数を観測する。ポットホールが観測された場合、直ちに応急補修がなされる。期間 τ_n 内におけるポットホールの発生過程を分析するために、路面性状調査時点 t_n を始点 $u_n=0$ とする局所離散時間軸 $u_n=0,1,\dots,T_n$ を考える。ただし、局所離散時間軸上の局所時点 $u_n(u_n=0,\dots,T_n)$ は離散時間軸上の時点 t_n+u_n と対応し、 $t_{n+1}=t_n+T_n$ が成立する。局所時点 u_n におけるポットホールの発生数を表す状態変数を $g(u_n)=y_{u_n}(y_{u_n}=0,1,\dots)$ と表記する。

(2) 観測期間の不整合性

通常、路面性状調査開始時点と、ポットホール発生数に関する観測データ獲得開始時点が一致している場合、ポアソン隠れマルコフモデルを推計するための、路面健全度とポットホールによる路面損傷に関するデータセットは、期間 $[t_n, t_{n+1})$ において完全に対応する。しかし、両観測データ獲得開始時点が一致しない場合や、直近の路面性状調査から次の路面性状調査がなされるまでの期間を考慮する場合など、路面健全度のデータおよび路面損傷数のデータが調査期間において整合的でない場合が少なくない。いま、局所離散軸 u_n に

キーワード：アセットマネジメント、時間不整合データ、舗装、階層モデル

連絡先：〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 TEL: 080-1732-5429

において、路面健全度に関するデータが期間 $[\bar{a}_n^1, \bar{a}_n^2]$
 $(\bar{a}_n^1 = 0, 1, \dots, T_n - 1; \bar{a}_n^2 = 1, 2, \dots, T_n; \bar{a}_n^1 < \bar{a}_n^2)$ で獲得され、
 路面損傷数に関するデータが期間 $[\bar{b}_n^1, \bar{b}_n^2]$ ($\bar{b}_n^1 = 0, 1, \dots,$
 $T_n - 1; \bar{b}_n^2 = 1, 2, \dots, T_n; \bar{b}_n^1 < \bar{b}_n^2$)で獲得されているとする。
 これにより、路面性状調査は時点 t_n, t_{n+1} ではなく、時点
 $t_n + \bar{a}_n^1, t_n + \bar{a}_n^2$ において実施されていることになる。ま
 た、

$$\begin{cases} \min(\bar{a}_n^1, \bar{b}_n^1) = 0 \\ \max(\bar{a}_n^2, \bar{b}_n^2) = T_n \end{cases} \quad (1)$$

が成立しているとする。観測期間が整合的でない離散
 時間軸と局所離散時間軸の関係の一例を図-1に示す。

本研究の目的は、この観測期間の不整合を考慮する
 ことにある。既往の研究では、時点 t_n における路面性状
 調査と t_{n+1} における路面性状調査の間の局所時点
 u_n ($u_n = 0, \dots, T_n$)における路面健全度に関する情報を、
 潜在変数を用いて仮想的に設定した。本研究においては
 これを拡張する。具体的には調査時点 t_n における路面
 性状調査と t_{n+1} における路面性状調査の間の期間に含
 まれない、ポットホール発生数に関する観測データの
 影響をモデルに考慮するために、潜在変数を設定する。
 これらの潜在変数には、種々の端点における条件が設
 定される。この条件に従って、潜在変数を遷移させる
 ことで、本来獲得されない健全度に関する情報が獲得
 することができる。それに基づきポットホールの到着
 率を算出することで観測期間の不整合を考慮したポア
 ソン隠れマルコフモデルの推計が可能となる。

3. 適用事例

本研究で提案したモデルを、実供用中の高速道路に
 において獲得されたデータを用いて、その有用性を実証
 的に検討する。対象道路区間では、過去に実施された
 路面性状調査データと補修の履歴データに加え、日常
 の道路巡回データを整備している。本適用事例では、
 2009年7月に実施された路面性状調査データ、および
 1992年から2009年度までの対象区間に関する補修履
 歴データが与えられた。また道路巡回に関しては、
 2007年8月から2011年9月までの情報を得られた。
 観測期間内のポットホールの総発生個数は332個であ
 る。

ここで、路面性状調査と補修による健全度の獲得期
 間1992年6月から2009年7月と、道路巡回によるポ
 ットホールの観測期間2007年8月から2011年9月

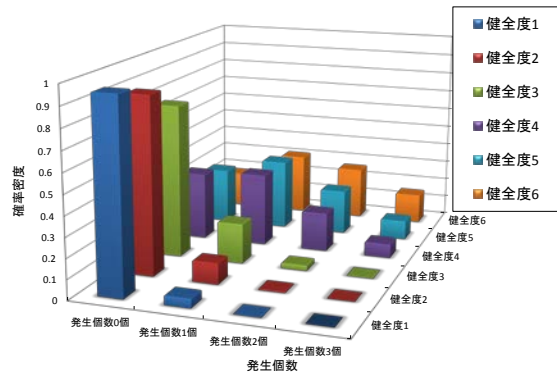


図-2 健全度毎のポアソン分布

が整合的でないことを確認されたい。従来の手法であ
 れば、2009年7月以降に獲得されたポットホールのデ
 ータに関しては推計に使用することができず、2007年
 8月から2009年7月までのデータに限定されることにな
 る。その間のポットホールの総発生個数は92個であ
 り、240個ものポットホールに関する情報を推計に用い
 ることが不可能であった。本研究では、獲得される全
 てのデータを用いて推計を行った。

4. 推計結果

図-2に観測期間の不整合を考慮したポアソン隠れマ
 ルコフモデルによる推計結果を示す。同図は補修時点
 から1年経過時点におけるポットホールの発生数と発
 生確率の関係を健全度毎に図示したものである。図か
 ら、健全度が大きくなるにつれ、ポットホールの発生
 確率が増加していることを読み取ることができる。

5. おわりに

本研究では、データの観測期間の不整合を考慮し、
 獲得されたすべてのデータを用いて推計を行うことを
 可能にする階層モデルを提案した。適用の対象として、
 ポットホールとひび割れという舗装に関する二つの劣
 化事象を用いたが、今後様々な劣化事象への適用を実
 施していく予定である。

【参考文献】

- 1) 小林潔司, 貝戸清之, 江口利幸, 大井明, 起塚亮輔: 舗装
 構造の階層的隠れマルコフ劣化モデル, 土木学会論文集 D3,
 Vol. 67, No. 4, pp. 422-440, 2011. 10
- 2) Nam, L. T., 貝戸清之, 小林潔司, 起塚亮輔: ポアソン隠
 れマルコフ劣化モデルによる舗装劣化過程のモデル化, 土木
 学会論文集 F4, Vol. 68, No. 2, pp. 62-79, 2012