

建設業の縮小に伴うインフラ維持管理への影響に関する分析

公共システム研究室 日高 大希

1. はじめに

公共事業の減少、就業者の高齢化や若年層の担い手不足により、地方の建設業では廃業を余儀なくされる企業が増え続けることが懸念される。建設業は地域のインフラの整備・維持管理、除雪などの重要な役割を担っており、建設業の縮小は地方の地域社会にとっての深刻な社会問題となっている。この課題への対応策を検討するに際しては、建設業の縮小に伴う地域への影響を定量的に把握するとともに、その影響を最小化するための企業の体制や業務の運用方法を検討するための理論的な支援手法があると有用である。そこで本研究では、道路の維持管理を対象に、地元の建設業が縮小した場合における影響を社会的費用として評価するとともに、企業がどのように業務を運用することで影響が最小となるのかを分析する手法を開発する。その上で、実際の地域を対象に事例分析を行い、開発した手法の有効性を実証的に確認する。

2. 本研究の基本的な考え方

道路の点検では、点検という作業のみで事の目的が達成できるわけでは必ずしもない。例えば、点検の担当者では手に負えない修繕の必要性が点検で明らかになった場合、その作業が実施できる別の担当者や別の企業に修繕の作業依頼を出し、その作業が終了してはじめて完結する。すなわち、点検と修繕という二つの作業を協調して実行しなければならない場面がある。このことは、点検という作業に関して企業の活動を計画する層と修繕という作業に関して企業の活動を計画する層の二つがあると考えられる。本研究では、二つの作業がある維持管理のモデルを「二層のモデル」と呼ぶ。一方、一つの作業からなる維持管理のモデルを「一層のモデル」と呼ぶ。本研究では、一層と二層のモデルをそれぞれ定式化することを試みる。

3. 二層のモデルの構築

以下では「二層のモデル」について取り上げる。道路を点検し、そこで点検の担当者が対応できない故障箇所を発見した場合には、別の主体に修繕を依頼するモデルを構築する。まず、各期にどここの地区の点検を行うのかを予め決定しているものとする。ここで、任意の時点を t 、任意の地区を k とすると、次式の $d_t(k)$ を定義することができる。ただし、 $d_t(k)=1$ は地区 k が点検の対象であること、 $d_t(k)=0$ はそうではないことを表す。

任意の地区 $k(1 \leq k \leq n)$ における道路の延長を L_k 、単位時間における単位距離当たりの道路の故障率を λ_k とすると、点検を行っていない地区で t 時点に発生する故障の数は次式で表される。ただし、故障はポアソン過程に従うと仮定する。

$$\sum_{k=1}^n (1-d_t(k)) \lambda_k L_k \quad (2)$$

道路の不具合には程度があり、その程度が激しい場合、点検の担当者が修繕を行うのではなく、修繕の技術を持つ企業（以下、便宜的に「修繕企業」と呼ぶ）に依頼し、修繕を行ってもらう必要がある。ただし、今期に点検を行った地区でのみ修繕の依頼ができることに留意を要する。まず、不具合の状態を次式の i_k で定義する。ただし、 $i_k=1$ は地区 k において修繕企業による修繕の必要性があること、 $i_k=0$ はその必要がないことを表す。

修繕を依頼する場合には、いくつかある修繕企業から依頼をする企業を決定する必要がある。本研究では、一つの修繕企業は一時点に最大一地区にのみ修繕にあたるものとし、一つの地区には最大一つの修繕企業が修繕に当たるものとする。依頼を受けることのできる任意の修繕企業を $j(1 \leq j \leq m)$ とすると、次式が成り立つ。ただし、 $a_{jk}=1$ は修繕企業 j に地区 k の修繕を依頼すること、 $a_{jk}=0$ は依頼をしないことを表す。行動の選択肢集合 A は、次式を満たす a_{jk} の集合である。

$$\begin{aligned} a_{j1} + a_{j2} + \dots + a_{jk} + \dots + a_{jm} &\leq 1 \quad (1 \leq j \leq m) \\ a_{1k} + a_{2k} + \dots + a_{jk} + \dots + a_{mk} &\leq 1 \quad (1 \leq k \leq n) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、各地区において修繕が必要な故障（以下「重大故障」と呼ぶ）が1件以上発生したもとの重大故障数の期待値は次式のように表すことができる。ただし、 ϕ_k は単位時間における単位距離当たりの道路の重大故障率、 h_k は地区 k における重大故障数を表している。

$$\frac{\sum_{h_k=1}^{\infty} h_k (\phi_k L_k)^{h_k} \frac{e^{-\phi_k L_k}}{h_k!}}{1 - e^{-\phi_k L_k}} = \frac{\phi_k L_k}{1 - e^{-\phi_k L_k}} \quad (5)$$

点検の担当者が地元の修繕企業に修繕を依頼した場合、修繕企業はすぐに駆け付けることがで

きる。一方で地元の建設業の縮小に伴い、県外の修繕企業に依頼をしなければならない場合、修繕企業がすぐに駆けつける可能性は低くなると考えられる。本研究では、修繕企業 j がその時点内に地区 k の修繕を完了する確率（以後、「完了確率」と呼ぶ）を定義し、それを π_{jk} で表す。すると、重大故障に関する社会的費用は次式のように表すことができる。なお、 t 時点で点検がなされ、かつ、修繕企業による対応がなされた場合、その期の重大故障の数はカウントしないものとする。

$$\sum_{k=1}^n i_k \frac{\phi_k L_k}{1 - e^{-\phi_k L_k}} (1 - \sum_{j=1}^m d_t(k) a_{jk} \pi_{jk}) \quad (6)$$

修繕企業に修繕を依頼する際には業務委託料が発生し、その額は次式のように定式化される。ただし、 c_{jk} は修繕企業 j に地区 k の修繕を依頼した場合の費用を表す。

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n c_{jk} a_{jk} \quad (7)$$

次いで、推移確率を定式化する。ある時点の状態を i_k 、その次の期の状態 i_k' をとすると、推移確率は次式のように定式化される。

$$p_t(i_k' | i_k) = \begin{pmatrix} \mu_k & 1 - \mu_k \\ \sum_{j=1}^m d_t(k) a_{jk} \pi_{jk} & 1 - \sum_{j=1}^m d_t(k) a_{jk} \pi_{jk} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\mu_k = e^{-\phi_k L_k}$$

すると、 t 時点での各地区の状態が (i_1, i_2, \dots, i_n) であるときの平均費用 g は次式で求められる。ただし、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ は重みを表すパラメータである。

$$h_t(i_1, i_2, \dots, i_n) + g = \min_{a \in A} \left\{ \theta_1 \sum_{k=1}^n (1 - d_t(k)) \lambda_k L_k \right. \\ + \theta_2 \sum_{k=1}^n i_k \frac{\phi_k L_k}{1 - e^{-\phi_k L_k}} (1 - \sum_{j=1}^m d_t(k) a_{jk} \pi_{jk}) \\ + \theta_3 \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n c_{jk} a_{jk} + \sum_{i_1'=i_1}^1 \sum_{i_2'=i_2}^1 \\ \dots \sum_{i_n'=i_n}^1 p_t(i_1' | i_1) p_t(i_2' | i_2) \\ \dots p_t(i_n' | i_n) h_{t+1}(i_1', i_2', \dots, i_n') \left. \right\} \\ h_1(0, 0, \dots, 0) = 0 \quad (9)$$

4. 事例分析

鳥取県智頭町、八頭町、若桜町を対象に、上記

のモデルの適用を試みる。

地元の修繕企業への修繕の依頼を想定し、構築したモデルを適用する。その際に、最大三つの修繕企業に依頼することを想定し、修繕企業の数が増減した際の社会的費用の変化を分析する。その際、完了確率 π_{jk} をすべて 1 とし、全企業が地元にあることを表現する。

計算の結果を図 1 に示す。結果より、修繕企業数が 3 から 2 に減った際の社会的費用は 0.02 (百万円/週) 増加し、2 から 1 に減った際の社会的費用は 0.07 (百万円/週) 増加している。このように、依頼できる修繕企業が減るにつれて社会的費用の増加量は大きくなり、地元の修繕企業の減少が社会的費用に影響を及ぼすことがわかる。

次に、点検の回数を変化させた際の社会的費用の変化を調べる。1) 現状のケース (各地区に 1 週間に 2 回ずつ点検)、2) 各地区に 1 週間に 1 回ずつ点検、3) 半数の地区は週に 2 回ずつ点検、もう半数の地区は週に 1 回ずつ点検の 3 ケースを比較する。その際、修繕企業については 1) 地元の企業が 2 社、2) 地元と域外の企業が 1 社ずつ、3) 地元の企業が 1 社、4) 域外の企業が 2 社の 4 パターンを検討する。ただし、域外の企業の完了確率は 0.5 である。

結果を図 2 に示す。結果より、点検回数を週に 2 回から週に 1 回に減らすと社会的費用は、修繕企業における各 4 パターンにおいてそれぞれ約 0.4 (百万円/週) と大きく増加していることがわかる。一方で、修繕企業に関して比較すると、1) ~ 3) で大差はなく、修繕企業が 1 社でもあれば、社会的費用が大きく増加することはない。したがって、修繕企業を増やすより、点検の回数の確保を優先すべきであることがわかる。

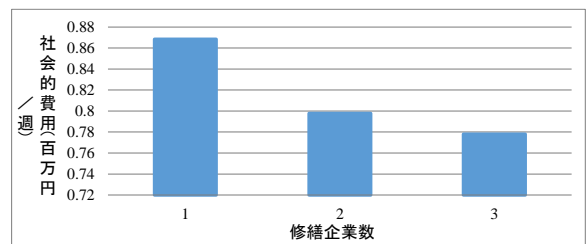


図 1 修繕企業数別の社会的費用

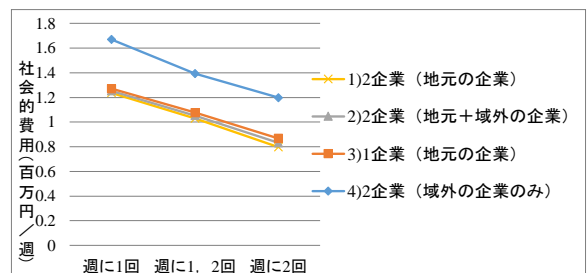


図 2 点検回数別の社会的費用