

公的資金の限界費用を考慮した橋梁維持の最適化
～公債発行による効果に着目して～

公的資金の限界費用を考慮した橋梁メンテナンスの
最適化に関する研究プロジェクト

2023年7月

公益社団法人 日本交通政策研究会

日交研シリーズ A-879

令和4年度自主研究プロジェクト

「公的資金の限界費用を考慮した橋梁メンテナンスの最適化」

刊行：2023年7月

公的資金の限界費用を考慮した橋梁維持の最適化～公債発行による効果に着目して～

Optimization of the maintenance of road bridges considering marginal costs of public finance:
focusing on the effects of public bonds

主査：河野 達仁（東北大学情報科学研究科）

Tatsuhito Kono

要 旨

先進国を含め世界各国で第二次世界大戦後に整備された社会基盤施設の耐久期間が終わりに近づいている。わが国でも、すでに老朽化が進展している橋梁が多数あり、その維持管理費用もかさんでいる。維持管理費用は補修政策の適正化により大きく変化する。例えば、国土交通省は、国土交通省所管分野における社会資本の将来の維持管理・更新費用の推計を予防保全と事後保全で試算した場合で比較をしており、国土交通省所管分野における社会資本の維持管理・更新費用は2048年度に予防保全で5.9～6.5兆円/年、事後保全で10.9～12.3兆円/年と、大きな差があると試算している¹⁾。以上の国土交通省の試算のように、社会基盤施設の最適補修施策はライフサイクル費用の最小化の観点から一般に決定される。しかし、社会資本管理団体の予算に占める補修費用の割合が高くなると、施設管理方法を検討するだけでなく、社会資本管理団体の財政制約を考慮して支出対象すべての規模の最適化が重要になってくる。しかしながら、研究レベルでも財政制約を考慮した維持管理政策の検討は十分には行われていない。例えば、Smilowits & Madanat²⁾は財政制約を考慮したうえで複数橋梁について補修費用（橋梁の補修にかかる費用と補修によって発生する利用者の費用の総和）を最小化しているものの、彼らの財政制約は橋梁の補修にかかる費用の上限値と下限値を外生的に与えるというものである。この方法では社会資本管理団体のすべての施設の管理方法の検討に拡張しても、社会資本管理団体の支出対象すべての最適化にはならない。財政制約の影響をみるためにはすべての収支を対象とせざるを得ない。本研究では、MCFを内生化した橋梁の最適長期補修施策を検討する動学的経済モデルに公債を考慮し、公債発行額を含めた長期補修施策の最適化を行う。その結果、公債の最適発行流れは、各期のMCFを平準化するように決定され、公債の発行により将来世代が一部負担を行うことにより将来世代と現世代の厚生を平準化につながることを示す。

キーワード：維持費用，橋梁，財政の限界費用

Keywords : maintenance cost, road bridge, marginal cost of public finance

目 次

1. はじめに	1
2. モデル	4
(1) 橋梁の劣化と補修	4
(2) 家計の設定と行動	5
(3) 政府の設定と行動	10
3. 数値分析事例	12
(1) 数値分析の設定	12
(2) 数値分析の結果	14
4. 結論	22
参考文献	23

研究メンバー（敬称略・順不同）

主査：河野達仁 東北大学大学院 情報科学研究科 教授
メンバー：曾道智 東北大学大学院 情報科学研究科 教授
メンバー：山浦一保 立命館大学大学院 スポーツ健康科学研究科 教授
メンバー：伊藤亮 東北大学大学院 情報科学研究科 准教授
メンバー：藤原直哉 東北大学大学院 情報科学研究科 准教授
メンバー：中島賢太郎 一橋大学大学院 経営管理研究科 准教授
メンバー：岸昭雄 静岡県立大学 経営情報学部 准教授
メンバー：吉田惇 九州大学 工学研究科 助教
メンバー：羅婉慈 東北大学情報科学研究科 特任助教

執筆者

河野達仁 東北大学大学院 情報科学研究科 教授
祢津知広 東北大学大学院 情報科学研究科 社会人博士課程

1. はじめに

先進国を含め各国では第二次世界大戦後に整備された社会基盤施設の耐久期間が終わりに近づいている。社会基盤施設の中でも橋梁はメンテナンスコストが高く、今後のメンテナンス計画を適正化する必要がある。我が国の約 73 万橋ある橋梁では、特に地方公共団体管理の道路インフラでメンテナンスが遅れている。橋梁については、道路メンテナンス年報³⁾において、早期に措置を講ずるべき状態（健全度 III）又は緊急に措置を講ずるべき状態（健全度 IV）にある橋梁は 5 年以内に措置を講ずべきと国土交通省道路局がガイドラインを示している。しかしながら、我が国の橋梁のうち 9 割以上が地方公共団体管理であり、地方公共団体において健全度 III 及び健全度 IV にある橋梁で 5 年以上経過していても措置に着手できていない橋梁は約 3 割もある。また、建設後 50 年を経過した橋梁の割合は 2022 年には 34%、そして 2032 年には 59%に急増する。その後も加速度的に増加する見込みである⁴⁾。深刻化する橋梁の老朽化への対応は喫緊の課題であり、安全安心を維持したうえで橋梁を次世代へ効率的に継承する必要がある。

2013 年の道路法改正を受け、2014 年度から道路管理者は全ての橋梁等の道路構造物について、健全度の診断をするため、5 年に 1 回の頻度で点検を実施することが省令、告示により義務付けられた。2014 年度から 2018 年度の 5 年間で概ね全ての橋梁等の点検が完了し、2019 年度から 2 巡目の点検が開始されている中、道路管理者はメンテナンスサイクル（点検・診断・措置・記録）の構築に取り組んでいる。

維持管理費用は補修政策の適正化により大きく変化する。例えば、国土交通省は、国土交通省所管分野における社会資本の将来の維持管理・更新費用の推計を予防保全と事後保全で試算した場合で比較をしており、国土交通省所管分野における社会資本の維持管理・更新費用は 2048 年度に予防保全で 5.9～6.5 兆円/年、事後保全で 10.9～12.3 兆円/年と、大きな差があると試算している¹⁾。以上の国土交通省の試算のように、社会基盤施設の最適補修施策はライフサイクル費用の最小化の観点から一般に決定される。例えば、小濱ら⁵⁾は、劣化過程を考慮し単一の社会基盤施設に対して、ライフサイクルコストを最小にする補修・廃棄施策を提案している。また、小林ら⁶⁾は複数の社会基盤施設に焦点を当ててライフサイクルコストの最小化を目的としている。

しかしながら、厳しい財政制約の下、国や地方公共団体（以降、道路管理団体）の道路関係予算が減少する一方、維持補修費の予算に占める割合は年々高まっている。道路管理団体の予算に占める維持補修費の割合が高くなると、教育など他の公共支出を圧迫するため、財政制約を考慮の上、支出項目間に最適予算配分を行うことが重要になる。

しかし、研究レベルでも財政制約を考慮した維持管理政策の検討は十分には行われていな

い。例えば Smilowits & Madanat²⁾ は財政制約を考慮したうえで複数橋梁について、橋梁の補修にかかる費用と補修によって発生する利用者の費用の総和を最小化しているものの、彼らの財政制約は橋梁の補修にかかる費用の上限値と下限値を外生的に与えるというものである。この方法では社会資本管理団体の全ての施設の管理方法の検討に拡張しても、社会資本管理団体の支出対象すべての最適化にはならない。財政制約の影響をみるためには、すべての支出項目を対象とせざるを得ない。Uddin et al.⁷⁾, Goodman & Hastak⁸⁾, Adeli & Sarma⁹⁾ では、社会基盤施設のライフサイクルコストの最小化に加え、費用便益比について考えられているものの、費用の調達手段や財政制約については考えられていない。

道路管理団体の財政制約を考慮すると公的資金の限界費用 (Marginal cost of public funds, 以降では MCF と略) が社会厚生に影響を与える。例えば、財政収入額が変わらない場合は、補修費用の増減に伴うその他の公共財への支出の増減で家計の効用が変化する。その時の公共財への支出額の変化に対する効用の変化の割合が MCF である。また、財源調達のために税率を上げる場合も、1.0 より大きい MCF が発生する。例えば、所得税の限界費用については別所¹⁰⁾によって 1.0~1.2 と推計されている。すなわち、例えば 1 億円の公的資金を所得税から得ようとする 1.0~1.2 億円の社会的費用をかけていることになる。

MCF のような税の歪みは一括固定税あるいは価格非弾力的な財に対する税以外の全ての税で発生するため、税の歪みを考慮の上分析することが重要になる。さらに税制や税率を変更せず、予算内で配分を変化させる場合、財政が厳しい自治体では、予算を減少させた支出の限界便益が 1.2 を超えることも考えられる。なお、本研究では、税制や税率の変更には一般に時間を要すると考えられるため、税制や税率を変更せずに最適補修施策を決定する状況を想定し、税率最適化については今後の課題として税率固定のもとで分析を行う。

本研究では、道路管理団体が国か地方公共団体かは特定しない。地方公共団体を考えるならば、国からの補助金を歳入に追加し、国を考えるのであれば、補助金を 0 にしたりすることで、国及び地方公共団体のそれぞれの財政制約を表現可能である。

Harberger¹¹⁾ 以降、財政の最適化をするにあたっては MCF を考慮する必要があることが知られてきており、MCF を考慮した公共政策についての研究は既に多数行われている (e.g., Bovenberg & Mooij¹²⁾, Bovenberg & Goulder¹³⁾). Parry & Bento¹⁴⁾ では混雑税収入の用途によって MCF の大きさが変化して社会厚生が大きく変わることが示されている。このように公共政策の最適化において MCF の考慮は重要である。社会基盤施設の整備やメンテナンス費用を MCF を考慮して社会厚生を最大にするように調達する研究も行われている。道路整備・メンテナンス財源の収支制約のもと税率や道路料金の最適化を行っている研究として森杉・河野¹⁵⁾ や Kono et al.¹⁶⁾ が挙げられる。森杉・河野¹⁵⁾ では MCF を考慮して高速道路料金の最適化を行っている。Kono et al.¹⁶⁾ では MCF を考慮して自動車関連税と道路料金の同時最適化

を行っている。財政支出がもともとなる社会基盤施設の整備を考える場合において、最適補修施策の決定においても MCF の考慮は不可欠である。

しかしながら、補修施策に関して MCF を考慮した研究は、橋梁の最適補修施策を決定した河野ら¹⁷⁾に限られる。様々な健全度分布にある橋梁群全体の補修施策は動学的モデルで最適化を考える必要があり、この点がこれまでの多くの MCF を考慮した最適公共政策の研究と異なる。河野ら¹⁷⁾では多数の橋梁を持つ都市を想定し、性質が異なる 2 種類の橋梁群の健全度分布が定常であるもとの最適補修施策を決定した。それに対して、長期的には、今後の補修施策により橋梁の健全度分布が定常になることは考えられるものの、現在は劣化が進んでいる橋梁が多く、定常に至るまで一定の時間が必要と考えられる。

毎期、健全度分布が変わるような状態においては MCF も毎期変動し、補修施策も変わりうる。劣化した橋梁が多いと補修費用が高くなり、MCF が上昇することが考えられる。一方、劣化した橋梁が少ないと MCF が大きく上昇しないと考えられる。このように、変動する健全度分布に対して MCF を考慮して長期的に最適補修施策を決定する必要がある。

健全度分布、MCF、補修施策に毎期の変動が生じる場合には、世代間の公平性の観点も重要になる。Barro¹⁸⁾は世代重複モデルを用いて、公債が家計に与える影響を世代間で分析している。本研究でも非定常の補修費用が世代間に与える影響の違いを検討するため、世代重複モデルを用いて世代間の公平性を検討する。

本研究では、MCF を考慮して社会厚生を最大化する最適長期補修施策を橋梁を対象として検討する。家計のモデルに世代重複モデルを利用し、補修施策によって社会厚生が変化する動学的経済モデルを示す。橋梁の健全度は道路橋定期点検要領¹⁹⁾に基づき、4 段階の離散的健全度で表す。健全な状態を健全度 I とし、予防保全段階を健全度 II、早期措置段階を健全度 III、緊急措置段階を健全度 IV とする。健全度 II で措置を講ずることを予防保全、健全度 III 及び IV で措置を講ずることを事後保全と定義する。

河野ら²⁰⁾では、公債を考慮しない場合、数値分析の結果、最適長期補修施策は、時間割引率が高い時は、事後保全のみで行うのが最適であり、時間割引率が低い時は、予防保全と事後保全の組合せが最適となった。さらに、本研究で与えた橋梁の健全度分布の場合、初期状態において劣化した橋梁が比較的多く、初期において早期に補修を行う必要が高いため、将来世代が現世代よりも効用が高いことが示された。

本研究では、公債を考慮して公債発行額を含めた長期補修施策の最適化を行うことにより、公債の最適発行流れは、各期の MCF を平準化するように決定され、公債の発行により将来世代が一部負担を行うことにより将来世代と現世代の厚生を平準化につながることを示された。

以下、2.では本研究で用いたモデルを記述する。3.では2.のモデルを用いて数値分析を

行い、補修対象とする橋梁群に依存する健全度分布の初期値や、健全度の遷移確率といった行政固有の条件が最適長期補修施策に与える影響を解析的および数値的に示す。

2. モデル

ある行政区画を対象に分析を行う。対象行政区画内には、橋梁が多数存在する。橋梁の規模により、補修費用や劣化過程が異なるため、幅員の大小により性質の異なる2種類（以降では $K \in \{A, B\}$ と示す）の橋梁を設定する。時点 t を離散として動学的経済モデルを設定し、社会厚生を考える。行政区画内には、政府と家計の2主体が存在する。政府は社会厚生最大化、家計は効用最大化を目的に行動を決定する。

(1) 橋梁の劣化と補修

橋梁の劣化過程を表現する手法は数々研究されている。本研究では津田ら²¹⁾を参考に個々の橋梁の劣化過程をマルコフ過程で表現する。なお、本研究では、道路管理団体が管理している多くの橋梁の劣化過程を表すマルコフ推移確率を橋梁の種類（A, Bの2種類）別に統計的に推定し、健全度・種類別に動学的補修計画の最適化を行う。

橋梁の健全度を $\{I, II, III, IV\}$ とし、 t 期における $K \in \{A, B\}$ 橋の補修前の健全度の状態確率ベクトルを $\mathbf{w}_t^{K-} (= [w_{m,t}^{K-}])$ $m \in \{I, II, III, IV\}$ 、 t 期における K 橋の補修後の健全度の状態確率ベクトル（健全度シェア）を $\mathbf{w}_t^{K+} (= [w_{m,t}^{K+}])$ $m \in \{I, II, III, IV\}$ で表す。各要素は、0以上であり、各要素の和は1となる。この状態確率ベクトルの要素は各健全度の生起確率であり、健全度分布と言い換えられる。

t 期において $\mathbf{w}_t^{K-} (= [w_{m,t}^{K-}])$ を観測し K 橋に対する補修割合 $\delta_{m,t}^K$ ($0 \leq \delta_{II,t}^K \leq 1, 0 < \delta_{III,t}^K \leq 1$) を決定する。 $\delta_{m,t}^K$ は健全度 m の K 橋を補修する割合を表す変数である。

全ての橋梁を毎期点検し、各橋梁群の健全度別に補修割合を決定する。健全度 IV の橋梁は、構造物の機能に支障が生じている又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態であるため、全て補修するものとする。健全度 II、健全度 III の橋梁に対しては補修割合 $\delta_{m,t}^K$ に従い橋梁の補修が行われるため、橋梁の補修行列 $\boldsymbol{\pi}_t^{K+}$ は $\delta_{m,t}^K$ に依存し、式(1)で表される。

$$\boldsymbol{\pi}_t^{K+} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \delta_{II,t}^K & (1 - \delta_{II,t}^K) & 0 & 0 \\ \delta_{III,t}^K & 0 & (1 - \delta_{III,t}^K) & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

なお、補修に要する時間は計画期間に対して相対的に微小であるとして、本研究では考慮

しない。

補修を毎期行う一方で橋梁の劣化も進展していく。 t 期から $t+1$ 期での劣化を表現する劣化行列（マルコフ推移確率行列）を π^{K-} とし、橋梁の種類ごとに異なるものの、時間的变化はなく橋梁群固有の値であるとする。毎期、補修行列と劣化行列に従い、健全度分布が推移し、劣化行列は式(2)のように表される。

$$\pi^{K-} = \begin{pmatrix} \pi_{11}^K & \pi_{12}^K & \pi_{13}^K & 0 \\ 0 & \pi_{22}^K & \pi_{23}^K & 0 \\ 0 & 0 & \pi_{33}^K & \pi_{34}^K \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで式(2)はマルコフ推移確率を要素とする行列であるので、各要素は 0 以上であり、各行の和は 1 となる。

道路メンテナンス年報³⁾によると、1 巡目の 2014 年度～2016 年度の点検で健全度 I 又は健全度 II と判定された橋梁のうち、補修等の措置を講じないまま、5 年後の 2019 年度～2021 年度の点検時に健全度 IV へ劣化していた橋梁の割合は 0.02%と微小であった。そこで、健全度 I 又は健全度 II から健全度 IV に劣化する確率はゼロとした。

補修施策の決定については、まず t 期の初めに補修前健全度を観測し、 K 橋に対する補修割合 $\delta_{m,t}^K$ を決定する。次に t 期中の迂回費用や補修費用を t 期の補修前健全度と補修割合 $\delta_{m,t}^K$ から計算する。補修行列と劣化行列から式(3)、式(4)の計算を行い、 $t+1$ 期の補修前健全度を得る。

$$\mathbf{W}_t^{K+} = \mathbf{W}_t^{K-} \pi_t^{K+} \quad (3)$$

$$\mathbf{W}_{t+1}^{K-} = \mathbf{W}_t^{K+} \pi^{K-} \quad (4)$$

補修費用は補修前健全度分布を用いて表現される。健全度分布に補修割合 $\delta_{m,t}^K$ と補修単価をかけ、橋梁数で乗じたものの総和が補修費用となり、式(5)で表される。

$$C_t^K = N^K (\delta_{II,t}^K c^K (II) W_{II,t}^K + \delta_{III,t}^K c^K (III) W_{III,t}^K + c^K (IV) W_{IV,t}^K) \quad (5)$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, \quad K \in \{A, B\}$$

$c^K(m)$: K 橋が m のとき健全度 I になるように補修するのに必要な費用

(2) 家計の設定と行動

行政区画内に居住する家計は自動車で 2 種類の橋梁を利用する。橋梁の交通量は非弾力的である。また、補修工事を行う際は、補修前の健全度に応じて迂回が発生する。そこで迂回費用を考慮した理論モデルを構築する。

家計のモデルでは世代重複モデルを利用する。本研究では5年を1期とし、7期ずつ若年期と高齢期を経験する。t期に生まれた第t世代はt+7期に生まれる第t+7世代を子として設け、高齢期の終わりに第t+7世代の子に遺産をのこす。

第1～7世代の各1世帯とその親や子（直系血族を含む世帯）を1つの家系とする。家系 $i \in \{1, 2, 3, \dots, 7\}$ は異質であり、効用関数及び所得が異なる。各期において家系に属する世帯は若年期の世帯が7世帯、高齢期の世帯が7世帯の計14世帯である。よって対象とする行政区画内には14世帯が存在する。

各世帯は若年期として26～60歳を過ごす。若年期には労働を行い、賃金を収入として高齢期に向けた貯蓄を行う。若年期に関するパラメータには添え字yを付与している。高齢期としては61～95歳を過ごす。高齢期は労働せず、若年期に貯めた貯蓄と、若年期の終わりに受け取る親からの遺産を収入として、自身の子世代に遺産をのこす。高齢期に関するパラメータには添え字oを付与している。

家計は所得制約と時間制約のもとで効用を最大化する行動を行う。効用関数は Barro¹⁸⁾ に基づき、交通による効用と余暇時間による効用、公共財への支出による効用、合成財消費による効用、さらに次世代の効用を考えた効用関数とした。この効用関数は、価格1の合成財消費について線形の準線形効用関数であるため、異質性を考えても同質な家計と同様に効用の集計が可能である。本研究では、社会厚生を計画期間内に家計が得る効用の総和と定義し、式(6)で表す。

$$\begin{aligned}
 U_t^i = & \sum_{t^g=t}^{t+6} \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t^g-t} \left(u_y^i(\bar{x}_y^A, \bar{x}_y^B) + v_y^i(y_{y,t^g}^i) + p_y^i(G_{t^g}) + z_{y,t^g}^i \right) \\
 & + \sum_{t^g=t+7}^{t+13} \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t^g-t} \left(u_o^i(\bar{x}_o^A, \bar{x}_o^B) + v_o^i(y_{o,t^g}^i) + p_o^i(G_{t^g}) + z_{o,t^g}^i \right) \\
 & + \gamma^7 U_{t+7}
 \end{aligned} \tag{6}$$

\bar{r} : 粗利子率 (=1+利子率)。逆数は時間割引率。

\bar{x}_y^K, \bar{x}_o^K : 若年期/高齢期にK橋を利用する交通の回数

(-は定数であることを表している。)

$u_y^i(\cdot), u_o^i(\cdot)$: 家系iの若年期/高齢期の交通回数に関する効用関数

$y_{y,t}^i, y_{o,t}^i$: t期に若年期(高齢期)である家系iの余暇時間

$v_y^i(\cdot), v_o^i(\cdot)$: 家系iの若年期/高齢期余暇時間に関する効用関数

G_t : t期での公共財への財政支出

$p_y^i(\cdot), p_o^i(\cdot)$: 家系iの若年期/高齢期の政府の支出に関する効用関数

$z_{y,t}^i, z_{o,t}^i$: t期に若年期/高齢期である家系iの合成財消費

γ^7 : 利他度。親が子の効用を考えるときの世代間の割引率 ($0 < \gamma < 1$)

所得制約としては、収入に若年期の労働収入と親からの遺産、前期の貯蓄があり、支出として合成財消費、交通の費用、迂回費用、来期への貯蓄、子への遺産、労働所得税、個人住民税を考え、式(7)で表される。

$$\begin{aligned}
& \sum_{t^g=t}^{t+6} \left(\frac{1}{r}\right)^{t^g-t} (\bar{w}^i - \bar{\tau}_l - \bar{\tau}_{c,y}) L_{t^g}^i + \left(\frac{1}{r}\right)^6 h_{t+6}^i = \\
& \sum_{t^g=t}^{t+6} \left(\frac{1}{r}\right)^{t^g-t} \left(z_{y,t^g}^i + \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_y^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} \right) \\
& + \sum_{t^g=t+7}^{t+13} \left(\frac{1}{r}\right)^{t^g-t} \left(z_{o,t^g}^i + \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_o^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} + \bar{\tau}_{c,o} \right) \\
& + \left(\frac{1}{r}\right)^{13} h_{(t+13)}^i
\end{aligned} \tag{7}$$

\bar{w}^i : 賃金率

$\bar{\tau}_l$: 労働所得税

L_t^i : 家系 i の家計の t 期における労働時間

h_t^i : $t+1$ 期に家系 i の高齢期を迎える世帯が受け取る遺産

\bar{f} : 燃料費

\bar{T}^K : K 橋を利用する交通にかかる距離

\bar{T}^D : 迂回路 D を利用する際に追加的にかかる距離

$\bar{x}_{y,m}^K, \bar{x}_{o,m}^K$: 若年期/高齢期に健全度 m の K 橋が補修された際に迂回しなければならない回数

$\bar{\tau}_{c,y}, \bar{\tau}_{c,o}$: 若年期/高齢期にかかる市民税（若年期は労働所得に比例した税額，高齢期は定額）

時間制約としては、若年期と高齢期で異なった制約式を持ち、余暇時間と交通の時間、迂回の時間に若年期のみ労働時間を加えた時間の合計が利用可能時間に一致し、式(8)、式(9)で表される。

(若年期)

$$L_{t^g}^i + y_{y,t^g}^i + \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_y^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} = \bar{M}^i \tag{8}$$

(高齢期)

$$y_{o,t^g}^i + \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_o^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} = \bar{M}^i \tag{9}$$

\bar{t}_K : K 橋を利用する交通にかかる時間

\bar{t}_D : 迂回路 D を利用する際に追加的にかかる時間

\bar{M}^i : 利用可能時間

以上の式(6)から式(9)式より，家計の行動は以下の最適化問題として書き表せる．

$$\max_{h_t^i, z_{y,t}^i, z_{o,t}^i, L_t^i, \delta_{o,t}^i, \delta_{y,t}^i, \delta_{y,t^g}^i, \delta_{o,t^g}^i} U_t^i \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{where } U_t^i = & \sum_{t^g=t}^{t+6} \left(\frac{1}{\bar{r}}\right)^{t^g-t} \left(u_y^i(\bar{x}_y^A, \bar{x}_y^B) + v_y^j(y_{y,t^g}^j) + p_y^j(G_{t^g}) + z_{y,t^g}^j \right) \\ & + \sum_{t^g=t+7}^{t+13} \left(\frac{1}{\bar{r}}\right)^{t^g-t} \left(u_o^i(\bar{x}_o^A, \bar{x}_o^B) + v_o^j(y_{o,t^g}^j) + p_o^j(G_{t^g}) + z_{o,t^g}^j \right) \\ & + \gamma^7 U_{t+7} \end{aligned}$$

s.t.

$$\begin{aligned} V_t^i = & \sum_{n=0} \gamma^{7n} \left[\sum_{t^g=t+7n}^{t+7(n+1)-1} \left(\frac{1}{\bar{r}}\right)^{t^g-t} \left(\bar{M}^i - L_{t^g}^i - \sum_K \left\{ \bar{T}^K x_y^{K-K} + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} \right) \right. \\ & + p_y^j(G_{t^g}) - \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_y^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} + (\bar{w}^j - \bar{c}_l - \bar{c}_{c,y}) L_{t^g}^i \left. \right) \\ & + \sum_{t^g=t+7(n+1)}^{t+7(n+2)-1} \left(\frac{1}{\bar{r}}\right)^{t^g-t} \left(u_o^i(\bar{x}_o^A, \bar{x}_o^B) + v_o^j \left(\bar{M}^i - \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_o^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} \right) \right. \\ & + p_o^j(G_{t^g}) - \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_o^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} - \bar{c}_{c,o} \left. \right) \\ & + \left. \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^6 h_{t+7(n+1)-1}^i - \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{13} h_{t+7(n+2)-1}^i \right] \end{aligned}$$

$$L_{t^g}^i + y_{y,t^g}^j + \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_y^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} = \bar{M}^i$$

$$\forall t^g \in \{t, t+1, \dots, t+6\} \quad y_{o,t^g}^j + \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_o^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} = \bar{M}^i$$

$$\forall t^g \in \{t+7, t+8, \dots, t+13\}$$

式(10)の最適化問題から社会厚生関数を導出する．本研究では社会厚生を，計画期間内に家計が得る効用の総和とする．まず効用関数の次世代の効用の部分に効用関数を代入し，その上で所得制約式と時間制約式を代入することで間接効用関数である式(11)を得る．

$$\begin{aligned}
V_t^i = & \sum_{n=0} \gamma^{7n} \left[\sum_{t^g=t+7n}^{t+7(n+1)-1} \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t^g-t} \left(u_y^i(\bar{x}_y^A, \bar{x}_y^B) + v_y^i \left(\bar{M}^i - L_{t^g}^i - \sum_K \left\{ \bar{T}^{K-K} \bar{x}_y + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} \right) \right. \right. \\
& + p_y^i(G_{t^g}) - \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{l}^K \bar{x}_y^K + \bar{l}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} + (\bar{w}^i - \bar{c}_l - \bar{c}_{c,y}) L_{t^g}^i \left. \right) \\
& + \sum_{t^g=t+7(n+1)}^{t+7(n+2)-1} \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t^g-t} \left(u_o^i(\bar{x}_o^A, \bar{x}_o^B) + v_o^i \left(\bar{M}^i - \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_o^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} \right) \right) \\
& + p_o^i(G_{t^g}) - \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{l}^K \bar{x}_o^K + \bar{l}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t^g}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} - \bar{c}_{c,o} \left. \right) \\
& + \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^6 h_{t+7(n+1)-1}^i - \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{13} h_{t+7(n+2)-1}^i \left. \right] \tag{11}
\end{aligned}$$

式(11)は家系 i の第 t 世代が一生に得られる効用の総和である。式(11)について第 t 世代が次世代にのこす遺産に関する一階条件をとる。（*は最適化された変数であることを示す。）

$$\frac{\partial V_t^i}{\partial h_{t+13}^i} = - \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{13} + \gamma^7 \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^6 = - \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^7 + \gamma^7 = 0 \tag{12}$$

$$\left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^7 = \gamma^7 \tag{13}$$

式(13)により利子率は親が子の効用を考える時の世代間の割引率と一致する。そして、自身の将来の効用と同じ割引率で子の効用に対しても割り引くことになる。式(13)を利用して計画期間 T ($1 \leq t \leq T$) 内の全家計の効用の総和を式(14)で示し、社会厚生関数と定義する。

この社会厚生関数において各家系内については子世代の効用に世代間の割引率をかけて計画期間分抜き出して総和したものになっている。しかし、世代間の割引率と時間割引率が一致することから、每期発生する効用を時間割引率で割り引いて計画期間分足し合わせていることと同値である。

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^I \tilde{V}_T^i = & \\
\sum_{i=1}^I \left[7 \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t-1} \left[\left(u_y^i(\bar{x}_y^A, \bar{x}_y^B) + v_y^i(\bar{M}^i - L_t^i - \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_y^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t}^K W_{m,t}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} \right) \right. \right. \\
& + p_y^i(G_t) - \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{I}^K \bar{x}_y^K + \bar{l}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t}^K W_{m,t}^K \bar{x}_{y,m}^K + W_{IV,t}^K \bar{x}_{y,IV}^K \right) \right\} + (\bar{w}^i - \bar{\tau}_t - \bar{\tau}_{c,y}) L_t^i \left. \right] \\
& + 7 \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t-1} \left[\left(u_o^i(\bar{x}_o^A, \bar{x}_o^B) + v_o^i(\bar{M}^i - \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_o^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t}^K W_{m,t}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} \right) \right. \\
& + p_o^i(G_t) - \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{I}^K \bar{x}_o^K + \bar{l}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t}^K W_{m,t}^K \bar{x}_{o,m}^K + W_{IV,t}^K \bar{x}_{o,IV}^K \right) \right\} - \bar{\tau}_{c,o} \left. \right] \\
& + h_t^i - \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{T-1} h_t^i \left. \right]
\end{aligned} \tag{14}$$

(3) 政府の設定と行動

政府は財政制約と橋梁の健全度分布がマルコフ過程に従うという制約のもとで社会厚生を最大化するように橋梁の補修割合と公共財への支出額（ G_t ）を決定する。

公債は Barro¹⁸⁾に基づき、政府の t 期における公債残高を B_t 、 $t-1$ 期の公債残高を B_{t-1} とし、利払い $\bar{r}' B_{t-1}$ を支払う。ただし、政府の公債残高の現在価値は極限において、負にならない (No-Ponti Game Condition) ものとし、財政制約は、式(15)で表される。

$$G_t + \sum_K C_t^K + \bar{r}' B_{t-1} = \sum_{i=1}^I \left((\bar{\tau}_t + \bar{\tau}_{c,y}) L_t^{i*} + \bar{\tau}_{c,o} \right) + \bar{R}_t + (B_t - B_{t-1}) \tag{15}$$

L_t^{i*} : t 期における家系 i の 1 家計の最適化された

労働時間

\bar{R}_t : t 期の補助金

B_t : t 期に発行された公債

\bar{r}' : 利子率 ($1 + \bar{r}' = \bar{r}$)

$\sum_K C_t^K$: t 期の補修費用総額

財政制約を踏まえて、社会厚生最大化問題は式(16)のように書くことができる。

$$\max_{\delta_{m,t}^K, G_t, B_t} \sum_{i=1}^I \tilde{V}_T^i \tag{16}$$

s.t.

$$G_t + \sum_K C_t^K + r\bar{B}_{t-1} = \sum_{i=1}^I \left((\bar{\tau}_t + \bar{\tau}_{c,y}) L_t^{i*} + \bar{\tau}_{c,o} \right) + \bar{R}_t + (B_t - B_{t-1})$$

$$\forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

$$W_{n,t}^{K+} = \sum_m \pi^{K+}[n|m, \delta_t^K] W_{m,t}^{K-*} \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, \quad \forall K \in \{A, B\}, \quad \forall n \in \{I, II, III, IV\}$$

$$W_{n,t+1}^{K-} = \sum_m \pi^{K-}[n|m] W_{m,t}^{K+*} \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, \quad \forall K \in \{A, B\}, \quad \forall n \in \{I, II, III, IV\}$$

$$W_{m,t}^{K-} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad \forall K \in \{A, B\}$$

$$\sum_m W_{m,t}^K = 1 \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad \forall K \in \{A, B\}$$

制約条件の 1 行目の式が財政制約，2 行目の式は観測した補修前健全度分布が補修によって補修後健全度分布に推移することを表しており，3 行目は橋梁の劣化によって補修後健全度分布が次期の補修前健全度分布に推移することを表している．4 行目と 5 行目の式が健全度分布の要素が非負かつ各橋梁群で要素の和が 1 を満たすための制約である．この問題を解くことによって最適補修施策を求める．最適化問題のラグランジュ関数が式(17)である．ここで $\sum_{i=1}^I \tilde{V}_T^i$ は全家計の効用の総和である．

$$\begin{aligned} \Phi = & \sum_{i=1}^I \tilde{V}_T^i + \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{r} \right)^{t-1} \left[\sum_K \lambda_t^K \left(\sum_m W_{m,t}^{K-} - 1 \right) \right. \\ & + \sum_K \sum_n \mu_{n,t}^K \left(W_{n,t+1}^{K-} - \sum_m \pi^{K-}[n|m] \pi^{K+}[n|m, \delta_{m,t}^K] W_{m,t}^{K-*} \right) \\ & \left. + \varphi_t \left(\sum_{i=1}^I \left((\bar{\tau}_t + \bar{\tau}_{c,y}) L_t^{i*} + \bar{\tau}_{c,o} \right) + \bar{R}_t - G_t - \sum_K C_t^K + (B_t - (1+r)\bar{B}_{t-1}) \right) \right] \end{aligned} \quad (17)$$

ここで， $\lambda_t^K, \mu_{n,t}^K, \varphi_t$ は，社会厚生最大化の各制約式に関するラグランジュ乗数を示す．

公共財への支出，公債について式(17)の一階条件をとると，式(18)，式(19)が得られる．

$$7I \left[\frac{\partial p_y^i(G_t)}{\partial G_t} + \frac{\partial p_o^i(G_t)}{\partial G_t} \right] = \varphi_t \quad (18)$$

$$\varphi_t = \varphi_{t-1} \quad (19)$$

$p_y^i(G_t), p_o^i(G_t)$: 各家計での G_t についての効用関数 (G_t に関して逓減)

式(18)の左辺は若年期及び高齢期各々の公共財への支出 (G_t) の変化に対する各家計の効用の変化を、その期に存在する全家計数である $7I$ 家計分総和したものである。右辺 φ は財政制約の厳しさを表現するラグランジュ乗数であり、これは公共財への支出の社会的限界費用 (MCF) を示す。

公債を考慮した最適長期補修施策においては、MCF が式(19)を満たすように平準化される。すなわち、公債の最適発行流列は各期の MCF を平準化するように決定される。

3. 数値分析事例

(1) 数値分析の設定

本研究では、時間変数を含む数値計算であり、最適化する変数の数が膨大なため、Gurobi Optimization を用いて補修割合を連続変数として数値分析を行う。

数値分析の対象を新潟県管理橋梁に設定して、関連データを表-1 及び表-2 にまとめた。国土交通省道路局国道・技術課が提供する「全国道路施設点検データベース～損傷マップ～」²²⁾により、新潟県の管理橋梁のうち幅員が 5m 以上は A 橋、5m 未満は B 橋と設定した。補修費用単価については、補修費用が公表されている宮城県橋梁個別施設計画²³⁾をもとに橋面積あたりの補修費用単価を算出し、新潟県の A 橋、 B 橋の平均橋面積に応じた橋ごとの補修費用単価を設定した。迂回に要する時間や金銭的費用はメンテナンス費用に比較して微小であると仮定し、考慮しないこととした。

道路メンテナンス年報³⁾によると、2 巡目 (2019～2021 年度) の点検で、健全度 IV と判定された橋梁は、0.1%と微小であり、講じる対策として、補修せずに撤去・廃止といった措置も考えられるため、本数値分析では、考慮しないこととした。すなわち、式(2)の π_{33}^k は 1 とし、 π_{34}^k は省略した。

補修施策を決定する期間は 30 期間 (150 年間) とし 30 期分の社会厚生を計算した。マルコフ推移確率行列は津田ら²¹⁾の手法を用いて、式(20)のとおり推定された。

表-1 家計行動に関するパラメータ

パラメータ	若年期 高齢期	情報源
利用可能 時間	13 時間 32 分/日	NHK 国民生活時間調査 2020 ²⁴⁾
交通時間※	1 時間 30 分/日	NHK 国民生活時間調査 2020 ²⁴⁾
交通距離※	45 km/日	平均時速 30km として設定
燃料費	160.4 円/L	資源エネルギー庁 給油所小売価格調査 ²⁵⁾ 2021 年 10 月 11 日ガソリン価格
燃費	20 km/L	一般社団法人日本自動車販売協会連合会 ²⁶⁾ 乗用車ブランド通称名別順位 1 位ヤリス, 2 位ルーミー WLTC 市街地モードの平均燃費(2021 年)
利子率	1.0%及び 2.0%	国債金利情報 ²⁷⁾ 長期国債 (10 年) の平均金利 0.8% (2002.4.1~2022.3.31) 1.48% (1992.4.1~2022.3.31)
労働賃金 (1 期目)	3,218 千円/年	市町村民経済計算(2018) ²⁸⁾
遺産額	1,250 万円	MCFG 資産形成研究所 退職前後世代が経験した資産承継に関する実態調査 ²⁹⁾
人口 (家系数)	2,201,272 人 (52,411 家系)	国勢調査 ³⁰⁾
個人住民税	労働賃金の 10.5 % 7,500 円/年	新潟県の財政収入に 合わせて調整 ³¹⁾
労働所得税	労働賃金の 14.8 % なし	新潟県の財政収入に 合わせて調整 ³¹⁾

※交通に関するパラメータは若年期のものを記載. 高齢期は若年期に行っている通勤が行われなくなるため, 若年期の 0.7 倍とした.

表-2 橋梁に関するパラメータ

パラメータ	A 橋	B 橋
	橋梁数	3,510 橋
交通量	70 回/日/世帯	3.5 回/日/世帯
	12.97 百万円/橋	4.30 百万円/橋
補修費用単価	50.82 百万円/橋	16.83 百万円/橋

$$\pi^{K-} = \begin{pmatrix} 0.6506 & 0.3061 & 0.0433 \\ 0 & 0.7772 & 0.2228 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (20)$$

推定においては、2つの点検時点における観測健全度ペアを1つのサンプルとし、1,195 サンプルを用いた。モデル推定時点のデータベースには、全ての橋梁のサンプルは含まれていなかったため、モデル推定のためのサンプル数は、新潟県の管理する橋梁数より少なくなっている。津田ら²¹⁾の手法では、健全度ごとのハザード率の指数を推定し、その結果から式(20)のマルコフ推移確率が一意に導出される。ハザード率の指数の推定結果は、健全度Iで-2.4536 (t 値: -20.1179; ハザード率は、 $\exp(-2.4536)=0.0860$)、健全度IIで-2.9874 (t 値: -34.8677; ハザード率は、 $\exp(-2.9874)=0.0504$)であった。なお、A橋、B橋ごとにマルコフ推移確率を推定することも試行したものの、橋梁の種類ごとのサンプル数が少なくパラメータが収束しなかったため断念した。

新潟県の橋梁の点検データからそれぞれ推定したマルコフ推移確率で計算を行った。MCFは、税率変更のない本研究では、公共投資や教育投資などの公共支出の限界効用の円価値になる。この公共支出項目やその限界効用は国や地方公共団体によって異なるうえに、多くある投資のうち道路メンテナンスの節約分が回される投資を特定化するのも難しい。そのため、現実的な値を現実のデータから唯一に設定するのはできないため、本研究ではMCFの初期値が2程度という条件で計算した。この値については今後、様々な値で検討すべきと考えられる。健全度IIIの補修割合は、2期(10年)以内に全て補修されるものとし、50%を下限値とした。なお、道路メンテナンス年報³⁾によると、1巡目(2014年度～2018年度)の点検で健全度III又は健全度IVと判定された橋梁のうち、補修等の措置が完了した地方公共団体管理の橋梁は、2021年度末時点で46%である。

(2) 数値分析の結果

① 公債を考慮しない場合(河野ら²⁰⁾より引用)

MCF=2という条件について、時間割引率1%及び2%のケースについて、新潟県のマルコフ推移確率を活用し、公債を考慮しない場合について、計算を行った結果、表-3及び表-4に示す補修施策が最適となった。

時間割引率が1%のケースでは、健全度IIIに対する補修割合を50%とすることを維持したうえで、健全度IIのうち、幅員が5m以上のA橋を優先的に補修していくことが最適となった。一方、時間割引率2%のケースでは、健全度IIIを50%維持していくのみの施策が最適となった。

数値分析の結果、時間割引率が高い時は、事後保全のみで行うのが最適であり、時間割引

率が低い時は、予防保全と事後保全を計画的に組み合わせて行うことが最適となった。

最適長期補修施策においては、時間割引率 1%及び 2%ケースは、それぞれ 21 期及び 7 期以降から A 橋、B 橋ともに健全度分布が定常となり、健全度 III に対する補修割合を 50%とすることを維持していくのみの補修施策となり、費用も一定となった。

時間割引率が低い時は、相対的に将来世代の厚生が重要になってくるため、補修を早期に措置していく必要がある。そのため、時間割引率が 2%の時は、健全度 III のみを対策することが最適長期補修施策となり、時間割引率が 1%の時は、健全度 II についても、予算制約の中で優先的に対策を講じていくことが最適長期補修施策となった。

表-3 最適長期補修施策と MCF の推移 (MCF≒2, 時間割引率 1.05%ケース)

期		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
最適補修割合 (%)	A	II	0	0	0.98	2.11	2.45	2.37	1.99	1.42	0.76	0.02	0	0	0	0	0	
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
健全度分布 (%)	A	I	0.193	0.224	0.236	0.243	0.249	0.253	0.254	0.253	0.251	0.247	0.243	0.241	0.239	0.239	0.239	
		II	0.505	0.498	0.498	0.498	0.496	0.495	0.495	0.496	0.498	0.501	0.503	0.504	0.505	0.505	0.505	
		III	0.302	0.278	0.266	0.259	0.255	0.252	0.251	0.250	0.251	0.252	0.254	0.255	0.256	0.256	0.256	
	B	I	0.210	0.225	0.233	0.237	0.238	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.518	0.509	0.505	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	
		III	0.272	0.266	0.262	0.259	0.258	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	
MCF		2.009	1.771	1.748	1.732	1.716	1.701	1.685	1.670	1.654	1.639	1.625	1.610	1.594	1.577	1.558		

期		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
最適補修割合 (%)	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度分布 (%)	A	I	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.505	0.505	0.505	0.505	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504
		III	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
	B	I	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504
		III	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
MCF		1.539	1.518	1.496	1.473	1.448	1.423	1.396	1.368	1.338	1.307	1.275	1.240	1.204	1.166	1.126

表-4 最適長期補修施策と MCF の推移 (MCF=2, 時間割引率 2%ケース)

期			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
健全度 分布	A	I	0.193	0.224	0.236	0.240	0.241	0.240	0.240	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	
		II	0.505	0.498	0.498	0.500	0.502	0.503	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.505	0.505	0.505	0.504	0.504	
		III	0.302	0.278	0.266	0.260	0.257	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	
	B	I	0.210	0.225	0.233	0.237	0.238	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.518	0.509	0.505	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504
		III	0.272	0.266	0.262	0.259	0.258	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
MCF			2.009	1.771	1.745	1.727	1.712	1.699	1.686	1.673	1.659	1.644	1.629	1.612	1.595	1.577	1.558		

期			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
健全度 分布	A	I	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504
		III	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
	B	I	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504
		III	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
MCF			1.539	1.518	1.496	1.473	1.448	1.423	1.396	1.368	1.338	1.307	1.275	1.240	1.204	1.166	1.126	

健全度IIに対する補修割合を 100%及び健全度 III に対する補修割合を 50%とする施策を実施した場合、定常状態の補修費用が最小（以下、定常時最小補修費用施策）となる（表-5）。

本数値分析で検討した最適長期補修施策の定常時の補修費用は、定常時最小補修費用施策とは一致しなかった。初期分布から定常状態になるまでに多く橋梁を補修すると、定常状態になるまで補修費用がかかるものの、劣化した橋梁が少ない定常分布に収束し、将来の補修費用は低くなる。一方、定常状態になるまでに補修する橋梁を減らすと、定常状態になるまでの補修費用は低くなるものの、劣化した橋梁が多い定常状態に収束し、将来の補修費用は相対的に増大する。

ここで、定常分布は補修行列と橋梁群固有の劣化行列から計算される。補修施策を決定する際は初期分布だけでなく劣化行列も考慮する必要がある。行政区によらず一律の劣化行列を使用した場合、定常時最小補修費用施策や最適長期補修施策から乖離することも考えられ

る。

世代間の公平性の評価を行うために、第1世代（1期に若年期の1期目）と第5世代（5期に若年期の1期目）で最適長期補修施策での一生分の効用を比較した（表-6）。

最適長期補修施策では計画期間内において1期目の補修費用が最も高いため、第1世代の間に発生している補修費用が第5世代の間に発生している補修費用よりも一人当たり0.54万円高くなる。そして、一生分の効用は世代間で一人当たり1.1063億円第5世代のほうが高くなる。

将来世代の第5世代のほうが第1世代に比較して効用が高くなる原因は2つある。まず1つ目は、補修費用の負担額の差である。負担する補修費用が高いと家計支出の増加と政府の公共財への支出減少によって効用が減少する。2つ目の原因は経済成長である。経済成長により、時間が進むにつれて家計収入と政府の税収が増加する。後の世代であるほど、家計収入の増加と政府の税収増加による効用増加が見込める。

すなわち、第1世代は補修費用の負担による効用への負の影響を受け、第5世代は補修費用の負担による効用への負の影響が小さく、経済成長による効用への正の影響が第1世代よりも大きい。そのため世代間で一生分の効用に差が生じる。そこで、公債の発行により、将来世代に一定の負担を委ねることにより、各期のMCFの平準化とともに世代間の効用差を

表-5 最適長期補修施策と最小補修費用施策の比較

健全度	初期分布		定常分布	
	A橋	B橋	最適長期補修施策	定常時最小補修費用施策
I	0.193	0.210	0.239	0.624
II	0.505	0.518	0.504	0.293
III	0.302	0.272	0.257	0.083
補修費用（定常状態）			238.6億円/期	216.5億円/期

表-6 世代の間に発生している補修費用と効用の世代間比較

MCF _{≒2}	世代の間に発生している補修費用 (万円/人)	一生分の効用 (億円/人)
第1世代	23.23	4.6810
第5世代	22.69	5.7873
差	0.54	1.1063

平準化できる。すなわち、世代間の公平性の観点から、公債の発行が有用である。さらに、公債の発行は、政策の追加を意味するため、社会厚生が上昇する点も利点である。

② 公債を考慮した場合

河野ら²⁰⁾による公債を考慮しない場合の数値分析の結果、初期状態において劣化した橋梁が比較的多く、早期に補修を行う必要が高いため、将来世代の効用が現世代よりも高くなった。公債を考慮すると世代間の効用が平準化に向かう。また、社会厚生が増加も生じる。

そこで、平準化の程度と社会厚生が増加の程度を分析するために河野ら²⁰⁾による公債を考慮しない場合と同様の設定で、公債を考慮した場合の数値分析を行った。公債発行の検討期間を100年として数値分析を行った結果、公債を新規発行してから100年間で公債残高がゼロとなる表-7及び表-8、図-1から図-4に示す補修施策が最適となった。公債残高が残存する期間のMCFは一定となり、公債の最適発行流列は、各期のMCFを平準化するように決定されている。

表-7 最適長期補修施策とMCFの推移（MCF≒2，時間割引率1.05%ケース，公債あり）

期			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
最適補修割合 (%)	A	II	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
		B	II	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	健全度分布 (%)	A	I	0.193	0.224	0.560	0.593	0.609	0.617	0.620	0.622	0.623	0.623	0.623	0.623	0.624	0.624	0.624	0.624
			II	0.505	0.498	0.263	0.279	0.287	0.290	0.292	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293
III			0.302	0.278	0.176	0.128	0.104	0.093	0.088	0.085	0.084	0.084	0.084	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
B		I	0.210	0.225	0.564	0.595	0.610	0.617	0.620	0.622	0.623	0.623	0.623	0.623	0.624	0.624	0.624	0.624	0.624
		II	0.518	0.509	0.265	0.280	0.287	0.290	0.292	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293
		III	0.272	0.266	0.171	0.125	0.103	0.093	0.088	0.085	0.084	0.084	0.084	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
MCF			2.000	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	

期			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
最適補修割合 (%)	A	II	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
		B	II	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	健全度分布 (%)	A	I	0.624	0.624	0.624	0.433	0.326	0.272	0.249	0.240	0.237	0.237	0.238	0.238	0.239	0.239	0.239
			II	0.293	0.293	0.293	0.432	0.489	0.508	0.512	0.510	0.508	0.507	0.506	0.505	0.505	0.505	0.504
III			0.083	0.083	0.083	0.136	0.186	0.220	0.240	0.250	0.254	0.256	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	
B		I	0.624	0.624	0.624	0.433	0.326	0.272	0.249	0.240	0.237	0.237	0.238	0.238	0.239	0.239	0.239	
		II	0.293	0.293	0.293	0.432	0.489	0.508	0.512	0.510	0.508	0.507	0.506	0.505	0.505	0.505	0.504	
		III	0.083	0.083	0.083	0.136	0.186	0.220	0.240	0.250	0.254	0.256	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	
MCF			1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.635	1.396	1.368	1.338	1.307	1.275	1.240	1.204	1.166	1.126	

表-8 最適長期補修施策と MCF の推移 (MCF≒2, 時間割引率 2% ケース, 公債あり)

期			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
最適 補修	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合 (%)	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.193	0.224	0.236	0.240	0.241	0.240	0.240	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.505	0.498	0.498	0.500	0.502	0.503	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.505	0.505	0.505	0.504
		III	0.302	0.278	0.266	0.260	0.257	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
	B	I	0.210	0.225	0.233	0.237	0.238	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.518	0.509	0.505	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504
		III	0.272	0.266	0.262	0.259	0.258	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
MCF			2.000	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662

期			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
最適 補修	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合 (%)	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504
		III	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
	B	I	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
		II	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504	0.504
		III	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
MCF			1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.662	1.396	1.368	1.338	1.307	1.275	1.240	1.204	1.166	1.126

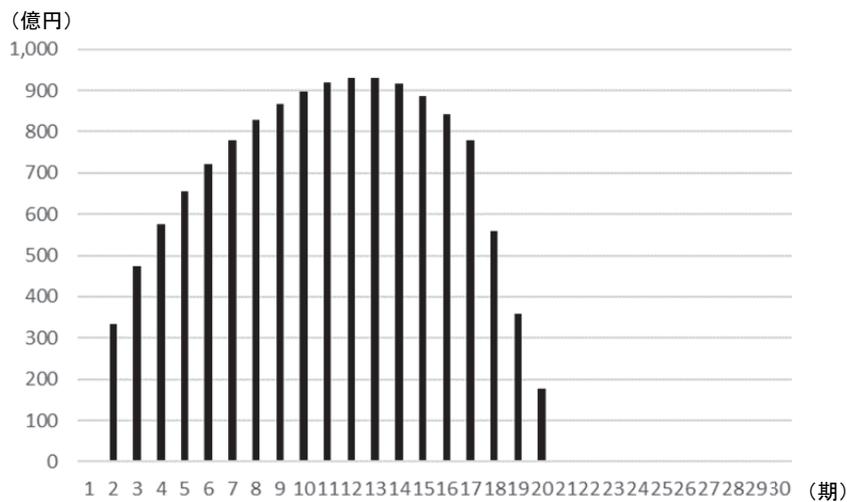


図-1 公債の推移 (MCF≒2, 時間割引率 1.05% ケース)

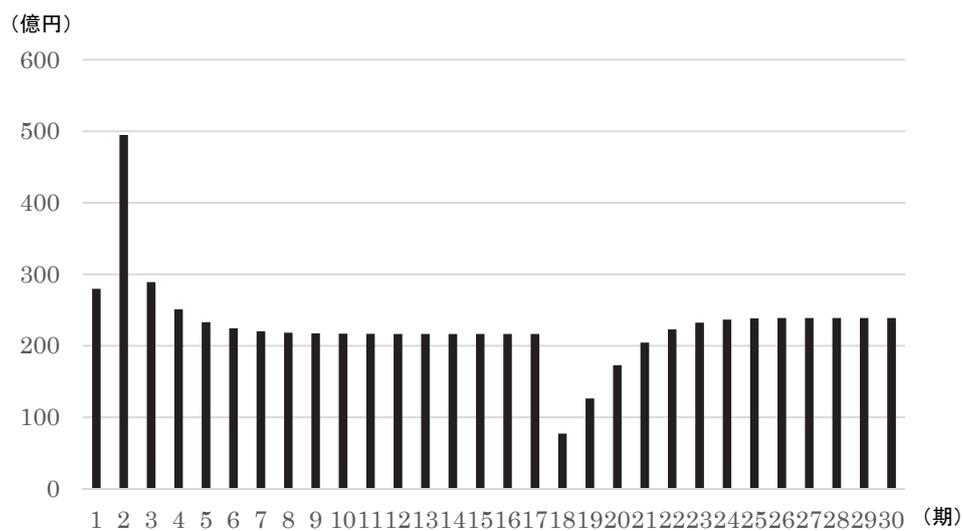


図-2 補修費用の推移 (MCF=2, 時間割引率 1.05%ケース)

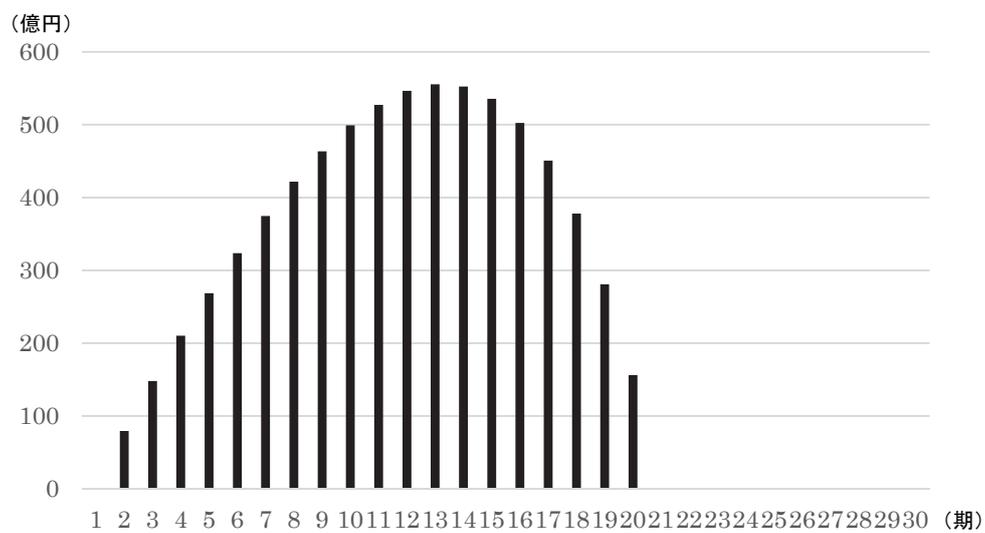


図-3 公債の推移 (MCF=2, 時間割引率 2.0%ケース)

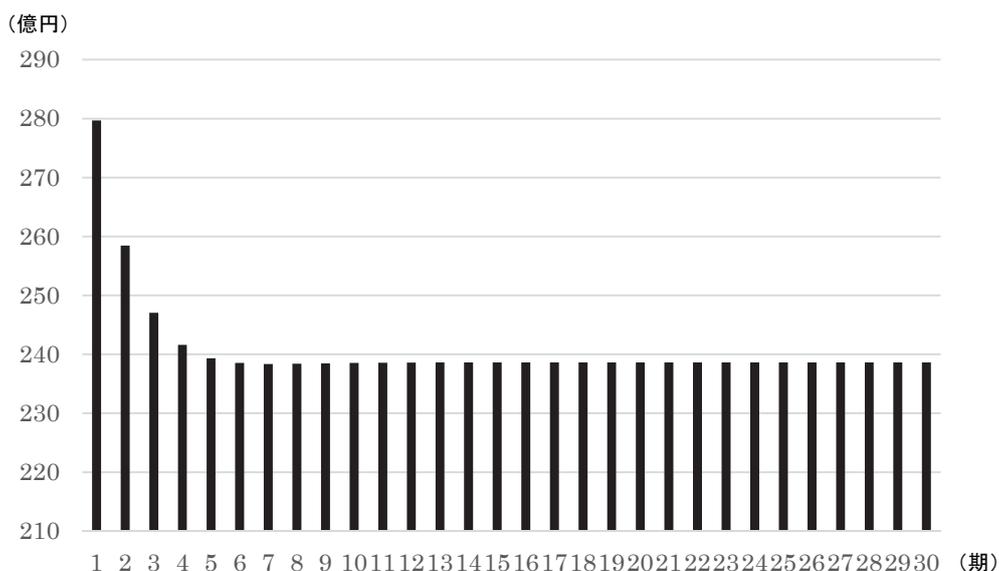


図-4 補修費用の推移 (MCF≒2, 時間割引率 2.0%ケース)

時間割引率が 1.05% のケースでは、健全度 III に対する補修割合を 50% とすることを維持したうえで、公債を新規発行した世代に健全度 II の A 橋及び B 橋について 100% 補修することが最適となった。一方、時間割引率 2% のケースでは、公債を考慮しない場合と同様に健全度 III を 50% 維持していくのみの施策が最適となった。

社会厚生については、公債の発行により時間割引率が 1.05% のケースでは、公債を考慮しない場合と比較して 4.6×10^9 億円、一人当たり 3,135 円増加し、時間割引率が 2% のケースでは、 1.2×10^9 億円、一人当たり 818 円増加した (表-9)。これは公債の発行により、効率性が上がったことを示している。

今回の数値分析では、時間割引率が低い時は、公債を発行しない時と比較して、公債の発行により早期に予防保全を推進する必要があることが示された。また、時間割引率が高い時は、事後保全のみを行うことが最適となった。今後は、この結果が一般性を持つかどうか検

表-9 公債を考慮した場合としない場合の社会厚生と比較

MCF≒2	割引率 1.05% のケース	割引率 2.0% のケース
	($\times 10^{14}$ 億円)	(円/人)
公債なし	9.459220	5.056753
公債あり	9.459266	5.056765
差	4.6×10^9 億円	1.2×10^9 億円
	3,135 円/人	818 円/人

表-10 世代の間に発生している補修費用と効用の世代間比較

MCF _≒ 2	世代の間に発生している補修費用 (万円/人)	一生分の効用 (億円/人)
第1世代	23.93	4.6812
第5世代	19.92	5.7873
差	4.01	1.1061

証が必要である。公債の最適発行流れは、各期の MCF を平準化するように決定される。その結果、道路橋メンテナンス以外の政府の公共支出についても限界費用が等しくなるという望ましい性質をもつ。

公債を考慮した場合の世代間の公平性の評価を行うために、第1世代（1期に若年期の1期目）と第5世代（5期に若年期の1期目）で最適長期補修施策での一生分の効用を比較した（表-10）。

公債の発行により、世代の間に発生している補修費用は、第1世代の間に発生している補修費用が第5世代より一人当たり4.01万円高くなる。公債の発行が、第1世代の間に補修施策を推進していることがわかる。そして、一生分の効用は世代間で一人当たり1.1061億円第5世代のほうが高くなった。公債を考慮していない場合（表-6）の一生分の効用は、世代間で一人当たり1.1063億円第5世代の方が高くなっていた。これは、公債の発行により一人当たり2万円効用の差が縮まり、厚生を平準化につながったことを意味する。すなわち、公債の発行により将来世代が一部負担を行うことにより、将来世代と現世代の厚生を平準化につながることを示している。

今回の数値分析では、新潟県管理橋梁のみを対象とした。県内には、国や高速道路会社管理や市町村管理の橋梁も存在する。国直轄管理及び高速道路会社管理道路の走行台キロに占める割合は全車で30%、大型車で54%である³²⁾ことやこれらの道路は幅員も広く橋梁も大規模であることを踏まえると、国直轄管理及び高速道路会社管理の橋梁を含めた新潟県全体の道路橋メンテナンスの最適化を行うと、本研究が示す便益よりかなり大きい厚生増加が見込まれる。

4. 結論

本研究では、MCFを内生化した橋梁の最適長期補修施策を検討する動学的経済モデルに公債を考慮し、公債発行額を含めた長期補修施策の最適化を行った。その結果、公債の最適発

行流列は、各期の MCF を平準化するように決定され、公債の発行により将来世代が一部負担を行うことにより将来世代と現世代の厚生を平準化につながることを示した。

今後の研究課題としては、本研究で明らかになった世代間の公平性に対する政策検討をさらに進めていく必要がある。本研究では、公債の検討期間を 100 年間とした。しかし、無限先の将来において政府の公債残高の現在価値がゼロに収束していれば、政府の公債は持続可能であることから、検討期間を無限先の将来まで考慮したモデルへと拡張し、公債の最適発行流列を検討する必要がある。

また本研究の数値分析では、健全度 IV と判定された橋梁は、0.1%と微小でありることから、考慮しないこととした。しかし、撤去・廃止といった措置へのニーズが高まっていることを踏まえると、健全度 IV を考慮し、撤去・廃止施策も考慮したモデルへ拡張して分析すると有用である。

さらに、MCF が最小となる税制や補助金の分析をすることがあげられる。本研究では MCF は国及び地方公共団体ごとに異なり、さらに橋梁メンテナンスの費用節約がどの財政支出項目に振り替えられるかも国及び地方公共団体ごとに異なるため、財政支出の分配により変化する MCF の値を外生的に設定して数値分析を行った。今後、国及び地方公共団体それぞれの MCF を考慮し、国からの補助金が地方公共団体へ与える影響を分析することも重要な課題である。最適課税理論が明らかにしているように、全ての税における MCF が一致することが最適になる。最適課税理論に基づいて税率を動学的に最適化すると、社会全体の死荷重損失を減らすことができ、厚生改善を図れる。

Note：本研究の内容は所属する組織等の見解を示すものではない。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省所管分野における社会資本の将来の維持管理・更新費の推計，2018
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/_pdf/research01_02_pdf02.pdf
- 2) Smilowitz, K. and Madanat, S.: Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 15, Issue 1, pp. 5-13, 2000.
- 3) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，2022.
https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/r03/r03_09maint.pdf
[Road Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan: Doro-Maintenance Nenpo, 2022.]
- 4) 国土交通省道路局，都市局：令和 5 年度道路関係予算概要（2023 年 1 月）
<https://www.mlit.go.jp/page/content/001583490.pdf>
[Road Bureau and City Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan:

- Doro-kankei FY2023 Budget Overview, 2023.1.]
- 5) 小濱健吾, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司, 福田泰樹: 劣化過程を考慮した最適廃棄・補修モデル, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol.68, No.3, pp.141-156, 2012.
[Kohama, K., Kaito, K., Aoki, K., Kobayashi, K. and Fukuda, Y. : The optimal scrapping and maintenance model of infrastructure considering deterioration process, Transaction of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.68, No.3, pp.141-156, 2012.]
 - 6) 小林潔司, 中谷昌一, 大迫湧歩, 安部倉完: 橋梁の劣化速度の異質性を考慮した補修戦略プロファイリング, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.73, No.4, pp.201-218, 2017. [Kobayashi, K. Nakatani, S. Osako, Y. And Abekura, K. : Bridge management profiling with reference to heterogeneity in deterioration speeds, Transaction of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.73, No.4, pp.201-218, 2017.]
 - 7) Uddin, W., Hudson, W. R. and Haas, R.: Public Infrastructure Asset Management, Second Edition, McGraw Hill Professional, 2013.
 - 8) Goodman, A. S. and Hastak, M. : Infrastructure Planning, Engineering, and Economics, Second Edition, McGraw Hill Professional, 2015.
 - 9) Adeli, H. and Sarma, K. C.: Cost Optimization of Structures: Fuzzy Logic, Genetic Algorithms, and Parallel Computing, Wiley, 2006.
 - 10) 別所俊一郎, 赤井伸郎, 林正義: 公的資金の限界費用, 日本経済研究, 47号, pp.1-19, 2003. [Bessho, T., Akai, N., and Hayashi, M. : Marginal cost of public funds. JCER Economic Journal, 47, pp.1-19, 2003.]
 - 11) Harberger, A. C.: Three basic postulates for applied welfare economics: an interpretive essay, Journal of Economic Literature, Vol.5, No.3, pp.785-797, 1971.
 - 12) Bovenberg, A. L. and de Mooij, R. A.: Environmental levies and distortionary taxation, The American Economic Review, Vol.84, No.4, pp.1085-1089, 1994.
 - 13) Bovenberg, A. L. and Goulder, L. H.: Optimal environmental taxation in the presence of other taxes : general-equilibrium analyses, The American Economic Review, Vol.86, No.4, pp.985-1000, 1996.
 - 14) Parry, I. W. H. and Bento, A.: The Scandinavian Journal of Economics, Vol. 103, No. 4, pp. 645-671, 2001.
 - 15) 森杉壽芳, 河野達仁: 道路整備財源調達に伴う厚生損失を考慮した高速道路料金の効率的水準, 日本経済研究, 67号, pp.1-20, 2012. [Morisugi, H. and Kono, T. : Efficient highway toll level with marginal cost of funding for road investment, JCER Economic Journal, 67, pp.1-20, 2012.]
 - 16) Kono, T., Mitsuhiro, Y. and Yoshida, J.: Simultaneous optimization of multiple taxes on car use and tolls considering the marginal cost of public funds in Japan, The Japanese Economic Review, pp.1-37, 2019.
 - 17) 河野達仁, 寫万希音, 水谷大二郎: 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 7, No. 4, pp.389-399, 2021. [Kono, T., Shima, M. and Mizutani, D. : Optimal maintenance policies considering the marginal cost of public funds, Transaction of the Japan Society of Civil Engineers, Vol. 7, No. 4, pp.389-399, 2021.]
 - 18) Barro, R. B.: The Journal of Political Economy, Vol. 82, Issue 6, pp. 1095-1117, 1974.
 - 19) 国土交通省道路局: 道路橋定期点検要領, 2019.
https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo4_1.pdf
[Road Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan: Dorokyo Teiki-Tenken Youryo, 2019.]
 - 20) 河野達仁, 寫万希音, 祢津知広, 水谷大二郎: 公的資金の限界費用を考慮した道路橋メンテナンスの最適長期補修施策 2023. Mimeo
 - 21) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 土木学会論文集, No. 801/I-73, pp. 69-82, 2005. [Tsuda, Y., Kaito, K., Aoki, K. and Kobayashi, K. : Estimating Markovian transition probabilities for bridge deterioration forecasting, Transaction of the Japan Society of Civil Engineers, No. 801/I-73, pp. 69-82, 2005.]
 - 22) 国土交通省道路局国道・技術課: 「全国道路施設点検データベース～損傷マップ～」, 2022.
<https://road-structures-map.mlit.go.jp/In dex.aspx?ReturnUrl=%2f> [Road Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan: Zenkoku Doro Shisetsu Tenken database, 2022.]

- 23) 宮城県：宮城県橋梁個別施設計画 <https://www.pref.miyagi.jp/documents/20930/1.pdf>
[Miyagi prefecture : Miyagi Prefecture Bridge Kobetsu Shisetsu Plan]
- 24) NHK 放送文化研究所：国民生活時間調査，2020。
<https://www.nhk.or.jp/bunken/yoron-jikan/> [NHK Broadcasting Culture Research Institute : Kokumin Seikatsu Jikan census, 2020.]
- 25) 資源エネルギー庁：石油製品価格調査 1. 給油所小売価格調査（ガソリン，軽油，灯油）。
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html [Agency for Natural Resources and Energy : Sekiyu Seihin Kakaku census 1. Kyuyujo Kouri-Kakaku census.]
- 26) 一般社団法人 日本自動車販売協会連合会：乗用車ブランド通称名別順位，2021。
<http://www.jada.or.jp/data/month/m-brand-ranking/> [Federation of Japan Automobile Dealers Association : Mobile Brand-Ranking, 2021.]
- 27) 財務省：国債金利情報，2022。
https://www.mof.go.jp/jgbs/reference/interest_rate/index.htm
[Ministry of Finance : Government bond interest information, 2022.]
- 28) 新潟県：にいがた県統計ボックス 平成 30 年度市町村民経済計算（平成 18 年度～平成 30 年度），2021。
https://www.pref.niigata.lg.jp/site/tokei/20200420sityousonminnen_pou.html [Niigata prefecture : Niigata prefecture Statistics-Box, Municipality economic calculation, 2018.]
- 29) MUFG 資産形成研究所：退職前後世代が経験した資産承継に関する実態調査 第 1 章親子の居住地・地域による資産継承の傾向，2020。
https://www.tr.mufg.jp/shisanken/pdf/kinnyuu_literacy_11.pdf [MUFG Financial Education Institute: The Fact-finding survey related to the Asset inheritance of Pre- and post-retirement generation,1. The trend of Asset inheritance for parent and child residence 2020.]
- 30) 総務省統計局: e-Stat, 令和 2 年国勢調査, 2020。
<https://www.estat.go.jp/statsearch/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001136464&ccl=0&year=20200&month=24101210&tclass1=000001136466>
[Statistics Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications: e-Stat, National census, 2020.]
- 31) 新潟県：新潟県報号外別冊 財政事情，2020.12。
http://kenpo.pref.niigata.lg.jp/bn/R02_12/1218_g1/g1_20201218i21558.pdf
[Niigata prefecture : Niigata Kenpo-Gougai Zaisei-Jijyo, 2020.12]
- 32) 国土交通省道路局：道路行政の簡単解説 <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/dorogyousei/0.pdf>

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ

http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください

A-879 「公的資金の限界費用を考慮した橋梁維持の最適化
～公債発行による効果に着目して～」

公的資金の限界費用を考慮した橋梁メンテナンスの
最適化に関する研究プロジェクト

2023 年 7 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会