

公的資金の財政制約を考慮した道路橋メンテナンスと 公債発行による動学的最適化

道路維持補修の効率的財源調達方法：

動学モデルと統計分析による検討プロジェクト

2025 年 9 月

公益社団法人 日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究
成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印
刷に付して順次刊行するものである。
2. シリーズはAよりEに至る5つの系列に分かれる。
シリーズAは、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。
シリーズBは、シリーズAに対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、
折にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によっ
てとりまとめたものを収める。
シリーズCは、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。
シリーズDは、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査
活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。
シリーズEは、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和2年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 山 内 弘 隆
同 原 田 昇

令和2年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番号
を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-12-6

守住ビル 4階

公益社団法人日本交通政策研究会

電 話 (03) 3263-1945 (代表)

F a x (03) 3234-4593

E-Mail:office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-922

令和6年度自主研究プロジェクト

「道路維持補修の効率的財源調達方法：動学モデルと統計分析による検討」

刊行：2025年9月

公的資金の財政制約を考慮した道路橋メンテナンスと公債発行による動学的最適化
Long-term Maintenance of Public Facilities and Public Bonds with a Dynamic Change in
the Shadow Price of the Fiscal Constraint

主査：河野 達仁（東北大学情報科学研究科）
Tatsuhito Kono

要 旨

我が国の橋梁などの道路インフラについては、高度経済成長期に建設されたものが多く、特に、橋梁については、全国約73万橋のうち建設後50年を経過した橋梁の割合は、2034年には63%となる見込みである。深刻化するインフラ老朽化への対応は喫緊の課題であり、その維持補修費もかさんでいる。維持補修費は補修施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。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補修施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。維持補修費の負担については、世代間の所得移転を行う公債による効率的補修施策を検討することが有用である。例えば、現世代で公債を発行して将来に負担を委ねるということも考えられる。公債発行によって現世代のみが負担していた高額な補修費用を将来世代と分担することが可能になる。これにより、世代ごとの財政制約のひっ迫度に変化する。そこで、本研究ではそのひっ迫度を表す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、1)公共投資規模が政府の予算執行能力の上限に達しない期では、公債残高が正である時、公債発行期間に渡ってMCFは同じ値となり、公債残高がゼロである時、MCFは前期よりも高い値となる。2)政府の予算執行能力の上限に達している期では、公債残高が正である時、MCFからシャドープライスを引いた値が、公債発行期間に渡ってMCFが同じ値になり、公債残高がゼロである時、MCFからシャドープライスを引いた値が前期よりも高い値となることが示された。また、公債の発行により社会厚生が改善され、将来世代が現世代の維持補修費を一部負担することにより将来世代と現世代の厚生の差が縮まることが示され、維持補修費の世代間負担は公債発行により調整できることが明らかとなった。

キーワード：最適補修施策、予防保全・事後保全施策、公的資金の限界費用、公債

Keywords：optimal maintenance methods; preventive or reactive maintenance; marginal cost of funds; public bond

目 次

1. 背景・問題意識・目的	1
2. モデル	5
2.1 橋梁の劣化と補修	5
2.2 経済モデルの全体構造	7
2.3 家計の設定と行動	8
2.4 政府の設定と行動	13
3. 数値分析	19
3.1 数値分析の設定	19
3.2 数値分析の結果	25
4. 結論	38
参考文献	38

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	中央大学 情報科学研究科 教授
メンバー	： 日引聡	東北大学大学院 経済学研究科 教授
メンバー	： 北川章臣	東北大学大学院 経済学研究科 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	： 若林緑	東北大学大学院 経済学研究科 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	： 鈴木通雄	東北大学大学院 経済学研究科 准教授
メンバー	： 吉田惇	東北学院大学 経済学部 准教授
メンバー	： 羅婉慈	東北大学情報科学研究科 研究員

執筆者

河野達仁	東北大学大学院 情報科学研究科 教授
柁津知広	東北大学大学院 情報科学研究科 研究員

1. 背景・問題意識・目的

我が国の橋梁などの道路インフラについては、高度経済成長期に建設されたものが多く、特に、橋梁については、全国約73万橋のうち建設後50年を経過した橋梁の割合は、2034年には63%となる見込みである¹⁾。深刻化するインフラ老朽化への対応は喫緊の課題である。社会基盤施設の安全を維持したうえで、次世代へ効率的に社会基盤施設を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すべ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。2024年度から3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。しかしながら、地方公共団体の橋梁の修繕等措置率は低い状況にある。2014年度以降5年間（1巡目）の点検において、早期または緊急に措置を講ずべき状態（判定区分Ⅲ・Ⅳ）となった橋梁の修繕等措置の着手率は、国や高速道路会社は100%であるのに対し、地方公共団体は83%と約2割が未着手と低水準になっている¹⁾。

国土交通省は、道路施設についてライフサイクルコストの低減や効率的かつ持続可能な維持管理を実現する予防保全型のメンテナンスへの早期の移行を推進している。予防保全とは、施設の機能や性能に不具合が発生する前に修繕等の対策を講じることである。対して事後保全があり、事後保全とは、施設の機能や性能に不具合が生じてから修繕等の対策を講じることである。また、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・更新費用を予防保全と事後保全の場合で比較をしており、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/年と予防保全のほうが費用削減になると試算している²⁾。

従来研究では、社会基盤施設の最適補修施策はライフサイクルコストの最小化の観点から一般に決定されてきた。例えば、小濱ら³⁾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⁴⁾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）の道路関係予算は減少する一方、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、道路整備費など他の公共投資を圧迫するため、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より重要になる。

Smilowits & Madanat⁵⁾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。しかし、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

方法では道路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道路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.⁶⁾, Goodman & Hastak⁷⁾, Adeli & Sarma⁸⁾ 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（以降、MCF : Marginal Cost of Funds）が社会厚生に影響を与える。これは、財政制約の社会的限界費用を示している。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は、税金の死荷重による厚生損失と税収の割合によりMCFが決定される。例えば、所得税の限界費用については別所ら⁹⁾ 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すべての税で発生するため、税の歪みを与件として分析することは重要である。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、財政が厳しい地方公共団体では、予算を減少させた公共支出の限界便益が1.2を大きく超えることも考えられる。しかしながら、税制や税率の変更には一般に時間を要する。そのため、維持補修費の確保のために国や地方公共団体は、税収入変化ではなく支出項目間での支出額調整が必要になる。そのとき、最適においては、支出項目ごとの限界便益が等しくなる。そこで本研究では、税収を外生として扱い、この維持補修費用を賄うことによりあきらめる公的支出の価値を財源の限界費用（MCF）と呼ぶことにする。

Harberger¹⁰⁾ 以降、財政の最適化には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 & Mooij¹¹⁾, Bovenberg & Goulder¹²⁾）。Parry & Bento¹³⁾ では混雑税収入の用途によって社会厚生が大きく変わることが示されている。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¹⁴⁾ やKono et al.¹⁵⁾ が挙げられる。森杉・河野¹⁴⁾ 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.¹⁵⁾ 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。財政支出がもともに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¹⁶⁾ や河野・寫・祢津・水谷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、定常状態に至るまでの過程を分析することが重要であるため、動学的推移の最適化を考える必要がある。一方、これまでの多くのMCFを考慮した最適交通政策の研究 (Parry and Small¹⁸⁾, 川瀬¹⁹⁾, de Palma and Lindsey²⁰⁾ など) は静学分析である。これらに対して、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。

每期、健全度分布が変わるような状態においてはMCFも每期変動し、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財政制約が厳しくなるため、MCFが上昇することが考えられる。逆に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。

河野・鳶・祢津・水谷¹⁷⁾ 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している。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している。公債や補助金を考慮しない場合、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、MCFの値によらず事後保全のみで行うことが最適となった。一方、時間割引率が低い時はMCFの値が低いと予防保全と事後保全を組み合わせることが最適であり、MCFの値が高くなるにつれて予防保全に投資できる補修割合が減少し、やがて事後保全のみで行うことが最適となった。すなわち、道路管理団体が予防保全や事後保全の補修割合を決定するにあたっては、MCFを考慮した検討が必要である。さらに河野・鳶・祢津・水谷¹⁷⁾ 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。

橋梁は、道路橋示方書²¹⁾ において良好な状態を維持する期間（設計供用期間）として100年を標準とすることが規定されているなど長期間にわたって適切な維持補修を行うことが求められている。すなわち、河野・鳶・祢津・水谷¹⁷⁾ で示された世代間の負担の違いから、維持補修費の負担について、世代間の所得移転を行う公債による効率的補修施策を検討することが有用である。例えば、現世代で公債を発行して将来に負担を委ねるということも考えられる。公債発行によって現世代のみが負担していた高額な補修費用を将来世代と分担することが可能になる。これにより、世代ごとの財政制約のひっ迫度に変化する。

そこで、本研究ではそのひっ迫度を表す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、1) 公共投資規模が政府の予算執行能力の上限に達しない期では、公債残高が正である時、公債発行期間に渡ってMCFは同じ値となり、公債残高がゼロである時、MCFは前期よりも高い値となる。2) 政府の予算執行能力の上限に達している期では、公債残高が正であ

る時、MCFからシャドープライスを引いた値が、公債発行期間に渡ってMCFが同じ値になり、公債残高がゼロである時、MCFからシャドープライスを引いた値が前期よりも高い値となることが示された。また、公債の発行により社会厚生が改善され、将来世代が現世代の維持補修費を一部負担することにより将来世代と現世代の厚生之差が縮まることが示され、維持補修費の世代間負担は公債発行により調整できることが明らかとなった。

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．橋梁の分類については，橋梁の補修施策や補修費用が橋梁の規模や交通量，気候などの地域特性などによって変化することから様々なケースが考えられる．本研究における橋梁の分類については，橋梁の規模に着目して，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 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．

橋梁の健全度は道路橋定期点検要領²²⁾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およびⅣで措置を講ずることを事後保全と定義する．

道路メンテナンス年報²³⁾によると，2巡目（2019～2023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，健全度Ⅳとなった橋梁のサンプルも微小であることから健全度Ⅲから健全度Ⅳへの遷移確率を精緻に推定することは困難である．また，実務においては健全度Ⅲから健全度Ⅳに遷移しないよう優先的に措置がされており，撤去・廃止も現状ほぼ行われていない．そこで，本研究では新たに健全度Ⅳを生じさせない観点から健全度Ⅲの補修割合は50%を下限值とし，2期（10年）以内にすべて補修されることとする．さらに，法定点検の結果に基づき状態の悪い橋梁から措置される現状を踏まえ，健全度Ⅳに遷移することはないものとする．その結果，健全度Ⅳは省略する．

2.1 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．一般的に，橋梁など土木施設の劣化予測などにはマルコフ過程が広く用いられている．マルコフ過程は，指数ハザードモデルで表現され，土木施設の劣化過程を複数の離散的な健全度の推移確率を用いて，任意の時間間隔に対して時間整合的に推定することが可能である．一方，道路付帯施設など施設の寿命が比較的短く，使用開始時刻からの経過年数が施設の劣化速度に影響を及ぼす場合には時間依存的な推移確率を用いるワイブルモデルが分析に用いられる傾向がある．橋梁は，道路橋示方書²¹⁾において良好な状態を維持する期間（設計供用期間）として100年を標準とするこ

とが規定されているなど長期間にわたって適切な維持管理を行うことが求められている。すなわち、多くの橋梁を対象として分析する場合には、集計的に確率制御の厳密解が求められるマルコフ過程が有用である。実際に、メンテナンスの最適化を分析している多くの研究でマルコフ過程が採用されている (Kobayashi, K., Kaito, K., & Lethanh, N.²⁴⁾, Saydam, D., Bocchini, P., & Frangopol, D. M.²⁵⁾, Hu, X., Daganzo, C., & Madanat, S.²⁶⁾, Heng, J., Dong, Y., Lai, L., Zhou, Z., & Frangopol, D. M.²⁷⁾ など)。

このため、本研究では津田ら²⁸⁾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。そして本研究では、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 $\{I, II, III\}$ 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 $\mathbf{W}_t^{K-} (\equiv [W_{m,t}^{K-}])$ $m \in \{I, II, III\}$, 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 $\mathbf{W}_t^{K+} (\equiv [W_{m,t}^{K+}])$ $m \in \{I, II, III\}$ 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 $\mathbf{W}_t^{K-} (\equiv [W_{m,t}^{K-}])$ 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。

すべての橋梁を每期点検し、各橋梁群の健全度別に補修割合を決定する。健全度 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。

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

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。

補修を每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 $\boldsymbol{\pi}^{K-}$ 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。每期、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。

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

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。

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。

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

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

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、都市内に存在する K 橋の総数 N^K で乗じたものの総和が補修費用となり、式(5)で表される。

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

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

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

2.2 経済モデルの全体構造

一般的に、公共投資は税金で賄われ、公共資本ストックが蓄積される。税収は一般的に総生産に比例する。閉鎖経済では、家計の所得のうち貯蓄は民間投資を通じて、民間資本ストックの蓄積に繋がる。公共資本ストックや民間資本ストックの成長により将来の経済成長率が決まる。(Futagami²⁹⁾ など)

本研究では、ある地方公共団体に着目する。その地域の家計貯蓄がそのままその地域の民間投資になるとは限らない。また、公共投資は国、地方公共団体、公的企業がそれぞれその地域に投資する。そこで本研究では、家計貯蓄がその地域の民間投資につながるメカニズムは記述せずに経済成長率を外生的に設定した。ある地域に着目して、外生的な経済成長率に

基づき税収が決定され、税収を財源として公共投資が行われるモデルとした。

2.3 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。

直系血族の世帯をまとめて1つの家系とここでは呼ぶ。家系 $i \in \{1, 2, 3, \dots, I\}$ は異質であり、効用関数および所得が異なる。各期においてひとつの家系に属する世帯は若年期の世帯が1世帯、高齢期の世帯が1世帯の2世帯である。

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とる。効用関数は交通による効用と余暇時間による効用、公共投資以外の教育などの公共財（以降、他の公共財）による効用、橋梁の補修を除いた公共投資（以降、他の公共投資）による効用、合成財消費による効用、さらにBarro³⁰⁾ に基づき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。なお、他の公共投資はストックで捉える。公共ストックについては、日本の社会資本2022³¹⁾ に基づく純社会資本ストックの考え方を踏まえるものとし、粗社会資本ストックから供用年数の経過に応じた減価（物理的減耗、陳腐化等による価値の減少）を控除した残存価値で捉える。

本研究は、橋梁の最適補修施策の手法を検討している。そのため、橋梁ストックについては単純に減価するという設定ではなく、維持補修により変化する健全度を明示的に扱う。江尻ら³²⁾ はサービス水準（耐震設計基準や設計仕様等）に変更がない限り、維持補修費の継続的な支出によりインフラ資産価値は減価しないとし、必要な維持補修が常に行われ、新規取得時のサービス水準が維持されるとの仮定の下で、資産の減価償却を行わない更新会計をイ

ンフラ会計方式の一つとして定義している。

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する。社会資本の価値は、民間資本ストックの保全施設あるいは、民間資本ストックと補完的に機能して生産に寄与するものが想定される。例えば、河川堤防などの防災施設は民間資本ストックの保全に寄与している。また、道路や港湾などの公共資本は民間資本と補完的に利用されることで生産に寄与している。これらを表現するために、本研究では、ある地域の公共資本ストックの民間資本ストックに対する比率を説明変数とする関数として、式(6)で表す。

$$U_t^i = \sum_{t^g=t}^{t+6} \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t^g-t} \left(u_y^i(\bar{x}_y^A, \bar{x}_y^B) + v_y^i(y_{y,t^g}^i) + p_y^i(LRK_{t^g}^G) + q_y^i(LQ_{t^g}^G) + z_{y,t^g}^i \right) + \sum_{t^g=t+7}^{t+13} \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t^g-t} \left(u_o^i(\bar{x}_o^A, \bar{x}_o^B) + v_o^i(y_{o,t^g}^i) + p_o^i(LRK_{t^g}^G) + q_o^i(LQ_{t^g}^G) + z_{o,t^g}^i \right) + \gamma^7 U_{t+7}^i \quad (6)$$

- $\bar{r}$: 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/高齢期の余暇時間に関する効用関数
- LRK_t^G : t 期のある地域の公共資本ストックの民間資本ストックに対する比率
- LQ_t^G : t 期の政府の他の公共財への投資
- $p_y^i(\cdot), p_o^i(\cdot)$: 家系 i の若年期/高齢期の政府の他の公共投資に関する効用関数
- $q_y^i(\cdot, \cdot), q_o^i(\cdot, \cdot)$: 家系 i の若年期/高齢期の政府の他の公共財に関する効用関数
- $z_{y,t}^i, z_{o,t}^i$: 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。労働所得税は労働を行う若年期のみに課される。個人住民税は、若年期については労働所得税に比例し、高齢期については年金などの固定収入を課税ベースとして定額と設定する。

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

where $T_{lt} \equiv \bar{\tau}_l L_{t^g}^i$, $T_{ct,y} \equiv \bar{\tau}_{c,y} \bar{w}^i L_{t^g}^i$ and $T_{ct,o} \equiv \bar{\tau}_{c,o}$.

$\bar{w}^i$: 賃金率

$\bar{\tau}_l$: 時間当たり労働所得税 (従量税表記)

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

$\bar{f}$: 燃料価格

$\bar{l}^K$: K 橋を利用する交通にかかる距離

$\bar{l}^D$: 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

$\bar{\tau}_{c,y}$: 若年期にかかる個人住民税率 (労働所得に比例)

$\bar{\tau}_{c,o}$: 高齢期にかかる個人住民税 (年金が固定と仮定した固定額)

T_{lt} : 若年期にかかる労働所得税額

$T_{ct,y}$: 若年期にかかる個人住民税額

$T_{ct,o}$: 高齢期にかかる個人住民税額

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)

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

(高齢期)

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

$\bar{T}^K$: 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.

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

where

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

s.t.

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

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

$$\forall t^g \in \{t, t+1, \dots, t+6\}$$

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

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

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, そのうえ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.

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

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．なお， S は， t 期から換算した期間を表している．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．)

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

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

利子率は式(13)が示すように親が子の効用を考える時の世代間の割引率と一致するように設定されている．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いている．結果として，遺産額と自身の消費が無差別になり，遺産額を一意に決定できない構造となっている．しかしながら，自身が消費しようと将来に子が消費しようと効用は同じであるため，分析の本質に影響は及ぼさない．のちほど世代間の公平性を分析する際には，ある世代の効用はその世代が消費する財のみならず，その子供の効用も利他的に含むため，遺産額に依存せず効用値が決定することを利用している．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．

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^I V_T^i = & \sum_{i=1}^I \left[7 \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t-1} \left[\left(u_y^i(\bar{x}_y^A, \bar{x}_y^B) + v_y^i(\bar{M}^i - L_t^i - \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_y^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K \right) \right\} \right) \right. \right. \\
& + p_y^i(LRK_{t^g}^G) + q_y^i(LQ_{t^g}^G) - \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{l}^K \bar{x}_y^K + \bar{l}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{y,m}^K \right) \right\} + (\bar{w}^i L_{t^g}^i - T_{lt} - T_{ct,y}) \left. \right] \\
& + 7 \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t-1} \left[\left(u_o^i(\bar{x}_o^A, \bar{x}_o^B) + v_o^i(\bar{M}^i - \sum_K \left\{ \bar{T}^K \bar{x}_o^K + \bar{T}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K \right) \right\} \right) \right. \\
& + p_o^i(LRK_{t^g}^G) + q_o^i(LQ_{t^g}^G) - \bar{f} \sum_K \left\{ \bar{l}^K \bar{x}_o^K + \bar{l}^D \left(\sum_{m=II,III} \delta_{m,t^g}^K W_{m,t^g}^K \bar{x}_{o,m}^K \right) \right\} - T_{ct,o} \left. \right] + h_T^i - \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{T-1} h_T^i \right]
\end{aligned} \tag{14}$$

2.4 政府の設定と行動

政府の予算は、公共事業費（橋梁の補修費用を含む）と他の公共財で構成されるものとし、予算全体のうち公共事業費の割合を $\bar{\alpha}$ ，他の公共財への投資の割合を $(1-\bar{\alpha})$ として配分されるものとする。また、公共事業費は橋梁の補修費用 $\sum_K C_t^K$ と他の公共投資 LLG_t^G で構成されるものとする。政府は財政制約と橋梁の健全度の劣化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他の公共投資 LLG_t^G を決定する。

公債は政府の t 期における公債残高を B_t ，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、公共事業費の財政制約は式(15)で表される。また、他の公共財の財政制約は式(16)で表される。政府は、土木技術者などの専門技術者数によって公共投資の執行能力（以下、予算執行能力）に限りがある。このため、政府の予算執行能力の制約を式(17)で表す。

$$LLG_t^G + \sum_K C_t^K + \bar{r}'B_{t-1} = \left\{ \sum_{i=1}^I (T_{lt} + T_{ct,y} + T_{ct,o}) \right\} \times \bar{\alpha} + \bar{R}_t + (B_t - B_{t-1}) \tag{15}$$

$$LQ_t^G = \left\{ \sum_{i=1}^I (T_{lt} + T_{ct,y} + T_{ct,o}) \right\} \times (1 - \bar{\alpha}) \tag{16}$$

$$LLG_t^G = \left\{ \sum_{i=1}^I (T_{lt} + T_{ct,y} + T_{ct,o}) \right\} \times (1 - \bar{\alpha}) \leq \overline{UG} \tag{17}$$

$\bar{R}_t$: t 期の補助金

LLG_t^G : t 期の他の公共投資

B_t : t 期の債務残高
 $\bar{r}'$: 利子率 ($1 + \bar{r}' = \bar{r}$)
 $\sum^K C_t^K$: t 期の補修費用総額
 $\frac{K}{UG}$: 政府の予算執行能力の上限額
 $\bar{\alpha}$: 政府の予算全体に占める公共事業費の割合

財政制約を踏まえて、社会厚生最大化問題は式(18)のように書くことができる。

$$\begin{aligned}
 & \max_{\delta_{m,t}^K, LLG_t^G, B_t} \sum_{i=1}^I V_T^i \quad (18) \\
 s.t. \quad & LLG_t^G + \sum_K C_t^K + \bar{r}' B_{t-1} = \left\{ \sum_{i=1}^I (T_{lt} + T_{ct,y} + T_{ct,o}) \right\} \times \bar{\alpha} + \bar{R}_t + (B_t - B_{t-1}) \\
 & LLG_t^G \geq 0, \quad B_t \geq 0 \quad \forall t \in \{1, 2 \dots T\} \\
 & W_{n,t}^{K+} = \sum_m \pi^{K+}[n|m, \delta_t^K] W_{m,t}^{K+*} \quad \forall t \in \{1, 2 \dots T\}, \forall K \in \{A, B\}, \forall n, m \in \{I, II, III\}, n \leq m \\
 & W_{n,t+1}^{K-} = \sum_m \pi^{K-}[n|m] W_{m,t}^{K+*} \quad \forall t \in \{1, 2 \dots T\}, \forall K \in \{A, B\}, \forall n, m \in \{I, II, III\}, n \geq m \\
 & W_{m,t}^{K-} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, 2 \dots T\}, \forall K \in \{A, B\} \\
 & \sum_m W_{m,t}^K = 1 \quad \forall t \in \{1, 2 \dots T\}, \forall K \in \{A, B\} \\
 & 0 \leq \delta_{m,t}^K \leq 1 \quad \forall t \in \{1, 2 \dots T\}, \forall K \in \{A, B\}, \forall n \in \{II, III\} \\
 & LLG_t^G \leq \bar{UG} \quad \forall t \in \{1, 2 \dots T\}
 \end{aligned}$$

制約条件の1行目の式が政府の財政制約、2行目は公債残高および他の公共投資の非負制約、3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、4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。5行目と6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。7行目は健全度IIおよび健全度IIIの補修割合の制約を表している。8行目は政府の予算執行能力の制約である。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(19)である。ここで $\sum_{i=1}^I V_T^i$ は全家計の効用の総和である。ただし、 LQ_t^G はすべて外生変数によって決定されるため、 LQ_t^G から得られる効用は補修施策によって変化しない。このため式(19)では考慮しない。

$$\begin{aligned}
\Phi = & \sum_{i=1}^I V_T^i + \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t-1} \left[\sum_K \lambda_t^K \left(\sum_m W_{m,t}^{K-} - 1 \right) \right. \\
& + \sum_K \sum_n \mu_{n,t}^K \left(W_{n,t+1}^{K-} - \sum_m \pi^{K-}[n|m] \pi^{K+}[n|m, \delta_{m,t}^K] W_{m,t}^{K-*} \right) \\
& + \varphi_t \left(\sum_{i=1}^I (T_{lt} + T_{ct,y} + T_{ct,o}) \times \bar{\alpha} + \bar{R}_t - LLG_t^G - \sum_K C_t^K + (B_t - (1 + \bar{r}') B_{t-1}) \right) \Big] \\
& + \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t-1} \kappa_t (\bar{UG} - \sum_{i=1}^I (T_{lt} + T_{ct,y} + T_{ct,o}) \times \bar{\alpha} - \bar{R}_t - B_t + (1 + \bar{r}') B_{t-1} + \sum_K C_t^K) \quad (19)
\end{aligned}$$

$\lambda_t^K, \mu_{n,t}^K, \varphi_t, \kappa_t$: 社会厚生最大化の各制約式に関するラグランジュ乗数

他の公共投資について式(19)にクーンタッカーの定理を用いることにより, 式(20)および式(21)で示される相補性条件が成立する.

$$LLG_t^G > 0 \text{ ならば, } \varphi_t = 7I \left[\frac{\partial p_y^i(LRK_t^G)}{\partial LRK_t^G} \frac{\partial LRK_t^G}{\partial LLG_t^G} + \frac{\partial p_o^i(LRK_t^G)}{\partial LRK_t^G} \frac{\partial LRK_t^G}{\partial LLG_t^G} \right] \quad (20)$$

$$LLG_t^G = 0 \text{ ならば, } \varphi_t > 7I \left[\frac{\partial p_y^i(LRK_t^G)}{\partial LRK_t^G} \frac{\partial LRK_t^G}{\partial LLG_t^G} + \frac{\partial p_o^i(LRK_t^G)}{\partial LRK_t^G} \frac{\partial LRK_t^G}{\partial LLG_t^G} \right] \quad (21)$$

式(20)の右辺は若年期および高齢期の LLG_t^G の変化に対する各家計の効用の変化を全家計数分 (つまり, 7I分) 総和したものである. $LLG_t^G > 0$ の時, φ_t はシャドープライスであり, 他の公共投資への社会的限界費用 (MCF) を示している. 式(21)は, $LLG_t^G = 0$ が解だとすると, $LLG_t^G = 0$ の時に, 若年期および高齢期の LLG_t^G の変化に対する各家計の効用の変化を全家計数分 (7I分) 総和したものよりも φ_t は大きい値となることを意味している.

補修割合 $\delta_{m,t}^K$ について, 式(19)にクーンタッカーの定理を用いることにより, 式(22)から式(24)で表される相補性条件が成立する.

$$\delta_{m,t}^K = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{m,t}^K} \leq 0 \quad (22)$$

$$\delta_{m,t}^K = 1, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{m,t}^K} \geq 0 \quad (23)$$

$$0 < \delta_{m,t}^K < 1, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{m,t}^K} = 0 \quad (24)$$

ここで、式(19)のラグランジュ関数において $\delta_{II,t}^K$ および $\delta_{III,t}^K$ については式(25)および式(26)のとおり示される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{II,t}^K} &\equiv \mu_{I,t}^K (-\pi_{11}^K W_{II,t}^{K-*}) + \mu_{II,t}^K \{-(\pi_{12}^K - \pi_{22}^K) W_{II,t}^{K-*}\} + \mu_{III,t}^K \{-(\pi_{13}^K - \pi_{23}^K) W_{II,t}^{K-*}\} \\ &\quad + (-\varphi_t + \kappa_t) N^K c^K(II) W_{II,t}^{K-} \\ &\quad + \frac{1}{r} (-\varphi_{t+1} + \kappa_{t+1}) N^K \delta_{II,t+1}^K c^K(II) (\pi_{12} - \pi_{22}) W_{II,t}^{K-} + (-\frac{1}{r} \varphi_{t+1} + \kappa_{t+1}) N^K \delta_{III,t+1}^K c^K(III) (\pi_{13} - \pi_{23}) W_{II,t}^{K-} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{III,t}^K} &\equiv \mu_{I,t}^K (-\pi_{11}^K W_{III,t}^{K-*}) + \mu_{II,t}^K (-\pi_{12}^K W_{III,t}^{K-*}) + \mu_{III,t}^K \{-(\pi_{13}^K - 1) W_{III,t}^{K-*}\} \\ &\quad + (-\varphi_t + \kappa_t) N^K c^K(III) W_{III,t}^{K-} + \\ &\quad + \frac{1}{r} (-\varphi_{t+1} + \kappa_{t+1}) N^K \delta_{II,t+1}^K c^K(II) \pi_{12} W_{III,t}^{K-} + \frac{1}{r} (-\varphi_{t+1} + \kappa_{t+1}) N^K \delta_{III,t+1}^K c^K(III) (\pi_{13} - 1) W_{III,t}^{K-} \end{aligned} \quad (26)$$

式(25)および式(26)の第1行目は橋梁を措置することによって、橋梁の各健全度の割合が変化するものの価値を示しており、第2行目は t 期に健全度II（健全度III）の橋梁を措置する補修費用の社会的価値を示している。第3行目は $t+1$ 期に補修すべき健全度II（健全度III）の橋梁が減少することで軽減される補修費用の社会的価値を示している。

式(22)は、 $\delta_{m,t}^K = 0$ が解だとすると、 $\delta_{m,t}^K = 0$ の時に、 $\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{m,t}^K} \leq 0$ が成立する。式(23)は、 $\delta_{m,t}^K = 1$ が解だとすると、 $\delta_{m,t}^K = 1$ の時に、 $\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{m,t}^K} \geq 0$ が成立する。式(24)は、 $0 < \delta_{m,t}^K < 1$ が解だとすると、 $0 < \delta_{m,t}^K < 1$ の時に、 $\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{m,t}^K} = 0$ が成立する。これらから言えることとして、仮に $0 < \delta_{II,t}^K < 1$ ($0 < \delta_{III,t}^K < 1$) の間で $\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{II,t}^K} < 0$ ($\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{III,t}^K} < 0$) であれば、端点解である $\delta_{II,t}^K = 0$, $\delta_{III,t}^K = 0$ が最適解となる。 $0 < \delta_{II,t}^K < 1$ ($0 < \delta_{III,t}^K < 1$) の間で $\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{II,t}^K} \geq 0$ ($\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{III,t}^K} \geq 0$) であれば、端点解である $\delta_{II,t}^K = 1$ ($\delta_{III,t}^K = 1$) が最適解となる。そして、 $0 < \delta_{II,t}^K < 1$ ($0 < \delta_{III,t}^K < 1$) の間に内点解があるとして $\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{II,t}^K} = 0$, ($\frac{\partial \Phi}{\partial \delta_{III,t}^K} = 0$) が成立し、最適解となる。

公債残高 B_t について、式(19)にクーンタッカーの定理を用いることにより、式(27)から式(29)で表される相補性条件が成立する。

$$\frac{\partial \Phi}{\partial B_t} = \left(\frac{1}{r} \right)^{t-1} \{ (\varphi_t - \varphi_{t+1}) - (\kappa_t - \kappa_{t+1}) \} \leq 0 \quad (27)$$

$$B_t \geq 0 \quad (28)$$

$$B_t \frac{\partial \Phi}{\partial B_t} = 0 \quad (29)$$

式(27)から式(29)より，政府の予算執行能力に関する相補性条件は，式(30)および式(31)のとおり表される．

$$LLG_t^G \leq \overline{UG} \quad \kappa_t = 0 \quad (30)$$

$$LLG_t^G \geq \overline{UG} \quad \kappa_t > 0 \quad (31)$$

式(30)は政府の予算執行能力に達する期がない限り，シャドープライスはゼロであることを示しており，式(31)は政府の予算執行能力の上限に達する期があると，シャドープライスが正となることを示している．以上より，式(32)から式(35)で示される相補性条件が示される．

$$\kappa_t = 0 \text{ のとき, } B_t > 0 \text{ ならば, } \varphi_{t+1} = \varphi_t \quad (32)$$

$$B_t = 0 \text{ ならば, } \varphi_{t+1} \geq \varphi_t \quad (33)$$

$$\kappa_t > 0 \text{ のとき, } B_t > 0 \text{ ならば, } \varphi_{t+1} - \kappa_{t+1} = \varphi_t - \kappa_t \quad (34)$$

$$B_t = 0 \text{ ならば, } \varphi_{t+1} - \kappa_{t+1} \geq \varphi_t - \kappa_t \quad (35)$$

式(32)から式(35)より次のProposition 1.が得られる．

Proposition 1.

1) 公共投資規模が政府の予算執行能力の上限に達しない期では，公債残高が正である時，公債発行期間に渡ってMCFは同じ値となり，公債残高がゼロである時，MCFは前期よりも高い値となる． 2) 政府の予算執行能力の上限に達している期では，公債残高が正である時，MCFからシャドープライスを引いた値が公債発行期間に渡ってMCFが同じ値になり，公債残高がゼロである時，MCFからシャドープライスを引いた値が前期よりも高い値となる．

式(32)は，公共投資規模が政府の予算執行能力の上限に達しない期では，公債残高が正である時，公債発行期間においてMCFは同じ値となることを意味している．すなわち，公債1単位の社会的価値と公共投資1単位の社会的価値が常に一定であることを示している．このため，最適な公債の発行により世代間における公共投資の限界的価値を平準化できることがわかる．また，式(33)は，公共投資規模が政府の予算執行能力の上限に達しない期では，公債残高がゼロである時，MCFは前期よりも高い値となることを意味している．

式(34)は，公共投資規模が政府の予算執行能力の上限に達している期では，公債残高が正

である時, MCFからシャドープライスを引いた値が公債発行期間に渡ってMCFが同じ値になることを意味している. また, 式(35)は, 公債残高がゼロである時, MCFからシャドープライスを引いた値が前期よりも高い値となることを意味している. なお, ここまで効用関数を準線形とした以外は, 関数形は特定化しておらず, Proposition 1.は, 一般的に成立する.

3. 数値分析

3.1 数値分析の設定

本研究の分析対象となる每期、健全度分布が変わるような非定常状態においては、MCFも每期変動し、補修施策が動学的に変化する。このような非定常状態の分析において、理論的性質を網羅的に示すことは困難である。そこで本研究では、ある程度現実レベルのパラメータを用いた数値分析を用いて、理論分析結果との整合性に加えて非定常状態における最適施策の性質を分析する。最適化する変数の数として時間変数も含み膨大である。そこでGurobi Optimizerを用いて数値分析を行った。

現実レベルのパラメータの設定のために、新潟県のデータを基本的に用いた。人口などの家計行動に関するパラメータを表3.1に、橋梁群の数や架設年度などの橋梁に関するパラメータを表3.2に、初期健全度分布は表3.3にまとめた。なお、燃料価格および燃費は、家計の所得制約である式(7)の交通費用の算出に用いるため表3.1にまとめた。

橋梁の分類については、橋梁の規模に応じて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種類の橋梁を設定し、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～」³³⁾により、新潟県の管理橋梁のうち幅員が5m以上はA橋（3,510橋）、5m未満はB橋（452橋）と設定した。A橋は都市間交通を担う幹線道路に架橋されていることを想定し、B橋は都市内の生活道路に架橋されていることを想定している。また、帰着する便益の地域的範囲については財政制約を考慮した都道府県レベルの地方公共団体の範囲を想定した。

補修費用単価については、新潟県の長寿命化修繕計画には個別の補修費用が公表されていないため、補修費用が公表されている宮城県橋梁個別施設計画³⁴⁾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。宮城県第3次橋梁長寿命化計画³⁵⁾によると、宮城県の管理橋梁は1,789橋で今後10年間の計画投資額は約250億円とされている。一方、新潟県道路施設維持管理計画書³⁶⁾によると、新潟県の管理橋梁は、4,015橋で10年間の投資規模額は約559億円とされており、1橋あたりの計画投資額は概ね同額であることから、本数値分析の結果のスケールに大きな影響を与えないと考えられる。

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想定し、考慮しないこととした。また、本数値分析では、厚生改善、補修割合の程度を概ね現実的な値として示すことを目的とし、そのスケールをみることに焦点をあてる観点から、補修に要する期間については考慮しないこととした。

本研究は、準線形効用関数を仮定している。準線形効用関数はGorman型効用関数の一種であるため、異質な効用関数であっても集計することができる。そのため、数値分析においては各統計パラメータを平均値で設定し、結果についても平均値で分析しているものの、全ての人が同質であっても異質であっても成立している分析である。

本研究は、様々な健全度分布にある橋梁群全体の補修施策が、定常状態に至るまでの過程を動学的に分析することが重要であるため、検討期間は、長期間設定する必要がある。このため、補修施策を決定する期間は50期間（250年間）とし50期分の社会厚生を計算した。最適補修施策等の分析結果については、計算終了の50期よりも50年早い40期までを示す。これは、計算終了端の影響がほばない状況を分析結果としたいためである。公債は第2期以降に発行するものとし、45期以降は新規の公債発行はなく利払いのみを支払う設定とした。仮に利払いのみを支払う時期を更に長くすれば、それだけ社会厚生は増加する。ただし、本数値分析では残存価値はわずか（時間割引率が1.2%のとき5.07%，時間割引率が2.0%のとき0.71%）であり、ほとんど無視しても差し支えない範囲である。

マルコフ推移確率行列は、津田ら²⁸⁾の手法を用いて式(36)のように推定された。

$$\pi^{K-} = \begin{pmatrix} 0.6506 & 0.3061 & 0.0433 \\ 0 & 0.7772 & 0.2228 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (36)$$

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、すべ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²⁸⁾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(36)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が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各々推定したマルコフ推移確率で計算を行った。

本研究のモデルにおいて内生変数であるMCFは他の公共投資の限界効用と一致する。そのため、税収と他の公共投資の効用関数とその値に大きな影響を及ぼす。税収は経済成長に伴い増加する。道路管理団体は公共事業費のうち他の公共投資と橋梁の補修費用に最適に配分する結果、MCFの値が決定される。他の公共投資の効用は、橋梁の補修費用以外の公共投資の効果である。

政府の他の公共投資は、民間資本ストックの保全施設あるいは、民間資本ストックと補完

的に機能して生産に寄与するものが想定される．例えば，河川堤防などの防災施設は民間資本ストックの保全に寄与している．また，道路や港湾などの公共資本は民間資本と補完的に利用されることで生産に寄与している．これらを表現するために，本研究の数値分析に用いる政府の他の公共投資に関する効用関数は，ある地域の公共資本ストックの民間資本ストックに対する比率 LRK_t^G を説明変数とする関数として，式(37)で表す．なお，本数値分析では若年期および高齢期の政府の他の公共投資に関する効用関数のパラメータを同一とした．ただし，本研究は，準線形効用関数を仮定しており，Gorman型効用関数の一種であるため，若年期と高齢期のパラメータが異なっているとしても，その平均値が本設定と同じであれば結果は変わらない．

表 3.1 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 ³⁷⁾
交通時間※	1時間30分/日	NHK国民生活時間調査2020 ³⁷⁾
交通距離※	45 km/日	平均時速30kmとして設定
燃料価格	160.4円/L	給油所小売価格調査 ³⁸⁾ 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 ³⁹⁾ 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	1.2%および2.0%	国債金利情報 ⁴⁰⁾ 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) ⁴¹⁾
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 ⁴²⁾
人口	2,201,272人	国勢調査 ⁴³⁾
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 ⁴⁴⁾
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 ⁴⁴⁾

※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 3.2 橋梁に関するパラメータ

パラメータ		A 橋 B 橋
橋梁数 架設年度： 1922年度～2016年度		3,510 橋 452 橋
	交通量	70 回/日/世帯 3.5 回/日/世帯
補修費用 単価	II	12.97 百万円/橋 4.30 百万円/橋
	III	50.82 百万円/橋 16.83 百万円/橋

表 3.3 初期健全度分布

健全度	A 橋	B 橋
I	0.193	0.210
II	0.505	0.518
III	0.302	0.272

$$p_y^i(LRK_t^G) = p_o^i(LRK_t^G) = \beta LRK_t^G - \eta (LRK_t^G)^2 \quad (37)$$

LRK_t^G : t 期のある地域の公共資本ストックの民間資本ストックに対する比率

$p_y^i(\cdot), p_o^i(\cdot)$: 家系 i の若年期/高齢期の政府の他の公共投資に関する効用関数

β, η : 政府の他の公共投資に関する効用関数のパラメータ

説明変数である LRK_t^G については、ある地域に着目し、住民が享受する公共資本ストックを、国および地方政府、公的企業が供給する公共資本ストック⁴⁵⁾で捉えることとする。また、民間資本ストックは、経済成長率に応じて外生的に変化しながら、民間資本ストックを蓄積する。MCFは、 t 期にある地域が蓄積する公共資本ストックの民間資本ストックに対する比率 LRK_t^G の変化に応じて変化する。なお、1期までにある地域が蓄積している公共資本ストックは、内閣府が公表している固定資本ストック速報⁴⁶⁾の「公的資産」の値を用い、民間資本ストックは「民間住宅」および「民間住宅設備」の合計値を用いることとし、新潟県の県民総生産の国内総生産に対する割合を各々乗じた値とした。以上より、 LRK_t^G は、式(38)で示される。なお、本数値分析の対象とする政府として、ある地域におけるある地方公共団体を想

定する.

$$\begin{aligned}
LRK_t^G &= \frac{LSK_t^G}{LPK_t^G} \\
&= \frac{\overline{LSK0} \times (1 - \omega_s)^t + \sum_{t^g=1}^T (1 - \omega_s)^{t^g-t} LNG_{t^g}^G + \sum_{t^g=1}^T (1 - \omega_s)^{t^g-t} (LLG_{t^g}^G + LLG_{t^g}'^G) + \sum_{t^g=1}^T (1 - \omega_s)^{t^g-t} LOG_{t^g}^G}{\overline{LPK0} \times (1 - \omega_p)^t + \sum_{t^g=1}^T (1 - \omega_p)^{t^g-t} LPI_{t^g}}
\end{aligned} \tag{38}$$

LSK_t^G : t 期にある地域が蓄積する公共資本ストック

LPK_t^G : t 期にある地域が蓄積する民間資本ストック

$\overline{LSK0}$: 1期までにある地域が蓄積している公共資本ストック

$\overline{LPK0}$: 1期までにある地域が蓄積している民間資本ストック

LNG_t^G : t 期にある地域が享受する国の公共投資

LLG_t^G : t 期にある地域が享受するある地方公共団体の他の公共投資

$LLG_t'^G$: t 期にある地域が享受するある地方公共団体以外の地方政府の公共投資

LOG_t^G : t 期にある地域が享受する公的企業の公共投資

LPI_t : t 期にある地域が享受する民間投資

ω_s : 公共資本減耗

ω_p : 民間資本減耗

式(38)の LLG_t^G について一階条件をとると式(39)が導出され、これを式(20)に代入することにより式(40)を得る.

$$\frac{\partial LRK_t^G}{\partial LLG_t^G} = \sum_{t^g=t}^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t^g-t} \frac{(1 - \omega_s)^{t^g-t}}{LPK_{t^g}^G} \tag{39}$$

$$7I \left[\sum_{t^g=t}^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \right)^{t^g-t} \frac{(1 - \omega_s)^{t^g-t}}{LPK_{t^g}^G} \left(\frac{\partial p_y^i(LRK_{t^g}^G)}{\partial LRK_{t^g}^G} + \frac{\partial p_o^i(LRK_{t^g}^G)}{\partial LRK_{t^g}^G} \right) \right] = \varphi_t \tag{40}$$

MCFを示している q の値は、 LRK_t^G の増加（減少）に応じて減少（増加）するとともに、式(40)より LPK_t^G の増加（減少）に応じて減少（増加）する。また、 t 期の他の公共投資 LLG_t は、 t 期以降も公共資本ストックとして蓄積される。その蓄積されるストックがもたらす社会

厚生増加効果が、期のMCFである q に式(37)の Σ により反映されている。これは、河野・嵩・祢津・水谷¹⁷⁾がフローである他の公共支出の変化で捉えていることに対して、本研究においては公共資本ストックの変化で捉えている点から現れた違いである。

本数値分析では、初期のMCFや時間割引率を感度分析的に変化させることにより最適補修施策の決定に及ぼす影響について検討を行う。

MCFの大きさとして初期のMCFを3.0および5.0と設定した。この設定の妥当性について、税収を固定している本研究では、公共投資の限界便益がMCFに相当するため、公共事業評価における費用便益比により説明することができる。例として、国土交通省における公共事業評価において直轄事業等の令和6年度予算に向けた新規事業採択時評価における採択案件21事業の費用便益比(B/C)は1.0～13.8である⁴⁷⁾。これらのB/Cが財政の限界便益と解釈することができる。そこで、本研究では初期のMCFが3.0および5.0の場合を仮定して分析を行う。なお、対象とする地方公共団体によって財政の厳しさが異なり、厳しい地方公共団体の方がMCFは一般的に高くなる。また、パラメータ β および η は、初期のMCFの値および検討期間である40期までにMCFが1.0を下回らないように設定した。

時間割引率については、長期国債(10年)の平均金利は過去20年平均が約0.8%(2002.4.1～2022.3.31)、過去30年平均が1.48%(1992.4.1～2022.3.31)であることを踏まえ、1.2%および2.0%の場合を仮定して分析を行う。

以上より、表3.4のケース①からケース④について数値分析を行う。

表 3.4 公債を考慮した数値分析ケース

	時間割引率 1.2%	時間割引率 2.0%
初期 MCF3.0	ケース①	ケース③
初期 MCF5.0	ケース②	ケース④

地方公共団体には、人的制約などから予算の執行能力に限りがある。東日本大震災発生前後において、宮城県の2012年度の一般会計予算(当初+補正)は2011年度の約2.71倍であった。これを参考に、新潟県の過去3年間(2020年度～2022年度)の一般会計予算(当初+前年度補正)における投資的経費と義務的経費(維持補修費)の合計値から直轄負担金等を差し引いた値(平均：1936億円/年)の3.0倍である29,040億円をある地方公共団体における予算執行能力の上限値として設定した。

数値分析に用いる経済統計データに関するパラメータは、表3.5にまとめた。

表 3.5 経済統計データに関するパラメータ

パラメータ	数値	情報源
国内総生産 (GDP)	551.921兆円 (2022年度実質)	国民経済計算 (GDP統計) ⁴⁸⁾
県内総生産 (GRP)	8.84兆円 (2021年度実質)	令和3年度県民経済計算 (新潟県) ⁴⁹⁾
公共資本ストック ($\overline{LSK0}$)	12.52兆円	2022年10-12月期の固定資本ストック速報 ⁴⁶⁾ の 「公的固定資産」をGRPのGDPに対する割合 で換算
民間資本ストック ($\overline{LPK0}$)	17.95兆円	2022年10-12月期の固定資本スッ ク速報 ⁴⁶⁾ の「民間企業設備+民間住 宅」をGRPのGDPに対する割合で換算
経済成長率	0.6%	過去20年間(2003～2022)のGDP成長率 ⁴⁸⁾ の平 均：約0.6%/年
民間資本減耗 (ω_p)	9.3%	過去20年間(2003～2022)の実績 ⁴⁶⁾ から最小二乗法により推計
公共資本減耗 (ω_s)	3.3%	過去20年間(2003～2022)の実績 ⁴⁶⁾ から最小二乗法により推計
公共事業費の割合 ($\bar{\alpha}$)	12.3%	新潟県予算に対する土木費の割合(H28～R5の 平均値) ⁵⁰⁾

3.2 数値分析の結果

本研究では3.1の設定により、公債の発行によりMCFが変化し、最適補修施策の決定に与える影響について検証を行った。数値分析には新潟県の橋梁のマルコフ劣化推移確率を活用し、Gurobi Optimizerを用いて計算を行った。計算方法として、最適化の一階条件式(20)から式(35)を連立させて解を導く方法では連立方程式の数が膨大になる。そこで、その方法ではなく、制約付き最適化問題である式(18)を直接Gurobi Optimizerで解いている。その結果、表3.6から表3.8に示す補修施策が最適となった。本数値分析で用いたGurobi Optimizerも最適解を保証するわけではない。しかしながら、本研究のモデルでMCFや時間割引率を微小に変化させて計算を行っても、最適解が全く異なる値になるなどの不安定な解の挙動は生じなかった。本数値分析の主要な結果として、 $\eta=1.0$ とした場合のケース①から④について、a) から d) に以下のようにまとめる。

a) 主要な結果 1：ケース①（初期MCF (=3.0) が低い、時間割引率 (=1.2%) が低い)

公債の発行により初期に公共資本ストックが蓄積され社会厚生最大化となる。このとき、他の公共投資が予算執行能力の上限に達することなく、かつ公債の利払費と橋梁の補修費用

の合計が公共事業費と等しくならない限り、公債発行期間に渡ってMCFは同じ値となる。また、予防保全の補修割合100%と事後保全の補修割合50%を組合せた施策を継続していくことが最適補修施策となる。

主要な結果 1 は、最適補修施策が予防保全の補修割合100%と事後保全の補修割合50%を組合せた施策となることを示している。これは、公債発行による政府財源調達により、現世代のうちに公共資本ストックの蓄積および健全度Ⅲの比率を減少させることが可能となったためである。公共資本ストックの蓄積により将来にわたり公共投資の便益を享受できる。また、健全度Ⅲの比率の減少は将来にわたり予防保全施策による橋梁補修を行い、橋梁の補修費用のライフサイクルコストの減少を可能にする。

MCFについては、公債を考慮しない場合は、過去の公共投資に対して現在の公共投資が相対的に低いためMCFが上昇し、12期まで初期のMCF(=3.0)よりも高くなった。これは、過去の公共投資により蓄積された公共資本ストックの減耗分に比して、現世代の公共投資により蓄積される公共資本ストックが低水準で推移していることにより、公共資本ストックが減少することに起因していると考えられる（表3.6）。

公債を考慮した場合は、2期に約24,191億円の新規公債が発行され、現世代に公共資本ストックが蓄積され、将来世代が利払い費を支払うことにより社会厚生最大化となる。このとき、3期から23期まで公債の発行期間に渡ってMCFは同じ値となる。これは、**Proposition 1**に示した理論的性質を数値的に表している。2期は他の公共投資が予算執行能力の上限である29,040億円に達している。このため、MCFが平準化しない結果となった。また、25期以降は、公共事業費は橋梁の補修費用と利払い費のみに支出され他の公共投資はゼロとなり、MCFは平準化されない結果となった。

最適補修施策は、公債を考慮しない場合は、事後保全の補修割合50%のみを継続していく施策が最適となった。一方、公債を考慮した場合は、公債の発行により初期段階においてMCFが低下するため、2期以降予防保全の補修割合100%と事後保全の補修割合50%を組合せた施策が最適となった。すなわち、公債の発行を考慮することにより予防保全への転換が図られている。

橋梁の補修費用については、公債を考慮しない場合は2期以降事後保全50%のみを継続していくことが最適となり、5期以降約239億円の支出で定常状態となっている。一方、公債を考慮する場合は2期以降予防保全の補修割合100%および事後保全の補修割合50%を組合せた施策が最適となり、2期に約495億円を支出し、健全度Ⅲの比率を低下させることにより、10期以降約216億円の支出で定常状態となっている。このため、公債の発行により、予防保全と事後保全を組合せた施策により、事後保全のみの施策よりも低い補修費用に定常状態となるこ

とが示された（図3.1.1から図3.1.4）。

ｂ）主要な結果 2：ケース②（初期MCF（=5.0）が高い，時間割引率（=1.2%）が低い）

ケース①と同様に，公債の発行により初期に公共資本ストックが蓄積され社会厚生最大化となる。また，公債の発行により初期に公共資本ストックが，初期のMCFが低いケース①よりも多く蓄積される。このとき，他の公共投資が予算執行能力の上限に達することなく，かつ公債の利払費と橋梁の補修費用の合計が公共事業費と等しくならない限り，公債発行期間に渡ってMCFは同じ値となる。また，予防保全の補修割合100%と事後保全の補修割合50%を組合せた施策を継続していくことが最適補修施策となった。

主要な結果 2は最適補修施策が予防保全の補修割合100%と事後保全の補修割合50%を組合せた施策となることを示している。これは，公債発行による政府財源調達により，現世代のうちに公共資本ストックの蓄積および健全度Ⅲの比率を減少させることが可能となったためである。公共資本ストックの蓄積により将来にわたり公共投資の便益を享受できる。また，健全度Ⅲの比率の減少は将来にわたり予防保全施策による橋梁補修を行い，橋梁の補修費用のライフサイクルコストの減少を可能にする。

MCFについては，公債を考慮しない場合は，ケース①と同様に過去の公共投資に対して現在の公共投資が相対的に低いためMCFが上昇し，12期まで初期のMCF(=5.0)よりも高くなった。これは，過去の公共投資により蓄積された公共資本ストックの減耗分に比して，現世代の公共投資により蓄積される公共資本ストックが低水準で推移していることにより，公共資本ストックが減少することに起因していると考えられる（表3.7）。

公債を考慮した場合は，2期，3期に約24,191億円，約25,251億円の新規公債が発行され，現世代に公共資本ストックが蓄積され，将来世代が利払い費を支払うことにより社会厚生最大化となる。このとき，4期から18期の間に渡ってMCFは同じ値となる。2期および3期は，他の公共投資が予算執行能力の上限である29,040億円に達している。このため，MCFが平準化しない結果となった。また，20期以降は，公共事業費は橋梁の補修費用と利払い費のみに支出され他の公共投資はゼロとなり，MCFは平準化されない結果となった。ケース①とケース②を比較すると，ケース②の方が，初期のMCFが高く，限界効用が高いため2期に多くの公債を発行し，公共資本ストックが大きく蓄積された。このため，利払い費が増大することにより，MCFが平準化する期間は短縮された。

最適補修施策は，公債を考慮しない場合は，事後保全の補修割合50%のみを継続していく施策が最適となった。一方，公債を考慮した場合は，公債の発行により，2期以降予防保全の補修割合100%と事後保全の補修割合50%を組合せた施策が最適となった。すなわち，公債の

発行を考慮することにより予防保全への転換が図られている。

橋梁の補修費用については、公債を考慮しない場合は、2期以降、事後保全の補修割合50%のみを継続していくことが最適となり、5期以降約239億円の支出で定常状態となっている。一方、公債を考慮する場合は、2期以降予防保全の補修割合100%および事後保全の補修割合50%を組合せた施策が最適となり、2期に約495億円を支出し、健全度Ⅲの比率を低下させることにより、10期以降約216億円の支出で定常状態となっている。このため、公債の発行により、予防保全と事後保全を組合せた施策により、事後保全のみの施策よりも低い補修費用で定常状態となることが示された（図3.2.1から図3.2.4）。

c) 主要な結果 3：ケース③について（初期MCF（=3.0）が低い、時間割引率（=2.0%）が高い）

公債の発行により初期に公共資本ストックが蓄積され社会厚生最大化となる。このとき、他の公共投資が予算執行能力の上限に達することなく、かつ公債の利払費と橋梁の補修費用の合計が公共事業費と等しくならない限り、公債発行期間に渡ってMCFは同じ値となる。また、最適補修施策は、公債の発行の有無に依らず、事後保全の補修割合50%のみの施策を継続していくことが最適となった。

主要な結果 3 の最適補修施策が事後保全の補修割合50%のみの施策となることは、時間割引率が高くなると、将来への公共資本ストックの価値が減少し、相対的に現世代の価値が重視されるため、公債を発行しても、最適補修施策の変更が生じないことにより生じる。

MCFについては、公債を考慮しない場合は、ケース①と同様に過去の公共投資に対して現在の公共投資が相対的に低いためMCFが上昇し、12期まで初期のMCF(=3.0)よりも高くなった（表3.8）。

公債を考慮した場合は2期に約10,969億円の新規公債が発行され現世代に公共資本ストックが蓄積され、将来世代が利払い費を支払うことにより社会厚生最大化となる。このとき、2期から16期の間に渡ってMCFは同じ値となる。また、18期以降は、公共事業費は橋梁の補修費用と利払い費のみに支出され他の公共投資はゼロとなり、MCFは平準化されない結果となった。

最適補修施策は、公債の発行の有無に依らず、事後保全の補修割合50%を継続していく施策が最適となり、施策の変更は生じなかった。このため、橋梁の補修費用についても、公債の考慮の有無に依らず5期以降約239億円の支出で定常状態となっている（図3.3.1から図3.3.4）。

ケース①とケース③を比較すると、ケース③の方が時間割引率が高いため、将来への公共

資本ストックの価値が減少し、相対的に現世代の価値が重視される。このため、公債発行額はケース①よりも減少した。公債を考慮しても最適補修施策に変更が生じないため、将来の橋梁の補修費用がケース①（約216億円）よりも高い水準（約239億円）で推移する。このため、ケース①よりもMCFが平準化する期間は短縮される結果となった。また、初期のMCF(=5.0)が高く、時間割引率(=2.0%)が高いケース④のときについても同様に数値分析を行い、定性的にケース③と同様の結果が得られたことを確認している。パラメータである β および η の値を感度分析的に変化させて実施したケースにおいても定性的に同じ結果が得られたことを確認している。

表 3.6 ケース①（初期 MCF=3.0, 時間割引率 1.2%, $\beta = 2.07, \eta = 1.0$ ）

【公債なし】

期			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.19	0.22	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.30	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.21	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			3.00	3.17	3.28	3.35	3.38	3.38	3.36	3.32	3.27	3.21

期			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			3.14	3.07	2.99	2.92	2.84	2.76	2.68	2.60	2.52	2.45

期			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			2.38	2.30	2.23	2.16	2.10	2.03	1.97	1.91	1.85	1.79

期			31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			1.74	1.68	1.63	1.58	1.53	1.49	1.44	1.40	1.35	1.31

【公債あり】

期			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最適	A	II	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.19	0.22	0.56	0.59	0.61	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.51	0.50	0.26	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.30	0.28	0.18	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08
	B	I	0.21	0.23	0.32	0.60	0.61	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.52	0.51	0.55	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.27	0.27	0.13	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08
(%)												
MCF			3.00	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21

期			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
最適	A	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	B	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
(%)												
MCF			2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21

期			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
最適	A	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	B	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
(%)												
MCF			2.21	2.21	2.21	2.24	2.28	2.29	2.29	2.28	2.25	2.22

期			31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
最適	A	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	B	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
(%)												
MCF			2.18	2.14	2.09	2.05	2.00	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75

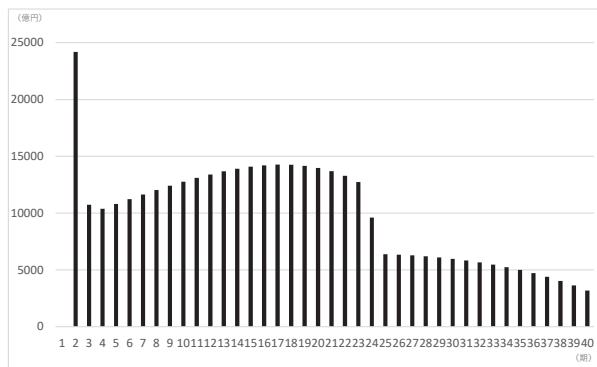


図 3.1.1 公債の新規発行推移（ケース①）

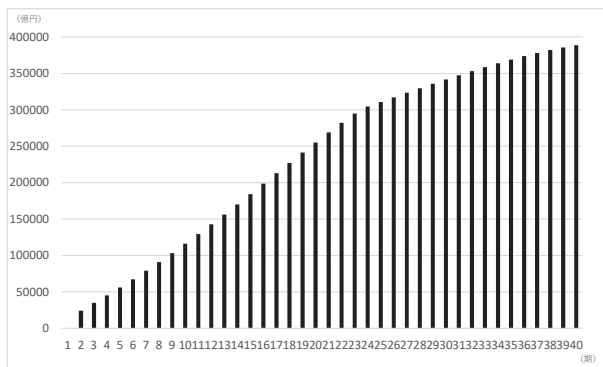


図 3.1.2 公債の累積債務残高の推移（ケース①）

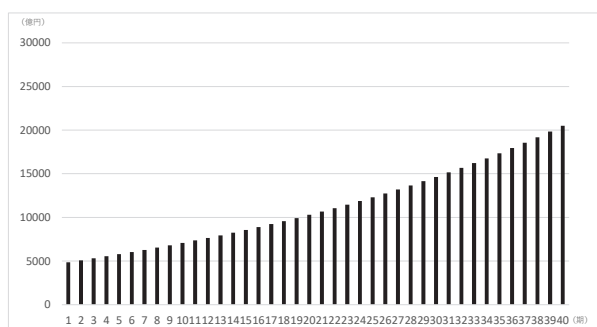


図 3.1.3 他の公共投資の推移
（ケース①：公債なし）

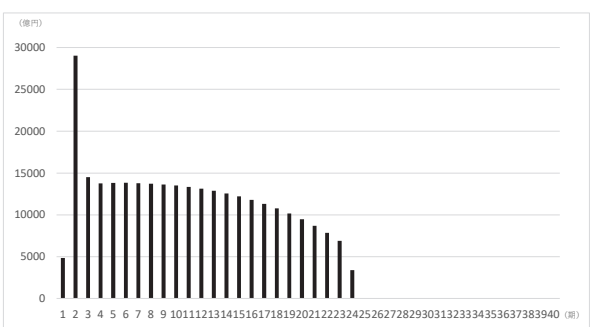


図 3.1.4 他の公共投資の推移
（ケース①：公債あり）

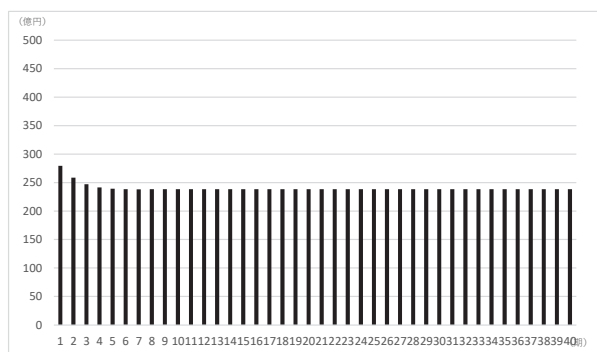


図 3.1.5 橋梁補修費用の推移
（ケース①：公債なし）

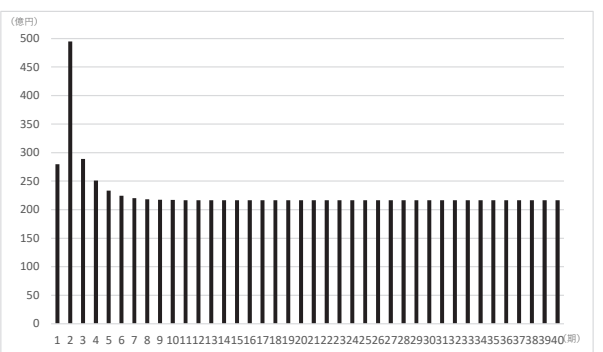


図 3.1.6 橋梁補修費用の推移
（ケース①：公債あり）

表 3.7 ケース②（初期 MCF=5.0, 時間割引率 1.2%, $\beta = 2.07$, $\eta = 1.0$ ）

【公債なし】

期			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.19	0.22	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.30	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.21	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			5.00	5.12	5.18	5.19	5.17	5.12	5.04	4.96	4.86	4.75
期			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			4.64	4.52	4.40	4.28	4.16	4.05	3.93	3.81	3.70	3.59
期			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			3.48	3.38	3.28	3.18	3.08	2.99	2.90	2.81	2.72	2.64
期			31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			2.56	2.48	2.41	2.33	2.26	2.19	2.13	2.06	2.00	1.94

【公債あり】

期			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最適	A	II	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.19	0.22	0.56	0.59	0.61	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.51	0.50	0.26	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.30	0.28	0.18	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08
	B	I	0.21	0.23	0.32	0.60	0.61	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.52	0.51	0.55	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.27	0.27	0.13	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08
MCF			5.00	4.10	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54

期			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
最適	A	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	B	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
MCF			3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.62	3.66	

期			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
最適	A	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	B	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
MCF			3.68	3.66	3.63	3.58	3.53	3.46	3.39	3.31	3.23	3.15

期			31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
最適	A	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	B	I	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
		II	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		III	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
MCF			3.07	2.99	2.91	2.83	2.75	2.68	2.60	2.53	2.45	2.38

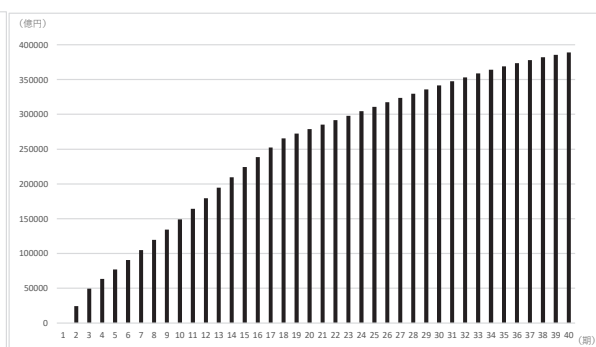
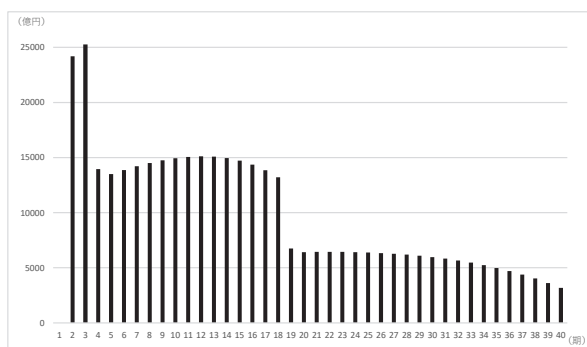


図 3.2.1 公債の新規発行推移（ケース②） 図 3.2.2 公債の累積債務残高の推移（ケース②）

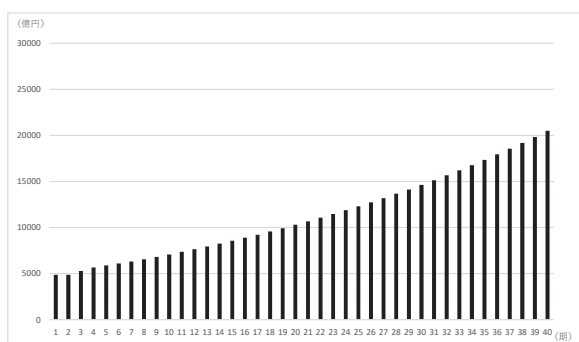


図 3.2.3 他の公共投資の推移
（ケース②：公債なし）

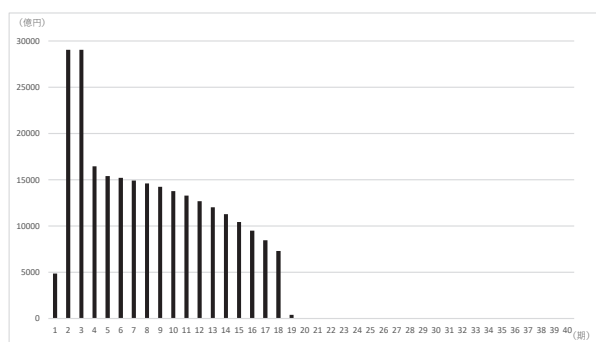


図 3.2.4 他の公共投資のの推移
（ケース②：公債あり）

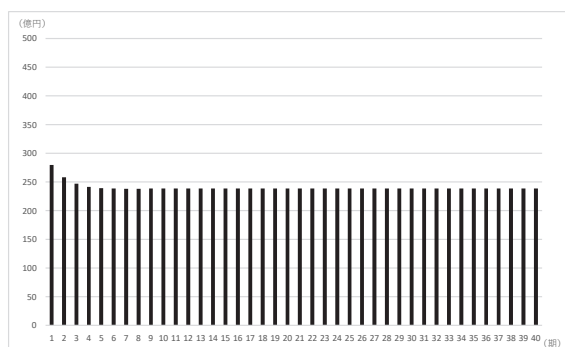


図 3.2.5 橋梁補修費用の推移
（ケース②：公債なし）

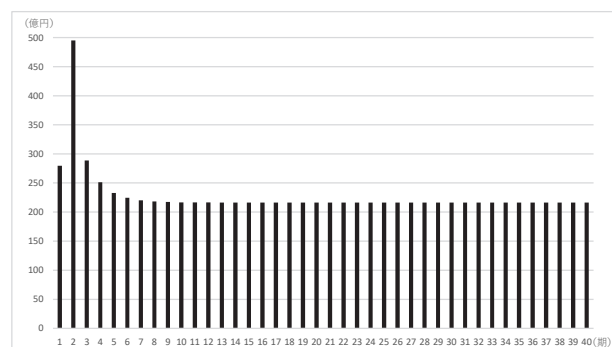


図 3.2.6 橋梁補修費用の推移
（ケース②：公債あり）

表 3.8 ケース③（初期 MCF=3.0，時間割引率 2.0%， $\beta = 2.07, \eta = 1.0$ ）

【公債なし】

期		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.19	0.22	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.30	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.21	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			3.00	3.17	3.28	3.35	3.38	3.36	3.32	3.27	3.21

期		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			3.14	3.07	2.99	2.92	2.84	2.76	2.68	2.60	2.52

期		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			2.38	2.30	2.23	2.16	2.10	2.03	1.97	1.91	1.85

期		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			1.74	1.68	1.63	1.58	1.53	1.49	1.44	1.40	1.35

【公債あり】

期		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.19	0.22	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.30	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.21	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			3.00	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75

期		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.80	2.83	2.83

期		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			2.81	2.78	2.74	2.69	2.64	2.58	2.52	2.46	2.34

期		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
最適	A	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
補修		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
割合	B	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(%)		III	50	50	50	50	50	50	50	50	50
健全度 分布	A	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	B	I	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
		II	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		III	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
MCF			2.28	2.21	2.15	2.09	2.03	1.98	1.92	1.87	1.81

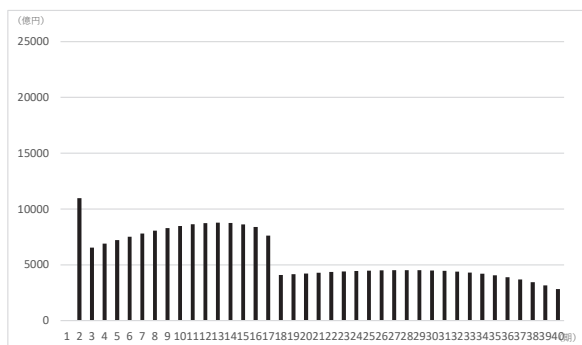


図 3.3.1 公債の新規発行推移（ケース③）

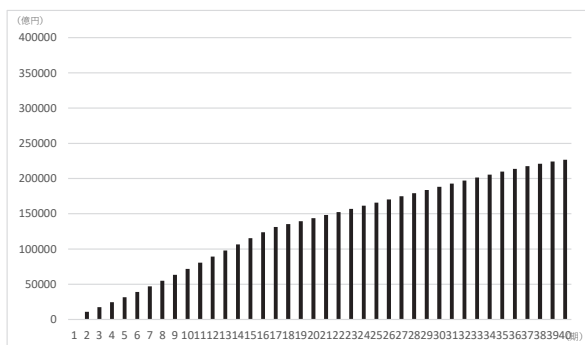


図 3.3.2 公債の累積債務残高の推移（ケース③）

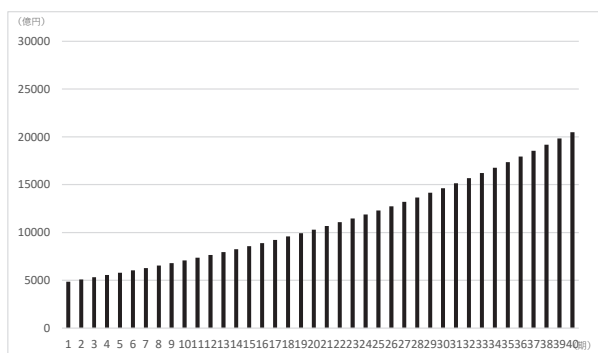


図 3.3.3 他の公共投資の推移
（ケース③：公債なし）

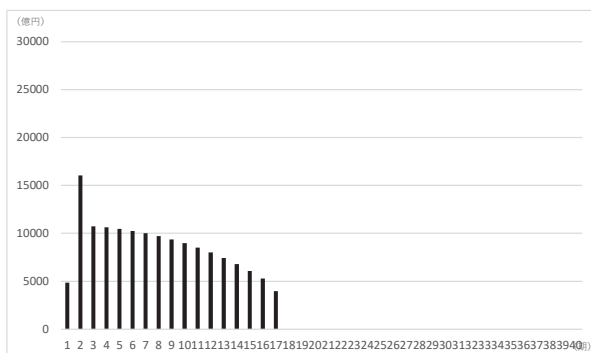


図 3.3.4 他の公共投資の推移
（ケース③：公債あり）

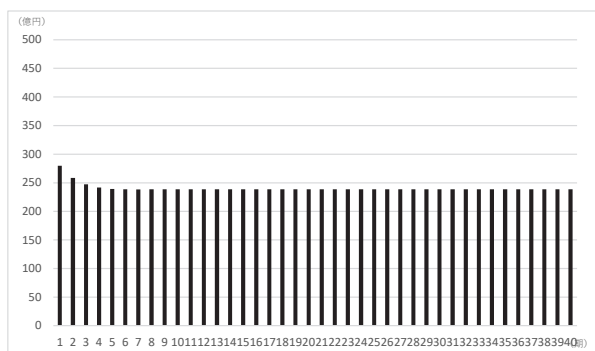


図 3.3.5 橋梁補修費用の推移
（ケース③：公債なし）

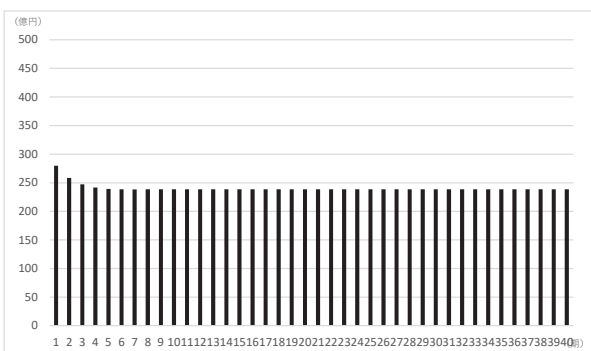


図 3.3.6 橋梁補修費用の推移
（ケース③：公債あり）

d) 主要な結果 4 : 公平性の観点について

公平性については、MCFや時間割引率の値に依らず公債の発行により、現世代の社会厚生が改善される。そして、将来世代が現世代の維持補修費を一部負担することにより将来世代と現世代の厚生之差が縮まり、維持補修費の世代間負担は公債発行により調整できる。

主要な結果 4 は公債の発行により現世代のうちに公共資本ストックを蓄積するとともに健全度Ⅲの比率を低下させるための橋梁補修への投資が可能になることにより生じる。

ケース①（時間割引率=1.2%，初期のMCF=3.0）について、世代間の公平性の評価を行うために、第2世代（2期に若年期の1期目）と100年後の世代である第22世代（22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3.9から表3.11）。公債を考慮しない場合、最適長期補修施策では計画期間内において第2世代の社会厚生は、14.250億円/世帯、第22世代の社会厚生は21.646億円/世帯となり、将来世代の効用の方が高くなる。一方、公債を考慮した場合、2期に公債を発行することにより、他の公共投資が増大し、公共資本ストックが蓄積されるため2期の社会厚生は増大する。このため、第2世代の社会厚生は、14.421億円/世帯、第22世代の社会厚生は21.449億円/世帯となり、第2世代と第22世代の一生分の効用の差は0.368億円/世帯分、公債発行により縮まる。これは、公債の発行により社会厚生が改善され、将来世代が現世代の維持補修費を一部負担を行うことにより将来世代と現世代の厚生之差が縮まっていることを示している。

また、ケース②（時間割引率=1.2%，初期のMCF=5.0）について、公債を考慮しない場合、第2世代の社会厚生は、14.625億円/世帯、第22世代の社会厚生は22.169億円/世帯となり、将来世代の方が効用が高くなる。一方、公債を考慮した場合、第2世代の社会厚生は、14.960億円/世帯、第22世代の社会厚生は21.710億円/世帯となり、第2世代と第22世代の一生分の効用の差は0.794億円/世帯分、縮まる。

ケース③（時間割引率=2.0%，初期のMCF=3.0）について、公債を考慮しない場合、第2世代の社会厚生は、12.616億円/世帯、第22世代の社会厚生は19.610億円/世帯となり、将来世代の効用の方が高くなる。一方、公債を考慮した場合、第2世代の社会厚生は12.686億円/世帯、第22世代の社会厚生は19.314億円/世帯となり、第2世代と第22世代の一生分の効用の差は0.366億円/世帯分、縮まる。

なお、ケース④（時間割引率=2.0%，初期のMCF=5.0）についても公債を考慮した場合、第2世代と第22世代の一生分の効用の差が縮まることを確認している。本数値分析は、新潟県管理橋梁のみを対象として分析している。橋梁以外にも多くの社会資本施設のメンテナンスが必要であり、これらも対象とするとさらに効果が大きくなる可能性があると考えられる。

表 3.9 効用の世代間比較（初期の MCF=3.0，時間割引率 1.2%）

	一生分の効用 (億円/世帯) 公債なし	一生分の効用 (億円/世帯) 公債あり	差
第 2 世代	14.250	14.421	0.171
第 22 世代	21.646	21.449	▲0.197
差	7.396	7.028	0.368

表 3.10 効用の世代間比較（初期の MCF=5.0，時間割引率 1.2%）

	一生分の効用 (億円/世帯) 公債なし	一生分の効用 (億円/世帯) 公債あり	差
第 2 世代	14.625	14.961	0.336
第 22 世代	22.169	21.710	▲0.459
差	7.544	6.749	0.795

表 3.11 効用の世代間比較（初期の MCF=3.0，時間割引率 2.0%）

	一生分の効用 (億円/世帯) 公債なし	一生分の効用 (億円/世帯) 公債あり	差
第 2 世代	12.616	12.686	0.070
第 22 世代	19.610	19.314	▲0.296
差	6.994	6.628	0.366

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。理論的結果として、1)公共投資規模が政府の予算執行能力の上限に達しない期では、公債残高が正である時、公債発行期間に渡ってMCFは同じ値となり、公債残高がゼロである時、MCFは前期よりも高い値となる。2)政府の予算執行能力の上限に達している期では、公債残高が正である時、MCFからシャドープライスを引いた値が、公債発行期間に渡ってMCFが同じ値になり、公債残高がゼロである時、MCFからシャドープライスを引いた値が前期よりも高い値となることが示された。

次に数値分析として、1)および2)の成立を数値的に確認した。また、時間割引率が低い時は、将来世代の厚生を相対的に重視するため、事後保全だけではなく予防保全も採用することにより、将来の補修費用の低減につながりうることが示された。

初期のMCFが高いと、他の公共投資の限界効用が高いことを意味しているため、初期に多くの公債を発行し、公共資本ストックをより多く蓄積することにつながる。このため、将来世代においては利払い費が増大し、公共事業費が利払い費と橋梁の補修費用のみになる時期が早まるため、結果としてMCFが同じ値になる期間は短縮されることが示された。

一方、時間割引率が高い時は、現世代の厚生に対して将来世代の厚生が大きく割り引かれることにより、公債の発行を考慮してもMCFの値によらず事後保全のみで行うことが最適となった。時間割引率が高くなると将来への公共資本ストックの価値が減少し、相対的に現世代の価値が重視される。このため、公債発行額も時間割引率が低い時よりも予防保全の割合が減少し、事後保全のみの施策が最適補修施策となった。

公平性の観点からは、公債の発行により社会厚生が改善され、将来世代が現世代の維持補修費を一部負担することにより将来世代と現世代の厚生の差が縮まることが示され、維持補修費の世代間負担は公債発行により調整できることが示された。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局，都市局：令和7年度道路関係予算概算要求概要，2024.8，
<https://www.mlit.go.jp/page/content/001760281.pdf>
- 2) 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/02research/02_01_01.html
- 3) 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.
- 4) 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.
 - 5) Smilowitz, K. and Madanat, S.: Optimal inspection and maintenance policies for infrastructure networks, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 15, Issue 1, pp. 5-13, 2000.
 - 6) Uddin, W., Hudson, W. R. and Haas, R.: *Public Infrastructure Asset Management*, Second Edition, McGraw Hill Professional, 2013.
 - 7) Goodman, A. S. and Hastak, M.: *Infrastructure Planning, Engineering, and Economics*, Second Edition, McGraw Hill Professional, 2015.
 - 8) Adeli, H. and Sarma, K. C.: *Cost Optimization of Structures: Fuzzy Logic, Genetic Algorithms, and Parallel Computing*, Wiley, 2006.
 - 9) 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.
 - 10) 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.
 - 11) 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.
 - 12) 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.
 - 13) Parry, I. W. H. and Bento, A.: Revenue recycling and the welfare effects of road pricing, *The Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 103, No. 4, pp. 645-671, 2001.
 - 14) 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.
 - 15) 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.
 - 16) 河野達仁, 寫万希音, 水谷大二郎: 公的資金の限界費用を内生的変化を考慮した最適補修施策, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 7, No. 4, pp.389-399, 2021.
 - 17) 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, 土木学会論文集, Vol.79, No.11, 23-00030, 2023.
 - 18) Parry, I. and K. Small :“Does Britain or The United States Have the Right Gasoline Tax?,” *American Economic Review*, 95, pp. 1276-1289.
 - 19) 川瀬晃弘: 最適課税論からみたガソリン税率—日米英比較, 日本経済研究, 62 号, pp.85-104, 2010.
 - 20) De Palma, A. and R. Lindsey : “Modeling and evaluation of road pricing in Paris,” *Transport Policy*, 13, pp. 115-126, 2006.
 - 21) 国土交通省: 「橋、高架の道路等の技術基準」(道路橋示方書) の改定について, 2017, https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000862.html
 - 22) 国土交通省道路局: 道路橋定期点検要領 (技術的助言の解説・運用標準), 2024, https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo7_6.pdf
 - 23) 国土交通省道路局: 道路メンテナンス年報, 2024, https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/r05/r05_08maint.pdf
 - 24) Kobayashi, K., Kaito, K., & Lethanh, N.: A statistical deterioration forecasting method using hidden Markov model for infrastructure management. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(4), 544-561, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.11.008>
 - 25) Saydam, D., Bocchini, P., & Frangopol, D. M.: Time-dependent risk associated with deterioration of highway bridge networks. *Engineering Structures*, 54, 221-233, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.04.009>
 - 26) Hu, X., Daganzo, C., & Madanat, S.: A reliability-based optimization scheme for maintenance management in large-scale bridge networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 55, 166-178,

2015.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.008>
- 27) Heng, J., Dong, Y., Lai, L., Zhou, Z., & Frangopol, D. M.: Digital twins-boosted intelligent maintenance of ageing bridge hangers exposed to coupled corrosion-fatigue deterioration. *Automation in Construction*, 167, 105697, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105697>
- 28) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No. 801/I-73, pp. 69-82, 2005.
- 29) Futagami Koichi, Yuichi Morita, and Akihisa Shibata. : "Dynamic analysis of an endogenous growth model with public capital." *The Scandinavian Journal of Economics*, 607-625, 1993.
- 30) Barro, R. B.: Are Government Bonds Net Wealth? , *The Journal of Political Economy*, Vol. 82, Issue 6, pp. 1095-1117, 1974.
- 31) 内閣府政策統括官 (経済システム担当): 日本の社会資本 2022, 2023,
<https://www5.cao.go.jp/keizai2/ioj/docs/pdf/ioj2022.pdf>
- 32) 江尻良, 西口志浩, 小林潔司: インフラストラクチャ会計の課題と展望, 土木学会論文集, No. 770/VI-64, pp. 15-32, 2004.9.
- 33) 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/Index.aspx? returnUrl=%2f>
- 34) 宮城県: 宮城県橋梁個別施設計画, 2023,
<https://www.pref.miyagi.jp/documents/20930/1.pdf>
- 35) 宮城県: 宮城県第3次橋梁長寿命化計画, 2019,
<https://www.pref.miyagi.jp/documents/20930/728771.pdf>
- 36) 新潟県: 新潟県道路施設維持管理計画書, 2023,
<https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/3570575.pdf>
- 37) 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/>
- 38) 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/p1007/results.html
- 39) 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/>
- 40) 財務省: 国債金利情報, 2022,
https://www.mof.go.jp/jgbs/reference/interest_rate/index.htm
- 41) 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/20200420sityousonminnenpou.html>
- 42) 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
- 43) 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&ccle=0&year=20200&month=24101210&tccl=000001136466>
- 44) 新潟県: 新潟県報号外別冊 財政事情, 2020.12,
https://kenpo.pref.niigata.lg.jp/bn/R02_12/1218_g1/
- 45) 総務省: 令和6年度版地方財政白書, 2024.3, https://www.soumu.go.jp/main_content/000936748.pdf
- 46) 内閣府: 固定資本ストック速報, 2024.7,
https://www.esri.cao.jp/jp/sna/sonota/kotei/kotei_top.html
- 47) 国土交通省: 令和6年度予算に向けた個別公共事業評価 (その2) について, 2024,
https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo11_hh_000140.html
- 48) 内閣府経済社会総合研究所: 国民経済計算 (GDP 統計) 2023年10-12月期・1次速報, 2024,
https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/sokuhou/files/2023/qe234/pdf/jikei_1.pdf

- 49) 新潟県：令和 3 年度県民経済計算，2023，<https://www.pref.niigata.lg.jp/site/tokei/1356909743454.html>
- 50) 新潟県：令和 5 年度当初予算の概要，2023，<https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/zaisei/r5tousho.html>

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-922 「公的資金の財政制約を考慮した道路橋メンテナンスと
公債発行による動学的最適化」

道路維持補修の効率的財源調達方法：
動学モデルと統計分析による検討プロジェクト

2025 年 9 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会