

# 持続可能な道路維持管理のための 適正課税水準の検討

遠山 寛人<sup>1</sup>・武藤 慎一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 山梨大学 工学部土木環境工学科 (〒400-8511 山梨県甲府市武田四丁目3-11)  
E-mail:t17ce041@yamanashi.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 山梨大学准教授 工学部土木環境工学科 (〒400-8511 山梨県甲府市武田四丁目3-11)  
E-mail:smutoh@yamanashi.ac.jp

一般道路の維持管理費用は全国的に増加傾向にあり、今後は予算不足が懸念される。そのため、将来の費用低減と安定した財源調達方法の確立が課題となるが、それを実現するためには、将来必要とされる予算、および、インフラ構造物の劣化状況を把握することが求められる。そこで本研究では、山梨県甲府都市圏を対象に、将来の道路構造物の劣化状況の把握と維持管理費用の推計、さらにその費用を調達するための具体的な課税方法の検討を行った。ここで、本研究では従来の燃料税による費用調達に加え、他の税金による費用調達の適用可能性についても検討するとともに、社会経済への影響がより低減される課税方法を選択することにした。

**Key Words** : sustainable maintenance, financing, degradation prediction, taxation method, deadweight loss

## 1. はじめに

日本の道路インフラは新規建設時代から維持更新時代へと移行してきており、国や地方公共団体が管理する一般道路でも、維持管理・更新費用は増加傾向にある。国土交通省の推計では、国土交通省所管の道路維持管理・更新費用は増加を続け、2034年ごろには2018年度(1.9兆円)のおよそ1.5倍(2.8~2.9兆円)に達すると予想されている<sup>1)</sup>。しかし、予算の大幅な増加が見込めないのが現状である。

これを踏まえて、道路の維持・修繕にかかわる費用の低減を目的として、全国的に維持管理方法を事後保全型から予防保全型へと移行する取り組みが少しずつみられるようになった。これにより従来の管理方法と比較して、30年後にはおよそ5割の費用が削減できると予測され、構造物のライフサイクルコストの大幅な低減が期待されている<sup>2)</sup>。しかしこの予防保全を確実に実行するには、構造物の劣化状況を把握したうえで、将来の維持管理費用を正確に把握する必要がある。

また、予防保全を行うとしても、多くの構造物を同時に更新しなければならない場合、財源調達が困難になる恐れがあることから、今後の道路財源の調達方法も課題となる。現在、一般道路の道路費用は主に燃料税等で賄われている。今後、予算確保がより一層難しくなること

を考慮すると、増税策による新たな負担を求めるか、すべての道路の維持・修繕をあきらめるか、など、いくつかの選択肢が出てくる。あるいは、これらの選択肢をバランスよく組み合わせる方法を検討することが必要になると考えられる。しかし日本においては、これからの時代に対応した具体的な財源調達手法が確立していない。

そこで本研究では甲府都市圏の道路橋を対象に劣化予測モデルを構築し、予防保全型管理における将来の年度別の維持・修繕費用推計を行う。さらに、その費用を持続的に調達していくためのより良い財源調達方法を提案する。ここで、本研究が目標とする最適な財源調達とは、新たな課税により発生する経済損失をできる限り抑えたいうえで費用を調達することである。本研究では、社会経済への影響がより低減される課税方法の選択を提示する。

## 2. 甲府都市圏の橋梁劣化の現状と橋梁劣化予測モデルの構築

### (1) 本研究の対象地域における維持管理の現状

#### a) 甲府都市圏

本研究では、甲府市、甲斐市、笛吹市、中央市、山梨市、韮崎市、南アルプス市、昭和町、市川三郷町の7市2町を甲府都市圏としている(図-2.1)。上記の市町は甲府

盆地内に位置し、経済的に密着しているほか、域内間の交通量も比較的多い。この甲府都市圏を対象に構造物の劣化予測および維持管理費用の推計を行う。

b) 橋梁劣化の現状

図-2.2は、法定点検1巡目（平成26~30年度）における甲府都市圏内の県、市町管理の橋梁健全度<sup>2)</sup>を、表-2.1の区分で建設年次ごとにまとめたものである。なお、建設年次が不明となっている橋梁も多く、それらはその年の最も古い年次に建設されたとする。この図から、高度経済成長期以降に建設数が急増し、それに伴い早期措置段階（判定区分Ⅲ）あるいは予防保全段階（判定区分Ⅱ）のものが多く存在することが分かり、今後これらが一斉に老朽化した場合、補修数が短期間で急増することが予測される。

また、図-2.3は道路統計年報2010~2020<sup>4)</sup>をもとに甲府都市圏の県、市町管理の道路総費用および橋梁補修費用の推移を表したものである。ここで、甲府都市圏対象の費用データは存在しないため、山梨県全域の費用を甲府都市圏の域内と域外の橋梁数で按分することにより算出している。図-2.3より、近年は総費用が160億円程度、橋梁補修費用が21億円程度であり、いずれも大きな増減はみられない。しかし、先述の老朽化構造物の増加により、今後は維持管理費用が増加することが予想される。

以上を踏まえ、山梨県においてもライフサイクルコスト低減および補修橋梁数の平準化の観点から、早期措置の重要性が高まると考えられる。

c) 山梨県の橋梁維持管理の取り組み

山梨県では、アセットマネジメントの考えをもとに戦略的に維持管理を行うため、2010年に橋梁長寿命化実施計画<sup>5)</sup>を策定し、2011年度より計画に沿った点検・補修を進めてきた。計画では年間25億円を投じ、補修・補強・点検を行うとしたが、実際にはそれ以上の予算を要した一方で、橋梁の耐震化に重点が置かれたこと、補修・補強・点検にかかる単価が上昇したことなどが原因で、計画通り進捗していない点が課題となった。

そこで、計画策定から10年が経過した2020年に計画の見直しが行われた。そこでは、修繕時期や費用の改訂だ

けでなく、ミニマムメンテナンスブリッジ化や新技術の導入など、新たな知見を踏まえて多くの費用削減化施策を取り入れている。しかし構造物の劣化予測に関しては、それまで用いられてきた県独自の劣化曲線の妥当性を判

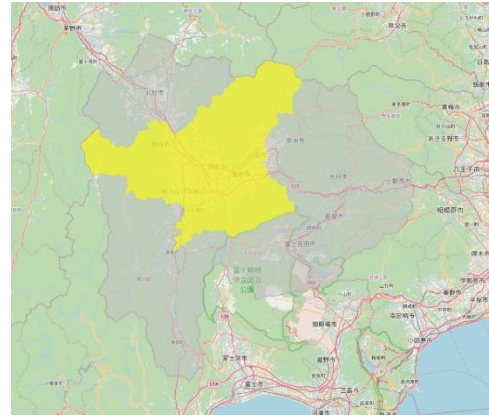


図-2.1 甲府都市圏 [黄色着色部分]

表-2.1 橋梁健全性の判定区分<sup>3)</sup>

区分		定義
I	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	道路橋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。

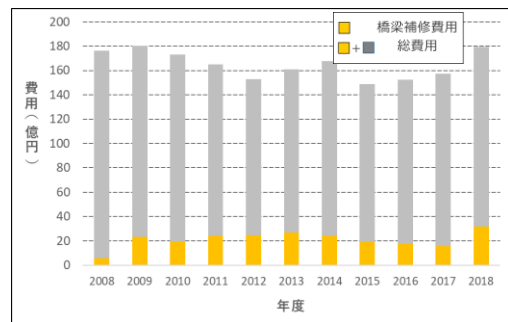


図-2.3 甲府都市圏の県、市町管理の橋梁補修費用と総費用の推移

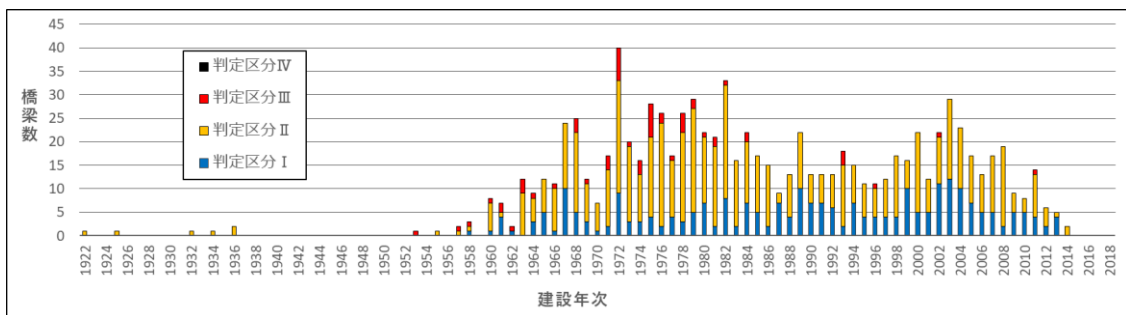


図-2.2 甲府都市圏内の橋梁定期点検結果

断する有意なデータが蓄積されていないとして、見直しが行われていない。

(2) 橋梁劣化予測モデルの構築

a) 劣化予測モデルの概要

土木構造物の劣化予測モデルに関する研究は数多く蓄積している、その予測手法にはさまざまなものがある。

表-2.2は、各劣化予測手法の特徴<sup>6)</sup>をまとめたものである。

このうち、先行研究および本研究では確率論的手法を使用している。本研究で算出する維持管理費用の推計値は、今後の長期的な維持管理計画の立案・提言に利用するものである点、さらに、現在の各橋梁の劣化要因までは把握できないことに加え、個々の劣化要因の進行メカニズム等の予測までは必要としていない点を考慮し、確率論的手法の使用が妥当であると判断した。

また、確率論的手法では、マルコフ遷移確率を推定する方法として、ハザードモデル、二乗誤差最小モデル、数え上げモデルといった手法がある。表-2.3は、近田ら<sup>7)</sup>の考察をもとに各推定方法の特徴をまとめたものである。

近田らは、各モデルの特徴およびデータの蓄積が十分でないことを考慮して、現時点では二乗誤差最小モデルが最適であるという結論を出している。そのため、本研究でも二乗誤差最小モデルから推定した遷移確率を使用

している。

b) 先行研究

内山ら<sup>8)</sup>は、上記の二乗誤差最小モデルを用いて、実際の橋梁定期点検データよりマルコフモデルを推定し、これより平均的な床版の劣化曲線を得ている。さらに、実データより大型車・普通車交通量の影響、飛来塩分量による影響を算出し、劣化要因変数として推定したマルコフモデルに順次導入することで、複数の劣化要因を考慮した統合モデルを構築し、個々の橋梁に対応した劣化予測を行うことが可能となった。

これを踏まえて小松<sup>9)</sup>は、内山らのモデルを甲府都市

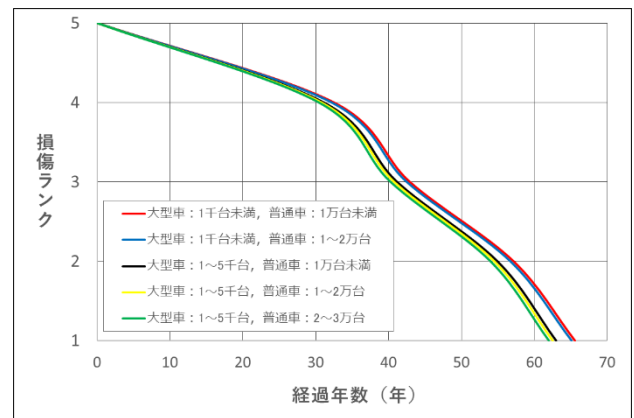


図-2.4 交通量別劣化曲線

表-2.2 劣化予測手法

	概要	適用	長所	短所
回帰分析法	蓄積された経年的なデータを活用し、現在までの劣化状態の推移より、将来の劣化状態を予測する方法。	経年的に劣化する材料等に適用できる。また十分な量のデータを必要とする。	経年的に蓄積されたデータを活用するため、対象とする各資産の将来の状態を予測することが可能である。	データ数が少ないと予測した状態と実劣化状態のバラツキが避けられない。
理論的手法	理論的に劣化要因の進行メカニズムが解明され、材料・構造・荷重・環境条件により、理論式に基づいて将来的な状態を予測する方法。	コンクリートの中性化や塩害によるひび割れ、鋼材腐食、鋼材の疲労による亀裂など	メカニズムが解明されている劣化については、経年的なデータの有無に関わらず、与条件により将来的な劣化予測が可能である。	現時点では、メカニズムが確認されていないものも多く、また劣化の要因が複合した場合の対応が困難である。
確率論的手法	マルコフ過程に代表されるように、確率論的に将来の劣化状態を予測する方法。	突発的な損傷や、資産群のマネジメントにおける予算確保・配分への適用などがある。	中長期的な計画の立案など、精緻な精度を必要としない予測を行う場合には適用性が高い。	精緻な精度を求められる場合は適用が困難である。また、劣化要因を特定しないため、想定した対策法が現実と剥離する可能性がある。

表-2.3 マルコフ遷移確率の推定方法

	概要	点検データが十分に与えられる場合	点検データが十分に与えられない場合	やや複雑な遷移確率行列を設定した場合
ハザードモデル	寿命関数を用いて遷移確率を推定する手法。	正しく遷移確率を推定することができる。	推定値の平均値は若干のずれ(バイアス)が生じる。ただ、このことが低健全性の遷移推定精度の改善につながる。	ある程度時間ステップが進行した時点で遷移確率が変化する場合でも、同様の推定ができる。
二乗誤差最小モデル	遷移確率を変数とした推定値と観測値の残差平方和を目的関数として設定し、最小化する方法。		推定値の平均値は正しく推定できる。	
数え上げモデル	同一点検間隔ごとの遷移確率を推定したのち、点検間隔に対して平均化操作することで単位検査結果年の遷移確率を推定する手法。		過大な推定をする可能性がある。	

圏の橋梁に適用して床版の劣化予測モデルを構築し、大型車・普通車交通量を劣化要因変数として、交通量ごとに劣化曲線を作成した(図-2.4)。これより、各橋梁の劣化状況の予測および補修が必要になるまでの年数の予測が可能となった。ここで、表-2.1では健全性区分を健全な状態からⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳとしているが、本研究の劣化予測では内山らの損傷ランク区分にならない表-2.4のように健全な状態から順に5,4, …, 1と定義している。

以下、内山らのモデルの詳細を示す。はじめに、 $y_t$ を時点 $t$  ( $0 \leq t \leq T$ )における損傷状態 $i$ のデータとし、それらを要素とする確率ベクトルを $y_t$ で表す。ここで、 $y_t$ が推移確率行列 $\mathbf{P} = (p_{ij})$ を持つマルコフ連鎖の時点 $t$ における分布を正しく表しているとするれば、 $y_t = y_{t-1}\mathbf{P}$ となっている。そこで、 $1 \leq t \leq T$ のすべての $t$ について $y_t - y_{t-1}\mathbf{P}$ の各要素の、最小二乗和となる $\mathbf{P}$ を選べば、真の推移確率行列の推定値が得られることが期待される。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^s \left[ y_{tj} - \sum_{i=1}^s y_{t-1,i} p_{ij} \right]^2 \quad (1)$$

ここで、式(1)を最小にするように $p_{ij}$ を決める。その結果、 $\mathbf{Y} = \mathbf{Z}\mathbf{P}$ が得られることから、

$$\hat{\mathbf{P}} = \mathbf{Z}^{-1}\mathbf{Y} \quad (2)$$

によって推移確率を推定することができる。ただし、 $\mathbf{Y} = \sum_t y_{t-1,i} y_{ti}$ 、 $\mathbf{Z} = \sum_t y_{t-1,i} y_{t-1,j}$ 。

しかし推移確率行列は、離散時点での損傷ランク分布より推定していることから、劣化状態が回復する確率も含まれているため、劣化現象を正確に捉えていない。そこで、劣化が状態 $i$ にとどまるか次の状態 $j$ へのみ移行するという制約条件を導入する。

$$p_{kh} = 0 \quad (k, h) \in J$$

$$\sum_{j=1}^s p_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

式(3)の制約条件のもとで式(1)を最小にする $p_{ij}$ が、ラグランジュ未定乗数法により求められる。これを東京都における実データを適用して求めた推移行列が以下である。

	5	4	3	2	1
5	0.8165	0.1783	0.0	0.0064	0.0
4	0.0	0.4322	0.5397	0.0297	0.0
3	0.0	0.0	0.6159	0.3872	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.3247	0.6782
1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

次に、用いた橋梁データを表-2.5の普通車・大型車別で交通量区分ごとに整理し、実データより交通量別の影響を算出したうえでこのマルコフモデルに導入する。具体的には、ある時点での損傷ランク分布より交通量によ

表-2.4 橋梁点検区分と劣化予測時の区分の関係

	点検区分	劣化予測区分
健全	Ⅰ	5
予防保全段階	Ⅱ	4
		3
早期措置段階	Ⅲ	2
緊急措置段階	Ⅳ	1

表-2.5 交通量区分

普通車 [台/12h]	大型車 [台/24h]
10000台未満	1000台未満
10000~20000台未満	1000~5000台未満
20000~30000台未満	5000~10000台未満
30000~40000台未満	10000台以上
40000台以上	

表-2.6 橋梁点検区分と劣化予測時の区分の関係

大型車	$\gamma(5)$	$\gamma(4)$	$\gamma(3)$	$\gamma(2)$	$\gamma(1)$
1千 [台/24h] 未満	0.130	0.101	0.101	0.136	0.250
1千~5千 [台/24h] 未満	0.087	0.067	0.067	0.091	0.218
5千~1万 [台/24h] 未満	0.055	0.042	0.042	0.057	0.109
1万 [台/24h] 以上	0.162	0.126	0.126	0.170	0.359

普通車	$\gamma(5)$	$\gamma(4)$	$\gamma(3)$	$\gamma(2)$	$\gamma(1)$
1万 [台/12h] 未満	0.187	0.184	0.033	0.041	0.200
1万~2万 [台/12h] 未満	0.104	0.104	0.019	0.023	0.200
2万~3万 [台/12h] 未満	0.005	0.000	0.000	0.000	0.039
3万~4万 [台/12h] 未満	0.086	0.078	0.014	0.017	0.102
4万 [台/12h] 以上	0.200	0.210	0.037	0.046	0.337

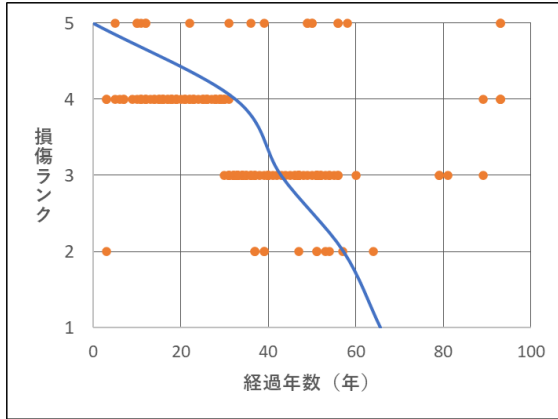
る劣化の影響を大型車、普通車別に算出する。ただ、線形で表現される現象しか取り込めないという変数マルコフモデルの特徴から、交通量区分による損傷ランクの分布を線形近似し、さらに交通量区分による劣化の影響を表す確率を算出し、これを劣化要因変数 $\gamma$ とする(表-2.6)。ここでは、全データの大型車、普通車の平均値より、交通量の少ない区分では $\gamma$ を劣化が滞在するように、交通量の多い区分では劣化が進行するように導入する。前者を滞在型マルコフモデル、後者を進行型マルコフモデルとしている。

続いて、普通車と大型車の複合劣化要因変数を導入する。普通車・大型車の影響の合成は、それぞれの重量を荷重と考え重み付けをする。車両総重量の比は、普通車：大型車=0.11：0.89 とすると、交通量の劣化要因変数は以下ようになる。

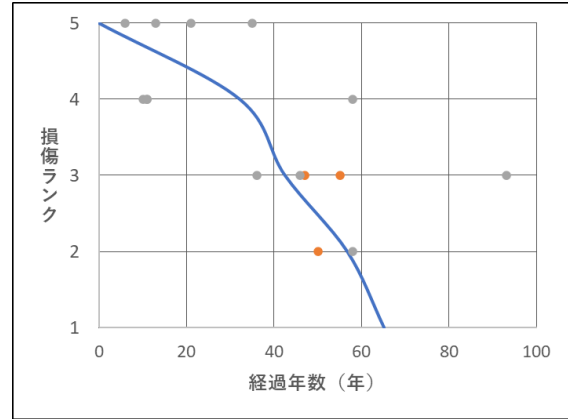
$$\gamma_{k, j} = 0.11\gamma_{n, j} + 0.89\gamma_{b, j} \quad (4)$$

ただし、 $\gamma_{k, j}$ ：交通量による劣化要因変数、 $\gamma_{n, j}$ ：普通車交通量による劣化要因変数、 $\gamma_{b, j}$ ：大型車交通量による劣化要因変数。

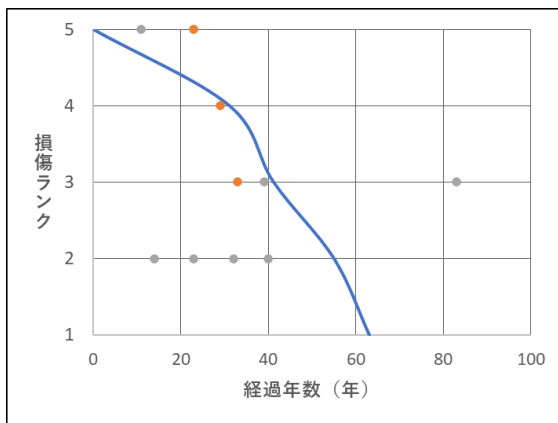
最後に、劣化要因変数をもとに劣化曲線を作成する。



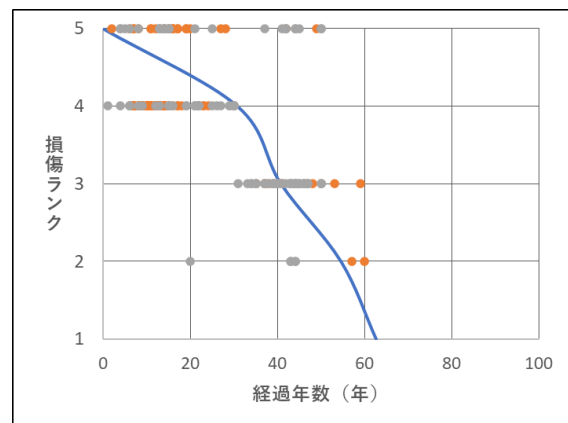
① 大型車1千台未満、普通車1万台未満



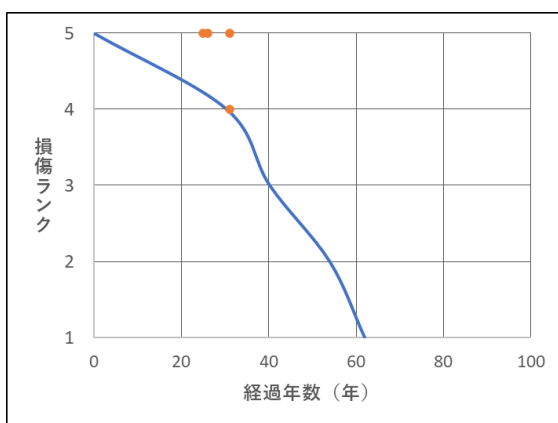
② 大型車1千台未満、普通車1~2万台



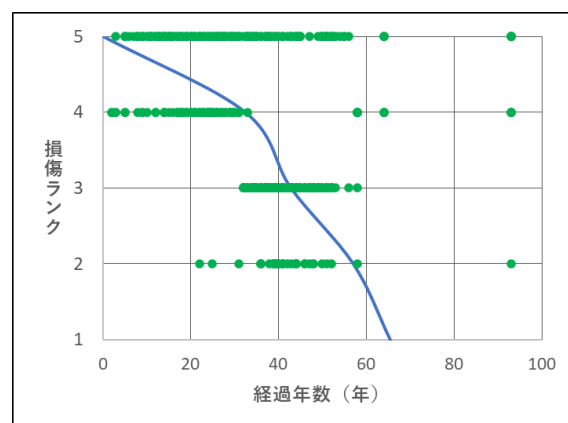
③ 大型車1~5千台、普通車1万台未満



④ 大型車1~5千台、普通車1~2万台



⑤ 大型車1~5千台、普通車2~3万台



⑥



図-2.5 ①～⑤：山梨県管理（国道・県道）の橋梁点検データと交通量別劣化曲線との関係性

⑥：市町管理の橋梁点検データと劣化曲線との関係性

構築したマルコフモデルから損傷ランクが1つ下がるごとの期待値寿命 $P_{i, i-1}$ をそれぞれ求めた後、検査間隔 $n$ で除して故障率を求める。

$$\lambda_{i, i-1} = \frac{P_{i, i-1}}{n} \quad (5)$$

なお、定期点検の検査間隔は5年に1度であるため、 $n = 5$ である。そして、確率の逆数より寿命が求まる。

$$\tau_{i, i-1} = \frac{1}{\lambda_{i, i-1}} \quad (6)$$

以上より、図-2.4のような普通車・大型車交通量を考慮した劣化曲線が作成できる。

c) 既存劣化予測モデルと点検データの整合性の検討

前項では、内山らの橋梁劣化予測モデルを取り上げたが、甲府都市圏内の橋梁への適用可能性を検討する必要がある。そこで、はじめに既存劣化曲線と(1)b)で示した点検データの分布を比較し、劣化曲線が実データに沿ったものであるかを確認した。図-2.5は、その劣化曲線と点検データの分布を通過交通量ごとに表したものであり、各橋梁の通過交通量は、平成27年度 全国道路・街路交通情勢調査(道路交通センサス)<sup>10)</sup>の24時間自動車類交通量(上下合計)の路線平均値を使用している。なお、⑥の市町管理橋梁に関しては、市町道の交通量データが十分に得られないことから、交通量が最も少ない区分と仮定した劣化曲線を使用している。

図-2.5を参照すると、点検データが曲線付近に分布するものが多いが、曲線から離れて分布するものも多い。また、データが曲線に沿ったものであったとしても、橋梁劣化には不確実性要素も多く、将来も曲線通りに劣化が進行するとは限らない。そのため、この曲線を用いて劣化予測を行うことは適切ではなく、個々の橋梁ごとに劣化要因を丁寧に分析し、劣化曲線を作成すべきとの指摘もある。しかし、現在の定期点検データからは、主に個々の橋梁の架設年度、点検時の総合的な健全性判定区分、橋長・幅員、管理者といった基礎情報しか得られず、各部材の損傷状況、過去の修繕履歴、詳細な所在地などは得られないことから、現時点では個々の橋梁ごとに劣化予測を行うことは難しい。それに加えて、本研究の目的は、各年度で発生する費用の概算値を把握することであり、個々の橋梁の劣化状況把握や費用算出は必ずしも必要ではない。したがって、劣化曲線がデータ分布の中央付近に通るものが多く、平均費用算出時に各年度で費用が大きく外れることは考えにくいことを考慮すると、これらの劣化曲線を用いて劣化予測を行うことはおおむね妥当であると判断した。

3. 劣化予測と維持修繕費用推計

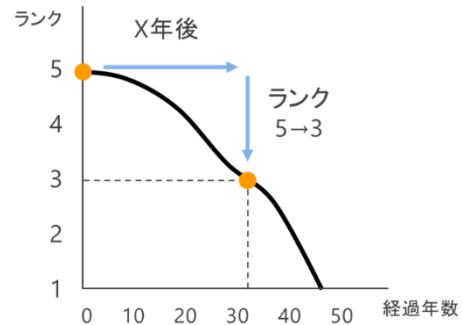


図-3.1 修繕時期の推定イメージ (予防保全型管理の場合の例)

表-3.1 管理方法別修繕単価

事後保全型	128 (千円/m <sup>2</sup> )
予防保全型	48 (千円/m <sup>2</sup> )

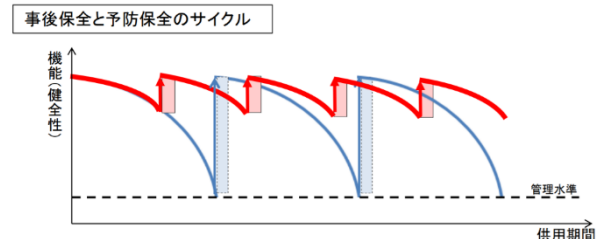


図-3.2 事後保全型管理と予防保全型管理の修繕時期と健全度のイメージ図

[赤：予防保全型の場合、青：事後保全型の場合]

出典：国土交通省「インフラ長寿命化とデータ利活用に向けた取組」

(1) 対象構造物

劣化予測および維持修繕費用推計にあたり、本研究では、甲府都市圏内の県と市町管理の橋梁のうち、橋長15m以上の938橋を対象とする。

(2) 修繕費用の推計方法

まず、先述の劣化曲線に基づき橋梁ごとに修繕時期を推計する。ここでは、架設年度をランク5とし、いずれの橋梁もランク1まで曲線通りに劣化が進行すると仮定している。修繕時期は表-2.4を参考に、予防保全型管理を行う場合はランク3、事後保全型管理を行う場合はランク2に到達した年度とする。

続いて、年度ごとに修繕する橋梁数を推計し、それに平均単価を乗じて年間費用を算出する。なお、平均単価は貝戸ら<sup>11)</sup>が示す単価を使用している(表-3.1)。図-3.2のように、事後保全型と予防保全型では構造物の修繕規模や間隔が大きく異なることから、平均単価も大きく差

が開く。この単価と1橋あたりの平均面積（565m<sup>2</sup>）を用いると、1橋あたりの修繕費用は、事後保全型で723万円、予防保全型で271万円ほどとなる。

**(3) 推計条件**

修繕費用は、表-3.2の条件で推計する。ケース2は、予防保全型管理を取り入れる場合の費用推計であり、5.での適正費用負担方法の検討の際に利用するものである。ここで、ケース2では、2020年度までを事後保全型、2021年度からは予防保全型の管理としているが、これは、山梨県が2020年度までに損傷が激しい橋梁を集中的に補修し、それが終わり次第、予防保全型に移行するとしていることから、本研究でもそれに従って推計している。一方でケース1は、従来の事後保全型で管理する場合の費用推計であり、ケース2の比較対照としている。

推計期間は、いずれのケースも2011年から2110年までの100年間としている。

**(4) 推計結果**

まず、2008年から2018年までは観測データが存在するため、推計結果との比較を行う。図-3.3は、図-2.3の橋梁補修費用の実測データと本研究の橋梁補修費用推計を比較したものである。この期間においては、本研究の推計費用が実際にかかった費用に比べて大幅に小さいことが分かり、現況再現が取れているとは考えにくい。ただ現時点ではこの11年間しか比較できず、これ以降の期間における推計結果の妥当性について検討できないことから、今後のデータの蓄積が待たれるところである。

そして、(3)の2ケースの推計結果を表-3.3、図-3.4に示した。表-3.3は100年間の総費用、図-3.4は年度別修繕費用の推移を表している。表-3.3の削減率は、従来の事後保全型管理の総費用と比較して予防保全型管理で削減された費用の割合を示しており、ケース2は、ケース1の36.2%の費用が削減できることが分かる。つまり、今後本格的に予防保全を導入する場合、事後保全型管理の場合のお

よそ63%の費用で修繕が可能であることを明らかにした。また、表-3.3の最下欄は、山梨県橋梁長寿命化実施計画において山梨県が公表している削減率であり、これによると、およそ44%の費用削減が可能であることを示している。本研究の推計が山梨県の推計に近い結果となった。したがって、本研究のように費用の概算値を算出するの

表-3.2 推計条件

	管理方法	推計期間
<b>ケース1</b> [従来の修繕]	事後保全型	2011年～2110年 (100年間)
<b>ケース2</b> [予防保全を導入]	～2020年度 事後保全型 2021年度～ 事後保全→ <b>予防保全</b>	

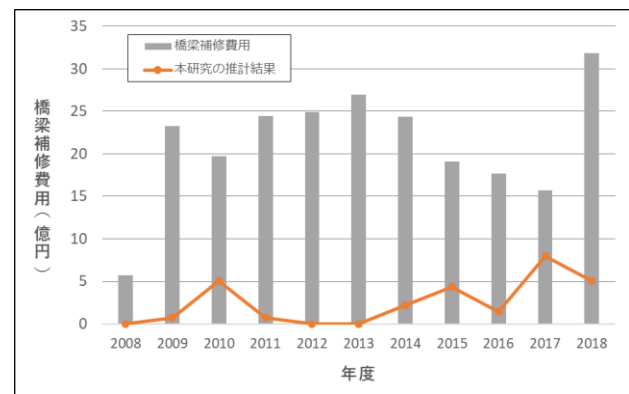


図-3.3 実際の補修費用の推移と本研究の費用の推移

表-3.3 100年間の総費用と削減率

	ケース1	ケース2
費用	1,186 億円 ※	756 億円
削減率 [※を基準]	—	36.2%
削減率 [山梨県推計]	—	44%

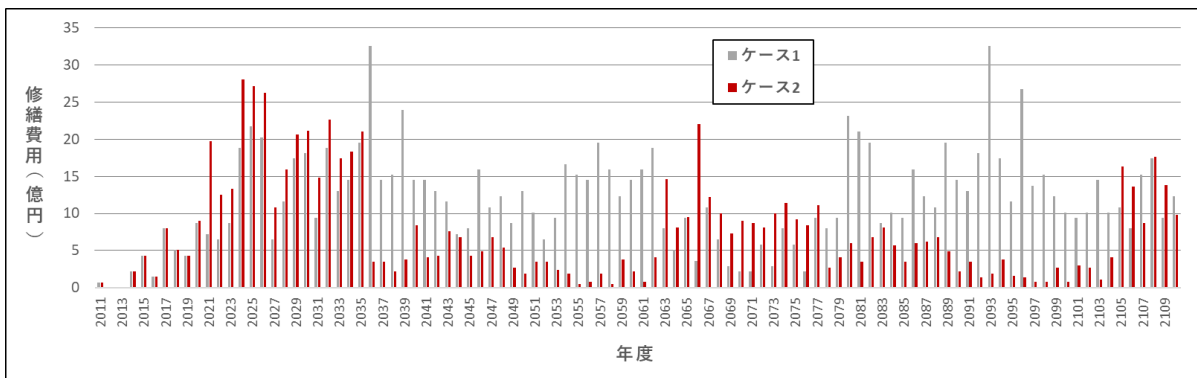


図-3.4 修繕費用の推移

みの目的であれば、この推計手法は妥当であると考えられる。

続いて各ケースの費用の分布を詳しく分析する。従来の管理方法であるケース1では、2021年度以降も一定の周期で費用が発生することが読み取れる。一方でケース2では、2021年度から2035年度までの15年間で費用が急増し、ピーク時には20億円を大幅に超過する年度が連続するなど、ケース1よりも費用が多く発生する。しかしその後は費用が急激に減少し、費用のピークも比較的小さい。これは、2021年度から予防保全を取り入れているものの、2035年まではランク2の全橋梁の修繕が終了していないと予測し、一部の橋梁は事後保全型で修繕を行うとしているからである。よって、予防保全型を始めてしばらくの期間は費用が大きく増加することも、本研究の推計でわかった。

#### 4. 道路財源の現状と適正課税方法の検討

##### (1) はじめに

国や地方公共団体が管理する一般道路の財源は、主に燃料税などの税金を基本としている。しかし1.で示した通り、今後は税収の不足により持続的な維持管理が困難になることが予測されるため、安定した財源調達方法の確立が求められる。そこで(2)では、現在の燃料税等の税収の現状について示し、それを踏まえて(3)~(5)では、不足する税収の適切な徴収方法について経済学的な面からも評価を行う。

##### (2) 道路予算の現状

図-2.3 より、2018年度の甲府都市圏内の県、市町管理の橋梁補修費用はおよそ31.9億円である。また、道路統計年報2020(平成30年度の道路事業費)<sup>4)</sup>より、山梨県全体の総費用は1,014億円、このうち橋梁補修が64.3億円であることから、県内の総道路費用に対する橋梁補修費用の割合は6.35%であることが分かる。そのため、甲府都市圏においても橋梁補修費用は道路費用全体の6.35%であると仮定する。

一方、後述((5) a))の甲府都市圏の産業連関表より、石油製品の域内総需要額は707.0億円である。また、2011年の全国の産業連関表<sup>12)</sup>より、石油製品部門の国内生産額に対する純間接税率は21.83%である。ここで、甲府都市圏においても石油製品にかかる純間接税率が全国のものと同じであるとすれば、甲府都市圏での石油製品の税支払い額は154.3億円となる。つまり、現在の甲府都市圏内の燃料税等の支払いは154.3億円とみなすことができる。この税収に橋梁補修の比率6.35%を乗じた予算、すなわち9.8億円程度が、2018年度に橋梁補修へ投入さ

れた予算であると仮定する。

したがって、費用と予算の差額(31.9 - 9.8 = 22.1(億円))が2018年度の税収の不足分である。

しかし、現在の道路財源は一般財源化されており、道路税収すべてが道路事業に活用されているかについては不明である。また、不足分が発生する場合は他の一般財源から調達されていると考えられる。そのため、本来は道路事業への燃料税や他の税金の流れについても考慮すべきであるが、詳細までは把握できないため、現在の燃料税収は基本的に道路事業に充てられていると仮定する。

##### (3) 課税による経済損失の発生

本研究における適正費用負担の導入とは、現在の財源調達で発生する経済損失(死荷重損失)をできる限り低減させようと十分な税収入を確保することである。ここで、経済損失とは、課税等の政策により発生する、財・サービスの取引から得られる社会全体の便益(総余剰)の減少分を指す<sup>13)</sup>。

図-4.1は、課税なしの場合の財・サービスの市場の均衡状態を表したものである。市場価格と需要曲線で囲ま

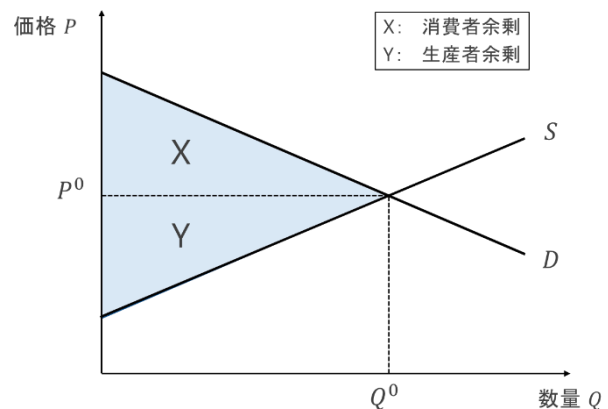


図-4.1 課税前の市場の均衡状態

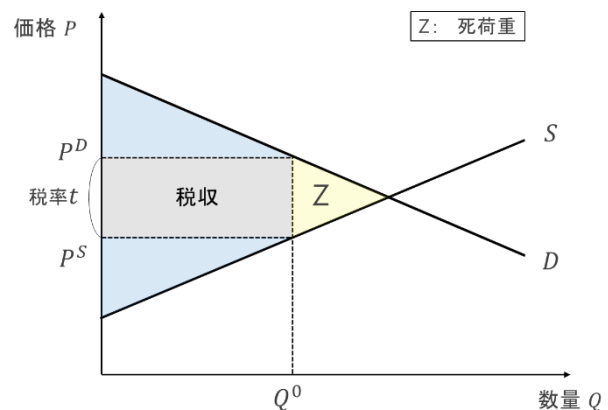


図-4.2 間接税下の市場の均衡状態



れた領域  $X$  が、市場取引から消費者が得る便益であり、これを消費者余剰という。同様に、市場価格と供給曲線で囲まれた領域  $Y$  が、市場取引から生産者が得る便益であり、これを生産者余剰という。この消費者余剰と生産者余剰の合計（領域  $X+Y$ ）を総余剰といい、この財の取引によって社会全体が総余剰の分だけ便益を得ていることになる。

ここで、間接税がかかると、消費者が支払う価格が税金の分だけ生産者が受け取る価格より高くなる。間接税のかけ方には2種類あり、消費者が支払う価格を  $P^D$ 、生産者が受け取る価格を  $P^S$ 、税率を  $t$  で表すと、

$$P^D = P^S + t \quad (7)$$

で表されているものを従量税という。これは、財1単位当たり課税する方法であり、燃料税各種がこれにあたる。一方、

$$P^D = P^S(1 + t) \quad (8)$$

で表されているものを従価税といい、これは、売上金額の一定割合に課税する方法であり、消費税がこれにあたる。

間接税課税のもとでの市場均衡は図-4.2 のようになる。消費者が払う価格が  $P^D$  で、需要量が  $Q^0$  であり、生産者が受け取る価格は  $P^S$  で、供給量は  $Q^0$  である。つまり、図-4.2 の状態で需給が一致している。ここで、課税下の総余剰は消費者余剰、政府の税金、生産者余剰の合計であるが、課税前の図-4.1 と比較すると、総余剰が領域  $Z$  の分だけ減少している。この総余剰の損失を死荷重と呼び、課税が非効率性を招くことが分かる。

そのため、この死荷重が最小となるように税金を確保することが社会全体でみると効率的な費用調達手法であるといえる。そこで本研究では、さまざまな課税ケースを想定し、死荷重損失を計測することで各ケースの費用調達の効率性を判断する。

#### (4) CGEUEモデル

##### a) CGEUEモデルの概要

死荷重損失を計測するにあたり、本研究では応用一般均衡型都市経済 (CGEUE) モデル<sup>4)</sup>を用いる。CGEUEモデルは、都市内交通整備の便益評価などに応用するために開発された都市経済モデルであり、各ゾーンのOD交通量が推計できるとともに、一般均衡モデルとなっていることから、税や料金がもたらす死荷重損失を正確に計測できるという利点を持つ。

CGEUEモデルは複数のゾーンに分割された都市圏を対象とし、本研究では甲府都市圏を67ゾーンに分割している。経済主体は、家計と産業部門別の企業、政府、公的投資部門、民間投資部門を想定し、それらは基本的に都市圏全体での代表的主体であるとする。そのうち、家計、政府、公的投資部門、民間投資部門は、最初どの

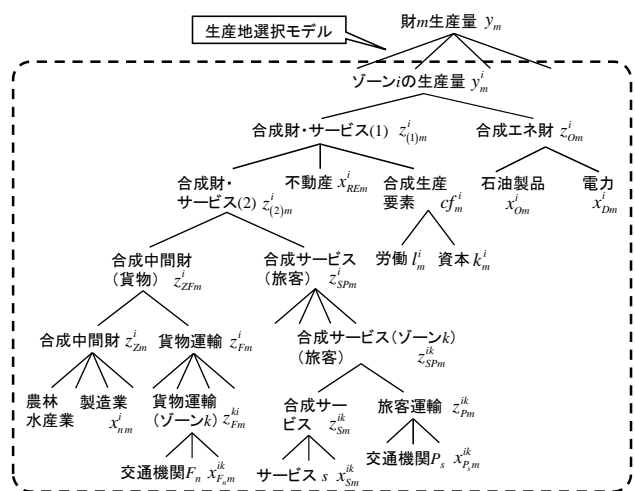


図-4.3 企業の生産行動モデル

ゾーンで消費するかという立地選択を行う。

市場は応用一般均衡 (CGE) モデルのように対象都市圏で統一的な市場を想定するものと、応用都市経済 (CUE) モデルのようにゾーンごとの市場を想定するものに分けている。具体的には、農林水産業、製造業系企業および労働、資本市場は都市圏全体で統一的な市場が存在するとした。また、サービス系企業は、これらが基本的には供給されるゾーンに出かけなければ消費できないという特性を持つことから、ゾーンごとに市場が成立するものとした。

不動産サービスも、ゾーンごとに市場が成立している。なお、不動産業が投入する資本は土地や建物と考えられること、そして、それらは基本的には他のゾーンから投入ができないものであるため、不動産資本市場はゾーンごとに成立し、その不動産資本を投入して生産される不動産サービスもゾーンごとに市場を設定している。

貨物、旅客の両運輸サービスは、OD別の市場が成立するものとした。これにより、交通の持つOD別サービスという特性を踏まえたモデル化が行えることになる。さらに、貨物、旅客とも交通機関を考慮し、その中の自動車交通に関しては交通量配分による経路選択まで考慮する。

##### b) 企業の行動モデル

続いて、中間財と生産要素を投入して財・サービスを生産する企業の生産行動モデルを示す。図-4.3はその生産行動を表したものである。図-4.3の破線部分がサービス系企業の行動モデルであり、その最上位に生産地選択を追加したものが農林水産業、製造業系企業の行動モデルとなる。すなわち、生産地選択モデル以外は、すべての企業で共通の行動モデルである。

次に、企業の生産行動モデルの定式化を示す。まず、都市圏に唯一の代表的企業として存在する農林水産業、

製造業系企業がどのゾーンで、どれだけの生産を行うかを決める。各ゾーンでの生産量が決定すれば各ゾーンの労働投入量も決定され、その労働投入量が企業の立地量を表すことになる。これより、この生産地決定モデルが企業の集計的立地選択モデルを表すといえる。

生産地選択モデルは、ゾーン*i*における生産量を決定するモデルとして定式化され、標準的なCGEモデルと同様、生産技術制約下での費用最小化問題により定式化できる。ここでは、生産関数にBarro型CES関数を用いることにすると、最適化問題は以下ようになる。

$$C_m = m_m^n \sum_i p_m^i y_m^i \quad (9a)$$

$$\text{s.t. } y_m = \gamma_m \left[ \sum_i \alpha_m^i \{\beta_m^i y_m^i\}^{\frac{\sigma_m-1}{\sigma_m}} \right]^{\frac{\sigma_m}{\sigma_m-1}} \quad (9b)$$

ただし、 $C_m$ ：企業*m*の生産費用、 $y_m^i$ 、 $p_m^i$ ：企業*m*のゾーン*i*での生産量とその価格、 $\alpha_m^i$ 、 $\beta_m^i$ ：分配パラメータ ( $\sum_m \alpha_m^i = 1$ ,  $\sum_m \beta_m^i = 1$ )、 $\gamma_m$ ：効率パラメータ、 $\sigma_m$ ：代替弾力性パラメータ。

これを解くと、企業*m*のゾーン*i*での生産量 $y_m^i$ が以下の通り求められる。

$$y_m^i = \frac{1}{\gamma_m (\beta_m^i)^{1-\sigma_m}} \left( \frac{\alpha_m^i}{p_m^i} \right) \Psi_m^{\sigma_m} \Psi_m^{\frac{\sigma_m}{1-\sigma_m}} \cdot y_m \quad (9c)$$

ただし、 $\Psi_m = \sum_i (\alpha_m^i)^{\sigma_m} \left( \frac{p_m^i}{\beta_m^i} \right)^{1-\sigma_m}$ 。

式(9c)を式(9a)に代入すると生産費用 $C_m$ が得られる。

なお、式(9b)の生産関数は規模に関して収穫一定であることから、ゼロ利潤条件が成立する。そこで、利潤関数に生産費用 $C_m$ を代入し、ゼロ利潤条件を考慮すると、*m*財価格が以下のように導出される。

$$p_m = \frac{1}{\gamma_m} \Psi_m^{\frac{1}{1-\sigma_m}} \quad (9d)$$

ここで、式(9d)の財価格にはゾーンを表す添字*i*が含まれていないことから、CGEUEモデルの農林水産業、製造業系企業の財価格は、都市圏全体で唯一に決まるものとなる。つまり、製造業系企業を詳細に分析するため、製造業系の企業数を増加させたとしても、財の均衡価格を解くべき市場の数はその企業数しか増加しないことが分かる。

一方、サービス系企業は各ゾーンにて、そこに来た人にサービスを供給するものとする。すなわち、ここでのサービスは消費者が旅客運輸サービスを投入して、サービスの供給されるゾーンまで行き、消費するものとして。そして、サービス系企業はそこに来た消費者の需要量に応じた供給を行うものとするれば、サービス系企業のゾーン*i*での生産量も決定する。

以下に具体的な定式化を示す。まず、合成財・サービ

ス(1) $z_{(1)m}^i$ と合成エネ財 $z_{0m}^i$ の投入量の決定モデルについて、最適化問題と、それを解いて得られる需要関数、さらに需要関数を目的関数に代入して求められるゾーン*i*での*m*財価格を示す。

・ 最適化問題

$$p_m^i y_m^i = \min_{z_{(1)m}^i, z_{0m}^i} [q_{(1)m}^i z_{(1)m}^i + q_{0m}^i z_{0m}^i] \quad (10a)$$

$$\text{s.t. } y_m^i = \gamma_m^i \left[ \alpha_{(1)m}^i \{\beta_{(1)m}^i z_{(1)m}^i\}^{\frac{\sigma_m^i-1}{\sigma_m^i}} + (1 - \alpha_{0m}^i) \cdot \{(1 - \beta_{0m}^i) z_{0m}^i\}^{\frac{\sigma_m^i-1}{\sigma_m^i}} \right]^{\frac{\sigma_m^i}{\sigma_m^i-1}} \quad (10b)$$

・ 需要関数

$$z_{(1)m}^i = \frac{1}{\gamma_m^i (\beta_{(1)m}^i)^{1-\sigma_m^i}} \left( \frac{\alpha_{(1)m}^i}{q_{(1)m}^i} \right)^{\sigma_m^i} \cdot \Psi_m^i \frac{\sigma_m^i}{1-\sigma_m^i} \cdot y_m^i \quad (10c)$$

$$z_{0m}^i = \frac{1}{\gamma_m^i (1 - \beta_{(1)m}^i)^{1-\sigma_m^i}} \left( \frac{1 - \alpha_{(1)m}^i}{q_{0m}^i} \right)^{\sigma_m^i} \cdot \Psi_m^i \frac{\sigma_m^i}{1-\sigma_m^i} \cdot y_m^i \quad (10d)$$

ただし、 $\Psi_m^i = (\alpha_{(1)m}^i)^{\sigma_m^i} \left( \frac{q_{(1)m}^i}{\beta_{(1)m}^i} \right)^{1-\sigma_m^i} + (1 - \alpha_{(1)m}^i)^{\sigma_m^i} \left( \frac{q_{0m}^i}{1 - \beta_{(1)m}^i} \right)^{1-\sigma_m^i}$ 。

・ 価格式

$$p_m^i = \frac{1}{\gamma_m^i} \Psi_m^i \frac{1}{1-\sigma_m^i} \quad (10e)$$

ただし、 $z_{(1)m}^i, q_{(1)m}^i$ ：合成財・サービス(1)の投入量とその価格、 $z_{0m}^i, q_{0m}^i$ ：合成エネ財投入量とその価格、 $\alpha_{(1)m}^i, \beta_{(1)m}^i$ ：分配パラメータ、 $\gamma_m^i$ ：効率パラメータ、 $\sigma_m^i$ ：代替弾力性パラメータ。

次に、式(10c)の合成財・サービス(1) $z_{(1)m}^i$ からは、合成財・サービス(2) $z_{(2)m}^i$ 、不動産サービス $x_{REM}^i$ 、合成生産要素 $cf_m^i$ の投入量が決定される。その際、間接税が導入され、政策として税を導入する場合、この純間接税率が変更される。なお、補助金支給の場合はマイナスの間接税として導入する。 $z_{(2)m}^i, x_{REM}^i, cf_m^i$ の決定にかかわる最適化問題、需要関数、価格式は以下のとおりである。

・ 最適化問題

$$q_{(1)m}^i z_{(1)m}^i = \min_{z_{(2)m}^i, x_{REM}^i, cf_m^i} \left[ \begin{array}{c} q_{(2)m}^i z_{(2)m}^i \\ + p_{RE}^i x_{REM}^i \\ + (1 + \tau_m) p_{f_m}^i cf_m^i \end{array} \right] \quad (11a)$$

$$\text{s.t. } z_{(1)m}^i = \gamma_{Zm}^i \begin{bmatrix} \alpha_{(2)m}^i \{\beta_{(2)m}^i z_{(2)m}^i\}^{\frac{\sigma_{Zm}^i-1}{\sigma_{Zm}^i}} \\ + \alpha_{REm}^i \{\beta_{REm}^i x_{REm}^i\}^{\frac{\sigma_{Zm}^i-1}{\sigma_{Zm}^i}} \\ + \alpha_{cfm}^i \{\beta_{cfm}^i c_{fm}^i\}^{\frac{\sigma_{Zm}^i-1}{\sigma_{Zm}^i}} \end{bmatrix} \quad (11b)$$

・ 需要関数

$$z_{(2)m}^i = \frac{1}{\gamma_{Zm}^i (\beta_{(2)m}^i)^{1-\sigma_{Zm}^i}} \left( \frac{\alpha_{(2)m}^i}{q_{(2)m}^i} \right)^{\sigma_{Zm}^i} \cdot \Psi_{Zm}^i \frac{\sigma_{Zm}^i}{1-\sigma_{Zm}^i} z_{(1)m}^i \quad (11c)$$

$$x_{REm}^i = \frac{1}{\gamma_{Zm}^i (\beta_{REm}^i)^{1-\sigma_{Zm}^i}} \left( \frac{\alpha_{REm}^i}{p_{RE}^i} \right)^{\sigma_{Zm}^i} \cdot \Psi_{Zm}^i \frac{\sigma_{Zm}^i}{1-\sigma_{Zm}^i} z_{(1)m}^i \quad (11d)$$

$$c_{fm}^i = \frac{1}{\gamma_{Zm}^i (\beta_{cfm}^i)^{1-\sigma_{Zm}^i}} \left( \frac{\alpha_{cfm}^i}{\{1+\tau_m^i\} p_{fm}^i} \right)^{\sigma_{Zm}^i} \cdot \Psi_{Zm}^i \frac{\sigma_{Zm}^i}{1-\sigma_{Zm}^i} z_{(1)m}^i \quad (11e)$$

ただし,  $\Psi_{Zm}^i = (\alpha_{(2)m}^i)^{\sigma_{Zm}^i} \left( \frac{q_{(2)m}^i}{\beta_{(2)m}^i} \right)^{1-\sigma_{Zm}^i} + (\alpha_{REm}^i)^{\sigma_{Zm}^i} \left( \frac{p_{RE}^i}{\beta_{REm}^i} \right)^{1-\sigma_{Zm}^i} + (\alpha_{cfm}^i)^{\sigma_{Zm}^i} \left( \frac{\{1+\tau_m^i\} p_{fm}^i}{\beta_{cfm}^i} \right)^{1-\sigma_{Zm}^i}$ .

・ 価格式

$$q_{(1)m}^i = \frac{1}{\gamma_{Zm}^i} \Psi_{Zm}^i \frac{1}{1-\sigma_{Zm}^i} \quad (11f)$$

ただし,  $z_{(2)m}^i, q_{(2)m}^i$ : 合成財・サービス(2)の投入量とその価格,  $x_{REm}^i, p_{RE}^i$ : 不動産サービス投入量とその価格,  $c_{fm}^i, p_{fm}^i$ : 合成生産要素投入量とその価格,  $\tau_m$ : 純間接税率,  $\alpha_{(2)m}^i, \alpha_{REm}^i, \alpha_{cfm}^i, \beta_{(2)m}^i, \beta_{REm}^i, \beta_{cfm}^i$ : 分配パラメータ,  $\gamma_{Zm}^i$ : 効率パラメータ,  $\sigma_{Zm}^i$ : 代替弾力性パラメータ.

一方, 合成エネ財からは, 石油製品  $x_{Om}^i$  と電力製品  $x_{Dm}^i$  の投入量が決定される.  $x_{Om}^i, x_{Dm}^i$  の決定にかかわる最適化問題, 需要関数, 価格式は以下の通りである.

・ 最適化問題

$$q_{Om}^i z_{Om}^i = \min_{x_{Om}^i, x_{Dm}^i} [p_O x_{Om}^i + p_D x_{Dm}^i] \quad (12a)$$

$$\text{s.t. } z_{Om}^i = \gamma_{Om}^i \begin{bmatrix} \alpha_{Om}^i \{\beta_{Om}^i x_{Om}^i\}^{\frac{\sigma_{Om}^i-1}{\sigma_{Om}^i}} \\ + (1 - \alpha_{Om}^i) \\ \cdot \{(1 - \beta_{Om}^i) x_{Dm}^i\}^{\frac{\sigma_{Om}^i-1}{\sigma_{Om}^i}} \end{bmatrix} \quad (12b)$$

・ 需要関数

$$x_{Om}^i = \frac{1}{\gamma_{Om}^i (\beta_{Om}^i)^{1-\sigma_{Om}^i}} \left( \frac{\alpha_{Om}^i}{p_O} \right)^{\sigma_{Om}^i} \cdot \Psi_{Om}^i \frac{\sigma_{Om}^i}{1-\sigma_{Om}^i} \cdot z_{Om}^i \quad (12c)$$

$$x_{Dm}^i = \frac{1}{\gamma_{Om}^i (1 - \beta_{Om}^i)^{1-\sigma_{Om}^i}} \left( \frac{1 - \alpha_{Om}^i}{p_D} \right)^{\sigma_{Om}^i} \cdot \Psi_{Om}^i \frac{\sigma_{Om}^i}{1-\sigma_{Om}^i} \cdot z_{Om}^i \quad (12d)$$

ただし,  $\Psi_{Om}^i = (\alpha_{Om}^i)^{\sigma_{Om}^i} \left( \frac{p_O}{\beta_{Om}^i} \right)^{1-\sigma_{Om}^i} + (1 - \alpha_{Om}^i)^{\sigma_{Om}^i} \left( \frac{p_D}{1 - \beta_{Om}^i} \right)^{1-\sigma_{Om}^i}$ .

・ 価格式

$$q_{Om}^i = \frac{1}{\gamma_{Om}^i} \Psi_{Om}^i \frac{1}{1-\sigma_{Om}^i} \quad (12e)$$

ただし,  $x_{Om}^i, p_O$ : 石油製品投入量と石油製品価格,  $x_{Dm}^i, p_D$ : 電力製品投入量と電力製品価格,  $\alpha_{Om}^i, \beta_{Om}^i$ : 分配パラメータ,  $\gamma_{Om}^i$ : 効率パラメータ,  $\sigma_{Om}^i$ : 代替弾力性パラメータ.

最後に, 旅客運輸サービスの交通機関選択  $x_{Pnm}^{ik}$  の決定モデルを示す. これにより, 鉄道やバスなど公共交通整備がなされたときの, 自動車交通から公共交通への転換の影響が考慮できる.  $x_{Pnm}^{ik}$  の決定にかかわる最適化問題, 需要関数, 価格式は以下のとおりである.

・ 最適化問題

$$q_{Pm}^{ik} z_{Pm}^{ik} = \min_{x_{Psm}^{ik}} \sum_{P_s} (p_{P_s}^k + w \xi^{ik} t^{ik}) x_{P_s m}^{ik} \quad (13a)$$

$$\text{s.t. } z_{Pm}^{ik} =$$

$$\gamma_{Pm}^{ik} \left[ \sum_{P_s} \alpha_{P_s m}^{ik} \{\beta_{P_s m}^{ik} x_{P_s m}^{ik}\}^{\frac{\sigma_{Pm}^{ik}-1}{\sigma_{Pm}^{ik}}} \right] \quad (13b)$$

・ 需要関数

$$x_{P_s m}^{ik} = \frac{1}{\gamma_{Pm}^{ik} (\beta_{P_s m}^{ik})^{1-\sigma_{Pm}^{ik}}} \left( \frac{\alpha_{P_s m}^{ik}}{p_{P_s}^k + w \xi^{ik} t^{ik}} \right)^{\sigma_{Pm}^{ik}} \cdot \Psi_{Pm}^{ik} \frac{\sigma_{Pm}^{ik}}{1-\sigma_{Pm}^{ik}} \cdot z_{Pm}^{ik} \quad (13c)$$

ただし,  $\Psi_{P_m}^{ik} = \sum_{P_s} (\alpha_{P_s m}^{ik})^{\sigma_{P_m}^{ik}} \left( \frac{p_{P_s}^k + w \xi^{ik} t^{ik}}{\beta_{P_s m}^{ik}} \right)^{1-\sigma_{P_m}^{ik}}$ .

・ 価格式

$$q_{P_m}^{ik} = \frac{1}{\gamma_{P_m}^{ik}} \Psi_{P_m}^{ik} \frac{1}{1-\sigma_{P_m}^{ik}} \quad (13d)$$

ただし,  $x_{P_s m}^{ik}$ : ゾーン*i*から*k*への交通機関*P<sub>s</sub>*による旅客運輸サービス投入量,  $p_{P_s}^k$ : 交通機関*P<sub>s</sub>*による旅客運輸サービス投入量,  $p_{P_s}^k$ : 交通機関*P<sub>s</sub>*の旅客運輸価格,  $w$ : 賃金率 (時間価値を表す),  $t^{ik}$ : ゾーン*i* - *k*間の交通所要時間,  $\xi^{ik}$ : 基準年運輸消費額の交通トリップへの換算係数,  $\alpha_{P_s m}^{ik}, \beta_{P_s m}^{ik}$ : 分配パラメータ ( $\sum_{P_s} \alpha_{P_s m}^{ik} = 1$ ,  $\sum_{P_s} \beta_{P_s m}^{ik} = 1$ ),  $\gamma_{P_m}^{ik}$ : 効率パラメータ,  $\sigma_{P_m}^{ik}$ : 代替弾力性パラメータ.

### c) 家計の行動モデル

家計の行動モデルは, 居住地選択モデルと消費行動モデルからなる. このうち, 居住地選択に関わる行動をツリーで表したものが図-4.4である. CGEUEモデルにおける家計の居住地選択行動も, 企業の生産地選択モデルのような形で集計型モデルにより定式化する. すなわち, 例えばゾーン*i*に勤務する代表的労働者家計が, 得た所得をどのゾーンでの消費に充てるかを決定することが居住地選択であるとしている.

まず, (4) b)の企業の行動モデルからゾーン*i*の労働投入量が求められる. さらに, 一人一人の労働者の所得は同じとすれば, その労働投入量で按分することによりゾーン*i*で勤務する家計の総所得 $\Omega_H^i$ が求められる. この総所得からは効用水準 $v_H^i$ が得られ, ゾーン*i*で勤務する家計はこの効用水準 $v_H^i$ をどのゾーン*j*に配分するかを決定する. これが効用水準 $v_H^{ij}$ であり, この効用水準の配分が集計型の居住地選択モデルを表すものといえる. そして, ゾーン*i*に勤務し, ゾーン*j*に移住することを決めた家計が $v_H^{ij}$ に対し合成消費と通勤に関わる旅客運輸消費の各消費量を決定するとした.

図-4.4の第一段階である居住地選択に関わる最適化問

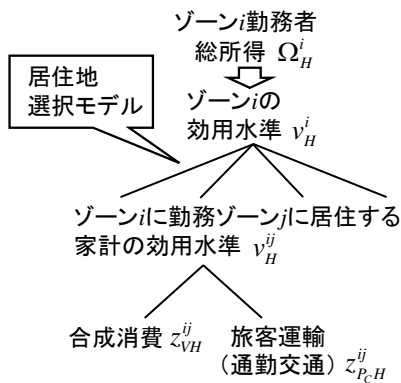


図-4.4 家計の立地 (居住地) 選択行動モデル

題, 需要関数, 支出水準は以下のとおりである.

・ 最適化問題

$$e_H^i = \min_{v_H^{ij}} \sum_j p_V^{ij} v_H^{ij} \quad (14a)$$

s.t.  $u_H^i (= v_H^i)$

$$= \gamma_{LH}^i \left[ \sum_j \alpha_{LH}^{ij} \{ \beta_{LH}^{ij} v_H^{ij} \}^{\frac{\sigma_{LH}^{ij}-1}{\sigma_{LH}^{ij}}} \right]^{\frac{\sigma_{LH}^i}{\sigma_{LH}^i-1}} \quad (14b)$$

・ 需要関数

$$v_H^{ij} = \frac{1}{\gamma_{LH}^i (\beta_{LH}^{ij})^{1-\sigma_{LH}^i}} \left( \frac{\alpha_{LH}^{ij}}{p_V^{ij}} \right)^{\sigma_{LH}^i} \cdot \Psi_{LH}^i \frac{1}{1-\sigma_{LH}^i} \cdot v_H^i \quad (14c)$$

ただし,  $\Psi_{LH}^i = \sum_j (\alpha_{LH}^{ij})^{\sigma_{LH}^i} \left( \frac{p_V^{ij}}{\beta_{LH}^{ij}} \right)^{1-\sigma_{LH}^i}$ .

・ 支出水準

$$e_H^i = \frac{1}{\gamma_{LH}^i} \Psi_{LH}^i \frac{1}{1-\sigma_{LH}^i} \cdot v_H^i \equiv p_V^i \cdot v_H^i \quad (14d)$$

ただし,  $v_H^{ij}$ : ゾーン*j*に居住しゾーン*i*にて勤務する家計の効用水準,  $p_V^{ij}$ : 合成効用の価格,  $\alpha_{LH}^{ij}, \beta_{LH}^{ij}$ : 分配パラメータ ( $\sum_j \alpha_{LH}^{ij} = 1$ ,  $\sum_j \beta_{LH}^{ij} = 1$ ),  $\gamma_{LH}^i$ : 効率パラメータ,  $\sigma_V^i$ : 代替弾力性パラメータ.

式(14d)で求められた支出水準は, 価格が与えられたもとの効用水準を実現するために必要な所得を意味する. すなわち, 逆にその支出水準 $e_H^i$ に所得を代入すると, 効用水準 $v_H^i$ が得られる. また, ゾーン*i*で勤務する家計の総所得 $\Omega_H^i$ は, 都市圏全体の総所得を各ゾーンの全産業労働投入量 ( $\sum_m l_m^i$ ) によって按分することにより以下のよう求められる.

$$\Omega_H^i = \left[ wT + rK + \sum_i r_{RE}^i K_{RE}^i \right] (1 - \tau_H) - S_H \cdot \frac{\sum_m l_m^i}{\sum_j \sum_m l_m^j} \quad (15)$$

ただし,  $T, w$ : 都市圏全体の総利用可能時間と賃金率,  $K, r$ : 都市圏全体の資本ストック量と利子率,  $K_{RE}^i, r_{RE}^i$ : ゾーン*i*の不動産資本ストックと不動産資本利子率,  $\tau_H$ : 所得税率,  $S_H$ : 都市圏全体の総貯蓄額.

式(15)を式(14d)に代入すると, 効用水準 $v_H^i$ が得られる. それを式(14c)に代入することにより効用水準 $v_H^{ij}$ が求められる.

次に家計は, 図-4.4の第二段階である効用水準 $v_H^{ij}$ に対する合成消費と通勤に関わる旅客運輸消費の決定を行う. その最適化問題, 需要関数, 価格式は以下のとおりである.

- 最適化問題

$$p_V^{ij} v_H^{ij} = \min_{z_H^j, x_{PC}^{ij}} [q_{VH}^j z_{VH}^{ij} + q_P^{ij} z_{PC}^{ij}] \quad (16a)$$

$$\text{s.t. } v_H^{ij} =$$

$$\gamma_{CH}^{ij} \left[ (1 - \alpha_{CH}^{ij}) \left\{ (1 - \beta_{CH}^{ij}) z_{VH}^{ij} \right\} \frac{\sigma_{CH}^{ij} - 1}{\sigma_{CH}^{ij}} + \alpha_{CH}^{ij} \left\{ \beta_{CH}^{ij} z_{PC}^{ij} \right\} \frac{\sigma_{CH}^{ij} - 1}{\sigma_{CH}^{ij}} \right]^{\frac{\sigma_{CH}^{ij}}{\sigma_{CH}^{ij} - 1}} \quad (16b)$$

- 需要関数

$$z_{VH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{CH}^{ij} (1 - \beta_{CH}^{ij})^{1 - \sigma_{CH}^{ij}}} \left( \frac{1 - \alpha_{CH}^{ij}}{q_{VH}^j} \right)^{\sigma_{CH}^{ij}} \cdot \psi_{CH}^{ij} \frac{\sigma_{CH}^{ij}}{1 - \sigma_{CH}^{ij}} \cdot v_H^{ij} \quad (16c)$$

$$z_{PC}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{CH}^{ij} (\beta_{CH}^{ij})^{1 - \sigma_{CH}^{ij}}} \left( \frac{\alpha_{CH}^{ij}}{q_P^{ij}} \right)^{\sigma_{CH}^{ij}} \cdot \psi_{CH}^{ij} \frac{\sigma_{CH}^{ij}}{1 - \sigma_{CH}^{ij}} \cdot v_H^{ij} \quad (16d)$$

$$\text{ただし, } \psi_{CH}^{ij} = (1 - \alpha_{CH}^{ij})^{\sigma_{CH}^{ij}} \left( \frac{q_{VH}^j}{1 - \beta_{CH}^{ij}} \right)^{1 - \sigma_{CH}^{ij}}$$

$$+ (\alpha_{CH}^{ij})^{\sigma_{CH}^{ij}} \left( \frac{q_P^{ij}}{\beta_{CH}^{ij}} \right)^{1 - \sigma_{CH}^{ij}}.$$

- 価格式

$$p_V^{ij} = \frac{1}{\gamma_{CH}^{ij}} \psi_{CH}^{ij} \frac{1}{1 - \sigma_{CH}^{ij}} \quad (16e)$$

ただし,  $z_{VH}^{ij}, q_{VH}^j$ : ゾーン  $j$  での合成消費とその価格,  
 $z_{PC}^{ij}, q_P^{ij}$ : 通勤に関わる合成旅客運輸消費量と合成旅客  
 運輸価格,  $\alpha_{CH}^{ij}, \beta_{CH}^{ij}$ : 分配パラメータ,  $\gamma_{CH}^{ij}$ : 効率パラメータ,  
 $\sigma_{CH}^{ij}$ : 代替弾力性パラメータ.

続いて, 家計の消費行動モデルを定式化する. これは式(16c)で求められた合成消費  $z_{VH}^{ij}$  に対し, 個別の財やサービス, 余暇の消費行動モデルを定式化することである. ここで, 式(16c)内の合成消費の価格  $q_{VH}^j$  には勤務地を表す添字  $i$  を含んでいないことから,  $q_{VH}^j$  はゾーン  $i$  に依存しないことが分かる. したがって, これ以降は勤務地に関係なくゾーン  $j$  を居住地として選択した家計の合成消費の合計 ( $\sum_i z_{VH}^{ij}$ ) に対して消費行動モデルの定式化を行う.

ただし, 家計の消費行動モデルは図-4.3の企業の生産行動モデルの破線部分と, 合成生産要素の投入モデルが余暇消費に置き換わることを除けば全く同じである.

#### d) その他の経済主体の行動モデルと市場均衡条件

次に, 運輸企業の行動モデル, 不動産業の行動モデルであるが, これらの定式化は企業の生産行動モデルとほとんど同じであるため省略する.

最後に, 政府, 公的投資部門, 民間投資部門の行動について説明する. まず政府は, 家計の所得税支払いと企業の純間接税支払いからなる税収を得て, その一部を公的投資に回し, 残りを政府消費に充てて公共サービスを提供する. 政府の消費部門が決定する  $n$  財消費量は, 政府消費に充てられる税収に対して一定比率で支出されるものとする. 公的投資部門は, 公的投資に回された財源を公的投資需要に充てることにより, 公共事業を行う. 公的投資部門の  $n$  財消費量も公的投資の財源に対して一定比率で支出されるものとする. 民間投資部門は, 家計貯蓄と移出入の差から求められる域外貯蓄を財源として, 民間投資需要に充てることにより民間投資を行う. 民間投資部門の  $n$  財投資需要量も, 投資額に対して一定比率で支出されるものとする.

最後に, CGEUEモデルの市場均衡条件式を示す.

- $n$  財市場 (農林水産業, 製造業系企業)

$$y_n = \sum_i \left( \sum_m x_{nm}^i + x_{nH}^i \right) + x_{nGC} + x_{nGI} + x_{nI} \quad (17a)$$

- $n$  財市場 (サービス財)

$$y_n^i = \sum_m x_{nm}^i + x_{nH}^i + x_{nGC}^i + x_{nGI}^i + x_{nI}^i \quad (17b)$$

- 運輸  $T$  市場

$$y_T^{ki} = \sum_m x_{Tm}^{ki} + x_{TH}^{ki} + x_{TGC}^{ki} + x_{TGI}^{ki} + x_{TI}^{ki} \quad (17c)$$

- 労働市場

$$T - \sum_i l_H^i = \sum_i \left( \sum_m l_m^i + l_T^i \right) \quad (17d)$$

- 資本市場

$$K = \sum_i \left( \sum_m k_m^i + \sum_T k_T^i \right) \quad (17e)$$

( $m$ : REを除く)

- 不動産資本市場

$$K_{RE}^i = k_{RE}^i \quad (17f)$$

この市場均衡条件より, 財・サービスおよび生産要素の均衡価格が得られる. さらに, これを以下の等価的偏差  $EV$  の式に代入することにより, 課税水準政策の影響が定量評価できる.

$$V(p^{WO}, q_M^{WO}, \Omega^{WO} + EV) = V(p^W, q_M^W, \Omega^W) \quad (18)$$

ただし, 添字  $WO, W$ : 政策あり, 政策なしを表す,  $p$ : 価格ベクトル,  $q_M$ : 公共交通の一般化価格 (=  $p_M + w t_M$ ),  $p_M$ : 公共交通価格,  $w$ : 賃金率 (時間価値を表す),  $t_M$ : 公共交通の所要時間,  $\Omega$ : 家計所得.

(5) CGEUEモデルによる経済損失評価

a) データセット作成とパラメータ推定

CGEUEモデルで計測するにあたり、はじめに甲府都市圏の産業連関表をもとにデータセットを作成する。地域内産業連関表の作成は以下の手順で行う。

- ① 2011 年の山梨県産業連関表<sup>15)</sup>をもとに、山梨県と甲府都市圏の産業別従業人口数を用いて按分計算により、甲府都市圏の産業別付加価値額と産業別生産額を求める。
- ② 最終需要額のうち民間消費額を家計人口数により、政府消費額と公的投資額は公務員人口数、民間投資額と移輸出入額は総従業人口数により按分して、甲府

都市圏のデータを推計する。

- ③ 山梨県産業連関表の中間投入係数を用いて甲府都市圏の中間投入額を求め、RAS 法により調整計算を行う。

続いて、作成した産業連関表を社会会計行列 (SAM) に変換する。このSAMがCGEUEモデルを計算する際のデータセットとなる。表-4.1は、以上の手順で作成した甲府都市圏のSAMを示したものである。

続いて、キャリブレーション手法を用いてパラメータを推定する。キャリブレーション手法を適用するにあたり、代替弾力性を外生的に設定する必要があるが、本研究ではコブ・ダグラス型関数に近くなるよう、0.9とした。

表-4.1 甲府都市圏の地域間SAM

0 甲府都市圏	1 農林業	2 製造業	12 商業	13 飲食店	14 公共サービス	15 その他サービス	18 石油製品	19 電気	20 水道	21 不動産	22 鉄道	23 道路旅客
1 農林業	2,472	15,723	21	2,162	524	1,020	0	0	0	1	0	0
2 製造業	6,743	536,053	8,709	21,180	55,581	52,430	-0	2,572	1,380	6,416	404	48
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 商業	3,393	124,349	7,434	14,520	24,702	23,213	-0	340	462	488	24	169
13 飲食店	0	567	0	658	3,325	646	0	0	0	0	0	0
14 公共サービス	32	82,105	1,225	51	11,316	14,267	-0	669	9	2	65	19
15 その他サービス	1,275	134,370	46,273	9,343	88,361	153,508	-23	12,913	5,054	39,614	935	1,139
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 石油製品	982	10,853	937	636	4,417	4,187	-2	2,711	389	173	31	975
19 電気	308	17,553	5,972	1,315	6,273	7,510	-0	11,490	712	967	180	28
20 水道	18	1,218	795	755	2,698	1,934	-0	28	804	66	23	15
21 不動産	131	6,642	14,730	1,711	9,502	20,479	-0	874	391	6,451	19	81
22 鉄道	3	1,346	635	69	965	993	-0	8	8	6	1	2
23 道路旅客	1	1,761	668	36	1,302	1,428	-0	17	6	9	1	15
24 自家旅客	331	10,425	9,202	189	5,215	6,991	0	215	100	581	13	30
25 道路貨物	703	22,760	873	1,582	3,446	7,266	-0	112	120	65	5	32
26 自家貨物	2,438	8,568	6,835	10	1,742	2,746	0	135	60	19	7	10
27 家計												
28 政府												
29 公的投資												
30 民間投資												
31 労働	4,478	373,706	140,037	29,703	324,955	212,599	-0	9,805	2,327	11,362	1,321	6,758
32 資本	17,435	135,851	69,274	8,731	111,945	184,864	-0	4,306	5,344	235,555	2,278	682
33 純間接税	1,302	33,562	11,812	2,578	2,752	15,409	-7	6,058	-179	16,778	197	-0
34 国内生産額	42,045	1,517,414	325,434	95,231	659,021	711,492	-34	52,254	16,635	318,551	5,504	10,002
0 甲府都市圏	24 自家旅客	25 道路貨物	26 自家貨物	33 家計	34 政府	35 公的投資	36 民間投資	40 移出	41 輸出	42 移入	43 輸入	44 県内生産額
1 農林業	0	0	0	12,267	0	0	2,615	28,486	90	-18,635	-4,701	42,045
2 製造業	431	527	600	146,773	1,282	178,192	331,888	809,016	320,005	-795,334	-167,485	1,517,414
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 商業	9,422	1,021	2,050	161,771	34	6,839	39,631	94,981	19,735	-204,366	-4,780	325,434
13 飲食店	0	0	0	89,664	0	0	0	0	1,599	0	-1,229	95,231
14 公共サービス	6	119	22	77,494	508,773	0	0	7,588	814	-45,088	-465	659,021
15 その他サービス	36,188	7,714	10,282	170,341	3,318	10,721	44,225	193,792	24,290	-264,487	-17,653	711,492
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 石油製品	27,706	5,501	9,227	1,741	0	0	234	0	0	-62,139	-8,592	-34
19 電気	53	303	40	16,989	0	0	0	0	225	-17,661	-3	52,254
20 水道	809	54	212	10,428	-2,980	0	0	0	79	-318	-3	16,635
21 不動産	1,938	1,073	72	270,594	138	0	0	0	18	-15,936	-6	318,551
22 鉄道	7	50	3	9,724	0	0	5	43	336	-8,617	-84	5,504
23 道路旅客	0	45	0	3,633	0	0	0	3,804	170	-2,667	-228	10,002
24 自家旅客	0	74	0	43,410	0	0	0	0	0	0	0	76,775
25 道路貨物	214	192	113	1,388	12	370	3,367	18,492	4,842	-2,875	-29	63,051
26 自家貨物	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,620
27 家計												4,332,902
28 政府				64,123				547,417				706,699
29 公的投資					196,122							196,122
30 民間投資				854,406				-432,441				421,966
31 労働	0	34,217	0	2,398,155								3,549,423
32 資本	0	7,214	0									783,479
33 純間接税	0	4,897	0									95,159
34 国内生産額	76,775	63,051	22,620	4,332,902	706,699	196,122	421,966	1,271,178	372,204	-1,438,123	-205,259	14,001,743

## b) 課税水準の設定

4.(2)の橋梁補修の必要予算を十分賄うために今後は増税が必至であるが、増税の仕方によっては、4.(3)で示した通り、経済損失が大きく発生する場合も考えられる。本研究ではこの損失が小さくなるように増税を行うことで、社会経済への影響を最小限にとどめることを目標とする。そこで、調達財源を燃料税以外の税も想定し、便益の減少額がより低減されるケースを適正課税方法とする。本研究では従来の燃料税と消費税を課税水準操作の対象とし、2種類の税金による便益計測を行う。

増税ケースは表-4.2の2種類である。ケース1は、消費税率は変化させず燃料税率のみ操作した場合であり、ケース2は、消費税率を操作し、燃料税率を変化させない場合である。なお、両ケースとも追加の必要予算は、4.(2)で示した2018年度の不足費用が賄える額、すなわち22.1億円とする。この条件のもとで各ケースの課税水準を設定していくが、具体的には、課税政策なしの場合と比較し、ケース1では燃料税収の増分が22.1億円、ケース2では総税収の増分が22.1億円となるように各税率の増分を決定する。

## c) 増税政策の評価

そして、ケース1、ケース2の2種類における増税率、総税収増加分、燃料税収増加分および便益の計測結果を表-4.3に示した。なお、総税収は甲府都市圏内で徴収される税収の合計である。また、便益は課税政策なし・ありにおける効用水準の差であり、式(18)より求められる。ケース1では課税政策なしの場合の5.68倍の税率とし、ケース2では1.63倍の税率としている。ここで、消費税等の間接税は、財・サービスの合成要素投入量に対する間接税額の割合より導出していることから、税率は財・サービスごとに異なり、一律ではない。

表-4.3より、燃料税を増税したケース1の方が便益の減少額を低く抑えられることが分かる。つまり、増税した際に生じる経済的な損失は、消費税よりも燃料税の方が小さいことから、甲府都市圏においては燃料税率を上げた方が効率的であることが明らかとなった。

以上では、2018年度の橋梁補修費用を十分に賄うことを前提として推計を行った。さらにそれ以前の年度においても同様の推計を行った結果、表-4.4のようになった。なお、実際は燃料税収額が年度ごとに異なるが、ここではすべて2018年度と同額(9.8億円)であると仮定する。

表-4.4より、費用に対して税収が不足している年度においては、2018年度と同様、ケース1の方が便益の減少幅が小さいことから、燃料税増税の方が効率的であることが分かる。一方で2008年度においては税収よりも投入された費用の方が小さいため、税率を下げるのが可能である。その結果、ケース1よりもケース2の方が便益の増加が大きいと推計した。したがって本推計の場合、税収

の不足により増税を行う場合は燃料税率を、税収の余剰により、仮に税率を下げる場合が消費税率を操作するほうが効率的であることが明らかとなった。

同様に、将来の便益計測においても、課税政策なしの場合の燃料税収額、および3.(4)の推計費用を用いれば、

表-4.2 税率の設定

	燃料税率	消費税率
課税政策なし [従来の課税水準]	変化させない	変化させない
ケース1	操作	変化させない
ケース2	変化させない	操作

表-4.3 計測結果

	課税水準 [増税政策なし]	課税水準 [増税政策あり]	総税収 増加分	燃料税収 増加分	便益
ケース1	燃料税率 変化させない 消費税率 変化させない	燃料税率 5.68倍 消費税率 変化させない	—	22.1億円	-72億円
ケース2	燃料税率 変化させない 消費税率 変化させない	燃料税率 変化させない 消費税率 1.63倍	22.1億円	—	-112億円

表-4.4 課税政策後の便益計測結果

	必要税収	便益	
		ケース1	ケース2
2008年	-4.1億円	+14億円	+22億円
2009年	13.5億円	-45億円	-70億円
2010年	9.9億円	-33億円	-52億円
2011年	14.6億円	-48億円	-76億円
2012年	15.1億円	-50億円	-79億円
2013年	17.2億円	-56億円	-88億円
2014年	14.5億円	-48億円	-76億円
2015年	9.3億円	-31億円	-49億円
2016年	7.9億円	-26億円	-42億円
2017年	5.9億円	-20億円	-31億円

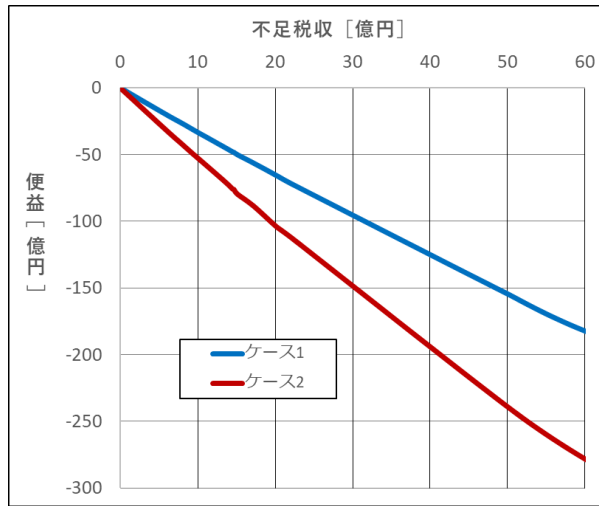


図-4.5 不足税収補填の際に発生する便益

課税政策ありの場合の各ケースの便益の計測・比較が可能である。しかし、将来の甲府都市圏の産業連関表を作成することはできないため、現時点では便益の計測は困難である。ただ本研究では、不足税収の大小にかかわらず、消費税増税よりも燃料税増税の方が便益の減少額が小さくなることも明らかにした。図-4.5は、不足税収補填の際に発生する便益を示しており、将来の橋梁補修における不足費用がいくらであっても燃料税増税の方が社会経済にとって効率的であることが分かる。

## 5. 結論

### (1) 本研究の成果

日本では、高度経済成長期以降に整備された社会インフラが多く、現在では老朽化したインフラの割合は増加傾向にある。そのため、インフラの新規整備よりも維持・更新が中心の時代となり、効率的な維持管理がより一層求められることになる。そこで本研究では、道路費用の低減と安定した財源調達手法の確立を目的として、将来にわたり持続的に維持管理が行えるような施策を提案した。

2.では、甲府都市圏を対象に、道路構造物の維持管理の現状と課題を分析した。山梨県においても全国と同様に構造物の老朽化が目立ち、費用低減および補修時期の平準化の観点から早期補修が必要不可欠であることを明らかにした。さらに、この維持管理の現状を踏まえて既存の劣化予測モデルのレビューを行い、今後の維持管理計画に活用できるモデルを選択するとともに、そのモデルの甲府都市圏への適用の妥当性についても検討した。

3.では、2.のモデルをもとに各構造物の劣化予測を行い、適切な修繕時期を推定した。さらに、修繕を行うべ

き構造物数を年度ごとに集計し、平均費用法により各年度の平均修繕費用を算出することで、将来必要となる予算を推計した。その結果、予防保全型管理での補修は事後保全型管理の補修に比べて平均費用が大幅に低減し、予防保全型管理が財政的な面からみて非常に効果的であることが明らかとなった。

最後に4.では、現在の燃料税等の税収入を推計し、補修費用を十分に賄うための適切な課税水準について、燃料税率操作、消費税率操作の2種類のケースを想定して評価を行った。その結果、社会経済への影響を最小限に抑えるため、増税した際に生じる経済損失（死荷重損失）ができる限り小さくなるように課税水準を設定することが効率的な調達方法であるとした場合、燃料税を操作したほうが便益の減少額が小さくなることから、燃料税の増税が適切であることを明らかにした。

### (2) 本研究の課題

本研究の課題と問題点を述べる。

まず、構造物の劣化予測について課題を4点挙げる。第一に、本研究では交通量を劣化要因としているが、それ以外の要因を取り入れられていない点である。例えば凍結防止剤による塩害の影響を予測に反映させた場合、劣化速度が早まるとともに、補修時期も早まると考えられる。そのほかにも、環境条件、使用材料なども考慮する必要がある。

第二に、部材ごとの予測ができない点である。2.(2)c)で示した通り、点検データからは個々の構造物の総合的な健全度評価は得られるが、各部材の健全度の情報は得られていない。そのため今回使用したデータでは、一部の部材の影響で構造物全体の健全度を過大評価している可能性も考えられる。

第三に、域内の将来の交通量が不変であると仮定している点である。交通量を劣化要因として取り入れているため、本来であれば交通量の変化を劣化予測に反映させるべきである。甲府都市圏では今後、新山梨環状道路（地域高規格道路）の整備が予定されていて、域内の交通の円滑化や慢性的な渋滞解消などにより各道路の交通量が大きく変化することが予測される。また、今後の人口減少により交通量自体が大きく減少する可能性もある。このような要因による交通量変化を把握することは、インフラの将来予測において重要である。

第四に、本研究では橋梁以外の道路構造物の推計が行っていない点である。道路全体の維持管理を考慮する場合、橋梁のみの推計では不十分である。ただ、トンネル、道路舗装などにおいても点検データが得られ、かつ本研究と同様に劣化予測が行うことができれば補修費用を推計することが可能となり、道路基盤全体の推計ができると考えられる。



続いて、費用推計における課題を挙げる。まず3.(3)の推計条件が一部現実に沿っていない点である。現在の早期措置段階の構造物の補修が終わり次第、順次予防保全型管理に移行するとしているが、今後は社会情勢の変化により計画通り補修が進行しない可能性や、補修コストの増加により修繕単価が増加する可能性が十分ある。さらに、今回の将来推計の妥当性については、山梨県の推計と比較してある程度近い結果となったものの、十分に検討できているとはいえない。これについても今後は詳しく考察していきたい。

最後に、適正課税水準の設定における課題を挙げる。まず本研究では燃料税と消費税の2種類の税収のみでしか推計しておらず、また、2種類の課税水準を同時に増減させたケースまでは想定できていない点である。これらを考慮しなければ、より良い課税水準が適用できず、社会経済に与える影響をより小さくすることができない。さらに、本研究のように新たに課税政策を提案する際、公平性が保たれている政策であるか、あるいは市民から理解が得られる政策であるか、などといったことも十分検討していくべきである。効率性と公平性を確保しながら適正負担方法を決定するのは容易ではないが、現実社会に適用するにはこのような議論は必要である。

以上の課題を考慮していくことで持続可能な維持管理を行うためのさらなる知見が得られると考える。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：インフラメンテナンス情報 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年度），2018.
- 2) 国土交通省：道路メンテナンス年報（平成30年度・一

- 巡目）3.道路メンテナンス年報データ集（平成30年度点検実施施設名），2019.
- 3) 国土交通省 道路局 国道・技術課：橋梁点検要領，2019.
- 4) 国土交通省：道路統計年報 2010~2020（平成20~30年度），2010~2020.
- 5) 山梨県 県土整備部：山梨県橋梁長寿命化実施計画，2020.
- 6) 静岡県 交通基盤部：社会資本長寿命化行動方針（参考資料編），2013.
- 7) 近田康夫，鈴木慎也，小川福嗣：点検結果に基づく劣化予測のためのマルコフ遷移確率推定方法に関する一考察，構造工学論文集 Vol.61A pp.70-80，2015.
- 8) 内山典之，西山真，平野廣和，佐藤尚次：RC床版の劣化予測を考慮した橋梁維持管理システムの構築，応用力学論文集 Vol.7 pp.1141-1148，2004.
- 9) 小松保亮：橋梁の劣化予測モデル構築と維持修繕費用推計，令和元年度山梨大学卒業論文，2020.
- 10) 国土交通省：平成27年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般道路交通量調査，2015.
- 11) 貝戸清之，保田敬一，小林潔司，大和田慶：平均費用法に基づいた橋梁部材の最適補修戦略，土木学会論文集 No.801/I -73, 83-96，2005.
- 12) 総務省：平成23年（2011年）産業連関表，2015.
- 13) 神取道宏：ミクロ経済学の力，pp.157-180，日本評論社，2014.
- 14) 西鶴誠希，武藤慎一：洪水の経済被害評価と立地適正化計画を活用した洪水被害対策の検討，土木学会論文集 D3(土木計画学) Vol.75, No.5, I\_233- I\_249, 2019.
- 15) 山梨県：平成23年山梨県産業連関表，2016.

(?)