

階層型道路ネットワーク実現のための課税-道路改良投資手法

名古屋大学大学院 学生会員 ○早河 辰郎

名古屋大学大学院 正会員
名古屋大学大学院 正会員

浅野 美帆
中村 英樹

1. はじめに

我が国の道路の整備水準は年々向上し、かなりの量的ストックが形成されてきたが、依然として旅行速度の低い都市間幹線道路、通過交通や路上駐車の入り乱れた都市内街路の存在など機能に応じた適切な交通サービスが提供されていない状況にある。今後は既存の道路網に対して本来の機能を再考し、機能に応じた道路階層性を担保する整備方針が必要である。一方、車両の燃費向上やエコカーの普及により、燃料税に依存した道路整備財源の確保が一層困難になると予測され、課税方法の見直しが迫られる。本稿では先の研究で提案されている階層型道路ネットワークの実現のための課税-道路改良投資の手法の構築を目的とする。

2. 性能照査型の道路設計とネットワーク最適化

性能照査型設計手法^{1), 2)}ではネットワーク特性を考慮し、道路階層を交通機能と連絡スケールに応じて分割する階層区分を提案している。この各階層について、まず達成すべき性能目標速度を設定し、それを所与として路線の配置と階層の決定を行う。その後初めて交通需要を課し、設定した路線の性能が担保できるように幾何構造・車線数の詳細設計を行うものである。すなわち、性能照査型道路設計でのネットワークの最適化条件とは、全リンクにおける性能目標速度の達成であり、道路改良を重ね速度水準を改善していくことで最適化を目指す。これにより、例えば交通需要の少ない地方主要道路における拠点間の目標旅行時間の担保や、道路機能に応じた効率的な利用促進による、都市街路における通過交通の排除などの効果が期待される。

以下では、リンクごとに設定した目標速度を利用者均衡状態において達成するための条件を整理し、その条件を道路からの収益に基づく投資で達成するための仕組みを述べる。収益は燃料税のほか、走行距離課税等の課税方式も念頭に置いている。

3. 課税-道路改良投資額決定モデル

3.1 モデルの概要と前提条件

n 個のリンクを持つネットワークにおいて、道路利用者からの税収により年ごとに各リンクに必要な維持管理費と改良費を賄い、道路の改良投資を繰り返すことで最終的に全リンクにおいて性能目標速度を達成させる。前提条件として単年度会計とし、繰り越しは想定しない。また OD 交通需要は固定とする。

3.2 課税-道路改良投資額計算の準備

課税-道路改良の手順を図-1 に示す。入力として OD 交通需要、リンク間の接続状況、各リンク i の性能目標速度 $u_i (i=1,2,\dots,n)$ [km/h] が与えられているとする。目標速度は各リンクの属する階層に応じて設定される。

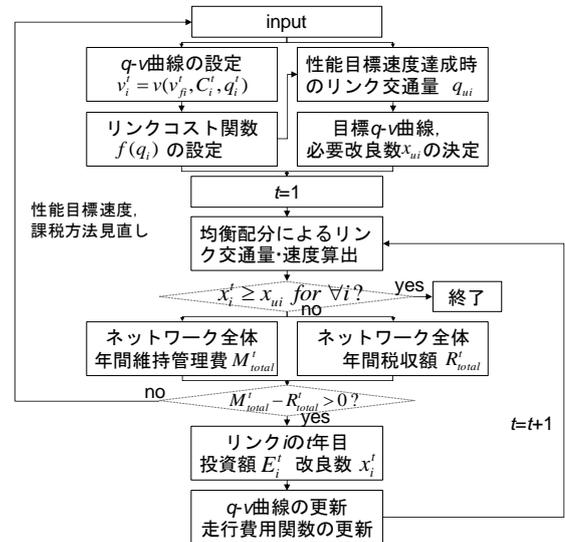


図-1 課税-道路改良投資額決定の手順

リンク i の t 年目旅行速度 v_i^t は、式(1)の通り自由走行速度 v_f [km/h], 交通容量 C [veh/日], 交通量 q [veh/日], パラメータ一定とする日単位交通流の定常性を仮定した BPR 関数とし、これは式(2)の通り q に対する狭義の単調減少関数とする。1 年目の自由走行速度 v_f^1 及び交通容量 C_i^1 は所与とする。

$$v_i^t = v(v_f^t, C_i^t, q_i^t) \tag{1}$$

$$\partial v_i^t / \partial q_i^t < 0, \text{ for } \forall q_i^t \geq 0 \tag{2}$$

式(3)の通り、リンク i における t 年目のリンクコスト関数 $f(q_i^t)$ を、時間費用と、走行に対して掛かる課税分の和で定義する。走行に対する課税は燃料税・走行距離課税等を想定するが、ここでは一般化し T_i^t と表す。 T_i^t は燃料税の場合、燃費に依存するため速度及び走行距離の関数、走行距離課税の場合は走行距離の関数となることに留意したい。また δ については、燃料税のように利用者が普段走行時に認識しないものであれば 0、走行距離課税のように明示的に課税を行うものには 1 を代入することにより、利用者のリンク i 通過に伴う課税への認識度を反映する構造を仮定する。

$$f(q_i^t) = h \cdot L_i / v(v_f^t, C_i^t, q_i^t) + \delta \cdot T_i^t \tag{3}$$

$f(q_i^t)$: リンク i の t 年目リンクコスト関数 [円], h : 時間価値原単位 [円/h], L_i : リンク i 区間長 [km], δ : 利用者の課税認識 [1: 認識する, 0: 認識しない], T_i^t : リンク i の t 年目課税額 [円]

なお、 q - v 曲線、課税額はリンク i ごとに与える形で表したが、これらは主にリンク i の属する階層により差別化されたものを想定している。

3.3 性能目標達成時のリンク交通量算出

全リンクで所与の目標旅行速度が達成されている場合の q - v 曲線の必要条件を求める。ここで仮に、全てのリンク i において交通量によらず性能目標速度 u_i を

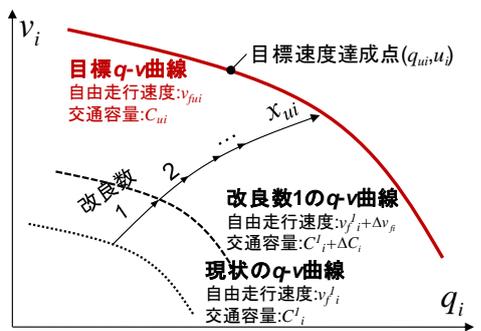


図-2 q-v 曲線改良のイメージ(リンク i)

達成する flow-independent な一般化費用 f_{ui} を式(4)の通り定義する.

$$f_{ui} = h \cdot L_i / u_i + \delta \cdot T_i \quad (4)$$

この費用関数の下では、所与の OD 交通需要に対して all-or-nothing 配分により利用者均衡解 (q_{ui}, u_i) を求めることができる. この解を通り、かつ狭義の単調減少となる任意の $q-v$ 曲線 $\tilde{v}(q_i)$ を用いて式(5)(6)の通りリンクコスト関数 $\tilde{f}(q_i)$ を定義すると、利用者均衡解における全リンクの旅行速度は目標旅行速度 u_i に一致する(証明略). したがって全リンクで目標性能を達成するには、全リンクの $q-v$ 曲線が式(7)を満たす必要がある.

$$\tilde{f}(q_i) = h \cdot L_i / \tilde{v}(q_i) + \delta \cdot T_i \quad (5)$$

$$\partial \tilde{v} / \partial q_i < 0, \text{ for } \forall q_i \geq 0 \quad (6)$$

$$\tilde{v}(q_{ui}) = u_i \quad (7)$$

3.4 q-v 曲線の更新方法と目標 q-v 曲線

任意の $\tilde{v}(q_i)$ から目標とする $q-v$ 曲線を一意に決定するため、リンク i へのある改良工事 1 単位による v_f, C の改善度を所与の一定値とし、それぞれ Δv_{fi} [km/h], ΔC_i [veh/日] とする. これは図-2 のように v_f, C の改良を重ね、現状の $q-v$ 曲線を目標 $q-v$ 曲線へ向けてシフトしていくイメージである. 対象とする改良工事の種類に応じて $\Delta v_{fi}, \Delta C_i$ は変動し、例えば遅れ解消を狙った交差点の改良であれば $\Delta C_i = 0$ で、ほぼ自由走行速度のみが改良されるというケースも想定できる. また、 $\Delta v_{fi}, \Delta C_i$ はリンク i の属する階層により大きく異なるものと考えられる. リンク i の目標 $q-v$ 曲線への到達に必要な改良工事数を x_{ui} 、目標 $q-v$ の自由走行速度を v_{fui} [km/h]、交通容量を C_{ui} [veh/日] (いずれも未知数) とおくと、目標速度達成点、自由走行速度、交通容量に関する条件式(8)(9)(10)がそれぞれ与えられる.

$$\begin{cases} u_i = v(v_{fui}, C_{ui}, q_{ui}) & (8) \\ v_{fui} = v_{fi}^1 + x_{ui} \cdot \Delta v_{fi} & (9) \\ C_{ui} = C_i^1 + x_{ui} \cdot \Delta C_i & (10) \end{cases}$$

これらを x_{ui}, v_{fui}, C_{ui} について解くと、リンク i の目標 $q-v$ 曲線と必要改良回数が一意的に決定される.

3.5 課税-投資による道路改良手法

上記で算出した目標 $q-v$ 曲線と必要改良回数に基づき、各年期の課税額と道路改良回数の逐次計算を行う. (1) t 年目の各リンク交通量 q_i^t およびその時の旅行速度 v_i^t を、 t 年目各リンク i の一般化費用関数を用いた

利用者均衡配分により算出する.

- (2) 目標の達成判定を行う. 全てのリンクにおいて t 年目改良回数 x_i^t が必要改良回数 x_{ui} を満たしている場合、計算を終了し、満たしていない場合は、計算を続行する.
- (3) 各リンクの課税と維持管理費を算出し、ネットワーク全体での収支を求める. リンク i の年間維持管理費は、経年の道路改良に応じて増加すると仮定し、1 年目維持管理費及び改良回数の関数であると定義する.

$$M_{total}^t = \sum_i M_i^t = \sum_i h(M_i^1, \sum_{l=1}^{t-1} x_i^l) \quad (11)$$

M_{total}^t : ネットワーク全体の t 年目維持管理費 [円/年], M_i^t : リンク i の t 年目維持管理費 [円/年], x_i^t : リンク i の t 年目に行う改良回数

一方、リンク i の年間課税額は、リンクの走行に対する課税と、走行に依らない自動車関連税(自動車取得税や重量税などを想定)の和により算出される.

$$\begin{aligned} R_{total}^t &= \sum_i R_i^t + R_{other}^t \\ &= \sum_i (T_i^t \cdot q_i^t \cdot 365) + R_{other}^t \end{aligned} \quad (12)$$

R_{total}^t : ネットワーク全体の t 年目課税 [円/年], R_i^t : リンク i の t 年目の走行に対する課税額 [円/年], R_{other}^t : t 年目自動車関連課税 [円/年]

仮に、リンクへの投資額についてリンク間のプール制をとるならば、全体の課税と維持管理費の差額 $R_{total}^t - M_{total}^t$ が改良のための総投資可能額である. もしこの値が負であれば、課税-道路改良投資が t 年目で不可能になると判断されるので、性能目標速度や課税方法の見直しを行うべきである.

- (4) 投資額を各リンクに配分する. 仮に、総投資額をリンクごとの目標達成に必要な費用の比率に応じて配分すると、リンク i の年間投資額は式(13)に示される. なおこのとき定義から、全てのリンクで同年期に目標 $q-v$ 曲線が達成される. 改良を重ねるごとに改良に必要な工事費用も変動すると考えられるが、今回は変動を考慮せず一定とする.

$$E_i^t = (R_{total}^t - M_{total}^t) \cdot \frac{(x_{ui} - \sum_{l=1}^{t-1} x_i^l) \cdot p_i}{\sum_i (x_{ui} - \sum_{l=1}^{t-1} x_i^l) \cdot p_i} \quad (13)$$

E_i^t : リンク i の t 年目投資額 [円/年], p_i : リンク i の 1 改良工事費 [円] リンク i の投資額 E_i^t を 1 改良当たり工事費で除することにより、 t 年目に行われる改良回数 x_i^t が求められる.

$$x_i^t = E_i^t / p_i \quad (14)$$

- (5) 改良により v_f, C を更新する. $t=t+1$ とし、(1)に戻る.

$$v_{fi}^{t+1} = v_{fi}^t + x_i^t \cdot \Delta v_{fi} \quad (15)$$

$$C_i^{t+1} = C_i^t + x_i^t \cdot \Delta C_i \quad (16)$$

4. おわりに

本稿では階層に応じた性能目標の実現のための課税-道路改良投資の手法を提案した. 今後は具体的な数値計算により本手法の特性を検証していく必要がある.

参考文献

- 1) 中村英樹, 大口敬, 森田隼之, 桑原雅夫, 尾崎晴男: 機能に対応した道路幾何構造設計のための道路階層区分の試案, 土木計画学研究・講演集, Vol31, CD-ROM, 2005.
- 2) 大口敬, 中村英樹, 桑原雅夫: 交通需要の時空間変動を考慮した新たな道路ネットワーク計画設計試論, 土木計画学研究・講演集, Vol.33, CD-ROM, 2006.