

# 道路縮減のためのネットワークデザイン問題 における評価基準の一考察

御村 まゆ<sup>1</sup>・杉浦 聡志<sup>2</sup>・高木 朗義<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 非会員 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)  
E-mail: t3030060@edu.gifu-u.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 岐阜大学助教 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)  
E-mail: sugi\_s@gifu-u.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)  
E-mail: a\_takagi@gifu-u.ac.jp

わが国では高度成長期から建設され続けた道路の維持管理、更新が大きな課題となっており、必要性の小さい道路は縮減することも検討すべきだろう。一方で労働人口の減少を踏まえればこそ、輸送効率化のための道路は整備する必要がある。したがって、道路に対する投資効率化のために適切なネットワーク形状を検討する必要性は大きいと考える。最適なネットワーク形状を求めるネットワークデザイン問題は一般的にフローの旅行時間と道路の整備費用のみを考慮する。道路のもつその他の効果について取り扱った研究は多くない。本研究では事業評価における「事業の効果や必要性を評価するための指標」を整理し、CVM等により原単位が定められる2項目についてネットワークデザイン問題に導入する方法を示した。構築したモデルを仮想ネットワークで試算し、モデルの挙動を確認した。

**Key Words:** network design problem, road shrinking, mix integer linear programming problem.

## 1. はじめに

わが国では高度成長期から道路が建設され続け、主要構造物である橋梁が約 70 万橋、トンネルが約 1 万本蓄積されてきた。平成 26 年にはこれらの構造物について、劣化による破損を確実に発見するため 5 年に 1 度の近接目視による点検が義務付けられた<sup>1)</sup>。これにより、今後は点検費用とその結果として発見される劣化に対応するための補修費用が増大すると考えられる。効率的な道路維持管理に向けて、LCC (ライフサイクルコスト) を縮減するためのアセットマネジメント取り組みの精力的に進められている<sup>2)</sup>。しかしながら、国土交通省によるインフラの老朽化に関する地方公共団体へのアンケート調査<sup>3)</sup>によれば、「予算等の不足により、構造物等の機能・サービス水準低下のほか、安全性に支障が生じる」と感じている団体が 86.4%、「増加する老朽化構造物等への対応により、既存構造物の統廃合が必要になる」と感じている団体が 23.7%という結果が得られている。平成 27 年 9 月に閣議決定された第 4 次社会資本整備重点計画では「本格的な人口減少社会の到来を見据え、必要性のなくなった社会資本は廃止、除却等の対応を図る」、「必

要な社会資本についても、更新の機会を捉えて、社会経済状況の変化に応じた機能転換や集約・再編等の規模の適正化を図る」としている。

一方で、労働人口の減少を踏まえればこそ、経済活動を支える輸送の効率化のために必要な道路は整備する必要があると考える。特に高規格な道路が整備されれば、周辺の道路交通需要の転換が図られる。このとき、需要が小さくなった道路については道路縮約施策が実施可能となる場合も生じうる。このように、新規道路建設と道路縮約施策はフローの転換において密接に関係するため、同時に検討される必要があると考える。

以上より、選択と集中の投資が求められる今後のわが国においては、道路の統廃合や新設の計画を統合的に取り扱い、適切なネットワークの形状を検討する必要性は大きいと考える。設定した目的関数を最適とするネットワーク形状を求める方法論はネットワークデザイン問題として知られており、多くの研究蓄積がある。特にフローの行動について UE (User Equilibrium) を仮定して、混雑の影響を考慮したネットワークデザイン問題は、Marcotte<sup>5)</sup>、Friesz et al<sup>6)</sup>、Gallo et al<sup>7)</sup>などで提案されている。これらの研究では利用者の旅行時間と建設費用の重み付

き和を目的関数としている。一般的な費用便益分析で道路事業の是非を検討する際には、総走行時間のほかに、総走行費用や事故軽減など（以下、3 便益という）を考慮して便益を計算する。あるいは特に自動車交通量が小さい地域で便益項目を拡張して分析する例なども散見される<sup>たとえ8)</sup>。したがって、ネットワークの形状に対する投資の是非を検討するとき、総走行時間のみを考慮するだけでは不十分であると考え。特に道路の統廃合を検討するときには特定の利用者のサービス水準が著しく低下しないよう、道路の供する機能を十分に鑑みて意思決定される必要がある。ネットワークデザイン問題において総走行時間と建設費用以外の項目を考慮して分析した例としては公平性の概念を導入した Feng et al<sup>9)</sup>があるが、そのほかには筆者に知る限りみあたらない。以上の問題意識の下に、本研究では事業評価で用いられている「事業の効果を評価するための指標」（以下、評価指標という）を整理し、CVM（Contingent Valuation Method）などを採用することにより効用原単位が明らかにできる項目について、ネットワークデザイン問題に導入する。具体的には OD 間のアクセス時間に関する効用と、複数経路を確保することによる効用の導入方法について検討した。また、構築したモデルを仮想ネットワークに適用し、挙動を確認する。

## 2. 事業評価に用いられる評価指標の整理

国土交通省が公開している一般国道 21 号坂祝バイパス、一般国道 19 号瑞浪バイパス、一般国道 360 号宮川細入道路の事業評価カルテ<sup>10-12)</sup>より評価指標を抽出した。これらは主要都市間を接続する幹線道路と地方中小都市間を接続する一般県道の事例を収集することで、多くの評価指標を抽出することを狙ったものである。評価指標は 54 項目あり、それらを計測可能性や 3 便益との比較から以下の表の 6 つに区分した。評価基準を定義困難な指標は、「都市再生プロジェクトの支援する」や、「地域高規格道路の位置づけがある」、など具体的な効果として計測するには波及効果を考慮する必要があり、ネットワーク上の効果として直接的に表現することが困難な項目と考えられる。これらが 35 項目あった。3 便益と重複すると思われる項目は 2 項目あった。歩行者自動車に関する項目は 4 項目、アクセス時間に関する指標は 6 項目あった。複数経路を確保する項目は 1 項目、交通量を考慮すれば原単位が存在し、計測可能な項目は 6 項目あった。表 1 には各区分の評価指標を例示している。

評価基準が定義困難な項目はネットワークの形状から直接的に効用を計測することが困難であるため、本稿では扱わない。道路事業以外のプロジェクトで議論される波及効果までネットワークデザイン問題に記述すること

表-1 収集した評価指標

|                      |   |
|----------------------|---|
| 評価基準を定義困難な指標         | <ul style="list-style-type: none"> <li>都市再生プロジェクトを支援する</li> <li>地域高規格道路の位置づけあり</li> <li>中心市街地内で行う事業である</li> <li>関連する大規模道路事業と一体的に整備する必要あり</li> </ul> |
| 3 便益と重複する指標          | <ul style="list-style-type: none"> <li>現道等の年間渋滞損失時間</li> </ul>  |
| 歩行者・自転車に関する指標        | <ul style="list-style-type: none"> <li>歩道がないまたは狭小な区間に歩道が設置される</li> <li>自転車空間の整備により、当該区間の歩行者、自転車の快適性、安全性が保障される</li> </ul>                            |
| アクセス時間に関する指標         | <ul style="list-style-type: none"> <li>三次医療施設へのアクセス向上</li> <li>新幹線、特急停車駅へのアクセス向上</li> </ul>   |
| 複数経路確保の指標            | <ul style="list-style-type: none"> <li>災害による 1, 2 箇所の道路寸断で孤立する集落を解消</li> </ul>  |
| 交通量と便益原単位の乗算で計測可能な指標 | <ul style="list-style-type: none"> <li>環境改善便益</li> <li>交通不能区間の解消</li> <li>旅行速度の改善</li> </ul>  |

は困難であると考え。したがって、各プロジェクトにおける道路の役割と、ネットワークデザイン問題で得られる解の両者を吟味して投資の意思決定がされるべきであろう。歩行者、自転車に関する指標について考える。例えば道路を自動車交通の通行機能を制限するような廃止政策を採用としたとしても、別途歩行者及び自転車は通れるような政策も可能である。老朽化橋梁を含む道路において自動車道として供用された区間で自動車通行を禁止し、歩行者道として供用する事例も散見される。したがって、歩行者、自転車の通行機能については自動車の通行機能とは別に議論することも可能である。そのため、本稿ではこの評価指標は扱わない。3 便益と重複する指標は、ダブルカウントとなるため対象としない。交通量と便益原単位の乗算で計測可能な指標については、ネットワークデザイン問題において目的関数に採用される総走行時間の項、あるいはリンク交通量に効用原単位を乗ずることで容易に考慮可能であるため、ここでは取り扱わない。以上より、本稿ではアクセス性に関する効用と孤立解消に関する効用について考慮したネットワークデザインモデルについて構築する。

## 3. 評価指標を拡張したモデルの構築

### (1) 道路統廃合を考慮したネットワークデザイン問題

ネットワーク上のフローに UE (User equilibrium) を仮定したネットワークデザイン問題の研究蓄積は多くある。Wang and Lo<sup>13)</sup>はこの問題を線形計画問題で記述するこ

とで厳密解を求めるモデルを構築した。本稿ではまず Wang and Lo を援用し、道路統廃合を考慮できるように拡張する。すなわち、UE 均衡を制約条件とし、維持管理費用と総走行時間と時間価値を乗じた値の和を最小とするネットワーク形状を求める問題となる。拡張したモデルの定式化にあたり、必要となる変数を以下に整理する。

- $A$  : リンクの集合
- $W$  : OD ペアの集合
- $R$  : 経路の集合
- $S$  : 道路区間の集合。各道路区間は複数のリンクで定義される。
- $x_a$  : リンク  $a$  の交通量 (未知変数)
- $y_k$  : 区間  $k$  を維持するならば 1, そうでなければ 0 をとる変数 (未知変数)
- $\pi^w$  : OD ペア  $w$  間の所要時間 (未知変数)
- $\rho$  : 時間価値
- $q^w$  : OD ペア  $w$  の OD 交通量
- $g_k$  : 道路区間  $k$  のライフサイクルコスト
- $f_p^w$  : OD ペア  $w$ , 経路  $p$  における交通量 (未知変数)
- $\xi_{a,n}$  : リンク  $a$  が区分線形化された BPR 関数の区間  $n$  に該当すれば 1, そうでなければ 0 を取る変数 (未知変数)
- $K_{a,n}$  : リンク  $a$  に関する BPR 関数の区分線形化における  $n$  番目の閾値
- $t_a$  : リンク  $a$  の所要時間 (未知変数)
- $d_p^w$  : OD ペア  $w$ , 経路  $p$  の所要時間 (未知変数)
- $\sigma_p^w$  : OD ペア  $w$  において経路  $p$  が使用されれば 0, そうでなければ 1 を取る変数 (未知変数)
- $\delta_{ap}^w$  : OD ペア  $w$ , 経路  $p$  にリンク  $a$  が含まれるときに 1, そうでなければ 0 をとる変数
- $L$  : 十分に小さい負の値
- $U$  : 十分に大きい正の値
- $\varepsilon$  : 微小な数値

以上を踏まえてモデルは以下のように定式化できる。この問題は混合整数線形計画問題である。

$$\min_{x,y,f,\pi,t,\sigma,\xi} Z(x, y, \pi) \quad (1)$$

$$= \sum_{w \in W} \rho \cdot q^w \cdot \pi^w + \sum_{k \in K} g_k y_k$$

Subject to

$$\sum_{p \in R_w} f_p^w = q^w \quad (2)$$

$$L \cdot \xi_{a,n} \leq x_a - K_{a,n} \leq U \cdot (1 - \xi_{a,n}) - \varepsilon \quad (3)$$

$$\zeta_{a,n} = \xi_{a,n+1} - \xi_{a,n} \quad (4)$$

$$L \cdot (1 - \zeta_{a,n}) \leq t_a \quad (5)$$

$$- (b_n^a x_a + c_n^a + U \cdot (1 - y_{k(a)})) \leq U \cdot (1 - \zeta_{a,n})$$

Where

$$b_n^a = \left. \frac{\partial t_a}{\partial x_a} \right|_{(K_{a,n})}$$

$$c_{n,m}^a = t_a(K_{a,n}) - K_{a,n} \cdot \left. \frac{\partial t_a}{\partial x_a} \right|_{(K_{a,n})}$$

$$L \cdot \sigma_p^w + \varepsilon \leq f_p^w \leq U \cdot (1 - \sigma_p^w) \quad (6)$$

$$L \cdot \sigma_p^w \leq d_p^w - \pi^w \leq U \cdot \sigma_p^w \quad (7)$$

$$d_p^w - \pi^w \geq 0 \quad (8)$$

$$x_a = \sum_{w \in W} \sum_{p \in R_w} \delta_{ap}^w f_p^w \quad (9)$$

$$d_p^w = \sum_{a \in R_p} \delta_{ap}^w \cdot t_a(x_a) \quad (10)$$

$$x_a \geq 0, y_k = \{0,1\}, \pi^w \geq 0, \quad (11)$$

$$f_p^w \geq 0, t_a \geq 0, \sigma_p^w \geq 0, \delta_{ap}^w \geq 0$$

$$\forall a \in A, w \in W, k \in S, p \in R$$

(1)式は各リンクの LCC のネットワーク総和と総走行時間と時間価値を乗じた値の和で定義された目的関数である。(2)式は OD 交通量と経路交通量の保存則である。(3)~(5)式は BPR 関数を区分線形化し、各リンクの所要時間を求めるための制約である。(6)~(8)式は利用者均衡状態を制約するものである。(9)式はリンク交通量と経路交通量の関係を示した制約、(10)式は OD 間所要時間とリンク所要時間の関係を示した制約である。(11)式は未知変数の取りうる値を制約するものである。

このネットワークデザイン問題の求解法は、交通量配分において経路を列挙する過程を含まない。そのため、最適化演算の前に事前に十分な数の OD 間の経路を列挙する必要がある。本研究では  $k$  番目経路探索を用いて経路列挙することとした。なお、本稿で取り扱うモデルの解である道路区間の存在を示す  $y_k = \{0,1\}$  は既存道路の維持、廃止を意味するところであるが、新規計画道路の採否も全く同様に示すことができる。新規計画道路の場合においては  $g_k$  にイニシャルコストを含むライフサイクルコストを入力すればよい。

## (2) 複数経路を確保する効用の考慮

山間地などにおいて市街地への複数経路が確保されていることで、災害時の孤立危険性を低下させることができる。複数経路を確保する効用は CVM などの仮想市場

法を用いて対象集落住民の支払意思額を求めることで、原単位とする方法などが考えられる。この指標をネットワークデザイン問題に考慮するために、Kurauchi et al<sup>14)</sup>の非重複経路の概念を援用する。非重複経路は、OD ペア間において、リンクを共有することのない経路のことである。したがって、非重複経路が2つ以上存在すれば、複数経路が確保されていると評価できる。非重複経路が2より大きいときに効用が生じ、1のときに生じないようモデルを拡張する。以上より(1)式から(11)式までの問題の制約条件に以下を追加する。

$$\sum_{a \in \text{Out}(o_\varphi)} s_{\varphi a} = 1 + \psi_\varphi, \quad \sum_{a \in \text{Out}(d_\varphi)} s_{\varphi a} = 0 \quad (12)$$

$$\forall \varphi \in \Phi$$

$$\sum_{a \in \text{In}(o_\varphi)} s_{wa} = 0, \quad \sum_{a \in \text{In}(d_\varphi)} s_{\varphi a} = 1 + \psi_\varphi \quad (13)$$

$$\forall \varphi \in \Phi$$

$$\sum_{a \in \text{In}(n)} s_{\varphi a} - \sum_{a \in \text{Out}(n)} s_{\varphi a} = 0 \quad (14)$$

$$\forall n \in N, n \neq o_\varphi, n \neq d_\varphi, \varphi \in \Phi$$

$$s_{\varphi a} \leq y_{k(a)} \quad \psi_\varphi = \{0,1\} \quad \forall \varphi \in \Phi, a \in A \quad (15)$$

ここで、 $s_{\varphi a}$  : リンク  $a$  を通過する OD ペア  $\varphi$  の経路数を示す正の整数 (未知変数) .  $\Phi$  : 複数経路を確保することで効用が生じる OD ペアの集合. ただし、 $\Phi \in W$  である.  $\psi_\varphi$  : OD ペア  $\varphi$  に2本目の経路が存在するかを示す未知変数である.

(12), (13)式はODの出発地, 到着地における条件である.  $\psi_\varphi$  が1であるとき, (12)式の右辺は2となり, (12)から(14)式の条件を満たすためには非重複経路が2つ以上確保されなければならない.  $\psi_\varphi$  が0であるときは経路が1つ確保されていけばよい. ここで, (15)式は道路統廃合するとき, すなわち  $y_{k(a)} = 0$  であるとき, そのリンクを使用できないことを制約する条件である. これらの条件を満たしたうえで目的関数に  $-\sum_{\varphi \in \Phi} v_\varphi \psi_\varphi$  を加えることで, 複数の経路を確保したときの効用を表現し, 目的関数最小化により非重複経路が2つ以上存在する場合には  $\psi_\varphi = 1$  となる. ここで,  $v_\varphi$  : CVM 等で推定された災害等の孤立を回避するために複数経路を確保することによる効用である.

### (3) アクセス時間に関する効用の考慮

居住する地域から空港や主要鉄道駅などの重要な交通結節点へのアクセス時間に関する効用を考慮できるようネットワークデザイン問題の拡張を考える. ここでは, 居住する地域から交通結節点までのアクセス時間に閾値を設けて, その閾値を下回れば効用が生じると考える.

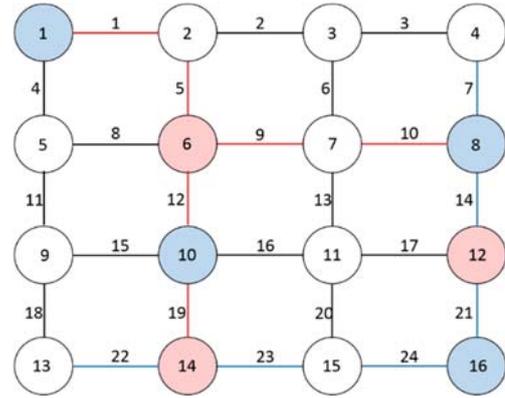


図-1 仮想ネットワークの形状

表-2 各リンクの概要

|  | 自由旅行時間 | 交通容量   | 維持管理費用  |
|--|--------|--------|---------|
|  | 5      | 10,000 | 500,000 |
|  | 6      | 7,000  | 200,000 |
|  | 7      | 5,000  | 100,000 |

表-3 各OD間の交通量

| OD交通量 | D      |        |        | 総計     |
|-------|--------|--------|--------|--------|
|       | 6      | 12     | 14     |        |
| 1     | 3,427  | 2,329  | 2,801  | 8,557  |
| 8     | 4,001  | 4,328  | 3,275  | 11,604 |
| 10    | 4,648  | 3,741  | 4,669  | 13,058 |
| 16    | 2,924  | 4,602  | 4,255  | 11,780 |
| 総計    | 15,000 | 15,000 | 15,000 | 45,000 |

すなわち, (1)式から(11)式の問題で導出される  $\pi^w$  がアクセス時間に関する効用を生じさせる閾値  $\rho_w$  よりも小さければ, 効用を生じると考える. 以上の要件を踏まえて, 制約条件に以下を追加する.

$$(\rho_w - \pi^w) - \gamma_w \cdot U \leq 0 \quad (16)$$

$$(\pi^w - \rho_w) - (1 - \gamma_w)U \leq 0 \quad (17)$$

ここで,  $\gamma_w$  : ODw のアクセス時間による効用を生じるか否かを示す2値変数 (0,1) である.

(16)式, (17)式を制約条件として考慮すると,  $\pi^w - \rho_w$  が正の値であれば,  $\gamma_w = 0$  となり, 効用が生じない. 負の値となれば  $\gamma_w = 1$  となり, 効用が生じるよう表現が可能となる. これらの条件を満たしたうえで, 目的関数に  $-\sum_{w \in W} h_w \gamma_w$  を加えることで, アクセス時間に関する効用を表現できる. ただし,  $h_w$  はアクセス向上効用を考慮する必要がある OD ペアにのみ CVM などで推計された正の値, そうでないものは0である.

## 4. 仮想ネットワークにおける試算

### (1) 条件設定

前章で示したモデルの挙動を確認するために, 図-1に示す仮想ネットワークを対象に試算した. 図中青丸で示す出発地ノードである4つの居住地, 赤丸で示す目的地ノードである3つの商業立地を配置する. 各リンクは,

赤いリンクを交通容量・維持管理費用ともに大きな幹線道路，外郭に設置した青いリンクを次に大きい準幹線道路，その他の黒いリンクを一番小さい生活道路というように区別をつけて設定する。表-2 はそれぞれのリンクに設定した自由旅行時間，交通容量，維持管理費用を示している。これらの値は，モデルを試算するために与えた仮想的な値である。リンク特性の相対的な差に基づいて，以降は考察する。リンクはそれぞれ上下線が存在するが，維持管理については上下線合わせた区間として費用を考慮することが妥当であると考え，各道路区間 $k$ は上下線のリンクで構成する。また表-3 は，各 OD 間の交通量を示している。時間価値 $\rho = 5$ とする。各 OD について  $k$  番目経路探索で 10 番目までの経路を用意する。本稿では語句の統一のため，すべての道路区間を既存道路として，道路の維持，廃止が最適解に導出されるものとする。

試算は 3 ケースとする。ケース 1 は目的関数に維持管理費用と総走行時間に時間価値を乗じた値（以下，総走行時間項という）を設定したベースケースである。ケース 1 の条件に，各出発ノードからノード 6 へのアクセス時間に関する指標（以下，アクセス効用という）を付加し，アクセス指標の効果を確認するものをケース 2 とする。ケース 3 は，ノード 1 からノード 6 の OD に複数経路を確保したときの効用を評価する項を追加したものである。

(2) ケース 1 の試算結果

図-2 からわかるように，ノード 6 から 8 を繋ぐ幹線道路が全て廃止になっている。これは幹線道路を廃止し，生活道路を経由する経路を残すことで維持管理費用を抑えた結果であると考えられる。また，南北に通る幹線道路が残され，ノード 1 から 13 までのリンクが全て廃止されていることがわかる。これは，表 3 よりノード 10 から，ノード 6，14 への交通量が多いことから交通容量の大きい幹線道路を残し，コストをなるべく抑えるために残りの生活道路を全て廃止したためだと考える。総走行時間項は表-3 の OD 交通量に各ケースでの OD 間所要時間を掛け合わせることで求められる。ケース 1 では，総走行時間項は 4025，総維持管理費用は 3500 である。

(3) ケース 2 の試算結果

このケースではケース 1 と比較してアクセス指標を付加したことによる最適なネットワーク形状の変化を考察する。アクセス指標の原単位は対象の OD ペア全てで 300 とした。ケース 2 での，総走行費用は 3717，総維持管理費用は 4100 である。図-2 と図-3 を比較するとリンク 2，3，17 が廃止され，リンク 9，10 が残された。これは，ノード 8 から 6 への OD ペアにアクセス指標が付加される図 3 の形状は，混雑する交通容量の小さい道路で迂回

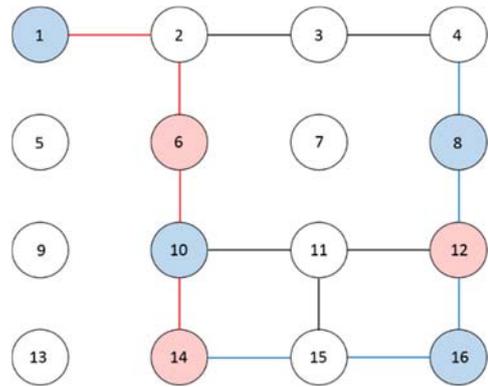


図-2 ケース1のネットワーク図

表-4 ケース1での各OD間所要時間

| 所要時間 | D       |         |         | 総計       |         |
|------|---------|---------|---------|----------|---------|
|      | 6       | 12      | 14      |          |         |
| O    | 1       | 14.0133 | 42.7043 | 25.6387  | 82.3563 |
|      | 8       | 32.6073 | 10.5581 | 25.0000  | 68.1654 |
|      | 10      | 6.3686  | 23.1995 | 6.1339   | 35.7020 |
|      | 16      | 22.9545 | 9.7699  | 16.5967  | 49.3211 |
| 総計   | 75.9437 | 86.2318 | 73.3693 | 235.5448 |         |

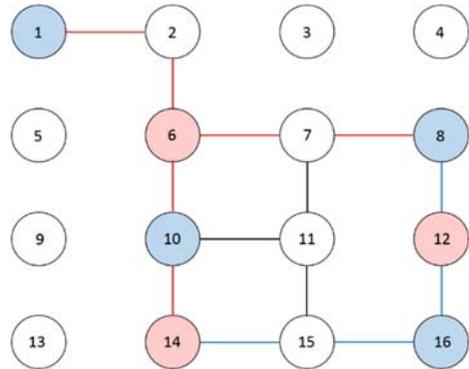


図-3 ケース2のネットワーク図

表-5 ケース2における OD 間所要時間

| 所要時間 | D      |         |         | 総計       |         |
|------|--------|---------|---------|----------|---------|
|      | 6      | 12      | 14      |          |         |
| O    | 1      | 13.3204 | 34.6158 | 25.2382  | 73.1744 |
|      | 8      | 13.0553 | 10.9331 | 24.9732  | 48.9616 |
|      | 10     | 5.8177  | 27.1132 | 6.7367   | 39.6676 |
|      | 16     | 29.4496 | 10.1969 | 16.9545  | 56.601  |
| 総計   | 61.643 | 82.859  | 73.9026 | 218.4046 |         |

するより，交通容量の大きな幹線道路を維持することで目的関数が小さくなるという結果によるものだと考えられる。表 4，表 5 より，ノード 6 へのアクセス指標の影響から，ノード 6 への各 OD 間所要時間はノード 16 を除いて小さくなっている。特に幹線道路を維持することでノード 8 からノード 6 の OD 間所要時間が大幅に小さくなっていることがわかる。また，維持管理費用はケース 2 のほうが大きく，総走行費用は小さくなっている。すなわち，ケース 1 と比べて道路網全体では維持管理費用を大きくしても，アクセス指標を生じさせる解が最適

となったことを示す。

以上の結果より、アクセス効用を付加することで、最適となるネットワーク形状が変化することを確認できた。

#### (4) ケース 3 の試算結果

図-2 よりケース 1 ではノード 1 と接続する道路区間は 1 つしかない。このときに OD ペアノード 1 からノード 6 の接続について、効用原単位 600 の複数経路を確保することによる効用を付加する。ケース 3 の最適解における総走行時間項は 4265、総維持管理費用は 3900 である。

図-2 と図-4 を比較すると、リンク 5 が廃止され、リンク 4, 6, 8 が残されている。維持管理費用が大きいリンク 7, 14 を廃止し、費用の安い生活道路を選択することで維持管理費用を低減し、ノード 1 からノード 6 へ 2 本の経路を接続している。一方で表-4 と表-6 を比較するとリンク 5 幹線道路を廃止したことで、ノード 1 からノード 6 の OD 間所要時間が大幅に長くなっていることがわかる。以上より、複数経路を確保することによる効用を考慮することで最適となるネットワーク形状が変化することが確認できた。

## 5. おわりに

本研究では事業評価で示されている評価指標を収集し、道路網の形状を検討するために考慮する必要性について整理した。また、この中で CVM 等により原単位が定められる 2 項目についてネットワークデザイン問題に導入する方法を示した。構築したモデルを仮想ネットワークで試算し、モデルの挙動を確認した。本稿で示した試算結果は、いずれも仮想的な値に基づいたものであるため、考慮した評価指標が実際のネットワークにおいて検討したときに最適なネットワーク形状の決定に大きな影響をもつか不明であることに留意されたい。また、本研究で採用した評価指標は整理した事例のなかから抽出したものである。本稿で扱っていない項目においても地域の状況等に応じてネットワークの形状を検討するために重要な評価指標となるものもあるだろう。それらの考慮は今後の事業評価の事例蓄積を待って検討したい。構築したモデルには線形計画問題を求解する汎用ソルバーを使用した。この場合大規模なネットワークに適用すると求解が困難となる。したがって、実ネットワークへの適用においては解の厳密性は失われるが、ヒューリスティックに求解する方法の採用を検討する必要がある。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 16H06842 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

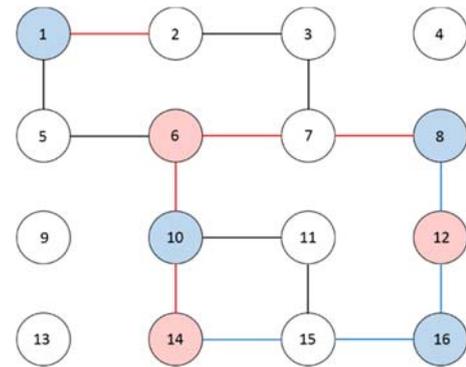


図-4 ケース3のネットワーク図

表-6 ケース3におけるOD間所要時間

| 所要時間 | D       |         |         | 総計       |          |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|
|      | 6       | 12      | 14      |          |          |
| O    | 1       | 27.7111 | 38.6630 | 41.6179  | 107.9920 |
|      | 8       | 12.2598 | 11.8394 | 26.1665  | 50.2657  |
|      | 10      | 7.4052  | 29.6306 | 8.1557   | 45.1915  |
|      | 16      | 25.0000 | 8.6367  | 16.2810  | 49.9177  |
| 総計   | 72.3761 | 88.7697 | 92.2211 | 253.3669 |          |

## 参考文献

- 1) 国土交通省：道路の維持管理に関する省令・告示の制定について（道路法施行規則の一部改正等），平成 26 年 4 月 2 日，  
[<http://www.mlit.go.jp/common/001034659.pdf>]，（最終閲覧日：2017 年 2 月 9 日）
- 2) 国土交通省：社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置，2013 年 3 月 21 日，[<http://www.mlit.go.jp/common/000991905.pdf>]，（最終閲覧日：2017 年 2 月 9 日）. 2013.
- 3) 国土交通省：社会資本整備審議会・交通対策審議会今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について答申参考資料，2013 年 12 月，  
[<http://www.mlit.go.jp/common/001023146.pdf>]，（最終閲覧日：2017 年 2 月 9 日）.
- 4) 千野雅人，人口減少社会「元年」は、いつか？，統計 Today No.9，総務省統計局ウェブページ，  
[<http://www.stat.go.jp/info/today/009.htm>]，（最終閲覧日：2017 年 2 月 9 日）.
- 5) Marcotte,P: Network optimization with continues control parameters, *Transpotation Science*, Vol.17, pp.181-197,1983.
- 6) Friesz, T.L., Tobin, R.L., Cho, HJ. et al.: Sensitivity analysis based heuristic algorithms for mathematical programs with variational inequality constraints, *Mathematical Programming*, Vol48, pp265-284,1990 .
- 7) Mariano Gallo, Luca D’Aciemo, Bruno Montella: A meta-heuristic algorithm for solving the road network design, *European Journal of Operational Research*, Vol.201, No.1, pp144-157, 2010.
- 8) 青森県県土整備部：道路整備事業における県独自の費用便益分析実施要綱，2012 .  
[<http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikaku/kikaku/files/h25-dourobenneki.pdf>]，（最終閲覧日：2017 年 4 月 24 日）.
- 9) Feng, T, Zhang, J, Fujiwara, A, Timmermans, H: Incorporating Accessibility-based Equity into Stochastic

- Road Network Design Problem: Sensitive Analyses and Policy Implications, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 8, P 997-1010, 2010.
- 10) 国土交通省事業評価カルテ（岐阜南部横断ハイウェイ一般国道 21 号坂祝バイパス），  
[[http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/jghks/karute/img/04220885002/04220885002\\_1.pdf](http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/jghks/karute/img/04220885002/04220885002_1.pdf)],（最終閲覧日：2017 年 4 月 26 日）。
- 11) 国土交通省事業評価カルテ（一般国道瑞浪バイパス），  
[<http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/jghks/karute/04310885001.htm>],（最終閲覧日：2017 年 4 月 26 日）。
- 12) 国土交通省事業評価カルテ（一般国道 360 号宮川細入道路），  
[[http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/jghks/karute/img/12310885002/12310885002\\_1.pdf](http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/jghks/karute/img/12310885002/12310885002_1.pdf)],（最終閲覧日：2017 年 4 月 26 日）。
- 13) D. Z. W. Wang and H. K. Lo, “Global optimum of the linearized network design problem with equilibrium flows,” *Transportation Research B: Methodological*, vol. 44, no. 4, pp. 482–492, 2010.
- 14) Kurauchi, F., Uno, N., Sumalee, A. and Seto, Y.: *Network evaluation based on connectivity vulnerability*, *Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee*, pp.637-679,2009.

(2017. 4. 28 受付)

## A STUDY ON EVALUATION CRITERIA IN NETWORK DESIGN PROBLEM FOR ROAD SHRINKING

Mayu MIMURA, Satoshi SUGIURA and Akiyoshi TAKAGI