

# 維持管理を目的とした生活道路の分類手法に関する研究

## Classification method for Maintenance of Community Road

谷本圭志・村田博美・灘英樹

By Keishi TANIMOTO, Hiromi MURATA, Hideki NADA

### 1. はじめに

市町村は住民に最も近い距離にある基礎自治体であり、住民から様々な要望が届けられる。その一つとして、生活道路の維持管理がある。従来は、その要望になるべく応える形で維持管理を行ってきた自治体も少なくないであろうが、それを今後も踏襲するには様々な問題がある。

一つは、公平性の問題である。例えば、道路の状態や重要性が同じ地区が複数あり、その一つの地区の住民から要望が出た場合、その地区の道路の維持管理を行う一方で、その他の地区には何もしないという非合理的な結果を許す。二つ目は、市町村が管理する生活道路は一般に市町村内に毛細血管のように張り巡らされており、膨大な距離の道路が存在するとともに、今後は人口が減少し、多くの税収が期待できないため、自治体が住民からの一方的な要望に無条件に応えるのでは、将来的には財政的な破綻をもたらさう。

以上を踏まえると、生活道路を管理する市町村にとっては、同じ重要性を有する道路には同じ方針で維持管理を行い、かつ、財政的な持続可能性を確保することが不可欠となる。しかしながら、この観点で生活道路の維持管理を支援する手法については研究の蓄積がない。

そこで本研究では、「同じ重要性を有する道路」を明らかにすることにまず焦点を当てる。具体的には、生活道路の重要性をどのように測定するかを検討するとともに、管理の対象である複数の生活道路を同じ重要性を有する道路に分類する手法を数理計画法を用いて開発する。その上で、これらの検討結果を鳥取県境港市に適用し、本手法の有効性を確認する。

\*キーワード：維持管理計画，地区交通計画

\*\*正員，博（工），鳥取大学院工学研究科社会基盤専攻  
（鳥取市湖山町南4丁目101番地，TEL 0857-31-5310，FAX 0857-31-0882）

\*\*\*学生員，鳥取大学院工学研究科社会基盤専攻  
（鳥取市湖山町南4丁目101番地，TEL 0857-31-5333，FAX 0857-31-0882）

\*\*\*\*正員，境港市役所管理課（境港市上道町3000）

### 2. 本研究のアプローチ

#### (1) 生活道路の重要性の評価

道路の重要性を決定づける主要な要因として交通量がある。すなわち、交通量が多い道路は重要な道路であるとされてきた。ある一定以上の交通量があり、地域経済を支える幹線的な道路については交通量が重要性の有効な代理指標であろう。しかし、交通量が比較的少なく、また、日々の生活を支えるという生活道路の使命を踏まえれば、この視点のみによって重要性を決定することは必ずしも適切ではない。

生活道路は、買い物や通院といった人々の日常的な移動を支える機能から、消防や救急搬送といった緊急時の移動、災害時の避難などの様々な機能を有する。このため、生活道路の重要性はこれらの機能の総合として判断されるものであるが、その総合とはそれぞれの機能に関して生じる交通量の和では必ずしもない。例えば、高齢化した地域では、公共交通や電動カートによる移動の機能が一般車両によるそれよりも優先されることが考えられ、同じ交通量であってもどのような種類の移動かで社会的な価値が異なりうる。さらには、緊急時の移動に関する日々の交通量はほぼ皆無であるが、人々が安心して生活するためには欠かせない機能であり、日常時の交通量に着目すること自体が不適切である。このように、生活道路の重要性は、そこに居住している人々にとってどの機能が生活を営む上で必要であるのか、また、それらの相対的な重みを明らかにすることなしに総合化できない。

また、維持管理を目的とした場合のそれぞれの機能を定量化する場合、それは維持管理をしないことに伴う損失を与えることが適切である。具体的には、維持管理をしないと道路が損傷し、通行できなくなることに伴い、住民が移動するに際して迂回を余儀なくされる。このため、迂回距離（もしくは迂回時間）を当該の機能に関する指標とすることが有用であろう。

以上より、任意の生活道路の重要性は、それが有する機能を迂回距離として測定するとともに、それらの機能の相対的な重みを考慮することで、総合的な評価を得るアプローチが有効である。以下では、このアプ

ローチに立脚して検討をすすめる。

$$g_{re} = \sum_a \sum_{b \in D(a)} d_{ab}(r:e) \quad (1)$$

## (2) 生活道路の分類

上記のように、個々の生活道路は、それぞれの機能に関する迂回距離で特徴づけられる。すなわち、個々の生活道路は、それぞれの機能の指標を要素とした多次元のベクトルとして表わされる。このベクトルに着目し、類似したベクトルをもつ生活道路を同じ分類に属することができれば、「同じ重要性を有する道路」を明らかにすることができる。

代表的な分類手法としてはクラスター分析がある。しかし、クラスター分析ではベクトルをそのまま用いて分類することから、それぞれの機能に関する相対的な重みを反映されないため不適切である。このため、機能に関する相対的な重みを事前に推計し、その重みを乗じた機能、つまり、重みづけされた迂回距離を算定しておくという作業を要する。しかし、このようないくつかの段階を経ることは手間である。一方でこのことを逆手にとれば、機能に関する重みの推計と生活道路の分類を同時に行うことができる手法があれば効率的であり、有用性が高いと言える。

この考え方に基づいた分類手法として、オーダードロジットモデルがある。また、多基準意思決定分析においてもいくつかの手法が提案されており<sup>1)</sup>、その代表としてUTIDAS(Utilites Additives DIScriminales)<sup>2)</sup>がある。オーダードロジットモデルは、迂回距離として測定された機能のみでは表現できない要因を誤差項として含めることができる。一方で、多基準意思決定分析に基づく手法は、現況再現性で有利と言われている<sup>1)</sup>。そこで以下では、これら双方を対象とする。これらの手法には以下の共通点がある。分類の対象となっているすべての個体を即座に分類するのではなく、いくつかのサンプルを選び、予め決定しておいた分類階級にそれらを分析者が割り当てる。その割り当てと同時に、サンプルの多属性効用関数を推計するというアプローチに基づく。なお、この多属性効用関数が、本研究における生活道路の重要性に相当する。次章での生活道路（もしくは道路と略する）とは、サンプルとして選ばれた道路を意味することに留意を要する。

## 3. 検討手法

### (1) 機能の測定

市町村内が維持管理の対象とする道路の集合を $R$ 、任意の道路を $r(r \in R)$ で表す。道路 $r$ が通行できなくなった場合の任意の出発点 $a$ から目的地 $b$ までの機能 $e$ に関する迂回距離を $d_{ab}(r:e)$ で表す。すると道路 $r$ の機能 $e$ に関する評価 $g_{re}$ は次式で与えられる。

ここに $D(a)$ は出発地が $a$ である場合の目的地の集合である。すると道路 $r$ の評価 $g_r$ は次式で表される。ここに、 $n$ は機能の数である。

$$g_r = (g_{r1}, g_{r2}, \dots, g_{rn}) \quad (2)$$

### (2) 生活道路の分類手法

道路 $r$ の多属性効用関数を以下のように定式化する。

$$U(g_r) = \sum_e p_e u(g_{re}) \quad (3)$$

ここに $p_e$ は機能 $e$ の重みであり、次式を満たす。

$$\sum_{e=1}^n p_e = 1 \quad (4)$$

任意の分類階級を $k(1 \leq k \leq q)$ で表し、分類階級 $k$ に属するサンプルの道路の集合を $A_k$ で表す。 $k$ の値が小さいほど重要性が高い階級とする。階級 $k$ の効用の代表値 $u_k$ で表す。 $u_{k+1} < u_k$ が成立するよう、 $u_k$ は次式を満たすとする。ただし、 $s$ は微小な値である。

$$u_k - u_{k+1} \geq s \quad (1 \leq k \leq q-1) \quad (5)$$

道路 $r$ がある分類に属することは、その効用 $U(g_r)$ が、その分類の代表値との距離が他の分類の代表値との距離よりも大きいことと対応づける。すなわち、分類階級 $k$ に属するサンプルの道路 $r$ とは、基本的には次式が成立している道路である。

$$u_k - U(g_r) \leq U(g_r) - u_{k+1} \quad (6)$$

$$U(g_r) - u_k \leq u_{k-1} - U(g_r) \quad (7)$$

### ① オーダードロジットモデル

通常のオーダードロジットモデルは、分類階級ごとの境界値を求めるのに対して、本研究では分類階級の代表値を求めるため、以下に示す定式化は通常モデルに修正を施したものである。(6),(7)式を変形すると次式を得る。ただし、ロジットモデルでの効用関数は

確定項と誤差項の和で与えられることから、前者を  $U(g_r)$ , 後者を  $\varepsilon_r$  で表す.

$$\frac{u_k + u_{k+1}}{2} \leq U(g_r) + \varepsilon_r \leq \frac{u_k + u_{k+1}}{2} \quad (8)$$

上式より次式が得られる.

$$\frac{u_k + u_{k+1}}{2} - U(g_r) \leq \varepsilon_r \leq \frac{u_k + u_{k+1}}{2} - U(g_r) \quad (9)$$

ここで,  $\varepsilon_r$  がガンベル分布にしたがうことから, 道路  $r$  が分類階級  $k$  に属する確率は次式で表される.

$$\frac{1}{1 + \exp[U(g_r) - \frac{u_k + u_{k+1}}{2}]} - \frac{1}{1 + \exp[U(g_r) - \frac{u_{k+1} + u_{k+2}}{2}]} \quad (10)$$

この後は, 尤度関数を導出し, それを最大化することでパラメータを求めることができる.

## ②UTADIS

この手法では, (6), (7)式をすべての道路  $r$  に関して厳密に満たすことは不可能であることを前提とした上で, これらの制約式を充足しない程度を最小化する. すなわち以下のように定式化される. ただし, オーダードロジットモデルと同様に, UTADISは分類階級ごとの境界値を求めるのに対して, 本研究では分類階級の代表値を求めるため, 以下に示す定式化はUTADISに修正を加えたものである.

$$\min \left[ \sum_{k=1}^q \frac{\sum_{r \in A_k} (\sigma_r^+ + \sigma_r^-)}{m_k} \right] \quad (11)$$

$$u_k - U(g_r) - \sigma_r^+ \leq U(g_r) - u_{k+1} \quad (12)$$

$$U(g_r) - u_k - \sigma_r^- \leq u_{k-1} - U(g_r) \quad (13)$$

$$\sigma_r^+ \geq 0 \quad \sigma_r^- \geq 0 \quad (14)$$

ここに  $\sigma_r^-, \sigma_r^+$  は,  $U(g_r)$  が(6), (7)式を充足しない程度である. サンプルの道路  $r$  が所期の分類階級  $k$  に属するパラメータが設定できれば,  $\sigma_r^+ + \sigma_r^- = 0$  が成立する.

## 4. 事例分析

### (1) データの収集

表1 機能とその内容

| 機能     | 内容               |
|--------|------------------|
| 災害時の避難 | 当該地区から指定避難場所への避難 |
| 消防救急活動 | 消防署から当該地区までの緊急搬送 |
| 通勤通学   | 駅へのアクセス          |
|        | 幹線道路へのアクセス       |
| 通園     | 幼稚園保育園への送迎       |
| 農業     | 農業地への通勤          |
| 買い物    | 商店への移動           |
| 通院     | 病院への移動           |
| 介護     | デイサービスへの移動       |
| 自治会活動  | 集会所への移動          |

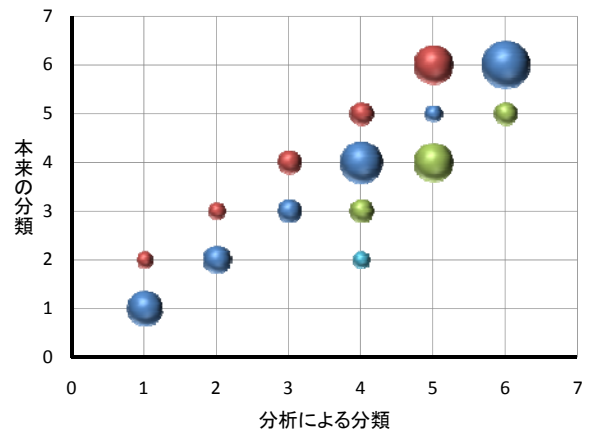


図1 UTADISによる再現性

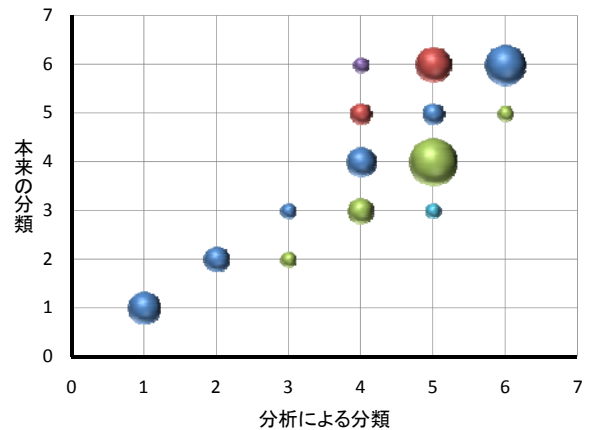


図2 オーダードロジットモデルによる再現性

鳥取県境港市を対象に事例分析を行った. まずは, 境港市の道路分野の担当者との議論により, 生活道路の機能を決定した. その結果を表1に示す. その上で, GISを用いてそれぞれの生活道路の迂回距離を求めるとともに, その値を参照しながらそれぞれの分類階級(今回は6階級とした)に個々のサンプルの生活道路を担当者が割り当てた.

表3 各機能の重みと代表値

| 機能 (e)    | オーダードログジット | UTADIS |
|-----------|------------|--------|
| 災害時の避難    | 0.077      | 0.000  |
| 消防活動      | 0.000      | 0.008  |
| 通勤通学・駅    | 0.282      | 0.081  |
| 通勤通学・幹線道路 | 0.070      | 0.128  |
| 通園        | 0.066      | 0.001  |
| 農業        | 0.012      | 0.000  |
| 買い物       | 0.116      | 0.102  |
| 通院        | 0.351      | 0.661  |
| 介護        | 0.026      | 0.016  |
| 町内会活動     | 0.000      | 0.003  |
| $u_1$     | 71.756     | 45.765 |
| $u_2$     | 4.146      | 2.929  |
| $u_3$     | 3.923      | 0.476  |
| $u_4$     | 1.007      | 0.054  |
| $u_5$     | 0.000      | 0.001  |
| $u_6$     | 0.000      | 0.000  |

## (2) 多属性効用関数の定式化

迂回距離の増大に比して逡増する関数を想定した。すなわち、次式を用いた。

$$U(g_r) = \sum_e p_e g_{re}^2 \quad (15)$$

## (3) 検討結果

分類手法によって得た分類（図中の「分析による分類」）と担当者による分類（図中の「本来の分類」）を図1に示す。なお、図中の軸の数値は分類階級である。図の円の大きさはサンプルの多さを示しており、対角線上のサンプルが多いほど、再現性が高いことを示している。UTADISの分析による分類と本来の分類が一致したものは56%、前後2分類の誤差が生じたものは4%であるのに対して、オーダードログジットモデルの分析による分類と本来の分類が一致したものは48%、前後2分類の誤差が生じたものは6%であり、UTADISの方が良好な再現性が得られた。推計された各機能の重みと代表値をそれぞれ表3に示す。

## 5. おわりに

本研究では、自治体における生活道路の維持管理の方針について述べるとともに、その一部の検討課題である「同じような重要性を有する道路」を明らかにすることに焦点を当てた。

すべての生活道路が属する分類階級が明らかになった後、それぞれの分類階級での維持管理の方針をどのように決定するかについて、方法論の構想を示そう。

維持管理に係る単位時間当たりの期待費用  $C_k(T_k)$  は次式で定式化できる。ここに、 $T_k$  は分類階級  $k$  に属する道路の更新の周期、 $c_f$  は道路が損傷した場合における更新の費用、 $c_p$  は予防的な更新の費用、 $F_k(t)$  は故障時間分布関数、 $\bar{F}_k(t)$  は  $1-F_k(t)$  である。

$$C_k(T_k) = \frac{c_f - (c_f - c_p)\bar{F}_k(t)}{\int_0^{T_k} \bar{F}_k(t) dt} \quad (16)$$

ここに、 $c_p$  は工事に要する費用のみから構成されるが、 $c_f$  はそれと道路の損傷に伴う通行不能によって生じる社会的損失  $\lambda u_k$  の和で与えられる。ただし、 $\lambda (>0)$  は費用と効用の換算係数であり、後述のように予算制約を満たす値として規範的に設定される。

$$C_k(T_k) = \frac{(c + \lambda u_k) - \lambda u_k \bar{F}_k(t)}{\int_0^{T_k} \bar{F}_k(t) dt} \quad (17)$$

すると、次式により最適な更新の周期が求められる。ただし、その値は  $u_k$  と  $\lambda$  によるため、次式ではそのことを強調するために最適な更新の周期をそれらの関数として表記している。

$$g(u_k : \lambda) = \min_{T_k} C_k(T_k) \quad (18)$$

ここで、自治体における単位時間当たりの予算制約が  $I$  であるとする。このとき、予算制約を満たす換算係数の最大値  $\lambda^*$  が次式で求められる。ただし、分類階級  $k$  に属する道路の集合を  $B_k$  で表す

$$\lambda^* = \max_{\lambda} \left[ \lambda \mid \sum_{k=1}^q |B_k| C_k(g(u_k : \lambda)) \leq I \right] \quad (19)$$

以上より、予算制約のもとでの最適な更新の周期は次式で求められる。

$$T_k^* = g(u_k : \lambda^*) \quad (20)$$

## 【参考文献】

- 1) Michael, D. and Constantin, Z.: Multicriteria decision aid classification methods, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- 2) Devaud, J. M., Groussaud, G. and Jacquet-Lagrez E.: UTADI S: Une methode de construction de fonctions d'utilite additive re ndant complete de juggements globaux, European Working Group on Multicriteria Decision Aid, Bochum, 1980.
- 3) 三根久, 河合一: 信頼性・保全性の数理, 朝倉書店, 1982.