

自治会分権型の生活道路維持管理システムに関する研究

Road Maintenance System with Decision Rights Transfer to Local Communities

灘英樹・谷本圭志・村田博美

By Hideki NADA, Keishi TANIMOTO, Hiromi MURATA

1. はじめに

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、その延長は膨大である。また、今後は人口が減少し、多くの税収が期待できない。このため、長期的な観点にたった効率的な道路の維持管理方策が必要となっている。

市町村内の生活道路には様々な性格を持つ道路が混在している。例えば、複数の地区をまたいだ広域的な道路から一つの地区内に閉じた道路、通行できないと人々の様々な活動の支援に支障が出る道路からなくてもさほど支障が生じない道路もあろう。このため、すべての生活道路を一律の扱いで維持管理することは必ずしも有効ではない。

そこで、生活道路をそれぞれの性格に基づいて分類し、それらの分類に応じて維持管理を行うことが有効と考えられる。その際、一定の予算を自治会等の住民組織に与え、それらによって維持管理の対象が決定される道路の分類をあわせて設定し、行政と自治会による分権型のシステムで維持管理を行うことが考えられる。

本研究では、この発想に基づく市町村の生活道路の維持管理システムを構想するとともに、そのもとで、どのように道路を分類し、また、限られた予算をそれぞれの分類区分にどのように配分すれば予算不足に陥ることなく長期的にやり繰りが可能か、ならびに、ライフサイクルコストの最小化の観点で有効かを適応的に見出しうるための計画手法について検討する。

*キーワード：維持管理計画，地区交通計画，計画手法論

**正員，博（工），境港市役所管理課（境港市上道町3000）

***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，TEL0857-31-5310，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，TEL0857-31-5333，FAX0857-31-0882）

2. 自治会分権型維持管理システムと技術的課題

2.1 自治会分権型維持管理システムの概要

自治会等の住民組織と連携した道路事業としては、例えば米国の Neighborhood Traffic Management Program (NTMP) などがある。そこでは事業を行政が公募し、それに住民が申請を行う形態がとられている。このように、住民と行政が連携した道路事業自体は既に導入がなされている。

本研究の構想に基づく維持管理システムでは、まず、行政（＝市町村）が維持管理の対象の決定主体となる道路と自治会が決定主体となる道路に分類する。その上で、後者の道路については、行政が一定の予算を年ごとに自治会に与え、その予算の範囲でどの道路を維持管理の対象とするのかを自治会が毎年決定する。ただし、劣化の診断や工事施工者の選定は、行政が行う。すなわち、維持管理の対象となる道路の決定権を自治会に与える。決定権の付与を望まない自治会については、従来通り、行政が決定する。

これにより、自治会が維持管理する道路については、個々の自治会の住民が考える優先度を反映した道路の選定に基づいた維持管理が可能になる。また、行政に対する「声の大きい」自治会の道路が優先的な対象になってしまうという危険性も排除でき、この点での公平性も確保される。

2.2 システムの運用に際する技術的な課題

この維持管理システムの運用に際しては、どのような道路を行政／自治会の決定に委ねるか、また、長年にわたって予算不足に陥ることのない実行可能性を担保しうる行政／自治会への予算配分の検討を行政が行わなければならない。これらの課題を以下に詳述する。

一つ目の課題は、行政／自治会が維持管理の対象の決定主体となる道路（以後、「行政／自治会の道路」と略す）をどのように分類するかという課題である。自治会の道路とする要件としては、当該道路の貢献が一つの自治会に閉じていることが要請される。これは、

複数の自治会におよぶ道路は、それらの自治会での調整を要するため、一つの自治会で決定できないためである。行政が決定主体となる道路については、複数の自治会に貢献する道路が対象となるが、貢献の量に応じてさらに分類することができる。

二つ目は、各分類区分への予算の分配に関する課題である。人口減少により、生活道路の維持管理に投じうる予算も減少すると考えられる。そこで、長期にわたって各年に確保しうる予算額のシナリオをまずは作成する。この作業は、他分野での予算確保の見込みも加味してなされなければならない。その上で、各年に確保できる予算 I_t を行政/自治会の道路に配分する(それぞれの額を A_t, B_t とする)。その際、額が少なすぎることに起因してどうやり繰りしても予算が不足するという年が生じないよう、予算的な実行可能性を担保することが必要である。

また、 $I_t = A_t + B_t$ であるため、自治会への予算 B_t を多額にすると行政への予算 A_t が小さくなることから、過度に多くの予算を自治会へ配分すると、行政の道路に関するライフサイクルコストが大きくなってしまふ。このトレードオフを把握しながら、予算配分を決定することが必要である。

以上の検討を経ると、道路の分類区分ごとに、図1に示すように各年の予算配分とライフサイクルコストを最小化するための維持管理政策が導出できる。その際、図中のすべての変数を同時に決定することが計算の容易性の観点で望ましいが、変数が多すぎるため不可能である。このため、予算配分のシナリオをいくつか与え、上記の二つの課題を検討しつつ、必要に応じて予算配分を逐次変更しながら適応的に解を見出すアプローチ(図2参照)が有効となる。以後、本研究ではこのアプローチに基づく手法を検討する。

t年度 分類区分	劣化度			予算額
	良	中	悪	
行政1	延長: 18km(0km)	22km (20km)	5km (5km)	○円
行政2	延長: 25km(0km)	43km (18km)	3km (3km)	△円
行政3	延長: 51km(0km)	38km (2km)	5km (5km)	×円
自治会	延長: 76km	27km	41km	□円 = B_t

※1: ()内は修繕の対象となる道路の延長
 ※2: 「行政1, 2, 3」は、行政が管理する道路を指す。数字が大きいほど貢献度が高い。
 「自治会」は自治会が管理する道路を指す。
 ※3: 赤字の数値を行政が決定する

図1 予算配分と維持管理政策の導出のイメージ図

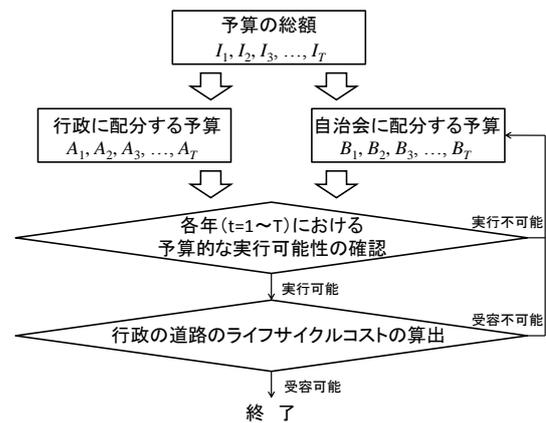


図2 逐次的な解の導出の手順

3. 生活道路の分類

3.1 生活道路の貢献度

それぞれの貢献に応じて道路を分類する際には、貢献度の定量化を要する。道路の貢献度として従来用いられてきたのは主に交通量であった。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このような視点が有効であるが、交通量が比較的少なく、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、それを貢献度とすることは必ずしも適当ではない。例えば、避難のための道路の貢献度を通常時の交通量で測ることはまったくなじまない。そこで、当該道路の生活面への貢献度は、その道路が損傷し、通行できなくなることに伴う迂回距離(もしくは迂回時間)を個々の生活機能に関する貢献度とし、それらを総合化して評価することが適当であろう。

3.2 分類の手順と手法

(1) 決定主体の分類

道路の貢献が一つの自治会に閉じているかという観点で分類する。道路 r が通行できる場合の自治会 i に確保される生活機能 j (例えば、避難や買い物)を得るのに要する移動距離を $g_r(i, j)^+$ 、通行できない場合のそれを $g_r(i, j)^-$ で表す。すると、道路 r の貢献度、すなわち、迂回距離は $g_r(i, j)^- - g_r(i, j)^+$ で表される。すると、自治会の道路の集合 A は次式で表される。なお、 A に含まれないすべての道路は行政が決定主体となる道路である。

$$A = \{r \mid |A_r| = 1\} \quad (1)$$

$$A_r = \{i \mid \sum_j [g_r(i, j)^- - g_r(i, j)^+] > 0\} \quad (2)$$

(2) 行政が決定主体となる道路の細分類

行政の道路については、貢献の量に応じて再分類が可能である。生活機能 j に関する移動距離の達成目標を π_j で表す。なお、通行可能である場合においては任意の道路、自治会、機能について目標が達成されている、すなわち、 $g_r(i, j)^+ \leq \pi_j (\forall r, i, j)$ であるとする。通行不可能であるときの、目標の未達成度を次式で表す。

$$\delta_r(i, j) = \max[g_r(i, j)^- - \pi_j, 0] \quad (3)$$

すると、道路が通行できなくなっても目標の達成に影響を及ぼさない道路、すなわち、行政の道路のうち最も重要性が低い分類区分に属する道路の集合 B は次式で表される。

$$B = \{r \mid \sum_i \sum_j \delta_r(i, j) = 0\} \quad (4)$$

行政の道路のうち B に属さない道路については、道路が通行不可能となった場合における目標の未達成度に基づいて、村田らの手法によって分類することができる¹⁾。以下ではその概要についてのみ触れる。

まず、すべての自治会 i について目標の未達成度の合計を次式で表す。なお、合計をとることは、どの自治会の未達成度も同等に扱うことを意味する。

$$\delta_r(j) = \sum_i \delta_r(i, j) \quad (5)$$

道路 r の多属性効用関数を以下のように定式化する。

$$U(\delta_r) = \sum_j w_j u(\delta_r(j)) \quad (6)$$

ここに w_j は機能 j の重みであり、次式を満たす。

$$\sum_j w_j = 1 \quad (7)$$

上記の重みと分類のための効用の閾値が推計できれば、それらに基づいて道路を分類することができる。そのための手法として、UTADISやオーダードロッジトモデルなどが援用可能である²⁾。また、任意の分類区分 m の平均的な効用を導出することで、当該区分の効用 $u(m)$ を求めることができる。以下では、 $m \in \{0, 1, 2, \dots\}$ とし、分類区分 $m=0$ は自治会が決定主体となる道路の分類区分を表す。

4. 費用と維持管理政策の導出

4.1 定式化

実際においては、それぞれの道路には道路番号などの名義が与えられ、管理されていることが一般である。しかし、修繕を行う場合には、個々の名義の道路の総延長を一度に修繕するのではなく、必要な延長分のみ行うことが一般であろう。このため、修繕の対象は延長（例えば2.2km）とすることが適当である（厳密には、道路に幅員があることから単位面積当たりが適当であろうが、以下では修繕する延長を決めるものとして説明する）。以下では、所与の予算のもと、任意の分類において、ライフサイクルコストが最小となる修繕の対象延長を状態ごとに導出する手法を検討する。

道路は劣化状態（以下「状態」と略す） $0 \sim s+1$ のいずれかにあるとする。ただし、状態の数値が大きいほど劣化が進行しているものとする。状態 i にある道路の延長の割合（相対度数）を $x(i)$ で表す。劣化状態のプロファイルを $x = (x(0), x(1), \dots, x(s+1))$ で表す。

維持管理者（行政か自治会のいずれか）は、毎年 x を観測し、それに基づいてそれぞれの状態における道路のうちどの程度の延長を修繕するか（修繕しないか）を決定する。ここで、 t 年において状態 i に関して修繕する道路の（全体に占める）延長の割合を $a_t(i)$ ($0 \leq a_t(i) \leq x(i)$) で表すと、 t 年における管理者の任意の選択は $a_t = (a_t(0), a_t(1), \dots, a_t(s+1))$ で表される。すなわち、管理者は毎年、どの状態にある道路をどの延長を修繕するか（しないか）を選択する。

状態 i にある道路を修繕した場合に管理者が支出する単位延長当たりの費用を c_i 、しなかった場合のそれを l_i で表し、 $c = (c_0, c_1, \dots, c_{s+1})$, $l = (l_0, l_1, \dots, l_{s+1})$ とする。また、分類区分 m の道路について、状態 i のもとで生じる社会的影響（ただし、管理者の支出を伴わないもの）を $u_i(m)$ で表し、 $u(m) = (u_0(m), u_1(m), \dots, u_{s+1}(m))$ とする。ここに、 $u_i(m) = q_i u(m)$ であり、 q_i は状態 i のもとで1年に道路が通行不能になる確率を表している。ただし、 $q_{s+1} = 1$ である。

社会的影響の金銭換算係数を $\lambda (> 0)$ とする。なお、修繕に要する期間は無視し、修繕した場合には即座に状態 0 が実現するとし、修繕した年の社会的費用を u_0 とする。このとき、管理者が a_t を選択した場合にその年に生じる費用の合計は（管理者の支出を伴う費用と金銭換算された社会的影響の和）は、次式で表される。ただし、 a_t' は a_t の転置を表している。

$$g_m(x; a_t) = G_m[(c + \lambda u(m))a_t' + (l + \lambda u(m))(x - a_t)'] \quad (8)$$

ここに、 G_m は、分類区分 m における道路の総延長である。今年に任意の状態 i にある道路を修繕した場合、来年における状態は確定的に状態 0 となる。しかし、修繕しなかった場合のそれは確率 p_{ij} で状態 j となる。ただし、状態は自然に改善されることがないものとする。すなわち、 $p_{ij}=0 (j<i)$ である。すると、今年に x であるときの来年のその期待値 $y = (y(0), y(1), \dots, y(s+1))$ は次式で表される。

$$y(i) = \begin{cases} p_{00}(x(0) - a_t(0)) + \sum_{j=0}^{s+1} a_t(j) & (i=0) \\ \sum_{j=0}^i p_{ji}(x(j) - a_t(j)) & (i>0) \end{cases} \quad (9)$$

なお、 y は x と a_t に依存することから、厳密には $y(x; a_t)$ と記すべきであるが、以下では単に y と記す。任意の t 年における分類区分 m の予算は $I_t(m)$ で表すと、その分類区分を管理する主体は以下の式を満たす a_t を選択しなくてはならない。

$$G_m[ca'_t + l(x - a_t)] \leq I_t \quad (10)$$

上式を満たす a_t の集合を $A_t(x)$ で表す。すると、 t 年から T 年までに要する総費用の合計、すなわち、ライフサイクルコストは次式で表される。ここに、 $\beta (0 < \beta \leq 1)$ は割引因子である。また、 $V_{m,T+1}(x) = 0$ である。

$$V_{m,t}(x) = \min_{a_t \in A_t(x)} [g_m(x; a_t) + \beta V_{m,t+1}(y)] \quad (11)$$

なお、予算制約に関するペナルティ関数 h を導入すると、上式は次式のように表すこともできる。

$$V_{m,t}(x) = \max_{a_t} [g_m(x; a_t) + \theta h_m(x; a_t) + \beta V_{m,t+1}(y)] \quad (12)$$

$$h_m(x; a_t) = F(G_m[ca'_t + l(x - a_t)] - I_t) \quad (13)$$

ここに、 $F(s)$ は $s > 0$ のとき 1、 $s \leq 0$ のとき 0 の値をとる関数であり、 $\theta (> 0)$ は禁止的に大きな値をもつ定数である。

4.2 自治会への配分予算案の算出

どのような a_t を選択しても予算が不足するという年が生じないよう、すなわち、予算的な実行可能性が担

保された額を行政および自治会に配分することが必要である。

ただし、自治会が道路の貢献度をどのように考え、毎年どれだけの道路の延長を修繕の対象とするかは任意であるため、各自治会の維持管理政策を行政が想定した上でそのために要する予算を行政が求めることができない。つまり、このアプローチでは、自治会への予算配分額を求めえない。そこで、会計上生じる長期的な費用（その費用は各年の c_i, l_i から成る）のみを最小化するという規範のもとで自治会が維持管理すると仮にして、所与の予算額で不足が生じる年がないかのテストを実施し、そのテストをパスしないと予算的な実行可能性が少なくても担保されないと判定するアプローチが考えられる。このテスト、所与の $I_t(0) = (I_1(0), I_2(0), \dots)$ および $u(0) = (0, 0, \dots, 0)$ のもとで、現在の状態 x において(12)式に示す $V_{0,t}(x)$ が $\beta^T \theta$ （ただし、 $\beta^T \theta$ が禁止的に大きな値となるよう θ は十分大きな値でなければならない）よりも大きければ予算不足は生じていないとすることができる。いくつかの予算案 $I_t(0)$ についてこのテストを行い、いくつかの実行可能な案を見出すことができる。

4.3 行政の道路の費用への影響の分析

予算の配分においては、行政と自治体の配分額にトレードオフが生じ、自治会への予算配分を多額にすると行政への予算配分が小さくなり、行政の道路に関するライフサイクルコストが増加する。このため、4.2 で得られたそれぞれの予算案のもとの行政の道路に関するライフサイクルコストを試算することが必要である。その際、行政の道路についてはさらに複数の分類区分に細分されていることから、行政の予算 $I_t - I_t(0)$ をさらにそれらに配分した予算 $I_t(m)$ ($m \geq 1$) の案をいくつか作成しておく必要がある。

その上で、 $V_{m,t}(x)$ ($m \geq 1$) を算出することで所与の予算のもとのライフサイクルコストを導出することができる。なお、自治会の費用と同様、行政の維持管理に要するライフサイクルコストが $\beta^T \theta$ よりも小さければ行政にとって長期的にやり繰りが可能であるため、 $V_{m,t}(x)$ の算出と同時に予算的な実行可能性についてもあわせて分析できる。

5. 数値例

ここでは、自治会への配分予算として2つのケースを想定した計算例を示す。その際、劣化の推移確率や各種の費用等について以下の数値を与えた。劣化状態は、0~2の3つの状態であるとした。

$$(p_{ij}) = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0.0 \\ 0.0 & 0.8 & 0.2 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

$$l = (0, 0, 30), c = (20, 20, 20)$$

$$G_0 = 10, \beta = 1/1.04, T = 5$$

$$\langle \text{Case 1} \rangle I_0 = (112, 106, 100, 94, 86)$$

$$\langle \text{Case 2} \rangle I_0 = (129, 114, 100, 86, 71)$$

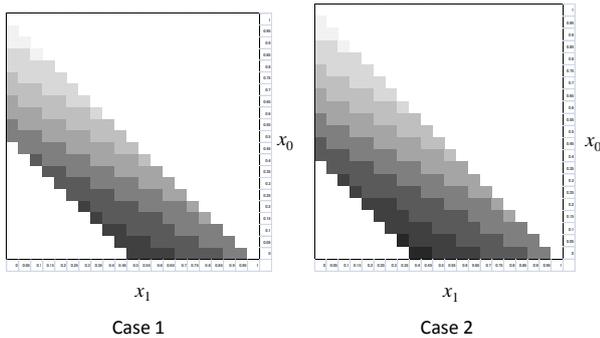


図3 各ケースにおける初期状態のもとでの費用

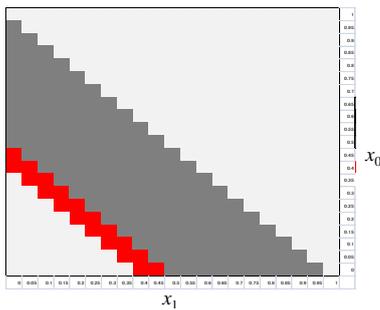


図4 ケース1,2のライフサイクルの差

l, c, G_0, I_0 より、道路のすべての延長を一年で修繕することができない。また、すべての延長の道路が状態2にある場合は、どの l に関しても $G_{02} > I_0(t), G_{0c2} > I_0(t)$ であることから、それらをどの程度修繕しようとする（まったく修繕しない場合も含む）予算が不足することが分かる。

図3の中において白色が付されている点については実行不可能であることを表している。なお、 $x_0 + x_1 > 1$ の領域（図中の右上）は $x_0 + x_1 + x_2 = 1$ より物理的に実行不可能な領域である。着目すべきは、 $x_0 = x_1 = 0$ に近い領域（図中の左下の領域）である。この領域は、予算不足に起因する実行不可能な領域である。

着色がなされている領域は、物理的にも予算的にも実行可能な領域であり、色が濃いほど多くのライフサイクルコストを要することを示している。

図3ではそれぞれのケースの違いが明瞭でないため、

図4にケースのライフサイクルコストの差を表す。なお、赤色の領域は、ケース1では財政的に実行不可能であるが、ケース2では実行可能である領域を表している。図4より、赤色の領域は、 x_2 の状態にある道路が初期に多い場合であり、修繕の程度いかにかわらず多額の予算を必要とする領域である。このため、早期に多くの予算が確保されるケース2において実行可能となる初期状態が多くなったと考えられる。ただし、 x_2 の状態にある道路が多すぎると、ケース2においても実行不可能である領域がある。

また、灰色の領域は、ライフサイクルコストの差が ± 1.0 の領域であり、ライフサイクルコストにほとんど差がない領域であり、この数値例ではケース1と2にほとんど差がない結果となっている。つまり、これらの領域に初期状態がある場合にはそれぞれのケースの有効性は同等と言える。

以上より、ケース1と2を比較した場合、財政的な実行可能性、ライフサイクルコストの双方の観点においてケース2が優れており、どちらかを選択する場合には、ケース2を選択することが適当と判断できる。

6. おわりに

今後は、具体的なフィールドを対象として、劣化の推移確率や費用の算定ならびに予算規模を与え、実証的な検討を進めていきたい。

謝辞

本研究は、鳥取大学持続的過疎社会形成研究プロジェクト、ならびに、科学研究費基盤研究(C)課題番号20560507の助成を受けた研究成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 村田博美, 谷本圭志, 灘英樹: 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, 第39回土木計画学研究発表会・講演集, CD-Rom, 2008.
- 2) Michael, D. and Constantin, Z.: Applied Optimization Multicriteria Decision Aid Classification Methods, Kluwer Academic Publishers, 2002.