

ネットワーク型施設と拠点型施設の 協調的維持管理に関する研究

首都大学東京 都市環境科学研究科 教授 伊藤史子
首都大学東京 都市環境科学研究科 教授 小泉雅生

概要：

豪雪地帯にある A 県 A 町を対象とし、ネットワーク型施設整備として「道路除雪効率化」、拠点型施設整備として「拠点型公共施設の再編」を取り上げ、前者は路線の整備優先度の数量的検討を、後者は施設再編の配置と合築のモデルによる検討を行った後に、拠点型施設種と配置の変化により住民の移動コスト、道路整備コストの減少度を確認し、効率的な施設再編と整備路線抽出の方策を探った。

キーワード: 道路維持管理、道路除雪効率化、公共施設再編、拠点型施設、ネットワーク型施設

1. 研究背景と目的

公共施設更新問題についての認識が進み、自治体における取り組みが進められている。大学等研究機関においても研究が進められているが、これまで数多く取り組まれてきた拠点型施設（例：学校、図書館、体育館等）の維持管理効率化に加え、ネットワーク型施設（道路等インフラ）の維持管理をいかなる優先順位で行うべきかについてもモデル的に解く必要が大きい。

当研究ではネットワーク型施設の優先順位選択と拠点型施設再編の組み合わせを併せて客観的データに基づき検討することで、双方の維持管理の効率化を図ると同時に住民のサービス享受も尊重する解を探ることを目指す。

2. ネットワーク型施設の検討

ネットワーク型施設の検討においては、地理情報システム、OR等の数値解析を用いる。

具体的には、ネットワーク最短ルート検索、AHPによる施設重要度推計を用いた「路線重要度」算出を行うほか、最小木問題を応用することにより除雪コスト最小となるルートを求める。

(1) 道路ネットワークの作成

除雪路線選択について町内道路網をネットワークとして分析する（図1）。本研究では、作成したネ

ットワークを道路ネットワーク、リンクを道路リンク、コストを除雪コスト、交差点を示すノードを交差点ノードと呼ぶ。なお、問題を簡単にするため道路ネットワークでは施設と住宅は最も近い交差点上にあるとみなした。

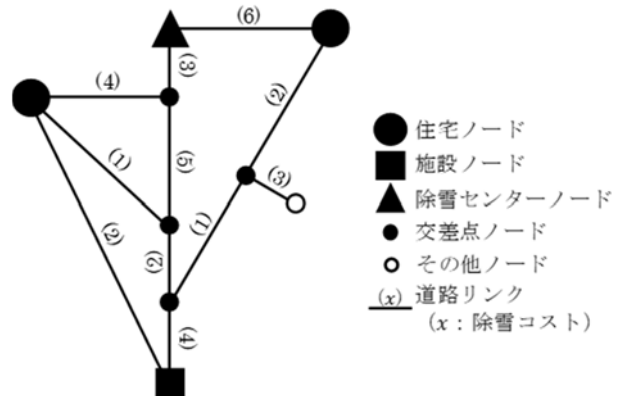


図1 道路ネットワーク

a) 住民にとって必要な施設の抽出

町内の施設のうち、住民の日常的に利用する、もしくは非常時に利用するという観点から、小学校3か所、中学校1か所、商業施設2か所、役場1か所、消防署2か所、避難所3か所を住民にとって必要な施設とした。

b) ノードの設定

ノード数を減らし分析時の計算量を抑えるため、施設を示すノード（以下、施設ノード）は、敷地正面入口から最も近い交差点に設定し、該当の施設があるとみなした。住宅を示すノード（以下、住宅ノード）は、住宅の重心から、道路に垂線を下し、道

路との交点から最も近い交差点に設定し、該当の住宅のノードとした。除雪車が出発する除雪センターを示すノード（以下、除雪センターノード）も、施設の場合と同様にして設定した。道路ネットワークには、施設ノード、住宅ノード、除雪センターノード、交差点ノード、その他ノードが含まれる。

c) 除雪コストの算出方法

本研究では、除雪コストは、除雪車の走行距離と定義した。町が除雪費を負担するかどうかという視点から、町管轄の町道と、それ以外の道路で分けて考えた。町道の場合、各道路の除雪コストは、除雪車の走行距離、つまり、道路延長と除雪回数の積とした。除雪回数は除雪車の幅 3.6m を基準に道路の幅員により決定し、幅員 3.0m 未満の道路は道路ネットワークに含めなかった。町道以外は、町が除雪費を負担しないと考え、除雪コストを 0 とした。

(2) 除雪コストに着目した分析

作成した道路ネットワークを基に、住民に必要な施設とすべての住宅を結ぶという必要条件を設定し、総除雪コストの最小値とそのときの除雪路線を導き出した。

まず、比較的容易に分析ができる最小全域木問題を適用し分析を行った。その後、最小全域木問題の応用であるシュタイナー木問題に発展させて分析を行った。

a) 最小全域木問題とシュタイナー木問題の定義

最小全域木問題とは、すべてのノードをリンクで結び、かつ閉路がないという条件の下で、総コストが最小になるようなリンクを選択する問題であり、選択されたリンクの集合を最小全域木と呼ぶ [Motwani ら¹⁾]。

シュタイナー木問題とは、決められたノードのみを結び、それ以外のノードは結んでも結ばなくてもよい、かつ閉路がないという条件の下で、総コストが最小になるようなリンクを選択する問題であり、選択されたリンクの集合を最小シュタイナー木と呼ぶ [Prömel ら²⁾]。

b) 2つの問題を適用させたときの違い

両問題ともに、総除雪コスト最小の道路リンクを導き出す点では同じである。しかし、最小全域木問題ではすべてのノードを木に含むが、シュタイナー木問題は、施設ノード、住宅ノード、除雪センターノードのみを木に含めればよい。最小全域木問題の適用時よりも、総除雪コストを下げるができる (図 2)。

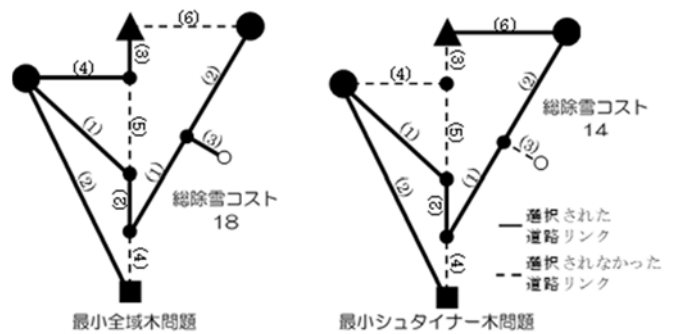


図 2 最小全域木と 最小シュタイナー木

c) 最小全域木問題の適用

道路ネットワークに Kruskal³⁾ が提案する方法を用いて最小全域木を導き、閉路ができないように最小全域木から除かれた国道、県道と、最小全域木を重ね合わせ、最小全域木を用いた除雪路線とした。

また、除雪車の走行距離 [km] と除雪単価 4066.1 [円/km] の積より、出動 1 回あたりの除雪費を推定した。

隣り合う交差点に行くときでも、大きく遠回りをするしなければならない場合があるが、出動 1 回あたりの推定除雪費は現在の除雪路線と比べ 68.5% に減らすことができた (表 1、図 3)。

d) シュタイナー木問題の適用

道路ネットワークに Kou⁴⁾ が提案する方法を用いて近似的な最小シュタイナー木を導き、閉路ができないように除かれた国道、県道と、最小シュタイナー木を重ね合わせ除雪車の走行距離が最短の除雪路線とした。

最小全域木を用いた除雪路線と同様に、遠回りが必要な場合があるが、出動 1 回あたりの推定除雪費は、町内の全道路と比べ 38.9% に減らすことができた (表 1、図 3)。

e) 除雪コストと住民の移動の快適性を考慮した除雪路線

住民の移動の快適性を考慮し、除雪路線に全ての一級町道含む設定をした。国道、県道、一級町道の除雪コストを 0 とし、最小シュタイナー木を導き、国道、県道、一級町道を重ね合わせた。これにより、除雪車の走行距離と住民の移動の快適性を考慮した除雪路線となった。

一級町道以外の道路延長を減らすことにより、出動 1 回あたりの推定除雪費は、現在の除雪路線と比べると 60.6% に抑えつつ、すべての一級町道を除雪路線に含めることができる。また、最短除雪路線に比べ、遠回りをする距離を減らすことができる (表 1、図 3)。

表 1 除雪路線による走行距離とコスト

除雪路線	出勤1回あたりの除雪車の走行距離(km)	出勤1回あたりの除雪車費(万円)
現在の除雪路線	986.7	393.9
最小全域木を用いた除雪路線	663.2	269.7
除雪車の走行距離が最小の除雪路線(最小シュタイナー木を用いた除雪路線)	376.6	153.1
除雪車の走行距離と住民の移動の快適性を考慮した除雪路線	587.4	238.9

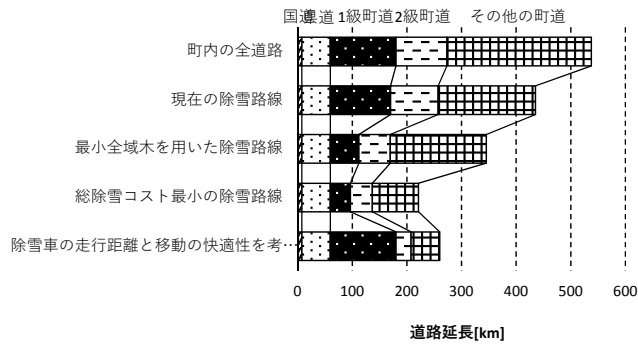


図 3 道路種別の道路延長

(3) 住民の移動コストに着目した分析

a) 総合道路重要度の分析手順

全世帯が最小コストで必要施設にアクセスすると想定した利用状況をもとに道路の重要度を考える。ネットワーク分析により世帯ノードからある施設ノードへの合計所要時間が最短となる経路を算出し、それぞれの道路リンクを通る世帯数をその道路リンクの施設種別道路重要度と考える。ここで得られた重要度をすべて重ね合わせることで町内の各道路の総合重要度が求められる。重ね合わせの際には各施設種へのアクセスの重要度(以下「施設重要度」)が異なることから、これらを重みとして乗じる必要がある。この施設重要度の算出には、意思決定の定量化手法である階層分析法(AHP)を応用する。

b) 目的施設の設定

施設種は再検討し、2(1)a)で設定した施設に加え新たに総合病院を追加した。小学校3校、中学校1校、避難所3施設、消防分署2施設、商業施設2施設、役場、鉄道駅、総合病院それぞれ1施設の合計7種、14施設を対象にした。ただしAHPヒアリング調査では病院施設は2施設としている。

c) 住民代表へのAHP調査

施設重要度の推計にあたり、周らによって2016年に実施されたAHPヒアリング調査の結果を用いる。

調査では日常時と緊急時のアクセス重要度を評価基準、前述の施設種7種を代替案とし、それぞれについて一対比較により重要度を評価した。30名すべての評価結果についてAHPによりそれぞれ重要度を算出し、幾何平均により地区別及び町内施設重要度を導き出した。

d) 地区別・全町域の施設重要度

3地区の重要度を算出した結果は、表3、図4に示す通りである。地区ごとの回答結果の差異がないかを調べるため、全種目施設において地区ごとの一元配置分散分析を行なった。5%水準で有意差なしの結果により、地区ごとの回答に差はないと判断し、全町域の平均を施設重要度とする(表4)。

表 3 地区別施設重要度

地域	小中学校	商業施設	避難所	役場	鉄道駅	消防分署	病院	合計
A地区	0.158	0.514	0.133	0.099	0.038	0.104	0.314	1.000
B地区	0.240	0.156	0.134	0.077	0.048	0.108	0.236	1.000
C地区	0.205	0.176	0.118	0.082	0.047	0.101	0.271	1.000

表 4 全町域の施設重要度

施設種	小中学校	商業施設	避難所	役場	鉄道駅	消防分署	病院	合計
重要度	0.201	0.158	0.130	0.086	0.045	0.106	0.274	1.000

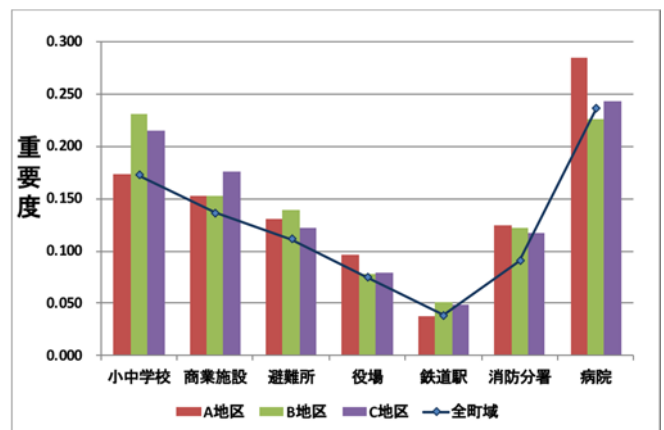


図 4 全町域及び地区別施設重要度

e) 施設重要度の扱い

各道路重要度に、算出した施設重要度を乗算して重みづけをする。この際、小中学校、商業施設に関しては、小学校、中学校、商業施設 a、商業施設 b、それぞれにおいて道路重要度が算出されており、重複を避けるため施設重要度を1/2に調整し、病院に関してはヒアリング時にあげられた複数の病院中から、日常でより利用頻度が多く、また緊急時を想定し町内からの距離が近い病院を設定した。鉄道駅に近接しており道路重要度が同一であるとみなせるため、鉄道駅の道路重要度を使用する。

f) 重ね合わせの計算

あるリンクJの総合道路重要度 R_j は、目的施設の道路重要度を R_{ij} とし、目的施設の施設重要度を W_i とおき、 $R_j = \sum_i R_{ij} \times W_i$ と表す。例えば、施設1の施設重要度 W_1 を0.2、施設2の施設重要度 W_2 を0.8とすると、 $R_j = 0.2R_{1j} + 0.8R_{2j}$ であり各施設の重み付けがなされた総合道路重要度が求まる。(図5)

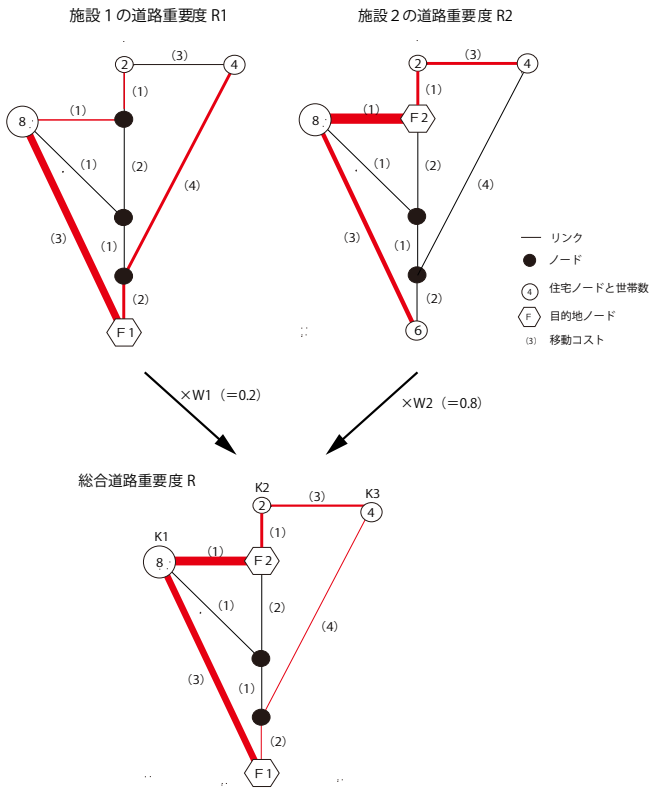


図5 総合重要度の算出例

g) 総合道路重要度

本研究では、ネットワーク分析により算出された施設種別道路重要度に、階層分析法による施設重要度の重みを加味して総合道路重要度を算出した。これは、施設のアクセス重要度における住民の意識のを踏まえているということである。

各施設分類における道路重要度を施設重要度の割合で重ね合わせ総合道路重要度を算出した。総合道路重要度の結果が図6である。

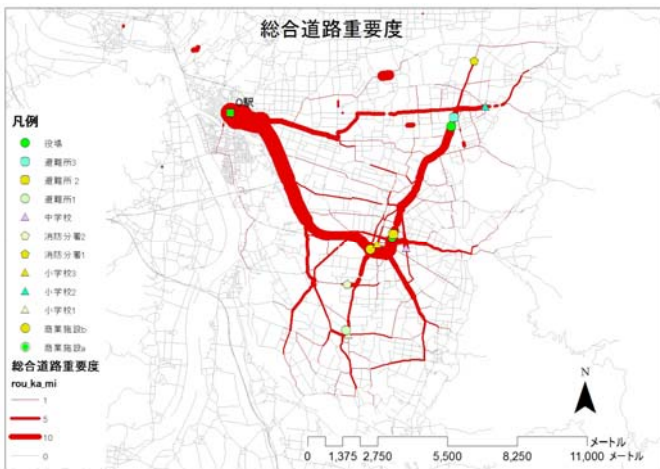


図6 総合道路重要度

3. 拠点型施設の検討

拠点型施設の検討においては、現地調査、施設現況調査、更新費用推計などの事例調査・分析を丁寧に行うことにより施設再編の配置・合築方策を検討する。

具体的には町内のA地区、C地区、B地区の3カ所について、公共施設の配置状況を確認し、それぞれ施設別の管理状況を分析した上で、再編のシナリオと具体的手法を検討した。

(1) A 県 A 町の公共施設の現状

a) 公共施設配置状況

A 地区、B 地区では公共施設が3カ所に分散して配置されており、C 地区では1カ所に集約して配置されていることを確認した。したがってA 町では公共施設の集約する地域は7カ所になる。

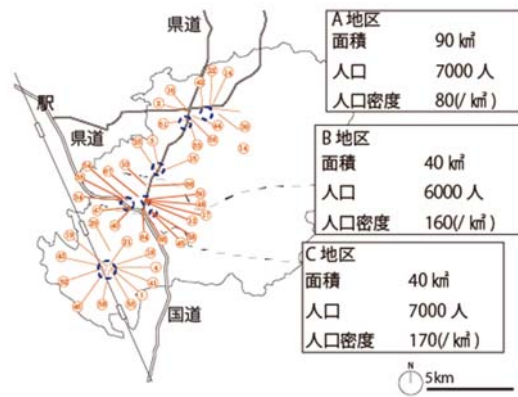


図7 3地区の状況

(2) A・C 地区における再編計画

a) 再編の方向性

A 地区、C 地区は商業、医療等の生活サービス機能をB 地区や他地域に依存している。そこで、それぞれの地区で小学校を核として周辺の公共施設を複合化すると共に、生活サービス機能を併設し利便性を高めるような施設集約を行う事とする。A 地区では校舎建物が老朽化しているため建て替えを行い、集約される既存機能を担保する事とする。一方でC 地区では学校の躯体が健全である事から、余剰教室の転用・特別教室の一般開放を図り、地域施設機能を複合化し、施設集約を行う事とする。

b) 再編の具体的手法

それぞれの地区内の公共施設を、機能や役割が重複しているものや老朽化した建物を集約予定施設とし、それ以外を維持施設に分類した。集約予定施設が耐用年数を超えてしまう時期を目安として、必要な機能の移転等を図りつつ整理を進める事とした。各地区において、建て替え、機能移転のタイミングをフローチャート化した。

b) 再編の具体的手法

B 地区は街道沿いに発展した町であり、街道沿いに商店がならぶ。商店街を軸に公共施設への福祉機能の集約化、民間事業者による空き家を活用した高齢者住宅の整備やサービス付き高齢者住宅の誘致により、高齢者のためのまちづくりを目指す。そこで、高齢者向けのサービスの提供に公共施設の余剰床を活用することで、設備投資を抑えることとする。既存施設を積極的に活用することで、既存コミュニティとの融合をはかっていくこととする。あわせて、地域内に点在する民間の生活便利施設(商店、クリニック、銀行など)を、街道沿いに誘導していくことにより、住民にとっての利便性の向上、除雪区間の削減に結びつけていく

c) 再編計画

街道沿いに発展してきた町の歴史を継承し、点的にはなく、リニアに都市機能を集約していくこととする。そこで、商店街の中央にある、旧庁舎である行政センターに保健センター、デイサービス、医療機関、介護施設を集約する。それに付随し、空き家等を利用した高齢者向け住宅の誘致を行うことにより、医療、商業といった生活サービス機能と近接して生活できるような地区計画を行う。また、近隣のバイパス沿いに大規模ショッピングセンターがあることから、ショッピングセンターと街道とを結ぶ位置に、民間の CCRC を誘致する。ショッピングセンターと商店街をつなぐ道は新たな街道と位置づけられ、除雪重点区間となる。CCRC においては、圏外からの移住者のためのサービス付き高齢者向け住宅を誘致し、介護施設は前述の街道沿いの施設を利用することとする。また、小学校と子供館の近傍に位置することから、多世代交流へとつなげていく。



図 10 地区計画 (B 地区)

(4) 拠点型施設とネットワーク型施設の協調的再編

ネットワーク施設の検討において施設ノードに設定している施設は小学校、除雪センター、町役場だけであるので、拠点型施設で策定した施設集約の効果は計算できない。しかしながらネットワーク型施

設で算出した道路重要度と、拠点型施設で策定した地区計画を重ね合わせるにより、移動コスト、除雪コストが減少していくことが予想できる。

A 地区に着目すると、施設集約により、現在町役場のアプローチのみに使用されている南側の除雪を見直し、町役場の北側を、役場を含めた公共施設群のメインアプローチとする事により除雪コストの削減につなげていく地区計画とした。また、総合道路重要度を見ると、役場の北側、南側の道路はどちらも比較的重要度が高い事から除雪コストの削減につながる事が分かる。公共施設の駐車場を除雪対象であるため、集約により除雪負担を減らす事が可能である。

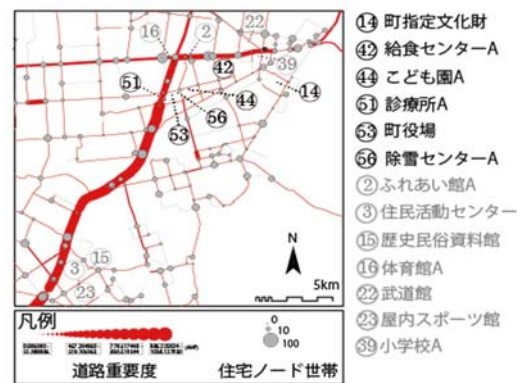


図 11 協調的再編の試案

4. まとめ

本研究では、公共施設再編の必要性に鑑み、ネットワーク型施設と拠点型施設の持続的維持管理に向けた客観的検討を行い、協調的維持管理を探った。それぞれに実現可能な方向性があることを確認できた。課題としては幾つもの思い浮かぶところではあるが、ネットワーク型施設の数量的検討においてシンプルな仮定設定をせざるを得なかった点があげられる。拠点型施設の検討においてはより詳細な施設機能の空間配置検討を行うことが重要であり、二つの結果をそのまま融合分析することの難しさが明らかとなった。分析や検討には様々な工夫が必要となると考えられるが、今後もこのテーマに引き続き取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) Motwani, R. Raghavan, P. 1995. "Randomized Algorithms." Cambridge University Press. p.296.
- 2) Prömel, H. J., Steger, A., 2002, "The Steiner Tree Problem: A Tour through Graphs, Algorithms, and Complexity." Springer Science & Business Media.
- 3) Kruskal, J. B. 1956. "On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem." Proceedings of the American Mathematical society. 7(1). pp.48-50.
- 4) Kou, L., Markowsky, G., Berman, L. 1981. "A fast algorithm for Steiner trees. Acta informatica." 15(2). pp.141-145.