

道路ネットワークの改良による各階層道路の 速度変化に着目した階層性の評価

楊 柳¹・根城 平²・浜岡 秀勝³

¹学生会員秋田大学大学院工学資源学研究科土木環境工学専攻(〒010-8502秋田県秋田市手形学園町1-1-1)
E-mail:m9014151@wm.akita-u.ac.jp

²学生会員秋田大学大学院工学資源学研究科土木環境工学専攻(〒010-8502秋田県秋田市手形学園町1-1-1)
E-mail:m9013118@wm.akita-u.ac.jp

³正会員秋田大学大学院工学資源学研究科土木環境工学専攻(〒010-8502秋田県秋田市手形学園町1-1-1)
E-mail:hamaoka@ce.akita-u.ac.jp

現在、日本には様々な種類の道路が存在する。道路の交通機能は、トラフィック機能とアクセス・滞留機能に分けられ、これらは道路の役割に応じて機能分担されるべきである。しかし、階層性を持つ道路でも、その道路機能が発揮できないことは問題である。そこで、道路整備によって発生する効果、特に道路に階層性を持たせることによって生まれる効果は何かを明らかにすることが重要である。本研究では、道路ネットワークの階層化で発生する効果を、交通量、走行速度などの初期条件を設定した仮想道路ネットワークを用いて計算する。その結果から、道路を階層化する効果の定量的に評価を行う。交通量や速度の計算にはQ-V関係変化条件を用い、OD間交通量変化も考慮して計算を行った。結果として、交通量が一定の数値を超えたとき、時間で評価した場合に階層化整備の効果が高くなった。

Key Words :hierarchy,traffic volume,virtual road network,quantitative evaluation

1. はじめに

(1) 研究背景と目的

現在、日本には様々な種類の道路が存在する。道路の交通機能は、トラフィック機能とアクセス・滞留機能に分けられ、これらは道路の役割に応じて機能分担されるべきである。道路の幅員や、多車線化などの道路規格、つまり道路の階層を整備するものも存在する。しかし、整備後も、道路階層の持つ交通容量に合わない交通量や、それに伴う渋滞発生など、階層が機能していないことは問題である。そこで道路整備で発生する効果、特に道路に階層性を持たせることによって生まれる効果は、何かを明らかにすることが重要である。本研究では、道路ネットワークの階層化で発生する効果を、交通量、規制速度などの初期条件を設定した仮想道路ネットワークを用いて計算する。その結果から道路を階層化する効果を定量的な評価を目的とする。

(2) 既往研究のレビューと本研究の位置付け

道路の階層区分に関して、下川ら¹⁾は階層区分ごとの性能目標を目標旅行時間の観点から考えている。また、構造ネットワークへの再編は合理的であるとし、そのため

の課題を、道路の機能に応じた階層区分の設定、階層区分に応じた道路構造のあり方、性能照査の実施と交通特性の分析という4つの観点から示している。道路の機能に応じた要件の再設定が必要であることや、拠点間の目標旅行時間は、国や地域が目指す数値目標と整合性が図られる必要があるとしていた。水野²⁾らの研究は、ある地域を対象に、現在の道路ネットワークがどのような形状であるか現状の把握を目的とした。そのため、二次救急医療施設、三次救急医療施設、ショッピングセンター、広域公園の4種類の都市サービス施設について、階層性の割合の現状と仮想ネットワーク割合を比較した。その結果、道路の階層性が十分発揮できないことがわかり、ネットワークの質がまだ地域により差が大きいため、調整する必要性を示した。根城ら³⁾は道路ネットワークの階層化で発生する効果を、交通量、交通容量、走行速度などの初期条件を設定した仮想道路ネットワークを用いて計算を行い、その結果から道路を階層化する整備が良いのか、階層はそのまま整備する方が良いのかの定量的な評価を行った。結果として、道路ネットワーク内に一般道路交通容量を大きく超過する過度の交通量が存在する場合には、幹線道路整備、階層化が効果を発揮することが分かった。そして、多少の交通容量超過であれば、

一般道路整備の超過台数が少ないため良いこともわかるようになった。

以上の3つの論文は、ネットワークの再編の必要性(下川ら²⁾)、実際にある道路の階層別利用状況の分析(水野ら²⁾)を述べた。この2つの論文は、どちらでも道路の利用状況に対する分析を行ったが、具体的な階層化効果は示されていない。根城ら³⁾の論文は道路階層化効果を定量的に示したが、道路の交通容超過量により各整備の効果を評価したため、渋滞が発生しない状態での道路状況に対する評価はできていない。よって、本研究は、道路の階層化効果を車両走行時間、車両走行速度の方面から定量的に評価することにした。

根城ら³⁾の研究では、市3個、町4個、村6個の市町村村を利用して、1次元ネットワークを作り、このネットワーク上の各道路区間の交通量を計算し、交通容量の超過状況により道路整備効果を比較した。しかし、実際に交通容量を超過する場合、道路は渋滞するため、交通量を単純に求められない。そして、市の数が少ないため、高速道路の利用に対して限界があり、高速整備の効果がわかりにくいとの問題を抱えている。また、各市町村間の交通量と車両の進行速度が、ネットワークの距離、道路交通量と関係なく、一定な数値を利用している。実際には、都市間に走る車両の数は、この走行距離が長いほど少なくなる。車両速度(V)も、道路の交通量(Q)の増加により、低下する可能性が高い。

本研究は根城ら³⁾の研究を参考に、交通量の増加により車両の速度が減少する条件と、OD距離が長いほどこのOD間の交通量が減少する条件を加えた。分割配分法により、各道路の車両走行速度、OD間走行時間などの計算を行う。また、各道路で渋滞が発生しないことと、配分計算時に経路選択が変化することを前提とする。各道路の効果をより顕著にするため、計算対象とする市町村の数を25個に増加した。道路整備に対して、一般整備は一般道路を1本新しく整備し、高速整備は高速道路を1本新しく整備する。幹線整備は、ネットワークの中に、町と市だけ接続する幹線道路を1本整備する。

2. 初期条件について

仮想ネットワークを用いて、高速整備、一般整備、幹線整備、個々の整備効果を評価するため、まず i) 仮想道路のネットワーク条件、ii) 市町村間の交通量を示すOD表と、交通量(Q)車両走行速度(V)の関係式、iii) 経路選択も変化し渋滞もしないOD表とQ-V式の組み合わせを見つけること、iv) 各整備後の効果を比較するための評価基準、4つのポイントで構成した初期条件が必要となる。

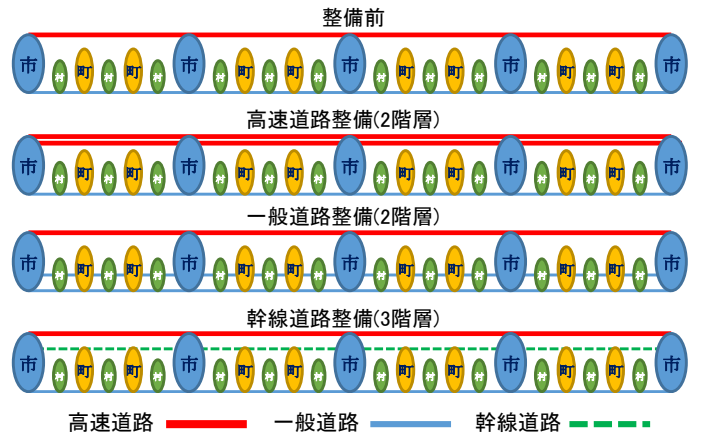


図-1 各ネットワーク

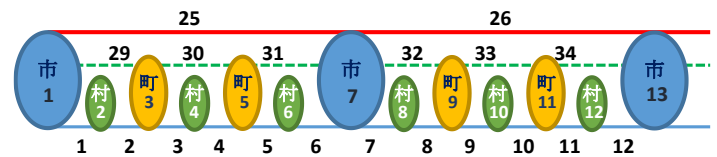


図-2 道路区間の番号(市1から市13)

表-1 初期OD交通量条件

アクセス	初期交通量	変化条件
市と市	150台	120km超えると120kmごと30台減少
市と町	100台	40km超えると40kmごと5台減少
市と村	70台	20km超えると20kmごと2台減少
町と町	80台	40km超えると40kmごと5台減少
町と村	50台	20km超えると20kmごと2台減少
村と村	240km以内10台	240km以上5台

(1) 仮想道路のネットワークについて

本研究で扱う仮想道路ネットワークと、その条件を以下に示す(表-1, 図-1)。市町村は、都市規模に比例して大きさが異なる楕円で表す。ネットワーク内には、市が5個、町が8個、村が12個という3種類合計25個の都市がある。車両走行時間と各道路速度に関する計算を容易にするため、各市町村は左から市1、村2、町3、市4...のように番号を付けている。各道路区間においても一般道路は1~24、高速道路は25~28、幹線道路は29~40のように、区間番号をつけた(図-2)。

道路は3種類存在し、一般道路は全都市、高速道路は市間のみ、幹線道路は町間と市町間を結んでいる(図-1)。各都市間の距離は20km間隔とした。そのため、市町間は40km、市市間は120kmである。都市の配置に関して、幹線道路を整備した際に、町と市および、町と町を結ぶ幹線道路が存在するようにした。

(2) OD表とQ-V式について

本研究では、車両の走行速度が交通量の増加により減少し、道路交通量は都市間距離により減少する条件を加

えた。車両の走行速度を道路が渋滞しない状況に保つことを前提にするため、特別な OD 表が必要である。根城から³⁾の研究を参考にして、全 OD 交通量を含む OD 条件を作成した(表-1)。次に、実際の道路 Q-V 式を参考にして、仮想道路の Q-V 関係を決める(表-2)。

(3) OD 表と Q-V 式の組み合わせ計算について

配分計算時(OD 交通量を 5 分割した分割配分法)、各道路で渋滞が発生しないことと、配分計算時に経路選択が変化する 2 つの前提を満足させるため、OD 表を 10 パターン、Q-V 式を 6 パターンで組み合わせ検証した。スムーズに走行できる道路区間を作るため、一般道路の速度が 20km、幹線が 40km、高速が 60km 以下の場合、道路が渋滞すると設定した(表-3)。

表-2 で示しているように、式 1 から式 5、一般道路 Q-V 式と幹線道路 Q-V 式の係数がいくつか変化した。高速道路の Q-V 式は、高速道路での車両走行速度が交通量に影響されにくいため、式 5 の場合だけ、係数を変化させた。その後、OD 条件を 0.4 倍から 2 倍まで変化させる。

図-3 に示すように、市 19 から村 23 まで行く場合、ルートは 3 つある。この 3 つのルートの中で、5 回配分計算の中の 3 回目配分時までの最短時間経路は、ルート 2 の幹線道路利用経路である。しかし、4 回目配分時、同じ OD 間の最短時間ルートは、高速道路を利用するルート 1 へと変化した(表-4)。このように、経路変化するような条件が必要である。

次に、OD 表と Q-V 式の組み合わせについて、OD 条件を 0.6 倍にした条件と、Q-V 式 4 を利用する場合の計算を説明する(表-2)。表-5 から、Q-V 式 4 と 0.6 倍 OD 交通量を利用する場合、各整備の交通量配分後の、ルート変化と渋滞状況の結果が分かる。幹線整備の場合、5 回目配分後に渋滞が発生したため、この組み合わせは利用できない。

このように、各倍率の OD 表と仮想 Q-V 式を組み合わせ、同じ計算を、配分計算時の経路選択も変化し、渋滞もしない条件を満足させる結果が出るまで繰り返す。図-4 には、この組み合わせ計算の結果を示している。全体の結果を通して、経路変化回数が一番多くなった OD 表の倍率が 0.6 倍、Q-V 式 5 の組み合わせを利用することにした。

(4) 各整備を評価するための評価基準について

仮想道路ネットワークを評価する上での着目点として、速度と時間に関する 5 つの基準を考えた。その基準は、①道路ごとの平均速度と初期速度の差、②整備前からの各整備の速度合計増加量、③各整備後全部の道路の平均速度、④全 OD 総移動時間を OD 数で平均した 1OD あ

表-2 Q-V 式変化

	一般道路Q-V式	高速道路Q-V式	幹線道路Q-V式
式1	$V=40-0.019 \times Q$	$V=80-0.01 \times Q$	$V=60-0.015 \times Q$
式2	$V=45-0.017 \times Q$	$V=80-0.01 \times Q$	$V=60-0.015 \times Q$
式3	$V=40-0.016 \times Q$	$V=80-0.01 \times Q$	$V=60-0.013 \times Q$
式4	$V=40-0.014 \times Q$	$V=80-0.01 \times Q$	$V=60-0.012 \times Q$
式5	$V=40-0.012 \times Q$	$V=80-0.008 \times Q$	$V=60-0.011 \times Q$

表-3 渋滞条件

渋滞条件		ルート1	ルート2	ルート3
一般道路	時速20km以下	3回目配分時	123min	120min
幹線道路	時速40km以下	4回目配分時	124.8min	126min
高速道路	時速60km以下			186min

表-4 図-3 の各経路走行時間

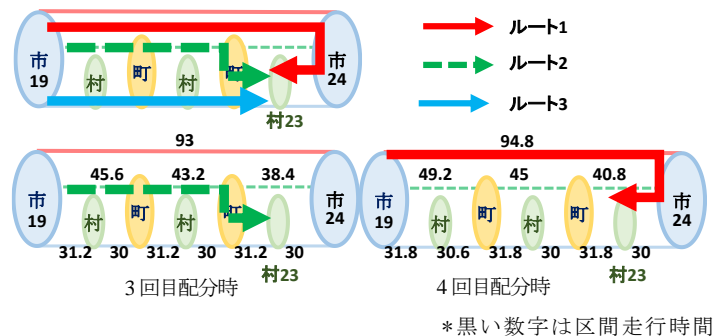


図-3 経路変化例

表-5 0.6 倍 OD 交通量と式 4 の計算結果

条件		1回目配分	2回目配分	3回目配分	4回目配分	5回目配分
整備前	ルート変化	×	×	×	○	×
	渋滞	×	×	×	×	○
一般整備	ルート変化	×	×	×	×	○
	渋滞	×	×	×	×	○
高速整備	ルート変化	×	○	×	○	×
	渋滞	×	×	×	×	×
幹線整備	ルート変化	×	×	×	○	×
	渋滞	×	×	×	×	○

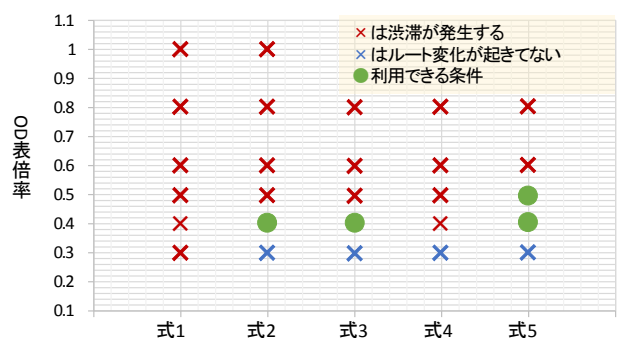


図-4 OD 表と Q-V 式の組み合わせ結果

たりの平均移動時間、⑤全トリップ総移動時間を交通量で平均したトリップ当たりの時間である。評価する場合は、それぞれ初期条件速度との差が小さい方、整備前との速度増加が小さい方、速度が大きい方と時間(1OD 当たり時間と 1 トリップあたり時間)が少ない方を最良と

する。

実際に速度と時間の計算を行ったが、基準1から基準3は新しく整備されたもう一本の道路はそれぞれ規格が違いため、結果の比較はできなかった。そのため、これからの評価に関しては、基準4(1ODあたり時間)と基準5(1トリップあたり時間)を利用して行う。

1ODあたりの時間に関しては、整備前後の各区間走行時間を計算して、合計を求める。そして、全OD移動時間をOD数で平均して、1ODの平均移動時間を求める。

1トリップあたりの時間に関しては、整備前後各区間の走行時間を計算して、合計を求める。そして、全移動時間をトリップ数で平均して、1トリップの平均移動時間を求める。

3. 初期条件を利用した計算について

(1) 初期条件の計算結果

2章で説明した4つのポイントである初期条件を利用して、各道路の車両走行速度、走行時間に関する計算を行った。各道路区間の速度は、図-5に示している。一般道路区間では、整備前の速度は高速整備時との差が微小であるため、図には高速道路の折線しか見えない。

幹線整備の場合では、市と接する幹線道路区間の速度変化が大きい。しかし、高速、一般整備と比べて、幹線道路の速度減少は少ない。一方で、一般整備より幹線整備時の一般道路速度が上昇した。

図-5に示したように、市の両側の道路区間での車両走行速度が非常に低下した。よって、根城ら³⁾の研究と同じく、市の両側の道路で交通量がより多くなったことが分かる(図-6)。

図-7を見ると、20km単位から、各OD間の移動時間幹線整備の場合、曲線の変化が一番穏やかで、440kmまでの走行時間も最短であったことが分かる。OD距離が160kmまでの短距離を走行する場合、高速整備と整備前の走行時間は大きく変化していなかった。OD距離が440km以上の場合のみ、高速道路の走行時間が他の整備より短縮したが、変化が微小のため、初期条件の場合には、高速整備効果が最も低いと思われる。

(2) 初期条件の評価について

図-8より、初期条件で評価した結果は、幹線整備が最良となった。幹線整備の場合、1ODあたりの時間と1トリップあたりの時間がそれぞれ高速、一般整備より大きく短縮したことがわかる。そして、高速整備の場合、新しく整備された道路は高速道路のため、時間が一番短くなると予想した。しかし、結果として、高速道路の時間は一番長かった。このような予想と異なる結果は、初期

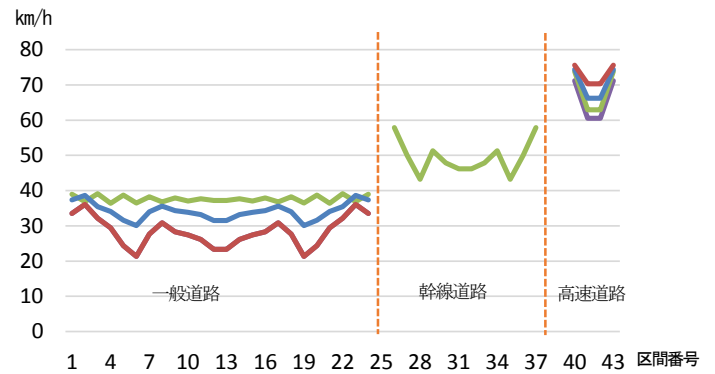


図-5 初期条件での各道路区間速度



図-6 渋滞しやすい区間

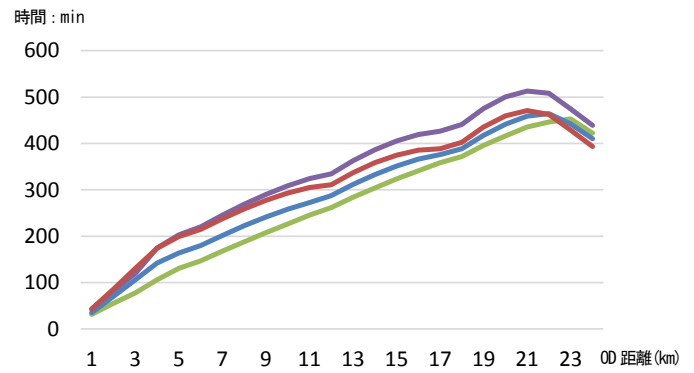


図-7 トリップ長ごとの走行時間

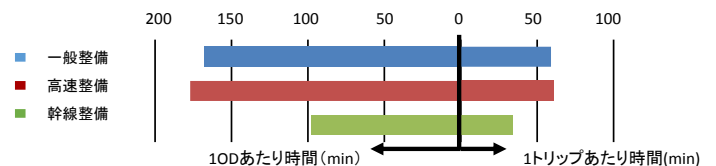


図-8 初期条件の評価結果

条件の場合だけで存在するか、あるいはどのような道路でも存在するか、この問題を解決するには道路条件を変化させて計算する必要がある。

4. 計算条件変化とネットワーク結果考察

(1) 計算条件変化について

各整備効果を把握するため、多様な道路条件で計算を行うことが重要である。各道路整備と道路状況の関係を見つけるため、道路状況を道路速度、都市間距離、交通量方面から変化させ、合計19パターンの道路条件で計算を行った(表-6)。その後、1ODあたりの時間と1トリップあたりの時間で評価を行う。この中で、全ての基準において優れると判断される整備が、この道路条件に最適な整備とする。

(2) 道路条件変化後の計算結果考察

各条件を利用して、高速、幹線、一般整備後の道路に対して評価を行った。これらの条件に関する評価結果は、**図-9**に示している。

2つの評価基準で見ると、幹線整備は全19個のパターン全てにおいて他の整備より優れている。

図-9から、条件5、条件7の高速、一般道路速度上昇条件と、条件12のOD距離変更の場合、幹線整備の時間が非常に早くなっていることが分かる。条件12の場合は、市と村の距離が短縮されたため、幹線整備の場合1OD、1トリップあたりの時間が大きく短縮した。条件18と条件19場合、予想としては、市と市に接する高速道路は市間の交通量が増加し多く使われたため、高速整備が最良となる。しかし、実際に計算を行った結果として、幹線整備が最良となった。これだけでなく、高速整備と一般整備の場合の時間差も非常に小さい。これより、市間の交通量が非常に多い場合、渋滞を防ぐため各階層の道路が活用されたことが考えられる。

今回の結果では、この2つの予想が成立しないことがわかった。高速速度と市間の交通量、その2つの要素に影響されず、幹線整備が高速整備より優れる理由は車両の走行距離に関わる可能性があると考えられる。

(3) 幹線整備が最良以外の道路条件に関する検討

今までの計算結果より、3つの整備の中で、幹線整備が全て最良となった。幹線整備に適さない道路状況を見つけるため、幹線整備が最良ではない道路条件に関する検討が必要となっている。**表-6**に示している19個の条件は、現実でも有り得る道路条件となっている。これ以外の道路条件を利用し、仮に有り得ない道路条件の場合しか幹線整備効果が低下しないとき、幹線整備はほかの整備より大変優れていることが考えられる。

図-10には今まで利用されている道路のネットワークの経路変化特徴を示した。同じOD間で、高速整備、一般整備の場合、利用された遠回り経路は、幹線道路を整備することにより幹線道路を利用する経路に交替された。そして、町間の最短経路も幹線道路経由に変化した。これは、幹線整備が常に最良となるに関する、1つの大きな要因である。

高速、一般整備の効果を拡大するため、幹線道路の機能を低下させ、同じOD間で、幹線道路経由に変更しない経路があるネットワークを作ることにした。**図-11**の通り、赤の丸で示した部分の道路を消すことにより、幹線道路の機能が低下する(比較しやすいため区間番号の変更はしない)。

新しいネットワークを利用して、**表-7**に示した条件を利用して、各道路車両走行速度と時間を計算した結果について評価した。**図-12**から、条件5幹線道路の時速が

表-6 道路条件変化

0 初期条件	10 市と村の間隔を10km
1 高速道路時速100km	11 市と村の間隔を30km
2 高速道路時速110km	12 町と村の間隔を10km
3 高速道路時速120km	13 町と村の間隔を30km
4 高速道路時速125km	14 市11に関する交通量を1.5倍
5 高速道路時速130km	15 市13に関する交通量を1.5倍
6 一般道路時速50km	16 市と市間の交通量を1.5倍
7 一般道路時速55km	17 町と町間の交通量を1.5倍
8 幹線道路時速70km	18 市と市間の交通量を3倍
9 240km以内市の間50台 240km以上25台	19 市と市間の交通量を5倍

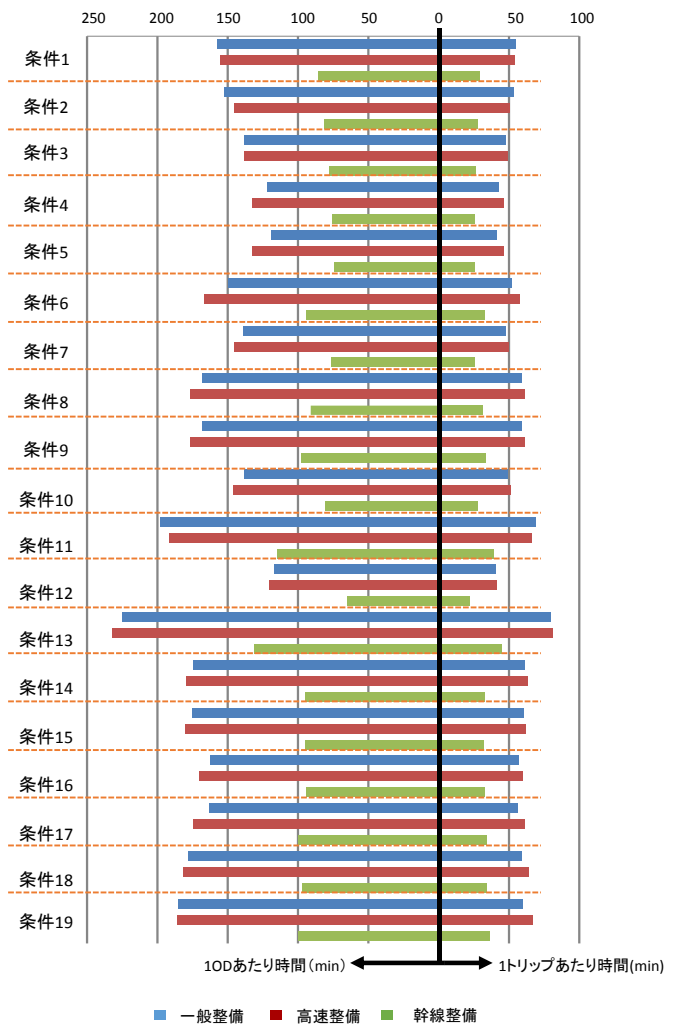


図-9 各条件の評価結果

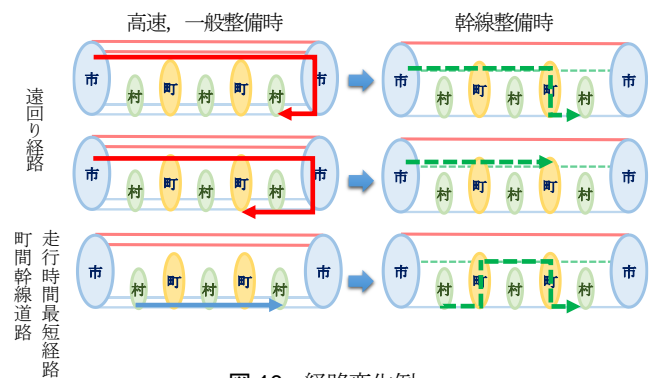


図-10 経路変化例

一般道路より遅くなった場合だけ、幹線整備の代わりに、一般整備が最良となった。幹線道路の機能をアクセス面で低下させただけでなく、速度面も非常に低下させる場合しか幹線整備の効果が下がらないことにより、幹線整備がほかの整備より非常に優れていることがわかる。

5. おわりに

(1) 本研究のまとめ

道路ネットワークを変化させず、速度、市町村の間の距離、交通量だけを変化させ評価した結果、幹線整備がどの道路条件でも、他の整備よりも優れていた。

根城ら³⁾の研究では、一般整備が最良になる場合と、幹線整備が最良になる場合があった。交通量が非常に多い場合は幹線整備が最良だが、交通量が多くない場合は、一般整備が最良となる結論も出された。本研究では、幹線道路の機能を低下させない場合、全ての道路条件で幹線整備が最良となった。

しかし、本研究では、交通量が超過しないこと(渋滞しない)は前提である。そのため、一般道路に集中する交通量は分割配分法を利用して、幹線道路に分担させた。よって、根城ら³⁾研究と同じく高速道路、一般道路速度が速い条件でも、幹線整備が優れている。それ以外、幹線整備を考えず、一般整備と高速整備だけ比べると、高速道路、一般道路速度が速い場合と交通量が大きい場合、高速整備より一般整備の方が優れる。

幹線道路の機能を低下させた新しいネットワークを利用する場合、一般道路より幹線道路の速度が遅い時だけ、幹線整備効果がほかの整備より低下した。この結果から、高速道路より、一般道路の機能が幹線整備の効果と関連していることが分かる。

全体から見ると、3つの道路の中で、高速道路の状況変化は、車両走行時間への影響が最も少ない。そして、一般道路の機能を上昇させるほど、幹線整備の効果が低くなる。

(2) 今後の課題

各整備の特徴をまとめるため、より多くの市町村条件で計算を行い、そして評価する必要がある。これ以外、仮想ネットワークの市町村分布に関して、今回は市町村の間の距離も均等で、分布方法も同じである。しかし、実際に市町村のネットワーク関係は、今回の計算に利用されているネットワークと同様に配置されていないため、ネットワークの調整も必要である。なお、本研究では、時間方面から2つの基準で評価したが、評価方法としてまだ十分でないため、これからより多くの要素を配慮して評価する必要がある。

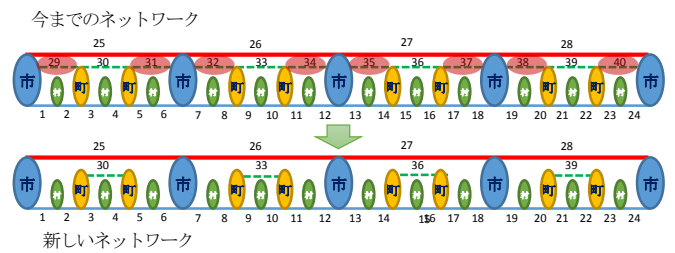


図-11 新しいネットワーク

表-7 新しいネットワーク計算条件

道路時速	高速道路	幹線道路	一般道路
条件1 初期条件	80km	60km	40km
条件2 幹線道路速度減少	80km	50km	40km
条件3 町間交通量を1.5倍	80km	60km	40km
条件4 一般道路速度増加	80km	60km	60km
条件5 幹線道路速度減少 一般道路速度増加	80km	50km	60km

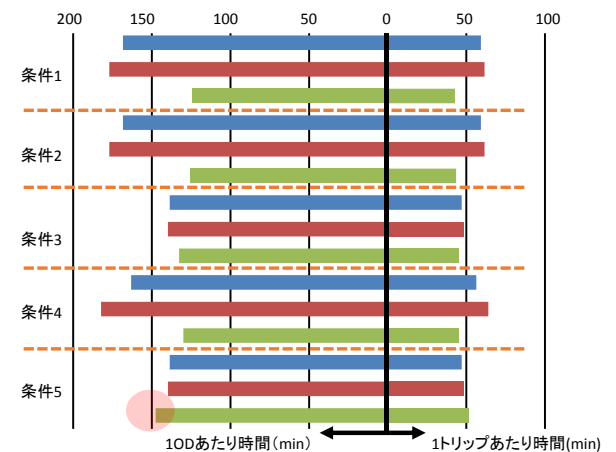


図-12 新しいネットワーク評価結果

今後は、より現実の交通状況に近い条件でパターン変化を増やして検証を行い、道路整備における階層化の効果、そして階層化整備に適切な交通環境を求めることが必要である。

参考文献

- 1) 下川 澄雄・内海 泰輔・野中 康弘・中村 英樹・大口 敬：道路の階層区分を考慮した性能照査手法の意義と課題，土木計画学研究発表会・講演集 No. 45 2012
- 2) 水野貴一・浜岡秀勝：地方都市における道路ネットワークの階層性の評価，土木計画学研究発表会・講演集 No. 46 2013
- 3) 根城平・浜岡秀勝：道路の階層化に伴う効果の定量評価に関する研究