

# 道路階層の組み合わせを考慮した 適切な道路整備に関する研究

浜岡 秀勝<sup>1</sup>・根城 平<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 秋田大学 理工学部システムデザイン工学科 (〒010-8502 秋田市手形学園町1番1号)

E-mail:hamaoka@ce.akita-u.ac.jp

<sup>2</sup>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 秋田市手形学園町1番1号)

E-mail:m9013118@wm.akita-u.ac.jp

道路は、利用者が意図せずに移動距離に合った階層の道路を利用することが理想である。また、道路階層の組み合わせを考慮することで、それぞれの地域における交通状況にあった道路ネットワークを構築できると考えられる。

本研究では、現実存在するネットワークに対して、適切な道路階層の組み合わせを明らかにすることを目的とする。適切な組み合わせとは、研究に用いるネットワークに対して、移動時間を最短にする道路階層の組み合わせである。移動時間の最小化との条件で最適化したところ、道路階層を様々な組み合わせで整備し、階層数が増加する状態が適切であるとわかった。また、中階層の道路整備に重点を置くことで、全体の移動時間の減少に繋がることも明らかにできた。

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

## 1. 研究背景と目的

道路は、それぞれの地域における特徴に合致した階層の道路を整備することで、本来の機能を発揮できる。しかし、現在の道路利用の状況は、道路の階層に見合った利用とは言えず、道路の利用のされ方が問題である。道路利用者が移動時に意図することなく、移動距離に応じた階層の道路を利用することが理想である。つまり道路の階層化は、今日の道路利用者が階層に応じた道路利用を促す手段と考えられる。

道路の階層化に関する研究は過去にも行われている。下川<sup>1)</sup>らの研究は、階層構造ネットワークへ再編することは合理的であるとし、そのための課題を交通特性の分析など4つの観点から示している。しかし、どの階層の道路を組み合わせると効果的であるかなどの、具体的な道路階層の構成は明確になっていない。

根城<sup>2)</sup>らは、仮想の道路ネットワークを作成し、リンクにOD交通量を配分して、階層化整備の効果を導くことを目的に研究している。そのために、交通量が交通容量を超過することを許容し、交通容量を超える交通量の大小でネットワーク整備の効果を評価した。その結果、交通量が道路ネットワークの交通容量を過

剩に上回る場合に、階層化整備が適切としていた。しかし、実際には交通量に依存する走行速度を一定としていたことに課題がある。

楊<sup>3)</sup>らは、仮想の道路ネットワークに対して、階層化の整備、階層化しない整備を行い、その効果を移動時間で示した。その中で、道路を階層化する整備が、様々な状況下で移動時間の減少に効果があるとわかった。しかし、最初のネットワークの形が限定されており、様々な道路階層の組み合わせを考慮できていない。

本研究では、まず実際に存在し得る都市位置を参考にした仮想の都市配置を設定し、全都市を結ぶ低階層道路を整備する。その状態に対して、高速度の道路や、低速度の道路整備などを行った場合を考える。そこから、道路階層の組み合わせに着目し、有効な組み合わせ明らかにすることが目的である。

## 2. ネットワークに与える条件と研究方法

### (1) ネットワークの都市配置について

道路階層の組み合わせを考える際に用いる都市配

置については、東北地方を参考に図-1 のように考えた。青森市から郡山市までは、都市の並びがわかりやすいため、ネットワーク構成の参考にした。都市規模は3種類存在し、人口が25万人以上の都市を大都市、25万人未満10万人以上を中都市、10万人未満を小都市とした。

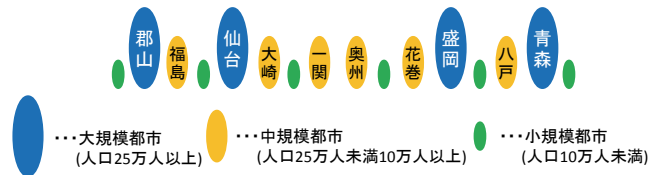


図-1 研究で用いる都市配置とイメージ

都市間距離については、すべてのリンクが20kmと一定の値である。しかし、今後の展開で東北地方の都市間距離を可能な限り参考にしたものも考えた。この場合、左右対称でありながらも、各リンクの距離は一定ではなく、20kmから100kmなどの様々な距離がある。また、左右対称であることを考慮しているため、実際の東北地方の距離とは違いがある。しかし、左右で対称となる都市間距離を平均するなどして、ネットワークの左右対称を保った。

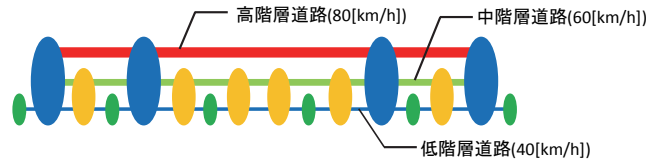


図-2 組み合わせる道路階層の種類

## (2) ネットワーク内の道路階層について

ネットワークに整備する道路階層は、図-2 に示す3種類である。低階層道路は、全都市間に接続し、速度は40[km/h]、中階層道路は大中規模都市間、大規模都市間に接続し、速度は60[km/h]、高階層道路は大規模都市間のみに接続し、速度は80[km/h]である。

表-1 交通量に依存した走行速度減少の条件

	走行速度減少の条件
低階層道路	交通量に依存した速度=40-(0.009×交通量)
中階層道路	交通量に依存した速度=60-(0.007×交通量)
高階層道路	交通量に依存した速度=80-(0.005×交通量)

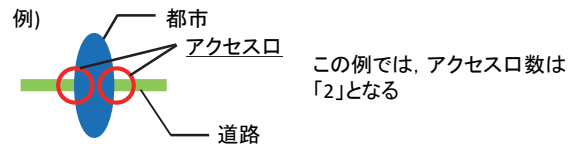


図-3 アクセスロ数の例

## (3) 道路の走行速度について

(2)で述べた速度にて、移動時間が最短となる経路に、次のOD交通量を配分する。大都市間は50台、大中都市間は30台、大小都市間は20台、中都市間は20台、中小都市間は10台、小都市間は5台、というOD交通量を設定した。

また、交通量は最短時間経路のリンクに5分割して配分する。その際に、表-1に示した走行速度の減少条件を考慮して配分することとする。以上の条件は、基本的に走行速度が0[km/h]にならないように配慮したものである。しかし、分割配分をしている途中で走行速度が0[km/h]となった場合、そのときの1ODあたりの平均移動時間、距離帯別の移動時間減少率を計算し、それを評価の対象とする。本研究で用いる他の要素として、アクセスロ数を考えた(図-3)。今後、アクセスロ数が移動時間の変化とどのような関係があるのかも含めて考察する。

また、本研究では移動距離が増加することによる交通量の減少も考慮したい。通常であれば、移動が遠距離になるほど、その目的地へ向かう交通量は減少すると考えられる。よって、ネットワークの総距離の10%を超えた移動距離がある場合、その交通量を3%減少することとした。

以上で述べた各条件をまとめて基本条件とし、ネットワークの初期状態とする。

## (4) 道路階層の組み合わせを考慮した整備の手順

また、道路階層の組み合わせに着目するため、次のa)~e)の手順で道路階層を組み合わせる。その際に、移動時間を可能な限り短縮させるという目的で、移動時間が短い整備のみ継続する、という方針で整備を行う。

- i) 都市のみ配置されている状態(段階0)
- ii) 段階0に、全都市間を結ぶ低階層道路(40[km/h])のみを整備した状態(段階1)
- iii) 段階1の状態に対して、高階層道路(80[km/h])を整備した状態(段階2.1)、中階層道路(60[km/h])を整備した状態(段階2.2)、低階層道路(40[km/h])をもう1本整備した状態(段階2.3)で移動時間を計算する
- iv) 段階2.1~2.3の中で、1ODあたりの移動時間が最短である状態に対してのみ、新たに3本目の道路として低、中、高階層の道路を整備する(段階3)これは、移動時間が最短である整備を明らかにすることが目的である。また、移動時間が2, 3番だった整備はその時点で終了し、段階3に持ちこ

さないこととする(図-4)

v) 道路が4本(段階4)になるまで c), d)の手順を繰り返し、整備をする

最終的な段階4の道路の状態における、道路階層の組み合わせや、1ODあたりの移動時間をその整備の評価とする。

### 3. 1OD 移動時間の計算結果と考察

ここで、基本条件での1ODあたりの平均移動時間、距離帯別の移動時間減少率を計算した結果と、その考察を示す。

#### (1) 基本条件での計算結果

図-5は、基本条件での1ODあたりの平均移動時間、図-6は都市間距離が一定(20km)の距離帯別の移動時間減少率を示したものである。図-5より、都市間距離が20kmと一定の場合、低階層道路1本、中階層道路2本、高階層道路1本という組み合わせが適切とわかった(段階4の状態)。段階1から、道路を1本整備する段階2では、高階層道路を整備すると移動時間が最短になる。段階3では中階層道路、段階4でも中階層道路を整備することが、移動時間を最小にすることがわかった。アクセス口数に関しては、それが多いほど都市に移動しやすいと考えられる。しかし、図-5を見ると、アクセス口数が多いほど移動時間が短いということではないとわかる。

図-6より、段階2の移動時間の減少率をみると、段階2.1(高階層道路整備)と段階2.2(中階層道路整備)の効果が大きい。段階2.1では、長距離に対する移動時間短縮が大きいことがわかる。段階2.2は、すべての距離帯に対して効果があることがわかる。低階層道路を2本に整備する段階2.3は、すべての距離帯に対して効果があるが、段階2.2には劣っている。段階3.1(高階層道路整備)と段階3.3(低階層道路整備)は、それぞれ高階層道路を2本整備、低階層道路をそれぞれ2本整備するものである。しかし、段階3.1と段階3.3は、すべての距離帯に対して効果が低いことがわかる。段階3.2(中階層道路整備)は、段階2.1にはない3階層目の道路を整備するものである。よって、階層数を増加させる整備が有効と考えられる。段階4では、1~3は同じ階層の道路を2本整備するものである。しかし、すべての段階で効果が低いことから、同じ階層の道路を整備することでは大きな効果が出ないこととなる。

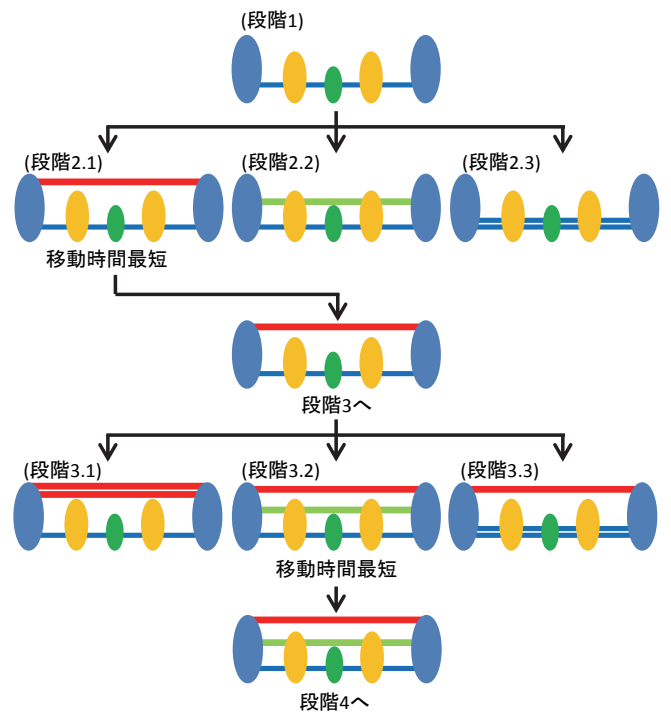


図-4 階層の組み合わせを考慮した整備の手順

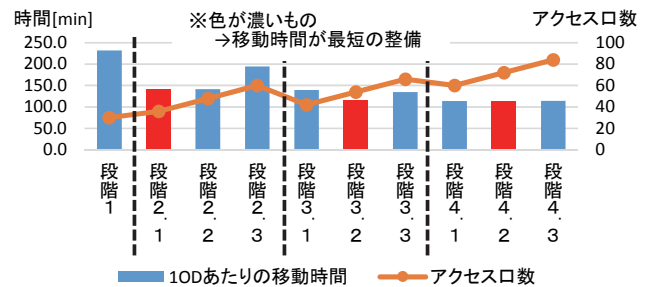


図-5 1ODあたりの移動時間比較(都市間距離すべて20km)

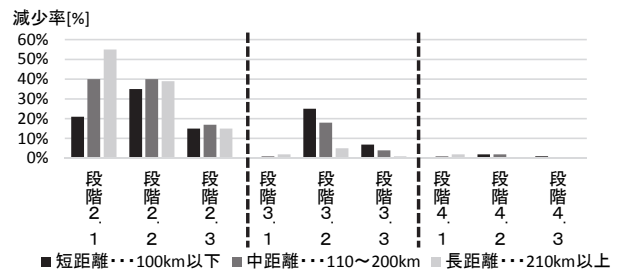


図-6 距離帯別の移動時間減少率(都市間距離すべて20km)

#### (2) 基本条件の結果考察

基本条件を用いた場合、最終的には低階層道路が1本、中階層道路が2本、高階層道路が1本という、3階層の道路が存在する状況が適切との結果である。中階層道路が2本存在することが適切となった要因としては、低階層道路よりも速度が速く、高階層道路よりも利用しやすい道路階層であることが考えられる。同じ距離の移動において、低階層道路を2回利用するよりも、中階層道路を1回利用するほうが

移動時間短縮になる OD が増加し、中階層道路の交通量も増加した。よって、中階層道路の速度が低下しやすくなり、4 本目の道路を整備することを考えた時に、交通量が多い中階層道路を整備することが必要となったと考えられる。

基本条件では、このような道路階層の組み合わせが適切となったが、他の状況においてもこのような結果になるのかを明らかにする必要がある。

### 3. 条件変化について

#### (1) 条件を変化させる目的について

基本条件では、低階層道路が 1 本、中階層道路が 2 本、高階層道路が 1 本という組み合わせが適切であった。しかし、ネットワークの状況が変化することで、適切な道路階層の組み合わせが変化することも考えられる。そこで本章では、基本条件を変化させて、様々な状況における適切な道路階層の組み合わせを明らかにする。条件変化の内容は以下の 4 つである。

##### a) 東北地方の距離を参考にした都市間距離

基本条件では、全リンクの距離が 20km となっていた。その距離を変化させた場合に、適切な道路階層の組み合わせに変化があるかを検討するために、この条件を設定した。

##### b) 全 OD 交通量の値を 5 倍にした条件

全 OD 交通量の値を増加させると、各リンクの走行速度が著しく低下する。よって、各リンクで渋滞のような状況が発生する。このような状態のときに、どの道路階層を整備することが必要であるかを検討する。

##### c) 大都市に関する OD 交通量を 7 倍にする条件

b)では、すべての OD 交通量を増加させて、ネットワーク全体の交通量を増加させた。ここでは、大都市に関する OD 交通量のみを増加させて、局所的に交通量が増加した場合に、どのような道路階層の組み合わせが適切であるかを検討する。大都市に関する OD 交通量とは、大都市から大都市、大都市から中都市、大都市から小都市の OD 交通量のことを指し、これらの値を 7 倍にする。

##### d) 中都市に関する OD 交通量を 7 倍にする条件

ここでは、中都市に関する OD 交通量のみを増加させて、局所的に交通量が増加した場合に、どのような道路階層の組み合わせが適切であるかを検討する。中都市に関する OD 交通量とは、中都市から大

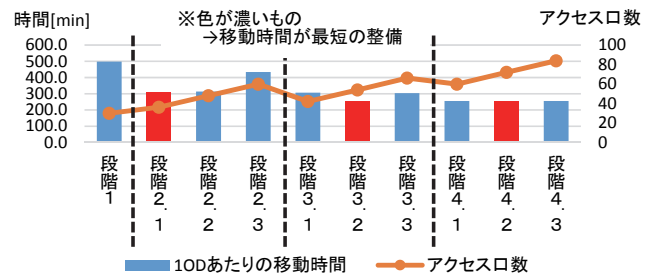


図-7 10Dあたりの移動時間比較(都市間距離一定でない)

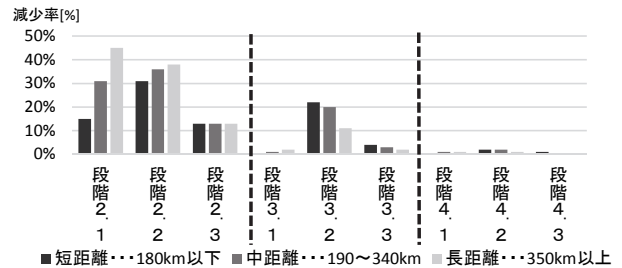


図-8 距離帯別の移動時間減少率(都市間距離一定でない)

都市、中都市から中都市、中都市から小都市の OD 交通量のことを指し、これらの値を 7 倍にする。

これらの条件変化についても、10D あたりの移動時間などを計算し、適切な道路階層の組み合わせを明らかにした。

#### (2) 条件変化の全体的な結果

条件変化後のネットワークにおいても、基本条件と同じ道路階層の組み合わせが適切となる状況が多い。基本条件と同じ結果になったのは、東北地方の距離を用いた条件、全 OD 交通量を 5 倍にした条件、中都市に関する OD 交通量を 7 倍にした条件であった。これらの場合には、低階層道路が 1 本、中階層道路が 2 本、高階層道路が 1 本という組み合わせが適切であった。

しかし、大都市に関する OD 交通量を 7 倍にした条件のみ、低階層道路が 1 本、中階層道路が 1 本、高階層道路が 2 本という組み合わせが適切との結果になった。これから、それぞれの場合について、結果を考察する。

#### (3) 東北地方の都市間距離の場合

図-7 は、東北地方の都市間距離を参考にした状態の 10D あたりの移動時間である。図-7 より、段階 2 では高階層道路、段階 3、4 では中階層道路を整備する組み合わせが、移動時間が最短になる。アクセスポイント数に関しても、それが多ほど交通量を効率よく捌けると考えられるが、移動時間の減少には影響が少ない。

距離帯別の移動時間減少率をみると、図-8 より、段階 2 は段階 2.1 が長距離移動に対して効果が高い。よって、高階層道路整備は長距離移動に効果があるといえる。また、中階層道路を整備した段階 2.2 と段階 3.2 をみると、すべての距離帯に対して効果があることがわかる。段階 4 においても、中階層道路を整備した段階 4.2 の移動時間が最短であることから、中階層道路を整備することが有意義と考えられる。しかし、段階 4 での段階 4.1~3 の差は 1%程度と非常に少なく、どの整備が優れているとは判断しにくい状況である。

#### (4) 全 OD 交通量を 5 倍にした場合

図-9 は、OD 交通量を 5 倍にしてネットワークを混雑させた際の 1OD あたりの移動時間を比較したものである。段階 1 では、交通量を分割配分した際に、走行速度が 0[km/h]になったため、そのときの移動時間を用いている。段階 2 では、中階層道路を整備する段階 2.2 の移動時間が最短になった。段階 3 では、3 階層目の道路を整備する段階 3.1 の移動時間が最短になった。よって、この場合でも階層数を増加させたほうが、移動時間短縮に効果があると考えられる。

距離帯別の移動時間減少率をみると、東北地方の距離を用いた場合と、同様な傾向がみられた。段階 4 では、中階層道路を整備する段階 4.2 が最も移動時間を減少させているとわかった。都市間距離を変化させた場合には、段階 4.1~3 の差が 1%程度であった。しかし、OD 交通量を増やした場合には、その差が 9%程度に増加した。よって、このパターンでは、明確に中階層道路の整備が有効であるといえる。

また、交通量を増加させたときに差が明確になったことから、混雑している状況下のほうが、道路整備の効果がわかりやすく、どの整備が適切なのかを明確にできると考えられる。その理由としては、交通量が増加することで、道路が混雑し、移動経路の変更が多く発生することが考えられる。交通量が通常の場合は、段階 2 から 4 を通して、交通量の分割配分中に移動経路が変化するのは少なかった。しかし、交通量を 5 倍にすることで、中階層道路が主に混雑し、他の階層の道路を利用したほうが速い場合があった。その結果、交通量を 5 倍にした場合には、段階 2 から 4 のほぼすべてで移動経路の変化が発生した。よって、様々な階層の道路が利用される状況を招き、結果的にどの整備が適切かをより判断しやすくなったと考えられる。

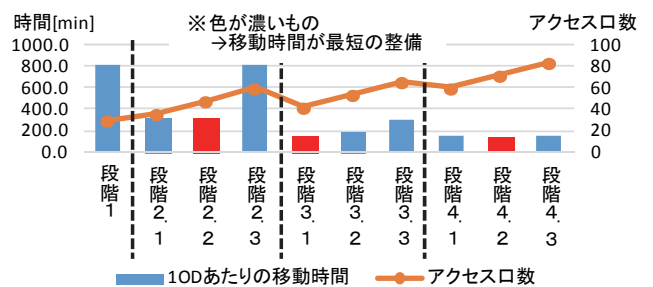


図-9 1OD あたりの移動時間比較(OD 交通量 5 倍)

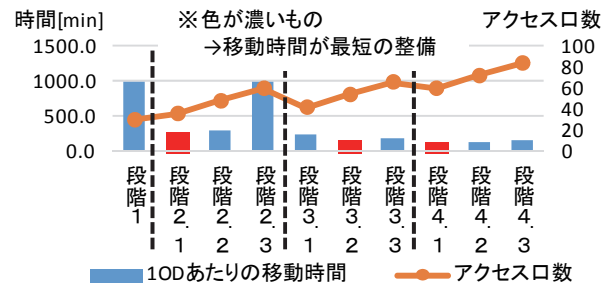


図-10 1OD あたりの移動時間比較(大都市 OD 交通量 7 倍)

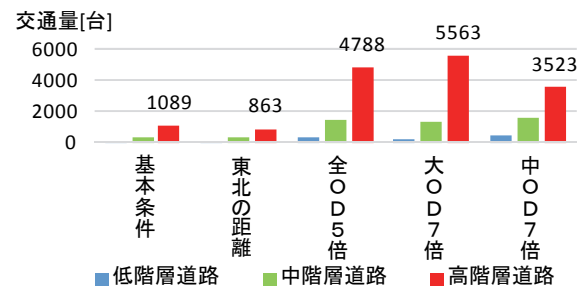


図-11 各条件時の 1 リンクあたりの交通量比較

以上のことを踏まえたうえで、交通量を増加させて混雑している状況下でも、低階層道路 1 本、中階層道路 2 本、高階層道路 1 本が適切な組み合わせであるとわかった。

#### (5) 大都市に関する OD 交通量を増加させた場合

図-10 は、大都市に関する OD 交通量を 7 倍にしたときの 1OD あたりの移動時間計算結果である。特徴的なのは、段階 4 において、高階層道路整備を行った場合に、移動時間が最短になる点である。基本条件と、その他の条件変化では、段階 4 で中階層道路を整備することが適切となっていた。しかし、大都市に関する OD 交通量を増加させた場合にのみ、高階層道路を整備することが適切となった。

要因として考えられるのは、高階層道路の交通量である。図-11 は、各条件での 1 リンクあたりの交通量を示したものである。この図より、大都市に関する OD 交通量を増加させた場合の高階層道路の交通量が最も多いことが分かる。これより、大都市に関する OD 交通量を増加させると、高階層道路の交

通量が増加することがわかる。よって、このような状況では、段階 4 で、高階層道路を整備することが適切となることが考えられる。

#### (6) 中都市に関する OD 交通量を増加させた場合

図-12 は、中都市に関する OD 交通量を 7 倍にしたときの 1OD あたりの移動時間計算結果である。全 OD 交通量と、大都市に関する OD 交通量を増加させた場合と同じく、段階 4 における移動時間差が、基本条件よりも大きくなった。

また、段階 2.1 では、低階層道路が渋滞し、交通量をすべて配分できなかった。よって、段階 2.1 は評価から除外することとする。その結果、この条件においても、基本条件と同様の道路階層の組み合わせが適切であるとなった。

### 4. おわりに

#### (1) 本研究のまとめ

本研究で用いた都市配置では、都市間距離を変化させても低階層道路 1 本、中階層道路 2 本、高階層道路 1 本という組み合わせが最良とわかった。また、OD 交通量を増加させて、ネットワーク内を混雑させた場合でも、同様の組み合わせが有効である。しかし、高階層道路の交通量が非常に多い場合には、段階 4 で高階層道路を整備することが適切である。以上をまとめると、最も有効と考えられるのは、異なる階層の道路を整備することである。しかし、どれか同じ階層の道路を整備とした場合、交通量が多い階層の道路を整備することが最も適切であるとわかった。

また、図-13 は、OD 交通量を 5 倍に増加した場合の、段階 2 におけるすべての OD 距離ごとの移動時間を示したものである。この図より、120km までは、段階 2.2 の移動時間が短い、120km 以降は段階 2.1 のほうが逆転することがわかる。よって、120km までの移動をする場合には、中階層の道路を整備するほうが有効であり、それ以上の移動を考えている場合には高階層の道路を整備することが適切であるともいえる。これは、交通量を 5 倍にした場合の結果であるが、他の状況でもネットワーク総距離の 1/3 の距離近くで段階 2.1 と段階 2.2 が逆転する状況が多い。よって、道路整備を考えているネットワークの 1/3 までの距離の移動が多い場合には、段階 2.2 のような中階層道路整備が適している。また、総距離の

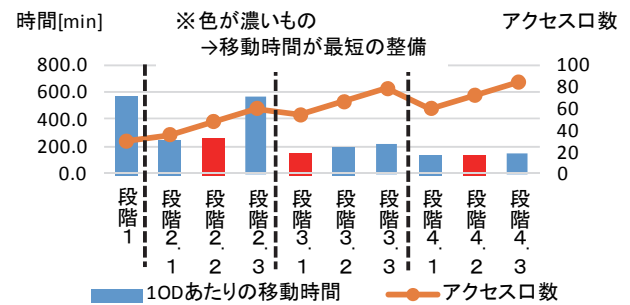


図-12 1OD あたりの移動時間比較(中都市 OD 交通量 7 倍)

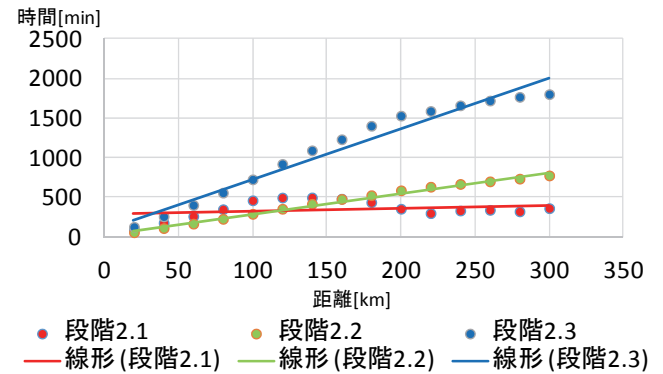


図-13 OD 交通量を 5 倍に増加した場合のすべての OD 距離ごとの移動時間

1/3 以上にもなる長距離の移動が多い場合には高階層道路を整備することが適切と考えられる。

#### (2) 今後の課題

今回は 4 種類の条件変化を考えたが、他にも様々な状況で考慮する必要がある。小規模都市が更に増加した場合やネットワークが左右非対称の場合など、全国には地域ごとの様々な特徴が存在する。よって、道路状況別の適切な道路階層の組み合わせを、ネットワークの条件を変えることで導く必要があると考えられる。

また、高速道路に入るために、実際にはある程度の移動が必要である。よって、高速道路のアクセス・イグレスの要素を取り入れて交通量を配分することも必要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 下川澄雄：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・講演集，vol.45，2012。
- 2) 根城平：道路の階層化に伴う効果の定量評価に関する研究，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol.70，No.5。
- 3) 楊柳：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，土木計画学研究・講演集，vol.49，2013。