拠点間連絡性能を考慮した 機能階層型道路ネットワーク構成の検討

後藤 梓¹・中村 英樹²

¹正会員 名古屋大学大学院助教 環境学研究科 持続的共発展教育研究センター
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2 (651))

E-mail: azusa@genv.nagoya-u.ac.jp

²フェロー会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 都市環境学専攻 (同上)

E-mail: nakamura@genv.nagoya-u.ac.jp

今後わが国では、生活・都市機能の集約した拠点間を効率的に連絡するため、道路ネットワークを機能階層型に再編してゆくことが重要である。そこで本研究では、拠点間連絡性能として目標旅行時間が与えられた場合に、これを連絡する道路ネットワークの望ましい階層構成を検討することを目的とする。道路ネットワークの階層構成は階層数、階層別目標旅行速度、道路間隔、下位階層との接続間隔の組み合わせからなり、沿道出入や階層間接続で生じる遅れなどが旅行速度に及ぼす影響を考慮してその代替案が構築される。今回は東海地域を対象に、階層構成代替案において達成される拠点間旅行時間を推定し、特に自専道の発達していない半島や山間部の集落から生活拠点・高次都市拠点への連絡に対して、高速の階層を設定することの重要性が定量的に示された。

Key Words : hierarchical road network, network planning, target travel speed, urban center

1. はじめに

道路のトラフィック機能とアクセス・滞留機能はトレードオフ関係にあるため、道路ネットワークを計画する際には、これらを各道路に適切に分担させた階層型に構成することの重要性が知られている。しかしながら、わが国の一般道路は、本来トラフィック機能を重視すべき幹線道路に細街路がはりついていたり、キー交差点で著しい遅れが生じたりするなど、上記のような機能階層構成が充分考慮されていない現状にある。このような現状は、高速道路のインターアクセスや一般道路による中距離移動などを円滑に行えないといった問題ばかりでなく、幹線道路の遅れを嫌った通過交通の生活道路流入に伴う安全性の低下、周辺居住環境の悪化なども引き起こしていると考えられる。

このため近年では、ネットワークの中でそれぞれの道路がどのような機能を担うのかを明確化する機能階層型道路ネットワークへの再編の必要性が提唱され¹⁾、学術的・実務的検討が進んでいる^{2,3)}など。これらの検討においては、道路ネットワークを構成する全ての道路は機能に基づいた階層に分類され、階層ごとに設定される性能目標を用いて、その道路構造や交通運用方法を決定する

性能照査手法が整理されている。このような手法によって既存道路を改良・改築してゆくことにより、道路の機能分担が実現し、ネットワークをより効率的かつ高いサービス水準で運用することができるようになると期待されている。

しかしながら、機能に基づいた階層は具体的にどのように構成されるのか、階層ごとの性能目標はどのように設定したらよいのかについては、ドイツの交通ネットワーク指針⁴⁾や経験的に設定された定性的な知見⁵⁾が示されるにとどまっており、より定量的な検討を行うことが課題として残されていた。

一方、一昨年には「国土のグランドデザイン2050」⁶⁾が発表され、生活・都市サービスをコンパクトに集約した拠点の形成、および拠点へのアクセス・拠点間連携を強化するネットワークの整備が、わが国の将来の国土構造を支える基本方針として打ち出されている。そこで本研究では、道路の階層別性能目標である目標旅行速度を、拠点間を何時間で連絡可能か、平均速度がどの程度となるかといった定量的指標で表される拠点間連絡性能に基づいて設定することを考える。より具体的には、拠点間に目標旅行時間が与えられた場合に、これを達成するために必要な道路ネットワークの階層構成、すなわち階層

図-1 機能階層型道路ネットワーク計画の枠組み

数, 階層別目標旅行速度・道路間隔を検討することを目的とする。これは, 「コンパクト+ネットワーク」な国土計画の中での道路ネットワーク再整備方針の位置づけを明確化するとともに, 再整備方針に基づいて個別路線・区間の計画・設計・運用方法を検討するに至るまでの一連のプロセスの体系化に資するものである。

2. 機能階層型道路ネットワークの計画手法と本研究の位置づけ

(1) 機能階層型道路ネットワーク計画の枠組み

本研究では, 図-1に示す枠組みによって道路ネットワークの階層構成, すなわち階層数 n , 階層 i の目標旅行速度 v_i [km/h], 道路間隔 $s_{(i)}[km]$ および下位階層 $j(1 \leq j \leq n)$ との接続間隔 $s_{(i,j)}[km]$ を決定する計画手法を提案する。なお, 本研究では, 道路間隔 $s_{(i,j)}[km]$, および下位階層 $j(1 \leq j \leq n)$ との接続間隔 $s_{(i,j)}[km]$ は, 便宜的に格子状ネットワークを仮定した場合のものとする。現実の道路ネットワークは完全格子状ではないことが殆どだが, この値を示しておけば各階層の配置間隔やアクセス距離の参考として用いることができるためである。

この計画手法では, まず道路ネットワークが連絡すべき拠点と拠点間の目標旅行時間を設定する必要がある。この設定は国土・地域計画と整合したものとするべきであり, 今回は本章(3)で後述の通り, 「国土のグランドデザイン2050」⁹⁾を参考とした既往研究を活用することで所与として取り扱う。この設定に基づき, 道路ネットワークを計画する対象地域内の拠点間連絡を抽出する。一方で, 階層構成については, トラフィック機能とアクセス機能のトレードオフ関係などを考慮して代替案を構築する。代替案から最適なものを選定するためには, 代替案によってどの程度の拠点間連絡性能が達成されるかという効果と, 代替案を適用した場合に道路改良などに要するコストのバランスを考慮する必要がある。

この中でも本論文では, 階層構成代替案の構築手法(3章)を示すとともに, 代替案による拠点間連絡性能の評価(4~5章)のケーススタディを行う。

図-2 階層型道路ネットワークにおける拠点間連絡

(2) 機能階層型道路ネットワークにおける拠点間連絡性能

上記の目的から, まずここでは階層構成と拠点間連絡性能の基本的な定義と相互関係を整理する。

まず, 階層レベルを表す変数 i の基本条件として, これが大きいほど, トラフィック機能優先であるものとする。このとき, 目標旅行速度 v_i について常に $v_{i+1} > v_i$ が成り立つ。

さらに今回は, 階層間の機能分担が明確な状態を前提として目標旅行時間の達成を図るため, 乗換えは隣接階層間でのみ可能とする。このため, 接続間隔 $s_{(i,j)}$ は $j=i-1$ のときについてのみ設定すれば良いことになる。

隣接階層間でのみ乗換え可能な階層型道路ネットワークでは, 利用者は図-2のように, まず起点から目標旅行速度 v_i の低い階層1(アクセス・滞留機能優先)を走行し, 徐々に高速の階層(トラフィック機能優先)へと乗換え, また終点に向かって目標旅行速度の低い階層1へと戻ることになる。このとき, トリップ中で最も高速となる階層における移動がラインホール, ラインホールから起終点までの部分がアクセス・イグレスである。図-2では, 階層3をラインホール, 階層1, 2をアクセス・イグレスに

使用しているが、実際にどの階層まで使用するかは、拠点間距離や、目標旅行速度・道路間隔などの階層構成により異なる。

いま、拠点間距離が X_{target} だけ離れたトリップの最短時間経路での使用階層数を k 、このトリップの階層 $i(1 \leq i \leq k)$ の走行距離を x_i とすると、拠点間旅行時間 T は式(1)で、旅行距離 X は式(2)で書くことができる。また、拠点間の平均速度 V は、旅行時間 T を距離 X_{target} で除した式(3)により計算される。本研究では、これらの指標によって、道路ネットワーク全体が発揮しえる性能を評価するものとする。

$$T(X_{\text{target}}) = \sum_{i=1}^k \frac{x_i}{v_i} + \sum_{i=2}^k \frac{r_{i(i-1,i)} + r_{i(i,i-1)}}{3600} \quad (1)$$

$$X(X_{\text{target}}) = \sum_{i=1}^k x_i \quad (2)$$

$$V(X_{\text{target}}) = \frac{X_{\text{target}}}{T(X_{\text{target}})} \quad (3)$$

ここに、 $r_{i(i-1,i)}$ 、 $r_{i(i,i-1)}$ ：階層 $(i-1)$ から階層 i へ上がる際、階層 i から階層 $(i-1)$ へ下がる際の乗換抵抗[sec]である。通常、階層の接続箇所には、交差点やインターチェンジ、ジャンクション等が存在し、通行には遅れすなわち時間的な抵抗が発生する。乗換抵抗とは、まさにこの遅れを意味する。現状の道路ネットワークが抱える問題の一つは、平面交差点における遅れによるところが大きいことを考慮すると、これは拠点間連絡性能にとっても極めて重要である。

式(1)中の v_i は、階層別目標旅行速度 v_i に他ならない。また、拠点間の最短経路での使用階層数 k と、階層別走行距離 x_i は、道路ネットワークの階層数 n 、階層別目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i)}$ および下位階層 $j(1 \leq j \leq n)$ との接続間隔 $s_{(j)}$ に依存して決定する値である。特に、階層別走行距離 x_i のうち、拠点間の最上位階層 k を除く $x_i(1 \leq i \leq k-1)$ は、それぞれ階層 $j+1$ の乗換え点までのアクセス・イグレスに要する距離であり、階層 $j+1$ の道路間隔 $s_{(j+1,j+1)}$ と接続間隔 $s_{(j+1,j)}$ によるところが大きい。アクセス・イグレスに要する距離が短い方が旅行時間は短くなるため、各階層の道路間隔や接続間隔は短ければ短いほどよいことになる。しかしながら、これは交差点間隔を小さくすることと同義であり、立体交差でない限り、停止回数や遅れの増大による旅行速度の低下を引き起こす。よって、目標旅行速度 v_i との関係を担保して道路間隔 $s_{(i)}$ および接続間隔 $s_{(i-1)}$ を決定する必要がある、これについては3章に詳説する。

大前提として、 i が大きいほど目標旅行速度 v_i が大きいのに対応して、 $s_{(i+1,i)} > s_{(i)}$ でなければならない。この状態が確保されると、距離の長い連絡ほど、より上位の階層

を使用可能となり、長距離連絡と短距離連絡でラインホール部分の分離が図られる。

上記を考慮した上で、拠点間の旅行時間 T が目標旅行時間 T_{target} に対して $T \leq T_{\text{target}}$ となるような階層構成を検討することになる。この条件が、対象道路ネットワークの連絡する全拠点間で満足されることが理想である。

既往研究では、これまで桑原ら⁷⁾は階層型道路の配置間隔が旅行時間に及ぼす影響の解析的評価を行っており、浜岡・根城⁸⁾は次元ネットワークにおける旅行速度や連絡拠点距離が様々な場合の影響の検証を行っている。また、下川ら⁹⁾は、旅行速度・アクセス距離が仮定された高速道路・一般道路の間に、その中間的な旅行速度で走行できる「中間速度層」を整備する場合を想定し、これが有効となる旅行速度の下限・上限値と、中間速度層までのアクセス距離に応じた効果の定量的検証を行っている。しかしいずれも実際の拠点配置条件に基づいた階層構成の検討を行うには至っていない。実際の施設や都市の配置に応じて道路の性能を設定する問題は、ネットワーク設計問題として特に海外では多く扱われている¹⁰⁾などが、ネットワーク全体の総旅行時間などの最適化に主眼があり、上述のような個別拠点間の目標旅行時間達成は保障されない。またわが国の現在の道路ネットワークにおいて課題の多いアクセス・イグレス部分は省略され、長距離ネットワークのみの検討であることが殆どである。

(3) 拠点および目標旅行時間の設定

本研究では、道路ネットワークの連絡すべき「拠点」については、既往研究¹¹⁾¹²⁾に基づき表-1の通り設定するものとする。この表は、ドイツの交通ネットワーク計画指針RIN⁴⁾を参考に、「国土のグランドデザイン2050」⁶⁾に示されるわが国の将来の国土構造を反映する形で著者が提案¹⁾、修正¹²⁾を行ったものである。

ここでは、まず都市・生活サービスを提供する各種拠点施設がその利用頻度や規模によって五階層に定義され、拠点施設が集約した地域を拠点領域、その代表点を拠点代表点として設定している。この拠点に対して、今回は目標旅行時間を表-2のように仮設定する。この表に示す値は、RIN⁴⁾およびわが国に既往の上位計画を参考にしており、例えば大都市拠点(MEC)の目標旅行時間180[min]は、日帰り交通圏の指標¹³⁾としてよく用いられている。高次都市拠点(UUC)・相互補完間の目標旅行時間60[min]は、「国土のグランドデザイン2050」⁹⁾において示される、1時間圏の拡大による高次地方都市連合と整合するようにしている。また、集落・住区(CMC)から生活拠点(LUC)への目標旅行時間30[min]は、医療や買い物圏域の指標¹³⁾として用いられることが多く、静岡30構想¹⁴⁾のような自治体の上位計画においても示されている。

値である。

3. 道路ネットワークの階層構成代替案の構築

ここでは道路の機能を考慮した階層化を行うための道路ネットワークの階層構成代替案(以降、単に「代替案」と省略する)を構築する。理論上無限通りに存在する代替案の中から、以降に述べる事項を考慮して、機能階層化を実現可能なものを絞り込む。

(1) 交通機能と沿道状況による道路分類

機能階層化の根幹にあるトラフィック機能とアクセス・滞留機能のトレードオフ関係を考えると、道路を高い旅行速度で運用するためには沿道や他道路からの出入を制限しなければならないし、逆に出入をしやすくするためには旅行速度は低くおさなければならない。これを考慮して、本研究では表-3に示すように、トラフィック機能優先の道路から滞留機能優先の道路までを出入制限と対応させたA,B,C,D,Eの五段階に大別する。

さらに、道路の沿道状況が拠点領域内の場合と外の場合では、線形制約や出入頻度、自動車以外の利用者の存在、空間機能などの付随的機能の必要性などといった道路の構造・運用にかかる制約条件が大きく異なり、結果として実現可能な旅行速度も異なると考えられる。そこで、拠点領域内部を「市街地内」、それ以外を「市街地外」と定義し、先に述べた分類A-Eに対して、市街地内(Urban)を表す「U」あるいは市街地外(Rural)を表す「R」を付記することにより区別する。ただし、アクセス・滞留機能に特化した分類Eは、常に個別施設からの出入庫を許容すべきものであり、市街地内にしか存在しえないため、E_Uのみとなる。

交通機能を表すA-Eと、沿道状況を表すU/Rの分類を考慮することにより、そこで実現可能な旅行速度の範囲はある程度限定されることになる。表-3の[]内は、これまでの経験的知見に基づき、各道路分類において設定しえる目標旅行速度の値を示したものである。

(2) 現状道路による前提条件

本研究で検討している階層構成は、現在の道路ネットワークを改築・改良する際の拠りどころとして用いることを想定しているため、現状をある程度踏まえたものである必要がある。このため、変更が困難な最上位及び最下位の階層については、以下の通り前提条件をおく。

a) 最上位階層

道路ネットワークの階層において最も速度の高い最上位階層 n は、トラフィック機能に特化した分類Aの中でも拠点領域どうしを結ぶ市街地外に存在するA_Rである。これは、都市間高速道路や高規格道路などの自動車専用

表-1 拠点階層の定義(既往研究を元に一部修正)

拠点階層	拠点施設 Facility		拠点領域 Area 略称	代表点 Center 略称
	略称	具体例* (機能と対応)		
大都市拠点 (MEtropolitan)	MEF	のぞみ停車駅、 国際空港など	MEA	MEC
高次都市 拠点 (Upper Urban)	UUF	ひかり停車駅、県庁/ 政令指定市役所、 地方空港、第三次医 療施設、国公立大学、 百貨店など	UUA	UUC
生活拠点 (Lower Urban)	LUF	駅、市役所、一般病 院、大型ショッピン グセンター、高等学 校など	LUA	LUC
小さな拠点 (Small)	SMF	小中学校、旧役場庁 舎、スーパーマーケ ット、JA、バスターミ ナル、診療所など	SMA	SMC
集落・住区 (CoMmunity)	CMF	集会所、自治会	CMA	CMC

*上位拠点は下位拠点の施設(機能)を包含する事が前提。

表-2 目標旅行時間の設定例

拠点階層	目標旅行時間	
	集落・住区 (CMC)から拠 点代表点まで	同一階層の隣接 拠点代表点まで
大都市拠点 MEC	≤180min	≤180min
高次都市 拠点 UUC	完結型	≤90min
	相互補完型	≤60min
生活拠点 LUC	≤30min	≤45min
小さな拠点 SMC	≤15min	≤20min

表-3 交通機能と沿道状況に応じた
道路分類および目標旅行速度

交通機能	沿道状況		出入制限	
	市街地外 (拠点領域外)	市街地内 (拠点領域内)	他道路	沿道施設
トラフィック	A _R [80~120km/h]	A _U [60~80km/h]	完全制御	
	B _R [50~70km/h]	B _U [50km/h]	部分制御	
	C _R [30~50km/h]	C _U [30~40km/h]	なし	部分 制御
	D _R [20km/h*]	D _U [20~30km/h*]		なし
アクセス 滞留	-	E _U [NA]		

*: 自動車交通の目標旅行速度達成のみが主たる性能目標ではなく、多様な利用者の観点やアクセス・滞留指標で評価すべきであるため、参考値に過ぎない。

道路(以降、自専道)に該当し、現状または将来計画から大幅に変更することは難しいことから所与として扱う。

目標旅行速度 v_i は、対象地域の地勢条件や現状道路の水準を考慮して設定するものとする。本稿5章で行うケーススタディでは、道路交通センサス¹⁵⁾による対象地域の高速自動車国道の非混雑時旅行速度を参考に、80, 90[km/h]の二通りを検討する。また、道路間隔 $s_{(u)}$ および下位階層との接続間隔 $s_{(u+1)}$ の代わりに、より実態を反映する変数として「拠点から自専道インターチェンジ(以降、IC)までのアクセス距離 x_{ac} 」を実際の配置条件に基づき設定するものとする。

なお、同じくトラフィック機能に特化した分類 A_U は、都市内高速道路に該当し、これも A_R 同様に目標旅行速度やICまでの距離を所与として設定できると想定されるが、この分類を有する拠点領域(都市)は限定されているため今回は取り扱わず、今後の検討課題とする。

b) 最下位階層

一方、道路ネットワークの中で最も低速の最下位階層は、アクセス・滞留機能に特化した道路分類 E_U であり、具体的には生活道路や細街路がイメージされる。しかし、これらは拠点間旅行時間に対して無視できる程小さいと考えられることや、トラフィック機能に基づく指標である目標旅行速度により性能目標を設定すべき階層ではないことから、今回は考慮しない。

そこで、本研究における最下位階層である階層1は、起終点周辺でのアクセス機能を重視した集散道路クラスの分類 D_{RU} とする。前述の通り、アクセス性確保の観点から当該階層の旅行速度は低く抑えておく必要があるため、 $v_1=20$ [km/h]で所与とする。さらに、道路間隔は棟割りや区画等により所与のものと考えられることから、今回は $s_{(1,1)}=0.4$ [km]と仮定とする。

c) 中間階層

最上位・最下位階層が所与となった段階で、代替案の構築は、その間の階層(以降、中間階層)をどのように設定するかという問題に帰着する。すなわち、分類 A_R と D_{RU} の間に、分類B, Cはどちらも必要かどちらかでよいかどちらもないか、必要である場合、目標旅行速度はどの程度とすればよいかという選択に対して代替案を構築することになる。

なお、目標旅行速度 v_i は、個別区間の計画設計・運用方針決定の際の「目標値」として使われることを考えると、細かすぎる設定は現実的ではないし、かえって差別化を困難にしかねないため、10km/h単位とする。また、本来的な機能が同じ道路分類から二段階の目標旅行速度 v_i を設定するような階層構成、例えば、 $v_1=20$ [km/h](分類D:所与)、 $v_2=30$ [km/h]、 $v_3=40$ [km/h](ともに分類C)のようなものも、機能を曖昧にすることから考慮しない。また、道路間隔 $s_{(u)}$ は便宜的に $s_{(1,1)}$ の倍数のみを考え、0.4km単位で設定する。

図-3 階層間の接続点による遅れや乗換抵抗の模式図

表-4 道路分類間の接続形式

	同下位	A_R	(A_U)	B	C	D
上位						
A_R	JCT	-	IC(RAB)	IC(RAB)	-	
(A_U)		JCT	IC	IC(信号)	-	
B			JCT	JCT	IC(信号)	-
C				RAB	IC(RAB)	左折in-out
D				JCT/IC(RAB)	IC(信号)/信号	左折in-out
					RAB	左折in-out
					信号	左折in-out
						無信号

RAB: ラウンドアバウト, 信号: 信号交差点, 無信号: RAB以外の無信号交差点(一時停止制御など), 左折in-out: 上位階層に中央分離帯が設置されたT字形式での接続, JCT: 完全立体, -: 接続なし, IC(X): 上位道路には加減速車線, 下位道路には平面交差Xで接続している不完全立体。

凡例

色なし:	紫(上段): (a)市街地外
(a)市街地外, (b)内共通	橙(下段): (b)市街地内

(3) 道路分類間の相互接続の可否と接続方式

表-3で示した機能分化が実現され、目標旅行速度が各階層で達成できるか否かは、階層間の相互接続の可否と接続形式によって大きく左右される。これは、図-3に例示するように、道路が相互接続する場合には、交通流の交錯(あるいはそれを制御すること)による遅れが生じるためである。本研究は、階層構成代替案で設定する目標旅行速度 v_i が、各階層において達成されていることを前提として、その組み合わせの評価を行うものであるため、階層構成はこのような遅れを予め見込んで設定しておくなければならない。このため、今回は道路分類間の接続可否と典型的な接続形式を、山川ら¹⁶⁾による既往研究を参考に表-4のように仮定する。なお、ここでの遅れは、階層iを走行中の車両、すなわち図-3に青色で示した車両が同階層iや下位階層(i-1)との接続点で被る遅れ $r_{(i,i)}$ や $r_{(i-1,i)}$ を指すものであり、式(3)で考慮した乗換抵抗、すなわち図-3に赤色で示すような異階層との乗換に生じる遅れ $r_{(i,i-1)}$ 、 $r_{(i-1,i)}$ とは異なる。なお、階層iは上位階層(i+1)とも接続しているが、今回はこの影響は考慮しない。これは、このような接続点において上位階層(i+1)に乘換えずに横断する必要のあるトリップが比較的短距離で数も少ないと考えられるためであるが、地域的な特性によりこのような横断が重要な場合には、より詳細な道路の設計・運

用を行う際に、その影響を考慮して性能照査を行う必要がある。

a) 相互接続の可否と目標旅行速度の組合せ

表-4では、トラフィックとアクセス・滞留という対極の機能に特化した分類AとDは直接接続できないことになる。これは、両者を相互に接続してしまうことで、互いの機能を阻害しあうことを防ぐためである。従って、所与である A_R と D_{RU} の間には必ずBかCが必要となる。

以上の条件を考慮し、階層別目標旅行速度の組み合わせを抽出する。ただし、表-3に示した目標旅行速度のうち B_R の70km/hは、日本においては適用箇所が限られると考えられるため、本論文では考慮しない。すると、市街地外では図-4に示す10種類に限定されることになる。なお、これ以降、各階層の道路をその分類と目標旅行速度によってC30、B50などと表記し、またその組み合わせからなる代替案については、所与である最下位・最上位以外の階層の名称を用いて、図中のように【C30】、【C30&B50】などと表記する。

市街地内の場合は、表-3に示したように分類B、Cで設定しえる目標旅行速度がより限定されるため、C50、B60を有する代替案がなくなり、全部で5通りとなる。本来はこの他に、都市内高速道路である A_U を有する代替案が存在しえるが今回は取り扱わない。

ここで、乗換える階層間の速度差に大きな乖離があると、急加速・急減速の原因となったり、乗換後の速度への順応に時間がかかったりするため、安全性・快適性の観点から好ましくないことに注意が必要である。図-4において「※」を付記した接続は、速度差が40km/h以上となるものであり、このような接続は極力避けるか、乗換時の加減速がスムーズに行えるように、接続部の道路構造に工夫が必要となる。

b) 階層間の接続方式

階層間の接続形式は、各道路の交通需要や沿道状況・土地制約などを考慮した上で目標旅行速度を担保できる最適なものを選ぶ必要があり、これは個別区間の計画設計段階における性能照査の最も重要な懸案事項といっていよい。しかし、ネットワークの代替案選定をするこの段階において交通需要を正確に把握し、最適な接続形式を決定することは極めて困難である。

そこで表-4は、(a)市街地外の道路は接続部の交通需要が比較的低く、(b)市街地内の道路は需要が高いものとして、それぞれの道路における典型的な形式を仮定している。これは、この後(4a)に述べるように、各階層で確保すべき道路間隔・接続間隔の適切な範囲を提示することで、接続点における遅れの影響を考慮するためのものである。

(a)市街地外と(b)市街地内の違いは、分類B、Cの平面交差部がラウンドアバウト(RAB)か信号交差点かによる。

図-4 市街地外の代替案の目標旅行速度の組合せ

一般に、ラウンドアバウトの方が信号交差点よりも遅れが小さくて済むことから、今後一般道路の旅行速度を向上させる上で効果的な対策の一つと考えられるラウンドアバウトを、(a)市街地外の道路の典型的な接続形式として積極的に用いている。信号を設置しなくても処理可能な交通需要の場合には、(a)市街地外の接続形式が適用できるし、逆に、交差点に流入する需要が高く、往復二車線以上必要となるような場合には、(b)市街地内の接続形式を適用しなければならない。これは言い換えれば、今回は典型例として市街地内は(b)としているが、交通需要が少ない市街地内については、(a)を適用できる場面もあり得ることを意味する。なお、この接続形式は代替案選定に際して仮置きしたものに過ぎないため、実際の道路個別区間を計画・設計する際にはこれに囚われる必要はなく、性能照査に基づいて目標旅行速度を達成可能な接続形式を改めて検討することになる。

(4) 道路間隔の適切な範囲

a) 最小道路間隔

前述の通り、特に旅行速度の低下が起りやすい一般道路については、目標旅行速度 v_t を維持することができるよう、道路間隔 $s_{(i)}$ および下位階層からの接続間隔 $s_{(i+1)}$ の最小値を設定しておく必要がある。このような最小道路間隔の設定は、接続点が増えるほど旅行速度の維持が難しくなるというトラフィック機能とアクセス機能のトレードオフ関係を考慮することに他ならない。具体的に対象とする道路分類は、一般道路かつこのような交差点遅れの影響を受けやすいBおよびCであり、目標旅行速度でいうと $v_t=30-60$ [km/h]にあたる。

一般道路の旅行速度は、橋本¹⁷⁾、内海¹⁸⁾などによって実データを用いた影響要因分析が行われてきており、沿道施設からの出入制御や代表沿道状況(DID地区か否かなど)、中央分離帯の有無などの影響も考慮されているが、最も大きな要因は信号交差点密度、すなわち道路間隔と接続間隔であることが明らかになっている。

このため、本研究では、道路の接続点以外による旅行

速度低下要因は無視できるものとして、接続点遅れのみを考慮し最小間隔を設定する．この仮定の下で、階層 i は単路部では自由走行速度 v_f [km/h]で走行でき、同階層 i との交差点では遅れ $r_{(i)}$ [sec]、一つ下位の階層($i-1$)との交差点では遅れ $r_{(i-1)}$ [sec]を被ることになる．よって旅行速度 v_i [km/h]は式(4)で計算できる．

$$v_i \geq \frac{1}{\frac{1}{v_{f,i}} + \frac{r_{(i,i)}}{3600s_{(i,i)}} + \frac{r_{(i,i-1)}}{3600s_{(i,i-1)}}} \quad (4)$$

ここで、自由走行速度 v_f と実際の旅行速度 v_i とが大きく乖離した状況は、円滑性のみならず安全性・快適性の観点からも望ましくないと考えられる．例えば、アメリカの“Highway Capacity Manual”(Transportation Research Board¹⁹), 以降“HCM”)では、平面交差のある道路区間のサービス水準LOS(Level of Service)を評価する指標のひとつとして、旅行速度と自由走行速度(base free-flow speed)の比を用いており、両者の関係が道路の走行性能を評価する上で重要であるといえる．今回は、 $v_f=30\sim60$ [km/h]の階層が全て“HCM”でいう $LOS=B(v/v_f > 67\%; \text{reasonably unimpeded condition})$ を満足することや、市街地内の道路 $B_i(v_f=50$ [km/h])の自由走行速度 v_f がわが国の一般道路の規制速度60[km/h]を超えないことから、 $v_f=v_i+10$ と仮定する．今後、市街地内・外や道路分類の別などを考慮して、許容可能な自由走行速度と旅行速度の乖離量を精査する必要がある．

また、下位階層との接続間隔 $s_{(i-1)}$ は、下位とのアクセス性を規定するものであることから、道路分類に応じて一定のルールを適用する．今回は、分類Cは分類Dの全道路が接続可能である状態($s_{(2,1)}=s_{(1,1)}=0.4$ [km])、分類Bは分類Cの全道路が接続可能である状態($s_{(3,2)}=s_{(2,2)}$)を仮定する．また、分類Cを介さずに分類Dと分類Bが接続する場合には、Dを集約して1本おきに接続可能である状態($s_{(2,1)}=2s_{(1,1)}=0.8$ [km])を仮定する．

遅れ $r_{(i)}$ 、 $r_{(i-1)}$ は、表4の接続形式に基づいて与える．このうち平面交差については、既往の遅れ式を用いて推定する．具体的には、信号交差点については、Websterの遅れ式第一項である式(5)を、無信号交差点の一種であるラウンドアバウト(RAB)および左折in(従方向一時停止制御交差点での従道路からの左折)については、“HCM”²⁰)で用いられる一時停止制御の遅れ式(6)を用いる．どちらの推定式でも、需要率 q/cap を仮定する必要があるが、今回は「道路の交通容量」(日本道路協会²¹)に記載の「計画交通量の低減率(計画水準)」を参考に、(a)市街地外の場合は「地方部」の0.75、(b)市街地内の場合は「都市部」の0.80とする．これにより、目標旅行速度 v_i は、運用段階においてある程度の需要が負荷されても担保されるようになる．

表-5 遅れ計算に用いたパラメータ

(a)信号交差点の場合						
遅れ番号	<1>a	<1>b	<1>c	<1>d	<2>a	<2>b
対象交通流の主従	主直左	主右折	従直左	従右折	同格直左	同格右折
C: サイクル長[sec]	90					
主従比	0.6		0.3		0.45	
方向別分担率	0.75	0.25	0.5	0.5	0.75	0.25
G/C: 有効青時間比	0.45	0.15	0.15	0.15	0.34	0.11
q/cap: 需要率	0.80					
r: 遅れ[sec]	21.3	36.9	36.9	36.9	27.1	39.0

(b)RABおよび無信号交差点の場合			
遅れ番号	<3>	<4>	<5>
接続形式	RAB	左折in(従道路から一時停止して流入)	
需要レベル	(a)市街地外		(b)市街地内
t _c : クリティカルギャップ[sec]	4.1	6.2	
t _f : フォローアップタイム[sec]	2.6	3.3	
q _c : 交錯交通量[veh/h]	600(環道交通)		600(主道路の交通)
T: 分析ペリオド[h]	0.25		
t _{stop} : 一時停止遅れ[sec]	0	5.0	5.0
q/cap: 需要率	0.75	0.75	0.80
r: 遅れ[sec]	15.6	30.5	38.1

$$r = \frac{C \left(1 - \frac{G}{C}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{G}{C} \frac{q}{cap}\right)} \quad (5)$$

$$\text{where, } cap = \frac{G}{sG}$$

$$r = \frac{3600}{cap} + 900T \left\{ \frac{q}{cap} - 1 + \sqrt{\left(\frac{q}{cap} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{cap}\right)\left(\frac{q}{cap}\right)}{450T}} \right\} + t_{stop} \quad (6)$$

$$\text{where, } cap = q_c \frac{e^{-q_c \frac{t_c}{3600}}}{1 - e^{-q_c \frac{t_f}{3600}}}$$

ここに、 q : 対象方向の交通流[veh/h]、 cap : 交通容量[veh/h]であり、それ以外の変数と算出に用いたパラメータは表-5に示す通りである．なお、表-5には、拠点間旅

行時間に足しまれる乗換抵抗 $r_{i(i-1)}$, $r_{i(i+1)}$ を推定するためのパラメータも併せて掲載している．図-3に示した例のように，最小道路間隔の決定に用いる遅れの対象交通流は，主方向か同格の直進交通流である．一方で，乗換抵抗は，異なる階層間を乗換えるときに被る遅れであるため，右左折の平均値を計算する．

また，推定式により計算できないその他の遅れについては，下記の通り任意に与える．

- ・ 左折out=主道路からの流出: 3[sec]...<6>
- ・ IC=不完全立体でのオンランプ: 15[sec]...<7>
- ・ JCT=完全立体でのオン・オフ: 15[sec]...<8>
- ・ ICでの主方向の遅れ(ランプからの分合流により直進交通流の流れが妨げられることによるもの): 3[sec]...<9>

以上により，得られる旅行速度 v_i と道路間隔 $s_{(i)}$ の関係を図-5に例示する．道路間隔 $s_{(i)}$ が小さいほど旅行速度 v_i が低下してしまうこの関係に基づき，各目標旅行速度 v_i を達成可能な $s_{(i)}$ を読み取ることで，最小道路間隔を算出することができる．

この方法によって算出された各代替案の最小道路間隔を表-6に示す．ただし，(2)c)で述べた通り，道路間隔は便宜上0.4km単位に切り上げている．

ここで，表-6(a)市街地外の【C50&B60】や(b)市街地内の【C40&B50】という代替案では，Cの階層よりもBの階層の最小道路間隔の方が小さくなっている．これらのシナリオでは，C(階層2)同士の接続点での遅れに対して目標旅行速度 v_2 を担保するための最小道路間隔 $s_{(2)}$ が比較的大きく，これによりB(階層3)に接続する下位階層Cの間隔 $s_{(3)}=s_{(2)}$ も大きくなる．すると，BとCの接続点における遅れ $r_{(3)}$ の影響，すなわち式(4)の分母の第三項は小さくなる．結果として，B同士の接続点での遅れ $r_{(3)}$ に対して確保すべき最小道路間隔 $s_{(3)}$ も，比較的小さい値が許容されるようになり， $s_{(2)}$ を下回ってしまうことがあるのである．このような状況は，Cの目標旅行速度が比較的高く，かつCとBの目標旅行速度の差が小さい場合に生じうる．このような階層構成は，目標旅行速度の高い階層ほど道路間隔が大きいという階層型道路ネットワークの前提と矛盾し，本来Cのみで充分目標を達成可能な短トリップ利用者までBへ流れてしまい，道路の階層性が確保されなくなってしまうことが危惧される．このため，以降(a)市街地外の【C50&B60】および(b)市街地内の【C40&B50】は除外して検討を行う．

b) 最大道路間隔

最大道路間隔は，目標旅行時間達成時に，トリップの各階層利用状況が好ましい状態となるように設定しておく．いま，単純化のために，二階層だけ使用して目標旅行時間が達成できている状態を考える．このときの目標旅行時間達成条件は，式(7)のようになる．

図-5 最小道路間隔の設定例(市街地外)

$$T_{\text{target}} \leq \frac{x_1}{v_1} + \frac{x_2}{v_2} + \frac{2r_{(1,2)}}{3600} \quad (7)$$

ここで，トリップの利用状況として好ましい状態とは，上位の階層を走行する距離が，下位の階層を走行する距離より長くなっている状態，すなわち，式(8)の成立した状態といえる．

$$x_1 \leq x_2 \quad (8)$$

最大道路間隔 $s_{(2)\text{max}}$ は，これが満たされる限界すなわち $x_1=x_2$ となるときの間隔とする．

いま，格子状の道路配置を仮定すると，階層1の走行距離 x_1 は，階層2の道路間隔 $s_{(2)}$ によって決定する．ここでは特に，この値が最大となる起終点に着目すると，階層1の走行距離はアクセス・イグレス部分でそれぞれ道路間隔の半分，すなわち $s_{(2)}/2$ であるから，合計で $x_1=s_{(2)}$ となる．これらの関係を式(7)に代入すると，式(9)が得られる．

$$s_{(2,2)\text{max}} = \frac{T_{\text{target}} - \frac{2r_{(1,2)}}{3600}}{\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)} \quad (9)$$

今回は，分類B, Cに対して，最大間隔を設定するので，目標旅行速度 T_{target} は，これらの道路の利用対象と考えられるうちで最も目標旅行時間の短いCMC-LUC(集落・住区から生活拠点)という連絡を想定し，30[min]を与える．

なお，三階層の場合についても，階層別走行距離が上位の階層ほど常に長いような状態を担保するため，式(10)の条件を設け，式(7)を三階層に増やして同様に解くことで最大間隔を求める．

$$x_1 + x_2 \leq x_3 \quad (10)$$

この方法により算出した，各階層の最大道路間隔を，最小間隔と併せて表-6に示す．なお，最大間隔も0.4km単位で切り上げている．最大間隔は最小間隔に比べて少

なくとも2倍程度大きくなっている。各代替案においては、この道路間隔の範囲内で各目標旅行速度の道路を配置しなければならない。

桑原ら⁷⁾は、主要幹線街路の間隔の地域的な差を調べる目的で、各都市の中心市街地約5km四方を対象に、一般国道・主要地方道・一般都道府県道の道路総延長を地図上で計測し、対象領域面積を道路総延長によって除すことで、格子状配置の場合の道路間隔を推定している。この推定値は秋田で1.046[km]、東京で0.725[km]、京都で0.767[km]と得られており、今回の代替案における表-6(b)市街地内のC30の最小間隔1.6[km]より小さい。このことは、一般国道・主要地方道・一般都道府県道の全てで目標旅行速度30[km/h]以上を達成することは難しいことを示唆している。これらの道路をより高い旅行速度で運用するためには、一部を選定して出入制限などを行うことで分類CやBとする必要があると考えられる。

4. 旅行時間の近似計算

前章で構築した代替案(階層数 n 、階層別目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i)}$ 、接続間隔 $s_{(i-1)}$)により達成される拠点間連絡性能を把握するためには、式(1)で示したように、任意の直線距離 X_{target} だけ離れた拠点間を連絡する場合の使用階層数 k 、各階層の走行距離 x_i を把握し、旅行時間 T を求める必要がある。今回は、仮想の格子状ネットワークからなると仮定した(1)一般道路のみによる経路の場合、実際の拠点から自専道ICまでのアクセス距離を考慮する(2)自専道利用経路の場合を区別し、以下の方法により旅行時間を近似的に計算する。

(1) 一般道路のみの経路による旅行時間

a) 近似計算の仮定

一般道路のみによる経路の旅行時間については、著者らによる先行研究²⁾の手法を用いて仮想の格子状ネットワークにおける任意の直線距離 X_{target} の最短経路旅行時間を近似計算する。この手法は、起終点周辺では交通需要が一様分布していることを仮定して、目標旅行速度の高い上位階層から順に、起終点(OD)間でその格子上を走行する距離と、格子までの到達距離の平均値を求めるものである。このとき、図-6の青色で示した最短距離経路と、赤色で示した上位階層優先経路のうち最短時間となるものを考慮している。なお、起終点からのアクセス・イグレスは図-2のような対称形を仮定している。

ただし、先行研究においては、図-6でいう格子とODのなす角 $\theta=0^\circ$ のもののみ考慮していたが、今回は格子状道路のあらゆる方向に拠点間連絡(OD)が分布しており、経路が迂回を余儀なくされることを考慮して、 $\theta=0, 15, 30, 45^\circ$ の四通りの計算を行い、その加重平均をと

表-6 階層構成代替案における中間階層の設定値

	階層構成代替案	目標旅行速度 v_i [km/h]	下位階層との接続間隔 $s_{(i-1)}$ [km/h]	道路間隔 (最小~最大) $s_{(i)}$ [km/h]
(a) 市街地外	C30	30	0.4	0.8 ~ 5.6
	C40	40		1.6 ~ 6.4
	C50	50		3.6 ~ 6.8
	B50	50	0.8	2.0 ~ 6.8
	B60	60		3.6 ~ 7.2
	C30&B50	30	0.4	0.8 ~ 3.6
		50	0.8	2.0 ~ 7.2
	C30&B60	30	0.4	0.8 ~ 4.0
		60	0.8	3.6 ~ 8.0
	C40&B50	40	0.4	1.6 ~ 4.0
		50	1.6	1.6 ~ 8.0
	C40&B60	40	0.4	1.6 ~ 4.4
		60	1.6	2.4 ~ 8.8
(b) 市街地内	C30	30	0.4	1.6 ~ 5.6
		40		3.2 ~ 6.4
		50		4.0 ~ 6.8
	C30&B50	30	0.4	1.6 ~ 3.6
		50	1.6	3.2 ~ 7.6
	C40&B50*	40	0.4	3.2* ~ 4.0
		50	3.2	2.8* ~ 8.0
	C30	30	0.4	1.6 ~ 5.6
		40		3.2 ~ 6.4
	B50	50	0.8	4.0 ~ 6.8

*道路間隔の大小関係が逆転するため除外する代替案

図-6 格子状ネットワークにおける旅行時間の近似計算模式図

っている。

さらに、市街地外の道路については、上述の道路配置による迂回だけではなく、地形によって生じる縦断勾配やカーブを考慮し、拠点間距離 X_{target} に迂回係数 α を乗じた αX_{target} を拠点間距離とみなして計算を行う。この迂回係数 α は対象地域の地勢条件に応じて適切な値を設定するものとする。

b) 拠点間距離と旅行時間の関係

図-7は、この手法により計算した、一般道路のみの経路における拠点間距離 X_{target} と旅行時間 T の関係である。ただし階層構成代替案は、市街地外かつ各階層で最小道路間隔を仮定している。ここでは代替案による一般的な傾向を把握するため、迂回係数 $\alpha=1.0$ としている。なお、格子状道路を仮定した論理的近似手法により計算を行っているため、拠点間距離と道路間隔、乗換抵抗の関係により、局所的な旅行時間低下がみられる箇所がある。現実には、道路配置が完全格子状ではないことや、乗換抵抗の誤差・変動などによって、このような局所的な旅行

時間低下は稀と考えられるため無視してよい。

基本的には目標旅行速度の高い階層があるほど、長距離拠点間の旅行時間が短縮できる。図中に示すように傾きが変わる箇所が、階層の乗換点である。拠点間距離がこれより短い場合には、乗換えをせずにD20を走り続ける方が旅行時間が短くなる。目標旅行速度の高い階層は道路間隔が大きく、アクセスにより長い距離を要するため、図中でいう乗換点がより右に存在する。従って短距離拠点間では、すぐにアクセス可能なC30などを有する代替案の方が旅行時間が短い、この差はごくわずかなのであることが確認できる。

この図には、目標旅行速度は同じ50[km/h]だが下位階層との接続間隔が異なる【C50】と【B50】という二つの代替案が存在するが、これらに大きな差は見られない。このことから、今回考慮する範囲においては、下位階層との接続間隔を制限することで生じる迂回による旅行時間の増大はそれほど大きくないといえ、これを気にするよりは、各階層の目標旅行速度を担保可能な道路間隔の検討を重視すべきといえる。

図-7では最小道路間隔を仮定した場合を例示しているが、道路間隔が大きくなれば、乗換点はさらに右にずれることになる。また、市街地内の代替案についても、同様の傾向が確認されている。ただし、市街地外に比べて接続点での遅れが大きく、この結果として階層別道路間隔の最小値や乗換抵抗が大きい、同じ拠点間距離でも市街地外を連絡する場合よりわずかに旅行時間が長くなる。

(2) 自専道利用経路による旅行時間

a) 近似計算の仮定

自専道を利用した場合の旅行時間については、ICアクセス・イグレス部分と自専道走行部分に分けて下式により旅行時間の算出を行う。

$$T = \frac{x_M}{v_M} + t_{ac(O)} + t_{ac(D)} \quad (11)$$

ここに、 x_M : 自専道(A_R)の走行距離、 v_M : 自専道(A_R)の目標旅行速度、 $t_{ac(O)}$, $t_{ac(D)}$: 自専道ICまでのアクセス、イグレス時間である。

このうち $t_{ac(O)}$, $t_{ac(D)}$ については、前節(1)の一般道路のみの経路による旅行時間算出方法を用いて計算する。これは、(1)でいう拠点間距離 X_{target} を、自専道ICまでのアクセス・イグレス距離の和 $x_{ac(O)} + x_{ac(D)}$ に置き換えることで可能である。ただし、市街地外の場合、自専道へのアクセスを行う道路は、ICに向かって大きな迂回をすることなく繋がっていることが一般的と考えられるため、格子とODのなす角 $\theta=0^\circ$ とする。一方、市街地内については、ICアクセス以外のあらゆる方向に対して道路が配置して

図-7 各代替案における拠点間距離-旅行時間(市街地外)

いるため、(1)同様に $\theta=0, 15, 30, 45^\circ$ の加重平均を用いる。結果として、市街地外より市街地内の方が迂回が大きくなっている。

自専道走行部分については、自専道走行距離 x_M を、拠点間距離 X_{target} 、迂回係数 α 、自専道ICまでのアクセス・イグレス距離 $x_{ac(O)} + x_{ac(D)}$ を用いて便宜的に推定する。迂回係数 α は、一般道路のみの経路同様、実態に基づき設定する。

$$x_M = \alpha X_{target} - (x_{ac(O)} + x_{ac(D)}) \quad (12)$$

ただし、 x_M が自専道のIC間隔より短いと、自専道を利用することができない。そこで今回は、自専道の平均IC間隔 s_{IC} を用いて利用可否の判定を行う。

b) 自専道ICまでのアクセス距離とアクセス時間の関係

図-8は、市街地外について、自専道ICまでのアクセス距離 $x_{ac(O)}$ を4~12[km]とした場合のアクセス時間 $t_{ac(O)}$ の計算結果である。図中の棒グラフに付随したバーの上限は最大道路間隔、下限は最小道路間隔を仮定した場合にそれぞれ得られるアクセス時間 $t_{ac(O)}$ の最大値、最小値であり、棒そのものの高さは平均値である。

基本的には、前項で示した一般道路の旅行時間と同様に、目標旅行速度の高い階層があるほど、アクセス時間 $t_{ac(O)}$ が短縮し、アクセス距離 $x_{ac(O)}$ が長いほどその効果は大きい。また、階層数が多い場合、例えば、D20から直接B50に接続する代替案【B50】に比べると、C30を介して接続する【C30&B50】では、それに伴う迂回の影響から旅行時間はわずかに増大することがわかる。

自専道アクセスのより詳細な状況を見るため、ICまでのアクセス距離 $x_{ac(0)}=8[\text{km}]$ の場合を例として、アクセス時間 $t_{ac(0)}$ を使用階層別に色分けし、走行距離も併せて記載したものを、図-9に示す。これより、目標旅行速度の高い階層を持つ代替案【B50】などでは、【C30】や【C40】に比べてアクセス時間は短いものの、最も低速の階層D20の走行時間が長いことがわかる。これは、CやBの階層の目標旅行速度が高ければ高いほど、道路間隔を大きくとる必要があり、その階層へのアクセスに時間がかかることによる。D20は集散道路であり生活交通も担うことから、自専道アクセス車両を極力排除したい場合には、目標旅行速度の高いB50やB60を直接接続するのではなく、C30などを間に挟んだ階層数の多い代替案が有効といえる。

5. 拠点間連絡性能に着目した階層構成代替案評価

(1) 対象とする地域の拠点間連絡

ここでは、図-10に示す東海道地域を対象に、代替案が拠点間連絡性能に及ぼす影響を評価する。

a) 拠点の抽出方法

対象とする拠点は、行政区分等による分類ではなく、表-1に示したように、有する拠点施設などによる本質的な機能を重視して抽出する必要がある。また、特に小さな拠点や生活拠点などについては、将来深刻となる人口減少などに対する拠点領域のコンパクト化を行うことを見込んで、必要最低限の機能を持つ施設が集約可能かどうかを考慮すべきといえる。このため本稿では、以下に述べる基準に基づいて、表-1の各階層の拠点代表点を設定する。一般公開されている国土数値情報²³⁾(市町村役場及び公的集会施設、公共施設、鉄道駅、高速道路の位置および属性データ)を使用して、地図情報システム(ArcGIS for Desktops 10.2)により抽出を行っている。

- ・ MEC(大都市拠点): 広域地方計画(国土交通省, 2009)において定められる地域ブロック8地域の代表都市を抽出する。代表点は都府県庁舎とする。
- ・ UUC(高次都市拠点): (i)都道府県庁所在地および、それ以外の(ii)政令指定市, (iii)新幹線ひかり停車駅を有する市, (iv)「国土のグランドデザイン2050」において「2050年人口30万人以上の都市圏」とされている都市から、その他の施設配置状況をみて抽出する。代表点は、(i)は都府県庁舎, (ii)~(iv)は市役所庁舎とする。
- ・ LUC(生活拠点): 表-1に示した拠点施設が集約可能であることを考慮し、一般病院・高等学校・JR在来線鉄道駅の全てを半径4km以内に有する市町村を抽出する。これらの市役所・町村役場庁舎を代表点と

図-8 各代替案における自専道ICまでのアクセス時間(市街地外)

図-9 自専道ICまでの階層の使用状況($x_{ac}=8\text{km}$ の場合)

図-10 対象地域の拠点(代表点)

する。

- ・ SMC(小さな拠点): 生活に最低限必要な機能を徒歩圏に集約するという「国土のグランドデザイン2050」の基本概念を考慮し、診療所・郵便局・警察・中学校の全てを半径2.5km以内に有する市役所・町村役場または行政サービスを取り扱う市役所支所や出張所を代表点とする。
- ・ CMC(集落・住区): 全ての行政施設および集会施設を代表点とする。

今回は、三島・静岡・浜松・豊橋を直近のUUC(高次都市拠点)とするCMC(集落・住区)を基準とし、これらが連絡すべきLUC(生活拠点), SMC(小さな拠点)を対象に拠点間連絡を評価する。MEC(大都市拠点)に対して連絡は対象地域外にわたるため考慮しない。

また迂回係数 α は、UUC-UUC(高次都市拠点間連絡)に

ついでに直線距離とGoogle Map上で計測した最短経路との比較に基づき1.3とする。自専道の利用可否を決める平均IC間隔 s_{IC} についてはIC間の直線距離が約10[km]であることから、これに迂回率を乗じて13[km]とする。

b) 拠点間距離の分布

対象地域の拠点間距離(直線距離)の分布を図-11に示す。UUC-UUC(高次都市拠点間連絡)については三種類しかないため掲載していないが、静岡-三島が51[km]、静岡-浜松が67[km]、浜松-豊橋が31[km]である。なお、今回は簡易的に人口集中地区(DID地区)を拠点領域の内部とみなし、起点・終点の両方が、連続のDID地区に存在する場合は「市街地内」連絡、それ以外は「市街地外」連絡としている。

これより、同一階層の拠点間連絡(SMC-SMCやLUC-LUC)に比べて、集落・住区から拠点までの連絡(CMC-SMC, CMC-LUC)は距離が長くバラツキも大きいことがわかる。これは、生活・都市機能を持つ拠点が東海道沿いに集中的に発達してきたのに対して、集落・住区は伊豆半島や渥美半島のある南側や中央アルプス・富士山に向かう北側にもまばらに点在していることによる。

同じ種類の拠点であっても、市街地内の連絡は市街地外の連絡より距離が十分に短くバラツキも小さいことから、目標旅行時間の達成には問題がないと考えられるため、今回は扱わない。

c) 検討を行う代替案

今回の検討では、拠点領域の比較的大きいと考えられるUUC(高次都市拠点)についてのみ、拠点間連絡のアクセス・イグレス部分が市街地内に存在すると考えられることから、市街地内の代替案を用い、その他の拠点については市街地外の代替案を用いて旅行時間を計算する。なお、CMC-UUC(集落・住区から高次都市拠点への連絡)については、CMC側は市街地外、UUC側は市街地内と、起終点で異なる代替案を適用する必要があるため、旅行時間は両者の平均値を用いるものとする。また、前述の通り、旅行時間は各階層の道路間隔に依存するが、今回は一般的な傾向を把握するため、各階層の道路間隔が最大値・最小値の場合の旅行時間の平均値を用いる。

(2) 拠点間連絡ごとの評価

a) 高次都市拠点(UUC)に関する連絡

UUC-UUC(高次都市拠点間)連絡に対して、市街地内の代替案を適用した際の拠点間旅行時間を図-12(a)に、平均速度を図-12(b)に示す。図中の“Without”は自専道を利用しない一般道路のみの経路、“80km/h”、“90km/h”はそれぞれの自専道ありの経路で想定される自専道旅行速度 v_M を表す。ただし、自専道ありの経路であっても、ICまでのアクセス・イグレス距離が長すぎて、式(12)で計算される自専道走行距離 x_M が平均IC間隔 $s_{IC}=13$ [km]よりも短く

図-11 東海道地域の拠点間距離の分布

(a) 旅行時間

(b) 平均速度

図-12 UUC-UUC(高次都市拠点間)の評価

なる場合には、一般道路のみを利用することになり、“Without”と同じ旅行時間となる。

全ての拠点間について、自専道ありの経路(80km/h, 90km/h)で目標が達成可能となっている。これは、東海道地域においてはUUC-UUC連絡軸とほぼ同方向に自専道が整備されていること、拠点間距離がそれほど長くないことによるものであり、この連絡についてはどの代替案をとっても問題がないといえる。

ただし、目標旅行速度が高い階層が入る代替案を適用すると、一般道路のみの経路(Without)の旅行時間・平均速度に大きな改善がみられ、自専道を利用しない代替経路の確保という点においての有効性が定量的に示されている。また、市街地内には、今回評価対象としていない

が内々交通のような短トリップが存在すると考えられ、4(2)で述べたような自専道アクセス交通と生活交通との分離の観点を考慮すると、【C30&B50】のような中間階層を複数持つ代替案が望ましいと予想される。

次に、CMC-UUC(集落・住区から高次都市拠点)の連絡について、拠点間旅行時間を図-13(a)に、平均速度を図-13(b)に示す。ここでは、UUC側の代替案は【C30&B50】に固定して、CMC側の市街地外の代替案の効果を検討する。

この連絡は(1)bで述べたように、まばらに点在する集落の影響で旅行時間のバラツキが大きいが、B50以上の旅行速度の高い階層を適用することで、一般道路のみの経路(Without)でも、50%以上の拠点間が目標達成可能となることがわかる。

この地域では、自専道が東西方向のみに卓越しているため、伊豆半島、渥美半島や中央アルプスのある山間部などのCMCからUUCに向かう南北方向の連絡は、ICまでのアクセス距離が長過ぎるため自専道を利用できない場合が多い。このことは、自専道ICまでのアクセス+イグレス距離 $x_{ac(O)}+x_{ac(D)}$ と拠点間距離 x_{target} の関係をプロットした図-14に示されており、対象拠点間のうち34%は一般道路で連絡しなければならない状況となっている。この結果として、平均速度の15パーセンタイル値、25パーセンタイル値は、自専道ありの経路(80km/h, 90km/h)であっても一般道路のみの経路(Without)と殆ど変わらない。一般道路にある程度高速で走行できる階層を設定する代替案【B50】、【B60】などは、このような自専道を利用できないCMCに対しても平均速度を高めることで連絡性能を強化することができることに意義があるといえよう。

図-13(c)は、階層C30, C40, B50, B60によって目標旅行時間60[min]が達成可能となる拠点間を結んだ直線を塗り分けている。ただし、自専道の目標旅行速度は80km/hとしている。

この図中、東海道に沿うように水色で示される拠点間はC30で目標達成可能であり、現状道路からの改良は殆ど必要ないといえる。一方、紫や赤で示される南北方向の拠点間は、目標旅行速度の高い階層を持つB50, B60などの高規格道路が必要である。一方で、いくつかの拠点間はB60をもってしても目標達成不可能であることも把握でき、拠点配置上の課題も確認できる。

b) 生活拠点(LUC)に関する連絡

図-15に、LUCに関する連絡の(a)旅行時間と(b)平均速度を示す。同階層の拠点間であるLUC-LUCについては殆どの代替案で目標旅行時間が達成可能である一方、CMC-LUCすなわち集落・住区からのアクセスに関する連絡は、半数程度の拠点間で目標が達成できていないことがわかる。

(a) 旅行時間

(b) 平均速度

(c) 各階層により目標達成可能な拠点間(自専道80km/hを仮定)

図-13 CMC-UUC(集落・住区から高次都市拠点)の評価

図-14 自専道利用・一般道利用が最短経路となる拠点間

これは、階層ごとに目標旅行時間30[min]を達成可能なCMC-LUCを塗り分けた図-16(a)からわかるように、拠点の密集する東西軸から外れた北側の山間部や、南側の伊豆半島・渥美半島などに位置するCMC(集落・住区)の影響によるものである。この図からわかる通り、目標旅行時間を30[min]を確保したい場合には、南北方向の連絡にB50, B60などの高速の階層を有する代替案が必要である。この結果は前項a)のCMC-UUC(高次都市拠点まで)の結果と一致しており、いずれの連絡に対しても、東海道

沿いの軸から南北にはずれた集落・住区に対して高規格の道路な必要性が高いことが確認できる。

またこの連絡では、図-15(b)からわかる通り、目標旅行速度の高い階層を適用することで、拠点間の平均速度が着実に向上しており、代替案による影響を受けやすい距離帯の連絡であるといえる。

c) 小さな拠点(SMC)に関する連絡

図-15には、LUCに関する連絡に併記してSMCに関する連絡の(a)旅行時間と(b)平均速度も示している。こちらについても、同階層の拠点間連絡であるSMC-SMCには問題がないが、集落・住区からのアクセスに関するCMC-SMCでは、半数程度の拠点間で目標が達成できていないことがわかる。

このCMC-SMCについて、各階層で目標達成可能となる拠点間を塗り分けた図-16(b)をみると、特に中央アルプスに臨む北部において、どの階層をもってしても目標達成不可能であることわかり、山間地域の孤立集落に関する拠点配置上の課題が表れている。このような集落で目標旅行時間15[min]を達成させることは道路整備のみでは困難で、集落の移転あるいは集落周辺でのSMCの形成などといった拠点配置施策と連携する必要があることが示唆される。

なお、この図ではB60により初めて連絡可能となる赤色の線が存在しない。この原因は、道路間隔が大きくこの階層へのアクセスに要する時間が、目標旅行時間15[min]に対して大きすぎることによる。これは、B60を整備することで目標を達成できるLUCやUUCといった上位拠点への連絡を、この連絡と分離することができる可能性を示しているともいえる。

さらに、図-15(b)をみると、前項で示したLUCに関する連絡と異なり、SMCに関する連絡では、旅行速度の高い階層を入れても平均速度の向上が小さく、中にはC30よりもB50などの方が平均速度が低下しているものもみられる。これは、SMCに関する連絡はそもそも距離が短いものが多いため、D20より上の階層に乗換える必要がないか、乗換えても短距離しか走行しないことによるものである。

(3) 総合評価

最後に、代替案の総合的な評価を行うため、対象地域の全拠点間の目標達成割合ARを求める。目標達成割合ARは、全拠点間連絡の重みの総和に対する目標旅行時間達成可能な連絡の重みの総和とし、式(13)により定義する。

$$AR = \frac{\sum_{c \in C_{\text{achieved}}} w_c}{\sum_{c \in C_{\text{all}}} w_c} \quad (13)$$

図-15 LUC(生活拠点), SMC(小さな拠点)に関する連絡

図-16 各代替案によって目標旅行時間達成可能な拠点間

ここに、 c : 対象地域内の拠点間連絡、 w_c : 拠点間連絡 c の重み、 C_{achieved} : 目標旅行時間を達成する拠点間連絡からなる集合、 C_{all} : 全拠点間連絡からなる集合である。

ある拠点間連絡 c の重み w_c は、CMC(集落・住区)から上位拠点までの連絡については1、SMC-SMC、LUC-LUC、UUC-UUCといった同一階層の隣接拠点間連絡については、その拠点を直近上位拠点とするCMCの数として定義する。これは、隣接拠点間連絡によって補完・交流された拠点機能を楽しむ利用者数をCMCの数によって代替しているものである。

今回は、複数種類の拠点間連絡に対して影響を評価し

た市街地外の代替案について、目標旅行時間達成割合ARの算出結果を図-17に示す。棒グラフは目標旅行時間達成割合ARの絶対値、折れ線は代替案【C30】を基準とした場合の達成割合の増加率を示している。これより、代替案【C30】に対して【B50】は達成割合を12%増加させることができ、二つの階層を組み合わせた【C30&B50】とすればさらに4%増加させることができるとわかる。この達成割合は、地域全体での拠点間連絡性能を示しているといえ、これに対して目標を掲げることで、道路ネットワーク整備だけでなく拠点配置施策についても評価・検討が可能と期待される。

なお、今回は目標旅行時間を表-2のように仮設定したが、これを变化させた場合の達成割合の感度を分析することで、地域の実情を考慮した目標旅行時間の妥当性についても検討が可能であり、今後の課題である。

6. おわりに

本論文では、拠点間を連絡する道路ネットワークについて、その目標旅行時間を達成するための階層構成を検討する手法を開発し、東海地域を対象にケーススタディを行った。階層構成代替案の構築では、沿道出入や階層間接続によるトラフィック機能とアクセス機能のトレードオフ関係を考慮することで、運用状態においても目標旅行速度が担保されるような組合せの抽出が可能となった。これを通じて、目標旅行速度と接続形式の組合せによっては、本来意図した階層性が確保されなかったり、目標旅行速度そのものが担保されない場合があることが明らかとなった。これらの結果は、今後、実道路ネットワークを機能階層的に再編する際の留意事項を示唆しているといえる。

また、ケーススタディでは、対象地域において階層構成代替案を適用した際に達成される拠点間旅行時間と平均速度が推定され、特に自専道の発達していない半島部や山間部の集落から生活拠点・高次都市拠点への連絡に対して50km/h、60km/hなどで走れる高速の階層を設定することの重要性や、小さな拠点への連絡に対しては拠点配置と連携した施策が必要であることなどが定量的に示された。

今後の課題として、旅行時間の近似的計算において、格子とODのなす角や地勢条件を考慮して設けた迂回に関する仮定の妥当性を検証し、より実態に近い状態での拠点間連絡性能を推定することが挙げられる。また、同様の検討を様々な地域において行い、拠点配置条件や地勢条件が、道路ネットワークの階層構成に及ぼす影響を検証する必要がある。さらに、2(1)で述べたような代替案の適用コストも考慮して最終的な階層構成の決定を行うため、本手法により理論的に示される階層構成を実際

図-17 目標旅行時間達成割合

の道路ネットワークにあてはめ、両者の乖離を把握することが課題である。これにより、今後、実務において、どの道路をどの水準まで改良すべきかといった再整備方針を、より具体的に示すことが可能と期待される。

謝辞：執筆にあたって、一般社団法人交通工学研究会の基幹研究課題「道路の交通容量とサービスの質に関する研究グループ」委員の皆様にご指摘を頂いた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 中村英樹, 大口敬, 森田緯之, 桑原雅夫, 尾崎晴男: 機能に対応した道路幾何構造設計のための道路階層区分の試案, 土木計画学研究・講演集, Vol.31, CD-ROM, 2005.
- 2) 内海泰輔, 中村英樹: 時間交通需要変動特性を考慮した交通性能照査型道路計画設計法, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, pp.67-76, 2008.
- 3) 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・講演集, Vol.45, CD-ROM, 2012.
- 4) Forschungsgesellschaft für Straßen -und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung RIN, 2008.
- 5) 大口敬, 中村英樹, 桑原雅夫: 交通需要の時空間変動を考慮した新たな道路ネットワーク計画設計試論, 土木計画学研究・講演集, Vol.33, p.4, 2006.
- 6) 国土交通省: 国土のグランドデザイン 2050～対流促進型国土の形成～, 47pp., 2014.
- 7) 桑原雅夫, 若公雅敏, 王鋭: 街路の階層的配置によるネットワーク設計に関する一考察. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.3, pp.230-243, 2011.
- 8) 浜岡秀勝, 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, pp.991-1001, 2014.
- 9) 下川澄雄, 森田緯之, 土屋克貴: 道路ネットワークにおける中間速度層の意義と適用範囲, 土木計画学研究・講演集, Vol. 49, p.8, 2014.
- 10) Bigotte, J. F., Krass, D., Antunes, A. P. and Berman, O.: Integrated modeling of urban hierarchy and transportation network planning, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.44, No.7, pp.506-522, 2010.
- 11) 後藤梓, 中村英樹, 下川澄雄, 喜多秀行, 内海泰

- 輔：日本における拠点設定と効率的な拠点間連絡を実現する階層型道路計画の枠組み，土木計画学研究・講演集，Vol.50, CD-ROM, 2014.
- 12) 一般社団法人交通工学研究会：道路の交通容量とサービスの質に関する研究 最終成果報告書，2015.
 - 13) 森地茂，『二層の広域圏』形成研究会：人口減少時代の国土ビジョン 新しい国のかたち『二層の広域圏』，日本経済新聞社，227 pp., 2005.
 - 14) 静岡県：静岡 30 (サーティ)構想，<https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-210/road-03.html>, 2012 (2016/06).
 - 15) 国土交通省：第 5 回(2010 年度)全国幹線旅客純流動調査，<http://www.mlit.go.jp/common/000992202.pdf>, 2010 (2016/01).
 - 16) 山川英一，内海泰輔，泉典宏，野見山尚志，若林 紘：道路階層別の走行性能を実現するための道路構造条件と道路階層区分相互の接続方法，土木計画学研究・講演集，Vol.51, CD-ROM, 2015.
 - 17) 橋本雄太，小林寛，山本彰，中野達也，高宮進：信号交差点密度等の道路状況と旅行速度の関係についての実態分析，土木計画学研究・講演集，Vol.47, CD-ROM, 2013.
 - 18) 内海泰輔，泉典宏，山川英一，野見山尚志，若林 紘：交通性能照査型道路計画・設計のための走行サービス実態分析，土木計画学研究・講演集，Vol.49, CD-ROM, 2014.
 - 19) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 2010, 2010.
 - 20) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 2000, 2000.
 - 21) 日本道路協会：道路の交通容量，1984.
 - 22) 後藤梓，中村英樹：機能的階層型道路ネットワーク計画における性能目標の設定，交通工学論文集，Vol.1, No.2 (特集号 A), pp.A_107-A_115, 2015.
 - 23) 国土交通省：国土数値情報，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (2015/04).
- (2016. 2. 26 受付)

A STUDY ON COMPOSITION OF FUNCTIONALLY HIERARCHICAL ROAD NETWORK WHICH CONSIDERS TRAVEL PERFORMANCE BETWEEN CENTERS

Azusa GOTO and Hideki NAKAMURA

In Japan, reorganization of road network into functionally hierarchical form becomes more important so as to efficiently improve travel performance between centers where daily-life and/or urban services are provided. This study aims at investigating the appropriate composition of a functionally hierarchical road network which can achieve the target travel times set for various connections of centers in the subjective region. Here, composition is defined as a combination of the number of hierarchical road levels, target travel speed, road spacing and access spacing of each road level. In this paper, alternatives of such a composition are derived by considering the impact of road crossings as well as roadside access. At the end, a case study is conducted in Tokaido region, Japan, and travel performance indices, namely travel time and average travel speed, between various types of centers are estimated under each alternative composition of a functionally hierarchical road network. The result shows that road level with higher travel speed (i.e., 50~60km/h) can significantly work especially for the communities in peninsula and mountainous rural area by enhancing the accessibility to urban centers.