

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計画手法
に関する研究

A Study on Planning Methodology of
Functionally Hierarchical Road Network
Considering the Travel Performance between Centers

後藤 梓

GOTO, Azusa

名古屋大学大学院環境学研究科 博士（工学）

2016年

論文要旨

道路の交通機能には、交通を円滑に流すためのトラフィック機能と、沿道の土地・施設に出入りするためのアクセス機能、駐停車や滞留のための滞留機能があり、トラフィック機能とアクセス・滞留機能はトレードオフの関係にある。このため、道路ネットワークを段階的に構成し、トラフィック・アクセス・滞留機能などを各階層に適切に分担させた機能階層型とするものの必要性が広く認識されている。

日本では、これまで量的整備を重視し、需要に基づいた画一的な道路計画手法がとられてきた。この手法では、各道路で実現する旅行速度などの性能については考慮されないため、道路ネットワークの階層構成が曖昧で、幹線道路で著しい遅れが生じる一方、生活道路に通過交通が流入するなどの問題が生じており、道路交通サービスの質が高いとは言い難い現状にある。このため、道路の機能に対応した性能目標を定め、これに基づいた照査を行いながら幾何構造や運用条件の差別化を図ることで、階層性を持ったネットワークへ再編してゆくことの必要性が提唱されてきた。このような機能階層型道路ネットワークへの再編は、効率的で円滑な道路交通を実現するだけでなく、安全で快適な居住環境の形成にとっても極めて重要である。

今後、日本は人口減少・少子高齢化が進行し、財政的・資源的制約もより深刻化することが予想される。このような将来に向けて、「国土のグランドデザイン2050」では、生活機能や都市機能を拠点に集積するとともに、拠点と周辺地域・拠点間の連絡性能を強化する「コンパクト＋ネットワーク」な国土構造を目指すことが示されている。機能階層型道路ネットワークへの再編は、拠点の機能や役割に応じて、これを連絡する道路の性能目標を設定し、集約した維持管理・改良・整備投資を行うことで拠点間の連絡性能向上に資するものであり、またこれが実現すれば拠点集積型の立地誘導にも寄与することが期待される。

しかしながら、道路ネットワークが有すべき階層構成、すなわち道路を何階層に分ける必要がある(階層数)、各階層でどの程度の性能を担保し(階層別性能目標)、どの程度の間隔で配置する(階層別道路間隔・接続間隔)必要があるのかについては定性的・経験的に示されるにとどまっており、理論的検討が課題となっている。これらを定めるにあたり、道路ネットワークが全体として達成すべき上位目標を明確にする必要があるが、現状では道路計画と国土計画・地域計画には整合性が図られておらず、体系的な枠組みが不在である。

そこで本研究では、日本の各地域における拠点配置条件・地勢条件を考慮して、機能階層型道路の階層区分数、階層別目標旅行速度および目標道路間隔を設定する機能階層型道路計画手法を開発することを目的とする。これは、ある拠点間目標旅行時間の下での道路ネットワークの階層構成代替案を導き出し、さらに個別道路の交差間隔や交差形式をはじめとした幾何構造条件・交通運用条件を検討するに至るまでのプロセスを体系的に構築するものである。これにより、目標旅行時間が与えられた場合に、道路ネットワークの計画から個別の道路区間での対策までを首尾一貫して行うことが可能になる。また、道路ネットワークの階層構成に応じて、任意の目標旅行時間を達成可能な拠点配置条件が示されることにより、道路ネットワーク計画と拠点配置計画が連携した施策の検討が可能となる。

まず第1章では、わが国の道路ネットワークを機能階層型に再編する意義と課題について、

道路交通サービスの質向上の観点、および「コンパクト+ネットワーク」な国土・地域構造の形成の観点から論じ、研究の目的について述べた。また、本研究における拠点間連絡性能、道路ネットワークの階層構成の定義を示した上で、拠点間連絡性能および道路改良費用を推定することにより代替案を評価する手法の枠組みを提案した。

続いて**第2章**では、機能階層型道路ネットワークの概念を今一度整理するとともに、日本の道路計画の課題として、性能照査ステップの欠落、上位計画との一貫性の曖昧さを指摘した。さらに、海外の指針として、アメリカ、ドイツ、オーストラリアの道路計画をレビューし、各国における道路階層の設定方法や性能評価指標、それらと上位計画との関係性について述べた。また、個別道路区間の性能照査に用いる階層別性能目標の合理的な設定方法を提示するという本研究の位置づけを示すとともに、関連既往研究と異なり、将来深刻化するであろう財政制約等を考慮し需要に依らない基準で階層別性能目標を設定すること、および、総旅行時間などの最適化ではなく各拠点間連絡性能の絶対値を用いて道路ネットワークを評価することの意義について論じた。

第3章では、「国土のグランドデザイン2050」に示される日本の将来の国土・地域構造の概念を反映する形で、日本における拠点を、大都市拠点、高次都市拠点、生活拠点、小さな拠点、集落・住区の五種類に階層的に定義した。さらに、定義した拠点に対して、個別施設からの目標旅行時間、同階層の隣接拠点間の旅行目標時間を設定することで、機能階層型道路ネットワークの上位目標とする方法を提案した。

第4章では、**第3章**の定義に基づき、将来の日本の拠点となりえる場所を、地図情報システム(GIS)を用いて抽出し、道路ネットワークが連絡すべき拠点間距離の分布状況を、ドイツと比較しながら分析した。その結果、日本では都市域が限られた用地に稠密に分布しているため、小さな拠点や生活拠点といった生活機能レベルの拠点間距離が短い一方、集落・住区が山間部や半島などにまばらに点在しているために、これらから上位拠点へと連絡する拠点間距離が長く、バラツキも大きいことなどが示された。また、地勢条件による道路の迂回の影響を分析した結果、日本の地方部(中国・北東北地域)では迂回係数が1.4程度、都市部(関西・東海道地域)では1.3程度、ドイツでは1.2程度であることがわかった。

第5章では、階層数 n 、階層 i ($1 \leq i \leq n$)の目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i,i)}$ および下位階層($i-1$)との接続間隔 $s_{(i,i-1)}$ からなる、道路ネットワークの階層構成代替案を、交通機能の差別化や、市街地内外の沿道状況の違いによる影響、現状道路の活用、安全性・快適性などを考慮した絞込みによって構築した。ここでは、階層間の接続点において生じる遅れの影響を考慮することで、運用状態でも目標旅行速度が担保されるような階層別道路間隔を算出した。また、構築された代替案によって構成される道路ネットワークにおけるトリップ長別旅行時間を推定し、拠点間が目標達成可能かどうかの判断基準となる、拠点間の最大拠点間距離を提示した。この最大拠点間距離から、小さな拠点の勢力圏は5[km]以内、生活拠点の勢力圏は16[km]程度に収めることが望ましいことが示唆された。また、自専道ICアクセス距離に応じた、ICアクセス時間や階層別走行時間が推定され、下位の集散道路から自専道アクセス交通をできるだけ排除したい場合には、目標旅行速度の高い50km/h~の階層だけではなく、30km/h程度の階層も設けた三階層とすることの有効性が示された。さらに、仮想の二拠点間の目標旅行時間を達成させたい場合に、一般道路に着目した階層構成代替案に加えて、自専道ネットワークの改良や拡張といった施策も考

慮した検討方法を解説した。

第6章では、第4章で分析した拠点配置条件や地勢条件の異なる五地域を対象に、第5章で構築した階層構成代替案を適用するケーススタディを行った。これにより、道路の階層構成が、各地域の拠点間旅行時間や平均速度に及ぼす効果が定量的に示され、各代替案が有効的に作用する拠点間の特徴が明らかとなった。日本の各地域に共通した知見として、山間部や半島に位置する集落・住区では、上位拠点までの距離や自専道ICアクセス距離が長くなりがちであるため、一般道路において旅行速度50km/h、60km/hなどで走行できる階層を有する構成とし、生活拠点や高次都市拠点、自専道ICへの連絡を確保しておくことが重要であることが示された。また、この一方で、小さな拠点に関する連絡は、拠点間距離が比較的短く、階層の乗換えが行えないことが多いため、道路ネットワークの階層構成による連絡性能向上効果は小さく、連絡性能に課題のある拠点間では、拠点再配置計画と併せた施策の必要性が示された。

最後に第7章にて、本研究の成果および得られた知見をまとめ、今後の課題と展望を述べて結論とした。

目次

第1章	序論	1
1.1	機能階層型道路ネットワーク計画の意義と課題	1
1.1.1	より質の高い道路交通の実現に向けて	1
1.1.2	「コンパクト+ネットワーク」な国土構造実現に向けて	2
1.1.3	機能階層型道路計画の課題	4
1.2	本研究の目的	4
1.3	本研究が提案する機能階層型道路計画手法	4
1.3.1	階層型道路ネットワークにおける目標旅行時間達成条件	4
1.3.2	機能階層型道路計画手法の枠組み	7
1.4	本論文の構成	9
第2章	道路計画手法に関する学術的・実務的課題	11
2.1	道路の機能と階層型道路ネットワーク	11
2.2	日本の道路計画手法の課題	12
2.3	海外の道路計画	14
2.4	日本における機能階層型道路ネットワーク再編に向けた潮流	18
2.5	階層型道路ネットワークの計画手法に関する既往研究	20
2.5.1	階層型道路ネットワークの評価に関する研究	20
2.5.2	ネットワーク設計問題に関する研究	21
2.5.3	円滑性・拠点間連絡性能以外の機能に着目した研究	22
2.6	本研究の位置づけ	22
第3章	拠点の定義と目標旅行時間の提案	24
3.1	「拠点」の定義	24
3.2	目標旅行時間の設定	28
3.2.1	確保すべき拠点間連絡	28
3.2.2	目標旅行時間の設定	29
3.3	道路ネットワークの階層構成決定に際して考慮すべき拠点領域間の距離の違い	31

3.4	まとめ	31
第4章	日本における拠点配置および地勢条件の分析	32
4.1	地図情報システムを用いた拠点の抽出	32
4.1.1	分析使用データ	32
4.1.2	拠点の抽出条件	33
4.1.3	距離の計測方法	34
4.2	拠点の抽出結果	35
4.3	全国的な拠点間距離の分布状況	36
4.4	地域特性の分析	40
4.4.1	分析対象地域	40
4.4.2	拠点間距離	46
4.4.3	自専道 IC までの距離	49
4.5	地勢条件の分析	51
4.5.1	迂回の影響	52
4.5.2	旅行速度への影響	54
4.6	まとめ	54
第5章	機能階層型道路ネットワーク代替案の構築	56
5.1	目標旅行時間達成条件	56
5.2	階層構成代替案の構築	57
5.2.1	交通機能と沿道状況を考慮した道路分類の設定	58
5.2.2	道路分類間の相互接続の可否および接続方式	60
5.2.3	現状道路ネットワークを考慮した前提条件	61
5.2.4	階層別目標旅行速度の組み合わせ	62
5.2.5	階層間の相互接続による遅れ	64
5.2.6	道路間隔の算定方法	67
5.3	階層型道路ネットワークにおける旅行時間の推定	74
5.3.1	旅行時間の近似的推定方法	75
5.3.2	旅行時間に階層構成が及ぼす影響	79
5.4	二拠点間を連絡する道路ネットワーク階層構成の検討方法	91

5.4.1	機能階層型道路ネットワークへの再編で求められること.....	91
5.4.2	階層構成の決定方法.....	94
5.5	まとめ.....	102
第6章	日本の拠点配置条件を考慮した機能階層型道路ネットワーク代替案の評価.....	104
6.1	代替案評価の概要.....	104
6.1.1	評価対象地域および対象拠点間連絡.....	104
6.1.2	階層構成代替案.....	105
6.1.3	評価対象地域の地勢条件.....	106
6.1.4	代替案評価の順序.....	106
6.2	中国地域および北東北地域.....	107
6.2.1	市街地内の階層構成代替案評価.....	107
6.2.2	市街地外の階層構成代替案評価.....	111
6.3	関西地域.....	121
6.3.1	市街地内の階層構成代替案評価.....	121
6.3.2	市街地外の階層構成代替案評価.....	123
6.4	東海道地域.....	127
6.4.1	市街地内の階層構成代替案評価.....	127
6.4.2	市街地外の階層構成代替案評価.....	128
6.5	南ドイツ地域.....	133
6.5.1	市街地内の階層構成代替案評価.....	133
6.5.2	市街地外の階層構成代替案評価.....	133
6.6	総合評価.....	136
6.7	まとめ.....	138
第7章	結論.....	140
7.1	本研究の成果および得られた知見.....	140
7.2	今後の課題と展望.....	142
	参考文献.....	144
	謝辞.....	149
	付録.....	153

第1章 序論

1.1 機能階層型道路ネットワーク計画の意義と課題

1.1.1 より質の高い道路交通の実現に向けて

道路ネットワークを段階的に構成し、トラフィック・アクセス・滞留機能などを各階層に適切に分担させる機能階層型道路ネットワーク(Functionally hierarchical road network)の概念は、古くはBuchanan Report(1963)の頃から、道路計画の基本的な考え方として広く認識されている。これを実現するため、ドイツ(FGSV, 2008)、米国(AASHTO, 2011)などでは、道路階層ごとに旅行速度やLevel of Serviceなどの性能目標値を設定した道路計画手法が確立されている。

日本では、これまで量的整備を重視し、需要に基づいた画一的な道路計画手法がとられてきた。この手法では、各道路で実現する旅行速度などの性能については考慮されないため、個々の道路がどのような機能を担うのかが曖昧で、トラフィック機能を優先すべき幹線道路で著しい遅れが生じる一方、アクセス・滞留機能優先の生活道路に通過交通が流入するなどの問題がしばしば生じている。このような現状の道路ネットワークでは、自動車専用の高速道路を除く一般道路については、どの道路も性能(典型的には、旅行速度で測られることが多い)に殆ど差がなく、低速にとどまっていることが指摘されている(下川ら, 2009)。このような状態における利用者トリップの状況を模式的に表すと図-1.1(a)のようになり、アクセス・滞留機能優先の道路でもある程度の速度が出てしまっているために沿道アクセスがしづらい、高速道路利用経路のないトリップが低速での走行を強いられる、高速道路を利用時もインターチェンジへのアクセス時間が長くなるなどの問題が生じていると考えられる。このような状況は、道路の整備量に対して、効率的に本来の機能を実現できていないと考えられる。

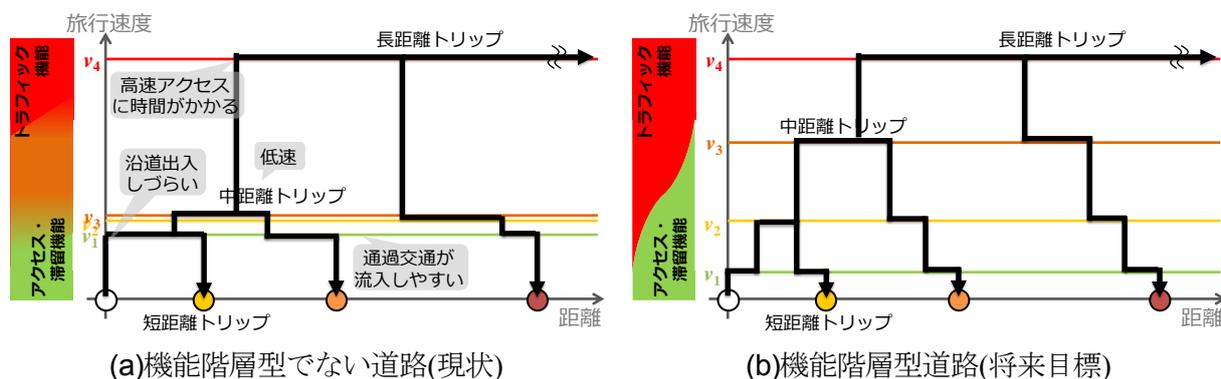


図-1.1 現状および機能階層型の道路における利用者トリップの概念図

これに対し中村ら(2005)は、道路の機能を明確にした改良・改築を行い、一般道路においてもトラフィック機能を優先すべき道路はより高速で走行できるように、またアクセス・滞留機

能を優先すべき道路は速度を抑制して沿道出入や駐停車がしやすいように差別化をはかり、道路ネットワークを機能階層型に再編することの必要性を提唱している。このような機能階層型の道路では、**図-1.1(b)**に示す概念図のように、道路の機能に応じて旅行速度などが差別化され、利用者がそれぞれの求める機能を担う道路に適切に分離される。これにより、上述のような問題が解消され、道路インフラを効率的に活用しつつ交通の質を向上させることができると期待されている。

近年では、この提唱を契機に、日本の道路の性能に着目した実態分析(橋本ら、2012)や、将来的な改良の効果を照査するための旅行速度の影響要因分析(内海ら、2014)などが行われており、道路の機能を担保するための性能照査型の道路計画手法の枠組みが整理されつつある(下川ら、2012; 野中ら、2015など)。

しかしながら、そもそも道路ネットワークをどのような形に階層化すればよいのか、すなわち、道路を何階層に分ける必要がある(階層数)、それぞれの階層でどの程度の性能を担保し(階層別性能目標)、またどの程度の間隔でそれを配置すればよいのか(階層別道路間隔・接続間隔)といった階層構成については経験的に示されるにとどまっており、理論的検討が課題となっている。これらを定めるには、まず、道路ネットワークが全体として果たすべき上位目標を明確にし、それを達成可能な道路計画を立案する必要があるが、**第2章**で述べるように、現状では道路計画と国土計画・地域計画・都市計画の間は整合性が図られておらず、体系的な枠組みが不在である。

1.1.2 「コンパクト+ネットワーク」な国土構造実現に向けて

機能階層が充分考慮されていない現在の道路利用実態は、国土計画・地域計画・都市計画からみても、様々な弊害を及ぼしている。例えば、トラフィック機能優先の道路でも沿道出入が制限されないため、バイパス沿いに商業立地が誘発され、結果として中心市街地が衰退している例がみられる。また、生活道路への通過交通流入は、通学児童や高齢者の交通事故、騒音などによる居住環境の悪化といった問題を引き起こし、生活の質を低下させている。さらに、集落間連絡や都市間連絡に要する時間が長くなっており、経済活動・社会活動に対しても影響を及ぼしていると考えられる。特に、高齢化に伴い社会構造や価値観が変化する中では、従来重視されてきた大都市圏間のような高速道路利用を前提とする長距離連絡だけでなく、生活圈移動のような高速道路を使わない中距離連絡の重要性が増すと考えられ、これらに対して十分な性能を発揮できていない現状の道路ネットワークには、課題が多いといえよう。

今後日本は、人口減少・高齢化に伴い、財政制約・資源制約がより一層厳しくなることが避けられず、道路の維持管理も困難な時代に直面する。その中で、既存インフラを有効活用しながら交通の質を高め、より豊かな国土・地域づくりに資してゆくためには、各道路の本来的な機能を明確にし、投資を本当に必要な道路だけに集約して、適切な改良・整備を行ってゆく必要がある。

折りしも2015年には、「国土のグランドデザイン2050」(国土交通省)により、将来の日本の地域・国土構造として、市役所、医療、福祉、商業、教育等の都市機能や居住機能を集約した「拠点」を形成するとともに、それらをネットワークで効率的に連絡することにより、質の高いサービスを提供し、生産性を高めることを目標とした「コンパクト+ネットワーク」の基本方針が打ち出された。

この基本方針を道路計画の観点からみると、図-1.2に示すように、「拠点」という場所の持つ生活機能・都市機能といった各種サービスに対して、居住者の拠点へのアクセスや、拠点サービスの連携が円滑に行われるようにするという命題が存在すると解釈できる。このような、居住者の拠点アクセスや、拠点サービスの連携を円滑に行うための道路ネットワーク全体で強化すべき性能を、本研究では「**拠点間連絡性能**」と名付ける。また、拠点間連絡性能を測る性能評価指標として、本研究では、最も基本となる平常時の円滑性に着目した「**拠点間旅行時間**」を用い、これによって、道路ネットワーク全体の上位目標すなわち「**目標拠点間旅行時間**」を設定するものとする。

道路ネットワークを構成する個別道路のトラフィック・アクセス・滞留機能に応じた階層別の道路の性能は、この上位目標を達成するように設定すればよいことになる。本研究では、旅行時間との関係が把握しやすいことから、トラフィック機能を代替する指標として「**旅行速度**」によって階層別の性能を設定することとする。トラフィック機能とアクセス・滞留機能はトレードオフの関係にあることから、アクセス・滞留機能を優先すべき道路については、目標旅行速度を低く設定しておくことで、将来的にアクセス・滞留機能に関する指標を設定することができると思われる。

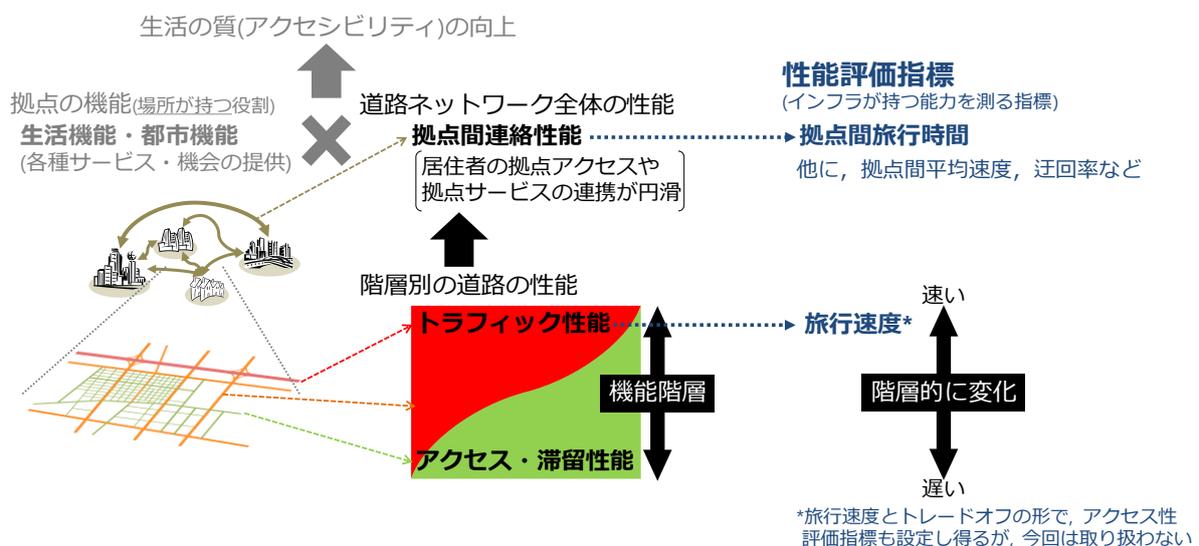


図-1.2 本研究で扱う道路の機能と性能評価指標の関係

このように、道路を機能的に階層化することは、コンパクトに集約された拠点のもつ都市機

能や生活機能に応じて、これを連絡する道路の性能目標を適切に設定し、効果的な改良・整備を行うことを意味する。このような道路インフラの集約的投資により拠点間連絡機能を強化してゆくことで、立地も連絡に便利な拠点周辺へと少なからず誘導されることが予想される。このような意味においても、機能階層型道路計画の果たすべき役割は大きいと期待される。

1.1.3 機能階層型道路計画の課題

道路ネットワーク全体の上位目標を、連絡すべき拠点間の目標旅行時間によって定める方法は、ドイツの交通計画ネットワーク指針RIN(2008)にも採用されているものであり、日本における機能階層型道路ネットワーク再編に向けた一連の流れの中でも、下川ら(2012)によって言及されている。しかしながら、道路ネットワークの階層数や階層別目標旅行速度、配置間隔などによって、拠点間旅行時間がどのように変化するかという定量的な関係については、未だに検討されておらず、従って、目標旅行時間に応じてどのように階層数などを決定するかという具体的な手順も示されていない。また、国土のグランドデザイン2050では、拠点の具体的な設定方法については概念的な記述にとどまっており、実際にどのような場所を結ぶ連絡を確保すれば良いのかは明示されていない。さらに、広大な平地に都市・集落が均質に分布しているドイツと異なり、険峻な山地部もあれば、市街地が高密度に集積した都市部も存在する多様な日本においては、地域によって拠点配置条件や地勢条件が大きく異なり、これらを機能階層型道路ネットワークの必要階層数や階層別目標旅行速度にどのように反映すべきかは、これまで考慮されてこなかった。

1.2 本研究の目的

以上を踏まえ、本研究では、日本の各地域における拠点配置条件・地勢条件を考慮して、機能階層型道路の階層区分数、階層別目標旅行速度および目標道路間隔を設定する機能階層型道路計画手法を開発することを目的とする。

このために、道路がネットワーク全体として達成すべき上位目標として、「拠点間旅行時間」を設定する方法を提案する。また、代替案となる階層数・階層別目標旅行速度・道路間隔の組み合わせを整理するとともに、各代替案における任意のトリップ長の拠点間旅行時間を推定する。最後に、日本において特徴的な拠点配置条件・地勢条件下における、拠点間旅行時間や目標旅行時間割合を計算し、各階層構成代替案の評価をする。

1.3 本研究が提案する機能階層型道路計画手法

1.3.1 階層型道路ネットワークにおける目標旅行時間達成条件

本研究が提案する機能階層型道路計画手法とは、道路ネットワークの階層数 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]を設定することによって、これと現状道路の乖離を埋めるように、それぞれの道路の幾何構造設計・交通運用方法の改良・欠損区間の整備等を行い、対象地域内の拠点間に対して課された目標旅行時間を達成するとともに、道路の機能階層化による交通サービスの質を向上させるものである。ここでは、このために不可欠な、階層型道路における目標旅行時間達成条件について整理する。

なお、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。実際の道路ネットワークは完全格子状とはなってい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に必要な距離の参考として用いることができるためである。

ここに、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 について常に不等式(1.1)が成り立つ。

$$v_{i+1} > v_i \quad (1.1)$$

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、利用者のトリップは図-1.3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-1.3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、実際には、どの階層まで使用するかはトリップ長や目標旅行速度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(1.2)で、旅行距離 X は式(1.3)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(1.4)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。

$$T(X_{\text{target}}) = \sum_{i=1}^k \frac{x_i}{v_i} + \sum_{i=2}^k \frac{r_{(i-1,i)}}{3600} \quad (1.2)$$

$$X(X_{\text{target}}) = \sum_{i=1}^k x_i \quad (1.3)$$

$$V(X_{\text{target}}) = \frac{X_{\text{target}}}{T(X_{\text{target}})} \quad (1.4)$$

ここに、 $r_{(i-1,i)}$: 階層 $(i-1)$ から階層 i へ移動する際の乗換抵抗[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。 $r_{(i-1,i)}$ 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と考えられる。

式(1.2)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 $s_{(i,j)}$ および下位階層 $j(1 \leq j \leq i \leq n)$ との接続間隔 $s_{(i,j)}$ 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 $x_j(1 \leq j \leq k-1)$ 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 $s_{(i,i)}$ および接続間隔 $s_{(i,i-1)}$ を決定する必要があり、基本的には i が大きいほど目標旅行速度 v_i が大きい式(1.1)に対応して、式(1.5)が成立する。

$$s_{i+1} > s_i \quad (1.5)$$

この状態が確保されると、トリップ長の長い利用者ほど、より上位の階層を使用可能となり、長距離トリップと短距離トリップのラインホール部分の分離が図られる。

この拠点間の目標旅行時間達成条件は、目標旅行時間 T_{target} を用いて、式(1.6)で表せる。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。

$$T(X_{\text{target}}) \leq T_{\text{target}} \quad (1.6)$$

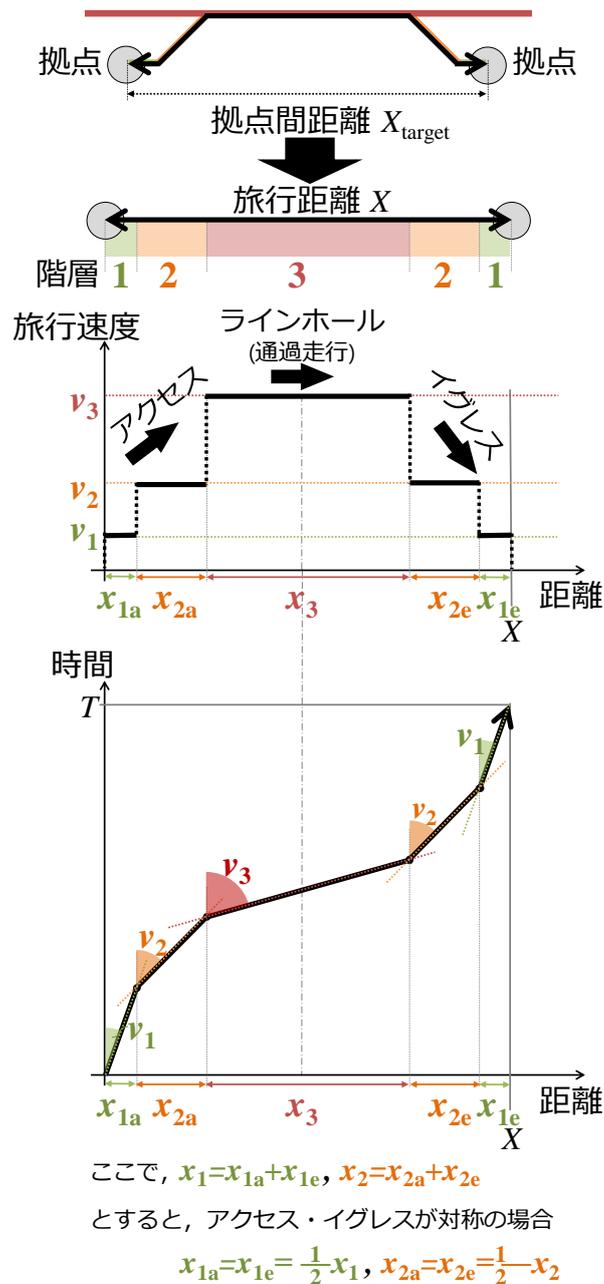


図-1.3 階層型道路ネットワークにおけるトリップの旅行速度・旅行時間

1.3.2 機能階層型道路計画手法の枠組み

前項の目標旅行時間達成条件を考慮して、本研究では、図-1.4のフローチャートに示す流れで機能階層型道路計画を行うことを提案する。

この計画手法では、まず目標旅行時間達成条件のうち、目標部分に関わる拠点間距離 x_{target} および目標旅行時間 T_{target} を設定する必要がある。このための準備として、図-1.4左側の流れに示すように、拠点の定義・目標旅行時間の設定を行う。これについては、本論文の第3章で述べ

る。その上で、対象地域にある全ての拠点について、連絡すべき拠点間を抽出し、その距離 X_{target} を計測する。拠点間距離 X_{target} は、拠点間を結ぶ直線距離として計測され、これに地勢条件による影響を反映するため、迂回係数 α を乗じる。これについては、第4章で述べる。

一方、階層数 n 、階層 i の目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i)}$ および下位階層との接続間隔 $s_{(i-1)}$ からなる階層構成代替案は、前項で触れた目標旅行速度と道路間隔の関係のほか、交通機能の差別化を実現するための条件や、自動車専用道路(以降、自専道)ネットワークなど現状から変更が難しい条件などを予め考慮しておく必要がある。このため、図-1.4左側の流れによって、比較評価が可能な複数の代替案を整理する。また、代替案における、任意のトリップ長に対する最短経路での使用階層数 k および階層別走行距離 x_i を近似的に計算することで、旅行時間 T や平均速度 V などの道路ネットワーク性能評価指標を得る。これら代替案の抽出や旅行時間の近似計算は、拠点配置条件とは独立しており、その詳細は本論文の第5章にて述べる。

上記を組み合わせることによって、各階層構成代替案において実現する、拠点間旅行時間 $T(X_{\text{target}})$ を推定し、目標旅行時間達成条件を満足するか否かを判定する。対象地域における全拠点間連絡について、拠点間連絡の重み w を考慮して、目標旅行時間の達成割合 AR を計算し、評価指標とする。これについては、第6章で述べる。

以上までが、本論文で取り扱う内容であり、これらによって、機能階層型道路計画手法において最も重要となる階層構成代替案の抽出と、各代替案により実現する拠点間連絡性能(目標達成割合や拠点間旅行時間、平均速度)を把握することが可能となる。

一方で、複数代替案のうち、最終的にどの階層構成とするかの判断を行うためには、図-1.4左側の流れにある効果の評価だけでなく、この実現に要する費用とのバランスをみる必要がある。全拠点間で目標旅行時間を達成できる代替案が複数存在する場合には、既存道路ネットワークに適用する際に最も費用の小さい案を選択すればよいし、全拠点間での目標旅行時間達成が困難な場合には、達成割合と費用との関係から最適なものを選択したり、拠点再配置費用も含めた施策全体の費用を考慮して選択するなどの判断が求められる。このためには、図-1.4右下の流れに示されるように、拠点間を連絡する実際の経路に階層構成をあてはめ、現状の道路の旅行速度(非混雑時)や配置間隔と、目標旅行速度や目標道路間隔との乖離を把握し、これを埋めるための改良・新設整備費用の算出を行う必要がある。この中では、道路間隔や接続間隔によって、複数拠点間の経路が重複することなどを考慮しなければならない。このような検討は、既存道路の構造・運用方法や地形条件を詳細に把握する必要があるため、今回は扱わない。

以上によって、階層構成が最終決定されると、個別の道路1本1本に対して、目標旅行速度や接続間隔が明示され、性能照査手法を用いた道路構造や交通運用条件の検討が可能になる。これにより、具体的には、平面交差の間隔やその形式、信号交差点でのサイクル長の設定、付加車線の設置など、個別の道路区間・地点に対する対策が、ネットワーク全体の拠点間連絡性能に与える効果を担保した上で実施されるようになることが期待される。

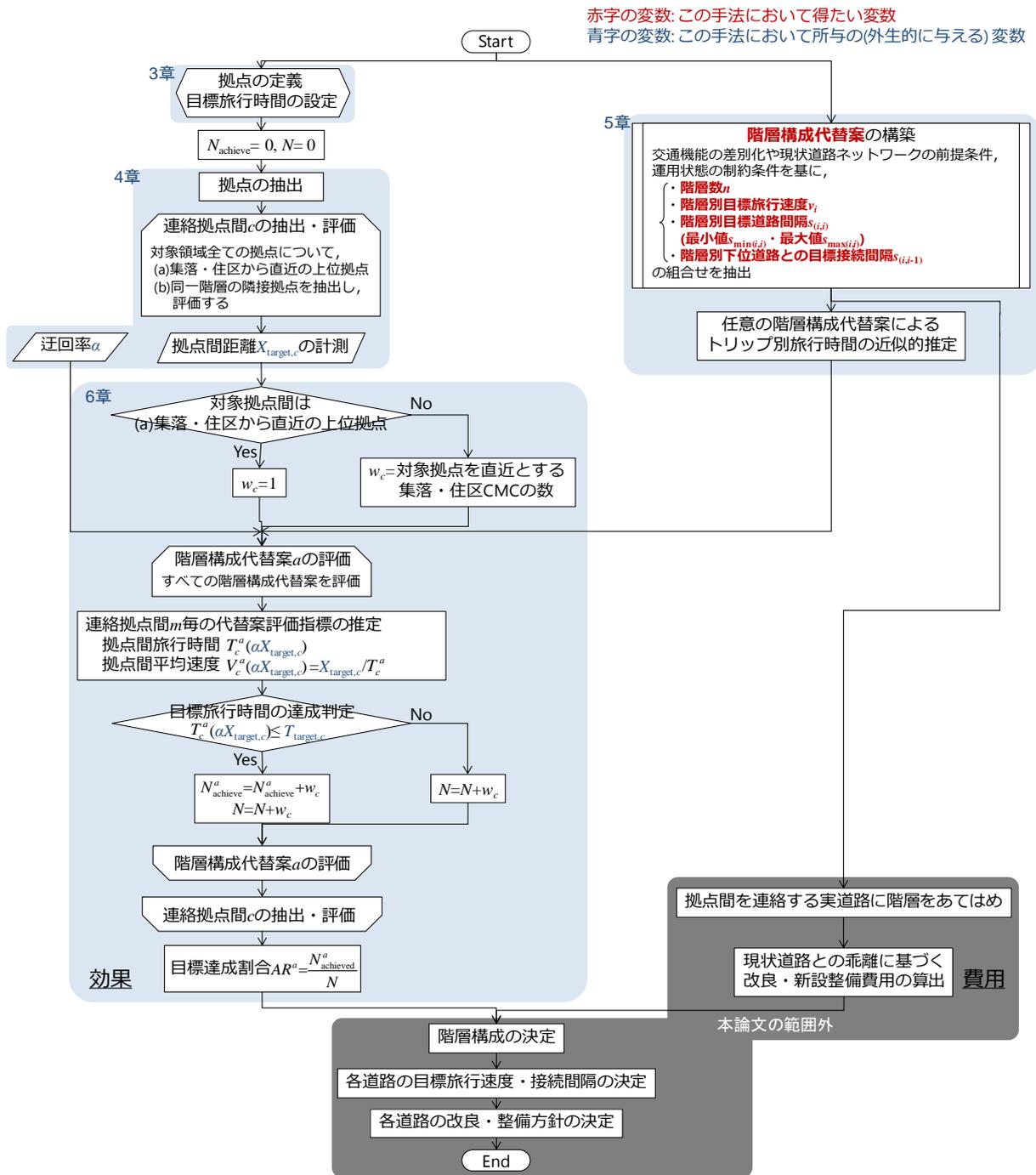


図-1.4 機能階層型道路計画手法のフローチャート

1.4 本論文の構成

本論文は、図-1.5に示す通り、全7章で構成される。

第2章では、本研究が取り扱う機能階層型道路ネットワークの概念や、日本における現行の道路計画設計手法、海外における道路計画指針を紹介する。これに続き、日本における機能階

層型道路ネットワークへの再編に向けた研究における本研究の位置づけについて述べる。また、階層型道路ネットワーク計画に関連する既往研究と本研究の違いについて明らかにする。

第3章では、本研究が行う道路ネットワークの階層設定に対して上位目標を設定するため、道路が連絡すべき拠点の定義と目標旅行時間の設定方法について提案する。これに続く第4章では、第3章で定義した拠点を実際の日本の地図上から抽出し、その配置条件を分析することで、連絡すべき拠点間距離や自専道までの距離などの条件を明らかにする。また、地勢条件による迂回や旅行速度などの影響を分析する。

一方第5章では、無数に存在する道路ネットワークの階層数、階層別目標旅行速度、道路間隔・接続間隔の組み合わせの中から、階層構成代替案の構築を行う。ここでは、運用状態において実現可能なものを抽出する。また、設定された階層構成において実現するトリップ長別旅行時間を推定する近似的計算手法を開発し、これを用いて、第3章で設定した目標旅行時間を達成することのできる最大拠点間距離を求める。また、仮想の二拠点を対象に、構築した階層構成代替案を適用して拠点間を目標旅行時間内に連絡するための道路階層および目標旅行速度の設定方法を提案し、自専道整備、一般道路整備の両方を考慮した施策の検討方法を解説する。

第6章では、第4章で明らかとなった拠点配置条件、地勢条件に対して、第5章で構築した階層構成代替案を適用し、拠点配置条件に応じて、各階層構成代替案が達成可能な拠点間連絡性能の関係を明らかにする。最後に第7章にて、得られた知見と今後の課題をまとめる。

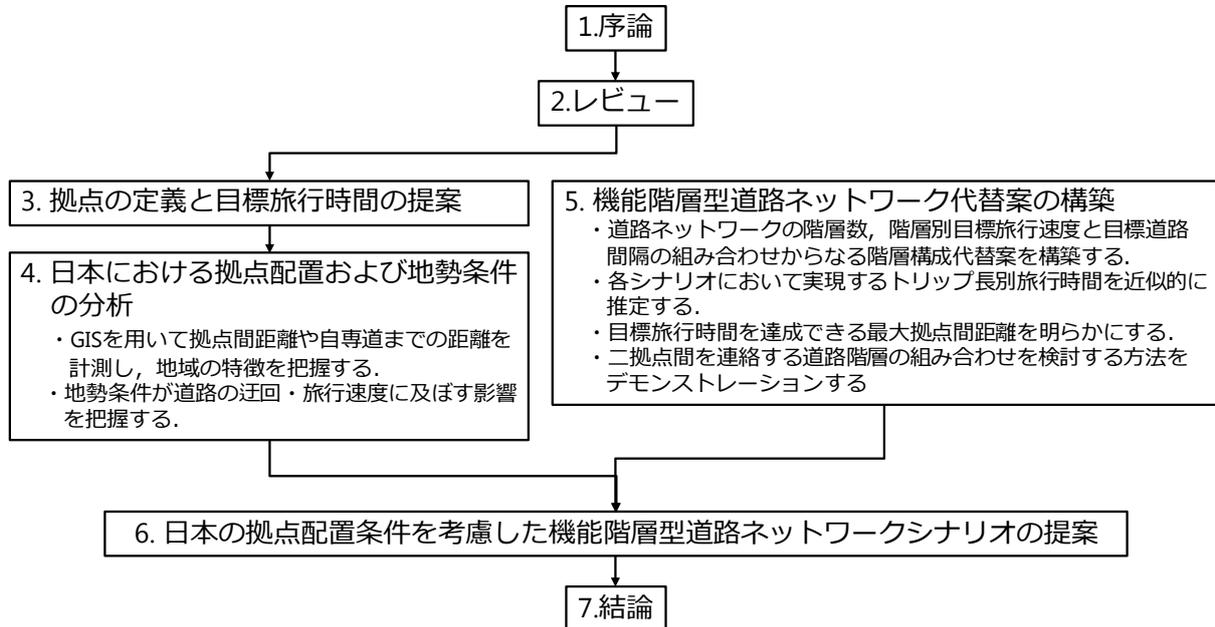


図-1.5 本論文の構成

第2章 道路計画手法に関する学術的・実務的課題

2.1 道路の機能と階層型道路ネットワーク

道路の機能には、大きく交通機能と空間機能の二つがあり、今回はそのうち第一義的な機能である交通機能に着目する。交通機能は、交通を円滑に流すためのトラフィック機能と、沿道の土地・施設に出入りするためのアクセス機能、駐停車や滞留のための滞留機能に分けられる。沿道からの出入や駐停車が頻繁に起こる道路で交通を円滑に流すことは難しく、逆に通過交通が高速で通行している道路上では、沿道出入や駐停車を安全・快適に行えない。すなわち、トラフィック機能とアクセス・滞留機能は、図-2.1に示すようなトレードオフの関係にある。このため、一本一本の道路の機能や利用主体を明確化するとともに、機能の大きく異なる道路を直接連携せず、図-2.2のように段階的に変化するよう階層的に構成し、各道路の機能が十分発揮できるようなネットワークとすることが肝要である。こうすることで、道路利用者は、トリップの起点から終点までアクセス、通過通行、イグレスと段階的に階層を乗換えながら効率的で円滑な移動を行うことができ、また生活道路やそれに接続する生活空間からは、通過交通が排除されることで、快適な居住環境が実現する。これが、本研究で扱う機能階層型道路ネットワークの基本的な概念である。

機能階層型道路ネットワークの形成は、自動車交通だけでなく、歩行者・自転車などの様々な主体を考慮した場合にも、これら異なる主体を適切に分離することで交錯が減り、安全性・快適性の向上が期待されることから非常に重要である。



図-2.1 交通機能のトレードオフ関係を表す概念図

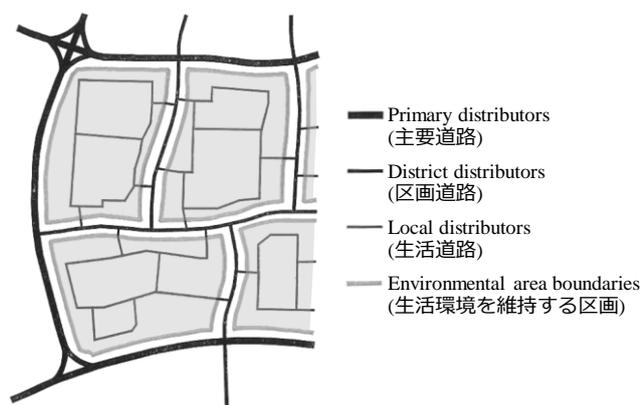


図-2.2 階層化された道路ネットワークの模式図 (Buchanan, C., 1963)

このような機能分離の考え方は、これまでに国内外多くの道路計画指針で、道路計画の基本事項として解説されてきた(例えば、the Institution of Highways and Transportation with the

Department of Transport, UK, 1987; U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 1989). わが国でも、多くの交通工学、都市計画の教科書で紹介されているほか(例えば、河上・松井, 2007; 加藤, 1993), 道路構造例の解説と運用((公社)日本道路協会, 2015)にも「道路計画・設計の考え方」の冒頭に述べられている。

2.2 日本の道路計画手法の課題

(a) 性能が照査されない計画設計

前述のように、機能階層型道路ネットワークの利点は日本でも広く認識されている。しかしながら、実際の道路ネットワークに目を向けると、本来トラフィック機能を優先すべき幹線道路では、信号交差点による著しい遅れや、頻繁な沿道アクセス・駐停車車両による混雑が生じている反面、アクセス・滞留機能や歩行者・自転車主体の機能が考慮されるべき生活道路では、通過交通の抜け道利用による事故や騒音などの問題が生じており、機能階層化が実現しているとは言い難い。

中村ら(2005)はこの原因について、道路を計画設計する際に、期待される機能が十分考慮されないこと、またそこで発揮される性能が照査されないことを挙げてきた。道路構造の解説と運用(2015)に示される通り、道路の計画設計は、種級区分に基づいて行われる。この種級区分は、まず表-2.1のように高速自動車国道・自動車専用道路(以降、自専道)かそれ以外かという道路種類の別と地方部・都市部の別により種区分が決定し、種区分が決定すると表-2.2に例示するように、計画交通量に基づいて級区分が決定する。これは、道路のネットワーク特性を道路種類で、交通特性を計画交通量で代表させるという解釈に基づいているが、結果として、交通量の多い道路ほど格の高い道路となり、これらがどのような場所を連絡するか、どのような目的を持つ主体がどのような機能を求めて利用するかといった、本来の道路の機能とは、ずれが生じている場合もある。

道路の種級区分が決まると設計基準交通量が決まり車線数が決定する。そうすると、後は仕様規定的に、車線幅員や中央分離帯など道路の断面構成が決まり、そこでどのような性能が発揮されるかは考慮されることがない。特に、道路の交差点間隔やその形式などは、道路の性能に大きな影響を及ぼすにもかかわらず、4車線以上の道路が交差する場合は立体交差が望ましいとする以外には規定されていない。

このため、実際の運用状態では、トラフィック機能を確保すべき幹線道路と、アクセス・滞留機能を確保すべき細街路が接続しているなど、機能階層による段階的構成が十分考慮されたネットワークとなっていないことが殆どである。これにより、幹線道路では交差点間隔が短くなり遅れが頻繁に生じる。さらに幹線道路同士が交わるキー交差点でも立体化されておらず信号交差による著しい遅れが生じる場合が少なくない。これらは結果として、幹線道路における旅行速度の低下、すなわちトラフィック機能の低下を招いているだけでなく、本来幹線道路で

担うべき通過交通による生活道路の抜け道利用にも繋がっていると考えられ、アクセス・滞留機能にとっても望ましくない事態を引き起こしていると考えられる。

このような現状を表す例として、一般道路では国道、県道などの連絡規模によらず、旅行速度が30km/h程度で差別化されていない実態が下川ら(2009)によって実証されており、自専道と一般道路との間に、性能の観点から乖離があることが指摘されている。また、朝倉ら(1993)は、都市内街路には幹線、補助幹線などの種類によらず、内々交通が入り込んでおり、機能階層型道路ネットワークが意図する利用者の分離が実現されていないことを指摘している。

表-2.1 道路の種区分

道路の種類	地形	地方部	都市部
	高速自動車国道・自動車専用道路		第1種
その他の道路		第3種	第4種

表-2.2 道路の級区分(第1種の例)

道路の種類	地形	計画交通量(台/日)			
		30,000以上	20,000以上 30,000未満	10,000以上 30,000未満	10,000未満
高速自動車国道	平地部	第1級	第2級		第3級
	山地部	第2級	第3級		第4級
それ以外	平地部	第2級		第3級	
	山地部	第3級		第4級	

機能階層型道路ネットワークを効果的に運用するためには、各階層において機能が実現されているかどうかを適切な性能評価指標(MoE; Measure of Effectiveness)を用いて照査しながら計画・設計・運用を行うことが重要であるといえる。

(b) 上位計画との一貫性の不在

以上のように、道路の性能に基づいた計画設計が望まれるが、実際には、どの道路がどのような機能を担うべきで、そのためにどの程度の性能を担保すべきかが明確でない現状にある。これは、そもそも道路計画と、その上位に位置づけられる国土計画・地域計画などとの一貫性が曖昧であることによると考えられる。

これまで日本では、上位計画として、建設省道路局企画課長通達(1992)に基づく広域道路整

備基本計画による都道府県内の時間交通圏構想や、高規格幹線道路網計画(1987)による高速道路へのアクセス時間60分などの指標が用いられることがしばしばあったが、これらと、道路のネットワーク計画、個別道路の計画、設計、運用までが必ずしも整合した枠組みの中で実行されていない。そのため、個別道路の性能向上が、上位目標にとってどのような効果をもたらすのか不明瞭な現状にある。例えば、ある信号交差点で生じる遅れが、その交差点を含むリンクの旅行速度を低下させ、それらが積み重なって、ある都市間を結ぶ経路や、高速道路アクセス経路の所要時間を増大させているにもかかわらず、解決に向けた根本的な対策の検討が充分になされないといった状況が各地で見られる。このような課題を解決するためには、上位計画から一貫した枠組みの中で道路の性能目標を規定し、これに基づいた計画設計を行うべきである。

折しも、先に述べた通り2015年には、日本の将来の国土・地域構想を示す「国土のグランドデザイン2050」が発表され、「コンパクト+ネットワーク」の方針が打ち出された。人流・物流に対して最も重要な道路インフラを、今後どのように維持管理、完了することで、このコンセプト実現に寄与するのか、上述のような道路設計・運用までの一貫した枠組みの中での、具体的な計画方法を検討することは非常に意義が深い。

2.3 海外の道路計画

以上のような日本の道路計画の課題を踏まえ、海外の道路計画における、道路の機能と階層設定、また上位計画との関連性をレビューする。

アメリカでは、Highway Capacity Manual(TRB, 2010)に代表されるように、道路の計画・設計・運用段階において性能照査を行う手法が発達しており、道路の旅行速度や交通密度などの交通性能指標(MoE; Measure of Effectiveness)に基づいて、発揮される交通サービスの水準、すなわちLevel of Service(以降、LOS)が評価される。また、道路階層は、Green Book(AASHTO, 2011)において、機能別に、Principle arterial, minor arterial, collector, local roadの四種類に分類され、これらはさらに沿道状況に応じてRuralとUrbanに分けられ、それぞれの道路の位置づけや出入制限(Access Control)の必要性の有無などが解説されている。この道路階層と沿道状況の組み合わせによって、表-2.3のように、目標とするLOSが設定されており、トラフィック機能の高い道路ほど、高いLOSを確保しなければならないことが示されている。

ただし、道路ネットワーク全体で満足すべき上位性能等については特に記載がなく、目標LOSについても、道路階層の機能から定性的に設定されたものと考えられる。目標LOSの他に、表-2.4のような階層別道路間隔の記載もあるが、これも経験的な知見であり、上位目標に基づいて設定されている値ではない。

表-2.3 AASHTOによる道路の機能区分と目標LOSの設定値

機能区分	適切なLOS			
	地方の平地部 Rural Level	地方の歪曲部 Rural Rolling	地方の山地部 Rural Mountainous	都市部・郊外部 Urban and Suburban
Freeway	B	B	C	C or D
Arterial	B	B	C	C or D
Collector	C	C	D	D
Local	D	D	D	D

表-2.4 AASHTOによる道路の機能区分別道路間隔

機能区分	道路間隔[mile]	道路間隔[km](換算値)
Freeway	4~6	6.4~9.7
Arterial	1	1.6
Collector	0.5	0.81

ドイツにおいても、道路の性能照査は行われている。ドイツの道路ネットワーク計画手法を定めるRIN(FGSV, 2008)は、道路交通のみを対象としたものではなく、鉄道・バスなどの公共交通も含んだ交通ネットワーク全体の指針である。RINが特徴的なのは、先に日本の道路計画の課題としてあげた「道路ネットワーク全体が達成すべき上位目標」から始まっている点である。

RINでは、まず道路が連絡すべき場所を、大都市(Metropolregionen; MR)、地方中心都市(Oberzentren; OZ)、中核市(Mittelzentren; MZ)、生活圏中心(Grundzentren; GZ)、集落(Gemeinden; G)という五種類の中心地に階層化し、それぞれの中心地について表-2.5の通り、目標旅行時間を定め、低需要の時間帯においてこれが達成できるような道路ネットワークとすることの必要性を述べている。

さらに、この中心地間を接続する道路の連絡レベルを図-2.3のように決定しており、図-2.4のように道路の交通機能と沿道立地状況から決まる道路分類との組み合わせによって、道路階層区分を表-2.6の通り決定している。さらに、この道路階層区分に基づき、表-2.7のように目標旅行速度や標準的な距離が示され、各階層の道路がどのような役割を持つべきかが極めて明確な枠組みとなっている。

しかし、表-2.7の階層別目標旅行速度や標準的な距離の値は、経験的に設定された値であると考えられ、表-2.5の目標旅行時間の整合性、定量的関係については示されていない。また、RINでは、最終的な道路ネットワークの評価は、中心地間の旅行時間を拠点間の直線距離で除した連絡速度を性能評価指標(MoE)としたLOSで評価されるが、LOSの閾値は経験的に得られた値に基づいており、表-2.5の目標旅行時間の達成については必ずしも保証されていないと考えられる。

表-2.5 RINによる目標旅行時間

中心地の種類	概要	個人自動車での目標旅行時間[min]	
		周辺地域から中心地まで	同じ種類の隣接中心地間
大都市 Metropolregionen (MR)	国際的・国家的に重要な拠点	-	180
地方中心都市 Oberzentren (OZ)	より高度で専門的な行政・医療・文化・ビジネスの拠点	60	120
中核市 Mittelzentren (MZ)	上位で低頻度な需要や貿易・工業・サービスを担う拠点	30	45
生活圏中心 Grundzentren (GZ)	各地域で日常生活や一次医療を行う小規模拠点	20	25
集落 Gemeinden (G)	中心地的な機能を持たない集落	-	-

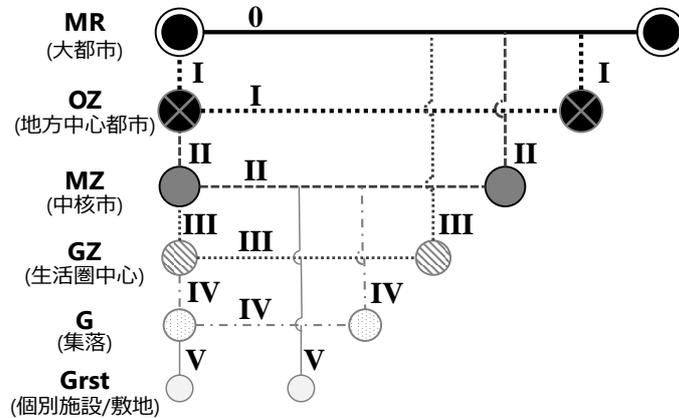


図-2.3 RINによる中心地の接続関係と連絡レベル

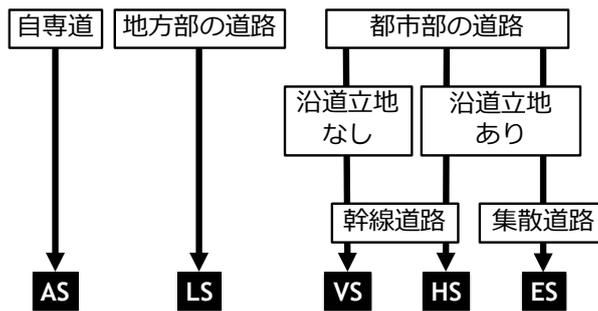


図-2.4 RINによる道路分類

表-2.6 RINによる道路階層区分表

連絡レベル \ 道路分類	AS	LS	VS	HS	ES
0	AS-0		-	-	-
I	AS-I	LS-I		-	-
II	AS-II	LS-II	VS-II		-
III	-	LS-III	VS-III	HS-III	
IV	-	LS-IV	-	HS-IV	ES-IV
V	-	LS-V	-	-	ES-V

表-2.7 RINによる階層別目標旅行速度

道路分類		連絡レベル	標準的な距離[km]	目標旅行速度[km/h]
AS	高速道路 (Autobahnen)	0/I	40-500	100-120
		II	10-70	70-90
LS	都市・集落間連絡道路 (Landstrassen)	I	40-160	80-90
		II	10-70	70-80
		III	5-35	60-70
		IV	-15	50-60
		V	-	-
VS	沿道立地のない主要幹線道路 (aubaufreie Hauptverkehrsstrassen)	II	-	40-60
		III	-	30-50
HS	沿道立地のある主要幹線街路 (angebaute Hauptverkehrsstrassen)	III	-	20-30
		IV	-	15-25
ES	細街路・生活道路 (Erschliessungsstrassen)	IV	-	-
		V	-	-

オーストラリア(Eppel, V. et al., 2001)では、道路の目的(purpose)を考慮する段階では、通過交通を捌くRoadと、沿道出入や集散のためのStreetに分かれ、次に機能(function)を考慮する段階では、これがさらにArterial road, Sub arterial road, Collector street, Local streetに分かれ、管理(management), 設計(design)の段階ではさらに細分化されていく、という考え方がなされている。また、10種類に細分類された道路について、性能や設計基準の設定例が提示されている。しかしながら、アメリカ同様、上位計画との関連性については考慮されていない。

2.4 日本における機能階層型道路ネットワーク再編に向けた潮流

ドイツの道路ネットワーク計画は、全体で担保すべき上位目標が明確である点、道路が担うべき連絡と求められる交通機能が明確である点において、大いに参考になる。中村ら(2005)は、この考え方を参考に、日本における性能照査型の計画設計の必要性、また道路の役割を明示した機能階層型道路ネットワーク再編の必要性を提言し、表-2.8に示す日本における道路階層区分表の提案を行っている。

これを切欠に、これまでに日本の道路ネットワークにおける階層化の意義や課題が実態分析を通じて示されてきた。この中では、先に述べたような、一般道路の旅行速度が低い水準にとどまり、自専道との間に乖離があること(下川ら, 2009)、このために、高速道路の未整備区間やアクセス性が悪い都市間、一般道路で連絡しなければならない生活圈レベルの連絡性能に課題があること(橋本ら, 2012; 横堀ら, 2015)などが多く指摘されている。このような課題に対して、性能照査型の計画設計手法を確立し、これによって機能階層型の道路ネットワーク再編を行うことは、現在不在の自専道と低速の一般道路の間を補完し、都市間・生活圈間の連絡性能を向上させる上で大きな役割を果たすと期待されている。

ここで提案されている道路の性能照査フローチャート((一社)交通工学研究会, 2015)は、図-2.5のようになっている。この照査の流れは大きく分けて、①(a)機能に対応した道路の階層区分に基づいて、各階層の(b)性能目標を設定する流れと、②実際の道路の(c)交通特性、(d)道路構造・交通運用から実現する交通状況を推定する流れに分けられる。このうち、後者については、内海ら(2008)、泉ら(2013)などによって手法が確立され、知見が集積されつつある。また、仮の目標旅行速度に基づいて、実道路の性能を具体的に照査し、実務的な設計段階で活用するためのケーススタディも行われている(石村ら, 2015)。

しかしながら、前者の道路の階層区分の設定や、実現すべき性能目標の設定については、定性的に示されるにとどまっており、上位目標との整合性・一貫性についての検討が不十分である。このため、実際には道路ネットワークを何階層に分類すればよいのか、各階層の性能目標をどのように設定すればよいのか、明確な論拠がない現状にある。本研究が提案する機能階層型道路計画手法は、この部分を補完するものとして位置づけられ、図-2.5のフローチャート中に青枠で囲まれた部分、すなわち拠点配置計画・道路ネットワーク計画から、交通機能区分(階層)別の性能目標を設定する方法を示すものである。

本研究は、これらの疑問に答えるため、機能階層型道路ネットワークに必要な階層数と、各階層の性能目標を提示することを目的としている。性能目標に用いる指標は、道路の機能や主体によって様々に設定し得るが、まずは交通機能のうちトラフィック機能に着目して、階層別性能目標を旅行速度で設定することとする。また、上位目標としては、道路によって連絡すべき拠点間に目標旅行時間を与えることで設定する。

表-2.8 日本における道路階層区分表の提案(中村ら(2005)を元に大口ら(2006)が一部改訂)

交通機能 連絡スケール Trip長		トラフィック					滞留
		Highwayまたは『街道』		アクセス			
		A		B	C	D	E
		A _M					
I	大都市連絡 (300km)	(都市間高速)	(非自専)	-	-	-	-
II	地域間連絡 (100km)	(都市間高速)	(非自専)	-	-	-	-
III	市町村間連絡 (30km)	(都市間高速)	-	主要道 [都道府県道]	-	-	-
IIIu	日常生活圏	(都市内高速)	(非自専)			-	-
IV	毎日買物 連絡	-	-	集落間道路 [市町村道路]	幹線街路	-	-
V	生活道路	-	-	-	-	住区街路 [補助幹線]	モール
VI	地先道路	-	-	-	-	区画街路	コミュニティ

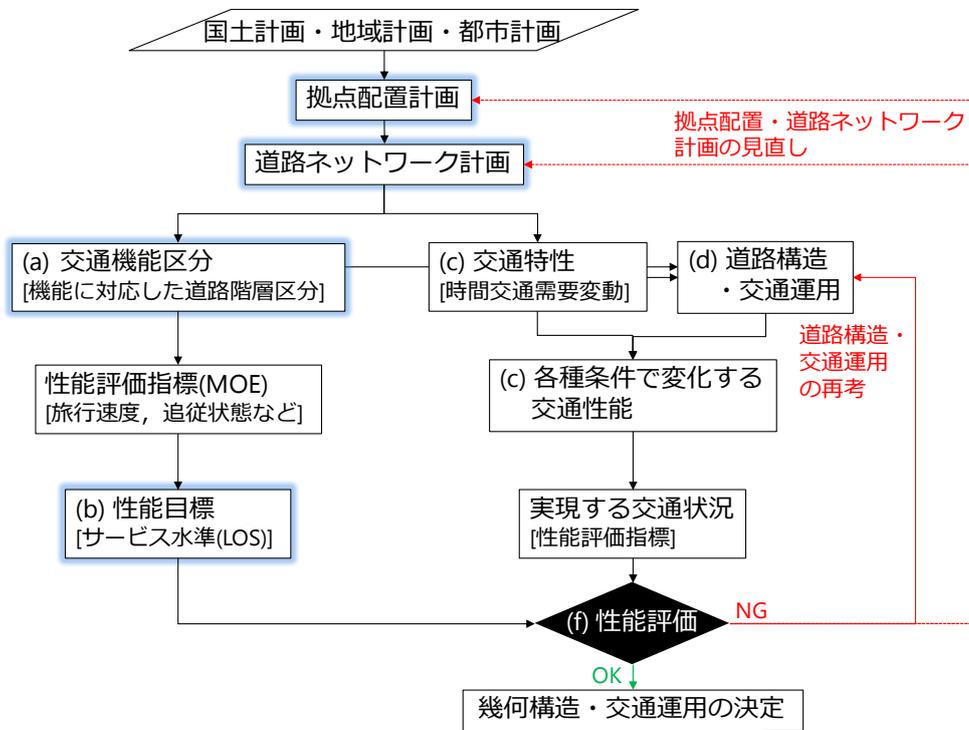


図-2.5 性能照査型道路計画設計のフローチャート((一社)交通工学研究会, 2015)

2.5 階層型道路ネットワークの計画手法に関する既往研究

2.5.1 階層型道路ネットワークの評価に関する研究

道路ネットワークの階層設定に関連する研究として、古くは渡辺・竹内(1981)が、名古屋市内の道路を対象として、交通量に市民アンケートによる各道路の認識度を重み付けした道路の段階値と呼ばれる指標を算出し、将来道路ネットワークにおける主要都市幹線と都市幹線となる道路の指定作業を試みている。また地理学の分野では、道路ネットワークの形成過程や形状に着目した研究が行われている。Yerra, B. and Levinson, D. (2005), Xie, F. and Levinson, D. (2009) は、交通量の多い道路の旅行速度を上げる投資モデルを用いて階層型道路ネットワークの形成過程を再現し、ネットワーク密度や交通量の集中状況、ネットワーク形状を表す網性(webness)、環状性(ringness)、ツリー性(treeness)などの位相的指標(topological indices)などの時間的変化を評価している。また、Zhang, H. and Zhilin, L. (2011)は、リンクが直接接続するリンク数、さらにその先の接続リンク数といった道路の接続性に着目し、これにより道路の階層性を定量化する方法を試みている。

これらの研究は共通して、需要が大きい道路ほど、階層の高い道路すなわち旅行速度の高い道路になるという条件を置いている。これは、多くが需要に追随する形で成長してきた経緯を持つ現状の道路ネットワークの形成過程の分析・評価に対しては、妥当であると考えられる。しかしながら、本研究が着目するのは、将来計画において、道路の性能目標となる旅行速度をどのように設定するかである。今後、道路の維持管理に関わる財源制約が厳しくなる中で、これまでのような需要追随型の道路計画を行っていくことは合理的ではないと考えられ、道路の性能目標の適切な設定により戦略的なインフラ整備を行い、これにより維持管理にできるだけ負担のかからない交通需要パターンを誘導してゆくことが求められるであろう。このような考えの下、本研究では、道路の性能目標を需要によって決めるのではなく、あくまでどのような連絡を担うかに基づき定める手法を提案している。道路に負荷される需要をどのように捌くかは、性能目標が決まった後、個別道路の幾何構造・運用条件を性能照査しながら決定する際に、考慮すべき事項と捉える。

桑原ら(2011)は、上記のような論点を本研究と同じくしており、二階層格子状の都市内街路の道路間隔の比を平均旅行時間などの指標によって評価し、道路配置のあり方を考察している。この研究に示されている、交通需要は道路の性能目標の決定に影響を及ぼさないという考え方や階層型道路での旅行時間の算出方法は、本研究にとって重要な参考になっている。他に、街路の配置に関する研究としてはMiyagawa(2011)も、同様に二階層の格子状街路における平均旅行速度、最大旅行速度を最適化する道路面積の比について検討している。しかしながら、対象が都市内街路に限定されており、分布に偏りのある都市・生活拠点間連絡には対応しておらず、階層数や目標旅行速度の組み合わせに関する議論もなされていない。一方、Vitins, B. et, al (2012) は、階層間の相互接続および交差形式に着目し、これらのルールを様々に変えた場合の交通流

への影響を理論的に検証している。この研究は、階層型道路の性能にとって非常に重要な、階層間の相互接続と交差形式に主眼をおいている点が特徴的であり興味深い。最終的な評価は、地理学分野での研究同様、交通量に基づいたもののみであり、旅行時間などの性能面に対する検証が不十分である。

下川ら(2014)は、旅行速度、アクセス距離が仮定された高速道路、一般道路を持つネットワークにおいて、両道路の中間的な速度で走行できる「中間速度層」を整備した場合の効果を検証し、その有効性を示している。ここでは、中間速度層が有利となる速度の上限値・下限値が示されているほか、中間速度層までのアクセス距離に応じた効果が定量化されている。また、浜岡・根城(2014)は、自専道および一般道路で結ばれた線状のネットワークにおいて、自専道あるいは一般道路をもう一本整備する場合と、その中間的な速度で走行できる幹線道路を整備する場合とで、各道路への交通需要の集中状況を試算し、その効果を定量的に評価している。この研究では、ネットワーク上に存在する三種類の拠点から発生する需要パターンや道路の速度の違いによって、有利となる整備シナリオが変化することが示されている。これらの知見は線状ネットワークによるものであるが、拠点配置条件によって、道路ネットワークの性能を高める階層構成が異なることが確認できる。

2.5.2 ネットワーク設計問題に関する研究

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、主としてネットワーク設計問題(Network Design Problem; NDP)として扱われ、Farahani, R. Z. et, al.(2013)がまとめているように、交通計画分野だけでなく、オペレーション・リサーチ(Operation Research; OR)などでも多く取り扱われている。ネットワーク設計問題は、基本的に、施設あるいは都市を接続する道路の容量拡大や旅行速度向上などの施策により、ある目的関数を最適化するという意思決定に関わる上位問題と、施策に伴う消費者の行動変化を交通量均衡配分などにより予測する下位問題の、二段階最適化問題として記述される。上位の最適化問題の目的関数は様々に設定でき、従来は総旅行時間や一般化費用の最小化、消費者余剰の最大化が主流であったが、近年では、Antes, A. et, al. (2003)や、Santos, B. et, al. (2008)が、アクセシビリティの最大化あるいは平準化なども試みている。また、一般的なネットワーク設計問題では、施設や都市の配置条件は所与として扱われるが、Melkote, S. and Daskin, M. (2001)やBigotte, J. F. et, al. (2010)は、施設・都市の配置計画と道路ネットワーク計画の同時最適化モデルの開発に取り組んでいる。

しかしながら、ネットワーク設計問題の上位にある最適化問題では、制約条件下での最適点は求まるが、最適点における絶対値が評価されない。例えば、総旅行時間を最小化する旅行速度の組み合わせは求まるが、それが一定水準の目標旅行時間を達成するものであることを保証するものではない。また、ネットワーク全体を統合した一つの指標で評価するため、個別OD間の旅行時間がどの程度となるかは評価されず、交通量の多いODに結果が依存する例がしばしばみられる。本研究では、あらゆるOD(拠点間)について、ある一定水準のサービスをネッ

トワークが提供可能かどうか、それが不可能であれば、個別道路の性能をどこまで高めれば可能となるかを把握するためのものである。従って、最適点を求めることに主眼を置いたネットワーク設計問題の適用は相応しくないと考えられる。

また、ネットワーク設計問題では、施設や都市を連絡する道路は、主に長距離ネットワークのみから成り、リンクの連結性だけが問題となっていたり、アクセス・イグレスの影響は考慮されない場合が多い。一方、本研究では、図-1.3に示したように、施設から長距離ネットワークへのアクセス・イグレス部分も含めた評価や、階層構成の変更によるラインホールとなる階層の変化・トリップ長に応じた分離状況なども考慮して階層構成代替案の評価を行う。

2.5.3 円滑性・拠点間連絡性能以外の機能に着目した研究

この他に、階層型道路に関する研究として、災害時における信頼性(朝倉ら, 1998)、交通安全性(Dijkstra, A., 2011)や、歩行者の横断しやすさ(柏谷ら, 1998)に代表されるような自動車以外の利用者の観点による機能などを扱った研究もみられる。

本研究では、まずは最も基本となる平常時を対象とし、道路の第一義的機能である交通機能を考慮して、道路の階層構成を決定し、各階層に目標旅行速度という性能評価指標を定めるが、これが行われれば、付加的な形でそれぞれの階層に対して、既往研究で検討されている安全性、信頼性などに関する性能目標を設定することで、より多様な機能・利用者を考慮した階層構成を規定できるものとする。

2.6 本研究の位置づけ

本研究は、現状の日本の道路計画において性能が照査されず、これにより道路交通を効率的かつ円滑に運用するための機能階層化が達成されていないという課題を受け、性能照査型道路計画手法の導入、階層型道路ネットワークへの再編に際して必要となる、道路の階層別目標旅行速度および道路間隔を設定するものである。機能階層型道路ネットワークでは、それぞれの道路の担う機能、主たる利用者を考慮して、適切な性能評価指標を用いることが前提であるが、ここではその第一段階として、まずは自動車のトラフィック機能に着目し、旅行速度を用いて性能目標を設定することに留意が必要である。

また、上位計画と道路の計画・設計・運用の一貫性を重視し、拠点間目標旅行時間を達成するための道路ネットワークの必要条件を求めることで、道路の目標旅行速度を設定する。このため、道路全体の連絡すべき拠点の配置条件や地勢条件を反映する手法を構築する。

本研究では、財政制約の厳しくなる将来に向けた道路計画手法を提案するものであることから、既往研究にみられるような、交通需要の多い道路に高い目標旅行速度を設定する手法ではなく、どのような場所を連絡するかという本来的機能に基づいて目標旅行速度を設定する手法を提案する。また、ネットワーク全体の総旅行時間などの統合された指標による最適点を探索

するのではなく、連絡すべき全てのODに対して、達成可能な旅行時間の絶対値を持って評価を行い、これにより道路ネットワークに必要な性能を現状道路が持っているかどうかの評価や改良案の検討を行うものである。

第3章 拠点の定義と目標旅行時間の提案

第1章に述べた通り、本研究が提案する機能階層型道路ネットワーク計画手法では、道路ネットワークの担保すべき拠点間連絡性能として拠点間に目標旅行時間を設定する必要がある。そこで本章では、国土計画・地域計画との整合性を考慮した上で、道路計画において上位目標となる拠点間目標旅行時間の考え方を提案する。これは、「国土のグランドデザイン2050」の概念に沿う形で、生活機能・都市機能に着目した「拠点」を定義し、この拠点に対して目標旅行時間を設定することで、居住者に対して、各拠点の機能に一定の水準でアクセスできることを担保するものである。ただし、本章はあくまで拠点や目標旅行時間の設定に関する基本的な考え方を提案するものであり、具体的な目標旅行時間の値は仮定しているに過ぎない。

機能階層型道路ネットワーク計画の確立したドイツでは、表-2.5で説明したように、ネットワークの連絡すべき拠点(中心地)と目標旅行時間が明確に定められており、どの都市・集落がどの種類の中心地に該当するかは、州計画に明示される(例えば、Hessisches Ministerium für Wirtschaft, 2000; Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2002; Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 2003)。日本では、これまで道路ネットワークを評価する際に、207生活圈ゾーン(全国幹線旅客純流動調査, 2005)、82都市圏(二層の広域圏を支える総合的な交通体系, 2005)、広域ブロック(国土形成計画/広域地方計画, 2008/09)、都道府県ごとの圏域設定(例えば、静岡30構想(静岡県, 2012)など)など様々な規模で基準となる地域圏が定められ、達成時間に関する評価が行われてきたが、統一された拠点の定義はなく、設定される目標時間も場面ごとに若干異なっていた。

3.1 「拠点」の定義

Sahin et al.(2005)など多くの施設配置問題が取り扱っているように、各種拠点施設には利用頻度と勢力圏による階層が存在する。例えば、商店や診療所などは日常生活で頻繁に利用されるが1施設あたりの勢力圏が小さく、高度なサービスが受けられる百貨店や第三次救急医療施設などは利用頻度は低いながら1施設あたりの勢力圏が大きい。従って、それらの施設が集約して形成される拠点領域もまた、大都市のような高次機能のもの、日常生活に必要な機能だけのもの、居住以外の機能がないもののように、階層性ができることになる。

このような施設の階層性と拠点の機能を考慮し、ドイツでは州計画によって、各都市・集落が表-2.5に示されるどの種類の中心地に該当するかを定めている。例えば、バイエルン州(Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 2003)では、医療、社会保障、教育、公共交通、官庁裁判諸などの施設のうち、その中心地が有する個数が基準数を満たすかどうかを一つの基準としている。

本研究もこの考え方を踏襲し、日常生活や都市活動に必要な各種サービス・機能を提供する施設を「拠点施設」、拠点施設が集約された領域のことを「拠点領域」と定義する。拠点領域の周囲には、拠点のサービス・機能を享受するサービス圏域・勢力圏が形成されている。これら拠点施設や拠点領域からなる階層性を本研究では、「拠点階層」と呼び、表-3.1の通り5段階に定義するものとする。

「国土のグランドデザイン2050」(国土交通省, 2014)の基本方針では、「コンパクト+ネットワーク」を掲げており、市役所、医療、福祉、商業、教育等の都市機能や居住機能を集約した拠点を形成するとともに、それらをネットワークで効率的に連絡することにより、質の高いサービスを提供し、生産性を高めることを目標としている。本研究の提案は、このような日本の将来的な地域構造を想定しつつ、どこに何の機能を集約すべきか考慮する上での参考とするため、拠点を段階的に定義するものである。また、集落・住区拠点間と大都市拠点間のように、機能や人口規模、経済規模が異なる連絡では、人々の希望する(または、許容できる)円滑性の度合いが異なるため、このような階層的な拠点設定と整合する形で、階層的な道路ネットワーク構成とすることで、より効率的な道路ネットワーク整備が行えることを念頭においている。

表-3.1において、**大都市拠点**とは、国土計画上重要な交通施設や行政施設、国際機関などの大都市拠点施設MEF(METropolitan Facility)を持つ最も上位の拠点階層である。大都市拠点施設MEFが集積することで、三大都市圏や地域ブロック中心都市のような大都市拠点領域MEA(METropolitan Area)が形成され、国土の骨格となる。

高次都市拠点とは、行政、医療、教育などに関する高次都市拠点施設UUF(Upper Urban Facility)を有する拠点階層である。高次都市拠点施設UUFが集積して、高次都市拠点領域UUA(Upper Urban Area)が形成される。高次都市拠点施設UUFの例は表2-1-1の通りであるが、一つのUUAにこれら全施設を有するものを完結型、一つの領域内には全施設を有さず近隣のUUAと一部機能を相互補完する必要があるものを相互補完型と定義する。相互補完型は、「国土のグランドデザイン2050」による「高次地方都市連合」(行政、企業、大学、病院などのうち高次な都市機能を、複数の地方都市が分担・連携して提供するもの)を想定したものである。このような高次な都市機能を持つ拠点に関する記載は、総務省による「地方中枢拠点都市」や経済産業省による「都市雇用圏」とも概ね一致しており、人口減少・高齢化が進む日本の将来的な国土再編に向けて不可欠な拠点のあり方のひとつといえよう。

生活拠点とは、駅、市役所、一般病院、大型ショッピングセンター、高等学校など生活の中心となる生活拠点施設LUF(Lower Urban Facility)を有する拠点階層である。これらが集積して中心市街地(DID地区)のような生活拠点領域LUA(Lower Urban Area)が形成される。

小さな拠点とは、商店・診療所・郵便など生活に必要な最低限の小さな拠点施設SMF(Small Facility)を有する拠点階層であり、これらが集積して小さな拠点領域SMA(Small Area)が形成される。小さな拠点は、「国土のグランドデザイン2050」に図-3.1の概念図で示される通り、日常生活を支える機能をコンパクトに集積した拠点である。このため、一つの拠点領域SMAで、生

活に最低限必要な機能が全て揃っていること、かつこの領域SMAが徒歩圏で移動可能な大きさになっていることが望ましいといえる。

集落・住区とは、基本的には都市・生活機能を持たない、最も下位の拠点階層であり、居住地を代表する拠点である。この階層の拠点施設CMF(CoMmunity Facility)には、居住者の集会施設などが当てはまる。一つの集会施設で区切られる集落・住区などの単位領域をCMA(CoMmunity Area)とする。

以上より、基本的に、拠点階層が上位であるほど拠点領域は大きく、下位であるほど小さくなる。しかし、大都市拠点であれば国土全体、高次都市拠点であれば地域全体といったように、拠点階層に対応したスケールで見た場合には、いずれも拠点領域を点とみなすことができる(図-3.2上段の図)。これが「拠”点”」という語を用いるゆえんである。

なお、ある階層の拠点領域は、それより下位の拠点領域を内包する場合がある。一つの拠点領域が複数の下位拠点領域を内包する場合も多い。例えば一般的に、拠点領域内には拠点施設だけではなく居住施設(とみなせる関連施設)も付随しており、SMA(小さな拠点領域)より上位の拠点領域にはCMA(集落・住区)が内包されていると考えてよい。また、東京・大阪・名古屋のような大都市拠点領域の中には、高次都市拠点・生活拠点・小さな拠点の機能を持つ地区が複数存在していると捉えることができる。すなわちMEA(大都市拠点領域)に複数のUUA(高次都市拠点領域)やLUA(生活拠点領域)、SMA(小さな拠点領域)が内包されているとみなせる。このような拠点領域の内包関係の概念図を図-3.2の中・下段に示す。



図-3.1 「小さな拠点」の概念(「国土のグランドデザイン2050」(国土交通省, 2015)より)

表-3.1 本研究における拠点の定義

拠点階層	拠点施設 Facility		拠点領域 Area		拠点領域の具体例	
	略称	具体例* (機能と対応)	略称	めやすとなる範囲		三大都市圏 内の場合
三大都市圏 大都市圏 都市拠点	MEF	のぞみ停車駅, 国際空港など	MEA	第二環状 道路内部	東京, 名古屋, 大阪	—
				都市域	仙台, 新潟, 広島,福岡など	—
高次都市 相互補 完型	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	市街化 地域	秋田, 千葉, 浜松, 京都, 神戸, 岡山など	新宿, 品川, 栄, 梅田, 難波など
					花巻+奥州+一 関, 松江+米子, 三島+沼津な ど	—
生活拠点	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	中心 市街地 (DID地区)	伊豆, 下田, 一宮, 多治見 など	中野, 高円 寺, 金山, 千里など
小さな拠点	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	学区	旧町村, 学区など	学区など
集落・住区	CMF	集会所, 自治会	CMA	住区・集落	X丁目など	X丁目など

*上位の拠点はそれより下位の拠点で提供される機能(施設)を包含することを前提とする。

での連絡ということになる。

②相互・連携とは、同階層どうしの拠点間を結ぶ連絡であり、各拠点施設の機能を保持するための機能の相互補完や連携・交流を行うためのものである。それぞれの拠点領域が独立しており、その拠点階層の持つべき全ての機能を補完できる状態においては、この連絡は必要ないが、現実には、日本の拠点領域どうしは、地域的に特化した機能や過不足する機能の交換・補完を行っており、これにより文化的交流や経済の活性化が実現していると考えられるため、この連絡の重要性は高い。

3.2.2 目標旅行時間の設定

上記の確保すべき拠点間連絡に対して道路ネットワーク全体が達成すべき上位目標として、本研究では、ドイツの指針RIN(表-2.5)同様に、①個別居住施設から各拠点施設への目標旅行時間、および②同階層の隣接する拠点施設間の目標旅行時間を設定することを提案する。今回、目標旅行時間の値は、それぞれの連絡の主たる目的を考慮し、表-3.2のように仮設定する。

①個別居住施設から各階層の拠点施設までの目標旅行時間(表-3.2①)は、図-3.3が示すように、個人がどの程度の所要時間で各拠点階層の拠点施設に到達できるようにするかを担保するものである。この目標は、居住者がそれぞれの拠点で提供される機能に対して、ある一定の水準でアクセス可能であることを担保するものである。具体的な値は、今回は経験的に仮設定したものであり、人々の行動パターンや生活圏、拠点階層に向かう目的を考慮して決定すべきである。

②同階層の直近拠点施設までの目標旅行時間(表-3.2②)は、拠点間の補完・連携のための目標である。単独でその拠点階層たる拠点施設を全て持たない拠点にとっては、この連絡を確保する重要性は特に高い。この代表である高次都市拠点の相互補完型については特に、「国土のグランドデザイン2050」による「高次地方都市連合」を参考に1時間以内とし、完結型のUUCと区別している。

なお、ここでいう「拠点施設」は、同じ拠点領域内についても各種様々存在し、そのそれぞれを評価対象として設定しうる。しかし実務上は、便宜的に、拠点領域内の代表点(Center; 領域の機能を代表するに最も相応しい施設、あるいは拠点領域の重心(セントロイド)など)を用いて評価を行うことが現実的であると考えられる。従って、これ以降、このような代表点を、単に「○○拠点」と呼ぶこととし、MEC、UUC…などと表記する。これと同様に、「個別居住施設」は、実際の評価の際には、それを代表する施設、すなわち「集落・住区CMA」の代表点CMCにより代替するのが現実的である。よって、「①個別施設から拠点まで」は、「CMC(集落・住区)からそれより上位の拠点まで」と読み替えられることになる。なお、これ以降、このような拠点代表点の考え方をを用いて、目標旅行時間に対応した拠点間連絡について、起点と終点の拠点名称を「-」(ハイフン)で繋ぎ、「CMC-SMC」(集落・住区から小さな拠点まで)、「LUC-LUC」(生活拠点間)などと表すものとする。

ここで重要なのは、目標旅行時間はトリップの実際の起終点となる施設に対して設定される

点である。これは例えば、拠点領域間を結ぶ都市間高速道路や高規格道路のようなラインホールとなる道路だけに着目するのではなく、拠点領域内に存在する施設からラインホールとなる道路までのアクセス・イグレスを含めた経路全体を評価しなければならないことを意味する。このような経路全体の評価を行うことで、アクセス・滞留機能を優先する低速の道路も含めた、道路ネットワークの階層構成を考慮することが可能になる。このような経路全体の評価を行うことは、アクセス・イグレス距離の長くなりがちなMEC-MEC(大都市拠点間)やUUC-UUC(高次都市拠点間)などの連絡にとって、特に重要であるといえる。

なお、表-3.2の値は、将来的な拠点の再配置によって、都市・生活機能を持つ施設が集約されることを見据えて設定している。従って、現状の施設・居住地の配置のままでは、目標旅行時間の達成が困難な箇所が少なからず存在すると予想される。今回、表-3.2の値自体は、あくまで仮設定したものであるため、実際の地域に適用するにあたっては、許容できる生活水準の地域差や地形制約などを考慮して補正を行うことが避けられないと考えられるが、一方で、国土全体で、ある一定の水準を担保するためには、道路ネットワークの性能をどこまで向上させなければいけないか、またどれだけの拠点を再配置しなければならないのかといった検討を行うておくことの意義は大きいと考えられるため、本研究は一意的値を用いる。

表-3.2 目標旅行時間

拠点階層	目標旅行時間	
	①個別住居施設から拠点*まで	②同階層の直近拠点*まで
大都市拠点 MEC	≤3.0h	≤3.0h
高次都市拠点 UUC	完結型	≤1.0h
	相互補完型	≤1.0h
生活拠点 LUC	≤30min	≤45min
小さな拠点 SMC	≤15min	≤20min
集落・住区 CMC	徒歩圏内	徒歩圏内

*拠点領域内の代表点(Center;代表点)を用いて評価する。

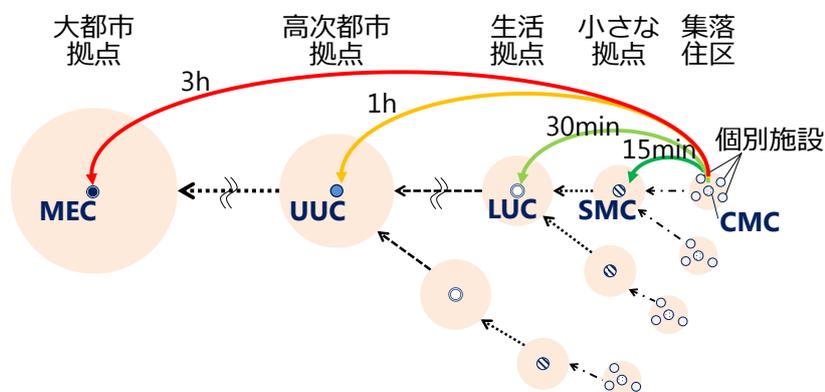


図-3.3 個別施設から拠点までの目標旅行時間の概念図

3.3 道路ネットワークの階層構成決定に際して考慮すべき拠点領域間の距離の違い

通常、拠点領域間の距離は、下位の拠点階層ほど短く、上位の拠点階層ほど長いのが一般的である。ただし、拠点領域の配置密度は地域によって様々であるため、同じ拠点階層同士の連絡であっても、実際の拠点間距離にはバラツキがある。例えば、上位の拠点領域に内包される拠点間を連絡する場合には、そうでない拠点間を連絡する場合と比べて、拠点間距離は短くなることが多い。

一方、表-3.2からもわかるように、公平性を考慮すると、目標旅行時間を設定する場合には、拠点階層が同じであれば、拠点間距離に関わらず、一意に与えられる。従って、拠点間距離が長い場合の方が短い場合に比べて高速の道路で連絡しなければならないことになる。道路の目標旅行速度は、このような拠点間距離による影響を考慮して選択する必要がある。このような拠点配置と道路に必要な性能の関係を明らかにすることが本研究の目的である。

さらに踏み込むと、拠点間距離が長すぎる場合には、道路の旅行速度がいかに高くても、目標旅行時間を達成できない状況や、理論上は達成可能であっても費用がかかり過ぎてしまう状況が生じる。例えば、限界集落のようにCMA(集落・住区)が点在しており、それぞれとSMA(小さな拠点領域)の間の距離が極めて長いような地域において、このような状況が発生していると予想される。本研究では、拠点配置は前提条件として道路ネットワークの計画のみを取り扱うが、道路ネットワークで現実的に達成可能な拠点間連絡性能を定量的に示すことで、このような拠点配置上課題のある地域を明示し、拠点再配置を促すことも視野に入れている。将来的には、拠点配置計画と道路ネットワーク計画が一体になった検討にも活用が期待される。

3.4 まとめ

本章では、「国土のグランドデザイン2050」に示される概念を反映する形で、日本における「拠点」を、その機能に応じて五段階に階層的に定義した。この拠点に対して、個別施設からの目標旅行時間、同階層の隣接拠点間の旅行目標時間を設定することで、道路ネットワーク計画の上位目標となる拠点間連絡性能を設定する考え方について示した。この中では、機能を提供する拠点施設とそれらからなる拠点領域によって空間的な広がりを持つ「拠点」の概念、および拠点領域内の代表点によって評価を行う考え方について整理を行った。さらに、道路の階層構成決定に際して重要となる拠点間距離の影響の概要について、なお、本章で示した拠点間の目標旅行時間の値自体は、あくまで仮設定したものであり、将来的に目標とする生活水準や、実現のためのインフラ整備費用等を考慮して、より適当な値を決定する必要のあるものである点を、ここに再度注記しておく。

第4章 日本における拠点配置および地勢条件の分析

本章の目的は、将来の機能階層型道路ネットワーク計画において、前提条件とする拠点配置および地勢条件を明らかにすることである。日本は、南北に縦長かつ山河の多い国土により、都市圏に人口が密集する一方、山間部や地方部に集落がまばらに点在しているといった拠点配置上の特徴を持っている。また、このような条件下で発達してきた現状の道路ネットワークは、山地部において迂回が大きく、平面線形や勾配の影響で速度が出にくいといった制約を抱えている路線も多い。将来に向けた中・長期的な道路ネットワーク再編計画を立てる際も、このような地勢条件による影響は避けられない。そこで本章では、前章で定義された「拠点」となり得る箇所を、実際に日本の地図上から抽出し、道路ネットワークによって連絡すべき拠点間距離の分布状況を分析する。また、道路ネットワークの機能階層構成を検討する際に、前提条件として扱う自専道ネットワークとの位置関係についても併せて分析する。さらに、制約条件として考慮すべき地勢条件について把握するため、経路の迂回状況、山地部・平地部での旅行速度の違いについて調べる。

4.1 地図情報システムを用いた拠点の抽出

4.1.1 分析使用データ

本研究では、地理情報システム(GIS)を用いて、拠点の抽出と拠点間距離、自専道ICまでの距離の計測等を行う。この分析には、国土交通省により一般公開されている国土数値情報のうち、

表-4.1 国土数値情報の使用データ概要

データ名称	作成年度	参照データ	使用概要
市町村役場等及び 公的集会施設	H22年度	市町村役場, 集会所等の位置	拠点代表点(CMC, SMC, LUC, UUC)として使用
公共施設	H18年度	都道府県庁の位置	拠点代表点(UUC, MEC)として使用
		警察機関, 学校, 病院, 郵便局の位置	拠点代表点(LUC, SMC)の特定に使用.
高速道路時系列	H26年度	高速自動車国道・高速自動車国道に並行する自動車専用道路・一般国道の自動車専用道路・本州四国連絡高速道路およびそのインターチェンジ位置	自動車専用道路(自専道)ネットワークとして使用
鉄道	H26年度	駅の位置	拠点代表点(LUC)の特定に使用
人口集中地区	H22年度	人口集中地区(DID地区)の位置	市街地内/外の判別に使用

表-4.1に示すものを用いる。使用ソフトウェアは、ESRI社のArcGIS for Desktops 10.3である。

4.1.2 拠点の抽出条件

ここで得られる分析結果は、道路ネットワークの将来計画の前提条件とするものであるため、現在ではなく将来の拠点を抽出する必要がある。そこで、従来の行政区分等による分類ではなく、表-3.1に示したような、拠点施設に代表される機能を重視して抽出を行う。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持続可能性を考慮し、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る。本稿では、以下に述べる判定基準によって、各階層の拠点代表点を設定した。ただし、今回の分析では北海道と沖縄は対象外とする。

➤ 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(北海道・東北・首都圏・北陸・中部・近畿・中国・四国・九州)の代表都市を抽出する。代表点は東京・仙台・新潟・名古屋・大阪・広島・博多にある都府県庁舎とする。

➤ UUC(高次都市拠点)

表-3.1の条件を考慮して、高次な機能を持つ都市を抽出する。具体的には、①都道府県庁所在地および、それ以外の②政令指定市(川崎・相模原・浜松・堺・北九州)、③新幹線ひかり停車駅を有する市(三島・豊橋・姫路・福山)、④「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(八戸・郡山・つくば・栃木・足利・長岡・松本・長浜)とする。代表点は、①では都府県庁舎、②、③、④では市役所庁舎とする。

➤ LUC(生活拠点)

表-3.1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。

なお、上位拠点は下位拠点の機能を内包するという仮定のもと、例えばLUC(生活拠点)は、それより下位のSMC(小さな拠点)やCMC(集落・住区)としてもみなせるものとする。

ここで、3.2.2項などにも述べた通り、道路ネットワークの拠点間連絡性能を考慮する際には、拠点へのアクセス・イグレスの影響が非常に重要である。このため、拠点周辺の土地利用状況、

特に道路ネットワーク計画の観点からは沿道立地からの出入が頻繁にあるかどうかを、拠点抽出時に併せて把握しておく必要がある。これについては、本来は、拠点施設により形成される拠点領域内では沿道出入を考慮し、その外では考慮しないという区別を行うのが妥当と考えられるが、現在の日本においては、まだ拠点施設郡が充分集約されていないこともあり、現在利用可能なデータでの拠点領域の特定が困難であることから、今回は、人口集約地区(DID地区)を用いて便宜的に判別を行う。これ以降、DID地区内を「市街地内」、それ以外を「市街地外」と呼ぶこととする。3.1節の定義では、いずれの拠点階層にも拠点領域が存在し、全ての拠点代表点は、大小の違いはあれど拠点領域内に存在することになる。一方、今回の「市街地内」の判別では、拠点階層の低いCMC(集約・住区)、SMC(小さな拠点)、LUC(生活拠点)については、必ずしも全ての拠点が市街地内に存在することにはならないことに留意されたい。これは、このようなDID地区外の拠点は、その拠点領域が小さいため、「市街地内」における沿道出入の影響が非常に小さいものと考えての仮定である。

4.1.3 距離の計測方法

拠点間を連絡する道路の目標旅行速度を設定するに当たっては、目標旅行時間が設定される「①CMC(集約・住区)から上位の拠点まで」および「②同階層の隣接拠点」の二種類の連絡に対応した拠点間距離を把握する必要がある。そこで、この二種類の拠点間距離をGIS上で計測する。ただし、①については、上位の拠点は下位の拠点の機能を包含するという仮定のもと、例えば、図-4.1に示すように、あるCMC(集約・住区)について、SMC(小さな拠点)よりもLUC(生活拠点)の方が近くにある場合、「CMCからSMCまで」の距離を計測する際に、LUCが抽出されることになる。なお、この場合、同一のCMCについて、「CMCからLUCまで」の距離は、「CMCからSMCまで」の距離と等しいことになる。「CMCからLUCまで」の目標旅行時間は30[min]で、「CMCからSMCまで」の15[min]より長いため、この場合の「CMCからLUCまで」の目標は、「CMCからSMCまで」の目標が達成された時点で同時に達成されることになる。従って、このような「CMCからLUCまで」の拠点間距離は抽出しない。

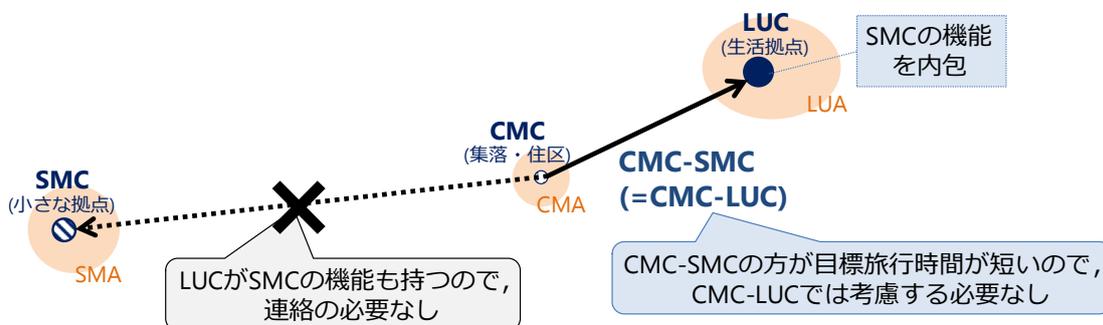


図-4.1 直近の上位拠点の抽出に関する留意点

また、本研究においては、高速自動車国道・高速自動車国道に並行する自動車専用道路・一般国道の自動車専用道路・本州四国連絡高速道路は、将来道路計画において前提条件として取り扱い、併せて自動車専用道路(以降、自専道)と呼ぶこととする。都市内高速道路については、上記の都市間を連絡する自専道とは、実現可能な旅行速度などの性能が大きく異なるため、ここでは除外する。本章では、各拠点から自専道のインターチェンジ(以降、自専道IC)までの距離の計測も行う。

計測距離は、ユークリッド距離すなわち拠点間の直線距離とする。このため、**第5章**以降で道路ネットワークの階層構成代替案を検討する際には、道路ネットワーク形状や地形による迂回の影響を考慮する必要がある。4.5.1項の迂回に関する実態分析は、このための準備として位置づけられる。

4.2 拠点の抽出結果

前述の条件によって、北海道、沖縄を除く本州・九州・四国において、**表-4.2**に示す総数の拠点が抽出できる。これより、UUC(高次都市拠点)は62箇所、SMC(小さな拠点)は4314箇所が抽出されている。「国土のグランドデザイン2015」によれば、「高次地方都市連合」は全国60~70箇所(なお、総務省による連携中枢都市圏は全国61箇所)、「小さな拠点」は全国5000箇所程度となる計画であり、今回の抽出拠点数は概ね合致しているといえる。

拠点階層が上位であるほど、「市街地内」(DID地区内)に存在する割合が高い。

今回は、比較参考とするため、階層型道路ネットワークが発達しているドイツの拠点配置状況も併せて分析する。ドイツの拠点データはシュトゥットガルト大学Chair of Transport Planning and Traffic Engineering(Lehrstuhl Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik)により提供された中心地の位置情報である。中心地は、RIN(**表-2.5**)により定義される中心地階層によって分類されており、今回はドイツの中心地階層と日本の拠点階層がおおよそ**表-4.2**のように対応関係にあるとみなせるものとする。ドイツの自専道ネットワークデータについては、無償提供されているOpenstreetmap (Geofabrik GmbH and OpenStreetMap Contributors)の”motorway”を用いる。市街地の判別については、日本で用いたDID地区に相当するデータが入手不能であったため、全て「市街地外」とみなすものとする。ドイツでは、土地利用が厳しく制限されており、市街地・居住地は中心地の周囲にコンパクトに集約していることから、この仮定で大きな支障はないと考えられる。

表-4.2 抽出された拠点数

拠点階層	日本			ドイツ*		
	総数	市街地内 (DID地区内)	市街地外 (DID地区外)	市街地内(DID 地区内)の割合	対応する中心地	総数
MEC	7	7	0	(100.0%)	MR	52
UUC	62	59	3	(95.2%)	OZ	219
LUC	969	676	293	(69.8%)	MZ	1186
SMC	4314	2519	1795	(58.4%)	GZ	3935
CMC	53432	15847	37585	(29.7%)	G	11444

*MEC, UUC, LUCについては、近隣諸国の拠点を含む

4.3 全国的な拠点間距離の分布状況

ここではまず、日本の拠点配置の全国的な傾向を把握するため、北海道・沖縄を除く全都府県において抽出された拠点(表-4.2)を用いて、拠点間距離の分布傾向を分析する。

図-4.2, 図-4.3は、日本、ドイツ両国の大都市拠点・高次都市拠点を地図上にプロットしたものである。これより下位の拠点については、地域ごとに次節以降で詳細に示す。

日本、ドイツのCMC(集落・住区)から上位拠点まで、同階層の隣接拠点までの拠点間距離の分布を図-4.4, 図-4.5にそれぞれ示す。ただし、日本(図-4.4)については、起終点の両方が、連続したDID地区からなる市街地内に存在する場合の拠点間距離は、他と区別し点線で分布を描いている。

これより、市街地外の拠点間の分布形状自体は、日本、ドイツどちらも大きな差がないことがわかる。しかし、両者を比較すると、(a)集落・住区(CMC)から上位拠点までの拠点間距離は、ドイツより日本の方が長く、分散が大きくなっている。これは、日本はドイツに比べて土地利用制約が弱く、市街地・居住지가拡散する傾向にあることや、山間部に集落がまばらに点在していることによるものと考えられる。一方ドイツは、上位拠点の周辺に集落・住区がコンパクトにまとまっているといえる。

一方、(b)同階層の隣接拠点間の距離は、日本よりドイツの方が長い。これは、日本は山河が多く都市や中心市街地が限られた土地に集約して発達してきたのに対して、ドイツは土地が平坦で、小国から連邦制を経て国家が統一された経緯もあり、都市が分散して発達してきたことによると考えられる。

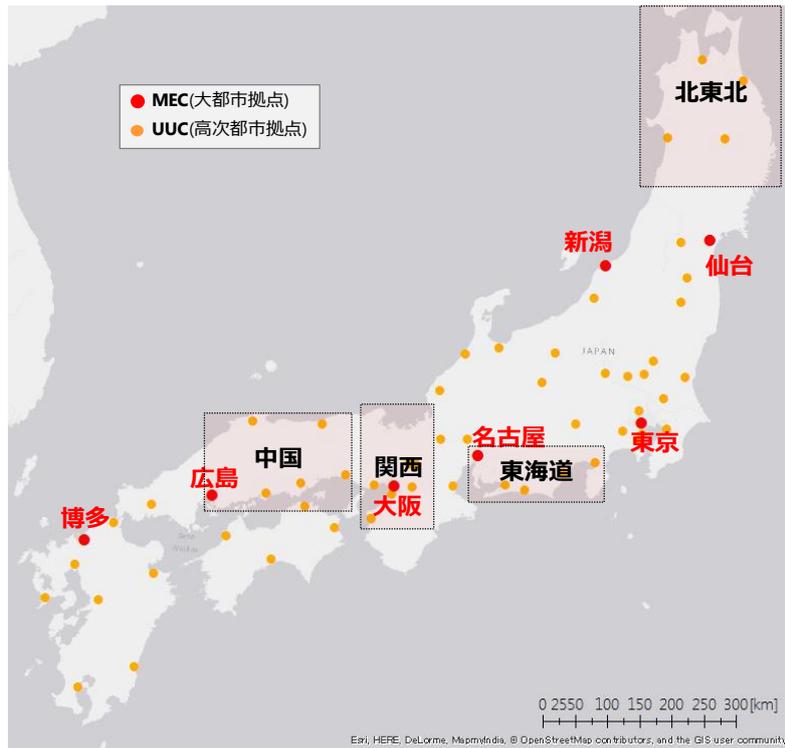


図-4.2 日本の大都市拠点・高次都市拠点の分布

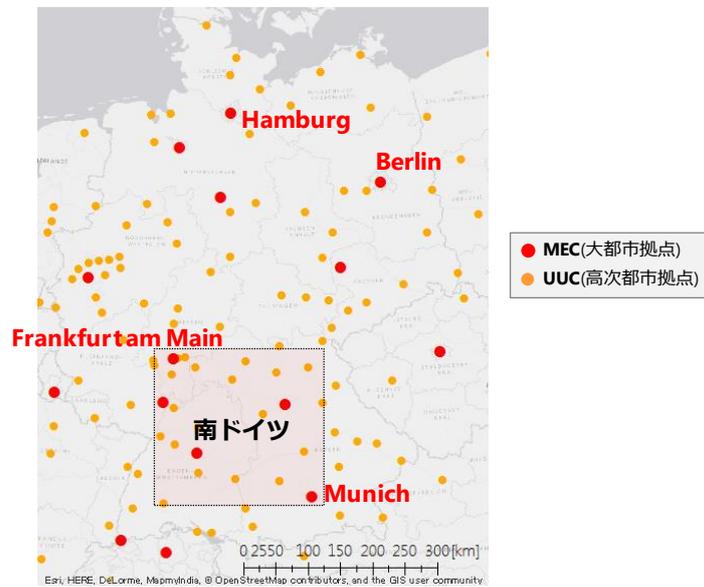
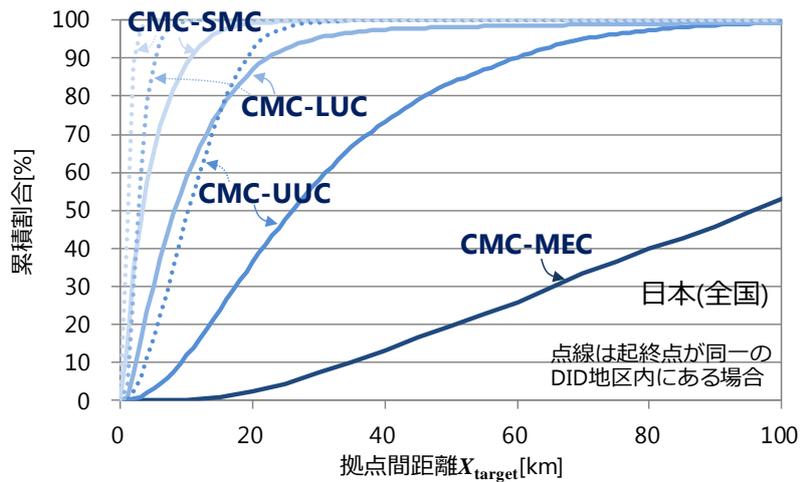
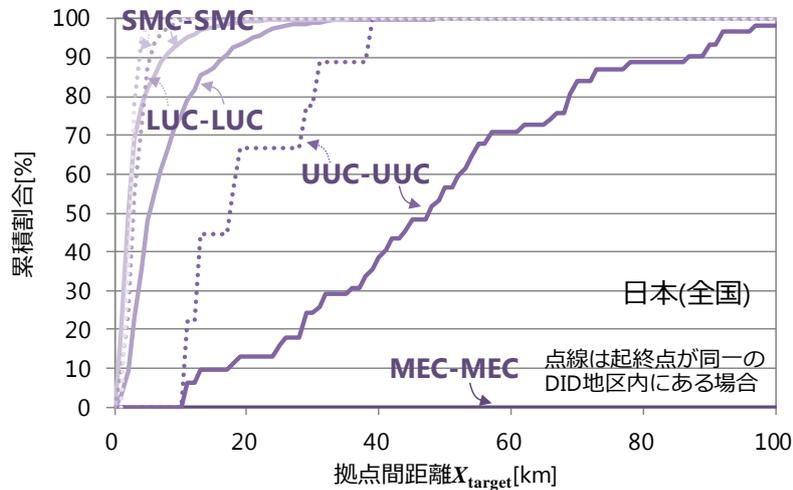


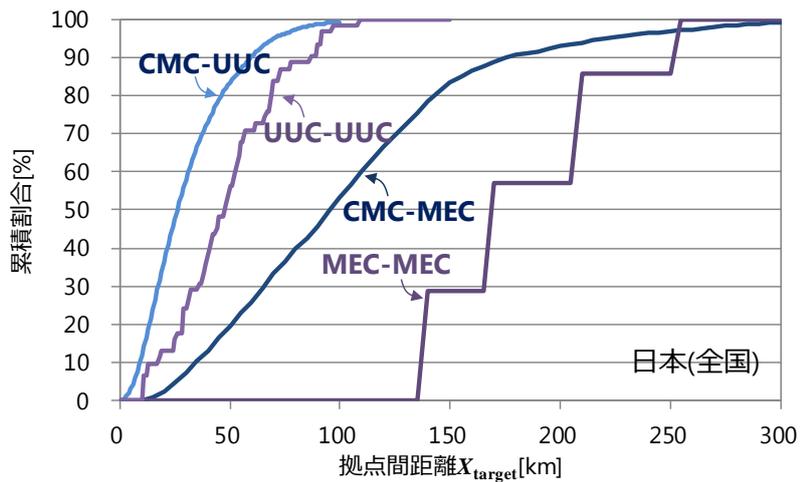
図-4.3 ドイツの大都市拠点・高次都市拠点の分布



(a) CMC(集落・住区)から上位の拠点まで

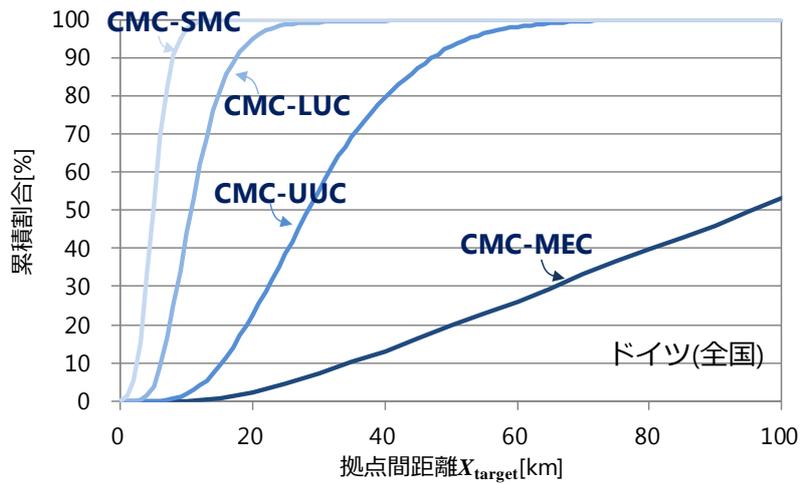


(b) 同じ階層の隣接拠点まで

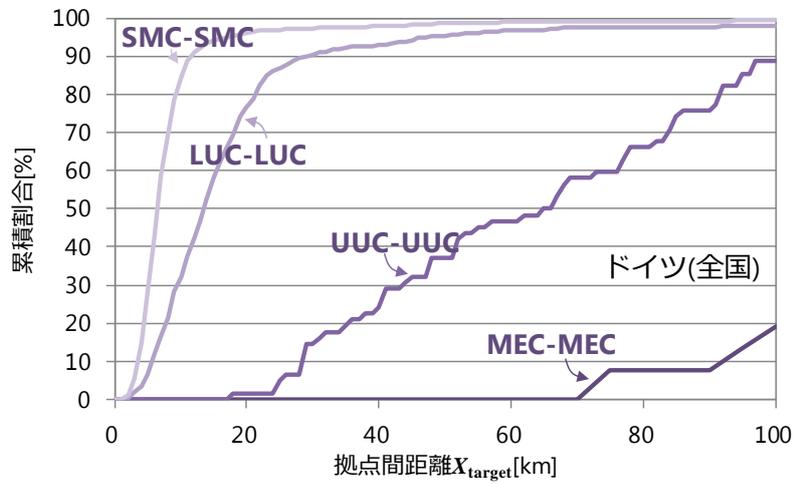


(c) 大都市・高次都市拠点関連の長距離連絡

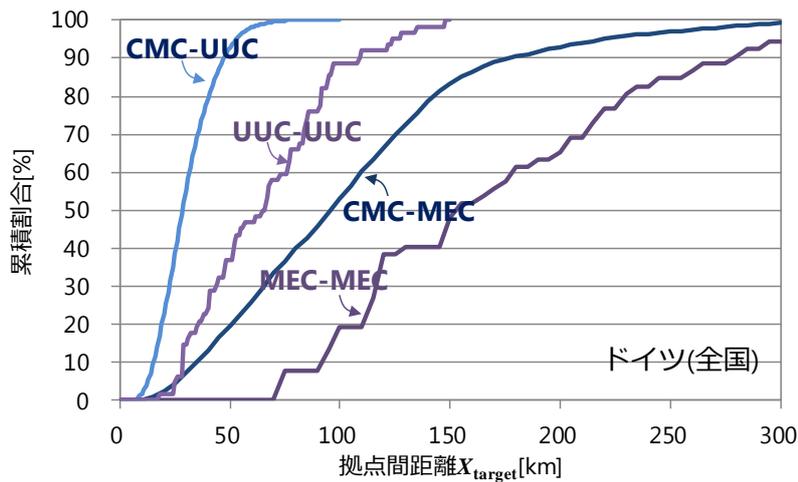
図-4.4 日本における拠点間距離の分布(北海道, 沖縄は除く)



(a) CMC(集落・住区)から上位の拠点まで



(b) 同じ階層の隣接拠点まで



(c) 大都市・高次都市拠点関連の長距離連絡

図-4.5 ドイツにおける拠点間距離の分布

4.4 地域特性の分析

さらに詳細に地勢条件や土地利用条件、発展状況などを考慮した地域的な特性を把握するため、これらの特性が異なると考えられる五地域について分析を行う。

4.4.1 分析対象地域

分析対象とする五つの地域周辺の拠点配置状況を図-4.6に示す。

ここでは、単に行政区分等に対象地域を選定することにより、例えばCMC(集落・住区)からUUC(高次都市拠点)のように、県境を跨いで連絡すべき拠点間が抽出されなくなってしまうのを防ぐため、以降に述べる方法で拠点を抽出する。まず対象地域において、以降に述べる特徴的な配置を持つUUC(高次都市拠点)を選定する。図-4.6において、対象となるUUC(高次都市拠点)は、()内を除く太字で地名の書かれた箇所である。次に、選定されたUUC(高次都市拠点)を直近とするCMC(集落・住区)を抽出する。図-4.6に描かれたCMC(集落・住区)は、全てこの条件により選定されたものである。さらに、このCMC(集落・住区)から直近の上位拠点SMC(小さな拠点)、LUC(生活拠点)を抽出する。

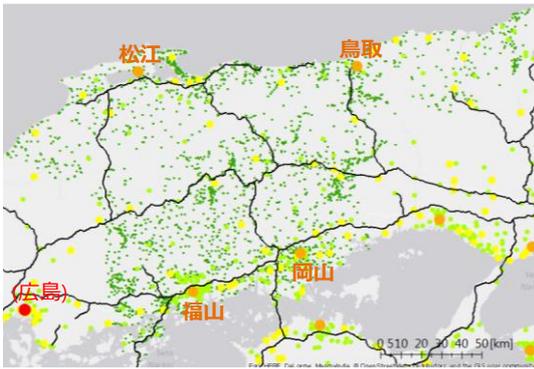
図-4.6の(a)中国地域は鳥取・松江・岡山・福山、(d)北東北地域は青森・八戸・秋田・盛岡というそれぞれ4つのUUC(高次都市拠点)に基づいて抽出した地域である。これらの地域は、大都市圏から比較的遠い地方部にあり、山地部が多く都市部が少ない。このため、UUC(高次都市拠点)が、互いから遠く離れて配置している特徴がある。これとは対称に(b)関西地域は、大阪・堺・神戸・奈良・京都・大津にまたがる大都市圏地域であり、UUC(高次都市拠点)が高密度に配置している。(c)東海道地域は、三島・静岡・浜松・豊橋からなり、東京-名古屋間を結ぶ線上に位置しており、拠点の分布、自専道ネットワークの発達とも東西方向に卓越する一方、南北方向は粗になっているという特徴がある。これらと比較するドイツの特徴的な地域として、(e)南ドイツ地域を取り扱う。ここは、古くは中心地理論(Christaller, W., 1969)によって、機能を提供する中心地と、それを中心とする正六角形の補完地域(市場地域)からなる階層的かつ規則的な都市階層が理論化されてきた地域であり、均質かつ一様な拠点分布が特徴的である。

(a) 市街地内・外の分類

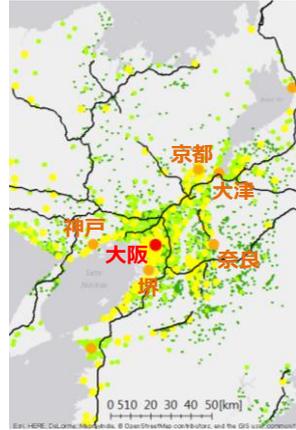
まず、連絡する拠点間の階層ごとに、起終点の市街地内・外の分類を図-4.7に示す。起終点がどちらも連続したDID地区内にある場合の連絡は、「市街地内」連絡であり、それ以外を「市街地外」連絡とする。「市街地外」連絡はさらに、起終点が別々のDID地区内にある「UU」、どちらか一方だけがDID地区内にある「RU」、どちらもDID地区外にある「RR」に細分化できるが、これ以降の拠点間距離の分布については、サンプル数の関係上、これらをまとめて「市街地外」として扱う。南ドイツ地域については、DID地区に対応するデータが入手不能であったため、分類していない。

「市街地内」連絡は、起終点拠点より上位の拠点領域に内包されている状態であるとみなせる。このため、**図-4.7**からもわかるように、拠点階層が上位になるほど、その割合が小さくなる。また、このような連絡は、地方にある中国地域・北東北地域では少ないが、関西地域・東海道地域において多い。

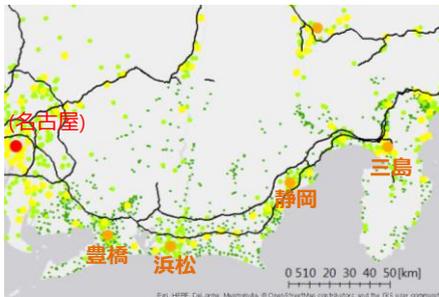
「市街地外」連絡については、拠点階層が高くなるほど、異なるDID地区内にある拠点間を結ぶ「UU」や、DID地区とその外にある拠点間を結ぶ「UR」の占める割合が増加する。これは、**表-4.2**で示したように、上位の拠点ほどDID地区内に存在する割合が高いためである。



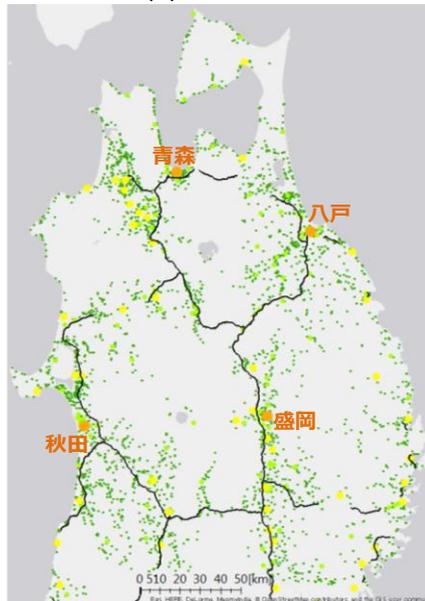
(a)中国地域



(b)関西地域

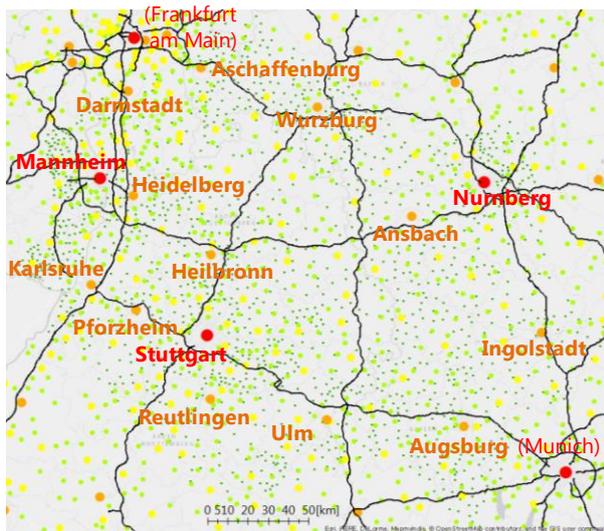


(c)東海道地域



(d)北東北地域

- MEC(大都市拠点)
- UUC(高次都市拠点)
- LUC(生活拠点)
- SMC(小さな拠点)
- CMC(集落・住区)
- 自専道(都市間)



(e)南ドイツ

図-4.6 対象地域

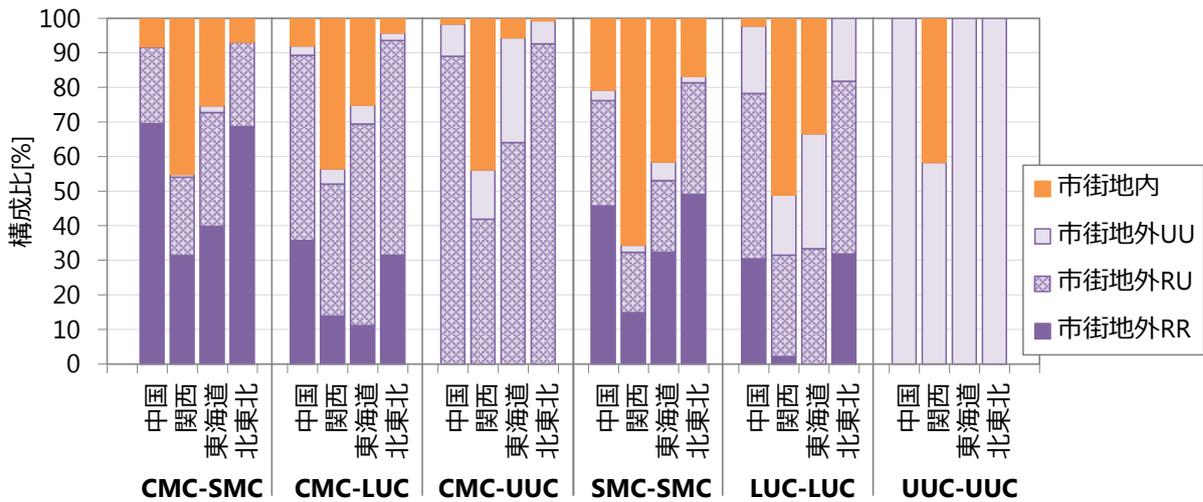


図-4.7 拠点間連絡の種類

(b) 空間的な分布状況

各地域の拠点の空間的な分布状況について、標準偏差楕円を用いて把握する。標準偏差楕円とは、点の集合の散らばり具合を二次元的に把握するもので、図-4.8の例に示すように、楕円長軸・短軸で散布度、長軸の回転角で分布の方向、偏平率で分布形状の偏りを表すものである。

いま、座標 (x_i, y_i) の点の集合 $(0 \leq i \leq n)$ の地理的中心 (\bar{x}, \bar{y}) は、式(4.1)で計算される。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \tag{4.1}$$

このとき、標準偏差楕円の長軸のy軸からの回転角を θ とすると、これは式(4.2)~(4.4)で求めることができる。

$$\tan \theta = \frac{A + \sqrt{A^2 + B^2}}{B} \tag{4.2}$$

$$A = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \tag{4.3}$$

$$B = 2 \sum_{i=1}^n \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\} \quad (4.4)$$

さらに、楕円の長軸・短軸は、回転後の x 方向、 y 方向に平行な標準偏差値(σ_x, σ_y)により、次式(4.5)、(4.6)で得られる。これらのうち小さい値が短軸、大きい値が長軸となる。

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n \{(x_i - \bar{x}) \cos \theta - (y_i - \bar{y}) \sin \theta\}^2}{n}} \quad (4.5)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n \{(x_i - \bar{x}) \sin \theta + (y_i - \bar{y}) \cos \theta\}^2}{n}} \quad (4.6)$$

各地域、各拠点について、この方法により標準偏差楕円を求めた結果を表-4.3に示す。このうちCMCにより形成される標準偏差楕円について、地理的中心を原点におき、各地域の分布形状を比較したものを図-4.9に示す。なお、表-4.3では、分布の方向性・形状だけでなく、空間的な拠点の密度も比較するため、得られた標準偏差楕円内に含まれる拠点数を楕円面積で除した密度も併せて掲載している。

これらより、関西地域は楕円が最も小さい、すなわち拠点の散布度が最小であり、楕円内の拠点密度が最も高いことから、拠点が稠密に集積していることが確認できる。また、東海道地域は、他の地域に比べて偏平率が小さく、分布が東西方向に直線的になっていることも確認できる。北東北地域と南ドイツ地域は、楕円の大きさがほぼ同程度となっており、空間的な散布度は近い傾向にあるが、拠点の密度については、CMC(集落・住区)密度は北東北地域の方が高い一方、それより上位の拠点については、南ドイツ地域の方が高い値になっており、差が見られる。

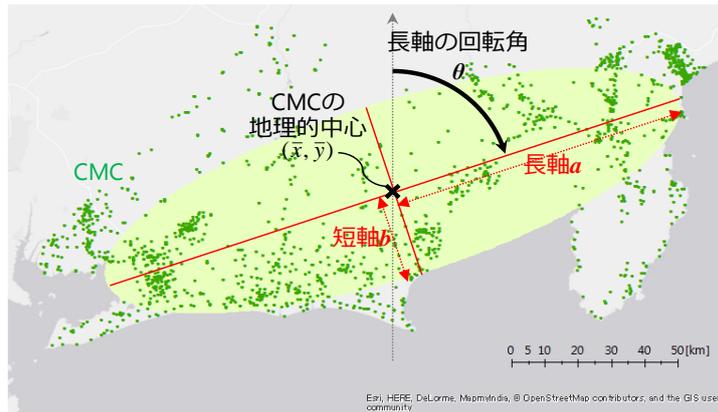


図-4.8 東海道地域のCMC(集落・住区)による標準偏差楕円

表-4.3 標準偏差楕円による空間的分布の傾向

拠点階層	地域	θ [degree]	長軸 $a=\max(\sigma_x, \sigma_y)$ [km]	短軸 $b=\min(\sigma_x, \sigma_y)$ [km]	楕円の 偏平率 b/a	楕円内の 拠点密度 [個/10km ²]
UUC	中国	15	73.3	59.7	0.81	0.01
	関西	55	36.8	18.5	0.50	0.14
	東海道	74	80.1	8.0	0.10	0.10
	北東北	29	82.6	54.8	0.66	0.01
	南ドイツ	114	107.3	71.1	0.66	0.03
LUC	中国	65	91.6	57.2	0.62	0.20
	関西	168	37.1	34.0	0.92	2.42
	東海道	71	92.3	31.9	0.35	0.38
	北東北	153	105.4	71.5	0.68	0.10
	南ドイツ	116	107.0	76.8	0.72	0.31
SMC	中国	51	72.3	52.3	0.72	1.30
	関西	17	36.5	34.4	0.94	8.05
	東海道	71	89.1	29.5	0.33	1.86
	北東北	166	96.5	66.3	0.69	0.42
	南ドイツ	114	112.6	78.9	0.70	1.20
CMC	中国	56	80.8	51.7	0.64	17.76
	関西	153	43.0	35.1	0.82	61.44
	東海道	70	90.8	26.8	0.30	13.85
	北東北	170	98.9	69.7	0.70	9.65
	南ドイツ	116	106.3	76.7	0.72	3.35

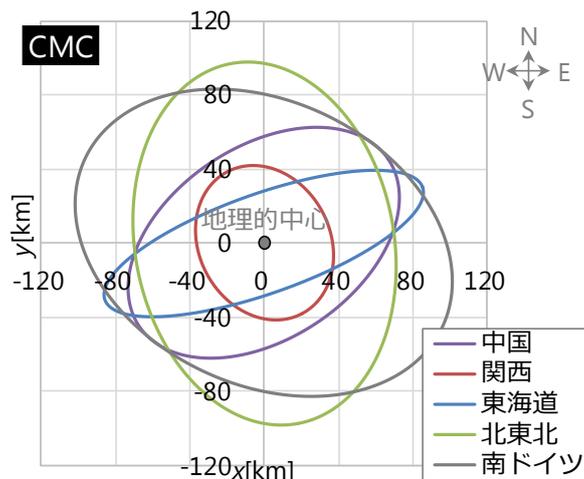


図-4.9 標準偏差楕円(CMC)による拠点の空間的分布の比較

4.4.2 拠点間距離

ここでは、4.1.3項で述べた通り、目標旅行時間が設定される拠点間連絡について、分析対象地域ごと、市街地外・内の別に、距離分布を比較する。ただし、「同階層の隣接拠点間」のうち、UUC-UUC(高次都市拠点間連絡)については、各地域において対象とするUUCが少ないことや、UUC同士が連担するネットワークを形成することが重要と考えられることから、直近だけでなく、二番目に近いUUCへの連絡も含めている。

図-4.11は、市街地外の連絡の拠点間距離分布を示したものである。この図より、(a)CMC(集落・住区)から上位拠点まで、(b)同階層の隣接拠点までのどちらについても、中国地域・北東北地域について他より長い距離となっており、バラツキも大きいことがわかる。これは、地方にあるこれらの地域においては、SMC、LUC、UUCといった上位拠点が他の地域に比べて粗であるためと考えられる。

一方で、関西地域・東海地域についても、(a)CMC(集落・住区)から上位拠点までの距離は、ある程度バラツキが大きい分布となっている。これは、関西地域では京都府・兵庫県北部の日本海側、東海地域であれば伊豆半島のある南側・中央アルプスや富士山に向かう北側などの、拠点が稠密な地域から外れた場所にまばらに点在する集落・住区のためである。

これらに比べ、南ドイツでは、中央値は日本の関西地域・東海地域と殆ど差がないが、各種拠点が均質に分布しているため、バラツキが小さくなっている。ここで、図-4.11(b)同階層の隣接拠点間の値を、中心地理論(Christaller, W., 1969)における中心地間の距離と比較してみる。中心地理論では、図-4.10に示すように、ある中心地の補完地域である正六角形の頂点には、一つ下位の中心地が位置する。よって中心地間の距離は、一つ上位の中心地の補完地域の半径に等しくなる。この理論により示されている補完地域の半径の値より、各中心地間の距離は表-4.4の通りである。これを図-4.11(b)の拠点間距離と比較すると、SMC-SMC(小さな拠点)間連絡は中心地理論のM型、LUC-LUC(生活拠点)間連絡はA型、UUC-UUC(高次都市拠点)間連絡はB型

に近い値に読み取れる。M型は、中心地理論で示される最も低次の中心地であり、実際の地点に応用する際にはMarkt(市集)に該当するとされる。A型は、M型の次に高次の中心地で、Amt(官庁)の所在地に該当するとされるものである。さらに、B型は、M型の次に高次でKreisstädtchen(地区の小都市)に該当するK型のさらに高次で、Bezirkshauptort(地区の主要点)に該当するとされるものである。中心地理論に示されるように完全な一様に拠点が分布した場合には、全ての同階層の隣接拠点間距離は等しくなるが、地理的制約などにより、分布に若干のバラツキが生じたものと考えられる。

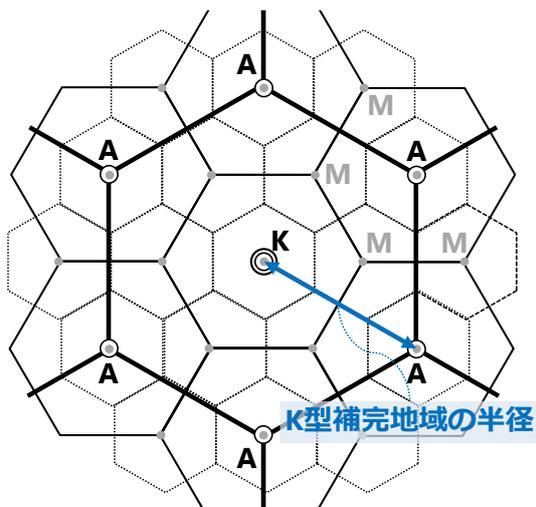


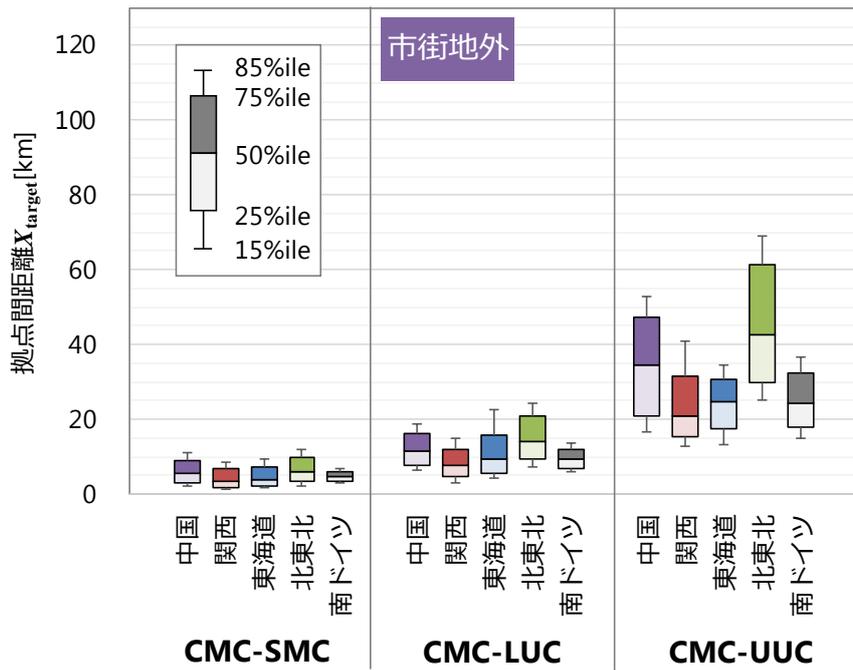
図-4.10 中心地と補完地域(Christaller, W., 1969)

表-4.4 中心地間の距離(Christaller, W., 1969)

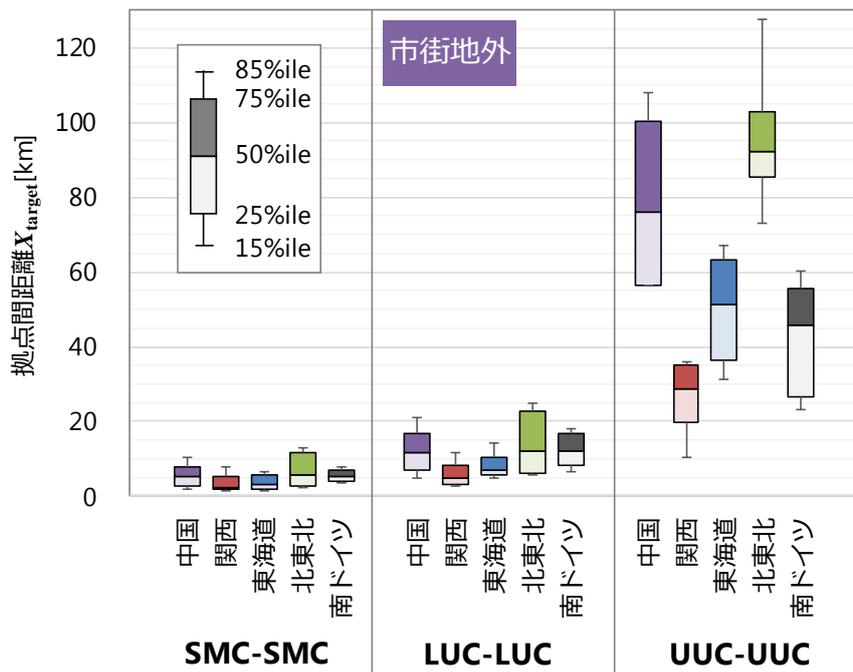
型	補完地域の半径 [km]	中心地間の距離 [km]
M	4	6.9
A	6.9	12
K	12	20.7
B	20.7	36
G	36	62.1
P	62.1	108
L	108	-

*G型は”Gaubezirk(県), P型はProvinzialhauptort(主要地点), L型はLandeszentral(地方の中心部)に該当. 他は本文中に記載の通り.

図-4.12は、市街地内連絡の距離分布である。市街地内連絡は、市街地外連絡に比べて拠点間距離は格段に短い。市街地外連絡の場合と異なり、関西地域・東海道地域の方が、距離が長くバラツキが大きい傾向がある。これは、両地域において、「市街地」が連続した地域が大きく拡散しているためである。

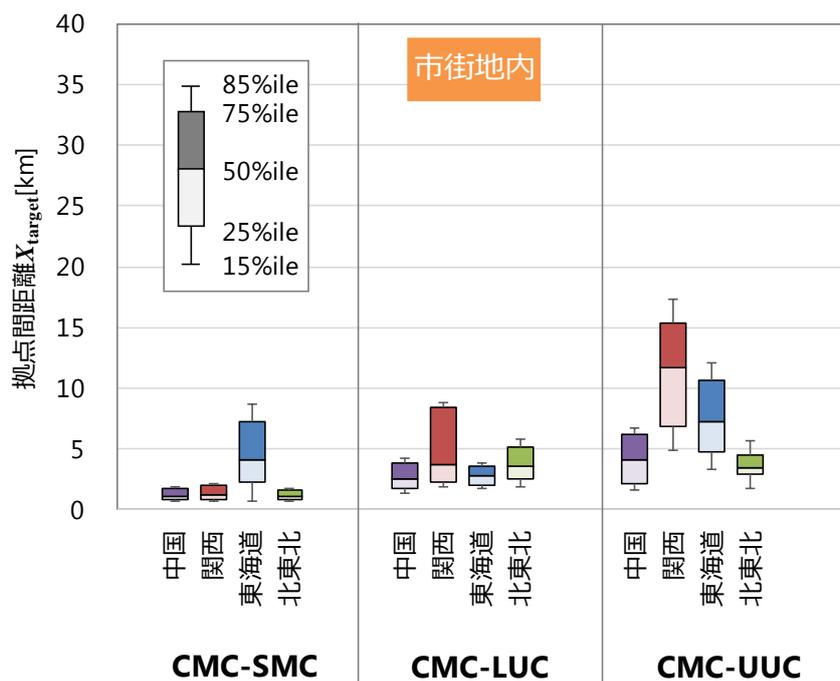


(a)CMC(集落・住区)から上位拠点まで

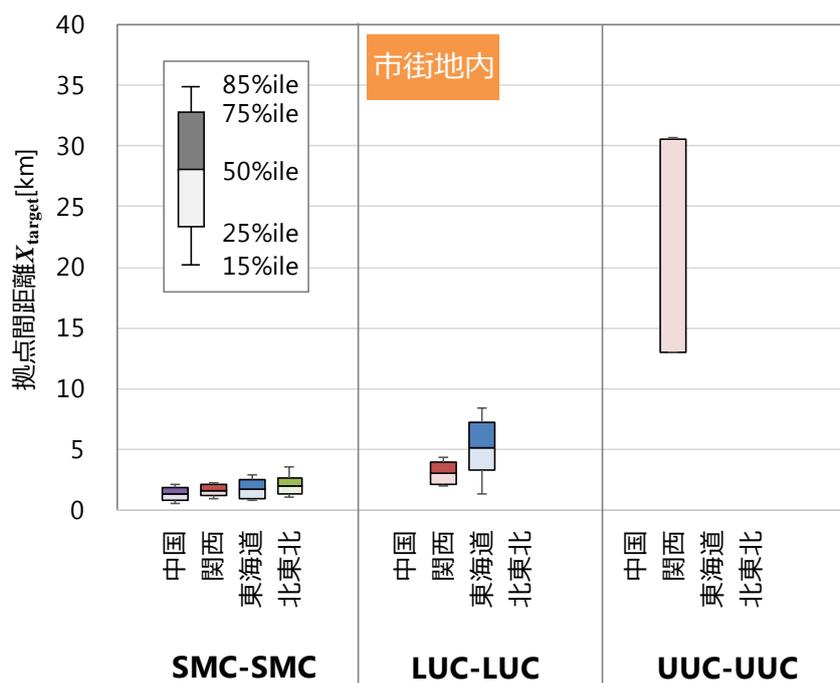


(b)同階層の隣接拠点まで

図-4.11 市街地外連絡の拠点間距離分布



(a)CMC(集落・住区)から上位拠点まで



(b)同階層の隣接拠点まで

図-4.12 市街地内連絡の拠点間距離分布

4.4.3 自専道ICまでの距離

本研究は、既存の道路ネットワークを活用しつつ再編を行うためのものであるため、道路の機能階層の最上位に位置する自専道ネットワークは所与とする。言い換えると、自専道道路ネ

ネットワークに対して、各拠点がどこに位置しているかを配置特性の一つとして扱う。そのため、ここでは各拠点から自専道ICまでの直線距離の分布状況を調べる。なお、ドイツについては、自専道ICの位置データが得られなかったため、拠点から自専道端点までの直線距離あるいは垂線距離のうち最小のもので代替している。図-4.13、図-4.14は、各拠点の自専道ICまでの距離分布を市街地外・内の別にまとめたものである。

図-4.13より、日本の市街地外の拠点については、全体的に拠点階層が高いほど自専道ICまでの距離が短くなる傾向がみられる。また、関西地域については自専道ICまでの距離が他より短く、2~8[km]程度に収まっている。これは、自専道ネットワークがもっとも密に発達していることの表れといえる。一方、東海道地域については、自専道が南北方向に伸びていないため中央値・バラツキともに、中国地域・北東北地域と同等かやや大きくなっており、自専道ICまで約3~12[km]を要する。南ドイツ地域は、拠点が一樣分布していることから予想される通り、自専道までの距離、そのバラツキともに大きい値になっている。

図-4.14の市街地内の拠点については、市街地外の拠点と比べ自専道ICまでの距離が全体的に短く、バラツキも小さい。市街地外拠点同様に、自専道ネットワークの最も発達した関西地域では2~8[km]程度、その他の地域では3.5~10[km]の間におさまっている。また、南ドイツ地域では、下位の拠点に比べてUUC(高次都市拠点)の自専道までの距離がはるかに短く、バラツキも小さくなっていることが特徴的である。これより、ドイツの自専道ネットワークが、高次な拠点に対する自専道アクセスのしやすさを考慮して計画されてきたことが推察される。

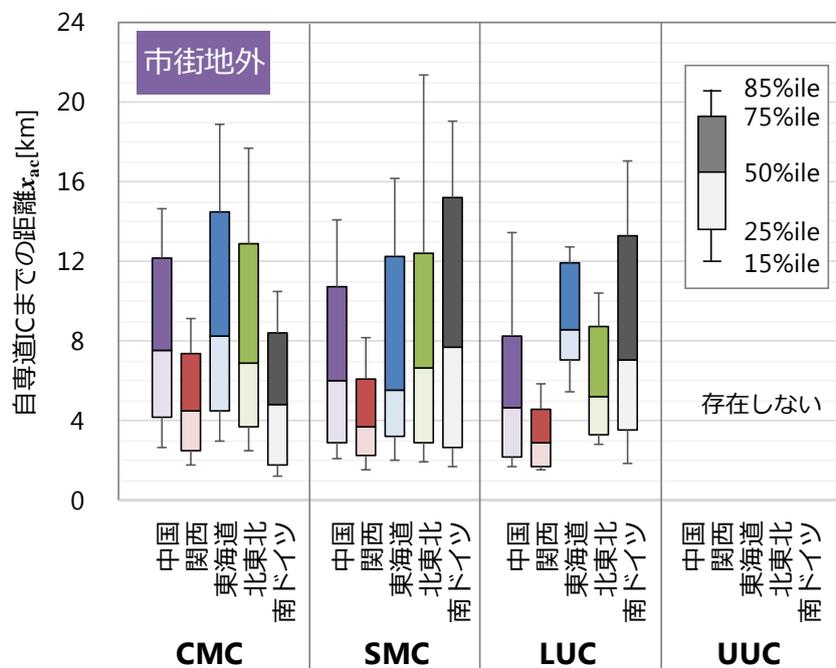


図-4.13 自専道IC(都市内高速を除く)までの距離 市街地外の場合

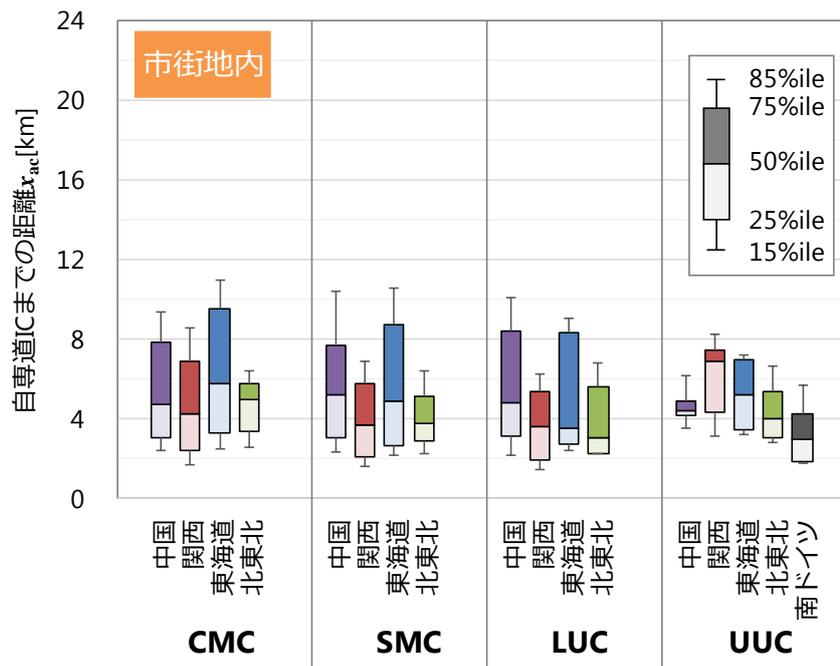


図-4.14 自専道IC(都市内高速を除く)までの距離 市街地内の場合

4.5 地勢条件の分析

日本の山がちな地形は、前項でみた拠点配置に影響を及ぼすだけでなく、拠点間を連絡する道路の設計・運用を行う際にも制約条件として考慮すべき要素である。

図-4.15は、今回地域特性を分析した日本の四地域の道路の沿道状況の概要を把握するため、平成22年度全国道路・街路交通情勢調査(以降、道路交通センサス)の調査対象路線である高速道路・一般道路(一般国道・主要地方道である都道府県道及び指定市の市道・一般都道府県道・指定市の一部の一般市道)から、対象地域を含む代表都道府県について、道路延長の沿道状況別割合を示したものである。ただし、愛知県、神奈川県については、対象地域となる東海地域に含まれない政令指定市を除いたデータを用いている。

これより、中国地域・北東北地域といった地方部では、山地部・平地部の占める割合が高いことが確認できる。この傾向は、特に高速道路の場合に顕著である。これは、高速道路が、本研究でいうMEC(大都市拠点)やUUC(高次都市拠点)のような長距離連絡のための道路であり、このような道路は山岳によって隔たれた地域をつなぐ役割を持つためである。このことから、地勢条件は、より上位の拠点間を結ぶ道路、より高速の道路において大きく影響するものと考えられる。

従って、ここでは、UUC-UUCの連絡に着目して、地勢条件を考慮した迂回の影響について分析するほか、高速道路の旅行速度に地勢条件が与える影響を分析し、次章以降の階層構成代替案検討の際の前提条件・制約条件として反映する。

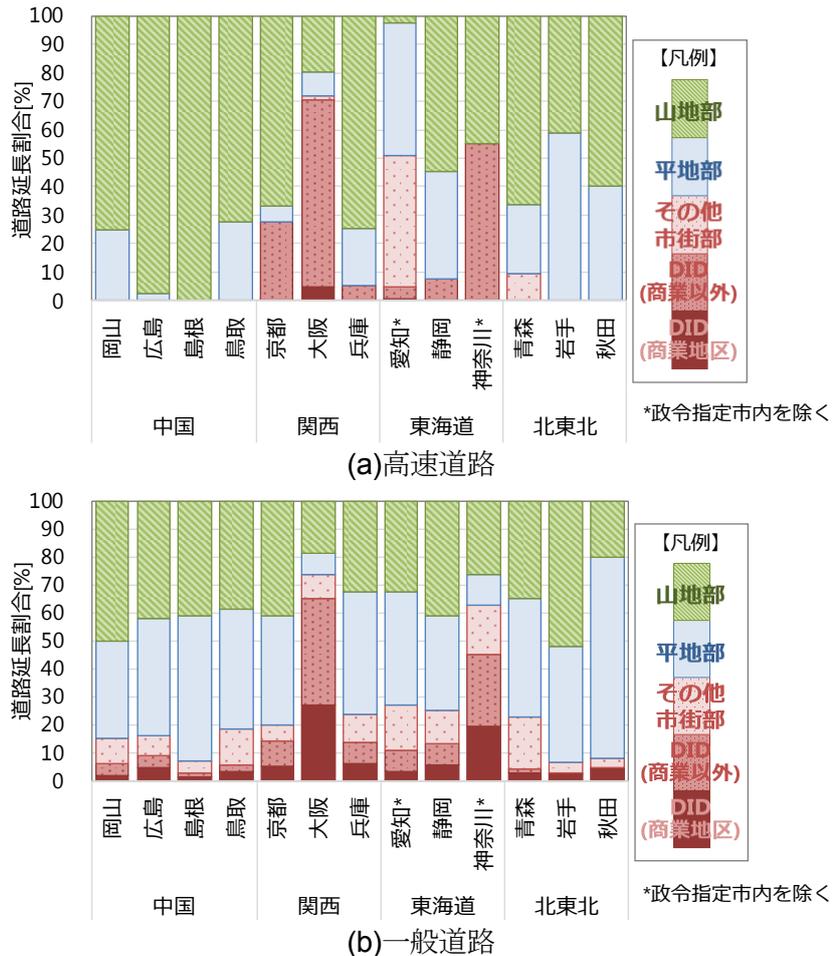


図-4.15 道路の沿道状況(H22道路交通センサスより)

4.5.1 迂回の影響

前項では、拠点間距離を二拠点の直線距離として地図上で計測したが、実際には山地によって経路が大きく迂回する可能性があり、道路ネットワークの目標旅行時間達成条件に対してもこの影響を無視できない。そこで、地勢条件が迂回に及ぼす影響を把握するため、各地域のUUC-UUC(高次都市拠点間連絡)を対象に、Google Mapを用いて最短時間経路を探索し、そのときの経路長 X_{route} と直線距離 X_{target} の比較を行う。その結果を図-4.16に示す。なお、南ドイツについては拠点間の直線距離 X_{target} の異なる複数ペアをランダムにサンプリングしている。

これより、拠点間距離の長い中国地域・北東北地域では、迂回の影響が大きく、経路長の直線距離からの増分が大きくなっている傾向がわかる。これは、山地部が多いことによる影響に加え、道路ネットワークの密度が地方部においてより粗であることが影響していると考えられる。このような影響を考慮するため、式(4.7)で表される単純な線形関係を仮定し、回帰直線を求めることで迂回係数 α を推定する。

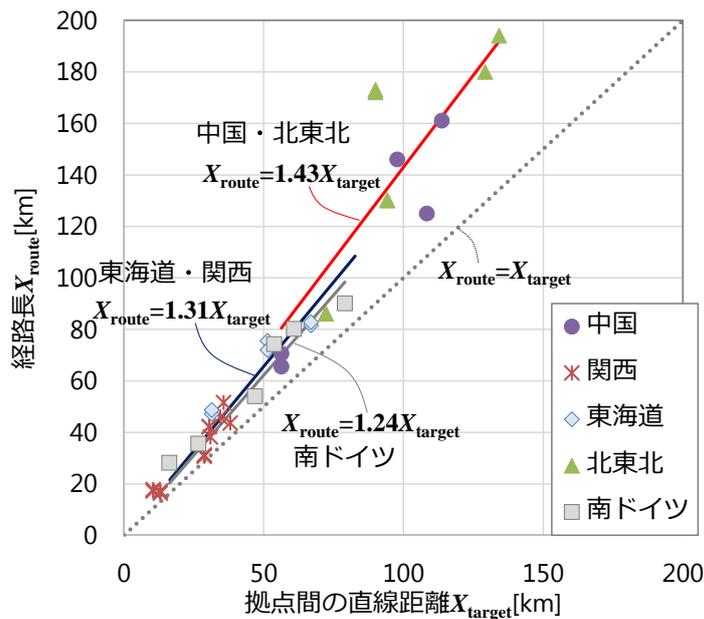


図-4.16 拠点間の直線距離と経路長の比較

$$X_{\text{route}} = \alpha X_{\text{target}} \quad (4.7)$$

本来ならば、より詳細な地勢条件ごとにこれらを分類し、迂回の影響を分析すべきだが、今回はサンプル数の制約上、傾向の異なる中国・北東北地域、東海道・関西地域、南ドイツ地域の三種類に大別して、迂回係数 α を推定した結果を表-4.5に示す。この結果からも、中国・北東北地域において迂回は最も大きく、南ドイツ地域において最も小さいことが示されている。

機能階層型道路ネットワークにおける旅行時間を推定する次章以降では、このような地勢条件による迂回の影響を考慮し、拠点間距離に対して迂回係数 α を乗じることで反映する。

表-4.5 線形回帰直線の推定結果

	サンプル数	迂回係数 α	t値	R ² 値
中国・北東北	13	1.43	22.6	0.89
東海道・関西	18	1.31	40.8	0.93
南ドイツ	6	1.24	23.4	0.79

参考として、ドイツのRIN(FGVV, 2008)以前の道路ネットワーク計画指針RAS-N(FGVV, 1988)には、OD間の連絡性能を評価する指標として、旅行時間と並び経路の迂回係数 α も記載されており、 α が1.0~1.25を「好ましい」、1.25~1.5を「便利である」、1.5~1.75を「やや好ましくない」、1.75~を「好ましくない」状態として評価している。この基準によると、今回の対象五地域は、

いづれも「好ましい」または「便利である」状態といえる。ただし、今回の分析ではUUC-UUCという限られた拠点間のみを対象として迂回係数を求めたため、より多彩な拠点間ペアについてこの影響を考慮し、より詳細に分析を行うことが課題である。

4.5.2 旅行速度への影響

迂回のほかに、地勢条件が及ぼす重要な影響のひとつとして、旅行速度そのものへの影響が挙げられる。山地部においては、急勾配や急カーブなどにより、平地部に比べて旅行速度が低下することが予想される。

そこで、今回所与として取り扱う自専道ネットワークについて、地勢条件と旅行速度の関係を把握するため、道路交通センサスにおける高速自動車国道の旅行速度を図-4.17に示す。図-4.17は、今回の対象地域の属する代表都道府県の平地部・山地部の旅行速度を比較したものであるが、沿道状況の違いによる大きな差は確認できず、どちらもおよそ70~80km/hにとどまっている。この理由として、高速自動車国道のような高規格な道路に関しては、山地部であってもその影響が大きくなるように設計されていることが考えられる。加えて、県ごとに集計した値でみているため、地形による局所的な線形や勾配の影響を捉えられていないものと考えられる。よって、今回は、所与とする自専道ネットワークの目標旅行速度については、地域ごとの違いを考慮した設定は行わない。

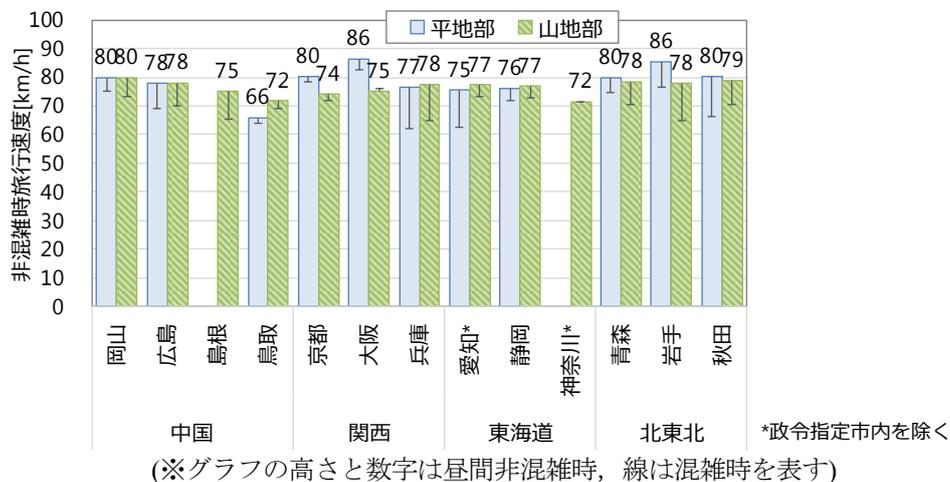


図-4.17 高速自動車国道の旅行速度

4.6 まとめ

本章では、道路ネットワークが連絡する将来の拠点配置条件を把握するため、第3章で定義した拠点を実際の地図上から抽出する方法について示した。この方法により抽出された拠点について、直線距離によって拠点間距離および自専道ICまでの距離を計測し、その分布を地域ご

とに比較した結果、以下の特徴が明らかとなった。

- ▶ 全国的な傾向として日本とドイツを比較した場合、日本ではドイツに比べて都市域が限られた用地に稠密に分布しており、SMC(小さな拠点)やLUC(生活拠点)といった生活機能レベルの拠点間距離が短い。
- ▶ 日本ではCMC(集落・住区)が山間部や半島などにまばらに点在しており、これらから上位拠点へと連絡する拠点間距離が長く、バラツキが大きい。
- ▶ 地域別にみた場合、拠点間を連絡する際にDID地区の外を通る「市街地外連絡」については、拠点階層に関わらず、都市部に比べて地方部で拠点間距離が長い傾向がある。しかし、起終点拠点がどちらも連続したDID地区の中にある「市街地内連絡」については、市街地が広く拡散しがちな都市部の方が、地方部よりも拠点間距離が長くなっている。
- ▶ 自専道ICまでの距離は、市街地外にある拠点より市街地内にある拠点の方が短い。また、自専道ネットワークが密な地域ほど短い。
- ▶ 特に、東海道地域のように、上位拠点の連携軸や自専道ネットワークの卓越した軸が明確な場合、それと交差する方向について、CMC(集落・住区)と上位拠点間の連絡距離や自専道アクセス距離が長くなりがちである。

また、地勢条件の及ぼす影響について、以下のことを確認した。

- ▶ 地勢条件による迂回係数 α は、日本の地方部(中国・北東北地域)で1.4程度、都市部(関西・東海道地域)で1.3程度、ドイツでは1.2程度とみられる。
- ▶ 高速自動車国道の旅行速度に関しては、集約データからは地勢条件による影響を明確には確認できない。

ただし、迂回の影響に関しては、比較的都市規模の大きいUUC(高次都市拠点)間連絡のみを対象にサンプリングしており、連絡距離の短い下位の拠点間連絡に適用する場合の妥当性については今後検証が必要である。また、現状の道路ネットワークにおける最短時間経路から迂回係数を求めているため、高規格道路や高速道路利用のための迂回も影響も含まれており、地勢条件や地域特性のみによるものではないことにも留意が必要である。これについては、今後分析サンプルを増やすことで、より正確な情報を得ることが必要といえる。

また、旅行速度についても、今回は道路交通センサスによる山地部・平地部の別という最も簡略化された区別によって検証したため、地勢条件の影響が特定できなかったものと考えられる。下川ら(2015)が一般道路を対象に行った分析では、勾配や線形のパラメータを用いて、より詳細な山地部の旅行速度に対する影響分析が行われており、これらを参考にした更なる精査を行うことで、地勢条件の影響をより正確に把握できるものと期待される。

第5章 機能階層型道路ネットワーク代替案の構築

本章では、道路の機能を考慮した階層化を行うための階層構成代替案を構築し、期待されるトリップ長別旅行時間の推定を行う。これと、第4章の拠点間距離実態を比較することで、どの代替案で道路の階層化を行った場合に、拠点間の目標旅行時間が達成可能か評価することが可能となる。

本研究でいう階層構成代替案(以降、単に「代替案」とも記載する)とは、1.3.1項で述べた通り、ネットワークの中に存在する道路の階層数 n 、階層 i ($1 \leq i \leq n$)の目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i,i)}$ および下位階層($i-1$)との接続間隔 $s_{(i,i-1)}$ によって決定される。これらを道路計画における目標として提示することで、その地域の道路ネットワークにおいて、どの程度の間隔でどの程度の速度帯の道路を整備しなければならないのかが明確になり、これに向けて既存道路の改良・改築計画を立てることが可能であるとともに、設計・運用時には目標旅行速度を性能評価指標として照査を行うことが可能となる。

5.1 目標旅行時間達成条件

1.3.1項で述べたように、目標旅行時間の達成条件は、道路ネットワークの階層数 n 、階層 i の目標旅行速度 v_i [km/h]、道路間隔 $s_{(i,i)}$ [km]および下位階層($i-1$)との接続間隔 $s_{(i,i-1)}$ [km]を設定することによって、対象地域内の拠点間に課された目標旅行時間を達成させるものである。この目標旅行時間達成条件は、式(1.2)、式(1.6)をまとめて、式(5.1)の通り表される。

$$T(X_{\text{target}}) = \sum_{i=1}^k \frac{x_i}{v_i} + \sum_{i=2}^k \frac{r_{(i-1,i)}}{3600} \leq T_{\text{target}} \quad (5.1)$$

ここに、 k : 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、 x_i : このトリップの階層 i ($1 \leq i \leq k$)の走行距離、 $r_{(i-1,i)}$: 階層($i-1$)から階層 i へ移動する際の乗換抵抗[sec]である(再掲)。なお、 i が大きいほどトラフィック機能優先であること的前提条件として、 $v_{i+1} > v_i$ (式(1.1))、 $v_{i+1} > v_i$ (式(1.5))が課される。

式(5.1)のうち、目標旅行時間 T_{target} は3.2節表-3.2より設定され、拠点間距離 X_{target} は4.4節の拠点配置条件分析で計測されている。

本章では、まず5.2節において階層数 n 、階層 i の目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i,i)}$ および下位階層との接続間隔 $s_{(i,i-1)}$ にどのような組み合わせがありえるか、交通機能の差別化や現状道路ネットワーク前提条件、運用状態の制約条件を整理することにより、代替案を構築する。これに続く5.3節では、構築した代替案において、トリップ長 X_{target} に応じて、最短時間経路における使用階

層数 k や階層別走行距離 x_i 、旅行時間 $T(X_{\text{target}})$ などがどのようになるか近似的に推定する。さらに、5.4節では、ある仮想の二拠点を対象に、目標旅行時間を達成可能な階層構成代替案を選定するデモンストレーションを通じて、自専道整備・一般道路整備の両方を考慮した施策の検討方法を示す。

5.2 階層構成代替案の構築

ここでは、階層数 n 、階層 i の目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $S_{(i,i)}$ および下位階層との接続間隔 $S_{(i,i-1)}$ の組み合わせによって、道路ネットワークの階層構成代替案を構築する。これらの変数の組み合わせは、理論上は無限通りに存在するが、機能階層化の本来的な意義を実現しうる状態や、運用状態の道路において実現可能な範囲を想定すると、ある程度絞り込むことができる。

本節では、図-2.3に示すフローチャートに従い、実際の道路ネットワークに適用可能と考えられる階層構成代替案を構築する。具体的には、まず1.において機能階層化の本質である交通機能の種類によって道路を分類し、そこで実現しえる目標旅行速度を仮定する。次に、実務的知見を活用しながら、2.道路分類間の相互接続の可否および接続形式を仮定する。これによって、乗換え可能な階層間の目標旅行速度を決定する。さらに、本研究では、最上位および最下位の階層については、3.現状道路ネットワークを考慮した前提条件として設定する。これらによって、4.階層別目標旅行速度の組み合わせが、比較検討可能な数だけに限定される。この組み合わせそれぞれに対して、5.階層間の接続点で生じる遅れを、2.の設定に基づき推定する。この遅れを考慮した上で、6.目標旅行速度を達成するために確保すべき最小道路間隔・下位階層との接続間隔を求める一方、目標旅行時間達成条件に基づいて機能分担を明確にするための最大道路間隔を求め、これによって階層別旅行速度に対する適切な道路間隔の範囲が示された代替案が構築される。

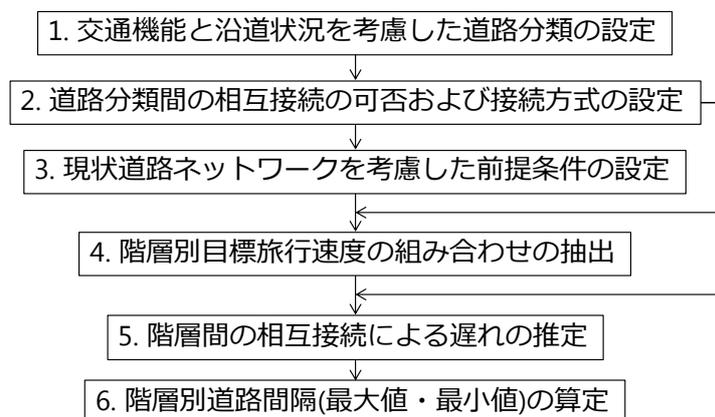


図-5.1 階層構成代替案構築のフローチャート

5.2.1 交通機能と沿道状況を考慮した道路分類の設定

第2章でレビューを行ったように、道路は、交通機能であるトラフィック機能・アクセス機能・滞留機能の優先度によって分類することができる。さらに、トラフィック機能を考慮すべき道路については、道路周辺の沿道立地状況によって構造要件や運用方法が大きく異なり、実現可能な旅行速度の水準も異なるため、市街地外・市街地内という分類を行った上で、それぞれの目標旅行速度を設定することが妥当と考えられる。従って本研究では、表-5.1のように道路分類を設定するものとする。

表-5.1 自動車からみた交通機能および市街地内外の別による道路分類

交通機能	市街地外 (拠点領域外)	市街地内 (拠点領域内)	出入制限(Access Control)	
			他道路との出入*1	沿道施設との出入*2
	A _R	A _U	完全制御(Full Access Control; FAC)	
	B _R	B _U	部分制御(Partial Access Control; PAC)	
	C _R	C _U	なし(None; N)	部分制御(PAC)
	D _R	D _U		なし(N)
	-	E _U		なし(N)

*1: 他道路との出入制御: 他の道路との交差部を立体にする

*2: 沿道施設との出入制御: 沿道の土地や施設からの出入庫を禁止あるいは制限する

(a) 交通機能による分類

交通機能による分類では、トラフィック機能、アクセス機能、滞留機能の優先度を基準として、道路をA, B, C, D, Eの五段階に大別する。

トラフィック機能優先の道路は、自動車専用であり出入が完全に制御されたものを想定する。アクセス・滞留機能が求められるにつれて、出入制限はなくなり、歩行者・自動車といった他の利用者との共有空間が増えてゆく。このとき、逆にトラフィック機能を制限するため、車両の旅行速度は抑える必要がある。

なお、表-5.1は、現状道路の分類ではなく、交通機能に対応して本来あるべき構造を考慮した分類を示している点に注意が必要である。例えば現状では、表-5.1の”B”のように、一般道路で部分出入制限(PAC)を行ったトラフィック機能重視の道路はあまり見られない。しかし、現状課題となっている自専道アクセスに問題のある拠点間や、自専道利用には距離の短い拠点間については、このような道路分類が効果的に働く可能性が高く、下川ら(2014)、浜岡ら(2014)による既往研究においてもその必要性が示唆されていることから、ここに考慮している。

(b) 市街地内外による分類

道路分類は、交通機能によるものに加えて、道路の存在する場所によって沿道立地や出入交

通などの影響が無視できない「市街地内」と、そうでない「市街地外」に分けられる。ここでいう「市街地内」とは、拠点間連絡の起終点となる拠点施設が存在する領域内、すなわち拠点領域内のことを示すものとする。今回は自動車からみた交通機能のみに着目しているが、特に市街地においては、歩行者・自転車・公共交通といった自動車以外の利用者の視点や、空間機能などの付随的機能も求められることから、ここで区別しておくことで、将来的にこれら多彩な利用者・機能に関する性能目標を付加できるようにしている。

表-5.1では、市街地内外の別は、道路分類A~Eに市街地内(Urban)を表す「U」、および市街地外(Rural)を表す「R」を付けることで表現している。ただし、最もアクセス・滞留機能の高い道路分類Eは、常に個別施設からの出入庫を許容すべきものであるため、拠点領域内すなわち「市街地内」にしか存在しえない。従って、道路分類EにはE_Uのみが存在することになる。

(c) 交通機能を担保するための道路構造と想定しうる目標旅行速度

前述の通り、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慮すれば、アクセス・滞留機能優先の場合、目標旅行速度は低く設定しておく必要がある。こうすることで、今回直接的には取り扱っていない、アクセス・滞留機能に関する性能目標が道路分類C, D, Eに対して設定されたときにも、両者が成立しやすい状態にしておくことができる。

これを考慮すると、道路分類が決まれば、設定可能な目標旅行速度はある程度限定され、またそれを実現するための構造要件もある程度特定できる。表-5.2はこれまでの定性的、経験的知見に基づき、各道路分類において設定しうる目標旅行速度の値を示したものである。

表-5.2 道路分類に応じた目標旅行速度と構造要件の設定例

道路分類	交通機能	沿道立地	出入制限	設定しえる目標旅行速度	車線数*2
A _R	トラフィック アクセス 滞留	なし	完全制御 FAC	90~120km/h	4~
				80km/h	3~
A _U		あり		60~80km/h	4~
B _R		なし	部分制御 PAC	60~70km/h	3~
				50km/h	2~
B _U		あり		50km/h	4~
C _R		なし			40~50km/h
				30~40km/h	1.5~
C _U		あり	沿道施設から の出入を制限	30~40km/h	2~
D _R		なし		(20km/h)*1	2~3
D _U	あり		20~30km/h	2	
E _U		あり	なし	NA	1

*1: 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道路区分の参考値

*2: 車線数は機能を担保するための下限値(D_Rについては上限値も)であり、実際の設計においては、交通需要を考慮した上で目標旅行速度達成のために必要な車線数を最終決定する。また縦断面だけでなく、交差点間隔や交差形式などの横断面構成も機能の担保、目標旅行時間達成に対して非常に重要であり、これについては、以降の道路間隔・接続間隔の設定を考慮する。

5.2.2 道路分類間の相互接続の可否および接続方式

階層型道路ネットワークにおいて、各階層が目標旅行速度を達成できるか否かや、利用者分離が適切に行われるかどうかは、階層間の接続方式によって大きく左右されることが示されている(後藤ら, 2012)。よって、階層別目標旅行速度を運用状態で実現可能な道路間隔・接続間隔を担保するためには、階層間の接続部で生じる遅れを考慮しておくことが非常に重要である。また、接続部での遅れは、式(5.1)からわかる通り、階層間の乗換抵抗として拠点間旅行時間に直接的にも作用する。

本来、階層間の接続形式は、各道路の交通需要や市街地内・外の違いなどを考慮して、道路の機能や目標旅行速度を担保するための最適なものを選ぶ必要がある。これは道路の計画設計段階における性能照査において最も重要なステップとあってよい。しかし、そもそもここで設定しようとしている階層構成によって利用者の経路選択・交通需要分布が影響を受けるため、代替案構築段階において交通需要を正確に把握する事は極めて困難である。

そこで今回は、(a)市街地外の道路は接続部の交通需要が比較的低いもの、(b)市街地内の道路

は需要が高いものと仮定し、それぞれ表-5.3のように典型的な接続形式を仮定することで、道路間隔・接続間隔の設定や、旅行時間の算出を行う。これは、山川ら(2015)がまとめた道路機能別の相互接続の可否と接続形式を参考に、代表的な交差形式を選定したものである。

(a)市街地外と(b)市街地内の違いは、一般道路である道路分類B, Cの平面交差部がラウンドアバウト(RAB)か信号かによるものである。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。逆に、交差点に流入する需要が高く、道路分類B, Cが往復二車線以上となるような場合には、(b)市街地内の接続形式を適用する。言い換えれば、市街地内では交通需要が高いことが多いため、今回は(b)を典型パターンとしているが、拠点としての規模が小さく交通需要も少ないCMC(集落・住区)やSMC(小さな拠点)といった拠点領域内を示す市街地内については、(a)を適用できる場面も少なくないことに留意されたい。

また、表-5.3の接続形式は、階層構成代替案の必要条件を導出するために仮置きしたものに過ぎないため、実際の道路を計画・設計する際には、この設定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、改めて検討すればよい。

表-5.3 階層間の接続形式

	同・下位	A _R	(A _U)	B	C	D
上位						
A _R	JCT	-	IC(RAB)	IC(RAB)	-	
		JCT	IC	IC(信号)	-	
(A _U)		-	-	-	-	
		JCT	JCT	IC(信号)	-	
B			RAB	IC(RAB)	左折in-out	
			JCT/IC(RAB)	IC(信号)/信号		
C				RAB	左折in-out	
				信号		
D					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): 不完全立体...上位の道路には加減速車線, 下位の道路には平面交差Xで接続しているもの,

【凡例】 色なし: (a), (b)市街地内外共通 紫(上段): (a)市街地外 橙(下段): (b)市街地内

5.2.3 現状道路ネットワークを考慮した前提条件

(a) 最上位階層(A)および都市内高速道路を表す階層(A_U)

本研究が既存道路の改良・改築による機能階層型ネットワークへの再編を主眼においている

ことや、技術水準の上限、費用制約を考えると、最も高速の道路である最上位階層(高速道路や高規格道路などの自専道、道路分類 A_R)や都市内高速道路を表す階層(道路分類 A_U)については、現状または将来計画から大幅に変更することは難しい。そこで、本研究では、これらの階層は所与として扱う。

道路分類 A_R は、道路ネットワークの最上位階層 n に対応している。これはすなわち、階層 n の目標旅行速度 v_n や拠点からのアクセス・イグレスに要する距離は、所与であることを意味する。このうち目標旅行速度 v_n については、今回4.5.2項にて地勢条件の影響が特定できなかったことから、80[km/h]以上の複数通りを検討する。一方、拠点からのアクセス・イグレスに要する距離とは、自専道ICまでのアクセス距離を意味し、4.4.3項で示されたように、拠点配置条件に基づき設定するものとする。

(b) 最下位階層

自動車の通行機能からみた道路の階層において最も下位の階層は、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、これらについては、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、道路分類 D を想定する。また、アクセス性確保の観点から、この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]とする。さらに、道路間隔については、棟割りや区画等により所与として決定できるとして、今回は $s_{(1,1)}=0.4$ [km]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、この検討は、その間の中間階層をどのようにするかという問題に帰着する。これら中間階層が多すぎると、階層間の差別化が困難となる。そこで、目標旅行速度 v_i は10km/h単位で設定するものとする。

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が設定されるような階層構成、例えば、 $v_1=20$ [km/h](道路分類 D , 所与)の上に、 $v_2=30$ [km/h](道路分類 C)、 $v_3=40$ [km/h](同じく道路分類 C)が重なることはないものとする。ただし、道路分類 A については、最上位階層 n として想定している道路分類 A_R (市街地間を結ぶ自専道)と市街地内にある自専道 A_U (都市内高速)の接続がありえるため、例外とする。以上より、階層数 n は、市街地外では最大で A_R, B, C, D からなる4、市街地内では最大で A_R, A_U, B, C, D からなる5である。

また、道路間隔 $s_{(i,j)}$ は便宜上、 $s_{(1,1)}$ の倍数のみを考え、0.4km単位で設定する。

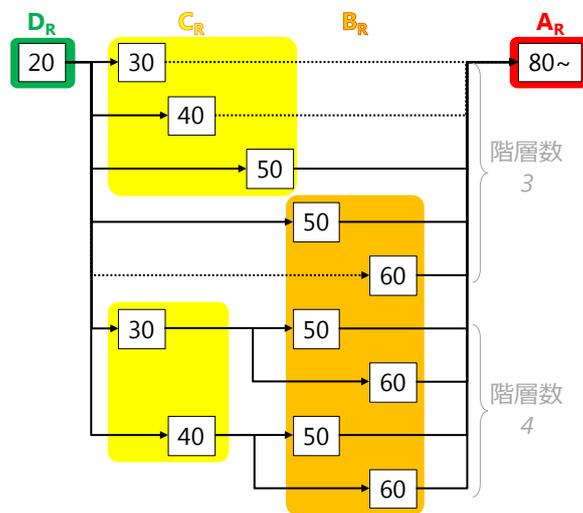
5.2.4 階層別目標旅行速度の組み合わせ

ここまでの条件によって、階層別目標旅行速度の組み合わせを抽出すると、図-5.2の通り、

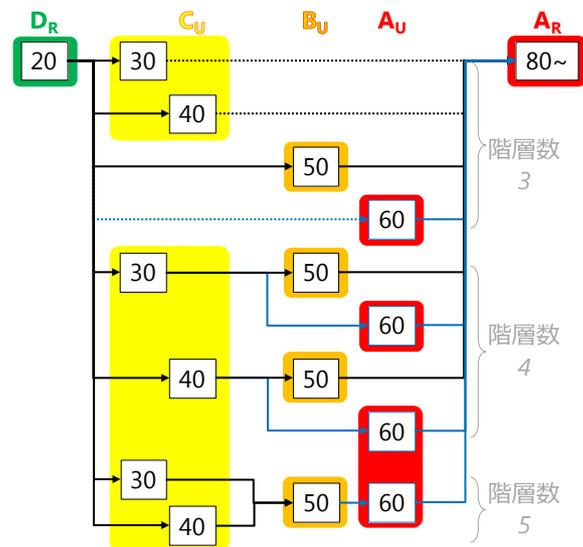
市街地外は9種類、市街地内は10種類(都市内高速A_Uが存在しない場合には5種類)となる。

ただし、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、安全性の観点から好ましくない。図-5.2において点線で結んだ接続は、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、乗換え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ことに注意すべきであろう。

これ以降、各階層の道路を、道路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、所与である最下位・最上位以外の階層の名称を用いて、【C30】、【C30&B50】などと表記することとする。



(a) 市街地外の場合



(b) 市街地内の場合

図-5.2 道路分類との対応関係を考慮した目標旅行速度の組み合わせ

5.2.5 階層間の相互接続による遅れ

運用状態において期待される道路ネットワークの性能を確保するためには、階層間の相互接続による遅れを考慮しておく必要がある。本研究では、(a)目標旅行速度達成に影響を及ぼす遅れと、(b)階層間の乗換抵抗として作用する遅れの二種類を考慮する。前者は、図-5.3に描かれるように、利用者が階層*i*を走行中に被る遅れであり、同格の階層*i*との交差点で生じる遅れ $r_{(i,i)}$ と、ひとつ下位の階層(*i-1*)との交差点で生じる遅れ $r_{(i,i-1)}$ を考慮する。ここで、階層*i*はひとつ上位の階層(*i+1*)とも接続しているが、この接続点を越えて階層*i*を走行することよりも、階層*i*から*i+1*に乗換えることの方が多いと考えられるため、ここでは考慮しない。一方、後者は、階層(*i-1*)から階層*i*に乗換える利用者が被る遅れで、5.1節で示した目標旅行時間達成条件式(5.1)の乗換抵抗 $r_{(i-1,i)}$ である。

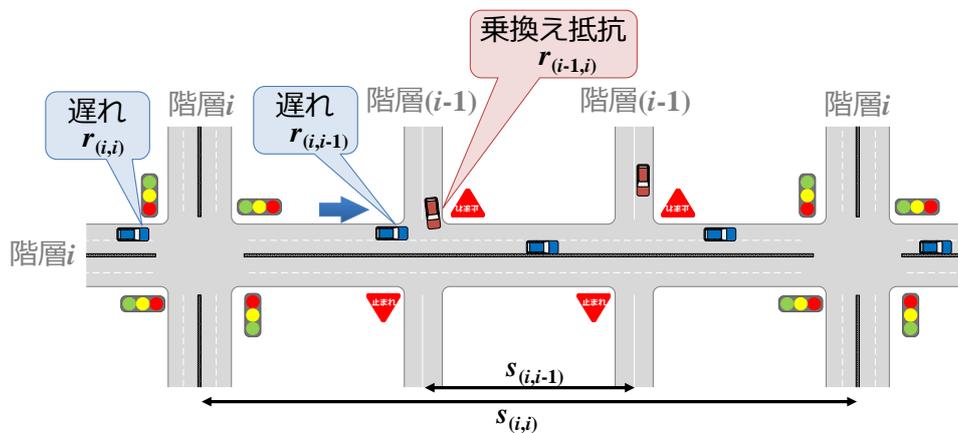


図-5.3 階層構成代替案構築の際に考慮する遅れのイメージ図

これらの遅れは、表-5.3で設定した接続形式ごとに設定する。

平面交差については、既往研究の遅れ式を用いた推定値とする。具体的には、信号交差点については、Websterの遅れ推定式第一項である式(5.2)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、Highway Capacity Manual 2010 (TRB, 2010)で用いられる一時停止制御の遅れ推定式(5.3)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, 1984)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。

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)

$$r = \frac{C \left(1 - \frac{G}{C}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{G}{C} \frac{q}{cap}\right)}, \quad (5.2)$$

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

$$r = \frac{3600}{cap} + 900T \left\{ \frac{q}{cap} - 1 + \sqrt{\left(\frac{q}{cap} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{cap}\right)\left(\frac{q}{cap}\right)}{450T}} \right\} + t_{stop}, \quad (5.3)$$

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

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-5.4, 表-5.5に示す通りである。

表-5.4 信号交差点遅れ算出に用いたパラメータ

遅れ番号	①a	①b	①c	①d	②a	②b
対象交通流の主従	主方向 直左	主方向 右折	従方向 直左	従方向 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

表-5.5 RABおよび左折inの遅れ算出に用いたパラメータ

遅れ番号	③	④	⑤
接続形式	RAB	左折in(従道路から, 一時停止)	
需要レベル	(a)需要が低い	(a)需要が低い	(b)需要が高い
t_c : クリティカルギャップ[sec]	4.1 ^{*1}	6.2 ^{*2}	
t_f : フォローアップタイム[sec]	2.6 ^{*1}	3.3 ^{*2}	
q_c : 交錯交通量[veh/h]	600 (環道交通量)	600 (主道路の交通量)	
T : 分析ピリオド[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

*1: HCM2000掲載の上限値, *2: HCM2010掲載の”Right turn from minor”用の値.

(a) 目標旅行速度達成に影響を及ぼす遅れ

以上の遅れ計算を元に, 目標旅行速度達成に影響を及ぼす遅れ $r_{(i)}$ と $r_{(i-1)}$ を推定した. この結果を表-5.6に示す.

表-5.6 想定した階層間の接続形式と交差点遅れ

対象とする階層の 道路分類		同階層との接続形式と遅 れ $r_{(i)}$	一つ下位の階層との接続形式と遅れ $r_{(i-1)}$	
			下位階層がCの場合	下位階層がDの 場合
市街地外	B _R	③RAB 15.6[sec]	⑨IC(RAB) 3[sec]	⑥左折in-out 3[sec]
	C _R		-	
市街地内	B _U	JCT/IC(RAB) 30.0[sec] ^{*2}	①a 信号 21.3[sec]/ ⑨IC(信号) 3.0[sec]	⑥左折in-out 3[sec]
	C _U		②a,b 信号 30.0[sec] ^{*1}	

*1: ②aと②bの平均値, *2: 本来遅れは発生しないが, 今回は*1と同等の遅れを仮定することで, 5.2.6の計算において信号交差時と同等の道路間隔を確保する.

(b) 階層間の乗換抵抗として作用する遅れ

階層間の乗換抵抗は, 表-5.3に示した接続形式に応じて与える. 下位から上位へ乗る場合と, 上位から下位の階層へ降りる場合とでの接続形態の組み合わせを考慮し, 乗降の合計を計算すると, 表-5.7のようになる.

表-5.7 階層間の乗換抵抗

対象とする階層の道路分類			遅れの種類		乗換抵抗(乗降合計)[sec]
沿道状況	下位階層	上位階層	下位→上位	上位→下位	
市街地外	D _R	C _R , B _R	④左折in	⑤左折out	35.5
	C _R	B _R	⑦IC	③RAB	30.6
	C _R , B _R	A _R			
市街地内	D _U	C _U , B _U	④左折in	⑤左折out	43.1
	C _U	B _U	①cと①dの平均信号(従方向から右左折)	①aと①bの平均信号(主方向から右左折)	66.1
	C _U	A _U , A _R	⑦IC	①cと①dの平均信号(従方向から右左折)	51.9
	B _U	A _U , A _R	⑦IC	⑦IC	30.0
	A _U	A _R	⑧JCT	⑧JCT	30.0

5.2.6 道路間隔の算定方法

最後に、各代替案の各階層について目標旅行速度を担保することができ、かつ機能分担が明確になるような道路間隔の適切な範囲を、最小値と最大値により設定する。

(a) 最小道路間隔

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。このため、目標旅行速度 v_i は、ある程度の需要が運用段階で負荷されても実現可能な値としておかなければならない。そこで、特に、旅行速度の低下が起こりやすい一般道路については、目標旅行速度 v_i を維持することができるように、道路間隔 $s_{(i,j)}$ および下位階層からの接続間隔 $s_{(i,i-1)}$ の最小値を設定しておく。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 $v_i=30, 40, 50$ [km/h]にあたる。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。

一般道路の旅行速度は、橋本ら(2013)、内海ら(2014)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によって決定するものということが明らかになっている。

このため、本研究では、道路の接続部以外による旅行速度低下要因は無視できるものとして、階層間の接続点における遅れの影響のみを考慮した状態で、最小間隔、すなわち必ず確保すべき下限値を設定する。この仮定において、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 $r_{(i,j)}$ [sec]、一つ下位の階層($i-1$)との交差点では遅れ $r_{(i,i-1)}$ [sec]を被

ることになる。このとき理論上は、旅行速度 v_i [km/h]は式(5.4)で計算できる。

$$v_i \geq \frac{1}{\frac{1}{v_{fi}} + \frac{r_{(i,i)}}{3600s_{(i,i)}} + \frac{r_{(i,i-1)}}{3600s_{(i,i-1)}}} \quad (5.4)$$

ここで、自由走行速度 v_{fi} と実際の旅行速度 v_i とが大きく乖離した状況は、安全性・快適性の観点から望ましくないことから、 $v_{fi}=v_i+10$ であるものとする。

また、下位階層との接続間隔 $s_{(i,i-1)}$ 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、道路分類Cは道路分類Dの全道路がアクセス可能である状態($s_{(2,1)}=s_{(1,1)}=0.4$ [km])、道路分類Bは道路分類Cの全道路がアクセス可能である状態($s_{(3,2)}=s_{(2,2)}$)を仮定する。また、道路分類Cを介さずに道路分類DとBが接続する場合には、図-5.4のように、Dが1本おきにアクセス可能である状態を仮定する。

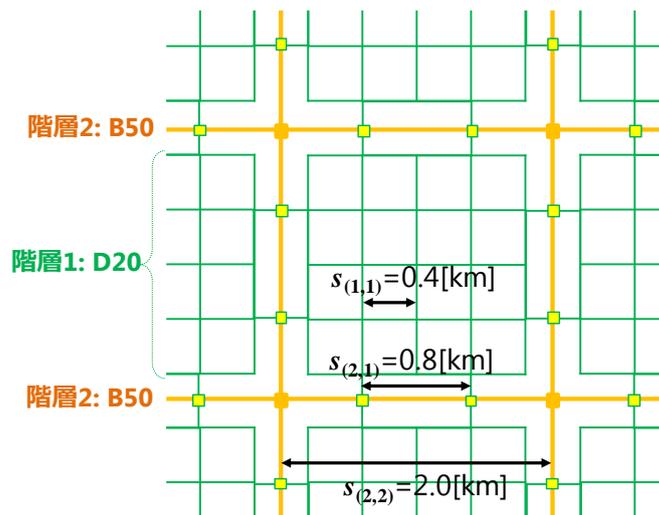


図-5.4 道路間隔の設定イメージ

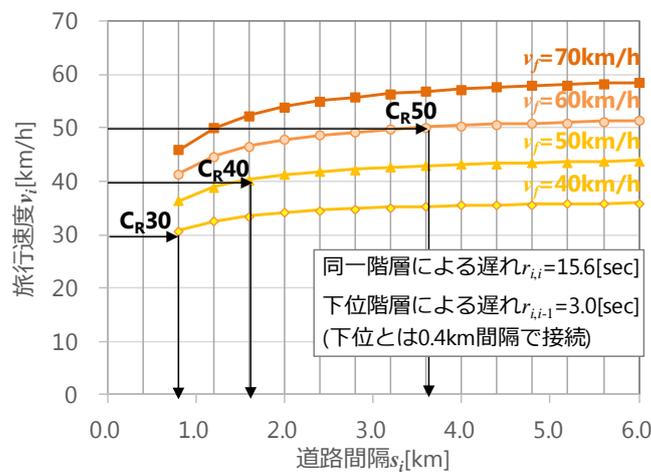
以上の仮定の下、表-5.6で推定した遅れ $r_{(i,i)}$, $r_{(i,i-1)}$ をを仮定することで、旅行速度 v_i と道路間隔 $s_{(i,i)}$ の関係が、図-5.5, 図-5.6に示すように求められる。この関係から、30, 40, 50[km/h]の各目標旅行速度 v_i を達成可能な $s_{(i,i)}$ を読み取ることで、最小道路間隔を算出することができる。

ここで、図-5.6は、市街地内の場合の最小道路間隔設定例であるが、図-5.6(b)に示すように、C30とB50の接続については、今回仮定した条件下では、最小道路間隔が極めて大きくなってしまい、設定できないことがわかった。これは、C30とB50の接続において信号交差点を仮定しており、下位階層との接続による遅れ $r_{(i,i-1)}=21.3$ [sec]が大きすぎるためである。これを不完全立体(IC(信号))などに変更すれば、遅れ $r_{(i,i-1)}$ を短縮でき、図-5.6(c)に示すように、目標旅行速度を達成可能な道路間隔を求めることが可能となる。この結果は、市街地内において、CとBの接続に

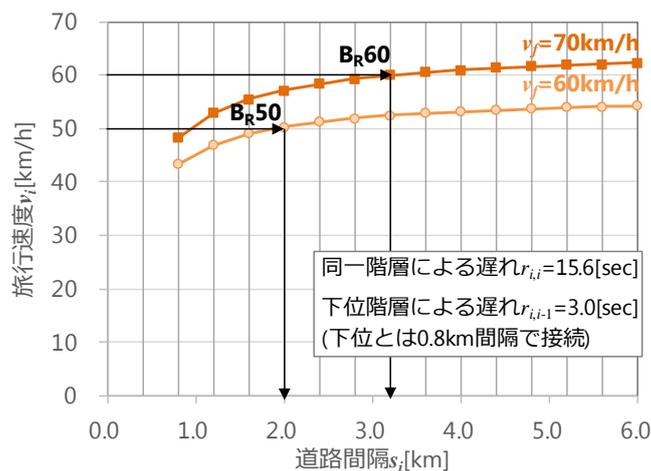
信号を用いることは、Bの目標旅行速度を維持する上で好ましくなく、トラフィック機能を重視するBに対してできる限り遅れの生じない交差形状におこななければならないことを示唆している。

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-5.8に示す。ただし、5.2.3項で述べた通り、道路間隔は便宜上、最下位階層の道路間隔0.4kmの倍数として設定するので、算出結果も0.4km単位に切り上げている。

表-5.8より、市街地内の【C40&B50】という代替案では、C40よりもB50の最小道路間隔の方が小さくなってしまっていることがわかる。これは、階層型道路ネットワークが前提としている式(1.5)に矛盾する。このため、以降、この代替案【C40&B50】は除外して検討を行う。

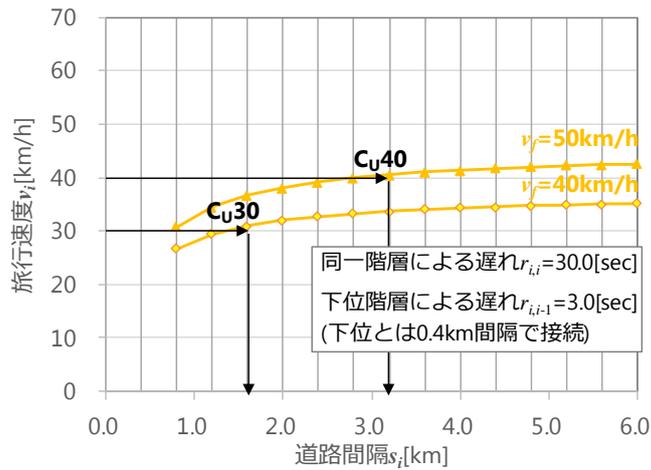


(a)D20とC30, C40, C50の接続を想定

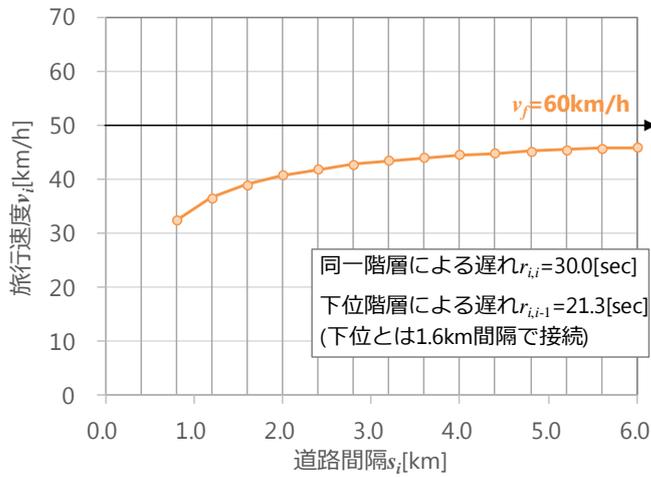


(b)C30とB50, B60の接続を想定

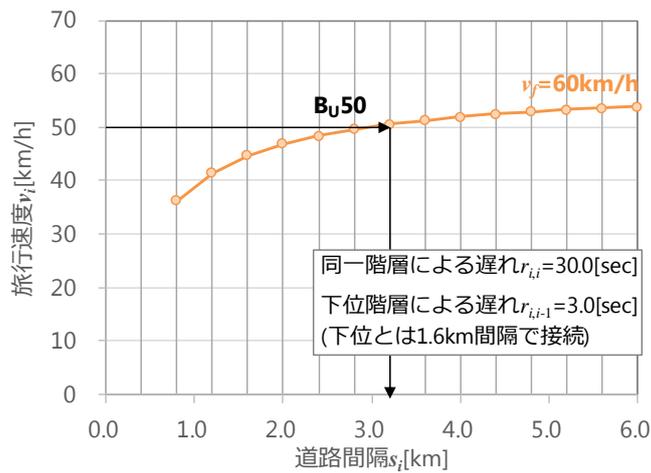
図-5.5 市街地外の場合の道路間隔と旅行速度の関係の例



(a) D20とC30, C40の接続を想定



(b) C30とB50の接続を想定 接続形式に信号交差点を仮定



(c) C30とB50の接続を想定 接続形式に不完全立体を仮定

図-5.6 市街地内の場合の道路間隔と旅行速度の関係の例

表-5.8 階層構成代替案・階層ごとの最小・最大道路間隔

市街地 外/内	階層構成 代替案	階層 <i>i</i>	目標旅行 速度 v_i [km/h]	下位階層との 接続間隔 $S_{(i,i-1)}$ [km/h]	最小道路間隔 $S_{(i,i)min}$ [km/h]	最大道路間隔 $S_{(i,i)max}$ [km/h]
市街地 外	C30	2	30	0.4	0.8	5.6
	C40	2	40	0.4	1.6	6.4
	C50	2	50	0.4	3.6	6.8
	B50	2	50	0.8	2.0	6.8
	B60	2	60	0.8	3.6	7.2
	C30&B50	2	30	0.4	0.8	3.6
		3	50	0.8	2.0	7.2
	C30&B60	2	30	0.4	0.8	4.0
		3	60	0.8	3.6	8.0
	C40&B50	2	40	0.4	1.6	4.0
		3	50	1.6	1.6	8.0
	C40&B60	2	40	0.4	1.6	4.4
		3	60	1.6	2.4	8.8
	市街地 内	C30	2	30	0.4	1.6
C40		2	40	0.4	3.2	6.4
B50		2	50	0.8	4.0	6.8
C30&B50		2	30	0.4	1.6	3.6
		3	50	1.6	3.2	7.6
C40&B50*		2	30	0.4	3.2	4.0
		3	50	3.2	2.8	8.0

*赤字部分において、道路間隔の大小関係が逆転するため、検討から除外するシナリオ

ところで、桑原ら(2011)は、主要幹線街路の間隔の地域的な差を調べるために、各地域の中心市街地約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、格子状配置を仮定した場合の道路間隔を推定し、表-5.9の示す値を得ている。これと今回の代替案における市街地内の各階層最小間隔を比較すると、表-5.9の値は、各地域ともC30に必要な1.6[km]より小さいことがわかる。このことは、一般国道・主要地方道・一般都道府県道の全てをCやBに該当する道路分類として運用しようとしても、旅行速度は30km/h程度にとどまってしまうことを示唆しているといえる。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ったより粗なネットワークとする必要があると考えられる。

表-5.9 桑原ら(2011)による主要幹線街路の道路間隔推定値

対象地域	秋田	東京	京都	Bangkok	Berkeley
道路間隔[km]	1.046	0.725	0.767	1.260	0.920

(b) 最大間隔

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(式(5.1))は、式(5.5)のようになる。

$$T_{\text{target}} \leq \frac{x_1}{v_1} + \frac{x_2}{v_2} + \frac{2r_{(1,2)}}{3600} \quad (5.5)$$

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(5.6)の成立した状態といえる。

$$x_1 \leq x_2 \quad (5.6)$$

従って、これが満たされる状態を実現できる道路間隔を最大間隔とする。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 $s_{(2,2)}$ 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 $s_{(2,2)}/2$ であるから、合計で $x_1=s_{(2,2)}$ となる。

すなわち、 $x_1=x_2$ となる道路間隔 $s_{(2,2)}$ が最大道路間隔 $s_{(2,2)\text{max}}$ である。

これらの関係を式(5.5)に代入すると、式(5.7)となり、式(5.8)が得られる。

$$T_{\text{target}} = \frac{s_{(2,2)\text{max}}}{v_1} + \frac{s_{(2,2)\text{max}}}{v_2} + \frac{2r_{(1,2)}}{3600} \quad (5.7)$$

$$s_{(2,2)\text{max}} = \frac{T_{\text{target}} - \frac{2r_{(1,2)}}{3600}}{\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)} \quad (5.8)$$

今回は、道路分類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、これらの道路を利用する対象と考えられるうち、最も目標旅行時間の短いCMC-LUC(集落・住区から生活拠点)という連絡を考え、30[min]を与える。これにより、D20とC30, C40, C50の組み合わせの場合、**図-5.7**のような関係が得られる。

図-5.7は、各代替案で階層2(道路分類C)の間隔が変化した場合に、目標旅行時間内に連絡可能な拠点間の走行距離と、その内訳を示している。道路間隔 $s_{(2,2)}$ が大きくなるにつれて、その階層にアクセスするために階層1を走行する距離 x_1 (図中の緑部分)は増大、逆に階層2を走行する距離 x_2 が減少する。結果として、両者の和であり図中の縦軸に表される、連絡可能な走行距離 X は短くなる。最大間隔は、**図-5.7**に示したように、この x_1 と x_2 が等しくなるときの値である。

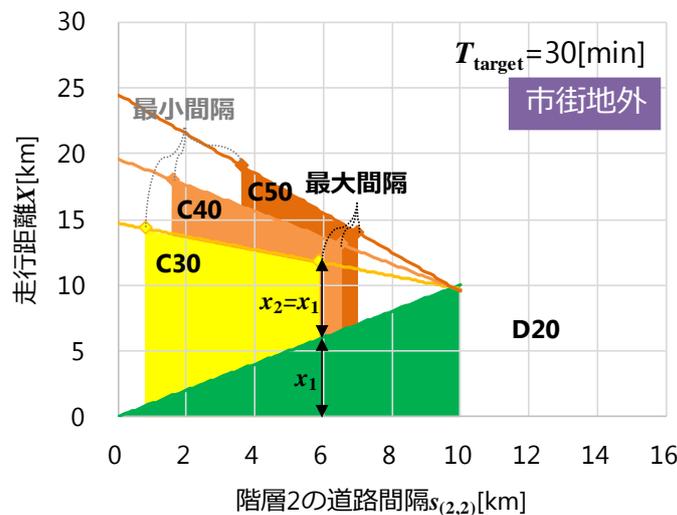


図-5.7 道路間隔と走行距離の関係(市街地外、二階層の場合)

なお、三階層の場合には、**式(5.9)**の条件も加え、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ものとする。

$$x_1 + x_2 \leq x_3 \quad (5.9)$$

この仮定によって、目標旅行時間達成条件(**式(5.1)**)は、**式(5.10)**のように、階層3の道路間隔 $s_{(3,3)}$ の変数として書き換えられる。

$$T_{\text{target}} = \frac{S_{(3,3)\text{max}}}{2v_1} + \frac{S_{(3,3)\text{max}}}{2v_2} + \frac{S_{(3,3)\text{max}}}{v_3} + \frac{2(r_{(1,2)} + r_{(2,3)})}{3600} \quad (5.10)$$

この関係を用いて、図-5.7同様に、階層3の道路間隔 $s_{(3,3)}$ と、目標旅行時間内に連絡可能な走行距離 X の関係をグラフにしたものが図-5.8である。この図からもわかる通り、階層3の最大間隔 $S_{(3,3)\text{max}}$ においては、常にある階層を走行している距離が、それより下位階層を走行している距離と等しくなっている。

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-5.8に示す。なお、最大間隔についても、0.4km単位で切り上げてある。これより、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、各階層において設定可能な道路間隔には幅があることになり、これが階層別目標旅行速度に対する適切な道路間隔の範囲といえる。ただし、図-5.7、図-5.8からわかる通り、道路間隔が大きいほど、目標旅行時間内に連絡可能な走行距離 X は短くなるので、連絡すべき拠点間がどの程度離れているのかを考慮して、道路間隔を調整すべきである。

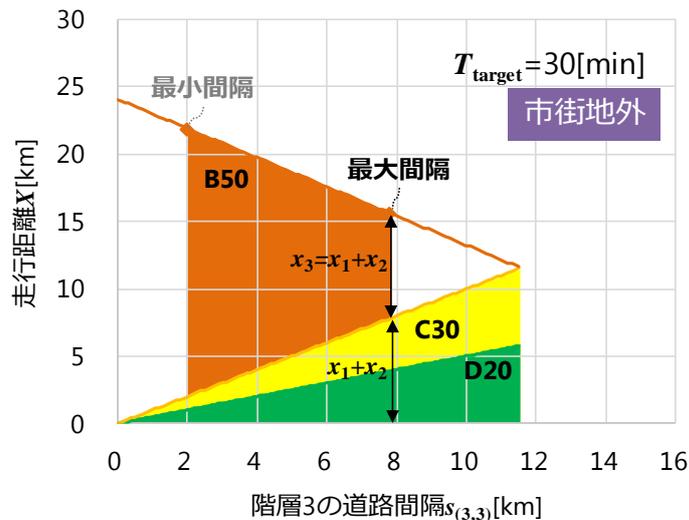


図-5.8 道路間隔と走行距離の関係(市街地外、三階層の場合の例)

5.3 階層型道路ネットワークにおける旅行時間の推定

前節により、階層数 n 、階層 i の目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i,i)}$ および下位階層との接続間隔 $s_{(i,i-1)}$ の組み合わせによる階層構成代替案が構築された。ここでは、これらの代替案に基づいた階層型道路ネットワークにおいて、トリップ長別の最短時間経路における使用階層数や階層別走行距離、旅行時間がどのようになるか推定する。

5.3.1 旅行時間の近似的推定方法

本研究では、階層数 n の格子状道路ネットワークにおいて、拠点間直線距離 X_{target} を連絡する旅行時間が最小となる時の使用階層数 k ($1 \leq k \leq n$)、およびそのときの旅行時間 $T(k)$ 、旅行距離 $X(k)$ 、平均速度 $V(k)$ を近似的に推定する。ここで、同じ拠点間距離であっても、格子状道路における走行距離は、図-5.9のようにODと格子状道路の方向関係によって変化する。このため、使用階層数 k や旅行時間 $T(k)$ などは、拠点間直線距離 X_{target} と格子状道路との交差角 θ に関する変数となる。今回は、図-5.9に示すように、 $\theta=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の4通りについてこれらの値を算出し、想定するトリップの性質によって、出力値のいずれかあるいは加重平均を使用することで、近似する。

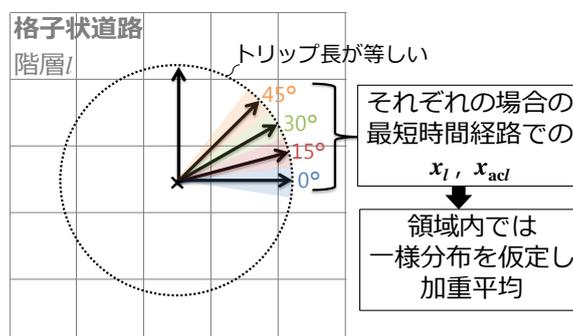


図-5.9 格子状道路での旅行時間算定におけるトリップのばらつき

任意の拠点間直線距離 X_{target} および θ における、使用階層数 k 、旅行時間 $T(k)$ 、旅行距離 $X(k)$ 、平均速度 $V(k)$ は、図-5.10のフローチャートに示す方法により近似推定する。このフローチャートは、使用階層数 k を1から n までひとつずつ増やしながら、その階層数で実現する旅行時間 $T(k)$ を計算し、上位の階層を利用しても旅行時間を短縮できない $T(k-1) < T(k)$ の状態となったら、使用階層数 k を $k-1$ に戻して計算を終了するものである。

この中では、使用階層数 k の場合の旅行時間 $T(k)$ は、各階層の平均走行距離 x_i ($1 \leq i \leq k$)を、Step1~3により近似的に計算している。

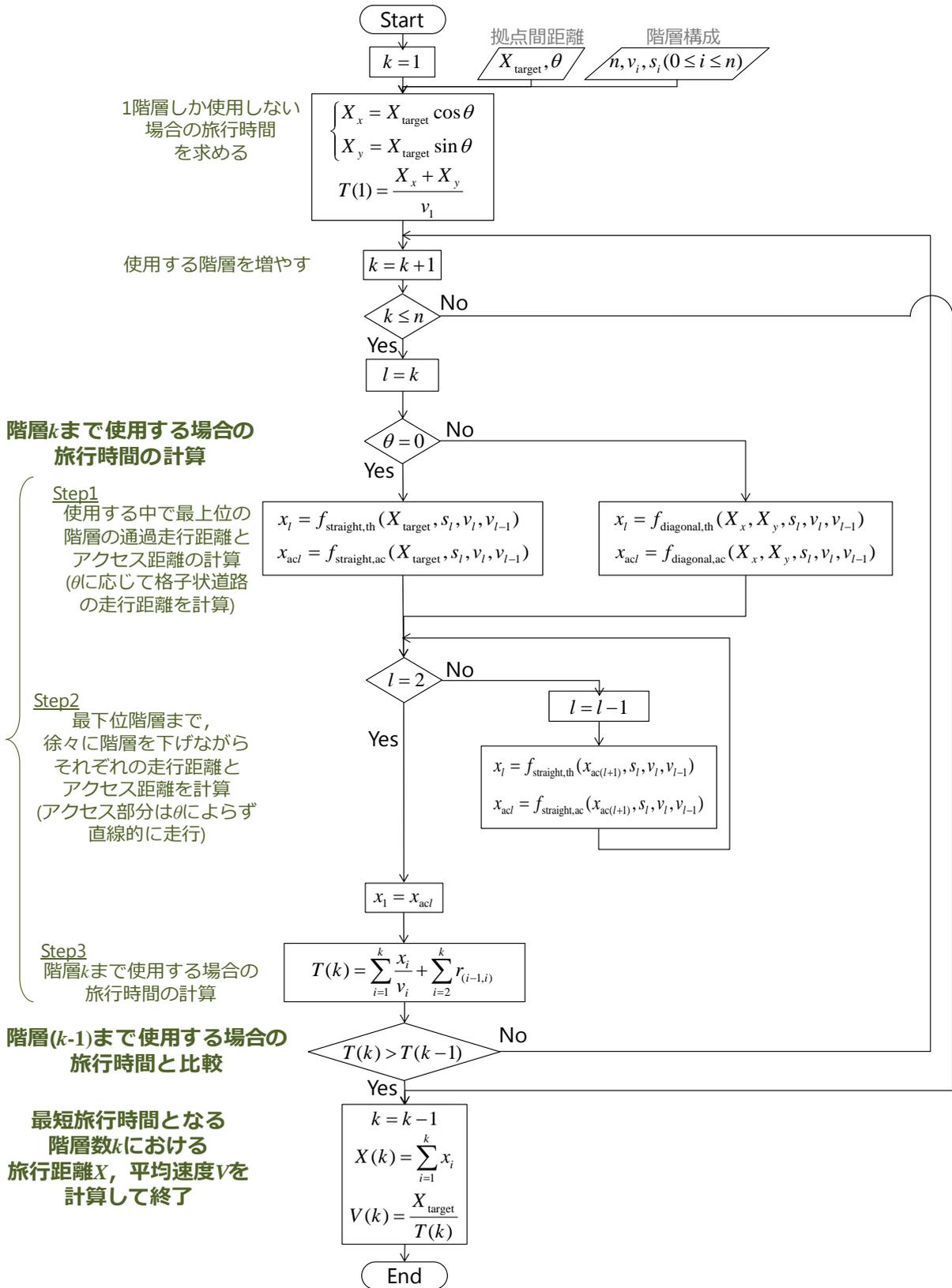


図-5.10 旅行時間の近似的計算手順のフローチャート

Step1

まず、 $l=k$ とし、最上位の階層 l の平均走行距離 x_l および、階層 l にアクセスするまでの平均アクセス走行距離 $x_{ac/l}$ を求める。この時点では、階層 l と階層 $(l-1)$ のみを考慮し、階層 l に対して階層 $(l-1)$ の道路間隔は充分小さいこと、 x_l は v_l で、 $x_{ac/l}$ は v_{l-1} で走行することを仮定する。なお、道路分類Bのように、階層 l と階層 $(l-1)$ の接続間隔 $s_{(l,l-1)}$ が、階層 $(l-1)$ の道路間隔 $s_{(l-1,l-1)}$ と異なる($s_{(l,l-1)} > s_{(l-1,l-1)}$)場合には、本来の階層 l と階層 $(l-1)$ の間に、旅行速度 v_{l-1} 、道路間隔 $s_{(l,l-1)}$ の階層がもう一つあるものとみなして、順次計算を行う。

起終点間には、図-5.11に示すように「迂回あり」と「迂回なし」の経路があり、どちらが最短時間となるかは、道路間隔 $s_{(l,l)}$ と目標旅行速度の比 v_l/v_{l-1} と X_{target} 、 θ の関係によって決まる。簡略化のためアクセス/イグレスが対称形となる連絡のみを考慮する場合、 x_l 、 $x_{ac/l}$ は、 $\theta=0[^\circ]$ のとき式(5.11)、(5.12)によって近似的に計算できる。これらの近似式の導出については、付録に記載する。

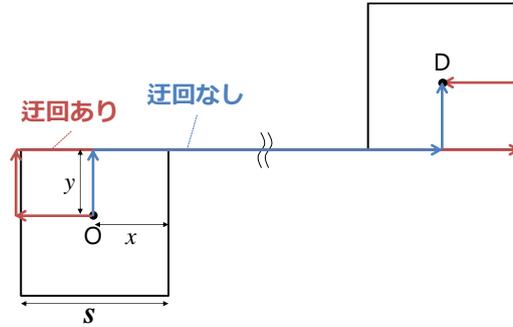


図-5.11 上位階層利用時に起こりえる経路の迂回

$$x_l = f_{\text{straight.th}}(X_{\text{target}}, s_l, v_l, v_{l-1}, \sum_{i=2}^l r_{(i-1,i)})$$

$$= \begin{cases} ms_l + \frac{3}{2}a - \frac{a^2}{s_l} + \frac{a^3}{2s_l^2}; \text{ when, } a < \frac{2s_l}{\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1} \\ -\left(\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1\right)\left(\frac{3v_l}{v_{l-1}} - 1\right) \frac{(s_l - a)^3 + (m + \frac{3}{2})s_l - a + \frac{a^3}{2s_l^2}}{2s_l^2\left(\frac{v_l}{v_{l-1}} - 1\right)^2}; \text{ otherwise} \end{cases} \quad (5.11)$$

$$x_{acl} = f_{\text{straight},a} \left(X_{\text{target}}, s_l, v_l, v_{l-1}, \sum_{i=2}^l r_{(i-1,i)} \right)$$

$$= \begin{cases} \frac{s-a}{2} + \frac{a^2}{s} - \frac{a^3}{2s^2}; \text{when, } a < \frac{2s}{\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1} \\ \frac{\left(\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1 \right) \left(3 - \frac{v_l}{v_{l-1}} \right)}{2s_l^2 \left(\frac{v_l}{v_{l-1}} - 1 \right)^2} (s_l - a)^3 + \frac{(s_l - a)^2}{s_l} + \frac{a^2}{s_l} - \frac{a^3}{2s_l^2}; \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.12)$$

ここに、 m : X_{target} を s_l で除した商、 a : X_{target} を s_l で除した余りである。

$\theta \neq 0[^\circ]$ の場合は、 X_{target} をx方向とy方向に分解して、 m_x : X_x を s_l で除した商、 a_x : X_x を s_l で除した余り、 m_y : X_y を s_l で除した商、 a_y : X_y を s_l で除した余りを用いて考える。

Step2

Step1で求めた x_{acl} は、実際には階層($l-1$)だけでなく階層1~階層($l-1$)を段階的に走行することになる。よって次は、 x_{acl} を階層($l-1$)まで使って連絡する場合を考える。これには、式(5.11)、(5.12)の $l=l-1$, $X_{\text{target}}=x_{ac,l+1}$ に置き換えればよい。

この計算を $l=2$ まで繰り返す、最後に $x_{ac2}=x_1$ とすれば、全階層の平均走行距離 x_i が計算できる。

Step3

各階層の平均走行距離 x_i 、および5.2.5(b)で求めた乗換抵抗を式(5.1)に代入すれば、拠点間直線距離 X_{target} を l 階層の格子状道路で連絡する場合の旅行時間 $T(l)$ が計算できる。

(a) 一般道路のみの経路の旅行時間

一般道路のみを利用した場合の旅行時間については、図-5.9のように、格子状道路に対してあらゆる方向のODが想定されるため、各方向の旅行時間の加重平均によって計算を行う。

また、市街地外の道路については、地勢条件による迂回の影響を考慮し、拠点間距離 X_{target} に対して迂回係数 a を乗じた aX_{target} を、拠点間距離とみなして旅行時間の計算を行う。この迂回は、図-5.12に模式的に示されるように、格子状を仮定している道路のリンク長が、実際には平面線形や縦断勾配により、直線時より長くなることを考慮するものであり、上記のODの方向による迂回とは種類の異なるものである。迂回係数 a は、4.5.1項で求めた近似直線の係数に基づき設定するものとする。

市街地内の道路については、地勢条件の影響はないものとして、迂回係数 a は考慮しない。

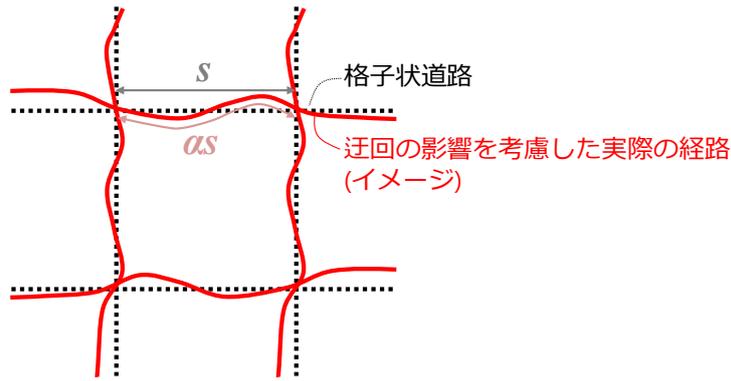


図-5.12 地勢条件による迂回の影響を表す模式図

(b) 自専道利用経路の旅行時間

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旅行時間の算出を行う。

ICアクセス・イグレス部分については、拠点ごとの自専道ICまでのアクセス・イグレス距離の和 $x_{ac(O)}+x_{ac(D)}$ を、上記の格子状道路の旅行時間算出方法でいう X_{target} に置き換えることで適用する。このとき、市街地外については、自専道アクセス道路が自専道ICに向かって、大きな迂回をせずに繋がっていることが一般的と考えられるため、格子状道路とトリップの方向が等しい $\theta=0[^\circ]$ の場合のみの最短経路と旅行時間を用いる。一方、市街地内については、自専道IC以外にもあらゆる方向のトリップに対して道路が配置しているため、全方向の加重平均の値を用いる。結果として、自専道ICまでのアクセス距離が同じであっても、市街地外より市街地内の方が、実際のアクセス走行距離が長くなり、アクセス時間も長くなる方法になっている。

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 $x_{ac(O)}+x_{ac(D)}$ を用いて次式で推定する。迂回係数 α は、一般道路のみの経路同様、4.5.1項の結果に基づき設定するものとする。

$$x_M = \alpha X_{target} - (x_{ac(O)} + x_{ac(D)}) \quad (5.13)$$

ただし、自専道走行距離 x_M が自専道のIC間隔より短い場合、自専道を利用することができない。これについて今回は、自専道の平均IC間隔 s_{IC} を用いて利用可否の判断を行うものとする。

5.3.2 旅行時間に階層構成が及ぼす影響

以上の手法により計算されたトリップ長別旅行時間の結果を以下に解説する。今回は比較参考として、制約条件として与える最下位階層Dと最上位階層 A_R の間に、B、Cの階層が全く入らず、D20のみが存在する代替案を【N】として掲載している。また、都市内高速を表す A_U については、所与として、実態を参考に道路間隔が2.4[km]であるものとした。

なお、本項では、純粋に階層構成代替案による影響のみを把握するため、地勢条件による迂

回は考えず，迂回係数 $\alpha=1.0$ としている。

(a) 一般道路の旅行時間

図-5.13~図-5.16の(a)は，起終点が対称であるトリップを想定して，一般道路のみを使用した経路で実現される，拠点間距離 X_{target} と旅行時間 T の関係である。図-5.13・図-5.15は階層別道路間隔が最小値，図-5.14・図-5.16は最大値の場合を仮定している。なお，この計算は前項で説明した通り，格子状道路を仮定した論理的近似手法により行っているため，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。現実的には，道路配置が完全な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発現することが極めて稀と考えられるため，無視してよい。

基本的には市街地外(図-5.13, 図-5.14)，市街地内(図-5.15, 図-5.16)のいずれについても，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。目標旅行速度の高い階層は道路間隔が大きく，アクセスにある程度の距離を要するため，短距離トリップでは，すぐにアクセス可能なC30などを有する代替案の方が，旅行時間が短い場合もあるが，差はごくわずかである。

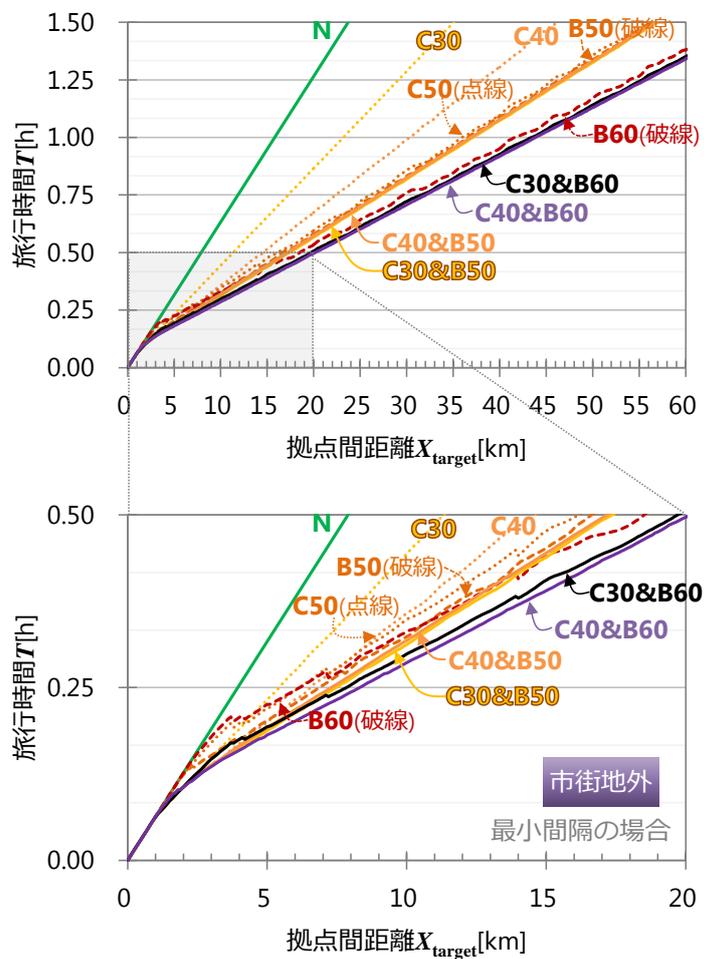
市街地外(図-5.13, 図-5.14)では，目標旅行速度は同じ50[km/h]だが下位階層との接続間隔が異なる【C50】と【B50】という二つの代替案があるが，これらに大きな差は見られなかった。このことから，今回想定した範囲内においては，下位階層との接続間隔を制限することで生じる迂回による旅行時間の増大はそれほど大きくないといえる。これを気にするよりむしろ，5.2.6(a)で示したような，目標旅行速度が達成できる道路間隔の検討を十分に行っておくことが重要といえる。

また，それぞれの場合の拠点間距離 X_{target} を旅行時間 T で除して求めた平均速度 V を，図-5.13~図-5.16の(b)に示している。これより，目標旅行速度60[km/h]の階層を適用した場合においても，拠点間の平均速度は45[km/h]程度にとどまることがわかる。これは，低速走行するアクセス・イグレス部分の影響や乗換抵抗によるものである。

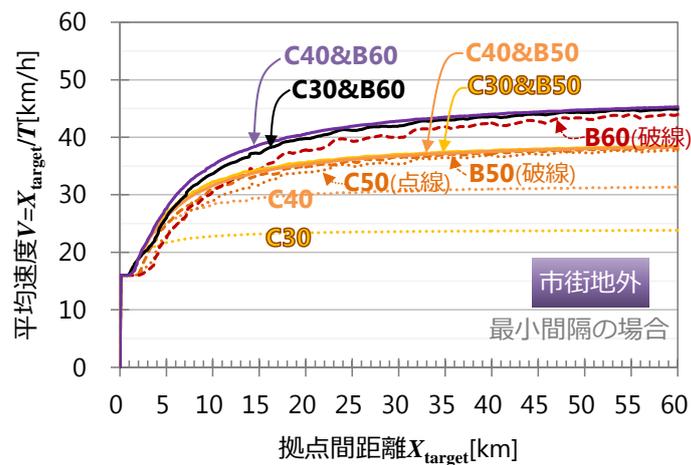
拠点間距離 X_{target} と旅行時間 T の関係(図-5.13~図-5.16)から，各種拠点階層の目標旅行時間(表-3.2)に対応した拠点間距離を読み取ることで，各目標旅行時間で連絡することのできる最大拠点間距離が得られる。ただし，図-5.17からわかる通り，道路間隔が小さい方が，旅行速度の高い階層に早くアクセス可能なため，旅行時間も短くなる。これによって，図中に示す通り，目標旅行時間内に連絡可能な最大拠点間距離にも違いが生じることになる。

表-5.10, 表-5.11は，市街地外・内それぞれについて，各目標旅行時間で連絡することのできる最大拠点間距離をまとめたものである。この表中において，下段()内の値は，最大・最小道路間隔の場合の最大拠点間距離であり，その平均値が上段の数字である。ただし，これらの値は，起点側・終点側同一の代替案を適用した対称トリップを仮定したものであるため，起終点で市街地外・内の別が異なる場合や，非対称の代替案を適用する場合には，これらの値の平均

をとるなど組み合わせて検討する必要がある点に注意されたい。

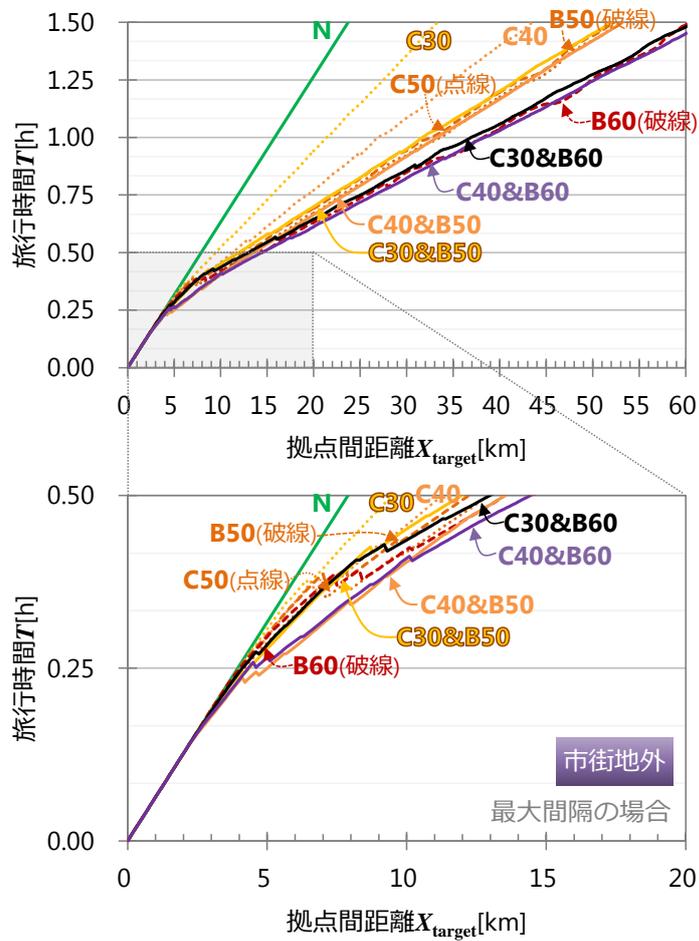


(a) 拠点間距離と旅行時間の関係

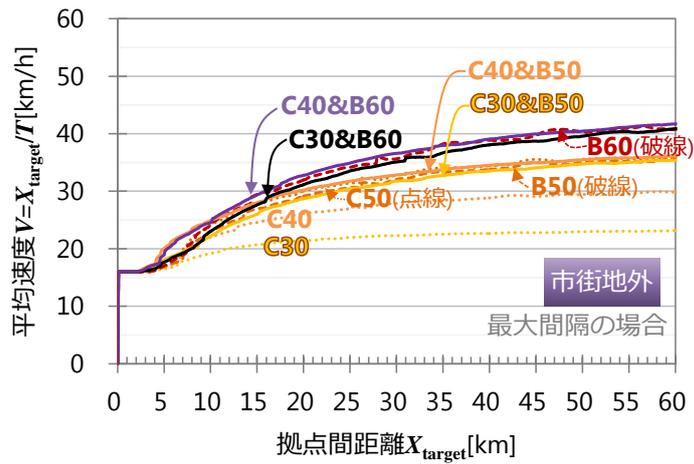


(b) 拠点間距離と平均速度の関係

図-5.13 市街地外・最小道路間隔の場合の拠点間連絡性能

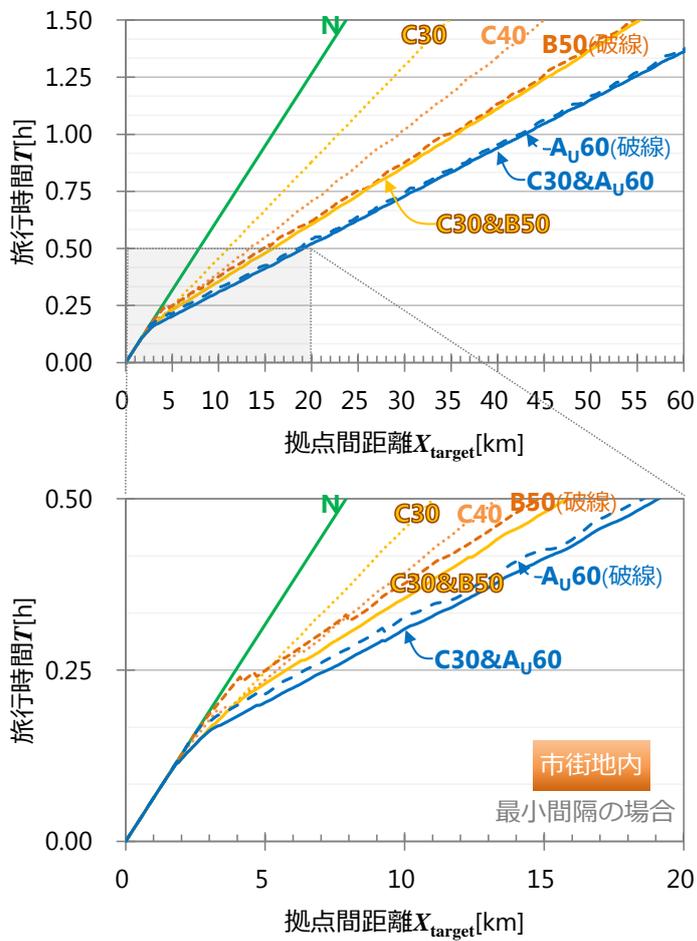


(a) 拠点間距離と旅行時間の関係

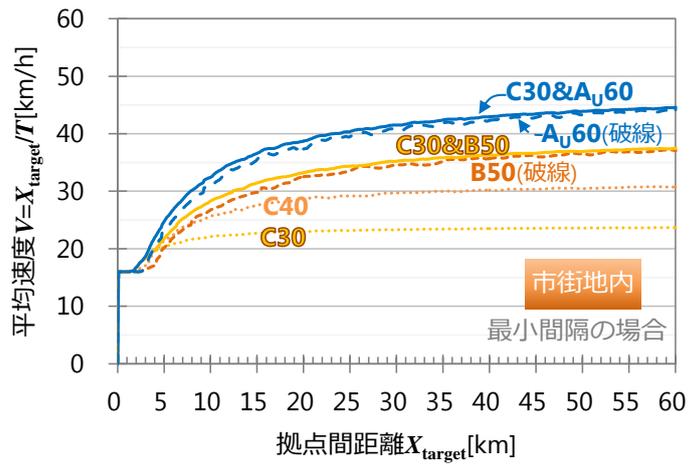


(b) 拠点間距離と平均速度の関係

図-5.14 市街地外・最大道路間隔の場合の拠点間連絡性能

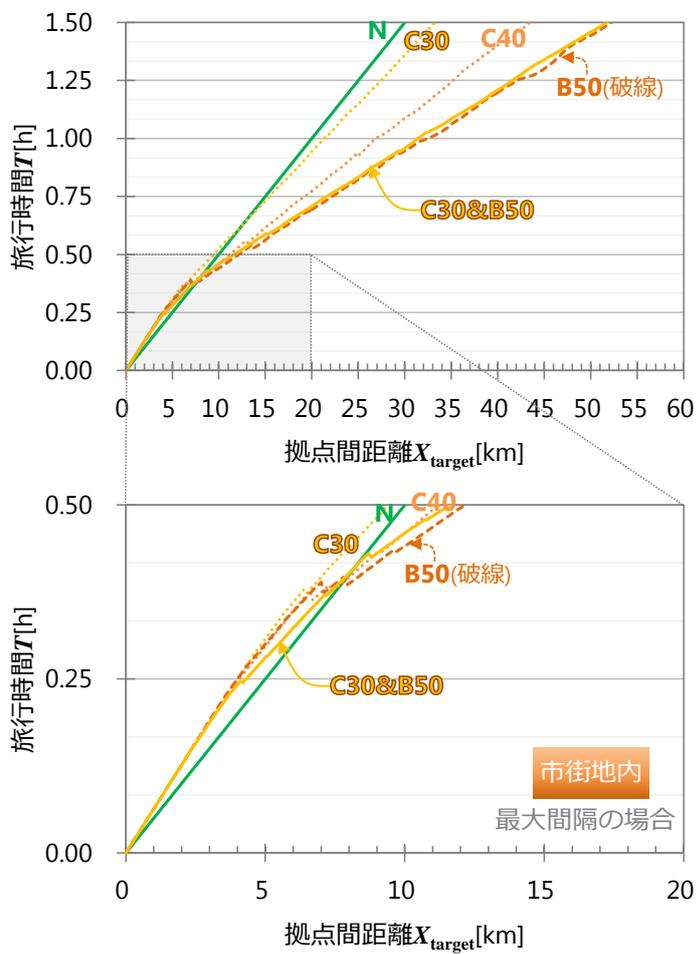


(a) 拠点間距離と旅行時間の関係

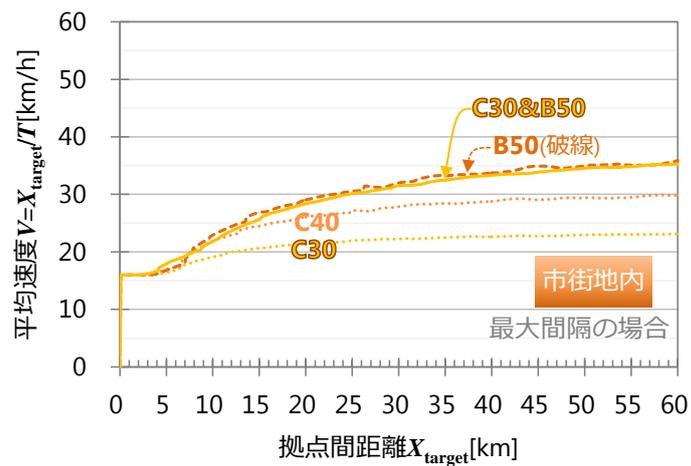


(b) 拠点間距離と平均速度の関係

図-5.15 市街地内・最小道路間隔の場合の拠点間連絡性能



(a) 拠点間距離と旅行時間の関係



(b) 拠点間距離と平均速度の関係

図-5.16 市街地内・最大道路間隔の場合の拠点間連絡性能

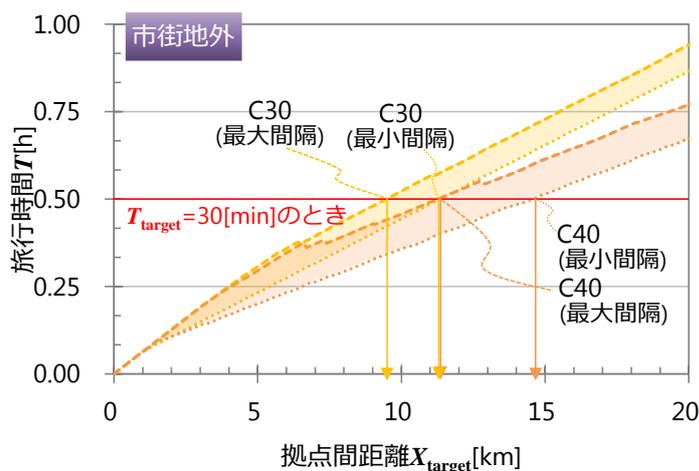


図-5.17 道路間隔による影響

表-5.10 目標旅行時間を達成可能な最大拠点間距離[km](市街地外の場合)

起終点	目標旅行時間	階層構成代替案(アルファベットは道路分類, 数字は目標旅行速度[km/h])						
		N	C30	C40	C50	B50	B60	
個別施設(CMC)	- SMC	15[min]	3.9	4.7 (4.0-5.4)	5.3 (4.0-6.5)	5.1 (4.1-6.1)	5.4 (4.0-6.8)	5.1 (4.0-6.1)
	- LUC	30[min]	7.9	10.4 (9.4-11.3)	12.9 (11.2-14.5)	14.5 (12.9-16.1)	14.4 (12.2-16.6)	16.0 (13.5-18.5)
	- UUC	60[min]	15.8	22.2 (21.3-23.1)	28.6 (26.9-30.3)	34.8 (33.6-35.9)	34.6 (32.6-36.6)	39.9 (38.2-41.5)
SMC	- SMC	20[min]	5.3	6.4 (5.4-7.3)	7.4 (5.7-9.1)	7.8 (6.1-9.5)	8.0 (5.7-10.3)	8.0 (5.9-10.1)
LUC	- LUC	45[min]	11.8	16.3 (15.4-17.2)	20.8 (19.3-22.3)	24.5 (23.0-26.0)	24.5 (22.2-26.8)	27.6 (25.6-29.6)
UUC	- UUC	90[min]	23.7	34.2 (33.3-35.0)	44.8 (43.4-46.1)	54.4 (53.1-55.6)	54.3 (52.3-56.2)	63.2 (60.5-65.8)

起終点	目標旅行時間	階層構成代替案(アルファベットは道路分類, 数字は目標旅行速度[km/h])					
		N	C30&B50	C30&B60	C40&B50	C30&B60	
個別施設(CMC)	- SMC	15[min]	3.9	5.9 (4.3-7.4)	6.0 (4.1-7.8)	6.1 (5.0-7.2)	6.3 (4.3-8.3)
	- LUC	30[min]	7.9	14.6 (11.9-17.3)	16.3 (12.9-19.7)	15.3 (13.5-17.1)	17.3 (14.4-20.1)
	- UUC	60[min]	15.8	34.3 (31.6-37.0)	40.2 (36.9-43.4)	35.1 (33.2-36.9)	41.1 (38.3-43.8)
SMC	- SMC	20[min]	5.3	8.6 (6.3-10.8)	9.0 (6.2-11.7)	9.1 (7.5-10.6)	9.8 (7.4-12.2)
LUC	- LUC	45[min]	11.8	24.6 (21.9-27.2)	28.3 (25.0-31.5)	25.2 (23.3-27.0)	29.3 (26.5-32.0)
UUC	- UUC	90[min]	23.7	54.4 (51.9-56.8)	63.9 (60.9-66.9)	54.9 (53.2-56.6)	64.8 (62.0-67.5)

表中の値は目標旅行時間を達成可能な最大拠点間距離: 単位[km]

表-5.11 目標旅行時間を達成可能な最大拠点間距離[km](市街地内の場合)

起終点	目標旅行時間	階層構成代替案(アルファベットは道路分類, 数字は目標旅行速度[km/h])					
		N	C30	C40	B50	Au60	
個別施設(CMC)	- SMC	15[min]	3.9	4.5 (3.9-5.0)	4.7 (4.0-5.4)	4.5 (3.9-5.0)	6.4
	- LUC	30[min]	7.9	10.2 (9.4-11.0)	12.2 (11.2-13.2)	14.0 (12.1-15.9)	18.5
	- UUC	60[min]	15.8	22.1 (21.3-22.8)	28.1 (26.8-29.3)	34.0 (32.5-35.5)	42.3
SMC	- SMC	20[min]	5.3	6.2 (5.4-7.0)	6.9 (5.7-8.1)	7.5 (5.6-9.3)	10.3
LUC	- LUC	45[min]	11.8	16.2 (15.4-16.9)	20.4 (19.2-21.5)	24.1 (22.2-26.0)	30.1
UUC	- UUC	90[min]	23.7	34.0 (33.2-34.7)	44.2 (43.4-44.9)	53.7 (52.2-55.2)	66.0

起終点	目標旅行時間	階層構成代替案(アルファベットは道路分類, 数字は目標旅行速度[km/h])				
		N	C30&B50	C40&B50	C30&Au60	
個別施設(CMC)	- SMC	15[min]	3.9	5.0 (4.3-5.7)	5.2 (4.9-5.4)	7.2
	- LUC	30[min]	7.9	13.7 (11.6-15.8)	14.1 (13.2-15.0)	19.0
	- UUC	60[min]	15.8	33.5 (31.4-35.5)	33.8 (32.9-34.7)	42.8
SMC	- SMC	20[min]	5.3	7.7 (6.2-9.1)	7.9 (7.4-8.4)	11.2
LUC	- LUC	45[min]	11.8	23.5 (21.5-25.5)	23.9 (23.0-24.8)	30.9
UUC	- UUC	90[min]	23.7	53.5 (51.6-55.3)	53.6 (52.8-54.4)	66.5

表中の値は目標旅行時間を達成可能な拠点間距離：単位[km]

なお、図-5.18に市街地外・内の比較を示すが、最小道路間隔の場合に、わずかに市街地外の方が、旅行時間は短くなっている。これは道路間隔および乗換抵抗の違いによるものである。

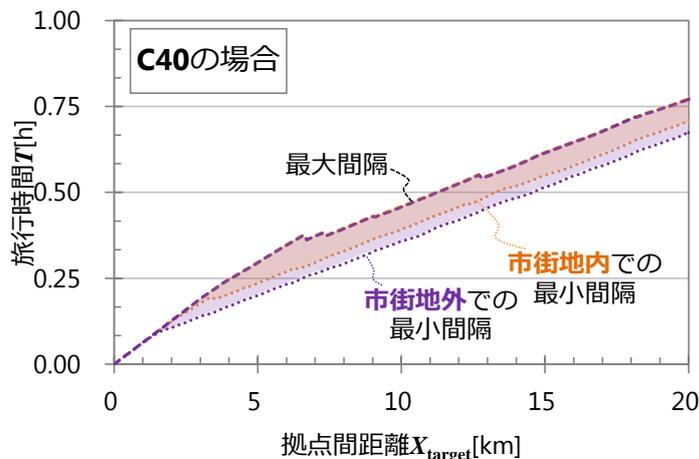


図-5.18 市街地による影響

また、表-5.12、表-5.13は、最短経路において階層間の乗換えが生じる拠点間距離をまとめたものである。これと表-5.10、表-5.11を併せてみることで、目標を達成可能な拠点間トリップがどの階層を使用しているかを確認できる。なお、階層間の乗換えが生じる拠点間距離を、市街地外(表-5.12)と市街地内(表-5.13)で比較すると、市街地内(表-5.13)の方が長くなっている。これは、市街地内では市街地外よりも、階層間の乗換抵抗が大きい分、より長距離を上位階層で走行しなければ、乗換えが有利とならないためである。

表-5.12 最短経路において階層が切り替わる拠点間距離(市街地外の場合)

乗換え先 (上位) の 階層	階層構成代替案(アルファベットは道路分類, 数字は目標旅行速度[km/h])									
	N	C30	C40	C50	B50	A60	C30 &B50	C30 &B60	C40 &B50	C40 &B60
30km/h	-	5.3 (1.8-8.7)	-	-	-	-	3.8 (1.8-5.8)	3.6 (1.8-5.4)	-	-
40km/h	-	-	4.3 (1.9-6.7)	-	-	-	-	-	3.1 (1.9-4.3)	3.3 (1.9-4.6)
50km/h	-	-	-	4.5 (3.2-5.8)	4.6 (2.6-6.6)	-	6.4 (3.0-9.7)	-	14.0 (5.6-22.4)	-
60km/h	-	-	-	-	-	4.8 (3.6-6.0)	-	6.3 (4.0-8.5)	-	9.6 (4.6-14.5)

表-5.13 最短経路において階層が切り替わる拠点間距離(市街地内の場合)

乗換え先 (上位) の 階層	階層構成代替案(アルファベットは道路分類, 数字は目標旅行速度[km/h])							
	N	C30	C40	B50	C30 &B50	C40 &B50	Au60	C30 &Au60
30km/h	-	6.0 (3.6-8.9)	-	-	4.6 (3.1-6.0)	-	-	2.6
40km/h	-	-	5.2 (3.6-6.8)	-	-	4.0 (3.6-4.4)	-	-
50km/h	-	-	-	5.5 (4.3-6.7)	7.6 (5.0-10.1)	17.1 (10.8-23.3)	-	-
60km/h	-	-	-	-	-	-	3.3	3.1

表中の値は切り替わる拠点間距離：単位[km]

各目標旅行時間を達成可能な最大拠点間距離は、これと実際の拠点間距離を比較することで、目標旅行時間を達成できるか否かの判断基準として用いることができる。また、逆に、各種拠点間がどの程度の距離に配置していなければならないかを読み取ることで、拠点配置計画へのフィードバックとして用いることもできる。よって、ここまでの結果に基づき、特に一般道路で連絡することが基本と考えられる、生活機能を供給する小さな拠点・生活拠点に関して、下記のことがいえる。

➤ SMC(小さな拠点)

4~5[km]程度までは、接続間隔や乗換抵抗の影響で、どの階層構成代替案でもDを使用するのが最短経路となる。目標旅行時間が15[min]と短いCMC-SMC(集落・住区から小さな拠点)については、およそこの範囲に該当している。CMC-SMCの拠点間距

離を5[km]以内に収めておくことで、それより上位の階層から、このような生活交通を排除することが可能になる。言い換えると、SMC(小さな拠点)の勢力圏・サービス圏は、およそ5[km]の範囲内に収まっていることが望ましい。

➤ LUC(生活拠点)

CMC-LUC(集落・住区から生活拠点)の目標旅行時間が達成できる距離は、16[km]程度である。つまり、全ての居住地は、生活拠点から16[km]程度の位置に配置しているべきであり、これを満たさない場合には、居住地の移転や、新たな生活拠点の設置を検討すべきである。LUC(生活拠点)の勢力圏・サービス圏が半径10[km]以上にわたる地域においては、旅行速度40[km/h]以上で走行できる階層が必要である。

(b) 自専道ICアクセス時間

図-5.19, 図-5.20は、市街地外・内それぞれについて、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階層B, Cについて最大間隔、下限は最小間隔を、それぞれ仮定した場合に得られるアクセス時間 $t_{ac(O)}$ の最大値、最小値であり、棒グラフそのものの高さはその平均値である。

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】)のではなく、C30を介して接続する代替案【C30&B50】などでは、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。

アクセスに使用する道路のより詳細な状況をみるため、自専道ICまでのアクセス距離 $x_{ac(O)}=8$ [km]の場合を例として、自専道までのアクセス時間 $t_{ac(O)}$ を使用階層別に色分けし、自専道ICまでの走行距離と併せて記載したものを図-5.21, 図-5.22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、代替案【C30】や【C40】に比べてアクセス時間は短いものの、最も速度の低い階層D20の走行時間が長いことがわかる。これは、階層の目標旅行速度が高ければ高いほど、道路間隔を大きく取る必要があり、そこへのアクセスに時間がかかることによる。このため、集散道路であり、生活交通も担うD20(階層1)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階層を直接接続するのではなく、C30などを間に挟む代替案【C30&B50】のような形をとると、アクセス時間はそれほど変わらずに、これを実現できる。

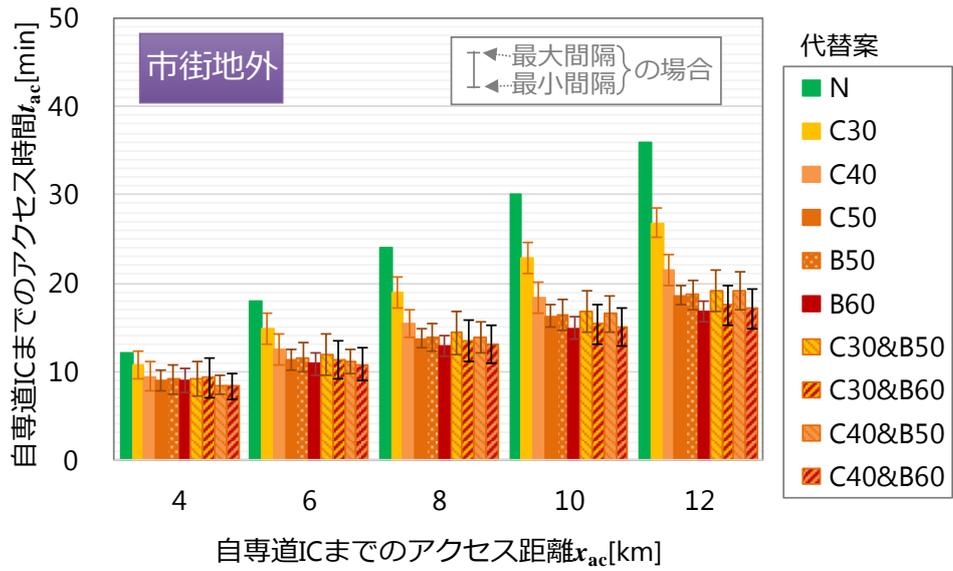


図-5.19 自専道ICまでのアクセス距離とアクセス時間(市街地外の場合)

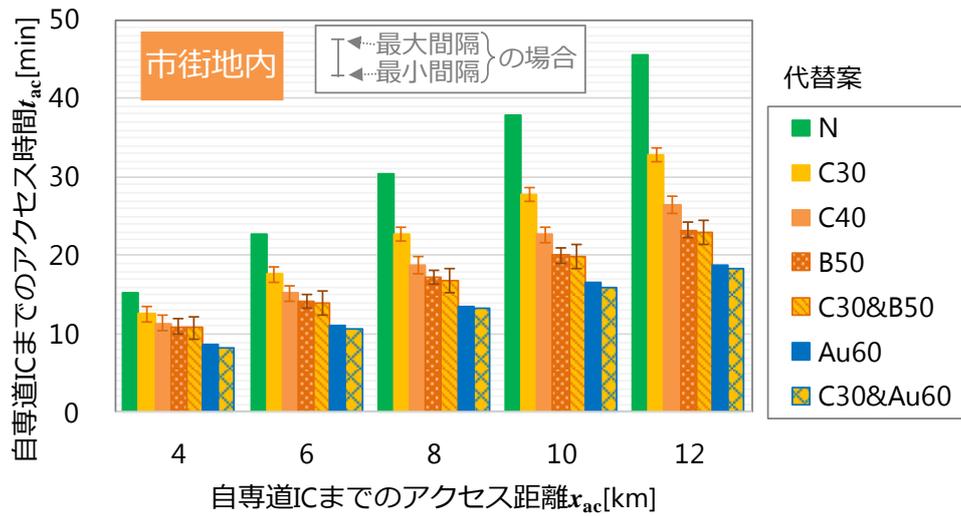
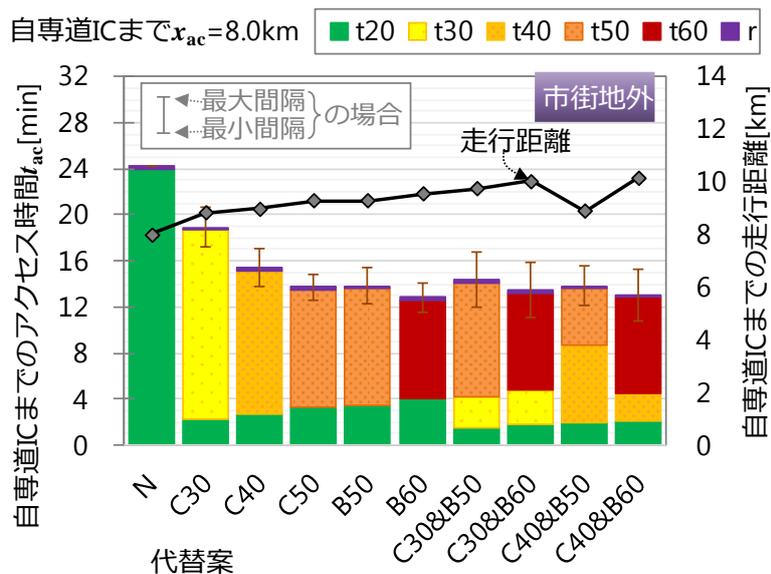
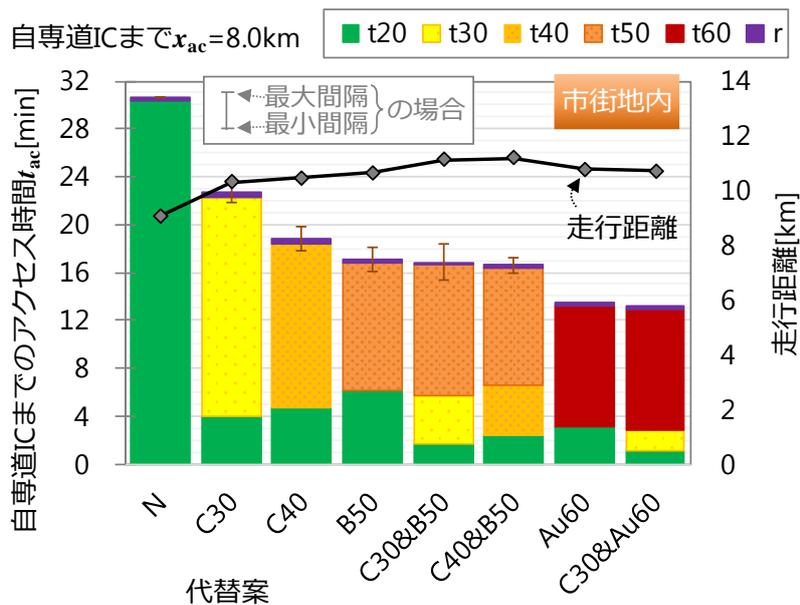


図-5.20 自専道ICまでのアクセス距離とアクセス時間(市街地内の場合)



※凡例中，”tXX”は目標旅行速度がXX[km/h]の階層の走行時間，”r”は自専道との乗換抵抗を表す。
 図-5.21 自専道ICまでのアクセス時間と階層の使用状況，走行距離の比較
 (市街地外，自専道ICまで8kmの場合)



※凡例中，”tXX”は目標旅行速度がXX[km/h]の階層の走行時間，”r”は自専道との乗換抵抗を表す。
 図-5.22 自専道ICまでのアクセス時間と階層の使用状況，走行距離の比較
 (市街地内，自専道ICまで8kmの場合)

5.4 二拠点間を連絡する道路ネットワーク階層構成の検討方法

ここまでで、道路ネットワークを機能階層型にするための代替案が複数構築され、その効果が定量化された。本節では、ある二拠点を連絡する経路を改良する際に、これらの結果を利用してどのように階層構成代替案の中から適切なものを選定するのか、その検討方法を提示する。

5.4.1 機能階層型道路ネットワークへの再編で求められること

機能階層型道路ネットワークへの再編によって求められていることは、主として、①拠点間連絡性能の向上、②利用者の適切な分離による道路交通の質の向上である。

一般的に、①拠点間連絡性能の向上という目的に対しては、図-5.23で示すように、通過走行を行うラインホール部分で使用する階層の旅行速度を確保すること(図-5.23のA)と、ラインホール部分の階層へのアクセスを確保すること(図-5.23のB)の二点が重要である。大都市拠点領域や高次都市拠点領域に起終点がある場合の多くでは、Aは自専道整備、Bは自専道アクセス改善のための一般道路整備と捉えることができる。

また、②利用者の適切な分離という目的に対しては、拠点領域内(市街地内)において、領域内に起終点を持つ内々交通と、領域内と領域外を連絡する内外交通、領域内を通過するだけの外外交通など様々なトリップを、適切な階層に分担させること(図-5.23のC)が重要である。

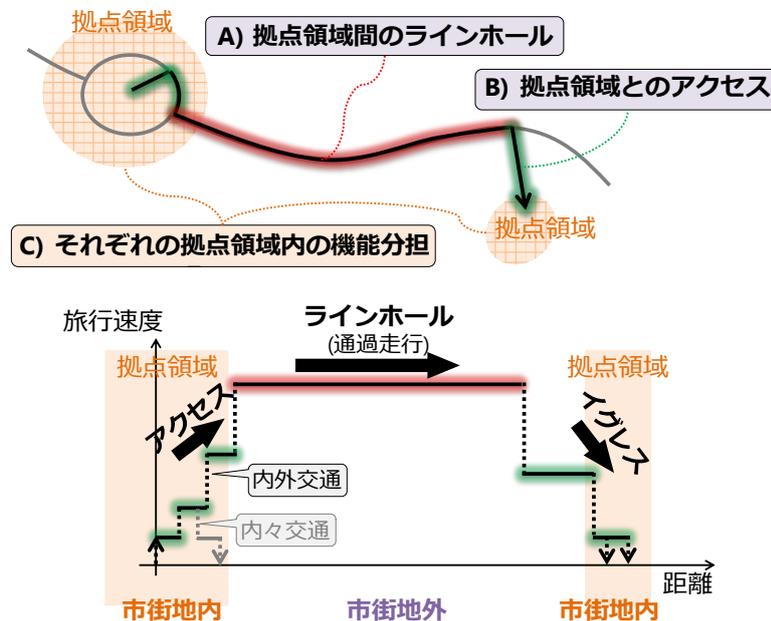


図-5.23 階層型道路ネットワークに求められること

(a) 拠点間に着目して

先に述べたように、①拠点間連絡性能の向上を目的とする場合には、ラインホール部分とア

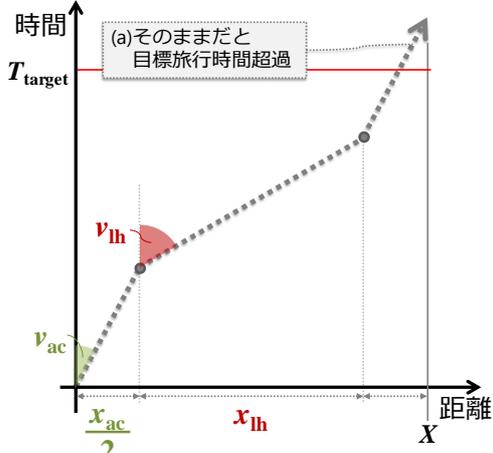
クセス部分の両者を考慮する必要がある。両者の関係を簡略化して示す例として、**図-5.24(o)**のように、拠点間がアクセス/イグレスのための階層(以降、アクセス階層)と、通過走行のための階層(以降、ラインホール階層)の二階層で、起終点对称に連絡している状態を考える。**(o)**の状態では目標旅行時間を達成できないとき、改良の方策として、**(i)**ラインホール階層の旅行速度を向上させる、**(ii)**ラインホール階層を延伸しアクセス距離を短縮する、**(iii)**アクセス階層とラインホール階層の間に中間階層を挿入し、ラインホール階層までのアクセス時間を短縮するという三つがあり得る。

このうち、**(i)**は**図-5.23**のAに、**(ii)**、**(iii)**は**図-5.23**のBに対応する。なお、アクセス階層そのものの旅行速度を向上させることは、起終点となる沿道施設からの出入を担保することと両立が困難なため、考えない(トラフィック機能とアクセス機能のトレードオフ)。

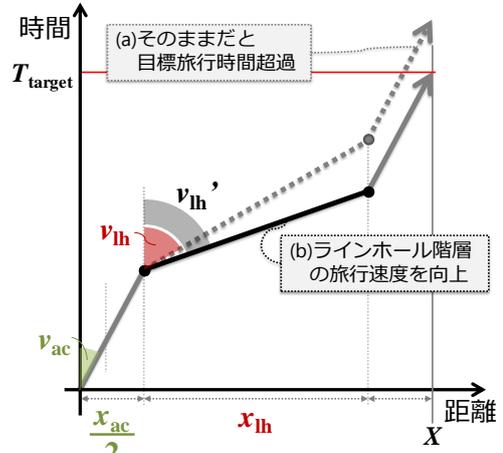
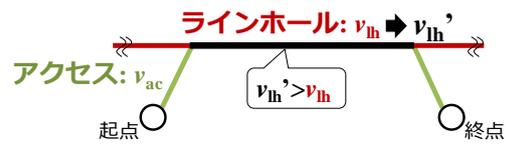
まず前提として、ラインホール階層の旅行速度が、拠点間距離 X_{target} を目標旅行時間 T_{target} で除すことで計算される目標平均速度よりも低い場合には、アクセス・イグレス部分の旅行時間をいかに短縮しても、目標旅行時間を達成することはできない。アクセス・イグレスや経路の迂回の影響も考えれば、ラインホール階層の旅行速度は、目標平均速度より十分高くあることが望ましい。そうでない場合、まずは**(i)**ラインホール階層の旅行速度向上が必要となる。

長距離拠点間連絡の場合について、まずこのような検討を行うことは、現状の自専道整備が充分かどうかの論拠となり得る。一方、自専道を利用しない中距離の拠点間連絡において、ラインホール階層を確保することは、本節でいう道路分類Bなどの階層を整備することを意味する。また、拠点間距離が長すぎて、目標平均速度が自専道旅行速度を上回ってしまう場合や、それを実現するのに要する費用が莫大となる場合などには、拠点を移転することも検討すべきである。

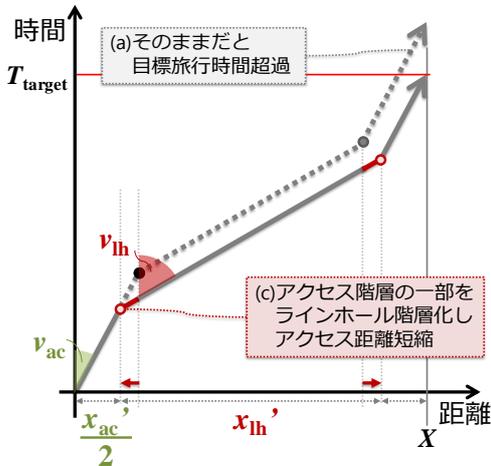
上記は満足されているにも関わらず、ラインホール階層へのアクセス/イグレスの影響によって目標旅行時間が達成されない場合にはじめて、**(i)**だけでなく**(ii)**、**(iii)**を検討することになる。特に、長距離拠点間連絡でラインホール階層が自専道である場合、旅行速度の向上や延伸、IC増設には限界があり、**(i)**、**(ii)**は適用が難しい。これに対して、アクセス側で対応する**(iii)**は、現状課題である「低速の一般道路」を改良する施策として有効と考えられる。また、一般道路を階層化することによって、そもそも自専道を利用しなくても拠点間の目標旅行時間を達成できるようになる場面も生じる。このように、アクセス部分の階層化を行う方策**(ii)**は、自専道の混雑緩和や、代替経路確保の観点からも望ましい状況を生み出すものと期待される。ただし、そもそもアクセス階層とラインホール階層の旅行速度(v_{ac} , v_{lh})にあまり差がない場合や、アクセス距離(x_{ac})が短すぎる場合には、**(iii)**の適用は難しい。



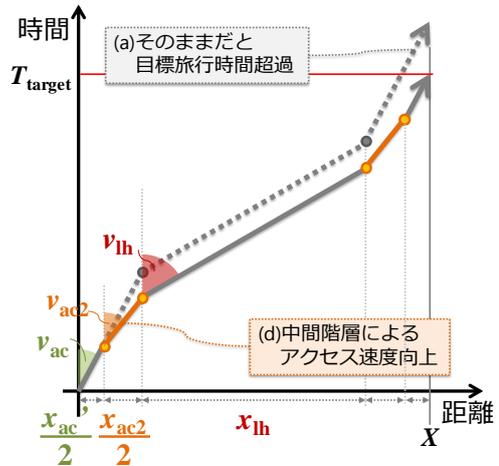
(o) アクセスと通過走行の階層



(i) ラインホール階層の旅行速度を向上



(ii) ラインホール階層を延伸しアクセス距離短縮



(iii) 中間階層によりアクセス速度向上

図-5.24 目標旅行時間達成のための施策

(b) 拠点領域内に着目して

任意の起終点間トリップは、移動コストが最小となる経路を使用するのが一般的である。移動コストは通常、移動時間や距離、料金抵抗による総コストとなるが、今回は移動時間を考える。このとき、最小コストとなる経路は、最短時間経路となる。

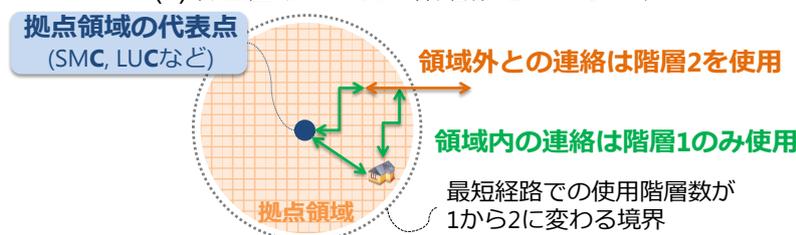
最短時間経路での使用階層は、これまでに説明した通り、各階層の目標旅行速度および道路間隔、階層間の接続間隔に依存する。従って、拠点領域内で分離したいトリップ長に応じて、

各階層の目標旅行速度や道路間隔を調整しておくことが理想である。例えば、**図-5.25(a)**に示すように、拠点間距離は拠点階層が下位の方が短く、上位の方が長いのが一般的であるから、これに応じてSMC(小さな拠点)に行くためには階層1のみ、LUC(生活拠点)に行くためには階層1と階層2を使う経路が最短時間となるように、階層2の目標旅行速度や接続間隔を調整しておく、というような構成が望ましい。

同様の考え方で、拠点領域外への内外/外内交通と、拠点領域内で移動する内内交通を分離したい場合には、内外/外内交通が使う中間階層(**図-5.24(iii)**)を内内交通が使用しないようにすればよい。このためには、**図-5.25(b)**に示すように、中間階層である階層2を使用しない経路が最短時間となる拠点間距離の範囲に、拠点領域の大きさを限定すれば良い。これは拠点領域のコンパクト化に他ならず、コンパクトな拠点の形成は、道路の機能分担にとっても有効であることを示唆している。



(a)最短経路での使用階層数とトリップ長



(b)拠点領域の大きさと道路階層の機能分担

図-5.25 市街地内の階層化の意義

5.4.2 階層構成の決定方法

本項では、前項で述べた事項を考慮して、ある二拠点間を連絡する道路に対して、どのような階層構成代替案を適用すべきかという検討をデモンストレーションする。

階層構成決定は、**図-5.26**のフローチャートに示すように、まず対象とする二拠点間の既存道路の状況を確認し、専道を利用した拠点間連絡とするか否かを決定するところから始まる。これ以降では、**1.一般道路のみでの検討**、**2.専道ありでの検討**のそれぞれについて、例題を示しながら解説する。

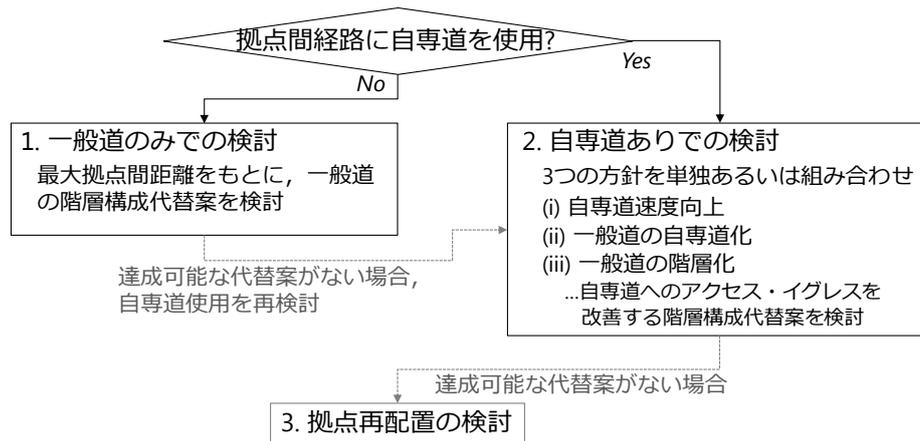


図-5.26 階層構成代替案決定のフロー

(a) 想定する拠点間

ここでは、図-5.27に示すような集落CMA(代表点CMC)と高次都市拠点UUA(代表点UUC)の連絡を例題として、拠点間を連絡する階層構成の設定方法を解説する。

いま、この二点間の目標旅行時間は、表-3.2の「個別施設から高次都市拠点UUCまで」である1.0[h]=60[min]に設定できる。集落の代表点CMCを、その領域CMA内にある個別施設(住居など)の代表とみなして評価を行う。

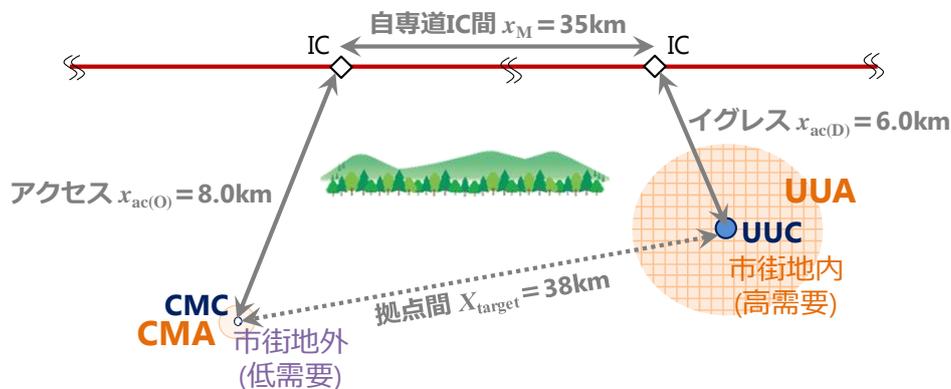


図-5.27 想定する拠点間連絡

(b) 一般道路での達成

一般道路のみの経路で目標旅行時間を達成できるか否かは、5.3.1(a)で求めた最大拠点間距離との比較により判定できる。ただし、最大拠点間距離を示した表-5.10、表-5.11は、起終点が対称のトリップを仮定しているが、図-5.27の拠点間では、起点CMC側は市街地外、終点UUC側は市街地内で非対称となっている。このため、起点CMC側は表-5.10より市街地外の代替案の最大拠点間距離を、終点UUC側は表-5.11より市街地内の代替案の最大拠点間距離を参照し、これらの平均値をもって、今回の非対称拠点間の最大拠点間距離とする。表-5.14は、この非対称

拠点間の最大拠点間距離の計算結果であり、列は起点CMC側の代替案、行は終点UUC側の代替案を示し、表中の値は、その組み合わせにより目標旅行時間60[min]を達成可能な最大拠点間距離を示している。

今回の拠点間距離は $x_{\text{target}}=38[\text{km}]$ であり、表-5.14のどの値よりも大きいため、一般道路のみでは目標旅行時間を達成できない結果である。

表-5.14 一般道路階層化による旅行時間60[min]を達成可能な最大拠点間距離(CMC-UUC)

CMC側 UUC側	N	C30	C40	C50	B50	B60	C30& B50	C30& B60	C40& B50	C40& B60
N	15	19	22	25	25	27	25	28	25	28
C30	19	22	25	28	28	31	28	31	29	32
C40	22	25	28	31	31	34	31	34	32	35
B50	24	28	31	34	34	36	34	37	34	37
C30&B50	24	28	31	34	34	36	34	37	34	37

単位[km]

(c) 自専道での達成

拠点間の目標旅行時間達成条件

次に自専道を含んだ経路による検討を行う。今回の対象拠点間に対して、自専道利用経路での目標旅行時間達成条件は、式(5.14)のように書くことができる。

$$T_{\text{target}} \geq t_{\text{ac}(O)} + \frac{x_M}{v_M} + t_{\text{ac}(D)} \quad (5.14)$$

ここで、 T_{target} : 拠点間の目標旅行時間、 $t_{\text{ac}(O)}$: 起点から自専道ICまでのアクセスに要する時間、 $t_{\text{ac}(D)}$: 自専道ICから終点までのイグレスに要する時間、 x_M : 自専道走行距離=起終点の最寄IC間の距離、 v_M : 自専道の目標旅行速度である。

境界条件による初期状態の整理

まず、拠点領域間を連絡する自専道 A_R に集散道路 $D_{U/R}$ が直接繋がっている状態を初期状態とする。この状態を整理すると表-5.15のようになる。ここで、自専道ICまでのアクセス時間 $t_{\text{ac}(O)}$ 、イグレス時間 $t_{\text{ac}(D)}$ は、5.3.2(b)で示した値を整数に丸めて用いている。表-5.15からわかる通り、初期状態では拠点間旅行時間は目標旅行時間を超過してしまう。従って、目標旅行速度と道路分類を設定しなおす必要がある。

ここでは、将来想定する自専道や一般道路の整備方針に応じて、下記に解説する施策(i)~(iii)から、単独あるいは複数を組み合わせて決定する方法を解説する。

表-5.15 初期状態での旅行時間・旅行距離

各種条件	変数	値(初期状態)	施策との関係等
目標旅行時間	T_{target}	60[min]	
<u>拠点配置条件</u>			
拠点間距離(直線距離)	X_{target}	38[km]	
自専道の走行距離	x_M	35[km]	
起点側のアクセス距離	$x_{\text{ac}(O)}$	8[km]	施策(ii)で検討
終点側のイグレス距離	$x_{\text{ac}(D)}$	6[km]	
<u>道路の目標旅行速度の条件</u>			
自専道 A_R の目標旅行速度	v_M	80[km/h]	施策(i)で検討
集散道路 $D_{U/R}$ の旅行速度	v_{ac} (初期状態)	20[km/h]	施策(iii)で検討
<u>旅行時間</u>			
自専道の走行時間	x_M/v_M	26.3[min]	施策(i), (ii)で変化
起点~ICのアクセス時間	$t_{\text{ac}(O)}$	24[min]	
IC~終点のイグレス時間	$t_{\text{ac}(D)}$	23[min]	
初期状態での旅行時間	$T = t_{\text{ac}(O)} + x_M/v_M + t_{\text{ac}(D)}$	73.3[min]	>目標旅行時間
<u>旅行距離</u>			
自専道の旅行距離	x_M	35[km]	
起点~ICの旅行距離	$x_{\text{ac}(O)}$ '	8[km]	
IC~終点の旅行距離	$x_{\text{ac}(D)}$ '	7.6[km]	市街地内で迂回
初期状態での旅行距離	X	50.6[km]	

施策(i) 自専道の目標旅行速度向上

この施策では、ラインホールとなる自専道の目標旅行速度を上げることで、目標旅行時間の達成を図る。このために必要な自専道目標旅行速度を求めると、式(5.14)を v_M について解くと、式(5.15)のようになり、 $v_M=162[\text{km/h}]$ になる。

従って、この施策に基づいて階層設定を行うと、自専道 v_M の目標旅行速度は170[km/h]となる。このとき、旅行距離と旅行時間の関係は図-5.28のようになるが、旅行速度170[km/h]は現状の技術水準上、明らかに非現実的である。よって今回の対象拠点間には、施策(i)を単独で適用することは不可能である。

$$v_M \geq \frac{x_M}{T_{\text{target}} - (t_{\text{ac}(O)} + t_{\text{ac}(D)})} = 162[\text{km/h}] \quad (5.15)$$

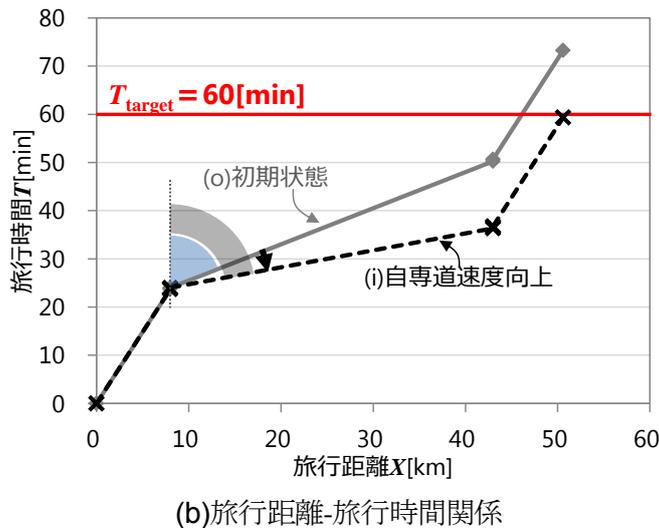
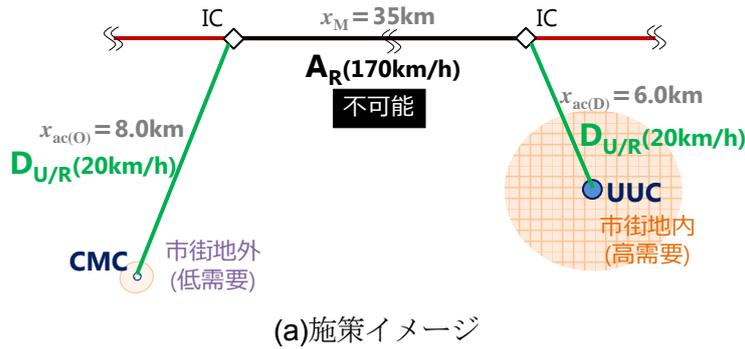


図-5.28 施策(i)自専道の目標旅行速度向上

施策(ii) 一般道路の自専道化

この施策では、アクセス部分の一般道路を自専道化し、ICをより拠点の近くに持ってくることで目標達成を図る。このとき、式(5.14)の x_M は自専道が延伸した分増加するが、アクセス・イグレス距離 $x_{ac(O)}$ 、 $x_{ac(D)}$ が短くなる分、アクセス・イグレス時間 $t_{ac(O)}$ 、 $t_{ac(D)}$ が短縮する。

いま、式(5.14)の関係を図示すると、図-5.29のようになっており、アクセス・イグレス時間の合計 $t_{ac(O)}+t_{ac(D)}$ が短いほど、 x_M が長くても目標旅行時間を達成可能であることがわかる。初期状態は図-5.29の×印の位置にあることから、これが $v_M=80$ [km/h]の上限線の下に来るようにすればよい。

5.3.2(b)では、既に自専道ICまでのアクセス距離 $x_{ac(O)}$ 、 $x_{ac(D)}$ に応じたアクセス・イグレス時間 $t_{ac(O)}$ 、 $t_{ac(D)}$ が算出できているため、この条件を満足する $x_{ac(O)}$ 、 $x_{ac(D)}$ を探せばよいことになる。アクセス側、イグレス側、どちらにどれだけ自専道を延伸するかは、一意に定まる訳ではなく、周辺の地形、沿道状況などを考慮して最適なものを決定すればよい。

今回は、CMC側に4[km]、UUC側に2[km]の合計6[km]延伸した例を図-5.30に示す。この例では、CMC周辺は、UUC周辺に比べて、用地制約等の条件が少なく、延伸しやすいものと想定し

て、この延伸距離としたが、今回は考慮していない他のCMCからこのUUCへの連絡性能も考慮した場合には、UUC側の延伸距離が長い方が、全体に及ぼす効果は大きいと予想される。

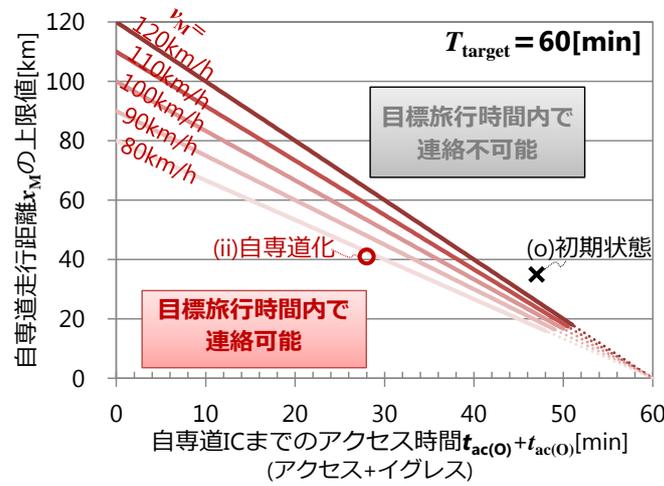
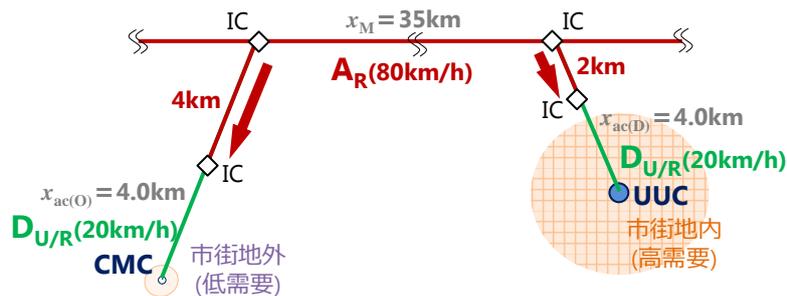
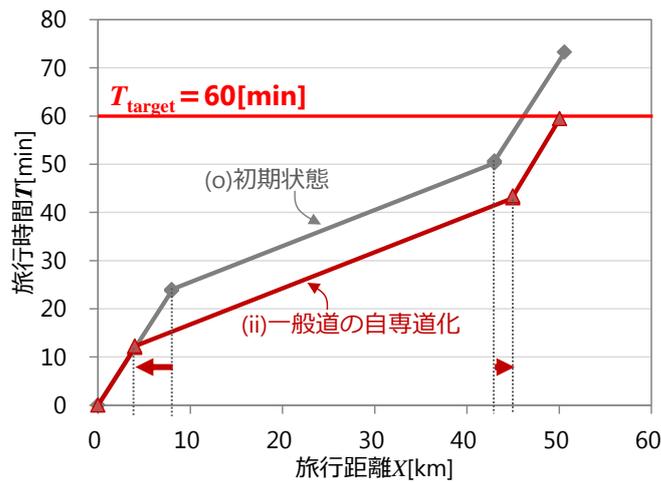


図-5.29 自専道ICまでのアクセス時間と自専道走行距離の上限値(目標旅行時間60[min])



(a) 施策イメージ



(b) 旅行距離-旅行時間関係

図-5.30 施策(ii)一般道路の自専道化

施策(iii) 一般道路の階層化

この施策は、前の施策(i), (ii)と異なり、自専道の初期条件 x_M, v_M は変えずに、一般道路の階層化によってアクセス・イグレス時間 $t_{ac(O)}, t_{ac(D)}$ を短縮するものである。

適用する階層構成代替案は、式(5.14)を $t_{ac(O)}+t_{ac(D)}$ について解くことで求めた式(5.16)の目標アクセス+イグレス時間に基づいて検討する。

$$t_{ac(O)} + t_{ac(D)} \leq T_{target} \frac{x_{th}}{v_{th}} = 33.8[\text{min}] \quad (5.16)$$

上式の通り、目標アクセス+イグレス時間は33.8[min]であるから、アクセス時間 $t_{ac(O)}$ 、イグレス時間 $t_{ac(D)}$ の合計がこの値未満となるような階層構成代替案の組み合わせを、5.3.2(b)の計算結果より抽出する。そうすると、図-5.31に青線で結んだ組み合わせが、目標アクセス+イグレス時間を満足できる。なお、今回対象とする高次都市拠点領域(UUA)は都市内高速道路を有していないものとし、 A_U を含む代替案は考えていない。

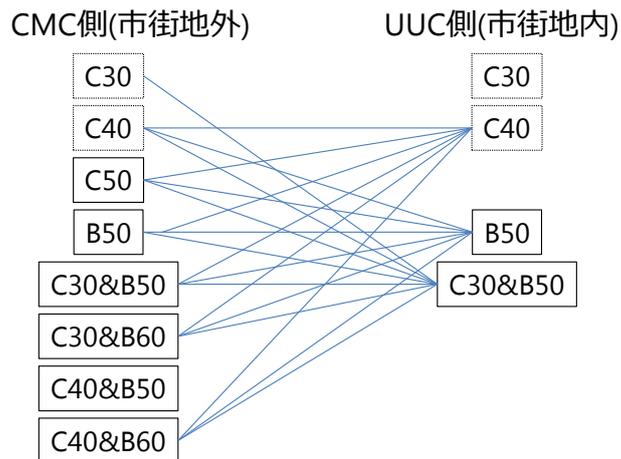


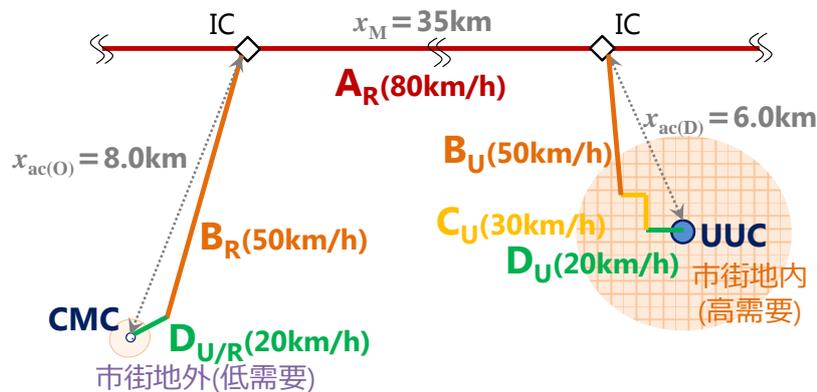
図-5.31 目標アクセス+イグレス時間を満足する代替案の組み合わせ

これらは全て、対象とするCMC-UUC間の目標旅行時間達成条件上は問題ない。この中のどの代替案を選択するかは、1.3.2項にも述べた通り、既存道路の道路間隔、利用実態、沿道状況等、二拠点間の目標旅行時間以外の要素を考慮した総合的な判断を行い決定することになる。

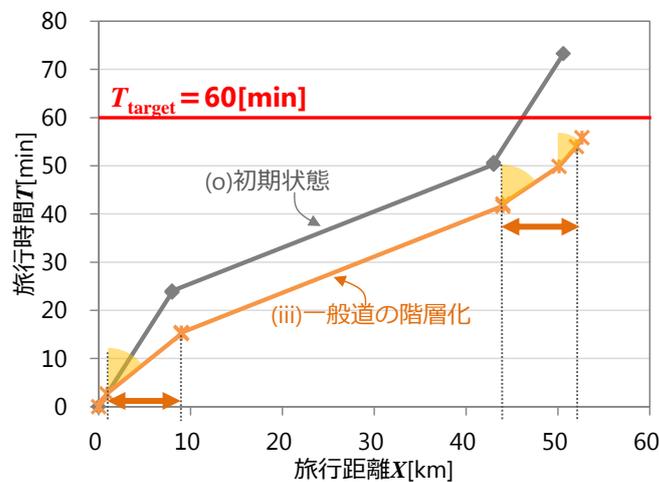
ただし、図-5.31において点線で囲んだ代替案は、5.2.4項でも記載したように、階層間の乗換え速度差が40km/h以上になってしまう組み合わせで、安全性やスムーズな乗換えという観点からは必ずしも理想的とはいえないものである。また、5.3.2(b)に述べたように、基本的には目標旅行速度の高い階層があった方が、アクセス時間は短くすることができるが、そのとき、道路間隔が大きい分、集散道路の走行時間が増大する。よって、利用者の分離を図りたい場合には、

【B50】ではなく【C30&B50】などの階層構成が望ましいといえる。

この施策を適用した一例として、CMC側を【B50】、UUC側を【C30&B50】とした図-5.32を例示する。どちらの階層構成も【B50】とすることも可能であるが、ここでは、UUC側については、需要が高く、内内トリップのトリップ長分布もバラエティに富んでいると考えられるため、上述のようなトリップの分離を狙って、あえて三階層としている。一方、CMC側については、需要の低い集落であるため単に二階層としている。なお、図-5.32(b)では、階層化によって、中間階層へのアクセスに伴う迂回が生じ、旅行距離がわずかに長くなっていることに注意が必要である。



(a) 施策イメージ



(b) 旅行距離-旅行時間関係

図-5.32 施策(iii)一般道路の階層化

解の組み合わせ

ここまでの例は全て、施策(i), (ii), (iii)を単独で適用して目標旅行速度(道路分類)を検討しているが、これらを組み合わせて階層を設定することも可能である。例えば、自専道の目標旅行速度を90[km/h]にした(施策(i))うえで、延伸(施策(ii))や一般道路の階層化(施策(iii))を行えば、自

専道の必要延伸量や、一般道路によるアクセス時間の必要短縮量は、単独で施策を行う場合より小さくて良くなる。地形条件や費用制約を考慮して、施策を組み合わせることで、より効率的に目標旅行時間を達成できる階層構成を検討することが、計画者に求められる。

(d) 拠点間距離が長すぎる場合

(b)項で説明した「一般道路のみの経路」において目標を達成できない場合には、基本的には(c)項の「自専道を使用した経路」での目標達成を検討すべきであるが、SMC(小さな拠点)に関する連絡(CMC-SMC, SMC-SMC)などについては、自専道アクセスまでで目標旅行時間を超過してしまう場合も多く、このような検討は現実的でない。また、自専道を使用すべき拠点間についても、拠点間距離や自専道までのアクセス距離が長すぎる場合において、(c)項のいかなる施策を検討しても、目標旅行時間を達成できない結果となることが現実でありえる。このような場合には、拠点の移転・再配置など、拠点配置計画へのフィードバックを行うべきである点をここに再度述べておく。

5.5 まとめ

本章では、階層型道路ネットワークの階層数 n 、階層 i ($1 \leq i \leq n$)の目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i)}$ および下位階層 j ($1 \leq j \leq n$)の間接続間隔 $s_{(i,j)}$ の代替案を構築するとともに、そこで期待されるトリップ長別旅行時間の推定を行った。

代替案構築では、交通機能と市街地内外の別に基づき道路の分類を行うことで、機能の差別化、安全性・快適性の観点から、どのような目標旅行速度の組み合わせが現実的にありえるのか、絞り込みが可能となった。また、道路の運用状態においてクリティカルである階層間の接続点における遅れを考慮しておくことで、階層別目標旅行速度を満足するための道路間隔の条件が明らかになった。

さらに、構築された代替案を想定した階層型道路ネットワークにおける旅行時間を推定したことで、目標旅行時間を達成可能な最大拠点間距離が算出され、これに基づいて実際の拠点間が目標達成可能かどうかの判断が可能となった。またこの値を、拠点を移転あるいは再配置する際の判断基準として活用することが可能となった。自専道アクセスに対しては、ICから遠い拠点ほど、目標旅行速度の高い階層で連絡しておくことの必要性が定量的に示された。

基本的には、集散道路の上の階層の目標旅行速度は50km/h以上などと高くした方が、旅行時間短縮の効果が高いが、目標旅行速度を高くするためには道路間隔を大きくする必要があるので、集散道路の走行割合が長くなってしまう。このため、集散道路から自専道アクセス交通や中距離交通をなるべく排除したい場合には、この間に30km/h程度の階層も設けることが望ましいことがわかった。

また、二拠点間の目標旅行時間を達成させることのできる階層構成代替案の検討方法を、仮

想の拠点間を用いたデモンストレーションにより示した。このとき、単に一般道路の階層構成代替案を適用するだけでなく、自専道ネットワークの改良や拡張といった施策も存在する中で、それぞれの位置づけを明確化して記述した。現実的には、自専道ネットワークの改良・拡張は困難な地域も少なくなく、一般道路の階層化施策が最も有効であると考えられるが、拠点間性能目標と現実との乖離の大きい地域においては、両者を組み合わせて適用することが効果的であると考えられる。これらを総合的に評価する視点を持って、再編の方針を検討することが重要であるといえよう。

第6章 日本の拠点配置条件を考慮した機能階層型道路ネット

ワーク代替案の評価

前章では、仮想の二拠点間を用いて目標旅行時間を達成する階層構成の検討方法について整理したが、実際に道路ネットワークを広域的に計画する際には、地域に存在する複数の多様な拠点間連絡を考慮して、総合的に判断しなければならない。またこのとき、地域における拠点配置条件、地勢条件を考慮した上で、階層構成代替案を評価する必要がある。このため本章では、第4章で分析した各地域に対して、第5章で構築した階層構成代替案を適用し、その影響を評価するケーススタディを行う。これを通じて、拠点配置条件を考慮した望ましい機能階層型道路ネットワークのあり方について考察する。

6.1 代替案評価の概要

6.1.1 評価対象地域および対象拠点間連絡

本章で行うケーススタディは、第4章で分析した中国・関西・東海道・北東北地域および南ドイツ地域を対象とする。これらの地域に、第5章で構築した階層構成代替案を適用した場合の、拠点間旅行時間、平均速度および目標旅行時間の達成可否を比較することで、各地域の各拠点間に必要な階層について考察を行う。

基本的には、道路ネットワークを計画する際には、目標旅行時間が設定される全ての拠点間を考慮する必要があるが、今回は、対象地域をまたぐ連絡となるMEC(大都市拠点)に関する連絡については、自専道(A_R)を利用することを前提として考慮しない。

よって、評価の対象となる拠点間連絡は、

①CMC(集落・住区)から上位拠点までについては、

- CMC-SMC(集落・住区から小さな拠点),
- CMC-LUC(集落・住区から生活拠点),
- CMC-UUC(集落・住区から高次都市拠点)

②同階層の隣接拠点間については、

- SMC-SMC(小さな拠点間),
- LUC-LUC(生活拠点間),
- UUC-UUC(高次都市拠点間)

の、それぞれ三種類ずつになる。これらの目標旅行時間は、表-3.2を参照して達成可否の判定を行うが、この値自体はあくまで仮設定されたものに過ぎないため、これを変更した際の感度についても考察を行う。

6.1.2 階層構成代替案

それぞれの拠点間連絡に対して、市街地内・外どちらの階層構成代替案を適用するかは、図-6.1に示す通りとする。図-6.1(a)の①に示すUUC-UUC(高次都市拠点間)は、アクセス・イグレス部分が市街地内に存在する場合は殆どと考えられるため、「市街地内」の階層構成代替案を適用する。また、それより下位の拠点(LUC, SMC, CMC)に関する連絡のうち、図-6.1(a)の②に示すように、起終点がどちらも連続するDID地区内に存在する場合についても、「市街地内」の階層構成代替案を適用する。図-6.1(b)に示すように、CMCがUUCの存在するDID地区の外にあるCMC-UUC(集落・住区から高次都市拠点)については、CMC側は「市街地外」、UUC側は「市街地内」を、それぞれ拠点間連絡の1/2ずつ走行すると仮定して、代替案を組み合わせる。上記のいずれにも該当しない拠点間、すなわち、起終点拠点がUUCでない、かつ図-6.1(c)①のように起終点拠点のどちらもDID地区外の場合、図-6.1(c)②のように起終点拠点の片方のみがDID地区内の場合、または図-6.1(c)③のように起終点が不連続なDID地区内にある場合には、「市街地外」の代替案を適用する。

起点側と終点側で市街地内・外の異なるCMC-UUC以外は、起終点对称の代替案とする。

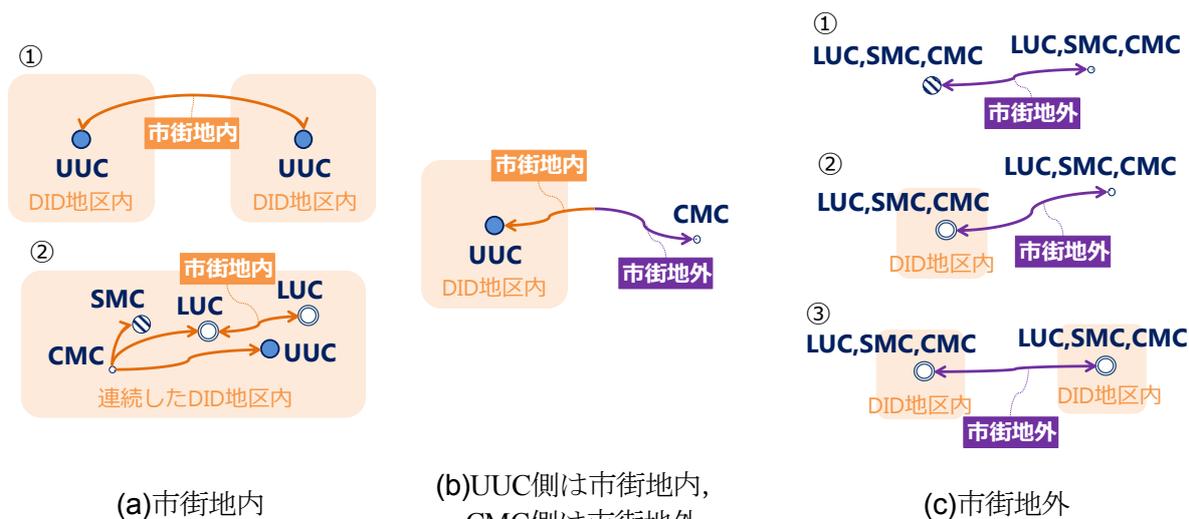


図-6.1 適用する代替案の市街地外・内の別

階層構成代替案の種類は、第5章で構築した通り、「市街地外」で目標旅行速度の組み合わせが9通り、「市街地内」で6通り存在するが、今回は典型的な傾向を知るため、それぞれ以下の代替案のみを考慮する。

- 市街地外: C30, C40, B50, B60, C30&B50, C30&B60
- 市街地内: C30, C40, B50, C30&B50

なお、代替案の略称については、第5章同様、全代替案が共通して有する最下位のD20、最上位のA_Rを省略している点に留意されたい。また、所与として与える最上位階層A_Rの目標旅行速

度は、80km/h, 90km/hの2通りを考える。

これらの目標旅行速度の組み合わせに対して、各階層の道路間隔にも最小値～最大値まで幅があるが、ここでは、最小間隔と最大間隔の平均値を用いる。

6.1.3 評価対象地域の地勢条件

各地域の地勢条件を反映する迂回係数 α については、4.5.1項の分析結果に基づき、表-6.1の通りとする。さらに、この表には、自専道利用の可否を判断するための平均IC間隔 s_{IC} も併せて記載している。この値については、実際の間隔を参考に、直線距離の場合に関西地域で5[km]、その他の地域で10[km]を仮定し、これに各地域の迂回係数 α を乗じて設定している。

表-6.1 各地域の迂回係数および自専道の平均IC間隔

地域	中国・北東北	関西	東海道	南ドイツ
迂回係数 α	1.4	1.3		1.2
自専道の平均IC間隔 s_{IC} [km]	14	6.5	13	12

6.1.4 代替案評価の順序

代替案評価の順序としては、まずは、沿道状況・土地制約状況の厳しい市街地内について、(a)上位拠点間であるUUC-UUC(高次拠点間連絡)、(b)LUC(生活拠点)、SMC(小さな拠点)、CMC(集落・住区)に関する連絡の順に評価する。(a)UUC-UUCは、自専道の利用有無により二種類の経路を考慮し、(b)それより下位の連絡については、道路階層に応じた利用者分離の観点から、一般道路利用のみを考慮する。

ここで、自専道利用経路の旅行時間は、5.3.1(b)に説明した方法により計算されるが、既述の通り、自専道走行距離 x_M が平均IC間隔より長いという式(6.1)の条件を満足しない場合、自専道が利用不可能となる。

$$x_M = \alpha X_{\text{target}} - (x_{\text{ac(O)}} + x_{\text{ac(D)}}) \geq s_{IC} \quad (6.1)$$

ここに、 X_{target} : 拠点間距離、 α : 迂回係数、 $x_{\text{ac(O)}}+x_{\text{ac(D)}}$: 自専道ICまでのアクセス・イグレス距離である(再掲)。

以降の分析では、「一般道路のみの経路」と「自専道ありの経路」それぞれの拠点間旅行時間、平均速度を示すが、「自専道ありの経路」による旅行時間として示す結果は、あくまで自専道も含めたネットワークにおける最短時間経路の旅行時間であり、上記の条件を満足できず自専道が利用不可能な拠点間や、一般道路のみの経路が最短時間となる拠点間については、一般道による旅行時間が評価されている点に注意が必要である。

また、自専道走行距離 x_M の計算式(6.1)は、起終点の最寄IC間の自専道ネットワークは必ず繋がっていることを仮定したものである。このため、現在の自専道ネットワークにおいては、未整備の区間も、繋がった状態を仮定して旅行時間が計算されていることになる。これは、将来道路の前提条件として、ミッシングリンクのない自専道ネットワークを想定した上で、それにアクセスする一般道路の代替案を検討していることを意味する。

起終点どちらも市街地内の代替案を適用する連絡の次に、CMC側が市街地外、UUC側が市街地内となるCMC-UUC(集落・住区から高次都市拠点)の連絡を評価する。この評価においては、先の「市街地内」の評価結果に基づき、UUC(高次都市拠点)側の代替案が既に決定されているものと仮定する。今回は、市街地側は【C30&B50】に固定してCMC側の市街地外代替案の検討を行う。これについても、自専道の有無により二種類の経路を評価する。

最後に、起終点どちらも市街地外の代替案を適用するLUC、SMC、CMC関連の連絡を評価する。ここでは、市街地内と同様に、利用者分離の観点から自専道利用は考慮しない。

6.2 中国地域および北東北地域

まずは、地方部を代表して、どの種類の拠点間距離も長くバラツキが大きい、また自専道ネットワークが比較的粗であるという特徴を持つ、中国地域および北東北地域について、階層構成代替案の評価を行う。

6.2.1 市街地内の階層構成代替案評価

(a) 高次都市拠点間連絡(UUC-UUC)

UUC-UUC(高次都市拠点間)に対して、市街地内の代替案を適用した際の、中国地域・北東北地域の拠点間旅行時間を図-6.2・図-6.4に、平均速度を図-6.3・図-6.5に示す。各図中の横軸における「C30」などは階層構成の代替案、さらにそれに付随した「Without」、「80km/h」、「90km/h」は自専道すなわち最上位階層 A_R の状況を表している。「Without」は「一般道路のみの経路」、「80km/h」、「90km/h」は、 A_R の目標旅行速度をそれぞれこの値とする「自専道ありの経路」を意味している。

これより、殆どのUUC-UUCについて、一般道路のみの経路だけでなく、自専道ありの経路であっても旅行時間は目標を上回ってしまうことがわかる。これは、両地域においてUUC-UUCの拠点間距離が長いことによる。平均速度のグラフをみると、目標旅行速度の高い代替案を適用するほど、一般道路のみの経路(Without)、自専道ありの経路(80km/h、90km/h)のいずれにおいても、徐々に平均速度は上がっていることが確認できる。しかしながら、一般道路のみの経路(Without)では、平均速度は高くても30km/h程度にとどまることがわかる。これは、最下位の20km/hの階層(D20)からのアクセスに要する時間に加え、迂回の影響が大きいと考えられる。

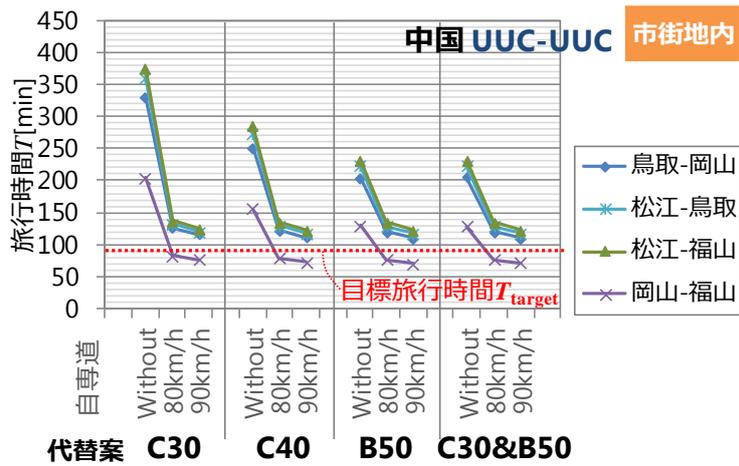


図-6.2 UUC-UUCの拠点間旅行時間 中国地域

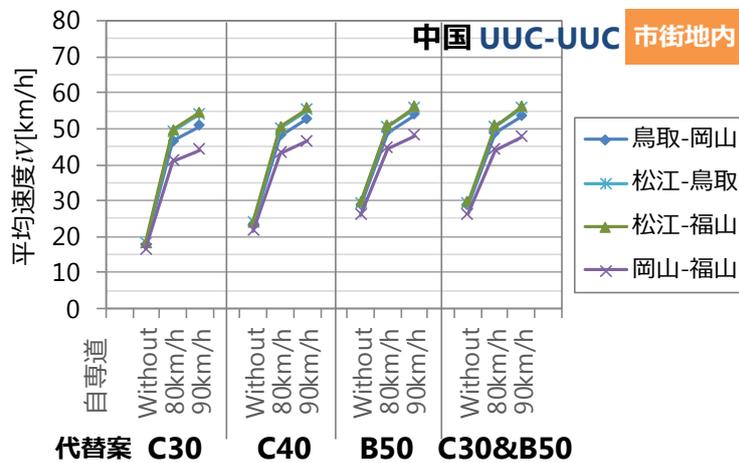


図-6.3 UUC-UUCの拠点間平均速度 中国地域

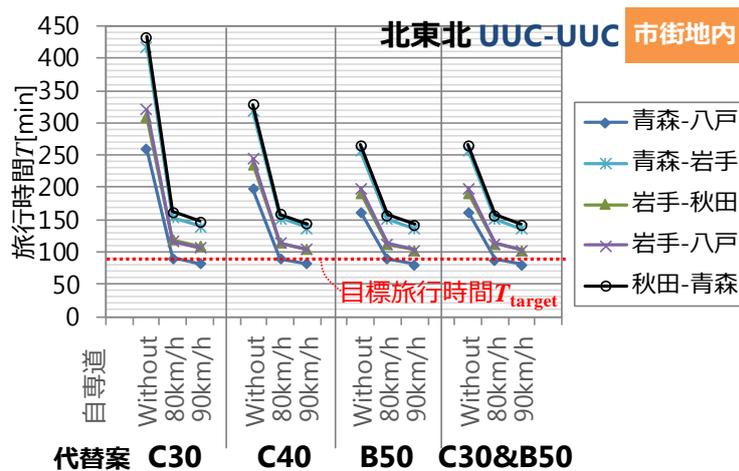


図-6.4 UUC-UUCの拠点間旅行時間 北東北地域

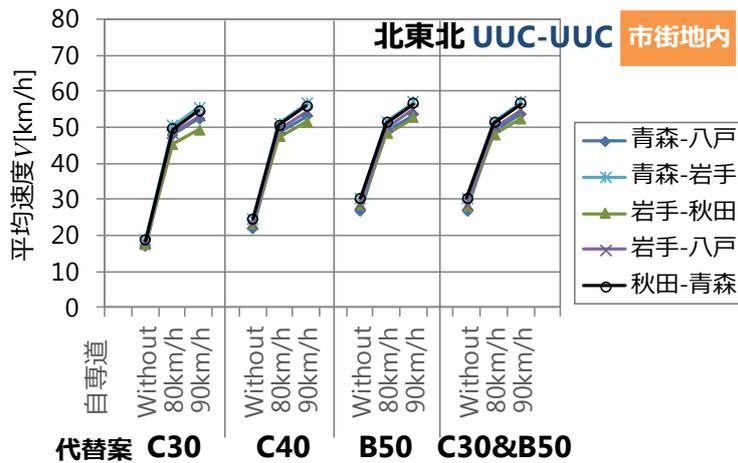


図-6.5 UUC-UUCの拠点間平均速度 北東北地域

なお、自専道ありの経路における拠点間連絡性能は、自専道ICまでのアクセス・イグレス距離 $x_{ac(O)}+x_{ac(D)}$ に依存している。図-6.6は、対象五地域におけるUUC-UUC(高次都市拠点間)の自専道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_{route} に迂回係数 α を乗じて求める経路長 X_{route} の関係を示している。これに対して、橙色および青色の線は、自専道の目標旅行速度が 80[km/h], 90[km/h] の場合でかつ、一般道路の階層構成代替案が【C30】、【C40】、【B50】の場合に、目標旅行時間90[min]を達成可能な最大経路長を示している。実際の拠点間を表すプロットが、最大経路長を示す線より下にある場合に、目標旅行時間内の連絡が可能となる。

この図から他地域と比較してみても、中国・北東北地域については、自専道ICまでの距離 $x_{ac(O)}+x_{ac(D)}$ の影響というよりは、やはり経路長が長すぎることに由来し、目標旅行時間が達成できていない状況であるといえよう。

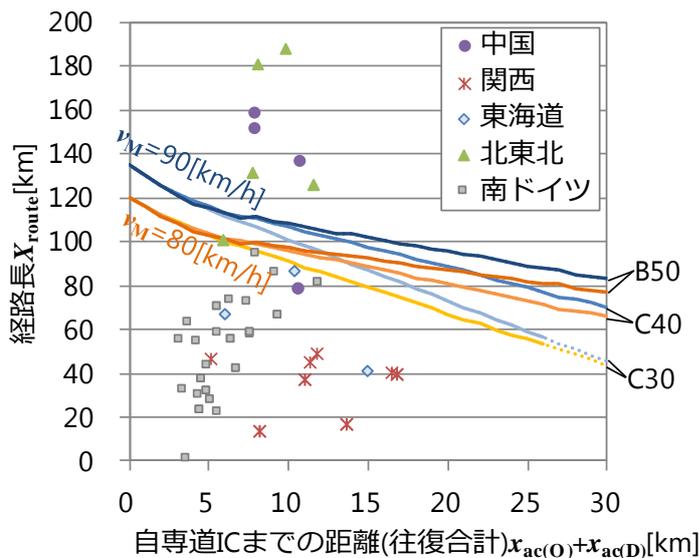


図-6.6 自専道ICまでの距離と経路長の関係からみるUUC-UUCの目標旅行時間達成状況

(b) 市街地内の生活拠点, 小さな拠点, 集落・住区の連絡

市街地内のLUC(生活拠点), SMC(小さな拠点), CMC(集落・住区)に関する拠点間連絡の旅行時間を図-6.7・図-6.9に, 平均速度を図-6.8・図-6.10にそれぞれ示す. どちらの地域においても, 全ての種類の拠点間旅行時間が目標を達成している. これは, 両地域における「市街地内」(本研究ではDID地区により判定)が非常に小さく, この種類の拠点間距離が短いためである. また, 拠点間の平均速度は, 15~20km/hで代替案による差が殆どみられない. これもまた, 拠点間距離が充分短く, 最下位階層のD20から乗換える必要がないか, 乗換えても長い距離を走行しないためである.

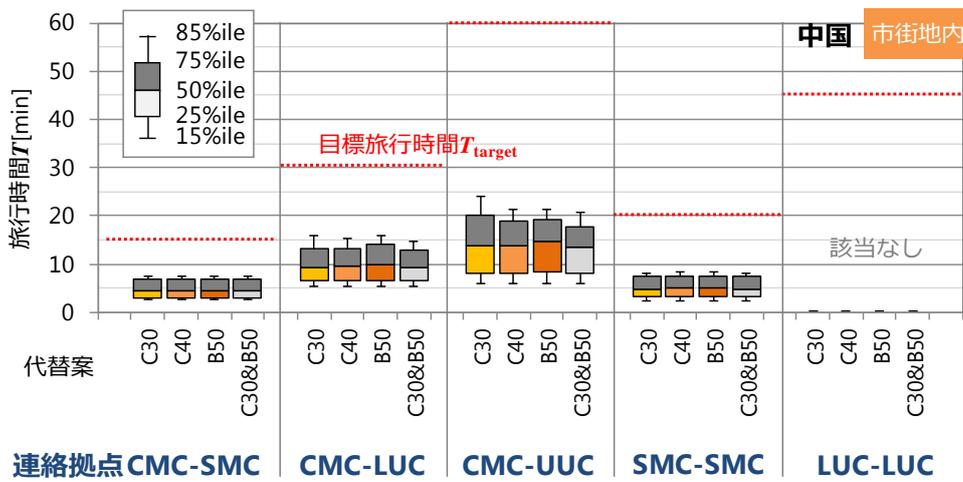


図-6.7 市街地内のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 中国地域

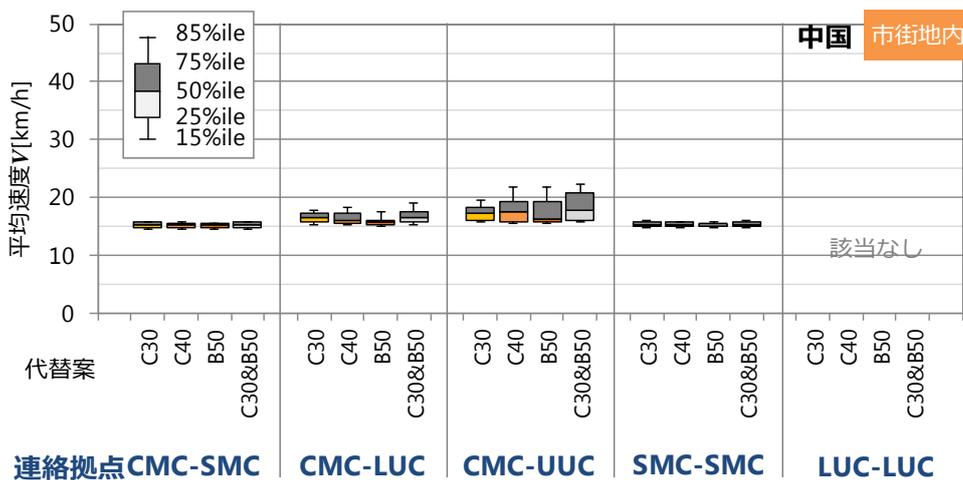


図-6.8 市街地内のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 中国地域

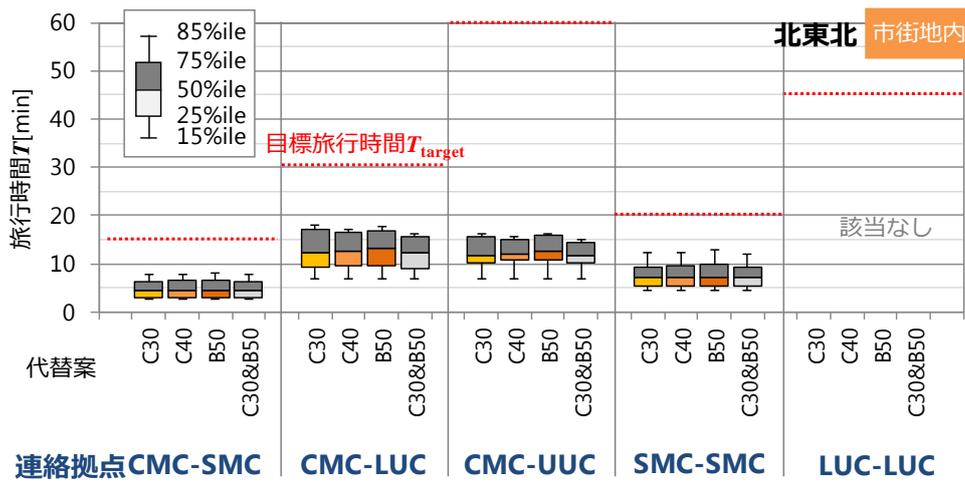


図-6.9 市街地内のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 北東北地域

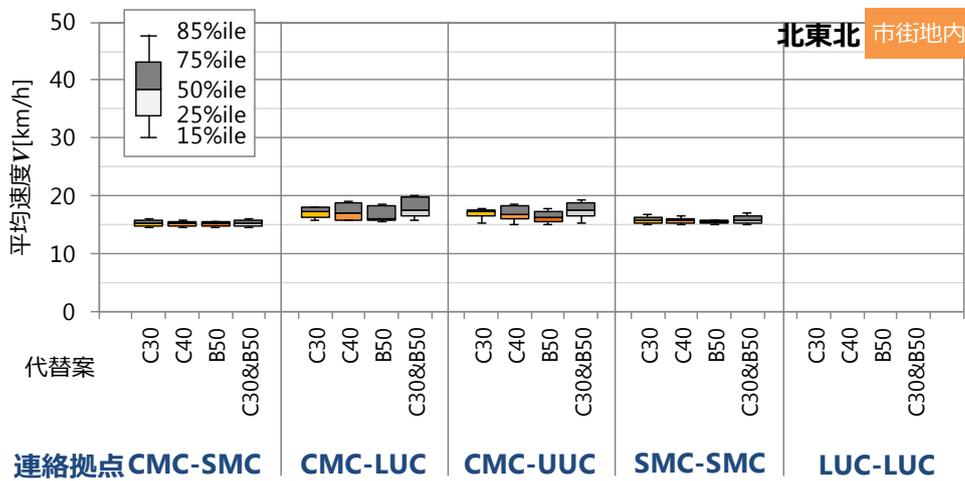


図-6.10 市街地内のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 北東北地域

6.2.2 市街地外の階層構成代替案評価

(a) 集落・住区から高次都市拠点(CMC-UUC)

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-6.11・図-6.13に、平均速度を図-6.12・図-6.14に示す。これより、両地域とも、一般道路のみの経路(Without)では、大半の拠点間を目標旅行時間内に連絡することができないが、自専道ありの経路(80km/h, 90km/h)では、中国地域で50~75%程度、北東北地域で50%程度の拠点間で目標旅行時間内の連絡が可能となることがわかる。これより、中国地域・北東北地域では、自専道を活用することでCMC-UUCの連絡を確保する必要があるといえる。また、一般道路に目標旅行速度の高い階層がある【B50】などの方が、ICアクセス・イグレス時間が短いため、旅行時間をより短縮できることがわかる。

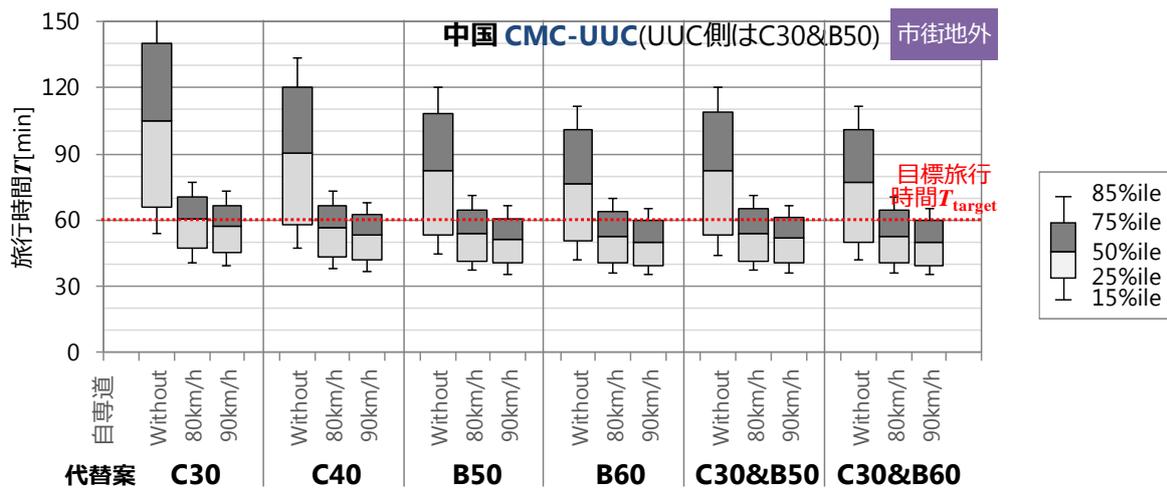


図-6.11 市街地外CMC-UUCの拠点間旅行時間 中国地域

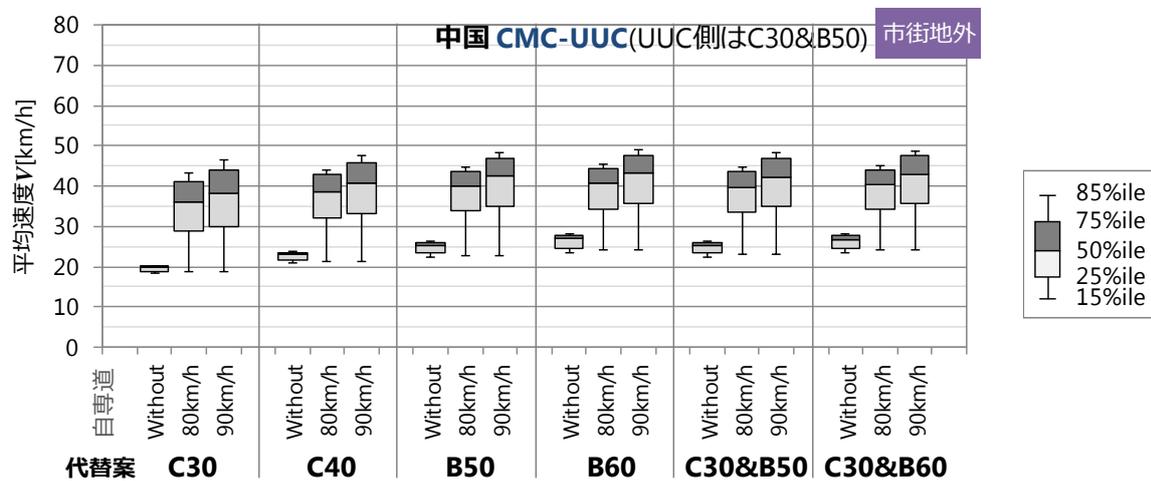


図-6.12 市街地外CMC-UUCの拠点間平均速度 中国地域

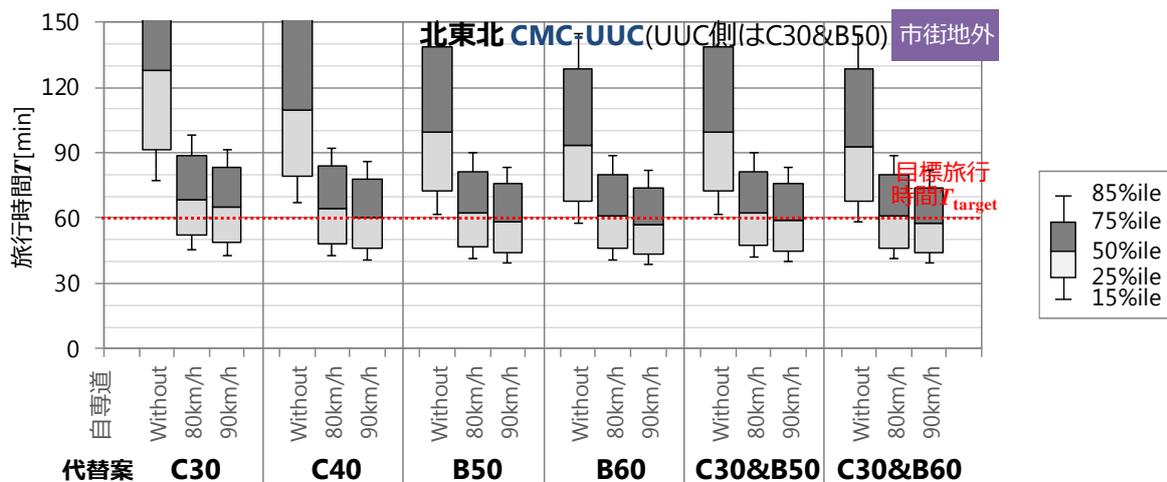


図-6.13 市街地外CMC-UUCの拠点間旅行時間 北東北地域

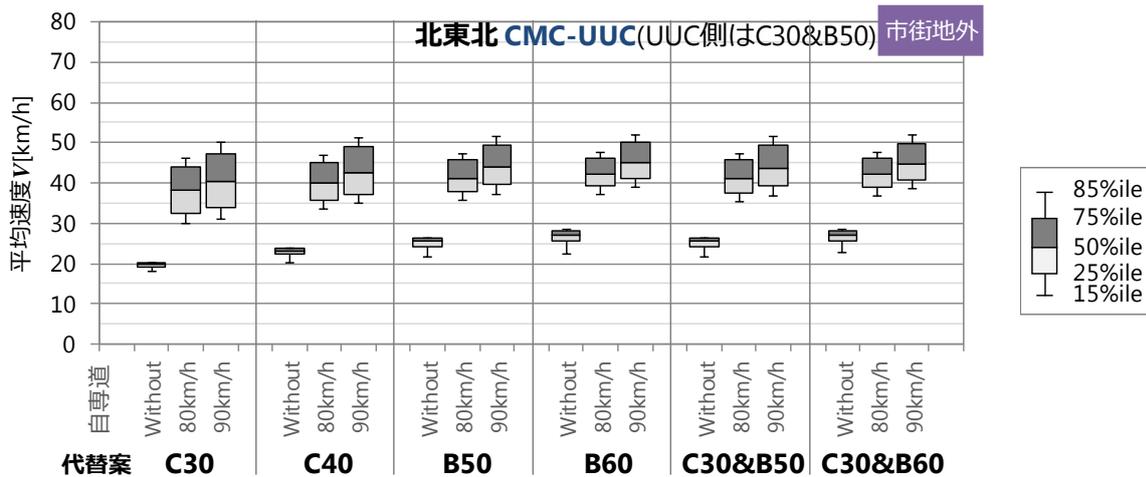


図-6.14 市街地外CMC-UUCの拠点間平均速度 北東北地域

ただし、拠点間距離 X_{target} はそれほど長くないものの、自専道ICまでのアクセス距離 x_{ac} が長い場合には、自専道経路は有効ではない。図-6.15は、この連絡の自専道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ものであり、自専道が利用可能かつ最短経路の場合を青い丸印、自専道が利用不可能あるいは一般道が最短経路の場合を赤い罰印に区別している。自専道ICまでのアクセス+イグレス距離 $x_{ac(O)}+x_{ac(D)}$ が拠点間距離 X_{target} に対して長い場合、IC間隔による条件式(6.1)を満足しないため、自専道利用ができないことがわかる。

中国地域には、このような自専道を利用できない拠点間が21%と比較的多く存在しており、これらについては自専道の恩恵は受けられない。図-6.12において、中国地域の平均速度の15パーセンタイル値が、自専道ありの経路(80km/h, 90km/h)と一般道路のみの経路(Without)でほぼ変わらないのは、このためである。一方、一般道路の階層化は、このような拠点間に対しても、ある程度の速度向上効果を発揮できるといえる。

また、図-6.12、図-6.14では、一般道路のみの経路(Without)に比べて、自専道ありの経路(80km/h, 90km/h)の平均速度のバラツキが大きくなっているが、これも図-6.15に示されるような自専道ICまでのアクセス距離の違いによるものといえる。

この連絡について、代替案【C30】、【C40】、【B50】、【B60】によって目標旅行時間が達成可能となる拠点間を結んだ直線を塗り分けたものを図-6.16に示す。ただし、旅行時間は、自専道 A_R の目標旅行速度が80km/hの場合の自専道ありの経路に基づいている。この図中、水色で示される拠点間は代替案【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、紫や赤で示される拠点間は、目標旅行速度の高い階層の必要な代替案【B50】、【B60】であり、50km/h, 60km/hを担保した高規格道路が必要である。図-6.16(a)をみると、表-3.2で仮設定した60[min]という目標旅行時間を達成するためには、特に中国地域を南北に隔てる中国山地や北東北地域の北上高地のCMCとUUCを連絡する場合に【B60】などが重要といえる。一方で、多くの拠点間が【B60】をもってしても目標達成不可能であることも確認できる。仮設定

の目標旅行時間を75[min]にした場合、**図-6.16(b)**に示されるように、目標達成範囲はかなり拡大する。このような状況を考慮して、目標旅行時間の妥当性も検証する必要があるといえる。

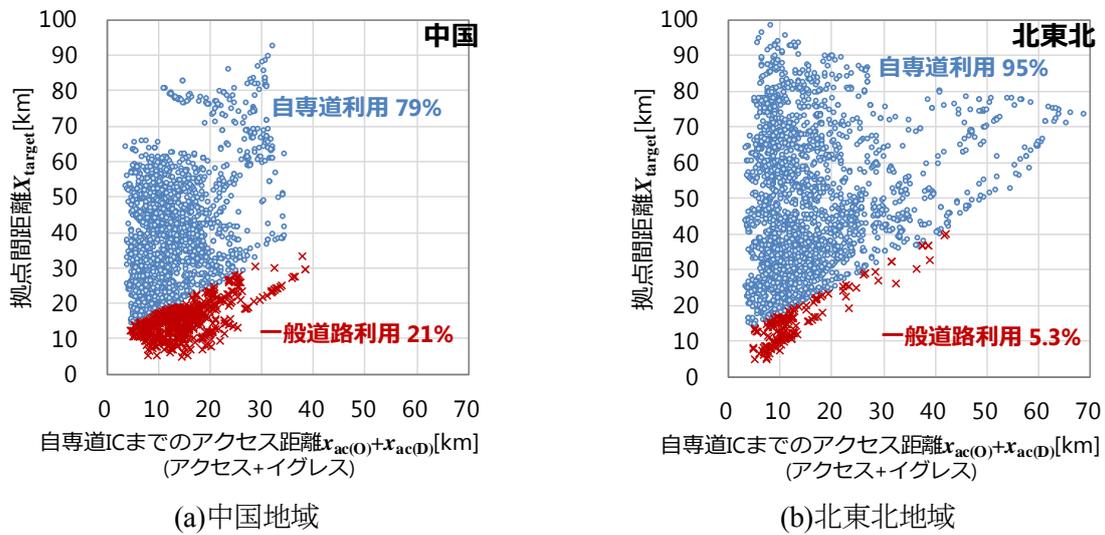
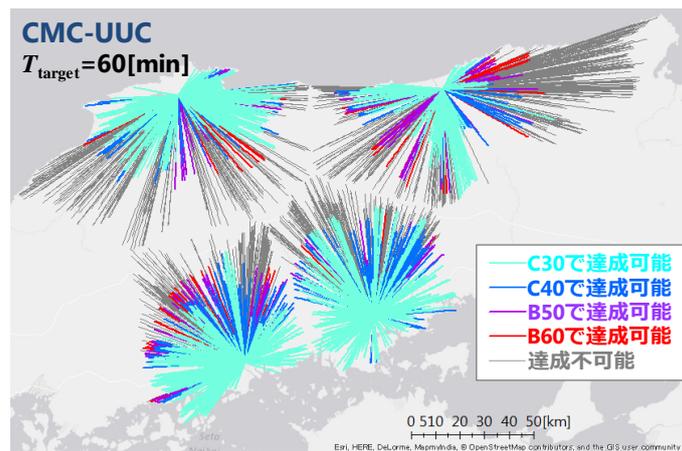
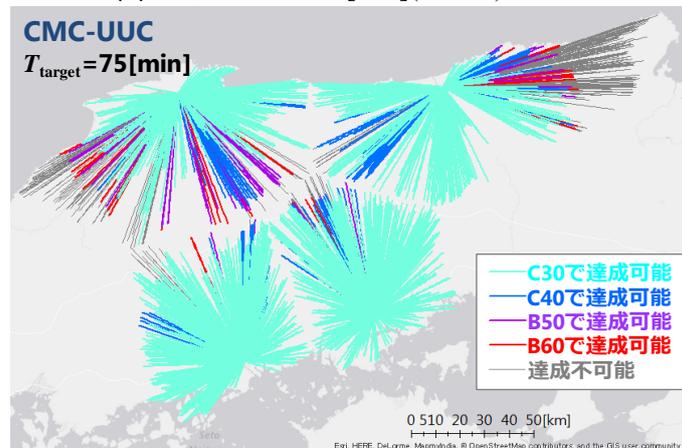


図-6.15 自専道ICまでの距離と拠点間距離の関係による利用経路の違い

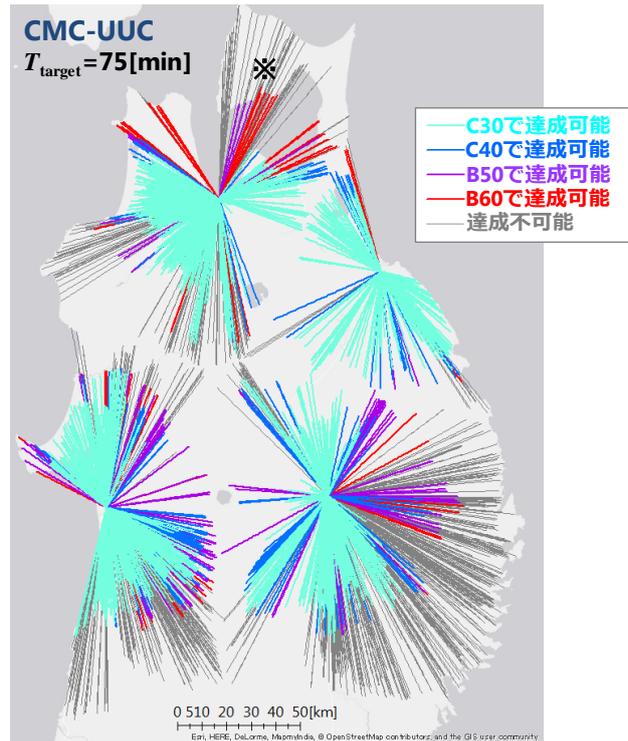
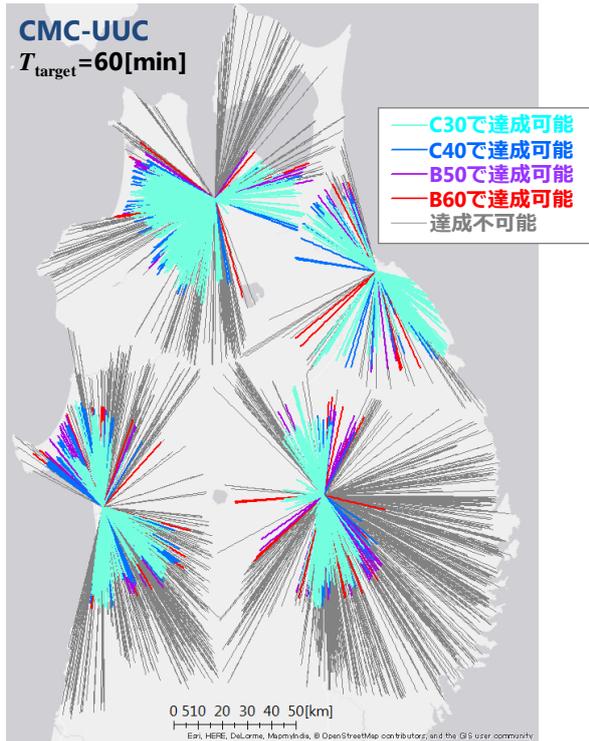


(a)目標旅行時間60[min](表-3.2)の場合



(b)目標旅行時間75[min]にした場合

図-6.16 中国地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 UUC(高次都市拠点)まで



※下北半島端からの連絡については、地域全体に与えた迂回係数($\alpha=1.4$)より、実際の迂回係数が大きいと考えられるので、旅行時間が過小推定となっている可能性が高く注意が必要。

(a) 目標旅行時間60[min](表-3.2)の場合

(b) 目標旅行時間75[min]にした場合

図-6.17 北東北地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 UUC(高次都市拠点)まで

(b) 市街地外の生活拠点、小さな拠点、集落・住区の連絡

市街地外のLUC(生活拠点), SMC(小さな拠点), CMC(集落・住区)に関する拠点間連絡の旅行時間を図-6.18・図-6.20に、平均速度を図-6.19・図-6.21にそれぞれ示す。

図-6.18・図-6.20より、【B50】や【B60】といった旅行速度の高い階層を有する代替案を適用することによって、旅行時間が短縮し、目標を達成可能な拠点間の割合が上昇することが確認できる。特に、同階層の隣接拠点間であるSMC-SMC(小さな拠点間)やLUC-LUC(生活拠点間)については、50%以上の拠点間で目標が達成可能となる。一方、CMC-SMCやCMC-LUCといった集落・住区からのアクセスに関する連絡については、旅行時間の短縮はみられるものの、目標を達成する拠点間の割合は少ない。

図-6.19・図-6.21からは、CMC-SMCやSMC-SMCといったSMC(小さな拠点)に関わる比較的短距離の連絡について、高速の階層を持つ【B50】や【B60】の代替案で必ずしも平均速度が上昇していないことがわかる。これは、これらの拠点間距離がD20からB50やB60への乗換えが生じるトリップ長より短いことによるものである。

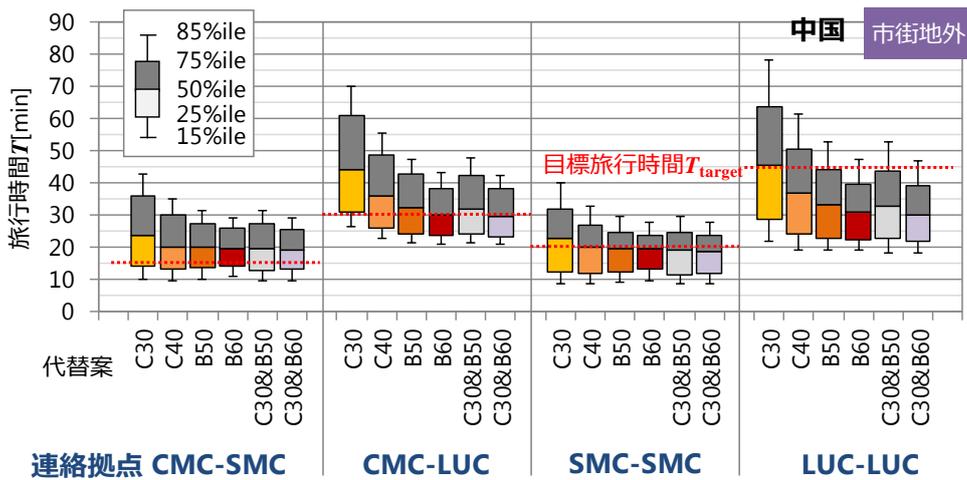


図-6.18 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 中国地域

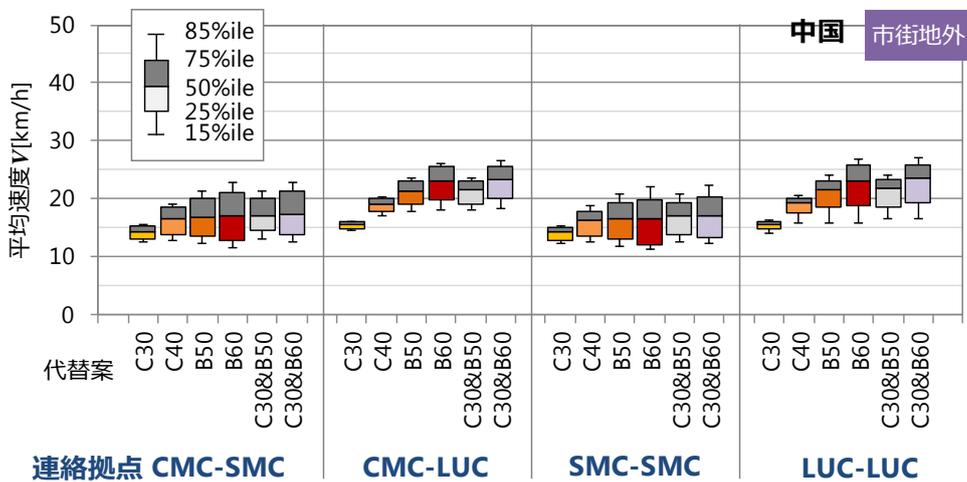


図-6.19 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 中国地域

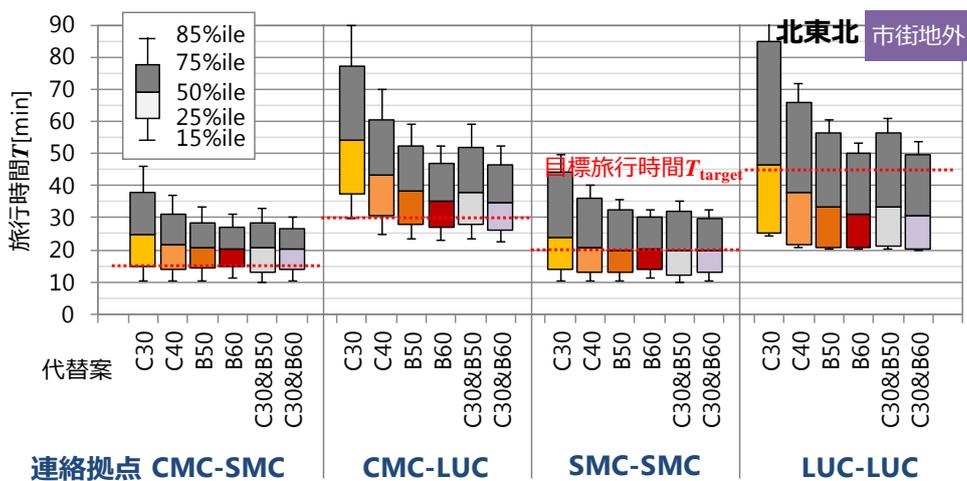


図-6.20 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 北東北地域

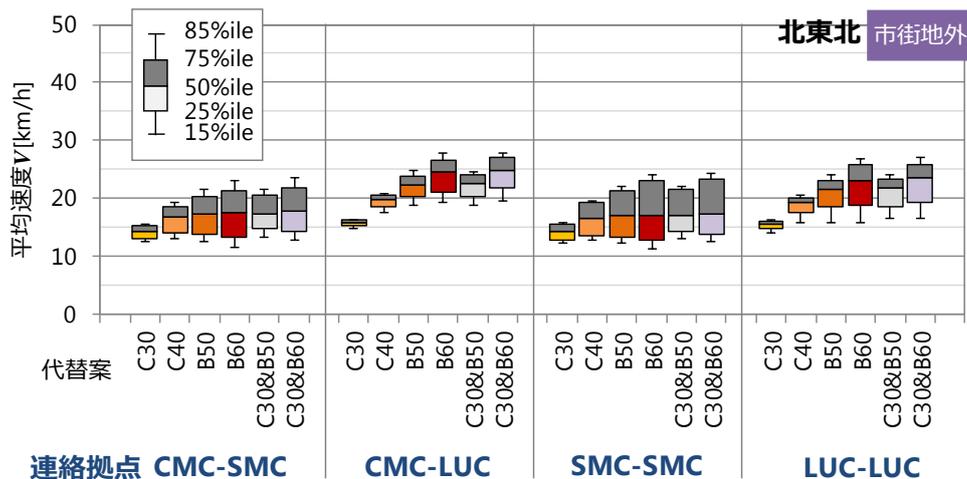
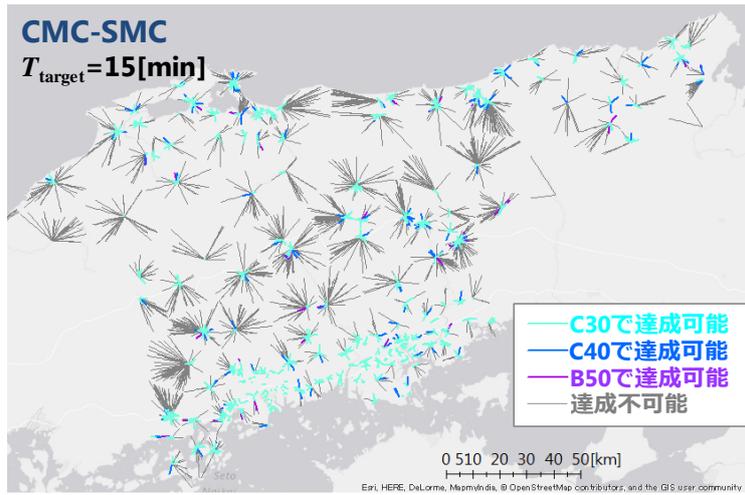


図-6.21 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 北東北地域

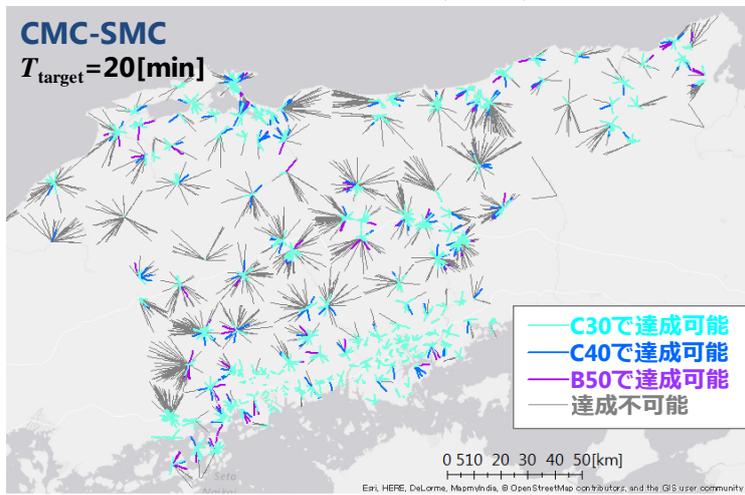
ここで、目標旅行時間の達成割合が小さいCMC-SMC(集落・住区から小さな拠点)やCMC-LUC(集落・住区から生活拠点)の状況について、CMC-UUCの場合(図-6.16)同様に、目標達成可能な代替案に応じて拠点間を塗り分けたものを図-6.22~図-6.25に示す。

CMC-SMCを対象とした図-6.22(a), 図-6.24(a)については、代替案【C30】を【C40】や【B50】に変更しても、目標達成可能となる拠点間はわずかしかなることがわかる。また、代替案【B60】は、【B50】の目標達成可能範囲より小さいため描画していない。これは、旅行時間を示した図-6.18, 図-6.20にも示される通り、目標旅行時間15[*min*]で走行できる距離は、D20から上の階層に乗換えるには短過ぎるためである。この結果、特に山間部におけるCMCは、道路ネットワークの代替案に関わらず、多くがSMCまでの連絡目標を達成できない状況が生まれている。目標旅行時間を20[*min*]まで許容した図-6.22(b), 図-6.24(b)では、代替案【B50】により連絡可能となる拠点間がわずかに増加するが、依然として山間部のCMCが目標達成困難という傾向は変わらない。ここに、広域に分散した集落の拠点アクセス性に関する課題が浮き彫りとなっている。これらの連絡については、道路の改良のみによって目標を達成することは極めて困難で、居住地の集約や拠点再配置などと併せた施策が望まれる。

一方、CMC-LUCを対象とした図-6.23, 図-6.25からは、沿岸部においては、代替案【C30】、【C40】といった現状に近い道路によって目標が達成可能である一方、山間部においては代替案【B60】などを適用することが効果的であることがわかる。特に、目標旅行時間を45[*min*]まで許容する場合には、【B60】によって山間部でも多くの連絡を確保できている。ただし、図-6.25の北東北地域については、一つ一つのLUCがカバーしなければならない領域が広く、拠点間距離が長い場合、目標旅行時間45[*min*]としても、達成不可能な拠点間が依然として多く残り、ここからも、拠点再配置計画との連携の必要性がうかがえる。

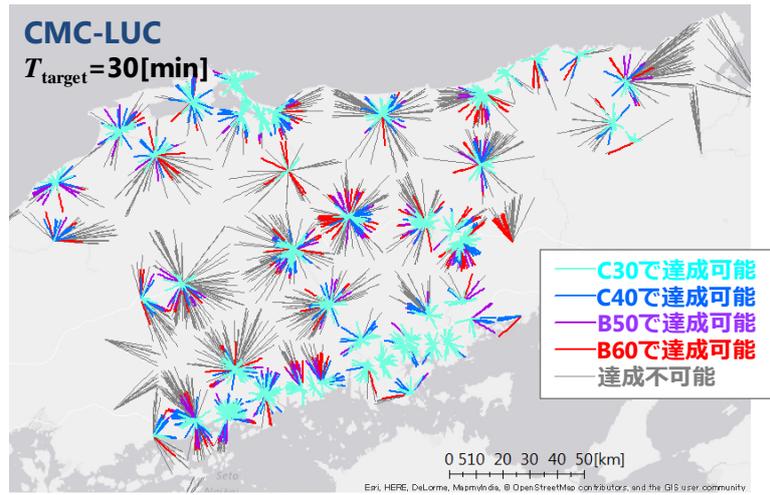


(a)目標旅行時間15[min](表-3.2)の場合

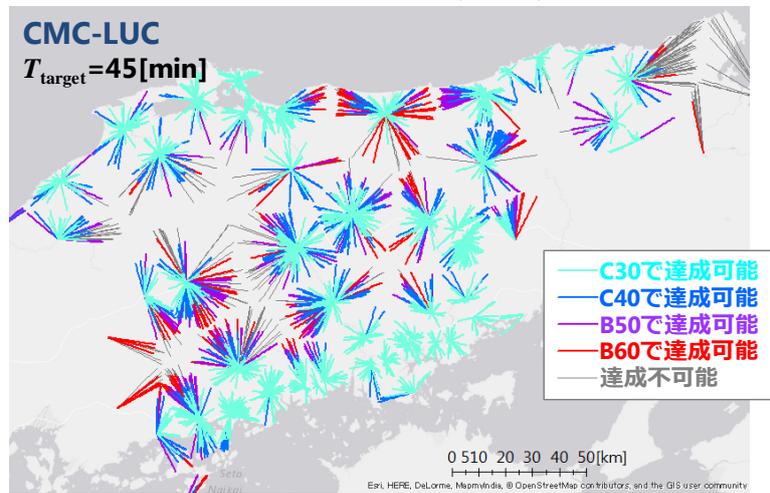


(b)目標旅行時間20[min]にした場合

図-6.22 中国地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 SMC(小さな拠点)まで

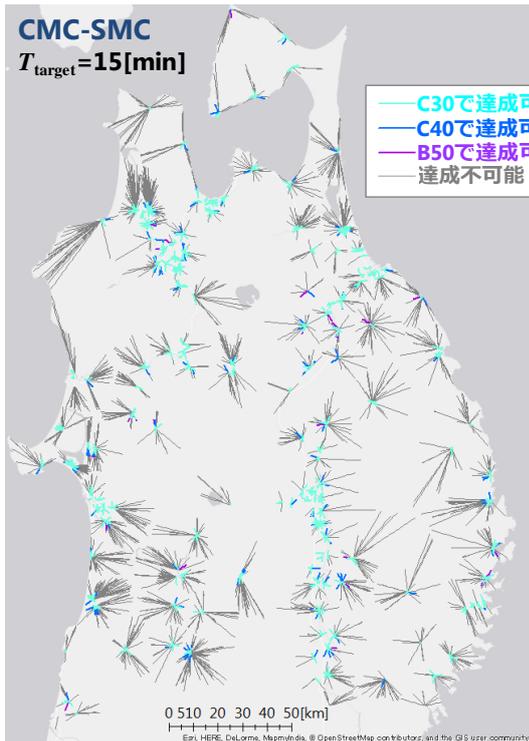


(a)目標旅行時間30[min](表-3.2)の場合

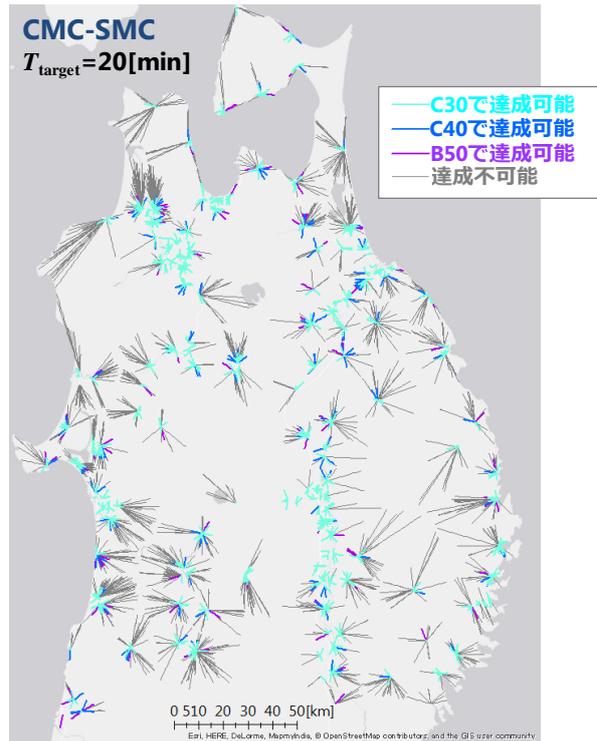


(b)目標旅行時間45[min]にした場合

図-6.23 中国地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 LUC(生活拠点)まで

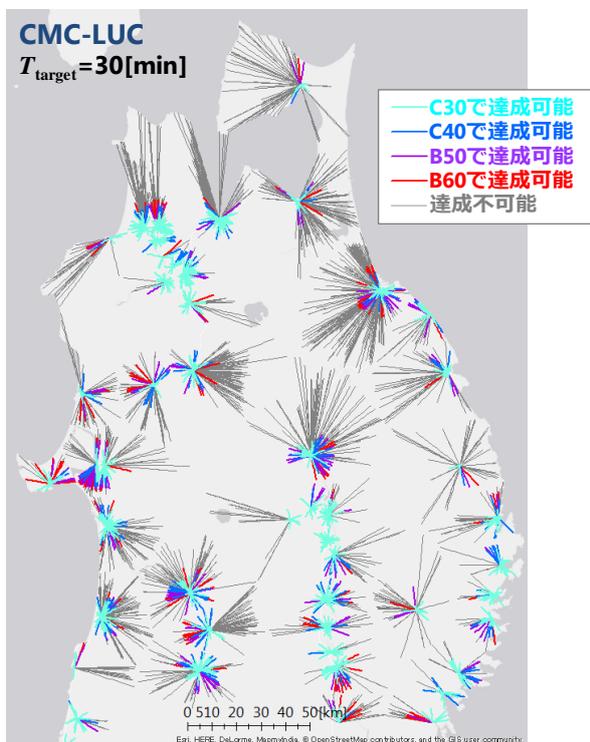


(a) 目標旅行時間15[min](表-3.2)の場合



(b) 目標旅行時間20[min]にした場合

図-6.24 北東北地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 SMC(小さな拠点)まで



(a) 目標旅行時間30[min](表-3.2)の場合



(b) 目標旅行時間45[min]にした場合

図-6.25 北東北地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 LUC(生活拠点)まで

6.3 関西地域

次に、大都市圏に拠点が稠密に配置している関西地域を対象に代替案評価を行う。

6.3.1 市街地内の階層構成代替案評価

(a) 高次都市拠点間連絡(UUC-UUC)

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-6.26に、平均速度を図-6.27に示す。中国地域・北東北地域とは大きく異なり、代替案【C40】で75%、【B50】で全ての拠点間について、一般道路のみ(Without)でも目標旅行時間を達成可能となることわかる。これは、この地域のUUCが関西都市圏に集中して配置しており、拠点間距離が短いためである。

このような距離の短い拠点間では、自専道ありの経路よりも一般道利用経路の方が、旅行時間が短いものもあり、このために図-6.27では、25パーセンタイル値までの平均速度は、一般道路のみの経路(Without)と自専道ありの経路(80km/h, 90km/h)で差がない。

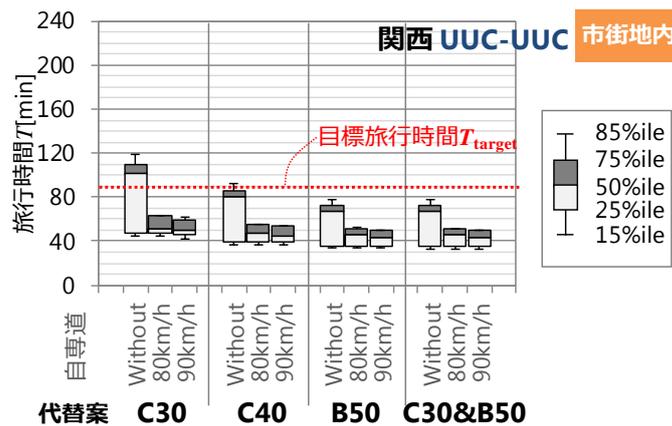


図-6.26 UUC-UUC(高次都市拠点間)の拠点間旅行時間 関西地域

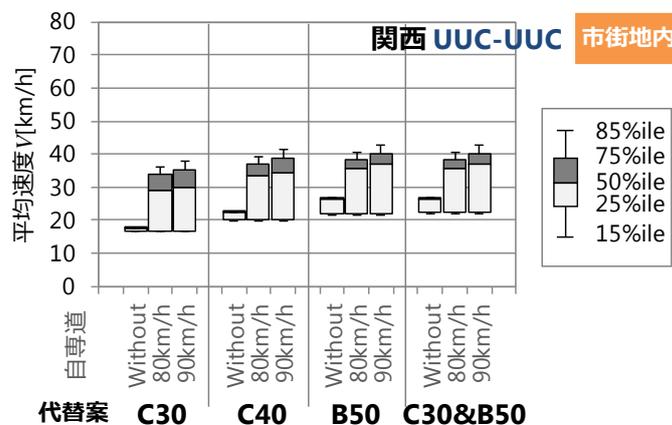


図-6.27 UUC-UUC(高次都市拠点間)の拠点間平均速度 関西地域

(b) 市街地内の生活拠点, 小さな拠点, 集落・住区の連絡

市街地内のLUC(生活拠点), SMC(小さな拠点), CMC(集落・住区)に関する拠点間連絡の旅行時間を図-6.28に, 平均速度を図-6.29に示す. 関西地域では, 中国・北東北地域と比べて, 「市街地」が大きく広がっているため, 市街地内の拠点間距離が長い傾向にある. このため, 図-6.7や図-6.9と比較すると旅行時間は長くなっているが, 依然として, どの代替案を適用しても目標旅行時間は達成可能な状況にある.

このような地域では, 先に述べた通り, UUC-UUCも一般道路のみで目標達成可能なことから, 都市圏内に多様な交通が混在しがちである. 市街地内の代替案は, 目標旅行時間の観点からはどれを用いても違いがないことが今回の評価結果であるが, 一方でこれらの多様な交通を適切に分離するために, アクセス機能・滞留機能をきちんと考慮した階層構成としておくことが今後の検討課題といえるだろう.

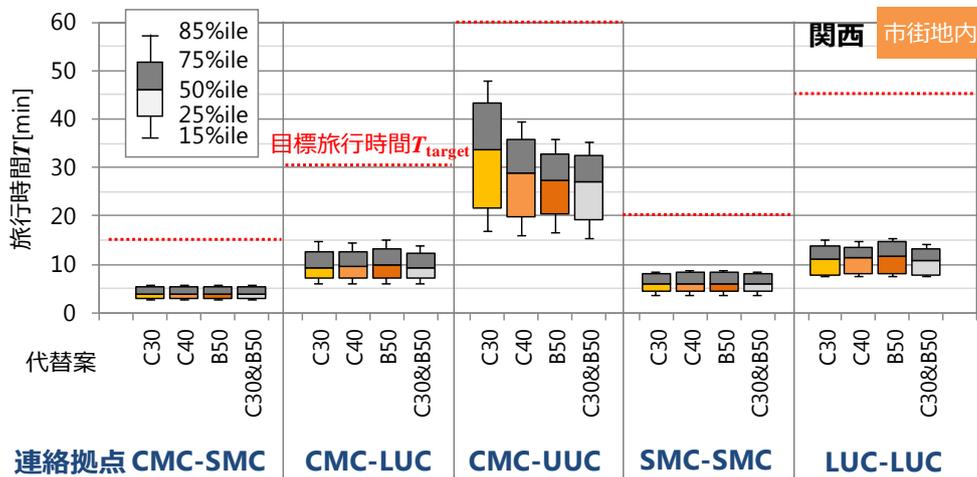


図-6.28 市街地内のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 関西地域

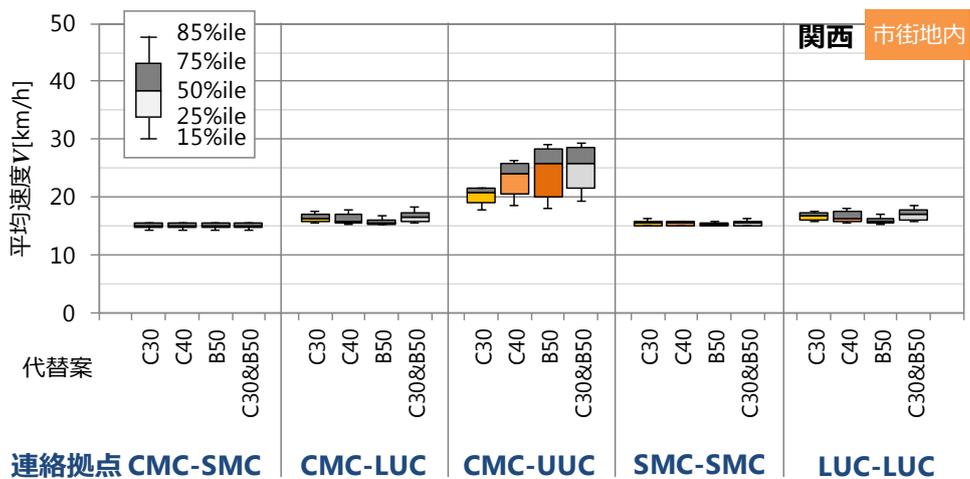


図-6.29 市街地内のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 関西地域

6.3.2 市街地外の階層構成代替案評価

(a) 集落・住区から高次都市拠点(CMC-UUC)

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-6.30に、平均速度を図-6.31に示す。関西地域においては、旅行速度の高い階層を適用することによって、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。

また、平均IC間隔 s_{IC} が短いために、多くの拠点間で自専道経路も活用可能であり、図-6.32に示されるように、87%の拠点間で自専道が利用されている。

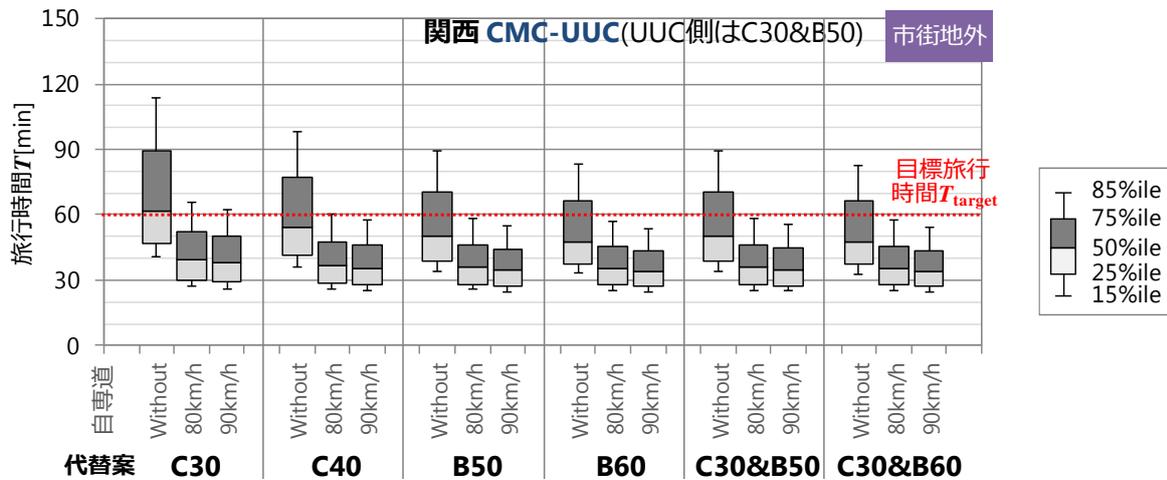


図-6.30 市街地外CMC-UUCの拠点間旅行時間 関西地域

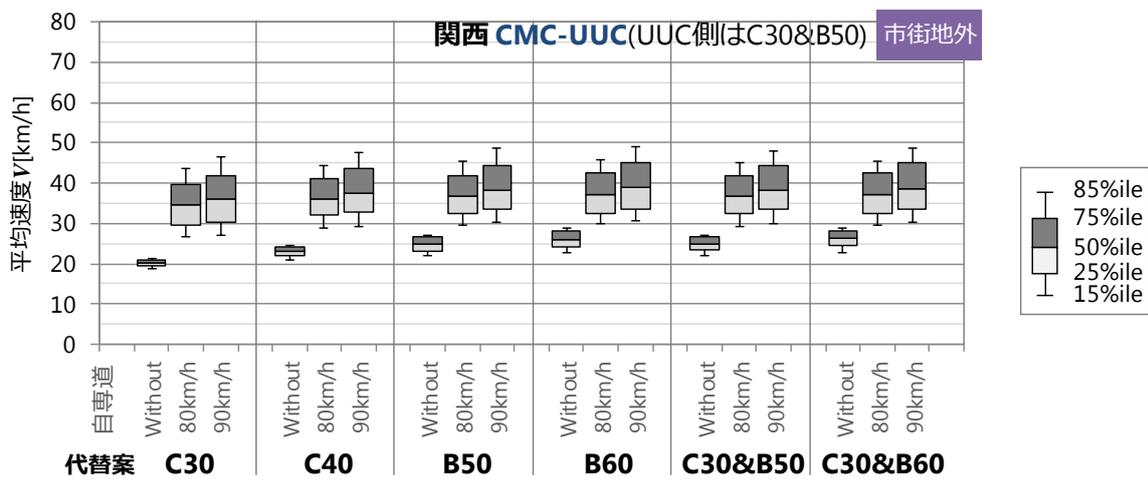


図-6.31 市街地外CMC-UUCの拠点間平均速度 関西地域

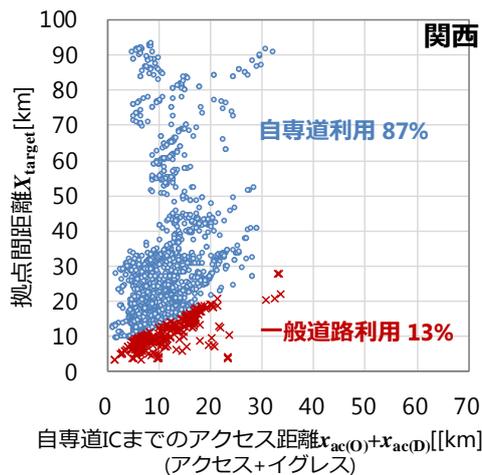


図-6.32 自専道ICまでの距離と拠点間距離の関係による利用経路の違い 関西地域

図-6.33は、(a)自専道ありの経路の場合と(b)一般道路利用のみの経路の場合で、それぞれ目標達成可能な代替案ごとに拠点を塗り分けたものである。これを見ると、(a)自専道ありの経路では、一般道路のアクセス部分の代替案は【C30】で殆どの拠点間をカバーできていること、(b)自専道を使わず、一般道路のみの経路で達成を担保したい場合には、都市圏から遠くほど、【B50】や【B60】といった高い速度で走行できる階層が必要となることがわかる。一方で、兵庫県や京都府の日本海側、あるいは紀伊半島にあるCMCは、その地域の近くにUUCがないため、距離の離れた関西都市圏のUUCまで連絡しなければならず目標達成が困難という、拠点配置上の課題がみられる。

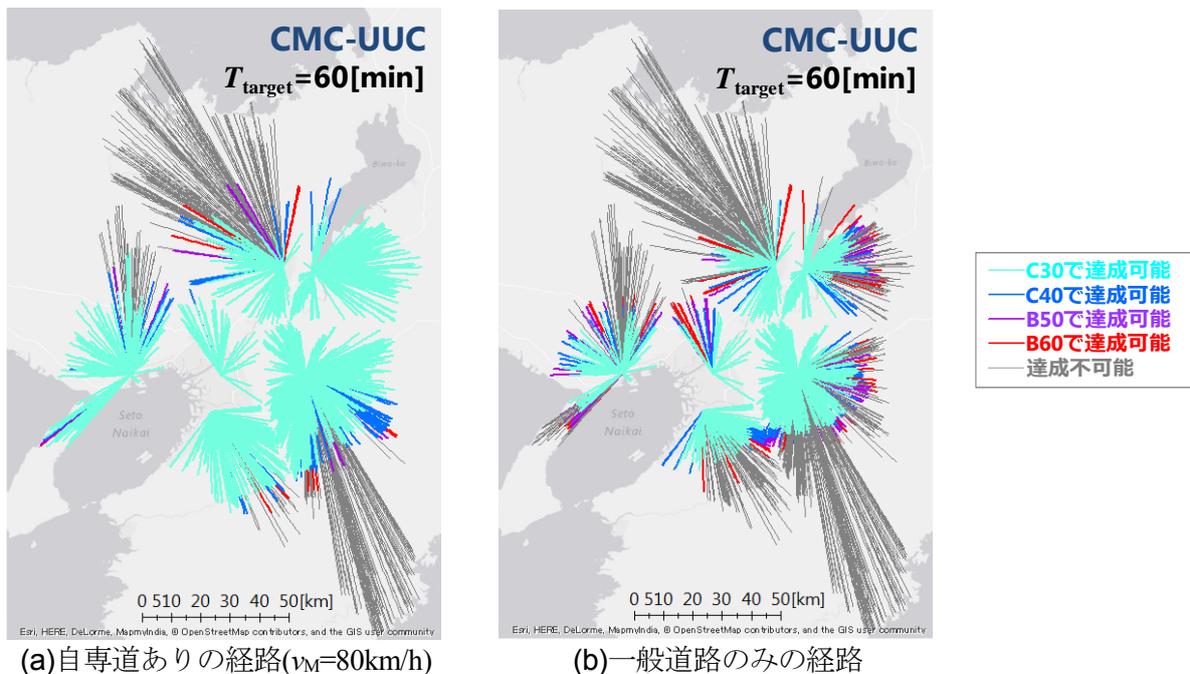


図-6.33 関西地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 UUC(高次都市拠点)まで

(b) 市街地外の生活拠点, 小さな拠点, 集落・住区の連絡

市街地外のLUC(生活拠点), SMC(小さな拠点), CMC(集落・住区)に関する拠点間連絡の旅行時間を図-6.34に, 平均速度を図-6.35にそれぞれ示す。

関西地域では, UUC(高次都市拠点)の集積している都市圏周辺に, LUC(生活拠点)やSMC(小さな拠点)も密集している。このため, 同階層の隣接拠点間であるSMC-SMCやLUC-LUCは距離が短く, 殆どの代替案で目標旅行時間が達成可能である。

一方, CMC-SMCやCMC-LUCといった集落・住区からのアクセスに関する連絡は, 同階層の隣接拠点間に比べて, 目標達成割合が高くない。これは, 先程のCMC-UUC(集落・住区から高次都市拠点)の連絡と同様, 日本海側や紀伊半島に位置するCMC(集落・住区)は, SMCやLUCが遠いという地方部の特徴を持つためである。

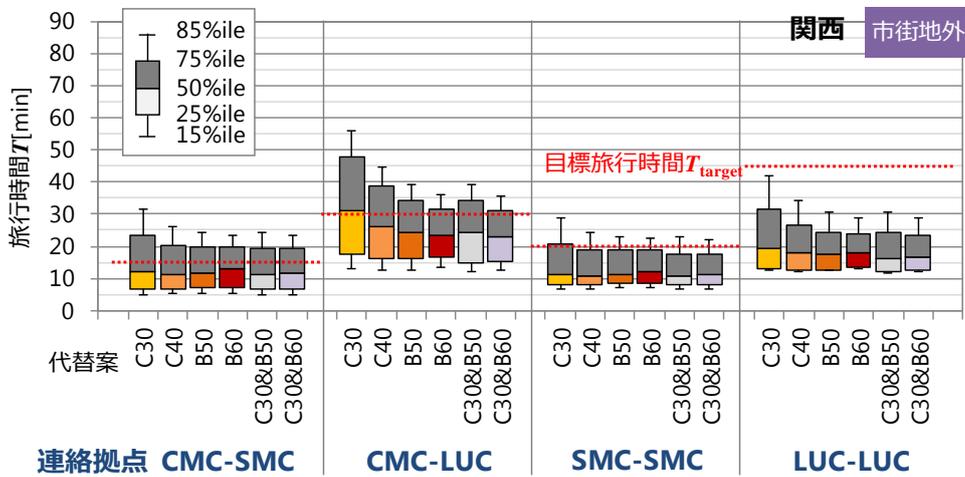


図-6.34 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 関西地域

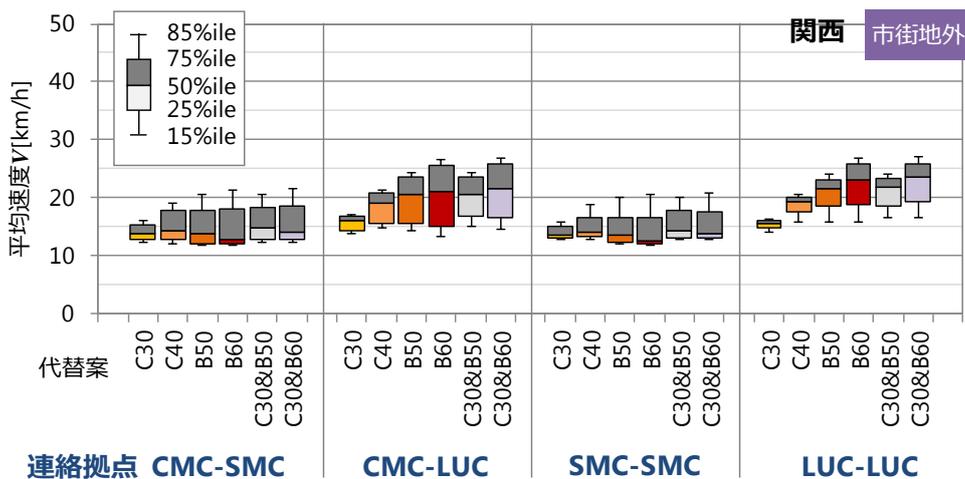
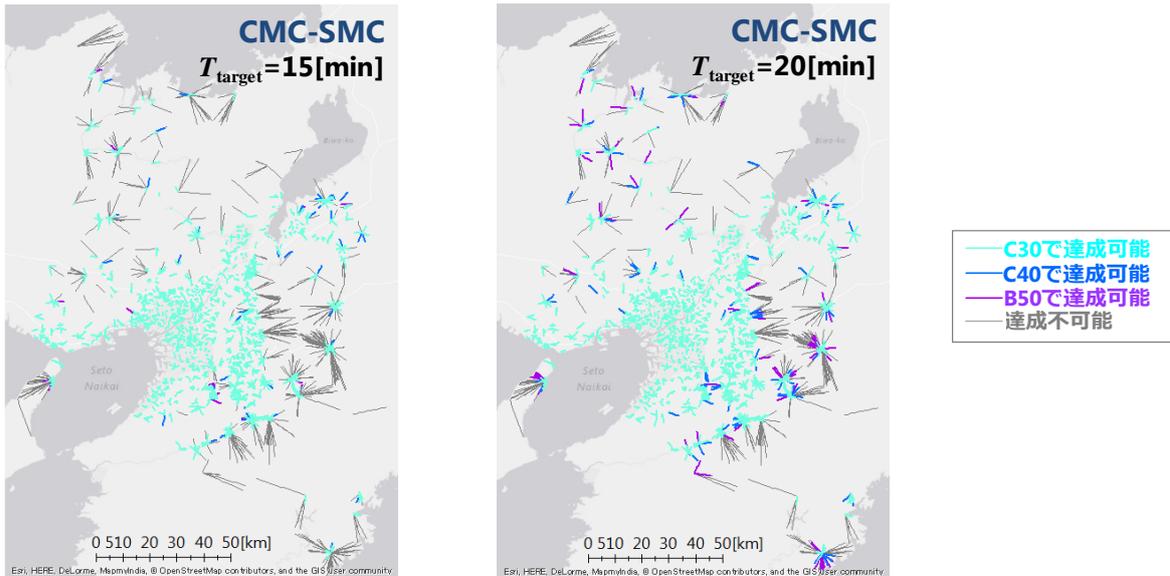


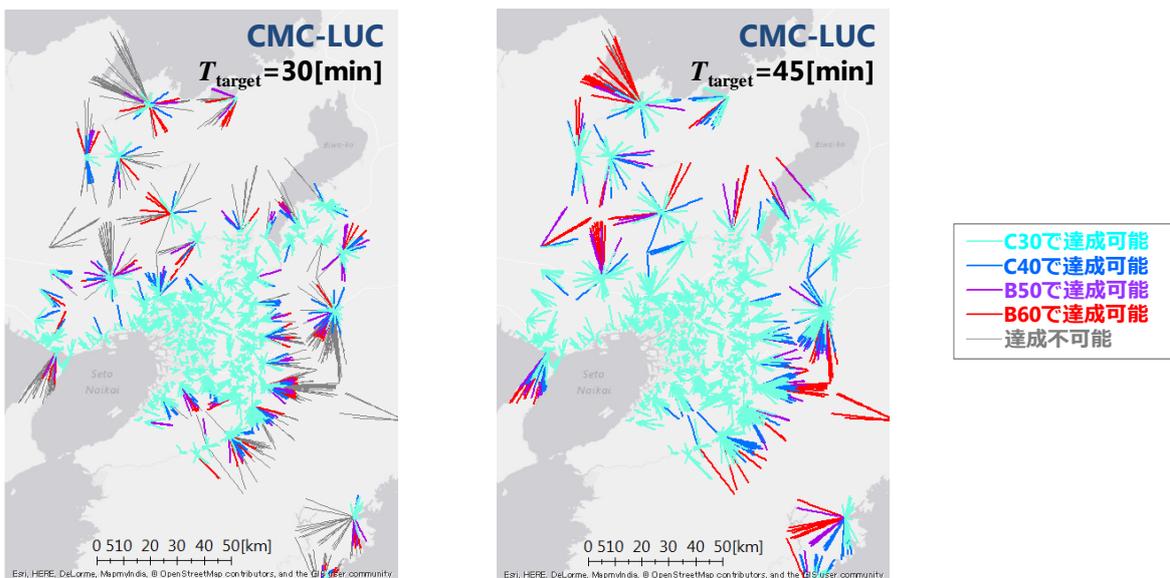
図-6.35 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 関西地域

CMC-SMC(集落・住区から小さな拠点)について、代替案ごとに目標達成可能な拠点間を塗り分けた図-6.36(a)をみると、大阪湾に面した都市圏周辺では、殆どの拠点間が【C30】で目標を達成できている一方、上記に述べた日本海側、紀伊半島などでは、達成不可能となっていることが確認できる。ただし、目標旅行時間を20[min]まで許容する場合には、図-6.36(b)のように【B50】を適用することによって、これらについてもある程度達成可能となる。

CMC-LUC(集落・住区から生活拠点)については、図-6.37の通り、都市圏から遠いほど、【B60】などの高速の階層を有する代替案が有効であることがわかる。



(a)目標旅行時間15[min](表-3.2)の場合 (b)目標旅行時間20[min]にした場合
 図-6.36 関西地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 SMC(小さな拠点)まで



(a)目標旅行時間30[min](表-3.2)の場合 (b)目標旅行時間45[min]にした場合
 図-6.37 関西地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 LUC(生活拠点)まで

6.4 東海道地域

次に、上位拠点の主軸および自専道ネットワークが東西方向に特化して直線的に発達しているという特徴を持つ、東海道地域における階層構成代替案の評価を行う。

6.4.1 市街地内の階層構成代替案評価

(a) 高次都市拠点間連絡(UUC-UUC)

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-6.38に、平均速度を図-6.39に示す。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、中国・北東北地域に比べて拠点間距離が短いこと、経路の迂回係数が $\alpha=1.3$ と比較的小さいことによる。

また、一般道路のみの経路(Without)についても、目標旅行速度が高い階層が入るにつれて、旅行時間・平均速度に大きな改善がみられる。

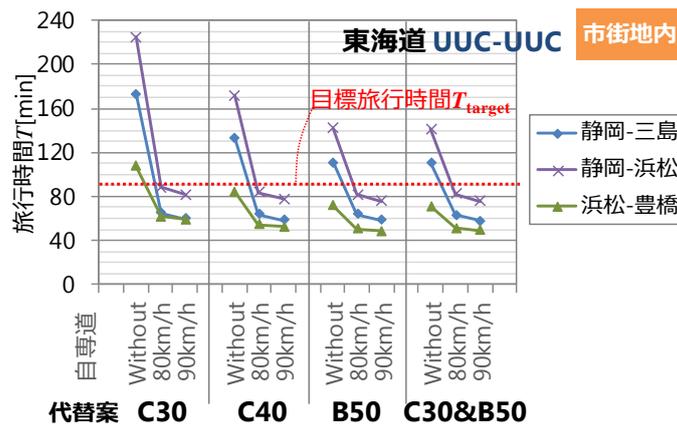


図-6.38 UUC-UUC(高次都市拠点間)の拠点間旅行時間 東海道地域

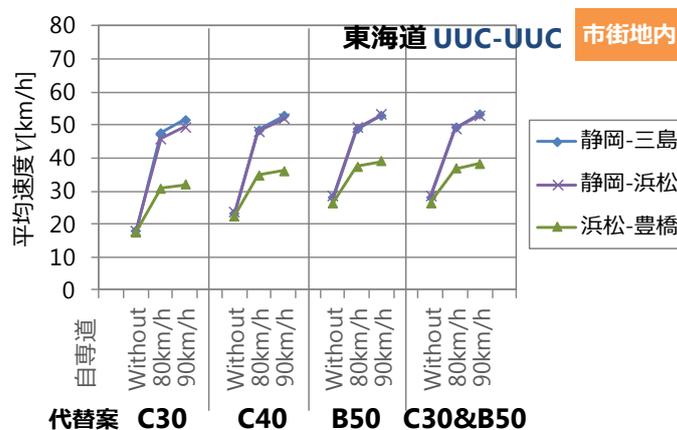


図-6.39 UUC-UUC(高次都市拠点間)の拠点間平均速度 東海道地域

(b) 市街地内の生活拠点, 小さな拠点, 集落・住区の連絡

市街地内のLUC(生活拠点), SMC(小さな拠点), CMC(集落・住区)に関する拠点間連絡の旅行時間を図-6.40に, 平均速度を図-6.41に示す. 他の地域同様, 市街地内の拠点間連絡は全ての代替案で目標旅行達成可能な状況にあることがわかる.

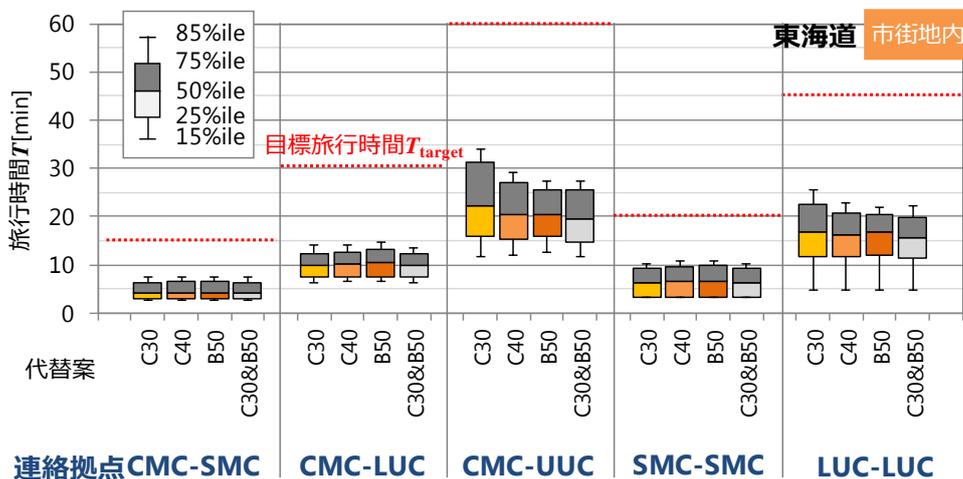


図-6.40 市街地内のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 東海地域

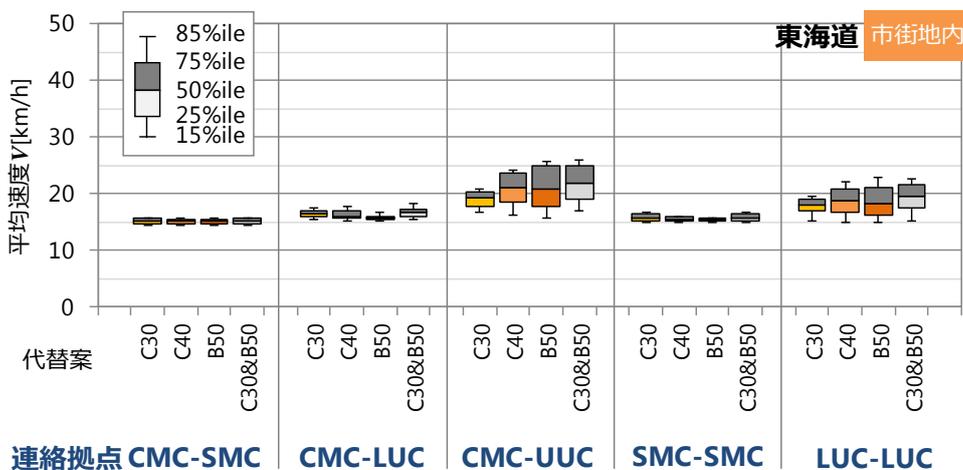


図-6.41 市街地内のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 東海地域

6.4.2 市街地外の階層構成代替案評価

(a) 集落・住区から高次都市拠点(CMC-UUC)

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-6.42に, 平均速度を図-6.43に示す. 関西地域同様, 東海地域においても, 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.

特に、東海道地域では、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からUUCに向かう南北方向の連絡は、必要な経路上に自専道がなかったり、ICアクセス距離が長過ぎたりして、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-6.44にも示されており、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。このような自専道を利用できないCMCに対して、一般道路の旅行速度を高めることで連絡性能を強化する代替案【B50】、【B60】などは意義が大きいと考えられる。

このことは、代替案別に目標達成可能な拠点間を塗り分けた図-6.45でも確認でき、(b)一般道路のみの経路の場合では、代替案【B50】、【B60】などを適用することによって、目標達成可能な範囲が大きく拡大している。

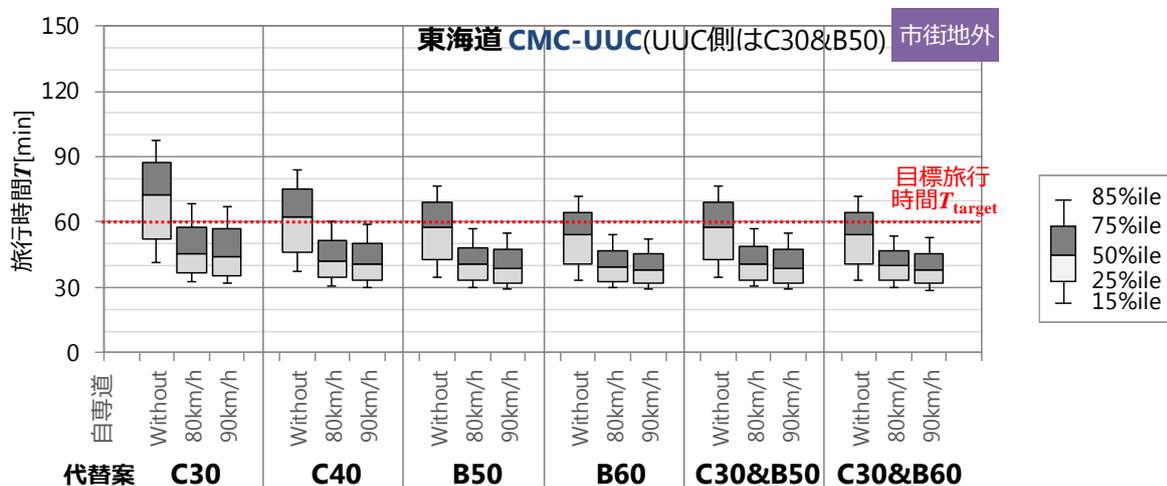


図-6.42 市街地外CMC-UUCの拠点間旅行時間 東海道地域

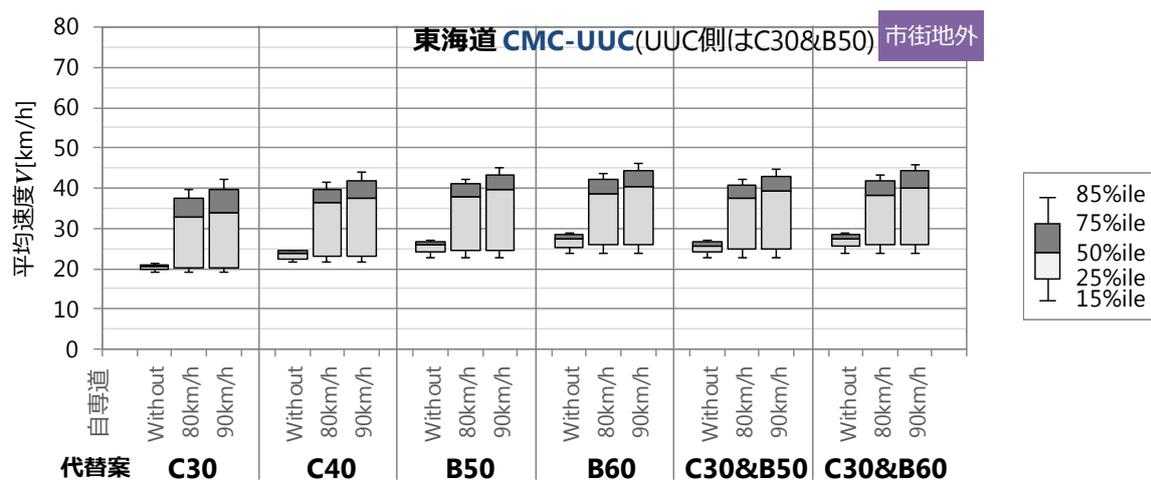


図-6.43 市街地外CMC-UUCの拠点間平均速度 東海道地域

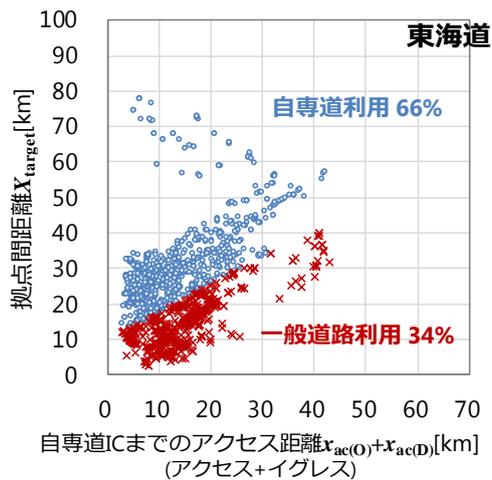


図-6.44 自専道ICまでの距離と拠点間距離の関係による利用経路の違い 東海道地域

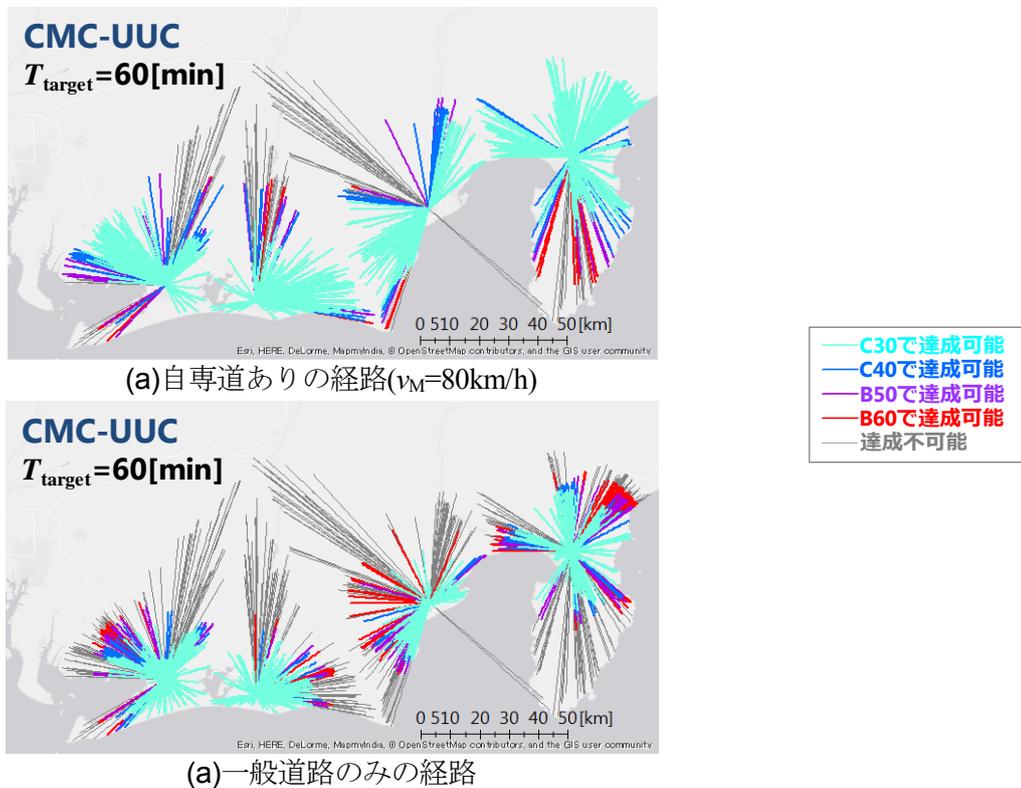


図-6.45 東海道地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 UUC(高次都市拠点)まで

(b) 市街地外の生活拠点, 小さな拠点, 集落・住区の連絡

市街地外のLUC(生活拠点), SMC(小さな拠点), CMC(集落・住区)に関する拠点間連絡の旅行時間を図-6.46に, 平均速度を図-6.47にそれぞれ示す. 東海道地域でも関西地域同様, SMC-SMCやLUC-LUCでは距離が短く, 殆どの代替案で目標旅行時間が達成可能である一方, CMC-SMCやCMC-LUCといった集落・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。

これは、代替案ごとに目標達成可能な拠点間を塗り分けた図-6.48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。図-6.48をみると、CMC-SMCについて、目標旅行時間が(a)15[min]、(b)20[min]のどちらの場合においても、中央アルプスに臨むこの地域北部では、拠点間距離が長く、目標達成が不可能であることわかり、中国・北東北地域同様、山間地域の孤立集落に関する課題が表れている。

また、CMC-LUCについては、図-6.49の通り、目標旅行時間を(b)45[min]に許容する場合には、現状に近い代替案【C30】でも多くが目標達成可能だが、(a)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重要であることがわかる。

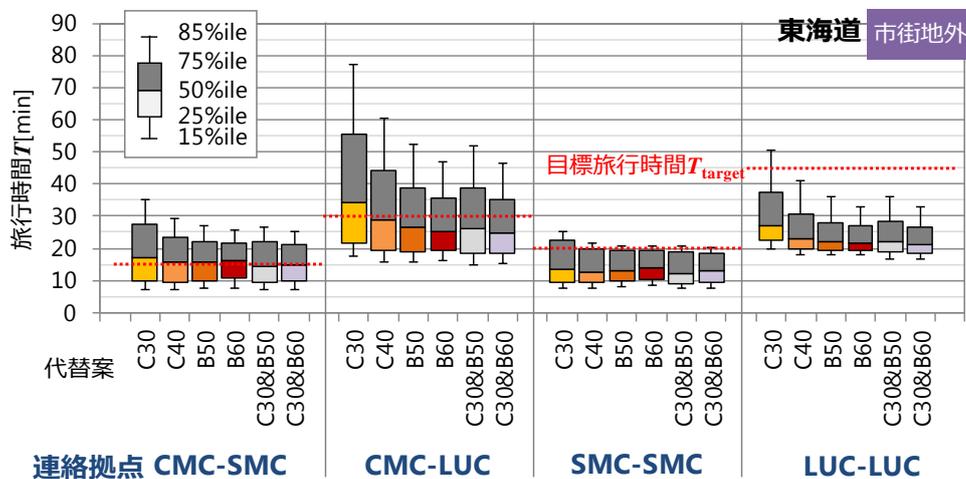


図-6.46 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 東海道地域

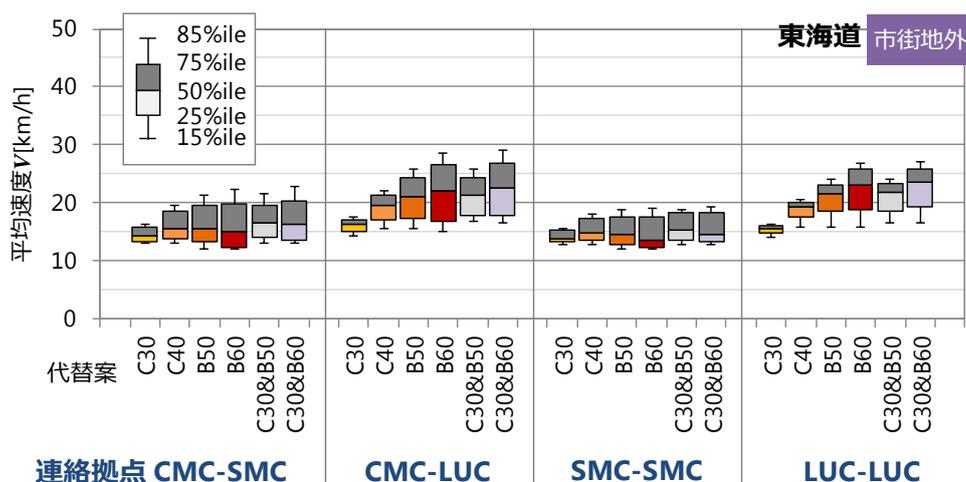
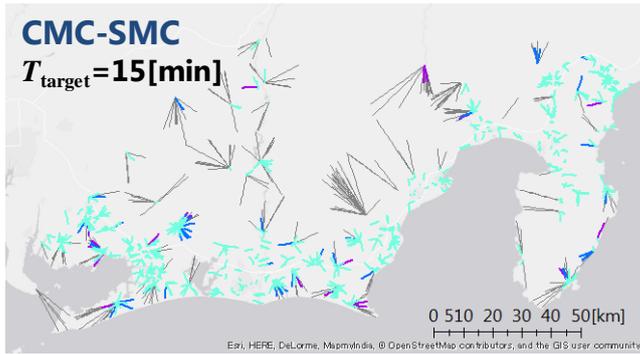
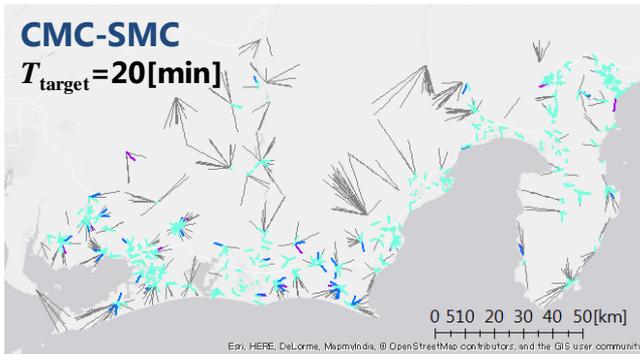


図-6.47 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 東海道地域



(a)目標旅行時間15[min](表-3.2)の場合

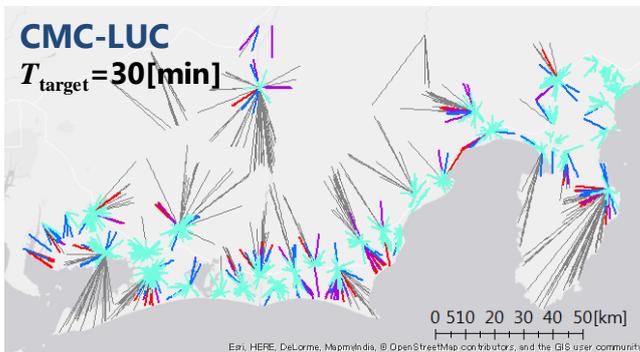


(a)目標旅行時間20[min]にした場合

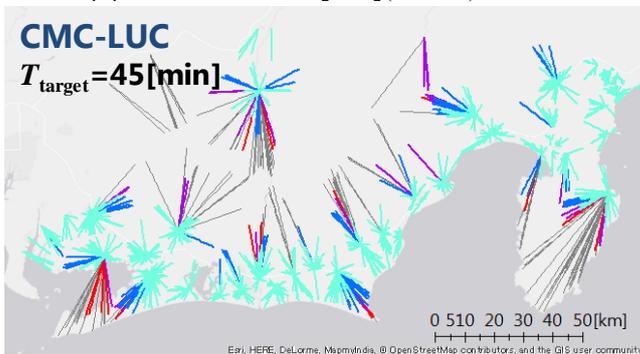


※渥美半島端からの連絡については、迂回係数が適切でなく、旅行時間が過小推定となっている可能性が高いので注意が必要。

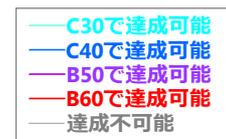
図-6.48 東海道地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 SMC(小さな拠点)まで



(a)目標旅行時間30[min](表-3.2)の場合



(a)目標旅行時間45[min]にした場合



※渥美半島端からの連絡については、迂回係数が適切でなく、旅行時間が過小推定となっている可能性が高いので注意が必要。

図-6.49 東海道地域における目標旅行時間を達成可能な範囲 LUC(生活拠点)まで

6.5 南ドイツ地域

ここでは、拠点が一樣に分布し、拠点間距離のバラツキが小さい南ドイツ地域を対象に、代替案の評価を行う。ただし、ドイツの拠点については、市街地内・外が判別されていないため、市街地内の代替案については、UUC-UUC(高次都市拠点間)のみを考慮する。

6.5.1 市街地内の階層構成代替案評価

(a) 高次都市拠点間連絡(UUC-UUC)

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-6.50に、平均速度を図-6.51に示す。南ドイツの全ての拠点間について、自専道ありの経路(80km/h, 90km/h)で目標旅行時間が達成可能であることがわかる。南ドイツのUUC-UUCの拠点間距離は、東海道地域と同程度であるが、迂回係数が $\alpha=1.2$ と小さいこと、自専道アクセス距離が短いことから、旅行時間が短くなっている。このことは、先に示した図-6.6における南ドイツのプロットからもみてとれる。

また、一般道路のみの経路(Without)でもB50の階層があれば半数の拠点間の目標を達成可能であることもわかる。

6.5.2 市街地外の階層構成代替案評価

(a) 集落・住区から高次都市拠点(CMC-UUC)

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-6.52に、平均速度を図-6.53に示す。このグラフをみると、一般道路の目標旅行速度がC30, C40, B50, B60と高くなるにつれて、旅行時間がだんだん短くなってゆく傾向が非常にわかりやすい。これは、拠点間距離のバラツキが小さく、道路の旅行速度向上に対する感度が全体傾向に表れやすいためと考えられる。また、一般道路の目標旅行速度が高くなるほど、一般道路のみの経路(Without)と自専道使用経路(80km/h, 90km/h)の旅行時間の差が小さくなってゆく様子もうかがえる。

平均速度をみると、25パーセンタイル値までは、一般道路のみの経路(Without)と自専道使用経路(80km/h, 90km/h)で差がないことがわかる。これは、中国地域や東海道地域同様に、ICまでが遠く自専道を利用できない拠点間が多い影響によるもので、ICアクセス+イグレス距離 $x_{ac(O)}+x_{ac(D)}$ と拠点間距離 x_{target} の関係を示した図-6.54をみると、実際には49%の拠点間で一般道路のみの利用経路がとられていることがわかる。これは、CMCがほぼ一樣に分布していることの表れであるといえよう。

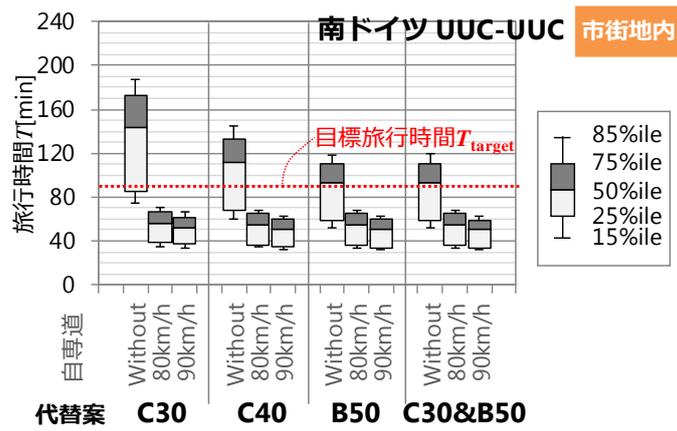


図-6.50 UUC-UUC(高次都市拠点間)の拠点間旅行時間 南ドイツ地域

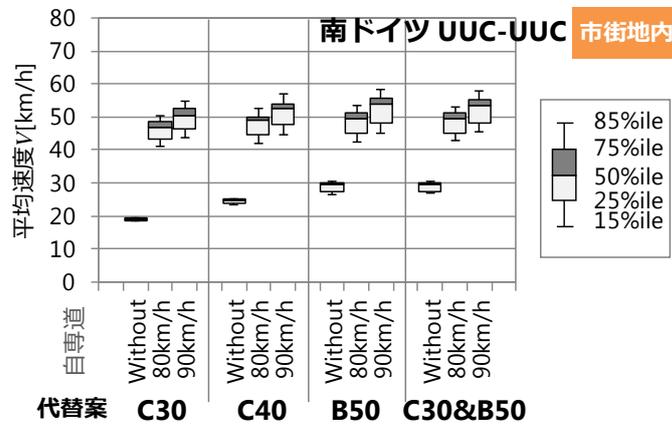


図-6.51 UUC-UUC(高次都市拠点間)の拠点間平均速度 南ドイツ地域

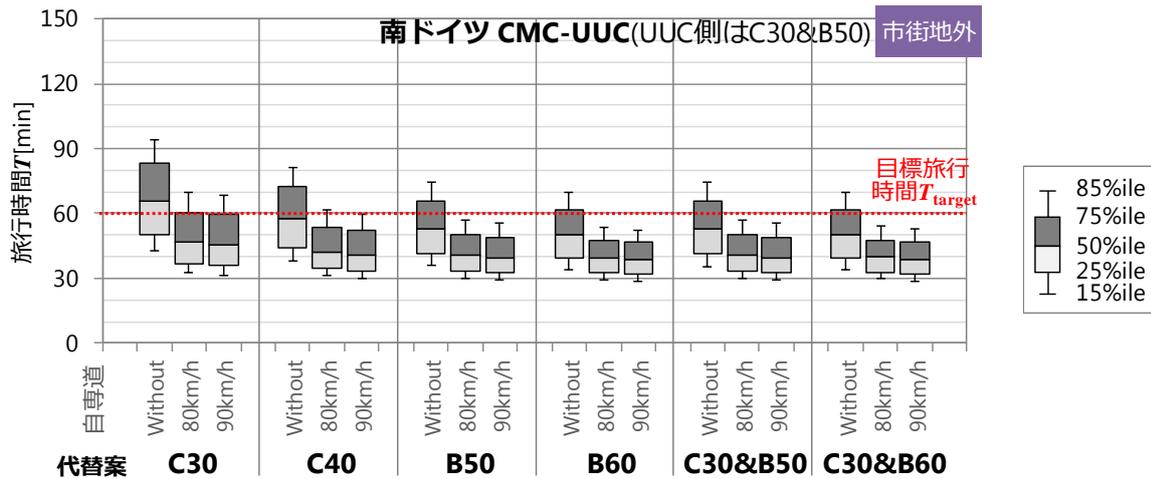


図-6.52 市街地外CMC-UUCの拠点間旅行時間 南ドイツ地域

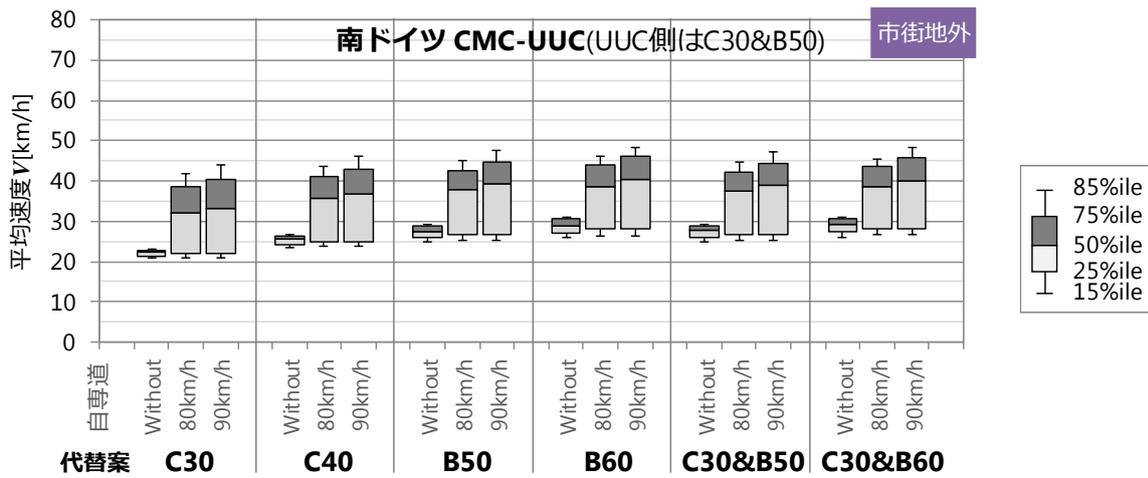


図-6.53 市街地外CMC-UUCの拠点間平均速度 南ドイツ地域

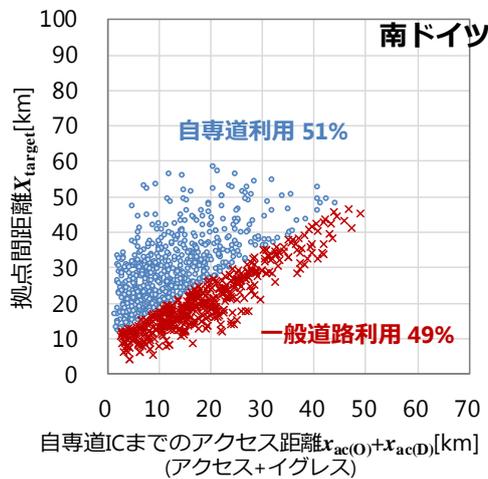


図-6.54 自専道ICまでの距離と拠点間距離の関係による利用経路の違い 南ドイツ地域

(b) 市街地外の生活拠点, 小さな拠点, 集落・住区の連絡

市街地外のLUC(生活拠点), SMC(小さな拠点), CMC(集落・住区)に関する拠点間連絡の旅行時間を図-6.55に, 平均速度を図-6.56にそれぞれ示す. 南ドイツ地域では, 日本の各地域で目標達成割合が高くなかったCMC-LUC連絡についても, 【B50】を適用することで, 殆どの拠点間をカバーできることがわかる.

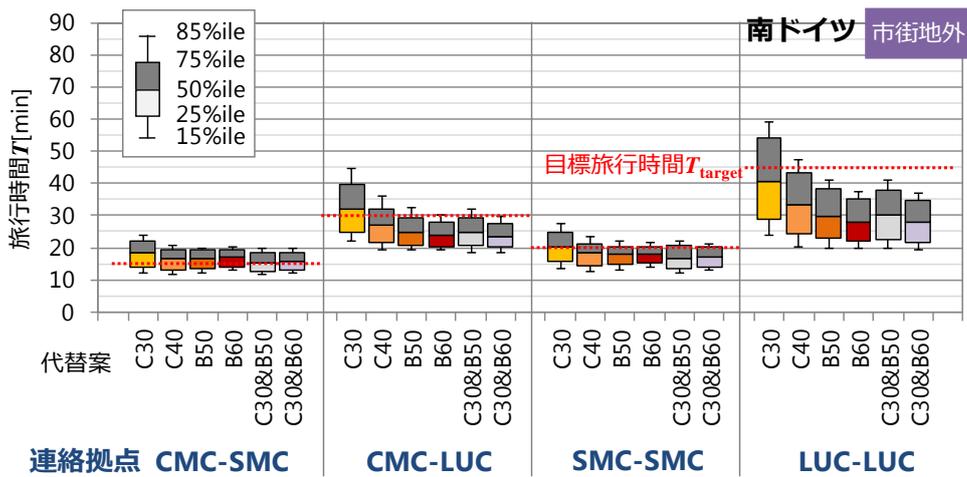


図-6.55 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間旅行時間 南ドイツ地域

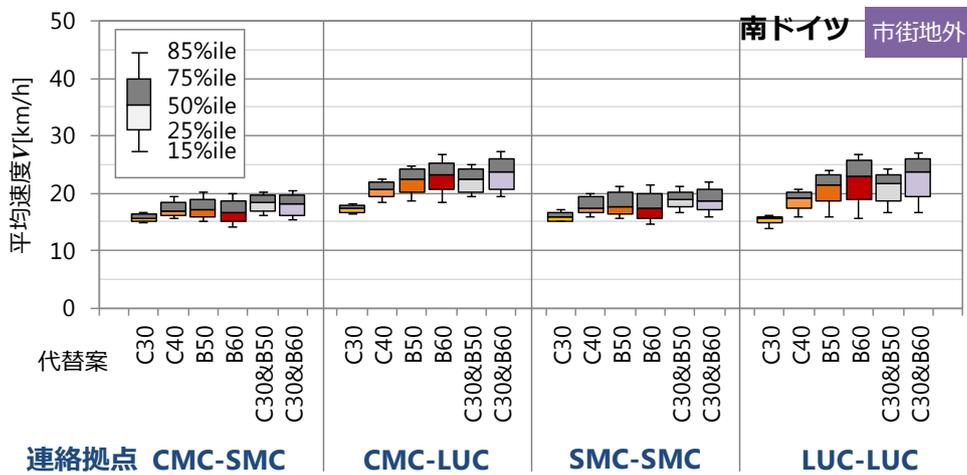


図-6.56 市街地外のLUC, SMC, CMCに関する拠点間平均速度 南ドイツ地域

6.6 総合評価

最後に、階層構成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(6.2)により定義する。

$$AR = \frac{\sum_{c \in C_{\text{achieved}}} w_c}{\sum_{c \in C_{\text{all}}} w_c} \quad (6.2)$$

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といった同階層の隣接拠点間連絡については、その拠点到に依存するCMCの数として定義する。その拠点到に依存するCMCの数は、その拠点到を直近上位拠点到とするCMCの数とする。これは、隣接拠点間連絡によつて補完・交流された拠点到機能を享受する利用者数を、この拠点到に依存しているCMCの数によつて代替して表すものである。

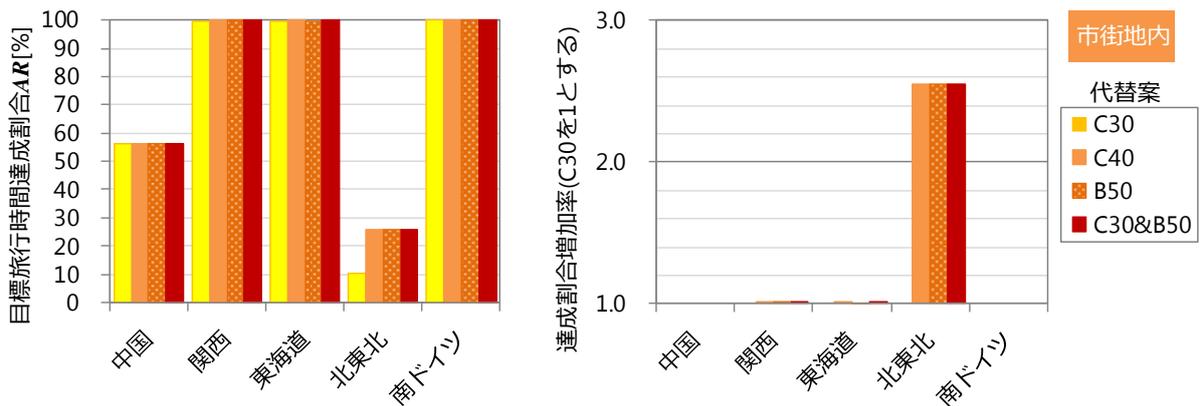
図-6.57は市街地内、図-6.58は市街地外の代替案によつて、目標旅行時間達成割合 AR を算出した結果である。これらの図中の(a)は目標旅行時間達成割合 AR の絶対値、(b)は地域ごとに代替案【C30】を基準とした場合の達成割合の増加率を示している。目標旅行時間は、表-3.2において仮設定した値に基づいている。

(a)目標旅行時間達成割合 AR の絶対値によつては、市街地内・外どちらにおいても、拠点到間距離の長くなりがちな地方部の中国地域・北東北地域が、他と比べて著しく小さい。一方、コンパクトな拠点到形成が行われており、かつ迂回係数が小さい南ドイツでは、達成割合 AR が高い値となっている。これは、地方部においては道路ネットワークの再編と併せて拠点到再配置を検討することが非常に重要であることを示唆しているといえる。

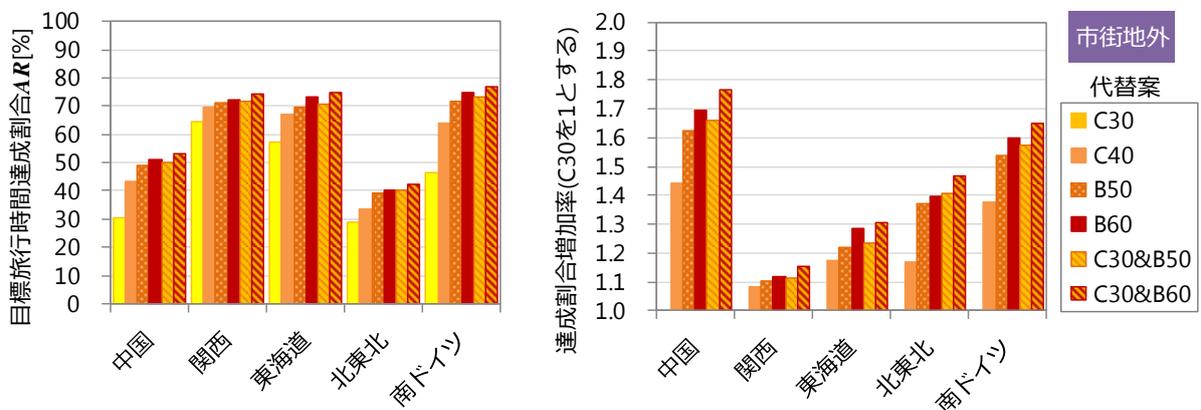
また、(b)地域ごとの代替案の相対的な効果によつてみると、図-6.57に示す市街地内によつては、北東北地域以外は代替案による差が殆どないことがわかる。これは、市街地内の代替案の評価対象となる連絡のうち、UUC-UUCによつては、代替案により自専道アクセス時間が若干影響を受けるものの、目標旅行時間というある一定の閾値からみると違いがないこと、LUC、SMC、CMCに関する連絡によつては、拠点到間距離が十分に短く、どの代替案でも100%目標が達成可能な状態にあることによる。唯一北東北地域において、増加率が高くなっている原因は、代替案【C30】ではUUC-UUCのうち目標旅行時間をわずかに超過していた拠点到間が存在したものが、【C40】以上の代替案を適用することによつて自専道アクセス時間が短縮し、目標旅行時間を達成できるようになったことによる。UUC(高次都市拠点到)には多くのCMC(集落・住区)が依存しているために、連絡の重みが大きく、達成割合 AR への感度が高いことの表れである。

図-6.58(b)の市街地外によつては、より明確に代替案による達成割合の増加がみてとれる。特に、中国地域、北東北地域、南ドイツ地域といった、拠点到が低密に広く分布してて、各階層の拠点到間距離が長い地域において、目標旅行速度の高い階層を有する構成としたときの、達成割合増加率が高い傾向が明らかとなった。

ただし、これら目標旅行時間達成割合は、目標旅行時間の設定値によつて変化するものである点に留意が必要である。



(a) 目標旅行時間達成割合 (b) C30を基準とした場合の達成割合増加率
 図-6.57 目標旅行時間達成割合の総合的評価 市街地内の場合



(a) 目標旅行時間達成割合 (b) C30を基準とした場合の達成割合増加率
 図-6.58 目標旅行時間達成割合の総合的評価 市街地外の場合

6.7 まとめ

本章では、拠点配置条件や地勢条件の異なる五つの地域を対象に、拠点間連絡性能に対して階層構成代替案が与える影響を評価した。この結果、以下のことが明らかになった。

- 中国地域・北東北地域に代表される地方部では、拠点配置および迂回による影響で、どの種類の拠点間も連絡距離が長く、特にUUC(高次都市拠点)に関する連絡は、専道利用を前提とした階層構成を検討すべきである。
- 関西地域に代表されるような都市部では、市街地内に拠点が密集しており、市街地内の拠点間距離が短いため、道路ネットワークをどのような階層構成としても、旅行時間の観点からは違いがないといえる。しかしながら、あらゆる種類の拠点間連絡が混在しがちとなるため、今後、アクセス・滞留機能も考慮して、適切に利用者を分離可能な階層構成を検討する必要がある。

- 日本のいづれの地域においても、山間部や半島に位置するCMC(集落・住区)では、上位拠点までの距離や自専道ICアクセス距離が長くなりがちであるため、一般道路において旅行速度50km/h, 60km/hなどで走行できる階層を有する構成とし、LUC(生活拠点)やUUC(高次都市拠点)、自専道ICへの連絡を確保しておくことが重要である。
- どの地域においても、SMC(小さな拠点)に関する連絡は、拠点間距離が比較的短く、階層の乗換えが行われないことが多い。このため、階層構成代替案による旅行時間や平均速度の違いは殆どみられない。従って、道路ネットワークの改良を行ったとしても、これらの拠点間連絡に及ぼされる効果は小さく、この連絡に課題のある地域では、拠点再配置計画と併せた施策を行うことが必要である。

なお、本研究では、階層構成代替案が拠点間連絡性能に与える基礎的な傾向を把握するため、一般道路は格子状ネットワークを仮定しており、経路長も拠点間距離と迂回係数から推定した値を用いている。さらに、自専道利用経路についても、仮定された平均IC間隔に基づいて利用可否の判定を行っているなど、簡略化された条件により旅行時間を推定している。結果として、推定された旅行時間は、実際の道路ネットワークに各代替案を適用した場合に期待される時間よりも過大・過小となっていることが推察される。今後、実際の道路ネットワーク形状を考慮した推定を行うなどの改良を行うことで、より精度の高い評価が期待される。

第7章 結論

7.1 本研究の成果および得られた知見

本研究は、ある拠点間目標旅行時間の下での道路ネットワークの階層構成代替案を導き出し、さらに個別道路の交差間隔や交差形式をはじめとした幾何構造条件・交通運用条件を検討するに至るまでのプロセスを体系的に構築した。これにより、目標旅行時間が与えられた場合に、道路ネットワークの計画から個別の道路区間での対策までの施策を、首尾一貫して行うことが可能となった。また、導き出された階層構成代替案により定義される道路ネットワークにおいて、任意の目標旅行時間を達成可能な拠点配置条件が提示され、道路ネットワーク計画と連携した拠点再配置計画の検討が可能となった。

第1章では、わが国の道路ネットワークを機能階層型に再編する意義と課題について、道路交通サービスの質向上の観点、および「コンパクト+ネットワーク」な国土・地域構造の形成の観点から論じた。また、目標旅行時間達成条件に基づいた拠点間連絡性能および道路改良費用を推定することにより代替案を評価する、機能階層型道路計画手法の枠組みを提案した。

第2章では、機能階層型道路ネットワークの概念について今一度整理を行い、このようなネットワークの構築が、効率的で円滑な道路交通の実現、安全で快適な居住環境の形成にとって効果的であることを示した。また、現在の日本の道路において機能階層型道路ネットワークの利点が十分発揮されていない原因が、道路計画段階における性能照査ステップの欠落、国土・地域計画などの上位計画との一貫性の曖昧さにあることを指摘した。さらに、アメリカ、ドイツ、オーストラリアの道路計画指針についてレビューを行い、道路の機能を考慮した階層設定が採用されていること、そのうち、上位計画との関係性が明確なものはドイツの指針だけであるものの、その関連性は定性的なものにとどまり、階層別性能目標とネットワーク全体の上位目標との整合性は明確でないことを確認した。また、日本における機能階層型道路ネットワーク再編に向けた潮流の中での本研究の役割が、個別道路区間の性能照査に用いる階層別性能目標の合理的な設定方法を提示することにある点を示すとともに、関連既往研究のレビューを行い、今後深刻化する財政制約を考慮し需要に依らない基準で階層別性能目標を設定すること、および、総旅行時間などの最適化ではなく各拠点間連絡性能の絶対値を用いて道路ネットワークを評価することで以って、本研究の位置づけを明確にした。

第3章では、「国土のグランドデザイン2050」に示される日本の将来の国土・地域構造の概念を反映する形で、日本における拠点を、大都市拠点(MEC)、高次都市拠点(UUC)、生活拠点(LUC)、小さな拠点(SMC)、集落・住区(CMC)の五種類に階層的に定義した。また、日本の拡散した市街地とそうでない地域の拠点配置密度の違いを道路ネットワーク計画に反映するため、拠点施設が集約された領域内を市街地内、それ以外を市街地外として区別する方法を提案し、同じ市

街地内にある拠点同士を連絡する場合と、市街地間を連絡する場合とで道路の性質が全く異なる場合にも対応しやすいようにした。さらに、定義した拠点に対して、個別施設からの目標旅行時間、同階層の隣接拠点間の旅行目標時間を設定することで、機能階層型道路ネットワークの上位目標とする方法を提案した。

第4章では、第3章の定義に基づき、将来の日本の拠点となりえる場所を実際の地図上から抽出し、道路ネットワークが連絡すべき拠点の配置条件を分析した。拠点間の直線距離で計測した拠点間距離の分布状況を、日本とドイツで比較した結果、日本では都市域が限られた用地に稠密に分布しているため、小さな拠点(SMC)や生活拠点(LUC)といった生活機能レベルの拠点間距離が短い一方、集落・住区(CMC)が山間部や半島などにまばらに点在しているために、これらから上位拠点へと連絡する拠点間距離が長く、バラツキも大きいことが明らかとなった。また、市街地間を連絡する拠点間距離については、都市部より地方部の方が長く、市街地内にある拠点間距離については、市街地が広く拡散しがちな都市部の方が長いことがわかった。さらに、東海道地域のような、上位拠点の連携軸や自専道ネットワークの卓越方向が明確にある地域では、それと交差する方向の連絡について、集落・住区(CMC)と上位拠点間を連絡する距離が長くなりがちであることがわかった。

地勢条件の分析からは、特性の異なる地域ごとに迂回係数を推定した結果、日本の地方部(中国・北東北地域)で1.4程度、都市部(関西・東海道地域)で1.3程度、ドイツでは1.2程度であることが明らかとなった。一方、高速自動車国道の旅行速度に関しては、地勢条件による影響は明確に確認できなかった。

第5章では、階層型道路ネットワークを構成する道路階層数 n 、階層 i ($1 \leq i \leq n$)の目標旅行速度 v_i 、道路間隔 $s_{(i)}$ および下位階層($i-1$)との接続間隔 $s_{(i-1)}$ の代替案を構築した。ここでは、交通機能と市街地内外の別に基づいた道路の分類を行うことで、機能の差別化、安全性・快適性の観点から、どのような目標旅行速度の組み合わせが現実的にありえるのかという、絞込みを可能にした。また、道路の運用状態においてクリティカルである階層間の接続点において生じる遅れの影響を考慮することで、階層別目標旅行速度を満足するための道路間隔の範囲を明示した。

さらに、構築された代替案によって実現する旅行時間を推定したことで、目標旅行時間を達成可能な最大拠点間距離が算出され、これに基づいて実際の拠点間が目標達成可能かどうかの判断が可能となった。また、この最大拠点間距離から、拠点を移転あるいは再配置する際の判断基準として、小さな拠点(SMC)の勢力圏・サービス圏は5[km]以内に収めておくことで、集散道路のみでの連絡となり、それより上位の道路階層から生活交通を排除できること、生活拠点(LUC)の勢力圏・サービス圏は、16[km]程度に収めておかないと目標旅行時間内の連絡が困難になることなどが示された。また、自専道ICまでのアクセス距離に応じた、ICアクセス時間も推定され、ICから遠い拠点ほど、目標旅行速度の高い階層で連絡しておくことの必要性が定量的に示された。また、下位の集散道路から自専道アクセス交通を極力排除したい場合には、目標旅行速度が50km/h以上などの高速の階層だけではなく、30km/h程度の階層も設けた三階層と

することの有効性が示された。

続いて、構築された代替案と旅行時間推定値の結果に基づいて、仮想の二拠点間の目標旅行時間を達成させるための階層構成を検討する方法について解説した。ここでは、一般道路の階層構成を検討するだけでなく、自専道ネットワークの改良や拡張といった施策も考慮し、それぞれの位置づけを明確に記述した。

第6章では、拠点配置条件や地勢条件の異なる五つの地域を対象に、第5章で構築した階層構成代替案を適用するケーススタディを行った。これにより、道路の階層構成が、各地域の拠点間旅行時間や平均速度に及ぼす効果が定量的に示され、各代替案が有効的に作用する拠点間の特徴が明らかとなった。日本の各地域に共通した知見として、山間部や半島に位置する集落・住区(CMC)では、上位拠点までの距離や自専道ICアクセス距離が長くなりがちであるため、一般道路において旅行速度50km/h、60km/hなどで走行できる階層を有する構成とし、生活拠点(LUC)や高次都市拠点(UUC)、自専道ICへの連絡を確保しておくことが重要であることが示された。また、この一方で、小さな拠点(SMC)に関する連絡は、拠点間距離が比較的短く、階層の乗換えが行えないことが多いため、道路ネットワークの階層構成による連絡性能向上効果は小さく、連絡に課題のある拠点間では、拠点再配置計画と併せた施策の必要性が示された。

7.2 今後の課題と展望

本研究で開発した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計画手法について、残された課題および今後の展望は以下の通りである。

(a) 地勢条件・自専道ネットワーク条件の妥当性向上

今回は、地勢条件の影響として、迂回と旅行速度を分析したが、いずれも限定されたサンプルであり、地勢条件以外の様々な要因を包含していたため、これらを十分に検討できたとは言いがたい。今後、道路が通過する地域の高低差や縦断勾配などのより詳細なデータを元に、さらなる精査が望まれる。また、自専道ネットワークに基づく前提条件についても、今回は拠点配置特性として「拠点からICまでのアクセス距離」だけを考慮しているが、地勢条件とも関連したIC間隔や、区間ごとの旅行速度の違いなどについても詳細に実態を把握し、これらに関する妥当な条件を追加すべきといえる。これらを通じて、より正確に拠点間旅行時間や平均速度などの連絡性能を把握することが可能となる。

(b) 最終的な階層構成代替案の評価

本論文では、階層構成代替案の複数代替案の抽出、および拠点配置条件・地勢条件を踏まえた上での、それらの代替案の拠点間連絡性能の評価を行っているが、1.3.2項に述べた通り、最終的にどの代替案を実道路に適用するかの判断を行うためには、これに要する費用との balan

スをみる必要がある。今回抽出された階層構成代替案を実際の経路にあてはめ、複数拠点間の経路の重複状況や現状の旅行速度・配置間隔との乖離を把握し、これを埋めるための改良・整備の費用の算出を行うことが今後の課題である。

(c) 目標旅行時間の感度分析および一般化費用への発展

第6章で行った達成割合の評価結果は、第3章の目標旅行時間の設定値が変化すると全て変化する。拠点間の目標旅行時間の変化に対して、得られる階層型道路ネットワークの性能評価結果がどの程度影響を受けるのか確認しておくことが課題である。また、逆に現状の拠点配置である一定の水準(50%, 80%)の達成割合を満足させるためには、目標旅行時間を何分に設定したらよいかという検証も行う必要がある。

さらに、現状では、道路ネットワーク計画の上位目標として「時間」のみを考慮しているが、自専道の通行料金や迂回に関わるコストなども含めた一般化費用とすることで、より多彩な観点、施策を含めた性能目標を設定することが、今後の展望として挙げられる。

(d) アクセス・滞留機能の観点に立った評価指標

本研究ではトラフィック機能だけに着目しており、アクセス・滞留機能については明示的に取り扱っていない。しかしながら、第5章の代替案構築の段階では、集散道路の目標旅行速度を、アクセス性を考慮して所与として扱ったり、道路の接続間隔や道路間隔、自由走行速度を仮定したりすることで、これらを暗示的に制御している。これらの仮定によってアクセス・滞留機能が実際にどの程度担保・制限された状態にあるのか検証することは、今後のより多彩な機能・利用者を考慮した道路ネットワーク計画とするために重要な視点といえる。特に、関西地域の市街地内を対象とした評価においては、目標旅行時間の観点からは、代替案による差がみられなかったが、様々な種類の拠点間連絡が混在する可能性が指摘されており、アクセス・滞留機能に関する指標も同時に用いた評価が望ましいと考えられる。

(e) 道路の階層および目標旅行速度設定を実務に適用するためのパッケージ展開

本手法は階層構成代替案の数が多く、考慮すべき変数の自由度も多いため、実務的適用において障害が残る。このため、階層化を適用したい地域の拠点間距離や地形状況などを入力すると、自動で適用可能な代替案とそれぞれの目標旅行速度達成割合、迂回係数、使用階層の分布状況などが可視化されるようなパッケージを開発することで、現場で使いやすくするような工夫が今後の展開として望まれる。

参考文献

- 朝倉康夫, 柏谷増男(1993): リンク交通量のOD内訳に着目した地方都市内道路網の機能分類. 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol.28, pp.349-354.
- 朝倉康夫, 柏谷増男, 藤原健一郎(1998): 道路網の機能階層性と災害時の時間信頼性との関連. 土木学会論文集, No.538(IV-38), pp.51-60.
- 一般社団法人交通工学研究会(2015): 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.
- 石村佳之, 阿部義典, 柳沢敬司, 高橋健一(2015): 性能照査型道路計画設計の既存道路ネットワークへの実務的適用に向けた設計手法. 土木計画学研究・講演集, Vol.51, 7ページ, CD-ROM.
- 泉典宏, 邢健, 野中康弘, 大口敬(2013): わが国の交通容量とサービスの質に関する研究の変遷と現状. 土木計画学研究・講演集, Vol.47, 6ページ, CD-ROM.
- 内海泰輔, 泉典宏, 山川英一, 野見山尚志, 若林糾 (2014): 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, 6ページ, CD-ROM.
- 内海泰輔, 中村英樹(2008): 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, No.1, pp.67-76.
- 大口敬, 中村英樹, 桑原雅夫(2006): 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, 4ページ, CD-ROM.
- 柏谷増男, 朝倉康夫, 山下久美子(1998): 幹線道路横断を考慮した地方小都市の道路網評価. 土木学会論文集, No.590(IV-39), pp.1-10.
- 加藤晃(1993): 都市計画概論 第3版, pp.159-160, 共立出版株式会社.
- 河上省吾, 松井寛(2007): 交通工学 第2版, pp.197-200, 森北出版株式会社.
- 桑原雅夫, 若公雅敏, 王鋭(2011): 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.
- 公益社団法人日本道路協会(2004): 道路構造令の解説と運用 (改訂版), p.57~59, 丸善.

- 国土交通省(2010): 第5回(2010年度)全国幹線旅客順流動調査, <http://www.mlit.go.jp/common/000992202.pdf>. (最終閲覧日: 2016年1月7日)
- 国土交通省(2014): 国土のグランドデザイン2050 ～対流促進型国土の形成～.
- 国土交通省. 国土数値情報, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>. (最終閲覧日: 2015年11月15日)
- 国土交通省(2009): 国土形成計画(広域地方計画), http://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudokeikaku_tk5_000029.html. (最終閲覧日: 2015年12月29日)
- 後藤梓, 中村英樹, 浅野美帆(2012): 交差形式を考慮した機能階層型道路ネットワークの評価. 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.68, No.5(土木計画学研究・論文集第29巻), I_751-I_764.
- 静岡県(2012): 静岡30構想. <https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-210/road-03.html>. (最終閲覧日: 2016年1月7日)
- 下川澄雄, 森田綽之, 小山田直弥(2015): 一般道路の道路構造が旅行速度に及ぼす影響に関する実証的分析. 交通工学論文集, 第1巻(第2号(特集号A)), A_19-A_25.
- 下川澄雄, 森田綽之, 土屋克貴(2014): 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, 8ページ, CD-ROM.
- 下川澄雄, 内海泰輔, 中村英樹, 大口敬(2009): 階層型道路ネットワークへの再編に向けて. 土木計画学研究・講演集, Vol.39, 4ページ, CD-ROM.
- 下川澄雄, 内海泰輔, 野中康弘, 中村英樹, 大口敬(2012): 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, 6ページ, CD-ROM.
- 高橋健一, 松本幹一, 山川英一, 阿部義典(2011): 性能照査型道路設計における交差・出入制限と階層区分道路の実現に向けた課題. 土木計画学研究・講演集, Vol.43, 6ページ, CD-ROM.
- 中村英樹, 大口敬, 森田綽之, 桑原雅夫, 尾崎晴男(2005): 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, 4ページ, CD-ROM.
- 野中康弘, 泉典宏, 下川澄雄, 大口敬, 中村英樹(2015): 道路計画設計における実用的な性能照査実施方法の提案. 土木計画学研究・講演集, Vol.51, 6ページ, CD-ROM.

二層の広域圏の形成に資する総合的な交通体系に関する検討委員会(2005): 新しい国のかたち
「二層の広域圏」の形成に資する総合的な交通体系.

日本道路協会(1984): 道路の交通容量.

橋本雄太, 小林寛, 山本彰, 上坂克巳(2012): 都市間道路のサービス水準の実態と道路階層性評
価. 土木計画学研究・講演集, Vol.45, CD-ROM.

橋本雄太, 小林寛, 山本彰, 中野達也, 高宮進(2013): 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, 6ページ, CD-ROM.

浜岡秀勝, 根城平(2014): 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.

山川英一, 内海泰輔, 泉典宏, 野見山尚志, 若林糾(2015): 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, 4ペ
ージ, CD-ROM.

横堀雄典, 下川澄雄, 江守央(2015): 都市間連絡における高速道路のアクセス状況に関する分析.
土木学会関東支部研究発表会講演概要集, Vol.42, 2ページ, CD-ROM.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2011): A Policy on
Geometric Design of Highways and Streets. CD-ROM.

Antunes, A., Seco, A. and Pinto, N. (2003): An Accessibility-Maximization Approach to Road Network
Planning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.18, pp.224-240.

Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (2003):
Landesentwicklungsprogramm Bayern 2003. Wolnzach: Kastner. (in German)

Bigotte, J. F., Krass, D., Antunes, A. P., and Berman, O. (2010): Integrated Modeling of Urban Hierarchy
and Transportation Network Planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.44,
No.7, pp.506-522.

Buchanan, C. (Reports of the Steering Group and Working Group appointed by the Minister of Transport)
(1963): TRAFFIC IN TOWNS -A study of the long term problems of traffic in urban areas-. Her
Majesty's Stationery Office.

- Christaller, W. (1969): 都市の立地と発展. 江沢讓爾訳, 大明堂. (原著名: Die Zentralen Orte in Süddeutschland, 1933)
- Dijkstra, A. (2011): EN ROUTE TO SAFER ROADS How road structure and road classification can affect road safety. University of Twente, Netherlands.
- Eppel, V., Bunker, J., and McClurg, B. (2001): A Four Level of Road Hierarchy for Network Planning and Management. *Proceedings 20th ARRB Conference*, 15 pages.
- Farahani, R. Z., Miandoabchi, E., Szeto, W. Y., and Rashidi, H. (2013): A Review of Urban Transportation Network Design Problems. *European Journal of Operational Research*, Vol.229, No.2, pp.281-302.
- Forschungsgesellschaft für Straßen -und Verkehrswesen (FGSV) (1988): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes RAS-N. (in German)
- Forschungsgesellschaft für Straßen -und Verkehrswesen (FGSV) (2008): Richtlinien für Integrierte Netzgestaltung RIN. (in German)
- Geofabrik GmbH and OpenStreetMap Contributors. OpenStreetMap data for Germany. <http://download.geofabrik.de/europe/germany.html>. (最終閲覧日: 2015年10月11日)
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (2000): Landesentwicklungsplan Hessen 2000. Hessen, Germany. (in German)
- Melkote, S., and Daskin, M. (2001): An Integrated Model of Facility Location and Transportation Network Design. *Transportation Research Part A*, Vol.35, pp.515-538.
- Melkote, S., and Daskin, M. S. (2001): Capacitated Facility Location/Network Design Problems. *European Journal of Operational Research*, Vol.129, No.3, pp.481-495.
- Miyagawa, M. (2011): Optimal Hierarchical System of a Grid Road Network. *Annals of Operation Research*, Vol.172, pp.349-361.
- Sahin, G. and Sural, H. (2007): A Review of Hierarchical Facility Location Models. *Computers and Operations Research*, Vol.34, pp.2310-2331.

- Santos, B., Antunes, A. and Miller, E. J. (2008): Integrated Equity Objectives in a Road Network Design Model. *Transportation Research Record*, No.2089, pp.35-42.
- Tanner, J. C. (1968): A Theoretical Model for the Design of a Motorway System. *Transportation Research*, Vol.2, pp.123-141.
- The Institution of Highways and Transportation with the Department of Transport (1987): Roads and Traffic in Urban Areas. pp.31-38, Her Majesty's Stationery Office.
- Transportation Research Board (TRB) (2000): Highway Capacity Manual 2000.
- Transportation Research Board (TRB) (2010): Highway Capacity Manual 2010.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (1989): Highway Functional Classification Concepts, Criteria and Procedures.
- Vitins, B., Schuessler, N., and Axhausen, K. (2012): Comparison of Hierarchical Network Design Shape Grammars for Roads and Intersections. *Compendium of the 91st Annual Meeting of Transportation Research Board*, 18 pages, DVD-ROM.
- Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (2002): Landesentwicklungsplan 2002 Baden-Württemberg (in German)
- Xie, F., and Levinson, D. (2009): Topological Evolution of Surface Transportation Networks. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.33, No.3, pp.211-223.
- Yerra, B., and Levinson, D. (2005): The Emergence of Hierarchy in Transportation Networks. *The Annals of Regional Science*, Vol.39, pp.541-553.
- Zhang, H., and Zhilin, L. (2011): Weighted Ego Network for Forming Hierarchical Structure of Road Networks. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.25, No,2, pp.255-272.

謝辞

本論文は、私の平成24年名古屋大学大学院工学研究科博士課程(後期課程)進学から現在に至るまでの約4年間における研究成果をまとめたものです。この間、ご指導・ご鞭撻頂きました全ての方々に対して、この場を借りて心よりお礼申し上げます。

指導教員である中村英樹教授(名古屋大学大学院環境学研究科)には、私が研究室に配属されてからの約7年間の長きにわたり大変熱心なご指導を賜り、また非常に恵まれた研究環境を提供して頂きましたことを深く感謝申し上げます。私以上に私の可能性を信じて下さり交通工学分野にとどまらない有意義なテーマへ導いて下さったこと、国内外問わず、学識・実務等様々な方々と本研究について議論する場を提供して頂きましたことに対しては、どのような感謝の言葉でも足りません。

副査をして頂きました林良嗣教授(名古屋大学大学院環境学研究科)には、将来の国土のあり方や人々の生活の質向上といった高度で俯瞰的な視点を持って本研究を見て頂き、今後の発展にも繋がる大変重要な示唆を頂きました。先生の名古屋大学退職の最後の年に指導を受けられたことを大変誇りに思います。下川澄雄教授(日本大学理工学部)には、博士課程在籍時より何度も研究の進捗について相談させて頂き、毎回具体的かつ有益なご助言を頂きましたことを、心より感謝申し上げます。加藤博和准教授(名古屋大学大学院環境学研究科)には、本論文の全体構成を見直すきっかけとなる重要なご指摘をはじめ、懇切丁寧な内見指導をして頂きましたこと、誠に感謝致します。

また、私が平成24～26年に参加させて頂いた(一社)交通工学研究会の基幹研究委員会「道路の交通容量とサービスの質に関する研究委員会(通称、HCQSG)」では、委員会および計画設計分科会・交通容量分科会の皆様との議論を通じて、非常に多くを学ばせて頂きました。特に、森田緯之特任教授(日本大学理工学部)には、委員会だけでなく学会発表などの度に本研究の位置づけや方向性に関する貴重なご指摘を頂戴し、喜多秀行教授(神戸大学大学院工学研究科)、浜岡秀勝教授(秋田大学理工学部)には、拠点の定義や目標旅行時間の考え方に関する論点整理に際して、大口敬教授(東京大学生産技術研究所)には、交通機能を考慮した道路分類のあり方や道路の接続可否・接続形式の検討に関して、数多くのご助言を頂きました。また、高宮進氏(国土交通省国土技術政策総合研究所)、小林寛氏(国土交通省中国地方整備局)には道路管理者の観点から、野中康弘氏(㈱道路計画)、阿部義典氏(国際航業㈱)、泉典宏氏(㈱オリエンタルコンサルタンツ)、山川英一氏(八千代エンジニアリング㈱)、近田博之氏(中日本ハイウェイエンジニアリング名古屋㈱)、石村佳之氏(㈱オリエンタルコンサルタンツ)、高橋健一氏(三井共同建設コンサルタンツ㈱)、柳沢敬司氏(八千代エンジニアリング㈱)には道路の計画設計実務の観点から様々なことを教えて頂き、そのどれもが本研究の至る所に活用されています。内海泰輔氏(㈱長大)には、研究内容に関する様々なご意見を頂いただけでなく、研究室の先輩として、効率的・

計画的に研究を進めるためのご助言を頂きました。ここに記しきれないその他の委員の皆様におかれましても、常に暖かい言葉をかけて頂き、ご支援下さいました。本当にありがとうございました。

本研究の第4章、第6章に用いているドイツの拠点(中心地)に関するデータは、Markus Friedrich教授(シュトゥットガルト大学)にご提供頂いたものです。Markus Friedrich教授には、平成24年に、ドイツの交通ネットワーク計画指針RINに関するヒアリングもさせて頂き、本研究を始めにあたり大変重要な知見を共有して頂きました。また、当時助手であったKatrin Immisch氏とも、有意義な情報交換をさせて頂きました。この場を借りて、心よりお礼申し上げます。また、この訪問は日本学術振興会(JSPS)の組織的な若手研究者等海外派遣プログラムによる助成を受けて実施させて頂いたものであることを、ここに記して謝意を表します。

Manfred Boltze教授(ダルムシュタット工科大学)、李克平教授(同済大学)、Bhargab Maitra教授(インド工科大学カラグプール校)には、毎年開催される国際博士セミナーにおいて、本研究に対して多くのご意見を頂きましたことを感謝致します。

名古屋大学土木系教室の先生方、事務員の皆様には、在学時から顔を合わせる度に激励の言葉をかけていただき、助教着任以降は研究と業務に追われる私に対して多大なるご支援・ご配慮を賜りましたことを厚くお礼申し上げます。特に、廣畑幹人准教授、奥岡桂次郎助教、三浦泰人助教、清水優助教には、同じ若手教員として講義や教室運営などで助けて頂くとともに、折に触れて相談相手となって頂きました。また、環境学研究科附属持続的共発展教育研究センターの先生方、スタッフの皆様にも業務上のご配慮を頂き、誠にありがとうございました。

研究生生活の基盤であった研究室の皆様には、研究・生活あらゆる面で大変お世話になりました。博士課程在学時、助教であった井料(浅野)美帆講師(東京大学生産技術研究所)には、研究初期の段階で何度もご議論頂き、また多くの既往研究を紹介して頂きました。学部4年生の時に研究員であった鈴木一史助教(群馬工業高等専門学校環境都市工学科)にご指導頂いた数々のことは、博士論文を作成時の礎となりました。同じく旧研究員の陳鵬助教(北京航空航天大学)には、英語の論文作成や学会発表の際に多くのご助言を頂きました。博士課程の先輩で旧研究員の康楠助教(東京理科大学理工学部)には、研究室に関する様々なことを相談させて頂きました。渡部数樹研究員には、道路計画設計等に関する質問に丁寧に答えて頂いただけでなく、同時期に学位論文を作成する中で、仕事管理のスキルを大いにお手本にさせて頂きました。張馨技術補佐員は、苦楽を共にし研究のことから生活のことまで一番に相談できる相手でした。秘書の齋木寿美子さんには、事務的な手続きはもちろん、研究室生活のありとあらゆるサポートをして頂きました。研究室の後輩・学生の皆さんは、いつも元気を分けて下さり、弱気になった時の自分を奮い立たせてくれる存在でした。また、お会いする度に研究状況を気にかけて暖かい言葉を下さった鈴木弘司准教授(名古屋工業大学大学院工学研究科)をはじめとするOB、OGの皆様にも多くのご支援を頂きました。本当にありがとうございました。

共に研鑽する仲間の存在もまた、大いに私を励まし勇気付けてくれるものでした。同級生で

あった鈴木一輝君(鹿島建設株), 吉川高広君(名古屋大学大学院工学研究科)と情報交換し, 励まし合いながら博士課程(後期課程)を過ごせたこと, 年に一度の国際セミナーにおいてドイツ・中国・インド・ベトナムの仲間達と進捗を報告し合い切磋琢磨できたことを, 本当に幸せに思います. 皆様, どうもありがとうございました.

最後に, 会う度に笑顔をくれる大好きな友人達, そして常に私のことを心配し支えて下さる家族に心より感謝して, 結びとさせていただきます.

2016年2月

後藤 梓

付録

格子状道路における旅行時間の近似的計算方法

1. 直線OD($\theta=0^\circ$)の場合

(a) $x_0 < s-a$ のとき

最短時間経路は、図-A.0.1のいずれかになり、それぞれの経路におけるアクセス距離を l_1 、および通過走行距離を l_2 とすると、これらは表-A.1の通りとなる。

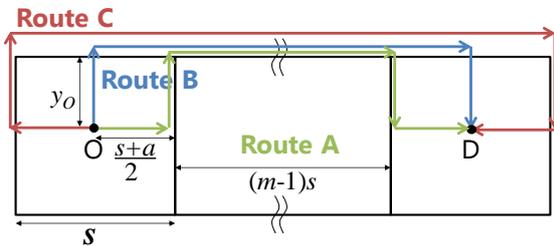


図-A.0.1 拠点間の経路

表-A.1 各経路におけるアクセス距離 l_1
および通過走行距離 l_2

Route	l_1	l_2
A	$s+a$	$(m-1)s+2y_0$
B	$2y_0$	$ms+a$
C	$s-a$	$(m+1)s+2y_0$

ここで、Route A < Route Bとなる条件は、

$$\frac{s_l + a}{v_{l-1}} + \frac{(m-1)s_l + 2y_0}{v_l} < \frac{2y_0}{v_{l-1}} + \frac{ms_l + a}{v_l} \quad (\text{A.1})$$

であり、これを解くと、 $v_{l-1} < v_l$ より、次式の通りとなる。

$$y_0 > \frac{s_l + a}{2} \quad (\text{A.1}')$$

いま、 $y_0 > s_l/2$ では、最短経路が図-A.0.1の上下反転した経路となることから、ここでは常に $y_0 \leq s_l/2$ のみを考慮している。したがって、上式は満たされないことになり、常にRoute A > Route Bが成り立つ。

次に、Route C < Route Bとなる条件は、

$$\frac{s_l - a}{v_{l-1}} + \frac{(m+1)s_l + 2y_o}{v_l} < \frac{2y_o}{v_{l-1}} + \frac{ms_l + a}{v_l} \quad (\text{A.2})$$

であり、これを解くと次式のようになる。

$$y_o > \frac{\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1}{\frac{v_l}{v_{l-1}} - 1} \frac{(s_l - a)}{2} \quad (\text{A.2})'$$

この状態が存在するには、

$$y_B = \frac{\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1}{\frac{v_l}{v_{l-1}} - 1} \frac{(s_l - a)}{2} \quad (\text{A.3})$$

とおいたとき、 $y_B < s_l/2$ が成り立たなければならない。この条件式は、次のようになる。

$$\frac{s_l}{2} - y_B = \frac{s_l}{2} - \frac{\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1}{\frac{v_l}{v_{l-1}} - 1} \frac{(s_l - a)}{2} > 0 \quad (\text{A.4})$$

$$\therefore a > \frac{2s_l}{\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1}$$

これが成り立つ場合、階層*l*までのアクセス距離 $x_{ac,l}$ 、階層*l*の通過走行距離 x_l は、次の通りとなる。

$$\begin{aligned}
x_{l,ac} &= \frac{2}{s_l} \left\{ \int_0^{y_B} 2y_o dy_o + \int_{y_B}^{\frac{s_l}{2}} (s_l - a) dy_o \right\} \\
&= \frac{2}{s_l} \left\{ y_B^2 + (s_l - a) \left(\frac{s_l}{2} - y_B \right) \right\}
\end{aligned} \tag{A.5}$$

$$= \frac{\left(\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1 \right) \left(3 - \frac{v_l}{v_{l-1}} \right)}{2s_l \left(\frac{v_l}{v_{l-1}} - 1 \right)^2} (s_l - a)^2 + s_l - a$$

$$\begin{aligned}
x_l &= \frac{2}{s_l} \left[\int_0^{y_B} (ms_l + a) dy_o + \int_{y_B}^{\frac{s_l}{2}} \{ (m+1)s_l + 2y_o \} dy_o \right] \\
&= \frac{2}{s_l} \left[y_B (ms_l + a) + (m+1)s_l \left(\frac{s_l}{2} - y_B \right) + \frac{s_l^2}{4} - y_B^2 \right] \\
&= \frac{-\left(\frac{v_l}{v_{l-1}} + 1 \right) \left(3 - \frac{v_l}{v_{l-1}} - 1 \right)}{2s_l \left(\frac{v_l}{v_{l-1}} - 1 \right)^2} (s_l - a)^2 + \left(m + \frac{3}{2} \right) s_l
\end{aligned} \tag{A.6}$$

逆に、上式が成り立たない場合は、常にRoute C > Route Bとなる。このとき、階層*l*までのアクセス距離 $x_{ac,l}$ 、階層*l*の通過走行距離 x_l は、次の通りとなる。

$$x_{l,ac} = \frac{2}{s_l} \int_0^{\frac{s_l}{2}} 2y_o dy_o = \frac{s_l}{2} \tag{A.7}$$

$$x_l = \frac{2}{s_l} \int_0^{\frac{s_l}{2}} (ms_l + a) dy_o = ms_l + a \tag{A.8}$$

(b) $x_o > s_l - a$ のとき

最短時間経路は、図-A.0.2のいずれかになり、それぞれの経路におけるアクセス距離を l_1 、および通過走行距離を l_2 とすると、これらは表-A.2の通りとなる。

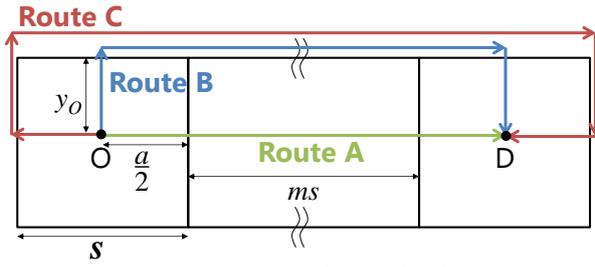


図-A.0.2 拠点間の経路

表-A.2 各経路におけるアクセス距離 l_1 および通過走行距離 l_2

Route	l_1	l_2
A	a	$ms+2y_0$
B	$2y_0$	$ms+a$
C	$2s-a$	$(m+2)s+2y_0$

ここで、Route A < Route Bとなる条件は、

$$\frac{2s_l - a}{v_{l-1}} + \frac{(m+2)s_l + 2y_0}{v_l} < \frac{a}{v_{l-1}} + \frac{ms + 2y_0}{v_l} \quad (\text{A.9})$$

であるが、これを解くと

$$a > \left(1 + \frac{v_{l-1}}{v_l}\right) s_l > s_l \quad (\text{A.9}')$$

となるが、 a は X_{target} を s_l で割った余りであるため、常に $a < s_l$ であり、成立しないことがわかる。従って、常にRoute A < Route Cである。

次に、Route B < Route Aとなる条件は、

$$\frac{2y_0}{v_{l-1}} + \frac{ms_l + a}{v_l} < \frac{a}{v_{l-1}} + \frac{ms_l + 2y_0}{v_l} \quad (\text{A.10})$$

$$\therefore y_0 < \frac{a}{2}$$

である。 $y_B = a/2 < s_l/2$ が常に成り立つため、この条件によってRoute AとRoute Bのどちらかが最短時間経路となるかが決まることになる。このときの階層 l までのアクセス距離 $x_{ac,b}$ 、階層 l の通過走行距離 x_l は、次の通りとなる。

$$x_{l,ac} = \frac{2}{s_l} \left\{ \int_0^{y_B} 2y_0 dy_0 + \int_{y_B}^{\frac{s_l}{2}} a dy_0 \right\} \quad (\text{A.11})$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2}{s} \left\{ \left(\frac{a}{2} \right)^2 + a \left(\frac{s}{2} - \frac{a}{2} \right) \right\} \\
&= a - \frac{a^2}{2s_l} \\
x_l &= \frac{2}{s_l} \left\{ \int_0^{y_B} (ms_l + a) dy_o + \int_{y_B}^{\frac{s_l}{2}} (ms_l + 2y_o) dy_o \right\} \\
&= \frac{2}{s_l} \left\{ (ms_l + a) \frac{a}{2} + ms_l \left(\frac{s_l}{2} - \frac{a}{2} \right) + \frac{s_l^2}{4} - \frac{a^2}{4} \right\} \tag{A.12} \\
&= \left(m + \frac{1}{2} \right) s_l + \frac{a^2}{2s_l}
\end{aligned}$$

以上をあわせて、平均的な x_o におけるアクセス距離 x_{acl} 、通過走行距離 x_l は、

$$x_{acl} = \frac{s_l - a}{s_l} x_{acl}(x_o; x_o < s_l - a) + \frac{a}{s_l} x_{acl}(x_o; x_o > s_l - a) \tag{A.13}$$

$$x_l = \frac{s_l - a}{s_l} x_l(x_o < s_l - a) + \frac{a}{s_l} x_l(x_o > s_l - a) \tag{A.14}$$

であり、条件式(A.4)に応じて、式(A.13)に式(A.5)・式(A.7)・式(A.11)を、式(A.14)に式(A.6)・式(A.8)・式(A.12)を代入することで、5.3.1項の式(5.11)、式(5.12)が得られる。