

階層の組み合わせ考慮した 交通ネットワークに関する研究

江口 尋之¹・浜岡 秀勝²

¹学生会員 秋田大学 大学院理工学研究科土木環境工学コース (〒010-8502 秋田市手形学園町1番1号)

E-mail: m8020801@s.akita-u.ac.jp

²正会員 秋田大学教授 理工学部土木環境工学コース (〒010-8502 秋田市手形学園町1番1号)

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

道路の利用は、長距離の移動では上位階層、近距離の移動では下位階層というように、距離に応じた階層に分けられることが望ましい。しかし、現状の道路利用では必ずしも階層と整合していない状況が見られる。また、既往研究では階層化による効果が示されているが、仮想ネットワークでの分析であった。そこで、本研究では明確に階層が分けられている鉄道路線の駅配置をもとに分析する。その配置において複数の階層を整備し、遠方から短時間で移動できる人数や、階層ごとの利用状況などの掛け具合や総移動時間から評価する。その結果、階層性をもったネットワークでは、近距離のみならず遠方からの交通も短時間で捌くことができ、階層性がない場合よりも効率的であると明らかになった。また、階層の組み合わせにより、待ち時間や乗り換え時間が増える。そのため、上位階層の列車を利用しても、移動時間が短縮できない場合があることが明らかになった。

Key Words : hierarchy, traffic volume, traffic capacity, number of hierarchies, required time

1. 研究背景と目的

(1) 研究背景

道路の利用は、長距離の移動では上位階層、近距離の移動では下位階層といったように、距離に応じた階層に分けられることが望ましい(図-1)。そのため、階層を持った道路ネットワークを整備する必要がある。しかし、現在の交通ネットワークでは必ずしも階層と整合していない状況が見られる他、道路の旅行速度を満足させることが課題となっている。

また、如何なるネットワークにおいても、画一的に道路を整備し、階層を組み合わせずに、都市の配置や交通量といった地域の特徴に合わせた階層の整備が必要である。地域の特徴と合致した道路ネットワークの整備で、効率的に利用されると考えられる。そのため、階層化の効果と地域ごとに最も効率よく利用される階層の構成について明らかにすることが重要である。

(2) 既往研究のレビューと本研究の位置付け

交通ネットワークの階層に関する既往研究として下川ら¹⁾は、道路を効率的に利用するために、階層構造ネットワークへ再編することは合理的であるとしている。ま

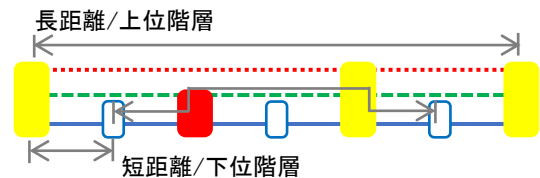


図-1 距離と階層の関係

た、道路の階層区分と性能照査を実践するための課題として、道路の機能に応じた階層区分の設定、道路の階層区分ごとの性能目標の設定、道路の階層区分に応じた道路構造のあり方、性能調査の実施と交通特性の分析という4つの観点から示した。しかし、具体的な階層化の効果については明らかにされていない。

内海ら²⁾は中国地方の幹線道路ネットワークの現状を踏まえ、道路の階層性の観点から評価し、現状の問題点を考察した。非常時における代替路の確保の点から幹線道路の階層化が必要であるとした。また、既に高規格幹線道路と直轄国道の2つの階層で構成されている地域でも、渋滞や混雑が激しい区間では、中間にあたる道路の整備が必要であるとした。しかし、ネットワーク全体の階層数や階層の組み合わせまでは明らかにされていない。

根城ら³⁾は東北地方の都市配置を参考に、適切な道路

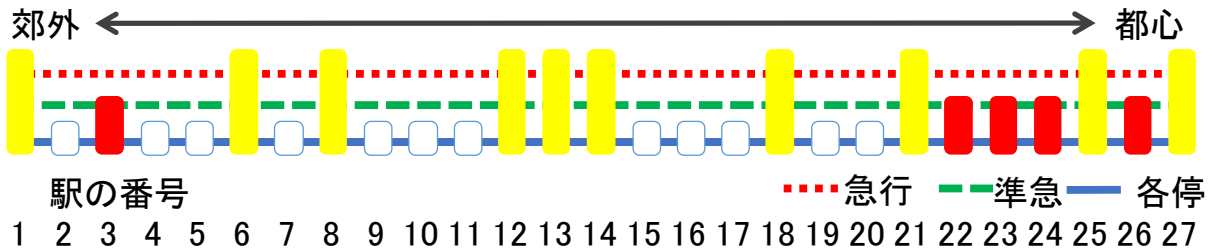


図-2 駅の配置と階層

階層の組み合わせについて分析した。その際、都市間の距離や OD 交通量を変化させながら、移動時間が最短になる階層の組み合わせや階層数について明らかにした。また、中階層の道路整備に重点を置くことで、全体の移動時間の減少に繋がることも明らかにした。しかし、移動時間のみによって階層性を評価している上に、OD 交通量は実際のものではない。

既往研究では階層化の必要性や移動時間が最短になる組み合わせについて明らかにされている。しかし、捌け具合の観点から交通ネットワークのあり方について明らかにする必要も考えられる。また、OD 交通量は任意に定められたものを使用している。

本研究では、OD 交通量に関するデータは実際のものを使用する。任意に定められた OD 交通量では、都市の規模などは考慮されていても、実際の交通移動が再現できていないとは限らない。実際の OD 交通量のデータ利用で、実際のより実現性の高いものが期待できる。また、捌け具合の観点からも、階層化による効果を評価する。

(3) 研究目的

道路の階層化による効果を移動時間のみならず、捌け具合の観点から評価するためには、道路ネットワークを用いた分析する必要がある。しかし、道路ネットワークをもとに分析をするためには、高速道路のみならず、一般道路までを含めた詳細な OD データの収集が必要である。また、道路は網目状のネットワークであり、かつ個人の起終点はそれぞれ異なるため、OD データ収集が困難である。一方、鉄道ネットワークの場合は改札機の通過人数等の集計によって、詳細な OD データを収集できる。加えて、鉄道路線は同一の線路上で階層が分けられているため、階層ごとの利用状況などを比較しやすい。

そこで、本研究では明確に階層が分けられている実際の鉄道路線の駅配置をもとにした交通ネットワークを利用し、その配置において複数の階層を整備し分析、評価をする。その際、どのような組み合わせが交通の捌け具合や移動時間の短縮に最も効果があるのかを目的とする。

鉄道ネットワークと道路ネットワークの対応を表-1 に示す。鉄道の列車種別の構成と道路の階層は似ている部分があるため、最適な階層数や階層の組み合わせを明

表-1 鉄道と道路のネットワークの対応

ネットワーク	鉄道	道路
階層	列車種別	道路の種級
容量	列車の定員	交通容量
アクセス	駅で列車を待つ時間	都市から道路へのアクセス時間
乗り換え	異なる種別との乗り換え時間	種級の異なる道路を乗り換える時間

表-2 OD 調査について

調査日	2018年10月2日
時間帯	7時30分～9時29分
調査方法	「乗車駅」の改札から入り、「降車駅」の改札を通過した人数を10分単位で集計

らかにすることは、鉄道路線における列車種別の最適な構成について明らかにすることと同義である。

2. 使用するネットワークと設定条件

(1) 使用するネットワーク

本研究では実際の鉄道路線を参考に図-2 に示す 27 駅が存在するネットワークを使用する。最も郊外側の駅から順に各駅へ番号を付番している。実際に当該路線で運行されている各駅停車（以下、各停）、準急、急行の 3 種類の列車種別を各階層に置き換えている。駅 1 から最も都心側の駅 27 までの所要時間は各停で 68 分、準急で 51 分、急行で 45 分である。

通常、新幹線等では速達料金が発生するが、本研究で用いるネットワークでの準急や急行は通常運賃のみで利用できる列車である。したがって、上位階層の列車を利用する際の料金抵抗は存在しない。

(2) OD 交通量について

OD 交通量は当該区間で実際に行われた OD 調査のデータを使用する。OD 調査の概要については表-2 に示す。本来であれば、約 2 時間のデータを使用した分析が望ましいが、長時間のデータを使用した場合、OD 交通量を処理するために組み合わせる階層の数や列車の数が多

くなる。また、列車が駅に到着する時間帯に合わせたデータを使用すべきである。しかし、列車が同じ時刻に出発しても階層による所要時間の違いによって、到着時間が変わり、参照すべき時間帯が変わる。そのため、ネットワーク全体の OD 交通量が大きく変化し、計算が煩雑になる。そこで、計算を容易にするために各列車種別が前述の所要時間で運行されている 7 時 30 分から 7 時 59 分までの OD データの平均を 10 分間使用し、1 分間に均等に発生する様子を再現する。

発生交通量と集中交通量について図-3 に示す。このネットワーク内の 1 分あたりの総 OD 交通量は 1957 人である。また、本研究で用いるネットワークの特徴として、最も都心側の駅 27 へ向かう OD 交通量が非常に多い点がある。

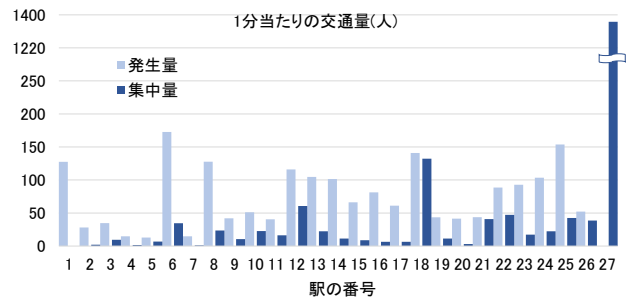


図-3 1分当たりの発生交通量と集中交通量

(3) 交通容量について

交通容量は実際に運行されている鉄道車両の定員数を参考にする。しかし、自動車とは異なり、列車には座席などのサービス定員以上の人員が乗車できる。そこで、本研究での交通容量は、実際の列車のサービス定員の 2 倍である 2988 人に設定した。

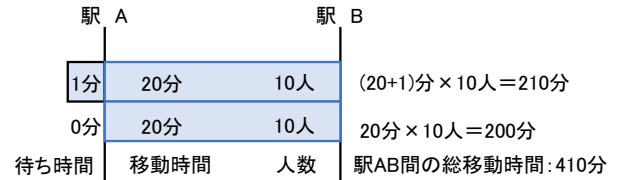


図-4 総移動時間の考え方

(4) 各階層の走行環境について

実際の鉄道路線では、複線の場合、複数の列車種別が同一の線路を共有して走行している。そのため、上位階層の列車が前を走行する下位階層の列車に追いつき、減速する状況の発生が予想される。しかし、本研究では列車種別ごとに独立した線路を走行している状況（複々線、3 複線）を想定し、このような状況の発生は考慮しない。

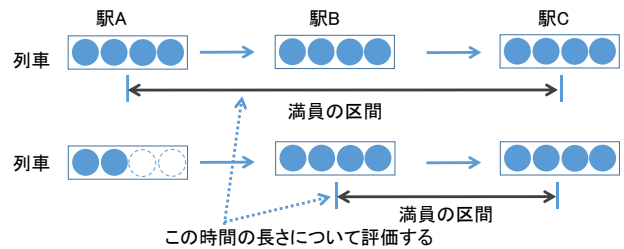


図-5 満員の時間について

設定した。1 分ごとに人が集まる様子を再現するため、発生交通量を 1 分ごとに設定した。したがって、列車を待つ時間が最大で 1 分生じる。しかし、1 分未満の待ち時間は考慮しない。

(5) 乗客数のシミュレーションについて

本研究では、郊外から都心方面に向かう列車に乗車する乗客数をシミュレーションする。本来であれば、都心から郊外方面も含めたシミュレーションをするべきである。しかし、朝の通勤時間帯では都心から郊外方面への交通量は郊外から都心方面への交通量と比較すると、明らかに少ない。そのため、一方向での分析、評価をする。

(6) 初期条件について

はじめに、初期条件として階層を持たないネットワークである全て各停のみでの状態をシミュレーションする（パターン 1）。

本研究では移動時間や階層の利用状況に着目して分析する。分析にあたっては、列車の本数が結果に大きく影響する。本研究で使用する 10 分間の OD データは 5 本の列車で捌くことが可能である。

10 分間に 5 本の列車が等間隔で動いている状況を想定するため、始発駅の駅 1 から 2 分間隔で列車が出ると

(7) 評価指標

a) 総移動時間

移動時間に関する指標として、OD 交通量と移動時間の積によって評価する。この移動時間には列車を待つ時間も含まれる(図-4)。数値が小さいほど、多くの人々が速く移動できるといえる。

b) 30 分未満で到着できた人数

捌け具合に関する指標として、移動時間と待ち時間の合計が 30 分未満になる人数を評価する。値が大きいと遠くからより多くの人を捌けているといえる。

c) 容量を超過した人数

組み合わせによっては、容量の超過が予想される。その際、超過した人数は少ない方が望ましい。そのため、超過した人数を集計する。値が大きいと効率よく捌けていないといえる。

d) 設定した列車が満員となる時間の長さ

容量を超過し、満員となる時間は存在しないか、存在

した場合でも短時間である方が効率よく捌けているといえる。そこで、容量を超過し、満員になる時間の長さを評価する(図-5)。

3. 初期条件での結果

(1) 乗客数の変化

全て各停のみの状態である初期条件の乗客数の変化について図-6 に示す。全ての駅に停まる列車が等間隔で運行されるため、どの列車も均等な乗客数になる。駅 27 へ向かう OD 交通量が非常に多いことから、途中で乗客数が減少することなく、増加し続ける。駅 27 に到着する際、各列車に 273 人分の余裕分があり、約 10% 程度の OD 交通量を増加させた場合であっても、容量を超過せず捌ける。しかし、10% しか余裕がないとも捉えられるため、例えば列車の運転間隔を 3 分に拡大した場合は、全ての乗客を捌けない(図-7)。そのため、2 分間隔で運行することで容量を超過せずに、捌き切れるネットワークである。

(2) 各評価指標について

初期条件での各評価指標を表-3 に示す。総移動時間については、各停のみが存在し、より速く移動できる準急や急行は存在しないため、移動に時間がかかる。しかし、最大で 1 分待つことで、列車に乗車できるため待ち時間が占める割合は 2% 以下である。

表-3 より 30 分未満で到着できた人数は全体の OD 交通量の 6 割程度であった。最も都心側の駅 27 まで 30 分未満で到着できる駅は駅 17 よりも都心側であった。このことから、より郊外側の駅から 30 分未満で駅 27 に到着できることで、この人数の増加が可能である。また、容量を超過せず、最後まで捌き切れたため、超過人数は 0 人で、満員の時間は 0 分である。

以上のことから、初期条件では利用できる列車は遅いが、待たずに利用でき、満員にならずに捌き切れるネットワークである。

4. 2 階層のネットワーク

(1) 2 階層の概要

階層をもったネットワークの状態を評価し、階層化による効果を明らかにするため、初期条件であるパターン 1 の各停の一部を準急や急行に置き換える(表-4)。本研究では、下位階層である各停と上位階層である準急や急行が交互に運行されている状況を想定した。図-8 に示すように始発駅の駅 1 から 2 分間隔で列車が出る条件に



図-6 初期条件での乗客数の変化

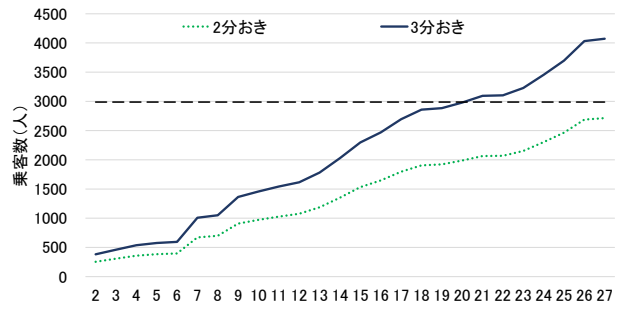


図-7 3分間隔にした場合

表-3 初期条件での評価指標

評価指標	数値
総移動時間 (内待ち時間)	520,916 分 (9,786 分)
30 分未満で到着できた人数	11,966 人
容量超過人数	0 人
満員の時間	0 分

表-4 2階層での組み合わせ

パターン	1 本目	2 本目	3 本目	4 本目	5 本目
2	準急	各停	準急	各停	準急
3	急行	各停	急行	各停	急行

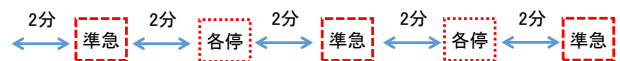


図-8 1 番の駅を出るときの間隔 (2 階層)



図-9 間隔が均等でない例 (2 階層)

変更はない。そのため、各階層の列車を 4 分間隔で運行することにした。

途中の上位階層が停車する駅では、図-9 のように列車の間隔が均等でないと考えられるため、各列車には前の列車が出発したときからの発生交通量があるとする。

上位階層と下位階層の間には時間の差が大きく開くため、図-10 に示すように 1 本目よりも前に存在する列車をダミーの列車として挿入し、10 分間の範囲に収める。

また、乗客数の計算では4分間隔で各階層の列車が運行されている様子を想定したが、ネットワーク全体の OD 交通量が他のパターンと等しくなるように、10 分の範囲に収まるように調整する。そのため、1 本目の前の列車を利用せずに 1 本目に乗る人を除外した。また、5 本目の列車を利用せずにその後の列車に乗る人を追加した。

(2) OD 交通量の配分

異なる階層の列車を乗り換える際には、乗り換え時間がある程度確保する必要がある。そこで、乗り換えには 30 秒以上の時間を必要であるとした。

OD 交通量は原則、最も速く移動できる列車に配分していく。しかし、最も速く移動できる列車の乗客数が容量を超過し、満員となった場合は、超過した乗客を次に速く移動できる列車に配分している。

(3) 2 階層での乗客数の変化

パターン 2 の乗客数の変化について図-11 に示す。準急では、駅 14 から駅 18 までの区間で、容量を超過する直前の状態となる。駅 25 より都心側の区間での乗客数の減少については、この区間には準急の直前に各停が存在し、各停が先に各駅に到着する。これにより、準急に乗車する人が減少するためである。準急は駅 18 で乗客数が減少するため、準急によって速く移動できる駅は、駅 18 より 1 つ郊外側の停車駅である駅 14 より郊外側である。準急は速くからは速く移動できるが、近くからは速く移動できない。

各停は準急停車駅まで乗客数が増加し、その駅を過ぎると、準急に乗り換えた方が速く移動できる駅へは、乗客が準急に乗り換えていく。そのため、一度乗客数が減少する状況を繰り返す。

図-12 は、上位階層によって駅 27 へ速く移動できる駅について示したものである。パターン 3 では、急行の利用で速く移動できる駅が準急よりも多い。そのため、乗客が急行に集中し、駅 18 より都心側の区間で急行の容量が超過した。急行は遠くからでも、近くからでも速く移動できる階層である。

a) 上位階層を利用する割合

図-13 より、パターン 2、パターン 3 共に乗客の半分程度が上位階層の準急や急行を利用する。各駅から駅 27 へ向かう OD 交通量が非常に多いため、より多くの駅から速く移動できる急行が含まれているパターン 3 の方が割合が高くなった。上位階層を利用する割合が高すぎる場合、上位階層に偏りがあるが、半分程度の利用状況なので、偏りがあるとはいえない。同じ階層数の場合、より速く移動できる階層を含むネットワークの方が上位階層を利用されやすい。

パターン 3 では、急行の容量が超過したが、パターン

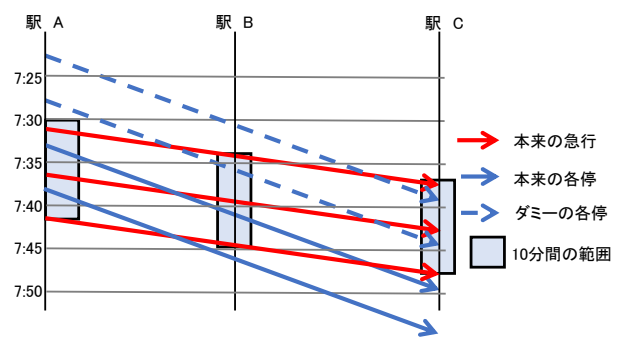


図-10 10 分間の範囲に収める調整

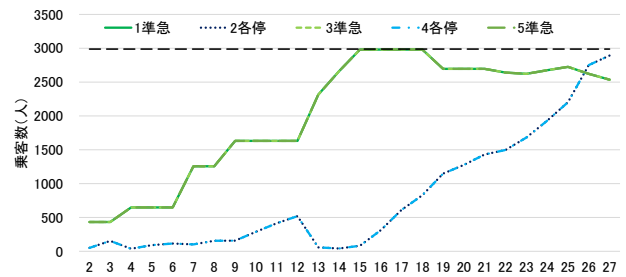


図-11 パターン 2 の乗客数の変化

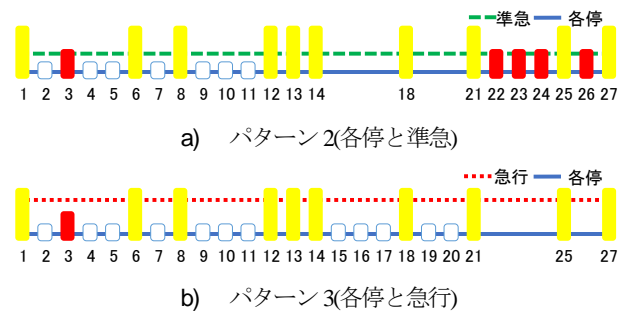


図-12 上位階層によって駅 27 へ速く移動できる駅

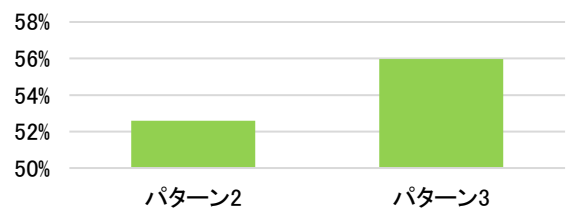


図-13 上位階層を利用する割合

2 では準急の容量は超過しなかった。そのため、同じ数の列車を組み合わせるとき、上位階層の容量が超過するか否かの境界は、上位階層の利用率が 52%から 56%の間にあると考えられる。

b) 各パターンの各停の比較

準急や急行の停車駅からは、はじめから準急や急行を利用する人が多く、各停のみが停車する駅からは途中で準急や急行に乗り換える人が多い。そのため、パターン 2 とパターン 3 の乗客数は少ない。駅 6 から駅 21 までの区間は、準急と急行で停車駅が同一であるため、パター

ン2とパターン3は途中ほぼ同じような変化がみられた。初期条件と2階層のネットワークでは、各停の運転間隔が2分から4分になるという違いがあるが、これによって各停の容量は超過しない。

パターン2では、下位階層の各停の乗客が途中の駅で上位階層の準急に乗り換えるため、準急が存在することで、下位階層の混雑緩和の効果がある。特に郊外側ではその効果を発揮できる。しかし、都心側では準急が遅くなるため、その効果は発揮できていない。

急行が存在するネットワークであるパターン3においても、郊外側では下位階層の混雑緩和ができた。都心側では、急行の容量を超過した乗客が乗車するため、混雑緩和の効果が低くなる。

c) 準急と急行の比較

準急と急行の停車駅が同一な駅6から駅18の間は同じような変化をする。例えば、駅15から駅27へはパターン2では準急に乗り換えても各停より速く移動できないが、パターン3では急行に乗り換えた方が速く移動できる。また、駅18は中間の駅で最も集中交通量が多い駅のため、降車する人が多い。以上のことから、駅18より都心側で準急の乗客数は減少し、急行は容量を超過する。準急は都心側で遅くなるため、混雑緩和ができる。

(4) 2階層での評価

a) 総移動時間

図-14より初期条件のパターン1と比較して2階層の方が低い結果になった。パターン2はパターン1より12%短く、パターン3はパターン1より18%短い移動時間となった。パターン3は急行が容量を超過したがその影響は小さく、急行によって短時間で移動を多くの人が可能になったことの効果が大きいといえる。また、2階層のパターンでは、待ち時間が増加しても準急や急行によって各停よりも速く移動でき、上位階層を設定した効果が大きい。

b) 30分未満で到着できた人数

図-15より各停のみが存在するネットワークよりも準急や急行が含まれているネットワークの方が、遠くからの交通量も短時間で捌ける。パターン2はパターン1より13%多く、パターン3はパターン1より20%多い結果となった。駅27までの所要時間に着目すると、例えば、駅13から駅27への移動の場合、準急では32分であるのに対し、急行では28分であるため、急行のあるパターンの方が遠くからでも多くの人を捌ける。また、駅18から駅27への移動の場合、各停では24分、準急では23分、急行では22分であったため、急行の容量の超過による影響は小さい。

階層を持ったネットワークの方が遠方からでもより多くの人を捌くことができる。

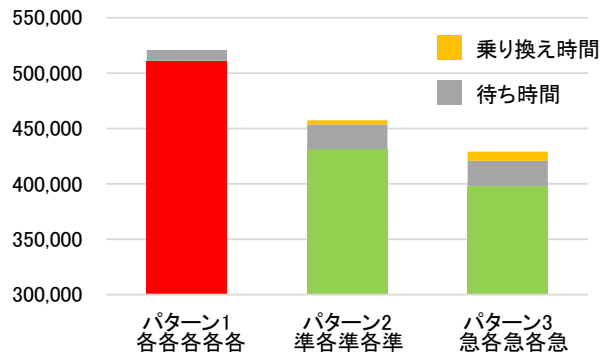


図-14 1階層と2階層の総移動時間(分)

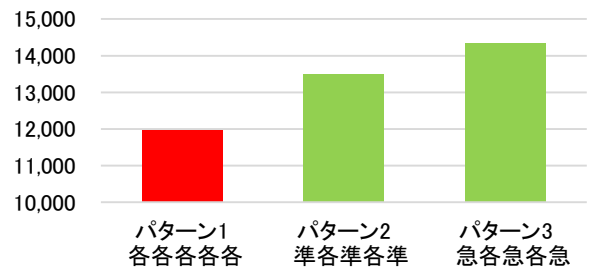


図-15 30分未満で到着できた人数

c) 容量を超過した人数

パターン1とパターン2は全ての列車が容量を超過しなかったため、容量を超過した人数は0人となった。一方、パターン3では2607人が容量を超過した。例えば、駅18では55%、駅21では47%の人が急行に乘車できない。駅18より都心側の急行停車駅から半分程度の乗客が急行に乘車できないため、急行が3本あるネットワークは、各停のみや準急が3本あるネットワークよりも効率よく捌けないといえる。

d) 設定した列車が満員となる時間

パターン1とパターン2は全ての列車が容量を超過しなかったため、満員になる時間も0分となる。パターン3では急行が3本あるネットワークでは、3本の急行で合計して65分間満員になる。そのため、各停のみや準急が3本あるネットワークよりも効率よく捌けていない。

初期条件と2階層のネットワークを比較した結果、2階層では待ち時間が増加するが、遠くからでも多くの人が短時間で移動が可能になる。また、より速い階層を組み合わせると、乗り換え時間は増加するが、さらに多くの人短時間で移動が可能になる。しかし、上位階層の列車の容量が超過し、合計で60分以上満員の状態となるため、効率良く捌くという観点からみると劣る。

5. 3階層のネットワーク

(1) 3階層の概要

2階層のネットワークでは、移動時間の短縮や速くからでも短時間で捌くことが可能になるといった効果が明らかになった。2階層では上位階層は準急か急行のいずれかであったが、両方存在するネットワークでの階層化による効果を明らかにするため、表-8のような組み合わせで、3つの種別が混在したネットワークで分析する。始発駅の駅1から2分間隔で列車が出る条件に変更はない。そのため、図-16に示すように各階層の列車を6分間隔で運行することにした。

2階層のときと同様にネットワーク全体のOD交通量が他のパターンと等しくするため、10分の範囲に収まるように調整する。1本目より前の列車を利用せずに1本目に乗る人を除外し、4本目と5本目の列車を利用せずにその後の列車に乗る人を追加する。

(2) 3階層での乗客数の変化

図-17は、パターン4において、各階層の列車に乗車する人数を示したものである。パターン4では、各停や準急を利用せずに急行を利用した方が速く移動できる駅が多いため、急行に乗車が集中する。駅18と駅25以外の急行停車駅では、乗客が急行に偏る。急行は駅14から駅25までの区間で容量を超過した。超過した乗客は準急と各停に乗車したが、準急も駅22より都心側で容量を超過した。また、駅1において急行の後に各停が運行される点で共通しているパターン7でも同様の乗客数の変化が見られた。

パターン5でも同様に急行は駅14より都心側で容量を超過し、超過した乗客は準急や各停に乗車したが、準急の容量は超過しなかった。また、駅1において急行の前に各停が運行される点で共通しているパターン6でも同様の乗客数の変化が見られた。

表-9は各駅から駅27へ向かうためにどの階層の列車を利用するかを示したものである。各駅から色のついた階層を利用して駅27へ向かう。パターン5やパターン6は発生交通量の少ない郊外側に偏りがある。しかし、パターン4やパターン7は、駅16や駅19などといった都心側の駅からも各停のみで移動せず、急行に乗り換えて移動している。このため、運転間隔が6分に広がり、より多くの人が乗車している状況で、さらに乗車する人数が多くなる。このことが、急行のみならず、急行の超過分が乗車する準急までもが満員になる原因である。都心側の各停のみが停車する駅からでも急行に乗り換えた方が、速い移動が可能なることについては、図-18および表-10に示すような上位階層の利用で速く移動できる場合と、できない場合があるためである。

表-8 3階層での組み合わせ

パターン	1本目	2本目	3本目	4本目	5本目
4	急行	各停	準急	急行	各停
5	各停	急行	準急	各停	急行
6	準急	各停	急行	準急	各停
7	各停	準急	急行	各停	準急



図-16 1番の駅を出るときの間隔 (3階層)

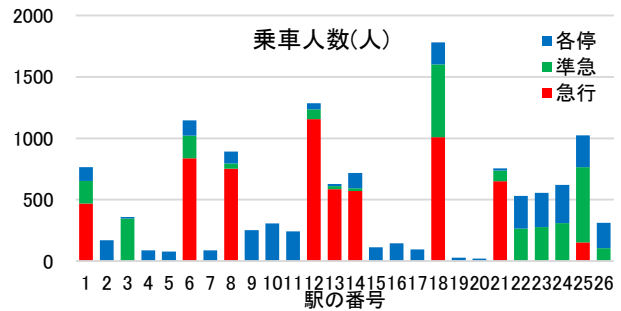


図-17 乗車する人数(パターン4超過分調整前)

表-9 各駅から27番へ向かうとき利用する列車

a) パターン4, パターン7の場合

駅	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
各停																										
準急																										
急行																										

b) パターン5, パターン6の場合

駅	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
各停																										
準急																										
急行																										

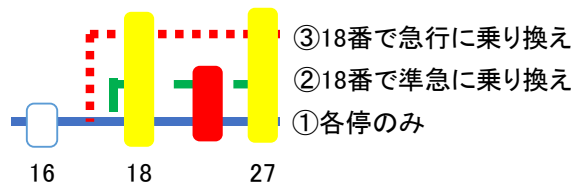


図-18 16番から27番への移動方法

表-10 16番から27番への移動時間

パターン	4	5	6	7
①	31分	31分	31分	31分
②	33分	35分	35分	33分
③	29分	33分	33分	29分

同じ数の列車を設定しても、階層の組み合わせによっては、上位階層を利用しない方が速く移動できる場合がある。異なる階層の列車への乗り換え時間が長いと、駅によっては、上位階層を利用できない場合があると考えられる。上位階層に乗り換えても速く移動できないことは、下位階層の列車を利用するため、上位階層の混雑緩和ができる。

a) 上位階層を利用する割合

図-19は、2階層のネットワークと3階層のネットワークにおいて上位階層の利用割合を示したものである。2階層よりも3階層の方が多くの人に上位階層の準急や急行が利用されている。同じ階層数では急行の数が多い方が、上位階層を利用する割合が高く、急行が2本存在するパターン4とパターン5では、どちらも70%程度の乗客が上位階層を利用している。3階層の場合、急行が容量を超過しても、各停ではなく準急に乗車していくため、容量を超過しても割合が高くなる。

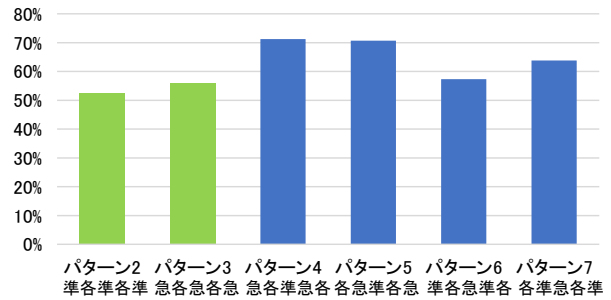


図-19 上位階層を利用する割合 (2, 3階層)

b) 全パターンの各停の比較

3階層のネットワークでは運転間隔が広がるため、郊外側の区間では2階層より3階層の方が乗客数は多い。しかし、途中で準急や急行に乗り換えるため、1階層よりは乗客数は少ない。例えば、駅11に着く際、パターン1では乗客数は1000人を越えていたが、他のパターンでは越えていない。運転間隔が初期条件の3倍に広がっても、上位階層の列車があることで、最後まで容量を超過することなく捌ける。

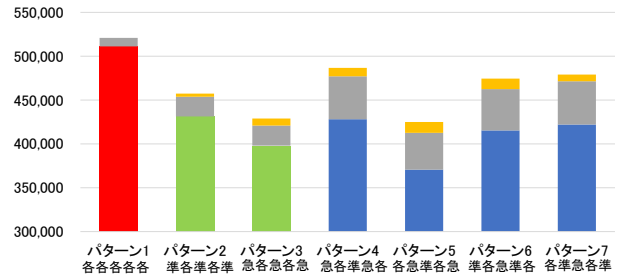


図-20 総移動時間

c) 各パターンの準急の比較

急行と準急が混在している3階層の状態では、準急を利用せずに後の急行を利用した方が早く移動できる駅が多いことから、郊外側の区間では3階層の方が乗客数は少ない。急行の容量超過以降は、乗客数が多くなる。このことから、3階層の状態では準急が急行の補佐の役目を、はじめは十分に果たせていないが、最上位階層の急行の容量が超過してからは果たしている。

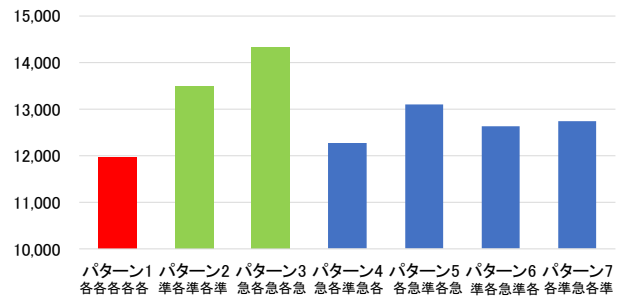


図-21 30分未満で到着できた人数

d) 各パターンの急行の比較

2階層のネットワークでは4分間隔であったが、3階層のネットワークでは6分間隔と、運転間隔が広がるため、2階層より3階層の方が乗客数は多い。そのため、2階層のよりも郊外側の駅で容量を超過した。急行は早く移動できるが、その分乗客が集中するため、運転間隔を広げると満員になりやすい。

3階層のその他のパターンでは、移動時間そのものは2階層よりも短いか同等であり、より多くの人々が短時間で移動可能といえる。しかし、列車を待つ時間や異なる階層への乗り換え時間により、その効果が低下する。

(3) 3階層での評価

a) 総移動時間

図-20は、各パターンにおける総移動時間を示したものである。急行が2本存在し、急行の前に各停が運行されるパターン5は3階層の中では時間が短く、多くの人々が早く移動できている。しかし、1階層や2階層のネットワークと比較すると、急行と各停による2階層のパターン3と同等の時間であり、特に低いとはいえない。パターン5は待ち時間が増加したり、2階層の状態より郊外側の駅で急行が満員になったりした場合も、急行が2本存在し、その後に準急が運行されることによって、急行と各停が4分間隔で運行されるネットワークと大きく変わらない移動時間になった。

b) 30分未満で到着できた人数

各パターンの組み合わせにおいて、30分未満で到着できた人数について図-21に示す。駅27までの所要時間が急行で30分前後の駅14付近で容量を超過しない上に、急行が3本存在するパターン3の人数が最も多い。3階層のパターンはいずれも各階層の列車が6分間隔で運行されているため、列車を待つ時間が長くなり、2階層のパターンより人数が少なくなった。遠くからでも多く人を捌くためには、列車の間隔を4分間隔にし、各停と急行を交互に運行しているネットワークがよいといえる。

c) 容量を超過した人数

各パターンの容量を超過した人数を図-22に示す。各階層が6分間隔でかつ、急行が2本存在するパターン4とパターン5の人数が多い。3階層では運転間隔が長い

上に、急行に乗客が集中するため、急行が 2 本存在するネットワークでは容量を超過する人数も多くなる。また、急行が 1 本存在するネットワークでは、超過する人数は少なくなる。そのため、パターン 6 の人数は容量を超過したパターンの中では、最も少ない。そもそもパターン 1 とパターン 2 は容量を超過しないため、全て各停のパターン 1 や、各停と準急が交互に運行されるパターン 2 の方が、より効率よく捌けるネットワークである。

d) 設定した各列車が満員となる時間

図-23 より、2 階層のパターン 3 と比べて、急行が少ないため、3 階層の方が値が小さい。急行が 3 本存在するネットワークのパターン 3 の値が大きいのは、3 本の急行が、22 分間ずつ満員になるためである。急行 2 本と準急 1 本が存在し、各停の前に急行が運行されるパターン 4 と各停の後に急行が運行されるパターン 5 では、ネットワーク全体で満員になる時間の長さは大きく変わらない。急行が 1 本のみ存在し、準急が満員にならないパターン 6 は 3 階層の中では最も効率よく捌けている。しかし、そもそも容量を超過しない全て各停のパターン 1 や、各停と準急が交互に運行されるパターン 2 の方が、より効率よく捌けるネットワークである。

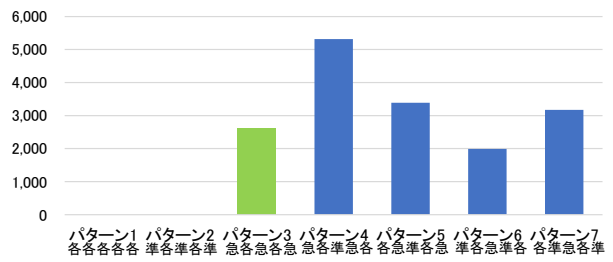


図-22 容量を超過した人数

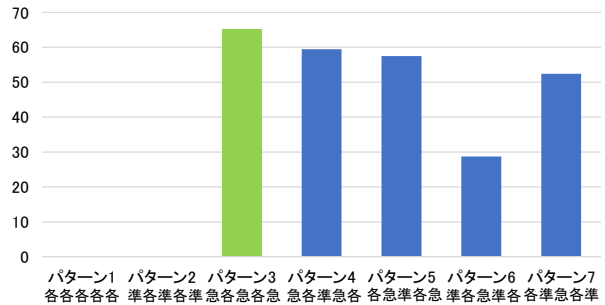


図-23 満員になる時間(分)

る。しかし、各停と急行が交互に運行されるネットワークでは、容量を超過し、満員となる時間は長いですが、超過する人数が少なく、遠くからでもより多くの人が短時間で移動できるため、より効率のよいネットワークである。

6. おわりに

(1) 本研究のまとめ

本研究では、実際する鉄道路線の駅配置と OD 交通量を参考に、複数の階層を整備し、分析、評価をした。その結果、同じ階層数のネットワークでは、より速く移動できる階層を含むネットワークの方が上位階層を利用されやすいことが明らかになった。また、階層数が多い方が、上位階層を利用する割合の増加が明らかになった。

さらに、同じ数の列車を設定しても、階層の組み合わせによっては、上位階層を利用しない方が速く移動できる場合があり、そのことが、上位階層の混雑に影響を与えることもわかった。

2 階層の状態に関しては、1 階層の状態よりも多くの交通量を短時間で捌けることが明らかになった。しかし、3 階層の状態では、移動時間そのものは 2 階層のパターンよりも短いか同等であるが、より速く移動できる列車を待つ時間が増加し、総移動時間も増加してしまう。

3 階層の場合、運転間隔が長くなった上に、急行に乗客が集中するため、2 階層の状態よりも都心から遠い駅の地点で容量を超過する。また、組み合わせによっては、急行の超過分が乗車する準急も容量を超過する。

容量の超過がないことを考慮すると、4 分間隔で各停と準急が交互に運行されるネットワークは、多くの人が短時間で移動できるため、効率のよいネットワークにな

(2) 道路ネットワークへの適用について

a) 鉄道のデータのメリット

本研究では鉄道のデータを用いて分析を行った。鉄道データを用いるメリットのひとつに、列車の待ち時間の設定により、高階層の道路へのアクセス時間と同じ意味になる点がある。異なる階層への乗換え時間は高速道路から幹線道路への乗り換えにかかる時間と同じ意味を持つ。既往研究ではネットワークが仮想的であったり、OD 交通量が任意に定められていたりするが、実際の交通移動のデータを利用することで実現性が高くなる。

b) 道路ネットワークで考えられること

本研究での結果を道路ネットワークに置き換えると次のことが考えられる。

2 階層の状態では、階層を持たないネットワークよりも多くの交通量を短時間で捌けることが明らかになった。しかし、3 階層の状態では、最上位階層へのアクセス時間が増加し、総移動時間にも影響を与える。また、3 階層の場合、アクセス時間が長くなる上に、最上位階層に利用が集中するため、都心から遠い地点から混雑する。加えて、組み合わせによっては、上位階層の超過交通量が下位階層の混雑にも影響する。

容量を超過しないことを考慮すると、下位階層と中間階層の道路に均等な間隔でアクセスできるネットワークは、多くの人が短時間で移動できるため、効率のよいネ

ネットワークである。しかし、下位階層と最上位階層の道路に均等な間隔でアクセスできるネットワークの方が、容量を超過し、混雑する時間は長い、超過交通量が少なく、遠くからでもより多くの方が短時間で移動できるため、より効率のよいネットワークである。

(3) 今後の課題

a) 鉄道ネットワークにおける課題

本研究で用いたネットワークでは準急の停車駅が都心側に偏っていることや、準急と急行の停車駅が郊外側ではほぼ同一であることから、停車駅を見直し、様々な状況を再現する必要がある。現状の停車駅では急行が速すぎるといえる。また、3 階層のネットワークでは急行に乗客が偏っていたため、準急が急行の役割を十分に果たせなかった。

そのため、急行の停車駅を増やすなど、停車駅の見直しによって、階層を持ったネットワークでの効果がより高くなると考えられる。さらに、急行より速い列車や、急行と準急の中間に位置する列車を組み込んだ状態での多階層のネットワークでの分析、評価を行い、様々な状況のネットワークに対応する必要がある。

加えて、乗降人員によって停車時間を調整させ、交通量に応じた速度の変化を再現し、さらに実現性の高める必要がある。

b) 道路ネットワークに適用するための課題

道路ネットワークに適用するための課題のひとつに交通容量の設定が挙げられる。高速道路のような速く走行できる道路の交通容量は大きい、鉄道の場合は、交通容量は車両の定員に依存するため速い列車種別の階層の容量が大きくなる。また、所要時間は、列車のダイヤによって決定される。そのため、乗客が増加した場合でも速度は低下せず、交通渋滞の再現が難しい。したがって、乗降人数に応じた停車時間の変化させ、交通量の増加による速度の低下を再現する必要がある。

参考文献

- 1) 下川澄雄：道路の階層区分を考慮した性能照査手法の意義と課題，土木計画学研究・講演集，vol.45，no.108
- 2) 内海泰輔，高木繁，手塚誠，中村英樹：道路階層の観点から見た中国地方の道路ネットワークの現状，第 45 回土木計画学研究・講演集，vol.45，no.110，2012
- 3) 浜岡秀勝，根城平：道路階層の組み合わせを考慮した適切な道路整備に関する研究，第 51 回土木計画学研究発表会・講演集，vol.51，no.244，2015

(?受付)