

首都圏電車網最短時間経路案内システム

加藤 誠巳

上智大学理工学部

近年首都圏の電車網は都市規模の巨大化、都市構造の変化等に伴い、複雑化・多様化しつつある。そのため電車網に関する情報の中から利用者が必要な情報を選択し、適切な電車路線を利用して目的地まで効率的に移動することが困難な状況となっている。このような公共交通機関利用者の時間的・経済的損失を防ぎ、利用し易さの向上により公共交通機関の利用の促進を図るため複数の大量交通手段を乗り継いで利用する際の最適ルートに関する情報を提供するシステムが望まれている。

このような背景のもとで筆者らは東京駅を中心として約50kmの範囲にある1053の駅を含む首都圏電車網において駅名、ランドマークあるいは23区内の町丁目名で出発地および目的地を指定することにより、乗り換え時間並びに運行時間間隔を考慮に入れた第k番目までの最短時間経路をパーソナル・コンピュータを用いてリアルタイムで探索するシステムを開発したので御報告する。尚、本システムは運輸省のメディア・ターミナル実験の一環として現在渋谷駅において一般の利用に供されている。

An Automated Information System for Shortest Time Routes of Tokyo Metropolitan Railway Networks

Masami KATO

Faculty of Science and Technology, Sophia University

Kioi-cho 7-1, Chiyoda-ku, Tokyo 102

Recently the Tokyo metropolitan railway networks have become so complicated that a casual passenger cannot find the shortest time route from his station of origin to that of destination. The authors have already proposed an algorithm for finding the k-th shortest time route for an arbitrary network. Utilizing the algorithm advantageously, this paper presents an automated information system which gives the k best time routes with the transfer time and the train interval taken into account. One of the advantages of the proposed system is that instead of a large computer, a 16-bit personal computer which is widely used today can be employed, accomplishing the task with a reasonable cpu time of the order of twenty seconds.

1. まえがき

近年首都圏の電網は都市規模の巨大化、都市構造の変化等に伴い、複雑化・多様化しつつある。そのため電網に関する情報の中から利用者が必要な情報を選択し、適切な電網路線を利用して目的地まで効率的に移動することが困難な状況となっている。このような公共交通機関利用者の時間的・経済的損失を防ぎ、利用し易さの向上により公共交通機関の利用の促進を図るため複数の大量交通手段を乗り継いで利用する際の最適ルートに関する情報を提供するシステムを整備すべきであるとの提言が昭和56年7月6日付運輸政策審議会の答申「長期展望に基づく総合的な交通政策の基本方向」でなされている。⁽¹⁾

一方、駅・空港等の交通ターミナルは人、物が必然的に集合し、利用可能な空間を有し、通信施設の集積がある等の有利性を活かして交通ターミナルにニューメディアを導入してメディア・ターミナルとして整備し、交通、観光、買物など多彩な情報を提供することにより交通利用者の利便を向上させ、公共交通機関の利用を促進させ、地域の活性化を図ることが運輸省により計画されている。⁽²⁾

このような背景のもとで筆者らは東京駅を中心として約50kmの範囲にある1053の駅を含む首都圏電網の乗り換え時間並びに運行時間間隔を考慮に入れた第k番目までの最短時間経路をパーソナル・コンピュータを用いてリアルタイムで探索するシステムを開発したので御報告する。尚、本システムは前述の運輸省のメディア・ターミナル実験の一環として本年1月23日より本年12月までの予定で渋谷駅において一般の利用に供されている。

2. 一般のネットワークにおける第k最短経路探索の手法⁽³⁾

図1に示すネットワークのノード1からノード5に至る第k最短経路を探索する場合を例にとって説明する。まず各リンクに対し、そのリンクを経由して目的ノード5に至る経路が最短経路に比べて遅れる時間（これをリンクの遅延時間と呼び、図1ではリンクに添えたカッコ内の数字で表わされている）をラベル確定法を用いて定める。このとき各ノード毎に行列を設け、そのノードに入るリンクを遅延時間が小さい順に登録しておく。さて第1最短経路はノード5から遅延時間（0）のリンクを辿って行くことにより求まる（図2）。次にこれを元にして木を育てて行くのであるが、このとき一度通ったノードは避けるようにする。

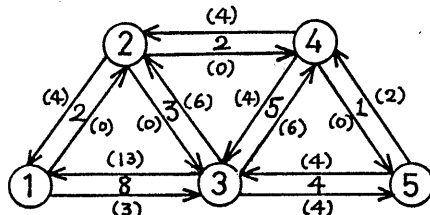


図1 ネットワークの例

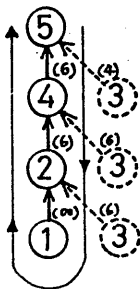


図2 第1最短経路の木

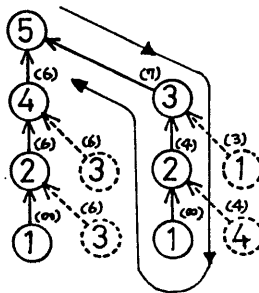


図3 第2最短経路の木

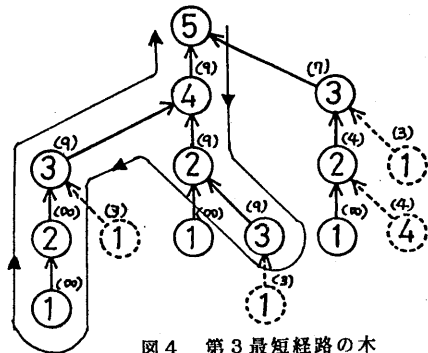


図4 第3最短経路の木

また上に戻って来るとき、木を形成する各ノード（これを点と呼ぶことにする）の遅延時間を求めておく。ここで点の遅延時間とはその点を根とする部分木に新しく発生させることができる最短経路が、その点から下に有している累積遅延時間である。但し新経路を発生できないときは ∞ とする。第2最短経路は図2において一番上から点の遅延時間が小さい方へ辿って行く。5→4の遅延時間（6）よりも5→3の遅延時間（4）の方が小さいので、3から遅延時間（0）のリンクを辿って行くと第2最短経路が求まる（図3）。尚、図中の細線の矢印は処理の方向を示している。次に第3最短経路は図3を同様に辿って行くことにより求まる。まず、5→3は（7）で5→4は（6）なので4に進む。次は4→2も、4→3も（6）だが、まずは2に行き2→3の方向に木を育てる。しかしこのとき通過済みのノード2に戻るのでも木を育てるのを3で止めておく。上に戻って来たとき4→3の方向に木を育てる。今度は1まで到達し、これが第3最短経路となる（図4）。以下同様にして第k最短経路を次々と求めることができる。この場合第k最短経路までを求めるための計算の手間は、ネットワークのノード数をnとし、 $n \gg k$ のときにはリンクの遅延時間を求めるのに使用するラベル確定法の手間のみによってほぼ定まり、 $O(n)$ から $O(n \log n)$ となることが示される。

3. 電車の待時間および乗り換え時間の考慮の方法⁽⁴⁾

電車網ネットワークは一般に駅のホームをノードとし、路線に従ってノードとノードを結ぶ駅間所要時間を値として有する有向リンクにより表現される。ここで、各停、準急、急行等の種類の異なる電車は停車駅パターンおよび運行間隔が異なる並行路線として表わされる。さらに、電車の待時間および乗り換え時間は次のようにして考慮に入れることができる。

一種類の路線の電車のみが停車する通常の間中駅は例えば図5に示すような有向グラフで表現される。この場合ノード1はこの駅を代表する改札口に相当するノードであり、システムの利用者がこの駅を選択する場合にはこのノードを用いることになる。ノード2および3は夫々電車の上りホームおよび下りホームに相当するノードであり、ノード2または3からノード1に向かうリンクの値1分はホームから改札口に至る実際の移動時間を表わしている。ノード1からノード2または3に向かうリンクの値3分は実際の移動時間1分と電車の平均待時間2分（これは電車の平均運行間隔4分の $1/2$ ）の和を表わしている。

もし図5に示す中間駅が一部の下り電車の終点である場合、この駅における下り方向電車に対する平均待時間は増大する。（例えば中央線下りは武蔵小金井どまりが多い。）このような状態を表現するため図6に示すように新たに3'なるノードを設け、改札口に相当するノード1からノード3'に向かうリンクに実際の移動時間1分と増大した平均待時間（この例では10分）の和（1+10）分を付与する。更にこの駅より手前の駅における下り電車の平均待時間が2分であるとすると、この駅より先に行く下り電車の平均待時間は10分としているので、これを補正するべくノード3と3'の間を結ぶリンクにこの差に相当する値8

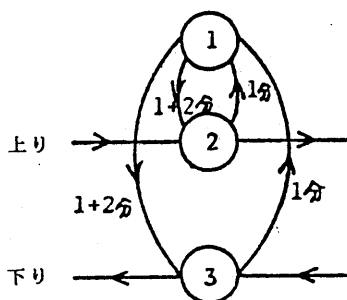


図5 通常の間中駅

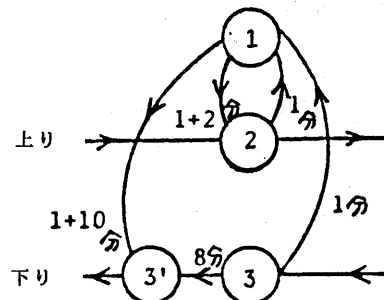


図6 一部の電車が終点となる中間駅

分を付与することによりこの状況を考慮に入れることができる。

次に二つの路線の電車が停車する乗り換え駅における相互の乗り換え時間の考慮の仕方を図7に示す国電代々木駅の場合を例にとって説明する。この場合ノード4は代々木駅を代表する改札口に相当するノードであり、ノード5、6、7、8は夫々山手線外回り、山手線内回り、中央線三鷹方面行、中央線お茶の水方面行のホームを表わすノードである。改札口に相当するノード4から各ホームに向かうリンクにはこの場合には総て同じであるとした移動に要する時間1分と平均待時間2分の和が、各ホームに相当するノードから改札口に相当するノード4に向かうリンクには移動に要する時間1分が付与されている。ところで代々木駅には3つのホームがあり、山手線内回りと中央線三鷹方面行は同じホームで乗り換えできるので、乗り換えに要する時間は0分と考えてよい。従ってノード6とノード7の間には平均待時間2分のみを考慮に入れた値を有するリンクが設けられている。その他のホーム相互の乗り換え移動時間を考慮に入れるリンクを設けることが望ましいが、リンク数が極度に増大することを避けるため、他の乗り換えは一度改札口に立ち寄って他のホームに移動する形式を採用し、データの簡略化を図っている。但し乗り入れている路線数が極めて多いターミナル駅においてはこれでは不十分であるので、物理的な地点に相応したノードを適宜設け、路線間の相互の乗り換え時間が現実になくなるよう工夫を行なっている。

また駅名が異なっても距離的に十分近い駅相互間は徒歩で連絡することが妥当と考えられる。このような徒歩による連絡は電ヶ関一虎ノ門、原宿一明治神宮前、京橋一宝町、赤坂見附一永田町、代々木八幡一代々木公園、三田一田町など90箇所の駅間で考慮している。

4. 冗長代替経路とその除去ならびにランドマーク・データおよび区町丁目名データの導入⁽⁵⁾

本システムにあっては前述のごとく通常の電車路線の相続く3つの駅は例えば図8に示すようなネットワークで表現される。この場合ノード1、4、7は夫々駅A、B、Cを代表する改札口に相当するノードであり、ノード2および3、ノード5および6、ノード8および9は夫々電車の上りホームおよび下りホームに相当するノードである。このようなネットワークで電車網を表現しているため、例えば駅Bを出発点とする最短時間経路が仮に4→5→8→・・・であったとすると、何番目かの代替経路として4→6→3→1→2→5→8→・・・という冗長な経路が現われることになる。このような冗長代替経路は同一駅を重複経由するものは除外するルールにより排除される。電車網ネットワークの構造に起因するその他の冗長経路としては、前述した大きなターミナル駅構内での移動時間をできるだけ正確に表現するために設けたノード間を渡

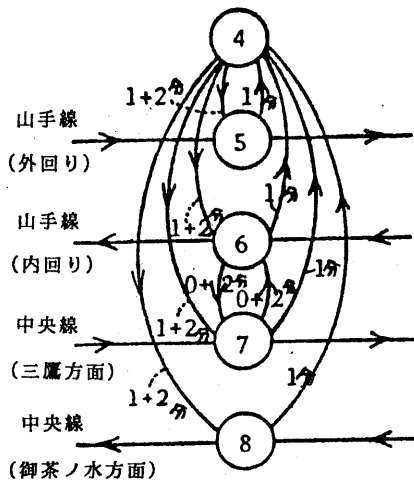


図7 乗り換え駅 (代々木駅)

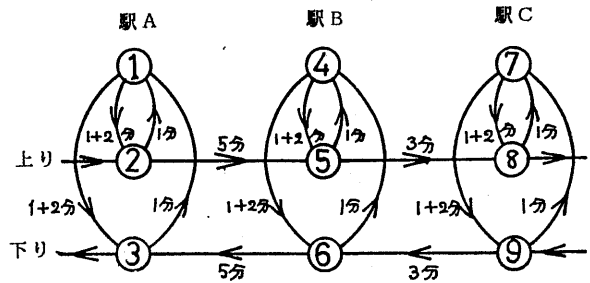


図8 電車網ネットワークの例

り歩く経路等があるが、これも容易に除去できる。また同一路線で各停、急行、特急等の電車が運行されている場合、本システムでは前述のごとく例えば図9に示すように夫々停車駅パターンの異なる路線が並行して存在するものとしてネットワークを作成している。そのため本来急行の利用が可能なのにわざわざ急行を途中下車して各停に乗り換えるような代替経路は除外する必要があるが、これはそれまでに見い出された有効な最短時間経路を記憶しておき、それとのパターン比較を行なうことにより実行している。

ところで本システムにあっては出発地および目的地は駅名だけでなく大学、官公庁、デパート、企業等のランドマークおよび23区内の町丁目名でも指定できるようになっている。そのため出発地あるいは目的地の最寄り駅が不明であったり、複数個あるような場合にも最適な最寄り駅からの徒歩時間を考慮にいれた最短時間経路情報を提供することができる。この場合、ランドマークあるいは23区内の町丁目名が出発地あるいは目的地として指定されたときに限って、図10に示す様に相応するリンクを一時的に電網ネットワークに付加することにより探索時間ならびに使用メモリ領域の削減を図っている。

5. システムの構成

本システムは16ビットのパーソナル・コンピュータPC9801m2（メモリ640kB）を使用し、ソフトウェアは演算を実行するプログラム部と電網路線網等のデータ部よりなっている。プログラム部は汎用高級言語Cを用いて記述されており、汎用サブルーチンおよびファンクションを除く主要部は6121行（内コメント496行）から成っている。一方、データ部のASCIIファイル容量は総計313kBである。またオペレーティング・システムとしてはMSDOSを使用している。

対象とした東京近郊電網は図11に示す通りであり、渋谷の実験で使用されているシステムでは印刷用紙の関係で第5番目までの最短時間経路を探索・提供するようになっている。出発地および目的地の情報はキーボードより入力されるが、数字以外の文字はローマ字で入力すると自動的に仮名に変換される。

出発地および目的地の指定は次の3通りが可能である。

- (1) 駅名：1053の駅
- (2) ランドマーク：官公庁、大学等目標となる主要施設274ヶ所
- (3) 区町丁目名：都内23区の町丁目名約1500

探索された第1から第5最短時間経路はディスプレイ上に表示されると共に、メニューの「印刷」を選択すると第1から第5最短時間経路すべてを印字したハードコピーを取得することができる。計算所要時間は約20秒程度である。尚、ハードコピーには「徒歩時間」、「待時間」、「乗車時間」、「乗り換え回数」

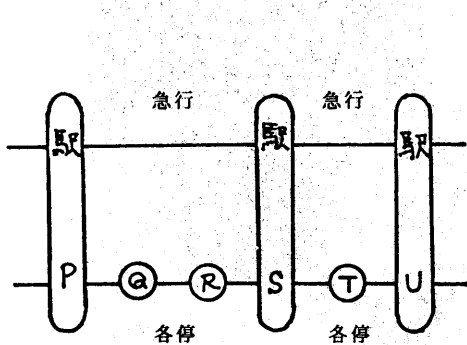


図9 急行・各停の並行路線

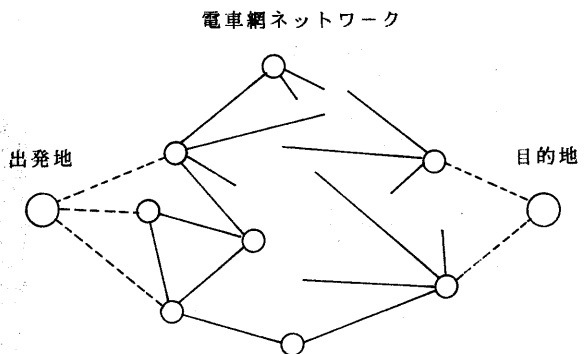


図10 出発地および目的地がランドマーク
または町丁目名の場合

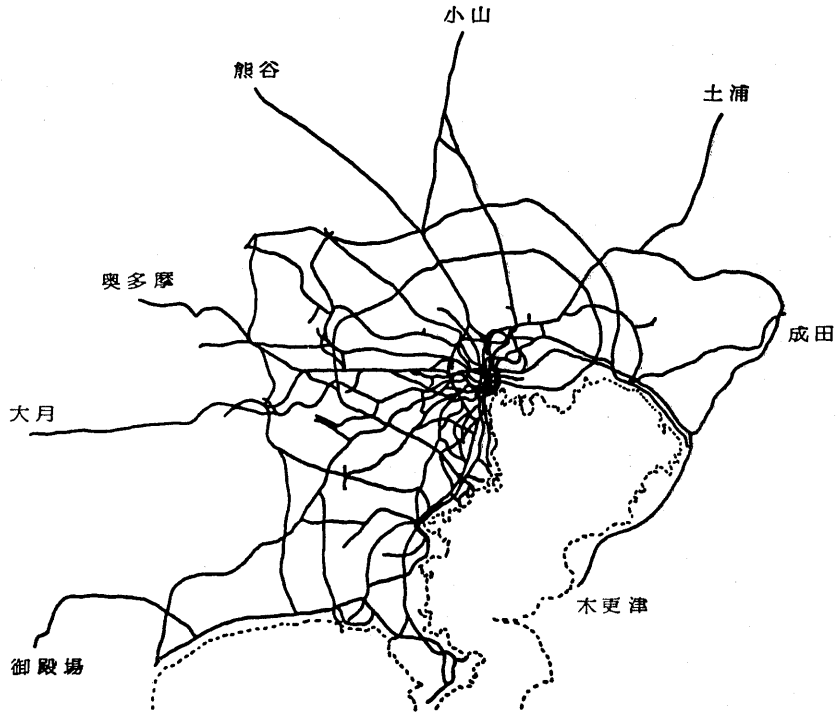


図 1 1 対象とした東京近郊電車網

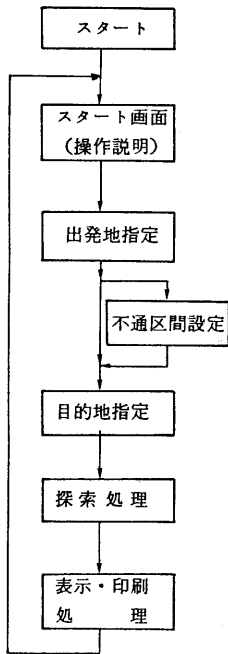


図 1 2 フローチャート

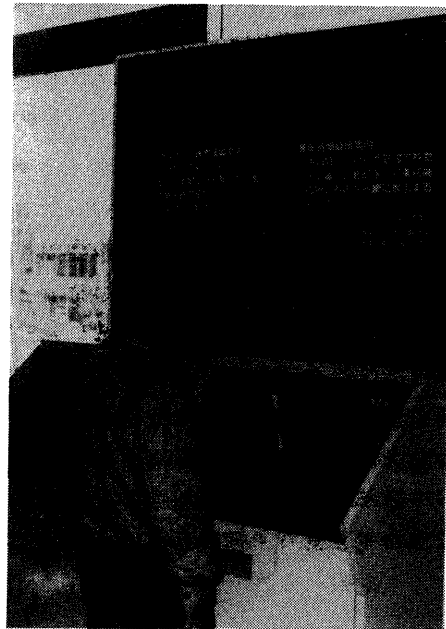


図 1 3 システムの外観

も印字される。その他の機能として利用者による不通過線・区間の設定が可能であり、指定された路線・区間を除外した最短時間経路を知ることができる。図12に処理のフローチャートを示す。いずれの点からもスタート画面に戻ることができるが図では省略している。また図13にシステムの外観を示す。

6. 最短時間経路探索例

以下に本システムを用いて求めた最短時間経路の印刷出力例を示す。

〔例1〕 出発地=吉祥寺、目的地=長津田 (図14)

〔例2〕 出発地=運輸省、目的地=所沢 (図15)

〔例3〕 出発地=田園調布2丁目、目的地=成城学園前 (図16)

7. むすび

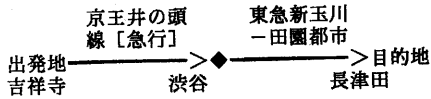
首都圏電車網において駅名、ランドマークあるいは23区内の町丁目名で出発地および目的地を指定することにより第k番目までの最短時間経路をパーソナル・コンピュータを用いて探索提供するシステムについて述べた。運輸省が利用者に対して実施したアンケート調査の結果によると、⁽²⁾システムの有用性に関しては“非常に役に立つ”が52.9%で半数を越え、これに“まあ役に立つ”の43.4%を加えると96.3%となり非常に高い評価を得ることができた。システムの操作性に関してはパーソナル・コンピュータのキーボードをそのまま使用し、ローマ字仮名自動変換を採用していること、リターンキーとファンクションキーの使い分けを必要とすることなどから“使いやすい”が27.9%、“ふつう”が24.0%、“使いにくい”が48.1%といまひとつであり、改善の必要がある。またこのシステムが提供している情報以外に必要としている情報としては“運賃について分かるが良い”が59.5%、“運賃の安い順に案内されると良い”が39.4%と運賃に関する要望が高い。筆者らは既に最低運賃経路探索システムについても開発を終えているので、⁽⁶⁾これを有機的に組み合わせて利用者にとって一層便利なシステムを実現したいと考えている。

参考文献

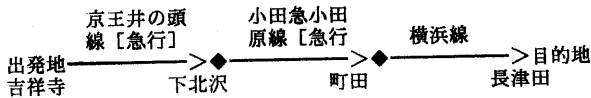
- (1) 運輸経済研究センター：“都市交通情報システム導入のための調査研究報告書”、運輸経済研究資料570542、1983年。
- (2) 運輸経済研究センター：“メディア・ターミナル調査報告書”、運輸経済研究資料600634、1986年。
- (3) 杉本、加藤：“有向ネットワークにおいて閉路を含まないk個の最短経路を求めるための手法”、情報処理学会論文誌、Vol. 26, No. 2, pp. 356-363 (1985)。
- (4) 加藤、高野：“東京近郊電車網における最短時間経路探索システム”、シミュレーション学会第2回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、7-5、1982年6月。
- (5) 加藤、是永：“首都圏電車網における代替ルートを含む乗継情報提供システム”、シミュレーション学会第4回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、7B-5、1984年6月。
- (6) 加藤、倉部：“東京近郊電車網における最低料金経路探索システム”、シミュレーション学会第3回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス、5C-1、1983年6月。

● 乗車又は下車駅 --> 徒歩
◆ 乗り換え駅 --> 電車

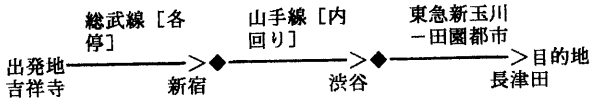
第 1 最短時間経路 所要時間 73分
徒歩時間計 分 待時間計 16分 乗車時間計 57分 乗換回数 1回



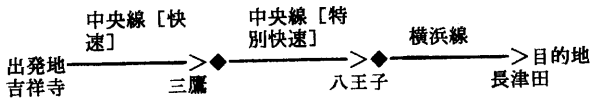
第 2 最短時間経路 所要時間 74分
徒歩時間計 分 待時間計 25分 乗車時間計 49分 乗換回数 2回



第 3 最短時間経路 所要時間 77分
徒歩時間計 分 待時間計 13分 乗車時間計 64分 乗換回数 2回



第 4 最短時間経路 所要時間 80分
徒歩時間計 分 待時間計 21分 乗車時間計 59分 乗換回数 2回



第 5 最短時間経路 所要時間 81分
徒歩時間計 1分 待時間計 27分 乗車時間計 53分 乗換回数 3回

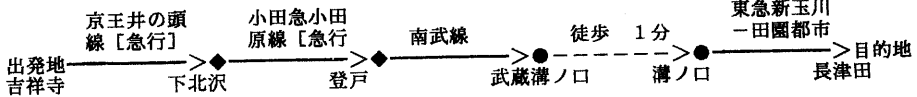
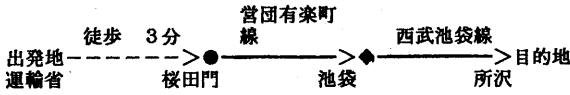


図 1 4 最短経路探索例

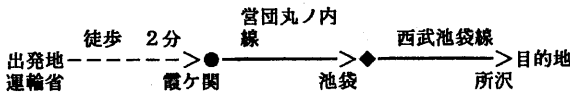
出発地 = 吉祥寺、目的地 = 長津田

● 乗車又は下車駅 - - -> 徒歩
◆ 乗り換え駅 - - -> 電車

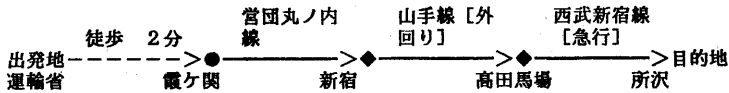
第 1 最短時間経路 所要時間 72分
 徒歩時間計 3分 待時間計 13分 乗車時間計 56分 乗換回数1回



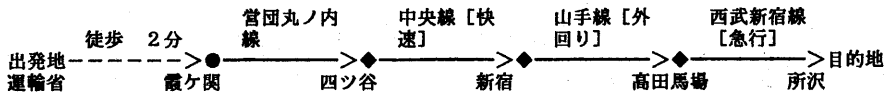
第 2 最短時間経路 所要時間 74分
 徒歩時間計 2分 待時間計 12分 乗車時間計 60分 乗換回数1回



第 3 最短時間経路 所要時間 77分
 徒歩時間計 2分 待時間計 17分 乗車時間計 58分 乗換回数2回



第 4 最短時間経路 所要時間 78分
 徒歩時間計 2分 待時間計 20分 乗車時間計 56分 乗換回数3回



第 5 最短時間経路 所要時間 78分
 徒歩時間計 8分 待時間計 13分 乗車時間計 57分 乗換回数1回

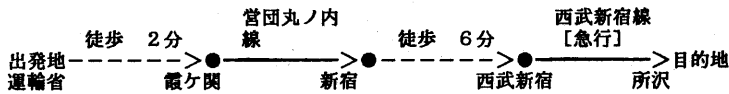
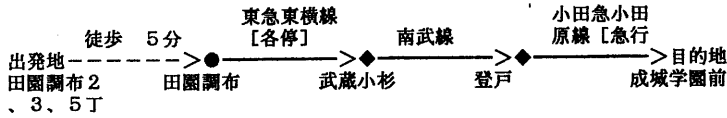


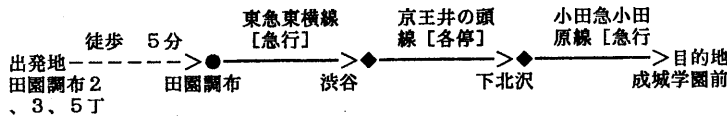
図 1 5 最短経路探索例 出発地 = 運輸省、目的地 = 所沢

● 乗車又は下車駅 --> 徒歩
◆ 乗り換え駅 —> 電車

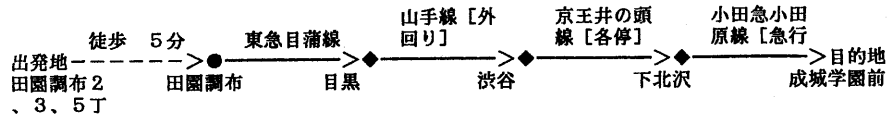
第 1 最短時間経路 所要時間 48分
徒歩時間計 5分 待時間計 17分 乗車時間計 26分 乗換回数2回



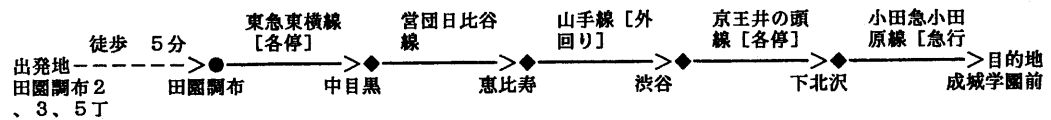
第 2 最短時間経路 所要時間 51分
徒歩時間計 5分 待時間計 21分 乗車時間計 25分 乗換回数2回



第 3 最短時間経路 所要時間 54分
徒歩時間計 5分 待時間計 20分 乗車時間計 29分 乗換回数3回



第 4 最短時間経路 所要時間 56分
徒歩時間計 5分 待時間計 24分 乗車時間計 27分 乗換回数4回



第 5 最短時間経路 所要時間 56分
徒歩時間計 5分 待時間計 15分 乗車時間計 36分 乗換回数2回

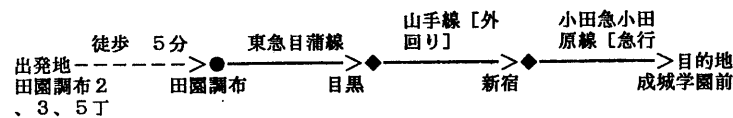


図 16 最短経路探索例

出発地=田園調布2丁目、目的地=成城学園前