

学 位 論 文

群運行と蜂の巣網による大都市用の
低損失時間高密度輸速システム

平成2年12月

入内島 健

①



学位論文

群運行と蜂の巣網による
大都市用の
低損失時間高密度輸送システム

指導教官 秋山 稔 教授
曾根 悟 教授

東京大学大学院工学系研究科
電気工学専攻 87098

入内島 健

1990 年 12 月 21 日

目次

I	目的	1
1	大都市の交通問題	2
2	目標とする特性	4
2.1	輸送力	4
2.2	所要時間	4
2.3	コスト	5
II	準備	6
3	大都市モデル	7
3.1	形状	7
3.2	輸送需要	7
3.3	モデルのパラメータ	9
4	既存の交通システムの大都市基幹輸送への適合性	10
4.1	道路交通	10
4.2	鉄道	11
4.3	新交通システム	11
4.3.1	中量軌道輸送システム	11
4.3.2	個別輸送システム	13
5	要素設備	15
5.1	路線容量	15
5.1.1	既存システムの路線容量	15
5.1.2	大都市基幹交通システムの場合の考え方	16
5.2	本線	17
5.3	オフライン駅	17
5.3.1	オフライン駅による速度の維持	18
5.3.2	オフライン駅の構造	18
5.3.3	枠の予約	20
5.4	乗換駅	21
5.4.1	乗り換えの必要性	21
5.4.2	乗換駅の構造	21
5.5	交叉点・三叉点	21
5.6	回送と留置設備	23

6 評価量	25
6.1 前提	25
6.2 所要時間に関する評価量	25
6.2.1 損失時間	25
6.2.2 旅行時間	26
6.3 路線延長	27
6.4 迂回に関する評価量	27
6.4.1 経路距離比	27
6.4.2 迂回比	27
7 前提とする定数	28
III 基本概念の提案	30
8 大都市用群運行システムの概要	31
9 群運行	32
9.1 一次元モデル	32
9.2 群運行の定義	32
9.3 理想的な損失時間	34
10 蜂の巣網	39
10.1 路線網形状	39
10.2 都心網構成	41
11 予約運行	43
11.1 ホーム容量	43
11.2 枠の予約	44
11.3 位相整合	44
IV 大都市モデルに対応した輸送の実現	45
12 郊外対都心輸送・都心相互輸送の関係と非一様需要への対応	46
13 郊外対都心輸送	47
13.1 駅間の輸送需要量	47
13.2 乗換駅	47
13.2.1 数の制限	47
13.2.2 配置	48
13.3 駅の配置が理想的でないことによる損失時間	50
13.3.1 迂回損失	50
13.3.2 乗換駅待合せ損失	50
13.4 輸送需要量に対する輸送群パラメータ	50
13.5 都心枝の長さの決定	52
13.6 サービス実現例	57
13.6.1 輸送群の例	57

13.6.2 乗換駅配置	58
14 都心相互輸送	62
14.1 都心相互輸送に特有の問題	62
14.2 輸送形態のモデル化	62
14.3 損失時間	64
14.4 サービス実現例	66
15 需要急増時の輸送	67
15.1 前提	67
15.2 大駅のサービス方式	68
15.2.1 群運行によるサービス	68
15.2.2 大駅専用車によるサービス	70
15.3 損失時間と立ち上がり損失	71
V 評価	79
16 輸送力	80
16.1 前提	80
16.2 正常な網の容量	82
16.2.1 サービス駅の選択	82
16.2.2 経路選択法	83
16.2.3 車両の設定法	85
16.2.4 運行計画作成法	90
16.2.5 輸送力	92
16.3 不通枝が生じたときの容量	94
16.3.1 枝不通時の経路選択	95
16.3.2 定常時の路線容量	96
16.3.3 不通発生時の過渡特性	96
17 損失時間	100
17.1 一様な需要に対する損失時間	100
17.1.1 単独運行との比較	100
17.1.2 鉄道との比較	101
17.2 需要急増時の損失時間	102
18 路線延長	103
18.1 郊外部について	103
18.2 鉄道の路線延長	104
18.3 大都市用群運行システムの路線延長	104
18.4 比較	104
VI 展望	105
19 現実の大都市への対応	106
19.1 非対称性への対応	106

19.2 システムの段階的構築	106
20 必要な技術	112
20.1 ハードウェア技術	112
20.2 ソフトウェア技術	113
VII まとめ	114
参考文献	118
発表一覧	119
謝辞	120
図一覧	122
表一覧	124
索引	125

第一章

大都市の交通問題

第一部

目的

第一章

大都市の交通問題

大都市圏の交通事情は危機的である。鉄道では通勤地獄が叫ばれて久しく、道路の渋滞は常態となっている。

都市機能の分散により、交通問題を解消できる可能性はある。しかし、現実には分散は進展していない。ごく一部の大量に影響のない部門に限って分散が試みられているが、実質的には今でも集中化が進んでいる。交通問題以外にも集中の弊害はあるが、利点がこれを補って余りあるからである。

大都市が集中のメリットを活かして機能するために、この中の旅客の輸送需要を満たす交通機関の必要性は極めて高い。現在、需要は量的には満たされているが、質的にはほとんど満たされていない。今後、輸送需要の大きさは、さらに増えることを予期しなければならない。また、利用者の質に対する要求も、強まり続けると考えるべきである。

既存の輸送機関の中で、道路交通は面積利用率が悪く、高密度都市の基幹交通システムとはなり得ない。軌道拘束型のシステムは面積の有効利用の可能性を持つが、現在の鉄道はこれを十分に活用していない。

現在、首都圏などの鉄道の輸送力は、需要に対し大幅に不足している。定員を大幅に超過することで辛うじて輸送を行ってはいるが、輸送機関はごく短時間の利用をのぞき全利用者に座席を提供するべきである。鉄道は混雑の結果として低コストだが、着席輸送に十分な輸送力を提供するためのコストは社会的に容認されると考える。特に新しいシステムを鉄道と同程度の路線延長で実現できれば交通システムに対する社会的要求にはほぼ合致する、というのがこの研究の思想である。

輸送力の不足に次いで、過大な所要時間も問題である。既存の地上交通機関の中では、鉄道が比較的高速である。しかし、大都市圏内の輸送では、二地点間を途中無停車で結ぶ場合に比べて平均待時間を含む所要時間が2.5倍に及ぶ例もあり、一般に所要時間は過大である。

鉄道は歴史的技術に立脚しているが、現代の技術に基づけば、車両が空間的に連続、制御的に独立に走行できる新しい交通システムを実現できる。

従来、専用軌道を持つ自動輸送システムとして、4～12人を輸送単位とし目的駅に直行する個別輸送機関(PRT)の研究[1][2]があるが、定員4人で路線網メッシュの細かいCVSは、技術的には可能とされながら、コストが過大で実用化が見送られた。首都圏のような巨大稠密都市では、輸送密度の高いことが重要である。

この研究は、CVSなどの技術を踏まえつつ既存技術の枠から離れて、大都市圏を対象とした面積を有効に活用する旅客輸送システムを提案するものである。システムの特徴を計算機上で測定し、鉄道の現状と比較する。このシステムは大都市圏の基幹交通システムとなるべきものである。

第二章

目標とする特性

2.1 輸送力

輸送力とは、システムが輸送できる客の総数を意味する。この研究では、大都市圏を対象とした面積を有効に活用する旅客輸送システムを提案する。このシステムの輸送力を評価するためには、まず、大都市圏の人口と面積を把握する必要がある。大都市圏の人口は、国勢調査や人口推計から得られる。面積は、大都市圏の範囲を明確にする必要がある。このシステムの輸送力は、大都市圏の人口と面積に基づいて評価される。

次に、輸送力の評価方法について述べる。輸送力は、客の総数を意味する。この研究では、大都市圏を対象とした面積を有効に活用する旅客輸送システムを提案する。このシステムの輸送力を評価するためには、まず、大都市圏の人口と面積を把握する必要がある。大都市圏の人口は、国勢調査や人口推計から得られる。面積は、大都市圏の範囲を明確にする必要がある。このシステムの輸送力は、大都市圏の人口と面積に基づいて評価される。

2.2 所要時間

所要時間とは、客が目的地まで到達するまでの時間を意味する。この研究では、大都市圏を対象とした面積を有効に活用する旅客輸送システムを提案する。このシステムの所要時間を評価するためには、まず、大都市圏の人口と面積を把握する必要がある。大都市圏の人口は、国勢調査や人口推計から得られる。面積は、大都市圏の範囲を明確にする必要がある。このシステムの所要時間は、大都市圏の人口と面積に基づいて評価される。

第二章

目標とする特性

大都市圏のための新しい基幹交通システムは、量・質ともに旅客の輸送需要を満たすものでなければならない。この研究では社会が交通システムに求める特性として、輸送力・所要時間・コストの面で以下のようなものを考える。

2.1 輸送力

輸送力[†]とは、システムが時間あたりに輸送できる利用者の数である。

基本的な人数の点で、首都圏で現在鉄道が運んでいる輸送量を十分に運べる輸送力が必要とする。時間的集中度も、現在と同程度だと考える。フレックス・タイムが浸透すれば需要が時間的に分散する可能性はある。しかし逆の要因として、現在のラッシュのピークの輸送量が物理的な輸送力の制約のために真の需要より小さくなっている可能性もある。そこで、時間的な分散の結果として真の需要の大きさ、すなわち輸送需要量は現在の輸送量と同程度の時間的集中度になると考える。

一方、輸送力の質に関しては、全員着席が必要だと考える。日本では通勤電車で立つことを余儀なくされてきた歴史が長く、表面的には利用者もそれを当然と考えているように見える。しかし、潜在的に着席したいという要求は強いと考える。欧米では、通勤輸送もごく短距離の場合を除き着席が当然である[3]。日本でも、全席指定の通勤特急サービスやグリーン車の隆盛を見れば、着席輸送に対する潜在需要が大きいと推測することができる。

2.2 所要時間

所要時間が短いほどよいことについて、一般には議論の余地はないだろう。なお、所要時間には待時間の平均値も含める。しかし、乗り換えによって所要時間が短くなる場合、現状では「乗り換えが少ない方がよい」という利用者と「所要時間が短い方がよい」という利用者がいると思う。この研究では、以下の考察と条件により、乗換回数が多くても所要時間が短いほどよいものとする。

所要時間が長くなっても乗り換えが少ない方がよい、という考え方は、主に次の理由によるだろう：

[†]太字で書いた用語は、索引に定義または定義に準ずると記したものである。

1. 乗換時に歩くのが大変である。特に荷物を持って階段を登り降りするのは肉体的な苦痛である。
2. 乗換後の列車で座れるかどうかわからない。乗り換えのたびに座席の心配をするのは精神的な苦痛である。

この研究で扱う大都市圏内の輸送では、通勤輸送が主要な部分であり、荷物は少ないと考えてよい。そこで、乗り換えは平面内に限るという条件を採用し、1.の理由を回避する。平面内の乗り換えとは、一面のホームの両側に車両が並んだ状態での乗り換えのことである。一方2.の理由は、2.1で目標とした全員が着席できる輸送力を提供すれば回避できる。

2.3 コスト

大都市の交通機関が高コストとなることは避けられない。既設の鉄道路線は安い運賃でサービスを提供しているが、これは用地費の安い時代に土地を購入していたためにできることだ。独立採算で新規にサービスを開始することはほとんど不可能である。大都市の基幹交通システムは、道路と同様に社会資本として整備されるべきものである。この点、政策の変更が必要と考える。

基幹輸送システムが社会資本であると言っても、無限のコストをかけられるわけではないが、大都市の場合、システムの技術的なコストの重要度は低い。

現在地上に鉄道を新設する場合、コストの大部分は用地費である。道路の地下を用地費なしに利用できる地下鉄の場合でも、掘削費がコストの大部分を占める。用地費・掘削費に対して、その他の設備の費用は相対的に小さい。ただし、コストを無視すると個別輸送が最善という結論が出てしまう。他の条件を固定して定員を変えたとき、運行間隔と待時間は定員に比例するからである。そこで、

1. 定員一人あたりの車両コストは、定員が小さいほど大きい
2. 鉄道にも着席輸送を基本とする長距離サービスがあり、その車両は経済的に実現していてこの車両コストは社会的に容認できるレベルにあると考えることができる

ことに基づいてこの研究では、輸送単位である車両一両に着席できる旅客の数車両定員を100人とする。この大きさは、鉄道車両と同程度の大きさの車両で全員着席を想定して決めた値である。

車両定員を100人に固定した上で、大都市の基幹交通システムのコストはシステムの占める容積によって決まるものとする。現在鉄道が占めているのと同程度の容積を有効利用することにより、2.1、2.2のサービスを提供することを目標とする。

第二部

準備

第三章

大都市モデル

この研究では首都圏を想定した大都市モデルを使用する。実際の首都圏は東京湾のために対称でなく、現実的な検討では湾を考慮したモデルを使うこともある。しかし、この研究は基礎的なものなので回転(18°)に関して同形のモデルで輸送量の地域的な密度が首都圏と同程度のものを使用する。

3.1 形状

大都市モデルは、図 3.1 のように円形の都心部とこれを取り囲む郊外部からなるものを考える。

都心部は面的に一樣であるとする。路線網の形状、駅(都心駅)の配置はモデルとしては定めない。もちろんサービスは面的に一樣にはできないが、利用者の用務地が一樣に分布していると考え、利用者は用務地とシステムの最寄り駅の間を徒歩で移動するものとする。

これに対し郊外部は、現実の首都圏の鉄道と同程度の間隔で放射状の郊外線が配置されているものとする。駅(郊外駅)の配置も予め決まっているものとする。高密度な都心部に比較すると疎な郊外部では、このシステムと徒歩だけですべての移動を完結させることは現実的でない。利用者はこのシステムの駅と居住地の間を、一般には他の交通機関で移動するものとする。郊外線上の駅の間隔は平均 2.5km であるが、各駅の利用者数が等しくなるように配置されているものとする。

3.2 輸送需要

現実の輸送需要は多種多様で偏り・時間変動もあるが、この研究は基礎的なものなので、サービスを行う周期(車両の運行間隔: 5~20 分)の間には需要の大きさは変化しないものとみなす。このことを以後定常的と表現する。また、需要の大きさの地域的な偏りもないものとみなす。需要の急変、非一様については、第十五章で議論する。

代表的な輸送需要として、

1. 郊外と都心の間を移動する通勤型輸送需要
2. 都心内を移動する昼間型輸送需要

の二つのパターンをとる。この二通りの輸送需要パターンは、異常時を除き定常的とみなすことが

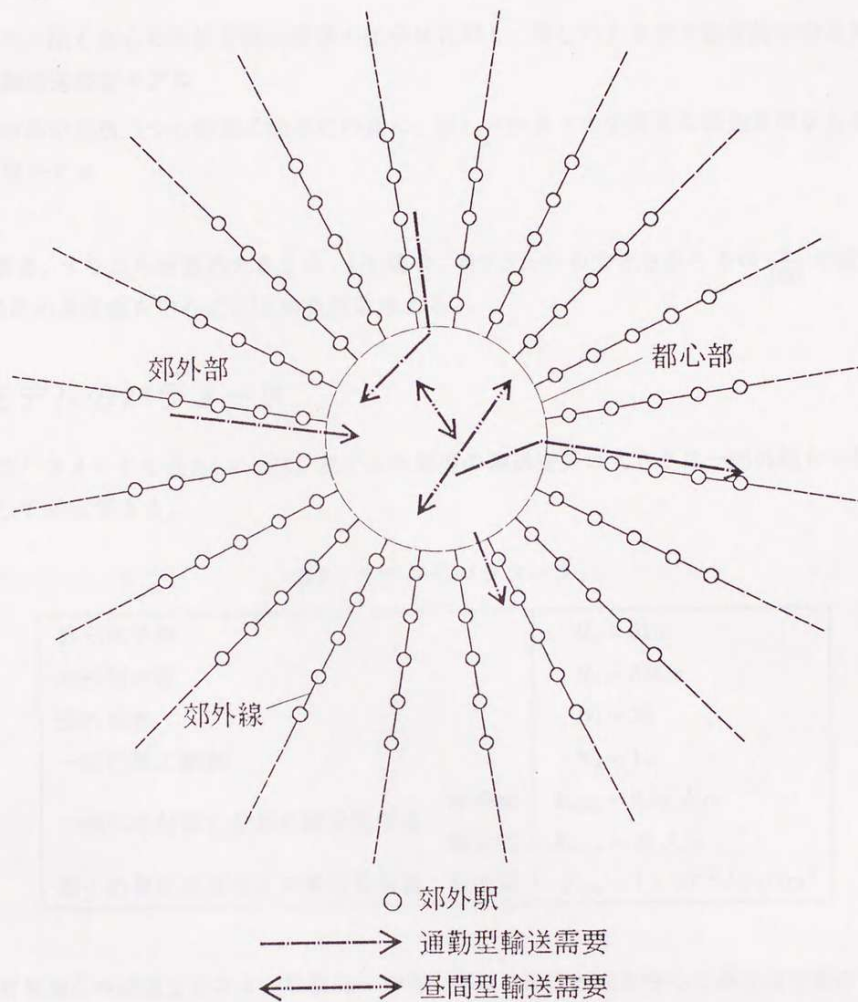


図3.1 大都市モデル

できる。これ以外に一郊外線の中で完結する輸送や、一郊外線から他の郊外線への輸送も存在するが、比率が小さく、後者は 郊外 \Rightarrow 都心、都心 \Rightarrow 郊外 の組合せで輸送できるので、この2パターンで代表させる。

輸送需要モデルは、上記の二つのパターンが別々に存在し、第十五章を除いては、時間的地理的に一様とする。つまり、

1. 郊外の一駅と都心の単位面積の任意の組合せに対し、等しい大きさで定常的な輸送需要がある通勤型輸送需要モデル
2. 都心の単位面積二つの任意の組合せの間に、等しい大きさの定常的な輸送需要がある昼間型輸送需要モデル

を考える。

輸送需要量、すなわち需要の大きさは、1.の場合、ラッシュ時の大きさからその $\frac{1}{100}$ の閑散時まで、2.では、昼間の典型値を中心に1:10の範囲を考える。

3.3 モデルのパラメータ

モデルのパラメータを表3.1に示す。表では通勤型の輸送需要の大きさは一郊外線から都心部全体への値にして示してある。

表3.1 モデルのパラメータ

都心部半径		$R_d = 5\text{km}$
郊外部半径		$R_s = 45\text{km}$
郊外線数		$N_l = 20$
一郊外線上駅数		$N_s = 16$
一郊外線対都心全体の輸送需要量	最小値	$F_{min} = 0.28 \text{ 人/s}$
	最大値	$F_{max} = 28 \text{ 人/s}$
都心の単位面積相互の輸送需要量	標準値	$F_{typ} = 2 \times 10^{-3} \text{ 人/s/km}^2$

現実の首都圏との関連を示すと、半径5kmの都心部は、千代田区を中心に西は山手線の西半分、東は錦糸町付近までの広がりになる。半径45kmの郊外部の外縁は、藤沢、高尾、鴻巣、佐倉付近になる。また、山手線から郊外へ向かって20km以上の延長のある路線は20本ある。この中には40kmに満たないものもあるが、この他に青梅線のように郊外で分岐する路線があることを考慮して、 $N_l = 20$ とした。

現在東京でもっとも輸送量が大きいの、中央線快速電車の新宿 \Rightarrow 四谷で、朝のラッシュ時の利用者数が約9万人/時である。 $F_{max} \simeq 10$ 万人/時という値は、山手線の外側の平均的な複線の通勤区間の輸送量を2割程度上回る値として想定したものである。都心相互の $F_{typ} \simeq 7$ 人/時 km^2 という値は、現状と同じ密度で都心駅があるとして、都心の一駅を間隔6分で列車がサービスしているときに、一列車あたり100人程度の利用者が乗降(合計200人)する、という状況を想定したものである。

第四章

既存の交通システムの 大都市基幹輸送への適合性

4.1 道路交通

道路交通は現在、慢性的な渋滞状態にある。平面交叉を基本とする道路網では、信号を理想的に制御しても所要時間の短縮には限界がある。一方、立体交叉による道路網では、交通需要に応じた設備があれば現在より大幅に所要時間を短縮できる可能性がある。そこで、この節では立体交叉を前提にして議論する。

道路交通では各車両を人間が操作しているため、一般には制御能力が高い。特に前後方向に関して短い間隔で続行運転することができ、車線あたりの通過車両容量は非常に大きい。この点で道路交通は鉄道より大幅に優れている。

しかし横方向に関しては、制御能力は優秀であっても、制御の不要な鉄道に比べると大きな余裕が必要である。幅の利用効率に関しては、鉄道よりも劣る。

より本質的に、人間が介在するための限界もある。事故も人間が原因だが、事故時以外の通常の渋滞でも、人間の介在は大きな要因である。首都高速道路での実測では、平均時速20km/h以下の渋滞時の通過車両数は、渋滞が起きていないときの最大値よりも少ない。渋滞が交通量の増加によって発生するとしても、これが持続するのは、人間の反応遅れなどの不確定要素が原因だろう。渋滞の発生に関しても、交通量が道路の最大容量に達する以前に、人間の行動が原因となって渋滞状態に陥る場合が多いと思う。

道路交通が大都市の基幹輸送を担うためには、渋滞の発生確率が充分低い必要がある。したがって、人間が介在する限り、各道路の通過交通量が最大容量よりも小さくなるようにシステムを設計しなければならない。短い間隔の続行運転は大都市圏の基幹交通システムに適した特性だが、首都圏のような高密度都市では道路の占める敷地面積の割合が大きくなり過ぎるので、道路交通が基幹輸送を担うのは難しい。

4.2 鉄道

鉄道は現在、大都市圏で旅客の基幹輸送を担っている。しかし、輸送需要を満たしているのは量に関してだけであり、質についてはほとんど満足していない。

着席に関して、ラッシュ時の典型的な例では一両の通勤電車に約300人乗車しているが、座席は約50しかない。 $\frac{5}{6}$ の利用者が立つことを余儀なくされ、高い密度で詰め込まれた状態で利用している。全員着席を前提とすると、一両の定員はせいぜい100人程度であり、鉄道本来の輸送力は現在の輸送量の $\frac{1}{3}$ 程度ということになる。

所要時間は、道路交通に比べればかなり短い、100km/h程度の最高速度を持つ交通機関としては長い。

これは、本質的には列車あたりの乗車人数が多いことが原因である。多数の乗客の利用駅は必然的に多様になり停車駅数が増えるため、乗車時間が増加する。仮に停車駅数を減らしたとすると列車の運行種別が増え、種別ごとの運行間隔は大きくしなければならない。エネルギー消費・車両の総数などを小さく保つには、乗車率の低い列車を運行することは許されないからである。したがって、乗車時間は短縮できても待時間によって所要時間が増えてしまう。

また、利用者の比較的少ない昼間には、優等列車を走らせて乗車時間を短くしている路線でも、ラッシュ時には乗車時間が増加するケースが多い。これは、追い越しのできる駅が限られているのが原因である。運行密度が高い場合には、優等列車は頻繁に各駅停車列車を追い越す必要がある。これが可能なだけの追い越し設備がないと、追い越し駅の近辺を除き、優等列車も各駅停車列車と同じ平均速度で走らなければならないからである。

鉄道の輸送力が大きいのは、乗客を詰め込んでいることを別にして、輸送を列車という大きな単位で行っているためである。運行間隔は最小で2分弱であり、道路交通に比べて極端に大きい。この原因は、主に駅の構造にある。一本の列車が停止してから利用者の乗降を行い、その後、この列車が自身の長さ分だけ進行するまで次の列車が到着できない、という現在の駅の構造を変えない限り、間隔を大幅に短くすることはできない。また、仮にこのような制約のない駅を導入したとしても、現在の信号システムは旧式な閉塞制御によっているため、列車間隔を現在より小さくする場合には大きな障害となる。

4.3 新交通システム

新交通システムは広い概念だが、ここでは中量軌道輸送システムと個別輸送システムPRT (personal rapid transit) をとりあげる。共に専用の軌道を持ち、列車または単独車両が走るシステムである。

4.3.1 中量軌道輸送システム

中量軌道輸送システムの実現例は、日本に数多くある。古くは神戸のポートライナー [4] (図 4.1) があり、関東の例では西武鉄道山口線などがある。

このシステムが「新」交通システムと呼ばれるのは、主に輸送力と実現技術の二点による。

まず、輸送力が既存システムの存在しない領域にある。バスよりは大きい輸送力が必要だが鉄道

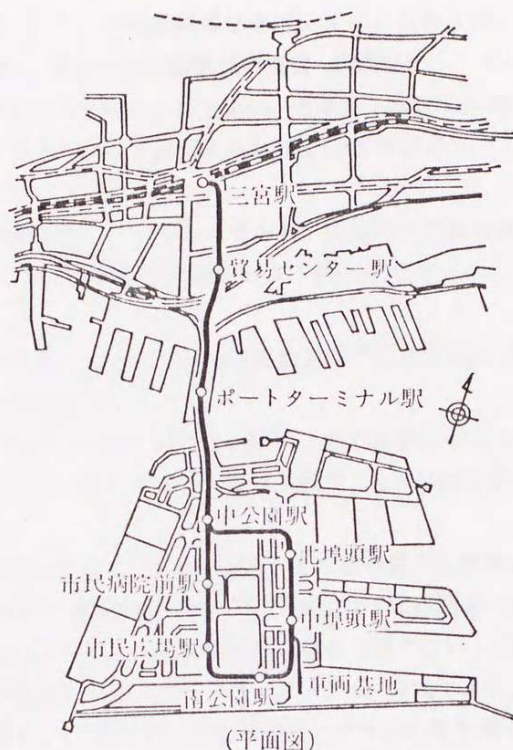


図4.1 ポートライナーの路線

を敷設するほどの輸送需要量はない、という領域のためにこのシステムは開発された。定員70名程度の車両が5両前後連結された列車が、輸送単位である。

次に、自動運転・ゴムタイヤなどの技術を採用している。現在では地下鉄にも自動運転の例があるが、輸送単位の小さなシステムなので、無人運転による人件費の低減を狙って自動化された。列車はゴムタイヤで専用のガイドウェイを走るのので、急勾配・急曲線を設けることができ路線設計の自由度が大きい。

サービス面からみた場合、中量軌道輸送システムにはほとんど新規性はない。渋滞がないのでバスよりはサービスがよいが、鉄道と比べると本質的な差はない。列車は乗合制で、運行は一般に各駅停車によるスケジュール運行である。輸送単位は小さいが、これは輸送量に応じて小さいだけで、運行間隔・待時間が小さいわけではない。定員超過を許さないが、輸送需要量が小さいために可能なのである。また、定員内輸送といっても多くの立席を含んでおり、全員着席ではない。

以上のように、中量軌道輸送システムは大輸送力を目的とするものでないので、大都市の基幹交通システムには適さない。

4.3.2 個別輸送システム

個別輸送システムには、アメリカに小規模な実用システムがあるが、日本には実用システムはない。実験システムとしては、1970年代に機械振興協会・新機械システムセンターが中心となって試験を行ったCVS(Computer-Controlled Vehicle System, 通産省工業技術院東村山分室にて実験)がある。この項では、CVSについてやや詳しく説明する[5][1]。CVSは既存のシステムにない思想で構成されているからである。

CVSは、タクシーの代替を狙ったシステムである。東村山の試験の結果、技術的には実現可能とされ、沖縄海洋博で1975年に運転されたが、コスト的にタクシーに及ばないとして実用はされなかった。

路線は二階層の格子状の網からなる。近距離の輸送は下位の路線のみを使用し、遠距離では上位の路線も経由して運行する(図4.2)。

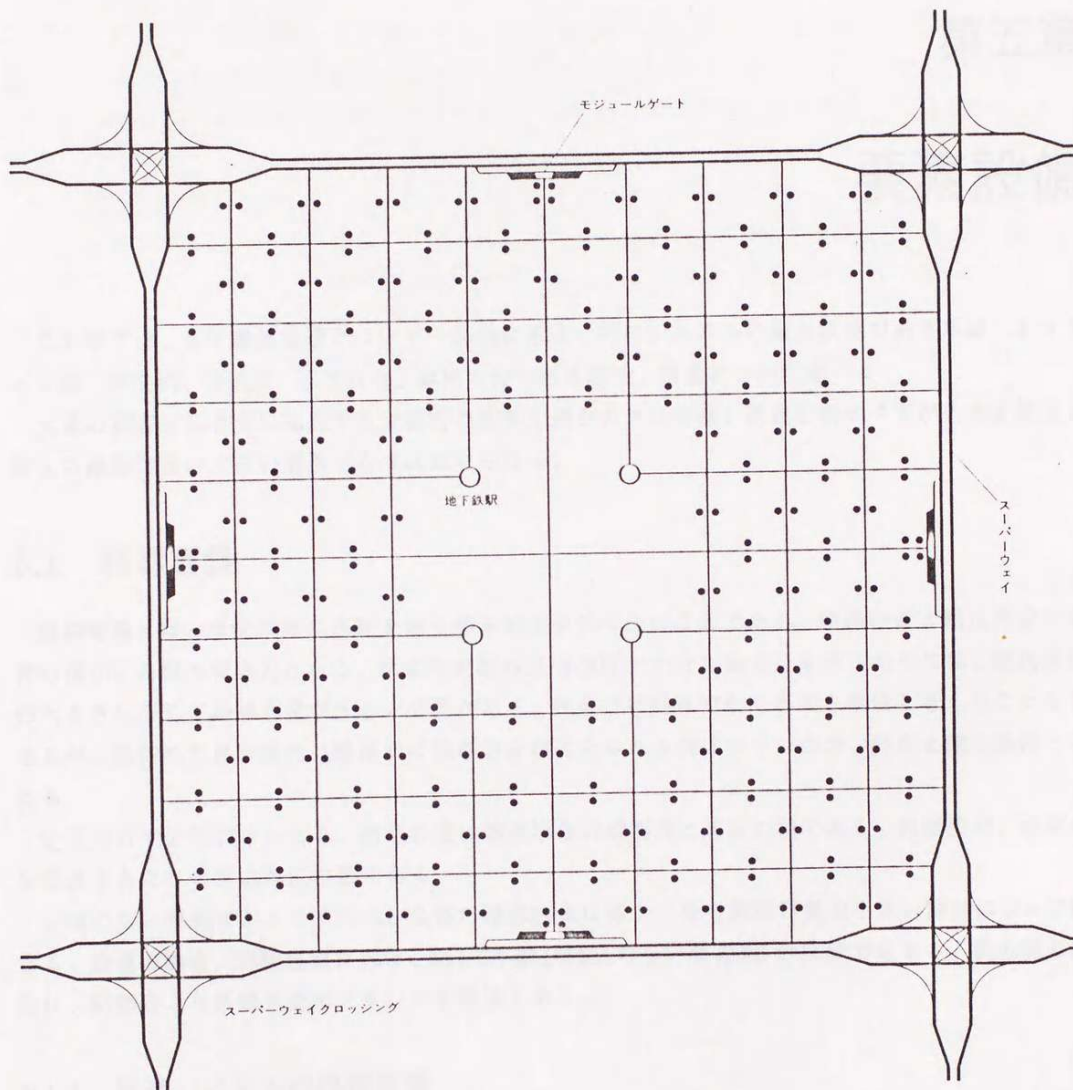
下位網は単位格子の一边が100mの平面交叉網で、交叉点間の辺ごとに停留所(ストップ: 図の●)がある。上位網は単位格子の一边が1kmの立体交叉網で、交叉点間の辺ごとに下位網との接続点(モジュールゲート)がある。

輸送単位は定員4名の車両である。空車は巡回、または停留所に停車しており、利用者の要求に応じて停留所へ行き、目的地まで直行輸送する。走行速度は下位の路線で40km/h、上位路線で60km/hである。最小運行間隔は1秒である。車両の案内は中央の溝で行い、分岐は車上選択による。

車両の運行は計算機が管理するムービング・ターゲット方式である。交叉・合流時の競合は交叉点の手前一定距離で検出し、一方の車両を後方のターゲットに乗り移らせて回避する。乗り移る車両は、一時的に減速して走ることになる。

以上のように、CVSの運行は、利用者の要求に従いリアルタイムに決まる。このため、路線を通過する車両が増えると、渋滞を生じ得る。石井ら[1]は実用ターゲット使用率を $\frac{1}{3}$ と見積っているが、浜松ら[2]は平面交叉よりは渋滞の生じにくい立体交叉の合流点解析でも合流側のターゲット使用率を0.5として議論しており、平面交叉では $\frac{1}{3}$ よりもさらにターゲット使用率を低くしなければならない可能性もある。

したがって、大都市のCVSは路線網が図4.2のように密であることが必須である。路線が充分あればターゲット使用率は低くなり、理想的なサービスが実現できる。この密な路線網を許容するかどうかは、政策上の問題である。だが、CVSは小型貨物の輸送は考慮しているものの大型貨物の輸送は想定していない。大型貨物の存在を考えるとCVSだけに依存して道路を廃止することはできず、現在の日本でCVSを導入する政策を採ることは困難だと考える。



CVSのストップ CVS車両のとまる駅をストップと呼ぶ。CVSのガイドウェイは網目状にはりめぐらされているわけであるが、最小100メートル間隔のメッシュをカンタムとよび、次に1キロメートル間隔のメッシュ・

モジュールがあり、そのモジュールをかこむウェイとしてスーパーウェイがある。ストップは上図の黒点のようにカンタムレベルでこまかく配置されるのが理想である。この図は地下鉄駅を起点としたカンタムを考えている。

図4.2 CVSの路線網

第五章

要素設備

この章では、まず路線容量について一般的に考え、次にシステムの地上設備である本線、オフライン駅、乗換駅、交叉点・三叉点と、車両の持つべき特性、構造について述べる。

大量の旅客を高密度に輸送する大都市の基幹交通システムでは、構成要素すべてが高密度輸送に耐える路線容量の大きい構造でなければならない。

5.1 路線容量

路線容量とは、単位時間に路線を通り得る輸送単位の数のことである。路線容量と輸送単位の定員の積が、路線の輸送力となる。軌道拘束型の交通機関が十分な輸送力を持つためには、輸送単位の大きさに応じて路線容量が大きい必要がある。鉄道では列車でなく車両を単位と考えることもできるが、現在の大都市圏内の輸送では列車が分割併合される例は少ないので、列車を輸送単位と考える。

定速走行で分岐がないとき、路線容量は輸送単位の線密度と速度の積である。線密度は、路線の単位長さあたりの輸送単位の数である。

分岐のない単純なシステムでは、全体の路線容量は線上で最も路線容量の小さい部分によって決まる。鉄道の場合、路線容量は通常、駅（副本線（側線）のない棒線駅）の部分で定まる。駅中間の線路は、駅部分より路線容量が大きいのが普通である。

5.1.1 既存システムの路線容量

鉄道

鉄道の列車密度（輸送単位の線密度）は非常に低い。輸送単位が非常に大きいシステムなので輸送力はそれほど小さくないが、この点を考慮しても、停止状態でさえ列車長の2倍の列車間隔が必要で、相対的な意味でも密度が低いことになる。

この原因は、現在までの鉄道の信号システムが固定閉塞を採用していることと、先行列車の速度を考慮しない過度に安全側の制御を行っていることである。固定閉塞とは、線路を数百m～数kmの区間に区切り、排他制御を行う方式である。ある閉塞区間に列車がいる場合、後方の数区間にわたっ

て速度制限を設け、追突を防止する。先行列車の速度を考慮しない制御とは、先行列車は常に停止しているものと仮定し、後続列車がその位置の後方に停止するような速度制限を課す制御のことである。

固定閉塞方式では閉塞区間の中のどこに列車がいても後方の速度制限に差を設けないため、列車密度を向上するときに障害となる。つまり、先行列車が閉塞区間の最も後方にいる場合にも追突が起きないように速度制限を課さなければならないので、先行列車が前方に進んでも、この閉塞区間から抜け出るまではその効果が後方に伝わらない。このような閉塞区間の量子化誤差のため、列車密度を高くすることができない。

先行列車の速度を考慮しない速度制御は、先行列車が突然煉瓦塀に激突して瞬時に停止した場合でも後続列車が追突してはならない、という思想 (brick wall 衝突に対する安全性の仮定) に基づいている。しかし、このような瞬時停止はごく稀であり、大都市圏の輸送システムではこれによる路線容量の減少の方が重大な問題である。

固定閉塞方式は古い技術で鉄道の安全確保に貢献してきたが、大量輸送機関には不適切である。鉄道の新技术として先行列車の速度情報も用いた移動閉塞方式が実験されているが、まだ実用化はされていない。

道路交通

一方、道路交通の車両密度 (輸送単位の線密度) は高い。加減速度が大きく、人間の能力に全面的に依存して車両を制御しているためである。鉄道に比べて事故率が桁違いに大きいことは無視できないが、基本的には人間の制御能力は極めて高い。車間距離 1m で停止させることは誰でもできるし、100km/h の走行でも車間距離が 20m 以下になることは珍しくない。

先行車に追従するときに運転者が使う情報は、主に先行車と自車の距離・両車の速度差である。加減速度については、一般には人間の検知能力は低いので、利用していないとみなしてよい。鉄道と異なり、先行車との距離を量子化誤差なしに使えることと先行車の速度情報を活用していることのために、車間距離を詰め、車両密度を上げることができる。

人間の限界は、情報の検知・判断・操作に時間がかかり制御遅れを生じることと、不確実なところにある。これは事故の大きな要因であり、渋滞の一因ともなる。制御遅れの問題がなく制動時の減速度の差がなくなれば、高速走行時の車両密度も停止時と同じにできる。

5.1.2 大都市基幹交通システムの場合の考え方

大都市圏の基幹交通システムは、鉄道のように低い輸送単位の線密度では、機能を果たすことが困難である。一方、これからの交通システムでは、道路交通のように高い事故率を許容することもできない。

そこでこの研究では、大量輸送のためのコストは社会的に認められる、という思想により、車両を理想的に制御できると仮定する。このとき、brick wall 衝突に対する安全性の仮定は採用しない。すなわち、先行車が瞬時に停止するような異常時には、後続車の安全を保証しない。

具体的には、全車両を理想的に制御することにより、間隔が 0 でもそれを保ったまま加減速できる

と仮定する。つまり、輸送単位を車両としても見かけ上列車と同等の走行が可能だと考えるわけである。実際には、車両の最小間隔は必要な路線容量を得るための最大値を仮定する。車両間距離が大きいほど、実現が容易で異常時の安全性に対する余裕が大きいと考えられるからである。

鉄道では輸送単位の線密度の低さを輸送単位の大きさに補っていたが、これは必要なくなる。この研究では車両を輸送単位とする。

この研究では車両制御の実現技術には言及しないが、例えば循環式ロープウェイのようにワイヤに車両を固定する方式でも、安全を確保することはできる。

5.2 本線

本線は分岐の分岐側を含まない路線で、複線を考える。本線上では、車両は以下に示すような「枠」に従って走るものとする。

枠は仮想的なもので、本線上を一定速度で移動している(図5.1)。枠の長さは車両長より長い一定値で、隣接の枠との間隔は0とする。車両が本線を走行するときは予め枠を一つ予約し、本線上では枠の中央に位置するように制御するものとする。

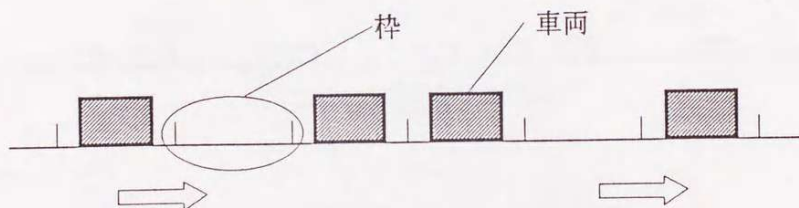


図5.1 本線上の枠

複線の両本線の位置関係は、環境によって変える。このシステムを地表に設置して用地を占有するならば、両本線を上下方向に2層として敷地面積を小さくするのが、コスト上有利である。しかし、地下に設置する場合や、地上であっても上下の空間を別の目的に使用する場合には、必ずしも2層構造が有利とは限らない。システム全体の高さが重要になる場合もあるからだ。

6.3のようにこの研究では、システムのコストを路線延長で表し、敷地面積ではなく容積によって決まるものとする。実際の構造上2層構成とすることはあるが、この論文の議論で図を用いて説明するときは、両線が水平面上に並んでいるものと仮定して表現する。また、路線網のマクロな形状を説明する図では、複線からなる本線を一本の実線で示す。

5.3 オフライン駅

オフライン駅は路線としての輸送力を高く保つための乗降設備である。まず、輸送力と直接結びつく路線容量の向上についての一般論を述べ、次にオフライン駅の構造を示す。

5.3.1 オフライン駅による速度の維持

車両密度を高くすることができても、速度を高く保たなければ路線容量は増えない。速度を維持する上で問題となるのが駅である。

すべての車両が駅に停車しなければならないのであれば速度の維持は不可能で、駅部分の路線容量の減少は路線数を大幅に増やすことで補わなければならない。しかし、車両を輸送単位とするならば各駅で全車が停まる必要はなく、それぞれの駅では大部分の車両が通過する、という形にすることができる。

5.3.2 オフライン駅の構造

駅に停車する車両が通過車両に比べて少なければ、図5.2のように側線一本を持つオフライン駅によって通過車両の速度を維持することができる。この駅に停車する車両は、本線から離れた後に減速を開始し、合流する前に加速を完了する。このように、側線をホームだけでなく加減速区間にも設けることで、駅のある部分でも被分岐側の路線は5.2の本線として車両が枠に従って等速度で走行するようにできる。

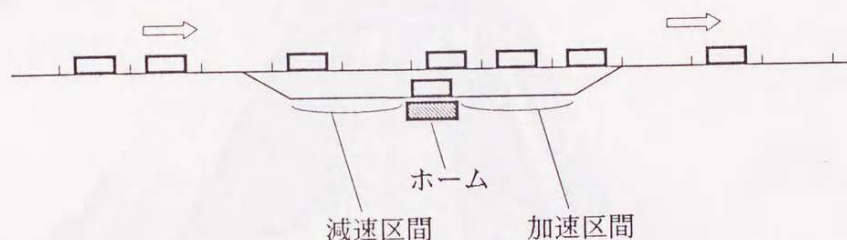


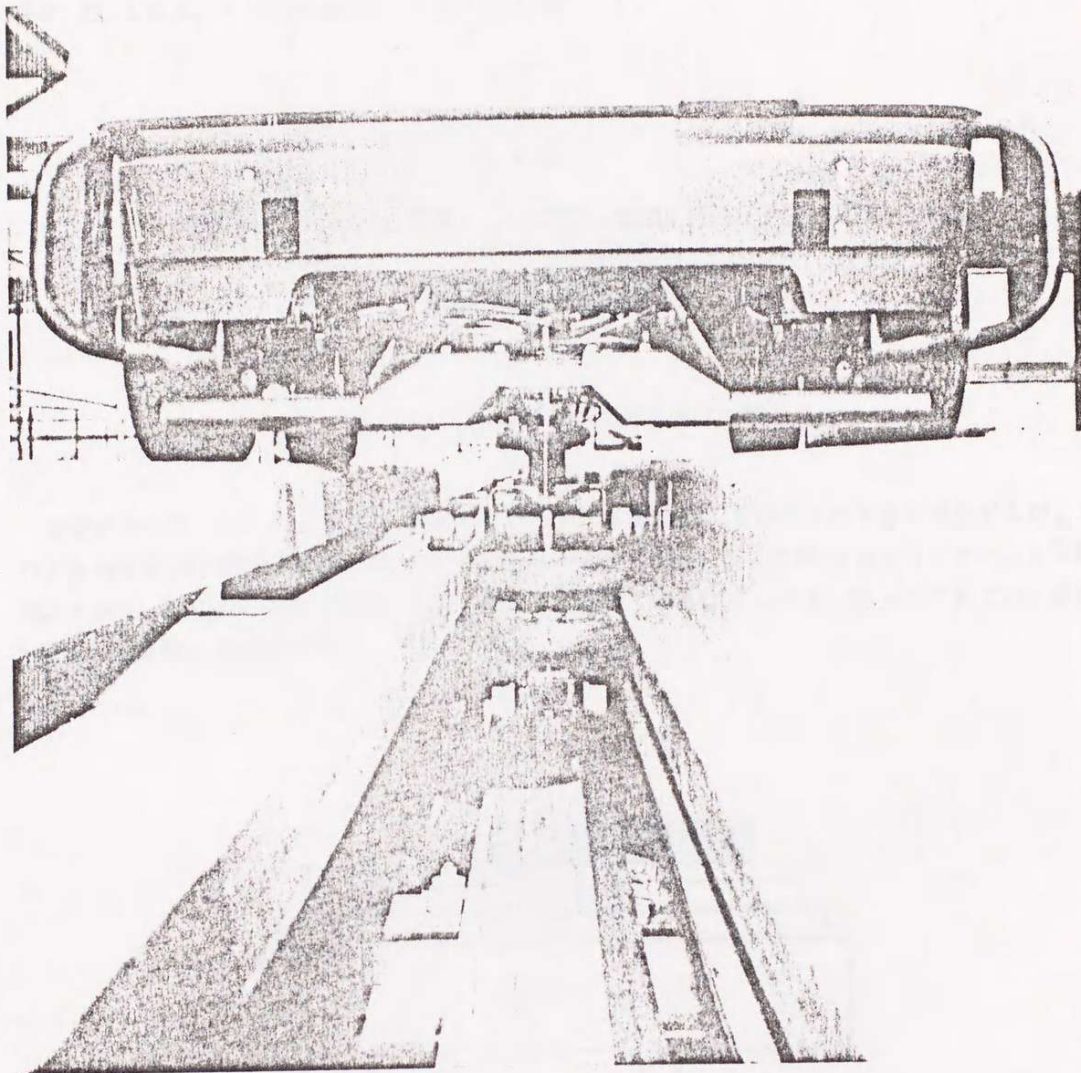
図5.2 オフライン駅

オフライン駅を実現するためには、通過車と停止車を短い間隔で振り分ける分岐設備が必要である。これは鉄道の転轍器でも困難だが、車上分岐(図5.3[1])方式によれば可能である。

鉄道にも追い越しのできる駅はあるが、路線容量の駅中間部に対する減少は避けられなかった。高速通過が可能で転換も高速な転轍器と充分長い副本線があれば、鉄道でもオフライン駅は実現できるが、列車長が長いと単独車両が走るシステムよりもはるかに長い副本線が必要だという現実的な問題がある。車両を輸送単位にすると、オフライン駅の実現が容易になるというメリットも生ずる。

本線が複線なので、オフライン駅も両方向の本線に対して1ホームずつ、二つのホームを設置する。両ホームで利用者の乗降を行う車両は相互に分離されているが、今後は駅というときは、両ホームを合わせたオフライン駅を指すことにする。

輸送需要が大きい場合、オフライン駅は同時に複数の車両の乗降を扱える必要がある。図5.2のオフライン駅では一台が停止して乗降を扱うことしかできないが、図5.4のように同時に複数の車両が



CVSのガイドウェイ CVS車両とガイドウェイ部分の接触しているところを示す写真である。16ページの図の左側はこの写真の模式図として見ることもできる。写真中央のガイドウェイ中央の誘導溝中に挿入されているのは、小平アームとよばれている。これは自動車と同様な前輪操舵機構に接続している。このアーム前端にとりつけられた水平誘導輪がガイドウェイのレールに沿ってころがり、ガイドウェイ分岐上での右左折はこのアームが右左におしつけられることによってなされるようになっている。

図5.3 車上分岐の例

乗降を扱える駅が必要になる。駅のホームで同時に乗降を扱える車両の数のことを、ホーム容量と呼び、 C_p と表す。ホーム容量については 11.1 で説明する。

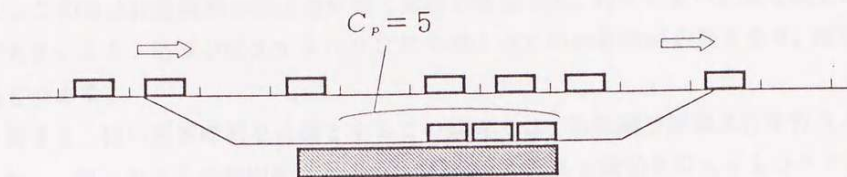


図5.4 5台まで乗降可能なオフライン駅

容量が2台以上のホームでは、利用者が乗降している間に車両を移動させる必要が生ずるが、このときの速度(乗降速度と呼ぶ)が高すぎると乗降が困難になる。そこで図5.5のようにホームに可動部分を設け、固定ホームから車両にかけて順次速度が速くなるようにする。 $C_p = 5$ の駅では、最低2段階の可動部分が必要である。

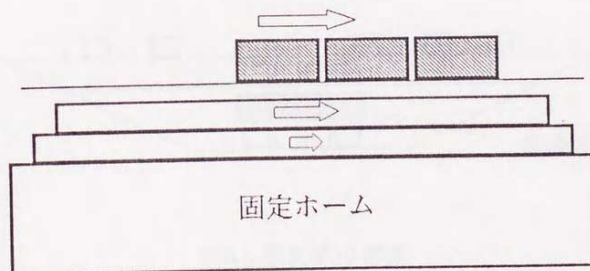


図5.5 可動型ホームの構造

5.3.3 枠の予約

車両の制御は枠によって行い、車両を運行する前に枠を予約する。駅からの出発時には、予約した枠にちょうど合流できるように加速を行う。CVSなどで採用しているムービング・ターゲット方式と同等の概念である[1]。

5.4 乗換駅

5.4.1 乗り換えの必要性

現在の鉄道では、利用者が歩いて移動することにより、列車の直通なしにネットワーク輸送を実現している[†]。この方法は路線間の独立性が高く実現が容易だが、短所も多い。乗り換えにかかる時間と労力が大きいこと、路線が交叉するたびに乗り換えのための停車が必要となり、乗車時間が増えることなどである。

この点を踏まえ、短い所要時間を目標とするこの研究では、路線間で直通運行を行うことを基本にする。しかし、CVSのような個別輸送と違い、定員 $c=100$ 人を輸送単位とするシステムでは、乗り換えによって途中停車を減らすことにより、乗換時間を相殺した上でさらに所要時間を短縮できる可能性が大きい。

そこでこの研究では、乗換時間の短い乗換駅を使い、所要時間が短くなる限りにおいて乗り換えを認めることにする。

5.4.2 乗換駅の構造

乗換駅は、図 5.6 の構造とする。乗換駅もオフラインだが、乗換ホームの両側を利用して乗換時間の短縮を図る。分岐はすべて高速（巡航速度）で分岐できるものとする。本線上では車両の間隔は 0 でないが、乗換駅では車両は前後に間隔なしに停止するものとする[‡]。

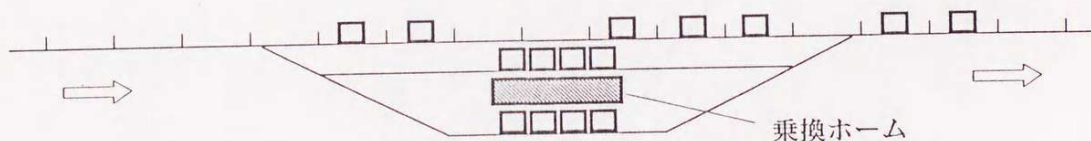


図 5.6 乗換駅の構造

5.5 交叉点・三叉点

5.4.1 で述べたように、車両を路線間で直通して運行するためには、渡り線の設備が必要である。路線網の構成により交叉点と三叉点のどちらを使用するかは異なるが、図 5.7 または図 5.8 の構造とする。

渡り線の部分でも 5.2 に準じて柵を想定する。曲がる方向によって渡り線の長さは異なるが、柵が複線の中心線に沿って走行すると仮定したときに柵の速度が等速度になるように、速度を微調整し

[†]いわゆる相互乗り入れは、郊外部の路線と都心部の路線の結合であり、ネットワーク輸送に貢献する列車の直通は稀である。

[‡]図では車両を連続して描くと不明瞭なので、乗換中の車両にもわずかな間隔をとる。

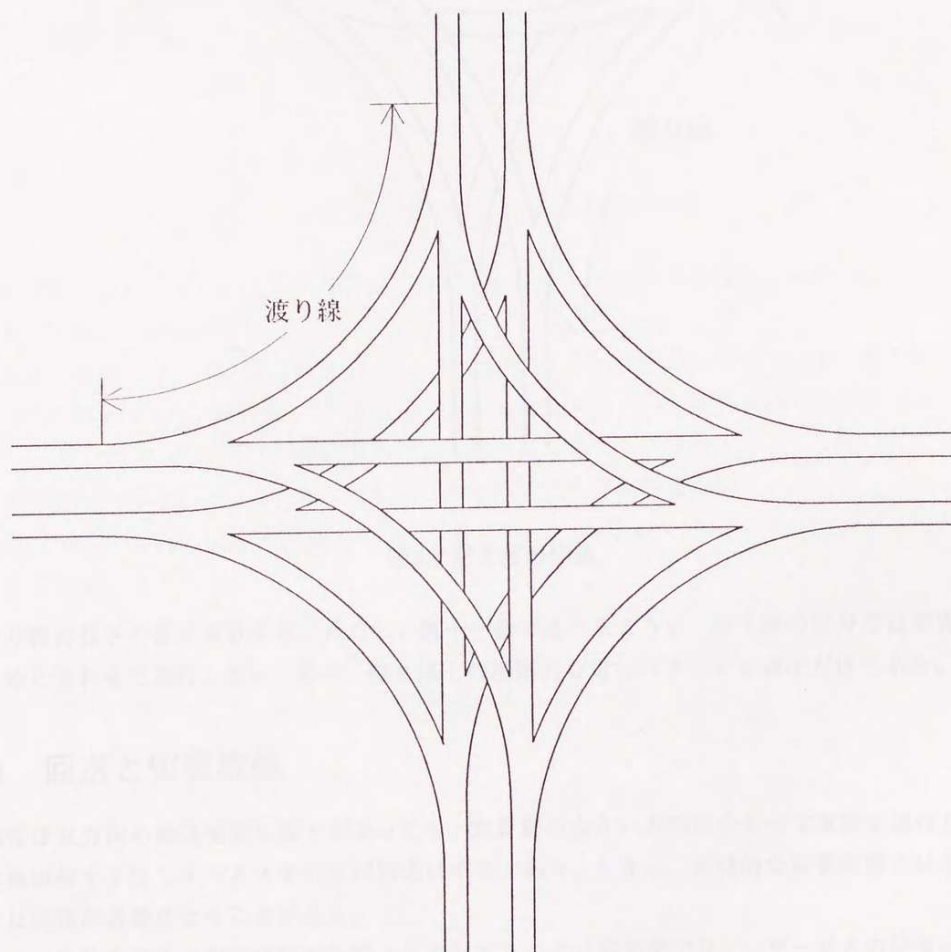


図5.7 交叉点の構造

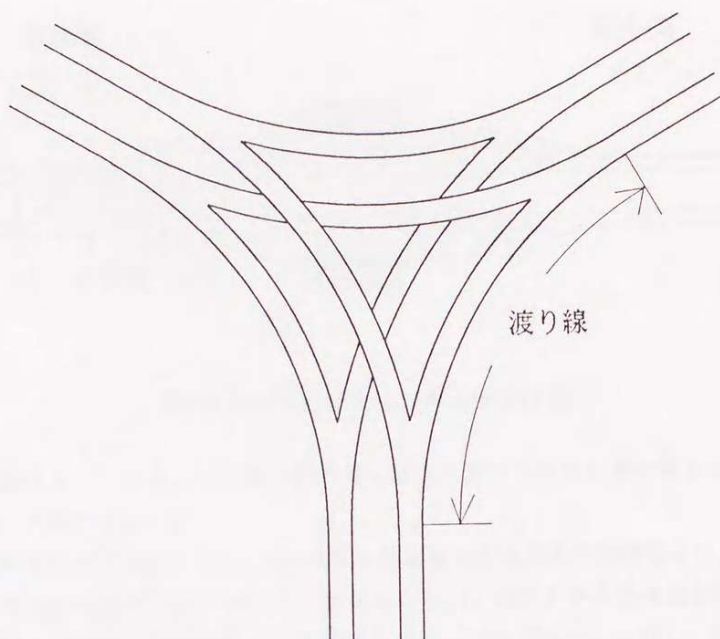


図5.8 三又点の構造

て渡り線の長さの差を吸収する。ただし、第十一章で述べるように、渡り線の部分では車両は必ずしも枠に合わせて運行しない。枠は、渡り線上の標準的な走行パターンを表すだけである。

5.6 回送と留置設備

通常は双方向の輸送需要に偏りがあっても、需要量の大きい方向に合わせて車両を運行し、逆方向は乗車率を下げてサービスを行えば回送は不要である。しかし、突発的な需要変動に対応するためには回送が必要になることがある。

また、多数の車両が空車状態で本線上を走行することは効率的でなく、サービスの障害になることもあるので車両の留置設備が必要になる。

この研究では車両の留置設備は、郊外駅に付属しているものとする。この理由を以下に示す。

13.5で議論するが、都心駅は長さの点で都心枝の大部分を占め、都心枝の長さを規定する重要な要因である。このため、都心駅に留置設備を設置するのはスペースの点で困難である。また、郊外駅に留置設備を設ける場合は、車両がサービスを開始するのは上り側のホームに限られ、サービスを終了するのは下り側のホームに限られる。そこで、駅の郊外側に留置設備を設ければ(図5.9)、サービスを完了した車両を受け入れ、サービスを開始する車両を送り出すことができ、折り返し機能も兼ねることができる。

ところが、都心駅の場合は両ホームがサービス開始点とも終了点ともなり得るので、留置設備は

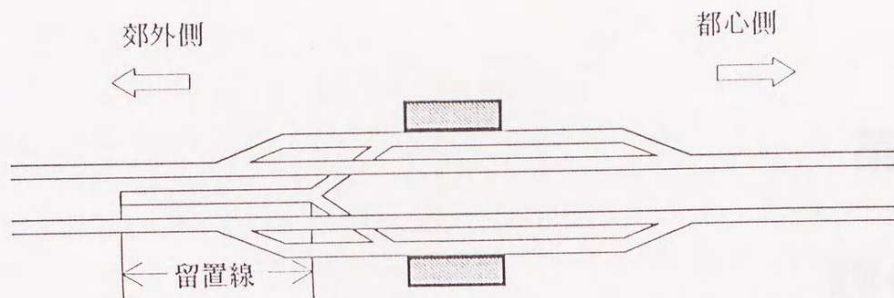


図5.9 郊外駅に付設した車両留置設備

駅の一方にだけ設けるとしても、反対側に折り返し設備を設けなければ都心駅に留置設備を設けるメリットは半分しか活かせない。

留置設備を郊外線だけに設置すると、下り方向の輸送需要が支配的な時間帯には、都心駅からサービスを開始する車両を郊外駅から回送しなければならない。運行を予め決めた運行計画に従って確定的に行う場合は、計画的に留置設備から回送車を出発させればよい。しかし、輸送需要が予測に反して増加した場合には、その時点で回送車を郊外駅から出発させたのではサービス開始までに長い時間がかかってしまう。この対策のために、都心部の路線網上に必要最小限の空車を巡回させておくことにする。

この研究では、回送と留置設備についてこれ以上厳密な議論は省略し、理想的であるとする。つまり、郊外駅の留置設備には十分な容量があって必要なときに車両を送り出せるとし、都心部には必要な数の空車が巡回していて回送の時間は無視できるものとする。

第六章

評価量

6.1 前提

この章では、大都市の基幹交通システムを評価するための指標を定義する。

この研究で提案するシステムは、前提として輸送需要を量的に完全に満たすだけの座席を提供する。したがって、混雑度は評価量に含めない。

逆に、評価のためには輸送需要を上回る輸送力は提供しないものと仮定する。過剰な輸送力があれば、これを活用することにより、運行頻度を上げて待時間を減らしたり途中停車を少なくして乗車時間を短縮することは、容易だからである。現実のサービスで車両数に余裕があるときには、乗車率を下げて待時間を減らすこともあり得る。ただし、このような輸送余力によるサービス改善についてはこれ以上議論しない。

第十五章を除き、輸送需要量は時間的に一様と仮定している。したがって、車両は一定の運行周期ごとに運行するものとする。そして、この需要を満たすために必要な最小限の輸送力を提供するものとして、時間面のサービスを論じる。具体的には、サービスのために運行する車両は、運行中の少なくとも1区間で定員に達する、つまり乗車率は100%になるものとする。

6.2 所要時間に関する評価量

6.2.1 損失時間

損失時間は、利用者の視点でシステム内の所要時間を評価する量である。「直行時間に対する所要時間の増分」と定義する。損失時間は、巡航速度と乗車距離に直接依存しない量で、システム内の車両の運行方式による所要時間の変化を表す。これは、路線形態を固定してサービスを比較するとき用いる。

まず所要時間は、利用者がシステム内で費やす時間のことである。利用者が出発地から他の交通機関または徒歩によってシステムの駅に到着した時点から、目的地の最寄り駅を出る時点までの経過時間である。所要時間は、

- 乗車前の待時間

- 乗車時間
- 乗換時間

からなる。乗車時間には、途中駅で停車している時間も含む。

次に直行時間は、仮想的な量で、ある利用者のために専用車両を運行した場合の最短所要時間を表す。この利用者の利用区間を、途中駅に停車しない車両が最短経路で走行するとした場合の乗車時間である。乗車前の待時間も0と考える。

所要時間自体は巡航速度と乗車距離に依存するが、これら二つの量の影響は直行時間に含まれているので、差の損失時間は直接の影響を受けない。ただし、加減速時間は巡航速度に依存するため、巡航速度と損失時間は完全に独立ではない。また、乗車距離が長いときは途中停車の可能性が増えることもあるので、乗車距離と損失時間も完全に独立ではない。

損失時間は、具体的には以下の成分からなる：

平均待時間 システムの駅に利用者が到着してから、最初に乗車する車両が出発するまでの時間。平均値をとる。

停車損失 利用する車両が途中駅に停車する場合に、この駅を通過する車両に対して余分にかかる時間。停車時間だけでなく、加減速中に生じる差も含む。

迂回損失 利用する車両が途中駅に停車するために、走行経路が利用者にとっての最短経路より長くなることによる時間増。

乗換損失 利用する車両が乗り換えを行う場合の、乗換駅を通過する車両に対する時間増。乗換駅で待ち合わせが必要なときは、その時間（乗換駅待合せ損失）も含む。

以上の各成分は、一般には利用者がこのシステムを利用する区間によって異なるが、ある車両運行方式の下でのすべての利用区間の損失時間の最大値を評価量とする。

6.2.2 旅行時間

旅行時間は、システム外の歩行時間を含む所要時間である。路線網を固定した場合は、6.2.1の損失時間でサービスを評価できるが、路線網構成を最適化するときには、旅行時間による評価が必要になる。

旅行時間による比較が意味を持つのは、網状の路線網を用いる場合、網の目が細かく駅の間隔が短いほど歩行時間は短くなるが、細かい網では曲線半径が小さいので車両の走行速度が低くなるためである。したがって、網の目の細かさには、最適サイズがあることになる。

3.1の需要モデルで郊外線は固定しているので、評価には都心部の旅行時間を用いる。旅行時間は直行時間・損失時間・歩行時間の和である。損失時間は6.2.1で定義したものを用いる。直行時間は全利用者の平均をとるが、システム外の歩行時間は都心駅から用務地まで歩くのにかかる時間の全利用者についての最大値をとる。利用者は都心の用務地のマクロな位置は選べるが、ミクロな駅との位置関係は選べない、という考え方による。

6.3 路線延長

2.3で述べたように、このシステムのコストはシステムの占める容積で評価する。だが、路線の断面積は単線あたりで考えればほぼ一定なので、路線延長によって容積を比較することができる。容積の代りに使う評価量だから、交叉点・三叉点の渡り線や、(乗換駅を含む)オフライン駅の加減速区間も路線延長に含める。一方、駅のホームは、簡単のために除外する。ホームそのものを路線延長に換算することは容易だが、駅設備の中で、ホームの純粋な機能を切り離すことが困難なためである。

6.4 迂回に関する評価量

6.4.1 経路距離比

経路距離比は、実際に経由する路線に沿った経路長の直線距離に対する比である。都心部で網の形状を比較するのに用いる。

6.4.2 迂回比

経路距離比が経路長と直線距離の比であったのに対し、迂回比は経路長相互の比である。

二駅間の経路は一般に多数あるが、車両は最短経路(一通りとは限らない)に沿って運行する。しかし、車両が三駅以上に停車する場合、間に停車駅をはさむ駅間の経路は必ずしも最短経路にならない。そこで、この経路長の最短経路長に対する比を迂回比と定義する。車両が三駅A, B, Cにこの順に停車するとき、AC間のBを経由することによる迂回比 $D_{AC}(B)$ はAB, BC, AC間の最短経路長 R_{AB} , R_{BC} , R_{AC} を使って、

$$D_{AC}(B) = \frac{R_{AB} + R_{BC}}{R_{AC}} \quad (6.1)$$

と表せる。

第七章

前提とする定数

第六章の評価量を算出するための定数を表7.1に示す。

表7.1 前提とする量

最大巡航速度		$v_o = 30\text{m/s}$
最大加速度	床に平行な方向	$a_h = 2.5\text{m/s}^2$
	床に垂直な方向	$a_v = 1.25\text{m/s}^2$
最大加加速度(ジャーク)		$j_o = 2.5\text{m/s}^3$
枠の時間間隔		$t_h = 1\text{s}$
車両の長さ		$l_c = 20\text{m}$
車両の幅		$w_c = 3\text{m}$
車両定員		$c = 100$ 人
乗降時間	駅(乗車または降車のみ)	$t_{e1} = 15\text{s}$
	乗換駅(乗車及び降車)	$t_{e2} = 30\text{s}$
停車余裕時間	駅	$t_{b1} = 10\text{s}$
	乗換駅	$t_{b2} = 20\text{s}$
乗降速度		$v_b = 3.3\text{m/s}$
乗換時歩行速度		$v_c = 0.8\text{m/s}$
システム外歩行速度		$v_w = 1.1\text{m/s}$

最大巡航速度 v_o は、本線上を車両・枠が走行する速度の実現可能な最大値である。郊外線には曲率半径の小さい曲線はないので車両・枠は実際に v_o で走行させるが、都心部では $v_d \leq v_o$ なる都心部巡航速度 v_d を巡航速度とする。これは、都心部では短い間隔で交叉点または三叉点があることとなるので、渡り線の長さが制限されて a_h, a_v, j_o の制約のために v_o を維持できないことがあるためである。都心部では渡り線の長さは交叉・三叉点間の本線の長さに対して無視できないので、本線と渡り線の巡航速度は共通に v_d とする。 v_d は、旅行時間を最短にする値を選ぶ。

床に平行な方向の最大加速度 a_h 、最大加加速度 j_o の値は文献[6]から得た。これは、全員着席を

前提としてはじめて許容できる大きさである。欧米の路面電車で全員着席のものには、 2m/s^2 の例がある。床に垂直な方向の最大加速度 a_v の値は、エレベータの場合の値 0.9m/s^2 [7] が立ち客を前提としたものなので、全員着席を前提としてこれより大きくしたものである。

枠の時間間隔 t_h は、CVS の値を採用した (4.3.2 参照)。巡航速度が v_0 の郊外線上では、枠の長さは $v_0 t_h$ 、都心部では $v_d t_h$ となる。

車両の大きさ l_c, w_c, c は、鉄道車両を参考に決めた。横 5 列、縦 20 列の座席を持ち、車両側面から乗降できるものを想定した値である。

t_{e1} は乗車または降車のどちらか一方のみを行うときにかかる時間で、 t_{e2} は乗車と降車を行うのにかかる時間である。これは、乗降する人数に依存しないものとする。このための車両の構造としてドア数が充分多いものを想定する。

t_{b1}, t_{b2} はそれぞれ t_{e1}, t_{e2} に対する余裕時間である。この研究では全員着席を前提としているので乗降時の突発事態はこの時間内に収拾できるものとする。

v_c は乗換駅のホーム上の平均歩行速度で、ホーム上に人が多数いることを考慮した値である。

v_w は通常の人間の歩行速度で、旅行時間を求めるのに使う。第三章の需要モデルで郊外部は駅を需要源と考えているので、都心部でのみ使用する。都心部の用務地と最寄りの駅の間を歩く速度で、直線距離を歩くものとして評価する。

大都市用群運行システムの概要

第三部

基本概念の提案

第八章

大都市用群運行システムの概要

この研究では、大都市の新しい基幹交通システムとして、大都市用群運行システムを提案する。大都市用群運行システムは、群運行、蜂の巣網、予約運行を特徴とする。

群運行は、利用者にとっての所要時間を小さくするために、複数の車両を乗り換えによって結ぶ運行方式である。各車両が独立にサービスを行う単独運行に対し、閑散時の時間短縮効果が大きい。

蜂の巣網は、都心を覆う路線網である。駅の面積密度が高いのに対して、路線延長が短く迂回が少ない。

予約運行は、5.2に定義した枠を車両の運行開始前に予約する方式である。駅についてもホームに空きがあることを確認して予約する。これにより路線網の途中で待ち合わせが起きることを防ぎ、車両を高い密度で運行できることを保証する。

第九章

群運行

9.1 一次元モデル

一次元モデルは図9.1のような需要モデルである。群運行はこのモデルに従って説明する。線上に駅が並んでおり、利用者が出発する出発駅(○)と到着する到着駅(●)が分かれている。駅の数は無制限とし、一出発駅と一到着駅の任意の組合せに対し、等しい大きさ f の輸送需要があるものとする。3.2で仮定した通り、 f は時間的にも一様とする。



図9.1 一次元モデル

第十三章、第十四章で $f = 1.4 \times 10^{-4} \text{人/s} \sim 4 \times 10^{-2} \text{人/s}$ の範囲の輸送が必要になるので、これを含む f の範囲を考える。

9.2 群運行の定義

一般に乗り換えを行なうと車両や列車の利用者が多様化して運行間隔と待時間を短縮できるが、鉄道では、乗り換えによる損失時間が大きい。これに対し群運行では、同一ホーム上で乗り換えのできる図5.6の構造の専用の乗換駅を使用し、乗換駅での待時間・歩行距離を短縮して乗り換え時間を小さくする。乗換駅は、図9.1の一次元モデルで出発駅と到着駅の境界部に必要数あるものとする。

群運行では、 n 台の車両が一つの輸送群を作る。(以後、単に群と呼ぶことがある。) n 台の群を周期的に運行して、定常的なサービスを行う。輸送群内の車両は、すべて等しい数の駅をサービスする。各車は以下のようにサービスを行う:

1. s 出発駅に停車して利用者を乗せる。
2. q 乗換駅に停車して他車と乗り換えを行う。
3. d 到着駅に停車して利用者を降ろす。

2. の乗り換えが q 回連続して行えるように、乗換駅は一次元モデルの出発駅と到着駅の間に、直列にも並列にも必要な数だけあるものとする。一つの乗換駅で p 台の車両が相互に乗り換えを行い、群全体では $\frac{n}{p}$ の乗換駅で並行して乗り換えが進行する。利用者が出発駅で乗車するのが n 台のうちのどの一台であっても、途中 q 回以内の乗り換えによって他の $n-1$ 台へ乗り換えられるようにする。このとき乗り換え方法が一意に定まるように乗換駅での車両の組合せを決めると、

$$n = p^q \quad (9.1)$$

となる。各乗換駅で利用者には、自分がそこまで乗ってきた車両も含めて p 通りの選択肢があるので、 q 回の乗換で p^q 台に乗り換えられるということである。($q=0$ は単独運行を表す。)

(s, d, p, q) の組合せによって輸送群が規定できるので、これを輸送群パラメータと呼ぶ。

図9.2 に群運行を2例、各車が乗車または降車を扱うサービス駅と、他の車両との乗換を扱う乗換駅によって示す。

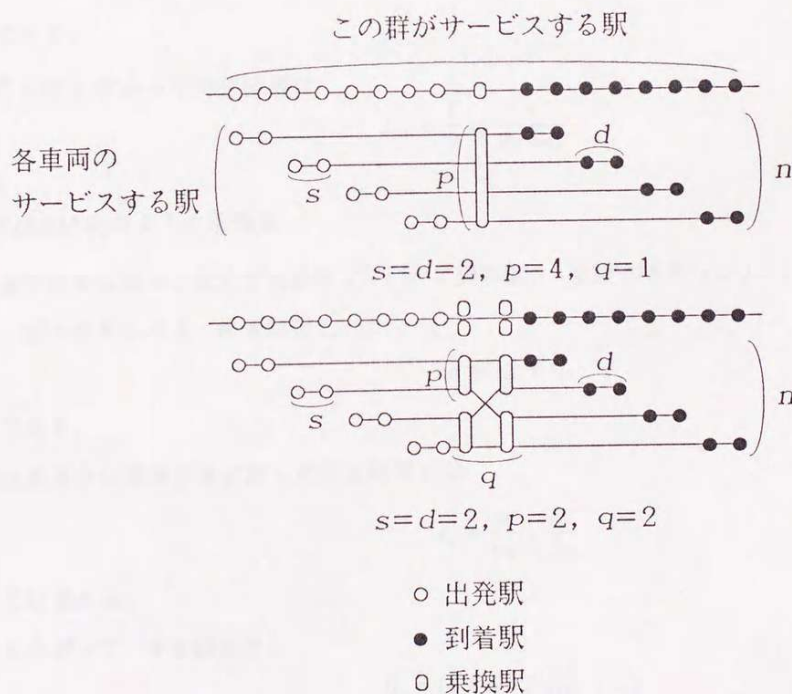


図9.2 輸送群を構成する車両のサービス駅の例

9.3 理想的な損失時間

理想的な損失時間は、図9.2のように駅が直線上に並び適切な場所に乗換駅があって、任意の (s, d, p, q) を選べ、乗換時に待合せが生じないと仮定した場合の値である。ここでは、 $v_d = v_0$ と仮定する。

損失時間 L は、6.2.1で述べたように平均待時間 L_w 停車損失 L_s 乗換損失 L_c の和である。

まず、平均待時間 L_w は運行周期 T の $\frac{1}{2}$ である。運行周期 T は、最混雑区間の乗車率が1になるように決める。一出発駅から一到着駅への輸送需要量が f のとき、輸送群パラメータが (s, d, p, q) の群の運行周期 T は次のように決まる:

1. 一つの出発駅から到達できる到着駅の数 nd である。
2. 一台の車両がサービスする出発駅の数 s である。
3. この車両が最初の乗換駅に到着する時点(最混雑区間)で乗っているのは、 s 出発駅から nd 到着駅への利用者である。
4. 一出発駅と一到着駅の組合せについて一周あたり利用者の数は fT である。
5. s 出発駅から nd 到着駅への一周あたり利用者の数が定員 c に等しいので、

$$sndfT = c \quad (9.2)$$

である。

(9.1) 式と (9.2) 式から平均待時間は

$$L_w = \frac{T}{2} = \frac{c}{2p^q s d f} \quad (9.3)$$

となる。

停車損失は次のように求める:

1. 途中停車回数は、最大で出発駅 $s-1$ 回と到着駅 $d-1$ 回の合計 $s+d-2$ 回である。
2. 一回の停車につき、停車時間 t_{s1} は

$$t_{s1} = t_{e1} + t_{b1} \quad (9.4)$$

である。

3. 加減速中に通過車両に対し加減速時間 t_a は

$$t_a = \frac{v_0}{a_h} + \frac{a_h}{j_0} \quad (9.5)$$

だけ遅れる。

4. したがって、停車損失は

$$L_s = (s+d-2)(t_{s1} + t_a) \quad (9.6)$$

となる。

乗換損失は図9.2の乗換駅配置によって車両相互に同期をとる(乗換駅に連続して到着、出発するようにする)ことができるものとして次のように求める:

1. 乗換回数は q 回である。
2. 乗換客が乗降している間の停車時間 t_{s2} は

$$t_{s2} = t_{e2} + t_{b2} \quad (9.7)$$

である。

3. 加減速時間は t_a である。
4. 利用者が車両の間を歩く時間の最大値 t_w は

$$t_w = \frac{l_c \left(\frac{p}{2} - 1 \right)}{v_c} \quad (9.8)$$

である。

5. 本線上では車両の車間距離が 0 でないが、乗換駅では p 台の車両は車間距離 0 で停車する。この車間距離を乗換駅前後で伸縮するためにかかる時間 t_d は

$$t_d = 2 \frac{(p-1)v_0 t_h - l_c \left(\frac{p}{2} - 1 \right)}{v_0} \quad (9.9)$$

である。

6. したがって乗換損失は、

$$L_c = q(t_{s2} + t_a + t_w + t_d) \quad (9.10)$$

である。

以上から、損失時間 L は、

$$\begin{aligned} L &= L_w + L_s + L_c \\ &= \frac{c}{2p^q s d f} + (s + d - 2) \left(t_{e1} + t_{b1} + \frac{v_0}{a_h} + \frac{a_h}{j_0} \right) \\ &\quad + q \left\{ t_{e2} + t_{b2} + \frac{v_0}{a_h} + \frac{a_h}{j_0} + 2(p-1)t_h + l_c \left(\frac{p}{2} - 1 \right) \left(\frac{1}{v_c} - \frac{2}{v_0} \right) \right\} \end{aligned} \quad (9.11)$$

となる。

次に、損失時間 L を、輸送群パラメータ (s, d, p, q) を変えて最小にする。これには、

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial s} &= t_{s1} - \frac{c}{2p^q d f s^2} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (9.12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial d} &= t_{s1} - \frac{c}{2p^q s f d^2} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (9.13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial p} &= q \left\{ 2t_h + \frac{l_c}{2} \left(\frac{1}{v_c} - \frac{2}{v_0} \right) \right\} - \frac{qc}{2sdf p^{q+1}} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (9.14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial q} &= t_{e0} + t_a + 2(p-1)t_h + l_c \left(\frac{p}{2} - 1 \right) \left(\frac{1}{v_c} - \frac{2}{v_0} \right) - \frac{c \log p}{2sdf p^q} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (9.15)$$

が解ければよい。(9.12) 式(9.13) 式(9.14) 式は代数関数なので解ける。(9.15) 式は超越関数で解析的には解けないが、最終的に (s, d, p, q) は整数解でなければならないので、必要な範囲のすべての整数 q について損失時間 L を求めて比較することにする。

(9.12) 式(9.13) 式(9.14) 式から、 L を最小にする s, d, p は

$$\alpha = 2t_h + \frac{l_c}{2} \left(\frac{1}{v_c} - \frac{2}{v_0} \right) \quad (9.16)$$

を用いて

$$s = d = \left(\frac{c\alpha^q}{2ft_{s1}^{q+1}} \right)^{\frac{1}{q+3}} \quad (9.17)$$

$$p = \left(\frac{ct_{s1}^2}{2f\alpha^3} \right)^{\frac{1}{q+3}} \quad (9.18)$$

となる(図 9.3、図 9.4)。

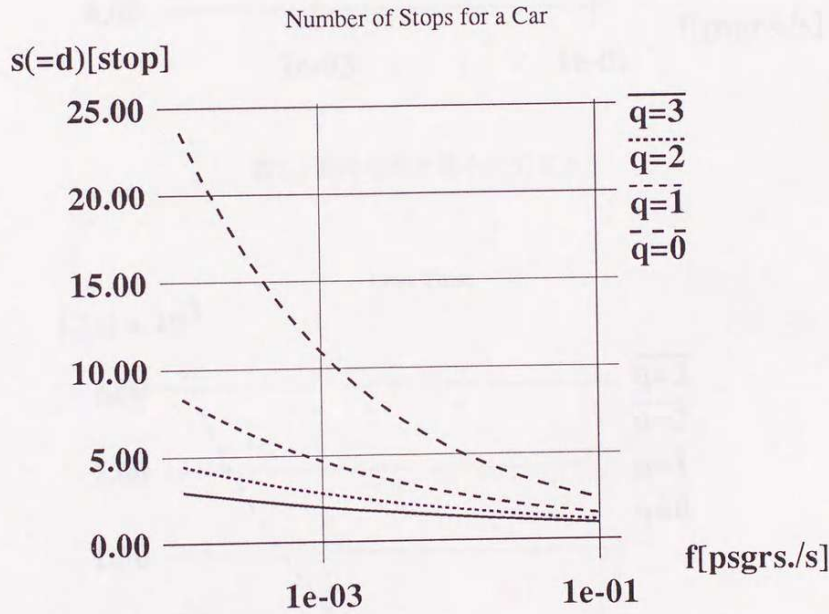


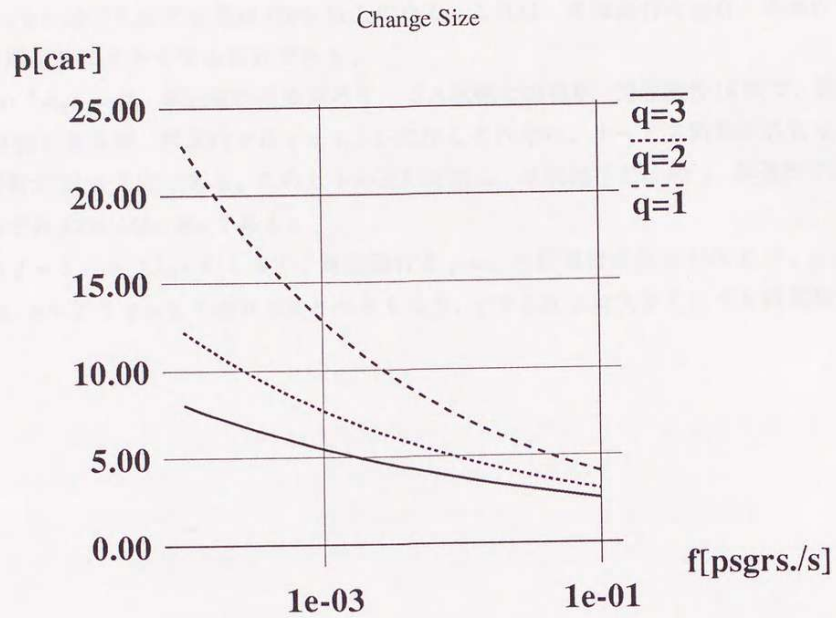
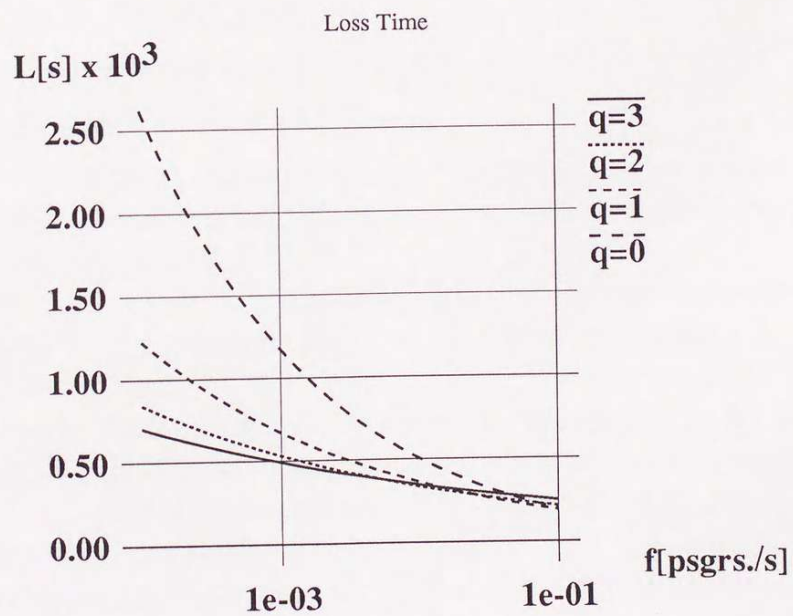
図9.3 損失時間を最小にする $s(=d)$

これを(9.11) 式に代入すれば、 L は q と f の関数として、

$$L = (q+3) \left(\frac{c\alpha^q t_{s1}^2}{2f} \right)^{\frac{1}{q+3}} - 2t_{s1} + q \left\{ t_{s2} - 2t_h - l_c \left(\frac{1}{v_c} - \frac{2}{v_0} \right) \right\} \quad (9.19)$$

となる。 q をパラメータとして表示すれば、図 9.5 のようになる。

一般に f が小さいとき、最小の L を与える s, d, p, q はそれぞれ大きくなる。またそれぞれの q の値に対しては、 q が大きいほど最小の L を与える s, d, p は小さくなる。

図9.4 損失時間を最小にする p 図9.5 s, d, p について最小化した損失時間

単独運行 ($q = 0$) の損失時間は、常に群運行 ($q \geq 1$) より大きい。 $f > 1 \times 10^{-2}$ 人/s では差は 150s 以内だが、 $f < 3 \times 10^{-4}$ 人/s では差は 1200s 以上になる。これは、単独運行の場合、各車のサービス駅数と運行周期が共に大きくなるためである。

$f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s では、単独運行の車両のサービス駅数は出発駅・到着駅各 16 駅で、途中停車回数の最大は 30 回になるが、群運行では $q = 1, 2, 3$ に対しそれぞれ、サービス駅数が各 6, 4, 2 駅、最大途中停車回数が 10, 6, 2 回である。このときの運行周期は、単独運行では 627s、群運行では $q = 1, 2, 3$ に対しそれぞれ 243s, 145s, 96s である。

またこの $f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s のときの、単独運行と $q = 1$ の群運行の差は 850s だが、 $q = 1$ と $q = 2$ の差は 250s、 $q = 2$ と $q = 3$ の差は 80s と小さくなり、 q を 3 以上に大きくしても時間短縮効果は小さい。

第十章

蜂の巣網

3.1では、都心部については範囲と輸送需要の密度だけを規定し、駅・路線の配置は決めなかった。都心部の路線網は、旅行時間が短く、路線延長の短いのが理想である。

まず、路線網の形状を決める。次に、旅行時間が短くなるように駅の間隔すなわちスケールを決める。この作業は輸送形態(どのようなパラメータの輸送群を使うか)に依存するので、13.5で行う。

10.1 路線網形状

大都市用群運行システムの駅は本線に沿っている必要があるので、交叉点や三叉点に設置すると駅の近傍を通りながら駅に到達できない路線が生じてしまう。そこで、駅が交叉点・三叉点の中間にある路線網の形として、次の二通りを比較した。

1. 互いに直交する二組の平行線群で駅をカバーするもの
2. 蜂の巣状の網で全駅をカバーするもの

利用者にとって、旅行時間が小さいときにサービスのよい網だと言えるが、駅の配置を決めるときには、駅と用務地の間の歩行距離の最大値 l_w によって比較の基準とする。図10.1に、 l_w を等しくとって、二通りの路線網形状を示す。

次に、 $l_w = 650\text{m}$ 、 $v_d = 26.5\text{m/s}$ として路線延長を求める。このときの駅の側線の長さは、分岐部(長さ55m)を幅に応じて加重平均すると、473mである。また渡り線の平均半径は210mである(13.5参照)。

1.では、図10.1の単位区画の中に4駅のそれぞれ片側ホーム、本線の長さ $8l_w$ 分、渡り線 720° 分がある。ただし、渡り線の分岐部は渡り線と本線に二重に加算しており、この重複分が分岐部の長さの8倍なのでこれを除くと、単位区画の中の路線延長は9.30kmである。単位区画の面積は $4l_w^2 = 1.69\text{km}^2$ あるので、単位面積あたりの路線延長は 5.50km^{-1} となる。

2.では、図10.1の単位区画の中に二駅のそれぞれ片側ホーム、本線は一辺あたり418mの長さの六辺分、渡り線 720° 分がある。ただし渡り線の分岐部は逆方向への渡り線と共用なので、分岐部の長さの12倍は余分に加算していることになる。これを除くと、単位区画の中の路線延長は5.44kmである。単位区画の面積は $\frac{3\sqrt{3}}{2}l_w^2 = 1.10\text{km}^2$ なので、単位面積あたりの路線延長は 4.95km^{-1} となる。

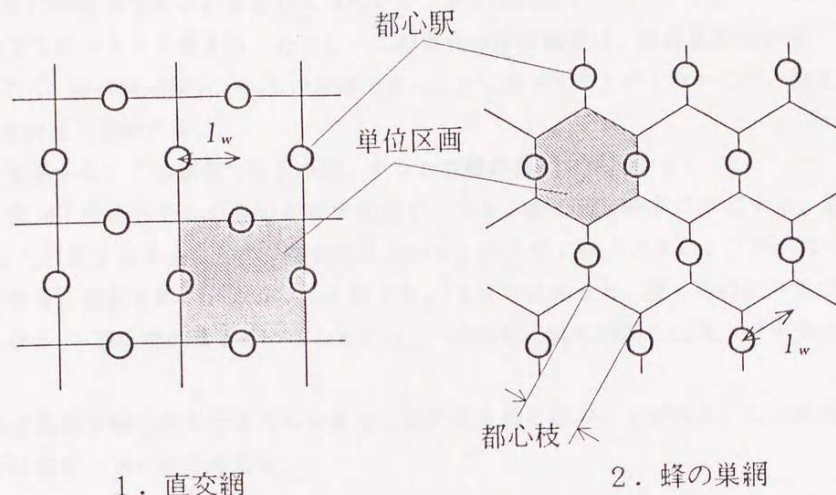


図10.1 比較した網形態

経路距離比は、1.では $\sqrt{2}$ であるが、2.では $\frac{4}{3}$ である。2.の路線延長が短いのは、交叉点では本線に加えて渡り線が必要なのに対し、三叉点では渡り線のみで本線が必要ないことも一因となっている。

分岐時の速度 $\rightarrow +0$ として(駅の側線の長さは変えない)渡り線の長さ $\rightarrow +0$ の極限を考えると、単位面積あたりの路線延長は1.が 4.20km^{-1} 、2.が 4.41km^{-1} となって逆転する。面積あたり駅数は1.が $1.18\text{駅}/\text{km}^2$ 、2.が $0.91\text{駅}/\text{km}^2$ である。結果を表10.1にまとめる。

表10.1 2種の網形状の比較

網形状	面積あたりの路線延長 $[\text{km}^{-1}]$		面積あたりの駅数 $[\text{駅}/\text{km}^2]$	経路距離比
	分岐速度 v_d	分岐速度 $+0$		
1.直交	5.50	4.20	1.18	1.414
2.蜂の巣状	4.95	4.41	0.91	1.333

駅の部分の路線延長は1.の方が長い、駅と本線の合計で渡り線を考慮しないと1.の方が延長が短い。ところが、高速通過のための渡り線を設けると、2.は渡り線の延長の半分は本線が短縮できるのに対し、1.では渡り線の延長がそのまま経路延長の増加になるため、合計すると再び逆転して2.の路線延長の方が短くなる。

経路距離比は、1.では図10.1の水平方向・垂直方向では1だが、これと 45° 異なる方向に対し $\sqrt{2}$ になる。2.では図10.1の水平方向が最小の $\frac{2}{\sqrt{3}}$ でこれは1より大きい、最大は垂直方向の $\frac{4}{3}$ でこれは1より小さい。あらゆる方向にこの路線網を通過する交通流を考えると、経路距離比の最小は

大きくても最大の小さい2.の蜂の巣網の方が優れている。

一方、網の輸送力は簡単には求められないが、第0次近似としては、面積あたりの路線延長の長い方が輸送力が大きいと考える。ただし、この場合の路線延長は、設備量評価に使う物理的な路線延長ではなく、渡り線の長さ $\rightarrow +0$ の極限である。この値は2.の方が大きいので、輸送力に関しても2.の方が有利だと推測する。

以上の結果から、この研究では2.の網、すなわち蜂の巣網を採用する。

なお、図10.1でそれぞれの線分が表す区間のことを、都心枝と呼ぶことにする。都心枝の端は、5.5に示した三叉点によって三本が結合されている。マクロに扱うときは、三叉点は一点とみなし、都心枝が相互に接続されているように表現する。(ミクロに見ると、渡り線の中央までを都心枝に含むことになる。) 都心枝の長さというときには、一本の都心枝の両端の三叉点の中央点の間の距離を示す。

都心部の路線を都心枝と呼ぶのに合わせ、郊外線も枝と呼ぶことがある。この場合、郊外線は連続する全区間を一本の枝と考える。

10.2 都心網構成

13.5で決める都心枝の長さ l_b (蜂の巣網では歩行距離の最大値 l_w に等しい) は、 $l_b = 650\text{m}$ である。この長さの都心枝を使って半径 $R_d = 5\text{km}$ の都心部を覆う蜂の巣網を作ると図10.2のようになり、都心駅数は $N_d = 64$ となる。

現在都心部半径5km 圏内 (18.2参照) の鉄道の駅は、乗換駅を全体で一駅と数えて124 駅ある。これは、大都市用群運行システムの $N_d = 64$ より大きい。しかし港区南麻布には、最寄り駅までの直線距離が1.2km に達する地点 (三田、広尾、六本木の三駅からの等距離点) があり、歩行距離の最大値の点では大都市用群運行システムの $l_w = 650\text{m}$ の方が短い。最都心部の千代田区内で皇居を除いた部分に限っても、歩行距離の最大値は610m (飯田橋、市ヶ谷、九段下の三駅からの等距離点の値) で、ほぼ l_w に等しい。現在の鉄道は多数の駅を持ちながら、駅配置に偏りがあり、歩行距離の短縮には有効に活用していないことになる。

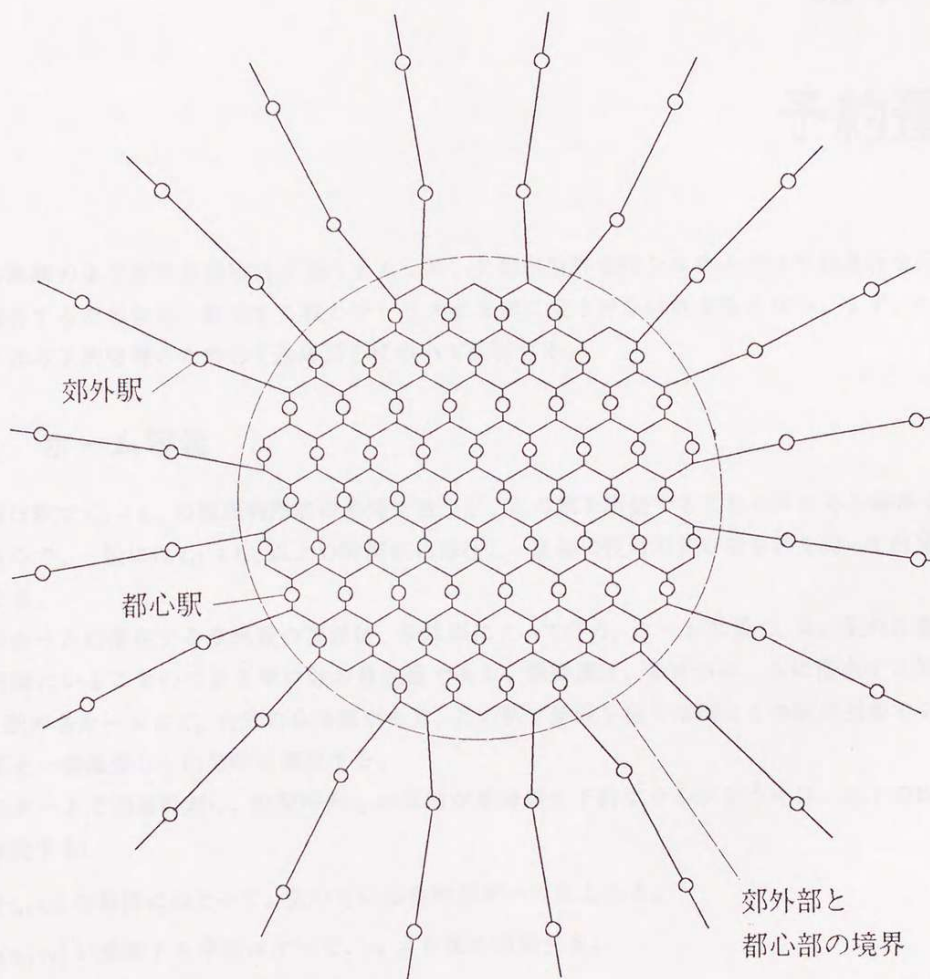


図10.2 蜂の巣網

第十一章

予約運行

蜂の巣網の上で車両を高密度に運行するため、大都市用群運行システムでは予約運行を行う。車両を運行するためには、経由する枝とサービスする駅に空きがなければならない。まず、ホーム容量とこれの予約管理のための「乗降票」について説明する。

11.1 ホーム容量

車両は駅で $t_{e1} + t_{b1}$ の期間利用者の乗降を扱うが、この駅を出発するための枠はある確率で塞がっているので、一般には $t_{e1} + t_{b1}$ 以上の時間駅に滞在し、最初に使用可能な空き枠を待って出発することになる。

駅のホームに滞在する車両数の管理は、乗降票によって行う。ホーム容量 C_p は、駅の片側のホームに同時にいることのできる車両数の最大値である。乗降票は、車両がホームに滞在する権限を表す。各駅の各ホームに C_p 台分の乗降票があり、この駅で乗降を扱う車両はこの駅に到着する時点で乗降票を一個確保し、出発時に解放する。

あるホームで到着時刻 τ_a 、出発時刻 τ_d の車両が乗降票を予約できるかどうかは、以下の出発順条件で判定する：

- $[\tau_a, \tau_d]$ の期間にわたって、空いている乗降票が一つ以上ある。
- $(\tau_a, \tau_d]$ に到着する車両はすべて、 τ_d より後に出発する。
- $[\tau_a, \tau_d)$ に出発する車両はすべて、 τ_a より前に到着する。

ホーム容量が C_p であるホームの長さは、次のように仮定する。

駅で乗降を扱う車両は、側線上で他の車両がいない限り最も先の部分(加速区間に近い側)へ進んで停止する。この後、先頭の車両が出発したら、後続の車両は順次先へ進む[†]。車両が一両分進むのには $\frac{l_c}{v_b} + \frac{a_h}{j_0} = 7s$ かかる。したがって常に C_p 台の車両が乗降を扱えるためには、ホームは $C_p l_c$ より長い必要がある。多数の車両が連続して発着する場合には誤差を生ずることがあるが、この研究では一台分の余裕があればよいものとする。ホームの長さが $(C_p + 1)l_c$ あれば、常に C_p 台の車両が乗降を扱えるとみなす。

[†] 出発できるのは先頭の車両に限られるが、必ずしもホームの先頭まで進んでいなくても出発することはできる。

11.2 枠の予約

予約運行では、車両の運行開始前に運行経路上のすべての枝の上で必要な枠を予約する。また、サービスする駅すべてについて、乗降票を予約する。これによって運行途中の三叉点などで渋滞が発生しないことを保証し、蜂の巣網が本来持つ容量を最大限に活用する。

11.3 位相整合

車両が一定の速度で網内を走るとすると、三叉点の前後で利用できる枠は一対一に対応することになるが、これでは充分高い密度で車両を運行できない。各枝の上には未予約の空き枠が多数あるのに長い経路の車両のための枠が予約できない、ということが起きる。

そこで、三叉点で位相整合を行って空き枠を有効に活用する。位相整合とは、三叉点の通過中に速度を増減することにより、通過後の枝で使用する枠の選択肢を増やすことである。最大整合量 S_{max} を次のように定義する：

1. 三叉点通過中も車両が常に枠に同期し、通過後に使用する枠が一意に定まるときを $S_{max} = 0$ (整合なし) とする。
2. 位相整合を行い三叉点通過後に使用し得る枠の種類が1.の場合より増えた分を S_{max} とする。

大都市用群運行システムでは、 $S_{max} = 2$ の位相整合、つまり三叉点通過後に他車との干渉がなければ三通りの枠を選べるものとする。

第十二章

郊外対都心輸送・都心相互輸送の関係と 非一樣需要への対応

第四部

大都市モデルに対応した輸送の実現

第十二章

郊外対都心輸送・都心相互輸送の関係と 非一様需要への対応

ここでは、一様な輸送需要を扱う第十三章と第十四章の関係と、一様でない輸送需要の扱い方について述べる。

輸送需要は時間帯によって比率は変わるが、一般的には3.2で定義した通勤型輸送需要と昼間型輸送需要の組合せである。蜂の巣網で予約運行をする場合、路線容量に余裕があれば、二種類の需要が混在していてもそれぞれを独立にサービスできる。そこで、第十三章と第十四章ではこの二つを分け、それぞれについて大きさを変化させて扱う。

第十章で決めずに残してある都心枝の長さは、第十三章で通勤型輸送需要に対して旅行時間が最小になるように決める。通勤型需要は昼間型需要より絶対量が大きく、重要度が高いからである。

第十五章では需要が時間的地理的に一様でない場合のサービスを議論する。非一様について一般的に論ずることは困難なので、一つのモデルケースについて議論する。

一様でない需要は、大きく次の三通りに分けられる：

1. 時間的に一様、地理的に非一様
2. 時間的に輸送需要量が急変、地理的に一様
3. 時間的に輸送需要量が急変、地理的には特定地域のみ変化

輸送需要量が急変する場合、急減は乗車率の低下をもたらしコスト的には問題を生じ得るが、サービス上は何ら問題を生じない。したがって需要量の急変としては急増だけを考える。2.の輸送需要量の急増に対しては、これが予測できないと積み残しを生じ、損失時間の大幅な憎悪をもたらすが、予測さえできていれば、第九章、第十三章、第十四章の知識により、需要の急増に合わせて群の運行周期を短くしたり、輸送群パラメータを変更して対応できる。この研究では需要急増の予測技術については触れないが、過去のデータがあれば一般にはかなり高い精度で予測できると考え、2.については省略する。1.は、3.の需要量の増加が持続する場合と考えることができるので、第十五章では特定の駅から乗車する人数がステップ状に他の駅に対して急増し、この状態が持続するものとして、急増時点と持続中のサービス方法を議論する。

第十三章

郊外対都心輸送

13.1 駅間の輸送需要量

郊外対都心の通勤型輸送需要について、3.2では一郊外線と都心全体の間の需要量を規定した。13.5で都心枝の長さを決めると都心駅の面積密度が決まり、一郊外駅と一都心駅間の輸送需要量が決まる。しかし、損失時間が最小の輸送群パラメータ (s, d, p, q) は駅間の輸送需要量 f に対して決まるので、 f がどの程度の大きさになるかを知っておく必要がある。

13.5で考慮する都心枝の長さ l_b の範囲は、450m ~ 750m である。一郊外線対都心全体の輸送需要量を F とすると、一郊外駅対一都心駅の輸送需要量 f は

$$f = \frac{F}{N_s} \cdot \frac{2\sqrt{3}l_b^2}{\pi R_d^2} \quad (13.1)$$

である。3.2で定義した F_{max} に対し、一郊外駅対一都心駅の輸送需要量の最大値 f_{max} は、 l_b に応じて表13.1のようになる。

表13.1 駅間の輸送需要量(最大値)の範囲

$l_b[m]$	450	750
$f_{max}[人/s]$	1.42×10^{-2}	3.94×10^{-2}

そこで一郊外駅対一都心駅の輸送需要量としては、 $l_b = 450m$ のときの $f_{min} = \frac{1}{100} f_{max}$ である $f = 1.4 \times 10^{-4} 人/s$ から $l_b = 750m$ のときの $f_{max} = 4 \times 10^{-2} 人/s$ の範囲を考える。

13.2 乗換駅

13.2.1 数の制限

群の運行周期が短い場合には、乗換駅は短い間隔で繰り返し使われることになる。乗換駅の数に充分にあれば一つの群が周期ごとに違う乗換駅を用いることもできるが、乗換駅は大きな設備なので現実的でない。この研究では、一つの輸送群は毎周期同じ乗換駅を使うものとする。逆に周期が

長い場合には、複数の群が一つの乗換駅を共用することは可能だが、このような輸送需要量の小さいときには乗換駅は過剰になるので、一般にはその必要はない。

一つの群が乗換駅を繰り返し使用する場合の最小周期 T_{min} は、乗換ホームの片側に停車する $\frac{p}{2}$ 台の車について、次の周期の車両との間隔が常に車両一台分の長さ l_c 以上あるように決める。 T_{min} は以下のように求められる:

1. $\frac{p}{2}$ 台の車両の第一車が出発してから第 $\frac{p}{2}$ 車が出発するまでの時間 t_1 は、

$$t_1 = \frac{\left(\frac{p}{2} - 1\right)(v_0 t_h - l_c)}{v_0}. \quad (13.2)$$

2. 第 $\frac{p}{2}$ 車が出発してから、その末尾がホーム中央の $\frac{l_c}{2}$ を過ぎるまでに進む距離 d_2 が

$$d_2 = \frac{\frac{p}{2} + 1}{2} l_c \quad (13.3)$$

なので、第 $\frac{p}{2}$ 車が出発してから d_2 進むのにかかる時間 t_2 は、

$$t_2 = \begin{cases} \sqrt[3]{\frac{6d_2}{j_0}} & \left(d_2 \leq \frac{a_h^3}{6j_0^2}\right) \\ \frac{a_h}{2j_0} + \sqrt{\frac{2d_2}{a_h} - \frac{a_h^2}{12j_0^2}} & \left(d_2 > \frac{a_h^3}{6j_0^2}\right) \end{cases}. \quad (13.4)$$

3. 次の周期の第一車の前頭がホーム中央の $\frac{l_c}{2}$ 手前を過ぎてから停止するまでの時間は t_2 に等しい。

4. 第一車が停止してから、ホーム反対側の全車両が到着して乗換を開始するまでの時間 t_3 は、

$$t_3 = \frac{(p-1)v_0 t_h - \left(\frac{p}{2} - 2\right) l_c}{v_0}. \quad (13.5)$$

5. 乗換時間は、

$$t_{s2} + t_w = t_{e2} + t_{b2} + \frac{l_c \left(\frac{p}{2} - 1\right)}{v_c}. \quad (13.6)$$

6. 最小周期 T_{min} は、以上の和で、

$$T_{min} = t_1 + t_2 + t_3 + t_{s2} + t_w. \quad (13.7)$$

13.2.2 配置

$n = p^q$ 台の車両からなる輸送群は、 n_s 郊外駅と n_d 都心駅の間をサービスする。群運行を行うために必要な乗換駅は、 $n_s \leq N_s$ である限り、郊外線上に設置する。しかし、 $n_s > N_s$ のときは、この輸送群は複数の郊外線をサービスするので、都心部に乗換駅を設けるが必要になる。

郊外線上の乗換駅は、都心端、つまり最も都心よりの郊外駅と都心部との間の区間にあれば、乗換駅が必要なすべての場合に対応できる。このとき、図 13.1 のように必要な数の乗換ホームを並列に設けてもよいし、用地の都合によっては少数ずつ直列に分散して設けてもよい。

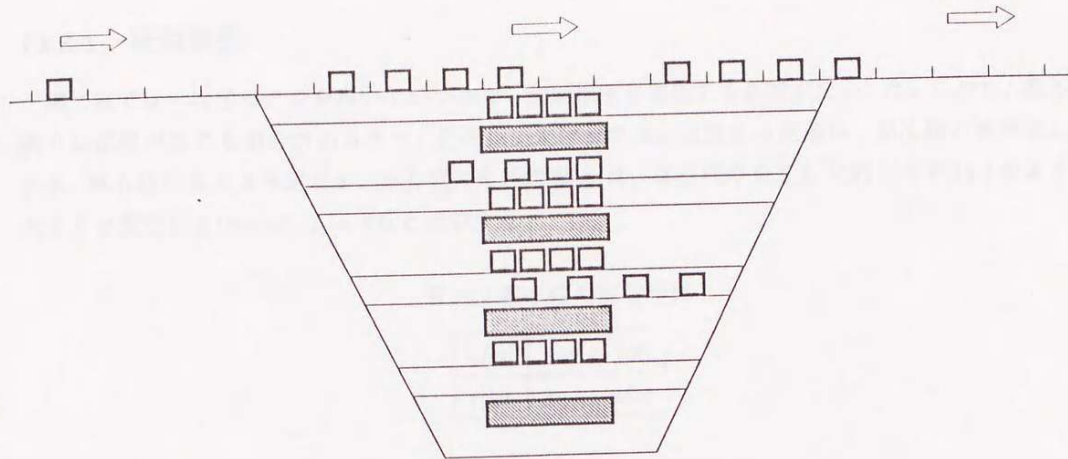


図13.1 4 ホームが並列にある乗換駅

都心部の乗換駅は、乗降のためのオフライン駅がない都心枝に設置する。郊外線上に設ける乗換駅は、一方向の本線を走行する車両だけを扱えばよかったので、上下線に対して独立に設置すればよい。しかし、都心部に設置する乗換駅では、一般に両方向の本線を走る車両が一つの群を構成するので、両線間の乗り換えが可能な構造でなければならない。このためには、乗り換えホームを両本線の間に設け、両線から分岐した側線がこのホームの両側を通る、図13.2のような構造の特別な都心部乗換駅を採用する。図13.1の場合と異なり、複数の乗換ホームに車両を振り分けるだけの側線の長さがとれないため、1都心枝あたり1乗換ホームしか設置できない。

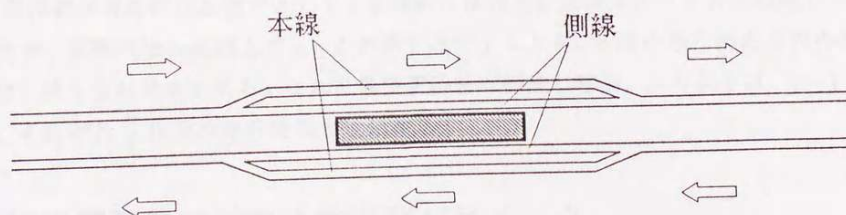


図13.2 都心部乗換駅の構造

13.3 駅の配置が理想的でないことによる損失時間

13.3.1 迂回損失

第九章では一次元モデルを用いていたので、迂回損失を考慮する必要がなかった。しかし、蜂の巣網では迂回が生じる場合があるので、迂回損失を評価する。迂回する距離は、都心枝の本数として表す。都心枝の長さは未定だが、都心枝の走行時間 t_b は、都心枝の長さ l_b に対して表13.2のように大きくは変化しないので、 $t_b = 24s$ と近似する。

表13.2 都心枝の走行時間

$l_b[m]$	450	750
$t_b[s]$	21.3	25.7

複数の郊外線から共通の都心部乗換駅に到達する場合の迂回枝数

蜂の巣網に図13.3のように都心部乗換駅を設置することを想定し、

- 2郊外線を一群がサービスするとき3枝分の走行時間
- 4郊外線を一群がサービスするとき7枝分の走行時間

と近似する。

$d \geq 8$ のときの都心部での迂回枝数

一台の車両が都心でサービスする駅数が多いと、迂回を生ずる。 $d \geq 8$ のときに、 $d-6$ 枝分の走行時間を迂回損失とする。

13.3.2 乗換駅待合せ損失

9.3では乗換駅が理想的な配置だとして、乗換駅には相互に乗換を行う車両が連続して着発するものと考えたが、実際の蜂の巣網上で $q \geq 2$ の群を運行するとき、 q 回の乗り換えの内の他の $q-1$ 回については、待ち合わせを生ずる。これを乗換駅待合せ損失と呼ぶ。この長さは、 $q-1$ 回の乗り換えに対し、それぞれ $\frac{p}{2}$ 枝分の走行時間と近似する。

13.4 輸送需要量に対する輸送群パラメータ

一郊外駅対一都心駅の輸送需要量 $f = 1.4 \times 10^{-4} \text{人/s} \sim 4 \times 10^{-2} \text{人/s}$ に対し、損失時間 L が最小になる輸送群パラメータ (s, d, p, q) を求める。損失時間には、13.3の損失時間も含める。

一輸送群の中の車両がそれぞれ同数の s 郊外駅と d 都心駅をサービスできるように、 s, d, p は2の冪、1, 2, 4, 8, 16, 32だけを考慮する。

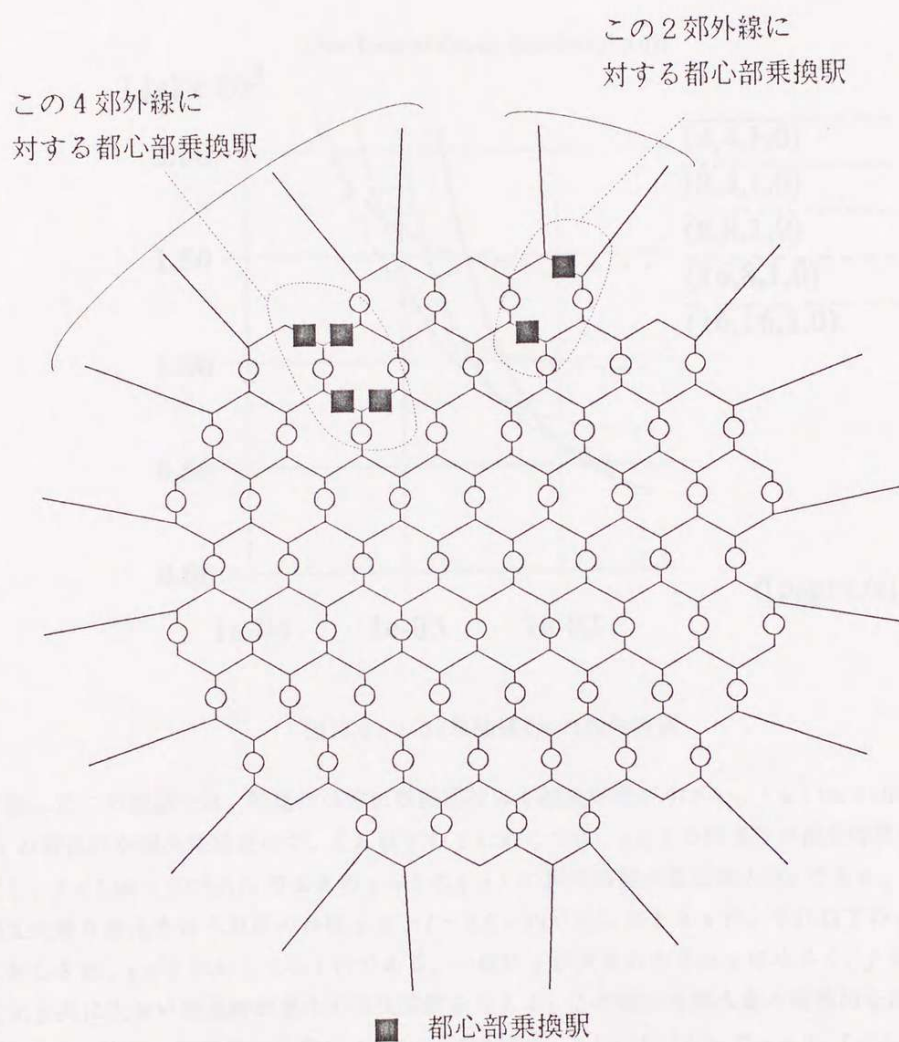


図13.3 複数の郊外線から共通に到達できる都心部乗換駅

$q = 0, 1, 2$ のそれぞれについて、考慮している範囲のある f に対して L を最小にする (s, d, p) を選び、 $L - f$ のグラフを図 13.4~図 13.6 に示す。選んだ (s, d, p) に対しては、13.2.1 で設けた運行周期の制限 ($T \geq T_{min}$: 輸送群は毎周期同じ乗換駅を使用すると仮定) 上可能な上限まで L を表示してある。 $q = 0, 1, 2$ の中から、さらにある f に対して L が最小になる (s, d, p, q) を選んで、図 13.7 に示す。

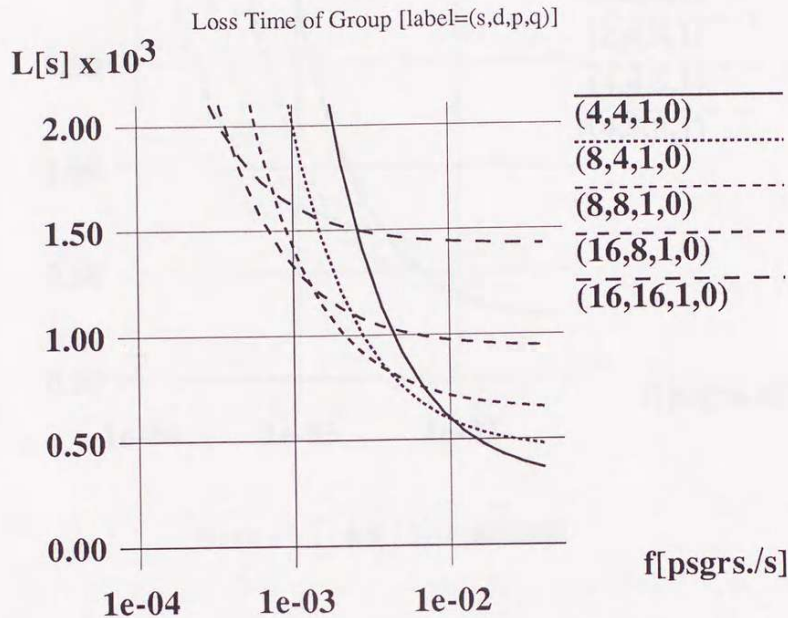


図 13.4 $q = 0$ (単独運行) の損失時間

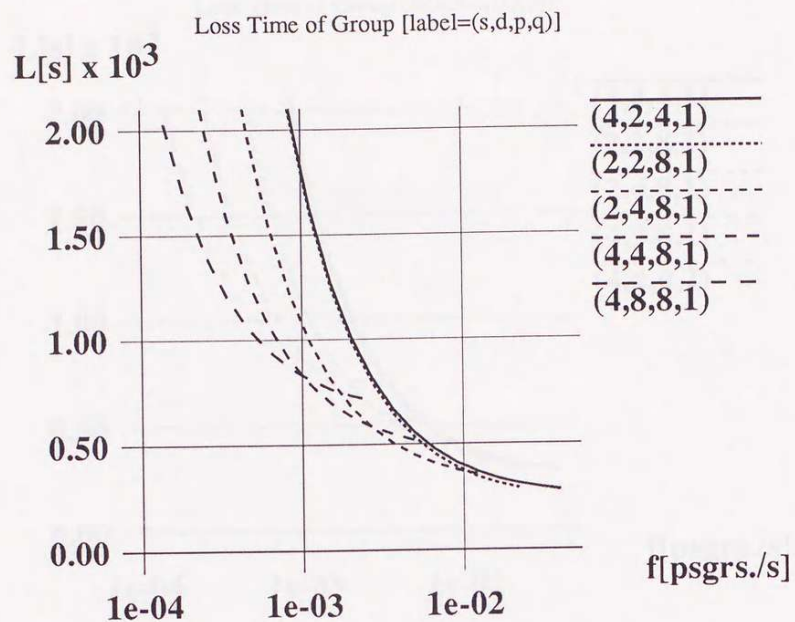
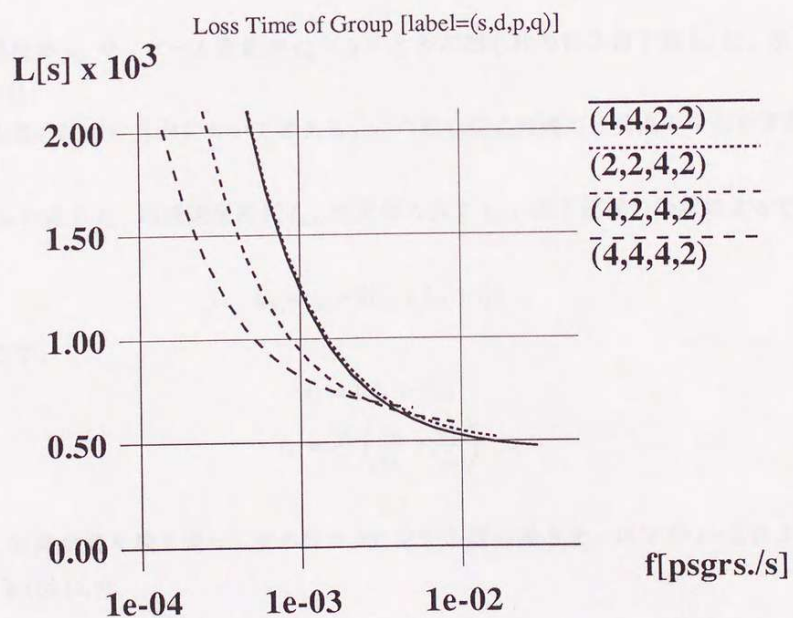
考慮した f の範囲では、群運行は常に単独運行より損失時間が小さい。 $f > 1.06 \times 10^{-3}$ 人/s では、 $q = 1$ の群運行が損失時間最小で、それ以下の f に対しては、 $q = 2$ の群運行が損失時間最小である。ただし、 $f < 1.06 \times 10^{-3}$ 人/s のときの $q = 2$ と $q = 1$ の損失時間の差は最大 20s である。

相互に乗り換えを行う車両の台数 p は、 $f > 2.2 \times 10^{-2}$ 人/s のとき 4 台、それ以下の $q = 1$ の輸送群に対し 8 台、 $q = 2$ に対しては 4 台である。一般に q が大きいときは p は小さく、 f が小さいときは s, d, p 共に大きい輸送群が最小の損失時間を与える。この傾向は第九章の理想的な損失時間と同じである。しかし、理想的な場合に $f = 5.2 \times 10^{-3}$ 人/s $\sim 2.4 \times 10^{-2}$ 人/s で $q = 2$ 、 $f < 5.2 \times 10^{-3}$ 人/s で $q = 3$ が最小の損失時間を与えるが、蜂の巣網上の群運行では、同じ f に対してより小さい q が最小の損失時間を与えている。これは $q \geq 2$ では乗換駅待合せ損失が生じ、乗換駅間で迂回損失が大きくなるためである。

13.5 都心枝の長さの決定

ここで、第十章で決めずに残しておいた都心枝の長さを決定する。

都心枝には、乗降のための都心駅と 13.2.2 で示した都心部の乗換駅を設けるので、都心部巡航速

図13.5 $q = 1$ (乗換1回) の損失時間図13.6 $q = 2$ (乗換2回) の損失時間

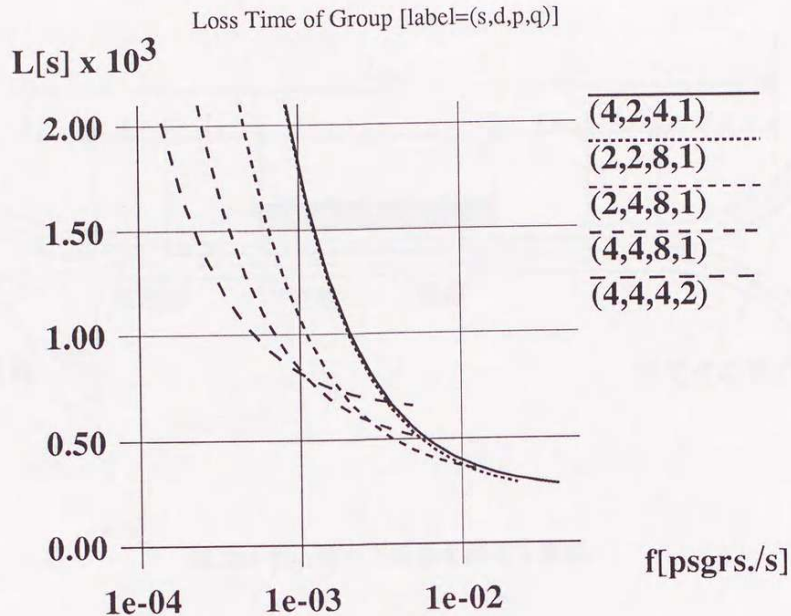


図13.7 $f = 1.4 \times 10^{-4} \text{人/s} \sim 4 \times 10^{-2} \text{人/s}$ の範囲で損失時間が最小になる輸送群についての値

度 v_d によって決まる長さの下限 l_{b0} が存在する。この研究では、都心枝はこの下限の長さによって決める ($l_b = l_{b0}$)。

都心部巡航速度が v_d で、ホーム容量が $C_p = 5$ のときの都心枝の長さの下限 l_{b0} は、次のように求められる (図13.8)。

都心駅のある都心枝の片方向について考える。この都心枝の両端の三叉点の中心点間距離が l_{b0} である。

l_{b0} は、ホームの長さ l_p 、加減速区間長 l_a 、交叉部の長さ l_{cr} 、渡り線部の形状によって決まる長さ l_j を使って、

$$l_{b0} = l_p + 2(l_a + l_{cr} + l_j) \quad (13.8)$$

と表せる。ここで、

$$l_p = (C_p + 1)l_c \quad (13.9)$$

$$l_a = \frac{v_d}{2} \left(\frac{v_d}{a_h} + \frac{a_h}{j_0} \right) \quad (13.10)$$

である。

l_{cr} と l_j は、車両が渡り線を通して次の枝へ 60° 曲がる際の動きを、以下の1.~3.およびその逆の3.~1.に分解する (図13.9):

1. 渡り線から遠い側の本線または側線から来た車両が、交叉部の水平面内で、車体幅 w_c の分だけ旋回しつつ横にずれる運動をする。

このとき、枝の中心線方向に $x_1 = l_{cr}$ 進み、中心線に直交する方向に $y_1 (= w_c)$ 進む。

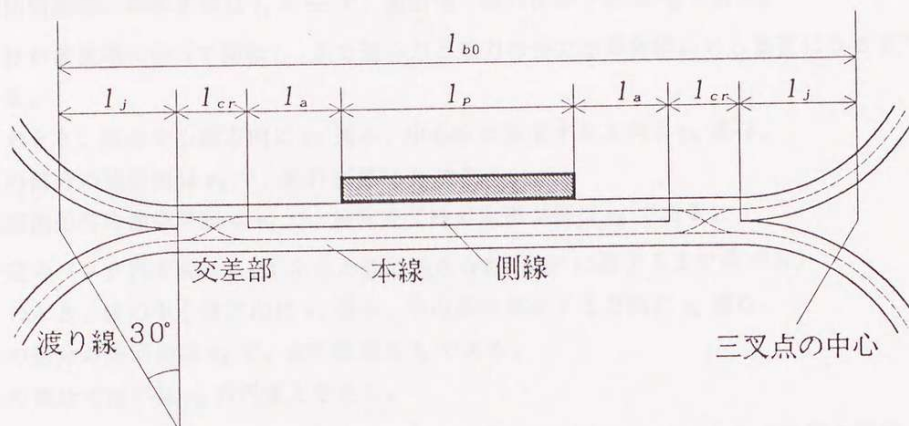
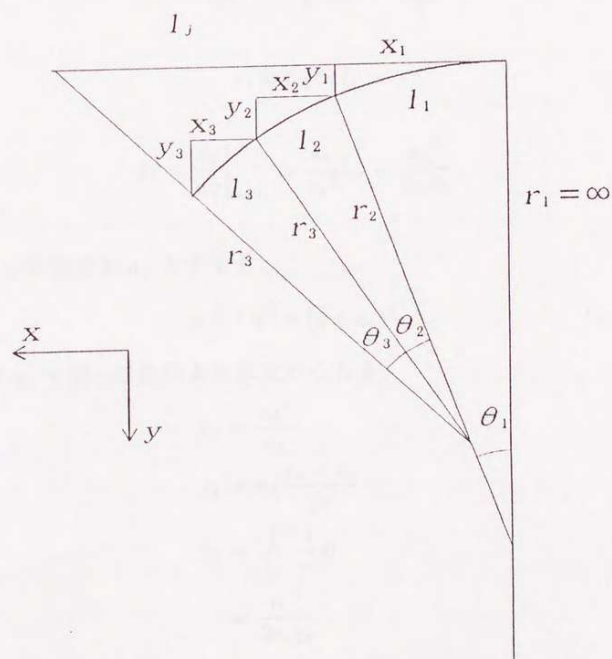


図13.8 都心枝の下限長を決める要因



$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 30^\circ$$

- x 枝の方向 y 枝に直交する方向
 r 曲率半径 θ 旋回角
 l 走行距離

図13.9 渡り線の構成

この部分の旋回角は θ_1 で、走行距離は l_1 である。

旋回開始時の曲率半径は $r_1 = \infty$ で、旋回完了時の曲率半径は r_2 である。

2. 車体が前後軸に沿って回転し、3.で遠心力と重力の合力が車体床に対し垂直になるまでバンクする。

このとき、枝の中心線方向に x_2 進み、中心線に直交する方向に y_2 進む。

この部分の旋回角は θ_2 で、走行距離は l_2 である。

旋回開始時の曲率半径は r_2 で、旋回完了時の曲率半径は r_3 である。

3. 一定のバンク角を保って、1.からの旋回角の合計が 30° に達するまで曲がる。

このとき、枝の中心線方向に x_3 進み、中心線に直交する方向に y_3 進む。

この部分の旋回角は θ_3 で、走行距離は l_3 である。

この部分では半径 r_3 の円弧上を走る。

4. ここまでの過程を逆に3.2.1.の順にたどり、隣接枝の本線(または都心部乗換駅の側線)に入る。

交叉部の長さ l_{cr} は、車体の加速度、ジャークが a_h, a_v, j_0 を越えないように決めると

$$l_{cr} = \frac{a_h v_d}{2j_0} + v_d \sqrt{\frac{2w_c}{a_h} - \frac{a_h^2}{12j_0^2}} \quad (13.11)$$

となる。

$$x_1 = l_{cr} \simeq l_1 \quad (13.12)$$

と近似すると、

$$\theta_1 = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=l_1} \simeq \frac{a_h}{v_d^2} l_{cr} - \frac{a_h^2}{2j_0 v_d} \quad (13.13)$$

になる。

- 3.の旋回における求心加速度を a_1 とすると、

$$a_1^2 + g^2 = (g + a_v)^2. \quad (13.14)$$

各パラメータはこの a_1 を使って次のように求められる:

$$r_3 = \frac{v_d^2}{a_1} \quad (13.15)$$

$$l_2 = v_d \frac{a_1 - a_h}{j_0} \quad (13.16)$$

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \int_0^{l_2} \frac{1}{r} dl \\ &= \frac{a_1^2}{2v_d j_0} \end{aligned} \quad (13.17)$$

$$x_2 = l_2 \cos\left(\theta_1 + \frac{\theta_2}{2}\right) \quad (13.18)$$

$$y_2 = l_2 \sin\left(\theta_1 + \frac{\theta_2}{2}\right) \quad (13.19)$$

$$\theta_3 = \frac{\pi}{6} - (\theta_1 + \theta_2) \quad (13.20)$$

$$l_3 = r_3 \theta_3 \quad (13.21)$$

$$x_3 = l_3 \cos \theta_3 \quad (13.22)$$

$$y_3 = l_3 \sin \theta_3 \quad (13.23)$$

これらのパラメータを用いて、

$$l_j = x_1 + x_2 + x_3 + (y_1 + y_2 + y_3) \tan \frac{\pi}{6} \quad (13.24)$$

を求め、

$$l_{b0} = l_p + 2(l_a + l_{cr} + l_j) \quad (13.25)$$

を v_d の関数として表示すると、図13.10 のようになる。

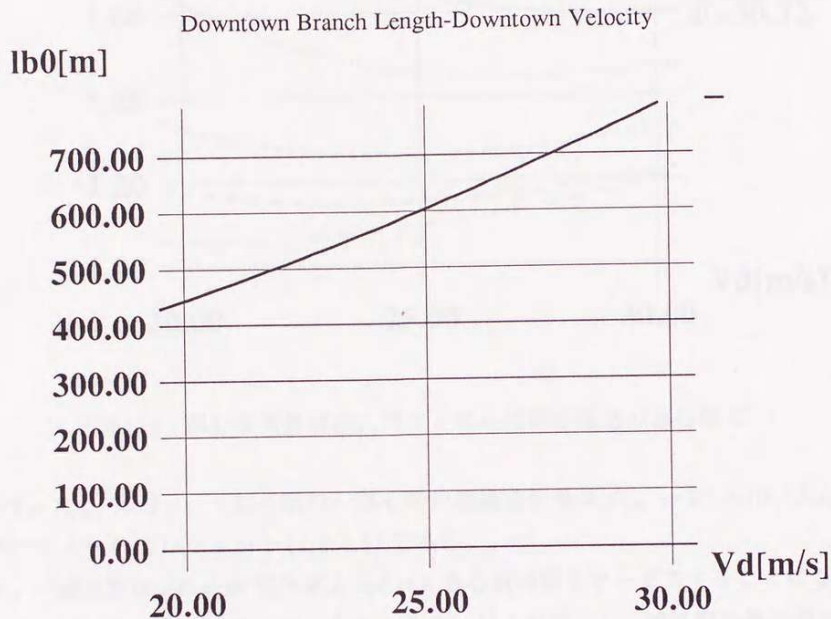


図13.10 都心部巡航速度に対する都心枝の長さの関係

次に、代表的な輸送需要量 F の値に対して、13.4で求めた最適パラメータの輸送群を使用して旅行時間のうち v_d によって変化する都心部の部分、都心部旅行時間 T_d を求める。結果を図13.11に示す。

F が大きい場合は小さい v_d 、 F が小さい場合は大きい v_d が最小旅行時間を与えるが、 F が大きいラッシュ時の T_d の v_d に対する感度は小さいので、 $v_d = 26.5 \text{ m/s}$ を選ぶ。このとき、図13.10から $l_{b0} = 650 \text{ m}$ であり、都心枝の長さも同じく $l_b = 650 \text{ m}$ とする。都心枝上にある柵の数 S_b としては整数をとり、 $S_b = 24 \simeq \frac{l_b}{v_d}$ とする。都心枝の走行時間は $t_b = S_b t_h = 24 \text{ s}$ になる。

13.6 サービス実現例

13.6.1 輸送群の例

13.5で決めた都心枝の長さ $l_b = 650 \text{ m}$ に対し、輸送需要量が $F_{max} = 28 \text{ 人/s}$ のときの輸送群のサー

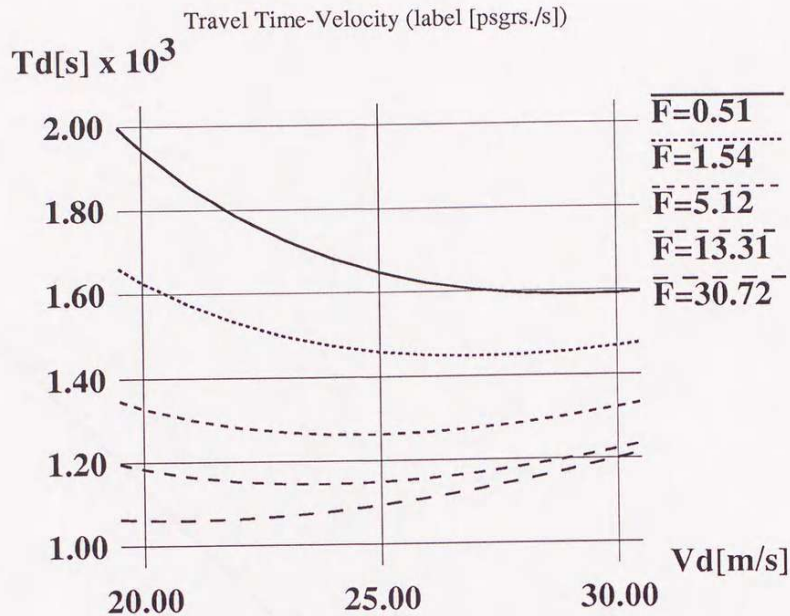


図13.11 都心部巡航速度に対する郊外対都心輸送の旅行時間

ビス例を示す。 F_{max} に対し、一郊外駅対一都心駅の輸送需要量は $f_{max} = 2.7 \times 10^{-2}$ 人/s で、図13.7から輸送群パラメータは $(s, d, p, q) = (4, 2, 4, 1)$ である。

このとき、一輸送群は $sp^q = 16$ 郊外駅と $dp^q = 8$ 都心駅の間をサービスすることになる。

$sp^q \leq N_s$ なので、この群は郊外線は一本のみをサービス対象とし、郊外線の都心端の乗換駅一駅のみ使用する[†]。

図13.12に輸送群の一例を、この群を構成する各車のサービス駅によって示す。

13.6.2 乗換駅配置

図13.7から、 $F_{min} = 0.28$ 人/s から $F_{max} = 28$ 人/s に対応する $f = 2.7 \times 10^{-4}$ 人/s $\sim 2.7 \times 10^{-2}$ 人/s の範囲で損失時間最小のサービスをするには、輸送群パラメータ $(s, d, p, q) = (4, 4, 4, 2)$, $(4, 4, 8, 1)$, $(2, 4, 8, 1)$, $(2, 2, 8, 1)$, $(4, 2, 4, 1)$ の輸送群を使用する必要がある。このために必要な乗換駅の配置の例を図13.13に示す。(●は車両4台相互の乗換ができる乗換ホームが4面と、8台の乗換駅が4面の集合である。)

しかし、輸送需要量 F が小さい場合にこれに合わせたサービスが必要になるのは早朝や深夜に限られる。ラッシュ時には一方向の輸送需要量だけが大きくて他方向は小さいが、需要量の小さい方向に対しても多数の回送車があり、乗車率は低くなるが運行周期 T の短いサービスを安価に提供でき

[†]郊外駅のサービス分割は地域分離[3]、つまり、郊外線を4駅ずつの4地域に分け、各車両は地域内の4駅をサービスするようにする。

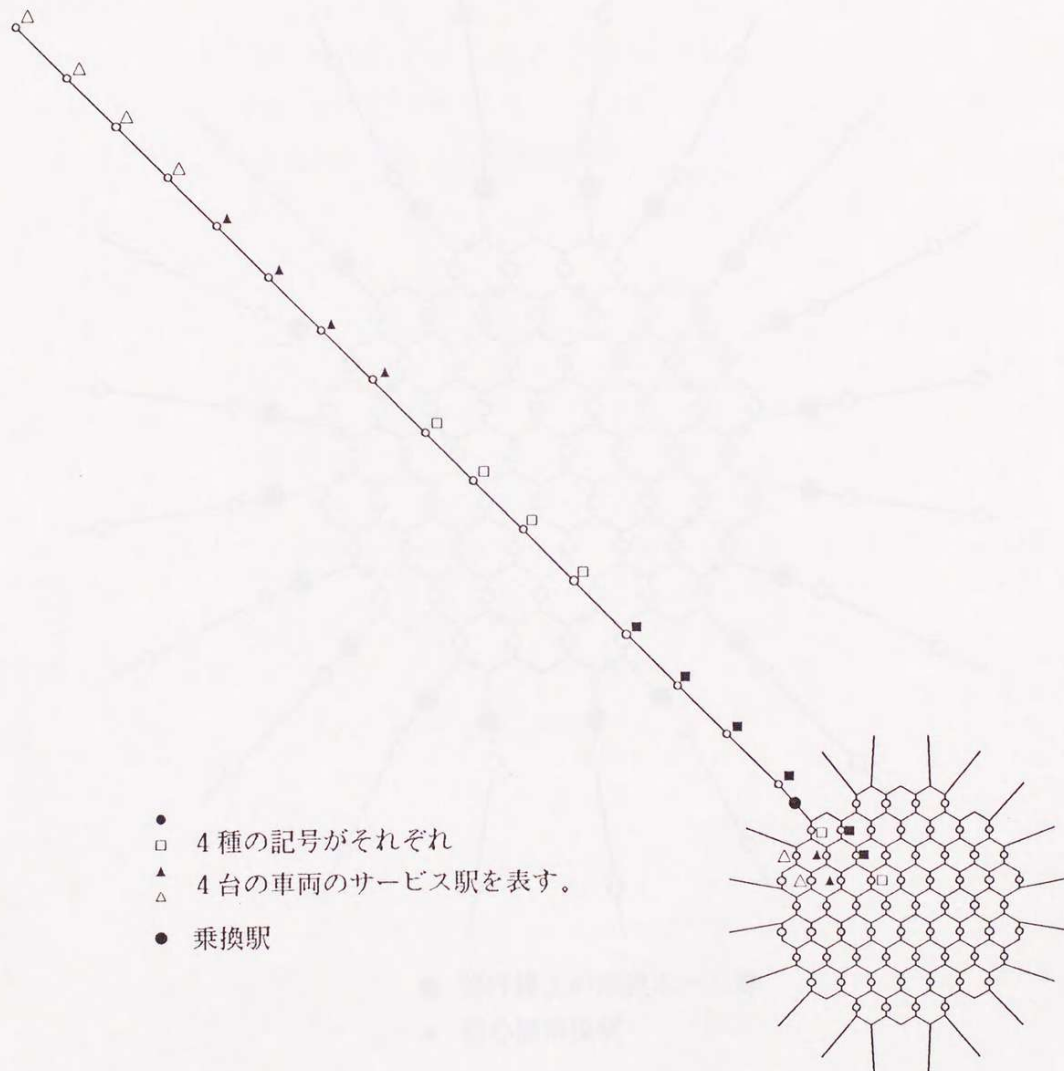


図13.12 郊外対都心輸送を行う輸送群のサービス駅の例

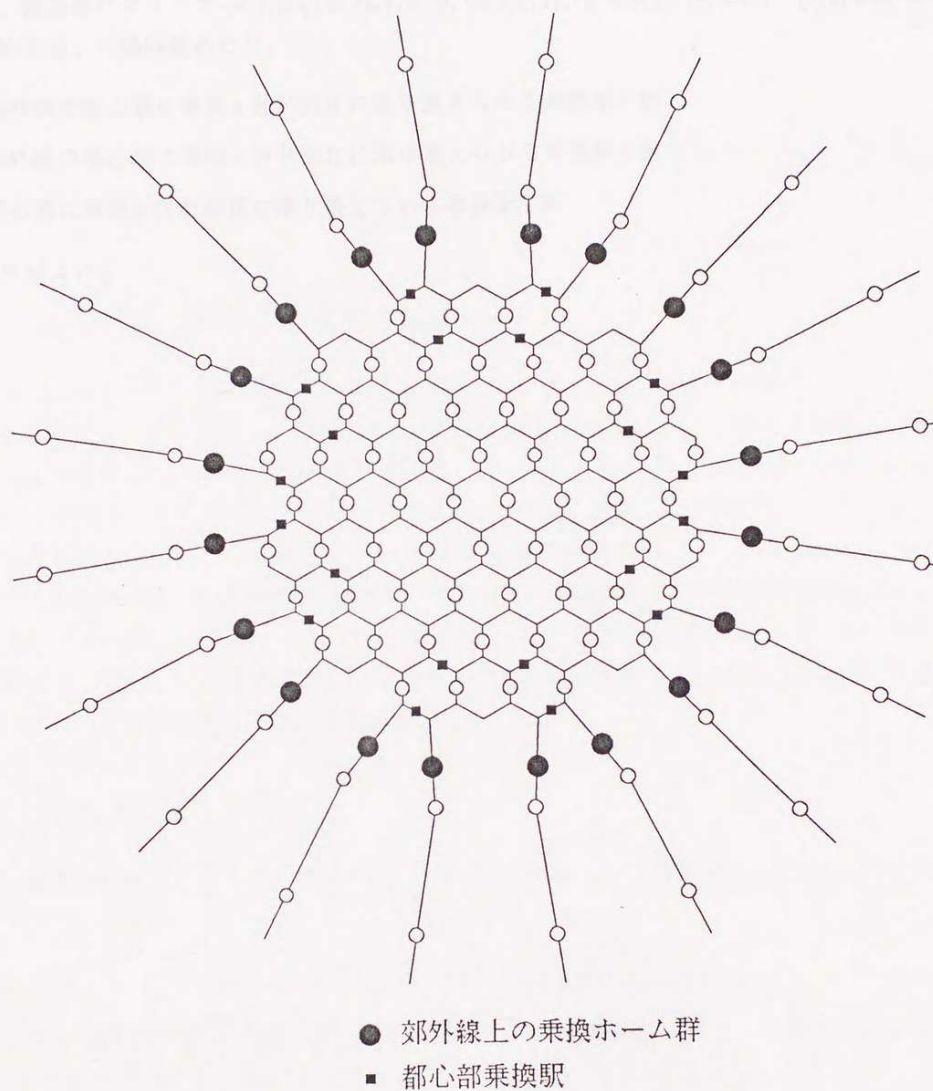


図13.13 郊外対都心輸送に必要な乗換駅の配置例

るからである。

ここで $(s, d, p, q) = (4, 4, 4, 2)$ のサービスは、 $(4, 8, 8, 1)$ のサービスよりごくわずかに優れる (最大で 20 秒の損失時間差) だけなのに、都心部に 4 郊外線あたり少なくとも 2 乗換駅が専用に必要になり、実現コストが大きい。そこで、これは $(4, 8, 8, 1)$ のサービスで代用することにする。

結局、輸送群パラメータ $(s, d, p, q) = (4, 8, 8, 1), (4, 4, 8, 1), (2, 4, 8, 1), (2, 2, 8, 1), (4, 2, 4, 1)$ のサービスのためには、一郊外線あたり、

- 郊外線の都心端に車両 4 台が相互に乗り換えられる乗換駅 4 駅
- 郊外線の都心端に車両 8 台が相互に乗り換えられる乗換駅 4 駅
- 都心部に車両 8 台が相互に乗り換えられる乗換駅 1 駅

を設ければよい。

第十四章

都心相互輸送

14.1 都心相互輸送に特有の問題

郊外対都心輸送では、都心駅は広い範囲に分布していても、郊外駅が郊外線ごとにまとまっており、一輸送群のサービス範囲としてせいぜい4郊外線を考えればよかったので、乗換駅の配置は限られ迂回比も小さかった。したがって、輸送需要量 f の大きさに応じて、損失時間が最小になる輸送群パラメータを選んでサービスすることが容易だった。これに対し、二次元的に広がる都心の相互輸送では迂回比が大きく、これが最小となる乗換駅配置も輸送群パラメータ (s, d, p, q) によって大きく変わってしまう。そこで都心相互輸送では、考慮している範囲のどの輸送需要に対しても、一通りの輸送群パラメータの群でサービスを行うことにする。つまり、都心相互輸送のための乗換駅は限られた都心枝に設け、輸送需要量変動しても運行周期を変化させるだけで、都心相互輸送需要がある限り、これらの乗換駅はすべて使用する。

14.2 輸送形態のモデル化

まず、都心部の駅をそれぞれサイズ n_e の組に分ける。都心の駅総数は N_d だから、組の数 N_e は

$$N_e = \frac{N_d}{n_e} \quad (14.1)$$

になる。このとき、 $q = 1, 2, 3$ の群運行は、次のように表現できる(図14.1)。

- $q = 1$: 単純な群運行 組二つの任意の組合せ(同一組同士も考える)に対し、群運行を行う。 p 台が各 d 駅をサービスする。 $n_e = pd$ になる。
- $q = 2$: 地域乗換駅相互を直行輸送 n_e 駅の組ごとに地域乗換駅を設ける。サービスを2階層に分け、下位は駅と地域乗換駅間のサービス、上位は地域乗換駅相互間を直行するサービスと考える。下位は、 p 台が各 d 駅をサービスする($n_e = pd$)。 N_e と p の関係が $N_e - 1 = p$ からはずれると上位と下位の輸送力が均衡しなくなる。
- $q = 3$: 地域乗換駅相互を群運行 $q = 2$ と同様の2階層サービスだが、組と独立の広域乗換駅を設けて上位サービスも群運行とする。輸送力均衡のため、上位のサービスは各 N_e 台の p 群が並列に行う。 $(p$ 広域乗換駅を設ける。)各群は、 N_e 台の車からなる。

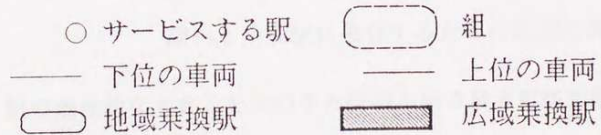
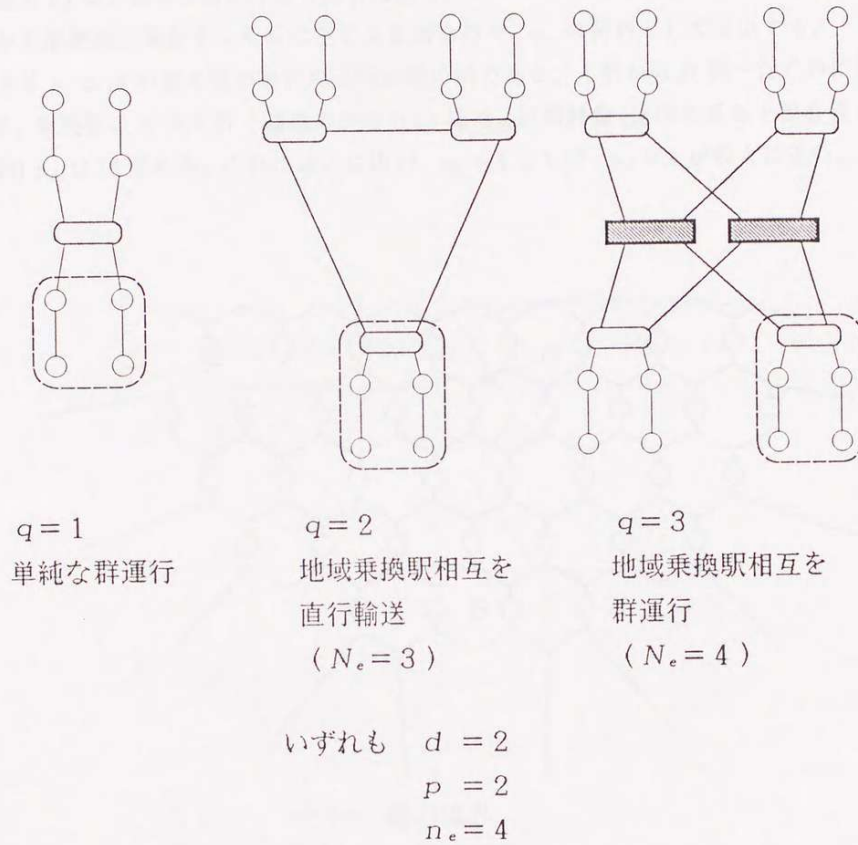


図14.1 都心相互輸送の形態

14.3 損失時間

損失時間は、6.2.1で述べたように、利用駅によって異なる値のうち最大のものをとる。したがって、乗降駅が同一組の n_e 駅の中にある場合と、二つの組にまたがる場合の損失時間が異なる時も、大きい方をその輸送形態全体の評価量とする。

迂回損失 L_d は、厳密には具体的な運行経路を決めないと求められない。しかし、これは組の内部の各駅から乗換駅に集合するために生じる迂回なので、 n_e の関数として近似する。

図14.2は $n_e = 16$ の組の間の車両の運行経路の例である。A 駅から B 駅へ行くのに最短経路長は3枝だが、乗換駅 C を経て行く経路の長さは15枝で、迂回枝数(迂回の長さを都心枝を単位として表した数) n_d は12である。これは最大に近い。 $n_e = 4$ ならば、 $n_d = 4$ が最大に近い。

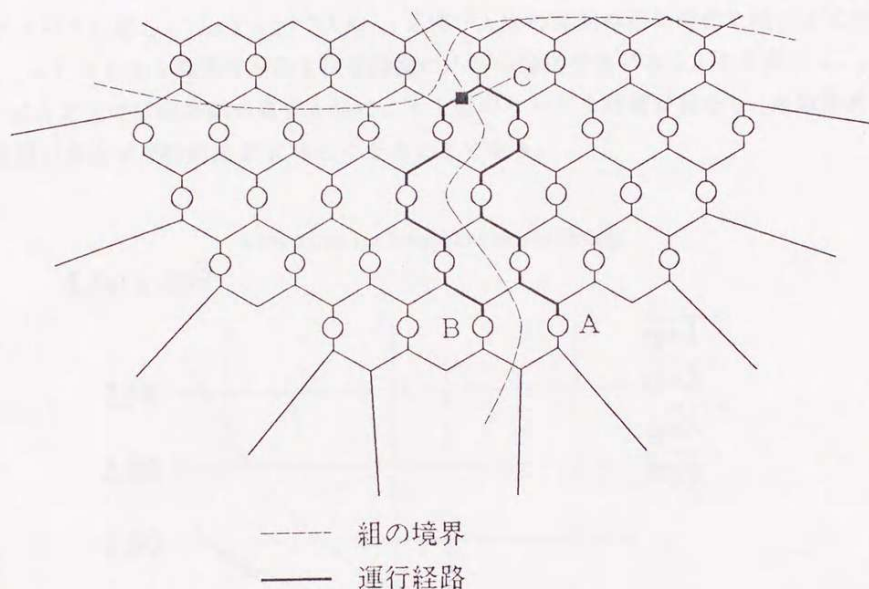


図14.2 乗換駅に集合するための迂回の例

一方 n_d は、組の地理的な大きさを組の中の駅相互間の最大直線距離で表すと、これにほぼ比例する。そこで、

$$n_d = A\sqrt{n_e} + B \quad (14.2)$$

と仮定して上の例から A, B を求めると、 $A = 4, B = -4$ になる。そこで、迂回損失は

$$L_d = 4(\sqrt{n_e} - 1) \frac{l_b}{v_d} \quad (14.3)$$

と近似する。

3.2で定義した昼間型輸送需要は、単位面積相互の需要量が F のときに、二つの異なる都心駅相互

間の輸送需要量が

$$f = F(2\sqrt{3}l_b^2)^2 \quad (14.4)$$

である。 $F = F_{typ}$ のときに都心駅相互間の輸送需要量は $f_{typ} = 4.28 \times 10^{-3}$ 人/s である。このとき、損失時間が最小となるパラメータ (d, p) を $q = 1, 2, 3$ についてそれぞれ選択する (表 14.1)。

表 14.1 標準輸送需要量に対し損失時間を最小にするパラメータ

q	n_e	N_e	d	p
1	16	4	4	4
2	16	4	4	4
3	4	16	2	2

このパラメータに対し、 $f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s $\sim 1 \times 10^{-2}$ 人/s の範囲の損失時間を図 14.3 に示す。この範囲では、 $q = 1$ の単純な群運行が最も損失時間の小さい輸送形態である。この理由は、 $q = 2, 3$ の 2 階層サービス方式では利用駅の属する組により上位のサービス時間が異なり、地域乗換駅で待ち合わせる時間が最大で運行周期 T に等しくなることである。

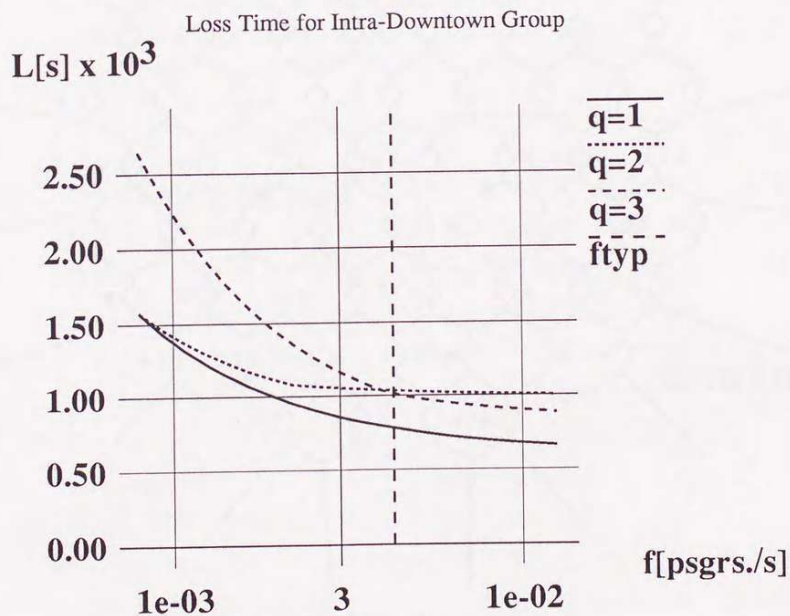


図 14.3 都心相互輸送の損失時間

$q = 2$ の場合、 $f > 2.2 \times 10^{-3}$ 人/s では、乗換駅待ち合せ損失が T 等しく迂回損失も大きいため、第十三章の郊外対都心輸送よりは損失時間が大きい。 $(d, p, q) = (4, 4, 1)$ の輸送群は、郊外対都心輸送の $(s, d, p, q) = (4, 4, 4, 1)$ の輸送群と本質的には同じものである。第十三章では、輸送群パラメータを

より自由に選べたので、どんな f に対しても他のパラメータの群より損失時間の大きいこの輸送群は、図 13.5 にも図 13.7 にも表れていないが、都心相互輸送では、 $f = 1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$ の広い範囲に対応しなければならないので、この $(d, p, q) = (4, 4, 1)$ の輸送群を選択した。

14.4 サービス実現例

図 14.4 に輸送群のうち二つを示す。都心部は $n_e = 16$ 駅ずつの $N_e = 4$ 組に分け、組内の輸送を 4 群がサービスし、組相互の輸送を 6 通りの組合せに対し双方向、計 12 群がサービスする。図 14.4 には、そのうち一群ずつのサービス駅を示してある。

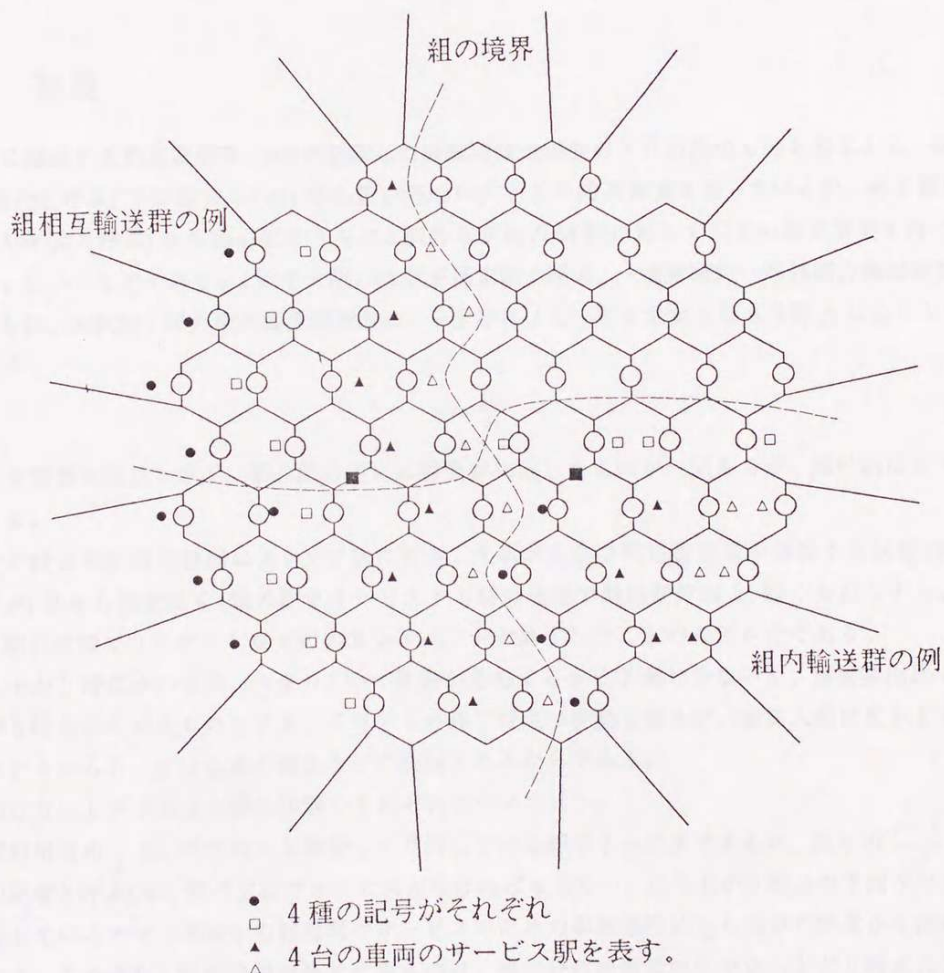


図 14.4 都心相互輸送のサービス例

第十五章

需要急増時の輸送

15.1 前提

ここで仮定する輸送需要は、3.2で定義した通勤型輸送需要の下り方向のものを基本とし、初期状態(平常時と呼ぶ)では全 $N_d (= 64)$ 都心駅が等しい大きさの輸送需要を持っているが、ある瞬間(立ち上がり時点と呼ぶ)から都心駅のうちの1駅のみが他の63駅に対して大きい輸送需要を持つようになる、というものである。1駅を大駅、63駅を通常駅と呼ぶ。一通常駅対一郊外駅の輸送需要量が f のときに、大駅対一郊外駅の輸送需要量は、平常時に f で、立ち上がり時点以降 f_l になるとする。このとき

$$r = \frac{f_l}{f} \quad (15.1)$$

なる r を需要突出比と呼ぶ。都心駅の中には需要が突出したものが一駅あるが、郊外駅はすべて均等である。

大駅の輸送需要量の急増はステップ状に起き、大駅が大きな輸送需要量を発生する状態(突出状態と呼ぶ)はある程度長く(他の駅をサービスする群の周期で数周期分以上)続くものとする。これは、大駅の近傍でコンサートなどの大きなイベントが終了したことのモデル化である。

立ち上がり時点がいつか、つまり、いつ需要が急増するかは予測できないが、需要突出比 r は立ち上がり時点にわかるものとする。イベントの終了時点は変動し得るが、参加人数は立ち上がり時点以前にわかるし、 f_l は会場の構造などで制限されるからである。

評価は立ち上がり時点と突出状態のそれぞれについて行う。

大駅利用者の $\frac{1}{r}$ は、平常時から継続して運行している群でサービスできるが、残りの $\frac{r-1}{r}$ (増加分の利用者と呼ぶ)は、別の方法でサービスしなければならない。立ち上がり時点の予測ができないと仮定しているので、増加分の利用者のサービスのための車両運行は立ち上がり時点から始めるものとする。この場合、所要時間が最大になるのは、増加分の利用者の中で立ち上がり時点に大駅に来た人についてである。

この利用者の所要時間(待時間は平均ではなくこの利用者の実際の待時間をとる)と直行時間の差を立ち上がり損失 D_i と定義し、これによって立ち上がり時点のサービスを評価する。5.6の仮定により回送時間は評価に含めない。

定常時には、通常駅利用者に対する損失時間 L_n と、大駅利用者に対する損失時間 L_l を評価量とする。

15.2 大駅のサービス方式

大駅に対するサービスは、他の通常駅と組合せて群運行によって行う場合と、都心駅は大駅のみを対象とする専用の車両によって行う場合を考える。

15.2.1 群運行によるサービス

平常時に大駅をサービスしていた群が、突出状態でも大駅のサービスを続ける場合である。13.2.2で採用した上り方向の輸送を行う群に対し、 s と d を交換して下りのサービスを行う $(s, d, p, q) = (8, 4, 8, 1), (4, 4, 8, 1), (4, 2, 8, 1), (2, 2, 8, 1), (2, 4, 4, 1)$ の群を考える。すべて $q = 1$ なので、この章では q は常に1であるものとして輸送群パラメータは (s, d, p) と表示する。

群は大駅を含む sp 都心駅と dp 郊外駅をサービスする。 p 台の車両が各 s 都心駅をサービスする、という平常時と同じ運行形態をとると、突出状態では大駅をサービスする車両 (p 台のうちの1台) の乗車率を1にするために、残りの $p-1$ 台は1より小さい乗車率で運行しなければならない。

図15.1は横軸に p 台の車両を取り、縦軸に各車のサービスする利用者数を相対的に表したものである。縦軸の単位は、一通常駅から時間あたりにこの群を利用する人数である。各区画(この図では長方形)は一都心駅を表す。左端の車両は大駅と $s-1$ 通常駅をサービスするので、他の $p-1$ 台の車両に対し $\frac{r+s-1}{s}$ 倍の利用者を乗せることになる。つまり、通常駅のみをサービスする車両の乗車率は $\frac{s}{r+s-1}$ にしないと、大駅で積み残しが生ずる。

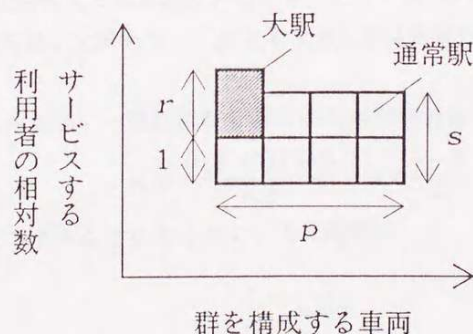


図15.1 突出状態で群内の車両がサービスする利用者の相対数

この乗車率の低下を防ぐために、群内で可能な限り多数の車両が大駅をサービスする輸送方式を考える。

各車両は、迂回となることがあっても原則として大駅をサービスするが、都心駅のホーム容量は

$C_p = 5$ しかないので、大駅といえども時間あたりに乗降を扱える車両数には限りがある。これについては第十六章で議論するが、 $S_{max} = 2, C_p = 5$ の場合で運行周期の最小値は $T = 101t_h$ であり、この期間に $N_l = 20$ 台の車両が乗降を扱うのが限界である。大駅をサービスする車両の数 n_c は、この限界を平均で越えないものとする。

一周期に p 台の車両が走る場合の他に、 p 台ずつ二回に分けて $2p$ 台の車両が走る場合についても述べる。

一周期に p 台の車両が走る場合

図 15.2 のように p 台の車両のうち n_c 台が大駅をサービスする。

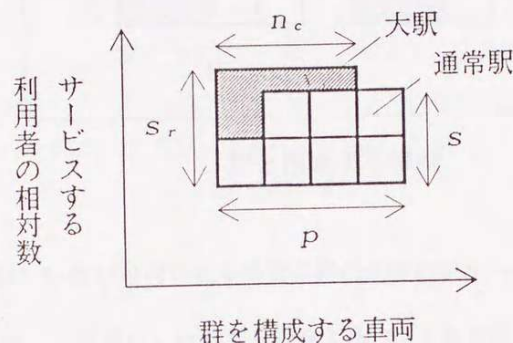


図 15.2 一周期に p 台の車両が走る場合に群内の車両がサービスする利用者の相対数

この場合もともと(平常時に)大駅をサービスしていた車両以外の $n_c - 1$ 台は $s + 1$ 都心駅をサービスすることになるので、迂回損失と停車損失が増えることになる。停車損失は一停車増加で $t_{s1} = t_{e1} + t_{b1}$ の増加である。迂回損失は、大駅をサービスするために 3 枝分走行経路長が増えると近似し、 $3t_b$ の増加とする。

大駅をサービスする車両は、一通常駅からのこの群の利用者数を 1 として、

$$s_r = \frac{(n_c s - 1)f + f_l}{n_c f} = s + \frac{r - 1}{n_c} \quad (15.2)$$

だけの利用者をサービスすることになるので、運行周期は

$$T = \frac{c}{s_r d p f} \quad (15.3)$$

となる。

通常駅利用者の損失時間 L_n と大駅利用者の損失時間 L_l は $n_c > 1$ である限り等しい。

一周期に $2p$ 台の車両が走る場合

これは r が $s p$ より大きいときを想定したサービス方法で、群の運行周期 T に対し、 $T_l = \frac{T}{2}$ ごと(乗換駅で見た間隔)に p 台の車両を運行して、大駅は T_l (大駅のサービス周期と呼ぶ)ごと、通常駅

は T ごとにサービスする。

この方式では、 p 台ずつの車両が相互に乗換を行い、それぞれ dp 郊外駅のすべてをサービスする。乗換駅と郊外駅では、 T_l ごとに車両が来ることになる。そして、図 15.3 のように $2p$ 台の車両のうち n_c 台が大駅をサービスする。 $n_c \leq p$ では、大駅と通常駅を別々にサービスするのと等価になるので、 $n_c > p$ を前提とする。

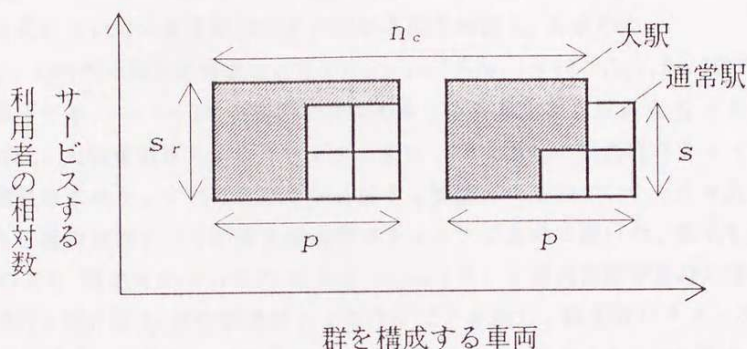


図 15.3 一周期に $2p$ 台の車両が走る場合に群内の車両がサービスする利用者の相対数

このとき、通常の群、一周期に p 台が走る場合と比べて 2 倍の頻度で乗換駅を使用することになるが、 $n_c > p$ の範囲でしかサービスを行わないので、大駅のホーム容量の方が強い制約となり、この制約にかからない限り乗換駅の容量は制約とならない。

停車損失、迂回損失は一周期に p 台が走る場合と同様に、平常時に対して増える。平均待時間は、通常駅に対しては p 台の場合と同じだが、大駅に対してはサービス周期 T_l が運行周期 T の $\frac{1}{2}$ になるので半分になる。

大駅をサービスする車両は、一通常駅からのこの群の利用者数を 1 として、

$$s_r = \frac{\{(n_c - p)s - 1\}f + f_l}{n_c f} = \left(1 - \frac{p}{n_c}\right)s + \frac{r-1}{n_c} \quad (15.4)$$

だけの利用者をサービスすることになるので、運行周期は

$$T = \frac{c}{s_r d p f} \quad (15.5)$$

大駅のサービス周期は

$$T_l = \frac{T}{2} \quad (15.6)$$

となる。

15.2.2 大駅専用車によるサービス

大駅の利用者のうち、通常駅と同数(大駅利用者の $\frac{1}{r}$)については通常駅と同じ群がサービスし、残りの $\frac{r-1}{r}$ を、大駅と d 郊外駅を乗換なしで結ぶ大駅専用車でサービスする方式である。輸送群

パラメータは $(s, d, p, q) = (1, d, 1, 0)$ (d だけが変わる) で、 d としては 2 の冪、2, 4, 8, 16 を考える。損失時間は (9.11) 式によって求められる。大駅専用車は一都心駅しかサービスしないので、迂回損失は生じない。

15.3 損失時間と立ち上がり損失

三通りの大駅サービス方式について大駅利用者に対する損失時間 L_l 、立ち上がり損失 D_i を求め、群運行の二方式については通常駅利用者に対する損失時間 L_n も求めた。

一通常駅対一郊外駅の輸送需要量として $f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s, 1×10^{-3} 人/s, 3×10^{-3} 人/s, 1×10^{-2} 人/s の四通りの値をとり、 $r = 1 \sim 30$ の範囲で大駅のホーム容量上実現可能な f_l をとる。群運行の二つのサービス方式、大駅専用車によるサービス、共に 15.2 で示した輸送群パラメータのすべてについて三種の評価量を求めた。すべてをグラフに示すと繁雑になるので、サービス方式ごとにそれぞれの中で他より三種の評価すべてが劣る輸送群パラメータのものは除いた。結果を図 15.4~図 15.15 に示す。 $r = 1$ のとき (群運行についてのみ) には、 $n_c = 1$ として輸送需要平常時の特性を示す。図で $[p]$ は p 台の群運行、 $[2p]$ は $2p$ 台の群運行によるサービスを表し、輸送群パラメータ (s, d, p) を表示する。 $[1]$ は大駅専用車によるサービスを表し、輸送群パラメータのうち (d) を表示する。

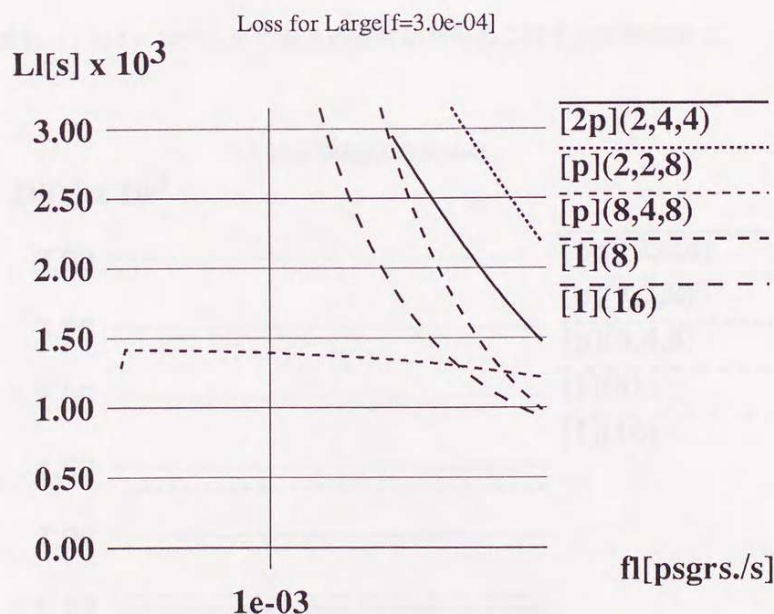


図 15.4 $f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s のときの大駅利用者に対する損失時間 L_l

$L_n - f$ のグラフで $f_l = f$ ($r = 1$) のところで最も小さい損失時間が、需要平常時の損失時間である。 L_n がこれより上にあるところでは、大駅のサービスのために停車回数が増えたため、通常駅のサービスが悪化している。

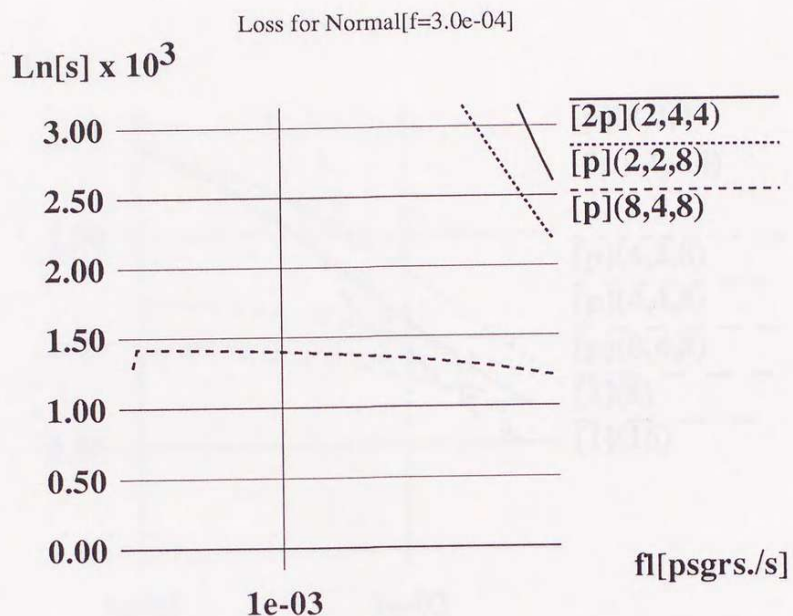


図15.5 $f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s のときの通常駅利用者に対する損失時間 L_n

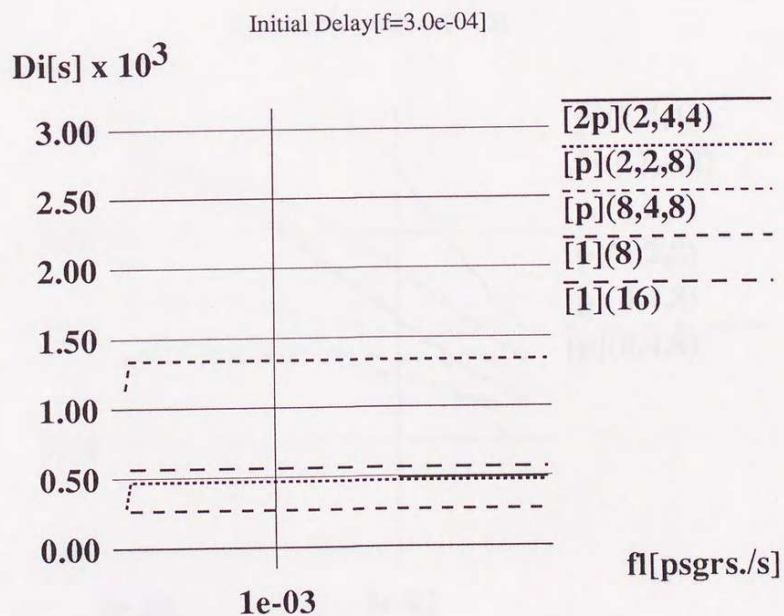
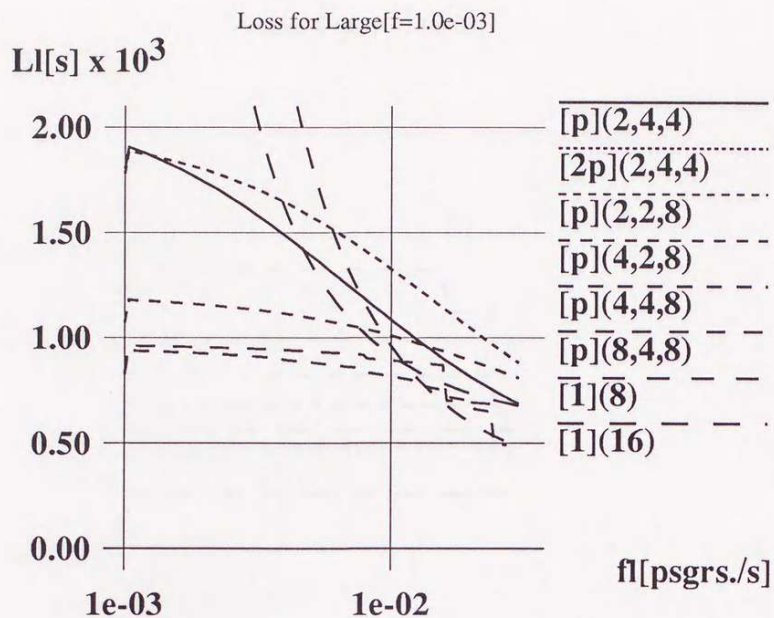
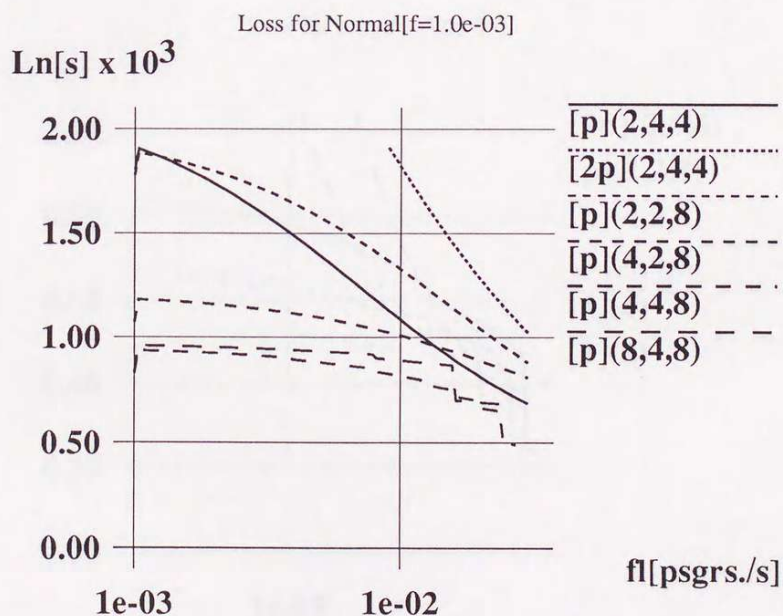
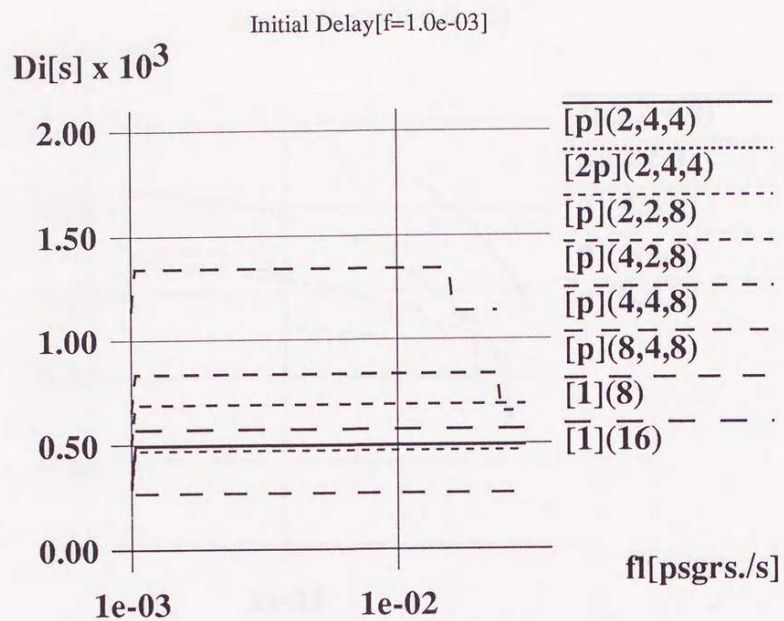
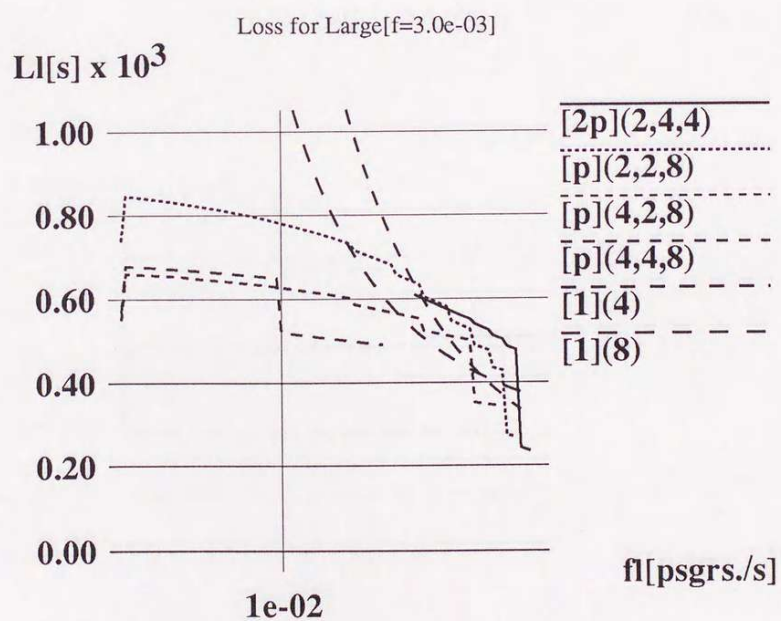


図15.6 $f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s のときの立ち上がり損失 D_i

図15.7 $f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s のときの大駅利用者に対する損失時間 L_l 図15.8 $f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s のときの通常駅利用者に対する損失時間 L_n

図15.9 $f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s のときの立ち上がり損失 D_i 図15.10 $f = 3 \times 10^{-3}$ 人/s のときの大駅利用者に対する損失時間 L_l

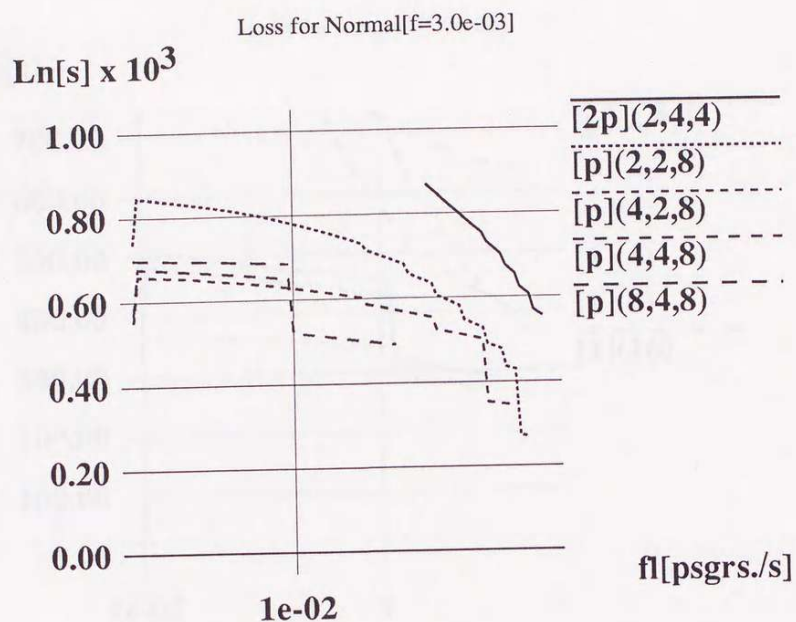


図15.11 $f = 3 \times 10^{-3}$ 人/s のときの通常駅利用者に対する損失時間 L_n

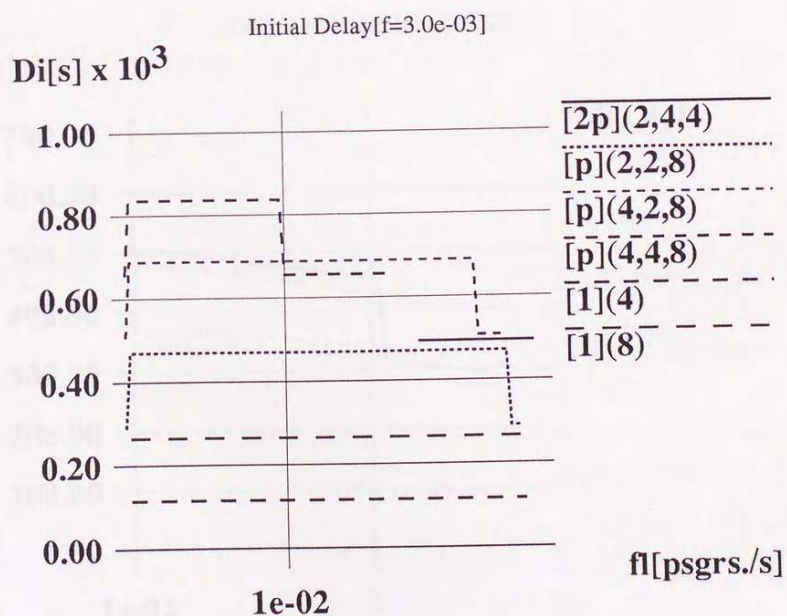
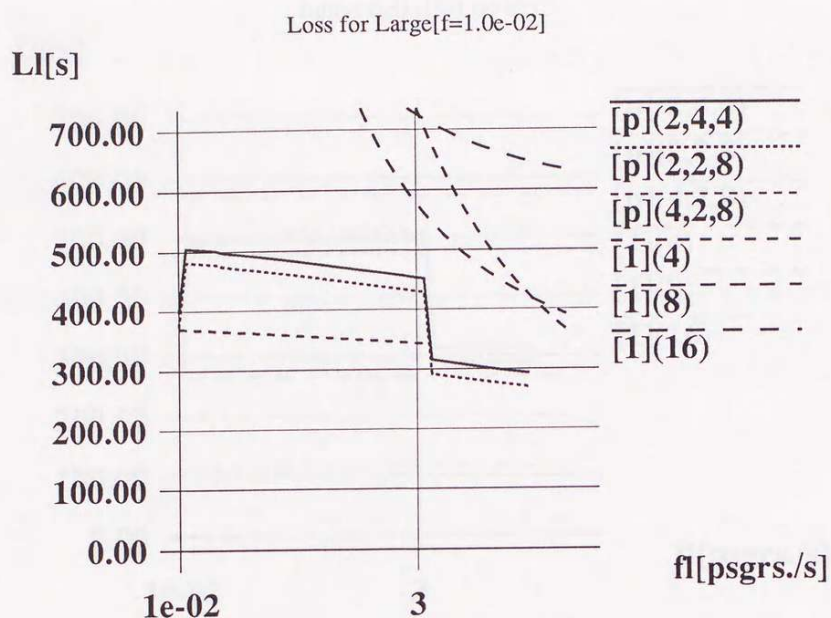
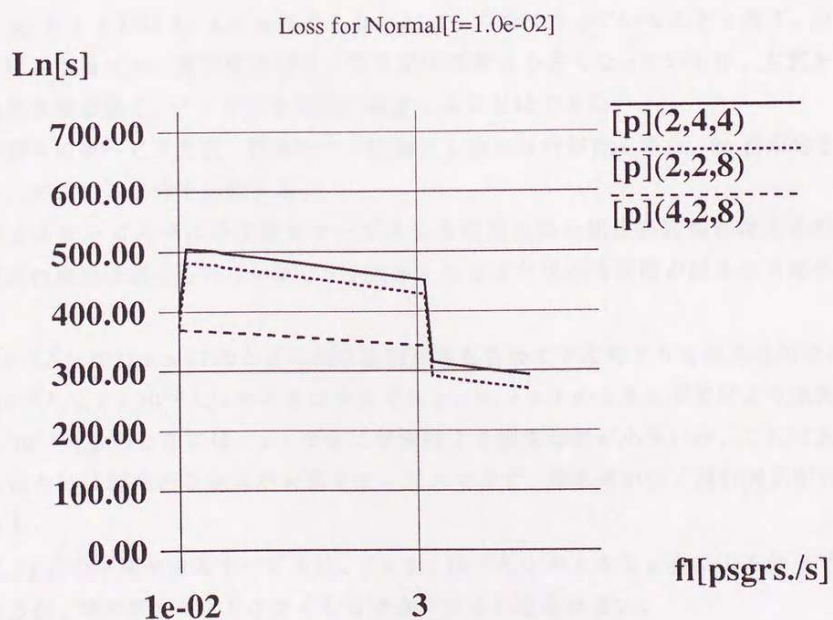
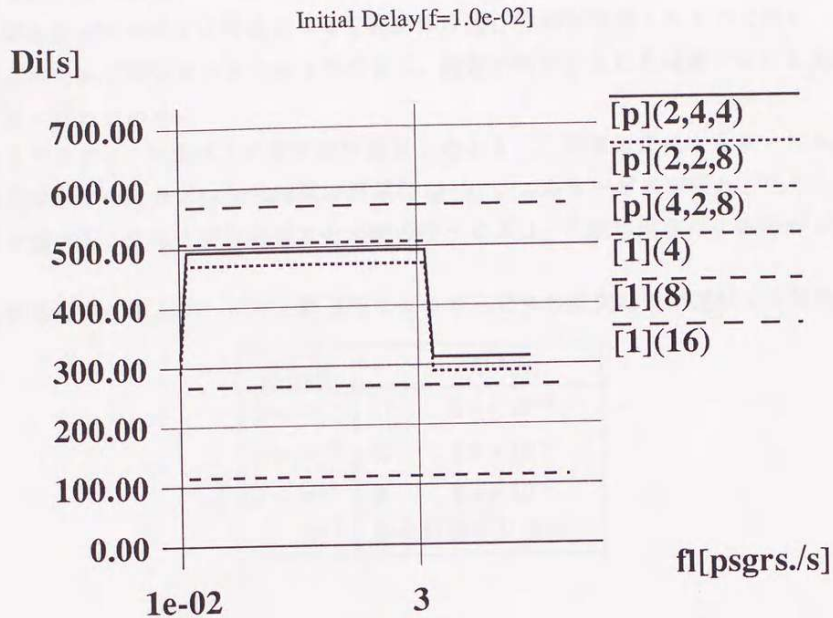


図15.12 $f = 3 \times 10^{-3}$ 人/s のときの立ち上がり損失 D_i

図15.13 $f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s のときの大駅利用者に対する損失時間 L_l 図15.14 $f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s のときの通常駅利用者に対する損失時間 L_n

図15.15 $f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s のときの立ち上がり損失 D_i

$f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s 以外の各グラフの $f_l > f$ の領域で段がついているのは、大駅のホーム容量の限界のために n_c を p または $2p$ より小さくしなければならなくなっていることを表す。少ない車両で大駅をサービスするため、運行周期が短くなり損失時間は小さくなっているが、大駅をサービスしない車両の乗車率が低く、サービスを同列に議論することはできない。

大駅の三通りのサービス方式、群運行で一周期に p 台の車両が走る場合、 $2p$ 台が走る場合、大駅専用車がサービスする場合を比較する。

群運行によるサービスでは通常駅をサービスする車両の都心駅停車回数が増えるので、停車損失、迂回損失の増加は避けられないが、 r が大きくなるほど平均待時間が減るので損失時間が小さくなる。

$f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s では $r > 17$ のときに通常駅利用者も含めて平常時よりも損失時間が小さくなる。

$f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s, 3×10^{-3} 人/s のときはそれぞれ $r > 9$, $r > 3$ のときに平常時より損失時間が小さく、 $f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s のときには $r > 1$ で常に平常時より損失時間が小さいが、これは大駅のホーム容量の不足のために群内の全車両が大駅をサービスできず、乗車率が低く運行周期が短くなっているためである。

一周期に $2p$ 台の車両が走るサービスは、 $f = 3 \times 10^{-3}$ 人/s のときに p 台によるサービスより優れることがあるが、乗車率が1より小さくなる場合に限られ効率は悪い。

大駅専用車によるサービスは r が小さいときには不利だが、 $f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s では $r > 17$ 、 $f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s では $r > 13$ 、 $f = 3 \times 10^{-3}$ 人/s では $r > 8$ のときには群運行によるサービスで乗車率が1の場合より損失時間が小さくなる。 $f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s では常に不利である。

立ち上がり損失は大駅専用車の方が有利である。群運行によるサービスでは乗換駅から最も遠くにある都心駅を車両が出発する時点によって群全体の運行時刻が規定されるのに対し、大駅専用車によるサービスでは d は大きいものの s が小さく、需要不均衡が生じた時点で直ちに大駅のサービスを開始できるからである。

以上をまとめると、 r が表 15.1 に示す境界値以上のときに大駅専用車によるサービスが絶対的に有利で、境界値以下のときには損失時間は群運行 (p 台) によるサービスが優れ、立ち上がり損失は大駅専用車が優れる。立ち上がり時点での大駅のサービスは、大駅専用車によるのがよい。

表 15.1 大駅専用車によるサービスと群運行によるサービスの損失時間が逆転する境界の r と f_i

f [人/s]	r	f_i [人/s]
3×10^{-4}	17	5.1×10^{-3}
1×10^{-3}	13	1.3×10^{-2}
3×10^{-3}	8	2.4×10^{-2}
1×10^{-2}	常に群運行が優れる	

第十六章

輸送力

第五部

評価

第十六章

輸送力

16.1 前提

ここでは大都市用群運行システムの輸送力を、実際に枠を予約して群内の車両の走行する経路、時刻を表す運行計画を作成することで、測定する。運行計画表上では時刻は枠(枠が空間的に一枠の長さだけ進むのにかかる時間)を単位として整数で表示する。

車両を運行するために必要な、経路上の枠とサービス駅の乗降票を予約することを、車両を設定すると表現する。損失時間が最小のサービスをするために車両が駅を出発すべき時刻を基準出発時刻 τ_0 と呼ぶ。時刻 τ_0 に駅を出発すべき車両を設定しようとして、枠または乗降票の空きがないために τ_0 以後の τ に出発するようになら設定できなかったとき、 $\Delta\tau = \tau - \tau_0$ を設定遅れと呼ぶ。

輸送力は、図10.2の蜂の巣網で、全ての枝が正常な状態と、都心枝の内の一本が両方向とも不通になった場合について調べる。

ここで対象とする輸送需要は、3.2の通勤型の上り方向のものとする。大都市用群運行システムの実現可能性は、現在の鉄道で輸送量が最も多い朝のラッシュ時に輸送需要を満たす輸送力あるかどうかにかかっているからである。

第十三章の結果(図13.7)によれば、通勤型輸送需要で需要量 f が 2×10^{-2} 人/s 以上のときには、 $(s, d, p, q) = (4, 2, 4, 1)$ の群によってサービスすると損失時間が最も小さい。そこでこの測定でも、車両はこのタイプの群として運行することを前提にする。定常的で地域的にも一様な需要を仮定しているので、すべての群が共通の運行周期 T で運行するものとする。 T の期間に一定の人数(一つの群で $p^q c = 400$ 人)を輸送できるので、 T を変えて運行計画が作成できるかどうかを調べ、作成できた最小の T によって輸送力を知る。

輸送力は、一郊外線対都心全体の輸送力 F_c で表す。

$$F_c = N_s N_d f = \frac{c N_s N_d}{s d p^q T} \quad (16.1)$$

である。

輸送力を測定するにあたり、最大整合量 S_{max} とホーム容量 C_p を変えて調べる。(設計値は $S_{max} = 2$, $C_p = 5$ である。)

このタイプの群は車両4台からなり、それぞれが4郊外駅と2都心駅をサービスするので、群全体

では $sp^q = 16$ 郊外駅と $dp^q = 8$ 都心駅をサービスすることになる。各郊外線上には $N_s = 16$ 駅、都心部全体には $N_d = 64$ 駅あるので、一郊外線と都心全体とのサービスに対して $n_g = \frac{N_s N_d}{sp^q dp^q} = 8$ 群があり、各群が共通の 16 郊外駅とそれぞれ異なる 8 都心駅の間をサービスする。運行周期 T ごとにサービスを開始する車両数は、8 群の合計で $n_g p^q = 32$ 台である。大都市全体では $N_i n_g = 160$ 群あり、 T ごとに $N_i n_g p^q = 640$ 台の車両がサービスを開始することになる。

問題を単純にするために、この測定では群でなく車両を単位とし、乗換駅から都心側についての設定だけを扱う。この理由は、郊外線上では枠の使用率が低く枠選択の自由度が高いことと、一郊外線をサービスする 8 群の間で都心側のサービス駅を容易に交換できることである。

まず郊外線上では車両の設定遅れは小さい。モデルで考慮している最大の輸送需要は、運行周期 $T = 114s$ ($t_h = 1s$ なのでこれは 114 枠になる) の輸送で満たせる。郊外線 (片側) 上を走る車両数は一周に $n_g p^q = 32$ 台なので、枠の使用率は最も高い区間で 28% である。駅以外に分岐がない (枝としては一本である) ので、枠選択の自由度が高く車両を設定する際の遅れは小さい。 (T よりオーダーが低い。)

次に都心部で 8 群のそれぞれがサービスする 8 都心駅は、互いに異なっていさえすればどのような組合せでもよい。利用者に、目的の都心駅に到達するためにどの群を利用すればよいかを知らせておけば、一つの群のサービスする 8 都心駅が地理的に近くにある必然性はない。単一の枝である郊外線の場合と異なり、多数の枝が三叉点で結合されている都心部では、設定遅れが周期 T と同じオーダーになり得るが、設定を車両ごとに行い、設定できた出発時刻の相互に接近した車両 4 台を組合せて群とすることで、この問題に対処できる。この場合、群を構成することになった 4 台の車両が乗換駅を出発する時刻は一般には連続しないので、乗換損失は第九章で求めた値より大きくなる。しかし、乗換駅の容量の問題は、乗換駅を遅れて出発する車をホームから出発側に進めておくことで回避できるし、乗換損失は増加するが、周期 $T = 114$ 秒では 32 台の車両の平均間隔は約 3 秒なので、約 10 秒に収まる。それぞれの群が利用する乗換駅は 13.2.2 で述べたように必ずしも並列にないが、郊外線の乗換駅前後の区間で通過車両数は等しいので、郊外線上の枠の予約を乗換駅の都心側から先に行えば、乗換駅が一カ所に並列にあるものと考えても重大な差は生じない。

ここで対象としている $(s, d, p, q) = (4, 2, 4, 1)$ の群では、サービスは車両が二つ目の都心駅に到着したときに完了するが、5.6 で車両の留置設備は郊外線上にあることにしているので、サービス終了後の車両は、適当な郊外線へ回送する。一本の郊外線へ周期 T の間に回送される車両の数を回送数と呼ぶ。各郊外線からは、周期 T の間に $n_g p^q = 32$ 台が出発するので、回送数も 32 台でなければ車両数に不均衡を生ずる。各車両の回送先 (回送郊外線) は、全 20 郊外線の回送数が等しくなるように選ぶ。単に車両数を均衡させるだけなら、回送先を予め決める必要はないが、この測定では次の理由で、回送郊外線を確定する。

都心枝を一周に通る車両数の平均は、全 640 台の車両の走行経路長の合計に比例する。この平均が小さいほど、周期 T を短く、輸送力を大きくできる可能性が高い。回送郊外線を予め決めずに、各車両を設定するときに、回送数の少ない郊外線の中で回送経路の短いものを選ぶ、という方法もある。しかし車両の設定は一台ずつ行うので、この方法では、設定順の遅い車両は回送経路の長い郊外線へ回送しなければならなくなるケースが生じ得る。これに対し、回送郊外線を全車両について予め決める方法をとれば、走行経路長の合計が短くなるように郊外線を割り振ることができる。

以上からこの測定では、乗換駅から都心側で車両を設定できるかどうかに着目する。一周期 T ごとに運行する 640 台の車両すべてについて、郊外線上の乗換駅を出発してから、都心の 2 駅に停車してサービスを完了し、郊外線へ回送されるまでの枠と乗降票を予約できたとき、この周期の運行計画を作成できたとする。

16.2 正常な網の容量

16.2.1 サービス駅の選択

16.1 の前提に従って、車両を設定する前に

1. 出発郊外線
2. 第一都心駅
3. 第二都心駅
4. 回送郊外線

を決める。各車両は $d=2$ 都心駅をサービスするので、停車順に第一、第二と呼ぶ。

一台の車両がサービスする $s=4$ 郊外駅は一本の郊外線上にあるので、同じ郊外線上の乗換駅の間では迂回となることはない。地域分離 [3]、つまり、郊外線を連続する 4 駅ずつの $\frac{N_s}{s}=4$ 地域に分け、各車両が地域内の 4 駅をサービスするようにすれば (図 13.12)、平均乗車率向上と総走行経路長低減の上で最適だが、迂回比に限ればどのような組合せでも (地域分離でなくても) 差を生じない。

しかし、都心駅の場合、 $d=2$ 駅の組合せによっては出発郊外線から第二都心駅までの経路が最短経路とならず、迂回損失を生ずることがあり得る。したがって、一台の車がサービスする 2 都心駅の組合せは、迂回比が小さくなるように決めるべきである。

一方、大都市用群運行システムの輸送力は、路線容量だけでなく、ホーム容量でも制限される。一台の車両が駅に滞在する時間は $t_{e1} + t_{b1} = 25s$ あり、一般に駅には複数の車両が滞在していることになる。特に都心駅の場合、駅の長さが都心枝の長さを規定しているので、ホーム容量を増やすと、歩行距離の増加または都心部巡航速度の低下というデメリットが生ずる。

駅には両方向の本線に対応して二つのホームがあるが、都心駅の場合、一般にはどちらのホームでも使うことができる。つまり、出発点からどちらのホームにも到達する経路がある。各都心駅に一周期あたり到着する車両数は等しく、都心駅のホーム容量は両方向等しいので、両方向のホームを使用する車両数を等しくすれば、駅の長さを短く抑えることができる。駅には一周期あたり $N_l = 20$ 台の車両が到着するので、それぞれのホームを $\frac{N_l}{2} = 10$ 台の車両が使用すれば、車両数が均衡する。

16.1 で回送郊外線を予め決めたのと同じ理由で、各車両が駅のどちらのホームを使用するかは予め決める。第一都心駅、第二都心駅 (それぞれ、枝を通る方向によりホームを指定する) の組合せは次の手順で決める:

1. 出発郊外線ごとに、次の手続きで都心駅を 2 駅ずつ仮に組合せる。
 - (a) 第二都心駅として、まだ組み合わせていない都心駅の中で出発郊外線からの直線距離の最も大きいものを選ぶ。

- (b) 第一都心駅として、まだ組み合わせていない都心駅の中で出発郊外線から第二都心駅への経路の第一都心駅を通ることによる迂回比が最も小さいものを選び、第二都心駅と仮に組合せる。
 - (c) $N_l = 64$ 都心駅すべてを組合せたら終了。
 - (d) 1.(a)へ戻る。
2. 両ホームを使用する車両数が不均衡な都心駅について、次の処理をする。
- (a) 台数の多いホームを使用する車両それぞれについて、これを反対ホームへ移したときの、迂回比の変更前に対する増分を求める。
 - (b) 2.(a)の増分の小さいものから順に、両ホームの台数が均衡するまで反対ホームへ移す。
3. 各出発郊外線に対し、1.で決めた都心駅の仮の組合せを調べ、各都心駅での使用ホームは変更せず組合せの変更によって1.(b)の迂回比を小さくできる場合があれば、変更する。

次に、全 20 郊外線を出発する 640 台の車両について回送郊外線を次の手順で決める：

1. 全車に対し、第二都心駅からの経路長が最も短い郊外線を仮の回送郊外線とする。
2. 仮の回送数が郊外線間で回送台数が均衡するときの台数(それぞれ 32 台)を越える郊外線について、回送数の多いものから順に、次の処理をする。
 - (a) この郊外線を仮の回送郊外線とする全車両に対し、第二都心駅からこの郊外線までの経路長 l_α と、回送郊外線を最寄りの回送数の少ない郊外線へ移したときの経路長 l_β を求め、 $\Delta l = l_\beta - l_\alpha$ を指標とする。
 - (b) Δl の小さい順に、この郊外線への仮の回送台数と、郊外線間で回送台数が均衡するときの台数(それぞれ 32 台)の差だけ、近くの回送数の少ない(32 台未満の)郊外線へ移す。
3. 隣接する郊外線の間で回送されてくる車両を交換したときに、2.(a)の Δl の 2 台の車両についての和が小さくなる場合があれば、交換する。

以上の手順で決めた車両がサービスする 2 都心駅と回送郊外線の組合せを、出発郊外線ごとに図 16.1 から図 16.4 に示す。(一台の車両のサービス駅を太線で囲み、回送郊外線を番号で示す。) 蜂の巣網は直交する 2 軸に関して対称なので $N_l = 20$ 本の郊外線は対称性により 5 種類にまとめられるが、このうち 2 種類については同じ図 16.4 の組合せを使用する。

16.2.2 経路選択法

16.2.1 で決めた、各車両の

1. 出発郊外線
2. 第一都心駅(枝を通る方向によりホーム指定)
3. 第二都心駅(ホーム指定)
4. 回送郊外線

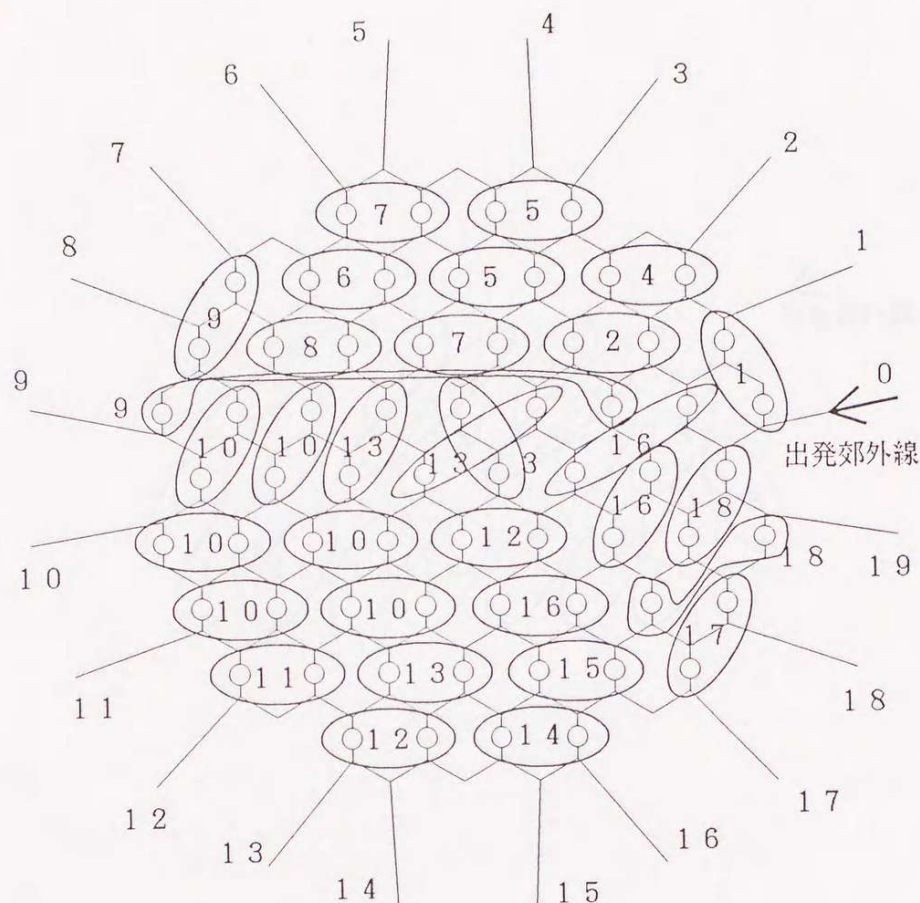


図16.1 郊外線0を出発する32台の車両のサービスする都心駅と回送郊外線

の間を、3区間(順に区間1, 区間2, 区間3と定義する)に分けて扱う(図16.5)。

この三つの区間のそれぞれについて、経路は最短経路を選ぶ。蜂の巣網では、最短経路は一般には複数あるが、この測定では以下のアルゴリズムによりその一部を選び出す。

経路選択アルゴリズムは、「三叉点において目標点に近づく方へ曲がる」というものである。図16.6で枝Cは、この区間の最後の枝—区間1, 2に対してはそれぞれ第一、第二都心駅、区間3に対しては回送郊外線—である。枝Cの入口を目標点(c)と呼ぶ。枝AからCへ至る区間の経路を選択するときは、以下の手順により各三叉点で曲がる方向を選ぶ:

- 枝Bまで経路を選択しているとする。
- 枝Bを通った車両が、その末端の三叉点bで左右どちらへ曲がるかを決めるには、枝Bを含み、bの方向へ延長した半直線(図の破線)を考える。Bから見て目標点cが半直線の左にあれば左、

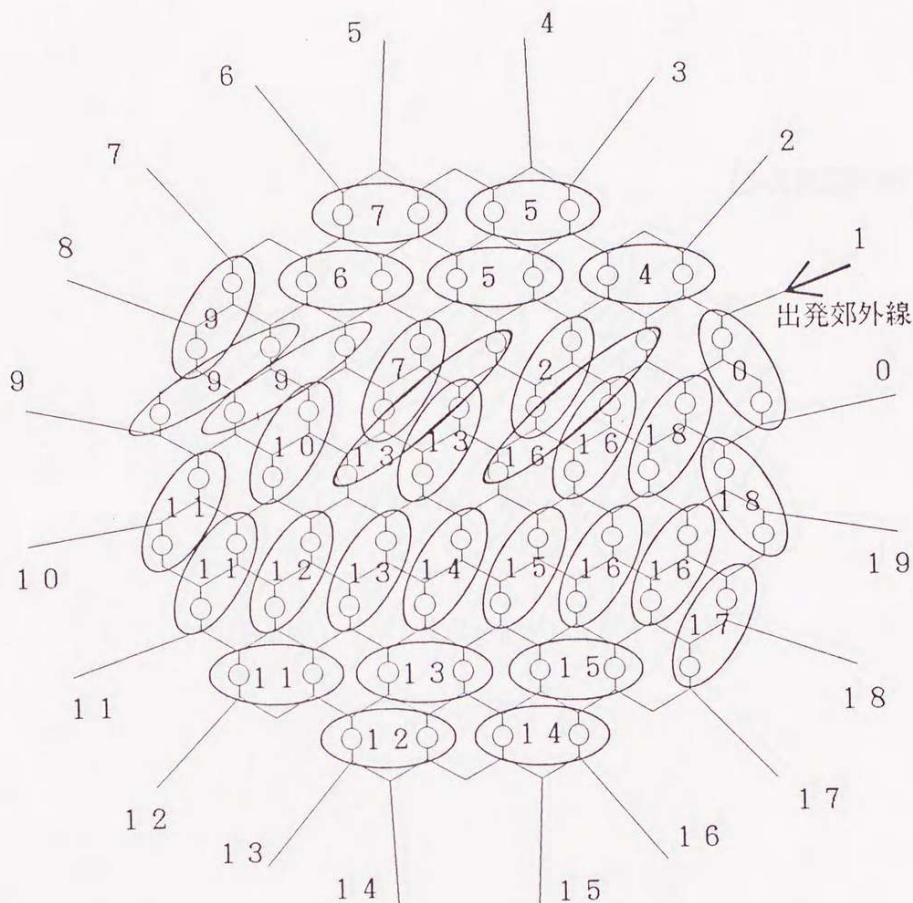


図16.2 郊外線1を出発する32台の車両のサービスする都心駅と回送郊外線

右にあれば右へ曲がる。

- 目標点cが半直線上にあるときは、この車両の経路としてbで右へ曲がるものと左へ曲がるものの両方を候補とし、16.2.4で一方を選択する。

16.2.3 車両の設定法

まず、区間について、車両を設定するために空き枠を探索する方法を二通り示す。次にこの探索法を使って、出発郊外線から回送郊外線までの車両の全経路について、枠と乗降票の空きを探索し車両を設定する方法を示す。

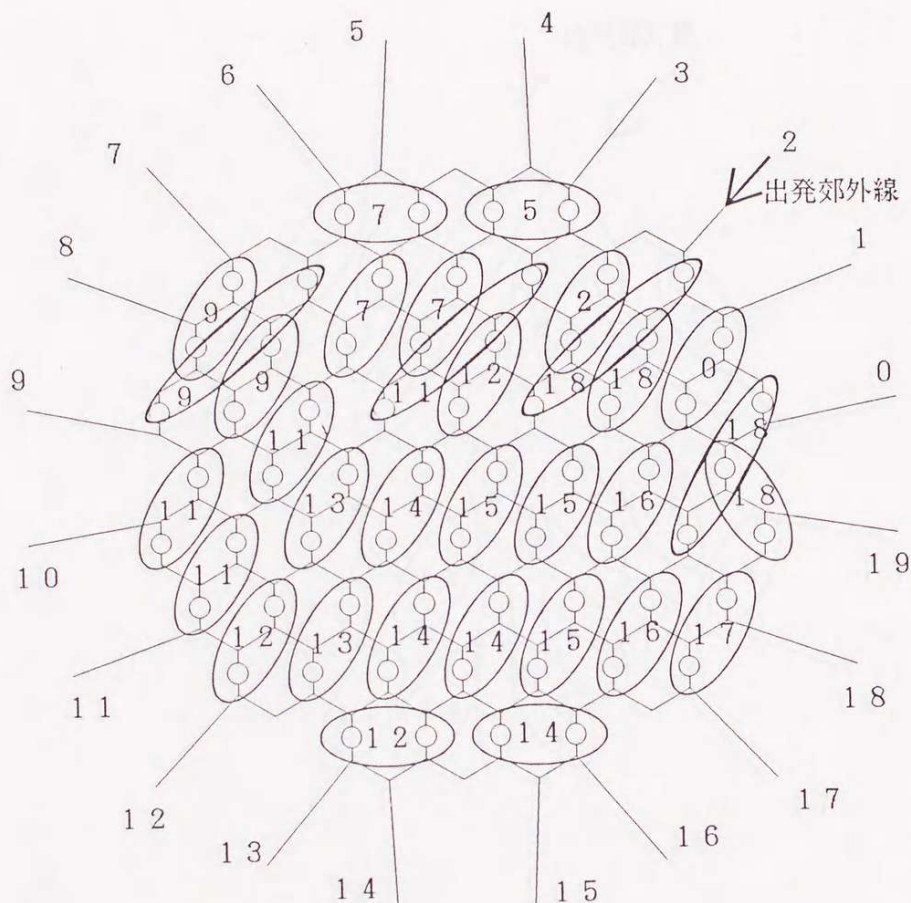


図16.3 郊外線2を出発する32台の車両のサービスする都心駅と回送郊外線

区間の空き枠探索法

まず先着優先法を説明し、次に中央優先法を説明する。

先着優先法 16.2.2で定義した区間で、選択した経路のそれぞれについて、以下の手順で空き枠を探索する(図16.7):

1. 枝Aから枝Cへの経路について、経路上の枝に0から l までの番号をつける。
2. 枝 i 上で使用する枠の時刻を p_i とする。
3. 枝0の時刻 p_0 の枠が空きのとき、次の条件を満たす枝1から枝 l までの枠の $(S_{max} + 1)^l$ 通りの組合せを、枝 l への到着時刻が早い順に調べ、枝 l まで到達できる枠の組合せが発見できたら終了する。

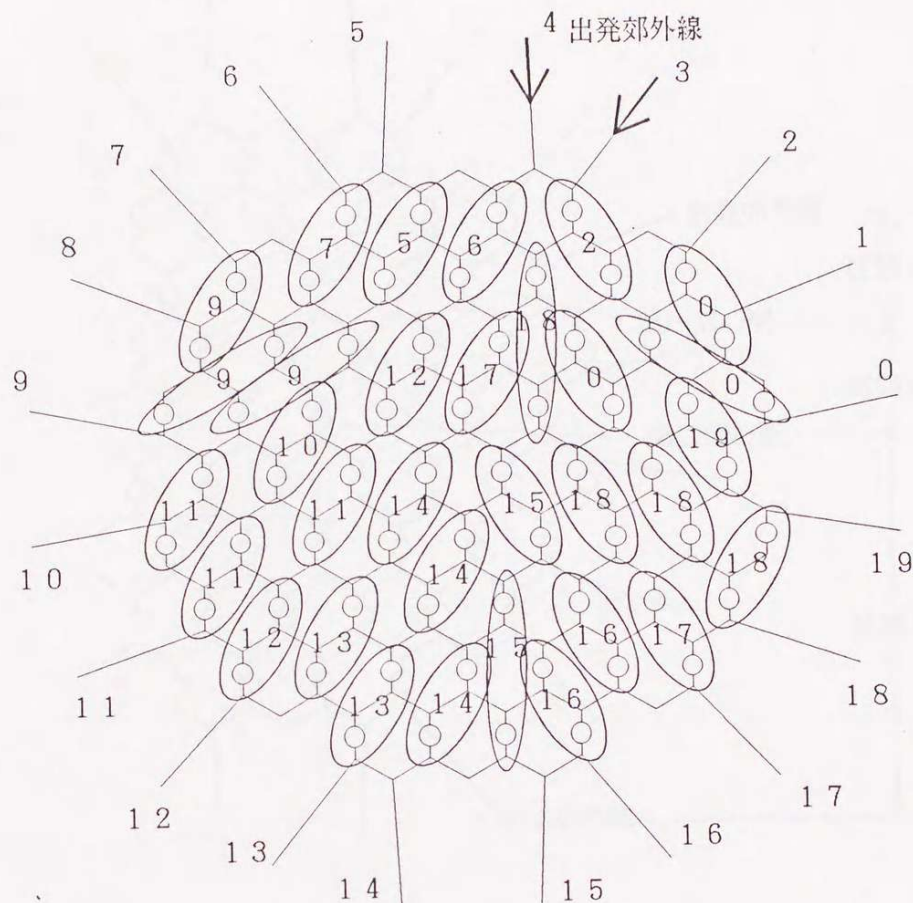


図16.4 郊外線3と4を出発する32台の車両のサービスする都心駅と回送郊外線

再探索(車両の全経路についての枠と乗降票の空き探索と設定法で行う)では、残りのまだ調べていない組合せについて到着時刻順に調べ、発見時に終了する。

- ある枝 $i (0 \leq i < l)$ 上で時刻 p_i の枠を使用するなら、枝 $i+1$ 上では時刻 $p_i + S_b \sim p_i + S_b + S_{max}$ の $S_{max} + 1$ 通りの枠が使用可能である。
 - この $S_{max} + 1$ 通りの枠は、枠が空きであり通過する三叉点で他車と順番が入れ替わらないときに限って使用可能である。
4. $(S_{max} + 1)^l$ 通りの全組合せについて枝 C に到達できなければ、この経路で枝 0 を時刻 p_0 に出発する車両は設定できない。

複数の経路に空き枠がある場合には、最も早く枝 C に到達する経路を選ぶ。同時刻に到着する場合、両経路が最初に分離する三叉点で右へ曲がる方の経路を選ぶ。

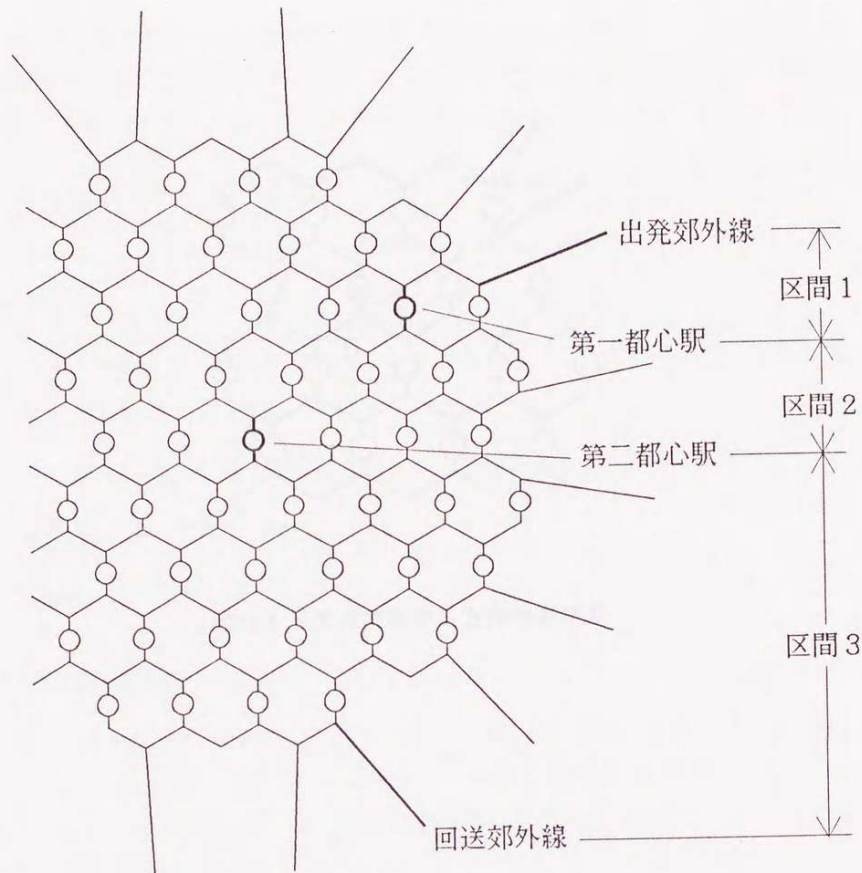


図16.5 区間

中央優先法 先着優先法と同じ $(S_{max} + 1)^l$ 通りの選択肢の中から空き枠を選ぶが、選択肢の中で到着時刻が全体の中央に近いものを優先する。このため、枝 $i (0 \leq i < l)$ 上で時刻 p_i の枠を使用するならば、枝 $i+1$ 上で時刻 $p_i + S_b \sim p_i + S_b + S_{max}$ の $S_{max} + 1$ 通りの選択肢 (順に $0, 1, \dots, S_{max}$ とする) を

1. S_{max} が奇数のとき

$$\frac{S_{max}-1}{2}, \frac{S_{max}+1}{2}, \frac{S_{max}-3}{2}, \frac{S_{max}+3}{2}, \dots, 0, S_{max}$$
2. S_{max} が偶数のとき

$$\frac{S_{max}}{2}, \frac{S_{max}}{2} - 1, \frac{S_{max}}{2} + 1, \frac{S_{max}}{2} - 2, \frac{S_{max}}{2} + 2, \dots, 0, S_{max}$$

の順で調べる。

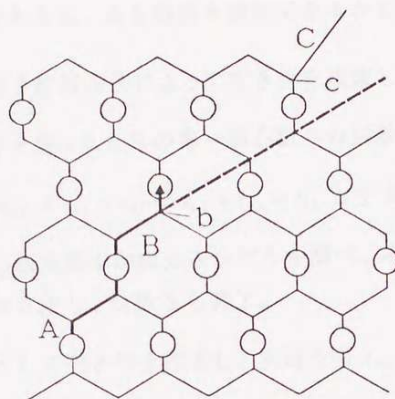


図16.6 三叉点で曲がる方向の選び方

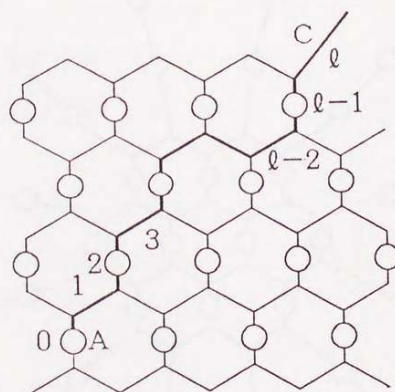


図16.7 車両を設定する区間

車両の全経路についての枠と乗降票の空き探索と設定法

出発郊外線 \Rightarrow 第一都心駅 \Rightarrow 第二都心駅 \Rightarrow 回送郊外線の全経路について車両を設定するためには、本線上の空き枠だけでなく、駅の乗降票に空きがあるかどうかを確認しなければならない。
 出発郊外線上の時刻を決めたときに、ある車両を設定できるかどうかは、次の手順で判定する：

1. 区間1について、区間の空き枠探索法によって空き枠を探索し、見つからなければ失敗。
2. 区間1で見つかった空き枠を使ったときの第一都心駅への到着時刻を τ_{a1} とする。
3. 第一都心駅の出発時刻を $\tau_{d1} = \tau_{a1} + t_{s1} = \tau_{a1} + t_{e1} + t_{b1}$ とする。
4. $[\tau_{a1}, \tau_{d1}]$ について第一都心駅で降車が扱えるかどうか調べ、不可能なら区間1の空き枠を再探索する。成功なら2.からやり直し、失敗なら終了。
5. 区間2について $p_0 = \tau_{d1}$ として空き枠を探索し、失敗なら τ_{d1} を1増やして4.からやり直す。
6. 第二都心駅と区間3について2.~5.を繰り返す。
7. 区間3に空き枠を発見できれば成功。

16.2.4 運行計画作成法

周期 T の運行計画を作成する方法として、二通りの方法、設定順変更法と試行錯誤法を考えた。蜂の巣網に対し都心駅の数に10、郊外線の数に12とした縮小網(図16.8)をモデルとしてこの2方法を比較する。この結果、より短い周期 T の運行計画を発見できた方法を用いて、本来の蜂の巣網のための運行計画を作成する。

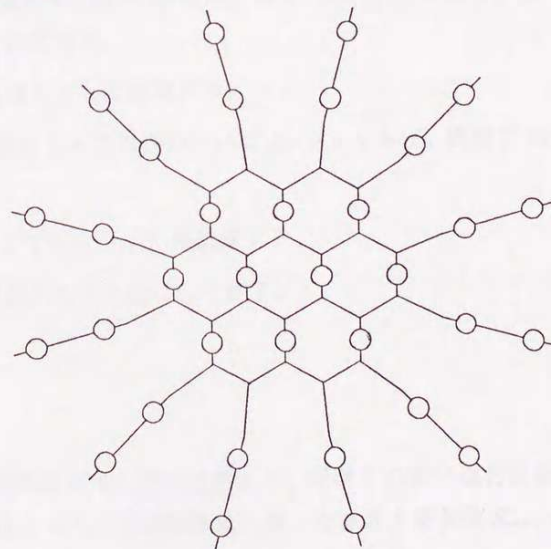


図16.8 縮小網

設定順変更法

この方法は、周期性を利用して確定的に運行計画を作成する方法である。

一般に、車両の運行時間(出発郊外線から回送郊外線まで)は周期 T を超えるが、運行計画が周期性を持っているので、位相(時刻の周期 T を底とする剰余)を使って長さ T の運行計画表上で車両の運行を表現することができる。

この方法では、車両を一台ずつ設定して運行計画を作成する。一度設定した車両の時刻は変更しない。

一台の車両を設定するとき、出発時刻を 0 (運行計画表の始点) から 1 ずつ増やしながら、最初に設定可能な時刻を採用する。一周期分の全車両(縮小網では 60 台、本来の蜂の巣網では 640 台)が設定できるまで、設定順序を変えてやり直す。

試行錯誤法

この方法は、周期的でない半無限長の運行計画表上で、各車両が周期 T で出発できる車両相互の出発時刻の関係(位相関係と呼ぶ)を試行錯誤的に発見する方法である。

設定順変更法と異なり、この方法では車両を設定する順番の全可能性を尽くすことはしない。郊外線に順番をつけ、各郊外線を出発する車両には回送郊外線の順に順番をつける。こうして一周期分の全車両を順番に、時刻 0 以降で出発できる最も早い時刻に設定して、初期状態とする。

初期状態から以下の手順によって位相関係を変更してゆき、全車両が周期 T で運行できるようになった時点で半無限長の運行計画表の末尾の期間 T の部分を切り出して、準周期運行計画とする[†]。

1. 各車両について、初期状態の出発時刻 τ_0 に対し、 $\tau = \tau_0 + T$ を仮の出発時刻とする。
2. 仮の出発時刻 τ の最も早い車両(複数ある時は、初期設定の順番に従う)を、 τ 以降で出発できる最も早い時刻 τ_d に決める。
3. $\Delta\tau = \tau_d - \tau$ を設定遅れとして記録する。
4. 過去 $2T$ の期間に設定した全車両について $\Delta\tau = 0$ ならば、周期 T の運行計画が完成したと判定して終了する。
5. 次の仮出発時刻として $\tau = \tau_d + T$ を記録する。
6. 時刻が 240000 秒に達したら失敗として終了。
7. 2.へ進む。

縮小網での比較

縮小網について、設定順変更法と試行錯誤法で、周期 T の短い運行計画の作成を試みた。ここでは、区間の空き枠探索法としては先着優先法を用いた。最大整合量 $S_{max} = 2$ 、ホーム容量 $C_p = \infty$ として両方法を比較したところ、

[†] 出発郊外線の出発時刻は周期的であることを保証できるが、経路、都心駅の着発時刻は必ずしも周期的でないので準周期と呼ぶ。

- $T \geq 15$ 枠 設定順変更法の方が試行錯誤法より短い時間で運行計画を発見できた。
- $T = 14$ 枠 試行錯誤法では $T \geq 15$ 枠と同程度の時間で運行計画を発見できた。
設定順変更法では、試行錯誤法の10倍の時間をかけても運行計画を発見できなかった。
- $T = 13$ 枠 試行錯誤法では運行計画を発見できた。

$T = 14$ 枠のときに設定順変更法で長い時間がかかっているのは、一周期分60台の車両の順番を変えながら、設定が可能かどうかを調べているためである。上で10倍の時間というのはここで設定を打ち切ったという意味で、全可能性を尽くせば運行計画を発見できる可能性は残っているがさらに長い時間がかかる、ということである。

確定的に運行計画を発見する方法として、設定順変更法ではまだすべての可能性を尽くしていない。車両の設定順だけでなく、位相関係にも自由度が残っているからである。この可能性を尽くせば試行錯誤法で運行計画を発見できた T に対しては運行計画を発見できるはずだが、このためにはさらに長い時間が必要である。

試行錯誤法はすべての可能性を尽くすことはできないが、確定的な方法よりも短い計算時間で周期 T が短く輸送力の高い運行計画を発見できる、という点で優れている。さらに、車両の設定順は車両数の階乗通りあるので、一周期に運行する車両数が640台の本来の蜂の巣網では、これが60台の縮小網よりもはるかに長い時間をかけないと可能性を尽くせない。

以上の比較から、本来の蜂の巣網では試行錯誤法によって輸送力を測定することにする。

16.2.5 輸送力

路線網自体の容量は、第十一章で定義した最大整合量 S_{max} によって変わる。一方、16.2.1でも述べたように、輸送力はホーム容量 C_p によっても制限される。そこで、まずホーム容量 $C_p = \infty$ の場合の輸送力を最大整合量 S_{max} を変えて求め、次に代表的な S_{max} の値に対し C_p を変えて輸送力を測定する。

ホーム容量に制限のない場合

最大整合量 $S_{max} = 0 \sim 5$ に対し、周期 T を順次短くして試行錯誤法で運行計画を作成できるかどうか調べた。ここでは、区間の空き枠探索法としては先着優先法を用いた。

一郊外線対都心全体の輸送力 F_c を図16.9に示す。

ホーム容量が有限の場合

上の評価で $S_{max} = 0$ と $S_{max} = 1$ の間に大きな差のあることがわかったので、 $S_{max} = 1, 2, 3$ について、 $C_p = 1 \sim 6$ としたときの先着優先法による輸送力を図16.10に示す。 $S_{max} = 2, C_p = 5$ のときに枝ごとの枠使用率の最大値は55%である。

また、図16.11に、 $S_{max} = 2$ について先着優先法と中央優先法を比較する。

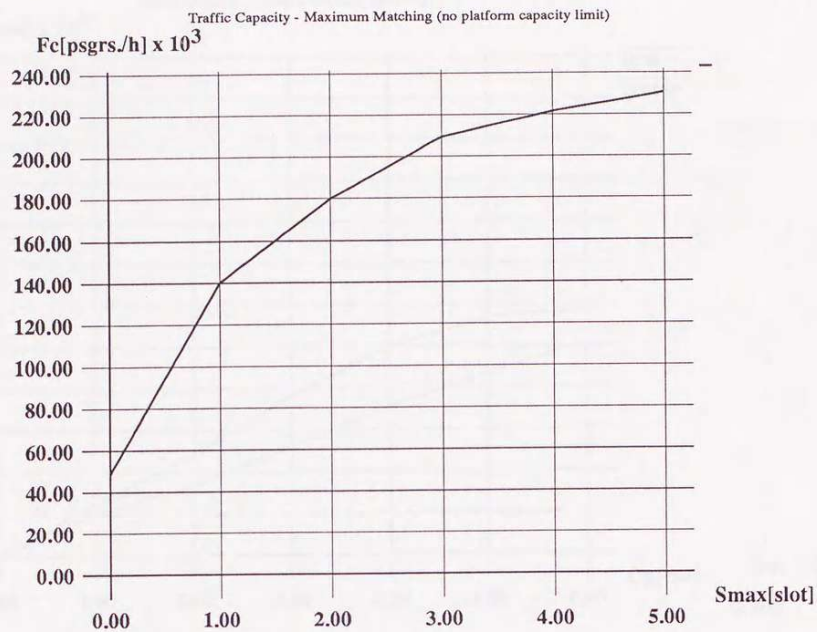


図16.9 ホーム容量に制限のない場合の輸送力

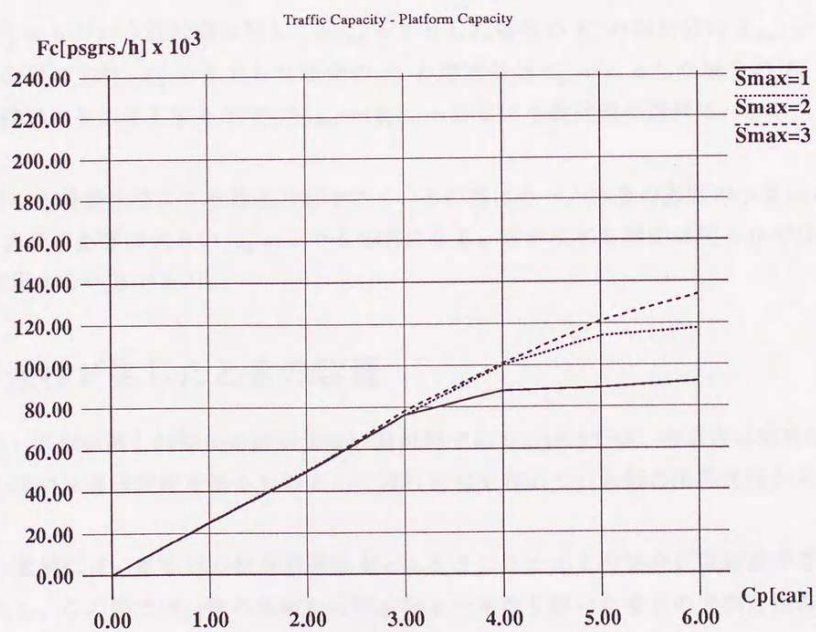


図16.10 ホーム容量に制限のある場合の輸送力

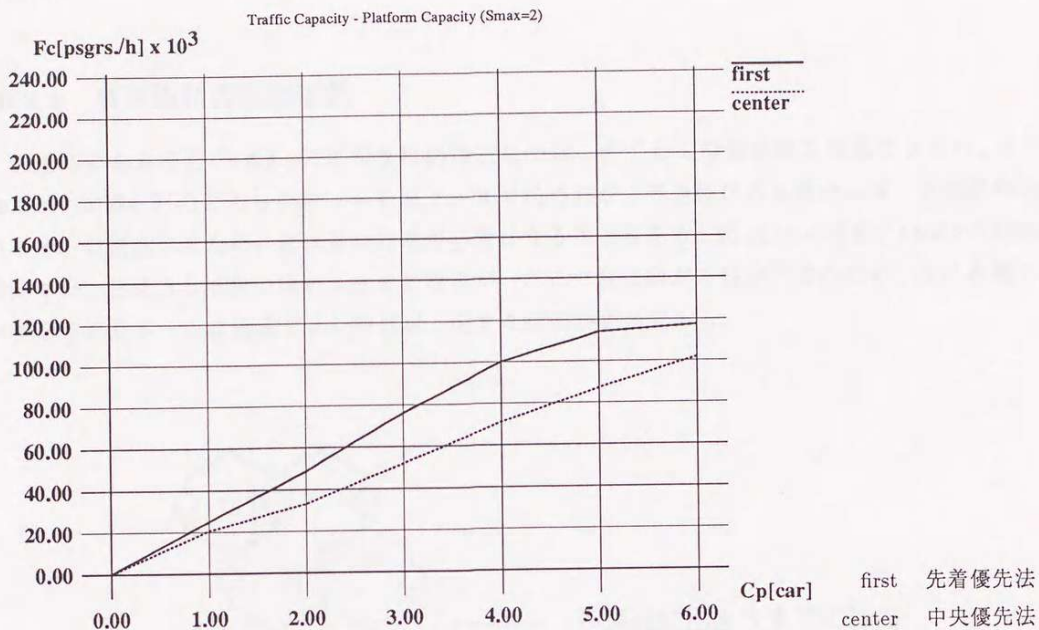


図16.11 先着優先法と中央優先法の比較

まとめ

$S_{max} = 2, C_p = 5$ という設計値に対し、 $S_{max} = 3$ とした場合の F_c の増加分は $S_{max} = 1$ とした場合の F_c の減少分の 23%、 $C_p = 6$ とした場合の F_c の増加分は $C_p = 4$ とした場合の F_c の減少分の 14% である。輸送力を大きくする上で、 $S_{max} = 2, C_p = 5$ という設計値の選択はバランスがとれていると考える。

中央優先法は先着優先法よりも輸送力が小さく、その差はホーム容量の影響の小さい $C_p = 3$ では 32%、ホーム容量の影響の大きい $C_p = 5$ でも 24% になる。差が生ずる理由は明らかではないが、先着優先法を使用すべきである。

16.3 不通枝が生じたときの容量

蜂の巣網は、直線距離と経路長の差が少ない路線網である。16.2では、各車両は郊外線と都心駅、都心駅相互の間では最短経路を通るものとして運行計画を作成し、大都市用群運行システムの輸送力を調べた。

しかし蜂の巣網には、ある都心枝が不通になったときにほとんどの場合迂回経路が存在する、という特徴もある。この節では、蜂の巣網から都心枝を一本取り除いた場合の大都市用群運行システムの特性を調べる。

初めに、枝が一本欠けた網の定常的な輸送力を調べる。次に、正常な網で 16.2の方法で準周期運行をしている状態で、ある一本の枝が突然不通になった場合に、運行を継続できるかどうかについて

て調べる。

16.3.1 枝不通時の経路選択

不通枝がある場合、16.2.2の単純な経路選択法では、必ずしも最短経路を発見できない。また、16.2.1では都心駅のどちらのホームを使うかまで決めたが、不通枝がある場合には、予め決めた側のホームに到達するためには大きな迂回が必要になることもある。図16.12の場合、16.2.2の経路選択法では、三叉点bで左に曲がることになるが、ここで左に曲がる枝が不通のため、枝Cの都心駅の指定されたホームに到達するためには、大きな迂回が必要である。

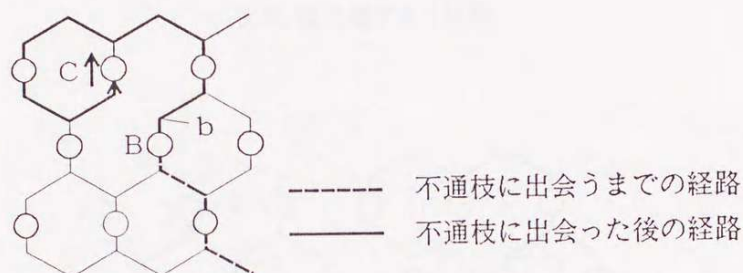


図16.12 予め決めたホームに到達するのに大きな迂回が必要な例

そこで、枝不通時にはホームの指定は解除し、16.2.2とは異なる経路選択アルゴリズムを採用する。基本的には16.2.2に示した方法により三叉点で曲がる方向を選択するが、図16.12のように三叉点bで一方にしか曲がれない場合が存在する。そこで、16.2.2のアルゴリズムによって曲がるべき方向が一意に定まる場合で、曲がる方向の枝が不通の場合に、次の手順で2経路を比較する(図16.13)。

1. 現在経路を選択している区間の最後の枝をCとする。枝Cが都心駅の場合には目標点cを枝の中点とし、郊外線の場合は目標点cを入口の三叉点とする。
2. 三叉点bで曲がるべき方向(例では左)の枝が不通の場合、そこまでの経路を逆にたどる。
3. bで曲がるべき方向と逆の方向(右)に曲がっている三叉点aまで戻ったら、ここで反対側(左)へ曲がった後に16.2.2のアルゴリズムで目標点へ到達する経路を第一の候補とする。
4. bで曲がれる方向(右)へ曲がった後、目標点へ到達する経路を第二の候補とする。
5. 第一、第二の候補を、経路長の短い順に選択肢として採用する。

ただし、図16.14のように第一の候補が最短経路の一候補である場合は、第二の候補は採用しない。

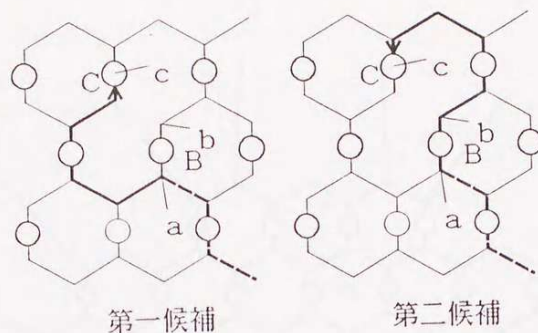


図16.13 比較する2経路

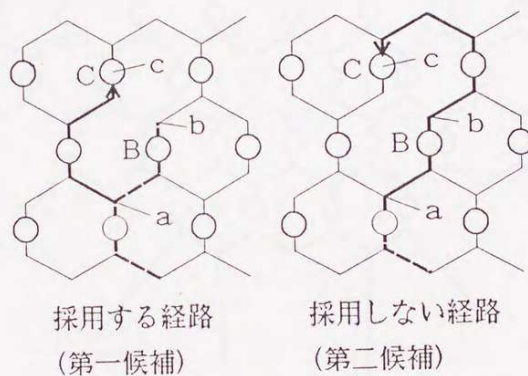


図16.14 第二の候補を採用しない場合

16.3.2 定常時の路線容量

蜂の巣網のうちの一本の都心枝を両方向とも不通にして、16.2.4の試行錯誤法によって輸送力を測定した。出発郊外線、第一都心駅、第二都心駅、回送郊外線の組合せは図16.1～図16.4と同じものを採用し、都心駅における使用ホームの指定は、車両ごとに経路上に不通枝があった時点で解除する。

不通にする枝は、都心駅のない枝から三例 α, β, γ (図16.15) を選ぶ。

ホーム容量は $C_p = 5$ 、最大整合量は $S_{max} = 2$ として一郊外線対都心全体の輸送力 F_c を測定し、結果を表16.1に示す。輸送力の低下は最大7%であり、モデルの輸送需要を満たすことができる。

16.3.3 不通発生時の過渡特性

16.3.2では不通枝は初めから不通として輸送力を測定した。ここでは、初期状態を16.2により正

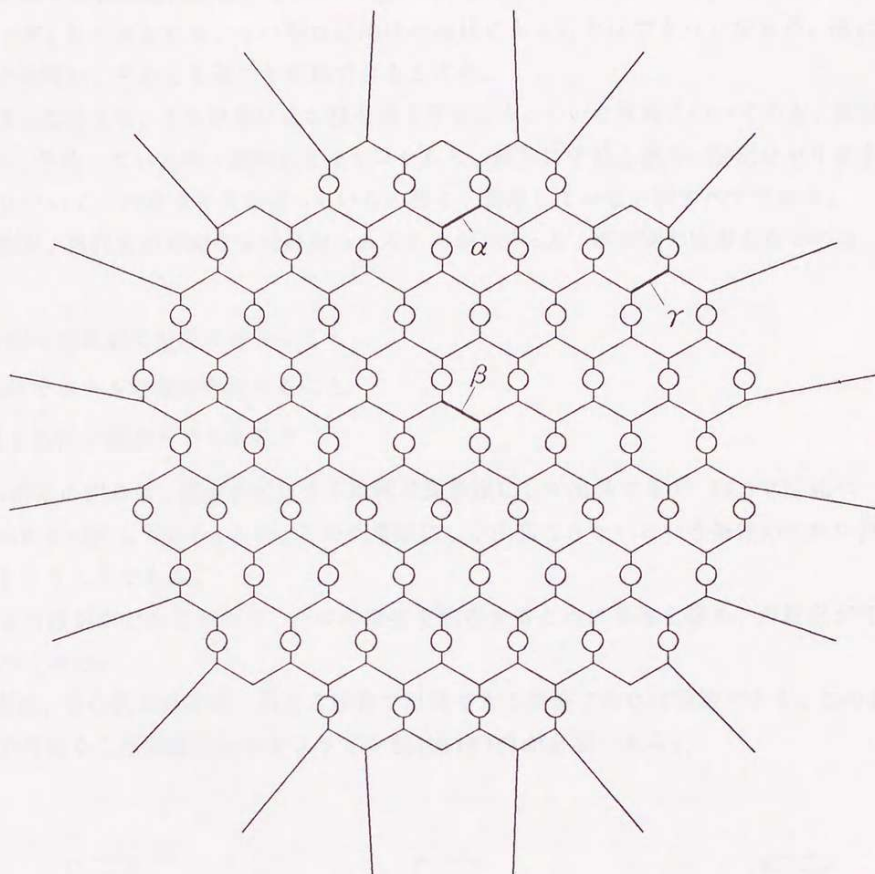


図16.15 不通にする枝

表16.1 不通枝がある場合の輸送力

	不通枝	輸送力 F_c [万人/時]
一都心枝が不通の場合	α	10.6
	β	10.7
	γ	10.9
網が正常な場合		11.4

常な蜂の巣網で準周期的に車両が運行されている状態とし、突然都心枝の一本が両方向とも不通になった場合に運行が継続できるかどうかを調べる。

16.2の手法で準周期運行計画を作成し、完成と判定した時点で一本の枝(16.3.2で不通にした三例のうちの一本)を不通とする。この時点以降は不通枝に入ることはできなくなるが、既に不通枝に入っていた車両は、そのまま運行を継続できるとする。

不通になった時点で、これ以降にこの枝を通る予定になっていた車両についてのみ、設定をやり直す。つまり、予約していた枠・乗降票をキャンセルし、新たに予約し直す。設定をやり直すのは、対象の車両についてこの時点でまだ通っていない枝と、到着していない駅すべてである。

調査の結果、再設定が可能な場合は限られることがわかった。再設定の障害となるのは、次の三点である。

1. 都心駅で到着順に出発できないこと
2. 都心駅でホーム容量が不足すること
3. 本線上の枠が塞がりであること

図5.2の構造の駅では、側線を使用する車両は到着順にしか出発できず、16.2では43ページの出発順条件でこれを保証していた。1.は、この到着順にしか出発できないという条件のために再設定ができない、ということである。

一般には再設定ができないので、三つの障害を回避するために条件を緩め、再設定が可能になる限界を調べてみた。

1.の障害は、都心駅が到着順と異なる順番で出発できる構造であれば回避できる。このためには、順番変更の可能な二重側線のあるオフライン駅(図16.16)が必要である。

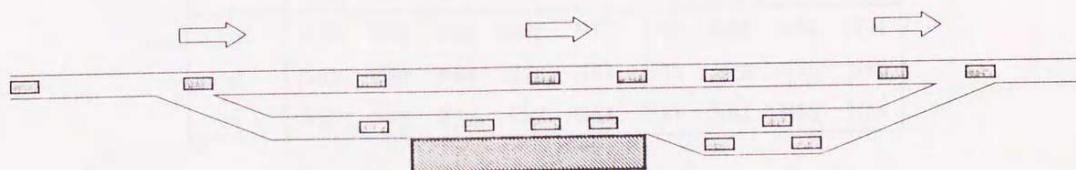


図16.16 車両の到着順と出発順を変えられるオフライン駅

2.の障害は、 C_p を増やせば回避できる。3.の障害は、 S_{max} を大きくすれば空いている枠を有効に使用できるので軽減できる。

これらの対策は容易ではないが、1.を除き巡航速度を下げることである程度は実現できる。都心駅のホームの長さは $C_p=5$ によって設計してあるが、巡航速度が下がれば加減速距離が短くなるので、ホームより長い区間で車両が乗降速度 v_b で滞在できる。実際に乗降できるのはホームのある部分に限られるが、乗降のための時間は確保できる。

一方、三叉点の渡り線は、 $v_d=27\text{m/s}$ のときに $S_{max}=2$ の整合ができる長さしかないが、車両の都心部巡航速度が低ければ、渡り線上で停止することもできるので、 S_{max} は大きくできる。三叉点

の前後で同じ枝を通り、枠が連続している車両が渡り線上で停止する場合には制約があるが、整合量の大きい車両は、不通枝を通る予定になっていた一部の車両だけなので、このような場合は稀である。

16.3.2の α, β, γ の三例につき、枝が不通となったときに再設定が可能となる条件を、運行周期を変えて調べた。 T が等しい準周期運行には、さまざまな位相関係があり得るが、ここで調査したのは、そのうちの16.3.2で発見した一例についてだけである。

表16.2に再設定可能条件を示す。各項目は、 $\{F|N\}$ の一文字と2桁の数字からなる。この三文字は左から順に、

1. 駅の出発順条件を緩める必要のないとき F
駅に二重側線を設けて出発順が到着順と異なってもよいようにする必要のあるとき N
2. ホーム容量 C_p
3. 最大整合量 S_{max}

を表す。表に挙げたのは一部の T についてであるが、再設定可能条件が変化する近辺は細かくとり

表16.2 再設定ができる条件

除去枝	運行周期 T								
	700	643	600	500	400	340	327	326	325
α	F52	F52	N74	N64	N52	F52	F52	N52	N52
β	F52	F52	N52	N63	N72	F52	N52	F62	N72
γ	F52	F52	N66	F52	F52	F52	F52	F52	F52
	324	300	260	220	180	140	120	110	106
α	N53	N52	N53	N52	N73	N63	N76	N63	N74
β	N52	F52	N64	N72	N62	N74	N74	N75	N85
γ	N56	F52	F52	F52	N64	N54	N63	N63	N54

あげてある。

$T \geq 643$ [枠]では、条件の変更なしに再設定ができるが、これ以上短い T に対しては、条件の緩和が必要になる。

$T = 340$ では条件変更の必要がないが、 $T < 339$ では駅の出発順条件が障害になる。 $T = 326$ では C_p が不足し、 $T = 324$ では $S_{max} = 6$ にないと再設定ができない。

以上のように再設定には一般に駅の出発順条件を緩和する必要があり、困難である。

第十七章

損失時間

17.1 一様な需要に対する損失時間

17.1.1 単独運行との比較

単独運行の損失時間は、 s, d を最適化した理想的なケースでも、図 9.5 の $q = 0$ が示す大きさになる。群運行(郊外対都心)の損失時間は、路線網を限定した具体的なケースでも、図 13.7 に示す通りである。両者を比較すると(図 17.1)、 $f_{max} = 2.7 \times 10^{-2}$ 人/s のラッシュ時には差が小さいが、 $f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s で 130s、 $f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s で 370s、 $f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s で 500s の差で群運行が優れる。

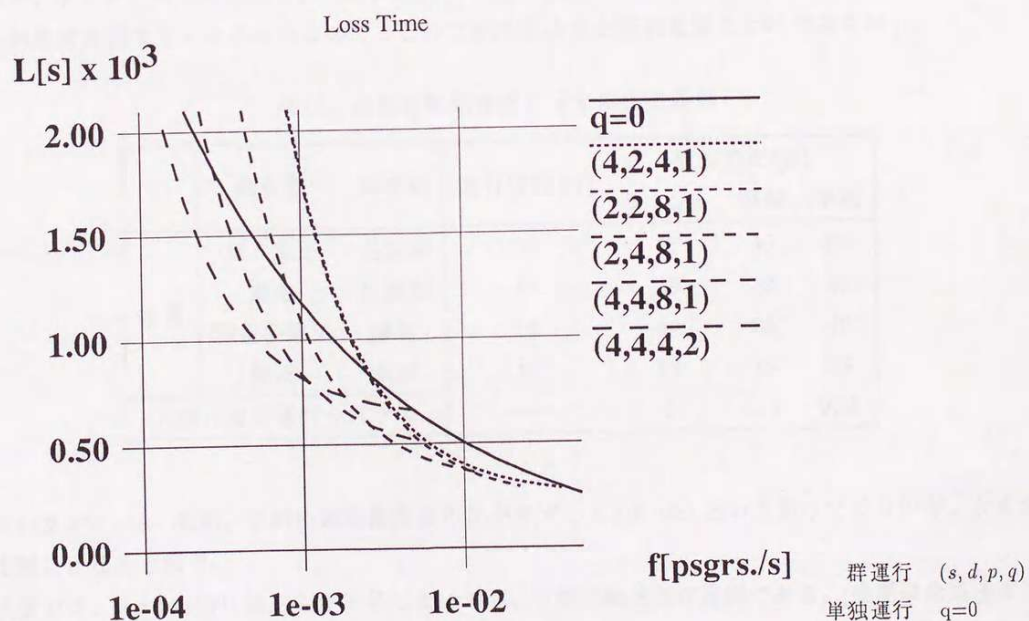


図 17.1 路線網を想定した群運行の損失時間と理想的な単独運行の損失時間

単独運行でも理想的な s, d の値を選べるとは限らないので、一般に差はこれ以上大きい。

17.1.2 鉄道との比較

前提の異なる鉄道と大都市用群運行システムを、損失時間の点で比較しても大きな意味は持たないが、現在の鉄道と大都市用群運行システムに対して 6.2.1 の定義による損失時間を求めて比較する。鉄道の直行時間は地上部 90km/h、地下部 60km/h で走行すると仮定して求める。

郊外対都心輸送

通勤型輸送需要に対する損失時間は、

1. 朝のラッシュ時
2. 昼間
3. 早朝

について求める。2. 3. は、通勤型の輸送需要で量が 1. より少ない場合である。昼間型の輸送需要については、次項(都心相互輸送: 102 ページ)で比較する。

表 17.1 に損失時間を示す。大都市用群運行システムの値は $f = 2.7 \times 10^{-2}$ 人/s ($= f_{max}$), 2.7×10^{-3} 人/s, 2.7×10^{-4} 人/s ($= f_{min}$) について図 13.5† から求めたものである。

ラッシュ時には駅の組合せによっては 10 分程度と短い、非常に大きい 50 分以上の例もあってばらつきが大きい。横浜 \Rightarrow 東京の利用者は多く、西八王子 \Rightarrow 芝公園の利用者は少ないと考えられがちだが、本システムとの比較で言えば、横浜 \Rightarrow 東京の利用者には、横浜までまたは東京から鉄道を使う利用者は含まないことになるので、この二駅の組合せが特別重要なわけではない。

表 17.1 通勤型輸送需要に対する損失時間

	乗車駅	降車駅	直行時間 [分]	損失時間 [分]		
				ラッシュ	昼間	早朝
鉄道	西八王子	芝公園	38	57	45	60
	南柏	外苑前	27	39	39	50
	和泉多摩川	春日	19	40	35	49
	横浜	東京	19	12	15	25
大都市用群運行システム			—	5	9.5	22.5

朝のラッシュ時、昼間、早朝の輸送需要量の比が必ずしも 100:10:1 というわけではないが、大まかな比較にはなると思う。

鉄道では、ラッシュ時は輸送力が不足しているが、早朝は輸送力が過剰である。(昼間は全員着席用に設計した車両を用いれば、ほぼ適切な輸送力だと考える。) ラッシュ時には、輸送力の不足のため

†13.6.2 で $(s, d, p, q) = (4, 4, 4, 2)$ を除いたので、図 13.7 でなく図 13.5 を用いる。

に乗車時間が増加している場合があり、大都市用群運行システムとの差が大きい。これに対し早朝には、現在のサービス形態で輸送需要量に見合った輸送力しか提供しないと損失時間が大きくなりすぎるため、乗車率は低くてもそれほど長くない間隔で列車を運行して、損失時間を低く抑えている。この結果、大都市用群運行システムとの差は小さくなり、区間によってはほぼ等しくなっている。

都心相互輸送

昼間型輸送需要に対する損失時間の例を表17.2に示す。大都市用群運行システムでは $f_{typ} = 4.28 \times 10^{-3}$ 人/s に対する値である。ここに示した例は、大都市用群運行システムと鉄道がほぼ同等だが、鉄道なら単一路線・短距離の乗車ですむ利用者に対しては、大都市用群運行システムは一般にはよいサービスを提供できない。鉄道で乗車距離が8km以上になる利用者に対しては、大都市用群運行システムはよりよいサービスを提供できる。

表17.2 昼間型輸送需要に対する損失時間

	乗車駅	降車駅	乗車距離[km]	直行時間[分]	損失時間[分]
鉄道	大手町	明治神宮前	7.5	7.5	10
	銀座	渋谷	7.2	7.2	11
	大手町	神谷町	3.9	3.9	10
	池袋	大手町	8.1	8.1	14
大都市用群運行システム			—	—	12

17.2 需要急増時の損失時間

15.3で大駅をサービスする場合の損失時間、立ち上がり損失を求めたが、実際に需要が急増したときのサービスは、次のようにするのがよい:

- 立ち上がり時点には、大駅専用車でサービスを行う。
- r が表15.1の境界値以下のときには、立ち上がり時点から群運行によるサービスを開始し、群の車両が大駅をサービスし始めた時点で大駅専用車によるサービスを打ち切る。
- r が表15.1の境界値以上のときには、大駅専用車でサービスを続ける。

これにより、需要急増の発生が全く予測不可能だった場合でも、大駅利用者所要時間を低く抑えることができる。

大駅利用者は、地域的に一様な輸送需要からはずれるものでサービスが難しいが、 r が表15.1の境界値以下の場合にはこれを群運行の一環として行うことで良質なサービスを行える。

ただし、 r が境界値以下であっても通常駅利用者に対する損失時間は $r=1$ の平常時に比べると増えてしまう。大駅利用者に対して通常駅利用者を優遇する必要があるならば、常に大駅専用車によるサービスを行うべきである。

第十八章

路線延長

ここでは、鉄道と大都市用群運行システムの都心部の路線延長を比較する。

18.1 郊外部について

第三章では、モデルを作るにあたり郊外部は現実の鉄道と同程度の密度で路線があるものとした。駅の間隔も鉄道と同程度のモデルである。

鉄道と大都市用群運行システムでは、一駅の路線延長に対する寄与（一駅を増設したときの路線延長の増分）には大きな差がある。大都市圏の鉄道の駅の大半は副本線がないが、大都市用群運行システムの駅はすべてオフライン駅で、ホームの他に加減速区間にも側線が必要である。郊外駅の側線の長さ l_s は、ホーム容量 $C_p = 4^\dagger$ が必要として

$$\begin{aligned} l_s &= \frac{a_h v_0}{2j_0} + v_0 \sqrt{\frac{2w_c}{a_h} - \frac{a_h^2}{12j_0^2}} + \frac{v_0}{2} \left(\frac{v_0}{a_h} + \frac{a_h}{j_0} \right) + (C_p + 1)l_c \\ &= 500\text{m} \end{aligned} \quad (18.1)$$

である。

しかし、大都市用群運行システムは輸送力が大きく郊外線は複線でも余裕があるのに対し、鉄道は輸送力が絶対的に不足である。現在はまだ複線の路線でも複々線化が計画されており、複々線化が完成しても都心近くでは一般に全員着席輸送には輸送力が不足である。ただし、鉄道では郊外部の外周部では複線で輸送力が充分な区間もある。複線の鉄道と大都市用群運行システムの駅まで含んだ路線延長の比は5:6なので、鉄道の郊外部の路線が、都心寄り $\frac{1}{2}$ は複々線、郊外寄り $\frac{1}{2}$ は複線とすると、鉄道と大都市用群運行システムの路線延長の比は5:4になる。

一方、大都市用群運行システムの乗換駅の路線延長は長い。しかし、鉄道にも側線のある郊外駅は少ないながらも、郊外部と都心部の境界には大きなターミナルが多数あるので、両者の路線延長を同等とみなすことにする。

[†]第十六章では輸送需要量が最大のときに都心駅のホーム容量として $C_p = 5$ が必要だった。 $(s, d, p, q) = (4, 2, 4, 1)$ の群がサービスする場合、運行周期 T あたりにホームを使用する車両の数は都心駅では $\frac{N_L}{2} = 10$ 台、郊外駅では $\frac{N_L}{dp^q} = 8$ 台なので、郊外駅に必要なホーム容量は $C_p = 4$ と推定する

以上の比較から、郊外部の路線延長はほぼ同程度と考える。鉄道の路線延長は通勤輸送以外の要因にも依存するので、これ以上厳密な比較はできないし、意味を持たない。

18.2 鉄道の路線延長

第三章で都心部と考えた領域について、現在の鉄道の路線延長を求めた。範囲は、山手線の五反田—田端間と品川・潮見・錦糸町・南千住の4駅を凸に囲んだ区域で、運賃以外に特別料金の不要な旅客列車で通勤輸送を行っている鉄道(つまり、新幹線、山手貨物線や都電は除く)とモノレールである。

側線を含まない本線だけの路線延長は、545kmである。現在の鉄道で通勤輸送に限れば、都心部に側線を持つ駅はそれほど多くない。通勤輸送に利用されている側線に限れば、側線による路線延長の誤差は2%以下である。

18.3 大都市用群運行システムの路線延長

大都市用群運行システムでは都心枝が192本あり、そのうち64本にはオフライン駅がある。第十三章では、 $p=8$ の都心部乗換駅が20駅必要となり、第十四章では、 $p=4$ の乗換駅が10駅必要となった。13.5の計算から、本線と渡り線のみの路線延長は一都心枝の片方向あたり779mである。オフライン駅のある枝では、側線部分の路線延長が473m増加し、 $p=8$ の乗換駅では453m、 $p=4$ では413m増加する。この他に郊外線が枝としては都心部にも入っており、都心部と郊外部の境界より平均450m内側で都心枝と接続しているので、都心部の路線延長は側線を含んで404kmである。

18.4 比較

結果を表18.1にまとめる。オフライン駅を基本とする大都市用群運行システムであるが、路線延長の点で鉄道より25%短くなっている。しかも、都心部の歩行距離の最大値は鉄道では1200mであるのに対し、大都市用群運行システムでは650mである。この差は主に、鉄道は一路線あたりの輸送力が小さいために、路線を並列に配置して輸送需要に対応しているために生ずる。

表18.1 路線延長の比較

	路線延長 [km]	最長歩行距離 [m]
鉄道	545	1200
大都市用群運行システム	404	650

第六部

展望

第十九章

現実の大都市への対応

19.1 非対称性への対応

この研究では3.1に定義した、 18° の回転について同形で都心部が一様な大都市モデルに従って議論を進めてきた。現実の大都市はこのように理想的な形状ではない。首都圏を例にとると都心の南東部に東京湾があり、中心には皇居がある。これらの地域には路線を設けることも困難だが輸送需要もないので、単純に路線を間引くことで対応できる。蜂の巣網で一部の都心枝を除くことは極めて容易である。図19.1に首都圏を想定した路線網を示す。

一方、3.2では都心部のどの部分も輸送需要源としては一様、つまり面積あたりの輸送需要量が等しいモデルを想定したが、現実には半径5kmの都心部といえども、中心部は周辺部より高い輸送需要密度を持っている。

蜂の巣網によって面的に一様なサービスを実現すれば、このような都心部の不均一性は自ずと解消すると考える。しかし、特に大きい輸送需要を持つ地域がある場合には、二階層の路線網構成として都心駅を高い密度で設けることもできる。この場合図19.2のように、蜂の巣網の一都心駅に対し二都心駅を設け、 v_d より遅い速度で車両が走行する下位の路線で蜂の巣網と接続すれば、この地域の歩行距離の最大値は $l_{wc} = \frac{l_b}{\sqrt{3}} = \frac{l_w}{\sqrt{3}}$ になる。

19.2 システムの段階的構築

大都市用群運行システムはすべての郊外線と都心枝が揃ったときに、初めて十分なサービスができるようになる。しかし、システム全体を同時に完成させることは現実には困難である。ここでは、路線網を順次開業してゆく場合に、部分的ではあっても有効なサービスを行うための開業順序を考える。

大都市用群運行システムはその名の通り群運行を特徴とするので、開業時から群運行を行えるような路線網形態をとるべきである。このためには、図19.3のように、一部の郊外線とその間を結ぶ都心枝を開通させ、郊外線上の乗換駅を使って群運行を行うのがよい。全郊外線の都心寄りの一部区間を開業させたのでは、サービスの優れる群運行はできない。

開業時には都心部でサービスを行える地域は一次元的であるが、これを順次二次元的に拡張する

の前後で同じ枝を通り、枠が連続している車両が渡り線上で停止する場合には制約があるが、整合量の大きい車両は、不通枝を通る予定になっていた一部の車両だけなので、このような場合は稀である。

16.3.2の α, β, γ の三例につき、枝が不通となったときに再設定が可能となる条件を、運行周期を変えて調べた。 T が等しい準周期運行には、さまざまな位相関係があり得るが、ここで調査したのは、そのうちの16.3.2で発見した一例についてだけである。

表16.2に再設定可能条件を示す。各項目は、 $\{F|N\}$ の一文字と2桁の数字からなる。この三文字は左から順に、

1. 駅の出発順条件を緩める必要のないとき F

駅に二重側線を設けて出発順が到着順と異なってもよいようにする必要のあるとき N

2. ホーム容量 C_p

3. 最大整合量 S_{max}

を表す。表に挙げたのは一部の T についてであるが、再設定可能条件が変化する近辺は細かくとり

表 16.2 再設定ができる条件

除去枝	運行周期 T									
	700	643	600	500	400	340	327	326	325	
α	F52	F52	N74	N64	N52	F52	F52	N52	N52	
β	F52	F52	N52	N63	N72	F52	N52	F62	N72	
γ	F52	F52	N66	F52	F52	F52	F52	F52	F52	
	324	300	260	220	180	140	120	110	106	
α	N53	N52	N53	N52	N73	N63	N76	N63	N74	
β	N52	F52	N64	N72	N62	N74	N74	N75	N85	
γ	N56	F52	F52	F52	N64	N54	N63	N63	N54	

あげてある。

$T \geq 643$ [枠]では、条件の変更なしに再設定ができるが、これ以上短い T に対しては、条件の緩和が必要になる。

$T = 340$ では条件変更の必要がないが、 $T < 339$ では駅の出発順条件が障害になる。 $T = 326$ では C_p が不足し、 $T = 324$ では $S_{max} = 6$ にないと再設定ができない。

以上のように再設定には一般に駅の出発順条件を緩和する必要があり、困難である。

第十七章

損失時間

17.1 一様な需要に対する損失時間

17.1.1 単独運行との比較

単独運行の損失時間は、 s, d を最適化した理想的なケースでも、図 9.5 の $q = 0$ が示す大きさになる。群運行 (郊外対都心) の損失時間は、路線網を限定した具体的なケースでも、図 13.7 に示す通りである。両者を比較すると (図 17.1)、 $f_{max} = 2.7 \times 10^{-2}$ 人/s のラッシュ時には差が小さいが、 $f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s で 130s、 $f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s で 370s、 $f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s で 500s の差で群運行が優れる。

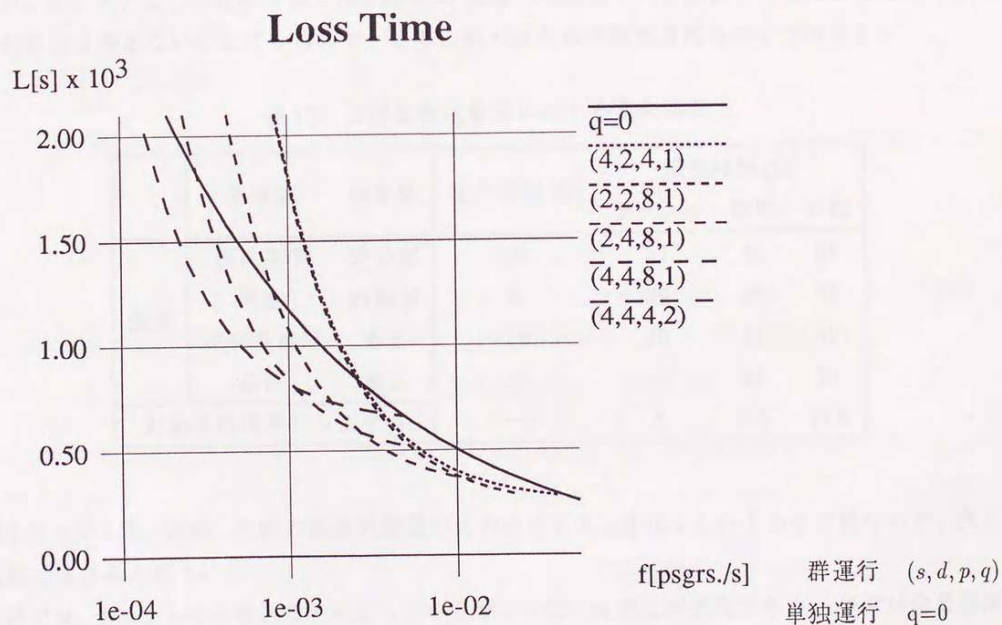


図 17.1 路線網を想定した群運行の損失時間と理想的な単独運行の損失時間

単独運行でも理想的な s, d の値を選べるとは限らないので、一般に差はこれ以上大きい。

17.1.2 鉄道との比較

前提の異なる鉄道と大都市用群運行システムを、損失時間の点で比較しても大きな意味は持たないが、現在の鉄道と大都市用群運行システムに対して 6.2.1 の定義による損失時間を求めて比較する。鉄道の直行時間は地上部 90km/h、地下部 60km/h で走行すると仮定して求める。

郊外対都心輸送

通勤型輸送需要に対する損失時間は、

1. 朝のラッシュ時
2. 昼間
3. 早朝

について求める。2. 3. は、通勤型の輸送需要で量が 1. より少ない場合である。昼間型の輸送需要については、次項 (都心相互輸送: 102 ページ) で比較する。

表 17.1 に損失時間を示す。大都市用群運行システムの値は $f = 2.7 \times 10^{-2}$ 人/s ($= f_{max}$), 2.7×10^{-3} 人/s, 2.7×10^{-4} 人/s ($= f_{min}$) について図 13.5† から求めたものである。

ラッシュ時には駅の組合せによっては 10 分程度と短い、非常に大きい 50 分以上の例もあってばらつきが大きい。横浜 ⇒ 東京の利用者は多く、西八王子 ⇒ 芝公園の利用者は少ないと考えられがちだが、本システムとの比較で言えば、横浜 ⇒ 東京の利用者には、横浜までまたは東京から鉄道を使う利用者は含まないことになるので、この二駅の組合せが特別重要なわけではない。

表 17.1 通勤型輸送需要に対する損失時間

	乗車駅	降車駅	直行時間 [分]	損失時間 [分]		
				ラッシュ	昼間	早朝
鉄道	西八王子	芝公園	38	57	45	60
	南柏	外苑前	27	39	39	50
	和泉多摩川	春日	19	40	35	49
	横浜	東京	19	12	15	25
大都市用群運行システム			—	5	9.5	22.5

朝のラッシュ時、昼間、早朝の輸送需要量の比が必ずしも 100:10:1 というわけではないが、大まかな比較にはなると思う。

鉄道では、ラッシュ時は輸送力が不足しているが、早朝は輸送力が過剰である。(昼間は全員着席用に設計した車両を用いれば、ほぼ適切な輸送力だと考える。) ラッシュ時には、輸送力の不足のため

†13.6.2 で $(s, d, p, q) = (4, 4, 4, 2)$ を除いたので、図 13.7 でなく図 13.5 を用いる。

に乗車時間が増加している場合があり、大都市用群運行システムとの差が大きい。これに対し早朝には、現在のサービス形態で輸送需要量に見合った輸送力しか提供しないと損失時間が大きくなりすぎるため、乗車率は低くてもそれほど長くない間隔で列車を運行して、損失時間を低く抑えている。この結果、大都市用群運行システムとの差は小さくなり、区間によってはほぼ等しくなっている。

都心相互輸送

昼間型輸送需要に対する損失時間の例を表17.2に示す。大都市用群運行システムでは $f_{typ} = 4.28 \times 10^{-3}$ 人/s に対する値である。ここに示した例は、大都市用群運行システムと鉄道がほぼ同等だが、鉄道なら単一路線・短距離の乗車ですむ利用者に対しては、大都市用群運行システムは一般にはよいサービスを提供できない。鉄道で乗車距離が8km以上になる利用者に対しては、大都市用群運行システムはよりよいサービスを提供できる。

表 17.2 昼間型輸送需要に対する損失時間

	乗車駅	降車駅	乗車距離 [km]	直行時間 [分]	損失時間 [分]
鉄道	大手町	明治神宮前	7.5	7.5	10
	銀座	渋谷	7.2	7.2	11
	大手町	神谷町	3.9	3.9	10
	池袋	大手町	8.1	8.1	14
大都市用群運行システム			—	—	12

17.2 需要急増時の損失時間

15.3で大駅をサービスする場合の損失時間、立ち上がり損失を求めたが、実際に需要が急増したときのサービスは、次のようにするのがよい:

- 立ち上がり時点には、大駅専用車でサービスを行う。
- r が表 15.1 の境界値以下のときには、立ち上がり時点から群運行によるサービスを開始し、群の車両が大駅をサービスし始めた時点で大駅専用車によるサービスを打ち切る。
- r が表 15.1 の境界値以上のときには、大駅専用車でサービスを続ける。

これにより、需要急増の発生が全く予測不可能だった場合でも、大駅利用者 所要時間を低く抑えることができる。

大駅利用者は、地域的に一様な輸送需要からはずれるものでサービスが難しいが、 r が表 15.1 の境界値以下の場合にはこれを群運行の一環として行うことで良質なサービスを行える。

ただし、 r が境界値以下であっても通常駅利用者に対する損失時間は $r=1$ の平常時に比べると増えてしまう。大駅利用者に対して通常駅利用者を優遇する必要があるならば、常に大駅専用車によるサービスを行うべきである。

第十八章

路線延長

ここでは、鉄道と大都市用群運行システムの都心部の路線延長を比較する。

18.1 郊外部について

第三章では、モデルを作るにあたり郊外部は現実の鉄道と同程度の密度で路線があるものとした。駅の間隔も鉄道と同程度のモデルである。

鉄道と大都市用群運行システムでは、一駅の路線延長に対する寄与(一駅を増設したときの路線延長の増分)には大きな差がある。大都市圏の鉄道の駅の大半は副本線がないが、大都市用群運行システムの駅はすべてオフライン駅で、ホームの他に加減速区間にも側線が必要である。郊外駅の側線の長さ l_s は、ホーム容量 $C_p = 4^\dagger$ が必要として

$$\begin{aligned} l_s &= \frac{a_h v_0}{2j_0} + v_0 \sqrt{\frac{2w_c}{a_h} - \frac{a_h^2}{12j_0^2}} + \frac{v_0}{2} \left(\frac{v_0}{a_h} + \frac{a_h}{j_0} \right) + (C_p + 1)l_c \\ &= 500\text{m} \end{aligned} \quad (18.1)$$

である。

しかし、大都市用群運行システムは輸送力が大きく郊外線は複線でも余裕があるのに対し、鉄道は輸送力が絶対的に不足である。現在はまだ複線の路線でも複々線化が計画されており、複々線化が完成しても都心近くでは一般に全員着席輸送には輸送力が不足である。ただし、鉄道では郊外部の外周部では複線で輸送力が充分な区間もある。複線の鉄道と大都市用群運行システムの駅まで含んだ路線延長の比は5:6なので、鉄道の郊外部の路線が、都心寄り $\frac{1}{2}$ は複々線、郊外寄り $\frac{1}{2}$ は複線とすると、鉄道と大都市用群運行システムの路線延長の比は5:4になる。

一方、大都市用群運行システムの乗換駅の路線延長は長い。しかし、鉄道にも側線のある郊外駅は少ないながらも、郊外部と都心部の境界には大きなターミナルが多数あるので、両者の路線延長を同等とみなすことにする。

[†]第十六章では輸送需要量が最大のときに都心駅のホーム容量として $C_p = 5$ が必要だった。 $(s, d, p, q) = (4, 2, 4, 1)$ の群がサービスする場合、運行周期 T あたりにホームを使用する車両の数は都心駅では $\frac{N_d}{2} = 10$ 台、郊外駅では $\frac{N_d}{dpq} = 8$ 台なので、郊外駅に必要なホーム容量は $C_p = 4$ と推定する

以上の比較から、郊外部の路線延長はほぼ同程度と考える。鉄道の路線延長は通勤輸送以外の要因にも依存するので、これ以上厳密な比較はできないし、意味を持たない。

18.2 鉄道の路線延長

第三章で都心部と考えた領域について、現在の鉄道の路線延長を求めた。範囲は、山手線の五反田—田端間と品川・潮見・錦糸町・南千住の4駅を凸に囲んだ区域で、運賃以外に特別料金の不要な旅客列車で通勤輸送を行っている鉄道(つまり、新幹線、山手貨物線や都電は除く)とモノレールである。

側線を含まない本線だけの路線延長は、545kmである。現在の鉄道で通勤輸送に限れば、都心部に側線を持つ駅はそれほど多くない。通勤輸送に利用されている側線に限れば、側線による路線延長の誤差は2%以下である。

18.3 大都市用群運行システムの路線延長

大都市用群運行システムでは都心枝が192本あり、そのうち64本にはオフライン駅がある。第十三章では、 $p=8$ の都心部乗換駅が20駅必要となり、第十四章では、 $p=4$ の乗換駅が10駅必要となった。13.5の計算から、本線と渡り線のための路線延長は一都心枝の片方向あたり779mである。オフライン駅のある枝では、側線部分の路線延長が473m増加し、 $p=8$ の乗換駅では453m、 $p=4$ では413m増加する。この他に郊外線が枝としては都心部にも入っており、都心部と郊外部の境界より平均450m内側で都心枝と接続しているので、都心部の路線延長は側線を含んで404kmである。

18.4 比較

結果を表18.1にまとめる。オフライン駅を基本とする大都市用群運行システムであるが、路線延長の点で鉄道より25%短くなっている。しかも、都心部の歩行距離の最大値は鉄道では1200mであるのに対し、大都市用群運行システムでは650mである。この差は主に、鉄道は一路線あたりの輸送力が小さいために、路線を並列に配置して輸送需要に対応しているために生ずる。

表18.1 路線延長の比較

	路線延長[km]	最長歩行距離[m]
鉄道	545	1200
大都市用群運行システム	404	650

第六部

展望

展望

第十九章

現実の大都市への対応

19.1 非対称性への対応

この研究では3.1に定義した、 18° の回転について同形で都心部が一樣な大都市モデルに従って議論を進めてきた。現実の大都市はこのように理想的な形状ではない。首都圏を例にとると都心の南東部に東京湾があり、中心には皇居がある。これらの地域には路線を設けることも困難だが輸送需要もないので、単純に路線を間引くことで対応できる。蜂の巣網で一部の都心枝を除くことは極めて容易である。図19.1に首都圏を想定した路線網を示す。

一方、3.2では都心部のどの部分も輸送需要源としては一樣、つまり面積あたりの輸送需要量が等しいモデルを想定したが、現実には半径5kmの都心部といえども、中心部は周辺部より高い輸送需要密度を持っている。

蜂の巣網によって面的に一樣なサービスを実現すれば、このような都心部の不均一性は自ずと解消すると考える。しかし、特に大きい輸送需要を持つ地域がある場合には、二階層の路線網構成として都心駅を高い密度で設けることもできる。この場合図19.2のように、蜂の巣網の一都心駅に対し二都心駅を設け、 v_d より遅い速度で車両が走行する下位の路線で蜂の巣網と接続すれば、この地域の歩行距離の最大値は $l_{wc} = \frac{l_h}{\sqrt{3}} = \frac{l_w}{\sqrt{3}}$ になる。

19.2 システムの段階的構築

大都市用群運行システムはすべての郊外線と都心枝が揃ったときに、初めて十分なサービスができるようになる。しかし、システム全体を同時に完成させることは現実には困難である。ここでは、路線網を順次開業してゆく場合に、部分的ではあっても有効なサービスを行うための開業順序を考える。

大都市用群運行システムはその名の通り群運行を特徴とするので、開業時から群運行を行えるような路線網形態をとるべきである。このためには、図19.3のように、一部の郊外線とその間を結ぶ都心枝を開通させ、郊外線上の乗換駅を使って群運行を行うのがよい。全郊外線の都心寄りの一部区間を開業させたのでは、サービスの優れる群運行はできない。

開業時には都心部でサービスを行える地域は一次元的であるが、これを順次二次元的に拡張する

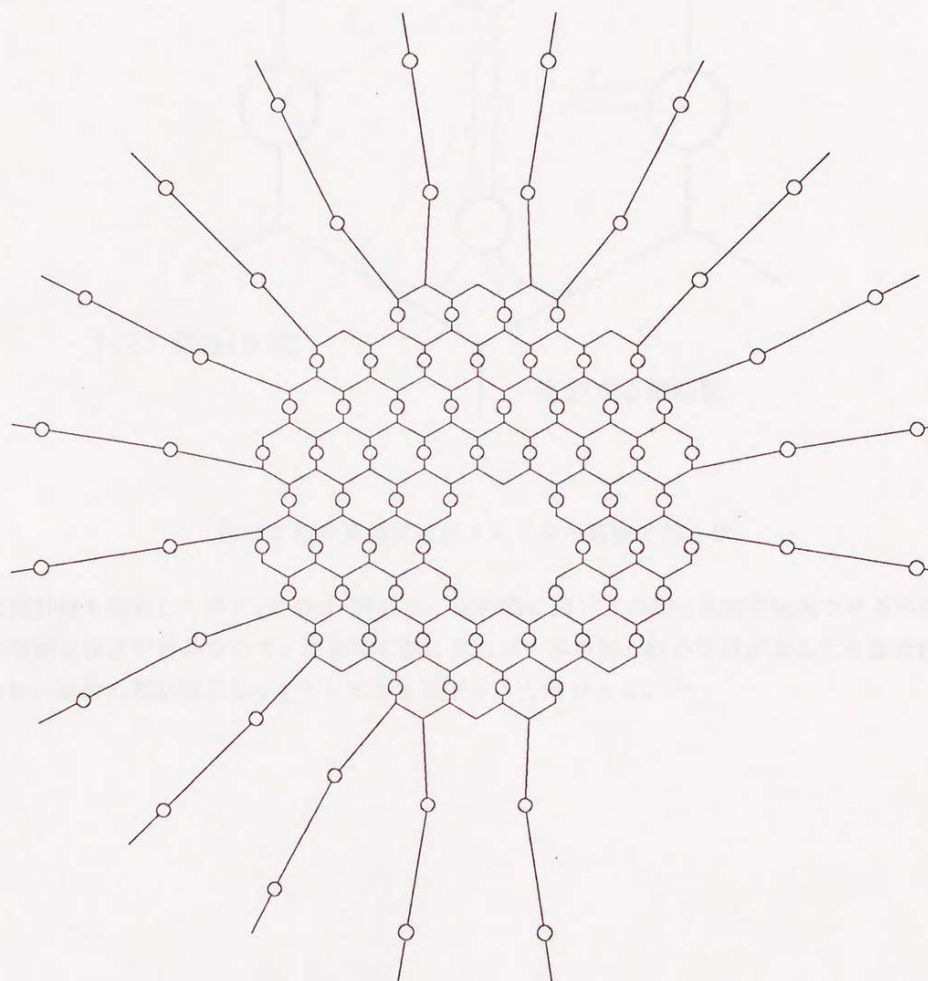


図19.1 首都圏に対応した路線網

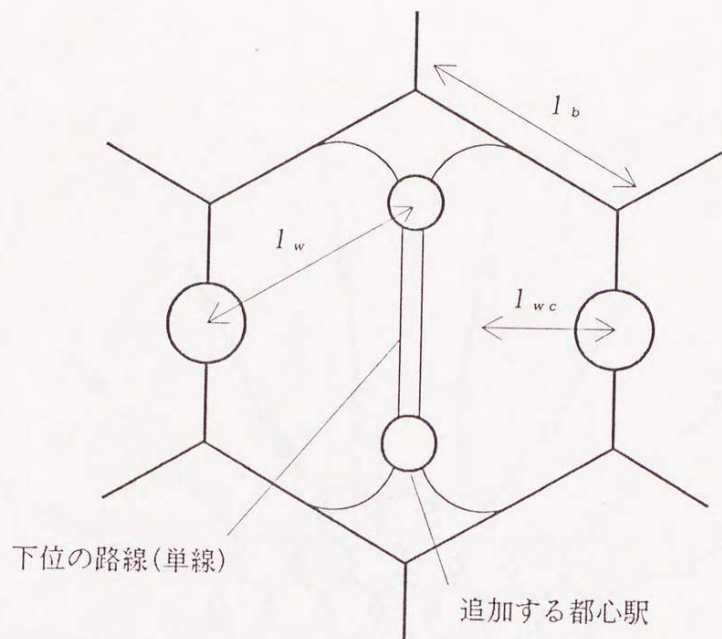


図19.2 蜂の巣網に追加する下位の路線と都心駅

と共に郊外線も増設してゆき(図19.4～図19.5)、最終的に図10.2の蜂の巣網を完成させるのがよい。

蜂の巣網は迂回が容易なので、開業時を別にすれば一本の都心枝の完成が遅れても致命的ではない。一般には他の都心枝によってサービスを拡げることができる。

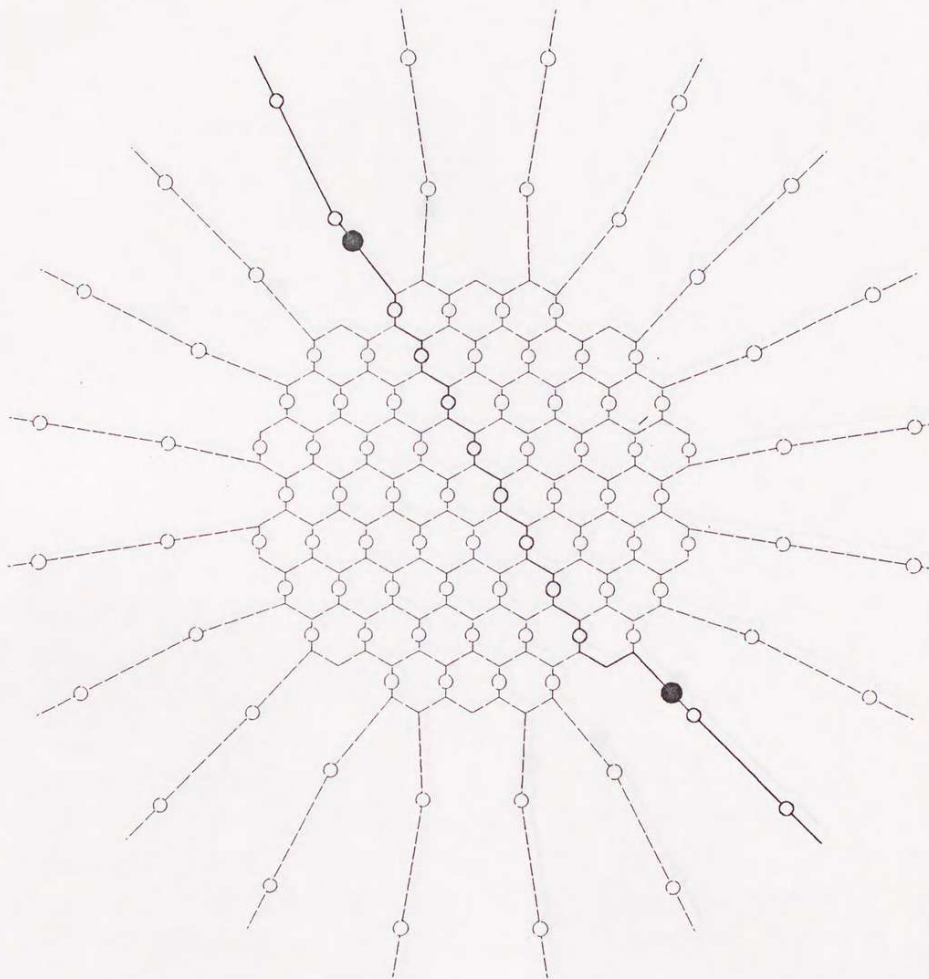


図19.3 開業時の路線網

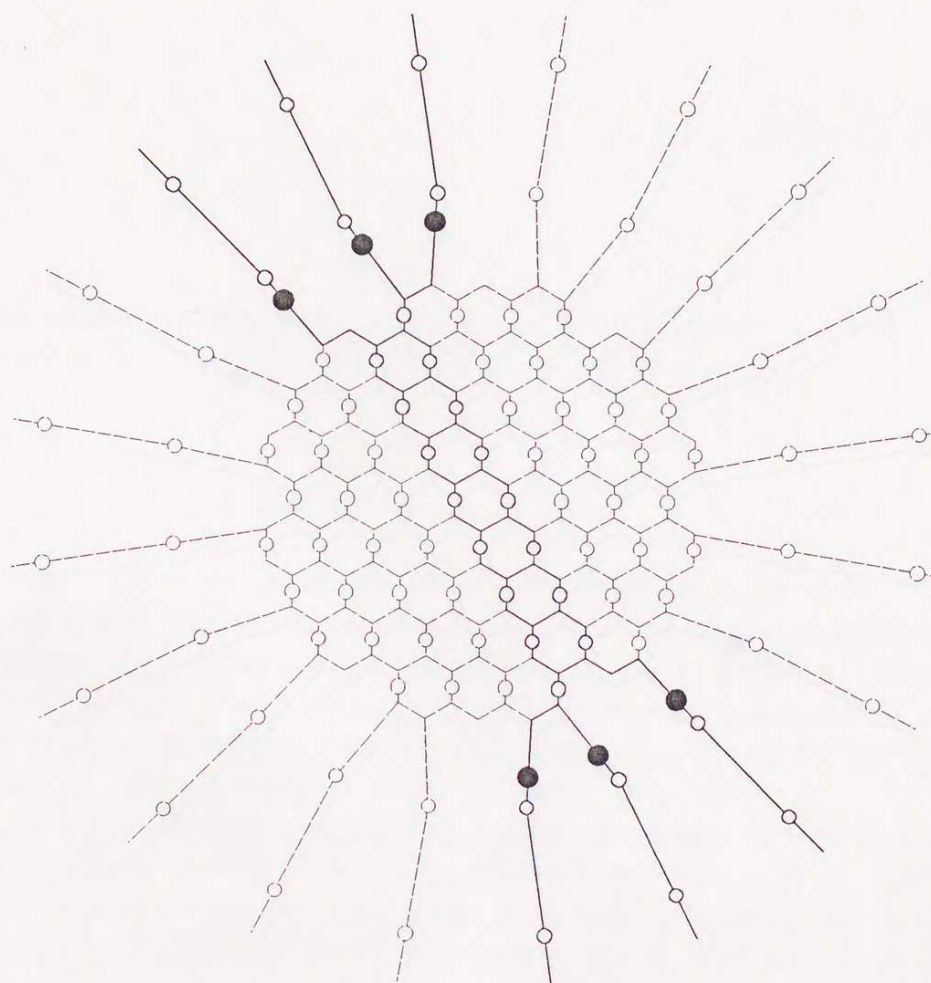


図19.4 開業第二段階の路線網

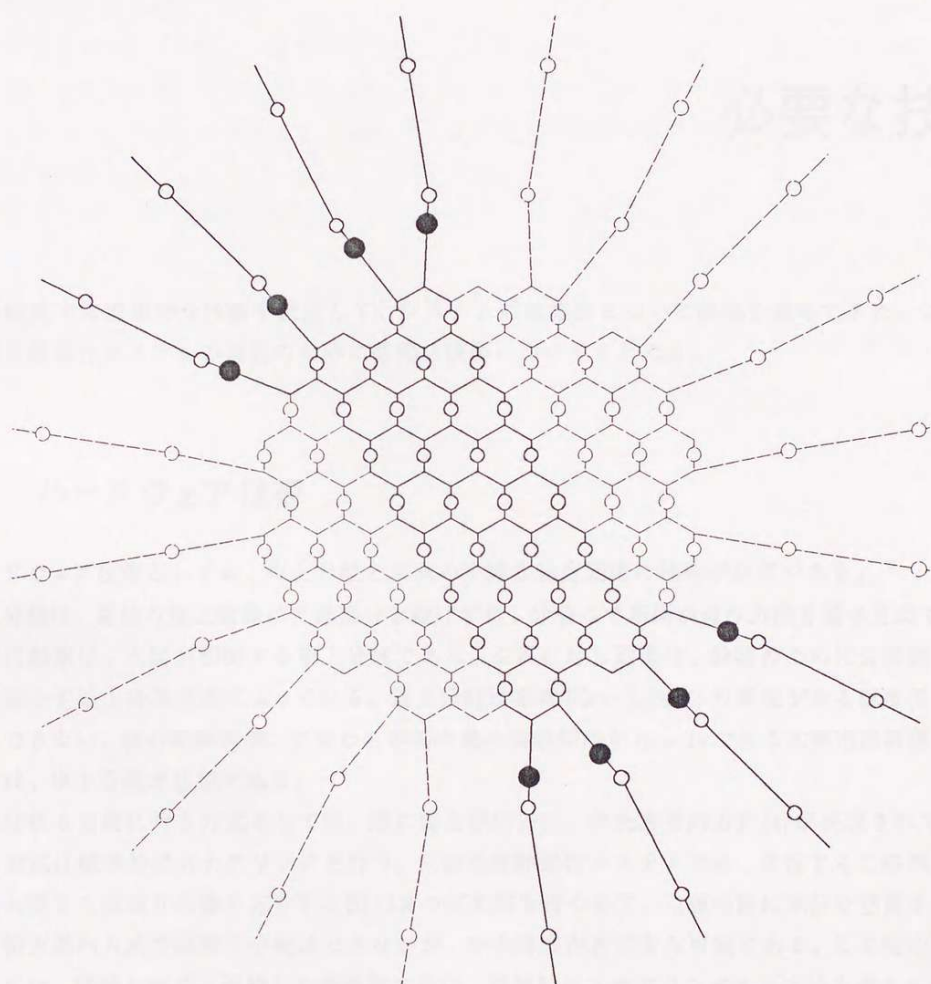


図19.5 開業第三段階の路線網

第二十章

必要な技術

この研究では理想的な技術を仮定して、システムの構築法について議論を進めてきた。ここで、大都市用群運行システムの実現のために必要な技術についてまとめる。

20.1 ハードウェア技術

ハードウェア技術としては、車上分岐と車両の正確な速度制御の技術が必要である。

車上分岐は、路線の地上設備に可動部分を設けずに、分岐点で車両が進む方向を選ぶ方式である。例えば自動車は、人間が制御する車上分岐である。これに対し鉄道は、分岐のために分岐器のポイントを動かす地上分岐方式によっている。地上分岐は車両(ないし列車)の間隔がある程度長くないと使用できない。枠の時間間隔、すなわち車両の最小時間間隔が $t_h = 1s$ である大都市用群運行システムでは、車上分岐が必須である。

車上分岐を自動に行う方式としては、既に側方案内方式、中央溝案内方式[4]が実現されている。この二方式は機械的にステアリングを行う。大都市用群運行システムでは、並行する二線間で車両が直進と交叉の四通りの通り方をする図13.8の交叉部を持つので、二線の間に十分な空間をとらない限り側方案内方式では車上分岐はできないが、中央溝案内方式なら可能である。この他の実現方法としては、路線の底面に埋設した誘導線に従い、電氣的にステアリングする方法も考えられる。

速度制御は、枠の予約によって定まった位置—時刻の関係に従って車両を走行させられるものでなければならない。大都市用群運行システムの車両の走行は、速度の変化しない部分と速度の変化する部分の大きく二つに分けられる。本線(図5.1)と駅のホームの部分(図5.5)は速度が変化しない部分で、渡り線と駅の加速区間、減速区間は速度が変化する部分である。

速度が変化しない部分の実現は、やや特殊な方式として、循環式ロープウェイのように等速でワイヤを動かしておいて、車両がこれをつかむ方式でも実現できる。

速度が変化する部分は、リニアモータ(同期機)によっても実現できる。もちろん、車両が回転機を持ち、粘着によって走行する方法でも、速度制御は可能である。

20.2 ソフトウェア技術

ソフトウェア技術としては、枠の予約、需要変動の予測、回送車の配置を行う技術が必要である。

第十六章では、簡単なアルゴリズム(試行錯誤法)によって枝ごとの枠の使用率の最大値を55%にすることができ、輸送需要を満たすには十分な輸送力を発揮することができた。しかし、同じ $S_{max} = 2$ 、 $C_p = 5$ の条件でも枠の使用率をこれより高められるアルゴリズムが存在する可能性があるので、さらに開発を進める必要がある。

この研究では3.2で設定した輸送需要量が定常的なモデルを基本としていた。一方、第十五章では、需要の突出が予測不可能な時点に起きるとしてそのサービス方法を論じた。現実には需要は定常的ではないが、一般には変動をある程度は予測できる。需要変動の予測が可能であれば、立ち上がり損失は小さくできるので、予測技術は重要である。

車両の回送については5.6で理想的な技術を仮定したが、設備量を低く抑え需要予測に従って的確なサービスを行うために、回送車の配置は極めて重要な技術である。車両数、留置設備の容量、路線容量は有限なので、サービスを開始すべき時点で空車を配置できないとサービスが遅れ、損失時間が増加してしまう。需要変動予測に従って適切な回送車の巡回を行い、需要変動時の損失時間の増加を抑えるための技術開発が必要である。

最後に論文の全体を概観する。

第一部においてこの研究を行う目的について述べた。第一章 大都市の交通問題で現状の問題点として輸送力の不足と過大な所要時間を指摘し、第二章 目標とする特性で研究の目標を設定した。輸送力としては、現状の首都圏の鉄道利用者と同数、同じ集中度の人数を全員着席で運べること、所要時間としては、乗換回数は増えても短いこと、コストとしては、システムの占める容積が鉄道と同程度以下であることを目標にする。

第二部において研究の前提について述べ、既存のシステムから学ぶべき点に触れた。

第三章 大都市モデルでは、大都市をモデル化した。形状として、半径5kmの円形の都心部から長さ40kmの郊外線が20本放射状に伸びるものをとった。輸送需要として郊外部と都心部の間の通勤型のものと都心部相互間の昼間型のものを考え、それぞれ時間的地理的に一様とした。大きさについて、通勤型輸送需要は一郊外線と都心全体の間の移動人数として毎時1000人～10万人を考え、昼間型輸送需要は都心の各駅での利用者数として毎時600人～6000人考えた。

第四章 既存の交通システムの大都市基幹輸送への適合性では、道路交通、鉄道と、新交通システムのうち中量輸送システムと個別輸送システムをとりあげ、参考にするべき点と改善すべき点をまとめた。道路交通からは人間の高い車間距離の制御能力を参考とし、人間の不確かさを改善すべき点とした。鉄道からは追い越し設備が充分にあれば乗車時間を短くし得ることを参考とし、列車間隔と輸送単位が大きいことを改善すべき点とした。新交通システムのうち中量輸送システムから学ぶべき点はないが、個別輸送システムからは運行間隔の短さ、車上分岐方式を参考にし、道路を代替する形の密な路線網を改善すべき点とした。

第五章 要素設備では、システム構築上の前提とする要素について述べた。まず、路線容量が輸送単位の密度と速度の積であることから、本線上では制御的に独立の車両が空間的には連続して走れるものとし、乗降はオフライン駅で行って乗降を扱わない車両の速度が低下しないようにした。車両走行の管理手段として仮想的な「柵」を導入した。乗換駅として、階段を昇降する必要のない、ホーム両側に車両が並んで停車するもの考えた。複数の路線を結合する設備としては、高速渡り線を持つ立体交叉の交叉点・三叉点を前提とした。

第六章 評価量では、この研究に用いる評価量を定義した。所要時間に関する評価量として、乗車距離に直接依存しない損失時間と、乗車時間だけでなくシステムの外で歩く時間も含む旅行時間を考えた。システムの占める容積の評価量としては路線延長を定義した。路線の形状による迂回を評価するために、経路距離比と、最短経路との関係を表す迂回比を考えた。

第七章 前提とする定数では、車両の性能、利用者の動作などを表す定数を決めた。最大巡航速度30m/s、最大加速度2.5m/s²、柵の時間間隔1s、車両定員100人、乗降時間15s(余裕10s)などである。

第三部においてシステムの基本的な概念を提案した。第八章 大都市用群運行システムの概要は概論である。

第九章 群運行では、4～16台の車両を同期して運行する方式について述べた。まず、簡単なモデルを使って群運行を定義した。これは乗換によって車両ごとの利用者を多様化して運行間隔と待時間

を短縮し、運行を同期することによって乗換時間を短縮するものである。次に群運行における損失時間を求め、輸送群の形態を変えてこれを最小にした。この研究で想定した需要量の範囲では、群運行の損失時間は常に単独運行より小さい。また、各車両の運行中の乗り換え機会の数を三回以上にしても損失時間の短縮効果は小さく、二回以下を考えておけば充分であることがわかった。

第十章 蜂の巣網では、都心部を覆う路線網の形態として、蜂の巣状のものを提案した。用務地と最寄り駅の間で最長距離を等しくして比較したとき、直交する直線状の路線群が正方形の格子を構成する路線網に対して蜂の巣網は路線延長が短い。これは、面積あたりの駅数が蜂の巣網の方が少ないことと、路線が直交する網では高速渡り線を設けるときに路線延長が大幅に延びることによる。経路距離比の最大値が小さいことも特徴である。また、路線の実効的な長さは蜂の巣網の方が長いので、輸送力の点でも蜂の巣網が有利だと推定した。蜂の巣網は同じ長さの区間(中心線は線分になる)を三叉点で結んだ形であり、この区間のことを「都心枝」と定義した。

第十一章 予約運行では、輸送力の不確定性を除くために、車両の運行開始前に経路上に必要な資源(枠など)を予約する方式について述べた。多数の路線が結合した網の上で高密度に車両を運行するために、位相整合を提案した。これは三叉点の渡り線を通過する速度を可変として、枠選択の自由度を高める方式である。

第四部において、第三部で提案した基本方式により大都市モデルで具体的なサービスを行う方法について議論した。

第十二章 郊外対都心輸送・都心相互輸送の関係と非一様需要への対応は概論であるが、輸送需要が一様でない場合について、特定地域の輸送需要が急増する場合に対応できれば他の非一様には容易に対応できることも指摘した。

第十三章 郊外対都心輸送では、通勤型の輸送需要をサービスする方法について述べた。第九章の理想的な群運行と異なり乗換駅の配置と数に制限があるため、迂回と乗換時の待合せ(乗り換え機会が二回以上のとき)が生ずることがあるので、損失時間は増加する。したがって乗換回数の多い群運行は相対的に不利になり、この研究で考慮している輸送需要量の範囲では、乗換回数一回または二回の群運行が三回以上のものおよび単独運行より損失時間が短いことがわかった。ただし乗換回数二回と一回の差はわずかで、乗換回数を一回に限定しても損失時間の増加は最大で20sであった。このとき一つの輸送群のサービスする郊外線は、一本または二本だった。

この章ではさらに都心枝の長さを決定した。都心枝の長さの下限は駅と渡り線の長さによって規定される。これらの設備は巡航速度が高いほど長くなり、都心枝が長くなるとシステム外を歩く距離が長くなるので、都心枝の長さは旅行時間が最小になるように決めるべきであった。輸送需要量によって最適値は異なるので、妥協点として都心枝の長さを650mとした。この結果都心部の駅数は64となった。

第十四章 都心相互輸送では、昼間型輸送需要をサービスする方法について述べた。第十三章のように輸送需要量に応じて輸送群の形態を柔軟に変えるためには多数の乗換駅が必要になるので、需要量変動しても輸送群の形態を変えないという制約を置いた。その結果、乗換回数一回の群運行によるサービスが、考慮した範囲の輸送需要に対して最小の損失時間を与えることがわかった。

第十五章 需要急増時の輸送では、輸送需要が地域的時間的に一様でない場合のモデルケースをと

り、そのサービス方法を論じた。下り方向の通勤型輸送需要の中で、一都心駅(大駅と呼ぶ)から乗車する利用者が他の都心駅の r 倍に急増するケースをとった。大駅を群運行の一環としてサービスする場合と専用の車両でサービスする場合を比較し、 r が10~20以上ならば専用車の損失時間が小さいが、これ以下の r に対しては群運行の方がよいことがわかった。ただし需要急増が予測できないときは、急増直後、群運行による大駅のサービスを始めるまでに時間がかかるので、過渡的に専用車を運行する方法を提案した。

第五部において大都市用群運行システムを鉄道などとの比較により評価した。

第十六章 輸送力では、運行計画を作成することで大都市用群運行システムの輸送力を測定した。運行周期 T を仮定して計画の作成を試み、これが可能かどうかで判断した。運行計画の作成方法として大きく二通りの方法を考案し、小さい路線網のモデルで比較した。このうち、より小さい T に対して計画を作成できた試行錯誤法で測定を行ない、第三章で仮定した最大値を10%上回る輸送需要でもサービスできる輸送力があることを確認した。さらに、都心枝を一本除いた場合の輸送力を三例について測定し、輸送力の低下は7%に留まることを知った。ただし、枝が突然不通になったときに、経路を変えて運行を継続することは困難であることもわかった。

第十七章 損失時間では、大都市用群運行システムの損失時間を単独運行と鉄道に対して比較した。第九章で求めた単独運行の理想的な場合の損失時間でも、第十三章の郊外対都心輸送の網形態を考慮した群運行の損失時間より大きいこと、鉄道では利用区間によって損失時間が大きくばらつき、最小値は大都市用群運行システムの場合とそれほど異ならないが最大値が非常に大きいことを指摘した。

第十八章 路線延長では、大都市用群運行システムの路線延長を鉄道と比較した。郊外部については両者が同等であるとみなし、都心部について比較を行った。都心部半径5km圏について用務地と最寄り駅の間の最長距離は、大都市用群運行システムの650mに対し鉄道は1200mで鉄道の方が大きいにも関わらず、路線延長は鉄道の545kmに対し大都市用群運行システムは404kmで大都市用群運行システムの方が占有容積が小さく、路線配置の効率がよいことを指摘した。

最後に第六部においてこの研究で扱えなかった点についてまとめた。

第十九章 現実の大都市への対応では、大都市用群運行システムを実際に導入する場合の問題点について述べた。まず、回転について同形でない首都圏に合わせた路線網と、特別に駅を密に配置すべき地域があるときの対応法を提案した。次いで、システムを段階的に建設する場合の開業順序を述べた。

第二十章 必要な技術では、大都市用群運行システムを実現するためにさらに必要となる技術を指摘した。ハードウェア技術として車上分岐、正確な速度制御、ソフトウェア技術として枠の予約、需要変動の予測、回送車の配置が、重要な技術であった。

参考文献

- [1] 石井 威望, 井口 雅一, 越 正毅. “CVS—都市交通の革命児”. サイエンス, 4(8):10-23, August 1974.
- [2] 浜松 芳夫, 米山 忠章, 菊池 慎也. “待時間を制限した個別軌道輸送システム十字路における車両挙動の解析”. 電子情報通信学会論文誌, J72-A(8):1253-1259, August 1989.
- [3] 曾根 悟. “速達性と着席率向上による通勤輸送の改善”. 運転協会誌, 28(9):412-416, September 1986.
- [4] 井口 雅一, 山下 恭生. “新交通システム”. 朝倉書店, 1985.
- [5] 井口 雅一. “新交通システム”. 電気学会雑誌, 96(11):952-956, November 1976.
- [6] McGinley, F. J. “A Survey of Quasi-Synchronous P.R.T. Interchange Control Algorithms”. *Transportation Planning and Technology*, 3(4):233-245, 1977.
- [7] 渡辺 英紀, 蒲原 捷行. “高速エレベータの速度制御と群管理”. システムと制御, 22(6):316-323, June 1978.

発表一覧

- [1] 入内島 健, 笠井 啓一, 曾根 悟, 秋山 稔. “時分割通信に学ぶ高密度輸送システム”. 平成元年電気学会全国大会, 1747:13-177, April 1989.
- [2] IRIUCHIJIMA Ken and SONE Satoru. “Proposal of an Extra-Large Capacity Automated Transportation System for a Heavily Populated Area”. *Selected Proceedings of The Fifth World Conference on Transport Research—Transport Policy, Management & Technology towards 2001*, II:437-446, July 1989. Yokohama.
- [3] 入内島 健, 笠井 啓一, 曾根 悟, 秋山 稔. “大都市用高密度輸送システムの需要不均衡への対処法”. 平成元年電気学会産業応用部門全国大会, 8:27-30, August 1989.
- [4] 入内島 健, 笠井 啓一, 曾根 悟, 秋山 稔. “大都市用高密度輸送システムの路線網構成”. 平成二年電気学会全国大会, 655:6-147-6-148, March 1990.
- [5] 入内島 健, 笠井 啓一, 曾根 悟, 秋山 稔. “大都市圏のための損失時間の小さい高密度輸送システム—都心内輸送方式と都心網サイズの決定”. 平成二年電気学会産業応用部門全国大会, August 1990.
- [6] IRIUCHIJIMA Ken and SONE Satoru. “A Huge Capacity Small Time Loss Transportation System for Conurbation—Service by Group of Cars”. *32nd TRF Long Beach*, October 1990. Los Angeles.
- [7] 入内島 健, 笠井 啓一, 曾根 悟, 秋山 稔. “大都市用高密度輸送システムの輸送力”. 平成三年電気学会全国大会, April 1991.
- [8] 入内島 健, 曾根 悟. “群運行と蜂の巣状網による大都市用の低損失時間高密度輸送システム”. 電子情報通信学会論文誌 (A). 投稿中.

謝辞

この研究を進める上で多くの方々のご援助を頂いた。深く感謝する。

教授の秋山先生には、修士課程からの五年間にわたりお世話頂いた。特に博士課程進学後、研究題目を大幅に変更した際にも、「夢のある研究」と我侪を認めて下さった。また研究を進めた後も、研究の本質に関わる交通関係者とは違った視点の指摘を頂き、研究をより深めることができた。不肖の許しを請うと共に深く御礼申し上げる。

教授の曾根先生には、卒業論文の半年間と博士課程の三年間、公私共にお世話になった。博士課程進学後、荒唐無稽気味の素案を持って伺った筆者を暖かく迎えて下さり、研究としてまとまるように軌道修正して下さい。研究発表の手段としてアニメーションの作成を勧めて頂き、異色の経験をすることができた。国際会議への発表も強く推して下さい、学位論文締め切り直前の慌ただしい時期ではあったが、英語を実地に使う機会を得た。また、夏の研究室旅行ではご家族の皆様が参加されることもあり、観光地化していない珍しいところに行くこともしばしばだった。折々のコンパでは御自宅に招いて下さり、全く初めての料理・ケーキを頂いたことも一度ならずあった。季節の楽しみだったコンパに参加できなくなるのは残念な限りである。かくして家庭的な雰囲気の中で研究を進めることができたが、羽目を外し過ぎて失礼なことを申し上げてしまったこともあった。お詫びすると共に、ご家族の皆様も併せて篤く感謝申し上げます。

助教授の田中先生をはじめ秋山水沢田中研究室の方々には、長年にわたって多大な御援助を頂いた。特に、助教授の水沢先生には、お忙しい中発表技術の面で度々お世話頂いた。深く御礼申し上げます。

助手の笠井さんをはじめ曾根研究室の方々にも、公私にわたってさまざまな御援助を頂いた。特に、修士の八杉君、卒論生の井上君には、研究室の計算機環境の整備の面で、多々手伝って頂いた。彼らの卒業後、現役の諸君が優れた環境を維持し、より発展して行かれることを願って止まない。また、歴代秘書の南さん、松本さん、原さんには、いつもお世話になりながらしばしば失礼なことを申し上げてしまった。お許し頂きたい。忙しい振りをしながら、お茶を入れて下さるのを待っていたこともたびたびだった。

筆者の一年先輩で現在宇宙科学研究所助手の橋本さんをはじめ、現在日立製作所勤務の安藤君、現役の八杉君、高木君、森谷君には研究室旅行の手配をはじめいろいろお世話になった。複雑な注文を出して面倒をお掛けしたこともしばしばだった。御詫びすると共に御礼申し上げます。

現東京電機大学、電機通信大学非常勤講師の田宮さんには、筆者が学部三年であったときから東京大学を定年退官された現在まで七年の長い間、公私にわたってお世話になった。筆者が相談に

伺ったことはもちろんたびたびあったが、意図せずに御心配をおかけしてしまったこともあった。

御礼申し上げます。

総合試験所技官の西村さんには、計算機環境の整備の面で長年にわたり多大な御援助を頂いた。私生活の面でも、研究室のスキー旅行で初心者の方の面倒を見て下さったり、荷物を持って下さったり、しばしば御厚意に甘えさせて頂いた。御礼申し上げます。

図一覽

3.1	大都市モデル	8
4.1	ポートライナーの路線	12
4.2	CVS の路線網	14
5.1	本線上の粹	17
5.2	オフライン駅	18
5.3	車上分岐の例	19
5.4	5 台まで乗降可能なオフライン駅	20
5.5	可動型ホームの構造	20
5.6	乗換駅の構造	21
5.7	交叉点の構造	22
5.8	三叉点の構造	23
5.9	郊外駅に付設した車両留置設備	24
9.1	一次元モデル	32
9.2	輸送群を構成する車両のサービス駅の例	33
9.3	損失時間を最小にする $s(=d)$	36
9.4	損失時間を最小にする p	37
9.5	s, d, p について最小化した損失時間	37
10.1	比較した網形態	40
10.2	蜂の巣網	42
13.1	4 ホームが並列にある乗換駅	49
13.2	都心部乗換駅の構造	49
13.3	複数の郊外線から共通に到達できる都心部乗換駅	51
13.4	$q=0$ (単独運行) の損失時間	52
13.5	$q=1$ (乗換 1 回) の損失時間	53
13.6	$q=2$ (乗換 2 回) の損失時間	53
13.7	$f=1.4 \times 10^{-4}$ 人/s $\sim 4 \times 10^{-2}$ 人/s の範囲で損失時間が最小になる輸送群についての値	54
13.8	都心枝の下限長を決める要因	55
13.9	渡り線の構成	55
13.10	都心部巡航速度に対する都心枝の長さの関係	57
13.11	都心部巡航速度に対する郊外対都心輸送の旅行時間	58
13.12	郊外対都心輸送を行う輸送群のサービス駅の例	59
13.13	郊外対都心輸送に必要な乗換駅の配置例	60

14.1	都心相互輸送の形態	63
14.2	乗換駅に集合するための迂回の例	64
14.3	都心相互輸送の損失時間	65
14.4	都心相互輸送のサービス例	66
15.1	突出状態で群内の車両がサービスする利用者の相対数	68
15.2	一周期に p 台の車両が走る場合に群内の車両がサービスする利用者の相対数	69
15.3	一周期に $2p$ 台の車両が走る場合に群内の車両がサービスする利用者の相対数	70
15.4	$f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s のときの大駅利用者に対する損失時間 L_l	71
15.5	$f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s のときの通常駅利用者に対する損失時間 L_n	72
15.6	$f = 3 \times 10^{-4}$ 人/s のときの立ち上がり損失 D_i	72
15.7	$f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s のときの大駅利用者に対する損失時間 L_l	73
15.8	$f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s のときの通常駅利用者に対する損失時間 L_n	73
15.9	$f = 1 \times 10^{-3}$ 人/s のときの立ち上がり損失 D_i	74
15.10	$f = 3 \times 10^{-3}$ 人/s のときの大駅利用者に対する損失時間 L_l	74
15.11	$f = 3 \times 10^{-3}$ 人/s のときの通常駅利用者に対する損失時間 L_n	75
15.12	$f = 3 \times 10^{-3}$ 人/s のときの立ち上がり損失 D_i	75
15.13	$f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s のときの大駅利用者に対する損失時間 L_l	76
15.14	$f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s のときの通常駅利用者に対する損失時間 L_n	76
15.15	$f = 1 \times 10^{-2}$ 人/s のときの立ち上がり損失 D_i	77
16.1	郊外線 0 を出発する 32 台の車両のサービスする都心駅と回送郊外線	84
16.2	郊外線 1 を出発する 32 台の車両のサービスする都心駅と回送郊外線	85
16.3	郊外線 2 を出発する 32 台の車両のサービスする都心駅と回送郊外線	86
16.4	郊外線 3 と 4 を出発する 32 台の車両のサービスする都心駅と回送郊外線	87
16.5	区間	88
16.6	三叉点で曲がる方向の選び方	89
16.7	車両を設定する区間	89
16.8	縮小網	90
16.9	ホーム容量に制限のない場合の輸送力	93
16.10	ホーム容量に制限のある場合の輸送力	93
16.11	先着優先法と中央優先法の比較	94
16.12	予め決めたホームに到達するのに大きな迂回が必要な例	95
16.13	比較する 2 経路	96
16.14	第二の候補を採用しない場合	96
16.15	不通にする枝	97
16.16	車両の到着順と出発順を変えられるオフライン駅	98
17.1	路線網を想定した群運行の損失時間と理想的な単独運行の損失時間	100
19.1	首都圏に対応した路線網	107
19.2	蜂の巣網に追加する下位の路線と都心駅	108
19.3	開業時の路線網	109
19.4	開業第二段階の路線網	110
19.5	開業第三段階の路線網	111

表一覽

3.1 モデルのパラメータ	9
7.1 前提とする量	28
10.1 2種の網形状の比較	40
13.1 駅間の輸送需要量(最大値)の範囲	47
13.2 都心枝の走行時間	50
14.1 標準輸送需要量に対し損失時間を最小にするパラメータ	65
15.1 大駅専用車によるサービスと群運行によるサービスの損失時間が逆転する境界の r と f_l	78
16.1 不通枝がある場合の輸送力	97
16.2 再設定ができる条件	99
17.1 通勤型輸送需要に対する損失時間	101
17.2 昼間型輸送需要に対する損失時間	102
18.1 路線延長の比較	104

索引

a_1	56 [†]
a_h	28
a_v	28
C_p	20, 43, 54
c	28
$D_{AC}(B)$	27
D_i	67
d	33
d_2	48
F	47
F_c	80, 92
F_{max}	9
F_{min}	9
F_{typ}	9
f	32, 34, 47
f_l	67
f_{max}	47
f_{typ}	65
j_0	28
L	34, 35
L_c	34
L_d	64
L_l	68
L_n	68
L_s	34
L_w	34
Δl	83
l_a	54
l_b	41, 47, 57
l_{b0}	54, 57
l_c	28
l_{cr}	54
l_j	54
l_p	54
l_s	103
l_w	39, 41
l_{wc}	106
l_α	83

l_β	83
N_d	41
N_e	62
N_l	9
N_s	9
n	32
n_d	64
n_e	62
n_g	81
p	33
p_i	86
q	33
R_d	9, 41
R_s	9
r	67
S_b	57
S_{max}	44
s	33
s_r	69
T	34, 80
T_d	57
T_l	69
T_{min}	48
t_1	48
t_2	48
t_3	48
t_a	34
t_b	50
t_{b1}	28
t_{b2}	28
t_d	35
t_{e1}	28
t_{e2}	28
t_h	28
t_{s1}	34, 69
t_{s2}	35
t_w	35

- v_0 28
 v_b 28
 v_c 28
 v_d 28, 57
 v_w 28
 w_c 28
 α 36
 τ 91
 $\Delta\tau$ 80
 τ_0 80, 91
 τ_a 43
 τ_{al} 90
 τ_d 43
 τ_{dl} 90
brickwall衝突に対する安全性の仮定 16
CVS 2, 13
位相 91
 位相関係 91
 位相整合 44
 最大整合量 44
 先着優先法 86
 中央優先法 86
一郊外駅対一都心駅の輸送需要量 47, 50
一郊外線上駅数 9
一郊外線対都心全体の輸送需要量 9, 47
一郊外線対都心全体の輸送力 80
一次元モデル 32
一通常駅対一郊外駅の輸送需要量 67
迂回
 迂回枝数 64
 迂回損失 26, 50, 64
 迂回比 27, 83
運行計画 80
運行周期 25, 34, 80
駅 18
 一郊外線上駅数 9
 駅の側線の長さ 103
 オフライン駅 17
 郊外駅 7
 サービス駅 33
 出発駅 32
 通常駅 67
 到着駅 32
 都心駅 7
 乗換駅 21, 47
 ホーム 18
枝 41
追い越し 11
オフライン駅 17
仮の回送郊外線 83
加減速区間 18
 加減速区間長 54
加減速時間 34
回送
 回送郊外線 81, 82
 仮の回送郊外線 83
 回送数 81
 留置設備 23
基幹交通システム 3, 4
基準出発時刻 80
区間 84
空車 24
組 62
群 32
 輸送群 32, 57, 66
群運行 32
経路距離比 27
経路選択アルゴリズム 84, 95
経路長 27
広域乗換駅 62
郊外駅 7
郊外線 7
 郊外線数 9
郊外部 7
 郊外部半径 9
交叉点 21
 交叉部の長さ 54
 渡り線 21
コスト 5
個別輸送システム 13
混雑度 25
最小周期 48
最大加加速度 28
最大加速度 28
最大巡航速度 28
最大整合量 44
最短経路 27, 84
サービス駅 33
三叉点 21
 渡り線 21
システム外歩行速度 28

- ジャーク 28
- 時間的地理的に一様 9
- 試行錯誤法 90
- 時刻 80
- 社会資本 5
- 車上分岐 18, 112
- 車両
 - 車両長 17
 - 車両定員 5, 28
 - 車両の構造 29
 - 車両の長さ 28
 - 車両の幅 28
- 縮小網 90
- 出発駅 32
- 出発郊外線 82
- 出発順条件 43, 98
- 周期 80
 - 運行周期 25, 34, 80
 - 最小周期 48
- 首都圏 9
- 需要突出比 67
- 巡航速度 25, 28
 - 都心部巡航速度 28, 54
- 準周期 91
- 乗降時間 28
- 乗降速度 20, 28
- 乗降票 43
- 乗車距離 25
- 乗車率 11, 25, 34
- 所要時間 4, 25
- 新交通システム 11
 - CVS 2, 13
 - 中量軌道輸送システム 11
- 政策 5, 13
- 設定 80
 - 試行錯誤法 90
 - 設定遅れ 80
 - 設定順変更法 90
- 先着優先法 86
- 全員着席 4, 29
- 増加分の利用者 67
- 側線 18
- 速度制御 112
- 損失時間 25, 34, 35
 - 迂回損失 26, 50, 64
 - 大駅利用者に対する損失時間 68, 71
 - 立ち上がり損失 67, 71
 - 通常駅利用者に対する損失時間 68, 71
 - 停車損失 26, 34
- 乗換駅待合せ損失 26, 50
- 乗換損失 26, 34
- 平均待時間 26, 34
- 理想的な損失時間 34
- 第一都心駅 82
- 大駅 67
 - 大駅専用車 70
 - 大駅対一郊外駅の輸送需要量 67
 - 大駅のサービス周期 69
 - 大駅利用者に対する損失時間 68, 71
- 大都市モデル 7
- 大都市用群運行システム 31
- 第二都心駅 82
- 立ち上がり時点 67
- 立ち上がり損失 67, 71
- 単独運行 33, 52
- 地域乗換駅 62
- 地域分離 58
- 中央優先法 86
- 中量軌道輸送システム 11
- 直線距離 27
- 直行時間 26
- 通勤型輸送需要 7, 46, 47
- 通常駅 67
 - 通常駅利用者に対する損失時間 68, 71
- 停車損失 26, 34
- 停車余裕時間 28
- 定常的 7
- 鉄道 11, 15
- 到着駅 32
- 道路交通 10
- 都心駅 7
 - 第一都心駅 82
 - 第二都心駅 82
 - 都心駅の面積密度 47
 - 都心駅数 41
 - 都心駅相互間の輸送需要量 65
- 都心枝 41
 - 都心枝上にある柵の数 57
 - 都心枝の走行時間 50
 - 都心枝の長さ 41, 47, 52
- 都心の単位面積相互の輸送需要量 9
- 都心部 7, 39
 - 都心部巡航速度 28, 54
 - 都心部乗換駅 49
 - 都心部半径 9
 - 都心部旅行時間 57

- 突出状態.....67
- 乗り換え.....21
 - 乗換時歩行速度.....28
 - 乗換損失.....26, 34
 - 平面内の乗り換え.....5
- 乗換ホーム.....21
- 乗換駅.....21, 47
 - 広域乗換駅.....62
 - 地域乗換駅.....62
 - 都心部乗換駅.....49
 - 乗換駅の数制限.....47
 - 乗換駅の配置.....48, 58
 - 乗換駅待合せ損失.....26, 50
 - 乗換ホーム.....21
- 蜂の巣網.....41
 - 縮小網.....90
- 昼間型輸送需要.....7, 46
- 複線.....17
 - 複線の両本線の位置関係.....17
- 平均待時間.....26, 34
- 平常時.....67
- 平面内の乗り換え.....5
- 歩行距離.....39
 - 歩行距離の最大値.....39, 41, 106
- 歩行時間.....26
- ホーム.....18
 - ホームの長さ.....54
 - ホーム容量.....20, 43
- 本線.....17
 - 複線の両本線の位置関係.....17
 - 本線の表現.....17
- 待時間.....4
 - 平均待時間.....26, 34
- ムービング・ターゲット.....13, 20
- 目標点.....84
- 輸送群.....32, 57, 66
 - 群.....32
 - 輸送群パラメータ.....33
- 輸送需要.....7
 - 通勤型輸送需要.....7, 46, 47
 - 昼間型輸送需要.....7, 46
 - 輸送需要の突出
 - 需要突出比.....67
- 突出状態.....67
- 輸送需要量.....4, 9, 34
 - 一郊外駅対一都心駅の輸送需要量.....47, 50
 - 一郊外線対都心全体の輸送需要量.....9, 47
 - 一通常駅対一郊外駅の輸送需要量.....67
 - 大駅対一郊外駅の輸送需要量.....67
- 輸送単位.....15
 - 輸送単位の線密度.....15
- 輸送力.....4, 15
 - 一郊外線対都心全体の輸送力.....80
- 容積.....5, 27
- 用務地.....7
- 予約.....21
- 予約運行.....44
- 理想的な損失時間.....34
- 留置設備.....23
- 旅行時間.....26, 57
 - 所要時間.....4, 25
 - 都心部旅行時間.....57
 - 歩行時間.....26
- 列車間隔.....15
- 路線延長.....27
- 路線容量.....15
- 枠.....17, 80
 - 位相整合.....44
 - 都心枝上にある枠の数.....57
 - 枠の時間間隔.....28
- 渡り線.....21
 - 渡り線部の形状によって決まる長さ.....54

