

通勤鉄道ネットワーク決定方法に関する研究

A STUDY ON NETWORK GENERATING MODEL FOR COMMUTER RAILWAY

森 地 茂*
By Shigeru MORICHI

1. 緒 言

従来、交通計画において、交通路網の決定はいくつかの代替案に対し交通量予測を行い、その結果をもとに評価して決定するという方法がとられている。もちろん、評価の結果により代替案を修正するというフィードバックループが計画手順を示すフロー図としては設定されているが、交通量予測作業量の膨大さもあって、一般には、極めて限られたネットワーク代替案しか設定されない場合がほとんどである。このような方法をとる場合には、計画者によって設定される代替案が計画を強く制約し、その判断により計画案がほぼ決定されるといっても過言ではない。しかも、代替案設定のプロセスは確立されておらず、計画者の総合的判断に大きく依存している。

このような現実の交通計画における状態に対し、ネットワークパターンの研究は極めて数多く発表されている。しかし、これら研究成果が現実の交通計画に応用された例は極めて限られたケースに過ぎない。

本論文は、このような視点に立ち、実用可能な交通路網決定手法を提案するものである。

まず交通路網に関する従来研究成果を分類整理し、現段階において必要な方向性から Scott, A.I. らによる近似解法, Rapp, M.H. らによるマン・マシンシステムに着目し、より実用的なシステムとすることを試みる。Rapp らのシステムにおいてマシン部分は、予測と評価指標の算出のみであるのに対し、本方法では直接便益、費用よりなる目的関数のもとでの最適化を効率的近似解法としてマシン部分に入れ、他の視点からの評価は人間に依存することを提案する。

次章 2. では従来の研究の整理、検討を行い、3. ではネットワークの中に1本の通勤鉄道路線を設定する方法を、4. では最適ネットワークを選びだすための近似

解法を示している。ここで 3. は地方都市におけるモノレール計画を、4. は大都市または都市圏における鉄道網計画を想定したものである。5. ではこれらのモデルを現実の交通計画に際しマンマシンシステムとして用いる方法と問題点について述べる。

2. 従来研究¹⁾

交通路網パターンに関する従来研究は、次の2種に大別できる。第1は幾何学的基本パターンによる研究であり、第2は交通路網決定モデルに関する研究である。これらはさらに表-1のように分類整理することができる。

上記第1は、格子状・放射環状等幾何学的形態の比較評価にはじまり、配分手法の発達によって任意のネットワークパターンの交通計画的評価が可能となるに至った。この種の研究の例としては、Smeed, R.J. の一連の研究²⁾ 太田勝敏の研究³⁾ など数多くのものがあげられる。さらに格子状の1リンクの長さ、環状線の半径など、交通路網パターン指標を最適化する試みがなされており、この例としては Schneider, M. らの研究⁴⁾ があげられる。また、これらとは別に、主として住宅地にお

表-1 交通路網パターンの研究

- | | |
|--------------------|-------------------|
| I. 幾何学的基本パターンによる研究 | |
| 1) | 幾何学的簡略パターンの比較評価 |
| 2) | パターン指標の最適化 |
| 3) | 住宅地における街路網パターンの提案 |
| II. 交通路網決定モデルの研究 | |
| 1) | 線形計画法による方法 |
| 2) | 非線形な因果連鎖の導入 |
| 3) | 多期間整備問題への拡張 |
| 4) | 多種交通機関問題への拡張 |
| 5) | 不確定需要問題への拡張 |
| 6) | 計算量減少のための近似解法 |
| 7) | 目的関数の非現実性問題の改良 |

* 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科

いてラドバーン方式をはじめ各種街路網パターンの提案も上記第1のカテゴリーに属する。この例としては毛利正光らの一連の研究⁹⁾があげられる。

一方、第2の方向すなわち、Network Generating Model とよばれるものは、考えるすべてのリンク、ノード集合から最適なネットワークパターンを選び出すモデルであり、1950年代の線形計画法の適用に始まって、表一1に示す多くの拡張がなされた。LPモデルの例としては Graison, W.L. の研究⁹⁾がある。非線形問題への拡張の例は Ridley, T.M. による分岐限定法を用いた研究⁷⁾、Wang, J.J. らの最大原理による方法⁹⁾などがある。多期間問題、複数交通機関問題への拡張は Morlock, E.K. による LP と DP の組み合わせによる方法⁹⁾に代表される。また Milder, J.L. は将来需要の不確定性を考慮したモデルを提案している¹⁰⁾。このように多様な方法論的研究がなされてはいるが、それらを現実の交通計画に適用するという観念に立つとき、いくつかの問題点が存在する。一般都市における大規模な交通路網を対象とするとき代替案が膨大な数となることが、実用的方法の開発を妨げている第1の理由である。第2に交通配分計算の複雑さのため、ネットワーク代替案を数多く設定することは、時間的、コスト的制約を有する現実の交通計画作業では困難である。交通配分計算と同様、交通機関分担率の推定もネットワーク代替案ごとに推定する必要があることはいうまでもない。したがってこれら交通量推定サブモデルを内蔵したネットワーク最適化モデルは極めて膨大な計算時間と記憶容量を必要とし、これが現実の交通計画に適用されない大きな理由となっている。この問題点に対処するため、Scott, A.J., 佐佐木・前島, Rea, J.C., などにより各種近似解法¹¹⁾が提案されたが、いずれも十分実用に耐えるほど簡易化するに至っていない。

交通路網決定モデルに関する研究の最近におけるもう1つの論的は、目的関数に関する問題点である。すなわち、単純化した目的関数のもとでの最適解を求めることが、現実の交通計画においてどの程度の意味を持ちうるかという問題意識である。この観点から、Rapp, M.H. や Koike, H. らはよりヒューリスティックな解法を提案している¹²⁾。Rapp による一連の研究は、交通量予測と評価関数値の計算を計算機により、また代替案作成を人間にやらせるシステムを提案している。この方法はグラフィックディスプレイ装置を用いて計画作業の効率を上げたという意義は大きいが本質的には現在一般に行われている方法と異ならない。

本研究は、Scott らの近似解法をより効率的にし、Rapp らの方法における計算機システムにネットワーク改良システムとして導入することを試みるものである。

3. 単一通勤鉄道路線の選定方法

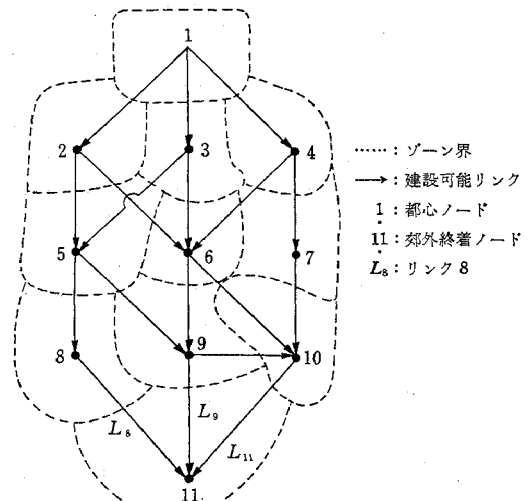
本章では1点集中型通勤 OD 需要を有する都市において1本の鉄道路線を選定する方法を考える。このようなモデルは地方都市におけるモノレール計画などにおいて適用可能であろう。

(1) 総通勤時間節約量最大化(便益最大化)

問題を単純化するため最初に次の仮定をおき基本式を設定する。

① 通勤鉄道建設前にバスなど既存交通機関で通勤していた人が新鉄道を利用することにより短縮する通勤時間短縮量の全鉄道利用者についての総計を最大にする路線を最適な路線とする。② 通勤鉄道利用者は各居住ゾーンの中心駅からのみ利用するとし、バス等で他ゾーンに行き鉄道に乗り継ぐことはないとする。③ 都心部、郊外部の両端駅が与えられているとする。ここで②、③は基本式を単純化するための仮定であり、後述するように適用にあたっては、除外することが可能である。

最適路線選定のために、まず鉄道を建設する可能性のあるルートを図一1のように模式化して表わす。ここで各ノードは各ゾーンの中心駅を意味し、交通需要はすべてノードから発生するとする。ノード1からノード11に至る最適なルートを決定するのであるが、第1段階として1から2,3,4までのルートを{1,2},{1,3},{1,4}と表わして記憶する。次に1から5までのルート中、後述する条件を満たすルートを、目的関数値の大きい順に記憶する。このようにして順次各ノードについて複数のルートを記憶してゆき、最後に1から8,9,10に至るル



図一1 鉄道建設可能リンク

ートにノード11を加えて(それぞれに L_9, L_9, L_{11} を加えて) できるルートの中から最適なルートを選定する。

この手順を詳述するために、次の通り変数を定義する。

- V_i : i ノードから都心ノードへの通勤者数。
- B_i : 鉄道建設前の i ノードから都心ノードまでの所要時間 (バスによる所要時間)。
- X_i^p : 都心ノードから i ノードまでのルートのうち $p+1$ 番目に便益の大きいルート。
- $X_i = \{X_i^p\}$: X_i^p の集合
- $T(X_i^p)$: ルート X_i^p に鉄道が建設された場合の i ノードから都心ノードまでの所要時間
- $E(X_i^p)$: ルート X_i^p に鉄道が建設された場合の便益 (時間節約量の総計)
- J_i : 建設可能リンク1本でノード i に直結され (ノード i に隣接し), ノード i より都心ノード側にあるノードの集合
- P_i : i ノードに至るルート番号 p の集合
- t_{ij} : ji 間に鉄道が建設された場合の ji 間鉄道所要時間

目的関数を利用者数×時間節約量の総和としているため、この問題はマルコフ性を有さず DP によって解くことができない。しかし、ノード i に達したルート中、最適解として選ばれる可能性のあるルートは、次の条件を満たすルートである。まず都心ノードと i ノードを結ぶすべてのルートを便益の大きい順に配列する。第2順位のルートと第1順位のルートを比較し、それぞれのルート上における都心ノード・ i ノード間距離を比較し、第2順位ルート距離の方が大または等しければ、第2順位ルートは捨てられ、第3位ルート以下の順位を1ずつ繰り上げる。同様にして第 p 順位のルートが選ばれるのは、より高い順位 (より便益の大きい) ルート、すなわち第 p' 順位ルート ($p'=1, 2, \dots, p-1$) より、都心への距離が小の場合のみである。このようにして都心側より順次各ノードまでのルートを複数ずつ記憶してゆき、最終ノードに到達したルートから最適なルートが選ばれる。この手順、およびその妥当性を先の記号を用いて以下に示す。

都心ノード・ j ノード間ルートで第 p' 順位のルート $X_j^{p'}$ にノード i を追加したルートを $X_j^{p'}+i$ と記述し、便益の大きい順にルートを配列し、次の条件 (=上記条件) を満たすよう X_i^0, X_i^1, \dots と順に X_i を決定してゆく。

$$X_i = \{(X_j^{p'}+i) | T(X_j^{p'}+i) < T(X_j^{p'-1}), p' \in P_j, j \in J_i\} \dots\dots(1)$$

ただし、

$$T(X_i^0) = [T(X_i^0) | E(X_i^0) = \max_{p \in P_i} E(X_i^p)] \dots\dots\dots(2)$$

$$\max_{p \in P_i} E(X_i^p) = \max_{j \in J_i} \max_{p' \in P_j} \{V_i(B_i - (T(X_j^{p'}) + t_{ij})) + E(X_j^{p'}) | T(X_j^{p'}) < T(X_j^{p'-1})\} \dots\dots\dots(3)$$

〔証明〕

いま j における2つのルート X_j^{p-1}, X_j^p において

$$E(X_j^{p-1}) > E(X_j^p) \dots\dots\dots(4)$$

$$T(X_j^{p-1}) \leq T(X_j^p) \dots\dots\dots(5)$$

であるとき

$$E(X_j^p+i) = E(X_j^p) + V_i(B_i - t_{ij}) - V_i T(X_j^p) \dots\dots\dots(6)$$

$$E(X_j^{p-1}+i) = E(X_j^{p-1}) + V_i(B_i - t_{ij}) - V_i T(X_j^{p-1}) \dots\dots\dots(7)$$

の間には式(4),(5)より

$$E(X_j^p+i) < E(X_j^{p-1}+i)$$

が成立し、 X_i^p を i まで延長したルートは最適解とはならない (証明終り)。

(2) 便益費用差最大化

次に便益については上記と同様とし、建設費・運営費をも考慮した場合について述べる。いま、次の変数を追加して定義する。

- v : 新線の表定速度
- Q : タイムコスト原単位 (円/人・時)
- S : 通勤鉄道建設コスト+運営コスト (円/km)

$E(X_i^p)$: X_i^p ルートの総通勤時間節約量

$$\sum_i V_i \{B_i - T(X_i^p)\} Q$$

$C(X_i^p)$: X_i^p ルートのコスト, $S \cdot v \cdot T(X_i^p)$ (延長比例と仮定)

$M(X_i^p)$: X_i^p ルートの便益コスト差, $E(X_i^p) - C(X_i^p)$

p : 解領域に存在するルートについての M の大きさによる順位

以上の定義により (1) と同様の定式化が可能である。

$$X_i = \{(X_j^{p'}+i) | T(X_j^{p'}+i) < T(X_j^{p'-1}), p' \in P_j, j \in J_i\} \dots\dots\dots(9)$$

ただし、

$$T(X_i^0) = [T(X_i^0) | M(X_i^0) = \max_{p \in P_i} E(X_i^p)] \dots\dots\dots(10)$$

$$\max_{p_i \in P_i} E(X_i^p) = \max_{j \in J_i} \max_{p' \in P_j} \{V_i(B_i - (T(X_j^{p'}) + t_{ij})) Q - S \cdot v \cdot t_{ij} + M(X_j^{p'}) | T(X_j^{p'}) < T(X_j^{p'-1})\} \dots\dots\dots(11)$$

〔証明〕

$$M(X_j^{p-1}) > M(X_j^p) \dots\dots\dots(12)$$

$$T(X_j^{p-1}) \leq T(X_j^p) \dots\dots\dots(13)$$

とする。

$$M(X_j^{p-1+i}) = M(X_j^{p-1}) + V_i Q(B_i - t_{ij}) - V_i Q T(X_j^{p-1}) - s \cdot v \cdot t_{ij} \dots\dots\dots(14)$$

$$M(X_j^p+i) = M(X_j^p) + V_i Q(B_i - t_{ij}) - V_i Q T(X_j^p) - s \cdot v \cdot t_{ij} \dots\dots\dots(15)$$

より

$$M(X_j^p+i) < M(X_j^{p-1+i}) \dots\dots\dots(16)$$

が成り立ち (12), (13) の条件下では X_j^p+i が最適解となることはない (証明終り)。

なお、建設費が距離に比例するという仮定は、道路上に建設するモノレールのように用地費が零に近い場合は近似的に成り立ちうるし、また都心から同心円状に地価が変化する場合にも上記方法で近似解を用いることができる。運営費は距離比例の部分と車キロ比例の部分から成ると考えられるが、ここでは車キロがおよそ路線延長に比例すると仮定した。

(3) 便益費用比最大化

目的関数として便益費用比をとる場合についても同様に解を求めることができる。次の各変数を追加定義する。

- $M(X_i^p) = E(X_i^p) / C(X_i^p)$; 都心から i ノードまでの p ルートによる便益費用比
- $e(X_i^p)$; 都心- i ノード間 p ルートによる i ゾーン居住者の便益
- $c(X_i^p)$; i ノードの都心側隣接ノード j (ルート p 上) から i ノードまでのコスト
- p : $E(X_i^p)$ の大きい順に解領域のルートにつけた番号

いま、 $X_j^{p-1}+i$ なるルートが X_i^p であったとすると定義より、

$$M(X_i^p) = \frac{e(X_i^p) + E(X_j^{p-1})}{c(X_i^p) + C(X_j^{p-1})} \dots\dots\dots(17)$$

ここで

$$T(X_j^{p-1}) > T(X_j^{p-1}) \dots\dots\dots(18)$$

と仮定すると

$$C(X_j^{p-1}) = s \cdot v \cdot T(X_j^{p-1}) \dots\dots\dots(19)$$

より

$$C(X_j^{p-1}) > C(X_j^{p-1}) \dots\dots\dots(20)$$

が成り立つ。また、

$$e(X_i^p) = V_i \{B_i - (T(X_j^{p-1}) + t_{ij})\} Q \dots\dots\dots(21)$$

および式 (18) より

$$e(X_j^{p-1}+i) < e(X_j^{p-1}+i) \dots\dots\dots(22)$$

さらに定義より

$$E(X_j^{p-1}) < E(X_j^{p-1}) \dots\dots\dots(23)$$

$$c(X_j^{p-1}+i) = c(X_j^{p-1}+i) \dots\dots\dots(24)$$

が成り立つ。式 (20), (22), (23), (24) より

$$M(X_j^{p-1}+i) < M(X_j^{p-1}+i) \dots\dots\dots(25)$$

したがって式 (18) の特性を有するルート ($X_j^{p-1}+i$) は最適ルートになり得ず、 j 段階でこのような X_j^{p-1} は捨てることができる。すなわち、(1) で述べた方法で $E(X_i^p)$ のみによりルート探索を行い、終着点 k に達したルートの中で $M(X_i^p)$ の最大のルートを選べばそれが、費用便益比最大のルートとなっている。

(4) 実用化への修正

先に (1) で述べたように定式化を容易にするため多くの仮定を設定しているが、そのいくつかは排除することが可能である。

第1に、都心駅と郊外駅を先決してそれを結ぶルートを選定するとしているが、両駅を複数設定することにより、一般化でき、都心通過型パターンで郊外駅を任意の駅とした場合についても解くことができる。第2に、鉄道を通るゾーンについてはすべての通勤者が鉄道を利用するとしているが、これに関しては各段階でルート p ごとに交通機関分担サブモデルを用いて利用者を変化させることにより一般化できる。第3に、バス・鉄道の乗り継ぎを無視しているが、路線延長が比較的短く、ゾーニングが小学校区程度の場合には、非現実的仮定ではないと考えられる。より正確にするためには都心と郊外を結ぶ線と直角方向にバス路線を想定し、各段階で他ゾーンからのバス・鉄道乗り継ぎ者数を推定する交通機関分担サブモデルを用い、 V_i を修正することにより一般化できる。第4に1点集中型通勤需要の仮定については、地方都市の場合無理な仮定ではないと考えられるが、より正確にするためには都心ゾーンを大きく設定し、その内部での路線設定はより厳密な方法(たとえば Morlock モデルなど)によることが考えられる。この場合地方都市における業務地域は比較的小さく、小規模ネットワークの最適化なら2. で述べた計算上の問題も少ない。もちろんより一般化して、全駅にわたりトリップエンド (D) が分布している場合にはこの方法を用いることはできず、4. で述べる方法によらねばならない。

(5) ケーススタディ

ケーススタディとして、図-2 に示すリンク数 60 のネットワークから1本の路線を選ぶ問題を、① 便益最大化の基本式による方法および ② 便益最大化—バス・鉄道乗り継ぎを考慮した場合の2種の方法で解くことを試みた。インプットデータは表-2.3 に示すとおりである。ここで N はリンク番号、 $II(N)$, $JJ(N)$ はリンク N の両端ノード、 $ITLINK(N)$ はリンク N の鉄道

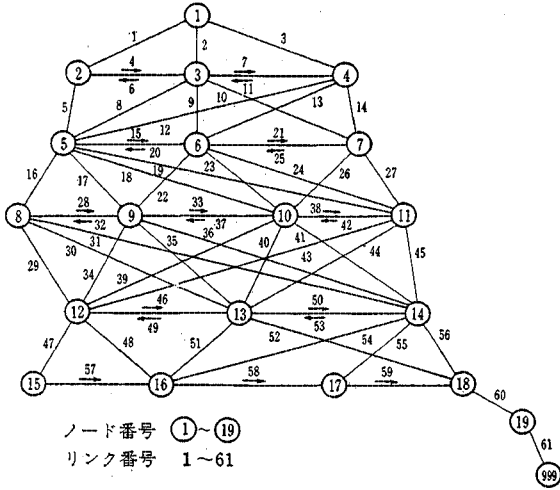


図-2 ノード・リンク番号

表-2 ゾーン特性

段階	ゾーン	S60年度 想定人口	S60年度都 心通勤者数	都心までの所要 時分(単位:分)	
1	1	6 300	17 600	0	
		11 900			
		12 800			
		7 000			
		4 700			
2	2	16 300	2 608	15	
		3	9 700	1 449	12
		4	13 900	2 077	10
3	5	20 200	3 232	20	
		6	12 500	1 868	10
		7	11 300	1 688	13
4	8	13 800	3 404	28	
		9	22 800	5 624	22
		10	27 600	4 124	15
		11	10 900	1 692	13
5	12	13 200	3 256	25	
		13	19 000	4 686	22
		14	17 500	1 424	16
6	15	21 600	5 301	28	
		16	20 900	1 687	30
		17	30 900	2 494	23
		18	28 300	2 304	27
7	19	12 900	1 045	34	

所要時間である。選ばれる路線の方向性が不確定なリンクは方向別に2リンクとみなしている(たとえばリンク4と6)。

計算結果は表-4, 5に示すとおりであり, 終着駅段階で残されたルートはこの表に示すように, それぞれ7本, 4本であった。他の段階でのルート数もこれ以下で

表-3 リンク特性

N	II(N)	JJ(N)	ITLINK(N)	N	II(N)	JJ(N)	ITLINK(N)
1	1	2	3.4	31	8	14	10.0
2	1	3	3.6	32	9	8	3.4
3	1	4	3.6	33	9	10	4.6
4	2	3	2.0	34	9	12	3.6
5	2	5	2.6	35	9	13	5.2
6	3	2	2.0	36	9	14	8.0
7	3	4	2.4	37	10	9	4.6
8	3	5	2.2	38	10	11	2.8
9	3	6	2.0	39	10	12	7.0
10	3	7	4.2	40	10	13	4.6
11	4	3	2.4	41	10	14	4.8
12	4	5	4.4	42	11	10	2.8
13	4	6	1.8	43	11	12	9.2
14	4	7	2.0	44	11	13	5.4
15	5	6	3.2	45	11	14	3.4
16	5	8	9.8	46	12	13	5.0
17	5	9	7.0	47	12	15	3.8
18	5	10	4.6	48	12	16	8.4
19	5	11	5.6	49	13	12	5.0
20	6	5	3.2	50	13	14	3.8
21	6	7	2.8	51	13	16	4.0
22	6	9	7.2	52	13	18	11.6
23	6	10	3.2	53	14	13	3.8
24	6	11	2.4	54	14	16	3.4
25	7	6	2.8	55	14	17	5.8
26	7	10	2.6	56	14	18	9.0
27	7	11	2.0	57	15	16	11.2
28	8	9	3.4	58	16	17	3.3
29	8	12	3.6	59	17	18	5.0
30	8	13	7.8	60	18	19	5.4

表-4 選定路線 (基本式(1)-通過ゾーンのみの利用者を考慮したもの)

ルート No.	総通勤時 間短縮量 (100人分)	始終点間 所要時分 (分)	通 過 ノ ー ド
1	1 223	35	1-2-5-9-13-16-17-18-19
2	1 142	33	1-2-5-10-13-16-17-18-19
3	1 040	30	1-2-5-6-11-14-16-17-18-19
4	954	28	1-2-3-6-11-14-16-17-18-19
5	863	27	1-4-7-11-14-16-17-18-19
6	682	26	1-2-3-6-11-14-18-19
7	549	25	1-4-7-11-14-18-19

表-5 選定路線 (全域からの利用者を考慮したもの)

ルート No.	総通勤時 間短縮量 (100人分)	始終点間 所要時分 (分)	通 過 ノ ー ド
1	1 551	35	1-2-5-9-13-16-17-18-19
2	1 496	31	1-3-6-10-13-16-17-18-19
3	1 350	27	1-3-6-11-14-16-17-18-19
4	986	25	1-3-6-11-14-18-19

あり, したがって本方法による計算時間, 必要記憶容量は, DPによる方法の数倍程度であり, 現実の都市交通ネットワークに対しても十分実用可能であるといえる。

なお, 表-4, 5に示すように, ①②の両ケースとも, 選定されたネットワークは等しく, 第1ルートとして示されているものであった。

本章で示した方法は極めて単純な目的関数の下での最適化を行うものであり、実際の交通計画に用いる際の方法については 5. で述べることにする。

4. 通勤鉄道ネットワークの選定方法

(1) ネットワーク選定方法

本研究において設定したネットワーク修正過程は図-3~6に示すとおりである。すなわち、モデルは、道路サービス条件サブモデル、バス・鉄道リンク交通量子測サブモデル、ネットワーク探索サブモデルからなっている。ここで前二者は一般に用いられる簡単な

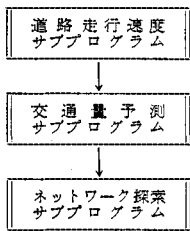


図-3 ネットワーク最適化過程

モデルであるが、必要に応じて、他のモデルに変更することも可能である。たとえば、交通機関分担率推定において、乗用車利用率は駐車容量およびOD両ゾーンの特徴により決定されるとの仮定のもとにODペアごとに与件として与えている。また、

OD交通需要は鉄道ネットワークにより変化すると考えるべきであるが、ここでは与件としている。これらの単純化を修正することは、サブモデルの変更により容易に可能である。

ここでの特色はネットワーク探索サブモデルにある。

まず、目的関数は次式に示すように、建設費、運営費、時間費用の合計値であり、前章と同様、直接便益、費用のみを扱っている。

$$Z = \sum_{i=1}^L X_i C_i + K_1 \sum_{i=1}^N D_i V_i + \alpha \sum_{i=1}^N T_i V_i + K_2 \sum_{i=1}^M d_i v_i + \alpha \sum_{i=1}^M t_i v_i \rightarrow \min$$

ここで

$T_i = D_i / S_i$: i 鉄道リンク所要時間

$t_j = d_j / s_j$, $s_j = f(R_j)$: j バスリンク所要時間

$X_i, i=1, L$: 鉄道新設リンクの存在の有無を示す 1-0 変数

$C_i, i=1, \dots, L$: i 鉄道リンク建設費

K_1, K_2 : 人キロを運営費に換算する係数 (鉄道およびバス)

α : 時間価値

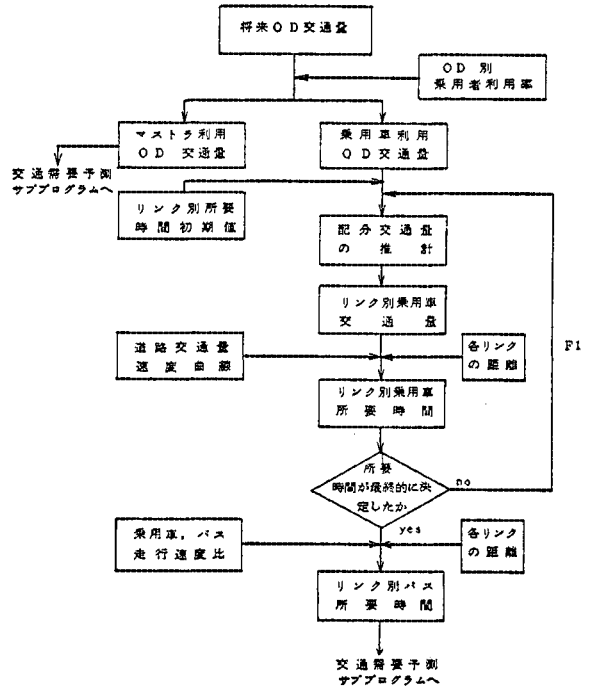


図-4 道路走行速度推定サブプログラム

- V_i, v_i : i リンク交通量 (鉄道およびバス)
- T_i, t_i : i リンク所要時間 (鉄道およびバス)
- D_i, d_i : i リンク距離 (鉄道およびバス)
- S_i, s_i : i リンク表定速度 (鉄道およびバス)
- R_i : i リンク混雑度

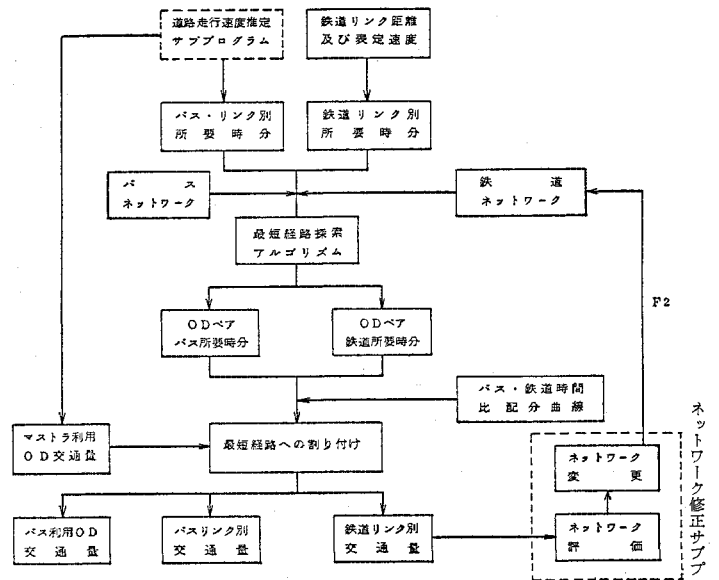


図-5 交通需要予測サブプログラム

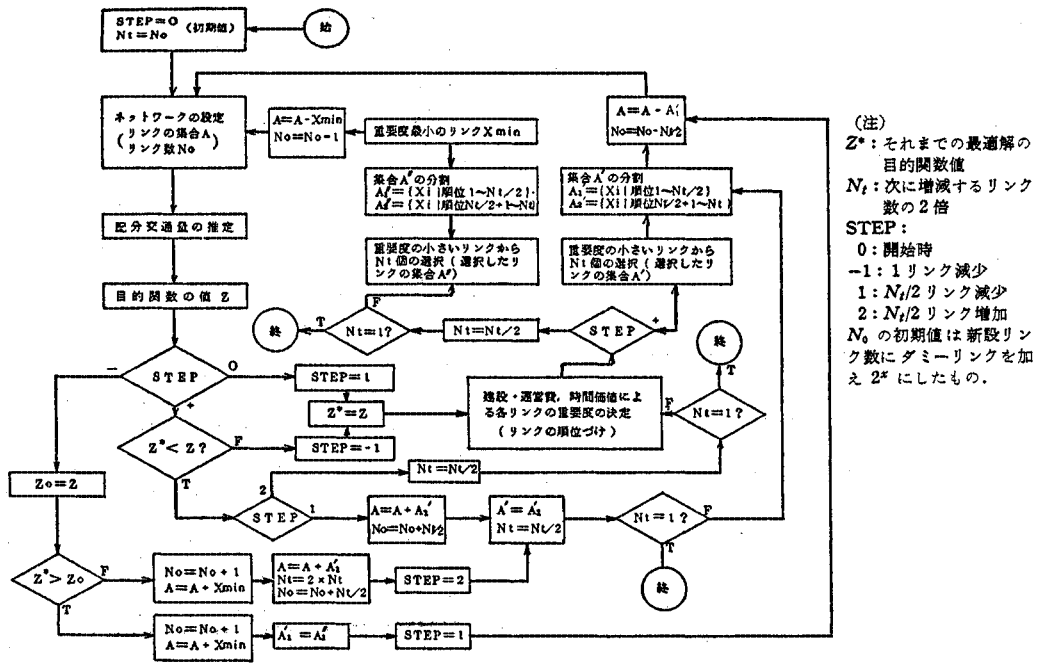


図-6 ネットワーク探索サブプログラム

上記目的関数に対する最適化を大規模なネットワークに関して行うことはかなり困難である。すなわち、大規模なリンク、ノード集合(初期ネットワーク)の部分集合として最適解を求める問題の場合、とりうるネットワークパターンは膨大な数となること(60リンクで 10^{15} 以上)、および各パターンごとに交通機関分担、配分交通量が異なることのため、必要計算量は膨大なものとなる。しかも、上記目的関数は交通計画に際しかなり重要な項目を表わしているとはいえ、土地利用への影響、環境要因をはじめ多くの他の視点から本モデルによる計算解は評価され修正されるものである。したがってこの段階で厳密な解を得るために非実用的な計算量を伴う方法を用いることは、実際の交通計画に対し無意味であるといえよう。この意味で Scott, A.J. による木グラフまたは完全グラフから逐次的にリンクの増減を行う近似解法や, Ridley, T.M. の分枝限定法による解法は実用的といえない。

以下に示す近似解法のために、先の目的関数と別に、各リンクの評価関数 E_i を設定する。

$$E_i = at_i V_i + K_2 d_i V_i - X_i C_i - K_1 D_i V_i - a T_i V_i$$

この評価関数は近似的に、1本の鉄道リンクを削除した場合の費用の変化量を示している。

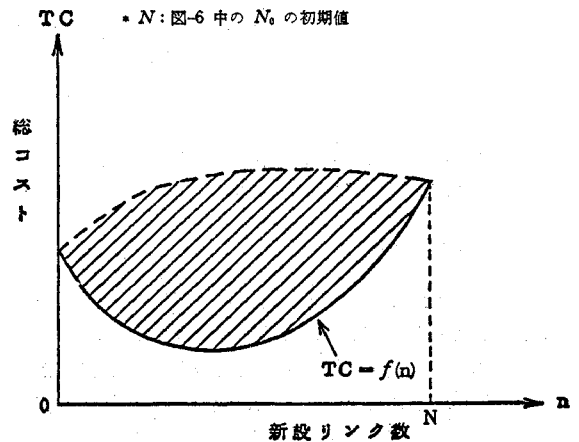


図-7 目的関数値の存在領域

表-6 ケーススタディにおけるネットワーク計算結果

対象都市	目標年度 (昭和)	対象ネットワーク				新設提案 鉄道リンク数	計画案における総コストの減少額	
		既設鉄道 リンク数	新設可能鉄 道リンク数	バスリンク 数	合計		新設リンク がない場合 との差	全部新設 した場合 との差
A 神奈川県	60	105 (往復 210)	57 (往復 114)	—	162 (往復 324)	31	186	37
	52	90 (往復 180)	45 (往復 90)	220 (往復 440)	355 (往復 610)	32	49	77
B 名古屋市	56	—	—	—	—	35	26	48
	55	—	—	—	—	2	1	51
C 札幌市	60	35 (往復 70)	44 (往復 88)	133 (往復 266)	212 (往復 424)	6	9	45
	65	—	—	—	—	8	28	20

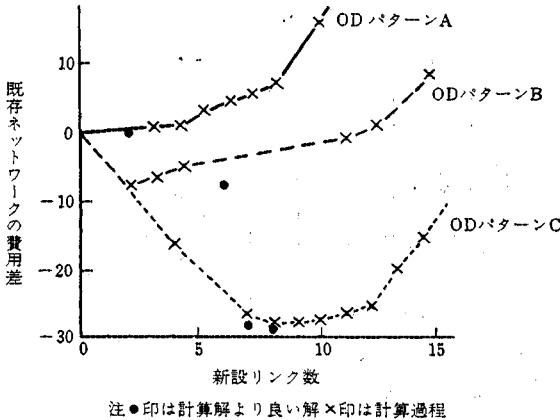


図-8 計算解の精度

また、初期ネットワークとして、建設の可能性を有する全鉄道リンクと、既存鉄道リンク、バスリンクからなるネットワークを想定する。まず既存鉄道リンクとバスリンクからなるネットワークおよび初期ネットワークに対し交通機関分担率および配分交通量の推定を行い、目的関数値、各リンクの評価関数値を計算する。以下評価関数値の順位に基づき鉄道リンクの増減を行い、目的関数最小の鉄道ネットワークを探索する。その探索過程は図-6に示すとおりである。この過程は全ネットワークパターンの目的関数値をプロットした図-7においてその包絡線が下に凸な関数であるとの仮定に基づいている。リンク評価関数によるネットワーク変更およびこの仮定に対する解の検討は次節で行う。

(2) ケーススタディ

前節(1)に述べた方法を実際の都市交通ネットワークに適用した結果は表-6に示すとおりである。また収束過程および、解の最適性の検討結果を示したのが図-8である。ここに示すように、より厳密な解の探索を行い、上記近似解と比較した結果2~3番目以内の解を得られている。

5. 実際の交通計画への適用

先に2.で述べたように3.および4.で示した方法は直接便益、費用の下でのネットワーク探索過程であり、実際の交通計画に際しては、次に示す修正手順が用いられるべきである。すなわち、計算解に対し計画者の総合的判断に基づく修正が次の3種のアプローチによりなされる。第1は初期ネットワークにおけるリンクの増加であり、これは決定リンクに問題がある場合にその代

替リンクとしての可能性の検討が必要などときなどである。第2は初期ネットワークにおけるリンクの削除であり、これは決定リンクの建設が、たとえば技術的、社会的問題により不適切と判断された場合である。第3は初期ネットワークにおいて建設可能リンクとされていたものを既存リンクとして扱う場合である。これは、そのリンクが決定リンクに入らなかった場合であり、直接便益以外の理由でそのリンクの建設が必要不可欠と判断された場合である。いずれの場合も、計画者によるこの修正の後、再びモデルにインプットされ、より良いネットワークが探索される。このフィードバックの繰り返しは、計画者の総合的判断により修正されたネットワークを、直接便益に関しより良いネットワークに再修正する過程である。計画者の修正意図の強弱により、すなわち上記3種の方法により、再修正における解領域は変化する。

ケーススタディの結果によれば、3., 4.で示した計算方法で求めた解と従来の方法による計画はほとんど一致しているが、上記修正過程を用いることにより、本方法の近似性の悪さの修正が可能であるとともに、目的関数の単純さに対する修正が可能となる。換言すれば、本論文に示した方法は、従来計画者に依存していたネットワーク代替案の作成を、明確なプロセスとしたものであり、交通量予測結果からネットワークパターンへのフィードバックを計画手順として明らかにしたものである。

参考文献

- 1) 新谷洋二・杉恵頼寧ほか：道路網計画と整備プログラムの研究，広島都市交通研究会，1970。
- 2) Smeed, R.J.: The Road Capacity of City Centers, Highway Research Record No. 169, pp. 22~29, 1967. 他
- 3) 太田勝敏：都市街路網計画についての研究，東京大学土木工学科論文集録，Vol. 4, pp. 83~88, 1967。
- 4) Schneider, M.: A Direct Approach to Traffic Assignment, HRR, No. 6, pp. 71~75, 1963。
- 5) 毛利正光ほか：安全性を考慮した地区内街路網について，都市計画 No. 66, 1971。
- 6) Garrison, W.L., Marble, D.F.: Analysis of Highway Network; A Linear Programming Formulation, H. R.B. Vol. 37, pp. 1~7, 1958。
- 7) Ridley, T.M.: An Investment Policy to Reduce the Travel Time in a Transportation Network, Transportation Research, Vol. 2, pp. 409~424, 1968。
- 8) Wang, J.J., Snell, R.R., Funk, M.L.: Toward a Solution for the Optimal Allocation of Investment in Urban Transportation Networks, H.R.R., No. pp. 23~45, 1968。
- 9) Morlock, E.K.: A Goal Directed Transportation Planning Model, Transportation Research, Vol. 4, pp. 199~213, 1970。
- 10) Milder, J.L.: Investment in Network Expansion Under Uncertainty, Transportation Research Vol. 4, pp. 267~280, 1970。
- 11) Scott, A.J.: The Optimal Network Problem; Some Computational Procedures, Transportation Research, Vol. 3, pp. 201~210, 1969. 他
- 12) Rapp, M.H.: Man-Machine, Interactive Transit System Planning, Socio-Econ. Plan. Sci., Vol. 6, pp. 95~123, 1972. 他

(1975.1.27・受付)