

1、はじめに

交通ネットワークの新設、改良計画において、計画代替案を作成する方法のひとつとして、ある基準に基づく最適化モデルを用いる方法が考えられてきた。西村・日野によれば、「最適ネットワーク問題とは、与えられた交通需要を満たすように建設費制約の下で目的関数を最大あるいは最小にする路線の集合の探索」と定義されている。この場合、交通ネットワーク改良の意志決定変数は、リンクを改良、建設するかどうか、という0、1の離散変数であり、問題の解法としてさまざまな方法が研究されている。^{2), 3)}

これらの方法の多くは、与えられたOD交通量をネットワークに割つける際に、交通混雑、すなわちリンク交通量の増加による所要時分の増加が最適ネットワークの形状に及ぼす影響を必ずしも考慮しているとは言えず、とくに道路ネットワークの形成において交通混雑を考慮した問題への拡張が必要であるとされてきた。このような拡張は、Los⁴⁾、Dantig et al⁵⁾らにより、交通ネットワーク改良の意志決定変数である各リンクへの投資を連続変数とし、総交通費用（総走行台時）と総建設費用の和によって構成される目的関数を最小化する問題として定式化され、その解法、適用例も示されている。

しかし、総交通費用と総建設費用に対する重みと、それに影響すると考えられる時間価値、利子率、プロジェクトライフとの関係は必ずしも明らかにされておらず、これらの変数と目的関数および解の挙動との関係は明確でない。さらに、交通ネットワークの改良、建設によるゾーン間所要時分の変化がもたらすODパターンの変動を考慮した最適ネットワーク問題については、筆者の知るところでは、従来あまり研究されていない。本研究の目的は、1) OD交通量が与えられた場合の交通混雑を考慮した最適ネットワーク形成問題において、時間価値、利子率、プロジェクトライフの変動による解の挙動を数値計算によって知ること、2) ODパターンの変動と交通混雑を考慮した場合の最適ネットワーク形成問題のひとつの定式化とその解法の例を示し、数値計算により問題の特性を知ることにある。なお、以下の議論の対象となるネットワークは道路ネットワークであり、交通手段が自動車のみの場合に限定されていることを前提とする。

2. OD交通量が与えられた場合の最適ネットワーク形成

2-1 問題の定式化

Dantigによれば、最適交通ネットワーク形成問題は、次のような分類軸により分類できるとされている。

- 1) 目的関数のタイプ ; 利用者均衡モデルであるか、システム最適モデルであるか
- 2) ネットワーク改良、投資費用の反映方法 ; 目的関数に含まれているか、制約式であるか
- 3) リンク費用関数のタイプ ; 線形か、2次関数か、多項式であるか、など
- 4) ネットワーク改良の意志決定変数、すなわち各リンクへの投資が連続変数であるか離散変数であるか

以下では、交通混雑を考慮した最適ネットワーク形成問題のうち、目的関数をシステム最適とし、投資費用を目的関数に含み、意志決定変数を連続変数とする場合を対象に議論を進める。Los は、この問題を次のように定式化した。

$$[P1] \quad F1 = \sum_{a \in A} V_a \cdot S_a(V_a, Z_a) + \xi \sum_{a \in A} G_a(Z_a) \rightarrow \text{Minimize} \quad \text{----- ①}$$

Subject to

$$\sum_m h_{m,ij} = X_{ij} \quad \text{----- ②}$$

$$V_a = \sum_m \sum_i \sum_j \delta_{am,ij} \cdot h_{m,ij} \quad \text{----- ③}$$

ここに

A ; 建設可能リンクの集合, a ; リンク番号, m ; パス番号, i, j ; 発生、集中ゾーン番号

V_a ; リンクフロー (台/日), Z_a ; リンク容量 (台/日), X_{ij} ; OD交通量

hm, ij ; パスフロー, $\delta_{am, ij}$; i, j 間のパス m がリンク a を通るとき 1 そうでなければ 0

$Sa(Va, Za)$; 走行時間関数 (分), $Ga(Za)$; リンク改良、建設費用関数 (円)

ξ ; 改良、建設費用に対する重み (台分/円/日)

である。目的関数の第 1 項は総走行台分、第 2 項は総建設費用、制約条件は OD フロー保存条件およびリンクフロー条件である。Dantig は、さらに Za に対して容量の上限 Ha と下限 Ca の制約を追加している。しかし、両者のいずれにおいても、総交通費用と総建設費用に対する重みである ξ と、 ξ に関係する時間価値、利子率、プロジェクトライフとの関係は明らかにされていない。

そこで、時間価値 λ 、利子率 μ 、プロジェクトライフ n を用いることにより ξ を書き換えると

$$\xi = f(\lambda, \mu, n) = \frac{1}{365 \lambda} \left\{ \frac{\mu(1+\mu)^n}{(1+\mu)^n - 1} \right\} \quad \text{----- ④}$$

となる。{ } 内は資本回収係数 CRF (Capital Recovery Factor) と呼ばれる係数である。 $f(\lambda, \mu, n)$ を用いることにより [P1] の目的関数 F1 は

$$F2 = \sum_{a \in A} Va \cdot Sa(Va, Za) + f(\lambda, \mu, n) \sum_{a \in A} Ga(Za) \rightarrow \text{Minimize} \quad \text{----- ⑤}$$

となる。

2-2 求解のアルゴリズム

$Sa(Va, Za)$ を BPR 関数、 $Ga(Za)$ を Za に対する線形関数とした場合、すなわち

$$Sa(Va, Za) = ta \{1 + r (Va/Za)^k\} \quad \text{----- ⑥} \quad Ga(Za) = ga \cdot Za \quad \text{----- ⑦}$$

ta ; 自由走行速度による走行時間 (分) ga ; 定数 (円/台/日) r, k ; パラメータ

を例に、Dantig らによる解のアルゴリズムを示す。[P1] は、次の主問題 (master problem) [P2] と子問題 (sub problem) [P3] に分解できることが知られている。

$$[P2] \quad \text{Min} \left\{ \sum_{a \in A} Va \cdot Sa(Va, Za^*) + f(\lambda, \mu, n) \sum_{a \in A} Ga(Za^*) \right\} \quad \text{----- ⑧}$$

Subject to

$$\sum_m hm, ij = Xij \quad \text{----- ⑨} \quad Va = \sum_m \sum_i \sum_j \delta_{am, ij} \cdot hm, ij \quad \text{----- ⑩}$$

ここに、 Za^* は [P4] の解であり、 Va の関数である。

$$[P3] \quad \text{Min} \left\{ \sum_{a \in A} Va \cdot Sa(Va, Za) + f(\lambda, \mu, n) \sum_{a \in A} Ga(Za) \right\} \quad \text{----- ⑪}$$

[P2] [P3] は次のようにして解くことができる。まず、[P3] において

$$Qa(Va, Za) = Va \cdot Sa(Va, Za) + f(\lambda, \mu, n) \cdot Ga(Za) \quad \text{----- ⑫}$$

とおくと、 $\partial^2 Qa / \partial Za^2 > 0$ であるから、 Za に関して $Qa(Va, Za)$ の最小値は、 $\partial Qa / \partial Za = 0$ のとき与えられる。

$$\partial Qa / \partial Za = -k r ta (Va/Za)^{k+1} + f(\lambda, \mu, n) ga = 0 \quad \text{----- ⑬}$$

より、

$$Za^* = \phi_a^{-1}(\lambda, \mu, n) Va \quad \text{----- ⑭} \quad \phi_a(\lambda, \mu, n) = \left\{ f(\lambda, \mu, n) ga / k r ta \right\}^{1/k+1} \quad \text{----- ⑮}$$

となる。したがって、 $Qa(Va, Za^*)$ は

$$Qa(Va, Za^*) = Va ta \{1 + (k+1) r \phi_a(\lambda, \mu, n)^k\} \quad \text{----- ⑯}$$

となる。さらに、

$$\theta_a = ta \{1 + (k+1) r \phi_a(\lambda, \mu, n)^k\} \quad \text{----- ⑰}$$

とおくと、[P2] の目的関数は、

$$\text{Min} \left\{ \sum_{a \in A} \theta_a Va \right\} \quad \text{----- ⑱}$$

と書くことができる。 θ_a は Va に無関係であるから、OD 交通量が与えられた場合の最適ネットワーク形成問題 [P1] は最短経路問題に帰着できることになる。最適リンク容量 Za_{opt} は、[P2] の解 Va^* により

$$Za_{opt} = \phi_a^{-1}(\lambda, \mu, n) Va^* \quad \text{----- ⑲}$$

となる。^(注1)

2-3 感度分析

2-3-1 ネットワークの条件 外生的に与える時間価値、利子率、プロジェクトライフの変化による目的関数の値、解の値の変化の方向とその程度を知ることにより、2-1で述べた最適ネットワーク形成問題の特性を数値的に明らかにすることが感度分析の目的である。

数値計算において用いた建設可能な最大ネットワークは、ノード数25（うち発生、集中ノード数9）、最大建設可能リンク数80の格子状ネットワークである。リンクの長さは、すべて2kmである。各リンクの交通量がゼロの場合の所要時分(t_a)と単位容量あたりの建設費(g_a)をそれぞれ図1-1、図1-2に示す。BPR関数のパラメータ、 k 、 r は修正BPR関数と呼ばれている関数のパラメータ値、 $k=5$ 、 $r=2.62$ とした。すなわち、

$$S_a(V_a, Z_a) = t_a \{1 + 2.62 (V_a/Z_a)^5\} \quad \text{-----} \textcircled{2}$$

である。ODパターンは、ノード5を中心として点対称に与えた。（表-1）リンク情報、ODパターンとも点対称であるため、最適ネットワーク問題の解となるリンク交通量 V_a 、リンク容量 Z_a も点対称となる。そこですべてのリンクを同値な6つのグループに分類し、それぞれを図-2に示す6本のリンクで代表させたこれを代表リンクと呼び、代表リンクを用いてネットワークの形状を検討する。時間価値、利子率、プロジェクトライフの標準値は、それぞれ、50（円/分/台）、5（パーセント/年）、30（年）とした。2つの変数を標準値に固定し、残りの変数を標準値の0.5, 1.0, 1.5, 2.0の4段階に変化させることにより、感度分析を実行した。

2-3-2 時間価値に対する感度分析 利子率、プロジェクトライフを標準値に固定し、時間価値を25, 50, 75, 100（円/分/台）の4段階に変化させたときの解の挙動を表-2、図-3に示す。時間価値に対する感度分析の結果は、次のようにまとめることができる。

- ① ネットワーク全体では、時間価値の上昇に伴って、目的関数の値、総交通費用、平均トリップ時間、建設リンク数は減少するが、総建設費用、平均リンク交通量、平均リンク容量は増加する。
- ② 変化の程度が大きいのは平均リンク容量、総建設費用、目的関数である。時間価値が25（円/分/台）の場合に対して、100（円/分/台）の場合、それぞれ50%増、25%増、25%減であった。逆に、建設リンク数、平均リンク交通量は、きわめて安定している。
- ③ 目的関数の値のうち総交通費用が占める割合は、時間価値の上昇に伴って増加し、25（円/分/台）のとき約7割、100（円/分/台）では約9割を占める。
- ④ ①～③の結果は、時間価値の上昇により建設費用にかかる相対的ウェイトが減少し、建設が促進（リンク容量の増加）される方向に解が変化したためである。

④ ネットワークの形状に著しい変化はみられない。図-3において、時間価値25（円/分/台）と100（円/分/台）を相互に比較すると、両者とも中央部リンク5、6より、周辺リンク1、4の容量が大きい。その傾向は、時間価値の低いほうでやや顕著である。リンクの両端のノードが発生、集中ノードでないこと、リンクの自由走行速度が低いことから2、3のリンクの容量は小さいか、または建設されない。

2-3-3 プロジェクトライフに対する感度分析（表-3） プロジェクトライフに対する感度分析の結果は、次のようにまとめることができる。

① プロジェクトライフの長期化に伴う各指標の変化は、時間価値の上昇に伴う変化の方向と同一方向である。プロジェクトライフが15（年）の場合に対して、60（年）の場合で、変化の程度をみると、平均リン

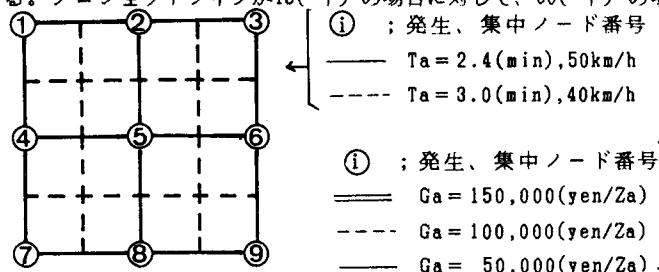


図1-1 自由走行速度によるリンク所要時分

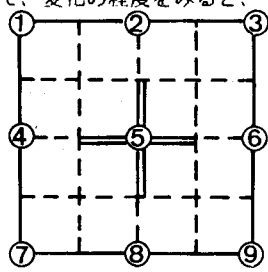


図1-2 単位容量あたりの建設費

ク交通量(30 %増)、目的関数(12% 減)、総建設費用(10 %増)の変化が大きく、建設リンク数、平均リンク交通量は変化の程度が小さい。

②目的関数の値のうち、総交通費用が占める割合は、プロジェクトライフの長期化に伴って増加し、15年のとき約75%、80年のとき約85%を占める。

③ネットワークの形状の変化は、時間価値の変化の場合と同様である。

①～③より、プロジェクトライフの長期化による解の変化方向は、時間価値の上昇による変化方向と同一方向であるが、時間価値の1単位の変化が解に及ぼす影響に比べ、プロジェクトライフの1単位の変化が解に及ぼす影響は2分の1程度であることが示された。

2-3-4 利子率に対する感度分析(表-4) 利子率の変化に対する感度分析の結果は、次のようにまとめることができる。

①利子率の上昇に伴う各指標の変化は、時間価値の上昇に伴う変化の方向とは全く逆の方向である。利子率が2.5 (%/年)の場合と10 (%/年)の場合を比較すると、平均リンク容量(25%減)、目的関数の値(19%増)、総建設費(12%減)における変化が大きい。^{※2)}

②目的関数の値のうち、総交通費用が占める割合は、利子率の上昇に伴って低下し、2.5 (%/年)のとき約85%、10 (%/年)のとき75%を占める。

表1 OD表

O D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	計
1	0	1000	500	1000	1000	300	500	300	100	4700
2	1000	0	1000	700	2000	700	300	700	300	6700
3	500	1000	0	300	1000	1000	100	300	500	4700
4	1000	700	300	0	2000	700	1000	700	300	6700
5	1000	2000	1000	2000	0	2000	1000	2000	1000	12000
6	300	700	1000	700	2000	0	300	700	1000	6700
7	500	300	100	1000	1000	300	0	1000	500	4700
8	300	700	300	700	2000	700	1000	0	1000	6700
9	100	300	500	300	1000	1000	500	1000	0	4700
計	4700	6700	4700	6700	12000	6700	4700	6700	4700	57600

表2 時間価値に対する感度分析

A	1	2	3	4	5	6	7
25	654,010	469,401	258.95	56	8.149	3,171	8,397
50	550,370	446,927	290.20	48	7.759	3,700	8,358
75	514,778	440,995	310.49	48	7.656	3,700	8,943
100	495,904	437,849	325.74	48	7.602	3,700	9,382

表3 利子率に対する感度分析

B	1	2	3	4	5	6	7
0.025	522,221	442,235	305.52	48	7.678	3,700	8,799
0.050	550,370	446,927	290.20	48	7.759	3,700	8,358
0.075	595,822	454,502	304.59	48	7.891	3,700	8,619
0.100	619,354	463,625	287.92	56	8.049	3,171	8,619

表4 プロジェクトライフに対する感度分析

C	1	2	3	4	5	6	7
15	604,949	461,223	272.25	56	8.007	3,171	8,728
30	550,370	446,927	290.20	48	7.759	3,700	8,358
45	536,226	444,569	297.30	48	7.718	3,700	8,653
60	530,603	443,632	300.44	48	7.702	3,700	8,653

A. 時間価値 (円/分/台)

C. プロジェクトライフ

2. 総交通費用 (台分)

4. 建設リンク数 (本)

6. 平均リンクフロー (台/日) 7. 平均リンク容量 (台/日)

B. 利子率

1. 目的関数 (台分)

3. 総建設費用 (億円)

5. 平均旅行時間 (分)

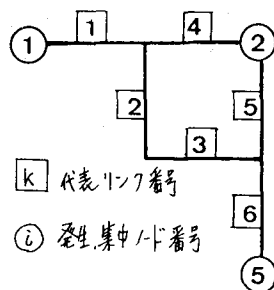
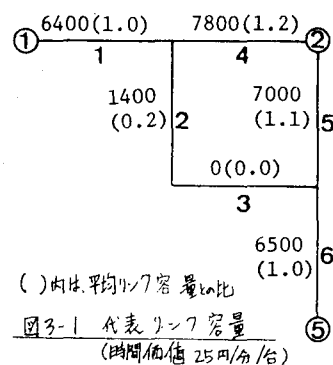


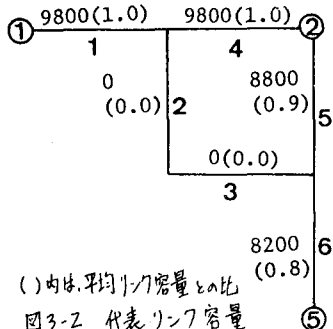
図-2 代表リンク



()内は平均リンク容量の比

図3-1 代表リンク容量

(時間価値 25円/分/台)



()内は平均リンク容量の比

図3-2 代表リンク容量

(時間価値 100円/分/台)

①、②より、利子率の上昇による解の変化の方向は、時間価値の上昇、プロジェクトライフの長期化と全く逆の方向であり、利子率の単位変化量に対する各指標の変化の程度は、時間価値の単位変化量に対する変化の程度に比べてやや小さく、プロジェクトライフのそれとほぼ同程度であることが示された。

3. ODパターンが変動する場合の最適ネットワーク形成

3-1 問題の定式化

従来の最適ネットワーク問題は、与えられたOD交通量に対して最適な交通ネットワークを求める問題がほとんどであると言ってよい。これに対し、ネットワークの改良、建設によるリンクの所要時分の変化がもたらすOD交通量の変化を考慮した研究は、著者の知るところLundquist, Losらによる交通-土地利用の同時最適化問題に一部反映されているのみである。しかし、これらのモデルにおいては、所要時分の変化は土地利用を通じて発生、集中量に影響を及ぼすが、OD分布パターンは外生的に取り扱われており、OD交通量の変化を必ずしも明示的に表現しているとは言い難い。そこで、筆者は、ODパターンの変動を考慮するための一例として、2で述べたOD交通量が与えられた場合の最適ネットワーク形成問題を拡張し、発生、集中量は与えられているがODパターンが未知の場合の最適ネットワーク形成問題を次のように定式化した。

$$[P4] \quad F4 = \sum_{a \in A} V_a \cdot S_a(V_a, Z_a) + f(\lambda, \mu, n) \sum_{a \in A} G_a(Z_a) \rightarrow \text{Minimize} \quad (24)$$

Subject to

$$\sum_m h_{m,ij} = X_{ij} \quad (25) \quad V_a = \sum_m \sum_c \sum_j \delta_{am,ij} h_{m,ij} \quad (26)$$

$$X_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\gamma t_{ij}) \quad (27) \quad t_{ij} = \sum_{a \in L} S_a(X_a, Z_a) \delta_{am,ij} \quad (28)$$

$$A_i = 1 / \sum_j B_j D_j \exp(-\gamma t_{ij}) \quad (29) \quad B_j = 1 / \sum_i A_i O_i \exp(-\gamma t_{ij}) \quad (30)$$

ここに、

O_i ; 発生交通量, D_j ; 集中交通量, A_i, B_j ; バランシングファクター, t_{ij} ; ゾーン間所要時分

L ; 最短パス上のリンクの集合である。ここでは、OD分布パターンのゾーン間所要時分 t_{ij} による変化を制約式として反映させている。式(27)で示した X_{ij} は、佐佐木のエントロピー法において先験確率 q_{ij} を
 $q_{ij} = \alpha O_i D_j \exp(-\gamma t_{ij}) \quad (31)$

とした場合の解である。また、ゾーン i, j 間のパスが一本に定まることから、ゾーン間所要時分 t_{ij} は式(30)で与えられる。

3-2 求解のアルゴリズム

[P4]を解くためのひとつの方法として、以下に示す方法を提案する。[P4]は、OD交通量が与えられた場合の最適ネットワーク形成問題[P5]と、ゾーン間所要時分が得られたときのOD分布交通量推計問題[P6]に分割することができる。

$$[P5] \quad F5 = \sum_{a \in A} V_a \cdot S_a(V_a, Z_a) + f(\lambda, \mu, n) \sum_{a \in A} G_a(Z_a) \rightarrow \text{Minimize} \quad (32)$$

Subject to

$$\sum_m h_{m,ij} = X_{ij}^* \quad (33) \quad V_a = \sum_m \sum_c \sum_j \delta_{am,ij} h_{m,ij} \quad (34)$$

ここに、 X_{ij}^* は、[P6]によって与えられる。

$$[P6] \quad X_{ij}^* = A_i B_j O_i D_j \exp(-\gamma t_{ij}) \quad (35)$$

$$A_i = 1 / \sum_j B_j D_j \exp(-\gamma t_{ij}) \quad (36) \quad B_j = 1 / \sum_i A_i O_i \exp(-\gamma t_{ij}) \quad (37)$$

$$t_{ij} = \sum_{a \in L} S_a(V_a^*, Z_a^*) \delta_{am,ij}^* \quad (38)$$

ここに、 $V_a^*, Z_a^*,$ および $\delta_{am,ij}^*$ は[P5]の解である。したがって、[P5]と[P6]を交互に解くことにより、[P4]の解を求めることができる。すなわち、解を求める手順は、

①初期条件設定; すべてのリンクに対し、 $Z_a > 0, V_a = 0$ を与え、 $S_a(V_a, Z_a)$ を設定する。最短経路探索により、 $t_{ij}(k)$ を求める。 $k = 1$ とおく。

② [P6] をバランシングファクター法によって解き、 $X_{ij}(k)$ を求める。⁹⁾

③ OD 交通量が与えられた場合の最適ネットワーク問題 [P5] を、2-2 で述べた方法によって解く。

④ 停止基準のチェックを行う。

$$\frac{|F(k) - F(k+1)|}{F(k)} < EPS \quad \text{----- ④}$$

であれば終了、そうでなければ次のステップへ。ここに、EPS は任意の正数とする。

⑤ $k = k + 1$ とおく。③で求められたパスにそって、 $t_{ij}(k)$ を求める。②にもどる。

となる。各ステップについて、若干の説明を加えると、①において、ネットワークの初期条件を与える。②において、 O_i, D_j, t_{ij} が所与であるからバランシングファクター法によって X_{ij} を求めることができる。

③において、②の X_{ij} を制約条件として、OD 交通量が与えられたときの最適ネットワーク問題を解く。先に述べたように、この問題は、all or nothing 配分であるため i, j 間のパスは唯一本に定まる。したがって⑤において、パスにそって t_{ij} を求めればよいことになる。なお、④の停止基準に関しては、他の基準を用いることも考えられるが、ここでは最も簡便な基準を採用した。

3-3 数値計算例

3-3-1 初期条件 3-1, 3-2 で述べた最適ネットワーク形成問題の特性を知るため、何通りの発生、集中パターンを与え、簡単なネットワークを用いて数値計算を実行した。用いたネットワークは 2-3 で用いた格子状ネットワークとほぼ同等のネットワークであり、ノード数は 25 (うち、発生、集中ノード数 25) 最大建設可能リンク数 80、個々のリンク長 2 km である。各リンクの単位容量あたりの建設費を図-4 に示す。交通量がゼロのときの各リンクの所要時分はすべて等しく、 $t_a = 3$ (分) とし、BPR 関数のパラメータ k, r は 2-3 と同じく $k = 5, r = 2.82$ とした。発生、集中パターンを、次のように設定した。まず、発生、集中ノードを

ノード集合 1 = {1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25}

ノード集合 2 = {7, 8, 9, 12, 14, 17, 18, 19}

ノード集合 3 = {13} の 3 つの集合に分割した。ノード集合 1 は外縁部のノード、ノード集合 3 は中心部のノード、ノード集合 2 はその中間のノードから成る。さらに、発生、集中密度として、均等密度；ノード集合 1、2、3 に属する各ノードの発生、集中量はすべて等しい。

中央高密度；ノード集合 1、2、3 に属する各ノードの発生、集中量の比は、1 : 2 : 3

周辺高密度；ノード集合 1、2、3 に属する各ノードの発生、集中量の比は、3 : 2 : 1

の 3 種類の密度を設定し、発生側、集中側に対しこの 3 種類の密度をそれぞれ組みあわせることにより、9通りの発生、集中パターンを設定した。(表-5)

2-3 と同様に、リンク情報、OD パターンとも点対称であるため、最適ネットワーク問題の解となるリンク交通量、リンク容量とも点対称となる。そこで、2-3 で用いた 6 本の代表リンクにより、ネットワークの形状を検討する。なお、時間価値、利子率、プロジェクトライフの値は、それぞれ 2-3 の標準値である 50 (円/分/台)、5 (パーセント/年)、30 (年) とした。また、OD 分布交通量を求める際の、ゾーン間所要時分に対するパラメータ α の値は 0.1 とした。生成トリップ数は、10 万トリップ、20 万トリップの 2 ケースについて計算を実行した。

3-3-2 計算結果の考察 与えられた 9 ケースの発生、集中パターンのうち、ケース 2 (発生 = 均等密度，集中 = 中央高密度) とケース 4 (発生 = 中央高密度，集中 = 均等密度)，ケース 3 (発生 = 均等密度，集中 = 周辺高密度) とケース 7 (発生 = 周辺高密度，集中 = 均等密度)，

表 5 発生、集中パターンの組によるケース設定

発生	集中	均等密度	中央高密度	周辺高密度
均等密度		ケース 1	ケース 2	ケース 3
中央高密度		ケース 4	ケース 5	ケース 6
周辺高密度		ケース 7	ケース 8	ケース 9

①；発生、集中ノード番号

——； $G_a = 200,000$ (yen/2a)

——； $G_a = 100,000$ (yen/2a)

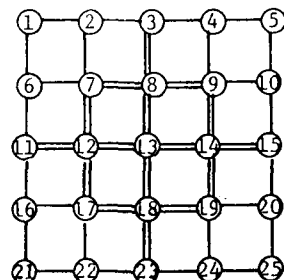


図-4 単位容量あたりの建設費

ケース6（発生＝中央高密度，集中＝周辺高密度）とケース8（発生＝周辺高密度，集中＝中央高密度）はそれぞれ同等とみなすことができる。そこで、以下では、ケース1、2、3、5、6、9の代表的な6つの発生、集中パターンに対する最適ネットワークについて比較、検討を行う。まず、生成トリップ数が10万トリップの場合について、ケース間比較を行う。各ケース別の計算結果を表-6に示す。

①配分トリップ数 すべてのケースにおいて、生成トリップ数は10万トリップであるが、OD分布交通量のうち、発生ノードと集中ノードが同一のトリップ（内々トリップ）は配分対象とならないため、ネットワークに割つけられるトリップ数は、各ケースごとに異なった値をとる。配分対象トリップ数が最も多いのは、ケース6（発生＝中央高密度，集中＝周辺高密度）であり、最も少ないのはケース9（発生＝周辺高密度，集中＝周辺高密度）であった。これは、発生、集中パターンの差が著しいほど配分対象トリップ数が増加すること、ノード集合3（中央部）に属するノードの数に比べ、ノード集合1（外縁部）に属するノードの数が多く、ケース9では、内々トリップ数が相対的に多くなったことによる。

②目的関数の値 目的関数の値の最大は、ケース6であり、以下ケース3、9、1、2、5の順である。各ケースにより配分トリップ数が異なることを考慮し、1トリップあたりの目的関数の値を求めると、目的関数の値は、ケース9、3、6、1、2、5の順に減少する。したがって、1トリップあたりの目的関数の値でみるかぎり、最も効率的な発生、集中パターンとネットワークの組み合わせは、ケース5であり、最も効率が悪いのはケース9であることがわかる。

③総交通費用、平均トリップ時間 各ケースとも、総交通費用は目的関数の75～78%を占める。その割合の多い順に、ケース9、3、1、6、2、5であり、平均トリップ時間（1トリップあたりの交通費用）の多い順と同順である。発生、集中量が周辺部に多いほど、交通費用が多いという常識的な結果である。

④総建設費用 総建設費用の多い順は、ケース6、2、5、1、3、9であり、配分トリップ数の多い順とほぼ一致する。1トリップあたりの建設費用を貨幣換算しても、順位は変わらない。

⑤平均リンク交通量、平均リンク容量 平均リンク交通量と平均リンク容量の各ケースによる相違は、ほぼ同様である。平均リンク交通量と平均リンク容量を多い順に示せば、ともにケース9、3、6、1、2、5の順となる。これは、1トリップあたりの目的関数の値と同じ順位である。

⑥代表リンク容量 配分対象となるトリップ数がケースによって異なるため、代表リンク容量のそのままの値をケース間で比較することは意味がない。そこで、平均リンク容量に対するリンク容量の比（図-5）を用いてケース間比較を行う。

・どのケースにおいてもリンク容量が多いリンクは、建設費用が相対的に低いリンク4、2である。逆に、容量が少ないリンクは、建設費用が相対的に高く、しかもネットワークの中心部分からやや離れているリンク5である。

・ケース間における差が大きいリンクは、リンク4、3、6であり、安定しているリンクはリンク2、5である。

表6 最適状態における代表的ケースの諸量（生成トリップ数10万）

ケース	1	2	3	4	5	6	7
1	90,588	1,004,800	771,831	853.5	8.518	3,021	8,398
2	91,256	995,847	758,052	867.1	8.307	2,960	8,223
3	90,400	1,012,678	781,477	848.6	8.645	3,063	8,513
5	90,652	957,839	724,051	861.5	7.987	2,820	5,883
6	91,684	1,017,281	777,884	871.8	8.488	3,041	8,418
9	88,782	1,012,480	785,164	837.7	8.744	3,082	8,578

1. 配分トリップ数（トリップ） 2. 目的関数（台分）
 3. 総交通費用（台分） 4. 総建設費用（億円）
 5. 平均旅行時間（分） 6. 平均リンクフロー（台/日）
 7. 平均リンク容量（台/日）

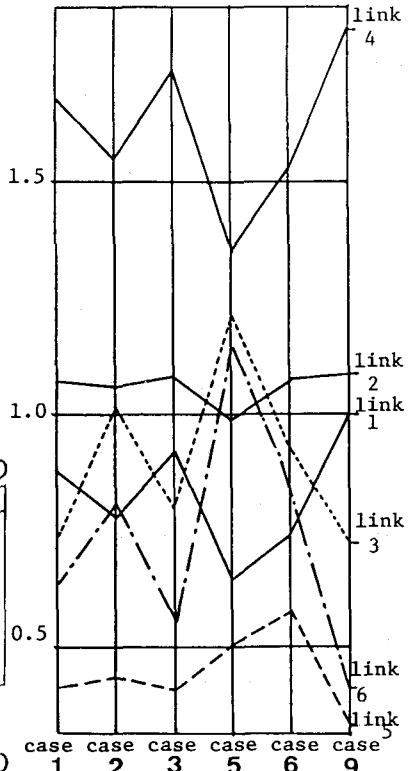


図-5 平均リンク容量に対比 代表リンク容量比

・ ケース間における変化の傾向が類似しているリンクは、外縁部のリンク4とリンク1および中心部に近いリンク3とリンク6である。

・ ネットワークの形状が類似しているケースを分類すれば、ケース1、3と9、ケース2と6、およびケース5の3つに分けることができる。それぞれ、外縁部リンクを整備するパターン、均等に整備するパターンおよび中央部を整備するパターンである。

⑦生成トリップ数が20万トリップの場合 生成トリップが2倍になったことにより、配分トリップ数、目的関数の値、総交通費用、総建設費用、平均リンク交通量、平均リンク容量もほぼ2倍となった。しかし平均所要時分に代表される1トリップあたりの指標は、ほとんど変化がみられない。また、平均リンク交通量に対するそれぞれの代表リンクの交通量の比および平均リンク容量に対するそれぞれの代表リンクの容量の比は、生成トリップが10万トリップの場合と同様であり、生成トリップ数により最適ネットワークの容量は変化するが、パターンは変化しないことが示された。

4. おわりに

本研究は、交通混雑を考慮した最適ネットワークの形成について、OD交通量が与えられた場合の時間価値、利子率、プロジェクトライフの変動に対する解の挙動と、発生、集中量は与えられているがODパターンは未知の場合の問題の定式化、求解の手順および数値計算例を中心に考察を加えてきた。本稿で取り扱った問題は、目的関数のタイプ、総建設費用の反映方法、走行時間関数、建設費用関数などが限定されているため、今後に残された課題は少なくないと考えられるが、とくに、

①リンク容量に制約がある場合、既存リンク容量を考慮する場合、および総建設費用が制約条件として作用する場合への拡張

②土地利用計画問題と結合することにより、土地利用、交通ネットワークの同時最適化問題への拡張が重要であると思われる。①は、既存の道路網を前提としたネットワークの整備、改良計画の代替案の策定において重要であると考えられる。OD交通量が与えられた場合に関しての既存の研究成果をODパターンが変化する場合にも拡張することにより、議論の展開が可能であると考ええる。②は、土地利用パターンと交通ネットワークの整合性のとれた計画代替案策定のためのひとつの情報を与えると考えられる。この問題については、土地利用の最適配置問題との結合という形で現在研究を進めている。

最後に、研究を進めるにあたり、日頃から御指導を賜っている京都大学工学部教授、佐佐木綱先生に感謝いたします。

注1) $Sa(Va, Za)$ がBPR関数、 $Ga(Za)$ が線形関数以外の場合であっても、 $Qa(Va, Za)$ の Za に関する最小値を一意に求めることが可能な関数であれば、同様の方法により解くことができる。

注2) 利子率の上昇に伴って、総建設費用は減少の傾向にあるが、必ずしも単調に減少しないことが示されている。その理由は、数値計算の対象とした格子状ネットワークに同程度の θa をもつリンクが多数存在し、ODペア間に最短経路の候補となる経路が数多く存在するため、 $\phi a(\lambda, \mu, n)$ の変化により最短経路に不連続な変化が生じたことによると考えられる。

参考文献

- 1) 西村、日野(1976); 最適ネットワーク構成に関する一考察, 土木学会論文集, 第250号
- 2) 枝村、森津(1977); 最適交通ネットワーク問題の厳密解法と近似解法, 土木学会論文集, 第262号
- 3) 佐佐木綱(1974); 都市交通計画, 第12章, 国民科学社
- 4) Los, M(1979); A Discrete-Convex Programming Approach to the Simultaneous Optimization of Land Use and Transportation, Transportation Res. 13B
- 5) Dantig, G.B. et al(1979); Formulating and Solving the Network Design Problem by Decomposition, Transportation Res. 13B
- 6) 長尾義三(1972); 土木計画序論, 第4章, 共立出版
- 7) Lundqvist, L(1973); Integrated Location-Transportation Analysis; A Decomposition Analysis, Regional and Urban Economics, Vol. 3, No. 3
- 8) 近藤勝直(1977); トリップチェーン手法を用いた都市交通需要推計プロセス