

ルート配分法による最大 OD フロー問題へのアプローチ

AN APPROACH TO THE MAXIMAL OD FLOW PROBLEM

BY THE ROUTE ASSIGNMENT METHOD

西 村 昂*

By Takashi NISHIMURA

1. ま え が き

ネットワークを構成する点(ノード)と線(アーク)は、フローに対して容量を持っているとすると、これらよりなるネットワークにもフローに対する上限あるいは最大フローが存在するといえる。この最大フローは、ネットワークの容量とも考えられ、実用的には重要な意味をもっているといえる。最大フローの大きさは、フローの種類によって異なり、シングルコモディティフローに対しては、Ford-Fulkerson の最大フロー最小カット定理によって説明される。

ネットワーク上の最大 OD フロー問題に関しては、これまでもいくつかの研究がみられる。一般的には、マルチコモディティフローとして、未解決の問題が多いが、OD フローはその特殊なケースとして、道路交通などのような実際問題としての必要性から近似計算法を含めたいくつかの試みが行われてきたといえる。

筆者もこれまでルート配分法およびカット法を提案してきた。ルート配分法は、計算の簡便性から実際問題に適用可能な実用計算法といえるが、またそれなりの問題点を含んでいるといえる。

本報告は、このルート配分法について述べ、具体的な適用事例を通じて、その適用上の問題点実用性を考察したもので、これまでいろいろの機会を通じて報告したり、実際問題に適用したりしたものをとりまとめたものである。

2. 最大 OD フロー問題

最大 OD フロー問題とは、一定の OD 構成をもつフローが容量をもつ点(ノード)と線(アーク)よりなる与えられたネットワーク上を最大どれだけ流れ得るかを

求める問題といえる。

最大 OD フローの工学的な意味を考えてみよう。道路網上の旅客、貨物流などの直接イメージのわく対象としての交通流のみでなく、電話、郵便などもいずれも OD フローとしての特性をもっている。すなわち、各フロー単位は、1つの起点(Origin)から1つの終点(Destination)に移動する代替のきかないフローであり、このようなフローをすべて集めたものが OD フローとなる。このようなフローの OD のパターンは、都市構成、都市活動などと密接に関連しているといえる。また、この OD フローは、時刻変動・日変動・季節変動などの変動をするほか、長期的には、OD 構成が変動すると考えられるが、短期的には、かなり安定したパターンを示すと考えられるため、特定の OD フローによってフローの特性を表現することは実用的に可能といえる。したがって、特定の OD フローの最大値はネットワーク施設の受け入れることができる最大量を表わし、いいかえれば、ネットワーク施設のフローに対する容量と考えることができる。厳密に言えば、OD のパターンによって最大フローは異なるため、計算に用いた OD フローに対するネットワークの容量ということになる。したがって、最大 OD フローは、道路網容量・鉄道網容量のような交通計画上のきわめて重要な概念の直接的な数理的基礎を与えるもので、各対象ごとに適用上特有の問題はあるが、共通の理論的背景となるものである。このような最大 OD フロー問題は次のように定式化することができよう。まず、 n 個の OD 点をもつネットワークを考える。簡単化するためにすべての点を OD 点とする。OD 点とはフローの発生および吸引が行われる点をいう。これらの点に、1, 2, ..., n の番号をつける。点 i から点 j に至るフローを f_{ij} とすると、OD フローは (1) のような $n \times n$ のマトリクス F で表わすことができる。

$$F = \{f_{ij}\}, i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (1)$$

また、この OD フローの合計(全 OD フロー)を T

* 正会員 工修 大阪市立大学助教授 工学部土木工学科

で表わすと、これは式 (2) のようになる。

$$T = \sum_i \sum_j f_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (2)$$

また、OD フローの構成あるいは OD パターンは、OD フローの特性を表わす重要な側面であるが、これを特に式 (3) のような単位 OD 表とよばれる形で表わすと、OD フロー F は

$$P = \{p_{ij}\}, \quad p_{ij} = f_{ij}/T, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots (3)$$

$$F = TP \dots\dots\dots (4)$$

式 (4) のように P にスカラー T をかけたものであるから、全フロー T と単位 OD 表 (あるいは OD パターン) P の 2 つの要因で表わされることになる。したがって、OD 構成が一定のフローとは P が一定のフローである。以上のような用語を用いると最大 OD フロー問題は次のように述べられる。すなわち、OD 構成一定の条件および配分交通量がネットワークの各点、線の容量をこえないという 2 つの制約条件を満たしつつ、(4) の F の最大値あるいは T の最大値を求めることといえる。OD 構成が一定ということは式 (5) を満たすことであり、

$$p_{ij} = f_{ij}/T = \text{const.} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots (5)$$

これは、 $\sum_i \sum_j p_{ij} = 1$ を満たしている。また配分交通量に関する制約は、フローがネットワーク上を実際に流れる場合にどの部分でも容量をこえてはいけなことを表わしている。この配分交通量は、OD フローよりいわゆる配分方法として考案されているいくつかの方法によって対応づけられるが、一般には配分方法によって値が異なるので、この制約条件としての意味は配分方法によって異なることになる。

以上のような問題に対する解法としてこれまでフロー配分によらない方法として、三好・山村による LP 定式化による方法⁵⁾と筆者によるカット法⁶⁾があり、また配分を利用した方法に筆者のルート配分法^{7)~9)}と飯田の方法⁹⁾がある。これらの方法のレビューは飯田によって行われているが⁹⁾、それを参考として筆者の評価について述べておきたい。LP 問題として定式化された三好・山村の方法は OD 構成が一定、OD フローが OD 点を結ぶ連続した流れとなること、ネットワークの各部分の容量をその通過フローがこえないことという 3 種の制約条件を満たしながら T を最大にするという問題となっている。これは配分手法を経ないため唯一の最適解を得ることができ、理論的上限に対する厳密解を与えるものである。筆者のカット法はネットワークを 2 つに切断する各カット断面において、カット容量とカットを通過する単位 OD 表に基づくフロー需要の比が、その断面における通過フロー (カットにより 2 分されたネットワークの片側から他の側にいたるフロー) の処理可能容量とな

ることに注目してこれをカットにおける最大 OD フローとし、すべてのカットについてこれを求めると、ネットワーク全体として実行可能となるのは、これらの内の最小値であるとする方法である。この方法もフローの配分を必要とせず、唯一の解を得ることができ、同じ理論的上限を与える解法と考えることができる。LP 問題における路線容量の制約を満たすことは、路線のいくつかの集合であるカット断面におけるカット容量の制約を満たすことも意味している。したがって LP 問題においてもカット容量の制約を受けることになるから、カット断面における容量とフロー需要の関係を考慮するカット法と同じ設定となることになる。カット法における最適解は、この OD フローに対するその最小カットが通過フローのみで埋められた場合に相当し、そのカットにより切断された両側からそのカットへ迂回してくるフローがないことを示している。一方 LP 問題においても、カット法における解のカット断面においてみると、その容量が通過フローのみで満たされるとき全フローは最大となるが、これはこのカットへ両側の分割ネットワークから迂回してくるフローがない場合に達成される。この点の詳細な説明に関しては本報告の主題から少しはずれるため、別の機会にゆずることにする。

次に、近似解法といえるルート配分法と飯田の解法について述べてみよう。

これらはいずれもフローの配分を行って流せる限界を見つけ出す方法であり、さきに述べた理論解が実際の交通流では実現しがたいことから実際の流れをシミュレートするという観点から考えた解法といえることができる。この方法は配分方式によって流れる限界値が異なってくるので、OD フローのネットワーク上の流れを適切な計算量で適切にシミュレートできる配分方式による解が、最も現実的で実用的な意味があるということになる。筆者のルート配分法は、いろいろな配分方式の可能性を含めた用語を用いているが、これまでの計算事例では最も簡単な最短ルート配分法のみしか扱っていない。飯田の方法は、等時間配分法を用いて OD フローを一定単位で漸増させ、カットが発生するフロー水準を求めるという方法である。この方法では、カットが発生する時にはカットを構成するアークはほとんど容量をこえているという問題点を含んでいるが、それなりの利用方法が考えられる。これらの評価はフローの種類とルート選択特性ネットワーク規模、その他の要因を考慮して行うべきであろう。いずれにしてもこれらはルート配分法としてまとめられる手法で、理論的には近似解法となるが、むしろ実用的解法と考えるべきであろう。

3. ルート配分法

ルート配分法は、ネットワーク上の OD フローをシミュレーションにより流れ得る限界まで流すことにより、その流し得た量を最大 OD フローとして求めようとする方法である。したがって、フローのシミュレートのみならず、すなわち配分方法によって結果は相違することになる。理論的には、そのフローのルート選択特性に従った配分方法が良いことになるが、実際問題として、その方法が困難な場合には、それに替る簡便な方法を使わざるを得ない場合がある。同じフローをシミュレートするわけであるから、通常よく利用される方法であればよいであろうということもいえる。このような考えから道路交通をシミュレートする簡単な方法として最短路あるいは最短時間経路配分方式は実用的には方法の簡便さと、特に不都合な結果をもたらすことはないであろうという予想からよく利用される方法といえる。

最大フローを求めるこのルート配分法は、あらゆるルート配分法を包括する名前ではあるが、これは理論的厳密解に対して、ルート配分法によって実際の解をみつける方法としての呼称で、ここでは、実質的には簡単な最短路配分による方法を念頭において述べる。

ルート配分法のアルゴリズムを述べる前に計算に必要な準備について説明する。

(1) 準備するデータ

計算に必要なデータで準備すべき主要なものは、ネットワークのモデル化したものとその上を流れるフローの OD パターンおよび、そのフローをネットワーク上を流す配分方式と、そのほかこれに伴う条件、制約などの整理である。

ネットワークは、点(ノード)と線(アーク)による1つの構造であるが、これらは具体的な施設網をモデル化したもので、現実との対応関係から点と線に物理的特性が付与される。道路網のモデル化では、点には交差点、分岐点、交通発着点などが対応し、線には、単路、ランプなど点相互間を結ぶ区間が対応する。またこれに付随する物理量は交通容量、そのほかに配分方法として必要とする要因で、線の長さ、走行速度、点の通過抵抗そのほかが実用的意味をもってあげられよう。

ネットワークは点と線に整理番号を付して、その構造を接続行列 (incidence matrix) あるいは点の隣接関係表として整理する。隣接関係表とは各点に対して、そのすべての隣接点とそれにいたる線(アーク)の情報を表わしたものである。

OD フローは、計算に用いる OD 交通量表より作成

した単位 OD 表 (OD パターン) を利用する。

配分方式は、OD パターンで表わされたフローをネットワーク上の各部分に割りつけるための方法で、フローの種類によって考えるべきである。そのほかに、配分に伴う諸条件を整理しておく必要がある。走行状態をフローディペンデント (flow dependent) とするかどうか、ルート選択方法をどうするか、迂回路の制限をどう設けるか、点の容量制限をどう設定するか、そのほかの問題があるのでこれらの処理方法を事前に検討しておく。

(2) ルート配分法のアルゴリズム

ルート配分法は、シミュレーションによりフローを流れ得る限界まで流す方法といえるが、この方法にも2種類の方法が考えられる。

1つの方法は、アークを1本ずつ切断するフローを求める計算を繰り返して、フローを累加していき、ついに切断されたアークが最小カットを形成する時の累加フローを求める方法であり、もう1つの方法は、フロー配分をフロー量の各水準に対して実施して、容量をこえるアークが最小カットを形成するフロー水準を発見する方法である。飯田の方法⁹⁾は、この後者に属する方法で、本報告で述べるルート配分法は前者に属する。

いま n 個のノードと m 個のアークよりなる1つのネットワークを考える。いま1つのアーク k を考えその容量を c_k とする。配分計算の回数を数えるカウンター i を0にセットする。

a) ステップ1 (OD フローの配分)

カウンター i に1を加える。OD フローがネットワーク上を流れるであろうと考えられるいわゆる配分ルートへ OD パターン (単位 OD 表) を配分する。最短路配分は、最も簡単に行えるが、このほかどのような方式でもよいが、結果は採用した配分方式によって相違する。すべての OD ペアについて配分すると、各アークに配分された量を q_k で表わす。

b) ステップ2 (アーク切断フローの計算)

各アーク k について次式で計算される t_k を求める。

$$t_k = \frac{c_k}{q_k}, \quad k=1, 2, \dots, m \dots \dots \dots (6)$$

この t_k は OD フローの合計が t_k のとき、アーク k においては容量と配分フローがちょうど等しくなるような全フローを示している。このような t をすべてのアークについて計算すると m 個の t が求められるが、この中でネットワーク全体として受け入れられるのは最小の t である。すなわち次式で求められる t_i がこの回に流れる最大のフローと考えられる。

$$t_i = \min \{t_k\}, \quad k=1, 2, \dots, m \dots \dots \dots (7)$$

c) ステップ3 (残余容量の計算)

前のステップで求めたフローが流れた場合、アーク k の配分フローは $q_k \cdot t_i$ となるから、各区間はフローに相当する容量を消費し次式のように容量が減少する。

$$c_k - t_i \cdot q_k = c'_k, \quad k=1, 2, \dots, m \dots\dots\dots(8)$$

残余容量は c'_k となるので、次の計算ではあらためてこれを c_k としてセットする。ステップ2で最小値の t を示したアークについては、残余容量は 0 となる。したがってこのアークにはもうフローは流れ得ないから、ネットワークからとり除く（または切断する）。

このような残余容量が 0 となるアークは少なくとも 1 つは存在する。

d) ステップ 4 (最小カット発生の判定)

上のステップで残余容量が 0 となったアークをとり除いたことによって、ネットワークが切断されるかどうかを調べる。もし切断されると（すなわちカットが生じると）フローがそれ以上流れなくなるので、計算は終了することになる。もし切断されていないければ、ほかのアークを経由して OD フローは流れ得るから、ふたたびステップ1に帰り、同様の計算を繰り返す。このとき、ステップ2で用いる容量はおのおその前の回で求めた残余容量を用いる。

このような計算を繰り返しているうちにいつか必ずネットワークが切断されるときがくる。

e) ステップ 5 (最大フローの計算)

ネットワークが切断されると、それまで計算された t_1, t_2, \dots を合計して合計フロー T を求める。

$$T = \sum_i t_i = t_1 + t_2 + \dots \dots\dots(9)$$

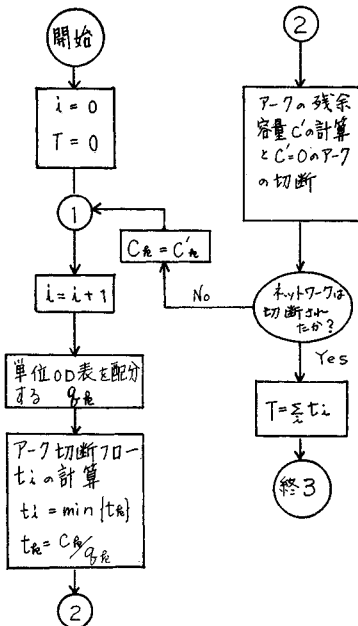


図-1 ルート配分法の計算フロー

この T はこのネットワークに流れた最大 OD フローである。また、このときのネットワーク切断面をこの OD パターンをもつフローに対する最小カットという。

以上のルート配分法をフローチャートに描くと図-1 のようである。また、これを簡単な計算例で説明してみよう。

いま、図-2 のネットワークを考えよう。各アークはすべて長さが 1 でかつ容量も 1 とする。これに対して

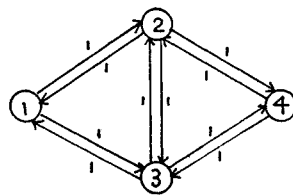


図-2 計算例に使うネットワーク

D \ O	1	2	3	4
1	*	0	0	0.5
2	0	*	0.3	0
3	0	0.1	*	0
4	0.1	0	0	*

図-3 OD パターン

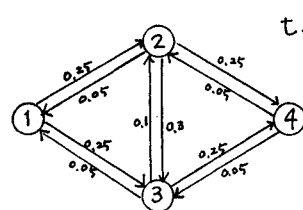


図-4 (a) 配分量 (第1回)

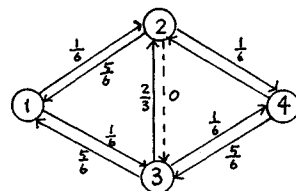


図-4 (b) 残余容量 (第1回)

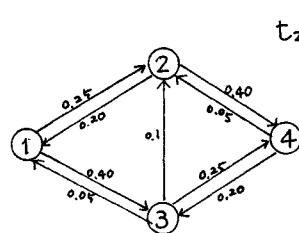


図-4 (c) 配分量 (第2回)

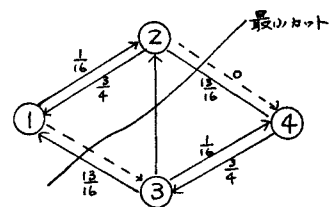


図-4 (d) 残余容量 (第2回)

図-3 に示す OD パターンをもつフローが流れるものとする。配分ルートは最短路とし、最短路が2本以上ある場合はそれらに均等に分れるものとする。

OD パターンをネットワークに配分した結果図-4 (a) に示す配分量が得られ、式 (6), (7) により得たアークを切断するフローは $t_1=10/3$ で、このときノード2からノード3へいたるアーク (2,3) が切断される。 t_1 を流した時の各アークの残余容量は図-4 (b) のようになる。このネットワークはまだ切断されていないから、ふたたび計算を繰り返す。同様に、2回目の配分量は、図-4 (c) のようになり、アークを切断するフローは、 $t_2=1/2.4$ となり、残余容量は図-4 (d) のようになる。この時、アーク (1,3) とアーク (2,4) の2本が同時に切断される。また、これによってネットワークも切断され、最小カットが発生する。最小カットは図-4 (d) に示すようにアーク (1,3), (2,3), (2,4) の3本のアークよりなっている。

したがってノード 1,2 よりノード 3,4 へのルートはなくなり、OD フローとしてはこれ以上流し得ないことになる。この時の最大フローは

$$T=t_1+t_2=\frac{10}{3}+\frac{1}{2.4}=3.75$$

となり、単位 OD 表を 3.75 倍した OD フローを流すことができることを意味する。

4. 2つの数値計算事例

ここでは、ルート配分法による数値計算事例を2例あげて、計算方法および結果を通じて、本計算法の特徴を考察してみることにする。第1事例は、大阪市の幹線道路網を簡略化したネットワークに昭和40年の自動車ODパターン(全日、全目的合計)を基礎にして最大ODフローを計算したものである²⁾。第2事例^{7),8)}は、同じく大阪市の幹線道路網を対象に、昭和43年の時間帯別自動車ODパターン(全目的合計)を基礎に、通勤時間帯、午前の業務時間帯、および帰宅時間帯の3ケースを試算し、時間帯によるネットワーク容量と隘路部(最小カット)の相違をみることにする。

第1事例は全日ODパターンによる計算で、平均的あるいは全般的な交通隘路区間をみるためのもので、詳しくは第2事例のように時刻帯ごとの検討が有効であろう。いずれの計算方法もルート配分法によっているが、ルート配分方式は最短路配分である。また迂回路制限は設けていない。

(1) 計算事例1

大阪市の既存の幹線道路で、幅員11m以上のものを

区相互間のトラフィックライン網にまとめ、容量も合計幅員に対して算定する。都市高速道路は含めないで計算する。交通容量の計算は次のような設定で行った。

車道1車線 3.0m 当りの基本交通容量を 2400 台/時とし、大型車の混入を 10% (補正係数 0.95) とし、側方余裕なし (補正係数 0.81) 交差点の信号処理による補正 (青現示時間比 0.50) を行うと、

$$\begin{aligned} \text{1車線容量 (3.0m)} &= 2400 \times 0.95 \times 0.81 \times 0.50 \\ &= 923 \text{ 台/時} \end{aligned}$$

右左折車による補正およびそのほかの補正もあるが、側方余裕なしとかなりラフな補正をしているので、相殺される面もありほかの補正は省略した。

上の1時間交通容量を1日当りの交通容量に変換するために、15時間分を考え、また各幅員に対応させるために単位幅員当りの容量に換算すると

$$\begin{aligned} \text{幅員 1m 当り, 1日交通容量} &= 923 \times 15 \times \frac{1}{3.0} \\ &= 4615 \text{ 台/日} \cdot \text{m} \div 4600 \text{ 台/日} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

となり、1m 当り日交通容量を 4600 台とし、各幅員に乗じて各トラフィックラインの交通容量を算出する。ゾーン内部交通の処理方法は、半分はトラフィックライン網に乗るが半分は細街路網で処理されるものとし、トラフィックライン網に乗る内部交通に相当する幅員を削減させておく。このようにして作成したネットワークを図-5 に示す。

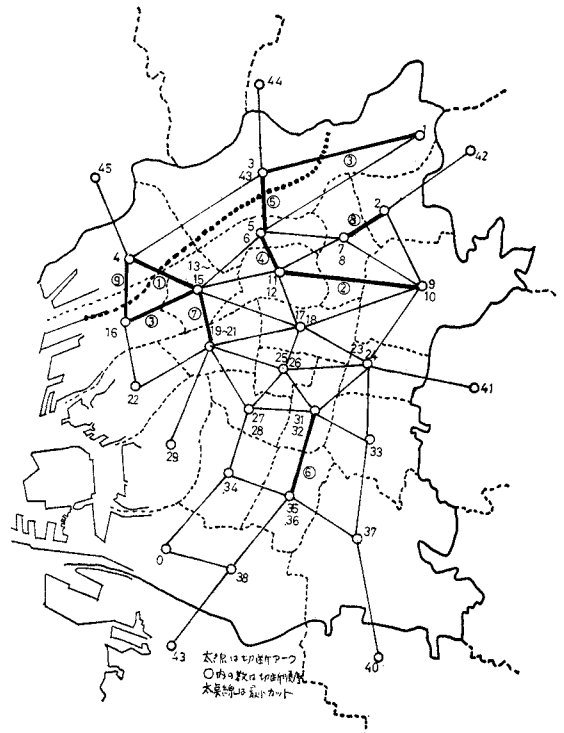


図-5 昭和40年ODパターンによる最小カット(計算事例1)

OD 交通の起終点となるゾーンは、大阪市内では原則として区を1ゾーンとし、24ゾーン、府下は府外を含めて6つのセクターに分けて6ゾーンとし、合計30ゾーンに整理した。OD表は、昭和40年調査の自動車OD表で、全日・全車種合計のものを使い、ゾーン内部交通は、上述の処理にまた市外の6ゾーン相互間交通の中から大阪市内を通過しそうな量を取り出してOD表に加える。OD交通は全日合計であるから、往復を合計した三角表として扱う。このOD表より単位OD表をつくる。

計算プロセスを各アークの残余容量の形で示したものを表一に示す。また各回に切断されたアークを図一5に○印内に切断順序を順に示す。この計算では、9回の配分計算の繰返しで、ネットワークが切断され、アーク

4本よりなるカットが発生した。このカットは、このODパターンに対する最短ルート配分法により求めた最小カットとすることができる。

またアークの切断の発生順序は、フローの集中する所から始まるため、実際の道路の混雑区間と近似しているはずである。最小カットの位置は淀川渡河点で、橋梁部で容量の制限されている区間となっている。この時の最大ODフローは139万トリップ/日であるが、ゾーン内部交通を加えると176万トリップ/日である。昭和40年の大阪市内に発着あるいは通過したトリップ数は、表一2に示すように178万トリップであったから⁹⁾、類似的な数値が得られている。

(2) 計算事例 2

表一 各アークの残余容量 (幅員表示)

(単位:0.1m)

アーク番号	容量	第1配分	第2配分	第3配分	第4配分	第5配分	第6配分	第7配分	第8配分	第9配分	切断順序
01	270	248	234	226	224	223	222	220	215	214	
02	870	597	427	339	322	313	310	300	257	256	
03	310	282	264	254	253	252	251	250	234	233	
04	240	172	129	107	102	097	095	089	052	051	
05	840	627	494	425	412	405	402	396	367	366	
06	310	268	242	228	225	224	223	222	218	217	
07	200	104	044	013	009	004	003	000			⑦
09	650	608	582	568	563	557	554	543	498	496	
10	240	190	158	141	138	135	134	132	125	124	
11	640	555	502	474	469	464	463	460	448	447	
12	160	101	064	045	042	038	037	034	023	022	
13	310	250	213	193	189	186	185	181	164	163	
14	450	272	161	103	092	085	083	079	062	061	
15	080	058	044	036	034	032	031	029	024	023	
16	040	015	000								②
17	290	169	101	062	055	049	047	041	018	017	
18	250	137	051	009	000						④
19	190	117	095	084	082	081	080	079	075	074	
20	310	291	264	250	247	242	241	239	231	230	
22	140	000									①
23	130	097	033	000							③
24	160	141	085	056	053	050	048	039	001	000	⑨
25	350	336	327	322	319	314	311	301	260	258	
30	170	155	145	140	139	138	137	135	128	127	
31	410	295	223	186	179	174	172	165	137	136	
32	170	114	079	061	058	056	055	052	041	040	
33	220	170	139	123	120	118	117	116	111	110	
34	310	160	066	017	008	002	000				⑥
36	270	181	125	096	090	085	083	080	068	067	
37	260	145	073	036	029	025	023	019	003	002	
38	300	197	133	099	093	088	087	081	058	057	
39	290	264	248	239	237	235	234	233	229	228	
40	170	160	153	149	148	147	146	145	143	142	
42	160	124	102	090	088	086	085	082	063	067	
43	200	142	105	086	082	079	078	075	064	063	
44	280	212	170	148	144	140	139	136	126	125	
45	360	305	270	252	249	247	246	244	236	235	
46	090	076	067	055	053	050	049	048	043	042	
48	260	142	068	030	025	021	020	016	000		⑧
50	130	101	075	058	056	050	049	047	041	040	
51	160	135	119	111	109	106	105	103	097	096	
52	280	180	074	019	006	000					⑤
53	030	015	005	000							③
54	260	200	154	130	123	120	118	112	089	088	

表-2 大阪市を中心としたOD交通量(昭和40年)

大 阪 市		市 外	合 計
都 心 部	周 辺 部		
289 780 (16.3%)	388 150 (21.8%)	149 338 (8.4%)	827 268 (46.5%)
	577 061 (32.4%)	349 829 (19.6%)	926 890 (52.0%)
		26 642* (1.5%)	26 642 (1.5%)
注 1) * 印は大阪市を通過する交通量			1 780 800 (100%)
注 2) 都心部は北, 東, 南, 西の4区			

表-3 大阪市内に発着する時間帯別, 目的別トリップ数(昭和43年)

目的 時間帯	帰 宅	通勤・通学	業 務	買物・娯楽	合 計
1 (早 朝) 3:00~7:00 (4時間)	3 808 (7.9%)	2 834 (5.9%)	38 855 (81.1%)	2 420 (5.1%)	47 917 (100.0%)
2 (通勤時) 7:00~9:00 (2時間)	9 206 (3.7)	69 762 (28.4)	157 817 (64.2)	9 074 (3.7)	245 859 (100.0)
3 (業務時) 9:00~12:00 (3時間)	42 285 (6.0)	17 730 (2.6)	604 848 (86.5)	34 199 (4.9)	699 062 (100.0)
4 (業務時) 12:00~17:00 (5時間)	63 156 (8.5)	6 368 (0.9)	639 945 (86.6)	29 275 (4.0)	738 744 (100.0)
5 (帰宅時) 17:00~19:00 (2時間)	96 178 (27.1)	8 236 (2.3)	230 154 (64.7)	20 822 (5.9)	355 390 (100.0)
6 (夜 間) 19:00~3:00 (8時間)	42 050 (13.5)	3 349 (1.1)	259 941 (83.3)	6 539 (2.1)	311 879 (100.0)
全 日	256 683 (10.7)	108 279 (9.5)	1 931 560 (80.5)	102 329 (4.3)	2 398 851 (100.0)

注) () の数値は, その時間帯の目的別構成率 (%)

この計算事例は, 昭和43年OD調査による時間帯別発生交通のOD表を基礎に, 時間帯別のODパターンによって各時間帯の最大フローおよびそれに対応する最小カット位置の相違を示したものである。時間帯を6区分し, 交通目的別の大阪市内に発着するトリップ数は表-3に示すように240万トリップで, このうち通勤時間帯(a.m. 7:00~9:00), 午前の業務時間帯(a.m. 9:00~12:00), および帰宅時間帯(p.m. 5:00~7:00)について, 各時間帯のOD交通に通過交通を加えたもので, ODパターンを作成する。

道路網は, 都市計画街路を中心とした重要街路をとり, 並行する路線はまとめて, 単純化し, 市外についても方向別に大きくまとめた。また最外部の環状道路(中央環状線)は容量制限をつけなかった。ゾーン数39, ノード数72, アーク数234の大きさのネットワークとした。各ゾーンのOD点も, 複数個設定した所もあり, この場合は, OD点にウェイトをつけ, ウェイトによってゾーン間のフローをO点, D点ともに分割する方法

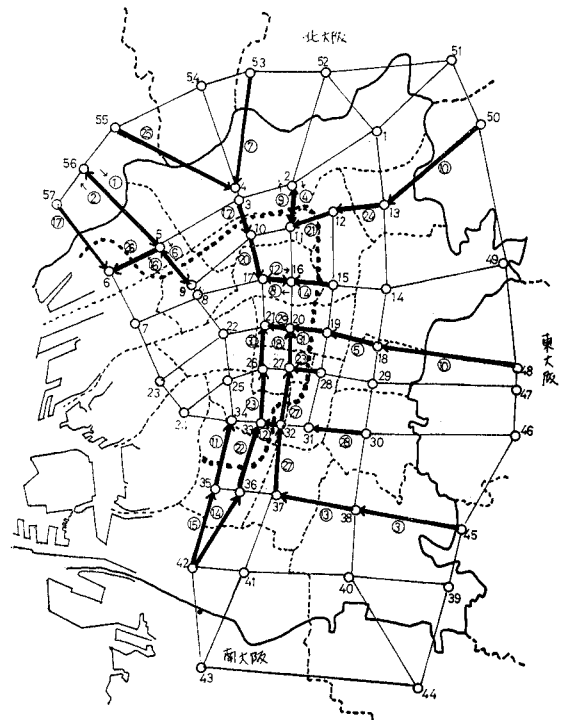
によった。各アークの合計幅員に対する交通容量は, 事例1の場合とほぼ同様に単位幅員容量を300台/m/時とした。

計算結果の概略を示すと次のようである。

通勤時間帯のODパターンに対しては, 31回の配分計算の繰り返しによって36本のアークを切断し(1回に2本以上切る場合がある)図-6に点線で示すような最小カットが発生した。太線で示したアークは, 切断されたことを示す。この時の最大フローは, 1時間当たり, 23.6万トリップで, 都心部への流入方向にかなり大きな環状の最小カットを形成している。また大阪市への重要な流入路は, 飽和していることが図よりわかる。

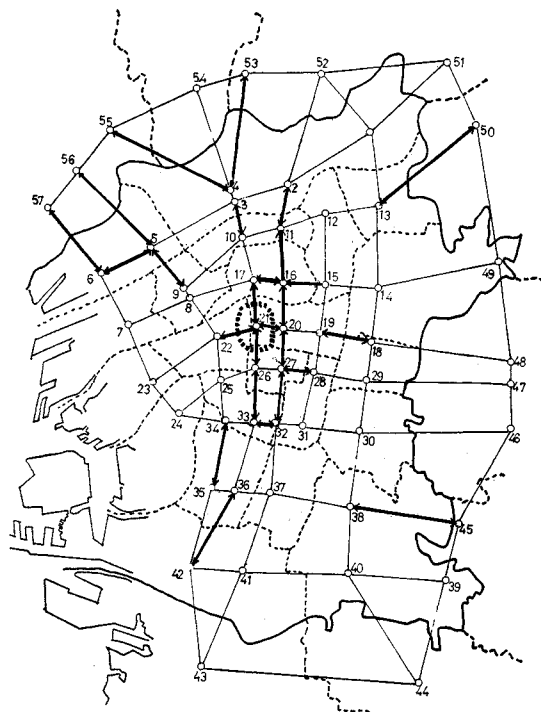
午前の業務時間帯においては, 33回の配分計算で47本のアークを切断し, 図-7に示すような最小カットが発生した。最大フローは, 24.5万トリップ/時で, 通勤時間帯よりもやや大きくなっている。

最小カットは, 都心内の東区において発生している。また都心内部の道路の飽和区間が多く発生している。帰宅時間帯におけるODパターンに対しては, 35回の配分計算で, 46本のアークを切断し, 図-8に示すような最小カットが発生した。この時の最大フローは, 25.3万トリップ/時で, さきの2つの時間帯の値よりさらに大きくなっている。この時間のODパターンは, 業務活動



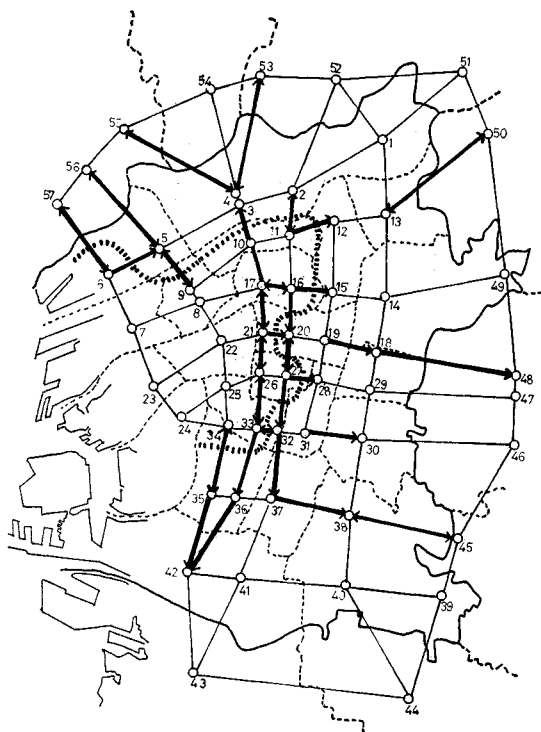
(注) アークの太線は容量飽和のアーク, 矢印はその方向を示す。太線の点線は, 最小カット断面, ○印は, 切断順序。

図-6 通勤時間帯における最小カット図(計算事例2)



(注) アークの太線は容量飽和のアーク、矢印はその方向を示す。
太線の点線は最小カット断面。

図-7 午前9時の業務時間帯における最小カット図(計算事例2)



(注) アークの太線はカットアーク、矢印はその方向を示す。
太線の点線は最小カット断面。

図-8 帰宅時間帯における最小カット図(計算事例2)

表-4 時間帯別最大フローと発生交通量(昭和43年)

時間帯	最大ODフロー (トリップ/時)	発生交通量 (トリップ/時)	最大フロー 発生交通量
通勤時間帯 (7:00~9:00)	236 359	122 930	1.84
業務時間帯 (9:00~12:00)	246 527	233 021	1.12
帰宅時間帯 (17:00~19:00)	252 643	177 659	1.41

の残り、帰宅方向トリップなどが混在しているものと考えられるが、最小カットのパターンは、通勤時間帯のほぼ同じ位置で、方向が逆方向となっている。また混雑区間は、都心部と都心から郊外へ出る主要道路である。各時間帯の最大フローと発生交通量を比較すると、いずれの時間帯においても、計算容量が上まわっている。発生交通量に対する容量(最大フロー)の比率を時間帯ごとにみると、表-4 のようである。これは、計算上の仮定によるものが大きいと考えられる。このケースでは、最外側の環状道路の容量を無限大にしたことにより、都心と郊外を結ぶ放射状道路に、どの放射状道路にも迂回できることにより、実質的な容量制限がなくなったこと、および迂回路に対して限界を設けなかったことにより、実際以上の計算値となったものと思われる。特に、通勤時間帯、および帰宅時間帯における最大フローが、実際の値に対して、大きな倍率をもつことは、このことを裏づけているものと考えられる。また計算では時間帯別の最大フローは比較的類似の値が得られているが(表-4)、発生交通量が時間帯で差があるため倍率にも大きな差が出ている。しかし現実にはこの倍率ほどの容量の余裕はないと考えられ、問題単純化の影響がでていると考えられる。さらに次のような視点からの考察も必要となる。いま通勤時間帯の解析結果を計算途中の各配分段階ごとにみると表-5 のようである。たとえば、第 10

表-5 計算段階別配分交通量

配回数	各回配分交通量	累加交通量	配回数	各回配分交通量	累加交通量
1	84 728	84 728	17	7 723	204 767
2	29 153	113 880	18	680	205 447
3	4 661	118 541	19	3 614	209 061
4	2 081	120 622	20	2 848	211 909
5	11 120	131 742	21	5 221	217 131
6	4 170	135 912	22	3 102	220 233
7	3 356	139 268	23	4 894	225 126
8	18 961	158 228	24	877	226 003
9	10 155	168 383	25	1 053	227 055
10	3 588	171 971	26	641	227 696
11	1 293	173 265	27	2 464	230 160
12	730	173 995	28	2 602	232 762
13	6 423	180 418	29	1 837	234 599
14	6 920	187 338	30	299	234 897
15	2 017	189 355	31	1 461	236 359
16	7 689	197 044			

(注) 配分回数と切順順序は同じ

回目の配分計算段階では、神戸側からの流入路 (56, 5)、北大阪側流入路 (53, 4)、京阪間方面からの流入路 (50, 13)、東大阪側からの流入路 (48, 18)、国道 25 号方面 (奈良) 側からの流入路などが飽和しているが、この時の処理交通量は、表一5 より 17 万台/時である。実質的交通容量は、最小カットが発生する以前にアークの切断状況をみて、判断するのがより適切な場合があることも考えておく必要がある。

5. 道路網解析への適用上の諸問題

ここで、実際のネットワークへの適用に当たって考慮すべきいくつかの問題について考察してみたい。

(1) 交差点容量の扱い方

道路網容量の解析に当たっては、単路部だけの容量だけでなく、交差点部分の容量をも考慮しなければならない。この交差点容量の扱い方には、2 種類の方法が考えられる。第 1 の方法は、交差点の通過時の動線をアーク化する方法で、すなわち、直進アーク、左折アーク、右折アークなどを設けて、それらに信号現示を考慮した容量を与え、ノードに容量は設定しない方式である。この方法は、道路網のモデル化の方法の 1 つとして、以前より多くの人々によって提案されている。第 2 の方法は、アーク容量の中に組み込む方法で、各アークに割り当てられる信号の青現示時間割合を乗じたアーク容量を設定する方法で、前節に述べた計算事例では、この方法によっている。これはネットワークをより複雑にしないという利点をもっている。

(2) Q - V 関係の導入

一般に走行速度 V は、路線交通量 Q の関数として説明されるが、ルート配分法は、単位 OD 表を扱っているため、実交通量ではなく、このままでは、フローディペンデントな配分ができない。したがって、飯田の方法⁹⁾で、採用されているような分割配分法 (Incremental Assignment) の手法を応用して、フローを各回一定量漸増させ、容量に達したアークから切断していく方式にすることにより Q - V 関係を導入することが可能となる。

(3) 迂回路制限

アークが混雑したり切断されたりすると、以後のフローは迂回した方が有利となったり、迂回をさせられることになる。迂回路は物理的および心理的負担を伴うから、無制限に行えるものではない。

ルート配分法においても、交通量をシミュレートする

時に、当然考慮すべき問題であるが、現実には迂回はどの程度行われているかについての分析が十分行われていないので、現実の流れをうまく説明できる迂回路制限は設定しにくい面をもっている。しかし、ここでもし迂回路に関する制約が設定されると、次のようにして計算に取り入れることができる。

迂回路制約が距離、時間のどちらか、あるいは両方で与えられるとする。これはフローのない初期状態 (最も走行条件のよい場合) と比較した設定と考えられるから、初期状態を基準値として記録しておく必要がある。任意の計算ステップにおいて、OD 間の走行距離、所要時間を求めるとこれが迂回路制限を受けるかいないかを比較し、それによってルートの実行可能性を判定する。すべての OD ペアについて、実行可能とすると、そのステップにおける配分は可能となる。もし、あるステップで、1 つの OD ペアに対しても迂回路制約から実行不可能となると、OD フローはそれ以上流し得ないから、計算を終了する。

この場合は、ネットワークが切断される以前に、機能面からサービスできない OD ペアが発生したことになり、機能的限界に達したとして計算を終了する場合があり得るので、その終了判定法として別にこれを判断する方式を重複させて適用する必要がある。

6. む す び

道路交通、鉄道交通などで代表される OD フローの最大値は、ネットワーク容量として実用的に重要な意義をもっている。この最大 OD フローを求める解法には、LP 解、カット法などがあるが、これがぼう大な計算量を伴うのに対し、近似的実用解法として、ルート配分法、飯田の方法が考えられているが、ルート配分法は問題に対して適当に応用されるならば、比較的容易に利用され得る方法といえる。同じ実用的解法といえる飯田の解法と比較すると、これが等時間原則に従う流れを再現して、容量に達したか、あるいは超過した区間が、カットを形成するところまでフローを漸増させる方法によっているため、容量超過区間が出現することが予測されるのに対して、ルート配分法は、容量に達した区間を 1 つずつ切断するため容量超過区間は生じない範囲で、解を求められるので、過大な解は得られない。むしろ迂回路制約を十分にきかせていない場合に、過大評価となるといえる。計算事例では 2 例を示したが、どちらも迂回路制約を課さなかったため、やや過大評価となっているといえよう。このほか実際の道路網の解析に当たって、多ルート選択配分、 Q - V 関係の導入、交差点容量などの処理方法などについても、実用的処理が可能と考えられ、基本

的な方法を問題によって、それに適した修正をすればよいということになる。

今後の課題として、フローの種類ごとにもっとも安定した簡単に行える実用的配分法を設定するため、いくつかの配分方法を比較検討すると有用であろう。

なお、本研究をまとめるにあたり、ともに討議や計算に協力していただいた、中村正治君（現大阪市総合計画局）や芝野弘之君（現大阪市土木局）には記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 西村 昂・中村正治：道路網の最大フローに関する一考察，昭和 43 年土木学会 関西支部 年次学術講演会概要，1968 年。
- 2) 大阪市立大学工学部交通工学研究室：容積計画における交通容量の解析について，1968 年。
- 3) 中村正治：道路網の交通容量に関する研究，大阪市大修士論文，1968 年。
- 4) 西村 昂：道路網の最大フローの存在範囲について，第 23 回土木学会年次学術講演会概要，第 4 部門 pp. 431～432，1968 年。
- 5) 三好逸二・山村信吾：道路網における最大総トリップ数について，第 23 回土木学会年次学術講演会概要，第 4 部門，pp. 429～430，1968 年。
- 6) 大阪市総合計画局：昭和 43 年自動車交通起終点調査報告書，1969 年。
- 7) 三瀬 貞・西村 昂・芝野弘之：大阪市における時間帯別交通需要に基づく道路網容量の解析について，昭和 46 年土木学会関西支部年次学術講演会概要，1971 年。
- 8) 芝野弘之：道路網容量からみた自動車交通規制とその効果に関する研究，大阪市大修士論文，1971 年。
- 9) 飯田恭敬：道路網の最大容量の評価法，土木学会論文報告集 No. 205，pp. 121～129，1972 年。

(1975.3.17・受付)