

IV-41

札幌都市圏を対象とした道路網感度分析について

室蘭工業大学 学生員 内藤 利幸  
 苫小牧工業高専 正員 樹谷 有三  
 室蘭工業大学 正員 田村 亨  
 室蘭工業大学 正員 斉藤 和夫

1. まえがき

道路網の感度分析とは、道路網を評価する要因に影響を与える条件が変化したとき、評価要因がどのような影響を受けるかという影響度を把握することと考えられる。したがって、道路網を評価し得る要因に対する各種の感度分析が考えられるが、本研究においては道路網全体として受け入れ可能な最大交通量を表す道路網容量を通して道路網の感度分析を行う。この道路網容量は、容量を中心としたネットワーク計画における量的評価要因として、既存道路網の交通処理能力を越えるような自動車交通需要の増大に対する各種の計画を立てるうえでも重要な要因である。

道路網容量は、一般にネットワーク特性及びフロー特性によって規定される。したがって道路網容量による道路網感度分析とは、ネットワーク特性としての各リンクの交通容量、あるいはフロー特性としての各ゾーン間のOD交通などが変化したときに、道路網容量がどのような影響を受けるかを定量的に分析することである。

これまで著者らは、各OD交通の経路選択挙動を考慮できるとともに大規模な道路網にも適用可能な配分シミュレーション法を基に、道路網容量の算定及び道路網容量による道路網感度分析のためのカット行列の作成手法について考察してきた。さらに実際規模の道路網への適用例として苫小牧都市圏などで実証的検討を試みてきた。本研究では、これらの方法がさらに大規模なネットワークへ適用可能かどうかを検証するために、札幌都市圏を対象に実証的検討を行った。また大規模道路網に適用する上でのアルゴリズムの修正についても考察を試みた。

2. 道路網容量の算定手法

本研究においては、OD構成比一定のもとで総トリップを漸次増加させながら各OD交通を分割等時間配分で行う配分シミュレーション法を用いて道路網容量の算定を行う。この配分シミュレーション法を基に道路網容量を求めるときには、OD交通量を順次配分する過程でネットワークの非連結性の検討、すなわち道路網容量を規定する最小カットの探索についても考えなければならないが、本研究においては、需要(各リンクの配分交通量)と供給(各リンクの配分交通量)のバランスを考慮した最小カット探索手法について考察した。すなわち、各リンクの配分交通量が当該リンクの交通容量を超過することのないときの道路網容量を求めるものとする。そうすると、ある配分段階において容量に達したリンクが出現した場合には、その配分段階で当該リンクを配分対象経路とするOD交通の中には他の経路に再配分しなければならないものがある。このことを踏まえた道路網容量の算定および道路網容量を規定する最小カットの探索に関する手順は図-1に示すフローチャートのようになる<sup>1)</sup>。

本研究では、対象とした札幌都市圏道路網が一方通行を含むため、各道路区間をアークとし、対象ネットワークを有向グラフとして取り扱う。また、OD交通が発生集中するノードをセントロイドと呼び、交差点などを表わすノードと区別する。

以下、フローチャートの各ステップについて、有向グラフを対象とした場合における、従来の方法の修正点について詳述する。

Step.2は、各アークの走行時間  $t_a(V_a)$  の計算であり、式(1)のBPR (Bureau of Public Roads) タイプの関数を用いることとする。

$$t_a(V_a) = t_{a0} \{1 + r(V_a/C_a)\} \quad \text{式(1)}$$

ここで、

$V_a$  : アーク  $a$  の配分交通量

$C_a$  : アーク  $a$  の交通容量

$t_{a0}$  :  $V_a = 0$  のときの走行時間

$r, k$  : パラメータ

Step.3は、Step.4でOD交通量 ( $\Delta T_k$ ) を配分するため、Step.2で求められた各アークの走行時間を用いて各OD交通の最短経路の探索および所要時間の算定を行う。なお、最短経路の探索は、ウォーシャルフロイト法を用いる。

Step.8は、交通容量に達したアークの集合（あるいは部分集合）がカットを構成しているかどうかを検討するものである。一方通行を含むネットワークの非連結性の検定およびカットの探索については、3. で詳述する。

Step.9は、OD交通を順次配分する過程で交通容量に達したアークが出現したとき、当該アークを最短経路とする未配分交通量  $\Delta T_k^m$  を他の経路に配分するプロセスである。このとき、未配分のOD交通のみを対象に再配分を行うため、交通容量に達したアークだけを除去してStep.2~8を行う。

Step.10は、Step.8で探索されたカットを対象に、通過するOD構成比の和  $P_i$  およびフロー水準  $F_i$  を求める。式(2)は総トリップ数  $n \Delta T$  を配分しようとするときに、カット  $i$  を通過しようとする需要交通量（カットを構成するアークの交通容量の和（カット容量）と未配分交通量の和とからなる）と総トリップ数の比から当該カットを通過するOD構成比の和  $P_i$  を求めるものである。式(3)はカット容量と  $P_i$  から、当該カットのフロー水準  $F_i$  を求めようとするものである。なお、未配分交通量の和を求めるとき、カットを2度通過しようとするOD交通に対しては2倍する必要がある。そうすると、式(4)に示すようにフロー水準の最小値が道路網容量  $NC$  となり、最小フロー水準値をとるカットが最小カットとなる。

$$P_i = \left\{ \sum_{a \in T_i} C_a + \sum_{k \in R} \Delta T_k^m \right\} / (n \cdot \Delta T) \quad \text{式(2)}$$

$$F_i = \sum_{a \in T_i} C_a / P_i \quad \text{式(3)}$$

$$NC = \min \{ F_i \} \quad \text{式(4)}$$

ここで、

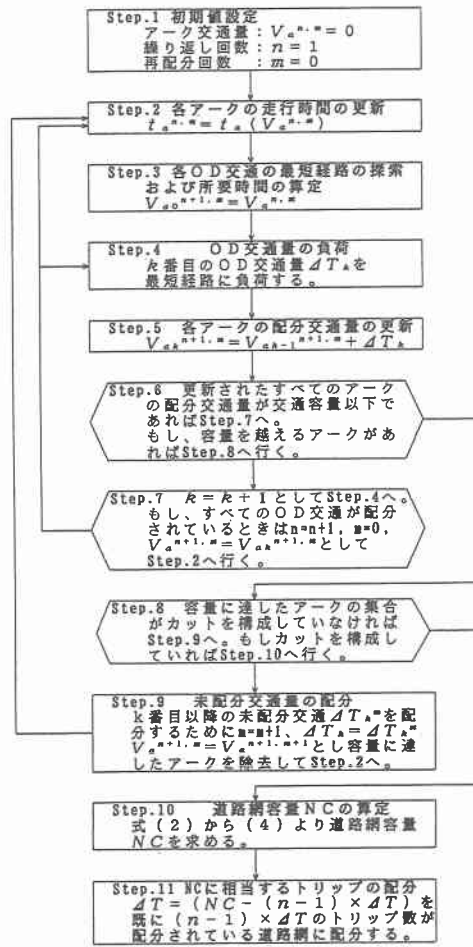


図-1 道路網容量の算定手法

$T_i$  : カット  $i$  を構成するアークの集合

$R$  : カット  $i$  の出現に伴って配分不可能となった未配分交通量の集合

なお、ここではある総トリップ数のときに、多数の容量超過アークが出現して数本のカットが同時に探索される場合もあることを想定しているが、Step.8で探索されたカットが1本のみときは、式(3)のフロー水準の値が道路網容量そのものとなる。

以上のような手順によって、従来用いられている配分シミュレーション法（分割等時間配分で行う方法）を基に、一方通行を含む道路網において、各アークの配分交通量が交通容量を越えることのないアークからなる最小カットが探索できるとともに、道路網容量をも容易に算定することができる。

### 3. カットの探索手法について

著者らが従来考察してきた道路網の非連結性の検定法は、道路網が無向グラフで表される場合を考えた手法である<sup>1)</sup>。この手法は、一方通行を含む道路ネットワークを考えた場合に対しては、必ずしも適用が可能ではない。

有向グラフを対象とした非連結性の検定法としては、隣接行列を応用した方法、あるいは行列演算を行わずに、ODペア間の最短経路探索によって行う方法などが提案されている。しかしながら、前者は、道路網規模が大きくなると計算量がかなり多くなることが指摘されている。また後者においては、非連結性について容易に把握できるが、いずれのアーキがカットを構成しているかについて、必ずしもすべてを把握することができない。

また、道路網容量算定におけるカットとは、単にネットワークが非連結になるアーキの集合ではなく、OD交通が発生集中不可能となるようなアーキの集合である。

そこで、本研究では以下のように、OD交通が発生集中不可能にさせるようなカット（アーキ集合）の探索手法について考察する。

Step.1 ネットワークの接続行列 $D$ を作成する。ここで行列の要素 $d_{ij}$ はノード $i$ がアーキ $j$ の始点であれば1、終点であれば-1、そうでなければ0をとる。

Step.2 2. の道路網容量の算定の過程において配分不可能となった各OD交通のセントロイドを、発セントロイドと着セントロイドに分ける。

Step.3 Step.2で、発セントロイドに該当する場合は1、着セントロイドに該当する場合は0をとるような行ベクトル $N$ を作成する。

Step.4 Step.3で作成した行ベクトル $N$ に、Step.1で作成した行列 $D$ を右からmod.2で掛ける。

$$C = ND \pmod{2} \quad \text{式(5)}$$

Step.5 得られた行ベクトル $C$ の要素 $c_j$ は、もし、アーキ $j$ がセントロイド集合を分断するアーキ、すなわちカット（部分カット）を構成するアーキであれば1または-1、そうでなければ0をとる。以上のような簡単な行列演算を行うことにより、OD交通が発生集中不可能とさせるようなカットを構成するアーキを、容易に探索することができる。

### 4. 札幌都市圏道路網への適用

本研究で考察したアルゴリズムが、一方通行を含む実際道路網に適用可能かどうかを、札幌市の道路網において検証する。対象とした札幌都市圏道路網は、昭和58年に行われた第2回道央圏パーソントリップ調査の結果をもとに作成したものであり、図-2に示されるネットワークである<sup>2)</sup>。道路ネットワークはアーキ数1969本（そのうち一方通行48本）、ノード644個（そのうちセントロイド168個）で構成さ

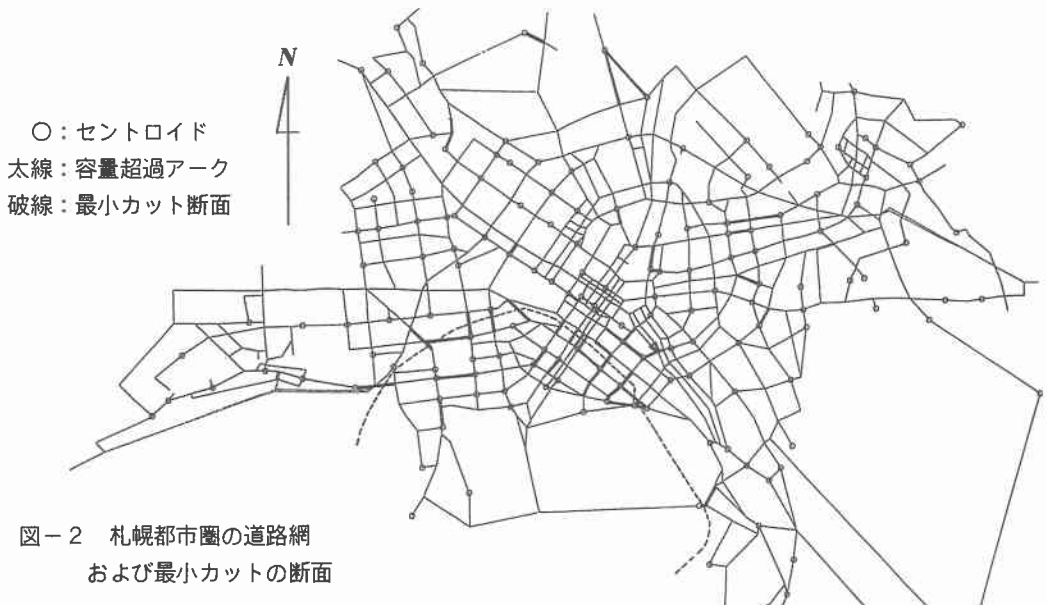


図-2 札幌都市圏の道路網  
および最小カットの断面

れている。対象地域の配分対象交通量（需要交通量）は1,355,502台であるが、このうち周辺市町からの交通と通過交通は158,602台である。内々交通量は需要交通量の6%程度であり、これらの交通は対象道路網以外の細街路に分散するものと考え、除外している。各アークのゼロフロー時所要時間、交通容量などはパーソントリップ調査の結果をもとに設定し、走行時間関数としてのBPR関数のパラメータは、 $r=2.65$ 、 $k=5$ とした。

$\Delta T=100,000$ 台として図-1に示す手順にしたがって道路網容量の算定を行うと、配分トリップ数110万台までに、図-2に示される102本のアークが容量を超過し、この段階で配分不可能なOD交通が発生した。3.で考察した方法によりカットを構成するアークを探索すると、アーク155（環状通）、2315（北1条・宮の沢通）、2032（大通西11~12丁目）、アーク2405（南1条通）、66、2056（北5条・手稲通）、2122（菊水・旭山公園通）、2264（福住・桑園通）など計16本のアークからなる最小カットが探索された。このときの未配分交通量が5,920台であることから、探索されたカットを対象に式(2)、(3)によりフロー水準を求めると、すなわち、対象とした札幌都市圏の道路ネットワークの道路網容量を求めると1,052,574台となる。図-3には道路網容量に相当する交通量をネットワークに配分したときの、各ノード間の配分交通量を示した。

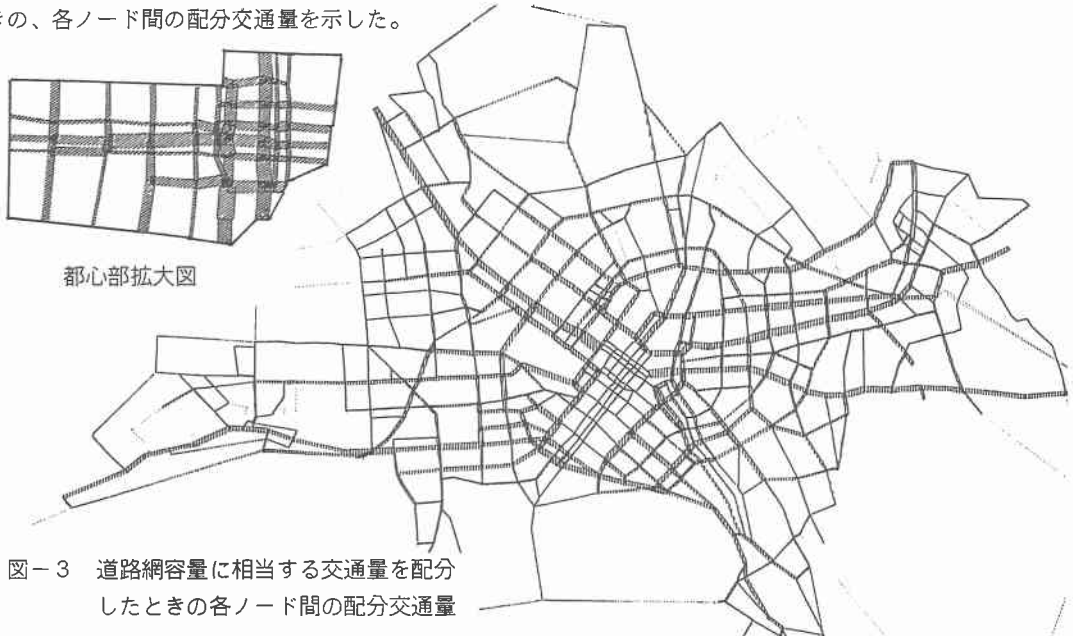


図-3 道路網容量に相当する交通量を配分したときの各ノード間の配分交通量

## 5. あとがき

以上、本研究では、一方通行を含む大規模ネットワークを対象とした場合の道路網容量の算定、およびカットの探索手法などのアルゴリズムについて考察を試みた。また、これらが実際道路網に適用可能かどうかを札幌都市圏の道路網において検証を試みた。その結果、従来の無向グラフを対象としたアルゴリズムを、有向グラフで適用できるよう修正することで、一方通行システムが存在する大規模ネットワークの道路網容量を算定することができた。なお、対象ネットワークの、道路網容量による感度分析のためのカット行列の作成についての考察は、発表当日に行う。

最後に、本研究を行うにあたりデータの提供等を戴いた札幌市企画調整局計画課の皆様にご感謝の意を表します。

### 〈参考文献〉

- 1) 梶谷有三・田村亨・斉藤和夫：道路網感度分析のためのカット行列およびOD-カット行列の作成手法に関する研究、土木学会論文報告集、第494号、p43~p52、1994
- 2) 道央都市圏総合交通体系調査協議会・北海道開発局・北海道・札幌市：第2回道央都市圏パーソントリップ調査報告書、1984~