

IV-38

札幌都市圏道路網を対象としたカットの探索

室蘭工業大学工学部	学生員	吉田	充
室蘭工業大学工学部		十二里	孝生
専修大学北海道短期大学	正員	榎谷	有三
室蘭工業大学工学部	正員	田村	亨
室蘭工業大学工学部	フェロー	斎藤	和夫

1. まえがき

交通渋滞や交通麻痺に遭遇することなく円滑な交通機能を確保するためには需要と供給のバランスを図る必要がある。著者らは、このような需要と供給のバランスの面から道路網を評価するために、道路網容量を規定する最小カットや、最小カットよりフロー水準の大きいカットの探索などを基礎としたカット行列および OD-カット行列の作成を通して種々の考察を行ってきた。しかしながら、これらの考察はおもに道路区間の方向を同じに扱う無向グラフからなる道路網を対象に試みてきた。

本研究で対象とするような一方通行システムを含む札幌都市圏の道路網の場合には、各道路区間に方向性を持たせたアークからなる有向グラフとして考えなければならない。また、一方通行システム導入の場合には、迂回によって走行距離が増大する OD 交通の出現、いわゆる迂回交通量の増大により各アークの配分交通量も方向によって異なってくる。このため、各断面を通過する交通量も方向によって異なってくることから、各カットのフロー水準も方向別に考えなければならない。

そこで、本研究は従来の無向グラフからなる道路網を対象とした配分シミュレーション法が、有向グラフからなる道路網にも適用可能かどうかを考察するとともに、一方通行システムを含む札幌都市圏道路網を対象にしたカットの探索とカット行列の作成手法についてについて考察を試みるものである。

2. 道路網容量の算定

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。この方法をもと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。本研究では、需要（各アークの配分交通量）と供給（各アークの交通容量）のバランスを考慮した最小カットを求めるので、総トリップを漸次増加させる段階で容量に達した、あるいは超過したアークを順次除去してゆき、除去されたアークの集合がカットを構成するかどうかを検討する方法を用いる。また、一方通行システムを含むネットワークの非連結の検定法等については 4. で詳述する。

道路網容量を算定するための各式は以下である。式 (1) は総トリップ数 $n\Delta T$ を配分しようとする時に、カット i を通過しようとする需要交通量（カットの交通容量と未配分 OD 交通量の和）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 を求めるものであり、式 (2) 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。式 (3) はフロー水準の最小値が道路網容量 NC となり、最小のフロー水準値をとるカットが最小カットとなる。^{1) 2)}

$$P_i = \left\{ \sum_{a \in T_i} C_a + \sum_{k \in R} \Delta T_k^m \right\} / (n\Delta T) \quad (1)$$

$$F_i = \sum_{a \in T_i} C_a / P_i \quad (2)$$

$$NC = \min \{F_i\} \quad (3)$$

Formulating Cut Matrix for Sensitivity Analysis in Sapporo City Area

by Mitsuru YOSHIDA, Takao JYUNIRI, Yuzo MASUYA, Thoru TAMURA and Kazuo SAITO

T_i : カット i を構成するアークの集合
 R : カット i の出現にともなって配分不可能
 となった配分 OD 交通の集合

3. カット行列の作成手法

カット行列作成のためには、道路網容量増強問題によってカット探索を試みたと同様に、道路網容量を規定する最小カットのみならず最小カットよりさらにフロー水準の大きいカットを逐次探索しなければならない。本研究においては、需要と供給のバランスを考慮したカットを探索すること、および演算を容易にすること等を考えて、道路網容量の算定と同様に配分シミュレーション法をもとにカットの探索を試みた。そうすると、カット行列の作成手法は以下となる。

Step.1 道路網容量算定手順で得られた道路網容量に相当する交通需要を配分したときの各アークの配分交通量から式 (4) で各アークの配分交通量の配分率 W_a を求める。

$$W_a = V_a / NC \quad (4)$$

Step.2 総トリップ数がすでに配分されている道路網に、逐次 ΔT のトリップ数を配分するため、最小カットを構成するアークに対しては、式 (5) で求められる容量増強 ΔC_a を行う。ここで n は ΔT を配分する繰り返し回数である。

$$\Delta C_a = n \cdot \Delta T \cdot W_a \quad (5)$$

Step.3 容量増強された道路網を対象に、各 OD 交通量を逐次配分するために、道路網容量算定手順の Step.2 から Step.9 を繰り返す。

Step.4 Step.3 の過程で、容量に達したアークの集合がカットを構成するときには、当該カット i のフロー水準 F_i を式 (6) で求める。

$$F_i = \sum_{a \in T_i} C_a / \sum_{a \in T_i} W_a \quad (6)$$

Step.5 Step.4 で探索されたカット i を構成するアークに対しては、式 (7) で求められる容量増強 ΔC_a を行う。

$$\Delta C_a^i = (NC + n \cdot \Delta T - F_i) \cdot W_a \quad (7)$$

Step.6 カット i の発生によって配分されていない OD 交通量を配分するため Step.3 へ行く。

Step.7 全ての OD 交通量が配分されるまで繰り返す。もし、配分終了のときには Step.8 へ行く。

Step.8 次の ΔT を配分するために $n=n+1$ とする。また、すでに探索されている最小カットおよび容量不足カットを構成するアークに対して、式 (5)、(7) で求められる値より、式 (8) で容量増強すべき値を決める。そして Step.3~7 を繰り返す。

$$\Delta C_a = \max \left\{ \Delta C_a^1, \dots, \Delta C_a^i, \dots, \Delta C_a^w \right\} \quad (8)$$

w : 最小カットを含めて探索された容量不足カットの本数

Step.9 感度分析に必要なカットを考慮して、あるトリップ数になるまで行う。

Step.10 最小カットも含め Step.9 までに探索されたカットを対象に 3. (2) の手順を行い、あるフロー水準以下のすべてのカットを探索する。

Step.11 すべてのカットのフロー水準を式 (6) で求め、フロー水準の小大順からカット並び変えて、カット行列 C を作成する。ここで、行列の要素 C_{ij} はカット i がアーク j を含むとき 1 または -1、そうでないとき 0 とする。

4. ネットワークの非連結性の検定法とカットの探索手法

(1) ネットワークの非連結性の検定法

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わされる場合を考えた手法である。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。本研究では対象とする有向グラフの場合、道路網容量を規定するカットとは、単にネットワークが非連結性になるアークの集合ではなく、OD 交通が発生集中不可能となるようなアークの集合であることを踏まえて次のような探索手法について考察した。

Step.1 ネットワークの接続行列 D を作成する。ここでの行列の要素はノード i がアーク j の始点であれば 1、終点であれば -1、そうでなければ 0 とする。

Step.2 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 交通のノードを、発ノードと着ノードに分ける。

Step.3 発ノードに該当する場合は 1、着ノー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 行ベクトル N に行ベクトル N を右から mod.2 で掛ける。

$$C = ND \quad (9)$$

Step.5 得られた行ベクトル C の要素は、もし、アーク j がセントロイド集合を分断するアークすなわちカット（部分カット）を構成するアークであれば 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 交通を発生集中不可能とさせるようなカットを構成するアークを、容易に探索することができる。

(2) カットの探索手法

3. で述べた手順の場合、感度分析に必要なすべてのカットを探索できない場合もある。そこで、対象とするカットが極小カット（カットの中にカットを含まないもの、すなわちネットワークを 3 つ以上に分割しない）であること、および有向グラフからなる道路網を対象に探索を行うことなどを考慮して、次の手順でカットの探索およびカット行列の作成を行った。

Step.1 既に探索されたカットを対象に、それぞれペアとなる逆方向のカットも探索されているかどうかを調べる。

Step.2 もし逆方向のカットが探索されないときには、逆方向のカットを新たなカットとする。

Step.3 Step.1、Step.2 のカットを対象にカット行列を作成する。このとき、行列の要素は、カット i で切り取られるノード集合よりアーク j が他の補集合に向かうとき 1、他の補集合に入るとき -1 、その他のとき 0 をそれぞれとる。

Step.4 道路網を構成するアークを、内部領域（平面グラフにおいて、何本かのアークで囲まれている領域だけに接するアーク（内部アーク）と外部領域（囲まれていない領域）にも接するアーク（外部アーク）に分ける。

Step.5 Step.3 で作成されたカット行列において、外

部アークに対応する列に 1 および -1 の要素を持つ行ベクトル（カット）が 2 つ以上（当該カット逆方向のカットを除いて）存在するかどうかを調べる。

Step.6 もし、存在すれば、対応する列要素の値が異符号である行ベクトル同士を mod.2 で加えて新しいカットを求める。3 つ以上存在するときには、列要素の値が異符号である行ベクトルを取り出すすべての組み合わせを考えればよい。

Step.7 Step.6 で作成された行列と Step.4 の行列との組み合わせで、Step.6 と同様にことを行う。組み合わせは、前述のように列要素の値が異符号の行ベクトルだけを考えればよい。^{1) 2)}

5. 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の道路網に適用可能かどうかを、札幌都市圏道路網において検証する。対象とした道路ネットワークは図-1 に示されるネットワークであり、アーク数 1,967 本（そのうち一方通行 57 本）ノード数 644 個（そのうちセントロイド 168 個）で構成されている。また、対象地域の需要交通量は 1,355,5502 台であり、走行時間関数としての BPR 関数のパラメータは、 $\alpha=1$ 、 $\beta=3$ とした。³⁾

$\Delta T=100,000$ 台として 2. に示す手順に従って道路網容量を算定すると、配分トリップ数 1,100,000 台で、図-1 に示す計 16 本からなるカット 1 が探索され、道路網容量（カット 1 のフロー水準）1,055,324 台が得られた。

次に、カット行列を作成するために最小カットよりフロー水準の大きいカットの探索を 3. で述べた手順に従って行った。道路網容量に相当する交通需要が配分されているネットワークに 100,000 台を配分するとともに式 (5) および (7) 等で各アークの容量増強を行ったところ、トリップ数 1,155,324 台のときに図-1 に示すカット 2 が探索された。逐次トリップ数を増加させ、需要交通量まで計算を行うと、図-1 に示す合計 22 本のカットが探索された。

さらに、これら探索された 22 本のカットを対象

に4.(2)で述べた手順によって感度分析に必要な他のカットの探索を行ったところ、合計129本のカットが求められた。表-1には、これら探索されたカットのうち、道路網感度分析に必要と思われるカット9本の交通容量、通過するOD構成比の和およびフロー水準を取りまとめた。ここでは、フロー水準の大小順に並び変えている。

本研究において考察した配分シミュレーション法によるカットの探索手法はこれら一方通行に伴う問題へ適用可能であるといえる。

最後に、本研究を行うにあたりデータの提供を戴いた北海道開発コンサルタント株式会社の内藤利幸様に感謝の意を表わします。

6. あとがき

以上、本研究では一方通行を含む札幌都市圏道路網を対象に配分シミュレーション法をもとに最小カットおよび最小カットよりフロー水準の大きいカットの探索を試みた。さらに、配分シミュレーション法から必ずしも探索することのできないカットの探索手法を、有向グラフの特性を踏まえた簡単な行列計算を通して考察した。

表-1 各カットのフロー水準

カット	交通容量	OD構成比	フロー水準
1	132000	0.1251	1055324
2	136520	0.1210	1128205
3	69600	0.0603	1154288
4	177910	0.1527	1164800
5	236310	0.2024	1167539
6	131420	0.1119	1174194
7	274580	0.2313	1187025
8	279890	0.2217	1262232
9	148640	0.1166	1274797

その結果、一方通行システムを対象とするときに考えなければならない点を踏まえたカット行列の作成を行うことができた。今後は、OD—カット行列を作成して道路網容量による感度分析を行う。

【参考文献】

- 1) 榎谷有三・田村亨・斎藤和夫：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) 吉田充・榎谷有三・田村亨・斎藤和夫：一方通行街路網を対象とした配分シミュレーション法によるカットの探索、土木計画学研究講演集、No.19(1)、p565～p568、1996
- 3) 吉田充・内藤利幸・榎谷有三・田村亨・斎藤和夫：札幌都市圏道路網を対象とした道路網容量算定、土木学会北海道支部論文報告集、第52号(B)、p560～p563、1996



図-1 対象道路網および探索されたカット