

苫小牧工業高等専門学校 正会員 ○ 樹 谷 有 三
北海道大学工学部 加 来 照 俊

1. まえがき

一般に道路網構成問題とは、各ノード間の需要交通量(OD交通量)とノード間を結ぶ路設計可能な道路網が与えられたとき、需要交通量を効率的に処理するために、ある制約条件の下である目的関数を最大なり最小にする各リンクの車線数あるいは幅員を決定することである。この問題に対する従来からの多くの研究は、各リンクの建設単位を車線数(整数)とするか、あるいは幅員(連続変数)とするかによって2つに大別できる。前者には、問題を組合せ最適化問題あるいは(混合)整数計画問題と定式化する厳密解法と、厳密解法は問題の適用規模などにおいて種々の制約が生じる点から実用性に重点を置いた各種の近似的解法がある。また、後者には大規模な道路網への適用などを考慮して分解原理、ラグランジエの乗数法を用いた研究がある。本研究は、問題を混合整数計画問題として定式化する点では前者の厳密解法に属するが、従来からこの種の問題に適用されている分岐限界法(Branch and Bound Method)に整数計画法の構造的アプローチの知見を加味することによって実行可能領域の縮小をはかるとともに計算の効率化を計った。

2. 道路網構成問題の定式化について

いま、ある与えられた建設可能な最大道路網を m 個のノードと m 個のリンクからなるネットワークにモデル化する。この道路網上に各ノード間のOD交通が q 個存在するものとし、 k 番目のOD構成比を P_k とする。このとき、各OD交通の配分交通量としてルート交通量あるいはリンク交通量が考えられるが、本研究は取扱う変数が少ない、事前に各OD交通の走行可能な経路を探索するという手間を要するが配分対象経路を指定できるため各OD交通の走行便益をも考慮できるなどを考慮してルート交通量を用いる。従って、 k 番目のOD交通の走行可能な経路本数を M_k 、そのうちあるルート r に配分される交通量を Y_{kr}^R とする。まず、制約条件として(1)式のOD交通に関する連続条件、(2)式の各リンクの容量制限に関する条件がある。ここで、 P_k は需要交通量、 C_{ij} は1車線あたりの交通容量、 x_{ij} は各リンクの建設に関する整数変数である。また、 δ_{ij}^R は k 番目のOD交通の r 番目のルートフローがリンク ij を通過するとき1、そうでないとき0をとる定数である。さらに、(3)、(4)式の総建設距離(L)、総建設費用(M)もそれぞれ目的関数にならない場合制約条件として考えられる。ここで、 d_{ij} 、 m_{ij} はそれぞれリンク ij の距離、1車線あたりの建設費用である。また、道路網全体の自動車による環境悪化あるいは各OD交通の走行便益なども考慮すると、(5)、(6)式の総走行距離(TD)、総走行台時間(TT)も目的関数でないとき制約条件として考えられる。ここで、 t_{ij} はリンク ij の走行時間である。(7)、(8)式はそれぞれ変数に関する条件で、 m_{ij} は各リンクの建設可能な車線数である。次に、目的関数について考えると(5)~(8)式が考えられ、いずれも需要交通量を処理するために必要な各リンクの車線数を求める最小化問題となる。一方、種々の条件の下で処理交通量を最大にする問題は目的関数を P とする問題として定式化される。

$$\sum_{r=1}^{M_k} Y_{kr}^R = P_k \cdot P \quad (k=1, 2, \dots, q) \quad \text{--- (1)}$$

$$\sum_{k=1}^q \sum_{r=1}^{M_k} \delta_{ij}^R \cdot Y_{kr}^R \leq C_{ij} \cdot x_{ij} \quad (ij=1, 2, \dots, m) \quad \text{--- (2)}$$

$$\sum_{ij=1}^m d_{ij} \cdot x_{ij} \leq L \quad \text{--- (3)}$$

$$\sum_{ij=1}^m d_{ij} \cdot m_{ij} \cdot x_{ij} \leq M \quad \text{--- (4)}$$

$$\sum_{ij=1}^m \sum_{k=1}^q \sum_{r=1}^{M_k} \delta_{ij}^R \cdot Y_{kr}^R \cdot d_{ij} \leq TD \quad \text{--- (5)}$$

$$\sum_{ij=1}^m \sum_{k=1}^q \sum_{r=1}^{M_k} \delta_{ij}^R \cdot Y_{kr}^R \cdot t_{ij} \leq TT \quad \text{--- (6)}$$

$$Y_{kr}^R \geq 0 \quad (k=1, 2, \dots, q; r=1, 2, \dots, M_k) \quad \text{--- (7)}$$

$$x_{ij} \leq m_{ij} \quad (ij=1, 2, \dots, m) \quad \text{--- (8)}$$

3. 問題の解法

前章で定式化された混合整数計画問題の解法として、大域的な最適解を求めるアルゴリズムと局所的な最適

解あるいはかなり良い実行可能解を少ない時間で求める各種のヒューリスティック法がある。また、前者には実行可能な整数格子点を効率的に数え上げることを狙った分岐限界法と実行可能な整数格子点集合の代数的・幾何学的構造を用いた切除平面法に代表される構造的アプローチがある。本研究においても、もっとも実用的なアルゴリズムである分岐限界のうちのDakinのアルゴリズムを用いた。しかし、このアルゴリズムも整数条件を1つずつ加えることで線形計画問題を解いて非整数最適解を求める解法である。勿論、このアルゴリズムを通して整数最適解を求めることは可能であるが、取扱う整数数の増大とともに非整数最適解の数は増加しその求解は一層困難となる。従ってこの問題では、生成される非整数最適解の数も抑制することが計算効率の点で、また大規模な道路網へ適用する上でも望まれる。そこで、本研究は次の手順でカット条件式で求め、このカット条件式を前述の問題に付加することによって実行可能領域を縮小させることに探索する非整数最適解の数を抑制しようとするものである。(1) すべての建設可能なリンクが建設される状態での道路網容量を求める。(2) 需要交通量を道路網容量より小さな値に設定して、逐次需要交通量を増加させるパラメトリックLPを(2)式に対応する双対変数がすべて得られるまで行なう。(3) 需要交通量を逐次増加させたときに変化する双対変数の値からカットを求める。さらに、ある需要交通量を処理するために必要な車線数をカットごとに求めたカット条件式を作成する。この手順は線形計画問題の相補性定理を応用したもので、すなわち(2)式の容量制限式が最適解において余裕をもつならばその双対変数は0となり、逆に容量一杯に交通量が配分されるリンクはスラックス変数が0となる双対変数は正值をとる。また、この双対変数は各リンクの容量を1単位変化させたときの目的関数の増減を表わすので、目的関数に同じ影響を与えるリンクごとにリンクを分類することによってこれらからカットが求められる。莫大にすべてのカットを対象とすることは道路網の規模とともに困難となるので、本研究においてはこの様な手順で実行可能領域を縮小させるカットを求めた。

4. 計算例

図-1の最大道路網と表-1のOD構成比およびリンク距離を与えて行なう。なお、各OD交通の走行可能なルートは最短経路を中心に3〜5本選定した。また、各リンクの建設可能な車線数は1車線とする。問題の定式化として、ある需要交通量を処理するために総建設費用を最小にする道路

表-1 OD 構成比とリンク距離 (km)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0.095	0.077	0.095	0.084	0.104	0.056	0.014	0.017	0.005
2	5.0		0.038	0.022	0.012	0.013	0.006	0.0	0.024	0.001
3	8.0	5.0		0.050	0.016	0.015	0.005	0.005	0.0	0.003
4	8.0	6.0	3.0		0.029	0.022	0.007	0.004	0.020	0.001
5			4.0	3.0		0.068	0.013	0.003	0.0	0.0
6	6.0			6.0	4.0		0.032	0.003	0.004	0.002
7					6.0	2.0		0.013	0.005	0.001
8	10.0					5.0	6.0		0.011	0.001
9	6.0					7.0		5.0		0.004
10	4.0	8.0							7.0	

網構成を求める問題とする。まず、最大道路網における道路網容量は147,919台となる。次に、処理交通量を道路網容量の値より逐次増加させるパラメトリックLP問題によって各リンクの双対変数の変化を調べる。そして、双対変数の値の変化から図-1に示される10個のカットが得られる。これらのカットから求められるカット条件式を付加して分岐限界法によって求める必要交通量が85,000台のとき図-2の最適道路網が得られる。このとき、52個の非整数最適解が求められ、さらに線形計画問題の解を参考に一部のリンクも建設することには10個程度であった。一方、カット条件式を導入しないときには550個の非整数最適解が探索された。また、交通需要が95,000台のときにはカット条件式を付加すると26個であるが、付加しないときには335個であった。このようにカット条件式は計算効率の点が大きな役割を占めており、さらにLP解を利用して優先的に建設されるリンクを選定するとその計算回数は一層少なくなる。今後は、さらに他の問題設定に対するカットの有効性について考察を進める。また、交通規制あるいは除雪路線網の設定などへの適用についても研究を続ける予定がある。

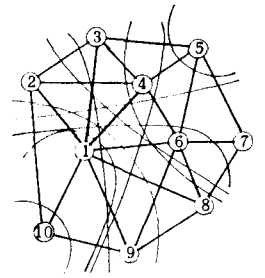


図-1最大道路網とカット

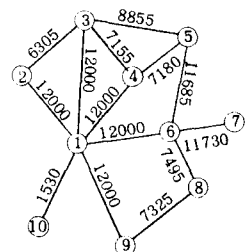


図-2最適道路網