

広域バスネットワークの形成に関する分析

鳥取大学大学院 学生会員 ○石丸 翼
 鳥取大学工学部 正会員 谷本圭志
 鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行
 鳥取大学工学部 山村道子

1. はじめに

道路運送法の改正に伴い、生活交通の確保が中山間地域の自治体にとっての緊急の課題となっている。多くの自治体は厳しい予算制約に直面しており、より効率的に交通を提供することが求められている。その一つの方策として、複数の自治体にまたがる広域バス路線を設定し、関係自治体で補助費用を共同負担することが考えられる。しかし、補助金負担方式がいくつか存在する場合、どのような方式を採用するのかに関して各自治体間に利害対立が生じる。しかし、全ての自治体が利害を主張する結果として、各々が想定していたバスサービスが実現できる保証は必ずしもない。そこで本研究では、ある補助金負担方式が採択されたときに、各自治体の利害対立の結果、どのような路線ネットワークが形成され、各路線にどのようなサービスが提供されるかを導出するモデルをゲーム理論を用いて分析する。

2. 広域バスネットワークの導出プロセス

自治体の集合を $D=\{1,2,\dots,n\}$ で表し、任意の自治体を $i(i \in D)$ で表す。ここで、集合 D の部分集合を提携と呼び、任意の提携を $S(S \subset D)$ で表す。バスネットワークは自治体をノード、それらのノードを結ぶリンクから構成されるグラフで表される。よって任意のノードは $i(i \in D)$ 、リンクは $ij(i, j \in D, i \neq j)$ で表される。任意の自治体 i は自身を一つのノードに含むバス路線を少なくとも一つ以上開設する意向を持つ。その路線の集合を G_i 、その要素を $g_i(g_i \in G_i)$ で表す。

(1) 各提携のもとでの費用の導出プロセス

1) 各自治体の路線ニーズとバスの便数

各自治体がどの自治体への路線を必要とするかを与える。任意の自治体 i が希望するバス路線 g_i と、その路線に必要とするバスの便数 $N_i(g_i)$ の組みを以下のように表す。

$$\{(g_i, N_i(g_i)) \mid g_i \in G_i\} \quad (1)$$

2) 各路線の便数の導出

任意の提携 S のもとで開設される路線と各路線のバスの便数を導出する。各自治体が必要とするとした路線のうち、一方が他方の路線を包含している場合、包含されている路線のサービスの一部は包含している路線が提供しうる。よって、路線 g の便数 $N(g)$ は次式のように決定される。

$$N(g) = \max_i \max [0, N_i(g_i) - \sum_{g_i \subseteq g, g_i \in G, i \in N} N_i(g_i)] \quad (2)$$

なお、“ $\max$ ”となっているのは、事研究においては各自治体が必要とする路線の便数は必ず確保することを想定しているためである。

3) 各提携における費用の導出

提携 S において形成されるバス路線ネットワーク $G(S)$ は以下のように表される。

$$G(S) = \bigcup_{i \in S} G_i \quad (3)$$

バスの運行費用は走行距離に比例するとし、単位距離当たりの運行経費を c とすると、バス路線ネットワークの運行に要する全費用 $C(S)$ は以下のように与えられる。ただし、 $l(g)$ は路線 g の路線距離である。

$$C(S) = \sum_{g \in G(S)} cl(g)N(g) \quad (4)$$

(2) ネットワークの形成プロセス

(4)式で得られる費用 $C(D)$ に補助金負担方式を適用することにより、各自治体の負担額が決定される。自治体は、各提携での負担額を参照しつつどの自治体と広域バスサービスを実施するのかを合理的に判断するものとする。その状況を提携形成ゲームで表し、安定的な各提携構造を強ナッシュ均衡概念を用いて導出する。

3. 数値実験

本研究では、図1に示すように、直列的に位置する4つの自治体から構成される地域を実験の対象とし、各補助金負担方式のもとで、それぞれどのような路線ネットワークが形成され、各路線にどのようなサービスが提供されるかを以上に示したプロセスに基づいて分析し、効率性の観点から各補助金負担方式の有効性を検討する。自治体1は当該地域における中核都市であるとし、その他の自治体はそれよりも規模の小さな自治体を想定する。また、検討するにあたって各自治体の特徴を表すパラメータを表1のケース1~5に表す。ケース1は、中核都市である自治体1側を下流、自治体4側を上流と呼ぶならば、各自治体が開設を必要とする路線は下流に向かう路線である。ただし中核都市である自治体1のみは隣接する自治体2へ路線を開設する意向がある。ここで、下流側に位置する自治体1、2が提示するバスの便数を固定し、上流側に位置する自治体3、4のそれを徐々に増加させることで結果にどのような影響を及ぼすかを検討する。上流側の自治体が提示するバスの便数は表1のケース2~5のように設定し、ケースの番号が大きくなるほど上流側の自治体が提示するバスの便数が多くなることと対応している。また1便あたりの利用者数は自治体1、2、3、4の順に多いと仮定し、利用者数は便数に比例するものとする。また各自治体の行政区域内の路線距離はすべて等しいものとする。

4. 結果と考察

分析結果の詳細は講演時に譲るが、上流側の自治体の提示するバスの便数を徐々に増加させることで「輸送量（人キロ）比例方式」、「行政区域内の走行距離比例方式」、「起点からの走行距離比例方式」の順に下流側の自治体が全提携から離脱する動機をもつことが確認できる。「起点からの走行距離比例方式」は他の方式に比べ、下流側の自治体に少ない負担が課されるため、この方式のもとでは全提携が安定となるケースの数が他の方式よりも多くなっている。一方、「行政区域内の走行距離比例方式」は「起点からの走行距離比例方式」と比べて下流側の自治体に少ない負担を与えることがないため、下流側の自治体はケースの番号が比較的小さい状況においても全提携から離脱する動機をもつことが確認できる。特に「中流」に位置する自治体2にとって、上流側の提示するバスの便数の増加は自身に

とって需要のない区間距離（自治体2と3の間の区間）の増加を招き、自身への負担額を増やすのみであるから全提携から離脱する動機を強く持つ。以上のことから、図1に示す地域において、全提携を安定にするという意味で最も効率的な提携構造である「起点からの走行距離比例方式」が最も適切な配分方法であると言える。以上の分析は、上流の自治体と下流の自治体間の距離を徐々に延長させていくような状況と等価である。これはバスを増便させることによって総走行距離が増加することと、距離を延長することによって総走行距離が増加することが同じ意味をもつためだと考えられる。

5. おわりに

今後、より多くの地域の状況を想定して分析を行い、各負担方式の有効性を検討する必要がある。

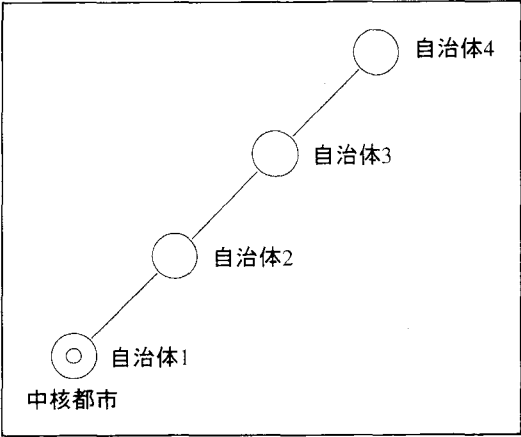


図1 想定地域

表1 パラメータ

	1)開設路線	2)便数(便)	3)利用者数(人)	4)距離(km)
ケース1				
自治体1	1-2	10	360	$l_{12}=5$
自治体2	2-1	10	250	$l_{21}=5, l_{23}=5$
自治体3	3-2-1	5	100	$l_{32}=5, l_{34}=5$
自治体4	4-3-2-1	5	75	$l_{43}=5$
ケース2				
自治体1	1-2	10	360	$l_{12}=5$
自治体2	2-1	10	250	$l_{21}=5, l_{23}=5$
自治体3	3-2-1	7	140	$l_{32}=5, l_{34}=5$
自治体4	4-3-2-1	7	105	$l_{43}=5$
ケース3				
自治体1	1-2	10	360	$l_{12}=5$
自治体2	2-1	10	250	$l_{21}=5, l_{23}=5$
自治体3	3-2-1	10	200	$l_{32}=5, l_{34}=5$
自治体4	4-3-2-1	10	150	$l_{43}=5$
ケース4				
自治体1	1-2	10	360	$l_{12}=5$
自治体2	2-1	10	250	$l_{21}=5, l_{23}=5$
自治体3	3-2-1	13	260	$l_{32}=5, l_{34}=5$
自治体4	4-3-2-1	13	195	$l_{43}=5$
ケース5				
自治体1	1-2	10	360	$l_{12}=5$
自治体2	2-1	10	250	$l_{21}=5, l_{23}=5$
自治体3	3-2-1	17	340	$l_{32}=5, l_{34}=5$
自治体4	4-3-2-1	17	255	$l_{43}=5$