

広域バス路線ネットワークの提携形成に関するモデル分析

(株) 片平エンジニアリング 正会員 ○米村圭一郎
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

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の緊急課題となっている。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。路線ごとのバス路線の広域化は補助費用の削減というメリットが発生しうるため、各自治体は広域バス路線への補助の動機を持つが、路線ネットワーク全体から見ると必ずしも全ての路線について広域化の動機をもつわけではない。つまり、その路線よりも、他の路線に補助を行うことを選好する場合がある。各自治体の選好が一致する保証は必ずしもないことから、広域バス路線の開設・維持に関する利害対立は、「部分的な共同事業」が発生する提携形成ゲームと解釈することができる。

本研究では広域バスネットワークの形成をめぐる自治体間の提携形成をモデル化するとともに、ある補助金負担方式が採択されたとき、各自治体の利害対立の結果として、どのような路線ネットワークが形成され、どのようなサービスが提供されるかを導出する。これにより、各補助金負担方式の有効性を評価する。

2. モデル

2. 1 協力構造

広域バス路線の開設・維持は、そこに関与する自治体がバス路線の運行に合意するという「協力関係」の結果であると解釈する。つまり、協力関係は、その関係のもとでの実行可能な広域バス路線の開設に合意した上で、それらの路線の運行便数を調整するためのコミュニケーションネットワークと考える。協力関係が結ばれていない主体間には広域バス路線は存在しない。そこで本研究では「提携に参加する主体の構成」のみならず、「提携内の主体の関係」についても着目し、それを利得配分に反映させることが可能な協力構造 (cooperation structure) を用いる。協力構造を表すグラフ (協力構造グラフ) g とは主体の集合 N

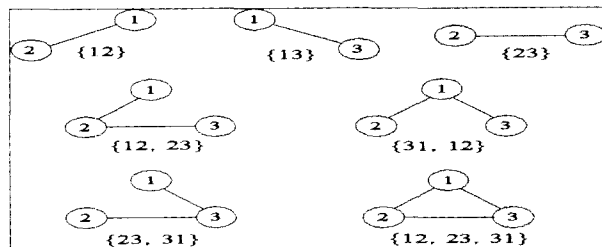


図1 3主体での協力構造グラフ

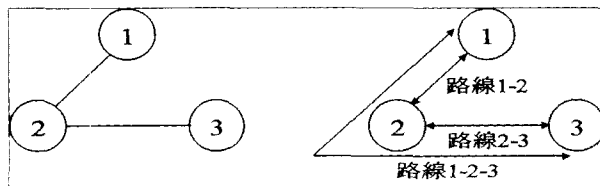


図2 協力構造と路線ネットワークとの対応関係

(左: 協力構造, 右: 路線ネットワーク)

を考え、任意の主体をノード、集合内の協力関係をリンクとしたグラフとして表現する。全ての主体間にリンクが存在するグラフを完全グラフと呼び、 g^N で表す。協力構造 $g (\subseteq g^N)$ において運行可能な広域バス路線の集合 $H(g)$ で与える。

$$H(g) = \{h \mid h \in g\} \quad (1)$$

2. 2 協力構造と特性関数

提携 $S (\subseteq N)$ の構成員がとりうる行動を組み合わせることで獲得できる利得の集合を特性関数 $V(S)$ で表す。 $A(S)$ を提携 S において実行可能な行動の集合とする。つまり、 $A(S)$ には提携 S の構成員がとりうる行動のすべての組み合わせが含まれている。主体 i が提携 S に属する場合に、ある実行可能な行動 $a \in A(S)$ のもとでその主体 i が得る利得を $u_i(a, S)$ と表す。主体 i への配分利得を x_i で表すと、特性関数 $V(S)$ は次式のように与えられる。

$$V(S) = \{x \in R^N \mid x_i \leq u_i(a, S) \ (\forall i \in S), a \in A(S)\} \quad (2)$$

広域バスサービスにおける各主体の行動を、各路線が希望するバスの運行便数の表明であるとする。すると、 $V(g)$ は次式で与えられる。ただし、 N/g とは、集合 N 内の主体の分割 (提携構造) である。

$$V(g) = \bigcup_{S \in N/g} V(S) \quad (3)$$

最も効率的な協力構造 g^E は $V(g)$ に関して次式のように与えられる。

$$V(g^E) = \bigcup_{g \in g^N} V(g) \quad (4)$$

2. 3 安定性概念

$V(g) (\forall g \in g^N)$ の内部に属さない利得ベクトル $x=(x_i)_{i \in N}$ が協力構造 g において存在する場合、協力構造 g は安定的であると言い、少なくとも一つ安定的な協力構造がある場合、ゲームは協力構造コアをもつと言う。この安定性概念を用いて、どの補助金負担方式がより効率的な協力構造を安定的に導くかについて検討する。

3. 補助金負担方式の有効性分析

任意の二つの自治体 i, j で表し、路線バスの本数 μ で表す。自治体 i, j までの間、路線バスを利用した場合の利用者の一般化費用は $P_{ij}(\mu)$ 、需要関数 $Q_i(i \rightarrow j)$ 、自治体 i, j 間に路線バスを運行させた場合の運行費用 $D(g)$ 及び、路線バス事業者の収益 $R(g)$ と表す。

$$P_{ij}(\mu) = pl_{ij} + \frac{l_{ij}}{s} w + \delta \frac{(\mu - \theta)^2}{\mu} \quad (5)$$

$$Q_i(i \rightarrow j) = \bar{q}_{ij} e^{-\omega P_{ij}(\mu)} \quad (6)$$

$$D(g) = (\mu * l(g))^{\beta_1} + (\mu * l(g))^{\beta_2} \quad (7)$$

$$R(g) = \sum_{i \in h(g)} \sum_{j \in h(g)} Q_i(i \rightarrow j) pl_{ij} \quad (8)$$

ここに l_{ij} は i 地点から j 地点までの距離 (km)、 p を走行距離当たりの運賃 (円/km) である。また s はバスの運行速度 (km/h)、 w は賃金率 (円/h) である。(5)式の第三項は、待ち時間を表している、以上より、一般化費用は、運賃、移動時間費用、待ち時間費用の和として与えることを意味している。 $\theta, \delta, \bar{q}_{ij}, \omega, \beta_1, \beta_2$ はパラメータ

である。 $\bar{q}_{ij}$ を潜在需要パラメータと呼び、その値が大きいほど潜在的な需要は大きい。(6)式より、自治体 i の住民の消費者余剰 CS_i は次式で与えられる。

$$CS_i = \frac{\sum_{j \in h(g), g \in g^N} Q_i(i \rightarrow j)}{\omega} \quad (9)$$

3. 1 社会的余剰

路線 g の運行によって発生する赤字額は $D(g) -$

$R(g)$ で与えられ、この額が自治体が拠出する補助金の額となる。すなわち、次式が成立する。

$$C(g) = D(g) - R(g) \quad (10)$$

協力構造 g のもとでの自治体 i の負担額を y_i とすると、自治体 i の社会的余剰 SS_i は、次式で与えられる。

$$SS_i = CS_i - \sum_{i \in N} y_i(g) \quad (11)$$

本研究では、補助金負担方式として「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」、「需要と移動距離を乗算した輸送量 (人キロ) 比例方式」を想定した。

3. 2 数値実験

三主体の潜在需要パラメータを表1のケース1で与えたとき、協力構造 {1 2} が均衡解となる。主体3を含む協力構造は形成されないことが分かった。安定的な協力構造 {1 2} は協力構造 {1 2, 2 3, 3 1} に比べて社会的余剰の和は小さく、非効率的な協力構造が安定となっている。

4. おわりに

各費用負担方式とも広域バス路線を構築したほうが、しないよりも社会的余剰は大きくなりうることが確認できた。しかし、必ずしも効率的な協力構造を得るとは限らないことが明らかになった。今後は、パラメータを変化させ、どの補助金負担方式が効率的な協力構造を安定とするの可能性が高いかについて検討を行う。

表1 各主体の潜在需要パラメータ値

潜在需要 q_i	ケース1			ケース2			ケース3		
$i \setminus j$	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	30	0	0	30	0	0	30	10	10
2	20	10	10	20	0	0	20	10	10
3	10	5	5	10	0	0	10	10	10

表2 走行距離比負担方式のもとで形成される路線と社会的余剰

協力構造	路線	便数	社会的余剰(特性関数)
{12}	{12}	4便	SS1=0.22411
			SS2=0.21436
			SS3=0
{13}	{13}	4便	SS1=0.21694
			SS2=0
			SS3=0.10180
{23}	{23}	2便	SS1=0
			SS2=0.06518
			SS3=0.06288
{12, 23}	{12}	4便	SS1=0.22411
			SS2=0.21436
			SS3=0
	{12, 23}	4便	SS1=0.22035
			SS2=0.20680
			SS3=0.12924
{23, 31}	{23, 31}	4便	SS1=0.22161
			SS2=0.18423
			SS3=0.13598
	{12}	4便	SS1=0.22411
			SS2=0.21436
			SS3=0
{31, 12}	{31, 12}	4便	SS1=0.21449
			SS2=0.20697
			SS3=0.13302
	{12}	4便	SS1=0.22411
			SS2=0.21436
			SS3=0
12, 23, 31	{12, 23, 31}	3便	SS1=0.22062
			SS2=0.33129
			SS3=0.23008
	{12, 23, 31}	4便	SS1=0.213192
			SS2=0.33271
			SS3=0.22952