

# 広域バス路線の補助金負担方式に関する ゲーム論的考察

谷本圭志<sup>1</sup>・喜多秀行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 鳥取大学助教授 工学部社会開発システム工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

<sup>2</sup>正会員 工博 鳥取大学教授 工学部社会開発システム工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

バス市場の参入・撤退規制が緩和され、生活交通をどのようにして確保するかが中山間地域における自治体の課題となっている。その一つの方策として、広域バス路線を設定してそのバス事業に複数の自治体が共同で補助を行う取り組みがある。これにより、各自治体は補助金額を削減することができ、バス交通の維持が財政上容易になる。共同での補助は、それに関与する自治体間での補助金の分担を伴うため、各々の負担額への合意なしには実行不可能である。そこで本研究では、実際の場面で広く用いられている走行キロ比に基づく補助金負担方式やそれに代替しうる方式が自治体間での合意形成の観点から有効であるかについて協力ゲーム理論を援用して検討する。

**Key Words :** *inter-regional bus service, cooperative game, cost allocation, subsidy, consensus building*

## 1. はじめに

2002年2月に実施されたバス市場の撤退・参入規制の緩和に伴い、採算性の低いバス路線の廃止が見込まれている。多くの高齢者や学生がバスを唯一の交通手段として頼っている中山間地域においては、バス路線の廃止は地域の足の喪失に繋がるため、バス路線の廃止は大きな懸念となっている。また、補助制度の改正により、バス事業に対する国からの補助金が大きく削減され、自治体の補助金負担額が著しく増加している。以上の背景のもとで、限られた財源で生活交通をいかにして確保するかが自治体にとっての重要でかつ緊急の課題となっている。

もとより、この問題は規制緩和や補助制度の改正以前から少なくとも潜在的には存在していたものであり、その深刻さが上述の背景のもとでクローズアップされたと言うべきであろう。実際、各地では生活交通を確保するための様々な取り組みが従来より実施されており(例えば秋山ら<sup>1)</sup>)、バス需要の発掘や費用の削減に成功した事例が少なからず存在する。

その一つとして、広域バス路線を開設し、それを維持する取り組みがある。広域バス路線は複数の自治体をまたぐバス路線であり、各自治体の路線を集約することなどにより、人件費や車両費などのバスの運行に係わる費用を削減できるという利点がある。財政が逼迫している自治体にとってこの利点は非常に大きな意味をもつ。

広域バスを導入している地域には、28の市町村が関与している青森県津軽地域<sup>2)</sup>、鳥根県の能義地域、

群馬県の多野藤岡地域などがある。これらの地域では、広域バスの運行によって生じる赤字の総額もしくはその一部を自治体が共同で補助することでバス交通を維持している。つまり、バス事業に拠出する補助金を自治体が共同で負担している。広域バスはその他の地域でも導入の機運が高まっており、今後導入する地域が増加すると考えられる。

共同での補助を実現するためには、そこに関与する全ての自治体が各々に課せられる補助金の負担に合意する必要がある。実際の多くの場合には、走行キロ比に基づく補助金負担方式を適用し、自治体間の利害調整や合意の形成をとりわけ取り上げることなく負担を決定してきた。しかし、その方式やそれに替わる方式が自治体の間での合意形成の観点から有効であるかについての検討がこれまでになされていない。実際、岐阜県の大垣市を起点とするバス路線では、どの方式を用いるかで自治体間の利害が対立しているなど、負担方式の妥当性の検証が社会の要請となっている。そこで本研究では、走行キロ比に基づく補助金負担方式およびそれに代替しうる方式が自治体間の合意形成の観点から有効であるかについて協力ゲーム理論を用いて検討する。

## 2. 想定する場面とモデル

### (1) 既往の研究

路線バス事業に関するこれまでの研究としては、規制緩和やバス事業者の競争の観点から最適な運営方策を議論したものが多く見られる。例えば、最適

な運賃やバスサービスの頻度を検討した Kocur and Hendrickson<sup>3)</sup>や Jansson<sup>4)</sup>, 1985 年のイギリスでの規制緩和を契機に Glaister<sup>5)</sup>, James<sup>6)</sup>, Yang and Kin<sup>7)</sup>など知見が蓄積されてきた。その一方で、中山間地域における路線バスの維持方策についての検討は、路線バスに関する補助金政策を評価した小林ら<sup>8)</sup>の研究や、生活交通の利便性の評価モデルを構築した渡邊ら<sup>9)</sup>の研究などがある。しかし、広域バス路線への自治体による補助金の負担を扱った研究は文献<sup>10)</sup>に見られるものの、そのアプローチの妥当性については次節に述べる観点で疑問が残る。

本研究では、広域バス路線に複数の自治体が共同で補助を行う場面に着目し、その際に問題となる自治体間の補助金負担に関する合意形成に焦点を当てて検討する。関与主体間での合意形成の観点から共同事業における費用の配分方法の有効性に関する知見はゲーム理論を援用した研究において多くの蓄積があり、水資源開発事業を対象とした岡田・谷本<sup>11)</sup>、谷本・岡田<sup>12)</sup>の研究などがある。本研究においても、これらの研究におけるアプローチに倣うこととする。ただし、バスサービスの補助金負担においては、費用のみならず利用者の利便性を明示する必要があり、また1章で述べたようにバスサービスにおいては走行キロ比という伝統的な負担方式が用いられてきており、明確な理由は定かではないもののその背景には負担を算出するためのデータの利用可能性などの制約が存在すると思われ、既往の研究において検討されてきた費用配分方式をそのままバスサービスに適用すればよいということではない。以上の問題意識のもとで、関係自治体間での合意形成の観点から補助金負担方式に関する有効性を検討する。

## (2) 補助金負担を巡るゲーム的狀況

これまでに筆者らは、上述の青森県や島根県などの広域バス事業に携わっている関係者へのインタビューを行い、補助金負担の実際の場面における利害対立の様相を調査してきた。それらの多くの事例における共通点は、広域バスの導入に至った経緯は何であれ、導入の検討においてはどの自治体も全ての自治体による共同での補助そのものについての反対はなく、共同での補助の協議の場から離脱するという動きも見られないという点である。つまり、全ての自治体による補助を暗黙の前提とした上で公平な補助金の負担に争点があった。

その最も大きな理由としては、共同での補助から離脱し単独で補助を行うことは、逼迫した財政事情にあるどの自治体にとってもメリットがなく、そのことが全ての自治体にとって共通の認識であるため

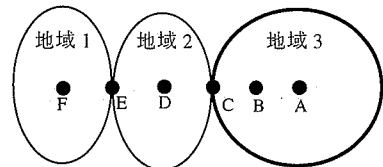


図-1 地域モデル

である。よって、全ての市町村での協議において単独で実施した場合の補助額を主張したとしても、それはあくまで共同での補助を実施する上で自身に求められる負担額を小さくするための主張であり、単独で補助を行うということを表明しているものではない。以上のように、自治体間で協議を行うことができ、少なくとも暗黙には全ての自治体による共同での補助が拘束的な合意であることから、そこでの利害対立の場面は協力ゲーム的状況とも言える。

非協力ゲームをベースとした研究<sup>10)</sup>とは異なり、本研究では協力ゲーム理論によって補助金負担にアプローチするのはまさにこの点にある。なお、この状況は必ずしも一般的ではないが、先述のように筆者らが行ったインタビュー調査から、この状況下での地域が少なくとも存在することには疑いがない。

## (3) 地域モデル

図-1に示す三つの地域を考える。地域1と2は中山間地域、地域3は中核都市であり、各々の地域は一つの行政区域、つまり市町村に対応している。地域1, 2の住民は、医療や就学などの様々な目的を達成するために地域3に移動するニーズを持っており、図-1において地域1の住民はAF区間、地域2の住民はAD区間にそのニーズがある。中山間地域の間での交通需要はない。地域3に居住する住民は、地域3内での移動ニーズを持っており、図-1におけるAB区間にニーズがあるが、中山間地域へのニーズはない。図-1のC, E地点は行政区域の境界である。

これらの想定について、若干の補足をしておこう。まず、地域の構成であるが、三つの地域(市町村)が広域バスに関与することは必ずしも一般的ではないが、三主体によるゲームにより問題の本質を保持しつつ議論の見通しが良くなること、三主体以上の地域が存在していたとしてもゲームを階層化することにより三主体のゲームに要約することができるという意味で、図-1に示す地域の構成は大きく一般性を損うものではない。移動ニーズについては、中山間地域の特性を反映したものとなっており、地域3に居住する一部の住民が中山間地域への移動ニーズを持っていたとしても、以後の議論に影響を及ぼし得る程度までに大きな需要はないのが現実的である。

表-1 各提携のもとでのバス路線ネットワークと社会的便益

提携	バス路線ネットワーク	設定する便数	社会的便益
{1}		$N_1(1)$	$CS_1(N_1(1)) + r_1(N_1(1)) - c_1 l_{AF} - c_2 N_1(1) l_{AF}$
{2}		$N_2(2)$	$CS_2(N_2(2)) + r_2(N_2(2)) - c_1 l_{AD} - c_2 N_2(2) l_{AD}$
{3}		$N_3(3)$	$CS_3(N_3(3)) + r_3(N_3(3)) - c_1 l_{AB} - c_2 N_3(3) l_{AB}$
{12}		$N_1(12)$ $N_2(12)$	$CS_1(N_1(12)) + CS_2(N_1(12) + N_2(12))$ $+ r_1(N_1(12)) + r_2(N_1(12) + N_2(12))$ $- c_1 l_{AF} - c_2 [N_1(12) l_{AF} + N_2(12) l_{AD}]$
{13}		$N_1(13)$ $N_3(13)$	$CS_1(N_1(13)) + CS_3(N_1(13) + N_3(13))$ $+ r_1(N_1(13)) + r_3(N_1(13) + N_3(13))$ $- c_1 l_{AF} - c_2 [N_1(13) l_{AF} + N_3(13) l_{AB}]$
{23}		$N_2(23)$ $N_3(23)$	$CS_2(N_2(23)) + CS_3(N_2(23) + N_3(23))$ $+ r_2(N_2(23)) + r_3(N_2(23) + N_3(23))$ $- c_1 l_{AD} - c_2 [N_2(23) l_{AD} + N_3(23) l_{AB}]$
{123}		$N_1(123)$ $N_2(123)$ $N_3(123)$	$CS_1(N_1(123)) + CS_2(N_1(123) + N_2(123))$ $+ CS_3(N_1(123) + N_2(123) + N_3(123)) + r_1(N_1(123))$ $+ r_2(N_1(123) + N_2(123)) + r_3(N_1(123) + N_2(123) + N_3(123))$ $- c_1 l_{AF} - c_2 [N_1(123) l_{AF} + N_2(123) l_{AD} + N_3(123) l_{AB}]$

以下では、図-1に示す三つの地域が広域バスの開設を検討している場面に着目する。

地域の集合を  $K$ 、任意の地域を  $k$  ( $k \in K$ ) で表す。バス事業者は赤字が補填される限りバスを運行するものとし、バス事業者がバスの運行によって生じる赤字を三つの地域が共同で補助する。バス事業者が運行するバスの便数は地域が指定するものとする。これは、自治体がバス事業者に運行便数も決めて業務

委託する場面や自治体の要望に沿ってバス事業者がバスを運行する場面に相当する。バスの路線の集合は、図-1に示す AF, AD, AB 区間を結ぶ三つの路線であり、それぞれを路線 AF, AD, AB、もしくは混乱を招かぬ範囲で路線 1, 2, 3 と呼ぶ。先述の移動ニーズの想定のもとでは、BC 区間には地域 3 の住民、DE 区間には地域 2 の住民によるバスの利用はないことに留意を要する。

(4) 広域バスサービスと補助金負担方式

a) バスの運行費用

バスの運行費用は、バスの運行便数に依存しない費用と、依存する費用の二つで構成される。前者の費用はバスの運行便数に依存しないという意味での固定費用であるから、以下では前者を固定費用、後者を可変費用と呼ぶことにする。ここで、営業キロ当たりの固定費用および走行キロ当たりの可変費用をそれぞれ  $c_1(\geq 0)$ 、 $c_2(> 0)$  で表す。任意の  $ij$  区間の距離を  $l_{ij}(\geq 0)$  で表すと、この地点間を一日当たり片道  $N$  便運行するバスの固定費用は  $c_1 l_{ij}$ 、可変費用は  $c_2 N l_{ij}$  で与えられる。

b) 社会的便益

任意の地域は、社会的便益の最大化を目的とする。利用可能な一日当たりのバスが片道  $N$  便である場合における地域  $k$  のバス利用者の消費者余剰（以後、「地域  $k$  の消費者余剰」と言う）を  $CS_k(N)$ 、地域  $k$  の利用者からバス事業者が得る収入を  $r_k(N)$  で表す。利潤は収入と運行費用の差で与えられ、社会的便益は消費者余剰にバス事業者の利潤を加えたもので与えられる。なお、利用者が得るバスサービスの水準を消費者余剰ではなく、別の指標としても、その指標に基づくサービスの水準がバスの便数に依存しているのであれば以後の議論と差異はない。

c) 共同での補助

各地域は他の地域と提携を形成して広域バスを開設し、それに共同で補助することができる。表-1は形成可能な地域間での提携と、各提携の下での広域バスネットワーク、設定することのできる路線の便数および社会的便益の関数を整理したものである。提携  $S (\subseteq K)$  に属する地域がバス事業者に指定する路線  $i$  の一日当たりの便数を  $N_i(S) (\geq 0)$  で表している。各地域は自らが属する提携の社会的便益を最大化することを目的とし、それを達成するようバス事業者にバスの便数を指定する。バスサービスはあくまで当該の地域（もしくはそれらの提携）の社会的便益を確保するために実施するものであり、提携に含まれない他の地域の住民にサービスを提供することは考えないものとする。バス事業者の赤字はバスの運行費用から収入を減じたものであり、その全額を提携に属する地域が補助する。

d) バスの運行本数

任意の提携のもとで、各地域は提携の社会的便益を最大になるように、その提携内で決定できる路線の便数（表-1の第三列目に示されている変数）を設定する。例えば、提携  $S=\{1\}$  の下での路線 AF（路線 1）の便数は内点解を仮定すると次式の  $N_1^*(1)$ （厳密

には  $N_1^*({1})$  であるが、 $N_1^*(1)$  と記す。以後、他の提携についても同様に表記する）で与えられる。

$$N_1^*(1) = \arg \max_{N_1} [CS_1(N_1) + r_1(N_1) - c_1 l_{AF} - c_2 N_1 l_{AF}]$$

$$= \arg \left[ \frac{\partial CS_1(N_1)}{\partial N_1} + \frac{\partial r_1(N_1)}{\partial N_1} - c_2 l_{AF} = 0 \right] \quad (1)$$

つまり、次式の一階条件を満たす  $N_1$  として  $N_1^*(1)$  が得られる。

$$S=\{1\}: CS_1'(N_1) + r_1'(N_1) - c_2 l_{AF} = 0 \quad (2)$$

なお、一般に一日当たりの便数は非負の整数であるが、「平日のみ運行」など一日平均の便数が必ずしも整数とならない運行も可能であるとし、本研究では便数を非負の実数として与える。

以下では、消費者余剰および収入の関数に関して、 $CS_k' \geq 0$ 、 $r_k' \geq 0$ 、 $CS_k'' + r_k'' \leq 0$ 、 $(\forall k \in K)$  を仮定する。同様に、その他の提携についての一階条件を次式のように得る。

$$S=\{2\}: CS_2' + r_2' - c_2 l_{AD} = 0 \quad (3)$$

$$S=\{3\}: CS_3' + r_3' - c_2 l_{AB} = 0 \quad (4)$$

$$S=\{12\}: CS_1' + CS_2' + r_1' + r_2' - c_2 l_{AF} = 0 \quad (5)$$

$$CS_2' + r_2' - c_2 l_{AD} = 0 \quad (6)$$

$$S=\{13\}: CS_1' + CS_3' + r_1' + r_3' - c_2 l_{AF} = 0 \quad (7)$$

$$CS_3' + r_3' - c_2 l_{AB} = 0 \quad (8)$$

$$S=\{23\}: CS_2' + CS_3' + r_2' + r_3' - c_2 l_{AD} = 0 \quad (9)$$

$$CS_3' + r_3' - c_2 l_{AB} = 0 \quad (10)$$

$$S=\{123\}: CS_1' + CS_2' + CS_3' + r_1' + r_2' + r_3' - c_2 l_{AF} = 0 \quad (11)$$

$$CS_2' + CS_3' + r_2' + r_3' - c_2 l_{AD} = 0 \quad (12)$$

$$CS_3' + r_3' - c_2 l_{AB} = 0 \quad (13)$$

ただし、二人以上の提携においては、設定する便数が複数の路線に関してあるため、二人提携については式(5)~(10)、三人提携については式(11)~(13)のように、表-1に示す「設定する便数」に関してそれぞれ微分をとって一階条件を求める必要がある。

式(3)と式(6)より、提携{12}の下での区間 AD において利用可能なバスの便数  $N_1^*(12) + N_2^*(12)$  は、提携{2}の下でのそれ  $N_2^*(2)$  と等しくなることが分かる。すなわち、次式が成り立つ。

$$N_1^*(12) + N_2^*(12) = N_2^*(2) \quad (14)$$

同様に、式(4)、(8)、(10)より次の二式が成り立つ。

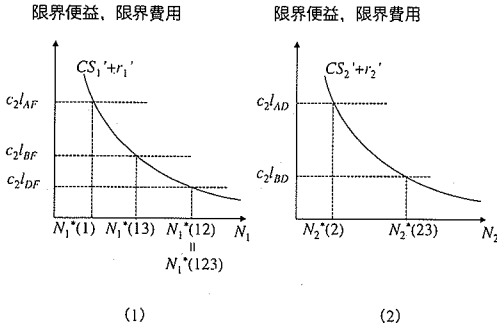


図-2 各提携のもとでのバスの便数

$$N_1^*(13) + N_3^*(13) = N_3^*(3) \quad (15)$$

$$N_2^*(23) + N_3^*(23) = N_3^*(3) \quad (16)$$

式(4)と式(13), 式(9)と式(12)よりそれぞれ次式を得る.

$$N_1^*(123) + N_2^*(123) + N_3^*(123) = N_3^*(3) \quad (17)$$

$$N_1^*(123) + N_2^*(123) = N_2^*(23) \quad (18)$$

ここで, 式(2)~(13)の中から  $N_1(S) (\forall S \subseteq K, 1 \in S)$  に関して微分をとることで得られた全ての一階条件を抽出し, それらの条件を図示すると, 図-2(1)のようになる. 同様にして,  $N_2(S) (\forall S \subseteq K, 2 \in S)$  についても図-2(2)を得る.

図-2 より次式が成立することが分かる.

$$N_1^*(1) \leq N_1^*(13) \leq N_1^*(12) = N_1^*(123) \quad (19)$$

$$N_2^*(2) \leq N_2^*(23) \quad (20)$$

この図より,  $N_1^*(123)$  は次式の最大化問題の解と等価であることが分かる.

$$\max_N [CS_1(N) + r_1(N) - c_2 N l_{DF}] \quad (21)$$

同様に,  $N_2^*(23) = N_1^*(123) + N_2^*(123)$  は次式の最大化問題の解と等価であることが分かる.

$$\max_N [CS_2(N) + r_2(N) - c_2 N l_{BD}] \quad (22)$$

以後, 表記の便宜上  $N_i^*(123)$  を  $N_i^{**}$  と表し,  $CS_1(N_1^{**})$  を  $CS_1^{**}$ ,  $CS_2(N_1^{**} + N_2^{**})$  を  $CS_2^{**}$ ,  $CS_3(N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**})$  を  $CS_3^{**}$  と表す. 収入  $r_k (k \in K)$  についても同様に表記する.

### e) 補助金負担方式

実際のバス事業においては様々の補助金負担方式が利用されており, 中でも行政区域内の走行キロ比に基づいた負担方式を用いている例が多く見られる. そこで, 以下ではその負担方式を基準的な方式とし, その有効性を検討しつつその他の方式についても触れていく.

走行キロ比に基づく方式を用いた場合, バスの運行費用を行政区域内の走行キロ比で各地域に案分し, そこから各地域の利用者が支払った運賃を差し引くことで各々の負担を決定すると考える. 例えば, 上述の地域モデルにおいて路線 AF, AD, AB のバスの便数がそれぞれ  $N_1^{**}$ ,  $N_2^{**}$ ,  $N_3^{**}$  であるときの地域 1, 2, 3 の負担割合は, バスの運行費用を  $N_1^{**} l_{EF}$ :  $N_1^{**} l_{CE} + N_2^{**} l_{CD}$ :  $(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AC} + N_3^{**} l_{AB}$  の比で案分した上で, そこから各地域の利用者に帰するバス事業者の収入,  $r_1^{**}$ ,  $r_2^{**}$ ,  $r_3^{**}$  をそれぞれ差し引く. つまり, 各地域の負担額は次式で与えられる.

$$x_1 = \alpha_1 c_1 l_{AF} + c_2 N_1^{**} l_{EF} - r_1^{**}$$

$$x_2 = \alpha_2 c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{CE} + N_2^{**} l_{CD}] - r_2^{**}$$

$$x_3 = \alpha_3 c_1 l_{AF} + c_2 [(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AC} + N_3^{**} l_{AB}] - r_3^{**} \quad (23)$$

ここに,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  は次式で与えられる係数である.

$$\alpha_1 = \frac{N_1^{**} l_{EF}}{N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}}$$

$$\alpha_2 = \frac{N_1^{**} l_{CE} + N_2^{**} l_{CD}}{N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}}$$

$$\alpha_3 = \frac{(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AC} + N_3^{**} l_{AB}}{N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}} \quad (24)$$

一方で, バスの運行費用から三つの地域の利用者が支払った全運賃を差し引いてバス事業の全体の赤字額を一旦求め, その赤字額を走行キロ比で案分することも考えられる. しかし, この方法では付録に示すように各地域に帰すべき収入の額が歪み, 地域間の合意形成を図る上で混乱を生じさせる. 各地域の利用者が支払う運賃は乗降実態調査により可能であることから, 本研究では上記のようにバス事業全体の赤字額を一旦求めてからそれを案分する方法を敢えて用いる理由はないとし, その方法を検討の対象としない.

### 3. 補助金負担のゲーム論的考察

#### (1) 公正配分概念

式(2)~(13)によって求められる  $N_i^*(S)$  をバス事業者に指定し、バスの運行によって提携  $S$  が獲得する社会的便益を  $v(S)$  と表す。例えば、 $v(\{1\})$  (厳密には、 $v(\{1\})$  であるが、表記の簡単のため  $v(1)$  と表す。他の提携についても同様の表記による) は次式で定義される。

$$v(1) = CS_1(N_1^*(1)) + r_1(N_1^*(1)) - c_1 l_{AF} - c_2 N_1^*(1) l_{AF} \quad (25)$$

$v(S)$  は、協力ゲーム理論における特性関数 (characteristic function) である。特性関数で定義されるゲーム (以後、「補助金負担ゲーム」と呼ぶ) に関して、以下に示す命題が導かれる。

命題1: 補助金負担ゲームには優加法性が成立する。なお、優加法性は次式で定義される。

$$v(S) + v(T) \leq v(S \cup T) \quad (\forall S, T \subset K; S \cap T = \emptyset) \quad (26)$$

証明:  $S = \{1\}$ ,  $T = \{2\}$  について証明する。 $v(12)$  の定義より次式が成り立つ。

$$v(12) \geq CS_1(N_1^*(1)) + CS_2(N_1^*(1) + N_2^*(2)) + r_1(N_1^*(1)) + r_2(N_1^*(1) + N_2^*(2)) - c_1 l_{AF} - c_2 [N_1^*(1) l_{AF} + N_2^*(2) l_{AD}] \quad (27)$$

右辺に関して、 $CS'_i \geq 0$  より次式が成立する。

$$\begin{aligned} & CS_1(N_1^*(1)) + CS_2(N_1^*(1) + N_2^*(2)) + r_1(N_1^*(1)) \\ & + r_2(N_1^*(1) + N_2^*(2)) - c_1 l_{AF} - c_2 [N_1^*(1) l_{AF} + N_2^*(2) l_{AD}] \\ & \geq CS_1(N_1^*(1)) + CS_2(N_2^*(2)) + r_1(N_1^*(1)) \\ & + r_2(N_2^*(2)) - c_1 l_{AF} - c_2 [N_1^*(1) l_{AF} + N_2^*(2) l_{AD}] \\ & = v(1) + v(2) + c_1 l_{AF} \geq v(1) + v(2) \end{aligned} \quad (28)$$

式(27), (28)より  $v(12) \geq v(1) + v(2)$  が成立する。他の任意の提携  $S, T$  に対しても同様の証明が可能である。なお、 $S \cup T = \{123\}$  の場合は、 $S = \{1\}, \{2\}, \{3\}$  ( $T = K \setminus S$ ) の3ケースについて式(26)の成立を確認する必要があることに留意を要する。【証明終】

優加法性は、より大きな提携を形成することでより多くの社会的便益を得ることができることを表している。この条件の成立下では全ての地域から構成される提携 (これを「全提携」と呼ぶ) が他のどの提携のパターンよりも多くの (地域全体の) 社会的便益を得るという意味で効率的な提携である。

優加法性は全提携が成立するための必要条件である。この性質が満たされていることが、広域バスの補助金負担の問題を協力ゲーム論的にアプローチする妥当性の一つの根拠である。

協力ゲーム理論では、いくつかの公正配分概念が提案されている。その詳細については、鈴木<sup>13)</sup>などを参照されたい。最も基本的な概念として、コア (core)<sup>14)</sup>がある。コアは、全ての地域が全提携に参加するための動機を保証する補助金負担額の集合である。任意の地域が全提携の下で得る社会的余剰のベクトルを  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{|K|})$  ( $|K|$ は提携  $K$  に属する主体の数を表す) で表すと、次式を満たす  $Y$  の集合がコアの定義である。

$$\begin{aligned} \sum_{k \in S} y_k & \geq v(S) \quad (\forall S \subset K) \\ \sum_{k \in K} y_k & = v(K) \end{aligned} \quad (29)$$

式(29)の第1式は、コアに含まれる社会的便益のベクトル  $Y$  は任意の提携の下で得られるそれよりも大きいことを、第2式は全提携において獲得できる社会的便益は全ての地域に配分されることを表している。コアが非空であれば、全提携に参加する動機を確保するという意味での最低限の公平性を備えた補助金負担が存在する。つまり、コアが非空であることは全提携が成立するための十分条件である。よって、コアを満たす負担額は自治体間の合意形成の観点から有効であると言えることができる。

命題2: 補助金負担ゲームのコアは非空である。

証明: 式(29)を整理すると、三人ゲームにおいてコアが非空であるための条件は、特性関数に次式が成立している場合である。

$$v(1) + v(23) \leq v(123) \quad (30)$$

$$v(2) + v(13) \leq v(123) \quad (31)$$

$$v(3) + v(12) \leq v(123) \quad (32)$$

$$v(1) + v(2) + v(3) \leq v(123) \quad (33)$$

$$v(12) + v(13) + v(23) \leq 2v(123) \quad (34)$$

補助金負担ゲームは優加法的であることから、式(30)~(32)は直ちに、式(33)は  $v(1) + v(2) + v(3) \leq v(12) + v(13) \leq v(123)$  により成立することが分かる。よって、式(34)が成り立てばコアは非空である。これについて以下に検討する。 $v(123)$  は次式を  $N_1, N_2, N_3$  に関して最大化したものである。

$$CS_1(N_1)+CS_2(N_1+N_2)+CS_3(N_1+N_2+N_3)+r_1(N_1)+r_2(N_1+N_2)+r_3(N_1+N_2+N_3)-c_1l_{AF}-c_2[N_1l_{AF}+N_2l_{AD}+N_3l_{AB}] \quad (35)$$

この式は次式と同等である。

$$CS_1(M_1)+CS_2(M_2)+CS_3(M_3)+r_1(M_1)+r_2(M_2)+r_3(M_3)-c_1l_{AF}-c_2[M_1l_{AF}+(M_2-M_1)l_{AD}+(M_3-M_2)l_{AB}] \quad (36)$$

ただし、 $0 \leq M_1 \leq M_2 \leq M_3$  である。 $v(123)$ の定義より次式を得る。

$$\begin{aligned} v(123) \geq & CS_1(N_1^*(12))+CS_2(N_1^*(12)+N_2^*(12)) \\ & +CS_3(N_1^*(13)+N_3^*(13))+r_1(N_1^*(12))+r_2(N_1^*(12)+N_2^*(12)) \\ & +r_3(N_1^*(13)+N_3^*(13))-c_1l_{AF}-c_2[N_1^*(12)l_{AF}+N_2^*(12)l_{AD} \\ & +N_1^*(13)+N_3^*(13)-N_1^*(12)-N_2^*(12)l_{AB}] \quad (37) \end{aligned}$$

ここで式(14)~(20)より次式が成立することから、式(36)に関する $0 \leq M_1 \leq M_2 \leq M_3$ の関係が上式の右辺において満たされている。

$$\begin{aligned} N_1^*(12) \leq & N_1^*(12)+N_2^*(12)=N_2^*(2) \leq N_2^*(23)=N_1^{**}+N_2^{**} \\ \leq & N_1^{**}+N_2^{**}+N_3^{**}=N_3^*(3)=N_1^*(13)+N_3^*(13) \quad (38) \end{aligned}$$

同様に、 $v(123)$ の定義より次式を得る。

$$\begin{aligned} v(123) \geq & CS_1(N_1^*(13))+CS_2(N_2^*(23)) \\ & +CS_3(N_2^*(23)+N_3^*(23))+r_1(N_1^*(13))+r_2(N_2^*(23)) \\ & +r_3(N_2^*(23)+N_3^*(23))-c_1l_{AF} \\ & -c_2[N_1^*(13)l_{AF}+(N_2^*(23)-N_1^*(13))l_{AD}+N_3^*(23)l_{AB}] \quad (39) \end{aligned}$$

式(38)と同様に、次式が満たされることから、式(36)に関する $0 \leq M_1 \leq M_2 \leq M_3$ の関係は上式の右辺において成立している。

$$\begin{aligned} N_1^*(13) \leq & N_1^{**} \leq N_1^{**}+N_2^{**} \\ = & N_2^*(23) \leq N_2^*(23)+N_3^*(23) \quad (40) \end{aligned}$$

式(37)と式(39)の両辺の和をとると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} 2v(123) \geq & v(12)+v(13)+v(23)+c_1l_{AD} \\ & +c_2[N_1^*(13)l_{BD}+N_1^*(12)l_{AB}+N_2^*(12)l_{AB}] \\ \geq & v(12)+v(13)+v(23) \quad (41) \end{aligned}$$

よってコアは非空である。【証明終】

以上より、補助金負担ゲームにおいては最低限の公平性を備えた負担額の存在が証明された。よって、

以後に集中すべき問題は、どの補助金負担方式がコアを満たすかである。

## (2) 補助金負担方式のコア充足性

補助金負担ゲームにおけるコアの条件を整理すると、以下の7つの式が導出される。

$$\begin{aligned} CS_1^{**} - x_1 & \geq v(1) \\ CS_2^{**} - x_2 & \geq v(2) \\ CS_3^{**} - x_3 & \geq v(3) \\ CS_1^{**} + CS_2^{**} - x_1 - x_2 & \geq v(12) \\ CS_1^{**} + CS_3^{**} - x_1 - x_3 & \geq v(13) \\ CS_2^{**} + CS_3^{**} - x_2 - x_3 & \geq v(23) \\ CS_1^{**} + CS_2^{**} + CS_3^{**} - x_1 - x_2 - x_3 & = v(123) \quad (42) \end{aligned}$$

式(42)は上から順に、式(28)において提携 $S$ を{1}、{2}、{3}、{12}、{13}、{23}とした場合のコアの条件であり、最下部の式は式(29)の第2式である。以後、それら個々の式を「提携 $S$ に関する条件」と呼ぶことにする。例えば最上部の式は「提携{1}に関する条件」である。ここで、各地域の負担額を次式のように表す。

$$x_k = \delta_k - r_k^{**}, (k \in K) \quad (43)$$

式(23)に示した走行キロ比に基づく補助金負担方式は次式が成立する場合に該当する。

$$\begin{aligned} \delta_1 & = \alpha_1 c_1 l_{AF} + c_2 N_1^{**} l_{EF} \\ \delta_2 & = \alpha_2 c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{CE} + N_2^{**} l_{CD}] \\ \delta_3 & = \alpha_3 c_1 l_{AF} + c_2 [(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AC} + N_3^{**} l_{AB}] \quad (44) \end{aligned}$$

式(43)を式(42)に代入することで、各提携に関する条件をそれぞれ次式のように整理することができる。

$$\begin{aligned} \delta_1 & \leq CS_1^{**} + r_1^{**} - v(1) \\ \delta_2 & \leq CS_2^{**} + r_2^{**} - v(2) \\ \delta_3 & \leq CS_3^{**} + r_3^{**} - v(3) \\ \delta_1 + \delta_2 & \leq CS_1^{**} + CS_2^{**} + r_1^{**} + r_2^{**} - v(12) \\ \delta_1 + \delta_3 & \leq CS_1^{**} + CS_3^{**} + r_1^{**} + r_3^{**} - v(13) \\ \delta_2 + \delta_3 & \leq CS_2^{**} + CS_3^{**} + r_2^{**} + r_3^{**} - v(23) \\ \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 & = c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}] \quad (45) \end{aligned}$$

なお、式(45)の第7式は式(42)の第7式に式(43)を代入し、 $v(123)$ の定義を用いて $CS_k^{**}$ 、 $r_k^{**}$ を消去することで得られる。式(45)に $v(S)$ の値を代入すると、コアの条件は次式のように再整理される。

表-2 走行キロ比に基づく負担方式のもとでの  
各提携に関する条件の成立要件

提携	条件
{1}	無条件で成立
{2}	$c_1=0, l_{DE}=0$ が十分条件
{3}	$c_1=0, l_{BC}=0$ が必要十分条件
{12}	無条件で成立
{13}	$l_{BC}=0$ が十分条件
{23}	$c_1=0, l_{BC}=0$ が必要十分条件

$$\begin{aligned}
 \delta_1 &\leq \Pi_1 + c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{DF} + N_1^*(1) l_{AD}] \\
 \delta_2 &\leq \Pi_2 + c_1 l_{AD} + c_2 [(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{BD} + N_2^*(2) l_{AB}] \\
 \delta_3 &\leq c_1 l_{AB} + c_2 (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB} \\
 \delta_1 + \delta_2 &\leq \Pi_{12} + c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{BD} + N_2^*(12) l_{AB}] \\
 \delta_1 + \delta_3 &\leq \Pi_{13} + c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} (l_{AB} + l_{DF}) + N_2^{**} l_{AB} + N_3^{**} l_{AB} + \\
 &N_1^*(13) l_{BD}] \\
 \delta_2 + \delta_3 &\leq c_1 l_{AD} + c_2 [(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}] \quad (46)
 \end{aligned}$$

ここに、

$$\begin{aligned}
 \Pi_1 &= [CS_1^{**} + r_1^{**} - c_2 N_1^{**} l_{DF}] \\
 &\quad - [CS_1(N_1^*(1)) + r_1(N_1^*(1)) - c_2 N_1^*(1) l_{DF}] \\
 \Pi_2 &= [CS_2^{**} + r_2^{**} - c_2 (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{BD}] \\
 &\quad - [CS_2(N_2^*(2)) + r_2(N_2^*(2)) - c_2 N_2^*(2) l_{BD}] \\
 \Pi_{12} &= [CS_2^{**} + r_2^{**} - c_2 (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{BD}] \\
 &\quad - [CS_2(N_1^*(12) + N_2^*(12)) + r_2(N_1^*(12) + N_2^*(12)) \\
 &\quad - c_2 (N_1^*(12) + N_2^*(12)) l_{BD}] \\
 \Pi_{13} &= [CS_1^{**} + r_1^{**} - c_2 N_1^{**} l_{DF}] \\
 &\quad - [CS_1(N_1^*(13)) + r_1(N_1^*(13)) - c_2 N_1^*(13) l_{DF}] \quad (47)
 \end{aligned}$$

であり、式(21)、(22)よりいずれも非負である。よって、これらの式よりコアの十分条件を以下のように導出することができる。

$$\begin{aligned}
 \delta_1 &\leq c_1 l_{AF} + c_2 N_1^{**} l_{DF} \\
 \delta_2 &\leq c_1 l_{AD} + c_2 (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{BD} \\
 \delta_3 &\leq c_1 l_{AB} + c_2 (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB} \\
 \delta_1 + \delta_2 &\leq c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{BD}] \\
 \delta_1 + \delta_3 &\leq c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} (l_{AB} + l_{DF}) + N_2^{**} l_{AB} + N_3^{**} l_{AB}] \\
 \delta_2 + \delta_3 &\leq c_1 l_{AD} + c_2 [(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}] \quad (48)
 \end{aligned}$$

また、表-1 に示す  $N_i(S)$  に  $N_i^{**}$  を代入して各提携の社会的便益を求めると、 $v(S)$  の定義より、その値は  $v(S)$  よりも小さい。例えば、提携{1}に関しては、 $v(1) \geq CS_1^{**} + r_1^{**} + c_1 l_{AF} - c_2 N_1^{**} l_{AF}$  が成立する。他の提携についても同様の不等式を得ることができ、 $v(S)$  の下限値を得る。 $v(S)$  の下限値を式(45)に代入することで、

コアの必要条件を以下のように得ることができる。

$$\begin{aligned}
 \delta_1 &\leq c_1 l_{AF} + c_2 N_1^{**} l_{AF} \\
 \delta_2 &\leq c_1 l_{AD} + c_2 (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AD} \\
 \delta_3 &\leq c_1 l_{AB} + c_2 (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB} \\
 \delta_1 + \delta_2 &\leq c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD}] \\
 \delta_1 + \delta_3 &\leq c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AB} + N_3^{**} l_{AB}] \\
 \delta_2 + \delta_3 &\leq c_1 l_{AD} + c_2 [(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}] \quad (49)
 \end{aligned}$$

以上より、負担方式が式(48)を満たしていれば、コアを十分充足しているという意味で合意形成の観点から有効な方式であり、逆に、合意形成の観点から有効な方式であるためには、少なくとも式(49)を満たしていなくてはならない。これらの結果に基づき、走行キロ比に基づく補助金負担方式のもとでの  $\delta_k$ 、つまり式(44)を式(48)、(49)に代入することにより、各提携に関する条件の成立が検討できる。走行キロ比に基づく補助金負担方式がコアを充足するための条件は表-2 のように整理できる。この結果より、任意の提携に関する条件は BC、DE 区間、つまり、各地域に利用者が居住しない区間がなく、かつ固定費用がない場合に成立することが分かる。つまり、受益先と負担先とが乖離する区間および固定費用の有無が、各提携に関する条件の成立に影響を及ぼす。

各提携の条件の成立可能性について考察する。地域1が含まれる提携{1}、{12}については無条件に条件が満たされ、提携{13}についても  $l_{BC}=0$  が成立しなくても条件が満たされうるという意味で比較的広い範囲で条件が成立する。一方、地域3が含まれる提携に関して{13}以外については、 $c_1=0, l_{BC}=0$  が必要十分条件となっており、強い条件が課されている。このように、中核都市である地域3が含まれる提携に関する条件の成立には強い条件が課されていることから、走行キロ比に基づく補助金負担方式は中核都市にとって受容性の低い方式である。

### (3) 補助金負担方式の修正

受益先と負担先とが乖離する区間を解消し、それらを一致するよう走行キロ比に基づく補助金負担方式を修正する。具体的には、各路線のバスの便数がそれぞれ  $N_1^{**}, N_2^{**}, N_3^{**}$  であるときの地域1, 2, 3のバスの運行費用の案分比率を  $N_1^{**} l_{DF} : (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{BD} : (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB}$  とする。すなわち、 $\delta_i$  を次式のように与える。

$$\begin{aligned}
 \delta_1 &= \beta_1 c_1 l_{AF} + c_2 N_1^{**} l_{DF} \\
 \delta_2 &= \beta_2 c_1 l_{AF} + c_2 (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{BD} \\
 \delta_3 &= \beta_3 c_1 l_{AF} + c_2 (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB} \quad (50)
 \end{aligned}$$



表-3 修正走行キロ比に基づく負担方式のもとでの  
各提携に関する条件の成立要件

提携	条件
{1}	無条件で成立
{2}	$c_1=0$ が十分条件
{3}	$c_1=0$ が必要十分条件
{12}	無条件で成立
{13}	無条件で成立
{23}	$c_1=0$ が必要十分条件

ここに $\beta_k$  ( $k=1,2,3$ )は次式で与えられる係数である。

$$\beta_1 = \frac{N_1^{**} l_{DF}}{N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}}$$

$$\beta_2 = \frac{(N_1^{**} + N_2^{**}) l_{BD}}{N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}}$$

$$\beta_3 = \frac{(N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB}}{N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}} \quad (51)$$

以上のように修正した負担方式(以後、「修正走行キロ比に基づく補助金負担方式」と呼ぶ)について前節と同様の検討により、表-3を得る。BC、DE区間の距離に関する条件が全て消失し、固定費用に関する条件のみとなった。以上より、固定費用が無視しうほど小さい場合には、修正走行キロ比に基づく補助金負担方式は有効な方式である。しかしながら、地域3が含まれる提携{3}、{23}の条件については、その成立には固定費用がないことが必要十分であるという条件が依然として課されている。

#### (4) コアを充足する補助金負担方式の検討

前節の検討結果より、固定費用が無視しうほど小さくない場合には、表-3に示すコアの条件が「無条件で成立」する提携、具体的には地域1が含まれる提携{1}、{12}、{13}の負担が修正走行キロ比に基づく負担方式より大きく、そうでない提携の負担が小さい負担方式があれば、全ての提携に関する条件が満たされ、コアが充足されると考えられる。しかしながら、表-3に示すコアの条件が「無条件で成立」する提携の負担をやみくもに増やすと、それらの提携に関する条件が満たされなくなる可能性がある。よって、少なくとも式(49)に示すコアの必要条件を満たす範囲で負担の調整を検討する必要がある。

そこで、修正走行キロ比に基づく負担方式に比べ

て提携{1}、{12}、{13}の全てに含まれる地域1の負担を大きくする方式として、バスの運行費用の案分比率 $N_1^{**} l_{AF} : N_2^{**} l_{AD} : N_3^{**} l_{AB}$ に基づく方式を考えよう。これは、起点(ただし、地点Aを起点とする)からの距離を基準に走行キロを計算し、終点に位置する地域がその走行キロに比して負担を負う方式である。このもとでの $\delta_k$ は次式のようになる。

$$\delta_1 = \gamma_1 c_1 l_{AF} + c_2 N_1^{**} l_{AF}$$

$$\delta_2 = \gamma_2 c_1 l_{AF} + c_2 N_2^{**} l_{AD}$$

$$\delta_3 = \gamma_3 c_1 l_{AF} + c_2 N_3^{**} l_{AB} \quad (52)$$

ここで、 $\gamma_k$ は式(51)の $\beta_k$ の分子を $k=1,2,3$ の順にそれぞれ $N_1^{**} l_{AF}$ 、 $N_2^{**} l_{AD}$ 、 $N_3^{**} l_{AB}$ に置換したものである。この比率に基づく負担方式を「起点バス路線走行キロ比に基づく補助金負担方式」と呼ぶことにする。

ここで、提携{1}に関する必要条件、すなわち式(49)の第一式に着目する。起点バス路線走行キロ比に基づく負担方式がコアを満たすには、提携{1}の負担額が大きくなってとしてもこの式の成立が必要である。式(52)の第一式は式(49)の第一式を満たすことが容易に示される。しかし、あくまで必要条件を満たすのみであり、十分である保証はない。十分でない場合は、起点バス路線走行キロ比に基づく補助金負担方式よりも地域1の負担比率が小さいことが望ましい。つまり、起点バス路線走行キロ比に基づく補助金負担方式よりも地域1の負担比率が大きく、修正走行キロ比に基づく負担方式よりも地域1のそれが小さくなるような負担方式が有効であると考えられる。

そこで、バスの運行費用の案分比率を $N_1^{**} l_{AF} : (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AD} : (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB}$ とした場合を考えよう。これは、バスの便数を修正走行キロ比に基づく負担方式、距離を起点バス路線走行キロ比に基づく負担方式から取り出し、それらに乗じることで得られる。各地域の案分比率は、その地域の住民が利用可能なバスの便数にそのバスの走行距離を乗じたものであることから、その負担方式を「利用可能バス走行キロ比に基づく補助金負担方式」と呼ぶことにする。ここで、地域 $k$ の一人当たりの利用者を $\rho_k$ で表すと、 $\rho_1 N_1^{**}$ 、 $\rho_2 (N_1^{**} + N_2^{**})$ 、 $\rho_3 (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**})$ はそれぞれ地域1,2,3のバス利用者数である。よって、 $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 (= \rho)$ が成立する場合、 $N_1^{**} l_{AF} : (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AD} : (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB}$ は $\rho N_1^{**} l_{AF} : \rho (N_1^{**} + N_2^{**}) l_{AD} : \rho (N_1^{**} + N_2^{**} + N_3^{**}) l_{AB}$ と等しい。すなわち、この案分比率に基づく負担方式は、「人キロ比に基づく補助金負担方式」と一致する。 $\rho_1 \leq \rho_2 \leq \rho_3$ が成立する場合には人キロ比に基づく負担方式と比べて地域3,2,1の順

に傾斜した負担が、 $p_1 \geq p_2 \geq p_3$  が成立する場合にはその逆の順に傾斜した負担がそれぞれの地域に課されることになる。利用可能バス走行キロ比および人キロ比に基づく負担方式がコアを充足する条件は複雑であり、コアを常に充足する保証はない。

#### 4. 数値分析

前章において、走行キロ比に基づく補助金負担方式に替るいくつかの負担方式を示した。しかしながら、利用可能バス走行キロ比および人キロ比に基づく負担方式は、コアの充足性に関して解析的な検討が困難であることから、これらがコアを満たす場合があるのかについては必ずしも自明ではなかった。そこで、この点に関して以下では数値例を用いて検討する。

以下の検討において与える数値としては、実際の地域やバス事業におけるデータに基づくことが理想的ではあるが、ここではコアの充足可能性を確認することが目的であることから、それにこだわる必要は必ずしもない。よって、以下の数値例において当該の方式がコアを充足したとしても、それはあくまで「その方式がコアを充足しないことはない」ことを示しているに過ぎず、実際の適用においてはコアの充足性をそのつど確認する必要がある。換言すれば、以下において当該の方式がコアを充足する数値例が見出せたならば、その方式はコアを充足する方式の一つの候補として積極的に検討の対象とする価値があることを示している。

利用可能なバスが一日当たり  $N$  便であるときの地域  $k$  の利用者の一般化費用  $g_k(N)$  を次式で与える。

$$g_k(N) = pl_{Aj} + 2w \frac{l_{Aj}}{s} + (\delta - \theta \ln N) \quad (53)$$

$$j = \begin{cases} F(k=1) \\ D(k=2) \\ B(k=3) \end{cases}$$

- $p$ : キロ当りの往復バス料金 (円/キロ)
- $w$ : 時間価値 (円/時間)
- $s$ : バスの表定速度 (km/時間)
- $\delta - \theta \ln N$ : バスが  $N$  便のときの調整費用 (円)
- $\delta, \theta$ : パラメーター

利用可能なバスが  $N$  便のときの地域  $k$  の需要曲線を次式で与える。ここに  $q_k^0$ ,  $\omega$  は非負のパラメーターである。

$$q_k = q_k^0 \exp[-\omega g_k(N)] \quad (54)$$

すると、地域  $k$  の消費者余剰は次式のように求められる。

$$CS_k = \int_{q_k}^{\infty} q_k^0 \exp[-\omega x] dx = \frac{q_k}{\omega} \quad (55)$$

地域  $k$  の住民から得るバス事業者の収入は次式で与えられる。

$$r_k = q_k pl_{Aj} \quad j = \begin{cases} F(k=1) \\ D(k=2) \\ B(k=3) \end{cases} \quad (56)$$

二階条件  $CS_k + r_k < 0$  の必要十分条件として  $1 - \omega \theta > 0$  を得る。式(1)~(13)に基づき、各提携のもとでの便数を導出することができる。例えば、提携(1)のもとでのそれは次式のように求めることができる。

$$N_1^*(1) = \left[ \frac{(1 + \omega pl_{AF}) q_1^0 \theta}{c_2 l_{AF}} \exp[-\omega (pl_{AF} + w \frac{l_{AF}}{s})] \right]^{-\frac{1}{1-\omega \theta}} \quad (57)$$

他の提携についても同様にバスの便数を導くことができる。各パラメーターの数値として以下を想定する。

$p = 80$ (円/キロ)	$c_1 = 40$ (円/キロ)
$s = 50$ (km/h)	$c_2 = 860$ (円/キロ)
$w = 600$ (円/h)	$q_1^0 = 49.0$ (人)
$\delta = 3,000$ (円)	$q_2^0 = 37.5$ (人)
$\theta = 984$ (円)	$q_3^0 = 98.0$ (人)
	$\omega = 0.000112$

また、各区間の距離として表-4 に示す二つのケースを想定する。Case 1 と Case 2 を比べると、AB 区間長に対する AD, AF 区間長の比が後者について大きくなっている。すると、各提携のもとでのバスの便数および特性関数は表-5 のように得られる。

各補助金分担方式を用いた場合の各提携のコアの条件式(45)の成立を図-3, 4 に整理する。なお、図中の点線は  $\Sigma_k \delta_k$  の上限値、すなわち式(45)の右辺を表している。全ての提携についてこの点線を超過しないよう運行費用が配分されている場合、その補助金分担方式はコアを満たす。

Case 1 では利用可能バス走行キロ比及び人キロ比

表-4 各ケースでの区間長 (単位: km)

	Case 1	Case 2
$l_{AF}$	20	20
$l_{AE}$	18	18
$l_{AD}$	12	10
$l_{AC}$	8	8
$l_{AB}$	6	4

表-5 バスの便数と特性関数 (単位: 便, 万円)

便数	Case		$v(s)$	Case	
	1	2		1	2
$N_1^*(1)$	2.0	2.0	$v(1)$	27.9	27.9
$N_2^*(2)$	5.9	7.2	$v(2)$	48.7	50.2
$N_3^*(3)$	18.1	28.7	$v(3)$	75.1	79.5
$N_1^*(12)$	5.7	4.4	$v(12)$	80.1	80.7
$N_2^*(12)$	0.2	2.8	$v(13)$	102.6	106.5
$N_1^*(13)$	0.8	0.7	$v(23)$	128.2	133.0
$N_3^*(13)$	17.2	28.0	$v(123)$	159.5	163.5
$N_2^*(23)$	12.8	12.9			
$N_3^*(23)$	5.3	15.8			
$N_1^{**}$	5.7	4.4			
$N_2^{**}$	7.1	8.5			
$N_3^{**}$	5.3	15.8			

に基づく負担方式がコアを満たすことが分かる。Case 2 では利用可能バス走行キロ比に基づく方式のみがコアを満たすことになる。よって、これらの方式が地域間での合意形成の観点から有効な方式となる場合があると言える。

## 5. おわりに

本研究では中山間地域のバス交通の維持のために今後各地での導入が見込まれる広域バスに着目し、その運行に関する自治体間の補助金負担の問題を対象に検討した。具体的には、現在広く用いられている行政区域内の走行キロ比に基づく補助金負担方式が、広域バス事業に共同で補助を行う自治体の合意形成の観点から有効性を明らかにした研究がこれまでに見当たらないことから、協力ゲーム理論を適用してその検討を行った。その結果、走行キロ比に基づく負担方式は、各地域に利用者が居住しない区間がなく、かつ固定費用が無視しうるほど小さい場合に有効となることが明らかとなった。また、各地域に利用者が居住しない区間があっても、固定費用が無視しうるほど小さい場合には、修正走行キロ比に基づく負担方式が有効となる。固定費用が無視しう

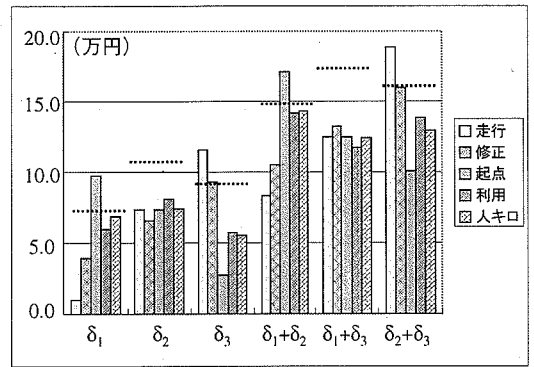


図-3 補助金負担方式とコアの充足性 (Case 1)

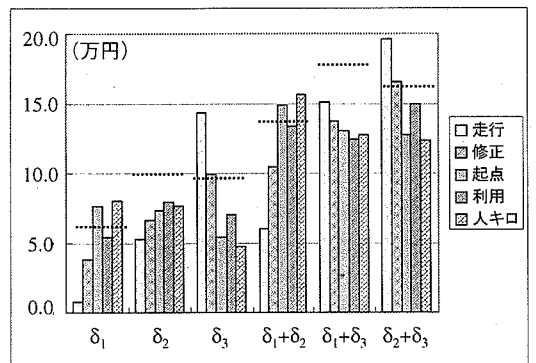


図-4 補助金負担方式とコアの充足性 (Case 2)

るほど小さくない場合においては、これらを補正した負担方式をいくつか提案し、数値例を用いて補足的な検討を行った。すると、「利用可能バス走行キロ比」及び「人キロ比」に基づく負担方式が有効となる場合が見出され、これらが場合によっては有効な負担方式となることが確認された。

もちろん、現実の場面における補助金負担の問題はバスの運行費用に関する負担のみならず、料金政策や福祉政策と密接に関連しており、それらを考慮して調整するのが通常であろう。しかし、これらを混在化させて補助金負担を議論しても混乱が極まるだけであり、本研究の成果はそれらのうちバスの運行費用について焦点を当てた際にどのような負担方式がありうるかを整理した点である。すなわち、関連する他の政策の加味は、本研究をベースとした上で、議論して決定すればよい。

本研究ではあくまで個々の補助金負担方式が合意形成の観点から有効であるか否かについて検討したものであり、有効な方式がいくつか存在する場合にはそのうちどれを選択すべきかについてを明らかに

しえない。換言すれば、全提携に参加する動機を損なわない範囲で各提携に負担を求めるという意味で「最低限の公平性」を備えた負担方式を本研究で検討したのに対し、その「最低限の公平性」を確保した上でさらにどの公平性の規範を想定すべきかについては本研究の域を越える。これについては、既に谷本ら<sup>15)</sup>の研究にあるように、過去の事例からどのような共通的な規範かを推定するアプローチが有効であると考えられる。また、今後は各自治体で代替タクシーなどの様々な形態の生活交通の確保の検討が本格化し、その過程においてそれぞれの自治体に見合った独自の取り組みが期待されている。この場合、複数の自治体が共同で路線バスに補助することが個々の自治体にとって社会的便益の観点から正当化される保証は必ずしもないと考えられる。また、バス路線がネットワーク状となっている場合、どの路線に補助するかの動機が自治体ごとに異なりうる。すると、本研究における前提である協力ゲームの状況が崩れ、非協力ゲーム的に提携や路線のネットワークが形成されることも予想される。このような状況下での補助金負担方式の有効性について現在検討中であり、成果を取りまとめ次第、発表していく予定である。

謝辞：本研究は文部科学省研究費若手研究(A)課題番号 14702043 の助成を受けた研究成果の一部である。本研究の遂行に当たっては、名古屋大学の加藤博和助教授、弘南バス株式会社の菊池武弘氏、安来能義広域行政組合の田中操氏、群馬県藤岡広域市町村圏振興整備組合の浅見志伸氏、万場町の斎藤福蔵氏、磐田市の河合励氏および田島真幸氏、上石津町の伊藤昌弘氏、海津町の後藤英仁氏、岐阜県の間瀬大介氏、仙石勉氏、天木日出夫氏に多大の協力を頂いた。付して謝辞とします。

### 付録 広域バス事業全体の赤字を案分する場合の補助金負担

費用  $c_1 l_{AF} + c_2 [N_1^{**} l_{AF} + N_2^{**} l_{AD} + N_3^{**} l_{AB}] = c$  とおく。本稿で検討したように、収入を各地域に帰属させ、バスの運行費用を案分する場合の提携  $S$  に関するコアの条件式は次式で表される。ただし、地域  $k$  に関するバスの運行費用の案分比率を  $h_k$  で表す。

$$\sum_{k \in S} [CS_k^{**} + r_k^{**}] - \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} c \geq v(S) \quad (A.1)$$

ここで、バスの運行によって生じる広域バス事業

全体の赤字  $c - \sum_{k \in K} r_k$  を案分比率  $h_k$  で地域  $k$  が負担する場合の提携  $S$  に関するコアの条件式は次式で表される。

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in S} CS_k^{**} - \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} [c - \sum_{k \in K} r_k^{**}] \\ &= \sum_{k \in S} [CS_k^{**} + r_k^{**}] - \sum_{k \in S} r_k^{**} + \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} \sum_{k \in K} r_k^{**} - \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} c \\ &= \sum_{k \in S} [CS_k^{**} + r_k^{**}] - \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} c + \left[ \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} \sum_{k \in K \setminus S} r_k^{**} - \frac{\sum_{k \in K \setminus S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} \sum_{k \in S} r_k^{**} \right] \\ &\geq v(S) \end{aligned} \quad (A.2)$$

上式より、収入を各地域に帰属させない場合、上式の第三行目の左辺第三項が式(A.1)に付加されることが分かる。式(A.2)を変形すると次式を得る。

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in S} [CS_k^{**} + r_k^{**}] - \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} c \\ &\geq v(S) - \left[ \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} \sum_{k \in K \setminus S} r_k^{**} - \frac{\sum_{k \in K \setminus S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} \sum_{k \in S} r_k^{**} \right] \end{aligned} \quad (A.3)$$

ここで、 $v(S)$  は全提携のもとでの補助金負担を決定する際の「交渉力」と解釈できる。つまり、式(A.1)から分かるように、 $v(S)$  が大きいほどコアを満たすバスの運行費用の案分額は小さくなくてはならず、その意味で交渉力は強くなる。よって、式(A.3)はその交渉力が右辺第二項の分だけ歪められることになる。つまり、広域バス事業全体の赤字を案分場合には暗にその歪みの発生を許すことになる。例えば、極端なケースとして提携  $S$  に関する収入が 0 で提携  $K \setminus S$  に関するそれが正の場合を検討しよう。このとき、提携  $S$  に関するコアの条件は次式で与えられる。

$$\sum_{k \in S} CS_k^{**} - \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} c \geq v(S) \quad (A.4)$$

これに対し、式(A.3)は次式で与えられる。

$$\sum_{k \in S} CS_k^{**} - \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} c \geq v(S) - \frac{\sum_{k \in S} h_k}{\sum_{k \in K} h_k} \sum_{k \in K \setminus S} r_k^{**} \quad (\text{A.5})$$

上式のように、提携  $S$  の交渉力は弱められる。このように極端なケースでなくても、提携  $K \setminus S$  の収入 ( $\sum_{k \in K \setminus S} r_k^{**}$ ) が大きく、提携  $S$  のそれ ( $\sum_{k \in S} r_k^{**}$ ) が小さい場合には、同様の結果を得る。このとき、収入に貢献していない地域ほど多くの負担が求められることになる。以上の事項を承知した上で各地域が広域バス全体の赤字を案分して補助金負担を行うのであれば、負担額に関する合意形成上何も問題はない。しかし、そのことを知らずして、式(A.1)の右辺に示す真の交渉力を念頭におきつつ式(A.3)に基づいて負担の決定を行った場合、その結果として得られる負担額は式(A.1)を満たす保証はない。このように、広域バス事業全体の赤字を案分することは各地域に混乱を招く恐れがある。よって、各地域の収入が明らかである場合に収入を各地域に帰属させずにバス事業全体の赤字を案分する補助金負担は適用すべきではない。

#### 参考文献

- 1) 秋山哲男, 中村文彦編: バスはよみがえる, 日本評論社, 2000.
- 2) 津軽路線バス調査ワーキングチーム: 津軽地域路線バス維持活性化のための報告書, 1999.
- 3) Kocur, G and Hendrickson, C.: Design of local bus service with demand equilibrium. *Transportation Science* 16, pp.149-170, 1982.
- 4) Jansson, K.: Optimal public transport price and service frequency, *Journal of Transport Economics and Policy* 27,

pp.33-50, 1993.

- 5) Glaister, S.: Competition on an urban bus route, *Journal of Transport Economics and Policy* 19, pp.65-81, 1985.
- 6) James, T.: Competition over service frequency, entry and predation in a fare stage bus industry, *International Journal of Transport Economics* XXV, pp.37-50, 1998.
- 7) Yang, H. and Kin, K. W.: Modeling bus service under competition and regulation, *Journal of Transportation Engineering* 9-10, pp.419-425, 2000.
- 8) 小林潔司, 福山敬, 秀島栄三, 藤井信行: 過疎地域におけるバスサービスの最適維持方策に関する研究, 土木学会論文集, No.611/IV-42, pp.45-56, 1999.
- 9) 渡邊聡恵, 喜多秀行, 谷本圭志: 集落住民による過疎バスサービスの選択支援モデル, 第57回土木学会年次学術講演会概要集, pp.747-745, 2002.
- 10) (財)道路経済研究所: バス交通に関する研究, pp.35-52, 1999.
- 11) 岡田憲夫, 谷本圭志: 多目的ダム事業における慣用的費用割振り法の改善のためのゲーム論的考察, 土木学会論文集, No.524/IV-29, pp.105-119, 1995.
- 12) 谷本圭志, 岡田憲夫: 提携の外部性を考慮した多目的ダム事業の費用割り振り問題に関する考察, 土木学会論文集, No.625/IV-44, pp.181-191, 1999.
- 13) 鈴木光男: 新ゲーム理論, 勁草書房, 1994.
- 14) Gillies, D. B.: Solutions to General Non-zero-sum Games, in *Contributions to the Theory of Games* IV, R. D. Luce, and A. W. Tucker (eds.), pp.47-85, 1959.
- 15) 谷本圭志, 鎌仲彩子, 喜多秀行: 広域バス路線の補助金負担に関する合意形成過程と公平性のゲーム論的分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.3, pp.721-726, 2003.

(2003. 2. 3 受付)

## GAME THEORETIC ANALYSIS OF SUBSIDY ALLOCATION FOR INTER-REGIONAL BUS SERVICE

Keishi TANIMOTO and Hideyuki KITA

Because inter-regional local bus service can reduce bus cost, it will be in service in many regions. With inter-regional local bus service, the municipalities covered by the service jointly subsidize the bus company and the amount of subsidy is allocated to the municipalities. To maintain the feasibility of this joint subsidization, the consensus over the allocation for all municipalities is necessary. However, whether widely used allocation method can contribute to consensus building among the municipalities has not been studied. This paper shows which allocation method is useful in terms of consensus building by use of cooperative game theory.