

# 集落間での地域公共交通サービスの調整に関するゲーム論的研究\*

## Game Theoretic Analysis of Coordinating Local Transport Service among Communities\*

谷本圭志\*\*・伊藤祥太\*\*\*・岸野啓一\*\*\*\*・喜多秀行\*\*\*\*\*

By Keishi TANIMOTO\*\*, Shouta ITO\*\*\*, Keiichi KISHINO\*\*\*\*, Hideyuki KITA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

路線バスをはじめとする地域公共交通は、自家用車を運転することのできない高齢者や免許を保有しない学生といった移動制約者に対し、基礎的な活動の機会を保障する役割を担っている。しかし、地方都市や過疎地域においては、モータリゼーションや人口減少に起因する利用者数の減少、自治体の財政的な制約のために限定的な水準のサービスしか期待できない場合がある。

この場合、地域公共交通サービスを行政や運輸事業者が主体的に決定するのではなく、サービスを利用する可能性があり、かつ生活実態を最もよく把握している住民組織に一定の予算の範囲のもとでのサービスの提案を委ね、その提案に基づいてサービスを設計していくことが考えられる。しかし、路線は1つの集落内ではなく、複数の集落をまたいで運行することが一般的であり、一つの集落の住民組織の一存でサービスを設計することはできない。

具体的には、提案されるサービスは必ずしもすべての集落で同じであるとは限らず、運行してほしい時間帯や運賃として許容できる範囲に集落間で差があることが一般的であろう。この場合、集落の住民同士の協議だけで妥協点を見出し、路線としてのサービスに合意を得ることは必ずしも容易ではない。そこで、市町村などの行政担当者が調整者として協議に参加し、第三者的な観点も交えて合意形成を図ることが考えられるが、どの集落もが納得しうる見込みのあるサービス案を事前にいくつか

準備しておく能力が調整者になければ協議の調整に寄与できないことも想定される。

そこで本研究では、複数の集落によるサービスの提案に基づいてサービスを設計する場面において、そこに参加する調整者の立場に立ち、各集落が合意し得るサービスを事前に見出すための検討手法をゲーム論的に構築する。

### 2. 基本的な考え方

路線バスを代表とする地域公共交通サービスは、伝統的には運輸事業者や行政がサービスを検討し、それを集落や住民に説明し、必要に応じて合意を得た上で実施することが一般である。これに対して、本研究では、集落の住民組織（以後、「集落」と略す）によるサービスの提案を踏まえ、行政からの調整者を交えつつ、サービスを決定する場面を想定している。

Tanimoto and Kita<sup>1)</sup>、渡辺ら<sup>2)</sup>は、一つの集落内の人々の間で必要とするサービスが異なる場合に、一つのサービスを見出すための支援手法を開発している。また、谷本ら<sup>3)</sup>は、集落が自身でサービスを確保する場合に要する費用がどれほどかを試算するための手法を検討している。国際交通安全学会<sup>4)</sup>は、便数と運賃とのトレードオフをシミュレーションしながら、住民にとって望ましいサービスを試行錯誤的に見出しうる手法を提案している。これらの研究は、一つの集落がサービスを確保する場面を対象としており、複数の集落が関与することは想定外である。

一方、谷本ら<sup>5)6)</sup>、Tanimoto and Kita<sup>7)</sup>は、複数の集落ではないが、複数の自治体をまたぐ広域的な路線バスサービスを対象に、サービスの確保に要する費用をどのように配分することが自治体の合意形成の観点で有効かをゲーム論的に検討している。しかし、これらの研究は、費用配分ルールという集権的・一元的な制度の確立を目指したものであり、本研究で想定している集団での意思決定の場面とは目的が異なる。

複数の集落が関与する以上は、提案されるサービスの差異およびサービスに要する費用配分の調整は不可欠で

\*キーワード：公共交通計画，計画手法論，市民参加

\*\*正員，博（工），鳥取大学院工学研究科社会基盤専攻  
（鳥取市湖山町南4丁目101番地，TEL0857-31-5310，FAX  
0857-31-0882）

\*\*\*学生員，鳥取大学院工学研究科社会基盤専攻  
（鳥取市湖山町南4丁目101番地，TEL 0857-31-5333，FAX  
0857-31-0882）

\*\*\*\*正員，岸野都市交通計画コンサルタント株式会社

\*\*\*\*\*正員，博（工），神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻

あることから、本研究では、上記の研究の蓄積を踏襲しつつ、これらを同時に解決しうる手法を検討する。ただし、それぞれの集落がサービスを提案するという本研究で着目している場面は、限られた財政的な制約のもと廉価かつ頻繁なサービスが期待できない地域を暗黙に想定することになるため、実行可能なサービスの選択肢が数多くあるわけではない。このため、一つのサービス、すなわち、唯一解ではなく、もっともらしい複数のサービス案を導出するというアプローチをとる。

以下では、集落が提案するサービスを単に「提案」、それらの提案の全集落に関する組み合わせを「サービス案」、サービス案のうち行政（＝調整者）が協議に先立って合意形成の腹心としてもつ案を「サービス調整案」と呼ぶこととする。

次章では、集落から出されうると行政が考える提案からサービス調整案を導出するための検討プロセスを構築する。

### 3. 調整案の導出のための検討プロセス

#### (1) プロセスの概要

サービス調整案を、以下の手順で導出する。

- ① 各集落から示されうる提案の特定
- ② 財政的に適合するサービス案の導出
- ③ ②で導出されたサービス案の中から各集落で活動の機会が保障される人数が最大となるサービス案の導出
- ④ ③で導出されたサービス案の中から各集落が提案する便数が最大となるサービス案の導出

ここで、④によって導出されるサービス案がサービス調整案である。

①では、集落の人々や住民組織を対象としたアンケート調査やヒアリングによって把握する。

②では、①で特定した提案から物理的に考えられる路線のサービス案をまずは導出する。例えば集落の集合が  $N=\{1,2\}$ 、集落1から出されうる提案を  $S_1, S_1'$ 、集落2のそれが  $S_2, S_2'$ であった場合、 $S_1 \times S_2, S_1 \times S_2', S_1' \times S_2, S_1' \times S_2'$ の4つのサービス案がある。ただし、例えば低い運賃でかつ多くの便数を求める提案は、自らに与えられた財政規模にはつりあわない。そこで、物理的に考えられるサービス案の中から財政的に適合する案を導出する。

③では、財政的に適合するサービス案の中から、各集落において「活動の機会が保障されている人数」（以後、「保障人数」と呼ぶ）がより多くなっている案を特定する。なお、ここでの活動とは、一般には買い物や通院などが該当すると考えられるが、どの活動を対象とするのかは各集落が予め決定しているものとする。例えば集落の集合が  $N=\{1,2\}$ 、サービス案aにおける保障人数が  $(X_1, X_2)$ 、サービス案bにおけるそれが  $(X_1', X_2')$ であるとする。

ただし  $X_1$ は集落*i*における保障人数である。このとき、 $X_1 > X_1', X_2 < X_2'$ であればどちらか一方のサービス案の保障人数が多いとは言えない。そこで、以下ではパレート最適性の考え方をを用いて、どの集落にとっても保障人数が少ないサービス案を排除し、残存するサービス案を③における案として導出する。

③は保障人数というサービス案の帰結に着目してサービス案を絞り込む作業であるが、集落は帰結のみならず、より多くの便数を提案できた方が望ましい。すなわち、保障人数という帰結が同じであっても、少ない便数を提案してその帰結を得るより多くの便数を提案してその帰結を得る方が手続き的には望ましいと考えられる。そこで、③で導出されたサービス案を対象に、どの集落にとっても便数が少なくなるサービス案を排除することにより④の案を導出する。なお、③の後に④を行うのは、サービス案による帰結、すなわち保障人数がそれに至る過程で提案できる便数よりも重要であることを暗に示している。これは、多くの便数が提案できても保障人数が少なければ日々の生活に支障が出る人数が多く、そのような状況は集落にとって何ら望ましいことではないと考えることが自然であるためである。

#### (2) 財政的に適合するサービス案の導出

路線に含まれる集落の集合を  $N$ 、任意の集落を  $i$  で表す。集落  $i$  による提案を  $S_i$  で表す。提案には運賃  $p_i$ （簡単のため、目的地にかかわらず定額とする）、ダイヤ  $d_i$  が含まれているとする。すなわち、形式的には  $S_i=(p_i, d_i)$  である。集落  $i$  には行政から  $I_i$  の補助金が与えられている。このとき、集落  $i$  が提案  $S_i$  を選択した場合の余剰金は次式で表される。

$$\pi_i(S_i) = p_i x_i(S_i) + I_i - c_i(d_i) \quad (1)$$

ここに、 $x_i(S_i)$ は提案  $S_i$ のもとでの集落  $i$  の住民の利用者数、 $c_i(d_i)$ はダイヤ  $d_i$ のもとでの運行費用である。ここで、余剰金が0以上となるような財政的に実行可能な提案を見出し、すべての提案がそうであるサービス案を財政的に適合するサービス案として導出すればよいように一見考えられるが必ずしもそうではない。本研究では複数の集落による路線サービスの決定場面を対象としているが、複数の集落がある場合には、双方の集落の提案に同じ時間帯の便が含まれている場合がある。この場合、その時間帯にそれぞれの集落専用の便を2つ設けるのではなく、1つに集約して効率化を図ることができる。また、それぞれの提案が異なるにしても、ある集落が提案した便にその他の集落の人々の乗り合いを提案の内容には関係なく許すことで保障人数を全体として多くすることもできる。

このように、複数の集落による乗り合いを互いに認め合う（以後、「乗り合いを互いに認め合う」ことを「提携を形成する」と言う）ことで状況の改善を図ることができ、その改善は余剰金にも反映される。提携  $T$  のもとの余剰金は次式のように表される。

$$\pi_T(S_T) = \sum_{i \in T} [p_i x_i(S_T) + I_i] - c_T(d_T) \quad (2)$$

ここに、 $S_T = (S_i)_{i \in T}$ ,  $d_T = (d_i)_{i \in T}$  であり、次式が成立する。

$$\sum_{i \in T} x_i(S_T) \geq \sum_{i \in T} x_i(S_i) \quad (3)$$

$$c_T(d_T) \leq \sum_{i \in T} c_i(d_i) \quad (4)$$

このように、余剰金が 0 以上であるかどうかは自らの提案  $S_i$  のみならず、その他の集落の提案にも依存する。このため、すべての集落に関する余剰金  $\pi_N(S_N)$  が 0 以上であれば財政的に適合と判定すればよさそうであるが、これも正しくない。これは  $\pi_N(S_N) \geq 0$  であれば確かに全集落という単位では財政的に実行可能ではあるものの、ある集落の提案  $S_i$  が  $\pi_N(S_N) < 0$  の成立に寄与している一方、その他の集落の提案が  $\pi_N(S_N) > 0$  に寄与していることがあり、その場合には集落  $i$  以外から集落  $i$  に余剰金が無条件に供与されているからこそ実行可能になっている。提携内でのこのような供与を認めて行政がサービス調整案を導出することは、そのような合意が集落間で成立しているという楽観的な観点に立つことになり、安全側の想定とはならない。このため、 $\pi_N(S_N)$  というすべての集落の余剰金の集計値ではなく、あくまで個々の集落の余剰金が 0 以上（未満）かという枠組みで財政的な実行可能性を判定し、それにパスした案のみを適合的とすることが適切である。ただし、上記のように個々の集落の提案  $S_i$  が全集落の余剰金  $\pi_N(S_N)$  の確保を通じたサービス案  $S_N$  の実行可能性にどれだけ貢献しているのかは異なるため、その差異は考慮しなければならない。

$\pi_N(S_N)$  の向上に対する貢献は以下のように求めることができる。提携  $T$  を形成した場合の余剰金の増加分  $v(T)$  は次式で表される。

$$v(T; S_T) = \pi_T(S_T) - \sum_{i \in T} \pi_i(S_i) \quad (5)$$

すべての提携に関して上式を算出すると、例えば以下に示すシャープレイ値などの利得配分法にて各集落が  $S_i$  を選択した場合の貢献を求めることができる。

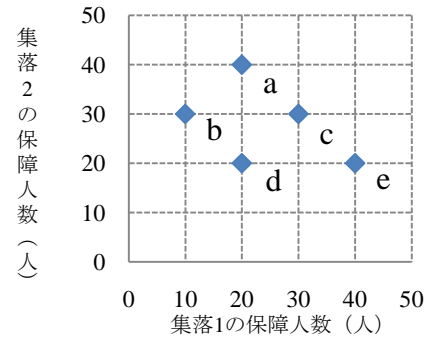


図1 各集落の保障人数

$$\phi_i(S_N) = \sum_{T: i \in T \subseteq N} \frac{(|T| - 1)! (|N| - |T|)!}{|N|!} \times \{v(T; S_T) - v(T \setminus \{i\}; S_{T \setminus \{i\}})\} \quad (6)$$

ここに、 $|T|$  は提携  $T$  に含まれる集落の数である。すると、各集落の提案の組み合わせが  $S_N$  であるもとの、それぞれの集落が  $\pi_N(S_N)$  の向上に対する貢献分を反映した集落  $i$  の余剰金は次式で表される。

$$\pi_i^*(S_N) = \pi_i(S_i) + \phi_i(S_N) \quad (7)$$

ここで、すべての集落  $i$  について  $\pi_i^*(S_N) \geq (<) 0$  が成立するとき、サービス案  $S_N$  は財政的に適合（不適合）と判定できる。よって、この式により、財政的に適合するサービス案を導出することができる。

### (3) 各集落の保障人数が最大となるサービス案の導出

財政的に適合するサービス案が複数ある場合、その中から各集落にとって保障人数が多い案を絞り込む。その際、パレート最適性の考えを用いる。

サービス案  $S_N$  が保障人数に対してパレート最適であるとは、次式が成立する場合である。ただし、 $X_i(S_N)$  はサービス案  $S_N$  のもとの集落  $i$  に関する保障人数である。

$$X_i(S_N) \geq X_i(S'_N) \quad (\forall i \in N, \forall S'_N) \quad (8)$$

集落 1, 2 に関し財政的に適合するサービス案が 5 つあったとする。それらをサービス案 a~e と表す。それぞれの案のもとの集落 1, 2 の保障人数が図 1 のようであったとすると、上式を満たすサービス案は a, c, e となる。

### (4) 各集落が提案する便数が最大となるサービス案の導出

各集落にとっては保障人数が多いほど望ましいものの、これに加えてより多くの便数を提案できることが望ましいと考えられる。そこで、(3) において保障人数に関してパレート最適とされたサービス案を対象に、提案する便

数についてパレート最適性を満たすサービス案を導出する。サービス案  $S_N$  が便数に対してパレート最適であるとは、次式が成立する場合である。ただし、 $D_i(S_N)$  はサービス案  $S_N$  のもとでの集落  $i$  が提案する便数である。

$$D_i(S_N) \geq D_i(S'_N) \quad (\forall i \in N, \forall S'_N) \quad (9)$$

上式を満たすサービス案  $S_N$  が、サービス調整案である。

#### 4. 数値例

以上に示した検討プロセスを仮想的な路線に適用する。具体的な想定は以下の通りである。

- ・集落は A, B の 2 つ
- ・目的地から各集落へ運行する帰りの便は、行きの便の 1 時間後に運行する。  
(例えば、行きを 8, 10, 14 時に運行する場合、帰りは 9, 11, 15 時に運行する)
- ・補助金  $I_i$  : 運賃収入の 4 倍の額を与える。すなわち、 $I_i = 4p x_i$  とする。
- ・運行コスト : 1km あたり 300 円とする。
- ・運賃 : 200 円 (各集落は運賃の提案はできず、どの集落にとっても定額であるとする。つまり、集落はダイヤのみを提案する。)

表 1 各集落の人口規模と目的地までの距離

	集落 A	集落 B
1 日の潜在的利用者数	24 人	20 人
目的地までの距離	4km	6km

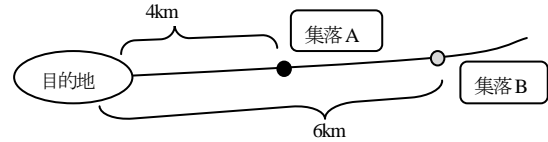


図 2 各集落の位置関係

各集落の目的地までの距離や位置関係、1 日の潜在的利用者数はそれぞれ表 1、図 2 の通りである。また、どの時間帯に便があればどれだけの保障人数があるのかを表 2, 3 に示す。

表 2 集落 A における活動時間帯と保障人数の関係 (単位 : 人)

	時	活動の終了時刻												計
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
活動の開始時刻	8	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	9		0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	4
	10			1	2	0	1	3	0	0	1	0	0	8
	11				0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	12					0	1	0	1	0	0	0	0	2
	13						0	1	0	0	0	0	0	1
	14							0	0	0	0	0	0	0
	15								3	1	1	0	0	5
	16									0	0	0	0	0
	17										0	1	0	1
	18											0	0	0
	19												0	0
	計		0	1	3	4	2	2	4	4	1	2	1	0

表3 集落Bにおける活動時間帯と保障人数の関係(単位:人)

	時	活動の終了時刻												計	
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
活動の開始時刻	8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	9		0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	10			1	1	0	1	2	0	0	1	0	0	0	6
	11				0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	12					0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
	13						0	1	0	0	0	0	0	0	1
	14							0	0	0	0	0	0	0	0
	15								2	1	1	0	0	0	4
	16									0	0	0	0	0	0
	17										0	1	0	0	1
	18											0	0	0	0
	19												0	0	0
	計		0	0	3	3	2	2	3	3	1	2	1	0	20

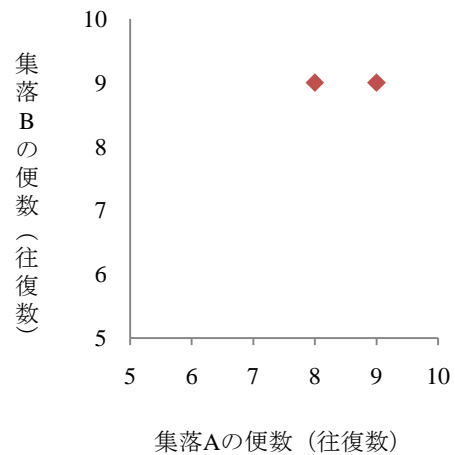
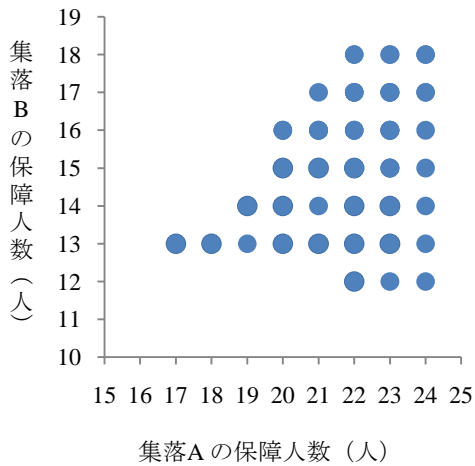


図3 財政的に適合するサービス案についての各集落の保障人数

図4 保障人数に関してパレート最適性を満たすサービス案についての各集落の便数

表4 サービス調整案

サービス調整案			集落A	集落B
サービス調整案1	ダイヤ(時)	行き	8,9,11,12,13,14,15,16,18	8,9,10,11,12,13,14,15,17
		帰り	9,10,12,13,14,15,16,17,19	9,10,11,12,13,14,15,16,18
サービス調整案2	ダイヤ(時)	行き	8,9,11,12,13,14,15,16,18	9,10,11,12,13,14,15,17,18
		帰り	9,10,12,13,14,15,16,17,19	10,11,12,13,14,15,16,18,19
サービス調整案3	ダイヤ(時)	行き	8,9,11,12,13,14,15,16,18	9,10,11,12,13,14,15,16,17
		帰り	9,10,12,13,14,15,16,17,19	10,11,12,13,14,15,16,17,18

図3は財政的に適合するサービス案についての各集落の保障人数を表したものである。図より、各集落の保障人数に関してパレート最適性を満たすサービス案は、保障人数が「集落A：24人、集落B：18人」を満たすものとなる。なお、この保障人数を確保するサービス案は図中には1つしかないように見えるが、実際には複数ある(1つのプロットに重なっている)ことに留意する。

また、保障人数に関してパレート最適性を満たすサービス案について、各集落が提案する便数を図に表したものが図4である。図4より、各集落の便数に関してパレート最適性を満たすものは、「集落A：9便、集落B：9便」となる。

以上より、サービス案として保障人数が、「集落A：24人、集落B：18人」かつ「集落A：9便、集落B：9便」が導出される。なお、この保障人数および便数を確保するサービス案は複数あり、それを表4に示す。したがって、サービス調整案は表4に示す3つとなる。

## 5. おわりに

本研究での事例では2集落における調整案を導出した。しかし実際には一つの路線に3つ、4つと多くの集落がまたがっている場合が考えられる。よって、集落の数を多くした場合に、どのようなサービス調整案が導出できるのか検討する必要がある。

## 謝辞

本研究は、鳥取大学持続的過疎社会形成研究プロジェクトの助成を受けた研究成果の一部である。研究の構想にあたっては、国際交通安全学会の研究プロジェクト(地域社会が保障すべき生活交通のサービス水準に関する研究)での討議が有効であった。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) K. Tanimoto and H. Kita: Developing the Evaluation Method for Local Bus Transportation Service, (Ed. G. Gustafsson) in Communication and Regional Development, pp.59-68, 2004.
- 2) 渡辺聡恵, 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, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, 57巻, pp.747-748, 2002.
- 3) 谷本圭志, 喜多秀行, 藤田康宏: 住民によるバスサービスの自己調達費用の試算に関する考察, 土木計画学研究・論文集, No.21, pp.811-818, 2004.9.
- 4) 国際交通安全学会: 地域社会が保障すべき生活交通のサービス水準に関する研究, 2007年度研究調査報告書, 2007.
- 5) 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, No.20, pp.721-726, 2003.9.
- 6) 谷本圭志, 喜多秀行: 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, 土木学会論文集, No.751/IV-62, pp.83-95, 2004.1.
- 7) K. Tanimoto and H. Kita: Empirical Study on Fair Cost Allocation of Joint Project by Cooperative Game Theory - A Case of Local Bus Transportation Service in Japan -, Interdisciplinary Information Sciences 11, No.1, pp.59-67, 2005.3.