

地方公共交通における事業者間共同運行の 協力ゲーム理論的考察

伊藤 泰壽¹・榊原 弘之²

¹ 非会員 山口大学 大学院創成科学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

² 正会員 山口大学教授 大学院創成科学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: sakaki@yamaguchi-u.ac.jp (Corresponding Author)

本研究では、地方公共交通における共同運行を対象に、協力ゲーム理論に基づいた利得・費用の配分ルールに関する考察を行った。まず、同一区間で 2 つの公共交通事業者が運行しているケースを想定し、共同運行が有効となる条件について整理した。次に、シャプレイ値に基づいた利得・費用配分ルールを導入した場合、共同運行が社会的に有効であれば、各事業者の共同運行参加のインセンティブを常に担保可能であることを確認した。さらに、実際の地方公共交通で路線維持のために行政から赤字補填のための補助が実施されていることを考慮した分析を実施した。費用の算定基準となる距離単価や補助率を単独運行時、共同運行時に適切に設定することにより、共同運行が社会的に望ましい場合に共同化を促進するような補助スキームの設計が可能となることも示した。

Key Words: *Partnership among Public Transportation Operators, Cooperartive Game Theory, Payoff-Cost Allocation Rule, Shapley Value, Subsidizing Policy*

1. はじめに

地方におけるバス、鉄道等の公共交通事業者は、モータリゼーションの進行に伴う長年の利用減少の傾向に加えて、近年の運転士不足、コロナ禍の影響等により、非常に厳しい経営環境に置かれている。事業者内部においては、相対的に収益性の高い路線、部門の収益の一部を収益性の低い路線の損失の補填に充てる内部補助により路線が維持されてきたが、コロナ禍により収益性の高かった路線、部門の業績が悪化し、内部補助による路線維持も困難となりつつある。地方公共交通、特にバス交通においては、赤字路線の維持のため、国、県、市町村による補助も実施されている。しかし、財政事情により、これらの補助を維持、拡大することも困難となってきている。

一方、歴史的経緯により、同一区間で複数の事業者が運行を行う競合区間が存在する地域がある。かつて、公共交通の収益性が高かった時代においては、事業者間の競争がサービス向上の契機となり得たと考えられる。しかし現状においては、事業者間の競合は非効率的な便の設定等を生じ、さらなる収益性の低下を招きやすい。利用者の観点からも、競合下では各便の間隔が不規則とな

りやすいなど、必ずしも利便性の向上につながらないケースがある。

そのような中で、2020 年 11 月に施行された「地域における一般乗合旅客自動車運送事業及び銀行業に係る基盤的なサービスの提供の維持を図るための私的独占の禁止及び公正取引の確保に関する法律の特例に関する法律（独占禁止法特例法）」では、地域における基盤的なサービスの提供を維持するという政策目的を達成する限度において、公共交通事業者間の経営統合や共同経営が可能となっている¹⁾。

競合区間で共同運行を実施する場合、等間隔ダイヤの導入によるサービス改善や、便の統廃合による費用の削減が期待される。しかし、ダイヤの調整や便数の削減を実行した場合、個別の事業者によっては、共同経営導入以前より運賃収入が減少することも起こり得る。そこで独占禁止法特例法では、運賃収入をいったん集約した上でルールに基づいて分配する「運賃プール」が認められている²⁾。その際の具体的な運賃配分の基準としては、各事業者の運行時間、運行距離、運行便数、運行費用、運賃費が例示されている²⁾。一方、協力ゲーム理論では、複数プレイヤーが戦略を調整して全体にとってより望ましい状態を実現する場合に、各プレイヤーの協力が担保

されるような配分解に関する議論がなされている。

本研究では、地方公共交通における共同運行を対象に、協力ゲーム理論に基づいた利得・費用の配分ルールに関する考察を行う。その際、特に地方公共交通においては路線維持のために行政から赤字補填のための補助が実施されていることを考慮し、これらの補助制度の下でも各事業者に共同運行参加のインセンティブが担保されるような利得・費用配分ルールの検討を行う。

2. 公共交通への協力ゲーム理論の適用に関する既往研究

本章では、公共交通への協力ゲーム理論の適用に関する既往研究を示す。Adler et al.³⁾は、ゲーム理論を用いた交通市場のモデルについて多数の研究論文をサーベイしている。その中で de Palma and Lindsey⁴⁾の研究は、ホテリング型線形モデルを用いて、ダイヤ編成について解析を実施している。

一方で、地域公共交通事業者の多くは、赤字路線を抱えているため、経営を維持するために自治体からの赤字補填のための補助金が必要である。複数の自治体にまたがる路線の場合、自治体間で補助額を分担する必要がある、これまでにその配分ルールが協力ゲーム理論に基づいて議論されてきた。谷本ら⁵⁾⁶⁾は広域バス路線維持のための補助金負担に関する合意形成の過程と市町村の補助に関するゲーム論的分析を示している。また越後・岸⁷⁾はこれと同様の枠組みを北海道の鉄道路線維持の問題に適用している。さらに、榊原・塚本⁸⁾は広域バス路線への各年の補助額決定に協力ゲーム理論の解概念であるシャプレイ値を適用して、既存の距離按分ルールと比較している。これらの研究成果から、単一の公共交通事業者が複数の地方自治体間を結ぶ路線を運行している場合、自治体間でどのような補助金配分が妥当なのかについては議論が整理されていると考えられる。一方本研究では、同一自治体内のある区間で複数事業者が共同運行を実施するケースを想定し、それらの事業者間の利得・費用の配分ルールについて議論する。

3. 共同運行の有効性に関する検討

(1) 定式化

同一区間において、2つの公共交通事業者がサービスを提供している状況を想定する。これらの事業者を事業者1、事業者2と呼ぶ。各事業者の当該区間における営業利益を次式のように定式化する。

事業者1の利益：

$$V(1) = R_1 - C_1 \quad (1)$$

事業者2の利益：

$$V(2) = R_2 - C_2 \quad (2)$$

$V(i)$ ：事業者*i*の利益

R_i ：事業者*i*の運賃収入 C_i ：事業者*i*の運行費用

また、共同運行を実施した際の2事業者全体の営業利益を次式で表す。

共同運行を実施した際の2社の利益：

$$V(1,2) = R_{1,2} - C_{1,2} \quad (3)$$

$V(1), V(2), V(1,2)$ は協力ゲーム理論において特性関数と呼ばれる。ここで、共同運行が事業者1、事業者2全体にとって望ましくなるための条件は、

$$V(1,2) > V(1) + V(2) \quad (4)$$

である。(1)式、(2)式から、共同運行が両事業者全体にとって望ましいものとなるためには、

$$\textcircled{1} : R_1 + R_2 < R_{1,2} \quad \textcircled{2} : C_1 + C_2 > C_{1,2}$$

の少なくとも一方が成立する必要がある。①は共同運行により運賃収入が増加することを意味し、②は共同運行により運行費用が削減されることを意味する。ここで運行費用 C_i をより具体的に、以下のように定義する。

$$C_1 = k_1 F_1 d_1$$

$$C_2 = k_2 F_2 d_2$$

k_i ：事業者*i*の平均距離単価($k_1 \neq k_2$)

d_i ：事業者*i*の路線距離 F_i ：事業者*i*の運行便数

ここで、 $k_1 > k_2$ とする。すなわち、事業者1は事業者2より距離単価が高いとする。両事業者の共通区間の距離を x とすると、単独運行において

事業者1の利益：

$$V(1) = R_1 - k_1 F_1 x \quad (5)$$

事業者2の利益：

$$V(2) = R_2 - k_2 F_2 x \quad (6)$$

共同運行の実施には、共同運行前の2社の総便数を $F_1 + F_2$ 、共同運行で実現する2社の総便数を $F_{1,2}$ とすると、以下の2つの便数パターンが想定される。

$$\text{パターン1} : F_1 + F_2 = F_{1,2}$$

$$\text{パターン2} : F_1 + F_2 > F_{1,2}$$

パターン1では単独・共同運行で便数が同一であり、パターン2では便数が削減されている。

(2) 共同運行の有効性

(1)に示した定式化に基づいて、共同運行の有効性について検討を行う。(1)で示した、共同運行が両事業者にとって望ましいものとなる条件のうち、①の運賃収入増については、等間隔ダイヤの導入などによる利便性の増進が乗客の増加につながるケースが考えられる。先述の de Palma and Lindsey⁴⁾は、需要が時間によらず一定とした場合、等間隔ダイヤが利用者にとって最適なダイヤで

あることを示している。また鈴木ら⁹⁾は、完全な等間隔ダイヤと不完全な等間隔ダイヤについて、「便利さ」と「覚えやすさ」を基準として評価するアンケート調査を実施している。その結果、完全な等間隔ダイヤが「便利さ」と「覚えやすさ」いずれにおいても最も評価が高いことを示している。さらに実際の等間隔ダイヤの効果として、日本政策投資銀行¹⁰⁾は独占禁止法特例法施行前に事業者間で等間隔ダイヤを導入していた八戸市を対象としたヒアリング調査に基づいて、年間利用者数の増加を報告している。以上より、共同運行化による利便性向上を通じて運賃収入の増加が起り得ると考えられる。

一方、共同運行化で運賃収入の増加がもたらされなかったとしても、(1)の②運行費用の削減は実現できる可能性がある。(1)のパターン2のように、共同運行化を通じて両事業者全体としての運行便数を削減した場合、一般に費用は削減されると考えられる。八戸市の等間隔ダイヤ導入に際しても、運行便数の削減が実現している。共同運行により、収入の増加がなくとも、運行費用の削減が実現するのであれば、共同運行は社会的に有効であると考えられる。

(3) 合意に基づく共同運行の必要性

前節では共同運行の有効性について検討を行った。一方、拘束的な合意の存在しない条件下では、各事業者にはダイヤ設定の裁量があり、非協力ゲームの状況にあると考えられる。そこで、本節では、de Palma and Lindsey⁴⁾の研究を参考に、各事業者をプレイヤー、ダイヤ設定を各事業者の戦略とした非協力ゲームにおける等間隔ダイヤの安定性について分析する。利用者はそれぞれ最適な出発タイミングを有し、それに基づいて各時刻における移動需要が決定されるものとする。ここでは、対象時間 L を通じて移動需要は常に一定であると仮定する。便数 $n(n > 0)$ を所与として、図-1 に示すように初期状態における事業者 1 と事業者 2 の便同士の間隔を L/n の等間隔とする。

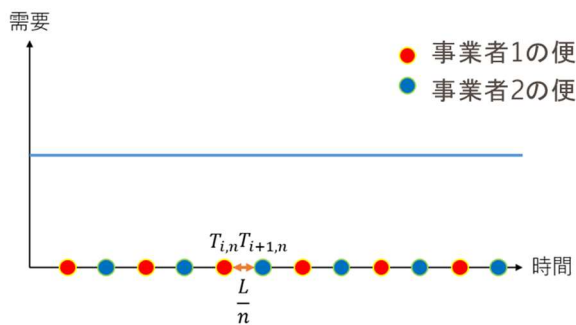


図-1 初期状態における等間隔ダイヤ

図-1 中において、事業者 1 の便の発車時刻 $T_{i,n}$ と事業者 2 の便の発車時刻 $T_{i+1,n}$ の間に最適な出発タイミング

がある利用者は、事業者 1 と事業者 2、いずれかの便を必ず利用するとする。その際、利用者にとっての理想的な出発タイミングよりも早く、あるいは遅く出発することで、単位時間あたりに生じる利用者のストレス(時間費用)をそれぞれ β と γ とする。例えば、最適なタイミングより t 分早い便を利用する際の時間費用は βt 、 t 分遅い便の時間費用は γt となる。利用者は最適出発タイミング前後の便から、時間費用のより小さい便を選んで利用し、その選択の境界となる時刻を $t_{i,i+1}$ とする。初期状態において $t_{i,i+1}$ はホテル型線形モデルから以下のように表すことができる。

$$t_{i,i+1} = i \frac{L}{n} \quad (i = 1, \dots, n-1) \quad (7)$$

また(7)式の境界時刻と前後の便の発車時刻の時間差はそれぞれ次式で与えられる。

$$t_{i,i+1} - T_{i,n} = i \frac{L}{n} - \left(i - \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \right) \frac{L}{n} = \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \frac{L}{n} \quad (8)$$

$$T_{i+1,n} - t_{i,i+1} = \left(1 - \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \right) \frac{L}{n} = \frac{\beta}{\beta + \gamma} \frac{L}{n} \quad (9)$$

$\beta = \gamma$ の場合、各事業者が自社の便の発車時刻を前後に移動させても、それにより獲得できる乗客数と失う乗客数が等しくなり、等間隔パターンダイヤを変更する動機は存在しない。一方で、 $\beta \neq \gamma$ の場合は、自社の便を利用する利用者数を増加させ、収入を最大化するために、等間隔運行のダイヤから数分移動させる戦略が考えられる。

ここで、図-1 において事業者 2 が $(i+1)$ 番目の便の発車時刻を等間隔ダイヤにおける $T_{i+1,n}$ から τ 分後に移動するを考える。事業者 1 による i 番目の便と、事業者 2 による $(i+1)$ 番目の便の間隔は $L/n + \tau$ となる。このとき新たな境界時刻 $t'_{i,i+1}$ は、

$$t'_{i,i+1} = T_{i,n} + \left(\frac{L}{n} + \tau \right) \frac{\gamma}{\beta + \gamma} = i \frac{L}{n} + \tau \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \quad (10)$$

となる。また、 $(i+1)$ 番目の便と $(i+2)$ 番目の便の間隔は $L/n - \tau$ となることから、選択の境界となる時刻 $t'_{i+1,i+2}$ は、

$$\begin{aligned} t'_{i+1,i+2} &= T_{i+1,n} + \tau + \left(\frac{L}{n} - \tau \right) \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \\ &= (i+1) \frac{L}{n} + \tau \frac{\beta}{\beta + \gamma} \end{aligned} \quad (11)$$

となる。このとき、事業者 2 による $(i+1)$ 番目の便を利用するのは、最適なタイミングが $t'_{i,i+1}$ から $t'_{i+1,i+2}$ までに含まれる利用者である。この 2 つの境界の間隔を示す式を整理すると、

$$\begin{aligned} t'_{i+1,i+2} - t'_{i,i+1} &= (i+1) \frac{L}{n} + \tau \frac{\beta}{\beta + \gamma} - i \frac{L}{n} - \tau \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \\ &= \frac{L}{n} + \frac{\beta - \gamma}{\beta + \gamma} \tau \end{aligned} \quad (12)$$

この $t'_{i+1,i+2} - t'_{i,i+1}$ は、その数値が大きいほど事業者 2 の便を利用する利用者が増加し、事業者 2 の収入が増加する。したがって、(12)式より、初期状態が図-1 の等間隔ダイヤの場合、事業者 2 の最適応答戦略は、

- (1) $\beta < \gamma$ のとき、 $|\tau|$ 分前に移動する。 ($\tau < 0$)
- (2) $\beta > \gamma$ のとき、 $|\tau|$ 分後に移動する。 ($\tau > 0$)
- (3) $\beta = \gamma$ のとき、等間隔運行を維持する。

となる。(3)の場合は、共同運行を実施せずとも各事業者に等間隔ダイヤから発車時刻を変更する誘因は存在せず、等間隔ダイヤは安定となるが、(1)(2)の場合は、各社に発車時刻を変更する誘因が存在するため、等間隔パターンダイヤは安定ではなく、一部に本数の偏りのあるダイヤとなる。

発車時刻の変更で、事業者 2 はより多くの利用者獲得が可能となるが、さらなる応答として事業者 1 は、現状の発着時刻からさらに数分前後に移動し、事業者 2 の利用者を奪う戦略を取ることが予想される。

以上より、非協力ゲームにおける 2 事業者のダイヤ設定については、 $\beta = \gamma$ でなければ、事業者間の競合により、等間隔運行が安定とはなり得ない。需要が任意の時刻で一定という条件下においてさえ、拘束的合意のない非協力ゲーム下で等間隔運行を実現し、それを維持することは、必ずしも容易ではないことが分かる。

さらに、実際の地域における移動需要は、通勤通学・帰宅ラッシュや、他の公共交通との接続条件により、時間によらず一定であるとは限らない。この場合、非協力ゲーム下で等間隔運行の配置することはより困難となる。

一方で協力ゲームは、事業者間の合意に基づいてダイヤが遂行されること、採算性の格差が生じても運賃プールによる利得配分が可能なこと、という 2 つの利点がある。これにより、等間隔ダイヤで両事業者に利用者数の不均衡が生じる場合でも、配分ルールによる合意から両事業者が統一的にダイヤ設定を行うことが可能となる。以上の理由より、協力ゲーム下の共同運行は、パターンダイヤを行いやすい体制づくりや、対象区間の需要パターンや利用者ニーズを分析した統一的なダイヤ編成を促進する。独占禁止法特例法に基づく共同運行は、このような協力ゲームの具体化として解釈可能と考えられる。次章では、このような協力ゲームの枠組みの下での事業者間の利得配分について議論する。

4. 協力ゲーム理論に基づいた利得・費用の配分スキームの検討

(1) 基本ルール

協力ゲームモデルにおいて、プレイヤーが拘束的合意に応じるための利得・費用配分ルールとして、本研究で

は協力ゲーム理論の代表的な解概念であるシャプレイ値¹⁾を用いた配分方法を提案する。シャプレイ値とは、協力ゲーム理論の基礎である特性関数形ゲームの代表的な解概念の 1 つであり、プレイヤーがあるゲームに参加しようとするとき、プレイヤー全体にとって得られる利得の期待値をどれだけ増加させるか、どの程度貢献するかを利得の差分として定義し、その期待値として与えられる配分解である。プレイヤーの協力によって総利得が増加するとき、シャプレイ値は個人合理性と全体合理性の両方を満足するという性質を持つ。3.(1)で定式化した 2 事業者間の共同運行において、利得・費用のシャプレイ値による配分解を表-1 に示す。

表-1 シャプレイ値に基づいた利得・費用の配分

事業者 1 への配分值		
グループ 形成過程	1→2	$V(1)$
	2→1	$V(1,2) - V(2)$
平均 (シャプレイ値)		$\frac{V(1) - V(2) + V(1,2)}{2}$
シャプレイ値 の具体化		$\frac{R_1 - R_2 + R_{1,2} - (k_1 F_1 - k_2 F_2 + k_{1,2} F_{1,2})x}{2}$

事業者 2 への配分值		
グループ 形成過程	1→2	$V(1,2) - V(1)$
	2→1	$V(2)$
平均 (シャプレイ値)		$\frac{-V(1) + V(2) + V(1,2)}{2}$
シャプレイ値 の具体化		$\frac{-R_1 + R_2 + R_{1,2} + (k_1 F_1 - k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x}{2}$

各事業者が共同運行に参加するためには、単独運行時よりも共同運行時の利得の方が上回る必要があると考えられる。したがって、シャプレイ値により利得・費用配分が実施された場合、共同運行が安定となるための条件式は、事業者 1 において、

$$\frac{V(1) - V(2) + V(1,2)}{2} > V(1)$$

$$\frac{R_1 - R_2 + R_{1,2} - (k_1 F_1 - k_2 F_2 + k_{1,2} F_{1,2})x}{2} > R_1 - k_1 F_1 x \quad (13)$$

事業者 2 の場合、

$$\frac{-V(1) + V(2) + V(1,2)}{2} > V(2)$$

$$\frac{-R_1 + R_2 + R_{1,2} + (k_1 F_1 - k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x}{2} > R_2 - k_2 F_2 x \quad (14)$$

となる。両者の条件式は整理すると、ともに(15)式で表すことができる。

$$(-R_1 - R_2 + R_{1,2}) + (k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x > 0 \quad (15)$$

(15)式の 2 つの項は、3.(1)の共同運行が有効となる条

件①, ②に相当する。(15)式を満足するための条件について, 前述の2つの便数パターンについて検討する。

1) パターン1: $F_1 + F_2 = F_{1,2}$ の場合

k_i の値によって, 共同運行で費用が削減されない場合も想定される。その場合は, 運賃収入の項: $(-R_1 - R_2 + R_{1,2})$ が正, すなわち共同運行で運賃収入が増加する必要がある。さらに次式が成立する必要がある。

$$|-R_1 - R_2 + R_{1,2}| > |(k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x|$$

すなわち, 共同運行による運賃収入増加が, 共同運行による費用増加を上回れば, シャプレイ値による利得配分の下, 共同運行は安定となる。

2) パターン2: $F_1 + F_2 > F_{1,2}$ の場合

運行本数の削減は, k_i の削減につながることから,

$$k_1 F_1 + k_2 F_2 > k_{1,2} F_{1,2}$$

が成立すると考えられる。よって, 便数の減少によって共同運行後の運賃収入の減少が発生した場合でも,

$$|-R_1 - R_2 + R_{1,2}| < |(k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x|$$

が成立し, 費用の減少分が運賃収入の減少分を上回れば, シャプレイ値による利得配分の下, 共同運行は安定となる。

したがって, 収益面から分析した結果, シャプレイ値配分は, 運賃収入の増加, あるいは費用の減少を通じて, 共同運行によって両事業者の利得の総和が増加するケースにおいて, 両事業者が共同運行に参加するインセンティブを担保する利得・費用の配分方法であるといえる。

(2) 赤字補填補助制度を考慮した配分ルールの検討

1.で論じたように, 一般的に地方の公共交通においては赤字路線が多いため, 次式が成り立つことも少くない。

$$V(1) < 0, V(2) < 0 \quad (16)$$

(16)式から, 新たに赤字額を D と表記するとそれぞれ,

事業者1の赤字:

$$D(1) = k_1 F_1 x - R_1 \quad (17)$$

事業者2の赤字:

$$D(2) = k_2 F_2 x - R_2 \quad (18)$$

となる。さらに, 共同運行化してもなお全体で赤字となる場合の赤字額は次式で示される。

$$D(1,2) = k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2} \quad (19)$$

ここで, 地方自治体からのバス事業者の赤字額に対する補助率を $\mu (0 \leq \mu \leq 1)$ とする。その上で本研究では, 表-2 に示す4種類の補助ルールを想定し, 各補助ルールの下で共同運行化, シャプレイ値に基づいて利得・費用配分を実施した場合の共同運行の成立要件について検討する。また各補助ルールを通じて適用される, 単独運行時, 共同運行時の補助スキームを表-3, 表-4 にそれぞれ示す。

表-2 想定する補助ルール

場合	内容
(i)	補助率 μ が一定で, 共同運行でない場合, k_i の値が小さい事業者2を費用の算定基準とする。
(ii)	補助率 μ が一定で, 共同運行でない場合, k_i の値が大きい事業者1を費用の算定基準とする。
(iii)	共同運行の場合補助率 μ を増加させ, k_i の値が小さい事業者2を費用の算定基準とする。
(iv)	共同運行の場合補助率 μ を増加させ, k_i の値が大きい事業者1を費用の算定基準とする。

表-3 単独運行時の補助スキーム

	事業者1	事業者2
赤字額	$k_1 F_1 x - R_1$	$k_2 F_2 x - R_2$
補助額	$\mu(k_1 F_1 x - R_1)$	$\mu(k_2 F_2 x - R_2)$
残存赤字額	$(k_1 - \mu k_1) F_1 x - (1 - \mu) R_1$	$(k_2 - \mu k_2) F_2 x - (1 - \mu) R_2$

表-4 共同運行時の補助スキーム

	事業者1	事業者2
全体の赤字額	$D(1,2) = k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2}$	
配分赤字額	$\frac{D(1) - D(2) + D(1,2)}{2}$	$\frac{-D(1) + D(2) + D(1,2)}{2}$
全体の補助額	$B(1,2) = \mu(k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2})$	
配分補助額	$\times \frac{B(1,2)}{2D(1,2)}$	$\times \frac{B(1,2)}{2D(1,2)}$
残存赤字額	$RD(1) =$	$RD(2) =$
赤字額	配分赤字額 - 配分補助額	配分赤字額 - 配分補助額

(i) の場合

補助額を新たに B とおくと, 実際に各事業者が受給する補助額はそれぞれ

$$\text{事業者1の補助} : B(1) = \mu(k_2 F_1 x - R_1) \quad (20)$$

$$\text{事業者2の補助} : B(2) = \mu(k_2 F_2 x - R_2) \quad (21)$$

補助を受けた後の両事業者の残存赤字を新たに RD とおくとそれぞれ,

事業者1の残存赤字:

$$RD(1) = (k_1 - \mu k_2) F_1 x - (1 - \mu) R_1 \quad (22)$$

事業者2の残存赤字:

$$RD(2) = (1 - \mu)(k_2 F_2 x - R_2) \quad (23)$$

となる。

共同運行時, 補助に先立ってシャプレイ値により, 赤字額を再配分すると, 表-5 のようになる。一方, 共同運行時の両事業者全体への補助額は, 以下のように表すことができる。

$$B(1,2) = \mu(k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2}) \quad (24)$$

両事業者は, 表-5 に示すシャプレイ値の比率で, (24)式式の補助を按分するものとする。このとき, 事業者1の

表-5 共同運行時の赤字額のシャプレイ値配分

事業者 1 への配分赤字額		
グループ 形成 過程	1→2	$D(1)$
	2→1	$D(1,2) - D(2)$
平均 (シャプレイ 値)		$\frac{D(1) - D(2) + D(1,2)}{2}$
シャプレイ値 の具体化		$\frac{(k_1F_1x - R_1) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_2F_2)x - (R_{1,2} - R_2)\}}{2}$

事業者 2 への配分赤字額		
グループ 形成 過程	1→2	$D(1,2) - D(1)$
	2→1	$D(2)$
平均 (シャプレイ 値)		$\frac{-D(1) + D(2) + D(1,2)}{2}$
シャプレイ値 の具体化		$\frac{(k_2F_2x - R_2) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_1F_1)x - (R_{1,2} - R_1)\}}{2}$

残存赤字は、

$$\begin{aligned}
 RD(1)' &= \frac{(k_1F_1x - R_1) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_2F_2)x - (R_{1,2} - R_2)\}}{2} \\
 &\quad - \mu(k_{1,2}F_{1,2}x - R_{1,2}) \\
 &\quad \times \frac{(k_1F_1x - R_1) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_2F_2)x - (R_{1,2} - R_2)\}}{2(k_{1,2}F_{1,2}x - R_{1,2})} \\
 &= (1 - \mu) \\
 &\quad \times \frac{(k_1F_1x - R_1) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_2F_2)x - (R_{1,2} - R_2)\}}{2}
 \end{aligned} \tag{25}$$

事業者 2 の残存赤字は、

$$\begin{aligned}
 RD(2)' &= \frac{(k_2F_2x - R_2) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_1F_1)x - (R_{1,2} - R_1)\}}{2} \\
 &\quad - \mu(k_{1,2}F_{1,2}x - R_{1,2}) \\
 &\quad \times \frac{(k_2F_2x - R_2) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_1F_1)x - (R_{1,2} - R_1)\}}{2(k_{1,2}F_{1,2}x - R_{1,2})} \\
 &= (1 - \mu) \\
 &\quad \times \frac{(k_2F_2x - R_2) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_1F_1)x - (R_{1,2} - R_1)\}}{2}
 \end{aligned} \tag{26}$$

共同運行で運賃収入の増加や費用の削減により、両事業者全体の赤字が減少できる場合、

$$D(1) + D(2) > D(1,2) \tag{27}$$

となる。先に事業者 2 の残存赤字を比較すると、

単独運行の場合：

$$(1 - \mu)(k_2F_2x - R_2) = (1 - \mu)D(2)$$

共同運行の場合：

$$\begin{aligned}
 &(1 - \mu) \\
 &\quad \times \frac{(k_2F_2x - R_2) + \{(k_{1,2}F_{1,2} - k_1F_1)x - (R_{1,2} - R_1)\}}{2} \\
 &= (1 - \mu) \times \frac{D(2) + D(1,2) - D(1)}{2}
 \end{aligned}$$

より、共同運行で赤字が削減可能な場合、 $D(1)+D(2) > D(1,2)$ が成立することから

$$D(2) > \frac{D(2) + D(1,2) - D(1)}{2} \tag{28}$$

となる。すなわち、共同運行で赤字が削減可能な場合、自治体からの補助を考慮しても事業者 2 にとって共同運行に参加するインセンティブが担保される。

一方で事業者 1 の残存赤字は、

単独運行の場合： $D(1) - B(1) (A)$

共同運行の場合： $(1 - \mu) \times \frac{D(1) + D(1,2) - D(2)}{2} (B)$

よって、 $(A) > (B)$ が成立すれば、事業者 1 が共同運行に参加するインセンティブが担保される。この不等式 $(A) > (B)$ を整理すると、

$$\begin{aligned}
 &(1 - \mu)(R_{1,2} - R_1 - R_2) + (k_1F_1 + k_2F_2 - k_{1,2}F_{1,2})x \\
 &\quad + \mu(-k_1F_1 - k_2F_2 + k_{1,2}F_{1,2})x \\
 &\quad + 2\mu(k_1 - k_2)F_1x > 0
 \end{aligned}$$

ここで、

$$\textcircled{1} : (k_1F_1 + k_2F_2 - k_{1,2}F_{1,2})x \quad \textcircled{2} : R_{1,2} - R_1 - R_2$$

とすると、事業者 1 が共同運行に参加するためには、

$$(1 - \mu)(\textcircled{1} + \textcircled{2}) + 2\mu(k_1 - k_2)F_1x > 0 \tag{29}$$

が成立する必要がある。共同運行が望ましいとき、(29)式の第 1 項は正となる。また、 $k_1 > k_2$ より、第 2 項も正となる。すなわち、事業者 1 についても共同運行に参加するインセンティブが担保されている。

(ii) の場合

単独運行時、両事業者が受け取る補助額はそれぞれ、

$$\text{事業者 1 の補助} : B(1) = \mu(k_1F_1x - R_1) \tag{30}$$

$$\text{事業者 2 の補助} : B(2) = \mu(k_2F_2x - R_2) \tag{31}$$

両事業者の残存赤字はそれぞれ、

事業者 1 の残存赤字：

$$RD(1) = (1 - \mu)(k_1F_1x - R_1) \tag{32}$$

事業者 2 の残存赤字：

$$RD(2) = (k_2 - \mu k_1)F_2x - (1 - \mu)R_2 \tag{33}$$

となる。

共同運行時、赤字額のシャプレイ値による配分は表-5 に示す通りである。また、共同運行時の全体補助額、配分補助額、及び残存赤字額は(i)の場合と同様となる。

先に事業者 1 の残存赤字を比較すると、

単独運行の場合：

$$(1 - \mu)(k_1F_1x - R_1) = (1 - \mu)D(1)$$

共同運行の場合：

$$(1 - \mu) \times \frac{(k_1 F_1 x - R_1) + \{(k_{1,2} F_{1,2} - k_2 F_2)x - (R_{1,2} - R_2)\}}{2}$$

$$= (1 - \mu) \times \frac{D(1) + D(1,2) - D(2)}{2}$$

より、共同運行で赤字が削減可能な場合、

$$D(1) > \frac{D(1) + D(1,2) - D(2)}{2}$$

が成立するため、(i)における事業者 2 と同様に、共同運行で赤字額が削減される場合、事業者 1 にとって共同運行に参加するインセンティブが担保される。

一方で事業者 2 の残存赤字は、

単独運行の場合： $D(2) - B(2)$ (A)

共同運行の場合： $(1 - \mu) \times \frac{D(2) + D(1,2) - D(1)}{2}$ (B)

(A)>(B)が成立すれば共同運行に参加するインセンティブが担保される。(A)>(B)を整理すると、

$$(1 - \mu)(R_{1,2} - R_1 - R_2) + (k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x$$

$$+ \mu(-k_1 F_1 - k_2 F_2 + k_{1,2} F_{1,2})x$$

$$+ 2\mu(k_2 - k_1)F_2 x > 0$$

(i)と同様に、

$$\textcircled{1} : (k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x \quad \textcircled{2} : R_{1,2} - R_1 - R_2$$

とすると、

$$(1 - \mu)(\textcircled{1} + \textcircled{2}) + 2\mu(k_2 - k_1)F_2 x > 0 \quad (34)$$

が成立する必要がある。共同運行が望ましいとき、第 1 項が正となる。一方第 2 項は、 $k_1 > k_2$ より負となる。したがって、 k_1 と k_2 の差が大きい場合、(34)式が成立せず、共同運行が望ましい場合であっても事業者 2 が共同運行に参加するインセンティブは保障されない。

(iii)の場合

単独運行時の補助額、残存赤字額は(i)と同様(20)式、(21)式及び(22)式、(23)式で与えられる。

一方共同運行時は補助率を増加させるという条件から、新たに補助率 μ' ($\mu' > \mu$)を定義する。

共同運行時の両事業者全体への補助：

$$B(1,2) = \mu'(k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2}) \quad (35)$$

ゆえに事業者 1 の残存赤字は、

$$RD(1)'$$

$$= \frac{(k_1 F_1 x - R_1) + \{(k_{1,2} F_{1,2} - k_2 F_2)x - (R_{1,2} - R_2)\}}{2}$$

$$- \mu'(k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2})$$

$$\times \frac{(k_1 F_1 x - R_1) + \{(k_{1,2} F_{1,2} - k_2 F_2)x - (R_{1,2} - R_2)\}}{2(k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2})}$$

$$= (1 - \mu')$$

$$\times \frac{(k_1 F_1 x - R_1) + \{(k_{1,2} F_{1,2} - k_2 F_2)x - (R_{1,2} - R_2)\}}{2} \quad (36)$$

事業者 2 の残存赤字は、

$$RD(2)'$$

$$= \frac{(k_2 F_2 x - R_2) + \{(k_{1,2} F_{1,2} - k_1 F_1)x - (R_{1,2} - R_1)\}}{2}$$

$$- \mu'(k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2})$$

$$\times \frac{(k_2 F_2 x - R_2) + \{(k_{1,2} F_{1,2} - k_1 F_1)x - (R_{1,2} - R_1)\}}{2(k_{1,2} F_{1,2} x - R_{1,2})}$$

$$= (1 - \mu')$$

$$\times \frac{(k_2 F_2 x - R_2) + \{(k_{1,2} F_{1,2} - k_1 F_1)x - (R_{1,2} - R_1)\}}{2} \quad (37)$$

先に事業者 2 の残存赤字を比較すると、

単独運行の場合： $(1 - \mu)D(2)$

共同運行の場合： $(1 - \mu') \times \frac{D(2) + D(1,2) - D(1)}{2}$

より、

$$1 - \mu > 1 - \mu' \quad \text{及び} \quad D(2) > \frac{D(2) + D(1,2) - D(1)}{2}$$

が成立するため、共同運行時の方が、残存赤字額が小さくなる。

一方で事業者 1 の残存赤字は、

単独運行の場合： $D(1) - B(1)$ (A)

共同運行の場合：

$$(1 - \mu') \times \frac{D(1) + D(1,2) - D(2)}{2} \quad (B)$$

(A)>(B)が成立すれば、共同運行に参加するインセンティブが担保される。(A)>(B)を整理すると、

$$(1 - \mu')\{(k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x + (R_{1,2} - R_1 - R_2)\}$$

$$+ 2\{\mu'(k_1 F_1 x - R_1) - \mu(k_2 F_1 x - R_1)\}$$

$$> 0$$

ここで、

$$\textcircled{1} : (k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2})x \quad \textcircled{2} : R_{1,2} - R_1 - R_2$$

とすると、

$$(1 - \mu')(\textcircled{1} + \textcircled{2})$$

$$+ 2\{\mu'(k_1 F_1 x - R_1) - \mu(k_2 F_1 x - R_1)\} \quad (38)$$

となる。共同運行で赤字額が削減される場合、(38)式の第 1 項は正となる。また、 $\mu' > \mu$, $k_1 > k_2$ より第 2 項も正となる。したがって、共同運行が望ましい場合、(38)式は成立する。

(iv)の場合

単独運行時の補助額、残存赤字額は(ii)と同様(30)式、(31)式及び(32)式、(33)式で与えられる。また共同運行時の全体補助額及び残存赤字額は(iii)の場合と同様それぞれ(35)式及び(36),(37)式で与えられる。

先に事業者 1 の残存赤字を比較すると、

単独運行の場合： $(1 - \mu)D(1)$

共同運行の場合： $(1 - \mu') \times \frac{D(1) + D(1,2) - D(2)}{2}$

より,

$$1 - \mu > 1 - \mu' \text{ 及び } D(1) > \frac{D(1) + D(1,2) - D(2)}{2}$$

が成立するため、共同運行時の方が、残存赤字額が小さくなる。

一方で事業者 2 の残存赤字は、

単独運行の場合： $D(2) - B(2) (A)$

共同運行の場合：

$$(1 - \mu') \times \frac{D(2) + D(1,2) - D(1)}{2} (B)$$

(A)>(B)が成立すれば、共同運行に参加するインセンティブが担保される。(A)>(B)を整理すると、

$$(1 - \mu') \{ (k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2}) x + (R_{1,2} - R_1 - R_2) \} + 2 \{ \mu' (k_2 F_2 x - R_2) - \mu (k_1 F_2 x - R_2) \} > 0$$

ここで、

$$\textcircled{1} : (k_1 F_1 + k_2 F_2 - k_{1,2} F_{1,2}) x \quad \textcircled{2} : R_{1,2} - R_1 - R_2$$

とすると、

$$(1 - \mu') (\textcircled{1} + \textcircled{2})$$

$$+ 2 \{ \mu' (k_2 F_2 x - R_2) - \mu (k_1 F_2 x - R_2) \} > 0 \quad (39)$$

(39)式を満たせば、事業者 2 にとって、共同運行の方が、残存赤字額が小さくなる。ここで、(39)式の第 1 項は共同運行が望ましい場合正となる。一方、第 2 項は、 $\mu' > \mu$ である一方、 $k_1 > k_2$ であるため、正負双方の可能性が存在する。例えば、 k_1 と k_2 の差が大きいとき、(39)式は成立しない。

以上、本節では自治体からの赤字補填のための補助を前提とした赤字区間で共同運行を実施した場合の利得・費用の配分ルールについて議論した。費用の算定基準となる距離単価や補助率を単独運行時、共同運行時に適切に設定することにより、共同運行が社会的に望ましい場合に共同化を促進するような補助スキームの設計が可能となると考えられる。

5. おわりに

以上、本研究では、地方公共交通における共同運行を対象に、協力ゲーム理論に基づいた利得・費用の配分ルールに関する考察を行った。まず、同一区間で 2 つの公共交通事業者が運行しているケースを想定し、共同運行が有効となる条件について整理した。次に、シャプレイ値に基づいた利得・費用配分ルールを導入した場合、共同運行が社会的に有効であれば、各事業者の共同運行参加のインセンティブを常に担保可能であることを確認した。さらに、特に地方公共交通においては路線維持のために行政から補助が実施されていることを考慮した分析を行った。赤字補填のための補助制度を前提としても、

費用の算定基準となる距離単価や補助率を単独運行時、共同運行時に適切に設定することにより、共同運行が社会的に望ましい場合に共同化を促進するような補助スキームの設計が可能となることも示した。

本研究の分析については、以下の点についてのさらなる検討が今後必要となると考えられる。

- ・利得・費用配分ルール適用の前提となる、各変数の事業者間の情報共有：本研究で提案する利得・費用配分ルールを実際に適用するためには、費用や運賃収入に関する情報を事業者間で共有する必要がある。
- ・費用のすべてを可変的であると仮定することの妥当性：実際には公共交通事業者には便数の増減に関わらず必要な固定費用が存在すると考えられる。事業者が鉄道事業者の場合は、特に固定費用を無視できないと考えられる。この点を考慮した拡張が必要と考えられる。
- ・単独運行時の運賃収入、費用の算定の妥当性：共同運行の開始時には、従前の運賃収入、費用を用いて $V(1), V(2)$ の算定が可能であると考えられる。一方共同運行が長期にわたった場合は、以前の単独運行時の変数を使用し続けることの妥当性が問われる可能性がある。

以上の点について、今後の課題としたい。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 21K04302 の助成を受けたものです。付して感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省：地域における一般乗合旅客自動車運送事業及び銀行業に係る基盤的なサービスの提供の維持を図るための私的独占の禁止及び公正取引の確保に関する法律の特例に関する法律について、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transp_or_tk_000153.html, (最終参照日 2022 年 3 月 6 日)。
- 2) 国土交通省：独占禁止法特例法の共同経営計画等の作成の手引き、<https://www1.mlit.go.jp:8088/common/001391784.pdf>, (最終参照日 2022 年 3 月 6 日)。
- 3) Adler, N., Brudner, A., and Proost, S.: A Review of Transport Market Modeling Using Game-Theoretic Principles, *European Journal of Operational Research*, Vol.291, No.3, pp.808-829, 2021.
- 4) de Palma, A. and Lindsey, R.: Optimal Timetables for Public Transportation. *Transportation Research Part B*, Vol.35, No.8, pp.789-813, 2001.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 越後紘志, 岸邦宏：北海道の鉄道路線維持のための

- 地方自治体間の費用負担割合に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.76, No.5, pp.I_1047-I_1059, 2021.
- 8) 榊原弘之, 塚本純也: 広域バス路線における地方自治体間の費用分担ルールに関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.43, 108, 2011.
- 9) 鈴木崇正, 渡邊拓也, 深澤紀子, 奥田大樹: 地方鉄道における不完全なパターンダイヤに対する評価に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No.64, 2021.
- 10) 日本政策投資銀行: 地域公共交通の維持・発展に向けて-乗合バスへの運賃プール適用に期待される効果-, https://www.dbj.jp/upload/investigate/docs/d7d88b1d26d_e3e18a8e1b2a892bdca58_3.pdf (最終参照日 2022年3月6日) .
- 11) 渡辺隆裕: ゼミナール ゲーム理論入門, 日本経済新聞出版社, 2008.