

連絡橋プロジェクトに対する合意形成型費用配分法の有用性の考察

A Study on the Utility of the Formed Agreement Cost Allocation Model to the Connecting Bridge Project*

藤村秀樹** 溝上章志*** 柿本竜治****

By Hideki Fujimura**, Shoshi Mizokami*** and Ryuji Kakimoto****

1. はじめに

筆者らは、複数の事業主体により実施される公共基盤整備や新しい事業手法の導入の費用配分法として、従来の分離費用身替り妥当支出法などでは考慮できなかった関係者の意見を集約する機能を備えた合意形成型費用配分法¹⁾を提案している。本研究では、2章でこの費用配分法の概要を示す。そして、北九州市の第二若戸連絡道路を例に取り、評価委員会によって提示された主体間のウェイトを用いた配分解の計算を行う。3章では、求められた配分解に非協力ゲーム理論に基づきナッシュ均衡点や部分ゲーム完全均衡点等の考察を行い、提案したモデルの有用性を検証した。

2. 合意形成型費用配分法による配分解の特性

(1) 合意形成型費用配分法の概要

合意形成型費用配分解は、可能投資限度額 E_i と委員会の総合評価値 F_i を D/G で内分したものととして定義され、配分解は次式で表される。

$$X_i = \begin{cases} \left(1 - \frac{D}{G}\right) \cdot E_i + \frac{D}{G} \cdot F_i & (\text{if } E_i \geq F_i) \\ E_i & (\text{if } E_i \leq F_i) \end{cases}$$

ここに、 i は事業主体、 N は事業主体数、 E_i は可能投資限度額、 F_i は重み費用であり、 $G = \sum_{i=1}^N \max\{E_i - F_i, 0\}$ 、 $D = \sum_{i=1}^N E_i - F$ である。この合意形成型費用配分法では、委員会の評価値である重み費用 F_i ($F_i = f_i \cdot F$ 、 f_i = 重みベクトル、 F = 全体事業費) が各事業主体の主張する便益の評価額である可能投資限度額 E_i と同等な意味を持つことになる。この費用配分法において、可能投資限度額 E_i と重み費用 F_i の大小関係により配分解がどのような特性の違いを示すかを把握す

るため、簡単なモデルを設定し配分解を求めた。例えば全てのプレイヤーにおいて $F_i \leq E_i$ の場合には、配分解は重みベクトルの位置 M_i で決定される。一人のプレイヤーが $F_i \geq E_i$ ($i=1$) の場合には、そのプレイヤーの配分解は可能投資限度額 E_i となり、他の二人のプレイヤー ($i=2,3$) の配分解は E_i と F_i を D/G で内分した点 M_i となる。二人のプレイヤーが $F_i \geq E_i$ ($i=2,3$) の場合には、配分解は E_i と E_i の交点 M_i となる。図-1 は、配分解の特性を表したものである。

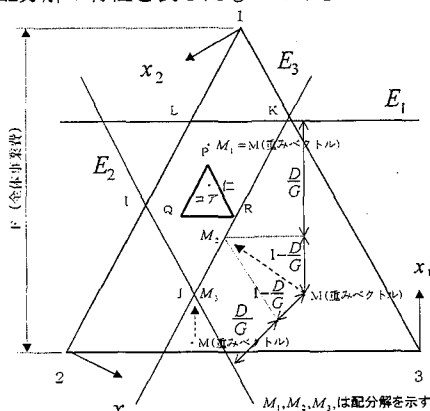


図-1 配分解 x_i の特性図

(2) 第二若戸連絡橋プロジェクトに対する計算例

北九州市に建設が予定されている第二若戸連絡橋を例に取り上げ、委員会の評価値である重みベクトルの時系列的変化 (1996年6月~1998年2月に AHP 法により 3 回実施) に対応した費用配分解の試算を行う。表-1 に、計算の条件、ゲーム論による配分法と慣用法による配分結果をあわせて示す。図-2 は計算結果を三角座標に表したものである。これより、合意形成型費用配分法における配分解は、時間の経過と共に仁および Shapley 値に近づくことが分かる。また、いずれの調査時点においても、委員会 (M) は、都市高速道路公社 V_R に対し、計算された可能投資限度額以上の負担を求めていることが明らかとなった。

*Keywords: 社会基盤整備, 費用配分, 合意形成, ゲーム理論

** 学生員 熊本大学大学院自然科学研究科博士課程

*** 正員 工博 熊本大学工学部環境システム工学科教授

**** 正員 博(学術) 熊本大学大学院自然科学研究科

〒860-0862, 熊本市黒髪2丁目39-1 TEL096-344-2111, FAX342-3507

表-1 実際のモデルにおける配分解の変化

設定条件	E1=597.2 E2=223.5 E3=102.8 F1=422.8 F2=126.7 F3=150.5 V(1, 2)=700 V(1, 3)=700 V(2, 3)=700		
主体 配分解	公共 (V_p)	三セク (V_s)	道路公社 (V_k)
I. Shapley 値	502.6	128.9	58.5
II. 仁	511.2	137.5	51.3
III. 合意形成(1)	425.7	171.5	102.8
III. 合意形成(2)	409.6	187.6	102.8
III. 合意形成(3)	453.6	143.7	102.8
IV. 分離費用身替り 妥当支出法	523.4	121.0	55.6
V. 身替り妥当支 出法	452.7	169.5	77.9

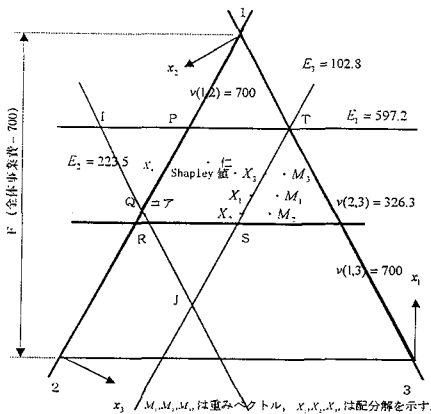


図-2 合意形成型費用配分法による配分解の推移

3. 非協力ゲーム理論による配分解の考察

合意形成型費用配分法による配分解の有用性を検討するため、非協力ゲームの均衡解であるナッシュ均衡点やパレート最適性の検討を行う。また、非協力ゲームの状態から、プレイヤー間の同意が拘束的な協力ゲームへの変化する要因を明らかにするために、試算に基づいて各ゲームの均衡解の検討を行う。

(1) 展開型ゲームによる配分解の考察

連絡橋プロジェクトにおける協力関係を事業主体の組み合わせとして表現し、各ケースごとの事業費を合意形成型費用配分法で試算した結果を、表-2に示す。表-2で示した非協力ゲームのケースⅠ～Ⅷにおいて、ケースⅧがパレート最適であるために

必要な各プレイヤー i の配分解(x_i)の条件式は、 $x_i \leq x_i^*$ $\forall i \in N$ かつ $x_i < x_i^*$ $\exists i \in N$ である。連絡橋プロジェクトは、この条件を満たしているため、ケースⅧにおいてパレート最適であると言える。

表-2 事業主体の組み合わせによる負担額の推移

プレイヤー ケース	公共 (V_P)	三セク (V_S)	道路公社 (V_R)	事業費
I	—	—	—	—
II	500	—	—	500
III	—	500	—	500
IV	—	—	500	500
V	—	271.5	228.5	500
VI	515.9	184.1	—	700
VII	597.2	—	102.8	700
VIII	453.5	143.7	102.8	700

(2) 非協力ゲーム理論による均衡点の検討

図-3は、連絡橋プロジェクトの協力関係を表したものである。このモデルにおいては、複雑化を避けるためにプレイヤーは公共(国+地方)と公社(第三セクター+高速道路公社)の二人としているがプレイヤーが増加しても以下の展開に支障はない。

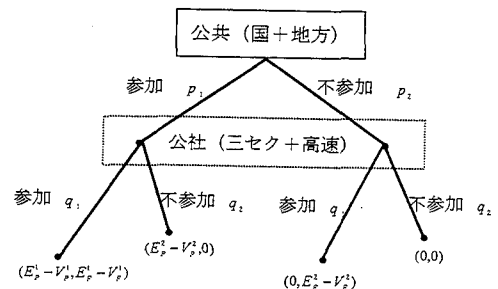


図-3 連絡橋プロジェクトの協力関係

表-3は、表-1の合意形成型(3)と表-2から得られる戦略型モデルの利得表である。これによると、公共と公社が共に参加する(1, 1), (2, 2)が純戦略のナッシュ均衡点となっている。また、公共が選択できる戦略の内、「参加する」は「参加しない」を支配しており、公社が選択できる戦略においても、「参加する」は「参加しない」を支配していることが分かる。これより、ゲームが成立するためには公共の参加は必須条件であり、このプロジェクトにおける

キーマンであることが理解できる。図-4 は、表-3 で表した利得表の解集合を表したものである。表-4 は、表-1 の Shapley 値による配分解と表-2 に基づき得られる戦略型モデルの利得表である。

ここで、プレイヤー 1（公共）の混合戦略の確率分布を $p=(p_1,p_2)$ とし、プレイヤー 2（公社）の混合戦略の確率分布を $q=(q_1,q_2)$ とおくと、プレイヤー 1 及びプレイヤー 2 の期待値は、それぞれ次式のように表される。
 $E_1(p,q)=E_1(p,1)q_1+E_1(p,2)q_2$
 $E_2(p,q)=E_2(1,q)p_1+E_2(2,q)p_2$

表-3 連絡橋プロジェクトの利得表 I
(合意形成型モデルの場合)

公共 (国+地方)	公社 (三セク+道路公社)	
	参加する q_1	参加しない q_2
参加する p_1	143.7, 79.8	-102.8, 0
参加しない p_2	0, -173.7	0, 0

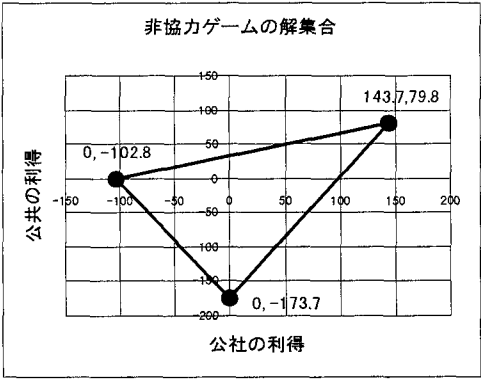


図-4 非協力ゲームの解集合

表-4 連絡橋プロジェクトの利得表 II
(Shapley 値に基づく場合)

公共 (国+地方)	公社 (三セク+道路公社)	
	参加する q_1	参加しない q_2
参加する p_1	94.6, 138.9	-197.4, 0
参加しない p_2	0, -173.7	0, 0

表-3 の行列から混合戦略の組 (p^*,q^*) におけるナッシュ均衡点を求めると $P^*=(P_1^*,P_2^*)=(0.69,0.31)$,

$q^*=(q_1^*,q_2^*)=(0.41,0.59)$ であり、均衡利得は、 $E(p^*,q^*)=(0,0)$ である。同様に、表-4 の行列からは、 $E(p^*,q^*)=E((0.56,0.44),(0.68,0.32))=(0,0)$ が混合戦略のナッシュ均衡点として得られる。

(3) 均衡解の考察

次に、前節で求められた 3 つのナッシュ均衡点について、プレイヤーの選択が同時であるとした場合（静学的）と、逐次手番であるとした場合（動学的）の考察を行う。

(a) 均衡解の静学的考察

図-5 は、合意形成型費用配分モデルにおける最適反応集合をグラフに表したものであり、次の①～④の関係を表したものである。

- ① $p_1 \geq 0.69, q_1 \geq 0.41$ の場合には、公共と公社は両者とも利得 (+,+) を得ることが出来る。
- ② $p_1 \leq 0.69, q_1 \geq 0.41$ の場合には、公共は(+), 公社は(-) の利得を得ることが出来る。
- ③ $p_1 \geq 0.69, q_1 \leq 0.41$ の場合には、公共は(-), 公社は(+) の利得を得ることが出来る。
- ④ $p_1 \leq 0.69, q_1 \leq 0.41$ の場合には、公共と公社は両者とも損失 (-,-) でしかあり得ない。

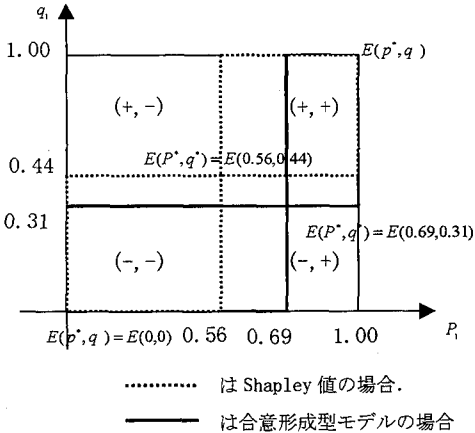


図-5 最適反応集合と均衡解

図-5 におけるナッシュ均衡点 $E(p^*,q^*)=(0,0)$ は、各プレイヤーがプロジェクトを推進することによるリスクを恐れ、お互いに「躊躇」して何も行動しない状態である。混合戦略のナッシュ均衡点である $E(p^*,q^*)=(0.69,0.31)$, $E(p^*,q^*)=(0.55,0.45)$ は各プレイヤーが採算ぎりぎりのところで、プロジェクトへの参加をた

めらっている状況である。よって、混合戦略におけるナッシュ均衡点を如何に通過するかが事業推進の大きなポイントとなる。この為には、ゲームに参加するプレイヤーが各々の配分解に納得することが必要である。この意味では、合意形成型モデルに基づく均衡点は、他の費用配分法と異なり、単なる経済ベースのものではなく説得力を有するものであり、プロジェクトの推進に必要な合意の形成に特に有効であると考えられる。なお、ナッシュ均衡点の改善には、以下の3方法が考えられる。

- ①各プレイヤーの事業費を低減し、 $E_p - V_p \geq 0$ かつ $E_p - V_p \geq 0$ の個人合理性の条件を改善する。
- ②第三者機関が、各々のプレイヤーのリスクを肩代わりする旨の取り決めを行う。
- ③各プレイヤーがそれぞれの状況を把握し、提携によるメリットを理解し、協力ゲームとしてプロジェクトを推進する。つまり、利得の関係で言えば各プレイヤーにおいて、 $E_i(p, q) \geq 0$, $E_i(p, q) \geq 0$ の関係が成立しなければならない。

(b) 均衡解の動学的考察

プレイヤー 1(公共)とプレイヤー 2(公社)における均衡解の性質を分析する目的で、図-6 に示す逐次手番の展開型ゲームを想定する。つまり、第一の手番(u_1)においては公共がプロジェクトへの参加(Y)、不参加(B)を選択し、第二の手番では公社が公共の取った行動を知った上で、自分の行動を選択できるとする。そして、公社が情報集合(u_{21})での局所戦略として行動(Y)を取り、情報集合(u_{22})での局所戦略として(B)を取ることを指示する純戦略の組を(u_{21} , u_{22})=(YB)と書き表すことにすると、公社の純戦略の組は、(u_{21} , u_{22})=(YY, YB, BY, BB)と表すことができる。また、このゲームの均衡利得は表-5 のようになる。ここで、 Γ はゲーム全体を表し、 Γ_1, Γ_2 はそれ

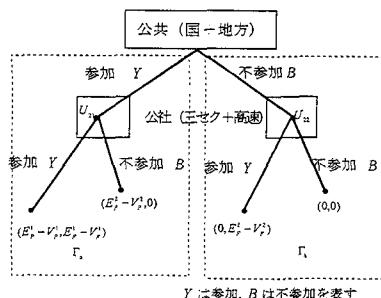


図-6 情報を持つ展開型ゲーム

表-5 情報を持つゲームの利得表

公社 公共	YY	YB	BY	BB
Y	79.8* 143.7*	79.8* 143.7*	0 -102.8	0 -102.8
B	-173.7 0	0 0	-173.7 0	0* 0*

上段は公社の利得, 下段は公共の利得を表す

ぞれの部分ゲームを表す。ナッシュ均衡点は、(Y, Y), (Y, B), (B, BB) の3通り存在し、均衡利得は、(143.7, 79.8), (143.7, 79.8), (0, 0)である。表-5より、これらの均衡解の内(Y, B)のみが部分ゲーム完全均衡点であることが理解できる。図-5より、今回の連絡橋プロジェクトにおいては、公共のプロジェクトの参加意志がはっきりしているので、合意形成型モデルを採用することにより、より合意形成を図りやすくなると考えられる。また、表-5より、公社が公共の出方を伺いながら協調行動を取ることが、ゲームの最適戦略であると結論付けられる。

4. まとめ

本研究では、以下のような成果が得られた。

- (1)合意形成型費用配分法における配分解は、委員会の評価が加味されており、その配分解には他の費用配分法には見られない説得力を持つものである。
- (2)よって、本費用配分法では、事業に参加するプレイヤーは、受益の限度一杯まで負担する事を容易に納得する。この事が、また、他のプレイヤーの参加意欲をさらに増加させる。
- (3)従って、合意形成型費用配分法は、プロジェクトを推進しようとする強い意志を持ったリーダーが存在する場合に、特に有効であると考えられる。
- (4)連絡橋を対象としたプロジェクトにおける配分解はナッシュ均衡解であり、かつパレート最適性を有する解である。
- (5)本プロジェクトにおいて、公共はゲームを支配するキーマンとなっており、一貫してプロジェクトへの参加を表明することが必要である。

参考文献：

- 1) 藤村秀樹, 溝上章志, 柿本竜治, : 合意形成型費用配分モデルに関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp35-42, 1997.9