

VI-201 建設発生土再利用モデルの適用により生じた発生便益の配分方法の提案*

ー協力ゲーム理論における「仁」の応用ー

神戸大学大学院 学生会員 徳永 大輔**

神戸大学工学部 正会員 富田 安夫**

1.はじめに

これまで開発されている建設発生土再利用モデルの利用によって、地域内の工事全体の提携によって多額の便益が生じることがわかってきている。しかしながら、地域全体の工事の提携を成立させるためには、提携を損なうことなく合理的に総便益を配分することが必要とされている。本研究では、協力ゲームの理論(「仁」)に基づいた合理的な便益配分方法を提案している。

2.建設発生土再利用モデル

ここでの建設発生土再利用モデルとは、富田・寺嶋¹⁾によるモデルを簡略化したものであり、図1に示すような地域内の土砂の流れを、搬出工事、搬入工事、ストックヤード、土砂処分場、採取場での土砂入出量制約および容量制約のもとで、地域全体としての総費用(輸送費用・購入費用・処分費用・ストックヤード利用費用の総和)を最小化する線形計画モデル(図2)である。

土砂の再利用にあたっては、工事間において土量、時期が一致することが必要であり、土量の一致に関しては、搬出・搬入工事、ストックヤードにおける入出土量条件として与える。また、時期の一致に関しては、同時期の土砂においてのみ再利用を認める。

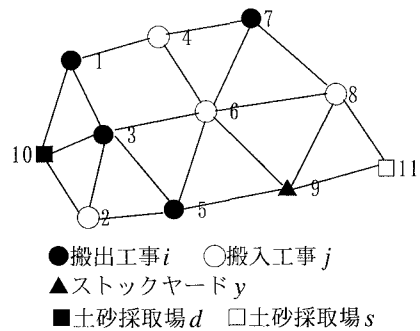


図1 仮想地域の設定

$$\text{【目的関数】 } C_S = \sum_t \sum_{\alpha} \sum_{\beta} C_{\alpha\beta} X_{\alpha\beta}^t \rightarrow \min$$

$$\text{【制約条件】 } \sum_{\beta} X_{i\beta}^t = a_i^t \quad (i = 1, \dots, m, t = 1, \dots, T) \quad (\text{搬出量制約式})$$

$$\sum_{\alpha} X_{\alpha j}^t = b_j^t \quad (j = 1, \dots, n, t = 1, \dots, T) \quad (\text{搬入量制約式}) \quad q_y^{t-1} + \sum_{\alpha} X_{\alpha y}^t - \sum_{\beta} X_{y\beta}^t = q_y^t \quad (\text{ストックヤード制約式})$$

C_S : 提携 S 内の工事を対象とした場合の総費用(円) $C_{\alpha\beta}$: 提携 S 内工事/施設 (α, β) 間の距離(km) $(\alpha, \beta = i, j, y, d, s)$

$X_{\alpha\beta}^t$: t 期における提携 S 内工事/施設 (α, β) 間の輸送土量(m^3) a_i^t : 搬出工事 i の第 t 期の搬出土量(m^3)

b_j^t : 搬入工事 j の第 t 期の搬入土量(m^3) q_y^t : スtockヤード y の t 期における土砂のストック量(m^3)

m : 搬出工事数 n : 搬入工事数 T : 対象計画期間数 i, j, y, d, s : 搬出工事, 搬入工事, スtockヤード, 処分場, 採取場の添字

図2 モデル式

3.協力ゲーム理論(「仁」)を用いた発生便益配分方法

3.1 仁による発生便益配分の考え方

建設発生土再利用モデルによって発生した便益は、地域内の各工事(以下では「プレイヤー」と呼ぶ)が「提携」して全体として最適化を行った結果であり、このようにして生じた便益は、協力ゲーム理論により何らかの合理性を与える配分を示唆する。本論では、その中の配分で、仁に基づいて配分を行うものとする。仁とは、各プレイヤーが自己の取り分をもっとも有利になるように主張するとともに、それによって全

*キーワード: 施工計画・管理、協力ゲーム理論、仁

** (住所: 〒658-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 Tel&Fax: 078-803-1014)

提携そのものが不成立にならないようにするという考慮が働くことにより、不満を残しながらもある点でやむをえないとして妥協する点を見出した配分である。このような配分は、任意の実行可能な総便益が与えられたとき、 n 人の各プレイヤーへの配分 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ を、任意の提携 S の不満 $e(\mathbf{X}, S)$ の最大値を(辞書式に)最小化しながら決定したものとして求めることができる²⁾。換言すれば、仁とは、全体提携を組むことに対して最も不満が少なく安定的である配分結果であるとも言える。

3.2 提携 S の便益 $v(S)$ および不満 $e(\mathbf{X}, S)$ の定義

提携 S の便益 $v(S)$ は、提携 S 内の各プレイヤー $\{i\}$ が提携を組まずに単独に土砂を処分あるいは購入した場合の費用 $C_{\{i\}}$ の総和から、提携 S 内の各プレイヤーが提携を組むことによって最小化された費用 C_S (建設発生土モデルによって求められる最小化費用)を差し引いたもの ($v(S) = \sum_{i \in S} C_{\{i\}} - C_S$) として定義できる。

次に、全体提携 N によって生じる便益 $v(N)$ の各プレイヤーへの配分を $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ ($v(N) = \sum_{i \in N} X_i, X_i \geq 0$) とすれば、任意の提携 S の不満 $e(\mathbf{X}, S)$ は、提携 S による便益 $v(S)$ と、提携 S 内のプレイヤーへの配分総額 ($\sum_{i \in S} X_i$) との差分 ($e(\mathbf{X}, S) = v(S) - \sum_{i \in S} X_i$) として定義できる。

3.3 仁による便益配分の計算方法

仁を求めるため、次に示すような、逐次的に線形計画法を繰り返し解く方法³⁾を用いる。

- 1) すべての提携 S について、建設発生土再利用モデルを用いて提携 S を行った場合の最小化費用を求め、これより、提携内の各プレイヤー(工事)が単独に行動した場合の費用を差し引くことによって、便益 $v(S)$ を計算する。この過程において、全体提携 N における便益 $v(N)$ も求められ、この便益が以下において便益配分されるべき総額である。
- 2) すべての提携 S に関して、その最大不満を最小化するための便益配分は、次の線形計画問題 ($v(S)$ 、 $v(N)$: 定数、 z 、 X_i : 変数) を解くことによって求められる。その最小値を z^1 とする。

$$z \rightarrow \min \text{ subject to } v(S) - \sum_{i \in S} X_i \leq z, \quad v(N) - \sum_{i \in N} X_i = 0, \quad X_i \geq 0$$

- 3) 2) で求めた最適解 z^1 は、最大の不満の最小値であり、この不満を提示している提携の不満水準を z^1 に固定して、次の線形計画問題を解く。

$$z \rightarrow \min \text{ subject to } v(S) - \sum_{i \in S} X_i = z^1, \quad v(S) - \sum_{i \in S} X_i \leq z, \quad v(N) - \sum_{i \in N} X_i = 0, \quad X_i \geq 0$$

- 4) 2) および 3) において求めた z^1, z^2 を提示している提携の不満水準をそれぞれ z^1, z^2 に固定し 3) と同様に線形計画問題を解く。このような過程を繰り返すうちに、便益配分 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ の要素が次第に決定されていく。全ての便益配分の要素が決定されるまで繰り返す。

4. おわりに

建設発生土再利用モデルにおける発生便益の、「仁」を用いた配分方法を提案した。ただし、本方法では、プレイヤー数の増加に伴って、検討すべき提携数が指数的に増大するため便益配分計算が困難となるという課題が残されている。そこで、今後は、プレイヤーが想定するであろう提携を、プレイヤーの空間的な位置関係から限定し、便益配分計算を行うことを考えている。

【参考文献】

- 1) 富田・寺嶋：工事開始時期と工期の調整を考慮した建設残土輸送計画モデル, 土木計画学研究論文集, No. 13, 1996
- 2) 岡田：社会システムのルール設計としてみたゲーム理論, 土木計画学研究論文集, No. 14, 1997
- 3) 林：ごみ処理施設共同事業の仁による費用負担分析, パーティション・リサーチ, pp214-220, 1978.4