

## 衛星開発における資源分配の最適化手法の提案

An Optimization Method of Resource Allocation in Satellite Development

航空宇宙システム工学コース 05174013 花田 行弥

指導教員 佐原 宏典

Key Words : Satellite Development, Resource Allocation, Game Theory

**Abstract:** A certain tolerance disturbs industrialization of satellite development whereas we insist on its significance. Frequent excesses in cost and period of the development represent a typical example caused by irrelevant resource allocation, which decreases attractive advantages of microsatellite development as low-cost and short-term. We should allocate such resources as budget, personnel and so on effectively in order to develop a microsatellite with adequate reliability. We analyse the resource allocation in microsatellite development and propose a method to optimize the allocation there in this study.

## 1. 研究背景・目的

近年になり衛星開発の産業化が叫ばれる中で、衛星開発におけるプロジェクトマネジメントのもつある種の寛容さが浮き彫りになってきた。プロジェクト計画段階における妥当でない資源配分、およびその結果として現れるコスト超過や開発期間の延長を改善せずには、衛星開発の産業化が更なる発展をすることは困難である。また、超小型衛星においてはその「低コスト、短期開発」という長所を十分に発揮させるために、現在の過剰な信頼性基準ではなく妥当な信頼性基準に基づいた開発が望まれている<sup>1)</sup>。

限られた資源を如何に正確に管理するかという問題は経済学における資源配分問題としてとらえることができる。資源配分問題は経済学などにおいては広く研究されており、従来様々な分野で資源配分が解析されてきた。その中でよく用いられる理論がゲーム理論<sup>2)</sup>であり、資源配分問題においてゲーム理論は大きな成果を出している。ゲーム理論を用いて衛星開発における妥当な資源配分を実現する手法を確立することで、プロジェクトマネジメントのシステム化および効率化を図り、衛星開発の発展に貢献できると考える。そこで、本研究の目的を以下のように設定した。

- 衛星開発におけるプロジェクトマネジメントへのゲーム理論の適用法を構築する。
- ゲーム理論を用いたモデル化をもとに衛星開発上の各種資源配分を最適化する手法を提案する。
- 超小型衛星などにおける妥当な信頼性およびコストを実現する資源配分を解析する。

## 2. ゲーム理論の資源配分への適用

ゲーム理論の衛星開発における資源配分への適用は、次のようなプロセスで行った。

## 1. 解析の対象

衛星開発で行われる主な資源配分としては、

- 組織の年度予算から各プロジェクト計画へのプロジェクト予算の配分
- プロジェクト予算から各サブシステムへのサブシステム開発費の配分
- サブシステム開発費の内訳割合の決定

などが挙げられる。これらの中から、今回は「プロジェクト予算から各サブシステムへのサブシステム開発費の配分」に焦点を当て、最適化手法を構築した。

## 2. 解析の方針

解析の対象に合わせて、解析手法を検討する。今回サブシステムへの資源配分を解析した上で求めたい解は、妥当な信頼性とコストを成立させ得るようなサブシステム開発費の配分量である。まずは簡単のために非協力ゲームとしてモデル化および解析を行い、衛星開発における信頼性とコストの関係を示す。また、正確さを上げるため、非協力ゲームとしての解をもとに更に協力ゲームとしてのモデル化、解析を行う。

## 3. 資源配分ゲームのパラメータ

次にモデル化に必要な各種パラメータの設定を行う。最初に、費用配分ゲームに関わるプレイヤーの人数を決定し、次にプレイヤー間の協力を考慮に入れるかどうかを選択する。また、次のような項目についても設定しておく。

- |             |            |
|-------------|------------|
| ● 非協力ゲームの場合 | ● 協力ゲームの場合 |
| – ゲームの回数    | – 問題の種類    |
| – 戦略の形式     | – 解の形式     |
| – 情報のレベル    | – 利得関数     |
| – 戦略と利得     |            |

## 4. 資源配分ゲームの解析

3. で得たパラメータをもとに、資源配分ゲームのモデル化及び解析を行う。

以上のような流れで得られた解は、衛星開発の資源配分において、ゲーム理論的な公準を満たした最適解であると言える。

## 3. 非協力ゲームとしての解析

非協力ゲームとして、以下のような設定をもとにモデル化および解析を行った。

- プレイヤーは7つのサブシステムとする。
- 戦略には配分される予算を設定し、非ゼロ和とする。
- 利得には信頼性を設定する。
- プレイヤーの選択は2つの戦略によって示される。  
[High]: 配分量「多」、サブシステムの信頼性「高」  
[Low]: 配分量「少」、サブシステムの信頼性「低」

このときゲームは以下の要素から成る．

$$\left. \begin{aligned} N &= \{1, 2, 3, \dots, 7\} \\ S_i &= \{s_{iH}, s_{iL}\} \\ x_i &= f_i(s_i), \quad i = 1, 2, \dots, 7 \\ C_N &= \sum_{k=1}^7 s_k, \quad x_N = \prod_{k=1}^7 x_k \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

ここで，本研究において Table 3.1 のような衛星の例を考え，以上の条件による解析を行ったところ，結果は次のようになった．

Table 3.1: 本研究で用いた例における戦略と利得

		EPS		C & DH		ADCS		COMM	
		信頼性	予算	信頼性	予算	信頼性	予算	信頼性	予算
High		0.999	3.92	0.999	5.88	0.999	6.49	0.999	3.06
Low		0.900	2.61	0.300	3.92	0.98	4.33	0.95	2.04

		STR & EPS		Mission		Others	
		信頼性	予算	信頼性	予算	信頼性	予算
High		0.999	5.27	0.999	10.78	0.999	7.47
Low		0.800	3.51	0.5	7.18	0.98	4.98

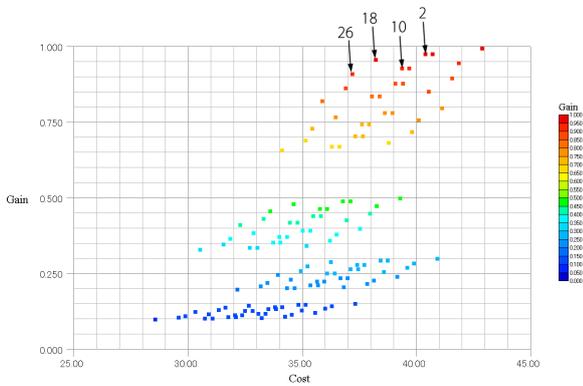


Fig. 3.1: 各解の利得  $x_{TN}$  と総予算  $C_{TN}$

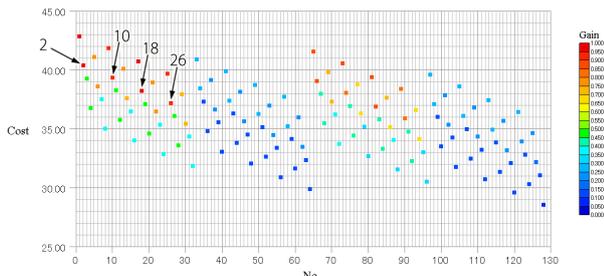


Fig. 3.2: 各解の番号  $T$  と総予算  $C_{TN}$

開発者はこの結果の中より，プロジェクトの開発方針に基づき最適な解を選択する．

#### 4. 協力ゲームとしての解析

続いて，更に詳細な配分を行うために，協力ゲームとして解析を行った．その際，非協力ゲームの解を需要量とした逐次分担法<sup>3)</sup>を用いた．前節で得た非協力ゲームの解より  $m$  個選択し，それらの値より費用関数を以下のように定義する．なお，解  $j$  におけるプレイヤー  $i$  の利得を  $p_{(i, j)}$  とし，それを対角成分にもつ  $P_{im}$  をプレイヤー  $i$  の利得行列とした．同様に解  $j$  においてプレイヤー  $i$  が得る予算額を  $q_{(i, j)}$ ，その需要行列を  $Q_{im}$  とした．

- 単純平均  
 $m$  個の解を全て同等に扱い，各解における予算額の平均を費用関数とする．すなわち，  
$$C(Q_{im}) = \frac{1}{m} \text{tr} Q_{im} \quad (4.1)$$

- 個人利得平均法  
選択した  $m$  個の解より，各プレイヤーごとに利得が高い解に重きをおく費用関数を次のように表す．  
$$C(Q_{im}) = \frac{\text{tr}(P_{im} Q_{im})}{\text{tr} P_{im}} \quad (4.2)$$

- 効率性平均法  
選択した  $m$  個の解より，費用対効果 (効率性) が高い解ほど重視する．解  $j$  の費用対効果  $cp_j$  を  
$$cp_j = \frac{p_{(N, j)}}{q_{(N, j)}} \quad (4.3)$$

とし，これを対角成分に用いた行列を費用対効果行列  $CP_j$  と定義する．このとき，費用関数を以下で表す．

$$C(Q_{im}) = \frac{\text{tr}(CP_j Q_{im})}{\text{tr} CP_j} \quad (4.4)$$

今回， $m = 3$  ( $T = 10, 18, 26$ ) とした場合の解析結果を Table 4.1 にまとめる．この結果より，資源配分においては，プレイヤーに対して個人利得平均法が最も寛容であり，効率性平均法が最も厳しい配分を行っていることがわかった．これは手法の柔軟性とそれによる詳細な配分を意味し，この解析手法の有意性が示された．

Table 4.1: 解析結果

費用関数	項目	ADCS	Total
単純平均法	利得	0.986	0.931
	予算	5.05	38.26
個人利得平均法	利得	0.986	0.931
	予算	5.06	38.28
効率性平均法	利得	0.986	0.931
	予算	5.03	38.24

#### 5. 結言

本研究では，ゲーム理論の適用法を構築し，それを用いた，ゲームの状況としてのモデル化による衛星開発上の各種資源配分の最適手法を提案した．また具体例として「プロジェクト予算から各サブシステムへのサブシステム開発費の配分」を2通りの方法で解析を行った．

このような衛星開発へのゲーム理論の適用はプロジェクトマネジメントのシステム化および効率化を図る，従来の衛星開発において殆ど例の無いアプローチであり，今後の衛星開発が発展していくためには必要不可欠な切り口と言える．今回提案した手法には解決すべき課題が多く存在するが，衛星開発や宇宙開発に貢献できるよう，更なる改善を行っていく．

#### 参考文献

- 1) 中須賀真一：超小型衛星コンソーシアムで世界一に，第7回宇宙産業シンポジウム，2009.
- 2) Neumann, J.v, Morgenstern, O.: Theory of Games and Economic Behavior, Princeton University Press, 1944.
- 3) 鈴木光男：新ゲーム理論，勁草書房，1994.