

戦略形ゲームの解 k -Implementation におけるメディエータの報酬

Incentive for the Mediator in k -Implementation of Strategic Form Game

永井明彦*1
Akihiko Nagai

伊藤孝行*2
Takayuki Ito

*1名古屋工業大学大学院, 情報工学専攻
Nagoya Institute of Technology

*2名古屋工業大学大学院, 産業戦略工学専攻
Nagoya Institute of Technology

In the strategic form game, there is a solution of the game in which the mediator participates as another party. In this game, mediator is proposed additional payoff by incurring the cost, and implements a dominant strategy. The authors consider the rational behavior of the mediator who proposes with incurring the cost, and indicates incentive of mediator.

1. はじめに

ここにナッシュ均衡は存在するけれども、支配戦略はない戦略形ゲームがある。支配戦略がないので、プレイヤーはナッシュ均衡のいずれかの戦略を選択するべきか考える必要がある ([岡田 96][渡辺 08][Aumann 89])。これまでの研究の中で、[Rosenfeld et al. 07][Monderer et al. 04] らが、1つの方法としてメディエータが参加する戦略形ゲームを提案している。提案では、メディエータがリスク (コスト) を負担して、プレイヤーが選択できる戦略の中に支配戦略を実装する ([Monderer et al. 06][Tennenholtz 08])。したがって、プレイヤーには合理的に支配戦略を選択すればよい状況が生まれるが、しかし、ここに1つの疑問が起きる。何故メディエータは、リスクを冒してまでプレイヤーに支配戦略を実装するのかという点である。

著者らは、メディエータがリスクを冒して、プレイヤーへの新たなインセンティブを利得表に加える背景には、メディエータの合理的行動があると考え、そこで、プレイヤーはメディエータにインセンティブを支払う意思があるとの前提を置いて、メディエータがインセンティブを受け取る戦略形ゲームを考察する。

2. 戦略型ゲームとメディエータ

k -Implementation は、メディエータが参加する戦略形ゲームである。本ゲームにおいて、メディエータはコスト k を用いて、プレイヤーが選択できる戦略の中に支配戦略を実装 (Implementation) する。 k -Implementation は、例えば次のようなゲームである。

ここに、半導体ベンチャー A 社と B 社がある。両社は遊技機産業に参入するために、ASSP (特定用途向けシステム LSI) の開発を計画し、遊技機メーカー S 社へ売り込みを行っている。S 社は、遊技機産業のリーディングカンパニーであり、遊技者のニーズをいち早く捉え、絶えず新しい遊技機を市場に送り出しており、業界全体に大きな影響力を持っている。競合する遊技機メーカーは、S 社の動向に注目しており、同社が遊技

機で採用した技術や部品 (LSI や電子部品) をいち早く模倣したいと考えている。したがって、ASSP が S 社に採用されると市場でデファクト・スタンダードになる可能性が高くなるため、A 社も B 社も ASSP を開発したら、まず最初に S 社で採用してもらいたいと考えている。当時、S 社は ASSP に関して、表 1 の 2 つのニーズを持っていた。まず、高価格モデルでは、3D アニメーションが実現できる ASSP が欲しいと考えていた。最近の遊技者は、これまでの拡大・縮小・回転だけのアニメーションでは満足しなくなっており、3D アニメーションによって迫力や臨場感を出す必要があると考えていた。また、普及モデルでは、周辺回路を統合したマルチ ASSP を安価で入手したいと考えていた。近年は、遊技人口の減少によって遊技機の市場販売価格が値下がっているため、機器のコストを下げることが喫緊の課題であった。S 社が以上の 2 つのニーズを持っている事が A 社、B 社ともに認識している。

表 1: 遊技機のニーズ

モデル	市場のニーズ	ASSP への要望
高価格	迫力や臨場感を出したい	3D アニメーションが実現できる ASSP
普及	遊技機の価格を下げたい	周辺回路を統合したマルチ ASSP

A 社及び B 社にとって、各々の ASSP は、以下のような利点と欠点がある。高価格モデル向けの 3D アニメーションの実現を可能にする ASSP (以下 3D ASSP) は、販売数量は少ないが、ASSP の販売価格を高く設定できるため利益額も高い。また、将来的には普及モデルへの採用が期待できる。一方で、普及モデル向けのマルチ ASSP は、販売数量は大きい、S 社には同 ASSP を安価で入手したいとの要望があるため利益額が小さい。両社は、どちらの ASSP も開発することが可能であるが、開発リソースの制限により、同時に 2 つの ASSP を開発することはできない。しかし、両社は同質の ASSP を開発して、市場で競合することだけは避けたいと考えているが、互いに相手の情報を得る事はできない。

以上の状況を利得表で表すために、S 社が購入できる数量を利得と考えて、マルチ ASSP が利得 (6)、3D ASSP も利得 (6) とする。A 社または B 社のいずれか片方だけがマルチ ASSP を開発できれば、S 社の需要を独占できるので利得 (6) を得る。反対に、どちらか片方だけが 3D ASSP を開発でき

連絡先: 永井明彦, 伊藤孝行

名古屋工業大学大学院,

〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町,

E-mail: nagai.akihiko@nitech.ac.jp

ito.takayuki@nitech.ac.jp

ば、やはり S 社の需要を独占できるので利得 (6) を得る。両社が同じ ASSP を開発すれば、両社は S 社の需要を分け合い利得は半分ずつになる。以上の状況を利得表で示したものが、表 2 である。

表 2: 半導体ベンチャー A 社と B 社の利得

		A 社	
B 社	選択肢	マルチ ASSP	3D ASSP
	マルチ ASSP	3, 3	6, 6
	3D ASSP	6, 6	3, 3

3. k-Implementation におけるメディエータの提案

以上の *k-Implementation* の例示は以下のように示すことができる。

ここに、戦略形ゲーム $G = (N, X)$ がある。 N はプレイヤー集合、すなわち A 社 (i_1) 及び B 社 (i_2) であり、 X_1 は i_1 が、 X_2 は i_2 が選択可能な戦略集合である。このとき、全ての戦略の組み合わせは以下となる。

$$\begin{aligned}
 X_1 &= (\text{マルチ ASSP}, \text{3DASSP}) \\
 X_2 &= (\text{マルチ ASSP}, \text{3DASSP}) \\
 X_1 \times X_2 &= \left(\begin{array}{l} \text{マルチ ASSP}, \text{3DASSP} \\ \text{マルチ ASSP}, \text{マルチ ASSP} \\ \text{3DASSP}, \text{マルチ ASSP} \\ \text{3DASSP}, \text{3DASSP} \end{array} \right)
 \end{aligned}$$

k-Implementation では、 $G = (N, X)$ にメディエータが参加することによって、新たなゲーム $G(V) = (N, \bar{X}, V)$ が生まれる。 $G(V)$ では、プレイヤー i_1, i_2 がゲームで得る利得 U に、メディエータが追加の利得 V をコミットすることで、非支配戦略の組の中に支配戦略が実装される。このとき戦略セット x_i が全ての $x_{-i} \in X_{-i}$ に対して以下の条件を満たすならば、 x_i は戦略セット y_i を支配し、式 (1) で表される。

$$U_i(x_i, x_{-i}) \geq U_i(y_i, x_{-i}) \quad (1)$$

メディエータがプレイヤーにコミットする追加の利得関数 V は、全てのプレイヤー i と全ての $x \in X$ に対して、 $V_i(x) \geq 0$ が成り立つとき、非負 ($V \geq 0$) である。ここで、表 2 のゲーム $G(U)$ において、メディエータが望ましいと考えている戦略プロファイルのセット $O \subseteq X$ は、以下の式 (2) が示すように非支配戦略 \bar{X} の利得 U にメディエータがコミットする追加の利得関数 V が加わっている。このとき O が、支配戦略となるならば、であればプレイヤーは O を選択する。

$$\emptyset \subset \bar{X}(U + V) \subseteq O. \quad (2)$$

以上を利得表で表 3 に示す。

表 3: *k-Implementation* の利得表

		i_1	
i_2	選択	x_2	y_2
	x_1	3, 3	6, 6
	y_1	6, 6	3, 3

4. メディエータの役割

表 2 が示すように、本ゲームにはナッシュ均衡が複数存在する。すなわち、A 社も B 社もマルチ ASSP, 3D ASSP の両方がナッシュ均衡となる。したがって、A 社及び B 社が同質の ASSP を開発し、S 社の需要を分け合う、すなわち、利得が半分になる可能性が存在する。*k-Implementation* では、ここでメディエータがゲームに参加し、コスト k を用いて、支配戦略を実装する。例示では、S 社がメディエータとなり、A 社及び B 社に次のようなコミットメントを行う。

A 社に対しては、マルチ ASSP を開発して欲しいことと、B 社がマルチ ASSP を開発しても、A 社のマルチ ASSP を遊技機に採用することをコミットする。利得表では S 社のコミットメントは、B 社が同じマルチ ASSP を開発した場合、A 社は S 社から追加の利得 (3) を得るが、反対に B 社は利得が A 社に移ってしまうため全ての利得を失い (0) となることとする。また、B 社に対しては、3D ASSP を開発して欲しいことと、A 社が 3D ASSP を開発しても、B 社の 3D ASSP を遊技機に採用することをコミットする。利得表では S 社のコミットメントは、B 社が同じマルチ ASSP を開発した場合、B 社は S 社から追加の利得 (3) を得るが、反対に A 社は利得が B 社に移ってしまうため全ての利得を失い (0) となる。以上を利得表で表すと、表 (4) となる。

表 4: S 社による利得を加味した A 社と B 社の利得

		B 社	
A 社	戦略	マルチ ASSP	3D ASSP
	マルチ ASSP	3+3, 3-3	6, 6
	3D ASSP	6, 6	3-3, 3+3

メディエータが追加の利得関数 $V(V \geq 0)$ をコミットするのは、A 社と B 社が同じ ASSP を選択したときである。A 社の利得 u_1 、と追加の利得関数 v_1 及び、B 社の利得 u_2 、と追加の利得関数 v_2 と戦略のセット X の関係を表 5 に示す。

表 5: A 社及び B 社の利得と追加の利得

X	u_1	u_2	v_1	v_2
マルチ ASSP, マルチ ASSP	3	0	3	0
マルチ ASSP, 3D ASSP	6	6	0	0
3D ASSP, マルチ ASSP	0	6	0	0
3D ASSP, 3D ASSP	0	3	0	3

表 4 が示すように、S 社がコミットメントすることによって、A 社と B 社の利得が半分 (3) になるときに、追加の利得

(3) が加わり、メディエータの S 社が提案する戦略、すなわち、A 社にはマルチ ASSP が、B 社には 3D ASSP が支配戦略となる..

k-Implementation では、メディエータを以下の 3 つの前提の上に成り立たせている。前提によって、メディエータは、コスト k で追加の利得 v をプレイヤーにコミットし、 O の中の戦略を支配的に変え、プレイヤーに利得表を示して戦略を提案することはできるが、プレイヤーに代わって戦略を実行することはできない。また、ゲームのルールを変えることや、プレイヤーに行動を強制することもメディエータにはできない。

結果の可観測性を持つ:

メディエータはプレイヤーの行動を観測することができる。

責任能力がある:

メディエータは、プレイヤーに対してコミットする利得の支払いに責任を持っている。

信頼されている:

メディエータは、プレイヤーから信頼されている。

例示では、S 社がリスクを冒してコミットメントすることによって、A 社と B 社には支配戦略が生まれ、相手がどちらを選択しても A 社はマルチ ASSP を B 社は 3D ASSP を選ぶことが、最適反応解となる。しかし、S 社は、なぜリスクを冒してまでプレイヤーに支配戦略を実装するのか。

5. メディエータがプレイヤーからインセンティブを得る

k-Implementation では、メディエータがコスト k を負担して追加の利得をプレイヤーにコミットし、ゲームの中に支配戦略を実装するにも関わらず、何らインセンティブを得ない前提に置かれている。しかし、本稿はメディエータがリスクを負担し、プレイヤーへの新たなインセンティブを利得表に加える背景には、メディエータの合理的行動があると考えられる。実際に [永井, 田辺 09], [永井, 田辺 11], [永井 et al. 12], [永井, 伊藤 12], [永井, 伊藤 13] らは、社会での事例を分析し、メディエータは、インセンティブを得るためにゲームに参加し、リスクを冒して追加の利得を負担して、プレイヤーのために支配戦略を実装していることを指摘している。例示では、S 社は自社の 2 つのニーズを満たしたいがために、A 社にマルチ ASSP の開発を、B 社に 3D ASSP の開発を提案したのではないかと。S 社が支配戦略を実装するのは、自社の 2 つのニーズを同時に解決できるというインセンティブが得られるからではないのか。そこで、本稿では図 1 に示すような、メディエータが参加する取る戦略形ゲームを考察する。

例示を、プレイヤーがメディエータにインセンティブを支払う意思を持っていると仮定した場合、表 (2) の利得表は表 (6) となる。

しかし、実際にはプレイヤーである A 社と B 社がインセンティブを支払う機会が生まれるのは、メディエータはコスト k を用いて実装した支配戦略の組を選択した場合のみである。

例えば、例示では S 社のインセンティブとして、A 社及び B 社は S 社の提案に従って ASSP を開発し、S 社がコミットを守って採用してくれるならば、ASSP の価格を希望販売価格より 10% 値下げしてもよいと考えていることにする。これを

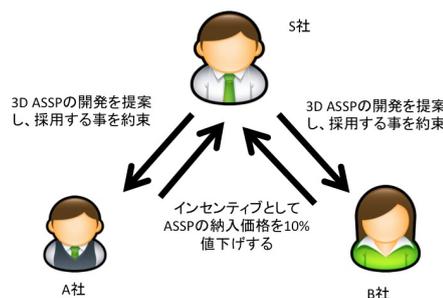


図 1: S 社をの役割

表 6: S 社のインセンティブを考慮した利得表

		B 社	
A 社	戦略	マルチ ASSP	3D ASSP
	マルチ ASSP	3-1, 3-1	6-1, 6-1
	3D ASSP	6-1, 6-1	3-1, 3-1

利得に置き換え、A 社及び B 社は S 社にインセンティブとして利得 (1) を支払っても良いと考えていることとする。このとき、A 社と B 社が S 社へインセンティブとして利得 (1) を支払う機会を、表 6 に示す。

表 7: S 社のインセンティブを考慮した利得表

		B 社	
A 社	戦略	マルチ ASSP	3D ASSP
	マルチ ASSP	6-1, 0	6-1, 6-1
	3D ASSP	6-1, 6-1	0, 6-1

表 6 が示しているように、A 社及び B 社はメディエータの作った支配戦略に従わず、もう一方の戦略を選んだ場合には S 社から追加の利得を得ることはできないが、S 社にインセンティブを支払う必要もない。

A 社及び B 社は S 社へインセンティブを支払うことによって、受け取ることができる利得を下げることになる。しかし、A 社も B 社も ASSP をまず最初に S 社が採用して欲しいと考えている。両社は S 社のコミットメントによって、S 社から ASSP の受注が確約される。業界全体へ大きな影響力を持っている S 社の採用によって、他の遊技機メーカーも同 ASSP を採用する可能性があり、将来 A 社と B 社は大きな利得が得ることができるかもしれない。

6. メディエータが支配戦略を実装し、プレイヤーからインセンティブを得るゲーム

メディエータが、支配戦略を実装して、プレイヤーからインセンティブを受け取るゲームは次のように示すことができる。ここに、メディエータ m の参加する戦略形ゲーム $G(V) = (N, X, V)$ がある。 N はプレイヤー集合、すなわち i_1 及び i_2 であり、 X はプレイヤーが選択可能な戦略集合である。 X には戦略 x 及び y

があり、プレイヤー i_1 及び i_2 はどちらの戦略も選択がすることができる。 V は、メデイエータがプレイヤーにコミットする追加の利得である。 $G(V)$ では、プレイヤー i_1, i_2 がゲームで得る利得 U に追加の利得 V が加わり、支配戦略が実装される。メデイエータ m は、追加の利得 v_1 をプレイヤー i_1 にコミットして、戦略 x がプレイヤー i_1 の支配戦略になるように実装し、さらに、追加の利得 v_2 をプレイヤー i_2 にコミットして、戦略 y がプレイヤー i_2 の支配戦略になるように実装する。このとき、プレイヤー i_1 及び i_2 はメデイエータ m は追加の利得 V によって実装した支配戦略を壊さない条件の下で、 i_1 は c_1 を i_2 は c_2 をインセンティブを支払い、メデイエータ m は C_m を得ることを、式 (3) に示す。

$$\begin{aligned}
 c_1 &\leq u_{y_1}^{x_2} \leq (u_{x_1}^{x_2} + v_1) \\
 c_1 &\leq (u_{y_1}^{y_2} - v_2) \leq u_{x_1}^{y_2} \\
 c_2 &\leq u_{x_2}^{y_1} \leq (u_{y_2}^{y_1} + v_2) \\
 c_2 &\leq (u_{x_2}^{x_1} - v_1) \leq u_{y_2}^{x_1} \\
 C_m &= c_1 + c_2
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

また、表 (8) にメデイエータがインセンティブを得る場合の利得表を示す。

表 8: メデイエータの利得

		i_1	
		x_2	y_2
i_2	x_1	$u_{x_1}^{x_2} + v_1 - c_1, u_{x_2}^{x_1} - v_1$	$u_{x_1}^{y_2} - c_1, u_{y_2}^{x_1} - c_2$
	y_1	$u_{y_1}^{x_2} - c_1, u_{x_2}^{y_1} - c_2$	$u_{y_1}^{y_2} - v_2, u_{y_2}^{y_1} + v_2 - c_2$

7. まとめ

本稿は、メデイエータが参加する戦略形ゲームに着目し、メデイエータがリスクを負担し、プレイヤーへの新たなインセンティブを利得表に加える背景には、メデイエータの合理的行動があるとの視点から、メデイエータがインセンティブを受け取る戦略形ゲームを考察した。

展開形ゲームでは、複数のナッシュ均衡が存在する場合プレイヤーは相手のプレイヤーの合理性を考慮して、自分の戦略を決定する必要がある。本稿が着目する k -Implementation では、メデイエータがゲームに参加し、コスト k を負担することによって、プレイヤーが選択可能な戦略に支配戦略を実装する。 k -Implementation ではメデイエータが信頼できるだけの存在であり、コスト k の負担しても何らインセンティブを得られない。

しかし、本稿はメデイエータがリスクを負担し、プレイヤーへの新たなインセンティブを利得表に加える背景には、メデイエータの合理的行動があると考え、著者は、プレイヤーはメデイエータにインセンティブを支払っても良いと考えているとの前提を置いて、メデイエータがインセンティブを受け取る戦略形ゲームを考察した。本稿が提案するメデイエータが参加するゲームでは、プレイヤーはメデイエータがコスト k を負担して実装した支配戦略に従い、得た利得からインセンティブをメデイエータに支払うことが合理的な選択となる。

参考文献

[岡田 96] 岡田章:ゲーム理論, 有斐閣 (1996)

[渡辺 08] 渡辺隆裕:入門ゲーム理論, 日本経済新聞社 (2008)

[Aumann 89] Aumann, R:Lecture on game theory, Westview press Inc,1989
丸山徹 (訳), 立石寛 (訳), ゲーム理論の基礎, 勁草書房 (1991)

[Rosenfeld et al. 07] Rosenfeld, 0 and Tennenholtz, M:Routing mediators, In *proceedings of IJAI*,pp.1488-1496(2007)

[Monderer et al. 04] Monderer, D and Tennenholtz, M:k-Implementation, *Journal of Artificial Intelligence Research*,21,pp.39-62(2004)

[Monderer et al. 06] Monderer, D and Tennenholtz, M:Strong mediated Equilibrium, In *proceedings of AAAI-06*(2006).

[Tennenholtz 08] Tennenholtz, M:Game-theretic recommendation:some progress in an uphill battle, In *proceedings of AAMAS*,vol.1,pp.10-16(2008)

[永井, 田辺 09] 永井明彦, 田辺孝二:市場の技術を繋ぐ半導体商社のイネーブラー機能, 産学連携学,Vol. 6(1),pp.23-33(2009)

[永井, 田辺 11] 永井明彦, 田辺孝二:戦略情報の共有・活用による共同イノベーション-ASSP 型システム LSI 開発の事例-, 開発工学,Vol. 30(2),pp.133-142(2011)

[永井 et al. 12] 永井明彦, 中川裕揮, 伊藤孝行, 田辺孝二:日本のファブレス半導体ベンチャーの特定市場向け LSI による市場参入における半導体商社との協調の有効性-デジタルバチンコ用画像処理 LSI の事例-, 研究技術計画,Vol. 27(1)pp. 1-17(2012)

[永井, 伊藤 12] 永井明彦, 伊藤孝行:半導体ベンチャー企業の市場参入におけるミドルメデイエータの有効性-遊技機用画像 LSI の事例検証-, 国際 P2M 学会論文誌,Vol.7(1),pp.15-29(2012)

[永井, 伊藤 13] 永井明彦, 伊藤孝行:半導体ベンチャー企業の製品戦略と課題解決に関する一考察, 日本開発工学会,Vol.33(1), (印刷中) (2013)