

ハイパーゲーム分析

高橋 真吾

1. はじめに

ハイパーゲーム分析は、強い相互作用のある意思決定状況を意思決定者の状況に対する主観的認識を考慮して分析するために Bennett により導入された枠組みである[1]。状況に含まれる各意思決定者は、可能な代替案の中から最も利益の大きくなるものを選択して合理的な意思決定を行おうとする。しかし、ある決定が意思決定者間で相談なされるなどなく独立になされたとしても、その結果は意思決定者間において相互依存的であるのが普通である。ハイパーゲームとして定式化されるモデルは、複雑な意思決定状況を一種のゲーム状況として扱う。すなわち、プレーヤと呼ばれる各意思決定主体（または利害集団）がいて、各プレーヤは採りうる行為としての戦略を持ち、各戦略を選択した結果とそれに対する選好を持っている。

しかしハイパーゲームが通常のゲーム理論と決定的に異なる点がある。通常のゲーム理論では各プレーヤが同じゲームを見ているという共有知識に関する仮定がある。ハイパーゲームではその仮定をはずし、各プレーヤは異なる状況認知をしていることを前提としている。これにより、現実的な、コンフリクトがかなり強い状況もかなりの程度まで描写ができる。しかし、ハイパーゲームではプレーヤ間の共有知識に関する仮定がないために、通常のゲーム理論でのように、ゲームを定義してそれを分析し、解を見つける、といったアプローチをそのままハイパーゲームの枠組みで行うことは困難である。たとえばゲーム理論におけるナッシュ均衡解の概念は、全プレーヤが同じゲームを見なければその本来の意味を失ってしまう。ハイパーゲーム理論においてもたとえば“安定性”に関するフォーマルな議論は行われてはいるが、プレーヤ間に共通する“合理的な”解を探求するといった分析方法は

ハイパーゲームでは有効ではない。

ハイパーゲームは状況に対する主観的認識を表現するためにゲーム理論の枠組みを修正、拡張して1970年代に提案された。Bennettの初期の論文[2]もゲーム理論との関連からハイパーゲームが説明されている。本会誌[4]にもBennettの論文に即したハイパーゲームに関するすぐれた解説があるので、読者にはそちらも参照して頂けると幸いである。

ゲーム理論の素養があると、ハイパーゲームの形式的定義を理解することは容易である。しかしながら、ハイパーゲームの持つ形式性は、ハイパーゲームが対象とするような複雑な状況を扱う他の手法と比較して際立っている[6]。そのためいったいどのように分析を進めるのかについては通常のゲーム理論ほど明確ではない。本稿ではこのようなハイパーゲームの枠組みが問題解決やコンフリクト分析にどのように応用されるのか、またそのモデル記述が複数の意思決定者からなる多主体系においてどのような役割を果たすのかに焦点を当てて説明する。

2. 簡単なハイパーゲームモデルの例

ハイパーゲームモデルの基本概念は、プレーヤ、戦略、結果そしてその上の選好である。これらは通常のゲーム理論におけるモデルと同様である。すなわち、プレーヤは状況における利害関係者であり、戦略は各プレーヤの可能な行為の集まりである。各プレーヤが戦略を選択するとゲームの結果が定まる。各プレーヤは結果に対して選好順序を持っている。

ハイパーゲームモデルにおける本質的仮定は、これらのゲームの要素が共有知識となっていないことである。ゲームに関与するプレーヤの把握、他のプレーヤのもつ戦略集合、他のプレーヤのもつ結果集合、他のプレーヤの結果に対する利得または選好を各プレーヤは主観的に認識する。もし自分の認識するゲームの要素が他のプレーヤの持つ実際のものとは異なっていたときには、ゲームの結果に対し一種の「驚き」となる。

たかはし しんご

千葉工業大学 工業経営学科

〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1

たとえば相手の持つ戦略として3種類しか考えていなかったのに、実際には4番目の戦略を相手に採られたときには、それは全く予想外の手となる。

ここで説明によく利用されるハイパーゲームの簡単な例を見てみよう[7]。二国間の軍備競争における相互不信の状況を表したハイパーゲームモデルである。

A国とB国はともに平和的に共存したいと願っているが、相手国を信じることができないでいる。すなわちA国は両国が軍縮して双方の軍備を縮小することを望んでいるのに、B国はA国のことを信じていない。A国は自国のみが軍備上で優位に立とうとしていると、B国はA国に対して考えている。B国についても同様である。B国は双方の軍備縮小を望んでいるが、A国はそれを信じておらず、B国が自国の軍備優位を軍備縮小より優先していると考えている。

この状況をハイパーゲームとして表現したモデルが表1である。プレーヤはA国とB国、戦略はともに軍備縮小と軍備拡張を持っている。結果は、双方軍備縮小、Aが軍備優位、Bが軍備優位、軍備競争の4種類である。それらに対して両国は平和的な共存を望むが、相手国にのみ軍事上の優位を取られることは避けたいと考えているとする。このときA国の選好順序は、(双方軍備縮小) > (Aが軍備優位) > (軍備競争) > (Bが軍備優位) で、B国のそれは、(双方軍備縮小) > (Bが軍備優位) > (軍備競争) > (Aが軍備優位) となるだろう。しかし、各国は、相手国が「自国が軍備優位」という結果を最も選好していると考えている。これは両国が見ているゲームが異なることを意味している。

3. ハイパーゲームモデルの形式的定義

3.1 単純ハイパーゲーム

ここでハイパーゲームモデルの形式的な定義をしよ

う。まず単純2人ハイパーゲームを考える。「単純」というのは一般化されたハイパーゲーム(後述)に対する呼び方である。

プレーヤを p と q とする。 S_p, S_q を各々 p, q の戦略集合とする。 p は q の戦略集合を S_{qp} として認識する。同様に S_{pq} は q の認識する p の戦略集合を表す。結果は各プレーヤの採った戦略の組に対して一対一に与えられる。したがって結果に対するプレーヤの選好は、戦略の組に対する選好順序として形式的には定義できる。戦略の組の集合である $S_p \times S_{qp}$ 上に p の選好順序 $>_p$ と、 p が認識した q の選好順序 $>_{qp}$ が定義される。 q に対しても同様に $S_{pq} \times S_q$ 上に q の選好順序 $>_q$ と、 q が認識した p の選好順序 $>_{pq}$ が定義される。このようにして定義された組 $(S_p, S_{qp}, S_q, S_{pq}, >_p, >_{qp}, >_q, >_{pq})$ を単純2人ハイパーゲームという。

たとえば上記の例ではプレーヤはA国とB国で、戦略集合については認識の違いはなく、 $S_A = S_B = S_{BA} = S_{AB} = \{\text{軍縮}, \text{軍拡}\}$ である。選好順序は表1で与えられ、たとえば $(\text{軍縮}, \text{軍縮}) >_A (\text{軍拡}, \text{軍縮})$, $(\text{軍拡}, \text{軍縮}) >_{AB} (\text{軍縮}, \text{軍縮})$, $(\text{軍縮}, \text{軍拡}) >_{BA} (\text{軍縮}, \text{軍縮})$, $(\text{軍縮}, \text{軍縮}) >_B (\text{軍縮}, \text{軍拡})$ 等でA国とB国の認識の違いが表現される。

一般にプレーヤが n 人のときも同様に定義できる。 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ をプレーヤの集合、任意の N の要素 p, q に対して、 S_{qp} を p が認識した q の戦略集合、 $>_{qp}$ を直積集合 $\Pi(S_{qp} | q \in N)$ 上に定義された、 p が認識した q の選好順序としたとき、単純 n 人ハイパーゲームは組 $(N; \{S_{qp} | p, q \in N\}; \{>_{qp} | p, q \in N\})$ により定義される。ただし、 $S_{pp} = S_p, >_{pp} = >_p$ とする。 $x >_{qp} y$ は、「 p は q が y より x を選好すると信じている」ということを意味している。

表1 軍備競争における相互不信のハイパーゲーム

		B 国	
		軍縮	軍拡
A 国	軍縮	双方軍備縮小	B が軍備優位
	軍拡	A が軍備優位	軍備競争

戦略と結果

		B	
		軍縮	軍拡
A	軍縮	4, 3	1, 4
	軍拡	3, 1	2, 2

A が考えているゲーム

		B	
		軍縮	軍拡
B	軍縮	3, 4	1, 3
	軍拡	4, 1	2, 2

B が考えているゲーム

3.2 一般ハイパーゲーム

単純ハイパーゲームの拡張と一般化はより複雑な状況の記述に対応している。ここでは二つの方向を取り上げる。一つはプレーヤ間の認識の根本的差異を許容するモデルである。もう一つは他のプレーヤの認識に対する認識を考慮する高次のハイパーゲームモデルである。

ハイパーゲームモデルはコンフリクト状況を意思決定者の主観に基づいて記述する。状況の見方や意思決定者の世界観が根本的に異なっているときには、なにがコンフリクトなのかについても一致していないこともある。たとえばベトナム戦争という状況を米国は共産主義への牽制ととらえ、北ベトナムは国家統一と自決の問題と考えていた。また、認識の根本的差異は誰がゲームの参加者なのか、また一連の行為を誰が実際に取ったのか等に関する不一致としても現れる。たとえば、企業の買収競争などでは、表に立たず相手側に知られていない謎の人物が株式を買い占めたりすることがある。

世界観の根本的相違があってもその状況をハイパーゲームの形で記述すること自体は可能である。もともとハイパーゲームの基本構造がそれを許している。極端な場合には、プレーヤ間で全く異なる言葉で状況を定義しているようなこともある。少なくとも単純ハイパーゲームのモデル上では相互作用が存在していないように見える。しかし同じコンフリクト状況に巻き込まれていると（少なくとも問題の分析者にとっては）考えられるときには、当事者達はなんらかの共通の現象を見ているのが普通である。このようなときには単純ハイパーゲームを“分析者の視点”から一般化して、プレーヤの戦略集合間に解釈関数を定義することができる。

たとえば英国のサッカーの試合でしばしば問題となるフーリガンによる騒乱のケースはサッカーファンと当局との間のコンフリクト状況として分析できる[2]。サッカーファンにとっては「騒乱」という単一の事象があるのではなく、フーリガンを楽しんでいるだけなのか、それとも本当の暴動となっているかという違いがある。一方当局としてはサッカーファンの「騒乱」という行為が許容できるかできないかという視点で見る。この場合、サッカーファンの戦略として、「秩序ある行動をとる」、「フーリガンを楽しむ」、「本当の暴動を起こす」の3つあるとしよう。ところが当局はサッカーファンの戦略を「許容できる」、「許容できな

い」の2つのみで認識する。このときサッカーファンの3つの戦略を当局が認識する2つの戦略に解釈する関数を設定して拡張されたハイパーゲームによって分析することができる。「フーリガンを楽しむ」という行為を当局が許容するかしないかで分析結果が異なってくる。

高次のハイパーゲームは、相手の認識に対する認識を定式化する。たとえば単純ハイパーゲームにおける S_{pq} は、プレーヤ q が認識するプレーヤ p の戦略集合であるが、 p がその S_{pq} を認識した集合が考えられる。すなわち他のプレーヤが自分をどのように認識しているかを認識する。これを S_{pqp} と表せば、もし $S_p \neq S_{pq}$ かつ $S_{pq} = S_{pqp}$ ならば、 p は q が p の戦略集合 S_p を誤って認識していることを認識していることになる。ただし、 S_{pq} は q の認識であり、 p には知ることができないので、 $S_{pq} = S_{pqp}$ かどうかは実際には p にはわからない。したがって、 p は $S_{pq} = S_{pqp}$ という仮定のもとで、 q の p に対する認識が誤っているのではないかと認識することを意味する。

上記の例は2次の認識レベルを表現したものである。一般に高次のハイパーゲームは次のように定義できる。

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ をプレーヤの集合とし、 N^* をプレーヤの列すべての集合とする。たとえば $p, q, r \in N$ に対して、 $p, qp, rpq, rqp \in N^*$ などである。 $\sigma = (p, q, \dots, x) \in N^*$ に対して、 S_σ を x が認識する($\dots q$ が認識する p の戦略集合 \dots)とする。 σ が長さ1、たとえば $\sigma = p$ のとき $S_\sigma = S_p$ で p の戦略集合を表す。また $>\sigma$ を直積集合 $\prod(S_{p\sigma} | p \in N)$ 上の選好関係とする。このとき高次ハイパーゲームは組 $(N; N^*; \{S_\sigma | \sigma \in N^*\}; \{>_\sigma | \sigma \in N^*\})$ により定義される。

高次ハイパーゲームに関してはケーススタディは数少ない。典型的には相手の誤認識を認識している場合である2次のケースくらいまでである。上記の高次ハイパーゲームの定義は実際の状況への適用というより数学的理論の一般的展開という意味合いが強い。

4. ハイパーゲームを用いた分析

ハイパーゲームにおける解概念に関するフォーマルな議論の展開は存在するが[10]、たとえばナッシュ均衡解の概念が全プレーヤ間の共有知識を前提としているため、通常のゲーム理論のように、ゲームを定義してその解概念を探求するといった形での理論的展開はハイパーゲームにおいては本質的に困難である。プレーヤには他のプレーヤのゲームが見えておらず、一方

分析者にはすべて見えているというプレーヤと分析者の視点のレベルの相違がある。ある解の概念がどちらのレベルで与えられているかを見極めることは重要である。もし分析者の視点のレベルにおいて与えられる場合、解が各プレーヤの行動に対して持つ意味は慎重に検討されねばならない。

ハイパーゲーム分析の有効な方向としては大きく分けて3つある。一つは過去のある事象が起こった経緯を第三者的な分析者の立場から説明することである(4.1)。二番目は複雑な意思決定状況における意思決定者の支援に利用するものである(4.2)。もう一つは自律的意思決定主体からなるポリエージェントシステムの分析に利用するものである(4.3)。

4.1 ハイパーゲームモデルによる説明的分析

3章で挙げた軍備競争における相互不信のハイパーゲームは説明的分析に用いられる例である。分析者は各プレーヤの認識しているゲームを定式化して、実際に起こった結果をプレーヤ間の認識の相違というハイパーゲームの基本構造から説明する。この例では平和的共存を望む両国が軍備競争という結果をなぜ選択したかを説明する。まだ結果が生じていないときには、次節のように、分析者はどちらか一方の見方からコンサルタントの立場で意思決定を支援するという形を取るのが普通である。

この例のケースにおいて、両国が相互不信なく、状況を正しく、共通に認識しているときは通常のゲームとして表2のように表現ができる。このときナッシュ均衡解は(双方軍備縮小)と(軍備競争)の結果を導く(軍縮, 軍縮)と(軍拡, 軍拡)の2つである。したがって“合理的”なプレーヤの思考によって(双方軍備縮小)という平和的結果に落ち着く可能性もある。

一方相互不信がある状況のハイパーゲームモデルでは、両国が“合理的”に考えるとき、それぞれが見ているゲームを他国も見ていると“信じている”ならば、自分の見ているゲームにおけるナッシュ均衡解を予想できる。両国が見ているゲームではナッシュ均衡解(と信じられているもの)は(軍拡, 軍拡)であり、両国とも軍拡を選択し、軍備競争の結果を招くもので

表2 両国が正しく状況認識したときの軍備競争のゲーム

		B国	
		軍縮	軍拡
A国	軍縮	4, 4	1, 3
	軍拡	3, 1	2, 2

ある。「相互不信」がある状況下では、双方が平和的行動を望んでいるのにもかかわらず、軍備競争の道を選択してしまうことがハイパーゲームモデルにより自然に説明されることになる。さらによりフォーマルに安定性の分析として進めることも行われている[3, 9]。

4.2 意思決定支援としてのハイパーゲーム分析

本節ではハイパーゲームの枠組みを実際意思決定に利用する場合を考える。すなわち複雑な意思決定状況に巻き込まれている意思決定者がゲームのプレーヤとしてハイパーゲームを利用して意思決定を行う。意思決定者に依頼されてコンサルタントとして意思決定者を支援するケースもハイパーゲームが有効に利用できる。本節ではそのケースを想定して記述する。

全体の分析過程は大きく2つのフェーズに分けられる。問題構造化と形式的分析である。問題構造化とは形式的なハイパーゲームモデルを作るまでのモデリングの過程である。前節の説明のための分析においてもモデリング過程は当然含まれているが、分析者が当事者の意思決定者である場合や、当事者に依頼されたコンサルタントの分析にプレーヤとしての顧客を含む場合には、特定のプレーヤからの視点から状況を見ることになり、ハイパーゲーム分析の基本的仮定から他のプレーヤのゲームを実際に見ることができないという制約がある。

問題構造化のフェーズでは、ハイパーゲームモデルがゲームの基本構造を持っていることから、意思決定者間の状況認識の相違をとりあえず考えずに、まず通常のゲームの状況としてモデリングを行うことが有効である。

典型的な問題構造化フェーズの大まかな手順は以下のようなものである。

(1)まず状況に含まれるプレーヤとしての意思決定者や当事者とその間の相互関連を抽出する。これには Preliminary Problem Structuring (PPS) と decision arena と呼ばれる手法がハイパーゲーム分析によく用いられている[7]。(2)そこから問題状況を明確にして、ゲームの結果とプレーヤの選好を考える。(3)また当事者であるプレーヤの記述をするときには、各プレーヤの選好に関して、結果間の関係を表す認知地図も有効である。ここまでの過程については、ハイパーゲームの説明的分析においてもモデリングの際に利用できる。決定支援を行っているケースで注意すべきは、上記のモデリング過程はすべてある特定のプレーヤの視点からなされることである。

次のステップでハイパーゲームモデルの作成を行う。そのために大きく2つの方向がある。1つは各プレーヤごとに上記の過程に基づいて各プレーヤのゲームを構築する。これは当事者間の認識に特別な仮定を置かず、ゲーム間に根本的認識の差異を許容することになる。もう1つはある特定のプレーヤの視点でゲームを作成し、それを修正する形で他のプレーヤのモデルを作る。この方法はプレーヤ間の認識の根本的差異は少なく、穏やかなアプローチとなる。

あるケーススタディに基づいた例を見てみよう[7]。ただし分析の細部は見ずに、大まかな流れのみ述べる。問題はあるヨットレースの世界選手権の開催地に関するものである。開催地は世界各地の持ちまわりで、今回は英国のウェールズで行われることになっていた。開催はウェールズのヨット協会と実際に選手権を運営する地元ラドスのヨットクラブが準備を行う。ヨット協会としては世界的規模が圧倒的に大きいイングランドの協会が、選手権開催を推進することに深く関わっていた。

ところがウェールズの協会とラドスのクラブとの間で財政、組織運営について対立し準備が進んでいないこと、またラドスのクラブ内にも選手権運営について意見が分かれていることが、選手権開催の意思決定を行うにはぎりぎりの時期に判明した。また、スウェーデンにおいて別の大会が同時期に計画されていたり、参加予定者は休暇の日程を組まなければならなかったり、選手権への参加をためらい始めた選手も出てきた。選手が十分参加しなければ選手権は成功しない。

だれかが何かをしなければならない。

このケーススタディは、このような状況でイングランドの協会の意思決定を支援する問題である。まず問題構造化フェーズの順序を実行する。まず主要な当事者を特定し、当事者間の相互作用を表す。これにはPPSを用いる。これにより、各ヨット協会、ラドスのクラブ間の選手権開催時期や場所に関する相互作用、世界選手権とスウェーデン大会との日程の調整に関する相互作用、ラドスのクラブ内での相互作用、各協会の委員会内部での相互作用等が抽出された。当事者間の認識の差異が根本的でないと考えられたことと、イングランド協会が見ているゲームでの意思決定を行うことが目的であることより、上述した2つの方法のうち穏やかなアプローチをとる。すなわちイングランド協会の視点からゲームをまず作る。次のステップでは、いくつかの代替案、結果、選好を考える。この際プレーヤが採れるオプションに関して論理的整合性や実行可能性が検討される。また安定性分析、各決定の時系列に関するゲームの木等を利用して問題状況を明確にしていく。

イングランド協会の視点が他のプレーヤより正しいとは必ずしもいえないことを考慮しながら、他のプレーヤの戦略と選好を考える。このときには他のプレーヤの戦略と選好に関して what-if 分析を行う。それにより他のプレーヤの視点が明らかになってきたところでハイパーゲームモデルとして記述する。したがって what-if 分析における他のプレーヤに関する仮定ごとにハイパーゲームモデルを作って安定性の考察を行う。

表3 イングランドの支援があるという仮定の下でのハイパーゲーム

		ウェールズ	
		世界大会開催を主張	世界大会開催断念
イングランド	保留	現状維持	現状維持、しかしイングランドは自由に行動
	国内大会開催を公表する	2つの大会が開催	イングランドでの国内大会
	イングランドで世界大会開催を公表	ヨット協会の組織的危機	イングランドでの世界大会

戦略と結果

		ウェールズ	
イングランド	3, 6	4, 5	
	2, 2	5, 3	
	1, 1	6, 4	

イングランドが考えているゲーム

		ウェールズ	
ウェールズ	3, 6	4, 4	
	2, 5	5, 2	
	1, 1	6, 3	

ウェールズが考えているゲーム

たとえばこのケーススタディでは、イングランド協会と他のプレーヤの1つであるウェールズ協会の戦略と結果、およびハイパーゲームが表3のように記述された。ウェールズが考えているゲームは what-if 分析から得られたもので、一定の仮定（ウェールズでの大会をイングランドが持続的支援を行うとウェールズが信じているという仮定）の下での記述である。実際の意味決定では、commitment package という概念が使われた。commitment package は不確実性に対処する一つの方法で、実行される時間を考慮した決定の集合を定式化している。

意思決定支援にハイパーゲームの枠組みを利用する際には、モデリング過程と最終的な意思決定に至る時点において他の方法論と融合させて、全体として複合的な分析方法をとる必要がある。しかしそのときでも、ハイパーゲームモデルによる表現は意思決定の場面で考察の本質的役割を果たしている。

4.3 内部モデル表現としてのハイパーゲームモデル

ハイパーゲームモデルが各意思決定者の状況に対する認識を表現していることから、ポリエージェントシステムにおける自律的意思決定主体の内部モデルの記述と分析がハイパーゲームモデルを使ってできる[9]。

企業等の組織における意思決定を有効に行うには、各構成員の持つ組織に対する内部モデルの果たす役割が大きいといわれている[8]。組織の各構成員は自律的に意思決定を行う意思決定主体である。内部モデルとは状況に対する意思決定主体の解釈を表す一種のメンタルモデルと考えることができる。各意思決定主体は状況の内部モデルを参照して各自の意思決定を行う。すなわち意思決定主体が準拠する意思決定のルールを内部モデルは含んでいる。組織における自律的意思決定主体としての構成員が持つ内部モデルは、“組織”という状況を記述したモデルである。組織は複雑であり、構成員はその多様な側面に属しているため、その内部モデルは各側面ごとに構成され、1人の意思決定主体は組織に関する多様な内部モデルを持つと考えることができる。

内部モデルは所与の状況の記述ではなく、意思決定主体の状況認識の記述である。たとえば第2節の軍備

競争の例では、表1のA国の考えているゲームで、B国に対する選好順序の認識を表した部分がA国の内部モデルである。もしA国自身の選好順序も状況に依存した不確実なもので、その記述が状況の認識を表している場合には自己の選好も内部モデルの一部となる。

内部モデルをハイパーゲームの枠組みで記述することの利点は、ハイパーゲームで意思決定の相互作用と意思決定のルールを形式的な形で表現できることより、自律的意思決定主体の内部モデルの性質により特徴付けられるポリエージェントシステムの特性の理解が促進されることにある。

参考文献

- [1] Bennett, P. G., "Toward a theory of hypergames," *Omega*, 5, pp. 749-751, 1977.
- [2] Bennett, P. G., "Hypergames: Developing a Model of Conflict," *Futures*, pp. 489-507, 1980.
- [3] Fraser, N. M. and Hipel, K. W., "Solving Complex Conflicts," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-9, No. 12, pp. 805-816, 1979.
- [4] 木嶋恭一: ハイパーゲーム分析: 知覚を考慮したゲーム理論, オペレーションズリサーチ, pp 593-596, 1989年11月号.
- [5] 木嶋恭一: 問題状況の主観的評価に基づく意思決定: 相互認識のあるハイパーゲームとその応用, 電学論C, 111巻3号, pp. 98-106, 1991.
- [6] Kijima, K., "Analysis of Soft Trends in Systems Thinking," *Systems Research*, Vol. 4, pp. 235-241, 1987.
- [7] Rosenhead, J. (ed.), *Rational Analysis for a Problematic World*, Wiley, 1989 (『ソフト戦略思考』(木嶋監訳), 日刊工業新聞社, 1992).
- [8] 高木他: 『マルチメディア時代の人間と社会』 日科技連, 1995.
- [9] 高橋真吾: 多主体系における状況認知の表現と学習, 『マルチメディア社会システムの諸相』, 高木・木嶋編, 日科技連, 1997.
- [10] Wang, M., Hipel, K. W. and Fraser, N. M., "Solution Concept in Hypergames," *Applied Mathematics and Computation* 34, pp. 147-171, 1989.