

## コンピュータブリッジのビッドにおける協調と競合

安藤剛寿          小林紀之          上原貴夫

### 東京工科大学

〒192-8580 八王子市片倉町1404-1

電話(0426)37-2438

E-Mail uehara@ue.it.teu.ac.jp

不完全情報ゲームであるコントラクトブリッジにおけるオークションを、仮説推論機構をもつエージェントの相互作用としてモデル化した。各エージェントの行動基準を「味方と協調して利益を最大にし、敵と競合して損失を最小にすること」と設定した。仮説推論によりビッド経過から敵味方のハンドを推論し、得点最大（失点最小）のコントラクトを目指し柔軟なビッドをするエージェントが実現できた。また、実験により不完全情報ゲームでは、味方に情報を伝えることと共に、敵の情報交換を妨害する戦術が有効であることを確認した。

不完全情報ゲーム, コンピュータブリッジ, エージェント, 仮説推論, 制約論理プログラミング

## Cooperation and competition of agents at auction of computer bridge

Takahisa Ando      Noriyuki Kobayashi      Takao Uehara

### Tokyo University of Technology

1401-1 Katakura-cho Hachioji-shi 192-8580 Tokyo Japan

TEL (0426)37-2438

E-Mail uehara@ue.it.teu.ac.jp

This paper proposes an agent oriented model for competitive bidding of a computer bridge. Since bridge auction is a task of imperfect information, each agent has hypothetical reasoning ability and generates hypothetical image of other players' hands by abduction from observation of the bidding sequence. Each agent chooses the next bid according to the criteria: Cooperate with partner to get maximum profit and compete against opponents to minimize the loss. The experimental result shows that our program based on this model can make flexible responses to the wide range of other players' bids and reaches the reasonable contract which maximizes the profit (or minimizes the loss). The importance of preemptive bids to disturb communication of opponents is examined as well as the importance of partnership bidding.

Key words: imperfect information game, computer bridge, agent, hypothetical reasoning, constraint logic programming

## 1. まえがき

ブリッジのビッドに関する研究は、既存のビディングシステムをプログラム化したもの[1]や新しいビディングシステムを作り出しコンピュータで実験したもの[2]などがある。また、インターネットを通じて商用のビディングシステムのデータベースを手に入れることもできる。現在、コンピュータブリッジのチャンピオンである GIB[3]もこのデータベースを利用している。過去2回チャンピオンになった Bridge Baron[4]は、ビディングに関する詳細なフローチャートを用意しており、ユーザーの要求に従いこれを示すことができる。

コンピュータとコンピュータが組んでビディングを行うためには、ビディングに関する詳細な約束を決めプログラム化しておけばよい。Wasserman[1]は、ブリッジのエキスパートの協力を得て、Algol で書いたプログラムの詳細化を進め、当時のプレーヤーに負けない実験結果を出した。しかし、このプログラムは、(クイズにおいて)自分の選択とは異なるビッド経過を与えられた場合に弱点を見せた。したがって人間をパートナーとする場合にも問題があると思われる。

我々は個々のビッドに関するルールの詳細化だけではすべての状況をカバーすることは難しいと考え、ビッドをする人間が常識と考えている一般的な判断基準と仮説推論の能力をパートナーシップの基本とするエージェントモデルを提案した [5]。このモデルの導入により、ビディングシステムで細部が規定されていなくても、仮説推論により互いのハンドを推論しつつ、常識的な判断にしたがってビッドを進められるようになった。各エージェントの行動基準は「味方と協調して利益を最大にすること」とした。[5]では、敵がオークションに参加しない、パートナーシップビディングとよばれる場合について2つのエージェントの相互作用として報告した。

本論文では、敵との競合がある、コンペティティブビディングとよばれる場合について、4つのエージェントの相互作用としてモデル化した結果を報告する。

なお、本論文では、読者がコントラクトブリッジの知識を持っていることを前提として、ブリッジの用語やルールの詳しい説明は省略する。

## 2. エージェントモデル

### 2.1 エージェントの基本構成

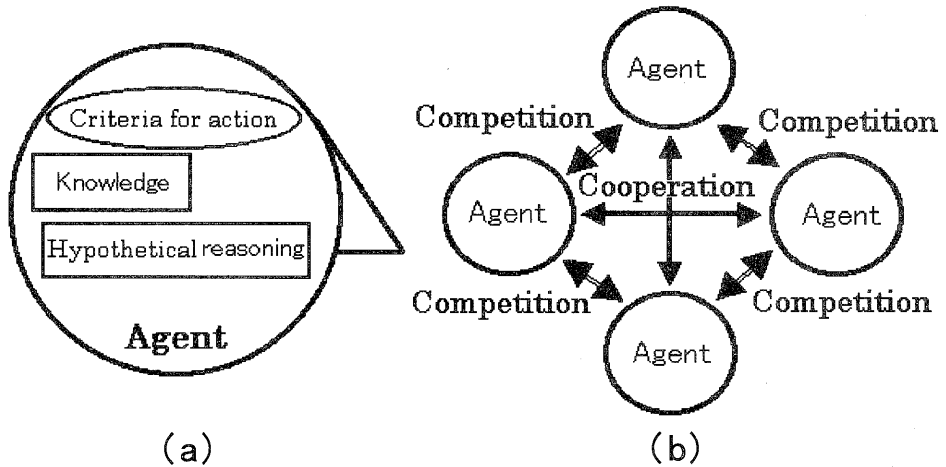


図1 コンペティティブビディングのモデル  
Fig1 Model of competitive bidding

図 1 に我々が提案するモデルを示す．(a)に示すように，各プレーヤーに対応するプログラム (agent, 以下ではエージェントとよぶ) は，

- 知識 (knowledge)
- 次のビッドを決めるための行動基準 (criteria for action)
- 仮説推論機構 (hypothetical reasoning)

をもつものとした．また，(b)に示すように，4つのエージェントは，味方とは協調(cooperation)し敵とは競合(competition)する．実戦では味方と敵のビディングシステム (ビッドの約束) が異なることもあるが，説明を簡単にするために，本論文では全エージェントの知識，行動基準，仮説推論機構は同じとし，各エージェントはそのことを知っているものとした．

## 2. 2 ビッドに関する専門知識

ブリッジのオークションにおけるビッドは，パートナーシップビディングとコンペティティブビディングに大別できる．前者は，味方だけでハンドに関する情報を伝えあうビッドであり，オープニングビッド，レスポンスビッド，リビッドなどに関する約束を専門知識としてエージェントに与えた．その表現と利用の詳細は文献 [5] で論じた．本論文で扱うコンペティティブビディングの場合には，上記の知識に加え，オーバーコール，プリエンパティブビッド，ダブルなど競り合うためのビッドの約束を追加した．

[例 1]

South	West	North	East
2 Spade	Double	4 Spade	Double

最初の 2S は，プリエンパティブビッドの一種 (ウィーク 2) であり，競合する敵が情報を交換することを妨害する目的をもつ．2S に関する知識を以下の知識 1 のように表現した (この論文での知識の表記方法は実際の制約論理プログラミング言語の表記方法とは異なる．ここでは理解しやすいよう，できる限り通常の数式表現を使用する)．なお，以下で NS,NH,ND,NC はそれぞれスペード，ハート，ダイヤモンド，クラブの枚数，P は絵札点 (A, K, Q, J をそれぞれ 4, 3, 2, 1 点と数えて合計する) ,LT はルージングトリック (敵の A, K, Q にとられる数) を表す．

この知識は注意深く制約論理プログラムで記述することにより，与えられたハンドからビッドを決定する目的と，観察したビッド経過からハンドを推論する目的の両方の用途に使えることは文献 [6] で述べた．

[知識 1]

opening bid([2.spade],[NS,NH,ND,NC], P,LT):- NS $\geq$ 6. NH $\leq$ 3. 6 $\leq$ P $\leq$ 10. 7 $\leq$ LT $\leq$ 8.

すなわち，スペードが 6 枚以上，ハートが 3 枚以下，絵札点が 6 点以上 10 点以下，ルージングトリックが 7 以上 8 以下ならば，2S とオープニングビッドする．

次のダブルは，テイクアウトダブルとよばれ，自分もよいハンドを持っているので味方に何かビッドしてほしいことを示す．

[知識 2]

takeout\_double([2.spade],[double],[NS,NH,ND,NC], P,LT):-  
NS $\leq$ 2, 3 $\leq$ NH, 3 $\leq$ ND, 3 $\leq$ NC, LT $\leq$ 7.

また、最後のダブル（ペナルティダブル）は、ディフェンスとして4Sのコントラクトを達成させない自信があるので、得点計算を倍にすることを宣言している。このように、同じビッドでも文脈によりちがう意味をもつ。

上記の知識は説明の都合で実際よりも簡略化し典型的な例を示した。実際には同じビッドに対して複数の条件が併記される場合が多い。

### 2.3 ハンドに関する知識

ゲームのルールに基づく周知の事実を各エージェントに与えた。人間（特に初心者）は常識的な知識の重要性を意識しないが、専門知識でビッドが決まらない場合には、コンピュータにとって欠くことの出来ない知識である。

ハンドに関する知識は、“カードは合計52枚である”や“同じカードは2枚以上存在しない”など、カードに関する一般的な事実がほとんどである。ハンドに関する知識のうち、文献[5]の2人の場合から本論文の4人の場合に拡張したために追加したものには次のようなものがある。ここで、Northのハンドには変数の最初にNをSouthのハンドにはS、WestにはW、EastにはEをつけてハンドを表わすものとする（例えば、NNSはNorthのハンドにおけるスペードの枚数を表わす）。

- ◆ 各スーツごとのカードの枚数は4人合わせて13枚である。
- ◆ 4人の絵札点の合計は40点である。

これらの知識は制約条件式によって、次のように表わされる。

#### 【制約条件1】

$$\text{NNS} + \text{SNS} + \text{ENS} + \text{WNS} = 13, \text{NNH} + \text{SNH} + \text{ENH} + \text{WNH} = 13,$$

$$\text{NND} + \text{SND} + \text{END} + \text{WND} = 13, \text{NNC} + \text{SNC} + \text{ENC} + \text{WNC} = 13$$

#### 【制約条件2】

$$\text{NP} + \text{SP} + \text{EP} + \text{WP} = 40$$

さらに、表現を簡潔にし推論を容易にするために、敵と味方のペアごとの情報を表す変数を導入した。例えば、NorthとSouthが持っているハンドの絵札点をNSP、ハートの枚数をNSNH、EastとWestが持っているハンドの絵札点をEWP、ハートの枚数をEWNHとすると、それぞれのペアが持っている絵札点とハートの枚数は、次のように表わすことができる。

#### 【制約条件3】

$$\text{絵札点 } \text{NSP} = \text{NP} + \text{SP}, \text{EWP} = \text{EP} + \text{WP}, \text{NSP} + \text{EWP} = 40$$

$$\text{枚数 } \text{NSNH} = \text{NNH} + \text{SNH}, \text{EWNH} = \text{ENH} + \text{WNH}, \text{NSNH} + \text{EWNH} = 13$$

他のスーツの枚数についても同様な方法でペアの情報に関する制約条件式を追加した。

### 2.4 得点計算

ブリッジの得点（失点）は、オークションで決まったコントラクト（最高のビッド）をプレーで達成できたかどうかで決まる。ゲーム（3NT, 4S, 4H, 5C, 5D）、スモールスラム（6NT, 6S, 6H, 6D, 6C）、グランドスラム（7NT, 7S, 7H, 7D, 7C）とよばれる高いコントラクトにはそれぞれボーナス点が設けられており、達成すればより高い点数を獲得できる。逆に、コントラクトを達成できないと、下回った（ダウン）数により失点する。

この得点計算に関する知識を各エージェントに組込んだ。具体的には、コントラクトが[M, S]で、プレーの結果[R, S]ができたときのスコアをs([M, S], R)で表す（M ≤ Rならば+、R ≤ Mならば-とする）。ここでM, Rはレベル、Sはトランプの種類を表す。さらに、[M, S]\*はコントラクトがダブルをされたことを示す。

### 2.5 判断と行動の基準

得失点の計算から明らかになるのは、味方と組んで達成できるコントラクトはどのレベルか判断

することが重要だということである。ブリッジプレーヤーの多くがこの判断の基準として絵札点を参考にしてしている。味方 (North と South とする) の絵札点の合計により、次のような判断をする。

**【知識 3】**

- NSP $\geq$ 26 ならばゲームが可能
- NSP $\geq$ 33 ならばスモールスラムが可能
- NSP $\geq$ 37 ならばグランドスラムが可能

また、合計 8 枚以上あるスーツは切札として適当であることも広く認められている。

**【知識 4】**

NSNS=NNS+SNS $\geq$ 8 ならばスペードを切札にする。

知識 3, 4 については、敵 (East と West とする) の絵札点や枚数が推論できた場合にも、同様な判断ができる。

さらに、切札のコントラクトでは、絵札点が知識 3 の基準より少なくともゲーム、スラムができる場合があることが知られている。すなわち、切札が決まれば、つぎに示すルージングトリック [10] の計算でコントラクトの予想がされる。

**【知識 5】**

NSWT=24-NSLT とすると NSWT は North, South の勝てるトリック数の予想値となる。同様に、EWWT=24-EWLT とすると EWWT は East, West の勝てるトリック数の予想値として使える。

さて、各エージェントの行動基準としては、「得点を最大 (失点最小) にする」こととした。

味方がコントラクトをとった場合の点 (コントラクトを達成できれば得点、できなければ失点) と、敵がコントラクトをとった場合の点を比較して、利益が最大 (損失が最小) と期待されるビッドを行う。味方は [M, S], 敵は [N, T] を達成することが可能と推論し、現在敵が [N 1, T] をビッドしている場合の味方のビッドは以下のようにして決まる (ただし、敵がビッドしていない場合は場合 1 に含まれる)。

ここで、[M, S]>[N, T] は、ビッド [M, S] がビッド [N, T] より上位であることを示す。

**【場合 1】 [M, S]>[N, T] $\geq$ [N 1, T] の場合**

s([X, S], M)=s([M, S], M)かつ[X, S]>[N, T]である最小の[X, S]をビッドする。

**【場合 2】 [M, S]>[N 1, T]>[N, T] の場合**

(1) s([M, S], M)<-s([N 1, T]\*, N)ならば、ダブルをかける。

(2) s([M, S], M) $\geq$ -s([N 1, T]\*, N)ならば、s([X, S], M)=s([M, S], M)かつ[X, S]>[N 1, T]である最小の[X, S]をビッドする。

**【場合 3】 [N 1, T]>[M, S]>[N, T] の場合**

ダブルをかける。

**【場合 4】 [M, S]<[N, T] の場合**

[Y, S]>[N, T] かつ s([Y, S]\*, M)>-s([N, T], N)のときは、最小の[Y, S]をビッドする。

## 2. 6 エージェントによる推論

各エージェントはビッド経過から敵味方のハンドを推論する。その推論形式としては、仮説推論を用い、制約論理プログラムで実現した [5] [6]。観察したビッドからアブダクションにより、それを説明する仮説としてハンドの条件を生成する。この仮説とエージェントの知識から矛盾なく観察した事実が証明できることを確かめる。もし矛盾が起これば、アブダクションにもちいた知識をとりかえて、他の仮説を生成し確認を繰り返す。

パートナーのビッドは、一般に推論を行う上で役立つ。敵のビッドは敵のハンドを推論するのに役立つが、味方とのビッドの妨げになり、味方のハンドを推論することを難しくする。

### 3. コンペティティブビディング

[例 2] 文献 [10] より引用したクイズ  
 ビッド経過

South	East	North
2Spade	Pass	?

North のハンド :	
Spade	K8752
Heart	75
Diamond	8
Club	J9843

プレーヤーは North で、ビッドはパートナーの South から始まり、上記のとおりに進んだ。North は、なんとビッドすべきであろうか？ただし、North, South がバルネラブルとする。

まず、パートナーが 2S でオープニングビッドした。これは、敵の情報交換をしにくくするためのブリエンブティブビッドの一種である。

以下、このクイズを本論文の North に対応するエージェントに解かせたときの、推論とビッド決定の過程を説明する。

[ステップ 1] 知識 2 より South のハンドを  
 $SNS \geq 6, SNH \leq 3, 6 \leq SP \leq 10, 7 \leq SLT \leq 8$   
 と推論する。

[ステップ 2] 自分のハンドの観察から次の事実が成立する。

$NNS=5, NNH=2, NP=4, NLT=8$

したがって、North と South のハンドを合わせれば、制約条件 3 から  
 $NSNS \geq 11, NSNH \leq 5, 10 \leq NSP \leq 14, 15 \leq NSLT \leq 16$  .

となることが推論できる。したがって、知識 5 よりスペードを切札とすべきことがわかる。また、知識 6 より  $8 \leq NSWT \leq 9$  となり、8 トリックから 9 トリック、すなわち 2 スペードか 3 スペードができそうだと予測できる。

[ステップ 3] 敵が競合する意志がなくパスしかしないとすれば、North はパスをし 2 スペードのコントラクトを得るのが正解である（すなわち、文献 [5] のパートナーシップビディング用エージェントはパスする）。

本論文のエージェントは敵のハンドを推論することにより、敵がなんとビッドするか予測する。すなわち、 $NSNH+EWNH=13, NSP+EWP=40$

という前章で述べた制約条件に基づき、ステップ 2 で推論した  $NSNH \leq 5, 10 \leq NSP \leq 14$  より、 $8 \leq EWNH, 26 \leq EWP \leq 30$  と推論する。これより、敵は 4 ハートのゲームも可能であることが予測できる。

[ステップ 4] 味方は [2, spade], 敵は [4, heart] が可能と予測したので、先に述べた判断基準の場合 4 に相当し、

$$s([4, \text{spade}], 2) = -300, s([4, \text{heart}], 4) = 620$$

$$s([4, \text{spade}], 2) \geq -s([4, \text{heart}], 4)$$

なので、4 スペードとビッドすることになる。

この時点で敵は、自分達が合計 26 点以上持っていることも、ハートが切札として適切なことも推論できてはいない。

### 4. 実験

[例 2] を参考にして、South には 2 スペードとオープンするのに適したハンド、North は [例 2] のハンドを持たせることを条件にランダムにカードを配り実験した。なるべく客観的な評価ができるように市販のコンピュータブリッジ [3] [4] を相手として選んだ。[例 3] にテストに使ったハンドの一例とオークションの結果および得失点を示す。

[例3]

テストハンド

S A	N	S 6
H K J 10 4 3	W      E	H A 9 2
D K 9 6	S	D Q J 10 7 5 4 2
C K Q 10 5		C A 6

S Q J 10 9 4 3  
H Q 8 6  
D A 3  
C 7 2

A: 本論文のプログラム

B, C: 市販のプログラム

B, CのビディングシステムとコンベンションはAと同じになるよう初期設定

North, South がバルネラブル

**A vs. B**

RoomA (North-South: A, East-West: B)

South	West	North	East
2 Spade	Pass	4 Spade	5 Diamond
Pass	Pass	Pass	

5Diamond By B(Made 6)

RoomB (North-South: B, East-West: A)

South	West	North	East
2 Spade	Double	3 Spade	5 Diamond
Pass	6 Diamond	Pass	Pass
Double	Pass	Pass	Pass

6Diamond Double By A(Made 6)

Result +920 (+14 IMP)

**A vs. C**

RoomA' (North-South: A, East-West: C)

South	West	North	East
2 Spade	Double	4 Spade	5 Diamond
Pass	Pass	Pass	

5Diamond By C(Made 6)

RoomB' (North-South: C, East-West: A)

South	West	North	East
2 Spade	Double	3 Spade	5 Diamond
Double	Pass	Pass	Pass

5Diamond Double By A(Made 6)

Result +330 (+8 IMP)

[例3]と同様な実験を14のハンドについておこなった。その結果、IMP (International Match Point Scale) の合計を見ると、A対Bは90対24、A対Cは62対36でいずれもAが勝っていることから、少なくともこの例に関してはよい結果を得た。

## 5. むすび

本論文では、不完全情報ゲームであるコントラクトブリッジにおけるオークションを、仮説推論機構をもつ4つのエージェントの相互作用としてモデル化することを提案した。その特徴は、知識としてビッドに関する詳細な約束が与えられていない状況でも、相手に応じた柔軟なビッドを可能としたことである。

各エージェントの行動基準を「味方と協調して利益を最大にし、敵と競合して損失を最小にすること」と設定した。仮説推論によりビッド経過から敵味方のハンドを推論し、得点最大(失点最小)のコントラクトを目指しビッドをする。敵のハンドの推論に最も役立つ知識は、各スーツの枚数は合計13枚、絵札点の総計は40点という周知の事実であった。これを基本にして推論した敵味方のハンドと上記の行動基準により、エキスパートが行うサクリファイブビッドが行えることを実験により確認した。実験では、極端な競合が起こる特殊な例題を用いてトップレベルのコンピュータブリッジと比較したが、今後様々な例題を用いて比較、評価を行う予定である。

## 文献

- [1] A.Wasserman: "Realization of skillful bridge bidding program", Proc. FJCC, pp.433-444,1970.
- [2] E.Lindelöf: "COBRA: The computer-designed bidding system", Victor Gollancz Ltd., London,1983.
- [3] Matthew L. Ginsberg, "GIB: Steps toward an expert-level bridge-playing program", University of Oregon Eugene,1997.
- [4] S.J.J.Smith,T.Throop : "A planning approach to declarer play in contract bridge", Computational Inteligence, Vol12, No1, 1996.
- [5] 安藤剛寿, 関谷好之, 上原貴夫, "コンピュータブリッジのビッドにおけるパートナーシップ", 信学論 (D), vol.J62-B, no.10, pp2366-2375, 1998.
- [6] 上原貴夫: "コンピュータブリッジにおけるアブダクションの応用", 信学論 (D), J77-D-II,11, pp2255-2264,1994.
- [7] C.H.Goren: "Goren's new bridge complete", Doubleday,1985.
- [8] W.S.Root, : "Commonsense bidding", Crown Publishers, Inc.1986.
- [9] S.Russell and P.Norvig: "Artificial intelligence- A modern approach", 古川康一監訳: "人工知能—エージェントアプローチ" 共立出版,1997.
- [10] R.Klinger: "The modern losing trick count; Bidding to win at bridge", Victor Collancz Ltd,1991.
- [11] 安藤剛寿, 堀貴之, 小林紀之, 上原貴夫: "制約論理プログラムを用いたエージェントの表現と応用", 信学技報, AI98-45,1998.