

特集 「エンターテインメントとAI」

# コンピュータブリッジ

## Computer Bridge

上原 貴夫  
Takao Uehara東京工科大学工学部情報工学科  
Information Technology Department, School of Engineering, Tokyo University of Technology.  
uehara@cc.teu.ac.jp, <http://www.teu.ac.jp/>**Keywords:** computer bridge, game, incomplete information game.

### 1. はじめに

ブリッジは、欧米でよく知られたカードゲームであるが、世界中に熱心なプレイヤーがいる。日本でも、日本コントラクトブリッジ連盟の会員として6000名余りが登録している。ブリッジは、他のプレイヤーの持っているカードが見えない不完全情報ゲームであるため、チェス、将棋などすべての駒の位置がわかっている完全情報ゲームとは異なる難しさがある。すでに、エンターテインメントを目的としたコンピュータブリッジプログラムは、多数売り出されている。トップレベルのコンピュータブリッジ開発者である内田は、世界のコンピュータブリッジとの対戦経験に基づいて、「やっとクラブアベレージプレイヤーのレベルに到達した感があります」と現在の実力を評価し、将来については「1997年にIBMのDeep BlueがチェスチャンピオンKasparovを破ったような出来事がブリッジ界にも起きると考える人はほとんどいません」と述べている [内田 00]。その難しさゆえに、強いコンピュータブリッジをつくることは、AI研究者にとって挑戦しがいのある目標となる。現在のコンピュータブリッジのチャンピオンであるGIBの作者Ginsbergは、「人間がブリッジのチャンピオンでいられる時間にも限りがある」とし [Ginsberg 96b]、精力的にプログラムの改良を続けている。

本解説では、コンピュータブリッジに関連するAI技術、研究動向、商用プログラムなどについて紹介し、今後の課題について述べる。

### 2. ブリッジ

ブリッジをご存知ない読者は、日本コントラクトブリッジ連盟のホームページ (<http://www.jcbl.or.jp/>) にルールの説明があるので、それを見ていただきたい。また、American Contract Bridge League (<http://www.acbl.org/>) からは、ブリッジの遊び方を詳しく教えてくれるソフトウェアがダウンロードできる。

ブリッジはテーブルについた4人のプレイヤー (North,

South, East, West) が North/South ペアと East/West ペアに分かれて戦う。まず、ビディング (あるいはオークション) と呼ばれる段階があり、どのスーツ (スペード, ハート, ダイヤモンド, クラブのいずれか) を切札にして (あるいは切札なしのノートランプで) 何回取れるかを競り合い、最も高いビッドがコントラクトとなる。次に、カードを1枚ずつテーブル上にプレイする段階に入り、ビディングで競り勝ったペアがコントラクトを達成できるかどうかで得失点が決まる。

コンピュータブリッジプログラムも、この二つの段階に対応して、ビッドのプログラム (コンピュータビッド) とプレイのプログラム (コンピュータディクレアラ/デフュンダ) に分けて研究されてきた。

### 3. コンピュータビッド

オークションにおけるビッドの目標は、パートナーと協力して妥当なコントラクトに到達し、プレイの結果として高得点を得ることである。そこで、あらかじめパートナーとビッドの意味についての約束事 (ビディングシステム) を用意する。ただし、この約束は敵にも教えておかなければならない。

#### 3.1 ルールベースによるビッド

コンピュータビッドは、ビディングシステムの約束をルールベース (データベース) としてもつ。歴史的には、Carley がつくったブリッジのプログラムに組み込まれたビッドの (13の場合に分けられた四つの) ルールが古い。彼は本格的なコンピュータビッドをつくる意図はなかったようである [Carley 62]。Wasserman のプログラムは、Schenken, Standard American, Kaplan-Sheinwold という三つのビディングシステムに対応した本格的なものであった [Wasserman 70]。彼は、ブリッジのエキスパートの協力を得てビッド系列ごとに使うべきルールを詳細化しALGOLで記述した。パートナーシップビディング (敵の邪魔が入らない場合) では、エキスパートのレベルであるが、コンペティティブビディング (競り合いのある場合) では、平均的プレイヤーよりやや

良いレベルと評価している。また、クイズのように、ほかから与えられた (Wasserman のプログラムとは異なる) ビッド系列に続いてビッドする場合には、問題が起きたと報告している。

Lindelöf [Lindelöf 83] はハンドの評価のために絵札や短いスーツなどに割り当てる点数の決め方を、ランダムに発生した数百万のハンドを調査して最適化した。競り合いのビッドでも、その点数を修正することによりうまく処理するルールを決め、Cobra というビディングシステムを完成した。1975年のBermuda Bowlにおける世界的なエキスパートのビッドをCobraのビッドに置き換える実験を行い、人間より良い試合結果を得たと報告している。

### 3.2 ビッドからのハンド推論

Wasserman や Lindelöf のプログラムの問題点は、ほかのプレイヤーによってなされたビッドの解釈にあると考えられる。Gambäck らは、ビッドを解釈することの重要性を強調し、個々のビッドを解釈するルールを PROLOG で記述することを提案している [Gambäck 93]。

ブリッジにおいては、演繹的推論を行うための完全な情報が与えられていない場合が多い。上原は、このような場合にアブダクションによる仮説推論を用いることを提案した [上原 94]。ビッドやプレイのしかたに関する知識 (ルール) を制約論理プログラム言語で記述して、同じ知識をビッドやプレイの解釈にも使った。一つのビッドに対して二つ以上の解釈が可能な場合には、ルールに基づいた一つの解釈を仮説として生成し、これに基づいてビッドを進める。ビッドの進行に伴い新しく観察したビッドの解釈と矛盾が起きた場合には、他のルールを用いたアブダクションを行い、矛盾が解消できれば先に信じていた仮説を破棄し信念の変更を行う。安藤らは、この方法が実用上有効であることを実験により確かめている [Ando 00a]。この方式によるコンピュータビッドは、典型的な場合を想定して期待値の高いビッドをする。あらゆる場合を考慮した安全なビッドをするには、一つのビッドに対する複数の解釈 (条件) の OR をとるのがよいかも知れない。しかし、通常の論理プログラム言語の処理系では実装が難しい。また、複数の解釈 (条件) を合成する (書き直す) プログラムをつくろうとしても、ブリッジの条件の複雑さから停止性を保障することが困難だと予想されている [Frank 96, フランク 97]。

### 3.3 ビッドの先読み

一つのハンドに対して複数のビッドが候補となる場合、ビッドを選択するために、モンテカルロシミュレーションの手法を使うコンピュータビッドが多い。Ginsberg の GIB では、ビッドの候補の集合を  $B$ 、与えられた状況でのビッドを示唆するデータベースを  $Z$  としたとき、次のように先読みをしたうえでビッドを決定し

ている [Ginsberg 99]。

- (1) それまでのビッドと矛盾しないようにカードを配り、ディーラの集合  $D$  をつくる。
- (2) 各ディーラ  $d \in D$  ごとに、もし  $b \in B$  をビッドするとどのようなオークションが行われるか、データベース  $Z$  を用いて調べる。到達したコントラクトができるかどうか、各  $d$  ごとに、ダブルダミーで評価してスコア  $s(b, d)$  を計算する。
- (3)  $\sum_d s(b, d)$  が最大となるようなビッド  $b$  を選ぶ。

Ginsberg 自身がこの方法の問題点として次のような指摘をしている。

ビディングシステムのデータベース  $Z$  が控えめなビッドを示唆するものとする。すると、上記のシミュレーションにより、より積極的なビッドが選択され、実際にビッドされる。パートナーは、この積極的なビッドに基づいて生成したディーラの集合を用いてシミュレーションを行い、先ほどと同様にデータベース  $Z$  の示唆より積極的なビッドを行う。この繰返しにより、ハンドの価値を過大評価してオーバビッドしまう可能性がある。

### 3.5 エージェントモデル

パートナーのハンドを正しく評価するためには、パートナーがこちらのハンドをどのように考えているか知る必要がある。安藤は、ブリッジのプレイヤーをエージェントとしてモデル化することにより、ほかのプレイヤーの思考を考慮するコンピュータビッドを提案した [安藤 98, 安藤 00b, 安藤 01]。各エージェントは、ビディングシステムに関する知識と仮説推論を行う機能および常識的な判断を要する場合の行動基準をもつ。ビディングシステムで明確に約束されている場合は、ルールベースによってビッドが選択される。ルールに記述がない状況では、それまでに観察したビッド経過からほかのプレイヤーのハンドに関する仮説を生成し、この仮説を信じ、行動基準に従ってビッドを選択する。仮説推論に際しては、相手の推論している自分のイメージ、その中の相手のイメージというように再帰的に深い推論を行う。この方式では、自分の実際のハンドとパートナーの推論している自分のイメージを近づけることが、合理的なコントラクトに到達する手段となる。実験では、ビディングシステムのルールを相当削除した場合でも、エージェントは仮説推論と行動基準を用いて人間に近いパートナーシップを発揮し、妥当なコントラクトに達した。

## 4. コンピュータディクレアラ/ディフェンダ

プレイは、コントラクトを達成しようとするディクレアラ側と、これを阻止しようとするディフェンダ側に分けて考えられる。ディクレアラのパートナーはダミーと呼ばれ、最初のカードが出された直後にハンドをテーブル

上に開き、以後のプレイはディクレアラが代行する。したがって、ディクレアラは自分達のハンドを見て、コントラクトを達成するためのプランを立てることができる。ディフェンダ側は、ダミーのハンドは見えるが、ディクレアラはもちろん、パートナーのハンドも見えないのでプレイはより難しくなる。

#### 4.1 ルールベースによるプレイ

経験則を特定の状況とそのときにとるべき行動からなるルールの形式で記述し、これに従ってプレイする方式が初期のコンピュータブリッジに採用された。文献 [Frank 96, フランク 97] によれば、次の例は Carley のつくったプログラムにおけるプレイのルールの一例である [Carley 62]。

「ディフェンダであり、スーツをフォロー可能であり、トリックの 3 番目のカードを出す番であり、2 番目のカードが高位であり、このハンドでトリックに勝てる可能性が 0.6 以上であるならば、勝てる中で最も弱いカードをプレイせよ。」

ブリッジをご存知の方にとっては、このようなルールに従うだけで先読みをしないプレイには限界があることは明らかであろう。しかし、1992 年の Computer Game Olympiad のブリッジ部門では、この方式の Bridge King というプログラムが優勝したそうである。

#### 4.2 ダブルダミーブリッジ

ブリッジにおいて、全員のハンドが見える状態（ダブルダミーと呼ばれる）にしてプレイの検討をすることがある。この完全情報ゲームとしてのブリッジは、Berlekamp により研究されている [Berlekamp 62]。彼のプログラムは、ヒューリスティックプレイヤとブルーバの二つの部分に分かれ、前者が発見した解を後者が確かめる方式をとった。前者がコントラクトを達成する解を発見できない場合には、後者が解が存在しないことを証明することを試みるが、当時の大型コンピュータでも時間がかかりすぎて実行不可能な場合もあった。

チェスに代表される完全情報ゲームのために研究された手法を用いて、ダブルダミーブリッジのゲーム木探索を高速化することができる。ブリッジの各状態で四つの可能なプレイがあるとすると 52 枚のカードをプレイするには  $4^{52} \div 10^{31}$  の可能なプレイの系列がある。ミニマックス法に対する高速化技法（アルファベータせん定、トランスポジションテーブルなど）を使えば、実効的な分岐の数を（1.4 程度に）減らすことができ、Ginsberg の手法（Partition Search）によれば（分岐数 1.2 程度にして）1 秒程度で一つのハンドを分析することができるという [Ginsberg 96b]。

#### 4.3 プランとタクティクス

不完全情報ゲームとしてのブリッジの探索空間はさら

に大きい。この空間内ですべての可能なプレイの列を試すのを避ける一つの方法として、選択肢をあらかじめ決めてあったタイプのプレイの部分列にかぎる方法が提案されている。Stanier は、「トップをとる」、「トランプを刈る」、「ラフする」、「長いカードをエスタブリッシュする」、「フィネスする」、「マスタでないカードをプロモートする」の六つのタイプの部分列（スキーマ）を用いてプランすることを提案した [Stanier 76]。人間の場合にも、ディクレアラは同様な方法でプランをたてるので、自然なアプローチと考えられる。残念ながら、Stanier のプログラムは動いた証拠がない。Frank の Finesse は、一つのスーツのプレイに制限し、七つのタイプの部分列（タクティクス）を特定し、これらの各タクティクスの適用条件（メソッド）を明らかにして、最適なプレイを求めている [Frank 96]。Tignum では、タクティクスとメソッドを前方枝刈りに使っている [Smith 93, Smith 94]。

しかし、スクイーズなどこれらの部分列の並べ換えでは得られないプレイの列を解とする場合もあり、この方法だけでエキスパートレベルのプレイを達成することは難しい。Python と呼ばれるエキスパートシステム [Sterling 90] は、Love の本 [Love 59] にある知識に基づき、スクイーズを適用できる状況にあることを認識できる。しかし、スクイーズが可能な状況に導くようにプレイすることはできない。

#### 4.4 モンテカルロシミュレーション

見えていないカードの可能な分布（世界）を多数生成し、各世界でダブルダミーブリッジのミニマックス値を求め、選ばれた候補の中から全体として良さそうな行動を選ぶ方法が何人かの研究者により提案された。内田夫妻の Micro Bridge, Ginsberg の GIB もこの方法を用いている。

Ginsberg は、行動の候補の集合を  $M$  としたとき、次のようにして一つの行動（次に出すカード）を決定している。

- (1) それまでのビッドおよびプレイと矛盾しないようにカードを配り、ディールの集合  $D$  を作る。
- (2) 各ディール  $d \in D$  ごとに、各行動  $m \in M$  を選んだらどのような結果になるかダブルダミーで評価してスコア  $s(m, d)$  を計算する。
- (3)  $\sum_d s(m, d)$  が最大となるような行動  $m$  を選ぶ。

Ginsberg は、ダブルダミーブリッジのミニマックス値を求めるために、Partition Search という高速化法を提案し、GIB に実装している。

このモデルでは、次に出すべき 1 枚のカードを除き、各プレイヤが（ダブルダミーで）ベストプレイをすることになる。このため、いくつかのタイプの誤ったプレイをしてしまう可能性があることを Frank らが指摘している [Frank 98b]。しかし、実戦でそのようなミスが結果として現れる確率がどのくらいあるかは明らかではない。

North と South が次のようなハンドを持っている場合、ダブルダミーでプレイすれば、Q が East あるいは West のどちらにあっても 3 回 (3 トリック) とることができることが知られている。

North	South
K 10 9	A J 4

具体的にディールの集合  $D$  の要素として、次のような  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$  を考えてみる (South がディクレアラで North がダミーとし、South の立場で見えない East と West のハンドを生成した場合を想定)。

	West	East
$d_1$	Qxx	xxxx
$d_2$	xxxx	Qxx (x は 8 以下のカード)
$d_3$	Q	xxxxxx
$d_4$	x	Qxxxxx
$d_5$	xxxxxx	Q
$d_6$	Qxxxxx	x

South の行動の集合  $M$  の要素としては、次の三つがある。

$m_1$	A を出す
$m_2$	J を出す
$m_3$	4 を出す

$m_1$  では、 $d_2, d_4$  の世界では 2 トリックしかとれない。 $m_2, m_3$  の場合には、以後をダブルダミーでプレイすれば (上記以外のディールでも) 必ず 3 トリックとれる。(スコア関数  $s$  が特殊なものでないかぎり) プログラムは  $m_2$  あるいは  $m_3$  を選択するであろう。他の理由がなければ、すぐにこれを実行する可能性がある。実際に J あるいは 4 を出し、North が次のいずれかの行動を選択する順番が来た場合を考えてみる。

$m_4$	K を出す
$m_5$	10 を出す
$m_6$	9 を出す

この段階では  $m_4, m_5, m_6$  のいずれかを選択し、直後からダブルダミーでプレイしたとしても、3 トリック取れないディールが存在する ( $m_4$  に対する  $d_1, d_6$ ;  $m_5$  に対する  $d_2, d_3, d_4, d_5$ )。すなわち、South からカードを出したときの「必ず 3 トリックとれる」という計算が成立たなくなり、コントラクト達成が困難になる可能性がある。

人間の場合には、1 枚出した後で敵のハンドを盗み見るわけにはいかないので、3 トリック確実にとることは難しいことは承知している。なるべくこのスーツを出すのを遅らせ、ほかのプレイの結果から情報を集める。West に Q がある (あるいは East が 1 枚である) 確率が高いと判断した場合には South の A をとってからフ

ィネスをし、East に Q がある (あるいは West が 1 枚である) 確率が高いと判断した場合には North の K をとってからフィネスをすることにより、3 トリックとれる機会を増やす。

上記の問題点に関して、商用コンピュータブリッジを用いた実験を後に示す。

#### 4.5 ベストディフェンスモデル

Frank と Basin は、ブリッジのプレイを解説した本によくあるように、敵がベストディフェンスをし、こちらがプレイの方針を決めてから敵がディフェンスを決めると仮定したモデルを提案した [Frank 98b]。このモデルでは、こちらは終始不完全情報ゲームでプレイしていることになるので、前節の例に示したような問題は起こらない。しかし、この新しいタイプのゲーム木ではアルファベータせん定を用いることができないので、実行時間を短くすることが難しい。Frank らはいくつかのヒューリスティックな方法を提案し、このモデルを用い The Official Encyclopedia of Bridge に記載されているシングルスーツのカードプレイについて最適解を求める実験をしている [Frank 98a]。また、彼らは Finesse において研究した手法を用い、各プレイについて英語で解説できるようにした [Frank 99]。

#### 4.6 カードの場所を当てる

Quinlan は、ブリッジの解説書 [Lawrence 86] にある知識に基づき、ビディングやオープニングリードから重要な絵札の位置を当てるエキスパートシステムをつくった [Quinlan 79]。上原は、ビディングやプレイのための知識を用いて仮説推論を行えば、新たなエキスパートシステムをつくらなくても、同様の機能が実現できることを示した [上原 94]。このような推論がプレイにどのように役立つかは、後に述べる実験例で示す。

#### 4.7 コンピュータディフェンダ

ディフェンスに特化した研究発表は見当たらない。プランを立てる手法は、ディフェンダの場合には適用しにくいかもしれない。ルールベースやモンテカルロシミュレーションは、ディクレアラの場合と同様に適用できる。オープニングリード (最初のカード) を選択 (あるいは解釈) する場合には、ルールベースが役に立つ。また、ディフェンダ間で情報を交換するためのシグナル (カードのプレイの仕方) を解釈し、可能性の高い世界を想定してディフェンスすることも重要である。

人工知能の研究課題として興味深いものとして、ディクレアラが誤った推論をし、ディフェンダに有利なカードをプレイするように導くディセプティブプレイがある。小林らは、自分にはあり得ないことを知っているが、敵に信じさせたい仮想世界を導入する方法を提案している [小林 01]。

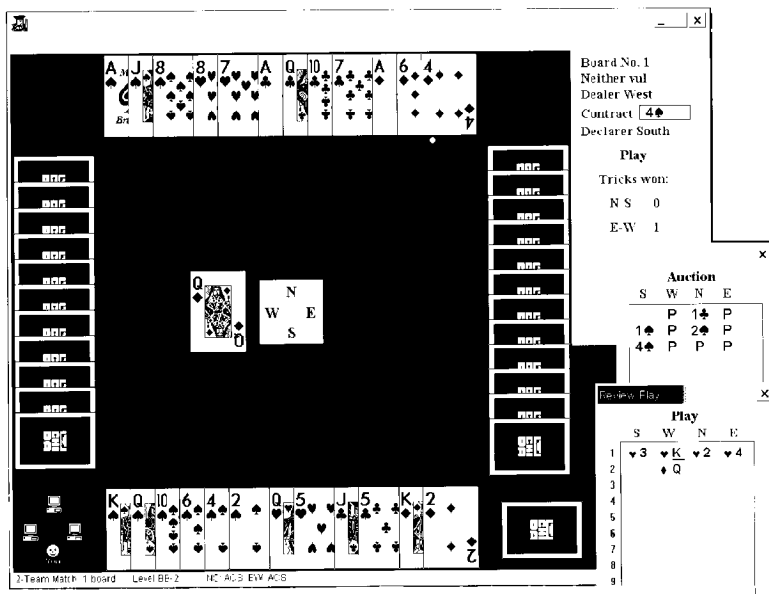


図 1 Playing with Micro Bridge

## 5. 商用ブリッジプログラム

ブリッジは本来 4 人の人間でプレイするものであるが、1 人しかいなくても残りの 3 人分をコンピュータがプレイしてくれれば、手軽に楽しむことができる。図 1 に **Micro Bridge** を用いて 1 人で遊んでいるようすを示す。

初心者、中級者にとっては、コンピュータは文句をいわない（ほめてくれる場合もある）よい練習相手となる。現在、教材ソフト、対戦型ソフトや、ネットワークからブリッジに参加できるものなど、多数の商用のソフトウェアが存在する。

対戦型ソフトに関しては、1997 年、1998 年、2000 年と過去 3 回のコンピュータブリッジ選手権が行われた。そのようすについては、内田の「コンピュータブリッジ転戦記」に紹介されている [内田 00]。2000 年の試合では、前回に続き Ginsberg の GIB が 1 位になった。**Micro Bridge** は、毎回安定した実力を示し、今回は 3/4 位であった。GIB は Moscito Byte という特殊なビデオングシステムを使ったため、ほかのコンピュータブリッジは GIB との対戦のために特別の用意をしなければならないという問題があったようである。

参考のために対戦型、ネットワーク参加型のソフトウェアに関するアドレスを示す。

[対戦型]

**Blue Chip Bridge**

<http://www.bluechipbridge.co.uk/>

**Bridge Baron** <http://www.bridgebaron.com/>

**Bridge Buff** <http://www.bridgebuff.com/>

GIB

<http://www.gibware.com/>

**Meadowlark Bridge**

<http://rrnet.com/meadowlark/>

**Micro Bridge**

<http://www.threeweb.ad.jp/~mcbridge/>

**Q-Plus Bridge**

<http://www.q-plus.com/>

**WBridge5 (Freeware)**

<http://perso.chello.fr/users/y/yvescostel/>

[ネットワーク参加型]

**OK Bridge**

<http://www.okbridge.com/>

**WinBridge**

<http://www.winbridge.net/>

**Yahoo Bridge**

<http://play.yahoo.com/games/>

**Yahoo Japan Bridge**

<http://play.yahoo.co.jp/>

**Bridge Player Live**

<http://www.bridgeplayer.com/Index.asp>

**Microsoft Internet Gaming Zone**

<http://zone.msn.com/bridge/default.asp>

**Swan Games**

<http://www.swangames.com/main/index.html>

(これらへのリンクは、<http://www.teu.ac.jp/ueit/link/index.html> に用意した)

## 6. 実 験

ここでは、三つの例題を **Micro Bridge** と **GIB** で実行してみた。

[例 1] [Goren 85] より引用。

North	South
S A J 8	S K Q 10 6 4 2
H 8 7 2	H Q 5 3
D A 6 4	D K 2
C A Q 10 7	C J 5

## Bidding:

West	North	East	South
Pass	1 Club	Pass	1 Spade
Pass	2 Spades	Pass	4 Spades
Pass	Pass	Pass	

West はハートの K をリードし, East は 4 を出した. 次に, West はダイヤモンドの Q を出した. South はどのようにプレイしたらよいか.

## (実験と評価)

このクイズでは, まず, 主要な絵札の位置を推論することが大切である. [上原 94] では, ビッドの知識とオープニングリードに関する知識から, 次のような推論によりハートの A が East にあり, クラブの K が West にあるとの仮説を得ている.

- (1) West がオープニングビッドをしなかったので絵札点が 12 点以下である.
- (2) ハート K のリードを解釈すると, West がハート A あるいは Q を持っている.
- (3) South は自分がハート Q を持っていることを知っている.
- (4) したがって, West はハート A を持っているはずである.
- (5) ダイヤモンド Q のリードを解釈すると, West はダイヤモンド Q および J を持っている.
- (6) West の持っているはずの絵札 (ハート AK, ダイヤモンド QJ) の点数の合計は 10 点 (A は 4 点, K は 3 点, Q は 2 点, J は 1 点) である.
- (7) West の絵札点は 12 点以下なので, クラブ K は持っていない.

実際には, (1), (2), (3), (5) の制約条件を与えて, それらを満たすハンドを求めている.

GIB, Micro Bridge など, 同様な制約条件をつくり, それを満たすディールを多数生成しているはずだが, ユーザが生成されたハンドを見ることはできないのでプレイから推測するしかない.

West と East に下記のようなハンドを与え, 実際に Micro Bridge (図 1) と GIB にプレイさせてみた.

West	East
S 5 3	S 9 7
H A K 9 6	H J 10 4
D Q J 7 3	D 10 9 8 5
C 4 3 2	C K 9 8 6

その結果, Micro Bridge は最初に South のダイヤモ

ンド K で勝つが, 後でクラブ K とハート A, J に負けて 1 ダウンした. GIB は, 最初に North と South からダイヤモンド 4 および 2 を出して負けるが, 次のようにしてコントラクトを達成した (下線はリードを示す).

North	East	South	West
H 7	H 4	H 3	<u>H K</u>
D 4	D 5	D 2	<u>D Q</u>
S 8	S 9	S 10	<u>S 3</u>
D 6	D 8	<u>D K</u>	<u>D 3</u>
C A	C 6	<u>C 5</u>	C 2
<u>D A</u>	D 9	C J	D 7
<u>C 7</u>	C 8	S Q	C 3
S J	S 7	<u>S 4</u>	S 5
<u>C Q</u>	C 9	H 5	C 4
<u>H 2</u>	H 10	H Q	H A
H 8	H J	S K	<u>H 6</u>
S A	D 10	<u>S 6</u>	H 9
<u>C 10</u>	C K	S 2	D J

ただし, ビッドをクイズのとおりにすると正しいプレイはせず, North の 1 No Trump のオープンに対して South が 4 Spades をビッドした状態でのみ上記のプレイをした. またプレイをさせるとほかと同様に 1 ダウンする場面が多い (以上は本稿執筆時点での Version 4.1.4 による実行結果, その後 Version 4.1.6 がリリースされてからは正しいプレイは行われなくなった). GIB は, ビッドからの推論やプレイの安定性にかける点に改良の余地があるが, 生成したハンドに対して正しいダブルダミープレイを発見する能力が高いことがわかる.

## [例 2] [Lawrence 86]より引用

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

## Bidding:

North	East	South	West
Pass	Pass	1 No Trump	Pass
2 Clubs	Pass	2 Spades	Pass
4 Spades	Pass	Pass	Pass

West はハートを K, A と取り, East が J, 7 を出したので, さらにハートを出し East にスペードで切らせた. East はクラブ 10 を返してきて, South が A でとることができた. South は切り札を続け, スペードは West が 2 枚, East が 3 枚持っていることがわかった. コンピュータブリッジは, この後どのようにプレイするだろうか.

Lawrence は, South がクラブを全部とって, さらに

情報を収集してからダイヤモンドのプレイのしかたを決めるべきだとしている。実際に、East のクラブが 10、2 の 2 枚であることを発見し、West のハンドは（スペード 2 枚、ハート 5 枚、クラブ 5 枚）ダイヤモンドが 1 枚であることがわかる。この場合、North のダイヤモンド K を取って、West から Q が出なければ、East に Q があるとしてフィネスすればよい。

West と East の実際のハンドは次のようであった。

West	East
S 3 2	S 10 6 5
H A K 10 5 3	H J 7
D 7	D Q 8 6 5 3 2
C J 9 6 5 4	C 10 2

#### (実験と評価)

Micro Bridge は、Lawrence の述べている順序で正しくプレイした。GIB は、同じく正しくプレイをすることもあるが、クラブをとって見る前にダイヤモンドをプレイすることも多く、South から 4、North から 10 を出して失敗した場合もある。これは、4・4 節で述べたモンテカルロシミュレーションを用いる場合の欠点である。内田夫妻からの私信によれば、Micro Bridge では、次に引用したような配慮がなされているそうである。「Micro Bridge ではダブルダミーで解いた結果に差がない場合は各種のプレイの常識に照らし合わせてより妥当なプレイはどれか、という観点から結果に順位をつけ、順位点とトリック数で評価関数を決めています。いわばシミュレーションベースとルールベースをミックスした方法で、ディフェンダの場合はルールの重みを大きく、エンドプレイゾーンではルールの重みはごくわずかに、といった具合に状況に応じて使い分けています。この方法はダブルダミーにありがちな不可解なプレイを減らし、当たり前にプレイすれば問題ないハンドをきちんとプレイするためには大きな効果があります。」

[例 3] [Lawrence 86]より引用

	North	
	S A 6 4	
	H K 8 7 6 5 3	
	D 8 3	
	C Q 5	
West	East	
S 5 3 2	S K	
H A 10 9	H Q J	
D 9 6 5 4	D J 10 7 2	
C 10 9 7	C A K J 6 4 3	
	South	
	S Q J 10 9 8 7	
	H 4 2	
	D A K Q	
	C 8 2	

East が 1 Club とオープニングビッドし、South が 1 Spade とオーバコールした後、East と West にビッドはなく、North と South で 4 Spades のコントラクトに達した。クラブを二つ取られた後、East からダイヤモンドが出てきた。どのようにプレイしたらよいだろうか。Lawrence の本では、スペードをフィネスせずに A で取ってコントラクトをつくるプレイの考え方 (card play by assumption または wishful thinking と呼んでいる) が述べてある。簡単にいえば、あるカードが特定の場所になければコントラクトができないならば、そこにあると仮定してプレイするという方法である。この例では、West にハート A がないとコントラクト達成は難しく、West にハート A があると仮定するとスペード K は East があると推論でき、スペード K が 1 枚でいると仮定しないと 4 Spades はできない。

GIB で何度かプレイさせてみると、スペードのフィネスをしてダウンすることも多いが、A で K を取って 4 Spades をつくることもあり驚かされる。スペードが East に 1 枚でハート K が West にいる確率はそう高くないが、ランダムに生成されたハンドの中にこの条件を満たすハンドが存在すれば、GIB のダブルダミープレイのプログラムは 4 Spades ができることを発見するであろう。スコア関数が、コントラクトができた場合に非常に良い値をとり、1 トリックよけいにダウンしてもあまり悪い値をとらないように設定されていれば、前記の考えに近いプレイが行われる可能性がある。

以上、わずかな例題であるが、コンピュータブリッジの能力と問題点の一端を示した。なお、ここで使用したプログラムは通常の市販品 (Micro Bridge Version 9, GIB Version 4.1.4) であり、800 MHz のノートパソコン上で実験したが、各開発者の試用用システムはさらに高い能力をもつものと思われる。[Ginsberg 99] には、Bridge Master (<http://bridgebase.com/bm2000.html>) という教材ソフトが提供する 5 段階のレベルに分けた問題のうちそれぞれ何題解けたか紹介している。これは、コンピュータブリッジのプレイ技術を判定する一つの基準になるだろう。

## 7. おわりに

コンピュータブリッジに関する研究動向、エンターテインメントを目的とした商用ソフトについて紹介した。

ビッドに関しては、初心者、中級者が使うオーソドックスなビディングシステムについては、あらかじめ知識を組み込んでおく方法が定着している。残された課題は、上級者の試合にしか使われない特殊なビディングシステムに関する対処である。例えば、新しい知識を容易に追加できる機能、対戦相手のシステムに対する有効な対抗策 (コンペティティブビッド) を自律的に考えられる機能などがある。

プレイに関しては、ビッドやプレイからの推論に基づいて可能性の高いハンドを多数生成し、これらをダブルダミーで完全情報ゲームとしてプレイした結果からカードを選択する方法が主流となっている。この方法では、ゲーム木の探索の高速化が課題であり、GIB は独自の方法でこれに成功している。今後の課題は、不完全情報ゲーム特有の問題を明らかにし、その解決法を研究することである。例えば、ディフェンダのプレイのモデル化などがある。

コンピュータブリッジが商用になり、自宅で世界選手権のハンドを用いてコンピュータとプレイし、有名なプレイヤーの結果と比較して楽しむことができる。エンターテインメントとして見れば喜ばしいことであるが、商用ソフトの背景にある独創的な技術が詳しく発表されないことが多いのは残念である。また、強いコンピュータブリッジの出現は、これからブリッジを研究の対象としようと考えている人の意欲をそぐ場合もある。しかし、実験例で示したように、個々の例を見れば、コンピュータブリッジはまだ人間に及ばない。ブリッジの場合は、上級者は最初の段階でプレイのプランが可能であり、他人になぜそうするかを説明できる。コンピュータが人間に勝つためには、人間と同じ方法をプログラムしてはだめだという考え方もあるが、著者は読者の中からもっと人間に近いコンピュータブリッジを研究する人が現れることを希望する。

### ◇ 参 考 文 献 ◇

- [ACBL 94] ACBL: The official encyclopedia of bridge, American Contract Bridge League, fifth editin (1994)
- [安藤 98] 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, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No. 10, pp. 2366-2375 (1998)
- [Ando 00a] T. Ando and T. Uehara: Reasoning by agent in computer bridge bidding, *Computer and Games 2000* (2000)
- [安藤 00b] 安藤剛寿, 小林紀之, 上原貴夫: コンピュータブリッジのビッドにおける協調と競合, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-D-I, No. 7, pp. 759-769 (2000)
- [安藤 01] 安藤剛寿: 仮説推論機能をもつエージェントの研究—ブリッジにおけるオークションのモデル化, 東京工科大学博士論文 (2001)
- [Berlekamp 62] E. R. Berlekamp: Machine solution of no trump double-dummy bridge problems, MS Thesis, Massachusetts Institute of Technology (1962)
- [Carley 62] G. L. Carley: Program for contract bridge, MS Thesis, Massachusetts Institute of Technology (1962)
- [フランク 97] イアン・フランク: ブリッジ, bit 別冊「ゲームプログラミング」, 共立出版, pp. 96-108 (1997)
- [Frank 96] I. Frank: Search and planning under incomplete information: A study using Bridge card play, PhD thesis, Department of Artificial Intelligence, Edinburgh (1996). Also published by Springer-Verlag in the Distinguished Dissertations Series (1998)
- [Frank 98a] I. Frank and D. Basin: Optimal play against best

- defence - Complexity and Heuristics, *Computers and Games 98*, Lecture Notes in Computer Science 1558, pp.50-73 (1998)
- [Frank 98b] I. Frank and D. Basin: Search in games with incomplete information - A case study using bridge card play, *Artificial Intelligence*, Vol. 100, No. 1-2, pp. 87-123 (1998)
- [Frank 99] I. Frank and D. Basin: Strategies explained.
- [Gambäck 93] B. Gambäck, M. Rayner and B. Pell: Pragmatic reasoning in bridge, Cambridge University Computer Laboratory Tech Report 299 (1993)
- [Goren 85] C. H. Goren: Goren's new bridge complete, Doubleday (1985)
- [Ginsberg 99] M. L. Ginsberg: GIB: Steps toward an expert-level bridge-playing program, *IJCAI-99* (1999)
- [Ginsberg 96a] M. L. Ginsberg: Partition search, *AAAI-96* (1996)
- [Ginsberg 96b] M. L. Ginsberg: How computers will play bridge, *The Bridge World* (1996)
- [小林 01] 小林紀之, 上原貴夫: コンピュータブリッジにおけるディフェンダのプレイ, 情報処理学会, ゲーム情報学研究会, 5-3, pp. 15-22 (2000)
- [Lawrence 86] M. Lawrence: How to read your opponents' cards, Devyn Press (1986)
- [Lindelöf 83] E. T. Lindelöf: COBRA — The computer-designed bidding system, Victor Gollancz Ltd (1983)
- [Love 59] E. R. Love: Bridge squeezes complete, Dover (1959)
- [Quinlan 79] J. R. Quinlan: A knowledge-based system for locating missing high cards in Bridge, *IJCAI-79*, pp. 705-710 (1979)
- [Smith 93] S. J. J. Smith and D. S. Nau: Strategic planning for imperfect information games, In *Games: Planning and Learning*, Papers from the 1993 Fall Symposium, pp.84-91, AAAI Press (1993)
- [Smith 94] S. J. J. Smith and D. S. Nau: An analysis of forward pruning, *AAAI-94*, pp. 1386-1391 (1994)
- [Stanier 76] A. Stanier: Planning to make tricks at bridge, *AISB Summer Conference*, pp.256-265 (1976)
- [Sterling 87] L. Streling and Y. Nygate: Python — An expert squeezer, *Proc. ICLP*, pp. 654-674 (1987)
- [内田 00] 内田富夫: コンピュータブリッジ転戦記 (その 1) (その 2), *JCBL Bulletin*, Vol. 47, No. 1, pp. 20-25, No. 2, pp. 27-33 (2000)
- [上原 94] 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, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J77-D-II, No.11, pp. 2255-2264 (1994)
- [Wasserman 70] A. Wasserman: Realization of a skillful bridge bidding program, *Fall Joint Computer Conference*, AFIPS (1970)

2001 年 3 月 19 日 受理

### — 著 者 紹 介 —



上原 貴夫 (正会員)

1965 年早稲田大学理工学部電気通信学科卒業。1970 年同大学院博士課程修了。工学博士。同年(株)富士通研究所入社。1994 年東京工科大学工学部情報工学科教授。現在に至る。その間、1977 年より 1 年間 Stanford 大学客員研究員。CAD、人工知能、ゲームプログラミングなどの研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、日本ソフトウェア科学会、IEEE、日本コントラクトブリッジ連盟会員。