

Title	ゲーム研究のいま
Author(s)	飯田, 弘之
Citation	情報の科学と技術, 62(12): 527-532
Issue Date	2012
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/10889
Rights	Copyright (C) 2012 Author. 飯田弘之, 情報の科学と技術, 62(12), 2012, pp.527-532.
Description	

ゲーム研究のいま

飯田 弘之*

本稿では、ゲームの三つの側面（競技性・遊戯性・知的相互作用）に注目し、「ゲーム＝知層」の観点からゲーム研究の流れについて概観する。競技性を重視したミニマックス戦略から相手モデル探索への移行、遊戯性の主要因の一つであるスリル感に基づくゲーム洗練度の理論、そして、ゲーム場における知的相互作用として試合中の情報の流れをモデル化するゲーム情報力学を紹介する。ゲームにおける人間とコンピュータの知能の相違に焦点をあてながら、投了に現れる知性の豊かさ、相手モデルにみる人間の知性の賢さ、ゲームのルール変遷に現れるスリル感の変遷、そして、ゲーム情報力学のアプローチによるゲーム場における知的な相互作用の解析例を示す。

キーワード：三人モデル、人工知能、ミニマックス型ゲーム木探索、相手モデル探索、ゲーム洗練度の理論、ゲーム情報力学

1. はじめに

ゲームの歴史にはいくつもの興味深い謎がある。例えば、古く（紀元前）から、偶然性の象徴とも言えるダイスを使ったゲームが盛んだったようだが、紀元後は偶然性に左右され難いゲームが盛んになってきた。チェスの歴史を紐解くと、四人制のダイスを用いたチャトランガから、二人制のダイスなしのチャトランジへの変遷が印象的である。また、将棋で取った駒を再使用するというルール導入の経緯は謎に包まれている。さらに、囲碁では盤上に何も置いてない状態からゲームをスタートするようになった経緯などルール変遷に心惹かれる。

このような観点からゲームを眺めると、ゲームは人類の知的な嗜好を最大公約数的に反映してきたのだらうと仮説的に憶測するのである。こうして、「ゲーム＝知層」という構図を思い描き、ゲームを題材とした学際的な研究を進める良い動機となっている。ゲームが人類の知的遊具、学習ツール、競技種目といった様々な役割を果たしてきたのだらうと推測できる。ダイスを使ったもの、盤や駒を使ったもの、カードを使ったものなど様々なゲームが存在し、プレイヤー数、情報の完全性、偶然性の有無、戦略性、競技方法など多種多様に分類される。

一方、チェスや将棋のような伝統的な思考ゲームでのコンピュータの進展が昨今目覚しく、プロ棋士あるいは名人以上の強さに到達した。それだけでなく、コンピュータが既存のゲームを題材として新しいゲームを創作するなど、ゲームを取り巻く環境は多様性を極めていく。オンラインゲームやソーシャルゲームなど、コンピュータ・ネットワーク技術を駆使して初めて可能になったゲームが現代の主役とも言える。

ゲーム研究の全貌を解説することはとても筆者の手に負えるところではない。筆者の目線で、ゲーム研究の流れを概観せざるを得ない。筆者は、競技性・遊戯性・哲学性というゲームの三つの側面に焦点を当て、ゲームにおける人間またはコンピュータの知能の働きについての探究を試みる三人モデル（図1）のアプローチを提唱した¹⁾。

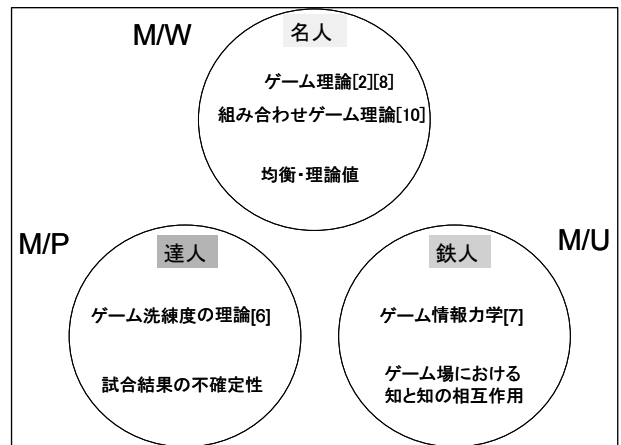


図1 三人モデル
三人（名人・達人・鉄人）と関連する理論と概念¹⁾

図1の三人モデルにおいて、名人 (Master of Winning, M/W)、達人 (Master of Playing, M/P)、鉄人 (Master of Understanding, M/U) がそれぞれ三つの側面に対応する。競技性を重視する名人の世界では、ゲームに勝つための戦略あるいは最適化の概念としてゲーム理論²⁾⁸⁾が発展してきた。また、ゲームを分割してとらえ全体の利得を計算する組み合わせゲーム理論¹⁰⁾は必勝戦略の特定に有用であり、同時に、数とゲームの間の関係に新たな知見をもたらした。さらに、相手モデルを考慮した戦略⁹⁾は従来のゲーム理論の発展形として、勝負手を生み出す観点から実践的に重要である。

遊戯性に重きを置く達人の世界は、われわれの日常生活で身近なものであるが、これまで理論的な定式化の試みは

*いいだ ひろゆき 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
〒923-1292 石川県能美市旭台 1-1
Tel. 0761-51-1290 (原稿受領 2012.10.15)

なかった。そのような中で、ゲーム洗練度の理論⁶⁾が提案されたのをきっかけとして遊戯性の定量的議論が徐々に進展しつつある。鉄人の世界では、ゲームの哲学的な側面に焦点を当て、ゲームに関する理解を深めようとする。そうした目的で、ゲーム情報力学⁷⁾という新たなアプローチが提案された。

三人モデルから、「名人のスキルとは何か」、「ゲームの遊戯性とその洗練のための根本原理は存在するのか」、「試合結果に関する情報の時間変化の数理モデルの構築は可能か」といった具体的な課題がみえてきた。結局のところ、ゲーム場におけるプレイヤー間の知的な相互作用に集約されるのではないかとという仮説に到達した。この仮説の真偽に迫る上で、ゲームにおける人間とコンピュータの知能の相違を観察することが糸口になるのではないかと期待する。

コンピュータがゲーム(チェス)をプレイするという試みは、人工知能研究の初期の頃から盛んに行なわれてきた。シャノン⁸⁾が提案したゲーム木探索の考え方は、コンピュータの思考のための基本原理として、チェスやその他の多くのゲームで今日に至るまで用いられている。

コンピュータがまだ弱かった時代は、ペットのような単なる「かわいい存在」だったが、徐々に強くなって有段者と勝ったり負けたりするようになると、コンピュータの「無機質さ」が指摘されるようになった。確かに強いのだが、ただそれだけという無機質な感触が気になり始めたのである。ところが、さらに強くなって名人レベルになると、無機質さがあまり気にならなくなる。筆者はこの現象を説明するモデル(図2)を提案した。

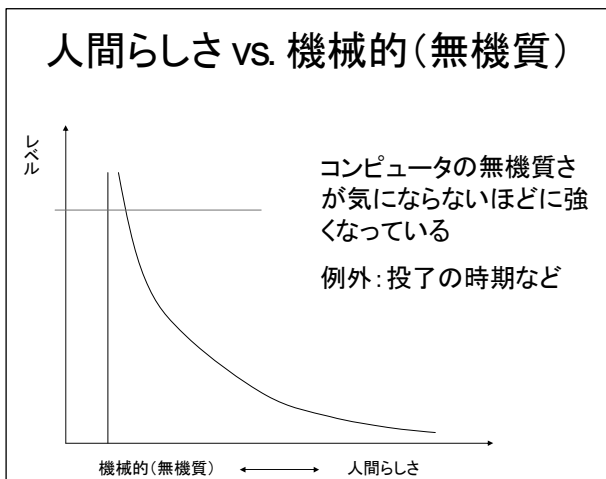


図2 コンピュータの無機質さ

コンピュータは名人レベルに近づくにつれてその無機質さは気にならなくなる。例外として投了の時期等がある。通常レベルの人間を相手にする場合、無機質さの除去が重要である。

ポイントは、単に強いだけでなく、コンピュータに「人間らしさ」を求め出したということである。その後、コンピュータはますます強くなり、「名人レベルのコンピュータの存在が、知能の理解にどのように役立てられるのか」、そして、「コンピュータが人間らしさを獲得することはできる

のだろうか」といったより具体的な研究課題が浮上してきた。

本稿では、ゲームにおける人間とコンピュータの知能の相違に焦点を当てながら、筆者の目線での「ゲーム研究のいま」を概観したい。

2. 投了に現れる知性の豊かさ

多くの場合、ゲーム終了間際にクライマックスを迎える。それは感動的なクライマックスに違いないのだが、そのようなクライマックスに続く余韻を味わうことがゲームの面白さを引き立たせる大切な部分である。もしそうでなければ、せっかくのクライマックスも台無しになってしまう。

将棋の場合、そのようなクライマックスの余韻は、試合の終わりを宣言する「投了」という行為によって担保されている。適切なタイミングでの投了は、クライマックスがもたらす感動の余韻を、より深く、かつ長引かせる効果がある。注目すべき点は、投了という行為は敗者に(特権として)託されているということである。

ゲームにおけるクライマックスの発揚はゲーム場におけるプレイヤー同士の知的な相互作用の結果に違いない。そのような様々な現象は、ゲーム場におけるプレイヤー間の知的な相互作用として説明できるのではないだろうか、という仮説である。そこには、名人同士の対戦、名人対コンピュータ、コンピュータ同士などの対戦者要因がある。また、プレイヤーの強さ、プレイヤー間の強さの差、ゲームの性質(特に公平性)も大切な要因であると経験的に理解している。

「勝負するコンピュータ」はチェスを起点として目覚しく発展してきたが、クライマックスでの感動といった芸術的な価値観を理解しないままに成長してきた。適切な時期に投了を告げることで、知性の尊厳が保たれるだけでなく、対局のクライマックスがあたかも絵画のように人の記憶に留められ、芸術作品としての棋譜が完成するということがある。

すなわち、コンピュータは競技に勝つという側面では「名人の技量」を超えるほどの能力を有するのであるが、それ以外の諸々の側面で「名人の品行」に見合った能力が発揮できていないということである。結果として、「勝負するという側面での能力=知性」という構図は受け入れ難くなっているのである。

コンピュータ将棋でもいまやプロ棋士や名人に迫る勢いで強くなっている。しかし、劣勢時のふるまいには首をかしげざるを得ない。明らかに敗勢となっても、投げ場がわからず、最後までダラダラと指し続け、知性の乏しさをあらわにしてしまうという課題に直面している。実際、チェスでも同様であった。コンピュータが負けた場合、操作者が代わりに投了することで知性の乏しさを隠し、面目を保ってきたという経緯がある。チェスでは、いつ投了すべきかを理解するという、知性の本質に関わる部分をスキップして幕を閉じてしまったと言えるだろう。

3. 相手モデルにみる人間の知性の賢さ

コンピュータのかような性質は、ミニマックスをベースとしたゲーム木探索アルゴリズムに起因していると考えられる。このアルゴリズムは、コンピュータにチェスをプレイさせる方式としてシャノン⁹⁾が提案したものである。この方式はフォン・ノイマンらが示したミニマックス均衡²⁾の概念に基づいていることは明らかである。この方式は将棋³⁾をはじめ様々なゲームで有効であり、「勝負するコンピュータ」を育てるための基本原理となっている。

ミニマックスをベースとしたゲーム木探索アルゴリズムから、相手モデルを考慮したゲーム木探索⁴⁾へと発想を転換することで、上述したコンピュータの弱点は徐々に解消される。

相手のモデルを考慮できるようになると、逆転の余地がなくなったと感じる前後のちょうど良いタイミングで投了できるようになる。また、試合の文脈・関係性（相手の実力も含む）を配慮して、「教育的な」あるいは「社交的な」試合へと誘導することも可能になる。さらには、まさに勝ちになろうとしている場面で、敗者となる相手への配慮、即ち、敗者へのいたわりのプレイも可能となる。このように、相手の存在を意識することで、単なる勝ち負けの判断に基づく意志決定のレベルから、芸術的感性や思いやりといった情動に基づく意志決定のレベルへと移行する。

「勝負するコンピュータ」という観点から、相手モデルを理解することで、相手の弱点をつくことが可能になるので大きな利点が生じることは明らかである。劣勢のときには絶妙な勝負手が生まれる可能性につながる（図3）。

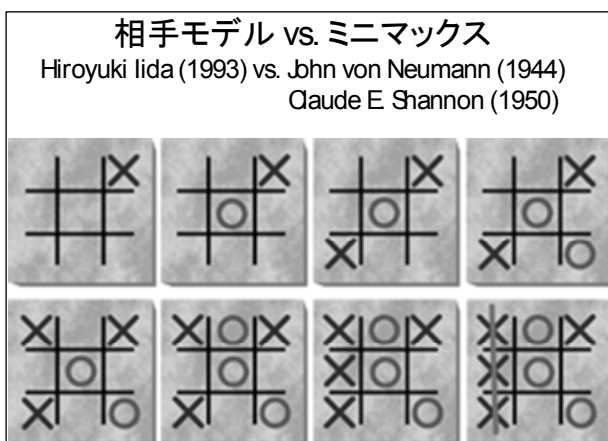


図3 相手モデル

多少なりとも相手の戦略が事前にわかると結果を改善することができる。三目並べの理論値は引き分けであるが、相手モデルを理解すると勝つ可能性が生まれる。即ち、相手モデル探索⁴⁾がミニマックス型ゲーム木探索²⁾に優る。この例では、相手は、特に有効な指し手（次に三並べ勝つ手、相手の三並べの当たりを防ぐ等）がない場合、中央そして隅の順にプレイする。

人間（名人）とコンピュータの対局では、相手モデルのスキルはことのほか重要なポイントとなる。名人は多くの場合、相手モデルのスキルに非常に長けている。したがっ

て、コンピュータは相手モデルによるデメリットを回避することが大きな課題となる。

チェスにおけるマンマシンの頂上対決「ディーブ・ブルー対カスパロフ」の試合（1997）はそのよい例と言える。前年の試合結果（カスパロフの圧勝）が示すように、ディーブ・ブルーは第一回戦でモデリングされてしまい、その後、手も足も出ないまま敗れてしまうという苦い経験をした。そこで新たな対策として、六回戦のうち各対局で局面の評価関数を微妙に変化させ、モデリング回避の策を凝らした。その策が功を奏して、カスパロフ側からのモデリングによるデメリットを回避し、結果として勝因となったことは周知の通りである。対戦後、カスパロフに「毎回、違った相手と戦っているような気がした」と言わしめたのである。

4. ゲームのルール変遷に現れるスリル感の変遷

ゲームの終了間際にクライマックスを迎えるということは、そこに何か「力」が働いているからだと考えられる。筆者が提唱する新たなゲームの理論（ゲーム洗練度の理論⁶⁾、ゲーム情報力学⁷⁾）により、その力とはゲーム場における知的な相互作用（の高まり）であると考えている。別な視点から言えば、そのような知的な相互作用がある一定の値に到達するように、それぞれのゲームのルールが進化論的に変遷してきたと言えるだろう。これまでの研究⁶⁾から、ゲームの平均可能手数 B と平均終了手数 D に対して、 $\sqrt{B/D}$ の値が 0.07 前後になるようにゲームが進化してきたことがわかっている（図4）。

平均合法手(B)と終了手数(D)			
	B	D	$\sqrt{B/D}$
チェス	35	80	0.074
象棋	38	85	0.073
将棋	80	115	0.078
囲碁	250	208	0.076

図4 洗練された伝統的思考ゲームの比較

チェス、象棋（中国将棋）、将棋、囲碁といった千年以上の歴史を有するゲームの統計から $\sqrt{B/D}$ はほぼ同じ値となっている。この値はスリル感の大小に相当すると考えられる。

試合結果が終了間際まで判らないとき、ハラハラドキドキしたスリル感あふれる試合展開となる。筆者はこのような試合進行パターンに着目し、試合結果に関する情報の時間変化の数理モデル³⁾を提案した。終了間際での二階微分（力学の加速度に相当）の値、つまり $\sqrt{B/D}$ の値がスリル感の大小に対応する（図5）。

様々なゲームでこの値を調べたところ、数百年以上の長い年月を生き残っているゲームでは、ほぼ同じ値になって

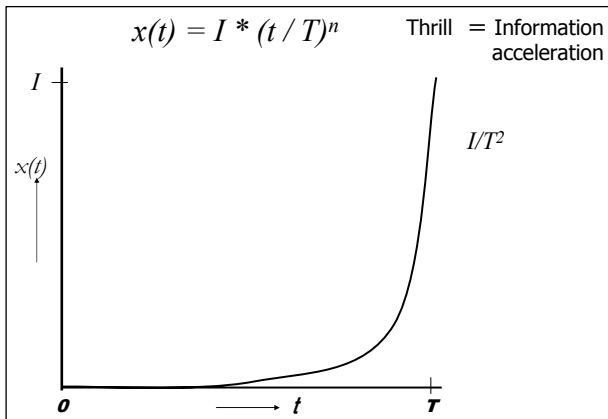


図5 試合結果に関する情報量の推移に関する数理モデル
横軸は試合の開始から終了までを表し、縦軸は試合結果に関する情報量を表す。この例では、終了間際になってはじめて試合結果が明らかになるシーソーゲームを表す。終了時点での数理モデルの二階微分の値（力学の加速度に相当）に注目し、この値がスリル感と関係しているという仮説⁶⁾を提案した。

いることがわかった。人類の知性がそれぞれ異なる地域で、あるいは、それぞれ異なるゲームで同じ程度のスリル感を求めてきた結果であると考えている。この考え方は、ゲームのルールの変遷をうまく説明できることがわかっている。例えば、チェス種では、最初は、探索空間のサイズが大きくなるように、つまり、指し手の数と終了までの手数が増えるようにルールが変遷したが、ある時点から、探索空間のサイズは小さくなり、 \sqrt{B}/D が適度な値になるように変遷してきたのである（図6・図7）。

階段ジャンケン⁸⁾を例に説明する（図8）。ここでは階段ジャンケンとして、グーで勝つと三歩、チョキとパーで勝つと六歩前進できるというゲームを考える。どのような割合でグー・チョキ・パーをだせばよいか。ゲーム理論的にはナッシュ解⁹⁾（確率分布）を求めることになるだろう。一方、ゲーム洗練度の理論⁶⁾では、ゲームの遊戯性をより洗練させるためのルール最適化（ここでは階段数）につい

Name	Key difference
Chaturanga [A.D.5]	King's knight-leap
Shatranj [A.D.6]	
Medieval chess I [A.D.13]	Pawn 2-move, Queen-leap
Medieval chess II [A.D.14]	Old-Bishop⇒Bishop
Medieval chess III [A.D.15]	Pawn 2-move, e.p., King,Queen-leap
New chess [A.D.16]	Old-Bishop⇒Bishop Old-Queen⇒Queen King-leap⇒castling
Chess [A.D.16]	Modern chess

図6 チェス種の変遷とルールの進化

チェスの歴史上の代表的な種類として、チャツランガ、シャトランジ、中世チェス（Medieval chess I~III）、現代チェスを選んだ。ここでは、ルール進化のプロセスで、キャスリングやクイーンの導入など、顕著なルール改訂を取り上げる。

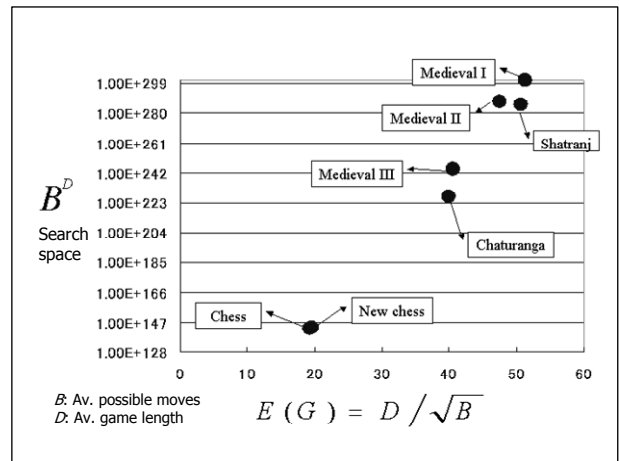


図7 チェス種の変遷とスリル感の変遷

チェス種のプログラムを作成し、平均可能手数や終了手数のデータを収集した。横軸に \sqrt{B}/D の逆数、縦軸に B^D をとり、進化の方向性を考察した。最初は、探索空間が増える方向での進化、次に、 \sqrt{B}/D がある値（適度なスリル感）になる方向へと進化した。

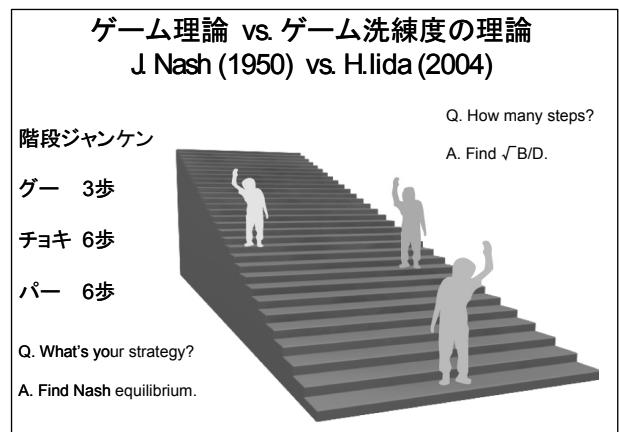


図8 階段ジャンケンとゲーム洗練度の理論

従来のゲーム理論の視点は勝つための戦略（ナッシュ均衡）にある。ゲーム洗練度の理論では、ゲームを洗練（面白く）するためにルール（この例では適度なスリル感を生じるような階段数）を変化させることに焦点を当てる。

て考察する。

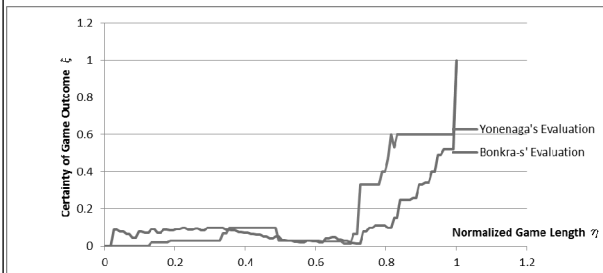
5. ゲーム場における知的な相互作用の数理モデル

ゲーム場における知的な相互作用を（物理学のように）数式で記述しようとするアプローチがゲーム情報力学⁷⁾である。このアプローチは、情報の流れに着目し、思考の世界の力学を探究するものである。現在は流体力学を援用し、情報の流れモデルを構築している。

ゲームでの最も基本的な情報は各局面での形勢判断である。そこで、試合中の形勢判断の時間変化を基本データとして、情報速度、情報加速度、情報エネルギー、情報フォースなどの物理学の諸概念を導入し、ゲーム場における知的な相互作用を記述する。

図9に示すデータは、今年一月に行われた米長邦雄永世棋聖とボンクラーズの対戦における、両対局者による形勢

試合結果の確定性の推移 — 第1回将棋電王戦 —



データ 2012年第1回将棋電王戦「▲ボンクラーズ vs. △米長邦雄永世棋聖」
評価者 将棋ソフト「ボンクラーズ」& 米長永世棋聖

図9 ゲーム中の不確定性の時間推移
形勢判断のデータは米長永世棋聖とボンクラーズによる⁹⁾。

試合結果の確定性の推移 情報の流れモデル $\xi = \eta^n$ の適合

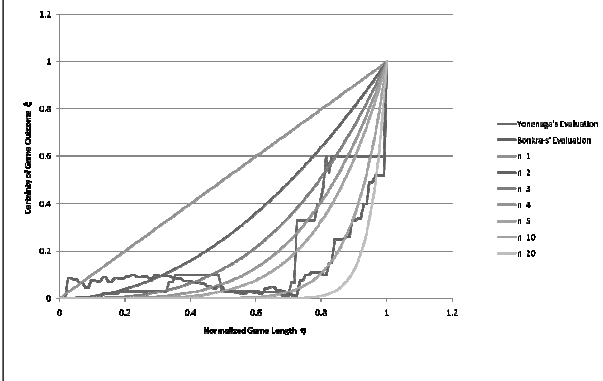


図10 ゲーム情報力学モデル

米長永世棋聖とボンクラーズのデータを試合結果に関する情報の流れモデル（ゲーム情報力学モデル⁷⁾）を適用した。米長永世棋聖は $n=4$ 、ボンクラーズは $n=10$ の曲線がフィットする。

判断の時間変化である。このデータを流体力学の解として得られたモデル ($\xi = \eta^n$) に適用すると、米長永世棋聖は $n=4$ 、ボンクラーズは $n=10$ の曲線がフィットする⁹⁾ (図10)。そこで、各プレイヤーの視点での情報力学エネルギー（情報位置エネルギーと情報運動エネルギー）を計算し、情報位置エネルギーの総計を求めた (図11)。

この試合ではコンピュータが勝ったので、投了の行為は米長永世棋聖に託された。結果として、この試合では十分な相互作用が働いて、対局のクライマックスとその余韻を十分に堪能できたのだらうとゲーム情報力学的な視点から想像する。仮に、コンピュータが負ける場合、適切な時期に投了することができないため、上述したモデルにおける n の値が小さくなり、ゲーム場における知的な相互作用は減少する。結果として、通常の（名人同士のような）緊迫した対局に比べると見劣りしてしまうことになる。

米長永世棋聖の形勢判断: $\xi = \eta^4$ ボンクラーズの形勢判断: $\xi = \eta^{10}$

$$KE = \frac{1}{2}(d\xi/d\eta)^2 = \frac{1}{2}(4\eta^3)^2$$

$$PE + KE = M.E \text{ (constant)}$$

$$PE = M.E - \frac{1}{2}(4\eta^3)^2$$

$$\text{at } \eta=0, PE=M.E \text{ and at } \eta=1, PE=0. \rightarrow M.E=8$$

$$(P.E.)_{\text{Yonenaga}} = 8 - \frac{1}{2}(4\eta^3)^2.$$

$$(P.E.)_{\text{Bonkras}} = 50 - \frac{1}{2}(10\eta^9)^2.$$

$$T.P.E = 58 - \frac{1}{2}(4\eta^3)^2 - \frac{1}{2}(10\eta^9)^2.$$

図11 試合の情報エネルギー (9)⁷⁾

K.E.は運動エネルギー、P.E.は位置エネルギー、M.E.は力学的エネルギーを表す。力学的エネルギーが保たれ、かつ、単位質量を仮定し、境界条件から両プレイヤーの位置エネルギーを試算した。

6. 最後に

本稿では、三人モデルの視座に立ち、ゲームにおける人間とコンピュータの相違に焦点を当てながら、筆者目線での「ゲーム研究のいま」を概観した。「ゲーム＝知層」というとらえ方は、本格的なゲーム研究を推進する上で大切な切り口であると思う。ゲーム場における知的な相互作用が、(刺激的になり過ぎないように) 適度に抑えるようにルールが進化論的に変遷してきたと考えている。歴史上存在したゲームを知層として解析することでその謎が解明されるだろう。

本稿ではあえて触れなかったが、ゲームの「定義」も重要な論点である。ゲームの歴史を、その定義の変遷という観点からとらえることも可能だろう。この観点から言えば、ゲームの普遍的な定義を見出すことがゲーム研究の終着点ではないかと思えてくる。

注・参考文献

- 1) 飯田弘之: 「名人の心理」, 芸術心理学の新しいかたち, 第2章, 誠信書房, p.28-51, 2005
- 2) J. von Neumann; O. Morgenstern, Theory of Games and Economic Behavior, 1944.
- 3) H. Iida; M. Sakuta; J. Rollason, Computer Shogi, Artificial Intelligence, 134, 1-2, 121-144, 2002
- 4) H. Iida; J.W.H.M. Uiterwijk; H.J. van den Herik; I.S. Herschberg. Potential Applications of Opponent-Model Search. Part 1: The Domain of Applicability. ICCA Journal, vol.16, no.4, p.201-208, 1993.
- 5) C.E.Shannon. "Programming a Computer for Playing Chess", Philosophical Magazine Ser.7, Vol.41 (314), 1950
- 6) H. Iida; K. Takahara; J. Nagashima; Y. Kajihara; T. Hashimoto. An Application of Game-Refinement Theory to Mah Jong, ICEC2004, Lecture Notes in Computer Science, 3166, 333-338, 2004
- 7) H. Iida; T. Nakagawa; K. Spoerer, Game information dynamic models based on fluid mechanics, Entertainment Computing, vo.1.3, no.3, p.89-99, 2012
- 8) J. Nash, Equilibrium Points in N-Person Games, Proc. Nat. Acad. Sci. USA 36 (1950) 48-49

9) 米長邦雄, 飯田弘之, 中川武夫: 「名人の知とコンピュータの知」, 情報処理学会第 74 回全国大会, 1B-6, 1, 263, 2012

10) J. H. Conway: On numbers and games. Academic Press, London (1976).

Special feature: Game as a service. Game research: Now and in the future. Hiroyuki IIDA (Japan Advanced Institute of Science and Technology, Asahidai 1-1 Nomi, Ishikawa 923-1292 JAPAN)

Abstract: In this article we present an overview of game research based on the model of three masters: the master of winning, the master of playing and the master of understanding. They correspond to each of the three aspects that games possess: competitiveness, entertainment, and interaction between intelligences of players. Then the human intelligence and artificial intelligence are compared with focus on the “resigning” in games, and “opponent modeling”. Moreover, we introduce two innovative approaches: “game-refinement theory” and “game information dynamics” to observe the two aspects of games: entertainment and intellectual interaction, respectively. A man-machine match is shown to analyze the information energy in the field of game.

Keywords: model of three masters / artificial intelligence / minimax-based game-tree search / opponent-model search / game-refinement theory / game information dynamics