

Title	大貧民ゲームを題材としたゲーム情報力学モデルの調査研究 [課題研究報告書]
Author(s)	森近, 泰匡
Citation	
Issue Date	2013-12
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/11539
Rights	
Description	Supervisor:飯田 弘之, 情報科学研究科, 修士

課題研究報告書

大貧民ゲームを題材としたゲーム情報力学モデル
の調査研究

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

森近 泰匡

2013年12月

課題研究報告書

大貧民ゲームを題材としたゲーム情報力学モデル
の調査研究

指導教員 飯田弘之 教授

審査委員主査 飯田弘之 教授
審査委員 池田心 准教授
審査委員 白井清昭 准教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

1010069 森近 泰匡

提出年月: 2013年11月

概要

フォン・ノイマンとオスカー・モルゲンシュテルンによって提唱されたゲーム理論により、我々は合理的・戦略的に意思決定を行うことが出来るようになり、経済学への適用など世界に一定の成果を与えてきた。ゲーム理論自身も研究が進み、更なる発展を遂げていった。

2012年、飯田らによってゲーム情報力学モデルが考案、構築された。これは従来のゲーム理論に対し、流体力学の理論に基づいて情報の力学概念を表現することで、情報の時間経過による流れを可視化することが可能となる。また、情報速度、情報加速度、情報エネルギーなどの物理的概念を導入することで、ゲーム場の強さ（遊戯性）や知的相互作用についても解析できるようアプローチされている。既に将棋やサッカー、柔道などのゲームに対し、この理論を用いて分析した結果が報告されている。

ただし、このゲーム情報力学モデルは基本的に1対1で争われるゲームを対象としている。一方、ゲームには3人、または3チーム以上で行われる多人数ゲームも存在しており、この多人数ゲームについても上記のような情報を持っているはずである。これらの情報を得るためにゲーム情報力学モデルによって分析を行うことが出来るかについては、今のところ報告されていない。

これまで、多人数ゲームは1対1で争われるゲームでは生じなかった問題・課題が存在し、既存の手法の適用が難しいことから、あまり研究が進んでいなかった。その主な原因として、多人数ゲームではナッシュ均衡の仮定である、「全てのプレイヤーが完全に合理的に行動する」ということが合わない場合が多く存在することにある。これは2人で争うゲームの場合は相手が最大の利益を得ようとするを想定すれば良いのに対し、3人以上のプレイヤーが存在すると誰にとって不利な行動を取ることが、自分にとって最も有利な行動となるのかという自分の直接の利害以外の要素を考える必要があるためである。また、人数が増えることで状態数が増えるため、計算が難しくなる、あるいは計算量が膨大になり、コンピュータでは計算不能になるという問題もある。

本研究では、このゲーム情報力学モデルによって多人数ゲームの分析を行うことが出来るかについてを課題として取り上げる。多人数ゲームでは複数のプレイヤーの行動が入り混じるため、ゲームの流れを多面的に捉えることは難しい。そこで、本研究では1つの多人数ゲームは複数の1対1による小ゲームの集合であると仮定し、小ゲームそれぞれについて分析を行うという手法を提案する。

分析を行うための棋譜についてはフリーで公開されている大貧民ソフトウェアを用い、人間のプレイヤー1名対コンピュータプレイヤー複数名の形で取得した。評価についてはソフトウェアで計算されているゲームスコアを利用した。このデータを分析することで、実際に行われたゲームについて十分に内容が得られていると考えられる結果が取得でき、多人数ゲームをゲーム情報力学モデルによって分析することは可能であると証明された。また、先行研究でも同様に特定のプレイヤーを除外していくことで少人数のゲームに変換するという手法が提案されており、有用な成果が報告されていることから、多人数ゲーム

を何らかの手段で少人数のゲームに変換するという手法そのものが有効であるという可能性が示唆された。

しかし、本研究で行った分析結果はあくまで1ゲームに対する内容のため、分析結果が対象としたゲームを正しく評価出来ているかという点については、統計の問題から疑問が残る。そのため、分析結果を信頼出来るデータとするためには、数多くのゲーム結果に対して分析を行い、統計処理を施すことが課題として考えられる。

また、本研究では完全に1対1の小ゲームとして分析を行ったが、場合によって例えばあるプレイヤー対それ以外の全プレイヤーというように、見方を変えることで異なる分析結果が出ることも考えられる。そのため、そのような条件についても分析出来るような手法を検討することも課題といえる。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景及び目的	1
1.2	本論文の構成	2
第2章	大貧民	3
2.1	大貧民とは	3
2.2	大貧民の基本ルール	3
2.3	ローカルルール	4
第3章	ゲーム情報力学モデル	7
3.1	ゲーム場における相互作用の数理モデル	7
3.1.1	試合の情報エネルギー	7
3.2	無次元化アドバンテージ	10
3.3	勝率	10
3.4	ゲーム結果の確かさ	10
第4章	5人対戦における大貧民ゲームの分析	11
4.1	分析手法	11
4.2	1回対戦によるゲーム結果の分析	11
4.2.1	分析結果	12
4.2.2	考察	19
4.3	5回連続対戦による大貧民ゲームの分析	21
4.3.1	考察	21
第5章	4人対戦における大貧民ゲームの分析	23
5.1	1回対戦によるゲーム結果の分析	23
5.1.1	考察	23
5.2	5回連続対戦による大貧民ゲームの分析	25
5.2.1	考察	25
第6章	おわりに	27
6.1	まとめ	27
6.2	課題と今後の展望	28

付録A UEC標準ルール	30
付録B 5人のプレイヤーによる1回対戦時の各種分析結果	32
B.1 Human(2位) vs. Com.2(4位)	32
B.2 Human(2位) vs. Com.3(1位)	33
B.3 Human(2位) vs. Com.4(5位)	34
B.4 Com.1(3位) vs. Com.2(4位)	35
B.5 Com.1(3位) vs. Com.3(1位)	36
B.6 Com.1(3位) vs. Com.4(5位)	37
B.7 Com.2(4位) vs. Com.3(1位)	38
B.8 Com.2(4位) vs. Com.4(5位)	39
B.9 Com.3(1位) vs. Com.4(5位)	40
付録C 5人のプレイヤーによる5回連続対戦時の各種分析結果	41
C.1 ゲームスコア	41
C.2 Human(1位) vs. Com.1(3位)	47
C.3 Human(1位) vs. Com.2(4位)	48
C.4 Human(1位) vs. Com.3(2位)	49
C.5 Human(1位) vs. Com.4(5位)	50
C.6 Com.1(3位) vs. Com.2(4位)	51
C.7 Com.1(3位) vs. Com.3(2位)	52
C.8 Com.1(3位) vs. Com.4(5位)	53
C.9 Com.2(4位) vs. Com.3(2位)	54
C.10 Com.2(4位) vs. Com.4(5位)	55
C.11 Com.3(2位) vs. Com.4(5位)	56
付録D 4人のプレイヤーによる対戦時のゲームスコア	57
D.1 1回対戦時のゲームスコア	57
D.2 5回連続対戦時のゲームスコア	58

第1章 はじめに

1.1 背景及び目的

フォン・ノイマンとオスカー・モルゲンシュテルンによって提唱されたゲーム理論 [1] により、合理的・戦略的に意思決定を行うことが出来るようになり、経済学への適用など世界に一定の成果を与えてきた。ゲーム理論自身も研究が進み、更なる発展を遂げていった。

2012年に飯田らによって提唱されたゲーム情報力学モデル [2, 3, 4] もゲーム理論に改良を加えた理論であり、この理論によってゲームの開始から終了までの時間経過を可視化、またそのゲームが持つ情報の力学概念を表現することが可能となった。この理論によるゲームの分析は将棋 [5] や柔道 [6] などの分野において既に行われ、一定の成果が報告されている。

だが、これまでに行われてきたゲーム情報力学モデルによる分析は、全て1対1のゲームが対象であった。ゲームには3人、または3チーム以上で行われる多人数ゲームも存在しており、これらのゲームをゲーム情報力学モデルによって分析されたことは今のところ存在していない。また、ゲーム情報力学モデルによって多人数ゲームを分析するための手法も確立していない。

これまで、多人数ゲームのゲーム理論によるアプローチはナッシュ均衡 [1] を効率的に近似させる CounterFactual Regret minimization(CFR)[7] などが行われてきた。しかし、ナッシュ均衡による解が最適となるなど解析が行い易い二人零和ゲームに比べ、多人数ゲームは状態数の増加やそれに伴う計算量の増加などの要素が原因で、あまり研究が進んでいないのが現状である。そのため、多人数ゲームにおいてはプログラマのゲームの知識や経験に基づいて構築したり、モンテカルロ法 [8] など従来2人ゲームで研究されてきた手法を多人数ゲームに適用したりといったアプローチが主流であった。

本研究ではこの多人数ゲームに対してゲーム情報力学モデルによる分析を行い、その結果が十分信頼に足るかどうか、また多人数ゲームの分析結果がどのようなものになるか検証することを目的とする。従来のゲーム情報力学モデルをそのまま適用することは不可能であるため、まずどのようにして多人数ゲームの分析を行うかが課題となる。本研究ではこの点に対し、1つの多人数ゲームを複数の小ゲームの集合に見立てて個別に分析を行うという手法を用い、分析を行う。それによって得られたデータがどれだけ信頼できるか、この手法にどのような問題があるかについて考察し、この手法の有用性について議論する。

また、近年相手プレイヤーの行動を除外し、少人数ゲームへと変換する手法がポーカー

で提案，報告された [9]. 本研究での手法が有用なものであれば，多人数ゲームの小ゲーム化はゲーム理論に基づいて多人数ゲームを分析するのに有効な手法であることが一層示されるといえる.

1.2 本論文の構成

本論文は以下の構成となっている.

第2章では本研究で扱った多人数ゲームである大貧民についての説明を行う. 第3章ではデータ分析手法として利用するゲーム情報力学モデルについて説明する. 第4章では実際に大貧民を行って取得したデータを，ゲーム情報力学モデルによって分析を行い，得られた結果を示す. 第5章では第4章とは別の条件で行ったゲームのデータを分析を行い，得られた結果を示す. 最後に第6章で研究結果のまとめと，今後の課題，展望を記す.

第2章 大貧民

本章では大貧民の背景と，一般的なルールについて述べる．

2.1 大貧民とは

大貧民とはトランプゲームの一種で，大富豪とも呼ばれる．1970年頃に東京で生まれたと考えられており [10]，日本では盛んに行われている．

基本的な流れとしてはカードをシャッフルしてプレイヤーに配り，手持ちのカードを順番に出していき，早く手札をなくしたプレイヤーが勝利するゲームである．次のゲームを開始する前に，勝者のプレイヤーは敗者のプレイヤーから好きなカードを受け取り，いらぬカードを渡すというルールがあり，この負けた人がより不利に，勝者がより有利に展開できるというゲーム性からこの名がついた．

また，ローカルルールが多いのも特徴として挙げられる．これはゲームに変化をつけたり，勝者が勝ち続けることを抑制したりする効果がある．地域によって様々なルールが存在し，ルールを複合させることでより複雑なゲームとすることが出来る．

近年，情報系の学問の一環としてコンピュータ大貧民の大会 [11] が2006年度より開催されている．この大会を通してモンテカルロ法による大貧民プログラムの行動選択，手札配分シミュレーションなどコンピュータゲームとしての大貧民の研究も行われるようになった．

2.2 大貧民の基本ルール

ここでは参考文献 [10] に記載されているルールを軸に，一部のローカルルールによる変更点を交えて述べる．

まず席順を適当に決め，全員でカードを1枚引き，一番強いカードを引いた人が親となる．なお，この他にも最初の手札にダイヤの3が含まれている人が親になるなど，親の決め方はルールによって様々である．

親が決まったらカードをシャッフルし，全てのカードを全員に配る．使用するカードは52枚のカードと，0～2枚のジョーカーである．ジョーカーの枚数についてもルールによって異なる．カードを配り終わったら，親から台札を場に出す．台札は1枚が基本であるが，同じ数字のカードが2枚以上ある場合，2枚以上を1組にして出すことが出来る．次のプ

レイヤーは台札より強いカードを出していく。この時、台札の枚数と同じ数でなくてはならない。例えば5のカードが1枚出た場合は、6以上のカードを1枚出す。だが4のカードが2枚出た場合は、5以上のカードを2枚出さなければならない。カードの強さについてはジョーカーが一番強く、2, A, K, Q, J, 10, ..., 3と続く。

台札より強いカードがない場合、あるいは手札にあるが出したくない場合は、パスをする。このような流れで順番にカードを出して行き、最後に場に出したカードの持ち主以外のプレイヤーがパスをしたら、そのカードを出したプレイヤーが勝利となり、1回目が終わる。なお、パスについては1回パスをしたら次に自分の番が来た時にカードを出すことが認められるかどうかのルールがある。また、パスの回数に制限はない。2回目は1回目で勝利したプレイヤーが台札を出して始める。これを繰り返し、最初に手札をなくしたプレイヤーが1位となる。1位が決まってもゲームは続けられ、手札を持っている人が1人になったらゲームセットとなる。1位のプレイヤーが大富豪、2位のプレイヤーが富豪、最下位の人が大貧民、その1つ上の人が貧民、それ以外の人が平民となる。この階級も地域によって異なる。点数計算を行う場合、大富豪は10点、富豪は5点、貧民は-5点、大貧民は-10点とつけられる。

次のゲームを始める前に、カードを配り終わったら前のゲームで大貧民になったプレイヤーは大富豪のプレイヤーに手札の中から一番強いカードを2枚、貧民になったプレイヤーは富豪のプレイヤーに一番強いカードを1枚渡す。大富豪は大貧民に自分の要らないカードを2枚、富豪は貧民に要らないカードを1枚渡す。平民はカードの交換は行われない。この交換については、勝者側が一番強いカードの代わりに自分が欲しいカードを尋ね、それを敗者側が持っていればそのカードを交換するというルールもある。

手札交換が終わったら、大貧民が最初に台札を出し、同様にゲームを進めていく。これを何回か繰り返し、最終的に総得点の一番高いプレイヤーがゲームの勝者となる。

1度勝てば強いカードが手に入りやすいために勝ち続けることが簡単に、負けると弱いカードが増えてしまうために勝つことが困難になるのがこのゲームの大きな特徴である。

2.3 ローカルルール

大貧民には多種多様のローカルルールが存在する。ここではルールのうち、一般化されているものやよく採用されているものについて説明する。

なお、ここで挙げたルール名も地方によっては別の名前と呼ばれていることがある。また、書籍などではこれらのルールが挙げられていることはほとんどない。そのため、ここでは参考文献 [12] に記載されているものを軸として説明する。

- ジョーカーの扱い

ジョーカーについては前述の通り最強のカードとして扱われるほか、他の数字のカードと組み合わせて出すことが出来る。その際、ジョーカーの強さは組にした数字と同じと

なる。例えばクラブの7とジョーカーを併せて場に出した場合、そのカードは「7の2枚組」として扱われる。

また、カード交換の際、ジョーカーは交換しなくても良いというルールもある。

- 革命

同じ数字のカードが4枚同時に出されることで、ジョーカーを除いたカードの強さが反転する。つまり3が一番強く、2が一番弱いカードとなる。4枚の中にはジョーカーが含まれていても構わないか、含まれている場合は5枚以上でなければならないか、などルールによって異なる場合がある。

後述するシークエンスで革命が認められることもある。その場合、枚数は4枚ではなく5枚のこともある。また、革命の条件を満たした場合、革命状態にするかを出したプレイヤーが選択できるルールもある。更に革命状態で再び革命を発生させた場合、カードの強さは元に戻る。

- シークエンス

マークが同じで5, 6, 7などのように数字が3枚以上続いているカードをまとめて出すことが出来る。階段、連番とも呼ばれる。

なお場に5, 6, 7のシークエンスが出された場合、次のプレイヤーが出すことが出来るのは6, 7, 8以上のシークエンスで良いのか8, 9, 10以上のシークエンスでなければならないかがルールによって異なる。

- 都落ち

大富豪より先に他のプレイヤーが上がった場合、大富豪のプレイヤーはそのゲームに参加出来なくなり、次のゲームで強制的に大貧民となる。都落ちが決まった時点でゲームを終了するか、続行するかはルールによって異なる。ゲームを終了する場合、そのゲームの順番を逆にして階級付けがなされる。

- 縛り

前の人が出したカードと同じマークであった場合、次以降のプレイヤーは同じマークでなければ出すことが出来なくなる。例えば前のプレイヤーの出したカードがダイヤの5で、自分がダイヤの7を出した場合、次のプレイヤーはダイヤの8以上のカード以外は出すことが出来ない。ロックアウトなどとも呼ばれる。

なお、同じマークが2回ではなく、3回続いた場合に縛りが発生するルールもある。また、2枚以上の組で出されたカードに対しては、2枚とも同じマークの時のみ適用されたり（片しば）、片方が同じマークの時にそのマークだけが適用されたり（激しば）するルールも存在する。

- 数字縛り

前の人が出したカードより1つだけ強いカードだった場合、次以降のプレイヤーは同様に1つだけ強いカードしか出せなくなる。階段縛りや階段と呼ばれることもあるが、階段と呼ぶ場合は前述のシークエンスと被ることがあるので注意が必要である。例えば前のプレイヤーの出したカードがハートの9で、自分がクラブの10を出した場合、次のプレイヤーはマークは問わず11のカードしか出すことが出来ない。

なお、こちらも2回続いた場合か、3回続いた場合かがルールによって異なる。

縛りと数字縛りが同時に起こることもあり、その場合は同じマークで1つだけ強いカードしか出せなくなる。

- スペード3返し

ジョーカーが単独で場に出ている場合、スペードの3を出すことでジョーカーに勝つことが出来る。ほとんどのルールにおいてこの形で出されたスペードの3の上には何も出すことが出来ず、場が流れることになる。スペ3返しとも呼ばれる。

スペードの3ではなく、マークに関わらず3を3枚というルールもある。こちらは砂嵐と呼ばれ、ジョーカー以外にもあらゆる局面で出すことが出来るというルールに含まれる場合もある。

- 8切り

場に8が出たら、その場を流し、そのカードを出した人が新たに台札を出すことが出来る。8を含むシークエンスについてはこのルールが適用されるかどうか異なる場合がある。

地域によっては8以外の数字のカードにこの効果を持たせている場合がある。

- 反則

ジョーカーや2、上記のルールが採用されている場合はそのカードを最後に出して上がった場合、反則となるルールを設けることもある。この場合、反則を犯したプレイヤーは次のゲームで強制的に大貧民となる。ただし都落ちが発生していた場合、都落ちのプレイヤーが大貧民となり、反則したプレイヤーは貧民となる場合もある。また、革命状態の場合は2ではなく3で上がることで反則になるケースも存在する。

- イレブンバック

場にJが出たら、場が流れるまで一時的に革命が起きた状態となる。場が流れれば元に戻る。革命同様に出したプレイヤーが選択できるかどうか、8切り同様にシークエンスでも有効かどうか異なる場合がある。

他にも様々なルールが存在するが、本論文では省略する。

第3章 ゲーム情報力学モデル

本研究では、ゲームの時間経過による流れを可視化するための手法として、流体力学に基づいて考案されたゲーム情報力学モデル [2, 3, 4] を利用する。このモデルを用い、ゲームのデータを使って作成されたグラフを参照しつつ、ゲームの考察を行うこととする。

3.1 ゲーム場における相互作用の数理モデル

ゲーム情報力学モデルにおける理論は、流体力学における境界層内の流速が壁から外部流のそれになるまでの変化の過程をゲームとして観ることで、ゲームの開始から終了までの時間経過を可視化したものである。この理論を用いることで、ゲームの結果だけでなくその進行過程をも詳細に理解・解釈することが出来るようになった。

このモデルは次のように表現されている。

$$\xi = \eta^m \quad (3.1)$$

ここで、 ξ はゲーム結果の確かさ、 η は無次元ゲーム長 ($0 \leq \eta \leq 1$)、 m はゲームを特徴づける正の実数パラメータである。

3.1.1 試合の情報エネルギー

ゲーム情報力学では力学とのアナロジーを用いることにより、情報の速度や加速度、力、エネルギーといった力学の諸概念を情報世界において定義することが出来る。若林 [5] によって情報運動量と情報の力及びエネルギーのゲーム長に対する依存性が検討されている。本研究ではこれに従い、情報運動エネルギーのゲーム長に対する依存性を検討することとする。

ところで、無次元における情報速度は次のように定義される。

$$\frac{d\xi}{d\eta} = m\eta^{m-1} \quad (3.2)$$

また、情報加速度は次のように定義される。

$$\frac{d^2\xi}{d\eta^2} = m(m-1)\eta^{m-2} \quad (3.3)$$

ここで、式 (3.2) は式 (3.1) を微分、式 (3.3) は式 (3.1) を二階微分することにより求められた。

一方、無次元の情報運動エネルギー E_k は次のように定義される。

$$E_k = \frac{1}{2}\phi \left(\frac{d\xi}{d\eta} \right)^2 \quad (3.4)$$

さらに、ここでの情報流体が均質であると仮定すると、無次元の単位情報質量 $\phi = 1$ であるので、式 (3.4) は

$$E_k = \frac{1}{2} \left(\frac{d\xi}{d\eta} \right)^2 = 0.5 \left(\frac{d\xi}{d\eta} \right)^2 \quad (3.5)$$

と表される。ここで、情報力学エネルギー E が保存されるものと仮定すると、次の関係が成り立つと考えられる。

$$E_k + E_p = E = \text{constant} \quad (3.6)$$

ここで、 E_p は情報位置エネルギーである。また、式 (3.6) にゲームが終了した状態である $\eta=1$ を代入することにより、式 (3.6) 右辺の constant の値を求めることが出来る。

式 (3.5) と (3.6) を用いることで、 E_p は最終的に次のように表される。

$$E_p = \text{constant} - 0.5 \left(\frac{d\xi}{d\eta} \right)^2 \quad (3.7)$$

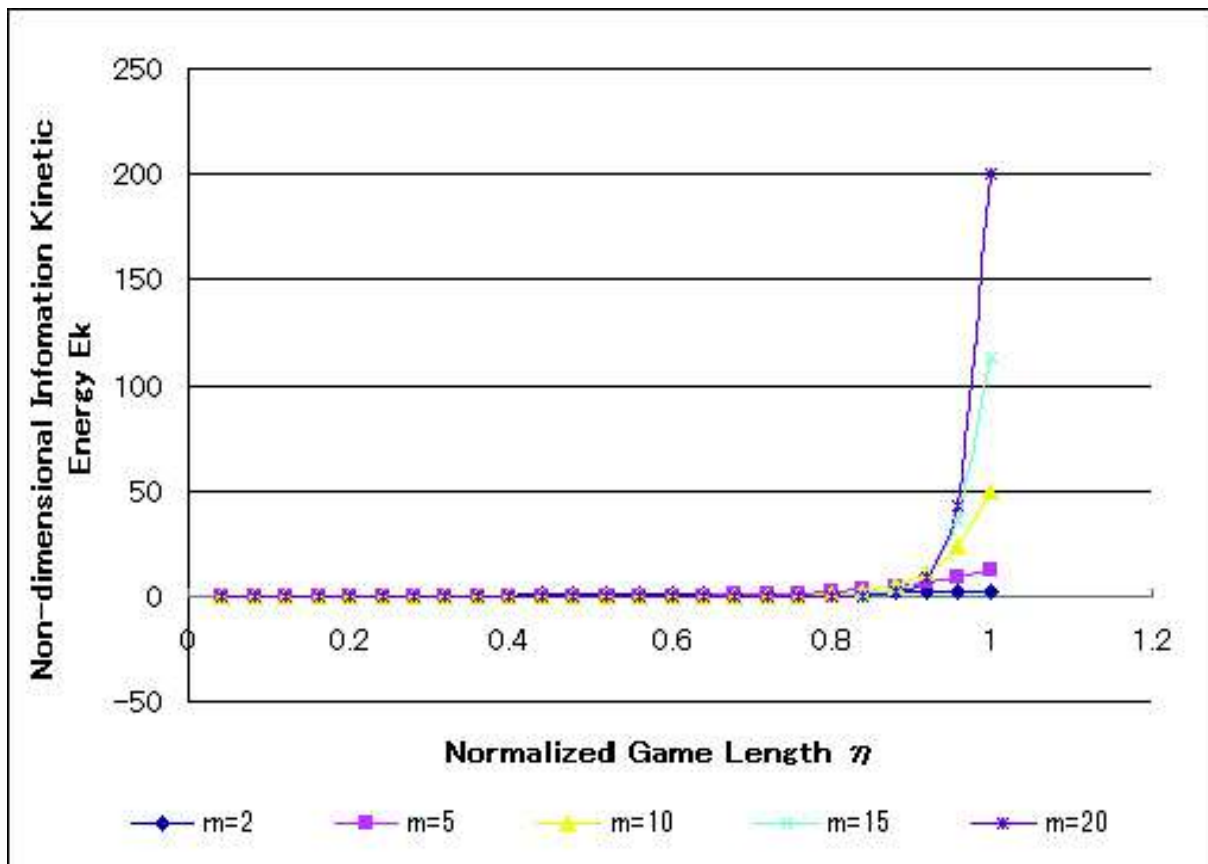


図 3.1: 無次元情報運動エネルギー E_k と無次元ゲーム長 η の関係

図 3.1 は情報力学モデルにおける実数パラメータ m の値を変化させた場合の E_k と η の関係を示したものである。 m の値が大きいくほど、 E_k は大きくなることを見て取れる。

3.2 無次元化アドバンテージ

無次元化アドバンテージとは、ゲームの各時点ごとの評価値を総評価値で正規化したものである。これを用いることで、ゲームの勝者(敗者)の優位(劣勢)状況の時間推移を数値により表現することが出来る。なお、ここでは勝者にアドバンテージが存在する場合を正、敗者にアドバンテージが存在する場合を負と定義する。

無次元化アドバンテージ α は次のように定義される。

$$\alpha(\eta) = \frac{ADV(\eta)}{ACT(1)} \quad (3.8)$$

ここで、 $ADV(\eta)$ は任意の η におけるアドバンテージ、 $ACT(\eta)$ は任意の η までの総アドバンテージを表す。 $ACT(1)$ はゲーム全体の総アドバンテージである。

$ACT(\eta)$ はより一般的に次のように定義される。

$$ACT(\eta) = A\left(\frac{n}{N}\right) = \sum_{i=1}^n |ADV(i) - ADV(i-1)| \quad (3.9)$$

ここで、 n は現在の指し手数、 N はゲーム終了時の総指し手数を表す。よって、 $\eta = \frac{n}{N}$ は無次元ゲーム長を表す。

3.3 勝率

勝率とは、両プレイヤー間の相対的優劣の推移を数値により表現したものである。ここで、勝者の勝率 $p_1(\eta)$ 、敗者の勝率 $p_2(\eta)$ はそれぞれ次のように定義される。

$$p_1(\eta) = 0.5 + \frac{\alpha(\eta)}{2} \quad (3.10)$$

$$p_2(\eta) = 0.5 - \frac{\alpha(\eta)}{2} \quad (3.11)$$

3.4 ゲーム結果の確かさ

ゲーム結果の確かさ ξ は次のように定義される [2, 3, 4, 5, 6].

$$\xi = \begin{cases} |\alpha(\eta)| & (0 \leq \eta < 1) \\ 1 & (\eta = 1) \end{cases} \quad (3.12)$$

第4章 5人対戦における大貧民ゲームの分析

本章では実際に大貧民をプレイし、得られたデータをゲーム情報力学を用いて分析、考察する。

4.1 分析手法

これまでゲーム情報力学モデルを利用して分析されてきたゲームは、将棋 [5] や柔道 [6] など1対1で争われるものが対象であった。今回、多人数ゲームを分析するにあたって以下に述べるような新たな分析手法を導入する必要がある。

本研究では、多人数で行われたゲームは全て1対1で行われた小ゲームの集合であると捉え、その小ゲーム1つ1つに対して分析を行うという手法を用いた。例えばゲームのプレイヤー数が5人であった場合、全部で ${}_5C_2 = 10$ 通りの小ゲームが存在する。これら10個の小ゲーム全てをゲーム情報力学モデルを用いて分析することにより、元のゲーム全体を理解することを試みたわけである。

なお、ゲーム長 η については1回のみでの対戦の場合は勝者が勝利した瞬間を、5回連続対戦の場合は最終スコアが決定した瞬間を1と定義し、これをもってゲームの終了とした。先行して発表した文献 [2, 3] では1回のみでの対戦の場合も最終スコアが決定した瞬間を1と定義したが、この定義では以下の問題が発生した。

- 両者の勝負が終わった後も他プレイヤーの対戦が続くため、 η の途中で最終評価が決まってしまう
- 勝者が上がった後に敗者側に点数が入ってしまい、決着がついた後に追い上げられてしまうという分析結果になる

4.2 1回対戦によるゲーム結果の分析

ここでは、前項で導入した分析手法に沿って5人で1回行われた大貧民のゲーム結果について分析を行う。ゲームの詳細は以下の通りである。

- プレイヤーは人間1名とコンピュータ4名の計5名

- カードの配り方は人間から優先
- 縛り・シーケンスあり
- 誰かが上がった場合も場は続行
- プレイヤーが上がった順番に応じて順位をつける
- その他のルールについては UEC 標準ルール (付録 A) とほぼ同様

このルールでゲームを行うにあたり，対戦プログラムには D 貧民 [13] を用いた．ゲーム中の点数計算についてもこのプログラムの方式に従って行う．

4.2.1 分析結果

表 4.1 のゲームの結果は以下のようになった．

- 1 位 : Com.3
- 2 位 : Human
- 3 位 : Com.1
- 4 位 : Com.2
- 5 位 : Com.4

以後，このゲームを 10 個の小ゲームに分解し，それぞれ分析を行う．ここでは 1 つのゲームについて詳細に分析を行う．それ以外のデータについては付録 B に示した．

表 4.1: 5 人のプレイヤーによる大貧民のゲームスコアの推移

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3	Com.4
0	0	0	0	0	0
1	10	0	0	0	0
2	10	20	0	0	0
3	10	20	50	0	0
4	10	20	50	70	0
5	10	20	50	70	160
6	10	20	140	70	160
7	10	20	140	200	160
8	10	20	140	800	160
9	10	20	140	1130	160
10	10	20	140	1490	160
11	10	20	140	5650(上がり)	160
12	10	20	140	5650	250
13	120	20	140	5650	250
14	120	20	140	5650	380
15	120	20	140	5650	440
16	120	20	140	5650	590
17	330	20	140	5650	590
18	360	20	140	5650	590
19	360	60	140	5650	590
20	360	60	210	5650	590
21	540	60	210	5650	590
22	580	60	210	5650	590
23	580	110	210	5650	590
24	580	110	370	5650	590
25	580	110	430	5650	590
26	860	110	430	5650	590
27	990	110	430	5650	590
28	3230(上がり)	110	430	5650	590
29	3230	140	430	5650	590
30	3230	140	510	5650	590
31	3230	230	510	5650	590
32	3230	310	510	5650	590
33	3230	610	510	5650	590
34	3230	730	510	5650	590
35	3230	860	510	5650	590
36	3230	2080(上がり)	510	5650	590
37	3230	2080	630	5650	590
38	3230	2080	810(上がり)	5650	590
39	3230	2080	810	5650	-410

Human vs. Com.1 の小ゲームの分析

2位の Human と 3位の Com.1 の試合結果について考察する。この小ゲームの勝者は Human であった。

アドバンテージ

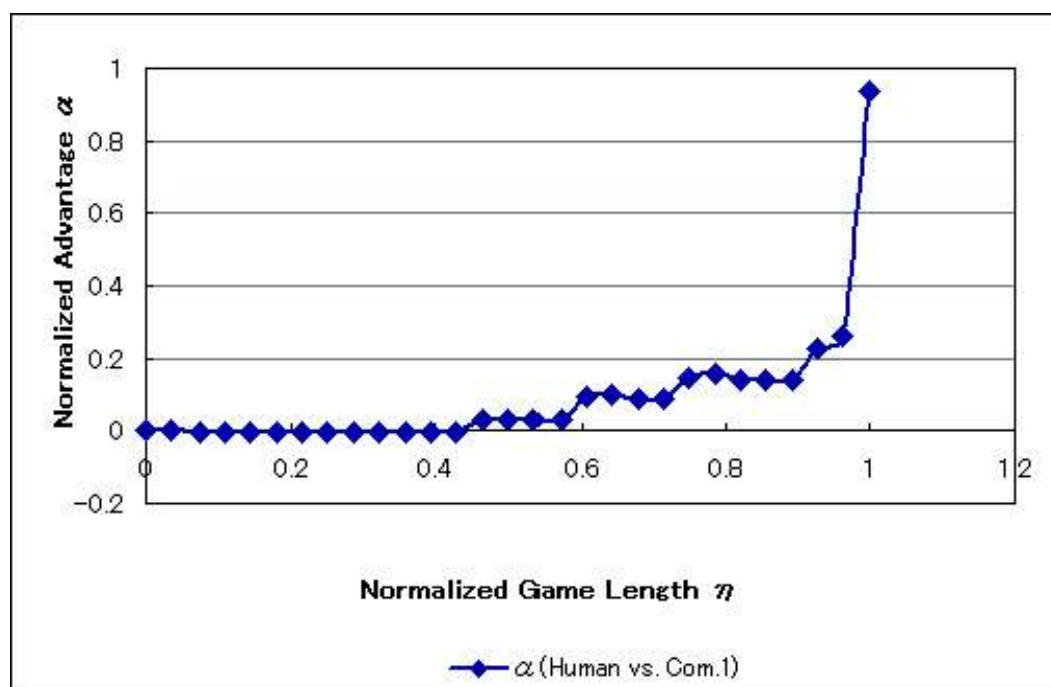


図 4.1: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.1)

図 4.1 より、次のことが見て取れる。

- η が 0.45 付近から少しずつ勝者 (Human) にアドバンテージが現れ始めた。
- η が 1 (ゲーム終了時) では勝者が圧倒的なアドバンテージを得ている。

勝率

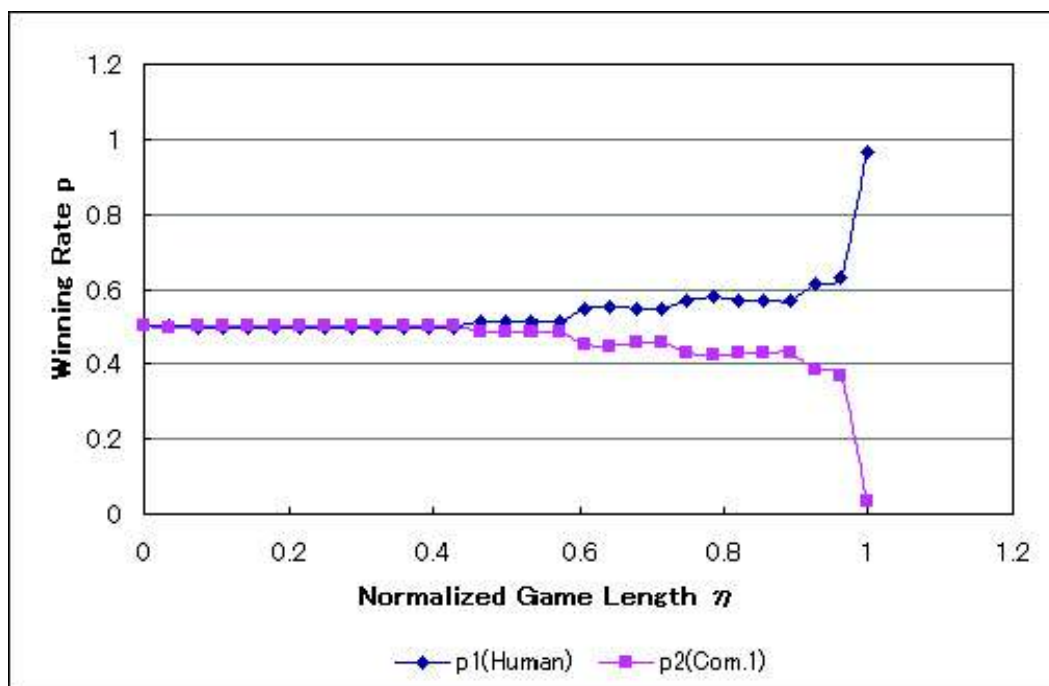


図 4.2: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.1)

図 4.2 より, 次のことが見て取れる.

- η が 0.6 付近で両プレイヤー間の勝率に差が明確に現れ始める.
- η が 0.9 から勝率が急激に変化している.

ゲーム結果の確かさ

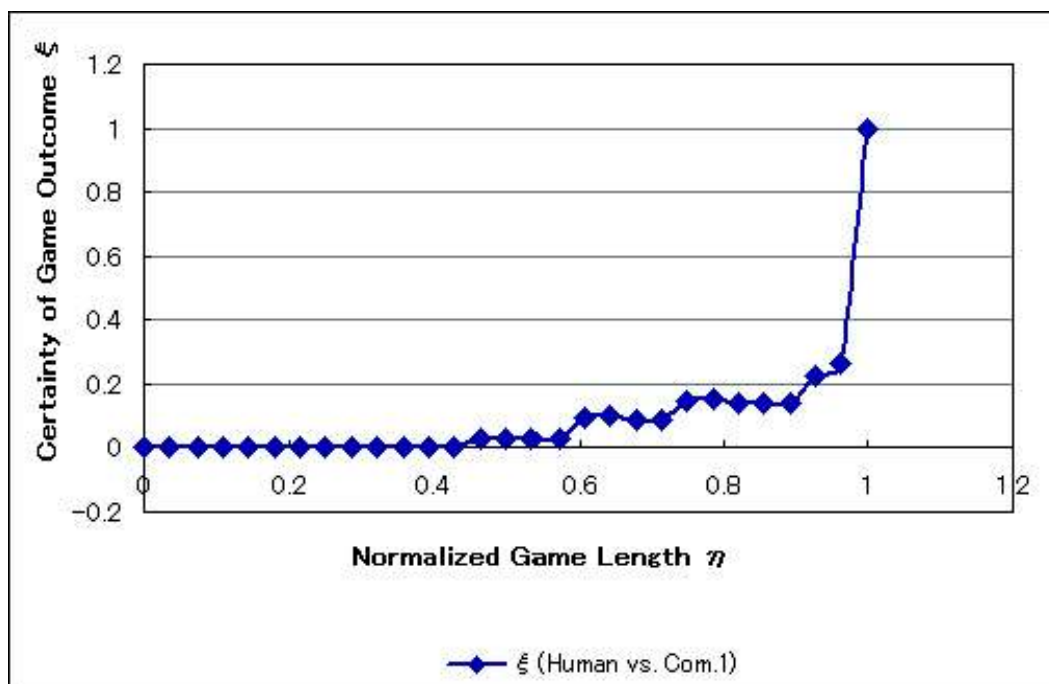


図 4.3: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.1)

図 4.3 より、次のことが見て取れる。

- η が 0.6 手前までは ξ に変化がほとんどない。
- η が 1 になる直前で急激に ξ が変化している。

つまり、このゲームでは η が 0.6 付近からゲームが動き始め、1 に近づくにつれてゲームの勝敗が急激に定まったと考えられる。

ゲーム情報力学モデルの適用

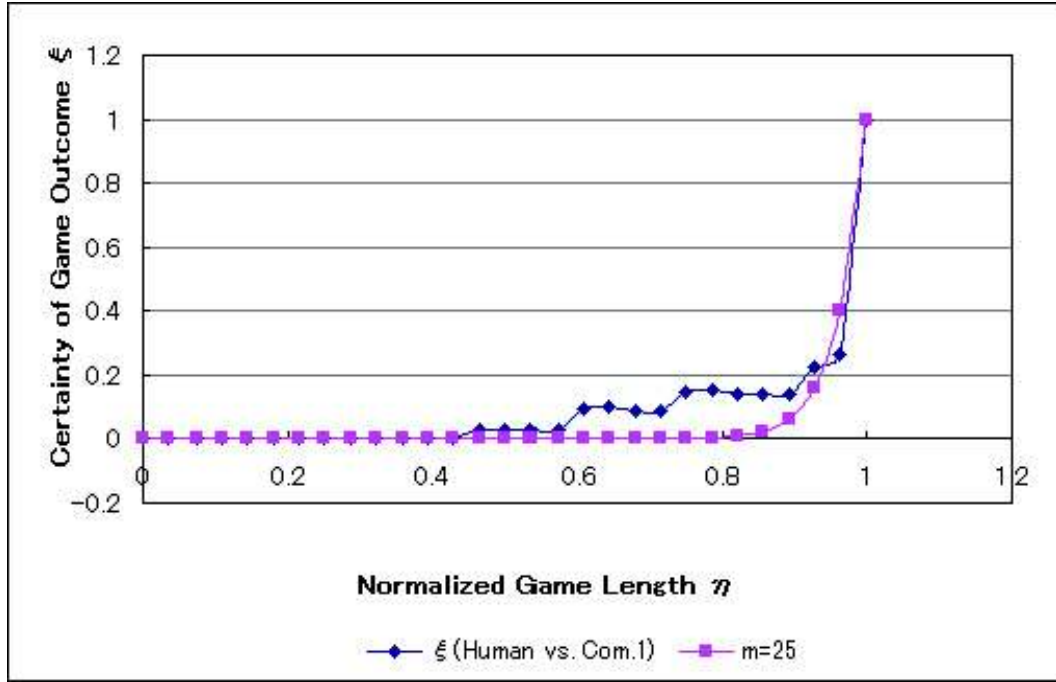


図 4.4: Human と Com.1 の対戦に対するゲーム情報力学モデルによる近似

図 4.4 において、青色の曲線は図 4.3 と同じものであり、これに対して赤色の曲線は最小二乗法を用いて描いた、式 (3.1) において $m = 25$ と置いた近似曲線である。

この近似曲線より、情報速度、情報加速度、及び情報力学エネルギーは以下のように求められる。

$$\frac{d\xi}{d\eta} = 25\eta^{24} \tag{4.1}$$

$$\frac{d^2\xi}{d\eta^2} = 600\eta^{23} \tag{4.2}$$

$$E_k = 0.5(25\eta^{24})^2 = 312.5\eta^{48} \tag{4.3}$$

$$E = \text{constant} = 312.5 \tag{4.4}$$

$$E_p = 312.5 - 312.5\eta^{48} = 312.5(1 - \eta^{48}) \tag{4.5}$$

情報力学エネルギー

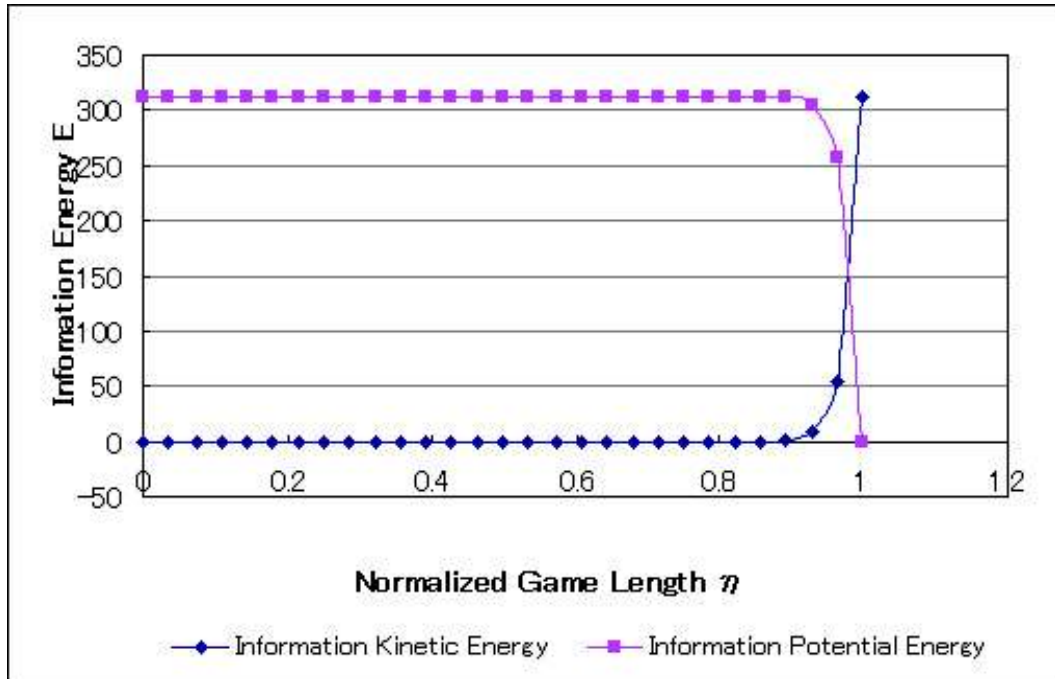


図 4.5: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.1)

図 4.5 より, 次のことが見て取れる.

- η が 0.9 付近までは位置エネルギーが運動エネルギーにはほとんど変換されていない.
- η が 0.95 付近から位置エネルギーが急激に運動エネルギーに変換されている. これはゲームの流れがこの段階に来て一気に決着に向かったことを示唆している.
- η が約 0.98 の地点が両エネルギー曲線の交点となっている.

このように, ゲームの流れに従って位置エネルギーが運動エネルギーに変換されている様子がわかる. なお, 交点は何らかの物理的意味を持っていると考えているが, 未だ結論を得るまでに至っていない. 若林はこの交点についてそのプレイヤーにとってゲームの勝敗が決したポイントだと仮定している [5]. この仮定に沿って考えるならば, このゲームは η が約 0.98 の段階で勝敗が決したことになり, それ以前の段階ではまだ敗者側にも逆転のチャンスは残されていたと考えられる.

4.2.2 考察

小ゲームの結果を以下に示す.

Human : 3勝1敗

Com.1 : 2勝2敗

Com.2 : 1勝3敗

Com.3 : 4勝0敗

Com.4 : 0勝4敗

この結果はゲーム全体の結果と一致している. よって多人数におけるゲーム結果についても, 小ゲームの集合と観て分析をすることの妥当性が明らかとなった. なぜならば, 小ゲームの結果がゲーム全体の結果と同じであれば, 小ゲームの分析結果はゲーム全体の分析結果と同じであると考えられるからである.

表 4.2: 各小ゲームにおける情報力学モデルのパラメータ m の値の比較

m の値	Com.3				
Com.3		Human			
Human	11		Com.1		
Com.1	11	25		Com.2	
Com.2	13	46	66		Com.4
Com.4	13	59	78	128	

表 4.3: 各小ゲームにおける情報力学エネルギー E の値の比較

E の値	Com.3				
Com.3		Human			
Human	60.5		Com.1		
Com.1	60.5	312.5		Com.2	
Com.2	84.5	1058	2178		Com.4
Com.4	84.5	1740.5	3042	8192	

表 4.2 は各小ゲームにおける情報力学モデルのパラメータ m の値, 表 4.3 はそこから求められた情報力学エネルギー E の値をまとめたものである.

この結果について, 以下のことが言える.

- Com.3 は全てのプレイヤーに対し, 非常に小さな m と E の値で勝利している.

- プレイヤーの順位が下がるにつれ、 m と E の値が大きくなっている。
- あるプレイヤーから見た対戦相手の順位が下がるにつれ、 m と E の値が大きくなっている。

これらの理由について、表 4.1 の各小ゲームのスコアの推移を参照しながら考察する。まず1つ目の項目について、各小ゲームにおいて Com.3 は他のプレイヤーに比べて圧倒的に勝ち抜けていたため、ゲーム結果が早期に判明したために m と E の値が小さくなったものと考えられる。2つ目以降の項目については、順位が下だったプレイヤーほど実は序盤は有利にゲームを進めていたことがその理由であると考えられる。特に Com.2 と Com.4 の小ゲームは、Com.2 が最後の最後で大逆転したので、 m と E の値が非常に大きいものとなった。

これらの結果、次のような結論を導くことができる。

- ワンサイドゲーム、つまり両プレイヤーのアドバンテージが一方に偏るようなゲームの情報力学エネルギー E の値は小さくなる。
- シーソーゲーム、つまり両プレイヤーのアドバンテージが交互に変わるようなゲームの情報力学エネルギー E の値は大きくなる。
- 両プレイヤーのレベルが下がるほどゲームは拮抗する傾向が顕著となり、結果情報力学エネルギー E の値が大きくなる。

なお、若林による将棋を題材とした実験 [5] では情報力学エネルギー E の値は大きくても 80 程度であったが、この実験では最大で 8000 以上もの E の値を示した。ここから、多人数ゲームでは 1 対 1 のゲームに比べ、情報力学エネルギー E の値が大きくなる傾向があると考えられる。

4.3 5回連続対戦による大貧民ゲームの分析

続いて、5人で5回連続で行われた大貧民のゲーム結果について分析を行う。ゲームの詳細は以下の通りである。

- プレイヤーは人間1名とコンピュータ4名の計5名
- カードの配り方は人間から優先
- 縛り・シークエンスあり
- 誰かが上がった場合も場は続行
- 5回目のゲーム終了時のスコアによって順位をつける
- その他のルールについてはUEC標準ルール(付録A)とほぼ同様

ゲームのスコアと結果については付録C.1に、各小ゲームの分析データについては付録C.2以降に示した。

4.3.1 考察

小ゲームの結果を以下に示す。

Human : 4勝0敗

Com.1 : 2勝2敗

Com.2 : 1勝3敗

Com.3 : 3勝1敗

Com.4 : 0勝4敗

この結果はゲーム全体の結果と一致しており、分析結果は妥当であると言える。

表 4.4: 各小ゲームにおける情報力学モデルのパラメータ m の値の比較

m の値	Human				
Human		Com.3			
Com.3	5		Com.1		
Com.1	3	21		Com.2	
Com.2	3	14	439		Com.4
Com.4	2	7	379	718	

表 4.5: 各小ゲームにおける情報力学エネルギー E の値の比較

E の値	Human				
Human		Com.3			
Com.3	12.5		Com.1		
Com.1	4.5	220.5		Com.2	
Com.2	4.5	98	96360.5		Com.4
Com.4	2	24.5	71820.5	257762	

表 4.4 は各小ゲームにおける情報力学モデルのパラメータ m の値, 表 4.5 はそこから求められた情報力学エネルギー E の値をまとめて示したものである.

この結果について, 以下のことが言える.

- Human は全てのプレイヤーに対し, 非常に小さな m と E の値で勝利している.
- プレイヤーの順位が下がるにつれ, m と E の値が大きくなっている.
- あるプレイヤーから見た対戦相手の順位が下がるにつれ, m と E の値が小さくなっている.

これらは1位のプレイヤーは1回対戦で行った分析結果と同様であることを示している. このことから, このゲームでは1位が圧倒的な差をつけて勝利したことに加えて, 3つ目の項目から順位が上のプレイヤーが順当に下位のプレイヤーを圧倒しながらゲームを進めていたものと考えられる.

一方, ゲーム情報力学エネルギー E の値を見ると, 小さいケースは2から, 大きいケースは257762まで, 非常に幅が広がっている. 特に3位以下の対戦は全て5桁の数字を記録しており, 4位と5位に至っては6桁にも膨れ上がった. 前ゲームで勝利したプレイヤーほど次のゲームでも勝ちやすく, 逆に負けてしまうと勝ち上がるのは難しいという大貧民のゲーム性を踏まえると, この分析結果は概ね大貧民の特徴を代弁していると考えられる.

また, 1回対戦の時と同様に下位のプレイヤー同士の対戦はエネルギーが大きくなりやすいことから, 下位プレイヤー間の小ゲームは比較的拮抗することが多く, 順位も下位プレイヤー間で変動することが多くなりがちであるものと考えられる.

第5章 4人対戦における大貧民ゲームの分析

本章では人数を変更して4名のプレイヤーで大貧民をプレイし、得られたデータについて分析、検証を行う。

5.1 1回対戦によるゲーム結果の分析

ここでは、4人で1回行われた大貧民のゲーム結果について分析を行う。ゲームの詳細は以下の通りである。

- プレイヤーは人間1名とコンピュータ3名の計4名
- カードの配り方は人間から優先
- 一番最初のプレイヤーはダイヤの3, あるいはダイヤの3を含む複数のカードしか出してはいけない
- 縛り・シークエンスあり
- 誰かが上がった場合も場は続行
- プレイヤーが上がった順番に応じて順位をつける
- その他のルールについてはUEC標準ルール(付録A)とほぼ同様

このルールでゲームを行うにあたり、対戦プログラムにはPoverty/Win[14]を用いた。また、ゲームのスコアと結果については付録D.1に示した。

5.1.1 考察

小ゲームの結果を以下に示す。

Human : 3勝0敗

Com.1 : 1勝2敗

Com.2 : 0勝3敗

Com.3 : 2勝1敗

この結果はゲーム全体の結果と一致しており，分析結果は妥当であると言える．

表 5.1: 各小ゲームにおける情報力学モデルのパラメータ m の値の比較

m の値	Human			
Human		Com.3		
Com.3	33		Com.1	
Com.1	66	117		Com.2
Com.2	21	61	29	

表 5.2: 各小ゲームにおける情報力学エネルギー E の値の比較

E の値	Human			
Human		Com.3		
Com.3	544.5		Com.1	
Com.1	2178	6844.5		Com.2
Com.2	220.5	1860.5	420.5	

表 5.1 は各小ゲームにおける情報力学モデルのパラメータ m の値，表 5.2 はそこから求められた情報力学エネルギー E の値をまとめて示したものである．

この結果について，以下のことが言える．

- Human 対 Com.1，Com.1 対 Com.3，Com.3 対 Com.2 の情報力学エネルギー E が大きい．
- 情報力学エネルギー E の値を表 4.3 と比較すると，最大値は小さく，最小値は大きい．

1 つ目の項目から，序盤は Com.1 が有利に進めていたと考えられる．また，Human の各小ゲームにおける情報力学エネルギー E が表 4.3 と比較して大きいことから，Human は 1 位で上がったものの，他プレイヤーとの差はそこまで開かなかったと言える．

一方，情報力学エネルギー E の値については Com.1 対 Com.3 の 6844.5 が最大，Human 対 Com.2 の 220.5 が最小であり，表 4.3 と比較すると最大値は小さく，最小値は大きかった．この結果から，プレイヤー数が増えるに従って情報力学エネルギー E の取りうる値の幅が広がる傾向があると推測できる．

5.2 5回連続対戦による大貧民ゲームの分析

続いて、4人で5回連続で行われた大貧民のゲーム結果について分析を行う。ゲームの詳細は以下の通りである。

- プレイヤーは人間1名とコンピュータ3名の計4名
- カードの配り方は人間から優先
- 一番最初のプレイヤーはダイヤの3, あるいはダイヤの3を含む複数のカードしか出してはいけない
- 縛り・シークエンスあり
- 誰かが上がった場合も場は続行
- 5回目のゲーム終了時のスコアによって順位をつける
- その他のルールについてはUEC標準ルール(付録A)とほぼ同様

ゲームのスコアと結果については付録D.2に示した。

5.2.1 考察

小ゲームの結果を以下に示す。

Human : 3勝0敗

Com.1 : 1勝2敗

Com.2 : 2勝1敗

Com.3 : 0勝3敗

この結果はゲーム全体の結果と一致しており、分析結果は妥当であると言える。

表 5.3: 各小ゲームにおける情報力学モデルのパラメータ m の値の比較

m の値	Human			
Human		Com.3		
Com.2	209		Com.1	
Com.1	136	520		Com.2
Com.3	1	3	1	

表 5.4: 各小ゲームにおける情報力学エネルギー E の値の比較

E の値	Human			
Human		Com.3		
Com.2	21840.5		Com.1	
Com.1	9248	135200		Com.2
Com.3	0.5	4.5	0.5	

表 5.3 は各小ゲームにおける情報力学モデルのパラメータ m の値, 表 5.4 はそこから求められた情報力学エネルギー E の値をまとめて示したものである.

この結果について, 以下のことが言える.

- Com.3 の各小ゲームにおける情報力学エネルギー E が非常に小さく, それ以外の小ゲームの E は全体的に大きい.
- 情報力学エネルギー E の値を表 4.5 と比較すると, 最大値も最小値も小さい.

1 つ目の項目から, このゲームでは終始 Com.3 が負け続けていたと考えられる. また, Human も最後のゲームで最下位になったために他プレイヤーとの差が縮まってしまい, 結果としてエネルギーが全体的に大きくなったと考えられる.

一方, 情報力学エネルギー E の値については Com.1 対 Com.3 の 135200 が最大, Human 対 Com.3 及び Com.1 対 Com.3 の 0.5 が最小であった. 表 4.4 と比較すると最大値は大きく下がっているが, 最小値はほぼ変わっていない. この結果と大貧民のゲーム性を踏まえて考えると, 情報力学エネルギー E の最大値はプレイヤー数によって取りうる幅が変動するが, 最小値は非常に小さい値で収束する傾向があると考えられる.

第6章 おわりに

6.1 まとめ

本研究を通して、まず多人数ゲームをゲーム情報力学モデルによって分析するにあたり、1つのゲームを複数の小ゲームの集合として捉えることによって分析することは可能であることが証明された。本研究の手法である多人数ゲームを1対1の小ゲームに分解し、それぞれ分析を行うことで各種分析結果から各プレイヤー間のゲーム中の優劣を示すことが出来た。文献 [9] の研究報告と合わせて、多人数ゲームを題材とする研究を進める際、複数の小ゲームに分解して研究を進めることでより有意義な結果が得られる可能性が一層強まったといえる。更に言えば、小ゲームに分解することで、既存の手法が利用できる可能性も示唆されたということである。

また、今回提案した手法で多人数ゲームの分析を行う際、実数パラメータ m あるいは情報力学エネルギー E の値をまとめて並べることで、全体的なゲームの傾向を観ることが可能となったことも特筆すべき点である。これによって、どの小ゲームが接戦だったか、勝ったプレイヤーはどの程度他のプレイヤーに差をつけていたのかなどの情報が得られるため、ゲームに対して戦術、戦略を検討する上で有益な情報が明らかになることが期待される。

前ゲームで勝利したプレイヤーほど次のゲームでも勝ちやすく、逆に負けてしまうと勝ち上がるのは難しいという大貧民のゲーム性が E の比較から見えてきたことも興味深い。これはこの手法を用いてゲームの分析を行うことで、そのゲームが持つ特徴、及びゲーム性が見えてくる可能性が示唆されたということである。よって別のゲームに情報力学モデルによる分析を行った場合に、そのような結果が表れることが期待される。

そして、人数が変わった場合のゲームの分析結果から、多人数ゲームではプレイヤー数が多いほど情報力学エネルギー E の取りうる値の幅が広がる可能性が示された。また、若林による将棋の分析結果 [5] に比べ、本研究で分析された大貧民ゲームにおける情報力学エネルギー E の値は、いずれのゲームにおいても大きい値を示した。これは1対1で争われるゲームに比べ、人数が多いほど誰が勝つのが分かり辛くなり、その結果エネルギーが大きくなる傾向にあるためだと考えられる。

最後に、情報の運動エネルギー曲線と位置エネルギー曲線との交点に対応するゲーム長 η の値は、これ以上の η で勝者のセーフティリード (Safety Lead)[15] が確定し、これ以下の η ではまだ敗者に逆転の可能性が残されている分岐点であると解釈できることが示唆された。

今後、情報処理学会にて講演を行う予定である [4].

6.2 課題と今後の展望

本研究では多人数ゲームとして大貧民を挙げたが、他の多人数ゲームにおいてもこの手法によって分析が可能であるかを検証する必要性が考えられる。何故ならば、1つのゲームで分析が出来たといって、別のゲームでも同様に対戦の結果を正しく分析できるとは限らないからである。例えば同じカードゲームで言えば、ポーカーなどを本手法で分析することは興味深い。

その際、分析するために必要な評価値をどのように設定するかが1つの課題となる。今回、大貧民の分析ではソフトで用いられていた、カードの出し方や順位によって増減する得点に基づき分析したが、他のゲームでそのような基準で評価値を設定出来るかが問題となるためである。大貧民についても、本研究でのゲームの評価値は1ソフトによるスコアによるものであるため、より信頼できる評価の方法について検討する必要がある。

また、本研究では1ゲームに対して評価を行ったが、ゲームの内容によっては必ずしも同じようになるとは限らない。そのため、様々なゲームの結果に対して分析を行い、その統計を取ることでより信頼できるデータとなるかどうかの調査も課題となる。

更に、本研究では完全に1対1の小ゲームとして分析を行ったが、場合によってはあるプレイヤー対それ以外の全プレイヤーというように、見方を変えることで異なる分析結果が出ることも考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり，ご指導いただいた飯田弘之教授，池田心准教授，中川武夫シニアプロフェッサーに深謝の意を表します．また，既に卒業された方も含め，研究，学生生活等の面でご協力・ご助言いただいた飯田・池田研究室をの方々をはじめとする多くの皆様に感謝の意を表します．

付録A UEC標準ルール

※基本的なルールは第2章で述べたため、ここではUECコンピュータ大貧民大会用の標準ルール[11]として設定されたルールのうち、主に第2章の内容とは異なるもの、既出のルールの中で採用されているものについて述べる。

1. ゲームに使用するカードは各マークのエースからキングまでの52枚と、ジョーカー1枚を加えた53枚とする。
2. カードの配布は初回はランダムな人から席順にカードを配布する。序列が決定される2回目以降は大富豪から席順にカードを配布する。
3. ゲームの開始はダイヤの3を持っている人から始まる。なお、必ずしもダイヤの3を出す必要はない。
4. 順番は乱数で決定される。何ゲームかその順番で行った後、席替えを行い、ゲームを再開する。
5. パスは出せるカードがあってもパスすることが出来る。ただし、一度パスをしたら場が流れるまで順番が回ってくることはない。
6. 上がり方に制限はない。ジョーカーや2などで上がる事が可能である。
7. シークエンスが場に出されているとき、次に出すことの出来るカードは全てのカードが場に出ているカードより大きいカードのみとなる。例えば場にスペードの5, 6, 7が出ていた場合、次に出せるのは8, 9, 10以上のシークエンスとなる。また、ジョーカーを含めてシークエンスとすることが出来る。
8. 革命は以下の条件が満たされた時に発生する。なお、カードを出したプレイヤーが革命を起こすかどうかを選択することは出来ない。
 - 同じ数字のカードが4枚同時に出了れたとき
 - 同じ数字のカード3枚と、ジョーカーが同時に出了れたとき
 - 同じ数字のカード4枚と、ジョーカーが同時に出了れたとき
 - 5枚以上のカードがシークエンスとして同時に出了れたとき

9. カード交換は大富豪と大貧民で2枚，富豪と貧民で1枚行う．貧民と大貧民についてはサーバ側で強いカードを選択し，自動的に交換される．富豪と大富豪は好きなカードを交換に出すことができる．
 10. ジョーカーを使って縛り，革命を起こすことができる．
 11. スペード3返しが存在する．この際，縛りが発生していたかは問わない．スペード3返しによってスペードの3が出された場合，場は流れ，出したプレイヤーが権利を得る．
ただし，スペードの3を持っていても事前にパスしていた場合は出すことが出来ない．
 12. 8切りが存在する．8を含んだペアやシーケンスでも8切りは発生する．
 13. 縛りが存在する．なお，複数出しについては激しばのみ存在し，片しばは存在しない．
- このほか，コンピュータで大貧民を行う上で必要なルールがあるが，ここでは省略する．

付録B 5人のプレイヤーによる1回対戦時の各種分析結果

B.1 Human(2位) vs. Com.2(4位)

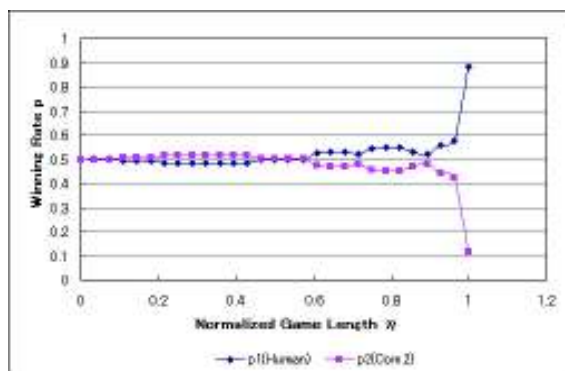
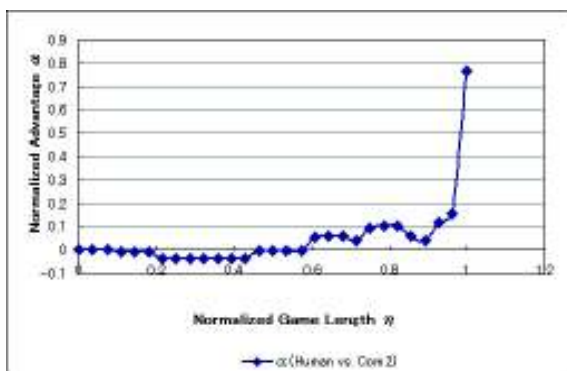


図 B.1: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.2) 図 B.2: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.2)

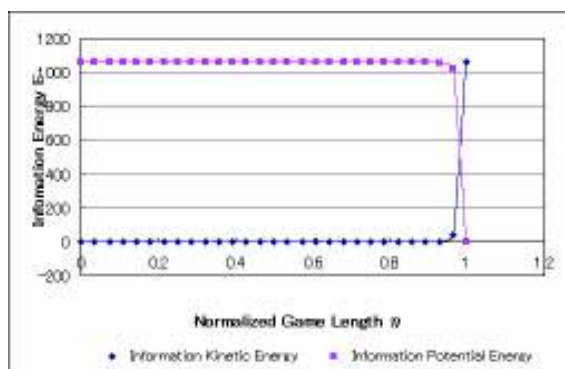
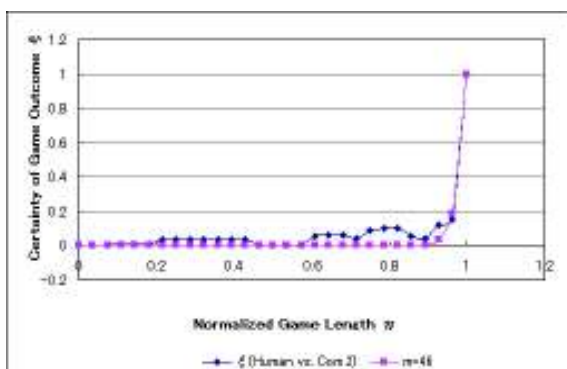


図 B.3: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Human vs. Com.2) 図 B.4: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.2)

B.2 Human(2位) vs. Com.3(1位)

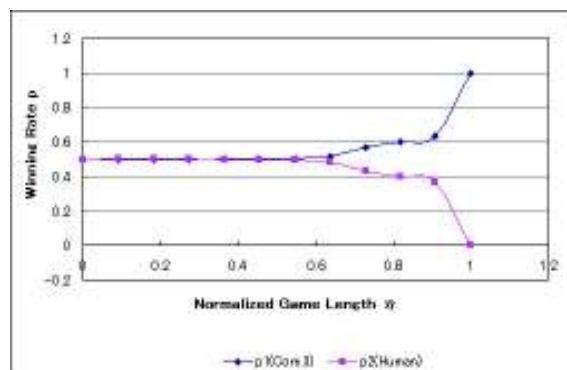
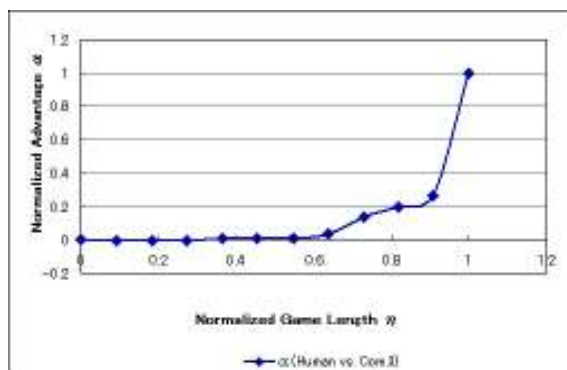


図 B.5: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.3) 図 B.6: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.3)

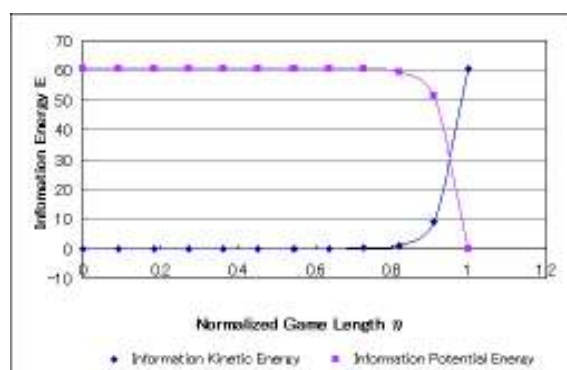
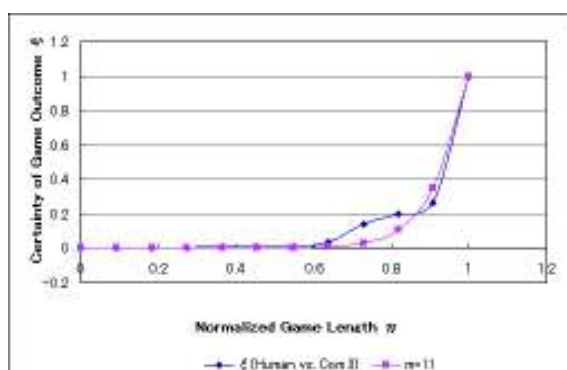


図 B.7: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Human vs. Com.3) 図 B.8: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.3)

B.3 Human(2位) vs. Com.4(5位)

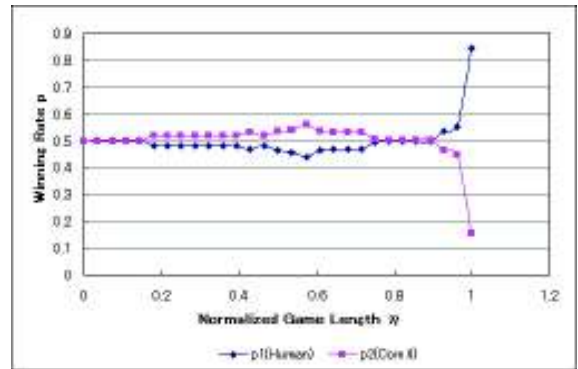
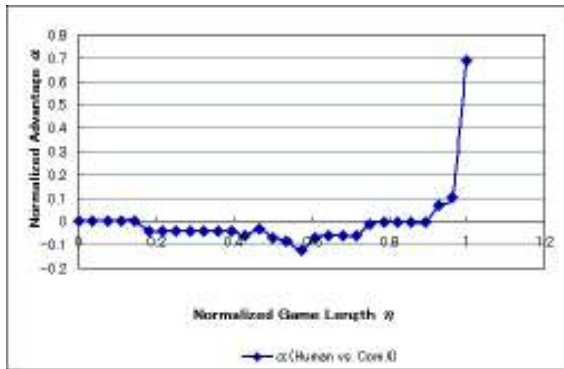


図 B.9: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.4) 図 B.10: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.4)

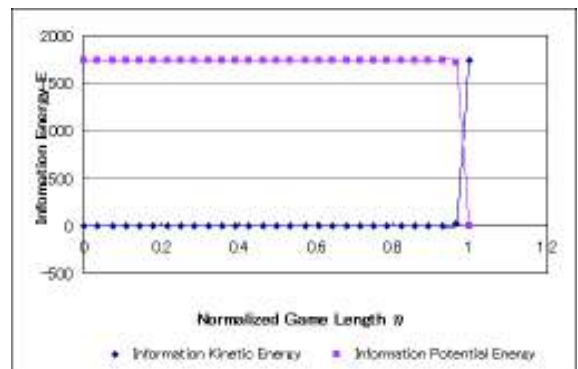
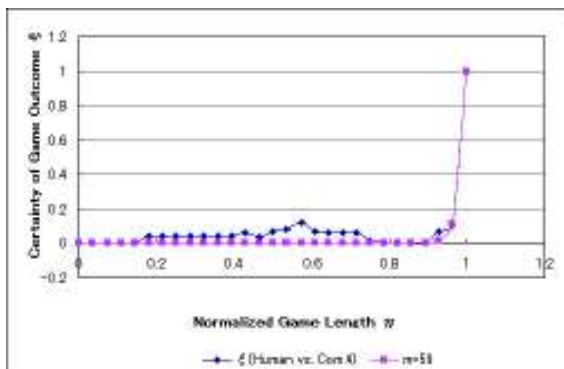


図 B.11: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Human vs. Com.4) 図 B.12: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.4)

B.4 Com.1(3位) vs. Com.2(4位)

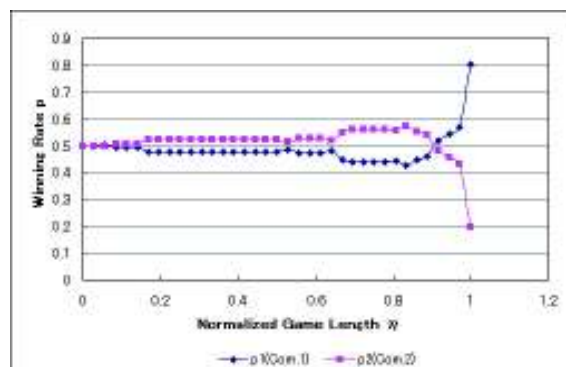


図 B.13: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.2) 図 B.14: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.2)

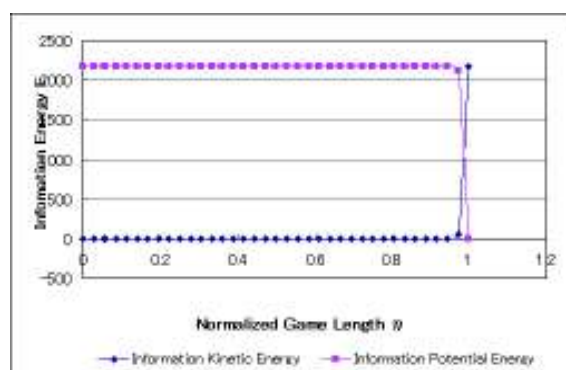
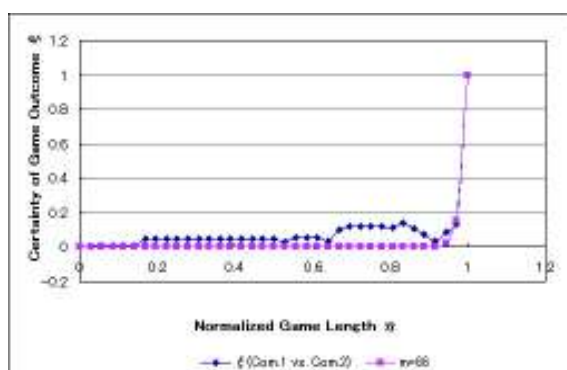


図 B.15: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.1 vs. Com.2) 図 B.16: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.2)

B.5 Com.1(3位) vs. Com.3(1位)

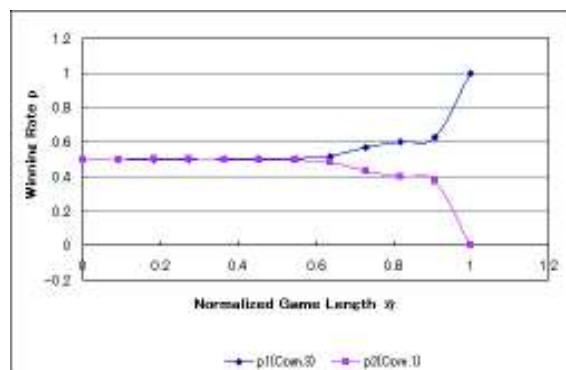
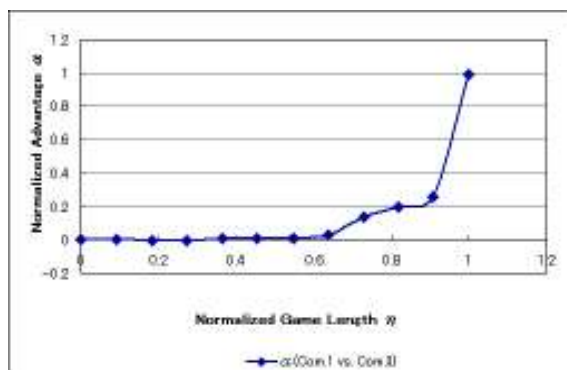


図 B.17: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.3) 図 B.18: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.3)

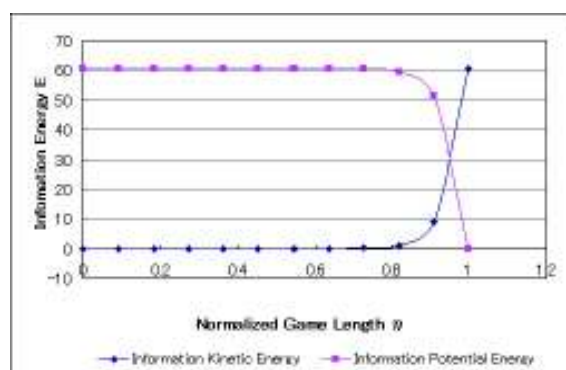
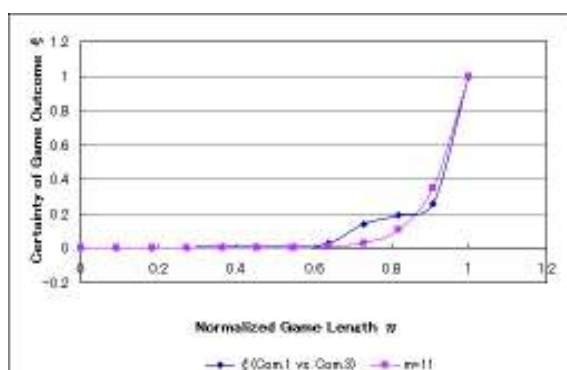


図 B.19: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.1 vs. Com.3) 図 B.20: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.3)

B.6 Com.1(3位) vs. Com.4(5位)

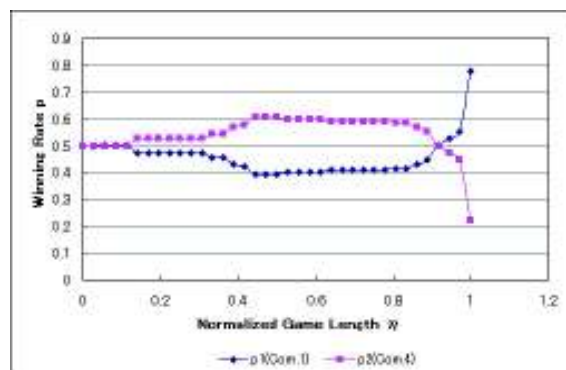
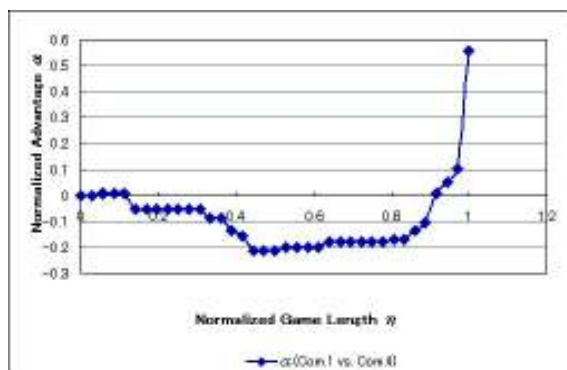


図 B.21: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.4) 図 B.22: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.4)

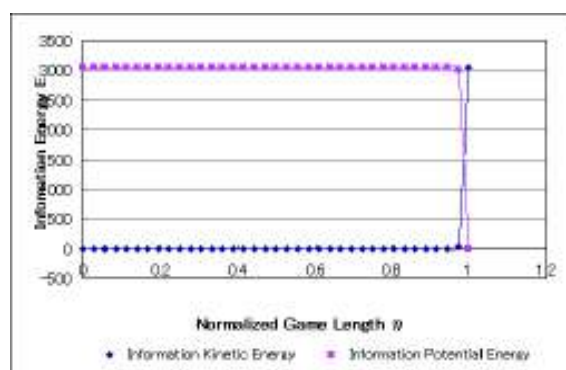
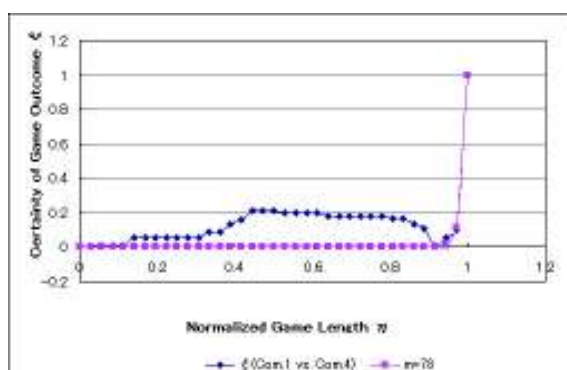


図 B.23: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.1 vs. Com.4) 図 B.24: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.4)

B.7 Com.2(4位) vs. Com.3(1位)

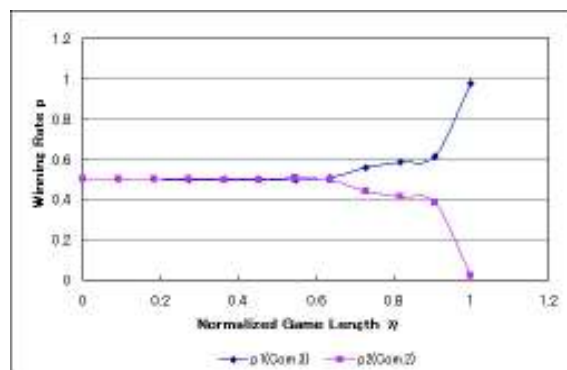
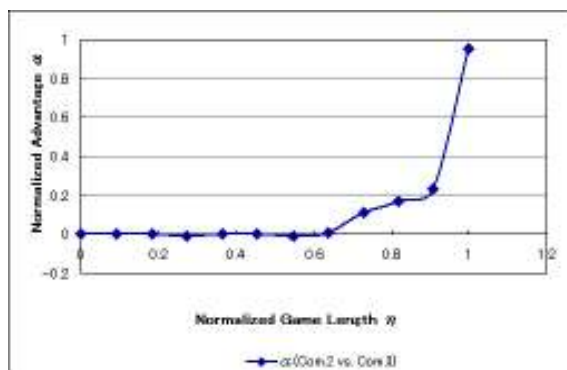


図 B.25: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.3) 図 B.26: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.3)

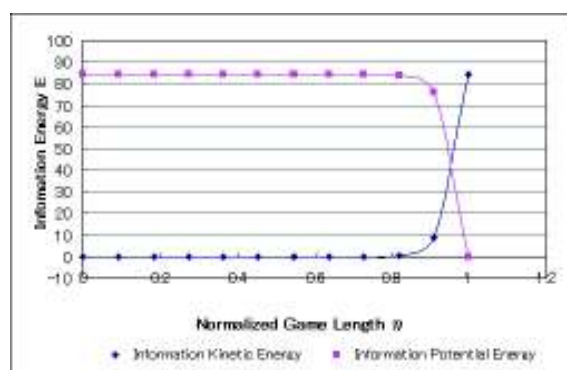
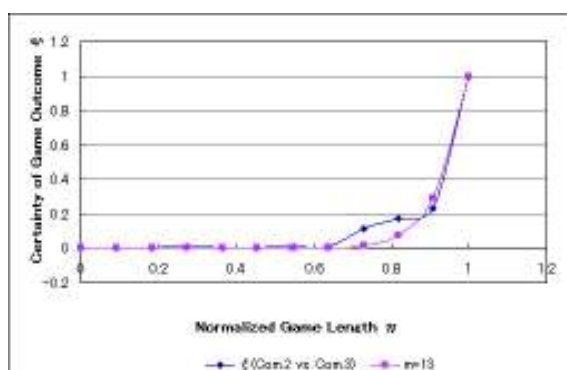


図 B.27: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.2 vs. Com.3) 図 B.28: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.3)

B.8 Com.2(4位) vs. Com.4(5位)

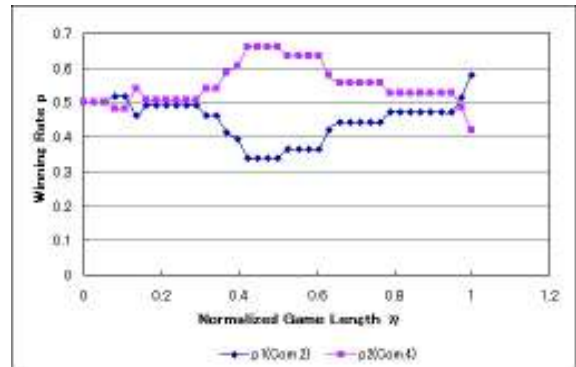
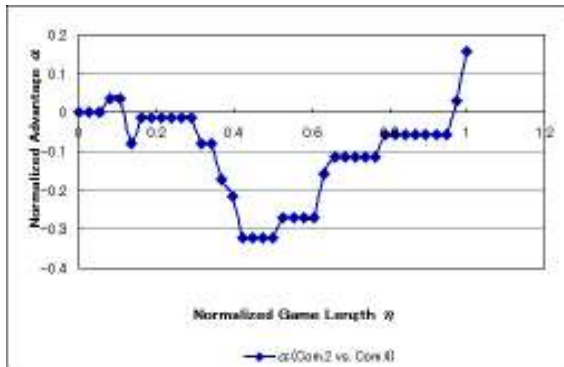


図 B.29: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.4) 図 B.30: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.4)

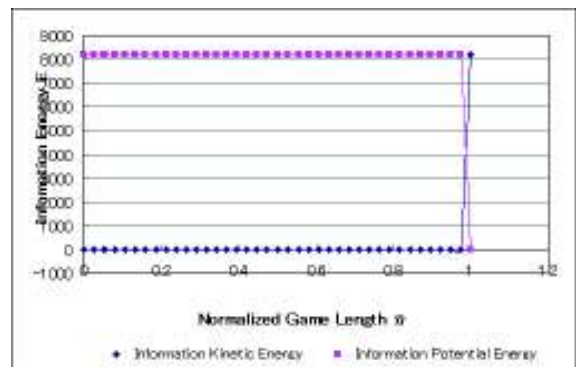
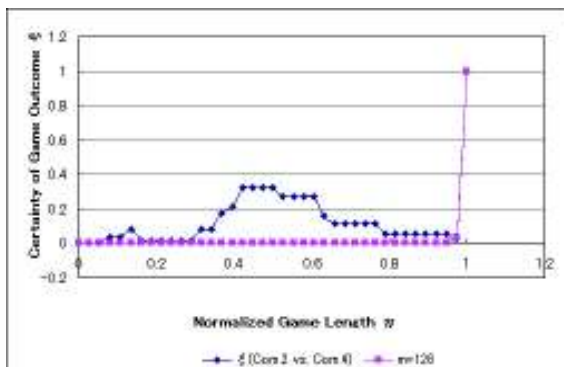


図 B.31: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.2 vs. Com.4) 図 B.32: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.4)

B.9 Com.3(1位) vs. Com.4(5位)

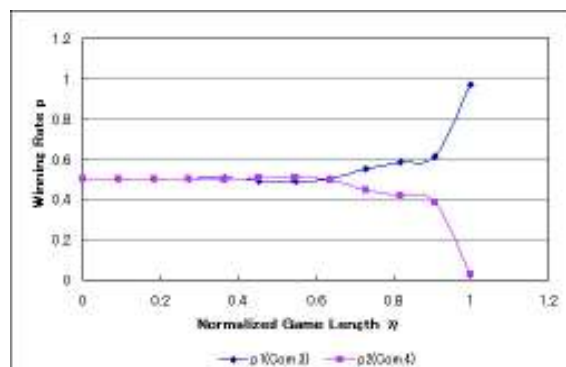
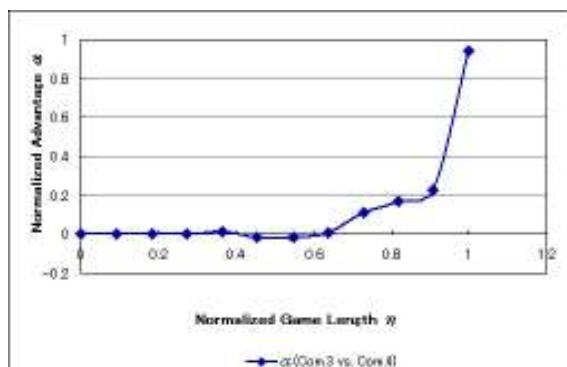


図 B.33: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.3 vs. Com.4) 図 B.34: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.3 vs. Com.4)

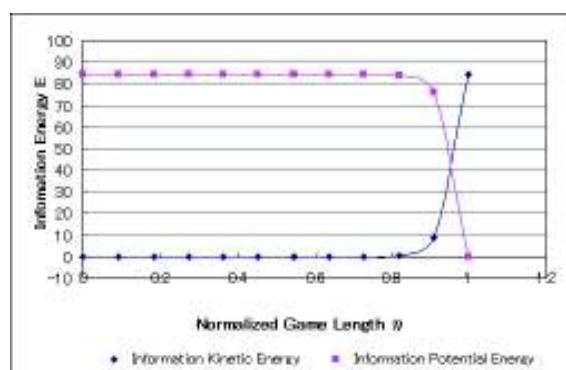
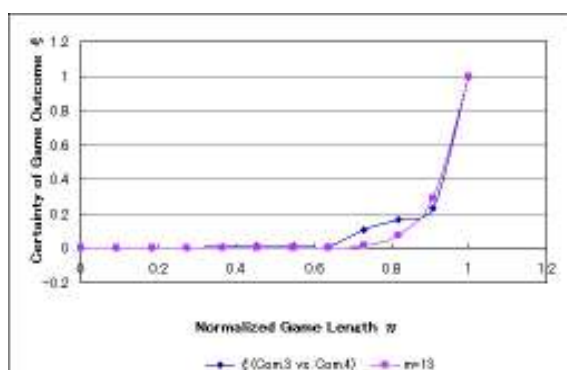


図 B.35: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.3 vs. Com.4) 図 B.36: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.3 vs. Com.4)

付録C 5人のプレイヤーによる5回連続対戦時の各種分析結果

C.1 ゲームスコア

表 C.1: 5人のプレイヤーによる大貧民の5回連続ゲームスコアの推移

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3	Com.4
0	0	0	0	0	0
1(ゲーム1)	0	0	10	0	0
2	0	0	10	20	0
3	0	0	10	20	30
4	80	0	10	20	30
5	80	0	170	20	30
6	80	0	210	20	30
7	80	0	210	160	30
8	170	0	210	160	30
9	170	0	210	280	30
10	170	0	210	580	30
11	170	0	210	740	30
12	170	0	210	1040	30
13	170	0	210	1040	360
14	170	0	210	1040	380
15	200	0	210	1040	380
16	200	100	210	1040	380
17	280	100	210	1040	380
18	290	100	210	1040	380
19	290	120	210	1040	380
20	290	120	280	1040	380
21	290	120	280	1040	510
22	290	120	280	1040	510

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3	Com.4
23	290	120	280	1040	660
24	530	120	280	1040	660
25	530	120	580	1040	660
26	530	120	880	1040	660
27	530	120	1000	1040	660
28	660	120	1000	1040	660
29	770	120	1000	1040	660
30	890	120	1000	1040	660
31	4930(上がり)	120	1000	1040	660
32	4930	190	1000	1040	660
33	4930	190	3180(上がり)	1040	660
34	4930	300	3180	1040	660
35	4930	310	3180	1040	660
36	4930	310	3180	1040	730
37	4930	430	3180	1040	730
38	4930	710	3180	1040	730
39	4930	1110	3180	1040	730
40	4930	2260(上がり)	3180	1040	730
41	4930	2260	3180	1040	910
42	4930	2260	3180	1040	1090(上がり)
43	4930	2260	3180	40	1090
44(ゲーム2)	4930	2260	3180	50	1090
45	4930	2260	3180	50	1110
46	5150	2260	3180	50	1110
47	5300	2260	3180	50	1110
48	5300	2260	3450	50	1110
49	5300	2260	3450	50	1410
50	5660	2260	3450	50	1410
51	6380	2260	3450	50	1410
52	6770	2260	3450	50	1410
53	11100(上がり)	2260	3450	50	1410
54	11100	2270	3450	50	1410
55	11100	2270	3490	50	1410
56	11100	2270	3490	80	1410
57	11100	2430	3490	80	1410
58	11100	2490	3490	80	1410
59	11100	2490	3580	80	1410

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3	Com.4
60	11100	2490	3580	290	1410
61	11100	2490	3580	450	1410
62	11100	2490	3580	990	1410
63	11100	2490	3580	1100	1410
64	11100	2490	3580	3180(上がり)	1410
65	11100	2490	3580	3180	1480
66	11100	2570	3580	3180	1480
67	11100	2570	3800	3180	1480
68	11100	2570	3840	3180	1480
69	11100	2570	3840	3180	1560
70	11100	2670	3840	3180	1560
71	11100	2670	3970	3180	1560
72	11100	2670	4020	3180	1560
73	11100	2670	4020	3180	1740
74	11100	2670	4020	3180	1770
75	11100	2670	4020	3180	1800
76	11100	2710	4020	3180	1800
77	11100	2710	4180	3180	1800
78	11100	2710	5340(上がり)	3180	1800
79	11100	2820	5340	3180	1800
80	11100	2870	5340	3180	1800
81	11100	3000	5340	3180	1800
82	11100	3240(上がり)	5340	3180	1800
83	11100	3240	5340	3180	800
84(ゲーム3)	11100	3250	5340	3180	800
85	11100	3250	5340	3260	800
86	11100	3250	5340	3260	880
87	11100	3250	5340	3260	890
88	11150	3250	5340	3260	890
89	11150	3410	5340	3260	890
90	11150	3440	5340	3260	890
91	11150	3440	5340	3420	890
92	11150	3440	5340	3480	890
93	11150	3440	5340	3480	980
94	11390	3440	5340	3480	980
95	11390	3440	5340	4020	980
96	11720	3440	5340	4020	980

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3	Com.4
97	12240	3440	5340	4020	980
98	12400	3440	5340	4020	980
99	12530	3440	5340	4020	980
100	16740(上がり)	3440	5340	4020	980
101	16740	3520	5340	4020	980
102	16740	3520	5340	4120	980
103	16740	3640	5340	4120	980
104	16740	3640	5340	4250	980
105	16740	3640	5340	6670(上がり)	980
106	16740	3640	5340	6670	1000
107	16740	3680	5340	6670	1000
108	16740	3680	5340	6670	1050
109	16740	3860	5340	6670	1050
110	16740	4040	5340	6670	1050
111	16740	5140(上がり)	5340	6670	1050
112	16740	5140	5340	6670	1140
113	16740	5140	5340	6670	1260
114	16740	5140	5340	6670	1460(上がり)
115	16740	5140	4340	6670	1460
116(ゲーム4)	16740	5140	4370	6670	1460
117	16740	5140	4370	6730	1460
118	16740	5140	4370	6730	1700
119	16740	5290	4370	6730	1700
120	16740	5290	4730	6730	1700
121	16740	5290	4790	6730	1700
122	16740	5290	4790	6820	1700
123	16740	5290	4790	6820	1850
124	17070	5290	4790	6820	1850
125	17070	5290	4790	7180	1850
126	17850	5290	4790	7180	1850
127	18430	5290	4790	7180	1850
128	18560	5290	4790	7180	1850
129	24180(上がり)	5290	4790	7180	1850
130	24180	5300	4790	7180	1850
131	24180	5300	4920	7180	1850
132	24180	5300	5160	7180	1850
133	24180	5300	5160	7510	1850

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3	Com.4
134	24180	5300	5160	7590	1850
135	24180	5300	5160	7590	1940
136	24180	5500	5160	7590	1940
137	24180	5530	5160	7590	1940
138	24180	5530	5300	7590	1940
139	24180	5530	5300	9790(上がり)	1940
140	24180	5530	5300	9790	1950
141	24180	5600	5300	9790	1950
142	24180	5600	5300	9790	2110
143	24180	5600	5300	9790	2410
144	24180	5600	5300	9790	3470(上がり)
145	24180	5760	5300	9790	3470
146	24180	6040	5300	9790	3470
147	24180	6280(上がり)	5300	9790	3470
148	24180	6280	4300	9790	3470
149(ゲーム5)	24180	6280	4330	10150	3470
150	24570	6280	4330	10150	3470
151	24850	6280	4330	10150	3470
152	25950	6280	4330	10150	3470
153	30670(上がり)	6280	4330	10150	3470
154	30670	6280	4330	10690	3470
155	30670	6280	4330	10850	3470
156	30670	6280	4330	10940	3470
157	30670	6280	4550	10940	3470
158	30670	6280	4550	11070	3470
159	30670	6280	4550	11190	3470
160	30670	6280	4550	13390(上がり)	3470
161	30670	6280	4550	13390	3500
162	30670	6340	4550	13390	3500
163	30670	6340	4640	13390	3500
164	30670	6340	4640	13390	3740
165	30670	6340	4790	13390	3740
166	30670	6340	4860	13390	3740
167	30670	6340	4860	13390	3860
168	30670	6340	4860	13390	4160
169	30670	6340	4860	13390	4320
170	30670	6340	4860	13390	5360(上がり)

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3	Com.4
171	30670	6420	4860	13390	5360
172	30670	6470	4860	13390	5360
173	30670	6470	5040	13390	5360
174	30670	6580	5040	13390	5360
175	30670	6790	5040	13390	5360
176	30670	6790	5640(上がり)	13390	5360
177	30670	5790	5640	13390	5360

・ゲームの結果

1位 : Human

2位 : Com.3

3位 : Com.1

4位 : Com.2

5位 : Com.4

C.2 Human(1位) vs. Com.1(3位)

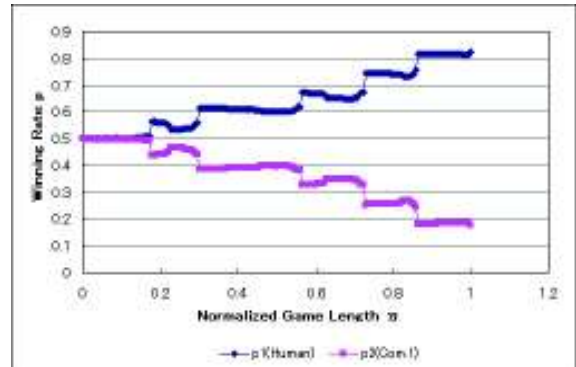


図 C.1: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.1) 図 C.2: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.1)

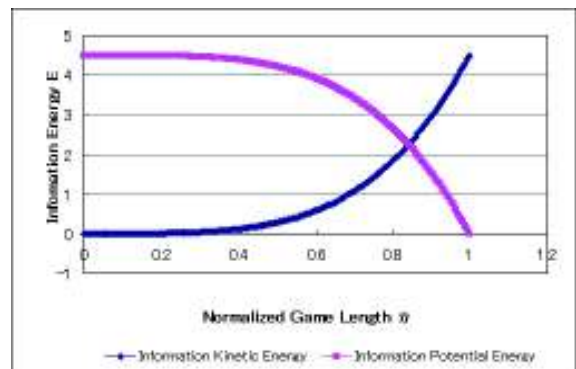
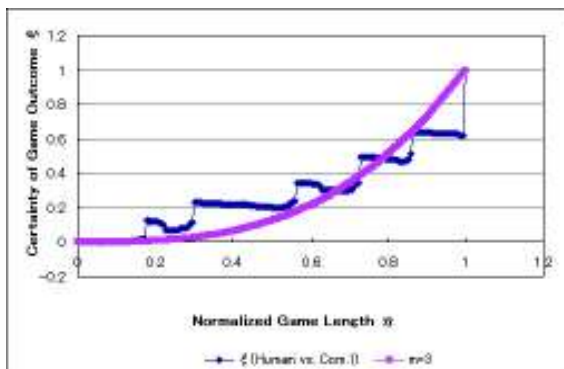


図 C.3: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Human vs. Com.1) 図 C.4: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.1)

C.3 Human(1位) vs. Com.2(4位)

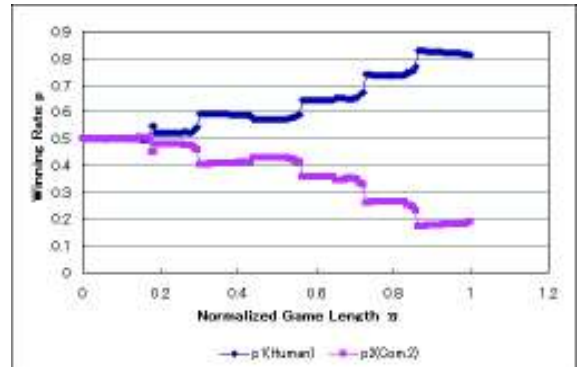


図 C.5: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.2) 図 C.6: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.2)

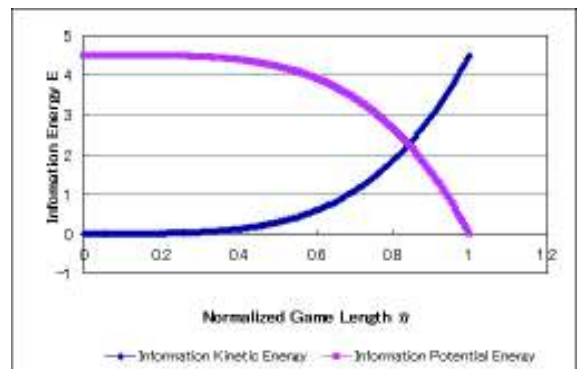
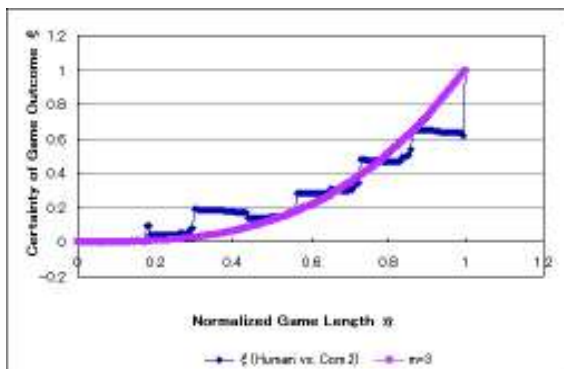


図 C.7: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Human vs. Com.2) 図 C.8: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.2)

C.4 Human(1位) vs. Com.3(2位)

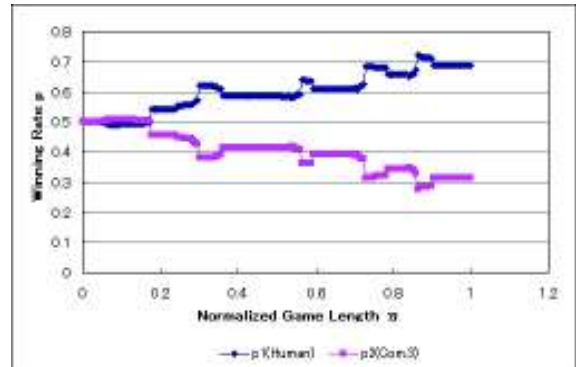
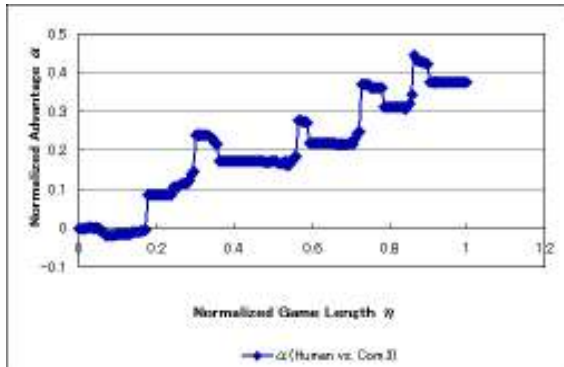


図 C.9: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.3) 図 C.10: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.3)

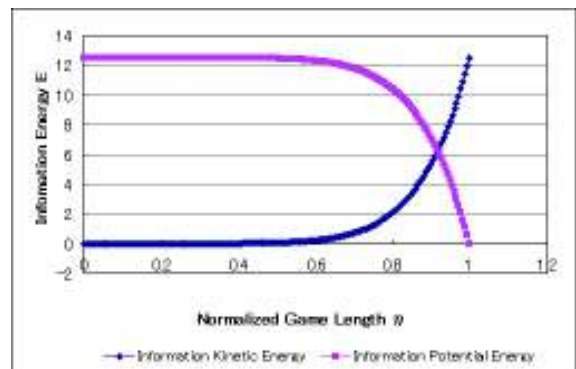
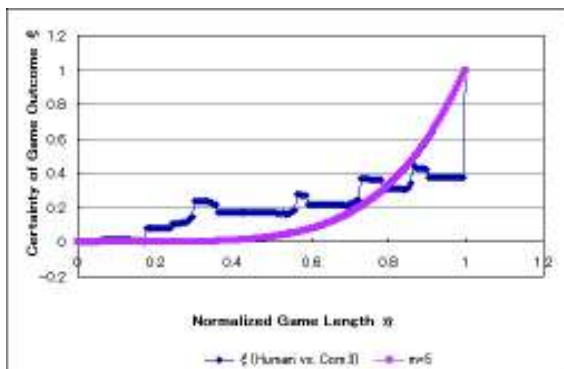


図 C.11: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Human vs. Com.3) 図 C.12: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.3)

C.5 Human(1位) vs. Com.4(5位)

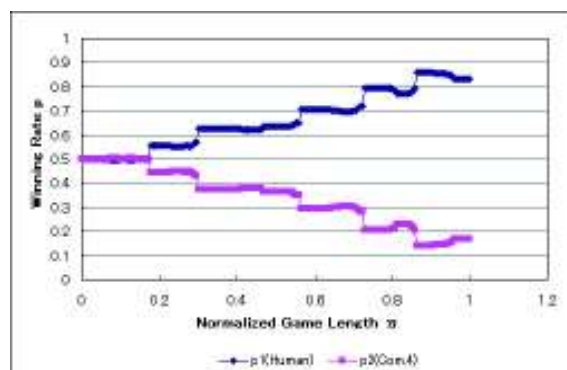
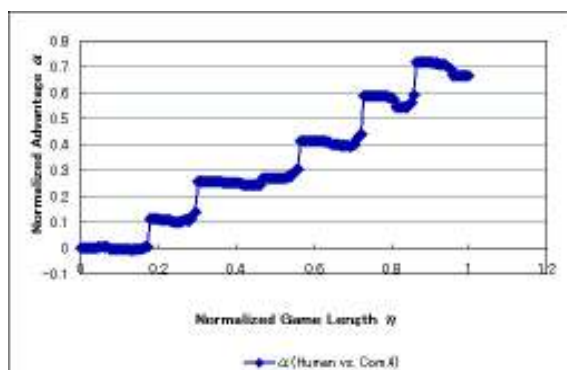


図 C.13: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.4) 図 C.14: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.4)

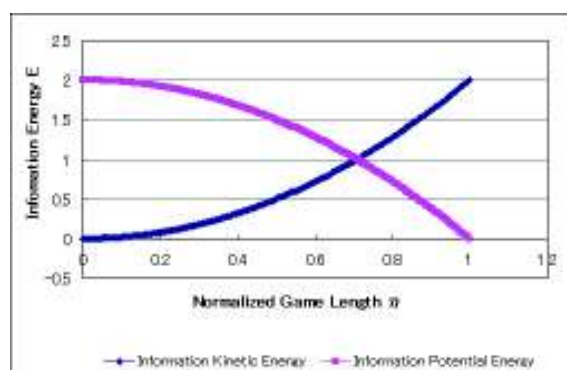
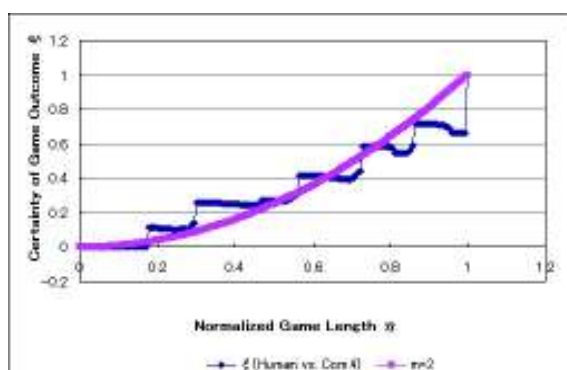


図 C.15: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Human vs. Com.4) 図 C.16: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Human vs. Com.4)

C.6 Com.1(3位) vs. Com.2(4位)

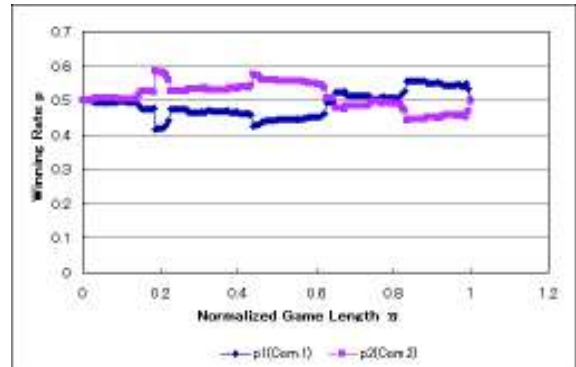


図 C.17: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.2) 図 C.18: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.2)

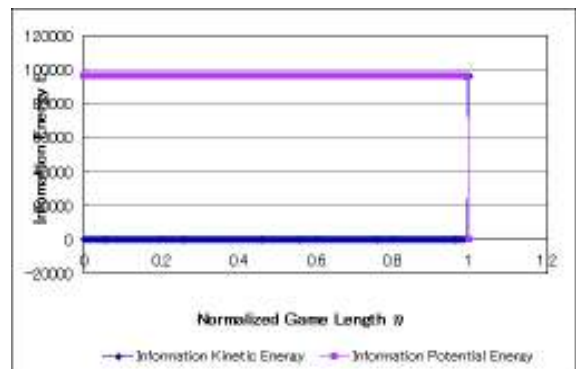
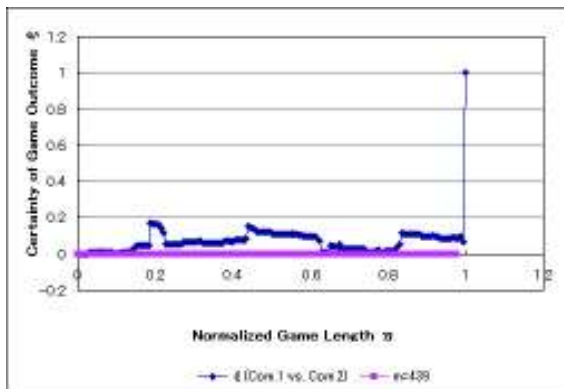


図 C.19: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.1 vs. Com.2) 図 C.20: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.2)

C.7 Com.1(3位) vs. Com.3(2位)

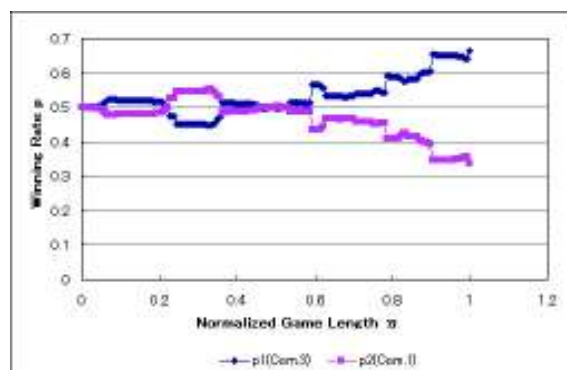
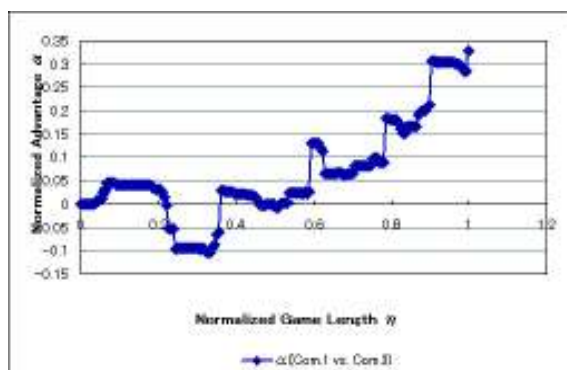


図 C.21: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.3) 図 C.22: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.3)

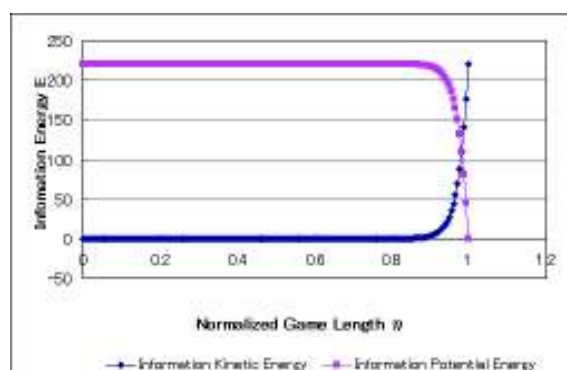
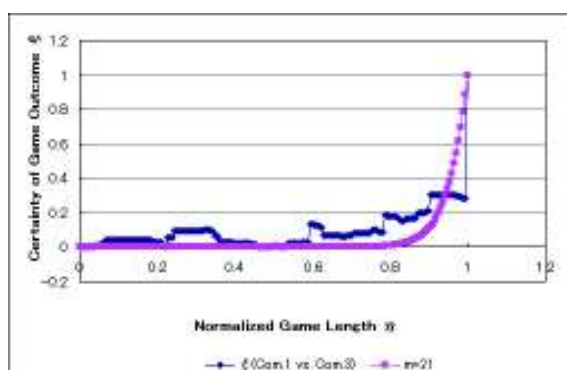


図 C.23: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.1 vs. Com.3) 図 C.24: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.3)

C.8 Com.1(3位) vs. Com.4(5位)

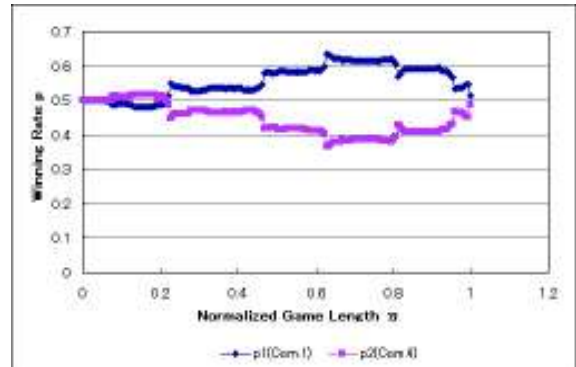


図 C.25: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.4) 図 C.26: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.4)

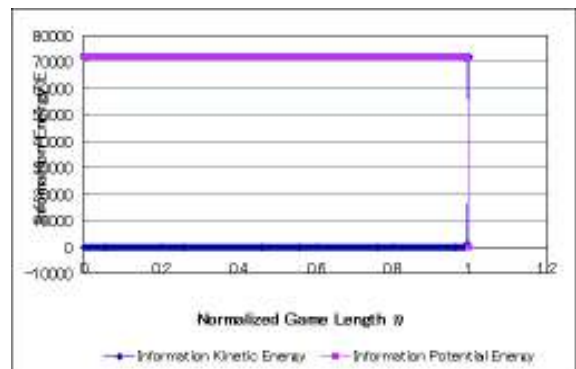
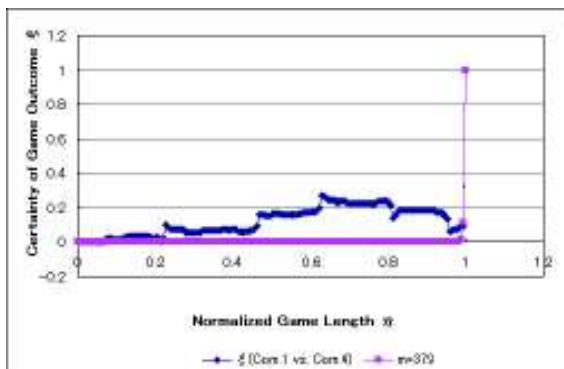


図 C.27: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.1 vs. Com.4) 図 C.28: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.1 vs. Com.4)

C.9 Com.2(4位) vs. Com.3(2位)

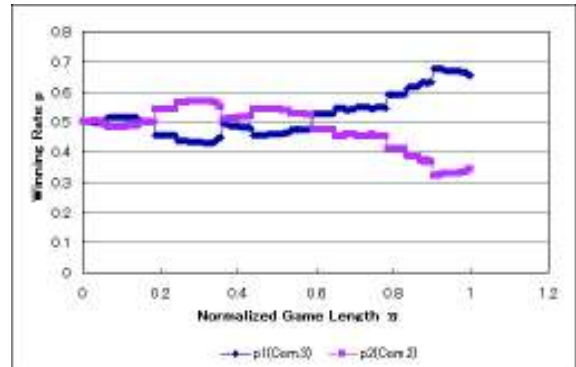
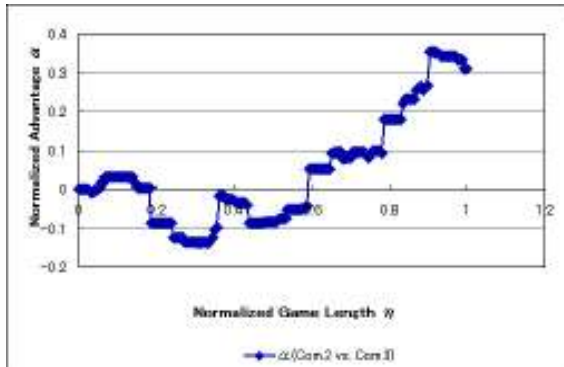


図 C.29: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.3) 図 C.30: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.3)

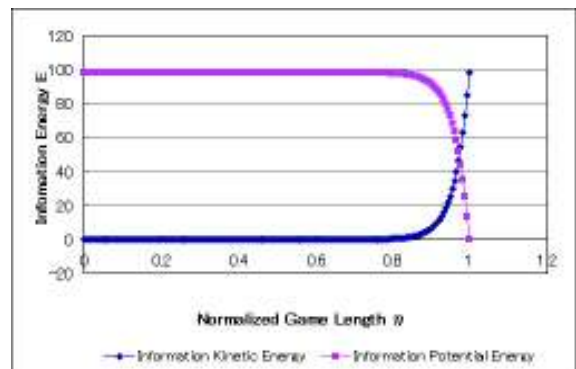
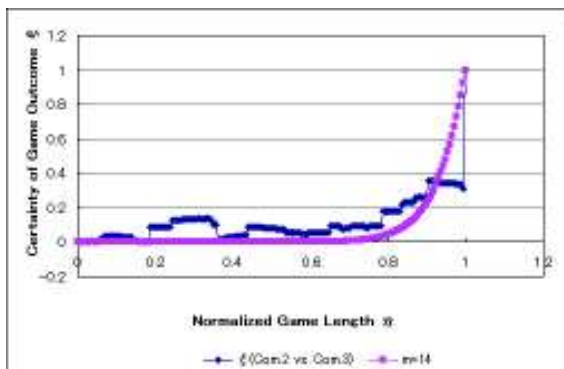


図 C.31: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.2 vs. Com.3) 図 C.32: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.3)

C.10 Com.2(4位) vs. Com.4(5位)

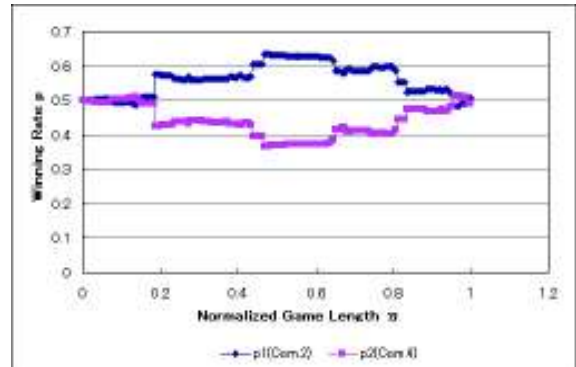
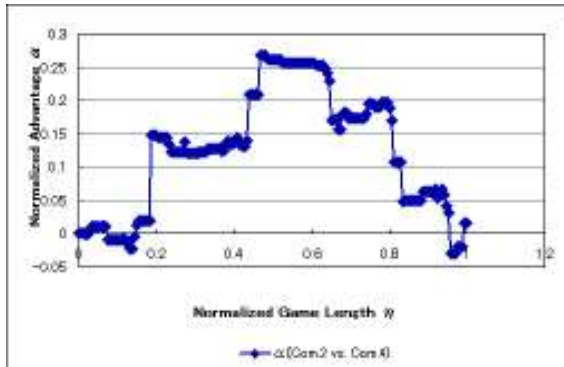


図 C.33: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.4) 図 C.34: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.4)

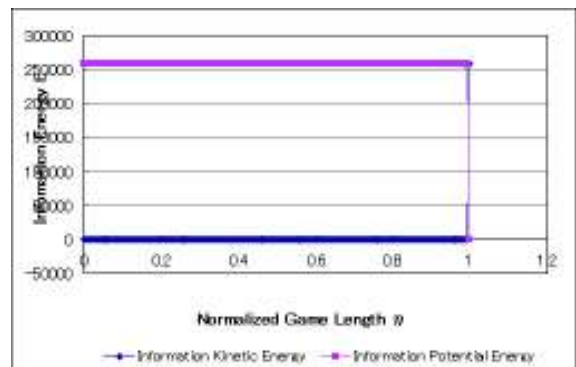
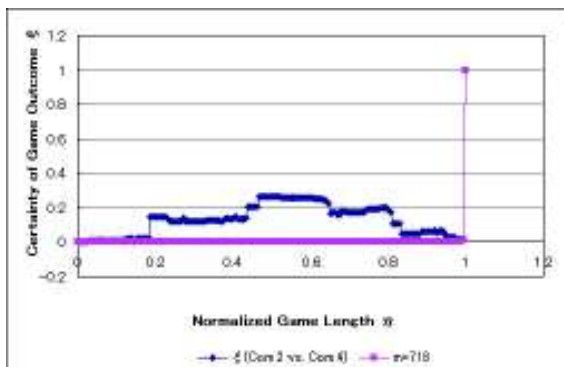


図 C.35: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.2 vs. Com.4) 図 C.36: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.2 vs. Com.4)

C.11 Com.3(2位) vs. Com.4(5位)

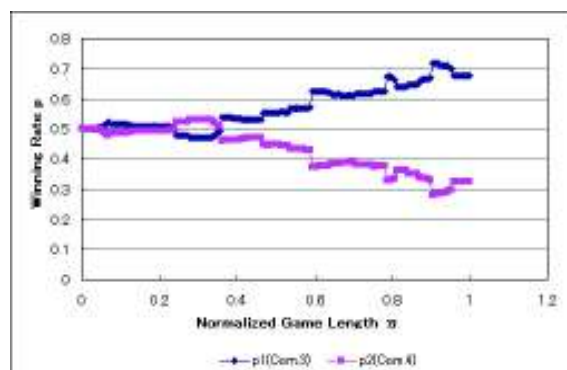
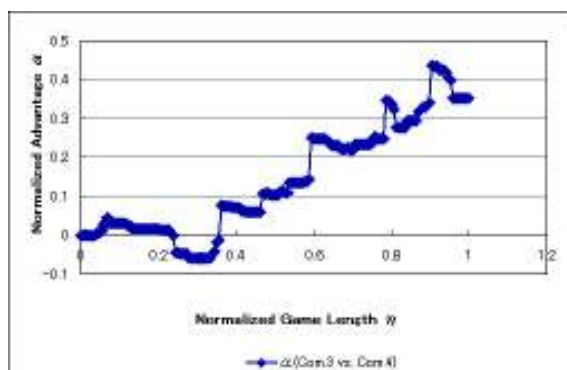


図 C.37: 無次元化アドバンテージ α と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.3 vs. Com.4) 図 C.38: 勝率 $p_1(\eta)$, $p_2(\eta)$ と無次元ゲーム長 η の関係 (Com.3 vs. Com.4)

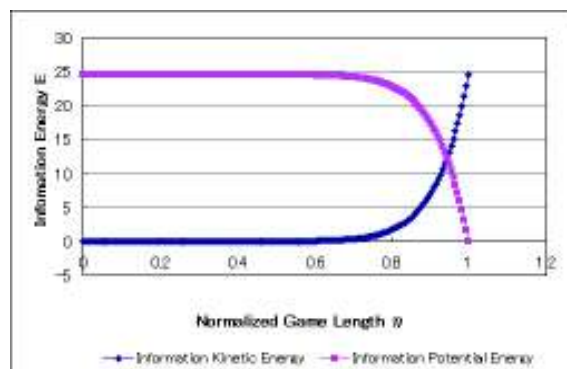
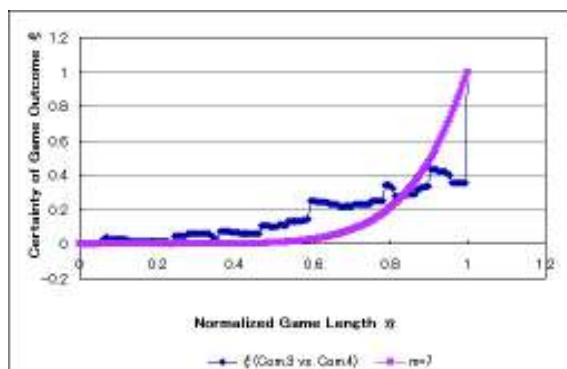


図 C.39: ゲーム結果の確かさ ξ と無次元ゲーム長 η の関係及びゲーム情報力学モデルによる近似 (Com.3 vs. Com.4) 図 C.40: 情報力学エネルギーと無次元ゲーム長 η の関係 (Com.3 vs. Com.4)

付録D 4人のプレイヤーによる対戦時のゲームスコア

D.1 1回対戦時のゲームスコア

表 D.1: 4人のプレイヤーによる大貧民のゲームスコアの推移

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3
0	0	0	0	0
1	0	0	0	10
2	20	0	0	10
3	20	80	0	10
4	20	80	100	10
5	130	80	100	10
6	250	80	100	10
7	250	500	100	10
8	250	500	100	280
9	250	500	100	300
10	280	500	100	300
11	280	640	100	300
12	370	640	100	300
13	670	640	100	300
14	670	1120	100	300
15	670	1210	100	300
16	670	1210	100	420
17	800	1210	100	420
18	1080	1210	100	420
19	4100(上がり)	1210	100	420
20	4100	1230	100	420
21	4100	1230	180	420
22	4100	1230	180	470
23	4100	1350	180	470
24	4100	1350	180	600
25	4100	1350	180	690
26	4100	1350	180	850
27	4100	1350	180	1150
28	4100	1350	840	1150
29	4100	1350	910	1150
30	4100	1350	910	1280
31	4100	1350	910	2300(上がり)
32	4100	1510	910	2300
33	4100	1640	910	2300
34	4100	1860(上がり)	910	2300
35	4100	1860	-90	2300

・ゲームの結果

- 1位 : Human
- 2位 : Com.3
- 3位 : Com.1
- 4位 : Com.2

D.2 5回連続対戦時のゲームスコア

表 D.2: 4人のプレイヤーによる大貧民の5回連続ゲーム
スコアの推移

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3
0	0	0	0	0
1(ゲーム1)	0	0	0	10
2	30	0	0	10
3	30	140	0	10
4	30	160	0	10
5	30	160	60	10
6	30	160	60	80
7	140	160	60	80
8	350	160	60	80
9	620	160	60	80
10	620	880	60	80
11	620	910	60	80
12	620	910	100	80
13	620	910	100	130
14	780	910	100	130
15	1080	910	100	130
16	1470	910	100	130
17	1480	910	100	130
18	1480	990	100	130
19	1480	990	200	130
20	4720(上がり)	990	200	130
21	4720	1080	200	130
22	4720	1080	310	130
23	4720	1200	310	130
24	4720	1310	310	130
25	4720	1590	310	130
26	4720	1720	310	130
27	4720	2960(上がり)	310	130
28	4720	2960	460	130
29	4720	2960	510	130
30	4720	2960	570	130
31	4720	2960	570	370

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3
32	4720	2960	570	380
33	4720	2960	650	380
34	4720	2960	650	470
35	4720	2960	650	490
36	4720	2960	810	490
37	4720	2960	940	490
38	4720	2960	960(上がり)	490
39	4720	2960	960	-510
40(ゲーム2)	4720	2960	990	-510
41	4720	2960	990	-420
42	4960	2960	990	-420
43	5020	2960	990	-420
44	5020	3440	990	-420
45	5380	3440	990	-420
46	6040	3440	990	-420
47	6140	3440	990	-420
48	6140	3550	990	-420
49	6270	3550	990	-420
50	6430	3550	990	-420
51	9670(上がり)	3550	990	-420
52	9670	3700	990	-420
53	9670	3790	990	-420
54	9670	3890	990	-420
55	9670	4010	990	-420
56	9670	4290	990	-420
57	9670	5070	990	-420
58	9670	6090(上がり)	990	-420
59	9670	6090	1030	-380
60	9670	6090	1030	-380
61	9670	6090	1080	-380
62	9670	6090	1200	-380
63	9670	6090	1620	-380
64	9670	6090	1710	-380
65	9670	6090	1710	-180
66	9670	6090	1710	-160
67	9670	6090	1840	-160
68	9670	6090	2020(上がり)	-160

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3
69	9670	6090	2020	-1160
70(ゲーム 3)	9670	6100	2020	-1160
71	9670	6100	2040	-1160
72	9830	6100	2040	-1160
73	10070	6100	2040	-1160
74	11070	6100	2040	-1160
75	11850	6100	2040	-1160
76	15510(上がり)	6100	2040	-1160
77	15510	6120	2040	-1160
78	15510	6120	2070	-1160
79	15510	6170	2070	-1160
80	15510	6170	2160	-1160
81	15510	6290	2160	-1160
82	15510	6370	2160	-1160
83	15510	6370	2400	-1160
84	15510	6370	2440	-1160
85	15510	6460	2440	-1160
86	15510	6460	2640	-1160
87	15510	6460	2670	-1160
88	15510	6460	2670	-1100
89	15510	7120	2670	-1100
90	15510	7420	2670	-1100
91	15510	7580	2670	-1100
92	15510	7970	2670	-1100
93	15510	8990(上がり)	2670	-1100
94	15510	8990	2770	-1100
95	15510	8990	3130	-1100
96	15510	8990	3430(上がり)	-1100
97	15510	8990	3430	-2100
98(ゲーム 4)	15520	8990	3430	-2100
99	15520	9010	3430	-2100
100	15520	9010	3430	-2100
101	15720	9010	3520	-2100
102	15750	9010	3520	-2100
103	15750	9010	3680	-2100
104	15750	9010	3700	-2100
105	15750	9010	3700	-2070

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3
106	15800	9010	3700	-2070
107	15800	9010	3880	-2070
108	15800	9010	4280	-2070
109	15800	9010	4390	-2070
110	15920	9010	4390	-2070
111	15920	9010	4520	-2070
112	16060	9010	4520	-2070
113	16180	9010	4520	-2070
114	16180	9160	4520	-2070
115	16180	9160	5240	-2070
116	16180	9160	8480(上がり)	-2070
117	16180	9160	8480	-2060
118	16340	9160	8480	-2060
119	16670	9160	8480	-2060
120	16760	9160	8480	-2060
121	16760	9360	8480	-2060
122	16760	9460	8480	-2060
123	16760	9460	8480	-1840
124	16760	9460	8480	-1820
125	16890(上がり)	9460	8480	-1820
126	17950	9460	8480	-1820
127	17950	9530	8480	-1820
128	17950	9530	8480	-1730
129	17950	9660	8480	-1730
130	17950	10040	8480	-1730
131	17950	10110	8480	-1730
132	17950	10110	8480	-1630
133	17950	10240	8480	-1630
134	17950	10260(上がり)	8480	-1630
135	17950	10260	8480	-2630
136(ゲーム 5)	17950	10260	8480	-2450
137	19030	10260	8480	-2450
138	19070	10260	8480	-2450
139	19070	10330	8480	-2450
140	19070	10330	8570	-2450
141	19070	10330	8570	-2250
142	19070	10330	8690	-2250

Move No.	Human	Com.1	Com.2	Com.3
143	19070	10330	8790	-2250
144	19180	10330	8790	-2250
145	19180	10330	9030	-2250
146	19180	10330	9270	-2250
147	19180	10330	9270	-1950
148	19180	10330	10590	-1950
149	19180	10330	10720	-1950
150	19180	10330	13840(上がり)	-1950
151	19600	10330	13840	-1950
152	19600	10570	13840	-1950
153	19600	10590	13840	-1950
154	19600	10590	13840	-1920
155	19650	10590	13840	-1920
156	19650	10780	13840	-1920
157	19650	10870	13840	-1920
158	19650	10980	13840	-1920
159	19770	10980	13840	-1920
160	19780	10980	13840	-1920
161	19780	11140	13840	-1920
162	19780	11300	13840	-1920
163	19780	11690	13840	-1920
164	19780	12710(上がり)	13840	-1920
165	19780	12710	13840	-1760
166	19780	12710	13840	-1750
167	19960	12710	13840	-1750
168	19960	12710	13840	-1640
169	19960	12710	13840	-1040(上がり)
170	18960	12710	13840	-1040

・ゲームの結果

1位 : Human

2位 : Com.2

3位 : Com.1

4位 : Com.3

参考文献

- [1] 岡田 章, ゲーム理論, 有斐閣, 2004 年発行
- [2] Iida H., Nakagawa T. and Spoerer K., A Novel Game Information Dynamic Model based on Fluid Mechanics, Proceedings of the 2nd International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics: IMCIC 2011: pp.134-139, 2011
- [3] Iida H. and Nakagawa T., Game Information Dynamics, Lecture Notes in Computer Science, 6972/2011, pp.403-406, 2011
- [4] Iida H., Nakagawa T. and Spoerer K., Game Information dynamic models based on fluid mechanics. Entertainment Computing, 3, pp.89-99, 2012.
- [5] 若林 宏明, コンピュータを用いたゲーム対戦の相互作用に関する研究, 北陸先端科学技術大学院大学修士論文, 2013
- [6] 中川 武夫, 飯田 弘之, 柔道をゲーム情報力学からみる, 日本武道学会創立 45 周年記念大会研究抄録, 45, 69, 2012/09/06
- [7] N.A. Risk and D. Szafron, Using counterfactual regret minimization to create competitive multiplayer poker agents, In Proceedings of the 9th International Conference of Autonomous Agents and Multiagent Systems: volume 1-Volume 1, pp.159-166, 2010
- [8] 須藤 郁弥, 篠原 歩, モンテカルロ法を用いたコンピュータ大貧民の思考ルーチン設計, 第 1 回 UEC コンピュータ大貧民シンポジウム, 2009
- [9] 古居 敬大, 相手の抽象化による多人数ポーカーの戦略の決定, 東京大学修士論文, 2013
- [10] ザ・トランプゲーム, 成美堂出版, 草場 純 監修, 1997 年発行
- [11] UEC コンピュータ大貧民大会, <http://uecda.nishino-lab.jp/>, 2013/08/26 アクセス
- [12] Wikipedia, <http://ja.wikipedia.org/wiki/>, 2013/10/30 アクセス
- [13] D貧民, ::: tauSoft.net :::, <http://www.tausoft.net/>, 2013/08/26 アクセス

- [14] Poverty/Win, Second-Class TeaRoom, <http://www.secondtea.jp/>, 2013/10/25 アクセス
- [15] Iida H., Nakagawa T., Sone S., Muangkasem A. and Ishitobi T., Safety Lead Curve and Entertainment in Games, International Conference of Information and Communication Technologies and Applications ICTA 2011, 2011

発表文献

- [1] 飯田 弘之, 中川 武夫, Apimuk Muangkasem , 神谷 俊裕, 曾根 彰吾, 森近 泰匡, 石飛 太一, 若林 宏明, プレーヤー感情のゲーム・パターン依存性, 情報処理学会研究報告. EC, エンタテインメントコンピューティング 2011-EC-22(3), pp.1-4, 2011-12-10
- [2] 森近 泰匡, 飯田 弘之, 中川 武夫, 情報力学に基づくコンピュータ・ゲーム「大貧民」に関する研究, 情報処理学会研究報告. GI, [ゲーム情報学] 2013-GI-30(5), pp.1-8, 2013-06-21
- [3] Nakagawa T., Iida H., Morichika H. and Ohura S., Human vs. Computer Games, Physics and Technical Sciences, (in Press)
- [4] 森近 泰匡, 飯田 弘之, 中川 武夫, 「大貧民」のゲーム情報力学, 情報処理学会 第76回全国大会研究抄録, 2014 予定